

新疆于田绿洲 - 荒漠脆弱带时空演变及其调控方法研究^{*}

丁建丽, 张 飞, 塔西甫拉提·特依拜

(新疆大学 资源与环境科学学院, 绿洲生态教育部重点实验室, 乌鲁木齐 830046)

摘 要: 绿洲 - 荒漠生态脆弱带 (ECOTONE) 介于绿洲和荒漠之间, 对绿洲起着屏障作用, 它在维护干旱区生态系统的平衡方面起着重要作用, 深入研究这一特殊地带的环境演变过程、特征及形成机制对于揭示其生态学实质、维护和发展绿洲具有重要的实践意义。选择于田绿洲为研究区, 以遥感技术为依托, 对 2 个时相的陆地卫星数据及相关统计资料进行了处理, 利用得到的土地覆盖差值图像, 定量分析评价了该地区生态脆弱带 1989 - 2003 年间的变化趋势, 在此基础上, 根据该地区生态环境特点提出了若干有效生态保护及复原措施。为西部干旱地区合理开发绿洲、可持续发展绿洲资源及改善绿洲生态环境等提供新的研究方法和科学依据。

关键词: 生态脆弱带; 资源环境; 遥感; 调控

中图分类号: F901

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2008)04-0070-04

Study on the Temporal-spatial Evolution and Its Regulation Methods in Oasis and Desert Ecotone of Yutian, Xinjiang

DING Jian-li, ZHANG Fei, Tashpolat · Tiyp

(College of Resources and Environment Science, Xinjiang University, Key laboratory of Oasis Ecology
Ministry of Education, Urumqi 830046, China)

Abstract: Ecotone is located between oasis and desert which plays the important role of protecting oasis and maintaining eco-system balance in arid region. There has practical significance for discovering its ecological nature, maintaining and developing oasis to study the process of environmental transformation profoundly, characteristics and forming mechanism. This paper selects Yutian Oasis as research area. Two temporal satellite data and related information based on RS technology are handled and the changing trend from 1989 to 2003 in the ecotone is quantificationally evaluated using land-cover dynamic change figure. On this basis, several useful measures to conserve and restore ecological environment are put forward according to characteristics of the area's ecological environment. In this way, new research method and scientific foundation are provided for exploring oasis reasonably, utilizing sustainable resources and improving oasis's ecological environment in western arid region.

Key words: fragile ecotone; resources and environment; remote sensing; control

西北干旱区绿洲大规模、高强度的开发历史远较东部季风区短, 但因其自然系统发育上的先天不足, 这种开发所带来的环境问题, 无论是种类还是强度都不亚于季风区。由于其境内丰富的农业后备资源和矿产资源的存在, 在国家经济建设重点逐渐西移的过程中, 这种开发活动还将更深度地进行下去。因此, 经济发展与生态环境保护的矛盾将进一步加剧, 这将直接影响到我国西部以资源基地建设为中心的经济发展格局。在这种形势下, 资源生态环境保护与经济发展如何融合于区域持续发展框架之内, 便是一个很实际的研究课题。通过近几年的实地野外考察证明, 用遥感等方法对干旱区绿洲的生态环境质量进行评价, 可以为合理开发绿洲、

可持续发展绿洲资源及改善绿洲生态环境等提供新的研究方法和科学的依据^[1-5]。

1 生态脆弱带的概念

生态脆弱带是建立在生态过渡带或交错带 (Ecotone) 的基础上而逐渐发展起来的属于环境科学范畴的新术语和新概念。早在 20 世纪初, Clements 就把生态交错带的概念引入到生态学中。Ecotone 最原始的概念是指两个群落之间的交错面。后来得到逐步的充实和完善, 王庆锁将它定义为: “相邻生态系统之间的过渡带, 其特征由相邻生态系统之间相互作用的时间、空间及强度决定”。在早期的认识中, 生态

^{*} 收稿日期: 2007-10-23

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40261006); 中科院西部之光项目 (CAS200312); 自治区高校科研计划重点项目 (XJEDU2005107); 新疆大学博士启动基金资助

