

文章编号:1003-8701(2014)03-0036-06

吉林省梨树县保护性耕作土壤养分空间变异性研究

张 丽,刘吉平,陈智文

(吉林师范大学旅游与地理科学学院,吉林 四平 136000)

摘 要:为了科学合理地制定农田施肥方案,提高养分资源的利用率,促进变量施肥技术的发展,以吉林省梨树县高家村和金山村的农田土壤养分为例,利用地统计学模型,结合GIS技术,研究了保护性耕作对黑土土壤养分空间变异性的影响;保护性耕作土壤养分的空间变异属于中等变异强度,大于传统性耕作土壤养分的空间变异性;保护性耕作模式下土壤养分比传统性耕作模式下土壤养分的结构性强,具有较强的空间自相关性,除速效磷外,传统性耕作模式下土壤养分的最大变程均小于保护性耕作模式下土壤养分的最大变程;土壤养分的空间变异图表明,保护性耕作模式下土壤养分呈团块状分布,传统性耕作模式下土壤养分呈垂直于垄向的条带状分布;保护性耕作土壤养分空间变异性受自然因素影响较大,而传统性耕作土壤养分空间变异性受人为随机因素影响较大;保护性耕作模式下土壤养分的空间变异大于传统性耕作模式,而且结构性和相关性较强,说明精准施肥更适用于保护性耕作模式。

关键词:空间变异性;土壤养分;保护性耕作;黑土

中图分类号:S152

文献标识码:A

Studies on Spatial Variability of Nutrients of Conservation Tillage Soil in Lishu County of Jilin Province

ZHANG Li, LIU Ji-ping, CHEN Zhi-we

(College of Tourist and Geoscience, Jilin Normal University, Siping 136000, China)

Abstract: In order to develop scientific and rational fertilizer application in farmland, improve nutrient utilization, promote the development of variable fertilization technology, taking the soil nutrients of the cultivated land in Gaojia Village and Jinshan Village of Lishu County of Jilin Province as an example, the effects of conservation tillage patterns on spatial variability of soil nutrients in black soil was studied in the paper using geostatistics models and GIS technology. The results showed that the spatial variability of soil nutrients under the conservation tillage was greater than that under the conventional tillage, and its structure was more stable than that under the traditional mode, so it has very strong spatial autocorrelation. Except Olsen-P, the biggest range of the soil nutrients under the conventional tillage mode was less than the one under the conservation tillage mode in all. The picture of spatial variability of soil nutrients manifested that soil nutrients distributed as the agglomerate under the conservation tillage mode, but it distributed as ribbon which was perpendicular to ridge under the conventional tillage mode. The spatial variability of soil nutrients under the conservation tillage was more easily influenced by the natural factors, the spatial variability of soil nutrients under the conventional tillage was more greatly influenced by artificially random factors. The spatial variability of soil nutrients under conservation tillage was greater than that under the conventional tillage, which structure and spatial autocorrelation were very strong, indicating that precision fertilization was more applied to the conservation tillage.

Keywords: Spatial variability; Soil nutrients; Conservation tillage; Black soil

收稿日期:2013-10-26

基金项目:国家农业科技成果转化资金项目(2009GB2B100095),吉林省科技厅科技支撑计划项目(20130101097JC,20080207)

作者简介:张 丽(1976-),女,满族,硕士,讲师,研究方向:农业水土工程,资源与环境信息系统。

土壤结构和形态相当复杂,人类活动进一步增强了土壤养分空间变异性和不确定性,农田土壤养分空间变异性具有普遍性,它主要受土壤类型、水文地貌、气候条件、耕作方式、作物类型、施肥方式等因素的影响^[1]。加强土壤养分空间变异及其影响因素的研究,对环境预测、精准农业和资源管理起着重要的作用^[2],将会直接影响土壤养分的循环和作物的产量^[3]。国内外学者对农田土壤养分空间变异性及保护性耕作对土壤养分含量的影响进行了大量研究^[4-15],但保护性耕作对土壤养分空间变异性的影响研究相对较少。以吉林省梨树县的金山传统耕作和高家免耕土壤养分空间变异性为例,利用地统计学模型,结合 GIS 技术,研究免耕土壤碱解氮、速效磷、速效钾和有机质的空间变异性。本研究有利于科学合理制定农田施肥方案,提高养分资源的利用率,促进变量施肥技术的发展,为实现精准施肥奠定基础。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区域

