

施磷量对水稻盐丰47产量、需磷量及磷肥利用率的影响

马 畅, 付雪蛟, 吕小红, 林艳芝, 付立东*

(辽宁省盐碱地利用研究所, 辽宁 盘锦 124010)

摘 要:以盘锦滨海稻区主栽品种盐丰47为材料, 设置6种不同施磷水平, 在速效磷含量相对较低的新建基地和速效磷含量相对较高的西安农场探讨了不同施磷量对产量、磷素积累量、磷肥利用率的影响, 为提高磷肥生产力、针对不同速效磷含量的地块合理施磷提供依据。研究表明: 在一定范围内, 水稻产量随施磷量增加而增加, 超过此范围, 水稻产量开始下降。对产量构成因素进行通径分析认为, 颖花数对产量贡献最大, 合理施磷应攻取大穗, 确保群体颖花数高, 促进库容充实, 从而获得高产。在105~210 kg/hm²施磷量范围内随着施磷量的增加, 磷肥利用率、磷肥生产力呈下降趋势。随着生育进程的推进, 磷素积累量逐渐增加, 拔节期至齐穗期吸磷比例最高, 其次为N-n期(有效分蘖临界期)至拔节期。

关键词:水稻; 施磷量; 产量; 磷肥利用率; 需磷量

中图分类号: S511

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2022)06-0020-05

Effects of Phosphorus Application on Rice Yield, Phosphorus Uptake and Phosphorus Use Efficiency of Yanfeng 47

MA Chang, FU Xuejiao, LYU Xiaohong, LIN Yanzhi, FU Lidong*

(Liaoning Provincial Saline-Alkali Land Utilization and Research Institute, Panjin 124010, China)

Abstract: In order to definite the optimal phosphorus application for different available phosphorus content area and improve phosphate productivity, it conducts field plot contrast experiments using Yanfeng 47 as the material to study the effect of different phosphorus application on rice yield and phosphorus using efficiency during the Xinjian base which available phosphorus content is relatively lower and the Xi'an farm which available phosphorus content is relatively richer. The main results are as follows. Through the path analysis of yield components, it was concluded that the number of spikelet contributed the most to the yield. The reasonable phosphorus application should be pursued the high number of spikelets in the population and the enrichment of storage capacity. With the increase of phosphorus application, the phosphorus using efficiency and productivity of phosphate fertilizer decreased in the range of 105-210 kg/ha. With the advance of the growth process, the phosphorus uptake gradually increased, among which the phosphorus absorption ratio was the highest from the jointing stage to the full heading stage.

Key words: Rice; Phosphorus application; Yield; Phosphorus use efficiency; Phosphorus uptake

磷是植物体内大量化合物重要组成元素之一, 参与细胞的合成与代谢, 增强植物的抗逆性, 同时是水稻生长发育的必需元素, 是限制水稻产量的重要因子。磷元素在土壤中多数以难以利用的固态磷形式存在, 根据耕层土壤的有效磷含量将土壤分为两类: 土壤有效磷含量大于20 mg/kg

时视为有效磷较丰富的土壤; 低于10 mg/kg时为缺磷土壤。据报道全球约有43%的耕地面积处于缺磷的境况^[1], 我国农田土地的缺磷现象更为严重, 全国约有2/3的耕地面积严重缺磷^[2-3]。因此, 卢坤等^[4]提出土壤缺磷是全球范围内普遍存在制约作物生产的主要因素之一。种植作物必然导致土壤磷素的消耗, 根据李比希养分归还原理, 合理施磷才能达到土壤中磷素的平衡^[5]。磷肥的不当施用不仅造成资源浪费, 降低肥料利用率, 还会带来水体富营养化等一系列环境问题^[6]。磷肥的合理施用在满足作物生长需求的同时降低环境风险十分重要。本试验同时在中度缺磷和磷

收稿日期: 2019-12-28

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2017YFD0300700、2018YFD0300306)

作者简介: 马 畅(1989-), 女, 助理研究员, 硕士, 主要从事水稻高产高效栽培及生理研究。

通讯作者: 付立东, 男, 硕士, 研究员, E-mail: fld1341@126.com

素较丰的滨海盐碱试验田,选用最具代表性、当地主栽品种盐丰47为材料,在速效磷含量不同的新建基地和西安农场试点,设置6个施磷水平,探讨施磷量对产量、磷肥吸收规律和磷肥利用率的影响,为合理施磷肥提供参考。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

