

基于趋势面的耕地质量空间分异特征及影响因素

赵丹^{1,2}, 赵华甫^{1,2}, 饶杰¹, 高星¹

(1. 中国地质大学(北京)土地科学技术学院, 北京 100083; 2. 国土资源部土地整治重点实验室, 北京 100035)

摘要:耕地质量监测工作的本质不仅是要掌握耕地质量现状,更重要的是探究其分布规律的内在机理,以对区域整体的发展趋势进行预测评价。对影响耕地质量的因素进行分析研究,从空间上揭示耕地质量分异的特性,可在耕地质量建设过程中有针对性地提出差别化管理措施,切实满足提升区域耕地综合生产保障能力的需要。结合农用地分等成果,以北京市大兴区为例,运用趋势面分析和相关分析相结合的方法研究了耕地质量空间分布规律及影响因素。研究得出了大兴区耕地质量总体呈现由东北部到西南部以斜向条带状降低的趋势的结论,并在此基础上将大兴区的耕地质量分布划为Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ级质量潜力区;Ⅰ级区是大兴区质量一般的耕地,其利用价值提升空间最大。各级区内耕地质量具有较强的空间相关性,Ⅰ级区内质量分异主要源于土壤有机质;Ⅱ级区内质量分异主要源于土壤质地;Ⅲ级区内质量分异主要源于土壤质地,据此提出了差别化的耕地质量分区管控的建议。

关键词:耕地质量;空间分异;趋势面分析

中图分类号:F301.21

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)06-0219-05

Analysis of the Spatial Distribution Pattern of Cultivated Land Quality and the Influential Factors Based on Trend-Surface

ZHAO Dan^{1,2}, ZHAO Huafu^{1,2}, RAO Jie¹, GAO Xing¹

(1. College of Land Science and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Key Laboratory of Land Regulation, Ministry of Land and Resources, Beijing 100035, China)

Abstract: Monitoring the quality of cultivated land is to fully understand the current quality status of China's cultivated land, but what's more is to explore the internal mechanism of its regularity of distribution as ways to help forecast and evaluate development tendencies of regional cultivated land quality. When we analyze and study influential factors of cultivated land quality disparities and reveal spatial characteristics of cultivated land quality differentiation, we are able to tailor differential management measures on improving cultivated land quality and meet the demands for enhancing the overall supporting comprehensive production capacity of regional cultivated land. Taking Daxing District in the Beijing area as an example, with tendency analysis and related analysis approaches, we study the spatial distribution pattern of cultivated land quality and their influential factors in combination with farmland classification outcomes. It concludes that the quality of the cultivated land in Daxing District decreases from the northeast to the southwest in the diagonal strip pattern, and further the cultivated land in Daxing District can be divided into Grade I-III quality potential areas, Grade-I area is the worst quality and the largest value improving space. We also correspondingly analyze the key factors resulting in quality differentiation within each area, that is Grade-I area is mainly due to soil organic matter, Grade-II area is mainly due to soil texture, Grade-III area is mainly due to soil texture. Meanwhile, we accordingly propose to conduct partition management and control over cultivated land quality.

Keywords: cultivated land quality; spatial differentiation; trend-surface analysis

