



周波, 吴茗华, 程炯, 等. 耕地自然质量等级与土壤主要肥力指标的关系[J]. 华南农业大学学报, 2014, 35(6): 46-51.

耕地自然质量等级与土壤主要肥力指标的关系

周波^{1,2}, 吴茗华¹, 程炯³, 邓南荣³, 胡月明¹, 戴军¹

(1 华南农业大学 资源环境学院/国土资源部建设用地再开发重点实验室/农业部华南耕地保育重点实验室/
广东省土地利用与整治重点实验室, 广东 广州 510642; 2 广东省农业科学院 饮用植物研究所,
广东 广州 510640; 3 广东省生态环境与土壤研究所, 广东 广州 510650)

摘要:【目的】研究耕地自然质量等级与土壤肥力指标间的关系。【方法】基于化州市耕地质量等级监测工作, 将化州市耕地分为4个监测分区, 布设38个采样点, 调查测定耕地质量监测指标和主要土壤肥力指标, 并对其关系进行研究。【结果和结论】耕地自然质量等级指数(y)与土壤主要肥力指标[pH(x_1)、碱解氮含量(x_2)]间存在如下数学关系式: $y = 1\ 300.15 + 630.33x_1 + 3.24x_2$ 。pH、碱解氮含量与耕地自然质量等级的10个原始监测指标均具有显著相关性, 与自然质量等指数也具有显著的线性关系。

关键词:耕地; 自然质量等级; 自然质量等指数; 土壤肥力指标

中图分类号:S159

文献标志码:A

文章编号:1001-411X(2014)06-0046-06

The relationships between the natural quality grade of arable land and main soil fertility indicators

ZHOU Bo^{1,2}, WU Minghua¹, CHENG Jiong³, DENG Nanrong³, HU Yueming¹, DAI Jun¹

(1 College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University/Key Laboratory of the Ministry of Land and Resources for Construction Land Transformation/Key Laboratory of the Ministry of Agriculture for South China Farmland Conservation Province/ Key Laboratory of Land Use and Consolidation of Guangdong, Guangzhou 510642, China;
2 Drinkable Plants Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China;
3 Guangdong Institute of Eco-environment and Soil Sciences, Guangzhou 510650, China)

Abstract:【Objective】The relationships between arable land natural quality grade and main soil fertility indicators were studied. 【Method】Arable land quality monitoring indicators and the soil fertility indicators were investigated after the study area was divided into four monitoring partitions and 38 sampling points were laid, based on the work of Huazhou arable land quality grade monitoring. 【Result and conclusion】The results showed that the mathematical relationship between the arable land quality level(y) and the main soil fertility indicators [pH(x_1); available nitrogen content(x_2)] was $y = 1\ 300.15 + 630.33x_1 + 3.24x_2$. pH and available nitrogen significantly are correlated with ten original monitoring indicators of arable land, and the two fertility indicators and the natural quality grade index also have a significant linear relationship.

Key words:arable land; natural quality grade; natural quality grade index; soil fertility indicator

收稿日期:2013-10-11 优先出版时间:2014-09-30

优先出版网址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1110.S.20141003.1138.010.html>

作者简介:周波(1983—),男,博士研究生, E-mail:zhoubo-100@163.com; 通信作者:戴军(1958—),男,教授,博士, E-mail:jundai@scau.edu.cn

基金项目:国家自然科学基金(41201305);国土资源部公益性行业科研专项经费项目(201011006);高等学校博士学科专项科研基金(20124404110022)

近年来,随着我国社会和经济的快速发展,优质耕地被不断征用,水土流失和土壤污染加剧,耕地重用轻养现象普遍,导致总体质量下降^[1-3]. 而我国对耕地质量监管制度与技术方法的研究相对薄弱^[4-8]. 国土资源部2011年起组织全国15个省市开展耕地质量等级监测试点项目,逐步开展对耕地质量的监测监管工作. 根据《农用地质量分等规程》(GB/T 28407—2012)^[9]的要求,耕地自然质量等指数是计算耕地质量等级的最基础部分,也是最复杂繁琐的部分,其计算过程涉及到立地条件、土壤条件和耕地管理水平等方面的十几个因素指标,包含耕作制度、复种类型、光温(气候)生产潜力指数、产量比系数等多个参数的多重计算公式,指标数据的获取难度较大,计算过程繁杂,监测周期长. 这些问题都是限制其推广的瓶颈,寻求简化、快速的监测方法成了亟待解决的问题. 为此,本文结合化州市耕地质量等级监测的实际情况,探索研究耕地自然质量等级与土壤主要肥力指标的关系,以为耕地质量监测方法的简化研究提供参考.

