

# 且末绿洲适宜规模研究

郑淑丹<sup>1</sup>, 阿布都热合曼·哈力克<sup>1,2</sup>

(1. 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; 2. 中国矿业大学 环境与测绘学院, 江苏 徐州 221008)

**摘要:**干旱区平原绿洲,应以水为中心确定绿洲规模,防止水资源不足情况下土地过度开发造成的荒漠化和沙漠化。应用基于生态水热平衡的适宜绿洲规模数学模型,对且末绿洲现状年的绿洲适宜发展规模进行了研究。结果表明:(1)且末绿洲稳定性指数为 0.535 8,绿洲处于亚稳定状态,生态系统呈开始退化趋势,绿洲需要较高的投入才能保持稳定。(2)且末绿洲适宜规模为 609.22~812.29 km<sup>2</sup>,且末绿洲适宜耕地面积为 92.66~123.55 km<sup>2</sup>。通过资料可知,且末绿洲现有规模为 992.16 km<sup>2</sup>,超出适宜规模 0.2~0.6 倍;现有耕地面积为 150.88 km<sup>2</sup>,也超出了适宜耕地面积的 0.2~0.6 倍。从生态可持续角度出发,绿洲面积不宜再扩大。

**关键词:**且末绿洲;水热平衡法;适宜规模

中图分类号:F301.24

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)06-0240-05

## Study on Suitable Scale of Qiemo Oasis

ZHENG Shu-dan<sup>1</sup>, Abdirahman · HALIK<sup>1,2</sup>

(1. College of Resources and Environmental Science, Xinjiang University,  
Key Laboratory of Oasis Ecology, Ministry of Education, Urumqi 830046, China;  
2. School of Environment and Spatial Informatics, China University of Mining & Technology, Xuzhou, Jiangsu 221008, China)

**Abstract:** Arid plain oasis scale should be identified in terms of the priority of the capacity of water supply, and desertification caused by over-exploitation of land under the situation of water shortages should be prevented in the oasis. The Qiemo oasis appropriate development scale was studied by using mathematical model for oasis scale based on ecological water and heat balance method. The main conclusion are as follows: (1) the stability index of Qiemo oasis is 0.535 8, so the oasis is in the second stable state, the ecological system starts to degenerate, so oasis requires a higher input to keep stable; (2) Qiemo oasis suitable scale is 609.22~812.29 km<sup>2</sup>, suitable cultivated area in Qiemo oasis is 92.66~123.55 km<sup>2</sup>. The existing scale of Qiemo oasis is 992.16 km<sup>2</sup> which is beyond Qiemo oasis suitable scale 0.2~0.6 times. The existing cultivated area is 150.88 km<sup>2</sup>, which is also beyond suitable cultivated area 0.2~0.6 times. From the view of ecological sustainability, oasis area is unfavorable to expand.

**Key words:** Qiemo oasis; water and heat balance method; suitable scale

现代经济意义的绿洲是指荒漠中自然形成或通过人工灌溉形成的农牧业发达的地方。在自然状态下,绿洲与荒漠处在一种竞争平衡状态<sup>[1]</sup>。绿洲是干旱区特殊的景观类型,是干旱区的精华所在<sup>[2]</sup>。在西北干旱区,山地—荒漠—绿洲构成了一个完整的生态系统,绿洲景观生态系统为水资源调配区与消耗区,处于中心位置,不论是荒漠的开发还是山区资源的利

用,均是以绿洲作为支撑点,并最终服务于绿洲<sup>[3]</sup>。适宜绿洲就是要通过科学途径确定绿洲的适宜规模,即绿洲规模或绿洲适宜面积<sup>[4]</sup>。

20 世纪 80 年代后期至 90 年代初期,关于绿洲规模的研究严格意义上还不算适宜规模研究,其主要探讨绿洲规模(耕地面积)与水资源等影响因素之间的关系。

收稿日期:2011-06-15

修回日期:2011-07-16

资助项目:国家自然科学基金项目(41061052); 2011 年度自治区高校科研计划项目(XJEDU2011101)

