

太行山山前平原秸秆还田条件下 小麦磷、钾丰缺指标研究

周晓芬¹, 冯伟¹, 杨军芳¹, 孙丽敏², 杜金钟³, 王素英³, 赵志兰³

(1. 河北省农林科学院 农业资源环境研究所, 河北 石家庄 050051

2 河北农业大学 资源与环境学院, 河北 保定 071000 3. 河北省藁城市土肥站, 河北 藁城 052160)

摘要: 研究了在推行秸秆还田技术、土壤肥力状况发生了显著变化的条件下冬小麦磷、钾丰缺指标, 采用以缺肥区与全肥区的籽粒相对产量与土壤有效养分测定值的回归关系进行分级的方法, 确定土壤养分丰缺指标。结果表明, 土壤有效磷的丰缺指标: 测定值 (P) < 2.4 mg/kg 为极度缺乏, 2.4~10.3 mg/kg 为重度缺乏, 10.3~18.5 mg/kg 为中度缺乏, 18.5~33.3 mg/kg 为中等, 测定值 > 33.3 mg/kg 为丰富。土壤有效钾的丰缺指标: 测定值 (K) < 30.5 mg/kg 为极度缺乏, 30.5~67.2 mg/kg 为重度缺乏, 67.2~92.0 mg/kg 为中度缺乏, 92.0~126.5 mg/kg 为中等, > 126.5 mg/kg 为丰富。与 20 世纪 80~90 年代建立的丰缺指标相比, 各级指标均有明显提高。

关键词: 太行山山前平原; 冬小麦; 磷、钾丰缺指标

中图分类号: S143 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2011)02-0174-05

The Study on the Abundance and Deficiency Indices of Phosphorus and Potassium of Wheat with Straw Returning in Taihang Mountain Piedmont Plain

ZHOU Xiao-fen¹, FENG Wei¹, YANG Jun-fang¹, SUN Li-min²,
DU Jin-zhong³, WANG Su-ying³, ZHAO Zhi-lan³

(1. Institute of Agro-resources and Environment Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences
Shijiazhuang 050051, China 2 College of Resources and Environmental Sciences Hebei Agricultural University
Baoding 071000, China 3 Station of Soil and Fertilizer of Gaocheng County, Gaocheng 052160, China)

Abstract This paper was conducted to study the abundance and deficiency indices of phosphorus and potassium of winter wheat under the conditions of straw returning and soil fertility having changed significantly. Adopted grading methods to study the polynomial regression between the relative yield of wheat grain in lack fertilizer plots and whole fertilizer plots and the content of available nutrients in soil, the test analysed the abundance and deficiency indices of soil nutrients. The results indicated that the content of available phosphorus < 2.4 mg/kg was extreme lack of available phosphorus, the content of 2.4~10.3 mg/kg was severe lack, the content 10.3~18.5 mg/kg was moderate lack, the content of 18.5~33.3 mg/kg was medium, the content > 33.3 mg/kg was abundance, the content of available potassium < 30.5 mg/kg was extreme lack of available potassium, the content of 30.5~67.2 mg/kg was severe lack, the content 67.2~92.0 mg/kg was moderate lack, the content of 92.0~126.5 mg/kg was medium, the content was > 126.5 mg/kg was abundance. Compared to the abundance and deficiency indices established in 1980s-1990s, the indices had significantly increase.

Key words Taihang mountain piedmont plain; Winter wheat; Abundance and deficiency indices of phosphorus and potassium

农业精准施肥、节约肥料资源、保护生态环境是
农业持续发展的根本之路, 通过土壤养分测试和作

物肥效试验产量结果, 建立不同作物、不同区域的土
壤养分丰缺指标是进行测土推荐施肥, 节肥增效的

收稿日期: 2011-01-23

基金项目: 国家科技支撑计划 (2007BAD89B08)

