

于 涛,张海楼,隽英华,等. 施肥模式对水稻稻瘟病抗性的影响[J]. 江苏农业科学,2014,42(7):113-116.

# 施肥模式对水稻稻瘟病抗性的影响

于 涛,张海楼,隽英华,官 亮,孙文涛,叶 鑫,郑文静

(辽宁省农业科学院植物营养与环境资源研究所,辽宁沈阳 110161)

**摘要:**通过调整施肥种类、施肥量与施肥方法以提高水稻对穗颈瘟的抗性和产量,设计不同施肥模式并测定其叶绿素 (SPAD) 值、总酚、类黄酮、粗纤维含量和产量,观察硅细胞结构,调查穗颈瘟发病率及病情指数。试验结果表明,氮肥施用期后移有利于增加水稻叶片 SPAD 值,可降低穗颈瘟的发病率和病情指数,提高稻谷产量;增施硅钙肥能够明显降低穗颈瘟的病穗率和病情指数;随着施氮量增加,水稻叶片总酚和类黄酮含量降低,处理 4 可提高植株的木质化程度,强化水稻的硅体结构,从而明显减轻穗颈瘟的发生。在辽宁省东南沿海稻区,通过“增施硅钙肥 + 分次施氮 + 氮肥施用期后移”的施肥模式[ $N - P_2O_5 - K_2O -$  硅钙复混肥 (210 - 120 - 75 - 180) 施用量为 585 kg/hm<sup>2</sup>],氮肥施用方法为:40% 氮作基肥 + 30% 氮作分蘖肥 + 30% 氮作穗肥) 进行营养调控,对于水稻高产抗病具有一定的作用。

**关键词:**穗颈瘟;SPAD 值;硅;总酚;类黄酮;抗病性

**中图分类号:**S14 - 33;S435. 111. 4<sup>+</sup>1 **文献标志码:**A **文章编号:**1002 - 1302(2014)07 - 0113 - 04

近几年来,辽宁省东南沿海地区水稻单产一直低于全省平均水平。2009 年全省稻谷平均单产为 7 710 kg/hm<sup>2</sup>,2010 年为 6 750 kg/hm<sup>2</sup>,2011 年为 7 605 kg/hm<sup>2</sup>,2009 年东南沿海稻谷平均单产为 6 712 kg/hm<sup>2</sup>,2010 年为 6 524 kg/hm<sup>2</sup>,2011 年为 6 780 kg/hm<sup>2</sup>,分别比全省平均水平低 12. 9%、3. 3%、10. 8%。造成这一现象的主要原因是水稻生育期间的 6 ~ 9 月份降雨量大、空气湿度大、日照时数少,容易造成水稻病害严重发生,从而阻碍水稻产量进一步提高<sup>[1-4]</sup>。本研究通过调控氮素营养的施用时期和施用比例、增施硅钙肥<sup>[5-6]</sup>及复合微量元素等,以期调控水稻营养生长,改善植株通风透光条件,增强叶片及茎秆的硅体结构,提高植株的木质化程度,进而达到防控穗颈瘟的目的。本研究比较了 7 种不同施肥模式对辽东南沿海地区水稻栽培的影响,提出了既可提高水稻抗病性又有利于增产增收的最佳配套施肥技术,为该地区水稻高产高效栽培提供了参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料与设计

试验于 2012—2013 年在辽宁省瓦房店市仙浴湾镇进行。试验田 0 ~ 20 cm 表层土壤基本理化性质为:有机质 12. 6 g/kg、全氮 0. 7 g/kg、有效磷 ( $P_2O_5$ ) 4. 3 mg/kg、速效钾 ( $K_2O$ ) 157. 5 mg/kg、pH 值为 7. 2。供试水稻品种为辽星 1 号,供试氮肥为普通尿素 (46% N) 和控释尿素 (硫加树脂包膜,35% N),磷肥为磷酸二铵 (18% N,46%  $P_2O_5$ ),钾肥为氯化钾 (60%  $K_2O$ ),其他有硅钙复混肥。其中硅钙肥和磷钾肥作基肥一次性施用,氮肥施用方法见表 1,田间试验设计 7 个施氮处理,处理 1 至处理 6 使用普通尿素,各 3 次重复,共 21 个小区,小区面积 67 m<sup>2</sup>,随机排列,各小区单排单灌。各小区之间做 30 cm 土埂,并用 PVC 板隔开 (PVC 板插地 10 ~ 15 cm)。

