

干旱区土地盐渍化时空动态变化及影响因子分析

吉别克·哈力克巴义^{1,2}, 建丽^{1,2}, 谢力扎提·哈布尔^{1,2}

(1. 新疆大学 资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046; 2. 教育部 省部共建新疆绿洲生态重点实验室, 乌鲁木齐 830046)

摘要:土壤是人类社会及一切社会活动的基本条件,而土壤盐渍化是土壤退化和土壤荒漠化的重要类型之一,是当今干旱区发展中面临的重要问题之一,也是影响干旱半干旱区农业生产的第一障碍性问题。土壤盐渍化时空动态变化研究是发展土壤监测研究及估算方法的重要基础工作。因此盐渍化治理工作的好坏也成了人们关注的问题。文章以新疆塔里木盆地北缘渭干河-库车河三角洲绿洲为研究区,采用1989年9月25日及2001年8月1日的遥感影像,通过计算盐分指数,得到盐分指数图像,进一步将盐分指数图像参与其它波段进行分类,通过统计分析,研究了渭干河-库车河三角洲盐渍地动态变化状况和变化趋势,并对变化影响因素进行了分析。结果表明:非盐渍地有所减少,轻、微盐渍地有所扩大,年均扩大率3.37%,中度盐渍地和重度盐渍地都相应减少,而中度盐渍地减少较多,年均减少率分别为1.96%和1.09%;盐渍地时空变化是同时受自然和人文因素影响的复杂过程,其中人为因素的影响最大。虽然盐渍化治理工作取得了一定的成就,但干旱区盐渍化防治工作需要进一步努力和加强。

关键词:动态变化;盐渍化;盐分指数;影响因子

中图分类号:S155.2⁺ 93

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)04-0112-05

Analysis on Temporal Dynamic Change and Driving Factors on Soil Salinification in Arid Area

Jibieke · H alikebayi^{1,2}, DING Jian-li^{1,2}, Xielizat · Habul^{1,2}

(1. College of Resource and Environment Sciences, Xinjiang University, Urumqi 830046, China;

2. Key Laboratory of Oasis Ecology Ministry of Education, Urumqi 830046, China)

Abstract: The soil is main conditions of human society as well as these activities. Soil salinification is one of the important types of soil degradation and deserted land. It is one of serious issues in the development of arid Area, which seriously affects the agricultural production and development. Study on soil moisture dynamic variation is the base for soil surveying system and development of estimation methods. How to deal with this issue is one of the most emergency problems to be settled. Therefore, the quality of maintenance of soil solidification work has become one of the most matters concerned around the world. This paper used the TM image acquired in September 25, 1989 and ETM image acquired in August 1, 2001, and calculated the reflectance of the third waveband and the fourth waveband. And then compute their salinity indices (salinity index, SI). And the soil salinity type was classified based on the combination all the waveband of the image and the salinity index image. The result suggested that in Wei Gan River and Ku Che river delta, non-salinity land had decreased, the slight-salinity land had increased by 3.37% per year, the middling-salinity land had decreased 1.96% per year, and the high-salinity land had decreased 1.09% per year; temporal and spatial variation of soil salinification is a very complex process and it is was caused by both natural factors and human factors, but the most correlated factors with soil salinification is the role of human factors. Through the statistical analysis, it indicated that we had achieved some achievement in governing soil salinification,

收稿日期:2010-04-09

修回日期:2010-11-24

资助项目:国家自然科学基金项目(40861020,40961008);霍英东教育基金项目(121018);测绘遥感信息工程国家重点实验室开放基金(09R03);教育部科学研究重点项目以及新疆自然科学基金项目(200821128)

作者简介:吉别克·哈力克巴义(1985-),女,新疆乌鲁木齐人,硕士,主要从事干旱区资源环境及遥感应用研究。E-mail:jibick@sina.com

通信作者: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:watarid@xju.edu.cn

but in order to cut the throat of soil salinity land in Wei-Gan River and Ku-Che river delta, we should take more time to do more work.

