

# 基于气候变化和地形湿度指数的锡林浩特市 水土流失趋势分析

刘朋钢, 杨海龙, 高甲荣, 王 莎, 王伟伟

(北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083)

**摘 要:**气候因子和土壤水分是影响水土流失的重要因素,将气候因子与地形湿度指数相结合进行分析,对于预测研究区的水土流失趋势具有指导性的作用。以锡林浩特市为研究对象,利用 Excel 分析近 10 a 来锡林浩特市气候变化趋势,结果表明:平均气温上升,降水量减少,平均风速增加,气候条件的变化使得草地生产力下降。以锡林浩特市数字高程图为基础,利用 GIS 的分析功能计算地形湿度指数。根据行政区划找出研究区域内地形湿度指数较小的区域,基于气候变化和地形指数进行综合分析得出:毛登牧场、白音希勒牧场、宝力根苏木 3 个地区土壤含水率较低,气候变化背景下,这 3 个地区风力侵蚀更易发生,因此应采取相应保护措施减少不必要的人类活动造成的水土流失。

**关键词:**气候变化; 地形因子; 风力侵蚀

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)04-0131-03

## Analysis of Soil and Water Erosion Development Trend in Xilinhaote Based on Climate Change and Terrain Humidity Index

LIU Peng-gang, YANG Hai-long, GAO Jia-rong, WANG Sha, WANG Wei-wei

(College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Climate factor and soil moisture are the important influence factors responsible for soil and water loss. Combining the climate factor with the terrain humidity index for analysis, it can be good at forecasting the soil and water loss. In this paper, with the Xilinhaote as the analysis area, nearly 10 years climate change trend in Xilinhaote city was analyzed using Excel. The results showed that the average temperature and average wind speed increased, while amount of precipitation reduced. Climate change made the ecological environment worse. Base on the DEM of Xiinhaote, the terrain wetness index can be calculated by using the analysis function of GIS. According to the administrative division, the smaller terrain wetness index area can be identified. Based on climate change and the terrain index, it was found out that the moisture content of Maodeng pasture, Baiyin shearer pasture, Baoligen sappanwood was lower; these three areas were much easy to suffer wind erosion. The measures should be taken to reduce unnecessary soil and water loss caused by human activities.

**Key words:** climate change; terrain index; wind erosion

继 Beven and Kirkby<sup>[1]</sup>提出地形湿度指数,其以易获取空间精度的优点在描述土壤水分空间分布的影响和计算产生径流的饱和汇流面积<sup>[2-3]</sup>等方面得到了广泛的应用。并进一步与其他地形指数结合以提高地形湿度指数的预测能力。将地形湿度指数应用于水土流失的研究报道较少。气候变化对草原区生态环境以及水土保持生态建设影响方面的研究很多,

而对于将地形湿度指数与气候变化进行综合研究的文章较少,Dymond 利用温度、降水、辐射和地形湿度的复合指数很好地评价了植被的潜在分布<sup>[4]</sup>。本文尝试将气候变化与地形指数应用于项目区水土流失趋势的研究,通过分析气温、风速、降水量等气候因子的变化,总结锡林浩特市气候变化规律;通过利用 GIS 的空间分析功能,计算锡林浩特市不同行政区划

收稿日期:2012-01-18

修回日期:2012-03-05

资助项目:国际科技合作项目课题(2008DFA32270)

作者简介:刘朋钢(1987—),男,山东济南市人,硕士研究生,主要研究方向:山地灾害防治。E-mail:liupenggang111@163.com

通信作者:杨海龙(1965—),男,内蒙古赤峰市人,副教授,主要研究领域为流域管理、森林水文。E-mail:yang\_hlong@163.com

的地形湿度指数,通过气候变化规律结合不同地区地形湿度指数情况,综合考虑气候变化背景下草地生产力的变化以及不同地区地形湿度指数情况,分析得出,锡林浩特市水土流失易发区域,并对水土流失易发区域提出重点预防治理建议。

