

目 录

前言

绪论	(1)
一、当代世界农业生产面临的问题	(1)
二、我国农业生产存在的问题	(3)
(一) 水土资源与人口	(3)
(二) 自然灾害与生态平衡	(3)
(三) “四料”短缺和单一农业生产的关系	(5)
三、国内外农田防护林营造概况	(6)
四、农田防护林学与其它课程的关系	(9)
第一章 农田防护林的概念和理论基础	(10)
一、防护林的含义和概念	(10)
二、农田防护林学的理论基础	(11)
(一) 生态学	(11)
(二) 景观学	(14)
(三) 生态农业原理	(13)
第二章 我国平原地区农业生产条件和自然灾害	(17)
一、农业增产的基本条件	(17)
二、农业主要自然灾害	(22)
(一) 干旱灾害	(22)
(二) 干热风灾害	(23)
(三) 低温冷害	(24)
(四) 霜冻灾害	(24)
(五) 冰雹灾害	(25)
(六) 风灾	(26)
(七) 洪涝灾害	(26)
(八) 土壤盐渍化灾害	(26)
第三章 我国农田防护林类型区	(27)
一、东北西部与内蒙古东部农田防护林区	(27)
(一) 自然地理概况	(27)
(二) 主要自然灾害与农业生产	(28)
二、内蒙古西部和西北农田防护林区	(28)
(一) 自然地理概况	(28)
(二) 主要自然灾害与农业生产	(29)
三、华北北部农田防护林区	(30)
(一) 自然地理概况	(30)
(二) 主要自然灾害与农业生产	(30)

四、华北中部农田防护林区	(30)
(一)自然地理概况	(30)
(二)主要自然灾害与农业生产	(31)
五、长江中下游农田防护林区	(32)
(一)自然地理概况	(32)
(二)主要自然灾害与农业生产	(32)
六、东南沿海农田防护林区	(32)
(一)自然地理概况	(32)
(二)主要自然灾害与农业生产	(33)
七、西藏拉萨河谷农田防护林区	(34)
(一)自然地理概况	(34)
(二)主要自然灾害与农业生产	(34)
第四章 农田防护林的基本知识	(35)
一、平原地区的特点和防护林体系	(35)
(一)我国平原地区森林覆盖率概述	(35)
(二)农田林网化概述	(35)
(三)道路防护林	(36)
(四)渠边防护林	(36)
(五)海岸防护林	(36)
(六)农村居民点绿化	(36)
(七)河岸防护林	(36)
(八)防风固沙林	(36)
二、林带的基本知识	(36)
(一)林带结构	(36)
(二)疏透度、通风系数	(38)
(三)有关林带的其它名词术语及概念	(39)
第五章 农田防护林对小气候的影响	(41)
一、农田防护林的防风效应	(41)
(一)低层大气中气流运动的基本特征	(41)
(二)估价林带防风效应的常用参数	(45)
(三)林带的防风效应	(48)
(四)影响林带防风效应的因子	(63)
二、林带对太阳辐射和温度的影响	(74)
(一)林带对太阳辐射的影响	(74)
(二)林带对气温的影响	(76)
(三)林带对土壤温度的影响	(79)
三、林带的水文效应	(81)
(一)林带对蒸发蒸腾的影响	(81)
(二)林带对空气湿度的影响	(83)
(三)林带对土壤湿度的影响	(84)
(四)林带对降水、径流和积雪的影响	(85)
(五)林带对地下水的的影响	(85)

四、农田防护林的土壤改良效应·····	(87)
(一)林带防止土壤风蚀作用·····	(87)
(二)林带对土壤理化性质的影响·····	(88)
(三)林带对成土过程的影响·····	(89)
(四)林带对盐渍化土壤的改良作用·····	(89)
第六章 农田防护林的经济效益·····	(91)
一、林带对作物增产作用的调查·····	(91)
(一)田间直接调查法·····	(91)
(二)理论估算法·····	(93)
二、林带对农作物的增产效果·····	(95)
(一)国外关于林带对农作物的增产效果介绍·····	(95)
(二)国内主要农田防护林类型区林带对农作物的增产效果介绍·····	(96)
(三)林带胁迫及对农作物产量的影响·····	(101)
三、林带资源的经济效益与综合利用·····	(103)
(一)平原的木材生产基地·····	(103)
(二)烧柴——重要的农村能源·····	(104)
(三)提供饲料发展畜牧业·····	(104)
(四)提供氮肥原料·····	(105)
(五)多种林副产品·····	(105)
四、林带经济效益分析与评价·····	(105)
(一)林带农业效益的分析·····	(106)
(二)农田防护林经济效益的分析·····	(108)
第七章 农田防护林的规划设计·····	(110)
一、农田防护林规划设计的原则和主要参数的确定·····	(110)
(一)农田防护林规划设计的原则·····	(110)
(二)林带、林网规划设计主要参数的确定·····	(112)
二、农田防护林规划设计的方法和步骤·····	(119)
(一)建立规划组织·····	(119)
(二)调查研究,收集资料·····	(120)
(三)提出初步规划设计的技术工作方案·····	(121)
(四)完成规划设计·····	(121)
(五)实现规划设计的措施·····	(122)
(六)农田防护林规划设计的经济效益评估·····	(123)
三、农田防护林的配置·····	(123)
(一)道路、渠系、方田林网的配置·····	(123)
(二)农林间作的配置·····	(125)
第八章 农田防护林的造林技术、抚育管理和更新改造·····	(132)
一、农田防护林树种的选择·····	(132)
(一)农田防护林乔灌木树种的选择·····	(132)
(二)我国不同农田防护林类型区适宜的乔灌木树种·····	(136)
二、防护林带的混交类型与混交方式·····	(138)
(一)防护林带中的树种分类·····	(138)

(二) 护田林带的混交类型和混交方法.....	(139)
(三) 不同结构的护田林带、混交类型与混交方法的确定.....	(141)
三、护田林带的造林技术.....	(142)
(一) 护田林带的造林技术特点与要求.....	(142)
(二) 整地.....	(142)
(三) 造林.....	(146)
四、护田林带的抚育管理.....	(147)
(一) 林带郁闭前的抚育工作.....	(147)
(二) 林带郁闭后的抚育工作.....	(148)
五、护田林带的更新及改造.....	(149)
(一) 护田林带的更新.....	(149)
(二) 农田防护林的改造.....	(150)
参考文献.....	(154)

