

施磷量对滨海盐碱稻区水稻生长发育及产量的影响

付雪蛟, 马 畅, 付立东*

(辽宁省盐碱地利用研究所, 辽宁 盘锦 124010)

摘要:以“盐丰47”为材料,采用小区对比试验方法,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水稻生育性状、干物质积累量及产量的影响,旨在明确速效磷含量不同地块的最适施磷量,提高磷肥生产力。结果表明:在一定范围内,增施磷肥有利于增加水稻茎蘖数,确保足够的单位面积收获穗数。适当增施磷肥有利于提高净光合速率,增强水稻的光合作用能力,合成更多的光合产物,促进水稻高产。适当增施磷肥提高了干物质积累量、齐穗后干物质积累量占籽粒产量的百分比、颖花量、每穗成粒数,但增加到一定程度时这种促进作用将转化为阻碍作用,降低水稻产量。依据新建基地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: $Y=-0.052X^2+12.563X+8\ 967.9$ 。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(P_2O_5)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: $Y=-0.094\ 4X^2+21.045X+10\ 319$ 。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(P_2O_5)的适宜施入量为78.75~111.47 kg/hm²。

关键词:水稻;磷肥;施磷量;产量;生长发育

中图分类号:S511

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2022)01-0005-06

Effects of Phosphorus Application on Growth and Yield of Rice in Coastal Salt-Alkali Rice Area

FU Xuejiao, MA Chang, FU Lidong*

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

Abstract: Taking Yanfeng 47 as material, the effects of different phosphorus application rates on growth traits, dry matter accumulation and yield of rice were studied in the Xinjian base with relatively low available P content and Xi'an farm with relatively high available P content by plot contrast test method, in order to determine the optimal phosphorus application rate in different plots with relatively low available P content and improve P fertilizer productivity. The results showed that in a certain range, increasing P fertilizer was beneficial to increase tiller number and ensure enough panicle number per unit area of rice. Appropriate increase of P fertilizer can improve the net photosynthetic rate, enhance the photosynthetic capacity of rice, synthesize more photosynthetic products, and promote the high yield of rice. Appropriate increase of P fertilizer increased dry matter accumulation, percentage of dry matter accumulation to grain yield after full panicle, spikelet and grain number per panicle, but when it increased to a certain extent, the promoting effect was transformed into hindrance and reduced rice yield. According to the experimental data of the newly built base, the function equation of the effect of P fertilizer amount (X) on rice yield (Y) was obtained: $Y=-0.052X^2+12.563X+8\ 967.9$. Combined with the local rice production practice, the suitable application amount of phosphate fertilizer (P_2O_5) in the newly built base with relatively low available phosphorus content was 105.00~120.80 kg/ha. According to the experimental data of Xi'an farm, the function equation of the effect of phosphate fertilizer amount (X) on rice yield (Y) was obtained as follows: $Y=-0.094\ 4X^2+21.045X+10\ 319$. Considering the local rice production practice, the suitable application amount of phosphate fertilizer (P_2O_5) in Xi'an farm with relatively high available phosphorus content was 78.75~111.47 kg/ha.

Key words: Rice; Phosphate fertilizer; Phosphorus application; Yield; Growth and development

收稿日期:2019-12-04

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

作者简介:付雪蛟(1989-),男,助理研究员,硕士,主要从事水稻高产优质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

磷是作物生长发育必不可少的矿物营养元素之一,是植物体重要的组成部分,磷直接或间接参与植物体内的各种生理生化代谢。水稻是我国主要的粮食作物,合理施用磷肥,提高水稻产量和磷肥利用效率一直是诸多学者研究的重点。研究表明,在一定的施磷量范围内施用磷肥能使水稻增产增效^[1-3]。在适宜的范围内,增施磷肥有利于提高有效穗数、每穗粒数和结实率,但不利于千粒重的提高^[4-6]。

适量施入磷肥可提高水稻的抗逆性和产量,但过多施入不仅会降低水稻产量与肥料利用率,而且会增加生产成本,污染稻谷和土壤环境,不利于农业的可持续发展^[6-8]。尤其对于滨海盐渍土,对磷素固持能力弱,过量施磷导致磷淋洗现象严重^[9]。因此,合理定量施用磷肥,对发展高产、优质、节能、环保、高效型稻作有着重要意义。本研究以盘锦滨海盐碱稻田为试验田,针对超级稻示范推广项目实施过程中存在的磷肥施入量不合理的问题,结合盘锦滨海稻区水稻机械插秧技术,通过不同施磷水平对水稻产量、土壤养分含量的影响找出最适施磷量,形成可量化的磷肥高效运筹技术,以此指导滨海盐碱稻区水稻合理施肥。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