耕地质量变化导致的耕地总量隐性流失正在逐渐对社会经济发展和粮食安全问题构成威胁。国土资源部提出的耕地质量等级监测试点工作,旨在建立

覆盖全国的年度监测和定期更新工作机制,从而实现耕地质量等级和产能的动态监管能力。探讨耕地质量的影响因素及如何改善其中的限制因素来提高耕

地质量是近年来农业发展和粮食安全关注的问题,也成为了土壤学、地理学以及生态学等相关研究的重点领域。国内学者对耕地质量评价进行了大量的研究。张凤荣等根据地貌学、土壤学、作物栽培学的知识和生产实践经验确定了农用地分等野外诊断指标体系^[1]。路捷等从耕地生态管护的角度探讨了土壤环境质量评价与农用地分等成果的融合,通过引入土壤环境质量评价系数修正农用地利用等指数,进而完成耕地综合评价^[2]。耕地质量构成组分的多重性决定了其复杂的空间特性,因缺乏长期定点监测的系统数据用于评价,关于影响机理和实践应用的研究较为薄弱。有关形态、结构的研究仅有少量散布在其他问题的专项研究中,研究深度也不够,缺乏定量的评价指标和变化的过程研究。目前主要是有关耕地空间分布格局的变化研究,多借鉴格网计算、景观生态指数、耕地分布重心、信息熵等方法。陈述彭提出了地图信息图谱理论,应用地学分析的系列多维图解来描述现状,通过建立时空模型来反映并揭示事物和现象空间结构特征与时空动态变化规律^[3]。黎夏结合 RS 和 GIS 技术,利用紧凑系数和信息熵分析珠江三角洲发展走廊土地利用的空间分布及演变信息,在描述耕地空间形态变化的基础上探讨其变化规律^[4]。本文将趋势面分析方法引入到耕地质量空间分异特征研究中,为耕地质量监测的工作提供实用参考。趋势面分析法能有效地分析某一种属性数据在空间上的分布规律与变化趋势,被广泛应用于地质、资源、环境、疾病领域的空间分布规律模拟研究中^[5-8]。本文以北京市大兴区为研究区域,研究耕地质量空间分异规律,在此基础上划分高、中、低三级潜力区,并对各区内质量分异的主导因素进行探讨,为区域耕地差别化管理提供依据。

1 研究区概况

大兴区是北京市辖区,位于北京南郊,位于北纬 $39^{\circ}26'—39^{\circ}51'$,东经 $116^{\circ}13'—116^{\circ}43'$,北连丰台、朝阳二区,西隔永定河与房山区相望,东与通州区毗邻,南及西南与河北省的廊坊市、固安县、涿州市接壤。该区属暖温带半湿润大陆季风气候,四季分明,年平均气温为 11.6°C ,年平均降水量 556 mm 。境内现有永定河等大小 14 条河流,自西北向东南流经全境,分属北运河水系和永定河水系。总地势自西北向东南略倾斜,大部分地区海拔 $14\sim 52\text{ m}$,全区成土母质为永定河冲积物。大致可分为三个地貌单元:北部为永定河冲洪积扇,地表冲积物以砂土、砂壤土为主;南部为永定河冲积平原,表土以砂性土、砂壤土为主,局部

地区出现连续性粘性土;西部为永定河河床自然堤,地表以砂砾石、粗砂和中细砂组成。土壤属性的空间变化呈现明显的地带分布,由西南向东北,土壤质地由砂变粘,地下水位也由浅变深。

全区辖 14 个镇,527 个行政村。全区总人口 60 万人,其中农业人口 37.7 万人。根据大兴区 2010 年土地利用现状数据显示,全区土地总面积 $6\,940.89\text{ hm}^2$,耕地面积 $2\,789.07\text{ hm}^2$ 。用地结构具有典型的大城市郊区用地的特点,是北京市粮、菜、瓜、果生产大区,更是北京、天津两大都市的“门户”及外埠进京的重要通道。

2 趋势面分析原理和方法

2.1 原理

趋势面分析是用某种形式的函数所代表的曲面来逼近某一属性数据在空间上的分布规律和变化趋势的多元统计方法。这个函数对应值与实测值之差为偏差部分,反映局部性的变化。也就是将其实测值分解为两部分:趋势面部分和偏差部分。趋势面部分用一个函数表示,反映属性特征总的区域性变化规律,可理解为由大范围系统因素造成的区域背景。而偏差部分则反映了局部的变化特点,可认为是由局部因素和随机因素引起的异常现象。

2.2 建立趋势面方程

假设以表征耕地质量的属性数据在二维平面上的分布为例建立趋势面模型。设 x, y 为平面上的坐标值, z 为耕地质量的特征值, $z_i(x_i, y_i)$ ($i=1, 2, \dots, n$) 表示一组实测数据,多项式趋势面则表示为:

$$z = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2 + a_6x^3 + a_7x^2y + a_8xy^2 + \dots + a_ky^p \quad (1)$$

式中: $a_0, a_1, a_2, \dots, a_k$ 为待定系数。

运用最小二乘法原则,要使得实测值与这一趋势面上的相应值离差平方和最小。即

$$Q = \sum_{i=1}^n (z_i - \hat{z}_i)^2 = \sum_{i=1}^n [z_i - (a_0 + a_1x_i + a_2y_i + a_3x_i^2 + \dots + a_ky_i^p)]^2 \quad (2)$$

以一次趋势面为例计算过程如下:

$$z = a_0 + a_1x + a_2y \quad (3)$$

$$Q = \sum_{i=1}^n (z_i - \hat{z}_i)^2 = \sum_{i=1}^n (z_i - a_0 - a_1x_i - a_2y_i)^2 \quad (4)$$

