

不同磷肥对冬小麦生育期动态·产量及肥效的影响

王玉霞, 李洪杰, 周晓琳, 董艳芳, 刘佰霖, 赵同凯, 李子双* (德州市农业科学研究院, 山东德州 253015)

摘要 为研究不同磷肥对德州地区冬小麦生育期动态及产量的影响,以“济麦 22”为供试小麦品种,开展此试验。选用 3 种氮磷配比磷肥进行施肥处理试验,磷肥含 N 和 P_2O_5 分别为 14%、39% (T_1), 18%、46% (T_2), 12%、40% (T_3), 所有处理磷肥、尿素 (含 N 45%)、硫酸钾 (含 K_2O 50%) 分别等量施用。结果表明, 3 个处理对生育期地上干重、根干重、返青拔节期分蘖数、灌浆期叶面积和收获期株高影响差异不显著; 对生育期全氮、全磷、全钾含量影响差异不显著; 产量 T_1 小于 T_2 , 但差异不显著; 氮、磷肥偏生产力 T_1 均最高。在德州地区含 N 和 P_2O_5 分别为 14%、39% 是较适宜的磷肥。

关键词 磷肥; 生育期动态; 产量; 济麦 22; 肥效

中图分类号 S512.1⁺1 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)22-0138-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.22.034

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID): 

Effects of Different Phosphorus Fertilizers on Growth Period Dynamics, Yield and Fertilizer Efficiency of Winter Wheat
WANG Yu-xia, LI Hong-jie, ZHOU Xiao-lin et al (Dezhou Academy of Agricultural Sciences, Dezhou, Shandong 253015)

Abstract In order to study the effects of different phosphorus fertilizers on the growth period dynamics and yield of winter wheat in Dezhou Area, the experiment was carried out with "Jimai 22" as the tested wheat variety. In this experiment, three kinds of phosphorus fertilizers with different nitrogen and phosphorus ratios were selected for fertilization treatment. The phosphorus fertilizer contained 14% N and P_2O_5 respectively 39% (T_1), 18%, 46% (T_2), 12%, 40% (T_3). Phosphate fertilizer, urea (containing N 45%) and potassium sulfate (containing K_2O 50%) were applied in the same amount in all treatments. The results showed that there was no significant difference between three treatments on aboveground dry weight and root dry weight at growth stage, tiller number at rejuvenated jointing stage, leaf area at filling stage and plant height at harvest stage. There was no significant difference in the contents of total nitrogen, total phosphorus and total potassium during the growth period. T_1 was less than T_2 in yield, but the difference was not significant. The partial productivity T_1 of nitrogen and phosphorus fertilizer was the highest. In Dezhou area, the proportion of N and P_2O_5 is 14% and 39% respectively, which is a more suitable phosphorus fertilizer.

Key words Phosphate fertilizer; Growth period dynamics; Output; Jimai 22; Fertilizer effect

在我国,小麦是仅次于水稻的第二大粮食作物,是北方的主要粮食作物类型,保障冬小麦产量对我国粮食安全具有举足轻重的作用^[1]。国内外关于肥料与作物产量等相关因素的研究较多。施用氮肥是调控小麦氮素营养的有效手段,增施氮肥提高了花后碳、氮物质积累与运转^[2],磷肥对于促进植物的生长发育和新陈代谢起着非常重要的作用^[3]。由氮磷肥带来的一系列问题,随径流或向下淋洗流失,造成面源污染^[4-7]。高产麦田氮肥投入量居高不下,反而导致小麦产量下降,氮肥利用率很低^[8-9];磷素有效性受作物种类^[10-12]、土壤性质^[13-14]、磷肥种类和用量^[15-17]等因素制约。据统计年鉴,德州市 2020 年纯施氮肥、钾肥、磷肥分别为 135 402、37 272、21 246 t。2020 年德州小麦播种面积 5.45×10⁶ hm²,总产量 372.39 万 t,单产达 6.83 t/hm²。在确保产量的同时,需要施用合理量的磷肥,笔者以“济麦 22”为供试小麦品种,选用 3 种不同氮磷配比的磷肥,对冬小麦的生育群体结构、产量和肥效进行综合评价,确定适宜的磷肥类型,以期期为打造德州市“吨半粮”提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况 试验地点为德州市农业科学研究院科技园区,于 2020—2021 年进行。供试土壤为潮土,质地为砂质壤土。前茬种植作物为夏玉米,夏玉米收获后秸秆粉碎全部还田,播前土壤基本理化性状:全氮 0.70 g/kg,有效磷 29.04 mg/kg,速效钾 210.91 mg/kg,有效锌 5.17 mg/kg,有效硫 32.11 mg/kg,全盐 0.05%,pH 9.53。

