

水土流失敏感性与土壤类型格局相关性分析 ——以陕北黄土高原为例

刘燕, 刘康

(西北大学 城市与资源学系, 陕西 西安 710127)

摘要: 分析了陕北黄土高原区土壤类型, 选取分维数、破碎度和优势度等景观指数作为土壤类型格局指标, 并利用 Fragstats 分析了各土壤类型格局指数。将陕北黄土高原区水土流敏感性分布图与土壤类型图, 在 ArcGIS 下经过数据的提取、分析、计算出了各土壤类型的水土流失敏感性值。分析了水土流失敏感性与土壤类型格局的相互关系, 结果表明, 水土流失敏感值随土壤类型分维数和破碎度的增加而随之升高, 却随土壤类型优势度增加而降低。

关键词: 水土流失; 土壤类型格局; 敏感性

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)05-0094-04

中图分类号: S157, S155

Correlation Analysis of Sensitivity of Soil Erosion and Patten of Soil Type —A Case of the Loess Plateau in Northern Shaanxi Province

LIU Yan, LIU Kang

(Department of Urban and Resources, Northwestern University, Xi'an, Shaanxi 710127, China)

Abstract: Through analyzing soil type on the Loess Plateau of Northern Shaanxi Province, the fractal dimension, fragmentation, and dominance are selected as the indexes of soil type. The indexes of soil type are analyzed using Fragstats and the value of the sensitivity of soil erosion for the soil type is calculated using ArcGIS. The relationship between sensitivity of soil erosion and pattern of soil type is then analyzed. Results show that the value of the sensitivity of soil erosion increases with the increase in the fractal dimension of fragmentation, but decreases with the increased soil dominance.

Keywords: soil and water loss; soil type pattern; sensitivity

水土流失是陕北黄土高原区最突出的环境问题,也是当地社会经济发展的最大限制性因素。水土流失是指在水流作用下地表土壤被侵蚀、搬运和沉积的整个过程,是土地资源破坏最常见的一种地质灾害^[1]。陕北黄土高原境内地面破碎,沟壑密布,植被稀少,土质疏松,气候干旱,降水量少而集中。在自然和人为的共同作用下,成为全国乃至全世界水土流失最为严重的地区。对该区域水土流失的研究不仅有着重大的理论意义,更有着重要的现实意义。许多学者对此作了很有价值的探讨。例如,周自翔等以陕北黄土高原为例,运用网格法对土壤侵蚀强度与土地利用相关关系作了详细分析^[2]。杨振等采用灰色系统理论与方法计算了人类活动与水土流失之间关联度指数,探讨了人类活动对水土流失的干扰度^[3]。索安宁等从较长时间段分析了不同地貌区域的水土流失特征及各地貌区域水土流失的演化过程,并对黄土高

原水土流失的监测与预测作了深入的分析^[4]。但对于水土流失与土壤类型格局的相关性分析则相对较少,本文以此为切入点,对陕北黄土高原水土流失敏感性与土壤类型格局指数的相关性做了系统分析。

1 研究区概况

陕北黄土高原区位于陕西中北部,介于北纬 34°10'—39°35',东经 107°30'—111°15' 之间。东部以黄河为界,西以子午岭为界与陇东黄土高原相邻,北邻鄂尔多斯高原,南接关中平原。总面积 89 326.92 km²,占陕西省总面积的 43.2%。在行政区域上,包括榆林市和延安市的全部,咸阳市的北 5 县及铜川市的 3 县(区),共 33 个县(区)。

该区域地形从西北向东南倾斜,西北部长城沿线以北主要受风蚀作用影响,土壤沙漠化严重,长城以南则主要受水土流失作用影响,形成黄土丘陵沟壑和

黄土高原沟壑景观。全区水土流失中度以上敏感度的面积 68 289.05 km²,水土流失广度达 76.45% (见附图 3)。区内所辖 33 个县(区),除铜川市辖区外均为全国水土流失重点县(区)。

