

盐碱地的生态修复研究^{*}

张 建 锋

(中国林业科学研究院 亚热带林研所, 浙江 富阳 311400)

摘 要:随着人口不断增长和社会经济的发展,耕地面积逐步减少,土地质量也在降低,世界范围内土地盐碱化问题越来越严重。为了科学、合理地治理盐碱地,应当以系统论的观点,从盐渍土资源、植物资源、水资源等诸方面综合考虑,把盐碱地作为一种可利用的资源,根据生态恢复学原理,对盐碱地进行生态修复,统筹开发利用与水土保持、经济效益与景观效果之间的关系,努力拓展盐碱地开发利用新途径,积极推进盐碱地资源的生态利用与产业化开发。

关键词:盐碱地;生态修复;资源

中图分类号:S156.4;X171.4

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2008)04-0074-05

Discussion on Ecological Rehabilitation of Salt-affected Soils

ZHANG Jian-feng

(Institute of Subtropical Forestry, CAF, Fuyang, Zhejiang 311400, China)

Abstract: At present, world population is growing, while arable land area is decreasing. Saline land area has reached 954 million hm^2 in the earth. Thus soil salinization becomes one of the serious environmental issues with population growth and socio-economic development. To cope with the situation amelioration and utilization of salt-affected soil is vital and significant. In order to deal with the problem, the way of ecological rehabilitation such as farming measures and biological measures to reclaim and exploit saline soils is feasible and available in view of salt-affected soils as one of the natural resources based on the principle of rehabilitation ecology. During the process, it is crucial to handle well the relations among land exploitation and soil conservation, economic benefits and landscape values.

Key words: saline soil; ecological rehabilitation; resources

1 引 言

随着人口不断增长和经济全球化趋势的发展,面临的人口-环境-资源问题更加严重,其中土地沙漠化、水土流失和盐碱化呈现逐步加重的趋势^[1-2]。据估计,全球盐碱地每年以 $1 \times 10^6 \sim 1.5 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 的速度在增长^[3]。我国沿海地区经济社会发达、城市化水平高、人口密度大、工厂企业密集,是带动我国经济社会快速发展的“火车头”,地位和作用十分重要。但是,我国沿海地区处在陆海交替、气候多变地带,海陆之间巨大的热力差异,形成了显著的季风气候,台风暴雨、洪涝干旱、风沙海雾、低温干热等自然灾害发生频率很高,一直是沿海地区人民生命财产安全的最大威胁。另外,随着沿海地区经济社会的发展,人们在吃穿住用等基本物质生活得到满足之后,对良好生态的需求、对优美环境的向往也越来越迫切。从这个意义上讲,加强沿海防护林体系建设是坚持以人为本的具体体现。

沿海防护林体系是由防风固沙林、水土保持林、水源涵养林、农田防护林和其他防护林等 5 类防护林组成的“防护林综合体”。沿海防护林体系是包括海岸基干林带、红树林、农田林网、城乡绿化和荒山绿化等,加上滨海湿地的“绿色系统工程”。沿海防护林体系不仅具有防风固沙、保持水土、涵养水源的功能,而且具有抵御海啸和风暴潮危害、护卫滨海土地、美化人居环境的作用,对于维护沿海地区国土生态安全、人民生命财产安全、工农业生产安全具有重要意义。

为了缓解人口压力,改善盐碱地区的生态环境,更好地开发利用盐碱地,有必要对盐碱地进行改良。一般采取的措施是降低土壤盐分,为种植经济作物创造条件^[4-6]。这样,盐碱地被认为是一种环境问题,不是作为一种资源。生态修复过去主要应用于水土保持、河道、废弃矿井等的修复,以及水源污染、土壤重金属污染等的修复。从恢复生态学的原理来看,治理盐碱地的根本途径在于运用生态系统控制原理,对盐碱地进行生态修复,恢复植被,改善土壤结构^[7]。试图在

^{*} 收稿日期:2007-12-09

基金项目:国家科技支撑计划(2006BAD03A15);国家林业局 948 项目“典型生态脆弱区植被恢复关键技术引进(2006-4-01)”