## 1 研究区概况

锡林浩特市位于内蒙古自治区锡林郭勒盟中部,东临西乌珠穆沁旗,东南与赤峰市克什克腾旗相连,南与正蓝旗接壤,西依阿巴嘎旗,北与东乌珠穆沁旗为邻,面积 15 758 km<sup>2</sup>。地势南高北低,北部为平缓的波状平原,海拔 1 000 m 左右。南部多为浅山丘陵,海拔 1 300 m 左右,最高点罕乌拉 1 699.5 m。锡林郭勒河纵贯中部,形成河间盆地,间有沼泽,最低海拔 920 m 左右。锡林浩特市属中温带半干旱大陆性季风气候,年平均气温 1.7℃,年降水量 295 mm,年日照数 2 877 h。锡林浩特市水土流失面积为 15 758 km<sup>2</sup>,以风力侵蚀为主,水力侵蚀面积为 142.09 km<sup>2</sup>,以轻度侵蚀为主,轻度侵蚀面积为 83.55 km<sup>2</sup>,占水

力侵蚀面积的 61.09%。风力侵蚀面积 15 614.49 km<sup>2</sup>,以轻度、中度侵蚀为主。其中轻度侵蚀面积为 5 427.29 km<sup>2</sup>,占风力侵蚀面积的 79.90%;中度侵蚀面积为 926.65 km<sup>2</sup>,占风力侵蚀面积的 13.64%。水蚀风蚀交错区面积为 1.42 km<sup>2</sup>。

## 2 气候变化特征分析

利用国家气象信息中心最新整编的锡林浩特站 1991—2010 年逐月气温、降水量、平均风速等气象资料,利用 Excel 的统计方法分析近 10 a 来锡林浩特市平均气温、降水量、平均风速的变化情况。

### 2.1 温度变化分析

将锡林浩特站 1991—2000 年和 2001—2010 年 10 a 间各月的平均气温进行整理得到表 1,发现 2001—2010 年比 1991—2000 年 10 a 间平均气温上升了 0.25℃,其中 6 月份平均温度上升幅度最大,上升幅度为 0.93℃,12 月份温度出现了下降,下降幅度为 1.79℃,从总体上来看,近 10 a 来温度呈升高趋势,详见表 1。

表 1 锡林浩特市各月平均气温情况

℃

时间	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
1991—2000	-18.55	-13.47	-4.96	5.84	13.51	18.91	21.48	19.89	13.44	3.65	-6.77	-14.62
2001—2010	-18.51	-13.28	-4.46	5.79	13.73	19.84	22.35	20.26	14.3	4.46	-6.73	-16.41
变化幅度	0.04	0.19	0.5	-0.05	0.22	0.93	0.87	0.37	0.86	0.81	0.04	-1.79

### 2.2 降雨变化分析

与 1991—2000 年平均年累积降水量相比,2001—2010 年 10 a 间平均年累积降水量减少 71.93 mm,其中 7 月份降水量减少 48.46 mm,降水量减少幅度最大;8 月份降水量减少幅度次之,减少量为 19.33 mm。3 月、9 月降水量增多,其中 9 月降水量增加 7.67 mm,从总体上分析近 10 a 间降水量变化情况,得出降水量呈现减少趋势(图 1)。

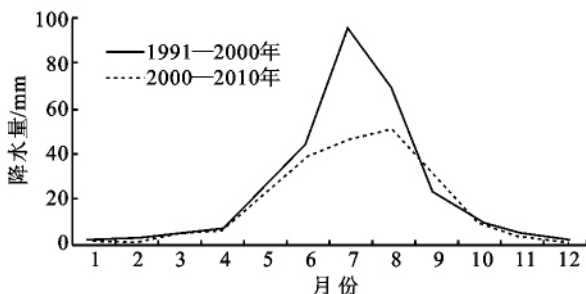


图 1 1991—2000 年和 2001—2010 年 10 a 间各月平均降水量

### 2.3 平均风速变化分析

2001—2010 年近 10 a 来各月平均风速与 1991—2000 年 10 a 间数据相比,平均风速总体呈现增大趋势,近 10 a 来全年平均风速增大 0.28 m/s,5 月份风速增加幅度最大,为 0.7 m/s,3 月份次之,增大幅度为

