学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

森林环境学

BOOK

内部资料 非卖品

森林环境学

绪　论

第一节 森林与人类的生存环境

一、环境的基本概念

所谓环境是相对于某一中心事物而言的，与某一中心事物有关的周围事物，就是这个中心事物的环境。因此，环境因中心事物的不同而不同，随中心事物的变化而变化。

通常我们所说的环境，是指中心事物是人类，以人类为中心的并与之有关的周围事物或外部世界，即人类生存、繁衍所必需的，可以直接或间接影响人类生活和发展的各种客观存在的事物的综合体。环境是人类生存发展的基础，同时又是人类开发利用的对象。1989 年 12 月 26 日起施行的《中华人民共和国环境保护法》中所称的环境是指“影响人类生存和发展的各种天然的和经过人工改造的自然因素的总体，包括大气、水、海洋、土地、矿藏、森林、草原、野生生物、自然遗迹、人文遗迹、自然保护区、风景名胜区、城市和乡村等”。

二、人类环境

人类环境是指人类赖以生存和发展的环境，它包括自然环境和社会环境。

（一）社会环境

社会环境由社会的政治、经济、文化等要素组成。一定的社会有一定的经济基础和相应的上层建筑，形成多种多样的社会环境。社会环境是由于人类活动而形成的，属于人工环境性质。它包括人工形成的物质、能量、信息及各种精神产品，也包括人类活动形成的人与人之间的关系或称为上层建筑。社会环境对人的工作与生活、对社会的进步影响极大。

（二）自然环境

自然环境是人类赖以生存、生活和生产所必需的自然条件和自然资源的总称，是直接或间接影响人类的一切自然形成物质、能量、信息和自然现象的总体。它包括：阳光、空气、水、岩石、土壤、动物、植物、微生物、矿物、气候、温度、地磁、地壳稳定性、各种引力等自然因素。它们都是人类赖以生存的物质基础。

自然环境亦可看作是由地球环境和外围空间环境两部分组成。据目前所知，太阳系中的地球是唯一能适于人类生存的行星，而太阳是对地球表面自然环境影响最大的天体，它是地球能量，特别是生命能量的主要来源。因此，地球环境对人类具有特殊重要的意义。

人类居住的地球，自内而外具有圈层结构。与人类最密切的是地表几个圈层，它们包括：岩石土壤圈、水圈、大气圈以及生物圈。它们共同组成了人类的自然环境，为人类生存发展创造了条件。

环境科学中所研究的人类环境主要是指自然环境，同时也包括了一些人工环境（如人工构筑物、人工产品等）。

三、环境分类

环境通常从环境的范围、环境要素、人类对环境的利用或环境的功能等方面进行分类。

按环境的空间范围划分，可分为居室环境、院落环境、村落环境、城市

环境、区域环境、全球环境和宇宙环境等。

按环境要素属性划分，可分为社会环境和自然环境。自然环境按其组成要素又可分为：大气环境、水环境（海洋、湖泊、河流等环境）、土壤环境、地质环境、生物环境（包括森林环境、草原环境等）等。

按人类对环境利用或环境功能划分，可分为聚落环境（如村落环境、城市环境）、生产环境（工厂环境、矿山环境、农场环境等）、交通环境（机场环境、港口环境、车站环境、道路环境等）、文化环境（学校及教育区环境、文物古迹环境、风景游览区环境、自然保护区环境等）。

四、环境的基本特性

（一）整体性与区域性

整体性是环境的最基本特性。整体性是指环境的各个组成部分和要素之间构成了一个系统。也就是说，环境的各组成部分（包括大气、水体、土壤、植被、人工物等）以特定方式联系在一起，具有特定的结构，并通过稳定的物质、能量、信息网络进行运动，从而在不同时刻呈现出不同状态。环境系统的整体虽由部分组成，但整体功能却不是各组成部分功能的简单之和，而是要由各部分之间通过一定结构形式所呈现出的状态来决定。具体地说，环境系统大多由气、水、土、生物、阳光等主要环境要素组成。虽然它们的各自特性和对人类社会生存发展的独特作用不会发生变化，但它们组成的具体环境则会因它们之间结构方式、组织程度、物质能量流动规模和途径不同而有不同的特性。例如，城市环境与农村环境、水网地区环境与干旱地区环境等就各有不同的具体特性。

环境的区域性是指环境整体特性的区域差异。具体说就是不同区域的环境有不同的整体性。它与环境整体性一起是环境在空间域上的特性。

（二）变动性与稳定性

变动性是指在自然的和人类社会行为的作用下，环境的结构和状态始终处于不断变化之中。与变动性相对的是环境的稳定性。所谓稳定性是指环境系统具有一定的自我调节功能。也就是说，当在人类社会行为作用下，环境结构和状态所发生的变化不超过一定限度时，环境系统可以借助于自身的调节功能使这些变化逐渐消失，结构和状态得以恢复。

环境的变动性与稳定性是环境在时间域上的特性。变动是绝对的，稳定是相对的，变化限度是决定环境系统能否稳定的条件。环境的这一特性表明，人类社会的行为将会影响环境的变化。因此，人类社会必须自觉地控制自己的行为，使之与环境自身的变化规律相适配、相协调，以求得环境向着更加有利于人类社会生存发展的方向变化。

（三）资源性与价值性

从实用性讲，环境整体及其各组成要素都是人类生存发展所需的资源。人类的繁衍、社会的发展都是环境对其不断投入物质、能量和状态的结果。过去，人们较多注意的是环境资源的物质性方面，以及以物质为载体的能量性方面，比如地球上的生物资源、土壤资源、水资源、矿产资源等。这些无疑都是环境资源的重要组成部分，是人类社会生存发展所必需的。但近几十年来，通过环境科学的深入研究，人们进一步认识到，除物质资源外，环境资源的概念还应包括非物质性方面，即环境状态也是一种资源。不同的环境状态，对人类社会的生存发展将会提供不同的支持。这里所说的不同支持，既有方向的不同，也有大小的不同。比如说，同样是海滨地区，有的有利于

发展滩涂养殖，有的则利于发展港口运输。同样是内陆地区，有的利于发展旅游，有的则利于发展工业；有的利于发展市镇，有的则利于发展疗养地等。总之，环境状态因其对人类社会发展提供的条件不同，从而将影响到人类对生存方式和发展方向的选择，所以说它也是一种资源。

环境，包括其组成要素和整体状态，都是人类社会生存发展不可脱离的依托条件和限制条件。也就是说，环境和人类社会生存发展的需要之间客观存在着一定的特定关系。因此，环境是有价值的。环境的资源性和价值性是环境在功能域上的特性。

环境价值可归纳为环境对人类的生存价值即满足人类生存（衣、食、住、行等）基本需要，由环境提供人类的生活资料和生产资料；发展价值是指在满足生活需要的基础上进一步发展生产力，不断提高人类生活水平，环境所满足的程度；生态价值为人类健康生活、更好地生存与发展提供良好的生态环境条件；文化价值满足人类精神文明的需要。

环境具有的整体性与区域性、变动性与稳定性、资源性与价值性特性，都是由于环境是一个系统所决定的。环境是一个系统，是因为组成环境的各个要素以及各个组成部分之间有着稳定的有机联系，并存在能流、物流和信息流。环境结构是环境系统的内在表示，环境状态是环境系统的外在表示。环境结构是指环境系统中各组成部分间数量的比例关系、空间位置的配置关系以及联系的内容和方式。通俗地说，环境结构表示的是环境要素是怎样结成一个整体的。所谓不同的环境，实质上指的是它们有不同结构。环境状态是环境结构运动和变化的外在表现。若环境结构不同，环境状态就不同；若环境结构运动和变化，则环境状态也会发生变化。

五、森林环境

森林环境是人类自然环境中生物环境的重要组成部分，是地球生物圈中的重要成分，也是地球陆地生态系统的主体。森林是由其组成成分——生物（包括乔木、灌木、草本植物、地被植物及多种多样动物和微生物等）与它周围环境（包括土壤、大气、气候、水分、岩石、阳光、温度等各种非生物环境条件）——相互作用形成的统一体。因此，森林是一个占据一定地域的、生物与环境相互作用的、具有能量转换、物质循环代谢和信息传递功能的生态系统。

作为人类环境的森林或森林生态系统，从环境学的角度，我们把它也称为森林环境。森林或森林环境既是人类生存和发展的基础、不可缺少的环境条件，又是人类开发利用的对象。

森林环境是以森林生物为主体与一定地理条件结合而形成的具有一定特性和发挥独特作用的地域空间。森林环境除了具有环境的一般特性外，还具有以下明显特点：

（一）森林环境的整体性

组成森林环境的各要素都有自己的发生发展规律，但它们作为森林环境的有机组成部分而结合在一起时，就形成了相互依存，相互制约，密不可分的整体。在整体中，一种要素的改变都必将引起其他要素的相应变化，甚至导致从一种生态环境过渡到另一种生态环境。

森林环境是一个多资源的整体系统，每种资源都与系统整体密切相关，它通过能量流动、养分和水分循环、信息传递影响系统内的其他构成。因此，对森林环境的研究、保护和开发利用都必须从其整体性出发。忽视森林环境

的整体性特点，就会造成森林环境的破坏。

（二）森林环境的多样性

森林环境具有多种生物（包括各种乔、灌、草本植物，多种动物，多种昆虫和微生物）。这些生物生长在不同气候、土壤等地理环境条件下，形成一个密不可分的综合体。它蕴育着多种资源，具有多种用途和多种功能。不仅为林业，而且为农业、工业、医药卫生、旅游、交通、邮电等各个国民经济部门服务，范围极为广泛。

森林环境具有生物多样性、景观多样性、环境多样性、人文多样性和生产利用多样性。森林环境结构复杂、层次繁多，生态、社会、经济功能强大，从多方面多角度显示了它的多宜性。人类活动只有掌握这种特性，通过多因素、多变量的系统分析，进行最佳的保护和利用选择，才可高效地发挥森林环境的潜力。

（三）森林环境的时空性

森林环境是特定的时空产物。不同时间和空间结合形成不同功能、不同结构和类型的森林环境。森林环境的时空变化极为明显。不同的地理位置和条件会形成不同的森林环境；同一地理位置的不同海拔高度、不同土壤立地条件也会形成不同的森林环境。在森林环境形成和发展过程中，不同的时间，森林环境也会有差异。因此，必须根据森林环境的时空性特点对其保护和利用，否则就会造成失误。

（四）森林环境的有限性

森林环境是在一定的光、热、水、气条件下形成的。在地球上它的分布地区是有限制的，例如南北两极、高山和雪原、干旱和荒漠地区以及一切不具备森林生长的地区都不可能有森林。因此，在地球上森林环境是有限的。从古至今，由于人类的破坏，使现存于地球上的森林已经很少了。森林资源既是可再生资源，也是可耗竭资源，其负荷能力是有一定限度的。人类对森林资源的开发利用，如果超过了它所能负荷的极限，必然会破坏它原有系统的平衡，甚至可能导致资源因消耗过度而枯竭，造成森林环境的破坏和消失。

森林环境的有限性要求我们科学地认识森林环境破坏和耗竭的条件，掌握它的负荷极限，只有这样，才能对其有效地保护和持续利用。

（五）森林环境的可塑性

森林环境受到有利因素影响时，它的发展及其效益性能都会改善；反之则否。森林环境有一定可塑性，它像其他生态系统一样，有一定弹性，有一定阈值，有一系列反馈作用，对外部干扰能进行内部结构和功能的调整，以保持系统的稳定和平衡，这就是生态系统的自我调节能力。我们把森林这个复杂的生态系统的自我调节能力称之为森林环境的可塑性。森林环境的可塑性是有一定限度的，超过了它的阈值，可塑性就失去了，就会导致森林环境的破坏。人类利用森林环境的可塑性，就是要对森林环境进行定向改造和培育，使其系统结构的功能更佳，更有利于人类。

（六）森林环境的公益性

森林环境是自然界最重要的生物库、能源库、基因库、二氧化碳储存库、氧气生成库、绿色水库、天然抗污染的净化器，对自然环境的大气圈、水圈、土壤岩石圈和生物圈都具有极其重要的良好作用。因此，著名的德国学者盖格尔（R.Gei-ger）把森林对人类及人类环境的良好作用称为森林的福利作用，它造福人类，具有公益性特点。森林环境是人类生存环境不可缺少的组

成部分，也是建设人类更加美好生存环境中最积极、最可塑、最活跃的公益性因素。

六、人类与森林环境

（一）森林环境在人类发展中的地位

森林或森林生态系统是陆地生态系统的主体。它不仅占有近30%的陆地面积，占有地球60%以上的生物量，而且存在巨大的生态、经济和社会效益；它不仅影响生物圈中各种各样生物的生存和发展，也影响和作用于非生物圈即土壤岩石圈、水圈、大气圈，对它们产生一定的调控，起着维持地球生态平衡的重要作用。因此，通过间接影响和作用于人类生物的、非生物的环境，森林或森林环境对人类及人类生存环境有着巨大的影响。同时，森林也直接对人类的生存和发展有着巨大的影响。人类产生于森林中，依托森林而发展，也创造了巨大的生产力和灿烂文化。森林是国家强盛人民富裕的象征。没有森林，就没有人类，更没有人类文明。由此可见，森林或森林环境是人类不可缺少的，与人类关系极其密切的，也是非常重要的。

（二）森林环境在人类发展中的功能

森林或森林环境对人类及其生存环境的影响和作用，主要表现在以下方面：

1.森林的经济功能。森林不仅是人类的重要环境条件，也是人类可利用的再生资源，它对人类有着重要的经济价值。森林的经济功能主要是可为人类提供多种林产品，满足人类物质需要。例如，为人类提供多种用途的木材，包括用于燃料、饲料等；提供多种食物，包括干鲜水果、森林蔬菜、食用菌、木本粮油、饮料、食用动物等；提供多种工业原料，如烤胶、紫胶、香料、染料、松香、毛皮等；提供多种药材，如人参、杜仲、黄柏等；提供多种工艺品、艺术品加工所需的原材料，如根雕、盆景、木制艺术品及艺术画等。总之，人类的衣、食、住、行、生产和生活都离不开森林及其提供的多种林产品。有些林产品甚至对人类生活及生产资源，具有不可替代性。全世界森林每年提供的林产品多种多样，仅提供木材一项就超过（23×10^8）m^3。因此，森林是人类重要的生活和生产资源。

2.森林的生态功能。森林作为人类环境条件之一，除了直接影响人类的生产和生活外，也能通过影响人类的其他环境条件（这里主要是指自然环境条件）来影响人类。森林的生态功能，实际上是指森林对人类环境的功能。主要有以下几方面：

第一，森林对大气圈的影响。森林植物通过光合作用吸收大气中的二氧化碳（CO_2），放出氧气（O_2）；通过呼吸作用放出CO_2，吸收O_2。一昼夜中吸收与放出CO_2之比为3：2，因而使CO_2中所含碳素在植物体内聚集而形成生物量的积累。据资料报导，$1hm^2$森林每天可吸收$1tCO_2$，放出$0.73tO_2$。全球森林每年能使约（550×10^8）tCO_2转变成木材，同时大约可放出（400×10^8）tO_2。全世界森林吸收CO_2并放出的O_2超过世界人口呼吸所需O_2的近10倍。通过吸收CO_2，放出O_2，森林植物可影响大气中O_2、CO_2的循环和平衡。没有绿色植物和森林的造氧作用和汇集CO_2的作用，大气圈的组成成分不可能保持稳定，而是越来越不适宜人类和其他生物的生存与繁衍，从而使人类和其他生物从地球上消失。因此，作为大气圈CO_2之汇和O_2的制造者，森林对维

持大气圈的平衡有着重要作用。实践证明，森林对 CO_2 的影响，可使温室效应减缓，对防止地球气候变暖能起一定的遏制作用。

地球上各种类型的森林植物，还能对人工排放到大气圈的各种污染物，起到一定的过滤和净化作用。森林能分泌一些杀菌素、负离子和芳香化合物，对大气进行消毒，使空气清新，从而改善人类的大气生活环境质量。

森林对大气圈的影响，还表现在森林能在一定范围内起到调节局地或区域气候的作用。森林的存在可形成一种比较湿润、舒适、变化较缓和的与海洋性气候类似的森林气候特征。当森林破坏后，气候则变得严酷，带有更重的大陆性气候的色彩。

森林还能减轻来自大气圈的灾害，如森林可减低风速，防止风害和干旱风的形成，预防冷害及霜冻，减少雹灾形成，阻挡沙尘暴等。

第二，森林对水圈的影响。水是地球上包括人类在内的一切生命所不可缺少的。森林通过对水分循环、水质和防止水旱灾害等作用来影响水圈，从而对人类及其环境产生影响。

森林通过森林植物蒸腾、林地蒸发和森林植物截持降水的蒸发等将水分大量地蒸散到大气中。森林蒸散比无林地的蒸发量要大得多，一般要大 20%～30%。由于林区森林蒸散量大，使其上空空气湿度增大，对陆地水分循环会产生一些影响。以热带雨林为例，每公顷热带雨林每年大约蒸腾 7 500t 水。据估计，全球森林的蒸腾量每年约为（48×10^{12}）t 水，并消耗热量 10^{23}J。这些水对陆地水分循环可产生作用，并会使陆地降水量有所增加。

森林具有涵养水源的功能。大量水文资料证明：当森林遭到破坏后，河川水的枯洪变幅便会增大。以四川大邑县斜江河为例，1957 年前上游森林茂密，洪峰期最大流量为 295m^3/s，枯水最小流量为 0.83m^3/s；1958 年后森林遭破坏；1979 年洪峰最大流量为 763m^3/s，枯水期最小流量为 0.25m^3/s。可见，森林能减低洪峰流量，增加枯水期流量，并调节河川流量，起到既能防止洪涝灾害，又可减轻旱灾的双重作用。森林之所以能起涵养水源的作用，主要是因为林地具有大量枯枝落叶和腐殖质，以及林地土壤疏松、吸水和保水能力强。降雨时，尤其是降暴雨时林地能够大量吸水。据在重庆对常绿阔叶林下土壤吸水力的测定，一般可持日最大降水量为 140～230mm 以上。林地土壤对多余水分的排出历时平均比非林地延长 5～10 倍。据黄河水利委员会对甘肃子午岭林区的观测，森林能拦蓄暴雨径流平均达 70%，最高达 90%，削减洪峰流量在 60%以上，基本能消除猛涨猛落的洪水灾害。

森林还能起到净化水质的作用。由于森林中物种复杂，林地土壤疏松，形成了多层结构，从森林中流出的水，经过多层次筛漏和吸附过滤，可以起到净化水质的作用。因而从林中流出的水，如无严重污染物的侵害，水质应是比较好的。

第三，森林对土壤岩石圈的影响。森林对土壤岩石圈的影响，主要表现在森林具有改良土壤、固土、防治荒漠化，保护耕地，防止水蚀和风蚀等方面的作用。

土壤是人类赖以生存的物质基础，是人类环境的基本要素，是农业生产的最基本资源。我国是世界上水土流失最严重的国家之一，土壤侵蚀遍布全国，而且成因复杂，强度高，危害严重。土壤侵蚀按其成因主要有水蚀、风蚀、冻融侵蚀等。据水利部遥感中心 1990 年调查统计，全国土壤侵蚀面积达（492×10^4）km^2，占国土面积的 51%，其中，水蚀面积占（179×10^4）km^2，

风蚀占（188×10^4）km^2，冻融蚀占（125×10^4）km^2。土壤侵蚀虽然是多种因素综合作用的结果，但人为地破坏森林和植被是造成水蚀和风蚀的重要原因之一。

森林和植被以其地上多层次结构和地下发达的根系，可以大大减少降雨势能对土壤的冲刷，并起固土作用，防止风蚀和水蚀。

森林和植被有着明显的防风固沙，防止荒漠化的作用。此外，森林还能在一定程度上起改良土壤的作用。这是因为森林能使土壤理化性质改善，如增加土壤有机质，形成团粒结构，增加土壤孔隙度，提高土壤渗透能力和吸附能力，提高土壤中氮（N）、磷（P）、钾（K）含量及各种微量元素含量。

第四，森林对生物圈的影响。森林是陆地生态系统中最丰富的类型，在生物圈中占有重要的位置。森林生态系统具有最复杂的时空结构，既有较强的反馈调节能力，又有较强的弹性和稳定性，还是巨大的陆地生物基因库。全世界 500 万～1000 万种生物中有半数以上的生物都栖息或生长在森林之中，仅热带雨林中就有 200 万～400 万个物种。森林生态系统还具有最高的生物量和生物生长量，是陆地生物光合产量的主体。森林平均单位面积的生物量约高于草原的 20 倍，年净生产量高于草原的 2～3 倍。森林年净生产量占陆地生物的 60%。因此，森林是支撑陆地生物圈生存的主体，是人类除农田、草原以外赖以生存的重要物质基础。

陆地森林面积经过人类长期活动，已在逐渐减少，其中主要是热带林的减少。由此引起世界物种多样性也急剧降低。进入 20 世纪以来，平均每天灭绝一个物种，而一个物种的灭绝，常常导致 10～30 种生物的生存危机。目前，全球濒危灭绝的有花植物约为 1 万种，动物为 1000 余种，大部分分布于热带。预计到 21 世纪初，现有的热带雨林将有一半要消失，估计将有 50 万～100 万个物种会灭绝。因此，保护森林就是保护生物多样性，就是维持生物圈的平衡；破坏森林生态系统，就会使生物圈的存在受到威胁，从而影响人类的生存。

第五，森林对全球生态平衡的影响。森林是全球陆地最大的生态系统，在生物圈中扮演着重要的角色，它对生物圈中水分循环、碳氧及其他气体的循环、土壤中各种元素的生物地球化学循环以及太阳能的光合利用等都有着影响，起着重要的作用。森林的减少，必将影响地球生物圈及生物圈的环境（包括大气圈、水圈和土壤岩石圈），从而影响着地球的生态平衡，影响到人类的生存。森林是全球环境问题的核心。

3.森林的社会文化功能。以森林为原料，在社会上形成了各种产业，为人们提供了大量的就业机会，同时对发展经济，满足人们的多种需要，推动社会的发展和进步也起着一定的作用。

森林对人类的卫生保健也有作用。由森林所形成的森林小气候条件对人的身体有着良好的影响，例如森林里的光线柔和，空气湿润，温度变化小，平静无风，以及花、果的芳香和鸟鸣的悦耳，不仅直接作用于人的视觉、听觉、嗅觉，而且使人精神放松，增进人体健康。

森林具有吸尘作用。由于结构复杂，树叶表面不平，多绒毛，有的能分泌粘性油脂及汁液，森林能吸附大量飘尘。据测定，每公顷松林每年可滞留 36.4t 灰尘，云杉则为 32t。绿化地的吸尘效果非常明显，减尘率可达 37%～60%。有些树木还具有吸毒、减低空气污染的作用。据测定，松林每天可从 1m^3 空气中吸收 20mg 二氧化硫（SO_2），1hm^2 柳杉林每年可吸收 720kgSO_2。橘

树叶可含氟 1.38×10^{-4} 而不受害，泡桐、女贞、大叶黄杨、梧桐等树种吸氟和抗氟能力较强。

许多森林植物能放出大量杀菌素。杀菌素不仅能消灭单细胞微生物、细菌、真菌和原生动物，而且对多细胞动物（如昆虫、壁虱等）有毒害作用。例如 0.1g 磨碎的稠李冬芽，能在 1s 内杀死苍蝇。松属、圆柏属、云杉属、桦木、山杨、橡树、稠李、桉树等都能分泌杀菌素。有人计算过 $1hm^2$ 柏树林一昼夜可分泌 50kg 植物杀菌素，可杀死各种疾病（如结核、霍乱、痢疾、伤寒、白喉等）的病原菌。有人统计过，森林内 $1m^3$ 空气中只有 300～400 个细菌，而林外则有 3 万～4 万个细菌，在城市的空气中则更多。此外，森林里空气中负离子含量较多，对人体健康有益。

森林能减低噪声，一般 40m 宽的林带，可减低噪声 10～15dB。长期处于严重噪声污染的环境下，会使人烦燥不安，工作能力下降，甚至影响人的听力。因此，建造林带可以隔音，抗噪声污染。森林还具有抗辐射、阻碍污染光的传播的作用。

森林还具有文化功能。森林是一本天然的百科全书。进入森林，我们可以学习自然，了解自然，增长自然方面的知识，欣赏各种天然景观，提高文化素养，热爱大自然。森林也是人们旅游、爬山、远足，甚至探险的场所。

总之，森林具有多种功能、多种效益，是保障地球环境安全和人类生存的重要因素。

七、森林环境面临的主要问题

森林环境对人类生存环境有重要的作用。但是，由于长期以来对环境工作的忽视，对森林环境重要性认识不足，加之经济发展和人口增长的影响，全球森林环境问题已十分严峻。森林环境面临的主要问题可概括为：

（一）森林面积锐减

全球森林面积从人类文明初期的（80×10^8） hm^2，已减少到（28×10^8）hm^2。现在，世界森林正以每年减少（15～20）$\times10^6hm^2$ 速度进行着，而造林面积不到毁林面积的 1/10。美国政府在《2000 年的地球》一书预测，到 2000 年森林面积将下降到陆地面积的 1/6，2020 年则降为 1/7。据《1990—1991 年世界资源》介绍，部分热带国家的郁闭林因滥伐造成年消失率为 0.8%～7.6%，比过去加快了一倍以上。

造成森林面积锐减的主要原因是农用地开垦、森林资源大规模开发利用（含木材和薪材）、森林灾害（尤其是火灾）和工业污染所造成的森林死亡。

（二）森林质量下降

全球不仅森林面积减少，而且质量在下降。目前，全球郁闭林的立木总蓄积量为（3040×10^8）m^3，年生长量为 $10^{10}m^3$ 左右。生长量与消耗量之差，年森林赤字达（10～15）$\times10^8m^3$，成熟林、过熟林的蓄积量逐年下降。世界林地面积中仅有 10%的立木生长饱满，可以获得相当于它们潜在生产能力一半的木材。由于立木蓄积量的耗竭，林地侵蚀和立地条件退化，致使世界林地的收获量不足其最大生产潜力的 20%。加之林地减少，可采资源减少，大径木减少，珍贵树种减少，进一步加速了森林和森林环境质量的下降。

（三）森林生物多样性减少

森林生物多样性包括物种多样性、遗传多样性和生态系统多样性。物种多样性是生物多样性的基础。现在每天灭绝一个物种，到 20 世纪末和 21 世纪初将每小时灭绝一个物种。由于热带雨林的大量减少，造成了物种迅速消

失。因为，只占有陆地面积 7%的热带雨林，却拥有世界 50%以上的物种。物种多样性的减少，使森林的遗传多样性和生态系统多样性随之减少。

（四）森林的生态环境功能减退

森林面积减少、质量下降、物种消失以及其他环境问题对森林的侵害，导致了森林功能的全面降低，特别是使森林的生态环境功能降低，如 CO_2 固定量减少，有害气体吸收能力降低，大气质量下降，土壤侵蚀和退化加剧，水旱灾害频繁，水资源紧缺、荒漠化进程加快，温室效应更加明显等。

第二节 森林环境学的概念

一、环境科学

环境科学是一门新兴学科。环境科学是研究人类与环境关系的科学，是集自然科学、技术科学和社会科学为一体的综合性科学。

人类与环境的关系是辩证统一的。首先，人类要生存发展，就要从环境中不断索取各种物质资源、能量和信息；其次，人类通过消费活动将不同形式的废物排入环境。在这一过程中，人类自身不断增殖和发展（包括社会的生产、科技、文化艺术等），反过来又要强化对环境的影响。而这种影响最终改变着环境，反过来又作用于人类。人类为了谋求持续的生存和发展，就必须研究这些影响，以便提出对策，使环境处于良好状态，供人类永恒地生息和发展。这就是环境科学的任务。在环境科学中，人和社会因素占有主导地位。决定环境状况的因素是人而不是物，人是矛盾的主要方面。因此，环境科学不仅要研究和认识环境中自然因素及其变化规律，而且要认识和了解社会经济因素、技术因素与规律以及人和环境的关系。由此，我们也可将环境学定义为研究人类社会发展活动与环境演化规律之间相互作用关系的学科，并通过调整人类的思想、观念继而控制人类的社会行为，寻求人类社会与环境的协调发展和持续发展。它以研究环境建设，寻求社会、经济与环境协调发展途径为中心，以争取人类社会与自然界的和谐为目标。

二、森林环境学

（一）森林环境学的概念

森林环境学是环境科学的分支学科，属于基础环境学中环境生态学的范畴，是环境林学的重要组成部分。森林环境学是以人类与森林环境的特殊矛盾为研究对象，应用环境学、林学、生态学、经济学、土壤学、气象学、生物学、工程学等多学科理论，研究森林环境的发生、发展和演替规律，人类活动对森林环境的组成、结构、性质和功能的影响及对森林环境质量的影响，为预测、调控、管理、利用和改造森林环境服务，为使人类与森林环境协调发展服务。

（二）森林环境学的研究内容

1.森林环境与人类的关系。
2.森林环境要素及其变化规律。
3.各种森林环境问题的发生、发展及演变规律。
4.森林环境问题的预防和防治措施。
5.森林环境的保护与开发利用。
6.森林环境监测与评价。
7.森林环境的规划。
8.森林环境的管理。
9.森林环境的可持续发展。

第三节 森林环境学与其他学科的关系

森林环境学是环境科学的分支学科，是在环境科学产生和发展中逐步形成的。由于环境科学的产生以生态学为基础，因此森林环境学与生态学特别是森林生态学有着非常密切的关系。我们知道，环境学是以人类为中心，以研究人与环境矛盾为对象，是研究人类与环境关系的科学；生态学是以生物为中心，以研究生物与环境矛盾为对象，是研究生物与环境关系的科学。因此，环境学也可称为人类社会生态学，生态学也可称为生物生态学。只是前者比后者的范围更加广泛，它不仅涉及自然因素，也在一定程度上涉及经济、技术和社会因素。所以生态学对环境学的产生和发展起着基础和极其重要的作用。森林环境学与森林生态学的关系也是如此。森林生态学是森林环境学的基础，它们之间有着密切的关系。环境学、森林生态学、森林环境学的关系可用图 0—1 说明。

由图 0—1 可见，森林作为人类环境的组成部分可直接影响人类，其他环境除直接影响人类外，也可通过影响森林环境而间接影响人类；反之，人类除可直接影响森林环境外，也可通过影响其他环境间接地影响森林环境。因此，森林环境学除研究森林环境与人类直接的关系外，也要研究它们之间的间接关系，这样，森林生态学在森林环境学中占有的地位就是十分明显了，它是森林环境学的重要基础。

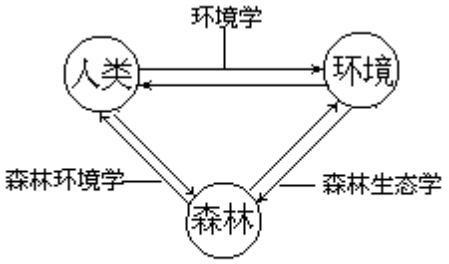


图0-1 环境学、森林生态学、森林环境学的关系

此外，由于森林环境是一个系统，它与系统理论、物理学、化学、土壤学、气象学、生物学等许多学科都发生交叉。由于森林环境问题具有综合性，它除与自然科学有关系外，还与社会科学（包括政治、经济、法律、管理等）相关，同时还涉及各种工业、农业、交通等技术学科，甚至涉及文化和艺术。

学习森林环境学，也如同学习环境学一样，需要有多学科的知识，在学科综合和交叉中，掌握森林环境学。

第四节 森林环境学的生态学基础

生态学是研究生物与环境之间相互关系的科学，而环境学则以人类为中心，把人类生活与环境的相互影响作为一个整体来研究，从而和社会科学发生密切关系。由此可见，生态学与环境学有很多共同之处。生态学的基本原理同样可以应用于环境学，并作为环境学的基本理论来研究人类生存、发展与环境的相互关系。森林生态学与森林环境学二者之间的关系亦是如此。

一、生态系统

一个生物物种在一定地域内所有个体的总和在生态学中称为种群；在一定自然区域中许多不同种的生物总和称为群落；任何一个群落与其周围环境的统一体就是生态系统。生态系统就是指一定地域内生存的一个生物群落与环境相互作用的，具有能量转换、物质循环代谢和信息传递功能的统一体。例如，森林就是一个具有统一功能的综合体。森林中有乔木、灌木、草本植物、地被植物，还有多种多样的动物和微生物，它的环境条件包括阳光、空气、水分、土壤、温度等。它们之间相互作用，这样，由许多物种组成的森林生物群落与环境构成的森林，就是生态系统。因此，生态系统就是生命系统和环境系统在特定空间的组合。人是生物圈中生命系统的一员，人与生态系统有着密切的关系。生态系统的范围可大可小，大至整个生物圈（因此生物圈又称为生态圈，整个海洋、大陆也可以是一个生态系统），小至一个池塘、一片农田。在一个复杂的大生态系统中又包含无数小的生态系统。目前人类所生活的生物圈内有无数大小不同的生态系统。从广义上说，城市、矿山、工厂等也是一种人为的生态系统。一个生态系统可以和周围的其他生态系统组成一个更大的生态系统，成为较高一级系统的组成部分，而它本身还可分为许多子系统。例如：某个森林生态系统，它的土壤中生物与其土壤环境就是一个子系统。这个子系统中还可分为更下一级的系统，例如其中某类型土壤与其土壤生物就可以作为一个更小的子系统。

任何一个生态系统都由生物和非生物环境两大部分组成。生物部分又可分为生产者、消费者和分解者，这三者构成生物群落。生态系统各组成成分之间相互关系如图 0—2 所示。

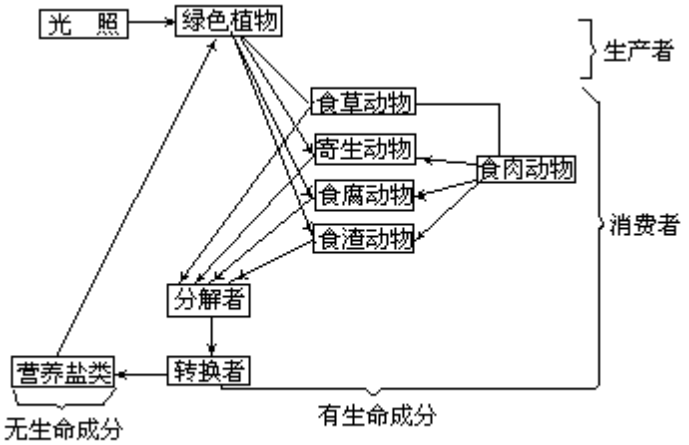


图0-2 生态系统组成及相互关系

生态系统的生产者主要是指绿色植物和少数自营生活的菌类。绿色植物通过光合作用合成有机物质，并把太阳能转变为化学能贮存在有机物质中。

这些有机物质是生态系统中其他生物生命活动的食物和能源。生产者是生态系统中营养结构的基础，决定着生态系统生产的高低，是生态系统中最主要的组成成分。

生态系统的消费者是直接或间接利用绿色植物所制造的有机物质作为食物和能源的异养生物，包括各种动物、寄生和腐生的菌类，也包括人类本身。根据食性不同，有草食动物、肉食动物、寄生动物和腐食动植物等。它们在生态系统中只能消费不能生产。人类是以许多动植物为取食对象的，是最高级的消费者，同时人类又是不同于自养生物进行生产的最高级生产者。

生态系统中的分解者主要是指微生物（包括部分真菌和细菌）。它使生物体分解成无机物质。转变者也是细菌，它将分解后的无机物转变为可供植物利用的养分。分解者和转变者又称还原者，它们对环境净化起着十分重要的作用。

生态系统的非生物环境包括阳光、空气、水分、温度、土壤等自然因素。它们为生物的生存提供必要的空间、能量和物质条件，是生态系统正常运转的物质和能量基础。

生态系统根据其形成的原动力和影响力，可分为自然生态系统、半自然生态系统和人工生态系统。自然生态系统很少受人为干预。它依靠生物和环境自身的调节能力来维持其相对的稳定，如原始森林。人工生态系统是受人类强烈干预的或是人工建造的生态系统，如城市、工厂、宇宙飞船等。介于二者之间的为半自然生态系统，如人工森林、农田、养殖湖泊等。根据其环境性质，可将生态系统分为陆地生态系统和水生生态系统。陆地生态系统又可分为森林生态系统、草原生态系统、荒漠生态系统等。水生生态系统可分为淡水生态系统和海洋生态系统。

二、生态系统的结构和功能

（一）生态系统的结构

生态系统的结构是指生态系统中各组成部分之间数量的比例关系、空间位置的配置关系以及相互联系的内容和方式。这就是说，生态系统中各个组成部分之间绝不是毫无关系的堆积，而是组成相互关系和相互联系的统一整体。这些联系和关系的总和或这些联系和关系的网络便构成了生态系统的结构。任何生态系统的结构都可分为：

1.时空结构。生态系统中各组成部分之间在空间上的规模、尺度、分布、排列以及相位关系的总和，便构成了生态系统的空间结构。例如：在森林生态系统中，乔木占据上层空间，灌木占据下层空间；鸟类在林冠上层，兽类在林地上；昆虫有的在林上，有的在林下，有的则在土壤中。不同生物占据不同的空间，这就是空间结构。时间结构是指由于时间变化而产生的结构波动。例如：随着时间的变化，森林在幼年、中年及老年期的结构是有变化的。又如，一年四季中森林的结构也有波动，春季发芽，冬季落叶，昆虫和鸟类迁移等。

2.数量关系结构。生态系统中组成成分之间存在一定的数量关系，如排列组合关系、数量比例关系等。例如：森林生态系统中乔木、灌木和草本植物都有不同的数量和比例关系，若无乔木则成为灌木林，单一树种为单纯林，多树种为混交林等。

3.组成成分之间相互作用的形成与结构。时空结构和数量结构，都是从质上抽掉相互作用来看的结构，但在生态系统中最根本的却是组成成分间相

互作用的结构。例如：森林中上层乔木如果数量多，形成郁闭度大，那么下层灌木就少；而下层灌木多，上层乔木就稀疏。由此可见森林生态系统中，乔木与灌木的相互作用发生着密切联系。实际上生态系统中各组成成分间都有着密切相互联系和相互作用和互相影响，这是造成生态系统成为整体的重要原因。

生态系统的结构决定了它的性状和功能。一定的结构是一定性状与功能的内在基础，而一定的性状和功能是一定结构的外在表现。这就是结构功能统一律，是一切物质系统包括生态系统的基本规律。

（二）生态系统的功能

生态系统的功能主要有能量流动、物质循环和信息传递三种。

1.生态系统的能量流动。能量流动是生态系统的主要功能之一。没有能量流动就没有生命，就没有生态系统。能量是生态系统的动力，是一切生命活动的基础。

生态系统最初的能量来源于太阳，绿色植物通过光合作用吸收和固定太阳能，将太阳能变为化学能，这一方面满足自身生命活动的需要，另一方面供给异养生物生命活动的需要。太阳能进入生态系统，并作为化学能，沿着生态系统中生产者、消费者、分解者流动，这种生物与生物间、生物与环境间能量传递和转换的过程，称为生态系统的能量流动。

生态系统中能量流动服从于热力学第一定律和第二定律。

热力学第一定律是能量守恒定律，即能量不能自生自灭，它只能以严格的当量比例，由一种形式转变为另一种形式。生态系统中能量形式的变换完全符合这一定律。例如，绿色植物吸收太阳能后，即将光能转化为化学能，而当绿色植物被草食动物采食后，将化学能转化为草食动物活动的机械能或其他形式的能量，包括转变为热量的耗散，但能量总量是不变的。

热力学第二定律是一切过程都伴随能量的改变，在能量传递和转换过程中，除一部分可以继续传递和作功的能量外（自由能），总有一部分不能继续传递和作功，而以热的形式耗散，这部分能量使熵和无序性增加。在生态系统中，当能量从一种形式转换为另一种形式时，转换效率绝不可能是 100%。这是因为绿色植物对太阳光能的利用率很低，一般仅有 1%左右；绿色植物所固定的能量也不可能全部被草食动物所利用，因为植物的根、枯落物等不能被草食动物全部采食，即使在采食的食物中，也还有部分不被消化而作为粪便排出体外。由于这一系列原因，草食动物一般仅能利用绿色植物所含能量的 5%～20%。同样道理，肉食动物利用的能量也要小于草食动物的能量。

由此可见，生态系统中能量流动有两个特点，一是能量流动沿生产者和各级消费者顺序逐步被减少（图 0—3）。二是能量流动是单一方向，不可逆的。

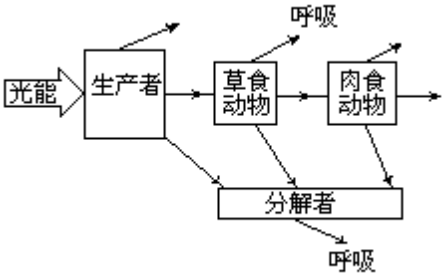


图0-3　生态系统能量流动模式图

由图 0—3 可见，能量在流动过程中，一部分用于维持新陈代谢活动而被消耗，一部分在呼吸中以热的形式散发到环境中，只有一小部分作功，用于形成新组织或作为潜能贮存。由此可知，在生态系统中能量传递效率是较低的，能流愈流愈细。一般来说，能量沿绿色植物向草食动物再向肉食动物逐级流动，通常后者获得的能量大约只为前者所含能量的 10%即 1/10，故称为“十分之一定律”。这种能量的逐级递减是生态系统中能量流动的一个显著特点。

上面曾提到，能量流动是单一方向，不可逆的。能量以光能状态进入生态系统后，就不再以光能形式而是以热能形式逸散于环境中。被绿色植物截取的光能，决不可能再返回到太阳中去；草食动物从绿色植物中所获得的能量，也决不能再返回给绿色植物。所以，能量流动是单程的，非循环的，是不可逆的。

生态系统中能量流动是以“食物链”和“食物网”为渠道来实现的。食物链是生态系统中以食物营养为中心的生物之间食与被食的链索关系。食物链上每一个环节，称为一个营养级。我们常说的“大鱼吃小鱼、小鱼吃虾米，虾米吃河泥”就是这种食与被食的链索关系，而其中“大鱼”、“小鱼”、“虾米”则是这个食物链上的不同环节，也称为营养级。在生态系统中，能量是通过生物成分之间的食物关系，在食物链上从一个营养级到下一个营养级逐渐向前流动着。不同的生态系统，食物链的长短不同，营养级数目也不一样。一般海洋生态系统食物链较长，有 6～7 个营养级，陆地生态系统不超过 4～5 级。人类干预下的生态系统如农田生态系统食物链只有 2～3 级（如各类作物—人类是两个营养级的生态系统）。

我们可以利用食物链原理来保护植物，如以鸟治虫，以虫治虫，以菌治虫。

生态系统中食物链往往不是单一的，而是由许多食物链错综复杂地交错在一起。一种植物可被不同种动物食用，家畜采食牧草，野鼠、野兔也吃牧草；同一种动物可食不同种食物，如棕熊既吃动物也吃植物。所以在生态系统中，各种生物取食关系错综复杂，使生态系统中各种食物链相互交叉、相互联接，形成网络，称为“食物网”。

食物网使生态系统中各种生物成分有着直接或间接的联系，因而增加了生态系统的稳定性。食物网中某一条食物链发生障碍，便可能通过其他食物链来调节或补偿。例如，草原上流行鼠疫而使野鼠大量死亡，以捕鼠为食的猫头鹰并不因鼠类减少而发生食物危机。这是因为鼠类减少后，使草类生长茂盛，从而为野兔的生长和繁育提供了良好条件，野兔数量开始增多，于是猫头鹰把捕食目标转移到野兔身上了。

生态系统中，我们把食物链和食物网中每个营养级的有机体个体的数

量、能量及生物量，按营养级的顺序排列起来并绘成结构图，因所绘图形和埃及金字塔相似，故把食物链和食物网的结构图称为“生态金字塔”（图 0—4）。生态金字塔的形成是由于生态系统中能量流动是沿营养级逐级减少，愈来愈细，这就导致前一个营养级的能量只能满足后一个营养级少数生物需要。营养级愈高，生物数量愈少。由于生态系统中能量随营养级呈现金字塔形，生物量和生物个体数量也必然呈金字塔形。因此，生态金字塔有三种类别，即能量金字塔、数量金字塔和生物量金字塔。

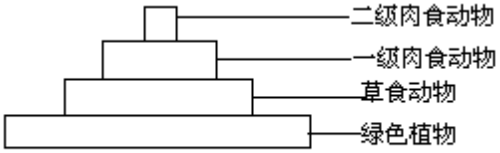


图0-4　生态金字塔模式图

2.生态系统的物质循环。生态系统中，生物为了生存不仅需要能量，也需要物质，没有物质满足有机体的生长发育需要，生命就会停止。

生物有机体需要的化学元素有 40 多种，其中的氧（O）、氢（H）、碳（C）、氮（N）为基本元素，占生物体全部原生质的 97%，它们与钙（ Ca）、镁（ Mg）、磷（P）、钾（K）、硫（S）、钠（Na）等被称为大量元素，生物需要量较大。铜（Cu）、锌（Zn）、硼（B）、锰（Mn）、钼（Mo）、钴（Co）、铁（Fe）等被称为微量元素，这些元素在生命过程中需量虽小，但不可缺少。不论生物需要量多或少，这些元素都是生命活动所必需的，是不可代替的。生物从大气圈、水圈和土壤岩石圈中获得这些营养物质，这些营养物质沿着生物周围环境进入生物体，又通过生物体被分解后回到周围环境之中，这样的途径反复运动着，这种循环过程称为生物地球化学循环。

在生态系统中，各种化学元素在生物与非生物成分之中的滞留称为库，这些元素在库与库之间的转移称为流。若干个库和流形成了生物地球化学循环，也就是物质循环。根据物质循环路线和周期长短的不同，可将循环分为生物小循环和地球化学大循环。

生物小循环是在一定地域内生物与周围环境（气、水、土等）之间进行的物质周期性循环。主要通过生物对营养元素的吸收、留存和归还来实现。这种循环是在一个具体范围内快速短周期的循环，是开放式的循环，它受地球化学大循环所制约。

地球化学大循环是指环境中的元素经生物吸收进入有机体，然后以排泄物或残体等形式返回环境，进入大气圈、水圈、土壤岩石圈及生物圈的循环。它的范围大，周期长，影响面广。小循环与大循环相互联系，互相制约。小循环置于大循环之中，大循环不能离开小循环，两者成为统一体并构成了生物地球化学循环。

生物地球化学循环是地球表面自然界物质运动的一种形式。有了这种物质循环运动，资源才能更新，生命才能维持，系统才能发展。例如：生物呼吸要消耗大量氧气，而空气中的氧气含量并无大的改变；动物每天要排泄大量粪便，动植物死亡的残体也要留在地面，然而经过漫长的岁月后，这些粪便、残体并未堆积如山。这正是由于生态系统存在着永续不断的物质循环，人类才有良好的生存环境。

根据循环物质形态和贮存库不同又可分为气相循环和沉积循环。

（1）气相循环气相循环的贮存库主要是大气圈和水圈。O_2、CO_2、H_2O 等都属于气相循环类型。参与循环的物质以气体形态通过大气进行扩散，然后又被植物重新吸收利用。气相循环把大气和海洋联系起来，具有明显的全球性循环的特点（图 0-5）。

对地球上的生命而言，水循环的意义巨大。因为一切生命都依赖于水而存在，水是最好的溶剂。绝大多数物质都溶于水，然后随水进行流动，实现了物质循环。另外，氮循环也属于气相循环（图 0－6）。

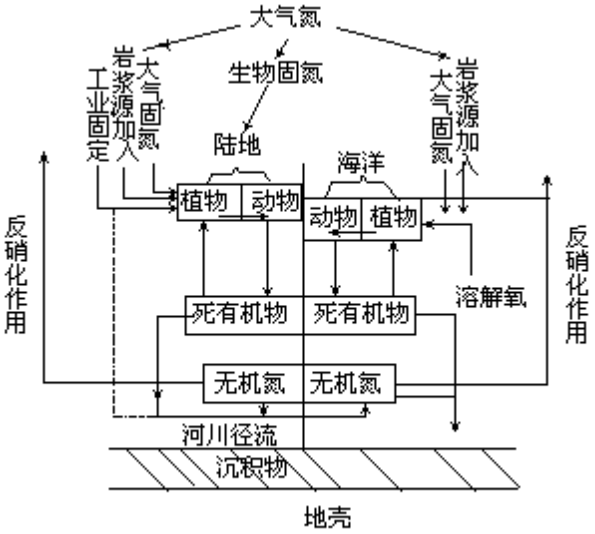


图0-6 氮循环示意图

（2）沉积循环沉积循环的贮存库是土壤岩石圈。磷、钙、钾、钠等都属于沉积循环类型。沉积循环主要经过岩石风化作用及沉积物本身的分解作用，将贮存的物质转化成生态系统的生物成分，变为可利用的营养物质。这种转变是很缓慢的。因此，它具有非全球性循环的特点（图 0－7）。

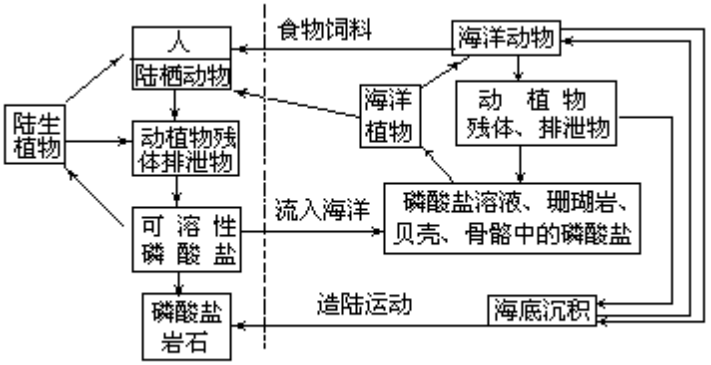


图0-7 沉积循环——循环图

必须指出，物质循环与能量流动是在生物取食过程中同时发生的，二者密不可分，相互伴随。食物是由各种元素组成的有机分子所构成的，而能量就贮藏在食物的有机分子键内。当绿色植物进行光合作用时，能量与物质以光合产物形式同时进入生态系统。各级消费者在取食过程中，能量和物质一起在食物链上逐级转移。当食物中能量通过呼吸作用释放出来时，食物中有机化合物就被分解，并以简单的物质形式释放到环境中。能量是单程的，而

物流则是循环的，可以反复利用的。

3.生态系统的信息传递。在沟通生物群落内各种生物种群之间关系、生物种群和环境之间关系方面，生态系统的信息传递起着重要作用。生态系统的信息传递主要有营养信息、化学信息、物理信息和行为信息传递等。

（1）营养信息传递 是生态系统中以食物链和食物网为代表的一种信息传递。通过营养交换把信息从一个种群传到另一个种群。最简单的例子是，在草原上羊与草这两个生物种群之间，当羊多时，草就相对少了；草少了反过来又使羊减少。因此，从草的多少可以得到羊的饲料是否丰富的信息，以及羊群数量的信息。

（2）化学信息传递在生态系统中，有些生物的代谢产物（如性激素、生长素等化学物质）进行的信息传递，也能影响生物种内及种间关系。有的相互制约，有的则相互促进，有的相互吸引，有的则相互排斥。例如：蚂蚁爬行留下的化学痕迹，是为了让其他蚂蚁跟随；许多哺乳动物（虎、狗、猫等）以尿标记它们的领域；许多动物的雌性个体释放体外性激素招引种内雄性个体等。

（3）物理信息传递如鸟鸣、虫叫都可以传达安全、惊慌、恐吓、警告、求偶、寻食等各种信息。

（4）行为信息传递有的动物在两个个体相遇时，常表现出有趣的行为方式。这些方式可能是识别、威吓、挑战、优势或从属信号，或者是配对的预兆等。这种信息表现在种内，但也可能为其他物种提供某种信息。

生态系统中能流、物流和信息流的传递，使生态系统生物和非生物成分相互依赖、相互制约、环环相扣、相生相克形成网络状复杂关系的统一体，从而使生态系统具一定适应性和相对稳定性。如果生态系统能流、物流和信息流传递中任何一个环节出了问题，生态系统的稳定性就要受到影响。

三、生态平衡

（一）生态平衡的含义

在一定时间内，生态系统中生物与环境之间，生物各种群之间，通过能流、物流、信息流的传递，达到了互相适应、协调和统一的状态，处于动态的平衡之中，这种动态平衡称为生态平衡。生态系统中的各组成成分内部及它们之间都处于不断运动和变化之中，使生态系统不断发展和变化，生物量由少到多，食物链由简单到复杂，群落由一种演替为另一种类型等。因此，生态系统不是静止的，总会因系统中某一部分发生改变而引起不平衡，然后依靠生态系统的自我调节能力，使其进入新的平衡状态。正是这种从平衡到不平衡，再从不平衡到平衡，循环往复，才推动了生态系统整体和各组成成分的发展和变化。生态系统调节能力的大小，与生态系统组成成分的多样性有关。成分越多样，结构越复杂，调节能力则越强。但是，生态系统的调节能力再强，也有一定限度，超出了这个限度也就是生态学上所称的阈值，调节就不起作用，生态平衡就会遭到破坏。如果现代人类的活动使自然环境剧烈变化，或进入自然生态系统中的有害物质数量过多，超过自然生态系统调节功能或生物与人类能够忍受的程度，那么就会破坏自然生态平衡，使人类和生物都受到损害。

在自然界有些生态系统虽然已处于生态平衡状态，但它的净生产量很低，不能满足人类需要，这对人类来说并不总是有利的。因此，为了人类生存和发展，就要改造这种不符合人类要求的生态系统，建立半人工生态系统

或人工生态系统。例如：与某些低产自然原始林生态系统相比，人工林生态系统是很不稳定的，它们的平衡需要人类来维持，但却能比某种低质低产的原始林提供更多的林产品。应该指出的是，生态平衡不只是某一个系统的稳定与平衡，而是意味着多种生态系统的配合、协调和平衡，甚至是指全球各种生态系统的稳定、协调和平衡。

（二）生态系统平衡的主要标志

1.在生态系统中能量和物质的输入、输出必须相对平衡。输出多，输入也相应增多，如果入不敷出，系统就会衰退。若输入多，输出少，则生态系统有积累。人类从不同的生态系统中获取能量和物质，应给以相应的补偿，只有这样才能使环境资源保持永续再生产。

2.在整体上，生产者、消费者、分解者应构成完整的营养结构，否则食物链断裂，就可导致生态系统衰退或破坏。

3.生物种类和数目保持相对稳定。生物种类和数目减少，不仅失去了宝贵的资源，而且削弱了生态系统的稳定性。

比利时科学家普里高津称生态系统是具有有序结构的耗散结构。这种结构是开放系统，在远离平衡的条件下，由于从外部输入能量，由原来无序混乱状态变为一种在时间、空间和功能上有序的状态，这种有序状态需要不断地与外界进行物质和能量交换来维持，并保持一定的稳定性，不因外界的微小干扰而消失。生态系统就是具有耗散结构的开放系统，它有物质和能量从外界输入，也从系统内向外输出物质和能量，只要不断有物质和能量的输入和输出，仍可维持一种稳定状态。

保持生态平衡，促进人类与自然界协调发展，已成为当代亟待解决的重要课题。

（三）生态系统的失衡原因

当今社会，随着生产力和科学技术的飞速发展，人口急剧增加，人类的需求不断增长，人类活动引起自然界更加深刻的变化，造成巨大冲击，使自然生态平衡遭到严重破坏。自然生态失调已成为全球性问题，直接威胁到人类的生存和发展。生态平衡遭破坏的原因有自然因素也有人为因素。自然因素主要是指自然界发生的异常变化如火山爆发、山崩海啸、水旱灾害、台风等。人为因素主要是指人类对自然资源不合理开发利用以及工农业生产所带来的环境污染等。生态系统失衡的原因主要有：

1.物种改变造成生态平衡的破坏。人类在改造自然的过程中，有意或无意地使生态系统中某一物种消失或盲目向某一地区引进某一生物，结果造成整个生态系统的破坏。例如：澳大利亚本没有兔，后来从欧洲引进了这一物种作为肉用及生产皮毛。引进后由于当地无它的天敌，致使兔大量繁殖，繁殖数量惊人，遍布田野。以 113km^2/a 的速度扩展，该地区原来长满的青草和灌木全被吃光，再不能放牧牛羊，田野一片光秃，土壤遭雨水侵蚀，生态平衡遭破坏。澳大利亚政府曾鼓励人们大量捕杀，但不见效果，最后不得不引进一种兔传染病，使兔大量死亡。这虽然一度控制了兔造成的生态危机，但好景不长，一些兔因产生了抗体而幸存下来，导致兔继续大量繁殖。

2.环境因子改变导致生态平衡的破坏。工农业生产的迅速发展，有意或无意地使大量污染物进入环境，从而改变了生态系统的环境因素，影响整个生态系统，甚至破坏生态平衡。例如化学和金属冶炼工业的发展，向大气中排放大量 SO_2、CO_2、氮氧化物（NO_x）及烟尘等有害物质，产生酸雨，危害森

林生态系统。欧洲有 50%的森林受到它的危害。又如由于制冷业发展，制冷剂进入大气，造成臭氧层破坏。由于向大气中排放污染物气体 CO_2、甲烷（CH_4）等，大气的温室效应增强，使地球气候变暖。所有这些环境因素的改变都会造成生态系统的平衡改变，甚至破坏生态平衡。

3.信息系统改变引起生态平衡破坏。生态系统信息通道堵塞，信息传递受阻，就会引起生态系统改变，破坏生态平衡。例如某些昆虫的雌性个体能分泌性激素以引诱雄虫交配。如果人类排放到环境中的污染物与这些性激素发生化学反应，使性激素失去引诱雄虫的作用，昆虫的繁殖就会受到影响，种群数量就会减少，甚至消失。总之，只要污染物质破坏了生态系统中的信息传递，就会破坏生态平衡。

当今全球自然生态平衡的破坏，主要表现为森林锐减、草原退化、土地荒漠化、水土流失严重、动植物资源及生物多样性减少等。

四、生态学的一般规律

生态学的一般规律对于掌握森林环境学，做好环境保护工作，促进工农业生产，搞好各项建设及完成各种大型工程任务都具有指导意义。生态学的一般规律可归纳为：

（一）相互依存与相互制约规律

生态系统中生物与生物、生物和环境相互依存、相互制约，具有和谐协调关系，是构成生态系统或生物群落的基础。这种协调关系主要分为两类：

1.普遍的依存与制约关系，亦称“物物相关规律”。有相同生理生态特征的生物，占据与之相适应的小生境，构成生物群落或生态系统。系统中不仅同种生物，而且异种生物即系统内不同种生物都是相互依存、相互制约的；不同群落或系统之间，也同样存在相互依存和制约的关系，也可以说是彼此影响。这种影响有的是直接的，有的是间接的，有的是立即表现出来的，有的则需滞后一段时间再表现出来。总之，生物间相互依存与相互制约的关系，无论是在动物、植物、微生物中，或在它们之间，都是普遍存在的。因此，在生产建设中，特别是排放废弃物、施用化肥农药、采伐森林、开垦荒地、猎捕动物、修建大型水利工程及其他重要建设项目时，务必注意调查研究，注意诸事物间及其与环境的关系，统筹兼顾，通盘考虑，做出科学、合理、不破坏环境的部署和安排。

2.通过“食物”而相互联系与制约的协调关系，亦称“相生相克规律”。具体的形式是通过食物链和食物网。每种生物在食物链和食物网中都占有一定位置，并有特定的作用。各生物种之间相互依赖、彼此制约、协同进化。被捕食者为捕食者提供生存条件，又为捕食者所控制，而捕食者同时也受制于被食者，彼此相生相克，使整个系统处于协调状态，成为一体。或者说，系统中各种生物个体都保持一定数量，它们的大小、数量都存在一定的比例关系。生物间的相生相克作用，使生物保持数量上的相对稳定，这是生态平衡的重要方面。

（二）物质循环与再生规律

生态系统中植物、动物、微生物和非生物成分，借助能流，不断从自然界摄入物质并合成新物质，另一方面又随时分解成为原来的简单物质（即所谓“再生”），重新被植物吸收，进行着不停的物质循环。因此，要严禁有毒物质进入生态系统，以免有毒物质经过多次循环后富集到危害人类的程度。由于流经自然生态系统中的能量是单向的，不可逆的，也是无法回收利

用的，为充分利用能量，必须设计出能量利用率高的人工系统或半人工系统，这在农林业生产中是有实际意义的。

（三）物质输入与输出动态平衡规律

物质输入与输出平衡又称协调稳定规律。它涉及生物、环境和生态系统三个方面。一个不受人类干扰的生态系统，生物与环境间的输入与输出是相互对立的，生物个体进行输入时，环境必然进行输出，反之亦然。

生物体一方面从周围环境摄取物质，另一方面又向环境排放物质，以补偿环境损失。对于一个稳定的生态系统，无论对生物、对环境、对生态系统，物质输入与输出总是相平衡的。当生物体的输入不足时，例如农田肥料不足，农作物生长就不好，产量下降。同样，如果输入污染物，如重金属、难降解的农药及塑料等，生物吸收虽然少，暂时看不出影响，但它也会因积累而危害农作物。

另外，对环境而言，如果营养物质输入过多环境自身吸收不了，就会打破原来输入输出的平衡，出现富营养化现象，最终势必破坏原来的生态系统。

（四）相互适应与补偿的协同进化规律

生物与环境之间存在作用与反作用过程。生物给环境以影响，反过来环境也会影响生物。例如：最初生长在岩石表面的地衣，由于没有土壤可供着“根”，获得的水分和营养元素就十分少。但是地衣生长过程中的分泌物和地衣残体的分解，不但把水和营养元素归还给环境，而且还生成不同性质的物质，促进了岩石风化。这样，环境保存水分的能力增强，可提供的营养元素也多了，为高一级植物苔藓生长创造了条件。如此下去，以后在这一环境中便逐渐出现了草本植物、灌木和乔木。这就是生物与环境相互适应和补偿的结果，形成了协同进化。协同进化规律使生物从无到有，从低级到高级发展，而环境由光秃秃的岩石，向有相当厚度的土壤变化，并向适于高等植物和各种动物生存的环境演变。如果因某种原因破坏了生物与环境相互适应与补偿的关系，例如某种生物过度繁殖，环境就会因物质供应不及而造成生物的饥饿死亡，反之亦然。

（五）环境资源的有效极限规律

生态系统中，生物赖以生存的各种环境资源在质量、数量、空间和时间等方面，都有其一定的限度，不能无限制地供给，因而其生物生产力通常都有一个大致的上限，也因此，每个生态系统都有对任何外来干扰的一定的忍耐极限。当外来干扰超过此极限时，生态系统就会被损伤、破坏，甚至瓦解。所以，放牧不能超过草场承载量；采伐森林、捕鱼、狩猎、采集药材等都不应超过使资源永续利用的产量；保护某一物种就必须有足够供它生存和繁殖的空间。

以上讨论的五条生态学规律，也是生态平衡的基础。生态系统的结构与功能以及生态平衡，与人类当今面临的人口、食物、能源、自然资源和环境保护五大环境问题紧密相关（图 0—8）。

五、生态平衡的保持

保护生态平衡，促进人类与自然的协调发展，已成为全世界各国的共识。

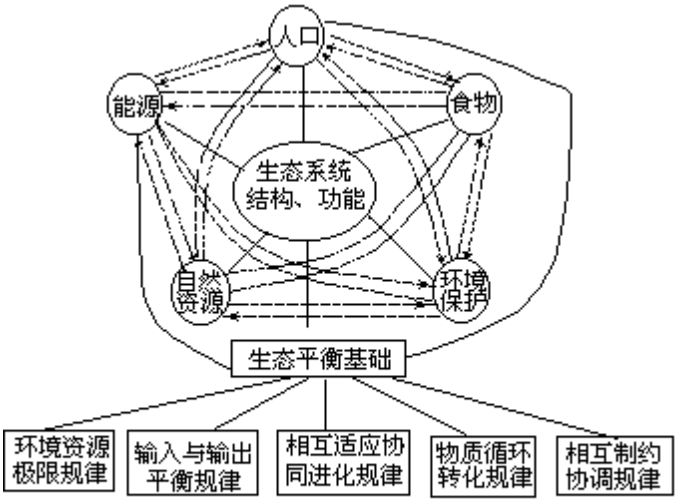


图0-8 生态平衡与五大环境问题的关系

人类与自然界及生态系统的关系是一种平衡和协调发展的关系。人类是一个受自然约束的生物种，也是一个独一无二的种，与自然环境有密切关系。人类的生存和繁衍也必须受自然资源和生物量的限制，受环境的约束。一切自然规律和生态规律对人类与对其他生物一样起着作用。要使人类与自然协调发展，保持生态平衡，人类的一切活动，首先是各种生产活动都必须遵守自然规律，按生态规律办事。否则，人类就会遭受自然的无情惩罚。事实证明，人类也只有在保持生态平衡的前提下，才能求得生存和发展。

当今生态学和生态平衡规律已经成为指导人类生产实践的普遍原则。要解决世界五大环境问题（即人口、粮食、能源、自然资源和环境保护），必须以生态学理论为指导，并按生态规律办事。

对环境问题（包括森林环境问题）的认识和处理，必须运用生态学的理论和观点来分析。环境质量的保持与改善以及生态平衡的恢复和再建，都要依靠人们对于生态系统的结构和功能的了解，及生态学原理在环保工作中的应用。

要做到人类与自然协调发展，人类应特别注意的是：

第一，合理开发与利用自然资源，保持生态平衡。人们在开发自然资源时，要遵循生态系统结构与功能相互协调原则，这既可保持生态平衡，又可开发自然或改造环境。只有生态系统结构和功能相互协调，才能使自然生态系统适应外界变化，并不断发展。只有重视结构和功能的适应，才能避免因结构和功能的过度损害而导致环境退化的连锁反应。例如：采伐树木，必须在保持森林生态系统平衡的条件下进行。不能大面积掠夺式采伐、不能采伐水源林等，否则会造成水土流失或环境破坏、森林不能恢复的严重后果。

利用生物资源时，必须保持其一定的数量和一定的年龄比例和性别比例，以保证生物资源的不断恢复和增殖，否则资源就会枯竭，使生态系统遭破坏。这是森林采伐、草原放牧、渔业捕涝等各种资源利用生产活动必须遵循的生态原则。

第二，兴建大的工程项目时，必须考虑生态效益。兴建大的工程项目，必须从全局出发，既要考虑眼前利益，又要顾及长远影响；既要考虑经济效益，又要维护生态平衡。因为生态平衡遭破坏的后果往往是全局性的、长期的，难以消除和重建。因此，对一些重大工程必须审慎从事，事前应充分考

虑到可能造成生态平衡被破坏的后果，并尽可能制定相应的预防措施。例如：我国葛洲坝长江水利工程，在开始设计时忽视了鱼蟹等的洄游生殖规律，后经生态专家建议，采用人工投放鱼苗、蟹苗，并辅以其他相应措施，才保证了长江流域的渔业生产。

第三，大力开展综合利用，实现自然生态平衡。运用生态系统中物质循环的规律，在综合开发利用自然资源时，将生产过程中的废物资源化并进一步利用。例如：铅厂生产 1t 氧化铅便排出 0.6～2.0t 赤泥。赤泥不仅占用农田，也污染水和大气。山东铅厂在生产铅的同时投资兴建了水泥厂，用赤泥生产水泥，这就为赤泥的利用创出了新路。既减少了环境污染，又充分利用了资源，把改造自然与保护自然结合了起来。

复习思考题

1.什么是森林环境，它的特性是什么？

2.森林环境与人类的关系如何？简述森林环境的功能。

3.森林环境面临哪些主要问题？

4.何谓森林环境学？简述它与环境学、林学的关系。

5.为什么说生态学是森林环境学的基础？

6.简述生态系统与其结构及功能的关系。

7.什么是生态平衡，生态平衡的标志是什么？如何维护生态平衡？8.简述生态学的一般规律与生态平衡的关系。

参考文献

1 王志宝.森林与环境——中国高级专家研讨会论文集.北京：中国林业出版社，1993

2 孙承咏编著.环境学导论.北京：中国人民大学出版社， 1994

3 何强等编著.环境学导论.第二版.北京：清华大学出版社， 1994

4 魏德保编.森林与环境.北京：中国环境科学出版社，1989

5 贺庆棠主编.气象学.北京：中国林业出版社，1991

第一章 森林环境要素

第一节 森林环境及其组成

森林的整个生命过程均依赖它的生存环境。森林环境占有三维空间并遍及整个时间。环境是随空间和时间而变化的。在空间范围内，存在着垂直变化和水平变化；在时间范围内，存在着周期变化和非周期变化。森林与环境是息息相关的，森林的生存受到环境的制约，同时，森林又不断地反馈于环境，使环境发生变化。人类与森林环境的关系也是如此。

森林生态系统是人类生存环境的一部分，相对于人类而言，我们把它称为森林环境。森林环境也就是森林生态系统，它是由其组成成分生物（包括乔木、灌木、草本植物、地被植物及多种多样动物和微生物）与它周围环境（包括土壤、大气、水分等各种非生物物理环境条件）相互作用形成的统一体。

环境是许多因子的复合体。这些因子不仅与森林发生相互作用，而且因子与因子之间也发生相互作用。环境是一个有机的整体，很难把构成环境的各个因子分开来，也很难在改变一个因子时不影响其他因子。但为了了解环境的结构和作用，可以人为地把森林环境划分成两部分，即自然环境和社会环境。自然环境又可划分为物理环境和生物环境。环境学研究的主要是自然环境。社会环境主要指人类在自然环境基础上，通过长期有意识的社会劳动所创造的人工环境。

森林环境的组成成分，也称为森林环境要素。这是因为这些组成成分是构成森林环境所不可缺少的，也是最根本、最重要的因素。森林环境要素包括森林物理环境中的森林大气环境、森林土壤环境和森林水环境等。森林环境要素还包括森林生物环境中的森林植物环境（包括绿色与非绿色植物）、森林动物环境以及人类对森林环境的影响和作用（图 1-1）。

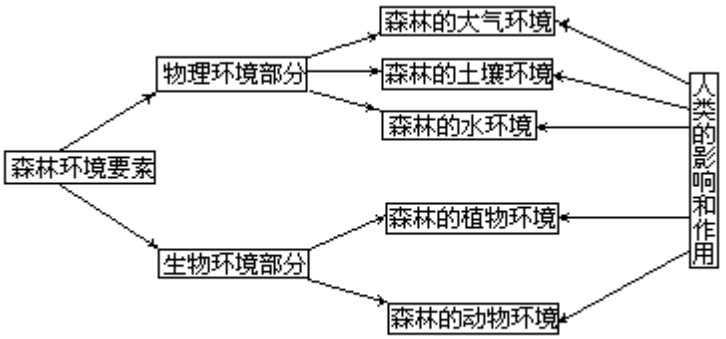


图1-1　森林环境要素及其关系

一、物理环境

森林的生长发育需要有一个良好的生态环境，即清新的空气、洁净的水源、肥沃的土壤，以及适度的阳光和热量等，即空气、水、土壤、阳光等。

二、生物环境

生物环境包括绿色植物、非绿色植物、动物和人。

（一）绿色植物

森林生态系统中绿色植物的基本作用是通过光合作用，吸收二氧化碳和水制造有机物。森林环境中的绿色植物，如乔木、灌木、草类等，通过遮盖、

利用土壤中的水分和矿物养分以及增加林地表面的枯枝落叶等而改变环境因素。同时绿色植物又是非绿色植物赖以生存的环境的一部分。

（二）非绿色植物

非绿色植物在森林生态系统中充当着分解者、寄生者和共生者的角色。

分解者主要是土壤真菌和细菌。它们能把有机质分解成简单的化合物，然后归还给土壤，再被高等植物重新吸收利用。有些分解者也能固定土壤中的气态氮。

寄生者通常指致病的真菌和细菌。它们能削弱或杀死植物个体，并把森林生态系统中的能量吸收到自己的结构和活动中去，也有一些寄生者本身具有绿色的叶片，如菟丝子属植物能够进行光合作用制造食物，并与寄主保持着生态学上的平衡。

共生者主要指与高等植物的根系有密切联系而生活着的细菌和真菌，作为寄主的高等植物通过共生成分使氮素成为可利用的。

（三）动物

在森林环境中，森林与动物之间的关系比较复杂。动物参与矿质养分的再循环，特别是氮素的再循环。许多植物的花粉和种子是靠昆虫和动物传播的。但当动物种群变得太大，植被又不能提供足够的食物时，植被就要遭到破坏性的侵害。

（四）人

人类通过生产活动和生活活动从自然界获取其生存所必需的物质，然后又将新陈代谢后的废弃物归还给环境，从而参与了自然界的物质循环和能量流动过程，不断地改变着环境。人既能创造环境以适应其需要，也能毁坏环境。由于人口的增长和科学技术的进步，人类正在改变着几乎所有的环境。人类对环境的影响，既包括有意识、按计划地改造环境，使环境向着有利于人类的方向改变，也包括无意识、使环境向着不利的方向变化。后者往往是局地性的，但许多影响已有迅速扩大的趋势，这类影响概括起来主要是环境污染和生态破坏。

对于森林环境，人类既要对其进行优化控制，同时还要将对森林环境的恶化影响降低到环境容量所能承受的最低水准。

第二节 森林的大气环境

一、森林与大气

大气是指地球外围包着的一层很深厚的空气。大气的厚度为 2000～3000km。但和地球的尺度相比，大气是很薄的，它是地球上一切生命赖以生存的外界环境条件。大气对森林植物来说是极为重要的。首先，大气层能减小地球昼夜温度的巨大变幅。如果没有大气层，地球上的一切生命都会迅速地毁灭。其次，大气与森林植物不断地进行气体交换，大气为森林植物提供光合作用所需要的二氧化碳和呼吸作用所需要的氧气。除这些直接作用外，大气还通过光、热、水等对森林植物产生间接的影响。

森林生态系统中的一切能量均来自太阳辐射。其他能量来源，例如来自太阳系以外的少量高能辐射、来自放射性岩石或放射性微粒的辐射能、来自火山和温泉的地热等。这些能量与太阳辐射能相比是微乎其微的。地球表面所接受到的太阳辐射可分为三个光谱区，即红外辐射、可见光和紫外辐射。太阳辐射对森林植物的作用表现为辐射的光合效应、热效应和光形态效应。

可见光的波长为 400～700nm，它占到达地球的太阳辐射能的一半左右。它是光合作用的有效辐射。绿色植物吸收可见光合成有机质，把光能转化为贮存于有机质中的化学能，其中一部分供给森林生态系统中各种动物和共生生物作为食物消耗。可见光中的红、橙光具有最大的光合活性，蓝光次之。森林植物对绿色光的吸收率最低。光照时间和光照度也会对森林植物产生影响。喜阳的植物需要较强的光照条件，要求在全光照下生长。当光照不足时，会引起营养失调，导致落花落果。耐阴植物需要在一定的荫蔽条件下生长。光照时间的长短影响着森林植物的生长发育、地理分布和生态习性。一般来说，原产在低纬度地区和早春开花的植物多属短日照植物；而原产在高纬度地区和秋季开花的植物多属长日照植物。太阳辐射中波长大于 760nm 的部分为红外辐射，又称热辐射。它能促进森林植物的延长生长，并供给植物所需要的热量，促进植物体内的水分循环和蒸腾作用。太阳辐射中还有不足 10%的紫外辐射。大部分紫外辐射被高层大气中的臭氧层所吸收而不能到达地面，从而使地球上的生命免遭紫外辐射的伤害。此外，太阳辐射还能改变环境的温、湿度状况。太阳辐射被地表吸收以后，一部分用于水分蒸发，另一部分用于增加土壤和空气温度。可以说，太阳辐射为维持森林生物的生命创造了温度、湿度等必要的环境条件。

大气中的热量流动决定着地面和空气的温度状况，而温度又支配着森林植物的生理过程和物理反应的速度。大气直接吸收的太阳辐射很少，主要靠吸收土壤的长波辐射以及靠吸收土壤表面以湍流、传导方式向上输送热量而增温的。空气温度除随时间的不同发生周期性变化外，还有随空间的变化。在垂直方向上，白天空气温度随高度的增加而降低，土壤表面的温度最高；夜间正好相反，地面温度最低，向上温度逐渐升高，紧接地面的薄层空气可能因有临界的高温或低温而造成植物的伤害和死亡。空气温度在水平方向上的变化受地形和植被类型的影响很大。由于林冠层对辐射起了阻挡作用，所以白天有林地区的温度要比邻近的空旷地带温度低，而在夜间有林地区的温度较高。在地形起伏的地区，从一处到另一处的温度常有相当大的差异，如北半球冬季南坡的温度通常比北坡高，南坡坡度每增加 1°，在接受太阳辐射上相当于纬度降低 1°，这便使得许多植物可以在它们适生的分布范围内

以北很远的南坡上生存。

温度制约着植物的生理过程，而生理过程又决定着植物的生长、发育、繁殖。每个生理过程都有其适宜温度，并且受最高温度和最低温度的限制。最适温度能使生理过程保持最高速率。温度过高，则影响酶的活化程度，破坏蛋白质和细胞膜。温度低于冰点时，细胞间隙结冰，除使细胞受到机械损伤外，还将受到脱水的损害。在生物学最高温度和最低温度之间，昼夜温差越大，越有利于植物体内有机物质的积累，也就有利于植物的生长发育。不同的植物或同一种植物的不同生长发育期对温度的反应及对极端温度的忍耐程度都是不同的。在温度低于 0℃或高于 45℃时，一般植物几乎所有的生理活动都要停止。

环境中的热量不是静止的。在环境的不同部位之间，以及环境和森林有机体之间都有热量在不断地流动。植物是一种变温有机体，它不像恒温动物那样有完善的生理调节功能，因而植物的体温具有与其环境温度相一致的趋势。叶片是植物对温度最敏感的器官。叶面温度是由空气温度、辐射能量以及显热和潜热的交换所决定的，并且还与空气流动、空气湿度有密切关系。植物不论是在高温还是低温情况下，都力图使其体温与环境温度趋于一致。在一般情况下，叶面温度与环境温度只相差几度。通常使用的温度指标都是指空气温度而不是叶面温度。这是因为叶面温度难以精确测定，而且叶面温度也不能代表植株温度。空气温度容易测定，也容易从气象资料中查到。

空气与森林的关系是显而易见的。大气的主要成分是氮气（N_2）。大气中的 N_2 不能直接被森林植物所利用，需通过细菌活动，使氮缓慢地循环而进入森林生态系统中有生命的部分。大气直接供给森林植物光合作用需要的 CO_2 和呼吸作用所需要的 O_2 以及水汽。

风不是森林的必须生活因子，但可间接地影响森林植物的生长发育。在风不大时，风可促进叶面周围的水汽交换，使蒸腾作用加强，有利于根的吸收和枝叶的放热降温。同时，风还能促使林木周围空气中 CO_2 的交换，在一定程度上使同化作用加强。但风过大时，蒸腾作用过强，失水过多，植物会产生萎蔫或干枯现象。强风还会使叶片气孔关闭，影响光合作用的正常进行。大风能吹落花朵和未成熟的果实，影响种子产量，削弱林木的高生长和直径生长，造成偏冠，干心不正，以致降低材质。当风速达 10m/s 以上时，能引起林木风倒和风折，造成巨大的破坏作用。风对森林的天然更新有很大的作用，很多树种，如松树、落叶松、杨树、柳树等都是靠风来传播花粉和种实的，传播能力随种实大小和重量的不同而异。在沿海地带，飞溅的浪花中携带的盐滴可使植物的芽和叶片受害，使其生长缓慢。

二、森林与气候

气候对森林的影响是光、热、水、气各个因子配合后的综合作用。如在一定的光照度和一定的温度及 CO_2 浓度下，就有相应的光合作用效率。影响林木生长的各因子配合越恰当，光合作用效率就越高，就可形成较高的森林生产率。不同的树种要求不同的气候条件，在各气候因子中，常常有一个或几个是主导因子，如在热带地区，热量和水分条件可以得到充分满足，这时光照条件常常是主导因子；在半干旱和干旱地区，水分常常是主导因子。

森林的地理分布也主要决定于气候。不同的气候地区出现不同类型的森林，图 1－2 反映出气候与森林的分布情况。我国的森林按气候可划分为三大

区域：

（一）东部季风区

该区北部的寒温带为针叶林带，以兴安落叶松为代表；温带为针阔混交林带，以红松、槭属、椴属、桦木属树种为代表；暖温带为落叶阔叶林带，以蒙古栎、辽乐栎、槲栎、麻栎、栓皮栎为代表；北亚热带为常绿、落叶阔叶混交林带，主要以麻栎、栓皮栎、青冈为代表；中亚热带为常绿阔叶林带，主要以青冈属和栲属树种为代表；南亚热带为季风常绿阔叶林带，以壳斗科、桃金娘科、金缕梅科、山茶科等树种为代表；热带为季雨林、雨林和赤道热带为珊瑚礁常绿林带，树种十分丰富。

（二）西北草原荒漠气候区

该区的干旱温带、暖温带亚高山针叶林带主要分布在天山一带，以云杉、冷杉、落叶松等树种为主；该区的干旱温带、暖温带落叶阔叶林带主要分布在塔里木河两岸，以胡杨、灰杨为代表。

（三）草原荒漠、青藏高寒气候区

该区地形复杂，不同的海拔高度、不同的坡向，气候情况都会有很大的差异，使得该区的森林类型极为丰富。主要森林类型为高原温带亚高山针叶林和硬叶常绿林以及由栎类、云杉、高山松等组成的针阔混交林。

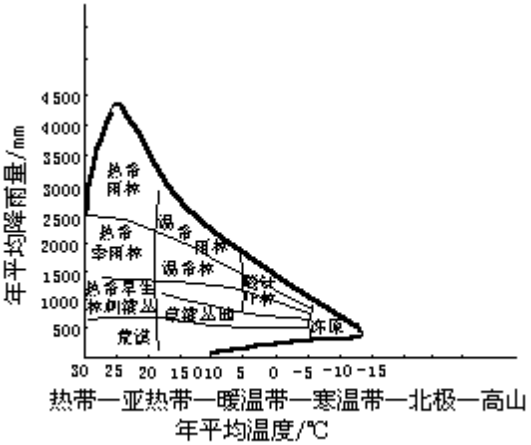


图1-2　气候与世界森林分布

三、大气组成及大气污染

（一）大气的结构和组成

大气总质量约为（5.136×10^{18}）kg，其中 75%集中在地表至以上 10km 左右的空间。该层在气象学上称为对流层。风、云、雨、雪、寒、暖、干、湿、声、光、电等大气物理现象都发生在这一层。对流层的气温随高度的增加而降低，平均每升高 100m 约降低 0.65℃。在对流层垂直方向上，大气有强烈的对流和湍流运动；水平方向上，大气有大规模的水平运动。大气污染也主要发生在这一层，尤其是在距地面 1～2km 的范围内。10～55km 的气层为平流层。平流层中空气以水平运动为主，没有垂直运动，空气的扩散也十分缓慢，细小的飘尘可长久停留。超音速飞机在平流层飞行的阻力很小，排出的尾气扩散也很慢。臭氧层就在平流层内距地面 25～30km 处。55～85km 的气层为中间层。再向上为热层，又叫电离层。热层以上就是外大气层了。

在正常情况下，100km 以下的大气层是由干洁空气、水汽和一些气态、液态、固态杂质所组成的。

干洁空气由除水汽和各种杂质以外的各种气体组成。主要气体是 N_2、O_2、氩（Ar），三者约占大气体积的 99.96%。此外，还有微量的氦（He）。氖（Ne）、氪（Kr）、氙（Xe）、氡（Rn）、氢气（H_2）、氧化亚氮（N_2O）等。这些气体成分在大气中所占的比例几乎不变。大气中除这些不变成分外，还有一些可变的气体成分，如 CO_2、臭氧（O_3）等。它们在大气中的含量很少，且随着季节和地区的不同而发生变化。表 1—1 列出大气中的气体组成成分及其含量。

表 1－1 大气组成成分及其含量

	不变成分		可变成分
名　称	含量	名称	含量
N_2	78.084 %± 0.004 %	O_3	（0～0.07）×10^{-6}(夏) （0～0.02）×10-6(冬)
O_2	20.746 %± 0.002 %	CO_2	（330 ± 10 ）× 10^{-6}
Ne	（18.18 ± 0.04 ）× 10^{-6}	SO_2	（0 ～ 1 ）× 10-6
Ar	0.934 %± 0.001 %	NO_2	（0 ～ 0.02 ）× 10^{-6}
He	（5.24 ± 0.004 ）× 10^{-6}		
Kr	（1.14 ± 0.01 ）× 10^{-6}	`NaCl	$10^{-4}g/m^3$
Xe	（0.087 ± 0.001 ）× 10^{-6}	NH_3	0 ～痕量
H_2	0.5 × 10^{-6}	CO	0 ～痕量
N_2O	（0.5 ± 0.1 ）× 10^{-6}	H_2O	0 ～ 35g/m^3

除干洁空气外，大气中还含有一定量的水汽和各种杂质。

水汽在大气中的含量平均为 0.39%，但变动很大。水汽主要集中于低层大气，随高度增加，其含量逐渐减少，到 15km 高度其含量就不足 0.05%了。在不同季节，水汽含量也有很大不同。在夏季潮湿的日子里，水汽含量可达 1%，甚至更多。

大气中悬浮的杂质种类繁多，数量很大。有气态的、液态的，也有固态的。它们源于自然排放或人为排放。自然排放的杂质，如盐粒，土壤蚀损的颗粒，森林火灾产生的 CO_2、二氧化氮（NO_2）、SO_2 和一些碳氢化合物，火山喷发放出的火山灰和 SO_2 等。人为排放的主要有烟尘、SO_2、NO、H_2S、氟化物、NO_x、碳氢化合物、CH_4、Cl_2 和金属颗粒等，它们悬浮在大气中构成气溶胶。大气中的杂质也是易变成分，并有逐年增加的趋势，特别是人为的和人类诱发的微粒。世界气象组织的报告(1972)列出了进入大气微粒总量相对于 1970 年值的变化估算值，如表 1—2 所示。

表 1-2 进入大气中的微粒年总量的估算值
（相对于 1970 年的值）

年份	人为的因素／%	各种来源／%
1880	25	0.69
2000 （预计）	158	124

一般来说，大气中的微粒对进入大气的太阳辐射的影响取决于微粒的大小，且随入射波长的不同而变化。0.1～5μm的微粒在大气中数量最为丰富，且滞留时间比较长，不易因降水而从大气中冲洗掉。这样的微粒对太阳短波辐射的截留作用比对地球表面放出的长波辐射的影响要大得多，因此使地球的反射率增加。大气中的这些微粒还可作为凝结核，使云量增加。此外，微粒本身也吸收长波辐射，从而使其所滞留的空气层内的温度提高。总之，低层大气中悬浮杂质的影响主要是增加地球的反射率，能缓和温度的日极值和年极值，对降水也有一定的影响。

（二） 大气污染

1.大气污染的成因。大气中经常含有一些污染物质。一般情况下，因其含量少，对人及环境没有明显的影响，不会构成大气污染。只有当污染物质数量，包括浓度和持续时间超过大气本身的稀释、扩散和净化能力时；或正常大气中的痕量气体，其含量超过正常含量时；或有害物质含量虽不高，但在大气中经久不散，积累在大气中，使空气质量恶化，给人和动物、植物带来直接或间接的不良影响时，才会构成大气污染。

2.污染物质分类。受污染的大气中，究竟有多少种有害气体和有毒物质，目前尚无准确数字。据初步统计资料表明，能对人体及动物、植物造成危害的大气污染物的种类是相当多的，约有100种。联合国环境规划署根据地球环境公害监视系统提供的情况，将大气污染物质按其危害程度的顺序排列为：SO_2、浮游微粒子、O_3、NO_x、铅（Pb）、CO_2、CO、石棉等，其他如含硫化合物、煤烟等也都是重要的大气污染物。这些污染物质可分为：烟尘类、粉尘类、无机气体类、有机化合物类和放射性物质类。

（1）烟尘类 这是引起大气污染最明显、最大的敌人。特别是燃烧不完全时出现的黑烟，对大气的污染更严重。所以，防治大气污染，首先是消烟除尘。烟尘是一种含有固体、液体微粒的气溶胶。固体微粒有烟尘、粉尘等；液体微粒有水滴、硫酸液滴等。最引人注意的是烟黑。烟黑主要是燃烧不完全的碳粒。

（2）粉尘类 工业排出的废气中含有许多固体或液体的微粒。它们飘浮在大气中，形成气溶胶。粉尘微粒大小不一，粒径大于10μm的，如水泥粉尘、粉煤灰、石灰粉、金属粉尘等。它们大多由工矿企业排出，其降落速度比较快。粒径小于10μm的，称为飘尘。它们在大气中可以飘浮几小时，甚至几年而不降落，并可随着大气环流飘到很远的地方。因此，飘尘在大气中分布很广，影响也很大。粉尘本身为固体微粒，其上常沾附气体和液滴。粉尘的固体成分相当复杂，常含有各种金属，如镉（Cd）、铬（Cr）、铜（Cu）、铁（Fe）、铅（Pb）、锰（Mn）、钼（Mo）、镍（Ni）、锡（Sn）、钛（Ti）、钒（V）、锌（Zn）等。

（3）无机气体类 大气中的污染物质大部分为无机气体，种类很多。常见的有 SO_2、H_2S、CO、O_3、NO_x、NH_3、HF、Cl_2 等。另外，CO_2 虽属正常的大气成分，但当其浓度大量增加后，可引起温室效应和酸雨。

（4）有机化合物类 由于近代有机合成工业和石油化学工业的发展，进入大气的有机化合物愈来愈多，如有机磷、有机氯、多氯联苯、酚、多环芳烃等。它们不但来自工业废气，而且有的是工业排出的污染物进入大气后，发生一系列的复杂反应后所形成的毒性更大的污染物。

（5）放射性物质类 20 世纪 40 年代以来，原子能的利用日益广泛，放射性物质，如铀（U）、钍（Th）、镭（Ra）、钚（Pu）、锶（Sr）、铯（Cs）等的尘埃随之扩散到大气中，然后降落到地面，经过各种化学和生物过程，引起食物污染。放射性污染问题日益受到人们的关注。

环境空气质量直接影响林木的生长发育。构成森林的绿色植物在进行光合作用时，通过叶片里的叶绿素吸收太阳能，将从空气和土壤中吸收的 CO_2 和 H_2O 同化成有机质，并释放出 O_2，在进行呼吸作用时又从空气中吸收 O_2，进行新陈代谢，将有机质分解为 CO_2 和 H_2O，并释放出能量，以供植物各种生理过程的需要。可见，森林植物和周围空气之间经常进行气体交换。

四、酸雨问题

我们所说的酸雨是指 pH 值低于 5.6 的雨雪。酸雨也称为酸沉降。

酸雨的形成是由于大气中的污染物质，如 SO_2、氮氧化物等与大气中的水汽和氧起化学反应生成硫酸、硝酸等气体状酸性物质，在大气中飘浮成为光化学烟雾，然后再溶于云滴、雾滴中，使降水超过正常的酸度。酸雨危害的范围很广，向大气中排放的污染物质，可在距离污染源数十米乃至数千公里，甚至上万公里的地方转化为酸雨降下。所以，酸雨可称之为跨国公害。

酸雨是当今全球关注的重大环境问题之一。1972 年在斯德哥尔摩召开的“人类环境会议”上，科学家们就提出了酸雨问题。西欧一些国家发生了酸雨危害，导致大片土地酸化、森林死亡。到了 1980 年初，我国不少工业地区也相继出现了酸雨。

酸雨的危害，一是造成土壤酸化，对南方酸性土壤的危害尤为明显。二是造成水域酸化。酸雨对森林的危害是很明显的，直接影响是酸雨可腐蚀叶片的角质层，使叶中的营养物质淋失。被淋失的营养物质包括无机化合物中的大量元素和微量元素，其中淋失数量最多的是钾、镁、猛；还包括有机化合物中的糖类、氨基酸、有机酸、激素、维生素、果胶等。间接影响是：使森林土壤中的营养物质被淋失，使土壤变质。土壤本来对酸性是有中和能力的，在进行中和时消耗掉的钾可以由下层的基岩来补充，但当补充不能继续时，中和作用即停止，树木因缺营养而导致枯死。另一个重要因素是使土壤中的 Ca^{2+} 减少，Al3+的活动加强。Al^{3+} 能与有机物聚合，当 pH 达到 4.2 以下时，聚合就停止了。Al^{3+} 呈游离状态后，损伤根毛的尖端，病毒即由此而入。同时，Al^{3+} 又可将有利于树木生长的微生物杀死，加速树木的衰老。而树木衰弱以后，更容易受到病虫害的侵入。

五、臭氧层问题

O_3 在大气中含量极微，且分布很不均匀。在垂直方向上，从距地面 10km 开始其含量有所增加；到 20～25km，O_3 浓度达到最大；再向上含量又逐渐减少；在 55～60km 处 O_3 含量就很少了。通常把 O_3 含量最大的距地面 25km 左右处称为臭氧层。纬度不同的地区，臭氧层的厚度也有所不同。一般极地上空最厚，赤道上空最薄。臭氧层的季节变化在高纬地带是十分明显的，如北半球大部分地区春季臭氧层较厚而秋季最稀薄。

臭氧层的作用是能够吸收太阳辐射中波长为 0.2～0.3μm 的紫外线。这一方面使平流层的上部被加热，下部温度仍较低，使平流层在动力学上是稳定的；另一方面减少紫外线进入对流层，起到保护地球上生物的作用。大剂量紫外线照射可杀伤细胞。如果没有臭氧层对紫外线的吸收和过滤作用，不

仅地表微生物、水生低等动物和植物难以生存，高等动物、植物也会直接受害。

人类了解到大气平流层中有 O_3 的积聚已有近百年的历史，但开始注意臭氧层破坏是 20 世纪 70 年代以后的事。1975 年英国南极考察队成员法曼（Farman）对南极哈利湾的大气臭氧测量数据进行了分析，结果惊人地发现臭氧总量在减少。英国考察队用多布森光谱仪对该仪器以上部位的垂直气柱的臭氧总量进行测量发现，自 1970 年开始每年 10 月南极上空臭氧总量急剧减少，如 1984 年 10 月比 1968 年以前 10 月份的气柱臭氧日总量减少了 1/3，而 1991 年 10 月比 1968 年以前减少了 1/2。而平流层下部的 15～20 km 高度之间的气层内竟损失了 95%。这是一个引起轰动的发现。臭氧的这种贫化现象，称为臭氧洞。在南半球春季（9 月至 11 月），这种现象出现在南极大部分地区上空约持续 6 周。在北极，至今尚未发现 O_3 的急剧减少。但已有报导指出，北半球中纬度（大约在美国西雅图与新奥尔良所处的纬度之间），O_3 含量出现了长期逐渐下降的趋势。美国国家航空和宇宙航行局（NASA）的星载臭氧总量绘图分光仪表明，这个纬度带的 O_3 每十年损失 4%～5%。冬季各月观测到的损失率高达 8%。就全球而论，O_3 正以每十年 2.3%的速率减少。全球臭氧贫化问题是当前世界各国普遍关注的重大环境问题之一。

目前已对臭氧层破坏的原因有初步了解。一般认为主要是氯氟烃类（CFCs）化合物和 N_2O 排放量增加而造成的。氯氟烃类化合物是一组人造的、化学性质十分稳定的化合物。工业上用于气溶胶推进剂、致冷工作液、溶剂、塑料、发泡剂等，代表性化合物主要有氟里昂-11 和氟里昂-12。氯氟烃在紫外线照射下分解出自由氯基或自由氯氧基。这些自由基在高空稀薄的空气条件下可长时间存在，对 O_3 的解体起催化作用。一个自由基可连续使成千上万的臭氧分子受破坏。

N_2O 是氮素全球循环过程的一种自然产物。主要来源于氮素在水域底质和土壤中的硝化与反硝化过程，矿物燃料和生物质燃烧也有少量排放。通过施用化肥、增加燃烧过程等也可提高全球 N_2O 的排放量。N_2O 在紫外线照射下与原子氧作用生成 NO，再与 O_3 反应生成 NO_2 而破坏臭氧层。

此外，还有多种气体与臭氧层中臭氧的破坏有关联，但都不如上述两类物质重要。

由于臭氧层的破坏，使到达地球表面的紫外线强度增强，对包括人类在内的有机体都会产生严重后果。对生物影响最大的是波长为 280～320nm 的紫外线，经对 200 多种植物照射试验，发现 2/3 的种类对照射敏感。经照射的植物发育不良，叶片变小，减少了光合作用的叶面积，种子质量也受到影响。

为了保护臭氧层，1985 年 43 个国家和 7 个国际组织共同制定了《关于保护臭氧层的维也纳公约》。1987 年在联合国环境计划署主持下通过了减少氯氟烃使用的《蒙特利尔议定书》。1989 年 4 月底在赫尔辛基召开了该议定书缔约国第一届会议，通过了《赫尔辛基宣言》。该宣言要求最迟到 2000 年全部废除氯氟烃的生产和使用。

六、大气温室效应及气候变化

（一） 大气温室效应

大气中的 CO_2 来源于燃料的燃烧、有机体的腐烂分解和动物、植物的呼

吸作用。CO_2是大气中的易变成分，在大气中的含量随发生源的分布与活动情况而变动，平均为（3～3.2）×10^{-4}。近年来，由于人类对森林的破坏和矿物燃料消耗的增加，大气中 CO_2 有逐年增多的趋势。据距人为污染源很远的夏威夷其纳洛阿峰顶观测站对大气 CO_2 含量监测的结果，CO_2 含量除有幅度为（6～7）×10^{-6} 的季节性变动外，还存在着逐年净增的情况。