作者简介:张建锋(1966-),山东东阿县人,男,研究员,博士,主要从事森林生态学和退化土地生态修复的研究。E-mail: zhangk126@126.com

介绍盐碱地资源与分布的基础上,探讨生态修复在盐碱地改良方面的应用,为盐碱地治理提出一条新的途径。

2 盐碱地的资源与分布

当前,全球盐碱地面积已达 9.54 亿 hm^2 ^[8],分布在从寒带、温带至热带的各个地区,从美洲、欧洲、亚洲到澳洲,遍及各个大陆及亚大陆地区。在各地区的具体分布见表 1^[8]。

由于所处地理位置不同,气候条件各异,盐碱地在不同国家和地区的分布也有很大差别。世界分布前 10 名的国家和地区见表 2^[1,6,8]。

中国地域广大,气候多样,盐碱土的分布几乎遍布全国。据研究,现代盐渍化土壤面积约 3 693.3 万 hm^2 ,残余盐渍化土壤约 4 486.7 万 hm^2 ,潜在盐渍化土壤为 1 733.3 万 hm^2 ,各类盐碱地面积总计 9 913.3 万 hm^2 ^[1,4]。由于盐渍土分布地区生物气候等环境因素的差异,大致按类型可将中国盐渍土分为:滨海盐土与滩涂,黄淮海平原盐渍土,东北松嫩平原盐土和碱土,半漠境内陆盐土和青新极端干旱的漠境盐土等 5 大片。各地不但面积有别,而且盐分组成与成因也颇为不同。从区域上一般分为 5 个区^[1]。

(1)西北内陆盐碱区。包括新疆大部分地区、青海的柴达木盆地、甘肃的河西走廊和内蒙古西部。该区属大陆性气候,年降雨量 100~300 mm,地下水位 3~10 m,部分地区 1~2 m,地下水矿化度 3~5 g/L,最高达 10 g/L;主要盐分是 Cl^- 、 SO_4^{2-} ,盐分含量 1%~4%,表层土壤可高达 20%。

(2)黄河中游半干旱盐碱区。包括青海、甘肃东部,宁夏、内蒙古的河套地区以及陕西、山西的河谷平原。该区地形复杂,干旱,多风,年降雨量 150~400 mm,排水条件差。盐碱土在黄河冲积平原和黄土高原呈带状分布。

表 1 盐碱土在全球各大地区的分布

地区	面积/万 hm^2	比率/%
北美洲	1575.5	1.65
墨西哥和中美洲	196.5	0.21
南美洲	12916.3	13.53
非洲	8053.8	8.43
南亚	8760.8	9.17
北亚和中亚	21168.6	22.17
东南亚	1998.3	2.09
澳洲及周边地区	35733.0	37.42
欧洲	5080.4	5.32
合计	95483.2	

(3)黄淮海平原干旱半干旱洼地盐碱区。包括黄河下游,海河平原,黄淮平原,地跨京津冀鲁豫以及皖北、苏北平原。该区降雨量由北向南从 400 mm 递增到 800 mm,约有 70%的年降水集中在 6~9 月。地下水位 1~3 m,地下水矿化度 2~5 g/L,最高达 10 g/L;主要盐分是 Cl^- 、 SO_4^{2-} 和 CO_3^{2-} 。

(4)东北半湿润半干旱低洼盐碱区。包括松嫩平原,辽西盆地,三江平原和呼伦贝尔地区。该区年降雨量 500~700 mm,地下水位 2 m,矿化度 2~5 g/L,最高达 10 g/L;盐

分含量通常低于 0.3%,主要盐分是 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 。

表 2 世界上盐碱土分布最多的国家和地区

国家或地区	面积/万 hm^2
澳大利亚	35724.0
前苏联	17072.0
中国	9913.3
印度尼西亚	1321.3
巴基斯坦	1045.6
印度	700.0
伊朗	672.6
沙特阿拉伯	600.2
蒙古	407.0
马来西亚	304.0

