



河北省典型样带土壤类型空间格局特征

李瑾璞, 石垚, 袁大鹏, 陈奇乐, 王树涛

引用本文:

李瑾璞, 石垚, 袁大鹏, 等. 河北省典型样带土壤类型空间格局特征[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(5): 681–688.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0268>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[基于SDI校正指数的滨海平原盐渍化生态风险评价](#)

潘肖燕, 崔江慧, 杨江燕, 关瑜, 孟泽, 刘田书, 门明新, 陈影

农业资源与环境学报. 2020, 37(5): 709–718 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0286>

[北京平原区土壤Cr空间分布及影响因素研究](#)

孔晨晨, 刘慧琳, 聂超甲, 葛畅, 胡青青, 杨雪玲, 张世文

农业资源与环境学报. 2018, 35(3): 229–236 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2017.0274>

[黄河三角洲典型地区春季土壤水盐空间分异特征研究--以垦利县为例](#)

王卓然, 赵庚星, 高明秀, 姜曙千, 常春艳, 贾吉超

农业资源与环境学报. 2015(2): 154–161 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2014.0293>

[玛纳斯河流域土壤盐渍化影响因素研究](#)

郑琦, 王海江, 李万涛, 余露, 邵奇

农业资源与环境学报. 2016, 33(3): 214–220 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2015.0263>

[重庆农田土壤硫分布特征及其影响因素](#)

罗曼琳, 窦添元, 向秋洁, 胡翔宇, 木志坚

农业资源与环境学报. 2019, 36(3): 287–297 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0306>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

李瑾璞, 石焱, 袁大鹏, 等. 河北省典型样带土壤类型空间格局特征[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(5): 681–688.

LI Jin-pu, SHI Yao, YUAN Da-peng, et al. Spatial pattern characteristics of soil types in typical transects of Hebei Province, China[J].

Journal of Agricultural Resources and Environment, 2020, 37(5): 681–688.



开放科学 OSID

## 河北省典型样带土壤类型空间格局特征

李瑾璞<sup>1</sup>, 石焱<sup>1</sup>, 袁大鹏<sup>1</sup>, 陈奇乐<sup>1</sup>, 王树涛<sup>2\*</sup>

(1. 河北农业大学资源与环境科学学院, 河北 保定 071001; 2. 河北农业大学国土资源学院, 河北 保定 071001)

**摘要:** 研究土壤类型空间格局特征, 分析土壤类型分布的规律性, 对区域土壤资源合理利用具有重要意义。本研究选取河北省典型样带作为研究区, 结合地形因子与行政区边界数据将河北省典型样带划为四个生态区, 通过运用GIS(地理信息系统)技术和景观生态学方法, 对各生态区的土壤类型空间分布格局进行定量分析。结果表明: 各生态区之间土壤类型的景观分离度指数差异较大, 但大部分土壤类型的景观分离度指数在0~5范围内聚集分布, 四个生态区土壤类型斑块分离度依次为中部平原区>山前平原区>太行山区>滨海平原区。各生态区土壤斑块的复杂程度为: 太行山区与山前平原区复杂程度较高, 滨海平原区复杂程度较低, 而中部平原区土壤类型斑块最为简单。太行山区的土壤类型丰富度最高, 异质性较大, 空间分布相对均匀; 滨海平原区的土壤类型斑块破碎化程度最小; 中部平原区的土壤景观格局主要由几种面积较大的土壤类型所支配, 而山前平原区的土壤景观由多种土壤类型共同支配。本研究可为土壤资源的合理利用与保护提供有效参考。

**关键词:** 河北典型样带; 土壤类型; 空间分布格局; 景观指数

中图分类号: S155.56

文献标志码: A

文章编号: 2095-6819(2020)05-0681-08

doi: 10.13254/j.jare.2019.0268

### Spatial pattern characteristics of soil types in typical transects of Hebei Province, China

LI Jin-pu<sup>1</sup>, SHI Yao<sup>1</sup>, YUAN Da-peng<sup>1</sup>, CHEN Qi-le<sup>1</sup>, WANG Shu-tao<sup>2\*</sup>

(1. Resources and Environmental Science College, Hebei Agricultural University, Baoding 071001, China; 2. Land and Resources College, Hebei Agricultural University, Baoding 071001, China)

**Abstract:** Spatial pattern characteristics of different soil types and regularity of soil type distribution are of great significance for the sustainable use of regional soil resources. Based on geomorphological factors, the typical transects in Hebei Province was divided into four ecological regions. The spatial distribution of soil types over these four ecological regions was analyzed quantitatively using a geographic information system (GIS) and by applying the principles of landscape ecology. The dissociation index of soil types in the four ecological regions were within a range 0~5, indicating clustered distribution. The soil types of the central plain area showed a high degree of landscape isolation, whereas soils of the littoral plain area showed a low degree of landscape isolation. Soil type in the Taihang Mountain area and in the piedmont plain area were more complex, soil type diversity in the littoral plains area was less complex, and soil type complexity was the lowest in the central plains area. Soil type richness in the Taihang Mountain area was the highest, indicating high heterogeneity within this area. The spatial pattern of soil types in the littoral plain area showed a low degree of fragmentation. The spatial soil pattern in the central plain area was dominated by several soil types covering extensive areas, whereas the piedmont plain area was dominated by multiple soil types. This study provides a useful reference for the sustainable use and protection of soil resources.