2 研究方法

2.1 土壤斑块类型的划分

根据 1:50 万陕西省土壤图,提取其中关于陕北黄土高原区土壤类型分布数据。并按照国家分级标准将陕北黄土高原区土壤类型划分为 16 种一级类型,70 种二级类型。本次研究考虑到对整个陕北地区土壤类型格局贡献率和对水土流失敏感性结果的影响,将面积占研究区比重低于 3.29% 的土壤类型归并为一类(附图 4)。全区划分为 7 种土壤类型:(1)黄绵土:包括绵沙土、淡灰绵沙土、黄绵土、黑壮土、淡灰黄绵土等;(2)风沙土:包括流动草原风沙土、半固定草原风沙土、固定草原风沙土等;(3)褐土:包括黄土质褐土、扁砂泥褐土、砂砾石褐土、黄土质淋溶褐土、扁砂泥淋溶褐土等;(4)新积土:包括冲积土、新积土等;(5)黑垆土:包括沙黑垆土、黑垆土、黏黑垆土等;(6)红土;(7)其它类型:包括粗骨土、潮土、石质土、栗钙土、沼泽土、盐土、灰钙土、水稻土、紫色土、亚高山草甸土等 10 类。

2.2 数据处理

首先,在 ArcGIS 下剪切陕西省土壤类型图的陕北黄土高原作为研究区。为便于与水土流失敏感性矢量图层的叠加分析,统一选用 Albers 投影。

区域水土流失敏感性的评价,主要从自然和人为因素的 6 个方面来评价。区域水土流失敏感性可以看作各影响因子的综合作用结果,其表达式为 S (水土流失敏感性) = F (降水因子、土壤因子、地形因子、植被因子……)。许多学者对此已做过很多的工作,在这里采用刘康等 2004 年对陕西省水土流失敏感性评价的结果^[5]。从中提取出陕北黄土高原区的矢量数据,并在属性表中对各区域水土流失敏感性进行分级赋权重值。不同敏感级的权重首先是根据敏感级别划分为 1,3,5,7,9 级,确定相对权重级别,之后按各级权重和为 1 的原则计算,得到不敏感、轻度敏感、中度敏感、高度敏感和极度敏感 5 个权重向量(0.04, 0.12, 0.20, 0.28, 0.36)^[6]。

利用 Arc Toolbox/ Identity 将陕北黄土高原土壤类型的矢量图层与该区域水土流失敏感性矢量图层相叠加,生成土壤类型—水土流失敏感性图层。并以此作为计算各土壤类型上水土流失敏感性值的数据基础。对土壤类型与水土流失敏感性的相关关系进行分析。

2.3 景观格局指数选取

人类活动不仅影响土地利用/土地覆被的变化,同时也在不同的程度上改变了土壤类型格局。人类的耕作活动不仅可以加速土壤的熟化,同时滥垦滥牧又加速了水土流失,造成土壤肥力的下降,土壤退化。采用景观格局法来分析土壤类型格局与水土流失敏感性的相互关系,同时通过对此相关性分析又能间接反映人类活动对水土流失的影响程度。

景观格局是指景观的空间结构特征,即景观组成单元的多样性和空间配置^[7]。本文选用反映人类活动影响程度的分维数、破碎度、优势度等景观格局指数来评价土壤类型格局。

分形指数(MPFD)是景观组分中单个斑块的分维数以面积为基准的加权平均值^[7],反映了景观形状的复杂程度。分形指数的值处于 1~2 之间,该值越接近 1 表明景观斑块边界越简单,越接近 2 表明斑块边界越复杂。

$$MPFD_i = \left\{ \frac{2 \ln 0.25 P_i}{\ln a_i} \left(\frac{a_i}{A_i} \right) \right\} \quad (1)$$

式中:MPFD_{*i*}——第 *i* 类景观的分形指数; P_i ——第 *i* 类景观类型的周长; a_i ——第 *i* 个斑块的面积; A_i ——第 *i* 类景观的总面积。

破碎度指数(FN)是指景观被分割的破碎程度,它在一定程度上反映了人类活对景观的干扰强度^[8-9]。破碎度的值处于 0~1 之间,该值越趋于 1,表示景观被破坏的程度越高,越趋于 0 表示景观被破坏的程度越低。

$$FN_i = M_{Ps} (N_i - 1) / N_c \quad (2)$$

式中: FN_i ——第 *i* 类景观的破碎度; M_{Ps} ——景观内所有斑块的平均面积; N_i ——第 *i* 类景观的斑块数; N_c ——研究总面积除以最小斑块面积之值。