(5)沿海半湿润盐碱区。包括华东、华南及江北沿海地区,该区主要属季风性气候,年降雨量由北向南从 600 mm 递增到 1 000 mm,地下水位 0.5~2.5 m,地下水矿化度大于 10 g/L,最高达 50 g/L,盐分含量一般在 0.4%以上,主要盐分是 Cl^- 。

3 生态修复的概念与基本原理

3.1 生态修复的概念

生态修复(Ecological rehabilitation)是指将被损害的生态系统恢复到或接近于它受干扰前的自然状况的管理与操作过程,即重建该系统被干扰前的结构与功能及相关的物理、化学和生物学特征。生态修复学(Restoration Ecology)专门研究在自然灾害或人类活动干扰下受到破坏的自然生态系统的恢复和重建的基本原理和技术途径^[10]。生态修复的主要目的是改善环境质量及增加生态系统的生物多样性。

生态系统的退化是干扰引起的。自然界发生的如火灾、水灾、泥石流、虫害、大风、人类活动等,改变着生态系统的结构与功能,这些事件称之为干扰。干扰可分自然干扰和人为干扰。干扰促使某一相对稳定的生态系统发生变化,旧的环境和物种破坏了,新的环境和物种又会产生,并在一定时间内维持其相对稳定。在没有严重干扰的情况下,自然生态系统会定向地、有序地由一个阶段发展到另一个阶段,这称为原生演替^[11-12]。演替的结果,最终会出现一个相当稳定的生态系统状态,这称为顶极稳定状态。每一演替阶段有其特定生物群落特征,顶极稳定状态的群落称为顶极群落。干扰常使生态系统受损并改变,称为次生演替。生态系统正常演替总是从低级向高级发展,而干扰使演替进程发生变化,严重时,如人类大规模活动,则使生态系统向相反方向演替,这称为逆序演替。生态修复就是要利用生态系统的自然演替规律,人为创造利于进展演替的生态环境,使被干扰生态系统的逆序演替转向正常演替,构建植被种类繁多、立体垂直结构复杂、水平斑块结构多样的相对稳定生态系统^[13-15]。

近年来有学者认为生态修复的概念应包括生态恢复、重建和改建,其内涵大体上可以理解为通过外界力量使受损(开挖、占压、污染、全球气候变化、自然灾害等)生态系统得到恢复、重建或改建(不一定完全与原来的相同)。这与欧美

国家的“生态恢复”和日本的“生态修复”概念类似,但不同于环境生态修复的概念。按照这一概念生态修复涵盖了环境生态修复,即非污染的退化生态系统,比如毁林开荒导致水土流失和荒漠化,可以通过退耕还林和封禁治理使生态系统得到恢复,也可称为生态修复。按照这一内涵,生态修复可以理解为“生态的修复”,即应用生态系统自组织和自调节能力对环境或生态系统本身进行修复^[16]。因此,我国生态修复在外延上可以从 4 个层面理解。第一个层面是污染环境的修复,即传统的环境修复工程概念。第二个层面是大规模人为扰动和破坏生态系统(非污染生态系统)的修复,即开发建设项目的生态修复。第三个层面是大规模农林牧业生产活动破坏的森林和草地生态系统的修复,即人口密集农牧业区的生态修复,相当于生态建设工程或生态工程。第四个层面是小规模人类活动或完全由于自然原因(森林火灾、雪线上升等)造成的退化生态系统的修复,即人口分布稀少地区的生态自我修复。

