



# 生态恢复理论

与宁夏盐池植被恢复技术

何兴东 尤万学 余 殿 编著

南开大学出版社

# 生态恢复理论与宁夏盐池植被恢复技术

何兴东 尤万学 余 殿 编著



南开大学出版社

天 津

## 图书在版编目(CIP)数据

生态恢复理论与宁夏盐池植被恢复技术 / 何兴东,  
尤万学, 余殿编著. —天津: 南开大学出版社, 2016.5  
ISBN 978-7-310-05082-6

I. ①生… II. ①何… ②尤… ③余… III. ①植被—  
生态恢复—研究—盐池县 IV. ①Q948.524.34

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 070340 号

**版权所有 侵权必究**

南开大学出版社出版发行

出版人: 孙克强

地址: 天津市南开区卫津路 94 号 邮政编码: 300071

营销部电话: (022) 23508339 23500755

营销部传真: (022) 23508542 邮购部电话: (022) 23502200

\*

天津泰宇印务有限公司印刷

全国各地新华书店经销

\*

2016 年 5 月第 1 版 2016 年 5 月第 1 次印刷

260×185 毫米 16 开本 13 印张 305 千字

定价: 98.00 元

如遇图书印装质量问题, 请与本社营销部联系调换, 电话: (022) 23507125

# 《生态恢复理论与宁夏盐池植被恢复技术》

## 编辑委员会

主 任：王学增

副 主 任：尤万学 李天鹏 张维军 何兴东

委 员：冯 玲 崔亚东 王自新 杨金生 张生英 冯起勇

许昌礼 余 殿 张 晨 沈学礼 常海军 王锦林

黄执东 王耀鹏 马炯辉 王耀远 蔡 莉

编写人员：何兴东 尤万学 余 殿 古 松 蔡 莉 王建峰

张 辽

本书编辑出版得到了全球环境基金（GEF）的资助，谨此致以衷心感谢！

# 前 言

宁夏盐池县地处  $106^{\circ}03' \sim 107^{\circ}47' \text{ E}$ 、 $37^{\circ}04' \sim 38^{\circ}10' \text{ N}$ ，总面积  $8661 \text{ km}^2$ ，属吴忠市管辖；辖高沙窝、花马池、惠安堡、大水坑 4 镇以及王乐井、冯记沟、青山、麻黄山 4 乡，有 11 个居委会和 98 个村委会。气候属半干旱区，年均气温  $7.7^{\circ}\text{C}$ ，极端最高气温  $38.1^{\circ}\text{C}$ ，极端最低气温  $-29.6^{\circ}\text{C}$ ， $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温  $2944.9^{\circ}\text{C}$ ，年均降水量  $296.5 \text{ mm}$ ，年均蒸发量  $2131.7 \text{ mm}$ ，年均风速  $2.8 \text{ m/s}$ 。地貌属鄂尔多斯台地与黄土高原的过渡地带，地势南高北低，平均海拔  $1600 \text{ m}$ ，南为黄土丘陵区，沟壑纵横，形成丘陵、梁、峁、沟、畔相间的特殊地貌，北为鄂尔多斯缓坡丘陵区，其间地势平缓起伏，有侵蚀高丘陵、缓坡丘陵、沙丘地、湖泊等地貌单元组成。土壤类型以灰钙土为主，其次为黑垆土和风沙土，此外还有盐土、白浆土、潮土和新积土。主要的植被类型有灌丛、草原、草甸和荒漠。

根据中国植被区划，盐池县植被属温带草原区域、东部草原亚区域、温带草原地带、温带南部草原亚地带、黄土高原西部荒漠草原区。由于地貌上盐池从南到北由黄土高原向鄂尔多斯台地过渡，更重要的是盐池境内降水量等值线包含  $200 \text{ mm}$ 、 $250 \text{ mm}$ 、 $300 \text{ mm}$ 、 $350 \text{ mm}$  和  $400 \text{ mm}$  等雨量线，而  $250 \text{ mm}$  等雨量线是荒漠和草原的分界线， $400 \text{ mm}$  等雨量线是森林分布的最低分界线，由此，盐池境内生态系统镶嵌分布、错综复杂，但植被主体仍是草原植被。由于人口激增，环境负荷加重，各类植被均存在不同程度地退化，亟待恢复。我们撰写了这本《生态恢复理论与宁夏盐池植被恢复技术》，旨在促进盐池生物多样性的保护和地方经济的可持续发展。

# 目 录

|       |                         |    |
|-------|-------------------------|----|
| 1     | 生态系统的退化和生态恢复的目标         | 1  |
| 1.1   | 生态系统的退化                 | 1  |
| 1.1.1 | 土地退化                    | 2  |
| 1.1.2 | 森林毁坏                    | 4  |
| 1.1.3 | 生物多样性损失                 | 4  |
| 1.1.4 | 水域生态退化与淡水短缺             | 5  |
| 1.1.5 | 全球各区域生态退化特点             | 7  |
| 1.1.6 | 宁夏盐池的生态退化               | 9  |
| 1.2   | 生态恢复的基本原则               | 9  |
| 1.3   | 生态恢复的步骤和模式              | 10 |
| 1.4   | 生态恢复的目标                 | 10 |
| 2     | 生态恢复理论                  | 13 |
| 2.1   | 生态恢复的一般理论               | 13 |
| 2.2   | 生态稳定性的内涵与干扰稳定性理论        | 16 |
| 2.2.1 | 生态稳定性的内涵                | 16 |
| 2.2.2 | 干扰稳定性理论                 | 18 |
| 2.3   | 生态耗水量与水分平衡              | 25 |
| 2.3.1 | 生态耗水量                   | 25 |
| 2.3.2 | 乔木、灌木、草地水分平衡            | 28 |
| 3     | 生态化学计量特征与植被恢复           | 32 |
| 3.1   | 生态系统氮磷比生态化学计量特征概述       | 32 |
| 3.1.1 | 陆地生态系统氮磷比化学计量特征         | 32 |
| 3.1.2 | 水域生态系统氮磷比化学计量特征         | 35 |
| 3.2   | 植物化学计量特征对植物生长影响的研究      | 36 |
| 3.3   | 植被化学计量特征对植物群落影响的研究      | 37 |
| 3.4   | 土壤化学计量特征对植物生长与植物群落影响的研究 | 41 |
| 3.4.1 | 土壤氮磷比对植物生长与植物群落的影响      | 41 |
| 3.4.2 | 土壤硝铵比对植物生长与植物群落的影响      | 46 |
| 3.4.3 | 土壤碳酸钙与有效磷比对植物生长与植物群落的影响 | 51 |