结 论

一、当代世界农业生产面临的问题

在当今的世界上，全人类都面临着人口、粮食、资源、能源和环境这五大问题的严峻挑战。这五方面的问题几乎都涉及到农业生产问题，其中粮食和人口问题最为突出。

联合国人口基金会执行主任纳菲斯·萨迪克博士在她的题为《1988年世界人口状况》的报告中警告说，世界人口现在已经超过50亿，每年增加8000多万。到本世纪末，预计世界人口将达到61亿。报告指出，近12年世界人口增加了10亿，平均每分钟增加150人，每天增加22万人。报告预测，到2010年全世界人口将增至70亿，2022年将高达80亿。而且，人口的急剧增长几乎都在发展中的国家。

世界人口的迅速增长正在加速破坏人类赖以生存的自然环境与资源基础。当人口增长超过社会承受能力时就会出现各种问题。首先是伴随人口增长其总需求随之增长，迫使人们滥用自然资源，造成生态环境变化。联合国粮农组织预言，如果不采取环境保护措施，到2100年，土壤退化和流失将会使亚洲、非洲和拉丁美洲的水浇地减少65%。沙漠是土壤退化的最终阶段，目前沙漠化正威胁着1/3的地球陆地面积。

据统计，现在全世界每年有600万ha的土地完全变成沙漠。同时，由于沙漠的吞噬而难以继续耕种的土地达2100万ha，预计还将有35亿ha的土地在今后有可能完全变成沙漠的危险。沙漠不断扩大，耕地日渐减少，生态环境急剧恶化，直接影响着全世界的农业生产和人们的正常生活。目前，每年由于土地沙漠化而使农业遭受的损失，总价值高达250亿美元。

问题不仅是沙漠化威胁着全世界的农业生产，而且更加令人不安的是，世界各国尚未意识到沙漠化给全人类带来的严重后果。世界防治沙漠化的计划年年落空。1977年召开世界防治沙漠化会议后，由于沙漠化而受害的农村人口反而增加了1倍多，达1.35亿人；受害国家增到91个。沙漠化土地的日益扩大，固然有其自然的因素，但主要的还是由于不合理的经济活动破坏生态平衡所致。滥伐森林、任意放牧、过度垦荒等招致土壤侵蚀和土地变质。沙漠化带给全人类的灾难，目前已经降临到那些人口增长最快的和最贫穷的发展中国家。在那里耕地面积最小，天灾频繁，饥饿与疾病流行。倘若人们对这个问题仍然等闲视之，不采取有效防治措施，沙漠化也将不可避免地危及工业发达的国家。

土壤侵蚀和土地沙漠化好像一对孪生兄弟一样制约着世界农业生产的发展。日趋严重的土壤侵蚀和土地沙漠化一样，正在严重地威胁着世界农业生产和自然环境保护问题。据美国华盛顿世界观察研究所报道，目前全世界的土壤侵蚀速度日益加快，估计每年土壤损失量在254亿t。仅1982年的调查结果表明，单是美国1年就损失大约20亿t的肥沃土壤。大量的土壤侵蚀会直接减少世界粮食产量。据许多研究报告估计，美国农业生产每年因土壤侵蚀大约损失10亿美元。康乃尔大学农业科学家戴维·皮门特尔说，这个估计太低了。从长远土地生产率计算，美国1年损失大概为430亿美元。

目前全世界可耕地大约有13亿ha,表土层平均厚18cm,总计为3.5亿t土壤。如果考虑人口增长因素,到本世纪末人均占有土壤将比今天减少32%。土壤侵蚀已经成为全世界一大公害。据美国世界观察研究所的调查报告估计,人类不合理经济活动造成的土壤侵蚀在相当一段时间内,美国每年损失土壤达20亿t,前苏联每年损失土壤达25亿t,印度估计每年损失土壤达47亿t,中国每年损失土壤50亿t。世界其它地区损失土壤约为122亿t。

自然界对于人类一次又一次地无情报复,历史一次又一次地重演,迫使人们不得不采取相应的对策。例如,美国1940—1970年30年间投入农业的能量增加了3.2倍。结果美国的玉米产量由1945年的每公顷1950kg增加到1978年的每公顷6000kg;奶牛的产奶量几乎增加1倍。半个世纪以来,美国的农业产量至少翻了一番,其小麦的产量由1939年的每公顷2250kg增加到1978年的每公顷5250kg。又如1934年春季,美国大陆上曾发生过一次大风暴。这次大风暴席卷美国2/3的陆地,从西部干草原形成,狂风携带大量肥沃的土壤,形成巨大黄色尘暴带横扫美国大陆。狂风整整刮了3天。风暴之后,西部干旱地区水井和溪流干涸,农田作物枯萎,大量牛羊死亡,百万居民离乡背井逃离大平原。据事后调查,这次大风暴共损失肥沃土壤约3亿t,当地小麦减产约50亿kg。而且造成这次大风暴的直接原因就是无节制的垦荒和放牧。大自然的报复迫使美国政府制订了一个干旱草原营造防护林的计划。该计划从1935年开始实施,到1942年总共营造了大约29760km长的防护林带,起到了良好的防护效益。

众所周知,巴西是世界上最大的热带森林国家,亚马孙河流域的森林面积约有650万km²,其中480万km²的森林位于巴西境内。科学家们估计,地球上大约有500万种以上的植物、动物和昆虫,其中100万种以上在亚马孙河流域。在这片浩瀚的森林地带,贮蓄的淡水占地球表面淡水总量的23%,向人类提供维持生命的氧气占1/3。但是巴西的森林资源长期以来没有得到合理的开发利用和经营管理。从1966年到1975年间,巴西亚马孙河的森林被砍伐1100万ha,1987年巴西全国的毁林面积达200多万km²。现在巴西的森林覆盖率已由过去的80%减少到40%。由于巴西的森林面积急剧下降,尤其是巴西的东北部地区森林遭受破坏更为严重,那里的降水量减少,气候变得干燥,土壤肥力衰退,生态性灾害不断发生,那里方圆80多万km²的地区已成为巴西最干旱和贫瘠的地区。

自1954年至1963年,原苏联政府在哈萨克、西伯利亚、乌拉尔、伏尔加河沿岸和北高加索等地区毁林开荒扩大玉米种植面积达6000万ha。但是,每当春季到来时,狂风大作,尘土飞扬,遮天蔽日。1960年的“黑风暴”使垦区受灾耕地达400万公顷,1963年的“黑风暴”使哈萨克耕地受灾面积达2000万ha。目前,该地区已成为营造防护林的重点地区。