Key words: dynamic change; solidification; salinity index; causing analysis

土壤是自然生态环境的重要组成部分,是人类赖以生存的及一切社会活动的基本条件。而土壤盐渍化是干旱区农业发展的重要障碍^[1]。半干旱地区发生的一种土地逐渐退化的地质灾害,也是全球范围内重大的经济与生态环境问题之一。地下水位高且含有较多可溶性盐类的地区,在强烈的蒸发作用下盐分聚积于地表,造成耕地次生盐碱化程度加重,导致农业减产,甚至弃耕。它是一定气候、地形、水文地质等自然条件共同对水盐运动产生影响的结果^[2],一种过程和机理比较复杂的土地退化形式,因而对土壤盐渍化的探测和动态监测是一项较为困难的工作。近年来随着可开发土地的逐渐利用,人们已将注意力转向干旱半干旱地区,而在这些地区由于水资源匮乏,农业节水已成为水资源管理的重要问题,而且由于降雨、灌溉和蒸发的交替作用,盐分在非饱和带土壤中不断积累,形成次生盐渍化^[3]。新疆是我国土地盐渍化、次生盐碱化最严重、对农业影响最大的地区之一,而渭干河-库车河三角洲是新疆典型的严重盐渍化地区之一。土地盐渍化严重破坏了生态平衡,改变了自然环境,导致大面积土地资源的丧失,直接影响了当地经济的持续发展。新疆的盐渍地,是特定的气候、母质、地形、水文和水文地质、植被等自然条件和人为活动的产物^[4]。

1 研究区概况及数据来源

1.1 研究区概况

渭干河-库车河三角洲绿洲(以下简称渭库绿洲)位于塔里木盆地的中北部,渭干河-库车河流域的下游,中部天山南麓,塔克拉玛干沙漠北缘,是一个典型而完整的山前冲积扇平原,辖阿克苏地区,南北长约 322 km,东西宽约 194 km,总面积约 53 500 km²。地势北高南低,平均海拔 920~1 100 m。渭库绿洲属大陆性暖温带极端干旱气候,热资源丰富,多年平均降水量 51.6 mm,多年平均蒸发量 2 123.7

mm,蒸降比约 40:1。本区经济为绿洲经济,水资源利用的特点是水资源组成单一,渭干河是其唯一的灌溉水源。水资源利用程度高,利用效率低。灌排失调,土壤盐渍化严重^[5]。地下水位高,土地下层构成物颗粒细,透水性差,因而造成土壤的盐渍化比较普遍,在古河道、河漫滩、泉水溢出带等地下水浅埋区,分布着大面积的盐渍化土和盐土。

1.2 数据来源

本文采用的图像数据为 1989 年 9 月 25 日及 2001 年 8 月 1 日成像的 Landsat 5 TM 影像,首先为提高图像的清晰度,采用目视解译,去除绿洲上部的砾石及部分戈壁区,最终对图像进行裁剪,即图像大小为 2 951 行 5 016 列;图形数据有研究区域的 1:5 万的地形图;用于影响因子分析的人口、社会经济等统计年鉴资料。

2 研究方法

2.1 图像预处理及分类方法

利用研究区域的 1:5 万的地形图先对影像进行了几何精校正,接着采用 COST 模型进行图像大气和辐射校正,再对两幅图像影像进行裁剪,将对两景影像进行重叠,使大小位置一样。然后分别将两景影像的蓝、红波段的亮度值(DN)转换为反射率图像,利用蓝、红两个波段的反射率图像计算盐分指数(SI)^[6],得到盐分指数图像(图 1-2)。尽管盐分指数反映地表含盐量的多少,但会把光板地混淆在内,盐分指数不能完全反映盐分多少,因此,需要将盐分指数图像参与到其它波段进行分类,得到两个不同时期的分类图像,提取盐渍地信息,并对两景盐渍地信息的分类图像进行比较,变化检测,统计分析等。

