

稻-麦轮作制度中磷肥后效研究^①

侯庆山

(山东省临沂市农业局, 山东临沂 276001)

Residual Effect of Phosphorus Fertilizer Under Rice-Wheat Rotation System

HOU Qing-shan

(Linyi Agricultural Bureau, Shandong Province, Linyi, Shandong 276001, China)

摘要: 利用田间试验,研究了稻-麦轮作制度中,小麦施磷(P)肥后的增产效果及对下茬作物水稻的后效P量大小。结果表明,在供P能力较低的砂姜黑土上,增施P肥(90~360 kg/hm²)与不施P肥相比,可使冬小麦当季增产籽粒2038.9~3811.8 kg/hm²,增产率65.2%~122.0%,可使水稻当季增产稻谷945.0~1776.0 kg/hm²,增幅为15.5%~29.2%,冬小麦施用P肥的后效P量可使水稻增产稻谷486.5~1715.0 kg/hm²,增幅8.0%~28.2%,有明显的后效作用。冬小麦施P留给水稻的后效P量约占冬小麦施P量的1/2,在考虑后效的情况下,小麦和水稻两季可节省P肥投资20.12%,在P肥用量较小的情况下,应优先考虑P肥供给冬小麦。

关键词: 磷肥后效; 小麦; 水稻

中图分类号: S143.2; S344.1

稻-麦水旱轮作是黄淮地区主要轮作制度之一。据有关资料^[1],在这种轮作制度中P肥的分配应掌握“早重水轻”的原则,即在一个轮作周期中,P肥应重点施用在冬小麦上,因为秋播后温度逐步下降,土壤微生物的活动逐渐减弱,土壤供P能力差,此时增加P素营养,能培育壮苗,增强抗寒能力,促进早发,提高P肥对冬小麦的增产效果;而水稻生长期间,正值高温雨季,微生物活动强,土壤养分释放快,土壤P的有效性提高,水稻可充分利用其后效增产,P肥用量可适当减少。但在“早重”和“水轻”的程度上缺乏量的说明,也就是在冬小麦施用P肥对水稻“后效P量”的大小以及P肥在小麦和水稻上合理分配数量及比例方面缺乏深入研究,本文重点研究了小麦施P肥后的增产效果及对下茬作物水稻的后效P量大小,初步明确了在轮作周期内P肥总用量不变的前提下,小麦和水稻均获最佳产量时各自的P肥用量及分配比例,为轮作周期内P肥合理分配,提高P肥综合增产效益提供了理论依据。

1 试验材料及方法

试验设置在兰山区沙埠镇大孙庄村的麦稻二熟制田块上。供试土壤为砂姜黑土,土壤有机质19.6 g/kg,

碱解N 80.7 mg/kg,速效P 16.6 mg/kg,速效K 143.6 mg/kg。

试验设等NK的5个施P水平处理:①P₀(不施P),②P₁(P₂O₅ 90 kg/hm²),③P₂(P₂O₅ 180 kg/hm²),④P₃(P₂O₅ 270 kg/hm²),⑤P₄(P₂O₅ 360 kg/hm²)。采用大区随机排列,3次重复裂区方式进行,第一季小麦收获后,分裂1/2于水稻季不施P肥,另1/2仍按第一季处理施肥,试验结果首先进行方差分析,然后再用回归模型进行分析。

2 结果与讨论

2.1 稻麦对轮作体系中P肥的反应

2.1.1 小麦对当季施P的反应 试验结果表明,在供P水平较低的砂姜黑土上增施P肥90~360 kg/hm²,对小麦具有显著和极显著的增产作用。和不施P肥的对照处理相比,增产小麦2038.9~3811.8 kg/hm²,增产率65.2%~122.0%(表1)。因P₄处理的小麦产量远低于P₃处理,本试验条件下,小麦最大施P量应以270 kg/hm²左右较为适宜。

^①基金项目:临沂市委研究课题资助。

作者简介:侯庆山(1962—),男,学士,高级农艺师,主要从事土壤肥料技术研究和推广应用。E-mail: lyhqs788@163.com

表 1 小麦产量统计分析 (Tukey法) (kg/hm²)