绿色植物的光合作用能同化 CO_2。据估计，地球上的自养植物每年约可同化（2×10^{11}）t 的碳素，其中 40%是由浮游植物同化的，60%是由陆生植物同化的。植物对 CO_2 的固定速率因气候、植被类型不同而有很大差异。例如：热带雨林每平方米每年可固定碳素 1～2kg；中纬度森林每平方米每年可固定碳 0.2～0.4kg；北极冻土地带和荒漠仅为 0.01～0.02kg。绿色植物虽然能消耗大量的 CO_2，但大气中 CO_2 浓度不仅没有减少，反而在逐年增加。这是因为，近百年来由于工业的迅速发展，使矿物燃料及有机物燃烧增加，泥炭开发、森林砍伐与草地放牧等减少了植被对 CO_2 固定的量。大气中 CO_2 的含量已由工业化前（1750 年）的 2.9×10^{-4} 上升到现在的 3.2×10^{-4}，预计到 2030 年 CO_2 将增加到 5.9×10^{-4}，其中包含了其他温室气体，如 CH_4、N_2O、氟里昂、O_3 等。如果折算成等价 CO_2 浓度，即相当于工业化前浓度的 2.2 倍。

根据 CO_2 的辐射吸收特性，它能使太阳辐射特别是可见光相对无阻挡地穿过大气层到达地球表面，但它在红外光谱区有几个吸收带，拦截并吸收了相当一部分来自地面的红外辐射，同时它们又向各个方向放出红外辐射，使部分能量又返回到地面和低层大气，使能量截留在大气中，造成地面和低层大气变暖，这种作用类似玻璃温室的作用，称为大气温室效应。凡能吸收波长为 10μm 附近的红外辐射的气体都是温室气体。因此大气中除 CO_2 外，N_2O、O_3、水汽、CH_4 等也是温室气体。各种温室气体的增温效应是不同的，其中，CO_2 在大气中含量最多，对大气变暖贡献最大，约占 60%。

（二）气候变化

地球气候变化由来已久，最早可追溯到距今 45 亿年前。对漫长地质时期的气候变化，研究比较多的是最后 200 万年中的第四纪的冰期—间冰期循环。人们除希望了解地质时期的气候变化外，更加关心的是自 19 世纪末以来全球气候的变暖，特别是自 20 世纪 80 年代以来全球气候加速变暖和未来气候将如何变化的问题。

气候变化按其时间尺度可分为长期气候变化（10^4～10^6 年）、短期气候变化（10^2～10^4 年）和当代气候变化（10^0～10^2 年）。气候变化是由短期的气候波动迭加在长期气候变化之上而组成的。气候变化按其原因可分为自然变化和人类活动对气候的影响而引起的变化。气候的自然变化主要受大气内部动力学制约，而人类活动引起的气候变化主要是人为温室气体强迫引起的气候变暖。人类活动对气候的影响，从 5000～9000 年以前就开始表现出来了。那时人们通过燃烧和砍伐森林以及开垦土地等无意识的活动改变了环境，从而对气候产生了影响。工业时代之前所出现的较大的全球平均温度变化，仅仅归因于自然影响，但自 1880 年以来观测到的全球平均温度类似的变化，有时甚至更大的变化都被认为是人类活动影响的结果。尽管某种时间尺度上可能是某种原因起主导作用，但还必须考虑其他原因的次要作用，否则难以解释气候变化的多样性和复杂性。

1.当代气候变化的证据。全球变暖是当代气候变化的主要特征，主要有五条证据：

第一，由 1954—1990 年间 10 年滑动平均值曲线（图 1－3）可以看出，全球温度变化的长期趋势，在过去的 130 年中全球平均气温有 0.6℃的增温趋势，南半球在这个时期为稳定变暖，而北半球在 20 世纪 40 年代以前是变暖的，而后有大约 30 年的变冷趋势，从 70 年代起又恢复变暖。南北半球及全球 80 年代的变暖都是加剧的。有观测记录以来，地球 10 个最暖年中的 7 个出现在 80 年代至 90 年代，按升温高低的顺序是 1990 年、1988 年、1983 年、1987 年、1984 年、1989 年和 1981 年。英国的伊斯得安古里大学的气象研究部通过计算机将分散在世界各地陆地上的 1000 个观测站和海洋上的 1000 个观测站观测的数据计算得出，世界平均气温在近 100 年间上升了 0.5℃，但上升温度的地域差比较大。

第二，全球变暖的另一个重要证据是海平面上升和冰川后退。尽管引起海平面上升有多种复杂的机制，但对 20 世纪而言，由于气候变暖引起海水体积膨胀，陆地冰川和小冰帽融解是引起全球海平面上升的主要原因。过去 100 年中全球海平面的实测变化为上升 10～20cm。据观测，1951 年与 1818 年相比，瑞士的劳斯冰川在 130 年间后退了 2km。

第三，10μm 附近的红外波段正好是地球表面向外放射热辐射的波段。大气温度在历史的长河中是随自然界 CO_2 含量的起伏而同位相变化的。根据南

极沃斯托克（Vostok）站对 2083m 长的冰岩芯测量得到的结果看出近 15 万年以来大气 CO_2 和 CH_4 数量的变动与大气温度的变化的情况，即大气温度在历史的长河中是随 CO_2 含量的起伏而同步变化的，这是对 CO_2 温室效应的有力证明。

第四，雪线上升、树种迁移等也是全球气候变暖的证据。

第五，根据温室气体浓度增加，利用多种气候模式进行气候模拟的结果也证明全球气候变暖。模拟的结果是过去的 80 至 100 年中全球的地面平均气温上升了 0.3～0.6℃。

除 O_3 外，其他温室气体在大气中都有相当长的生存时间，如 CO_2、N_2O 和氟里昂-12 的生存时间都长达 120 年以上。这就是说，即使从现在起它们在大气中的浓度不再增加，它们所产生的温室效应也可维持近 100 年。

2.未来气候变化的预测。在气候变化的研究中，已发展了大量的模式。估计 CO_2 浓度加倍后，地球平均温度升高的数值，当前使用最广、最复杂的气候模式是大气环流模式。目前普遍认为，百年尺度的气候变化由自然变化和人类活动引起的变化，主要是人为温室气体胁迫引起的气候变暖两部分组成。这两方面的原因必然导致大气环流的异常发展，并通过后者引起各地的气候异常。三维大气环流模式（3D—GCM）起源于 20 世纪 50 年代，其目的是模拟出比较完整的气候三维特征。三维大气环流模式是由描述大气运动的能量和动量、质量和水汽守恒的原始方程组成，同时还描述以上各种物理过程，如云的形成、热量和水汽在大气内部和大气与地球表面之间的传输，在地球表面以上大气中的若干高度上，以规则的网格点形式给出大气的初始状态和边界条件，然后用数值方法对每个网格求解这个原始方程组。新一代的大气

环流模式主要用于模拟气候对温室气体强迫的平衡响应。对于控制试验（即作为对比用的气候基本状态的模拟）一般均假设大气 CO_2 浓度为工业化前的水平，即（1×CO_2），并将模式运算到达平衡为止。扰动试验是使用 CO_2 倍增浓度，即（2×CO_2）。重复上述程序的试验，取扰动试验和控制试验结果之差，作为由于温室效应增强引起的气候变化。

目前国际上已经提出五种大气环流模式，各自均以研制单位命名。它们分别是：英国气象局模式（UKMO）；美国戈达德空间研究所模式（GISS）；美国国家大气研究中心模式（NCAR），又称共同气候模式（CCM）；美国普林斯顿大学物理流体动力学实验模式（GFDL）和美国俄勒冈州立大学模式（OSU）。每个模式的重要特征及模拟结果见表 1—3。这些模式预测的结果是：当 CO_2 倍增时，全球地面平均温度的增加范围是 2.8～5.2℃，预测全球平均降水量增加 7%～15%，几乎都相差一倍。但与 20 世纪 80 年代中期所有大气环流模式（GCM）平衡响应模拟的最佳估计值（1.5～4.5℃）大体一致。

表 1—3 五种大气环流模式的主要特征（取自 Goodess1992）

	UKMO	GISS	NCAR	GFDL	OSU
经度×纬度	5°×7.5°	7.83°×10°	4.5°×7.5°	4.5°×7.5°	4°×5°
垂直分层	11	9	9	9	2
日射	有年、日变化	有年、日变化	只有年变化	只有年变化	只有年变化
海洋模式	给定热交换	给定热交换混合交换	只有混合层	只有混合层	6 层海洋模式
全球升温（2×CO_2）	5.2℃	4.2℃	3.5℃	4.0℃	2.8℃
全球降水变化（2×CO_2）	+15%	+11%	+7.1%	+8.7%	+7.8%
模式作者	Wilson & Mithcell 1987	Hansen 1984	Washington & Meehl 1984	Wetherald & Manabe 1986	Schesingev & Zhao 1989

赵宗慈（1990）对当前在各国流行且已列入中国的多种大气环流模式在中国范围内的模拟结果作出了详尽评价。评价用的气候变量是地面气温、降水率及土壤湿度等。各种大气环流模式在中国范围内的网格点有 40～60 个。她根据各模式作者发表的文章中物理量的全球地理分布图，将中国部分放大，分别取经度、纬度各 5°的格点读数，然后统一绘制在中国地图上，以表示各模式在中国部分的模拟结果。所选用的各种大气环流模式模拟结果都是在模式运算达到准平衡状态后，再继续运算 5～10 年，最后取平衡后的多年平均值。因而这些结果反映了模式对内部和外部强迫达到平衡响应的气候状态。评估的方法是采用大气环流模式模拟结果与观测结果直接比较的方法。

全球地面气温的气候平均观测值为 14.2℃，降水率为 2.65㎜/d，与各种

大气环流模式模拟的全球年平均地面气温、降水率与观测值在数量级上相吻合。气温差值的绝对值在 0.05～3.7℃之间，降水差值的绝对值在 0.04～0.44mm/d 之间。大部分模式对气温的模拟差值在±2℃之内，而降水率模拟差值在±0.20 之间。因而各种大气环流模式的模拟结果有可信的参考价值。下面介绍有关模式对中国部分的模拟结果及评估。

第一，地面气温。各种大气环流模式对中国部分的模拟以地面温度场与实况最接近，即东北和西北北部地区寒冷，气温为-15～-20℃；而南方温暖，气温为 10～15℃。

第二，降水率。各模式对中国降水分布的模拟远较气温模拟困难得多。这是因为降水受局地因子影响较大。几个模式对降水的总分布特征可以模拟出来，但数值相差较大，大体的结果是夏季西北降水少，而南方降水多。

第三，土壤湿度与径流量。土壤湿度较降水更为复杂，尤其是缺少较好的全球实测分布。径流量与土壤湿度关系密切，而且径流量有实测的年平均值。因而只能对中国的年径流量进行评估。几个模式只能粗略地模拟出中国年径流量分布为西北少、长江中下游及江南多的主要特征。

赵宗慈（1990）在对上述大气环流模式在中国部分的效果进行上述评估的基础上，选用了国外五种大气环流模式在 CO_2 浓度增加一倍的条件下，按平衡响应方式对中国未来冬、夏地面气温和降水率的变化进行了模拟（相当于气候预测），其结果列于表 1—4。由表可见，五种模式对地面气温变化的趋势相当一致，但在数值上有明显差异。冬季变暖幅度（ΔT）平均为 3.1～5.7℃，夏季为 1.8～5.1℃，略小于冬季；冬季降水增加幅度（ΔR）0.1～0.4mm/d，夏季降水变化范围是-0.1～＋0.6mm/d。

上述模拟结果在中国各大区域的分布主要特征是：冬季增温是普遍的，且纬度越高，增温值越大，最大增温值出现在东北地区，增温为 4～6℃；华南和西南地区增温较小，为 2～4℃，冬季平均增温 3.1～5.7℃。

表 1－4 五种大气环流模式在 CO_2 加倍条件下对中国冬夏地面气温和降水率的模拟

模式	12－2月 ΔT／℃①	6－8月 ΔT／℃	12－2月 ΔR／mm·d^{-1}②	6－8月 ΔR／mm·d^{-1}
GFDL	3.5～6.0	1.5～6.0	+0.2～+0.6	+1.0～+2.0
GISS	3.5～5.5	2.0～6.0	-0.1～+0.1	-0.1～+0.1
NCAR	2.0～6.0	0.0～4.0	+0.4～+0.7	-0.2～-1.0
OSU	2.5～3.5	2.0～3.5	+0.1～+0.4	+0.3～+0.6
UKMO	4.0～7.5	3.5～6.0	-0.1～+0.1	+0.5～+1.5
平均	3.1～5.7	1.8～5.1	+0.1～+0.4	-0.1～+0.6

①ΔT 为地面气温变幅；②ΔR 为日降水变幅。

夏季增温最明显的是西北地区，增温为 3～5℃。华中、华南、华东和西南地区增温幅度较小，增幅为 2～3℃。夏季平均增温 1.8～5.1℃。

由于大气中 CO_2 倍增，未来中国降水状况会有明显变化，尤以夏季为甚。东北和华北地区夏季降水可能增加，西北地区可能减少。冬季华北地区降水

可能减少。

北部和中部各区夏季土壤湿度变小，东部沿海和华南地区湿度可能变大。

综上所述，由于 CO_2 倍增，中国东北及南方沿海地区有变暖、变湿的趋势，而华北、华中、西北大部地区则有可能变暖变干。这些模拟结果已初步用于气候变化对农业影响的评估。然而，必须着重指出，目前用各种大气环流模式进行未来气候的模拟仍有许多不确定因素。首先是对未来温室气体的排放速率难以给出肯定的数值。CO_2 倍增的时间也难以准确估计，以致上述模拟的气候变化的时间实际上难以肯定。另外，模式本身也不完善。

气候变暖，即使温度升高得非常有限，也会对森林生态系统的发展产生深远的影响。森林植物的生理过程，最重要的是光合作用、蒸腾作用、呼吸作用和繁殖等，它们对温度变化极为敏感。温度升高可使净光合作用速率增加，促进植物生长。蒸腾作用和蒸发作用的增强可能使较干旱地区的逆境加强。由于授粉昆虫种群或幼苗存活的变化，繁殖过程可能发生变化，某些重要的外来微生物病原或虫害的地理分布和寄主范围可能因此而扩大。由于气候变暖，原先是无害的当地微生物或昆虫可能变为重要的病虫害。

第三节 森林的土壤环境

一、森林土壤的发生、构造和功能

森林土壤是指森林植被下发育的土壤，它是相对于草原植被、荒漠植被或其他植被类型下发育的土壤而言的。威尔德（美国，S.A.Wlide）认为，森林土壤是地表的一部分，是森林植物赖以生存的物质和环境的基质，它由矿物和有机物组成，含有不同数量的水分和空气，并被生物居住着。

一般来讲，森林土壤受人为干扰较小，土壤剖面保持比较完整，并具有一些特有的特征，如表层一般有深厚的森林凋落物，剖面中根系和石砾含量较多，含有大量依赖于森林生存的土壤生物。

森林中绝大多数有机残余物都累积在土壤表面，形成了凋落物层又称林褥（forest floor），是每年为森林土壤增补有机质的主要形式。这与草地或农田将死有机质特别是死亡根系累积在土体内不同。此外，森林凋落物中含有较多的不易被分解的木素、树脂和单宁等物质，因而可以在表层累积成层。累积在地表的有机物疏松通气，在其分解过程中还可产生一些酸类，使表层呈酸性反应。

森林下的土壤剖面（见后述“森林土壤的构造”）比草地的风化程度深，A_1层含较多的腐殖质和盐基离子，粘粒也较多，Ca、Mg比值较少，而B层盐基含量则较低。

除去土壤的基质外，森林土壤最有特点的组成为林木的根系。林木根系对土壤肥力的发展起着重要的作用。土壤中营养物质的积累和消耗、腐殖质的聚积、土壤结构的形成以及土壤微生物的活动等，都与林木根系的活动有关。此外，林分下庞大的根系网是防止水土流失、减少泥石流的重要因素。

（一） 森林土壤的发生过程

森林土壤是森林生物的重要生长环境空间。土壤的形成依赖于五大自然成土因素，詹尼（美国，Jenny）（1941）提出了如下土壤发生的数学表达式：

$$S=f\ (cl,\ o,\ r,\ p,\ t,\ \cdots\cdots)$$

式中：S为土壤的形成，五大自然成土因素是气候（cl）、生物有机体（o）、地形（p）、母质（r）与时间（t）。岩石及其风化产物是形成土壤的基质；气候是直接的水、热和空气条件；地形可使气候因素重新分配；生物有机体通过生长繁育、新陈代谢进行着物质的合成与分解，一方面丰富土壤的基质，另一方面以有机物方式累积化学能；时间是一切作用过程的累积因素。这五大因子共同作用，缺一不可。森林土壤的发生除决定于以上成土因素外，还具有三种特有的成土因素，即森林凋落物、林木根系和依赖于现有森林的特有的森林生物。

岩石在物理风化作用下不断崩解，颗粒由大到小，由粗变细。在此过程中，还产生了一些溶于水的矿物质及营养元素。这些物质被降水不断淋洗，并随地表径流从高处流向低处，经过河流最终流到海洋。它们与流入海洋的岩石和泥沙等产生浓缩、沉淀、堆积、胶结和硬化作用，形成沉积岩。在地壳上升运动中，沉积岩由海洋底部上升形成大陆。岩石暴露于地表之后，又重新进行风化和淋溶，重复地进行着这种过程。植物营养物质由大陆流到海洋，海洋变为大陆后，又由新的大陆流向新的海洋。这种循环过程称为植物营养物质的地质大循环。

风化形成的母质，具有松散性、多孔性、透气性和保水性等特点，并为

植物生长提供了水分、空气、养分等条件。一些需要养分较少的低等植物开始生活在原始幼年土上，通过吸收矿质养分、水分和获取其他生活物质和条件，来建造自身的有机体。这样使地质大循环过程中的一些可溶性养分得到保存。当这些植物死亡后，经微生物的分解作用，有机残体中的营养物质又变为无机物质，一部分又重新进入地质大循环，另一部分可被植物重新吸收利用。植物及其他生物的反复吸收利用和累积营养物质的过程，称为营养物质的生物小循环。

土壤形成过程就是建立在地质大循环和生物小循环的基础上。在这对矛盾的相互作用、不断发展的过程中，土壤肥力得到了发展。

土壤形成的各种过程，可以四种基本方式表达：向土壤添加物质，如向土壤中加入森林有机质；失去物质，侵蚀和淋洗，是土壤产生损失的两种过程；迁移作用，如粘粒被移向下部；转化作用，如土壤矿物经风化转化为粘土矿物等。这样，最终通过层次分化形成了土壤剖面。

（二） 森林土壤的构造

土壤是一个具有三维空间的物体，具有深度和宽度，并分布在地球的表面。观察和研究土壤主要借助于土壤剖面（soil profile）。土壤剖面是从地表向下挖掘直至母质的一段垂直切面。切面上常常可观察到 1 个或多个呈水平状分布的条带或层次，这些层次称为土层（horizon）或发生层。典型的森林土壤剖面可划分为 O、A、B、C 四个层次（图 1—4）：

O 层 森林土壤枯落物层。根据分解程度不同可分为三个亚层。

L 分解较少的枯枝落叶层

F 半分解的枯枝落叶层

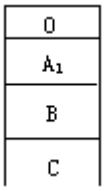
H 分解强烈的枯枝落叶层，已失去其原有植物组织形态

A_1 层 腐殖质层

B 层 淀积层

C 层 母质层

土壤形态是土壤的外部特征。在土壤形成以后，各层的差异主要反映在形态特征上。主要的森林土壤形态特征有颜色、质地、结构、湿度、紧实度、孔隙度、新生体、侵入体、根系含量、石砾含量、动物孔穴等。在野外，通过对土壤剖面形态特征的观察，可判断出土壤的一些重要性质。



描述土壤剖面的最基本单位叫单个土体（pedon）。单个土体是指土壤个体的最小体积，其侧向伸展范围应大到足以研究任何土层的本质。由于一个土层的厚度可能有变异或出现变异，视各土层变异的情况，单个土体的面积从 1～10m^2 不等，形状大致呈六边形。其下限是土壤和非土壤之间模糊的界限。多个单个土体的原地土壤体积，称为聚合土体（polypedon）。它将相邻的单个土体纳入一个单独土系的规定范围之内，是自然界一个实际有形的具有某一基层分类单元特性的土壤实体，也是土壤制图的最基本单元。

（三） 森林土壤的功能

森林土壤是森林生物生活的主要场所，它既可以供应和调节土壤水、养

分、气、热等生活条件和环境，又可以通过吸附、固定和转化功能对污染物质起到净化作用。这些功能主要由土体、土层、土壤结构和土粒成分的功能实现的。

土体是支撑植物的场所和养育植物的基体。由于其界面接触环境和程度不同，以及土体内物质的淀积、溶解等影响，使其在垂直方向上发生性质分异，并向水平方向延伸，从而形成土层。土壤表层是直接接受外界环境的窗口，向表土以下的层次逐层传导外界输入的物质和能量（包括污染物质和能量）。传入的层次越深，土壤的缓冲能量越大。土层的传导力，主要是指对养分、水分、空气和热量的传输力。

土壤结构是指土壤颗粒的空间排列方式及稳定程度。土壤结构体以其个体内部的小孔隙和个体之间的大孔隙来发挥调控水、气的作用。具有良好的团粒结构的森林土壤表层，能均衡地调节土壤的水、气、热状况，使土壤保持良好的通透性。

土壤养分的释放和蓄存及土壤结构的形成，是土壤颗粒的成分及其功能的体现。土粒成分包括土壤中的矿物质、有机质。矿物质是矿物岩石的风化产物，包括岩石碎屑、原生矿物及次生矿物等。矿物质是土壤的骨架物质，可以起到支撑植物的作用；并以其复杂的粒级组合为土壤创造良好的孔隙状况，此外还可以提供多种矿质营养元素。土壤有机质来源于一切进入土壤的有机残体，其分解和合成作用，是土壤中养分释放和合成的关键环节。它同时可以和矿物质结合形成良好的结构。有机质经合成形成的腐殖质，也是土壤胶体的重要成分。

土壤胶体是土壤中＜2μm 的土壤微粒，包括粘土矿物、土壤腐殖质及一些氧化物。由于具有表面能和带电，可以使土粒团聚形成结构，并吸附养分和水分。与微生物和酶结合可形成载体，参与多种物理和生物化学作用。

综上所述，土粒形成了土壤结构，土壤结构决定着土层的性质，土层组成了土体。土体从总体上决定自身的外部边界和内部容量。土层在垂直方向上沟通物质和能量的传导。土壤结构调节着土层内部的水、肥、气、热状况。土粒则行使着物质合成与分解、养分及水分的吸收、转化和释放功能。土粒、土壤结构、土层和土体四者，组成了土壤肥力的功能体系。

二、森林土壤和森林生物及森林环境之间的物质和能量交换

土壤作为一个生态系统，具有三个明显的特点：①土壤是一个可解剖的自然实体。②土壤是一个能量转化器、接收器和太阳辐射能与地心发射能的传送器。③土壤是一个开放系统。土壤生态系统的外界能量主要是太阳能。绿色植物和光合微生物（一级生产者，primary producer）通过光合作用，将太阳能转化为生物体内的化学能，固定 CO_2 及矿物质营养并合成有机质。这些光合产物一部分供一级生产者进行呼吸，另一部分储存体内，为动物及异养微生物（消费者，consumer）提供生活的物质基础。能量和营养物质通过食物链从一种生物群体传递给另一种生物群体。食物链中各个环节的营养水平并不相同（图 1－5）。

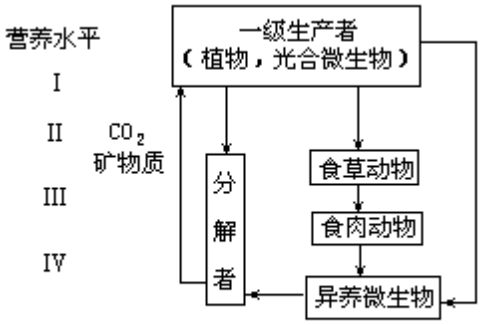


图1-5　土壤食物链示意图

森林土壤在与环境因素的相互作用中发挥着养育森林的功能。这种功能体现为森林土壤给森林生物提供水、肥、气、热及活动场所的能力，即森林土壤为生物提供了必要的物质和能量。这些物质和能量在森林土壤、森林生物和其他环境因素之间进行着相互的交换、调节和循环。

（一）　养分循环

森林土壤中的养分既参加物质的地质循环，也参加生物小循环。在土壤侵蚀的地区，土壤养分多以地质循环为主；在森林植被完好的土壤中，养分循环以生物小循环为主。

土壤矿物质营养的最基本来源是母质风化所释放的养分。不同母质的矿物组成不同，释放的养分种类和数量也不同。以下为矿质元素及其主要来源（岩石种类）：

K-正长岩、流纹岩，Ca-石灰岩、辉长岩，Mg－橄榄岩、玄武岩，P-玄武岩，Fe-玄武岩、安山岩、闪长岩，B、Zn 和 Co-玄武岩，Mo-超基性岩、花岗岩，Cu 和 Mn-各类岩石。

森林土壤中的 N 素主要来自固氮微生物对 N 的固定和降水中的 NH_3 及 NO_3。N 素在土壤中进行着复杂的腐殖质化和矿质化过程，形态既有有机态也有无机态。其损失过程包括植物的吸收、淋洗和挥发等作用过程。

土壤养分的另一主要来源为土壤有机质。当森林植物从土壤深层吸收矿质营养后，则以枯枝落叶形式进入土表，表 1—5 为富集成分和植物种类的关系。

表 1—5 不同植物枯落物的灰分含量及组成

植物	灰分	元素氧化物含量次序
针叶	3％～7％	$SiO_2 > CaO > P_2O_5 > MgO > K_2O$
阔叶	9％～10％	$CaO > K_2O > SiO_2 > MgO \approx P_2O_5 > Al_2O_3 \approx Na_2O$
草本（草甸）	2％～4％	$CaO > K_2O > P_2O_5 > MgO > SiO_2 > R_2O_3$

森林土壤养分的消耗途径，主要为每年植物从土壤吸取的养分，随下渗水淋失，以及在养分转化过程中以气态形式逸出土壤的氮、硫等。

（二）　森林土壤中的生物种群及能量转化

森林土壤可以看作是一个能量反应器，它养育着森林植物和其他生物，大到哺乳动物如鼠、兔，小到显微镜下的细菌等动植物群体。这些生物种群

的复杂性不仅表现在它们摄取能量的食性不同，而且反映了土壤温度和湿度及其他环境条件的差异。土壤的不同特性使生物种群和生物活动性发生分异，反过来，土壤也会因生物活动而引起物理的和化学的变化。

森林土壤动物是一个特殊的群体，是由在森林土壤中度过全部或部分生活史的动物组成（图 1－6）。

土壤动物的活动性基本上与食性和运动有关。一类动物为食肉型或以其他动物为食，如细菌和某些原生动物被另一些原生动物捕食；螨是其他节肢动物的食物；蚯蚓是鼹鼠和肉食性蜗牛的精美食物。另一类动物以活的植物或死的植物作为食物源，如一些线虫是某些植物根部的寄生虫；林褥中的一些腐食动物能消耗被微生物破碎过的物质。此外，还有一些动物以食用真菌、细菌和藻类为生。森林土壤中的动物和植物种群的活动就是如此错综交织并联结成复杂的模式和食物链。

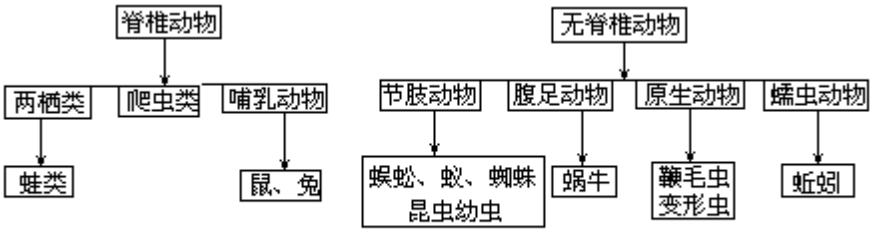


图1-6　森林动物种类

对动物区系的能量收支预算，可用下列方程式表示：

$$I=R+P+E$$

式中：I 为从食物吸取的能量；R 为用于呼吸的能量；P 为消耗于种群个体生育的能量；E 为动物排泄物所含能量。

土壤微生物是土壤中另一大生物类群，包括细菌、真菌、放线菌和藻类。土壤微生物作为土壤有机质的主要分解者，在土壤中起着重要的作用。

根据微生物对土壤营养和能源的要求，一般将土壤微生物分成四大类型：

（1）化能有机营养型又称化能异养型。这类微生物的生长需要有机化合物作为碳源，并从氧化有机化合物的过程中获得能量。它们包括绝大多数的细菌和几乎全部真菌和原生动物。（2）化能无机营养型又称化能自养型。以 CO_2 为碳源，从氧化无机化合物中取得能量。根据它们氧化不同底物的能力，可分为五个主要类群：亚硝酸菌、硝酸菌、硫氧化菌、铁细菌、氢细菌。

（3）光能有机营养型又称光能异养型。其能源是光，但需要有机化合物作为供氢体以还原 CO_2，并合成细胞物质。

（4）光能无机营养型又称光能自养型。可利用光能行光合作用，以无机化合物作为供氢体以还原 CO_2 ，并合成细菌物质。藻类和大多数光合细菌都是光能自养微生物。

（三）森林土壤和环境的能量交换

土壤中的能量，主要包括热能、势能和化学能几种形式。热能主要来源于太阳辐射。势能的载体是水。化学能的载体主要是土壤有机质。土壤中的三种能量在一定的条件下可以相互转化。

1.土壤的热能。(1)土壤热能来源土壤温度是衡量土壤热量的一种尺度，主要决定于土壤热量的收支和土壤的热容量。土壤热量主要来源于太阳辐射

能。土壤热量的其他来源还有土壤有机质分解释放出的热量，地球内部传出的地热和某些化学反应产生的热能等。此外，燃烧土壤有机质包括土壤枯落物及土壤微生物所能释放的热能是土壤热能的第二种形式，可用燃烧值表示。

（2）土壤热能平衡土壤表面吸收的太阳辐射能，部分以辐射形式再返回大气，部分传给下层土壤，并用于土壤水分蒸发时的消耗，余下的热量用于土壤本身的升温。土壤的热量平衡是指土壤热量在一年中的收支情况，可用下式表示：

$$S=W_1+W_2+W_3+R$$

式中：S 为土壤表面接收的太阳辐射能量；W_1 为地面辐射所损失的热量；W_2 为用于土壤增温的热量；W_3 为土壤水分蒸发所消耗的热量；R 为其他方面所消耗的热量。

热能在土壤中的保存，主要受土壤中三相物质的热学性质的影响。土壤的热性质主要有热容量、导热性、吸热性和散热性。

土壤热容量土壤受热而升温或失热而降温的难易程度，常用热容量表示。土壤热容量是指单位土壤物质增减 1°C时所需要的热量。其中，以 J/（g·°C）为单位的称为质量热容量，又称比热容；以 J/（cm^3·°C）为单位的称为容积热容量，是土壤容重和比热容的乘积。

土壤各组成成分的热容量差别较大。从容积热容量来看，土壤水分的热容量最大，为固相部分的两倍左右，为空气的 3000 倍以上。因此，土壤热容量的大小主要决定于土壤水分状况。此外，砂性土的热容量比粘土要小。

土壤导热性土壤是多孔、不均匀体系。由表土所接受的热能，可经过传递到达整个土体，这种性质称为土壤的导热性，可用导热率（λ）来衡量。导热率是指厚度为 1cm、两端温度相差 1°C时，每秒钟通过 1cm^2 土壤断面的热量，单位是 W/（cm·°C）。土壤热总是由土温高处向土温低处传导。

假设土壤两端的温度为 t_1 和 t_2，土壤的厚度为 d，在 T 时间内通过的热量为 Q，土壤的断面面积为 A，则导热率为：

$$\lambda=\frac{Q/(AT)}{(t_1-t_2)d}$$

式中： Q/(AT）为单位时间通过单位面积（1cm^2）的热量；（t_1-t_2）/ d 为单位厚度土层（1cm）两端的温差。

土壤导热性的大小主要决定于土壤组成及土壤固体物质、水分和空气的三相比。

土壤对热能的储存与传导习惯用温度进行量度。实际上常用导温率表示土壤的导热能力，因其更容易实测。导温率和导热率及热容量的关系式如下：

$$K=\frac{\lambda}{C_v}$$

式中：K 为导温率；λ 为导热率；C_V 为土壤的容积热容量。

像水分一样，热量在土壤中的传递是逐层升温、逐层传递的。每一层土壤温度的上升都必然消耗热量，因此土温形成了层次差异。在相当深的土层中，受地表热传导的影响很小，从而形成恒温层。

土壤的吸热性与散热性　土壤对太阳辐射能吸收的能力称为土壤的吸热

性。一般对太阳辐射能反射力弱的土壤吸热性就强，反之吸热性就弱。土壤吸热性的强弱决定于土壤的颜色、地面状况和植被覆盖等。土壤颜色愈深，吸热性愈强。地面平坦，则反射力强，吸热性小。南坡的土壤吸收太阳热量比北坡多。有植被覆盖的土壤吸收热量比没覆盖的土壤要少。森林地表枯落物层的作用是提高地面最低温度，而森林本身可降低土壤最高温度。

土壤散热性即土壤向大气散失热量的性能。它主要与土壤水分的蒸发和土壤辐射有关。每克水蒸发所吸收的热量约为 2428J，所以土壤水分的蒸发会使土壤大量散热。

2.土壤的势能。土壤势能的载体主要是水分。将单位数量的水，由土壤力场中的已知点，移至另一相应点所作的功即为土水势（ψ）。土水势不是土壤水分势能的绝对值，而是与参比标准的差值，是表示土壤水所具有的自由能水平的一个概念。土壤愈干，土壤水的能量水平就愈低，土壤水的移动就愈困难。土壤水分总是从势能较高的部位流向势能较低的部位，并在这一移动的过程中释放能量。

土水势包括几个分势：由弯月面力和吸附力所引起的基模势（ψ_m），由重力引起的重力势（ψ_g），由溶质引起的渗透势（ψ_s），以及由气压势、静水压势等引起的压力势等（ψ_p）。即：

$$\psi=\psi_m+\psi_g+\psi_s+\psi_P$$

3.土壤的化学能。土壤中的化学能主要储存在土壤的有机质和矿物质中，其中储存在有机质中的化学能是一切生化过程的动力，同时也依赖于微生物和酶活动将能量释放出来。例如：微生物在土壤氮素循环中的作用，就是直接与能量得失有关的反应过程（表 1—6）。

矿物和一些无机元素及离子储存着一定的能量。表 1－7 是土壤中常见的无机物在转化分解或迁移时吸收或释放的能量。释放自由能越低的物质越容易生成。物质在土壤中的分解经常是逐步进行的，甚至吸收和释能同时进行，从而不易察觉能量的变化，但从物质成分的形态转变上，可以反映出能量交换过程的存在。

表 1-6 生物参与的氮素转化与能量的得失

生物	反应类型	典型方程式	能量得失/kJ · mol $^{-1}$
固氮原核生物	N_2 还原	$2N + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$	－ 614.5
亚硝化细菌	NH_3 氧化	$NH_3+3/2O_2 \rightarrow HNO_2+H_2O$	275.9
硝化细菌	NO_2 氧化	$KNO_2+1/2O_2 \rightarrow KNO_3$	73.2
反硝化细菌	NO_3^- 还原	$5C_6H_{12}O_6+24KNO_3 \rightarrow 30CO_2$ $+18H_2O+24KOH + 12N_2$	2382.6
分解性微生物	有机氮氨化	$CH_2NH_2COOH+3/2O_2 \rightarrow$ $\rightarrow 2CO_2+H_2O+NN_3$	735.7

资料来源：G.W.柯克斯等，《农业生态学》，1987 年版。

表 1－7 物质的生成自由能/ΔG·（KJ-1·mol-1）

矿物	ΔG	矿物	ΔG	离子	ΔG
石英	-856.3	高岭石	-3799.6	Cd^{2+}	-77.6
钾长石	-3742.5	蒙脱石	-5643.0	Pb^{2+}	-24.2
白云母	-5600.9	赤铁矿	-742.0	Hg^{2+}	-164.4
方解石	－1129.0	磁铁矿	-1012.6	Cr^{2+}	-168.7
石膏	－1797.0	三水铝石	-1156.0	Zn^{2+}	-147.2
铁橄榄石	-1379.4	磷铁矿	-1184.9	Cu^{2+}	49.9
羟磷灰石	-6286.4	磷铝石	-2111.4	H_2AsO^{4-}	-757.4

资料来源：《矿物及有关化合物热力学数据手册》，科学出版社，1985年版。

土壤胶体表面在吸附离子或其他物质时，也伴有能量的消耗和释放。土壤中的污染物也可被土壤胶体吸附或解吸。吸附结合能越强，意味着污染物被固定和净化；吸附结合能越弱，则污染物会被解离从而产生危害。

三、人类活动对森林土壤的影响

（一）火烧和刀耕火种对森林土壤的影响

无论是自然火或是人为火，火对森林土壤的影响既是直接的，也是间接的。最直接的影响是有机物中能的变化，土壤有机质中的能以热能的方式散发。此外，火烧可显著改变土壤表面的理化性质及生物性质，同时也会改变土壤中的生物种群。

1.物理性质的变化。在火烧期间，矿质土壤表面及上、中、下层的温度，决定于燃料的数量、燃烧的状态以及土壤表面有机质层的类型。由于火烧消除了隔离土壤的植被和土壤表面的有机质，最终火烧之后土壤的最低和最高温度比以往增大。土壤接受的日照也会增加，颜色变深的土壤表层吸收的热量也会增加。温度的增加可能导致一系列的变化，如可使刚刚发芽的幼苗致死，导致永冻层下降而造成地面陷落，在有些平原地区还可造成土壤沼泽化。

火烧之后，土壤水分的节律往往发生强烈的变化，原因之一是因为植被的蒸腾作用大大减少。此外，由于在燃烧之后相当一部分有机质转移到土壤中，在表层的几厘米内，可形成不透水层。

在某些土壤中，强烈的燃烧还可以影响土壤的结构，破坏土壤的团聚作用，引起土壤容重的增加。

2.化学性质的变化。通常，火烧会导致表层土壤pH值增加。这主要是因为火烧残留的灰分中存在相当多的盐基离子。从营养元素讲，可从结合的有机态转变为无机的灰分状态，从而提高了矿质元素利用的有效率。但对氮素而言，可能出现绝对含量的减少。因此，火烧一段时间后，一些植物会出现生长不良。

3.生物种群的变化。一些中小型动物通常栖居在土壤有机质层内，特别容易遭受火灾而被毁灭。不同的火烧强度可以导致不同土壤的动物组分。在定期火烧和没有火烧的土壤中，螨和弹尾类的数量，没有明显的差别。

火烧之后，土壤微生物种群的活动迅速降低，火烧林地土壤的微生物种群一般较邻近的未火烧地区要低，而两类地区的放线菌和细菌基本没有区别。（二）乱砍滥伐对森林土壤的影响

对森林毫无计划的采伐造成的直接危害是土壤退化。所谓土壤退化是指

土壤资源质量特别是生产质量的降低。目前世界上森林土壤退化较严重的现象有土壤侵蚀、地力衰退、土壤荒漠化、土壤盐渍化、泥石流等，这些现象基本上都与森林的消退有关。

四、森林土壤的环境质量

（一）土壤背景值

土壤背景值是指土壤在无污染或未污染时的元素含量，特别是有害元素的含量。它代表的是一定区域条件下的元素含量。要取得这一数值，需要在预定的范围内采取代表性土样进行分析，并按元素分析结果的频数分布规律进行统计，确定背景值。

土壤背景值可以作为衡量某地土壤是否污染的参比标准。按一般的统计原则，可将高于背景值范围的土壤判定为污染。因为背景值本身是一个代表性的范围值。若以 X 表示其平均值， S 为标准差，则 X+3S 为背景值的上限。超越此限是统计上的越限，已经不能视为正常浓度，因此 X+3S 为污染的下限是合理的。

在森林生态系统中，岩石（母质）、土壤和森林植物之间的背景值紧密相关。三者之间相关性良好的地方，其处于生态平衡状态；而相关性不好的地方其生态平衡往往失调。此外，根据背景值水平，可以发现污染物，追踪污染源，并可认识一定区域的地方病。

（二）土壤的环境容量

土壤的环境容量是针对土壤中的有害物质而言的。土壤的有害物质含量从背景值起到达污染水平值之间的浓度范围，称为土壤的环境容量。森林生物开始表现受害症状时的土壤有害物质浓度，称为临界浓度或称土壤达到了污染水平。有些生物对毒质适应能力较强，即使吸收积累了大量毒质仍能正常生长，例如许多植物对土壤的汞、镉、铅、锌的吸收就是如此。此时土壤的污染水平就应当以生物体有害物超过卫生标准时的土壤浓度作为土壤污染的标准，以保证人畜安全。

土壤临界浓度和土壤环境容量之间并不完全等同。前者重在相对浓度，其数值是植物的可吸收量，理论上应接近于常数；后者重在绝对量，其数值因土壤的不同而有很大差异。土壤的背景值和污染水平的浓度取决于两方面的条件：一是植物的适应能力与吸收量，二是土壤对该物质的缓冲量和有效量。因此，土壤环境容量因土而异，因植物而异。

（三）森林土壤的污染和净化

森林土壤的污染是指进入土壤的污染物超过土壤的自净能力，而且对土壤和生物造成损害时的状况。用来判定土壤是否污染的指标有二：一是土壤的自净能力，二是生物直接及间接吸收而受害的临界浓度。

土壤的自净能力包括土壤对污染物的固定与分解能力。前者主要是化学的与物理的作用，后者主要是生化反应。这些作用随着环境的节律性变化而持续地进行，每一瞬间都有其相对的平衡状态，而整体却是一个永动过程。土壤学上常借鉴物理、化学与生物科学的方法，以瞬态测定为基础，以动态规律建立估测模型，作为判断土壤自净能力的方法。

使植物受害的浓度，一般是以植株减产 10%时的污染物浓度为标尺，或以可食部分的污染物浓度超过食品卫生标准时土壤的污染物浓度为标尺。

森林土壤的污染主要来源于林业自身的生产过程。化肥和农药是最直接的污染源。其次是作为生活废物的土地处理。工业上的废水、废气和废渣也

可通过直接或间接的途径（如酸雨和酸雾等）进入土壤。

所有的污染源都不是单纯的成分。土壤的主要污染物质可分为无机污染物和有机污染物两大类。无机污染物包括重金属（汞、镉、铜、锌、铬、铅、镍、砷）、放射元素（^{137}Cs、^{90}Sr）及氟和一些酸类等，它们在土壤中主要吸附在表层土壤的胶体上，很难降解。有机污染物主要包括农药、洗涤剂、石油、酚、氰化物等，但容易被土壤微生物分解。

第四节　森林的水环境

一、水与森林的关系

（一）水对森林的影响

水在自然界中，有气体、液体和固体三种形态。其中，液态降水是最为常见的形式。降水量的多少及其分布情况，影响着森林植物的生长和分布。

1.水对森林植物的影响。森林植物的每一阶段生活史几乎都需要水。首先，水是构成植物体的无机成分之一。从生活细胞中的原生质到林木的种子，都含有不同数量的水分。其次，林木的一切生命活动，都必须在有水的条件下进行。林木的光合作用、有机物的水解作用、根系养分的吸收以及养分在林木体内的运转和利用，都离不开水分。另外，林木组织器官形状的保持以及功能的发挥、植物体温度的稳定，也都需要有水参加。

与森林植物最直接的是土壤水分。在自然界中，水分在时空上的变化是极为明显且剧烈的。根据植物对水分的适应性，可把植物分为水生植物、中生植物和旱生植物。水生植物可以生长在水分较多的土壤中以及空气湿度较大的环境中；旱生植物可以长期忍受干旱条件下的水分不足，在土壤水分张力为 4000kPa 的条件下仍能生长；中生植物是介于水生植物和旱生植物之间的过渡类型，大部分森林植物都属于这一生态类型。但是，任何森林植物对水分条件的适应性都有一定的限度。当土壤水分不足时，植物体的高生长、直径生长、繁殖及幼苗的成活，都会受到严重的影响，严重时会出现萎蔫甚至死亡。当土壤水分过多时，由于土壤空气中 O_2 含量下降，会导致植物根系生长衰退，植物难以生存。另外，水的质量也影响到森林植物的生存和发展。自美国 1936 年第一次记录到酸雨以来，酸沉降现象已在世界许多地方发生，造成了严重的生态危机。目前，酸沉降的影响尤以对森林的危害最引人注目。酸雨会降低森林生长量、果实和种子质量，会使森林衰亡。酸沉降的间接影响表现在对土壤的酸化上。土壤酸化后，直接影响根系对土壤营养元素的吸收。

2.水对森林分布的影响。森林依赖于水分而存在和发展，森林的分布同降水的联系非常密切。关于植被与气候关系，常用的指标是 P/E（称吸湿度，即年平均降水量与潜在蒸发量之比）和 K（称干燥度，即大于 10℃ 活动积温与同期降水量 r 之比）。在美国境内，P/E 值大于 100 的区域，生长着各种森林；P/E 值在 60 左右的区域，分布高草或矮草草原；P/E 值小于 20 的区域，出现荒漠。根据 K 值（K=0.16Σ≥10℃/r，即 10℃以上的活动积温与同期降水量之比，乘以系数 0.16）的大小，我国由东南向西北分为湿润、半干旱和干旱气候区域，相应出现的三个植被类型为森林、草原和荒漠（表 1—8）。

表 1—8 我国的干燥度（K），湿润、干旱区域的划分与植被类型的关系（盛承禹等）

干燥度	水分状况	自然植被
≤ 0.99	湿润	森林
1 ～ 1.49	半湿润	森林草原
1.50 ～ 3.99	半干旱	草甸、草原、荒漠草原
≥ 4.0	干旱	荒漠

（二）森林对水的影响

1.森林具有涵养水源的作用。哪里有森林，哪里就有水。据日本科学家研究，3.333hm^{2}森林的蓄水能力，相当于蓄水（100×10^4）m^{3}的水库。因此，森林有“绿色水库”之称。森林和水的关系十分密切，许多河流都发源于高山密林之中。例如：松花江、牡丹江发源于长白山林区；闽江发源于武夷山林区；山西省的汾河发源于管涔林区；文峪河发源于关帝山林区。

森林之所以能涵养水源，是因为林冠可以截留相当数量的降水（15%～40%），而且还可以阻止雨滴直接冲击土壤；林下的枯枝落叶层能阻止地表径流，使大量水分（40%～80%）渗入地下，把地表径流减小到最小程度；森林土壤中丰富的腐殖质，具有相当高的持水能力。另外，森林土壤疏松，孔隙多，可促进降雨向土层渗透，提高森林土壤吸收降雨的能力。根据调查，25 年生的天然林,每小时可以吸收降雨量 150mm ;草地每小时吸收降雨量 10mm 左右；裸露地每小时吸收降雨还不到 5mm。林地的降水，25%被林冠截留或蒸发，35%变为地下水徐徐补充为河道水。在荒废的裸露地，约有 5%的降雨变为地表水很快流走，40%暂时保留或蒸发，贮存到土壤中用于补充水源的水仅占 5%。林地涵养水源的能力为裸露地的 7 倍。

2.森林可以少量增加降水量。森林的增雨作用，与降水和森林的状况有很大关系。据前苏联研究，有了森林，一般年降水量可以增加 1%～25%。据测定，在我国长白山林区、甘肃兴隆山、山西太岳山，森林可使降雨量增加 2%～5%。在日本北海道冷杉、山毛榉等针阔混交的天然林中，4 月份和 7 月份林内雨量分别增加 11%和 10%。在我国 1990 年春夏之交，内蒙古巴林右旗出现大旱。为缓解旱情，曾采用人工降雨的措施。然而，人工云不在本旗境内降雨，却漂浮到了森林植被比较好的邻旗。这一现象的出现，即与巴林右旗缺乏森林植被有关。

降水可分为垂直降水和水平降水。绝大部分的观测资料都证明，森林具有增加水平降水的能力。对于森林能否增加垂直降水，还存在着争论。随着科学技术的发展，森林对降水的作用将会得到进一步的阐明。

3.森林影响水质。从森林流域中流出的水，含有各种化学成分。这是因为，降水经过森林流域时，可以将土壤和岩石风化物及生物遗体中的各种物质溶解，这样就增加了水的化学成分。另一方面，降水通过森林流域时，由于枯枝落叶和土壤腐殖质的作用，又可除去某些溶解成分，起到净化水的作用。人们常把山涧中的溪水作为饮用水，就是因为森林对水有着良好的净化作用。不同的乔木和灌木树种对流经森林地带的水质所起的作用不同。如果把来自无林地的水中的含沙量作为 100%，那么流经松林带以后的水，含沙量能减少到 20%，而流经榆树林的含沙量能够降低到 15%。另外，降水还可以淋洗植物叶片中的物质。在英国发现，从林冠下收集到的雨水要比附近空旷地收集的雨水含有较多的钾、钠、钙、镁。

森林对水的影响还表现为，森林能减少洪峰流量，使河流水量变化缓和

而较为稳定，减少洪涝灾害的发生。但是，森林对洪水的消弱作用是有限的，不能过分夸大。

二、水资源与分布

水是地球上分布最为广泛的物质之一，总储水量为（138598.5×1012)m^3。如果将这些水均匀地分布在地球表面，可形成一个近 3000m 深的水层。在水圈中，海水、盐湖水和高矿化地下水等咸水合计约占 97.47%，淡水仅占总储水量的 2.53%，约为（3502.9×10^{12}）m^3（表 1－9）。在淡水中，比较容易开发利用的对人类生活和生产关系极为密切的淡水储量约为（400×10^{12}）m^3，这一部分淡水资源包括地表水、土壤水和地下水，它们的来源是大气降水。

表 1－9 地球上的水储量

水体	体积/×$10^{12}m^3$	占总储量/%	占淡水储量/%
海洋	133800.0	96.5	—
地下水	2340.0	1.7	—
其中：淡水	（1053.0）	（0.76）	30.1
土壤水	1.65	0.001	0.05
河川和永久积雪	2406.41	1.74	68.7
永久冻土层的地下水	30.0	0.022	0.86
湖泊	17.64	0.013	—
其中：（1）淡水湖	（9.1）	（0.007）	0.26
（2）咸水湖	（8.54）	（0.006）	—
沼泽	1.147	0.0008	0.03
河流	0.212	0.0002	0.006
大气水	1.29	0.001	0.04
生物水	0.112	0.0001	0.003
总储水量	138598.461	100	—

资料来源：《联合国水会议文件》，1977 年版。

河川径流是人类用水的基本来源，是地球上水分循环较为活跃的部分。在水文上，常用河川径流量来反映水资源的丰缺程度。据 1992—1993 年世界资源报告，世界河川径流总量为（40673×10^{12}）m^3。其中，非洲为（4184×10^{12}）m^3，北美洲和中美洲为（6945×10^{12}）m^3，南美洲为（10377×10^{12}）m^3，亚洲为（10485×10^{12}）m^3，欧洲为（2321×10^{12}）m^3，大洋洲为（2011×10^{12}）m^3，前苏联为（4350×10^{12}）m^3。我国径流总量为（2600×10^8）m^3，占全世界径流的 6.4%，居世界第六位，低于巴西、前苏联、加拿大、美国和印尼。若按人均径流量计算，则为 2300m^3，只有世界人均水平的 1/4，居世界第 110 位。我国的水资源不仅总量有限，而且在时间和空间上分布很不均匀。在空间方面，平均年降水量由东南沿海的 1600mm 以上，递减到西北地区的不足 200mm。新疆吐鲁番托克逊站，21 年平均降水量为 7.1mm，1968 年全年降水仅为 0.5mm。在时间方面，降水量主要集中在夏季，汛期 4 个月集中全年雨

量的 60%～80%，汛期中最大一个月的雨量又占全年雨量的 25%～50%。另外，我国水资源很大一部分表现为洪水。从时间分布的不均衡来看，汛期连续 4 个月的径流量，南方地区约占全年径流量的 60%，华北平原和辽宁沿海可达 80%以上。

在我国目前的经济、技术和自然条件下，可利用的水源总量为（1～1.1）$\times 10^{12} m^3$。我国现在的年供水量约为（0.52×10^{12}）m^3，据专家预测，到 2030 年我国年用水量将达到（0.8×10^{12}）m^3左右。黄河出现断流，标志着我国水资源形势非常严峻。

三、水在森林环境中的循环及水量平衡

（一）水在森林环境中的循环

自然界中的水分循环包括两大类，即水分的大循环和水分的小循环。水分的大循环是指水从海洋以水汽形式被运送到大陆上空，凝结成降水，再沿地面或地下水流入海洋的过程。水分的小循环是指水从陆地上（或水面上）蒸发成水汽，进入到大气中，又凝结成降水回到地面（或水面上）的过程。森林是陆地生物圈的一个重要组成成分，森林环境中的水分直接参与水分的小循环，对水分的小循环产生着种种影响。另外，它又受水分大循环的制约。

森林环境中的水分循环，是在土壤—森林—大气系统中进行的。大气中的水汽经冷凝后，以降水形式进入森林环境中。这些降水首先有一部分被林冠截流，随后蒸发返回大气中，这部分降水称为林冠截留量；另一部分则直接或间接地降落到林地。到达林地的水分，有一部分经过枯枝落叶层渗入到土壤中，另一部分则以地表径流形式汇入到溪流中。渗入到土壤中的水，除被植物吸收利用外，又被保存、蒸发和渗入地下水。渗入到地下水的部分将最终与地表径流汇入水体。植物吸收的水分大部分则经蒸腾作用而进入大气。在森林水文学中，将林地的蒸发、林冠截留水分蒸发和森林植物的蒸腾三部分，称为森林蒸发散，它是森林植物水分散失量的重要指标。水分在森林环境中循环，受到了森林很大的影响。森林对水分循环的影响，主要是通过对降水的再分配来实现的。

（二）水量平衡

研究森林水量平衡，是在基底不透水的森林小集水区中进行的。森林小集水区的水量平衡，常用平衡公式表示：

$$P=I_s+E_t+Q_s+Q_{ss}+\Delta W$$

式中：P 为降水量；I_s为林冠截留量；E_t为蒸发散量；Q_s为地表径流量；Q_{ss}为壤中径流量，ΔW为土壤含水增量。

四、天然水的化学组成

天然水的化学组成是极为复杂的，它包括许多来源不同的溶质。其中包括大气圈的气体和气溶胶、岩石和土壤的风化和侵蚀的产物、地表面以下发生的各种反应的产物以及由于人类活动而进入到水体中的物质。

阿列金（O.A.Алекин）把天然水中的溶质成分分为五类：

（一）溶解性气体

溶解性气体主要以分子态存在。气体的种类包括 O_2、CO_2、H_2S 和 CH_4。其中，O_2 和 CO_2 的意义较大，因为它们影响着水生生物的生长发育，也影响着水中物质的溶解、化合等化学和生物化学行为。O_2主要来源于空气，另外水生植物的光合作用也释放 O_2。天然水中 O_2 含量一般变动于 0～14mg/L 之

间。CO_2主要来源于有机物质的分解、水生动植物的新陈代谢作用以及大气中CO_2的溶解。在河水和湖水中，CO_2含量一般在 20～30mg/L 以下。在深层地下水中 CO_2 含量较高，可达 15～40mg/L。而某些矿泉水每升水中 CO_2 含量可达数百毫克。

（二）主要离子

主要离子包括 Ca^{2+}、Mg^{2+}、K^+、Na^+、HCO^-_3、CO^{2-}_3、SO^{2-}_4、Cl^-。这八种离子的总量可占水中溶解固体总量的95%～99%以上。在地表淡水中，以Ca^{2+}和 HCO^-_3为主；在海水中，以 Na^+和 Cl^-为主；地下水中的优势离子因受地质条件的影响而变化较大。在天然水中，H^+在水中含量虽然很少，但它的意义很大。其数值大小可以说明水中所进行的化学过程和生物过程的情况。对多数天然水来说，pH 值一般在 6.8～7.5 之间。水中的 H^+主要是由碳酸盐离解而成，其次来源于 HCl、HNO_3、H_2SO_4 以及某些盐类的溶解。

（三）微量元素

主要包括重金属（锌、铜、镍、钴、铬等），稀有金属（锂、铅、铯、铍等），卤素（碘、溴、氟等），以及放射性元素（镭和氡等）。尽管这些元素在水中的浓度很低，但所起的作用很大。天然水被人类活动污染，主要是这些物质在起作用。

（四）生源物质

生源物质是指氮和磷的化合物。在天然水中氮既可呈有机化合物形态，又可呈无机化合物形态。有机态的氮化合物主要是指生物体的蛋白质及其分解产物。无机态氮包括 NH^+_4（铵离子）、NO^-_2（亚硝酸根离子）和 NO^-_3（硝酸根离子）。这些离子在微生物的作用下，可相互转化。磷的化合物包括可溶性的有机磷和无机磷。其中 HPO^{2-}_4是磷存在的主要形式，其次是 H_2PO_4，再次是 PO^{3-}_4。生源物质对水生生物的发展有着极重要的意义，如果含量较高，则会促进生物急剧繁殖，以致出现水污染问题。

（五）有机物

天然水中的有机物根据其性质分为两类：一是构成各种水生生物的物质，如鱼，浮游动物，浮游植物，底栖动物，巨形植物以及各种藻类、菌类等微生物；二是生物生长发育过程中以及生物遗体分解过程中所产生的有机物质。各种不同形式的有机物主要由碳、氢、氧组成，另外还有少量的氮、磷、钾、钙、镁等。它们的共同特点是进行氧化分解或厌氧发酵。另外，水中有机物常使细菌繁生。

综上所述，天然水是含有多种物质成分的极其复杂的综合体。同时水中的诸多物质都直接影响到水质的优劣。因此，天然水的化学组成与水质评价和水处理技术都有密切的联系。

五、水污染与水环境标准

（一）水污染

1.水体污染。水污染是指污水排入海洋、湖泊、沼泽、河流和水库等水域，而使水失去利用价值的现象。水一旦被污染，水域生态系统中的生物、底泥、悬浮物等无一幸免。因此，使用水体污染这一概念更能说明实际污染问题。从环境科学的角度看，水体污染就是水域生态系统的污染，是指排入

水体中的污染物在数量上超过了该物质在水体中的本底含量和水体的环境容量，从而导致水体的特征和功能发生不良的变化。

严重的水体污染，很难恢复到良好的状态。因此，水体污染妨碍了水体功能的发挥，影响了人类合理的利用，造成的社会危害和经济危害是巨大的。从 20 世纪 20 年代到 60 年代，美国、日本和英国等发达国家都经历过严重的水体污染。著名的伦敦泰晤士河曾鱼虾绝迹。日本因“水俣事件”和“富山事件”死亡 84 人，数百人因中毒而致残。据世界卫生组织的一项报告，全世界每天有 25 000 人罹患水污染引起的疾病而死亡。目前，我国的水环境污染相当严重，据环保部门对全国主要河段的监测评价，受污染的河段占 86%左右，水质符合国家饮用标准的仅占 14.1%，水体污染所造成的经济损失每年高达 600 亿元。1995 年，黄河断流引起的河水污染，在山东境内就有 4751 人患肠道疾病。随着化学农业的兴起，化肥、农药污染将扩大到田野、森林和草原，最终将影响整个生物界。据报道，即使在南极这一全球净土上，也能从企鹅身上检出滴滴涕（DDT）的成分。

2.水体污染物。水体污染物是指造成水体的水质、生物质、底质质量恶化的各种物质或能量。从保护环境的角度出发，任何物质如果以不恰当的方式、数量、途径和速度进入水体，均可造成水体污染。水体污染物可来自工业污染源、生活污染源和农业污染源。工业污染源是最重要的一类污染源，绝大多数污染都是由此引起的。生活污染源主要是指城镇居民生活用水排放。生活污水中含有大量的有机污染物、油类和悬浮物。农业污染源又称面源。随着农业现代化的发展，化肥、农药将成为农业增产增收的主要条件。由于化肥、农药仅有一小部分被植物吸收或被微生物降解，绝大部分则随水或雨水流进江湖、水库或地下，进入自然界，成为污染水体环境的罪魁祸首之一。

污染物的种类很多，根据污染物的性质，可将水体污染物分为四类。

第一类是生物性污染物。医院污水中含有的致病菌、病毒，生活污水中的寄生虫卵，制革废水中的炭疽菌等，都属于生物性污染物。最早对人类构成危害的就是这一类。

第二类是化学性污染物。是当代最突出的一大类，其特点是种类多、数量大、毒性强。根据化学性污染物的性质，又可分为四类，即无机无毒物、无机有毒物、有机无毒物和有机有毒物。无机无毒物大致可分为三种类型：一是颗粒状的污染物，如泥沙、矿渣等。它们一般和有机性颗粒状的污染物质混在一起，统称为悬浮物。二是酸、碱、无机盐类物质。酸主要来自矿山排水及许多工业废水，碱主要来源于碱法造纸、纺织、制革及炼油等工业废水，酸和碱的污染伴随着无机盐的污染。三是氮、磷等植物营养物质。无机有毒物是最为人们所关注的。根据毒性发作的情况，可分为两大类，一是毒性作用快，如氰化物、砷；另一类则通过食物在人体内逐渐富集，达到一定浓度后才显示出症状。有机无毒物又称需氧有机物，主要包括碳水化合物、蛋白质、脂肪等天然生成的有机物。其危害主要在于对渔业水产资源的破坏。有机有毒物，主要是指人工合成的有机物质，如农药、醛、酮、酚以及聚氯联苯、芳香族氨基化合物、高分子合成聚合物、染料等。

第三类是物理性污染物。主要是指热量和放射性污染物。水体热污染主要来源于工矿企业向江、河排放的冷却水。核武器试验是全球放射性污染的主要来源，放射性污染物最危险的是 ^{90}Sr、^{137}Cs 等。

第四类是综合性污染物。主要是指一些致浊物，如尘、泥、土、沙、灰、渣、屑和各种漂浮物，这些物质的危害性是多方面的。

（二）水环境标准

森林流域中的水能够养鱼、灌溉、旅游和满足人们的用水需求。因此，森林水利用范围十分广泛。目前，对森林水环境还没有统一的标准，在具体利用时，可参照相应的水环境标准：地面水环境质量标准（表 1-10）；生活饮用水卫生标准（表 1-11）；渔业水质标准（表 1-12）；农田灌溉水质标准（表 1-13）。

六、森林开发对水环境的影响

森林的水环境，虽然受森林区域内地质地貌、土壤、流水过程以及自然生态环境因素的影响，但这些因素对水环境的影响是较弱的，而人类活动（即开发森林）对水环境的影响有时是较明显的。

（一）森林采伐及森林更新对水环境的影响

森林采伐对水环境的影响取决于很多因素，其中最主要的有采伐强度、地形、采伐区对应河流的位置、土壤的裸露度和致密度等。采伐后 5～10 年内产水量和暴雨径流量增加。森林采伐对洪峰流量的影响，在很大程度上取决于采伐方式、降水数量和时间。皆伐能增加采伐地区的洪峰流量。40 多年来，我国曾形成过几次毁林高潮，致使长江流域的森林资源锐减。据调查，长江上游森林覆盖率由建国初期的 30%～40%，下降到现在的 10%左右。这一状况与 1998 年发生的长江全流域性的特大洪水有直接关系。而嫩江、松花江流域发生的特大洪水，也与采伐森林有直接关系。另外，森林植被的减少也会导致旱灾。淮河流域因森林植被破坏后，洪水发生率提高了 2 倍多，而干旱发生率提高了 7 倍多。20 世纪 60 年代至 70 年代是黄河区域毁林开荒的高峰。70 年代黄河出现断流，也与毁林开荒有关。采伐森林也可引起水域化学成分的变化。采伐森林尤其是皆伐还可提高水环境的温度。据美国格林（Green，1950）报道，皆伐区域内溪流 5 月间的周最高温度比附近森林溪流的最高温度高 7.22℃。在美国俄勒冈州海岸地带的阿西（Alsea）流域记录的皆伐引起的溪流水温最大可提高 10℃。水温升高并不全是有害的，水温的轻微增高可以刺激水域生态系统内食物链的增产。在原有林分被采伐后，由于森林类型的更新，对产水量和水分可能出现重大变化，这一变化一直延续到新的林分建立起来为止。

（二）施用化学物质对水环境的影响

在营林过程中施用的化学物质（如肥料、除草剂以及防火剂等）都有可能使水质变坏。化学物质所引起的水环境变坏的程度受多种因素的影响，如化学物质的种类、对水的危害特征、进入水环境的数量和接触的面积等。另外，施用化学物质还会影响产水量。使用除草剂之后，由于抑制了植被的生长，减少了蒸发量，从而使河川径流量增加（据测定，可增加年径流量的 20%～25%）。由于施肥和使用杀虫剂可增加森林的总叶面积，从而增加蒸发量和截留量。幼龄林比成熟林反应更明显，年径流量可能减少百分之几。

（三）森林旅游对水环境的影响

“回归大自然，走向大森林”。森林旅游作为一种独具特色的旅游业越来越受到世界各国的重视。其原因是因为森林可以为人们提供一个风景优美、空气新鲜、饮水清洁而宁静的美好环境。然而，森林旅游一般都能增加水源微生物污染量。人们抛弃的垃圾，即使是少量地传入水体，也可能把水

体含菌量提高到危险的程度，使饮用这种水的人患病。在美国，大量科技文献都有旅游活动能增加细菌量的报道。

另外，森林放牧也会影响水环境。过度放牧可增加河川径流和暴雨径流。牲畜粪便可严重影响水的质量。在林区开设道路，可提高水环境中泥沙含量。据美国俄勒冈州的一次研究，在一较陡的 1.01km^2 的流域，修建 1.65km 道路后，第一次暴雨期间的输沙量为附近未受干扰流域的 250 倍。火烧也会引起产水量、地面径流和暴雨径流的增加。火烧之后，对水质的影响是相当大的，以致严重威胁水生生物的构成。

表 1-10 地面水环境质量标准[GB 3838—88]（节录）

（国家环境保护局 1988 年 4 月 5 日批准，1988 年 6 月 1 日实施）

本标准适用于中华人民共和国领域内江、河、湖泊、水库等具有使用功能的地面水水域。

（1）水域功能分类

依据地面水水域使用目的和保护目标将其划分为五类。

Ⅰ类 主要适用于源头水，国家自然保护区。

Ⅱ类 主要适用于集中式生活饮用水水源地一级保护区、珍贵鱼类保护区、鱼虾产卵场等。

Ⅲ类 主要适用于集中式生活饮用水水源地二级保护区，一般鱼类保护及游泳区。

Ⅳ类 主要适用于一般工业用水区及人体非直接接触的娱乐用水区。

Ⅴ类 主要适用于农业用水区及一般景观要求水域。

同一水域兼有多类功能的，依最高功能划分类别。有季节性功能的，可分季划分类别。

地面水环境质量标准

序号	参数标准值分类	Ⅰ类	Ⅱ类	Ⅲ类	Ⅳ类	Ⅴ类
	基本要求	所有水体不应有非自然原因导致的下述物质： a.凡能沉淀而形成令人厌恶的沉积物； b.漂浮物，诸如碎片、浮渣、油类或其他的一些引起感官不快的物质； c.产生令人厌恶的色、臭、味或浑浊度的； d.对人类、动物或植物有损害、毒性或不良生理反应的； e.易滋生令人厌恶的水生生物的。				
1	水温（℃）	人为造成的环境水温变化应限制在： 夏季周平均最大温升≤1 冬季周平均最大温降≤2				
2	pH	6.5～8.5				6～9
3	硫酸盐①（以 SO^{2-}_4 计）≤	250 以下	250	250	250	250
4	氯化物①（以 Cl^- 计）≤	250 以下	250	250	250	250
5	溶解性铁①≤	0.3 以下	0.3	0.5	0.5	1.0
6	总锰①≤	0.1 以下	0.1	0.1	0.5	1.0
7	总铜①≤	0.01 以下	1.0（渔 0.01）	1.0（渔 0.01）	1.0	1.0
8	总锌①≤	0.05	1.0（渔 0.1）	1.0（渔 0.1）	2.0	2.0
9	硝酸盐（以 N 计）≤	10 以下	10	20	20	25
10	亚硝酸盐（以 N 计）≤	0.06	0.1	0.15	1.0	1.0
11	非离子氨≤	0.02	0.02	0.02	0.2	0.2
12	凯氏氮≤	0.5	0.5	1	2	2
13	总磷（以 P 计）≤	0.02	0.1（湖库 0.025）	0.1（湖库 0.05）	0.2	0.2
14	高锰酸盐指数≤	2	4	6	8	10
15	溶解氧≥	饱和率 90%	6	5	3	2
16	化学需氧量（COD_{Cr}）≤	15 以下	15 以下	15	20	25
17	生化需氧量（BOD_5）≤	3 以下	3	4	6	10
18	氟化物（以 F^- 计）≤	1.0 以下	1.0	1.0	1.5	1.5
19	硒（四价）≤	0.01 以下	0.01	0.01	0.02	0.02
20	总砷≤	0.05	0.05	0.05	0.1	0.1
21	总汞②≤	0.00005	0.00005	0.0001	0.001	0.001
22	总镉③≤	0.001	0.005	0.005	0.005	0.01
23	铬（六价）≤	0.01	0.05	0.05	0.05	0.1
24	总铅②≤	0.01	0.05	0.05	0.05	0.1
25	总氰化物≤	0.005	0.05（渔	0.2（渔	0.2	0.2

①允许根据地方水域背景值特征做适当调整的项目。

②规定分析检测方法的最低检出限，达不到基准要求。

③试行标准。

（2）水质要求

本标准规定不同功能水域执行不同标准值，地面水五类水域的水质要求按上表执行。不得用瞬时一次监测值使用本标准。

标准值单项超标，即表明使用功能不能保证。危害程度应参考背景值及水生生物调查数据，硬度修正方程及有关基准资料综合评价。

表 1-11 生活饮用水卫生标准[GB 5749—85]（节录）

（中华人民共和国卫生部 1985 年 8 月 16 日发布，1986 年 10 月 1 日实施）生活饮用水水质，不应超过下表中所规定的限量。

生活饮用水水质标准

编号	项目	标准
感官性状和一般化学指标：		
1	色	色度不超过 15 度，并不得呈现其他异色
2	浑浊度	不超过 3 度，特殊情况不超过 5 度
3	臭和味	不得有异臭、异味
4	肉眼可见物	不得含有
5	pH	6.5～8.5
6	总硬度（以碳酸钙计）	450mg／L
7	铁	0.3mg／L
8	锰	0.1mg／L
9	铜	1.0mg／L
11	挥发酚类（以苯酚计）	0.002mg／L
12	阴离子合成洗涤剂	0.3mg／L
13	硫酸盐	250mg／L
14	氯化物	250mg／L
15	溶解性总固体	1000mg／L
毒性学指标：		
16	氟化物	1.0mg／L
17	氰化物	0.05mg／L
18	砷	0.05mg／L
19	硒	0.01mg／L
20	汞	0.001mg／L
21	镉	0.01mg／L
22	铬（六价）	0.05mg／L
23	铅	0.05mg／L
24	银	0.05mg／L
25	硝酸盐（以氮计）	20mg／L
26	氯仿	60μg／L
27	四氯化碳	3μg／L
28	苯并（α）芘	0.01μg／L
29	滴滴涕	1μg／L
30	六六六	5μg／L
细菌学指标：		
31	细菌总数	100 个／ml
32	总大肠菌群	3 个／L
33	游离余氯	在与水接触 30min 后应不低于 0.3mg／L。集中式给水除出厂水应符合上述要求外，管网末梢水不应低于 0.05mg／L
34	总α放射性	0.1Bq／L

表 1-12 渔业水质标准[GB 11607—89]（节录）

（国家环境保护局 1989 年 8 月 12 日发布，1990 年 3 月 1 日实施）
渔业水域的水质，应符合渔业水质标准。

渔业水质标准/mg·L^{-1}

项目序号	项目	标准值
1	色、臭、味	不得使鱼、虾、贝、藻类带有异色、异臭、异味
2	漂浮物质	水面不得出现明显油膜或浮沫
3	悬浮物质	人为增加的量不得超过 10 ，而且悬浮物质沉积于底部后，不得对鱼、虾、贝类产生有害的影响
4	pH 值	淡水 6.5～8.5 ，海水 7.0～8.5
5	溶解氧	连续 24h 中， 16h 以上必须大于 5 ,其余任何时候不得低于 3 ，对于鲑科鱼类栖息水域冰封期其余任何时候不得低于 4
6	生化需氧量（五天、20℃）	不超过 5 ，冰封期不超过 3
7	总大肠菌群	不超过 5000 个／L（贝类养殖水质不超过 500 个／L）
8	汞	≤0.0005
9	镉	≤0.005
10	铅	≤0.05
11	铬	≤0.1
12	铜	≤0.01
13	锌	≤0.1
14	镍	≤0.05
15	砷	≤0.05
16	氰化物	≤0.005
17	硫化物	≤0.2
18	氟化物（以 F^- 计）	≤1
19	非离子氨	≤0.02
21	挥发性酚	≤0.005
22	黄磷	≤0.001
23	石油类	≤0.05
24	丙烯腈	≤0.5
25	丙烯醛	≤0.02
26	六六六（丙体）	≤0.002
27	滴滴涕	≤0.001
28	马拉硫磷	≤0.005
29	五氯酚钠	≤0.01
30	乐果	≤0.1
31	甲胺磷	≤1
32	甲基对硫磷	≤0.0005
33	呋喃丹	≤0.01

表 1-13 农田灌溉水质标准[GB 5084—92]（节录）

（国家环境保护局、国家技术监督局发布，1992 年 10 月 1 日实施）

农田灌溉水质标准（mg/L）

序号	项目标准值作物分类	水作	旱作	蔬菜
1	生化需氧量（BOD_5）≤	80	150	80
2	化学需氧量（COD_{Cr}）≤	200	300	150
3	悬浮物≤	150	200	100
4	阴离子表面活性剂（LAS）≤	5.0	8.0	5.0
5	凯氏氮≤	12	30	30
6	总磷（以 P 计）≤	5.0	8.0	5.0
7	水温（℃）≤	35		
8	pH 值≤	5.5～8.5		
9	全盐量≤	1000（非碱土地区）2000（盐碱土地区）有条件的地区可以适当放宽		
10	氯化物≤	250		
11	硫化物≤	1.0		
12	总汞≤	0.001		
13	总镉≤	0.005		
14	总砷≤	0.05	0.1	0.05
15	铬（六价）≤	0.1		
16	总铅≤	0.1		
17	总铜≤	1.0		
18	总锌≤	2.0		
19	总硒≤	0.02		
20	氟化物≤	2.0（高氟区）3.0（一般地区）		
21	氰化物≤	0.5		
22	石油类≤	5.0	10	1.0
23	挥发酚≤	1.0		
24	苯≤	2.5		
25	三氯乙醛≤	1.0	0.5	0.5
26	丙烯醛≤	0.5		
27	硼≤	1.0（对硼敏感作物，如：马铃薯、笋瓜、韭菜、洋葱、柑橘等） 2.0（对硼耐受性较强的作物，如：小麦、青椒、小白菜、葱等） 3.0（对硼耐受性强的作物，如：水稻、萝卜、油菜、甘兰等）		
28	粪大肠菌群数（个/L）≤	10000		
29	蛔虫卵数（个/L）≤	2		

第五节　森林的生物环境

森林是物种多样性表现最丰富的生态系统。据估计，地球上有 500 万～3 000 万种生物，其中一半以上在森林中栖息繁衍。已经定名的物种仅为 140 万～170 万种，大部分的物种尚属未知。热带森林是物种分布最丰富的地方，虽然其面积只占世界陆地总面积的 7%，但却拥有一半以上的物种。热带森林物种之多，有时令人难以相信：在秘鲁的热带森林中，一株豆科植物的树木上可发现 43 种蚂蚁，分属于 26 个属，相当于英伦三岛全部的种类；加里曼丹一带的雨林，在 10 片 1 公顷的标准地上，有近 700 种乔木树种，几乎和北美的种类差不多；在中南美洲 1 平方公里的热带森林中，经常可看到有几百种鸟类和几千种蝴蝶、甲虫和其他昆虫。

热带森林生态系统是世界物种最多样化的生态系统。热带森林的生物多样性是由于水热资源丰富及生态多样性引起的；而脆弱性在于热带土壤养分储量少，大部分养分储存于森林的各种动植物中。由于森林破坏（年毁林面积达 18×10^6～20×10^6 hm^2）、草原垦耕、过度放牧和侵占湿地等，导致了生态系统简化和退化，破坏了物种生存、进化和发展的生境，使物种和遗传资源失去了保障，造成生物多样性锐减。因此，森林消退是生物多样性面临的最大威胁。如果一片森林面积减少为原来的 10%，能继续在森林生存的物种将减少一半。同时，森林占陆地面积的 1/3，其生物量约占整个陆地生态系统的 60%。在森林生态系统中，植物及其群落的种类、结构和生境具有多样性，也是动物种群多样性赖以存在的基础和保证。

森林生态系统包含最丰富的动植物种类和多种多样的生活型。我国是生物种类极为丰富的国家之一，物种数量约占世界物种总数的 10%左右。全国约有种子植物 320 科、3110 多属、约 2.5 万种，其中草原、荒漠、沼泽和高山植物约 6000～7 000 种，其余几乎都属于森林植物区系。我国是森林植物区系最丰富的国家之一，仅次于巴西和马来西亚。世界裸子植物共有 11 科，除南洋杉科以外，在我国都有分布，并且大多数是具有重要经济价值的种类，尤其是针叶林的主要树种。

中国也是世界上野生动物丰富的国家之一。现知我国陆栖脊椎动物有 2000 多种，约占世界总数的 10%。其中鸟类比例最高，依次为兽类、两栖类和爬行类。森林是它们的主要栖息地和分布区。昆虫的种类约占动物种数的 80%，数量异常庞大。据国内外多数昆虫分类学家较保守的估计，世界昆虫至少有 150 万种以上（也有人乐观地推测全世界的昆虫可达 3000 万种）。我国约占世界昆虫种类的 10%，即 15 万种以上；但已定名的仅约 4 万种，只占总数的 1/4 强。

一、森林的植物环境

（一）植物的基本类群

在漫长的地质年代中，由于气候和地质条件的不断变化，有些植物衰亡了，有些则繁盛起来，同时不断产生新的植物种类，构成了现在种类繁多、形态各异的植物界。现在已知植物约 50 万种，它们的形态结构、生活习性以及对环境的适应性千差万别。通常将地球上的植物分成藻类植物、菌类植物、地衣、苔藓植物、蕨类植物和种子植物等类群。从植物体的外形观察，藻类植物、菌类植物和地衣，都没有根、茎、叶的分化，称为低等植物；而苔藓植物、蕨类植物、种子植物都有根（苔藓植物只有假根）、茎、叶的分化，

称为高等植物。

森林植物是与森林组成密切相关的植物。广义上讲，森林植物包括孢子植物和种子植物；狭义的森林植物仅指种子植物中的木本植物。森林植物不仅向人类提供衣、食、住、行诸多方面的物质财富，而且越来越显示出其环境效益。因此，保护森林植被、保护森林植物物种和保护环境，已成为森林植物研究的重要目的。

1.藻类植物。藻类植物一般都具有进行光合作用的色素，能进行光合作用，营自养生活。其大小和形态结构差异很大，没有根、茎、叶的分化，如海带、发菜等。藻类植物多生活于水中，陆生的较少。对环境条件的要求不高，适应环境的能力很强。

2.菌类植物。菌类植物在水、空气、土壤以及动植物的体内都可生存。其形态多种多样，有单细胞的，也有多细胞的。有些体积很小，约为 1μm，必须在显微镜下才能看到。有些体积较大，肉眼可见。绝大多数菌类没有叶绿素，不能进行光合作用，是异养植物，以寄生或腐生的方式，吸收现成的养料来维持生命。有些菌类植物是有益的，如固氮菌，可提高土壤肥力；有些可药用、食用或工业上用，如青霉素、放线菌。

微生物包括真核生物的真菌、酵母，原核生物的放线菌、细菌及无细胞结构的病毒和噬菌体。

全世界真菌约有 25 万种以上，有人保守估计约 50 万种（也有人估计全球共有真菌 150 万种）。近 200 年来，约有 10 余万个真菌种名发表，被承认的约 6.9 万种，其中 1/5 是地衣型真菌。我国（包括台湾省的 4000 种）已知真菌约 7000 种，不及我国估计种数的 10%，仅相当于印度已知种数的一半。全世界已知的 70 余目真菌中约有 50 目在我国基本上无人问津。在 20 余个已有人研究的目中，有半数仅涉及其中若干科或属。在真菌中，种数最多的属子囊菌亚门，约为 3 万种，其次为担子菌，约有 1.6 万种；半知菌大约有 1.7 万种，接合菌与鞭毛菌

我国各地已分离出 26 属 3000 多株酵母，占全世界酵母总数的 40%。

在大自然中，原核生物不像动植物那样，有明显和严格的地理分布。在地球的任何角落，其中包括动植物难以生存或完全不能生存的地方，都会有这类生物。它们不但大量生存于一般环境中，也广泛生存于许多特殊环境中，称为极端环境微生物，如嗜盐、嗜碱、嗜高温、嗜酸等微生物。人们对原核生物物种的认识存在差异。由于原核生物缺乏化石资料，而且所获取的原有材料和现有的生物技术都存在一定的问题，使得人们对物种的定义有不同的看法。因此，“种”的数目归类在各个历史时期是不同的，其总的趋势是从认识原核生物的个体表型特征到逐渐认识其群体形态、生理生化特性，直至认识到控制表型特征的遗传物质（DNA）的本质特性，并且进行分子生物学的研究，物种从“人为种”趋于“自然种”。

3.地衣。地衣是藻类和菌类的共生体。真菌菌丝围裹着藻类细胞，通过菌丝体吸收水分和无机盐类，供给藻类生活并保障藻类在环境干燥时不致干死。藻类具有叶绿素，通过进行光合作用，制造有机养分，供给自身和菌类生长的需要。地衣根据生长状态分为三大类：壳状地衣、叶状地衣和枝状地衣。地衣对空气污染非常敏感，当空气中含有极微量的 SO_2 等有害气体时，就会逐渐死亡。地衣具有很强的耐旱和耐寒的能力，它能生长在裸露的岩石、树皮和土壤上，能使岩石逐渐风化形成土壤。

4.苔藓植物。苔藓植物是高等植物中最原始的陆生类群，是由水生向陆生过渡的类型。大多数苔藓植物需要潮湿的环境。其植物体的结构简单，矮小，是最简单的绿色高等植物。苔藓植物还常常是森林中的地被物，能反映林地的状况和森林特征。苔藓与地衣一样，对岩石的风化和土壤的形成起着先锋作用。

5.蕨类植物。蕨类植物具有比苔藓植物更适应陆地生活的特性，一般是陆生，少数为水生。有根、茎、叶的分化。也有维管束结构，担负着水分、无机盐和有机物的输送。蕨类植物的外形与种子植物相似，但它不产生种子，而是以孢子繁殖。蕨类植物是森林植被草本层的重要组成成分。一般有蕨类植物生长的地方表示土壤比较肥沃。

6.种子植物。种子植物是植物界最复杂、最进化、结构更完善、更能适应陆地环境的类群，也是现代地球适应性最强、分布最广、种类最多、经济价值最大的一类。种子植物中有不少种类是我们衣、食、住、行不可缺少的物质资源。其最大的特征是以种子繁殖。根据种子有无果皮包被，种子植物又可分为裸子植物和被子植物两类；根据习性，可分为草本植物和木本植物两类。草本植物为一年生或多年生植物，地面不具宿存的茎。木本植物按习性又可分为乔木、灌木和木质藤本，都是多年生植物，具有发达的次生木质部，是森林组成中的主要部分。

（1）裸子植物 裸子植物都是木本，且多为高大乔木或灌木，稀为木质藤本。其中大多数是常绿植物，为林业生产上的主要用材树种，也是纤维、树脂、单宁及药用等原料树种。主要特征是，胚珠外面没有心皮包被，因而形成的种子是裸露的。次生木质部具管胞，稀具导管，韧皮部中没有伴胞。叶多为针形、条形或鳞形（稀为其他形状），所以把这类树木又称为针叶树。花球单性，雌雄同株或异株；风媒，稀虫媒传粉；胚珠裸露，无心皮包被。种子有胚乳，胚具 2 至多数子叶。

裸子植物发生发展的历史悠久，最早出现约在 34 500 万年前至 39 500 万年之间的古生代泥盆纪，历经古生代的石灰纪、二叠纪，中生代的三叠纪、侏罗纪、白垩纪，新生代的第三纪、第四纪。随地史气候多次重大变化而演变更替，繁衍至今。现存的裸子植物中有不少种类，如我国的银杏、油杉、铁杉、银杉、金钱松、红松、杉木、水杉、水松、红豆杉、榧树等都是第三纪的孑遗植物。

裸子植物现存 12 科 71 属近 800 种，广布于世界各地。其主要分布在北半球，常组成大面积森林。我国是裸子植物种类最多、资源最丰富的国家，现存有 10 科 33 属约 202 种 33 个变种。常见的种类有苏铁、银杏、松、杉、柏等。

（2）被子植物 被子植物是植物界中发展到最高等的类型，是适应陆地生活条件最完善的一类植物。被子植物最显著的特点是，在繁殖过程中产生特有的生殖器官——花，又称有花植物。典型的花由花萼、花冠、雄蕊和雌蕊四部分组成。雌蕊由心皮卷合而成，主要特征是胚珠包被在子房内，不裸露。传粉受精后胚珠发育成种子而子房发育成果实。种子包被在果实内，种子有胚乳或无，具子叶 2 或 1 枚。乔木、灌木、草本或藤本的木质部常有导管和管胞（少数原始的科中无导管），韧皮部具筛管和伴胞。单叶或复叶，网状脉或平行脉，叶形多宽阔，故这类树木常被称为阔叶树。

被子植物较裸子植物进化，最早出现于中生代侏罗纪，自白垩纪末期及

第三纪，繁衍极盛。在现存的植物中，被子植物在种数、个体数上占有极大的优势。全世界约 25 万种，分别隶属于 424 科。我国约 277 科 2600 余属，约 3 万种，其中木本植物约 8 000 种，乔木树种约 3 000 种，重要经济树种约 1000 余种。它们与人类的关系最为密切，大田作物、果树、蔬菜、药材、木材、纤维等绝大部分都来源于被子植物。

被子植物根据种子中子叶的数量又可分为双子叶植物和单子叶植物。双子叶植物为乔木、灌木或草本。茎内维管束成环状排列，有形成层，木本植物茎中有年轮。叶为网状脉。花通常为 4～5 基数。胚具 2 子叶。双子叶植物在全世界约有 355 科，约 20 万种；我国约 228 科，2 万多种，其中木本植物约 7 000 种。

单子叶植物为草本、灌木，稀为乔木，常浅根系。茎内维管束散生，无形成层，一般无增粗生长。叶为平行脉。花各部常为 3 基数。种子的胚常具 1 子叶。单子叶植物在全世界约有 69 科，约 5 万种；我国约 47 科，4100 余种，其中木本植物约 200 种。在林业上以棕榈科及禾本科的植物经济价值最高。

（二）森林植物

森林中的植物根据其所处的地位可以分成林木、下木、幼树、活地被物和层外植物。

1.林木。林木指森林植物中的全部乔木，或称立木。构成上层和中层林冠。在森林中，株数、材积和郁闭度最大的和次大的乔木树种分别称为优势树种和亚优势树种。优势树种对群落的形态、外貌、结构及对环境的影响最大，故又称建群种。株数、材积和郁闭度较小者称为伴生树种。由一个乔木树种组成的林分或混有材积不足全林 1/5 的森林称为纯林。由 2 个或 2 个以上乔木树种组成的林分称为混交林，其中每个树种的材积不到全林的 4/5。

人工林多为纯林，而天然林中混交林较多。但在立地条件极差的地方，如只有少数树种能生长的干旱、寒冷地区，则往往形成纯林。另外，采伐迹地、火烧迹地和搁荒地上，先锋树种侵入后也多形成纯林。纯林容易发生病虫害、火灾等，长期在同一块地上培育纯林还易引起地力衰退。树种搭配适当的混交林，可提高林分的生产力，也可提高森林环境的稳定性。混交林中按乔木树种的质量和经济价值分为主要树种和次要树种。主要树种质量高，经营价值大，是经营对象，又称目的树种；次要树种又称非目的树种，也有一定的经济效益和生态效益。一个森林中的主要树种可有一个或数个，在数量上可以占优势，也可能不占优势。优势种是数量上的概念，而主要树种是经营对象上的概念。

2.下木。下木指森林中的灌木和不能长到乔木层的小乔木树种。

3.幼树。指一年生以上（幼苗除外）尚未达到乔木层高度一半的幼龄树木。

4.活地被物。指林下生长的小灌木、草本植物、苔藓、地衣和菌类。

5.层外植物（层间植物）。指林内的藤本，附生、寄生和半寄生植物等。它们不能形成单独的植物层，而是分散依附于其他层次之中。

竹是中国南方森林中主要的植物成分。按它们的高度可分为乔竹、灌竹和藤竹。竹干高大的乔竹可以形成纯林或与其他树种混生而形成混交林。竹干矮小的灌竹成为下木的组成部分，细长的藤竹则为层间植物。

森林的植物组成因地形、环境的影响和人为的干扰而有巨大的变化。在

新生代第四冰期，中国植物受到的影响要比欧洲和北美小得多。华东、华中、西南的亚热带地区由于没有受到冰川的直接影响，古老树种如苏铁、银杏、水杉、金钱松、鹅掌楸和水青树得以保存下来。中国的森林植物组成也因此而比欧洲和北美复杂。环境因素包括气候、土壤、地形等。在中国，由北向南气温升高，雨量增多，森林植物的种类也随之增加。如在大兴安岭的落叶松林中，0.25 hm^2 地面上的高等植物有 30～40 种；而在云南南部热带林内的同样面积上，高等植物多达 130 种。由东南沿海走向西北内地，雨量逐渐减少，由湿润地区逐渐过渡到半湿润、半干旱和干旱地区，森林植物组成也相应趋于简单。在山区，由低海拔地带向高海拔地带，气温逐渐降低，雨量增多，森林植物种类也出现递减的趋势。

森林生态系统是陆地生态系统中最大和复杂的系统，具有复杂的生物多样性以及结构和功能。这一系统以乔木占优势组成的各种森林植物群落为标志。

（三）世界森林的地理分布

现在世界森林面积约为（40.3×10^8）hm^2，占陆地总面积的 30%左右。由于气候，特别是热量、水分及二者配合状况的影响，森林在世界上分布很不均匀，类型也极为复杂多样。随着海拔升高而引起的热量和水分的重新分配，导致森林群落分布的垂直地带性。纬度增高，则热量依次递减；经度不同，则湿度和降水量有很大差异，这又导致森林分布的水平地带性。一般将北半球及热带范围（包括南回归线以北）划分为四大森林地带。南半球（南回归线以南）陆地面积小，植物区系与北半球迥然不同，划作一个大森林地带区。

1.北方针叶林带。俄罗斯称泰加林，意即沼泽林。这一地区因到生长季节积雪消融，林地湿如沼泽而得名。美国则称其为北方森林。位于北半球 50°以北，与冻原带连接。中国的大兴安岭属于这个带。气候特点是夏季温暖而短暂，冬季严寒且时期长；年降水量为 300～600 mm，具有大陆性气候的特点。树种组成简单，通常由云杉、松树、冷杉和落叶松等属组成大面积纯林。主要的伴生阔叶树种是桦树和杨树。在这个森林地带内，至今还保存有大面积的原始林。

2.温带落叶阔叶林及针叶林带。位于北半球中纬度地带，在北纬 30°～60°，甚至更北。气候特点是四季分明，有明显的温暖的生长季和寒冷的休眠季。落叶阔叶树的季相反映了这种季节性的气候，但也有许多针叶树分布，部分地区则以针阔混交林形式出现。主要组成树种有，落叶阔叶树如山毛榉属、栎属、栗属、桦木属、赤杨属、槭树属，以及椴树属、白蜡树属等。该带内存在很多针叶树种，如松属、铁杉属、圆柏属、花旗松属、侧柏属、扁柏属等。它们在有些地区形成大面积纯林，如美国西部的花旗松、黄松、西部白松、东部白松等。这个地带因处于历史悠久的农业地带，原始林受到破坏，森林分布很不均匀，也不连续，人工林比较普遍。

在前述的两个森林地带之间，存在北方针叶林和落叶阔叶林相混合的过渡地带。

3.亚热带森林带。又称暖温带森林。位于北回归线以北到北纬 35°，带内降水量及季节分布差异很大，有大面积的草原和沙漠，森林分布不广。主要有两大类型：

（1）分布于大陆西岸及地中海沿岸的冬雨型森林 这个地区的气候特点

是夏季干燥炎热，冬季温和多雨。在地中海沿岸的主要树种是木栓栎、刺栎和油橄榄。在美国西部主要是密花石栎、黄背栎、加州月桂及西洋腺果梅等。

（2）分布于大陆东岸的夏雨型森林 如中国东部、日本及北美洲东部地区，雨量较多，雨季与生长季一致，森林发育良好，有高大的常绿阔叶树。特别是中国东部除壳斗科、樟科、木兰科、山茶科的常绿树种外，还有许多亚热带常绿树种。在亚洲亚热带林范围内，还广泛分布散生竹类。北美洲的亚热带树种较少，主要为常绿栎类，竹类则更少，但有许多针叶树种如松科的松属，杉科的柳杉、水杉、落羽杉，柏科的柏木、扁柏属等。

4.热带森林带。分布于南北回归线之间。在这一辽阔范围内因降水、气温的差异，又可分为三大森林类型：

（1）热带雨林 年降水量一般在 2 000mm 以上，无明显的旱季。树种极多，但也有一些单优群落，如亚洲由龙脑香科树种组成的森林，南美洲的毛拉豆林等。

（2）热带季雨林或热带季风林 雨量在 1000～2 000mm 之间，有明显的旱季。旱季有部分树木如柚木、木棉等落叶树种。在亚洲还广泛分布丛生竹。

（3）热带干旱林及稀树草原 年降水量在 1000mm 以下，树种常有刺或树冠扩展，分布稀疏。

5.南半球森林带。此森林带含南回归线以南除南极洲以外的陆地，包括南美洲、非洲南部和大洋洲。此带的森林面积不大，分布于沿海或山地，树种与北半球的差别明显。阔叶树主要为分布于澳大利亚的桉树属和假水青冈属；主要针叶树南洋杉属及贝壳杉属是南半球所特有；罗汉松属也以南半球分布为主，北半球较少。

（四）中国森林地理条件的特点

根据全国第四次（1989—1993 年）森林资源清查成果和台湾省森林资源现状统计结果，全国林业用地面积为（26 289×10^4）hm^2，其中有林地面积（13370×10^4）hm^2。按有林地面积占国土面积计算，全国森林覆盖率为 13.92%。在有林地中，林分面积（11370×10^4）hm^2，经济林面积（1610×10^4）hm^2，竹林面积（390×10^4）hm^2。森林分布不均，主要集中于比较偏僻的东北和西南山区。西北地区的覆盖率则不到 1%，甚至许多地方无林。

气候水热条件是影响森林分布和林木生长发育的主要因素，我国 400mm 降水量等值线沿大兴安岭西坡向西南至喜玛拉雅山山脉东段，其东南面季风区域就是宜林气候区域，其西北面为西北干旱区域和青藏高寒区域。从热量看，日平均气温≥5℃为林木生长期。不同森林类型森林树种的地理分布与两个气温限间的天数有明显关系，同时与最冷月、最热月和极端低温有关。

各地区的降水量，在长江中下游及以南各地，年降水量一般为 1000～2 000mm。愈向东南则雨量增高，冬季最少月降水量也有数十毫米，干燥度一般为 0.5～1.0，无明显旱季。东北、华北、云南高原和川西高原等地，年降水量一般为 600～1000mm，主要集中于夏季，旱季显著，或有明显的旱季和雨季，干燥度一般为 1.0～1.5。西部半干旱及干旱地区年降水量在 400mm 或 200mm 以下，干燥度 1.5～19.0 以上，不宜树木的生长。

山地气候的垂直变化很明显。山地寒温带是森林分布的上限，其分布的一般规律是自北向南和自东向西部增高。例如：在东部湿润气候区的山地寒温性针叶林的分布上限，在寒温带不超过 1000m，在温带为 1100～1800m，在暖温带为 2000～3500m，在亚热带为 3000～4200m，在热带为 2800～3800（或

4000）m。森林垂直带结构也自北向南复杂化。在半干旱和干旱山地，森林断续地分布于 2000～3000m 的中高山北坡，甚至缺乏森林。

土壤是生物—气候的产物，有其本身的发育过程和特性。与上述森林气候带相适应，从北向南主要的土壤类型依次是：漂灰土—暗棕壤—棕壤—黄棕壤—黄壤—红壤—赤红壤—砖红壤，呈酸性—强酸性反应。石灰岩母质是影响树种分布的重要因素。

东部的山地丘陵是森林主要分布地。山坡谷地形成多种多样的生境，影响森林植物的生长和分布。深山峡谷往往是珍稀和残遗植物的隐藏地。

我国为世界上典型的季风气候区。降水量自东南向西北递减，热量由南往北递减。这种水热分布规律决定着我国森林的地理分布格局。因此，我国森林的自然分布及类型主要决定于下列地理因素：

第一，气象因素。我国东部由北到南不同的气候带决定了大的森林类型，并且具有明显的季风气候。全国降水从东南向西北递减，由森林气候（年降水量 400mm 以上）转向草原和荒漠气候。但新疆天山承受西来的大西洋水分，阿尔泰山承受北来的北冰洋水分，西藏东南部和云南西部承受西南来的印度洋水分，使得这些地区也出现不同类型的森林。

第二，地形因素。我国的青藏高原平均海拔超过 4000m。从此向北、向东和向南，高度逐渐下降至平均海拔 1000～ 2000m；再向外伸展为东北、华北、江汉、江淮的平原以及浙闽、两广南部的丘陵和三角洲等，平均海拔降至 500m 以下。这样的梯级高差影响气候，从而影响森林分布和森林类型。同时多列东西向的山岭和一些基本上南北向的山系也改变着季风的方向，致使由北到南的温度和由东到西的降水量出现明显的阶梯界限，森林植被类型也随之而有差异。

