

黄土高原丘陵区景观特征与景观指数粒度效应研究

刘源鑫¹, 焦峰^{2,3}

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学
水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:选取黄土丘陵沟壑区高家沟流域为研究区,基于遥感图像绘制流域土地利用景观图,利用 GIS 相关软件以及景观格局分析软件 Fragstats,计算高家沟流域的景观格局指数,并在景观水平上对指数的粒度效应进行了研究。结果表明:草地为高家沟流域土地利用类型的主体,园地稀少,各土地利用类型布局分散,斑块形状较复杂,土地利用结构不够合理;粒度变化对景观指数的计算具有重要影响,各景观指数均具有明显的粒度效应,不同的景观指数随粒度增加表现出不同的变化趋势:(1) 景观指数随粒度的增加有明显的下降趋势;(2) 景观指数随粒度的增加变化趋势不明显,或上升或下降,并呈现出一定的波动性。高家沟流域景观分析的适宜粒度范围为 75~120 m。

关键词:景观格局; 景观指数; 粒度效应

中图分类号:P901

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)03-0023-05

Landscape Pattern Characteristics and Grain Effect of Landscape Index in Loess Hilly Region

LIU Yuan-xin¹, JIAO Feng^{2,3}

(1. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi
712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi
712100, China; 3. Institute of Soil and Water Conservation, CAS&MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Taking Gaojiagou Basin as study area, based on RS(Remote Sensing) technologies, the landscape map was made. In order to analyze the grain effects at the landscape level, GIS (Geographic Information System) software and landscape pattern analysis software Fragstats were used to calculate landscape pattern indices of Gaojiagou Basin. The results showed that the grassland was the dominant land use type in Gaojiagou Basin while the garden plot was small and the structures of many land use types were unreasonable with complicated patches as well as scattering distribution; grain change had great effects on landscape index calculation and different indices had different grain effects: (1) landscape indices showed a gradual downward trend with the increasing grain size; (2) landscape indices showed the unobvious trend with the increasing grain size, and it was fluctuation. The grain size which was suitable for analyzing the landscape in the study area should be 75~120 m.

Key words: landscape pattern; landscape index; grain effect

景观格局包括景观组成单元的类型、数目以及空间分布与配置,是景观空间结构的具体体现,也是景观功能和动态变化的重要因素^[1]。近年来,景观格局及其动态变化研究逐渐成为景观生态学的研究热点。

景观格局既是景观生态学研究的核心内容,也是景观生态评价、设计及管理应用研究的基础^[2]。而在人类活动起主要作用的景观里,土地利用是景观空间格局的决定性因素。流域是一个完整的自然地理单元,

收稿日期:2012-10-28

修回日期:2012-11-30

资助项目:国家自然科学基金(41271043);中科院知识创新重要方向项目(KZCX2-EW-406);中国科学院重点部署项目(KZZD-EW-04-03);西北农林科技大学科技创新重点项目(QN2011073)

作者简介:刘源鑫(1988—),男,山东蒙阴人,硕士,主要从事 GIS 与景观格局的变化研究。E-mail:liuyuanxin2010@163.com

通信作者:焦峰(1967—),男,陕西西原人,副研究员,博士,主要从事 GIS 应用、水土保持与环境效应监测评价研究。E-mail:jiaof11@126.com

其景观格局是自然与人为因素综合作用的结果,因而对流域景观格局的研究,是揭示流域环境状况、空间变异性特征及与生态过程相关的区域资源环境问题的有效手段。景观指数作为分析景观格局特征的定量化指标,得到了迅速发展^[3-4]。本文以黄土高原高家沟小流域为研究对象,分析其土地利用景观格局状况;根据流域特定地形,在景观整体水平上,选取了 8 个常用景观指数,探讨其不同粒度下的变化规律,以期在不同尺度下土地利用类型、格局变化预测和评价提供参考。