作者简介: 丁建丽 (1974 -), 男, 山东人, 教授, 博士。研究方向: 资源遥感与 3S 技术应用。E-mail: ding_jl @163.com

通信作者: 塔西甫拉提·特依拜 (1958 -), 男 (维吾尔族), 博士, 教授, 主要从事干旱区遥感应用研究。E-mail: Tash @xju.edu.cn

脆弱带和生态交错带的概念几乎是通用的。如牛文元将 Ecotone 译作“生态环境脆弱带”,并将其定义为:“在生态系统中凡处于两种或两种以上的物质体系、能量体系、结构体系、功能体系之间所形成的界面,以及围绕该界面向外延伸的过渡带的空间域”。很快就有人指出生态交错带并非都是脆弱生态环境,它仅是敏感性环境的一个类型,只有具有退化趋势的敏感环境才称之为脆弱生态环境。也就是说,脆弱性是敏感性和环境退化趋势的统一^[6]。

常学礼在分析前人工作的基础上认为牛文元所定义的客观实体正是现代意义上的生态交错带,只有具有敏感地退化趋势的生态交错带才称为生态脆弱带。这才明确地区分这两个概念。在这个基础上,我们可以这样粗浅地定义绿洲-荒漠生态脆弱带:处于绿洲和荒漠之间,受绿洲生态系统与荒漠生态系统的双重影响且具有敏感地退化趋势的生态交错带。绿洲寓于荒漠又异于荒漠,与荒漠构成对立统一体,依一定的条件转化,绿洲与荒漠有着广泛的交错带,该交错带是一个水分、温度、能量、有机体等要素形成较大的水平递变梯度的带状区域,即是这种转化活动程度最剧烈、表现最突出的地区。它的时空变化随绿洲的扩张与收缩而改变。因此,绿洲-荒漠生态交错带便因其高机率的被替代性、弱的抗干扰能力、低概率的原状恢复能力而成为生态脆弱带。根据实际调研发现,此段外形通常呈环形空间或马掌形,一般宽度为 3~10 km。绿洲-荒漠过渡带生态环境比现代绿洲更不稳定,易受破坏,而且自然恢复能力弱,如果开发过程中被破坏而失去应有的生态功能,具有单向诱发演化为沙漠化的潜在趋势,这将从根本上动摇绿洲存在的基础。此带生态环境的动态性质由人类对资源利用和水分条件所支配。当人类对资源利用和水的分配比较合理时,此带向自然绿洲演变,起着阻拦自然沙漠风袭沙埋的屏障作用。否则,向自然沙漠演变,起着加速风袭沙埋的作用^[7]。

2 研究区概况

研究区选在塔里木盆地南缘风沙灾害极严重的于田绿洲。于田绿洲位居塔里木盆地内部克里雅河流域,面积 $3.95 \times 10^4 \text{ km}^2$,既受大陆性干旱气候的长期作用,又受山盆相间地貌格局的影响,发育着典型的绿洲、荒漠生态系统,在西部干旱区环境演变研究中占据极其重要的地位。最高海拔点 5460 m,最低海拔点 1180 m。气候属于暖温带荒漠气候,热量与光照丰富,年平均气温 12.4℃,积温为 4340℃,无霜期为 200 d,年均降水量为 44.7 mm,年平均蒸发量为 2498 mm,土壤主要为风沙土和棕漠土,绿洲外围地区植被稀疏,植物群落类型有柽柳群落、骆驼刺群落、花花柴群落、芦苇群落,覆盖度平均只有 10%~40%,为一典型的绿洲生态脆弱带地区^[8]。目前该地区的生态环境程度如何,且有何发展趋势不仅为人们关心,而且对于绿洲的荒漠化控制、经济、社会的可持续发展及土地利用开发等方面都至关重要。