为使得 Q 最小,根据求极值的条件,对 Q 求 a_i 的一阶偏导并使之为零

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial a_0} = -2 \sum_{i=1}^n (z_i - a_0 - a_1x_i - a_2y_i) = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial a_1} = -2 \sum_{i=1}^n (z_i - a_0 - a_1x_i - a_2y_i)x_i = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial a_2} = -2 \sum_{i=1}^n (z_i - a_0 - a_1x_i - a_2y_i)y_i = 0 \end{cases} \quad (5)$$

整理计算得:

$$a_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i - \frac{a_1}{n} \sum_{i=1}^n x_i - \frac{a_2}{n} \sum_{i=1}^n y_i \tag{6}$$

将式(6)代入式(5),解关于 a_1, a_2 的二元一次方程组,最后将所得根代入式(3)求得 a_0 ,从而确定趋势面方程为: $z=a_0+a_1x+a_2y$ 。更高次的趋势面方程的计算方法类似。

2.3 趋势面拟合度的 R^2 检验

趋势面与实际面的拟合度系数 R^2 是测定回归模型拟合优度的重要指标。一般用变量 z 的回归平方和所占总离差平方和的比重来衡量拟合优度。总离差平方和为回归平方和与剩余平方和加总。

设实测值 z_i 与其平均值 \bar{z} 之差的平方和为 $S_{总}$,即 $S_{总} = \sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2$;趋势面 \hat{z}_i 与平均值 \bar{z} 的离差平方和为 $S_{回}$,即 $S_{回} = \sum_{i=1}^n (\hat{z}_i - \bar{z})^2$;则有:

$$S_{总} = S_{回} + S_{偏} \quad R^2 = \frac{S_{回}}{S_{总}} \times 100\% \tag{7}$$

R^2 值越大就表示因变量与自变量的关系越密切,规律性越强。

2.4 趋势面拟合度显著性 F 检验

趋势面适度的 F 检验是对趋势面回归模型整体的显著性检验。一般用变量 z 的剩余平方和与回归平方和的比值确定变量 z 与自变量 x, y 之间的回归关系是否显著:

$$F = \frac{S_{回}/P}{S_{偏}/(n-P-1)} \tag{8}$$

式中: P ——趋势面中除常数项外的系数个数; n ——监测点个数。

式(8)服从自由度为 $(p, n-p-1)$ 的 F 分布,给

表 2 趋势面方程

次数	拟合方程
一次趋势面	$z = -2.7342 \times 10^3 + 0.005x + 0.0095y$
二次趋势面	$z = -4.2325 \times 10^4 + 0.1906x - 0.0472y - 1.5085 \times 10^{-7}x^2 - 1.1667 \times 10^{-7}xy + 2.1352 \times 10^{-7}y^2$
三次趋势面	$z = -2.4564 \times 10^5 - 5.6855x + 13.2018y + 2.3788 \times 10^{-5}x^2 - 4.6178 \times 10^{-5}xy - 5.7533 \times 10^{-6}y^2 - 2.7 \times 10^{-11}x^3 + 6.4145 \times 10^{-11}x^2y - 3.4224 \times 10^{-11}xy^2 + 2.8351 \times 10^{-11}y^3$

注:随着次数增高,四次拟合方程组条件数增大、病态明显,无法求得解,且趋势面拟合并非次数越高越好,故此处无结果。

3.1.2 拟合度及显著性 F 检验 根据式(7)对趋势面进行拟合度的 R^2 检验;根据式(8)对趋势面进行 F 检验时 $n=41, p=10$,选用 α 为 1%和 5%,计算结果见表 3。

由于趋势面拟合程度在土地数据中 40%~60% 可能达到要求^[10],考虑到三次趋势面也符合一般拟合度达 70%~90%的要求,认为三次趋势面拟合效果最优,可以形象地表示出大兴区耕地质量分布规律。

3.2 耕地质量空间分布格局

由三次趋势面方程在 ArcGIS 平台中绘制耕地

定置信水平 α 的情况下,查 F 分布表得临界值 F 。若当 $F > F_{\alpha}(p, n-p-1)$ 时,认为自变量与因变量相关,趋势方程在置信水平 α 下显著;反之亦然。