供试水稻品种为盐丰47,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试验基地、西安农场试验基点进行。土壤类型为滨海盐渍型水稻土,新建基地耕层土壤(0~15 cm)全氮1.293 g/kg、碱解氮76.43 mg/kg、速效磷9.32 mg/kg、速效钾192.33 mg/kg。西安农场耕层土壤(0~15 cm)全氮1.86 g/kg、碱解氮108.15 mg/kg、速效磷21.68 mg/kg、速效钾187.23 mg/kg。

1.3 试验设计

两试验点均设P₀、P₁、P₂、P₃、P₄、P₅六个处理。P₀为不施磷肥,P₁、P₂、P₃、P₄、P₅分别为正常施磷肥水平的0.5、0.75、1、1.5、2倍。氮素(N)、磷素(P₂O₅)、钾素(K₂O)的正常施肥水平分别为270 kg/hm²、105 kg/hm²、90 kg/hm²。小区长20 m,宽3.6 m,面积72.0 m²,随机排列,三次重复。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。各处理施肥量与施肥时期见表1,磷酸二铵中所含氮素已包括在各处理总施氮量里,确保各处理施氮水平一致。

表1 试验各处理施肥量

处理	N+P ₂ O ₅ +K ₂ O	目次	kg/hm ²					
			基肥 (耙地后)	蘖肥			穗肥	
				返青肥 (6.5叶)	一次蘖肥 (7.5叶)	二次蘖肥 (8.5叶)	促花肥 (12.1叶)	保花肥 (14.1叶)
P ₀	270+0+90	尿素	142.5	37.5	142.5	90	123	52.5
		硫酸钾			120		60	
		尿素	97.5	37.5	142.5	90	123	52.5
P ₁	270+52.5+90	磷酸二铵	114					
		硫酸钾			120		60	
		尿素	75	37.5	142.5	90	123	52.5
P ₂	270+78.75+90	磷酸二铵	171					
		硫酸钾			120		60	
		尿素	52.5	37.5	142.5	90	123	52.5
P ₃	270+105+90	磷酸二铵	228					
		硫酸钾			120		60	
		尿素		37.5	142.5	97.5	123	52.5
P ₄	270+157.5+90	磷酸二铵	342					
		硫酸钾			120		60	
		尿素			142.5	90	123	52.5
P ₅	270+210+90	磷酸二铵	456					
		硫酸钾			120		60	

1.4 测定指标及方法

1.4.1 茎蘖动态:每小区定植10穴,分蘖中期开始,每7天调查一次,主要调查N-n期(有效分蘖临界期)、拔节期、齐穗期、成熟期茎蘖数。

1.4.2 光合速率:齐穗期9:00~11:00用LI-6400XT便携式光合测定仪测定剑叶叶片中部的光合速率。每个处理重复测定10次。

1.4.3 干物重、收获指数:利用调查叶面积指数的植物样测定群体干物重,成熟期测定谷粒和茎秆干物重。收获指数为成熟期的籽粒干重除以籽粒与茎秆干重(包括植株地上的穗轴、茎、叶及叶鞘)之和。

1.4.4 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,调查每穴穗数、每穗粒数、颖花数,计算结实率、千粒重。

1.5 数据分析

应用Microsoft Excel和DPS软件进行数据处理和分析。

2 结果与分析

2.1 施磷量对机插水稻茎蘖的影响

由表2可知,随着水稻生育进程的推进,各处理水稻的茎蘖数不断增加,至拔节期(7月11日)达到峰值后逐渐降低。新建、西安两试验点,N-n期(6月24日)茎蘖数均随施磷量的增加而增大, P_5 处理极显著大于 P_0 处理。新建试验点,拔节期、齐穗期(8月2日)、成熟期(10月9日)茎蘖数随施磷量的增加先增加后降低,在拔节期 P_4 处理最大,齐穗期和成熟期 P_2 处理达到最大值,成熟期各处理间茎蘖数未见极显著差异,成穗率随施磷量的增加逐渐递减。西安试验点,拔节期 P_5 达到最大值, P_2 处理在齐穗期和成熟期茎蘖数最高。成穗率随施磷量增加先增加后降低,在 P_3 处理达到最大值。移栽期(5月20日),西安试验点的各处理茎蘖数高于新建,N-n期,拔节期的 P_0 、 P_1 处理,齐穗期的 P_0 、 P_3 、 P_4 、 P_5 处理及成熟期的 P_0 、 P_2 、