1 研究区概况

选择黄土高原腹地延河上游干流的高家沟小流域($37^{\circ}12'31''$ — $37^{\circ}16'36''$ N, $108^{\circ}58'5''$ — $109^{\circ}2'52''$ E)为研究区,高家沟小流域地处陕西省安塞县镰刀湾乡,流域总面积 28.13 km^2 。包括高家沟村全部、镰刀湾村和双山则村的部分,属草原带,海拔 $1\,245\sim 1\,634\text{ m}$,年均降雨量 402.62 mm ^[5]。土壤类型以黄绵土为主,间有少量典型黑垆土,土地利用类型以草地为主。村内有芒硝、白云石等自然资源,主要农产品有芦笋、马铃薯、菠菜等。流域内地形起伏,沟壑交错,水土流失严重。

2 研究方法 & 景观格局指数选取

2.1 资料来源

数据资料主要包括遥感图像、地形图及研究区的行政区划图等。多光谱彩色影像来源于 GeoEye-1 商业卫星,成像日期为 2009 年 10 月 18 日,空间分辨率为 1.65 m 。将图像与已有 $1:10\,000$ 地形图进行配准,最终得到的图像为高斯—克吕格投影,北京 1954 坐标系,图像清晰分辨率高。

2.2 研究方法

参考《土地利用现状分类》(GB/T 21010—2007),结合高家沟小流域特点,制定高家沟流域土地利用现状分类体系,将流域内的土地利用类型划分为果园、梯田、天然草地、改良草地、有林地、灌木林地、河流水面等 17 种;携带高家沟流域 $1:10\,000$ 地形图、高家沟流域遥感图像、手持 GPS 及测距望远镜等,于 2011 年 7 月 15 日至 30 日赴安塞县高家沟流域进行调查,对照地形图上沟缘线、坡脚线和崩边线等典型地貌特征线,在地形图上确定斑块的位置并勾绘出边界,同时记录景观斑块特征;将野外调查成果输入计算机,基于地理信息系统软件 ArcGIS 9.3 生

成土地利用现状图,最终确定各个图斑的土地利用类型,得到高家沟流域土地利用矢量图;在已有土地利用分类的基础上,再划分为草地、耕地、林地、园地、水域、未利用地、交通用地、居民点及工矿用地 8 种景观类型,得到高家沟流域景观图(附图 3);利用景观指数计算软件 Fragstats 3.3,计算景观格局的各项指标。

在 ArcGIS 9.3 中,对已得到的高家沟流域景观图进行重采样。根据前人的研究成果^[6-7]及高家沟流域的实际情况,将像元大小依次设置为 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165 m 共 10 个等级,分别计算不同粒度图像的景观指数并进行分析。

2.3 景观格局指数的选取

景观指数是指能够高度浓缩景观格局信息,反映其结构组成和空间配置某些方面的简单定量指标。通过景观指数我们可以对景观的组成特征、空间配置、动态变化等信息进行定量研究。景观格局指数分为斑块水平指数、斑块类型指数和景观水平指数^[8]。土地利用景观格局由土地利用斑块的类型、数量、形状及空间组合所决定^[9]。根据已有研究结合研究区的实际情况,本文选取总面积(TA)、斑块面积(CA)、斑块数目(NP)、面积比例(PLAND)、斑块密度(PD)、最大斑块指数(LPI)、景观形状指数(LSI)、Shannon 多样性指数(SHDI)、Shannon 均匀度指数(SHEI)、聚合度指数(AI)、破碎度指数(SPLIT)、周长面积分维数(PAFRAC)12 个指标,分别在斑块类型水平和景观水平上对研究区的景观格局特征进行分析。选取斑块数目(NP)、斑块密度(PD)、最大斑块指数(LPI)、景观形状指数(LSI)、蔓延度指数(CONTAG)、香农多样性指数(SHDI)、香农均匀度指数(SHEI)、聚合度指数(AI)8 个有代表性的指数进行粒度效应分析,各景观指数含义见表 1。

