

秦岭巴山耕作区土壤有效磷与磷肥试验相对产量关系研究^①

杨小敏¹, 何文^{1*}, 王琳¹, 简红忠¹, 李拴曹², 田越³

(1 汉中市农业技术推广中心, 陕西汉中 723000; 2 商洛市农业技术推广站, 陕西商洛 726000;

3 安康市农产品监测中心, 陕西安康 725000)

摘要: 依托测土配方施肥土壤养分数据库以及大量“3414”田间肥效试验结果, 分析了秦岭巴山耕作区近 30 a 间土壤有效磷的变化情况, 评价了 5 种农作物磷肥试验相对产量与土壤有效磷之间的线性关系, 结果显示: 目前该区域土壤有效磷含量平均值为 18.1 mg/kg, 达到中等磷水平; 小麦、玉米、水稻、油菜、马铃薯肥效试验平均相对产量分别为 85.7%、85.5%、88.7%、84.3%、86.0%, 说明该区域在目前土壤有效磷含量水平下, 基本能满足农作物相对产量 80% ~ 85% 的生长需求。基于土壤有效磷含量已达中等偏高水平及当前农作物磷肥相对产量值, 参照磷肥在土壤中的固定机理以及作物吸磷特性, 对于土壤有效磷含量低于 15 mg/kg, 特别是低于 10 mg/kg 的低肥力农田, 建议全部磷肥分为基肥、追肥两次施用; 对于土壤有效磷含量高于 20 mg/kg, 特别是有效磷高于 30 mg/kg 的高肥力农田, 只追施部分或少量磷肥, 充分利用土壤有效磷, 开发活化被固定的磷素资源, 提高磷肥利用率, 避免农业资源浪费, 改善农业生态环境。

关键词: 秦岭巴山耕作区; 土壤有效磷; 相对产量; 施肥建议

中图分类号: S158.3 **文献标识码:** A

磷是作物生长发育所必需的矿质元素之一, 缺磷会严重影响作物的产量^[1-2]。施肥是作物增产稳产的重要措施。然而, 磷肥施用量逐年增加, 平均年增长率可达 6.8%, 但其增产效应却随施磷量增加而下降^[3]。目前, 我国磷肥的当季利用率只有 10% ~ 25%, 与磷肥利用率达 40% 左右的美国存在较大差距^[4-5]。长期过量施用磷肥会导致农田土壤耕层处于富磷状态, 土壤磷素通过地表径流、土壤侵蚀、淋洗等途径加速向水体迁移, 引发受纳水体的富营养化, 造成农业面源污染^[6-7]。因此, 合理利用磷肥, 提高磷肥利用效率, 减少农业生态环境污染危害, 对农业可持续发展具有重要的意义。

自测土配方施肥推广以来, 全国各地基于“3414”试验, 开展不同地区、不同作物磷素丰缺指标、推荐施磷量的研究较多^[8-11], 但针对区域水平下土壤养分含量 30 a 变化基础上, 提出合理施肥技术的研究却较少。还有一些研究分析了连续施用磷肥作用下, 土壤有效磷的时空变化特征、土壤磷素演变特征、形态转化及有效性^[12-15], 这些研究大部分是基于长期定位

监测点及少量试验得来的, 没有从较大农业区域磷肥实际推广应用方面提出因地制宜的磷肥施用方法。

秦岭巴山耕作区自第二次土壤普查以来, 磷肥施用从无到有, 用量逐年上升, 至 2008 年全区域 P_2O_5 平均年用量达到 72 kg/hm², 然而近年来却出现了增肥不增产、肥料利用率低下等问题。随着 2005 年全国测土配方施肥项目的推广, 在该区域不同作物上积累了大量的“3414”试验数据。本研究充分利用该区域 2008—2012 年所建立的测土配方施肥数据库, 在分析该区域近 30 a 间土壤有效磷含量变化的基础上, 应用“3414”肥效试验研究结果, 评价了土壤有效磷含量与作物相对产量的关系, 以期得出更加切合农业生产实际的磷肥施用技术, 为提高磷素可利用率提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

位于汉江、丹江、嘉陵江流域的秦巴区域, 山大沟深, 地形复杂, 是我国南北过渡的亚热带北沿地区,

基金项目: 2018 年陕西省农业厅第二批省级农业专项资金项目资助。

* 通讯作者(sxzhewen@163.com)

