



# 环境生态学基础

柳劲松 王丽华 宋秀娟 编



化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

# 环境生态学基础

柳劲松 王丽华 宋秀娟 编

化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

·北京·

(京)新登字 039 号

**图书在版编目 (CIP) 数据**

环境生态学基础/柳劲松,王丽华,宋秀娟编. —北京:化学工业出版社,2003.6  
ISBN 7-5025-4535-2

I. 环… II. ①柳…②王…③宋… III. 环境生态学 IV. X171

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 048904 号

---

**环境生态学基础**

柳劲松 王丽华 宋秀娟 编

责任编辑:管德存

文字编辑:刘莉珺

责任校对:陶燕华

封面设计:潘峰

\*

化学工业出版社 出版发行  
环境科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)

发行电话:(010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 20 $\frac{1}{4}$  字数 493 千字

2003 年 7 月第 1 版 2003 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4535-2/X·303

定 价:45.00 元

---

**版权所有 违者必究**

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

# 前 言

长期以来，由于人类为了追求更加美好的生活，加速利用和改造了自然，从而导致各种环境问题的出现，其影响范围也从区域扩展为全球，给人类的生存造成极大的威胁。进入21世纪后，世界环境问题既有历史的延续、也有些新的变化和发展。因此，环境生态学的研究内容也需不断丰富。

环境生态学 (environmental ecology) 是生态学的新分支，是伴随着环境问题的出现而产生和发展的综合性科学。维护生物圈的正常功能，改善人类生存环境，并使两者间得到协调发展，是环境生态学的根本目的。运用生态学理论，保护和合理利用自然资源，治理被污染和被破坏的生态环境，恢复和重建受损的生态系统，实现保护环境与发展经济的协调，以满足人类生存和发展需要，是环境生态学研究内容的核心。

本书分为三篇，第一篇环境生态学的基础知识，主要简述了生态学的组成要素、结构、类型及基本特征；第二篇人类活动与全球环境的变化，论述了人类活动对大气、土壤和水环境所带来的影响，及对生态系统和生物多样性的干扰和破坏；第三篇环境保护与可持续发展，系统地阐明了环境保护和可持续发展的概念和理论。较完整地概括了环境生态学的全貌。本书还反映了环境生态学的最新进展，包括外来物种的入侵、转基因生物的安全问题、地球自我调节假说、全球生态学、生态技术与生态规划、生态系统服务与管理等，希望对读者有所裨益。也期待着此书的出版能为加强我国环境生态学的基础教育，作出我们的贡献。

限于编者理论水平和对实际工作情况把握上的缺陷，引用了许多书刊的图、表、定义等，都已标注，在此表示诚挚谢意。另外由于编写时间仓促，不妥之处在所难免，恳请读者提出宝贵意见。

编者

2003年6月

## 内 容 提 要

全书共分三篇，第一篇介绍了环境生态学的基础知识；第二篇介绍了人类活动与全球环境的变化；第三篇重点介绍了环境保护的对策，生态系统的恢复，人口、资源、城市、农业的可持续发展。

本书可供从事环境科学、生态学的科研人员使用，也可供大专院校环境科学等相关专业师生参考。

# 目 录

## 第一篇 环境生态学的基础知识

<b>第一章 绪论</b> .....	1
<b>第一节 环境问题的产生</b> .....	1
一、环境与环境问题.....	1
二、环境问题的历史回顾.....	2
三、全球性环境问题及危害.....	2
<b>第二节 环境生态学的产生及发展趋势</b> .....	5
一、环境生态学定义.....	5
二、环境生态学的产生及现状.....	5
三、环境生态学的研究内容及发展趋势.....	8
<b>第三节 环境生态学与相邻学科的关系</b> .....	10
一、生态学.....	10
二、环境科学.....	12
三、其他相关学科.....	16
<b>参考文献</b> .....	18
<b>第二章 有机体与环境</b> .....	19
<b>第一节 生命与环境</b> .....	19
一、生命的基本特征.....	19
二、生命系统的层次.....	20
<b>第二节 生态因子概述</b> .....	22
一、生态因子及其分类.....	22
二、生态因子作用的基本特征.....	23
三、生态因子的限制性作用.....	24
四、生物适应.....	26
<b>第三节 生态因子的作用</b> .....	32
一、光的生态作用.....	32
二、温度的生态作用.....	37
三、水的生态作用.....	40
<b>参考文献</b> .....	43
<b>第三章 种群生态学</b> .....	45
<b>第一节 种群的概念和基本特征</b> .....	45
一、种群的概念.....	45
二、种群的基本特征.....	45
<b>第二节 种群统计概述</b> .....	46