**Keywords:** Hebei typical transects; soil type; spatial distribution pattern; landscape index

收稿日期: 2019-05-20 录用日期: 2019-08-21

作者简介: 李瑾璞(1994—), 女, 河北石家庄人, 硕士研究生, 研究方向为土壤与土地资源持续利用。E-mail: 524300627@qq.com

\*通信作者: 王树涛 E-mail: wangst@hebau.edu.cn

基金项目: 国土资源部公益性行业科研专项经费项目(201311060); 河北省科技支撑计划项目(132276329)

**Project supported:** The Special Scientific Research Fund for the Public Welfare Profession of the Ministry of Land and Resources of China(201311060); The Science and Technology Program of Hebei Province, China(132276329)

国际地圈生物圈计划(International Geosphere-Biosphere Programme, IGBP)样带的设置能够反映主要环境因素变化的影响,因为它关系到陆地生态系统的结构/功能/组成、气体交换和水文循环<sup>[1]</sup>,而土壤作为样带生态环境中最为重要的部分,其空间分布格局对生态安全与人类生产有密切关系。因此,研究样带土壤类型的空间分布特征对区域土地开发利用及生态环境保护具有积极作用<sup>[2-3]</sup>。自20世纪90年代以来,世界各国土壤科学家相继开展了土壤空间分析的研究<sup>[4]</sup>,美国伊利诺伊大学最早进行了相关研究,首次通过建模来研究土壤属性的空间分布特征,而后国外其他学者也结合地形因子等通过香农多样性指数开展了土壤空间分布特征的研究<sup>[5-6]</sup>。21世纪初期,中国学者也相继在土壤景观、土壤与景观等方面做了大量工作,多数学者以实地剖面调查数据为基础探究土壤理化性质空间分布规律<sup>[7-9]</sup>;有些学者运用土壤系统分类法<sup>[10-11]</sup>、土壤-景观定量模型<sup>[12]</sup>、向量机<sup>[13]</sup>等方法对土壤制图进行了讨论,并取得了一定的进展;张学雷等<sup>[14]</sup>、任圆圆等<sup>[15-16]</sup>主要根据坡度、地貌等因子对土壤的形成、发育及空间格局进行了深入研究,也有学者通过景观多样性理论研究土壤类型多样性格局特征<sup>[17-20]</sup>。综上所述,前人的研究中重点分析了土壤属性在空间上的分布规律,或以多样性理论作为基础对土壤类型的空间分布进行分析,而对土壤类型在类型水平和景观水平上的空间分布格局研究还需补充<sup>[21]</sup>。

本研究选取自然环境要素与社会经济发展均存在明显梯度差异的河北省典型样带作为研究区,运用GIS(地理信息系统)技术和景观生态学方法,结合地形、地貌因子与行政区边界数据将河北省典型样带分为四个生态区,对各生态区的土壤类型空间分布格局进行了定量分析与评价,探究土壤要素空间分布的规律性,探讨了土壤要素与土地生态系统之间的运作关系。从而深刻揭示河北省土壤内部分布的复杂性,使得土地系统与环境因素的相互作用关系更加清晰,为今后的区域规划、开发及利用提供有效参考,为保护土壤环境提供科学依据。

## 1 研究方法

### 1.1 研究区概况

参考IGBP陆地样带的选取原则<sup>[22]</sup>,河北省典型样带范围的确定主要考虑对河北地区生态环境变化影响最大的自然环境因素(地形、地貌、土壤、植被等)

及社会发展程度,结合行政边界进行确定。该样带西起太行山蔚县,东至渤海黄骅,全长约300 km,共包括15个县(市),农业历史悠久。本研究从地形、地貌因子的角度出发,结合行政区边界将该样带划分为太行山区、山前平原区、中部平原区、滨海平原区4个生态类型区。

区内地貌单元复杂,包括山地、丘陵、盆地和平原,全地域属温带大陆性季风气候,四季分明,年均降水量约484.5 mm,降水量分布特点为西北少、东南多。其西北部蔚县、涞源县和易县被太行山环绕,东南部黄骅市紧靠渤海湾,地形起伏较大,地形梯度明显,自然生物分布呈垂直地带性,土壤格局深受区域因素影响。区内生态环境脆弱,水土流失严重,人地矛盾尖锐,是土壤变化的敏感区,也是全球环境影响比较突出的区域<sup>[23]</sup>。

### 1.2 资料来源

河北省典型样带行政区范围数据来源于中国科学院资源环境数据中心,土壤类型资料来源于中国科学院1:50万河北省土壤类型分布图,通过对土壤类型图进行扫描,将土壤类型图数据进行数字化,并利用ArcGIS 10.2对数据进行编辑修改、建立拓扑关系,并录入属性信息,得到河北省土壤类型空间属性数据。最后使用ArcGIS 10.2按照河北省典型样带行政区界限进行裁剪,提取河北典型样带的土壤类型图(图1)。由于研究样区范围广、尺度大,本研究所有涉及土壤类别的计算和分析均以土壤亚类作为基本单元。

### 1.3 景观格局指数

景观格局指数是景观生态学中能够直接反映景观格局信息的指标,它不仅包含景观结构信息,而且可以反映景观空间配置特征,是描述某一要素空间分布格局特征的最直接表达方法,因而得到学者们广泛应用与推广<sup>[24-25]</sup>。景观格局指数分为斑块水平、斑块类型水平和景观水平三部分。运用斑块类型水平指数对土壤类型格局特征分析可以有效识别土壤类型的比例和分布丰度,而将景观水平指数运用于土壤类型格局特征中可以探讨土壤景观水平对物种多样性的影响,二者的关系并不仅仅是简单的正比关系。