1 研究区域概况

化州市位于广东省西南部,鉴江中下游,地处东经 $110^{\circ}20'$ ~ $110^{\circ}45'$,北纬 $21^{\circ}29'$ ~ $22^{\circ}13'$,地形狭长,地势北高南低. 属亚热带季风气候,年平均日照 $1\ 984.6\text{ h}$,年平均温度 $22.6\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 年积温 $8\ 274.4\text{ }^{\circ}\text{C}$,无霜期 362 d . 年降雨量 $1\ 772.1\text{ mm}$,降雨量年际变化大,雨季出现在4—9月,以南风为主;旱季出现在10月至次年3月,以偏北风为主. 2012年化州市耕地面积为 $59\ 513\text{ hm}^2$,土壤类型以赤红壤为主,东南部冲积平原区有部分水稻土. 2012年平均自然质量等指数为 $5\ 220$,平均自然质量等为 1.95 ,平均利用等指数为 $2\ 493$,平均利用等为 2.52 ,平均经济等指数为 $2\ 581$,平均经济等为 2.10 ,耕地质量总体处于中等偏上水平. 种植的作物主要有水稻、甘薯、花生、甘蔗、蔬菜、红麻、蚕桑、黄豆等,耕作制度以两年五熟为主.

2 研究方法

2.1 分区与采样点布设

结合地形地貌和人为影响程度等情况化州市耕地可划分为北部山区、中部丘陵区、南部平原区和城市周边区4个研究分区,根据分区面积、地形和耕地连片程度布设采样点,北部山区布置13个样点,中部丘陵区布置14个样点,南部平原区布置7个样点,城市周边区布置4个样点,共计38个采样点,分区和布点情

况如图1所示.

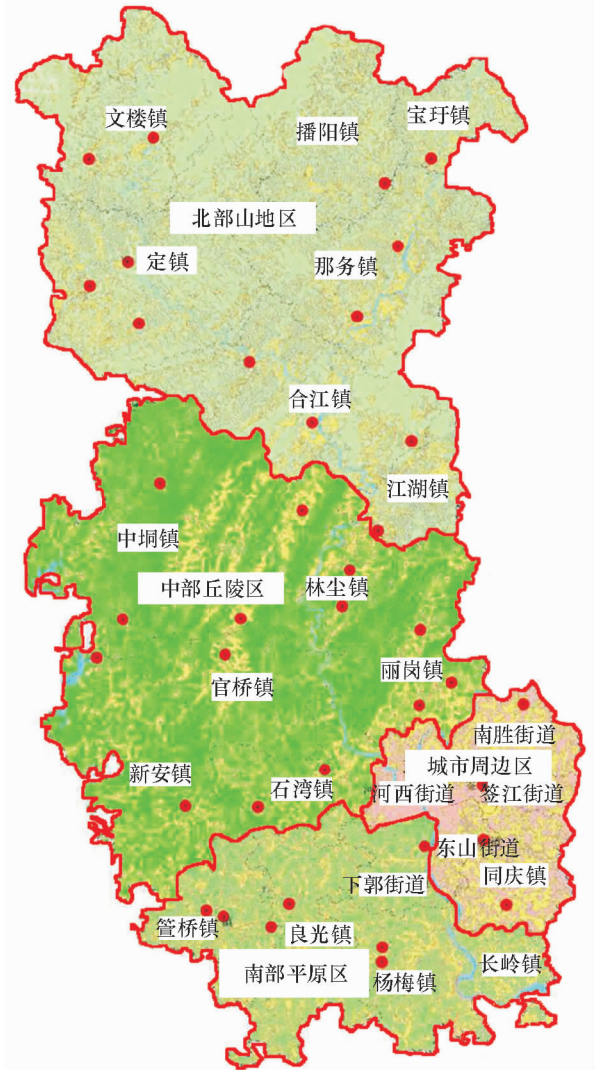


图1 化州市耕地质量监测分区与监测点布置图

Fig. 1 The layout of cultivated land monitoring partitions and monitoring points of Huazhou