一、种群的数量统计 .....	46
二、种群的空间分布和扩散 .....	50
三、种群增长的基本模式 .....	52
第三节 种群的动态及调节 .....	55
一、自然种群的数量动态 .....	55
二、人为干扰下的种群动态 .....	57
三、种群适应环境的生态对策 .....	57
四、种群调节理论 .....	60
第四节 种群的相互关系 .....	61
一、种群内部的相互关系 .....	61
二、种群之间的相互关系 .....	63
三、种间竞争 .....	65
参考文献 .....	68
<b>第四章 群落生态学</b> .....	<b>70</b>
第一节 群落的概念及基本特征 .....	70
一、群落的概念 .....	70
二、群落的基本特征 .....	70
第二节 群落的组成及数量特征 .....	71
一、群落的成员型 .....	71
二、种类组成的数量特征 .....	72
三、物种多样性 .....	75
第三节 群落的外貌与结构 .....	78
一、群落的外貌 .....	78
二、群落的垂直结构 .....	79
三、群落的水平格局 .....	80
四、时间格局 .....	81
五、群落的交错区和边缘效应 .....	81
第四节 群落的演替 .....	82
一、群落演替的概念 .....	82
二、群落的形成及发育 .....	82
三、群落演替的类型 .....	84
四、群落演替的理论 .....	85
五、影响演替的主要因素 .....	87
参考文献 .....	88
<b>第五章 生态系统</b> .....	<b>89</b>
第一节 生态系统的概念及基本特征 .....	89
一、生态系统的概念 .....	89
二、生态系统的基本特征 .....	89
三、生态系统的开放和整体性原理 .....	91
四、生态系统结构与功能的辩证关系 .....	91

第二节 生态系统的组成和结构 .....	92
一、生态系统的组成成分 .....	92
二、生态系统的结构 .....	93
三、食物链和食物网 .....	93
四、营养级和生态金字塔 .....	94
第三节 生态系统的基本功能 .....	95
一、生态系统中的能量流动 .....	95
二、生态系统中的物质循环 .....	97
三、生态系统中的信息传递 .....	102
第四节 生态系统的平衡稳定及其调节机制 .....	104
一、生态平衡的概念 .....	104
二、生态系统平衡的基本特征 .....	104
三、生态平衡的调节机制 .....	105
第五节 生态系统的发育 .....	106
第六节 地球自我调节假说——盖雅假说 .....	108
一、“盖雅假说”的形成和发展 .....	108
二、“盖雅假说”的主要论点 .....	109
三、对“盖雅假说”所进行的检验 .....	112
参考文献 .....	113
<b>第六章 生物圈的主要生态系统</b> .....	<b>114</b>
第一节 陆地生态系统 .....	114
一、概述 .....	114
二、热带的主要植被类型 .....	116
三、亚热带的主要植被类型 .....	118
四、温带的主要植被类型 .....	119
五、寒带的主要植被类型 .....	120
六、隐域的植被类型 .....	120
第二节 水生生态系统 .....	120
一、水生生态系统的基本特征 .....	120
二、水生生态系统的类型 .....	121
第三节 湿地 .....	122
一、湿地的分布 .....	122
二、湿地的主要功能 .....	122
第四节 自然保护区的建设与管理 .....	123
一、自然保护区的概念 .....	123
二、自然保护区的类型 .....	123
三、自然保护区的管理 .....	124
参考文献 .....	125
<b>第七章 景观生态学和全球生态学</b> .....	<b>126</b>
第一节 景观生态学 .....	126



一、景观生态学的概念	126
二、景观结构	127
三、景观功能	129
四、景观动态	130
第二节 全球生态学	130
一、厄尔尼诺与拉尼娜现象	130
二、全球土地利用格局与生物多样性	132
三、全球生态学研究	133
参考文献	133