作者简介:郑淑丹(1988—),女,重庆人,硕士研究生,研究方向为地图学与地理信息系统。E-mail:shudan.zheng@gmail.com

通信作者:阿布都热合曼·哈力克(1967—),男,(维吾尔族),新疆乌鲁木齐人,副教授,研究方向为干旱区资源环境与区域可持续发展研究。  
E-mail:tag9710@sina.com.cn

$$y=a+b_1x_1+b_2x_2+\cdots+b_nx_n$$

式中: $y$ ——绿洲规模(耕地面积); $a$ ——特殊影响因素; $b_1, b_2, \dots, b_n$ ——绿洲规模 $y$ 对 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 各绿洲面积影响因素的依赖程度,即 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 对绿洲规模 $y$ 的贡献大小; $x_1, x_2, \dots, x_n$ ——绿洲面积(耕地面积)影响因素,但其基本确定了“以水定绿洲”的理念,为后来适宜规模研究提供了基础。

绿洲规模的大小主要取决于可利用的水资源量及其利用水平。国内不少学者对此进行了大量的研究,韩德麟<sup>[5]</sup>认为干旱区每养育 $1\text{ hm}^2$ 绿洲所需水量为 $5\,415\text{ m}^3$ ,邓永新<sup>[6]</sup>等建立了绿洲规模回归预测模型。汤奇成<sup>[7]</sup>利用塔里木盆地绿洲与河川径流之间的关系,建立了耕地面积与水资源总量之间的回归方程。姜德华<sup>[8]</sup>等建立了灌溉面积与引水量的定量关系。陈昌毓<sup>[9]</sup>分析了绿洲的稳定性,计算了河西走廊各流域绿洲生态需水定额、适宜面积和绿洲农田适宜面积。李小明<sup>[10]</sup>等在对塔南绿洲多年研究的基础上,提出了“适度绿洲”的概念,王忠静<sup>[11]</sup>等人通过对比绿洲景观及预期相应的水热平衡关系,提出现代经济意义下绿洲稳定性及其开发利用方向的绿洲绿色指数和计算方法,用以快速诊断绿洲宏观水资源开发利用问题,设计绿洲适宜的发展规模,对于分析干旱内陆河流域绿洲适宜规模较为合适。本文拟采用王忠静<sup>[11]</sup>等人的研究成果对且末绿洲的适宜发展规模进行研究,为当地决策者在区域规划、生态建设、农业发展以及水土资源开发等方面提供科学参考。

## 1 且末绿洲概况

且末绿洲所在的且末县位于塔里木盆地东南缘、昆仑山北麓,东与若羌县交界,西与和田地区的民丰县相邻,南屏阿尔金山与西藏接壤,北部伸入塔克拉玛干沙漠与沙雅县、尉犁县相望。且末绿洲位于车尔臣河冲积三角洲地带,整个绿洲呈狭长的沿水系分布的条带状,东西长 $320\text{ km}$ ,南北宽 $450\text{ km}$ 。介于东经 $83^\circ25' - 87^\circ30'$ ,北纬 $35^\circ40' - 40^\circ10'$ 之间。全县总面积 $14.025\text{ 万 km}^2$ ,是全国面积第二大县,但绿洲面积仅占全县面积的 $4.3\%$ <sup>[12]</sup>。

且末县地处欧亚大陆腹地,南有青藏高原及昆仑山横卧,暖湿空气不易流入,北有天山阻断,水汽来源很少,受浩瀚沙漠影响,从而形成暖温带大陆性干旱气候。这里光照充足,热量丰富,全年太阳总辐射量为 $499.1\text{ kJ/cm}^2$ ;气温昼夜差别比较大,日较差最大可达 $24^\circ\text{C}$ ;无霜期较短,平均无霜期为 $165\text{ d}$ ;降水极少,平均降水量为 $18.6\text{ mm}$ ,年蒸发量高达 $2\,506.9\text{ mm}$ ,为降水量的 $130 \sim 140$ 倍,干燥度为 $33$ ;春夏季多大风、风沙天气,7级以上的大风日有 $10\text{ d}$ 左右。