优势度指数(D)表示景观多样性与最大多样性的偏离程度^[8-9]。

$$D_i = H_{\max} + P_i \times \ln P_i \quad H_{\max} = \ln N \quad (3)$$

式中: D_i ——第 *i* 类景观的优势度; H_{\max} ——研究区各类型景观所占比例相等时,景观拥有的最大多样指数; N ——景观类型总数; P_i ——第 *i* 类景观面积占区域总面积的比重。

2.4 土壤类型的水土流失敏感性计算

本文采用邱彭华等对海南西部生态脆弱性分析时的计算公式^[6]。用各土壤斑块占该类土壤类型面积的比乘以该类土壤类型的水土流失敏感性权重,算出各土壤类型的水土流失敏感性值。

$$S_{Ei} = \sum_{j=1}^n \frac{A_{ij}}{A_i} W_{ij} \quad (4)$$

式中: S_{Ei} ——第 i 类景观的水土流失敏感性指数; A_{ij} ——表示 i 景观类型分布在 j 等级水土流失敏感性上的面积; A_i ——第 i 类景观总面积; W_{ij} ——第 i 类景观相对于 j 等级水土流失敏感性的权重; i ——景观类型; j ——水土流失敏感等级; n ——景观类型总数。

在合并后的土壤类型——水土流失敏感性图层上,通过 ArcGIS 的计算功能计算出各土壤类型的水土流失敏感性值。

3 结果分析

3.1 土壤类型格局总体特征分析

陕北黄土高原区土壤类型的面积中,黄绵土的面积 54 343.32 km²,占全区总面积的 60.84%;其次是风沙土,也占到全区总面积的 13.13%;面积最少的是红土,仅占 3.29%。从面积贡献率来看,黄绵土是该区域土壤类型格局的基质,其它土壤类型则是分布在其中的斑块。该区域共有 5 147 个土壤斑块,其中黄绵土占 1 826 个斑块,占总斑块数的 35.48%;其次是风沙土,也占到 20.38%;与各土壤类型面积比重不同的是,土壤类型斑块个数最少的是褐土,共 237 块,仅占 4.61%(表 1)。这主要是由于褐土分布于陕北黄土高原南部,水土流失敏感性较低,土壤类型斑块的破碎化程度较轻。从斑块平均面积上分析,除了黄绵土以外,褐土的斑块平均面积最大,也正说明了其斑块破碎化程度较低。

表 1 陕北黄土高原土壤类型格局总体特征

土壤类型	面积/ km ²	所占 比重/%	斑块数	所占 比重/%	平均 面积/km ²
黄绵土	54 343	60.84	1 826	35.48	29.76
风沙土	11 727	13.13	1 049	20.38	11.18
褐土	6 306	7.06	237	4.61	25.47
新积土	5 138	5.75	246	4.78	20.89
黑垆土	3 298	3.69	430	8.35	7.67
红土	2 939	3.29	662	12.86	4.44
其它	5 576	6.24	697	13.54	8.00
合计	89 327		5 147		17.36

3.2 水土流失敏感性与土壤类型格局破碎化分析

在 ArcGIS 下,从土壤类型—水土流失敏感性图层上提取各土壤类型的总面积、水土流失敏感性等级及各土壤类型小斑块面积等数据,按公式(4)计算出各土壤类型上的水土流失敏感性值。结果表明黄绵土的敏感性值最高,为 0.285,风沙土次之,为 0.282,

最低的是褐土,其值仅为 0.151(表 2)。从土壤类型在各水土流失敏感区的分布上分析,黄绵土主要分布在水土流失的极度敏感区,其面积占到黄绵土总面积的 54.32%,从而导致黄绵土整体的水土流失脆弱性程度较高;与黄绵土的分布情况相似的是,风沙土也主要分布在极度敏感区,所占面积占到风沙土总面积 38.57%;与此相反的是褐土则主要分布在轻度及中度敏感区,占到褐土总面积的 80.22%,最终使得褐土水土流失总体敏感性较低。