## 第二篇 人类活动与全球环境的变化

<b>第八章 人类活动带来的污染</b>	134
<b>第一节 环境污染</b>	134
一、污染源	134
二、污染的类型	135
三、污染的成因	135
<b>第二节 污染的生态过程</b>	136
一、生态系统中污染物的扩散-混合过程	136
二、污染物的吸附-解吸过程	136
三、污染物的溶解-沉淀过程	136
四、污染物的生物降解-合成过程	136
五、污染物的动植物吸收-摄取过程	137
六、污染物的生物积累-放大过程	137
<b>第三节 污染的生态效应及其评价</b>	138
一、污染的生态效应	138
二、污染生态效应的发生机制	139
三、污染生态效应的生态类型	140
<b>第四节 生态系统的污染效应</b>	142
一、森林生态系统的污染效应	142
二、草原生态系统的污染效应	142
三、水生生态系统的污染效应	143
四、海洋生态系统的污染效应	144
五、农田生态系统的污染效应	144
六、城市生态系统的污染效应	144
参考文献	145
<b>第九章 大气污染</b>	146
<b>第一节 概述</b>	146
一、大气的组成	146
二、大气污染源	146

三、大气污染的类型·····	147
四、大气污染对人类的影响及危害·····	148
第二节 大气中的主要污染物·····	148
一、气溶胶状态污染物·····	148
二、气体状态污染物·····	149
第三节 大气污染物在环境中的迁移转化·····	149
一、一氧化碳的迁移转化·····	149
二、硫化氢的迁移和归宿·····	150
三、二氧化硫的迁移转化及硫酸烟雾型污染·····	150
四、氮氧化物的迁移转化及光化学烟雾现象·····	151
第四节 温室效应、臭氧洞问题及酸雨·····	152
一、温室效应·····	152
二、臭氧洞问题·····	153
三、酸雨·····	154
参考文献·····	155
<b>第十章 土壤污染</b> ·····	156
第一节 土壤的组成·····	156
一、土壤矿物质·····	156
二、土壤有机质·····	157
第二节 土壤污染源·····	157
一、土壤污染的特点·····	157
二、土壤污染物及其来源·····	157
三、土壤污染的类型·····	158
第三节 土壤中重金属的污染·····	159
一、土壤中重金属迁移转化的一般规律·····	159
二、重金属在土壤-植物体系中的积累、迁移和生物效应·····	159
三、几种主要有毒重金属污染物在土壤中的迁移转化·····	161
第四节 土地化学农药污染的生态效应·····	162
一、化学农药在土壤中的迁移转化·····	162
二、化学农药在动植物体内的残留积累及毒害·····	163
三、农药对人类健康的危害·····	164
参考文献·····	164
<b>第十一章 水体污染</b> ·····	166
第一节 水体及水体污染·····	166
第二节 水体污染物及其生态效应·····	166
一、酸、碱、盐等无机污染物·····	166
二、重金属污染物·····	167
三、有机污染物·····	167
第三节 富营养化与热污染·····	168

一、富营养化·····	168
二、热污染·····	169
参考文献·····	169
<b>第十二章 人口与资源问题</b> ·····	171
第一节 世界与中国人口的发展·····	171
一、世界人口的发展·····	171
二、中国人口的发展·····	172
第二节 人口对环境的影响·····	173
一、人口对土地资源的影响·····	174
二、人口对水资源的影响·····	174
三、人口对森林资源的影响·····	174
四、人口对能源的影响·····	174
五、人口对物种资源的影响·····	175
第三节 世界及中国资源现状及特点·····	175
一、世界资源现状及特点·····	175
二、中国资源现状及特点·····	177
参考文献·····	179
<b>第十三章 生物多样性的危机</b> ·····	181
第一节 生物多样性的现状·····	181
第二节 快速丧生的生物多样性·····	182
一、人类导致的灭亡·····	182
二、岛屿上物种的灭绝·····	183
三、海洋中和大陆上物种的灭绝·····	183
四、岛屿生物地理学和现代灭绝速率·····	183
第三节 生物多样性丧失的原因·····	183
一、受威胁的生境·····	183
二、环境恶化·····	184
三、过度开发·····	185
四、外来种的引入·····	186
五、生物对环境改变的脆弱性·····	186
参考文献·····	187
<b>第十四章 人类活动对自然生态系统的影响</b> ·····	189
第一节 人类活动对自然生态系统的干扰·····	189
一、干扰的定义及形式·····	189
二、干扰的生态学意义·····	194
第二节 生态系统的退化·····	196
一、退化生态系统的定义及其形成的原因·····	196
二、全球及中国退化生态系统的面积·····	197
三、退化生态系统的类型及特征·····	198
四、中国的脆弱生态系统·····	200

