

锌肥和石灰对双季稻产量及土壤肥力特性的影响

郭 荟, 马国柱, 屠乃美*, 方畅宇, 杨宁俊, 陈 威, 邹 燕, 易镇邪

(湖南农业大学农学院, 长沙 410128)

摘 要:为探究锌肥和石灰对双季稻产量及土壤养分特性的影响, 提出适合当地土壤和水稻种植条件的最佳施肥模式, 本研究在南方典型双季稻种植区, 设不施氮(PK)、无机肥(NPK)、无机肥+锌肥(NPK+Zn)、无机肥+石灰(NPK+CaO)四种施肥处理。测定了水稻土壤有效锌、碱解氮、有效磷、pH、植株产量、氮素农学利用率等指标。结果表明:(1)NPK+Zn处理提高了双季稻实际产量, 2017年早晚季提升幅度分别为10.3%~56.9%、7.6%~41.7%。2018年早晚季提升幅度分别为17.6%~104.2%、8.5%~45.2%。而连年施用石灰则不利于双季稻产量提高, 2018年NPK+CaO处理较NPK处理水稻有效穗显著下降, 早晚季分别减产2.9%、9.2%。(2)NPK+Zn处理有效提高了土壤中速效养分含量, 其中, 有效磷含量比NPK处理早晚稻分别提高了29.2%和33.3%, 有效锌含量较NPK处理显著提升了25.5%。NPK+CaO处理虽能显著提高土壤pH值, 但土壤中有效锌含量较NPK处理显著下降了51.8%。(3)NPK+Zn相比NPK和NPK+CaO处理双季稻氮素农学利用率显著提高了57.3%和67.1%。NPK和NPK+CaO处理间无显著差异。综上所述, 连年施用石灰显著降低了土壤中有效锌含量, 不利于水稻增产。缺锌土壤中施锌不仅能提高土壤速效养分含量和水稻氮素农学利用率, 还可使水稻高产、稳产, 锌肥+无机化肥为当地最佳施肥模式。

关键词: 锌肥; 石灰; 双季稻; 产量; 有效锌

中图分类号: S158.1

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2022)06-0034-05

Effects of Zinc Fertilizer and Lime on Yield and Soil Fertility Characteristics of Double-Season Rice

GUO Hui, MA Guozhu, TU Naimei*, FANG Changyu, YANG Ningjun, CHEN Wei, ZOU Yan, YI Zhenxie

(College of Agronomy of Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: In order to investigate the effects of zinc fertilizer and lime on the yield and soil nutrient characteristics of double cropping rice, and to propose the best fertilization mode suitable for local soil and rice planting conditions, four fertilization treatments were applied in typical double cropping rice areas in south China: no nitrogen (PK), inorganic fertilizer (NPK), inorganic fertilizer + zinc fertilizer (NPK+Zn), and inorganic fertilizer+lime (NPK+CaO). The indexes of available zinc, alkali-hydrolyzable nitrogen, available phosphorus, pH, yield and nitrogen agronomic efficiency were determined. The results showed as follows: Application of zinc fertilizer (NPK+Zn) increased the actual yield of double cropping rice by 10.3%–56.9% and 7.6%–41.7% in the early and late seasons in 2017, respectively. In 2018, the growth rates in the morning and evening quarters were 17.6%–104.2% and 8.5%–45.2% respectively. NPK+Zn treatment effectively increased the content of soil available nutrients, in which, the content of available phosphorus was 29.2% and 33.3% higher than that of NPK treatment, and the content of available zinc was 25.5% higher than that of NPK treatment, respectively. Compared with NPK and NPK+CaO, NPK+Zn significantly increased the nitrogen agronomic efficiency by 57.3% and 67.1%. In conclusion, applying lime in successive years significantly reduced the available zinc content in soil and was not conducive to rice yield increase. In zn-deficient soil, zinc application could not only improve soil available nutrient content and agronomic utilization rate of rice nitrogen, but also make rice yield higher and stable. The application of zinc fertilizer + inorganic fertilizer was the best fertilization mode.