3 技术路线

3.1 研究资料

主要数据源采用 1989 年 9 月 7 日和 2003 年 8 月 25 日的 Landsat-ETM 全波段图像。另有 1990 年 1:100 000

地形图及其矢量化数据,1995 年于田县土地利用图(1:50 000)及其矢量化数据,统计资料(气象、水文、人口、土壤、社会经济等)等。

3.2 数据预处理

生态脆弱带系从多种土地覆盖类型时空动态变化角度出发的,因此首先需要选择最能表现各类型光谱特性的那些波段,实际调研及有关研究^[9-10]表明,在新疆,干旱气候构成了特有的干旱生态环境,适于生长旱生植物或干旱区生长的农作物。这些植物的生理生态特征使得其散射反射较差,在荒漠区光谱反射率比国内其它地区偏低 20%~30%,而且在可见光区叶绿素吸收作用很弱,表现了区域水平地带性光谱特征。此外,区内垂直地带性分异和植物光谱季节性变异也非常明显。针对其特殊性,认为 0.41~0.45,0.63~0.70,0.70~0.87 μm 为新疆荒漠地区植被遥感最佳波段。水体、荒漠光谱特性地带性表现不明显。综合考虑以上因素,选择 1,2,4 波段合成假彩色图像进行研究。利用 Erdas imagine8.7 遥感图像处理软件,对 2 个时相的 TM 数据分别首先进行了辐射校正,之后采用用户输入坐标方式对实验区的数据进行了几何精校正。以 1:5 万地形图先对 2003 年的影像进行校正,在图上选取对应的地面控制点对 GCP。GCP 的选取原则是:有一定的数量保证,均匀分布在整个校正区域内,具有明显的精确的定位识别标志,以保证精度。通常用一个 n 次多项式来表示(n 一般介于 1~5),一般采用 2 次即可,选取 20 对控制点,按最小二乘法求出多项式系数,然后进行全区坐标变换,要进行图像数据的内插,即数据重采样。常用重采样技术有最邻近法、双线性内插法、三次卷积内插法等。重采样会引起图像信息的变化,不同的方法各有特色,要选用合适的重采样技术。为了保证图像具有较高的空间位置精确性与适当的计算量,本文选择了双线性内插法。然后以 2003 年影像为底图,完成 1989 图像的精确配准,影像的投影变换采用 6 度分带的高斯-克吕格投影。增强处理采用统一的均衡化增强技术。

根据中国土地利用分类方法,从宏观角度出发,将研究区土地覆盖类型划分为具有代表性的 4 类,绿洲(城镇用地、农牧业用地、林地),荒漠(流动、半流动),绿洲-荒漠脆弱带和水体(水库、沟渠、湖泊、河流)。在对土地覆盖类型提取研究中,获得较高的分类精度是至关重要的,本文采用了精度和稳定性都比较高的复合分类法(Combined optimum fuzzy clustering and supervised classification-COFCS)^[11],使用该方法进行分类主要有两个步骤:首先用模糊最优聚类法对训练样本作最优聚类分析,并将所得结果进行识别,确定信息类别及部分噪声;然后用最大似然分类对整个区域进行重分类,得到最后的结果。利用分类后比较法得到近 10 a 不同土地覆盖类型多年变化统计。程序处理过程及相关的统计结果分别见图 1、图 2 和表 1。

4 绿洲生态脆弱带空间分布特点

从表 1、图 1,2 中发现,14 a 间,研究区绿洲生态脆弱带覆盖类型作为绿洲,荒漠进退外在表现的指针在此期间表现

的极为活跃。具体表现为发生了极为显著的过渡带扩展,从原先占总面积 25.43 % 增加到现在的 32.6 % ,呈明显的线性增长。新增部分主要缘于荒漠、绿洲。其中绿洲转化成过渡带的速率要大于荒漠转化为过渡带的速率,特别是绿洲部分内部也出现了向过渡带转化的趋势,经实地考察及对比有关资料发现,其原因主要在于该地区由于人口和耕地的急剧增长,兼之极不合理的利用水资源,给本已有限的水资源带来了巨大的压力。以塔里木河为例,上中游大量引水,导致水质咸化,河道流程缩短,造成水量极大浪费,1995 年流水河道缩短了 320 km 和下游水量锐减,甚至断流,以至下游地区湖泊干涸、植被枯死,引起风蚀与流沙的扩展,此外,绿洲地区地下水过量开采,导致沙漠边缘植被用水无法保证,出现植被生长衰退的现象^[11],此外当地政府虽然很重视生态环境保护宣传工作,但是当地人民不合理的开垦荒地,导致了植被盖度非常好的绿洲退化为过渡带,形成了潜在的沙漠化地带使整个绿洲的环境质量下降,生态环境也进一步恶化。此外,实地考察表明,由于人口数量的剧增,不合理的利用水土资源,过度樵采等原因,绿洲生态脆弱带目前的生态环境已受到严重破坏,原先连续的过渡带已有转化成生态裂谷的趋势,对绿洲的屏障作用进一步降低,在绿洲外围风沙前沿地带,地表裸露、松散,在起沙风的作用下,流沙侵入农田,进一步恶化了本来就很贫瘠而又脆弱的农业生态环境^[12]。