3 结果与分析

3.1 景观类型特征值分析

3.1.1 高家沟流域景观格局定量分析 景观形状指数(LSI)反映了整体景观形状的复杂程度,其值越近于 1,整体景观形状越简单,反之则越复杂。从表 2 可知,整体景观的形状指数为 20.29,说明景观整体形状较复杂;而各景观类型中,林地、草地、交通用地和未利用地的景观形状指数较高,园地、居民地及工矿用地较低,这一点从景观类型图中也可以看出,林地、草地等形状复杂多变指数较高,而园地斑块较少、居民地及工矿用地多成规则块状而指数较低。从表 3 可知,草地占整个景观面积的 63.68%,最大斑块指数为 60.97,远远高于其他景观类型,充分反映出草

地是高家沟流域土地利用类型的主体;而园地仅仅为 7.92 hm²,说明高家沟流域内果园稀少。交通用地和林地的斑块密度分别为 8.14 个/km² 和 6.51 个/km²,表明其破碎化程度较高。斑块数目上,以交通用地为最多,林地和未利用地次之,这是由于勾绘交通用地时,将农村及山林小路一并勾绘成图,而林地较分散,

未利用地数目多且分布于流域内各处,草地是流域内的主体,成片分布且面积广大,因此斑块数目相对较少。交通用地、水域的周长面积分维数较高,反映出这两类斑块在流域内蜿蜒曲折的分布;由于园地斑块数目少于 10,PAFRAC 可能大大超过该值的理论范围^[10],是不确定的,因而标记为‘N/A’。

表 1 景观指数

景观指数	计算公式	描述
总面积	$TA=\frac{A}{10000}$	景观总面积
斑块面积	$CA=\sum_{j=1}^n a_{ij} \times \frac{1}{1000}$	景观中某一类型的总面积
斑块数目	$NP=N$	整个景观或景观中某景观类型的斑块数量
面积比例	$PLAND=\frac{\sum_{i=1}^n a_{ij}}{A} \times 100$	某一类型斑块所占景观总面积的比例
斑块密度	$PD=\frac{N}{A}$	景观或景观中某一类型的单位面积斑块数量
最大斑块指数	$LPI=\frac{\max(a_1, \cdots, a_n)}{A} \times 100$	最大斑块所占的面积比例
景观形状指数	$LSI=0.25E/\sqrt{A}$	景观的发育程度
香农多样性指数	$SHDI=-\sum_{i=1}^m P_i \ln P_i$	景观斑块的不确定性及其反映景观异质性
香农均匀度指数	$SHEI=H/H_{\max}$	景观中各斑块在面积上的不均匀程度
聚合度指数	$AI=[\sum_{i=1}^n [\frac{\theta_{ii}}{\theta_{ii\max}}] \times P_i] \times 100$	景观中同类斑块的聚集程度
蔓延度指数	$CONTAG[1+\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m P_i (\frac{\theta_{ii}}{\sum_{k=1}^m \theta_{ik}} \times \ln P_i (\frac{\theta_i}{\sum_{k=1}^m \theta_{ik}}))}{2 \ln m}] \times 100$	景观中不同斑块类型的非随机性或聚集程度
破碎度指数	$SPLIT=\frac{A^2}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}^2}$	景观中斑块的破碎程度
周长面积分维数	$PAFRAC=\frac{2}{\frac{N \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (\ln P_{ij} \times \ln a_{ij}) - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \ln P_{ij} \times \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \ln a_{ij}}{N \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \ln P_{ij}^2 - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \ln P_{ij}}}$	景观中不同斑块类型的非随机性或聚集程度

3.1.2 延河上游高家沟流域景观形态结构分析 草地、园地和耕地的聚合度较高,除交通用地之外,水域的聚合度指数最低。这主要是由于草地为流域内土地利用类型的主体,分布广泛且面积大,各斑块多相连分布;园地斑块数量较少且分布集中;耕地由于多靠近居民点,因此也成片相依分布;河流和水库分散在流域内,聚合度太高反而不利于农业生产。各土地利用类型中,居民点及工矿用地的聚合度不高,这主要是因为景观类型将二者划到一起后,工矿用地数量多且面积大于居民点,使得其整体聚合度并不高。如