作者简介: 杨小敏(1989—), 女, 陕西咸阳人, 硕士, 农艺师, 研究方向为土壤改良与耕地质量提升。E-mail: xmyang07@163.com

由汉江两岸秦岭巴山冲积而成，上覆第四纪黏土、黄土状砂质黏土及砾石，形成了肥沃的原野。秦巴区域属温暖湿润亚热带气候，年均气温 14~15℃，10℃以上活动积温 4 500~4 800℃·h，无霜期 240~250 d，年降水量 800 mm 左右。农田主要分布于秦巴区域的汉中、西乡、安康、商洛几个盆地，土壤类型为黄棕壤、棕壤、黄褐土、水稻土等，主要种植水稻、油菜、小麦、玉米、薯类、豆类、蔬菜。

1.2 样品采集

土壤样品采集方法参照测土配方施肥技术规范^[16]。土壤样品采集采用网格化的方法确定田间采样点，在秋季作物收获后、整地施基肥前采集土壤样品。对确定的田块采用“S”法随机取 15~20 个采样点，采样深度 0~20 cm，土样充分混匀后，四分

法留取 1 kg 备测。土壤样品全部采用碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法进行土壤有效磷化验分析。1982 年第二次全国土壤普查共检测 9 187 个有效土样，2008—2012 年共检测 57 622 个土样。

1.3 田间肥料效应试验设计

“3414”试验采用最优回归设计方案，即：氮、磷、钾 3 因素，每个因素 4 水平，共 14 个处理，每 14 个小区 1 个重复为 1 组完全“3414”肥效试验。本研究只选用每组中的 N₂P₀K₂、N₂P₂K₂ 两个处理，求得在 N₂、K₂ 水平为基础的磷肥效应函数。2008—2012 年分别在汉中、安康、商洛 3 市 28 个县(区)布设 5 种作物“3414”肥效试验 269 组，共计 3 766 个小区，不同作物试验小区土壤养分含量和氮磷钾 2 水平施肥情况如表 1 所示。

表 1 5 种作物肥效试验设置
Table 1 Phosphorus fertilization designs for five crops

作物	肥效试验(组)	试验小区有效磷含量(mg/kg)				2 水平施肥量(kg/hm ²)		
		最低值	最高值	平均值	标准差	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
小麦	73	6.6	33.6	21	6.91	132.9	66.75	60.9
玉米	68	9	31	19.3	6.36	193.65	59.55	63.45
水稻	45	10	35.6	21.3	7.27	150	75	82.5
油菜	52	7.2	35.6	18.5	7.13	157.5	78	67.5
马铃薯	31	10	34.8	22.5	7.1	121.5	75	163.5

1.4 数据处理

作物磷肥试验相对产量计算方法：“3414”田间肥效试验中 N₂P₀K₂ 处理作物产量与 N₂P₂K₂ 处理产量之比百分数作为作物磷肥试验相对产量。数据统计检验采用 SPSS 软件；采用 Excel2010 软件以相对产量为纵坐标，以试验小区土壤有效磷含量为横坐标，制作散点图，形成对应多项式方程式。以多项式方程获得作物相对产量与对应土壤有效磷需求量之间的数学模型，计算相对产量为 80%、85%、90%、100% 的土壤有效磷理论需求量，以此评价农田有效磷丰缺度，并根据作物生长特性提出合理的磷肥施用建议。

2 结果与分析

2.1 土壤有效磷含量分布及变化

土壤有效磷是当季作物可从土壤获取的主要养分资源，秦巴耕作区 2008—2012 年间 57 622 个土壤样品土壤有效磷含量平均值为 18.1 mg/kg，变幅为 4~49.1 mg/kg(表 2)，商洛地区最高，为 20.2 mg/kg，汉中次之，为 17.5 mg/kg，安康地区最低，为 16.6 mg/kg。与第二次全国土壤普查(1982 年)9 187 个土壤样品相比(表 3)，秦巴区域土壤有效磷含量表现为大幅度增

长，增长率为 115.5%，按区域配对检验显示，*t* 值为 8.935，近 30 a 间土壤有效磷含量上升达到极显著水平，且有效磷水平与全国平均水平相近^[17]。汉中、安康、商洛 3 个地区分别增长 77.6%、98.8% 和 161%。该区域土壤有效磷含量显著提高的主要原因在于磷肥的持续投入以及土壤的高固磷能力。

表 2 2008—2012 年秦岭巴山耕作区土壤有效磷含量描述统计

Table 2 Descriptive statistics on soil available P contents in farmlands in Qinling-Bashan area