参考文献	201
------	-----

### 第三篇 环境保护与可持续发展

<b>第十五章 环境保护对策</b>	202
第一节 生态保护的目标、原理和对策	202
一、目标	202
二、原理	202
三、对策	203
第二节 环境保护的法规	203
一、环境保护法的概念	203
二、我国环境保护法	204
三、环境标准	205
四、环境管理与环境教育	207
第三节 可持续发展	208
一、可持续发展提出的背景及由来	208
二、可持续发展的定义	209
三、可持续发展理论的基本内涵	210
四、可持续发展战略	210
五、可持续发展技术	211
第四节 生态工程建设	213
一、生态工程建设与发展	213
二、生态工程的特点	214
三、生态工程技术在环境保护中的应用	214
第五节 生态技术与生态规划	216
一、生态技术的起因——技术的生态负效应	216
二、生态技术的概念、特征	216
三、高技术需要技术的生态化	217
四、生态技术的创新	218
五、生态规划的方法及发展趋势	219
参考文献	221
<b>第十六章 生态系统服务与管理</b>	222
第一节 生态系统服务的概念	222
一、生态系统服务的定义	222
二、生态系统服务的研究历史	223
三、研究的发展方向	223
第二节 生态系统服务的内容	223
一、生态系统的生产	225
二、产生和维持生物多样性	226
三、传粉、传播种子	226
四、生物防治	227

五、保护和改善环境质量	227
六、维持土壤功能	227
七、减缓干旱和洪涝灾害	228
八、净化空气和调节气候	229
九、休闲、娱乐	230
十、文化、艺术修养——生态美的感受	230
第三节 生态系统服务的价值评估及其重要意义	230
一、生态系统服务的价值评估	230
二、生态系统服务价值估计的重要意义	231
第四节 生态系统的管理	232
一、生态系统管理定义	232
二、生态学管理的基本原则	233
三、生态学管理的目标	234
四、生态系统健康管理的原则和指标	234
五、生态学是生态系统管理的科学基础	237
六、可适应的生态系统管理	238
参考文献	238
<b>第十七章 生态系统的恢复</b>	239
第一节 恢复生态学	239
第二节 恢复生态学的基本理论	240
一、恢复生态学的研究内容	240
二、恢复生态学的理论基础	241
三、与相关学科的关系	244
第三节 恢复生态学的研究进展	245
一、恢复生态学的研究简史	245
二、恢复生态学的发展趋势	246
第四节 退化生态系统的恢复	246
一、退化森林生态系统的恢复	247
二、退化草地生态系统的恢复	253
三、退化海岛生态系统的恢复	255
四、退化水生生态系统的恢复	257
五、退化湿地生态系统的恢复	259
参考文献	262
<b>第十八章 人口、资源、城市的可持续发展</b>	264
第一节 人口的发展	264
一、人的自然属性	264
二、增长的极限	264
三、人的社会属性	265
第二节 人口变化与社会的可持续发展	265
第三节 城市生态系统	267