且末县境内的河流均发源于昆仑山和阿尔金山北麓。水源主要来自冰雪融水、山区降水和地下泉水等。主要有8条山溪性河流,年总径流量 $16.5\text{ 亿 m}^3$ ,地下水补给 $13.91\text{ 亿 m}^3$ ,其中车尔臣河水量最多,多年平均径流量 $5.6\text{ 亿 m}^3$ ,占全区总径流量的 $33.3\%$ ,是且末绿洲工农业生产中利用最多的一条河流,其他河流处于未开发状态。水是绿洲最主要的资源,水的分布决定了绿洲范围,而水量的多少和水资源的开发利用决定了绿洲的现状发展及动态变化<sup>[13]</sup>。

且末县是一个以农业经济为主体的绿洲灌溉农业县,县辖1个镇、11个乡(3个牧业乡)、1个良种场、2个国营牧场、2个农业综合开发区。且末绿洲是全县主要的人类活动及农业活动场所,是政治、文化、经济和交通的中心。该县自然资源丰富,光照条件很好,有利于绿洲实现以效益为中心的绿色生态农业可持续发展<sup>[14]</sup>。

新疆水资源的空间分布不均衡是一种普遍情况,且末县也不例外。且末绿洲位于世界上第二大沙漠塔克拉玛干沙漠的东北部,该绿洲周围被荒地和沙漠环绕;再加上且末绿洲是个隔离于周围绿洲的典型的孤独绿洲,这样的特殊环境形成了该绿洲独特的水文特征,生态脆弱,气候极端干旱,降水稀少,蒸发剧烈,决定了且末绿洲规模与该地区社会经济发展跟水资源有密切联系的特点,即水资源是该地区的开发和社会经济发展的决定因素。

## 2 适宜绿洲规模研究

20世纪90年代后,适宜绿洲规模的定义出现,两个具有代表性的适宜绿洲规模模型也被突出,一个是水量平衡模型,另一个是水热平衡模型,并被应用于实例研究。1990年陈昌毓首次提出了适宜绿洲规模的水量平衡模型,在确定单位面积绿洲和耕地生态需水量的基础上,采用水量平衡法对河西走廊石羊河、黑河和疏勒河三流域的14个县市适宜绿洲规模和适宜耕地面积进行了计算。适宜绿洲规模模型基本上也在这个时期被提出。

进入21世纪后,有关绿洲规模的研究不断深入,方兴未艾。王忠静等提出了适宜绿洲规模的水热平衡模型,根据生态的水热平衡原理,建立了评价绿洲水热平衡的指标,提出了适宜绿洲规模的水热平衡计算公式,并将其应用于河西走廊的石羊河、黑河和疏勒河流域。随后,郭铭和李新以河西走廊酒泉绿洲为研究对象,采用水量平衡法计算酒泉绿洲1986年和2000年适宜绿洲规模和适宜耕地面积,并在此基础上套用了绿洲规模的安全系数。黄领梅在考虑生态

和环境要求的基础上利用水热平衡法,经历了绿洲分层结构,对塔里木河流域的和天河绿洲适宜规模和适宜灌溉面积进行了研究。陈小兵等以新疆塔里木盆地渭干河灌区为例,在考虑恢复渭干河下游荒漠植被的需要和灌区引水实际情况的基础上,采用水量平衡法和水热平衡法计算了灌区适宜绿洲与耕地面积。王根绪等以黑河流域额济纳绿洲为例,预测了不同供水条件下额济纳绿洲面积的动态变化,并计算出了实现绿洲不同目标情况下需要的来水量。

## 2.1 适宜绿洲规模研究方法

绿洲是基于荒漠背景下的“湿岛”、“绿岛”。确定其规模时,须采用能反映该区域特征的水热平衡指标。王忠静等根据生态系统的水热平衡原理,提出评价绿洲水热平衡的指标绿洲绿色指数(绿度) $H_0$ ,并在此基础上建立了适宜绿洲规模的水热平衡模型。

2.1.1 水资源对绿洲稳定性的影响 水是干旱区绿洲稳定的基础和依据,水资源的开发利用决定了绿洲的现状发展及动态变化。有学者认为绿洲趋于稳定的规模与绿洲需水之间存在一种定量的关系,如何衡量水资源的消耗与绿洲系统的稳定,可以依照王忠静

