

# 测土推荐施锌对水稻产量结构及土壤有效养分的影响

魏义长<sup>1</sup> 白由路<sup>1</sup> 杨俐苹<sup>1</sup> 林昌华<sup>1</sup> 姚政<sup>2</sup> 罗国安<sup>2</sup> 宋炜<sup>3</sup> 朱春梅<sup>3</sup>

(<sup>1</sup> 中国农业科学院 农业资源与农业区划研究所, 北京 100081 ; E mail : weiyichang@yahoo . com . cn ; <sup>2</sup> 上海市农业科学院 环境科学研究所, 上海 201106 ; <sup>3</sup> 上海海丰米业有限公司 农业试验站, 江苏 大丰 224153)

## Effects of Recommended Zinc Application According to Soil Testing on Yield Components of Rice and Soil Available Nutrients

WEI Yi chang<sup>1</sup> , BAI You lu<sup>1</sup> , YANG Li ping<sup>1</sup> , LIN Chang hua<sup>1</sup> , YAO Zheng<sup>2</sup> , LUO Guo an<sup>2</sup> , SONG Wei<sup>3</sup> , ZHU Chun mei<sup>3</sup>

(<sup>1</sup> Institute of Agricultural Resources and Regional Planning , Chinese Academy of Agricultural Sciences , Beijing 100081 , China ; E mail : weiyichang@yahoo . com . cn ; <sup>2</sup> Institute of Environmental Science , Shanghai Academy of Agricultural Sciences , Shanghai 201106 , China ;

<sup>3</sup> Agricultural Experiment Station , Shanghai Haifeng Rice Industrial Co . Ltd . , Dafeng 224153 , China)

Abstract : The effects of recommended Zn fertilization rate according to the soil nutrient test on rice (*Oryza sativa* L . ) yield components , soil available Zn and other nutrient contents were studied in the coastal Haifeng Farm in plot and field experiments by a systematic approach for soil nutrients status evaluation introduced from Agro Service International Inc ( ASI ) . The number of panicles per square meter , grain number per panicle , 1000 grain weight , and yield of rice increased significantly in Zn fertilizer applied plots compared to the control plot . They were at their best at the recommended zinc application rate of 15 kg/hm<sup>2</sup> , with the yield showing an increase of 16 . 9% . In addition , Zn concentration in rice plants and grains increased with rising Zn application rate , but the duration to maturity decreased . Soil residual available Zn and NH<sub>4</sub><sup>+</sup> concentrations increased significantly , but soil residual available P , K , Ca , Mg concentrations decreased and other soil available nutrient ( S , B , Cu , Fe , Mn ) concentrations and soil organic matter content and pH remained unchanged with the increase of zinc application rate , and the residual available Zn concentration was 1 . 83 mg/L at the recommended zinc application rate , which was nontoxic to rice growth . Therefore , zinc application rate on the basis of soil ASI testing not only improve the rice yield components , but also cause no zinc pollution .

Key words : rice ; zinc ; soil testing and fertilizer recommendation ; yield component ; soil available nutrient

摘要 : 采用土壤养分状况系统研究法 ( ASI 法 ) , 在海丰农场的海涂滩地上通过小区和田间试验研究了水稻测土推荐施锌量对水稻产量结构、土壤有效锌及其他土壤养分含量的影响。施锌处理的水稻成穗数、每穗粒数、千粒重和产量均比对照极显著地增加 ( $P < 0.01$ ) , 并且都是在推荐施锌量 ( 15 kg/hm<sup>2</sup> ) 条件下最高 , 其产量比对照提高了 16 . 9% , 但当锌施用量超过推荐施用量 , 即 22 . 5 kg/hm<sup>2</sup> 时 , 水稻产量结构性能均降低 , 且与推荐的施锌处理间具有显著差异 ( $P < 0.05$ ) 。随施锌量的增加 , 水稻植株和籽粒的含锌量均增加 , 成熟期提前 , 且处理间差异显著。土壤有效 Zn 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 的残留量也是随施锌量的增加而增加 , 但土壤有效 P、K、Ca、Mg 却随施锌量的增加而减少 , 而土壤其他有效养分 ( S、B、Cu、Fe、Mn ) 及土壤有机质、pH 不受锌施用量影响。推荐的施锌量处理土壤残留有效锌含量为 1 . 83 mg/L , 没有发现对水稻产生毒害现象。可以认为 , 利用 ASI 法进行测土推荐施锌 , 不仅能够改善水稻产量结构 , 而且对土壤环境不会产生污染。