哥伦比亚在150年中毁林开荒150万ha,结果导致200万ha土地沙漠化,水土流失面积达2000万ha,平均每年约有21万ha的耕地绝收,200万ha的宜农土地不再适耕。

毁林开荒、过度放牧和樵采等不合理的人类经济活动,招致土壤侵蚀和土地沙化,破坏生态平衡,是当今世界共同存在的严重问题。这些问题直接关系到农牧业生产的发展,尽管它不是全部的问题所在,但它是最重要的问题之一。据联合国粮农组织总干事萨马乌的预测,到2000年,世界人口将会超过60亿,他们对农产品的需求将比1980年高出50%—60%,发展中国家对粮食和其它农产品的需求将会增加1倍。所以,在最近几年作出一些可影响1990年至2000年期间对世界粮食状况的决定性措施是非常迫切的。为了寻求解决人类对粮食与农副产品日益增长的需求,采取的基本对策为:一是扩大耕地面积,采用大量开垦荒地、毁林

开荒,围湖造田等手段来实现;二是大面积的机械化作业,大量施用化肥、农药、除草剂、饲料添加剂来提高农产品数量;三是提高耕作技术和培育高产新品种。这些对策在一定期间内发挥了很大作用,但还没有从根本上解决生态环境日益恶化、自然资源锐减和人口增长过猛等问题。

总之,当前世界农业生产所面临的挑战,实际是大自然给予我们的惩罚。面对这种严峻的现实,人类开始认真地反省过去的行为和所采取的对策与措施是否符合自然客观规律,并且驱使众多的科学家开始探索摆脱困境的办法和建立生态农业的新途径。

二、我国农业生产存在的问题

(一)水土资源与人口

我国土地辽阔,国土总面积为960万 km^2 ,居世界第三位,其中耕地面积只有14.9亿亩。我国人口众多,人均土地面积为14.4亩,人均耕地面积为1.3亩,只相当于世界人均面积(人均土地48亩,人均耕地5.5亩)的1/3,人均森林面积(1.82亩)和草地面积(5.3亩)也不足世界人均面积的1/7和1/3。此外,我国人均水资源只有2600 m^3 ,和世界人均值(12000 m^3)相差甚远。同时,世界每平方公里承载人口为34人,我国则为106人,是世界承载量的3.1倍。世界每公顷耕地负担人口为3人,我国为10人,是世界每公顷负担量的3.3倍。

我国以占世界7%的耕地养活占世界22%的人口。同时,我国的土地资源又是山地多平地少,耕地、林地、草地与水资源更少,后备农业资源严重不足,加之人口增长过快,使矛盾更加突出。而且随着城乡经济建设的飞速发展,大量农耕地被占用,耕地面积迅速减少。问题的严重性还在于城乡建设还要发展,土地还将被占用,农业生产技术一时难于大幅度提高,人口还将迅猛增长,土壤侵蚀与土地沙化等自然灾害还在加剧,人口与土地的矛盾随着时间的推移会表现得越来越突出。

(二)自然灾害与生态平衡

维护生态平衡是保证土地永续利用和生产持续发展的基础,因为土地生态负荷是有一定限度的。如果能合理地利用土地就能不断地更新和提高土地的生产力,形成周而复始的良性循环;如果掠夺式地利用土地,重取轻予,用多于养,超过土地生态平衡的负荷,就会破坏生态平衡,形成恶性循环。

我国是一个多山少林的国家。山区和半山区面积占全国总面积的70%,而且广大山区多为荒山秃岭,自然植被稀少。我国森林覆盖率只有13.4%,还不及世界平均森林覆盖率(29%)的一半,而且这些森林分布极不均匀。加之毁林开荒、刀耕火种、滥伐森林、森林火灾等原因,使仅有少数森林资源日益锐减。森林面积大幅度减少的恶果之一便是生态失去平衡,招致生态性自然灾害频繁发生。

1. 土壤侵蚀与旱涝灾害频繁

由于森林覆盖率低和不合理的使用土地造成我国整个生态环境日趋恶化。可以说,我国整个国土是处在一个脆弱的生态系统之中,其表现之一是土壤侵蚀与旱涝灾害日益频繁。我国是世界上土壤侵蚀最严重的国家之一。据统计,50年代全国土壤侵蚀面积为150万 km^2 ,占国土总面积的1/6;每年土壤侵蚀量为50亿t,相当于6000万亩的肥土。氮、磷、钾养分流失量为4000—5000万t,相当于1979年全国化肥的总生产量。我国土壤侵蚀最严重的地区是

黄河流域的中游和长江流域的上游地区。

黄河流域是中华民族几千年来的发祥地,整个流域面积为75.2万 km^2 ,其中黄土高原为60万 km^2 。黄土高原是黄河流域土壤侵蚀最严重的地区,在60万 km^2 的黄土高原中有43万 km^2 遭受着不同程度的水土流失,其中严重水土流失面积有11万 km^2 。黄河年平均总输沙量为16亿t,主要来源于黄土高原。黄河的输沙量和含沙量均居世界首位。黄河泥沙大量下泄,使下游河床淤积升高成为地上“悬河”。因此,每逢汛期下游广大平原经常泛滥成灾。据历史记载,4000多年以来,黄河共泛滥成灾1500次,其中有26次洪涝使河床改道,给广大平原地区的农牧业生产和工矿交通运输业造成巨大损失。

长江是我国第一条大河,其流长6300km,流域面积180万 km^2 。长江流域联结着10多座大中城市,形成了全国最大的水陆交通网络和城乡市场网络,与沿海组成“丁”字型经济辐射线,对于建设外向型经济体系有着重大意义。但是,长期以来人们在改造自然的过程中,违背了自然规律和经济规律,对森林资源施行掠夺式的开发利用与破坏,致使森林植被大面积消失,引起了严重的土壤侵蚀。