第三，地理位置因素。我国北部林区与世界北方针叶林带相接；南部与东南亚及大洋洲热带林通连；西部与中亚相连并与东欧和地中海沿岸相通。这样的地理位置，为我国孕育和保存丰富的森林植物种类和森林类型创造了有利的条件。

由于漫长的历史过程和众多的人口，我国平原盆地的森林早已被开发成为农业用地；其周围丘陵山地的森林也受到严重破坏，但有较大面积的人工林（包括竹林）。气候比较干旱和陡坡地形上的森林，一经破坏，就会引起严重的水土流失，使山地土层瘠薄或基岩裸露，成为荒山。

（五）中国森林地理分布

森林是地理现象。有什么样的环境条件就有什么样的森林。我国地域广大，地形条件复杂，自然条件多样化。所以，我国的森林种类很多，几乎有世界上的各种森林类型。森林分布规律有水平地带性和垂直地带性，在此侧重介绍水平地带分布。

1.寒温带针叶林和温带针阔混交林。它是世界的北方针叶林带向南的延伸部分，主要分布在大兴安岭北部山地丘陵区。这是我国最北部的森林区。这一地区地形起伏小，坡度缓，山顶浑圆，一般海拔 1100m 左右。土壤厚度不均，有岛状永冻层。森林覆盖率为 53.6%，年平均温度在 0℃以下，年降雨量为 350～500mm，降雨期主要集中于植物生长的 7、8 月份。该地区特点是兴安落叶松是优势成林树种，占森林面积的 70%；其次为桦木林、樟子松林及少量蒙古栎林、山杨林、红皮云杉林，是落叶松破坏后形成的次生林。各树种多构成单层纯林，结构简单，层外植物不发达，并具有较多的温带森

林植物成分，如北五味子、刺人参及槭树等。

向南逐渐过渡到温带针阔混交林带。小兴安岭和长白山的森林是典型的针阔叶混交林，森林的组成树种比较丰富；多数山地海拔在 1000m 以下；年降雨量 600～1000mm，由长白山向北递减。这里是我国的第一大林区，森林茂密，长白山中高山（1000～1800m）有较多的针叶纯林，针叶树除红松外，主要树种还有红皮云杉、沙冷杉、臭冷杉和鱼鳞云杉等。绝大多数为针阔混交林。混生的阔叶树种有枫桦、辽杨、春榆、千金榆、蒙古栎、椴、水曲柳、黄波萝、白桦、胡桃楸、槭、山杨等。针阔混交林采伐后，通常形成以栎树林、山杨林、白桦林等为主的次生阔叶混交林。红松阔叶林集中分布在小兴安岭，是本区的代表类型。

2.暖温带落叶阔叶林。此区域北到河北北部和辽宁南部，南到淮河、秦岭，西到兰州和陕西、山西中部，东至沿海海岸。雨量 400～800mm，集中在夏季 6—8 月，冬春季干旱。开发较早，平原、平地已成为农业区，森林受到严重的反复破坏，而气候条件仍属森林地带。只有少数深山区还有栎、桦树、山杨等组成的落叶阔叶林和油松、侧柏等针叶林。海拔 1000m 以上为山地针叶林，主要树种有云杉、臭冷杉、长白落叶松及山杨、桦树。原始林极少，次生林比重大，很多次生林演化成多代萌生的林分；一些地方沦为荒山和石质山地。落叶栎类分布面积广，松类到处可见，松、栎纯林较多，偶有云杉小片林。落叶松林在本区海拔高处生长良好，干旱阳坡多栓皮栎和侧柏林。荆条、绣线菊等灌木是森林进一步破坏后形成的。杨、柳、榆、槐、臭椿多散生于四旁。人工栽培的板栗、核桃、柿、枣等被称为木本粮食和木本油料树种。

3.亚热带常绿阔叶林。大致位于淮河、秦岭以南到南岭南麓一线，宽约 1000km，由台湾至云贵高原之间有 800km，是北半球亚热带森林的重要部分。年降水量一般在 800～1500mm，具有发育良好的常绿阔叶林。本带北部的落叶阔叶树种较多，常绿阔叶树主要有壳斗科、樟科、茶科等。南部则有热带树种的侵入。有很多中国特有树种及经济树种和散生竹种，如毛竹、淡竹、桂竹等。海拔 800～1000m 以上属山地落叶阔叶林带。

该地区天然植被是常绿阔叶林，以栲槠、青冈、石栎等为主。遭破坏后成为次生林，马尾松、苦槠、枫香、落叶栎和竹等即迅速发展，其中以马尾松最占优势。如果次生林再被破坏则成为次生常绿灌丛。再经破坏，则成为野古草、白茅、山黄草等高草地。

由于云贵高原地形抬高，自然条件的变化，中国亚热带东部与西部的气候、森林类型及主要树种有较大的差别。东部的年降水量四季分布均匀，主要常绿阔叶树种有青冈栎类、栲类、樟科、冬青科、山矾科等。活地被物层发达，狗脊、汝蕨等为多。森林结构仍较复杂。天然林已少见，人工经营的杉木林、毛竹林、马尾松林占相当数量。西部的冬、春季长且干旱，大部分地区雨季集中在夏季，云南松、高山松和高山栎类有大面积的分布；很多树种与东部相同，常绿阔叶林比重不大；垂直地带性变化超过水平地带性变化。

4.热带雨林和季雨林。它位于南岭以南，基本包括北回归线以南地区。热带雨林树种组成复杂，建群种不明显。100m^2 的样地中有几十个树种，很难找到相同种。常见的优势树种主要是热带树种，有樟科、茶科、梧桐科、桃金娘科、豆科、棕榈科、芸香科、桑科、大戟科等。下木多为荨麻科、胡椒科、紫金牛科等。层外植物发达是热带雨林的特点之一。层外植物中有蕨类

和兰科植物，附生在干杈上。缠绕藤本植物会把乔木绞死，被称为森林中的“绞杀植物”。板状根、气生根、支柱根也属热带雨林的特点。另外，树干不通直、干形不规圆、干皮光滑、颜色不一、叶阔花大、芽苞无鳞、老茎生花等，也都是热带雨林的新奇特点。在热带雨林中，有不少热带珍贵用材树种和热带速生树种，如银合欢、大叶相思以及多种桉树和木麻黄。竹子以丛生竹为主。此外，在沿海滩涂还有红树林分布。在我国，真正的热带雨林面积不大，主要是季雨林。这是因为：我国南方陆地已接近南亚热带的边缘，气候不具有长湿高温的典型热带气候特点，雨量分配不均，有了干、湿季的区别，森林特点有些变化，旱季还有落叶现象。

5.青藏高原区的森林。它分布于四川西北部、云南北部、西藏东南部以及甘肃西南部，即以青藏高原峡谷地带为主。印度洋季风和西风带气流交替影响本区，有冬季干燥、夏季湿润的气候特点。针叶林分布最广，一般分布于海拔 3000m 以上，最高可达 4000m，是中国的主要天然林区之一。主要的组成树种为云杉属、冷杉属，松林、落叶松林及高山栎也有分布。林下灌木、草本植物及苔藓极为丰富。海拔较低处有椴、槭、白蜡等阔叶树。针叶林破坏后，出现红桦、白桦和山杨片林。该林区地形复杂，山高谷深，坡陡流急，森林对于涵养水源和保持水土具有重要作用。海拔 3500～4000m 以上属高山灌丛；5000m 以上属高山冻原及恒雪带。

6.干旱、半干旱山地针叶林及绿洲胡杨林。我国西部内陆的降水在 400mm 以下，东南季风影响甚微，植被水平分布为草原和荒漠地带。但在山地地形影响下，垂直带谱中仍有森林分布。天山林区是新疆最大的林区，森林覆盖率达 28%，树种以云杉为主，有时混有冷杉以及落叶松和少量的桦木、山杨。阿尔泰山林区森林覆盖率为 22.6%，仅次于天山林区。同该区的其他山地一样，山脚为草原荒漠带，森林分布在山腹。成林树种有西伯利亚落叶松、西伯利亚冷杉、西伯利亚云杉、西伯利亚松、疣皮桦、山杨等。绿洲及沿河流有走廊状的森林分布，塔里木河的胡杨林尤为重要。

（六）森林植物生物学、生态学、建群树种和珍稀濒危植物

1.森林植物生物学和生态学。森林植物种群的生物学和生态学是多种多样的，使其具有复杂的结构和功能。生活型有许多类型，即常绿和落叶的针叶、阔叶乔灌木、藤本植物，多年生、二年生和一年生草本，附生植物，寄生植物，腐生植物及食虫植物等。生态类群有阳性、阴性、中性、湿性、喜热、喜温和适寒等多种类型。森林植物只有适应各种水、热、光照条件及竞争能力，才能在森林中生存、繁衍，否则就衰退以致消亡，这是不可抗拒的自然规律。

森林植物的各类生活型中以草本，尤其是多年生草本占多数，但木本植物是森林的“骨干”。

2.森林植物之间的关系。在森林中，各种植物之间不是独立存在的。林木的生长、发育和更新都受着其他生物物种的影响。自然界中的各种植物，由于密集生长而经常发生相互作用。这种作用既有利又有害，影响着林木的生长发育。

森林植物相互作用的方式多种多样，可将其分为两大类：

（1）森林植物间的直接作用

共生 指两种植物结合在一起共同生活，两者相互有益，相互促进。共生现象最常见的是豆科植物与根瘤菌的共生。植物供给根瘤菌营养和水分，根

瘤菌固氮供给豆科植物作肥料，二者终身互助。

寄生 指两种植物的器官相连，一种植物从另一种植物体上摄取食物的生活方式。受害的一方称为寄主植物，得利的一方称为寄生植物。比如一些多孔菌，寄生在森林的树干上，常使树木腐朽，从而使林木易感染病虫害，削弱了树木生长，甚至引起死亡。

寄生植物对寄主一般是有害的，但某些寄生植物（如菟丝子、桑寄生等），是贵重药材。

附生 这是一种特殊生态类型的植物，它们栖息在其他植物体表面，如附生在树干上，但其本身能进行自养。它所需要的营养物质，是从降水、尘埃和树皮中获得的，与土壤不发生联系。

附生植物在热带和亚热带林中常见。它们喜欢生长在雨水充沛、气温高、潮湿阴暗的森林中，如苔藓、地衣和蕨类。

附生植物还可形成一些独特景观，如山地暗针叶林中的长松罗，可长达几十米，挂满树枝，形态似胡须，有“森林胡须”的美称。热带雨林中常见鸟巢蕨、王冠蕨等植物，呈簇状附生在大树干上，围绕着大树，与支柱植物接触的地方，盘根错节，富集腐殖质和尘土，并阻截雨水，使林内更潮湿多水，有人称之为“空中沼泽”。

藤本植物 本身茎不直立，主要攀缘在其他植物上的一类植物称为藤本植物。在热带和亚热带森林中，藤本植物种类较多，茎蔓很长，有的长达 70～80m。一般被攀缘的植物长期遮阳下，遭受无光“饥饿”的威胁，长势衰弱。

绞杀植物 在热带森林中，有一种叫钝叶榕的植物，用它的附生根紧缠树干，长成小苗，像附生植物那样生活，并迅速长出气生根。气生根一方面起支柱作用，另一方面环绕寄主树干，形成网络紧紧围捆树干，把树干捆在里面。由于遮阳和形成层被扼断，寄主得不到充分的光照和养分，最后死亡。人们称热带雨林中的这类植物为“绞杀植物”。

根系连生 即在密度大的林分中，同种个体之间连生。这在不少乔木树种中均可观察到这种现象。它们通过根系连生或干的连生，彼此互相交换营养和水分。据资料记载，在稠密的云杉林和松林中某些地段，有 30%树木发生根系连生的现象。

机械作用 当植物密集生长时，一棵树的树冠被另一棵树的树枝“撞击”的现象属于这一类。当针叶林中混生有较多的桦树时，在桦树枝条强烈撞击下，松树的针叶有 25%～30%或全部被撞击掉，这显然会影响松树的生长。

（2）森林植物间的间接作用 森林植物之间的相互作用，最普遍的还是植物间的间接影响。即任何植物的生存，通过它本身的新陈代谢，改变它周围的环境，然后由环境再产生影响。在森林中往往建群树种起着较大作用。

树种间有竞争关系。森林群落中的多种植物，由于受营养面积的限制，每一个个体不能得到充足的营养和阳光，因而发生竞争，例如发生林木自然稀疏和林木分化现象。在森林生长发育过程中，这是森林内林木之间相互关系的表现，是森林适应环境条件，调节林分密度的自然现象。

3.我国森林的建群树种。尽管森林生态系统的植物种类及其生物学、生态学特性多样复杂，然而起主导作用的是森林群落的优势种，尤其是建群种。我国主要森林的建群种简述如下：

（1）针叶林和针阔混交林 它们广布全国南北及西北干旱区山地，建群种是发生古老的松柏类，有 14 属 70 多种。首推松科的松属 17 种、云杉属

16 种、冷杉属 13 种、落叶松属 9 种、油杉属 3 种、铁杉属 2 种和银杉；其次是柏科的圆柏属 6 种、柏属 3 种和侧柏，杉科的杉木、柳杉、水杉和水松。主要属于寒温性、温性及暖性各类树种。

（2）落叶阔叶林 它是我国暖温带及亚热带—热带的中山—亚高山的地带性植被，也分布于荒漠河岸。建群植物约有 11 属 35 种，主要属于山毛榉科、桦木科、杨柳科、槭树科、榆属和椴属等北温带分布科属，如栎属 9 种、桦属 10 种、杨属 6 种等。

（3）常绿、落叶阔叶混交林 它们是北亚热带和亚热带中山及石灰岩山地的代表植被，建群植物有 20 属约 40 种，兼有常绿和落叶树种。常绿树种是山毛榉科的 3 个常绿属——青冈属 6 种、栲属 3 种、石栎属 2 种，交让木科的交让木、山茶科的木荷等。落叶树种是栎属 3 种、水青冈属 3 种及香桦、大穗鹅耳枥、化香、杨梅、蚊母树、青檀等。

（4）常绿阔叶林 它是我国亚热带的地带性植被，主要由山毛榉科、樟科、山茶科、木兰科、金缕梅科和杜英科的常绿阔叶树种组成，建群种约 15 属 50 种，首推山毛榉科的 3 个常绿属即青冈属、栲属、石栎属的共约 30 种。它们常互成为共建种。

（5）季雨林和雨林 它们是我国热带的地带性植被，分布于西南、华南至台湾的热带地区，与热带亚洲森林有密切联系，主要建群植物约有 24 科 35 属 50 种，主要是龙脑香科 5 属 9 种、桑科 3 属 6 种、梧桐科 2 属 3 种、楝科 2 属 2 种，以及使君子科、肉豆蔻科、山榄科、橄榄科、无患子科、木棉科等。

（6）红树林和珊瑚岛常绿林 它们是热带海岸和珊瑚岛特殊生境上的森林，植物种类相对比较简单。前者的建群植物约 10 余种，主要属红树科、海榄树科及海桑科等。珊瑚岛常绿林的建群植物仅 6 科 6 属 6 种，如草海桐、麻疯桐、海岸桐、银毛树、水芫花及苦槲树。

竹林是由竹类形成的一类木本状多年生常绿植物群落，是我国亚热带及热带一种独特的常绿林，常是单优势种的纯林。我国竹类植物非常丰富，约有 26 属 300 余种（也有人认为有 39 属 500 余种，或认为有 31 属 300 余种），是世界竹类分布中心产区之一。（400×10^4）hm^2 的竹林约占全世界竹林总面积的 1/5，为亚洲各地之冠。主要建群种约 19 属 40 种，如温性竹林的箭竹、短穗竹，暖性竹林的方竹、多种毛竹、唐竹、慈竹等，热带竹林的泡竹、几种牡竹、青皮竹、泰竹和薄竹等。我国竹类植物中的丛生竹和散生竹约各占一半。丛生竹种由于出笋一般较迟（7、8 月出笋），严冬来临之际幼竹尚未充分木质化或还在生长，抗寒性较差，分布仅限于我国南方诸省。散生竹和混生竹，由于对寒冷和干旱等不良环境有较强的抗性，适应性广，分布范围也就比丛生竹更广。高山竹种如箭竹属、玉山竹属等，要求高湿的环境条件，只能在高山上或深山区生长和发展。

4.我国森林的濒危植物。森林中蕴藏有许多珍稀濒危植物，虽然在生态系统中不起重要作用，但却是重要的物种资源。国家第一批珍稀濒危保护植物名录确定了 389 种保护植物，其中濒危的 121 种，稀有的 110 种，渐危的 158 种；列为一级重点保护的 8 种，二级重点保护的 159 种，三级重点保护的 222 种。第二批保护植物名录 637 种，其中蕨类 26 种，裸子植物 11 种，被子植物 600 种，尚待评价区分类别和保护等级。这些植物绝大多数是森林生态系统中的稀有种群。目前列为一级重点保护的 8 种植物是：

桫椤（Alsophila spinulosa），桫椤科，渐危，产于海南、台湾至滇、川和西藏东南热带—亚热带林区，喜生山沟潮湿坡地和溪边阳光充足处，属于古老植物。

银杉（Cathaya argyrophylla），松科，稀有，我国特有，残遗种，产于广西北部、湖南南部和四川南川等局部山区。

水杉（Metasequoia glyptostroboides），杉科，稀有，我国特有，残遗种，产于湖北、四川和湖南三省交界的利川、龙山局部山区。

秃杉（Taiwania flousiana），杉科，稀有，残遗种，产于滇西、鄂西和贵州东南山谷。

人参（Panax ginseng），五加科，濒危，名贵药材，产于东北长白山等山地林下。

望天树（Parasphorea chinensis），龙脑香科，稀有，常绿高大乔木，株高达 40～50（或 80）m，优良木材，残存于云南东部和广西西南的热带林中。

珙桐（Davidia involucrata），珙桐科，稀有，世界驰名的珍贵观赏树种，我国特有残遗种，产于陕西东南、湖北西部、四川、湖南西北、贵州北部和云南东北等地。

金茶花（Camellia chrysantha），山茶科，稀有，常绿灌木或小乔木，珍稀观赏植物，产于广西南部丘陵。

此外，我国特有植物约 10000 种，绝大多数也蕴藏于森林中。森林中还有丰富的野生经济植物资源，具有多种用途，其种数目前尚无确切的统计。据不完全统计，全国淀粉、油料、纤维和鞣料野生植物约有 1800 种，野生药用植物有 7000～10000 种。

二、森林的动物环境

我国各个主要的气候—植被带，具备不同动物的生活条件。故在各个带中，动物的组成和生态基本上各不相同。虽然有些动物的适应能力较强，分布区较广，可以生活于几个气候—植被带，然而每个带中各有一群基本成分，对该带环境有较高的适应性，是该带生存竞争的优胜者，在数量上占有优势或常见。各生态地理动物群中各个成分，按数量对比分别称为优势种、常见种、少见种和稀有种。一个分布较为广泛的种，在某一环境中为优势种，在另一环境中可能变为常见种或少见种。优势种和常见种对动物群的生态地理特征起决定的作用。

我国有以下七个基本的生态地理动物群：寒温带针叶林动物群；温带森林—森林草原、农田动物群；温带草原动物群；温带荒漠、半荒漠动物群；高山森林草原—草甸草原、寒漠动物群；亚热带森林、灌木、草地—农田动物群；热带森林、灌木、草地—农田动物群。

从上述七个生态地理动物群的划分特征上可看出，绝大多数是以森林为主要依据的。由此可见，森林环境是动物最基本的栖息地，同时也反映了保护森林环境在保护野生动物中不可替代的作用。

森林动物是依赖森林生物资源和环境条件取食、栖息、生存和繁衍的动物种群，是森林生态系统的重要组成部分，包括爬行类、两栖类、兽类、鸟类、昆虫以及原生动物等，其中鸟类和兽类是重要资源。森林动物的种群数量大，分布范围广，经济价值高，与人类的关系至为密切。

（一）森林对动物的影响

森林植物种类繁多，常年供应不绝，是动物的食物基础。森林的空间高大、结构复杂、生长周期长、更新调节能力强、群落稳定性大，所形成的特殊环境条件，又为动物饮食、栖息、隐蔽和繁衍提供了最优良的场所。森林遭到破坏，常导致动物种类和数量的锐减，有的甚至濒临灭绝。森林动物的区系、种群分布、形态特征和生活习性均受森林类型的影响。由于森林动物食性和习惯的差异，常在同一森林地带有着形形色色的动物种群；而同一种群类型也可能在不同的森林地带出现。寒带森林动物毛长绒厚，皮下脂肪发达；冬季毛色变白；产仔和哺育幼仔都在生长季节，入冬时幼仔已能独立生活。也有些动物具有冬眠不食或向暖地迁移的习性。热带、亚热带森林动物一般是毛短、稀疏，皮下脂肪较少，交配、产仔都不受季节限制，毛色光彩斑斓。同一类型的动物，在温暖地区体形较小；而在寒冷地区则体形较大，但其尾、嘴、四肢和耳较温暖地区为短。从毛色看，温暖地区黑色增多，干旱地区红色、黄褐色增多，寒冷地区则色调简单。

（二）动物对森林的影响

森林动物有的对森林有益，有的则有害。但同一种类的益害往往因种、因时、因地而异，并与种群数量有直接关系。有益作用表现在：某些动物的取食活动可以提高林木的授粉、结实率，扩大种子传播范围，促进森林更新演替。某些动物，特别是一些鸟类，是森林害虫的天敌，可以有效地抑制虫害的发生发展。动物的粪便、尸体有利于增加土壤肥力。土壤动物的掘穴和取食活动（如蚯蚓）可以改良土壤的物理、化学性质，有利于森林植物的生长和提高土壤保水力等。有害影响主要表现在某些动物啮食大量种子、幼芽、幼苗、幼树、树皮、树根，不利于森林更新和林木生长。此外，大型兽类经常活动的地方还导致土壤板结。放牧也可使幼林遭到毁灭。

（三）森林动物与植物之间的关系

从大地区生物分布来看，动植物种类的分布总是与气候带密切相关。在大兴安岭，寒温带亮针叶林生活的林栖动物，绝大部分属于寒温带针叶林的动物类群，如驼鹿、马鹿和雪兔是典型栖居者。而在东北季风区长白山一带，则生活着森林草原动物群，如东北虎、野猪、狍子等。

所有动物均直接或间接以植物为食，尽管老虎、豹和大鹫是食肉的猛兽和猛禽，但它们的食物——山羊和野兔是食草的。竹子开花，熊猫将因得不到食物而被饿死。这些都反映出在食源上动植物存在的依存关系。动物为了生存、自卫，呈现的保护色是以植被季相为背景的。不少动物，还依季节的变化而发生季节性迁移，以求得繁殖后代和生存。

动物能帮助植物授粉和传播种子。有一些蜜源植物，如刺槐、椴树，它们的花具有特殊的芳香，以招引昆虫。据统计，约有 2000 种鸟类能传播花粉。美洲著名的蜂鸟能广泛传播花粉，一些鸟类和啮齿类动物，有各种不同的方式帮助植物传播种子。

动植物间关系复杂。大部分昆虫对森林是有害的，而小蜂、鸟类则是昆虫的天敌。瓢虫专门吃蚜虫，是蚜虫的天敌。啄木鸟被称为“森林的医生”，是因为它能准确地找到钻蛀害虫所在地并消灭它。树木中越冬害虫，几乎有 95%可被啄木鸟消灭。一只燕子在整个夏天可捕捉蚊、蝇、蝽象约 2.5 万只。黄鹂春夏季节里的食物中有 95%都是有害昆虫。过去人们往往误解了黄鼠狼的生活习性，只认为它是偷鸡的害兽，其实不然，它主要是以草原上的老鼠为食，而老鼠对草原的危害是极大的。

正因为森林中生活着大量寄生昆虫、捕食性昆虫、鸟类及兽类，它们都能捕食、抑制有害昆虫，于是就保护了森林。

动物对植物也存在着重要的有害作用，如害虫及有害鸟兽对森林均有严重的破坏作用（它们啃食幼苗、嫩芽、树皮、树枝和种子）。此外，一些大型动物对森林的危害也很严重。

应该知道，森林群落中，生物处在各种矛盾之中。一方面反映为生物对环境的适应；另一方面反映为生物对森林的依存。只有发生了外因（森林采伐、火灾、地质变迁）的突变或森林本身创造了不利于群落存在的条件时，这时平衡就被打破，产生了新的矛盾。

我们必须有意识地控制林内生物间的相互关系，调整森林群落中的生态平衡。目前开展的“以虫治虫，以菌治虫”工作，就是探索森林害虫与其天敌直接的关系，进行生物防治，人工调节森林生物间的关系。此外，营林措施是一项根本措施。营造混交林，适时幼林抚育间伐，采伐迹地清理，限制用火和调整放牧，均是调节森林生物间相互关系的有效措施。

（四）中国森林动物资源的分布

世界森林动物资源的分布依森林地理而变化，其种群数量由寒带、温带到热带逐渐增多。陆生动物中最大的如象、犀牛，最凶猛的如虎、豹，最进化的如猿、猩猩等都生存于森林之中。

中国地域辽阔，森林跨寒、温、热三大气候带，动物资源丰富。全国划分为八个动物资源区系。

1.亚寒带森林动物群（泰加林动物群）。包括大兴安岭和伊勒呼里山以北的林区，以及新疆阿尔泰山的北端。是中国最北部的林区，西伯利亚泰加林的南延部分。

本区森林中掩蔽条件良好，但食料比较单纯，阔叶树的枝叶、林下草本和地衣、真菌等低等植物在动物食料中占有重要的地位。有蹄类以驼鹿、马鹿、麝和野猪等最为普遍。它们在针叶林内的觅食和休憩场所随季节而变化。小型兽啮齿类中的优势种或常见种，首推树栖的松鼠、半树栖的花鼠和地栖的大林姬鼠等两种鼠。食肉类中的黄鼬、香鼬、艾鼬、狐、狼、棕熊、水獭、狗獾等均甚普遍，以黄鼬占优势。猞猁和紫貂是针叶林带典型的中型猛兽，前者较为常见。在东北北部，针叶林带的鸟类，以榛鸡、细嘴松鸡和黑琴鸡等为典型的寒温带鸟类，冬季能适应寒冷的雪野生活。爬行类中，胎生蜥蜴及棕黑锦蛇是东北北部针叶林带比较典型的种类，但较少见；广泛分布的种类中，以腹蛇和红点锦蛇比较常见。两栖类种类很少，尤其是北部，如东方铃蟾、东北雨蛙、中国林蛙等，在东北中部或南部为常见种。阿尔泰山区针叶林带完全缺乏我国季风区广布的种类，动物组成则更为简单。

西伯利亚寒带的森林动物，如貂熊、驼鹿、雪兔和林旅鼠等在此均有分布。在阿尔泰山地有欧洲的林睡鼠分布，而大兴安岭则无。此外，广布于中国东北的麅、麝、马鹿、野猪、狐、狼、猞猁、黄鼬、香鼬和棕熊等也见于本地区。这些动物冬毛不变色，但毛长绒厚，可御寒冷。由于森林大面积被采伐，貂熊、驼鹿、马鹿、棕熊、雪兔、白鼬、黑琴鸡、柳雷鸟、岩雷鸟、花尾榛鸡（飞龙）、细嘴松鸡等的数量锐减，已列为国家级保护对象。

本区昆虫多为耐高寒的森林昆虫，如落叶松球蚜、落叶松毛虫、落叶松鞘蛾、松梢小卷蛾、杉茸毒蛾、云杉大小蠹、落叶松八齿小蠹、云杉小墨天牛、长角小灰天牛、松阿扁叶蜂、球果花蝇等。蚊类以五斑按蚊占优势。

2.小兴安岭及长白山针阔混交林动物群。本地区为寒带森林向温带森林过渡地带，气候温凉湿润。动物群的代表种类有东北兔、紫貂、东北虎、豹、狗獾、貉、黑熊、青鼬、梅花鹿、青羊、豹猫等。有些种类如虎、豹和豹猫等虽是广布种，但其亚种仍具有毛长而色浅的地区特色，如东北虎亚种一度称为长毛虎即是典型的例子。中国东北广布的种类，如狐、狼、猞猁、黄鼬、香鼬、棕熊、野猪、松鼠、环颈雉、斑翅山鹑及中国林蛙等均见于本地区，但毛色比大兴安岭的亚种深。本地区因树种多，隐蔽条件好，食物丰富，动物的数量也多；但紫貂、东北虎、黑熊、棕熊、青鼬、梅花鹿、马鹿、青羊、豹猫等的数量已不多，亟需保护。

森林害虫主要有红松叶球蚜、红松干蚧、落叶松毛虫、云杉八齿小蠹、红松小蠹、松树皮象、云杉大墨天牛和危害阔叶树的舞毒蛾、天幕毛虫、稠李巢蛾、苹果巢蛾，花椒凤蝶、核桃楸天蚕蛾、核桃扁叶甲、榛实象等，以及危害栎树的花布灯蛾、栎黄掌舟蛾、多斑柞跳象等。蚊虫有普通伊蚊、凯塔伊蚊等。

3.华北落叶阔叶林动物群。这一地区包括燕山、太行山、吕梁山、秦岭北坡、伏牛山及沂蒙等地的小面积林区。由于长期农垦，森林几经破坏，仅有局部残存，森林动物极为贫乏。近年由于采取封山育林和保护措施，某些森林动物数量已开始回升。本地区是猕猴自然分布的北界。应加以保护的种类有麝、青羊、猕猴，以及粪便可做中药五灵脂的沟牙鼯鼠和复齿鼯鼠，还有褐马鸡等。麝、猕猴、沟牙鼯鼠和复齿鼯鼠均可驯养和利用。

本区森林害虫主要种类有梧桐木虱、杨干透翅蛾、光肩星天牛、桑天牛、星天牛、榆兰叶甲、蒙古木蠹蛾、油松松毛虫、赤松毛虫、杨扇舟蛾、槐种子小蜂、大袋蛾等。蚊虫有潘氏按蚊、背点伊蚊等。

4.天山山地云杉林动物群。本地区多高山、荒漠，气候干燥，冬季极冷。海拔 1600～2300m 间地带降水量较多地区有森林分布，海拔 1500m 的山谷间有阔叶树。森林主要动物有马鹿、狍、雪豹、猞猁、棕熊、香鼬、白鼬、伶鼠；鸟类有高山雪鸡、高原山鹑、斑翅山鹑、石鸡以及原鸽、岩鸽、山板鸠、灰斑鸠等。

昆虫的优势种为红胫肿脉蝗、新疆西伯利亚蝗、意大利蝗等。森林害虫中以云杉蛀干害虫为主，主要种类有天山重齿小蠹、云杉八齿小蠹、黑条木小蠹、松树皮象、泰加大树蜂等。食叶害虫主要是松线小卷蛾。

5.青藏高山针叶林动物群。本地区包括祁连山、喜马拉雅山、昆仑山、唐古拉山和冈底斯山等山地林区。森林动植物种类丰富，数量也多，垂直分布明显。在喜马拉雅山区海拔 1600～2500m 为山地常绿阔叶林带，代表动物有熊猴、长尾叶猴、赤麂、苏门羚、金猫、小爪水獭、黑鹇、红胸角雉等。在海拔 2500～3 000m 间山地的针阔混交林带，代表动物有小熊猫、豹猫、青鼬、青羊、橙腹长吻松鼠、棕尾虹雉等。在海拔 3 000～4 000m，为以云杉和冷杉为主的暗针叶林，代表动物有塔尔羊、黑熊、麝及雪鸽等。在祁连山及藏东山地的暗针叶林中，还有白唇鹿（为中国特产）。雉类不少，常有雪鸡、雪鹑及血雉等出没于当地林区。本区应受保护的种类颇多，除橙腹长吻松鼠等少数种类外，前述的森林动物几乎均已列入保护动物名单。

本区森林害虫有云杉粉蝶尺蛾、青缘尺蛾、云杉大小蠹、杉针黄叶甲、松梢小卷蛾、松点卷蛾、异色卷蛾、圆柏大痣小蜂等。

6.西南亚高山针叶林动物群。本地区包括四川省西部、昌都地区东部、

青海省南部山地及云南省北部山地，即横断山脉地区。海拔在 1600～4 000m 间，最高峰在 7000m 以上。气候垂直变化明显。森林动物种类南北交错，山谷多为热带及亚热带种类，并沿山谷自南向北侵入；高海拔地区的种类则与北方种类接近。以云杉和冷杉为主的针叶林带中珍稀的森林动物种类较多，如举世闻名的大熊猫、金丝猴、羚羊、白唇鹿、小熊猫、梅花鹿、苏门羚、青羊、金猫、水鹿、云豹、猕猴、熊猴、藏马鸡、白腹锦鸡、红腹锦鸡及角雉等。其中，大熊猫列为国家珍稀动物重点保护对象。此外该区养鹿锯茸，养麝取香也已取得了一定成效。然而本区小林姬鼠较多，窃食种子，常使飞机播种造林遭受危害。

本区的害虫属于亚热带性质的，为南方型种类，少数是北方型种类。主要有云南松干蚧、云南松梢蚧、云南松毛虫、思茅松毛虫、模毒蛾、松茸毒蛾、松针斑蛾、南华松叶蜂、云南松脂瘿蚊等。

7.华中阔叶林动物群。本地区包括四川盆地以东，沿长江而下的各林区，以及北至秦岭南坡，南至广东西江上游两岸的山地。属亚热带气候。仅在较高的山地还保留有自然植被，其他广大地区仅有次生林和人工林。故典型的林栖动物只保存于少数面积不大的森林中。本地区为南北动物区系的过渡地带，与华北及华南均无天然隔障，森林动物的种类多，但特有种类不多，每种的数量也少。重点保护的种类颇多，有猕猴、短尾猴、金丝猴、梅花鹿、毛冠鹿、黑麂、苏门羚、青羊、羚牛、鼬獾、金猫、华南虎、云豹、穿山甲、角雉及虹雉等。

森林昆虫中具经济价值的有红蜡虫和白蜡虫等。森林害虫有黄脊竹蝗、油桐袋蛾、薄翅锯天牛、樟叶木虱、樟萤叶甲、樟刺蛾、油茶盾蚧、油茶毒蛾、油茶实象、乌桕黄毒蛾，以及危害其他阔叶树的漆树瘤叶甲、八角尺蛾、黄凤蝶、花椒虎天牛等。

8.华南热带雨林和季雨林动物群。本区包括中国台湾省、福建省东南部、广东省台山县向西至雷州半岛及海南省，广西壮族自治区西南部及云南省西双版纳。本区气候炎热多雨，植被茂密，为动物栖息、取食提供了有利的条件。

热带森林动物群组成的复杂性，表现在具有许多特有的科、属、种。某些广布类群在热带森林的种类，也往往达到高峰。如两栖类中蛙科的 50%以上，爬行类中游蛇科的 85%以上，鸟类中啄木鸟科的 90%以上，兽类中鼬科的 63%都集中于热带森林。栖息条件的优越性是动物优势现象不明显的主要外在原因。在同一环境的不大范围内，往往栖息着许多习性相似的种类，数量相差并不悬殊。如在一棵盛开花朵的树上，可见 11 种不同属、科甚至不同目的鸟类相聚取食。食料复杂与丰富，有利于狭食和专食食性动物的生活，如热带森林中白蚁繁盛，是专食白蚁的穿山甲生活于林中的重要条件。热带森林中，树栖、半树栖动物很多，最典型的是各种灵长目动物，包括原始的体形似松鼠的树鼩、几种猕猴、几种叶猴、懒猴和几种长臂猿。树栖啮齿类种类很多，特别是松鼠科和鼯鼠科的一些种，最常见的是赤腹松鼠。在两栖类和爬行类中，树栖种类亦不少。

森林环境的改变，极大地影响着动物的种群数量的变化，甚至导致某些动物种类的灭绝和消失。森林砍伐后，许多地方成为次生林灌丛和草坡，原来地栖的动物数量增加，形成优势种，几乎完全代替了树栖的种类。猿、叶猴等几乎绝迹。

应予重点保护的种类有金丝猴、叶猴、长臂猿、短尾猴、豚尾猴、亚洲象、野牛、坡鹿、水鹿、梅花鹿、豚鹿、苏门羚、青羊、金猫、云豹、华南虎、穿山甲、蓝鹇、黑长尾雉、原鸡、绿孔雀、孔雀雉、黄腹角雉、红腹角雉、白颈长尾雉、白鹇及犀鸟科的一些种。此外，南海诸岛林丛中还栖息有红脚鲣鸟等。

本区昆虫区系以热带、亚热带成分最为集中。森林害虫主要有竹蝗、棉蝗、马尾松毛虫、吹绵蚧、大袋蛾、木毒蛾、木麻黄毒蛾、双钩异翅长蠹、双棘长蠹、罗汉肤小蠹、材小蠹等。

（五）森林动物资源的利用和保护

森林动物是宝贵的物质财富，又是再生资源，可为人类生活、生产提供丰富的皮、肉、毛、羽、骨、蛋、角等。有些动物如驯鹿、象、猕猴、猩猩、苍鹰等经过驯化饲养，还可供役用。有的则是观赏用的珍禽异兽，如虎、豹、孔雀、鹦鹉、大熊猫等。可供科学研究用的有兔、猴、白鼠等。皮毛用动物有各种鼬、松鼠、兔、狐、貂、狸、熊、狍、狼、山羊、猞猁等。肉用动物有羊、猪、鹿、熊、狍、鸽、鸠、雉、鸡类等。药用动物有虎、鹿、麝、穿山甲、沟牙鼯鼠等。动物资源只要其猎取量小于繁殖补充量，就能取之不尽，用之不竭。反之，过量猎取，就会使森林动物锐减。而母兽雌禽的减少，更会阻碍兽禽种群数量的恢复。滥伐森林则会使森林动物失去生存条件。因此，保护森林动物及其赖以生存的森林生态环境，已刻不容缓。

复习思考题

1.当前全球的大气环境存在哪些问题，它们对森林有何影响？

2.什么是大气污染，影响大气污染物扩散的因素有哪些？

3.森林土壤和森林生物及森林环境之间有哪些形式的物质和能量交换？

4.什么是森林土壤的背景值，如何应用背景值来判断土壤是否污染？

5.天然水中包括哪些物质？

6.什么叫水体污染，水体污染物有哪些类型？

7.根据水平地带分布，我国的主要森林类型有哪些，各自的植被特点如何？

8.森林的生物环境与保护生物多样性的关系是什么？

9.我国的主要森林动物资源区系是如何划分的？

参考文献

1 贺庆棠主编.气象学.北京：中国林业出版社，1991

2 牟树森，青长乐.环境土壤学.北京：农业出版社，1993

3 K.A.阿姆森.林伯群，周重光译.森林土壤——性质和作用.北京：科学出版社，1984

4 S W Boul，F D Hole，R J McCracken.Soil Genesis and Classification.1980

5 黄润华，贾振邦.环境学基础教程.北京：高等教育出版社， 1997

6 王华东，王健民，刘永可，等.水环境污染概论.北京：北京师范大学出版社，1984

7 李景文主编.森林生态学.第二版.北京：中国林业出版社，1992

8 乔治　W.布朗著.李昌哲，张理宏译.林业与水质.北京：中国林业出版社，1994
9 刘天齐主编.环境保护.北京：化学工业出版社，1996
10 中国林学会主编.森林与水.北京：中国林业出版社，1987
11 刘培桐，许嘉琳，王华东，等.化学地理学.北京：北京师范大学出版社，1993
12 买永彬，顾方乔，陶战，等.农业环境学.北京：农业出版社，1994
13 沈国舫主编.林学概论.北京：中国林业出版社，1988
14 李文华，李飞主编.中国森林资源研究.北京：中国林业出版社，1996
15 王志宝主编.森林与环境——中国高级专家研讨会文集.北京：中国林业出版社，1993
16 中国植被编委会.中国植被.北京：科学出版社，1980
17 周以良，等.中国的森林.北京：科学出版社，1990
18 侯陶谦主编.森林昆虫研究进展.陕西杨陵：天则出版社，1989
19 傅立国主编.中国植物红皮书（第一册）.北京：科学技术出版社，1991
20 钱迎倩，马克平主编.生物多样性研究的原理与方法.北京：科学技术出版社，1994

第二章 森林环境问题及其治理

第一节 森林环境问题的概念及其产生原因

森林环境是森林资源与一定地理条件结合而成的具有一定特性的地域空间。自 1972 年斯德哥尔摩“联合国人类环境大会”以来，森林环境已成为当今国际社会普遍关注的热门话题。世界各国在森林资源管理、人类社会发展对森林环境的压力等方面进行了广泛的研究，并实施了一系列卓有成效的行动计划。但是，当前全球环境退化现象仍有增无减，不但损害了人类社会的发展，而且还威胁到地球上众多生命的延续。为了应付世界性森林环境退化的挑战，迫切需要开创一条新的环境发展道路。

1992 年，联合国在巴西召开了有 172 个国家和地区参加的“联合国环境与发展大会”。与会各国共同签署了《有关森林问题的原则声明》等 5 个重要公约，其宗旨就是强调：世界环境保护必须采取可持续发展的战略，即环境保护和社会经济发展相结合，将环境因素纳入社会和经济发展决策的全过程中，以确保人类的持续存在和发展，维护全球的生态持续性、经济持续性和社会持续性。这种持续发展的环境战略已经成为指导 20 世纪 90 年代甚至更长时期内世界森林环境管理、保护和开发的战略方针。

长期以来，虽然国际社会和各国政府在森林环境管理与保护方面进行了不懈努力，但全球森林环境的破坏状况仍越来越严重，并由此带来了一系列森林环境问题。这些问题已成为实施森林环境持续发展战略的主要障碍。

为了尽快解决和改善越来越严重的森林环境问题，实现森林环境的持续发展，国际社会近年来围绕森林环境的保护与发展，进行了大量的研究和实践。人们逐渐认识到：森林环境作为自然环境的重要组成部分，它涉及环境与发展整个范围内的问题与机会，必须采取持续发展的环境保护战略。这种持续发展的环境战略思想在《有关森林问题的原则声明》等公约中得到了充分体现。

一、森林环境问题的概念

所谓环境问题是指由于人类活动所引起的环境质量变化，以及这种变化对人类生产、生活以致健康和生命的影响问题。森林环境问题则是由于人类活动引起森林锐减，森林质量改变，使森林对人类生态环境的功能和作用减弱，从而带来了许多环境问题，以及它们对人类生活、生产和健康造成的影响。我们把这种源于森林环境及由它产生的环境问题，称为森林环境问题。

自从地球上有了人类，便开始了人类与环境相互依存、相互作用、相互制约和相互转化的对立统一关系。人本身是自然界的产物，是在他们的环境中并且和这个环境一起发展起来的。人不可能脱离一定的自然环境而存在，但是，人可以利用、改造自然环境使之适合于自己的需要。在漫长的改造自然、征服自然的过程中，人类在自然环境中的地位不断转变，从自然环境的奴仆逐渐变成了自然环境的“主人”，继而在第二次技术革命之后，成为自然环境的“征服者”、“主宰者”。现代科学技术和以工业为主导的生产的发展，更扩大了人类生产活动的领域，提高了人类利用自然资源的能力，把人类社会的物质文明和精神文明推进到一个前人无法想象的新高度。与此同时，由于人们的认识水平所限，在活动中曾做过违反自然规律、不利于地球上人类环境的事情。尤其是近几十年来，由于经济畸形发展，对能源及其他

资源的需要量空前提高。特别是由于人口的激增，无限制地向地球索取资源，而不顾地球的承受能力，破坏了人与自然的平衡与和谐。同时不顾环境的允许容量，不断地将大量暂时无用的废物排入环境之中，引起环境质量的恶化，以致生态系统破坏，危害经济发展和人民健康。地球环境问题见图 2-1。根据联合国环境规划署统计，现在全世界每年排入大气中的各种有害气体达 10^9t 以上；世界上有一半以上的地方水源不足，第二世界只有 29%的人能饮用清洁水；森林面积以每年（15～20）×10^6hm^2 的速度从地球上消失；每年有（6×10^6）hm^2 土地沦为沙漠，（250×10^8）t 表土流失；有 1000 种鸟类和哺乳动物，以及 10%的植物正面临灭绝的危险。如果照现在这样不加控制地发展下去，后果将不堪设想。正如恩格斯所指出的：“我们不要过分陶醉于我们人类对自然界的胜利。”目前人类正面临着有史以来最严峻的环境危机，并将对未来时期的人类生存与发展产生深远的影响。所以，如何解决社会发展和生态环境的不协调关系，已成为当今世界面临的一个严峻问题。

林业不仅是世界各国经济生活中的一个重要生产部门，而且作为陆地生态系统主体的森林也是全球环境的一个重要组成部分。森林保存了世界上绝大部分物种基因资源，是生物多样性保护的核心。森林储存了全球陆地生态系统碳贮量的 90%以上，是全球气候变化的一个非常重要的调控器。森林在保护土地，防止沙漠化和水土流失等方面有越来越重要的作用。近来，又有不少学者提出了森林在防治污染、恢复已退化和受污染危害土地方面有不可低估的作用。因此，在联合国环境与发展大会以后，研究绿色森林在全球环境变化中的作用和地位，已成为世界各国林业发展的共同目标。

森林是一种分布非常广泛的自然资源，林业生产已渗透到地球上每一角落，几乎人类生产和生活的各个方面都与林业有关。全球性、地区性或某个局地性的环境变化都将危及林业的发展。我们不但要研究全球环境变化对林业生产的影响，而且也要研究如何发挥林业在改善全球生态环境中的作用。

人类社会所面临的众多环境问题中，森林资源的急剧减少，是一个重大生态环境问题，这给全球环境带来了重大影响。

据称：在历史上森林曾覆盖了地球面积的 2/3，达到过（76×10^8）hm^2。随着人口的增加和不适当的开发，到 1862 年森林面积减少到（55×10^8）hm^2。进入 20 世纪，特别是从 50 年代以来，森林毁坏的速度进一步加快。到 1975 年缩至（26×10^8）hm^2，而且分布得很不均衡。在对森林的破坏中，热带雨林的砍伐尤其令人不安。热带雨林是植物数千年来复杂演化的结果，是一种独特的生态系统。它如同人的肺部一样，吸收大量 CO_2，放出供人类生存的 O_2，并对全球气候起着极为重要的调节作用。目前，热带雨林仅存有 10^9hm^2 左右，而且还正在被大量砍伐着，现在热带雨林的消失速度几乎达到了 50hm^2/min。如不改变这种趋势，据估计，50 年以后热带雨林将从地球上消失。有的学者甚至认为，用不了 50 年，20 年以后热带雨林就可能不复存在了。

地球上 80%的热带雨林分布在九个国家：玻利维亚、巴西、秘鲁、哥伦比亚、委内瑞拉、印度尼西亚、马来西亚、加蓬和扎伊尔。在拉丁美洲的亚马逊原始森林，木材蕴藏量占世界总蕴藏量的 45%，是世界上最大的热带雨林区。这片森林大部处在巴西境内，而巴西却在大规模地开发着。据估计：

仅从 1966 年到 1975 年期间，巴西就毁掉了（11×10^6）hm^2 森林。有报道描述了人们开发热带雨林的情景：重型拖拉机开进亚马逊森林，把所有的树木翻倒在地，猴子受惊发出尖叫，飞鸟乱作一团腾入云层，成百上千的小动物被压死，一些人跟着拖拉机进去放火焚烧倒下来的树木，冒起令人窒息的烟雾。利用这种方式，每小时可以毁掉 100 万株树木。除了亚马逊地区外，巴西在其他地区毁林开发也是严重的，全国森林覆盖率已从 80%减至 40%。大面积毁林开发，将造成严重后果。以亚马逊地区为例，第一，大面积毁林减弱了土壤的渗水性，缩短了水分在亚马逊盆地停留的时间，将导致雨季发生更大水灾。第二，亚马逊地区降雨量的 50%来自森林蒸发的水蒸气，如果以耕地或牧场替代那里的森林，就会明显出现干旱灾害。第三，亚马逊地区的太阳辐射能平均为 1756kJ/（$cm^2\cdot d$），其中的大部分被森林遮挡。若砍掉森林，失去了天然屏障，气候将变得炎热。第四，亚马逊大森林也是周围地区降雨的主要因素，森林被破坏将使广大地区的气候改变和雨量减少。许多人忧虑地指出：如果大规模的毁林开发不加制止，亚马逊地区将在 20 至 30 年内成为世界上最大的沙漠地带之一。

人口的急剧增加，食物愈来愈变得窘迫了。据有的专家推算：1990 年世界粮食短缺（1～2）$\times10^8t$。为了增加粮食生产，一条便当的途径就是把热带森林变成耕地。这虽然可以解救燃眉之急，但却破坏了生态平衡，造成水土流失、水源枯竭、自然灾害增多、土地贫瘠、干旱，甚至成为不毛之地的沙漠。如此下去，粮食生产反而更上不去。这种眼前利益与长远利益、局部利益与整体利益的矛盾，是当前人类，主要是第三世界难以摆脱的难题。

我国森林资源的破坏也是很严重的。许多地区也在重复着愈垦愈穷、愈穷愈垦的恶性循环。我国森林面积本来就很少，由于滥垦乱伐，森林面积日趋减少。继 1958 年的浮夸风所造成的对森林的大破坏之后，又遭到十年浩劫，近年间在“要致富，多砍树”的错误思潮支配下，又掀起了一股乱伐森林的歪风，使森林破坏达到了严重程度。据有关部门的估算：现在每年消耗森林资源 $2\times10^8m^3$，其中 2/3 是属于计划外的滥砍乱伐和火灾造成的损失。我国为数不多的热带雨林也遭到了严重破坏。西双版纳是我国一片比较完整的热带雨林区，生态环境优越，生存着许多热带、亚热带植物和珍稀动物。由于不适当地开发，平均每年毁林（1.47×10^4）hm^2，覆盖面积由 1949 年的 69.4%下降到 1980 年的 26%，已经引起生态和气候的不利变化。据专家们估计：如果继续目前的刀耕火种和不合理的垦植，最多再过三四十年，茂密的森林和肥沃的土地，都将成为不毛之地。那时，就如同周恩来总理早就告诫过的，我们就将成为历史的罪人。海南岛的热带雨林也遭到了严重破坏。解放初期，天然林面积有（120×10^4）hm^2，占全岛总面积的 35%。1956 年天然林（包括天然次生林）面积还有（86.3×10^4）hm^2，全岛森林蓄积量在 10^8m^3 以上。由于毁林改种，到 1981 年天然林面积只剩（36.3×10^4）hm^2，仅占全岛总面积的 10.5%，森林总蓄积量比 1956 年减少了 40%～50%。由于森林大面积减少，水源涵养能力降低，造成水旱灾害频繁，农业减产。采取坚决措施，迅速制止滥砍乱伐森林的歪风，已经成为保护自然环境，维护生态平衡，保证农业、牧业生产发展的当务之急。

二、森林环境问题

森林资源的锐减，导致一系列的环境问题，主要表现在以下几个方面：

（一）水资源问题

森林是绿色水库，具有巨大的涵养水源的作用。森林破坏会带来大量水土流失、水旱灾害等一系列环境问题。

当前水资源问题造成的原因虽然是多方面的，但也不可忽视破坏森林对水资源问题的影响。

当前水资源问题主要表现在两个方面：一方面是水资源较少，另一方面是水资源的浪费十分惊人，污染又不断加剧，供需矛盾日益尖锐。水资源紧张的局面，将是一个长期的突出问题。

早在 1977 年，联合国即向世界发出警告：“水不久将成为一项严重的社会危机，石油危机之后的下一危机就是水。”目前，全世界已有 100 多个国家缺水，严重缺水的国家已达 40 多个。全球 60%的陆地面积淡水资源不足，20 多亿人的饮用水紧缺。非洲的许多国家早已水贵如油，有的国家不得不进口水，以解决缺水之急。科威特、沙特阿拉伯等国花费巨资开发海水淡化装置，有些专家甚至研究利用极地冰川。

世界资源研究所的一项研究报告表明，世界 53 亿人口中有 33 亿人口平均每天只能有 50L 水。现在不仅干旱地区缺水，即使雨量较多的欧洲和美国东部地区，用水也紧张起来，并且水的质量正在下降。据联合国的一项报告说：每天有 40 万儿童死亡。其中许多是因缺少洁净的水而患腹泻、传染病及其他因水源危机产生的副作用而死亡的。

设在美国华盛顿的世界监水机构主席莱斯特·布朗指出：“在过去 10 年里，农田水利建设已减少了 7%。良田减少，粮食减产，目前世界粮食消费量已超过产量。粮食库存量从 1987 年的可供 101 天减为 1989 年的 54 天。如果说，今天一些国家为争夺石油而发动战争，那么明天，挑起战火的将是水。”约旦前国王侯赛因把水的争端列为导致约旦向以色列宣战的问题之一，这是多么严重的问题啊！埃及和埃塞俄比亚，印度和孟加拉国，都因为水源问题而引发过激烈的争端。

根据世界环境观察研究所的估计，全球有（6×10^7）hm^2的灌溉地已受到盐分渗透的破坏，农作物产量逐渐萎缩。采伐森林也会引起一系列的破坏。为了取得木材，以及建筑或耕种，人类采伐木材的速度创下空前的记录。植物有保持水土和补充地下水的功能，人类滥伐森林不仅带来水灾、山崩，同时也带来了雨季期间对土壤的侵蚀，干旱时节则又引起水分不足的后果。由于采伐森林，还会造成水分流失，使之无法蒸发为空气中的水蒸气，因而也会间接地造成雨量的减少。采伐森林所造成影响的另一方面则是气候。有些科学家认为，土地若无植物覆盖其上，则会反射较多的阳光，并造成气温上升，使空气变得干热，从而影响气压。采伐森林在世界几个最干燥的地区已导致沙漠面积的扩大，其中又以非洲最为显著。整个非洲大陆正面临沙漠化的危机。

美国也同其他国家一样，已经逐渐领悟和认识到人类的能力有限，无法在不破坏生态平衡的情况下，将水资源由甲地输送到乙地。其可能带来的生态灾难，包括渔业系统的崩溃，以及水源的消失等。这些不堪设想的后果，迫使环境保护人士开展新的抗争行动，大声疾呼以对抗这种毫无节制的开发计划。但是这个行动的影响力是不大的。下面分别从几个大的范围内看看其危机的情况：

东北非洲、埃塞俄比亚的苦难充分显示了井水干涸的情景。这个国家由

于连年干旱，加上内战不已，过去 10 年中已有 100 多万人饿死，数百万人营养不良。特别是埃及，它的情况十分紧急。那里人口剧增，外债累累，由于农田水利建设不当，浪费了大量的水资源，现在要扩大水源就不那么容易了。埃及和利比亚也有供水的争执，埃及十分担心利比亚从努比亚河石水层中取水的计划。埃及人曾计划开凿一条 300km 的运河，取尼罗河水。这将使苏丹的生态系统遭到极其严重的破坏，造成这个地区内国与国之间的不信任。因此，要和平解决水资源的问题很难实现。

中东的问题也很严重，以色列的海法大学地理系教授阿农·索费发出了这样一个警告："20 世纪 90 年代中东可能因争夺水而暴发战争，因为一些国家都在设法控制相互的供水。"土耳其扬言要用水作为武器，阻止河水流入叙利亚。以色列农民大量使用地下水，使加沙地下水位下降到危险地步，不仅受到了海水的侵蚀，而且受到下水道污水的污染。

原苏联和东欧地区也不乐观。在原苏联咸海地区周围因管理不善，过去 3 年内咸海的面积已缩小 2/3,湖水里的盐分和寄生虫严重地侵蚀了湖泊周围的土地。伏尔加河的污染，毁坏了鱼子酱工业。在波兰，有 1/3 河水被污染而无法使用，给用水造成困难。

墨西哥对城市的用水管理不当，更因林区的乱砍滥伐，使墨西哥城市用水的供应十分紧张。由于化学工业的污水及下水道污水的污染已有些地区的供水达到无以复加的地步。墨西哥政府的一项报告说："水将成为限制经济发展的要素"。

美国也不例外。1988 年美国有近 30 个州持续干旱达数个月之久。中西部夏季农作物欠收，科罗拉多河水位下降，致使 8 个州田园荒芜，土地龟裂，电力生产锐减。由于大建水坝，使河水改道，野生动物濒临绝灭，生态系统遭到了破坏。一些低洼地受到海水侵蚀，有的河川含盐成分比上游要高 28 倍，对那里的鱼类及其他水禽是极有害的。

在全球浩瀚的水域中，有 98%的水是不适于人类或农业使用的咸水，所剩下的人类可使用的淡水只占 0.014%。可是，世界资源研究所的穆哈默德·阿什里估计，在人类能得到的这点宝贵的水中，有 65%到 70%，都因蒸发流失及其他浪费而失掉，所剩的真是没有多少了。总部设在华盛顿的全球战略理事会，1990 年 6 月在开罗召开了一系列全球供水高级会议。波士顿大学的法鲁克·巴兹教授在会上说："经过对美国航天飞机和遥感装置所测的地球水文资料分析，可以明白无误地说，在埃及和撒哈拉沙漠中最炎热干燥的地带有大量地下水，其水量可比过去人们估计的要多一倍。"这倒是雪里送炭的可喜的信息，结果能如何呢？可以拭目以待。供水给人类带来希望。但工业发达国家与发展中国家都认识到，水并不是取之不尽，用之不竭的，而是一种无可替代的极易受污染的宝贵的"商品"。因此，必须倍加保护，避免水的污染和浪费。

我国每年的降雨量大约为（6×10^{12}）m^3，或平均为 630mm，比全球年平均 800mm 少 1/5。在时间上、空间上的分布又不均匀。南方占 3/4，北方只占 1/4。现在，年供水量为（46.6×10^{10}）m^3，到 20 世纪末将需要达到（73×10^{10}）m3。这说明我国的水资源是有问题的。另一方面，人口平均降雨量很低，人均径流量为 2700m^3，仅是全球平均数 12900m^3 的 1/5。比西欧、日本的平均数均低。在河流的径流量中，目前得到利用的大约有（41×10^{10}）m^3，地下水抽出量约为（5×10^{10}）m^3，共（46×10^{10}）m^3，约占全部径流量的 17%。

与原联邦德国相当，为美国的一半左右。按人均而言，是美国的 1/6，是欧洲的 1/4 左右，约为日本的 2/5。水的问题是个非常重要的问题，但目前还未被人们所重视，浪费水、污染水的现象到处都有。全国有 5 万多条河川，其中流域在 100km^2 以上的有 1200 条。长江、黄河是我国两个关键性河川。

（二）土资源问题

森林植被具有固土、保土、改善土壤结构、防止土壤水蚀及风蚀等多种功能。森林植被破坏会引起土壤流失，土资源减少，影响人类生产生活等一系列问题。因此，森林环境问题，对土资源有重大的影响。同时，土资源也是森林生存发展的基础。

地球表面陆地只占 29.2%，其余均被水覆盖。但是，生活在地球上的绝大多数高等生物栖居在陆地上，特别是人类全部都居住在陆地上。因此，陆地是生物圈的最重要的组成部分。人类依赖陆地生态系统从事农业、牧业、林业以及其他多种经济活动，以满足食品和其他方面的需要。在陆地生态系统中，土壤又是最基本、最重要的条件，是决定生态系统构造及其类型的主要因素之一。适于植物生长的土壤是岩石经过千万年风化侵蚀和生物作用的复杂变化演化而成的。在人类过分榨取和不适当的利用下，土壤可以在几十年，甚至几年之内退化或破坏。土壤一旦发生退化或破坏，通常是难以恢复原状的。土壤的破坏是对农林业生产的最大冲击。

土地的损失很严重。据联合国环境规划署的估算，世界每年损失土地（5～7）$\times 10^6$hm^2。有史以来，总共损失了大约（20×10^8）hm^2，比目前全球耕种的土地还要多。造成土地损失的原因很多，首先是耕地被侵占。发达国家由于城市建设每年至少有（30×10^4）hm^2 的耕地被侵占。这种现象在发展中国家也同样发生。例如耕地很少的埃及，由于城市化，每年失去土地（2.4×10^4）hm^2。据统计，全球大城市的面积正在以比人口增长率高出两倍的速度在发展着。据预计：1975 年至 2000 年，全球新增的建筑物面积将是原有建筑物的 2.5 倍。未来城市的发展，仅人类居住，世界每年要失去（14×10^6）hm^2 的耕地，（6×10^6）hm^2 的牧场，（18×10^{16}）hm^2 的森林。对破坏土地的行为如不加以有效制止，据联合国有关部门的估计，到 20 世纪末按人口计算的农田面积将大幅度减少，那将是对人类食物的巨大威胁（表 2-1）。

表 2-1 1975—2000 年期间土地损失和开垦的预测

年份	变化情况	
1975 年	人口	40 亿人
	耕地面积	（12.4×10^8）hm^2
	每人平均耕地面积	0.31hm^2
1975 — 2000 年	因都市发展而损失的土地	（3×10^8）hm^2
	因土壤退化冲蚀而损失的土地	（3×10^8）hm^2
	新增可耕地	（3×10^8）hm^2
	净损失	（3×10^8）hm^2
2000 年	人口	62.53 亿人
	耕地面积	9.4hm^2
	每人平均耕地面积	0.15hm^2

此外，水和风的侵蚀也会造成土地损失。据联合国粮农组织统计，水的侵蚀和水涝灾害造成的土地损失占各类土地损失的 30%。萨尔瓦多境内 77%的土地和马达加斯加 80%的土地遭到快速冲蚀。尼泊尔东部山区 38%的土地，由于肥沃的表层土冲蚀殆尽，已被迫弃耕。在通常情况下，表层土的形成速度是 3.75t/（hm^2·a）。据美国的测量，表层土损失速度是 30t/（hm^2·a），损失要比形成快 8 倍。据估算，世界上每年由于冲蚀损失的土壤高达 240×10^8t 之多，损失肥料则数千万吨，要补偿土地的这种损失需要花费上百亿美元。总之，裹在地球表面的薄薄一层土壤，是经不起这种长期而浩大的冲蚀的（表 2-2）。这是国际社会面临的一个重大环境问题。

表 2-2 美国不同类型土地的年侵蚀率

土地类型	年侵蚀量／t · km^{-2}	相对率（以森林的年侵蚀量为 1）
森林	8.5	1
草地	85	10
废弃露天矿地	850	100
耕种土地	1700	200
开发中的露天矿地	17000	2000
建筑工地	17000	2000

资料来源：美国环保局统计。

水土流失造成很多国家的河道和水库淤积。哥伦比亚境内的阿奇卡亚水坝，1955 年开始使用，由于淤泥沉积，在 22 个月内丧失了 1/4 的储水量，在 10 年之内淤泥填充了 3/4 的库容量。巴基斯坦的塔贝拉水坝建设耗资 12 亿美元，由于淤积严重，估计不到 50 年就要报废。

土壤盐碱化、化学污染和草原的过度放牧，也是值得关注的问题。据统计，全世界 30%～80%的灌溉土地都程度不同地受到盐化影响。因盐化和水渍，每年要损失（2～3）$\times10^5hm^2$ 的土地。由于化学肥料、化学杀虫剂、化学除草剂的使用和工业排放物的影响，土壤中有毒物质剧增，破坏了土壤的结构和肥力，甚至被迫弃耕。在撒哈拉沙漠边缘上的苏丹称尔多凡省，家畜数量在 1957—1966 年期间增加 4 倍。从那时以来，数量还在继续增加。过度放牧的结果，破坏了牲畜与自然牧场间的动态平衡，使草原变为沙漠或半沙漠地区。这种过度放牧现象，在世界其他地区都是存在的。

由于植被的破坏，我国的水土流失情况也是严重的。黄河每年平均带走的泥沙量为（16×10^8）t，是世界上含沙量最高的河流。如果将这些泥沙堆成高宽各 1m 的堤坝，可绕地球 23.5 圈。由于泥沙的沉积，下游河床每年增高十几厘米，使河道行洪量减少，险情增多，解救之法只有靠不断加高堤坝。现在，黄河正常水位已经和开封的铁塔尖端处于同一高度。水土流失加重了广大地区特别是黄土高原的旱涝风沙等自然灾害，农业产量愈来愈低，影响了群众生活。水土流失也是一个全国性的问题。位于我国最北部的黑龙江省，每年因水土流失减产粮食（20×10^5）t。地处我国南端的广东省，近几年来水土流失的面积增加了约 1000km^2，793 条溪流严重淤塞，大批水库库容显

著减少。位于中部的长江流域，水土流失面积占流域总面积的 20%以上，每年土壤侵蚀量约为（24×10^8）t，使某些江段泥沙大量淤积。据专家们估计，全国每年被冲走的泥沙有（50×10^8）t 之多，相当于全国的耕地每年剥去 1cm 厚的肥土层，损失氮磷钾肥料超过（4×10^7）t，相当于全国一年生产化肥的总和。

（三）大气问题

森林与大气间有着物质交换和能量转换关系，能发生相互影响和作用。森林受大气污染的影响会造成极其不良的后果。但是，森林也能在一定范围内净化空气、调节气候、改善大气质量。大气环境问题主要有如下几方面：

1.空气污染、酸沉降。空气污染、酸沉降对林木的影响有时是非常明显的。当大气中 SO_2、NO_x 的浓度过高，雨水的 pH 值过低时，都会使林木出现明显的伤害，由此导致林木生产力下降，甚至衰亡。据估计，在欧洲，森林由于遭受多种空气污染的危害，在较长一个时期内将会导致木材产量的下降。1987 年，勘校了 17 个欧洲国家森林损害面积的研究者们，对遭受多种空气污染和其他胁迫因子损害的森林面积进行了评估。他们估计，易遭中度或严重损害的林木总蓄积量为（18.08×10^8）m^3，几乎是这些国家林木蓄积量的 15%，为其木材年采伐量的 6 倍以上。损害尤为严重的是瑞士（受影响的蓄积量为全国木材蓄积量的 25%）、德国（为 21%）、荷兰（为 20%）、瑞典（为 20%）。最近对欧洲森林资源衰减的评估表明，在总数（1.41×10^8）hm^2 的森林中，约有（5×10^7）hm^2（占 35%）受到不同程度的伤害。我国的空气污染在一些城市也非常严重，给城市绿化工作带来了相当大的困难。我国酸雨对森林的危害在南方和西南地区也非常严重。“七五”期间，我们在西南地区的研究表明，当降水的 pH 值小于 4.5 时，四川省马尾松的树高、胸径和材积分别降低 40.1%、36.8%和 75.9%，在贵州省则分别降低 8.9%、17.1%和 37.1%；四川省杉木的树高、胸径和材积分别降低 51.6%、44.6%和 85.1%，在贵州分别降低 21.7%、23.7%、5.54%。四川和贵州两省受酸沉降影响的森林面积分别为（27.56×10^4）hm^2 和（14.05×10^4）hm^2。造成的直接经济损失，四川省达 3.6 亿元，贵州省达 0.5 亿元。其所造成的间接经济损失更大。

2.温室效应。温室效应对森林的影响是多方面的，不仅表现在个体水平上，而且体现在群落水平上。CO_2 可以作为一种主要肥料，促进植物生产碳水化合物和有效利用水分。据估计，若大气中 CO_2 浓度增加 1 倍，C_3 植物大约可以加速生长并使产量提高 30%～50%，C_4 植物增产较少，产量增加 0%～10%。全球大气中温室气体浓度增加及其引起的气候变化的结果，使陆地生态系统可能面临严重的后果，即温度及降雨量会突然变化，气候区也将在下一个 50 年内可能朝两极转移几百公里。植物和动物群落的转移将滞后于气候的变化，生存于现在场所的生物群落，将会发现自己生活在不同的气候状况下。这种状况可能更适宜也可能更不适宜于它们。因而，可能增加某些物种的产量，也可能减少某些物种的产量。生态系统不可能作为一个独立的单元移动，因物种分布及丰度的交替结果，生态系统将出现新的结构。世界资源研究所的报告预计，由于全球变暖，尤其是在针叶林生长的高纬度地区，其林木生长速度加快，森林面积得以扩大。

国家气象局等单位合作研究全球气候变化（温室效应）对中国森林影响

的预测表明，如果到 2050 年，全球的平均气温上升 0.2℃，中国的植被带将发生移动（表 2-3）。其最明显的特征为：寒温带针叶林和温带针阔混交林的面积发生显著减少，大部分寒温带针叶林将消失。这对于中国东北的木材生产将会有很大的影响。由于植被对气候变化的反应机制是相当复杂的，因而植被在气候剧烈变化下所发生的许多反应还无法预测。

表 2-3 气候变化引起的中国各植被类型面积的变化率/%

植被类型	现有气候条件下	2050 年最适时	2050 年最低时	2050 年最高时
寒温带针叶林	2	0	0	2
温带针阔混交林	7	6	3	9
暖温带落叶阔叶林	11	11	9	15
亚热带常绿阔叶林	21	21	21	24
热带季雨林	1	7	3	10
温带草原	16	11	7	15
西藏高山植被	28	20	18	26
未定义的	—	15	4	13

（四）自然灾害

自然灾害的发生，有的与森林破坏有关，如水土流失、滑坡、泥石流、干旱、洪涝等，有的则纯属其他自然原因造成的。

我国是一个自然灾害频繁而又严重的国家，每年都有一些地区遭受多种自然灾害。主要的自然灾害有：暴雨、洪涝、台风、风暴潮、干旱、冰雹等气象灾害；地震、山崩、滑坡、泥石流、地裂缝等地质灾害；农作物和森林病虫害、鼠害；森林火灾、生物灾害等。这些灾害具有频次高、受灾面广、灾情重等特点。

在重大的自然灾害中，尤以洪涝、干旱为甚，且分布区域很广，有 45%的国土属于干旱或半干旱地区。1949 年以来，干旱的受灾面积占总受灾面积的 60%～70%，每年减产粮食 10^{10}kg 以上。

洪涝灾害的肆虐，同样给森林乃至人民的生命财产及国民经济建设带来严重危害。

我国是世界上水土流失最严重的国家之一，每年流失土壤超过（5×10^9）t，占世界总流失量的 1/12，每年入海泥沙量约（2×10^9）t，亦占世界陆地入海泥量的 1/12。据统计，黄河和长江的年输沙量分别占世界九大河流的第一位和第四位。水土流失造成的直接灾害是使土壤变薄，肥力降低，含水量减少，热量状况变劣，土地生产力下降，粮食减产；水土流失造成的次生灾害是，促进滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害的发生；抬高河床，淤塞水库，加速灾难性洪涝的发生和发展。

除干旱、洪涝之外，因气候条件改变而引起的风暴灾害也相当严重。台风在我国登陆的次数居全球首位。我国东南沿海每年都有 6～7 次台风登陆，且造成重大损失。有些台风在沿海地区引起巨大的风暴潮和巨浪，对近海海域航行和海上石油开采等工程设施造成了严重威胁。由台风在海上和沿海地区所造成的直接经济损失，一般年份为 2 亿～6 亿元，大灾之年则要超过 10

亿元。

我国滑坡灾害之严重和分布范围之广是世界上少见。历史上每年都有滑坡灾害发生，而近 10 年来我国的滑坡更是规模大、速度快，给人们造成的灾难极大。1980 年 6 月 3 日湖北省远安县盐池河磷矿的山体崩滑，使 172 人丧生；1982 年 7 月 17 日四川省云阳县的鸡爪子大型滑坡；1983 年 3 月 7 日甘肃省东乡族自治县的洒勒山高速大规模滑坡；1985 年 6 月 12 日长江三峡的新滩滑坡都给人们留下了惨痛的记忆。滑坡对交通运输的危害更是惊人。据统计，宝成铁路有滑坡 101 处，成昆铁路有 183 处，鹰厦铁路有 48 处。每年都有因滑坡灾害而中断行车数十天的记录。为此，国家每年用于整治滑坡的费用高达 5000 万元以上。我国的滑坡发育地区主要是云、贵、川、西藏东部、甘肃省南部和黄土高原沟壑区。

由于我国是一个多山的国家，山地、高原、丘陵占国土面积的 69%。所构成的复杂地质条件，使得我国亦成为世界上泥石流灾害最严重的国家之一。受泥石流危害的主要地区是西南、西北山区，其次是青藏高原东部、南部和北部边缘、秦巴山区、太行山—燕山—辽南山区。泥石流给城镇、农田、工矿企业、交通运输、能源和水利设施、国防建设工程等带来极大的危害。每年都要造成数亿元的经济损失和几百甚至上千人的死亡。由于铁路运输跨越的区域广，受泥石流危害最为严重。全铁路沿线有泥石流沟 386 条，威胁着 3000km 铁路的安全。1949—1985 年累计发生泥石流灾害 1200 起，其中造成铁路被毁、中断行车的重大灾害有 300 起，列车出轨和颠覆的严重事故 10 起，伤亡 100 人以上的特大事故 2 起，33 个车站被淤埋 41 次，每年仅用于复旧费和改建工程费就高达 7000 万元。此外，正在建设的长江三峡工程库区，也有泥石流沟 271 条，且近期活动有加剧的趋势，从其发展趋势预测，将直接影响库区泥沙淤积和航运以及城镇迁建和移民安置。

我国的有害生物种类繁多，成灾条件复杂，而生态环境的恶化加重了灾情的发展。每年都有一些农作物和森林遭受病、虫、草、鼠危害，受灾面积很广，平均每年农作物受灾（1.77×10^8）hm^2，损失粮食百亿公斤；森林受灾（0.093×10^8）hm^2，损失木材生长量 10^7m^3，价值 10 多亿元，再加上水果、蔬菜、油料及其他经济作物的损失，每年的总损失近百亿元。

除上述环境问题之外，还有野生物种消失速度加快、固定 CO_2 的作用减弱，森林环境的南北差异增大及发展中国家资源已近枯竭。

野生物种消失速度加快。全球物种分布极不平衡，其种类由极地向赤道渐增多，仅在覆盖全球陆地面积 7%的热带雨林中的物种就占全球 1000 多万物种的一半。由于全世界森林环境的恶化，特别是热带雨林环境受到空前的严重破坏，正导致物种灭绝达到空前的速度。许多专家认为，全球物种已消失了 25%，并且 20%～30%的物种还有消失的危险。据估计：到 20 世纪末，由于毁林全球还会有 5%～15%物种消失，年减少物种 1.5 万～2 万种或每天减少 40～140 种，仅南美热带雨林中现存的 9.2 万种植物就将损失 15%～16%。

固定 CO_2 的作用减弱。森林是地球上最大的 CO_2 吸附源。据估计：森林生态系统贮存的 CO_2 量超过全球 CO_2 量的一半，每公顷热带森林一年能吸收 7～9tCO_2（按碳换算）。如果热带雨林仍按现在的约（11×10^6）hm^2/a 速度减少，则 CO_2 吸收量一年将减少（0.8×10^8）t。另外，森林破坏后会使树木及其下

部土壤中的碳氧化释放到大气中。最近估计，森林减少使碳的排出量每年大约增加（16×10^8）t，这相当于人们燃煤时排出的 CO_2 量的 30%。大气中 CO_2 浓度的急剧增加，加速了地球温暖化的进程。

森林环境的南北差异增大。当前世界经济发展模式是以生物圈的损害为代价的，它仅仅为占全球 1/5 的人带来富裕。由于世界各国经济发展的不平衡，发达国家已成为主要的资源消费大户。他们不仅吞噬了本国资源，二次大战后又采取保护本国资源、掠吞发展中国家和不发达国家资源的策略，将森林环境问题逐步转移到了第三世界国家。而发展中国家为了维持生计和促进社会经济发展，不得不以非持续性的方式开发利用森林。在森林环境问题上形成了愈来愈明显的南北差异和南北矛盾。

发展中国家资源已近枯竭。森林资源一直是许多发展中国家生活与经济发展的基础。由于近年来森林面积减少太快，而更新造林面积不到采伐面积的 1/10，致使木材与薪材资源严重不足。据估计：1980 年时全球薪材不足状况下的人口约 13 亿人，预计到 2000 年时将上升到 27 亿人。特别是世界最不发达国家已由 1971 年的 24 个增加到 42 个；发展中国家的外债已达 1 万多亿美元；全世界的环境难民也增加到 300 多万人。如果低收入国家的生活状况仍得不到改善，全球森林环境的持续性战略就不会成功。长此下去，广大第三世界国家将陷入贫困—森林采伐—环境恶化—贫困的恶性循环。

三、森林环境问题产生的原因

由于森林环境问题与其他生态环境问题是相互关联的，这种相互联系意味着森林环境问题产生的原因与生态环境恶化的原因基本相同。

生态环境的恶化，有历史的原因，也受地理、气候等自然条件的影响。由于人类对生态规律缺乏认识，导致经济活动决策失误和管理上的混乱，则是近年来生态环境破坏的主要原因。

下面以中国为例来论述森林环境问题产生的原因。

（一）开发历史长，生态环境基础薄弱

今天的生态环境是历史塑造的。目前我国一些重大的生态环境问题，如森林覆盖率低、黄土高原水土流失严重、北方大面积的土地沙化等，都是长期的历史开发过程中形成的。

我国历史上曾是多林的国家。在太古时代，森林覆盖率估计为 49%，东北、四川和云南地区高达 80%～90%，直至清初，森林覆盖率还有 26%。从 18 世纪初到解放前的 200 多年间，我国森林资源遭到前所未有的严重破坏。这是造成我国生态环境基础薄弱的根本原因。森林破坏的主要原因是：垦殖时间长，规模大；战火频繁，修边筑塞；统治阶级穷奢极欲，大兴土木；帝国主义的掠夺。

中华民族有悠久的历史，我们的祖先勤劳、智慧，给我们留下的遗产和古迹是令人自豪的。然而，几千年的开发史所造成的森林覆盖率低、严重水土流失和大片的沙漠化土地，则是我国生态环境基础薄弱的所在，也正是今后的经济活动必须尊重的客观现实。

（二）人口增长快，生态环境压力大

当今人类面临的人口、资源、环境三大问题中，人口是第一位的。资源和环境问题都与人口紧密相关，从某种意义上来说，人口问题是其他所有问题的根源。

人和自然之间相互作用、相互影响。一方面，人要改造自然，为自己创

造适宜的生存条件，并不断地向自然界索取资源，满足自己的需要，同时也排放废物污染环境；另一方面，自然界也反作用于人类，限制其无节制的开发活动，以各种灾害施加报复。

人口增长快，地区分布不均，人口素质差，对我国生态环境造成了巨大压力。

1.人口与耕地的矛盾。我国拥有（9.6×10^8）hm^2土地，可供农、林、牧的面积（4.4×10^8）hm^2，人均不足 $0.4hm^2$，不足世界人均 $2.2hm^2$ 的五分之一；耕地面积为（1.3×10^8）hm^2，人均不足 $0.13hm^2$，比世界人均耕地少得多。由于人口地理分布不均，全国有九个省市人均耕地不到 $0.07hm^2$，浙江省人均耕地只有 $0.05hm^2$。由于各种原因，我国耕地面积一直在缩减。

在我国许多地区，人口增长已经超过生态环境和经济发展所能承载的限度。例如：宁夏南部山区人口自 1949 年至 1984 年，总数增长 2.29 倍，年递增率达 3.49%，大大超过同期该地区经济发展的速度，人均粮食由 1949 年的 430kg 下降到 1984 年的 234kg。人口的发展完全抵销了经济的增长。又如，甘肃中部 18 个干旱、半干旱县，人口密度达 82 人/km^2，其中秦安县高达 281.9 人/km^2。按国际上通行的人口密度标准，干旱地区合理密度为 7 人/km^2，半干旱地区 25 人/km^2。上述地区的人口密度已大大超过了标准值。虽东南沿海自然条件较好，资源比较丰富，但人口剧增导致村舍相连，农田骤减，人地矛盾在一些地区已相当尖锐，不少农村已无地可耕。

2.人口对资源的冲击。从全球来说，资源问题是紧迫的，而我国的情况则更加紧迫。究其原因，最根本的是人口多，对资源的需求大，直接增加了对资源的压力和冲击。就人均水平来说，我国很多资源和生活物资消费水平均在世界平均水平之下，与资源富饶国家相比就更低。

人口增长，造成粮食和能源压力过大，迫使人们毁林、开荒、围湖造田，从而造成植被破坏，生态失调，水土流失，灾害加重，三料（燃料、饲料、肥料）更加紧缺，生产条件恶化，粮食产量难以上去。这样便不可避免地陷入“越多（人口）越穷，越穷越垦，越垦越穷”恶性循环的深渊。

另外，人口剧增，教育跟不上去，文化水平低，环境意识低下，法制观念薄弱，也造成对资源的巨大冲击和破坏。我国某些地区流行的“要想富，去砍树”的经营思想；经常见诸报端的“炸鱼、电鱼”等野蛮捕鱼手段；广西、东北等地专营野味“餐馆”的出现和发展；贸易部门收购和出口珍稀野生生物产品；云南某地将一片千姿百态的石林粉碎作建筑材料出售等，都是由于环境意识低下造成的对资源破坏的例证。

3.人口与环境的污染。我国属于发展中国家，工业化水平不高，而环境污染却已相当严重。这与我国巨大的人口压力是分不开的。在一定的生产条件和生活水准下，资源的消耗与人口成正比，生产条件的改善有利于降低资源的消耗，而生活水准的提高则会增加资源的消耗。环境污染是在资源消耗的过程中产生的，不合理的利用与过多地消耗资源必然带来严重的污染。而这又与人口多、人口素质差直接相关。这也是造成我国环境污染的重要原因之一。

人口剧增，密度提高，还会导致许多疾病的产生和蔓延。人体本身也可以说是一个污染源。一个人每天要吸进 0.75kg 氧气，呼出 0.9kg 二氧化碳，人体从呼吸道排出的代谢物含有 400 多种化学物质。人的粪便中有 1/3 的微

生物菌体，1 个成年人 24 小时内排出的微生物有 400 亿个。人体相当于 500W 灯泡的热量，人口密集在一起，也会产生“热污染”。

（三）对生态规律缺乏认识，经济活动决策失误

1.对生态环境的整体性认识不足，工程建设忽视生态效应。生态环境的首要特点是其整体性，是由各个子系统构成的具有一定层次的统一体。在这个统一体中，各个环境要素乃至不同的系统之间，相互联系，彼此制约，协同一致。当人们在某一地域进行开发和工程建设时，对生态环境的干预往往造成牵一发而动全局的后果，有些影响往往要经过几年甚至十几年才能看出。我国是人均水资源少，水资源时空分布极不均衡的国家，蓄水保水、调控径流是一项长期的、关系到国计民生的大事。解放后，我国进行了大规模的水利建设，仅水库就修筑了 8.6 万多座，水利建设的成就是巨大的。但是，由于水利工程建设中缺乏生态观点，单纯强调工程蓄水，忽视植被的蓄水保水、调节径流的作用，没有将两者结合起来，进行全面系统的研究，有些工程违背了生态规律，不仅造成了一些生态环境问题，也影响了工程的效益。例如，位于塔里木河下游的罗布泊，原是一片绿洲。20 世纪 60 年代以后，塔里木河上游垦田用水，使罗布泊水量大大减少，后来又修了大西海子水库，把塔里木河完全切断，致使罗布泊整个干涸，下游大片胡杨林因缺水而死亡，沙化面积扩大。

2.对生态环境的区域性认识不足，开发活动搞“一刀切”。生态环境另一个重要特点是区域性，这在我国尤为明显。我国是世界上生态环境最为复杂多样的国家，南方和北方，山地和平原，高原和丘陵，内地和沿海等地理条件、光热特点、雨量情况、资源类型大为不同。这种情况造就了我国不同地区各自的资源优势，为社会经济发展提供了潜在的物质基础，但也给合理开发带来了巨大的困难。

过去，我们长期对生态环境的这种区域特性认识不足，不考虑自然环境的特点，普遍推行单一经济，处处强调粮食自给，因而导致毁林开荒，毁草种粮，围湖造田。这不仅没有发挥资源优势，还严重破坏了生态环境。

干旱地区的生态特点是自然条件差，生物量少，生物种类多样性低，土地肥力不高，生物与其环境之间的平衡非常脆弱，其生态平衡一旦被打破，就会导致不可逆转的破坏。由于对这种生态系统的特殊性认识不足，在“牧民不吃亏心粮”的错误口号冲击下，盲目开垦，不仅未能生产多少粮食，还造成了草原的退化和沙化。解放后被开垦的草原面积约达（2667×10^4）hm^2，其中有 1/3 左右已失掉土地生产力，变成了沙漠。例如，河北省坝上草原的张北、沽源、康保、尚义四县，原有草原（80×10^4）hm^2，由于滥垦破坏，现仅剩下草原约（13.3×10^4）hm^2。草原减少，过度放牧，使草原退化严重，致使牲畜下降，1979 年比 1955 年牛的数量下降 50%，羊的数量下降 29%。

我国是多山的国家，有很多高大山脉，具有很多特异的生态环境和资源特点。如不认识这种特异性，一味滥砍乱伐，就会造成水土流失和资源破坏。

3.对可再生资源的生态功能和价值认识不足，重用轻养。社会和经济的发展建立在资源利用的基础上。资源可分为不可再生资源和可再生资源，前者是用一点少一点，直到用完为止。后者则具有两重性：若不加抚育，无限制开发，就会衰竭，变成不可再生资源；如果用养结合，就可不断再生，永续利用。

可再生资源的价值分为现实使用价值和潜在使用价值。资源的价值由潜

在转化为现实总是随着人类认识的提高而由少到多地一步步扩展，逐渐趋于完善。例如，森林的使用价值，在原始社会，一方面向人类提供生存栖居地和食物来源，另一方面因藏匿毒蛇猛兽而有害于人类；在奴隶社会和封建社会，主要以提供能源、建材和劳动工具为特征表现；在近代资本主义社会，则主要为工业生产提供原材料；在现代社会，森林的价值已由过去单一的生物产品生产使用价值，扩展为包括森林生态功能使用价值在内的两个方面，也就是说，其潜在使用价值得到了充分发挥（表 2-4）。同森林一样，草原除了向社会提供肉、毛、皮等畜产品外，还起着涵养水源、保护土壤、防风固沙、净化空气和改善生态环境的作用。

表 2-4 森林的使用价值

使用价值类别	产品和功能形式	使用价值实现形式
生产生物产品	木材、植物液汁、采伐剩余物、观赏树木及花卉、种子、草本植物及菌类、动物	为社会生产提供原材料为人民生活提供消费品
生态功能	调节气候 改良土壤 涵养水源、保持水土 防风固沙 消除污染、净化环境 美化环境	为农业和其他经济部门提供优越的生产条件保障人民生活和生命财产安全,为人们创造良好生活环境

我们在对可再生资源的认识上，过多地注重现实使用价值，而忽视对其潜在使用价值的保护。反映在开发利用上，重用轻养，缺乏全局观念和长远观点，往往自觉不自觉地为眼前利益牺牲长远利益，为局部利益牺牲整体利益。当经济价值与生态功能使用价值发生矛盾时，总是让生态让位于经济。只有保护养育资源，按各自的生态规律去开发利用，才能获得最高的经济效益。许多可再生资源的衰竭正是由于人们不能正确认识其价值，违背生态规律，实行野蛮征服的结果。

生态涉及人口、资源、社会、经济各个领域，具有内在的规律性。人类活动干预环境，环境反作用于人类。经济活动只有既遵循经济规律，又遵循生态规律，才能获得长期稳定的发展。

在过去相当长的时间内，甚至现阶段的某些经济活动中，决策人员没有充分认识我国生态环境的特点，未能从环境的区域性、整体性和生物资源的潜在价值出发，因地制宜、全面规划、统筹安排。有些工程项目，只顾近期或眼前利益，片面追求经济效益；没有认真考虑其生态效益，违背了生态规律，结果受到了惩罚。虽曾多次编制环境规划，但主要是就污染论污染，没有从资源的综合利用、开发方式、技术路线、城乡布局、产业结构、经营体制等统盘考虑经济发展同保护生态环境的关系，于是导致一系列生态问题的发生。教训是深刻的，必须引以为戒。

（四）法制不健全，部门分割，管理混乱

科学管理是使现代人类经济和社会活动有序化的根本手段。对于生态环

境的保护与改善，管理更具有特殊意义。我国在污染控制的管理方面虽然已取得一些成就，但仍存在有待加强的薄弱环节。尤其在生态环境的管理方面，可以说是很不完善。这亦是我国生态环境恶化的主要原因之一。主要表现为：立法不健全，法治不够；部门分割，缺乏统一的管理体制。

（五）生产技术水平不高，环境资源过度消耗与浪费

人与环境的关系随着科学技术水平的提高而改变。在远古时代，人是环境的掠夺者；在农业社会，人是环境的利用者；在工业社会，人是环境的创造者；正向“后工业社会”迈进的今天，人成了环境的协调者。在漫长的历史中，人类沿用的生产技术在不断发展，旧的被淘汰，新的产生出来，总是朝着投入少产出多的方向发展。而我国至今仍有不少部门和地区沿用着陈旧的技术，原料的消耗高，成品产出少，这极不适应人口增加、资源减少的客观现实。我国生态环境破坏与这种状况有直接的关系。具体表现在：

1.农业生产技术与经营水平不高。在农业生产中，我国大部分地区还未完全摆脱千百年来靠天吃饭的局面。农耕技术和经营水平不高，进步不大，未能普遍建立起稳定、高效、高产、低耕的农业生态系统。有些地方甚至沿用极为落后的刀耕火种方式。因经营粗放，使土壤质量退化，土地生物量减少，于是不得不扩大耕地或过度耕作，继而又加剧了土壤退化过程，形成恶性循环。

我国农村能源紧缺，目前生物能约占农村总能耗的68%。由于利用方式落后，99%采取直接燃烧方式，又多为旧式炉灶，热能利用率只有10%～13%。现在，虽然已研制出一些经济有效的节柴灶，热效率达20%～30%，但还未全面推广，薪炭林的营造也因尚需调整政策而未广泛展开，使为获得能源而导致的植被破坏、土壤退化问题继续存在。

2.林业生产建设科技含量不高。一些重大生产建设还没有建立在充分的科学论证基础上，重视经济规律和重视自然规律都不够。森林采伐技术上存在的问题，使一些地方资源枯竭，而另一些地方则是过熟林自然枯损。在林木加工上，浪费惊人。在造林方面，重视适地适树等造林技术不够，轻视管护，从而影响成活率、保存率、成林率及成材率。

3.工业生产资源利用率低。我国工业基础薄弱，不少工厂设备陈旧，生产工艺落后，技术改造和设备更新赶不上生产发展的需要。不少技术仍然停留在五六十年代的水平，再加上管理混乱，跑冒滴漏严重，因而资源的利用率低，废物的排放量大，造成对生态环境的污染。

当前，全球性的森林环境问题已非常严重，幸运的是，人类对森林环境问题的认识程度也愈来愈深。环境科学的发展将促使人类的自然观、价值观、道德观以及经济观和生活习俗发生深刻的变化，它将成为新文明的先锋。

人类社会与森林环境协调发展将最终实现人类及森林的持续发展。

第二节 森林环境破坏与水土流失和荒漠化

由于森林环境和植被的破坏，特别是在坡度较大的山区毁林开荒，已使全球地表裸露面不断扩大。土壤因缺乏吸附源而降低了对雨、雪、风蚀的抵抗力，从而导致土壤退化和沙漠化、水土流失的现象日益严重。据估计，全世界每年有（250～260）×10^8t 表土流失，其中我国占 20%，印度占 15%，前苏联占 9%。全球陆地 1/3 左右的土地已沙漠化，并仍以（6×10^4）km^2/a 的速度扩大。过度的土壤流失不仅使土层瘠薄和土壤肥力损失，而且对水利工程、交通运输等也造成了严重影响。

一、山丘区森林环境与水土流失

（一）山丘区水土流失及其危害

水是人类生命之源，土是人类生存之本。水土资源是人类赖以生存与发展的重要物质基础。由于山区地形起伏，为降水汇流、土壤侵蚀与水土流失提供了动力学条件。因此，在山区不合理地利用和开发土地，破坏植被，必然引起严重的水土流失。

据 1990 年遥感普查结果，我国水土流失面积（367×10^4）km^2，占国土总面积的 38.2%。据推算，每年水土流失的土壤至少在（50×10^8）t 以上。据不完全统计，40 年来因水土流失已减少耕地（266.7×10^4）hm^2，造成的经济损失每年约 100 亿元。目前全国人均耕地比新中国建立初期减少了一半，有 1/3 的省份人均耕地已降到不足 0.067hm^2。

水土流失不仅造成土地资源的破坏，导致农业生产环境恶化，生态平衡失调，而且影响国民经济和社会的发展。主要表现在如下几方面：

1.由于水土流失，加之山区毁林开荒，水旱灾情加剧。江河、湖泊因泥沙淤积，降低了行洪、蓄洪和滞洪能力，造成了小洪水、高水位、大灾害的后果，给人民生命财产和经济建设带来了巨大的损失。目前，黄河中下游河段平均年淤积 10cm，淤积的泥沙达（4×10^8）t。黄河已成为一条悬河。洞庭湖的淤积速度也很快，加之不合理的围垦，湖面在逐步缩小，这将给当地和长江中下游带来严重的影响。由于淤积，全国损失的水库、山塘库容累计达（200×10^8）m^3，相当于淤废库容 108m^3 的大型水库 200 座，直接经济损失达 100 亿元。

2.由于山丘区水土流失，使坡耕地日益瘠薄，加剧了干旱的发展，粮食生产低而不稳，甚至绝产。统计资料表明，全国多年平均受旱面积为（1960×10^4）hm^2，受灾面积约（667×10^4）hm^2，受灾率达 34.4%，且大部分在水土流失严重区，这更加剧了粮食和能源等基本生活资料的紧缺。

3.由于山丘区水土流失，造成航道、港口淤积，致使航运里程和泊船吨位急剧降低。另外，山体滑塌、泥石流等灾害时有发生。

4.水土流失与贫困互为因果，恶性循环。年复一年的水土流失，使有限的土地资源遭受到严重的破坏，地形破碎，土层变薄，地表物质“沙化”、“石化”。特别是土石山区，由于土层流失殆尽，岩石裸露，群众已无生存之地。据统计，因水土流失，全国每年损失耕地约（13.3×10^4）hm^2。

（二）山丘区森林涵养水源和保持水土的作用

森林植被通过对水分循环与过程的生物调控成为控制水土流失的关键因素。森林具有明显的涵养水源和保持水土作用，表现在以下几个方面：

1.林冠对降水的截留作用。森林覆盖层使大地免受雨水的直接冲击。首先，林冠对降水起着重要的截留作用。林冠截留是指大气降水到达林冠层时，由于茂密的林冠层阻拦雨水直接滴落在地表层，一小部分雨水被树木的枝叶截拦，附着于枝叶的表面，然后慢慢地蒸发回大气中。林冠截留降水的作用，就是截留一部分降雨量以及减弱雨水对地表土层的直接冲击力。

根据国内外研究表明，林冠层能够截留降水的 10%～30%，而后又蒸发到大气中去，增加了大气湿度。50%～80%的降水透过林冠缓慢渗入林地补充了地下径流，而且最大限度地减少了地表径流，从而保持了水土。

2.树木枯枝落叶层在森林水文中的作用。林地枯枝落叶层是由落下的茎叶、枝条、果实、树皮和植物残体所形成。透过林冠降落到林内的雨水首先为林地内的枯枝落叶层所承受，而枯落物吸收了下落雨水的冲击力，防止了对下面土壤的溅蚀作用。枯枝落叶层像绒毯一样，不但能防止土壤的强烈冻结，改善土壤温度，减少蒸发，而且起着海绵和过滤器的作用，吸收、减缓地表径流，保持水土，防止土壤冲刷。可见，枯枝落叶层具有十分重要的水文意义。具体地表现在：①防止雨滴击溅土壤，维持其结构性和抗蚀力。②拦蓄和渗透降水，减少地表径流。③分散、滞缓地表径流，起到调节河川径流和削弱洪峰的作用。④过滤地表径流，避免土沙流入河川和水库。据观测资料，天目山各类森林枯落物存量为 16.4 t/hm2，有效持水量为 39.6t/hm^2，其超越饱和持水量的水分，可渗入土壤中去，很少产生地表径流。

3.森林使土壤渗透性增强。森林土壤的渗透性强。土壤团粒结构的形成、植物根系的穿透作用和土壤动物的活动，使森林土壤渗透性很强。森林土壤渗透性一般都在 200mm/h（日本北海道试验的林地终期渗透强度为 414mm/h；四川林业科学研究院观测结果，林下土壤渗水速度为 300mm/h），比世界上最强的降雨 60mm/h 还要大的多，再加上森林土壤中能吸收 50～250mm 的降水，因此，森林的地表一般不出现地表径流，土壤流失量极少。

4.水土保持林根系固土作用。各种植物都有固持土壤的作用，但以林木为最好。乔灌木树种依靠其深长的垂直根系，以及放射型扩展的水平根、斜根、心状根，能以相当大的幅度和深度固持土体。加之树与树之间的根系纵横交错，构成了地下“钢筋”，固土作用将更加增大。此外，利用深根性树种和浅根性树种组成的乔灌木混交的异龄林根系呈多层分布的特点，促使土壤和母质层之间为过渡状态，从而减轻了土壤滑落面的形成，为减轻重力侵蚀及石洪、泥石流的危害创造了条件。

通过这几方面的作用，森林减少地表径流，使之转为地下径流，防止了水土流失。同时它起到了蓄存降水、补充河水和地下水的作用，具有明显的涵养水源作用，提高了水资源的有效性。

（三）水源涵养林与水土保持林体系建设与山丘区森林环境的恢复

森林是山丘区生态环境的主要构成因子。森林资源的多寡，在某种程度上表征了其生态环境的好坏。林业生态工程建设成为当今世界林业发展的趋势，得到越来越多国家的重视。各国都把增加森林植被，充分发挥森林的多种效益，作为治理环境的根本措施。日本提出了“治山就是治国”的口号，把森林的社会生态效益提到了更高的地位。