Key words: Zinc fertilizer; Lime; Double-season rice; Yield; Effective zinc

收稿日期: 2020-11-27

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201503123)

作者简介: 郭 荟(1996-), 女, 在读硕士, 主要从事作物高产高效栽培理论与技术研究。

通讯作者: 屠乃美, 男, 博士, 教授, E-mail: tnm505@163.com

近年来,为追求高产稳产,盲目施用无机化肥,忽视了中、微肥施用的重要性。加之高产品种、多熟制的推广,很大程度上使得土壤中、微量元素缺乏,养分供给失去平衡,给粮食优质增产增收带来不容忽视的影响。

水稻是典型的喜锌作物。研究表明,配施锌肥会影响催化光合作用过程中碳酸酐酶活性,进而影响叶绿素形成^[1]。另外锌肥有利于次生根的发生和根系的良好发育,增加水稻土壤有效锌含量和各器官锌含量的同时,还可调节氮代谢生理功能,有利于植株吸收土壤中养分^[2-4]。但目前我国土壤缺锌状况日趋严重,缺锌土壤面积达4866.7万hm²,大约占耕地面积的40%^[5]。锌肥通过土壤施用、叶面喷施和种子处理在水稻上的平均增产率分别为15.0%、9.8%和9.7%^[6]。但也有研究表明,施锌只增加了籽粒锌的富集,对水稻产量的增加不显著^[7],主要是因为土壤缺锌程度决定了施用锌肥后增产效果。石灰可以改善土壤理化性质,提高土壤团聚体平均重量、水稳性团聚体数量和总孔隙度^[8],提升酸性水稻土壤pH,从而使水稻增产^[9]。也有研究表明,酸化程度较轻的水稻土,添加石灰后伤害了水稻根系,且造成了土壤板结等问题,影响水稻生长,降低了水稻产量和生物量^[10]。土壤pH与土壤有效锌关系密切,高pH会增加土壤对锌的吸附和固定,降低土壤中有效锌含量^[11]。土壤pH高低影响土壤有效锌含量,高pH会降低土壤中Zn²⁺浓度,每当土壤pH增加一个单位时,锌的溶解度就下降100倍。且Zn和Ca间还存在明显的拮抗作用^[12]。

本研究以湖南浏阳地区典型双季稻红壤土为

测试土壤,开展施用无机肥、石灰和锌肥对水稻产量和土壤养分含量的影响研究,比较不同肥料间的产量、土壤培肥效应,为本地区肥料合理施用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于2017~2018年3~11月在浏阳市河东农场进行。供试土壤为红壤,基本理化性质为pH值6.1,有机质24.4 g/kg,全氮(N)1.15 g/kg,全磷(P)0.61 g/kg,碱解氮149.0 mg/kg,有效磷36.5 mg/kg,速效钾132.6 mg/kg,有效锌0.75 mg/kg。供试早稻品种:中早39。供试晚稻品种:泰优390。供试肥料:氮肥为尿素(N:46%),磷肥为过磷酸钙(P₂O₅:12%),钾肥为氯化钾(K₂O:60%)。锌肥为硫酸锌(纯锌含量:20.5%),石灰(主要成分为CaO)。

1.2 试验设计

试验采用随机区组设计,设置4个施肥处理(PK、NPK、NPK+Zn、NPK+CaO),3次重复。小区面积为128.25 m²(9.5 m×13.5 m),每个试验小区筑田埂(宽20 cm,高30 cm),并用塑料薄膜包裹,防止小区串水串肥。

双季早稻试验于4月6日播种,4月28日机插;双季晚稻试验于6月23日播种,7月16日机插。移栽株行距为早稻:14 cm×21 cm;晚稻:17 cm×25 cm。各处理氮肥按5:3:2分基肥、分蘖肥和穗肥3次施用。钾肥按基肥:分蘖肥=5:5,分2次施用。锌肥、磷肥和石灰作为基肥一次性施入。病虫害等其他田间管理参照一般大田。具体施肥方案见表1。