处理	裂区 I	裂区 II	裂区 III	平均产量	增产量	增产率 (%)
P ₀	3166.8	3120.0	3088.8	3125.2 eD	—	—
P ₁	5232.8	5155.5	5103.9	5164.1 dC	2038.9	65.2
P ₂	6360.3	6424.5	6520.9	6435.2 cB	3310.0	105.9
P ₃	6856.2	6925.5	7029.4	6937.0 aA	3811.8	122.0
P ₄	6597.9	6764.5	6664.5	6675.6 bAB	3550.4	113.6

2.1.2 水稻对当季施P的反应 表 2 是不同裂区各施P处理的水稻产量。方差分析表明,同一施P处理,区组间水稻产量差异不显著,不同施P处理水稻产量差异达显著和极显著水平。水稻增施P肥 90~360 kg/hm²和不施P肥相比,当季可增产稻谷 945.0~1776.0

kg/hm²,增幅为 15.5%~29.2%。与麦季相同,P₄处理和P₃处理之间产量差异不显著,稻季最高施P量也应以 270 kg/hm²为宜。但在最高施P量相同的条件下,P肥在冬小麦上的增产效果远大于在水稻上的增产效果。

表 2 水稻产量统计分析 (kg/hm²)

处理	裂区 I	裂区 II	裂区 III	平均产量	增产量	增产率 (%)
P ₀	6067.5	6159.0	6007.5	6078.0 cC	—	—
P ₁	7011.0	7116.0	6940.5	7023.0 dB	945.0	15.5
P ₂	7602.0	7716.0	7525.5	7614.5 bA	1536.5	25.3
P ₃	7762.5	7959.0	7847.5	7854.0 aA	1776.0	29.2
P ₄	7843.5	7651.5	7728.0	7741.0 abA	1663.0	27.4

2.1.3 小麦P肥后效对水稻产量的影响 表 3 为不同裂区小麦季施P而水稻季不施P时的水稻产量。因小麦季施P而水稻季不施P,因此,水稻产量差异可看作是由小麦施P的后效差异引起的。由表 3 可知,小麦施用P肥对后季水稻有极好的后效作用。小麦施用P肥 90

~360 kg/hm²,其后效P量可使水稻增产 486.5~1715.0 kg/hm²,增幅 8.0%~28.2%。经方差分析,区组间水稻产量差异不显著,处理间产量差异达显著和极显著水平。在供P水平较低的砂姜黑土上,前季小麦施P量越多,其对水稻的后效作用就越大。

表 3 不同P肥后效水稻产量统计 (kg/hm²)

处理	裂区 I	裂区 II	裂区 III	平均产量	增产量	增产率 (%)
P ₀ '	6157.0	5968.6	6108.4	6078.0 dC	—	—
P ₁ '	6446.3	6649.8	6597.3	6564.5 cB	486.5	8.0
P ₂ '	6906.6	6695.3	6852.1	6818.0 cB	740.0	12.2
P ₃ '	7284.5	7514.4	7455.1	7418.0 bA	1340.0	22.0
P ₄ '	7894.3	7832.0	7652.7	7793.0 aA	1715.0	28.2

注: P' 表示小麦季施 P, 当季水稻不施 P。

2.2 稻-麦轮作体系中小麦施 P 对水稻后效大小的定量分析

2.2.1 小麦施 P 量与小麦产量效应回归分析 鉴于小麦施用 P 肥对水稻有非常明显的后效作用,导致水稻各处理间存在后效基础的差异。若用当季 P 肥用量与水稻产量进行回归分析,所得出水稻最佳产量时的施 P 量将大大超出试验控制用量范围。为此,本文

引入“后效 P 量”的概念,以校正各季作物的合理施 P 量。“后效 P 量”是指前季作物施 P 而当季作物不施 P 的当季产量与前季作物不施 P 而当季作物施 P 的当季作物产量相同时,则后者所施 P 量可作为前者所施 P 量的后效 P 量。具体校正方法如下:

小麦为首季作物,它不存在P的后效问题,用实际施P量(P)与产量(y_麦)进行回归分析,得出肥料效

应方程为: $y_{\text{麦}} = 3125.538 + 26.90712 P - 0.04735 P^2$ ($r = 0.99965^{**}$, $F = 3423.71 > F_{0.01(2,2)} = 99.00$), 对回归系数 b_0 、 b_1 、 b_2 进行 t 检验, 其 t 值分别为 2757.2、1803.4 和 -1191.51, 均大于 $t_{0.01} = 12.94$, 达极显著水平, 证明所建方程拟合较好。