我国政府对山丘区林业生态建设与森林环境恢复相当重视。先后批准建设的十大林业生态工程，很大一部分位于山丘区，它的规模和作用在全世界都是史无前例的。特别是三北防护林体系建设工程、长江中上游防护林体系

建设工程、太行山绿化工程及黄河中上游防护林体系建设工程的实施，不仅保护了现有森林、草原植被基础，而且采取人工造林、飞机播种造林、封山封沙育林育草等多种方法，在我国广大山丘区有计划、有步骤地营造防风固沙林、水土保持林、农田防护林、牧场防护林、水源涵养林、薪炭林、经济林、用材林等，形成了乔木、灌木、草本植物相结合，林带、林网、片林相结合，多林种多树种合理配置，农林牧协调发展的防护林体系。

总之，在山丘区防护林体系建设的生态及经济目标下，以优化土地利用为基础，以发挥水土资源和生物资源生产潜力为依据，实现组成山区防护林体系各林种的合理配置与组合，多层次混交，充分发挥多林种、多树种生物群体的多功能和多效益，建设功能完善、生物稳定、生态经济高效的人工防护林生态系统，加快植被的恢复与重建，是山丘区总的发展趋势。

二、平原农区森林环境与风沙干旱

平原地区往往是人口密集、工农业发达、各种经济活动频繁和重要农产品的生产基地。这些地区由于人口的增长和工农业的不断发展，农耕地面积在不断地下降，森林草甸、沼泽等面积也在不断减少。于是，在人类利用自然资源的过程中不断破坏着旧的生态系统，又在不断地以人工模拟自然生态系统结构来创造新的平衡。总的趋势是生态系统结构中生物结构日趋简化，农业生产对人为措施的依赖性愈来愈强，并日益显示出其严重的脆弱性。表现为这个独立的地域性生态系统既复杂而又不稳定，各种自然灾害日趋严重，交错危害，成为平原发展农业生产的限制性因素。

（一）农田防护林体系对环境的影响

国内外大量的生产实践和科研成果表明：在遭受旱涝、风沙和霜冻等危害的农田上营造不同类型的农田防护林，不仅可以减免自然灾害的侵袭和保障农作物高产稳定，而且还可以开展多种经营增加群众的经济收入和提高人民的生活水平。所以，大面积地营造农田防护林，实现农田林网化是建设生态农业的重要措施。

农田防护林体系的环境效益主要表现在农田防护林的改善小气候效益、水文调节效益和土壤改良效益上。

1.提高土壤和大气湿度。农田防护林具有明显的增湿效果。据资料测定，在东北半干旱风沙区生长季节内林网月平均增加水分值为 21.2～30.9㎜，相当于每月林网内多降一场中到大雨的效益。在无灌溉条件下，林网使林网内水分多 22%～42%，有效水提高幅度为 5%～17%。

2.防止土壤侵蚀，提高土壤肥力。在林带保护下，表土不易吹蚀，在雨季又可减轻雨水对土壤的侵蚀，林木枯枝落叶可增加的农田腐殖质比无林地农田高 20%～70%，土壤有机质含量提高 0.12%，提高有机氮 13.7×10^{6}、有效磷 3.9×10^{-6}、有效钾 18.7×10^{-6}。林网内土壤含盐量降低 60%～78%，并改变了土壤阴离子组成。在林带附近，微生物的数量、种群以及蛋白酶和转化酶的活性都优于旷野，其中以林带高的 1.5 倍距离范围内为最高。

3.降低风速。农田防护林具有明显的降低风速的作用。据河北深县屯后村观测，防护林内风速降低平均在 40%左右。

4.减轻干热风危害，增加农田生态系统的可塑性和稳定性。以黄淮海平原为例，农业产量不稳的主要原因是干旱和干热风（干热风将在后面论述）。由于林网有降低风速、提高湿度、调节温度的作用，故林网可降低干热风气象因子值。山东兖州 1952 年建成完整的防护林体系，1976—1980 年，粮食

产量连年上升。每年干热风出现天数由 8 天减到 3 天。河南修武县，1970 年以前全县未实现农田林网化，平均每年出现干热风 96 天；1971—1974 年实现了林网化，干热风减少到平均每年出现 6 天。

5.增产效应。建立农林复合的农田生态系统，不仅可以增强系统的稳定性和可塑性，还创造了适宜的小气候条件，增加系统内的输入，使大量直接辐射转变为散射辐射，增加了系统内的生理辐射，提高了农作物的光合效率。根据国内外的观察研究结果，农田林网化使小麦增产 10%～25%、水稻增产 5%～15%、玉米增产 20%、大麦增产 6%～14%，同时还提高了品质。

因此，农田防护林体系是平原农区一个不可缺少的组成部分，在改造农业生产限制因素，稳定农田生态系统，保障农业稳定增产等方面起着重要的作用。

（二）平原农业的风沙危害

众所周知，风是自然界中经常发生的气象现象。风与农作物的生育有密切的联系。风虽然不是农作物生长发育的主导因素，但许多禾本科作物是依靠风来传播花粉的。此外，风还能调节农作物的体温，并促使地表层的温度和湿度进行交换和对流，这对于作物的蒸腾作用和光合作用有良好的影响。但是，当风速超过一定限度时，就会使农作物的蒸腾加速，造成生理失水过多以致破坏作物体内的水分平衡，导致农作物萎蔫或枯干而死。当风速增至 10m/s 以上时，作物的同化作用降低 1/20，并使作物遭受机械损伤，如倒伏、茎秆折断、落花落果等。倘若遇到狂风和暴风（28～32m/s），农作物的受害程度将会更大。不仅如此，在强大的风力作用下，土壤直接遭受风力吹蚀，使表层土壤丧失殆尽，土地日益瘠薄，从而引起土壤资源和土地生产力的破坏和损失，这就是风力侵蚀。

平原农区的风沙不仅对农业生产带来了极大的危害，同时对交通、工农业生产基本设施和生态环境都带来了严重的影响。

（三）平原农区干热风灾害

干热风又称焚风，是我国华北、西北和东北部分地区经常发生和危害严重的主要气象灾害之一。解放后，随着平原农田防护林面积的不断扩大，干热风的危害程度有所减轻。

干热风系指空气温度达到 25～30℃以上，相对湿度在 25%～30%以下和风速达到 5m/s 以上的综合条件下所形成的气象灾害。在这种综合气象条件作用下，强烈地破坏了作物的水分平衡和正常的光合作用，结果在较短时间内给作物的生育与产量造成巨大影响。干热风和干旱是不同的概念，它们之间有密切的联系。干旱发生时，由于长期缺雨，土壤水分亏缺，导致作物有机体内水分平衡失调，致使植物枯萎而死。而干热风发生时，由于高温、低湿和大风气象要素的急剧变化，导致农作物蒸腾与土壤蒸发加剧，即使在土壤水分充足的条件下，也易发生作物水分平衡失调和正常生理活动遭受破坏，植株在较短时间内受到危害或死亡。但是，在干热风的侵袭下，由于作物叶绿素来不及分解，植株表现出青枯、灰绿或青灰等死亡现象。有时在空气与土壤干旱时，再出现干热风则更会加重作物的受害程度。

营造农田防护林能有效地抵御干热风的侵袭。据测定，林网内的麦田上干热风时数比空旷地缩短 6～7 小时，大于 30℃的高温时数少 9 小时，温度降低 0.5～1.5℃，平均降低 0.9℃，日平均相对湿度提高 4%～6%。

正是由于农田防护林体系在改善小气候、土壤及水文条件等方面的巨大

作用，世界各国都在积极地采取措施进行平原绿化，以保证农牧业的稳产高产，尽快扭转生态环境恶化的状况。

（四）我国平原绿化工程与平原农区森林环境的恢复

长期以来，我国平原地区植被稀少，东北西部、华北永定河下游、冀西沙荒、豫东黄河故道等地，风沙侵蚀严重危害农田，粮食产量低而不稳，群众用材烧柴缺乏，生产和生活十分困难。中华人民共和国成立后，广大人民群众在党和政府的领导下，首先在这些地方轰轰烈烈地开展了以治沙为主要目标的造林运动，从此拉开了我国平原绿化建设的序幕。

40 多年来，平原绿化的内涵不断丰富，建设地域不断扩大，从沙荒造林、“四旁”植树、农林间作，发展为目前的 26 个省、自治区、直辖市参与的以建设农田林网为主，结合“四旁”植树、农林间作、成片造林，带、网、片、点相结合的多林种、多树种、多功能的综合性防护林体系。1987 年、1988 年，林业部先后颁发了《华北中原平原县绿化标准》、《南方平原县绿化标准》和《北方平原县绿化标准》。1988 年，林业部编制了《全国平原绿化“五、七、九”达标规划》。规划要求“七五”期间，我国有 500 个县（区、市）达到部颁平原绿化标准；“八五”期间有 700 个县达到标准；到 2000 年，918 个平原、半平原、部分平原县全部达到部颁平原绿化建设标准。

到 1995 年底，我国已有 769 个县达到平原绿化标准，超前完成了平原绿化达标规划第二阶段的任务目标。有（34197×104）hm^2 的农田实现了林网化，平原地区的林木覆盖率由 50 年代初期不足 2%提高到 10.4%。

平原林业由于受农区土地资源构成和分布的制约，林木的构成和布局不同于山区。目前，县、乡、村的林木构成包括：农田林网、农林间作、围村林、片林和庭院林五部分，构成了综合防护林体系。如按林种划分，用材林、防护林、经济林和薪炭林都相互交错，镶嵌在各组成部分之中。综合防护林体系是农林复合生态系统，体现了生态效益与经济效益相结合，长远利益与近期利益相结合的新生态经济林业。

农田林网 主要功能是防御自然灾害，调节农田小气候，改善农业生态环境，保障农业稳产高产。农田林网结构是在农田基本建设的基础上，沿沟、渠、路自然走向的两侧营造林带，相互交织成网，以窄林带小网格为主。网格面积 10～13.3hm^2，最大不超过 16.7hm^2，自然条件好的地方，为 13.3hm^2 左右，自然条件较差的地方为 6.7～10hm^2。由于林带营造主要利用沟、渠、路两侧隙地，所以占用耕地面积小，一般不超过网格总面积的 5%。

农林间作 这是在同一经营单位面积土地上，将农作物与林木合理配置，达到充分利用光、热、水自然资源和土地资源，增加单位面积的生产量，提高经济效益的传统耕作方式。间作的模式因各地自然条件不同而异。最普遍的有农桐间作、枣粮间作、杨粮间作。近几年来，又发展农桐果间作等。间作树种、间作密度以及间作期长短的选择，应根据土壤条件、树种而定。据调查，按土地条件不同而可分为三种基本类型：①土地条件较好的基本农田，农林间作应以农作物为主体，林木配置应以大行距为宜，农林长期共存。例如：农桐间作的泡桐，以株距 4～6m，行距 40～50m 为宜；枣粮间作的枣树，以株距 4～5m，行距 25～30m 为宜。一般不宜栽植鲜果类树种。这种间作模式不仅不影响农作物生长，而且大面积间作可形成良好的农田生态环境，有利于作物生长，尤其对防御干热风的危害有明显效果。间作用材树轮伐期以 10～12 年为宜，达到工艺成熟即可采伐。②在土地资源相对丰富的地区，利

用一部分土壤条件较差的次耕地（风沙地、盐碱地），可增加林木密度，实行农林并重经营。间作用材树的行距为 20～30m，株距为 3～5m。间作头两年对作物产量基本没有影响，三年后对秋作物有影响，应及时调整作物种类。为保障农业生产的发展，当林木郁闭前（5～6 年）可进行隔行间伐。如杨粮间作，初植密度株行距为 3～16m，栽植后六年进行 1 次间伐。农果间作以株行距 4m×15m 和 4m×10m 为宜。③沙荒地和撂荒地作为林业用地，以发展林业为主。为充分利用土地资源，在造林后，林木郁闭前，可间作农作物。

围村林 这是利用村庄四周的废弃地，部分自留地营造小片用材林和经济果木林。华北中原地区村庄占地面积一般为总面积的 8%～12%，用于发展林业的土地面积占村庄面积的 50%～60%。这部分土地资源虽然分布零碎，但可以充分利用业余时间集约经营，具有发展潜力。

围村林的经营模式多样，如安徽省太和县发展泡桐檩条林，颍上县发展竹园。另外还可采取多树种、多层次立体结构经营形式，如林药间作、林菜间作、林粮间作等。安徽省阜阳地区围村林发展较快，407 个自然村已基本完成了围村林建设，面积达（14.3×10^4）hm^2，占总林地面积的 52%，蓄积量达（860×10^4）m^3，占总蓄积的 86%；果树 640 万株，分布在围村林地占 57%。目前，围村林存在的主要问题是，缺乏统一规划，林木密度过大，经济效益不够理想。因此，对围村林的改造，提高围村林的经济效益，是当前发展平原林业生产中亟待解决的问题。

片林 利用平原区的沙岗、沙荒地及大型河渠、滩地等非耕地集中造林，面积大小不等。也有在少量次耕地营造速生丰产林的。有的利用一部分耕地营造丰产林，从全局看这是不可取的。华北、中原地区已营造片林超过（166.7×10^4）hm^2。河南省已营造片林（22.3×10^4）hm^2，占平原区林地面积的 28%。

庭院林 这是指农村房前屋后栽植的小块经济林和乔木林。庭院林既可美化环境又可增加经济收入。

三、干旱半干旱地区森林环境的破坏与荒漠化

荒漠化是全球性的重大环境问题，已引起国际社会的广泛关注。1992 年 6 月在巴西召开的联合国环境与发展大会通过的《里约环境与发展宣言》及《21 世纪议程》等重要文件，把防治荒漠化列为国际社会优先采取行动的领域，充分体现了当今人类社会保护环境与可持续发展的新思想。

根据《联合国防治荒漠化公约》，荒漠化是指“包括气候变异和人类活动在内地种种因素造成的干旱、半干旱和亚湿润干旱区的土地退化”。在此，“土地”是指具有陆地生物生产力的系统，由土壤、植被、其他生物区系和在该系统中发挥作用的生态及水文过程组成。“土地退化”是指由于使用土地或由于一种营力或数种营力结合，致使干旱、半干旱和亚湿润地、干旱区雨浇地、水浇地或草原、牧场、森林和林地的生物或经济生产力下降或丧失，其中包括：风蚀和水蚀导致土壤物质流失、土壤物理、化学和生物特性或经济特性退化及自然植被长期丧失。“防治荒漠化”是指干旱、半干旱和亚湿润干旱地区为可持续发展而进行的土地综合开发的部分活动，包括：防止和减少土地退化，恢复部分退化的土地及垦复已荒漠化土地。

由于种种原因，我国荒漠化问题非常严重。据调查，50 年代至 70 年代全国风蚀荒漠化土地平原每年扩大 1560km^2，近年来已增加到 2460km^2，相当于每年损失掉一个中等县的土地面积。荒漠化地区严酷的自然条件，严峻的

荒漠化扩展趋势，严重的风沙及沙尘暴危害，尚不发达的区域经济基础，相对集中分布的少数民族区域及日益扩大的东西部经济差距，以及有关部门采取的相对低价的资源调配方式等，严重地影响资源开发利用、区域经济发展、民族团结以及 21 世纪我国的经济发展。

（一）干旱、半干旱地区的荒漠化危害

荒漠化作为一项复合性自然和人为灾害，它的危害从某种程度上讲远比洪涝、地震等自然灾害要严重得多。虽然其发生、发展速度相对缓慢，但其影响和危害的深远性在于它所摧毁的是人类赖以生存的基础资源——土地和环境，直接动摇着人类社会经济发展的基石，且在时间上将延续几代甚至十几代人。

据专家研究和测算，中国每年因荒漠化造成的直接经济损失达 540 亿元，相当于我国西北五省（区）1996 年财政收入的三倍。荒漠化给我国的工农业生产和人民生活带来了严重的影响。它造成了可利用土地面积减少、土地生产力下降；自然环境和农业生产条件恶化；旱、涝灾害加剧；粮食产量下降；农田、牧场、城镇、村庄、交通线路和水利设施等受到严重威胁。具体表现在：

1.可利用的土地资源减少、土地质量下降。全国受荒漠化危害地区每年减少粮食产量超过（3×10^9）kg，相当于 750 万人一年的口粮。1949 年以来，全国共有（66.7×10^4）hm^2 耕地成为沙地，平均每年丧失耕地（1.5×10^4）hm^2；有（235.3×10^4）hm^2 草地变成沙地，平均每年减少草地（5.2×10^4）hm^2。目前全国退化草地已达（1.05×10^8）hm^2，每年因此少养绵羊 5000 多万只，相当于全国 1996 年底绵羊数的 37.5%。荒漠化不仅造成可利用土地数量的减少，而且使土地质量下降。据中国科学院试验测算，荒漠化地区每年因风蚀损失土壤有机质及氮、磷、钾等达（5590×10^4）t，折合（2.7×10^8）t 标准化肥，相当于 1996 年全国农用化肥产量的 9.5 倍。荒漠化危害日趋严重的河北省丰宁县有些自然村，在 60 年代粮食单位面积产量为 89kg，80 年代为 60kg，90 年代仅为 30kg 左右，当地群众称之为“种一坡，拉一车，打一箩，煮一锅”。内蒙古伊克昭盟由于牧草产量和质量的下降，绵羊平均体重由 50 年代的 25kg 降至 80 年代的 15kg。

2.生态环境恶化，生存条件丧失。全国有 24000 多个村庄和许多城镇经常受荒漠化危害。沙压村舍，沙进人退，在一些地区屡见不鲜。内蒙古自治区鄂托克旗近 30 年间流沙压埋房屋 2200 多间、棚圈 3300 多间，有 700 多户村民被迫迁移他乡。甘肃石羊河下游的民勤绿洲地下水位以 0.5～1.0m/a 的速度下降，使 7 万余人、12 万头牲畜饮水发生困难，（2×10^4）hm^2 农田弃耕，农民迁居异乡。地处塔克拉玛干沙漠南部的皮山、民丰两县，因风沙危害，县城两次搬家，策勒县城三次搬家。20 世纪以来，我国沙尘暴越来越频繁，50 年代至今造成重大损失的就有 70 多次。荒漠化地区的东南部，年沙尘暴日数在 5～10 天以上；甘新戈壁、沙漠地带沙尘暴在 20 天以上；南疆与阿拉善高原是沙尘暴多发地区，超过 30 天，如南疆柯坪平均为 38 天，最多年份达 53 天。沙尘暴的危害性极大，致使生态系统严重破坏，土地沙化加剧。例如 1993 年 5 月 5 日发生的历史上罕见的大范围强沙尘暴天气，狂风携裹沙尘席卷了甘肃河西走廊东部、内蒙古南部和宁夏西北部，造成直接经济损失达 5.4 亿元。1996 年 5 月 29 日，又一次强沙尘暴袭击敦煌市，随后又殃及玉门、肃北、安西和金塔等地。导致 5 名学生死亡，直接、间接经济损失达

5 000 多万元。荒漠化的发生、发展不仅给人民生命财产带来了巨大的损失，而且摧毁了我们子孙后代赖以生存的空间。

3.加剧贫困，影响社会稳定。荒漠化地区多是经济欠发达地区，同时也是少数民族聚居区和边疆地区。荒漠化加深了该区人民的贫困程度，扩大了地区间的差距。据调查，全国农村贫困人口的 1/4 生活在荒漠化地区。1995 年荒漠化地区人均农村产值为 1014 元，仅是全国平均水平的 65.8%，为东部地区 4975 元的 1/5。

4.制约了经济建设的发展。全国荒漠化地区铁路总长约 3 300km，常年遭受沙害威胁的地段占 42%。受风蚀危害的公路达（3×10^4）km。1979 年 4 月 10 日的一场沙暴，南疆铁路被沙埋 67 处，行车中断 20 天，直接经济损失 2000 多万元。数以千计的水库和（5×10^4）km 长的灌渠常年受风沙危害，淤泥成灾。每年因荒漠化进入龙羊峡水库的泥沙量达（3130×10^4）m3，造成的经济损失达 4700 多万元。多年来，年均输入黄河的（16×10^8）t 泥沙中有（12×10^8）t 来自荒漠化地区。荒漠化地区的石油、天然气、煤炭、盐、碱等工矿企业因荒漠化危害，有时不得不停工停产。内蒙古吉兰泰盐场 37.2km^2 的盐矿，已有 16.9km^2 被沙埋没。此外，我国北方大中城市包括北京在内也都受荒漠化的影响和威胁。

（二）森林在防治土地荒漠化中的地位和作用

1.森林能有效地遏制土地沙漠化。在干旱和半干旱区，当森林植被破坏后，土壤和水分条件恶化。由于没有森林的吸收和蓄积，大部分降水都从径流流走了，进一步降低了土壤中的水分含量，破坏了土壤结构，降低了土地的生产力。因此，沙漠化是一种自我加速而不断强化的过程。森林遏制沙漠化还表现在森林有较强的自肥能力和有效的防止风蚀作用。

2.森林能有效地防止土壤退化。一般来说，原始森林中不仅很少出现土壤退化的现象，而且土壤肥力常常是增强的过程。纵观国内外的历史和现状，土壤退化发生的过程常常是：毁林毁草垦地—耕地的不合理利用—土壤生产力下降—最终放弃。

土壤退化的类型主要包括水土流失、土地沙漠化、土壤盐碱化和沼泽化四种类型。其中森林的水土保持作用和防止土地沙漠化作用前文已述，下面我们来看森林在防止或减缓土壤盐碱化和沼泽化的作用。

森林能在一定程度上减缓土地盐碱化。土地盐碱化是在干旱或半干旱地区，蒸发量大于降雨量时，如果有充足的地下水供应，则由于蒸发，含盐分高的地下水向上移动，并使盐分积累在地表而形成盐碱化土壤。森林地带一般不会出现盐碱化现象，这主要有三个原因：①林冠的阻挡，森林土壤表层的蒸发量很小，即使表层盐分含量高，也会因降水的淋溶而进入地下水。②森林的根系分布很深，吸收深层地下水用于蒸腾，使得地表水甚至有向下移动的可能。③森林的生产力高，本身的生产也需要一定的盐分。

森林，特别是蒸发量大的森林与沼泽化关系密切。前苏联学者的研究认为：在前苏联的一些原始林区，采伐蒸发量大的云杉林往往会引起土壤沼泽化。同样，用蒸发量大的桉树建立林分，能够把高加索疟疾传染发源地的科赫德低地的沼泽水排干。中国三江平原有沼泽地（233.3×10^4）hm^2，近年来部分地区采用稻、渔、苇、林综合治理模式，效果良好。

（三）干旱半干旱地区植被建设与森林环境的恢复

在植被稀少的干旱半干旱地区进行防护林体系建设，增加森林植被，防治荒漠化，改善生态环境，实现可持续发展已成为全世界紧迫而又艰巨的任务。

中国政府非常重视荒漠化防治工作，先后召开四次全国防沙治沙工作会议，研究部署荒漠化防治工作，把防治荒漠化纳入国民经济和社会发展计划。从 20 世纪 50 年代起就建立了一批防沙治沙机构和科研单位，开展以造林种草为主的荒漠化治理工作。1991 年江泽民主席、李鹏总理致信在兰州召开的全国防沙治沙工作会议，指出中国沙区面积很大，治沙是关系到国计民生具有战略意义的大事，是中国人民在社会主义建设中一项长期的艰巨任务。要采取有力措施切实抓紧抓好。根据此次全国防沙治沙工作会议精神，全国防沙治沙工程于 1991 年启动并成为我国十大林业生态建设工程之一。

截至 1995 年底，共完成综合治理面积（428.7×10^4）hm^2，其中人工造林治沙（142×10^4）hm^2、封沙育林育草（121.6×10^4）hm^2、飞播造林种草（31.3×10^4）hm^2，人工种草及改良草场（56.2×10^4）hm^2，治沙造田及改造低产田（47.2×10^4）hm^2、种植药材及其他经济作物（23.9×10^4）hm^2、开发利用水面（4.9×10^4）hm^2及其他治理（1.60×10^4）hm^2。

通过荒漠化地区林业生态工程的建设，明显改善了荒漠化地区的生态环境，为农牧业的稳产高产创造了条件，同时，生态建设带动了经济的发展，人民生活水平和生存质量得到了极大的提高。

第三节 大气污染对森林环境的影响

一、环境污染问题

长期以来，由于人类对自然资源无节制地开发和向自然界大量排放倾泄废弃物，产生了一系列全球性的生态环境问题，如环境污染、温室效应、土地荒漠化、森林锐减、海洋生态危机、珍稀物种濒危等。这些生态环境问题已严重威胁到人类生存。环境污染，包括大气污染、水质污染、土壤污染，以及农药所造成的污染等。保护生物的生存环境，使之不受污染与破坏，保持生态平衡，是整个环境保护工作的重点。由人类活动向自然环境中排放的废气、废水、废渣所造成的环境污染问题是当今世界的重大问题之一。

19 世纪 70 年代末，在欧洲中部，当集约经营的森林开始出现某些不能解释的症状时，区域性的环境污染才第一次引起人们的重视。在北美，也遇到一些树木生长量降低和森林死亡问题。在阿巴拉契区山脉，红杉的高度下降。在南加利福尼亚的墨西哥城，O_3 损伤松林和银杉；同时在欧洲，O_3 也影响挪威云杉的生长等。在过去的 20 多年中，欧洲和北美洲对森林受空气污染的影响已进行了一系列的研究。

目前，空气污染在大多数国家，尤其是在城市和工业区，仍然是一个重大的环境问题。它影响到人类健康和居住环境，危及森林和农作物的生长、水源地和建筑材料的保护。各国政府为此付出了高昂的代价。在美国，由于空气污染每年花在医疗和生产损失的费用估计高达 400 亿美元。1980—1984 年，在 54 个获得 SO_2 数据的城市中有 27 个城市的年平均浓度接近或超过世界卫生组织的健康标准（40～60μg/m^3）。悬浮颗粒物普遍形成威胁，特别是在发展中国家，54 个监测颗粒物的城市中有 37 个平均值接近或超过了标准。

我国环境污染与生态破坏都十分严重，给人民健康与国民经济建设带来了巨大的危害。“六五”期间，我国环境污染引起的污染损失约为 380 亿元，占同期国民生产总值的 6.75%。其中，因水污染损失 160 亿元，因大气污染而损失 120 亿元，因农药污染造成的损失为 95 亿元。均高于 70 年代美国、日本等国家污染损失占国民经济总值 3%～5%的比例。

中国的空气污染在一些城市也非常严重。冬春季空气污染大于夏秋季，北方城市重于南方城市。1991 年城市大气中总悬浮微粒年日均值范围在 88～1433μg/m_3，北方城市平均为 429μg/m^3，南方城市平均为 225μg/m^3，远远超过世界卫生组织的标准（69～90μg/m^3）。

（一）环境污染物的特性、特征和分类

1.环境污染物的特性。造成环境污染的原因，可分为化学的、物理的和生物的三方面。化学污染是指某些单质或有机、无机化合物，如镉、汞、氰、酚、农药、多氯联苯等被引入环境，通过化学反应而发生作用。物理污染是指各种破坏性的辐射、噪声、振动、废热、恶臭、地面沉降等对环境的破坏。生物污染是指各种病菌、霉菌对环境的侵袭。

化学污染是主要的污染。因此，讨论环境污染时，主要指化学的污染物质。从污染环境的角度看，化学污染物质的性质一般包括如下几方面：

（1）自然性人对自然环境中的元素有较强的适应能力。人类长期生活在

自然环境中，不仅对自然环境的元素有适应性，而且一定程度上吸收自然环境中的元素作为身体内不可缺少的组成成分。据研究，地壳中已知元素中的60%与生物体有密切关系。人体血液中有 60 多种化学元素，其中绝大多数元素在人体中的百分含量，与之在地壳中的百分含量极相似。人体中无机元素含量的比例，与它们在海水中的比例也极相似。这是因为人类在发生发展的漫长过程中，通过新陈代谢与环境进行的物质的交换，建立了动态平衡的结果。

人对人工合成的化学物质或过量的自然界元素是很不容易接受的：人对人工合成的化学物质（如多氯联苯、化学农药等）不易接受，这些物质会导致人体生理代谢失调，发生疾患。人体中含有大量的碳、氢、氧、氮和少量的硫、磷等非金属元素，并含有钠、钾、钙、镁、锌、铁、铜、钴等多种金属元素。这是长期形成的一种平衡状态，不能打破这种状态。

（2）扩散性污染物质在环境中的迁移，构成了它们的扩散性。不同的污染物质，其扩散性不同。了解其扩散性有助于在监测中合理地布置监测点，以节省监测的人力、物力。

大气污染物的扩散，一般以分子或等微粒进行，扩散性很强，如燃烧排放的 SO_2 和 CO_2，它们随气流运动，扩散性很强。当 SO_2 从烟囱中排出，随空气湍流而扩大污染面，使空气质量变坏，造成大气污染。随后又因雨水冲刷形成酸雨，影响森林与庄稼。酸性雨水汇入河流，使水质 pH 值降低，造成水污染，更有一部分酸性雨水渗入土壤中，使土壤酸化并改变土壤成分，危害土壤微生物，造成土壤污染。

（3）毒性污染物对人体或其他生物体的危害，是由多方面的因素决定的，其中污染物的毒性是重要因素之一。所谓污染物毒性是指它侵入机体后，与机体的组织或液体发生化学和物理的作用达到一定的程度时产生病变的现象。例如：CO 与血红蛋白的结合力比 O_2 与血红蛋白的结合力大 100 倍，CO 能使血红蛋白失去携氧能力，而使人缺氧，发生窒息。

在卫生学中，毒性大小用生物试验致死量（LD_{50}）表示。分为剧毒（LD_{50} <1mg/kg）、高毒（LD_{50}>1mg/kg）、中毒（LD_{50}>50mg/kg）、低毒（LD_{50}>500mg/kg）、微毒（LD_{50}>5000 mg/kg）五级。

环境污染物中的氧化物、砷及其化合物、汞、铍、铊、有机磷、有机汞、有机氯有机硫、有机腈等毒性很强，它们进入机体后造成的危害往往难以恢复。

(4)活性与持久性污染物的活性与持久性是指它们在环境中的稳定性和持续时间。活性越大，则越不稳定，在环境中持续的时间越短，如 H_2S 在空气中容易被 O_2 氧化，只能持续几小时。有的污染物在环境中能长期保持其毒性，如镉、铍、铅及半衰期长的放射性尘埃。有的污染物在分解成无毒物以前能保持很长一段时间，如土壤中的 DDT 和氯丹减少到原来的 1/4，前者需 10 年，后者需 5 年。有的污染物排出的时间和发生危害的时间相隔很久，如河、湖底泥中的金属汞，可能要过 10～100 年后才变成对生命有威胁的甲基汞。

(5)污染物质的生物可分解性和积累性污染物的生物可分解性是指污染物被生物利用并分解成无毒无害的化合物，这一过程称为环境的自净作用。多数有机物与部分无机物通过微生物的作用，可进行生物化学的氧化分解，

变成液态或气态的无机物，如对粪便的无害化处理，就是利用生物分解这一特性，将其中大量有害的腐败有机物分解成无害的无机物并转变成有利于植物生长的腐殖质；土壤污染水中的酚和氰，也能被生物分解成无害的无机物。

污染物的生物积累性是指某污染物进入生态系统后，在某部分中的含量水平大大高于另一部分的现象。这一特性在食物链中表现得最为明显。如 DDT 在食物链上依次富集积累的作用是惊人的。某些金属污染物（如汞、镉等）不能被生物降解，但可被生物富集积累，因而造成蓄积性中毒。

2.环境污染物的特征。环境污染是指各种污染物在自然界中积累并和各种环境因素相互作用的总效应。环境污染的特征主要表现在时间与空间上的变化。

（1）污染物的时间分布气象条件不同、大气对污染物的扩散和稀释能力的不同，同一污染物在同一地点所造成的地面污染程度就有差异，有时可相差数倍甚至数十倍。

水体污染同样受季节与昼夜变化的影响，如天然河流，丰水期因地面径流，水质比枯水期差。受工业污染的河流，其水质受排放源时间影响。

为了掌握污染物随时间变化的规律性，在环境监测中提出了时间分辨率的概念，即根据不同的监测目的，要求在规定的时间内反应出环境污染的变化状况。

（2）污染物的空间分布污染物随着大气和水流的运动而稀释扩散，污染物的稳定性和扩散速度与污染物的性质有关，污染物的浓度分布与地理位置有关。

在大气污染中，一个点源（如烟囱）或线源（如交通道路）排放的污染物，形成一个较少的污染气团。各测点距离不同，浓度差异较大。污染造成的是一个小尺度的空间污染，又称局部污染。大量的地面小污染源，如居民分散地供热（有大量的火炉）、大小工业区的锅炉大烟囱等，构成地面源污染，这种中尺度的污染，称区域性污染。

污染物在水体中的浓度，随污染物的扩散能力和水流运动而变化。分子量小、溶解度大、不易分解、不易被有机颗粒物吸着的污染物，常常被水流输送到较远的地方。

（3）环境污染与污染物含量的关系污染物对环境危害有一定的阈值，即污染在环境中到什么程度才构成危害。污染物对人体产生危害的最小浓度叫阈浓度。以它作为制定环境标准和排放标准的依据。

在研究上述问题时，必须考虑污染环境的本底浓度。环境本底是指在环境中的自然背景值，有了环境本底才能评定该污染物是来自人工污染还是自然界本身的存在。

（4）二次污染作用进入环境中的污染物，受环境因素的影响而发生化学反应，生成比原来毒性更强的污染物危害人体或生物，称为二次污染。世界上发生的严重污染事件，大多是二次污染造成的。1968 年日本九州发生一起“稻瘟醇事件”，即是二次污染所造成。它是施过稻瘟醇的稻草，在堆肥中稻瘟醇被微生物分解成对植物有严重毒害的三氯苯甲酸和四氯甲苯酸，这种堆肥施入土壤中，使种植的水稻、蔬菜、烟草、瓜果等作物产生畸形，造成药害。

3.主要的污染物质。污染物的分类，主要是依据污染物的理化生物性质（如分为物理的、化学的、生物的及综合的）、存在形态（如分为阳离子态、

阴离子态、分子态、简单有机物、复杂有机物及颗粒物）、控制标准（如分为水环境污染物和大气环境污染物）及污染物污染范围（如局部地区污染物、区域污染物和全球污染物）等方面进行分类。

污染物是由污染源产生的，根据污染物的来源、特性、结构形态和调查研究目的的不同，污染源分类系统也不一样，首先根据污染物产生的主要来源，将污染源分为自然污染源和人为污染源两类。其中在人为污染源中，一种分类方法是按其对环境要素的影响进行分类，即分为大气污染源、水体污染源、土壤污染源和生物污染源。

对森林植物和环境影响最大的是大气污染源，而对植物产生伤害的大气污染物质按其化学性质分类如下：

（1）具有氧化作用的有害物质包括 O_3、过氧乙酰硝酸酯（PAN）及其同族体、NO_2、Cl_2 等。

（2）具有还原作用的有害物质包括 CO_2、酚类、H_2S、CO 等。

（3）具有酸性作用的有害物质包括 HF、SiF_4、HCl、SO_2、硫酸烟雾、硝酸烟雾、HCN 等。

（4）具有碱性作用的有害物质包括 NH_3。

（5）其他有机气体包括乙烯、丙烯、乙炔等。

（6）固体离子状物质包括煤烟、粉尘、浮游离子状物质等（如镉、铅等金属氧化物的微粒）。

除固体离子状物质以外的大气污染物质，对于植物毒性的强度，按顺序类别分述如下：

毒性强的甲级物质有：氟化物气体、Cl_2、乙烯、O_3、PAN 等。

毒性中等的乙级物质有：硫的氧化物、氮的氧化物等。

毒性弱的丙级物质有：醛、HCl、NH_3、H_2S、CO 等。

主要大气污染源和产生的污染物种类见表 2-5。

硫氧化物的产生是在燃烧各种化石燃料时，燃料中的 S 氧化成 SO_2，接着 SO_2 在空气中被氧化成 SO_3。氧化的过程是 SO_2 吸附在粉尘颗粒表面上，在有水分和光能的条件下进行。此过程一般不超过 4 天。SO_2 因其密度大于空气，排入空气后逐渐下沉，直接危害植物。或 SO_2 氧化成 SO_3，而 SO_3 又溶解于水生成硫酸，危害植物。SO_2、SO_3 和硫酸三者统称为硫氧化物，其中以 SO_2 为代表。

表 2-5 大气污染源和污染物质

类别	空气中的混合物	气体和汽雾	代表性损失率／%
燃烧装置	尘埃、烟雾	NO_2、SO_2、CO、有机物、酸类	燃料重量的 0.05 ～ 1.5
汽车发动机	烟雾、尘埃	NO_2、CO、酸类、有机物、Pb	燃料重量的 4 ～ 7（烃类）
石油精制	尘埃、雾气	SO_2、H_2S、NH_3、CO、烃类、硫醇	原料重量的 0.25 ～ 1.5
化学装置	尘埃、雾气烟雾、喷雾	副产物（SO_2、CO、氨、酸、有机物、溶剂、O_3、硫化物	原料重量的 0.5 ～ 2
用热和用电的冶金装置	尘埃、烟雾	SO_2、CO、氟化物、有机物	原料重量的 0.5 ～ 2
矿物加工处理	尘埃、烟雾	副产物（SO_2、CO、氟化物、有机物）	原料重量的 1 ～ 3
食品制造	尘埃、烟雾	芳香族物质	原料重量的 0.25 ～ 1

氟化物包括氟化氢、氟化硅、氟硅酸、氟化钙微粒等，以氟化氢为代表，是常见的危害植物生长的污染物。氟化物的污染源，主要是使用水晶石、萤石、磷矿石和氟化氢的企业，如制铝、磷肥、炼钢、玻璃、火箭燃料等工业均是氟化物大量排放的污染源。在大量以土为原料的陶瓷、砖瓦等工业，以及烧煤量大的工业亦排放较多的氟化物。

氧化烟雾是包括 O_3、氮氧化物（NO_x）、醛类和 PAN 等具有强氧化力的大气污染物的总称。汽车尾气是一种以 NO 和烯烃类碳氢化合物为主的气体混合物，这些物质在紫外线的作用下，发生各种光化学反应，产生 O_3、NO_x、醛类（RCHO）和 PAN 等二次污染物质。这些气态污染物与水蒸气、硫酸液滴、硝酸液滴、有机大分子物质和烟尘等互相混合，构成稳定的气溶胶，即光化学烟雾。

大气中的 Cl_2 浓度很低，很少对植物产生危害。只有在化工厂、电化厂、农药厂、塑料厂、玻璃厂、冶炼厂、自来水净化工厂等发生泄漏，Cl_2 才会造成植物急性危害。

4.污染物质侵入植物的主要途径。植物所需的营养成分，多数是从土壤经过根系吸收。对于有害成分的吸收也是这样。有的营养成分，例如尿素、锰等利用叶面喷洒植物也能吸收。同样，气体、雾状物、烟尘等污染物质，也可吸附在叶面上或经叶吸收。经叶吸收的污染物，即使有微量的浓度，植物也容易遭受危害。

大气污染物质侵入植物体内的主要途径是气孔，但其吸收量并不是与 CO_2 成比例地进入。再有，禾本科植物的叶缘水孔也能吸收（也是病原菌的入侵途径）大气污染物。除气体以外的粒子、雾状物质或粉尘等附着在叶面，在叶面上发生反应，也可能透过和侵透而进入叶内。因为污染物质主要是通过气孔进入到植物体内，因而气孔的开闭情况对植物受害有决定性的影响。而掌握气孔开闭的动力，是保卫细胞的膨压，膨压受植物组织体内的水分状况影响，体内水分多，需向外排出水分则膨压大，气孔张开；反之，体内水分

不足或环境中水分少湿度低，则气孔关闭或张开小，污染物就难于进入植物体内。气孔一般白天张开，夜间关闭。所以，植物在夜间气孔开张度小时不易受到影响，而在白天气孔开张度大时，易受伤害。

5.大气污染对植物的伤害类型和被害症状。大气污染危害植物的原因，主要是有毒气体的直接危害，如 SO_2 和氟化物等，可直接危害植物组织。有毒物质进入植物组织后，干扰了酶的作用，阻碍了各种代谢进行。同时，有毒物质在植物体内还可进一步分解或参加合成过程，产生新的有害物质，进一步侵害机体的细胞和组织，并使其坏死。SO_2 对植物危害，多发生在生理功能旺盛的叶片上。因为这些叶片的气孔张开得最大，所以受侵害最重。老叶和幼叶受害较轻，只在 SO_2 浓度高时，才出现被害症状。植物受害后的症状是叶片出现白色“烟斑”，逐渐枯萎，并早期落叶，造成减产，甚至使植株完全枯死。其次，SO_2 与空气中的水蒸气结合，变为“硫酸烟雾”并随雨雪降至地面，导致土壤酸化，危害植物的正常生长。再次，因污染使空气的透明度下降，影响阳光照射，阻碍植物进行光合作用。

（1）主要伤害类型大气污染对植物的危害，分为可见伤害和不可见伤害两种。

可见伤害有急性型、慢性型和混合型。

急性伤害是由污染源排出的较高浓度的污染物质，受气流、气温、湿度等气象条件的影响，停留在农林地上后在较短时间内使植物受到的伤害。这种伤害不能完全恢复。造成急性伤害时，不同的污染物，往往使植物呈现出特有的受害症状。普遍呈现显著的白黄花症状或坏死症状。

慢性伤害是指农林植物，因长时间或时常接触较低浓度的污染物质而出现生长发育不良的状态，一般呈现轻度的黄白化症状，以致减产。有时也能出现与急性伤害相似的症状，但大多数的症状是不明显的。

混合伤害介于急性伤害和慢性伤害之间，是最为常见的。

不可见伤害不可见伤害是极低浓度的污染物质被农林植物吸收所致。只造成植物生理上的障碍，在某种程度上抑制植物的生长，但外部形态一般看不出症状。但由于植物生理、生化方面受到影响而发育不良，以致造成不同程度的减产。例如受 SO_2 污染的梅树，10 年以后则结实不良。

（2）植物被害症状植物受大气污染超过一定限度，则呈现各种形式的被害症状。一般是观察植物的叶片。最初出现可见伤害，经过 2～3 天后则可清楚地看出被害症状的特征（表 2-6）。

被害症状由于发生的条件不同，不一定表现出典型的特征。例如，急性症状与慢性症状有所不同。污染物质重复危害使被害症状复杂化及多样化。因此，调查时不宜单纯依靠症状，而要同时调查污染源和污染物种类，测定大气中污染物质的浓度，检查风向、风速和其他气象条件，分析被害叶，然后再综合判断。

表 2-6 各种污染物质对植物叶片的危害症状

污染物质	被害症状			
	尖端、周缘变色	叶脉间斑点	表面上斑点	叶面光泽化银灰色或青铜色
HF	++	+		
Cl_2	++	+	+	
O_3		+	++	
PAN		+		++
SO_2		++	+	(++有时出现)
硫酸烟雾	+	+	++	（++有时出现）

（3）复合污染近年来的大气污染与以前的烟害有所不同。大气污染物质不是某污染物的单一物质，而是两种以上的污染物质。由一处污染源或多处污染源而排出的，多是所谓复合污染，其作用非常复杂。有的是各污染物质同等作用的相加，有的作用则是两者相乘，还有各污染物质相互的拮抗作用。

植物发生伤害除了大气污染的原因外，还受其他原因的影响，如污染物质的种类和浓度，污染物质接触的时间和次数，污染物质接触时的植物发育期、植物的种类和品种、土壤的种类、施肥的肥料种类和多寡、栽培管理方式、地形以及气象条件。例如大气污染所引起的植物伤害易在春夏季发生；白天比夜间易受伤害；一般高湿度时易受伤害（但在极度高湿情况下，特别在降雨时，污染物质易被雨水洗刷，植物体内吸收和附着在叶面的较少，因而不易发生危害）；在上风口的植物不易被害，而在下风口的则易受害；在低地或山谷，气流停滞处易受害。

（二）大气污染

1.大气污染的严重性。大气污染中尤以酸沉降污染面积大而且较严重。在全球范围内，森林生态系统是大气污染最直接、也是最大的受害者，而酸雨和 O_3 是影响森林的主要大气污染物。酸雨的最大特点是通过土壤间接地或潜在地对森林产生影响。而 O_3 引起森林受害只是在某些特殊情况下才产生。我国对其研究起步较晚，在 20 世纪 70 年代中期才开始。因此，下面主要说明与森林环境关系比较密切的酸沉降及温室效应。

（1）酸沉降 也称酸雨。是严重威胁世界环境的一大问题。“酸雨”一词是 1872 年英国化学家安格斯·史密斯首次提出的，目前成为全世界广为关注的环境污染问题。所谓酸雨是 pH5.6 以下的所有酸性降水，包括雨、雪、冰雹、雾、露水等。许多迹象表明，酸沉降威胁农业、林业、渔业和野生动植物，特别是对森林和湖泊的危害，已成为国际政治纠纷的焦点。

酸雨的形成主要是由于火力发电厂、金属冶炼厂、炼油厂，以及众多的车辆排放的 NO、SO_2 和 SO_3 进入大气层，在远距离飘流中起化学反应，转变成硫酸和硝酸，最后和空气中的水汽结合成酸性雨雪降落到地面。酸雨的危害之所以相当大，是由于它的飘流性大面积危害，所到之处，不仅破坏森林，危害作物，还能蚀穿石头，侵蚀和穿透油漆、金属，腐蚀铁路和建筑物等。

（2）温室效应 由于人类活动增加了大气中一些温室气体的浓度，如 CO_2、CH_4、CFC（氟氯烃）、N_2O，结果使地球表面变暖。如果按目前的温室气体排放速度继续下去，21 世纪全球平均温度的上升速度将为每十年 0.3℃左右，超出过去 1000 年观察到的上升速度。预测 2050 年时，全球平均气温

比目前值升高大约 1℃，21 世纪末以前升高 3℃。据这一预测，到 2030 年时，全球海平面平均大约上升 20 cm，到 21 世纪末大约上升 65cm。全球气候的变化，将会对农业、林业和水资源利用产生很大的影响。

2.大气污染的地理分布规律。大气污染是与工业化、城市化伴随而来的环境挑战，主要是工厂和交通工具排出的多种有毒废气形成的，其污染源虽主要集中在城市和工业区域，但其影响可大大超过污染源的范围，可远至几百公里之外。大气污染物主要是 SO_2、碳氢化物、NOx、CO 和氟化物，对农业、林业和畜牧业等威胁最大的是 SO_2 和氟化物。

我国的煤产量占世界第一位，在我国的能源构成中，煤占 76%。据统计，我国煤炭的 84%供直接燃用，因煤中的粉煤量高达 60%左右，所以我国大气中 SO_4^{2-}/NO_3^- 比值大于美国很多，说明我国酸雨特点是典型的硫酸型，即由煤烟型污染造成的。每年排入大气的污染物中，有 87%的 SO_2 和 67%的 NO_x 来源于燃煤。因此，大气污染物 SO_2 与 NO_x 对农作物与森林方面危害的研究也较多。

20 世纪 80 年代以来，不但在我国长江以南的西南、华南、华东、华中地区相继出现大面积酸雨，90 年代在东北地区也已发生，目前我国已成为除欧洲和北美以外的世界第三个酸雨严重污染区。由于我国的大气污染源多为中小型工矿企业，排放废气的烟囱高度较低，大多造成低空污染，故我国的酸雨大多是低空酸雨，表现出明显的地区危害特点。

我国的酸雨地区主要集中在长江以南，尤以西南地区最为严重。据 1993 年全国酸雨监测站材料，长江以南大部分地区的 pH 值都低于 5.00，长江以北只有侯马、郑州、天津、山东及江苏北部大部分地区低于 5.00，北方大部分地区 pH 值大于 5.6，内蒙古呼和浩特市及新疆和田均大于 7.0，敦煌 pH 达到 7.82，贵州、湖南、浙江大部、四川、广西、湖北、福建部分地区低于 4.5，其中重庆、遵义、长沙、杭州低于 4.0，长沙仅为 3.31。酸雨出现的频率也相差悬殊，长沙以南大于 50%，长沙 100%，杭州 98%，而“三北”地区少于 20%。造成南北分布区差异的原因是多方面的，有气候、土壤条件的差别，也有耕作方式方面的原因。南方一些地区风速小，静风频率高，使得排放出来的污染物扩散缓慢；加之梅雨多，空气潮湿，造成污染系数大。土壤的化学性质南北区域分带明显，土壤的 pH 值、阳离子交换量、盐基饱和度大体上由南向北逐渐升高，土壤对酸沉降的忍耐性大体上由南向北逐渐提高，地表水体的酸缓冲容量也自南向北逐渐增大，这些因素使得我国主要酸雨区均分布在土壤 pH 值比较低的偏酸性区域。

目前酸雨最严重地区是局部污染形成的，而且冬季重于其他季节。南方有 13 个地市和地区的年降水平均 pH＜4.5，且酸雨面积仍在逐步扩大。我国酸雨是以局部性为主，但诸多迹象表明，不能排除酸雨远距离传输的可能。有研究报道，峨眉山的酸雨来自四川盆地的成都方面。这使峨眉山的冷杉林遭到很大的危害。如果我国 SO_2 排放量得不到有效的控制，那么酸雨可从城市扩大到农村、山区。据估计，大气污染对我国农业危害的直接经济损失每年达 20 亿元；而酸雨对森林的损失应更大，因为除直接损失外，森林对环境的影响和调节作用是难以直接用金钱衡量的。

大气污染对动物和人类也有严重危害。主要通过三个途径侵入体内，即表面接触、食入含有大气污染物的食物和水、吸入被污染的空气。其中，以

吸入被污染的空气危害最大。尤其在大气污染物浓度突然增高时，其危害更为严重。甚至在几天之内就会引起人中毒甚至死亡。在低浓度时，可引起人们慢性中毒，导致慢性支气管炎、肺气肿、支气管哮喘、肺癌等疾病发生。氟化氢能侵害动物的骨骼组织，使骨质软化；特别是对牙齿釉质的腐蚀作用更为明显，使牙齿松脱。其次，由于空气浑浊，太阳光线透射差，也影响动物的健康。

二、污染物对森林环境的影响

（一）大气污染对森林的影响

1.大气污染对森林衰落的影响。目前广泛使用“衰落”一词来描述树木的大量死亡。但在林业界，“衰落”一词有其特定含义。根据林业专家保罗·曼宁的解释，“衰落”是指生物和非生物协迫因素相结合造成树木退化和死亡的状况。因此，最好把衰落理解为自然和人为胁迫因素共同作用使树木衰亡并最终死亡时所发生的情况。曼宁把这些因素分成互相有联系的三类，即诱病因素、促病因素和致死因素。诱病因素包括土壤贫瘠、气候变化、空气污染以及树木的遗传构成。促病因素包括虫害、干旱和霜冻。这些因素使已患病的树木进一步衰弱，直至死于致病因素。致死因素包括病毒、根部腐烂、虫害、真菌，它们使树木最后死亡。

“森林衰退”是一种普遍现象，主要起因于酸雨已成公认。在过去的 15 年中，欧洲和北美对森林受大气污染的影响已进行了一系列研究。美国加州因大气污染，形成了某些病虫害的爆发，使 100 多万株松树变得枯黄而死亡。该州每年因大气污染造成的农业损失约 1 亿美元。英、日等国也有类似的估计数字。奥地利专家经过多年的研究指出：到 21 世纪，欧洲森林每年将因酸雨而损失（1.18×10^8）m^3 木材。

从历史上看，严重的大气污染已导致大电厂和其他工业污染源附近有树木的死亡。在 20 世纪初，在不列颠哥伦比亚的吹尔（Trai）有一座炼铜厂，每月放出 10000tSO_2，致使该厂北部 83.67km 内 30%的树木，南部 53.1km 内 60%的树木死亡或受到严重损害。在 50 年代初，在华盛顿州斯波坎的一座炼铝厂，所放出的氟化物，使工厂周围 7.77km^2 内所有的树木死亡，129.44km^2 内的树叶遭受损害。

在过去的 100～200 年里，欧洲和北美洲都遭受过多次森林衰落的侵袭。仅仅在 20 世纪，欧洲至少有五个地区发生过森林衰落的灾难，而北美则至少有 13 个地区发生过同样的情况。这些地区森林衰落所表现出来的症状很不相同，有些只见于一种树木。在其中六次事件中，空气传播的化学物质都被认为是重要的或潜在的因素。这六次事件是：加利福尼亚的胜贝纳迪诺山脉松树的衰落、美国东部白松的死亡、欧洲的森林灾难、美国东部的红云杉和福莱赛冷杉的衰落、美国东南部黄松长势的减慢以及美国东北部的糖槭最近出现的衰落。

中欧的森林衰落，早在 20 世纪 70 年代后期就已在低矮山区出现。当时的联邦德国森林中的银杉开始出现异常病症，针叶从树枝的内侧到外侧、从下部到树冠纷纷坠落，直至大量树木死亡。随后不久，挪威的云杉也出现类似的症状：针叶变黄，显然与营养不足有关，特别是镁、钙、锌、钾、锰不足，导致老树的叶脱落。接着，松树也出现类似的症状，树冠稀疏。1982 年厄运波及硬质树木，主要是山毛榉和橡树。山毛榉的冠叶在夏初就变黄、脱落，然后枝叶畸形。现在德国几乎所有的重要森林树种都出现叶片变黄和早

落的现象。

原联邦德国的林木损害，最初只见于海拔 800m 以上的高地，但现在已蔓延到较低的地带。向西的迎风坡损害最严重。尽管所有年龄的树木都受到影响，但老树的症状最明显。

美国东部地区高海拔冷杉—云杉林的损害，是 20 世纪 60 年代初期开始出现的。有越来越多的证据说明，大气污染是一个影响因素。这并不足为奇，因为原联邦德国和美国东部的空气污染水平不相上下，而受影响的树种又有着联系。短期的 O_3 浓度，原联邦德国比美国高一些，但两国的年均 O_3 水平大体相当。两国降雨的酸度（以 pH 值计）也很接近。不过，在美国东部，沉降在高海拔林区的云水的 pH 值一般为 3.4～3.7，最低达 2.2～2.8，可同醋或柠檬汁比“酸”。美国东部高海拔林区的硫酸盐和硝酸盐沉降量（主要来自云），远比原联邦德国为多（表 2—7）。

表 2—7 原联邦德国和美国林区大气污染水平和沉降率的比较

污染物	平均时间	原联邦德国①	美国②
臭氧	年均	（3.6～4.8）×10^{-5}	（4.0～5.0）×10^{-5}
	峰值	115～180	85～120
降雨（pH）	年均	4.2～4.6	4.2～4.7
云（ph）	峰值		2.2～2.8
总（干+湿）硫酸盐沉降率 kg·（hm-2·a-1）	年均	70～125	100～400
硫酸盐沉降率 kg·（hm-2·a-1）	年均	22～48	50～200

①原联邦德国南部出现衰落症状的林区。
②美国东部已观测到林木损害的山区。

大气污染对林木的影响有时是非常明显的，当大气中 SO_2、NO_x 的浓度过高、酸雨的 pH 值过低时，都会使林木出现明显的伤害。由此导致林木生产力下降，甚至衰亡。据估计，在欧洲，森林由于遭受多种空气污染的危害，在较长一个时期内将导致木材产量的下降。

1987 年，堪校了 17 个欧洲国家森林损害面积的研究者们对遭受多种空气污染和其他胁迫因子损害的森林面积进行了评估。他们估计，易遭中度或严重损害的林木总蓄积量为（18.08×108）m^3，几乎是这些国家林木蓄积量的 15%，为其木材年采伐量的 6 倍以上。损害尤为严重的是瑞士（受影响的蓄积量为全国木材蓄积量的 25%）、德国（为 21%）、荷兰（为 20%）、瑞典（为 20%）。最近对欧洲森林资源衰减的评估表明，在总数为（1.41×108）hm^2 的森林中，约有（5×107）hm^2 受到不同程度的伤害。

在过去的十年中，随着 SO_2 和 NO_x 污染的增加，酸雨在我国的很大的地域内出现。污染最严重的是华中和西南，华南和沿海地区的酸雨也有广泛分布并且十分严重。在长江以南和四川盆地以东存在一个严重的酸雨区，pH 值为 4.5～4.0。据估计，11 个省份的酸雨危害严重，酸雨带来的立木蓄积下降和

粮食减产方面的直接经济损失分别达 44 亿元和 51 亿元人民币。目前，我国已有超过（3×10^6）hm^2 的农田不同程度地受到 SO_2 污染的危害，仅此一项，每年直接造成的粮食损失就达（30×10^8）kg 左右。

“七五”期间在对西南地区的研究表明，当降水的 pH 值小于 4.5 时，马尾松的树高、胸径和材积在四川省分别降低 40.1%、36.8%和 75.9%，在贵州省分别降低 8.9%、17.1%和 37.1%；杉木的树高、胸径和材积在四川省分别降低 51.6%、44.6%和 85.1%，在贵州分别降低 21.7%、23.7%和 54%；四川和贵州两省受酸雨影响的森林面积分别为（27.56×10^4）hm^2 和（14.05×10^4）hm^2。由此造成的直接经济损失，四川省达 3.6 亿元，贵州省达 0.5 亿元，其所造成的间接经济损失则更大。酸雨在南方七省区对森林蓄积量损失的影响率在 24.5%～37.91%之间，蓄积量损失率在 7%～20%之间，每年的蓄积量总损失量为（1.01×10^6）m^3，其中，浙江省的损失为（3.84×10^5）m^3，安徽省的损失为（1.59×10^4）m^3。

O_3 引起森林受害只是在某些特殊的情况下才发生，但 O_3 还是被认为与森林质量下降有直接的关系。大面积的森林受害一般在人口居住中心的附近，如墨西哥城。在这些地区，通常都可见到森林受害症状，尤其是松类。在生理反应中，O_3 主要影响植物碳的分配过程和光合作用。

试验和模拟表明，每十亿份空气中有 100 份的 O_3 就可对北美的许多森林产生不良影响，同时还会诱发出某些受害症状。然而在大多数北美地区，O_3 的浓度只达到此浓度的一半。由于缺乏有林地带的 O_3 监测资料，要精确地估计 O_3 对有某些局部地区森林的危害是很困难的。

2.大气污染对生物多样性的影响。森林的衰亡将导致其他一系列问题的连锁反应，例如生物多样性的剧降。高等植物、动物、真菌、藻类、细菌是森林生态系统的主体。“皮之不存，毛将焉附”。据统计，近两千年来约有 240 多种鸟兽类从地球上消失，其中 1/3 是 19 世纪前消失的，1/3 是 19 世纪后消失的，另 1/3 是近 50 年来绝灭的。我国近 50 年来，仅珍稀和特有的动物、植物就灭绝了数十种。有人估计在 20 世纪最后 10 年里灭绝的生物物种将比前 90 年所灭绝的物种总数还多。这与工业技术产生的大气污染的出现、森林面积衰减和人口剧增是十分吻合的。

研究人员发现，在过去的几十年内美国东部的大部分地区，敏感的白松一直受到 O_3 的损害。这种伤害多见于 O_3 含量高的六七月份。叶受到的直观损害首先是针叶出现斑点，进而出现坏死带，最终发展成针叶坏死。在 O_3 浓度高的地区，敏感性白松的高度、树围和针叶长度，都不及具有较强抗性基因型的树种。某些专家认为，暴露于 O_3 中的敏感基因型的树种将会消亡。

虽然我们已经知道了影响森林生长的各种污染物，但对其分布以及发展趋势知之甚少，这是因为只有极少数地区有长期的污染记载。同时，酸雨的危害也是近些年来才引起人们的注意。过去的 10～15 年，测定了酸性 SO_3^{2-} 和 NO_3^- 的沉降性，但要绘制沉降模式，还需要有相应的森林反应。对于其他污染物（如 O_3），尚无较合适的与之相应的森林反应模式。

（二）其他污染对森林环境的影响

1.森林环境与农药的关系。农药污染是非常值得注意的。过去各国多注

意有机磷和汞制剂等农药引起的急性中毒。近年来，渐渐地把注意力转移到有机氯农药的慢性中毒方面。例如，喷洒 DDT 后，空气中 DDT 的浓度只有 0.3×10^{-11}。但随雨水降入水体后，被浮游生物吸收，浓度可提高为 0.04×10^{-6}。小鱼吃了浮游生物，又进一步浓缩使浓度提高到 0.5×10^{-6}。大鱼吃小鱼，于是大鱼体内的 DDT 浓度再提高到 2×10^{-6}，水鸟吃鱼体，更进一步将 DDT 浓缩为 25×10^{-6}。与原始浓度相比，最终 DDT 的浓度经生物提高 833 万倍。这就是有些湖泊中鱼类、水鸟大批死亡的主要原因。

美国女生物学家雷切尔·卡逊（Rachel Carson）在其《寂静的春天》一书中，用大量事实阐述了使用农药破坏生态平衡的事例，引起了世界各国科学家的重视。

美国密执安州为防治由小蠹虫传播的榆树病害，1954 年夏季喷洒 DDT 两次，秋季落叶入土腐烂。腐叶被蚯蚓食后 DDT 积蓄体内，知更鸟啄食蚯蚓而中毒，出现大量死亡。所幸存者也体弱、不育。至 1958 年连一只雏鸟都看不见了，只有原数 5%～8%的成鸟存活。

加拿大的米拉米奇河流入大西洋。河流附近的森林发生了云杉蚜虫。1954 年用飞机向森林喷洒 DDT，河水受到污染，河中的鱼类及水栖昆虫多数中毒死亡。当年春季生长的幼鲑鱼，在施药两个月后几乎全部死亡。另外，在连续使用 DDT 等农药防治害虫时，会使害虫发生抗药性，同时还能杀死害虫的天敌。因此，必须年复一年地加大用药，才能保证防治效果，而一旦停止用药，常常导致害虫的大量发生。

2.水体污染、土壤污染对森林环境的影响。与大气污染相比，水体污染、土壤污染对森林环境的影响相对要小得多。

水体污染的主要成因是工业废水的不合理排放。由于其数量大，成分复杂，有毒物质多，大部分未经处理，直接排入水系，使江河湖海遭受严重的污染。

水体中的污染物一般可分为四大类，即无机无毒物、无机有毒物、有机无毒物与有机有毒物。无机无毒物包括酸、碱及一般无机盐和氮、磷等植物营养物质；无机有毒物包括各类重金属（如汞、镉、铅、铬）和氰化物、氟化物等；有机无毒物主要是指在水体中比较容易分解的有机化合物，如碳水化合物、脂肪、蛋白质等；有机有毒物主要指苯酚、多环芳烃与各种人工合成的具积累性的稳定有机化合物，如多氯联苯和有机农药等。其中，以重金属离子即无机有毒物的危害最为严重。

水体污染从各种途径对林业生产产生影响，主要表现在：对森林植物的生长发育有直接影响；对土壤产生影响，间接影响作物或林木的生长发育；对林产品品质产生影响和对林业生产人员的健康产生不良的影响。水体污染物进入土壤后，由于土壤有相当的缓冲作用和净化能力，加上人工管理，使林木不会受到毒害。只有当水体污染物浓度继续升高时才表现影响。所以，水体污染对森林环境的影响，可分为三个阶段：第一阶段为不良影响阶段；第二阶段由于土壤的作用或人为的控制，属于消除不良影响阶段；第三阶段为不良影响无法消除阶段。

土壤污染的发生途径，是与土壤的特殊地位和功能相联系的。首先，土壤是林业生产的劳动对象和生产手段。为提高农林产品的质量和产量，随着施肥、施用农药及灌溉，污染物也就进入了土壤，并不断积累起来，这是土壤污染物的重要来源。其次，土壤历来是废物的处理场所，废物的堆置使大

量有机和无机污染物质进入土壤，这是土壤污染的又一途径。另外，土壤作为环境要素之一，因大气或水体中的污染物质的迁移转化，从而进入土壤，使之遭受污染。此外，自然界中某些元素的富集中心或矿床周围，往往形成自然扩散晕，使附近土壤中某些元素的含量超出一般土壤的含量范围。这类污染称为土壤的自然污染。

在环境污染与环境保护问题上，工业与农林业的关系非常密切。它们既有相互矛盾的一面，又有互相统一的一面。工业生产所产生的“三废”如果不能及时和彻底地加以处理，那些有毒和有害的物质，就会污染环境，危害农林业生产。但是，农林业的环境又可对工业的废气和废水的污染起到积极净化的作用。例如，森林和其他植物可以吸收大量的工业有害气体，并放出 O_2，对于空气的净化和更新具有重大作用。从生物圈的整体看，农林业环境并不仅是消极受害，还可以积极除害。

（三）主要大气污染物对森林的作用机制

大气污染对树种的影响机制已经在欧洲和北美进行了广泛的研究，作为主要的污染物，酸雨和 O_3 对森林生态系统的作用方式是截然不同。

在北美研究最多的受污染地区是处于高海拔的阿巴拉契亚山脉的红杉林。它们所处的地理位置决定了它们受到盛行风和寒冷的影响，致使红杉受到雾的伤害并增加了它们在污染物中的暴露时间。因此红杉一般都是在冬天质量下降。在森林所处的所有恶劣环境（如差的立地、虫、病、风、极温、干旱等）中，大气污染是影响森林质量的重要因素。酸雨和 O_3 可改变植物养分分布及生理过程就是一个极好的例证。在高海拔地区，最严重的污染后果是使寒冷地带树的抗寒性下降。

1.SO_2 对森林植物的危害。SO_2 是主要的大气污染物之一，是我国当前大气污染中最主要的污染物。SO_2 的主要来源是矿物质的燃烧。煤中含硫 0.5%～5%，石油中含硫 0.5%～3%，燃烧后被氧化成 SO_2，排放到大气中。由于 SO_2 进入植物体内的主要通道是气孔，因此，对植物的伤害首先表现在叶上，尤其是生理活动旺盛的叶上。

树木受 SO_2 危害后，首先从气孔周围的细胞开始，逐渐扩展到海绵组织，再发展到栅栏组织，表现为细胞的叶绿体破坏，组织脱水并坏死，在外表上可见许多褪色斑点从叶脉间逐渐发生，至危害后期，叶脉亦褪色枯死。受害初期的变色斑位于叶脉间，呈点状、块状或条状，后期叶脉也变色死亡。针叶树受害后，首先是针叶尖端发黄变褐，逐渐向下扩展，终至余叶枯死。SO_2 危害出现的伤斑与健康组织之间界线明显。

SO_2 危害禾本科植物时，如果 SO_2 浓度较高，叶片则表现为淡绿或灰绿、萎蔫、有白色点状斑，严重时叶尖弯曲；如果浓度较低，则叶片有褐色条斑、呈擦伤状，叶尖褐色，但不卷曲。SO_2 对果树危害时，叶片多呈白色或褐色。例如：梨树先是叶尖、叶缘及叶脉间褪绿，逐渐变成褐色，二三天后出现黑色斑点。柑橘则在叶脉间的中央部分出现黄褐色斑点，同时叶片皱褶。

硫是植物的组成部分之一，但植物所需要的硫来自土壤中的硫酸盐，而只有很少一部分吸收空气中的 SO_2。SO_2 进入叶片后溶于细胞液中，氧化成重亚硫酸离子（HSO_3^-）和亚硫酸离子（SO_3^{2-}），随后氧化成硫酸离子（SO_4^{2-}）存于叶片中。植物体内可积累的硫的限量是正常量的 5～10 倍。当大气中 SO_2

浓度很高及滞留时间长时，植物体内 SO_2 吸收过多，积累的 HSO_3^- 及 SO_3^{2-} 超过了代谢解毒的功能时，植物就会产生急性伤害。

SO_2 伤害植物的原因是 H^+ 降低了细胞的 pH 值，从而干扰植物的生命活动。亚硫酸盐与含硫蛋白质的二硫化物（如胱氨酸）发生作用，切断双硫键，使蛋白质变性，一些酶因而失去活性（如过氧化氢酶，在光合作用中碳素固定的 PEP 羧化酶及 RuDP 羧化酶等），和使代谢中间产物酮或醛作用形成α-羟基磺酸，也可抑制一些酶的活性。据报道，SO_2 和 NO_2 进入叶片后，将降低欧洲赤松、核桃、紫丁香等多种树木过氧化氢酶的活性，且随污染物浓度的提高，酶的活性降低得越明显。

树木是 SO_2 的受害者，在同样剂量、时间和环境条件下，不同树种受害情况有很大的差异。一般讲，阔叶树种抗性大于针叶树种，常绿阔叶树大于落叶阔叶树种。我国地域辽阔，各地区的土壤气候条件差异很大，树木长势及抗性也不一样。自 20 世纪 70 年代以来，经许多林业、环保及园林工作者的广泛调查研究，对各地区常见的园林、绿化造林树种的抗性进行了分级，确定了一批抗污染的绿化树种。例如：北京地区对 SO_2 抗性强的有：侧柏、桧柏、白皮松、臭椿、榆树、构树、槐、刺槐、加拿大杨、毛白杨、垂柳、核桃、柿、木槿、大叶黄杨等；抗性较强的有：北京杨、桑树、三球悬铃木、板栗、华山松、榆叶梅、石榴等；抗性较弱的有：合欢、五角枫、复叶槭、河北杨、银杏、黄刺玫等；敏感的有油松等。同一树种在不同地区抗性可能不同。例如：侧柏在北京、天津、内蒙古等地为抗性强的树种，但在南京、武汉等地则属抗性较弱的树种。

2.氟化物对森林植物的危害。氟化物是一类对植物毒性很强的大气污染物，伤害植物的氟化物主要有 HF、SiF_4（氟化硅）、H_2SiF_6（氟硅酸）、CaF_2（氟化钙）等，其中以 HF 为最普遍，毒性最大，影响也最严重。自然界中大气氟化物污染的程度不如 SO_2，范围也没有 SO_2 广，但氟化物中的主要成分 HF 对植物的毒性比 SO_2 大 10～100 倍。

以气体状态存在的氟化物主要从气孔进入植物体内，但不损害气孔附近的细胞，而是顺着导管向叶片的尖端和叶缘部分移动。因而叶尖和叶缘的氟化物含量较高。进入叶片的氟化物与叶片内的钙质发生反应，生成难溶性的氟化钙化合物，沉积于叶尖及叶缘的细胞间，当浓度较高时即表现症状。氟化物在植物体内的毒害作用，主要是抑制了一些酶的活动，特别是烯醇化合物，从而阻碍代谢机能，破坏叶绿体和原生质；HF 降低了体内钙、镁的活性，产生钙、镁营养障碍。此外，某些植物体内 CaF_2（氟化钙）的积累还可导致通道受阻，干扰水分和养分的运输，引起部分组织干枯、变褐。

HF 危害植物的症状，主要是在嫩叶、幼芽上首先发生。阔叶树受害时，伤斑主要出现于叶尖及叶缘。如果危害严重时在脉间出现坏死斑，病健组织区别明显，有一条红棕色带，未成熟枝叶易受害而形成枯梢。针叶树受害时，当年生针叶尖端首先坏死，并逐渐向下发展，受害组织先变黄，然后逐渐变为暗黄色或红棕色。叶片被 HF 危害后，表皮细胞、栅栏组织、海绵组织均呈现红棕色，细胞原生质凝结成红棕色团块。叶绿体初期不变色，到后期叶绿体也被破坏。禾本科植物受害时，首先在新叶尖端和边缘出现黄化。柑橘类受 HF 危害时，叶片萎缩或现黄色，叶尖叶缘有伤斑，萎缩现象一般在新叶展

开前后即出现，中部凹陷呈勺状。

各种植物对氟化物的抗性有明显的差异。抗性不同的植物其容氟量不同。一般而言，敏感植物的容氟量低，抗性植物的容氟量高。例如：杏、李、松树等，叶片含氟量超过质量浓度为 5.0×10^{-5} 时便会出现症状，而一些抗性强的植物如山茶、茶树、构树即使在叶片含氟量质量浓度超过 1.0×10^{-3} 时也不会受害。在华北地区对 HF 抗性强的有：白皮松、桧柏、侧柏、臭椿、银杏、槐、构树、泡桐等；抗性中等的有：华山松、桑树、杜仲等；抗性弱的有：油松、山桃、榆叶梅、葡萄等。

3.O_3 对森林植物的危害。光化学烟雾是大气污染中的一类特殊混合物的总称。它是由汽车排出的氮氧化物和碳氢化合物等废气进入大气中，在太阳照射下，经过一系列光化学反应而形成的。其中最主要的成分是 O_3，可占光化学烟雾组成的 90%，其次是过氧乙酰硝酸酯（PAN）等物质。臭氧对树木的危害比其他任何成分单独作用都严重。

O_3 危害症状多出现在成熟叶上，嫩叶上症状极少。O_3 主要侵害叶片的栅栏组织，因而在叶片上表面出现点状斑。危害严重时，叶片的海绵组织也会受到危害，使斑点透过叶片组织，叶片黄色，甚至褪成白色，植物的组织机能破坏，生长、芽的形成及开花过程均受到抑制。针叶树受害时，针叶先端首先变黄、黄褐，随后慢慢枯死。O_3 危害植物后，病健组织之间没有明显的界线。

O_3 对植物的伤害，首先是影响膜系统，而其他的生理生化变化，包括对光合作用、呼吸作用、蒸腾作用、代谢产物浓度等的影响是作用初期膜特性变化的次生结果。其变化顺序可能是：硫氢基的氧化，类脂水解，细胞的渗漏，类脂过氧化，然后细胞瓦解。膜的正常功能取决于受蛋白质中巯基所稳定的类脂。巯基对膜蛋白的结构完整性甚为重要。O_3 对巯基的氧化破坏了膜结构的完整性，增大了膜的透性，降低了原初代谢产物的合成，提高了酶和基质的反应，从而提高次生代谢产物的数量。由于细胞代谢活动的失调，使细胞受害。

植物对 O_3 的敏感性，与植物的年龄和代谢活动等因素有关。老龄叶细胞发育成熟，液泡发达，细胞膜的机能逐渐下降，容易为 O_3 伤害。此外，老龄叶中可溶性成分的耗尽，也是叶片对 O_3 敏感的重要因素。

各植物种、品种对 O_3 的抗性差异非常明显，不同种源的同一植物其抗性不同。抗性强的树种有：五角枫、臭椿、侧柏、白蜡、银杏、圆柏、刺槐、紫穗槐、槐、钻天杨、红叶李等。

4.酸雨对森林植物的危害。如前所述，酸雨的主要成分是硫酸和硝酸，尤其大多数地区系为硫酸。酸雨成分中还混有少量盐酸、碳酸、有机酸（甲酸、乙酸等）等。一定的土壤类型受到酸雨的影响以后，可能破坏植物的营养，像引起钙、镁、磷等元素平衡失调或阻碍铝元素的向上运输等。我国形成酸雨的地区主要以硫酸为主。酸雨对森林植物的危害是非常复杂的，有直接的干扰破坏，也有间接的影响。

（1）酸雨对森林植物的直接影响 酸雨可直接损坏植物的表面结构，加速角质层的腐蚀；干扰保卫细胞的正常功能，导致气孔开关的失调，改变了蒸腾速度和气体交换的过程；酸性物质进入植物体内后扩散，使植物细胞中

毒，在叶片、花、嫩枝上出现深度坏死或衰老的斑点；正常的代谢或生长过程受到干扰，可能导致光合速率的降低，中间代谢过程的改变以及叶片或其他器官的异常发育或提前衰老。干扰植物的繁殖过程，可能降低花粉的生活力，干扰受精过程，种实产量降低，种子发芽力降低等。

（2）酸雨对森林植物的间接影响 由于酸雨损伤了角质层及表皮细胞，可能加速了叶、嫩枝、大枝和茎的无机元素和无机物质的淋洗。角质层的侵蚀，保卫细胞正常功能受阻，表皮细胞的直接伤害，可导致蒸腾速度加快，增强了植物对干旱、空气污染物及其他有害因素的敏感性。植物叶片和根系渗滤过程的改变和有机物、无机物淋洗的加速，可能影响叶、根围微生物的种群动态和共生关系，如菌根菌、固氮菌等；改变了植物与寄生物之间的关系，增加了植物对病原物及害虫的敏感性，削弱了寄生植物对病虫害的忍耐能力。酸雨的影响可能随病原物的性质、寄主的种类、年龄、生理状况、病害的发生阶段而变化。

酸雨危害的另一重要途径是对土壤的影响，引起土壤的酸化、加速土壤营养的淋溶，减缓腐殖质的矿化速率，进而减缓生态系统中的营养循环。酸雨对土壤的另一重要作用是影响土壤中微生物的种群、种类及其活性，关系异常复杂。例如，由蜜环菌（Armillaria mellea）引起的林木根腐病，在酸雨的影响下，林木的抗病性减弱，加重了根朽病的危害，但也改变了病菌的致病性。

5.氯气（Cl_2）对植物的危害。一般情况下大气中 Cl_2 浓度很低，对植物不会产生明显的危害。只有在化工厂、电化厂、制药厂、农药厂、冶炼厂、玻璃厂、塑料厂、自来水净化工厂等企业偶然发生跑气、漏气等事故时，有 Cl_2 散放，使植物出现急性受害。Cl_2 进入植物组织后，与水作用生成次氯酸。它是强氧化剂，比 SO_2 强 2～4 倍，对叶内有很强的杀伤力，破坏叶绿素，使叶片产生褐色伤斑，严重时使全叶漂白、枯卷，甚至脱落。受害伤斑主要分布于脉间，或呈不规则点状或块状，受害组织与健康组织间无明显界线。针叶树（如沙松、白皮松、雪松等）受害时首先尖端失绿发黄，逐渐向下发展，严重时整个针叶枯黄脱落。

某些树木的叶绿素被 Cl_2 破坏后，伤斑会出现各种颜色：枫树呈棕色，女贞、杜仲、薄壳山核桃呈灰褐色，广玉兰呈红棕色。

树木受害后，叶片两面都出现病斑，尤其以叶面为甚。植物不同叶片对 Cl_2 的敏感程度不同，以成熟的、充分展开的叶最易受 Cl_2 危害，老叶次之，幼嫩叶不易受害。即使植物急性受害，尖端芽叶仍可继续生长。针叶树受害时，当年生针叶比二年生、三年生受害重，特别是刚萌发的针叶最敏感。各树种对 Cl_2 的抗性不同，例如上海地区，对 Cl_2 抗性强的有：棕榈、罗汉松、柳树、加拿大杨、樱桃、紫荆、紫薇等。抗性中等的有：大叶黄杨、栎树、臭椿、构树、枫树、龙柏、桧柏等。抗性弱的有：悬铃木、雪松、柳杉、黑松、广玉兰等。

（四）大气污染与森林病虫害的发生

大气污染不仅直接危害林木的正常生长，而且也影响森林微生物群落、昆虫区系和种群数量，以及彼此之间的关系。大气污染从两个方面影响生物区系：一是污染物直接有利于或有害于生物；二是污染物影响土壤和气候，进而导致林木衰弱，使之成为适于病虫滋生的场所，从而改变森林生态系统

中植食性生物和食虫性生物的群落结构。昆虫对大气污染的适应性或反应依种类而异，有些害虫在受污染的森林中非常普遍，如：木蠹象、小蠹及某些天牛，因为他们多侵害树势衰弱的林木。然而，害虫天敌对大气污染比较敏感，在受污染森林中，其死亡率较害虫为高，这也是污染区森林害虫暴发的原因之一。另一方面，污染能改变林木内的化学物质的含量，从而影响以植物为食的昆虫种类的消长。用臭氧（O_3）处理杨树后，会刺激树上柳蓝叶甲的取食能力。在南加利福尼亚，臭氧使美国黄松和杰佛松变得易受茎干甲虫的危害。

云南一磷肥厂烟筒排出的 HF，曾引起附近云南油杉中油杉刺园盾蚧猖獗成灾。此盾蚧的种群分布与距污染源远近有密切关系，越近则越重，越远则越轻。盾蚧的分布密度与树叶的含氟量呈正相关。雌虫比、怀卵量、发育速度均随污染的加重而提高。油杉树叶的含水量与氟污染程度呈负相关，而含糖量与氟污染呈正相关。受氟污染林分中的油杉刺园盾蚧，因树叶含水量的减少，需更多地吸食树液来满足自身水分的需求，而树液含糖量的提高，又改善了盾蚧的发育与繁殖条件。严重的氟污染对此盾蚧捕食性天敌（如红点唇瓢虫）的生存确有严重影响。

由于酸雨的严重危害（pH＜4.5），重庆市酸雨污染导致马尾松生长衰弱，并导致一些害虫（如松天牛、横坑切梢小蠹、齿小蠹等）的侵入和猖獗发生，继而造成马尾松大量死亡。而在轻酸雨区，上述两种害虫少。

大气污染物进入土壤后对微生物群落及植物病害的发生同样有较大影响。对重庆不同程度酸雨地区森林土壤微生物种群分布及其活性的研究结果表明，酸雨使土壤细菌数量减少，尤其是使分解有机氮为氨的氨化菌类减少。轻酸雨区和清洁区马尾松林下的土壤细菌数量分别比重酸雨区多 6 倍和 15 倍。真菌数量增多，但分解有机碳和氨的真菌减少。其原因主要是细菌喜中性和微酸性环境，酸化的土壤不适于它们的生长，而真菌对 pH 值的适应性相对较广。酸雨还可以抑制土壤中固氮菌的活性。

对大气污染对林木侵染性病害关系的针对性研究较少。研究表明，过低的 pH 值可使挪威云杉幼苗对恶疫霉感染性增加。美国西部的黄松林，因酸雨之害，假蜜环菌的危害日益严重。

酸雨对森林造成如此巨大的危害，其中次期性害虫入侵和一些病害的发生，是造成并加速林木死亡的重要因素。如由于 SO_2 污染，同时对某些植物性害虫的生长发育及病原菌的生长有促进作用。这对森林来说是雪上加霜。据报道，在广西发生最广的马尾松赤枯病、褐斑病，其病原菌在 pH3.5～4.5 的范围内，菌丝生长加快，促使马尾松发病率增加。最突出的例子是重庆南岸区的雨水 pH 值在 4.5 以下，属重酸雨区，其生态环境已受到破坏：马尾松普遍长势不好并衰退，同时，松天牛与松纵坑切梢小蠹也大发生。马尾松受松天牛危害株率为 57.1%，严重的植株在 10cm 长的木段中，竟有 6 个被天牛因产卵而咬伤的流脂孔；松纵坑切梢小蠹危害株率为 85.7%。酸雨对马尾松的落针病和赤落叶病发生也有一定关系。从发病部位而言，这两种马尾松病害的正常发展规律为树冠下层重于树冠上层。而重酸雨区的南岸，马尾松病情指数则显示出上层重于下层，与纯真菌病害恰相反，这可能是由于树冠上、中层针叶首先接触降落的酸雨，造成对针叶的损伤，直接受害重于下层。

由于马尾松受酸雨危害而树势减弱，抗性降低，为一些弱寄生菌及腐生性菌的侵染创造了条件。因此其叶面腐生菌也随之增加。重庆南岸区的马尾

松布满腐生菌的针叶高达 85.0%。

由于次期性病虫害只攻击长势衰弱的林木，而长势旺盛的不易受攻击。因此，分析酸雨区林木死亡的原因时，可以认为，由于酸雨长期危害，不仅林木生长环境恶化，其长势衰弱，而且导致次期性害虫及一些病原菌入侵寄生。在一些地区，酸雨酸度越大，林木受酸害也重，其衰弱速度也越快，极易招致次期性害虫和一些病原菌入侵、定居、繁殖，从而加速林木的死亡。因此造成的间接经济损失，可能比污染物本身的直接危害还要大，其对林业和农业生态系统的潜在危害更不容忽视。

三、森林对污染物的净化作用

大量的研究表明，一般植物，特别是森林树木具有作为气态污染物蓄积库的能力。气态污染物通过扩散和气流运动，一旦与植物接触后，气体便被束缚或溶解于植物的表面，或通过气孔被植物吸收。森林植物一般都能使污染物离开对人畜产生危害的环境（库）而转移到另一个环境（库），我们称这种功能为净化作用。

森林植物在它的新陈代谢过程中，要从环境中吸收空气、水分和营养物质。在这个过程中，对大气、水和土壤中的污染物一部分被吸收同化为植物本身的组成物质，另一部分被吸收富集，暂时贮存在植物的器官和组织中，从而起到改善环境的作用。

森林具有巨大的叶面积，既能制造 O_2，又能吸收大气中的 CO_2、毒气和粉尘；不仅能净化大气，还能净化水质和土壤。可以说森林是一座无与伦比的巨大的净化工厂。

（一）森林对有毒气体的吸收作用

1.树木对 SO_2 的净化作用。硫酸厂、冶炼厂、炼油厂、发电厂、化肥厂等都有大量的 SO_2 气体排出。SO_2 是一种污染广、浓度高的有毒气体。除对人畜健康产生严重影响外，还可形成酸雨，对农作物、森林、湖泊、建筑物都有危害作用。

SO_2 在水中溶解度很大。当树木外部表面湿润时，能吸收大量 SO_2。在干燥条件下，SO2 也能被树叶迅速吸收并氧化成硫酸盐。硫是植物的营养元素之一，在正常条件下吸收量为植物干重的 0.1%～0.3%，叶片内含量最高，叶柄、幼茎、主干、主根次之。不同的树种在不同的地区对 SO_2 的吸收量不同。在 SO2 污染区，植物对 SO_2 吸收量为正常地区的 5～10 倍。

据研究，1kg 柳杉叶片，每日能吸收大气中的 $SO_2$3g。如每公顷的叶片按 20t 计算，即一公顷柳杉林每日可吸收 60kgSO_2。像日本东京那样大的城市，每天平均放入大气中的 SO_2 约为（3.7×10^4）t，按上述方法计算，应造林（62×10^4）hm^2 就可将这些毒物吸收掉。

柑橘是最能吸收 SO_2 的果树，试验证明，柑橘叶片中贮存的硫可达叶片干物质的 0.77%。

2.树木对氟的净化作用。氟的化学活性很强，游离状态的很少，多以氟的化合物存在于空气中。氟多在叶尖或叶缘积累起来，很少转移到茎和根的组织中去，因而叶比茎和根的含氟量要高得多。

正常情况下，植物体内的氟含量为（0.5～25）$\times10^{-6}$。果树叶片稍高，含量为（10～20）$\times10^{-6}$。针叶树为（1～5）$\times10^{-6}$。树木对大气中的氟化物

净化能力较强,据研究,HF 通过一定宽度和密度的林带后,其浓度降低为 47.9%～66.5%，并且随着林带宽度和密度的增加，降低作用愈明显；同时对氟化物的吸附作用大小与林带的结构和树种组成关系密切。在氟污染区，树叶含氟量为清洁区树叶含氟量的几百倍至数千倍。研究还发现，树木的吸氟能力与其抗性是一致的，即吸收力强的树种抗性就强。因此，可根据树木的含氟量来选择污染区的绿化树种。

3.树木对 Cl_2 的净化作用。化工厂、碱厂、塑料厂、农药厂常排出大量 Cl_2。氯是树木的微量元素之一。在正常情况下，植物含氯量为 0.01%。植物缺氯表现为萎蔫，最后变为青铜色。氯在植物体内可促进光合作用，但浓度过高会引起坏死。

树木对氯的净化作用比较强。污染区树木叶片含氯量比清洁区高十倍至数百倍。树木对氯的吸收量和抗性并不一致，要通过树木的生长量、吸氯量及受害情况来确定抗氯树种。

（二）森林对尘埃的阻挡作用

工厂排放的烟尘、灰尘、铅、汞、镉、金属粉尘等有害物质，森林都能吸附和阻留。据前苏联的资料，各种树木的净化率分别为：水青冈 5.9%、松 2.34%、栎 7.15%、千金榆 7.92%、杨 12.8%、槐 17.50%、冷杉 2.9%。槭、桂、桂香柳、加杨等树种能吸收空气中的醛、酮、醇、醚和安息香吡啉等毒物。

（三）森林补充 O_2 的作用

森林是 O_2 的天然制造厂。据不完全统计，1hm^2 阔叶林在生长季节里，每天能生产 720kgO_2，吸收约 1t 的 CO_2。

同时，森林还有杀菌作用。据法国报道，每立方米空气中的细菌密度在百货大楼内为 400 万个，在林荫道为 58 万个，在公园内为 1000 个，在林区则为 55 个。在树木种植地区，空气中的细菌数大为减少。除了因为林区人少之外，其主要原因是树木的分泌物对细菌有抑制和杀死作用。

四、森林环境污染的治理对策和方法

我国工业化、城市化的发展历史不长，大气污染造成的一些潜在危害尚未完全暴露。欧美多年的严重酸雨已导致大面积森林衰亡，这是给人类的惨痛教训。因森林衰亡而导致的物种灭绝，更是人类不可挽回的损失。在自然条件下，土壤的酸化极难逆转，故对酸雨的潜在危害决不可等闲视之。我国不应走“先发展后治理”的老路。

森林环境污染的治理是全球环境污染治理的一部分，两者密不可分。森林环境中的污染物多是从森林环境之外的产物。因此森林中大气污染的防治，首先要控制污染源。目前防治大气污染主要有以下几种方法：

（一）控制污染源

降雨酸度在逐年增加，它与 SO_2 排放量有着密切的关系。控制污染源是消除污染的治本措施。其中主要是改进工艺流程，使用高效低毒的原料，限制机械动力燃料的含硫量，改善燃烧条件，安装脱硫和集尘设备，控制排烟、排气的污染等，从而控制酸雨污染，为森林创造一个良好的生长环境，减少病虫害的发生。

排放 H_2S 和 CO 浓度在 0.1%左右时，虽对农作物是安全的，但对人类健康危害甚大。相反，排放 HF 浓度在 10^{-6} 左右时，对人类影响不大，但对农

林业却是个威胁。排放 10^{-6} 的 SO2 则对人畜、植物都会产生危害。

（二）加强大气污染的监测

加强监测，防患于未然。目前除通过有关仪器监测外，比较实用和经济的方法是利用指示生物进行大气污染监测，即“生物报警”。如苔藓类对 SO_2 很敏感，只要空气中有 1.2×10^{-6} 的 SO_2，苔藓就会干枯死亡。已对 SO_2、HF、O_3、NO_2、乙烯等的监测提出了相应的指示植物种类，应在不同污染区合理配植。

1.污染指标。目前各国对大气污染除进行必要的防治措施外，根据确定污染浓度的控制指标，还通过仪器及动植物随时进行监测。一般都是依据 1963 年 10 月世界卫生组织制定的标准，并结合本国情况制定。现将几个国家对 SO_2 的限制标准介绍如下：

美国：日平均值不许超过（0.1～0.5）$\times10^{-6}$。

日本：日平均值不许超过 0.5×10^{-6}，全年不许超过 0.05×10^{-6}；一年中超过 0.5×10^{-6} 的天数不得超过 70%。

前苏联：距地面 1m 高度允许值为 0.2×10^{-6}，日平均值不得超过 0.06×
-6

瑞典：日平均值不许超过 0.1×10^{-6}，0.5 小时平均值不得超过 0.25×10^{-6}。

2.指示生物的利用。一般对于特定环境条件，具有特殊敏感性的生物称为

指示生物。指示生物又可分为气候指标、土壤指标、污染指标等。利用指示生物可以预测大气污染的程度。利用指示生物进行大气监测，是目前比较实用而且经济的方法。只要空气中出现微量的有毒污染物质，它就发出警报信号，这种方法称“生物报警”。

常用的指示植物见表 2-8。

表 2-8　对几种有毒污染物质有指示作用的植物种类

污染物	指示植物
SO_2（二氧化硫）	苜蓿#、地衣类#、苔藓类#、棉花、大麦、菊、莴苣、核桃、复盘子、落叶松、荞麦#、胡麻#、红松#等
HF（氟化氢）	唐菖蒲#、荞麦#、葡萄#、玉米、郁金香、桃、杏、落叶杜鹃等
O_3（臭氧）	烟草#、苜蓿#、水萝卜#、菜豆#、玉米#、菠菜#、大麦、花生、白杨、垂柳等
PAN（过氧乙酰硝酸酯）	菜豆、番茄、莴苣、芹菜、大理花、矮牵牛等
NO_2（二氧化氮）	番茄、莴苣、向日葵、杜鹃等
C_2H_4（乙烯）	洋兰#、黄瓜#、兰花、石竹、番茄、玫瑰、香豌豆等

有#者表示敏感性高！

在实际利用时，调查污染地区自然生长的指示生物被害状态与不受被害地区相比较，大体可以了解到污染程度。陆地上，大气污染指示生物以植物最为方便，因为动物有移动性。利用森林植物监测环境质量的优点有：

第一，能够反映环境污染对生态系统的影响强度和综合作用。环境污染物质对生态系统发生各种影响，但这些影响不是完全都可用理化方法能直接测定的。几种污染物共存时比单种污染物对植物的影响要强，如 SO_2 和 O_3 对植物的影响就是这样。而有的则相反（拮抗作用），如 SO_3 和 NH_3 就是如此。对于污染物的这种相互作用，用一般理化方法测定是无能为力的，而植物监测在这方面却有独到的作用。

环境中的污染物能够通过植物富集而进入食物链，富集作用使浓度大大提高，食物链与人发生联系引起一系列疾病。因此，不能只了解环境中污染物质的浓度，而要对生物现象观察和分析，才能综合地对环境质量作出评价。

第二，能早期发现污染物。许多植物对污染物的反映往往比动物和人敏感得多，例如人在 SO_2 浓度达到（1～5）$\times10^{-6}$ 时可闻到味道，（10～200）$\times10^{-6}$ 时才受到刺激；而敏感植物如紫花苜蓿在 SO_2 浓度超过 0.3×10^{-6}，接触一定时间后便会产生受害症状。又如美洲五针松对光化学烟雾很敏感。还有些植物在精密仪器才能测出来的低浓度情况下，也会表现出受害症状，矮牵牛花对乙醇，番茄对乙烯等就是如此。此外，可以简单地观察指示植物的生长表现来反映污染程度，不需要高价的测定仪器，简便易行。

第三，能检测出不同的污染物。植物受不同的大气污染物的影响，在叶片上往往会出现不同的受害症状，例如植物在受 SO_2 污染后常在叶的脉间出现漂白褪色的斑点；受氟化物污染后常在叶的顶端和边缘出现伤斑。根据植物叶片的受害症状，可以初步鉴别出污染物的种类。

第四，能反映一个地区的污染历史。植物像个“不下岗的哨兵”，能日日夜夜为人们监测。当一个地区发生了有害气体急性危害，事后可从遗留下来的植物受害症状推测当时浓度的大小。

植物还能监测出数十年，甚至几百年前的污染历史。例如美国有人在一座有 SO_2 和 NO_2 逸散的兵工厂附近，根据树木年轮，对 43 株美洲五针松和 50 株鹅掌楸的年生长量进行了测定，发现树木年生长量与该厂的年生产量和污染物逸散量之间有着密切的联系。美国科学家还通过研究 450 株“世界爷”的年轮，发现年轮的变化与文字记载的历史气候演变完全吻合。日本新渴大学教授铃木，在 20 世纪 60 年代进行了树木年轮与环境污染的研究，发现树木的年轮记录了公害的历史，当树木在自然发育条件下正常时，其年轮随年数增加而依次变宽，当遭到 SO_2、Cd 及汞蒸气污染时，就会导致年轮急剧变窄。根据这个规律，铃木选择有代表性的地区进行了树木年轮调查，绘制了日本到 1970 年为止的近 200 年间环境污染的年表。我国科技工作者在甘肃祁连山对树龄 900 年以上的圆柏进行年轮分析，也证实年轮宽窄与气候变化基本一致。以上结果说明，通过树木年轮研究环境污染历史情况是可信的。

此外，一些动物也可作为大气污染的指示生物。美国大气控制局（APCO）饲养了各种动物供大气监测和科学研究用。例如：家燕对大气中的烟雾敏感，金丝雀对 CO 的敏感程度比一般仪器还高，所以有人称这些监测动物为“哨兵动物”。

但利用指示生物监测大气污染也有一些缺点，如所表现的污染度是定性的，不是定量的；比物理化学原理的测定仪器所得到的结果晚；不能测定每种污染物质的浓度，不适于作为行政上的污染政策资料。

（三）选择和栽植抗污染树种

1.栽植抗污染植物。在作物和树木中，有很多种类对污染物质有抵抗性。因此可在工厂、矿山附近多种些抗性农作物和树木，既能绿化环境，又避免了大气污染。例如玉米被 0.5×10^{-6} 的 SO_2 熏 4～8 小时而不受危害，紫丁香对 SO_2 的抗性也很强。几种主要抗污染物较强的农作物和树种见表 2-9。

表 2-9 对几种污染物抗性较强的农作物及树木

污染物	具有抗性的植物种类
SO_2（二氧化硫）	香瓜、芹菜、柑橘、菊、玉米、女贞、夹竹桃、桧柏、银杏
HF（氟化氢）	辣椒、菜豆、南瓜、百日草、月季、棉花、烟草、冷杉、槐、丁香
O_3（臭氧）	胡椒、薄荷、天竹葵、唐菖蒲、银杏、柳杉、海桐
PAN（过氧乙酰硝酸酯）	萝卜、洋葱、黄瓜、棉花、玉米、杜鹃、秋海棠、菊
C_2H_4（乙烯）	甘蓝、莴苣、三叶草、燕麦

1965 年国外研究报道，以抗性指数表示各种植物对 SO_2 的敏感性，方法是以对 SO_2 最敏感的紫花苜蓿作为标准，在 SO_2 浓度为 1.25×10^{-6} 的环境中处理 1 小时出现受害症状，规定其抗性指数为 1.0，其他植物抗性较强，需要更高的浓度才出现症状，需要的浓度越高，则抗性指数越高。

抗性指数是相对地表示抵抗大气污染物能力的指标，没有绝对的数字意义，但可作为选择抗性植物的参考。如唐菖蒲对 SO_2 抗性相当强，但对 HF 抗性极弱，而茄子、番茄和苜蓿对氟化物抗性强，对 SO_2 则极敏感。