因此,本研究主要采用斑块类型水平指数(平均斑块形状指数、景观分离度指数、面积-周长分维数)和景观水平指数(景观多样性指数、景观均匀度指数、斑块密度指数和景观优势度指数)进行分析。具体计算公式如表1所示。

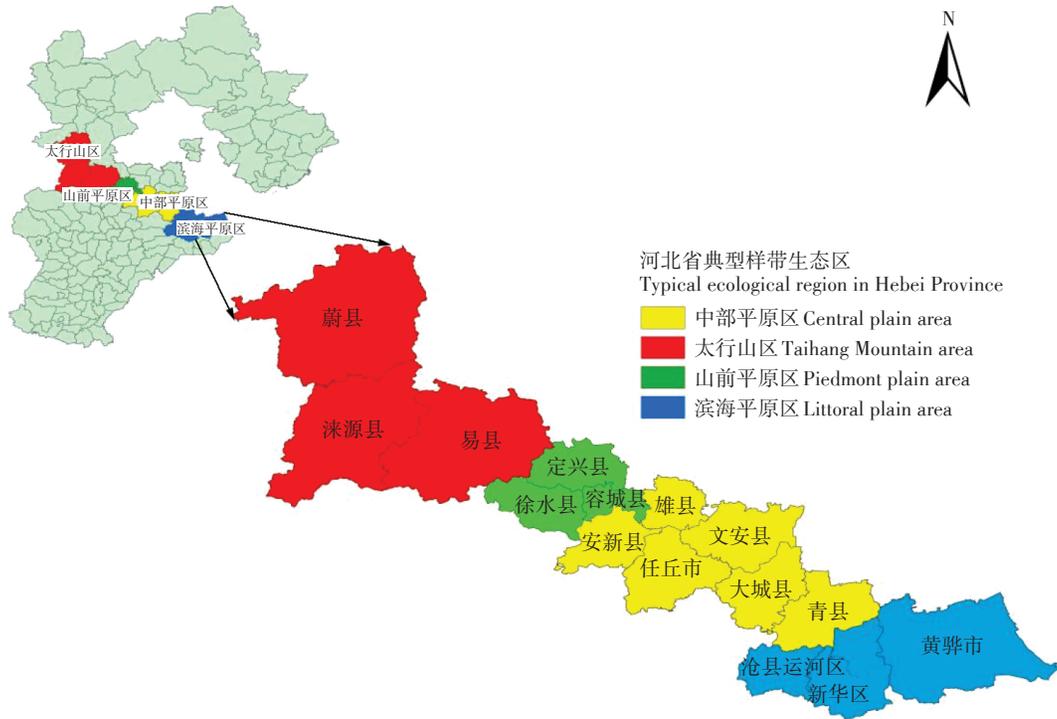


图1 河北典型样带行政区划图  
Figure 1 Administrative map in typical transect of Hebei Province

表1 景观斑块基本指数及其生态意义

Table 1 Cardinal indices and their ecological significance of different landscape patch types

指数 Indexes	计算公式 Formulas	指标含义 Formula element meaning	生态意义 Ecological significance
平均斑块形状指数 (MSI)	$MSI = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n 0.25 \times P_{ij}}{\sqrt{A_{ij}}}$	$A_{ij}$ 为土壤类型中 $ij$ 斑块的斑块面积; $P_{ij}$ 为 $ij$ 斑块的周长; $N$ 指同种土壤类型的景观斑块数目	能够揭示斑块形状的复杂性, 斑块形状越规则、简单, 该指数越小, 反之越大
景观分离度指数 ( $I_i$ )	$I_i = \frac{D_i}{S_i}$ $D_i = \frac{\sqrt{n}}{2}$ $S_i = \frac{A_i}{A}$	$D_i$ 表示景观类型 $i$ 的距离指数; $S_i$ 表示景观类型 $i$ 的面积指数; $n$ 表示每种土壤类型的斑块数目; $A$ 表示研究区土壤景观的总面积; $A_i$ 表示土壤景观类型 $i$ 的总面积	指某一景观类型不同斑块分布的分离程度, 反映不同类型土壤分布规律及格局状况
面积-周长分维数 ( $\lg A$ )	$\lg A = \left(\frac{2}{D}\right) \lg P + C$	$A$ 为某土壤景观斑块的面积; $P$ 为土壤斑块的周长; $C$ 为待确定的常数; $D$ 为土壤景观类型的分维数	在本研究中主要用于测定斑块之间及内部镶嵌结构复杂程度的指数
景观多样性指数 (SHDI)	$SHDI = -\sum_{i=1}^n (P_i \times \ln P_i)$	$P_i$ 表示某种土壤景观类型 $i$ 的面积占土壤景观总面积的比例; $n$ 表示研究区土壤类型的数目	指组成景观要素的多少及其景观要素的占比大小, 反映景观类型的丰富性及复杂性程度
景观均匀度指数 ( $E$ )	$E = \left(\frac{SHDI}{SHDI_{max}}\right) \times 100\%$	$SHDI_{max}$ 表示景观多样性指数为最大时的数值	表示研究区不同景观类型的分布均匀性情况
景观优势度指数 ( $D$ )	$D = SHDI_{max} + \sum_{i=1}^m (P_i \times \ln P_i)$	$m$ 为某种土壤类型的斑块数目	指景观类型由一种或者几种类型所支配整体的程度, 景观优势度越大, 研究区多样性越少
斑块密度指数 ( $P$ )	$P = \frac{N}{A}$	$N$ 为土壤景观中斑块的总数量; $A$ 为研究区的总面积	表示研究区景观所有斑块的破碎程度