土壤类型格局破碎化分析主要从土壤类型格局的分维数和破碎度两个方面展开。首先对整个区域的土壤类型格局的分维数进行了计算。结果表明,黄绵土的分维数值最高,褐土最低。各土壤类型分维数排序具体如下:黄绵土 > 新积土 > 红土 > 其它土类 > 风沙土 > 黑垆土 > 褐土。再从各土壤类型的破碎度分析,与分维数相似的是,黄绵土的破碎度值也是最高的。具体的各土壤类型破碎度排序如下:黄绵土 > 风沙土 > 其它土类 > 红土 > 黑垆土 > 新积土 > 褐土(表 2)。对于黄绵土来说,其分维数和破碎度均是最高,表明其边界的复杂程度最高,破碎化程度也是最高的。从分维数方面分析,分维数值越接近于 1,其受到的人类干扰越大;该值越接近 2,表明景观保持的自然程度越高。该区域各土壤类型分维数位于 1.2~1.4 之间,都相对更接近于 1,表明其总体上受人类干扰程度都较高。黄绵土主要分布于该区域中部,由于黄绵土土质疏松,有机质含量低,加之人类在此区域不合理的开发活动,使得其水土流失敏感性程度较高,最终导致黄绵土破碎化程度较高。风沙土的分维数相对较低,表明由于受到自然条件的限制,该区域的土壤类型格局特征更接近于自然特征,但由于该区域风力土壤侵蚀程度较高,以及退耕还林还草及“三北”防护林工程的实施,致使风沙土的破碎度较高。褐土的分维数和破碎度均最低,主要是由于褐土位于该区域南部,水土流失敏感性程度较低,且该区域为主要的发业区,是受人类影响程度最高的区域之一,土壤类型较为均一。

以上的分析显示,各土壤类型水土流失敏感性与土壤类型破碎化存在明显的相关关系,特别是土壤类型破碎度。除其它土类以外,从黄绵土到褐土,各土壤类型的敏感度是趋于降低的,这与土壤类型的破碎的变化趋势相一致。从总体上分析,除了红土和新积土由于人类活动的强烈干扰,分维数较高外,土壤类型分维数与土壤类型敏感性的变化也是趋于一致的(图 1)。说明随着土壤类型格局的破碎化程度升高,水土流失敏感性程度也将不断加剧。

表 2 土壤类型格局分维数和破碎度

土壤类型	黄绵土	风沙土	红土	黑垆土	新积土	褐土	其它
分维数	1.358	1.323	1.341	1.314	1.342	1.290	1.337
破碎度	32.994	18.947	11.95	7.756	4.429	4.267	12.58
水土流失敏感性值	0.285	0.282	0.269	0.235	0.210	0.151	0.277

3.3 水土流失敏感性与土壤类型格局优势度分析

优势度主要反映各景观类型分配的均匀程度,优势度越大,各景观类型所占比例的差也就越大。经过计算,该研究区各土壤类型格局优势度为:新积土 > 褐土 > 黑垆土 > 风沙土 > 黄绵土 > 其它土类 > 红土(表 3)。新积土在各土壤类型中的优势度最大,表明各斑块面积差异很大。新积土主要分布于河流两岸,由于各流域面积差异较大,以及人类在新积土上从事的农业活动从而打破原本成片分布的新积土,使其呈

现出各斑块面积极不均匀的结果。与土壤类型分维数和破碎度分布不同的是,红土与黄绵土的优势度则较低,表明其各斑块面积大小差异较小,均匀性相对较高。

由图 2 可以看出,随着土壤类型优势度的升高而水土流失敏感性则降低。如黄绵土水土流失敏感最高,但是其土壤类型优势度则较低;新积土的优势度最高,而其水土流失敏感性则较低。反映出水土流失敏感性与土壤类型格局的优势度呈负相关的关系。

表 3 土壤类型格局优势度

土壤类型	新积土	褐土	黑垆土	风沙土	黄绵土	红土	其它
优势度	4.460	4.330	3.480	3.260	2.840	2.570	2.860
水土流失敏感性值	0.210	0.151	0.235	0.282	0.285	0.269	0.277