长江流域的土壤侵蚀,随着森林植被的日渐减少正在不断地加剧。在50年代,长江中上游地区的水土流失面积为36万 km^2 ,到80年代则达到了56万 km^2 ,增加了55.6%,占流域面积的31.1%;年土壤侵蚀量22.4亿t,相当于每年损失掉30cm厚的耕地830万亩,使本来有限的土地资源逐年减少。同时,伴随生态平衡失调,干旱、洪涝和泥石流等自然灾害接踵而来。据中上游赣、鄂、湘、川、黔、滇、陕、甘、青9个省份部分县的统计,在80年代平均每年直接经济损失为486万元,据此推算,9省共有566个县,由于灾害造成的经济损失共达27亿元。众所周知,1981年7月至8月间,四川西部和北部地区遭受特大洪水的袭击,138个县(市)受灾,有57个县城、777个城镇、3115个工交企业受灾停产,有1755万亩农作物受灾减产,其中冲毁耕地147万亩,受灾人口达2000多万,直接经济损失达25亿元。这次特大洪水如果发生在中游江汉平原地区,其经济损失将10倍于四川。

日趋严重的土壤侵蚀,使长江的含沙量和输沙量大量增加。据统计,长江的含沙量80年代比50年代几乎增加了1倍,年总输沙量已达5亿t以上。由于大量泥沙沿途沉积,中下游水库、湖泊淤积十分严重。据调查资料表明,80年代与50年代相比,中下游湖泊的水域面积由2.2万 km^2 缩减为1.2万 km^2 ,减少了45.5%。洞庭湖年淤积量为1.2亿 m^3 ,比50年代减少了30%的水域面积,如此下去洞庭湖只需50多年就会从中国大陆上消失。水库淤积与河床抬高也相当严重,据粗略计算,由于泥沙淤积每年损失库容量12.1亿 m^3 ,相当于报废12座大型水库。而河床抬高不仅削弱了行洪能力和加大了洪灾的损失,而且使通航受阻。

旱灾也是生态平衡失调的恶果之一。旱灾是我国农业生产受害面积大、范围广、危害严重的灾害之一。尤其在我国北方广大地区,旱灾是农业生产的主要灾害,它往往与洪涝灾害交替发生。旱灾严重年份粮食减产都在1500万吨以上。据统计,1949至1984年间,我国农业平均年受灾面积4.6亿亩,其中旱灾频率最高,占61%,而洪涝灾占24%,风雹灾占9%,霜冻灾害占6%。此外,还有干热风等。干旱以春旱频率最高,华北与西北最为严重,东北次之。南方有些省份,如四川、湖北、湖南及华南沿海等地也经常发生旱灾。干旱发生地区比较分散,北方主要发生在黄淮海地区,南方发生频率高于北方,相对集中在东南沿海和湖南、湖北、江西等省份。

2. 农业环境污染与农业生产

农业环境是人类生存环境中的一个重要组成部分。农业环境是农业生产的基础,农业生物和农业劳动在与农业环境之间相互作用和影响下,形成了一个统一的农业生态系统,并且保持一定的动态平衡关系。倘若农业环境一旦遭受到污染,便破坏这种自然生态平衡,其结果必然影响农作物的生长、繁殖,甚至破坏农业生产的发展,严重时还会破坏农业资源,危害人体健康。

随着我国工业生产的飞速发展和城市人口的急剧增加,工业三废(废气、废水和废液)和城市污水、废弃物的排放量日益增大,农田被迫作为消纳场所而受到侵袭和污染。同时,农业生产本身的化学化、农药和化肥用量激增也给农业生产造成严重污染。目前,我国的水域、大气、土壤等农业环境已日益受到多种化学和物理因素的污染,从而直接或间接地破坏了农业环境的生态平衡。我国农业遭受污染的情况,在60年代中期即陆续出现了,进入70年代之后污染日趋严重。目前,许多地区的农业环境,尤其是平原地区的农业环境已经遭到污染和破坏,有些地区已达到相当严重的地步。

据1980年26个省、市、自治区的不完全统计,当前我国农业生产受三废污染的耕地面积约在2500万亩以上,占全国耕地面积的1.68%左右。1980年我国年产化学农药原药33.6万t,其中一半是高残留的有机氯农药(如滴滴涕、六六六等)。从1950年以来,我国生产并使用有机氯农药已30多年,其利用率仅为30%左右,70%都溢散在空气和土壤中,造成土壤、水体和农畜产品的严重污染。

我国化肥生产主要以氮肥为主,据化工部1979年统计,氮肥生产量1072万t,磷肥283万t。各地每亩施入氮肥量是逐年增加的,根据有关部门统计,每亩化肥施入量已达6kg(有效成分),比世界平均水平的4.55kg高出32%。氮肥过量施用使着氮污染带来的硝酸盐问题日益突出,而硝酸盐对地表水与地下水的污染已成为环境卫生方面的一个重要问题。此外,近年来曾多次发生磷肥严重污染事件,仅1988年,在山东、浙江、江苏和安徽4省,农业受害面积就有86900亩。

农业环境污染使农业生产遭受的经济损失是十分惊人的。据1980年17个省、市、自治区的部分地区不完全统计,近年来仅粮食产量一次即损失3.8亿kg。此外,施用大量农药化肥所造成的经济损失还涉及到我国农产品的出口贸易。据外贸部门反映,我国近年来农产品出口因含过量化学农药物质屡遭退货。

(三)“四料”俱缺和单一农业生产的关系

长期以来,我国对有限的土地资源利用是建筑在小农经济的基础上的。而且在开发利用土地资源的指导思想上,也是仅仅死盯着15亿亩的耕地,把所有耕地几乎集中于粮食生产。目前,随着农村经济体制改革的不断深化,农村农业生产已由自给型、半自给型向适度规模商品经济型转变,由单一农业经营向农林牧副渔和农工商贸综合经济型转变。因此,在建立新型农村经济的过程中,首先遇到的一个突出问题就是农村能源严重不足。

目前,世界上大约有15亿人口以木柴为主要燃料,约烧掉每年生产木材的一半。我国是世界上能源短缺的国家之一。各国经济发展的实践证明,能源的总消耗量和人均能源消耗量是衡量一个国家或一个地区经济发展水平的重要标志。在一个现代化的社会里,为了满足衣食住行和其它方面需要,每人每年的能源消耗量不能低于1.6t标准燃料。现在我国距离这个水平相差甚远。到2000年我国的人口将增至12.5亿,那时我国能源的需要量的最低值也需19.4亿t标准燃料。

能源的短缺是当前和今后建设现代化国家最突出的问题之一,而农民生活燃料严重不足又是更加突出的问题。由于缺乏燃料,许多农村把农作物当作燃料烧掉而不能秸秆还田,更有甚者到处铲草皮和挖草根破坏植被,造成严重的水土流失。