等人根据生态的水热平衡原理,建立的评价绿洲水热平衡指标  $H_0$  用以评价绿洲的稳定性状况<sup>[15]</sup>。

$$H_0 = \frac{W - W_1 + A_n \cdot r}{ET_0 \cdot A_n} \quad (1)$$

式中: $W$ ——绿洲区年均净客水消耗量(亿  $m^3$ ),也即其客水消耗量,从水资源规划意义上,是分配给绿洲的客水额度; $W_1$ ——绿洲区内年均工业和人畜净耗水量(亿  $m^3$ ),对绿洲植被生长无贡献,应从水热平衡中扣除; $A_n$ ——现有绿洲面积( $km^2$ ); $r$ ——绿洲区内年降水量(mm); $ET_0$ ——按彭曼公式计算的参考作物蒸腾量(mm)。

$H_0$  是荒漠中绿洲区的实际水分条件与热量条件的相对平衡分析,既从绿洲内部反映绿洲生态的进化与退化的方向或者绿洲扩张与萎缩的趋势,也从区域总体角度反映绿洲景观的“绿度”或稳定度,是反映水热平衡关系的中小尺度指标。 $H_0$  越大,绿洲绿色生态受水分的胁迫越小,绿洲稳定性越高,反之亦然,因此称  $H_0$  为绿色指数或绿洲稳定性指数。按照天然景观特性将绿洲绿色指数及其相对于现代经济意义下的绿洲稳定度划分如表 1 所示。

表 1 绿洲稳定度划分

评价	$H_0$	可正常维持的生态景观	绿洲生态	绿洲开发利用评价
超稳定	$>1.00$	湖泊、大面积湿地和森林	异质性将增加	绿洲面积可以扩大
稳定	$0.75 \sim 1.00$	森林草原或草原	保持平衡	绿洲面积在有可靠措施下,可谨慎扩大
亚稳定	$0.50 \sim 0.75$	干草原和疏树草原	开始退化	绿洲需要较高的投入才能保持稳定
不稳定	$<0.50$	干草原	退化	必须缩小绿洲规模以保持局部稳定

对于某一特定区域,式(1)中  $ET_0$  和  $r$  即为定值, $W_1$  的变化暂不考虑,则该绿洲的稳定性就取决于客水量与绿洲规模的匹配。

2.1.2 绿洲适宜规模 由于绿洲植被并不是“参考作物”,有天然和人工的乔木、灌木、草本植被以及各种种植作物,其不受水分胁迫的腾发量与参考腾发量不同,因此,要将参考腾发量进行修正,以符合绿洲植被的实际腾发量。借鉴作物灌溉中的作物系数概念,引入植物系数  $K_p$ 。这里  $K_p$  为绿洲内主要作物的综合作物系数,包括种植作物、树木、草地及天然植被。许多研究表明,多数种植作物最佳产量时的水分腾发量均小于其最大腾发量。因此,对于干旱区天然绿洲改造和人工绿洲建设的规划,植物水分腾发量还应进一步修正。进一步修正从整体角度看,相当于设计整个绿洲的“绿度”维持在适宜的水平  $H_0^*$ 。由上述分析,适宜绿洲规模的计算公式为<sup>[15]</sup>:

$$A = \frac{W - W_1}{(ET_0 - r) \cdot K_p \cdot H_0^*} \quad (2)$$

式中: $A$ ——适宜绿洲面积; $K_p$ ——绿洲内主要植物

的综合植物系数,是反映植物本身生物学性状对需水量的影响参数,可以参照各种作物系数,加权平均; $H_0^*$ ——绿洲内设计的“绿度”,主要考虑绿洲周围的自然环境、人工维护与干扰的程度和绿洲规模本身影响。自然环境恶劣,绿洲规模较小,宜采用较大值,反之亦然,为维护绿洲稳定, $H_0^*$  一般在  $0.75 \sim 1$  取值;其它符号意义同式(1)。