此外，大气污染物对植物的危害或植物对大气污染物的抗性，受污染物种类、浓度、植物种类、品种、生长发育阶段和环境条件等多方面的各种因素影响。

2.树种的选择。在已被污染的地区，绿化造林是非常重要的。但是，要选择适宜本地区栽种的树种，保证成活才能发挥森林防治大气污染的作用。在进行抗污染造林时，选择抗性强的树种非常重要。一般来说，阔叶树比针叶树抗性强，效果好。许多国家通过多年实践，认为下列树种抗大气污染能力强，效果好。

美国：梣木、银杏、加拿大杨、柳树、榆树等。

前苏联：栓槭、加拿大杨、桂香柳、高加索野梨、洋槐、英国栎、叶榆、白蜡槭、接骨木、黄花儿柳、紫穗槐等。

日本：柯树、夹竹桃、海桐、女贞、厚皮香、圆柏、石班木、乌冈栎、桉树、银杏、梧桐等。

中国抗污染树种有：

抗 SO_2 的树种：大叶黄杨、海桐、山茶、女贞、瓜子黄杨、棕榈、构骨、枇杷、夹竹桃、无花果、金橘、凤尾兰、龙柏、桂花、石楠、广玉兰、柳杉、臭椿、罗汉松、苦楝、泡桐、麻栎、白榆、紫藤、侧柏、白杨、槐树、木槿等。

抗 Cl_2 的树种：龙柏、大叶黄杨、海桐、山茶、女贞、棕榈、木槿、夹

竹桃、银桦、刺槐、垂柳、金合欢、桑、枇杷、小叶黄杨、白榆、泡桐、樟树、栀子等。

抗氟化物的树种：大叶黄杨、海桐、山茶、棕榈、凤尾兰、瓜子黄杨、桑、香樟、龙柏、垂柳、白榆、枣树等。

3.植树造林。植树造林对防治大气污染有着重要意义。植树要根据污染源的位置、风向、地形等综合条件考虑。特别要考虑季节风向和地形风向的影响。针对污染源，构成包围式或隔离式的林带，使毒气在移动途中被树木吸收，以避免毒物的扩散。我们认为防公害林最好的结构是复层林，即外层多种植乔木、亚乔木，下层用灌木树种等。最好呈块状或带状，尽可能在工厂区和居民区中间的缓冲地带用抗毒性较强的常绿树和落叶树，多营造混交林或林荫带，并尽可能多栽种草坪和花卉。

绿化造林中应尽量选用耐酸乔木和灌木的树种或品种，并注意栽培技术上采用相应的改良土壤的措施提高土壤缓冲能力，缓解土壤酸化进程。由于土壤有机质对酸雨的缓冲能力大，在酸雨区林地应尽量保持和恢复地被植物和枯枝落叶层。酸雨区农田应多种绿肥，多施有机肥。为挽救因酸雨影响已出现衰退的森林和强酸性农田，可施石灰，以缓解土壤酸化。

发展抗酸性树种，营造混交林。造林时贯彻适地适树原则，即在土壤 pH 值比较高的地区，树种选用针阔并举；而在土壤 pH 值比较低的地区，选用阔叶林或针阔混交林，尽量避免针叶纯林。

但上述方法都是消极、被动的方法，无异于扬汤止沸，主动的策略仍在积极的防治环境污染。

我国不同地区各树种对污染物质的抗性差异（以 SO_2 为主），见表 2-10。

表 2-10 我国不同地区各树种对污染物质的抗性差异（以 SO_2 为主）

地区	抗性强	抗性中等	抗性弱
上海地区	珊瑚树、大叶黄杨、女贞、广玉兰、夹竹桃、八角金盘、樟树、棉木、合欢、臭椿、石榴、木芙蓉、白蜡、构树、榆树、无花果、槐树、榔榆	侧柏、黑松、罗汉松、梧桐、悬铃木、楝树、枫杨、白杨、桑树、榉树、紫玉兰、木槿、月季、紫薇、枣树	雪松、桂花、厚壳、鸡爪槭、三角枫、重阳木、雪柳、紫荆、腊梅、桃树、梅树
江苏地区	夹竹桃、蚊母、枳壳、枳橙、女贞、小叶女贞、大叶黄杨、珊瑚树、棕榈、广玉兰、青风栎、大叶冬青、油橄榄、构树、无花果、海桐、凤尾兰、石楠	罗汉松、龙柏、铅笔松、杉木、桂花、樟树、瓜子黄杨、梧桐、泡桐、臭椿、楝树、槐树、刺槐、合欢、朴树、梓树、麻栎、板栗、黄连木、三角枫、木槿、榆树、君迁子	雪松、马尾松、黑松、湿地松、加拿大杨、健杨、枫杨、挪威槭、檫树、糙叶树、粗糠、杜仲、红枫、薄壳山核桃、葡萄、水杉
杭州地区	大叶黄杨、山茶、罗汉松、棕榈、金橘、栀子、珊瑚树、女贞、胡颓子、夹竹桃、瓜子黄杨、樟树、海桐、构树、臭椿	龙柏、千头柏、楝树、水蜡、梓树、加拿大杨、泡桐、无患子、桑树、月季	雪松、桧树、侧柏、榉树、合欢、重阳木、腊梅、紫薇、紫荆、海棠、梅树、樱花
华中地区（武汉）	枳壳、樟树、女贞、棕榈、夹竹桃、大叶黄杨、构树、海桐	楝树、桑树、侧柏、臭椿、槐树、刺槐	马尾松、池柏、水杉、桃树、枫杨
广东地区	对叶榕、印度榕、高山榕、木麻黄、台湾相思、构树、黄槿、油茶、蒲桃	石栗、黄葛榕、竹类、夹竹桃、樟树、阴香、黄槐	马尾松、白千层、白兰、刺桐、凤凰木、荔枝、龙眼、橄榄、杨桃、木瓜
四川地区（华莹山天池附近）	尖叶灰木、全缘叶灰木、柃木、四川柃木、羊春条、白常山、冬青、山茶、小叶山茶、茶树、竹叶椒、胡颓子、映山红、野桐、瑞香、槲栎、朴树、光叶榉	钓樟、黄樟、三条筋、全苞石栎、绵槠、楠木、润楠、光叶海桐、十大功劳、杨桐、小蜡	淡竹、刺黑竹、漆树、油桐、李树
云南地区（昆明）	女贞、垂柳、紫薇、刺槐、迎春、夹竹桃、棕榈、臭椿、木槿	银桦、赤桉、兰桉、大叶桉、滇柏、龙柏、滇杨	杉木、白兰花、柠檬桉、雪松、悬铃木
西安地区	大叶黄杨、女贞、构树、棕榈、夹竹桃、刺槐、合欢、石榴	白蜡、悬铃木、苦楝、槐树、黄连木、胡颓子、毛白杨	油松、华山松、杜仲、棠梨、苹果、花椒
兰州地区	大叶黄杨、臭椿、槐树、白蜡、栾树、桂香柳、柽柳	桧柏、钻天杨、榆树、泡桐、梨树、桃树	侧柏、梓树、青杨、龙爪柳、苹果、花椒
东北地区	银杏、银白杨、桧柏、	侧柏、黄檗、梓树、柞树、	油松、钻天杨、核桃、苹

第四节 人类社会经济活动对森林环境的影响

世界森林资源在森林生态因素、自然与人为因素的作用下，一直在不断地发

生着量变和质变。研究表明，世界森林资源整体上呈下降趋势，特别是在发展中国家和不发达国家。据统计，近 15 年（1971—1986 年）世界森林资源减少了 2.9%，其中发展中国家减少了 5.4%，热带国家森林资源减少了 6.3%。

随着人口的快速增长，环境压力愈来愈大。人类社会经济活动对森林环境的影响有正面的也有负面的。由于开垦荒地、毁坏森林、掠夺性开发矿产资源以及高速发展交通运输、能源、通讯等事业，大面积、高强度地影响了森林环境，土地退化、水土流失以及土地荒漠化等生态环境问题日趋严重，进而又影响经济的持续发展和社会的进步。因此，加强对资源开发和土地利用等方面的监督管理，对于一切有可能造成森林环境破坏的开发建设项目，如土地开垦、大面积森林采伐、滩涂开发、湿地开发、矿产开采、水利工程建设、风景资源开发、区域自然资源开发等，都必须严格按照《环境保护法》和《森林法》的要求，制定切实可行的森林保护方案并且贯彻实施。大力营造人工林对森林环境的保护将起着重要的作用。

一、人类社会经济活动对森林环境的正面影响

人类在以水土保持和林业生态工程建设为主的生态环境建设中，对森林环境有着积极的正面影响。

（一）林业生态工程建设对森林环境的影响

在世界森林资源的变化中，人工林起着重要的作用。早年人工林大都位于北半球的温带地区，现在向南转移，大面积人工林分布在巴西、智利、委内瑞拉、印度尼西亚、菲律宾、澳大利亚、新西兰、南非和其他许多热带国家中发展。仅巴西在 20 世纪 70 年代的 10 年中每年营造（25×10^4）hm^2 的人工林。我国人工林保存面积达（3300×10^4）hm^2，居世界第一位。

虽然人工林的总和占全球森林面积的比重不大，但它们的影响可能是很深远的。有人估计，由于人工林每公顷年生长量可达 10～20m^3，营造（1～2）$\times10^8hm^2$ 就约占世界郁闭林面积的 3.5%～7%。同时，还可以减轻人们对天然林的索取压力。

我国政府非常重视林业生态工程的建设工作。从 1978 年起，政府耗巨资先后启动了十大林业生态工程。工程规划总面积（705.6×10^4）km^2，占国土总面积的 73.5%。20 年来，全国林业生态工程建设取得了显著的生态、经济和社会效益，对森林环境有着非常积极的正面影响。表现在：

1.增加了森林植被，保护了水土资源。我国建设了三北防护林，长江中上游防护林，沿海防护林，黄河、珠江、辽河、淮河及太湖流域防护林，平原地区和太行山绿化以及荒漠化防治等十大重点林业生态工程。累计完成营造林（5212×10^4）hm^2，其中人工造林（3379×10^4）hm^2，飞机播种造林（420×10^4）hm^2，封山（沙）育林（草）（1413×10^4）hm^2，每年减少土壤侵蚀量（11×10^8）t。其中，三北防护林工程建设 20 年来共造林（2699.4×10^4）hm^2，森林覆盖率从 5.05%提高到 9%，工程区内约有 40%的水土流失面积得到不同程度的治理，已治理水土流失面积（2000×10^4）hm^2。长江中上游

防护林建设工程从 1989 年启动以来，共完成造林（457×10^4）hm^2，工程区森林覆盖率从 19.9%提高到 25%，已有 100 多个县的水土流失得到了初步控制。京津周围绿化工程自 1986 年启动以来，共造林（192×10^4）hm^2，项目区 50 个县的森林覆盖率提高到 25%，水土流失基本得到控制。全国水土流失严重的状况得到初步遏制，昔日被泥沙淤积的河床开始刷深，干枯多年的小溪又恢复了清流，一些多年不见的野生动物又开始在林区出现。

2.保护并改良了土壤，减少了土壤侵蚀。据四川省中部 37 个长防林工程县的调查，长江中上游防护林工程自 1989 年启动以来，37 个县的森林覆盖率从 14.38%提高到 27.6%，水土流失面积从（356×10^4）hm^2 下降到（218×10^4）hm^2，年土壤侵蚀量从（1.8×10^8）t 下降到（0.91×10^8）t，土壤侵蚀模数从 5051t/（km^2·a）下降到 4188 t/（km^2·a）。可见，森林保护土壤的效能相当显著。山西昕水河流域位于三北防护林工程区，20 年来植树造林（36×10^4）hm^2，森林覆盖率从 6%提高到 36.5%，土壤侵蚀模数由 7175t/（km^2·a）下降到 3 226t/（km^2·a）。

3.减少了河川输沙量和泥沙淤积，增加了水资源的有效利用量。陕西省 20 个长防林工程县自 1989 年启动以来，共营造林（115.6×10^4）hm^2，森林覆盖率从 36%提高到 46.7%，控制水土流失面积（200×10^4）hm^2，进入江河的输沙量从（7513×10^4）t/a 减少到（5100×10^4）t/a，每年减少输沙量（2413×10^4）t。京津周围地区绿化工程自 1986 年启动以来，通过大力植树造林种草等措施，河库泥沙淤积明显减轻，北京的官厅水库入库泥沙量由工程初期每年的（899×10^4）t 减少到（235×10^4）t。

4.减少洪涝灾害发生率，保护了人民生命财产的安全。山西大宁县依托三北防护林工程，20 年来造林（36×10^4）hm^2，提高森林覆盖率 20 个百分点，64%的荒山荒坡实现了绿化，水土流失面积减少 16%，洪涝等灾害发生率从 70 年代的年均 3 次减少到 0.87 次。湖南省浏阳河流域多年旱涝灾害发生频率统计结果表明，麻阳、芷江、怀化和靖江森林覆盖率分别为 34.2%、36.4%、47.6%和 55%，多年旱灾发生次数分别为 22、21、14 和 9 次，洪灾发生次数为 36、22、13 和 1 次。可见，森林覆盖率越高，干旱和洪涝灾害发生频率越小。

5.改善了农业生产条件，促进了粮食稳产高收。十大林业生态工程构建了神州大地上的绿色屏障，特别是平原绿化工程已累计完成营造林近（2000×10^4）hm^2，使（3400×10^4）hm^2 农田实现了林网化，减轻了风沙、干热风、寒露风、昆虫等对农作物的危害，增加了粮食产量约 10%～25%，为粮食高产稳产作出了贡献。同时，林业生态工程建设还缓解了农村燃料、饲料、木材不足的矛盾，增加农作物秸秆还田，提高了土壤肥力。

（二）水土保持对森林环境的影响

在我国，水土保持的任务在于保护、改良与合理利用水土资源。我国的水土流失，经过 40 多年的综合治理，成绩显著。在改善农业生产基本条件，提高农业产量、促进农村经济发展、加速贫困山区和沙区农民脱贫致富，改善生态环境方面都起到了十分重要的作用。40 多年来，完成水土流失综合治理面积达（6100×10^4）hm^2，其中营造各类水土保持林（3330×10^4）hm^2，经济林（367×10^4）hm^2，水土保持种草面积？（340×10^4）hm^2，修建基本农田（1000×10^4）hm^2，还兴建了一大批水利水保设施，有效地保持了水土。全

国淤地坝累计拦泥（355×10^8）t，已淤地（1.56×10^8）hm^2，累计增加农业产值约 630 亿元。现有水土保持设施，每年增加蓄水、保水能力约（180×10^8）m^3，减少土壤侵蚀量约（11×10^8）t。许多水土流失综合治理与开发搞得好的县、乡、村，都有效地控制了水土流失，改变了贫困面貌，获得了显著的生态效益、经济效益与社会效益。这些都为森林环境的改善起到了积极的正面影响。

二、人类社会经济活动对森林环境的负面影响

地球的森林覆盖面积在减少，第三世界尤其是这样。这是开垦、樵采和伐木的结果。森林被破坏后，除了直接给林业造成经济损失以外，在环境方面也出现了一些严重的后果，其中包括暴雨径流、水土流失的加快和水质的下降。

20 世纪 80 年代森林开始受到破坏的情形，使联邦德国科学家和森林工作者感到吃惊。尽管这个国家有着长期的精心管理森林的传统。据粗略统计，1982 年联邦德国受到破坏的森林占全部森林的 8%，仅仅一年之后，全国已有 30%树木叶片变黄并落叶。1984 年的夏季，树病的比例便上升到 50%。某种因素打破了森林系统的平衡，引起林木数量的普遍减少。

（一）人口增长速度过快对森林环境的影响

人是环境的主体，也是生物圈中的最高消费者。近年来人口的过快增长，一方面使经济再生产从环境中获取的资源大大超过环境系统的资源再生能力，造成自然资源的退化和枯竭；另一方面，经济再生产和人口再生产排入环境的废弃物远远超出了环境的容量，造成了生态的严重破坏和环境的严重污染，从而影响了经济的持续、健康发展和人类的生存条件。不少人认为，人口问题是当前人类面临的严峻问题，是一切次生环境问题的根源和核心。当然，人口压力也是森林环境问题的根源和核心。

1987 年 7 月 11 日被联合国定为“50 亿人口日”。在 1950 年 25 亿人口的基础上，短短的 37 年里，世界人口就翻了一番。据联合国有关部门最近公布的统计数字，至 1993 年上半年，世界人口估计已达 56 亿人。据推测，到 20 世纪末，世界人口将达 62 亿人，到 2019 年将超 80 亿大关。

人口的爆炸性增长给人类自身带来了一系列困难，同时也给生态环境带来了严重的危害。表现在对森林环境上则是，在人口激增的重压下，为了解决粮食、住房、燃料和商业等需要，人类不断地开垦荒地、砍伐森林。森林、草原面积正在急剧减少。据称，地球上的森林面积曾达到（76×10^8）hm^2，随着人口的不断增长，森林面积迅速下降，世界森林已减少了近 2/3。今后，随着人口的激增，森林面积还将不断减少。此外，在人口激增、粮食短缺的压力下，草原已成为开垦的对象。特别是温带草原，如美国的普列利、俄罗斯草原以及我国内蒙古和东北的许多地区，都已被开垦。其结果是使大批草原退化，进而造成了土地沙漠化。

森林、草原的锐减，必将对世界气候和生态平衡造成严重的影响。

（二）资源开发和基本建设活动对森林环境的影响

若不顾其周围的自然条件，不采取相应的防护或保护措施，资源开发和基本建设活动就会在局部地区形成严重的环境问题。如干旱区煤矿露天开采，直接破坏矿区及周围的植被，而且这样的破坏往往是毁灭性的，是几十年乃至几百年内难以恢复的。我国平朔安太堡露天煤矿在 30 年间大约破坏林地 950hm^2。青海省曲麻菜县 1985—1987 年由于采金使（3.3～5.3）×104hm^2

草原受到严重破坏。

（三）农业发展政策的失误对森林环境的影响

在我国由于农业发展政策的失误，特别是 1958 年以后强调“以粮为纲”，造成大面积毁林开荒，对我国森林资源破坏十分严重。例如，在东北三江平原地区，从 60 年代末到 70 年代末的 10 多年中，宝清县的森林被毁掉 1/4，萝北县毁掉 1/3，绥滨县毁掉 2/3；富锦、抚远、同江等县都由林区县变为无林县和少林县。在 70 年代末，云南省年年下达开荒任务，主要开荒的对象是林地，从而毁掉了大量林木。

（四）土地利用不合理对森林环境的影响

粗放经营、土地利用制度不合理，是导致森林环境破坏的又一大因素。旱作农业往往是由开垦林地或草场而来的。长期以来用大于养，是一种掠夺式的经营方式。刚刚开垦的土地由于土壤中积累了有机质和其他养分，可以供作物利用，经过一定时间后，这些营养就会消耗尽，一旦这块土地没有生产力，人们又会去开垦另一块林地或草场。

（五）薪柴短缺对森林环境的影响

薪柴压力是山区森林和森林环境破坏的重要原因。薪柴是发展中国家的主要能源形式。在人口众多的发展中国家，20 亿以上的人口仍依赖于木材和燃料，近 1 亿人得不到足够的燃料。到 2000 年，由于人口增长的影响，使将近 30 亿人靠使用木材作燃料。人口的增长速率超过了现有森林资源的更新能力。在森林采伐量中，有很大比例用于能源，这个数字全世界占 60%左右，而在发展中国家，80%～85%的木材采伐量被当作能源消耗掉。热带林的薪材压力则更大。1984 年森林为世界能源消耗提供了（16.6×10^8）m^3 薪材，相当于（6.4×10^8）t 煤的能源。由于薪柴供需矛盾的日趋尖锐，对森林及森林环境造成的危害将日趋严重。

第五节 火灾对森林环境的影响

一、森林火灾的种类和特点

森林火灾是指失去控制的森林燃烧。火灾对森林的破坏性极大、危害极深，造成的经济损失相当严重。星星之火，可烧掉百年林。它不仅烧毁大量的森林资源，破坏了林区的自然环境和生态平衡，而且影响国民经济的发展，严重威胁人民生命财产的安全。例如，1871 年美国佩斯高火灾，毁了无数个家庭，死了约 1500 人；1963 年巴西的拉南火灾烧了（200×10^4）hm^2 土地，毁了 5000 多所房子，死亡 110 人；1982 年婆罗州岛的加里曼丹火灾烧了（350×10^4）hm^2 土地，造成的经济损失达 6 亿美元；1983 年澳大利亚圣灰星期三火灾使 77 人死亡，30 万只羊丧生，烧毁了 2500 个家庭；1988 年美国黄石火灾几乎烧光了世界上这座最著名的公园。1987 年 5 月黑龙江省大兴安岭林区森林特大火灾的火烧范围达（133×10^4）hm^2，过火有林地和疏林地面积（114×10^4）hm^2。这次大兴安岭森林大火受害森林面积（87×10^4）hm^2，其中主火带宽达 10～20km，火带内所有林木全部被烧死；火灾使大量的中幼林及成熟林内的幼树死亡，这些林木的年龄大多在 20～60 年之间；该地区的森林覆盖率由原来的 76%下降到 61.5%，这场大火还造成 213 人死亡，226 人烧伤，仅灭火造成的直接经济损失达 5 亿多元。

（一）森林火灾的种类

森林火灾分类的依据很多，主要以林火行为进行系统分类。依据林火燃烧森林的部位划分，森林火灾一般分为地表火、树冠火和地下火三种。

1.地表火。地表火主要沿林地表面蔓延，烧毁地被物，危害幼树、灌木、下木，烧伤大树干基部和露出地面的树根等。一般温度在 400℃左右，烟为浅灰色，约占森林火灾的 94%。按其蔓延速度和危害性质又分为两类：急进地表火和稳进地表火。急进地表火的特点是火蔓延快，通常每小时达几百米至千余米，燃烧不均匀，常留下未烧地块，危害较轻，火烧迹地呈长椭圆形或顺风伸展呈三角形。稳进地表火的特点是蔓延慢，一般每小时仅几十米，烧毁所有地被物，乔灌木低层枝条也被烧伤，燃烧时间长；温度高，危害严重，火烧迹地呈椭圆形。

2.树冠火。树冠火主要沿树冠蔓延，主要由地表火在强风的作用下所引起。这种火灾破坏性大，能烧毁针叶、树枝和地被物等。一般温度在 900℃，烟柱可高达几千米，常发生飞火，烟为暗灰色，不易扑救。这种火灾约占森林火灾的 5%，多发生在长期干旱的针叶林内，一般阔叶林内不易发生。按其蔓延速度和危害程度又分为急进树冠火和稳进树冠火。火烧迹地呈椭圆形。

3.地下火。又称泥炭火或腐殖质火。火在林地的腐殖质层或泥炭层中燃烧，地表看不见火焰，只见烟雾，蔓延速度缓慢，每小时仅推进 4～5m，持续时间长，能持续几天、几个月或更长，可以一直烧到矿物质层或地下水层。破坏性大，能烧掉土壤中所有的泥炭、腐殖质和树根等，不易扑灭。火烧后林地往往出现成片倒木。这种火灾约占森林火灾的 1%。火烧迹地呈环形。多发生在特别干旱的针叶林内。

（二）森林火灾的等级划分

森林火灾的划分标准各国有所不同。根据我国现行的《森林防火条例》规定，森林火灾分为：

1.森林火警。指受害森林面积不足 1hm^2 或者其他林地起火的。

2.一般森林火灾。指受害森林面积在 1hm^2 以上，不足 100hm^2 的。

3.重大森林火灾。指受害森林面积在 100hm^2 以上，不足 1000hm^2 的。

4.特大森林火灾。指受害森林面积在 1000hm^2 以上的。

（三）森林火灾的特点

1.世界森林火灾的特点。自地球出现森林以来，森林火灾就伴随发生。当今世界林火特点主要表现在以下几方面：

（1）世界森林火灾危害严重 自 20 世纪 60 年代以来，全世界每年平均发生森林火灾几十万次，受害森林面积达几百万公顷，林火严重的年份竟达 107hm^2 以上。初步估算，平均每年烧毁森林的面积约占全世界森林总面积的 0.1%以上。特别是森林资源比较丰富的国家，如前苏联、美国和加拿大等国家。这些国家平均每年过火森林面积在百万公顷左右。对大面积森林火灾尚无良好的控制方法。约占火灾总次数 95%的是小火，森林火灾面积仅为 5%；相反，占火灾总数 5%的大火却占森林火灾面积的 95%。

（2）世界森林火灾分布不均匀 森林资源分布较多的国家（如美国、加拿大、澳大利亚）森林火灾发生次数较多，烧林面积大，受害率高，损失严重。森林火灾发生最严重的国家是澳大利亚，平均每年过火森林面积占全国森林面积的 1.4%。森林火灾发生最少的是北欧的瑞典，森林过火面积不到该国森林面积的万分之一。

（3）森林火灾总的趋势在下降 一些工业发达国家用于森林防火的资金投入多，科学技术先进，预防和扑救火灾等防御措施不断加强，森林火灾损失有明显的下降。

（4）森林火灾的发生和损失程度很不稳定 不论是发达国家还是发展中国家，森林火灾的发生都是随气候的变化而上下波动的。一般来说，湿润年份森林火灾次数少，过火面积小；干旱年份火灾次数多，过火面积大。从某种程度上讲，森林火灾或多或少地取决于自然条件的变化，人类尚不能完全加以控制。

2.我国森林火灾的特点。我国是一个少林的国家，森林覆盖率为 13.92%，但森林火灾危害较为严重。每年平均发生森林火灾 16000 多次，烧毁森林在 10^6hm^2 左右，约占全国森林面积的 0.8%～0.9%。主要有以下几个特点：

（1）森林火灾损失严重 我国经常发生大的或特大的森林火灾，平均每次林火面积在几十公顷至几百公顷。1987 年春，大兴安岭北部林区一次特大森林火灾过火林地面积高达（133×10^4）hm^2，烧毁 3 个林业局址和 9 个林场，造成 5 万多人无家可归，损失惨重，震惊中外。

（2）大面积森林火灾多发生在偏远的山区和林区 森林火灾发生次数最多的是云南省，有时竟超过我国森林火灾总次数的 50%以上。但过火面积最大的林区是大兴安岭林区，其过火面积有时超过我国过火总面积的 50%以上。森林火灾比较严重的是黑龙江、内蒙古、云南、广西、福建、广东、四川、贵州等地。

（3）森林火灾波动性大 20 世纪 50 年代森林火灾次数多、面积大；60 年代森林火灾次数和面积相应下降；70 年代森林火灾次数和面积又明显上升；80 年代又相应下降。

（4）东北地区大的森林火灾与新地岛冷空气南下有关 春季贝加尔湖气

旋东移，多刮大风，天气干旱，易引发大火。冬季北方寒潮南下，经常促使南方森林发生大面积森林火灾。

二、森林火灾的发生条件和规律

（一）森林火灾的发生条件

掌握引起林火的火源规律，是做好森林防火的基础工作。一个地区火源的数量和种类，同这个地区及其周围的政治形势、经济形势、人们的法制观念、自然条件和社会活动等因素密切相关。

1.森林火灾发生的基本条件。

（1）森林可燃物 森林中所有的有机物质，如树叶、树枝、球果、树皮、树根、下木、草本植物、苔藓、地衣、森林凋落物、腐殖质、泥炭等。这些固体可燃物主要是由纤维素、半纤维素、木质素构成。其中，有焰燃烧可燃物又称明火。明火能挥发可燃性气体并产生火焰，占森林可燃物总量的 85%～90%。其特点是蔓延速度快，燃烧面积大，消耗自身的热量仅占全部热量的 2%～8%。无焰燃烧可燃物又称暗火。暗火不能分解足够的可燃性气体，没有火焰，如泥炭、朽木等。其特点是蔓延速度慢，持续时间长，消耗自身的热量多，如泥炭可消耗其全部热量的 50%，在较湿的情况下仍可继续燃烧。

（2）火源 不同森林可燃物的燃点温度各异。干枯杂草燃点为 150～200℃，木材为 250～300℃。要达到此温度需要外来火源。火源按性质可分为：

自然火源 有雷击火、火山爆发和陨石降落起火等，其中最多的是雷击火。在我国黑龙江大兴安岭、内蒙古呼盟和新疆阿尔泰等地区最常见。

人为火源 绝大多数森林火灾都是人为用火不慎而引起的,约占总火源的95%以上。人为火源又可分为生产性火源（如烧垦、烧荒、烧木炭、机车漏喷火、开山崩石、放牧、狩猎和烧防火线等）和非生产性火源（如野外做饭、取暖、吸烟、小孩玩火和坏人放火等）。

根据 1979—1982 年间云南、四川、广西、福建、黑龙江、内蒙古、吉林和辽宁等八个省、自治区的火源统计资料分析，在已查明起火原因的 29 836 次林火中，生产性火源占 67%，非生产性火源占 31.6%，自然火源（主要是雷击火）约占 0.6%，其余火源为国外烧入和有意纵火等引起的约占 0.8%。因此，在森林火灾的易发季节，严格管理，控制这些人为火源，森林火灾就会显著降低，甚至可以避免森林火灾的发生。

各类火源具有较明显的区域性。我国南方林区以生产性火源为主，约占该林区森林火灾发生次数的 72.3%，其中烧垦、烧荒用火一项就占总发生次数的 57%。东北、内蒙古林区则以非生产性（生活用火）火源居多，约占全林区森林火灾发生次数的 56.7%，其中野外吸烟、烤火做饭和上坟烧纸这三种火源约占林火发生次数的 45%；而自然火源（雷击火）所占的比例高于南方林区，尤其是大兴安岭林区，因落雷引起的森林火灾约占该林区林火发生次数的 38%左右。

（3）O_2（助燃剂）燃烧是可燃物与 O_2 的反应。因此森林可燃物的燃烧必须有足够的 O_2 条件下才能进行。通常情况下，空气中的 O_2 约占 21%。当 O_2 在空气中的含量减少到 14%～18%（体积）时，燃烧就会停止。

2.森林燃烧环。前面提到燃烧三要素，即可燃物、O_2 和火源，三者构成了燃烧的三角形，缺一不可。但它只说明燃烧的一般现象和燃烧的共性。燃

烧三要素不能完全解释森林燃烧现象，如热带雨林和我国东北林区夏季森林中，虽然具备燃烧三要素，但通常也不发生森林火灾。为此，用森林燃烧环来说明森林燃烧这一特殊现象。

森林燃烧环是指在同一生态系统内，可燃物类型、火环境和火源条件相同、火行为基本相似的可燃复合物。森林燃烧环与燃烧三角形不同之处是：

（1）可燃物改为可燃物类型 因为森林燃烧不是一种可燃物的燃烧，而是可燃物复合体的燃烧，而这种复合体可划分为不同的可燃物类型。可燃物类型指可燃物性质相同、同一地理分布区、同一物候生长节律的可燃性复合体。

（2）氧改为火环境 它包括火灾季节、火灾天气与气象要素、地形、土壤、林内小气候和 0_2 供应等共同作用下的火环境的影响。

（3）火源改为火源条件 它包括火源种类、火源频度和火源出现时间。火行为指着火程度、火蔓延、能量释放、火强度、火持续时间、火烈度和火灾种类。因而森林燃烧环把森林燃烧三边与共同作用下形成的火行为密切联系了起来，可以说森林燃烧环是可燃物类型、火环境和火源条件相同，火行为基本相似的可燃复合体（图 2-2）。

图2-2　森林燃烧环示意图

可燃物类型是森林燃烧的物质基础。调节可燃物类型的易燃性是森林防火的基础，也是常年防火工作的内容，它贯穿于整个森林生长发育的全过程。火环境是森林燃烧的重要条件。火源是森林燃烧的主导因素，特别是在森林防火季节中严格控制火源，已成为控制森林火灾的主导因素。火行为是森林燃烧的重要指标，在扑救森林火灾时应很好地掌握火行为的特点。只有采取相应措施，才能有效地控制和扑灭森林火灾。

（二）森林火灾的规律

森林火灾的发生、蔓延和火灾的强度，都有其一定的规律性。

1.发生规律。森林火灾的发生除森林可燃物、火源和助燃剂三个条件外，还与地形、天气（如高温、连续干旱、大风等）有密切关系。除热带雨林一般不易发生火灾外，其他森林不论在热带、温带还是寒带地区都有可能发生火灾。一般具有以下变化规律：

（1）年周期性变化 降水多的湿润年一般不易发生火灾。森林火灾多发生在降水少的干旱年，由于干旱年和湿润年的交替更迭，森林火灾就有年周期性的变化。

（2）季节性变化 凡一年内干季和湿季分明的地区，森林火灾往往发生在干季。这时雨量和植物体内含水量都少，地被物干燥，容易发生火灾，称为火灾季节（防火季）。我国南方森林火灾多发生在冬、春季，北方则多发生在春、秋季。

（3）日变化 森林火灾发生时间与林区昼夜气象变化关系极大。一般中午日照强、气温高、风速大，林内外地被物蒸发量大，容易干燥，遇有火源容易起火。而夜间则不然，很少发生林火。据东北林区黑龙江省绥化地区 1961—1979 年间森林火灾在一大之中不同时间发生次数的统计（表 2-11）分析，

每日早 8 时至晚 8 时之间很容易发生火灾，其中早 8 时至下午 4 时是林火的高发时间。

表 2-11 绥化地区 1961—1979 年森林火灾每日发生时间统计

发生时间	8 时以前	8 ～ 10 时	10～12 时	12～14 时	14～16 时	16～18 时	18～20 时	20 时以后	合计
发生次数	7	65	128	90	62	11	3	1	367
发生的百分率	1.90	17.71	34.88	24.52	16.9	3.0	0.82	0.27	100

此外，森林火灾的发生还与可燃物的性质（干燥度）有关，针叶树和樟树、桉树等阔叶树较一般阔叶树易燃。同时，还与森林郁闭度和地形因子有关。

2.蔓延规律。林火的蔓延主要与热对流、热辐射和热传导三种热传播形式有关。热对流是由于热空气上升，周围冷空气补充而在燃烧区上方形成对流烟柱，可聚集燃烧热量的近 3/4。它在强风的作用下，往往是使地表火转为树冠火的主要原因。热辐射是地表火蔓延的主要传热方式，它以电磁波的形式向四周直线传播，其传热与距热源中心距离的二次方成反比。热传导是可燃物内部的传热方式，其传热快慢取决于可燃物导热系数的大小，是地下火蔓延的主要原因。蔓延速度和风速的二次方成正比。蔓延速度最快、火势最强的部分为火头；蔓延速度最慢的是与火头方向相反的火尾；介于火头和火尾两侧的部分为火翼。在平坦地区，无风时火的初期蔓延形状为圆形或近似圆形；大风时则为长椭圆形，其长轴与主风方向平行；在主风方向不定时（呈 30°～40°变化）常呈扇形。在山岗地形蔓延时，火向两个山脊蔓延较快，而在沟谷中蔓延较慢，常呈凹形或鸡爪形。

3.火灾强度。森林火灾强度不一，高强度的火具有上升对流烟柱和涡流，能携带着火物传播到火头前的远方，产生新的火点和火场，称为飞火，危害极大，是森林大火灾和特大火灾的特征，很难扑救。低强度的火，没有对流烟柱，火焰小，平面发展，人能靠近扑打。林火强度用火峰前单位长度所释放的功率来表示（kW/m），一般采用美国物理学家拜拉姆的公式来计算，即

$$I=0.007HWR$$

式中：I 为火强度（kW/m）；H 为热值（J/g）；W 为有效可燃物量（t/hm^2）；R 为蔓延速度（m/min）。

林火强度和火焰高度都是火行为的两个指标。一般火焰高度也反映火的强度，又是直接指标，有利于火场实地应用。因此，根据林火强度和火焰高度，可将森林火灾分为：

轻度火 火焰高度在 50cm 以内，林火强度在 75kW/m 以内。

低度火 火焰高度在 50～150cm，林火强度在 75～750kW/m。

中度火 火焰高度在 1.5～3.5m，林火强度在 750～3500kW/m。

高度火 火焰高度在 3.5～6m，林火强度在 3500～10000kW/m。

强度火 火焰高度 6m 以上，林火强度在 10000kW/m 以上。

影响林火蔓延和强度的因素很多，主要有可燃物的种类、数量和含水率，地形变化和立地条件的干湿程度以及风速的大小等。

三、森林火灾对森林环境的影响

林火是森林生态系统中发生的火，火灾在森林生态系统动态中起着重要作用，但林火对森林的影响是多种多样的。有时是有害的，有时是有益的；有时是显著的，有时是隐蔽的；有时是短暂的，有时则是长期的。强烈的火灾不仅烧毁森林，破坏郁闭度，烧毁地被物，而且使林相结构、林区生物、气象、水域和土壤性质等发生急剧变化，降低森林保持水土、涵养水源、调节气候的作用，而且会带来严重的森林病虫害侵袭等不良后果。

林火包括有害的森林火灾和有益的营林用火。火作为一个生态因子存在于森林生态系统中，并对森林环境产生多种多样的影响。它能改变森林生存的环境条件，与森林的生长发育和兴衰存亡关系密切。科学地控制森林火灾和有效利用林火，可提高森林经营管理水平，充分发挥森林的经济、生态和社会效益。

（一）林火对光和温度的影响

火是一种光源。林火对光的影响有直接影响和间接影响。直接影响是着火所产生的烟雾大大地降低了大气的能见度，给查看火情、扑火指挥和灭火带来困难，也给航空和高速公路交通带来不便。烟雾直接影响森林中光照的数量和质量，直射光少，散射光多，光照时数减少。火的间接影响是烧死部分林木，增加林内光照，对于早春植物提前萌发及林木的生长、开花结实有利。因此，火可以作为调节林内光照的一种有利工具。

火本身又是一高温体，能直接杀伤、杀死植物细胞及植物有机体。火烧时能直接增加土壤温度和周围空气温度，从而间接影响土壤的理化性质和土壤生物。火烧后使林木稀疏，光照增强，林内温度增加。火烧迹地残留的黑色物质（木炭、灰分），大量吸收太阳长波辐射，热量增加，可使植物提前7～10 天萌发，有利于食草动物的积聚。

（二）林火对水分的影响

在生态系统中，水和火有着密切的关系。火烧对水的影响是间接的。主要表现在火烧后植被、地被物、土壤以及生态环境的改变而影响水分循环过程、水质乃至水生生物等方面。

1.火烧对水分循环过程的影响。

（1）截留 植物冠层及地被物层对雨水具有重要的截留作用，能减缓雨水对地表的冲击力，从而减少了地表径流和土壤侵蚀，有利于水分下渗。火烧后，植物冠层，特别是地被物层被破坏，截留作用锐减或消失。

（2）渗透 影响水分渗透的因子有植物冠层、地被物层、土壤类型、土壤有机质及土壤结构等。植物冠层和地被物层的截留作用一方面通过阻截雨水，减少雨水对地表的冲击；另一方面它们自身大量吸水，可以延长水分下渗时间。火烧后截留作用降低，加之土壤良好的通透结构被破坏，使水分渗透能力下降。火烧后抗水层的产生也是水分渗透能力下降的重要原因。

（3）持水 林地的持水能力主要取决于枯枝落叶层和土壤腐殖质中有机质的水解状态。火烧后枯枝落叶层和腐殖质层的破坏会严重影响土壤表层的持水量，使持水能力下降，导致径流增加。但是，也有人研究指出，火烧后由于植物的净蒸腾及火烧后土壤结构破坏后蒸腾量减少，土壤的含水量高于火烧前。

（4）积雪和融雪 火烧对积雪的影响主要取决于火的强度和火烧面积。高强度小面积火烧、低强度大面积火烧均可增加积雪。高强度大面积火烧则会减少积雪。低强度小面积火烧对积雪没有影响。火烧对融雪的影响是间接的。火烧迹地上留有许多黑色物质（炭、灰分及熏黑的树干）大量吸收太阳长波辐射，从而使火烧迹地的温度升高，积雪提前融化。

（5）滑坡、泥石流 火烧后土壤的渗透性能下降，加之土壤失去植物根系的控制和空隙水张力的稳定作用，在降水强度大的情况下，可发生滑坡和泥石流。一般来说，火烧后短期内很少发生土壤滑坡及泥石流现象。因为此时植物的根系还未遭到破坏，仍然具有一定的持土能力。但是，火烧后几年植物根开始腐烂，这时滑坡和泥石流现象要比刚火烧后严重得多。

2.火烧对河流的影响。火烧对下游水域的影响主要表现在增加河流淤积、河流流量和降低水质。其中火烧面积的大小、火的强度、土壤类型以及河流的大小及其所处的地理位置等均具有很大影响。

火烧后，植被特别是森林植被的破坏，森林涵养水源的功能降低或消失，地表径流增加，从而增加下游河流的淤积和河流流量。河流量的增加会加速的扩大河水对河岸的冲击，进而使河流沉积增加。

火烧后植被及其地被物遭到破坏，引起的地表径流、土壤侵蚀、土壤滑坡、干蚀及河道飘移等均在不同程度上影响下游的水质变化，使下游河流的混蚀程度呈增加趋势。火烧后对下游河流水质影响还表现在水中化学组成的变化。其中氮、磷、钾、钙、镁、钠等化学物质的变化尤为明显。

3.火烧对水生生物的影响。河流两岸植被被火烧后，河岸及水面直接接受太阳辐射，河水温度上升；由于河水温度升高，河水生态环境改变，从而影响某些水生生物的生存，其中对鱼类的影响较大。洛茨皮奇（Lotspeich，1970）等曾对阿拉斯加河流中大型无脊椎动物对火烧后的反应作过研究，火烧后河流中大型无脊椎动物的数量和种类均未发生明显变化。

（三）林火对空气的影响

1.森林燃烧所产生的气体。森林燃烧所产生烟雾的成分主要是 CO_2（二氧化碳）和水蒸气。这两种物质占所有烟雾的 90%～95%。另外，还有 CO（一氧化碳）和碳氢化合物、硫化物、氮氧化物及微粒物质等，占 5%～10%。

（1）CO_2 在正常情况下，空气中的 CO_2 为 3×10^4。森林燃烧时释放的 CO_2 量是相当大的。火烧会增加大气中的 CO_2 含量，影响空气的质量。但森林燃烧是在开放系统下进行的，由于风等的作用使局部浓度较大的 CO_2 迅速扩散，一般不会给人类的生存环境带来严重危害。

（2）CO CO 是燃烧所产生的一种空气污染物质，直接危害人体及某些动植物。燃烧时 CO 的浓度与距离火场的远近有关。火烧时，火焰附近的 CO 浓度为 2×10^{-4}，而距火场 30m 处，CO 浓度降到 10^{-5}。当空气中的 CO 浓度为（2～8）$\times10^{-5}$ 时，会使人的血红蛋白（红血球）失去携带 O_2 的功能，造成人体组织缺氧；当 CO 浓度达到 2×10^{-3} 时，可引起急性中毒，使人在几分钟内死亡。因此，野外扑火人员要十分小心 CO 中毒。

（3）硫化物 硫化物主要指 SO_2、 SO_3（三氧化硫）、 H_2SO_4（硫酸）及 H_2S（硫化氢）等有毒物质，是空气污染的主要成分之一。森林可燃物的 SO_2

含量约为 0.02，燃烧后所释放的量足以对动植物产生危害。但是，火烧后 SO_2 的浓度常在风等的作用下大大下降。

（4）O_3 在通常状况下，空气中 O_3 含量为 3×10^{8}，且主要分布在 20～25km 高空的大气层中。森林火灾的烟雾中 O_3 的浓度达 10^{-7}；针叶林采伐剩余物火烧烟雾中的 O_3 浓度高达 9×10^{-7}。O_3 是光气（光化学烟雾）的主要成分之一，能对植物造成严重的危害。

（5）含氮化合物 空气中含有大量的 N_2。N_2 无论对植物还是对人类均没有危害。但是，当空气中的氮被转化为氮氧化物和氮氢化物时，其危害作用显著增加。NO_2 一般在 1540℃的高温条件下才能产生，除了闪电外，森林火灾很少能达到如此高的温度。因此，森林火灾很少能引起 NO_2 的产生，但如果有游离氢基存在，即使温度很低也可形成 NO_2。

（6）碳水化合物 碳水化合物种类很多，绝大多数是无毒的。森林可燃物燃烧时能产生多种碳水化合物，但量很小，不会产生严重影响。

（7）微粒物质 所谓微粒物质就是指烟雾、焦油和挥发性有机物质的混合物。微粒物质是森林燃烧的主要排放物，其对空气污染的影响主要取决于颗粒的大小，颗粒越小危害越大。

2.森林燃烧所产生的烟雾。森林燃烧所产生的烟雾主要是灰尘和漂尘，颗粒的直径在 0.02～60μm 之间，大部分在 0.1～1.0μm 范围内。不同的火烧所产生烟雾的数量和质量不同。森林火灾是烟雾的主要来源，对空气污染影响最大。火的性质不同，所产生的烟量也有差别。顺风火产生的烟量是逆风火的 3 倍；无焰燃烧是有焰燃烧的 3 倍。

烟雾对动植物的影响主要取决于烟雾笼罩的时间长短和有害物质的多少。烟雾笼罩时间越长，有害物质含量越多，危害则越严重。有害物质少时，可降低植物光合作用效率，含量大时则可造成植物急性中毒和组织坏死。另外，在烟雾笼罩污染后植物的抗病力减弱。

（四）林火对土壤的影响

火对土壤理化性质的影响主要取决于土壤类型、土壤含水率、火强度、火烧持续时间以及火烧后降水时间和降水强度等。

1.火对土壤物理性质的影响。土壤含水率影响土壤的比热和热导率，从而影响土壤热量传递的数量和速度。除了粘土以外，土壤含水率越大，吸收的热量越多，则越能迅速地把热量从表层向下层传递，这样会延缓土壤表面温度的上升。一般来说，土壤含水率越大，吸收的热量则越多。因此，在水分完全蒸发或被排挤到土壤深层以前，土壤表层的温度不会超过 100℃。土壤表层的枯枝落叶层及腐殖层的含水率甚至比土壤本身的含水率还重要。如果枯枝落叶层与腐殖质层之间的水分梯度大，即使表层燃烧，下层也不会燃烧。如果土壤的温度在 100℃以内，对下层土壤的理化性质几乎没有影响。在生产实践中就是利用这种原理，在不改变土壤理化性质的条件下来清除可燃物。

火烧后，由于地表枯枝落叶层、腐殖质层被烧掉，灌木及林冠层被破坏，太阳辐射增加，加之火烧迹地上残留有黑色物质（灰分、木炭等）大量吸收长波辐射，从而使土壤温度升高。在冷湿生态条件下，土壤温度增加，有利于加速腐殖质的分解，提高土壤肥力；有利于早春植物的萌发，增加草食性

动物的食源。

（1）土壤结构 中低强度的火烧不会直接影响土壤的结构，只有严重的火烧才会使土壤有机质、根系、原生动物及微生物等烧死或烧毁，无机土壤裸露，再经雨水冲刷，土壤团粒结构解体，土壤孔隙度下降，土壤板结。火烧越频繁，土壤板结现象越严重。土壤结构的破坏直接影响土壤的通透性和肥力。

（2）土壤侵蚀 火烧后，影响土壤侵蚀的因素有火的强度、降水强度、土壤裸露状况、土壤类型、地形和植被盖度。其中在降水强度较大的情况下，植物盖度和坡度对土壤侵蚀的影响最大。火烧后随着植被盖度的减少，坡度对土壤侵蚀的作用尤为显著。高强度的火烧会增加土壤侵蚀，低强度火烧对土壤侵蚀影响很小。

降水是土壤侵蚀的原动力，降水量大的地区，火烧后土壤侵蚀严重。

2.火对土壤化学性质的影响。土壤的酸碱性和物质循环是土壤化学性质的主要特性。火对土壤化学性质的直接影响表现为土壤无机物分解，间接表现则为把复杂的有机物转换为简单的无机物，并重新与土壤发生化学反应。

（1）土壤 pH 值 火烧后土壤 pH 值增加，其增加的幅度主要取决于发生前可燃物的负荷量、火的强度、原来土壤的 pH 值和降水量。低强度的计划火烧一般不会引起土壤 pH 值的大幅度增加。一般来讲，针叶树比阔叶树耐酸性强,因此火烧后阔叶树有所增加。大多数针叶树土壤 pH 值的适宜范围是 3.7～4.5，而阔叶树的适宜范围是 5.5～6.9。从这个角度讲，火烧后阔叶树增加也有其土壤基础。

（2）土壤有机质 火烧对土壤有机质的影响主要依赖于火的强度。高强度火烧使土壤有机质几乎全部破坏，从而引起土壤物理、化学乃至生物过程的改变。低强度的火烧虽然是土壤表层有机质减少，但下层土壤有机质含量将增加。因此，低强度火烧后有机质发生了再分配，而不是单纯的减少。

火烧影响土壤中的养分循环。火烧后氮最容易挥发。高强度火烧后，干燥立地条件下氮损失为 67%，而湿润条件下则为 25%。低强度的计划火烧土壤中氮有增加的趋势。这是因为火烧后虽然地表枯枝落叶层被烧掉，有一些氮的损失，但是火烧后改变了土壤环境，特别是土壤 pH 值的增加，提高了土壤固氮能力。火烧后地被物等可燃物中的磷以细灰颗粒形式而大量损失。但是，火烧后土壤中的速效磷是增加的。大量研究表明，火烧后土壤的速效钾含量增加，钙和镁的含量也有所增加。也有研究表明，这些阳离子变化不大或有下降的趋势。下降的原因可能是由于火烧后土壤有机质含量大幅度下降，阳离子交换能力降低所致。

3.火对土壤微生物的影响。火对土壤微生物的影响主要表现在两个方面，一是火作为高温体直接作用于土壤微生物，使其致死，大多数微生物种群数量及活动显著下降，尤其是对上层土壤的微生物影响最大；二是火烧后改变了土壤的理化性质，间接对其产生影响。火烧后土壤的 pH 值增加使某些细菌种群数量增加。火的强度、土壤通透性、土壤 pH 值、土壤温度以及土壤中可利用营养等的变化均影响土壤微生物的种类及种群数量。

4.火在改善土壤环境中的作用。在冷湿条件下，很多有机质不能被分解利用，土壤肥力低。采用火烧能增加温度及土壤微生物的活动，加速有机质的矿化过程，提高森林生产力。对于一些不易分解的枯枝落叶，可采用定期火烧加速其有机质的矿质化过程。用火改善土壤环境是切实可行的措施之

一。我国南方某些地区的炼山造林就是利用火作为改良土壤的一种手段。

（五）火对野生动物、植物和植物群落的影响

1.火对野生动物的影响。火作为一种动力能改变许多野生动物的生存环境，影响野生动物种类及种群数量的变化。对于某些动物，火的作用是有利的；而对于另一些动物，火的作用可能是不利的。

火烧对野生动物的直接影响主要表现在烧伤和烧死两个方面。对某些节肢动物来讲，火烧对它们的致死主要取决于它们所处的位置。越接近植物顶端其死亡数量越多，越接近地表其死亡数量越少。非洲稀树干草原的调查结果表明，接近地表分布的节肢动物（代表种类为蟑螂）火烧后死亡率为 20%；植物中间分布的（代表种类为螳螂）死亡率为 60%；植物顶端分布的（代表种类为蝗虫）死亡率为 90%。

火烧对野生动物的间接影响主要表现为火烧改变了野生动物的栖息环境，从而影响野生动物种类及种群数量的分布。一般来讲，火烧后个体大的动物种群数量显著减少，个体小的动物种群数量减少相对较少。这是因为大型动物遇到火烧时逃跑能力强，火烧后演替起来的植被矮小又不利其藏身。而小的动物不能逃跑，但容易找到地方躲藏起来而不致于烧死。火烧不仅改变动物食物的种类，而且改变食物的质量和数量，从而影响野生动物种群的消长。火烧的间接影响还表现为改变野生动物的种间竞争关系，火烧后食源减少，适宜的栖息地减少，生态位相近的动物为了取食和栖息地而发生竞争。

火作为一个活跃的生态因子，对某些野生动物的保护也有很大的影响。火的作用具有两重性：一方面是火烧能破坏野生动物的栖息环境，对野生动物的保护不利，如火烧将影响东北虎、紫貂、大熊猫等的生存；而另一方面，火烧能维持某些珍稀动物的生存，如麋、松鸡等。通过研究发现，麋的主要食物是火烧后萌发的杨树抽条和嫩枝。如果火得到控制，随着森林年龄的增加，麋的食物逐渐减少，从而种群数量下降。松鸡生活在北美短叶松林下，土壤为砂质土，松幼树下垂的枝条所造成的环境是松鸡最适宜的栖息地。如果松林长期不发生火灾，成林郁闭，从而改变松鸡最适生的栖息环境，导致种群数量的下降。

2.火对植物和植物群落的影响。

（1）林火对植物的影响 火烧对植物生长发育的各个阶段及不同部位均有不同程度的影响。

种子 植物种子对温度有较强的忍耐力。如果植物种子被土壤轻轻埋藏，即使强度较大的火烧后，种子也不会失去生命力。对于草地火来讲，因为其强度小，尽管植物种子暴露于地面，也不会使其大量致死，甚至由于火的高温处理后，种子的发芽率还会增高。某些树种火烧后种子大量萌发，而且火烧越频繁，萌发数量越多，就是这个道理。火烧还能促进迟开的球果开裂。火烧后，种皮开裂，油质（漆树等）、蜡质（乌桕树）等不利于种子萌发的物质挥发，使种子得以萌发。

叶 植物的叶对火比较敏感，叶抗火性的大小与其灰分物质的含量有关。灰分越多越不易燃，而且蔓延迟缓。针叶树的叶比阔叶树的易燃，这是因为针叶树含有大量的挥发性油类和树脂等易燃成分，而阔叶树含有大量的水分。

树皮 树皮厚度及结构不同，其易燃性差异很大。树皮是热的不良导体，一定程度上能起到阻隔热的作用，保护形成层免遭火烧时的高温杀伤。树皮

抗火性主要表现在两个方面，一是树皮的厚度；二是树皮的结构。树皮厚，结构紧密，则抗火性强。树皮随着树木年龄增加而增厚。因此，幼树抗火性弱，大树、老树抗火性强。树皮的厚度有时还与火烧刺激有关，火烧能刺激树皮增厚，火的作用次数越多，树皮越厚，如兴安落叶松等树种。

根 根的表皮非常薄，如遇高温会很快致死。但根常常能得到土壤的保护。根的无性繁殖对火的适应很重要。火烧后林内光照加强，土壤温度升高，有利于根部芽的萌发。根的萌芽能力越强，对火的适应能力则越强。

植物开花 火烧后碳氮比增加有利于植物开花。火烧迹地上常有大量的单子叶植物开花，也有少量的双子叶植物开花。火烧具有“疏伐”的作用，可改善林内光照条件，增加碳水化合物的积累，从而增加了树木提早开花结实的能力。此外，火烧迹地上常留有大量的木炭、灰分等“黑色”物质，大量吸收太阳长波辐射，使地表增温，植物提前萌发。加之火烧后土壤养分丰富，有利于植物快速生长发育，促使植物提前开花结实。

（2）火烧迹地上植物的变化 火烧后，特别是大面积或高强度的火烧，使环境条件发生了剧烈的变化。其中主要是火烧迹地上光照加强，土壤温度升高，有利于阳性植物和浆果类植物的生长发育。因此，火烧后阳性植物增加，耐阴性植物减少，浆果类植物也有增加。另外，火烧后土壤表层的有机物质被破坏，氮素大量挥发，火烧越严重氮素损失量越大。而氮的恢复主要途径是植物固氮，因而含氮植物减少，固氮植物增加。

（3）火对植物群落的影响 不同森林群落的成层性对其燃烧性具有不同的作用。多层异龄针叶林发生树冠火的可能性大，而成层性较好的针阔混交林和阔叶林则不易发生树冠火。因此，可根据森林群落的成层性与燃烧性的关系来开展生物防火。森林群落郁闭度大小，影响林内可燃物的数量和种类分布及林内小气候。郁闭度大则林内风速小，光照少，温度低，一般不易着火；而郁闭度小的林分则易着火。

森林群落多为异龄结构，在高强度火烧后能导致同龄林。强度火烧或火的多次作用可使群落的物种组成发生改变，如大兴安岭落叶松林反复火烧后形成黑桦林，小兴安岭阔叶林强度火烧后形成柞木林或软阔叶林等。火烧后植物群落常被一些具有无性更新能力的树种取代，形成既能通过有性繁殖，又能进行无性更新的群落类型。火烧后针叶树被阔叶树所代替，实生树被萌生树代替，而实生树比萌生树高，因此火烧后群落的高度下降。

在植物群落演替的任何阶段进行火烧，都会使群落的稳定性下降。主要表现为植物竞争激烈、植物种类减少、环境单一、抗干扰能力下降等。火烧后演替起来的群落燃烧性增大，常形成火烧—易燃—火烧的恶性循环。

（六）林火对森林生态系统的影响

火作为一个生态因子始终存在于森林生态系统中，对植物组织、生物个体、种群、森林群落以及森林生态系统的平衡均有重要的影响。林火对森林生态系统的影响，主要因火作用于生态系统的作用时间及火强度等的不同而有本质区别。有时火能使森林生态系统的结构和功能遭到破坏，成为不利于平衡的干扰因素。有时不但不会破坏森林的结构和功能，而且能够维持森林群落的自我更新，成为有利于平衡的稳定因素。

1.火对森林演替的作用。原生演替指在原生裸地上开始的植物群落演替。火对原生演替的作用不大，但在特殊条件下也会引起植被的原生演替。据研究表明,现在长白山的植被就是 2000 多年前的一次火山爆发后演替而来

的。

次生演替指发生在次生裸地上的植物群落演替。次生裸地指那些原生植被虽然被消灭，但原生植被下的土壤及某些种类的繁殖体还或多或少地保留着的地段。火对森林演替的影响主要取决于火行为、作用时间及作用条件。这些条件的不同会产生两种相反的演替方向——进展演替和逆行演替。

高强度的火作用于生态系统，会延长森林生态系统的恢复过程，森林群落会发生逆行演替。而某些低强度、小面积的火或局部高强度火烧的作用，能改善森林更新条件，有利于植物的生长发育，使森林生态系统朝着稳定协调的方向发展，森林群落会发生进展演替。因此，火可以作为经营森林的工具和手段，加速森林的进展演替。有时火的反复干扰会使当地的气候发生根本变化，超过群落的演替弹性极限，使群落无法恢复。火也可造成森林群落偏途顶极，偏途顶极是演替离开原生演替系列，朝其他途径发展，并且演替群落具有一定的稳定性。小兴安林的柞木林其原来的气候顶极为红松阔叶林，由于火灾的反复作用，使原优势种红松逐渐消失被柞木取而代之，形成偏途演替顶极。

2.火对森林物种多样性的影响。物种的多样性一定程度上反映了群落的稳定性。稳定的森林群落种类丰富，种间关系复杂，生态系统的抗干扰能力和自我维持能力强，不易崩溃。高强度的火灾可严重破坏森林环境的多样性，从而使物种的多样性明显减少，甚至彻底摧毁森林。但有时小面积或低强度的火，不但未使原来的物种被烧毁，而且增加了环境的多样性，使一些喜光植物得以侵入，从而增加了森林生态系统物种的多样性，有利于维持和促进生态系统的稳定和平衡。

3.火对森林生态系统稳定性的影响。在比较稳定的群落中，有两种稳定力：一是群落的抵抗力，另一是群落的忍耐力。这两种稳定力有时同时存在于一个群落，有时则分别存在于不同群落。当火作用的强度和频度超过了群落的抵抗力和稳定力时，群落就会消失。高强度的火烧会使群落的稳定性下降。低强度的营林用火能增加森林群落的稳定性。

不同的森林植物群落对火灾的干扰具有不同程度的忍耐力。如美国哥伦比亚的常绿灌木林很容易遭受火灾的危害，但火灾后几年又能恢复原来的群落。我国北方的柞木林火灾后也能很快恢复。

4.火对森林生态系统自我调节能力的影响。火作用于生态系统，系统的功能会发生改变，火能增加或削弱生态系统的自我调节能力。但如果火超出了生态系统的自我调节能力，系统就会失去平衡。某些种群或群落系统是依靠火来调节的，通常用火来维持的顶极群落称为火顶极，如大兴安岭林区的落叶松林是由火来维持的。这种顶极群落并不是本区真正的顶极群落，而是由于构成这种群落的主要树种对火有很强的适应能力，在火的作用下，排除其他竞争对象，暂时形成的。一旦火的作用消除，仍会被当地的顶极群落所代替，因此火顶极实质是亚演替顶极。火还能调节病虫害的消长，但在大森林火灾后，病虫种群数量大增。由于病虫的影响加速了森林的死亡，又为森林火灾的发生准备了良好的条件，从而形成了火灾—病虫害的恶性循环，超出了生态系统的自我调节能力，使系统失去平衡。

5.火能调节生态系统的物流、能流。森林生态系统的平衡与稳定，其重要标志之一是能流和物质的收支接近平衡。火能加速或间断森林生态系统的物质转化和能量流动。不同的林火种类对生态系统的能流和物流影响不同。

高强度的火使生态系统所贮存的大量能量突然释放，所剩下的灰分物质随风、雨水等流失，这虽然加速了生态系统的能量流动和物质循环，但使系统的输出大于输入，不利于生态系统的平衡和稳定。低强度、小面积的火不会削弱森林减少地表径流、涵养水源、保持水土等功能，不会使生态系统的能流、物流受阻，而且能增加养分物质的循环，有利于森林的生长发育。因此，合理用火能改善森林环境，有利于森林生态系统的平衡与稳定。

从大兴安岭林区火烧迹地调查资料看，火灾不但使森林树木被烧毁，降低了森林覆盖率、而且烧光了有些地方的林地灌木、杂草等植被和有机物质。无母树残留的地方，天然更新困难，引起林相结构改变，降低了森林的利用价值。由于林地被烧，使地表裸露，促使林地干燥，地温增高，昼夜温差加大，林区的相对湿度明显降低，风力加大。火烧严重的地方，使土壤有机质层被破坏，土壤结构变得紧密，渗透性减弱，失去蓄水、抗水能力，林区低洼地段会出现塔头，加速沼泽化过程，陡坡地段岩石裸露出现侵蚀沟，水土流失严重，可变成不毛之地。例如 1972 年春季，黑龙江伊春丰林自然保护区红松原始林区发生一场特大森林火灾，使（1.2×104）hm^2 森林付之一炬。火烧三年之后观察，残留林木有 60%死亡，1/3 的林地夷为岩石裸露的荒山秃岭。

森林燃烧所产生的大量烟雾，污染林区周围的环境，对人类和生物带来严重危害。林火烧毁了林下经济植物和药用植物，烧死了林内珍贵鸟兽或破坏了其栖息环境，使森林野生动植物资源和益鸟益兽大量减少。此外，火烧迹地往往会成为森林病原菌和森林虫害大量侵袭繁殖的有利场所。林火过后，未烧死的林木生长衰退，树木干基部和根部被烧伤，极易感染腐朽病菌或小蠹虫等，使大量林木受害枯死。由于火烧迹地内残留大量的枯死木，易再次发生火灾，造成恶性循环，使森林环境进一步恶化。

总之，森林生态系统的平衡一旦遭到破坏，调整和恢复这种平衡和森林的效益，则需要几十年甚至上百年的时间。因此，火灾对森林的破坏和危害后果十分严重，绝对不可低估。

四、森林火灾的防治对策和技术

根据我国自然条件、社会特点和经济基础，从生态观点出发，结合森林的实际情况和现代技术理论水平，应采取综合森林防火措施，有效地控制森林火灾，使森林火灾的发生控制在允许范围之内，并将森林火灾的损失限制在一定经济水平，以维护森林生态系统的平衡。

综合森林防火措施主要包括营林防火、生物与生物工程防火、以火防火、群众防火和防火工程。

（一）营林防火

营林防火就是把森林经营工作和森林防火工作密切结合起来。这样既有利于森林经营，也有利于森林防火，加快森林生长发育，缩短森林的培育周期。营林防火强调森林经营管理，调节和减少森林可燃物，不断改善森林环境，促进林木生长发育，增强森林的抗火性。营林防火的主要措施有：

1.加强造林前整地和幼林抚育管理。造林前的整地，消除幼林中的杂草灌木，加强幼林抚育管理，为幼苗、幼树创造良好的生长生存条件，使幼苗、幼树免遭森林火灾的危害。

2.针叶幼林郁闭后的修枝打杈。针叶幼林郁闭后，结合营林进行修枝打杈，以加快林木生长发育，有利于防火。

3.抚育间伐。森林郁闭后，及时进行抚育间伐，减少森林可燃物的积累，可大大改善林分的防火条件，增强林分抗火性。

（二）生物与生物工程防火

生物与生物工程防火就是充分利用自然界的力量和条件，以及生物之间的相互作用和影响来开展森林防火。通过调节森林燃烧物的物质基础，达到森林防火的目的。生物与生物工程防火的措施有：

1.营造防火林带。乔木防火林带主要是阻截树冠火，而灌木防火林带和耐火植物带（经济植物带和药用植物带）主要是阻隔地表火。要正确选择和合理配置防火树种和防火林带。

2.调节林分结构，降低森林燃烧性。调节林分结构，就是利用森林自然发展规律，采取有效的营林措施，增加难燃植物成分，减少易燃植物成分，使森林的燃烧性明显下降。

3.利用生物与生物工程减少可燃物积累。利用植物之间的相互作用，微生物、低等动物或野生动物的繁殖，减少易燃物的积累，降低林分燃烧性。

（三）群众防火

群众防火是一项社会性很强的工作，必须做到人人皆知。必须摸清森林火灾发生的规律，了解不同层次群众的动态和活动规律，做到护林防火，人人有责。群众防火的主要措施有：

1.宣传教育，以法防火。向群众宣传群众护林防火的意义和重要性，宣传护林防火方针、政策，宣传护林防火的基本知识。还要对群众进行《森林法》和《森林防火条例》等法律法规教育，以法防火；建立乡规民约和各种制度，自觉形成防火意识。

实行火源管理，绘制火源分布图与林火发生图，实行火源目标管理，划分火源管理区，严格控制火源。

2.火源预测预报。要在摸清火源出现规律的基础上，对火源或林火进行预测预报，防患于未然。

（四）以火防火

以火防火，就是在人为控制下，按计划、有目的地用火，减少森林中可燃物的积累，防止森林火灾发生。以火防火的措施有：

1.火烧清理采伐剩余物。及时清除林地积存的采伐剩余物，是降低林地燃烧性的重要防火措施。

2.火烧沟塘草甸。这是东北林区采用的一项重要防火措施。在安全用火季节，火烧沟塘草甸，既能减少可燃物的积累，又能起到阻隔森林火灾蔓延的作用。

3.火烧防火线。采用火烧防火线方法，可预防机车喷漏火引起的火灾和阻挡林火蔓延。

4.林内计划用火。在用火安全期，对易燃针叶林和阔叶林，在林内进行计划点燃，减少可燃物积累，降低林火燃烧性，并有利于林木生长发育。

以火防火要注意用火要绝对安全。一般计划用火，火的前进速度为 1～3m/min，火强度不超过 1000kW/m，火焰平均高度应在 1.5m 以内。在森林中用火应选择适宜的用火季节和时间，并在安全用火窗口之内进行火烧，不会将火扩展到窗口以外的地段，保证用火安全。要掌握用火的技术方法和步骤。采用计划燃烧减少可燃物，降低森林燃烧性，首先需要调查可燃物数量与分布，随时掌握火的行为，并在稳定的天气条件下进行。

（五）森林防火工程

为迅速提高大面积林区对林火的控制能力，应加强森林防火工程的建设，把森林火灾损失降低到最低限度。

在大面积人工林、次生林和原始林区，以及频繁出现的火灾多发区和老火灾区、经济价值较高或有特殊保护作用的林区，要加强森林防火工程的建设。森林防火工程措施有：

1.地面森林防火网络化。地面森林防火网络化，即主要建立林火预测预报网、林火探测网、通讯网、防火阻隔网和林火扑救网等。这一工程适合于人烟比较稠密、经济较发达、交通较便利的大面积人工林或近山次生林区。

2.空中森林防火预测网。空中森林防火预测网主要有建立卫星林火预测网、空中林火探测网、空中林火扑救网。这一工程适合于人烟稀少、交通不便、偏远的大面积次生林与原始林区。

综合森林防火是一项复杂的系统工程，也是林业规划的重要内容。开展综合森林防火规划的意义在于：促使我国森林火灾次数和面积显著下降；保护现有森林免遭森林火灾危害，促使我国森林生态环境良性循环；促进我国林业较快发展，确保大面积针叶幼林免遭森林火灾的危害，增加森林覆盖率，增强林分的抗火性；实现我国森林防火的现代化。

第六节 病虫害及其他灾害对森林环境的影响

森林环境经常遭受病、虫、鸟兽害的侵袭，影响林木的正常生长发育，造成重大的经济损失。我国地域辽阔，地理和气候条件复杂，植被丰富，构成了不同的森林生态环境。这也为造成生物灾害的微生物、昆虫和鼠类等提供了生存环境繁衍了众多的病菌、害虫和有害鼠类。现全国森林病虫害年发生面积约（8×10^6）hm^2，木材生长量减少（17×10^6）m^3，直接经济损失达50亿元以上。据1983年全国森林病虫害普查的结果，我国有森林害虫5020种，病害2918多种，鼠类160余种。其中，目前在全国范围内成灾的病虫害有100多种。因此，森林的保护是森林环境保护的重要组成部分。本节主要介绍森林病、虫、鸟、兽害及森林气象灾害。

一、森林病害

森林病害是指病原生物或不良的气象、土壤等非生物因素使林木在生理、组织和形态上发生的病理变化，导致林木生长不良，产量、质量下降，甚至引起林木整株枯死和大片森林的衰败，造成经济上的损失和生态条件的恶化。

病害毁灭大片森林的事例在林业上时有发生。如 1904年前后，板栗疫病（Endothia parasitica）传入北美后，不到40年时间便摧毁了相当于（3.6×106）hm^2左右的美国栗纯林，使一个经济价值很高的树种很难继续用于造林。20世纪初在北美流行的松疱锈病曾使该地区的美国五针松大量死亡，至今仍无妥善的防治办法。这一病害自1950年以来，在中国东北地区的红松人工林中也不断蔓延，有的林分死亡率达40%以上，并有日渐扩展的趋势。据1975 年的资料，二针松梭形疱锈病在美国南方地区每年约造成（680×104）m^3的材积损失。

松材线虫病是由于松材线虫在树体内侵染寄生而导致松树迅速枯死的一种毁灭性病害，传播媒介主要是松墨天牛。该病最早于1905年在日本发现，现在日本大流行，除北海道外，几乎席卷全国。仅木材损失每年在（200×10^4）m^3以上，受害松林（65×10^4）hm^2，占日本松林总面积的25%。全日本每年的防治费用在100亿日元左右。现在，美国、加拿大、韩国均有该病的报道；我国大陆于1982年在南京发现黑松遭受此病危害，现已扩散于江苏、安徽、浙江、广东和山东五省，受害松林面积约达（3.3×10^4）hm^2，累计枯死松树近千万株。另外，自 80年代以来，全国每年泡桐丛枝病的发生面积均达数十万公顷，1990年为（88×10^4）hm^2，造成经济损失达1.1亿元。我国北方地区杨树烂皮病、溃疡病、落叶松枯梢病、早期落叶病、红松疱锈病；南方地区油茶炭疽病、油桐枯萎病、杉木黄花病、木麻黄青枯病。华中及华北地区泡桐丛枝病和枣疯病都是我国林业生产上的重大威胁，每年都给国家带来重大的经济损失。

上述经济上的损失只不过是林木病害危害的一个方面而已，也是有形的，易于察觉的一个方面。至于林木因病害大量死亡之后，导致森林生态系统和人类生活环境的破坏，其后果就更为深远，也更值得重视。20世纪初以来，欧美国家许多大城市因人行道和庭院的榆树感染榆荷兰病而使城市生态环境受到破坏。仅 1975年一个夏季，英格兰因病死亡的榆树就达190万株以上。在美国，此病不仅每年造成大约1亿美元以上的经济损失，而且许多城市的大榆树几乎病死殆尽，有的正在不断死亡之中。

（一）主要病原和病害类型

引起林木生病的原因简称病原。病原的种类很多，大致分为生物性病原和非生物性病原两类。

生物性病原是指以林木为取食对象的寄生生物，主要包括真菌、细菌、病毒、类菌原体、寄生性种子植物以及线虫等。凡是由生物性病原引起的植物病害都是有传染性的，因此称为传染性病害或侵染性病害。由不良的非生物因素所致的病害无传染性，称非侵染性病害。

引起林木病害的生物主要有病毒、类菌原体、细菌、真菌和寄生性种子植物等。其中，真菌所致病害种类最多，约占森林病害的 80%以上。历史上森林的许多毁灭性病害都是真菌引起的。细菌对森林的危害远比真菌轻，已知的严重细菌性林木病害只有杨树细菌性溃疡病、木麻黄青枯病等少数几种。病毒主要侵害阔叶树种，引起花叶病和枯斑，但很少危害裸子植物。类菌原体于 1967 年首先发现于泡桐、桑等植物的韧皮部细胞中。现已知它能引起几十种木本植物的病害，其中包括泡桐丛枝病、枣疯病、美国榆韧皮部坏死等。近十几年的研究表明，过去认为是病毒引起的许多林木病害多与类菌原体有关。森林中最重要的寄生性种子植物为桑寄生、槲寄生和油杉寄生。它们寄生于林木枝干上，可引起肿瘤、枯枝或全株枯死，对热带和亚热带地区的森林和经济林危害尤甚。线虫侵害苗木和林木根部，引起肿瘤，或侵入输导组织引起枯萎。各种病原物侵入林木后，即在体内扩展，其中多数都只导致局部性病害，有些如病毒和类菌原体等则往往扩及全株，造成系统性病害，如松材线虫病（或称松树萎蔫病）。

生物性病原物在自然界主要依靠风、雨和昆虫等外力进行传播。有些病原物如桑寄生的浆果为鸟类所喜食，种子经鸟类消化道后仍能保持正常的萌发能力，因而能随鸟类传播。

非生物病原是指那些不适于林木正常生长发育的水分、光照、营养物质、空气组成等因素。如土壤水分和营养失调、温度异常、环境污染、盐碱及土壤中缺乏某些必需的营养元素。由非生物病原导致的病害，不具有传染性，故称为非传染性病害，或非侵染性病害，也称生理病害。

近年来，由环境污染造成的生理病害日渐增多。钢铁厂、煤油厂、炼铝厂、焦化厂等排放出来的硫化物和氟化物是最普遍的空气污染物，林木受氟化物和硫化物毒害后，首先是叶部边缘和尖端出现褐色或红褐色斑块，后逐渐扩大，严重时引起落叶，甚至全株枯死。

侵染性病害与非侵染性病害由于致病机理不同，在发生发展的规律和防治方法上都有本质的差异。但二者又往往互有联系，相互影响。由侵染性病害侵染的林木对不良环境条件的适应能力较低，被不良环境因素削弱的树木也更易于受寄生物的侵袭。我国华北地区从 1979 年开始的干旱，使油松的抗病力大大降低，导致 1982 年枝枯病（Cenangium ferruginosum）大流行，中、幼龄林大量枯死。

（二）常见的森林病害

森林病害种类繁多，但经常造成严重损失的却为数有限。据中国对主要造林树种病害种类调查的结果表明，属于这一类的病害不过百种左右，其中主要有：

1.幼苗猝倒病（立枯病）。这是苗圃中威胁最大的病害，几乎见于所有苗圃温室，针、阔叶树种均可感染。出土一个月之内的针叶树幼苗最易受害，

未木质化的幼苗受侵袭后迅速倒伏，木质化的苗木根系腐烂，地上部枯死。病原主要是丝核菌属（Rhizoctonia）、镰刀菌属（Fusarium）和腐霉属（Pythium）的一些种。寄主范围很广，对环境适应性强，能长期生活在土壤中，不易根除。前茬作物是棉花、马铃薯、瓜类等农作物时，土壤中病菌积累多，苗木易发病；出苗期间多雨、灌水过多，苗床低洼、土壤粘重、排水不良时也能促其发病。

2.松类疱锈病。危害各种年龄的松树，以幼树受害最重。病菌先侵染针叶，然后由枝叶进入枝干，所以凡生针叶的枝干均可能发病。被害枝干的症状因病菌种类的不同而表现为肿瘤、棱形肿大或溃疡。春、夏季病部皮层开裂，出现黄色疮状物，疮破后散发出大量黄色粉末，即病菌赖以传播的孢子。病原是真菌中的锈菌，有十余种，主要属柱锈属（Cronartium），其中以茶藨子柱锈菌（C.ribicola）和梭形疮锈菌（C.quercuum）危害最大。美国五针松、白山松、红松、糖松等五针松类对茶藨子柱锈菌高度敏感，瑞士五针松、新疆五针松等抗病性较强。五针松疱锈病流行于欧洲、北美和亚洲东北部地区，曾造成欧美大片人工林和天然林的毁灭。1950 年以来日本有的地方用美国五针松营造的人工林因罹此病而失败。我国东北地区的红松幼林和韩国的美国五针松人工林也因此病而受严重损害。梭形疱锈菌危害两针松类，主要流行于美国南部的湿地松和火炬松林，被害幼苗多枯死。幼树主干受病后形成梭形肿瘤和溃疡病，生长不良，且易风折。柱锈属真菌都是转主寄生菌，没有中间寄主便不能完成其生活史。

3.烂皮病。见于各种针、阔叶林，多由真菌引起。被害枝干的树皮局部变褐、发软，最后坏死、干裂或下陷，枝干被病斑环绕一周后枯死。如果林木抗病力增强，病斑外围可形成愈伤组织，限制病菌的扩展。板栗疫病是最严重的森林病害之一。该病菌可能原产于亚洲，19 世纪随引种亚洲栗类苗木而传入美国。由于当地原产的美国板栗对此病极其敏感，造成病害大流行，损失惨重，至今未能恢复。此病在欧洲造成的损害较美洲轻。中国、日本和朝鲜的栗林中虽也有此病发生，但因所栽栗类具有较强抗性，受害很轻。病菌主要通过细小伤口侵入，在枝干上引起典型的烂皮病斑，剥开病皮可见扇形菌丝片。

4.枯萎病。林木受病后，起初往往是日间呈萎蔫状，夜间因蒸腾量减少而暂时恢复。病害进一步发展则呈永久性枯萎。旱、涝、真菌和细菌等各种因素都可引发此病。真菌或细菌侵染维管束后，因机械堵塞作用使水分不能正常输入枝叶，或由于病菌分泌有毒物质使林木中毒而枯萎。榆荷兰病是最著名的林木枯萎病，因对此病的早期研究主要在荷兰而得名。病害症状初现于树的嫩梢或嫩枝，叶片萎蔫，嫩枝枯死，并迅速蔓延至大枝。全株在 1～2 年内枯死，较小植株则可在感病后数周内枯死。病枝横断面的外层年轮上有许多黑点，排列成一个环圈，是此病症状的一个重要特征。病菌主要由大棘小蠹和榆波纹棘胫小蠹等昆虫传播。此病自 1918 年在法国发现以来，先是流行于欧洲，30 年代末传入北美，数十年内毁灭了大量的庭园树和行道树。自 1970 年至 1975 年止，仅英格兰因病死亡的榆树即达 1720 万株以上。迄今中国尚未发现此病，是重要的检疫对象。

5.丛枝病。林木受害后局部枝条丛生如同鸟巢。见于多种针、阔叶树种。病原多为类菌原体，如泡桐丛枝病。该病可通过病株或通过茶翅蝽等昆虫传播，病原进入树干的韧皮部后随树液的流动在树体内扩散。病原体在树体内

分布不均，所以同一株树上的枝条有的表现丛枝状，有的生长健康。症状主要呈现丛枝型，植株隐芽大量萌发。病树的侧枝丛生，纤弱、形成扫帚状，叶片小，黄化，有时皱缩，幼苗感病则整株矮化。

6.叶斑病。在森林中极为普遍，种类复杂，但一般不酿成严重灾害。受害叶片上出现坏死枯斑，大小、形状、颜色因病害种类而异。严重发病时提前落叶，林木生长量下降。落叶松早期落叶病是我国东北地区和朝鲜人工落叶松林的重要病害。病菌每年 6 月开始侵害针叶，病叶上生 1 至数个黄色小斑点并逐渐扩大为红褐色斑段。8 月中、下旬即大量落叶，约比正常树木提前 30～50 天。病菌在落叶上过冬，次年再侵害新叶。兴安落叶松、长白落叶松和朝鲜落叶松为感病树种；日本落叶松较抗病。此病大多由真菌和细菌所致，由风或风雨传播，蔓延很快。一般采用喷洒化学药剂方法进行防治。

7.立木腐朽。这是各种成、过熟林分最突出的病害。在中、幼龄中虽然也有发生，但一般危害不重。此病具有多年延续的特性，树木一旦受到侵染，病菌便在体内逐年扩展，所致腐朽的程度随林龄的增长而加重，直至林分自然更替。在中国东北和西南地区的成、过熟原始林中，朽株率一般高达 50%以上。

二、森林害虫

根据森林昆虫危害树木的部位可分为食叶害虫、枝梢害虫、主干害虫、根部害虫和种实害虫。危害严重的食叶害虫有松毛虫、竹蝗、大袋蛾、落叶松鞘蛾、舞毒蛾、春尺蠖、杨毒蛾、杨扇舟蛾和榆金花虫等。它们以咀嚼式口器咬食树木的叶片和嫩梢，严重时可将郁郁葱葱树林中叶片吃光，整个林分似火烧一般，连续数年的危害可使树木成片死亡。一些害虫还危及人身安全，如松毛虫和舞毒蛾等幼虫身上长有毒毛，人接触毒毛后会引起关节肿痛、皮炎等症状，严重者终身残疾，丧失劳动能力。如 1979 年，浙江省松毛虫大发生，5 万多人因接触松毛虫而患松毛虫病。近年来，危害杨、柳、松和杉木等树种的天牛、透翅蛾、杨干象、蝙蝠蛾、木蠹蛾和小蠹虫等蛀干害虫在一些地方猖獗发生；尤其是西北地区因广泛种植杨树，并且树种过于单一，造成光肩星天牛、黄斑星天牛等蛀干害虫的严重危害，大片防护林被危害致死。这类害虫钻蛀到树干内部蛀食危害，造成树木千疮百孔，引起树木生长衰弱，枝干风折或整株树枯死，危害极大。此外，危害树木的一些刺吸式口器害虫，如松干蚧、松突圆蚧、松大蚜、杨圆蚧等亦能造成严重危害。它们吸食树干或叶片汁液，造成树木生长衰弱，提早落叶或整株死亡。

（一）常见森林害虫类群

根据森林害虫的危害方式和生物学特点可分为下述类型：

1.根部害虫。有鳞翅目的地老虎，鞘翅目的蛴螬、金针虫，双翅目的种蝇和直翅目的蝼蛄等。这类害虫栖居于土壤，取食刚发芽的种子或幼苗的根、茎及幼芽，或蛀入幼树根内取食。其发生与土壤的类型及水肥管理、圃地的前作、林木和灌木的种类等有关。如地老虎喜较湿润的粘壤土；前作为大豆和施用未经腐熟的厩肥时，蛴螬、种蝇发生较多等。

2.干部害虫。主要包括鞘翅目的小蠹、天牛、吉丁虫、象甲，鳞翅目的木蠹蛾及透翅蛾，膜翅目的树蜂等。除成虫期营裸露生活外，卵、幼虫、蛹等均在树皮下、树干裂缝中或木质部内营隐蔽生活。林分中的被压木、风倒木和风折木是这类害虫长期维持一定数量的基本依托，当林分因受叶部害虫、风、火、水、旱灾害而生长趋弱时，干部害虫乘虚而入，导致树木大面

积死亡。在成熟、过熟林分，这种情况更为常见。少数干部害虫也能侵害健康立木。森林经营管理不当时，如夏季采伐后未及时将原木运出林外，强度择伐且采用拖运集材方式，未及时对中龄林进行抚育采伐，以及过度修枝，未及时清除被害立木等都可造成蛀干害虫大量发生。

3.枝梢害虫。包括钻蛀害虫和刺吸害虫。

（1）钻蛀害虫 蛀食林木枝梢的昆虫。有鳞翅目的螟蛾类、卷蛾类，鞘翅目的象甲类、天牛类。它们影响主梢生长或主干形成，或使主干扭曲，顶梢丛生，降低木材的利用价值，甚至引起整株枯死。

（2）刺吸害虫 如同翅目的蚜虫、蚧类、粉虱、木虱、叶蝉等。其若虫和成虫均以刺吸树木汁液为生，可引起枝叶萎缩和枯黄，或形成瘿瘤，严重影响树木生长，甚至造成枯死。有些害虫还可传播病毒病害，其中很多是重要的检疫对象。

4.叶部害虫。种类繁多，主要有鳞翅目的枯叶蛾、毒蛾、尺蛾、舟蛾、袋蛾、刺蛾、潜叶蛾、卷蛾、斑蛾，以及鞘翅目的叶甲，膜翅目的叶蜂，直翅目的竹蝗等，其中枯叶蛾科的松毛虫历来是我国松林的重要害虫。

大多数食叶害虫营裸露生活，繁殖力强，受气候、天敌等因素的影响显著。近老熟时幼虫食量剧增，因而在发生数量上带有明显的暴发性或周期性，迁移速度快、范围广，无论林木健康与否都能受害，林木叶片被吃光后常导致小蠹、天牛等干部害虫大量发生。

松毛虫主要取食松树的针叶，虫口密度大时，一片松林在数日之内就可被取食殆尽，远望枯黄，如同火烧一般。被害松林，轻者影响树木生长和松脂产量，重者造成树木成片枯死，给林业生产和生态环境建设造成重大损失。我国的松毛虫有 27 个种和亚种，危害较为严重的约有 6 种。按其猖獗危害的面积和程度，依次为马尾松毛虫、落叶松毛虫、油松毛虫、云南松毛虫、赤松毛虫和思茅松毛虫。1949 年以来，随着松林面积的不断扩大和经营管理不当，松毛虫的危害日趋严重。自 70 年代以来，全国松毛虫发生面积平均每年约（200×10^4）hm^2。近年松毛虫发生面积高达（260×10^4）hm^2 以上，约占全国森林病虫害发生总面积的 1/3，其成灾面积约（130×10^4）hm^2。

松毛虫在全国分布范围很广，北起大兴安岭，南至海南岛，西至阿尔泰山，东至沿海城镇，全国 25 省、市、区均有发生。

5.果实种子害虫。有鳞翅目的螟蛾、卷蛾、麦蛾、举肢蛾，鞘翅目的象虫，膜翅目的小蜂、叶蜂和双翅目的花蝇、瘿蚊等。多在寄主花期或幼果期产卵，随果实的生长而逐渐发育，取食果轴、种鳞及果仁等不同部位，影响种子的产量和质量，发生严重的地区常导致种子连年失收。

（二）森林害虫的发生与林分环境的关系

森林害虫不是在任何林分内都能猖獗发生，造成灾害，而只能在环境条件对害虫发生极为有利的林分内，首先形成虫源基地，通过增殖、扩展，然后逐步猖獗成灾。因此，林分结构与森林害虫的发生有着密切的关系。

1.纯林和混交林。纯林和混交林是两个不同结构的森林生态系统。森林昆虫群落结构与林分结构、植物种类、地理环境以及气候条件密切相关。一般说来，纯林树种单一，昆虫群落结构简单，天敌数量少，害虫一旦发生，数量增殖快，容易造成灾害。混交林内由于树种较多，昆虫群落结构复杂，害虫一旦发生，各虫期被天敌捕食和寄生率高，害虫不易发生。混交林面积愈大，混交树种愈多，减轻虫害的作用愈显著。这主要是混交林不适于害虫

形成虫源基地，阻碍了食物信息的传递，改变了昆虫群落食物网结构，复杂的森林环境有利于鸟类栖息，有利于天敌昆虫和昆虫病原微生物的繁衍，提高了森林对害虫的自控能力。

树种愈杂，害虫种类愈多，而以害虫为生的天敌因为有了丰富的中间寄主，其种类和密度也就随之增大。林间各种害虫各虫态发生期相互交替，不仅为捕食性天敌提供了充足的食源，寄生性天敌也随时有寄主可寻，为天敌的繁衍创造了有利条件。

一般较复杂的混交林内均有丰富的蜜源植物，如山矾、白栎、茅栗、乌饭、油茶、野蔷薇等。林分中的蜜源植物是寄生性昆虫成虫补充营养的主要来源，对延长寄生蜂、寄生蝇成虫寿命，促进性腺成熟，提高产卵量等具有重要作用。据初步统计，有 120 多种蜂、蝇成虫需要蜜源作补充营养。在有蜜源的林内，松毛虫被寄生性昆虫的自然寄生率一般比无蜜源植物的林内要高 10%以上。

不同海拔高度的气候条件、植被状况均有差异，对松毛虫的大发生有明显影响。如马尾松毛虫常灾区多分布在丘陵浅山区，一般在海拔 400m 以下。在江浙一带，海拔 50～200m 为常灾区，而在四川省多在 300～800m 范围内危害猖獗。

此外，松毛虫一般只在环境条件对其突发性危害有利的林分内猖獗成灾。首先形成虫源地，经过增殖、蔓延，逐步猖獗成灾。纯林中杂灌木等地被物少，林分结构较简单，昆虫相也简单，松毛虫种群一旦增殖，容易成灾；混交林内，由于乔木和灌木等植物种类多，昆虫相对复杂（我国松毛虫天敌资源十分丰富，多达 555 多种，包括重寄生性的 31 种），各种昆虫的发生期相互交错，害虫、天敌间组成结构复杂的食物链网络，形成较稳定的生态系统，增强了林分对松毛虫种群的自控潜能。如已知马尾松毛虫有寄生性天敌 110 多种，在一片纯林中常见的不过几种、几十种，而在混交林内往往超过纯林内的数倍。短翅平腹小蜂、横带沟姬蜂、松毛虫曲姬蜂、红铃虫金小蜂、松毛虫瘦姬蜂等只能在较复杂的混交林中才能找到。对单食性害虫而言，混交林可以起到阻碍害虫的作用。

经营管理不善容易造成松毛虫的大发生。如 20 世纪 60 年代以前，江西省海拔 600m 以上松林松毛虫从未大面积成灾。由于 70 年代以来滥砍滥伐严重，一些山头阔叶林被砍光，使得一些 600m 以上的大片松林松毛虫猖獗成灾。吉安县地处海拔 800m 的一片针阔混交林，从未发生过松毛虫，近年来由于阔叶树被砍光，只剩下 10～20 年生马尾松纯林，松毛虫突然猖獗成灾。

我国目前存在大面积纯松林，生产上要采取封山育林、补植阔叶树和蜜源植物、加强抚育管理等措施加以改造。改造后的林分各种乔灌木、植被及昆虫区系明显增加，林内郁闭度提高，植被覆盖率增大，从而逐渐形成较为稳定的森林生态环境。此外，合理的林业措施可诱发林木的抗虫性，提高林木与整个林分的耐害性；由于植被茂密，林内光照度明显减弱，不利于喜光的松毛虫生长发育；林分内有机质增多，提高了土壤肥力，增强了树势，也提高了林木的抗灾能力；通常封山育林后林内的松毛虫幼虫的体重减轻，消化系数降低，化蛹历期延长，繁殖力下降，不利于松毛虫的繁衍。

2.灌木林。灌木林一般多是天然林遭受破坏后各种原生灌木发展成林的结果，或是通过封山育林培育起来的。灌木林一般属于薪炭林范围，很少有经营的习惯，一般采取分片皆伐或定期轮伐方式取得薪炭材，伐后萌芽更新，

是林分类型中另一种生态系统。其害虫发生的种类和危害情况，很少引起人们的重视。这类林分中昼、夜温差变化较大，阳光充足，食叶害虫种类较多，多数种类为杂食性。灌木林中常有多种金龟子危害，它们还迁向附近的森林、果园中去，使许多林木和果树受害。在栎类混生较多的灌木林内，也常见到舟蛾类害虫严重危害。在北方，美国白蛾、舞毒蛾、天幕毛虫等主要害虫多起源于灌木丛林。

大部分灌木林中常混生着少量针、阔叶乔木树种，称为乔灌混交林。一般灌木种类多，郁闭度大，对抑制虫灾有极为明显的作用。就马尾松毛虫来说，在灾害较轻的年代里，虫口密度一般比纯林内小，受害程度轻。即使在大暴发年代，各虫期天敌寄生率高，虫口密度下降快。竹缕舟蛾大发生的年份，在灌木种类多、郁闭度大的竹林内，竹缕舟蛾蛹啮小蜂（Tetrastichus sp.）寄生率高达 64%；在灌木稀少或无地被的竹林内，蛹寄生率只有 0.8%，甚至很难发现这种啮小蜂。

灌木林能提供寄生性昆虫的蜜源和栖息、越冬场所。许多天敌昆虫，如膜翅目昆虫、食虫蝽、螳螂、蜘蛛以及鸟类中的画眉、白头鹎等食虫鸟多活动、栖息及筑巢于灌木林中，对降低某些害虫种群数量，抑制虫灾有积极作用。

三、森林病虫害的防治

（一）林木检疫

一些病虫害分布范围较窄，仅在局部地区造成严重危害。但这些病虫害可以随林木的种子、苗木、用作繁殖材料的插条或根、原木以及其他林产品的远距离运输传播到新区，扩大其危害范围。随着社会的发展，国际间或地区间的人员往来和产品交流日趋频繁，增加了危险性病虫害传播的机会。如美国白蛾从国外传入辽宁省，后又随铁路运输传到陕西省武功县，随水路传入山东省荣成县。因此，严格贯彻执行我国的检疫法规，在机场、港口和车站等商品进出口的门户抓好林木病虫害进、出口检疫，在国内抓好苗木产地检疫和林产品调运检疫，防患于未然，是控制危险性病虫害扩大蔓延的重要措施。

我国林业部于 1996 年新确定了 35 个国内森林植物检疫对象，它们是日本松干蚧、梨圆蚧、湿地松粉蚧、松突圆蚧、落叶松种子小蜂、泰加大树蜂、大痣小蜂、柳扁蛾、双钩异翅长蠹、黄斑星天牛、锈色粒肩天牛、双条杉天牛、美国白蛾、杨干透翅蛾、杨干隐喙象、苹果棉蚜、苹果蠹蛾、枣大球蚧、杏仁蜂、松材线虫病、松疱锈病、松针红斑病、松针褐斑病、冠瘿病、杨树花叶病毒病、落叶松枯梢病、毛竹枯梢病、杉木缩顶病、桉树焦枯病、猕猴桃溃疡病、肉桂枝枯病、板栗疫病、香石竹枯萎病、菊花叶枯线虫病、柑橘溃疡病等。在检验中发现检疫对象，应及时对验检物品采取消毒处理、就地烧毁或隔离试种等措施。由于检疫工作中还存在执法不严、检测手段和设施较落后等问题，致使松材线虫病、美国白蛾、日本松干蚧、松突圆蚧和杨干象等检疫害虫仍呈蔓延之势，应引起有关部门高度重视。

（二）林业技术

林业措施是防治病虫鼠害的根本措施，应贯穿在整个林业生产过程中。主要措施有：

1.选育和推广抗病虫害能力强的优良树种。不同树种间、同一树种不同品种间对各种病虫害的抗性均有差异。一个品种如果仅具备速生、丰产特性，

而不抗病虫害，则很难在生产中得以推广。如 20 世纪 70 年代我国大面积种植的大官杨，推广不久即因受光肩星天牛等蛀干害虫危害而被淘汰。这个教训说明了抗病虫育种在防治工作中的重要性。我国抗性育种工作，起步较晚，森林保护工作者和育种工作者应加强协作，选育出更多具有抗病虫能力的优良品种，以满足林业生产的需要。目前已选育出一些抗松疱锈病、杨树天牛、杨树溃疡病和泡桐丛枝病的优良品种或无性系。

欧美一些国家利用杨树遗传可塑性强的特点，培育出不少抗病虫性强的优良品种。1988 年，美国科学家应用基因工程方法，在杨树抗虫育种方面取得了突破性进展。他们通过基因嵌合，把马铃薯中对昆虫有抑制作用的蛋白基因通过大肠杆菌转移到杨树中，培育出了新型抗虫树种。我国林木育种工作者也在开展这方面的研究。

2.按不同立地条件选择不同造林树种和造林密度。

3.营造混交林，避免造林树种单一化。

4.用无病虫害的壮苗造林。

5.采取中耕、除草、施肥、灌水和修枝等措施加强对中幼龄林的管理，促进林木生长。

6.及时清除林分中的病虫木，改善林地卫生条件。

7.适当封山育林，严禁乱砍滥伐，促进林分中多层次的植被生长。

8.及时运出采伐木。

通过上述措施，可以使林木生长健壮，抗病虫能力增强，各种天敌昆虫、有益微生物和鸟类等天敌明显增加，从而提高了整个林分对病虫害的控制能力；林地卫生条件的改善，减少了病原物和害虫的种群数量。

80 年代初，湖南省浏阳县 9 333hm^2 马尾松林采取了封山育林为主的综合防治措施，十多年来松毛虫没有大发生。山东省临沂地区建立的杨树丰产林和山西省金沙滩地区建立的杨树综合防治样板林，蛀干害虫危害明显减少。

（三）生物防治

利用有益生物防治森林病虫鼠害具有节省能源、防治成本较低、不污染环境、可以持久发挥控制效果等优点。近十年来，生物防治愈来愈受到人们的重视，值得大力提倡。

1.微生物制剂。微生物杀虫剂主要有白僵菌、苏云金杆菌、昆虫病毒等。我国每年应用白僵菌防治松毛虫的面积较大。1984—1986 年，湖北、湖南和广东三省应用青虫菌 6 号液防治马尾松虫千余公顷，效果达 90%以上。从 80 年代以来，我国已将春尺蠖多角体病毒、马尾松毛虫质型多角体病毒、舞毒蛾核型多角体病毒分别用于防治春尺蠖、马尾松毛虫和舞毒蛾，推广面积均在 6000hm^2 以上。利用枝顶孢霉防治杨干象、用泰山 1 号线虫防治杨树天牛也取得了明显效果。我国的微生物制剂，特别是白僵菌的产量及应用面积均居世界前列。但由于绝大部分微生物制剂为土法生产，全国又没有制定统一的质量检测标准，制剂质量得不到保证，在应用过程中出现效果不稳定、成本高等问题，致使近年来白僵菌在一些省份应用面积逐年下降，苏云金杆菌应用面积亦不大。

