

基于不同土壤分类系统的土壤景观格局分析^①

——以我国西北黑河流域中游地区为例

邱霞霞^{1,2}, 李德成^{1*}, 赵玉国¹, 刘峰¹, 宋效东¹, 张甘霖¹

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 2 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 对土壤景观格局进行的研究多是基于发生分类土壤图或通过参比转换得到的系统分类土壤图, 尚无通过土壤系统分类调查直接得到的土壤图为基础进行相关研究的报道。本文依据目前可获得的我国西北黑河流域中游的 20 世纪 80 年代形成的发生分类土壤图和 2012 年及 2013 年通过系统调查采样形成的 1:50 万系统分类土壤图, 进行土壤景观格局分析对比。结果表明: 无论系统分类还是发生分类, 从类型水平来看, 土壤的破碎化程度不高, 被分割程度小、连通性高, 土壤类型斑块形状偏简单; 从景观水平来看, 景观异质性较大, 土壤类型数目较多, 各土壤类型所占比例较均匀, 土壤类型具有一定程度的积聚, 土壤类型的连通度较高。与发生分类土壤图相比, 系统分类的土壤类型斑块数较多, 多样性指数和均匀度指数较高, 蔓延度指数较低, 说明在一定尺度和区域上, 系统分类能更多地反映土壤类型空间上的差异, 制图精度更高。

关键词: 景观格局; 土壤系统分类; 土壤发生分类; 黑河流域中游

中图分类号: S155.1

景观格局分析是理解景观格局和生态过程相互关系的基础^[1], 景观指数作为景观格局分析的常用工具, 可以指示空间格局信息^[2], 进行景观之间差异的定量比较、解释景观的重大变化以及联系景观格局和生态功能过程。土壤景观指的是不同土壤类型的空间分布格局^[3]。现有对土壤空间分布的研究主要针对土壤的理化性质, 如微生物^[4-5]、土体厚度、体积质量(容重)、质地、紧实度、剪切力、导气率、磁学性质、水分与水文特征、动物、呼吸、pH、有机质(碳)、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾、侵蚀、含盐量、农药残留、重金属^[6-22], 而对土壤类型自身景观格局的研究基本均基于第二次土壤普查(以下简称“二普”)形成的发生分类土壤图, 如屈永慧等^[23]和禹朴家等^[24]分别对河南省漯河市、平顶山市、许昌市和新疆玛纳斯河流域开展的相关研究工作。荆长伟等^[25]将浙江省发生分类土壤类型图通过参比转换形成系统分类土壤类型图后研究了浙江省土壤类型空间分布的特征, 但由于第二次土壤普查形成的土壤图精度可能并非令人满意^[26], 而发生分类与系统分类之间大多只能粗略转换^[27], 无疑会影响到具体研究结果的可信度。

土壤系统分类是以发生学理论为指导, 通过土壤诊断层和诊断特性来分类土壤的定量分类^[28-30], 我国土壤系统分类(CST)的研究从 1984 年开始, 2001 年中国完成了土壤系统分类高级分类单元(土纲-亚纲-土类-亚类)的检索^[31], 得到了国内外的一致认可, 并被广泛采用^[32-35]。2013 年又建立了中国土壤系统分类基层单元(土族-土系)的划分标准^[36], 从而健全了中国土壤系统分类研究的理论和方法体系, 将进一步推动中国土壤系统分类在国内的广泛应用。与发生分类相比, 系统分类更加定量、规范、客观, 已成为国际土壤分类的主流。因此, 基于系统分类的土壤空间分布研究将更具有现实意义。但迄今为止, 尚无直接以系统分类土壤类型图为基础的土壤景观格局研究的报道。

黑河是我国西北地区第二大内陆河, 流经青海、甘肃和内蒙古, 全长 821 km, 流域介于 96°~104°E, 37°50'~43°N, 总面积 23.66 万 km²。黑河中游是河西走廊平原的主要部分, 包括张掖、酒泉、嘉峪关等地市, 地理坐标 97°~102°E, 38°~40°N (图 1), 按照地质构造, 自东向西分为大马营盆地、山丹盆地、

基金项目: 国家自然科学基金项目(41371224, 41130530, 913253002, 41201207)资助。

* 通讯作者(dcli@issas.ac.cn)

作者简介: 邱霞霞(1990—), 女, 浙江台州人, 硕士研究生, 主要从事数字土壤制图研究。E-mail: xxqiu@issas.ac.cn

张掖盆地和酒泉盆地,从土地类型上可划分为山地草甸草地、山前荒漠草原草地、农业用地(耕地、园地、人工林地)、平原区沼泽草甸草地以及戈壁和荒漠。流域面积 3.05 万 km²,海拔 1 200~4 000 m。气候干旱,降水量由东部的 250 mm 向西部递减为 50 mm 以下,蒸发量从东部的 2 000 mm 以下增至西部的 4 000 mm 以上,戈壁、荒漠区分布着地带性温带小灌木、半灌木荒漠植被,山前冲积扇下部和冲积平原上是以人工植被为主的绿洲^[37-38]。由于黑河流域中游地貌地形、植被类型和土地利用等成土因素多样,加之经济发展和人口增长导致该地区水资源紧张和土地荒漠化等存在加剧的趋势,因此一直是西部地区

的研究“热点”。但迄今为止目前可获得的覆盖整个黑河流域的土壤图只有 1:100 万发生分类土壤图,其精度偏低,且难于与国际接轨,因此国内对编制黑河流域精度更高且基于系统分类的土壤图要求非常迫切,为此本课题组开展了 1:50 万的黑河流域系统分类的土壤图编制工作。本研究则是以 2012—2013 年在我国西部黑河流域中游进行的土壤调查与采样形成的系统分类土壤图和“二普”的发生分类土壤图为基础,应用景观生态学原理对其土壤景观格局特征进行研究,旨在一是揭示黑河流域中游景观格局的特征,二是从景观格局指数的角度定量比较两类土壤图的精度。