用导数法求其极值, 得小麦最高产量时的施 P 量为 285.3 kg/hm², 可获得最高理论产量 $y_{\text{麦max}} = 6931.1$ kg/hm², 和不施 P 肥的对照小麦相比, 增产潜力达 3805.9 kg/hm², 最大增幅为 121.8%。

2.2.2 小麦季施 P 在水稻上的后效 P 量分析 将小麦和水稻两季均施 P 肥的产量之和 (y_1') 与两季的 P 肥总用量 (P_a) 进行回归分析, 得肥料效应回归方程为: $y_1' = 9203.55 + 19.68 P_a - 0.0173 P_a^2$ ($r = 0.9963^{**}$, $F = 1521.56 > F_{0.01(2,2)} = 99.00$), 对回归系数 b_0 、 b_1 和 b_2 进行 t 检验, b_0 、 b_1 和 b_2 的 t 值分别为 2757.24、1803.41 和 -1191.51, 均大于 $t_{0.01} = 12.94$, 达极显著水平, 方程拟合较好。对方程 y_1' 求导, 得小麦和水稻两季产量最大时的 P 肥量为 568.8 kg/hm², 此时两季最高产量为 14800.4 kg/hm²。

将小麦季施 P 而水稻季不施 P 的两季产量之和 y_2' 代入 y_1' 回归方程, 得出小麦当季施 P 量和后效 P 量的总和 P_a' 。 P_a' 减去小麦当季施 P 量即为小麦施 P 在水稻上表现的后效 P 量 P' (表 4), 由此可计算出稻季施 P 条件下实际的供 P 量, 即后效 P 量 + 施入的 P 量, 各施 P 处理分别为 147.0、269.7、408.3 和 568.8 kg/hm²。

表 4 相关分析得出的后效 P 量

水稻处理	y_2'	P_a'	P'
P_0'	9203.2	—	—
P_1'	11728.6	147.0	57.0
P_2'	13253.2	269.7	97.7
P_3'	14355.0	408.3	138.3
P_4'	14468.6	568.8*	208.8

*因 P_4 两季的施 P 总量超过两季最高产量时的 P 肥总量, 故以两季最高产量时的 P 肥量代替。

2.2.3 水稻产量与实际供 P 量回归分析 以水稻各施 P 处理的产量 $y_{\text{稻}}$ 与相应的校正后的实际供 P 量 ($P_{\text{校}}$) 进行回归分析, 得出肥料效应方程为: $y_{\text{稻}} = 6067.26 + 8.05 P_{\text{校}} - 0.00897 P_{\text{校}}^2$ ($r = 0.9995^{**}$, $F = 1000.32 > F_{0.01} = 99.00$), 对回归系数 b_0 、 b_1 和 b_2 进行 t 检验, b_0 、 b_1 和 b_2 的 t 值分别为 21368705.8、2941.2 和 21368708.7, 均大于 $t_{0.01} = 12.94$, 达极显著水平, 证明方程有效。对 $y_{\text{稻}}$

方程求导数, 得水稻最大施 P 量为 448.7 kg/hm², 可得最高产量 $y_{\text{稻max}} = 7873.3$ kg/hm²。与不施 P 肥产量相比, 最大增产潜力为 1786.3 kg/hm², 最大增幅为 29.3%。

综上所述, 小麦、水稻施 P 与不施 P 相比, 其最大增产潜力分别为 3805.9 kg/hm² 和 1786.3 kg/hm², 最大增幅分别为 121.8% 和 29.34%, 其当季供 P 的产量效应顺序小麦 > 水稻, 因小麦施 P 对水稻有较大的后效作用, 从增加总产量的角度出发, 在供 P 水平较低的砂姜黑土上, P 肥应优先供应给小麦。

2.3 稻-麦轮作系统中各季作物最高产量时的 P 肥投入量

合理分配 P 肥是轮作制中的重要问题, 以确保各季作物持续高产稳产, 并取得最高的经济效益。

首先, 将小麦的实际施 P 量 (P) 与其在后季作物水稻上产生的后效 P 量 (P') 进行回归分析, 得回归方程 $P' = -1.02 + 0.554P$ ($90 \leq P \leq 360$) ($r = 0.9928^{**}$, $F = 206.49 > F_{0.01} = 34.12$), 对回归系数 b_0 和 b_1 作 t 测验, b_0 未达显著水平, b_1 达极显著水平, 可将方程简化为 $P' = 0.554P$ ($90 \leq P \leq 360$)。