0.61 m/s,1 月、12 月平均风速出现下降,12 月份平均风速下降 0.24 m/s,1 月份下降 0.05 m/s(图 2)。

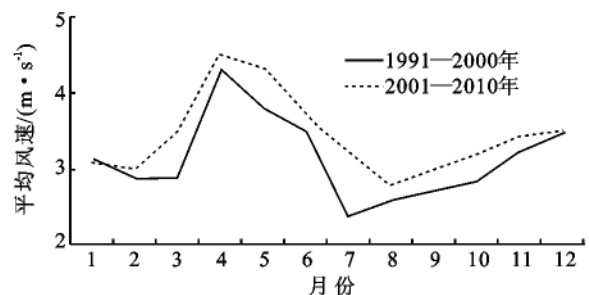


图 2 1991—2000 年和 2001—2010 年 10 a 间各月平均风速

综上所述,近 10 a 来平均气温,平均风速总体呈上升趋势,平均气温上升 7.8%,平均风速上升 8.6%,年累计降水量呈现减少趋势,降水量下降 23.94%。

温度、降水等是植物生长的重要影响因子,它们单独或复合的变化势必引起植物在不同尺度上的变化<sup>[5-9]</sup>,曹立国等通过对锡林郭勒盟草地对气候变化的响应进行研究,用气温、降水、气候生产潜力在 SPSS 下建立了回归模型: $Y = 169.606 + 7.053t + 1.142r(R^2 = 0.978, P < 0.01)$ ,表明年平均温度每升高/降低 1℃,草地的年生产力就会增加/减少 7.05

$\text{g}/\text{m}^2$ , 年降水量每增加/减少 1 mm, 草地的年生产力就会增加/减少  $1.14 \text{ g}/\text{m}^2$  [10]。近 10 a 来锡林浩特市气温上升平均气温上升了  $0.25^\circ\text{C}$ , 年累积降水量减少 71.93 mm。据此推算, 锡林浩特市草地年生产力减少  $80.24 \text{ g}/\text{m}^2$ 。近 10 a 来, 锡林浩特市草地年生产力呈减少趋势, 大小顺序为: 朝克乌拉苏木 > 锡林浩特市 > 阿尔善宝力格镇 > 白银库伦牧场 > 贝克牧场 > 宝力根苏木 > 毛登牧场 > 白音希勒牧场。

### 3 锡林浩特市地形湿度指数分析

地形湿度指数 (topographic wetness index) 可定量模拟流域内土壤水分的干湿状况, 在流域的土壤及分布式水文模型等研究中具有重要的意义 [11]。地形湿度指数的大小与集水面积和坡度相关, 土壤含水率和地形指数随集水面积的扩大及坡度的减小而增加。因此, 在地势平缓的坡脚、河岸和地形下凹的地带, 土壤水分相对较高且容易达到饱和, 尤其在坡度趋于零的地带, 地形指数将迅速增加。利用 ArcGIS 中的 spatial analysis 功能分别计算集水面积和坡度, 再利用 raster calculator 功能通过公式  $\ln[\text{集水面积}/\tan(\text{坡度} \times \pi/180)]$ , 求得锡林浩特市地形指数图 (附图 5—6)。

邓慧平和李秀彬分析认为土壤相对含水量与地形指数呈线性关系, 指出地形指数的空间变化与土壤相对含水量的空间变化成正比 [6]。土壤含水率的变化是影响风力侵蚀的重要因素, 尤其是表层土壤含水率对风力侵蚀有很大的影响 [12]。本文利用  $90 \text{ m} \times 90 \text{ m}$  数字高程模型计算锡林浩特市地形指数, 利用 ArcGIS 中的 arctoolbox 进行区域统计分析, 得出锡林浩特市土壤湿度指数最大值为 11.121, 最小值为 2.121, 平均值为 4.453。按照不同行政区划划分, 地形湿度指数大小依次为: 朝克乌拉苏木 > 锡林浩特市 > 阿尔善宝力格镇 > 白银库伦牧场 > 贝克牧场 > 宝力根苏木 > 毛登牧场 > 白音希勒牧场。其中毛登牧场、白音希勒牧场、宝力根苏木三个地区地形湿度指数平均值小于整个地区平均值, 土壤含水率较低, 因此认为这 3 个区风力侵蚀更易发生。