3 实证分析

3.1 耕地质量趋势面分析

考虑到研究区域尺度较小,本文以耕地自然质量等指数作为耕地质量数据分析的基础^[9]。耕地自然质量等指数是按照标准耕作制度所确定的各指定作物,在耕地相应自然质量条件下,所能获得的按产量比系数折算的基准作物产量之和。为了保证监测点均匀分布且覆盖研究区所有耕地等别,最终确定了 41 个监测点作为趋势分析的原始数据(见表 1)。监测样点能覆盖所有土壤类型且都处于土地利用总体规划确定的基本农田或一般耕地上。选取监测点的耕地自然质量等指数作为因变量 Z ,经度 X 、纬度 Y 作为自变量,在 MATLAB 环境中建立耕地自然质量的趋势面方程。

表 1 耕地监测点属性数据

样点 ID	自然等指数(Z)	坐标(X)	坐标(Y)
0	2172.21872	508835.14392	254737.10002
1	2364.78142	502661.08572	256288.07572
2	2433.24867	528909.27732	275682.15812
3	2133.70618	493647.39582	259557.68302
⋮	⋮	⋮	⋮
38	2326.26888	491139.37042	276149.79232
39	2557.34412	523771.41752	283234.21702
40	2557.34412	516568.39782	281591.68972

3.1.1 MATLAB 的应用计算 MATLAB 具有强大的内部函数,可以自行编制函数、程序模块,通过编程实现趋势面分析的计算过程,结果见表 2。

质量等值线图。由图 1 可清晰直观得知,耕地质量西部较低,东部较高,北部较南部更高,等值线总体表现为从东北部到西南部呈斜向条带状分布。

表 3 趋势面拟合程度及 F 检验汇总

方程次数	拟合度/%	F	$F_{0.01}$	$F_{0.05}$	显著性
一次	53.83	22.1566	99.4714	19.4680	不显著
二次	57.78	9.5787	9.3474	4.4842	显著
三次	71.07	8.4607	4.6598	2.8688	显著

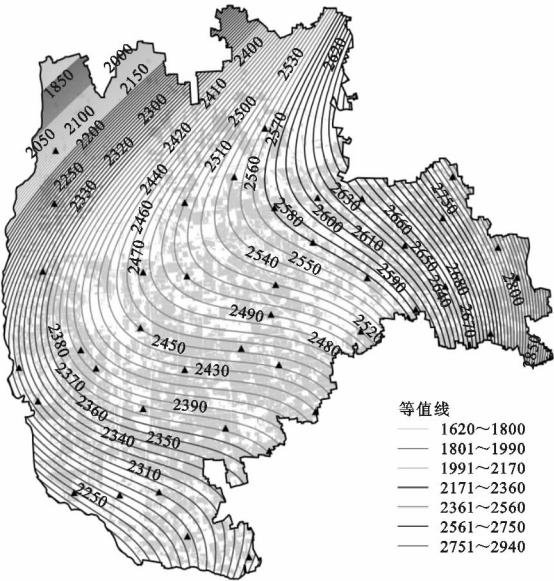


图 1 耕地质量趋势面等值线图

3.3 耕地质量分异的影响因素分析

统筹兼顾耕地数量和质量保护,按照集中连片原则,以耕地质量特征值为划分标准,将大兴区的耕地质量分布划为三级,每级区内耕地质量具有较强的空间相关性,有利于通过差异化管制措施实现耕地的有效保护。在具体的划分过程中,将所有监测样点对应的趋势面质量特征值由低到高排序,根据变化趋势选取两个明显的突变点作为界值依据,并考虑监测样点的辐射范围,对照趋势面等值线图最终选定两条分割线(自然质量等指数值为 2 370,2 560 的等值线),将大兴区分为三个自然质量潜力区(图 2):①Ⅰ级区,包括西红门镇、黄村镇西北部,北臧村镇、庞各庄镇西部,榆垓镇,礼贤镇西南部;②Ⅱ级区,包括旧宫镇,团河农场,天堂河农场,魏善庄镇,安定镇,瀛海镇西部,庞各庄镇东部,礼贤镇东北部;③Ⅲ级区,包括瀛海镇东部,青云店镇,长子营镇,采育镇。潜力区的要义在于耕地质量不完全受限于自然本底属性的这一可塑性,Ⅰ级区的耕地利用升值空间最大,Ⅱ级区次之,Ⅲ级区最小。