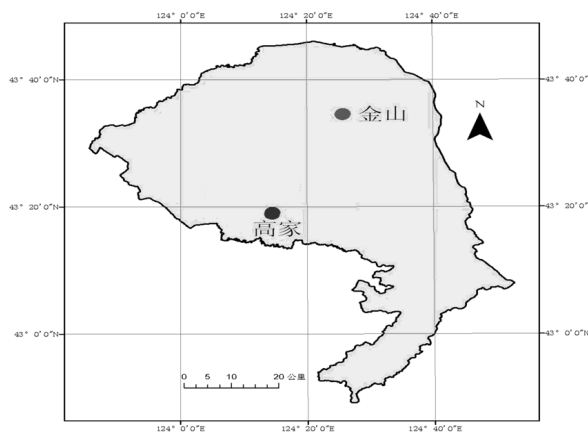


图 1 研究区域示意图

梨树县位于吉林省西南部,地处东经 $123^{\circ}45'$ ~ $124^{\circ}53'$,北纬 $42^{\circ}49'$ ~ $43^{\circ}46'$ 之间,总面积达 $4\,209\text{ km}^2$,属中型县。梨树县居于东北大陆腹地,属于温带半湿润大陆性季风气候,冬季漫长寒冷,夏季炎热多雨,春季风沙较大,秋季气候凉爽。年平均气温为 5.8°C ,年湿润度为 0.7。 0°C 以上积温为 $3\,477.9^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,平均全年日照时数为 $2\,698.5\text{ h}$,无霜期平均为 152 d,年降水量平均为 577.2 mm ,主要集中在 6、7、8 三个月。热量比较充足,雨量比较适中,且热量与雨量同期,可满足一年一熟农作物的生长需要。梨树县地处东辽河下游,东、北、西北为东辽河所环绕,地势东南高西北低。东南部为低山丘陵,

系长白山支脉大黑山余脉。中部为波状平原,北部系低洼平原,地势平坦,土质肥沃。全县土地面积 42.1 万 hm^2 ,其中耕地面积 23.4 万 hm^2 ,占 55.6%,属于以农业生产为主的平原县。全县 27 个乡镇,337 个行政村,总人口 86 万人,农业人口 64 万人。

本文在梨树县境内选择高家村和金山村两块试验田作为研究对象,其中高家试验田是玉米覆盖保护性耕作方式(2007 年开始),金山村试验田是传统耕作方式(图 1)。两块地的自然属性相似,都是多年种植玉米的农田,因此可用来对比保护性耕作与传统耕作对土壤养分空间变异性的影响。

1.2 数据采集与测试

2009 年 10 月(玉米收获之后)分别在高家村、金山村用手动脚踏式直压取土器进行土壤样品的采集。运用“S”型 5 点采样法采样,网格采样间距是 $40\text{ m}\times 40\text{ m}$,采样深度为 $0\sim 20\text{ cm}$ 。高家和金山均采集 60 个土壤样品,将从野外取回的土样进行风干、磨细、过筛、混匀、装袋处理,并对土壤养分中的碱解氮、速效磷、速效钾、有机质进行测试。采用重铬酸钾容量法测定土壤中有有机质的含量,碱解氮的测定采用碱解扩散法,速效磷的测定采用 0.5 mol/L NaHCO_3 浸提-钼锑抗比色法,速效钾的测定采用 $1\text{ mol/L NH}_4\text{OAc}$ 浸提-火焰光度法。

1.3 研究方法

运用 SPSS15.0 对每个地块的土壤养分数据进行常规统计分析,描述地统计学分析的变量包括标准差、变异系数、偏度系数和峰度系数。变异系数(C.V)表示土壤特性空间变异性的的大小,变异系数 $C.V\leq 0.1$ 为弱变异性, $0.1<C.V<1.0$ 为中等变异性, $C.V\geq 1.0$ 为强变异性^[16]。