表1 试验肥料用量

kg/hm²

处理	基肥					分蘖肥		穗肥
	尿素	过磷酸钙	氯化钾	硫酸锌	石灰	尿素	氯化钾	尿素
PK	—	626	126	—	—	—	126	—
NPK	163	626	126	—	—	98	126	65
NPK+ZnSO ₄	163	626	126	30	—	98	126	65
NPK+CaO	163	626	126	—	1500	98	126	65

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤养分含量

于水稻生长的5个关键时期(最高分蘖期、孕穗期、齐穗期、乳熟期和成熟期),在各小区采用五点取样法取深度为20 cm土样,3次重复。测定土壤碱解氮、有效磷、有效锌含量;有效锌采用DTPA-TEA浸提-AAS法,碱解氮采用碱解扩散法,有效磷采用HCl-H₂SO₄法测定^[13]。

1.3.2 水稻产量构成

成熟期每处理分别调查连续20茼的有效穗数,3次重复,计算单穴有效穗数,每小区按平均有效穗数五点取样法各取5茼,带回实验室考察每穗粒数、结实率和千粒重。每小区分别取5 m²植株样,人工脱粒,测定实际籽粒产量,3次重复。

1.3.3 氮素农学利用率

氮素农学利用率(kg/kg)=(施氮区籽粒产量-

无氮区籽粒产量)/施氮量^[14]。

1.4 数据处理

采用 Excel 2016、SPSS 20.0 软件进行数据整理统计和分析,采用 Duncan 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对双季稻产量及其构成的影响

由表 2 可知,NPK+Zn 处理显著提高了两年的

早晚稻实际产量。其中,2017 年 NPK+Zn 处理早稻实际产量较其他处理提升了 10.3%~56.9%,晚稻提升了 7.6%~41.7%。2018 年 NPK+Zn 处理早晚稻实际产量较其他处理提升幅度分别为 17.6%~104.2%、8.5%~45.2%。另外,NPK+CaO 处理在 2017 年早晚稻实际产量均显著高于 PK 处理。从产量构成因素来看,NPK+Zn 处理显著提高了植株的有效穗数和结实率。

表 2 不同施肥处理对水稻产量及产量构成的影响

年份	处理	PK	NPK	NPK+Zn	NPK+CaO
2017	有效穗数(×10 ⁴ /hm ²)	290c	366ab	377a	375a
	穗粒数	81b	101a	97a	97a
	早稻				
	结实率(%)	52.6b	51.0c	61.1a	52.3b
	千粒重(g)	24.72a	23.92b	24.62ab	24.79a
	理论产量(kg/hm ²)	3065d	4506c	5496a	4731bc
	实际产量(kg/hm ²)	3282c	4560b	5151a	4671b
	有效穗数(×10 ⁴ /hm ²)	285c	332b	332b	341ab
	穗粒数	104c	110a	114a	108b
	晚稻				
2018	结实率(%)	71.6c	72.6b	76.1a	72.1b
	千粒重(g)	23.33c	24.41b	24.63a	24.21d
	理论产量(kg/hm ²)	4952c	6462b	7083a	6419b
	实际产量(kg/hm ²)	4971c	6539b	7046a	6551b
	有效穗数(×10 ⁴ /hm ²)	245d	353ab	369a	342c
	穗粒数	93c	105a	105a	97ab
	早稻				
	结实率(%)	59.7c	60.6c	66.8a	65.2ab
	千粒重(g)	24.25c	24.59a	25.08a	24.58b
	理论产量(kg/hm ²)	3299c	5516b	6461a	5316b
2018	实际产量(kg/hm ²)	3167c	5499b	6468a	5339b
	有效穗数(×10 ⁴ /hm ²)	236d	302b	317a	288c
	穗粒数	108c	113b	120a	115b
	晚稻				
	结实率(%)	82.4a	79.1b	76.4c	71.9d
	千粒重(g)	23.99c	24.10b	24.44a	24.20b
	理论产量(kg/hm ²)	5028d	6495b	7092a	5763c
	实际产量(kg/hm ²)	4839d	6473b	7025a	5876c