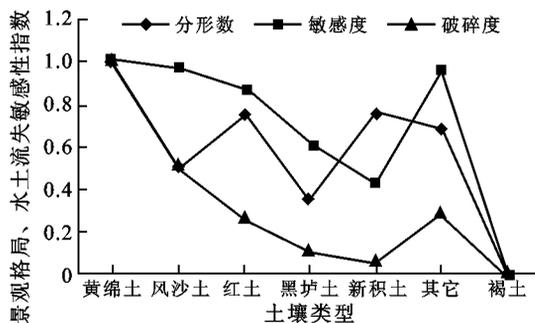


图 1 水土流失敏感性与土壤类型破碎化关系

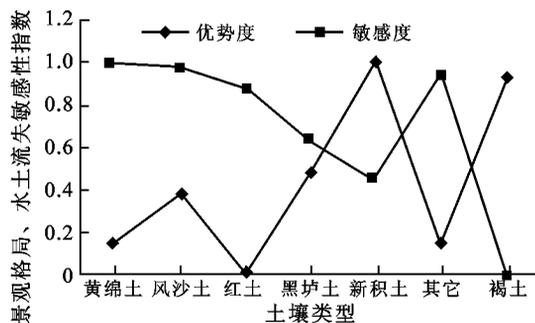


图 2 水土流失敏感性与土壤类型格局优势度

3.4 水土流失综合敏感性与各土壤类型水土流失敏感性分析

水土流失敏感性综合评价结果是在综合各降水因子、土壤因子、地形因子、植被因子等因子基础上得出的^[5]。各土壤类型水土流失敏感性是以水土流失敏感性综合评价结果作为基础,以土壤类型为评价的基本单元,经过分析计算得出各土壤类型的水土流失敏感性评价结果。

该结果总体上既可以反映陕北黄土高原的水土流失空间分布特征,又可以说明各土壤类型水土流失敏感性特征与土壤类型格局的相关关系。

4 结论

(1) 由于陕北黄土高原区独特的土质、地形、气候特征,造成该区域土壤的格局破碎度及分维数较

大,并且随着人类活动影响程度的加大而逐渐升高。

(2) 该区域土壤类型格局优势度较高,各土壤类型面积差异较大。其中新积土的优势度最高,均匀度最小。

(3) 陕北黄土高原区水土流失敏感性等级较高的区域所占比例较大,其中中度敏感性以上(不包括中度)占到该区域总面积的 60.02%。主要分布于研究区的中部及西北部,中部的水土流失主要是水力土壤侵蚀,西北部则主要为风力土壤侵蚀。

(4) 陕北黄土高原区水土流失敏感性总体较高,这不仅与土壤自身特征相关,并且与土壤类型格局有着密切的关系。水土流失敏感性与土壤类型的分维数和破碎度存在正相关关系,与土壤类型优势度总体呈负相关关系。

(下转第 122 页)

表现出很强的净化能力,且生长状况良好。经 3 种植物处理过的城市尾水,其氮、磷的浓度随水培时间的增加而降低,特别是莎草、酸模,对污水中 TN 的去除率达 90% 以上,其中莎草的净化效果最好,达 93.4%。3 种植物对 TP 的去除率达 70% 以上,其中空心菜的净化效果最好,为 76.9%。莎草显示出对 $\text{NH}_4^+ -\text{N}$ 最好的净化效果,达到 94.4%。酸模对 $\text{NO}_3^- -\text{N}$ 净化效果表现最好,为 65.4%;对照处理中氮、磷的浓度的降低要低于有植物处理的系统。

3 种植物对模拟富营养化水体中不同形态氮素的研究结果表明,3 种植物对铵态氮和硝态氮都有一定的吸收作用,而且植物优先吸收 $\text{NH}_4^+ -\text{N}$,对 $\text{NH}_4^+ -\text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- -\text{N}$ 从净化效果顺序都是莎草 > 酸模 > 空心菜。

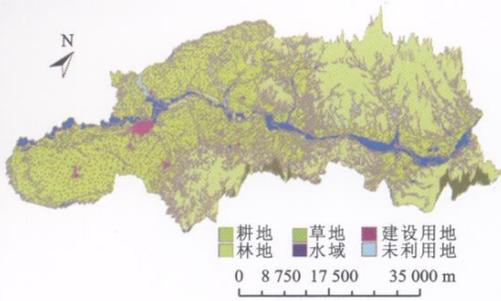
[参 考 文 献]