|       |                   |    |
|-------|-------------------|----|
| 4     | 宁夏盐池生态恢复区的划分      | 59 |
| 4.1   | 植被生态恢复区的划分依据      | 59 |
| 4.1.1 | 自然条件              | 59 |
| 4.1.2 | 植被类型              | 62 |
| 4.1.3 | 荒漠化现状             | 66 |
| 4.1.4 | 自然因素对沙漠化的影响       | 68 |
| 4.1.5 | 人为因素对沙漠化的影响       | 68 |
| 4.2   | 盐池县生态系统类型         | 69 |
| 4.2.1 | 草原生态系统            | 69 |
| 4.2.2 | 沙地生态系统            | 69 |
| 4.2.3 | 湿地生态系统            | 70 |
| 4.2.4 | 盐化草甸生态系统          | 70 |
| 4.2.5 | 森林生态系统            | 70 |
| 4.2.6 | 农田生态系统            | 70 |
| 4.3   | 生态恢复区的划分          | 71 |
| 4.3.1 | 植被退化成因分析          | 71 |
| 4.3.2 | 植被生态恢复区划分         | 72 |
| 5     | 黄土丘陵区干草原植被恢复      | 73 |
| 5.1   | 水土保持的工程措施         | 73 |
| 5.1.1 | 坡面水土保持工程          | 73 |
| 5.1.2 | 山沟治理工程            | 78 |
| 5.1.3 | 小型蓄排引水工程          | 80 |
| 5.2   | 黄土高原干草原植被恢复的生态学依据 | 82 |
| 5.2.1 | 黄土高原植被恢复的理论问题     | 82 |
| 5.2.2 | 黄土高原植被恢复的实践问题     | 84 |
| 5.3   | 黄土高原干草原植被恢复的具体措施  | 86 |
| 5.3.1 | 封山育林育草            | 86 |
| 5.3.2 | 造林树种选择与林分组成       | 86 |
| 5.3.3 | 黄土高原人工种草          | 87 |
| 6     | 沙丘地植被恢复           | 89 |
| 6.1   | 工程治沙技术            | 89 |
| 6.1.1 | 机械沙障固沙            | 89 |
| 6.1.2 | 化学固沙              | 91 |
| 6.2   | 植物固沙技术            | 92 |
| 6.2.1 | 飞机播种造林种草固沙技术      | 92 |
| 6.2.2 | 人工植物固沙技术          | 94 |

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 6.3 沙地天然植被封育        | 99  |
| 7 退化草原植被恢复          | 100 |
| 7.1 草场围栏封育          | 100 |
| 7.1.1 围栏封育对生物多样性的影响 | 100 |
| 7.1.2 围栏封育对群落生产力的影响 | 102 |
| 7.1.3 围栏封育对土壤种子库的影响 | 103 |
| 7.2 退耕还草与草地补播管理技术   | 104 |
| 8 湿地的恢复             | 107 |
| 8.1 湿地生态恢复          | 107 |
| 8.1.1 湿地生态恢复的目标     | 107 |
| 8.1.2 湿地恢复的基本原则     | 107 |
| 8.1.3 湿地恢复的理论       | 108 |
| 8.1.4 湿地恢复的内涵       | 109 |
| 8.1.5 湿地恢复方法        | 111 |
| 8.2 湿地中盐碱化土地的植被恢复   | 111 |
| 8.3 宁夏盐池湿地现状与湿地恢复措施 | 112 |
| 8.3.1 宁夏盐池县湿地状况     | 112 |
| 8.3.2 宁夏盐池县湿地类型     | 113 |
| 8.3.3 宁夏盐池县典型湿地     | 113 |
| 8.3.4 宁夏盐池县湿地退化原因   | 116 |
| 8.3.5 宁夏盐池县湿地生态恢复措施 | 116 |
| 9 宁夏盐池主要造林树种育苗技术    | 118 |
| 9.1 国家育苗技术规程        | 118 |
| 9.2 樟子松一般育苗技术       | 124 |
| 9.3 樟子松容器育苗技术       | 129 |
| 9.4 油松育苗技术          | 131 |
| 9.5 榆树育苗技术          | 134 |
| 9.6 柠条育苗技术          | 135 |
| 9.7 紫穗槐播种育苗技术       | 136 |
| 9.8 杨树插条育苗技术        | 138 |
| 9.9 河北杨嫁接育苗技术       | 139 |
| 9.10 毛白杨插条育苗技术      | 140 |
| 9.11 沙枣扦插育苗技术       | 143 |
| 9.12 青海云杉育苗技术       | 145 |
| 9.13 宁夏枸杞硬枝扦插育苗技术   | 146 |

|      |                   |     |
|------|-------------------|-----|
| 4    | 生态恢复理论与宁夏盐池植被恢复技术 |     |
| 9.14 | 沙棘育苗技术.....       | 148 |
| 9.15 | 国槐育苗技术.....       | 149 |
|      | 参考文献.....         | 152 |
|      | 附：宁夏盐池种子植物名录..... | 170 |