$$SI = \sqrt{\rho_1 \times \rho_3} \quad (1)$$

式中:SI——盐分指数; ρ_1 , ρ_3 ——TM1 和 TM3 的反射率。

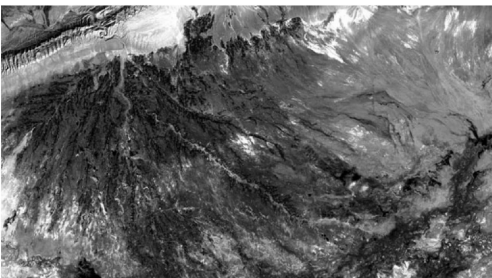


图 1 1989 年盐分指数图像

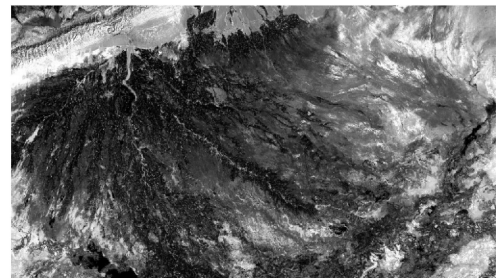


图 2 2001 年盐分指数图像

3 结果与分析

3.1 盐渍地动态变化分析

3.1.1 时间变化分析 分别对分类后的两期图像进行统计分析,获得两期各类盐渍地的面积,并计算^[7](式 2)统计结果,得到 12 a 的各类盐渍地的年变化率。结果证明:在这 12 a 间轻、微轻盐渍地变化最快,即达到 3.37% 的平均年变化率,其次是中度盐渍地,年均变化率为 1.96%,最后是重度盐渍地,年均变化率为 1.09%,并且表现为中度盐渍地和重度盐渍地面积减少,轻、微轻盐渍地面积增大(表 1)。

$$LCU = \frac{C_{ab}}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\%$$

(2)

式中: LUC ——盐渍地的年变化率; C_{ab} ——量测从 a 时刻到 b 时刻某种土地利用类型的面积。即该类型土地利用转变为其他类型土地利用的土地面积的总和; U_a —— a 时刻该土地利用类型的面积; T —— a 时刻到 b 时刻的研究时段长度。

表 1 各类盐渍地面积变化 km²

项目	轻、微轻 盐渍地	中度 盐渍地	重度 盐渍地
1989 年	2113.946	1937.137	983.175
2001 年	2968.584	1482.216	854.498
总变化/km ²	854.638	- 454.921	- 128.677
年变化/km ²	71.220	- 37.911	- 10.724
年变化率/%	3.37	- 1.96	- 1.09

3.1.2 盐碱地空间分布的动态变化 土壤盐渍化的空间分布存在明显的区域差异性,各类盐渍地主要分

表 2 1989 年和 2001 年各类盐渍地重心坐标

年份	项目	轻、微轻盐渍地	中度盐渍地	重度盐渍地
1989	纬度	41°22′43.12″	41°30′24.74″	41°23′18.74″
	经度	83°20′11.36″	83°38′18.62″	83°10′19.98″
2001	纬度	41°21′44″	41°21′45.92″	41°28′39.24″
	经度	83°24′34.08″	83°32′27.69″	83°38′25.39″

计算结果表明:各类盐渍地的重心均有向东偏移的趋势,其中轻、微轻盐渍地重心向东偏南方向转移,转移距离比较短;中度盐渍地重心向东偏北方向转移,转移距离大约为轻、微轻盐渍地重心转移距离的 3 倍;重度盐渍地的重心向东偏北方向转移,转移距离最长,约为重度盐渍地的 2 倍,这与上述基本上一致。

3.1.3 转化类型变化分析 通过分类图像计算得到各类盐渍地的面积转换矩阵(表 3)和面积转移比率(表 4)。计算结果表现为非盐渍地主要向轻、微轻盐渍地转化,转化率达到 18.967%,其次是向中度盐渍