表 1 田间试验处理设计 (kg/hm<sup>2</sup>)

处理编号	$N - P_2O_5 - K_2O -$ 硅钙复混肥施用量 (kg/hm <sup>2</sup> )	施氮方法
1	365 (230 - 67. 5 - 67. 5 - 0)	80% 氮作基肥、20% 氮作穗肥
2	365 (230 - 67. 5 - 67. 5 - 0)	40% 氮作基肥、30% 氮作分蘖肥、30% 氮作穗肥
3	365 (230 - 67. 5 - 67. 5 - 0)	60% 氮作基肥、30% 氮作分蘖肥、10% 氮作穗肥
4	585 (210 - 120 - 75 - 180)	40% 氮作基肥、30% 氮作分蘖肥、30% 氮作穗肥
5	585 (210 - 120 - 75 - 180)	60% 氮作基肥、30% 氮作分蘖肥、10% 氮作穗肥
6	390 (210 - 90 - 90 - 0)	100% 氮一次性基施
7	390 (210 - 90 - 90 - 0)	100% 氮一次性基施 (其中 50% 氮为普通尿素,50% 氮为控释尿素)

### 1.2 田间管理与样品采集

试验区于 5 月 29 日施入基肥,泡田耙地;6 月 5 日手插秧;6 月 23 日追施分蘖肥;8 月 5 日追施穗肥;其他田间管理与当地相同,10 月 4 日收获。分别在水稻分蘖期、拔节期、孕穗期、灌浆期和乳熟期测定叶片 SPAD 值;分别在水稻分蘖期、孕穗期、抽穗期和灌浆期进行小区取样,测定植株叶片总酚和类黄酮含量;分蘖期取样观察叶片表面硅化细胞的密度及大小,测定植株粗纤维含量;秋收后进行考种,测定水稻

收稿日期:2014 - 03 - 12

基金项目:公益性行业 (农业) 专项 (编号:20100314 - 4);国家科技支撑计划 (编号:2013BAD05B07);辽宁省重大科技攻关计划 (编号:2007203001)。

作者简介:于 涛 (1981—),男,山东诸城人,硕士,助理研究员,从事作物育种及环境资源方面的研究。E - mail: 13940000176 @ 163. com。

产量。

### 1.3 穗颈瘟病情调查

于蜡熟期在每个小区随机选取  $5\text{m}^2$  调查穗颈瘟的发病情况,计算病穗率、病情指数及各级病穗百分率。

发病率 = 发病数 / 调查总数  $\times 100\%$ ;

病情指数 =  $\Sigma(\text{各级病株数} \times \text{相应级数}) / (\text{调查总数} \times \text{最高病级数}) \times 100$ 。

穗颈瘟的分级标准<sup>[7]</sup>: 1 级,个别枝梗发病;2 级,1/3 左右枝梗发病;3 级,穗颈或主轴发病;4 级,穗颈发病,大部分秕谷;5 级,穗颈发病造成白穗。

### 1.4 SPAD 值、总酚、类黄酮及粗纤维含量的测定方法

SPAD 值采用 SPAD-502 叶绿素测定仪。

总酚和类黄酮含量<sup>[8]</sup>: 采用紫外分光光度法,以  $\text{NaNO}_2 - \text{Al}(\text{NO}_3)_3 - \text{NaOH}$  和 Folin-Ciocalteu 比色法测定水稻各部位中类黄酮、总酚含量。

粗纤维含量: 参照 GB/T 5009.10-2003《植物类食品中粗纤维的测定》的方法测定分蘖期幼苗植株的粗纤维含量,各品种测定 20 株幼苗,重复 3 次。数据以粗纤维含量占干质量百分比表示。