2.1.3 绿洲适宜灌溉耕地面积 在确定了绿洲的适宜规模基础上,适宜灌溉耕地面积的计算可表示为<sup>[15]</sup>:

$$A_c = A \cdot K_t \quad (3)$$

式中: $A_c$ ——适宜耕地面积( $km^2$ ); $A$ ——适宜绿洲面积; $K_t$ ——土地耕地利用系数(耕地占绿洲总面积的百分比),考虑绿洲防护林、渠系、道路及居民地等占地,不宜大于 70%。

绿洲的稳定及其发展在一定程度上还取决于外围环境状态。一般绿洲均存在 3 层结构,即外围、边缘与内部。由于所处层次不同,绿洲的绿度与植被系数均有较大差异。如外围灌草带或防风固沙林带,由

于自然条件恶劣,即使在充分灌溉条件下,其绿度与稳定度也均无法与绿洲内部相一致;绿洲均依赖地表径流浇灌,在其上游边缘由于受山区保护,一般不需要建设防护林带,多为戈壁或沙漠。绿洲分布之所以具有分层结构,在于其各部分植被的类型、组成、生长状态等不同。绿洲良好的结构必须由林木、草地和农田之间的适当比例作为基本骨架。根据这一概念以及西北干旱区绿洲结构,林、草地面积宜占绿洲面积的8%~15%。

## 2.2 且末绿洲适宜规模分析

且末绿洲位于车尔臣河冲积三角洲地带,整个绿洲呈狭长的沿水系分布的条带状。且末绿洲年均净客水消耗量由地表水资源构成,绿洲多年引用的地表水主要来源于车尔臣河(其它河流由于水体矿化度相对比较高、水质较差、季节变化大,现阶段处于未开发利用状态)。现状年(2009年),灌区主要从革命大渠、第二分水枢纽引水,车尔臣河且末水文站革命大渠合成断面平水年年径流量5.113亿 $\text{m}^3$ ,偏枯年年径流量4.309亿 $\text{m}^3$ 。在现状工程条件下,革命大渠引水枢纽、第二分水枢纽实际多年引水量在2.3亿 $\text{m}^3$ 左右。且末县年总储量为21.53亿 $\text{m}^3$ ,地表径流量为8.258亿 $\text{m}^3$ ,地下水量7.94亿 $\text{m}^3$ ,车尔臣河流域平原区地下水补给量为3.6亿 $\text{m}^3$ ,可开采量1.1亿 $\text{m}^3$ ,开采潜力较大,主要是在县城和少数乡村打井供人畜饮用,少量用于灌溉,目前地下水年开采491.28万 $\text{m}^3$ 。灌区内虽引水量很大,但多数通过灌溉、渠道和田间下渗到地下,灌区实际净耗水量不多,其净消耗水资源 $W$ 为3.2708亿 $\text{m}^3$ ;绿洲内工业化水平很低,年均工业和人畜净耗水量 $W_1$ 为426.0218万 $\text{m}^3$ ;地下水开采程度低,仅用于工业和人畜用水,实际没有参与水热平衡;由遥感图像可知,绿洲现有面积是992.16 $\text{km}^2$ ;年均降雨量 $r$ 为18.6mm;该区作物的蒸腾量 $ET_0$ 为642mm。

根据以上数据,将其带入式(1)计算的绿洲水热平衡的指标 $H_0$ 只有0.5358,其值在0.5~0.75之间,可见生态系统呈开始退化趋势,目前保持其稳定和生态景观全依赖于车尔臣河流域水资源的灌溉。且末绿洲内部主要种植小麦、玉米等作物,其植被系数取0.85,绿洲设计“绿度”取0.75~1,由式(2)可得且末绿洲适宜面积为609.220~812.294 $\text{km}^2$ 。通过遥感资料可知,且末绿洲现有绿洲面积为992.16 $\text{km}^2$ ,稍大于绿洲适宜面积。通过且末绿洲现有耕地面积与现有绿洲面积的百分比,可将且末绿洲的土地耕地利用系数定为0.1521,由式(3)计算出且末绿洲内部适宜灌溉的耕地面积为92.662~123.55 $\text{km}^2$ 。