作者简介: 周晓芬 (1958-), 女, 河北阜城人, 研究员, 主要从事植物营养与施肥技术研究。

关键环节^[1]。我国在 20 世纪 80 年代进行第二次土壤普查的基础上,开展了不同作物测土推荐施肥参数的研究,建立了适合当时土壤条件和产量水平的土壤养分丰缺指标体系^[2,3],为当时推荐施肥技术的应用提供了重要的指导依据。20 多年来,随着高产作物品种的不断更新、栽培技术的进步、生产条件的改善、肥料投入的增加,作物产量水平有了大幅度提高,同时高产条件下的需肥规律也发生了相应变化,20 年前的养分丰缺指标及施肥参数显然已经不能适应目前生产条件和生产水平的要求。因此,需要建立当前条件下冬小麦测土施肥和土壤养分丰缺指标技术体系,实现平衡施肥,减少过量施肥造成的浪费和对环境的不良影响。太行山山前平原区是华北冬小麦主产区,近几年大力推行秸秆直接还田技术,土壤肥力状况发生了很大变化,尤其是土壤磷肥力和钾肥力的变化更明显,那么研究秸秆还田条件下小麦磷、钾养分丰缺指标体系,对指导该区小麦节肥增效,持续高产具有重要意义。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验在太行山东麓平原藁城市廉州镇、南营镇、邱头镇、城关镇和兴安镇,试验区地貌类型为太行山山前洪积平原,地理位置东经 $114^{\circ}01'35.5'' \sim 114^{\circ}59'50.4''$,北纬 $37^{\circ}00'11.1'' \sim 38^{\circ}43'16.9''$;海拔高度平均为 56 m。属暖温带半湿润大陆性季风气候,年平均气温 12.5°C ,年平均降水量 494 mm,年日照时数 2 711.4 h,无霜期 190 d,作物产量为中-高水平。

试验土壤为轻壤质-中壤质石灰性褐土,选择不同肥力水平的 24 个点于 2007 年 10 月-2008 年 6 月、2008 年 10 月-2009 年 6 月进行 2 季冬小麦田间试验,试验土壤有效磷含量为 $9.81 \sim 55.7 \text{ mg/kg}$ 土壤有效钾含量为 $68.5 \sim 150.6 \text{ mg/kg}$ 小麦品种为藁优 2018 长旱 58。

1.2 试验设计

试验设 4 个处理: CK、NK、NP、NPK,冬小麦施肥量: N 为纯 N $180 \sim 240 \text{ kg/hm}^2$, P 为 P_2O_5 150 kg/hm^2 , K 为 K_2O $120 \sim 150 \text{ kg/hm}^2$ 。施肥方法: 40% 氮肥和 100% 磷、钾肥播种前随整地施入,其余 60% 氮肥与小麦起身-拔节期追施。供试肥料品种为尿素(含 N 46%)、重过磷酸钙(含 P_2O_5 46%)、氯化钾(含 K_2O 60%)。试验设 3 次重复,小区面积为 $40 \sim 50 \text{ m}^2$ 。

1.3 土壤样品的采集与分析

每个试验的基础土壤样品于前季玉米收获后采

集,每个试验田均匀采集 10 个点,混匀风干后用于实验室分析。分析方法采用《土壤农业化学常规分析方法》中的方法,测定土壤有效磷用 $0.5 \text{ mol/L NaHCO}_3$ 浸提-钼锑抗比色法(Olsen 法),测定土壤有效钾用 $1 \text{ mol/L NH}_4\text{OAc}$ 火焰光度法。

1.4 土壤磷、钾养分丰缺指标的确定

在小麦成熟期,各个试验处理小区单打单收,获得小麦籽粒产量。根据目前广泛应用的方法,即以缺肥区与全肥区的籽粒相对产量与土壤有效养分测定值的回归关系,确定土壤养分丰缺指标。分级标准参考张福锁、魏长义和邹娟等^[4-6]的分级方法,结合当地小麦生产实际情况,确定丰缺指标为五级:相对产量 $> 95\%$ 为丰富, $85\% \sim 95\%$ 为中等, $< 85\%$ 为缺乏,其中 $75\% \sim 85\%$ 为中度缺乏, $50\% \sim 75\%$ 为重度缺乏, $< 50\%$ 为极度缺乏。