注:同行不同小写字母表示不同处理间差异显著(P<0.05),下同

2.2 不同施肥处理对土壤速效养分含量的影响

2.2.1 不同施肥处理对土壤碱解氮含量的影响

从表 3 可以看出,除 2017 年早稻齐穗期和 2018 年早稻分蘖盛期外,NPK+Zn 处理土壤碱解氮含量在生育前期均最高。NPK+Zn 处理较 NPK 处理显著提高了 2017 和 2018 年早稻成熟期碱解氮含量,而晚稻成熟期差异均不显著;NPK+Zn 处理较 NPK+CaO 处理,除 2017 年早稻孕穗期和 2018 年早稻分蘖盛期和晚稻乳熟期外,其他时期均为 NPK+Zn 处理显著高于 NPK+CaO 处理;NPK 处理较 NPK+CaO 处理,早稻(2017、2018 年)成熟

期土壤碱解氮含量差异不显著,但晚稻(2017、2018 年)NPK 处理显著高于 NPK+CaO 处理。

2.2.2 不同施肥处理对土壤有效磷含量的影响

由表 4 可知,两年四季的成熟期土壤有效磷含量,除 2017 年晚稻成熟期外,其余三个成熟期均为 NPK+Zn 和 NPK+CaO 处理的土壤有效磷含量显著高于 NPK 处理;NPK+Zn 处理的土壤有效磷含量较 NPK 处理在 2017~2018 年早稻成熟期平均提高了 29.2%,在 2017~2018 年晚稻成熟期平均提高了 33.3%。

2.2.3 不同施肥处理对土壤有效锌含量的影响

土壤中有效锌含量表现出 NPK+Zn>NPK>PK>

表 3 不同施肥处理对土壤碱解氮含量的影响

mg/kg

年份	处理	早稻					晚稻				
		分蘖盛期	孕穗期	齐穗期	乳熟期	成熟期	分蘖盛期	孕穗期	齐穗期	乳熟期	成熟期
2017	PK	138.2b	134.9a	148.0d	—	128.5c	144.2c	126.8c	142.6c	—	144.9c
	NPK	150.5a	135.5a	171.9a	—	135.3b	170.8b	134.9b	165.5a	—	160.8a
	NPK+Zn	158.8a	138.3a	162.7b	—	144.8a	204.7a	141.2a	167.0a	—	161.0a
	NPK+CaO	135.5b	138.2a	156.7c	—	140.6ab	169.3b	130.4b	162.8ab	—	150.3b
2018	PK	131.5c	129.9b	128.3c	127.8c	131.1c	114.6c	111.1c	107.4c	98.7c	90.3c
	NPK	148.6a	136.7a	133.9b	133.8b	144.9b	152.4a	126.2a	127.6a	129.1a	129.0a
	NPK+Zn	142.9b	138.8a	139.0a	139.2a	161.2a	156.9a	125.8a	128.4a	124.0b	132.4a
	NPK+CaO	139.4b	132.9b	129.1bc	132.9b	147.6b	132.2b	119.0b	120.2b	124.0b	119.3b

表 4 不同施肥处理对土壤有效磷含量的影响

mg/kg

年份	处理	早稻					晚稻				
		分蘖盛期	孕穗期	齐穗期	乳熟期	成熟期	分蘖盛期	孕穗期	齐穗期	乳熟期	成熟期
2017	PK	59.4a	40.2a	43.3a	—	39.5a	41.1a	32.6a	45.7a	—	39.1a
	NPK	44.9b	35.3b	33.0b	—	25.5c	30.0b	21.16c	26.4c	—	26.2bc
	NPK+Zn	46.0b	33.0b	28.4b	—	33.4b	27.2b	18.48d	33.0b	—	31.6b
	NPK+CaO	38.4c	35.7b	31.5b	—	31.0b	26.8b	24.17b	24.4c	—	23.3d
2018	PK	31.9a	22.4a	31.3a	27.6a	24.0a	20.1a	20.3a	23.0a	27.6a	26.4a
	NPK	25.8b	18.4ab	20.3b	16.4bc	12.8c	17.4b	19.9a	20.7b	16.8c	13.7c
	NPK+Zn	20.3c	17.3b	20.5b	18.1b	16.3b	16.3b	20.3a	20.3b	20.1b	20.0b
	NPK+CaO	17.7c	13.5c	18.9b	14.6d	17.7b	15.9b	21.5a	22.2a	20.7b	19.7b

