

太行山前平原土壤养分分布特征与肥料精准管理研究*

张玉铭 毛任钊 胡春胜

(中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心 石家庄 050021)

张佳宝 朱安宁

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

摘要 对太行山前平原土壤养分分布特征与肥料精准管理研究结果表明,该区土壤养分含量集中在 1 个或相邻 2 个养分含量等级范围内,对土壤养分进行分区管理存在可能性,按照土壤养分含量分级标准其土壤肥力属中等水平。土壤速效磷含量高低与冬小麦产量密切相关,P 肥施用为影响冬小麦产量的主要因子,而 N 肥为影响玉米产量的最重要因素,其次为土壤碱解氮与 P 肥。

关键词 土壤养分 分布特征 相关性 精准管理

The distribution character of soil nutrient and precision management of fertilizer in farmland in the piedmont of Taihang. ZHANG Yu-Ming, MAO Ren-Zhao, HU Chun-Sheng (Center for Agricultural Resources Research, Institute of Genetics and Developmental Biology, Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang 050021, China), ZHANG Jia-Bao, ZHU An-Ning (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China), *CJEA* 2005, 13(4): 116~120

Abstract The distribution character of soil nutrient and precision management of fertilizer in farmland in the piedmont of Taihang were studied. The experiment results show that the soil nutrient contents are laid in a range of one or two closed grades, so it is possible for soil nutrient to be managed in subarea. According to the classification criterion of soil nutrient, the soil fertility in this area is at a middle level. The content of soil available phosphorous (P) is closely related to winter wheat yield and fertilized phosphorous is the main factor affecting winter wheat yield. The nitrogen (N) fertilizer is the most important factor to the maize yield and second one is soil alkaline hydrolysis N or P fertilizer.

Key words Soil nutrient, Distribution character, Relativity, Precision management

(Received April 6, 2004; revised June 23, 2004)

充分了解土壤特性,尤其是土壤养分分布特征是合理调控土壤肥力和实施精准施肥的基础^[1]。精

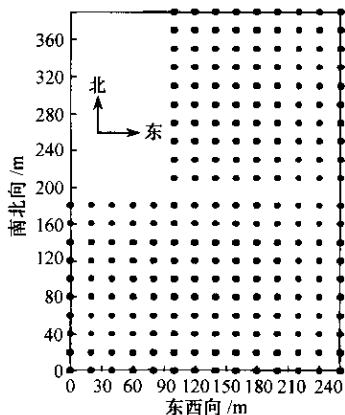


图 1 试验示范区样点布局示意图

Fig. 1 The diagram of sampling sites in demonstration field

准施肥要求能根据土壤类型、土壤养分肥力等级及其空间分布特征,按照作物需肥规律合理调配肥料用量及不同肥料配比,避免盲目施肥,力求达到施肥合理性与科学性,以提高肥料利用效率,降低生产成本,减少因过量施肥对环境造成的危害,并逐渐降低土壤养分的空间变异性,保持土壤养分库平衡发展,为农业可持续发展奠定基础。本研究通过调查河北省栾城县县级大尺度与试验示范区小尺度耕层土壤养分分布特征,对土壤养分肥力进行评价,并分析作物产量与土壤养分、施肥间相关关系,提出基于土壤养分分级和作物测产的精准施肥对策。

1 试验材料与方法

试验区栾城县位于华北太行山前平原,属暖温带半湿润半干旱季风气候,冬季寒冷干燥,夏季炎热多雨,年均气温 12.2℃,年均降水量 500~600mm,年蒸发量约 1040mm,≥0℃年积温 4713℃,年无霜期 200d 左右,耕地土壤主要为壤质潮褐土,以小麦-玉米 1 年两熟制为主。试验示范区