数据统计分析和图形绘制在 Excel 中进行。

2 结果与分析

2.1 土壤有效磷丰缺指标

根据缺磷区相对于全肥区的相对产量与土壤有效磷含量的相关关系确定土壤有效磷丰缺指标,缺磷区的小麦相对产量 = $\text{NK 区产量} / \text{NPK 区产量} \times 100$ 。对 24 个试验点的缺磷区小麦相对产量(Y)与土壤有效磷含量(X)进行相关分析表明(表 1),相关系数 $r = 0.7845^{**}$ ($n = 24$),两者的相关关系达到了极显著正相关。

通过用几种相关函数方程拟合,以采用对数方程拟合程度较好(图 1),拟合方程为 $Y = -16.999 \ln(X) + 35.42$,决定系数 $R^2 = 0.7106$ 。由方程计算得出土壤有效磷的丰缺指标(表 2),相对产量低于 50% 对应土壤有效磷测定值 $< 2.4 \text{ mg/kg}$ 为极度缺乏,相对产量 50% ~ 75% 对应测定值 $2.4 \sim 10.3 \text{ mg/kg}$ 为重度缺乏,相对产量 75% ~ 85% 对应测定值 $10.3 \sim 18.5 \text{ mg/kg}$ 为中度缺乏,相对产量 85% ~ 95% 对应测定值 $18.5 \sim 33.3 \text{ mg/kg}$ 为中等,相对产量高于 95% 对应测定值 $> 33.3 \text{ mg/kg}$ 为丰富。从 24 个试验点土壤与产量情况可以看出,相对产量的范围在 69% ~ 113%,平均 89.9%,低于 50% 的地块没有出现,低于 75% 的有 4 个点,75% ~ 85% 的 2 个点,85% ~ 95% 的有 10 个点,大于 95% 的 8 个点。结果表明,在试验条件下有 75% 麦田有效磷含量达到中等以上水平,表现明显缺磷的麦田仅占 25%,且极度缺磷的麦田没有出现。因此,冬小麦相对产量低于 50% 所对应的土壤有效磷测定值 (2.4 mg/kg) 为模型外推值,在该区域没有实际应用意

义,推荐施肥中建议应用前 4 级指标。

在所有试验点中土壤有效磷含量较高的为 55.70 mg/kg 和 49.2 mg/kg 相对产量分别为 97% 和 100%,没有表现因磷素较高而减产的现象。有研

究报道,土壤有效磷含量过高会导致作物减产,主要原因是磷素与锌素的拮抗作用导致作物缺锌表现减产^[7-9],本试验未表现明显减产的现象,因此未进行深入分析。

表 1 土壤有效磷测定值与缺磷区小麦相对产量

Tab 1 The content of available phosphorus in soil and the relative yield of the wheat of absent phosphorus					
试验点 The test site	土壤有效磷(X)/(mg/kg) The available phosphorus in soil	相对产量(Y)% The relative yield	试验点 The test site	土壤有效磷(X)/(mg/kg) The available phosphorus in soil	相对产量(Y)% The relative yield
1	9.81	69	13	26.50	92
2	11.25	72	14	30.70	92
3	17.57	78	15	29.60	95
4	15.34	78	16	49.20	100
5	24.85	92	17	27.70	99
6	29.76	86	18	39.30	113
7	35.80	93	19	12.80	87
8	40.60	93	20	19.70	89
9	38.90	99	21	30.20	96
10	55.70	97	22	22.60	99
11	41.20	95	23	13.20	73
12	38.50	97	24	7.60	73