表2 施磷量对水稻茎蘖的影响

处理	地点	5月20日 ($\times 10^4$ 个/hm ²)	6月24日 ($\times 10^4$ 个/hm ²)	7月11日 ($\times 10^4$ 个/hm ²)	8月2日 ($\times 10^4$ 个/hm ²)	10月9日 ($\times 10^4$ 个/hm ²)	成穗率 (%)
P_0	新建	93.38Aa	309.04Bc	484.69Bc	386.86Ab	371.25Ab	76.6Aa
	西安	97.83Aa	357.96Bc	549.16Aa	400.20Aa	375.66Aab	68.4Aa
P_1	新建	88.93Aa	373.52Ab	538.05Ab	415.76Aa	384.60Aa	71.5Aa
	西安	93.38Aa	377.97ABbc	544.72Aa	397.98Aab	373.53Aa	68.6Aa
P_2	新建	91.16Aa	402.42Aab	558.06Aab	424.66Aa	389.10Aa	69.7Aab
	西安	97.83Aa	384.64Ab	546.94Aa	420.21Aa	390.24Aa	71.4Aa
P_3	新建	91.16Aa	429.10Aa	566.95Aa	404.65Aab	384.60Aa	67.8Ab
	西安	102.27Aa	395.75Aab	533.60Aab	406.87Aa	390.20Aa	73.1Aa
P_4	新建	88.93Aa	433.55Aa	573.62Aa	400.20Aab	380.25Aa	66.3Ab
	西安	100.05Aa	402.42Aa	540.27Aa	409.09Aa	388.22Aa	71.9Aa
P_5	新建	95.60Aa	438.00Aa	569.17Aa	395.75Ab	375.75Aa	66.0Ab
	西安	102.27Aa	422.43Aa	560.28Aa	404.65Aa	375.66Aab	67.0Aab

注:同列不同大小写字母分别表示处理间差异极显著($P<0.01$)和显著($P<0.05$),下同

P_3 、 P_4 处理西安试验点的茎蘖数高于新建试验点。

2.2 施磷量对机插水稻光合作用的影响

由表3可知,齐穗期各处理的净光合速率、气孔导度随着施磷量的增加呈现先增加后降低的趋势,各处理间胞间 CO_2 浓度、蒸腾速率未见明显变化规律。新建试验点的净光合速率、气孔导度在 P_4 处理达到最大值, P_4 净光合速率显著大于 P_1 处理,极显著大于 P_0 处理;西安试验点在 P_3 处理达最大值,显著大于 P_0 处理净光合速率。 P_0 、 P_1 、 P_2 、 P_3 处理下西安试验点的净光合速率大于新建试验点, P_4 、 P_5 处理下新建试验点的净光合速率大于西安

试验点,这可能与两试验地肥力基础不同有关,西安试验点速效磷水平较高,在磷肥施用量较少情况下仍可保持较高光合速率,但磷肥施用量过多反而抑制光合作用。相同施磷量下西安试验点的气孔导度大于新建试验点,蒸腾速率表现为新建试验点大于西安试验点。

2.3 施磷量对机插水稻干物质积累的影响

表4结果表明,两试验点各处理的移栽期干物重和收获指数差异不显著,N-n期、拔节期的干物质积累量随着施磷量的增加而增加,N-n期、拔节期、齐穗期 P_5 处理的干物质积累最多。相同施

表3 施磷量对水稻光合速率的影响

处理	地点	净光合速率(Pn)	气孔导度(Cond)	胞间CO ₂ 浓度(Ci)	蒸腾速率(Ts)
		[$\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]	[$\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]	($\mu\text{mol}/\text{mol}$)	[$\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]
P ₀	新建	18.130 5Bb	1.549 1Aa	334.497 4Aa	8.574 6Aa
	西安	18.614 9Ab	1.614 7Ab	337.504 6Aa	7.606 0Aab
P ₁	新建	18.740 7ABb	1.550 8Aa	338.700 1Aa	8.255 1ABb
	西安	19.973 6Aab	1.704 3Aab	336.387 6Aa	8.048 3Aa
P ₂	新建	19.491 0Aab	1.580 2Aa	337.958 6Aa	8.085 6Bb
	西安	20.291 0Aa	1.738 8Aa	336.481 9Aa	7.925 2Aa
P ₃	新建	21.155 4Aa	1.616 8Aa	325.303 1ABb	8.836 0Aa
	西安	22.417 8Aa	1.859 3Aa	334.196 1Aa	7.701 1Aa
P ₄	新建	22.812 6Aa	1.646 3Aa	320.542 9Bb	9.006 2Aa
	西安	21.799 1Aa	1.753 7Aa	339.370 7Aa	7.192 3Ab
P ₅	新建	20.968 8Aa	1.629 4Aa	334.883 2Aa	8.134 8Bb
	西安	20.439 3Aa	1.731 9Aa	334.714 9Aa	7.272 4Ab