设在中国科学院栾城农业生态试验站,该站位于北纬 37°50',东经 114°40',海拔高度 50.1m,面积 15hm²。

* 中国科学院知识创新方向性项目(KZCX2-413-4, KZCX2-405)资助

收稿日期 2004-04-06 改回日期 2004-06-23

2000 年冬小麦播种前分别在示范区和栾城县以网格布点采集土壤样品,示范区内以 20m 为步长布点采集 0~15cm 和 15~30cm 土壤样品,采样点位 230 个,样点布局见图 1。县域范围内以 1km 为步长布点, GPS 定位,共采集 0~20cm 土样 289 个,样点布局见图 2。2001 年 6 月小麦收获时在示范区按土壤样点布局收割 2m×2m 样方进行测产。2002 年冬小麦收获时依据 2000 年示范区样点布局进行小麦测产与土壤样品采集,因西南部南北走向最西 5 行为小麦育种区,当时未测产也未采集土样,其余各点均与 2000 年点位一一对应。2002 年夏玉米收获时对应于同年小麦收获点位测产。用重铬酸钾容量法测定土壤有机质含量,以半微量凯式法测定全 N 含量,用酸溶-钼锑抗比色法测定全 P 含量,以碱解扩散法测定碱解氮含量,用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定速效磷含量,以醋酸铵浸提原子吸收法测定速效钾含量^[2]。



图 2 栾城县土壤采样点分布示意图
Fig. 2 The diagram of sampling sites in Luancheng County

2 结果与分析

2.1 土壤养分状况

土壤是作物生长的介质,也是作物养分的基本来源。大田生产中施肥条件下通常作物吸收的养分大部分来自土壤,土壤有效养分水平是土壤对作物养分的供应能力,当土壤缺乏 1 种或多种营养元素时,作物将达不到应有的产量水平,同时当缺乏某种元素时,增施另 1 种营养元素并不能增

表 1 土壤速效养分含量临界值及分级标准

Tab. 1 Critical value and class of soil available nutrient content

项 目 Items	临界值/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Critical value	等级/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Class				
		极低 Very low	低 Low	中 Middle	高 High	极高 Very high
碱解氮	70	0~30	30~70	70~130	130~160	>160
速效钾	80	0~40	40~80	80~150	150~200	>200
速效磷	10	0~5	5~10	10~24	24~60	>60

表 2 示范区及栾城县土壤养分特征

Tab. 2 The characters of soil nutrient in demonstration field and in Luancheng County

地 点 Places	项 目 Items	取 样 数 Sample	范 围 Range	平 均 值 Mean value	标 准 差 Standard deviation	变 异 系 数 / % Coefficient of variation	低 于 临 界 值 土 样 占 总 土 样 / % The percentage of soil samples below the critical value
示 范 区	有机质/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	160	11.2 ~ 22.8	16.5	1.71	10.4	
	全 N/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	160	0.81 ~ 1.19	1.00	0.07	7.2	
	全 P/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	160	0.57 ~ 1.53	0.74	0.08	10.7	
	碱解氮/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	160	42.9 ~ 106.1	71.6	9.4	13.2	43.9
	速效磷/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	160	3.5 ~ 98.2	8.3	6.7	79.8	65.2
	速效钾/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	160	87.0 ~ 193.0	114.4	17.2	15.0	0
栾 城 县	有机质/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	289	11.8 ~ 30.7	17.34	2.38	13.7	
	全 N/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	289	0.79 ~ 1.57	1.11	0.14	12.4	
	全 P/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	289	0.57 ~ 1.42	0.84	0.12	14.2	
	碱解氮/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	289	54.2 ~ 120.1	79.8	9.9	12.4	15.9
	速效磷/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	289	5.6 ~ 104.2	20.9	13.2	63.0	27.3
	速效钾/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	289	68.0 ~ 296.0	113.2	32.4	28.6	5.2

加作物产量,故施肥前必须确知土壤是否缺乏某种营养元素及其缺乏程度,以决定是否施肥及施肥量。土壤有效养分分级指标是诊断土壤肥力和实施精准施肥的基础,一般根据土壤养分测试结果与作物相对产量(以养分充分供应时产量为 100%)将土壤有效养分丰缺程度划分为“极低、低、中、高、极高”5 级,分别对应于相对产量为 <50%、50%~70%、70%~85%、85%~95% 和 >95% 时的土壤有效养分含量^[3]。表 1 为太行山前平原土壤有效养分分级指标及临界值。由表 2 可知栾城县土壤养分肥力处于中等偏上水平,碱解氮、速效钾和速效磷平均含量均高于临界值,其含量高于临界值的土样数占总土样数的 84.1%、94.8% 和 72.7%。

示范区土壤 P 素缺乏,65.2%的土样速效磷含量低于临界值,碱解氮平均含量接近临界值,43.9%的土样碱解氮含量低于临界值,土壤 K 素含量相对较丰富,所有土壤样品速效钾含量均高于临界值。