果单独研究居民点,由于农户以村落为单位聚居,聚合度应较高;工矿用地较分散,因此其聚合度应当较低。

景观异质性指数(多样性、优势度、均与度、分离度及破碎度等)可反映各景观斑块内部的空间分布状况,从而在整体上反映景观的空间结构特征^[11]。由表 2 可知,整体景观的香农多样性指数较低,为 1.21,说明高家沟流域内优势景观明显,土地利用结构不够合理;景观均匀度指数为 0.58,反映出景观各斑块分布不够均匀。

表 2 高家沟流域景观整体特征值

名称	总面积 TA/ hm ²	斑块数目 NP/个	斑块密度 PD/ (个·km ⁻²)	最大斑块 指数 LPI/%	形状 指数 LSI	香农多样性 指数 SHDI	香农均匀度 指数 SHEI	分离度指数 SPLIT
整体景观	2813.04	813	28.90	60.97	20.29	1.21	0.58	2.68

表 3 高家沟流域景观类型特征值

名称	斑块面积 CA/hm ²	面积比例 PLAND/%	斑块数目 NP/个	斑块密度 PD/ (个·km ⁻²)	最大斑块 指数 LPI/%	形状指数 LSI	周长面积分 维数 PAFRAC	聚合 度 AI
草地	1791.45	63.68	29	1.03	60.97	19.31	1.55	86.89
未利用地	274.23	9.75	145	5.15	1.14	17.88	1.46	68.68
耕地	332.73	11.83	92	3.27	1.28	15.84	1.42	75.11
居民点及工矿用地	39.87	1.42	66	2.35	0.18	9.16	1.36	58.36
林地	271.71	9.66	183	6.51	0.94	22.02	1.50	61.00
交通用地	46.80	1.66	229	8.14	0.04	18.57	1.69	18.71
水域	48.33	1.72	64	2.28	0.57	13.55	1.68	42.55
园地	7.92	0.28	5	0.18	0.14	3.26	N/A	72.61

3.2 景观指数的粒度效应

选取景观水平上的斑块数目(NP)、斑块密度(PD)、最大斑块指数(LPI)、形状指数(LSI)、蔓延度指数(CONTAG)、香农多样性指数(SHDI)、香农均匀度指数(SHEI)和聚合度指数(AI)8个具有代表性的指标,以不同粒度为横轴,以该粒度下对应的景观指标数值为纵轴,建立了高家沟流域景观指数粒度效应曲线(图1)。由图1可知,随着粒度的增加,各景观指数呈现出不同的变化趋势,说明景观格局指数具有明显的尺度效应。由于不同的景观指数反映的景观特点不同,造成部分景观指数具有显著的变化趋势,部分则变化趋势不明显。根据各景观指数的变化趋势,可将8个景观指数大体分为以下两类:(1)景观指数随粒度的增加有明显的下降趋势;(2)景观指数随粒度的增加变化趋势不明显,或上升或下降,并呈现出一定的波动性。符合第一类变化特征的景观指数主要有NP(斑块数目)、PD(斑块密度)、LSI(景观形状指数)、CONTAG(蔓延度指数)和AI(聚合度指数),随粒度的增加呈现出明显的幂函数下降趋势,且都没有明显的变化拐点。这些景观指数的变化趋势,很好地反映出景观斑块随着粒度的增加,被周边的景观斑块聚合或吞并,导致其面积变小或逐渐消失,景观形状和边界趋于简单,斑块分布的分散性增强。其中蔓延度指数变化很平缓,这是由于其主要与边缘度有关,当边缘度很低时,蔓延度指数就大。本研究区内,由于草地是流域内的主体,占相当大的面积,所以保证了蔓延度指数的变化并不十分剧烈。

符合第二类变化特征的景观指数主要有LPI(最大斑块指数)、SHEI(香农均匀度指数)和SHDI(香农多样性指数)。其中,最大斑块指数的变化呈现先下

降后上升的趋势,这是由于其表示的是各类型中最大斑块占流域总面积的百分比,是一种简单的优势度表示法,流域内草地是土地利用类型的主体,随着粒度的增加,某些斑块先是被打碎后又逐渐被吞并,因此最大景观类型斑块的面积也随之先变小后变大。香农均匀度指数和香农多样性指数变化趋势较一致。香农多样性指数不仅反映了景观内部斑块类型的丰富度,也反映了每个斑块类型的相对分布。