NPK+CaO 的规律(图 1),且 NPK+Zn 处理土壤中有有效锌含量最高;较 NPK 处理,NPK+Zn 处理在两年四季的土壤有效锌含量平均提升了 25.5%,均达显著水平。而 NPK+CaO 处理最低,相比 NPK 处理,两年四季的土壤有效锌含量平均下降了 51.8%,且均达显著水平。由此看出,施用锌肥能够显著提高土壤中有有效锌含量,而施用石灰则相反。

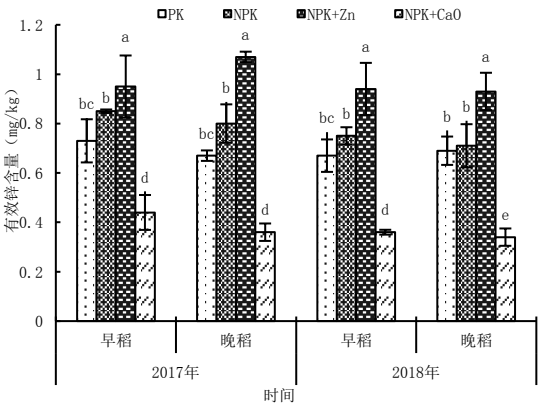


图 1 不同施肥处理对土壤有效锌含量的影响

2.3 不同施肥处理对土壤 pH 值的影响

由表 5 可知,与其他处理相比,NPK+CaO 处理显著提高了土壤 pH 值。较 NPK 处理,NPK+CaO 处理在两年四季的 pH 值平均提高了 6.4%;较 NPK+Zn 处理,NPK+CaO 处理在两年四季的 pH 值平均提高

表 5 不同施肥模式对双季稻土壤 pH 值的影响

年份	季别	PK	NPK	NPK+Zn	NPK+CaO
2017	早稻	6.25b	6.11c	6.13c	6.41a
	晚稻	6.27b	6.09c	6.14c	6.47a
2018	早稻	6.34b	6.14c	6.17c	6.61a
	晚稻	6.30b	6.13c	6.17c	6.55a

了 5.8%。而 NPK 和 NPK+Zn 处理间两年四季的土壤 pH 值差异不显著,但均显著低于 PK 处理。

2.4 不同施肥处理对水稻氮素农学利用率的影响

由表 6 可知,施用锌肥的 NPK+Zn 处理相比 NPK 和 NPK+CaO 处理提高了双季稻氮素农学利用率,两年四季平均提高了 57.3% 和 67.1%,差异显著。NPK+CaO 处理除 2018 年晚稻季显著低于 NPK 处理外,其余季别均差异不显著。

表 6 不同施肥处理对水稻氮素农学利用率的影响

kg/kg

年份	季别	NPK	NPK+Zn	NPK+CaO
2017	早稻	8.52±0.4b	12.46±0.7a	9.26±0.2b
	晚稻	10.45±0.3b	13.83±0.6a	10.53±0.4b
2018	早稻	10.15±0.5b	22.01±0.9a	11.48±0.5b
	晚稻	10.89±0.7b	14.57±0.2a	6.91±0.2c