燃料的短缺直接引起肥料、饲料和木料的短缺,它们之间存在着互相制约和影响的关系,好似一条绷紧的链条,只要其中一节崩断就会导致一系列生态问题。实际情况也是如此,由于广大农村燃料不足,迫使农民不得不去砍树、割草、铲草皮挖草根。据统计,我国每年烧掉木材约7000万 m^3 ,远远超过每年的木材生产量。因此,“四料”俱缺问题需要放在国家整个能源发展规划之中,统筹解决。

三、国内外农田防护林营造概况

日趋严重的自然灾害和生态环境恶化对当前农业现代化建设是一个巨大的威胁。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产,而且还可以开展多种经营,增加经济收入和提高生活水平。所以,大面积地营造农田防护林,实现农田林网化是建立生态农业和实现我国农业现代化的重要措施。

我国营造农田防护林的历史是比较悠久的,概括起来大致有三个发展阶段。第一阶段,在小农经济的基础上,个体农民为防止风沙的危害在自己耕种的小块田地边缘栽植成行的林木,其目的不仅只是为了保护农田使农作物取得较好的收成,也是为通过林木获得木料等经济效益。尽管这些成行的林木还未构成今天这样大面积的农田林网,但的确是营造农田防护林的雏形。由个体农民自觉地营造的这种自由式的林带,在我国的华北北部、东北西部、河南东部、陕西与山西北部以及内蒙古等地区到处可以见到。此外,农民在地边营造的各种不同类型的自由林带,虽然起到了一定的防护作用,但毕竟受当时的条件所限,因而特点是不规整,网眼小,分布较零散,规模也较小,形不成一个完整的防护林体系。第二阶段,是50年代初至60年代末这段时期。当时主要是学习苏联营造农田防护林的经验。为了改善农田的小气候环境和保障农作物高产稳产,由国家或集体统一规划营造大面积的农田防护林带。如东北、华北、西北和东南沿海地区营造的防护林带,不仅是主林带的走向与主要害风方向垂直,带距都按林带有效防护距离来配置,而且整齐划一,并且具有宽林带(大都在30—40m左右)和大网络的特点。毫无疑问,这些大面积的农田防护林在改善小气候环境与保障农业增产方面起到了良好的作用。但是,由于我国耕地少、人口多和自然灾害性质复杂,宽林带大网络的配置型式不是最佳模式。尽管如此,我国在50年代所营造的农田防护林在质量上还是比较好的,成绩是显著的。当时,我国东北西部约营造了1700km长的防护林带,在苏北和山东南部地区营造了1500km长的防护林带。第三阶段,是从70年代至今,在这期间随着世界科学技术的迅速发展,尤其是生态学与生态经济学原理的广泛应用和电子计算机的普及,农田防护林学作为一门生物科学的应用性学科,也得到了很快的发展。因此,这期间的农田防护林建设的特点是以生态学与生态经济学的原理为基础,实现山、水、田、林、路综合治理和开发利用,逐步建立起生态农业。为此,各地区结合当地的生产实际,改造旧的农田防护林带,把宽林带、大网络变为窄林带小网络,并实现农田林网化。现在,有的省区已经营造了全县统一的、全地区统一的农田防护林体系。这种新的防护林体系以农田林网化为骨架,将“四旁”植树、速生丰产林、林粮间作以及经济林融为一体,构成农业地区完整的防护林体

系,这就是生态农业的基础。据统计,在70年代末我国北方有635个平原县,其中有10%左右的县实现了农田林网化。

被世界喻为“绿色万里长城”的“三北”防护林体系建设工程是1978年由国务院批准而实施的国家重点项目之一。一期工程西起新疆维吾尔自治区的乌孜别里山口,东至黑龙江省的宾县,东西长约7000km,南北宽约400—1700km,包括12个省、区和直辖市共计396个县(旗、市)。

它使森林覆盖率由原来的4%提高到5.9%,部分地区的风沙危害有所减轻,水土流失得到了不同程度的控制,大约有1.2亿亩农田得到了保护,一些地区的燃料、饲料、肥料和木料匮乏的状况有所缓解,取得的生态与经济效益是非常明显的。第二期工程由过去的12个省市、自治区的396个县扩大为466个县、旗。加上后来增加的天津市和河北省一些县,建设范围有13个省市、自治区的512个县、旗、市。建设范围内的治理面积也由过去的347万 km^2 增加到400万 km^2 ,占国土面积的41%。第二期工程的主要任务是在保护好现有森林植被,巩固提高一期工程建设成果的基础上,继续开展大规模的人工造林、飞机播种造林、封山育林(草),使“三北”地区的森林覆盖率由现在的5.8%提高到7.7%,使2.6亿亩农田实现林网化,建成一批带、片、网有机结合的区域性防护林体系。总之,“三北”防护林体系建设是一项举世无双的规模最大、效益最高、任务最重的一项生态工程,它的建设成功将使我国北方广大地区的自然面貌和经济面貌逐步得到改变。

此外,在长江中上游地区和我国沿海地区也将陆续营造防护林,以便防御自然灾害和保障工农业生产的发展。

世界各国在平原农田营造各类防护林,大致是在19世纪初到19世纪中叶就开始了。原苏联是世界上最早营造农田防护林的国家之一。早在沙俄时代就开始在乌克兰干旱草原地带营造以橡树为主要树种的农田防护林带。20世纪60年代以前曾营造了约80万ha的农田防护林带。由于造林方式和经营管理等方面存在一些问题,诸如造林密度过大,选择树种不当与缺乏抚育管理等,致使林木生长不良,成型林带仅有半数左右。加上林带过宽和网格过大,防护功能较差。

1963年3月间,苏共中央委员会和部长会议通过了一项“关于土壤侵蚀紧急防治措施”的决议,把防护林工作推向一个新的发展阶段。1973年苏联农业部颁发了防护林设计和造林规程,并按土壤类型和地形特征将防护林划分为8个类型区并分区设计。

到1982年止,苏联防护林面积达500万ha,其中农田防护林面积有160万ha,现在约有4000ha的农田和100万ha牧场处于防护林带的保护之下。在60年代以前营造的宽林带、大网络,由于占地较多而防护效果又差,已基本被淘汰。现在营造的防护林带一般为3—10行。确定主带距,主要考虑林带的有效防护距离和林带高度,主风风速和被保护农作物要求减弱风速的百分率。一般取林带平均高度的25—30倍。而副林带距离决定于灾害风向的频率特征。