利用 GS+ 软件计算出高家和金山土壤养分的半方差模型,分析其决定系数,块金值(Nugget)与基台值(Sill)的比值和变程,进而分析其空间变异性。块金值与基台值的比值可以表明土壤养分的空间相关程度。该比值 $<25\%$,说明系统具有较强的空间相关性,由自然因素引起的空间变异性较高,具有稳定的结构性;比值在 $25\%\sim 75\%$ 之间,表明系统具有中等相关性,说明由随机因素引起的空间变异性较高;比值 $>75\%$,说明系统相关性很弱,如果该比值接近 1,则说明该变量在整个尺度上具有随机性^[17]。最大相关距离^[18]即变程(Range)是指变异函数达到基台值时,采样点的间隔距离,它表明了土壤要素的空间自相关范围,表示在某种观测尺度下,空间相关性的作用范围。在

变程范围内,样点间的距离越小,其相似性越强,即空间相关性越大。

常用的空间插值方法有反距离加权插值、最近邻点插值法、克里格插值方法、多元回归法、径向基函数法、线性插值三角网法、局部多项式法等,其中克里格插值方法是地学中常用的一种插值方法,是根据变异函数模型发展起来的一系列地统计的空间插值方法。本文用 ArcGIS9.3 的普

通克里格插值对土壤养分进行插值,寻找土壤养分空间变异规律。

2 结果与分析

2.1 描述性统计特征值

土壤养分的描述性统计分析是建立空间变异性模型的前提,运用 SPSS15.0 对高家和金山土壤养分数据进行描述性统计分析(表 1)。

表 1 土壤养分描述性分析统计

项目	碱解氮(mg·kg ⁻¹)		有机质(%)		速效磷(mg·kg ⁻¹)		速效钾(mg·kg ⁻¹)	
	高家	金山	高家	金山	高家	金山	高家	金山
标准差	19.08	12.51	0.56	0.45	11.83	17.15	33.05	24.11
变异系数	0.19	0.11	0.39	0.24	0.53	0.52	0.12	0.09
偏度	4.90	-1.50	-0.87	0.23	0.88	1.45	0.73	-1.04
峰度	31.70	10.09	-0.24	0.29	0.35	2.41	-0.11	1.74

从变异系数对比可以看出,除金山传统性耕作模式下土壤速效钾的变异属于弱变异强度外,其他农田土壤养分的变异都属于中等变异强度。不管是保护性耕作还是传统性耕作方式,速效磷的空间变异最大,其次是有机质,再其次是碱解氮,速效钾的空间变异最小。整体上看,保护性耕作土壤养分空间变异性较大,而传统性耕作土壤养分空间变异性较小,主要是因为传统性耕作方式受人类干扰较强,人类通过对农田大量施用化

肥、进行秸秆回收等措施控制土壤养分,经过长期的干扰与控制,土壤养分空间变异性逐渐减小,而保护性耕作主要利用秸秆还田、复耕等措施使土壤接近于自然状态,土壤养分空间变异较大。