# 1 生态系统的退化和生态恢复的目标

## 1.1 生态系统的退化

生态系统是指一定空间中共同栖居的生物与其环境之间由于不断进行物质循环和能量流动而形成的整体(李博, 2001)。生态系统包括陆地生态系统和水域生态系统, 陆地生态系统包括森林生态系统、草原生态系统、荒漠生态系统和农田生态系统以及城市生态系统等, 水域生态系统包括河流生态系统、湖泊生态系统和近海生态系统等。这些生态系统的生物组成各有特点, 物质循环和能量流动也各有特征。

自然生态系统基本上都属于开放的生态系统, 而开放的生态系统都具有调节生态系统功能的反馈机制, 这种反馈机制包括正反馈和负反馈, 正反馈不能维持生态系统的稳态, 要使生态系统维持稳态, 就需要负反馈调节。由于正反馈和负反馈的共同作用, 在通常情况下, 生态系统会保持自身的生态平衡。生态平衡是指生态系统结构、功能和能量的输入和输出处于相对稳定的状态。当生态系统处于生态平衡这一状态时, 生态系统内生物之间和生物与环境之间相互高度适应, 种群结构和数量比例长久保持相对稳定, 生产与消费和分解之间相互协调, 系统能量和物质的输入与输出之间接近平衡, 这时生态系统能够自我调节和维持自己的正常功能, 并能克服和消除外来干扰, 保持自身的稳定。然而, 当生态系统遇到干扰时, 比如: 放牧、开垦、樵采、火山爆发、地震、泥石流、洪水、雷电火灾等, 生态系统的生物组分及其生境不同程度地遭受破坏, 生态系统的结构以及物质和能量的流动受到了影响, 这时的生态系统就变为退化的生态系统。

退化生态系统是受损的生态系统, 在自然因素和人为因素的作用下, 生态系统的组分及其环境整体出现了退化, 生态系统的结构和功能与原有的平衡状态发生了位移, 导致生态系统内生物多样性减低、群落生产力下降以及生态服务功能损失。

受损生态系统是生态系统在物质和能量匹配上的某一环节存在不协调或达到临界点后发生了退变, 此时生态系统处于一种不稳定或失衡状态, 表现为对自然或人为干扰的抵抗性或抗逆能力较低, 而较弱的缓冲能力以及较强的敏感性和脆弱性, 使生态系统逐渐演变为另一种与之相适应的低水平状态的过程。在退化过程中, 通过生态系统的结构和功能的不良变化可以表达出丰富的内在退化信息。由于生态系统是人类赖以生存和发展的物质基础, 生态系统退化不仅带来了本身的生态问题, 亦对人类的生存和经济社会的可持续发展带来了严重的威胁, 并诱发出一系列其他严重的环境问题。

一般来说, 生态退化包括以下几层涵义(章家恩和徐棋, 1997): (1) 生态退化具有一定的地域性, 不同的地理位置、地质结构和地貌形态决定着物质和能量输入途径、数量和速率, 形成不同的生物地球化学循环类型, 进而决定着基本的生态发育过程、生态联系、生态演替方向及景观生态类型, 表现出明显的生态景观地域分异特征; (2) 生态退化具有

阶段性,在不同的时间阶段,生态退化具有不同的发展过程、特点、退化速率、强度及恢复过程与恢复时间;(3)自然因素和人为因素是生态退化的两大触发因子,自然要素是潜在的、缓慢的、低频的,而人为干扰则是显著的、高频的、持续的,对生态退化往往起着最主要的贡献作用;(4)生态退化和物体运动一样,也需要有一定的参照系;(5)生态退化既是一个过程,又是一种结果,从运动的角度来讲,生态退化是一个随时间而变化的过程和趋势,是一种运动形式;(6)生态退化具有相对性,生态退化的地域性和时空性决定了生态退化的相对性,其变化是通过时间与空间、数量与质量具体表现的;(7)生态退化在某些情况下是一个动态平衡,但对于某些远离初始态的生态退化往往是一个不可逆过程,很难或不可能自然地或人为地恢复到原有状态,这时,生态退化就不能用一个动态平衡来表示;(8)生态退化包括生态要素退化和生态系统退化,生态要素包括土壤、水体、大气、植物、动物;(9)荒漠化、沙漠化、石质化是生态退化的顶级形式;(10)生态退化最基本的诊断特征是生态系统的固有功能的破坏或丧失,稳定性和生产力降低,抗逆能力减弱;(11)任何生态要素或生态系统皆有适度的规模或量的限定性,即“生态阈限”,超过或低于这个适度量的规定性,无论是过大还是过小的量变,都可导致不利的质变,进而导致生态退化的发生。

据 2005 年联合国《千年生态系统评估报告》的研究,全球约有 43%的陆地生态系统发生了退化,仅荒漠化造成的损失就超过 400 亿美元/年,且在未来 50 年内,全球生态系统可能还将继续退化。我国退化生态系统面积已占国土面积的 45%以上。统计表明,我国农田总面积为  $140 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ,退化面积为  $28 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ;草地面积  $400 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ,退化面积为  $132 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ;森林总面积  $165 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ,退化面积  $31 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ;淡水面积  $0.743 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ,退化面积  $0.245 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ;废矿地  $2 \times 10^6 \text{ hm}^2$  (彭少林, 2001)。尤其是在我国经济欠发达的西部地区,普遍存在着低效益、高破坏性的发展模式(陡坡开垦、过度放牧、围湖造田等),更加重了生态系统的退化过程。