供试水稻品种为盐丰47,全生育期156~160

d,15.5~16.0片叶,5个伸长节间。供试肥料尿素(N:46%)由盘锦中润化工有限公司生产,磷酸二铵(N:18%、P₂O₅:46%)由云南云天化国际化工股份有限公司生产,硫酸钾(K₂O:50%)由盘锦恒兴化工有限责任公司生产。

1.2 试验地点

试验在辽宁省盐碱地利用研究所新建基地、西安农场试验基点进行,土壤类型为滨海盐渍型水稻土,耕层(0~15 cm)土壤理化性质见表1。

表1 试验基点土壤理化性质

地点	pH	全氮(g/kg)	碱解氮(mg/kg)	速效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)	有机质(g/kg)
新建基地	7.79	1.30	76.43	9.32	192.33	25.69
西安农场	7.65	1.86	108.15	21.68	187.23	29.88

1.3 试验设计

两试验点均设P₀、P₁、P₂、P₃、P₄、P₅6个处理。P₀不施磷肥,P₁为正常施磷水平的0.5倍,P₂为正常施磷水平的0.75倍,P₃为正常施磷水平,P₄为正常施磷水平的1.5倍,P₅为正常施磷水平的2倍。氮素(N)、磷素(P₂O₅)、钾素(K₂O)的正常施磷水平分别为270、105、90 kg/hm²。小区长20 m,宽3.6 m,面积72.0 m²,随机排列,3次重复。4月15日播种,播干种100 g/盘,移栽前3~4 d施入送嫁肥(硫酸铵或磷酸二铵50 g/m²),5月20日移栽,机械插秧,行穴距30 cm×16.5 cm,4~5株/穴。各处理间采用塑料波纹板分隔。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 土壤速效磷含量

于移栽期、N-n期(有效分蘖临界期)、拔节期、齐穗期、成熟期取土样,采用钼锑抗比色法(碳酸氢钠浸提)测定各小区土壤速效磷含量。

1.4.2 磷肥利用率

于移栽期、N-n期、拔节期、齐穗期、成熟期取样测定干物重,测定植株、籽粒(成熟期)全磷含量,计算磷肥利用率。

1.4.3 产量及其构成

成熟期实收测产,每小区取具有代表性植株5穴,进行室内考种,调查每穴平均穗数、每穗粒数、颖花数、千粒重,计算结实率。

1.5 数据分析

应用Microsoft Excel 2007和DPS 7.05数据处理系统进行数据分析处理。

需磷量=植株干物质积累量×植株含磷量+籽粒(成熟期)干物质产量×籽粒含磷量

百千克籽粒需磷量=需磷量/籽粒产量×100

磷肥利用率(%)=[(施磷肥区磷素积累量-不施磷肥区磷素积累量)/施磷量]×100

磷肥生产力=(施磷区产量-不施磷区产量)/施磷量

2 结果与分析

2.1 施磷量对水稻产量的影响

由表2可知,随着施磷量的增加,新建基地试点的穗数、颖花数、每穗成粒数、产量呈先上升后下降的趋势,其中施磷量在0~105 kg/hm²范围内,颖花数、每穗成粒数、产量随施磷量的增加而增加,超过105 kg/hm²开始减少。结实率在施磷量为0~157.5 kg/hm²范围内随施磷量的增加逐渐下降,各处理间均差异不显著。西安农场试点颖花数、产量随施磷量的增加呈现先上升后下降的趋势,分别在P₃、P₂处理下达最大值。P₃处理每穗成粒数最大,结实率在施磷量为0~105 kg/hm²范围内随施磷量的增加逐渐下降,P₀处理结实率最大。每穗成粒数在施磷量105~210 kg/hm²范围内随施磷量的增加逐渐下降,施磷量105 kg/hm²达最大值。两试验点均在P₂施磷量处理下,穗数达到最大值,在施磷量为78.75~210 kg/hm²范围内随施磷量的增加逐渐下降。相同施磷处理下,西安农场试点的产量、颖花数、每穗成粒数均大于新建基地试点,除P₀处理,西安农场试点的千粒重大于新建基地试点。进一步通径分析表明,颖花数、结实率、千粒重对产量的直接通径系数依次为1.1354、0.2254、0.1139(剩余通径系数为0.006 89),说明产量构成因素中颖花数贡献最大,其次是结实率。对新建基地产量构成因素进行通径分析表明,颖花数对产量的直接通径系数为0.9821(决定