统计项目	汉中地区	安康地区	商洛地区	秦巴耕作区
样本数	26 879	14 825	15 918	57 622
均值(mg/kg)	17.5	16.6	20.2	18.1
变幅(mg/kg)	4~47.1	4~49.1	4~45.9	4~49.1
变异系数(%)	50.8	61.3	39.3	50.9

从土壤有效磷含量等级分布来看(表 3)，秦巴耕作区土壤有效磷主要分布在二级、三级和四级(5~40 mg/kg)，比例分别为 31.5%、46.7% 和 18.4%。与第二次全国土壤普查相比，土壤有效磷分布在一级、二级、三级的比例上升，分别上升 0.31、20.4 和 24.5 个百分点；分布在四级、五级、六级的比例下降，分

别下降 11.2、17.9 和 14.5 个百分点,秦巴区域 3 个地区土壤有效磷含量分布与全区域表现相同。按照全国第二次土壤普查养分分级标准,全区域土壤有效磷平均含量由原来的中下等级转变为中上等级和高等级。

2.2 小麦磷肥肥效试验

2008—2012 年,秦巴耕作区小麦磷肥“3414”肥效试验共计 73 组,所有试验点土壤有效磷含量平均值 21.0 mg/kg,其中<15 mg/kg 的有 17 组、15~25 mg/kg 33

组、>25 mg/kg 23 组;小麦磷肥试验缺磷处理相对产量平均值为 85.7%,其中<80% 的试验有 16 组、80%~90% 34 组、>90% 23 组。土壤有效磷含量与小麦相对产量拟合分布图如图 1 所示,得到一元二次回归方程 $y = -0.002 3x^2 + 0.733x + 71.42$, $r = 0.652 1$,经查表可知,当自由度 $n=72$ 、 $\alpha=0.01$ 时,相关系数 r 为 0.297 68,因此,该一元二次回归方程拟合度达到极显著水平。

表 3 秦巴区域土壤有效磷等级分布与变化
Table 3 Distribution and changes of soil available P in Qinling-Bashan Area

地区	时间	平均值 (mg/kg)	等级分布(%)					
			>40 mg/kg 一级	20~40 mg/kg 二级	10~20 mg/kg 三级	5~10 mg/kg 四级	3~5 mg/kg 五级	<3 mg/kg 六级
汉中地区	2008—2012 年	17.5	2.18	30.4	45.6	19.4	2.34	0
	1982 年	9.8	1.68	6.34	17.7	30.2	27.2	16.8
安康地区	2008—2012 年	16.6	4.08	25	39.3	28	3.55	0
	1982 年	8.3	1.17	5.98	18	34.8	23.3	16.7
商洛地区	2008—2012 年	20.2	2.07	37.8	52.9	6.77	0.44	0
	1982 年	7.7	5.65	27.7	36.6	18.9	4.08	7.07
秦巴耕作区	2008—2012 年	18.1	2.68	31.5	46.7	18.4	2.16	0
	1982 年	8.4	2.37	11.1	22.2	29.6	20.1	14.5

以相对产量 80%、85%、90% 和 100% 为标准,将其代入上述一元二次回归方程,求出相对应的土壤有效磷含量分别为 12.2、19.8、27.8、45.5 mg/kg,而目前秦岭巴山耕作区土壤有效磷平均水平为 18.1 mg/kg,因此,当前该区域土壤有效磷水平可以满足小麦 80% 相对产量的需求。

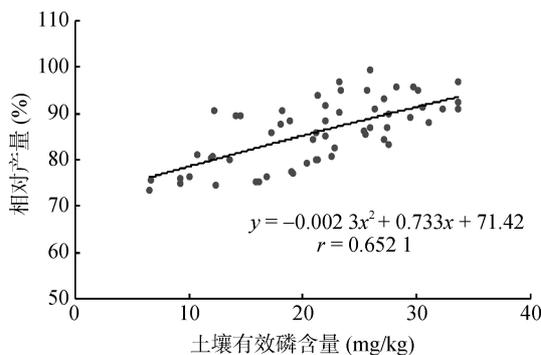


图 1 土壤有效磷与小麦磷肥田间试验相对产量的关系
Fig. 1 Correlation between soil available P and relative yield of wheat

2.3 玉米磷肥肥效试验

2008—2012 年,秦巴耕作区玉米磷肥“3414”肥效试验共计 68 组,所有试验点土壤有效磷含量平均值 19.3 mg/kg,其中<15 mg/kg 的试验 18 组、15~25 mg/kg 36 组、>25 mg/kg 14 组;玉米磷肥试验缺