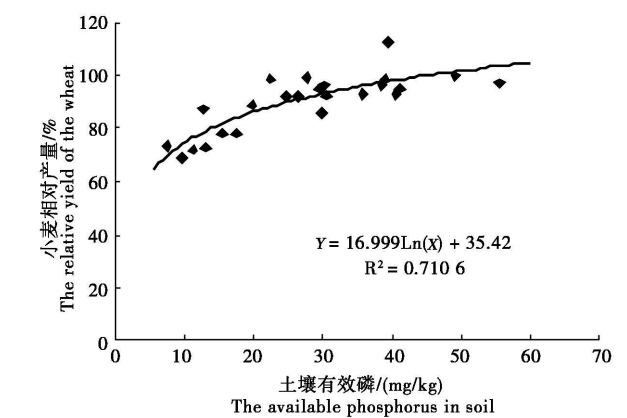


图 1 小麦相对产量与土壤有效磷的关系

Fig 1 The relation between the relative yield of the wheat and the available phosphorus in soil

表 2 藁城冬小麦土壤有效磷丰缺指标

Tab 2 Abundance and deficiency indices of available phosphorus of winter wheat in soil in Gaocheng		
相对产量 % The relative yield	土壤有效磷/(mg/kg) The available phosphorus in soil	磷肥力等级 The grate of phosphorus fertility
> 95	> 33.3	丰富
85~ 95	18.5~ 33.3	中等
75~ 85	10.3~ 18.5	中度缺乏
50~ 75	2.4~ 10.3	重度缺乏
50	< 2.4	极度缺乏

土壤磷素肥力的提高与近 10 多年来普遍重视增加施用磷肥,尤其是施用高磷含量的复合肥有密切关系,近年来,推行秸秆还田归还了部分磷素,对提高磷肥力有一定贡献。

2.2 土壤有效钾丰缺指标

缺钾区的小麦相对产量 = NP 区产量 / NPK 区产量 × 100。对缺钾区小麦相对产量 (Y) 与土壤有效钾含量 (X) 进行相关分析,同样也表现了极显著正相关关系 (表 3), 相关系数 $r = 0.8725^{**}$ ($n = 24$)。通过对缺钾区小麦相对产量 (Y) 与土壤有效钾测定值 (X) 进行回归关系拟合 (图 2), 结果表明,对数方程拟合较好,决定系数为 $R^2 = 0.795$ 拟合方程为 $Y = 31.56\text{Ln}(X) - 57.866$ 由方程计算得出土壤有效钾的丰缺指标 (表 4), 极度缺乏为 < 30.5 mg/kg 重度缺乏为 30.5~ 67.2 mg/kg, 中度缺乏为 67.2~ 92.0 mg/kg 中等为 92.0~ 126.5 mg/kg 丰富为 > 126.5 mg/kg

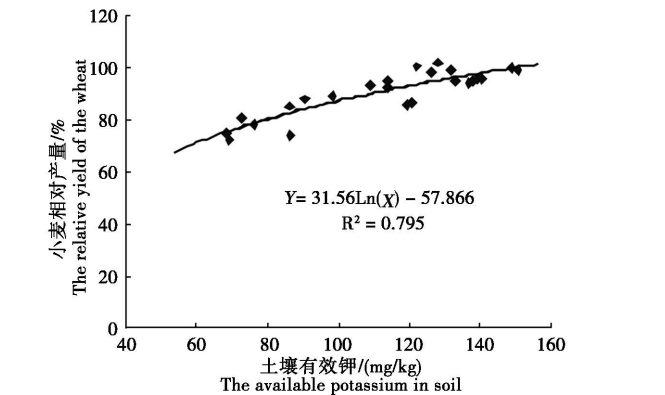


图 2 小麦相对产量与土壤有效钾之间的关系

Fig 2 The relation between the relative yield of the wheat and the available potassium in soil

表 3 土壤有效钾测定值与缺钾区小麦相对产量

Tab 3 The content of available potassium in soil and the relative yield of the wheat of absent potassium

试验点 The test site	土壤有效钾 (X) /(mg/kg) The available potassium in soil	相对产量 (Y) % The relative yield	试验点 The test site	土壤有效钾 (X) /(mg/kg) The available potassium in soil	相对产量 (Y) % The relative yield
1	76.3	78	13	149.0	100
2	68.5	75	14	113.8	93
3	90.6	88	15	109.0	93
4	98.2	89	16	86.0	86
5	113.8	95	17	137.2	94
6	119.4	86	18	128.3	102
7	133.2	95	19	121.0	87
8	140.7	96	20	132.0	99
9	139.3	96	21	72.9	81
10	150.6	99	22	122.4	101
11	138.2	96	23	86.6	74
12	126.5	99	24	69.1	72