关键词 : 水稻 ; 锌 ; 测土推荐施肥 ; 产量结构 ; 土壤有效养分

中图分类号 : Q945 . 12 ; S143 . 7

文献标识码 : A

文章编号 : 1001-7216(2007)02-0197-06

在所有微量元素中 , 对水稻 (*Oryza sativa* L . ) 产量具有限制作用的是锌、锰和铁<sup>[1,2]</sup> , 然而 , 截至目前报道最多的是锌元素 , 特别是锌缺乏问题。前人的研究结果表明 , 锌缺乏主要发生在 pH 大于 7 的石灰性土壤<sup>[3,9]</sup> , 以及施磷过多的土壤<sup>[3,10-11]</sup> 。近年来 , 研究者还发现<sup>[2,9]</sup> , 越来越多的缺锌的主要原因 : 一是栽培高产水稻品种提高了锌的需求量 ; 二是施用的 N、P、K 等肥料纯度提高 , 含锌极少甚至不含锌。同时 , 也有报道在施用畜禽粪便的水稻上出现锌毒害<sup>[2]</sup> 。研究普遍认为 , 锌在土壤中的含量无论是偏少 , 还是偏多 , 都会对水稻生产造成严重的危害 , 锌过量甚至导致水稻颗粒无收。

对土壤锌的临界指标研究在国内外已有不少 ,

报道最多的是土壤有效锌的最低临界指标 , 一般是 0 . 5 ~ 1 mg/kg<sup>[2,9,10]</sup> , 国际水稻研究所提出的指标为 0 . 8 mg/kg<sup>[11]</sup> ; 对土壤有效锌的最高临界指标报道较少 , 一般采用 2 mg/kg<sup>[2]</sup> 。《中国土壤环境质量标准》中允许的土壤全锌临界值是 200 mg/kg<sup>[9]</sup> , 但全量指标对作物来说指导意义不大 , 农业生产目前多采用土壤有效锌含量。

然而 , 由于土壤类型、测定方法的不同 , 测定出

收稿日期 : 2006-06-20 ; 修改稿收到日期 : 2006-10-27。

基金项目 : 上海市科技兴农重点攻关项目 [ 农科攻字 ( 2004 ) 第 8-10 号 ] ; 国家高技术研究发展计划 ( 863 计划 ) 资助项目 ( 2003AA209010 ) 。

第一作者简介 : 魏义长 ( 1976 - ) , 男 , 助理研究员 , 博士后。

来的水稻土壤有效锌临界指标并不一致<sup>[12-16]</sup>,且这一指标还受气候等环境因素的影响。因此,在推荐施肥时,仅有土壤养分的测定值还是不行的,还需要有多年的作物田间肥料试验结果<sup>[14,17-18]</sup>。

本试验以中国农业科学院与上海市农业科学院多年在上海地区进行精准农业的研究成果,以及中加合作土壤植物测试实验室利用 ASI 法<sup>[19]</sup>在中国 30 多个省(市、自治区)进行的大、中、微量元素速效养分含量测定和对部分土壤进行的元素吸附试验、盆栽试验和相应的田间试验结果为基础,对位于江苏省大丰市境内的上海市海丰农场水稻测土推荐施肥效果进行研究,目的是为海丰农场优质大米生产提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地简介

上海市海丰农场西临江苏省大丰市,东临黄海,地处北纬 33°13 ~ 33°25,东经 120°30 ~ 120°40。供试田块位于海丰农场的东北角,靠近黄海海堤,开垦时间 10 年以上。土壤质地为壤土,肥沃、通透性好、易耕性强。地上地下水资源丰富,灌溉水引自长江。过去种植的主要作物是水稻、小麦和大麦,近几年主要实行一年两茬:小麦-水稻、大麦-水稻或牧草-水稻轮作。