磷处理相对产量平均值为 85.5%,其中<80% 的试验有 14 组、80%~90% 34 组、>90% 20 组。土壤有效磷含量与玉米相对产量拟合分布图如图 2 所示,得到一元二次回归方程 $y = 0.001 1x^2 + 0.793 5x + 69.778$, $r = 0.760 5$,经查表可知,当自由度 $n=67$ 、 $\alpha=0.01$ 时,相关系数 r 为 0.308 14,该一元二次回归方程拟合度达到极显著水平。

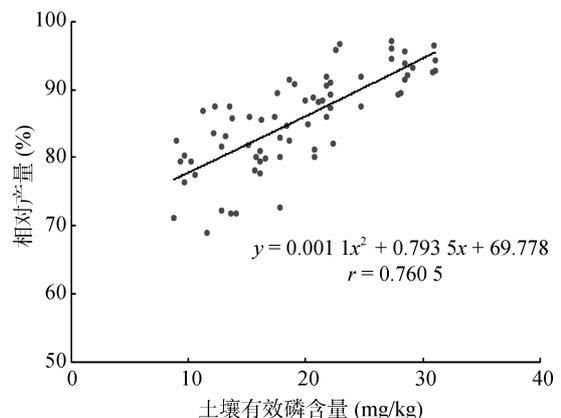


图 2 土壤有效磷与玉米磷肥田间试验相对产量的关系
Fig. 2 Correlation between soil available P and relative yield of corn

以相对产量 80%、85%、90% 和 100% 为标准,将其代入上述回归方程,求出相对应的土壤有效磷含量分别为 13.1、19.7、26.5、40.3 mg/kg,可见,当前

该区域土壤有效磷水平可以满足玉米 80% 相对产量的需求。

2.4 水稻肥效试验

2008—2012 年，秦巴耕作区水稻磷肥“3414”肥效试验共计 45 组，所有试验点土壤有效磷含量平均值 21.3 mg/kg，其中 <15 mg/kg 的 8 组、15~25 mg/kg 22 组、>25 mg/kg 15 组；水稻磷肥试验缺磷处理相对产量平均值为 88.7%，其中 80%~90% 有 24 组、>90% 21 组。土壤有效磷含量与相对产量拟合分布图如图 3 所示，得到一元二次回归方程 $y = -0.005 1x^2 + 0.472 5x + 81.226$ ， $r = 0.764$ ，经查表可知，当自由度 $n=44$ 、 $\alpha=0.01$ 时，相关系数 r 为 0.376 08，该一元二次回归方程拟合度达到极显著水平。

以相对产量 85% 和 90% 为标准，将其代入上述回归方程，求出相对应的土壤有效磷含量分别为 8.8、25.7 mg/kg，可见，当前该区域土壤有效磷水平可以满足水稻 85% 相对产量的需求。

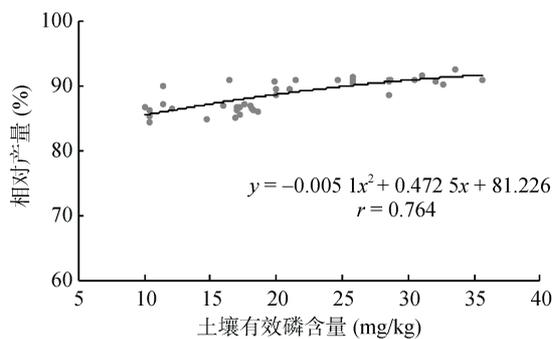


图 3 土壤有效磷与水稻磷肥田间试验相对产量的关系
Fig. 3 Correlation between soil available P and relative yield of rice

2.5 油菜肥效试验

油菜磷肥“3414”肥效试验共计 52 组，所有试验点土壤有效磷含量平均值为 18.5 mg/kg，其中 <15 mg/kg 的有 15 组、15~25 mg/kg 28 组、>25 mg/kg 9 组；油菜磷肥试验缺磷处理相对产量平均值为 84.3%，<80% 的试验有 11 组、80%~90% 30 组、90% 11 组。土壤有效磷含量与油菜相对产量拟合分布图如图 4 所示，得到一元二次回归方程 $y = 0.022 5x^2 + 1.613 6x + 63.227$ ， $r = 0.609 1$ ，经查表可知，当自由度 $n=51$ 、 $\alpha=0.01$ 时，相关系数 r 为 0.350 86，该一元二次回归方程拟合度达到极显著水平。

