

开都河下游灌区土壤盐渍化动态变化研究

李新国^{1,2}, 樊自立³, 李会志^{1,2}, 任云霞^{1,2}

(1. 新疆师范大学 地理科学与旅游学院, 乌鲁木齐 830054; 2. 新疆干旱区湖泊环境与资源实验室, 乌鲁木齐 830054; 3. 中国科学院 新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011)

摘要: 土壤盐渍化是影响绿洲农业生产的重要因素之一, 土壤盐渍化动态变化的研究对于评价与治理干旱区绿洲土壤盐渍化具有重要意义。以新疆焉耆盆地开都河下游灌区为研究区, 基于 GIS 平台, 以 1973 年与 2008 年两个时期的遥感影像数据作为基本信息源, 结合野外实地调查分析, 对研究区的土壤盐渍化现状、程度与分布特征进行解译。研究表明: 近 35 a 来, 研究区盐渍化土地面积有所减少, 盐渍化土地面积由 1973 年的 1 587.00 km², 下降到 2008 年的 1 513.40 km², 盐渍地面积减少了 73.60 km², 平均每年减少 2.04 km², 其中中度盐渍化土地减少幅度最大; 耕地、林地、荒地 3 种土地利用类型的总盐量平均值与 pH 值依次递增; 土壤盐渍化程度有所降低。

关键词: 土壤盐渍化; 动态变化; 遥感; 绿洲; 开都河下游灌区

中图分类号: S156.4; TP79

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)03-0064-04

Study on the Dynamic Changes of Soil Salinization in the Downstream of Kaidu River Irrigation Areas, Xinjiang

LI Xin-guo^{1,2}, FAN Zi-li³, LI Hui-zhi^{1,2}, REN Yun-xia^{1,2}

(1. School of Geographic Sciences and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China; 2. Xinjiang Key Laboratory of Lake Environment and Resources in Arid Zone, Urumqi 830054, China; 3. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China)

Abstract: Soil Salinization is one of the factors impacting the agriculture development in the oasis, so it is of great importance for evaluating and treating the salinization in the oasis of the arid regions to research the dynamics of soil salinization. Taking the downstream of Kaidu River irrigation areas located in the Tarim Basin, Xinjiang as an example, based on GIS platform, taking the remote sensing images in 1973 and in 2008 as the main information, by interpreting the images with combination of the field survey, the databases are built, and the status quo, degree and distribution characteristics of the soil salinization were analyzed. Some results were obtained as follows: the saline land had decreased in area and degree during the period from 1973 to 2008. The area of saline land had decreased from 1 587.00 km² in 1973 to 1 513.40 km² in 2008, and the decreased area was 73.60 km², decreased by 2.04 km² per year on average. While the mediate-degree and heavy-degree of saline land area had decreased by 154.5 km², the light-degree of saline land area had increased by 80.9 km². The main lands of soil salinification were near the low-lying regions, the lakeside and the strand of rivers northern Bosten Lake, and soil salinity was greater in natural areas than in forest areas and farmland areas. The degree was weakened, but the saline land had constituted a serious threat to the ecosystem environment and oasis economic development, thus, more concern should be given to it.

Key words: soil salinization; dynamic changes; remote sensing; oasis; irrigation area of the downstream of Kaidu River

土壤盐渍化是干旱区农业发展的主要障碍,亦是影响绿洲生态环境稳定的重要因素,干旱区绿洲的稳

定性外受过渡带影响,内受土壤盐渍化影响^[1]。土壤盐渍化既涉及资源和生态环境问题,又与区域农业可

持续发展息息相关,同时盐渍地还是一种重要的土地资源,对其科学合理开发利用,具有重大的社会经济价值^[2]。位于新疆焉耆盆地的开都河下游灌区是典型的人工绿洲区域,由于前期盲目地扩大耕地和长期大量引用地表水进行不合理的灌溉,致使灌区地下水位普遍升高,灌区土壤盐渍化日趋严重,使部分耕地退化而弃耕^[3,4]。