一、城市的含义和特征	267
二、城市发展及其特征	267
三、城市生态系统	268
第四节 城市的可持续发展	270
一、加强对城市环境管理的立法和制度建设	271
二、科学地确定城市发展的性质和规模	271
三、进一步提高城市环境管理的水平	271
四、合理调整经济结构和城市布局	271
五、加强城市环境基础设施建设	272
六、重视城市绿化	272
七、积极开展城市环境综合整治	272
第五节 自然资源的特征	273
一、自然资源及其属性	273
二、自然资源的类型	274
三、自然资源的持续利用	274
第六节 资源开发与可持续利用	274
一、有关资源持续利用的两个概念	274
二、资源开发与可持续利用	275
参考文献	280
<b>第十九章 农业的可持续发展</b>	<b>281</b>
第一节 农业生产概况	281
一、农业的定义	281
二、农业中的环境问题	281
第二节 农业生态系统的结构	282
一、农业生态系统结构的概念	282
二、农业生态系统中的能流和物流	283
三、合理农业生态系统结构的标志	284
第三节 农业生态工程原理	285
一、农业生态工程技术原理	285
二、农业生态区域作用原理	287
第四节 农业的可持续发展	288
一、发展可持续农业的技术体系	288
二、建立中国特色的可持续农业技术体系	290
三、中国生态农业——可持续农业的基础	290
四、中国生态农业与世界可持续农业的关系	291
五、农业可持续发展的评价	291
参考文献	292
<b>第二十章 生物多样性保护与生物安全</b>	<b>293</b>
第一节 政府行动、传统社会与生物多样性	293
一、政府行动	293

二、传统社会与生物多样性.....	295
第二节 保护与可持续发展的国际行动.....	297
一、地球高峰会议.....	297
二、中国与生物多样性公约.....	297
三、国际资助与可持续发展.....	298
第三节 生物安全.....	298
一、转基因生物安全问题.....	298
二、生物安全性评价及措施.....	300
三、生物安全管理体系及实施原则.....	301
四、加强生物安全工作的对策.....	302
第四节 转基因生物的安全性.....	303
一、转基因植物的生物安全性.....	303
二、抗除草剂转基因作物的安全性.....	303
三、植物用转基因微生物及其产品的安全性.....	304
四、转基因动物及其产品的安全性.....	304
五、兽用基因工程生物制品的安全性.....	305
六、转基因水生生物及其产品的安全性.....	305
七、转基因食品安全性.....	306
八、医药生物技术及其产品的生物安全.....	307
参考文献.....	307



---

# 第一篇 环境生态学的基础知识

---

## 第一章 绪 论

### 第一节 环境问题的产生

#### 一、环境与环境问题

##### (一) 环境

环境 (environment) 一般是指生物有机体周围一切的总和, 它包括空间以及其中可以直接或间接影响有机体生活和发展的各种因素, 包括物理、化学和生物环境。环境必须相对于某一中心或主体才有意义, 不同的主体相应有不同的环境范畴 (孙儒泳, 2001)。若以地球上的生物为主体, 环境的范畴包括大气、水、土壤、岩石等, 若以人为主体, 还应包括整个生物圈 (biosphere), 除了这些自然因素, 还有社会因素和经济因素。

环境科学所研究的环境, 其主体是人类, 环境指的是人类的生存环境, 它的涵义可以概括为: 作用于人的一切外界事物和力量的总和。

在不同的研究领域, 对于环境范畴的划分是有差异的。在《中华人民共和国环境保护法》中明确指出: “本法所称环境, 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、野生动物、自然遗迹、人文遗迹、自然保护区、风景名胜、城市和乡村等。”在这里, “自然因素的总体”有两个约束条件: 一是包括了各种天然的和经过人工改造的; 二是并不泛指人类周围的所有自然因素, 如整个太阳系、银河系等, 而是指对人类的生存和发展有明显影响的自然因素的总体。

随着人类社会的发展, 环境的范畴也会相应地改变。月球是距地球最近的星体, 它对地球上海水潮汐等都有影响, 但对人类生存和发展的影响现在还很小, 所以现阶段还没有把月球视为人类的生存环境, 也没有那一国的环境保护法将其归于人类生存环境范畴。但是, 随着宇宙航行和空间技术科学的发展, 将来会有一天人类不但要在月球上建立空间实验站, 还要开发月球上的资源, 人类频繁地来往于月球和地球之间。到那时, 月球当然就会成为人类生存环境的重要组成部分。所以, 人们要用发展的眼光来认识环境、界定环境的范畴。

##### (二) 环境问题

人类与环境之间是一个相互作用、相互影响、相互依存的对立统一体。人类的生产和生活活动作用于环境, 会对环境产生有利或不利的影 响, 引起环境质量的变化; 反过来, 变化了的环境也会对人类的身心健康和经济发展产生有利或不利的影 响。