以相对产量 80% 和 90% 为标准，将其代入土壤有效磷含量与油菜相对产量的回归方程，求出相对应的土壤有效磷含量分别为 12.4、26.1 mg/kg，可见，当前该区域土壤有效磷水平可以满足油菜 80% 相对产量的需求。

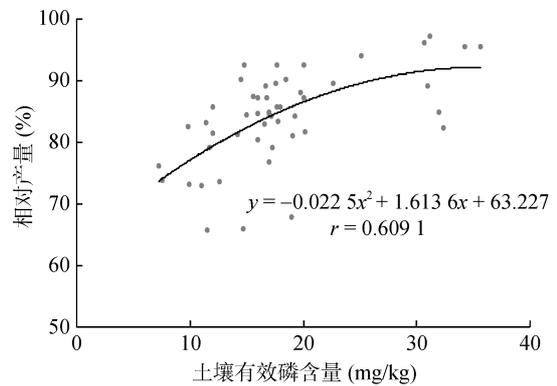


图 4 土壤有效磷与油菜磷肥田间试验相对产量的关系
Fig. 4 Correlation between soil available P and relative yield of rapeseed

2.6 马铃薯肥效试验

马铃薯磷肥“3414”肥效试验共计 31 组，所有试验点土壤有效磷含量平均值为 22.5 mg/kg，其中 <15 mg/kg 6 组、15~25 mg/kg 14 组、>25 mg/kg 11 组；马铃薯磷肥试验缺磷处理相对产量平均值为 86.0%，其中 <80% 的 7 组、80%~90% 13 组、>90% 11 组。土壤有效磷含量与马铃薯相对产量拟合分布图如图 5 所示，得到一元二次回归方程 $y = -0.009 1x^2 + 1.022 6x + 68.059$ ， $r = 0.634 1$ ，经查表可知，当自由度 $n=30$ 、 $\alpha=0.01$ 时，相关系数 r 为 0.448 7，该一元二次回归方程拟合度达到极显著水平。

以相对产量 80%、90% 为标准，将其代入土壤有效磷含量与马铃薯相对产量的回归方程，求出相对应的土壤有效磷含量分别为 13.2、28.9 mg/kg，因此，当前该区域土壤有效磷水平可以满足马铃薯 80% 相对产量的需求。

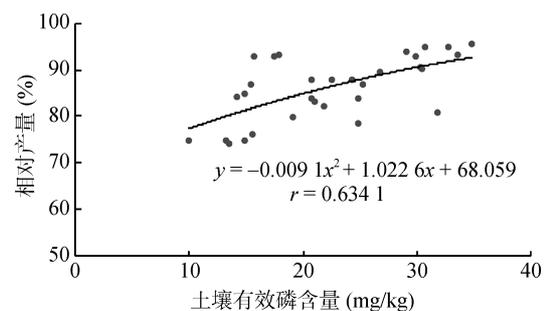


图 5 土壤有效磷与马铃薯磷肥田间试验相对产量的关系
Fig. 5 Correlation between soil available P and relative yield of potato

3 讨论

3.1 土壤有效磷含量变化影响因素

本研究结果表明，秦岭巴山耕作区 1982 年土壤有效磷平均含量仅为 8.4 mg/kg，到 2008—2012 年间

土壤有效磷平均含量达到 18.1 mg/kg, 上升幅度为 115.5%, 这与我国主要农田土壤累计磷盈余结果一致^[18]。我国东北、西北、华北、西南、中南和华东地区农田的 190 个土壤质量监测点 20 年监测结果也表明, 各区域土壤有效磷含量均呈现稳中有升趋势^[19]。秦岭巴山耕作区土壤有效磷含量上升的原因主要是自 1982 年以后, 该地区农业生产水平不断提高, 化肥投入量持续增加; 土壤养分含量与施肥水平、作物产量及其他农业措施的实施有很大的关系, 尤其与施肥的关系更为密切^[20], 大量研究也表明, 单施化肥以及化肥有机肥配施均能够提高土壤碱解氮、土壤有效磷含量^[12,14-15,21]。