1.2 试验材料 供试小麦品种为“济麦 22”,播种量为 225 g/小区 (150 kg/hm²),每个小区种植 30 行,行间距 16 cm;供试肥料为磷肥、尿素、硫酸钾,均为市场普通肥料。

1.3 试验设计 试验设置 3 个处理,各处理 N、 P_2O_5 、 K_2O 施用量见表 1,3 次重复,随机排列,小区面积 50 m² (5.0 m×10.0 m),小区间留有 1 m 保护行。全部基肥进行撒施,小麦返青拔节期追肥统一使用尿素进行条施。

1.4 调查项目与方法 于重点生育期取 0.5 m 单行小样 3 个点进行相关植株指标的测量:分蘖期地上干重、根干重;返青拔节期分蘖数、地上重、根干重;挑旗期地上重、根干重;灌浆期叶面积、地上重、根干重;收获期 1 hm² 穗数、株高、地上干重、千粒重、产量。植株在烘箱内 110 ℃ 杀青 1 h 后 80 ℃ 烘干至恒重,冷却至室温后称重,粉碎后测定全氮、全磷和全钾含量。

收获期分别测定所有小区籽粒干重、含水量和秸秆干重,测定籽粒的全氮、全磷、全钾含量。植株全氮含量采用凯氏定氮法测定,全磷含量采用 $H_2SO_4-H_2O_2$ 法消煮和钒钼黄比色法测定,全钾含量采用火焰光度计法测定^[18]。

偏生产力=施肥区产量/施肥量

基金项目 国家自然科学基金项目“麦玉两熟体系作物秸秆钾转化特征与钾素补偿机制”(41877100);山东省重大科技创新工程项目“小麦-玉米周年水肥精准调控关键技术研发与集成示范”(2019JZZY010716);德州市市级研发计划项目“德州农田土壤改良机理与新技术研究”;德州市市级研发计划项目“德州小麦玉米农药化肥减施增效技术研究与应用”。

作者简介 王玉霞 (1990—),女,山东平邑人,农艺师,硕士,从事农业资源与环境 and 草业研究。* 通信作者,正高级农艺师,硕士,从事土壤与植物营养研究。

收稿日期 2022-01-04

经济系数=籽粒重量/(籽粒重量+秸秆重量)

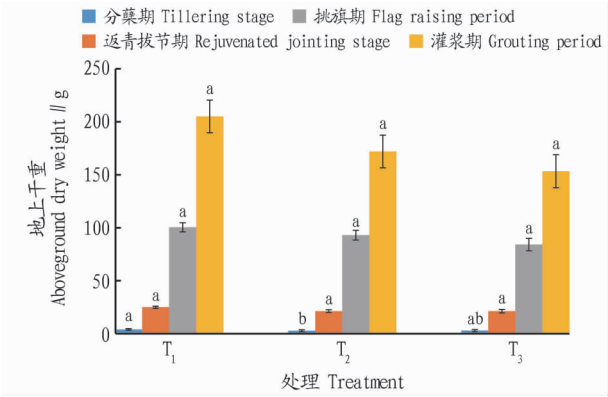
表 1 小麦肥效试验设计
Table 1 Fertilizer efficiency test design of wheat

处理 Treatment	养分施用量 Nutrient application rate//kg/hm ²			基肥施肥量 Fertilization amount of base fertilizer//kg/hm ²			追肥施肥 量(尿素) Topdressing amount kg/hm ²	各肥料养分含量 Nutrient content of each fertilizer
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	磷肥	尿素	硫酸钾		
T ₁	228	234	75	600	75	150	245	磷肥含 N 14%、P ₂ O ₅ 39%； 尿素含 N 45%；硫酸钾含 K ₂ O 50%
T ₂	252	276	75	600	75	150	245	磷肥含 N 18%、P ₂ O ₅ 46%； 尿素含 N 45%；硫酸钾含 K ₂ O 50%
T ₃	216	240	75	600	75	150	245	磷肥含 N 12%、P ₂ O ₅ 40%； 尿素含 N 45%；硫酸钾含 K ₂ O 50%