2.2 空间结构性和相关性分析

利用 GS+ 软件计算得到高家保护性耕作和金山传统性耕作土壤养分的半方差模型及其拟合参数(图 2,表 2)。

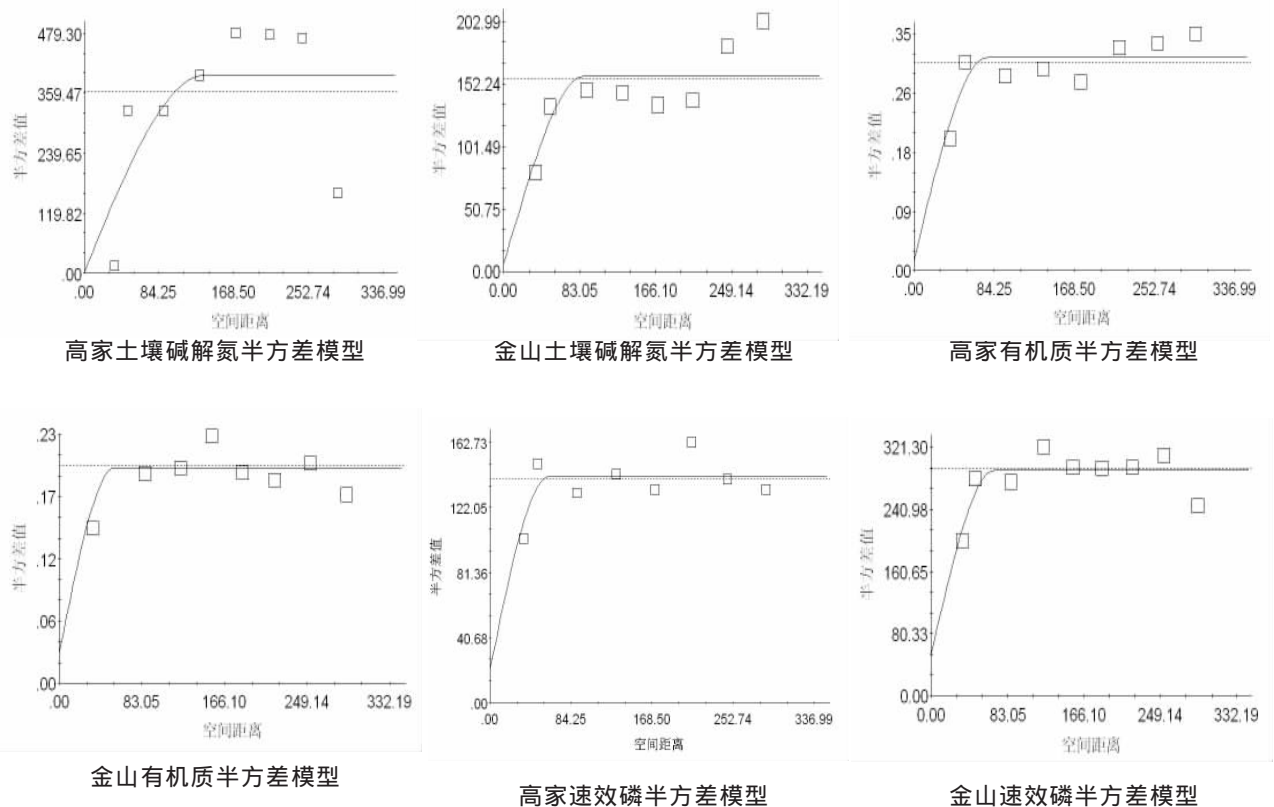




图 2 高家与金山土壤养分的方差模型

表 2 土壤养分方差模型及其拟合参数

拟合模型 及参数	碱解氮(mg·kg ⁻¹)		有机质(%)		速效磷(mg·kg ⁻¹)		速效钾(mg·kg ⁻¹)	
	高家	金山	高家	金山	高家	金山	高家	金山
理论模型	球状模型	球状模型	球状模型	球状模型	球形模型	球形模型	球形模型	球形模型
块金值	1.0	6.3	0.015	0.029	20.3	53.7	1.0	121.0
基台值	359.6	158.8	0.316	0.199	141.6	291.6	1093.0	583.0
块金 / 基台	0.003	0.04	0.05	0.15	0.14	0.18	0.001	0.21
变程(m)	137.4	88.5	76.6	55.7	61.2	68.5	85.4	58.3
决定系数	0.466	0.559	0.671	0.435	0.585	0.630	0.664	0.433
误差	105167	4124	0.006	0.004	885	4117	159520	4631

高家和金山土壤养分的块金 / 基台值均小于 25% ,说明土壤养分的空间变异都具有较强的空间相关性。保护性耕作方式下 ,速效钾和碱解氮的空间结构性最强 ,有机质居中 ,速效磷的空间结构性最差。传统耕作方式下 ,碱解氮的空间结构性最强 ,有机质和速效磷居中 ,速效钾的空间结构性最差。

从保护性耕作和传统性耕作土壤养分半方差模型的对比可以看出(图 2 ,表 2) ,保护性耕作模式下土壤养分的块金 / 基台值均小于传统性耕作模式下土壤养分的块金 / 基台值 ,表明保护性耕作模式下土壤养分比传统性耕作模式下土壤养分的结构性强 ,具有较强的空间自相关性 ,说明保护性耕作模式下土壤养分受成土母质、地形地貌、气候等自然因素影响较大。传统性耕作模式下 ,受施肥、作物品种、管理方式等人为随机因素引起的空

间变异性程度较大 ,结构性相对较差 ,空间自相关较弱 ,这也可以从最大变程看出 ,除速效磷外 ,传统性耕作模式下的土壤养分的最大变程均小于保护性耕作模式下土壤养分的最大变程。