3.2 秦巴耕作区土壤有效磷丰缺指标确定

本研究结果显示, 小麦、玉米、水稻、油菜、马铃薯 5 种作物 269 组“3414”肥效试验中, 磷肥零水平相对产量平均值分别为 85.7%、85.5%、88.7%、84.3%、86.0%, 即在秦岭巴山区域平均地力水平下, 主栽作物基本不施用磷肥就可以达到 80% 的相对产量水平。参考不同地区土壤养分丰缺指标划分^[22-25], 本研究综合了秦巴耕作区 5 种作物磷肥零水平相对产量为 75%、75%~80%、80%~85%、85%~90%、>90% 时的土壤有效磷理论需求量, 制定的区域土壤有效磷丰缺指标是: “低”(<10 mg/kg)、较低(10~15 mg/kg)、“中等”(15~20 mg/kg)、“较高”(20~30 mg/kg)和“高”(>30 mg/kg), 则全区域土壤有效磷已经由原来的低等级转变为中、高等级。由于土壤对磷的强固定作用, 以及磷在土壤中的移动性差等原因, 在全区域磷肥水平大幅提升的状态下, 传统的基施和过量施用, 使得当季施入的磷肥利用率并不高, 这不仅造成了磷肥资源的浪费, 同时也有伴随径流产生的水体富营养化、农业面源污染等环境风险问题^[26-30]。秦岭巴山间的汉江流域作为南水北调中线水源地, 为中线工程提供了 70% 的水量, 为确保水质达标, 也需控制该区域农药化肥过量投入造成的农业面源污染问题。因此, 在秦岭巴山耕作区改变传统的磷肥施用方式, 由单一追求高产向实现高产、高效、环境友好方向转变十分重要。

3.3 作物磷肥利用率提高途径

根据土壤养分含量和作物生长发育对养分的需求, 合理制定作物施肥运筹方式是提高肥料利用率的重要途径。已有诸多研究表明, 磷肥分次施用、后移施用对作物产量、磷肥利用效率都有明显的提高作用^[31-34]。这主要是因为农作物各生育期对土壤有效磷吸收量差异很大, 苗期植株尚小需磷量低, 随着作

物生长对磷的需求量将增加, 特别是在营养生长至开花期吸收量最大。磷肥分次施用或者后移施用满足了作物的生长需求, 同时也减少了磷肥的固定量, 提高了磷肥利用效率。也有研究表明, 在长期施用磷肥处理下, 磷肥养分投入量始终大于作物携带量, 导致磷素盈余率偏高, 采取适量减少化学磷肥投入量是提高磷肥利用率的科学施肥手段^[35]。洞庭湖区旱地玉米-油菜减量施肥试验表明, 磷肥投入量减少 20%, 对作物产量影响不大, 磷素利用率却能提高 4.7% 左右^[36], 南方丘陵旱地磷肥减量试验结果表明, 与常量过磷酸钙相比, 磷肥减量 10%~30% 后的总磷及可溶性磷渗漏淋失量均显著减少, 适度减量施肥不仅能保障作物产量, 同时还可在一定程度上控制农业面源污染, 减轻环境负荷, 确保区域农业可持续发展^[37]。

3.4 秦巴山耕作区作物磷肥施用建议

基于本研究结果、参考文献、农作物养分吸收特性以及磷肥在土壤中的固定与流失机理, 提出针对目前秦岭巴山耕作区土壤有效磷提升状态下的大区域施肥对策。其主体思想是: 改传统的磷肥基施为追施^[38], 特别是重点改变土壤有效磷含量高农田的磷肥施用方法, 对于土壤有效磷含量低于 15 mg/kg, 特别是低于 10 mg/kg 的低肥力农田, 将全部磷肥分为基肥、追肥两次施用; 对于土壤有效磷含量高于 20 mg/kg, 特别是有效磷高于 30 mg/kg 的高肥力农田, 在农作物播种、栽种到种植后的 2 个月左右苗期内, 不施用磷肥, 而在花芽分化期前后追施部分或少量磷肥, 充分利用土壤有效磷, 开发活化被固定的磷素资源, 减少肥料施用量, 提高磷肥利用率, 避免农业资源浪费, 改善农业生态环境。

4 结论

目前, 秦岭巴山耕作区土壤有效磷平均含量为 18.1mg/kg, 对照 1982 年第二次土壤普查结果, 30 a 间增长了 115.5%, 分布等级由原来的低等级转变为中、高等级。通过大量“3414”试验得出, 在当前肥力水平下, 区域主栽作物在不施用磷肥的情况下, 基本能满足农作物相对产量 80%~85% 的生长需求。鉴于此, 提出了要改变传统的磷肥施用方式建议, 即将磷肥一次性基施改变为分次施用、对于高磷含量的农田则要减量和后移施用。本项研究针对的是大区域土壤有效磷含量变化情况下, 主栽作物磷肥零水平相对产量可达到的平均水平, 提出相应施肥建议和对策, 但还不能描述到具体农田的状况; 对于不同作物具体施磷量确定, 还需分作物、分小区域结合测土配