1.5 数据分析 利用 Excel 软件进行数据统计及基本计算，利用 SPSS 软件进行重复间的显著性比较。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对小麦不同生育期生理指标的影响 由图 1 可知,小麦地上干重在分蘖期、返青拔节期、挑旗期、灌浆期呈递增趋势,地上干重 T₁ 和 T₂ 在分蘖期存在显著差异,其余时期不同处理间差异均不显著。



注:不同小写字母表示同一生育期不同施肥方式间差异显著 ($P<0.05$)
Note: Different small letters indicate that there are significant difference between different fertilization methods in the same growth period ($P<0.05$)

图 1 不同施肥处理对小麦不同生育期地上干重的影响
Fig.1 Effects of different fertilization treatments on aboveground dry weight of wheat at different growth stages

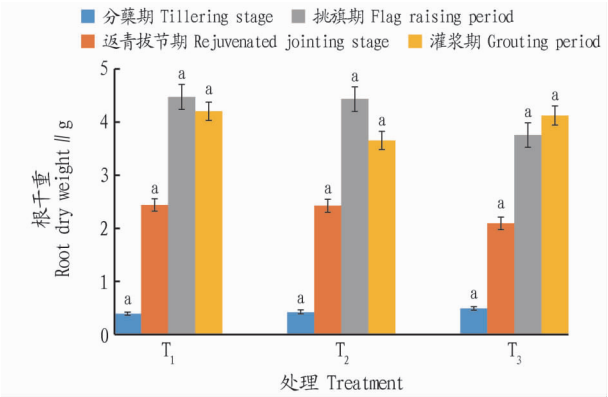
由图 2 可知,小麦根干重在分蘖期、返青拔节期、挑旗期呈递增趋势,在灌浆期 T₁ 和 T₂ 出现降低,而 T₃ 仍递增。根干重在各时期不同处理间差异均不显著。

由表 2 可知,不同处理下返青拔节期分蘖数表现为 T₁>T₂>T₃,灌浆期叶面积表现为 T₃>T₁>T₂,收获期株高表现为 T₂>T₁>T₃,各处理间差异均不显著。

2.2 不同施肥处理对小麦不同生育期养分含量的影响 由图 3、4 可知,植株全氮、全磷含量随返青拔节期、挑旗期、灌浆期、收获期均呈递减趋势,各生育期不同处理间差异均不显著。

2.3 不同施肥处理对小麦产量及相关指标的影响 由表 3 可知,不同处理对穗数、千粒重的影响,分别表现为 T₂>T₃>

T₁、T₃>T₁>T₂,穗数各处理间差异不显著,千粒重 T₃ 和 T₂ 间差异显著。



注:不同小写字母表示同一生育期不同施肥方式间差异显著 ($P<0.05$)
Note: Different small letters indicate that there are significant differences between different fertilization methods in the same growth period ($P<0.05$)

图 2 不同施肥处理对小麦不同生育期根干重的影响
Fig.2 Effects of different fertilization treatments on root dry weight of wheat at different growth stages

表 2 不同施肥处理对小麦不同生育期生理指标的影响
Table 2 Effects of different fertilization treatments on physiological indexes of wheat at different growth stages

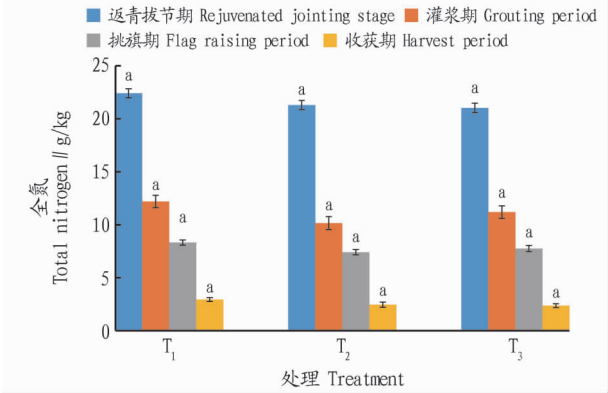
处理 Treatment	返青拔节 期分蘖数 Tiller number at turning green and jointing stage 万/hm ²	灌浆期叶面积 Leaf area at filling stage cm ²	收获期株高 Plant height at harvest cm
T ₁	2 175 a	133.91 a	71.39 a
T ₂	2 085 a	117.86 a	72.03 a
T ₃	1 980 a	134.75 a	70.85 a

注:同列不同小写字母表示不同施肥方式间差异显著 ($P<0.05$)
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference between different fertilization methods in the same column ($P<0.05$)