### 4 结论与建议

(1) 气候变化是影响水土流失的重要因素, 利用 Excel 的分析功能, 得出近 10 a 来, 锡林浩特市年平均气温升高、降水量减少、风速增加, 自然条件的变化使得风力侵蚀作用加强, 不合理的人类活动将更容易诱发风力侵蚀。

(2) 草地生产力和土壤含水率是影响风力侵蚀的重要因素, 近 10 a 来锡林浩特市草地年生产力呈

递减趋势, 平均风速的增加使得风力侵蚀呈加剧趋势。

(3) 利用 ArcGIS 的分析功能, 计算得出: 毛登牧场、白音希勒牧场、宝力根苏木 3 个地区土壤含水率低于平均水平, 同时草地生产力较低, 风力侵蚀趋势更加显著, 应加强对此区域的重点防护。

(4) 气候变化和地形湿度指数是影响水土流失的重要因素。在分析区域地形湿度指数的基础上, 分析区域的气候变化, 通过两者的综合应用分析, 对于预测区域的水土流失趋势具有重要的指导意义。

气候条件的变化使得生态环境更加恶劣, 不合理的人类活动更容易引发风力侵蚀, 加强生态环境保护, 尤其是地形湿度指数较小的区域的生态环境保护显得尤为重要。对于地形湿润指数小的区域, 坚持实施以封禁为主的生态修复措施, 减少人为因素的干扰。对草原牧场实行科学管理, 严禁滥垦、滥牧、滥伐; 控制草原载畜量, 实行适度放牧、以草定畜、推行季节牧业以减轻草场压力, 给牧草提供休养生息的时机以及其他可使草原植被得以恢复和发展的各种措施; 合理利用草场, 发展人工草场, 建立围栏, 实行分区轮放, 实现畜牧业和草原生态环境的可持续发展, 维护草原生态系统的平衡。

#### 参考文献:

- [1] Beven K J, Kirkby M J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology[J]. Hydrological Sciences Bulletin, 1979, 24(1/3): 43-68.
- [2] Barling R D, Moore I D, Grayson R B. A quasi-dynamic wetness index for characterizing the spatial distribution of zones of surface saturation and soil water content[J]. Water Resource Research, 1994, 30(4): 1029-1044.
- [3] Western A W, Grayson R B, Blöschl G, et al. Observed spatial organization of soil moisture and its relation to terrain indices[J]. Water Resources Research, 1999, 35(3): 797-810.
- [4] Dymond C C, Johnson E A. Mapping vegetation spatial patterns from modeled water, temperature and solar radiation gradients[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2002, 57(1/2): 69-85.
- [5] 秦承志, 杨琳, 朱阿兴, 等. 平缓地区地形湿度指数的计算方法[J]. 地理科学进展, 2006, 25(6): 88-92.
- [6] 邓慧平, 李秀彬. 地形指数的物理意义分析[J]. 地理科学进展, 2002, 21(2): 103-110.
- [7] 何文清. 北方农牧交错带农用地风蚀影响因子与保护性耕作制研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2004.
- [8] 侯琼, 乌兰巴特尔. 内蒙古典型草原区近 40 年气候变化及其对土壤水分的影响[J]. 气象科技, 2006, 34(1): 102-106.