方田间试验划分土壤养分丰缺指标，应用养分平衡—地力差减法、目标产量法等进一步分析研究，并应用有机无机配施、秸秆综合利用、减施化学肥料等技术。

参考文献：

- [1] 程明芳, 何萍, 金继运. 我国主要作物磷肥利用率的研究进展[J]. 作物杂志, 2010(1): 12-14
- [2] 陆景陵. 植物营养学(上册)[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2003: 35-36
- [3] 宇万太, 姜子绍, 马强, 等. 不同施肥制度对作物产量及土壤磷素肥力的影响[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(5): 885-889
- [4] 王静, 叶壮, 褚贵新. 水磷一体化对磷素有效性与磷肥利用率的影响[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(11): 1377-1383
- [5] 闫湘, 金继运, 梁鸣早. 我国主要粮食作物化肥增产效应与肥料利用效率[J]. 土壤, 2017, 49(6): 1067-1077
- [6] 段然, 汤月丰, 文炯, 等. 减量施肥对湖垵旱地作物产量及氮磷径流损失的影响[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(5): 536-543
- [7] 黄晶晶, 林超文, 陈一兵, 等. 中国农业面源污染的现状与对策[J]. 安徽农学通报, 2006, 12(12): 47-48
- [8] 黄亿, 李廷轩, 张锡洲, 等. 基于“3414”试验的川中丘陵区油菜施肥指标体系构建[J]. 中国农业科学, 2013, 46(10): 2058-2066
- [9] 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
- [10] 廖佳丽. 测土配方施肥水稻 3414 肥料效应的研究[J]. 中国农学通报, 2010, 26(13): 213-218
- [11] 杨俐苹, 白由路, 王贺, 等. 测土配方施肥指标体系建立中“3414”试验方案应用探讨——以内蒙古海拉尔地区油菜“3414”试验为例[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(4): 1018-1023
- [12] 曾招兵, 曾思坚, 汤建东, 等. 广东省耕地土壤有效磷时空变化特征及影响因素分析[J]. 生态环境学报, 2014, 23(3): 444-451
- [13] 俄胜哲, 杨志奇, 曾希柏, 等. 长期施肥黄绵土有效磷含量演变及其与磷素平衡和作物产量的关系[J]. 应用生态学报, 2017(11): 142-151
- [14] 鲁艳红, 廖育林, 聂军, 等. 长期施肥红壤性水稻土磷素演变特征及对磷盈亏的响应[J]. 土壤学报, 2017, 54(6): 1471-1485
- [15] 赵荣芳, 邹春琴, 张福锁. 长期施用磷肥对冬小麦根际磷、锌有效性及其作物磷锌营养的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(3): 368-372
- [16] 高祥照, 马常宝, 杜森. 测土配方施肥技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005
- [17] 全国农业技术推广服务中心编著. 测土配方施肥, 土壤基础养分数据集[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005—2014
- [18] 曹宁, 陈新平, 张福锁, 等. 从土壤肥力变化预测中国未来磷肥需求[J]. 土壤学报, 2007, 44(3): 536-543
- [19] 任意, 张淑香, 等. 我国不同地区土壤养分的差异及变化趋势[J]. 中国土壤与肥料, 2009, (6): 13-17
- [20] 乔红进, 贺玉柱. 山西省主要耕作土壤肥力变化规律及培肥对策[J]. 中国农学通报, 2010, 26(20): 231-233
- [21] 李新乐, 侯向阳, 穆怀彬, 等. 连续6年施磷肥对土壤磷素积累、形态转化及有效性的影响[J]. 草业学报, 2015, 24(8): 218-224
- [22] 孙克刚, 李丙奇, 李潮海, 等. 砂姜黑土区玉米田土壤有效磷施肥指标及施磷推荐——基于 ASI 法的土壤养分丰缺指标[J]. 中国农学通报, 2010, 26(21): 167-171
- [23] 孙洪仁, 赵雅晴, 曾红, 等. 中国若干区域玉米土壤有效磷丰缺指标与适宜施磷量[J]. 中国土壤与肥料, 2017, (2): 26-34
- [24] 孙克刚, 和爱玲, 李向东, 等. 潮土区麦田土壤有效磷施肥指标及小麦施磷推荐: 基于 ASI 法的土壤养分丰缺指标[J]. 中国土壤与肥料, 2013(2): 72-74
- [25] 何文, 杨小敏, 王琳, 等. 汉中盆地水稻土有效磷丰缺指标探讨[J]. 陕西农业科学, 2018, 64(6): 81-83
- [26] 朱兆良, 金继运. 保障我国粮食安全的肥料问题[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(2): 259-273
- [27] 李学平. 紫色水稻田磷素迁移流失及环境影响研究[D]. 重庆: 西南大学, 2008
- [28] 康欧, 李廷轩, 陈小琴, 等. 不同土壤和供肥模式对磷在肥际微域中的迁移和转化的影响[J]. 水土保持学报, 2010, 24(4): 22-26
- [29] 安迪, 杨令, 王冠达, 等. 磷在土壤中的固定机制和磷肥的高效利用[J]. 化工进展, 2013, 32(8): 1967-1973
- [30] 吴崇书. 千岛湖库区农地土壤磷的固定与释放特性的研究[J]. 土壤通报, 2015, 46(5): 1103-1107
- [31] 张国桥, 王静, 刘涛, 等. 水肥一体化施磷对滴灌玉米产量、磷素营养及磷肥利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(5): 1103-1109
- [32] 李鹏, 张敬智, 魏亚, 等. 配方施肥及磷肥后移对单季稻磷素利用效率、产量和经济效益的影响[J]. 中国水稻科学, 2016, 30(1): 85-92
- [33] 龚海青, 张敬智, 陈晨, 等. 磷肥后移与减量对水稻磷素利用效率的影响[J]. 中国农业大学学报, 2017, 22(5): 144-152
- [34] 高志建. 磷肥运筹对滴灌稻田土壤磷素转化、分布及磷肥利用率的影响[D]. 新疆石河子: 石河子大学, 2015
- [35] 孙宁科, 李隆, 索东让, 等. 河西农田磷钾养分平衡及肥料利用率长期定位研究[J]. 土壤, 2013, 45(6): 1009-1016
- [36] 段然, 汤月丰, 文炯, 等. 减量施肥对湖垵旱地作物产量及氮磷径流损失的影响[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(5): 536-543
- [37] 龚蓉, 刘强, 荣湘民, 等. 中南丘陵旱地磷肥减量对不同形态磷素养分淋失的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(5): 106-110
- [38] 何文. 一种提高磷肥利用率的农作物磷肥施用方法: ZL 201410405543.1[P]. 2014-08-18