### 1.2 土壤养分状况系统研究法(ASI)简介

土壤养分状况系统研究法是美国佛罗里达州的国际农化服务中心(Agro Services International

Inc.)的 Hunter 在总结前人土壤测试工作的基础上,吸收了美国北卡罗莱那州立大学的 Waugh、Cate 和 Nelson 的研究结果,于 1980 年提出的一套用于土壤养分状况评价的实验室分析和盆栽实验方法<sup>[19]</sup>。1988 年,加拿大钾磷研究所的 Portch 对此方法稍加修改,开始在与中国合作项目中加以应用。在此方法应用的基础上,Dowdle 和 Portch 于 1988 年提出了土壤养分状况系统研究的概念,并取国际农化服务中心英文单词 Agro Services International Inc 的首写字母 ASI 为该土壤养分状况系统研究法的英文缩写。此后,该研究方法很快在中加合作项目中展开,已在中国 30 多个省(市、自治区)进行了应用,取得了较好的效果,逐步发展形成了适合中国不同地区、不同土壤类型和不同作物的推荐施肥模型。

### 1.3 供试土壤基本化学性质及水稻施肥推荐

ASI 法测土推荐施肥的理论依据是土壤养分平衡法。根据土壤测试结果,运用 ASI 推荐施肥模型,得到供试田块的 N、P、K 等营养元素的推荐施肥量(opt)。本研究在借鉴国内外水稻精准施肥模型的基础上,结合近几年来中国农业科学院和上海市农业科学院在上海地区进行的精准农业研究成果,对 ASI 法中的水稻施肥模型进行了修正。表 1 为根据海丰农场供试土壤的测试结果进行的水稻施肥推荐结果:N 为 240 kg/hm<sup>2</sup>,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 为 75 kg/hm<sup>2</sup>,K<sub>2</sub>O 为 45 kg/hm<sup>2</sup>,Cu 为 2 kg/hm<sup>2</sup>,Zn 为 15 kg/hm<sup>2</sup>。

表 1 供试田块土壤养分测试结果和推荐施肥结果

Table 1 .Soil analysis results and fertilizer suggestion for experimental plots .

项目 Item	土壤测试结果 Soil analysis result	养分水平 Interpretation elements guide			施肥建议 Fertilization suggestion /(kg · hm <sup>-2</sup> )
		偏低 Below	适宜 Optimum	偏高 Above	
pH	8.25				
有机质 Organic matter	0.55%	* * * * *			
钙 Ca	1430.85 mg/L	* * * * *	* *		0
镁 Mg	296.45 mg/L	* * * * *	*		0
钾 K	136.85 mg/L	* * * * *			45(K <sub>2</sub> O)
氮 N	8.85 mg/L	* * *			240
磷 P	12.55 mg/L	* * * * *			75(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )
硫 S	86.60 mg/L	* * * * *	* * * * *		0
硼 B	3.40 mg/L	* * * * *	* * * * *		0
铜 Cu	3.15 mg/L	* * * * *	*		2
铁 Fe	54.30 mg/L	* * * * *	*		0
锰 Mn	28.80 mg/L	* * * * *	* *		0
锌 Zn	0.85 mg/L	* * * * *			15

注：“\*”的多少表示养分的强弱。

Note：“\*” represents the amount of interpretation elements .