2.2 样品采集与分析

2012年12月在主要农作物收获1个月后进行样品采集和数据调查. 具体调查指标和数据获取方法如下:地形坡度、田面坡度、灌溉保证率和排水条件等指标数据现场测量及调查获得,地下水位、有效土层厚度及剖面构型等数据通过剖面挖掘获取. 在样点所在图斑内有代表性的部位选 $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ 范围,五点混合法采集耕作层土壤样品,同时用环刀取样测定容重. 土样风干制备后,测定pH、有机质、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾、电导率、沙粒、粉粒、粘粒等指标. 有机质的测定采用重铬酸钾容量法;全氮采用开氏消煮法;碱解氮采用碱解扩散法;速效磷采用Olsen法;有效钾用 NH_4AC 浸提—火焰光度法;土壤pH用pH计电位法(水土质量比 $2.5:1.0$);电导率用电导率仪测定(水土质量比 $5:1$);沙粒、粉粒、

粘粒含量用微吸管法测定;容重用环刀法测定.

2.3 数据统计与分析

地形坡度、田面坡度、地下水位、有效土层厚度、表土质地、剖面构型、有机质含量、pH、灌溉保证率、排水条件等10个指标是耕地自然质量等级划分的标准监测指标.根据研究区所属的标准耕作制度分区,按照指定作物分别给10个监测指标值赋分,赋分后按照加权平均法计算各指定作物下的耕地自然质量分.自然质量分乘以光温(气候)潜力指数和指定作物的产量比系数得出自然质量等指数,然后按照不同监测单元的复种类型计算耕地自然质量等指数.计算过程和相关参数的选取均参照《农用地质量分等规程》(GB/T 28407—2012)^[9]的要求.

数据统计采用 ArcGIS9.3、SAS9.0 和 Excel 2003 等软件进行.统计过程中地下水位、有效土层厚度、表土质地、剖面构型、灌溉保证率、排水条件等描述性指标均采用自然质量分计算时对应的赋分值进行统计分析,其余可定量的指标均采用实测值进行统计分析.

3 结果与分析

3.1 耕地自然质量等指数和主要肥力指标

各个分区的平均自然质量分和自然等指数计算结果见表1.

表1 研究区耕地自然质量等指数

Tab.1 The natural quality grade index of arable land in study area

分区	平均值	极差	标准差	变异系数
北部山地区	5 136	1 468	544	0.11
中部丘陵区	4 976	1 952	586	0.12
南部平原区	5 102	795	361	0.07
城市周边区	5 222	922	422	0.08

本文针对4个耕地分区的38个样点,测定了容重、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾、电导率、沙粒、粉粒、粘粒含量等土壤肥力相关指标,结果见表2.从肥力指标的测定结果看,容重北部山地区最低,最有利于作物生长.全氮和碱解氮的含量也是北部山地区最高,有效磷和速效钾的含量则是城市周边区最高.北部山地区沙粒、粉粒和粘粒的含量相当,质地优良,其余3个区的粘粒含量相对较少.

3.2 肥力指标与耕地自然质量等级关系

为寻找与耕地自然质量等级关系最密切、最有代表性的土壤肥力指标,本文采用系统聚类法对调查得到的19个指标进行聚类分析.结果(图2)表明,在欧氏距离(d)=1.26时,所有指标可以归为2个大类、4个小类.同一类指标具有统计学上的信息相似性,从每个小类中选取1个有代表性的土壤肥力指标,用来探求它们与耕地自然质量等级之间的关系.