表4 施磷量对水稻干物质积累的影响

处理	地点	5月20日	6月24日	7月11日	8月2日	10月9日	齐穗后干物质积累量占	收获
		(t/hm ²)	水稻产量百分比(%)	指数				
P ₀	新建	0.033Aa	0.544Cc	3.125Bc	9.975Bc	18.605ABb	89.797Aa	0.500Aa
	西安	0.040Aa	1.132Cc	5.133ABb	10.879Ab	20.097Aab	89.395Aa	0.513Aa
P ₁	新建	0.031Aa	0.912Bb	3.666Bbc	10.598ABb	18.091Bbc	81.021Aab	0.511Aa
	西安	0.038Aa	1.369Bb	5.401Aab	11.659Aab	21.283Aa	86.895Aa	0.520Aa
P ₂	新建	0.032Aa	1.030Ab	4.402ABb	10.531Ab	18.879Aa	86.854Aa	0.509Aa
	西安	0.040Aa	1.451Ab	5.550Aa	11.793Aa	22.268Aa	90.761Aa	0.518Aa
P ₃	新建	0.032Aa	1.169Aab	4.674Aa	10.834Aab	19.807Aa	90.048Aa	0.503Aa
	西安	0.042Aa	1.541Aa	5.677Aa	12.141Aa	22.689Aa	90.749Aa	0.512Aa
P ₄	新建	0.031Aa	1.323Aa	4.825Aa	11.271Aa	18.874Aa	79.362ABb	0.508Aa
	西安	0.041Aa	1.583Aa	5.840Aa	12.503Aa	22.016Aa	83.471ABb	0.507Aa
P ₅	新建	0.034Aa	1.426Aa	5.030Aa	11.328Aa	17.243Bc	67.822Bc	0.506Aa
	西安	0.042Aa	1.802Aa	6.084Aa	12.569Aa	20.997Aa	79.312Bc	0.506Aa

磷处理下,各时期西安试验点干物质积累量均大于新建试验点,除P₀处理外,西安试验点齐穗后干物质积累量所占产量比例大于新建试验点。新建试验点齐穗期P₂、P₃、P₄、P₅处理干物质积累量随施磷量的增加而增加,成熟期P₁、P₂、P₃干物重随施磷量的增加而增加,P₃、P₄、P₅干物重随施磷量的增加而减少,P₃处理干物质积累量最高,与P₀处理差异显著,与P₁、P₅处理差异达到极显著水平。P₃齐穗后干物质积累量占水稻产量比例最高,显著高于P₄处理,极显著高于P₅处理。

西安试验点,N-n期、拔节期、齐穗期各处理的干物质积累量随施磷量增加而增加,成熟期干物重随施磷量的增加先增加后降低,以P₃处理干物质积累量最高,达到22.689 t/hm²,P₂、P₃、P₄、P₅处理齐穗后干物质积累量占籽粒产量的比例随施磷量的增加逐渐降低,以P₂处理最高,与P₄处理

差异显著,与P₅处理差异达到极显著水平。

2.4 施磷量对水稻产量的影响

表5结果表明,随着施磷量的增加,新建试验点的穗数、颖花数、每穗成粒数、产量呈先上升后下降的趋势。P₂穗数达到最大值,显著高于P₀处理,其他各处理差异不显著。颖花数、成粒数、产量在P₀、P₁、P₂、P₃之间随施磷量的增加逐渐增加,在P₃、P₄、P₅范围内随施磷量的增加逐渐减少,在P₃处理下达到最大值。P₃处理的颖花数、成粒数和产量显著高于P₀,其他各处理间差异不显著。随施磷量的增加,千粒重呈下降趋势,但各处理间差异不显著。

西安试验点P₂处理穗数最多,P₂、P₃、P₄、P₅处理间穗数随施磷量的增加逐渐减少,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,P₂产量显著高于P₀处