表2 施磷量对水稻产量及产量构成因素的影响

地点	处理	产量(t/hm ²)	穗数(×10 ⁴ 穗/hm ²)	颖花数(×10 ⁶ 个/hm ²)	每穗成粒数(个)	结实率(%)	千粒重(g)
新建基地	P ₀	9.05Ab	371.25Ab	385.73Ab	94.5Ab	91.0Aa	25.8Aa
	P ₁	9.25Aa	384.60Aa	407.29Aab	95.8Ab	90.5Aa	25.1Aa
	P ₂	9.61Aa	389.10Aa	426.84Aa	99.2Aa	90.4Aa	24.9Aa
	P ₃	9.97Aa	384.60Aa	447.29Aa	104.9Aa	90.2Aa	24.7Aa
	P ₄	9.58Aa	380.25Aa	431.20Aa	102.0Aa	89.9Aa	24.7Aa
	P ₅	9.31Aa	375.75Aa	406.56Aab	100.7Aab	90.3Aa	24.6Aa
西安农场	P ₀	10.31Ab	375.66Aab	451.92Bc	109.8Ab	91.3Aa	25.0Aa
	P ₁	11.08Aa	373.53Ab	481.48Aab	117.2Aa	90.9Aa	25.3Aa
	P ₂	11.54Aa	390.24Aa	506.53Aa	116.9Aa	90.1Aa	25.3Aa
	P ₃	11.51Aa	390.20Aa	514.34Aa	117.5Aa	89.2Aa	25.1Aa
	P ₄	11.16Aa	388.22Aa	489.55Aa	114.5Aab	90.8Aa	25.1Aa
	P ₅	10.63Aab	375.66Aab	464.70ABb	112.7Aab	91.1Aa	25.1Aa

注:同地点下同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$),下同

系数为0.9644),说明颖花数对产量贡献最大。说明合理施磷应通过攻取大穗,确保群体颖花数高,促进库容充实,从而获得高产。

将新建基地试点的产量(Y)与施磷量(X)做多元回归分析,得到一元二次多项式: $Y=-0.052X^2+12.563X+8967.9(R^2=0.7485)$ 。结合当地水稻生产实际,速效磷含量相对较低的新建基地磷肥(P₂O₅)的适宜施入量为105.00~120.80 kg/hm²。依据西安农场试验数据得出磷肥施入量(X)对水稻产量(Y)影响的函数方程: $Y=-0.0944X^2+21.045X+10319(R^2=0.9578)$ 。结合当地水稻生产实际,速效磷含量相对较高的西安农场磷肥(P₂O₅)的适宜施入量为78.75~111.47 kg/hm²。

2.2 施磷量对土壤速效磷含量的影响

由表3可知,新建基地试点随水稻生育进程

的推进,除P₀处理水稻土壤速效磷含量不断降低外,各处理水稻土壤速效磷含量先增加,至拔节期(7月11日)达到峰值后逐渐降低,各处理成熟期(10月9日)速效磷含量均低于移栽期(5月20日)。随着施磷量的增加,移栽后各生育时期速效磷含量逐渐增加,成熟期P₄、P₅处理极显著高于P₀、P₁、P₂处理。

西安农场试点P₀处理水稻土壤速效磷含量从移栽期到齐穗期(8月2日)逐渐降低,在成熟期有所增加。除P₀、P₁处理,其他各处理土壤速效磷含量从移栽到拔节期逐渐增加,齐穗期降低,在成熟期又逐渐增加,且处理P₃、P₄和P₅含量明显高于移栽前的土壤速效磷含量。可能由于在西安农场这种肥力条件下P₃、P₄和P₅处理磷肥的过量施入造成耕层土壤磷素的积累。