表2 研究区部分耕地肥力指标测定结果

Tab.2 Results of fertility indicators of arable land of study area

分区	样点	容重/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	$w/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$				电导率/ ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)	$w/\%$		
			全氮	碱解氮	有效磷	速效钾		沙粒	粉粒	粘粒
北部山地区	均值	1.21	1 390	124.59	21.00	82.31	108.93	38.21	37.22	24.57
	极差	0.47	1 460	116.80	78.92	181.33	260.00	47.52	32.40	42.41
	标准差	0.16	540	45.29	20.95	57.24	73.91	12.90	9.50	11.57
	变异系数	0.13	390	0.36	1.00	0.70	0.68	0.34	0.26	0.47
中部丘陵区	均值	1.33	1 200	111.40	20.57	61.69	57.14	46.87	32.39	20.73
	极差	0.42	1 420	122.94	48.19	145.73	43.50	45.49	40.74	22.46
	标准差	0.14	440	36.52	16.22	48.16	14.51	12.65	11.86	6.63
	变异系数	0.11	360	0.33	0.79	0.78	0.25	0.27	0.37	0.32
南部平原区	均值	1.36	1 090	100.14	27.00	78.61	46.81	55.03	23.24	21.73
	极差	0.42	870	63.35	51.42	133.58	28.40	33.87	30.92	17.54
	标准差	0.16	280	23.49	17.48	46.65	9.92	11.37	9.92	5.74
	变异系数	0.11	260	0.23	0.65	0.59	0.21	0.21	0.43	0.26
城市周边区	均值	1.36	1 020	112.33	49.29	125.28	38.83	57.57	26.03	16.40
	极差	0.48	1 500	106.90	41.44	273.24	20.20	39.14	18.11	23.68
	标准差	0.23	670	47.11	19.31	124.18	9.06	18.53	7.96	10.92
	变异系数	0.17	650	0.42	0.39	0.99	0.23	0.32	0.31	0.67

系. 本文分别选取了 pH、容重、碱解氮含量和电导率 4 个指标, 采用逐步回归探索这 4 个肥力指标与耕地自然质量等级之间的数学关系. 以 pH(x_1)、碱解氮含量(x_2)、容重(x_3)、电导率(x_4) 作为自变量, 以耕地自然质量等指数(y) 作为因变量, 进行逐步回归分析. 所得回归方程为: $y = 1\ 300.15 + 630.33x_1 + 3.24x_2$, $F = 35.22$, $P < 0.01$, 达到极显著水平; 对截

距和 x_1, x_2 的系数进行显著性检验, P 分别为 0.013 2 和 0.017 6, 均达到显著水平. 在逐步回归过程中, 只有 pH 和碱解氮含量进入了最终方程, 这 2 个指标分别属于上述聚类分析的 2 个大类, 具有相对较好的代表性. 综上所述, 本研究得到的耕地自然质量等级与土壤主要肥力指标间的数学关系式为: $y = 1\ 300.15 + 630.33x_1 + 3.24x_2$.