(下转第 137 页)

水土保持功能可以有效发挥,是高效合理的水土保持林;②二级水土保持林,综合评价值  $5 \leq S < 8$ ,此类样地立地条件较好,结构也较合理,只是由于人为干扰导致其生态功能有所下降,虽有残次,但停止干扰即可恢复其原有生态功能,此类林地有时虽然也体现为健康林分,但是对外界的干扰极为敏感,稍有扰动,迅速转变为残次林;③三级水土保持林,综合评价值  $2 \leq S < 5$ ,此类样地林分受到立地条件限制,在结构和林相上都有残破,生长发育也明显受到抑制作用,其生态功能不能自行恢复,需要通过一定的人为管护与改造才可发挥其水土保持功能;④四级水土保持林,综合评价值  $S < 2$ ,此类林地本身立地条件较恶劣,加之人为干扰严重或者树种不适宜,导致林分生长状况极差,森林濒临死亡,已没有改造的必要,需要彻底重植。

## 4 讨论

本文以水土保持林评价理论为基础,以北京市低山区的同龄不同林分为研究对象,提出了水土保持林研究的新框架,对水土保持林的评价与分级进行了分析与研究,为今后的相关研究提供了理论依据。但研究中遇到的难点和提出的新的尝试,需要进行进一步的探讨,具体体现在如下几方面:

(1) 本文研究中所选的评价指标虽经过层层筛选,但也很难做到尽善尽美,指标是否合理还有待于进一步的实际应用检验;

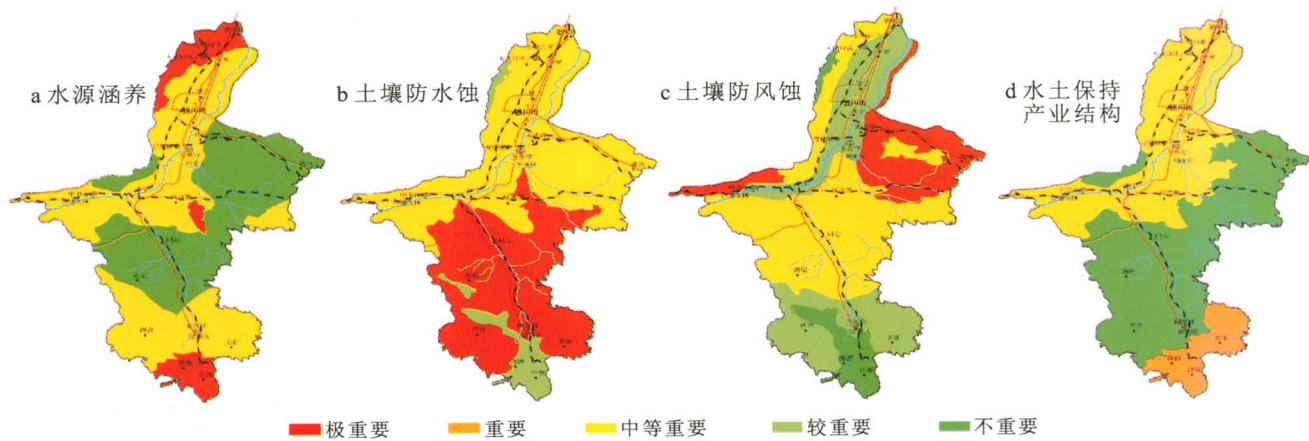
(2) 由于本研究区域较大,所选样地不可能代表全区,因此对于实例的评价结果会存在一定的误差;