由图1可以看出,在粒度为75 m左右有一个明显的拐点,在此之前指数数值逐渐上升,之后开始下降,到105 m和120 m时出现两个拐点,但总体还是呈下降的趋势,这是因为在75 m之前,随着粒度的增加,各类斑块变的有些破碎,从而景观多样性程度提高,而之后随着粒度的增加,景观小斑块被临近的大斑块归并和吞噬,导致复杂性降低,多样性程度降低。香农均匀度指数反映了景观中各斑块在面积分布上的均匀程度,也出现了75,105,120 m这3个较明显的拐点,与香农多样性指数变化较一致。由此也可看出,香农多样性指数和均匀度指数的变化规律相同,在应用多样性指数进行景观格局分析时,选择其中一个景观指数即可。

3.3 高家沟流域景观格局分析的适宜粒度

从定性分析的角度出发,利用景观指数的粒度效应曲线确定景观格局分析的最佳分析粒度。对于景观整体而言,最佳粒度的划分需要综合各指数的拐点,两拐点间的区域即为粒度域,进而确定最佳分析粒度。通过以上对景观格局指数的分析,选定最大斑块、香农多样性、香农均匀度3个有明显粒度拐点的指数,根据图中拐点确定高家沟流域景观分析的最佳粒度范围为75~120 m。