土壤盐渍化的发生受区域性因素的制约和影响,其盐分组成及离子比例呈现地域性特点,积盐、脱盐过程存在差异^[5]。樊自立等对近50 a来中国西部耕地土壤盐渍化发展变化做出评估,研究表明,大部分耕地是脱盐不稳定或脱盐积盐反复型,土壤盐渍化的潜在危害仍然很大,并以新疆为例,用类比法对耕地土壤盐渍化今后发展变化作了预测,还研究了全球气候变化对土壤盐渍化的可能影响^[6]。田长彦等论述了新疆土壤盐渍化形成的地质、地貌、气候背景以及土壤盐渍化现状,表明新疆的土壤盐渍化问题始终存在^[1]。张飞等以新疆渭干河-库车河三角洲绿洲为研究区,利用统计软件对土壤中可溶性盐离子做出了分析,并分析了该绿洲盐渍化土壤因子的特征^[7]。王玉刚等运用遥感与GIS技术,结合地统计学方法研究了新疆三工河流域下游阜北绿洲近23 a来表层土壤(0-20 cm)盐分动态特征及其主导因素^[8]。盐渍土是一种重要的土地资源,合理地开发利用盐渍土具有重大的经济价值和社会意义。因此,开展土壤盐渍化的程度和分布范围及其组成特征的研究,可以为区域盐渍化土壤的合理开发利用提供理论依据。

遥感与GIS技术已被广泛应用于土地退化的研究,特别是对区域盐渍地的调查、动态监测非常有效^[9]。应用遥感与GIS技术监测区域土壤的盐渍化属于面上的监测,可以及时、准确、迅速、全面地获取区域土壤盐渍化程度、类型、特征和分布,有利于对区域土壤盐渍化发展和演变机理的研究。本文以两个不同时期的遥感图像为基本数据源,结合野外实地调查与实验分析,在GIS技术支撑下,研究开都河下游灌区土壤盐渍化的类型、程度、面积与分布特征,分析其土壤盐渍化动态变化,对于典型绿洲区域盐渍化土地因地制宜地改良和合理利用,保障干旱区绿洲社会经济的可持续发展,具有重要的社会意义与实践价值。

1 研究区概况

开都河下游灌区位于新疆焉耆盆地西北部,行政区域上包括和静县、和硕县、焉耆县、博湖县及新疆生产建设兵团农二师22团、23团、24团、25团、27团和223团,地理位置为 $85^{\circ}42' - 88^{\circ}00' E$, $41^{\circ}35' - 42^{\circ}30'$

N。灌区所在的焉耆盆地地势总体呈现为四周向盆地倾斜的形态,水系顺地势单向发育,从北部或西北部流向博斯腾湖,盆地四周山区富含钠盐,山前带的第三纪和侏罗纪岩层富含石膏等可溶性盐,为焉耆盆地开都河下游灌区土壤盐渍化的形成提供了物质条件;气候特征表现为热量充足,日照长,降水稀少,蒸发强烈。年均气温 $8.0 \sim 8.6^{\circ}C$,夏季月平均气温 $22.8^{\circ}C$,冬季月平均气温 $-9.0^{\circ}C$,绝对最高气温 $39.0^{\circ}C$,最低气温 $-30.4^{\circ}C$, $\geq 10^{\circ}C$ 的积温 $3414.4 \sim 3694.1^{\circ}C$,无霜期 $176 \sim 200 d$;年平均降水量 $50.7 \sim 79.9 mm$,蒸发量 $2000.5 \sim 2449.7 mm$,蒸降比接近 $40:1$,属于南北疆过渡的大陆荒漠性气候^[10]。灌区内土壤类型主要有草甸土、沼泽土、灌耕潮土、盐土、棕漠土、风沙土等;自然植被多为芨芨草、芦苇、胡杨等,人工植被以农作物、果林和田间防护林为主^[11]。区内地下水资源较为丰富,地下水可开采量为 $9.05 \text{亿 m}^3/a$,地下水位多在 $1.0 \sim 2.0 m$,地下水化学特征具有较强的地带性分异规律^[12]。

2 数据来源和研究方法

遥感数据采用研究区的Landsat数据与CBERS-02数据,包括1973年3月MSS影像与2008年3月CBERS-02 CCD数据,均为晴空资料(云量 $< 5\%$)。地理底图采用国家测绘局编制的 $1:25$ 万幅数字地形图,土地利用图采用焉耆盆地 $1:10$ 万土地利用图。在ERDAS IMAGINE软件平台上进行图像的几何辐射校正、坐标转换等技术处理,MSS影像取3,2,1波段合成假彩色图像,CBERS-02 CCD数据取第4,3,2波段合成假彩色图像。在解译之前,进行野外调研,结合土地利用图等非遥感数据建立各种类型盐渍地的解译标志,取样并测定地下水矿化度、土壤含盐量。在分析前人的各种分类体系并结合本区域特征的基础上,确定盐渍化土地分类系统,本文采用的分类系统为非盐渍化、轻度盐渍化、中度盐渍化、重度盐渍化(含盐土)。