对籽粒产量、秸秆产量、地上部生物量和经济系数的影响分别为 T₂>T₁>T₃, T₁>T₂>T₃, T₁>T₂>T₃, T₂>T₁>T₃。籽粒产量中 T₃ 与其他处理均呈显著差异,秸秆产量、地上部生物量和经济系数各处理间无显著差异。

由图 5 可知,全钾含量随返青拔节期、挑旗期、灌浆期、收获期均呈先减后增趋势,各生育期不同处理间差异均不显著。

2.4 不同施肥处理对小麦养分吸收的影响 从表 4 可以看出,地上部吸氮量、氮肥偏生产力 T_1 最高,籽粒吸氮量 T_1 、 T_2 与 T_3 间存在显著差异,秸秆吸氮量、地上部吸氮量各处理间差异不显著,氮肥偏生产力 T_1 与 T_3 间差异显著。

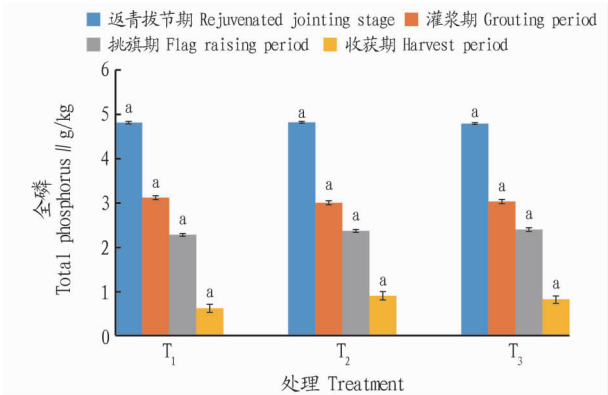


注:不同小写字母表示同一生育期不同施肥方式间差异显著 ($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters indicate significant difference between different fertilization methods ($P<0.05$)

图 3 不同施肥处理对小麦不同生育期全氮含量的影响

Fig.3 Effects of different fertilization treatments on total nitrogen content of wheat at different growth stages

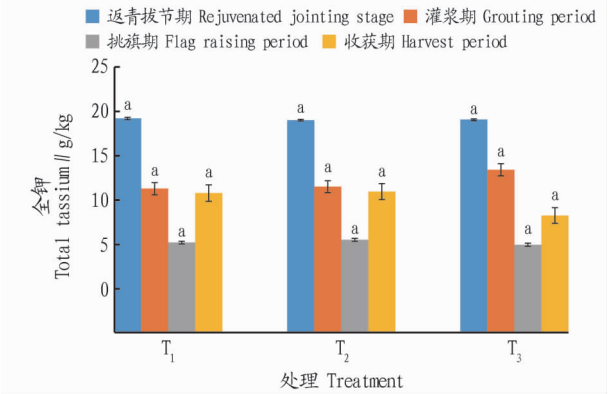


注:不同小写字母表示同一生育期不同施肥方式间差异显著 ($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters indicate significant difference between different fertilization methods ($P<0.05$)

图 4 不同施肥处理对小麦不同生育期全磷含量的影响

Fig.4 Effects of different fertilization treatments on total phosphorus content of wheat at different growth stages



注:不同小写字母表示同一生育期不同施肥方式间差异显著 ($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters indicate significant difference between different fertilization methods ($P<0.05$)

图 5 不同施肥处理对小麦不同生育期全钾含量的影响

Fig.5 Effects of different fertilization treatments on total potassium content of wheat at different growth stages

从表 5 可以看出,磷肥偏生产力 T_1 最高,籽粒吸磷量 T_2 与 T_3 间存在显著差异,秸秆吸磷量各处理间差异不显著, T_3 地上部吸磷量与其他处理间差异显著,磷肥偏生产力 T_1 与 T_2 、 T_3 间差异显著。

从表 6 可以看出,地上部吸钾量、钾肥偏生产力 T_1 和 T_2 较高,籽粒吸钾量、秸秆吸钾量和地上部吸钾量各处理间差异不显著;钾肥偏生产力 T_1 、 T_2 与 T_3 间差异显著。