#### 1.4 水稻的施锌处理及小区试验

小区面积为  $10\text{ m} \times 10\text{ m}$  ,假定 ASI 法测土推荐的锌施用量为 opt ,4 个 Zn 肥处理设置为 opt 的 0% (对照)、opt 的 50%、opt 的 100% 和 opt 的 150% ,即 0 .0、7 .5、15 .0、22 .5  $\text{kg}/\text{hm}^2$  。3 次重复 ,完全随机区组设计。Zn 肥一次性在插秧前撒施到小区。每个小区的 N、P、K 及其他营养元素肥料均按照推荐施肥量(N :240  $\text{kg}/\text{hm}^2$  , $\text{P}_2\text{O}_5$  :75  $\text{kg}/\text{hm}^2$  , $\text{K}_2\text{O}$  :45  $\text{kg}/\text{hm}^2$  ,Cu 2  $\text{kg}/\text{hm}^2$ )施用 ,P、K、Cu 肥在耕地时以基肥形式一次性施入 ,N 肥分 3 次(基肥、分蘖肥、孕穗肥)等量施入。

#### 1.5 水稻施锌的田间试验

根据土壤测试结果 选取前茬作物相同、田块邻近、土壤有效锌含量不同的(高、中、低)田块各两块 ;每种土壤锌水平的田块 ,一块不施锌(对照) ,一块施锌(处理) ;锌肥施用量为测土推荐施锌量 15  $\text{kg}/\text{hm}^2$  ,一次性在插秧前撒施到灌水田间 ,其他肥料与大田生产同。

#### 1.6 水稻品种、锌肥和其他肥料品种及含量

水稻品种选用海丰农场主栽品种武育粳 3 号 ,托盘育秧 机播 ,行距 30 cm ,穴距 12 cm ,每穴 5~6 株。

锌肥为  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  ,锌含量为 22 .5% ,氮、磷、钾肥分别为尿素(N 为 46%)、磷酸一铵(N 为 11%、 $\text{P}_2\text{O}_5$  为 48%)、氯化钾( $\text{K}_2\text{O}$  为 60%)。

#### 1.7 考种

在每个小区和试验田块分别选取 3 个  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$  样方 ,首先调查样方内水稻的穴数 ,然后在样方内选取 1 行 ,连拔 5 穴稻株带回实验室进行考种 ,测定成穗数、有效分蘖、每穗实粒数、千粒重等。稻粒饱满度达到 30% 以上为实粒 ,每穗的实粒数达到 10

粒以上为有效分蘖。

#### 1.8 植株样品的采集和锌含量的测定方法

植株样品和籽粒样品采用考种时所取的植株和籽粒 ,用湿消化法(4 :1 的  $\text{HNO}_3$  : $\text{HClO}_4$ ) 进行前处理 ,用火焰原子吸收光谱法测定锌含量。

#### 1.9 数据统计分析方法

在 DPS 数据处理系统上进行数据处理<sup>[20]</sup> ,利用 LSD 法比较差异的显著性。

## 2 结果与讨论

### 2.1 测土推荐施锌对水稻产量结构的影响

在海丰农场运用 ASI 法对水稻进行测土推荐施锌的小区试验结果显示 ,当其他土壤养分都处在最佳推荐施肥条件下时 ,与不施锌肥相比 ,尽管施锌肥处理均能显著提高水稻成穗数、每穗实粒数、千粒重及产量(表 2) ,但却在测土推荐施锌量 15  $\text{kg}/\text{hm}^2$  条件下达到最高 ,增产幅度高达 16 .89% ;当施锌量超过推荐施锌量后(22 .5  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ) ,水稻的成穗数、每穗实粒数、千粒重和产量都明显降低 ,说明水稻测土推荐施锌量的效果最好。从表 2 还可看到 ,锌肥的施用显著地缩短了水稻的成熟天数 ,减少不育穗数 ,从而提高了成穗数和千粒重。这是因为锌与水稻的光合作用、呼吸作用以及碳水化合物的形成、运输密切相关 ,且锌主要存在于根细胞、叶绿素、分生组织和生长点内 ,因此能够增强作物的抗旱、抗寒、抗盐、抗病的能力 ,提高结实率和千粒重。这个结果与国内外大多研究结果基本吻合<sup>[13,16]</sup> ,但最佳施锌量的效果只有在其他土壤养分也都处在最佳状态时才能表现出来 ,若其他土壤养分含量偏高或偏低 ,如 P、Ca、Mg 肥施用过多 ,施用锌肥可能不会如此大幅度提高水稻产量。

表 2 锌施用量对水稻产量结构的影响

Table 2 . Effect of Zn application rate on the yield components of rice .