自 1972 年在斯德哥尔摩第一次召开“联合国人类与环境大会”后的 30 年里,全球生态环境每况愈下 (UNEP, 2002),直观地体现于土地退化、森林毁坏、物种濒危和绝灭以及淡水短缺 (何兴东等, 2007)。

### 1.1.1 土地退化

土地退化是指由于一种过程或数种过程结合使旱作农地、灌溉农地、牧场和林地生物生产力的下降或丧失 (UNEP, 1992)。按照联合国的统计口径,陆地生态系统的退化,即农田、森林、草地和山地生态系统的退化均属土地退化,也就是说,沙漠化、盐渍化、水土流失和农田化学物理污染等均属土地退化。引起土地退化的因素包括人类活动和自然灾害,人类活动引起的土地退化包括不合理的农业土地利用和对土壤与水资源缺乏管理、森林砍伐、自然植被破坏、过度使用重型机械、过度放牧、以及不合理的粮食轮作与农业灌溉等,自然灾害引起的土地退化包括干旱、洪涝和滑坡。

据 UNEP (2002),全球大约 20 亿  $\text{hm}^2$  的土地 (占陆地面积的 15%) 因人类活动而退化。各洲土地退化情况是,非洲 17%、亚洲 18%、欧洲 23%、北美 17%、南美 14%。土地退化的主要类型依次是水蚀 (56%)、风蚀 (28%)、化学退化 (12%) 和物理退化 (4%)。土地退化的原因依次是过牧 (35%)、毁林 (30%)、农业活动 (27%)、过度樵采 (7%) 和

工业活动(1%)。而在1990年以前,退化的土地约9亿 $\text{hm}^2$ 属于中度退化;3.05亿 $\text{hm}^2$ 属于强度退化(Oldeman等,1990),退化速度惊人。

据FAO(1996),全球由于毁林引起土地退化的面积为5.8亿 $\text{hm}^2$ ,其中1975~1990年间2.2亿 $\text{hm}^2$ 热带森林被砍伐转为农地;由于过牧引起土地退化的面积为6.8亿 $\text{hm}^2$ ,约20%的草场被破坏,尤其在非洲和亚洲;由于薪材消耗引起土地退化的面积为1.37亿 $\text{hm}^2$ ,全球每年从森林和植被中砍伐大约17.3亿 $\text{m}^3$ 的薪材;由于农作的不善管理引起土地退化的面积为5.5亿 $\text{hm}^2$ ,每年因水蚀引起土壤流失250亿吨,土壤盐碱化和水涝引起4000万 $\text{hm}^2$ 的土地退化;由于城市化、道路建设和采矿等等工业活动引起土地退化的面积为1950万 $\text{hm}^2$ 。据估计,有23%的可利用耕地(不包括山地和荒漠)因土地退化而减产。

1972年以来,导致土地资源紧张的主要驱动力是食物生产的不断增长。1985~1995年间,世界上许多地区呈现出了人口增长速度超过粮食增长速度的局面,2002年全球需要养活的人口比1972年多出22.2亿,由此而引起的一些政策失误和不良的农作管理加大了土地压力。许多国家政府通过补贴资助农民增大灌溉、使用化肥和杀虫剂,化肥和其他化学产品的过量施用加重了土地退化。1972~1988年间,全球化肥施用量以年均3.5%的速度、年均超过400万吨的施用量增加(FAO,2001a)。据FAO的调查,38个发展中国家的26个资助农民施用化肥(FAO,1999);非洲和近东地区49个国家1000个调查点使用超过16500吨有损健康或禁止使用的杀虫剂(FAO,1995a)。据UNEP(2005),在过去的20年里,土壤中固体废物特征已经从与农业有关的有机质废物转化为由工业生产的且不易生物降解的废物。另一方面,尽管灌溉有助于提高产量,但由于不善的灌溉设计和灌溉制度造成了农田的水涝、土壤的盐渍化和碱化。据FAO(1995b),全球2.55亿 $\text{hm}^2$ 的灌溉土地中的2500~3000万 $\text{hm}^2$ 耕地由于盐分积累而严重退化,另外的8000万 $\text{hm}^2$ 耕地受盐渍化和水涝影响。不善的田间管理导致了世界灌溉土地的20%发生发生盐渍化,每年影响150万 $\text{hm}^2$ 农田(CSD,1997a),显著地降低了作物的产量。在1980年代,据估计每年有1000万 $\text{hm}^2$ 的灌溉土地被废弃(WCED,1987)。1992年地球峰会将关注土地资源问题向前推进了一步。它要求每个国家必须履行《21世纪议程》,这为制定土地资源政策奠定了基础。此外,联合国千年首脑会议上又重申了土地问题的重要性,并且强调土地资源问题的日益严重将会威胁到未来全球的事物安全。