布在绿洲外部,且多分布在东部和南部。轻、微轻盐渍地在绿洲内部呈条形状分布,在绿洲外部呈片状分布;与 1989 年相比,2001 年轻、微轻盐渍地的面积在绿洲内部和外部均有所扩大,且东北部扩大最为明显,其次是东南部,再次是南部和西南部,中部和北部变化不大或者基本上没有变化。中度盐渍地在绿洲内部呈细条形状分布,在绿洲外部呈片状分布,尤以 1989 年明显;与 1989 年相比,2001 年中度盐渍地明显减少,以东北部减少最为突出,其次是西南部,中度盐渍地减少也比较大,其他地方变化不大。1989 年重度盐渍地在绿洲内部呈细条形状分布,1989 年和 2001 年重度盐渍地均呈片状分布;与 1989 年相比,2001 年重度盐渍地空间分布表现在绿洲内部明显减少,北部和西部也较少的比较多,相反,西部、东部和东北部重度盐渍地增加明显,其他地方空间分布变化较少。

土地盐渍化的空间变化还可以通过其重心迁移^[7]进行量化分析。土地盐碱化重心坐标计算方法^[9]如式(3)、式(4)。

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i \times X_i)}{\sum_{i=1}^n C_i}$$

(3)

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i \times Y_i)}{\sum_{i=1}^n C_i}$$

(4)

式中: X , Y ——某个盐渍地类型的重心坐标; C_i ——该类型盐渍地第 i 个盐斑的面积。通过计算,得到两期轻、微轻盐渍地、中度盐渍地和重度盐渍地的中心坐标(表 2)。

地转化,转化了 2.804%,向重度盐渍地转化很少,仅为 0.216%,转化地区主要是绿洲东部、东南部和南部(附图 10);轻、微轻盐渍地有 33.302% 转化为非盐渍地,主要是绿洲内部(附图 11),20.412% 转化为中度盐渍地,5.583% 转化为重度盐渍地;中度盐渍地有 11.308% 转化为非盐渍地,集中在绿洲内部和绿洲外缘;有 36.643% 转化为轻、微轻盐渍地,主要集中在东北部;有 21.05% 转化为重度盐渍地,集中在东北部(附图 12);重度盐渍地有 12.79% 转化为非盐渍地,主要集中在绿洲内部(附图 13),26.4245% 转化为轻、微轻盐渍地,28.66% 转化为中度盐渍地。

表 3 1989– 2001 年盐渍地类型面积转移矩阵 m²

	非盐渍地	轻、微轻盐渍地	中度盐渍地	重度盐渍地
非盐渍地	46808749 12. 5	703961642. 3	219067886. 3	125731426. 5
轻、微轻盐渍地	1138046724. 0	860387184. 0	709893504. 0	259766484. 8
中度盐渍地	168230783. 3	431486694. 0	600559780. 5	281748406. 5
重度盐渍地	12942391. 0	118010178. 0	407814480. 0	315828792. 0

表 4 1989– 2001 年盐渍地类型面积转移比率 %

项目	非盐渍地	轻、微轻盐渍地	中度盐渍地	重度盐渍地
非盐渍地	78. 013	33. 302	11. 308	12. 790
轻、微轻盐渍地	18. 967	40. 702	36. 643	26. 424
中度盐渍地	2. 804	20. 412	30. 999	28. 660
重度盐渍地	0. 216	5. 583	21. 050	32. 127

4 盐渍化影响因子分析

由上述分析可知在渭库绿洲地区轻、微轻盐渍化有扩大的趋势。而土地盐渍化是自然因素和人为因素综合作用的结果^[5]。自然因素是土壤盐渍化形成的内因,人类农业活动则是外因,内因需要通过外因而发生作用。而人文因素在短时间内,是绿洲内部次生盐渍化变化的主导力量^[10]。