24个试验点中,无钾区相对产量低于 50% 的点也没有出现,低于 75% 的有 3个点,75% ~ 85% 之间的 2个点,85% ~ 95% 的有 10个点,大于 95% 的 9个点,可以看出,在试验范围内中等水平以上的达到 79%,表现明显缺钾的地块仅占 21%。土壤有效钾含量的大幅度提高主要受益于近 10年来大力推行秸秆直接还田技术、测土平衡施肥技术以及含钾复合肥的普遍施用等多种途径。因此,在秸秆还田条件下土壤有效钾为中等以上水平的麦田以维持施钾即可,不宜大量补钾。

表 4 藁城冬小麦土壤有效钾丰缺指标

Tab 4 Abundance and deficiency indices of

available potassium of winter wheat in soil in Gaocheng

相对产量 % The relative yield	土壤有效钾 /(mg/kg) The available potassium in soil	钾肥力等级 The grade of potassium fertility
> 95	> 126.5	丰富
85~ 95	92.0~ 126.5	中等
75~ 85	67.2~ 92.0	中度缺乏
50~ 75	30.5~ 67.2	重度缺乏
< 50	< 30.5	极度缺乏

3 讨论与结论

20世纪 80年代中期第二次土壤普查,河北省耕地土壤全磷含量仅为 0.08~ 1.0 g/kg,土壤有效磷含量低于 5 mg/kg的达 69%,当时土壤有效磷含量 < 5 mg/kg为缺磷, > 15 mg/kg为丰富^[10]。褐土区土壤钾素含量相对全省来讲比较丰富,供钾能力较强,小麦-玉米两作区土壤有效钾丰缺指标为: < 50 mg/kg为缺乏, > 87.5 mg/kg为丰富^[11,12]。据黄德明等^[3]于 1983- 1984年试验研究提出京郊小麦有效磷丰缺指标,土壤有效磷 (P)在 6.55 mg/kg以下即为缺磷, 13.10 mg/kg以上为高磷;土壤有效钾 (K)在 33.3 mg/kg为低钾, 83.3 mg/kg为高钾。

上述的磷钾指标基本代表了当时的丰缺指标状况。

80年代至 90年代中期,推行氮磷肥配施技术,土壤磷素水平有了明显提高,但钾素却呈下降趋势。近些年来,大力推广秸秆还田,土壤钾肥力明显提高。周晓芬等^[13]研究,小麦秸秆、绿肥、厩肥等不同材料来源中,小麦秸秆的供钾能力最强。因此,连续推行秸秆还田,使严重缺磷或缺钾地块明显减少,磷、钾肥力有了明显提高。以藁城市为例,2005年以来进行的耕地耕层土壤调查结果显示,与 1993年相比,土壤有效磷含量 > 10 mg/kg的耕地比例由 13.8% 提高到 93%, > 20 mg/kg含量范围的达到了 70% 以上。1993年土壤调查结果,土壤有效钾 < 100 mg/kg的耕地比例为 93%, > 100 mg/kg的耕地仅为 7% 左右,而 2006年调查结果, > 100 mg/kg的耕地比例已经提高到 71%,土壤磷素肥力和钾素肥力都有很大幅度提高。因此,磷、钾肥料的效应也相应发生了很大变化,养分丰缺指标必须重新研究才有意义。

通过 2007- 2009年的 24个小麦磷、钾肥效田间试验获得了当前肥力水平和产量水平的磷、钾养分丰缺指标(表 6)。土壤有效磷低于 18.5 mg/kg即为缺磷土壤,应该增施磷肥,提高磷肥力; 18.5~ 33.3 mg/kg为中等水平,应该平衡施用磷肥,保持或提高磷肥力;在 33.3 mg/kg以上应该适当少施磷肥,维持磷肥力水平。土壤有效钾在 92.0 mg/kg以下为缺钾土壤,应该增施钾肥;土壤有效钾在 126.5 mg/kg以上可以适当施钾维持钾肥力。丰缺指标的分级与付莹莹^[14]、孙义祥^[15]等研究的结果基本一致。