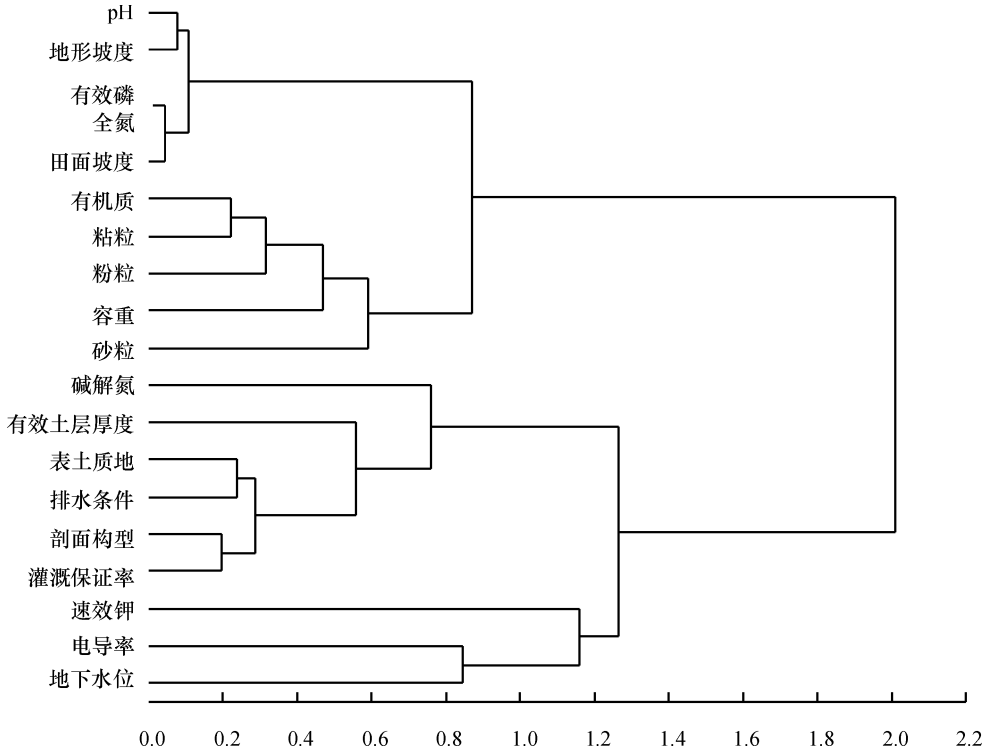


图2 研究区耕地自然质量监测指标与肥力指标聚类图

Fig. 2 Dendrogram of the natural quality monitoring and fertility indicators of arable land

3.3 数学关系式的验证

本文从 3 个方面对上述数学关系式进行验证.

首先, 从耕地自然质量等指数计算的原理看, 其基础是自然质量分, 而自然质量分的计算涉及到地形坡度、田面坡度、地下水位、有效土层厚度、土壤质地、剖面构型、有机质含量、酸碱度、灌溉保证率、排水条件等 10 个评价指标. 如果关系式中的土壤肥力指标能够与上述 10 个评价指标的信息之间具有较好的关联度, 则说明上述关系式具有可行性. 肥力指标与原始的 10 个监测指标的相关分析结果(表 3)表明, 原始的 10 个监测指标在 2 个肥力指标中均能找到与之显著相关的指标, 即肥力指标的信息与原始的 10 个监测指标的信息之间具有较高的关联度.

其次, 通过土壤肥力指标与耕地自然质量等指数的相关性分析, 验证它们之间的信息关联度. 相关分析的结果如图 3 所示, pH 和碱解氮含量 2 个指标与自然质量等指数之间存在着极显著和显著的线性相关关系, 说明两者之间具有较高的统计信息关联度.

表3 研究区土壤肥力指标与耕地监测指标的相关分析¹⁾

Tab. 3 The correlation analyses of soil fertility and arable land monitoring indicators

指标	pH	碱解氮含量
pH	1.000	0.005
地形坡度	-0.443 **	-0.305 *
田面坡度	-0.640 **	-0.336 *
有机质	0.001	0.928 **
有效土层厚度	0.079	0.305 *
表土质地	0.364 *	0.133
排水条件	-0.323 *	0.062
剖面构型	0.564 **	0.032
灌溉保证率	0.701 **	0.323 *
地下水位	-0.452 **	-0.388 *

1) “*”、“**”分别表示显著、极显著相关.

最后, 验证上述数学关系式的计算效果. 数学关系式计算值与真实值比较的结果见表 4, 所有样点的计算误差均在 ±15% 以内, 其中 ±5% 以内的样点占 60.53%, ±(5% ~ 10%) 之间的样点占 28.95%, 在

$\pm (10\% \sim 15\%)$ 之间的样点占 10.52%,所有样点误差的算术平均值为 0.55%.

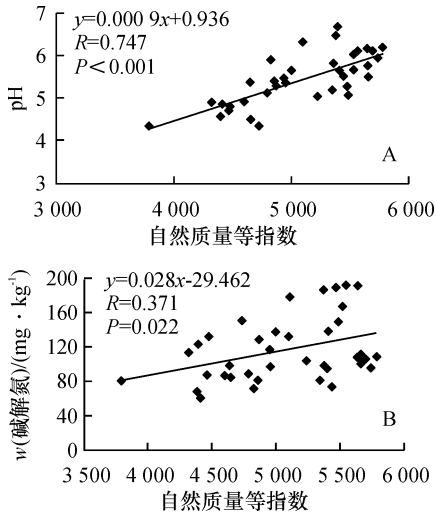


图3 研究区简化指标与自然质量等指数的相关分析

Fig. 3 The correlation analysis of simplified indicators and natural quality grade index of study area

表4 研究区耕地自然质量等指数简化预测模型效果验证

Tab. 4 The effect verification of simplified prediction model of arable land natural grade index

分区	原自然	简化自然质量	误差	平均
	质量等指数	等指数		
北部山区	5 136.38	5 186.00	-4.75 ~ 8.75	1.34
中部丘陵区	4 975.93	5 023.50	-7.21 ~ 12.74	1.28
南部平原区	5 101.71	4 980.86	-11.05 ~ 9.75	-2.11
城市周边区	5 221.50	5 206.75	-5.58 ~ 8.74	0.06