耕地质量是土壤条件与环境条件方面的各种因素综合作用的结果。根据农用地分等规程,大兴区农

用地分等所采用的指标包括土壤有机质含量、表土质地、剖面构型、盐碱化程度、灌溉保证率和排水条件 6 个指标。研究运用 SPSS 软件对这 6 个影响耕地质量的因素进行多元回归分析。标准变量 Y 为耕地自然质量等指数;自变量包括: X_1 : 有机质含量, X_2 : 表土质地, X_3 : 剖面构型, X_4 : 灌溉保证率, X_5 : 排水条件, X_6 : 盐碱化程度。其中概念性指标均依照农用地分等定级规程赋分后进行计算,数据整理见表 4。

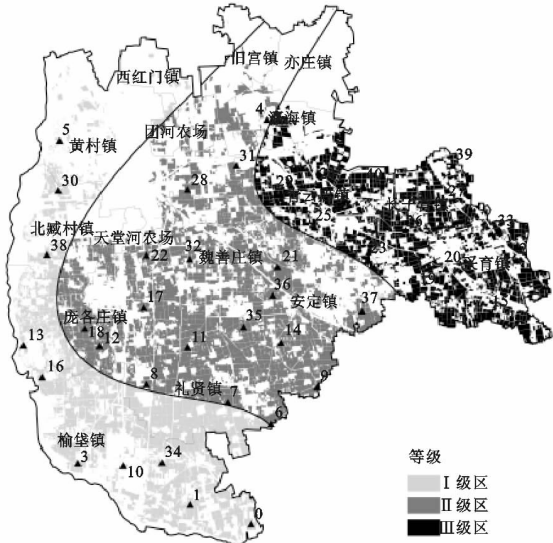


图 2 耕地质量分区图

经 SPSS 软件对样本进行回归分析检验,得出结果如表 5 所示。

由表 5 中变量系数可知,Ⅰ级区耕地质量的影响因素包括有机质、土壤质地、剖面构型,其局部空间分布主要受土壤有机质影响,土壤质地次之,剖面构型影响力最小;Ⅱ级区耕地质量的影响因素包括有机质、土壤质地、剖面构型、盐碱化程度,其局部空间分布主要受土壤质地影响,有机质次之,剖面构型和盐碱化程度影响力较小;Ⅲ级区耕地质量的影响因素包括有机质、土壤质地、剖面构型、盐碱化程度,其局部空间分布主要受土壤质地影响,盐碱化程度次之,剖面构型和有机质影响力较小。综上,对整个大兴区耕地而言,质量呈现空间分异的关键因素是土壤质地。

表 4 分析数据表

质量分区	样点个数	样点 ID	Y	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
Ⅰ级区	10	0	2172.21872	10.369	50	40	100	100	100
		1	2364.78142	12.266	60	70	100	100	100
		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
		38	2326.26888	9.079	60	70	100	100	100
Ⅱ级区	18	4	2468.90860	18.732	70	80	100	100	100
		6	2282.05112	9.190	60	60	100	100	100
		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
		37	2364.78142	13.346	60	70	100	100	100
Ⅲ级区	13	2	2433.24867	15.974	70	80	100	100	90
		15	2326.2688	9.217	60	70	100	100	100
		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
		40	2557.34412	13.986	70	100	100	100	100

表 5 回归分析结果

质量分区	模型
I 级区	$Y=12.192X_1+6.042X_2+3.773X_3+1583.921$
II 级区	$Y=5.284X_1+5.598X_2+4.210X_3+2.523X_6+1404.206$
III 级区	$Y=4.104X_1+6.880X_2+4.161X_3+4.375X_6+1159.41$

3.4 基于分区的耕地质量建设管理建议

耕地自然质量是耕地内部属性的反映,而提升耕地质量关键在于通过影响外部因素挖掘耕地潜力质量,在已有限制条件下诱发耕地向更加积极的状态演变。从质量来说,I 级区是大兴区质量一般的耕地,区内质量分异主要源于土壤有机质,相应地提出科学合理的作物肥料用量,改善农业基础设施,将用地和养地充分相结合,以提升耕地肥力从而实现农业的可持续发展。具体可以通过采用科学合理的种植制度,给耕地充分的休整养息时间,促进土壤微生物活动来提升土壤肥力;或是采取免耕、绿肥种植、生物固氮等技术措施,改变田间物理环境,改善土壤性质结构,阻止养分淋失和侵蚀损失。II 级区是大兴区质量较好的耕地,区内质量分异主要源于土壤质地,相应地通过加大投入,改善农业生产条件,调整种植结构和改良土壤,使其向良性方向发展,以发挥增产潜力。具体可以通过健全农田灌排配套设施,防止黏粒流失;也可通过施肥在提高土壤有机质含量的同时增强砂质土的胶结能力,促进土壤团粒结构的形成,固定土壤黏粒来改变土壤质地或是有计划地进行一些掺泥改砂;同时结合改碱、改盐等措施,以提高耕地整体质量水平。III 级区是大兴区质量最好的耕地,不需要特定的改善措施,在现状上维护延续即可。