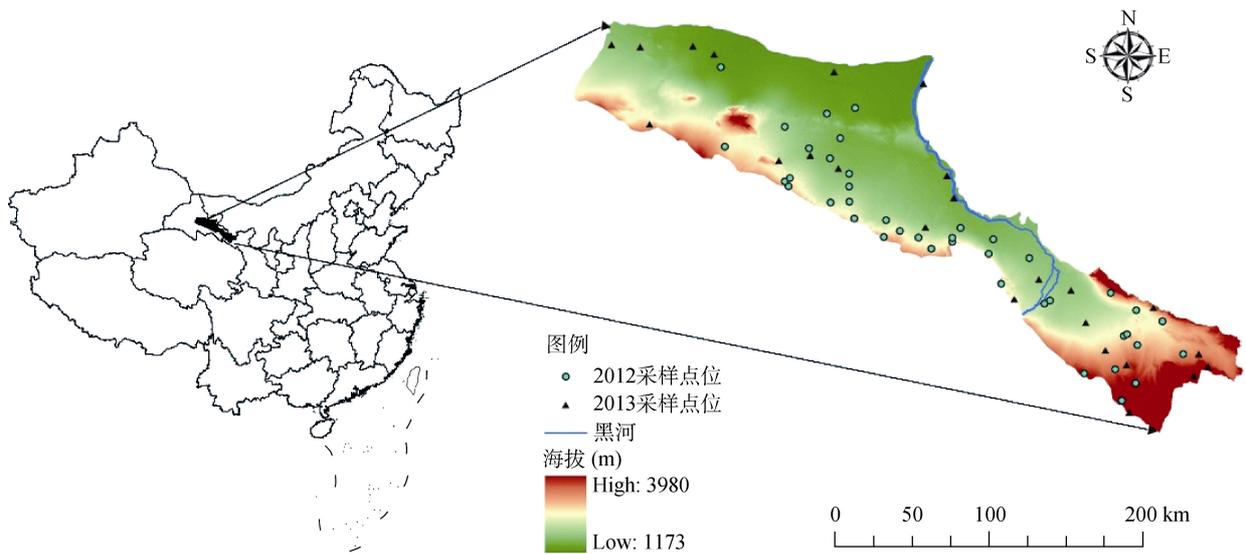


图 1 黑河流域中游地区位置及采样点位图

Fig. 1 Location of the study area and sampling sites in midstream of the Heihe River basin

1 材料与方 法

1.1 发生分类土壤图

发生分类土壤图来源于“二普”形成的 1:100 万的黑河流域土壤图,其包含 10 个土纲下的 45 个亚类(图 2)。

1.2 系统分类土壤图

1.2.1 代表性样点的布设方法 以表 1 所列环境数据为基础,首先形成各类环境因子的数字化图件,叠加形成综合地理单元图,对地理单元的类型、数量、空间分布、可达性等因素进行综合考虑后确定了 66 个代表性样点的空间位置(图 1)。

1.2.2 调查采样与分析测定 野外调查挖掘的标准土壤剖面为宽 1.2 m、深 1.2~1.5 m 或到基岩、长 2.5~3.0 m,野外调查内容包括代表性样点的成土条件、成土过程、剖面发生层及形态特征等,依据基于我

国土壤系统分类的野外土壤描述与采样手册进行;用于鉴定土壤类型的相关属性如体积质量、pH、SOC、CaCO₃ 相当物、石膏和盐分含量的测定方法详见文献[39],系统分类高级单元(土纲-亚纲-土类-亚类)的确定依据文献[31]。

1.2.3 制图原理与方法 土壤图形成采用基于案例推理的数字土壤制图方法,步骤如下:将各土壤剖面样点视为包含土壤景观关系的案例,比较待推测位置(像元)与案例之间的环境相似度;对相似度较高的一个或多个案例进行综合,得到待推测位置的(像元)的土壤土类;将栅格格式的土类图层转为矢量多边形格式,对矢量土类图根据 1:50 万的目标比例尺,参考黑河流域各土壤景观类型地理边界进行制图综合和图形编辑处理;图例赋色和制图输出等。图 3 为所得土壤图,交叉验证结果表明预测准确率达到 82%。

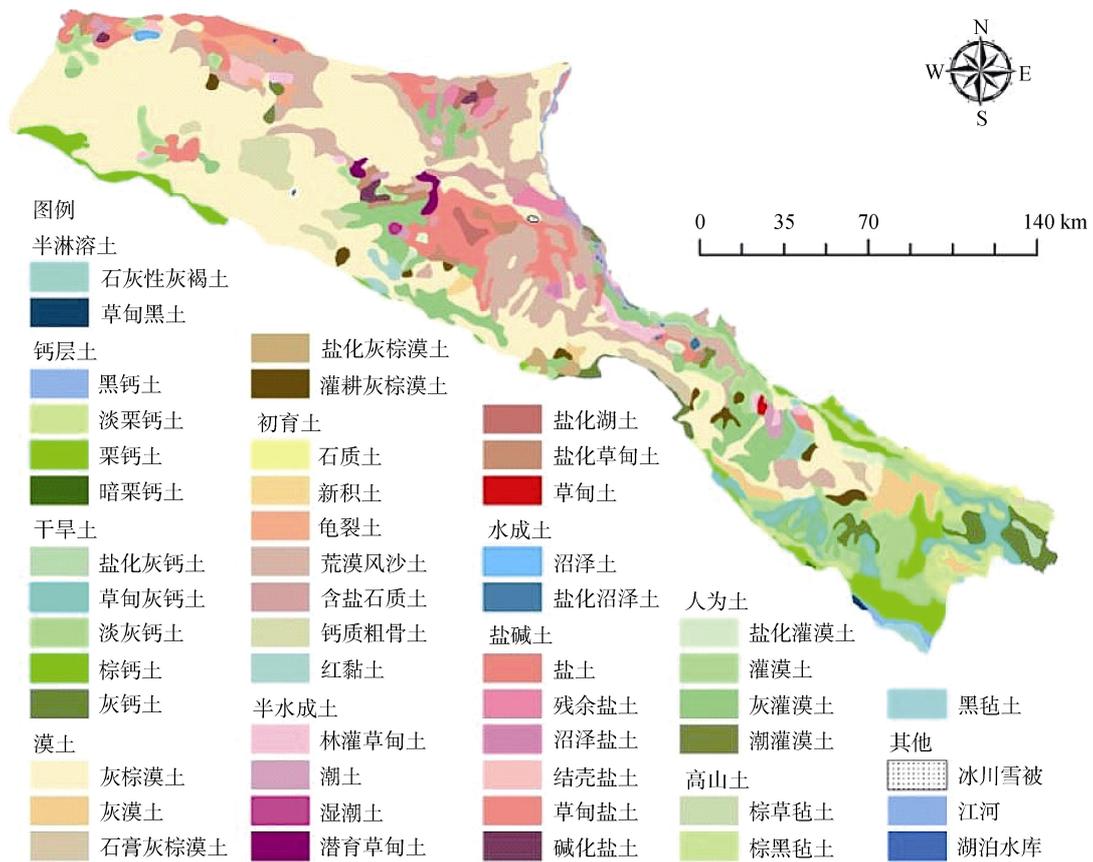


图 2 黑河流域中游地区发生分类土壤亚类图

Fig. 2 Genetic soil classification map of the study area in midstream of the Heihe River basin