土地荒漠化是土地退化的一种重要类型。1994年10月在巴黎签署的《联合国荒漠化防治国际公约》中定义:荒漠化是指由气候变化和人类活动引起的干旱、半干旱和半湿润地区的土地退化。据UNEP(1992),全球荒漠化土地有36亿 $\text{hm}^2$ ,占全球干旱地(包括极端干旱荒漠)的70%,占世界陆地面积的1/4,影响到全球100多个国家大约9亿人口。从1984年到1991年,全球荒漠化土地从34.75亿 $\text{hm}^2$ 增加到35.92亿 $\text{hm}^2$ ,增加了3.4%,其结果不仅使荒漠化地区人民生活普遍贫困,还使总面积为33亿 $\text{hm}^2$ 的草场退化、占旱地面积47%的旱作农地土壤肥力下降和占旱地面积30%的灌溉农地退化。据UNCCFD(2000a),荒漠化土地中轻度为12.23亿 $\text{hm}^2$ ,中度为12.67亿 $\text{hm}^2$ ,重度为10亿 $\text{hm}^2$ ,极度为0.72亿 $\text{hm}^2$ 。因此,土地荒漠化已成为脆弱生态系统管理中的一个重要的项目,许多国家政府都采取行动加强荒漠化防治。众所周知,土地荒漠化在亚洲和非洲尤为突出,研究表明,非洲46%的土地受荒漠化影响,其中55%属于中度或严重荒漠化土地,影响4.85亿人(Reich等,2001);在亚洲,干旱地19.77亿 $\text{hm}^2$ 中的多一半受荒漠化影响(UNCCD,

1998), 中亚 60%以上的土地受荒漠化的影响, 南亚 50%以上的土地受荒漠化的影响, 东北亚约 30%的土地受荒漠化的影响。荒漠化的一个后果就是促使沙尘暴的频繁发生。东北亚目前沙尘暴的发生频率是 1950 年代的近 5 倍 (UNEP, 2004)。在 2002 年 4 月, 韩国首都首尔空气中沙尘超过  $2000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 两倍于对人体健康造成危害的水平。

### 1.1.2 森林毁坏

在过去的 30 年里, 森林砍伐趋势仍在延续。全球已经损失了 4 亿  $\text{hm}^2$  的原始森林, 其中 40%以上分布在拉丁美洲和加勒比地区 (UNEP, 2002)。造成森林减少与退化的直接原因为农业用地的不断扩大、工业用材、薪材与其他森林产品的过度采伐以及过度放牧等, 潜在原因为贫困、人口增长、森林产品的市场化和贸易及宏观经济政策等, 此外自然因素也会导致森林破坏, 如虫害、疾病、火灾与极端气候事件等。

联合国粮农组织全球森林资源评估 2000 课题组给森林所下的定义 (FAO, 2001b) 为: 树冠盖度大于 10%且面积不小于 0.5 公顷的林地。按照此定义, 全球森林总面积约为 38.66 亿  $\text{hm}^2$ , 相当于陆地面积的 1/3, 其中 95%是天然林, 5%是人工林; 按照地域, 17%在非洲, 19%在亚太, 27%在欧洲, 12%在北美, 25%在拉丁美洲和加勒比地区; 按照气候带, 47%在热带, 9%在亚热带, 11%在温带, 33%为北方森林。

1990 年代, 全球每年采伐森林 1460 万  $\text{hm}^2$ , 重新造林 520 万  $\text{hm}^2$ , 期间森林面积净减少 9400 万  $\text{hm}^2$ , 相当于全部森林面积的 2.4%。在 1990 年代, 近 70%的森林砍伐地区变成了农业用地, 其中主要是永久性农业用地, 天然林的损失 (毁林加上天然林转化为人工林) 每年为 1610 万  $\text{hm}^2$ , 其中 1520 万  $\text{hm}^2$  是在热带, 热带森林的采伐率约为每年 1%; 同期每年造林 3100 万  $\text{hm}^2$ , 近一半是在非林地上造林, 其余一半为天然林中迹地造林。据 FAO (FAO, 2001b), 1990~2000 年间, 非洲林地减少 5.26 千万  $\text{hm}^2$ , 年均减少 0.7%; 拉丁美洲和加勒比地区林地减少 4.67 千万  $\text{hm}^2$ , 年均减少 0.5%; 亚太地区林地减少 0.77 千万  $\text{hm}^2$ , 年均减少 0.1%; 只有欧洲和北美林地面积有所增加, 期间欧洲林地增加 0.93 千万  $\text{hm}^2$ , 年均增加 0.1%; 北美林地增加 0.39 千万  $\text{hm}^2$ , 年均增加 0.1%; 西亚林地没有变化。

亚马逊河流域为世界最大的热带雨林区, 森林面积为 3 亿  $\text{hm}^2$ , 占世界现存热带雨林的 1/3, 其中 87%在巴西境内, 而亚马逊地区雨林每年遭到破坏的面积达 23 万  $\text{hm}^2$ , 在过去 30 年中, 这一世界上最大的雨林区的 1/6 已遭到严重破坏, 同 400 年前相比, 巴西的雨林面积整整减少了一半 (UNEP, 2002)。目前, 巴西的 Cerrado 林 (一种干性森林) 仅存 43% (196 万  $\text{km}^2$ ), 大西洋雨林仅存 8% (110 万  $\text{km}^2$ ), 也就是说, 巴西 57%的 Cerrado 林和 92%的大西洋雨林已不复存在, 而保留的森林许多以各种大小的斑块状存在。

### 1.1.3 生物多样性损失

据 UNEP-WCMC (2001), 全球已知生物有 175 万种, 包括未知的物种可能有 1400 万种, 其中, 细菌 4000 种, 原生物 (藻类和原生动物等) 8 万种, 脊椎动物 5.2 万种, 无脊椎动物 127.2 万种, 真菌 7.2 万种, 植物 27 万种。由于土地转化、气候变化、污染、不可持续地自然资源开发以及不断引进外来物种等 (Sala 等, 2000), 全球生物多样性正以比自然灭绝快得多的速度减少 (Pimm 等, 1995)。尤其热带森林地区的土地转化、北半球温带地区大城市附近空气氮的大量沉积和外来种的引入加速了生物多样性的损失, 当然人口