对两个时期遥感影像上盐渍地信息的识别与提取,采用目视解译和计算机自动分类相结合的方法。通过野外定点进行检验与校正,对分类错误进行人工纠正。在GIS软件ARCGIS 8.7的支持下,对解译结果进行处理,得到土地盐渍化现状空间分布图(附图3),并汇总、统计,建立研究区土地盐渍化空间数据库。

3 结果与分析

3.1 盐渍地面积现状与分布特征分析

对研究区两个时期的影像进行遥感解译结果统

计,得到研究区两期的土壤盐渍化土地现状数据(表 1)。1973 年,研究区盐渍地面积 1 587.00 km²,占研究区总面积的 45.21%,其中重度盐渍地面积 201.70 km²,占研究区土地总面积的 5.75%,中度盐渍地面积 448.70 km²,占研究区土地总面积的 12.78%,轻度盐渍地面积 936.60 km²,占研究区土地总面积的 26.68%;2008 年,盐渍地总面积 1 513.40 km²,占研究区土地总面积的 43.11%,其中重度盐渍地面积 187.40

km²,占研究区土地总面积的 5.34%,中度盐渍地面积 308.50 km²,占研究区土地总面积的 8.79%,轻度盐渍地面积 1 017.50 km²,占研究区土地总面积的 28.99%。结合历史资料与野外实地调查,研究区内中度盐渍地、轻度盐渍地、非盐渍地呈斑块状镶嵌分布,重度盐渍地主要分布在开都河下游排碱渠附近和博斯腾湖北岸湖滨区,这与研究区地貌与地形特征、地表水系分布以及人类的农业生产活动密切相关。

表 1 研究区盐渍化土地现状及对比

地类	1973 年		2008 年		1973-2008 年	
	面积/km ²	百分比/%	面积/km ²	百分比/%	面积变化/km ²	年增长率/%
重度盐渍化	201.70	5.75	187.40	5.34	-14.30	-0.20
中度盐渍化	448.70	12.78	308.50	8.79	-140.20	-0.87
轻度盐渍化	936.60	26.68	1017.50	28.99	80.90	0.24
合计	1587.00	45.21	1513.40	43.11	-73.60	-0.13

注:百分比为盐渍化土地面积占研究区面积的百分比。

3.2 土壤盐渍化类型现状与分布特征

土壤盐渍化类型的分类标准采用《新疆农业技术手册》的土壤盐渍化类型区分表(按阴离子毫克当量百分数比值)和土壤盐渍化程度分级标准,对研究区不同区域的表层 0-30 cm 土壤采集 48 个样品,对其土壤盐分进行分析,并对开都河河间地土壤积盐情况进行调研及耕地、林地与荒地 3 种不同土地利用类型的土壤含盐量进行分析,分类别和级别进行统计(表 2-4)。

表 3 开都河河间地土壤积盐情况

项目	河堤剖面	老河漫滩剖面	河间低地剖面	河间地剖面
水位/m	1.0~2.0	1.0~2.0	1.0~2.5	1.0~2.5
矿化度/(g·L ⁻¹)	0.87	2.20	1.18	19.37
水化学类型	SO ₄ -HCO ₃	SO ₄ -HCO ₃	Cl-SO ₄	Cl-SO ₄
土壤盐化情况	非盐化	盐化草甸土	草甸盐土	典型盐土

结果表明,2008 年,区内盐渍地类型主要为氯化物-硫酸盐型盐渍化,占 66.96%,其中重度盐渍化占 38.39%;其次为硫酸盐-氯化物型,占 15.18%,其中重度盐渍化占 11.61%;灌区潜水埋藏浅,地下水矿化度愈高,地下水向土壤输送的盐分愈多,表层土壤积盐愈重;耕地总盐量平均值与 pH 值分别为 1.666%,8.326,林地总盐量平均值与 pH 值分别为 5.737%,8.463,荒地总盐量平均值与 pH 值分别为 6.317%,8.725。耕地土壤盐分组成主要为 SO₄²⁻, Mg²⁺ 和 K⁺+Na⁺,占土壤含盐总量的 84.267%,且含量变化幅度大,而 HCO₃⁻, Cl⁻ 和 Ca²⁺ 的含量相对较少。林地和荒地中 SO₄²⁻ 的含量相对耕地有明显减少,其减少幅度分别为 20.71% 和 20.40%,而 Cl⁻ 的含量则有明显增加,其增加幅度分别为 114.34% 和 122.43%。此外,林地和荒地中的 HCO₃⁻ 和 Ca²⁺ 含量均比耕地有所减少, Mg²⁺ 的变化不明显。