从以上的分析可以看出,绿洲生态脆弱带面积的剧增实际缘于绿洲植被盖度的锐降,因此总体上看绿洲植被覆盖的降低,过渡带面积的增加,在某种意义上即是沙化程度的加剧,干旱区沙化的源地与绿洲生态脆弱带是有相当关系的,应当在过渡带开展生态修复工作,根据极端干旱区绿洲特有的生态环境特点出发,掌握好绿洲、过渡带及沙漠的动态平衡关系,不但要注意绿洲边缘地带的防沙、治沙工作,而且还

要重视保护和恢复原有的植被盖度很好的绿洲,在绿洲、过渡带和沙漠之间建立较理想的层次关系,才能为该地区国民经济的健康发展创造良好的生态环境条件。

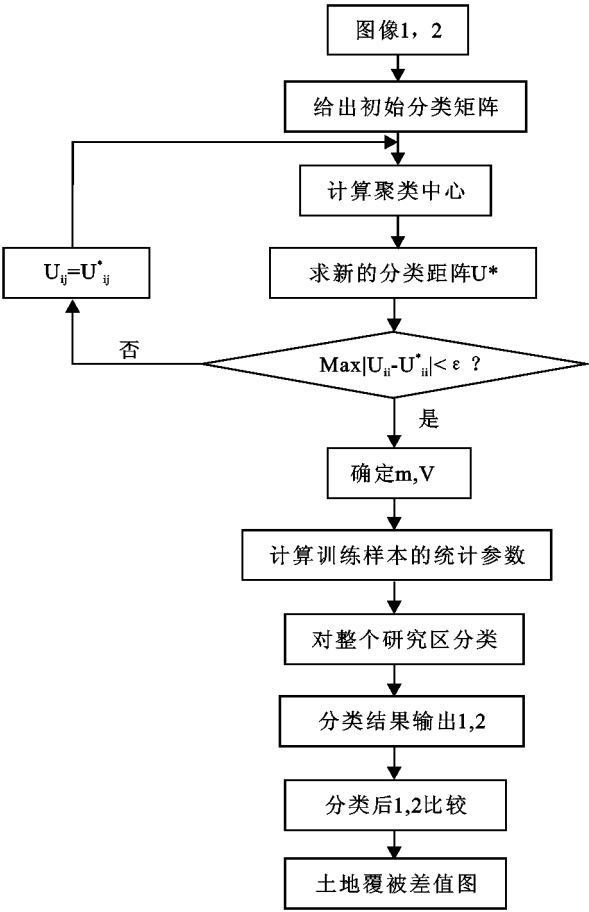


图 1 应用 COFCS 法分类的计算程序框图

表 1 各时相土地覆盖统计报告

类别	TM(1989-09-07)				TM(2003-08-25)			
	水体	绿洲	脆弱带	荒漠	水体	绿洲	脆弱带	荒漠
分类像元数	105539	876284	1291039	2804773	177299	588070	1655100	2651766
像元百分比/ %	2.08	17.26	25.43	55.24	3.49	11.59	32.63	52.28

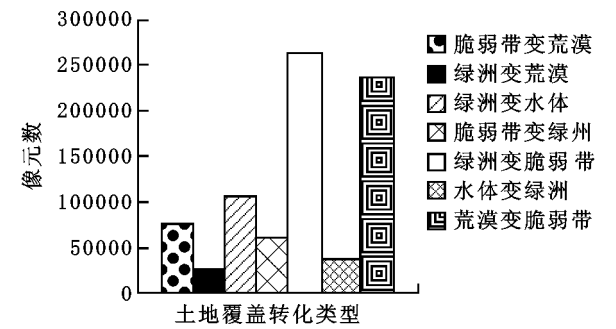


图 2 于田绿洲各土地覆盖类型转化趋势图

5 绿洲 - 荒漠生态脆弱带生态环境保护及恢复重建

绿洲生态系统包括绿洲内部人类生产系统和绿洲外围人类生产保护系统,其中绿洲人类生产系统是绿洲生态系统的主体^[13]。绿洲脆弱带生态系统是一类独特的系统,它受自然和人类驱动力机制的共同影响,但从近几十年时间