栾城县与试验示范区土壤养分变异趋势基本相同,按变异系数大小可粗略分级为弱性变异(变异系数 < 15%),包括土壤有机质、全 N、全 P 及碱解氮含量;中等变异性(变异系数为 15%~30%),包括土壤速效钾含量;强变异性(变异系数 > 30%),包括土壤速效磷含量。不同土壤养分变异情况不同,这主要与养分元素在土壤中的化学行为及肥料施用状况、田间管理措施等有关。施入土壤中的 P 移动性小,当季利用率低,土壤 P 收支平衡一般为盈余,在土壤中残留较多,导致土壤中 P 分布不均,而施入土壤中的 N 移动性相对较大,加之本区域 N 肥施用一般采用撒施后漫灌,致使土壤中 N 比 P 均匀;当前施肥状况下 K 肥施用不受重视,土壤 K 库主要靠秸秆还田来维持,土壤-作物系统内 K 素亏缺,因而 K 含量受 K 肥施用影响较小。为初步了解土壤养分含量分布状况,按土壤养分含量分级标准,做出栾城县与试验示范区土壤速效养分含量频率分布图见图 3。图 3 表明栾城县和试验示范区土壤速效养分含量均集中在 1 个或相邻 2 个养分含量等级范围内,表明在示范区小尺度范围内和县域大尺度范围内进行土壤养分分区管理均存在可能性,因土壤养分传统统计分析只能概括土壤养分变化的全貌,不能反映其局部的变化特征,即只在一定程度上反映样本总体,而不能定量刻画土壤养分的随机性和结构性、独立性与相关性,必须进一步采用地统计学方法进行土壤养分空间变异结构的分析和探讨。

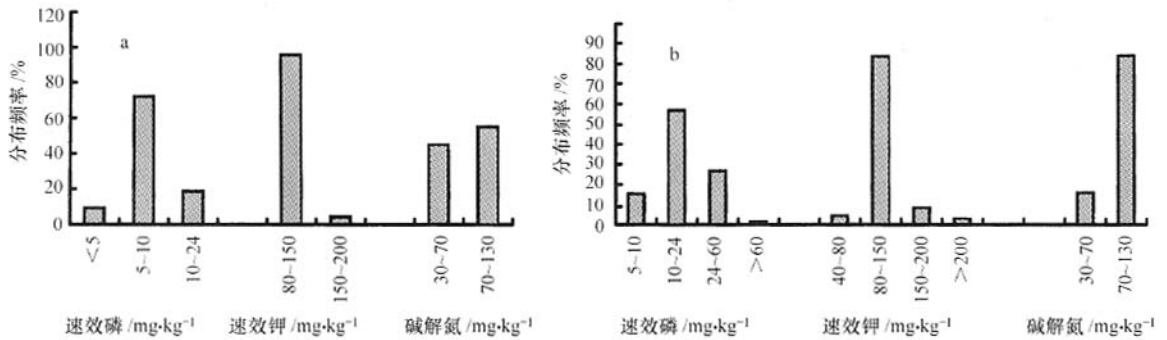


图 3 示范区(a)与栾城县(b)农田土壤速效养分分布频率

Tab.3 Distribution frequency of soil available nutrient for crop field in demonstration field (a) and Luancheng County (b)

表 3 示范区作物产量状况

Tab.3 Yield of crop for demonstrate region

作物 Crops	范围/kg·hm ⁻² Range	平均值/kg·hm ⁻² Mean value	标准差 Standard deviation	变异系数/% Coefficient of variation
小麦	3789~7750	5318	926.8	17.4
玉米	4581~12187	7699	1410.0	18.3
合计	7426~16698	12756	1588.0	12.4

最高产量为 7750kg/hm², 变异性属中度变异。不同点位玉米产量差异也很明显,变化范围为 4581~12187kg/hm², 平均产量为 7699kg/hm², 变异系数为 18.3%。

作物产量与土壤肥力状况和施肥量密切相关,很大程度上取决于土壤速效养分含量和肥料施用量。土壤养

2.2 示范区作物产量及其影响因素

作物产量是土壤肥力、农业管理措施的综合表征,因土壤肥力空间变异和粗放的肥料管理导致不同点位产量差异。采用 Fisher 统计方法对试验站示范区作物产量进行分析(见表 3),小麦平均产量为 5318kg/hm²,最低产量为 3789kg/hm²,

表 4 土壤养分、施肥量与小麦产量间相关系数

Tab.4 The correlation coefficients among soil nutrients, fertilizations and yield of wheat