## 2 结果与分析

### 2.1 河北典型样带土壤类型结构特征

河北典型样带土壤类型共分为12个土类, 32个亚类(图2), 75个土属。由图2可以看出, 河北典型样

带土壤亚类众多, 在四个生态区中, 太行山区的土壤类型最为丰富, 共包含褐土、栗褐土、棕壤等22种土壤亚类; 其次为中部平原区, 土壤类型较丰富, 包含潮土、盐化潮土、草甸沼泽土等10种土壤亚类; 再次为滨海平原区, 包含潮土、盐化潮土、盐化沼泽土等8种

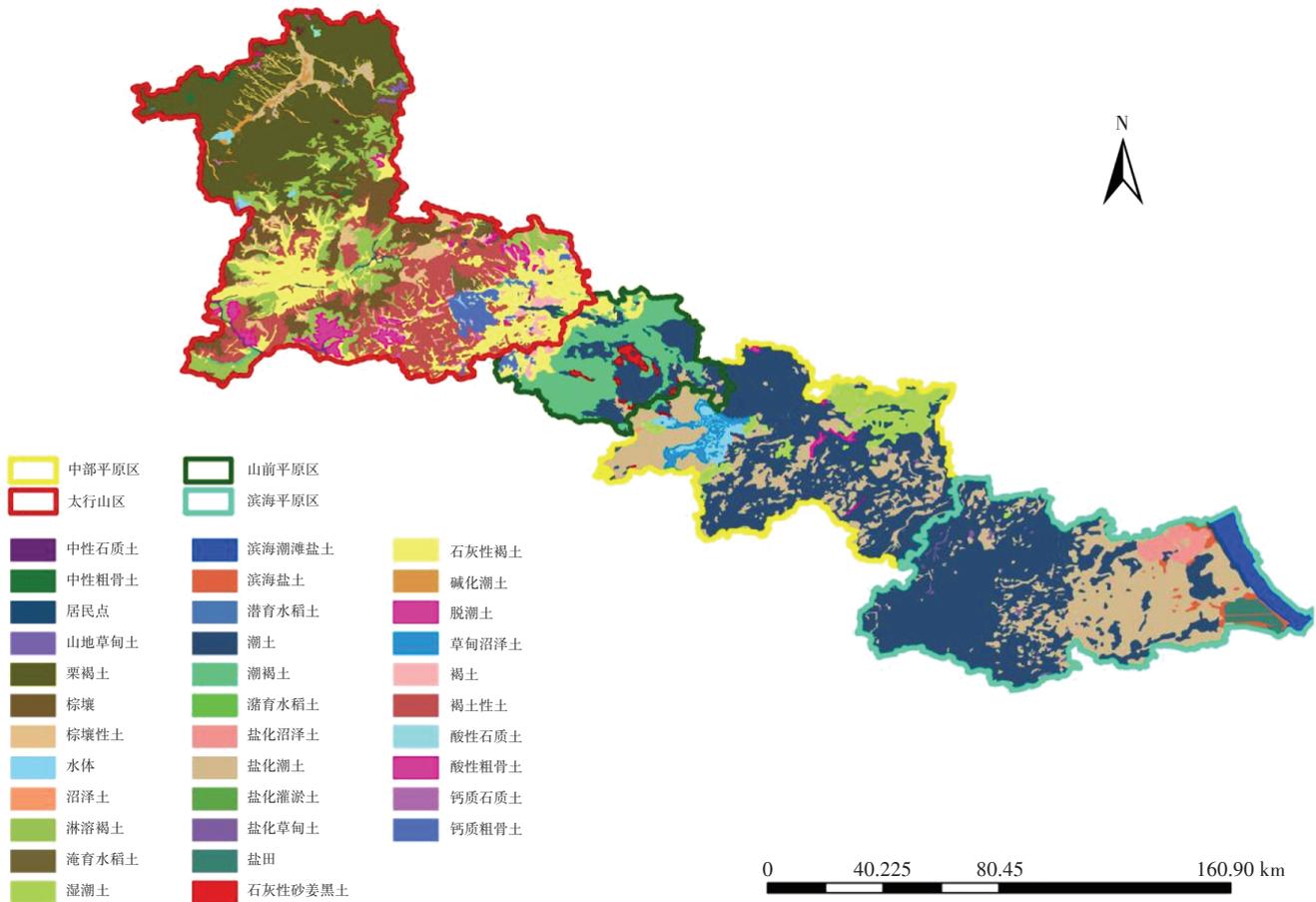


图2 河北省典型样带土壤类型图

Figure 2 Soil type map in typical transect of Hebei Province

土壤亚类;最后为山前平原区,主要包含潮土、潮褐土、石灰性褐土等8种土壤亚类。

由图3可知,河北典型样带中太行山区的面积最大,其次是滨海平原区,再次是中部平原区,而山前平原区所占面积较小。其中土壤亚类中面积最大的为潮土,属潮土土类,面积为5 186.73 km<sup>2</sup>,占研究区土地总面积的26.93%;其次为盐化潮土,属潮土土类,面积为2 411.35 km<sup>2</sup>,占研究区土地总面积的12.52%。面积最小的为潜育水稻土和盐化灌淤土,分属水稻土土类和灌淤土土类,面积分别为2.33 km<sup>2</sup>和1.93 km<sup>2</sup>,分别占研究区总面积的0.01%和0.01%,仅在太行山区易县有少量分布。