3 结论与讨论

周星等^[19]研究表明,与常规施肥相比,不同树脂包衣对小麦生育期干重、分蘖数、产量等产生不同影响;配方肥配施锌和硫肥降低了小麦株高,提高了小麦的抗倒伏指数^[20]。不同种肥混播对小麦茎秆和籽粒的氮含量、氮累积量、有效穗数、成穗率及产量有影响^[21];在土壤基础地力中上地区,磷肥用量过高或过低均不利于小麦生长, P_2O_5 用量为 103.5 kg/hm^2 时小麦产量最高^[22]。该研究与白冬等^[2]的研究结果部分一致,而对生育期的地上、地下干重表现较少探讨,该研究氮磷配比不同磷肥处理对生育期地上干重和根干重影响差异不显著,还需要设置开花期取样;产量上 T_1 小于 T_2 ,但差异不显著。

华北麦区实现小麦高产的施磷量为 71.6 kg/hm^2 ^[23]。氮磷比 1:1 有利于小麦植株的氮素吸收、积累和运转^[2],氮磷肥可以显著改变陇中旱作春小麦农田土壤和植株体内的 C、N、P 含量及其生态化学计量比^[24]。配方肥配施锌和硫肥提高

表 3 不同处理下小麦产量 Table 3 Wheat yield under different treatments						
处理 Treatment	穗数 Ears per mu 万穗/hm ²	千粒重 1 000-grain weight//g	籽粒产量 Grain yield kg/hm ²	秸秆产量 Straw yield kg/hm ²	地上部生物量 Aboveground biomass//kg/hm ²	经济系数 Economic coefficient
T ₁	270 a	47.75 ab	7 825.65 a	10 643.70 a	18 469.35 a	0.423 6 a
T ₂	300 a	45.20 b	7 852.95 a	9 433.80 a	17 286.75 a	0.455 2 a
T ₃	285 a	48.60 a	6 453.60 b	8 862.45 a	15 316.05 a	0.421 5 a

注:同列不同小写字母表示不同施肥方式间差异显著 ($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference between different fertilization methods ($P<0.05$)

表 4 不同施肥处理下小麦氮素吸收量
Table 4 Nitrogen uptake of wheat under different fertilization treatments

处理 Treatment	籽粒吸氮量 Grain nitrogen uptake//kg/hm ²	秸秆吸氮量 Nitrogen uptake by straw//kg/hm ²	地上部吸氮量 Aboveground nitrogen uptake//kg/hm ²	氮肥偏生产力 Partial productivity of nitrogen fertilizer//kg/kg
T ₁	111.60 a	32.30 a	143.90 a	34.30 a
T ₂	110.61 a	23.49 a	134.11 a	31.15 ab
T ₃	82.38 b	21.10 a	103.48 a	29.86 b

注:同列不同小写字母表示不同施肥方式间差异显著($P<0.05$)
Note:Different lowercase letters in the same column indicate significant difference between different fertilization methods ($P<0.05$)

表 5 不同施肥处理下小麦磷素吸收量
Table 5 Phosphorus uptake by wheat under different fertilization treatments

处理 Treatment	籽粒吸磷量 Grain phosphorus uptake kg/hm ²	秸秆吸磷量 Phosphorus uptake by straw kg/hm ²	地上部吸磷量 Aboveground phosphorus uptake kg/hm ²	磷肥偏生产力 Partial productivity of phosphorus fertilizer//kg/kg
T ₁	29.13 ab	6.57 a	35.70 a	33.44 a
T ₂	30.78 a	8.54 a	39.33 a	28.45 b
T ₃	26.08 b	7.24 a	33.32 b	26.89 b

注:同列不同小写字母表示不同施肥方式间差异显著($P<0.05$)
Note:Different lowercase letters in the same column indicate significant difference between different fertilization methods ($P<0.05$)

表 6 不同施肥处理下小麦钾素吸收量
Table 6 Potassium uptake of wheat under different fertilization treatments

处理 Treatment	籽粒吸钾量 Grain potassium uptake//kg/hm ²	秸秆吸钾量 Potassium uptake by straw kg/hm ²	地上部吸钾量 Aboveground potassium uptake kg/hm ²	钾肥偏生产力 Partial productivity of potassium fertilizer//kg/kg
T ₁	25.17 a	139.99 a	165.17 a	104.34 a
T ₂	18.31 a	125.56 a	143.87 a	104.71 a
T ₃	16.75 a	97.52 a	114.27 a	86.05 b

注:同列不同小写字母表示不同施肥方式间差异显著($P<0.05$)
Note:Different lowercase letters in the same column indicate significant difference between different fertilization methods ($P<0.05$)