- [1] Carpentar S R, Caraco N F, Correll D F, et al. Non-point pollution of surface waters with nitrogen and phosphorus[J]. *Ecological Applications*, 1998, 8(3): 559-568.
- [2] Smith V H, Schwartz G E, Alexander R B. Regional interpretation of water quality monitoring data[J]. *Water Resource Reseaerch*, 1997, 33(12): 2781-2798.
- [3] 陈文, 玉林. 水源地水库富营养化污染现状与对策[J]. *广西水利水电*, 2008(2): 16-18, 22.
- [4] Sooknah R D, Wilkie A C. Nutrient removal by floating aquatic macrophytes cultured in anaerobically digested flushed dairy manure wastewater[J]. *Ecological Engineering*, 2004, 22: 27-42.
- [5] Vaillant N, Monnet F, Sallanon H. Treatment of domestic wastewater by an hydroponic NFT system[J]. *Chemosphere*, 2003, 50(1): 121-129.
- [6] Xia H L, Ma X J. Phytoremediation of ethion by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) from Water[J]. *Biore-source Technology*, 2006, 97(8): 1050-1054.
- [7] Fraser L H, Carty S M, Steer D. A test of four plant species to reduce total nitrogen and total phosphorus from soil leachate in subsurface wetland microcosms[J]. *Bioresource Technology*, 2004, 94(2): 185-192.
- [8] 苏玉萍, 林颖昕, 林佳. 福建省典型饮用水源地水库富营养化状况调查与分析[J]. *亚热带资源与环境*, 2008, 3(1): 59-56.
- [9] 周炜, 谢爱军, 年跃刚, 等. 人工湿地净化富营养化河水试验研究: 植物对氮、磷污染物的净化作用[J]. *净水技术*, 2006, 25(3): 35-39.
- [10] 李文朝. 富营养水体中常绿水生植被组建及净化效果研究[J]. *中国环境科学*, 1997, 17(1): 53-57.
- [11] Fredeen A L, Rao I M, Terry N. Influence of phosphorus nutrition on growth and carbon partitioning in *Glycine max*[J]. *Plant Physiol*, 1989, 89: 220-280.
- [12] 张鸿, 陈光荣, 吴振斌, 等. 两种人工湿地中氮、磷净化率与细菌分布关系的初步研究[J]. *华中师范大学学报: 自然科学版*, 1999, 33(4): 575-578.
- [13] 周建昌, 周丽燕, 邢海. 陆生植物对富营养化水体净化及美化效果研究[J]. *河北农业科学*, 2008, 12(1): 42-43.
- [14] 刘佳, 刘永立, 叶庆富. 水生植物对水体中氮、磷的吸收与抑藻效应的研究[J]. *核农学报*, 2007, 21(4): 393-396.

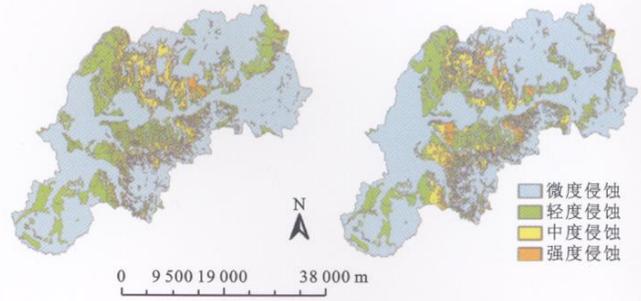
(上接第 97 页)

[参 考 文 献]

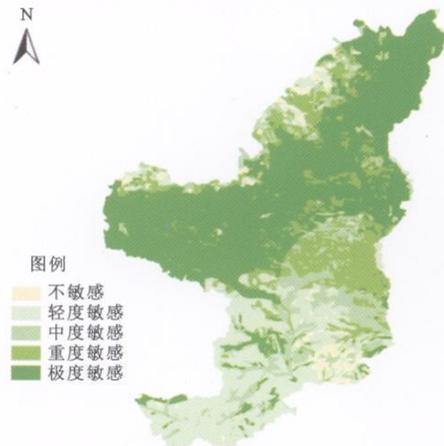
- [1] 张宗祜. 黄土高原区域环境地质问题及治理[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 25-31.
- [2] 周自翔, 任志远. GIS 支持下的土地利用与土壤侵蚀强度相关性研究[J]. *生态学杂志*, 2006, 25(6): 629-634.
- [3] 杨振, 牛叔文, 吴文恒. 陇中黄土高原水土流失的人文因素分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2005, 19(6): 124-128.
- [4] 索安宁, 王天明, 袁飞, 等. 近 50 年来黄土高原中部水土流失的时空演化特征[J]. *北京林业大学学报*, 2007, 29(1): 90-97.
- [5] 刘康, 康艳, 曹明明, 等. 基于 GIS 的陕西省水土流失敏感性评价[J]. *水土保持学报*, 2004, 18(5): 168-170.
- [6] 邱彭华, 徐颂军, 谢跟踪, 等. 基于景观格局和生态敏感性的海南西部地区生态脆弱性分析[J]. *生态学报*, 2007, 27(4): 1257-1264.
- [7] 杨国靖, 肖笃宁, 赵成章, 等. 基于 GIS 的祁连山森林景观格局分析[J]. *干旱区研究*, 2004, 21(1): 27-31.
- [8] 肖笃宁. 景观生态学研究进展[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1999: 238-244.
- [9] 查轩, 张萍. 基于 GIS 的重要水源地东圳库区土壤侵蚀与景观格局分析[J]. *水土保持学报*, 2007, 21(3): 44-47.