3 讨 论

3.1 锌肥和石灰对水稻产量及氮素利用率的影响

锌作为水稻生长不可缺少的微量元素,在水稻生产中的作用不容忽视。施用锌肥能提高水稻产量^[15-17],且土施增产效果优于喷施,锌肥土施在水稻上的平均增产率为15.0%^[4]。而刘铮等^[18]根据土壤供锌情况和作物对缺锌的敏感程度,将中国锌肥分为三个区,锌肥显效区(土壤有效锌<0.5 mg/kg)、锌肥有效区(土壤有效锌为0.5~1.0 mg/kg)和可能有效区。本研究试验田有效锌含量0.75 mg/kg,属缺锌土壤(国际水稻所提出的土壤有效锌临界值0.8 mg/kg),施用锌肥(NPK+Zn)处理提高了双季稻实际产量,2017年和2018年早晚季产量均有提升。进一步分析产量构成不难发现,锌肥主要增加了早稻结实率和晚稻千粒重,使水稻增产,这与郑甲成等^[19]研究结果相同。锌参与生长素的合成,并与叶绿素合成和碳水化合物转化有关,能促进植物的光合作用,加速糖类代谢,使水稻结实率和千粒重提高。本研究还发现,NPK+Zn处理较NPK和NPK+CaO处理水稻氮素农学利用率分别提高了57.3%和67.1%。其原因可能是在缺锌土壤中施用锌肥,能提高土壤中有效锌含量,从而为水稻植株提供充足锌营养。施用石灰的处理,在第一年与纯化肥处理产量差异不显著,但到第二年,显著降低了早晚稻有效穗数和产量。在本试验中施用锌肥增产效果好于石灰,原因可能是钙过剩会造成土壤中钾、钙、镁等营养元素平衡失调,从而抑制作物对其他元素吸收,导致作物减产^[20];Fageria等^[21]提出了水稻酸害的阈值(作物产量明显下降时的土壤pH)为4.9。在阈值下施用石灰主要是通过提高土壤pH来提高水稻产量。方克明等^[22]研究表明,平均750 kg/hm²石灰可提升酸性水稻土壤pH值0.179,且每千克石灰增产稻谷0.83 kg。但对于pH较高土壤应谨慎施用石灰,补施锌肥。

3.2 锌肥和石灰对水稻土养分含量的影响

大量研究表明,施用化肥能加速土壤中C、N和P的积累,也可增加土壤中速效养分含量^[23-25]。本研究表明,施用锌肥显著提高了成熟期早稻碱解氮含量和早晚稻土壤有效磷含量。施用锌肥后,锌离子与有机物产生了螯合作用,降低了有机质对铵态氮的吸附作用,提高了NH₄⁺含量,从而使土壤中碱解氮含量增加^[26]。施用石灰较纯化肥处理显著提高了早稻季土壤中有效磷含量和早

晚稻土壤pH,相比纯化肥和锌肥处理两年早晚稻土壤pH分别提高了6.4%和5.8%;但显著降低了晚稻土壤中碱解氮含量。何电源、蔡东等^[27-28]研究也表明,酸性水稻土每667 m²施30~80 kg石灰后,短期内可提高pH 0.5~1.5个单位,且施入石灰后,减少了土壤对P的吸附固定,降低了土壤对P的最大吸附容量,提高了P的平衡常数和缓冲指数,从而提高了土壤有效磷含量^[11];但施用石灰会增加土壤中C、N损失^[8]。本研究还发现,土壤中有有效锌含量为NPK+Zn>NPK>PK>NPK+CaO,施用锌肥能显著提高土壤中有有效锌含量,而施用石灰显著降低了其含量。其原因可能是Zn和Ca元素之间存在拮抗作用^[29-30];土壤高pH会增加土壤对锌的吸附和固定,降低土壤中有有效锌含量。王秋菊等^[31]研究也表明,石灰性土壤中缺锌现象严重,但具体机理还需进一步研究。

4 结 论

施用锌肥不仅提高早稻结实率和晚稻千粒重,使水稻显著增产,还提高了土壤中速效养分含量和水稻氮素农学利用率,特别是土壤有效锌含量显著增加。连年施用石灰能提高土壤pH,但土壤有效锌含量显著下降。在缺锌土壤中配施锌肥能一定程度上改善水稻生理特性,提高土壤肥力和有效锌含量,最终实现增产。且缺锌的水稻土壤中需慎重施用石灰。综上所述,锌肥+无机化肥为当地最佳施肥模式。