3.2 生态修复的基本原理

生态修复是基于生态控制系统工程学原理。生态控制系统是指人类控制人类以外的生物及其生态环境整体,即人类在生态系统中,控制它向有利于人类的方向发展。受损生态系统的修复与调控一个复合生态系统或景观生态系统,在遭到强度干扰,严重受损的情况下,若不及时采取措施,受损状态就会进一步加剧,直至自然恢复能力丧失和长期保持受损状态^[17]。要对受损生态系统进行人为修复,其调控步骤主要包括:(1)停止或减缓使生态系统受损的干扰,如滥砍滥伐、过度放牧、陡坡垦荒、围湖造田等行为;(2)对受损生态系统的受损程度、受损等级、可能修复的前景等进行调查和评价;(3)根据对受损生态系统的调查结果,提出生态系统修复的规划,并进行具体修复措施的设计;(4)根据规划要求和设计方案,实施受损生态系统的修复措施,包括生态系统组成要素、生态系统结构和功能的修复。由于受损生态系统的自组织能力、景观生态系统的抵抗力、恢复力和持久性,以及自然植被群落的自然进展演替规律性,受损生态系统可以从自然干扰和人为干扰所产生的位移中得到自然恢复或人为修复,生态系统的结构和功能将得以逐步协调^[18-19]。不同程度受损生态系统的恢复或修复结果主要有:(1)恢复到原来的状态,这类生态系统的受损程度低,或生态系统已经建立起了与干扰相适应的机制,从而能保持生态系统的稳定性,受损后能恢复到与原来生态系统完全一样的状态,如作物萎蔫之前的短期生理干旱;(2)重新获得一个既包括原有特性,又包括了对人类有益的新特性的状态,如疏幼林改造;(3)由于管理技术等使用,形成一种改进的和原来不同的状态,如荒地全面人工造林;(4)因干扰不能及时移去,或适宜条件不断损失的结果,生态系统保持受损状态,如剧烈侵蚀造成的母岩裸露。

4 盐碱地的生态修复

4.1 盐碱地生态修复的必要性与可行性

过去,人们对盐碱地的认识,首先是看到其有害-不利

于农业生产。因此,采取的措施是改良-降低土壤盐分。传统农业主要依赖于淡水和“淡土”环境,盐碱环境对其是一种限制性因素,试图通过治理改造盐碱地而发展传统农业,从长远看常常是花费颇多而又得不偿失的,特别是在淡水资源短缺的干旱、半干旱地区更是难以有效进行。

因此,对于中国盐碱地的治理改造和开发利用,应该改变传统思想,运用生态修复原理,着眼于盐碱环境,充分挖掘盐生动植物潜力,发展盐碱农业,变不利因素为有利条件,尽快跳出盐碱地治理开发的“怪圈”,促进盐碱地区农业和生态持续健康发展。

除原生盐碱地外,大部分次生盐碱地是由于砍伐森林,植被覆盖率降低,地表蒸发量增大形成的。所以,从这一意义上说,盐碱地也属于受损生态系统。盐碱地的改良应采用生态修复的方法,充分开发利用盐生植物,恢复植被。盐生植物是指一类具有较强抗盐(抗碱)能力,能够在高盐(高碱性)生境中生长并完成生活史的植物总称。盐生植物资源是植物资源的一种,可以定义为对人们有开发利用价值的盐生植物总称^[20]。据赵可夫等研究,中国大约有盐生植物 430 种,分属于 66 科、197 属,可以作为资源开发利用的大约有 200 多种,其中相当一部分具有多种利用价值,例如可作为食品原料或直接作为食品、饲料、医药原料和纤维原料等^[20]。与盐渍土分布区域一致,中国盐生植物资源主要分布在内陆盆地干旱极干旱盐渍土区、宁夏高原干旱盐渍土区、东北平原半干旱半湿润盐渍土区、黄淮海平原半干旱半湿润盐渍土区、滨海盐渍土区和青藏高原高寒干旱盐渍土区等几个主要区域^[1,24]。

中国盐碱地量大面广,盐生植物资源较为丰富,这是进行盐碱地生态修复的物质基础。充分利用盐碱环境发展盐碱农业,具有很大的潜力。

4.2 盐碱地生态修复的途径与效果

4.2.1 耕作措施

针对盐碱土的特点,在农业生产中采取一切必要措施,降低土壤盐分含量(短时间的或持续的)是盐碱地生态修复的要务。为了达到这一目标,实行有效的耕作措施是其中之一。它包括深耕细耙、增施绿肥和发展节水农业。

深耕细耙可以防止土壤板结,改善土壤团粒结构,增强透水透气性,改良土壤性状,保水保肥,降低盐分危害;增施绿肥可以增加土壤有机质含量,改善土壤结构和根际微环境,有利于土壤微生物的活动,从而提高土壤肥力,抑制盐分积累^[2,11]。