表 1 代表性调查样点布设涉及的环境因子

Table 1 Environmental factors for determining the spatial locations of typical survey sites

环境因子	来源
海拔、坡度、坡向、平面曲率、90 m 分辨率的 SRTM, DEM 剖面曲率、地形湿度指数	
年降水、年均温	1 000 m 分辨率的全国气象站点数据
NDVI	30 m 分辨率的 Landsat, TM5
成土母岩/母质	1 : 100 万地质图

1.3 景观格局指数及其获取方法

1.3.1 景观格局指数 常用的景观格局指数主要为类型水平指数和景观水平指数两种,可分为面积/密度/边缘、形状、蔓延度/离散度、多样性 4 种类型。借鉴现有的相关研究成果^[40],本研究在类型水平指数中选取斑块类型面积(CA)、斑块数量(NP)、斑块密度(PD)、边缘密度(ED)、周长面积分维数(PAFRAC);景观水平指数中选取 Shannon 多样性指数(SHDI)、优势度指数(D)、蔓延度指数(CONTAG)、Shannon 均匀度指数(SHEI),各指数的具体计算公式及涵义详见文献[41]。其中,CA 越小,说明该斑块类型在景观中越少;NP 和 PD 越大,说明景观的破碎度越高;ED 越大,反映类型被割裂的程度越高,反之说明类型保

存的连通性较高;PAFRAC(取值范围 1~2),越小说明斑块越简单,受人为干扰的程度越大;越大则说明斑块形状越复杂,受人为干扰程度就越小;SHDI(取值范围为 ≥0)增大,说明斑块类型增加或各拼块类型在景观中呈均衡化趋势分布,景观结构组成的复杂性增加;D 越大,说明景观优势度越高;CONTAG(取值范围 0~100),与 SHDI 和 D 高度相关,较大说明景观中的优势斑块类型形成了良好的连接,反之说明景观是具有多种要素的散布格局,景观的破碎化程度较高。SHEI(取值范围 0~1)值越大说明各种景观类型分布越均匀。

1.3.2 景观格局指数获取方法 在 ArcGIS9.3 平台的支持下,将矢量格式的土壤类型图转换为栅格图,再通过 FRAGSTATS 3.3 软件包进行景观指数的计算。

2 结果与讨论

2.1 土壤类型及其空间分布特点

2.1.1 系统分类 依据制图结果,黑河流域中游地区共涉及 7 个土纲,10 个亚纲,21 个土类和 39 个亚类,表 2 是以系统分类的亚类数据为基础,计算得到的类型水平景观指数结果。分析表 2 的数据可知,

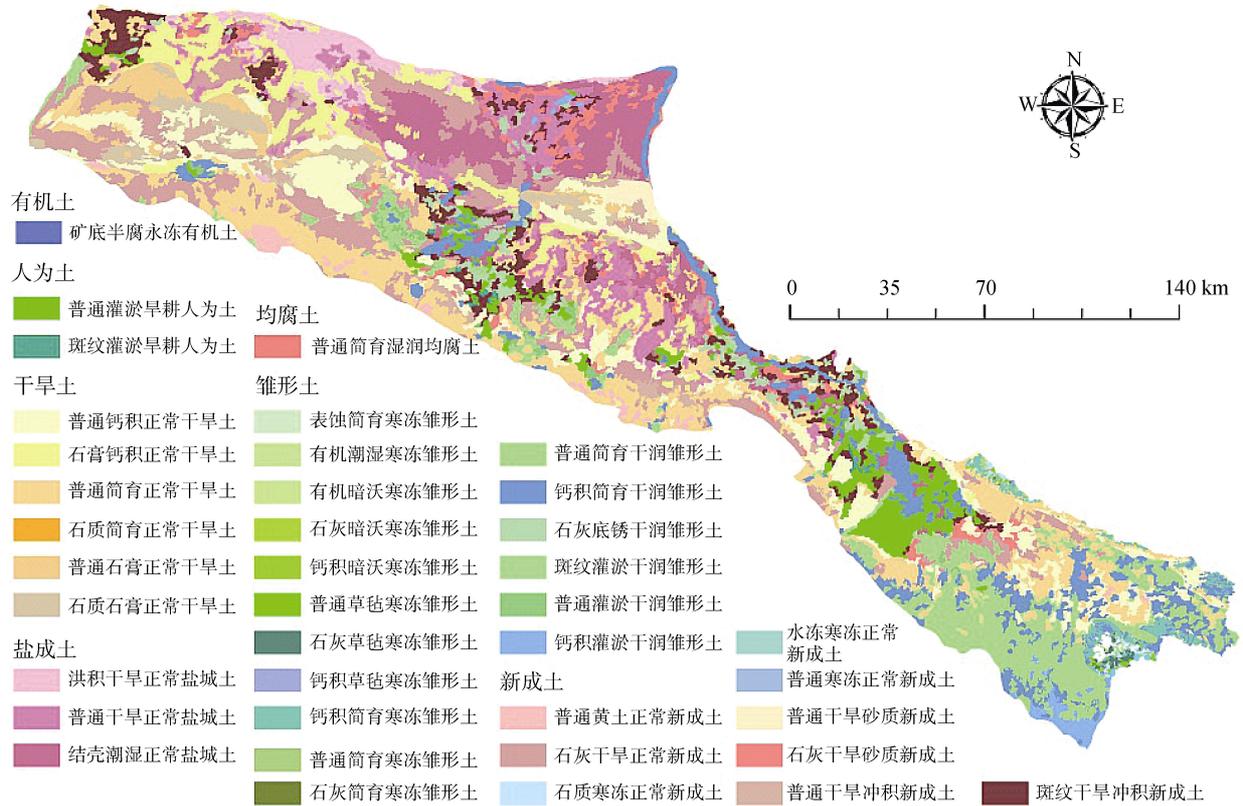


图 3 黑河流域中游地区系统分类土壤亚类图

Fig. 3 Soil taxonomy map of the study area in midstream of the Heihe River basin

表 2 黑河流域中游地区土壤系统分类的类型水平景观指数

Table 2 The landscape index of class metrics level in midstream of the Heihe River basin based on soil taxonomy