表5 施磷量对水稻产量及产量构成因素的影响

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

理。P₃处理每穗成粒数最大,在P₃、P₄、P₅范围内随施磷量的增加逐渐下降。结实率在P₀、P₁、P₂、P₃范围内随施磷量的增加逐渐下降,P₀处理结实率最大。各处理间千粒重无显著差异。相同施磷处理下,西安试验点的产量、颖花数、成粒数均大于新建试验点,除P₀处理,西安试验点的千粒重大于新建试验点。

从产量和产量构成因素上来看,施磷量对千粒重的影响较小,过多施磷对产量、穗数、颖花数、每穗成粒数的提高是不利的。进一步通径分析表明,西安试验点的颖花数、结实率、千粒重对产量的直接通径系数依次为1.135 4、0.225 4、0.113 9(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0.982 1(决定系数为0.964 44),说明颖花数对产量贡献最大。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。

2.5 水稻适宜施磷量的确定

依据试验数据得出新建试验点磷肥施入量(X)对水稻产量(Y)影响的函数方程: $Y=-0.052X^2+12.563X+8\ 967.9$ 。求得水稻获得最高产量时,P₂O₅施入量为120.80 kg/hm²;试验中磷肥生产力最佳的为P₃处理,其所对应的施磷量为105 kg/hm²。结合土壤供磷能力以及水稻生产实际,得出该试验点磷肥(P₂O₅)的适宜施入量适合本试验中P₃~P₄处理,为105~120.80 kg/hm²。

依据试验数据得出西安试验点磷肥施入量(X)对水稻产量(Y)影响的函数方程: $Y=-0.094\ 4X^2+$

$21.045X+10\ 319$ 。求得水稻获得最高产量时,P₂O₅施入量为111.47 kg/hm²;试验中磷肥生产力最佳的为P₂处理,其所对应的施磷量为78.75 kg/hm²。结合土壤供磷能力以及水稻生产实际,得出该试验点磷肥(P₂O₅)的适宜施入量适合本试验中的P₂~P₃处理,为78.75~111.47 kg/hm²(见图1)。

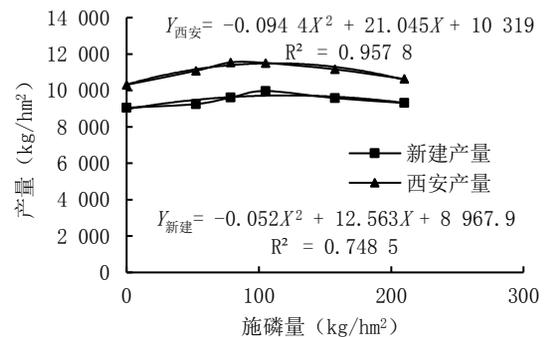


图1 施磷量对水稻产量的影响

3 结论与讨论

关于磷肥的增产效应,前人做了大量研究,逐渐认识到磷肥是“缺磷低产田的翻身肥,高产稳产的丰收肥”,且总结出“稳氮增磷”“以磷增氮”等施肥理念与方法,适宜的磷肥施用量因土壤类型、地力、品种等因素略有差异^[10]。研究认为,缺磷是农业生产中限制水稻产量的一个重要因子,低磷胁迫会造成水稻光合速率降低,郭鑫年等^[11]认为插秧、直播两种栽培方式下,水稻产量随着施磷量增加而增加,施磷量和水稻籽粒产量之间有极显著的二次曲线关系。本研究认为,在一定范围内,水稻产量随施磷量的增加而增加,但过量

的磷肥会导致产量下降,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块应适当降低施磷量。根据水稻产量(Y)与施磷量(X)拟合,在滨海稻区土壤速效磷含量(21.68 mg/kg)较丰的西安试验点,适宜的施磷量为78.75~111.47 kg/hm²;在速效磷缺乏(9.32 mg/kg)的新建试验点,适宜的施磷量是105~120.80 kg/hm²。产量构成因素中颖花数贡献最大,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,与郭鑫年^[11]、侯云鹏^[12]、邓九胜^[13]等研究结果一致。

本试验是在滨海盐碱稻区进行的,合理施磷对盐碱胁迫下水稻的生长发育及产量起到一定的促进作用,过量施用磷肥并不能有效增产,甚至影响产量的形成^[14-15]。今后应对耕地盐碱化程度进行分级,加强对不同盐碱胁迫下水稻最佳施磷量的研究。

参考文献:

- [1] 马震. 磷肥不同施用量对龟裂碱土种植水稻产量的影响试验[J]. 南方农业, 2014, 8(36): 32-34.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 李文西, 张月平, 毛伟, 等. 水稻磷肥施用效果、经济效益及推荐用量[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(10): 61-63.
- [7] 郭朝晖, 李合松, 张杨珠, 等. 磷素水平对杂交水稻生长发育和磷素运移的影响[J]. 中国水稻科学, 2002, 16(2): 151-156.
- [8] 戴高兴, 邓国富, 周萌. 水稻低磷胁迫研究进展[J]. 广西农业科学, 2006, 37(6): 671-674.
- [9] 丁效东, 张士荣, 娄金华, 等. 有机肥与磷肥配施对滨海盐渍化土壤磷素淋洗风险的影响[J]. 生态环境学报, 2016, 25(7): 1169-1173.
- [10] 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.
- [11] 郭鑫年, 孙娇, 梁锦绣, 等. 栽培方式与施磷量对水稻养分累积、分配及磷素平衡的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2017(4): 104-111.
- [12] 侯云鹏, 杨建, 孔丽丽, 等. 施磷对苏打盐碱土区水稻养分吸收、转运及分配的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2017, 39(1): 60-66.
- [13] 邓九胜, 张玮, 荣松, 等. 基于土壤有效磷水稻磷肥施用推荐体系的探讨[J]. 西北农业学报, 2011, 20(2): 81-84.
- [14] 侯立刚, 马巍, 齐春艳, 等. 磷对移栽期低温影响水稻生长发育及产量的调节效应[J]. 沈阳农业大学学报, 2012, 43(6): 731-735.
- [15] 田志杰. 盐碱胁迫下水稻磷素吸收利用转运特征的研究[D]. 长春: 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 2017.
- (责任编辑: 刘洪霞)
-
- (上接第4页)
- [11] 刘晓亮, 侯立刚, 齐春艳, 等. 苏打盐碱水田不同肥水耦合模式对“吉粳511”产量及其构成因素的影响[J]. 中国农学通报, 2017, 33(12): 7-11.
- [12] 周婵婵, 王术, 黄元财, 等. 不同水稻品种产量和品质对盐碱胁迫的响应[J]. 种子, 2017(11): 32-36.
- [13] 孙彤, 杜震宇, 张瑞珍, 等. 松嫩平原盐碱土盐碱胁迫对水稻分蘖及产量的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2006, 28(6): 597-600.
- [14] 王海鹏, 梁伟伶. 寒地覆膜水稻栽培技术初探[J]. 北方水稻, 2017(5): 28-30.
- [15] 马卉, 徐红, 殷育峰, 等. 机插秧不同株行距配置生产力对比试验简报[J]. 上海农业科技, 2014(5): 45.
- [16] 张耀明, 刘建民, 吴德明, 等. “保龙34”机插秧不同基本苗、不同密度对产量及其构成因素的影响[J]. 上海农业科技, 2009(4): 52-53.
- [17] 高扬, 刘化龙, 杨亮, 等. 插秧密度对寒地粳稻的产量及产量构成因素的影响[J]. 作物杂志, 2009(6): 64-68.
- [18] 王麒, 张小明, 卞景阳, 等. 不同插秧密度对黑龙江省第二积温带水稻产量及产量构成的影响[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(5): 60-61.
- [19] 于佩锋, 路敬文, 年月, 等. 水稻不同插秧密度对产量及精米率的影响[J]. 北方水稻, 2014, 44(4): 41-43.
- [20] 侯文平, 王成媛, 张文香, 等. 栽培方式对有机栽培水稻产量与品质的影响[J]. 东北农业科学, 2020, 45(1): 1-7.
- [21] 金峰, 王帅, 邵玺文, 等. 株行距配置对吉林省水稻产量及群体微气象因子的影响[J]. 东北农业科学, 2017, 42(5): 6-14.
- [22] 金峰, 邵玺文, 李彦利, 等. 株行距配置对吉林省水稻生长发育动态及物质生产的影响[J]. 东北农业科学, 2016, 41(5): 17-23.
- [23] 黄立华, 梁正伟, 王明明, 等. 覆膜栽培对盐碱地水稻生长的影响及节水潜力初探[J]. 华北农学报, 2012, 27(S1): 106-110.
- [24] 李斌. 册亨县水稻覆膜密度试验研究[J]. 现代农业科技, 2014(8): 34.
- (责任编辑: 刘洪霞)