项目 Items	碱解氮 Alkaline hydrolysis N	速效钾 Available K	速效磷 Available P	N 肥 N fertilizer	P 肥 P fertilizer	产量 Wheat yield
碱解氮	1	0.243	0.411**	0.163	0.017	-0.153
速效钾		1	0.232	0.016	-0.150	0.089
速效磷			1	0.095	0.388**	0.208
N 肥				1	0.056	0.153
P 肥					1	0.400**
产量						1

分、施肥量与小麦和玉米产量之间相关系数见表 4 和表 5。当前土壤肥力状况下土壤速效磷含量与冬小麦产量密切相关,而肥料管理措施中 P 肥施用为影响冬小麦产量的主要因子;土壤碱解氮和速效钾含量、N 肥、P 肥施用情况等均影响玉米产量,其相关性均达极显著水平。为进一步探明影响小麦、玉米产量的主要

因素,以作物产量为因变量,以土壤速效养分含量和施肥量为自变量,采用通径分析法^[4]分析各自变量对因变量影响程度的相对重要性结果表明,影响小麦产量主要因素中 P 肥的直接作用最大;N 肥的直接作用对玉米产量影响最大,其次为碱解氮与 P 肥的直接作用。

2.3 精准施肥管理

表 5 土壤养分、施肥量与玉米产量间相关系数

Tab.5 The correlation coefficients among soil nutrients fertilizations and yield of maize

项 目 Items	碱解氮 Alkaline hydrolysis N	速效钾 Available K	速效磷 Available P	N 肥 N fertilizer	P 肥 P fertilizer	产 量 Maize yield
碱解氮	1	0.637**	0.383**	0.278	0.146	0.509**
速效钾		1	0.233	0.351*	0.135	0.446**
速效磷			1	0.059	0.385*	0.034
N 肥				1	0.523**	0.723**
P 肥					1	0.477**
产 量						1

基于土壤养分水平分级的精准施肥技术。根据土壤测试结果划分出土壤养分的不同级别,相应于不同作物根据养分级别提出各种养分的施用量,是精准推荐施肥的主要方法之一,其计算公式为^[3]:

$$F = y \times (1 - R_y) \times N / E \quad (1)$$

式中, F 为施肥量(kg/hm^2), y 为目标产量(t/hm^2), R_y 为与养分水平相

应的相对产量(%) , N 为每生产 1t 经济产量的养分消耗量(kg), E 为肥料利用率(%)。从土壤速效养分测试结果分布频率看,各养分主要集中在 1 个或相邻 2 个含量等级范围内。在县域范围内,289 个采样点中 84.1% 的土壤样品碱解氮含量为 70~130 mg/kg ,属中等肥力水平,仅 15.9% 样品碱解氮含量为 30~70 mg/kg ,属低肥力水平;土壤速效磷含量分异较大,26.6% 样品速效磷含量为 24~60 mg/kg ,56.7% 样品含量为 10~24 mg/kg ,15.2% 样品含量为 5~10 mg/kg ,分别属高、中、低养分等级水平,速效钾含量频率分布相对较集中,83.7% 的采样点属中等含量水平(见图 3)。示范区 230 个采样点中,碱解氮中等与低等含量水平分布频率分别为 55.2% 和 44.8%,速效磷含量多集中在 5~10 mg/kg ,其分布频率为 72.0%,速效钾含量水平为中等,分布频率为 95.7%(图 3)。示范区速效氮、速效磷含量水平总体较县域范围低,速效钾含量水平与全县相当。土壤养分在县域大尺度范围和示范区小尺度范围内均存在空间变异性,传统的施肥方法尤其是一家一户的农田管理模式加大了土壤养分的空间变异程度,导致肥料利用率低且对环境带来危害,本研究根据最新试验测试结果,利用公式(1)和不同养分水平分级等级,提出了适于本区的推荐施肥方案(见表 6)。该方法优点是在确定不同土壤养分等级施肥量后,在一定时间和一定地区内,只要测得土壤速效养分含量即可提出肥料用量建议,缺点是需繁重的田间采样和室内分析化验工作,不能及时提出施肥决策方案。