### 1.5 叶片表面硅化细胞的观察

切取 12 个品种的 3 叶期叶片,于 70% 乙醇中浸泡 24 h 脱色后,置于 20 mL 苯酚中,沸水浴 10 min 至透明,再于 0.05% 曙红中染色 24 h,LSM510 激光共聚焦显微镜下放大 400 倍扫描观察硅化细胞和叶脉的分布情况,用 LSM Image Examiner 软件测量硅化细胞大小,并计数。每个处理测量 3 株幼苗,取平均值,重复 3 次。

### 1.6 数据处理方法

采用 Excel 2003 和 SPSS 11.5 进行统计分析,数值采用平均值的形式表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 施肥模式对水稻叶片 SPAD 值的影响

图 1 表明随着生育期推进,水稻叶片 SPAD 值呈现先增加后降低的趋势。从分蘖期开始,SPAD 值略有增加,至拔节期达到峰值;之后随着生育期推进 SPAD 值迅速降低,直至乳熟期达到最小;拔节期-孕穗期间降低幅度较小,孕穗期以后降低幅度明显增加。与一次施氮相比(处理 6、处理 7),多次施氮处理(处理 1—处理 5)的 SPAD 值明显增高,说明分次施氮有利于水稻对氮素的吸收利用。在  $\text{N}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{K}_2\text{O}$ -硅钙复混肥(210-120-75-180)施肥量为  $585\text{ kg}/\text{hm}^2$  的条件下,处理 4(施氮方法为 40% 氮作基肥、30% 氮作分蘖肥、30% 氮作穗肥)的 SPAD 值在整个生育期均高于处理 5(施氮方法为 60% 氮作基肥、30% 氮作分蘖肥、10% 氮作穗肥),说明在相同施氮量条件下,基肥、蘖肥、穗肥按 40%、30%、30% 的比例施入,有利于水稻的生长发育。在相同施肥方法条件下, $\text{N}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{K}_2\text{O}$ -硅钙复混肥(210-120-75-180)施肥量为  $585\text{ kg}/\text{hm}^2$  的处理 4、处理 5 的 SPAD 值分别低于相同施氮模式下  $\text{N}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{K}_2\text{O}$ -硅钙复混肥(230-67.5-67.5-0)施肥量为  $365\text{ kg}/\text{hm}^2$  的处理 2、处理 3,说明在相同施肥方法条件下,由于降低了施氮量而降低了水稻叶片的叶绿素含量,进而降低了 SPAD 值。处理 7 的 SPAD 值高于处理 6,说

明氮肥中添加控释尿素能够延缓氮素释放,减少氮素损失,有利于水稻的生长发育。纵观各个方面,处理 4 均较其他施氮模式显示了一定的优势,即“增加硅钙肥+分次施氮+氮肥施用期后移”的施肥模式更适合辽宁省东南沿海地区。

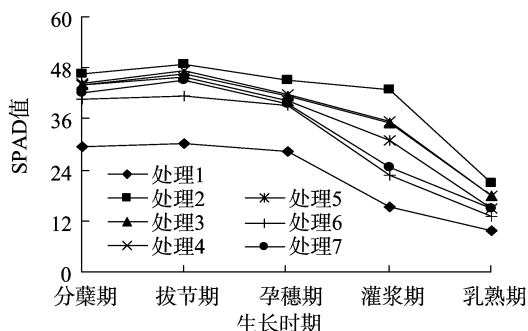


图1 不同施氮模式下的水稻叶片SPAD值

### 2.2 施肥模式对穗颈瘟病的影响

表 2 显示了不同施氮模式下各级别穗颈瘟病穗率和病情指数的调查情况。调查结果表明,在相同施氮量的条件下,氮肥施用期后移明显降低了穗颈瘟病穗率和病情指数。与处理 6 相比,处理 7 的穗颈瘟病穗率和病情指数分别降低了 7.7%、8.8%,说明控释尿素由于缓慢释放氮素养分而减轻了水稻穗颈瘟的发生和病害程度。与其他施肥模式(除处理 2)相比,增施硅钙肥(处理 4、处理 5)明显降低了穗颈瘟病穗率和病情指数,这是由于增施硅钙肥中合理的施氮量和硅钙复混肥的应用大大提高了水稻的抗性。在相同施氮量条件下,氮肥施用期后移并没有降低病穗总数,但是 3 级以上的病穗数量明显下降。与常规施肥(处理 1、处理 2)相比,增施硅钙肥(处理 4、处理 5)明显降低了 3 级以上的病穗数量。随着追氮次数的增加,水稻 2 级以上的病穗数量呈下降趋势。与处理 6 相比,处理 7 降低了 3 级以下的病穗数量。与其他处理相比,处理 4 的穗颈瘟病穗率、病情指数和 3 级以上的病穗总数均最低,在营养调控施肥技术中显示了一定的优势。