编号	名称	CA (hm ²)	NP	PD	ED	PAFRAC
10	矿底半腐永冻有机土	0.8	1	0	0	N/A
11	斑纹灌淤旱耕人为土	5 925.9	8	0.000 3	0.052	N/A
12	普通灌淤旱耕人为土	130 320.9	58	0.001 9	0.66	1.56
13	石膏钙积正常干旱土	169 192.0	76	0.002 5	0.75	1.23
14	普通钙积正常干旱土	306 759.1	406	0.013	1.60	1.22
15	石质石膏正常干旱土	66 263.7	14	0.000 5	0.28	1.54
16	普通石膏正常干旱土	66 881.7	36	0.001 2	0.30	1.21
17	石质筒育正常干旱土	63.2	1	0	0.001 6	N/A
18	普通筒育正常干旱土	443 880.8	303	0.01	2.36	1.22
19	洪积干旱正常盐成土	78 425.0	15	0.000 5	0.34	1.66
20	普通干旱正常盐成土	165 805.4	96	0.003 2	0.96	1.49
21	结壳潮湿正常盐成土	237 592.4	86	0.002 8	0.98	1.39
22	普通筒育湿润均腐土	5 193.7	12	0.000 4	0.049 0	1.28
23	有机潮湿寒冻雏形土	40.5	1	0	0.000 8	N/A
24	钙积草毡寒冻雏形土	661.8	9	0.0003	0.012	N/A
25	石灰草毡寒冻雏形土	4 609.7	49	0.001 6	0.056	1.23
26	普通草毡寒冻雏形土	2 791.3	25	0.000 8	0.042	1.43
27	有机暗沃寒冻雏形土	254.3	5	0.000 2	0.005	N/A
28	钙积暗沃寒冻雏形土	842.4	15	0.000 5	0.017	1.24
29	石灰暗沃寒冻雏形土	225.2	18	0.000 6	0.005 7	1.26
30	表蚀筒育寒冻雏形土	379.9	5	0.000 2	0.006 1	N/A

续表

编号	名称	CA (hm ²)	NP	PD	ED	PAFRAC
31	钙积筒育寒冻锥形土	29 905.2	134	0.004 4	0.35	1.27
32	石灰筒育寒冻锥形土	191.2	6	0.000 2	0.003 9	N/A
33	普通筒育寒冻锥形土	162.0	3	0.000 1	0.003	N/A
34	钙积灌淤干润锥形土	25 040.3	17	0.000 6	0.12	1.33
35	斑纹灌淤干润锥形土	7 414.7	7	0.000 2	0.056	N/A
36	普通灌淤干润锥形土	15 901.9	20	0.000 7	0.14	1.94
37	石灰底锈干润锥形土	65 050.3	55	0.001 8	0.48	1.67
38	钙积筒育干润锥形土	225 789.1	166	0.005 5	1.38	1.26
39	普通筒育干润锥形土	289 071.2	93	0.003 1	1.25	1.35
40	石灰干旱砂质新成土	74 590.5	71	0.002 3	0.55	1.63
41	普通干旱砂质新成土	16 814.0	1	0	0.056	N/A
42	斑纹干旱冲积新成土	143 617.9	99	0.003 3	0.89	1.59
43	普通干旱冲积新成土	63 829.6	45	0.001 5	0.39	1.42
44	普通黄土正常新成土	26 909.0	17	0.000 6	0.15	1.36
45	永冻寒冻正常新成土	110.2	2	0.000 1	0.001 5	N/A
46	石质寒冻正常新成土	5 303.9	34	0.001 1	0.071	1.30
47	普通寒冻正常新成土	196.0	3	0.000 1	0.003 9	N/A
48	石灰干旱正常新成土	361 398.5	146	0.004 8	1.75	1.22

黑河流域中游地区矿底半腐永冻有机土的面积最小,为 0.81 hm²,分布在中游地区东南部与上游交界的地区;其次为有机潮湿寒冻锥形土,面积为 40.5 hm²。普通筒育正常干旱土的面积最大,为 443 881 hm²,分布域除金塔县的东部及北部地区之外的各地地区;面积超过 100 000 hm²的土壤,除了普通筒育正常干旱土外,还有 9 种土壤类型,按面积从大到小排列为石灰干旱正常新成土、普通钙积正常干旱土、普通筒育干润锥形土、结壳潮湿正常盐成土、钙积筒育干润锥形土、石膏钙积正常干旱土、普通干旱正常盐成土、斑纹干旱冲积新成土以及普通灌淤旱耕人为土,这 10 种土壤类型的总面积为 2 473 427 hm²,占中游地区总面积的 81.43%。

2.1.2 发生分类 黑河流域中游地区发生分类的土壤类型涉及到 10 个土纲,13 个亚纲,23 个土类和 45 个亚类,表 3 是以发生分类的土壤类型数据为基础,计算得到的类型水平景观指数结果。分析表 3 的数据可知,暗栗钙土的面积最小,为 685 hm²,主要分布在与上游交界的地区;其次为棕草毡土面积为 780 hm²;面积超过 100 000 hm²的土壤类型包括灰棕漠土、荒漠风沙土、灰灌漠土、草甸盐土、灌漠土和淡栗钙土共 6 种土壤类型,占中游地区总面积的 70.81%;灰棕漠土的面积最大,为 1 108 726 hm²,除民乐、山丹一线以东和以南地区没有分布外,基本上遍布于中游地区。

表 3 黑河流域中游地区土壤发生分类的类型水平景观指数

Table 3 The landscape index of class metrics level in midstream of the Heihe River basin based on genetic soil classification