其次, 将小麦最高产量时的施 P 量 (P_2O_5 , 285.3 kg/hm²) 代入 $P' = 0.554P$ 方程中, 得出其在水稻上的后效 P 量为 158.04 kg/hm², 有了小麦的后效 P 量即可计算出水稻的 P 肥用量为 448.7 - 158.0 = 290.7 kg/hm²。

另外, 我们从 $P' = 0.554P$ 方程中可以看出, 前季小麦施 P 对水稻的后效 P 量大致为小麦施 P 量的 1/2, 因此, 将水稻 P 肥用量的 1/2 提前用于小麦上, 除可增加小麦产量外, 对水稻高产没有消极影响。

2.4 采用“后效 P 量”校正施 P 量的经济效益

在本试验中, 小麦获得最高产量时的施 P 量为 285.3 kg/hm², 其留给水稻的“后效 P 量”为 157.0 kg/hm², 相当于两季最高理论施 P 量的 21.4%, 节省肥料的效果还是相当显著的。

3 小结

(1) 在供 P 水平较低的砂姜黑土上小麦增施 P 肥 (90 ~ 360 kg/hm²) 可增产小麦 2038.9 ~ 3811.8 kg/hm², 增产幅度达 65.2% ~ 122.0%; 水稻增施 P 肥可增产稻谷 936.0 ~ 1776.0 kg/hm², 增幅为 15.5% ~ 29.2%, 效果十分显著。

(2) 冬小麦施用 P 肥对水稻有明显的后效作用, 其后效可增产稻谷 486.5 ~ 1715.0 kg/hm², 增产 8.0% ~ 28.2%。在本试验条件下, 冬小麦施 P 留给水稻的后效 P 量约占冬小麦施 P 量的 1/2。为合理施用 P 肥, 必须重视

前茬作物施P的后效。

(3) 在考虑后效的情况下，小麦和水稻两季可节省P肥投资21.4%。

参考文献：

[1] 浙江农业大学主编. 农业化学. 上海：上海科学技术出版社，

1979: 106-111

[2] 陶其骥, 刘光荣, 李祖章, 徐招莲. 油-稻-稻种植制中钾肥合理投入的研究. 土壤通报, 1995, 26 (3) : 122-124

[3] 洪丽芳, 苏帆. 豆-稻轮作体系下土壤养分平衡的系统研究. 西南农业学报, 1994, 7 (2) : 54-59

[4] 李仁岗. 肥料效应函数. 北京：农业出版社, 1987

维普资讯网向《土壤》期刊读者赠送阅读卡

重庆维普资讯有限公司前身为中国科技情报所重庆分所数据库研究中心。主导产品《中文科技期刊数据库》是经国家新闻出版总署批准的大型连续电子出版物。其营运网站——“维普资讯网”(<http://www.cqvip.com>)是全球著名的中文信息服务网站，以及中国最大的综合性文献服务网站。维普资讯网收录了农业基础科学、农业工程、农学、园艺等10个农学分类下的数百万篇学术文献。农业科学工作者可以通过这个平台进行在线学术交流，打造线上线下的农业科技知识社区，共同提升中国的农学研究水平。

国家发改委和信产部在《信息产业“十一五”规划》中提出了“推进农业信息化和现代农业建设、为建设社会主义新农村服务”的指导方针和基本政策。为了响应国家的号召并同时给《土壤》杂志的读者和广大农业科学工作者提供更多的农业科学知识和增值服务，重庆维普资讯有限公司（维普资讯网）与《土壤》编辑部达成协议，为使更多的读者了解维普资讯网，重庆维普资讯有限公司免费为《土壤》期刊的热心读者和部分作者以及关心《土壤》期刊发展的部分农学高校院所赠送维普资讯网上网阅读卡（卡值30.00元），让广大农业科技工作者和农业院校的师生更加方便地阅读以及学习农学专业知识，为建设社会主义新农村服务。《土壤》编辑部从本刊第2期起，将向部分作者和赠刊对象免费赠送维普资讯网上网阅读卡，《土壤》期刊的热心读者可致函致电《土壤》编辑部联系获赠此卡（共1000张，赠送完为止）。维普资讯网阅读卡的详细使用方法请见此卡背面说明。