### 2.3 水稻施肥模式对酚类化合物和黄酮类物质含量的影响

从表 3 中可以看出,随着生育期的推进,水稻叶片总酚和类黄酮含量基本呈降低趋势。各生育时期水稻叶片总酚和类黄酮含量因施肥模式而异,其含量大小顺序均为增施硅钙肥模式(处理 4、处理 5) > 常规施肥模式(处理 1、处理 2、处理 3) > 一次性基肥模式(处理 6、处理 7)。各生育期内处理 4 和处理 5 的类黄酮含量先升高后降低,其峰值出现在孕穗期,而其他处理则随生育期推进逐渐降低,直至灌浆期达到最小值。在分蘖期、孕穗期,各处理水稻叶片总酚和类黄酮含量的大小均为处理 4 > 处理 5 > 处理 2 > 处理 3 > 处理 7 > 处理 1 > 处理 6,表明增施硅钙肥明显提高了部分水稻生育期的叶片总酚和类黄酮含量,从而增强了水稻对穗颈瘟的抗性。

水稻叶片中总酚和类黄酮含量与穗颈瘟病穗率的相关关系如图 2 所示。可以看出,灌浆期水稻叶片总酚和类黄酮含量与穗颈瘟的发生呈负相关。

### 2.4 施肥模式对硅细胞结构的影响

本研究测定了不同施肥模式下分蘖期植株的粗纤维含量(图 3),利用激光扫描共聚焦显微镜观察了叶片硅细胞的大小及密度(图 4)。结果表明,处理 4 的硅细胞密度及植株粗

表 2 不同施氮模式对穗颈瘟病情的影响(灌浆期)

处理	穗数 (穗/穴)	病穗率 (%)	病情指数	各级病穗百分率(%)				
				1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
1	18.59	41.79b	17.81a	33.99c	23.54a	22.14a	13.96b	2.21b
2	16.51	27.14c	11.84c	51.85a	17.95c	14.11b	13.72b	1.03b
3	21.19	39.23b	16.87b	50.39a	16.91c	15.46b	14.38b	1.16b
4	22.49	23.61d	9.41d	48.99a	23.60a	13.12b	11.66c	1.57b
5	21.71	28.15c	12.12c	47.84b	20.21b	14.16b	14.46b	2.17b
6	14.30	43.61a	18.25a	31.71d	25.96a	20.59a	14.63b	1.82b
7	16.90	40.25b	16.64b	29.23d	17.17c	19.83a	17.88a	7.13a

注:同列数据后标有不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

表 3 不同施氮模式对水稻叶片总酚和类黄酮含量的影响( $n=10$ )

处理	分蘖期		孕穗期		抽穗期		灌浆期	
	总酚(mg/g)	类黄酮(mg/g)	总酚(mg/g)	类黄酮(mg/g)	总酚(mg/g)	类黄酮(mg/g)	总酚(mg/g)	类黄酮(mg/g)
1	1.64	60.17	1.59	58.16	0.65	36.48	0.56	18.61
2	1.84	71.47	1.81	68.79	0.82	50.48	0.73	30.15
3	1.69	66.44	1.66	64.23	0.69	44.27	0.53	16.21
4	1.98	77.21	1.98	80.12	0.87	60.78	0.78	42.16
5	1.96	75.56	1.91	76.54	0.86	54.17	0.75	34.58
6	1.44	56.42	1.50	51.49	0.61	32.59	0.47	16.54
7	1.66	63.51	1.61	60.18	0.70	41.56	0.61	20.27