4 讨论与结论

地理信息系统等技术手段和聚类分析、回归分析等数学方法已被国内外研究者广泛应用于耕地质量的评价中. de Paul Obade 等^[10]对遥感和地理信息系统等手段在耕地质量评估方面的应用和研究进展进行了归纳, Davis 等^[5]采用地理信息系统对土壤重金属的空间分布进行了分析,并采用主成分分析和聚类分析等数学方法探讨了土壤环境质量的影响因素, Kaufmann 等^[11]采用数学评价模型对修复后的土壤质量进行了评价与分析, Zhang 等^[12]使用加权回归的分析方法利用地理信息空间模型对爱尔兰土壤有机质含量的时空变化进行了分析和评价, Cai 等^[13]采用逐步回归和主成分分析等数学方法分析评价了土壤微生物的生态多样性. 结合前人的研究成果,本研究利用地理信息系统的相关功能模块综合划分监测分区,考虑多重因素选取监测点,并采用聚类分析选取了4个简化预测指标,利用逐步回归分

析建立了最终的简化预测模型.

土壤肥力指标已被广泛应用于对耕地质量的评价中^[14-15]. 本研究中, pH 和碱解氮含量2个指标最终进入了数学关系式. pH 相对稳定,能够综合反映耕地多方面的质量情况^[16-17]. 也有研究表明碱解氮与全氮和有机质都具有较好的相关性^[18],有机质又在很大程度上可以反映土壤的总体肥力质量^[19],有机质和碱解氮等土壤肥力指标能综合反映农业投入水平和管理措施对耕地质量的影响^[20]. 碱解氮等速效养分容易受到施肥等农业措施的影响,而施肥时间主要集中在作物生长的前期和中期,此时不适宜采集监测土壤样品. 随着施肥时间的延长,到秋冬季作物收获后,施肥带入的速效养分由于淋溶、挥发和作物吸收等而大量下降^[21],土壤中的碱解氮等速效养分含量趋于稳定,此时采集的土壤样品适合用来对耕地质量进行分析和评价.

采用工程措施进行土地整治,如降低土地坡度、提高田面平整度、改良灌排条件等,对耕地质量的改善主要体现在如下2个方面:一方面,通过土地整治可以减少土壤中作物生长所需的养分随水土流失而损耗^[22],整治后旱可灌、涝可排,保证了土壤含水量的稳定,从而可以改善土壤的通气透水状况、增加微生物活性、促进土壤中养分的循环与转化^[23],进而影响到土壤 pH、有机质和碱解氮等土壤肥力属性指标^[16]. 另一方面,通过土地整治还会带来土地经营者投入水平的提高,增加投入、培肥地力,进而提高土地管理和利用水平,最终会带来有机质和碱解氮等土壤肥力指标的提高,以及耕地综合质量提升.

本文通过对化州市耕地数据的分析和论证得出,研究区耕地自然质量等级(y)与主要土壤肥力指标[pH(x_1)、碱解氮(x_2)]间的数学关系式为: $y = 1\,300.15 + 630.33x_1 + 3.24x_2$. 经验证,该关系式的公式与系数均达到显著水平. 进入关系式的肥力指标与原始的10个监测指标显著相关,与自然质量等指数具有显著的线性相关,关系式计算误差的算术平均值为0.55%. 今后的研究中可以在更广范围内、不同时间段、不同地形、不同气候条件下进行类似的验证与探索.

参考文献:

- [1] 陈印军,肖碧林,方琳娜,等. 中国耕地质量状况分析[J]. 中国农业科学,2011,44(17): 3557-3564.
- [2] 张鸿辉,刘友兆,曾永年,等. 耕地质量预警系统设计与实证[J]. 农业工程学报,2008,24(8): 74-79.
- [3] 姜广辉,赵婷婷,段增强,等. 北京山区耕地质量变化