美国营造防护林带仅有100年的历史,大规模地营造防护林在30年代中期才开始。1934年5月间,美国西部干旱草原由于长期无节制地垦荒和放牧,曾发生了一场大风暴。自然灾害的袭击迫使美国政府开始重视防护林的建设,在研究其它国家防护林营造工作经验的基础上,美国政府制订了一个“营造防护林计划”的决议。当时美国林务局曾给6个大平原州的3万户农牧场主以资助,鼓励其在自己的农牧用地上营造防护林带。造林从1935年开始,至1943年营造了从北达科他州至德克萨斯州长达18600英里的防护林带。美国现有防护林面积

约为65万ha,其中农田防护林带的总长度约为16万km。美国营造的大面积防护林,其防护作用是明显的,但由于抚育管理跟不上,少数防护林存在一定问题。

欧洲一些国家,如法国、丹麦、匈牙利、瑞士等国家,也都先后根据自己国家的自然灾害性质和受害程度营造了大面积的防护林,这些防护林在抵御自然灾害和保障农牧业生产的发展上都起到了良好的防护效益。例如,丹麦是营造防护林带比较早的国家之一,它的农田面积并不多,但农田遭受自然灾害比较频繁,因此积极地营造防护林带,截至60年代末已营造防护林带8万余km。

目前,世界农田防护林研究和实际建设工作中,从形式上看存在着由营造宽林带大网格林带,向营造窄林带小网格和主副林带纵横交错成网状的农田林网化发展的方向;从防护效益上看,有从单纯的保护农田、提高农作物产量,向充分发挥防护林多功能和综合效益(生态效益、经济效益)发展的方向。从当前国内外的农田防护林的营造技术和科学研究趋势来看,现在防护林建设有如下的特点与发展趋势:

1. 从营造紧密结构林带向透风与疏透结构林带发展的趋势。许多国家的科研成果和生产实践表明,透风系数为0.35—0.4的林带其防风效果最佳,背风面的防护距离也较远。因此,各国在营造农田防护林带时,都选择透风的与疏透结构的林带。

2. 由宽林带大网格向窄林带小网格的发展趋势。一般来说,林带的宽度不仅直接影响着林带的防风效果,同时也影响着林带的疏透度。所以,林带过宽不仅占地多,防风距离也会减小。世界上一些国家,尤其是处于温带与寒温带的一些国家,过去曾营造宽林带大网格的农田防护林。后来,经过大量的科学试验证明,行数适度的林带不仅具有较稳定的生物学特性,而且防护效果也好。美国农业部的大量研究资料表明,3—5行的窄林带和8—21行的宽林带相比,其防风效率是基本相同的。因此,美国决定将30年代在大平原各州营造的宽林带改造成3—5行的窄林带。加拿大普遍营造3行的护田林带,丹麦也在全国各地设计和营造3—5行的窄林带,并采用林带间距为250—400m,都收到了良好的防护效果。近十几年来,我国各地营造的护田林带大概是4—6行组成的窄林带,并实行了田、水、林、路综合治理。林带间距一般定为林带高度的25倍,亦即250—350m。

当前,在设计和营造护田林带时都以最少的占地面积和达到最大的防护效果为原则。营造窄林带,只要是树种选择得当和配置合理,防护效果一定会好。如原苏联营造透风与稀疏结构的窄林带占地只有2.5%—2.8%,而防护效果也是最好的。德国营造了行宽4—6m的窄林带,防护效果最好,林带占地仅有2%。美国营造的农田防护林占地面积通常不超过1%—5%。

3. 从单一营造护田林带向建造农田林网化体系发展的趋势。60年代末以来,一些国家从大量的观测资料和室内试验中得知,在农田上营造单条林带的作用是有限的,还不足以防御日益加剧的风沙等自然灾害的侵袭。我国营造护田林带的历史比较悠久,经验也比较丰富,很早就开始设计和营造农田林网,只不过是没构成一个严密的农田林网体系。其它各国在农田防护林的营造工作中,也都总结到这类经验。所以,国内外在防护林建设事业中,都从营造单条的护田林带走向营造窄林带小网格,并实现农田林网化。我国的农田防护林建设强调生态作用,以农田林网化为骨架,结合“四旁”植树、小片丰产林、农林间作等,构成一个完整的有机联系的平原农田防护林体系。可以说,在这点上我国是走在了世界各国的前列。

四、农田防护林学与其它课程的关系

农田防护林学是水土保持专业的一门专业课，它和水土保持林学、治沙造林学共同构成了本专业主干课的一个分支。农田防护林学的基础课是气象学、土壤学、植物学、植物生理学、林木育种和遗传学、树木学、数理统计学、水土保持原理和规划设计、计算机应用等。此外，和农田防护林学有直接关系的课程是作物栽培与耕作学，牧草栽培学，农业生态学，森林生态学，果树栽培学，造林学，病虫害防治等。

农田防护林学是一个生产性很强的应用性科学，它是从造林学中派生出来的。随着科学技术的不断发展，农田防护林学作为一门独立课程还不到20年的历史，但是由于农业与林业生产的现代化过程加快和新技术的应用，新的学术领域内不断出现新学科，农田防护林学作为一个新学科应运而生。因此，该课程尚处在幼年阶段。

第一章 农田防护林的概念和理论基础

我们在弄清楚农田防护林含义和概念之前，首先应该搞清楚有关防护林的含义和概念，因为农田防护林是防护林中的一个重要林种。

一、防护林的含义和概念

直到目前为止，世界上关于防护林的确切概念尚未形成统一的定义。尤其是在当今世界上，科学技术的迅速发展，许多过去未曾有过的新学科不断涌现出来，所以关于防护林的概念和含义必须要认真研究和探讨。我国的《森林法》第一章总则中第二条把我国的森林划分了五个大林种，即防护林、用材林、经济林、薪炭林和特殊用途林。所以，防护林在整个森林中是居首位的，它充分地说明了我国对防护林建设的高度重视。