## 2.2 斑块类型水平上的格局指数

### 2.2.1 河北典型样带各土壤类型的分离度指数

由图4可以看出,太行山区和中部平原区分离度最高的均为潜育水稻土,由于潜育水稻土所处的地域低洼或槽谷较多,排水条件弱,地下水位较高,因而在整个研究区中仅两个斑块,分别位于太行山区蔚县盆

地及中部平原区白洋淀湿地,故潜育水稻土是两个生态区中分离度最高的斑块;在太行山区栗褐土分离度最低,这是由于栗褐土斑块数量较少且分布集中。在山前平原区土壤类型分离度指数最大的为褐土性土,其斑块较小,数量多且分布分散,潮褐土是整个山前平原区分布最为集中的土壤类型,各斑块之间分布密集。中部平原区土壤类型分离度指数最低的为潮土,其广泛分布于中部平原区。滨海平原区中土壤类型分离度指数最低的是滨海潮滩盐土,其主要分布于滨海平原的黄骅市沿海地区,斑块数量少且分布较集中,分离度指数较高的是湿潮土,其涉及3个土壤斑块,距离分散。

整体来看,河北典型样带内各生态区之间土壤类型的景观分离度指数分布差异较大,但在4个生态区的48个土壤亚类中,共有34个土壤亚类的分离度指数在0~5范围内聚集分布,在四个生态区中土壤类型斑块分离度依次为中部平原区>山前平原区>太行山区>滨海平原区。

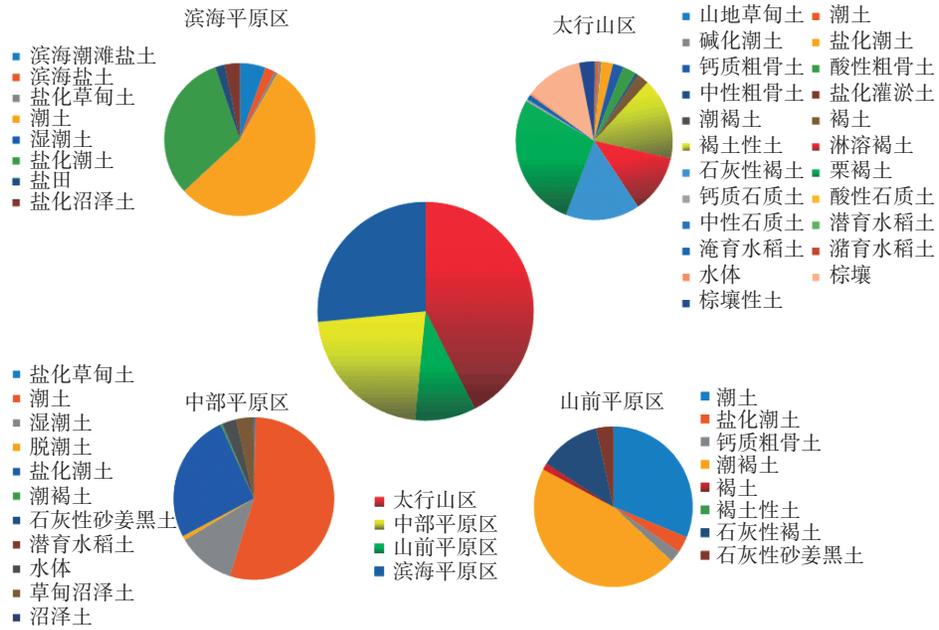


图3 不同土壤类型面积占比饼状图

Figure 3 Different soil type area proportional pie map

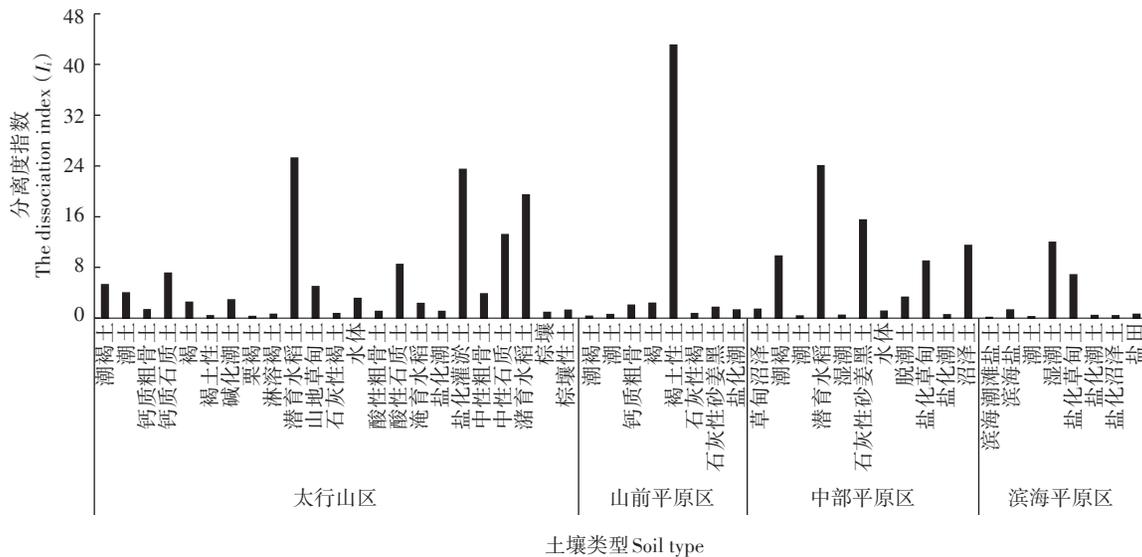


图4 河北省典型样带各土壤斑块景观分离度指数

Figure 4 Landscape dissociation index of soil patches in typical transect of Hebei Province