在宁夏改良盐碱地主要是通过将种植业与养殖业有机结合起来,培肥地力,从而提高盐碱地的经济效益。在土壤盐分含量较高时,通过 2 a 直接种植比较耐盐的禾本科牧草,0-40 cm 土壤的脱盐率可达 67.3% 以上;种植直根系作物枸杞 3 a 后,0-40 cm 土壤的脱盐率为 78.7%。而利用灌水洗盐方式改良盐碱地耗水量大,是生物改良方式的 1.6 倍。在土壤盐分含量高于 1.5% 时,利用生物方式改良后土地产量高于灌水洗盐后的产量^[21]。

在盐碱地上种植耐盐植物,不仅可改善生态环境,而且

可利用耐盐植物发展养殖业,不失为治理盐碱地的有效措施^[22]。2002 - 2004 年引进 22 个耐盐植物品种,在宁夏银北盐碱地上进行了筛选试验和示范种植,筛选出了红豆草、苜蓿、聚合草、小冠花、苇状羊茅 5 个比较耐盐的植物,对盐碱地的改良和高效利用具有较大的作用。经秋季测定可使盐碱地 0 - 20,0 - 100 cm 土层平均土壤脱盐率分别达 31.1 % 和 19.1 %。其中以种植红豆草的 0 - 20 cm 土层土壤脱盐率最高,达 56.5 %;其次是苜蓿、聚合草、小冠花,脱盐率分别为 36.0 %,25.0 %,22.2 %。可见,盐碱地上种植耐盐植物后增加了地面覆盖度,可有效地抑制土壤返盐^[21]。

发展节水农业是干旱半干旱地区农业生产的惟一出路。主要措施是种植耐旱作物,采用滴灌、喷灌、管灌等新型灌溉方式,这样不仅解决水源不足的问题,还能防止土壤盐渍化,促进作物生长,提高产量和质量。

除此之外,有些地方还尝试在盐碱地上种植耐盐作物、蔬菜等,如辽宁营口、山东东营等在盐碱地上种植水稻,以水压盐,田中养鱼,放鸭,效果很好^[4,23]。有的地方在试验用微咸水灌溉。这种情况下,作物品种要细心选择,微咸水的盐分组成和含量应该弄清,更重要的是灌水量要严格掌握。

4.2.2 生物措施

树木在抑制地下水位上升方面有无可替代的作用:(1)能够减少对地下水的补充。绝大多数情况下,地下水的补充

源于降雨。当有树木存在时,土壤中由于降雨增加的水分有相当一部分被树木利用或蒸腾,一部分滞留在枯枝落叶层中;而在其它植被或裸地上,降水则大部分补充为地下水。据测算,树木对降水的截留量是作物或草地的 10 (100) 倍^[4]。(2)能够增加水的消耗。树木枝叶繁茂,根系深广,蒸腾量大。一般情况下,树木根系可直达地下水,通过大量蒸腾,降低地下水位。作物的根系浅,生长季节短,很少消耗地下水(人工提水灌溉除外)。

表 3 柽柳林内外土壤含盐量变化

项目	土层厚度/ cm	土壤含盐量/ %			平均/ %
林内	0 - 20	1.10	0.73	1.17	1.06
	20 - 50	0.97	0.56	1.07	0.86
林外	0 - 20	2.17	0.90	2.40	1.54
	20 - 50	1.10	0.57	1.07	1.10

建立合理的林带结构,还能降低风速,减少地表蒸发,增加水平降水,提高空气湿度,在一定程度上改善有利于作物生长的小气候^[7]。林带营建应结合沟渠路建设,协调进行。一般沿与当地主风向垂直的道路营造主林带,沿沟渠营造副林带。这样,在建立完善的排灌系统的同时,也营建起完善的农田防护林网^[2]。在黄河三角洲盐碱地上栽植柽柳后,调查发现土壤含盐量下降,物理性状改善(见表 3 和表 4),生态修复效果良好^[25]。