1986—1987年间，在撰写和讨论《中国大百科全书》和《农业百科全书》有关防护林条目过程中，全国有关专家和学者曾对防护林概念和含义进行过广泛而热烈的讨论，最后大家取得了一致的看法。大家认为，防护林学是从造林学中派生出来的一门应用科学。它不同于经济林、用材林、薪炭林和其它林种，无论在树种选择、混交方式和配置上，或者在造林技术上，防护林都具有其明显的特点和特殊的造林目的与经营目的。因此，凡是具有改善生态环境、涵养水源、保持水土、防风固沙等防护功能的人工林与天然林都称为防护林。防护林的主要特点是具有一定的树种（主要树种、辅助树种和灌木树种）组成，一定的生态结构（林冠层次、内部构造、密度等）和一定的配置形式（带状、网状、片状和块状）。一般地说，对防护林概念作这样的表述是正确的，因为它从自然属性方面说明了防护林的本质东西。如果从生态学和生态经济学的原理来看问题，防护林的概念和含义不仅包含有自然属性的内容，还应包含有经济属性的内容。因为营造防护林的目的不仅要获得最佳的生态效益，还要取得最佳的经济效益和社会效益。这点在当今的世界上都是公认的。所以，关于防护林的概念，不仅要从其自然属性方面加以表述，而且还应当从其经济属性方面给予阐明，才能完整的说明防护林概念的本质。所以，防护林的概念应是凡以一定的结构、一定的树种组成和一定的形式配置在遭受不同自然灾害（水旱、风沙、水土流失等）地区的人工林分 and 现有的天然林分称之为防护林；其主要功能在于改善生态环境，涵养水源与保持水土，防风固沙等，为发展农牧业生产开展多种经营创造有利条件，为当地群众的脱贫致富奠定坚实的基础。

根据防护目的和造林目的不同，可将防护林划分为以下几个大的林种：农田防护林，水土保持林，水源涵养林，防风固沙林，牧场防护林，果园防护林，海岸防护林，道路防护林，风景林等。有些林种，如水土保持林还可以再划分若干个小林种。

在某个自然景观地带内，依据不同的防护目的和地貌类型而营造的各类人工防护林和现有的天然林，按照总体规划要求将它们有机地结合起来，形成一个完整的森林植物群体，即所谓的“防护林体系”。我国目前正在进行的“三北”防护林体系建设工程就是这样的防护林体系。此外，长江上游地区的防护林体系和沿海防护林体系建设均属于这类防护林体系。

上述的这些防护林体系建设,在当代世界各国是罕见的,所以国外人士把我国的“三北”防护林体系建设看成是一项伟大的人工生态系统的建设。

我们在弄清楚了什么是防护林的基础上,再来理解农田防护林的含义就比较容易了。因为如前所述,农田防护林是防护林中的一个重要组成部分。顾名思义,农田防护林是配置在农田上的防护林,其主要作用是降低害风的风速,改善农田小气候环境,为农作物生长创造良好条件,保证农作物获得丰产。对农田防护林作这样的阐述一般来说是对的,但还不够完整。确切的表达应当是:凡是以一定的树种组成,一定的结构和成带状或网状配置在遭受不同自然灾害(风沙、干旱、干热风、霜冻等)农田(旱作农田与灌溉农田)上的人工林分;其主要功能在于抵御自然灾害,改善农田小气候环境,给农作物的生长和发育创造有利条件,保障作物高产稳产,并为开展多种经营,增加农民经济收入打下良好基础的人工林分,称之为农田防护林。

根据田、水、林、路总体规划,在农田上将农田防护林的主要林带配置成纵横交错,构成无数个网眼(或林网),即农田林网化。以农田林网化为骨架,结合“四旁”植树,小片丰产林,果园、林农混作等形成一个完整的平原森林植物群体,即谓农田防护林体系。目前世界各国在进行农业现代化建设中,尤其是进行生态农业建设中,都把农田防护林体系看作是其重要的内容。

林林

二、农田防护林学的理论基础

农田防护林学作为一门新兴的学科和其它任何一种科学形成一样,都是以生产实践需求与科学技术发展为背景的。伟大的生物学家,进化论的创使人达尔文曾指出:科学在于综合事实,从而从中得出一般的法则或结论。从19世纪中叶以来,世界上由于生态环境日趋恶化,农业生产自然灾害急剧增加,人们才重视营造农田防护林,正是农业生产的发展和需求,农田防护林学才逐渐形成了自己的基本理论、基本知识和基本营造技术。农田防护林学的理论基础主要是生态学、景观学和生态农业学原理。

(一)生态学

人类对于自然界经常出现的生态现象的认识,伴随着生产活动的发展和科学技术的前进,经历了一个漫长的不断深化的发展过程。生态学和其它科学一样,正是从人类进行长期生产实践中产生和发展起来的。

大约在2000多年之前,我国劳动人民在从事生产实践过程中就已经产生了生态学的观点。《周礼·大司徒》之职文记载:“以土会之法,辨五地之物生”,其意是要根据什么样的土壤和条件,种植什么样的树木和农作物。据《汜胜之书》记载的“得时之和,适地之宜,虽虽薄恶,亩收可十石”,其意即是说土壤的肥瘠不是绝对的,只要因地制宜时制宜,虽然土壤瘠薄也可取得好的收成。《孟子·梁惠王篇》中记载:“数罟不入洿池,鱼鳖不可胜食也”。意思是要从长远利益着眼,不能只顾目前利益,在鱼池中不可用细密网捞鱼,注意保护鱼类资源则水产品取之不尽。后魏贾思勰著的《齐民要术》一书中除阐述谷物、蔬菜、林木、果树及经济作物的种植方法和畜牧业管理外,主要强调了农业生产要重视因地制宜与因时制宜,其中的生态观点甚多。比如“顺天时,量地利,则用力少而成功多。任情返道,劳而无获”。这是讲的种植农作物符合当地气候和土壤条件时,可取得事半功倍之效;如果违背了这一规律,就会得到相反的效果。该书还记载:“若粪不可得者,五、六月中栽种绿豆,至七、八月犁掩种之,如以粪粪田,则

良美与费不殊，又省功力”。这就是说明庄稼如果没有猪牛粪或堆肥，就可以在五、六月间种植豆科植物做绿肥，俟其长到七、八月间用犁翻入土内，和牲畜肥一样起作用，而且省劳力。那时，我国劳动人民已经认识到农田轮作的原理了。有关植树造林方面也记载着：“凡栽一切树木，欲记其阴阳，不令转易。阴阳易位则难生”。栽树要注意树木原来的阴阳面，不要将树木的阴阳面颠倒，要按原来树木的方位来栽，如改换了原来的阴阳面，树木则不易成活。