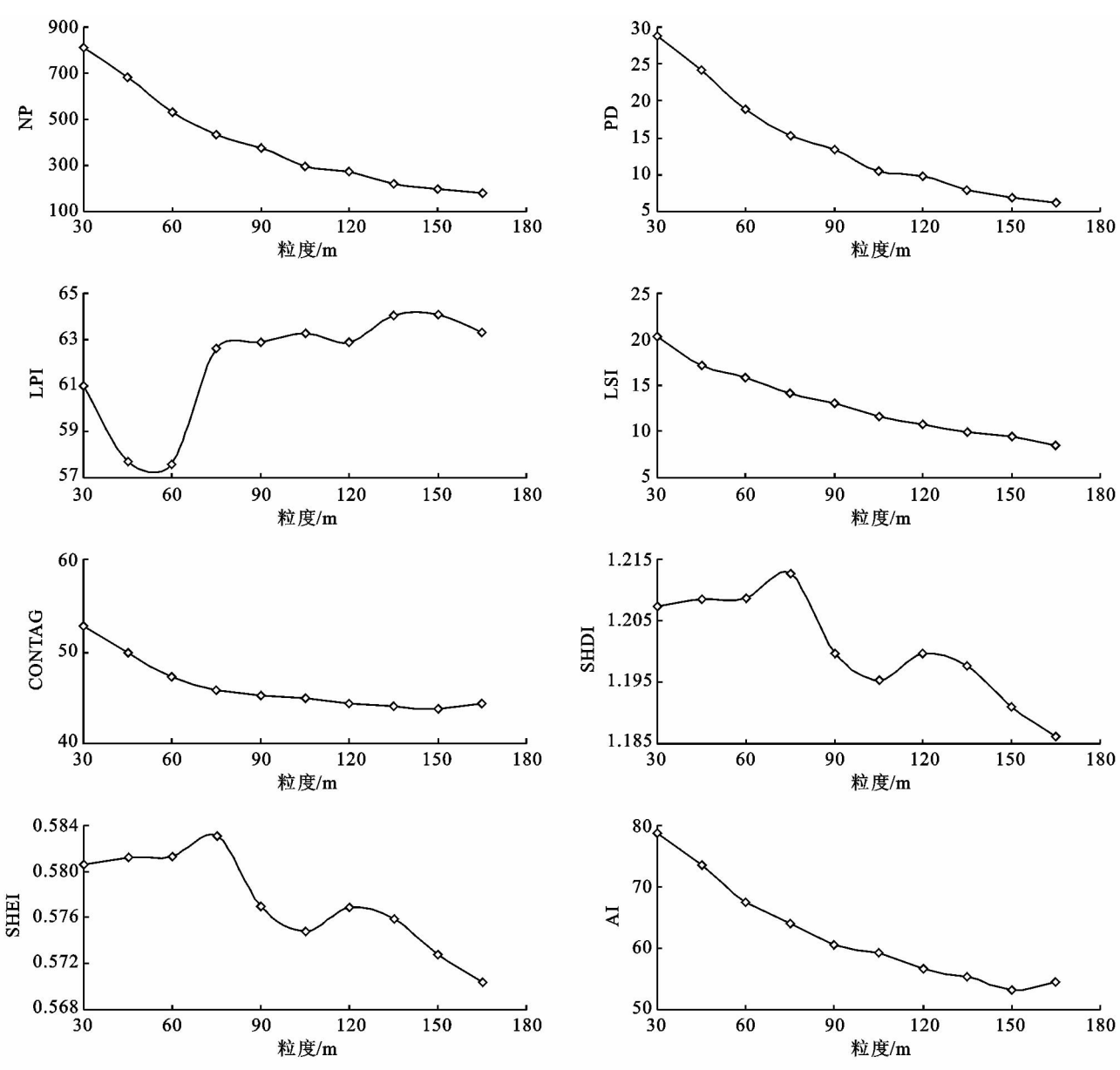


图 1 高家沟流域景观指数粒度效应曲线

4 结论与讨论

以高家沟小流域为研究区,利用遥感图像,采取实地勾绘的方式,绘制了流域土地利用现状图,进而绘制景观图,在景观水平和斑块类型水平上对景观格局特征进行了分析;选取 8 个景观格局指数研究其粒度效应,并得到本流域景观分析的适宜粒度。结果表明:

(1) 高家沟流域景观整体形状较复杂,草地为流域内主要的土地利用类型,分布广泛且面积大,园地较少且分布集中,林地破碎化程度较高。流域土地利用结构不够合理,各斑块分布不够均匀。

(2) 景观指数具有明显的粒度效应,斑块数目、斑块密度、景观形状指数、蔓延度指数和聚合度指数,均随粒度的增加呈现出明显的幂函数下降趋势,且都没有明显的拐点;最大斑块指数、香农均匀度指数和香农多样性指数,随粒度的增加或升或降,存在明显的拐点。

(3) 根据景观指数的粒度效应曲线选择存在拐点的指数,通过拐点之间的区域确定高家沟流域景观分析的最佳粒度范围为 75~120 m。

为测定景观格局对生态过程的影响,常使用景观指数描述复杂的景观格局,由于大部分指数之间具有较强的相关性,导致景观信息存在重复现象^[12-13],因此研究所选取的景观指数并不能完整地反映研究区的景观特征。粒度效应分析表明,景观分析存在适宜粒度范围,因此选择合适的粒度进行土地利用景观分析,才能得出合理的研究结果。限于篇幅,本文没有对高家沟流域土地利用景观的生态效应进行进一步分析,如何将景观格局特征及其变化同流域生态过程结合,研究其互动效应^[14-15],并与现行的水土流失治理措施相衔接,是本研究需要深入的一个重要方向。

(下转第 31 页)

此可通过人为耕作施肥来改变 S、N 元素含量从而影响土壤有机碳含量。土壤有机碳与 P 元素呈不相关关系(0.053 852);与 SiO₂ 呈较显著负相关关系(r 值为-0.530 66),即 SiO₂ 含量越大,土壤有机碳含量越低,因此在耕作中应注意控制 SiO₂ 的含量。

(3) 土壤有机碳含量与 Cd、Zn、Pb、Hg 元素呈较显著相关性(0.671 7,0.658 103,0.649 769,0.628 8,0.558 928),且均为正相关。伴随着这些元素含量增加,土壤有机碳含量有增加态势,其原因还待于下一步深入研究。

(4) 沱江流域内江段研究区有机碳含量与有效 B、有效 Cu、速效 K、水解性 N、有效 S、有效 Fe 的含量具有较明显的正相关性,与其他元素有效态含量相关性较低。

参考文献:

[1] 方华军,杨学明,张晓平. 农田土壤有机碳动态研究进展[J]. 土壤通报,2003,34(6):562-568.