研究尺度而言,该系统的结构、功能更依赖于人类的经营活动,任何不适度的人类行为干扰都将给系统带来重大影响。一个生态系统的组分、组织结构与功能动态的健康,可以用生态整合性、自维持活力以及自调节力来衡量。而组分、结构和功能的进化发展,则可以由系统的自组织力来衡量^[14]。生态整合性包括组分的多样性,组分间的关系和生态系统功能过程。自维持力通过代谢途径(代谢水平和代谢效率)和涵养途径(养分和能量的储留能力)来表示。自调节力是系统的缓冲能力和干扰反应能力的综合表现。系统的自组织力是指系统最大限度地利用环境资源及尽可能地积蓄系统未来进化或演替的内在潜力的能力。具体到于田绿洲脆弱带生态系统而言,系统内物种的多样性小;物种间的关系单一;系统内物质和能量的代谢水平、代谢效率不高;系统对外部输入养分和能量的储留能力差。因此,绿洲脆弱带生态系统缓冲能力和抗干扰能力弱。在这种情况下,系统充分利用

外界环境的能量来积蓄系统未来进化的内在潜力的能力就差。也就是说系统可持续发展能力差。所以,在努力保护好于田绿洲脆弱带生态系统不受干扰的前提下,逐步增加对系统的物质技术投入,以“养”为主,辅以合理的开发和适度的利用,使于田绿洲脆弱带生态系统达到可持续发展的目的。

从上述分析可以看出,环境恶化与生态脆弱形成了这样的反馈环:该区的环境恶化主要表现为土地荒漠化,它与这里环境的脆弱属性有密切关系,土地荒漠化是生态脆弱带内环境退化的主要形式,而荒漠化的发展又加深了脆弱生态带内生态平衡的严重失调,环境更趋向于恶化。这构成了对人类经济发展与生存环境改善的严重威胁,也给该地区经济持续发展造成了障碍。因此,重建绿洲荒漠脆弱带的生态环境,保护绿洲经济的持续稳定发展成为该区当前的重大任务。从系统的角度看,要维持绿洲经济的持续稳定发展,必须使保障其运行的外围系统的空间结构和生物多样性恢复,只有结构的恢复,系统的功能才能得到保证;只有多样性的增加,系统的稳定性才能提高。人类要缓解人口压力,协调人地关系,就必须首先攻克这个堡垒。

(1)夏洪灌溉。实践证明,夏洪灌溉是塔克拉玛干沙漠南缘恢复天然植被最重要的措施之一。于田绿洲外围的天然植被,除南边砾石质和沙砾质生境上发育着稀疏的灌木荒漠以外,东、西、北部大部分生境上分布着有骆驼刺、芦苇、花柴、叉枝骆驼、柽柳和胡杨等植物组成的草甸、灌丛和片林。上述植物,是荒漠河岸植被的建造者,它们的根系不同程度的与地下潜水位相联系,是一类中生植物。这些植物的衰退,除了人类活动的影响以外,得不到正常生长发育所需要的水分,也是一个重要原因。在没有灌溉的条件下,地下水位较深,土壤中有效水分不足,土体极端干燥,因此对这类衰退的植物群落进行灌溉,实践证明效果是非常显著的。于田县于田乡1984-1987年,采取夏洪灌溉措施,恢复了于田乡西北部的自然植被1万 hm^2 ,有效的保护了于田绿洲,使绿洲农牧业生产经过了多次大风的考验。洪水丰富的1994年,于田乡又对近1万 hm^2 的自然植被进行了夏洪灌溉,也取得了巨大的效益。