2.3 土壤养分的空间变异性

精准农业土壤养分空间变异图的作用是根据土壤养分空间差异 ,划分管理小区 ,指导精准施肥。本文使用 ArcGIS 9.3 软件 ,对高家保护性耕作模式和金山传统性耕作模式的土壤养分进行克里格插值 ,得到土壤养分的空间变异图(图 3 ,图 4)。本文将土壤养分含量分为 10 个等级 ,分析对比不同耕作方式下农田土壤养分空间变异性的差异性。

对比分析图 3、图 4 可以看出 ,高家保护性耕作模式下土壤养分的空间变异结构性较强 ,空间变异程度大 ,呈团块状分布。而金山传统性耕作模

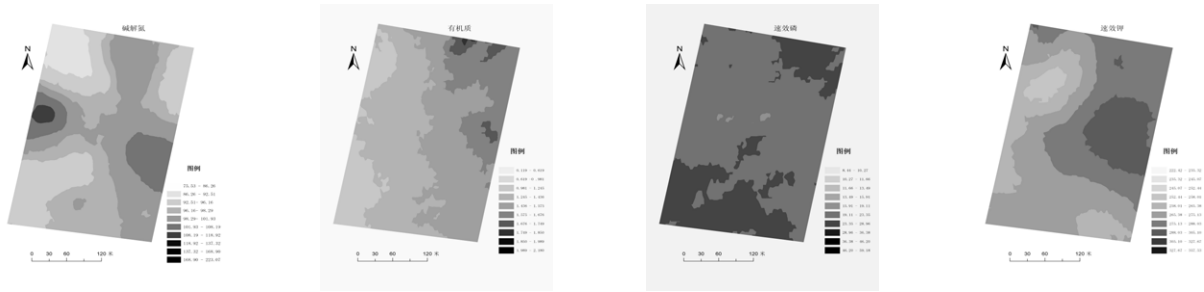


图 3 高家土壤养分的空间变异

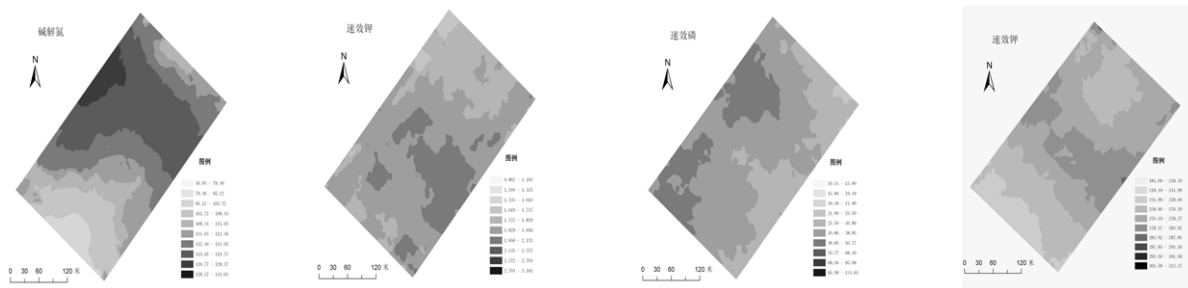


图4 金山土壤养分的空间变异

式下土壤养分的空间变异结构性相对较差,空间变异程度小,呈垂直于垄向的条带状分布,这是由于这块地的垄向是西北-东南走向,不同农户间施用化肥量、作物品种、管理方式等不同造成的。总之,保护性耕作受自然因素影响较大,而传统性耕作受人为随机因素影响较大。

3 结论与讨论

3.1 结论

(1)保护性耕作农田土壤养分的空间变异都属于中等变异强度,保护性耕作土壤养分空间变异性明显大于传统性耕作土壤养分空间变异性。

(2)保护性耕作农田土壤养分具有较强的空间相关性,其中速效钾和碱解氮的空间结构性最强,有机质居中,速效磷的空间结构性较差。保护性耕作模式下土壤养分比传统性耕作模式下土壤养分的结构性强。除速效磷外,保护性耕作模式下土壤养分的最大变程大于传统性耕作模式下土壤养分的最大变程。

(3)保护性耕作模式下土壤养分的空间变异程度大,呈团块状分布。而传统性耕作模式下土壤养分的空间变异程度小,呈垂直于垄向的条带状分布。保护性耕作受自然因素影响较大,而传统性耕作受人为随机因素影响较大。