4.1 自然因素驱动

(1) 气候因子。对于本研究区,位于中纬度地区,远离海洋,属典型的大陆性暖温带干旱气候,光热资源丰富,降水少,蒸发量大,气温差异显著,日照期长,夏季干热、冬季干冷,无霜期长,风力强。年均降水量 46. 4~ 64. 5 mm,属于干旱与极端干旱地区,年平均气温为 10. 5~ 14. 4℃^[11]。干旱的气候条件决定了进入盆地的水分最终以蒸发输出的方式为主,不断地排入大气,与此相伴随的是,由于盆地内基本没有盐分排泄去路,水去盐留,盐分始终处于积累过程中,尤其是在局部流动系统和区域流动系统的排泄区,地表水、地下水、土壤水中的含盐量有不断增高的现象^[12]。

(2) 水分与地形因子。对研究区而言,渭库绿洲是远离海洋的内陆盆地,属于封闭的单元,河流属于内陆水系,地表水、地下水及灌溉水所含盐分向下游平原和三角洲平原搬运汇集。冲洪积平原形成的渭– 库绿洲,地势平坦开阔,坡降较小,地下径流变缓,土壤积盐大于脱盐,多数土壤有盐渍化。

4.2 人文因素驱动

(1) 人口因子。人类对自然界的改造活动具有较强的主动性,人口的增加使人口平均占有土地减少,这现象必然导致土地资源开发利用规模与强度的不断扩大,造成土地资源的过度开发利用或过度放牧,盲目毁草开荒,生态环境的严重破坏等问题。人口因素造成的这一系列问题是加速盐渍化程度的重要因

素。1989 年研究区内共有人口 61. 08 万人,其中农村人口 40. 27 万人,至 2001 年总人口增长为 72. 7 万人,其中农村人口 48. 36 万人。期间总人口增长 11. 62 万人,增长率 19. 02%,年增长率为 1. 46%。2007 年研究区总人口为 82. 36 万人,其中农村人口为 59. 51 万人,与 2001 年相比,人口增长 9. 66 万人,增长了 13. 29%,年增长率为 1. 9%。与 1989– 2001 年间相比年增长率提高了 0. 44%,此期间的人口增长速度偏高。总体而言,从 1989 年的 61. 08 万人增至 2007 年的 82. 36 万人,人口总共增长 21. 28 万人,增长了 34. 84%,年增长率为 1. 83%^[13]。

(2) 经济因子。1989 年研究区的国内生产总值为 6. 59 亿元,其中第一产业生产总值为 4. 17 亿元,约为国内生产总值的 63. 28%,而工业生产总值仅为 0. 49 亿元,占该年国内生产总值的 7. 46%;2001 年研究区的国内生产总值为 26. 65 亿元,其中第一产业生产总值为 11. 05 亿元,为年国内生产总值的 41. 46%,工业生产总值为 4. 89 亿元,约为年国内生产总值的 18. 34%^[15]。由于农业结构变化及新型工业化的发展,经济的增长对其他城镇用地、工业用地、交通用地等的需求不断高涨。耕地与建设用地的矛盾日益突出,人均耕地面积表现出稳步增长趋势,这促进了大片面积开荒,但是有的新垦荒地会出现地表径流供给不足的情况,导致弃耕。新垦荒地也会因灌溉和水库渗漏以及耕作粗放、土地不平整等原因产生土壤次生盐渍化,使土壤严重减产,不到几年就只有撂荒。这些弃荒撂荒地往往地下水位很高,开荒后破坏了原有的地表植被,很难恢复,成为盐渍化的隐患^[15]。