表3 施磷量对水稻土壤速效磷含量的影响

地点	处理	5月20日	6月24日	7月11日	8月2日	10月9日
新建基地	P ₀	8.6628Aa	8.6104BCc	8.5062Cd	4.2009Cd	3.6529Bc
	P ₁	8.6628Aa	9.5238Cc	10.2283Ced	7.0972BCc	4.1226Bb
	P ₂	8.6628Aa	10.1500Bc	11.4808BCc	9.1324Bb	4.2009Bb
	P ₃	8.6628Aa	11.1676Bb	13.6295Bb	10.8115ABb	4.3444ABb
	P ₄	8.6628Aa	13.1246Aab	15.2281ABb	13.4279Aa	5.6882Aab
	P ₅	8.6628Aa	16.8036Aa	22.4592Aa	14.1422Aa	7.4886Aa
西安农场	P ₀	21.1089Aa	20.3614Bc	18.1969Cd	12.6549Bc	16.0209Cc
	P ₁	21.1089Aa	20.9523Bbc	26.0404Bc	19.7782Ab	20.3614Bb
	P ₂	21.1089Aa	22.2048ABb	27.5277Bbc	19.8565Ab	20.8487ABb
	P ₃	21.1089Aa	24.3183Aab	31.6765Aab	20.2479Aab	24.3183Aab
	P ₄	21.1089Aa	25.3026Aa	33.4671Aa	24.0052Aa	28.9367Aa
	P ₅	21.1089Aa	28.8584Aa	36.1383Aa	26.8232Aa	30.5903Aa

2.3 施磷量对水稻需磷量及磷肥利用率的影响

磷肥利用率、磷肥生产力是衡量磷肥增产效应的适宜评价指标^[7]。由表4可知,N-n期(6月24日)、拔节期各处理水稻需磷量随施磷量增加而增加,施磷量为0~157.5 kg/hm²齐穗期、成熟期需磷量、百千克籽粒需磷量随施磷量增加而增加,施磷量为157.5 kg/hm²处理齐穗期、成熟期需磷量达最大值,相比P₄处理,P₅处理略有减少。新建基

地试点,P₄处理成熟期需磷量极显著高于P₀、P₁处理,显著高于P₂处理。随施磷量增加,百千克籽粒需磷量增加,P₃、P₄、P₅处理差异不显著,极显著高于P₀处理。除新建基地P₁处理,磷肥利用率和磷肥生产力呈先上升后下降趋势,新建基地、西安农场试点分别在P₁、P₃处理下磷肥利用率达最大值,P₃、P₂处理磷肥生产力最高,同等施磷水平下,西安农场磷肥生产力高于新建基地。

表4 施磷量对水稻需磷量及磷肥利用率的影响

地点	处理	6月24日 (kg/hm ²)	7月11日 (kg/hm ²)	8月2日 (kg/hm ²)	10月9日 (kg/hm ²)	百千克籽粒 需磷量(kg/100 kg)	磷肥利 用率(%)	磷肥生产力 (kg/kg)
新建基地	P ₀	1.37Cd	8.34Cc	23.51Bc	25.12Cc	0.64Bc	-	-
	P ₁	2.62BCc	11.03Bbc	28.49ABb	30.44Bb	0.78ABb	10.13Aa	3.81Cc
	P ₂	3.05Bb	13.88ABb	29.50Aab	32.17ABb	0.82ABb	8.95ABb	7.11Bb
	P ₃	3.73Aab	15.86Ab	32.59Aa	35.21Aa	0.88Aa	9.61Aa	8.76Aa
	P ₄	4.49Aa	17.60Aa	35.12Aa	37.66Aa	0.99Aa	7.96Bc	3.37Cc
	P ₅	4.98Aa	18.31Aa	34.71Aa	35.98Aa	1.01Aa	5.17Cc	1.24Dd
西安农场	P ₀	3.18Cc	15.42Bb	33.68Cc	35.48Bb	0.85Ab	-	-
	P ₁	4.13Bb	17.52Bb	37.85Bbc	39.68Aab	0.90Aab	8.00Bb	14.67Aa
	P ₂	4.52Bb	18.69Aab	40.01ABb	42.01Aa	0.91Aab	8.29Ab	15.62Aa
	P ₃	5.12Aab	20.32Aa	43.33Aab	45.69Aa	0.99Aa	9.72Aa	11.43Bb
	P ₄	5.61Aa	21.60Aa	45.72Aa	47.98Aa	1.08Aa	7.94Bb	5.40Cc
	P ₅	6.38Aa	22.55Aa	44.85Aa	46.33Aa	1.13Aa	5.17Cc	1.52Dd