Study on Relationship Between Soil Available Phosphorus and Relative Yield of Phosphorus Fertilizer Tests in Qinling-Bashan Area

YANG Xiaomin¹, HE Wen^{1*}, WANG Lin¹, JIAN Hongzhong¹, LI Shuancao², TIAN Yue³

(1 *Agricultural Technology Extension Center of Hanzhong, Hanzhong, Shaanxi 723000, China*; 2 *Shangluo Agricultural Technology Extending Station, Shangluo, Shaanxi 726000, China*; 3 *Ankang Agricultural Products Monitoring Center, Ankang, Shaanxi 725000, China*)

Abstract: Based on the data of soil nutrients of soil testing and formulated fertilization and the results of “3414” field fertility test in Qinglin-Bashan area, this paper analyzed the changes of soil available phosphorus (P) in the past 30 years and the linear relationship between soil available P and the relative yields of P fertilizer tests for five crops, in order to provide theoretical basis for improving P fertilization method under current level of soil available P. The results showed that the average of soil available P was 18.1 mg/kg in 2008—2012, belonging to the moderate level. The relative yields of “3414” P field fertilizer test were 85.7% for wheat, 85.5% for maize, 88.7% for rice, 84.3% for rape and 86.0% for potato, respectively, indicating the current level of soil available P could basically meet the requirement of crop growth. Based on the middle and high levels of soil available P, the relative yields of five crops of P field fertilizer test, the fixation mechanism of P fertilizer in soil and characteristics of P uptake by crops, it is recommended that all phosphate fertilizers should be divided into base fertilizer and top dressing for the low fertility farmlands with soil available P less than 15 mg/kg, especial less than 10 mg/kg, while only part or a small amount of phosphate fertilizer of topdressing for the medium and high fertility farmlands with soil available P higher than 20 mg/kg, especial higher than 30 mg/kg, to ensure P balance supply in whole growth periods and maximal fertilizer requiring periods of crops, to improve P utilization rate, to save agricultural resources and improve the agricultural ecological environment.

Key words: Farmland in Qinling-Bashan area; Soil available phosphorus; Relative yield; Fertilization recommendation