参考文献:

- [1] 虞银江,廖海兵,陈文荣,等.水稻吸收、运输锌及其籽粒富集锌的机制[J].中国水稻科学,2012,26(3):365-372.
- [2] 薛 启,王康才,梁永富,等.氮锌互作对藎香生长、产量及有效成分的影响[J].中国中药杂志,2018,43(13):2654-2663.
- [3] 刘 琦,王张民,潘 斐,等.大田条件下水稻锌营养强化方法探究及效果评估[J].土壤,2019,51(1):32-38.
- [4] 展文洁,刘永权,袁静超,等.黑钙土增施中微量元素对玉米生长的影响[J].东北农业科学,2021,46(1):47-51.
- [5] 李庆远,朱兆良,于天仁.中国农业持续发展中的肥料问题[M].南昌:江西科学技术出版社,1998:99-112.
- [6] 王孝忠,田 娣,邹春琴.锌肥不同施用方式及施用量对我国主要粮食作物增产效果的影响[J].植物营养与肥料学报,2014,20(4):998-1004.
- [7] 郭九信,隋 标,商庆银,等.氮锌互作对水稻产量及籽粒氮、锌含量的影响[J].植物营养与肥料学报,2012,18(6):1336-1342.
- [8] Hati K M, Swarup A, Mishra B. Impact of long-term application of fertilizer, manure and lime under intensive cropping on physical properties and organic carbon content (下转第93页)

- tera: Pyralidae[J]. Journal of Stored Products Research, 2003, 39(1): 53-63.
- [17] Fadamiro H Y, Baker T C. Reproductive performance and longevity of female European corn borer, *Ostrinia nubilalis*: effects of multiple mating, delay in mating, and adult feeding[J]. Journal of Insect Physiology, 1999, 45(4): 385-392.
- [18] 焦晓国, 宣维健, 盛承发. 水稻二化螟的交配行为[J]. 生态学报, 2006(4): 1110-1115.
- [19] Alfredo Jiménez-Pérez, Qiao Wang. Male Remating Behavior and Its Effect on Female Reproductive Fitness in *Cnephasia jactatana* Walker (Lepidoptera: Tortricidae)[J]. Journal of Insect Behavior, 2004, 17(5): 685-694.
- [20] 李文德, 陈素馨, 李璧铄, 等. 亚洲玉米螟 1 代和 2 代成虫行为生物学研究—I 栖息与交尾场所及夜间行为动态[J]. 张家口农专学报, 2002(1): 1-8.
- [21] 曲洛伯, 周 旭, 陈日璽. 不同干式性诱捕器及性诱芯诱捕亚洲玉米螟雄蛾效果研究[J]. 中国农业科技导报, 2020, 22(3): 94-99.
- [22] 魏 鑫. 长春地区亚洲玉米螟雄蛾的种群发生动态及其保护酶活性研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2019.
- [23] 钱仁贵. 玉米螟卵巢解剖及应用初报[J]. 昆虫知识, 1982(5): 15-17.
- [24] 谢为民, 王蕴生. 玉米螟成虫习性观察[J]. 植物保护, 1993(5): 17-18.
- [25] 程志加, 孙 崑, 高月波, 等. 东北地区三代黏虫玉米田为害行为研究[J]. 应用昆虫学报, 2018, 55(5): 849-856.
- [26] 舒金平, 滕 莹, 张爱良, 等. 竹笋基夜蛾的求偶及交配行为[J]. 应用生态学报, 2012, 23(12): 3421-3428.
- [27] 罗礼智, 曹卫菊, 钱 坤, 等. 甜菜夜蛾交配行为和能力的[J]. 昆虫学报, 2003(4): 494-499.
- (责任编辑: 王 昱)