表 4 柽柳林对土壤物理性状的影响

	土层厚度/ cm	含水量/ %	孔隙度/ %	土壤容重/ (g · cm ⁻³)	有机质/ %	全盐/ %	全盐平均/ %
裸地	0 - 20	20.12	45.18	1.45	0.2459	1.78	1.034
	20 - 40	28.39	46.42	1.42	0.1112	1.00	
	40 - 60	21.63	46.79	1.41	0.0448	0.71	
	60 - 100				0.0785	0.84	
柽柳林	0 - 20	31.60	53.91	1.20	0.3250	0.59	0.544
	20 - 40	28.58	47.92	1.38	0.1336	0.48	
	40 - 60	29.08	44.53	1.45	0.0336	0.53	
	60 - 100				0.1009	0.56	

除此之外,根据不同情况,还有其它生态修复的途径^[1,23],如:海滨盐土植被修复与经济利用模式,研究开发一系列适合我国盐土资源的优质耐盐经济植物种质资源,直接、快速地建立第一性生产力,确保生态、经济和社会综合效益的提高;耐盐牧草、饲料选育与滩涂扩繁模式,运用生物技术与生态技术相结合,选育高产、优质和抗逆的牧草品种,在苏北滩涂大规模扩繁,并通过平衡供草,为沿海地区开发种草养畜(禽)业提供科学依据;滩涂草基鱼塘模式和新筑海堤绿化护坡的植被重建模式,通过种植耐盐牧草,既养鱼又护堤,生态经济效益显著;米草生态工程及其生态控制模式,不失时机地利用米草生物量进行绿色食品的开发和综合利用,促进生态系统的良性循环,可以将米草种群发展控制在适度水平,是防范和控制米草入侵的有效模式之一。

5 结论与讨论

综上所述,中国盐碱地资源较为丰富,通过生态修复合理开发利用盐碱地资源,变不利条件为有利因素,是促进土壤盐

碱化地区可持续发展的重要途径之一。在未来盐碱地治理与利用中,应该更新思想观念,从强调治理改造转向追求人与自然的和谐统一,立足盐碱环境,因地制宜发展盐碱农业,促进中国盐碱化地区生态、经济和社会效益的三统一。对土地盐碱化问题应有一个全新的认识,把盐碱地作为一种可利用的资源,以系统论的观点,从盐渍土资源、植物资源、水资源等方面综合考虑,统筹开发利用与水土保持、经济效益与景观效果之间的关系,努力拓展盐碱地开发利用途径,积极推进盐碱地资源的生态利用与产业化开发。相信随着科学技术和经济的不断发展,相关研究的不断深入,中国盐碱地资源与可持续利用研究一定会取得更大进展。

参考文献:

[1] 王遵亲,祝寿泉,俞仁培,等.中国盐渍土[M].北京:科学出版社,1993.
[2] 彭镇华.中国森林生态网络体系建设[M].北京:中国林业出版社,2002.