增长、不可持续的消费模式、垃圾与污染物的大量排放、城市发展与国际武装冲突等都是造成生物多样性减少的深层原因。

过去的 30 年里,物种减少与灭绝已经成为生态退化的严重后果之一。尽管还没有足够的信息来准确测定在过去的 30 年里到底有多少个物种灭绝,但从 20 世纪 70 年代以来,有记录的 58 种鱼和 1 种哺乳动物(CREO, 2001)以及 9 种鸟(BirdLife International, 2000)已经绝灭,同时 IUCN 红色名单指出,大约有 24% (1130 种)的哺乳动物和 12% (1183 种)的鸟类被认为濒危(Hilton-Taylor, 2000)。事实上,目前的物种绝灭率呈量级的高于“背景绝灭率”。基于化石分析,对于哺乳动物和鸟类而言,背景绝灭率为 500~1000 年损失一个物种(May 等, 1995)。自从 1996 年公布红色名单以来,极度濒危物种中哺乳动物从 169 种增加到 180 种,鸟类从 168 种增加到 182 种(Hilton-Taylor, 2000)。分析表明,未来 100 年中,脊椎动物绝灭率将可能达到 15%~20% (Mace, 1995)。据 Hilton-Taylor (2000) 和 UNEP-WCMC (2001),全球各区域面临威胁、濒危和极度濒危的物种,非洲为 723 种,亚太地区为 1469 种,欧洲为 260 种,拉美和加勒比地区为 873 种,北美洲为 269 种,西亚为 71 种,极地为 14 种。据 IUCN (2004),2004 年全球濒危物种,哺乳动物 1101 种(占哺乳动物的 20%),鸟 1213 种(占鸟的 12%),爬行动物 304 种(占爬行动物的 4%),两栖动物 1770 种(占两栖动物的 31%),鱼 800 种(占鱼的 3%),昆虫 559 种(占昆虫的 0.06%),软体动物 974 种(占软体动物的 1%),甲壳类动物 429 种(占甲壳类动物的 1%),植物 8321 种(占植物的 2.9%)。应该指出,物种多样性内含物种数、个体数和均匀度的多样性,20 世纪末 30 年生态退化不但导致了物种数的减少,而且导致了物种个体数的减少。

#### 1.1.4 水域生态退化与淡水短缺

30 多年来,水域是地球上最受污染和被过量开发的生态系统(UNEP, 2005)。由于人口激增,为了满足粮食需求和电力供给,许多国家在河流上建了很多大坝(UNEP, 2005; WCD, 2000),使得流域内湖泊和湿地面积萎缩,淡水补给区缩小,引起了流域生态退化;同时,大量人口的淡水消耗及其生活废物以及工业废物等对河流、湖泊、湿地等淡水水源的污染,又减少了淡水的可利用量,可见水质退化是水域生态退化的现象,淡水短缺是水域生态退化的结果。

大坝截流已成为一个引起生态退化的重要问题(WCD, 2000)。目前,全世界 150 个国家的 4500 个大坝在运行,另 1500 个大坝在建;在过去的 50 年里,世界上因修大坝移民 4000~8000 万人(WCD, 2000),世界上最大的 227 条河流的 59%被大坝分隔成段(Nilsson 等, 2005)。据 WWF (2004),在全球 21 条严重退化的河流及其流域中,排名第一的是中国长江,河上有水坝 46 座,生态风险类型是人口对流域的压力和濒危鸟类生境的丧失以及长江河豚濒危;排名第二的是南美洲的拉普拉塔河流域,河上有水坝 27 座,生态风险类型是流域较高的生物多样性降低和 Pantanal 湿地和其他国际性重要湿地受威胁;排在第三位的是底格里斯河——幼发拉底河流域,26 座水坝中的大多数都在土耳其境内,生态风险类型是流域变干以及土耳其和下游国家之间存在潜在的取水冲突。千年生态系统评估(FAO, 2001b)指出,从 1960 年以来,大坝蓄水增加了 4 倍,水库蓄水比自然河流多 3~6 倍,淡水生态系统的濒危物种比例大幅增高,大坝的效应已不再是居地化的问题。毫无疑问,修建大坝能够扩大灌溉面积、增加粮食产量和增加水利发电,但建大坝也引起生态退化,尤

其是近 10 年来淡水生物多样性的下降、许多湿地干涸、鱼种消亡 (WWF, 2004)。首先, 大坝截流使一些河流不能入海; 其次, 大坝将河流和它的泛滥平原及其湿地分开, 降低了河流中的水流速度, 它们影响了鱼的迁移模式和诸如瀑布、急流、河岸和湿地等泛滥流域生境 (Dynesius 和 Nilsson, 1994); 第三, 阻止泥沙入海、减少养分流入农田、增加沿海侵蚀率; 第四, 减少了对地下水的补给; 第五, 造成生物多样性的丧失和土地退化。在一些地区, 大型河流流量降低, 湖泊水量不能补给, 各种野生动物不能繁殖甚至死亡 (CSD, 1997a)。同样, 在中国西北, 塔里木河、和田河和黑河上由于修建了很多大坝, 导致下游植被死亡、土地沙漠化和风沙肆虐。