2.4 施磷量对各阶段吸磷比例的影响

由图1、图2可知,随着生育进程的推进,吸磷量逐渐增加,各生育时期吸磷比例表现为拔节期~齐穗期>N-n期~拔节期>齐穗期~成熟期。新建试点移栽期~N-n期、N-n期~拔节期吸磷比例随着施磷量的增加呈增加趋势,拔节期~齐穗期吸磷比例随施磷量的增加逐渐降低,齐穗期~成熟期的吸磷比例先升高再降低。新建基地试点移栽期~N-n期、N-n期~拔节期、拔节期~齐穗期、齐穗期~成熟期各处理阶段需磷量占其总需磷量的比例为5.45%~13.84%、27.63%~37.05%、45.58%~60.39%、3.53%~8.30%。四个阶段需磷比例约为10:33:51:

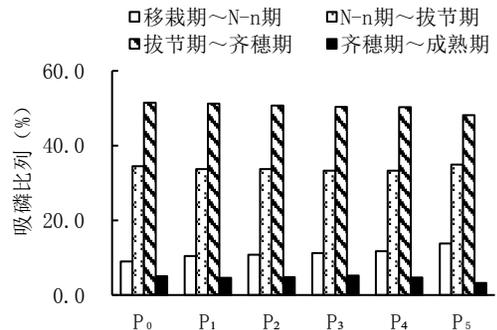


图2 西安农场试点各生育时期吸磷比例

6。西安农场试点四个阶段需磷比例约为11:34:50:5。由此可见,对于速效磷含量较丰的西安农场试点,水稻在生育前期磷素积累比例较高,在生育中后期吸磷比例略低于新建基地试点。

3 结论与讨论

3.1 不同施磷量对水稻产量的影响

前人研究认为,在一定的范围内增施磷肥能实现水稻增产增效^[8-13]。本研究认为,在一定范围内,水稻产量随施磷量增加而增加,施磷量超过此范围产量开始下降,适宜的施磷量应根据土壤基础供磷能力调整,在土壤速效磷含量丰富的地

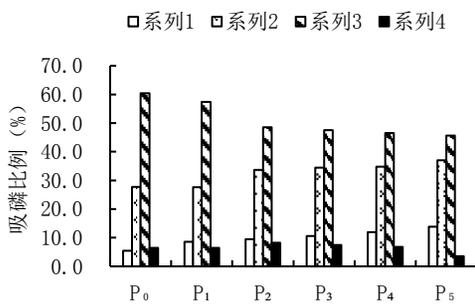


图1 新建基地试点各生育时期吸磷比例

块应当适当降低施磷量。对产量构成因素进行通径分析认为,合理施磷应通过攻取大穗,确保群体颖花数高,促进库容充实而获得高产,与龚金龙、向镜等^[14-15]研究结论一致。

3.2 不同施磷量对磷素积累和吸磷比例的影响

水稻磷素积累量随施磷水平增加而提高,磷素吸收量增加趋势表现为返青期至分蘖期磷素较少,分蘖期至灌浆期迅速增加,灌浆期至成熟期,磷素积累量趋于平缓^[16]。本研究认为,在N-n期、拔节期水稻需磷量随施磷量增加而增加,这可能由于营养生长期分蘖的增加加速磷的吸收;施磷量在一定范围内,齐穗期、成熟期需磷量随施磷量增加而增加,超过这个范围有下降趋势。适宜的磷肥施用量能有效促进水稻磷素的积累,过量施磷反而抑制水稻生长发育,降低水稻产量。生育时期吸磷比例表现为拔节期至齐穗期吸磷比例最高,其次是N-n期至拔节期,再次是齐穗期至成熟期。合理施磷应根据水稻各时期吸磷规律,适当磷肥后移,增加磷肥穗肥的施用。在配方施肥条件下,磷肥适当后移可增加水稻产量和磷肥利用率^[17-18];拔节期和成熟期是水稻吸磷两个高峰期,且生育后期累积需磷量占较大比例,磷肥只用作基肥很难满足水稻后期磷素的需求且阻碍穗部发育,应磷肥后移^[19],与本研究结论相同。