### 2.2.2 河北典型样带各土壤类型的复杂性评价

河北省典型样带众多亚类中,由于酸性石质土、潜育水稻土、盐化灌淤土和滨海潮滩盐土的土壤类型斑块数量低于2块,不能作土壤类型分形结果,因此在计算土壤类型斑块分维数时不再讨论。

由图5可知,在研究区中,太行山区棕壤的平均斑块形状指数与分维数均为最高值,主要由于围绕山地分布,受山地的高度以及山间间隔的影响,其土壤类型景观斑块的分支较多,形状相对其他土壤类型更

为复杂,受人类的扰动作用较小,故棕壤的土壤类型内部斑块较为复杂;中部平原区的潜育水稻土平均斑块形状指数最小,说明潜育水稻土斑块形状简单,趋近于正方形或者圆形,其主要的利用方式为耕地,受人类干扰程度较大;中部平原区的湿潮土分维数最低,说明其自我相似性最大,几何形状简单。结果中,太行山区钙质粗骨土的分维数出现了超出理论值的情况,是由于这种类型的土壤斑块数都较少,计算的分维数可信度较低。

整体来看,太行山区与山前平原区平均斑块形状指数及分维数偏高,滨海平原区的平均斑块形状指数与分维数较低,而中部平原区整体最低,这是由于在河北省典型样带中,中部平原最适宜居住,人类活动对土壤景观格局的干扰最为强烈。

### 2.3 景观水平上的格局指数

根据景观水平格局指数(表2)对不同生态区进行分析,河北省典型样带的土壤景观多样性指数整体较高,但各个生态区之间存在一定差异,表现为太行山区>山前平原区>中部平原区>滨海平原区,表明研究区内的太行山区土壤类型丰富度最高,异质性较大,土壤类型空间格局受多种土壤类型所控制。研究区土壤类型均匀度指数整体不高,不同生态区之间的均匀度指数大小为太行山区>山前平原区>滨海平原区>中部平原区,表明太行山区的土壤类型空间分布

相对均匀,各土壤类型占景观总面积的比例相差不大。

从土壤密度指数来看,各生态区之间斑块密度指数的差异情况为山前平原区>中部平原区>太行山区>滨海平原区,因此,在河北省典型样带中,滨海平原区的土壤类型斑块破碎化程度最小;从优势度指数上看,各生态区之间的差异情况为中部平原区>太行山区>滨海平原区>山前平原区,表明中部平原区很可能是由几种面积较大的土壤类型所支配,而山前平原区的土壤景观由多种土壤类型共同支配。研究区多样性指数与均匀度指数值的大小也反映了河北典型样带土壤类型的异质性较高。

### 3 结论与建议

本文运用GIS技术和景观生态学理论,分别从斑

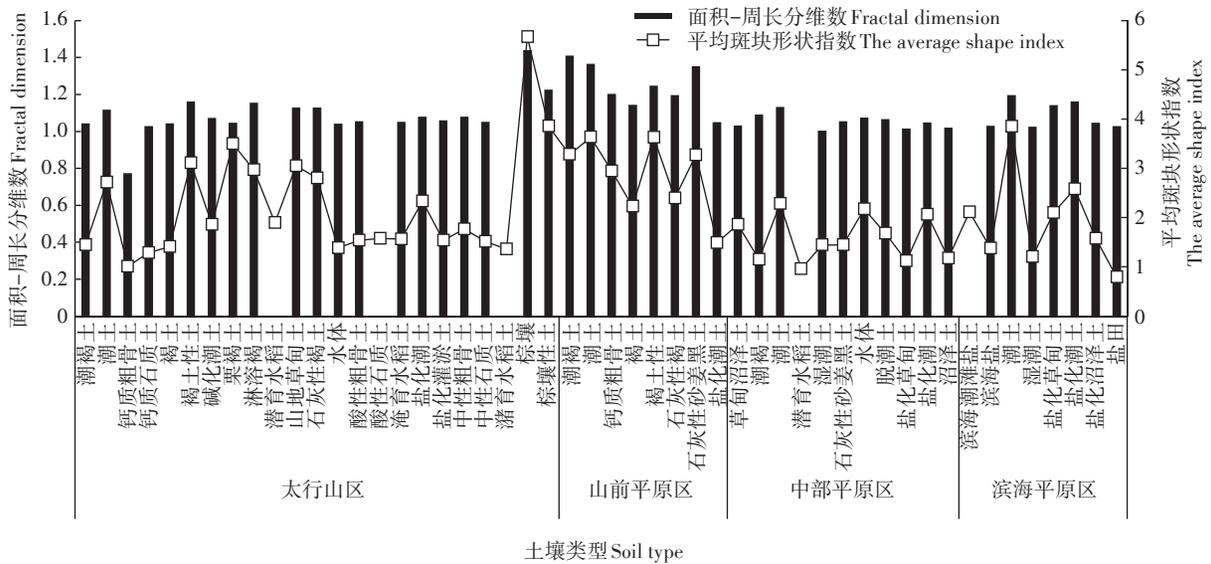


图5 河北省典型样带各土壤斑块的的分维数及平均斑块形状指数

Figure 5 Fractal dimension and average shape index of soil patches in typical transect of Hebei Province