(3) 林分功能是衡量水土保持林级别的一个重要指标,但由于实验条件所限,一些功能指标并未取得,所以在本次研究中也就无法体现。

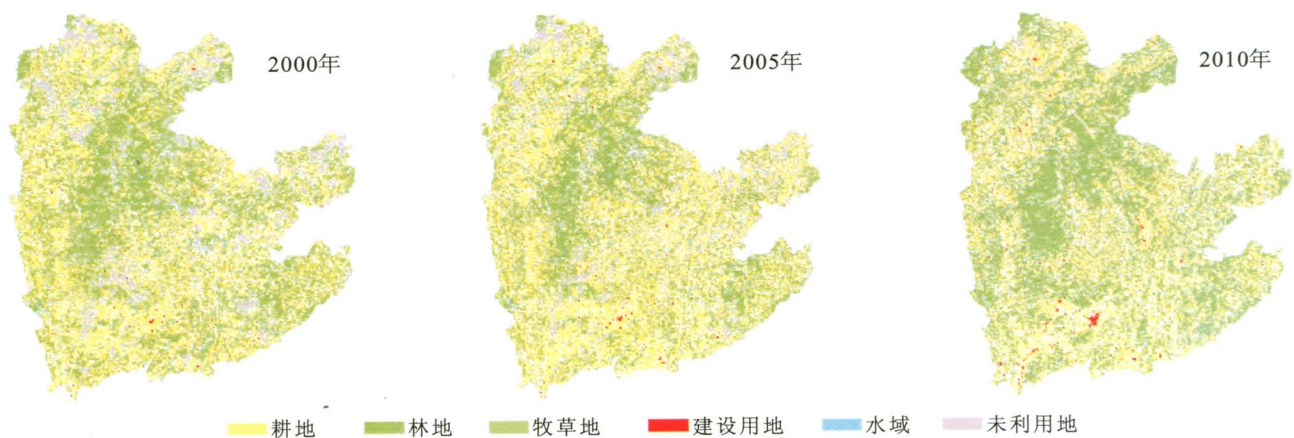
### 参考文献:

- [1] 贾忠奎,马履一,徐程扬,等.北京市森林资源动态及可持续经营对策[J].干旱区资源与环境,2006,20(3):30-36.
  - [2] 李金良,郑小贤.北京地区水源涵养林健康评价指标体系的探讨[J].林业资源管理,2004(1):31-34.
  - [3] 贾治邦.把现代林业建设全面推向科学发展新阶段[R].北京(2009-01-08). [http://www.gov.cn/gzdt/2009-01/15/content\\_1206407.htm](http://www.gov.cn/gzdt/2009-01/15/content_1206407.htm).
  - [4] 李昌哲,刘创民.北京九龙山植被类型特征及其水土保持效益定量评价[J].北京林业大学学报(增刊),1996,18(3):80-86.
  - [5] 贾忠奎.北京山区油松侧柏生态公益林抚育效果研究[D].北京:北京林业大学,2005.
  - [6] 甘敬.北京山区森林健康评价研究[D].北京:北京林业大学,2007.
  - [7] 赵勃.北京山区植物多样性研究[D].北京:北京林业大学,2005.
  - [8] 马志林,陈丽华,于显威,等.北京西山地区不同林分健康状况比较研究[J].生态环境学报,2010,19(3):646-651.
  - [9] 国家林业局.全国森林培育技术标准汇编造林经营卷[M].北京:中国标准出版社,2003.
  - [10] 森林资源规划设计调查主要技术规定[S].北京:国家林业局,2003.
  - [11] 詹昭宁.中国森林立地分类[M].北京:中国林业出版社,1989.
  - [12] 赵焕臣,许树柏,和金生.层次分析法[M].北京:科学出版社,1986.
  - [13] 武巧英,陈丽华,于景金,等.北京鹫峰国家森林公园健康评价研究[J].中国农学通报,2010,26(12):90-93.
  - [14] 王育松,上官铁梁.关于重要值计算方法的若干问题[J].山西大学学报:自然科学版,2010,33(2):312-316.
- .....
- (上接第133页)
- [9] 黄耀,孙文娟,张稳,等.中国草地碳收支研究与展望[J].第四纪研究,2010,30(3):456-465.
  - [10] Saleska S R, Shaw M R, Fisher M L, et al. Plant community composition mediates both large transient decline and predicted long-term recovery of soil carbon under climate warming[J]. Global Biogeochemical Cycles, 2002,16(4):1055-1072.
  - [11] 程迁,莫兴国,王永芬,等.羊草草原碳循环过程的模拟与验证[J].自然资源学报,2010,25(1):60-70.
  - [12] 刘艳萍,刘铁文,邢恩德.内蒙古乌兰察布荒漠草原土壤风力侵蚀机理研究[J].安徽农业科学,2010,38(12):6362-6366.