前苏联、美国和加拿大等国已生产多种经过注册的商品化微生物制剂。前苏联每年生物防治面积占全国森林病虫害防治总面积的 50%以上，他们主要应用苏云金杆菌和多角体病毒防治舞毒蛾、橡绿卷蛾、松尺蠖、松毛虫等食叶害虫，球孢白僵菌用于防治小蠹虫。美国、加拿大每年应用苏云金杆菌

防治云杉卷蛾的面积在 105hm^{2}左右。日本的赤松毛虫质型多角体病毒（CPV）是世界上最先注册，并商品化生产的病毒制剂，用于防治赤松毛虫。美国和加拿大也生产有多种病毒制剂用于防治食叶害虫。由于病毒制剂见效慢，加入少量化学农药，便可加速害虫死亡，以提高防治效果。

美国、澳大利亚等国在生产上已应用微生物商品制剂防治根癌病和根腐病。利用白粉寄生菌可控制白粉病、锈菌寄生菌可控制锈病的发展；利用大隔孢伏革菌防治松树银白腐病等。

2.天敌昆虫。我国应用较多的寄生性天敌昆虫有赤眼蜂、肿腿蜂、姬小蜂、蚜小蜂和天牛蛀姬蜂等；捕食性天敌昆虫有蒙古光瓢虫、异色瓢虫和蠋蝽等。70 年代末至 80 年代初，全国应用赤眼蜂防治松毛虫的面积达数十万公顷。经过多年生产实践证明，在一定范围内人工释放赤眼蜂仍是低虫口密度条件下控制松毛虫的好方法。目前在浙江、湖南等省应用面积较大。利用蒙古光瓢虫防治松干蚧，利用肿腿蜂防治杉天牛和青杨天牛，利用周氏啮小蜂防治美国白蛾，利用花角蚜小蜂防治松突圆蚧，利用天牛蛀姬蜂防治青杨天牛等有明显效果。但除赤眼蜂外，其他天敌均因未完全解决繁殖寄主、工厂化生产工艺或防治效果不稳定等问题，未在生产中广泛应用。除人工释放外，在林业生产中应注意保护人工林的生态环境，为天敌的繁殖创造条件，从而提高自然界各种天敌昆虫对害虫的控制作用。

美国十分注意从国外引进天敌昆虫，用引进天敌昆虫防治落叶松鞘蛾等害虫取得成功。法国对赤眼蜂的研究处于世界前列。该国的昂莱布生物防治试验站从世界各国收集赤眼蜂，进行了多方面的研究，并用于防治农业害虫。美国、英国和前苏联等国也有应用赤眼蜂防治云杉卷蛾的报道，但因防治效果不明显而未大量用于生产。

3.益鸟。在杨树人工林中利用挂人工鸟巢的方式招引大山雀、啄木鸟和灰喜雀等益鸟，可以明显降低食叶害虫和蛀干害虫的密度。据观察，一对啄木鸟可控制 20～30hm^2 杨树林中的光肩星天牛。猫头鹰对林鼠也有明显的控制作用。

德国、前苏联等国很重视人工林中益鸟的保护和人工招引益鸟技术的研究。由于这些国家林分生态环境较好，益鸟保护森林的作用十分明显。

4.性外激素的应用。70 年代以来，人工合成性信息素开始用于一些害虫的预测预报和防治。我国应用白杨透翅蛾性信息素、舞毒蛾信息素制作的诱捕器，捕杀杨透翅蛾和舞毒蛾均取得了良好效果。

（四）化学防治

目前，化学防治仍是控制病虫害大发生和消灭虫源基地的主要措施。我国化学防治面积占整个森林病、虫害防治面积的 70%左右。在搞好预测预报的前提下，正确使用农药适时进行防治，一般可取得良好的防治效果。国内常用的杀虫剂有乐果、敌百虫、杀螟松、辛硫磷、呋喃丹、溴氰菊酯和灭幼脲等；杀菌剂有代森铵、百菌清、多菌灵、粉锈宁、托布津；杀鼠剂有磷化锌、毒鼠磷、毒鼠钠盐等。主要施药方法有喷雾、喷粉、熏蒸、拌种、放烟等。近年来飞机超低容量喷雾防治技术的应用，提高了防治效果，节省了劳力，降低了成本。在生产中还开发了在树干上用毒笔涂环，捆扎毒绳或药纸带，往蛀孔中插毒签或塞药片，注射药液，撒毒土或毒饵等简便易行的施药方法，收到很好的防治效果。毒性较低的农药，如杀虫脒、苯来特、托布津、溴氰菊酯等部分依靠进口。由于药价偏高，飞机防治费用不断上涨，地面喷

雾防治喷雾器射程不够，影响了防治效果。一些地方长期单一使用溴氰菊酯，害虫出现了抗药性，影响了化学防治工作的进展。值得一提的是，在 20 世纪五六十年代用六六六粉已经扑灭的竹蝗在 80 年代有所抬头，其重要原因之一就是目前尚未找到替代六六六的化学药剂。

杀菌剂可分为铲除剂、保护剂和内吸剂。铲除剂直接可杀死病原物，如五氯酚、甲醛等。保护剂可直接施于植物体，保护植物不受侵害，如低浓度的石硫合剂，波尔多液，有机硫、有机磷、有机氯等。内吸剂是指被植物吸入体内，起抑制病原物扩展的药剂，如托布津、多菌灵、苯莱特等。化学药剂的使用方法包括土壤消毒、种实消毒和喷洒植株等。

但大量采用化学药剂防治，产生了严重的“3R”问题，即抗药性（Resistance）、再猖獗（Resurgence）和残留（Residue）。许多害虫对化学农药产生了几十倍甚至成百上千倍的抗药性。一些主要害虫的数量急剧下降后又突然回升造成更大的危害，次要害虫在天敌被杀死后突然暴发成灾。农药不但殃及非防治目标物种如天敌、传粉昆虫和野生动物等，而且严重污染土壤、水域、大气和动植物产品，反过来又造成新的害虫危机。

（五）物理防治

在生产上可利用一些害虫的成虫对灯光的趋性，设置黑光灯或高压灭虫灯诱杀成虫。还可采取超声波、热处理、射线照射等方法处理种子和插条，消灭病原物或害虫，如 47～51℃温水浸泡桐种根 1 小时，可防治泡桐丛枝病。我国北方利用松毛虫下树越冬习性，在松毛虫春季上树前在树干上扎上塑料带，可阻止越冬幼虫上树，减轻其危害。

在有劳力的情况下，可采取一些人工防治措施，如冬季摘除挂在树上的大袋蛾的虫袋；捕捉天牛成虫；挖除竹蝗卵块和扑打初龄跳蝻等人工防治措施消灭虫源，亦可取得明显防治效果。

四、森林气象灾害

各种灾害性天气对林木生长发育造成的危害，包括低温、高温、干旱、洪涝、雪害、风害、雨凇、雹害及大气污染等。树种生长发育与气象因子的关系可表现为最适、最高和最低极限。当气象因子在最适区间变化时，林木生长发育最好；如接近或超过最高或最低极限，则受到抑制，甚至死亡。不同的树种，甚至相同树种在不同年龄阶段，其最适和忍耐极限不同。森林气象灾害按危害的方式可分如下几类：

（一）低温害

1.冻害。林木在 0℃以下丧失生理活力而受害或死亡。树木遭受冻害的程度取决于温度变化的特点、树木所处的位置、树种对冻害的敏感程度及所处的生长发育阶段。晚秋突降的早霜对生长期尚未结束的树木危害最重；初春树木刚开始萌动，易受晚霜危害，如温度缓缓下降则危害较轻。霜冻尤易在冷空气容易堆积的山谷洼地发生。对霜冻比较敏感的树种有白蜡树、水青冈、刺槐等；山杨、桦树等则对霜冻抵抗力较强。

2.寒害。指 0℃以上低温对林木（热带林木）生长发育所造成的危害。低于树木进行正常生理活动所能忍耐的最低温度的低温可造成树木酶系统的紊乱，影响光合作用暗反应的进行。树种不同，所耐低温也不同。如橡胶树等在温度低于 5℃时即可出现不同程度的寒害。防护措施是在阳坡造林或在易受寒害的林木周围营造防护林等。

3.冻拔。又称冻举。因土层结冰抬起树木致害，危害对象多是苗木和幼

林。形成的原因是土壤水分过多，昼夜温差较大，当夜间温度在 0℃以下，上层土壤连同根系冻结在一起，使其体积增大而被抬高。冻结层以下因有冻柱形成，不断将冻结层上抬，使树木根系与下层土壤脱离；解冻时土壤下陷，根系因悬空吸收不到水分而致树木枯死。通常洼地上的冻拔害甚于山坡，阳坡、半阳坡的甚于阴坡、半阴坡，粘重湿润土尤易发生。预防方法有覆草、覆草皮土、筑高床或种植健壮的大苗等。

4.冻裂。由于树木是热的不良导体，温度骤降时树干表皮比内部收缩快而造成冻裂。树皮薄而光滑、木材弹性较大的树种一般不易冻裂；树的阳面比阴面容易发生冻裂；林缘木、孤立木冻裂现象严重。冻裂虽不会造成树木死亡，但可使树木生长衰弱，易罹病虫害，降低木材的工艺品质。为防止冻裂发生，通常在主要树种周围种植保护树或保持林冠一定的郁闭度，单株珍贵树种也可采取树干包草的办法。

5.土壤结冻造成的生理干旱。指因树木根系不能吸收土壤水分而导致的失水干枯甚至死亡。对幼林的危害大。冬季气温低，枝叶蒸腾量小，生理干旱危害较轻；初春气温回暖快，地上部分萌动后蒸腾作用增强，而土壤尚未解冻，往往危害较重。防止生理干旱可采用早春造林、初春及时疏松冻土、适当修剪枝条等方法。在集约经营的人工林地区，通过对苗木或幼林的合理灌溉以及生长后期增施磷、钾肥等措施，可增强林木的抗寒性。

（二）高温害

外界温度高于树木生长所能忍耐的高温极限时，可造成酶功能失调，使核酸和蛋白质的代谢受干扰，可溶性含氮化合物在细胞内大量积累，并形成有毒的分解产物，最终导致细胞死亡。其中，皮烧主要发生于树皮光滑的成年树（如冷杉、云杉等）上。一般林缘木向阳面（常为西南方向）树干由于太阳辐射强烈，局部温度过高而较易发生。树木受害后，形成层和树皮组织局部死亡，树皮呈现斑点状或片状脱落，树木因而易罹病害。根颈灼烧又称干切，是指土壤表面温度过高，灼烧幼苗根茎的现象。盛夏中午前后强烈的太阳辐射可使地表温度达 40℃以上，幼苗皮层组织嫩弱容易受害。受害的根茎有一个几毫米宽的环带，里面的输导组织和形成层因高温灼烧致死，灼烧部位分布在土表下 2㎜ 至土表上 2～3㎜ 之间。一般认为，松科和柏科幼苗在土表温度超过 40℃时即可受害，但若苗圃有 80%的蔽荫度，则可免受害。夏季在苗圃搭设遮阳棚和适时灌溉是防止根颈灼烧的有效方法。

（三）干旱

干旱指土壤含水量严重不足对树木生长发育造成的危害。多发生于降水量较少的夏季。可导致树木体内原生质脱水，气孔关闭，叶形变小，叶片老化，光合作用能力降低。因干旱引起的其他生理变化，如淀粉的水解以及呼吸作用和原生质透性、粘滞性的增强等，对树木都可产生不利影响，最后导致生长减退，甚至死亡。危害程度因树种而异，较耐旱的树种如松树、侧柏、骆驼刺、木麻黄等即使在土壤极端干旱的情况下也能生长；而枫杨、水杉等耐旱能力较差的树种则易受害。林业上常采用中耕除草、抚育间伐、适时灌溉等措施防止干旱危害。

（四）洪涝

洪涝指因降水或其他原因（融冰、融雪、泄洪等）造成地表水过剩而引起的灾害。其发生与降水的时间、强度、范围有直接关系。我国多集中在夏、秋两季。洪水在平原地区可使树木长期处于水淹状态而窒息死亡；在山区则

引起水土流失，导致树木根系裸露，树干倾倒甚至死亡。

雪害是降雪时因树冠积雪重量超过树枝承载量而造成的雪压、雪折危害。受害程度因纬度、地形、降雪量和降雪特性，以及树种、林龄、林分密度而有不同。一般高纬度甚于低纬度，湿雪甚于干雪，针叶树甚于阔叶树，人工林甚于天然林，单层林甚于复层林。

（五）风害

风害指风对树木造成的机械或生理的危害。一般性风害系指内陆地区因大风（指风速大于 10m/s）造成的风倒和风折，其危害程度因树种和土壤条件而异。浅根树种一般较深根树种易发生风倒。云杉虽系浅根，如果生长在地下水位低、质地疏松的土壤时，根系则分布深，抗风力随之增强；若长在粘重、通气性不良的土壤时，则根系分布较浅，易风倒。森林的抗风力取决于林分密度和林况。密林中的树木抗风力弱，当林分在皆伐、渐伐后骤然稀疏，易致风倒；采伐后新露出的林缘木风倒可能性最大；老龄树木、感染病虫害的树木、皆伐迹地上保留的单株母树都易风倒和风折。防止或减弱风害的措施有：用抗风力强的树种造林，或用以营造防风林缘；避免进行强度较大的间伐；对幼林经常进行弱度抚育；正确地确定主伐方式和合理地规划伐区等。

（六）盐风害

盐风害指沿海常年受海风影响的地区（特别是有台风登陆时）因来自海洋的含盐量较高的空气长期侵蚀树木枝叶而致害。危害范围可深入内陆数十公里。针叶树受轻度危害时表现为迎风部位的叶首先变为红色，较严重时可变为灰白色脱落。阔叶树受害时也发生枯萎脱落、枝条干焦现象，但其对于盐风的抵抗力高于针叶树。与台风相伴随的强烈盐风及暴雨、海浪，更是沿海防护林的主要灾害。故沿海一带造林易选择比较耐盐碱的树种，如木麻黄等。对于一般耐盐能力较弱的树种，宜先在迎风部位营造耐盐防护林，以防盐风侵袭。

（七）雨凇

雨凇又称冻雨。是过冷却雨滴在温度低于 0℃的物体上冻结而成的坚硬冰层，多形成于树木的迎风面上。由于冰层不断地冻结加厚，常压断树枝，对林木造成严重破坏。采取人工落冰措施可部分减轻雨凇危害。

（八）雹害

冰雹是严重的灾害性天气，常使林木枝叶、干皮、种实遭受伤害，尤其对苗圃、种子园危害严重。发生区域多为一狭长地带，其宽度一般为 10～15km。降雹季节以春末夏初最多，盛夏及秋季也有发生。降雹时间多发生在一日内上升气流最旺盛的中午到午后 3 时之间。

五、森林鸟兽害

森林鸟兽害是指林栖鸟兽因栖息、取食等活动给森林带来的直接或间接危害。直接的危害有：取食林木种子和果实，影响种子的天然更新；啃咬或啄毁幼苗、根、树皮和枝叶，影响育苗、造林和迹地更新造林，甚至造成林木枯死、破坏森林植被。间接危害有：大型森林兽类践踏林地造成土壤板结，不利幼苗出土和林木生长；小型兽类挖掘洞穴，使干旱地区因森林土壤水分蒸发加剧而更加干旱。

（一）鸟兽害与有害鸟兽

鸟兽害是指当某些鸟兽达到一定数量，并在某一地区或某个时期活动，

给人类带来某种经济损失的结果。而有害鸟兽是指在一定时间、地点、条件下，给人类社会造成某种经济损失的鸟兽类群。因此，鸟兽害和有害鸟兽是两个完全不同的概念。

野生动物是人类的宝贵财富，但是由于天灾人祸，破坏了野生动物的生存环境，使许多野生动物正处于濒临灭绝的境地。由于森林的破坏、环境的污染，竭泽而渔式的乱砍滥伐、乱捕滥猎，使动物遭到了灭顶之灾，人类生存环境和野生动物资源以惊人的速度在地球上消失。因此，当我们在讨论森林鸟兽害的防治时，切勿忘记保护森林动物的神圣职责。

鸟兽对森林的危害取决于它们数量的多寡。数量少时，危害微不足道，可以不进行防治；有害鸟兽大量聚集时，势必成灾。此外，鸟兽对森林的益害是相对的，同一种鸟兽在不同地区、不同季节、不同植被和植被的不同发育阶段，益害迥异。即使对森林有害的，也可通过狩猎，压低其数量基数以控制为主，且可获得猎产品，取得经济效益，从而化害为益。因此评价鸟兽的益害，必须在长期观察，全面了解情况后才能得出结论。

（二）我国的主要鸟兽害

鼠类泛指小型啮齿类动物，全世界的鼠类近 3 000 种，危害森林的鼠类约 200 种。我国危害林木的害鼠较多，主要有大林姬鼠、棕背䶄、红背䶄、松鼠、花鼠、东方田鼠、东北鼢鼠、中华鼢鼠、黑线姬鼠、巢鼠、社鼠等。此外，我国其他的主要有害鸟兽有草兔、野猪、锡嘴雀、红交嘴雀、星鸦、松鸦等。

在森林鸟兽害中，危害最大的是鼠类。鼠类有一对门牙呈凿状且不断生长，其特性是需要经常啃咬磨牙以防止牙齿过长而刺穿口唇。它们啃咬多种针叶树、阔叶树及灌木的根系、树干、嫩枝、顶芽、果实和种子。不仅危害大树，对幼树和苗木危害更为严重。咬伤的部位成为各种病原菌的侵入门户，导致次生性病虫害的发生。造成种实歉收，影响森林天然更新及采种，特别是在人工播种和飞机播种造林区，因鼠害常造成大面积缺苗。

鼠类广泛分布在我国的人工林和天然次生林中，其种类和数量常随地域类别和林区生态环境的不同而有所差异。在东北林区常发生的种类有红背䶄、棕背䶄、大林姬鼠、黑线姬鼠、沼泽田鼠和东北鼢鼠。在西北林区常发生的种类有中华鼢鼠、沙鼠、社鼠和花鼠等；在南方林区常发生的种类有姬鼠、巢鼠、岩松鼠和鼢鼠等。在有害鼠发生的林地中，林木被害率一般达 20%～40%，林木的死亡率可达 20%以上。在受害严重的林地内，林木被害率可达 80%，而死亡率可达 50%以上。青海省 1986 年发生林木鼠害（9.7×10^4）hm^2，其中严重受害的有（6.7×10^4）hm^2，民和县大庄乡 1982—1986 年营造的 2800hm^2 榆树林，90%以上的幼树根茎部遭鼠环状啃食树皮而死亡。据宁夏回族自治区西吉县调查，新造油松林一星期后的损失率达 27%；二年生落叶松林地平均损失率 34%，最高地段达 45%，使受害地的保存率所剩无几，形成“边栽边吃，常补常缺”的情况。甘肃省的中华鼢鼠终年营地下生活，食性很广；对华山松、油松等幼林危害十分严重，不仅啃食 1～2 年生幼苗根部，而且危害地径达 6cm、树高 1.7m 的幼树林，使幼林枯萎和死亡。不同地区的森林鼠害的发生规律和危害规律也不相同。一般来说，未经采伐的原始林区很少发生鼠害，而人工林和天然次生林中危害比较严重；幼树受害重，大树受害轻；郁闭小的疏林受害重，郁闭大的密林受害轻；林缘的树木受害重，林内的树木受害轻；阳坡、缓坡的树木受害重，阴坡、陡坡的树木受害

轻；灌木杂草丛生、乱石多、卫生条件差的林地受害重，反之则受害轻。

（三）森林鸟兽害的防治

要经常监测有害鸟兽的数量，预测害情，在危害趋于严重时采取如下措施：

1.器械灭鼠法。常用的灭鼠器械有鼠夹、鼠笼、竹筒套、铁钩夹、地箭等。使用该法需了解鼠情，用好诱饵和捕鼠工具。宜在苗圃附近进行或进行野外调查。器械灭鼠成本高，不适于野外大面积捕鼠。

2.药物灭鼠法。利用药物灭鼠，应用于大面积人工林。方法简单，速效、省工、省时，但易产生抗药性，污染环境，杀害天敌，不安全。森林鼠类是食肉用和皮毛用兽类食物的主要来源。因此一般不宜全部毒杀，而可使用化学驱避剂，涂在树干上达到防止害兽咬啃树皮的目的。使用敌鼠钠盐也较安全，不会引起人畜中毒。磷化锌可在造林时用于拌种以毒杀害鼠。

3.保护天敌。主要是雕鸮、黄鼬（黄鼠狼）一类鼬科动物，狐及蛇等对防治森林有害鼠类也有重要意义。利用微生物病原体人为地造成鼠间致死性传染病，从而有效地控制鼠害。

4.加强防护设施。如在苗圃装木栅栏或太阳能电栅栏，在树干基部用草或废塑料布包扎，以防咬啃嫩枝或树皮等。

5.生态灭鼠法。通过破坏鼠类适宜的生活条件和环境条件，是影响其种群数量增长的辅助措施。如断绝鼠粮、破坏森林中鼠类栖息地、保护天敌、利用采伐剩余物供害鼠采食，减轻鼠类对林木的危害。

复习思考题

1.森林环境问题是如何产生的，其本质是什么？

2.干旱、半干旱地区森林生态环境建设与水土资源开发利用的关系如何？

3.不同类型区林业生态工程建设对环境的影响有哪些？

4.人类社会经济活动对森林环境的影响是什么？

5.试论森林—环境—发展的关系。

6.主要大气污染物对森林环境的影响是什么？

7.森林环境污染的主要治理对策有哪些？

8.简述森林火灾对森林环境的主要影响。

9.试述森林病虫害对森林环境的影响及控制策略。

10.森林气象灾害主要有哪几类？

参考文献

1 王长富编著.地球环境与森林.哈尔滨：东北林业大学出版社，1992

2 闫树文主编。农田防护林学.北京：中国林业出版社，1995

3 王志宝主编.森林与环境——中国高级专家研讨会论文集.北京：中国林业出版社，1993

4 曲格平著.中国环境问题及对策.北京：中国环境科学出版社，1989

5 李文华，杨修编著.环境与发展.北京：科学技术文献出版社，1994

6 王礼先主编.水土保持学.北京：中国林业出版社，1995

7 关君蔚主编.水土保护原理.北京：中国林业出版社，1996

8 盛伟彤，徐孝庆主编.森林环境持续发展学术讨论会论文集.北京：中国林业出版社，1994
9 魏德保编著.森林与环境.北京：中国环境科学出版社，1989
10 徐化成，郑均宝主编.封山育林研究.北京：中国林业出版社，1994
11 吴中伦.世界毁林趋势及其原因和后果.世界林业研究.1988（2）:26～32
12 孙承咏.环境学导论.北京：中国人民大学出版社，1994
13 朱忠保编著.环境生态保护学.北京：中国林业出版社，1990
14 李汉卿，谢文焕，傅纯彦，等编著.环境污染与生物.哈尔滨：黑龙江科学技术出版社，1985
15 吴亚，金翠霞，等.空气污染对植物与昆虫相互作用的影响及作用机制，昆虫生态学研究.北京：中国科学技术出版社，1992
16 郑焕能，等.森林防火.哈尔滨：东北林业大学出版社，1991
17 徐有芳.第十届世界林业大会文献选编.北京：中国林业出版社，1992
18 国家科委全国重大自然灾害综合研究组.中国重大自然灾害及减灾对策（分论）.北京：科学出版社，1993
19 中国农业百科全书总编辑委员会林业卷编辑委员会中国农业百科全书编辑部编.中国农业百科全书·昆虫卷.北京：农业出版社，1989
20 萧刚柔主编.中国森林昆虫.北京：中国林业出版社，1992
21 侯陶谦主编.森林昆虫研究进展.陕西杨陵：天则出版社，198922 袁嗣令主编.中国乔、灌木病害.北京：科学出版社，1997
23 杨旺主编.森林病理学.北京：中国林业出版社，1996
24 方三阳编著.中国森林害虫生态地理分布.哈尔滨：东北林业大学出版社，1993

第三章 森林环境保护与生态旅游

第一节 有关森林环境保护的基本概念

一、资源、森林资源以及作为一种资源的森林环境

人类环境问题的产生和发展依赖于资源的概念，对一切作为资源的客体的不合理开发利用导致了环境的破坏，对于森林环境而言也莫不如此。

对人类来说，资源就是能在个人及社团两个水平上，满足生理、社会经济和文化需求所必需的任何一种物质或能量形式。资源不仅是人类生存的物质基础，还是人类生产的要素，是给人类带来巨大财富的源泉。因此，对一个国家、一个地区来说，自然资源状况的优劣，将成为未来制约经济、社会发展的重要因素，特别是对于人口众多的我国，更是如此。

资源可分为成两大类：即不可更新资源和可更新资源。不可更新资源是依赖于有限贮存和不可再生的资源，如矿物燃料等；可更新资源是可以再生的资源，换句话说是从生命有机体生物量中获得的资源。然而，资源又是一个动态概念，是随着人类文明的提高和科学技术的进步而不断深化的概念。人类起源初期，认为森林中的野果、草原上的动物、河流中的鱼虾是资源，而把森林、草原和河流本身不当作资源，甚至被看成是生存的障碍。在 100 年前,甚至 10 年前不认为是资源的物质在当今社会中却成为人类最关心的资源，如地热资源、湿地资源和生物多样性资源等。资源是客观实体，而人类对它们的认识和利用却是动态的和发展的。

森林是可再生资源，是人类和多种生物赖以生存和发展的基础。它具有丰富的生物多样性、复杂的结构和多种功能，不仅为人类提供大量林、副产品，而且在维持生物圈中物质和能量的运转中起着重要作用。此外，森林在美学、户外休闲以及文化方面的作用也越来越引起人们的重视。然而，纵观人类的发展史，总 的说来是一部森林破坏史。全球森林资源随着人口的增加、生产的迅速发展和历经多次战乱而不断下降。近些年来，由于人们环保意识的增强，对森林作用的认识有所加深，保护森林资源的呼声日益高涨，资源状况出现了转机。森林资源意指作为一种资源而存在的森林生态系统本体，而作为森林生态系统的组分而存在的生产者（绿色植物）、还原者（细菌、放线菌等各种微生物）、消费者（森林动物）及其周围环境均属于森林资源的范畴。

根据我们前面几章的定义，森林环境指与人类生存和发展密切相关的森林植被及与森林植被直接相关的周围空间。它既有自然属性，也具有社会属性。从这个角度来说，森林环境也是一种资源。

二、生物多样性和保护生物学

在谈到森林环境及其保护的有关问题时，不可能回避生物多样性和保护生物学这样两个当今世界绿色环保主义者关注的焦点问题。

（一）生物多样性的含义

生物多样性是生物及其与环境形成的生态复合体以及与此相关的各种生态过程的总和，它包括动物、植物、微生物和它们所拥有的基因，以及它们与其生态环境形成的复杂的生态系统。它是生命系统的基本特征。生命系统是一个等级系统，包括多个层次水平——基因、细胞、组织、器官、物种、种群、群落、生态系统、景观。每一个层次都存在着丰富的变化，都存在着

多样性。但在理论与实践上较重要、研究较多的主要有基因多样性（或遗传多样性）、物种多样性和生态系统多样性。现在，人们往往把生物多样性视为生命实体本身，而不仅仅看作是生命系统的重要特征之一。人类文化的多样性也可被认为是生物多样性的一部分。正如遗传多样性和物种多样性一样，人类文化的一些特征表现出人们在特殊环境下生存的策略。

种内的多样性是物种以上各水平多样性的最重要来源。遗传变异、生活史特点、种群动态及其遗传结构等决定或影响着一个物种与其他物种及其环境相互作用的方式。而且，种内的多样性是一个物种对人为干扰进行成功反应的决定因素。种内的遗传变异程度也决定其进化的潜势。所有的遗传多样性都发生在分子水平，并且都与核酸的理化性质紧密相关。新的变异是突变的结果。自然界中存在的变异源于突变的积累，这些突变都经过自然选择。一些中性突变通过随机整合到基因组中。上述过程形成了丰富的遗传多样性。

物种是一级生物分类单元，代表一群形态上、生理上、生化上与其他生物有明显区别的生物。通常这类生物可以交换遗传物质，产生可育后代。物种多样性是指一定区域内物种的多样性及其变化，包括一定区域内生物区系的状况（如受威胁的状况和特有性等）、形成、演化、分布格局及其维持机制等。物种多样性的测度有多种方法，但一般多采用物种丰富度指数，即一定区域内物种的数目来测定。在此基础上，还应尽量考虑物种的质量特征。首先，物种之间亲缘关系的远近也表明一种“距离”或差异，实践中往往选择易于鉴别并意义较大的类群进行测度，而不可能包括所有的生物类群。一般先选择维管束植物、哺乳动物和鸟类，然后选择其他的脊椎动物、大型无脊椎动物、苔藓、地衣、藻类和真菌等，很少包括土壤动物在内。此外，物种多样性测度还应考虑不同物种量的差异，即物种的相对多度。对大多数生物类群而言，物种丰富度指数在空间上表现出从两极向热带不断增加的规律。物种多样性还受到当地地貌、气候和环境的影响，同时也会打上地质历史变迁的烙印。

物种之间存在着相互作用，如猞猁与兔之间的捕食关系，虱子与兔之间的寄生关系，根瘤菌与豆科植物的互惠共生关系等。物种之间相互依存，形成一个功能整体，称之为生物群落。生物群落的多样性主要指群落的组成、结构和动态（包括演替和波动）方面的多样化。从物种组成方面研究群落的组织水平或多样化程度的工作已有较长的历史，方法也比较成熟。物种多样性只是时间流中生物群落中物种集合的一个横截面。当生态环境或内部结构发生变化时，生物群落中的物种组成，即物种多样性会发生变化，最终导致整个生物群落的动物、植物组成成分更换，这一过程称之为演替。除了在生态时间尺度内生物多样性会发生变化以外，在地球上不同的生态地理环境中，由于太阳辐射、降水、氧分压、蒸发强度等因素的差异，发育着不同的生态系统，如冻原、北方针叶林、落叶阔叶林、常绿阔叶林、热带雨林、高山草原和荒漠等。这种物种集合的空间多样性称为生态系统多样性，即生物圈内生境、生物群落和生态过程的多样化以及生态系统内生境差异、生态过程变化的多样性。

生物多样性是生命活动的基本特征。生物圈的结构和功能取决于生物多样性的状态。以遗传杂合性下降为表征的遗传多样性损失，可能降低物种的生存力。物种灭绝使物种多样性降低。物种多样性和生态环境变化又影响生

态系统多样性。因此，保护生物学与生物多样性密切相关，从某种意义上说，保护生物学是研究生物多样性保护的科学，即研究从保护生物物种及其生存环境着手来保护生物多样性的科学。

生物多样性具有利用价值和其内在的价值。生物多样性的利用价值可分为直接利用价值、生态价值、科学价值和美学价值四大类。

生物多样性的直接利用价值指生物资源可供人类消费的作用，如作为食物、燃料、建材等。目前人们仅仅利用了生物界的一部分，许多野生动植物还有待驯化，以培育新的作物、家畜；许多野生乔木还可以筛选出速生树种。例如，中国云南西双版纳生长着一种叫铁刀木的速生树，当地居民间隔一定时间砍取铁刀木的枝条作为燃料，留下树干发枝，解决了当地的能源问题，持续利用了生物资源。又如，中国的传统中药材多为野生动物、植物。中国著名植物学家蔡希陶教授等曾发现了抗癌植物——云南美登木。可以预言，人们将不断发现许多野生动植物的新的使用价值。

生物的生态价值指的是其维持生物圈的功能。绿色植物通过光合作用放出 O_2、吸入 CO_2，维持了大气成分的相对稳定。土壤中的分解者——真菌、微生物和土壤动物分解了死去的植物和动物，清除了有机垃圾，是生物圈物质循环中不可缺少的一环。森林和草地截留降水，保持了水土。因此，生物多样性的生态价值常常是难以定量估计的。

现有的生物多样性包含着丰富的信息，具有科学研究的价值。例如，经过 20 年的定位研究，契尔法斯（Cherfas，1991）发现荷兰森林中的真菌数量下降了，不但食用菌数量下降，其他真菌也减少了。德国的研究也发现了类似的现象。在森林中，蘑菇与树木共生，土壤真菌促进了植物抗草食动物啃食和抗低温的能力，增强了植物吸收养分的能力。为什么这些真菌会消失呢？人们尚无确切的答案，这可能与空气污染有关。森林真菌的消失，可能是树木大量死亡的前兆。因此，科学家正在研究扭转这一趋势的措施。

生物多样性的美学价值是其环境功效的一部分。近年来全球兴起了生态旅游热，据估计，全球生态旅游业的产值达 120 亿美元。

人类是自然的一部分，生命的每种形式是独特的，不管它对人类的价值如何，都值得受到尊重。并且，来自自然的持久利益取决于必需的生态过程和生命支持系统的维持，也取决于生命形式的多样性。保护生物多样性的伦理基础必须与生态学原理相一致，物种和生态系统存在的理由可能比简单地满足当代消费者的经济愿望更为重要，当某一物种基因库是由于当代人为最大限度地满足个人利益而趋向灭绝时，所有的子孙后代都将为其付出代价。

（二）中国森林生物多样性的现状

中国位于欧亚大陆东部，北抵寒温带大陆、南达热带海洋，地域差异明显。生物区系跨越两大界，即动物地理学上的古北界和东洋界，植物地理学上的泛北界和古亚热带界，因而孕育了丰富多彩又独具特色的生物种群和生态系统。中国的生物多样性居全球第 8 位，北半球的第 1 位。

中国森林生物多样性有如下特征：森林生态系统类型多样，仅陆地生态系统就有 27 个大类，460 个类型；种类繁多，有高等植物 32800 余种，占世界总种数的 12%，居世界第 3 位，仅种子植物就有 24500 余种，10 个特有科、321 个特有属、1000 个特有种；动物种类约 10.45 万种，占世界总数的 10%，仅兽类就有 560 种，其中 1 个特有科、8 个特有属和 63 个特有种；植物药材 4773 种、淀粉原料植物 300 种、纤维原料植物 500 种、油脂植物 800 种、香

料植物 350 种、已开发利用的真菌 800 多种、动物药材 740 种、有经济价值的野生动物 200 种。中国是世界三大栽培植物起源中心之一，水稻、大豆、谷子、黄麻等 20 余种作物起源于中国。畜禽有 400 多种，居世界首位。

然而，中国动植物种类中已有总物种数的 15%～20%受到威胁，高于世界 10%～15%的水平。近 50 年来，约有 200 种植物灭绝，高等植物中濒危和受威胁的高达 4000～5000 种，占总种数的 10%～20%。近百年来，约有 10 余种动物绝迹，大熊猫、金丝猴、东北虎等 20 余种珍稀物种又面临灭绝的危险。

（三）保护生物学

20 世纪 70 年代，科技界和许多国家开始重视人类经济活动对环境的污染和野生物种的生存危机，但是当时没有专门研究生物多样性的学科，有关物种生存条件、灭绝机制以及环境保护的研究多散见于各个基础学科之中。随着生物多样性问题的日益突出及有关研究资料的积累，有关保护生物学研究人员迫切需要交流信息。于是，1978 年，第一届国际保护生物学大会在美国圣地亚哥动物园召开。1985 年，保护生物学学会成立。现在，保护生物学会成为北美会员人数增长最快的一个学会。从 1990 年开始，北美的许多大学设立了保护生物学专业，而且此专业目前已经成为大学生们喜欢选修的热门专业。许多基金会，包括美国国家科学基金会，都将保护生物学作为优先资助的领域。联合国环境规划署和世界银行也为生物多样性和持续发展研究投入了大量的资金。

生物多样性是人类的共同财富。生物圈是一个相互关联的功能整体，生物物种的迁徙没有国界。局部的污染和生物多样性变化将影响整个生物圈。野生生物的国际贸易导致富国对穷国的生物资源的破坏。因此，生物多样性保护是一项全球性任务，需要各国协调行动，共同努力。自从 1973 年《濒危动植物物种国际贸易公约》（CITES）签订以来，国际上已经签署了一系列国际公约。最近的一次也是最重要的一次，是 1992 年 6 月在巴西首都里约热内卢召开的联合国环境与发展大会。

中国保护生物学研究起步较晚，力量薄弱。具体表现为：大多数物种受威胁状态不明，重点保护动物缺乏长期的、系统的有效监测；许多新方法和新技术还没有应用；许多自然保护区虽然已经建立，但是其设计与管理水平有待进一步提高。

尽管 1959 年中国科学院在鼎湖山建立了中国第一个自然保护区,但是真正的生物多样性保护和研究开始于 80 年代后期。1990 年中国科学院成立了生物多样性工作组，1992 年成立了生物多样性委员会，统一协调中国科学院生物多样性研究工作。1994 年中国政府颁布了《中国 21 世纪议程》和《中国生物多样性保护行动计划》，以履行生物多样性公约。这一切表明中国加快了生物多样性研究和保护的步伐。

保护生物学是一门综合性学科，目标是评估人类对生物多样性的影响，提出防止物种灭绝的具体措施。它具有自然科学和应用管理科学的双重特征，由基础生物学、应用生物学和社会科学融合而成。

（四）保护生物多样性的伦理学基础

1.世界是一个相互依存的整体，由自然和人类社会所组成。任何一方的健康存在和兴旺都依赖于其他方面的健康存在与兴旺。

2.人类是自然的一部分，人类与所有在这个星球上的其他物种一样是永

恒生态规律的对象。所有生命都依赖于自然系统的不间断的运转，这保证了能量和物质的供应。因此，为维护世界社会的生存、安全、公平和尊严，所有的人都必须担负起保护生态的责任。人类的文化必须建筑在对自然的极度尊重上，具有与自然相一致的观念，并认识到人类活动必须在与自然的和谐平衡中进行。

3.我们必须在生物学限度内工作，但这种限度不是对人类努力的限制，而是对如何使人类活动能维持环境稳定和多样性提供方向和指导。

4.所有物种具有固有的生存权利。保持生物圈完整性和保持生物圈内多样化物种，景观和生境的生态过程要得到维持。同样，人类文化通过在全球范围内以及同当地环境的适应也能获得繁荣。

5.可持续性是所有社会和经济发展的基本原则。个人和社会的价值应运用于增加植物区系、动物区系和人类文化的丰富程度。这种道德基础将能使自然的许多利用价值——在食物、健康、科学、技术、工业和娱乐方面的价值——被公平地分配并保存给子孙后代。

6.后代的幸福是我们当代人的一份社会责任。因此，当代人应当限制其不可更新资源的消费，要把这种消费水平维持在仅仅满足社会的基本需要，并对可更新资源进行抚育，确保持续的生产力。

7.所有的人必须为他们自己的生活和地球上的生命行使责任。因此，他们必须有完全的受教育的机会、政治权利和可维持的生活。

8.以伦理和文化的观点看自然和人类生命，不管在某一社会中占主导的政治、经济或宗教意识形态是怎样的，自然和人类生命形式的多样性可以通过其不同组分之间的相互作用、相互激发而成为促进社会发展和文明繁荣的动力。

目前地球上很难找到未受到人类活动影响的自然生态系统，自然保护需要人们直接干预自然生态系统。我们常常需要了解人类活动对物种生存的影响，即使在自然保护区，也需要评价对非严格保护的动植物资源的适度收获问题，研究生态旅游对保持自然保护区生态功能的作用等。

第二节 森林环境保护

对于人类赖以生存和发展的地球环境保护问题，是当今世界最瞩目的基本问题之一；而对于世界各国作为陆地生态系统主体的森林的环境保护问题，尤其受到人们的高度关注。森林环境危机不仅是我国面临的一个严重问题，也是世界面临的一个重大问题之一。中国以及全世界的森林都在面临着被毁灭的危险，必须采取有力的保护措施，以制止人类对森林环境的破坏，建立人类与森林和谐共存、良性协调的关系。

一、森林环境危机现状

（一）森林的破坏使自然生态环境恶化，森林生态系统失去平衡

目前，全世界森林每年减少（18～20）×10^6hm^2。据世界粮油组织统计，1950 年以来，全世界森林已经损失了一半。据一些学者预测，到 2000 年森林面积将下降到（21×108）hm2，到 2020 年将下降到（18×108）hm2，人均木材蓄积量将由 80m3 下降到 40m3。但由于各地区情况不同，世界各国森林减少的程度也各不相同。到 2000 年，北美、欧洲、日本、俄罗斯等国森林下降率不多，仅减少 0.5%，由 1975 年的（14.64×10^8）hm^2 减少到 2000 年的（14.57×10^8）hm^2，木材蓄积量将从（1560×10^8）m^3 减少到（1490×10^8）m^3，人均木材量由 142m^3 减少到 114m^3。而亚洲发展中国家森林减少速度快，在同一时期，这些地区森林面积将减少 40%，将由 1975 年的（10.99×10^8）hm^2 下降到 2000 年的（6.6×10^8）hm^2，木材蓄积量将从（1710×10^8）m^3 减少到（1040×10^8）m^3，人均木材量由 57m^3 下降到（21×10^8）m^3，减少 63%。

在我国长江中上游川西林区，由于森林的破坏，自 1950 年以来，平均风速逐年加快，到 70 年代，松潘地区平均风速增加 8%；黑水地区增加 20%；茂汶地区增加 28%。据有关部门统计，由于森林的过量采伐引起的气候异常，使四川省的 46 个县年降雨量减少 15%～20%，旱灾日益加剧。四川盆地 50 年代伏旱一般三年一遇，现在发展到三年两遇，甚至连年出现。干旱使这个自古雨量充沛的“天府之国”出现了缺雨少水的情况。而且，无霜期缩短，暴雨、冰雹灾害频繁。长白山是吉林省的主要江河的发源地，由于采育失调，森林资源减少，引起了区域性气候失调，河流径流量减少 25%，水土流失严重；大兴安岭森林的破坏，使呼伦贝尔草原的气候恶化，草原气候从湿润少风向着干旱多风的方向发展，严重地影响了牧草的生长和畜牧业的发展；小兴安岭是三江平原和松嫩平原的天然屏障，为农业生产创造了良好的条件，由于多年来森林的破坏，使这里的降雨量减少，风沙量加大，过去很少遭到风沙危害的三江平原，近年来常刮七八级大风，含沙量增大。

（二）森林的破坏导致洪水泛滥成灾

印度和尼泊尔的森林破坏，很可能是印度和孟加拉国近年来洪水泛滥成灾的主要原因。仅印度每年防治洪水的费用就达 1.4 亿美元到 7.5 亿美元。这种灾难的典型例子为：1970 年印度的阿拉卡曼河泛滥，它是该河首次发生的灾难性洪水，这场灾难使印度的许多村庄被冲走，大量泥沙在下游淤积，破坏了印度北方邦平原上的灌溉系统。1988 年 5 月至 9 月，孟加拉国遇到百年来最大的一次洪水，淹没了 2/3 的国土，死亡 1842 人，50 多万人感染疾病；同年 8 月非洲多数国家遭到水灾，苏丹喀士穆地区有 200 万人受害；11 月底，泰国南部又暴雨成灾，淹死数百人。1998 年 6 月至 8 月我国长江中下游地区的大暴雨造成了历史上罕见的特大洪灾，冲毁了道路、桥梁，淹没了

农田、城镇、工厂和村庄，造成直接经济损失达 3000 亿元。

这些突发性的灾难，虽有其特定的气候因素和地理条件，但科学家们一致认为，最直接的因素是森林环境被大规模破坏所致。

（三）森林破坏造成了严重的水土流失、土地沙化

由于森林的破坏，每年有大量的肥沃土壤流失。哥伦比亚每年损失土壤（4×10^8）t；埃塞俄比亚每年损失土壤 10^9t；印度每年损失土壤（60×10^8）t。我国水土流失情况也很严重，大量泥沙倾入黄河，使黄河的含沙量居世界首位，河水的含沙量达 37kg/m^3 以上。近年来，由于长江上游森林的大量砍伐造成了严重的水土流失，使长江干流和支流岷江的含沙量增加。据长江宜昌站的资料统计，近几年来长江的平均含沙量由过去的 1.16kg/m^3 增加到 1.47kg/m^3，年输沙量由（5.2×10^8）t 增加到（6.6×10^8）t，增加了 27%。

森林破坏、水土流失加速了土地沙漠化的进程。目前世界上平均每分钟就有 10hm2 土地变成沙漠。如果这一趋势持续下去，到 2000 年，全世界将有 1/3 的土地荒芜。沙漠化给人类带来的损失将达到 260 亿美元。

（四）森林破坏造成泥沙淤积

由于河流湖泊泥沙淤积，我国的内河通航里程由 60 年代的（17.2×10^4）km 减少到现在的（10.8×10^4）km，减少了 37% ；泥沙淤积使河床抬高，湖泊水库容积减小而造成水灾，降低湖泊、水库的调蓄能力。我国的四川省每年所淤积的泥沙，相当于报废一座中型水库。

（五）森林生态危机破坏了野生动植物资源的基因库

保护森林就保护了生物物种，也就保护了现有的基因库。森林的破坏，使得野生动植物失去了栖息繁衍的场所，使很多野生动植物数量大大减少，有些已濒临绝迹。

（六）森林的破坏加剧了温室效应

空气中 CO_2 气体的增加，虽然是人类不合理地、大量地使用化石燃料的结果，但森林的破坏降低了自然界消耗 CO_2 的能力，从而加剧了温室效应这一过程的发展。据研究，1hm^2 阔叶林每天能吸收 1000kg 的 CO_2，产生 730kg 的 O_2。由此可见，森林环境的破坏给人类带来的灾难是何等深重！

二、森林环境保护的内容及对策

森林生态环境的破坏给我国人民带来了无穷无尽的灾难。挽救了森林，也就挽救了我们自己。因此，森林环境保护已经成为迫在眉睫的任务。森林环境保护的内容和对策是：

1.在适宜地段建立国家森林公园和自然保护区，对其中各具特点的生物多样性资源以及森林进行保护，规范管理。

2.科学地利用森林资源。对现有的各种类型的森林生态系统，应实行持续利用、集约经营的方针，使其遭破坏的程度降到最低限度，并依靠现代的先进技术，使已经遭到破坏的生态系统得到更快的恢复和发展，以满足人们的需求。

3.应动员全体人民积极贯彻执行《森林法》及有关法规和条例，制止乱砍滥伐的行为；加强宣传教育，使全国人民重视植树造林，积极参加植树造林及保护森林资源的活动。

4.实行国家、集体、个人相结合的方针，持之以恒地植树造林；我国的三北地区综合防护林体系已经初步形成，应进一步巩固扩大，使其发挥更大

的生态作用。加快其他防护林体系及林业生态工程建设步伐，形成全国生态环境保护网。

5.严格控制计划外采伐，大力营造薪炭林，逐步解决农村用材问题。

6.增加对林业的投入，增加育林资金，确定林价，把山林从无价变为有价，实行林业生态效益补偿办法。

7.做好荒山造林、封山育林工作，以保证幼林和残留的乔灌木林更好地成长。

8.大力发展木材加工和综合利用工作，提高木材利用率。

9.制订科学营林标准，采用高产营林技术，分期分区地提高森林覆盖率。

10.实行天然林保护工程，有计划、有步骤地开展国有天然林保护和禁伐。大力营造速生丰产林及工业用材林等商品林。

11.护林防火，以防治森林病虫害及各种自然灾害对森林的危害。

12.实行森林的分类经营,分别对公益林及商品林采取不同的育林和经营管理措施，做到可持续利用和发展。

第三节 自然保护区的建设

近年来，保护生物学的研究重心从单一物种的保护转移到物种栖息地及生态系统的保护。自然保护区与国家公园是生物多样性就地保护的场所，它们的建立和有效管理是生物多样性保护的战略举措。保护区的设计原则如何？如何进行大范围的生物多样性保护区的选址？如何进行保护区的建设、管理与评价？这些问题正是我们要讨论的。

一、自然保护区

自然资源和自然环境是人类赖以生存和发展的物质基础，在长期的生产和生活过程中，人类充分认识到保护自然资源和自然环境的重要性。自然保护区的建设和管理作为自然资源、自然环境和生物多样性保护的重要手段和有效措施，也日益得到人们的重视。

如前所述，保护区是生物多样性就地保护的主要场所。如果保护区规划得当，管理良好，一个地区乃至整个国家的生物多样性的保护就有了保障。一个完整的自然保护区不但在自然保护方面，而且在经济发展方面都将起到特殊的作用。

二、自然保护区的设计原则

在自然保护过程中形成的各种类型的自然保护区中，较大的是原始自然保护区和国家公园。原始自然保护区最初是人们无意识设立的，其目的是出于宗教或娱乐，诸如自然物朝拜处、狩猎保留地或动物保护区等。第一个国家公园是美国黄石公园，它建立于 1872 年，随后国家公园在英、美等国迅速发展。20 世纪 70 年代以来保护生物学工作者意识到，以某一类生物资源或某一濒危物种为对象的资源保护工作，已不再能满足保护全球生物多样性的要求。他们将目光转向保护自然资源和物种赖以生存的生态系统和栖息地，呼吁各国政府在特有种、稀有种、濒危种、受危种以及生态系统关键种分布的地区和“生物多样性的热点地区”建立各种类型的自然保护区。

1.保护区的选址原则。传统的生态学是以自然平衡观作为理论基础的，认为生态系统有一个平衡稳定点，具有可预测的顶极状态，如果系统受到干扰，能进行自我调节，返回顶极状态。按照该理论，则有可能通过不受人类影响的封闭措施（如建立保护区）成功地保护生物多样性。但近 20 年出现的耗散结构理论认为，生态系统与周围环境进行着物质、能量与信息的交换，易受到对其内在结构与功能的周期性干扰。耗散结构理论更加强调过程、动态和内容，而不是稳定点。耗散结构是一种新的非平衡态理论，是动态、开放理论，更接近于自然生态系统。可见，将一个与周围环境隔离的群落或生态系统作为保护区是不易被保护的。自然保护区在自然干扰（也包括人为干扰）的作用下，可能引起状态改变。非平衡状态理论认为，简单地将保护区封闭起来，排除人为的干扰，不能达到保护生物多样性的目的。只有将物种、群落与变化过程相结合，才能达到保护的目的。

物种、基因与生态系统多样性在地球上并不存在一致的分布格局。由于人类活动的影响，自然生境退化与破碎化使得生物多样性的分布格局复杂多变。传统的自然保护区大多设在可利用资源少、生物多样性低的地区，是根据风景点、娱乐和经济标准而设立的。现代保护生物学认为，在进行自然保护区的选址时，应该采用从上到下的阶梯方法来作决策，应考虑到生物的分布与生物多样性数量特征的热点地区。斯科特（Scott）等（1993 年）提出

的间隙分析（GAP）就是在较大空间上提供物种组成、分布与保护状态的概况，寻求没有出现在生物多样性保护区中的植被类型和物种多样性保护空白地区，在土地管理实践中或通过新建保护区来填补这些空白地区。

近 100 年来，人们对保护区选址原则进行了大量的讨论，提出了不同的标准。一般来说，自然保护区的确立原则包括：

（1）典型性 在不同自然地理区域中选择有代表性生物群落的地区建立保护区，以保护自然资源和自然环境，探索生物发展演化的自然规律。保护区所代表的自然地理区域的范畴对确定该保护区类型和级别有着至关重要的意义。

（2）稀有性 稀有种、地方特有种或群落及其独特生境，以及汇集了一群稀有种的所谓动植物避难所的地区，在保护区选址中具有特别重要的优先地位。

（3）脆弱性 对环境改变敏感的生态系统具有较高的保护价值，但它们的保护比较困难，需要特殊的管理。

（4）多样性 保护区中群落的数量多寡和群落的类型取决于保护区立地条件的多样性以及植被的发生历史因素，这也是保护区选址的重要依据。

（5）自然性 这里表示自然生态系统未受人类影响的程度。自然性对于建立以科学研究为目的的保护区或保护区的核心区的选择具有特别重要的意义。

（6）感染力 虽然从经济的观点来看，不同物种具有不同的利用价值，但是，由于科学技术的发展和认识的深化，一些动植物新的经济价值不断被发现。不同的物种和生物类型是不可替代的。就这个意义上说，各个物种、生物群落和自然景观都是等价的。因此从科学观点来看，很难断言哪一种生物群落类型或哪一物种更为重要。由于人类的感觉和偏见，不同的有机体有不同的感染力。虽然这一标准只是人类的感觉要求，但对于选择风景保护区来说仍很重要。

（7）潜在价值 一些地域由于各种原因遭到了破坏，如森林采伐、沼泽排水和草原火烧等。在这种情况下，如能进行适当的人工管理或减少人类干扰，通过自然的演替，原有的生态系统可以得到恢复，有可能发展成为比现在价值更大的保护区。

（8）科研潜力 包括一个地区的科研历史、科研基础和进行科研的潜在价值。

上述选择自然保护区的标准有时可能是互相交叉、互为补充的，例如一个具有代表性的保护区可能同时具有多样性、天然性、科研价值。有些标准则可能相互矛盾，相互排斥，如一个稀有的保护对象往往很难具有典型性或代表性等。因此，保护区的选择是一个十分复杂的问题，运用上述标准进行选择和评价时，必须与建立自然保护区的目的结合起来，以保护物种多样性最丰富的地区，保护面积大、功能完整的生物群落或生态系统的典型代表，以及保护特有种或特有兴趣的群体。

应在不同尺度上考虑代表性与生物多样性。生物多样性的另一个重要尺度是种在狭窄分布范围内的特有性。特有性的中心是许多特有种共存的地方。特有性与物种丰富度不是完全相关的，特有性高的地区是在真正的岛屿、隔离山峰及沙漠绿洲等特殊生境。因为具有局部性，所以特有种存在较高的灭绝危险，应该将其列入保护区之内。各个国家和地区要求保护特有的动植

物区系、生境和生态过程，这也是特有性与代表性的统一。

2.保护区的形状与大小原则。面积大的保护区与面积较小的保护区相比，大的保护区能较好地保护物种和生态系统。因为大的保护区能保护更多的物种，一些物种（特别是大型脊椎动物）在小的保护区内容易灭绝。保护区的大小也是生境质量的函数。保护区的大小可能部分地代表关键资源的数量与类型。就维持某一物种有效种群而言，低质量的资源比高质量资源需要更大的面积。

一个保护区的重要程度随面积的增加而提高。一般而言，自然保护区面积越大，则保护的生态系统越稳定，其中的生物种群越安全。但自然保护区的建设必须与经济发展相协调，自然保护区面积越大，可供生产和资源开发的区域则越小。这与人口众多和土地资源贫乏的国家发展经济是不相适应的。为了兼顾长远利益和眼前利益，自然保护区只能限于一定的面积。因此，保护区面积的适宜性是十分重要的。

保护区面积应根据保护对象和目的而定。应以物种—面积关系、生态系统的物种多样性与稳定性以及岛屿生物地理学为理论基础来确定保护区的面积。通常物种数量与其生存空间存在着明显关系，在一个区域内，随着面积的增加，物种数目也增加，但面积增加到一定程度，物种数目并不一定再无限地增加。目前保护区大多是孤立地分布在人为活动的环境中，呈岛屿状分布。按照岛屿生物学理论，随着岛屿上物种数目的增多，物种迁入率下降，但灭绝率提高。物种数随面积的变化符合下面的关系式：

$$S=C\times A^{z}$$

式中：S 为物种数；A 为岛屿面积；C、z 为常数。C 值主要取决于测度单位及栖息地和生物类型，z 值一般在 0.24～0.34 之间。

保护区的大小也与遗传多样性的保持有关。在小保护区中生活的小种群的遗传多样性低，更加容易受到对种群生存力有负作用的随机性因素的影响。与试验饲养种群相似，小的种群容易导致遗传漂变和有奠基者效应的遗传异质性消失。

保护区的大小也关系到生态系统能否维持正常的功能。物种的多样性与保护区面积都与维持生态系统的稳定性有关。面积小的生境斑块，维持的物种相对较少，容易受到外来生物的干扰。只有在保护区面积达到一定大小后才能保持正常功能。因此，在考虑保护区面积时，应尽可能包括有代表性的生态系统类型及其演替序列。

保护区大小的确定还应该考虑到干扰与环境变化的作用，特别是全球变暖对保护区的影响。据国际上不同全球环流模型的预测，到 21 世纪 20 年代至 30 年代，全球平均温度将增加 1.5～4.5℃，雨量将增加 7%～15%。许多温带植被将向北移动数百公里或向高海拔地区移动数百米，多数地区的气候、生境条件有大的变化。所以在设计保护区大小时，还应该充分考虑到全球变化的影响。保护区的面积应尽可能地大，使得生态系统对气候的变化自然地适应。选址时还必须优先考虑有完整的海拔梯度的地区。

威尔逊和韦利斯（Wilson & Willis，1975）认为，由于考虑到保护区的边缘效应，则狭长形的保护区不如圆形的好。圆形保护区可以减少边缘效应，狭长形的保护区造价高，受人为的影响也大。所以，保护区的最佳形状是圆形。如果采用南北向的狭长形自然保护区，则要保持足够的宽度。

关于建立一个大保护区好还是小保护区好的问题，曾经是 70 年代争论的

焦点之一。大多数研究认为，一个大的保护区比几个小的保护区好。这是因为大的保护区可以包含有更多的物种。由于小保护区的隔离作用，保护区的物种数可能超过保护区的承载能力，从而使有些物种灭绝，这种现象称为“物种松弛”。一般说来，那些完全依赖于当地植被、需要大的领地和种群密度较低的物种很容易在保护区内发生灭绝。然而，反对者认为，小保护区虽然容易发生局部灭绝，但能在相对大的范围内保护相当数量的代表生境。因为大的保护区划分成较小的保护区后，有利于提高生物避免灾难性突发事件（如火灾、传染病）的能力。多个小的保护区具有生境的多样性，保护的物种会更多。

3.保护区内部的功能分区原则。保护区的内部功能分区区划是生物多样性保护区的一个全新的观点。在进行保护区内部区划时，一般分为三部分，即核心区、缓冲区和实验区。将生物多样性保护与生物资源持续利用结合起来，是传统的封闭式保护区概念上的突破。

（1）核心区 是原生生态系统和物种保存最好的地段，应严格保护，严禁任何狩猎与砍伐。其主要任务是保护基因和物种多样性，并可以进行生态系统基本规律的研究。

（2）缓冲区 一般应位于核心区的周围，可以包括一部分原生性的生态系统类型和由演替系列所占据的受过干扰的地段。缓冲区一方面可以防止对核心区的影响和破坏，另一方面可用于某些实验性和生产性的科学研究。但在该区进行科学实验不应该破坏其群落生态环境，可进行植被演替和合理采伐与更新实验，以及野生经济生物的栽培或驯养等。

（3）实验区 缓冲区周围还要划出相当面积作为实验区，用作发展本地的特有生物资源的场地，也可以作为野生动植物的就地繁育基地，还可以根据当地经济发展的需要，建立各种类型的人工生态系统，为本区域的生物多样性恢复进行示范。此外，还可以在当地推广实验区的成果，为当地人民谋利益。

第四节 自然保护区的生态旅游与管理

旅游业是当今世界最具活力的一大产业，而随着世界经济的发展和人民生活的改善，生态旅游（ecotourism）已经成为当今世界旅游业发展的热点。自然保护区的经费来源是目前保护区管理的最大问题之一。而生态旅游可以给保护区带来经济效益，同时也能对参观者进行自然保护的教育。因此，生态旅游被定义为使当地人民生活幸福与保持保护区环境而开展的旅游。生态旅游还包括各种自然环境和各种自然资源对旅游者所产生的健身、保健、休息、娱乐等多种生态效益和功能。在生态旅游的讨论中，最受人们关注的是旅游者对保护区生态环境的影响，这是保护区生态旅游规划管理中要考虑的重要问题。

1.自然保护区的旅游资源及其评价。旅游资源可分为两大类：一是自然资源，二是人文资源。自然资源是指由自然界中地理环境和生物所构成的、吸引人们前往进行旅游活动的天然景观，包括地貌、水文、气候、动物、植物等。人文资源是指古代人类的社会活动的遗迹和现代社会活动的产物，包括人文景物（如古代建筑、历史遗迹和遗址、现代建筑和近代纪念地和纪念物）及文化传统（即民族节日、民族艺术、手工艺、风土人情、语言、宗教、政治、科学等）。保护区的生态旅游是以自然资源为主的自然景观与动植物资源的旅游。为了吸引游客，必须建设保护区的服务设施，扩大交通系统。旅游业的发展促进了当地人们生活的改善，当地人们生活的改善反过来又有利于保护区工作的开展。

旅游资源的评价包括以下三方面：

第一，吸引力评价。评价的要素包括欣赏价值、文化价值、科学价值、旅游项目—游览内容的丰富程度、环境条件、季节差异、特殊价值及旅客容量。

艺术欣赏价值 主要是指景物的艺术特征、地位和意义。如在我国的名山之中，华山之险为绝，泰山以雄为奇，衡山以秀丽而闻名，峨眉山的三大自然景色（日出、云海、宝光）、雁荡山的四大奇观（峰、瀑、涧、石）及桂林四绝（山青、水秀、洞奇、石美）为游人所向往。这些地区多被设计成国家公园。在保护区的旅游资源中，具有独特景观与生物资源的地方观赏价值很高，如长白山自然保护区的原始红松林及成片的绚丽多彩的高山草原景色。

历史文化价值 指历史古迹的类型和年代以及在历史上的位置等,属于人文旅游范围，如一些文物保护点。

科学价值 旅游资源中有许多资源具有重要的科学价值，珍稀、罕见的生物资源是游人所想见到的。在珍稀动物中，四川的大熊猫、长江的白鳍豚和扬子鳄等，都是具有很高科学研究价值的动物。

旅游项目—游览内容的丰富程度 任何一个著名的旅游区都是由不同的景观要素构成的综合体。有些要素起主要作用，有些起辅助作用，但都是旅游区不可分割的组成部分，各要素之间相互补充才使风景区具有特殊的吸引力与感染力。一些著名风景区的人文资源与自然资源都很丰富。

环境条件 指气候、地形、旅游和生存需要的水的质量和分布等。

季节差异 不同的季节自然景物会出现不同的变化,有些条件不适宜进行生态旅游，导致游客数量出现明显的季节变化。例如北方冬季寒冷条件下就

不适于草原旅游。

景区的游客容量 游客容量又称为旅游承载力,是指既满足旅游者要求又不破坏旅游资源时所能容纳的旅游者数目。不同的旅游景点对于旅游者的吸引力不一样，旅游者的滞留时间长短也不一样。游客容量的计算是一项很复杂的工作。游客容量一般指容人量（人/m^2）或容时量（h/景点），它们取决于景点的空间大小和景点的质量高低。

第二，开发条件评价。包括地区经济条件评价、可进入性、依托城市的程度、通讯条件、地方积极性及已有的设施情况等。

第三，效益评价。目前每年年均接待游客量、开发所需投资量、投资来源、客源预测及社会效益等。

2.生态旅游区的规划与建设原则。在保护区开展旅游之前，必须制定管理规划。根据游客的数量以及能够为游客提供娱乐机会的范围，确定这一场所的承受能力。生态旅游必须以各个保护区的承受能力为前提，以避免生态功能的破坏。具体应按照以下原则：

（1）根据生态学原理开发旅游资源 在进行旅游资源的开发、规划、建设和利用时，自然保护应贯穿其中。根据服务目的安排旅游用地，在保护区与其他土地之间综合规划、建设旅游设施，设立严格的保护区与旅游区之间的界限。

（2）控制游客量，维持生态功能 即使旅游区的环境质量与游客数量之间存在一个“最佳值”，也必须按照生态限度的范围控制游客量。因为游客的进入会带来许多污染，如噪声、灰尘、垃圾及汽车尾气等。因此在旅游旺季，应制定计划措施，确定各景点的合理游客容量和游览路线，以控制各个景点的游览者数量。

（3）合理分配旅游收入 这可使旅游的收入有利于保护区的建设与保护区当地居民生活水平的提高，将生态旅游与保护区的建设、保护区工作人员的生活状况的改善与自然保护区的自主发展结合起来。要求生态旅游的经营者向游客收取保护区利用的专项费用，要求生态旅游经营者从年收入中为保护区的利用缴纳一定比例的税金，目的是对保护区提供的设施建设、医疗服务、道路维护、导游解说等予以补偿。

3.自然保护区旅游管理。在旅游管理上，美国林务局提出了一系列的管理规程与标准。包括娱乐机会谱、可接受变化的限制及游客影响管理。美国森林管理处提出了生态旅游规划的娱乐机会谱的概念，将娱乐机会谱划分为六个等级：城区、农区、有道路的自然区、半原始的有交通可到达地区、半原始的无交通可到达地区和原始的地区，这包括了从开发到不开发的系统的变化。城区的人为娱乐设施多，交通便利，到达的人多，使用密度大，而原始地区的自然环境很少受到人类影响。人类对环境的改变、可接近性、使用者的相互影响和保护区的管理分区等是娱乐机会谱的核心内容。这些因素的变化决定了娱乐活动的特点。

可接受变化限制（LAC）是美国林务局关于自然保护区旅游使用强度规划与管理计划。LAC 是根据自然保护区的管理目标确定的量化指示物，可利用这些指示物的变化来定义旅游管理的标准。LAC 包括四个基本步骤：①确定可接受的和可取得的社会和资源标准。②寻找标准要求和现存环境之间的差异。③确定达到标准所需的管理行动。④监视与评价管理的有效性。LAC 开始的目标是帮助遥远地区进行生态旅游规划建立社会与生态标准，特别是自

然性与环境质量的决定因子 LAC 有两方面的重要改进，第一是娱乐承载力（RCC）的重要改进：即 RCC 过于简单地定义了旅游目标，忽视了利用技术估计承载力的结果与进行资源、社会影响、人为利用和价值评价之间的重要区别，而 LAC 是基于人们的使用理解和自然保护区的价值来制定的一个真实的标准。第二是标准的制定不只是考虑技术和旅游者，同时也考虑到自然保护区、经济、旅游和生态工作者。

游客影响管理是就生态旅游对自然保护区影响的原因进行系统的分析，寻找减少旅游对自然保护区负面影响的有效管理策略，提出解决问题的方法。根据法律、政策、社会和生态数据来评价保护区特定的管理目标，这需要从旅游者和生态系统两方面来考虑。为了使管理的可操作性增加，将自然和社会知识结合起来选择管理目标的指标或指示物，将前面的标准按照指示物进行量化，用指示物来定义管理目标，对当前的现状进行评价，然后找出问题的原因，提出有效且适宜的解决办法。

中国的生态旅游尚属于开始阶段，因此必须明确生态旅游与自然保护的关系。要把使用旅游资源与保护旅游环境结合起来，把追求旅游的经济目标与追求旅游的生态目标结合起来，把向游人介绍旅游景点与向游人宣传保护旅游资源结合起来。只有这样才能使旅游资源经久不衰，永久利用。

复习思考题

1.什么是自然保护区？

2.试述自然保护区的选址原则。

3.什么是生态旅游？试述其概念和内容。

4.如何根据生态学原理进行生态旅游区的规划与建设？

5.试述自然保护区科学管理的主要内容。

6.自然保护区管理与评价应该把握哪些一般原则？

7.自然保护区的大小和形状是如何确定的？

8.自然保护区应该如何分区？

参考文献

1 金鉴明，王礼嫱，薛达元.自然保护概论.北京：中国环境出版社，1991

2 马克平.试论生物多样性的概念.生物多样性，1993，1（1）：20～22

3 钱迎倩，马克平.生物多样性研究的原理与方法.北京：中国科学技术出版社，1994

4 斯蒂芬.L J 史密斯著.南开大学旅游学系译.旅游决策与分析方法.北京：中国旅游出版社.1991

5 Embley T M，Hirt R P，Williams D M.Biodiversity at the molecular level：the domain，kingdoms and phyla of life.In：Hawksworth D L.Biodiversity－Measurement and estimation.London：Chapman & Hall，1996，5～12

6 Epperson B K. Spatial structure of genetic variation within populations of forest trees.NewForests，1992，6：257～278

第四章 森林环境的监测与管理

第一节 环境监测概述

一、环境污染与环境背景值

（一）环境污染

人类的生活离不开对自然资源的利用。人类不断地利用木材、岩石、矿物、化石燃料以及水产等来维持自己的生活，并通过加工，生产更多的产品。随着人口增长、工业发展加快，生产规模扩大，必然产生大量的排放物与废弃物，当其中的某些有害物质积聚到一定程度，危害人类的健康或破坏了自然生态系统的正常运转并失去其自我调节与自我恢复的能力时，这些有害物质的积聚，就造成了环境污染。

自然环境中的污染物质，存在于空气、水体、土壤、生物体中。由人类生活产生的污染物质，大部分为有机物质。由大规模生产活动所产生的是既有有机物的又有无机物的工业废气、废水与各种固体废物等。随着生产技术的发展和能量消费的增加，又产生了在自然环境中能量分布的改变。由于能量的局部积聚，也能危害人类健康和使生态系统失调，如热污染、噪声污染、放射性污染、高能电磁波污染等。因此，在论述污染与环境监测时，不但要重视对化学污染物质的监测，也要重视物理能量污染的监测。

（二）环境背景值

从环境科学的观点来认识环境背景值，至今尚无统一公认的概念。已经提出的说法有本底值、自然本底值、环境本底值、环境基线值、环境背景值、地球化学背景值、自然背景值等。我国大多数环境科学工作者经多年研究，认为用环境背景值这一概念较为合适。

环境背景值是指各种环境要素如空气、水、土壤、岩石、生物体等，在未受污染影响的情况下，所存在的化学元素和化学物质以及物理能量的正常值。但在人类长期活动，特别是现代工农业生产影响下，自然环境的化学成分和含量水平发生了明显的变化，要寻找一个绝对未受污染的环境是很困难的。因此，环境背景值实际上是一相对概念，反映了在自然发展过程中未受或很少受人类活动的影响时，环境要素的物质组成和结构特征，表征一个环境的原有状态。

由于测定环境背景值选点困难，环境科学工作者也常用区域环境基线值来代替环境背景值。区域环境基线值是指某一区域在一定的时间内，未直接受工业排放物污染的情况下，各环境要素的基本化学成分。这种基线值包含区域内非工业活动的影响，如施用化肥与农药；也包含全球污染的影响，如大气的干湿沉降；它所反映的是某个空间和时间内未直接受工业污染的环境质量状况。它与环境背景值有一定的区别。

环境背景值与区域环境基线值在环境监测中都很重要。无论在评价城市环境质量与林区环境质量，还是对新建项目进行环境影响评价时，首先必须知道该地区的环境背景值或区域环境基线值，然后才能估算增加污染源后环境质量的变化状况。美国、加拿大、日本及欧洲等国家在这方面已进行过较多的调查。我国于 1977 年开始对全国重要地区开展了土壤、水体和生物方面的环境背景值和区域环境基线值的研究。

区域环境基线值反映的是较大范围和一段时间内的物质动态平衡状况。

因此应定期进行测定，其间隔视变化情况和需要而定。环境背景值反映的是未受或很少受人类活动影响的地区内物质分布情况，它比区域基线值稳定。在不受人为干扰的情况下，该背景值可保持相对长时间的稳定。

由于环境背景值不易得到，环境科学家又研究了利用各种有代表性的历史样品进行监测。从历史样品所代表的年代，可以追溯各时间的环境状况，由此得到环境背景值。奥尔德顿（D.H.Alderton）报导了用钻孔采集湖底沉积物圆柱样品，经用同位素测定及与历史生产活动相对照等方法，确定圆柱样品中各不同长度所代表的年代，然后分段测定各段样品中元素或化合物含量，用以确定各时期的变化情况。各国学者用这种方法曾测定了美国五大湖及其他内陆湖、欧洲的淡水湖及河口等处不同年代的沉积物中某些元素、化合物的变化情况，推算出了早期未受污染时的环境背景值。其他历史样品可供采用的颇多，如来自于森林的树木年轮，不同年代采集的树木、动物与其他植物的标本。有的可提供作为环境背景值多元素或化合物的调查材料，有的则仅作为某一元素或化合物的单一调查材料。

二、环境监测的目的与分类

（一）环境监测的目的

环境监测是间断或连续地测定环境中污染物的浓度，观察、分析其变化和对环境影响的过程。

环境污染包含着自然的和人为的因素，它们是两者的叠加并以人为因素为主。具体说来，环境监测的目的在于掌握污染状况，一般包括以下几个方面：

1.判断环境质量是否符合国家制订的标准。

2.判断污染源造成的污染影响，评价环境污染物质在空间的分布模型和特征，判断浓度最高和潜在问题最严重的区域所在，评价防治措施的效果。

3.积累和研究环境质量的长期监测资料，结合流行病学调查，为保护人类健康、生态平衡和合理使用自然资源，修订环境质量标准。

4.根据监测资料，研究和验证污染物扩散迁移变化的各种模式，针对新增污染源对环境的影响，各类污染源对环境的作用、二次污染物的生成和扩散等进行预测，为政府环保部门提供可靠的基础资料，作为制定环境管理和环境规划方针政策的科学依据。

5.加深污染物质作用于物理系统和生态系统过程的理解，掌握规律，从而对当前存在问题的大小，确定的控制污染途径和管理污染的决策，予以恰当的评价。

调查、分析检验、监测是鉴定和测量环境污染物的步骤，也是环境管理部门采取行动的依据。污染物质的确定需要调查和监测，还必须根据其问题的严重性和影响的大小。保持一个良好的环境，有着极大的社会意义。因此，环境监测的重要性及其规模，已受到越来越多的重视。

（二）环境监测的分类

从性质上，环境监测可分为三类：

1.研究性监测。在任何环境质量调查中，都要鉴定所需要注意的污染物。这项任务主要包含了对污染影响的监测，需要研究确定污染物由排放源至受体的运动及其作用。为用于此类监测的系统一般都相当复杂，并且需要技术熟练，知识丰富的工作人员参加。如果收集到的数据表明存在着环境问题时，则必须确定污染物对人、对生态系统中的其他生物和各种物质的影响程度和

性质。这些研究要求多学科的共同努力与许多工作程序的密切协作。

2.监视监测。环境的监视监测，可提供评定控制排放的效果所需要的资料；可用以评价向环境目标迈进中所取得的成效；判断超过环境标准的程度。这类监测还包括趋势监测。趋势监测采用各种监测网，如大气监测网、水质监测网等。在网的监测点上，常年累月连续或定期地收集数据。这样可确定一个地区或国家的污染趋势。

3.特定目的监测。在这类监测中采用的手段有流动监测、航空监测、遥测遥感等。它们都是对意外发生的高浓度污染进行短期的集中监测，并发出警报，以便在危急地带采取紧急措施，控制污染范围，减少损失，防止事故扩大。例如，事故性海上漏油所危及的海面，核事故放射危及的区域等。环保部门对这类事故所进行的监测，有时也称事故性监测。一般要等到警报解除，污染物浓度降至正常水平后，此类监测工作才能宣告结束。

三、国内外环境监测工作的发展

随着工业的日益发展，环境污染日趋严重，环境保护工作也为人们所重视。环保工作者也深感环境监测的必要性。今天，环境监测已是环境保护工作的重要组成部分，并发展为环境科学的重要分支学科。在环境保护工作众多项目中，环境监测与环境管理、污染的控制与治理联系最为紧密。

由于现在国家和地方还拿不出更多的资金进行环境建设和全面的污染治理，当前特别要强调加强和深化环境管理，通过强化监督管理，促进各行业、全社会共同采取改善环境质量的措施。而环境监测是环境管理的重要手段和基础，加强与深化环境管理必须把环境监测这项基础工作抓好。

森林资源的开发利用与其他建设一样，需贯彻持续发展的新模式。其效果如何、环境质量有否承载力等，要靠监测数据加以检验。

森林环境的综合整治也离不开监测。综合整治的政策与技术，其环境效益、经济效益和社会效益如何，要靠监测数据加以评估，是否符合国家和地方的标准也要由监测结果来评定。

无论从环境管理、污染治理、环境科学发展，还是从经济建设角度看，环境监测技术的发展都是至关重要的。森林环境监测工作不仅对森林环境自身的保护与发展有利，而且为保障工农业的发展与人类的生存具有重要意义。

我国的环境监测工作是随着 70 年代环境保护的兴起而发展起来的。于 20 世纪 70 年代中期开始建立的地方环境监测站，其主要工作是对污染的监测。森林环境监测起步更晚，从 80 年代初开始建立森林生态系统定位研究站，对森林生态环境变化进行长期监测研究，如监测研究森林群落演替、森林水文变化、土壤发育动态及生物多样性变化，同时长期监测 CO_2 浓度、悬浮微粒、SO_2 与酸雨等污染物的变化。到目前为止，林业系统在全国已布设了 11 个森林生态定位研究站，中国科学院也建立了几个森林生态系统定位站。现在全国各气候带与主要的森林类型中有了长期监测的站，这些站取得的数据不仅仅对本地区的环境变化，而且对全国的环境状况与环境保护提供了重要的依据。例如监测站测得的 CO_2 浓度的变化，对分析全国的 CO_2 浓度与增温趋势就非常重要。因为全国的森林生态站多数远离城市、远离污染源，在本为“净土”之地受到了污染，则可知全国的污染会达到何种程度。再如生态站的水文观察、水质分析、泥沙含量的测定，可对我国大江大河的流量、水

质、输泥输沙情况有本质的了解，对用水与修建水利工程都能提供重要的参考数据。

国外也很重视森林环境监测工作。诸如北美、北欧等国的森林调查，已从木材资源调查进入森林综合资源调查和森林环境监测。在森林连续清查（CFI）的固定样地与补充的临时样地调查中，注意收集病虫害、水土保持、雪崩等信息，开展酸雨、森林健康度、野生植物与野生动物资源的调查。瑞典根据环境保护部的要求，从 1975 年开始在 CFI 调查的同时开展了森林被害状况调查，主要调查苔藓中重金属的含量。同时利用 CFI 的样地开展土壤调查、植被调查和土壤理化分析。他们还把树木的被食害、风倒枯损木调查与生长量调查作为森林健康度环境监测的一部分。芬兰于 1986—1990 年开展了森林环境调查，在第八次国家森林资源调查时，对 7 万个临时样地中的 11000 个样地进行了落叶调查，对 3009 个固定样地进行了落叶、新叶年龄和树冠变色等森林活动的调查。

随着森林资源调查向包括森林环境调查在内的多目的的资源监测方向转移，国外已越来越重视时空信息的结合与分析。地理信息系统（GIS）是该领域的有效手段，是将遥感信息、地面调查和已有信息三者相结合的强有力的工具。在应用遥感技术时，只是有的国家侧重于航片，有的则采用卫片与航片相结合的方法。已有较多国家利用 GIS 绘制各种森林资源信息图。森林火灾与森林采伐带来的森林资源与环境的变化普遍利用了遥感与 GIS 技术。

我国获取全国森林资源监测信息主要依靠森林资源连续清查样地（固定样地加临时样地）的定期（5 年）调查，但调查的目的、方法与内容还基本停留在查清森林资源（木材资源为主）数量阶段，还没有发展到多目的森林环境监测阶段。在科学研究方面已开展一些。诸如在全国生态林业工程的国家科技攻关项目中，列有专项研究，有的专题中有森林环境的单项因子的观测与研究。而最重要的和有成效的森林环境监测的研究是在全国各森林生态系统定位研究站上进行的，有的已取得了一些较好的成果。

第二节 环境监测的对象与内容

环境监测应根据监测的目的、人力、物力、设备条件等选择监测的对象与内容。

一、环境监测的对象

环境监测的对象，通常包括污染源和环境状况两个方面。主要是对进入环境的各种污染物质进行监测。

（一）污染源

污染源通常包括如下几种：①工业污染源（主要监测对象）。当前我国规定工业污染源包括烟尘、工业废气、工业废水、工业废渣、工业粉尘、噪声、振动等。②交通污染源。③农业污染源。④医院污染源。⑤城市污染源。⑥污水灌溉污染源。

（二）环境状况

环境状况一般包括下列几方面：①水体。包括地面水（江、河、湖、水库、灌渠等水体的水质与水生生物）、地下水、海域、沿海滩涂、饮用水源。②大气。③噪声。④土壤。⑤作物。⑥水产品。⑦畜产品。⑧放射性物质。⑨电磁波。⑩地面下沉。（11）土壤盐碱化、沙漠化。（12）森林植被。（13）自然保护区。

二、环境监测的内容

环境监测的内容，决定于监测的目的。一般说来，具体的监测内容，应根据所在地区已知的或预计可能出现的污染物质的情况，被监测的环境要素的用途，以及环境标准的要求来决定。同时为了评价测定结果和估计污染扩散状况，还必须测定一些气象参数或水文参数。

（一）大气监测内容

大气监测内容包括：①灰尘（降尘或飘尘）。②二氧化硫（SO_2）。③碳氢化合物。④一氧化碳（CO）。⑤氢氧化合物。⑥臭氧（O_3）。⑦特殊地区的特殊项目，如有毒气体及放射性元素等。⑧气象要素（如风向、风速、气温、气压、雨量、相对湿度等）。⑨与光化学烟雾形成有关的太阳辐射、能见度等。

（二）水质监测内容

水质监测内容包括：①温度。②pH 值。③浑浊度。④电导率。⑤悬浮固体。⑥溶解氧。⑦生化需氧量。⑧化学需氧量。⑨总氧。⑩总磷。(11)有机毒物。(12)金属毒物。(13)大肠菌群。（14）水文（流量、流速、水深、潮汐）。（15）气象要素（风速、风向、日照强度、气温、湿度等）。（16）水生生物种类与数量等。

（三）底质监测内容

底质监测内容包括：①有机碳。②砷（As）。③汞（Hg）。④铜（Cu）。⑤锌（Zn）。⑥铅（Pb）。⑦镍（Ni）。⑧镉（Cd）。⑨铬（Cr）。⑩总氮。（11）总磷。

（四）土壤和植物监测内容

土壤和植物监测内容包括：①有毒金属化合物。②非金属无机物。③有机化合物。

（五）国务院环境保护办公室规定的必须监测内容

大气 SO_2、氮氧化合物、飘尘、降尘。

地面水 pH 值、悬浮物、总硬度、溶解氧、生化需氧物、氨态氮、亚硝态氮、氰化物、酚、砷、汞、铬。

地下水总硬度、总矿化度、硝态氮、亚硝态氮、氯化物、氰化物、酚、砷、汞。

第三节 环境监测的方法

一、环境监测的方法

（一）间断测定法

间断测定法是采用定期、定时、定点的一种间断性的人工操作方法。比如对河流水质污染的监测，一般一年进行两次。一次在枯水期，另一次在丰水期。测定时，将采集的水样拿到监测站分析。分析的方法大都采用手工操作的化学分析方法，如容量法、比色法等。大气污染的监测方法也是如此，定时、定期到监测点采样，然后到监测站分析与整理数据。这种方法测定的数据受人为因素的限制较大。瞬时间断地取样，不能全面反映河流水质与大气污染的连续变化情况，同时，从采样、分析得出数据结果所需的时间很长，所得资料不能及时用于控制环境污染。

（二）连续测定法

这是运用各种现代化分析仪器和技术，对环境污染进行自动化、连续性地由仪器操作监测的一种方法。例如激光雷达、红外线照像，甚至利用人造地球监测卫星、通讯卫星等进行环境监测。这种监测方法快速、灵敏、准确，而且连续、自动。

森林环境与其他生态系统的环境很不相同。一般说来森林环境比较稳定，受到外界进入的污染物影响时，变化慢，并有一定的缓冲作用。因此，对森林土壤与流过林中的河流进行监测，只需在雨季与旱季各进行一次，但在早春当地主要树种未放叶前与早秋树木还未落叶前，需各作一次补充测定。至于林中大气的监测，一般是连续自动采样，进行不间断地测定。

二、环境监测的分析仪器

1.小型轻便携带仪器：如 SO_2、CO、NO_2、H_2S、氟化物等测定仪、测氧仪、测汞仪、水质监测仪等。该类仪器的特点是：轻便、准确、灵敏，适于野外及单项测定。

2.实验室使用仪器：如光谱仪、极谱仪、原子吸收分光光度计、气相色谱仪、液相色谱仪、色谱一质谱仪、紫外线分光光度计，X 射线荧光光谱仪、中子活化分析能谱仪、荧光分光光度计等。该类仪器的特点是精密、复杂，可测定多种有毒物质。如原子吸收分光光度计能测 70 多种金属元素。气相色谱仪可测几十种甚至上百种有机化合物，它们适于大型实验室或科研用。

3.多项或单项自动连续监测装置：如水质综合监测仪，可测到几十个项目。这类仪器大都是用色谱、光谱、电化学等原理设计的综合装置。此外，还配有电子计算机数据处理系统，可按评价方法报出污染情况。

4.大气监测站通常配备的仪器：

（1）自动记录测定仪 主要有 SO_2、NO_2、碳氢化合物、飘尘、CO、O_3 等自动测量仪器。

（2）气象测量仪器 主要有风速、气温、湿度等自动记录仪，以及降尘缸、检测管及监测试纸等。

5.水质监测通常配备的仪器：

（1）测定水质的物理、化学指标 一般用温度计、浓度计、电导仪、pH 计、溶解氧测定仪等。

（2）测定水质中有机毒物 一般用气相色谱仪、原子吸收分光光度计、72 型分光光度计、火焰光度鉴定器，离子选择性电极、紫外与红外分光光度

计等。

三、环境监测结果的表示方法

环境监测可取得大量数据。如何利用这些数据为环境保护服务，则应根据问题的性质和要求的深度，有不同的应用方法。现就最常用的方法介绍如下：

（一）列表法

将监测数据分类汇总、排列成各种表格，编成报告书或年鉴形式，显示出不同时间、空间的环境污染状况。这种表示方法具有准确、详细的优点，对专业工作者十分有用。将这些数据分析加工，可以获得环境中很多信息。由于环境污染变化大多属于渐变，积累多年的数据观察其动态变化，可以发现其趋势和问题，为进一步选择监测目标，进行深入研究提供依据。我国许多城市已用此方法编写《环境质量报告书》。日本东京在 20 世纪 80 年代初就编有《从数据看污染》的报告。这是一种可取的方法。

（二）图示法

为使环境污染状况更为直观，特别是使非环境专业人员以及与环境问题有关的部门可以得到清晰与醒目的概念，根据污染物时间、空间分布情况，可以绘制不同的图形。在空气监测中，常用的图形有各种污染物浓度的频率百分位数分布图；年平均、最大日、最大时污染值与标准的比较图；一年内月均值变化图；一日内时均值变化图；风玫瑰图；污染玫瑰图；污染系数玫瑰图；污染数据等值线图；污染值网格分布图等。在水监测方面，有污染物排入水体通量图；各种污染物的年、月均值变化图；河流污染程度分级图；各种污染物污染均值与标准值比较图等。

（三）指数法

环境监测中的任何一个要素，其质量好坏，常由许多因素决定。而一个环境质量的总体，又由组成环境的各个要素部分所组成。因此，无论从总体上还是从各要素上说明环境质量的好坏，都需要将各个因素加以综合，才能准确评价。环境监测与评价工作者，研究了建立各种指数的方法，用以综合说明环境质量。指数法具有简单明了的作用。指数是无量纲值，还可以将它按大小划分为不同的等级，表示其好坏程度。

第四节 生物监测

一、生物监测的概念和意义

（一）生物监测的概念

利用生物在各种污染环境中所发出的各种信息，来判断环境污染的状况，即通过观察生物的分布状况、生长、发育、繁殖状况、生化指标及生态系统的变化规律，来研究环境污染的情况、污染物的毒性，并与物理、化学监测和医药卫生学的调查结合起来，对环境污染做出正确评价，这就是生物监测（biological monitor－ing）。它是环境监测的重要组成部分。

目前，关于生物监测的定义尚不统一，有的学者认为用“生态监测”（ecologi－cal monitoring）的名称为好。现在大体有以下几种看法：

1.生物监测包括着生态监测。持这种观点的理由是，生物监测就是系统地利用生物反应以评价环境的变化，并把它的信息应用于环境质量控制的程序中去。从生物学组建水平观点出发，各级水平上都可以有反应，但重点放在生态系统的生物反应上（沈韫芬等，1990）。

2.生态监测是生态系统层次的生物监测。持这种观点的人认为，生态监测就是观测与评价生态系统对自然变化及人为变化所做出的反应，包括生物监测和地球物理化学监测两方面内容（刘培哲，1989）。

3.生态监测是比生物监测更复杂、更综合的一种监测技术。其观点是，从学科上看，生态监测属于生物监测的一部分，但因它涉及的范围远比生物学科广泛、综合，因此可以把生态监测独立于生物监测之外（王焕校，1986）。

实际上，无论是生物监测还是生态监测，都是利用生命系统各个层次对自然或人为因素引起环境变化的反应来判定环境质量，都是研究生命系统与环境系统的相互关系，这无疑又都属于生态学研究范畴。目前人们所说的生物监测，实际上大多都是生态监测。但由于在过去的教科书上与环保工作中通常的提法都用“生物监测”一词，约定俗成，因此在本书中仍称之为生物监测。

（二）生物监测的意义

生物监测是20世纪初步发展起来的。其标志是科尔克威茨和马森提出的污水生物系统。这一系统为运用指示生物评价污染水体自净状态奠定了基础。其后，克列门茨（Clements，1920）把植物个体及群落对于各种因素的反应作为指标，应用于农、林、牧业。他（1924）还主张把植物作为高效的测定仪器，积极提倡植物监测器（plant monitor）。50年代，许多学者进行了深入研究，到70年代后使生物监测成为活跃的研究领域，并在理论与监测方法上更加丰富，在环境监测中占有了特殊的地位。生物监测有物理和化学监测所不能替代的作用和所不具备的一些特点，主要表现在：

1.能综合地反映环境质量状况。环境问题是相当复杂的，某一生态效应常是几种因素综合作用的结果。如在受污染的水中，通常是多种污染物并存而每种污染物并非都是各自单独起作用，各类污染物之间也不都是简单的加减关系。理化监测仪器常常反映不出这种复杂的关系，而生物监测却具有这种特征。

2.具有连续监测的功能。用理化监测方法可快速而精确地测得某空间的许多环境因素的瞬时变化值，但却不能以此来确定这种环境质量对长期生活于这一空间内的生命系统影响的真实情况。生物监测具有这种优点。因为它

是利用生命系统的变化来“指示”环境质量，而生命系统各层次都有其特定的生命周期，这就使得监测结果能反映出某地区受污染或生态破坏后累积结果的历史状况。事实证明，植物这种连续监测的结果远比非连续性的理化仪器监测的结果更准确。如利用仪器测某地的 SO2，其结果是 4 次痕量、4 次未检出，仅一次为 0.06mg；但分析生长在该地的紫花苜蓿叶片，其含硫量却比对照区高出 0.87mg/g。有些生物监测结果还有助于对某地区环境污染历史状况的分析。这也是理化监测所办不到的。

3.具有多功能性。通常，理化监测仪器的专一性很强，测定 O_3 的仪器不能兼测 SO_2，测 SO_2 的也不能兼测乙烯（C_2H_4）。生物监测却能通过指示生物的不同反应症状，分别监测多种干扰效应。例如植物受 SO_2、PAN（过氧乙酰硝酸酯）和氟化物的危害后，叶的组织结构和色泽常表现出不同的受害症状。

4.监测灵敏度高。生物监测灵敏度高包含两种含义：从物种的水平上说，是指有些生物对某种污染物的反应很敏感。如有一种唐昌蒲，在氟化物为 10^{-8} 时，20 小时后就出现反应症状。据记载，有的敏感植物能监测到氟化物为 10^{-9} 的污染，而现在许多仪器尚未达到这样的灵敏度水平。另外，对于宏观系统的变化，生物监测更能真实和全面地反应外干扰的生态效应所引起的环境变化。比如外干扰对森林生态系统的影响都因系统的功能整体性而产生链锁反应。如果这种外干扰是大气污染，它将影响森林植物的初级生产力，采用理化的方法可对此予以定量分析。然而，初级生产力变化使系统内一系列生态关系的改变才是大气污染影响的全部效应，也是干扰后该系统的真实的环境质量状况。森林生态系统的各组分对系统功能变化的反应也是很敏感的。因此，只有通过生物监测才能对宏观的生态系统的复杂变化予以客观的反映。

当然，生物监测在理论和方法上仍有许多问题亟待解决，也还有一些缺陷，其主要表现是：

第一，生物监测不能像理化仪器那样迅速作出反应，从而可在较短时间内就能获得监测结果。也不能像仪器那样能精确地监测出环境中某些污染物的含量，它通常反映的只是各监测点的相对污染或变化水平。

第二，外界各种因子容易影响生物监测的结果和生物监测性能。比如 SO_2 对植物的危害受气象条件影响很大。

第三，生物生长发育、生理代谢状况等都有制约干扰的作用。相同强度的同种干扰对处于不同状况下的生物常产生不同的生态效应。一般说来，植物在年幼阶段或在年发育周期的放叶、开花阶段对污染反应最敏感，受害也最重，而在成年和成熟期的敏感性就明显降低。

第四，指示生物同一受害症状可由多种因素造成，这就增加了对监测结果判别的困难性。如许多植物的落叶、矮态、卷转、扭曲等，大气氟化物的污染和低浓度除草剂的施用均可造成上述异常现象。SO_2 对植物的伤害往往与霜冻或无机盐缺乏的症状很相似。

但是，尽管生物监测还存在一定的局限性，它在环境监测中的地位和作用仍然是非常重要的。通过生物监测可揭示和评价各类生态系统在某一时段的环境质量状况，为利用、改善和保护环境指出方向。其次，由于生物监测更侧重于研究人为干扰与生态环境变化的关系，可使人们搞清哪些活动模式既符合经济规律又符合生态规律，从而为协调人与自然的关系提供科学依

据。另外，通过生物监测还能掌握对生态环境变化构成影响的各种主要干扰因素及每种因素的贡献。这既能为受损生态系统的恢复和重建提出科学依据，也可为制定相应的环境管理计划，增强环保工作的针对性与主动性，并为提高措施的有效性服务。最后，由于生物监测可反馈各种干扰的综合信息，所以使人们能依此对区域生态环境质量的变化趋势作出科学预测。

二、生物监测的基本要求

与理化监测不同，生物监测有些特殊要求，明确与掌握这些基本要求对顺利开展工作是有益的。

1.样本容量要满足统计学要求。因受环境复杂性和生物适应多样性的影响，生物监测结果的变异幅度往往很大。要使监测结果准确可信，除监测样点设置和采样方法要科学、合理和具有代表性外，样本容量应满足统计学的要求，其监测结果原则上都需要进行统计学的检验。否则，不仅浪费大量的人力、物力，而且容易得出不符合客观实际的结论。

2.要定期、定点连续观测。生物的生命活动具有周期性特点，如生理节律，日、季节和年周期变化规律等。这就要求生物监测在方法上应实行定期的、定点的连续观测。每次监测最好都要保证有一定的重复。切不可以一次监测结果为依据对监测区的环境质量给出判定和评价。

3.综合分析。对监测结果要依据生态学原理进行综合分析。所谓综合分析，就是通过对诸复杂的关系进行层层剥离，找出生态效应的内在机制及其必然性，以便对环境质量作出更准确的评价。综合分析过程既是对监测结果产生机理的解析，也是干扰后生态环境状况对生命系统作用途径和方式以及不同生物间影响程度的具体判定。

4.要有扎实的专业知识和严谨的科学态度。生物监测涉及面广，专业性强，监测人员需要有娴熟的生物分类与生态知识。根据国家环保部门的有关规定，凡从事生物监测的人员，必须经过技术培训和专业考核，必须具有一定的专业知识及操作技术，掌握试验方法，熟悉有关环境法规、标准等技术文件。要以负责的态度保证监测数据的准确、完整，确保监测结果的客观性和真实性。

三、野外生物监测的基本方法

野外生物监测的方法主要有指示生物法与群落（生态系统）的生物监测。由于后者多用于水域监测，所以这里只重点介绍指示生物法。

指示生物法自古有之。我国劳动人民早就懂得用植物的特征来指示土壤的肥瘠、地下水的深浅、气候变化和地下有无矿藏等。人们在下枯井或矿井前，先用绳子缚一只鸡于井中，以鸡的死活来探查井中是否存有毒气。与上述方法相比，现代的指示生物法则向着更细致、确切和定量化的方向发展。

指示生物法是利用指示生物（indicator organism）来监测环境状况的一种方法。所谓指示生物，就是对环境中某些物质，包括污染物的作用或环境条件的改变能较敏感和快速地产生明显反应的生物，通过其所表现的反应可了解环境的现状与变化。

（一）指示生物的基本特征

生物监测中所说的指示生物，通常都具有以下的基本特征：

1.对干扰作用反应敏感且健康。即对某种异常干扰作用在绝大多数生物尚未作出反应的情况下，指示生物中健康的个体却出现了可见的损害或表现出某种特征，有着“预警”的功能。由于生物种类很多，不同生物甚至同种

生物不同品种和亚种对同一干扰的反应都不同。因此，要根据监测对象和监测目的挑选相应的敏感种类和指示生物。

2.具有代表性。从指示效果的角度要求，指示生物的适宜性越窄越好。但这样的生物在群落中的数量与分布区很小。因此，指示生物除具有敏感性强的特点外，还应是常见种，最好是群落中的优势种。

3.对干扰作用的反应个体间的差异小，重现性高。许多生物个体差异很大，若以此作为指示生物，往往会影响监测结果的准确性。指示生物应是个体间差异小的种类，方能保证监测结果的可靠性和重现性。用作指示植物的植物，最好选用无性繁殖的植物。这类植物在遗传性上差异甚小，可保证获得较为一致且可比的监测结果。

4.要具有多种功能。即尽量选择除监测功能外还兼有其他功能的性能，达到一举多得的目的。如有的有经济价值，有的有绿化与观赏价值等。国内外在大气污染的监测上，常选用唐昌蒲、秋海棠、牡丹、兰花、玫瑰等，都达到了既可观赏、获得经济效益，又能达到报警的目的。