表2 河北典型样带土壤类型景观水平格局指数

Table 2 Landscape pattern index of soil type in typical transect of Hebei Province

生态区 Ecological region	项目 Items	多样性指数 Diversity index	均匀度指数 Evenness index	斑块密度指数 Patch density index	优势度指数 Dominance index
太行山区	平均值	2.138	0.673	0.198	1.040
	最大值	3.178	1.000	∞	3.178
山前平原区	平均值	1.362	0.620	0.288	0.836
	最大值	2.197	1.000	∞	2.197
中部平原区	平均值	1.242	0.501	0.273	1.243
	最大值	2.485	1.000	∞	2.485
滨海平原区	平均值	1.167	0.531	0.160	1.030
	最大值	2.197	1.000	∞	2.197

块类型水平和景观水平对河北省典型样带不同生态区的土壤类型的空间分布格局特征进行了分析,探究了各生态区内部土壤类型的分布规律性,为揭示土壤的复杂性及内部机理提供了一定的参考。主要结论如下:

(1)河北典型样带内各生态区土壤类型的景观分离度指数分布差异较大,但大部分土壤类型的景观分离度指数在0~5范围内聚集分布,在四个生态区中土壤类型斑块分离度依次为中部平原区>山前平原区>太行山区>滨海平原区。

(2)河北典型样带内各生态区土壤斑块的复杂程度为太行山区与山前平原区土壤类型斑块复杂程度较高,滨海平原区土壤类型斑块复杂程度较低,而中部平原区土壤类型斑块最为简单。

(3)从景观水平上看,太行山区的土壤类型丰富度最高,异质性大,且空间分布相对均匀;滨海平原区的土壤类型斑块破碎化程度最小;中部平原区可能是由几种面积较大的土壤类型所支配,而山前平原区的土壤景观由多种土壤类型共同支配。

综上所述,从景观生态学的角度出发,针对各生态区土壤资源现状提出如下建议:

在太行山区与山前平原区,土壤类型丰富,空间异质性高,保护其生态功能尤为重要,需加强对森林生态系统的保护,防止土壤侵蚀,从而提高土壤景观生态风险的抵御能力;在中部平原区及滨海平原区,土壤景观类型相对简单,且土壤盐渍化程度较高,应开展农田水利工程及防护林工程,有效控制土壤盐渍化,同时建造生态廊道,以从根本上改善土壤,丰富土壤种类,实现对土壤的恢复和保护。

#### 参考文献:

[1] Jean R D G, Roulet M, Lucotte M, et al. Mercury methylation along a lake-forest transect in the Tapajós River floodplain, Brazilian Amazon: Seasonal and vertical variations[J]. *Science of the Total Environment*, 2000, 261(1):91-98.

[2] 龚子同,陈鸿昭,张甘霖. 寂静的土壤[M]. 北京:科学出版社, 2015. GONG Zi-tong, CHEN Hong-zhao, ZHANG Gan-lin. *Silent soil*[M]. Beijing: Science Press, 2015.

[3] 禹朴家,徐海量,乔木,等. 玛纳斯河流域土壤类型空间分布格局分析[J]. 土壤学报, 2010, 47(6):1050-1059. YU Pu-jia, XU Hai-liang, QIAO Mu, et al. Spatial distribution pattern of soil types in Manas River basin[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2010, 47(6):1050-1059.

[4] 陈楠,林宗坚,李成名,等. 基于GIS的土壤分布及理化性质与地形因子相互关系研究——以西安市为例[J]. 测绘科学, 2004, 29(6):

72-75. CHEN Nan, PU Zong-jian, LI Cheng-ming, et al. A GIS-based study on relationship between soil distribution and physical and chemical properties and terrain factor: Taking Xi' an area as an example[J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2004, 29(6):72-75.

[5] Phillips J D, Gares P A, Slattery M C. Agricultural soil redistribution and landscape complexity[J]. *Landscape Ecology*, 1999, 14:197-211.

[6] Olsson E G A, Austrheim G, Grenne S N. Landscape change patterns in mountains, land use and environmental diversity, Mid-Norway 1960-1993[J]. *Landscape Ecology*, 2000, 15(2):155-170.

[7] 王政权,王庆成. 森林土壤物理性质的空间异质性研究[J]. 生态学报, 2000, 20(6):945-950. WANG Zheng-quan, WANG Qing-cheng. The spatial heterogeneity of soil physical properties in forests[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(6):945-950.

[8] 王秀红. 我国水平地带性土壤中有机质的空间变化特征[J]. 地理科学, 2001, 21(1):19-23. WANG Xiu-hong. Spatial variation of organic matter in horizontal zonal soils in China[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2001, 21(1):19-23.

[9] 张学雷,冯婉婉,钟国敏,等. 豫中褐土耕地土壤性质空间分异及质量评价[J]. 应用生态学报, 2011, 22(1):121-128. ZHANG Xue-lei, FENG Wan-wan, ZHONG Guo-min, et al. Spatial variation of soil properties and quality evaluation for arable ustic cinnamon in central Henan Province[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(1):121-128.