3.2 讨论

本文采用描述性统计特征值的变异系数和地统计学的半方差模型对比分析了不同耕作方式下土壤养分的空间变异性。保护性耕作土壤养分的变异系数都大于传统性耕作的变异系数,而半方差模型中的块金/基台值正相反,说明变异系数和块金/基台值有一定的相关性,变异系数越大,半方差模型的块金/基台值越小,即空间变异性越大,空间结构性越强。但这种相关性具有一定的适用范围,如保护性耕作变异系数表明,速效磷的空间变异最大,其次是有机质,再次是碱解氮,速效钾的空间变异最小;而半方差模型表明,速效钾

的空间结构性最强,其次是碱解氮,再次是有机质,速效磷的空间结构性最差,得出的结论应是空间变异性越大,空间结构性越差,得出完全相反的两结论。

古典的 Fisher 统计法和地统计学方法是研究土壤养分空间变异的两种主要方法。Fisher 统计法的统计原理是假设研究的变量为纯随机变量,样本之间是完全独立。通过计算土壤养分的均值、标准差、变异系数以及进行显著性检验来描述土壤特性的空间变异。该方法在土壤学研究工作中取得了一定的成功,但由于其基本上是定性的描述,只能概括土壤特性变化的全貌,不能把土壤局部的空间变异特性反映出来^[19]。国外的研究表明土壤特性也不像 Fisher 原理假设的那样属于纯随机变量,而是在一定的范围内存在空间上的相关性^[20]。地统计学是既考虑样本间的结构性,又考虑样本间的随机性的一种空间统计方法,具有较强的优越性,弥补了经典统计方法上的缺陷。因此地统计学的半方差模型比变异系数更能说明土壤养分空间变异性,是研究土壤养分空间变异性的一种主要方法。

保护性耕作模式下土壤养分的空间变异大于传统性耕作模式,而且结构性和相关性较强,说明精准施肥更适用于保护性耕作模式。保护性耕作和精准农业都是依靠先进的现代科学技术,通过农业机械化、规模化生产,最大限度地优化使用各项农业投入(如化肥、农药、水、种子和其他方面的投入量)以获取最高产量和最大经济效益,同时减少化学物质使用,保护农业生态环境,保护土地等自然资源,实现农业的可持续发展,因此二者有集成的基础。保护性耕作和精准农业的有效集成是未来农业的主要发展趋势之一。

参考文献:

- [1] Rossi R E, Mulla D J. Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence [J]. Ecological

- Monographs,1992(62): 277-314 .
- [2] Stark C H E, Condon L M ,Stewart A. Small-scale Spatial variability of selected soil biological Properties[J]. Biology & Biochemistry, 2004(36): 601-608.
- [3] Corre M D, Sehnabel R S. Spatial and seasonal variation of gross nitrogen transformations and microbial biomass in a northeastern US grassland Soil [J]. Biology & Biochemistry, 2002(34): 445-457 .
- [4] Dolan M S, Clappa C E, Allmarasa R R, et al. Soil organic carbon and nitrogen in a Minnesota soil as related to tillage, residue and nitrogen management [J]. Soil and Tillage Research, 2006, 89(2): 221-231 .
- [5] 吕贻忠,廉晓娟,赵 红,等. 保护性耕作模式对黑土有机碳含量和密度的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(11): 163-169 .
- [6] 张世文,黄元仿,苑小勇,等. 县域尺度表层土壤质地空间变异与因素分析[J]. 中国农业科学, 2011, 44(6): 1154-1164 .
- [7] 王淑英,胡克林,路 苹,等. 北京平谷区土壤有效磷的空间变异特征及其环境风险评价 [J]. 中国农业科学, 2009, 42(4): 1290-1298 .
- [8] 王国伟,闫 丽,陈桂芬. 变量施肥对改善土壤养分空间差异性的综合评价[J]. 农业工程学报, 2009, 25(10): 82-85 .
- [9] 张 伟,刘淑娟,叶莹莹,等. 典型喀斯特林地土壤养分空间变异的影响因素[J]. 农业工程学报, 2013, 29(1): 93-101 .
- [10] 胡克林,余 艳,张凤荣,等. 北京郊区土壤有机质含量的时空变异及其影响因素[J]. 中国农业科学, 2006, 39(4): 764-771 .
- [11] 冯 晓,乔 淑,胡 峰,等. 土壤养分空间变异研究进展[J]. 湖北农业科学, 2010, 92(7): 1738-1741 .
- [12] 连 纲,郭旭东,傅伯杰,等. 黄土高原县域土壤养分空间变异特征及预测 - 以陕西省横山县为例 [J]. 土壤学报, 2008, 45(4): 577-584 .
- [13] 郭 鑫. 罗江县耕地土壤养分空间变异特征研究[D]. 四川大学, 2012 .
- [14] 朱强根,朱安宁,张佳宝,等. 保护性耕作下土壤动物群落及其与土壤肥力的关系[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 70-76 .
- [15] 赵如浪,刘鹏涛,冯佰利,等. 黄土高原春玉米保护性耕作农田土壤养分时空动态变化研究 [J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(6): 69-74 .
- [16] Cambardella C A, Moorman T B, Novak J M, et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils [J]. Soil Science Society Of America Journal, 1994 (58): 1501-1511 .
- [17] Chien Y J, Lee D Y, Guo H Y. et al. Geostatistical analysis of soil properties of mid-west Tai Wan soil[J]. Soil Science, 1997, 162(4): 151-162 .
- [18] Roldan A, Caravaca F, Hernandez M, et al. No-tillage, crop residue additions, and legume cover cropping effects on soil quality characteristic under maize in Patzcuaro watershed[J]. Soil and Tillage Research, 2003(172): 65-73 .
- [19] 郭军玲. 基于 GIS 的不同尺度下农田土壤养分空间变异特征研究[D]. 浙江大学, 2010 .
- [20] Burrough P A. soil variability: a late 20th century view [J]. Soil and Fertilizers, 1993, 56(5): 529-562 .