锌处理 Zn treatment /( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	每 1 $\text{m}^2$ 穗数 No . of panicles per square meter	每穗实粒数 No . of filled grains per panicle	千粒重 1000 grain weight /g	产量 Grain yield /( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	产量增量 Yield increased /%	成熟天数 Duration to maturity /d
0 .0	309 .6 dC	93 .3 dC	24 .2 dC	7 .40 dC	-	130 .7 dD
7 .5	332 .7 cB	96 .0 cC	24 .7 cB	7 .86 cB	6 .17	128 .3 cC
22 .5	336 .7 bA	101 .3 bB	25 .0 bA	8 .49 bA	14 .68	122 .3 aA
15 .0	339 .4 aA	109 .3 aA	25 .2 aA	8 .65 aA	16 .89	125 .7 bB
F 值 F value	637 .7* *	74 .7* *	56 .75* *	50 .25* *		115 .58
LSD <sub>.05</sub>	1 .758	2 .663	0 .188	0 .457		1 .582
LSD <sub>.01</sub>	3 .355	3 .874	0 .274	0 .665		1 .087
CV/%	0 .077	0 .086	0 .304	0 .871		0 .0845

同一栏中 ,各处理数据后带相同大小写字母者表示多重比较差异未达 1% 和 5% 显著水平 ;\* \* 表示处理内差异达 1% 显著水平。下表同。

Within a column , values for different treatments followed by the common uppercase and lowercase letters indicate no significant difference at 0 .01 and 0 .05 levels , respectively . \* \* indicates difference within treatment at  $P < 0 .01$  . The same as in the tables below .

表 3 锌施用量对水稻植株和籽粒含锌量的影响

Table 3 Effect of Zn application on Zn concentration in plant and grain of rice .

Zn 处理 Zn treatment	植株含锌量 Zn content in plant /(mg · kg <sup>-1</sup> )	籽粒含锌量 Zn content in grain /(mg · kg <sup>-1</sup> )
0.0 kg/hm <sup>2</sup>	15.33 dD	11.57 cC
7.5 kg/hm <sup>2</sup>	16.27 cC	12.83 bB
15.0 kg/hm <sup>2</sup>	17.20 bB	12.63 bB
22.5 kg/hm <sup>2</sup>	18.20 aA	13.50 aA
F 值 F value	87.98**	40.61**
LSD <sub>0.01</sub>	0.6227	0.5971
LSD <sub>0.05</sub>	0.4279	0.4104
CV/%	0.5560	0.5044

## 2.2 测土推荐施锌对水稻吸锌量的影响

随着施锌量的增加,水稻植株含锌量和籽粒含锌量均比对照显著增加 ( $P < 0.01$ ),且植株含锌量在各施锌量处理间差异极显著,籽粒含锌量在 7.5 和 15.0 kg/hm<sup>2</sup> 两处理间无显著差异,但 22.5 kg/hm<sup>2</sup> 处理与 7.5、15.0 kg/hm<sup>2</sup> 处理间差异达极显著水平(表 3)。总的来说,无论是籽粒,还是茎秆,含锌量均低于 20 mg/kg,远低于水稻植株锌含量的最高临界指标(100 mg/kg)<sup>[2]</sup>,说明武育粳 3 号水稻在测土推荐的锌肥施用量下不会因施锌而影响稻米卫生品质。

## 2.3 施锌量对土壤有效锌及其他养分状况的影响

尽管锌是水稻生长发育所必需的微量元素,但又因它是重金属元素,施用必须慎重,否则会导致土壤锌含量超标而影响水稻的生长发育,发生锌毒害问题<sup>[2]</sup>。因水稻的锌毒害问题比锌缺乏问题更严重<sup>[13]</sup>,锌缺乏可以很快得到补充,而锌毒害则需要几年时间渗漏或施用石灰等才能修复,所以水稻施用锌肥,不能只考虑提高产量,还要顾及到土壤环境质量。本研究用 ASI 法测定了水稻收获后所有试