（二）指示生物的选择方法

选择指示生物时，首先要考虑的是生物的敏感性问题，然后再研究选择方法。

1.生物敏感性的划分。指示生物的选择，首先是生物敏感性的（或抗性的）分级标准。同一种生物，由于采用的标准不同，所归入的敏感性等级就不同。如在植物敏感性的标准划分上，有时是根据植物最后的经济效益来断定的，有时则根据叶片的受害程度来划分。国内外对于生物敏感性的划分还没有统一的分级标准，有的采用“三级制”，即敏感（或抗性弱）、抗性中等和抗性强；也有的采用“四级制”，即把抗性中等再细分为较敏感的和抗性较强两级。植物各抗性级的划分如下：

（1）敏感 这类植物不能长时间生活在一定浓度的有害气体污染环境中。否则，植物的生长点将干枯；全株叶片受害普遍、症状明显，大部分受害叶片迅速脱落；生长势衰弱，植物受害后生长难以恢复。

（2）抗性中等 这类植物能较长时间生活在一定浓度的有害气体环境中。在遭受高浓度有害气体袭击后，生长恢复慢，植株表现出慢性中毒症状，如节间缩短、小枝丛生、叶形缩小以及生长量下降等。

（3）抗性强 这类植物能较正常地生活在一定浓度的有害气体环境中，基本不受伤害或受害轻微，慢性受害症状不明显。在遭受高浓度有害气体袭击后，叶片受害轻或受害后生长恢复较快，能迅速萌发出新枝叶，并形成新的树冠。

江苏省植物研究所曾对60余种木本植物的实生苗进行过SO_2人工熏气试验。依据经$20\times10^{-5}SO_2$熏气后受害叶面积的百分比，把植物的敏感性分为四级：Ⅰ级——抗性强，受害面积为0%～7%；Ⅱ级——抗性较强，受害叶面积为7%～25%；Ⅲ级——抗性中等，受害叶面积为25%～65%；Ⅳ级——抗性弱，受害叶面积为65%～100%。

2.指示生物选择方法。常用的选择方法有以下四种：

（1）现场比较评比法 此法适用于植物或运动性很小的生物。选取排放已知单一污染的现象，对污染源影响范围内的各类生物进行观察记录。对用于大气污染监测的植物来说，特别要注意叶片上出现的伤害症状特征与受害

面积，比较后评比出各自的抗性等级。凡敏感植物（即受害最重者）就可选作指示植物。这种方法简单易行，其缺点是受野外条件下各种因子复杂作用的影响，易造成个体间的不一致性，而影响选择结果。另外，对专业知识与经验要求高。

（2）栽培或饲养比较试验法此法适用于动、植物。将各种预备筛选的生物进行栽培或饲养，然后把这些生物放置在监测区内，观察并记录其生长发育状况与受害反应。经一定时间后，评定各种生物的抗性，选出敏感生物。此法由于环境条件比较一致，对敏感种类的筛选效率与准确性比现场评比要高。

（3）人工熏气法此法对于动植物均适用。将需要筛选的生物移植或放置在人工控制条件的熏气室，把所确定的单一或混合气体与空气相混均匀后通入熏气室内，依不同要求控制熏气时间。熏气罩有开顶式熏罩或田间全开放式熏气系统。此法的优点是在人工控制试验条件下，能较准确地掌握生物的反应症状。

（4）浸蘸法浸蘸法适用于植物，特别适用于对大量植物的初选。即人工配制某种化学溶液，浸蘸生物的组织或器官，如浸蘸 H_2SO_3（亚硫酸）可产生 SO_2 熏气的效果。试验证明，此法所得结果与人工熏气法基本相同，而且具有简便、省时和快速的优点。

（三）利用植物监测大气污染

有的植物对大气污染极为敏感，因而可作为环境质量的指示植物；有的植物体内污染物的积累，不仅可作为污染程度的指标，还可以作为污染物历史情况的见证者。因而除用仪器或化学分析方法来监测大气质量外，植物也可用来监测大气，这一点已被重视。

植物对大气污染的反应，根据其是否出现可见的受害症状，分为可见症状与不可见症状两类。可见症状又分为急性中毒和慢性中毒两种。急性中毒可以在几十分钟至几十小时内出现中毒症状，如叶片出现“水浸”状斑点，叶缘卷曲，叶尖干枯，叶片或植物的局部组织坏死。这种受害状况常和污染气体的流问有关，并随毒物和植物种类以及毒物的浓度不同而有差异。慢性中毒是指植物长时间暴露在低浓度的污染环境中，使局部组织坏死或产生缺绿、变色等症状。一般来说，慢性中毒的症状比急性中毒更具有典型性。

引起植物产生可见症状的污染物的最低浓度称为受伤阈值，它随植物种类和暴露时间而异。随着暴露时间延长，阈值浓度降低。植物受害程度还受很多其他条件的影响，如植物在不同的生长发展时期对污染物的抗性不同，气孔的开闭对污染物进入体内的数量有影响。而气孔的开闭又与土壤水分、空气的湿度、空气的温度以及阳光等外因有关。进入植物体内的污染物可以与植物代谢产物结合，在酶的作用下被氧化分解，有的可以转化成植物生命活动所必需的物质，有的则可以重新排出体外。植物本身具有一定的解毒能力，但当浓度超过阈值浓度时，植物的生长就受到影响。

1.可见伤害症状的应用。植物受大气污染物影响后，随植物对污染物抗性的不同，发生不同的反应。在污染物浓度较低时，一些敏感的植物会出现可见伤害症状。例如唐昌蒲白雪公主品种，在氟化物浓度 10^{-10} 以上时就会出现可见危害。一些抗性中等的植物可以在污染物浓度稍高的情况下，出现中等症状。在一个污染区域，如果只有敏感植物出现可见症状，则说明污染是轻微的；当中等敏感植物受害时，表明污染是中度的。在严重污染时，敏感

植物绝迹，中等抗性植物可出现明显症状，甚至抗性较强的植物也可出现部分症状。因此，不同植物出现的可见症状及天然植被的分布，可以作为污染状况的一种指示器。近年来，开始应用一些敏感植物作为污染的生物监测器，可用相对定量的办法来确定污染等级和污染情况。较为成功的是一种烟草品种 Bel-W_3，如图 4-1 表示这个品种在 O_3 浓度超过 4×10^{-8} 的累计时数与伤害百分数的关系。由于植物受害程度与遗传特性及栽培条件有关，故生物监测器不易做到一致，在应用上也受到一定限制。同时，可见伤害症状还要与病虫害、冻害等非污染伤害同时进行鉴别诊断。

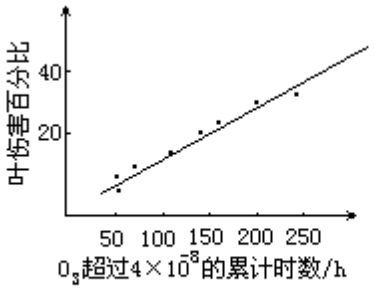


图4-1　Bel-W_3烟草品种接受O_3剂量和叶伤害的关系

（引自：吴鹏鸣主编《环境监测原理与应用》，1991年版，第469页）

2.指示监测植物的实际应用。自然界中有些植物对大气污染十分敏感，而且很快在植物体上表现出受害症状，这样的植物可用来作大气污染的监测器，以指示大气污染的程度。这样的植物，称为大气污染指示监测植物。

（1）敏感指示植物的应用 这类植物有木本也有草本，都属于高等植物，它们对有害气体十分敏感。比如大气中的 SO_2 浓度在（3～5）$\times10^{-7}$ 时，HF 浓度在 10^{-10} 时，敏感植物就能产生明显的症状。因此利用敏感指示植物来预报大气污染程度，是很经济有效的（表 4-1）。

表 4-1 对主要污染物敏感的植物及其反应的浓度①

污染物	反应浓度	敏感植物
SO_2	＜（0.25～0.3）$\times10^{-6}$ 不引起急性中毒（0.1-0.3）$\times10^{-6}$ 长期暴露可慢性中毒	紫花苜蓿、大麦、棉花、小麦、三叶草、甜菜、莴苣、大豆、向日葵
HF	最敏感的植物在 10^{-10} 即有反应；在叶中浓度达到（50～200）$\times10^{-6}$ 时，敏感植物出现坏死斑	苎草、唐昌蒲（浅色的更敏感）、郁金香、金乔麦、玉米、玉簪、杏、葡萄、雪松、落叶松
O_3	在（0.02～0.05）$\times10^{-6}$ 时最敏感，植物可产生急性或慢性中毒	烟草、番茄、牵牛花、菠菜、马铃薯、燕麦、丁香、秋海棠、女贞、梓树等
PAN②	在（0.01～0.05）$\times10^{-6}$ 时最敏感，可产生植物危害，也可引起植物早衰	矮牵牛花、早熟禾、长叶莴苣、番茄、芥菜等

①资料来源：朱忠保编著《环境生态保护学》，1992 年版。

②表中 PAN 为过氧乙酰硝酸酯。

近年来，利用敏感指示植物监测大气污染的工作已经开展，如沈阳化工厂、无锡电化厂在厂区内遍植桃树等对 Cl_2 敏感的植物，以便及时发现跑、冒、滴、漏等事故。

中南林学院在化工厂、冶炼厂对十几种植物进行了“大气污染植物监测和监测植物的筛选”试验。通过试验，他们认为，监测植物选择标准应遵循下面三条原则：

第一，监测植物必须对有害气体有极强的敏感性。

第二，监测植物必须具有污染受害后有较强的再生能力。

第三，监测植物以草本和小灌木植物为好，便于培养、移栽，成本也较低。

（2）地衣作为生物监测器 地衣是一种真菌与藻类共生的低等植物，对大气污染极为敏感。可以根据地衣天然的种属分布来区别污染情况。如里布莱恩（LeBlanc）等人根据地衣在污染地区天然分布的频率和盖度，来计算大气清洁指数和评价大气质量。

将附有地衣的树皮移植到污染地区，观察它们的变化，同样可以表明大气的污染程度。将地衣移植到不同污染等级的区域，结果发现在 SO_2 年平均浓度超过 0.03×10^{-6} 的区域，地衣发生了急性中毒；在（0.006～0.03）$\times10^{-6}$ 的区域，地衣发生了慢性中毒；只有在低于 0.002×10^{-6} 的区域，地衣没有受伤害。此外，还可根据能生存的地衣种类作为大气中 SO_2 浓度的指示植物。

（3）植物体内污染物含量用于大气污染监测植物的不同器管（叶片、树皮等）可以吸收和积累有关污染物，因而常被用作大气监测的材料。在没有出现伤害症状时，植物分析也可指示污染物的浓度和污染情况。植物有高度的富集作用。即使在污染很轻微的地区也能监测到有关资料。另一方面，植物可以不断地吸收污染物，能作为长期平均浓度的采样器。自动监测仪器只能通过设点在有限的范围内得到相应的数据。在仪器监测的基础上，配合植物监测将能得到更全面的资料。树木是多年生植物，年轮是历史上不同年份形成的。年轮中所积累的有关污染物可以反映相应年代的污染情况。特别是在一个地区历史监测资料不足的情况下，更有参考价值。

植物监测除了常用于监测大气污染外，还用来监测水体污染。研究与实践说明，利用藻类监测水体有较好的效果。这是由于藻类群落的性质和数量，能依水的化学组合成分而变化。不同污染状况的水体中，有不同种类和数量的藻类出现。反之，不同种类与数量的藻类又是水体污染不同状况的外貌反映。这就是利用藻类监测水体污染状况的原理。在实际监测评价中，要找出污染情况与藻类生长状况的关系。例如水体富营养化就是由于水体受污染，氮磷含量较高，使水体中原有的藻类组成发生变化，藻的种类逐渐减少，而个体数则迅速增加；与此同时，水体中的藻类以硅藻的绿藻为主，转变为以蓝藻为主。因此，研究水体中藻类的种类、数量，以及它们的生理、生化与对毒性的积累特点，并研究藻类这些特征、特性的变化与水体中污染物种类、浓度的关系，就能较好地利用藻类监测水体污染状况。

第五节 森林环境监测

由于森林环境监测的内容分为两大类，监测的方法也分为不同的两类：一是生态效能的监测，另一是环境污染的监测。由于森林环境污染监测与一般环境污染监测方法相同，这里仅讨论森林生态效能变化的监测（森林环境变化监测）。

森林环境具有的生态效能包括涵养水源、保持水土、防止土地沙化、防止土壤退化等。由于森林群落与森林环境是相互关联的统一体，因而森林群落的破坏也必然带来森林环境的损害。由此可知，在进行环境监测时，需同时监测森林群落的变化。

森林环境变化监测主要是针对土地利用、森林作业、森林火灾范围与强度，以及与森林环境变化有关的其他各种干扰行为带来环境变化的定期、动态的监测。比较理想的监测方法是遥感判读与地面调查相结合。此法可在一个地区或一个流域的较大范围内掌握森林环境的动态状况。在一定面积范围内，根据遥感信息可按针叶林、阔叶林、针阔混交林、农田、草地、水域等土地利用分类来把握土地利用现状与变化。实际工作中可利用地理信息系统（GIS）技术提高遥感分类精度，建立有地面调查成果和航片判读信息检验的森林环境监测体系。森林作业有皆伐、择伐、抚育采伐等，森林环境监测则主要是掌握森林作业面。目前遥感只能判读一定面积以上的皆伐与一定强度以上的择伐和间伐。随着遥感技术的发展，预计未来遥感可以达到森林环境监测的目的。森林环境变化还与病虫害、风害、雪害、造林保存率与林分郁闭度变化等自然的和人为干扰的影响有关，需要对森林演替，森林活力与健康度及酸雨等进行监测。

将一个地区的各种土地利用状况，森林生态系统各组分与主要环境因子的信息汇总建立 GIS 模型。只要将不同时期获取的遥感信息与地面调查所得的森林环境因子变化的数据送入数据库中，则 GIS 模型可告知森林环境变化状况与所带来的生态效能现状，并可进行预测。建立在 GIS 和森林生长模型基础上的地区（或流域的）森林资源管理信息系统，同时综合了森林的自然、社会与经营信息，具有森林多功能评价（包括森林生态效能评价）、信息更新和综合管理功能。

第六节 森林环境规划

一、森林环境规划的目的与意义

森林环境规划是人们为使森林环境保护与森林资源合理利用和与当地的经济协调发展，而对森林的开发活动及其对环境的影响、环境的保护与发展，所做的合理安排。它是经济与社会发展规划的组成部分。这是在应用各种科学技术信息，在预测发展对环境影响的基础上，为了达到预期的环境目标，进行综合分析作出的森林环境保护和改善的最佳方案。

人类的社会经济活动必须遵循经济规律及生态规律，实行环境与经济发展相协调的持续发展战略，以促进社会生产力的持续发展和资源的永续利用。因此，森林环境规划的目的也就在于调控森林的开发活动，防止生态破坏，减少污染，保护森林的再生与发展能力，使产业林、商品林越采越多，越采越好；使公益林能更好地发挥生态效益与社会效益，为当地与国家的社会经济发展发挥更大的作用。

一般来说，环境规划应该包括对人类开发活动的要求和环境状况的规定。前者是指确定发展合理的生产规模、产业结构和布局，采取先进的生产工艺与技术，实行正确的产业政策和措施，提出必需的环境保护资金等；后者是指要确定环境质量目标和生态环境状况的要求。

环境规划的作用在于，它可指导各项环境保护活动的进行，可用最小的投资获取最佳的环境效益。由于森林环境规划是与当地的生态规划融为一体的，一般说来，森林环境规划是生态规划的主体。因此，森林环境规划有着重要的经济与生态意义，它使环境保护活动纳入国民经济和社会发展计划，对促进生态环境建设与经济、社会的持续发展起着重要的作用。

二、森林环境规划制定的原则

森林环境规划制定的主要任务是解决当地经济发展与保护森林资源及其环境之间的矛盾，达到既促进和保证经济的持续发展，又能保护和改善环境质量，保证人民的身体健康，实现森林资源、经济、社会和环境的协调发展。在制定环境规划时应注意正确处理局部与整体，眼前利用与长远利益的关系，做到瞻前顾后，统筹兼顾。因此，森林环境规划是一个地区总的经济社会发展规划的一部分，更是生态规划的主体。就森林开发利用与发展规划来说，森林环境规划是它的核心，一定要扭转过去的“林业总体规划设计”的错误认识与做法，不能只考虑木材利用，不考虑森林多资源的利用与发展；不能只考虑森林采伐与更新，不考虑森林生态系统尤其是森林环境的保护与森林多种生态效益的发挥。因此，森林环境规划的直接目的就是，在森林资源利用的同时，能保护好森林环境并不断改善森林环境，维护生态平衡，并在此基础上发展森林资源，提高森林的经济效益、生态效益和社会效益。为此，在规划时，应考虑以下几个原则：

（一）坚持经济建设和森林环境保护同步规划

一个地区在制定经济建设规划时，必须将森林环境保护规划同时制定，同时实施。使二者不发生矛盾，而是相互促进。这在林区显得更为重要。因此，一个地区的经济建设规划必定包括农、林、牧、工、副等各方面的发展计划，而这些都无一不涉及到森林，涉及到森林多资源（木材、野生动植物、水、土地等）的利用。森林多资源的利用方式与利用量直接影响到环境，而环境保护的好坏，又反过来影响到森林多资源的发展。

（二）考虑当地生态环境的脆弱度与森林资源的特点

森林环境规划在不同地区是不一样的，目标、性质与内容都不会一样。首先要考虑的是当地生态环境的脆弱度。我国地域辽阔，地跨五个气候带，地形条件相差也很大。西北与华北地区的气候干旱、少雨、风大，森林破坏后不易恢复。森林破坏后会使环境很快恶化，即生态环境脆弱度很高，环境的改善也困难得多。比如西北地区恢复植被后形成 1cm 厚的土壤要 100～200 年，而在东北长白山林区只需要 10～20 年。显然，进行森林环境规划时，会有不同的内容与近期目标。

我国森林类型多样，它们所处的立地条件、群落结构以及生产力都不同，因而它们所发挥的作用也就很不一样。现在，我国将森林划分为产业林与公益林两大类，它们的培育目标与功能不同，当然在进行森林环境规划时，保护和改善环境的方向、途径和措施也就有明显的差异。因此规划时必须考虑当地的生态环境与森林资源特点及培育目的。

（三）顾及森林环境规划与社会经济结构的一致性

社会经济结构的特点与差异，尤其是经济发展水平的不同，可影响森林开发利用的方式与强度，同时，对环境的破坏产生不同的影响，环境保护与建设的水平也不一样。因而在进行森林环境规划时，应考虑当地社会经济结构与水平的特点。由于规划具有较长的时期与分阶段目标，因此，不同的时期，社会经济状况就不一样，因而规划应是动态的，以便能更好地符合实际状况。

（四）体现环境保护方针与环境综合整治思想

森林环境规划与其他的环境规划一样，应遵循中国环境保护工作方针：全面规划、合理布局、综合利用、化害为利、依靠群众、大家动手，保护环境，造福人民。森林环境规划应与其他农、牧、水、工业等的环境规划结合起来，与当地总的环境综合整体规划结合起来。只有这样，才能使森林环境发挥良好作用，森林环境保护也才能落到实处。

三、森林环境规划的类型

从目前国内外环境规划研究取得的成果来看，环境规划可分为三种类型，森林环境规划也不例外。

（一）经济制约型的环境规划

这种环境规划是为了满足经济发展的需要。环境保护服从于经济发展的要求，一般表现为在经济发展过程中出现了环境问题，为解决已发生的生态破坏与环境污染而制定的环境保护规划。这是针对工农业生产等的人类活动对环境造成的破坏或污染而规定的防治目标和措施。比如森林在受到火灾破坏，或因开矿、建厂、林区修建水库、发电站等而采伐大面积森林，使森林环境受到严重破坏时，或因附近工厂排放大量有毒气体、废水，而使森林遭受毒害者，此时的森林环境规划应包括工业污染控制规划、林火防治规划、森林更新恢复规划等内容。这种规划类型是被动的，是尽可能使森林环境少受破坏，尽可能在破坏后恢复得快一些。

（二）协调型的环境规划

这种环境规划是为了促使经济与环境之间的协调发展，是期望实现这一双重目标而制定的规划。在当今资源与环境都在不断破坏，资源走向枯竭、环境不断恶化的情况下，一个地区的经济发展必须面对资源与环境问题，应把资源开发、经济发展、环境保护三者放在一起进行规划。这是当前迫切需

要做的事情。森林环境规划应是有全国性的与地区性的，它应与全国经济发展要求与地区经济发展规划相一致。规划中应确定在一定期间内所能提供开发的森林资源，并确定森林环境保护与恢复的内容、方法及投入。

（三）环境制约型的环境规划

这种环境规划是从充分地、有效地利用环境资源出发，同时防止在经济发展中产生环境污染与生态破坏，建立环境保护目标，制定环境保护规划。这种环境规划充分体现了经济发展服从环境保护的需要。经济发展的目标是建立在环境保护基础上，即经济发展受环境保护的制约。

目前，仅有在制定森林自然保护区，禁猎区（为了保护野生动物而划定的），或禁伐区，保护森林涵养水源区，森林旅游区或森林公园等的环境规划才属于这一规划类型。即将森林环境保护放在首位，资源利用服从于环境建设。森林环境是不容许有任何破坏的，只应该不断改善，提高环境质量。但这些属于这一规划类型的森林，终究面积较小，不及全国森林总面积的 10%。自“七五”计划开始启动大范围防护林体系建设以来，全国已在进行十大林业生态工程建设，大面积营造水土保持林、防风固沙林，加之 1998 年 7 月开始实施《国有林区天然林保护工程》计划，大面积的原始林与次生林停止采伐，予以保护，这些森林的面积将占全国森林总面积的一半以上。保护它们的环境，发挥这些森林的环境效能已是很受关注的问题。因此，森林环境的研究已比任何历史时期更引人注目，其中的森林环境规划问题也将倍受重视。在一个地区的林业规划中，它将占有一个重要的位置。

四、森林环境规划的程序与内容

（一）森林环境规划的程序

森林环境规划既要考虑森林环境本身，又要考虑与区域环境的关系，即把森林环境规划纳入区域环境规划之中。因为森林不是一个孤立的生态系统，它既影响着其周边的生态系统，又受到周边生态系统的影响。在编制森林环境规划时，宜按以下程序进行：

1.制定森林环境规划工作计划。即在进行森林环境规划之前首先得制定一个工作计划，对整个规划工作进行组织和安排。要尽可能地收集已有的相关资料，组织好人力、准备好仪器设备与交通工具，安排好外业与内业时间。

2.森林资源与环境现状调查、分析与评价。包括规划范围内的森林结构特点、生长状况、郁闭度、生物多样性状况与环境质量状况（地形条件、土壤性状、土壤侵蚀状况、土壤水分状况、林木与土壤受污染状况等）的调查，同时还要调查森林周边的土地利用现状，有无污染以及社会、经济条件等，了解森林环境质量现状，并分析受干扰的原因、作出初步评价。

3.森林环境预测。在掌握已有测定资料与现状调查的基础上，根据当地社会经济发展规划，预测工、农、牧业和其他生产活动对森林环境的影响及其变化趋势。为此，需要建立各种环境预测模型。

4.确定森林环境规划目标。根据森林环境现状与当地生产发展、人口增长趋势的分析，草拟一个森林环境规划草案，并经过专家论证，对草案中确定的规划目标进行修正，最后确定森林环境规划目标。

5.拟定与优选森林环境规划草案。根据环境建设目标以及预测结果分析，拟定两三个环境规划草案。然后再进一步对草案进行深入的系统分析与专家审评，筛选出最佳环境规划草案。

6.确定环境规划方案。根据实现环境规划目标和完成规划任务的要求，

对选出的环境规划草案进行修正、补充与调整，最后形成森林环境规划方案。

7.环境规划方案的审批。按照审批要求，规划方案要上报有关决策机关审核批准，落实资金投入。

8.森林环境规划方案的实施。由于一个地区的森林环境规划是统一制定的，可是规划实施时，不同所有制具有的林地与宜林地却由不同的权属单位负责，这就要求建立由不同单位参加的联合管理小组（或委员会），统一行动计划，互相督促，并且要向群众宣传规划方案，使群众能积极参与。只有这样，才能保证规划的实现。

（二）森林环境规划的内容

由于森林环境规划的任务是解决森林资源利用、发展与环境保护之间的矛盾，并且使森林环境对区域环境建设产生良性作用，提高区域环境质量，促进当地生产力的发展，改善人们的生活质量与提高健康水平，因此，在规划的内容中应包含整个森林环境自身与周围区域环境的多方面的调查、分析与环境保护措施的设计。根据国内外环境规划的经验，进行森林环境规划研究时大致包括以下四个方面的内容：

1.森林环境建设目标和环境指标体系的研究。

（1）森林环境目标的确定根据森林环境功能、森林开发利用水平与区域经济发展的要求，确定森林环境建设目标。

（2）森林环境建设的指标体系的确定包括资源指标和污染指标。

资源指标包括森林资源、森林区内的水资源、古迹与旅游景点资源、草地资源、森林区内已查明的矿产资源利用度等。森林资源中郁闭度、生物多样性（系统多样性与物种多样性）对森林环境影响较大的指标需重点研究确定。

污染指标重点是大气污染指标，如 SO_2、NO_x 及颗粒物（TSP）等。同时也需研究水污染指标，如化学需氧量（COD）、生物化学需氧量（BOD）、水中溶解氧（DO）、总有机碳（TOC）、细菌总数等。

2.环境预测与环境问题研究。

（1）环境预测研究根据区域经济发展规划，预测今后对森林环境的影响及由此带来的环境变化，研究各种环境预测模型。

（2）环境问题的研究根据环境预测的结果，提出今后可能产生的主要环境问题。

3.森林环境规划方案的研究。

（1）根据森林资源特点、市场林产品需求，确定合理的林业产业结构。尤应考虑森林的多种资源的利用与发展；考虑林中多种野生资源的负荷量；考虑林产品加工企业的合理布局。

（2）根据森林环境容量的特点，对森林的抚育、改造、主伐利用提出合理的技术方案。

（3）制订防治大气污染对森林破坏的方案。

（4）制订防治水资源污染的方案。

（5）制订在森林游憩区防治固体废弃物污染的方案。

4.研究森林环境保护的政策。

（1）提出合理利用森林资源（林木采伐、抚育、改造、林地管理、森林野生动植物资源利用、立体种植、放牧、垦殖等）的政策。

（2）提出控制大气污染损害森林的政策。

（3）提出控制水资源污染的政策。

（4）提出控制固体废弃物及固体废弃物的处理政策。

（5）提出森林、宜林荒地承包、合股经营等的责、权、利的政策。

对森林环境保护的政策应尽可能完善，应做到事事有法可依。

五、森林环境规划方法的研究

森林环境规划与区域规划一样，是一个多目标、多层次、多个子系统的大系统研究工作。其中包括环境质量现状评价，环境影响、预测，环境规划优化及环境规划决策等主要环节。森林环境规划方法需要运用各种方法进行研究。其关键是如何筛选运用各种不同的方法，将其组合成一个方法系统，恰当地运用一系列的方法来完成环境规划的任务。有关环境质量现状评价与环境影响预测方法，将在后面谈及，在这里仅就森林环境规划的决策方法、优化方法，以及环境承载力、环境容量等方法作一介绍。

（一）森林环境规划决策方法

决策是指为实现同一目标，从数个可以互相替代的方案中选定一个理想的或满意的方案。以系统分析的观点，决策就是根据系统的状态选取可能采用的策略，并对这些策略可能产生的后果进行综合研究。

一个科学决策分析过程一般包括以下步骤：①确定决策目标。②拟定可行方案。③选择适当的决策分析方法。④分析与决策。在环境规划研究中的决策问题，主要是协调环境与经济发展之间的关系，在发展经济的过程中，使环境质量保持在合理的水平。常用的有决策树、决策矩阵等环境规划决策的方法。

1.决策树法。其原理是将决策对策作为一个总系统，同时又可分解成各级子系统。总系统决策必须满足一个总目标，而各级子系统的决策必须达到规定的子目标。如果每一级子系统都能达到规定的目标，则总系统亦能达到既定的总目标。利用决策树进行决策可以使问题直观、明了。它把各备选方案在不同自然状态下的各个子系统的损益值及其发生概率简明地绘制在同一张图上，通过对各个子系统、总系统的期望值的比较，最后找出最优方案。决策树法包括如下步骤：

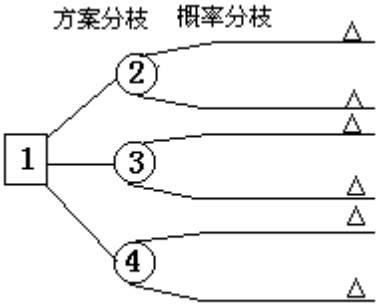


图4-2　决策树的一般构造

（1）绘制决策树形图 一般结构如右图 4－2 所示。图中：(1)称为决策点，由此引出的分枝称为方案分枝，表示不同的供决策用的方案；(2)、(3)、(4)称为自然状态点，由此引出的分枝称为概率分枝；概率分枝各自表示不同的自然状态，并在其上说明各种自然状态发生的概率值；△是决策树的终点，终点的数值表示各种自然状态下的损益值。

根据备择方案的多少建立相应的方案分枝，并按照决策级数的需要，逐渐展开方案分枝、状态结点和概率分枝。

（2）计算环境规划的期望值 期望值的计

算由右向左进行，将环境规划变量乘以各自概率分枝上的概率，再乘以规划期限，其计算结果分别标在状态结点上。

（3）剪枝决策 比较各方案的期望值，剪掉期望值较小的规划方案，最终只剩下一条贯彻始终的方案分枝，其规划环境期望值为最大。

决策树法可清楚地表明各个方案实现的概率和期望值，很容易比较出方案的优劣。特别适用于多级的环境规划决策分析。

2.决策矩阵法。决策矩阵法常用于解决有限条件下资源分配的最优决策问题。各种自然资源（森林、土地等）、资金、劳力等都可以作为资源。常用二维决策矩阵来表示。

表 4-2 决策矩阵的一般形式

方案	自然状态		
	S_1（p_1）	… S_j（p_j）	… S_n（p_n）
a	V_{11}	… V_{1j}	… V_{1n}
a_i	V_{i1}	… V_{ij}	… V_{in}
a_m	V_{m1}	… V_{mj}	… V_{mn}

表 4-2 是决策矩阵的一般形式，有一些多目标决策分析问题常常表示成决策矩阵的形式，以此为基础运用各种分析方法筛选最优方案。

表 4－2 中 a_1，a_2，…，am 是满足决策目标要求的 m 个可行的备选方案，它们之间彼此独立，又是可以相互替代的。所有可行方案构成的集合 A= {a_i，i=1，…，m} 称为决策空间。决策者可以在这个范围内决定取舍。决策方案是由分析者根据各方面的条件列出的各种应变策略，是人们主观制定的，所以称为可控因素。

S_1，S_2，…，S_n 是每一种方案都可能遇到的外部条件，所有外部条件的集合 S= {S_j，j=1，…，n} 称为状态空间。这些外部条件往往是随机的，无法控制的，它们不依决策者的主观意志为转移。因而，外部条件是不可控制因素。

p_1，p_2，…，p_n 是各种外部条件发生的概率。这种概率是建立在主观预测和经验统计的基础上。它反映未来事件发生的可能性。这些外部条件发生的可能性是相互独立的，其发生的概率总和为 1，即

$$\sum_{i=1}^{n} p_i = 1$$

决策矩阵的矩阵元素 V_{ij} 表示第 i 个方案在第 j 种外部条件下所产生的收益（正值）或损失（负值）。

由于 A 和 S 都是有限个元素的集合,决策矩阵 V 也是有限个数值的集合，它所表明的数字可以作为决策的依据。

（二）森林环境规划优化方法

通常采用环境线性规划方法。线性规划问题就是在各种相互关联的多变量线性等式或不等式的约束条件下，去解决或规划一个对象的线性目标函数

最优化问题，即将环境规划、目标值和环境变量之间的关系，通过线性优化模型表达出来，并通过计算机程序运行求解。

线性规划的标准数学表达式为：

目标函数 $\max z=c_1x_1+c_2x_2+\cdots c_nx_n$，

$$\text{约束条件}\begin{cases} a_{11}x_1+a_{12}x_2+\cdots+a_{1n}x_n=b_1 \\ a_{21}x_1+a_{22}x_2+\cdots a_{2n}x_n=b_2 \\ \cdots \\ a_{ml}x_1+a_{m2}x_2+\cdots+a_{mn}x_n=b_n \end{cases}$$

$$x_1，x_2，\cdots，x_n\geq 0$$

式中：z 为环境规划目标函数；x 为环境规划变量；c 为环境规划目标函数系数；a 为环境规划变量系数；b 为环境规划限定常数。

对于整体的环境规划问题，可按时间与空间联系分解为若干个相互联系并容易求解的局部问题，然后再根据这些局部问题的顺序关系，依次作出一系列局部问题最优化决策，同时，把各阶段的状态和决策相互联系起来，共同构成整体环境规划问题的最优化。这可以采用环境动态规划方法进行计算，尤其是适用于复杂的和综合的环境控制问题研究，对环境管理决策有很大作用。

（三）森林环境承载力

环境承载力是用于进行环境规划的重要科学概念。它是指环境对人类活动的承载力，即指在某一时期，某种状态或条件下，某地区的环境所承受的人类活动作用的阈值。人类对森林的利用与其他干扰活动，都会造成森林环境一定的损害。但在一定限度内，森林生态系统可以自行补偿。当超过这个限度时，森林生态系统就遭受破坏，森林气候与土壤及水文条件等会发生剧变，即森林环境质量严重退化。森休生态系统的这一调控限度即阈值。在阈值范围内，森林环境对人类活动所具有的承受能力即森林环境承载力。

在人类生产与生活活动作用下，森林环境可能发生生态破坏或空气、水质及土壤等的污染问题，但必须以其不超过根据当地森林环境功能所要求的环境标准为前提，才能保持环境系统的稳定。为了使森林生态系统及其所具有的环境系统维持稳态，人们的生产与其他活动强度都应小于环境承载能力。

为了说明其意义，这里提出发展变量及限制变量两个概念。前者是人类生活与经济开发活动作用的一种度量；后者是环境约束条件的一种表示，是环境状态对人类活动的反作用。发展变量是多种开发活动的即多要素的集合体，其全体构成了一个集合——发展变量集合（D），集合中元素（d）称之为发展因子。这些发展因子可以设法予以量化。因此发展变量可表示成 n 维空间的一个矢量：

$$D=(d_1，d_2，\cdots，d_n)$$

限制变量不仅指大气、水体及土壤等的环境质量状况，而是泛指对人类活动起不同限制作用的环境条件，它还包括自然资源的供给条件（如木材、野生植物等）、交通条件、居住条件等。与发展变量一样，限制变量的全体构成一个限制变量集 C，其中元素 C_i 称为限制因子。经量化后，限制变量构成一 n 维空间的矢量：

$$C=(C_1, C_2, \cdots, C_i)$$

一般来讲，限制因子可以分为以下几类：

环境类限制因子 指的是大气、水体与土壤等的环境质量，以及生态稳态性、土壤侵蚀等条件限制因子。

资源类限制因子 指的是森林的林木资源、野生动植物资源、水资源等自然资源利用条件限制因子。

工程类限制因子 指的是公路、林道、中心苗圃、木材与其他林副产品加工厂等工程设施限制因子。

心理类限制因子 指的是对森林环境的感受（如森林公园、森林游憩区给人们特殊的感受。对森林火灾、森林病虫害、水土流失等则是另一种感受）所提出的影响生活条件的限制因子。

在规划过程中，正确选择因子很重要。一般来讲，只需考虑限制作用最强的限制因子。

在进行环境承载力分析之前，首先必须确定所选限制因子的限度，即维持环境系统功能前提下，限制因子的最大值或最小值，它在限制变量 n 维空间中占有特殊的位置：

$$C_n=(C_1^*, C_2^*, \cdots, C_n^*)$$

这些限度值 C_i^*通常不是通过行政领导手段,而是通过有经验的专家研究确定的。

发展变量集和限制变量集之间存在某种对应关系。发展变量集中每一发展因子均可在限制变量集中找到一个或多个限制因子与之对应，并且它们之间存在某种映射关系：

$$d_i=f_i(C_1, C_2, \cdots, C_n)$$

发展变量是人类活动作用的某种变量。发展变量集中的每一发展因子均与人类活动作用强度间存在某种映射关系：

$$d_i=g_i(O, P)$$

式中：O，P 分别为投资强度与人口数量。

因此，所谓环境承载力，即为限制因子分别达到其限制值时，环境所能承受人类活动作用的阈值，它可由以下两个层次描述：

一是以各发展因子的阈值表示，由下面规划模式确定：

$$CCE_1=\max d_1$$

$$Ci=f_i^{-1}(d_1, d_2, \cdots, d_n) \leq C_i^* \quad (i=1, 2, \cdots, n)$$

其中，CCE_1即为环境承载力在发展因子 d_1方面的分量，由此可得某一地区或一个森林生态系统的环境承载力：

$$\dot{CCE}=(CCE_1, CCE_2, \cdots, CCE_n)$$

它实质上是发展变量空间中占有特殊位置的一个 n 维矢量。

二是由人类活动作用强度表示，利用以下规划模式确定：

$$\max P$$

$$\max O$$

$$C_i==f_i^{-1}(d_1, d_2, \cdots, d_n) \leq C_i^*$$

$$d_i=g_i(O, P) \quad (i=1, 2, \cdots, n)$$

由此可得，维持环境系统功能（限制因子不超过其限度值）前提下，人

类活动的作用强度的阈值。

第七节 森林环境管理

一、环境管理的意义与任务

历史的发展证明，环境问题一直伴随着人类的活动而存在，并且随着人类活动的加强而发展。特别是在人口激增和人类正以空前规模开发自然资源的今天，环境问题变得更加严峻，更加紧迫。不仅是环境学家与生态学家认识到，而且政府部门也感到环境问题已成为影响经济发展，关系人类生存的大问题。

事实证明，一个地区经济发展的快慢，在很大程度上取决于管理水平的高低。管理工作在环境保护事业中同样占有重要的地位。回顾世界发展的历史，可以清楚地看到：当人们对环境缺乏认识，不加管理或很少管理时，环境污染、生态破坏的势态就发展，甚至造成灾难；当对污染与生态破坏有所认识并加强管理，那么情况就好转；随着管理的不断完善，环境会得到更多的改善。

20 世纪 60 年代与 70 年代是世界科学技术突飞猛进的时期，先期技术与科学管理在国民经济各部门广泛应用，环境科学也得到了长足的进步。环境管理不仅普遍采用了控制污染的新技术，而且开始注意预防措施。采取预防环境污染的措施，改变“先污染，后治理”的传统观念与做法。这主要表现在实行区域综合规划和综合防治的对策，实行环境影响评价制度和污染物总量控制制度。这些管理措施与治理措施相结合，就把污染控制推进到一个新阶段。这是一个防治污染、保护环境的积极措施，是环境管理的新发展。

1972 年在斯德哥尔摩召开的人类环境会议以来，环境管理进入了一个新时期。这个新时期的主要标志有两个：一个是扩大了环境管理的范围，把防治局部地区的环境污染与保护大自然的生态平衡结合起来。因为人们认识到，大环境的好坏，对小环境往往有决定性的影响。自然环境状况好坏决定了环境的质量。因此，研究合理利用和开发自然资源已成为环境管理的重要内容。二是冲破了以环境论环境的狭隘界限，把正确处理人口、资源、环境与发展四者相互关系作为环境管理的指导方针。人们认识到，只有揭示出当代人类面临的这四大问题间的相互制约、相互影响的关系，才能从整体上采取防治环境污染和破坏的对策。

也正是从这个时候开始，人们认识到森林生态系统是生物圈中的主体，它对维持生物圈的生态平衡起着核心作用。由于大面积森林被破坏，生态灾难频繁发生，全球荒漠化面积与水土流失面积在扩大，水旱灾害此起彼伏，生物多样性在急剧减少。为此，森林环境的管理也更被各国政府所重视，制定了一些法规。但需要研究解决的问题还较多，至今森林破坏与林地面积减少仍未能控制。

森林保护、经营管理与森林环境管理难以分开，森林的过度采伐（如大面积皆伐）与严重的火烧或病虫危害，都会严重破坏森林环境。而森林环境的破坏，使森林群落难以恢复。所以森林环境管理应在森林经营管理的基础上进行。

环境管理的任务颇多，其基本任务是：

第一，合理开发利用自然资源，维护生态平衡，促进国民经济的持续发展。

第二，建立清洁的、优美的、健全发展和高度文明的人类环境，保护人

们的身心健康。

第三，研究制定有关环境保护的方针、政策和法规，正确处理经济发展与环境保护的关系。

第四，开展环境科学的研究、教育和宣传，为环境保护提供人才和科学技术，不断提高人们对环境保护的认识水平。

二、森林环境管理的基本职能

森林环境管理的基本职能与一个地区的环境管理一样，主要包括三个方面：

1.制定环境保护规划。过去，在制定一个地区的经济、社会发展规划时，未能考虑环保内容，因而造成环境的破坏，或牺牲环境求发展，或急功近利、不顾及可持续发展。在近年来全国扶贫工作中，因只考虑眼前的经济收益，上了一些有损环境，或未能解决农林牧业生产条件的项目，从而使一些乡、村甚至于县又返贫。因此，只有在编制经济发展规划时把环保规划也考虑进去，才能解决发展与环境保护的矛盾。在编制发展规划中考虑环境规划，主要是引进三条新因素：

第一条，扩大发展的范围，即在经济指标之外，增加环境质量这一指标。发展不仅要创造日益丰富的物质财富，而且要防治环境污染，维护生态平衡，提供一个良好的人类生存环境，保障人们的健康。西方国家的社会舆论一般都认为：没有一个清洁美好的环境，再优裕的生活条件也无意义。

第二条，健全发展的基础，即把局部与整体，当前与长远利益结合起来，把经济发展与生态保护结合起来，以求得社会经济健全持久地发展。

第三条，在损益分析的基础上，正确评价环境保护支付的费用，有必要拨出一定经费用于环境保护。

2.环境保护工作的协调。环境保护事业涉及到各行各业，影响四面八方。具有广泛性和综合性是环保事业的一个特点。这个特点决定了环境保护事业必须依靠各地区、各行业才能做好。如果只靠环境保护管理部门一家，无论如何是做不好的。组织协调，是环境管理的一个非常重要的职能。就森林环境保护管理来说，显得更为重要。因为一个地区的森林往往与农地、草地等交错分布，仅管住某一块林地，或只由林业部门单独管理，都是行不通的。比如护林防火的工作，就得动员各个部门，并发动群众，让大家都参与管理，实行联防。

3.环境保护的监督。制定环境保护规划，组织协调，明确分工，这只是工作的第一步。要把这些变成实际行动，真正贯彻实施，还必须有切实可行的监督。监督是环境管理的一个重要职能，没有这个职能或者这个职能发挥得不好，就谈不上健全的、强有力的环境管理。要进行有效的监督，还要制定相应的环境法律、规定、标准，以及建立起迅速、准确和完善的监督手段。

实行监督，就需要环境管理部门经常检查，而不要在出了问题以后才去调查。一个地区的森林分布较广，而且有不同的所有制，森林资源与环境的管理，需要当地林政部门与环境保护部门联合起来进行监督，私有林的采伐与土地利用形式的改变，都不是拥有林权的林主可以随意操作的，需要林政部门与上一级林业管理部门的审批。公益林的利用活动，更要有严格的审核与监督，诸如林分抚育、改造，建立森林旅游点等，都应在作业设计时考虑对森林环境的破坏作用，力求将破坏作用压到最低水平。

三、我国环境保护的基本方针

在社会主义建设事业中，保护和改善环境是国家的一项基本政策。在《中华人民共和国宪法》第十一条中就规定了“国家保护环境与自然资源，防治污染和其他公害”。这是在中国立法史上第一次用国家根本大法的形式对环境保护做出的规定，充分说明国家对环境保护事业的重视。根据宪法的这项规定，1979 年颁布的《中华人民共和国环境保护法（试行）》进一步规定了环境保护的方针、任务和政策措施，把国家的环境保护事业推进到法制的新时期。在《中华人民共和国环境保护法（试行）》的第二条中对环境保护的任务做了下述规定：“保证在社会主义现代化建设中，合理地利用自然资源，防治环境污染和生态破坏，为人民创造清洁适宜的生活和劳动环境，保护人民健康，促进经济发展。”这指明了正确处理经济发展与保护环境的关系。为了实现这一任务，在该法的第四条中提出了我国环境保护方针是：“全面规划，合理布局，综合利用，化害为利，依靠群众，大家动手，保护环境，造福人民。”这一方针是出席 1972 年斯德哥尔摩人类环境会议时提出的，在 1973 年全国第一次环境保护会议上被确认为指导方针，又在 1979 年的《中华人民共和国环境保护法（试行）》中加以肯定。实践证明，这是一条适当的方针，在国内外都有很好的评价。其要点为：①环境保护是我国社会主义建设事业的一部分，因此，环境保护必须纳入国家的、地方的和各行各业的发展规划，做到经济与环境的协调发展。②在安排工业、农业、林业、水利、交通等项事业建设时，要充分注意环境影响，既要注意近期影响，又要注意比较长远的影响；既要注意经济效益、社会效益，又要注意环境效益。因此要全面调查，综合评价，做到合理布局。③对工业、农业、人民生活中排放的有毒有害物资，要视为资源，开展综合利用，要化害为利，变废为宝。④依靠人民群众保护环境，发动各部门、各行业治理污染，使环境的专业管理与群众监督相结合，使实行法治与人民群众自觉维护相结合，把环境保护事业变为全民的事业。⑤保护环境是国民经济健全持久的发展和为群众创造清洁优美的工作与生活环境服务，为当代人和子孙后代造福。全面贯彻执行这一方针，就可以在经济发展的同时，建设一个良好的生活环境和生态环境。

森林环境保护在贯彻国家这一环保方针时，特别要注意全面规划与依靠群众这两方面工作。在规划方面既要搞好森林环境保护的专项规划，又要在搞一个地区的农林牧副渔全面发展、山水田林路的综合治理规划中，将林业发展与森林环境保护工作定好位，使森林环境规划融入地区总体规划中。发动群众，让群众关心森林环境管理工作，让群众参与监督，是非常重要的。

四、森林环境管理的内容

由于森林环境本身包括大气、水、土壤与生物各种环境要素。因此，首先要在这些方面进行管理。同时，森林环境管理涉及到一个流域或一个地区的工业、农业以及社会、政治、科技等各方面，因此森林环境管理具有高度的综合性。由于森林环境状况受到地理位置、气候条件、人口密度、工农业生产、经济发展水平、生产布局等各方面的制约，所以森林环境管理具有一定的区域性。事实说明，在人口稀少、交通不便的偏远林区，森林环境质量是很高的。在人口稠密、耕地少、经济贫困的地区，森林与森林环境往往被破坏得最厉害。从以上特点可以看到，森林环境管理应采取不同的形式和多种管理措施。管理工作的主要内容可分为三个方面：

1.环境计划的管理。主要是搞好森林环境规划，以及将其纳入地区环境管理规划之中。每年搞环境保护计划，促进这一计划的落实与实施。

2.环境质量的管理。主要是组织制定森林环境质量标准，组织调查、监测和评价森林环境质量状况以及预测环境质量变化的趋势。

3.环境技术的管理。主要包括确定森林生态环境的人为破坏与环境污染的防治技术，组织环境保护的技术咨询，进行国内外森林环境保护、管理技术的科技合作与交流等。

4.在制定森林环境管理计划时，应具体考虑以下的内容。这些内容可归纳为两类，一是对森林生态环境破坏的控制，二是对各种污染的防治。

第一类，控制对森林生态环境的破坏。包括以下内容：

（1）制订森林采伐、抚育、改造的具体规定，对施工的方式、强度、作业面积等都得有具体的审批制度。

（2）有严格的防止森林火灾的法规，及建立防火组织、奖惩制度。了解与调查火灾原因、损失大小、总结教训。

（3）制定封山育林的具体计划，哪里全封，哪里半封，如何轮封。

（4）检查造林与天然更新等的质量，促使森林早日恢复。

（5）控制林地面积的丧失，不得让单位或个人随便将林地改作它用。

（6）保护林中野生动物，不得滥捕乱猎。

（7）控制森林病虫害的发生，掌握病虫害发展动态，了解防治效果。

（8）管理森林中的一切野生经济植物，不能乱采乱挖。

林中的枯枝落叶层也得保护，以维持土壤肥力与控制水土流失。

第二类，控制对森林的污染。包括以下内容：

（1）对森林空气、水质污染的污染源进行监督管理，防止森林因污染中毒而衰退。

（2）森林旅游区要控制白色污染。

（3）森林病虫害防治要避免或少用农药，防止农药污染。

（4）控制林中采矿而造成的各种重金属的污染，以及督促对废矿区森林的恢复工作。

保护了森林环境不受污染，既保护了林木、野生动植物，又保护了农田、牧场与水库。因此，在污染控制的管理方面不可轻视。具体的管理的手段主要是：

行政制约手段 按照制度、规定办事，严格审批各种许可证，及时检查所发生的问题，并且要及时处理问题。

政策、法律手段 这是森林环境管理的强制性手段。以此对一切破坏森林环境的违法行为进行斗争。

质量监督手段 对森林环境规划的实施、保护工作计划的执行进行检查、监督。

宣传教育手段 环境教育是环境管理中不可缺少的手段。应利用书报、布告、电影电视、广播、报告会、展览会等各种形式，向群众宣传森林环境保护知识，宣传保护森林环境的重要意义，宣传国家与地方制定的保护森林环境的各种法规，使群众能配合森林环境管理部门的工作，并自觉遵守现有法规。

复习思考题

1.为什么要进行环境监测？我国森林环境监测的情况如何？

2.环境监测的主要内容有哪些？

3.环境监测的方法与监测结果表示方法有哪些？

4.生物监测有何优点？有何特殊要求？

5.生物监测中应用的指示生物应具有哪些基本特征？指示植物选择标准应遵循什么原则？

6.植物受 SO_2、HF 等有毒气体危害所表现出的症状是什么？

7.森林生态效能变化监测包含哪些方面的内容？

8.为什么要进行森林环境规划，规划的内容有哪些？

9.请对森林环境规划的决策方法与线性规划方法的要点进行比较。

10.森林环境管理包含哪些内容？

参考文献

1 金岚主编.环境生态学.北京：高等教育出版社，1992

2 刘培桐主编.环境学概论.第二版.北京：高等教育出版社，1995

3 孙明玺.预测与评价.杭州：浙江教育出版社，1986

4 唐永銮.环境学导论.北京：高等教育出版社，1987

5 黄瑞农.环境土壤学.北京：高等教育出版社，1988

6 刘培哲.苏联的环境监测.北京：中国环境科学出版社，1989

7 马德，等.植物对空气污染的反应.北京：科学出版社，1984

8 奚旦立，等.环境监测.北京：高等教育出版社，1987

9 王勋陵.植物监测与大气污染.兰州：甘肃科技出版社，1987

10 凯恩斯特.水污染的生物学监测.北京：中国环境科学出版社，1989

11 河南省城乡建设环境保护厅，河南省环境科学学会合编.环境保护实用手册.郑州：河南科学技术出版社，1986

12 汪雅谷.农业环境标准实用手册.杭州：浙江大学出版社，1991

13 杨贤智，李景锟，等.环境管理.北京：高等教育出版社，1990

14 Worf，Douglas L.Biological monitoring for environmental effects.D.C.Heath and Compa-ny，1980

15 J Cairns Jr，et al.Biological monitoring of water influent Quality.ASTM special Techpublication 607，1977

16 Manning W J，Feder W A.Biomonitoring air pollutant，with plants.Applied Science pub-lisher LTD，1980

17 Martin M H，Canghtrey P J.Biological monitoring of Heavy metal pollution.Applied sci-ence publisher LTD，1982

18 Smith W H.Air pollution and Forests Springor—verlag，New York，1981

第五章 森林环境评价

第一节 森林环境质量评价

森林环境评价与农业环境评价一样，既有环境质量现状评价，又有环境影响评价。但由于森林对环境的特殊防护效能与对人的保健作用，使得它又有与农业环境评价不同之处。森林环境评价中还包括森林生态评价。

环境科学的核心是环境质量问题。环境质量是指环境素质的优劣程度。优劣是质的概念，程度则是量的表征。在积累了大量环境的实际资料或监测数据后，可以将环境的质与量结合起来，给出环境性质定量的标准。具体地说，环境质量是指某一特定环境（或一个具体环境）的总体或某些要素对人类的生存、繁衍及社会经济发展的适宜程度，是反映人类的具体要求而形成的对环境的性质及数量进行评定的一种概念。

环境质量首先是由环境本身质的特性所决定的。它与物理性质的主要不同点是具有明显的时空变化，受人类活动的直接影响，并反过来对人类的生存及健康产生直接作用。它还可以受到人们的调控与改善。

环境质量包括自然环境质量与社会环境质量。本章所述及的是自然环境质量，它包括物理的、化学的和生态的质量。它又可具体地划分为大气环境质量、水环境质量、土壤环境质量和生态环境质量等。

无论在规模上还是在程度上，人类通过生产与消费对环境质量的影响都越来越大。随着环境质量的恶化，人们对环境问题日益关心，对环境质量评价问题也愈加重视。人类对环境质量的要求包括自然环境质量与社会环境质量两个方面，因此，一个完整的环境质量评价也应包括自然环境质量与社会环境质量两方面的评价内容。本章主要讨论自然环境质量的评价。

一、森林环境质量评价的概念与目的

环境质量评价（environmental quality assesment）是认识与研究环境的一种科学方法。它是对环境素质的优劣进行的定量描述。即从人类生活、生存与发展出发，按照一定的评价标准和评价方法，对某区域范围内，人类活动对环境产生的影响，从环境保护的角度进行定性与定量的评定、解释与预测。若从更广泛的角度理解，环境质量评价是对环境的结构、状态、质量、功能的现状进行分析，对可能发生的变化进行预测，对其与社会、经济发展活动的协调性进行定性或定量的评估。

人类利用各种资源和进行各项生产活动必然影响环境，这些影响可能是好的，也可能是不好的，甚至产生严重的破坏，使环境质量下降。其影响与危害的程度，只有对环境质量进行评价才能判断，也才能找到适当的对策。因此，通过评价可充分认识环境质量及其变化趋势，从而为控制和改善环境质量提供科学的依据。

森林环境质量评价是对森林环境素质优劣的定量描述。这里所说的森林环境是泛指有林地与曾为森林、后来经过不同程度的破坏形成的疏林地、灌丛地，以及由天然或人工更新的幼林地的生态环境。森林环境质量的优劣，应以它对森林生态系统中的生物（林木、林下植物、林中野生动物、昆虫与微生物等）与人们在森林中生活（如游憩、居住等）的适宜程度作为判别标准。

森林环境质量评价是通过定量地揭示和预测人类活动对森林环境质量的

影响，为进行森林环境区划、编制生态环境规划、森林保护法规和森林管理提供依据，并由此找到协调林业发展与保护生态环境的有效途径。

森林环境质量评价是森林环境管理工作的重要手段之一，是森林生态学科与环境科学交叉研究的一项重要课题。通过此项评价，可以摸清一个流域或一定森林区域的森林环境质量变化的规律，进行区域森林环境系统分析，为制定区域森林生态环境规划与综合防治工程方案及进行环境管理提供依据，并可为比较不同地区的森林环境质量（包括污染与其他的破坏带来的后果）和变化趋势提供科学依据。由于森林环境破坏带来的影响比任何其他生态系统都大，因此，研究与测定森林环境质量并进行评价，对周边其他生态系统诸如农田、水体等的环境质量的监测与评价有着重要的影响。

二、环境质量评价的类型

（一）按时间划分

1.环境质量回顾评价。指根据已积累的环境历史资料，对一个区域或某个特定范围如某一森林地段的环境质量进行回顾性的分析和评价。回顾评价可以揭示当地环境质量的发展演变过程，从中可以得出人为干扰造成环境破坏的教训，以及环境建设所取得的经验。此种评价对今后生产建设是大有好处的。但此种评价并未在环境保护法规中有所要求，只是总结经验教训，对目前与日后搞好环境监测与评价有裨益。因此，在这里也个多作探讨。

2.环境质量现状评价。指根据近几年的环境监测资料，着眼当前情况，对某些区域的环境干扰与污染现状进行分析与评价。这样可以了解当地当前的环境质量状况，以便在生产中或规划设计中适当地利用各项自然资源，尽可能地保护与改善生态环境。由于是环境质量的现状评价，因此可以更好地分析和认识环境质量变化的原因。

环境质量现状评价的区域范围，既可按环境功能划分，如一个城市、一个工业区、一个旅游区等；也可按自然条件划分，如一个流域、一块森林、一个平原等；还可按行政区划分，如一个县、一个乡等。评价某一区域的环境质量，一般以国家颁布的环境质量标准或环境背景值作为依据。

3.环境影响评价。这是就一项建设工程（如新建一个森工企业，开辟一个旅游区）在动工兴建之前，对它的选址、设计以及在建设施工过程中和建成投产后，可能对环境产生的影响进行预测与估计，并制定出预防环境破坏或环境污染的对策，故又称为环境质量预断评价，或称为环境影响分析。它是将经济建设与环境保护密切结合起来的有效措施，也是强化环境管理的有效手段。

（二）按环境要素划分

1.单要素评价。按照环境要素可分为大气质量评价、水体质量评价、土壤质量评价等。这种评价揭示了各个环境要素的破坏情况或污染状况，可为有关部门采取防治方案提供直接依据。

2.联合评价。这是指对两个以上环境要素联合进行评价。比如地表水与地下水的联合评价，地下水与土壤的联合评价，土壤与森林更新的联合评价，地下水、地表水与土壤联合评价等。此种评价可以揭示污染物在两个或多个环境要素之间的迁移变化的规律，阐明一种环境要素的污染或破坏对另一环境要素的影响，以及反映各环境要素的环境质量间的相互关系。

3.综合评价。这是指对整个环境所进行的质量评价。也就是将所有环境要素综合起来构成一个整体，对这一整体进行评价。这样可全面地反映一个

区域的环境质量状况，从而可为从整体上进行环境区划、环境规划与环境管理提供依据。

（三）按区域类型划分

可划分为城市环境质量评价、流域环境质量评价、农场环境质量评价、林区环境质量评价、湖泊或海洋环境质量评价，风景旅游区环境质量评价及自然保护区环境质量评价等。可根据当地存在的主要环境问题，以及人力、设备条件，选择并确定环境质量评价的类型。

如上所述，环境质量评价虽可按要求划分为不同的类型，但为某一要求而进行环境质量评价时，往往是环境要素类型、时间类型与区域类型相结合进行的。就森林环境质量评价来说，通常是在一个林业局、一个林场（或一个乡）或一个较小的流域内进行环境质量评价的。

三、环境质量评价的程序

根据现有的环境质量评价的规定与经验，进行环境质量评价时，一般采取以下的程序：

（一）下达环境质量评价委托书

国家的一些部、局（如农业部、国家林业局等）以及各省（区）都设有环境保护办公室与环境监测、评价中心（或实验室）。当某一单位（如某个企业）因建设需要，对某一项目进行环境质量评价时，需先与环境评价中心取得联系，委托环境评价中心进行该项目的环境评价，并下达环境质量评价委托书。在委托书中说明环境评价的目的、任务及完成日期等内容。

（二）编写、评审环境质量评价大纲

承担建设项目环境质量评价的单位（如环境评价中心），需首先编写项目环境评价大纲。大纲的内容包括：建设项目概况、编制大纲依据与原则、评价范围、评价标准与方法、项目现状调查、项目的环境评价、环境问题的防治对策及评价工作计划等。评价大纲编制出来后，召开专家评审会议，对大纲进行评定，提出修改意见。

（三）进行环境评价的调查研究

在开展环境质量调查研究，进行环境评定时，一般按以下步骤进行：

1.划定评价范围。评价范围依据评价对象而定，常以行政区为界。对森林环境进行评价时，常以自然界线（山脊或河流等）为界，而且往往按流域的自然界线划定。当评定生态系统受污损的程度时，由于烟气、废水会随着气流和水流弥散，会影响一大片，应按照任务与目的及污染弥散规律确定界线。

2.确定评价内容。环境是由很多环境要素构成的，内容十分复杂。进行环境质量评价时，需根据任务与要求确定评价内容，尤其要抓准对评价目的起决定性作用的项目。例如，对水资源利用进行的环境质量评价，评价内容必须包括自然、生态和社会、经济环境。自然环境中的水和土是评价工作中的主要研究内容。

3.提出评价精度的要求。环境评价的对象不同，评价目的不同，评价的范围不同，所要求的评价精度也不一样。评价精度就是根据评价不同的对象和目的，得出评价结论与实际的环境质量之间的差异。差异越小，则精度越高；差异越大，则精度越低。为了达到所要求的精度，可采用不同的取样密度。如不同区域类型（评价范围的大小不同）的环境质量评价各环境要素的取样密度可参考表 5—1 进行。

表 5-1 环境要素的采样密度

评价类型	评价地区的面积/km^2	采样密度						
		地表水			地下水	土壤	作物	大气
		水	底泥	水生生物				
小流域环境质量评价	$n \cdot 10^2$ ～ $n \cdot 10^3$	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10$	$n \cdot 10$	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10$	$n \cdot 10$	$n \cdot 10$
中等流域环境质量评价	$n \cdot 10^4$ ～ $n \cdot 10^5$	$n \cdot 10^2$ ～ $n \cdot 10^3$	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10$
大流域环境质量评价	$n \cdot 10^5$ ～ $n \cdot 10^6$	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10^2$ ～ $n \cdot 10^3$	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10^3$	$n \cdot 10$ ～ $n \cdot 10_2$
全国环境质量评价	$n \cdot 10^6$	$n \cdot 10^4$	$n \cdot 10^3$	$n \cdot 10^3$	$n \cdot 10^2$ ～ $n \cdot 10^4$	$n \cdot 10^3$ ～ $n \cdot 10^4$	$n \cdot 10^3$ ～ $n \cdot 10^4$	$n \cdot 10^2$ ～ $n10^3$

资料来源：摘自赵振纪、杨仁斌依据我国目前开展的环境评价工作归纳的表格。

4.确定评价方法与途径。科学合理的评价方法是取得可靠数据与得到正确结果的保证。我国对有些环境要素的质量评价有了统一的方法，但有的却没有，应采用我国常用的评价方法与途径。野外取样调查与室内样品分析都必须按确定的方法进行。只有这样，才能取得合理的稳定的数据，才能与不同区域的数据进行比较，才能得出可靠的评价结果。

5.资料收集与系统监测。环境质量的形成需要经过一定的过程，除了突发事故引起环境的突然变化外，环境质量由量变到质变需要经过一定的时间，甚至是很长的时期。历史上积累的长期而系统的有关环境变化的资料是很重要的。从这些资料中，可以找出环境质量的形成、变化和发展规律，认识其环境质量的主要特点。这是不可忽视的环境评价可靠的科学基础。因此，收集与分析长期的、现有的、系统的资料是环境质量评价中的一项重要工作。

现场调查与监测可为评价提供环境质量现状的有用数据。在资料不足的地区，现场调查与监测更应周密地考虑调查项目、测定时间与测定方法。但是，应认识到短期的、局部的测定数据有较大的局限性，在得出评价结论前，需要进行全面的考虑。

6.数据处理与建立模型。将收集到的历史数据与实测数据，先进行整理，然后录入计算机进行统计分析，求出需要的参数，建立模型，得出系列标准数值，从而找出环境质量形成、变化及发展的规律。由于不同地区所形成的

环境条件差异很大，在对一个区域与具体项目进行环境质量评价时，要注意不可生搬硬套某一通用模式，而应该因地制宜地考虑。

7.得出评价结论，编写评价报告书。根据国家公布的环境保护法和制定的环保政策，以及环境质量标准和排污标准，对比分析各种资料、数据和初步成果，作出评价结论，最后依照编写大纲，编制环境质量评价报告书。

四、环境质量评价的基本内容

环境质量评价的内容随不同的研究对象和不同的类型而有所区别，但具共性的基本内容包括下列几个方面：

（一）污染源的调查与评价

通过对各类污染源的调查、分析和比较，研究污染的数量、质量特征，所受污染源的发生和发展规律，找出主要污染物和主要污染源，为污染治理提供科学依据。

（二）环境质量指数评价

用无量纲指数表征环境质量的高低，是目前最常用的评价方法，包括单因子和多因子评价，以及多要素的环境质量综合评价。当所采用的环境质量标准一致时，这种环境质量指数具有时间和空间上的可比性。

（三）环境质量的功能评价

环境质量标准是按功能分类的，环境质量的功能评价就是要确定环境质量状况的功能属性，为合理利用环境资源提供依据。

五、森林环境质量现状评价

森林环境质量现状评价应包括森林环境污染评价、森林生态评价和森林美学评价。但通常人们所说的森林环境质量现状评价仅指森林环境污染评价。因此我们也在此只讨论森林环境污染评价问题。而森林生态评价与森林美学评价将在第二、三节中讨论。

（一）森林环境背景特征调查

森林环境质量与森林的自然环境特征有密切的关系。就污染来说，各种污染物对森林的大气、水体、土壤和生物的影响，受到地理位置，地形地貌、地质、水文、气象等自然环境因素和社会经济结构的影响，是相当密切的。而森林的生态评价与美学评价更是直接地决定于森林所处的立地与森林的结构（成分、年龄、层次等）及分布格局。因此，进行森林环境质量评价时，首先要调查自然环境因素、群落特征因子以及区域内的社会经济结构，并收集现有的与过去的资料。

1.自然背景特征。

（1）地形地貌 包括地貌成因、盆地或洼地、山地（丘陵、低山、中山或高山）、河谷剖面、分水岭、地形破碎程度、坡向、坡度等因子。

（2）地质、土壤 地质包括地质构造、地层、岩性、地质剖面、矿藏资源。土壤方面包括土壤类型、土壤的理化性状、腐殖质与土层厚度、有机质含量、pH 值、质地、结构、碳酸盐反应、盐总量、石砾含量、水分含量、沼泽化程度等。（3）水文与水资料 包括水位、流速、丰枯水期流量、泥沙含量、水化学、给水水源与排水、河湖库的变迁、水温、封冻与解冻期、水中微生物含量等。（4）气象与气候 包括气温及其垂直变化、积温、最高与最低温度、风向风速及其垂直变化、降水、蒸发量、大气稳定度、日射量、林分透光度、能见度等。这些数据有助于了解分析大气污染规律及对水体中污染的稀释、扩散、分解、迁移规律等，也可了解森林分布与生长的一些特点。

2.社会经济结构特征。

（1）行政区划 包括城镇、区、乡、村等的结构，人口分布与密度。（2）工业 包括工矿企业性质、分布数量、产品种类、产量与产值、利润、税收、原料与能源、距森林的远近、排污情况。

（3）农业 包括土地利用状况、农林牧副渔等所占土地面积、单位面积产量与产值、主要农产品种类与品种、化肥与农药使用情况、生产成本、人均耕地面积、人均占有农产品量。

（4）林业 包括森林主要类型、各类型的面积与比重，次生林与人工林比重，各类森林的结构、每公顷蓄积量、采伐量，采伐方式，幼林与成林抚育方法、次数，主要树种，树种与林分生长量（率），病虫害发生与防治状况等。

（二）森林环境污染评价

从 20 世纪 60 年代以来，森林环境污染已受到生态学家和林学家的普遍关注。美国、法国、德国等工业发达国家都有大面积的森林因空气污染（主要是硫化物形成的酸雨）而死亡。我国西南地区（如重庆市和贵州省）一些重工业区排出的 SO_2 及其形成的酸雨、CO 以及粉尘等对附近森林的污染危害也是相当严重的。重庆市南山就有大面积马尾松林因空气污染而死亡。80 年代以来，我国邻近工矿区的一些森林受到有毒气体或污水危害的情况多处可见，有的造成林木死亡，有的使树木生长衰退而引发病虫害。在一些旅游区因管理不善，包装物（如塑料袋、快餐盒、饮料罐等）所造成的污染司空见惯。现在森林环境污染问题已受到人们的关注，在对工矿区排污范围内的森林与森林旅游区进行森林环境质量评价时，必须考虑污染造成的影响。

在考虑到森林受污染影响而进行森林环境质量评价时，由于不同区域的环境与不同类型的森林具有错综复杂的关系，因而应首先设计一个科学合理的程序，使之能深刻解释环境方面的主要问题，又能把握环境的总体特征。其评价程序如图 5-1 所示。

在评价程序中，应该首先确定评价的对象、地区范围及评价的目的。根据评价目的，确定评价精度。从广义上理解，此种环境质量现状评价还应包括综合防治的内容。

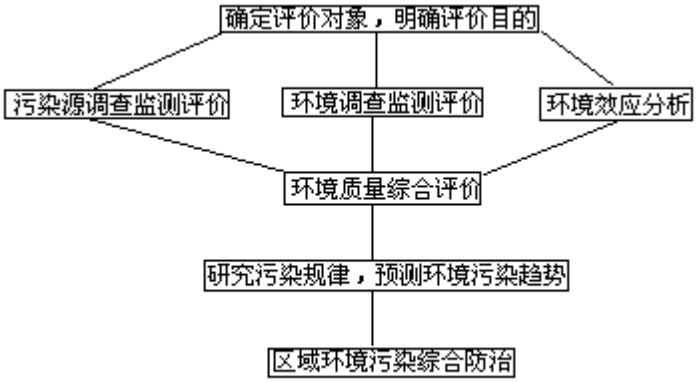


图5-1 环境质量现状评价的工作程序

1.以污染为主的森林环境质量现状评价内容。以污染为主的森林环境质量现状评价的内容主要包括下列方面：

（1）污染源调查与评价 通过对污染源的调查与评价，确定主要污染源与主要污染物，以及污染物的排放方式、途径、特点，综合评价污染源对环

境的危害作用，以确定污染源治理的重点。

（2）环境污染物监测项目的确定 根据森林环境污染特点及主要污染物的环境化学行为，确定不同环境要求的监测项目，为评价提供参考。（3）监测网点的布设 根据森林的类型、森林环境的自然条件（尤其是地形与森林分布特点）分别布点。布点疏密及采样次数应力求合理，有代表性。（4）获得环境污染数据 通过测定分析，获得可靠的污染物在森林环境中污染水平的数据。

（5）建立环境质量指数系统进行综合评价 根据评价的目的，选择评价标准，对监测数据进行统计处理，利用评价模式，计算环境质量综合指数。

（6）森林与环境质量关系的确定 分析林木与林中生物（林下植物、土壤微生物以及林中野生动物尤其是鸟类）受污染后表现的林木生长状况、发病率、死亡率与环境质量指数之间的相关性。

（7）建立环境污染数学模型 建立环境污染数学模型，要以监测与调查为基础，结合模拟实验，选取符合森林特征的环境参数，建立符合森林环境特征的计算模型。

（8）环境污染趋势预测研究 运用模型，结合未来区域经济发展的规模、森林经营水平与污染治理水平，预测未来森林环境污染的变化趋势。（9）提出森林环境污染综合防治建议 通过森林环境质量评价，确定影响森林的主要污染源和主要污染物，根据森林环境污染特征与污染预测结果，提出森林环境保护近期治理、远期规划布局及综合防治的方案。

2.以污染为主的森林环境质量现状评价方法。以污染为主要影响的森林环境质量现状评价与其他各类环境质量现状评价一样，一般分为单个环境要素的评价与整体环境质量的综合评价。

（1）通常采用的评价方法在评价方法上，无论单个环境要素的评价或整体环境质量评价，一般均采用综合指数的方法。综合指数（I）是由各种污染物的分指数（I_i）组成的，分指数是由一污染物的实测浓度（C_i）除以该污染物的评价标准值（S_i）所得，其公式为：

$$I_i = \frac{C_i}{S_i}$$

由公式可见，环境指数是无量纲数，它表示某种污染物在环境中的浓度超过评价标准的程度，亦称为超标倍数。式中，I_i 的数值越大，表示第 i 个要素的单项环境质量越差。如果参加评价的污染物（即评价参数）（表 5－2）对环境的影响和作用是等同的，则将它们各个污染物的分指数叠加，以其总和代表综合指数。实际上，参加评价的污染物对环境的影响往往是不同的，那么，当各种污染物对环境的影响不等同时，就要进行加权处理，即根据不同污染物对环境影响的大小，以它们的分指数乘上相应的百分比。所乘的百分比，谓之“权系数”，权系数之和应该是 100%（或者是 1），分指数乘以权值后，再以其均值代表综合指数，因此，它又称为计权型多因子环境质量评价指数。综合指数（计权型指数）I 的表达式为：

表 5-2　评价参数

评价类型	评价参数	备注
大气质量评价	1.颗粒物：总悬浮微粒、飘尘 2.有害气体：硫氧化物、 CO 、氮氧化物、碳氢化合物、 O_3 等氧化剂、放射性气体 3.有机物：苯并（a）芘 4.有害元素： F 、 Hg 、 Pb	一般多选用颗粒物、SO_2、CO 、 NO_x 、 CH_n 、 O_3 等六种
水环境质量评价	1.一般水质参数：水温、色度、透明度、悬浮固体、电导率、 pH 、硬度、碱度、总矿化度、总盐度 2.氧平衡参数： DO 、 COD 、 BOD 3.重金属参数： Fe 、 Mn 、 Cu 、 Zn 、 Hg 、 Cd 、 Pb 、 Cr 4.有机污染物参数：酚、油 5.无机污染物参数： NH_3 、 SO_2^{-4} 、 PO_3^{-4} 、 NO_3^-、 F^- 6.生物参数：细菌、大肠杆菌、无脊椎动物、藻类	一般选用 pH 值、悬浮物、DO 、 COD 、 BOD 、酚、 F^-、油、大肠杆菌以及有毒金属等
土壤质量评价	1.无机污染物： NO_2^-、 SO_4^{2-}、 HCO_3^-、 F^-、 Cl^- 2.重金属： Hg 、 Cd 、 Pb 、 As 、 Cu 、 Zn 、 Ni 、 Co 、 V 3.有机毒物： DDT 、六六六、石油、酚、多环芳烃、多氯联苯 4.酸度	一般根据评价目的选用对土壤质量影响重大的污染物

$$I = \sum_{i=1}^{n} W_i I_i$$

式中：I 为综合指数；W_i 为对应于第 i 个因子的权系数。

计算综合指数的关键是要科学合理地确定各个环境因子的权系数。对于森林环境质量评价来说，各种环境要素（如大气环境、水环境、土壤环境等）的相对重要性、各种环境因子对环境质量影响的相对重要性都要论述清楚。环境质量现状评价主要解决两个方面的问题：其一是影响幅度（即大小），其二是各种影响的相对重要性（即权重）。前者需要运用科学知识和方法寻找环境质量变化的数据；而后者则是要寻求与评价项目有关的“相关社会价值”（即权系数）。可通过对各阶层有代表性的人士的调查，收集他们对各种环境影响的应用倾向等方法确定权系数。

由于权系数实质上是基于被调查者的判读或态度，因此，必须选用系统的，能减小各种可能差异的程序来进行。被调查者应包括各个社会阶层，代表各社会层面，如公务员、政治家和决策者、环境评价专家、特别利益团体、农林方面的生态学家、生产企业的工程师以及企业的工人与一般群众代表等。为了取得一致的权系数，应在各阶层中多次抽样调查。

被调查者确定每个环境影响面的相对重要性的过程，包括采用排队比较和配对比较。要求每个人按影响的重要程度对各种影响进行排队，然后依次

逐一相互比较调整，从而得到每种影响的权重，抽样调查的过程要在各个阶层中多次反复地进行。

采用环境质量指数评价方法时，一般按其计算数值的大小划分几个范围或级别来表达其质量的优劣，并对每一个范围或级别赋予一定的质量评语或描述词，如清洁、轻污染、中污染、重污染和严重污染；或优良、较好、一般、警戒水平、警报水平、紧急水平和显著危害水平等。

由于环境质量评价指数表达式的结构不同，以及各异的加权处理方法，有时还因参与计算的评价参数数目的不同，所得的指数数值大小也不同，数值大小与环境质量之间的相应关系或所表述的质量优劣的含义也各异。因此在采用不同的指数计算式的同时，还应提出相应的质量分级尺度。

环境质量分级应是有依据的。有的是根据污染物浓度与环境质量标准的相对数值来划分的；有的则依据指数计算值所表明的环境质量对人们的可能影响和损害作用程度来确定的；有的则因其计算式的设计不能明显地反映上述关系，这时需要经过长时间的实际观察，在研究环境质量与计算数值之间的对应关系后确定。在环境质量评价中选用某一指数计算式及其质量分级标准时，必须注意考查的是应用条件是否相当，当参加计算的评价参权数目与原计算公式不符时，指数计算结果是否仍能用该质量分级标准，应进行研究，考查其基本特征是否仍能保持。

目前，用于环境质量功能评价的方法有积分值（M 值）法和 W 值法等。可以用这些方法对环境质量的优劣进行分级。

积分值法 该法的基本思路是根据每一个污染因子的浓度,按照给定的评价标准确定一个评分值，再根据各因子的总评分值进行环境质量评价。例如，参与评价的因子数有 n 个，假定全部满足一级评价标准的评分为 100 分，则每一个因子的评分为 100/n；全部因子都介于一级。二级评价标准的评分为 80 分，则每一个因子的评分就是 80/n；其余类推。

积分值法是一种直接评分法，它可以和各级环境质量标准建立关系。积分值越高，则表明环境质量越好。可以把评分标准直接取为各级环境质量标准。将每一个因子的环境质量与标准相比较，给定每一个因子的评分，如相对于环境质量标准的 I 、II 、III、IV、V 类（级），给定单因子的评分为 100/n、80/n、60/n、40/n、20/n。若每个因子的评分为 a_i，则全部因子总积分值为：

$$M = \sum_{i=1}^{n} a_i$$

根据 M 值就可以按表 5-3 确定环境质量的级别。

表 5-3 积分值（M 值）法的环境质量分级

环境质量等级	理想 M_1	良好 M_2	污染 M_3	重污染 M_4	严重污染 M_5
分级标准	$M \geq 96$	$96 > M \geq 76$	$76 > M \geq 60$	$60 > M \geq 40$	$40 > M \geq 20$

积分值法可以处理多因子的环境质量功能评价问题，思路清晰，方法简单易行，但所计算的积分采用的是简单的评分值迭加方法，不能确切地反映出各个因子的相对重要性。因此，用积分值法进行功能评价时，各个因子对环境的影响被看作是等权的，没有突出主要污染因子的作用。例如：在参与

水质评价的 10 个因子中，有九个被评为 10 分，有一个被评为 6 分，其总评分为 96 分，按积分值方法，则仍将其划为一类水质。总评的结果掩盖了主要污染因子的影响。

W 值法 W 值法弥补了积分值法的不足，充分考虑了主要污染物的影响。如果规定凡符合 Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ类的环境质量标准的环境因子分别可以被评为 10、8、6、4、2 分，对于不能满足最低一级环境质量因子的，评为 0 分，那么对环境质量的描述可以写成下述形式：

$$SN^n_{10}N^n_8N^n_6N^n_4N^n_2N^n_0$$

式中：S 为参与评价的环境因子的数目；N 为被评为 10 分、8 分、6 分、4 分、2 分和 0 分的因子的数目。

上述就是 W 值法的表达式，表 5-4 给出了按 W 值法进行环境质量分级的标准，它们以污染最严重的两个因子的评分值作为依据，突出了主要污染因子的作用。

表 5-4 W 值法环境质量分级

环境质量等级	理想 W_1	理想 W_2	污染 W_3	重污染 W_4	严重污染 W_5
最低两项评分值之和	18 或 20	14 或 16	10 或 12	6 或 8	＜4

（2）单个环境要素的评价 主要为大气、水、土壤、植物等的质量的评价。在森林环境质量现状评价中，植物这一要素包括林木与林下植物。

①大气质量评价 森林中的大气质量评价,与其他类型环境的大气质量评价一样，国内外普遍采用大气污染指数进行表达。表达式有多种，如白勃考大气污染综合指数（PINDEX）、污染标准指数（PSI）等。现在仅重点介绍 PSI 表达方法。

污染物标准指数（PSI）：美国政府于 1976 年公布了“污染标准指数（PSI）”。污染标准指数除了采用 CO（一氧化碳）、SO_2（二氧化硫）、NO_x（氮氧化物）、飘尘（PM）和 O_3（臭氧）五个参数外，还引入了飘尘与 SO_2 浓度的乘积，共计六个参数。各污染物的分指数与浓度的关系采用分段线性函数。在已知各污染物的实际浓度之后，可按分段线性关系并参照表 5-5 的数据用内插法求得各分指数。然后以各分指数中的最高值向公众报告。

污染标准指数（PSI）： 0～50 代表大气质量良好；
51～100 代表大气质量一般；
101～200 代表不健康（对人健康有轻微影响）；
201～300 代表很不健康（对健康有较大影响）；
301～500 代表有危险性（有危害性影响）。

表 5-5 污染标准指数（PSI）分级表

PSI	大气污染浓度水平	污染物浓度/μg/m^{-3}					
		飘尘／24h	SO_2 ／24h	CO／8h ×10^3	O_3 ／1h	NO_2 ／1h	SO_2 ×飘尘
500	显著危害水平	1000	2620	57.5	1200	3750	490.000
400	紧急水平	875	2100	46.0	1000	3000	390.000
300	警报水平	625	1600	34.0	800	2260	261.000
200	警戒水平	375	800	17.0	400	1130	65.000
100	大气质量标准	260	365	10.0	160	①	①
50	大气质量标准的1／2	75②	80②	5.0	80	—	—
0		0	0	0	0	—	—

①浓度低于警戒水平时，不报告该项分指数。
②为一级标准的年平均浓度。

②水环境质量评价 早期人们是根据感观性状、混浊、味、嗅和颜色等评价水体质量的，因此难以定量化评价。随着对水体化学成分及其毒理性质的了解，人们根据污染物的危害阈值制定了各种水质标准，为开展定量化的水质评价打下了基础。自20世纪60年代中期起，国内外学者进行了广泛的研究，并建立了多个合适的水质指数评价系统。比如：美国学者布朗（R.M.Brown）等发表了水质污染的水质指数（WQI）、美国尼梅罗（N.L.Nenerow）在其《河流污染的科学分析》一书中提出的尼梅罗水质污染指数、英国学者罗斯（S.L.Ross）1977年提出的罗斯水质指数，以及我国的综合污染指数法等。现重点介绍我国的综合污染指数法。

综合污染指数法：综合污染指数（K）是用来表示各种污染物的总体对地表水水质污染程度的一种无量纲指标，也称愈合值法。其计算式如下：

$$K=\sum_{n=i}^{n}\frac{C_k}{C_{oi}}C_i$$

式中：C_k为根据具体条件规定的地面水各种污染物的统一的最高允许标准，推荐采用 0，1（在计算上较为方便）；C_{oi}为各种污染物的地面水最高允许标准；C_i为各种污染物的实测含量。

K值的评价意义是：

K＜0.1，表示地表水中各种污染物总含量不超过地面水最高允许标准，定为“未受污染”；K=0.1～0.2，定为轻度污染；K＞0.2，定为严重污染。

③土壤环境质量评价

评价因子的选择 一是根据土壤污染物类型；二是根据评价目的和要求。一般选取的评价因子为：

重金属及其他有毒物质汞、镉、铅、铜、铬、镍、砷、氟、氰化物等。

有机毒物 酚、DDT、六六六、石油、3，4-苯并芘、三氯乙醛、多氯联苯等。

酸度、全氮、全磷。

此外，对土壤污染物质积累、迁移和转化影响较大的土壤组成物质和特

性也应选取作为附加参数，以便研究土壤污染的变化规律，但不一定参与评价。附加参数主要包括有机质、质地、石灰反应、氧化-还原电位等。根据需要和可能，也可选取盐基代换量、易溶盐类、不同价态重金属离子的含量等。

评价标准的选择 土壤作为环境要素不像大气与水体那样,其污染物并不是被森林与人体直接吸收而产生危害。森林植物只在吸收含有毒物质的水分或土壤的物理性状恶化而影响土壤水分与空气的情况下，才可能受害。土壤污染物也只有经过食物链，人吃了林中植物后，才会受到污染物危害。有了这一层间接关系，要评价受污染的土壤质量难度较大。而且各地区各种森林类型的土壤性质差异大，组成物质均一性差，因而现在国内外尚未提出土壤中污染物质的环境标准。一般只选用如下的标准：

一是以区域土壤本底值为评价标准。是指在一定的地区内，远离城镇、工矿、交通线，没有受到“三废”污染，也未受到人为破坏过的天然森林的土类（在山地海拔高度不同、土类不一样）为标准。这样的土壤，含有毒物质应是很少的，它对于森林保护区、风景疗养区的土壤质量评价是适宜的。

二是以土壤背景值为评价标准。土壤背景值是代表自然和社会环境发展的一定阶段，在一定科技水平影响下，土壤中有毒物质的平均含量。也就是指经过一定程度的人为干扰，如森林经过采伐，荒山经自然演替恢复了次生林，或人工造林等，形成的各种不同类型的森林，受“三废”污染轻的林地可以选为评价标准。

三是以土壤对照点含量为评价标准 地区不同，土壤类型就不同；在同一地区内，山地与平原的土壤类型也不同。因此，就难以用不同地区的森林土壤作为背景值或本底值，加之农区的与靠近农区的森林，程度不同地受到空气或水体的污染，为此，在同一地区内评价范围不大或评价要求不高，时间短，任务急的情况下，宜选择几个受污染或很少污染的林地作为对照点，测定这些对照点污染物含量的平均值作为对照点含量。用它作土壤评价标准也能获得较好的效果。

土壤环境质量评价方法 主要采用生物法。所谓土壤被污染，主要是土壤引起了生物的某种反应。所以，可根据生物反应的情况，来判断土壤污染。

植物反应 常根据植物（林木与林下植物）的叶片长势和产品来衡量土壤污染状况。例如，砷污染的土壤，其生长的植物首先表现新“功能叶”的萎蔫，继而阻止植物根部与顶端的生长。桃受砷毒害，最易使叶边缘由褐变红，以后扩散到叶脉间，叶面上死组织脱落，好像射孔。砷害严重时，果实产量下降，果实变小收缩。镍污染的土壤所生长的植物，最初没有表现，以后叶片才失绿，与缺铁相似。柑橘受镍毒害，与缺锌相似，较严重时，整个植株死亡。

残毒量与累积量 利用植物的重金属累积量（C_p）和农药残留量（R_p）；或者分别用它们与土壤中重金属累积量（C_s）和农药残留量（R_s）之比，即为 C_p/C_s 或 R_p/R_s；或用植物对重金属或农药的吸收率（吸收能力）作为土壤质量评价指标（但需注意：同一土壤中，不同植物对重金属与农药吸收和累积的能力不一样，同一树种的不同部位累积或残留的重金属、农药量也不同）。

评定不同土壤的污染程度，需采用同一作物，将同一作物部位的重金属累积量以及农药残留量进行比较。

杀菌度（B）土壤中重金属和农药对土壤微生物有杀伤作用。根据杀菌度（B）可评定土壤污染的程度。

指数法 大气与水体质量指数法的思路均可用于进行土壤质量评价。例如对北京西郊环境进行综合调查时，采用下列土壤质量评价公式：

$$I_i = \frac{C_i}{S_i} \qquad P_i = \sum_{i=1}^{n} I_i$$

式中：I_i 为某污染物综合指数（I）的分指数；C_i 为 i 污染物实测浓度；S_i 为 i 污染物评价标准值；P_i 为土壤评价的综合指数；n 为污染物数目，如果采用酚、氰、镉作为评价因子，即 n=3。

按 P_i 值的大小可将土壤质量分为四级（表 5-6）：

表 5-6 土壤质量指数法分级

土壤质量分级	土壤评价综合指数
清洁	＜0.2
微污染	0.2～0.5
轻污染	0.5～1.0
中污染	＞1

又如对官厅水库底泥的评价，采用的指数公式为：

$$P_i = \sum_{i=1}^{n} \frac{C_{in}}{S_i} C_i$$

式中：P_i 为总指数；C_i 为 i 污染物实测浓度；S_i 为 i 污染物评价标准值；如果选取酚、氰、砷、汞、铬作为评价因子，即 n=5；Cin 为五种评价因子的统一含量的最高值。

（3）森林总环境质量评价 区域环境包括大气、水体、土壤、生物、噪声以及社会环境诸要素，它们相互关联、相互影响、相互制约、构成了一个统一的整体。污染物进入某一组成要素中，也必然会影响其他要素。实际上，污染物是在整个环境中进行迁移转化，最后引起环境质量变化的。所以对各要素分别进行评价后，还应对整体环境质量作综合评价。目前，城市区域环境表现出综合影响较明显，因此在各种环境要素中，选择最主要的评价参数，可对各参数考虑合理的加权，建立一个“总环境质量指数”表达式。用以评价这些主要环境质量构成的“总环境”质量。森林总环境质量的评价可以采用这样的方法。例如，北京西郊的环境质量综合评价。

1973 年西郊环境质量评价组提出了“环境质量指数”的计算模式，用以表示一个地区的综合环境质量，计算式为：

$$P = \sum_{i=1}^{n} P_i \qquad P_i = \frac{C_i}{S_i}$$

式中：P 为环境质量指数；P_i 为 i 污染物的污染指数；C_i 为 i 污染物的实测浓度；S_i 为 i 污染物的评价标准值。

在分别对大气环境评价、地面水评价、地下水评价和土壤环境评价之后，按下式进行综合评价：

$$P_{综合} = P_{大气} + P_{地面水} + P_{地下水} + P_{土壤}$$

按 $P_{综合}$的大小将环境质量分为六级（表 5-7）：

等级	综合指数	环境质量状况
一	0	清洁
二	0.1～1.0	尚清洁
三	1.1～5.0	轻污染
四	5.1～10.0	中污染
五	10.1～50.0	重污染
六	50.1～100.0	极重污染

总之，由于环境质量综合评价所涉及的范围广，牵涉的环境要素很多，而且每个要素中又包含若干污染因子，它们在各个地区对人群健康和生活影响的程度又不尽相同。因此，如何结合各地实际情况，因地制宜，从错综复杂的环境诸要素中选择对人群健康和生活影响较突出的一些要素和污染物作为参数，并进行合理加权，这是进行环境质量综合评价和制定环境质量综合指数的关键。

环境质量综合指数，是从总体上综合表示区域环境质量的一个数量标志。随着人们对环境认识的不断提高，对监测手段和评价标准研究的不断发展，环境质量综合评价指数包括的内容和计算模式必然日趋完善。但是，它毕竟显示环境综合质量的某种相对的和近似的指标，而不一定是唯一最恰当的指标。所以，只用包含内容、假设条件以及计算方法完全一致的综合质量指数，才能比较同一地区不同时期，或同时期不同地区的环境综合质量状况。

第二节 森林生态评价

一、森林生态环境质量评价

这里所说的生态环境是指，除人口种群以外的生态系统中不同层次的生物所组成的生命系统。生态环境质量就是这个系统在人为作用下所发生的好与坏的变化程度，或者说是生命系统在人为作用下的总变化状态。人们开发、利用，甚至破坏或建设周围的生命系统，使它们发生了改变，对这些改变及其给人们的影响做出定量的分析及评价，可称之为生态环境质量评价。生态环境质量评价是环境质量评价的重要组成部分，从这种意义上讲，生态环境质量评价就是依据生态系统结构和功能状态的优劣对环境质量进行评价的一种方法。显然，生态环境质量及其评价的综合性很强。由此可知，森林生态环境质量就是森林生态系统在不同程度的人为干扰（如采伐、抚育、改造、火烧、病虫危害并施用农药防治等）作用下，所发生的变化程度。对这些变化以及这些变化对人类的影响做出定量的分析与评价，则称之为森林生态环境质量评价。人类在长期发展中，不断地利用森林资源，同时也就改变着森林生态环境。科学地度量与评价森林生态环境所发生的变化，已成为环境科学中的一个重要课题。

（一）森林生态环境质量的判定

1.森林生态环境质量判定的依据。具体地说，森林生态环境质量评价是对森林生态环境质量给以数量化表征，并划分为一定等级给予评价。在进行评价时，对一个复杂的森林生态系统，往往只能是从中抽取一定数量的样品进行分析推断。由此所获得的生态环境质量及其评价，仅仅是“生态环境质量”实际状况的一个具有代表性的标度。因为，一般情况下很难将整个生态系统全部度量分析。这里所给出的生态环境质量及其评价，实际上主要是指生态系统中生物因子之间关系变化的评价。在进行评价时，需要从生物因子关系变化中选取可以标度整个系统质的改变的参变量。一般情况下，生态环境是复杂的。任何生态系统都有其结构的时空变化，如群落结构、营养结构、优势种群的内部结构等；有它所特有的能量过程，如初级生产力、各营养级能量转化、系统内的能量积累、种群生物量等。另外，还有生态系统的功能效应，特别是对人类生存所需要的效应，如植被的释氧效应、固定光能的效应、吸收 CO_2 的效应、蛋白质生产与累积效应等。对于受污染的生态系统，还包括污染物在生态系统内的迁移、积累、富集，以及生态系统对污染物的抵抗能力等。如何从这诸多方面选取定量的并且可以数量化表征的参数，进而对生态环境素质进行综合描述，则是一个关键性的问题。

森林生态系统的环境比其他任何生态系统都要复杂得多。森林生态系统的结构时空变化非常大，如在空间上，树高可达数十米，根系达地下数米至30 多米深；在时间上，有的树种与群落可以生活数百年。森林又有最多的层次结构与复杂的成分与年龄结构，因而森林生态系统内的营养结构也最为复杂，系统内的能量累积、初级生产力都很大，生物量比任何生态系统都大。由于森林的种群与群落演替十分显著，因而森林生态系统的结构变化与随之发生的森林生态环境的改变也很大，测定起来更为困难。

森林生态系统的功能不但多而且显著，它能固定光能与 CO_2，放出 O_2、涵养水源、增加降水，防止土壤侵蚀等。这些功能被称为森林的生态效能。但这些生态效能的测定与评估是较难的，因为这些功能随时空的不同而有较

大的变化。

环境质量的高低，应以它对人类生活与工作，特别是对人类健康的适宜程度作为判断的标准。评价生态环境质量当然也需注意这一问题。在评价森林生态系统质量时，应注意其经济价值（木材、非木材产品如林下药用植物，作为绿色食品的多种植物及可利用的野生动物等），同时应注意该生态系统对人类生存的价值（产氧能力与固定 CO_2 的能力等）。另外，还要考虑选取能够较鲜明地说明生态系统质的改变的标准进行刻画。由于生态系统是建筑在大型的物理系统和化学系统之上的一个更为高级更为精细的系统，所以选取刻画其变化的参量较物理及化学系统要多，而且复杂得多。

2.生态环境质量的基准与刻度。研究一个物理系统时，有时必须确定其初始状态，方能比较物理量的变化。进行生态环境质量研究也须给出初始状态以确定其质量的基准。一般的基准值都是以 0 或 1 表示。这里的 0、1 是最小基准值。最大基准值可根据实际情况或人们的需要而定，也可以借助于概率论上的概念，取 0 为最小基准值，取 1 为最大基准值。

为了确定生态环境的质量，需从多方面选取标定“生态环境质量”的参量。即通常所说的确立指标体系。这种体系可能仅含一个参量序列，也可能需要多个参量序列。若是后者，就有一个如何由多个参量来决定生态质量基准值的问题。

如果生态环境质量为 0，则必然是由 N 个参量皆与 0 有关；或至少有一个参量 A 为 0，而其他参量与 A 有相乘的关系。

这里所言及的 0 或最大基准值 1，是一个相对标度。分析者为了某一目的，首先选取初始状态。这里可定义初始状态的所有参量的值为 0 或 1，然后再确定终极状态值为 1 或 0。为此，则可以进一步划分生态质量的刻度。

生态环境质量的刻度，是将生态环境质量的极大值 1 与最小值 0 之间划分为若干个状态，每个状态可习惯性地称其为一个刻度。

（二）参量的选择及其数量表征

应从森林生态系统本身的生命成分中选取可以标度整个系统质的改变的参变量，如属于生态结构方面的营养结构、群落结构，甚至涉及优势种或建群种的种群结构，种群年龄结构等；属于能量过程的初级生产能力、各级能量转化和能量积累、总的生产能力、生物量等。另外，进入或作用于生态系统的异常因子的迁移、积累、富集，以及生态系统。对于这些因素作用的抵抗能力也是必须考虑的。在具体地对一个森林生态系统的状况进行质量分析时，应考虑群落结构，主要树种的年龄结构，上层立木、林下植物（灌木、草本、低等植物）的单位面积生物量，建群种的年生长量，汞、铜、锌、硫、酚等在优势树种与优势下木、草本中的含量，建群种的环境最大容纳量等几个方面。这几个方面各为一个生态参量，然后将这些生态参量综合在一起刻画生态质量。

（三）森林生态环境质量评价模型

由于生态组分的多样性，加之生态环境质量的研究文献较少，目前，很难确定一个具有普遍性能的评价模型。在这里只选取一个较为有意义的模型作为评价的例子。

所选的模型是一个物理模型，1945 年马尔萨斯（Malthass）将此模型用于生态格局的分析。该模型是刻画 n 维空间的位置的。它同要评价的生态环境质量有相似的形式。如果从生态指标中选取 n 个参量，则参量变化过程，