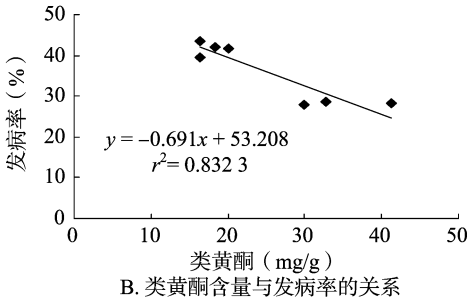
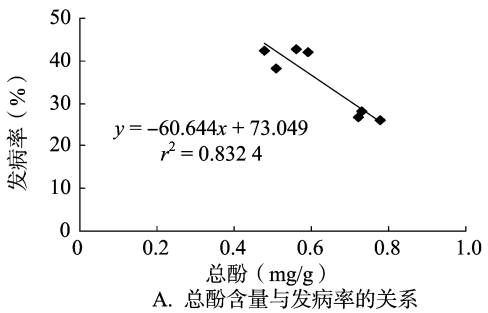


图2 水稻叶片中总酚和类黄酮含量与穗颈瘟病穗率的相关关系(灌浆期)

纤维含量最高,处理 5 次之,处理 6 的 2 项指标均最低。此外,硅化细胞大小在不同施肥模式间也有明显差异,施入硅钙肥的处理 4 水稻叶片中硅细胞数目多、体积大(图 5)。处理 4 条件下,在 151  $\mu\text{m}$  长叶脉内可见 14 个硅化细胞,平均大小为 13.2  $\mu\text{m} \times 8.0 \mu\text{m}$ ;处理 1 条件下,同样长度叶脉内仅见 8 个硅化细胞,平均大小仅为 11.2  $\mu\text{m} \times 7.6 \mu\text{m}$ 。这说明硅钙肥的合理施入可强化植株的硅体结构,增强木质化程度,从而有效抵御外来病菌的入侵,提高植物的抗病性。

2.5 不同施肥模式对水稻产量的影响

不同施肥模式下水稻产量的分析(表 4)表明,与一次性

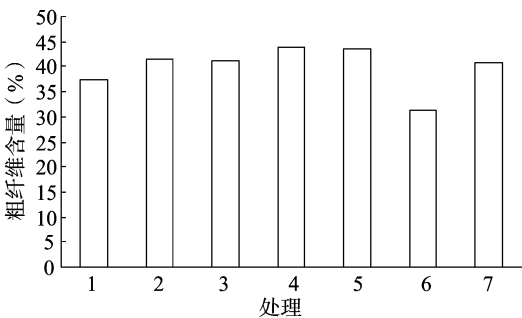


图3 不同施氮模式下分蘖期水稻植株的粗纤维含量

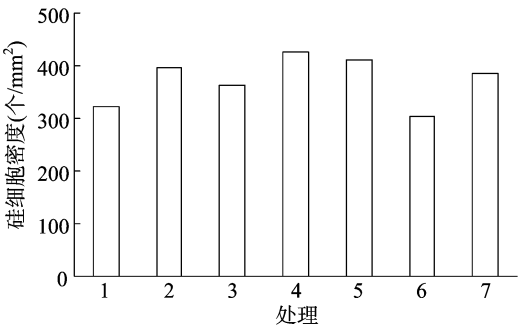


图4 不同施氮模式对分蘖期水稻硅细胞密度的影响

施氮相比,多次施氮可增产 16.24%~40.48%。处理 4 的产量最高,比常规处理 1 增产 21.94%,且差异达极显著水平( $P<0.01$ ),说明增施硅钙肥能够显著增加水稻产量;处理 4 比处理 5 增产 6.31%,处理 3 比处理 2 增产 5.14%,差异达显著水平( $P<0.05$ );说明同等施氮量条件下,基肥、蘖肥、穗肥按 40%、30%、30% 的比例施入,有利于水稻生长发育和增