验小区土壤的 13 项指标 (pH、有机质、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、P、K、Ca、Mg、S、B、Cu、Fe、Mn、Zn),结果表明锌肥的施用只对 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、K、Ca、Mg、Zn 有显著影响(表 4),其他指标均没发现受到施锌的影响(数据未列)。另外,有关 ASI 测定结果的临界值正在研究制定中。因此本文先借鉴用重量称样法建立的临界值,这是可行的,因为 ASI 法的土样称量尽管是用体积法,但因风干粉碎后的土壤容重一般为 1.1~1.3 kg/L 左右,可把其测定结果的单位 mg/L 和常规的 mg/kg 看作基本相等,那么这两个单位间就可以相互比较了。

从表 4 中可以看到,土壤有效锌和铵态氮的含量均随锌肥的施用量增加而增加,尽管锌肥处理间差异没有达到极显著水平,但与对照相比均达到了极显著的水平。然而,土壤有效锌的含量在最高施锌处理(22.5 kg/hm<sup>2</sup>)时达到了 1.97 mg/L,接近水稻土壤有效锌的最高临界值(2 mg/kg)。前已述及,当锌施用量为 22.5 kg/hm<sup>2</sup> 时,水稻的产量结构受到负面影响,水稻的生长受到了毒害。但是,测土推荐的锌肥施用量处理(15.0 kg/hm<sup>2</sup>)的土壤有效锌含量平均为 1.83 mg/L,低于土壤有效锌的最高临界值,土壤中有有效锌含量已能满足作物生长需要,不再成为作物生长的限制因子,并且后季作物也可以不用再施用锌肥,而未施 Zn 处理的土壤,由于无 Zn 肥施入,加之作物吸收携出,土壤有效锌含量由原来的稍高于最低临界值(0.8 mg/kg)的 0.85 mg/L 降为 0.73 mg/L,低于临界值<sup>[11]</sup>,这样就导致下一季水稻处于严重缺锌状态,而影响水稻生长发育。至于施用锌肥能够增加土壤 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 含量的原因,可能是由于施用锌肥后,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,从而提高了 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 含量。

表 4 施锌对土壤有效锌及其他土壤有效养分的影响

Table 4 . Effect of Zn application rate on residual available Zn and other nutrients in soil .

mg/L

锌施用量 Zn application rate	有效锌 Available Zn	铵态氮 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	有效磷 Available P	有效钾 Available K	有效钙 Available Ca	有效镁 Available Mg
0.0 kg/hm <sup>2</sup>	0.73 cC	17.07 cB	17.87 aA	192.73 aA	1730.33 aA	266.00 aA
7.5 kg/hm <sup>2</sup>	1.50 bB	18.23 bA	17.40 abAB	186.20 bB	1610.67 bB	254.57 bB
15.0 kg/hm <sup>2</sup>	1.83 aA	18.57 abA	17.07 bB	183.43 cBC	1577.33 bcB	253.80 cBC
22.5 kg/hm <sup>2</sup>	1.97 aA	19.20 aA	16.20 cC	181.50 cC	1544.00 cB	253.40 cC
F 值 F value	91.64	14.56	24.07	33.56	31.36	674.13
LSD <sub>0.01</sub>	0.27	1.11	0.68	4.02	68.81	1.11
LSD <sub>0.05</sub>	0.19	0.76	0.47	2.76	47.29	0.76
CV/%	6.35	0.21	0.29	0.03	0.00	0.10

表5 水稻田间施锌与不施锌对比试验结果

Table 5 . Comparative experiment results of Zn application and no Zn application on rice field .