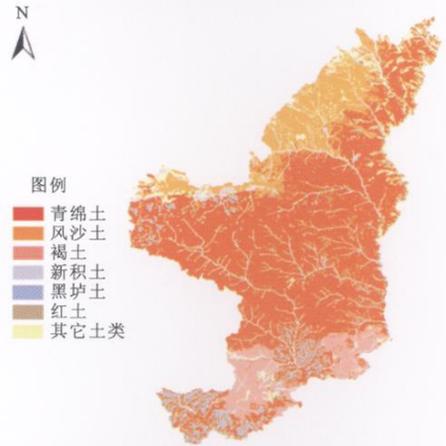
附图1 松花江流域哈尔滨段土地利用与地貌叠加图



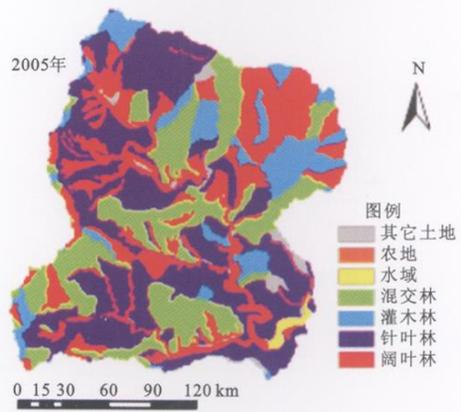
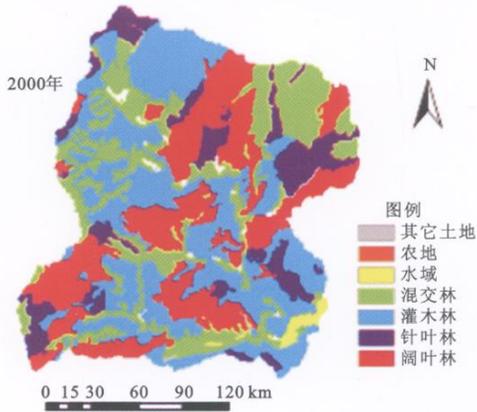
附图2 松花江流域哈尔滨段土壤侵蚀分布图



附图3 陕北黄土高原水土流失敏感性分布



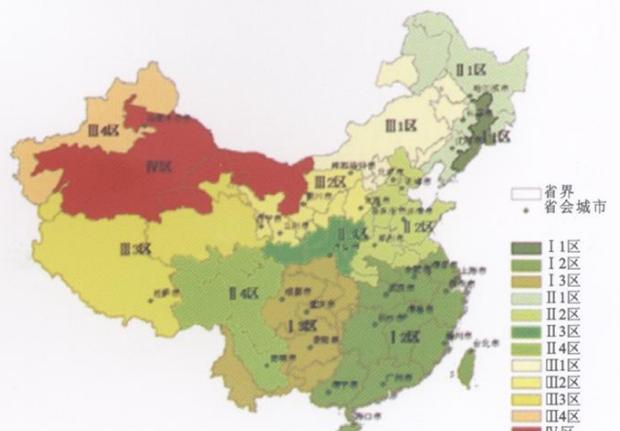
附图4 陕北黄土高原土壤类型分布



附图5 半城子水库流域景观格局图



附图6 全国水土保持生态修复一级分区图



附图7 全国水土保持生态修复二级分区图