编号	发生亚类	CA(hm ²)	NP	PD	ED	PAFRAC
f01	石灰性灰褐土	10 865	2	0.000 1	0.032	N/A
f02	草甸黑土	1 699	1	0	0.005	N/A
f03	黑钙土	8 713	1	0	0.035	N/A
f04	淡栗钙土	100 027	7	0.000 2	0.25	N/A
f05	栗钙土	86 518	10	0.000 3	0.16	1.13
f06	暗栗钙土	685	2	0.000 1	0.004 8	N/A
f07	盐化灰钙土	6 473	1	0	0.019	N/A
f08	草甸灰钙土	67 661	5	0.000 2	0.19	N/A
f09	淡灰钙土	66 898	4	0.000 1	0.096	N/A
f10	棕钙土	54 110	10	0.000 3	0.13	1.27
f11	灰钙土	63 817	8	0.000 3	0.14	N/A

续表

编号	发生亚类	CA(hm ²)	NP	PD	ED	PAFRAC
f12	灰棕漠土	1 108 726	25	0.000 8	1.21	1.23
f13	灰漠土	66 106	7	0.000 2	0.13	N/A
f14	石膏灰棕漠土	22 256	2	0.000 1	0.051	N/A
f15	盐化灰漠土	11 291	2	0.000 1	0.026	N/A
f16	灌耕灰棕漠土	28 241	10	0.000 3	0.10	1.63
f17	石质土	8 998	2	0.000 1	0.024	N/A
f18	新积土	6 699	2	0.000 1	0.019	N/A
f19	龟裂土	24 937	4	0.000 1	0.071	N/A
f20	荒漠风沙土	405 693	21	0.000 7	0.78	1.17
f21	含盐石质土	25 172	5	0.000 2	0.066	N/A
f22	钙质粗骨土	61 667	5	0.000 2	0.089	N/A
f23	红黏土	12 535	2	0.000 1	0.032	N/A
f24	林灌草甸土	29 307	9	0.000 3	0.092	N/A
f25	潮土	27 666	13	0.000 4	0.12	1.20
f26	湿潮土	2 239	1	0	0.007	N/A
f27	潜育草甸土	11 858	2	0.000 1	0.035	N/A
f28	盐化潮土	18 669	3	0.000 1	0.051	N/A
f29	盐化草甸土	36 997	10	0.000 3	0.13	1.25
f30	草甸土	2 270	1	0	0.008 7	N/A
f31	沼泽土	3 372	1	0	0.01	N/A
f32	盐化沼泽土	1 450	1	0	0.006 1	N/A
f33	盐土	4 729	2	0.0001	0.027	N/A
f34	残余盐土	29 614	7	0.000 2	0.076	N/A
f35	沼泽盐土	3 790	1	0	0.011	N/A
f36	结壳盐土	15 170	2	0.000 1	0.031	N/A
f37	草甸盐土	199 181	13	0.000 4	0.42	1.33
f38	碱化盐土	10 912	3	0.000 1	0.032	N/A
f39	盐化灌漠土	13 819	4	0.000 1	0.046	N/A
f40	灌漠土	140 785	16	0.000 5	0.40	1.71
f41	灰灌漠土	203 359	20	0.000 7	0.48	1.50
f42	潮灌漠土	11 212	5	0.000 2	0.040	N/A
f43	棕草毡土	780	1	0	0.005 9	N/A
f44	棕黑毡土	7 890	1	0	0.027	N/A
f45	黑毡土	10 805	6	0.000 2	0.026	N/A
f46	冰川雪被	911	1	0	0.004 8	N/A
f47	江河	9 548	1	0	0.13	N/A
f48	湖泊水库	1 361	8	0.000 3	0.017	N/A

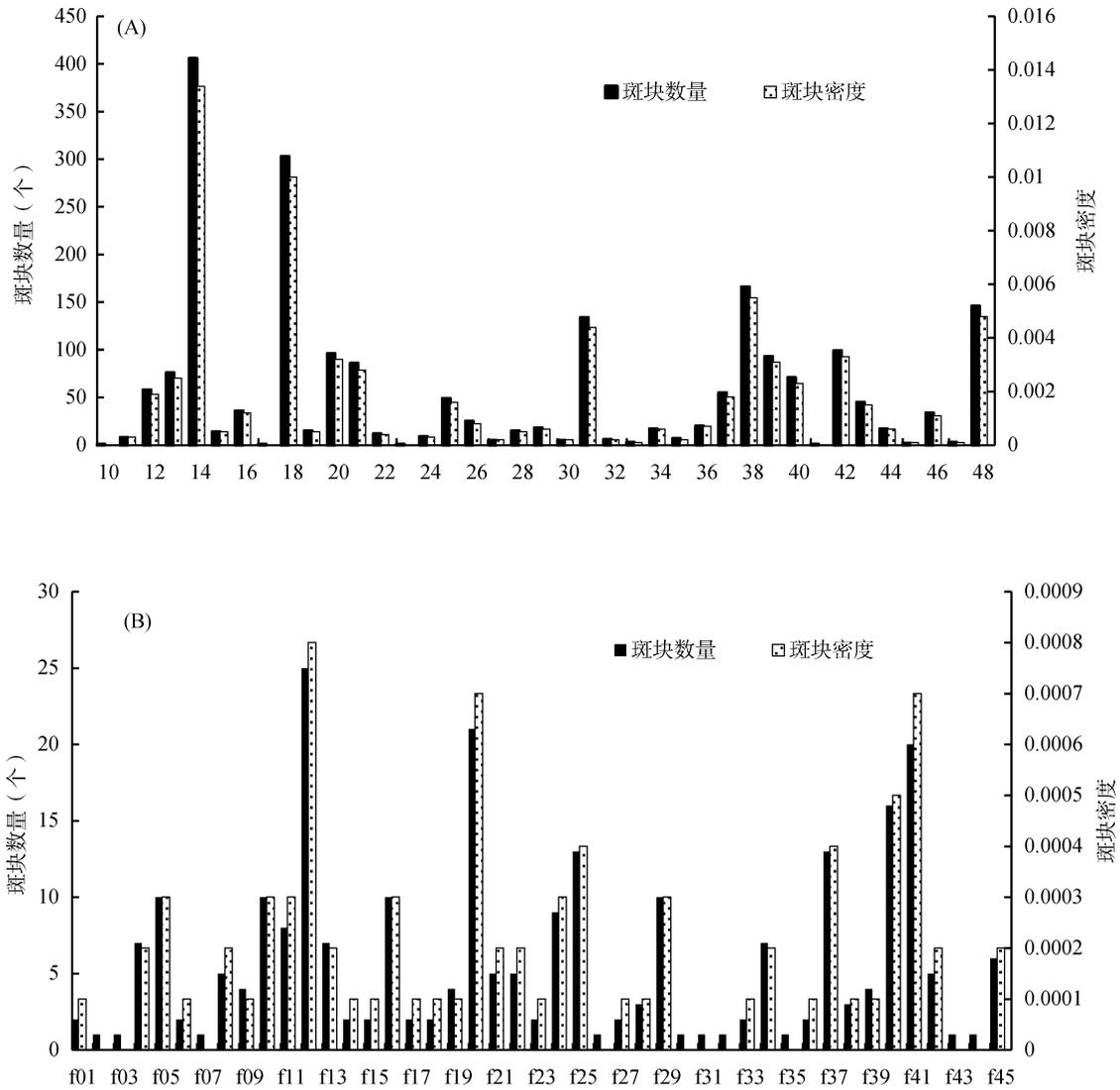
由于本文重点是讨论土壤类型景观格局，这里不再涉及发生分类和系统分类土壤类型之间的参比问题。