所谓环境问题 (environmental problem), 是指由于人类不恰当的生产活动引起全球环境或区域环境质量的恶化, 出现了不利于人类生存和发展的问 题。人类环境问题按成因的不同, 可分为自然的和人为的两类。前者是指自然灾害问题, 如火山爆发、地震、台风、海啸、洪水、旱灾、沙尘暴、地方病等所造成的环境破坏问题, 这类问题在环境科

学中称为原生环境问题 (original environmental problem) 或第一环境问题 (primal environmental problem)。后者是指由于人类不恰当的生产活动所造成的环境污染、生态破坏、人口急剧增加和资源的破坏与枯竭等问题, 这类问题称为次生环境问题 (secondary environmental problem) 或第二环境问题。从上述可见, 环境科学中着重研究的不是自然灾害问题, 而是人为的环境问题即次生环境问题。由于环境是人类生存和发展的物质基础, 环境问题的出现和日益严重, 引起人们的普遍关注和重视, 同时也就促进了环境科学的发展。

## 二、环境问题的历史回顾

世界已受到了前所未有的环境污染! 地球发生了危机! 人类正面临着一场生死攸关的挑战! 这是骇人听闻的恐吓, 还是科学事实? 人们希望这是奇谈, 是一种不负责任的夸大。然而, 大量的研究结果却证明这是不容忽视的客观事实。

人们会注意到, 1987年7月11日, “可怕的人口爆炸”又达到了新水平——世界人口突破了50亿大关, 这意味着人类所面临的粮食、能源资源和环境等问题的形成更加严峻; “温室效应”引起的全球气候变暖可能在21世纪初使海平面升高0.3~0.5m, 使居住在沿海的上亿人口受到威胁; 南极上空臭氧空洞在逐年加大, 北极的臭氧层也在迅速被破坏, 这将使对人类健康和生物构成危害的紫外线直射地球表面的强度增加; 20世纪80年代严重干旱蹂躏着非洲大地, 100多万人被饿死, 3500万人在饥饿中挣扎; 1988年, 持续的高温折磨着美国, 飓风席卷了加勒比海地区, 无情的洪水使孟加拉国损失严重, 我国也频频发生自然灾害。亚美尼亚大地震造成了数万人丧生。虽然自然灾害自古有之, 但科学家们以研究事实证明, 上述涉及到人类生存的重大问题有许多正是人类自己造成的恶果。自然灾害暂且不说, 对人类生存将构成极大威胁的全球性重大环境问题, 无疑都与大气和水体的严重污染有关。

此外, 还出现一些新的变化: 大量不易分解的新化学合成物品不断地被生产出来和释放到大自然中, 它们的生物学后果, 尤其是它们之间的协同作用, 大部分还是未知的; 特别是那些对于激素系统和生长发育的影响有紧密关系的化学物品。所有这些化学的、物理的和生物的变化正在改变着地球系统的功能。如全球气候的变化; 臭氧层的破坏; 生物多样性的丧失等。其中, 对人类最具有挑战性的课题是: 自然保育、生态系统恢复、地球资源的科学管理。虽然它们与许多门科学紧密相关, 但与环境生态学有着特别密切的关系。

## 三、全球性环境问题及危害

全球性环境问题的产生源于多种因素。长期以来, 由于人类更热衷于改造环境, 从而导致出各种环境问题。其影响范围也从区域扩展为全球, 给人类的生存造成极大的威胁。图1-1表示了人类活动与全球环境问题的关系。

当前威胁人类生存的十大环境问题归纳如下。

### (一) 土地退化和荒漠化

不合理的土地利用, 如森林植被的消失、草场的过度放牧、耕地的过分开开发、山地植被的破坏等导致土地退化, 土地荒漠化。过去45年间由此导致17%的土地退化。目前已有110个国家(共10亿人口)可耕地的肥沃程度在降低。在非洲、亚洲和拉丁美洲, 由于森林植被的减少、草场的过度放牧等原因, 土壤剥蚀情况十分严重。裸露的土地变得脆弱了, 无法抵御风雨的长期剥蚀, 土壤的年流失量迅速增加, 在有些地方, 可达100t/hm<sup>2</sup>。