表 2 2008 年研究区盐渍化分类分级统计特征 %

盐渍化类型	轻盐渍化	中度盐渍化	重度盐渍化	总比例
氯化物型	4.47	3.57	3.57	11.61
硫酸盐-氯化物型	2.68	0.89	11.61	15.18
氯化物-硫酸盐型	17.86	10.71	38.39	66.96
硫酸盐型	2.68	0.89	2.68	6.25

3.3 土壤盐渍化动态分析

分析 1973 年和 2008 年研究区土壤盐渍化土地遥感解译数据,可以发现研究区土壤盐渍化动态趋势为中重度盐渍化土地面积减少,土壤盐渍化程度亦有所降低。

3.3.1 土壤盐渍化土地面积减少 分析表 1 数据可知,1973-2008 年期间,研究区盐渍化土地面积有所减少。近 35 a 来,盐渍化土地面积净减少 73.60 km²,盐渍化土地面积比例减少 2.10%,其中重度盐渍化土地面积减少 14.30 km²,中度盐渍化土地面积减少 140.20 km²,但轻度盐渍化土地面积增加了 80.90 km²。重度与中度盐渍化土地面积有所减少的主要区域分布在博斯腾湖北部湖滨的西北部区域和已建立较好的水利排灌系统的开都河河口区域,而轻度盐渍化土地面积有所增加的区域呈斑块状分布在现有的排灌系统较差的地势低洼的部分农田区域,主要原因是由于不合理的农田灌排措施,诸如大水漫灌,排水不畅等,引起农田土壤次生盐渍化。

表 4 3 种不同土地利用类型土壤盐分组统计特征值

类型	统计值	HCO ₃ ⁻ / %	Cl ⁻ / %	SO ₄ ²⁻ / %	Ca ²⁺ / %	Mg ²⁺ / %	K ⁺ + Na ⁺ / %	总盐量 / %	pH 值
耕地	平均值	0.042	0.134	0.657	0.086	0.375	0.372	1.666	8.326
	标准差	0.020	0.167	0.434	0.074	0.354	0.379	1.428	0.502
	方差	0.000	0.028	0.188	0.005	0.126	0.144	0.491	0.252
	极差	0.082	0.737	1.642	0.237	1.402	1.745	5.845	2.316
	最小值	0.022	0.003	0.288	0.011	0.047	0.008	0.378	7.124
	最大值	0.104	0.740	1.930	0.248	1.448	1.734	6.204	9.440
	所占比例	2.513	8.043	39.444	5.177	22.480	22.343		
	林地	0.085	0.989	1.794	0.125	1.299	1.444	5.737	8.463
标准差	0.075	1.776	2.942	0.106	2.152	2.643	9.696	0.553	
方差	0.006	3.156	8.657	0.011	4.633	6.987	23.450	0.306	
极差	0.220	5.725	9.590	0.283	6.835	8.707	31.360	1.757	
最小值	0.027	0.000	0.370	0.017	0.044	0.193	0.651	7.891	
最大值	0.247	5.725	9.960	0.300	6.879	8.900	32.011	9.648	
所占比例	1.484	17.239	31.276	2.181	22.641	25.179			
荒地	平均值	0.045	1.130	1.983	0.143	1.338	1.678	6.317	8.725
	标准差	0.018	1.872	2.386	0.140	1.818	2.452	8.685	0.462
	方差	0.000	3.504	5.694	0.020	3.304	6.011	18.533	0.213
	极差	0.064	6.374	7.925	0.412	6.417	8.204	29.397	1.683
	最小值	0.017	0.016	0.283	0.002	0.052	0.005	0.375	8.147
	最大值	0.081	6.390	8.208	0.414	6.469	8.155	29.718	9.930
	所占比例	0.712	17.890	31.398	2.265	21.175	26.560		