(2)适度开发,重在恢复。绿洲荒漠中土地开发的成就是巨大的。以全疆垦田为例,从1950-1966年累积开发土地270 801 hm^2 ,这为提高当地人民生活水平,加快边疆地区经济建设、维护该区社会稳定都起到了巨大的作用。由于重视开发忽视改良,或者是水资源缺少,土地改良不够,致使中低产田占很大份额,造成先开发后弃耕的现象时有发生,使一些地方生态环境恶化。要维持绿洲农业的长久发展,就必须做到开发一片,稳定一片,巩固现存绿洲生态系统的功能;本着宁缺毋滥的精神,以改造中低产田为主,开荒为辅,从而减轻脆弱带生态环境的压力,使绿洲农业朝优质高效的方向发展。

(3)尽快解决居民燃料问题,改变居民的燃料结构。于田县缺燃料,居民为获取烧柴,被迫砍挖植被,致使大片植被破坏,不解决燃料问题,保护自然植被是一句空话。该地区可利用的能源,除生物能源外,有风能、太阳能、沼气,这些能源开发利用程度低,而且农民现有的经济能力可以承担。

(4)进一步加强对沙荒地农作物和植物的抗旱特性研究。研究绿洲内新疆杨、箭杆杨、灰杨和胡杨等的生理生态特性,找出在特定的环境中,这些农作物和植物的生长与自身水分特征(土壤水分特征)的关系,确定出每一种农作物或植物的“经济水阈”^[15](维持该作物或植物正常产生经济干物质量的土壤最低含水量)和“生命水阈”(维持该作物或植物生命的土壤最低含水量)。为于田绿洲实行以水定农、以水定林和节水灌溉提供科学依据。

(5)加强管理,适当进行封育。绿洲—荒漠生态环境恶化的起因是人类的强度活动,一旦撤出这种干扰,系统有自身修复的能力,按一定的演替过程会有相当水平的恢复。此区缺乏水资源,通过人工灌木营林以期恢复植被的传统办法难以实施,而采用封育的措施,消除人为压力,让系统缓慢地自行恢复是一种可行的方法。

(6)引进实用生产技术和先进的管理经验,吸引人才。于田绿洲经济的发展,一方面受到自然环境条件的限制,另一方面又受到技术和人才的限制。技术和人才具有改造自然的能动性。结合于田绿洲的实际特点和发展目标,引进能在干旱半干旱地区推广的实用生产技术和先进的产业管理,从而逐步振兴于田经济,是一条切实可行的途径。当然,先进的技术和经验需要掌握科学技术的人去推广和应用。提供便利或优惠条件吸引人才,更具有战略意义。

于田绿洲地处风沙前沿,必须注意保护过渡带植被,坚决制止滥砍乱伐天然林,防止人为破坏生态系统,坚持大搞农田基本建设,开展各种造林活动,尤其是营造农田防护林,防风固沙林,使绿洲生态脆弱带生态环境得到改良、恢复,呈现新的发展,同时把植树造林、农业生产活动和经济开发结合在绿洲建设上提高绿洲整体的社会、生态和经济效益。

参考文献:

- [1] 丁建丽,塔西甫拉提·特依拜.塔里木盆地南缘绿洲荒漠化动态变化遥感研究[J].遥感学报,2002,6(1):56-62.
- [2] 熊黑刚,钟巍,塔西甫拉提,等.塔里木盆地南缘自然与人文历史变迁的耦合关系[J].地理学报,2000,55(2):17-19.
- [3] 丁建丽.塔里木盆地南缘绿洲土地覆盖变化[J].地理学报,2002,57(1):21-22.
- [4] 塔西甫拉提·特依拜.干旱区环境演变与遥感应应用研究[M].乌鲁木齐:新疆大学出版社,2001:87-107.
- [5] 王让会,樊自立.利用遥感和GIS研究塔里木河下游阿拉干地区土地沙漠化[J].遥感学报,1998,2(2):138-140.
- [6] 王玉朝,赵成义.绿洲—荒漠生态脆弱带的研究[J].干旱区地理,2001,24(3):71-72.
- [7] 孙武.人地关系与脆弱带的研究[J].中国沙漠,1995,15(4):419-424.
- [8] 丁建丽.沙漠化环境信息管理系统的设计框架研究[J].干旱区研究,2001,20(3):31-32.

(下转第78页)

- [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.