了小麦氮、磷、钾肥偏生产力,平均增幅达 9.6%、92.6%、54.1%^[19]。该研究表明,氮磷配比不同磷肥处理对生育期全氮、全磷、全钾含量影响差异不显著,也需要在后续试验中开花期取样;氮、磷肥偏生产力 T₁ 均最高。

综上,以“济麦 22”为供试小麦品种,在德州地区含 N 和 P₂O₅ 分别占比为 14%、39%是较适宜的磷肥。

参考文献

[1] 于淑芳,杨力,张民,等.控释肥对小麦玉米生物学性状和土壤硝酸盐积累的影响[J].农业环境科学学报,2010,29(1):128-133.
[2] 白冬,金艳,宋佳静,等.氮磷配施对小麦植株氮素利用率的影响[J].农业科技通讯,2020(12):48-51.
[3] 顾惠敏,陈波浪,王庆惠.施磷对不同质地棉田土壤磷素有效性及磷肥利用率的影响[J].中国土壤与肥料,2019(3):100-108.
[4] 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.
[5] 徐国伟,谈桂露,王志琴,等.秸秆还田与实地氮肥管理对直播水稻产量、品质及氮肥利用的影响[J].中国农业科学,2009,42(8):2736-2746.
[6] 郭九信,孔亚丽,谢凯柳,等.养分管理对直播稻产量和氮肥利用率的影响[J].作物学报,2016,42(7):1016-1025.
[7] 汪玉,赵旭,王磊,等.太湖流域稻麦轮作农田磷素累积现状及其环境风险与控制对策[J].农业环境科学学报,2014,33(5):829-835.
[8] 徐静,张锡洲,李廷轩,等.野生大麦对土壤磷吸收及其酸性磷酸酶活性的基因型差异[J].草业学报,2015,24(1):88-98.
[9] 张锡洲,阳显斌,李廷轩,等.不同磷效率小麦对磷的吸收及根际土壤磷组分特征差异[J].中国农业科学,2012,45(15):3083-3092.
[10] 吕晓梅.土壤-植物系统中磷素生物有效性的研究[J].现代农业,2015

(11):28-29.
[11] 李会军,胡雨彤,刘美君,等.羊草生长和光合生理特性对不同施磷强度的响应[J].草业科学,2021,38(10):2041-2049.
[12] 单立文,张强,朱瑞芬,等.氮、磷添加下 AMF 对羊草和苜蓿生长与光合生理特性的影响[J].草业学报,2020,29(8):46-57.
[13] 王雅洁,张兵兵,袁盼,等.黄棕壤和酸紫砂土施用不同磷肥对油菜产量的影响[J].中国油料作物学报,2022,44(1):147-157.
[14] 黄玉芳,张辉,张立花,等.施磷量对高磷土壤小麦磷素吸收和土壤磷平衡的影响[J].麦类作物学报,2022,42(2):211-219.
[15] 彭涛涛,边少锋,张丽华,等.高磷土壤不同施磷量对玉米生长发育及产量的影响[J].吉林农业科学,2015,40(1):41-44,50.
[16] 耿玉辉,曹国军,叶青,等.磷肥不同施用方式对土壤速效磷及春玉米磷素吸收和产量的影响[J].华南农业大学学报,2013,34(4):470-474.
[17] 庄远红,吴一群,李延,等.不同种类磷肥施用对蔬菜地磷素淋失的影响研究[J].漳州师范学院学报(自然科学版),2009,22(1):97-100.
[18] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
[19] 周星,王振,王升.树脂包衣肥料在小麦上的肥效试验[J].浙江农业科学,2022,63(3):456-459.
[20] 袁嫚嫚,韦翠珍,郭刚,等.配方肥对小麦产量·肥料利用率和抗倒伏性的影响[J].安徽农业科学,2021,49(18):161-163,167.
[21] 李子双,李洪杰,周晓琳,等.种肥混播对冬小麦产量及氮肥利用率的影响[J].山东农业科学,2020,52(11):56-59.
[22] 王静静,孙善国,张鹏,等.磷肥用量对苏北小麦产量及其构成因子的影响[J].浙江农业科学,2021,62(7):1307-1308,1311.
[23] 李顺晋,安雨丽,崔玉涛,等.中国小麦生产的磷肥用量优化潜力及其对产量、籽粒营养和环境效应的影响[J].浙江农业学报,2021,33(8):1358-1366.
[24] 王雅芝.氮磷肥对陇中旱作土壤-植物生态化学计量特征的影响[D].兰州:甘肃农业大学,2021.