3.3.2 土壤盐渍化程度降低 研究区土地盐渍化的变化还表现在土壤盐渍化程度的减缓, 具体表现在中度和重度盐渍化土地面积减少。对土壤盐渍化程度的评价主要依据土壤类型、植被类型和盐碱斑占基质面积的比例来判定^[2]。其中, 土壤类型由 2007 年焉耆盆地土壤调查报告资料可以获得, 盐碱斑数量和植被类型可以由遥感影像解译, 结合前人的研究成果与

典型样区调查确定区域土壤盐渍化程度的评价指标(表 5)。

对比图 2 与图 1, 近 35 a 来, 重度盐渍化和中度盐渍化程度有所减缓, 重度与中度盐渍地面积有所减少, 净减少面积 154.50 km²。实地调查表明, 通过节水灌溉、合理开发地下水与完善灌排系统等措施可有效地降低区域土壤盐渍化的程度。

表 5 研究区土壤盐渍化程度评价指标^[2]

类型	轻盐渍化	中度盐渍化	重度盐渍化
土壤类型	碱化草甸土	草甸盐碱土	碱土、盐土
植被类型	农业作物、杂草类	杨树、芦苇	碱蓬、碱蒿
盐碱斑占面积比例 / %	< 15	15~ 30	> 30

4 结论

(1) 近 35 a 来, 开都河下游灌区的轻度盐渍化面积增加, 中重度盐渍化土地面积减少, 但总体上盐渍化土地面积有所减少, 盐渍化土地面积减少了 73.60 km², 盐渍化土地面积比例减少 2.10%; 盐渍化程度亦有所降低, 重度盐渍化土地面积净减少 14.30 km², 中度盐渍化土地净减少面积 140.20 km², 中度土壤盐渍化土地减少幅度最大。通过节水灌溉、合理开发地下水与完善灌排系统等措施可以有效地降低区域土壤盐渍化的程度。

(2) 土壤盐渍化土地类型主要为氯化物-硫酸盐型盐渍化, 占 66.96%, 其中重度盐渍化占 38.39%;

其次为硫酸盐-氯化物型, 占 15.18%, 其中重度盐渍化占 11.61%。富含可溶性盐的母岩和母质是形成该区域盐渍土的基础, 地表径流是盐渍土形成的动力之一。土壤盐渍化的类型与区域的地貌与地形特征、地表水系分布、成土母质以及人类的经济活动等因素密切相关。

(3) 耕地、林地、荒地 3 种土地利用类型的总盐量平均值与 pH 值依次递增。近 35 a 来, 人为活动和自然因素对研究区的土壤盐渍化都起到了一定的作用; 耕地的土壤盐渍化程度有所降低, 其中起主导作用的为人类经济活动的影响。

0.27, 这表明该区景观由少数几个主要的景观类型控制的程度有所降低, 景观格局中各景观类型所占比例的差异减少。景观均匀度指数增加了 0.13, 景观斑块密度略有减少, 表明破碎化程度有所加剧。

(3) 近 17 a 来, 五陵原地区景观格局主要表现为耕地受政策因素导向向林地、果园及城镇建设、居民点用地转化。因此, 人为干预引起土地利用方式的改变, 是景观多样性及空间格局变化的主要驱动力。

(4) 随着果园面积的扩大和城市化发展, 有些古陵已处于果园和城市建筑的包围中, 而部分乡村已经扩展到帝陵区, 这极大地破坏了五陵原原始的古陵寝景观结构, 影响了旅游者的旅游价值体验, 因而在以后的土地利用规划中, 应为古陵寝划出合理的保护范围, 以加强帝陵遗产资源的保护, 为区域经济社会发展服务。

参考文献:

- [1] 何东进, 洪伟, 胡海清. 景观生态学的基本理论及中国景观生态学的研究进展[J]. 江西农业大学学报, 2003, 25(2): 276-282.
- [2] 肖秀珍, 高峻, 常禹, 等. 景观生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [3] O' Neill R V, Krummel J R, Gardner R H, et al. Indices of landscape pattern[J]. *Landscape Ecol.*, 1988, 1: 153-162.
- [4] Turner M G, Gardner R H. *Quantitative Methods in*

Landscape Ecology [M]. New York: Springer-Verlag, 1990: 3-16.