(3) 人为因子。水资源不合理利用,过度开采地下水及地表水大量引入灌区,造成河流断流或缩短;同时地表水大量引入灌区,使地下水位过高,引发土壤盐渍化和沼泽化^[16],使盐分主要向灌区聚集,增加了灌区次生盐渍化的威胁。洗盐和灌溉不合理,灌溉技术落后,渠道渗漏大,渠系利用率低,多是大水漫灌、串灌,重灌轻排,上排下灌,灌溉定额高,灌排失调,排水系统不完善^[13],大量盐分随灌溉水进入农田,使地下水位升高,在毛细作用下,产生土壤次生盐渍化。又因为渠系防渗极少,无排水设施,导致潜水位急剧上升,迅速引起土壤次生盐渍化^[14]。平原水库利用率低,平原水库渗漏提高周围地下水水位,把渭干河– 库车河上游灌区排出的盐分带入下游灌区。土地利用不合理等,过度放牧,过度开垦,对土地管理不规范,化肥施用量过大,生态破坏严重。只有合理的进行土地管理,综合治理土地才能改善土壤物理性状、土壤结构,降低盐渍化程度和提高土壤肥力^[13]。

5 结论

由于该区土壤盐渍化的形成过程主要属于残积盐渍过程,地下水埋深较深,气候干旱,降水少,再加上在绿洲内部的人为活动的影响,如:建立排碱渠,改善排水系统,加大排碱力度等,虽然绿洲内部盐渍化程度有所降低,但绿洲外部(东面下游区)不但没有排出盐分,而且还接收了绿洲排出的盐分,加重了盐渍化程度,因此,盐渍化有向下游(东部)转移的趋势。主要向轻、微轻盐渍地转化,其次是向中度盐渍地转化,向重度盐渍地转化最少,转化地区主要是绿洲东部、东南部和南部;轻、微轻盐渍地面积增大,主要由非盐渍地和中度盐渍地转化,转化区域是绿洲内部;中度盐渍地减少,向轻、微轻盐渍地和重度盐渍地转化,转化地区在东部和东北部转化为轻、微轻盐渍地,在绿洲内部和绿洲外缘转化为非盐渍地,在东北部转化为重度盐渍地;重度盐渍地却有所减少,主要向中度盐渍地和轻、微轻盐渍地转化,而且在绿洲内部转化为非盐渍地,在绿洲外部转化为中度盐渍地和轻、微轻盐渍地。渭干河-库车河三角洲盐渍化的形成主要有地质、地貌、土壤质地等自然因素和灌溉方式不合理,盲目开发利用等人为影响因素的综合结果,其中人为因素的影响力比较大,人为因素促使了盐渍化程度的进一步恶化。

参考文献:

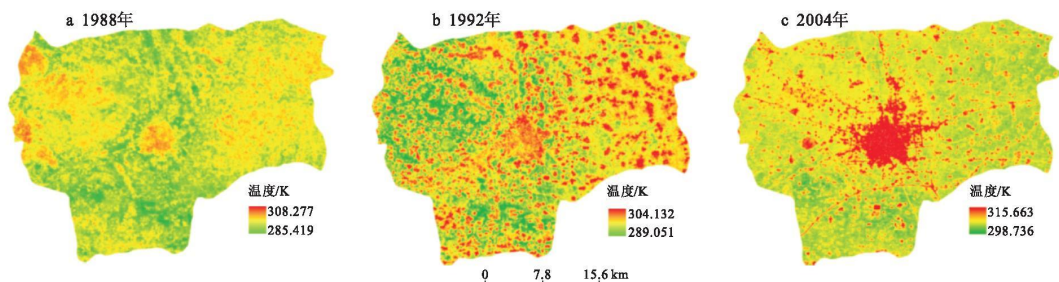
- [1] 姜凌,李佩成,胡安焱,等.干旱区绿洲土壤盐渍化分析评价[J].干旱区地理,2009,32(2):234-239.
- [2] 朱庭芸.灌区土壤盐渍化防治[M].北京:农业出版社,1992:32-38.
- [3] 买买提·阿扎提.土壤盐渍化及其治理措施研究综述[J].环境科学与管理,2008,29(5):29-33.