(上接第 27 页)

参考文献:

[1] 邬建国. 景观生态学:格局、过程、尺度与等级[M]. 北京:高等教育出版社,2000.

[2] 肖笃宁. 景观生态学研究进展[M]. 湖南:湖南科学技术出版社,1999.

[3] O'Neill R V, Krummel J R, Gardner R H, et al. Indices of landscape pattern[J]. Landscape Ecology,1988,1(3):153-162.

[4] Haines Young R, Chopping M. Quantifying landscape structure: a review of landscape indices and their application to forested landscapes[J]. Progress in Physical Geography,1996,20(4):418-445.

[5] 刘春利,杨勤科,谢红霞. 延河流域降雨侵蚀力时空分布特征[J]. 环境科学,2010,31(4):850-857.

[6] 高艳,毕如田. 涑水河流域景观指数的粒度效应[J]. 中国农学通报,2010,26(13):396-400.

[7] 赵文武,傅伯杰,陈利顶. 景观指数的粒度变化效应[J]. 第四纪研究,2003,23(3):326-333.

[8] 陈丽慧,陈志彪,陈志强,等. 朱溪河小流域土地利用景

[2] 张琪,李恋卿,潘根兴,等. 近 20 年宜兴市域水稻土有机碳动态及其驱动因素[J]. 第四纪研究,2004,24(2):236-242.

[3] 许信旺,潘根兴. 中国水稻土碳循环研究进展[J]. 生态环境,2005,14(6):961-966.

[4] 秦松,樊燕,刘洪斌,等. 地形因子与土壤养分空间分布的相关性研究[J]. 水土保持研究,2007,14(4):275-279.

[5] 吴乐知. 中国土壤有机碳含量的变异性及其影响因素[D]. 南京:中国科学院南京土壤研究所,2007.

[6] 周莉,李保国,周广胜. 土壤有机碳的主导影响因子及其研究进展[J]. 地球科学进展,2005,20(1):99-105.

[7] 高鲁鹏,梁文举,姜勇,等. 土壤有机质模型的比较分析[J]. 应用生态学报,2003,14(10):1804-1808.

[8] 朱连奇,朱小立,李秀霞. 土壤有机碳研究进展[J]. 河南大学学报:自然科学版,2006,36(3):72-75.

[9] 潘根兴. 中国土壤有机碳和无机碳库量研究[J]. 科技通报,1999,15(5):330-332.

[10] 张鸿祥,肖群,李小军,等. 稻田土壤有机碳固定研究及其展望[J]. 现代农业科技,2011(11):257-258,270.

观格局定量分析[J]. 水土保持研究,2009,16(1):66-68.

[9] 吴志杰,陈松林. 基于 TM 遥感影像的闽西山区土地利用景观格局分析[J]. 东华理工学院学报,2007,30(2):171-176.

[10] 陈利顶,傅伯杰,徐建英,等. 基于“源—汇”生态过程的景观格局识别方法:景观空间负荷对比指数[J]. 生态学报,2003,23(11):2406-2413.

[11] 辜世贤,徐霞. 重庆市生态修复示范区土地利用景观格局分析[J]. 水土保持研究,2006,13(2):244-249.

[12] 陈利顶,刘洋,吕一河,等. 景观生态学中的格局分析:现状、困境与未来[J]. 生态学报,2008,28(11):5521-5531.

[13] Tischendorf L. Can landscape indices predict ecological processes consistently[J]. Landscape Ecology,2001,16(3):235-254.

[14] 罗彦芳,钱翌,王秀珍. 淳安县土地利用景观格局特征及其生态效应研究[J]. 水土保持研究,2007,14(6):371-375.

[15] 陈利顶,吕一河,傅伯杰,等. 基于模式识别的景观格局分析与尺度转换研究框架[J]. 生态学报,2006,26(3):663-670.