- [5] Riitters K H, O' Neill R V, Hunsaker C T, et al. A factor analysis of landscape pattern and structure metrics[J]. *Landscape Ecol.*, 1995, 10: 23-39.
- [6] 邬建国. 景观生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [7] 郝仕龙, 李壁成, 赵小敏, 等. 黄土丘陵小流域景观空间格局动态分析: 以固原市上黄试区为例[J]. *中国水土保持科学*, 2005, 3(2): 107-112.
- [8] 傅伯杰. 黄土区农业景观空间格局分析[J]. *生态学报*, 1995, 15(2): 113-120.
- [9] 陈利顶, 傅伯杰, 王军. 黄土丘陵区典型小流域土地利用变化研究[J]. *地理科学*, 2001, 21(1): 46-51.
- [10] 王晓燕, 徐志高, 杨明义, 等. 黄土高原小流域景观多样性动态分析[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(12): 273-278.
- [11] 胡震峰. 土地利用与景观格局动态变化研究[J]. *科技情报开发与经济*, 2003, 13(12): 143-145.
- [12] 咸阳服饰文物事业管理局. 咸阳市文物志[M]. 西安: 三秦出版社, 2008.
- [13] 王继夏, 孙虎, 李俊霖, 等. 秦岭中山区山地景观格局变化及驱动力分析: 以宁陕县长安河流域为例[J]. *山地学报*, 2008, 26(5): 546-552.
- [14] 孟涛, 王明常, 梁立恒, 等. 长白山生态景观格局动态变化分析[J]. *世界地质*, 2008, 27(3): 338-345.
- [15] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 等. 景观生态学原理及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [16] 傅伯杰, 陈利顶. 景观多样性的类型及其生态意义[J]. *地理学报*, 1996, 51(5): 454-462.

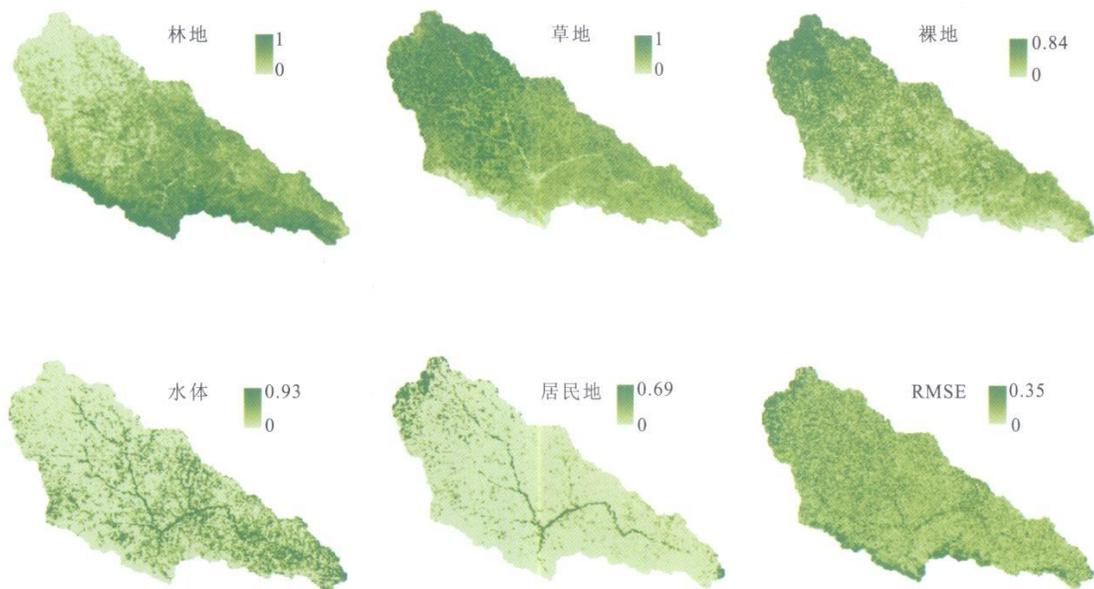
(上接第 67 页)

参考文献:

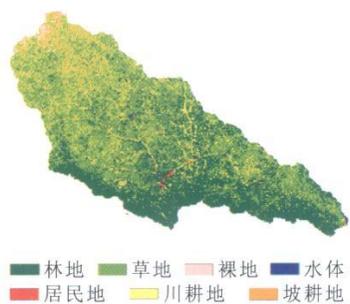
- [1] 田长彦, 周宏飞, 刘国庆. 21 世纪新疆土壤盐渍化调控与农业持续发展研究建议[J]. *干旱区地理*, 2000, 23(2): 176-181.
- [2] 乔木, 田长彦, 王新平. 新疆灌区土壤盐渍化及改良治理模式[M]. 乌鲁木齐: 新疆科学技术出版社, 2008: 1-31.
- [3] 陈模, 杨绍斌. 焉耆盆地盐渍化土壤的形成与改良[J]. *国土与自然资源研究*, 1992(3): 46-49.
- [4] 王玉宝, 李涛, 金英春. 浅析新疆焉耆盆地土壤次生盐渍化治理途径[J]. *水文地质工程地质*, 2004(6): 99-101.
- [5] 毛任钊, 田魁祥, 松本聪, 等. 盐渍土盐分指标及其与化学组成的关系[J]. *土壤*, 1997(6): 326-330.
- [6] 樊自立, 马英杰, 马映军. 中国西部地区耕地土壤盐渍化评估及发展趋势预测[J]. *干旱区研究*, 2002, 25(2): 97-

102.

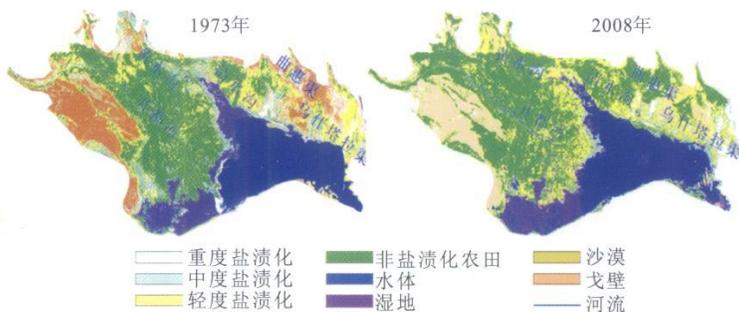
- [7] 张飞, 丁建丽, 塔西甫拉提·特依拜, 等. 干旱区典型绿洲土壤盐渍化特征分析: 以渭干河-库车河三角洲为例[J]. *草业学报*, 2007, 16(4): 34-40.
- [8] 王玉刚, 肖笃宁, 李彦. 干旱内流区尾间绿洲土壤积盐的动态特征[J]. *中国沙漠*, 2009, 29(4): 604-610.
- [9] Metternicht G I, Zinck J A. Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 85: 1-20.
- [10] 卢丹. 新疆焉耆盆地水资源可持续利用[D]. 北京: 中国地质大学, 2007.
- [11] 马世忠. 塔里木河流域资源植物利用与生态经济技术[M]. 乌鲁木齐: 新疆科学技术出版社, 2005: 18-22.
- [12] 刘延锋, 靳孟贵, 金英春, 等. 新疆焉耆盆地土壤盐渍化特征分析[J]. *水土保持通报*, 2004, 24(1): 51-52.



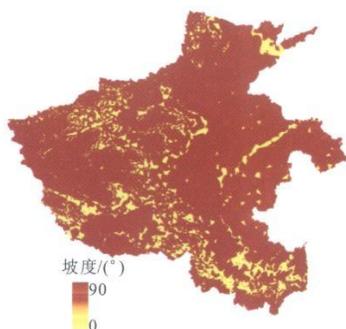
附图1 延河流域不同土地覆盖类型的丰度图和均方根误差RMSE



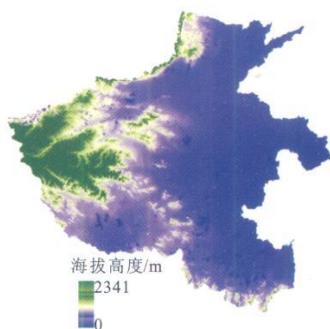
附图2 延河流域土地覆盖类型图



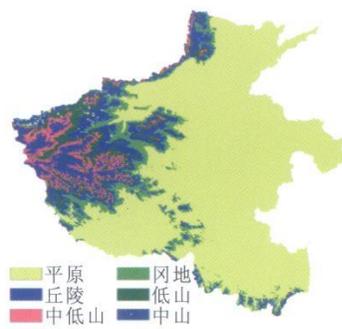
附图3 1973年 Landsat MSS与 2008年 CBERS影像分类图



附图4 河南省坡度图



附图5 河南省海拔高度图



附图6 河南省地势图