2.2 类型水平的景观指数分析

2.2.1 破碎度评价 由图 4 可知，系统分类的类型斑块个数(NP)介于 1 ~ 406，平均为 53.3，斑块密度(PD)指数介于 0 ~ 0.013 4，平均为 0.001 8；发生分类

的类型斑块个数介于 1 ~ 25，平均为 5.8，斑块密度指数介于 0 ~ 0.000 8，平均为 0.000 19。两类图件斑块密度均很小，说明流域中游地区土壤的破碎化程度不高。

系统分类的斑块数和斑块密度均大于发生分类，说明系统分类土壤图比发生分类土壤图更为详细，这反映出其更能反映区域的土壤实际信息。



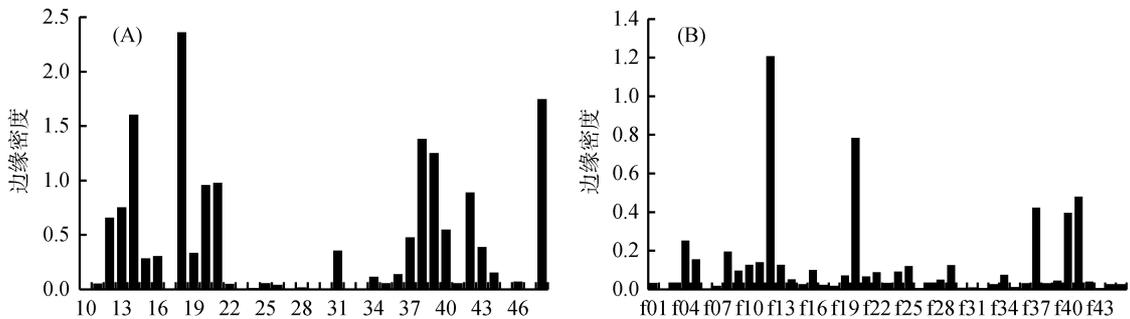
(A：系统分类；B：发生分类；横坐标编号对应的土壤类型见表 2 和表 3，下同)

图 4 黑河流域中游地区不同分类系统下土壤类型的斑块数量和斑块密度

Fig. 4 The histogram of patch number and patch density in midstream of the Heihe River basin based on different classification systems

2.2.2 斑块边缘特征分析 由图 5 可知,系统分类土壤类型的边缘密度(ED)值介于 0~2.360 6,平均为 0.413 3;发生分类为 0.004 8~1.206 7,平均

为 0.127 3。两类图件的边缘密度均较低,说明各土壤类型被分割的程度均较低,土壤类型的连通性较高。



(A：系统分类；B：发生分类)

图 5 黑河流域中游地区不同分类系统下土壤类型的边缘密度

Fig. 5 The edge density histogram of the study area in midstream of the Heihe River basin based on different classification systems

2.2.3 斑块形状特征评价 指数 PAFRAC 的计算对斑块的数量以及斑块的大小有要求，当所有斑块都比较小或斑块样本 <10 时，由于 PAFRAC 在分类文件中没有明确的定义，会被显示为“N/A”。对于系统分类由表 2 和图 6A 可知，除斑纹灌淤干润锥形土、斑纹灌淤旱耕人为土、表蚀筒育寒冻锥形土、钙积草毡寒冻锥形土、石灰筒育寒冻锥形土、有机潮湿寒冻锥形土、普通寒冻正常新成土、矿底半腐永冻有机土、普通筒育寒冻锥形土、石质筒育正常干旱土、有机暗沃寒冻锥形土、永冻寒冻正常新成土以及普通干旱砂质新成土由于斑块数量 <10 而无 PAFRAC 值外(无 PAFRAC 值的土壤类型合计

面积占黑河流域中游地区总面积的 1.06%)，其他土壤类型的 PAFRAC 指数的值介于 1.21 ~ 1.94，平均为 1.40。对于发生分类，由表 3 和图 6B 可知，只有栗钙土、荒漠风沙土、潮土、灰棕漠土、盐化草甸土、棕钙土、草甸盐土、灰灌漠土、灌耕灰棕漠土和灌漠土由于斑块数 ≥ 10 而有 PAFRAC 值，占黑河流域中游地区总面积的 75.2%，PAFRAC 值介于 1.12 ~ 1.71，平均为 1.34，可以看出系统分类和发生分类的 PAFRAC 多在 1.3 左右，说明大部分的土壤类型斑块形状偏简单，反映了该地区由于人类对不同土壤类型的土壤进行了同一方式的耕作利用，导致土壤类型趋同化。