3.3 不同施磷量对磷肥利用率的影响

随着施磷量的增加,磷肥利用率降低^[9,20-21]。本研究表明,施磷量在105~210 kg/hm²范围内随施磷量的增加,磷肥利用率、磷肥生产力呈下降趋势。除新建基地P₁处理,磷肥利用率和磷肥生产力整体上呈先上升后下降的趋势,与易均等^[22]研究结论一致。由于磷的可移动性差,又容易被固定^[23],磷素的当季利用率比较低,今后应开展长期定位试验研究,加强对磷肥与磷肥的累积利用率关系的研究。

参考文献:

- [1] 刘建中,李振声,李继云.利用植物自身潜力提高土壤中的生物有效性[J].生态农业研究,1994,2(1):16-23.
- [2] 李继云,李振声.有效利用土壤营养元素的作物育种新技术研究[J].中国科学(B辑 化学 生物学 地学),1995,25(1):41-48.
- [3] 林 葆.国产磷肥自给有余后的合理施用问题[J].中国农
- 资,2009(12):32-35.
- [4] 卢 坤,钟巍然,张 凯,等.甘蓝型油菜苗期磷高效基因型的TOPSIS法筛选[J].中国生态农业学报,2009,17(1):120-124.
- [5] 江尚焘,王火焰,周健民,等.磷肥施用对水稻生长和磷素吸收的影响[J].土壤,2016,48(6):1085-1091.
- [6] 张志剑,王 珂,朱荫涓,等.浙北水稻主产区田间土-水磷素流失潜能[J].环境科学,2001,22(1):98-101.
- [7] 张福锁,王激清,张卫峰,等.中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J].土壤学报,2008,45(5):915-924.
- [8] 李 珣,付立东,齐春华.氮磷钾不同施入量对水稻产量的影响[J].北方水稻,2010(4):19-21,24.
- [9] 付立东,王 宇,李 旭,等.磷肥不同施用量对水稻产量及磷肥利用率的影响[J].北方水稻,2011(4):20-24.
- [10] 王苏影,潘晓华,吴建富,等.施磷量对双季早、晚稻产量及稻米品质的影响[J].中国土壤与肥料,2011(2):39-43.
- [11] 侯云鹏,孔丽丽,李 前,等.不同施肥模式对水稻养分吸收利用及土壤养分平衡的影响[J].东北农业科学,2018,43(1):1-8.
- [12] 刘海涛,童良军,赵立琴,等.寒地水稻磷素适宜施用量的研究[J].黑龙江八一农垦大学学报,2011(4):15-19.
- [13] 侯云鹏,孔丽丽,李 前,等.不同施磷水平下水稻产量、养分吸收及土壤磷素平衡研究[J].东北农业科学,2016,41(6):61-66.
- [14] 龚金龙,张洪程,李 杰,等.施磷量对超级稻南粳44产量和品质的影响[J].中国水稻科学,2011,25(4):447-451.
- [15] 向 镜,徐早增,陈惠哲,等.磷肥用量对超级早稻生长、产量及磷吸收利用的影响[J].中国稻米,2016,22(1):35-38.
- [16] 李 前,侯云鹏,高 军,等.不同供磷水平对水稻干物质累积、磷素吸收分配及产量的影响[J].吉林农业科学,2015,40(3):37-41.
- [17] 龚海清,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.
- [18] 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.
- [19] 陈 敏,马婷婷,丁艳萍,等.配方施肥对水稻养分吸收动态及产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2014(1):237-246.
- [20] 包光明,刘洪福,包加站.水稻不同磷肥用量及运筹的验证与肥料利用率研究[J].北方水稻,2008(1):30-33,39.
- [21] 李永夫,罗安程,王为木,等.不同供磷水平下水稻磷素吸收利用和产量的基因型差异[J].土壤通报,2005,36(3):365-370.
- [22] 易 均,谢桂先,刘 强,等.磷肥减施对双季稻生长和产量及磷肥利用率的影响[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2016,42(2):197-201.
- [23] 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.

(责任编辑:王 昱)