研究结果与 20世纪 80- 90年代的指标相比有较大幅度的提高,有效磷缺乏值 (P)由 5 mg/kg(河北平原)提高到 18.5 mg/kg,有效钾缺乏值 (K)由 50 mg/kg提高到 92 mg/kg,与京郊地区 80年代的

指标相比也有相近幅度的提高。因此, 研究并应用现阶段的养分丰缺指标对提高肥料效应, 减少肥料浪费是非常重要的。藁城市是太行山山前平原区粮食生产大县, 所处地理位置和生产水平均具有较强的代表性。因此, 研究确定的磷、钾丰缺指标在山前平原粮食主产区具有较强的指导意义。但是由于缺乏低肥力试验点, 极度缺乏指标基本为模型外推值, 指导意义不大, 建议在实际应用当中主要参考丰富、中等、中度缺乏和重度缺乏 4 个等级。

参考文献:

[1] 中国农业科学院土壤肥料研究所. 中国肥料 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1994: 431- 450

[2] 白由路, 张景略, 李有田. 测土施肥的原理与技术 [M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1993: 220

[3] 黄德明, 徐建铭, 武书敏, 等. 北京郊区测土施肥技术的研究 [J]. 华北农学报, 1986 1(1): 41- 47.

[4] 陈新平, 张福锁. 通过 “ 3414 ” 试验建立测土配方施肥技术指标体系 [J]. 中国农技推广, 2006 22(4): 36- 39.

[5] 魏义长, 白由路, 杨俐苹, 等. 基于 ASI 法的滨海滩涂地水稻土壤有效氮、磷、钾丰缺指标 [J]. 中国农业科学, 2008 41(1): 138- 143

[6] 邹娟, 鲁剑巍, 陈防, 等. 基于 ASI 法的长江流域冬油菜区土壤有效磷、钾、硼丰缺指标研究 [J]. 中国农业科学, 2009 42(6): 2028- 2033

[7] 魏义长, 白由路, 杨俐苹, 等. 测土推荐施锌对水稻产量结构及土壤有效养分的影响 [J]. 中国水稻科学, 2007 21(2): 197- 202

[8] Harrell D L. Chemistry, testing and management of phosphorus and zinc in calcareous Louisiana soils[J]. Ph. D. Dissertation of Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, 2005: 229.

[9] 赵秀兰, 胡霏堂, 郑绍建. 磷锌颉颃作用机制研究 [J]. 西南农业大学学报, 1998 20(2): 162- 164.

[10] 刘宗衡, 周晓芬. 河北省土壤磷素和磷肥施用技术 [J]. 土壤, 1992, 24(2): 77- 79

[11] 刘宗衡, 周晓芬, 于增寿. 河北褐潮土供钾能力的研究 [M] // 北方土壤钾素肥力及其管理. 北京: 中国农业科技出版社, 北京, 1995: 48- 51.

[12] 周晓芬, 刘宗衡, 于增寿. 河北褐、潮土区土壤钾素形态及供钾能力 [J]. 华北农学报, 1995, 10(3): 98- 102

[13] 周晓芬, 张彦才, 李巧云, 等. 厩肥秸秆、绿肥含钾状况及对土壤的供钾能力研究 [J]. 华北农学报, 1999, 14(4): 83- 87.

[14] 付莹莹, 同延安, 李文祥, 等. 陕西关中灌区冬小麦土壤养分丰缺指标体系的建立 [J]. 麦类作物学报, 2009, 29(5): 897- 900

[15] 孙义祥, 郭跃升, 于舜章, 等. 应用 “ 3414 ” 试验建立冬小麦测土配方施肥指标体系 [J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(1): 197- 203