[10] 杨志强,潘剑君,黄礼辉,等. 面向土壤系统分类的土壤调查制图方法的初步研究[J]. 土壤, 2010, 42(5):842-848. YANG Zhi-qiang, PAN Jian-jun, HUANG Li-hui, et al. Preliminary study on soil survey and mapping for soil taxonomy[J]. *Soils*, 2010, 42(5):842-848.

[11] 杨志强,潘剑君,黄礼辉,等. 面向土壤系统分类的土壤调查剖面点设置与界线确定研究——以江苏省句容市大卓村为例[J]. 南京农业大学学报, 2011(3):94-100. YANG Zhi-qiang, PAN Jian-jun, HUANG Li-hui, et al. Soil profile lay-out and soil boundary determination of soil survey for soil taxonomy: A case study of Dazhuo, Jurong City, Jiangsu Province[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2011(3):94-100.

[12] 孙孝林,赵玉国,赵量,等. 应用土壤-景观定量模型预测土壤属性空间分布及制图[J]. 土壤, 2008, 40(5):837-842. SUN Xiao-lin, ZHAO Yu-guo, ZHAO Liang, et al. Prediction and mapping of spatial distribution of soil attributes by using soil-landscape models[J]. *Soils*, 2008, 40(5):837-842.

[13] 石伟,南卓铜,李韧,等. 基于支持向量机的典型冻土区土壤制图研究[J]. 土壤学报, 2011, 48(3):461-469. SHI Wei, NAN Zhuo-tong, LI Ren, et al. Support vector machine based soil mapping of a typical permafrost area in the Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2011, 48(3):461-469.

[14] 张学雷,屈永慧,任圆圆,等. 土壤、土地利用多样性及其与相关景观指数的关联分析[J]. 生态环境学报, 2014, 23(6):923-931. ZHANG Xue-lei, QU Yong-hui, REN Yuan-yuan, et al. Correlative analysis among pedodiversity, land use diversity and the other related

- ecological indexes[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2014, 23(6):923-931.
- [15] 任圆圆, 张学雷. 以地形为基础的河南省域土壤多样性的格局[J]. 土壤通报, 2017, 48(1):28-37.  
REN Yuan-yuan, ZHANG Xue-lei. Pedodiversity patterns based on terrain in Henan Province[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2017, 48(1):28-37.
- [16] 任圆圆, 张学雷. 河南省地形、土壤和地表水体多样性格局特征[J]. 土壤学报, 2017, 54(3):590-600.  
REN Yuan-yuan, ZHANG Xue-lei. Characteristics of the diversity of terrain, soil and surface water body of Henan Province in pattern[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2017, 54(3):590-600.
- [17] 段金龙, 张学雷. 基于仙农熵的土壤多样性和土地利用多样性关联评价[J]. 土壤学报, 2011, 48(5):893-903.  
DUAN Jin-long, ZHANG Xue-lei. Correlative evaluation of pedodiversity and land use diversity based on Shannon entropy[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2011, 48(5):893-903.
- [18] 段金龙, 张学雷. 中国中、东部典型样区土壤和水体多样性关联分析[J]. 水科学进展, 2012, 23(5):635-641.  
DUAN Jin-long, ZHANG Xue-lei. Correlative analysis of pedodiversity and spatial distribution of water body diversity at different scales in central and east China[J]. *Advances in Water Science*, 2012, 23(5):635-641.
- [19] 屈永慧, 张学雷, 任圆圆, 等. 土壤空间分布多样性与景观指数的关联分析[J]. 土壤通报, 2014, 45(6):1281-1288.  
QU Yong-hui, ZHANG Xue-lei, REN Yuan-yuan, et al. Soil spatial distribution diversity and its correlative analysis with landscape indices[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2014, 45(6):1281-1288.
- [20] 钟国敏, 张学雷, 段金龙, 等. 郑州市土壤多样性和土地利用多样性研究及关联分析[J]. 土壤通报, 2013, 44(3):513-521.  
ZHONG Guo-min, ZHANG Xue-lei, DUAN Jin-long, et al. Evaluation and correlative analysis of pedodiversity and land use diversity in Zhengzhou[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2013, 44(3):513-521.
- [21] 张学雷. 土壤多样性:土壤地理学研究的契机[J]. 土壤, 2014, 46(1):1-6.  
ZHANG Xue-lei. Pedodiversity: An opportunity for soil geographic studies[J]. *Soils*, 2014, 46(1):1-6.
- [22] 张新时, 杨奠安. 中国全球变化样带的设置与研究[J]. 第四纪研究, 1995, 15(1):43-52.  
ZHANG Xin-shi, YANG Dian-an. Allocation and study on global change transects in China[J]. *Quaternary Sciences*, 1995, 15(1):43-52.
- [23] 李生志, 李国东, 王顺兵, 等. 河北省人口、资源与环境[J]. 河北师范大学学报, 1996(1):98-105.  
LI Sheng-zhi, LI Guo-dong, WANG Shun-bing, et al. Hebei Province population resource and environment[J]. *Journal of Hebei Normal University(Natural Science)*, 1996(1):98-105.
- [24] 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(5):454-462.  
FU Bo-jie, CHEN Li-ding. Landscape diversity types and their ecological significance[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1996(5):454-462.
- [25] 傅伯杰. 景观生态学原理及应用[M]. 北京:科学出版社, 2001.  
FU Bo-jie. Principles and applications of landscape ecology[M]. Beijing:Science Press, 2001.