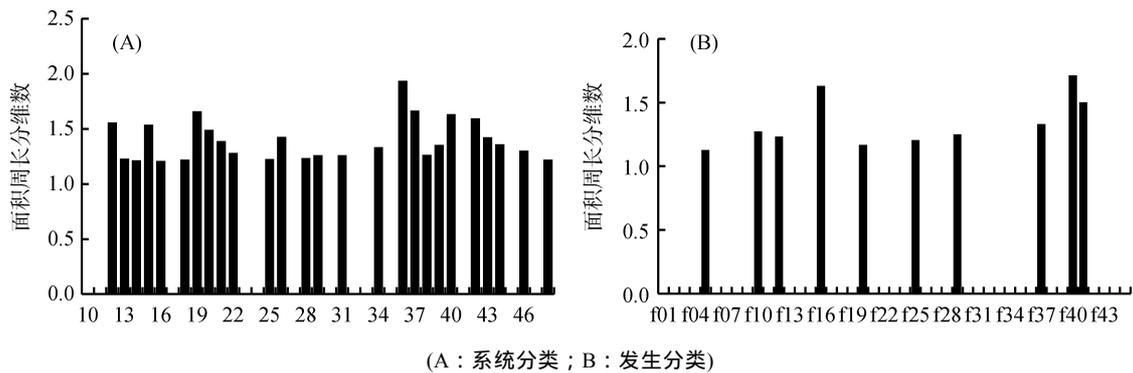


图 6 黑河流域中游地区不同分类系统下土壤类型的面积周长分维数

Fig. 6 The PAFRAC histogram of the study area in midstream of the Heihe River basin based on different classification systems

2.3 景观水平的格局指数分析

由表 4 可知，无论是对于系统分类还是发生分类，黑河流域中游地区的土壤类型多样性指数(SHDI)相对较大，说明该地区的景观异质性较大，土壤类型的数目较多，这是因为中游地区海拔 1 200 ~ 4 000 m，变化大，形成很多不同的微地形，水热条件和光照条件的不同，加之土地利用类型多样，从而形成不同类型的土壤；土壤类型的优势度指数(D)较低而均匀度指数(SHEI)较高，说明该研究地区各土壤类型所占比例较均匀，这是因为中游地区区域广阔，自东向西气候条件差异明显，且中游地区多为盆地，地势开阔。

蔓延度指数(CONTAG)相对偏高，说明各土壤类型具有一定程度的积聚，但是积聚程度并不是特别强，这是因为中游地区相对平坦开阔，所以优势土壤类型形成了良好的连接，而由于绿洲灌溉农业的发展，人类活动的影响，又在一定程度上减弱了土壤类型的连接。

比较系统分类和发生分类的景观指数值可以发现，系统分类的多样性指数和均匀度指数均大于发生分类，说明与发生分类相比，系统分类的景观异质性更大，各土壤类型所占的比例更均匀；而对于蔓延度指数，系统分类的指数值要小于发生分类，说明系统分类土壤类型的连通度小于发生分类。

表 4 黑河流域中游地区景观水平格局指数
Table 4 The landscape index of land metrics level in midstream of the Heihe River basin

土壤分类方法	多样性指数 SHDI	优势度指数 D	蔓延度指数 CONTAG	均匀度指数 SHEI
系统分类	2.755 2	0.247 9	59.234 2	0.752 1
发生分类	2.553 8	0.340 3	65.763	0.659 7

2.4 讨论

研究区土壤类型斑块形状偏简单，景观异质性较大，土壤类型数目较多，各土壤类型所占比例较均匀，

土壤类型具有一定程度的积聚，土壤类型的连通度较高，是因为黑河流域中游地区多盆地和荒漠、戈壁，局部地区的环境因素相对较为一致，对土壤形成过程

影响较为相似,另外中游地区人类活动形式较为单一,使得其对土壤的影响较为一致,从而使得中游地区虽然受到人类活动的影响,但是其破碎度却较低、连通性较好且斑块形状较为简单。

系统分类与发生分类土壤景观格局之间的差异,主要是因为发生分类土壤图受手工制图方法、基于类别多边形图形的表达方式,加之受当时的制图条件和制图技术水平的限制,以及由于发生分类标准存在的模糊交叉性,使得制图精度相对较低。而数字制图利用数学模型从土壤观测、土壤知识及相关环境变量中推测土壤类型、属性时空演变^[41],制图精度更高^[42-43]。

3 结论

1) 无论是系统分类还是发生分类,黑河流域中游地区的土壤的破碎化程度不高,被分割程度小、连通性高,土壤类型斑块形状偏简单,景观异质性较大,土壤类型数目较多,但各土壤类型所占比例较均匀。

2) 从景观格局指数的值高低比较而言,与发生分类相比,多样性指数和均匀度指数均大于发生分类,但其蔓延度指数小于发生分类,说明在一定尺度和区域上,系统分类能更多地反映土壤类型的空间变异。

参考文献:

- [1] Turner M G. Landscape ecology: The effect of pattern on process[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1989, 20: 171-197
- [2] 黄玉宝. 基于景观指数的小流域形态下区划方法研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2012
- [3] Darmody R G, Foss J E. Soil-landscape relationships in the Piedmont of Maryland. Soil Science Society of America Journal, 1982, 46: 588-592
- [4] 曹艳峰, 李彦, 李晨华, 等. 荒漠灌木梭梭(*Haloxylon ammodendron*)土壤微生物的空间分布[J]. 生态学报, 2016, 36(6): 1-8
- [5] 易祯, 郑粉莉, 王彬, 等. 典型黑土区坡耕地土壤微生物群落数量的空间分布研究[J]. 水土保持通报, 2013, 33(6): 42-45
- [6] 刘曦, 国庆喜, 刘经伟. 东北东部森林土壤呼吸空间分布格局的模拟[J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(12): 58-61
- [7] 吴鹏飞, 刘兴良, 刘世荣. 米亚罗林区冬季大型土壤动物空间分布特征[J]. 土壤学报, 2011, 48(3): 659-664
- [8] 瞿程凯, 祁士华, 张莉, 等. 福建戴云山山脉土壤有机氯农药残留及空间分布特征[J]. 环境科学, 2013, 34(11): 427-433
- [9] 陈冲, 胡克林, 贺勇. 农田土壤质地空间分布的三维随机模拟及其不确定性评价[J]. 土壤, 2013, 45(2): 319-325
- [10] 汪凤敏, 花明, 李小燕. 中国土壤中主要放射性核素空间分布特征[J]. 云南地理环境研究, 2013, 25(2): 85-89
- [11] 张帅普, 邵明安. 绿洲边缘土壤水分与有机质空间分布及变异特征[J]. 干旱区研究, 2014, 31(5): 812-818
- [12] 李润林, 姚艳敏. 潜江市土壤养分空间分布及其水系对它的影响[J]. 土壤通报, 2015, 46(2): 368-374
- [13] 云文丽, 侯琼, 李友文, 等. 内蒙古地区土壤水文特征的空间分布[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(2): 193-197
- [14] 韩长日, 宋小平, 李敬松, 等. 三亚市耕地土壤中微量元素的空间分布特征[J]. 海南师范大学学报(自然科学版), 2013, 26(3): 274-278
- [15] 李龙, 姚云峰, 秦富仓, 等. 黄花甸子流域土壤全氮含量空间分布及其影响因素[J]. 应用生态学报, 2015, 26(5): 1306-1312
- [16] 刘姗姗, 许迪, 白美健, 等. 考虑入渗空间分布变异性的适宜土壤紧实度采样密度分析[J]. 水利学报, 2015, 46(3): 307-314
- [17] 王卫华, 王全九, 张志鹏. 流域尺度土壤导气率空间分布特征与影响因素分析[J]. 农业机械学报, 2014, 45(7): 118-124
- [18] 卞勇, 欧阳婷萍, 万洪富, 等. 广东韶关市农业土壤磁学性质的空间分布及其影响因素[J]. 热带地理, 2014, 34(3): 327-336
- [19] 李奎, 岳大鹏, 刘鹏, 等. 基于 GIS 与 RUSLE 的榆林市土壤侵蚀空间分布研究[J]. 水土保持通报, 2014, 34(6): 172-178
- [20] 甘磊, 彭新华, 谢永雄, 等. 放牧对内蒙古大针茅草原土壤剪切力空间分布的影响[J]. 草业科学, 2014, 31(2): 219-223
- [21] 孙剑虹, 张瑞庆, 王欢元, 等. 陕西定边盐渍土土壤含盐量和 pH 的空间分布特征[J]. 西北农业学报, 2014, 23(9): 114-119
- [22] 鲁艳红. 太原市土壤重金属污染特征及盆地背景研究[D]. 长沙: 中南大学, 2005
- [23] 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
- [24] 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
- [25] 荆长伟, 章明奎, 支俊俊, 等. 浙江省土壤发生分类与系统分类参比及制图研究[J]. 土壤学报, 2013, 50(2): 260-267
- [26] 张凤荣, 王秀丽, 梁小宏, 等. 对全国第二次土壤普查中土类、亚类划分及其调查制图的辨析[J]. 土壤, 2014, 46(4): 761-765
- [27] 史学正, 于东升, 孙维侠, 等. 中美土壤分类系统的参比基准研究: 土类与美国系统分类土纲间的参比[J]. 科学通报, 2004, 49(13): 1299-1303
- [28] 龚子同. 中国土壤系统分类—理论·方法·实践[M]. 北京: 科学出版社, 1999
- [29] 潘剑君. 土壤资源调查与评价[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004
- [30] 龚子同, 张甘霖. 中国土壤系统分类: 我国土壤分类从定性向定量的跨越[J]. 中国科学基金, 2006, 20(5): 293-296
- [31] 中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组, 中国土壤系统分类课题研究协作组. 中国土壤系统分类检索(第三版)[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2001

- [32] 武小净, 庄云, 李德成, 等. 我国东北烟区典型烟田土壤系统分类研究[J]. 土壤, 2013, 45(4): 752–758
- [33] 黄礼辉, 潘剑君, 雷学成, 等. 基于土壤系统分类的土壤类型和界线确定研究——以句容大顶山研究区为例[J]. 土壤, 2011, 43(4): 630–636
- [34] 安红艳, 龙怀玉, 刘颖, 等. 承德市坝上高原典型土壤的系统分类研究[J]. 土壤学报, 2013, 50(3): 448–458
- [35] 李玲, 张少凯, 吴克宁, 等. 基于土壤系统分类的河南省土壤有机质时空变异[J]. 土壤学报, 2015, 52(5): 979–990
- [36] 张甘霖, 王秋兵, 张凤荣, 等. 中国土壤系统分类土族和土系划分标准[J]. 土壤学报, 2013, 50(4): 826–834
- [37] 卢玲, 程国栋, 李新. 黑河流域中游地区景观变化研究[J]. 应用生态学报, 2001, 12(1): 68–74
- [38] 王根绪, 马海燕, 王一博, 等. 黑河流域中游土地利用变化的环境影响[J]. 冰川冻土, 2003, 25(4): 359–367
- [39] 张甘霖, 龚子同. 土壤调查实验室分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 2012
- [40] 张林艳, 夏既胜, 叶万辉. 景观格局分析指数选取刍论[J]. 云南地理环境研究, 2008, 20(5): 38–43
- [41] 李瑞霞. 杭州市景观格局及动态变化研究[D]. 杭州: 浙江师范大学, 2013
- [42] 朱阿兴, 李宝林, 杨琳, 等. 基于 GIS、模糊逻辑和专家知识的土壤制图及其在中国应用前景[J]. 土壤学报, 2005, 42(5): 844–851
- [43] Carre F, Mcbratney A B, Mayr T, et al. Digital soil assessments: Beyond DSM[J]. Geoderma, 2007, 142(1): 69–79

The Landscape Pattern Analysis Based on Different Soil Classification System: A Case Study of Midstream of the Heihe River Basin in Northwest China

QIU Xiaxia^{1,2}, LI Decheng^{1*}, ZHAO Yuguo¹, LIU Feng¹, SONG Xiaodong¹, ZHANG Ganlin¹

(1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China; 2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The landscape pattern analysis was mostly conducted based on genetic soil classification map or soil taxonomy map which was obtained through reference conversion. There are few researches of landscape pattern based on soil taxonomy map directly. In this paper the landscape patterns based on both genetic soil classification map and soil taxonomy map were analyzed. The genetic soil classification map was made in 1980s and soil taxonomy map was made based on the soil survey in 2012 and 2013. Results indicated that: 1) Both soil taxonomy map and genetic soil classification map showed that, with regard to class metric level, the extent of soil fragmentation was low, soil connectivity was high and the patches of soil were simple in shape. With regard to land metrics level, landscape heterogeneity was great, the number of soil types was large, the proportion of each soil type was relatively uniform and soil type had a certain degree of accumulation. 2) Compared to genetic soil classification map, the patche number in soil taxonomy map was greater, and the diversity index and evenness index were higher, but contagion index was lower. These results suggested that in a certain scale and area, soil taxonomy was better to reflect the spatial differences of soil types with higher mapping precision than genetic soil classification.

Key words: Landscape pattern; Soil taxonomy; Genetic soil classification; Midstream of the Heihe River Basin