(上接第 10 页)的变化幅度以吉林省最大,黑龙江省和内蒙古均较小。根据测试结果,筛选出 11 个低植酸品种。

参考文献:

- [1] 袁凤杰,舒庆尧,朱丹华. 大豆低植酸育种研究进展[J]. 中国农学通报, 2006, 22(6): 173-176 .
- [2] Lott J N A. Accumulation of seed reserves of phosphorus and other minerals [M]. in :Murray, D . R . (ed.) Seed physiology, Sydney, Academic Press . 1984: 139-166 .
- [3] Zhou JR ,Erdman JW. Phytic acid in health and disease [J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 1995, 35(6): 495-508 .
- [4] Lolas G M, Palamidis N, Markakis P. The phytic acid-total phosphorus relationship in barley, oats, soybeans, and wheat [J]. Cereal Chem, 1976, 53(6): 867-871 .
- [5] Raboy V, Dickinson D B, Below F E. Variation in Seed Total Phosphorus, Phytic Acid, Zinc, Calcium, Magnesium, and Protein among Lines of Glycine max and G. soja [J]. Crop Science, 1984, 24(3): 431 .
- [6] Horner H T, Cervantes-Martinez T, Healy R, et al. Oxalate and phytate concentrations in seeds of soybean cultivars [*Glycine max* (L.) Merr.][J]. J. Agric. Food Chem, 2005, 53(20): 7870-7877 .
- [7] Kumar V, Rani A, Rajpal S, et al. Phytic acid in Indian soy-bean: genotypic variability and influence of growing location [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2005, 85(9): 1523-1526 .
- [8] Saio K, Koyama E, Yagasaki S, et al. Protein-calcium-phytic acid relationship in soybean. Part III. Effect of phytic acid on coagulative reaction in tofu-making[J]. Agric Biol Chem, 1969(33): 36-42 .
- [9] Ishiguro T, Ono T, Wada T, et al. Changes in soybean phytate content as a result of field growing conditions and influence on tofu texture [J]. Biosci Biotech Biochem, 2006, 70(4): 874-880 .
- [10] Hou H J, Chang K C. Yield and textual properties of tofu as affected by the changes of phytate content during soybean storage[J]. J. Food Sci, 2003, 68(4): 1185-1191 .
- [11] Toda K, Takahashi K, Ono T, et al. Variation in the phytic acid content of soybeans and its effect on consistency of tofu made from soybean varieties with high protein content [J]. J Sci Food Agric, 2006, 86(2): 212-219 .
- [12] 傅启高,李慧荃. 三氯化铁比色法测定植酸含量的研究[J]. 营养学报, 1997(2): 78-82 .