通过统计年鉴可知,且末绿洲现有耕地面积为150.8873 $\text{km}^2$ ,也稍大于适宜耕地面积。

## 3 结论

(1)绿洲趋于稳定的规模与绿洲需水之间存在一种定量的关系,这种关系可以利用绿洲绿色指数或绿洲稳定性指数,简称“绿度” $H_0$ 来表示。 $H_0$ 越大,绿洲绿色生态受水分的胁迫越小,绿洲稳定性越高,反之亦然。根据王忠静等人提出的水热平衡原理,计算的且末绿洲绿度为0.5358,根据表1可看出其值在0.5~0.75范围内,属于亚稳定状态,可见生态系统呈开始退化趋势,绿洲需要较高的投入才能保持稳定。

(2)干旱区平原绿洲,应以水为中心确定绿洲规模,防止水资源不足情况下土地过度开发造成的荒漠化和沙漠化。现状年常规灌溉条件下由水热平衡数学模型计算出且末绿洲适宜规模为609.220~812.294 $\text{km}^2$ ,且末绿洲适宜耕地面积为92.662~123.55 $\text{km}^2$ 。通过资料可知,且末绿洲现有规模为992.16 $\text{km}^2$ ,超出适宜规模0.2~0.6倍,超出了水资源的承载力。现有耕地面积为150.8873 $\text{km}^2$ ,也超出了适宜耕地面积的0.2~0.6倍。

## 4 建议

随着流域经济的发展尤其是农牧业的快速发展以及人口的不断增加,当地水资源将会面临更大的压力,从生态可持续角度出发,为维持较高水平的绿洲稳定性,绿洲面积不宜再扩大。因而,需要对绿洲进行适当调整,调整农牧林比例,在适宜地区,因地制宜地实行退耕还林还草、调整农业种植结构、改进灌溉方式、推广高节水技术、降低耕地灌溉定额。修建山区水库,替代平原水库,降低平原水库的无效损耗。

(1)调整绿洲农业种植结构,发展节水产业。且末绿洲经济主要以农牧业为主,在农业内部结构中粮食作物的播种面积明显偏高,大量的劳动力、土地和水资源投入到生产周期长、附加值低的粮食作物的生产中,不仅使农业需水增加,同时极大制约了流域内经济的发展。目前对于且末绿洲,在稳定发展种植业的同时,要充分利用本地区优势,重点发展林果业和畜牧业,发展农副产品加工工业,逐步开发流域内丰富的矿产资源和天然气、石油等能源资源,大力发展以旅游业为主的第三产业,同时通过引进节水作物或节水技术大力发展节水型农业。

(2)加快径流调节工程和灌区节水工程建设。车尔臣河主要以冰雪融水补给为主,河流径流量受季节

影响较大,年内分配极不均衡,仅夏秋两季的径流量就占到全年径流总量的 74.7%。因此,修建一些径流调节工程,调节水的时空分布,以确保水资源供给和农作物免受旱涝灾害的影响。此外,由于缺少必要的节水设施和节水工程,灌区仍采用大水漫灌的浇灌方式,不仅造成水资源的巨大浪费,同时还产生土壤次生盐渍化等问题。因此应加大对节水设施与工程的投资,加快节水灌溉工程的建设,合理有效地使用水资源。

(3)提高地下水资源利用率。且末平原区地下水资源较为丰富,且水质较好。车尔臣河流域地下水补给量为 3.6 亿  $\text{m}^3$ ,其中可开采量为 1.1 亿  $\text{m}^3$ 。但目前流域内灌区主要还是依靠车尔臣河河水进行灌溉,对地下水的利用程度很低,年提取水量仅 388.06 万  $\text{m}^3$ ,为可开采地下水的 3.5%。因此,加快地下水资源开发,增加可利用水资源总量,通过开源从一定程度上缓解水资源压力。