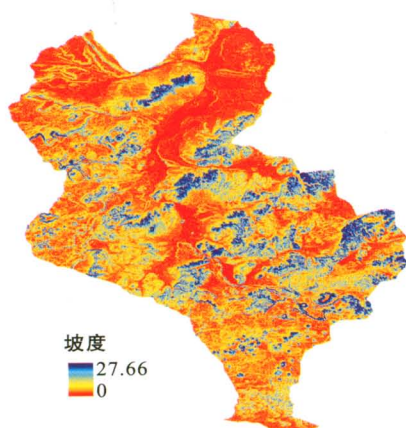




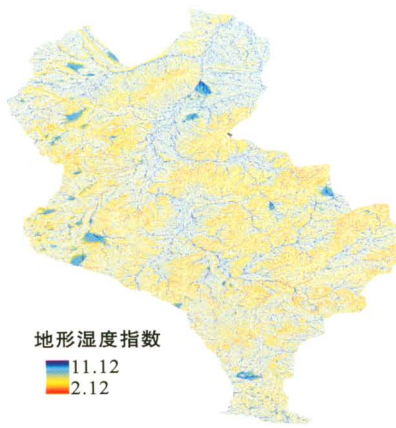
附图3 宁夏水源涵养、土壤防水蚀和防风蚀以及水土保持产业结构重要性评价分区



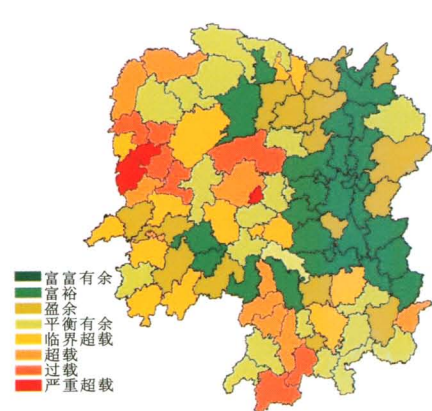
附图4 贵州省绥阳县2000—2010年土地利用/土地覆被变化



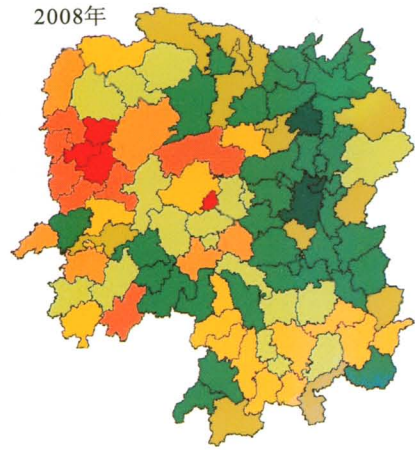
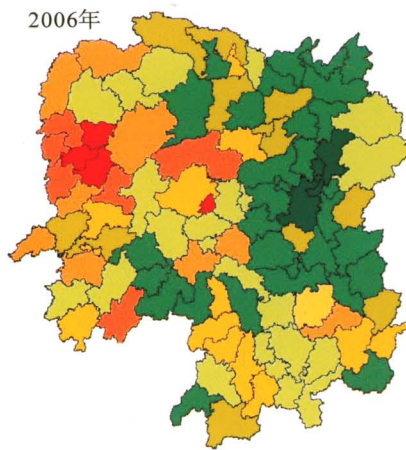
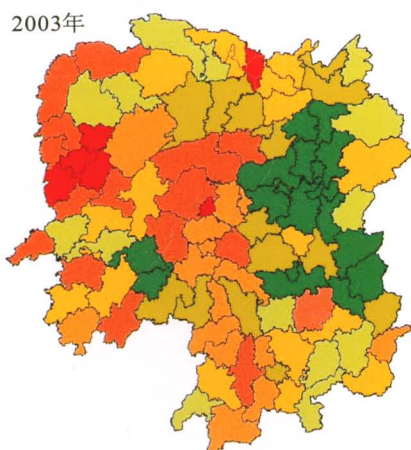
附图5 内蒙古锡林浩特市坡度变化



附图6 内蒙古锡林浩特市地形指数



附图7 2000年湖南省人粮关系分布状况



富有余   富裕   盈余   平衡有余   临界超载   超载   过载   严重超载

附图8 2003—2008年湖南省人粮关系分布状况