也是生态环境质量值的空间位置。

假如选取五个参量，分别记为 P，I，M，Z，K，生态环境质量与参量的关系有着质的内在联系，每个参量的数值变化都可以在一定程度或某个角度标明生态环境质量状况，于是生态环境质量 Q 与五个参量之间有如下关系：

$$Q=\phi\ (P，I，M，Z，K)$$

如果给出或找到“φ”的表达形式，则φ就可以给予评价。

这里选取的是 n 维空间内点的位置模型，其函数形式可用点到原点的距离来表示。例如一阔叶红松林的生态环境质量，可以主要选取群落结构，主要树种的年龄结构、群落中的下木、草本、微生物的单位面积上的生物量，汞、铜、锌、酚在八个有代表性的树种体内的含量，主要树种环境最大容纳量等五个方面，各为一个生态参数，综合在一起刻画阔叶红松林的生态环境质量。即：

$$Q=\phi\ (P，I，M，Z，K)$$

式中：P 为森林群落结构参数；I 为主要树种的年龄结构参数；M 为单位面积上的生物量；Z 为对污染物的稳定度；K 为主要树种的最大容量；Q 为森林生态环境质量。

二、森林生态效能与效益评价

森林是一个多功能系统。它是陆地上最大、最复杂的生态系统，对人类的生存与发展起着至关重要的作用。森林除了可直接为人类生产与生活提供木材和出自林中的动、植物资源（如食物与中草药等）外，还间接地提供生态效能，如涵养水源、保持水土、调节气候等。森林的这些生态效能是巨大的，一般当以这些生态效益进行计算时，将产生很大的生态经济效益。如日本林野厅从 1971—1973 年对全国森林进行了调查，并提出了森林生态效益的调查报告：日本全国森林覆盖率为 64%，森林土壤年贮水量达（23×10^{10}）t，森林防止泥沙流失达（57×10^{8}）m^3，栖息鸟类 8100 万只，提供 O_2（52×10^{6}）t，吸收 CO_2（69×10^{6}）t，仅这六项森林生态效益的价值就达 128320 亿日元（以 1972 年价格计算），相当于同年日本国民生产总值的 13.8%，或相当同年日本农林渔业产值的 2.6 倍。根据美国、原联邦德国、前苏联对森林生态效益的推算结果，认为森林生态效益是木材产值的 9 倍、6 倍和 2 倍。

我国在 1994 年发布的《中国森林资源价值核算》的报告表明，中国森林环境效益为立木价值的 3 倍多，全面的环境价值是立木价值的 6～20 倍。福建省是我国林业大省，是全国森林覆盖率最高的省份。其森林覆盖率达 43.18%（1988 年统计），绿化程度达 55.7%。在有林地中，山地森林为（474.5×10^{4}）hm^2，占林地面积的 94.8%。经测算评估（按 1987 年价格计算），该省森林生态效益为 100 亿元，木材与其他林副产品（含林木产值，野生植物采集，野兽、禽的捕猎，花卉，茶桑，水果，纸浆与造纸及其他森工项目等）30 亿元，社会效益 19 亿元，经济效益与社会生态收益之比为 1：4。

（一）森林生态效能的特征

近 30 年来，国内外对于森林的生态效能进行了较多的研究。主要有以下几个方面：调节气候，减免自然灾害；涵养水源，保持水土；防风固沙，净化大气；保护物种资源等。通过研究，科学家们比较一致地认为森林生态效能具有以下特征：

1.系统内外特征。只有将森林生态效能分成系统内外部描述，才能说明

森林的受益者和各自的受益程度。系统内表现为生物产量的增加，系统内生态环境的改善、地位级的提高、直接效益的提高，系统内生态经济稳定性及系统承载力增加；系统外表现为环境因子的调节和改善、生态环境系统抗逆性能的增加、社会经济效益增加。

2.多样性特征。从森林具有的功能可以知道生态效能的多样性。森林的生态效能多样性是其他生态系统无法比拟的。不同的森林类型，所具有的生态效能差异颇大。

3.时空分布特征。森林的生态效能随着时间与空间的变化而不断地变化，如在树木不同的生长时期或不同的立地类型，森林的生态效能都有不同情况的发挥。因而从时间上与空间上把握和分析森林的生态效能显得十分重要。

4.迟效性特征。森林生长的长周期造成生态系统各种因素的反映必然是一个较长的过程，而且一些效能的发挥也需要有足够的时间。一般说来，天然林比人工林生长得慢，迟效性更显著，但生态效能持续的时间更长。慢性树种构成的森林比速生树种形成的森林发挥生态效能要晚些，但却持久一些。立地质量的高低也影响到森林生长的快慢与功能的发挥。因此，我们必须要有预见性，这样才能使森林的生态效能得到尽快和充分的发挥。

5.阶段性与可变性。森林有不同的发育阶段，如幼年、中年、近成熟时期。在不同的阶段中，其生态效能显著不同，尤其是森林群落有不同的演替阶段，天然林在不受破坏的情况下，能从先锋群落演变到顶极群落，从结构简单、生态效能低的群落演变到结构复杂、生态效能很高的群落。随着自身发展的阶段不同，森林的结构与功能的变化很大。当受到不同的干扰尤其是人为的破坏时，森林群落遭受破坏的程度不同，其结构与功能的退化也不同。严重的破坏如皆伐、火烧，可以使其有益的生态功能很快消失。

6.负效性特征。对整个社会来说，森林的生态效能利用所产生的效益，不可能全部都是正效的。不论是从森林利用的特征来说，还是从社会各产业系统的角度来说，在一定程度上都带有负效性的特征。

（二）森林生态效能及其经济价值评价方法

在前苏联、法国、西欧各国与日本等国家各有一套评价森林生态效能与森林生态经济的方法。比如日本，对森林生态效能及其经济的评价很重视，在 1972 年就有了全国的森林公益效能的经济评价结果。该国采用的是效能费用分析法（数量替代法）。

简单地说，就是对与森林生态效能值 y 有关系的 m 个因子（x_1，x_2，x_3，…，x_m）进行测定。以此为基准，用多变量解析方法测定 y，即采用 $y=f(x_1, x_2, x_3, \cdots, x_m)$ 的函数关系求出 y 值。具体方法如下：

1.森林防止土壤侵蚀效益的计量。森林防止土壤侵蚀的作用是巨大的，而土壤侵蚀造成的危害是多方面的。总的来说是土壤侵蚀区土壤肥力下降，沉积性的泥沙淤积给河道和水库带来损失。因此，在评价森林防止土壤侵蚀效益时，可以使用森林地段与无林地段土壤中养分物质的含量为基础进行计量。当然，这种可比性必须在同样的或相似的立地条件下。根据上面所述，森林防止土壤侵蚀的效益可按下式计量：

$$P=\Sigma W \cdot \Sigma (R_j/A_j) \cdot C_j$$

式中：P 为森林防止土壤侵蚀的效益值（元）；W 为土壤保持量（t）；R_j

为侵蚀物中第 j 种养分物质的含量（kg/t）；A_j 为第 j 种养分元素在标准化肥价格中的含量（%）；C_j 为第 j 种标准化肥价格（元/kg）。

以同样的方法分别计算出养分全量和速效养分含量，从全量中扣除植物已利用的部分作为某种养分的计量值参与运算。

2.森林水源涵养效益的计量。森林涵养水源的功能，通常是指森林涵养水分湿润土壤，补给地下水调节河川流量的功能。这个功能是通过森林生态系统作为积聚和贮存水分的中心来实现的。一般来说，森林涵养水源的机能与土壤物理性质、土层厚度以及森林所特有的枯枝落叶层的状况关系很大。即森林蓄水量的大小主要取决于森林土壤的粗孔隙度（非毛管孔隙度）。因此，理论上森林土壤的蓄水量可通过下式计算：

森林土壤贮水量=森林面积×土壤层平均厚度×非毛细管孔隙度

由于森林中既有草被拦截大雨时在地表形成的水流，又有枯枝落叶层吸收大量的水分，土壤的结构与孔隙度比无林地能吸收更多的水分，进入土壤孔隙的水分由于重力作用，会不断地向下渗透流动。因此，一般情况下，森林土壤不会因水分饱和而产生地表径流。可见，森林土壤涵养水源的功能是在不断地吸收和输出的动态过程中产生的，它实际上具有无限的贮水量。

显然，森林的贮水量不等于森林涵养水源的效益。在利用上面公式时，还需要考虑一些实际情况，即只有森林能提供人们利用的水量时才能产生效益。实际上，常有超过森林土壤渗透能力的现象，当然，也有由于降雨量过小，雨水落不到森林土壤的现象和降雨初期雨水被林冠、地被物截留而蒸发的现象。把以上各消耗因子加起来，约占降水的 30%，森林土壤的吸收量估计为 70%。再扣除 15%的森林植被生理水（蒸腾）消耗，以及扣除 50%的无林带效应，最后剩下的就是一定面积的山地森林通过土壤贮水不断供给水库、河溪的补给水。这便是森林涵养水源效益的实际计算量值。将森林的供水量与水库单位水体建设费相乘所得的值，即森林水源涵养作用的经济效益。

3.森林防洪效益计量（减水效益）。森林有明显的防洪作用。大量事实证明，有大面积森林覆盖的地区，其河川和水库的水量较稳定，洪水的总量和洪峰流量都明显小于森林植被缺乏的流域。计算森林防洪效益的方法有：

（1）对等措施替代法此法是以其他防洪措施（如水库）代替森林的防洪效能，而以替代措施的投资定额计算森林的防洪效益值。在水土保持措施或防洪措施的优选以及区域性土地利用规划、水土保持综合治理规划中，这一方法具有积极意义。因为通过计算比较，可以选择投资节省、防洪效益良好和效能持久的措施。

(2)淹没损失替代法此法是建立在级差地租理论基础上的防洪效益的计算方法。由于森林营造与管理的各项措施的实施，促使环境有更大的防洪抗灾能力，使下游地区的农业、工业、交通、邮电等部门减少损失，节省了防洪开支，从而给这些部门的有关单位带来构成级差地租的超额利润。因而各项营造林措施具有的消减洪峰流量与洪水总量的效益可以按减少的洪灾损失计量。

三、森林美学与游憩功能效益评价

森林是人们游憩的好去处。20 世纪以来，人们的工作与生活节奏的加

快，城市生活环境的恶化，促使人们在工余时、在度假时奔向野外，尤其是去森林中，在林中游憩（forest recreation）。在森林中可以尽情地漫游，享受森林浴，呼吸新鲜的空气。林中鸟语花香，树木花草千姿百态，绿色给人柔美，野生动物与昆虫给你惊奇。森林与特殊的地形、地物及水体相结合，宛如一幅美丽的图画，令人心旷神怡，美不胜收。人们向往森林，除了它的洁静，还因它有更高的美学价值。

美学意义上的森林风景（即森林景观，forest landscape）具有一定的价值。对森林风景价值的评定在近 20 年研究得较多。风景的优美程度（值）取决于主客观两个方面——评价者的审美趣味和风景本身的客观特征。一般可将风景评价分为三个内容：风景质量评价、风景敏感性评价和风景阈值评价。

（一）风景质量评价

森林风景质量是指风景的美学质量。风景质量的评价就是风景优美程度的评价。根据不同的情况，作为风景评价的基本单位之大小不等：可以把每个风景点作为评价的基本单位，进行某一风景单元内多景点之间的比较；可以把风景单元作为评价的基本单位，进行同一风景区内多风景单元之间风景质量的比较。

根据参加评价者的不同，可分为专家评价与公众评价两种。前者由少数训练有素的专家组成评价小组参与评价，人数很少；后者是由公众组成评价组，参与评价，人数较多，而且参加者来自各行各业，具有不同的兴趣和爱好，一般通过随机抽样，或系统抽样来得到相当数目的评价者（几十人到几百人）。根据评价途径不同，又可分为现场评价、幻灯及图片评价、地图与航空照片评价等诸方向（俞孔坚，1986）。针对我国的具体情况，现场评价、地图与航空照片评价只适用于专家评价。对公众评价来说，幻灯、图片评价较为经济方便。

根据对风景质量计量方式的不同，又有三种评价方法：直观评价法、算术评价法和统计评价法。直观评价法是通过评价者对某一单位风景的总印象，得到关于该单位风景的风景质量评价。评价者根据自己的综合体验，给某一单位风景赋予一定的值（10 分制或 5 分制），或者把多个单位风景排出一个由好到差的次序。

算术评价方法则通过对单位风景内的各风景要素逐一评分，然后加权计分，得到该单位的质量评价：

$$SQ = \sum_{i=1}^{m} L_i X_i$$

式中：L_i 就是风景要素 i 的权重；X_i 是要素 i 的评分值；m 是要素的总数。

统计评价法则更为复杂，主要是通过建立风景美景度的估测模型，来进行风景质量的评价：

$$SBE=f(x_1, x_2, x_3, \cdots, x_n)$$

式中：x_1，x_2，x_3，…，x_n 是各风景构成要素或成分。它们一般都可以用客观方法进行定量。所以，一旦评价模型建立以后，就可以用它进行风景质量的客观评价了。根据风景质量评价结果，划分出三个或更多的风景质量等级区，并绘制风景质量分布图。

（二）森林风景敏感性评价

风景的敏感性是指风景被观赏者所注意到的程度，也是风景在风景系统中的重要性及受外界干扰的容易程度。敏感性很高的风景，即使是微小的变化（如人为活动引起的改变）都会影响观赏者对该风景的态度和评价。风景的敏感性决定于以下几个因素：

其一是单位时间内，风景被观赏的概率。显然，单位时间内风景被观赏的人次越多，则风景的敏感程度就越高。

其二是公众。那些为人所熟知，或受到当地民众甚至于全国民众重视的风景，其敏感性就高，如张家界森林公园就是一个高度敏感的森林风景区。黄山也是高度敏感的风景区，而其中的黄山松作为一个风景点，又具有更高的敏感性。因此，风景区中的任何人为活动，尤其森林中的风景点，都应慎重计划与保护。

其三是风景离主要观景路线的距离。一般划分为四个距离带——前景带、中景带、背景带和鲜见带。由近到远，风景的敏感性逐次降低。

其四是相对于观景者的坡度及坡向。显然，垂直于视线的坡面，其风景敏感性就高，随着视线与坡面夹角的减小，坡面的可见面积就减小，风景的敏感性也就降低。

其五是特别区域。如某些特别的森林自然保护区、庙宇林等，都是高敏感区。在这种情况下，敏感性已不局限于视觉意义上。

其六，其他因素：如风景本身及其周围风景的人类活动的现状、观景者的心理状态等。一个较为原始的森林、次生林（皆为天然林）的风景（风景区），或一小片或几株古树、形状古怪的树（风景点）要比一个人为活动较频繁单位风景（如人工林，尤其是人工纯林）具有更高的敏感性。同一风景，对具有不同兴趣的人来说，显然具有不同的敏感性。

应根据以上各因素，综合评价某一森林风景单位的敏感性。根据敏感性程度，分为三个敏感性等级区：Ⅰ——高度敏感区，Ⅱ——中等敏感区，Ⅲ——低敏感区。然后，按不同风景的敏感等级，绘制风景敏感性分布图。

（三）森林风景阈值评价

所谓阈值评价是指风景对人类活动所造成的视觉干扰的抵抗能力和吸收能力。它表现在两个方面，一是风景系统对外界干扰的同化能力或掩饰能力，二是风景系统受到破坏后的自我恢复能力。风景阈值对指导人为活动（如道路修建、架设电线、建筑工程等）都有很重要的意义，是预测视觉污染、合理进行森林风景资源管理的主要依据之一。森林风景阈值主要取决于两类因素：森林内部的结构因素和气候、季节等生态因素。

森林内部的结构因素：这对风景阈值起着决定性的作用。首先是森林生态系统内部结构的复杂性。地形越复杂，树种和其他植物种类越丰富，群落的结构则越复杂，于是风景的阈值也越高。其次是坡向、坡度及土地的稳定性。阴坡一般比阳坡具有更高的风景阈值，缓坡比陡坡有更高的阈值。稳定性较好的土地比不稳定的土地（水土流失、滑坡等）也有更高的阈值。森林的再生恢复能力大，则阈值也更高。

气候与季节因素：气候与季节主要是通过影响森林结构而影响风景阈值。高温多雨的气候有利于树木与其他灌木、草本的生长与植被的恢复，从而使风景阈值提高。夏季森林的遮蔽能力比冬季强，故夏季的风景阈值较高。气候对森林风景阈值的影响较复杂，应根据当地所处气候带的环境进行综合分析。根据森林风景阈值的评价结果，划分风景阈值等级区：Ⅰ——高阈值

区，II——中等阈值区，III——低阈值区。然后，把上述成果通过风景阈值分布图表示出来。

采用迭置法，将上述森林风景评价的成果——风景质量（分布）图、风景敏感性（分布）图和风景阈值（分布）图迭置在一起，划分出三个或更多等级的管理区。

森林风景的美学价值是森林游憩功能的基础，包含在游憩价值之中。森林游憩的价值是一种具社会性、无形性的产品价值，对它进行科学的价值量的估算比较困难。近年来，国内外在理论与方法上的研究较多，争议也较大。下面介绍其中的一种方法——旅游成本法。

旅游成本法是利用旅游者的旅游成本来反映游憩林的价格，借以推算游憩林（游憩区）的需求功能。此法从森林游憩产品的最终消费者——游客的角度出发，依据西方经济学消费者剩余理论进行游憩的价值评价。此法在理论上较为合理，方法运用上也较为完善。下面进行具体介绍：

西方经济学理论对消费者剩余的定义为消费者对商品或劳务愿意为其支付的费用与实际支出之间的差额。就一个森林游憩地而言（图 5—2），随着游客所追加的旅游成本不断增加，游林人数呈现下降趋势，当游林人数为 N_1 时，游客愿意支付的费用为 P_1，若此时费用为 P_0，则 P_0 与 P_1 间阴影部分即构成了游林人次为 N_1 时一组游客的消费者剩余，而全体消费者剩余即为图 5－2 中曲线以下的面积，用公式表示为：

$$V_p = \int P_0^m y\ (x)\ d\ (x)$$

式中：V_p 为消费者剩余；P_0^m 为最大追加旅游成本值；y（x）为成本与游林人次的函数关系式。

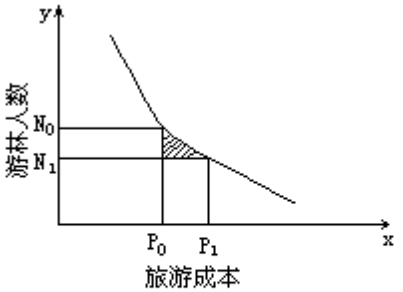


图 5 — 2 旅游（消费者）剩余示意图

图中：N_0 为初始游林人数，N_1 为追加旅游成本后的游林人数，

P_0 为实际支出的旅游成本，P_1 为追加费用后的旅游成本

运用旅游成本法进行森林游憩价值计算，具体步骤为：

第一步：建立关于游林率的回归模型。游林率是指一定时期内（一般为一年），某一客源地游客到游憩地的旅游人次数与该客源地人口数的比值。即：

$$\text{某一客源地游林率} = \frac{\text{该客源地游林人次数}}{\text{该客源地总人口数}}$$

客源地所能提供的游客数量的多少，受各种确定性与不确定性因素的影响。一般来说，有客源地人口数、游客收入水平、旅行时间、游憩成本、游憩时间等因素。在假定游憩地在各地知名度相同的情况下，游林率回归模型可建立为：

$$Y=a_0+a_1x_1+a_2x_2+\cdots+a_ix_i+c$$

式中：Y 为客源地游林率；x_i 为各类影响因素值（i=1，2，…，n）；a_i 为回归系数（i=1，2，…，n）；a_0 为常数项；c 为随机扰动项。

第二步：建立消费者剩余模型并计算游憩效益值。

假定其他影响因素都保持相对的稳定，只考虑追加旅游成本对游林人次的影响，当追加成本达到一定值时，游林人次便为零，依次建立模拟游林人次与追加成本的函数关系式：

$$Y=b_0+b_1x_1+b_2x_2$$

式中：Y 为游林人次；x 为追加旅游成本；b0 为常数项；b1，b2 为回归系数。

$$V_p=\int P_0^m\ (b_0+b_1x_1+b_2x_2)\ d\ (x)$$

式中：V_p 为消费剩余；P_0^m 为最大追加旅游成本。

计算时间价值，所谓旅憩时间价值是指游客为进行森林游憩活动而放弃的收入。在这里，以游客的工作时间进行计量。

$$V_t=\sum_{i=1}^{n}\frac{Q_iW_id_i}{t_m}$$

式中：V_t 为游憩时间价值；Q_i 为第 i 客源地游憩人数；W_i 为第 i 客源地游客游憩时间；d_i 为第 i 客源地游客月均收入；t_m 为月工作小时数。

需要指出的是，森林的生态效能因地理位置、立地条件等的不同而异，而且随时间的推移，森林的生态效能也不一样，比如水土保持效能随森林成长而提高，达顶点后，又逐渐下降。森林的游憩效能也只有当森林生长到一定年限时才能表现出来。而现在的研究，总是将森林置于静止状态，因此现在对森林各种效能与效益的评价，在方法上尚需加强研究。

第三节　森林环境影响评价

一、环境影响评价的要领与环境影响评价制度

环境影响评价这一术语出现于 20 世纪 70 年代，又称为环境预断评价或环境事前影响评价。它是指在兴建或开发大型项目之前，对于该项目给自然环境和社会环境将会带来什么影响所进行的预测和评价，从而预测环境质量可能变化的趋势，并制定出相应的对策，预防公害发生和环境破坏，把环境影响限制到可以接受的水平。它既为决策部门提供环境影响防治对策的科学依据，又为设计部门提供优化设计的建议，因而将为环境保护与社会、经济同步协调发展提供有力的保证。因此，环境影响评价与环境现状评价在性质上是不相同的。环境影响评价是在人类行动没有改变环境以前，记载该地区的自然环境现状，预测它将产生的变化，并对预测的结果进行评价。

环境影响评价是建设项目环境管理中贯彻“以防为主”方针的重要手段。将环境影响评价，通过立法形成法律制度，以便协调发展、资源、环境三者之间的关系，确定它们之间在一定历史阶段的最佳平衡点，使建设项目实现合理布局，经济建设、城乡建设和环境建设同步发展，以实现经济效益、社会效益与环境效益的三统一。

把环境影响评价工作纳入国家法律的第一个国家是美国。美国在 1970 年 1 月 1 日批准《国家环境政策法》以后，就正式建立了环境影响评价制度。后来，瑞典、澳大利亚、法国、新西兰、加拿大也相继推行环境影响评价制度。日本从 70 年代开始首先在某些部门和地区试行，直到 1981 年 4 月经由日本内阁会议通过了《环境影响评价法案》后，才在全国实行这项制度。

我国的环境影响评价制度是在 1979 年颁布了《中华人民共和国环境保护法（试行）》后才建立的。据此，1981 年 5 月国务院有关部门颁发了《基本建设项目环境保护管理办法》。经过重新修定，又于 1986 年 3 月颁发了《建设项目环境保护管理办法》。这些文件对环境影响评价的范围、内容、程序、审批权限和法律责任等都作了具体规定。其规定是：“凡从事对环境有影响的建设项目都必须执行环境影响报告书（表）的审批制度。建设项目环境影响报告书，必须对建设项目产生的污染和对环境的影响作出评价，规定防治措施。经项目主管部门预审并依照规定的程序报环境保护行政主管部门批准后，计划部门方可批准建设项目设计任务书。”

我国的建设项目环境管理程序是通过法律规定而纳入到基本建设程序中，并对项目实行统一管理的，如在《环境保护法》中明确了把环境保护部门审批环境影响报告这个程序，作为建设项目的决策与设计的约束条件，使项目的基建程序与环境管理程序紧密地联系在一起；同时还规定了环境影响报告书必须在批准项目设计任务书之前完成。但我国环境影响评价还面临一些问题，主要方面是：

第一，环境影响评价往往跟不上建设项目可行性研究进度，一般都表现为滞后。我国环境影响评价是在建设项目可行性研究阶段进行，而在项目建设书阶段关于环境影响评价工作没有法律规定。环境影响评价只能在项目立项后与可行性研究同时委托，要求同时完成，可行性研究因资料较齐全进度很快，而环境影响评价因要进行环境调查而跟不上进度。

第二，环境影响评价内容、技术方法和主要环境对象尚没有统一的技术规范。现在的做法是靠评价大纲的编制单位根据经验与习惯做法，在大纲中

加以论述，说明哪个环境因子为主，哪些内容为重点，然后靠召开专家会议审查，听取专家意见，最后由环境管理部门提出审批意见，批准实施。一般地说，这一过程较切合实际情况，但是缺乏统一性。

第三，环境影响评价内容还需要进一步拓宽。我们当前的环境影响评价主要偏重评价环境污染和治理对策措施。按照世界各国通用的环境要领的说法，环境应包括自然环境（水、大气等）、生态环境（动物、植物等）、社会环境（工农业、供水、交通、第三产业等）和生活质量环境（美学、人文、旅游、健康等）。对后三个方面的评价工作还比较薄弱。

第四，对大面积的森林开发和垦殖的环境影响评价工作仅仅是开始。如阿尔泰林业局变为森工企业，全面开发阿尔泰山林区的环境影响评价工作，虽然做得较好，但因缺乏统一的方法，一切在摸索中进行，工作量很大，拖的时间较长。众所周知，大面积的森林开发和垦殖对环境造成的影响是十分巨大的，必须通过环境影响评价弄清对自然生态环境所造成的影响，论证出切实可行的减轻影响的补救措施。在这方面应引起主管部门的高度重视。

第五，对农、林、水等生态影响较大的建设项目如何进行环境影响评价，尚缺乏指标体系。

第六，评价方法不能满足日益发展的环境影响评价的要求。当前的环境影响评价，普遍采用的是模式计算。对建设项目的多种综合影响，难以进行评价和综合。我国是一个多山地丘陵的国家，而大气污染的扩散模式一直沿用平原地区的模式，容易造成较大的误差。这需要我们进行研究，比如研究山地气候变化的规律及其对污染扩散的影响，以便建立新的评价模式。

第七，环境影响评价的管理和评价机构还不够健全，人员素质还需进一步提高。

第八，环境影响评价缺乏公众参与。目前我国建设项目环境保护管理法规中还没有制定公众参与的程序。但公众有参与建设项目环境保护管理的权利，有对建设项目的选址及其环境影响评价报告提出意见的权利。

第九，20 世纪 80 年代以来，大量乡镇企业和个体工商企业的建设项目上马，但建设项目的环境影响评价与管理十分薄弱，有的根本没有评价。因而，造成淮河、太湖流域、辽河流域等的严重污染，林区开设的采矿、淘金等的一些建设项目对生态环境造成了严重破坏。教训是沉重的，损失是巨大的。审批乡镇企业、个体企业建设项目，今后必须与国有企业建设项目一样进行环境影响评价。

第十，区域环境影响评价和管理尚缺乏技术指导和管理规定。我国区域开发形势发展极为迅速，目前有些开发区已提出在环境保护上也产生了一系列特殊问题，进行区域环境影响评价已势在必行。如何去做和如何管理是亟待解决的问题。

二、环境影响评价的类型

若根据开发建设活动的类型来划分，环境影响评价可以分为四个类型：

（一）单个开发建设项目的环境影响评价

单个开发建设项目的环境影响评价是为某个建设项目的优化选址和设计服务的，主要对某一建设项目的性质、规模等工程特性和对所在地区自然与社会环境的影响进行评估，提出环境保护对策建议与要求，进行简要的环境经济损益分析等。

（二）多个建设项目环境影响联合评价

多个建设项目环境影响联合评价指的是在同一地区或同一评价区域内进行两个以上建设项目的整体评价，即将多个项目作为整体视若一个建设项目进行环境影响预测。所得预测结果能比较确切地反映出各单个建设项目对环境的综合影响，以便于实行环境总量控制的对策。

（三）区域开发项目的环境影响评价

区域环境影响评价指的是对区域内（如旅游开发区、新建林业企业局等）拟议的所有开发建设行为进行的环境影响评价。评价的重点是论证区域内未来建设项目的布局、结构与时序（如新建林业局或林场时，要确定局（场）址、作业区、伐区、木材加工厂及其他工厂、苗圃以及干线公路与岔线等的布设等），提出技术上可行、经济布局合理、对全区环境影响较小的整体优化方案，促使区域内人口、环境与开发建设之间协调发展。可为开展环境容量分析，进行环境污染总量控制，提出区域环境管理及环境保护机构设置的意见。

（四）战略及宏观活动的环境影响评价

它指的是对人类环境质量有重大影响的宏观人为活动，如我国各大生态林业建设工程（三北防护林工程，长江中上游防护林工程等）与天然林保护工程进行环境影响分析。着眼于全国的、长期的环境保护战略，考虑的是一项政策、一个大的林业规划可能造成的影响。这种环境影响评价是为高层次的开发建设决策服务的。

三、环境影响评价程序

我国目前环境影响评价的工作程序是：凡新建或扩建工程，由建设单位将建设计划向各级环境保护部门提出申请，由各级环境保护部门会同有关专家确定该建设项目是否应该进行环境影响评价，如需要进行环境影响评价，则由建设单位委托有关单位承担。

当评价单位在接到评价任务之后，应根据工程的性质和评价区域的环境特点组织技术领导小组，并尽快熟悉拟建工程的有关情况，接着赴建设地点进行现场踏查，全面收集当地自然环境、社会环境方面的资料。在此基础上，分析、识别工程的环境影响及主要影响敏感点，并编写环境影响评价大纲。经审查通过后，即可开展评价工作，编制环境影响报告书。其具体步骤是：

（一）建设项目环境影响评价课题设计

在林区搞项目建设，如建立新的林业局或林场，营林村的定居点，并建立较大的综合利用工厂者；在森林中开发旅游景点，并开辟新的道路者；在林区建较大的水库及水力发电站者等，首先对建设项目的工程种类、性质、规模、“三废”排放情况，按计划实施后的项目污染物量与可能削减量，工程施工过程中对森林破坏的面积与程度，未来可再恢复的面积等都应有一定的分析。为此，要对建设项目环境影响评价进行课题设计。在设计中，确定环境影响评价的范围是很重要的工作。评价范围 A 是建设项目规范 P 及该地区自然环境特点 N 和社会生活环境 S 的函数。这与评价精度紧密相关，其中的关键问题是如何确定其影响面和选择评价参数，以及如何确定评价参数的主次。根据我国目前的环境影响评价进展情况，凡是评价质量较高的，其课题设计都比较周密完善；反之则将影响评价质量的准确性和实用性。

（二）环境质量现状调查与监测

这是进行环境影响评价工作的基础，它包括环境本底、环境背景及环境质量现状的调查研究。在人类生产建设活动较少，生态破坏及污染不严重的

地区，应开展环境本底及环境背景值的研究。而在老工业区扩建或新建项目，就必须开展环境现状评价研究。此外，在现阶段还要包括对建设项目周围地区社会生活环境的调查与评价，为评价建设项目对未来社会及环境影响创造条件。

（三）环境影响预测

这一阶段的工作是环境影响评价的关键。鉴于环境的整体性及其功能的共同性，环境影响预测应用系统分析的方法，着眼于建设项目周围地区的全环境综合预测，以便得出环境系统行为的结论。由于环境系统是一个大系统，可以根据建设项目所引起的主要环境问题及其涉及物主要环境因素，进一步划分子系统进行研究。例如，可根据建设项目排出的主要污染的或其主要影响面开展环境影响评价研究。

进行环境污染的预测，一般应进行必要的环境模拟，包括数学模拟、化学模拟和生物模拟。环境数学模型的建立，可借鉴于熟知的各种环境要素的预测模型，但必须取得当地条件下的各种环境参数，将其代入模型，进行预测。为了使预测结果接近环境的真实情况，应尽量使建立的模型能反映建设项目所在地区环境的综合特点。建设项目对森林自然环境影响的预测，归根结底是通过系统分析，预测它将会对区域环境系统这个动态非平衡系统可能带来什么样的影响，可能使其平衡点移到一个什么样的程度，应该采取什么样的补偿措施，使其对当地的生态影响最小，以利于建立环境质量优良的新的环境系统。

建设项目对社会环境的影响，应该分析它可能对当地社会环境质量的影响（包括对生活环境质量、社会历史环境、服务环境质量等）和区域经济发展带来的影响。

（四）环境影响生态系统、人体健康及社会经济效益分析

建设项目对周围地区生态系统（包括森林生态系统）的影响，目前多限于对某些生物种群影响的分析，尚缺乏对整个生态系统影响的全面综合分析。一般采用生态模拟的办法，建立生态系统的数学模型，模拟生态系统的行为和特点。在预测建设项目对生态系统或亚系统的行为时，可以把内部结构不清楚的对象看成是“黑箱”，即把建设项目对生态系统的影响看成是输入，把生态系统的变化看成是输出。通过输入与输出来研究生态系统行为的变化，建立数学模型，最后应用新建立的模型进行影响分析。

环境质量变化对人体的影响是慢性的、长期的，故应选择某种环境问题的产生可能引起人体健康变化的灵敏性的指标，及早发现人群亚临床变化以便进行预测。

建设项目的社会经济效益分析，使得各种建设项目能进行利弊比较，并为环境决策服务。森林与其他环境资源都是有限的，对环境资源应该计价。建设项目所造成环境资源的损失，可以尝试着用货币来计算，并将与建设项目的经济效益进行比较，为环保主管部门决策提供依据。环境经济损益分析的方法包括：指标计算法及简易分析法。前者是把环境经济损益首先分解成费用指标、损失指标和效益指标，然后再进行静态或动态分析。费用指标是为了治理污染、恢复生态环境所需的费用；损失指标是指环境污染与生态破坏的损失；效益指标包括直接经济效益与间接经济效益两方面，它们分别是指环保措施直接提供的产品价值和环保措施实施后的社会效益。

在缺乏环境经济影响评价基本参数的情况下，也可使用简易分析法。

（五）编写环境影响评价报告书

环境影响评价报告书，除阐明工程建设、环境状况对环境影响的预测和评价结论外，还应依据国家和地方的各项有关环境保护法、条例和该地区的环境容量等情况，提出具体的环境保护目标和各项控制标准。为达到所要求的目标和控制标准，对建设项目工程中存在的各项有关问题应进行认真的分析，提出解决问题的对策，包括更合理的替代方案和必要的补充措施。这样，报告书不仅从环境的角度对工程的可行性、合理性提出评价意见，而且为了保护环境还对工程提出改进建议，从而使环境影响评价工作对工程起到积极的补充作用。

报告书的编写需注意以下几点：

第一点，编写的内容应符合已经批准的评价工作大纲的要求。

第二点，在纲目安排上，应按“环境影响评价内容”编写。

第三点，评价总报告的编写，应做到取材翔实，结论明确，防治对策具体，内容精练，文字通顺，比较复杂的评价可写 3 万～5 万字，专题报告字数不作严格要求。

第四点，评价专题较多时，可以分册编写，分册装订。

（六）征求意见与审批

在完成环境影响评价报告书草案后，可报送环境主管部门，由环境主管部门予以公布并组织召开座谈会征求意见。参加座谈会的代表有当地居民代表、四邻单位代表和有关管理部门的代表。在会上，应首先对环境影响评价报告书作出说明，然后请代表们广泛提出意见，对意见进行答复和提出解决办法，最后修改报告书草案，正式报告环境主管部门审批。

四、环境影响评价的方法

环境影响可分为确定性影响和不确定性影响两大类。确定性影响是指一项建设工程对环境的影响可以具体定量化地表达。在这种情况下，环境影响评价工作就是要运用各种模拟预测模型，预测未来的环境质量，然后用各种评价模型进行评价。目前该方法在各环境要素的影响评价中应用较多。具体方法在前面已有介绍。

对于不能确切表达的环境影响，目前常用的评价方法有列表清单法、判别法、矩阵法和网络法等。列表清单法和判别法多用于影响评价的初期，以筛选和确定必须考虑的影响因素。通过反复的调查与分析，可以确定环境影响的范围和内容。矩阵法和网络法是对筛选出的因素进行综合分析，提出环境影响评价结果。

（一）列表清单法

此方法是将研究中所选择的环境参数及开发方案列在一个表格里。列表清单可以鉴别出开发行为可能会对哪一种环境因子产生影响，并表示出影响的相对大小，但它对环境参数不能进行定量计算。

此法是把建设过程划分为三个阶段，即规划设计、施工和运行阶段，并把拟议行动可能造成的影响，如空气质量、水质、土壤侵蚀、生态、社会、政治、经济及美学等与上述各阶段列于一个统一的表格中。根据表格可以鉴别出各不同阶段方案可能产生的环境影响，包括有利的与不利的方面。该方法还制定出一个 0～10 的评价等级，以说明影响的大小，且能显示出最大的可能影响。

（二）矩阵法

矩阵法通过综合考虑环境影响的“幅度”和“计数”，在一定程度上可反映出一项社会经济活动对环境影响的总体效果。

环境影响评价应用矩阵法时要确定两项内容：一是环境影响的幅度；另一项是环境影响的重要性。

影响幅度就是指环境影响的大小，这种幅度可以 1～10 的数字表示。在分析每一个环境因子的影响时，可能已经取得这种影响的绝对数量，也可以转化为 1～10 的数。影响幅度越大，数值则越高。一个活动对环境的影响可能是有利的，也可以是不利的，可以分别冠以正号和负号。

矩阵法要确定的另一项内容是每一个影响的重要性，即权系数。权系数的大小同样可以在 1～10 之间进行选择。

在每一个活动的每一项环境影响都确定了影响幅度和重要性之后，就可以构成一个环境影响矩阵（表 5-8）。

表 5-8 环境影响矩阵的结构

环境影响	社会活动			
	1	2	…	n
1	M_{11}（W_{11}）	M_{12}（W_{12}）	…	M_{1n}（W_{1n}）
2	M_{21}（W_{21}）	M_{22}（W_{22}）	…	M_{2n}（W_{2n}）
…	…	…	…	…
m	M_{m1}（W_{m1}）	M_{m2}（W_{m2}）	…	M_{mn}（W_{mn}）

以 M_{ij} 表示第 i 个环境因素受到第 j 个活动的影响的幅度，W_{ij} 表示相应的重要性。

第 i 个环境因素受到各种活动的总影响为：

$$I_i = \sum_{i=1}^{m} W_{ij} M_{ij} \quad i = 1，2，\cdots，m$$

第 j 种社会活动对各环境因素的总影响为：

$$I_j = \sum_{j=1}^{m} W_{ij} M_{ij} \quad j = 1，2，\cdots，n$$

所有活动地所有环境因素的综合影响为：

$$I = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} W_{ij} M_{ij}$$

（三）网络法

网络法可以鉴别和累积直接的和间接的影响。网络法往往表示为树枝状，因此又称为关系树或影响树（图 5-3 和图 5-4）。利用影响树可以表示出一项社会活动的原发性影响和继发性影响。

由于环境是个复杂系统，一个社会活动可能产生一种或几种环境影响，后者又会依次引起一种或几种后续条件的变化。例如，一个公路修筑工程，会引起水土流失，使河流的泥沙增加、淤塞河道，从而导致洪水的泛滥，以及会阻塞鱼类洄游通道等。

网络法用简要的形式给出了由于某项活动直接产生和诱发影响的全貌，因此是有用的工具。然而这种方法只是一种定性的概括，它只能给出总体的

影响程度。

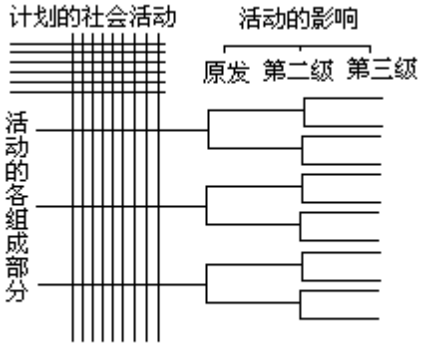


图5-3　网络的基本框架

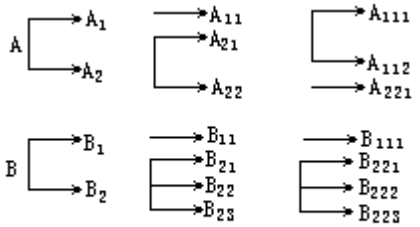


图5-4　影响树

影响树要求估计事件的各个分支的单个事件的发生概率，求出每个分支上各事件的概率的积，然后再求出活动的总影响。

现以图 5-4 为例来说明影响树的计算方法。图中有两个基本的社会活动 A 和 B。活动 A 有两种原发影响，三种第 2 层影响和第 3 层影响；活动 B 有两种原发性影响,四种第 2 层影响和四种第 3 层影响。事件影响构成 10 个分支。

那么假设：P_i 为分支 i 上的事件发生概率，i=1，2，…，10

对每种影响 x 定义：

M（x）为（+或-）影响 x 的幅度；W（x）为影响 x 的权系数。

M（x）和 W（x）都有一定的值域（如 1～10 或 0～1）。

影响树给定各分支的影响评分定义为：ΣM（x）W（x）

利用上式，可以求出某分支上所有影响 x 的和，例如对第一分支：

$I_1=\Sigma M(x)W(x)=M(A_1)W(A_1)+M(A_{11})W(A_{11})+\cdots+M(A_{111})W(A_{111})$

由于各种环境影响的发生存在着某种不确定性，所以要按发生概率来求各分支的权系数，以修正各分支的评分。所有分支的权系数评分之和（即所有可能发生的事件的集合）就可以导出“期望的环境影响评分”，即：

$$\text{期望的环境影响}=\sum_{i=1}^{n} I_i P_i$$

式中：n 为影响分支的数目；I_i 为第 i 个分支的影响值；Pi 为第 i 个分支的发生概率。

五、环境影响评价的内容

（一）建设项目的一般情况

1.建设项目名称、建设情况。

2.建设项目地点。

3.建设规模（扩建项目应说明原有规模）。

4.产品方案和主要工艺方法。

5.主要原料、燃料、水的用量和来源。

6.废水、废气、废渣、粉尘、放射性废物等的种类、排放量和排放方式。

7.废弃物回收利用、综合利用和污染物处理方案、设施和主要工艺原则。

8.职工人数和生活区布局。

9.占地面积和土地利用情况。

10.发展规划。

（二）建设项目周围地区的环境状况

1.建设项目的地理位置（附位置平面图）。

2.周围地区地貌与地质情况、江河湖海和水文情况、气象情况。

3.周围地区矿藏、森林、草原、水产和野生动物、野生植物等资源情况。

4.周围地区的自然保护区、风景游览区、温泉、名胜古迹、疗养区以及重要的政治文化设施情况。

5.周围地区现有工矿企业的分布情况。

6.周围地区的生活居住区分布情况和人口密度、地方病等情况。

7.周围地区大气、水的环境质量状况。

（三）建设项目对周围地区的环境影响

1.对周围地区的地质水文、气象可能产生的影响，防范与减少这种影响的措施，最终不可避免的影响。

2.对周围地区自然资源可能产生的影响，防范和减少这种影响的措施，最终不可避免的影响。

3.对周围自然保护区等可能产生的影响，防范与减少这种影响的措施，最终不可避免的影响。

4.各种污染物最终排放量，对周围大气、水、土壤的环境质量影响范围和程度、噪声、震动等对周围生活居住区的影响范围和程度。

5.绿化措施，包括防护地带的防护林和建设区域的绿化。

6.专项环境保护措施的投资估算。

（四）建设项目环境保护可行性技术经济论证意见

上述环境影响评价内容的特点，是以建设项目为核心，围绕建设项目的工艺流程，产生污染的种类，对外环境的影响，治理对策等进行影响评价，而非泛泛地进行水、土、气等环境因子的一段性调查和评价。在制定环境影响评价工作计划时，根据已有资料或初步调查的材料，查明该项拟开发区域，可能受到影响的主要对象或地区是什么性质，起着什么功能，然后按照国家环境法、环境政策和环境标准，确定以哪一级标准来要求。

在当前社会经济和科学技术条件下，对建设项目可能遇到的与可能解决的环境和生态问题，在环境影响评价报告书中，应提出方向性和综合性的意见。

复习思考题

1.森林环境质量评价的目的是什么？评价类型有哪些？

2.森林环境质量评价必须通过哪些程序（步骤）？

3.以污染为主的森林环境现状评价方法是如何进行的？

4.森林总的环境质量指数评价方法是如何进行的？

5.请谈谈森林生态效能及其经济价值评价的方法。

6.如何评价森林的美学与游憩功能？

7.为何要进行环境影响评价？影响评价有哪些类型？

8.环境影响评价的列表清单与网络法的特点是什么？

9.环境影响评价必须包含哪些内容？

10.你认为做森林环境影响评价应该如何设计方法与内容，才能达到经济、可靠的要求？

参考文献

1 赵振纪，杨仁斌.农业环境质量评价.北京：中国农业科技出版社，1993

2 曲格平.中国的环境管理.北京：中国环境科学出版社，1989

3 王华东.环境影响评价.北京：高等教育出版社，1989

4 郦桂芬.环境质量评价.北京：中国环境科学出版社，1989

5 曲格平.中国的环境与发展.北京：中国环境科学出版社，1992

6 许涤新.生态经济学探索.上海：上海人民出版社，1985

7 钟书华.人类面临挑战——生态环境.北京：中国环境科学出版社，1988

8 钟章成.自然环境保护概论.成都：四川科技出版社，1983

9 李树人.森林与环境保护.北京：中国林业出版社，1985

10 曲格平等.环境科学基础知识.北京：中国环境科学出版社，1984

11 苏文才.环境质量学概论.郑州：河南大学出版社，1989

12 童宛书，黄裕侃.环境经济问题.北京：中国人民大学出版社，1983

13 国家环境保护局.中国环境保护 21 世纪议程.北京：中国环境科学出版社，1995

14 谢京湘主编.生态经济型防护林体系经济效益研究.北京：中国林业出版社，1997

15 张建国，杨建洲.福建森林综合效益计量与评价.生态经济，1994，No5～6

16 郑小贤.瑞典、瑞士和芬兰多目的森林环境监测.世界林业研究，1997，10（2）

17 朱根逸编著.环境质量标准总论.北京：中国标准出版社，1986

18 中国环境科学学会环境专业委员会编.环境质量评价方法指南.长春：吉林出版社，1982

19 中国大百科全书.环境科学.北京：中国大百科全书出版社， 1983

20《环境工作者实用手册》编写组编.环保工作者实用手册.北京：冶金出版社，1984

21 Anderson，J M. Ecology for Environmental science： Biosphere，Ecosistem and Man.Lon-don： Edward Amold Itd， 1981

第六章 森林环境与可持续发展

第一节 可持续发展的概念和内容

可持续发展作为一种发展的目标和发展的模式，已经被世界普遍接受，并作为 21 世纪的主题在 1992 年 6 月于巴西里约热内卢召开的“联合国环境与发展大会”上得到了肯定，成为各国制定经济及社会发展战略的主要依据。可持续发展涉及到社会、经济、文化、环境、资源、生态、人口等诸多方面，是人类发展史上的一场革命。它是人类对自身几千年来的历史进程进行长期探索和思考的结果，标志着人类文明即将步入一个新的历史阶段。

一、概念的形成

20 世纪 60 年代以来，世界上一些国家和国际组织相继开展了全球范围的发展战略研究。进入 70 年代，西方学术界开始了要不要追求经济增长的讨论，提出了一系列问题，例如：经济增长与生态平衡是什么关系？经济增长过程中，是否一定要破坏环境？是经济愈发展，环境愈遭破坏，还是经济愈发展，愈有可能控制环境的污染？对此，政府应采取什么政策？上述问题在世界范围内引发了广泛的讨论。

1970 年 6 月，罗马俱乐部在瑞士伯尔尼举行年会，美国麻省理工学院教授福瑞斯特（Forester）在会上就系统动力学理论与方法做了专题报告，受到了热烈欢迎。会后，罗马俱乐部委托他用系统动力学方法，建立预测人类未来的世界模型。于是福瑞斯特在回美国的飞机上，完成了一个草图式的“世界模型”，即“世界模型Ⅰ”。然后，他又花费了四个星期时间，构造出一个粗线条的，但又能广泛体现世界困境的数学模式，这个模型被称为“世界模型Ⅱ”。这是“世界模型Ⅰ”的进一步深化与发展，被认为一定能成为研究人类如何摆脱困境的有力工具。而后，在福瑞斯特的监督下，组成了一个以他的助手为首的麻省理工学院研究计划小组，这个小组由 7 个国家的 17 名平均年龄不到 30 岁的青年人组成，他们花了 20 个月的时间，耗资 25 万美元，在 1972 年 3 月，提出了作为罗马俱乐部“人类困境”研究计划的著名模型：增长的极限，又称“世界模型 Ⅲ”。“增长的极限”模型将世界看作是一个由五个子系统构成的大系统。这五个子系统是：人口、自然资源、工业成本、农业投资和环境污染。模型利用 1900—1970 年的有关统计数据说明，人口与资本的发展趋势呈指数规律增长，而自然资源和环境承载能力都是有限的，这种趋势如任其发展而不加控制，那么人类前景将不堪设想。对此，模型指出：如果在世界人口、工业化、污染、粮食生产和资源消耗方面按现在的趋势继续下去，这个行星（地球）将在今后 100 年中出现增长的极限。为了避免人类陷入这一困境，模型提出人类必须在 1975 年停止人口增长，到 1990 年停止工业投资，以达到“零增长下”的“全球均衡”。

“增长的极限”模型一问世，立即引起了爆炸性的反响。许多国家的学术界对模型提出的观点进行了热烈的讨论。与此观点截然相反的朱利安·林肯·西蒙（Julian.Lincoln.Semon）发表的被称为乐观派代表作的《没有极限的增长》一书，严厉批评了罗马俱乐部研究问题的方法，同时根据他收集的资料分析，得出人类资源不可能穷尽，生态环境日益好转，粮食的前景不必悲观，人类将在未来达到平衡的结论。

尽管“增长的极限”模型有其消极悲观的一面，但它也有积极的作用。

首先，这项研究促使人们开始了对全球性战略问题的研究；其次，提醒人们注意地球的承载能力；再次，提出了“不要盲目地反对进步，但是要反对盲目的进步”等有益观点。同时，该模型第一次把人口、资源、环境列为重要的限制因素。这些都对今天的现实世界和人类思维产生了重要的影响。

在此期间，对全球发展战略作出预测的较为著名的模型还有：美、德两国提出的以分区、分级的系统动力为特征，以“有机增长”代替“零度增长”的“马萨罗维奇—佩斯特乐模型”。建模者认为，该模型有助于人类认识所处的状态和未来危机，并且是摆脱人类困境的唯一出路。由美国巴尼主持的“公元 2000 年的地球”全球发展模型指出，世界各国经济按目前趋势发展下去，到 20 世纪末，可能出现各种严重棘手的问题。由日本三所大学联合建造的“日本 FUGI 全球模型”，被日本学者称为是“重新安排未来世界的生产活动”的模型，是反映 20 世纪 80 年代水平的较为先进的世界发展模型之一。

二、可持续发展的概念和内容

1980 年 3 月 5 日，联合国大会向全世界发出呼吁：“必须研究自然的、社会的、生态的、经济的以及利用资源过程中的基本关系，确保全球的可持续发展。”1983 年 12 月，联合国授命挪威首相布伦特兰夫人为世界环境与发展委员会主席，以“可持续发展”为基本纲领，制订“全球的变革日程”。

世界环境与发展委员会经过三年的努力，于 1987 年出版了报告《我们共同的未来》，对“可持续发展”做了如下定义：“可持续发展是既满足当代人的需要，又不对后代人满足其需要的能力构成危害的发展。”这一定义被称为“布氏定义”，逐渐为世界各国所认可。

可持续发展的根本问题是资源分配。它既包括不同代之间时间上的分配，又包括当代不同国家、地区、人群间的资源分配；既要考虑当前发展的需要，又要考虑未来发展的需要，而且不以牺牲后代人的利益为代价来满足当代人的利益。资源分配包括需要、限制、平等三个概念：

需要，即指发展的目标是要满足人类的需要。当前，威胁发展目标的因素主要是发展中国家的贫困和发达国家消耗过多的资源。要满足需要和发展，对发展中国家来说，是要考虑怎样提高经济增长速度以满足其需要；对发达国家而言，是如何使经济增长能力与持续能力相适应，并且如何不增加其对他国的剥削。

限制，包括技术状况和社会组织对环境满足眼前和将来需要能力施加的限制。主要限制因素有人口数量、环境、资源。人口数量影响资源基础、人民生活水平；持续发展不应该危害地球上的生命支持系统——环境；同时也不应该超过资源限度，使资源枯竭。

平等，即指人类各代之间的平等，当代不同地区、不同人群之间的平等。

从思想实质看，可持续发展包括三个方面的含义：其一，人类与自然界的共同进化的思想；其二，世代伦理思想；其三，效率与公平目标的兼容。

可持续发展的战略目标是：①恢复经济增长。②改善增长的质量。③满足人类基本需求。④确保稳定的人口水平。⑤保护和加强资源基础。⑥改善技术发展方向。⑦在决策中协调经济与生态关系。

可持续发展的含义是指：在不损害后代满足其需要的前提下，追求一种最大限度地满足当代人们生产、生活需要的发展模式。需求的满足依赖于人类之不可缺少的自然环境及资源，而代间问题的思考则涉及到可持续发展的一个非常明显的特征——历史性。也即是说，人类从诞生之日起，就与自然

环境相互作用、相互影响并且构成一个相辅相成的整体。因此，对可持续发展理论的深入探讨，要求我们从历史的角度总结经验教训，为当代自然、社会和经济的协调发展提供借鉴。

自然界的每一部分，其生物和它们的非生物（物理）环境相互联系和相互作用，彼此之间进行着连续的能量和物质交换，从而形成一种自然整体。这就是生态系统。任何一个生态系统，都有向稳定、成熟的阶段发展的特性。而成熟、稳定的阶段即是生态平衡或称为自然界的平衡。这种平衡是动态平衡，而保持这种平衡的力量来自于自然界本身所具有的一种被称为反馈的机制。同时，平衡也是有条件的，即平衡只存在于一定的条件或范围之内。当平衡受到外部的剧烈干扰，这种干扰超过了系统的自我调节能力，平衡被打破但又不能维持一个新的、低一级的平衡，系统即处于一种失衡的状态。失衡的生态系统常常表现出生物与环境之间的不协调，这种不协调因生态系统固有的自我调节能力而在一个很长的时期内不被发现。但如果不对此失衡的生态系统加以警惕，则系统最终的崩溃将不可避免。

与生态平衡有关的另一个重要概念是生态系统的稳定性。这种稳定性的高低直接依赖于系统结构的复杂度和系统内物种的多样性,即生态系统的‘多样性导致稳定性定律”。人类出于生存和发展的目的，不仅以自己的意志随意改变和迁移世界上的各种生物物种，还创造出一些“人造物种”。这种行为不仅中断了物种的演替，而且直接导致了物种的灭绝，给生态系统造成不可补救的损失。根据现代生态学的观点：人类是复杂的“生物地球化学”循环的不可分离的一部分。人类作为主体，其生存和繁衍，必然而且只能依赖于自然环境系统这个客体。但另一方面，人类又是其中的一分子，其生命活动的每一部分都自然地融入该客体之中，并作为主体，影响、改变和维持该自然环境系统。因此，人类对自然环境的开发活动，给生态多样性及生态系统生产力所带来的威胁，将直接影响到人类自身的可持续性。所以，既要满足人们的需求和愿望，又不破坏自然，并使其能持续地供给人类生存和繁衍所需，这就要求我们正确地处理人与自然的关系，解决好经济发展与环境限制的矛盾。这正是可持续发展的内核所在。

第二节 文明发展的历史进程与森林

人类文明的发展经历了采猎文明、农业文明、工业文明及后工业文明四个阶段。这一划分的依据是人类社会发展过程中占主导地位的经济发展形式及在其基础上产生的人类社会的结构形态、人类活动的范围及人与地球的关系特征。

大约在 100 万年前后，人类以由数十人组成的群体在地球上生活。他们根据季节的变化为追逐食物而在有限的空间内不断地迁徙，进行着以采集、狩猎和渔牧为主的生活方式。在当时的一种很稳定的生态环境中，这种形式对其周围环境产生的影响非常小，因而保证了人类的食物供应，使人类得以生存下来。这种生活方式一直持续到约一万年前。

随着人类生活技能的提高，适应环境能力的增强，以及逐渐稳定的食物供应，使人类的数量逐渐增大。人口的增长必然使周围环境所受影响加剧，有限的天然食物和有限的生活空间必然被打破。但人类的生活空间又受到诸如地形、气候等自然要素的限制。因此，人类不得不由采集天然食物的生产方式向垦殖经济形式过渡，并最终停止了迁徙而定居下来。由此，人类文明进入了农业文明。农业的发展导致了水土的流失、地力的下降、土地的盐碱化和旱涝化等灾难的发生，并危及着人类的生存。

工业革命的出现，推动了社会的发展。这种依赖于化石燃料的文明社会不仅满足了人们的物质需求，扩大了人们的生活空间，改变了人们的生活方式，而且也提高了人类控制自然的能力。但是，它却没有能从根本上改变人类文明在长期发展过程中所造成的自然环境日益恶化的现象，出现了今日的全球环境危机。于是，人类与自然最终和谐统一的后工业文明就成为我们的希望。

一、苏美尔文明

公元前 3500 年，苏美尔人在两河（底格里斯河和幼发拉底河）流域的下游建立了几个城邦，苏美尔城是其中的一个。这是世界上最早的文明发源地之一。苏美尔人也是世界上最早使用文字的社会。这个时间大约在公元前 3000 年。

但是两河流域，特别是下游，严酷的自然条件给文明的发展带来了严重的打击。首先是降雨量稀少，且在年内的分配也不均匀，在作物最需要水分的 8 月至 10 月恰是枯水季，甚至整年没有一滴雨；其次，这里的气温很高，夏季往往超过 40℃。高温增大了土壤表面的蒸发，导致土壤的盐化。另外，平坦的地形和低渗透性的土壤，在上游森林的破坏而引发的洪水，加剧了土壤的涝化和盐化。土壤盐化的直接结果是土地生产力的下降，表现为不耐盐的小麦（仅能容许土壤的含盐量小于 0.5%）在这块土地上的消失：公元前 3500 年前的所有土地全部种植小麦；到公元前 2500 年，小麦占了谷类生产的 15%；而到了公元前 2100 年，小麦仅占 2%；公元前 1700 年，这里再也见不到小麦了。

盐化所带来的另一个更严重的问题是耕地减少。随着人口的增长，苏美尔人每年都要花上大量的人力来开垦新的土地。但土壤盐碱化越来越严重，而新垦土地的量毕竟有限。公元前 2400 年，耕地的数量达到了顶点，随即下降：在公元前 2400—2100 年，每新垦 1 公顷的土地，即有 42%的土地出现盐化，到公元前 1700 年，后者即达到了 65%。当时的文字记载的大意是‘earth

turned white”（土地变白了）。

森林的毁坏、土地和作物情况的恶化，使文明的“生命支持系统”濒于崩溃，并最终导致文明的衰落。苏美尔地区中独立的城邦维持到公元前 2370 年，即为当时的外部入侵者（闪米特人）萨尔贡一世所征服。在这以后的历次朝代，都没有能恢复土地的生产力，以及改善环境和资源的恶化状况。苏美尔地区永远地沦为一个人口稀少的穷乡僻壤。美索不达米亚文明的中心永远地北移了。

二、地中海文明

地中海文明包括环地中海地区的各个文明，主要的有黎巴嫩地区的腓尼基文明、古希腊文明和古罗马文明，以及北非和小亚细亚地区的文明。历史从这个地区找到的例证，相当具有说服力，它证明了文明人是怎样毁坏了自己的生存环境。

腓尼基人的国土位于海边，由一条狭长的丘陵地带组成。这里有肥沃的土壤，充足的降水，郁郁葱葱的森林和草被，包括著名的黎巴嫩雪松。另外，有利的地形阻止了好战的内陆部落的入侵，给腓尼基人提供了可靠的保护，同时也阻碍了腓尼基人向陆上发展。因此他们转而出海经商。腓尼基人很早就发现了遍布其国土上的木材是一种畅销商品，尤其是对于埃及及两河流域等大平原上的文明人来说这些木材更是弥足珍贵。于是贸易使林地迅速减少。公元前 8 世纪至公元前 6 世纪，腓尼基人度过了他们的黄金时期。当希腊的舰队在公元前 480 年成为海上霸主时，腓尼基文明因海权的丧失而开始衰落了。

而在希腊，第一次大规模的环境破坏发生于公元前 680 年，原因是人口的增长和聚居区的扩大。其实就在公元前 8 世纪中叶，希腊人已经开始了殖民政策，以求缓解本土上的人口压力。尽管希腊人从其亲身的教训中痛切地认识到保护土壤的重要性：肥料的使用可保护土地的肥力和土壤的结构，台地可防止水土流失，等等。但人口的压力仍使大多数希腊城市在公元前 6 世纪以后仅能依靠其商业和工业为生了。这种状况一直持续到公元前 399 年的伯罗奔尼撒战争之后。希腊文明终于衰落。

历史惊人地相似：几个世纪之后，同样的情形在意大利的罗马重演。人口的增长引起森林与植被的消失、水土的流失和洪水的泛滥造成严重的土壤侵蚀，使肥沃的表土被带进河流，在河口沉积下来，形成沼泽。环境的恶化使繁荣的都市一个接一个地消失于沼泽和荒漠中。古代罗马主要港口之一的佩斯图姆港在公元前 1 世纪被沉积物完全淤塞，整个城市变成一望无际的沼泽，疟疾的流行使该城到公元 9 世纪后才开始有人。

三、玛雅文明

中北美洲低地丛林的玛雅文明，其最早的定居记载是在公元前 2500 年。这是一个高度文明的繁荣社会，其文明的程度反映在他们对宇宙的认识程度，以及城市、建筑的设计艺术和独特深奥的玛雅文字方面。但是这样一个伟大的文明后来却突然地消失了。玛雅文明的第一个鼎盛时期大约在公元 900 年神秘地自行结束了；两个世纪之后，在原地址以北 250km 出现的玛雅文明的第二个鼎盛时期，然而在 15 世纪前后却突然消失了。

对玛雅社会的了解源于对玛雅城市中石碑的研究,这一研究在 1960 年获得了突破性的进展。美国学者的研究表明，由僧侣阶层管理的玛雅社会是一个爱好和平、文明的社会。而整个社会的文明支持系统，是一种在热带地区

非常适宜，而且生产力也稳定的“焚林农业”（swidden-agriculture）：即每年在12月至第二年3月的旱季用原始的石斧清除一片林地,并在雨季来临之前进行烧荒，然后种植玉米和大豆；开垦的土地在使用几年后，因肥力的下降和很难清除的杂草的侵入而被放弃。这种焚林农业经济需要在广阔土地的不同地块上轮次进行。已耕作过的地段经过一段时间的地力恢复后才能再次使用，这段时间一般需要20年或者更长。然而对公元603—799年的泰克尔统治时期城市遗址的进一步考察，考古工作者估计，当时人口数量最高可能达到3万人，甚至到5万人。据此可以认为整个玛雅低地丛林中生活的人口最高可能接近500万人（今天，这块土地上却仅生活着几十万人）。这样一个庞大的人口数量对其生存的土地将产生巨大的环境压力，文明的存在基础很显然已经不能由粗放的“swidden agricul-ture”系统来解释。考古学者进而发现，玛雅社会当时已经产生了集约化程度很高的农业系统。这种系统的特点主要体现在对土地的治理上；在坡地上的丛林清理以后，土地被垒成了台地以防止水土流失；而在低湿地区则采取了网格状的排水沟，这样不仅可以排除洪水，而且利用沟中的淤泥来升高地表（墨西哥中部地区的生产若不在湖里进行就只能采取抬升地面的办法）。当时玛雅人主要的作物是大豆和玉米，也有棉花和可可之类。

但是他们没有认识到，热带雨林地区土壤的侵蚀非常严重。今天看来，玛雅社会所在的那片肥沃土地，其中3/4属于侵蚀高敏感地区。例如，泰克尔城周围75%的土地是非常肥沃的，但有近60%的土地属于易侵蚀的。这就是说，一旦森林覆被消失，土壤也就随之消失，而农业用地、建材以及燃料的需求，都使森林的消失不可避免。另外，玛雅社会因缺乏家畜而对土壤中的有机肥补充不足。环境的恶化直接导致了农业生产力的下降，威胁着玛雅文明的生存。公元800年，食品的生产开始下降。从当时的墓葬就可发现：婴儿和母亲因营养不足而大量死亡。加之战争的频繁导致了人口的锐减及城市的废弃。于是历史上又一个高度发达的文明终于消失了。

人类文明发展的历史告诉我们：文明的产生和发展是人与环境相互协调的产物，它依赖于物质生产者与自然环境资源之间进行的劳动及其产出。而这种劳动和产出的过程构成人类文明的“生命支持系统”。文明的延续，需要这种系统必须在一个相对稳定的基础上持续下去；而文明的衰落，如若抛开形形色色的臆说，则从另一个角度证明了自然环境和自然资源对于人类文明生存的重要性，尤其是森林对于人类文明的重要性。

总之，人类文明发展的历史，是一个对环境施压越来越大的历史。我们今天面临的问题是怎样保护环境，爱护地球，以把这种压力减到最小，从而寻求一种可持续和健康的发展。可以说，可持续发展的理论给我们提供了机会和挑战。

第三节 森林与人口

森林与人口的关系主要表现为森林砍伐与人口增长之间的关系。

有些学者研究了森林砍伐同人口增长之间的关系。芬兰的一项研究对 72 个热带国家的人口与森林砍伐因素进行了广泛的统计验证。帕洛、梅里和萨米（Palo、Mery＆ Salmi，1987）把某一给定年份的土壤侵蚀、气候、林地的可及性、农牧轮作范围、薪柴采集范围、经济发展的各类指标、土地保有权以及人口压力等各种对森林砍伐的敏感性指标进行了回归。他们发现，除了八个干旱的非洲国家外，几乎所有国家的森林覆盖率都同人口密度和人口增长率之间存在密切的相关性。粮食生产也同森林砍伐有密切的关联。这说明，粮食产量的增加是通过砍伐森林用作农田而得以确保的。人均国民生产总值也在有限的程度上与森林砍伐相关。三位学者利用这些回归关系，预测了 2025 年不同假设条件下的森林砍伐水平。得出的一般结论是，预计未来特别是在拉丁美洲，将有大规模的森林砍伐。

另一项对森林砍伐的统计研究，试图把人口增长同森林砍伐联系起来，并把人口变化同农业联系起来。艾伦和巴恩斯（Allen ＆ Barnes，1985）采用了 1968—1972 年的分组资料（时间序列数据和代表性数据的综合），其回归模型的一般形式是：

$$DEFOR=F（POP，CULT，GNP，WOOD）$$

式中：DEFOR 是按林地的年度变化量来衡量的森林砍伐量；POP 是每年的人口增长量或人口密度；CULT 是耕地的变化量；GNP 是国民生产总值的增量；WOOD 是薪柴生产或圆木出口的变化量。对林地影响的滞后效应有不同的说明。其结论如下：

一是作为林地变化的一个解释性变量，人口变化在非洲和亚洲比在拉丁美洲更重要。

二是可耕地的扩大同森林消失和人口增长有关。

三是国民生产总值的增加同林地减少和人均木材产量无关。

四是从长期看，森林砍伐在那些木材消耗水平（作为薪柴或用于出口）高的国家较为严重。也就是说，森林砍伐同以往的木材消费水平有关。

很明显，这些在人口变化如何影响森林砍伐方面的研究结论并非完全一致。那些使用直接衡量森林砍伐量的指标（这些指标通常需要进行重大的误差修正）的研究，通常认为人口同森林砍伐间存在着直接联系。那些用木材产量来代替森林砍伐率的研究则认为价格变化和国民生产总值是重要的因素，而相对来说人口则不重要。

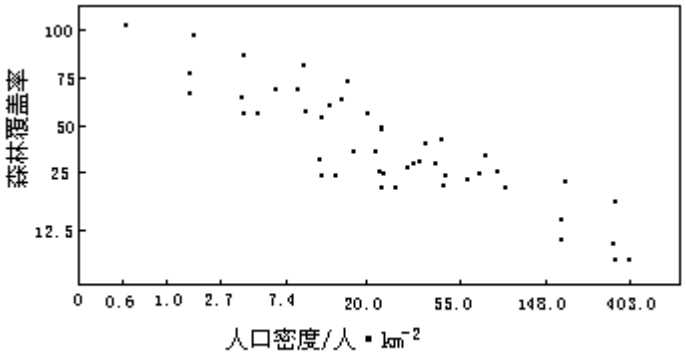


图6-1　1980年60个热带国家中森林覆盖同人口密度的关系
（资料来源：Palo，Mery & Salmi，1987）

注：这些分散的点表明，在人口密度和森林覆盖之间存在着相当密切的负相关关系，随着每平方公里上居民数量的增加，森林覆盖程度下降。

然而，森林砍伐是由许多相互作用的因素而导致的一个复杂过程。索思盖特（Southgate）分析了在厄瓜多尔发生作用的因素（Southgate，1989；Southgate、Sierra & Brown，1989）。该研究否定了把森林砍伐同人口压力联系起来的一个简单的马尔萨斯假说（Malthusian hypothesis），因为所研究的地区在所研究的时限 1974—1982 年间,人口密度并没有表现出长期的增长，而森林的砍伐量却增加了。研究中发现，土地和资源的所有权对森林砍伐的影响重大，因为法规规定只有在至少一半的土地面积上寸草不生时，该土地才能被判定为荒地，才能进而受理民间对该片土地提出所有权要求的申请。这样导致了森林覆被地段的人为破坏——某些人为了拥有土地后进行各种开发而事先砍伐树木以达到法定裸地面积。而一旦他们占有了该片土地后，其上剩余的植被也将被破坏。休耕地也未能幸免，同样会被农业开垦者占有，这也不利于用森林覆盖来作为保护休耕田的措施的实行。由于过去给予某些部门的伐木特许权在 1982 年得以禁止,于是农业开垦者们不得不承担起提供木材的负担。他们以前一直低强度地砍伐森林，但是现在，这些农民砍伐森林的强度已经急剧增加了，这可以通过链锯进口的迅速增加反映出来。厄瓜多尔政府也禁止了木材出口，以为这样可以保持国内木材价格的低廉，但不料由于经营木材获利太少反过来又阻碍了植树造林。由于缺乏守林人员以及用于研究和扩大森林的经费开支过低，使得森林保护严重不力。该研究把森林砍伐程度和农业开垦程度联系起来，并分析了明文规定的土地所有权指标。他们发现，土地开垦同时受到人口压力和土地所有权两方面的影响。人口增长和可再生资源损失之间的简单联系会进而掩盖影响资源退化的其他众多因素。

这些证据指出了非常清楚直观的事实：对森林这样的可再生资源的利用取决于诸多复杂因素。虽然人口压力对可再生资源的损失起着主要作用，但不能认为仅仅是人口增长一个因素在起作用。

第四节 森林与农业的可持续发展

森林与农业可持续发展的关系密切，首先表现在农田防护林体系对农业生产的促进作用上。

农田防护林是以一定的树种组成、一定的结构呈带状或网状配置在田块四周，以抵御自然灾害（风沙、干旱、干热风、霜冻等），改善农田小气候环境，保护耕地，给农作物的生长和发育创造有利条件，保证作物高产稳产为主要目的的人工林生态系统。国内外大量的生产实践及科学研究表明，林带对农作物的增产效果是十分明显的，一般增产幅度在 10%～30%。

世界上许多国家为了防止各种自然灾害而营造了大面积的农田防护林带、林网。由于各国地理位置、气候条件、灾害的性质和程度、土壤特性、农业技术和经营水平以及作物的品种有很大差异，使得防护效果不完全一致。但各国大量的实地观测研究均能证明，林带对其保护下的农作物有明显的增产效果。以位于我国主要农作区的华北中部农田防护林为例，河南、山西、山东等省的调查表明，林网保护下的小麦平均增产幅度从 10%到 30%。我国 40 多年来营造的一系列农田防护林体系,在稳定农业生态环境方面产生了巨大的生态效益。

森林的砍伐造成水土流失。水土流失是地表植被缺乏时，表土或土体在外营力作用下被冲刷、剥蚀、迁移、堆积的现象。水土流失同农业、减灾和环境在中国可持续发展中的地位是不言而喻的。

农业是我国经济发展的基础。十几亿人的吃饭问题必须由自己来解决。而耕地又是农业的基础，水土流失必然造成耕地面积的减少。我国每年因此而丧失的耕地面积很大，大多数省份因水土流失而丧失的耕地相当于一个中等县。这样的速度是惊人的。

粮食作物的生产量一方面在于耕地的面积，另一方面在于耕地的质量。水土流失使耕地中的养分流失，土层减薄，土壤结构受到破坏，严重地恶化了耕地的质量。据统计，我国每年要损失约（50×10^8）t 以上的表层土，其中含有大量的有用成分，如氮、磷、钾等，其损失折合成化肥大致约（4×10^7）t，相当于我国化肥年生产量的 3 倍。因此说，水土流失，流失的不仅仅是水和土，而且是中华民族的血液，这丝毫也不夸张。仅以黑龙江一省为例，由于耕地养分的流失而造成粮食作物产量每年损失高达（2～2.5）$\times10^6$t。虽然土壤的形成是一周期性的自然过程，但它需要的时间和人生相比，毕竟显得漫长。对人生有限的时间尺度而言，耕地养分的流失是不可恢复的。

新中国成立以来的实践表明：开垦荒地所增加的耕地和所减少的耕地一般相互抵消（1949 年以来开垦荒地 0.33×10^8hm^2，同时耕地也减少了 0.31×10^8hm^2），而且耕地的质量大大下降。这一切势必加剧粮食需求与生产的矛盾。

水土流失又同灾害的发生密切相关。减少灾害同扩大生产是增加社会产值的两个方面。我国每年因为灾害而损失 200 亿～400 亿元，1991 年损失了 800 亿元。表层土是一个巨大的蓄水库容，可以减少洪涝灾害的发生次数和灾情程度。蓄水库容的大小同土层的厚度和植被的覆盖度有关。土层越厚，森林植被覆盖度愈大，蓄水库容也就愈大；水土流失使土层减薄，覆盖度减少，蓄水库容也就减少。在土层深厚的地区（如黄土高原），水土流失带走大量的泥沙，严重地破坏了地表结构，形成沟壑纵横的劣地。带走的泥沙淤

积在下游河段，加高了河床，抬高了洪水水位。在同等径流量的条件下，加剧了洪涝发生的概率和程度。比如由黄河三门峡到花园口一段，最大洪峰流量 1982 年比 1958 年少 7000m^3/s，但由于河床的加高，水位反而高出 1958 年 1～2m。在表层土浅薄的地区，如花岗岩地区，水土流失使表层土丧失殆尽，蓄水库容减少，增加了洪水的发生频率，这使得在雨季大部分径流都排至河口而入海，从而减少了地下水径流的常年补给，因此也会增加上下游的旱情，扩大旱情面积和旱情的强度和频率。要解决上述问题，只有通过植树种草和大范围营造水土保持林。

总之，森林可以保持水土，涵养水源，保护农田，对农业稳产、高产和可持续发展有着不可替代的作用。

第五节 林业与可持续发展

自 1987 年世界环境与发展委员会发表著名的布伦特兰报告《我们共同的未来》以来，可持续发展这个概念已经被学术界、科技界和决策界普遍接受，并给予极大的关注。林业在提供林产品的同时，也引起广泛的环境变化，从而对其持续性有反馈作用。因此，可持续林业是可持续发展中不可回避的重要问题。

一、林业的含义

林业不仅指森林的经营，而且包括财政金融、林产品加工、市场、林产品分配、为农业服务的产业、食物消费和营养健康、土地资源与水资源的利用与保护，以及与林产品生产有关的其他自然、经济、社会、政治、文化等特征。因此，林业不仅仅是生物学的应用，也涉及经济学、技术科学、政治学、社会学、国际关系与贸易、环境科学等。

近年来，对林业研究和林业发展进行多学科整体性考察的要求越来越强烈。林场系统研究、林业系统分析、林业生态系统分析，以及林木生产系统评价等概念和方法就是这种要求的反映。它们所采用的框架在学科间的相互联系方面具有充分的灵活性，但关于林业的含义仍不一致。林业的定义根据看问题的角度不同（例如资源基础、林木生长、管理与经济等）和所考虑的空间尺度不同而异。

广而言之，林业是发生在生物—自然、社会—政治、经济—技术这三重环节内之各种过程的一个综合体。一切从事于林业生产、分配，以及消费的个人、团体乃至政府都受制于这三套要素。这三套要素为评价可持续林业状况提供了一个框架。

（一）生物—自然环境

林业的生物—自然环境指的是林业赖以运作的自然界，它提供着林业可利用的多种自然资源。

从持续性的观点来看，生物—自然环境的关键特性是需要维持健康的生态关系。人类所具有的技术能力已经能够大规模地改变自然环境。事实上，林业区别于狩猎和采集的一个本质特征就是其为了生产出植物和动物而对自然环境进行有目的的改造。于是就会出现为了获取短期利益而掠夺资源的行为。某些使资源基础退化、破坏甚至枯竭，或严重干扰正常生态过程的行动是对林业持续性的威胁。可持续林业必须维持资源基础的生产能力。

（二）社会—政治环境

社会—政治环境关系到人口、文化和其他社会集体行动的力量在影响人们（或作为个人，或作为家庭、团体和阶层之成员）行为时的作用。人口在不断增长，生活水平在不断提高，因而对林产品的需求（包括种类、数量、质量）日益扩大。文化态度、风俗习惯和传统甚至信仰，皆通过影响产品需求和经营方式而制约林业。

更为重要的是，林业直接或间接地受政府政策和行为的极大影响。在西方国家，这些影响采取诸如贸易政策、价格支持、关税、研究与开发导向、各种补贴、市场管理、土地利用刺激和控制等形式。在某些国家，政治环境则反映在生产限额、土地所有制、控制投入等方面。因此。林业要做到持续就必须与它在其中运作的社会—政治环境相协调。这种协调性可通过调整林业投入或通过改变社会条件来达到。

（三）经济—技术环境

经济—技术环境极大地制约着林业活动的可行性与合理性。林业经营者必然要估算用于林业活动的多种投入费用，估算以这些投入再加上市场和运输等费用所能获得的产量，要回答能否取得足以补偿其劳动、管理和其他投资的报酬问题。若不能获得充足的报酬以补偿生产成本，任何经营者都不会有从事林业活动的热情，也就谈不上可持续林业。

科学技术的发展对经济可行性有重大影响，可使原来无利可图的某些活动变得有利可图。投入费用、市场价格、消费者需求、替代供给、公共政策等方面的变化，在决定生产及经营活动的合理性方面也有类似作用。技术—经济环境与社会—政治环境共同影响生产利润和收入在林业经营者和社会其他成员之间的分配。

二、林业可持续发展的特性

与上述林业的三维框架相对应，林业的可持续发展必须保证生态可持续性、社会可持续性和经济可持续性。

（一）生态可持续性

生态可持续性指要合理地利用和保护森林资源，不断改善生态环境。这一生态学定义关注生物—自然过程以及生态系统永续利用的生产力和功能。掠夺性的经营方式虽然在一定条件下可以满足人们的当前利益，但由此造成的资源环境破坏则会带来长远的影响，使林业生产难以维持和进一步发展。

长期的生态可持续性要求维护资源基础的质量，维护其生产能力，尤其是维持林地的产量。生态可持续性保护自然条件，特别是地表水与地下水的水循环和气候条件。还有一个重要方面是保护基因资源和生物多样性。

（二）社会可持续性

社会可持续性强调满足人类基本的需要和较高层次的社会—文化需求（例如安全、平等、自由、教育、就业、娱乐等）。在充分考虑林地的承载能力的基础上，持续不断地提供充足而可靠的林产品以满足社会需求，这是可持续林业的一个主要目标。

社会可持续性概念一般都有平等的含义，包括代间平等和代内平等。代间平等是指为后代保护资源基础，保护他们从资源利用中获得收益的权利和机会。代内平等指资源利用和林业活动的收益在国家之间、区域之间和社会集团之间公正而平等的分配。导致环境退化从而使将来生产成本或环境治理成本增加的林业生产系统；损害其他国家、地区和社会集团利益的林业系统，都不能认为是持续的。有时这两种问题互相交织，例如：有些地区尚未解决温饱问题（这是代内不平等），这就迫使当地农民为求生存而采取一些可获暂时效益但破坏环境和资源基础的活动，从而损害了后代的权利和机会，留下代间不平等的后患。

（三）经济可持续性

林业可持续发展的经济可持续性定义主要关注林业生产者的长期利益，重点强调林业生产中的效益问题。这里一个重要问题就是林产品产量的可持续性。土地退化和其他环境问题将改变林产品生产的生物自然条件，从而影响产量。可见，这种可持续性的经济关注是和生态关注联系在一起的，但这里着眼于未来生产率和产量，而不是自然资源本身。

经济可持续性的另一个重要方面是林业经营的经济表现和可获利性。在商品经济中，由于林产品价格低下、产量减少、生产成本上升等原因而不能

创造足够利润的林场是不能自我持续的。因此，林业要持续，就必须使生产者有利可图。

经济可持续性概念并非独立于其他可持续性定义。例如，资源利用的收益及其分配，既是经济问题，也是生态问题和社会问题。森林被破坏、水土流失是生态问题，但其长期的后果显然在经济上反映出来。环境保护措施要付出经济代价，当然也可能获得经济效益。

可持续林业是社会、经济、自然等要素的综合整体。强调任何一个方面而以损害其他方面为代价都是危险的。例如，能保护环境质量，但既不能提供充分产品以满足需求，也不能为生产者带来适当经济报酬的林业生产系统，不能认为是持续的。同样，能保持较高生产水平，但日益依赖高投入来抵偿环境退化的负作用的林业系统，也不能认为是持续的。在经济的环境支持系统日益衰退的今天，过分强调生产并对市场作用近乎盲目信仰的经济学最终将导致严重的后果。

总之，必须从生态、社会、经济多方面来看可持续林业，要从所有这三方面来评价它。可持续林业也包括一系列不同空间尺度相互作用的系统。可持续林业的理论和实践都存在多样化的概念和命题，这些都有待进一步研究。但上述解释已为进一步评价林业的可持续性提供了一个框架。

第六节 我国林业可持续发展的概念、内容和途径

一、林业可持续发展的概念

早在 1962 年周恩来总理对全国林业工作的指示中,就非常明确地提出了森林资源要做到“青山常在，永续利用”的持续利用的指导思想。这一思想现在已经成为国内外共同遵循的指导原则。1987 年世界环境与发展委员会提出的“持续发展”的思想——既应满足当今人类的基本需要，又不至于损害后代人的利益”，正是对各种资源“永续利用”思想内涵的拓展。

1992 年联合国关于《森林问题的声明》中指出，森林，这一主题涉及许多环境与发展问题和机会，包括持续发展基础上的社会经济发展的权利在内。持续发展，涉及到自然资源、人口和粮食、生态环境与社会经济发展诸多领域和部门，因而它在国际和国内的社会发展中具有普遍意义。其最重要的意义在于：为了全人类共同的未来。

1987 年世界环境与发展委员会为“可持续发展”所作的定义，在 1992 年 6 月巴西里约热内卢联合国环境与发展大会上被包括中国在内的 183 个国家一致接受。

如果把“可持续发展”一词进行分解，可作如下理解。“可持续”是指：在一个特定的经营水平上，一定数量和质量的资源可以长期被子孙后代享用。“发展”则指：为增加或至少保持实际人均国民生产总值所需要的经济增长，最终目的是改善人类生活质量。发展必须以保护自然为基础，包括生命支持系统、保护生物多样性、保护地球生态系统的完整性以及保持持续的方式使用可再生资源。

二、原则与内涵

（一）可持续发展的社会原则

人类必须在地球承载能力的范围内生活。从长远来看，这是唯一合理的选择。为了人类的未来，保护地球生态系统的活力和多样性，避免因滥用自然资源而造成枯竭，持久地和节俭地使用地球上的资源，使之保持在地球的承载能力范围之内，实现发展经济，提高人民生活质量的目的。

（二）林业可持续发展的原则

要求把森林的保护、管理和可持续开发，与林业的生产、消费、再循环和森林生活最终处置有关一切方面之间的关系进行协调的可持续发展的安排；对森林产品的数量、质量、效益和环境综合加以考虑，在满足当代利用、不损害后代利用的前提下，实现森林效益的供需平衡与生态平衡。

与“可持续发展”术语相类似的两个术语：

持久使用 其含义是指使用某一资源的方式或速度不会导致资源的长期枯竭，而且能保持其满足今世和后代的需要和期望的潜力。

可持续的发展 系指‘满足当前需要而又不削弱子孙后代满足其需要的能力的发展，而且绝无侵犯主权国家的含义”。

总之，人类为了保护地球，缓解生态环境与经济发展的矛盾，可持续地发展农业、林业、牧业、渔业、工业、文化和所有工矿资源已成为现代社会的大趋势。

（三）林业可持续发展的内涵

1.在经济发展方面，应致力于森林资源优化配置、内外部林业经济呈现良性循环和预后效益良好。

2.在生态环境方面，森林资源供给和生态环境响应，一是保持良性循环，二是绝不能超过资源承载能力。

3.对当代人来说，应大力植树造林，保护和珍惜资源，努力发展经济，摆脱贫困和恶性循环，留下一个美好的地球，争取人类美好的明天。

4.对当代人而言，承接先辈们为子孙后代留下的应是质量较好的森林资源和绿色环境，并能不断地提高后人总体生活质量（包括总体环境质量）和没有“资源赤字”的繁荣和发展的基础。

三、具体内容及问题

开展森林的持续经营管理，实现我国林业持续发展，应该考虑以下问题：

（一）通过市场机制的作用来配置森林资源

森林资源是林业可持续发展的核心问题，也是国民经济持续发展的重要组成部分。所谓资源配置是指，森林资源在不同用途、不同使用者之间的分配。市场经济结构的最重要功能之一是资源最佳分配。实现森林资源最佳分配的有效方法之一是，对林业的外部经济效果（如涵养水源、保持水土、改善小气候、防风固沙保护农田牧场和水利设施、提供游憩、保护野生动物植物等森林公益效能）进行综合评价，然后再把外部经济结构内部化。国外已经探索出一些有效办法可借鉴，如通过补贴、贷款、减税、免税等形式，把森林向社会提供的公益效能（即外部经济）补偿给森林经营者。由此可见，作为外部的森林公益效能，其重要性关系到国家资源的最佳分配，对于实现林业持续发展的目标将是一个十分重要的环节。

（二）建立与健全森林资源与环境核算体系

建立健全森林资源与环境核算体系的目的在于改变过去无偿占有和使用森林资源及其衍生的森林公益价值的做法，弥补现行林业经济核算只反映经济活动的产出，没有包括森林资源损耗和环境影响的负面不足，从而把森林资源和环境公益价值的实物量及价值量的消耗融入国民经济核算体系中去。因此，建立一个可与新的国民经济核算体系接轨的“卫星账户”，以便同时从实物和货币核算两个方面综合反映环境（森林公益效能与价值）与经济发展的关系。

（三）集中全力防火、灭火、保护森林资源

世界上每年平均发生林火 20 多万次，烧毁森林面积几百万公顷。我国大兴安岭特大森林火灾对林区生态环境潜在的负面影响很大。保护森林，保护环境，持续发展林业，就必须加强森林防火措施。例如：制定森林防火政策，制定防火训练和消防器械标准，提供后勤和技术援助，培训中层防火队员，推广先进的防火技术，进行防火宣传，预测预报和发送火情。

（四）推行区域性大型防护林体系生态工程建设

把城乡植树绿化、林区迹地更新造林、防护林生态工程与整治国土、发展林业、改善环境融为一体，同步发展与建设，以期扩大林木覆盖率和增加森林后备资源。使区域或全国生态环境质量优化，成为我国山区、平原农牧业和水利设施的可靠的生态屏障。

（五）发展木材加工业和林产品多样性

应用物质再生、循环利用、食物链原理和扩展加工链等新技术，不断延伸对采伐废弃物的利用范围，扩大木材初级林产品加工开发，以促进森林资源节约利用，增产增值，使林业商品经济持续发展。

（六）加强天然林（有独特的价值和国家一级有重要性的森林）生态系

统及其生物多样性的保护与研究

保护与研究的重点是：①建立示范网络。②森林区域生物多样性本底调查、保护与繁育濒危珍稀野生物种的配套技术措施。③预测森林生态系统复原与兴衰的自然规律和人为活动有关的干扰反映，确定早期预警系统内外部环境压力、物种消长、生产力兴衰的标志及其措施。④以森林生态系统（包括天然林、次生林和人工林）为基本单元开展森林持续经营活动，维护林地持久生产力与防止地力衰退的措施。

（七）发展生态林业（立体林业）建设

应用物种共生互利、互生偏利、生态位、分层现象等原理，优化林产业结构，建设多林种、多树种、多种经济成分并存的生态经济型的绿色产业体系，实行林农牧、林农、林牧、林草畜、林果、林药、林兽、桑（果、蔗）基鱼塘等复合经营与开发，使林业走上低投入、高产出、快积累的林业可持续发展道路。

（八）发展林业教育事业

提高林业队伍素质，是实现林业现代化和可持续发展林业的根本大计。队伍素质的提高要靠教育。

（九）制定林业政策和法规

突出林业可持续发展的特点，注意制定与社会主义市场经济体制相适应的林业政策与其他配套政策。努力使林业建设既利于当代林业经济和提高森林生产力，又益于后代生存与发展的环境与总体生活质量的改善。

（十）加强自然保护区和国家森林公园的立法与管理

至 1992 年末，我国已经建立各类自然保护区 708 处（含森林类型保护区 420 处），国家森林公园 257 处，地方性森林公园 93 处，初步满足了人们和物种回归大自然的需求。但是，由于立法上欠周全和森林旅游业发展迅猛，出现了多方争利、环境污染、野生动物消失、旅游林区火险有增无减的情况。相对地说，这是森林保护与持续管理滞后问题。因此，设置管理局机构，颁布《国家森林公园法》，保护资源和野生动物及山林土地、景观，从而保证自然保护区、森林公园为当代和后代公众服务。

四、实现我国林业可持续发展的途径

（一）实行可持续发展的战略

目前，我国林业经济基本上仍沿着以大量消耗资源和粗放经营为特征的传统模式发展。这种模式不仅会造成对环境的极大损害，而且使林业发展本身也难以持久。因此，我们应摒弃资源式的森林经营方式，克服决策短期化。抓住机遇转变发展策略，以可持续发展的原则来确定我国林业经济发展的目标与道路，这是加速我国森林资源增长和经济发展，解决环境问题的正确选择。

（二）树立整体观念

树立“人口、资源、环境、经济”相互协调持续发展的整体观念，彻底改变以牺牲资源和破坏环境求得经济发展的做法。

（三）制定新的林业政策

在市场经济体制下，林业走向可持续发展道路的关键之一是政府行为。政府要有一个促进森林资源与经济协调发展的总政策和方案导向。在当前国家体制转轨和经济增长时期，首先是制定与完善有利于森林保护的经济政策和预防森林破坏的对策，并且建立森林环境影响科学评价制度。国家政策和

方案应考虑到森林的保护、管理和可持续开发与林业的生产、消费、再循环以及森林产品最终处置有关的一切方面之间的关系。

（四）强化国家对森林资源可持续发展的管理体制

据林业部门调查，1949 年以来，我国林业总消耗量大于总生长量的年份高达 2/3 左右，其中仅 1984 年至 1988 年，年均森林资源“赤字”即为（28×10^6）m^3，最高年份资源赤字为（97×10^6）m^3。在素以“红松的故乡”闻名的伊春林区，41 年大规模的开发中留下了森林采伐量超过生长量的记录。试设想，再大的森林怎么经得起这样的斧砍锯拉？据林业系统第三次清查的结果，全国各大林区的成熟林、过熟林的蓄积量仅余（14～15）×10^8m^3。按照 80 年代的资源消耗速度，只能再砍伐 8 年，至 20 世纪末，我国天然林的用材林可采资源将基本耗尽。由此造成的必然后果是：森林资源趋于枯竭，林区经济陷于危困，生态环境严重恶化。这就是制约我国林业可持续发展的“瓶颈”，也就是亟需制定新林业政策来扭转与防止森林资源空心化现象的发生。

（五）建立林价制度和征收林地税、青山立木税、林业生态环境税等补偿机制

首先，应改变林地无价、森林无价、森林公益无价的偏见与认识。其次，需要通过立法与实施经济、行政手段，建立诸如法律法规、条例、证书、监测，以及财政补偿等制度。这对于我国林业多渠道筹集资金，逆转林业“两危”，实现以林养林，走向林业可持续发展尤为重要。

（六）增加林业投资，大力造林育林，增加资源和覆盖率

到 2000 年，全面完成全国造林绿化规划确定的目标，力争使全国森林覆盖率达到 15.3%，争取有 21 个省市基本消灭宜林荒山。

——大力开展全国山区小流域造林治理与经济开发。即推行山东、河北的“经济沟经验”。这是增加森林覆盖、遏制水土流失，逆转山区生态环境恶性循环，持续发展山区农林经济最有力的措施。

——加强中、幼龄林抚育。目前全国有（8930.5×10^4）hm^2 中、幼龄林（其中天然林与次生林占 81.1%，人工幼林占 18.9%）。如果通过合理间伐与持续经营，使每公顷林分年净生长量增加 1m^3，相当于目前全国森林总生长量的 25.6%。这对缓解我国森林资源短缺，无疑是一大贡献。

可持续发展不仅关系到当代人的利益，而且关系到未来人的利益。它不是一个局部区域的问题，而是一个全球关注的问题。只有通过个人、家庭、地方、区域、国家乃至全球的共同努力才能实现。

可持续发展涉及许多代人。因此，我们不能只顾眼前利益，而要从长远利益出发，制定发展战略与对策。

林业的兴衰与人类对森林的认识有着密切的联系。在人类社会形成的早期，人类还处于对自然界无知的蒙昧状态，常常由于过度利用而导致物种溃灭、食物短缺，致使人类种群从一地迁移到另一地，有时甚至毁灭。人类不能离开森林而生存。人作为森林的一个组成部分，与森林的兴衰休戚相关。

随着原始农业的自我发展，人类逐渐学会了驯化野生动物植物，使食物来源有了保障，从而战胜了由于过度利用、物种溃灭所带来的灾难，人类社会得到了繁荣和发展。随着早期农业的发展，尤其是刀耕火种的农业技术，为开垦耕地而大量砍伐、焚烧森林，森林不再被视为人类的栖息地和食物来源，相反却被视为“荒地”。在漫长的农业文明时期，人口数量相对较少，生产力水平相对较低，人类干预自然、破坏森林相对来说是局部的、暂时的，

还没有超过森林生态系统的负荷量。在一地毁坏了的森林还可以在另外的地方重新找到。人类利用森林是无偿的、随意的，并认为森林资源是“取之不尽，用之不竭”的，砍伐森林被认为是天经地义的事情。加之历代战乱、围猎等常常导致环境恶化和生态平衡的破坏，这种破坏的结果是使许多哺育了人类文明的沃野变成了荒芜的不毛之地，世界许多文明古国都不乏这样的先例。这些都是由于人类缺乏对森林的正确认识，过度利用森林而产生的必然后果。

近代资本主义工业的发展使森林遭受到毁灭性的破坏，人类毁灭森林的同时也受到了大自然无情的报复。世界上许多国家都经历了森林资源破坏带来的严重恶果，认识到森林的重要作用，从而大力发展林业，使之走上良性循环的曲折过程，如德国、法国、芬兰、意大利和日本等。随着生态学的产生和发展，人们越来越认识到森林是生物圈内的最重要的基因库，而且具有不可替代的维持生物圈持续发展的生态效益。

当地球上人口数量还较少的时候，人类对森林资源的利用还不至于导致森林资源的全面枯竭。但是，当今世界人口众多，没有受到人类干扰的森林生态系统在地球上几乎再也找不到了，而且局部的地区性的保护扭转不了全球变化所产生的影响。因此，由于森林生态系统破坏而导致的生物多样性的下降和全球变化给人类的持续发展带来的威胁，越来越受到全人类的关注。

可持续发展的林业应当理解为，能够提供人类社会可持续发展所必需的生态保障和产品保障的林业。森林在不被过度破坏或人工培育的条件下是可以更新的，并且具有开采利用的瞬间性和恢复培育的长期性、产品价值的易见性和生态效益的隐见性等特点。人们往往只注意森林的产品价值，而忽视其生态价值。人们需要优美的环境、新鲜的空气和清洁的水，但是，没有人为此而付出。在森林计价上没有包含森林的生态价值，这实际上是对森林价值的无偿使用。林业不仅是提供林产品的一般性的产业，而且是为生物圈可持续发展提供生态保障的重要产业。同时，森林资源的培育具有投入高、见效慢、风险大的特点。因此，为实现可持续的林业发展，国家在经济政策上必须向森林培育部门倾斜，对林业项目给予优先支持。在林业科学上，应该开展全国范围的人口动态、经济发展与森林动态的综合研究和森林生态系统恢复与重建的技术与策略的研究，并制定可持续的林业发展规划。

复习思考题

1.“增长的极限”模型对可持续发展概念的形成有哪些作用？

2.“可持续发展”是如何提出的？试述可持续发展的概念和内容？

3.可持续发展的根本问题是什么？你是如何理解的？

4.文明兴衰与森林利用之间的关系怎样？试举例说明。

5.森林砍伐与人口增长之间有什么关系？

6.森林的不合理利用会对农业造成哪些损害？

7.什么是可持续林业，它包括哪些方面？

8.如何实现我国林业的可持续发展？

9.经济增长过程中，是否一定要破坏环境？是经济愈发展，环境愈遭破坏，还是经济愈发展，愈有可能控制环境的污染？

10.如果我们把地球比作在浩瀚宇宙中漫游的小小飞船,那么我们人类就是这艘飞船上的集体乘客，我们共同的未来取决于我们今天的思想与行动。

作为乘客中的一员，你认为我们应该如何制定一个共同行动的准则与纲领？

参考文献

1 Allen，Jennifer，Douglas Barnes.The Causes of Deforestation in Developing Countries.An-nals of the Association of American Geographers 1985，75（2）：163～84

2.Capistrano，Aana Doris，Clyde Kiker.Global Economic Influences on Tropical Closed Broadleaved Forest Depletion，1967—1985.University of Florida：Food and Resource Economics Development，Gainesville，Fla.1990

3.Southgate，Douglas Dewitt，Rodrito Sierra，et al.The Causes of Tropical Deforestation in Ecauador：A Statistical Analysis.Processed：London Environmental Economics Centre，1989.