(上接第 111 页)

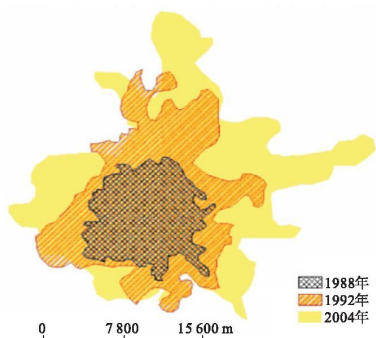
- [3] 肖笃宁,陈文波,郭福良.论生态安全的基本概念和研究内容[J].应用生态学报,2002,13(3):354-358.
- [4] 陈百明.区域土地可持续利用指标体系框架的构建与评价[J].地理科学进展,2002,21(3):204-215.
- [5] 汤洁,朱石峰.东北农牧交错带土地生态环境安全指标体系的建立与综合评价:以镇费县为例[J].干旱区资源与环境,2006,20(1):119-124.
- [6] 高桂芹,韩美.区域土地资源生态安全评价:以山东省枣庄市中区为例[J].水土保持研究,2005,12(5):271-273.
- [7] 李茜,任志远.区域土地生态环境安全评价[J].干旱区资源与环境,2007,21(5):75-79.
- [8] 王根绪,程国栋,钱鞠.生态安全评价研究中的若干问题[J].应用生态学报,2003,14(9):1551-1556.

- [4] 何祺胜,塔西南拉提·特依拜,丁建丽.基于决策树方法的干旱区盐渍地信息提取:以渭干河-库车河三角洲绿洲为例[J].资源科学,2006,28(6):134-140.
- [5] 张飞,塔西南拉提·特依拜,丁建丽,等.干旱区绿洲土壤盐渍化遥感定量评价[J].生态环境学报,2009,18(5):1822-1829.
- [6] Farifteh J, van der Meer F, Carranza E J M. Similarity measures for spectral discrimination of salt-affected soils[J]. International Journal of Remote Sensing, 2007, 28(23):5273-5293.
- [7] 茆长宝,陈勇.土地利用及其生态服务价值演变的驱动力与预测研究:以江苏省为例[J].水土保持研究,2010,17(4):270-275.
- [8] 颜耀文,袁春霞,张绍东.近15年来民勤湖土地利用-覆盖动态与格局[J].干旱区地理,2009,32(2):423-429.
- [9] 刘雅轩,张小雪,雷军,等.近30年新疆经济重心转移路径[J].干旱区地理,2009,32(2):472-477.
- [10] 王宏卫.干旱区绿洲土壤盐渍化时空动态遥感分析及可持续发展研究:以渭干河-库车河三角洲绿洲为例[D].乌鲁木齐:新疆大学,2009:67.
- [11] 钱云,郝毓灵.新疆绿洲[M].乌鲁木齐:新疆人民出版社,2000:358-359.
- [12] 罗江燕.基于3S技术的土壤盐渍化影响因素研究:以渭干河-库车河三角绿洲为例[D].乌鲁木齐:新疆大学,2009:29-32.
- [13] 王嵩,冯平,李建柱.地下水生态环境控制指标问题的研究现状[J].干旱区资源与环境,2005,19(4):99-103.
- [14] 张克锋,李宪文,张定祥,等.中国土地资源退化时空变化分析[J].环境科学,2006,27(6):1245-1251.
- [15] 何祺胜,塔西南拉提·特依拜,丁建丽,等.塔里木盆地北缘盐渍地遥感调查及成因分析:以渭干河-库车河三角洲绿洲为例[J].自然灾害学报,2007,16(5):24-29.
- [16] 董新光,邓铭江,周金龙,等.论新疆平原灌区土壤盐碱化与水资源开发[J].灌溉排水学报,2005,24(5):14-17.