近年来大兴区耕地由北部向南部转移的情况也正是潜力区被发掘的过程。此外,区域内更应注意加强乡镇之间的发展联系,对耕地进行差别化利用,充分显化其多功能价值。发展生态观光农业,正是充分利用不同利益群体对乡村景观的感受来引导耕地保护走向自觉自愿的模式。突出主导产业的优势,比如庞各庄、北臧村、安定、礼贤、魏善庄、榆垓六个镇所形成西瓜产业带,魏善庄精品梨园、采育葡萄基地等重点果品生产基地,在瀛海、亦庄、旧宫等地农民带动下发展起来的花卉产业,都可作为耕地质量提升的引力。

4 结论与讨论

(1) 耕地质量的构成及特征具有复杂性,在一个相对大的区域内其空间分布具有一定的规律性。运用趋势面分析法,可以将复杂的耕地质量特征分布转化成多项式,并由此得出连续的等值图,以更加直观、形象的表现形式实现了耕地质量的定量化评价预测,同时也补充了耕地质量监测工作中“以点代面”思想

的应用价值的可延性。

(2) 大兴区耕地质量西部较低,东部较高,北部较南部更高,质量总体从东北部到西南部呈斜向条带状分布降低。从西到东依照质量潜力高低划分为I级区、II级区、III级区,在耕地质量一般的I级区中土壤有机质是形成格局分异的主导因素,在质量较好和最好的II级区、III级区中土壤质地形成格局分异的主导因素。

(3) 本文在划定三级质量潜力区时仅考虑耕地自然质量的现状分布情况,而未考虑由于土地整理项目的开展可能对研究区域的耕地质量水平产生波动。如加强对土地整理项目区的耕地质量监测,将有利于实时监管新增补的耕地,及时更新耕地质量变化趋势,为占补平衡提供最新信息源。

(4) 本文应用趋势面分析通过对有限监测点数据的分析,找出耕地质量分布规律和发展趋势,为耕地质量的监测和管理工作提供相对定量化的依据,而集成 GIS 技术实现耕地空间信息数据的灵活处理与可视化表达将是未来从耕地复杂内涵诠释耕地质量分布规律机理的突破口。

参考文献:

[1] 张凤荣,安萍莉.制定农用地分等定级野外诊断指标体系的原则,方法和依据[J].中国土地科学,2001,15(2):31-34.

[2] 路婕,李玲,吴克宁,等.基于农用地分等和土壤环境质量评价的耕地综合质量评价[J].农业工程学报,2011,27(2):323-329.

[3] 陈述彭,岳天祥.地学信息图谱研究及其应用[J].地理研究,2000,19(4):337-343.

[4] 黎夏,珠江三角洲发展走廊 1988—1997 年土地利用变化特征的空间分析[J].自然资源学报,2004,19(3):307-315.

[5] 齐鑫山,王晓明.环境监测数据空间分布规律的研究方法及应用:趋势面分析法[J].环境保护,2000(10):20-22.

[6] 李树文,史建武,周继红.近地面大气污染模拟模型的建立与应用研究[J].环境科学与技术,2007,30(2):29-31.

[7] 孙学阳,杨忠.陕北神木北部矿区构造发育规律[J].黑龙江科技学院学报,2008,18(2):87-91.

[8] 何进伟,葛淼,崔致远,等.基于趋势面分析的男性肺一氧化碳弥散量与地理因素[J].地理科学,2009,29(4):573-576.

[9] 汤怀志,吴克宁,焦雪瑾,等.农用地质量空间统计分析及其在黑龙江省海伦市的应用[J].资源科学,2008,30(4):598-603.

[10] 雷国平,韩伟.黑龙江区域农用地自然生产潜力趋势面分析[J].东北农业大学学报,2001,32(3):295-298.