- [3] 彭镇华,王成. 河流沿线土地利用对策的研究[J]. 应用生态学报,2002,13(4):6-8.
- [4] 邢尚军,张建锋. 黄河三角洲土地退化机制与植被恢复技术[M]. 北京:中国林业出版社,2006.
- [5] 彭镇华,江泽慧. 中国森林生态网络系统工程[J]. 应用生态学报,1999,10(1):6-10.
- [6] 江泽慧. 林业生态工程建设与黄河三角洲可持续发展[J]. 林业科学研究,1999,12(5):447-451.
- [7] Mainguet M. Aridity drought and human development [M]. Berlin: Springer-verlag,1999.
- [8] Malcolm E, Sumner R N. Sodic soils- distribution, properties, management, and environmental consequences [M]. New York: Oxford University Press,1998.
- [9] Geller E S. Actively caring for the environment, an integration of behaviourism and humanism[J]. Environment and Behaviour,1995,27: 184-195.
- [10] Greening Australia (NSW). Management Principles to Guide the Restoration and Rehabilitation of Indigenous Vegetation [M]. Marrickville: Greening Australia (NSW) Inc. 1999.
- [11] Jordan William R. III. Sunflower forest: ecological restoration as the basis for a new environmental paradigm[M]//Beyond Preservation: Restoring and Inventing Landscapes, (A. Dwight Baldwin Jr, J. De Luce and C. Pletsch). Minnesota: University of Minnesota Press,1994:17-34.
- [12] Platt S, Richards P, MacLennan F, et al. Bridging social barriers: what turns people on to biodiversity [J]. Ecological Management and Restoration, 2001, 2: 15-20.
- [13] Press K. Teaching green[M]//Bowen J. Environment Education, Imperatives for the 21st Century. Albert Park: James Nicholas Publishers,1994.
- [14] Simmons D. Using natural settings for environmental education: perceived benefits and barriers[J]. Journal of Environmental Education,1998,29(3): 23-31.
- [15] Sunqixiang, Zhang Jianfeng. Discussion on forestry Sustainable development in the Yellow River delta region[J]. Chinese Forestry Science And Technology,2006,5(4):63-67.
- [16] Suk- lin G L Y, Stimpson P. Environmental attitudes and actions: people's perceptions of the effectiveness of their actions and Chinese cultural context[J]. Australian Journal of Environmental Education,1997,13: 55-60.
- [17] Syme G J, Bevan C E, Sumner N R. Motivation for reported involvement in local wetland preservation. The roles of knowledge, disposition, problem assessment, and arousal [J]. Environment and Behaviour, 1993, 25: 586-606.
- [18] Tilden F. Interpreting Our Heritage, 3rd edn [M]. The University of North Chapel Hill: Carolina Press. 1977.
- [19] Western Sydney Regional Organisation of Councils. Western Sydney Regional State of the Environment Report 2000 [R]. Sydney. 2000.
- [20] 赵可夫,范海,宋杰,等. 中国盐生植物的种类、类型、植被及其经济潜势[M]//刘小京,刘孟雨. 盐生植物利用与区域农业可持续发展. 北京:气象出版社,2002.
- [21] 张永宏. 盐碱地种植耐盐植物的脱盐效果[J]. 甘肃农业科技,2005(3):48-49.
- [22] 任巍,罗廷彬,王宝军,等. 新疆生物改良盐碱地效益研究[J]. 干旱地区农业研究,2004,22(4):211-214.
- [23] 张建锋,等. 世界盐碱地资源及其改良利用的基本措施[J]. 水土保持研究,2005,12(6):28-30.
- [24] 张建锋,等. 盐碱地改良利用与造林技术[J]. 东北林业大学学报,2002(6):124-129.
- [25] Zhang Jianfeng, Xing Shangjun, Zhang Xudong. Principles and practice of forestation in saline soil in China [J]. Chinese Forestry Science And Technology, 2004,3(2):62-70.

(上接第 73 页)

- [9] 塔西甫拉提·特依拜. 塔里木盆地南缘地区生态环境演变研究[M]. 乌鲁木齐:新疆大学出版社,2001:23-37.
- [10] Macleod R D, Congalton R G. A quantitative comparison of change-detection algorithms for monitoring eelgrass from remotely sense data [J]. Photogrammetric of engineering and Remote sensing,1999,64(3):207-210.
- [11] 俎瑞平,高前兆,钱鞠,等. 2000 年来塔里木盆地南缘绿洲环境演变[J]. 中国沙漠,2001,21(2):125-127.
- [12] 周兴佳,李崇舜,钱亦兵. 塔克拉玛干沙漠南缘沙漠的变化和绿洲沙害的防治[C]//陈华. 和田绿洲研究,乌鲁木齐:新疆人民出版社,1988:69-71.
- [13] 李小明,张希明. 塔克拉玛干沙漠绿洲生态系统[J]. 干旱区研究,1995,12(4):10-16.
- [14] 胡聃. 生态系统可持续性的一个测度框架[J]. 应用生态学报,1997,8(2):21-22.
- [15] 杨文斌. 柠条抗旱的生理生态与土壤水分关系的研究[J]. 生态学报,1997,17(3):32-34.