湖泊历来是人类修生养性、赖以生存的源地。由于建大坝、过量的淡水利用、围湖造地和湖水污染, 当今地球上的湖泊已今非昔比。据 ILEC (2003), 由于过量取水和围湖造地, 中国湖北省武汉市的湖泊数量从 1950 年代的 1066 个减少到 1981 年的 309, 且目前湖泊水体富营养化、水质退化; 直到 1979 年中期, 肯尼亚 Baringo 湖的生物多样性还非常丰富, 由于人口激增、畜牧超载、流域破坏、滥砍滥伐和偷猎成风, Baringo 湖的物种丰富度明显降低。在 2004 年 7 月, UNDP (2004) 警告, 哈萨克斯坦东南部的巴尔喀什湖 (中国古称夷播海) 可能干涸, 将会引起当地的环境危机。另一方面, 湖泊生态系统是可恢复的。由于湖水污染给当地居民卫生健康带来影响并影响自然景观美丽, 加拿大和美国于 1987 年开展“修复行动计划”清洁五大湖中 43 个受关注的点, 现在水质已恢复 (UNEP, 2002)。

湿地是一个重要的淡水生态系统, 它不仅影响物种分布和生物多样性, 而且影响人类定居和活动。据估计, 全球湿地面积为 1280 万  $\text{km}^2$ , 20 世纪由于人类活动已有 50% 的湿地不复存在 (Finlayson 等, 1999), 而保留下来的湿地继续是最受威胁的生态系统 (UNEP-WCMC, 2000)。湿地不但孕育丰富的生物多样性, 而且具有观赏美。在 1996 年, IUCN 的“自然遗产保护计划”中, 湿地在各种生态系统报告中名列第二, 其中有 39 处世界自然遗产地点含有一类湿地, 还有 38 处有二类湿地 (UNEP-WCMC, 2000)。但在 20 世纪, 湿地和沼泽消失以及工业和生活废物污染水质对现存湿地的影响, 其生态服务功能降低甚至丧失 (UNEP, 2002)。

另一方面, 工业和农业以及生活垃圾直接污染近海水域、河流和湖泊水域, 导致水质退化。污染源包括未处理的废物、化学排放、石油泄露和外溢、倾倒的尾矿以及从农田淋洗的化学物质。由于水体过载养分 (磷和氮), 加速了水体富营养化, 加速了藻类和水生植物生长到有害水平 (比如藻类茂长和水草漂浮)。

在过去的 30 年里, 海岸带的污水排放量急剧增加 (GESAMP, 2001)。在 1972 年的斯德哥尔摩会议上, 人们关心的是近海受 POP (持久性有机污染物)、重金属和原油的污染问题, 而目前人们更关心的是近海中氮的急剧积累和富营养化问题 (UNEP, 2002; 2005)。据估计, 每年有 1800 吨杀虫剂流入孟加拉湾 (Holmgren, 1994); 拉美和加勒比地区 98% 的污水未加任何处理直接排进太平洋东北部, 90% 进入了加勒比海 (UNEP, 2001); 在北美, 过去 30 年里, 由于大量使用石油、污物输入、畜产品的增加和肥料的施用, 输入近海的养分 (氮和磷) 急剧增加 (EC, 2000)。由于向海洋排放的氮过多, 海洋和海岸带都出现了富营养化, 在封闭的和半封闭的海域如黑海地区已经出现了严重的富营养化 (UNEP, 2002)。自斯德哥尔摩会议以后, 人类活动已经导致沉积物的自然流动发生了变化, 并对海岸带地区的栖息地产生了威胁。城市化和工业化的发展导致居住区和工业基础设施建设不断加快,

这些本身都会改变沉积物的流动。目前越来越多的证据表明有毒的或不受欢迎的浮游生物出现的频率越来越高,其强度和地理分布面积也越来越大。近些年近海赤潮的频繁发生就是水质退化的一个直接反映。近海水质退化的直接反映就是生物生产力的下降和生态系统服务功能的损失。比如,1991~1992年的赤潮使韩国渔业养殖损失1.33亿美元,1996年的赤潮使美国得克萨斯的牡蛎养殖损失2400万美元,1998年的赤潮使香港的渔业养殖损失3200万美元(Worldwatch Institute, 1999)。

农业所用淡水的70%以上取自湖泊、河流和地下水。在过去的30年里,灌溉面积(FAO, 2001c)由2亿 $\text{hm}^2$ 增加到2.7亿 $\text{hm}^2$ ;同期全球取水量(Shiklomanov, 1993)从2500 $\text{km}^3$ 上升到3500 $\text{km}^3$ 。随着化肥和农药的大量使用和土壤的盐渍化,化学物质和盐分被灌溉水淋洗后又回流到河流,造成河流的污染;更重要的是工业外排污水和生活垃圾污染河流,造成河流水质退化。据World Commission on Water (1999),全球主要河流的一多半被污染,退化和中毒的水域生态系统日益威胁着依赖它们而生存的人们。

无论是近海,还是河流和湖泊,水质退化的一个特征是水中BOD(生化需氧量)含量增高。BOD是淡水中有有机质含量的指征,含量高意味着水体更容易受大肠型细菌和其他致病菌污染,人类不适宜利用。典型的未受污染的水中BOD含量为2 $\text{mg/L O}_2$ 或更少,而受污染的水中BOD含量为10 $\text{mg/L O}_2$ 或更多(UNESCO等, 1996)。据UNEPL(2005), 1979~1990年间和1991~1999年间,水中BOD含量,非洲分别为4.81和5.95 $\text{mg/L O}_2$ ,北美分别为2.54和2.19 $\text{mg/L O}_2$ ,拉美和加勒比地区分别为8.31和12.69 $\text{mg/L O}_2$ ,欧洲分别为4.46和3.94 $\text{mg/L O}_2$ ,亚太分别为2.88和3.15 $\text{mg/L O}_2$ 。可以看到,北美和欧洲的水质在恢复,而非洲、拉美和加勒比地区以及亚太地区的水质在退化,尤其拉美和加勒比地区的水质已严重退化。