表 6 土壤养分等级与推荐施肥量

Tab.6 Classes of soil nutrients and recommendation amount of N P K

目标产量/ $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ Yield	项 目 Items	速效养分/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Available nutrient	推荐施肥量/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ Recommendation fertilizer amount	
			小麦 Wheat	玉米 Maize
6~7.5	碱解氮	30~70	158~197	213~266
		70~130	89~111	120~149
	速效磷	5~10	78~98	
		10~24	44~55	
		24~60	20~25	
		速效钾	80~150	68~84

基于作物测产的精准施肥技术。基于土壤养分分级的推荐施肥很难把养分之间的交互作用考虑进去,为此根据示范区土壤养分含量、施肥状况和作物产量,应用 SPSS 统计软件包中的逐步回归分析过程进行回归分析^[5,6],除去不显著因子使推算值的均方差逐步减少,建立施肥统计模型,为依据作物产量图决策施肥方案提供参考。以小麦产量为因变量、土

壤养分含量、施肥量为自变量进行逐步回归分析,剔除不显著影响因子,得最优回归方程:

$$Y_w = 3726.07 + 15.771 \times P \quad (2)$$

式中, Y_w 为小麦产量(kg/hm^2), P 为 P 肥施用量(kg/hm^2)。逐步回归分析结果与通径分析结果完全相同,在示范区当前土壤肥力状况下, P 肥施用是引起小麦产量差异的主要因素,在决策 P 肥用量时可根据作物产量由方程(2)推算; N 肥施用量的多少对小麦产量影响不显著,为维持土壤养分平衡,防止土壤肥力下降,近几年小麦生长期间 N 肥用量建议为 89~111 kg/hm^2 (N) (见表 5)。对玉米产量与土壤养分含量、施肥量进行逐步回归得方程:

$$Y_m = 5926.017 + 7.168 \times N \quad (3)$$

$$Y_m = 2789.429 + 6.247 \times N + 38.243 \times AN \quad (4)$$

$$Y_m = 2746.146 + 5.538 \times N + 38.246 \times AN + 6.675 \times P \quad (5)$$

式中, Y_m 为玉米产量(kg/hm^2), N 、 P 分别为 N 肥和 P 肥用量(kg/hm^2), AN 为土壤碱解氮含量(mg/kg), 若在未测定土壤碱解氮含量情况下, 可采用方程(3)根据玉米产量提出 N 肥施用建议。夏玉米生长期间土壤温湿条件适宜, 微生物活性和根吸收能力较强, 土壤 P 素有效性相对较高, 加之玉米可利用前茬作物的 P 肥残效, 此期间可不施用 P 肥。若有土壤碱解氮测试结果, 可采纳方程(3)~(5)提出的 N 、 P 肥决策建议。对回归方程(2)~(5)进行假设检验, 其 F 值依次为 17.4、101.6、76.6 和 53.5, 均大于 $F_{0.01}$, 故可推断小麦产量依 P 肥施用量的一元线性回归方程达极显著水平; 玉米产量依 N 肥施用量的一元线性回归方程、玉米产量依 N 肥用量和土壤碱解氮含量的二元线性回归方程和玉米产量依 N 肥用量、土壤碱解氮含量和 P 肥用量的三元线性回归方程均达到极显著水平, 故采用上述方程依据作物产量可为精准施肥提供决策建议。

3 小 结

试验区土壤速效养分含量集中在 1 个或相邻 2 个养分含量等级范围内, 对土壤养分进行分区管理存在可能性; 按照土壤养分含量分级标准, 本区土壤肥力属中等水平; 土壤速效磷含量与冬小麦产量密切相关, P 肥施用为影响冬小麦产量的主要因子; N 肥为影响玉米产量的最重要因素, 其次是碱解氮与 P 肥的直接作用, 利用逐步回归所得多元线性回归方程能较好地预测作物产量或提供推荐施肥建议。

参 考 文 献

- 1 黄绍文, 金继运, 杨俐苹等. 县级区域粮田土壤养分的空间变异性. 土壤通报, 2002, 33(3): 188~193
- 2 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999
- 3 鲁如坤等. 土壤-植物营养学原理和施肥. 北京: 化学工业出版社, 1998. 359~387
- 4 李永孝. 农业应用生物统计. 济南: 山东科学技术出版社, 1989. 313~327
- 5 李春喜, 王志和, 王文林. 生物统计学. 北京: 科学出版社, 2001. 205~213
- 6 苏金明, 傅荣华等. 统计软件 SPSS for window 实用指南. 北京: 电子工业出版社, 2001. 418~438