#### 参考文献:

- [1] 陈亚宁. 新疆塔里木河流域生态水文问题研究[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 345.
  - [2] 贾宝全, 任一萍, 杨洁泉. 绿洲景观生态建设的理论思考[J]. 干旱区资源与环境, 2001, 15(1): 56-63.
  - [3] 黄岭梅. 水文要素对人类活动响应的研究: 以和田流域为例[D]. 西安: 西安理工大学, 2005.
  - [4] 张晓伟, 沈冰, 张恒. 民勤绿洲适宜规模研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2010.
  - [5] 韩德麟. 绿洲系统与绿洲地理建设[J]. 干旱区地理, 1992, 15(增刊): 67-74.
  - [6] 邓永新, 樊自立, 韩德麟. 干旱区人工绿洲规模的预测研究[J]. 干旱区研究, 1992, 9(1): 53-58.
  - [7] 汤奇成. 塔里木盆地水资源与绿洲建设[J]. 自然资源, 1989(6): 28-34.
  - [8] 姜德华, 王国清. 新疆库车绿洲灌溉农业发展模式[J]. 自然资源, 1991(6): 27-32.
  - [9] 陈昌毓. 祁连山区水资源及其对河西走廊生态环境的影响[J]. 自然资源学报, 1995, 10(3): 105-114.
  - [10] 李小明, 张希明. 塔克拉玛干南缘绿洲生态系统[J]. 干旱区研究, 1995, 12(4): 10-16.
  - [11] 王忠静, 王海峰, 雷志栋. 干旱内陆河区绿洲稳定性分析[J]. 水利学报, 2002(5): 26-30.
  - [12] 阿布都热合曼·哈力克, 瓦哈甫·哈力克, 卡正富. 且末绿洲水资源与经济社会耦合系统可持续发展的量化分析[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(4): 26-31.
  - [13] 张鹏, 徐中兵, 赵振亮, 等. 基于模糊优选模型的区域可持续发展研究[J]. 水土保持研究, 2009, 16(4): 186-191.
  - [14] 杜晓梅, 瓦哈甫·哈力克, 于茜, 等. 且末绿洲系统稳定性影响因子初探[J]. 农业系统科学与综合研究, 2007, 23(4): 452-458.
  - [15] 陈亚宁. 新疆塔里木河流域生态水文问题研究[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- 
- (上接第 239 页)
- [3] 张洪玲, 李国春, 王冬妮, 等. 科尔沁地区荒漠化状况的遥感监测[J]. 农业网络信息, 2006(2): 42-44.
  - [4] 杜子涛, 占玉林, 王长耀, 等. 基于 MODIS NDVI 的科尔沁沙地荒漠化动态监测[J]. 国土资源遥感, 2009(2): 14-18.
  - [5] 包慧娟, 包国权, 田亮, 等. 科尔沁沙地沙漠化动态研究: 以科尔沁左翼中旗为例[J]. 内蒙古大学学报: 自然科学版, 2004, 35(2): 172-176.
  - [6] 吴薇. 近 50 a 来科尔沁地区沙漠化土地的动态监测结果与分析[J]. 中国沙漠, 2003, 20(6): 646-651.
  - [7] 李文华, 李飞. 中国森林资源研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 1996.
  - [8] 中华人民共和国林业部. 中国林业资源报告[M]. 北京: 中国林业出版社, 1996.
  - [9] 崔国发. 固沙林水分平衡与植被建设可适度探讨[J]. 北京林业大学学报, 1998, 20(6): 89-94.
  - [10] 李新荣, 马凤云. 沙坡头地区固沙植被土壤水分动态研究[J]. 中国沙漠, 2001, 21(3): 217-221.
  - [11] 赵文智, 刘志民. 奈曼沙区植被土壤水分状况的研究[J]. 干旱区研究, 1992, 9(3): 40-44.
  - [12] 秦富仓, 姚云峰. 固阳县土地资源适宜性评价研究[J]. 水土保持研究, 1998, 5(3): 22-23.
  - [13] 陈百明, 周小平, 胡业翠, 等. 土地资源学[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2008.
  - [14] 唐宏, 盛业华, 陈龙乾. 基于 GIS 的土地适宜性评价中若干技术问题[J]. 中国土地科学, 1999, 13(6): 36-38.
  - [15] 内蒙古统计局. 内蒙古统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2010.