- (上接第 38 页) of an Alfisol[J]. Geoderma, 2008, 148(2): 173-179.
- [9] 易 琼, 唐拴虎, 黄巧义, 等. 有机-无机添加剂改良反酸田水稻生长效果研究[J]. 中国土壤与肥料, 2013, 50(3): 31-36.
- [10] 奉启云, 李红涛, 奉向东, 等. 森美思土壤调理剂对 Cd 污染稻田修复效果研究[J]. 有色冶金设计与研究, 2018, 39(5): 15-19.
- [11] De Souza R F, Faquin V, Andrade A T, et al. Phosphorus forms in soils under influence of liming and organic fertilization[J]. Revista Brasileira De Ciencia Do Solo, 2007, 31(6): 1535-1544.
- [12] 孙建华. 玉米施锌吸收积累及有效化调控机理的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2013.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2011: 56-132.
- [14] 魏 静, 郭树芳, 翟丽梅, 等. 有机无机肥配施对水稻氮素利用率与氮流失风险的影响[J]. 土壤, 2018, 50(5): 874-880.
- [15] 张雪凌, 姜慧敏, 刘 晓, 等. 优化氮肥用量和基追比例提高红壤性水稻土肥力和双季稻氮素的农学效应[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(2): 351-359.
- [16] 冯绪猛, 郭九信, 王玉雯, 等. 锌肥品种与施用方法对水稻产量和锌含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(5): 1329-1338.
- [17] Jaksomsak P, Tuiwong P, Rerkasem B, et al. The impact of foliar applied zinc fertilizer on zinc and phytate accumulation in dorsal and ventral grain sections of four thai rice varieties with different grain zinc[J]. Journal of Cereal Science, 2018, 79: 6-12.
- [18] 刘 铮. 我国土壤中锌含量的分布规律[J]. 中国农业科学, 1994, 27(1): 30-37.
- [19] 郑甲成, 刘 婷, 张百忍, 等. 几种微量元素作用及对水稻发育的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2010, 32(S1): 5-8.
- [20] 国家水稻产业技术体系. 中国现代农业产业可持续发展战略研究(水稻分册)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2017: 85-96.
- [21] Fageria N K, Baligar V C. Growth and nutrient concentrations of common bean, lowland rice, corn, soybean, and wheat at different soil pH on an inception [J]. Journal of Plant Nutrition, 1999, 22(9): 1495-1507.
- [22] 方克明, 钟国民, 周丽芳, 等. 石灰在酸性稻田的施用效果[J]. 中国土壤与肥料, 2017, 54(5): 105-109.
- [23] 尹彩侠, 孔丽丽, 李 前, 等. 优化施肥条件下有机肥部分替代化肥对水稻产量、养分吸收及转运的影响[J]. 东北农业科学, 2020, 45(6): 59-63.
- [24] 方畅宇, 屠乃美, 张清壮, 等. 不同施肥模式对稻田土壤速效养分含量及水稻产量的影响[J]. 土壤, 2018, 50(3): 462-468.
- [25] 董一漩, 屠乃美, 魏 征, 等. 施肥模式对不同基础地力稻田培肥和水稻产量的动态影响[J]. 东北农业科学, 2019, 44(2): 13-18, 33.
- [26] 魏义长, 白由路, 杨俐苹, 等. 测土推荐施锌对水稻产量结构及土壤有效养分的影响[J]. 中国水稻科学, 2007, 21(2): 197-202.
- [27] 何电源. 关于稻田施用石灰的研究[J]. 土壤学报, 1992, 46(1): 87-93.
- [28] 蔡 东, 肖文芳, 李国怀. 施用石灰改良酸性土壤的研究进展[J]. 中国农学通报, 2010, 26(9): 206-213.
- [29] 周 坤, 刘 俊, 徐卫红, 等. 外源锌对不同番茄品种抗氧化酶活性、镉积累及化学形态的影响[J]. 环境科学学报, 2014, 34(6): 1592-1599.
- [30] 董如茵, 郑应明, 王 林, 等. 土施和喷施锌肥对镉低积累油菜吸收镉的影响[J]. 环境科学学报, 2015, 35(8): 2589-2596.
- [31] 王秋菊. 黑龙江地区土壤肥力和积温对水稻产量、品质影响研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2012.
- (责任编辑: 王丝语)