- 及未来趋势模拟[J]. 农业工程学报, 2010, 26(10): 304-311.
- [4] LIMA A C R, BRUSSAARD L, TOTOLA M R, et al. A functional evaluation of three indicator sets for assessing soil quality[J]. *Appl Soil Ecol*, 2013, 64: 194-200.
- [5] DAVIS H T, MARJORIE AELION C, MCDERMOTT S, et al. Identifying natural and anthropogenic sources of metals in urban and rural soils using GIS-based data, PCA, and spatial interpolation[J]. *Environ Pollut*, 2009, 157(8/9): 2378-2385.
- [6] ALLIAUME F, ROSSING W A H, GARCÍA M, et al. Changes in soil quality and plant available water capacity following systems re-design on commercial vegetable farms[J]. *Eur J Agron*, 2013, 46: 10-19.
- [7] MUELLER L, SHEPHERD G, SCHINDLER U, et al. Evaluation of soil structure in the framework of an overall soil quality rating[J]. *Soil Till Res*, 2013, 127: 74-84.
- [8] 孙薇薇, 胡月明, 刘才兴, 等. 基于决策树的土壤质量等级研究[J]. 2005, 26(3): 108-110.
- [9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 28407-2012 农用地质量分等规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [10] DE PAUL OBADE V, LAL R. Assessing land cover and soil quality by remote sensing and geographical information systems (GIS)[J]. *Catena*, 2013, 104: 77-92.
- [11] KAUFMANN M, TOBIAS S, SCHULIN R. Quality evaluation of restored soils with a fuzzy logic expert system[J]. *Geoderma*, 2009, 151(3/4): 290-302.
- [12] ZHANG Chaosheng, TANG Ya, XU Xianli, et al. Towards spatial geochemical modelling: Use of geographically weighted regression for mapping soil organic carbon contents in Ireland[J]. *Appl Geochem*, 2011, 26(7): 1239-1248.
- [13] CAI Y F, BARBER P, DELL B, et al. Soil bacterial functional diversity is associated with the decline of *Eucalyptus gomphocephala*[J]. *Forest Ecol Manag*, 2010, 260(6): 1047-1057.
- [14] ARMENISE E, REDMILE-GORDON M A, STELLACCI A M, et al. Developing a soil quality index to compare soil fitness for agricultural use under different managements in the Mediterranean environment[J]. *Soil Till Res*, 2013, 130: 91-98.
- [15] GIACOMETTI C, DEMYAN M S, CAVANI L, et al. Chemical and microbiological soil quality indicators and their potential to differentiate fertilization regimes in temperate agroecosystems[J]. *Appl Soil Ecol*, 2013, 64: 32-48.
- [16] LEBRON I, ROBINSON D A, OATHAM M, et al. Soil water repellency and pH soil change under tropical pine plantations compared with native tropical forest[J]. *J Hydrol*, 2012(414/415): 194-200.
- [17] CLARHOLM M, SKYLLBERG U. Translocation of metals by trees and fungi regulates pH, soil organic matter turnover and nitrogen availability in acidic forest soils[J]. *Soil Biol Biochem*, 2013, 63: 142-153.
- [18] 王艳杰, 付桦. 雾灵山地区土壤有机质全氮及碱解氮的关系[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(z1): 85-90.
- [19] AYUKE F O, BRUSSAARD L, VANLAUWE B, et al. Soil fertility management: Impacts on soil macrofauna, soil aggregation and soil organic matter allocation[J]. *Appl Soil Ecol*, 2011, 48(1): 53-62.
- [20] CHIVENGE P, VANLAUWE B, GENTILE R, et al. Organic resource quality influences short-term aggregate dynamics and soil organic carbon and nitrogen accumulation[J]. *Soil Biol Biochem*, 2011, 43(3): 657-666.
- [21] TYLOVA-MUNZAROVA E, LORENZEN B, BRIX H, et al. The effects of NH_4^+ and NO_3^- on growth, resource allocation and nitrogen uptake kinetics of *Phragmites australis* and *Glyceria maxima*[J]. *Aquat Bot*, 2005, 81(4): 326-342.
- [22] MOTTET A, LADET S, COQUÉ N, et al. Agricultural land-use change and its drivers in mountain landscapes: A case study in the Pyrenees[J]. *Agric Ecosyst Environ*, 2006, 114(2/3/4): 296-310.
- [23] HUANG Biao, SUN Weixia, ZHAO Yongcun, et al. Temporal and spatial variability of soil organic matter and total nitrogen in an agricultural ecosystem as affected by farming practices[J]. *Geoderma*, 2007, 139(3): 336-345.

【责任编辑 周志红】