以上列举的仅是我国古书中记载的部分有关农业生产的例子，它是我国劳动人民长期的生产活动中总结出来的部分符合生态学观点的经验。由于几千年来封建统治阶级的压迫和轻视自然科学的研究，这些朴实的、萌芽的生态观点没有被提高到理论上来加以概括和总结。相反，一些先进的资本主义国家的科学家在推进生态学的发展过程中，却吸取了我国古代有关生态学的哲学思想和实际经验。比如生态系统中“十分之一”定律的发明者，美国的一位年轻的生态学家 R. L. 林德曼就承认，他在研究和揭露生态系统的食物链中的“生产率金字塔”或“十分之一”定律过程中，是受到了中国的“大鱼吃小鱼，小鱼吃虾米，虾米吃泥巴（实为浮游生物）”和“一山不存二虎”这二句格言的启发。

生态学作为一门独立的系统的学科才有100多年的历史。生态学(Ecology)这一术语，是在1886年由一位德国动物学家赫格尔(Haeckle)首次提出的，定名是由希腊文的词根“Oikos”(意思是存在住所)和“logos”(意思是研讨)组合而成。这个词的意思是研究存在住所中的有机体。在1886年赫格尔对生态学提出了简明的定义：“生态学是研究有机体和其环境间的相互关系的科学”。到1935年，丹麦的维希曼写出了第一本植物生态学。自古以来，人类的生存生活和繁衍，都和周围生态环境的优劣是息息相关的。在人类生存生活的地球上，除人类以外还有众多的动物、植物和微生物等生物界，也有土壤、水分、阳光、大气、湿度等非生物界，这些生物与非生物界之间都不是孤立存在的，它们之间是相互依存、相互制约和相互联系的。随着人类的增殖和活动范围的不断扩大，工农业生产和科学技术的飞速发展，自然资源的枯竭和生态环境的恶化，生态学涉及的领域日益广泛，内容也日渐增多，尤其在今天生态问题日益受到人们的关注和重视。所以，从赫格尔首次提出有关生态学的概念到维希曼写出第一本植物生态学之间，生态学被广泛地应用，派生出了许多新的学科，诸如植物生态学，动物生态学，微生物生态学，生理生态学，人类生态学，系统生态学，种群生态学，结构生态学，机能生态学等。当人们把生态学应用到实际生产后，又产生出诸如农田生态学，草原生态学，森林生态学，水产生态学，诊断生态学，管理生态学，防治生态学，自然保护生态学，海岸生态学等。

1935年英国的生态学家 A. C. 坦斯雷(Tansley)在前人研究的基础上提出了有关生态系统的概念。这种新的生态系统概念在生态学领域内是一次重大突破，获得了当时生态学界所有学者们的一致赞赏。当时，生态学期刊(Journal of ecology)1967年第一期把生态系统比喻为70年代的“一块未雕琢的金刚石”，这是对坦斯雷的生态系统新概念的高度评价。这一新概念把生物群落和所在环境中直接作用于生物有机体的物理的和化学的成分视作一个自然网络系统，这个网络系统即生态系统。系统内诸过程趋于相对平衡，也就是说在相当长的时间内，各种成分的数量关系和状态保持相对的稳定。这个生态系统的核心是生物群落，只有它才有维持和修复重建系统的功能。A. C. 坦斯雷所提出的生态系统的新概念将生态学推进到一个崭新的发展阶段。

1936—1912年间，美国明尼苏达大学动物系的一位青年生态学家 R. L. 林德曼(Lind-

emen)关于生态系统的食物链和生产率金字塔(又称十分之一定律)营养链的科学论文震动了当时的生态学界,使生态系统学又踏上了一个新的台阶。R. L. 林德曼的研究表明,大量的确切数据证明,生物量随着食物链的顺序,是从绿色植物向食草动物、食肉动物等不同营养级转移的,并有稳定的数量比例关系。通常是后一个营养级的生物量只等于或小于前一个营养级生物量的 $1/10$,这就是生态系统中的“生产率金字塔”或“十分之一”定律。生物量随食物链转移的定量关系的发现,证实了生态系统中生物与非生物环境成分之间确实存在有动态平衡。这为进一步研究和揭示生态系统的能量流和物质循环规律开拓了新的途径。

根据现在的理解,生态系统是由生产者、消费者和还原者三部分有机体和环境(光、热、水、气等)所组成,四个部分紧密结合又循环不息地构成完整的生态系统。这个系统是由一个转化过程和三个物流能流过程所组成的系统,不是一个简单的直线联系,而是一个复杂的网格系统(如图1-1)。

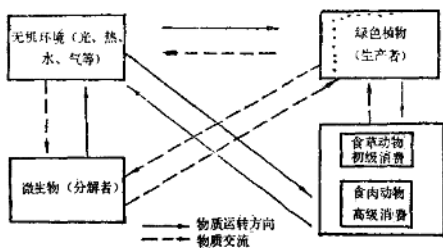


图1-1 生态系统结构模式

从图1-1中我们可以看出,生产者指绿色植物及某些能进行光合作用和能合成的细菌。绿色植物是初级生产者,通过叶绿素吸取太阳能进行光合作用,把从环境中摄取的无机物质二氧化碳和水合成碳水化合物,将太阳能转化为化学能贮存起来,即 $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow[\text{叶绿素}]{\text{日光}} (\text{CH}_2\text{O})_n + \text{O}_2 \uparrow$ 。地球上的其他生命,包括人类在内,都必须依靠植物生产的有机物质才能生存,由此开创了第一个物流和能流过程。

消费者主要系指各种动物,它们是依靠绿色植物制造的有机物质来维持生活的,所以又称异养的营养者。这类生物可分两大类,一类是直接以植物为主的食草动物,如昆虫、牛、羊、兔、鹿等,另一类是以食草动物为食的食肉动物,如虎、豹等。还有既食植物又食动物的杂食动物,如狗、猫等。

分解者,又称还原者,系指细菌和真菌等异养微生物。这类微生物是依靠分解死亡的有机物质获得自身的营养物质和能量,并将这些有机物质分解成简单的化合物和释放到环境中去,再为绿色植物所吸收利用。这就是第二个物流和能流的过程。在生态系统中,由于各种微生物对复杂的生物有机体进行分化分解,最后还原为二氧化碳和水等无机物质为止,能量亦随之而消失。微生物在腐化和分解有机物过程中,仍是增加土壤肥力的过程,并通过土壤的肥力把物流和能流中转化为植物根系的生长动力,开始为初级生产者服务,构成再循环的开