正由于此,在1990年代中期以前,大约80个国家、占世界上40%的人口遭受严重的淡水短缺(CSD, 1997a)。据UNEP(2002),全世界约有1/3的人生活在中度和高度缺水地区,在这些地区的淡水消费量超过可更新水资源总量的10%;对于世界上贫困人口而言,持续饮用未经处理的水仍是最大环境威胁之一,尽管使用处理水的人口从1990年的79%(41亿人)增加到2000年的82%(49亿人),但仍有11亿人缺乏安全的饮用水,24亿人缺少足够的卫生设施,这些人口大部分居住在非洲和亚洲;缺乏安全的水供给和卫生设施导致了上亿人患上与水有关疾病,每年造成500万人死亡。在非洲,1990年至少有13个国家遭受水威胁或水资源短缺(分别为1700 $\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{年}$ 和1000 $\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{年}$ ),而这一情况在2025年将翻倍(PAI, 1995)。据预测,在2020年前,世界人口的2/3将生活在缺水国家(CSD, 1997b)。

### 1.1.5 全球各区域生态退化特点

根据UNEP(UNEP, 2002; 2005),全球各大洲生态退化的特点简述如下:

在非洲,越来越多的国家面临着水资源不足的压力,土地退化是主要的环境问题,农业扩展到边缘地区以及开发森林与湿地等自然栖息地成为土地退化的主要驱动因素,生物多样性的损失意味着未来经济与商业发展潜力会受到损害。

在亚洲和太平洋,人口过多、贫困和缺少强有力的政策使得这个地区的许多地方环境问题复杂。生物资源越来越多地被开发用于贸易,保护区只占总面积的5%,孤岛上大约

3/4 的已知或未知物种即将绝灭,超过 60%的亚洲红树林地区变成了农业用地,由于大规模砍伐森林引起的河流与水库淤积已经造成了重大的经济损失。城市化、工业化、旅游以及海岸地区人口的大量增加危及到了许多滨海地区,污水及其它废物的排放严重污染了淡水资源。

在北美,自然资源消费和废弃物生产比世界上其他任何地区都大得多,资源保护远没有污染治理那样成功。但 1972 年以后,北美在控制水污染的某些方面已经取得很大进展;1990 年代北美自由贸易加强了加拿大和美国之间应对生态退化方面的合作,如两国对氮氧化物( $\text{NO}_x$ )排放物的控制、湿地生境的保护和对生物多样性的保护。

在拉丁美洲和加勒比地区,过去的 30 年因人口的不断增长和收入不平等使得生态退化加剧。目前已经有 3 亿  $\text{hm}^2$  土地退化,加勒比地区 30%的珊瑚礁处在危险之中,有 1.6 亿  $\text{hm}^3$  的原始森林已经被毁坏而转化为农地。城市环境问题,尤其是空气污染、水污染和废物处理不善严重影响了生活在城市里的人们(占总人口的 75%)的健康。

在欧洲,过去 30 年大气状况得到了较大的改善,保护自然区域和生物多样性取得了一定的成效,而淡水资源和一些沿海与海洋地区则发生了较为明显的退化。从空间上看,西欧地区生态退化状况得到了较大的改善,中欧与东欧地区生态退化现象比较突出。

在极地,同温层臭氧层的耗竭、空气污染的远距离运输和全球气候变化有关的变暖、鸟类、哺乳动物和鱼类的减少以及主要河流的污染等是主要的生态退化问题。在北极,变暖的趋势减少了栖息在冰地里的北极熊和海象;在南极,南部大洋中海豹和鲸鱼数量大量减少;此外,斯坦迪纳维亚一些湖泊面临富营养化的问题。

总之,在 20 世纪末的 30 年里,全球的人文和生态环境条件都发生了巨大变化。因政策分化,一些国家的生态退化明显得到遏制,而一些国家生态退化更加严重;因环境分化,欧洲和北美生态环境状况比较稳定并得到不断改善,而发展中国家生态环境趋于恶化;因脆弱性分化,强势群体基本不受生态退化威胁,而弱势群体受生态退化威胁的程度越来越大,进而影响全球的可持续发展。

事实上,人类社会发展与进步的历史本身也是一部生态退化的历史,许多文明古国或古文明的消亡与衰退都证明了这一点,如,古罗马帝国因风沙化毁掉了北非的粮仓,西亚巴比伦王国的毁灭起因于沙漠化,中美洲玛雅文明因统治者过于追求眼前利益、掠夺水土资源而衰亡。尤其是 20 世纪,20 世纪 20~30 年代,美国在大平原的开荒;20 世纪 50~60 年代,前苏联在北哈萨克斯坦草原上的开荒;20 世纪 60~70 年代,中国三北地区的开荒;20 世纪 70 年代后,非洲的撒哈拉荒漠的开荒等等,这些不当的生产活动造成了严重的生态退化。生态系统的严重退化引起了全球学者和政府的高度关注。1971 年联合国教科文组织规划实施了“人与生物圈计划(MAB)”;1972 年联合国在斯德哥尔摩召开了“人类环境会议”;1980 年公布了一部纲领性的文件《自然资源保护大纲》;1983 年成立了联合国世界环境与发展委员会;1987 年世界环境与发展委员会发表了布伦特兰报告《我们共同的未来》;1992 年巴西的里约热内卢召开的联合国环境与发展大会上,一致通过了《里约环境与发展宣言》、《21 世纪议程》、《关于森林问题的原则声明》三个重要的文件,并签署了《气候变化框架公约》和《生物多样性公约》,退化生态系统的恢复与重建问题的认识已经提高到了一个新的高度,退化生态系统的响应机制、受损过程及恢复与重建研究已成为当今生态研究的热点问题。