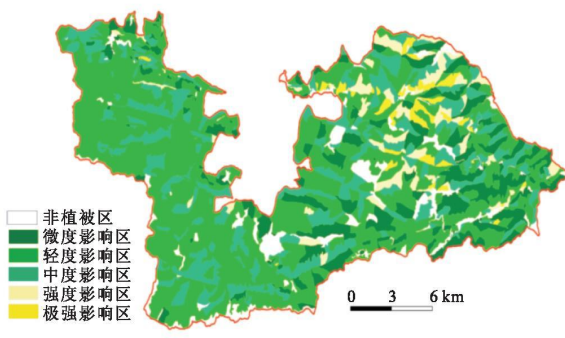
- [9] 左伟,周慧珍,王桥.区域生态安全评价指标体系选取的概念框架研究[J].土壤,2003,6(1):2-7.
- [10] 蔡文.可拓论及其应用[J].科学通报,1999,44(7):673-682.
- [11] 蔡文.可拓集合和不相容问题[J].科学探索学报,1983,4(1):83-97.
- [12] 刘立民,刘汉龙,连传杰,等.建筑物塌陷损坏评价的物元模型及其应用[J].防灾减灾工程学报,2003,23(2):94-98.
- [13] 李如忠.模糊物元模型在区域水环境承载力评价中的应用[J].环境科学与技术,2004,27(5):54-56.
- [14] 李如忠.模糊物元模型在区域水安全评价中的应用[J].水土保持研究,2005,12(5):221-223.



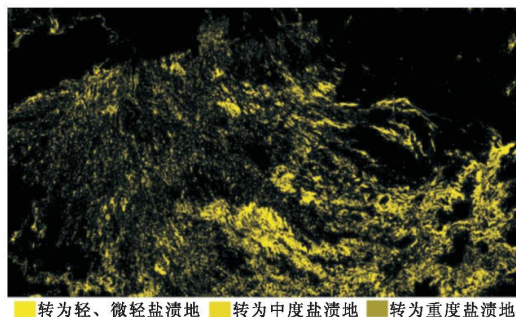
附图6 河南省许昌市不同年份地表温度反演图



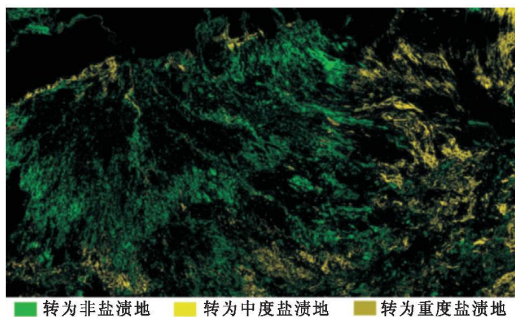
附图7 河南省许昌市不同年份城市热岛区域变化图



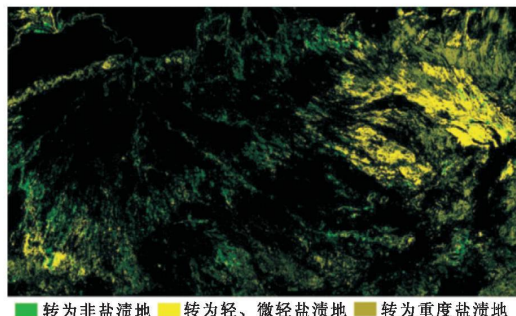
附图8 雪灾对植被NPP影响程度分布图



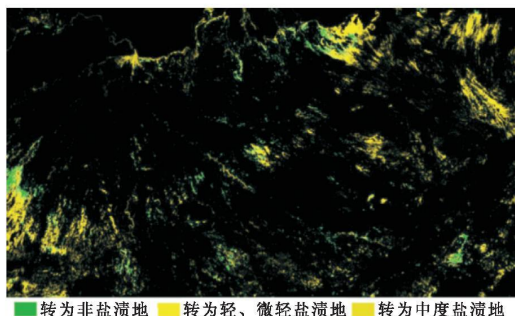
附图10 1989—2001年非盐渍地转化



附图11 1989—2001年轻、微轻盐渍地转化



附图12 1989—2001年中度盐渍地转化



附图13 1989—2001年重度盐渍地转化