田块号 Field No .	土壤有效锌 Soil available Zn /(mg · L <sup>-1</sup> )	锌处理 Zn treatment /(kg · hm <sup>-2</sup> )	每 1 m <sup>2</sup> 穗数 No . of panicles per square meter	每穗实粒数 No . of filled grains per panicle	千粒重 1000 grain weight/g	产量 Grain yield /(t · hm <sup>-2</sup> )	产量增量 Yield increased /%
1-1	0.85	0	315	97	23.9	7.30	-
1-2	0.85	15	335	101	25.0	8.46	15.83
2-1	1.85	0	343	104	25.1	8.95	-
2-2	1.85	15	342	104	25.2	8.96	0.11
3-1	3.53	0	325	100	24.9	8.09	-
3-2	3.53	15	315	99	24.3	7.58	-6.36

土壤有效钾、钙和镁的含量均随着锌施用量的增加而降低,并且与对照相比差异都达到了极显著水平( $P < 0.01$ );而土壤有效磷的含量尽管也是随着锌施用量的增加而降低,但是低施锌量(7.5 kg/hm<sup>2</sup>)与对照间的差异却不显著,推荐施锌量(15.0 kg/hm<sup>2</sup>)和高施锌量(22.5 kg/hm<sup>2</sup>)与对照的差异均达到极显著水平。产生这种现象的原因可能与锌肥施入土壤后,因锌与磷对作物的需求具有拮抗作用,施用锌肥抑制了作物对土壤磷素的吸收,同时降低了磷素的活性,出现了磷素在土壤中的累积,无效磷含量增大,而有效磷含量则有所降低。同样,锌的施用对土壤有效钙、镁影响的机制也基本相同,锌的施用促进了这些元素的无效态即固态的形成,从而降低了有效态含量。至于施用锌后土壤有效钾的含量降低,可能是由于施用锌后,促进了水稻生长发育,增加了钾的吸收,使作物带走的钾量增多,从而降低了土壤中的有效钾含量。

#### 2.4 田间锌肥试验验证结果

在土壤有效锌含量为 0.85 mg/L 田块,施锌(田块 1-2)与不施锌(1-1)对武育粳 3 号水稻产量结构和成熟天数的影响与小区试验结果基本相同。施锌田块水稻增产 15.83%,低于小区试验结果,这主要是因为大田的其他肥料施用不是按照测土推荐施肥量施用的。在土壤有效锌含量为 1.85 mg/L 田块,与不施锌(田块 2-1)相比,施锌(田块 2-2)对武育粳 3 号水稻产量结构和成熟天数基本没有影响,施锌田块水稻仅增产 0.11%;而在土壤有效锌含量为 3.53 mg/L 田块,施锌(田块 3-2)对武育粳 3 号水稻产量结构具有负面影响,较不施锌肥田块(3-1)减产 6.36%。这主要是因为 15.0 kg/hm<sup>2</sup> 锌肥施用量是在土壤有效锌含量为 0.85 mg/L 的田块进行测土推荐的,而对于土壤有效锌含量为 1.85 mg/L 田块,土壤本身已有足够的锌储备,不需要施用锌肥就足以满足作物需要了;而对于土壤有效锌含量

为 3.53 mg/L 田块,土壤有效锌含量为较高水平,对水稻生长已具有了毒害作用,施锌肥加重了对水稻的锌毒害,从而导致减产。因此,田间试验充分地验证了锌肥的施用必须根据测土进行推荐其施用量,才能保证水稻优质高产。

### 3 结论

通过本研究进一步证明了水稻测土推荐施锌是非常必要的。ASI 法在中国已是一套行之有效的测土推荐施肥方法,运用它对水稻进行测土推荐施锌,既可以提高水稻产量,又不致使土壤锌含量超过土壤环境质量标准。

目前海丰农场的土壤有效锌含量范围大多是在 0.85 mg/L 上下,因此,其每 1 hm<sup>2</sup> 土壤水稻锌肥的最佳施用量是 15 kg,这个施用量不但可以解决当季水稻锌缺乏问题,而且由于锌肥的后效作用,第 2 年水稻或其他作物都可以不用再施锌肥,甚至可以多年不施用。具体何时需要再施,则必须根据每年的土壤化验结果决定。

下一步研究应是尽快建立 ASI 法的土壤有效锌低、中、高临界值指标体系,制定出海丰农场海涂滩地不同锌含量水平的锌肥施用标准,并完善水稻锌肥施用跟踪调查制度,从而为海丰农场优质水稻生产提供最有效的科学指导。

#### 参考文献:

- [1] Atanasiu N, Samy J. Effective Use of Fertilizers in Rice. Zurich: Centre d' Etude de l' Azote, 1983: 68-69.
- [2] Brian A J. Zinc in Soils and Crop Nutrient. Brussels: International Zinc Association (IZA), 2004: 1-128.
- [3] Han F X, Zhu Q Q. Fractionation of zinc in paddy soils of China. *Pedosphere*, 1992, 2(3): 283-288.
- [4] 祁明, 王重廉. 渤海湾滨海盐渍土水稻缩苗症缺锌与其它营养元素平衡的研究. *中国农业科学*, 1981, 14(1): 58-62.
- [5] Umar M K, Qasim M, Jamil M. A system of farming re

- sponse of rice to zinc fertilizer in calcareous soils of D. I. Khan. *Asian J Plant Sci*, 2002, 1(1) : 1-2 .
- [6] 徐晓燕, 赵红军, 杨肖娥, 余永贵.  $\text{HCO}_3^-$  同化物在水稻体内的运输分配及其与石灰性土壤水稻耐缺锌的关系. *土壤学报*, 2002, 39(4) : 568-574 .
- [7] 孟凡花, 魏幼璋, 林建军, 等.  $\text{HCO}_3^-$  和高 pH 对不同锌效率水稻锌及其它养分吸收的影响. *中国水稻科学*, 2004, 18(6) : 533-538 .
- [8] 魏孝荣, 郝明德, 张春霞. 黄土高原地区连续施锌条件下土壤锌的形态及有效性. *中国农业科学*, 2005, 38(7) : 1386-1393 .
- [9] Harrell D L. Chemistry testing and management of phosphorus and zinc in calcareous Louisiana soils [Ph. D Dissertation]. Baton Rouge, LA : Agricultural and Mechanical College, Louisiana State University, 2005 : 139-140 .
- [10] Chen L J, Fan X M. Grain quality response to phosphorus and zinc fertilizer in rice genotype. *Chinese Rice Res Newsl*, 1997, 5(3) : 9-10 .
- [11] Dobermann A, Fairhurst T. Rice: Nutrient Management and Nutrient Disorders. Manila : PPI/PPIC and IRRI, 2000 : 84-89 .
- [12] Quijano Guerta C, Kirk G J D, Portugal A M, et al. Tolerance of rice germplasm to zinc deficiency. *Field Crops Res*, 2002, 76 : 123-130 .
- [13] Slaton N A, Wilson C E, Ntamatungiro S Jr, Norman R J. Development of a critical Mehlich 3 soil test zinc value for rice. // Wells B R. Rice Research Studies. Arkansas : Agricultural Experiment Station, 2000 : 412-420 .
- [14] Umar K M, Qasim M, Jamil M. Effect of different levels of zinc on the extractable zinc content of soil and chemical composition of rice. *Asian J Plant Sci*, 2002, 1(1) : 20-21 .
- [15] Azad Md A K, Ishikawa K, Chowdhury A K, et al. Comparative studies on the effects of different extractants to extract zinc from various soils of Bangladesh. *J Biol Sci*, 2003, 3(12) : 1164-1172 .
- [16] Wang R M, Yang X E, Yang Y A. Analysis of genotype differences of rice response to low  $\text{Zn}^{2+}$  activity and some morphological characteristics. *Chinese Rice Res Newsl*, 1998, 6(3) : 11-12 .
- [17] Slaton N A, Branson J, Wilson C E Jr, et al. Zinc fertilization of rice grown on clay soils in arkansas. // Wells B R. Rice Research Studies. Arkansas : Agricultural Experiment Station, 2004 : 305-309 .
- [18] 李志刚, 叶正钱, 方云英, 杨肖娥. 供锌水平对水稻生长和锌积累和分配的影响. *中国水稻科学*, 2003, 17(1) : 61-66 .
- [19] 加拿大钾磷研究所北京办事处. 土壤养分状况系统研究法. 北京 : 中国农业科技出版社, 1992 : 54-70 .
- [20] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统. 北京 : 科学出版社, 2002 : 43-77 .