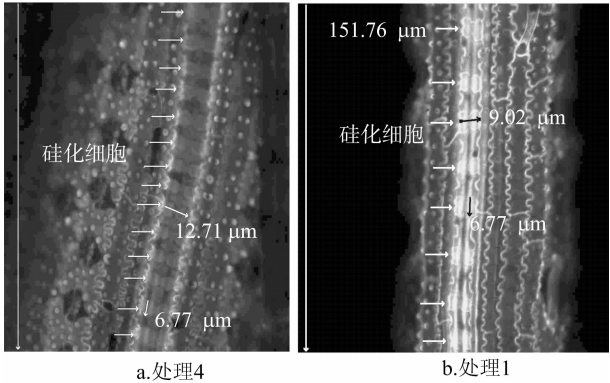


图5 施入硅钙肥后叶脉硅细胞大小及数目的变化

加产量。处理4比处理2增产17.07%,处理5比处理3增产4.73%,说明增施硅钙肥有提高水稻产量的潜力。处理7比处理6增产18.08%,且差异达显著水平,说明在一次性施肥条件下,控释尿素延缓了氮素释放,减少了氮素损失,有提高水稻产量的潜力。

表4 不同施肥模式下的水稻产量

多重比较(Duncan's 法)		方差分析			
处理	平均产量(kg/hm <sup>2</sup> )	变异来源	自由度	F 值	P 值
1	8 239.12aD	处理间	2	1.251 *	0.164
2	8 582.01aBC	重复间	6	21.237 **	0.000
3	9 023.09bAB	误差	12		
4	10 046.68cA	总变异	21		
5	9 450.01bcAB				
6	7 151.67dE				
7	8 444.85aCD				

注:同列数据后标有不同大、小写字母者分别表示差异极显著( $P<0.01$ )、显著( $P<0.05$ )。\*表示差异显著,\*\*表示极显著。

3 结论与讨论

随着生育期推进,水稻叶片 SPAD 值先增加后降低,与一次施氮相比,分次施氮有利于水稻叶片 SPAD 值的增加。在本试验中,处理4施氮模式显示了一定的优势,更有利于水稻生长发育。

据报道,水稻穗颈瘟的发生程度与氮肥施用量有关,施氮量越多,发病越严重<sup>[9-12]</sup>。本试验在相同施氮量条件下,氮肥施用期后移处理明显降低了穗颈瘟的病情指数;氮肥施用期后移没有降低穗颈瘟病穗总数,但明显降低3级以上的病穗数量。

水稻植株的木质化程度和叶片表面的硅体细胞结构与抗病性密切相关,而氮肥和硅钙肥的施入量及施入时期直接影响这2项指标的变化<sup>[13-17]</sup>。试验结果表明,处理4可提高植株的木质化程度,强化水稻的硅体结构,能够明显降低穗颈瘟的发病率和病情指数;与常规施肥相比,增施硅钙肥明显降低了穗颈瘟3级以上的病穗数量。

水稻穗颈瘟的病穗率随着前期施氮水平的增加而升高,可能与具有显著抗穗颈瘟病菌特性的酚类化合物和黄酮类物质的含量下降相关<sup>[18]</sup>。随着施氮量增加,水稻叶片总酚和类

黄酮含量降低。各生育时期水稻叶片总酚和类黄酮含量高低因施肥模式而异,均以处理4最高,表明处理4的抗病性最强,发生穗颈瘟的概率最小。随着生育期推进,水稻叶片总酚和类黄酮含量与发病率之间均呈负相关,说明随着水稻叶片总酚和类黄酮含量的降低,水稻的抗病性逐渐减弱,发病率逐渐增加。

综合考虑水稻穗颈瘟病穗率、病情指数、产量性状等因子,增施硅钙肥(增加硅钙肥)+分次施氮+氮肥施用期后移的施肥模式[N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O-硅钙复混肥(210-120-75-180)用量为585 kg/hm<sup>2</sup>]下,氮肥施用方法为40%氮作基肥+30%氮作分蘖肥+30%氮作穗肥,能够降低水稻穗颈瘟发生的概率,提高水稻产量,在辽宁省东南沿海水稻生产中具有一定的应用优势。

参考文献:

[1]张 晶,辽宁省统计局. 辽宁统计年鉴:2010[M]. 北京:中国统计出版社,2010:1-400.

[2]辽宁省统计局. 辽宁统计年鉴:2011[M]. 北京:中国统计出版社,2011:1-400.

[3]辽宁省统计局. 辽宁统计年鉴:2012[M]. 北京:中国统计出版社,2012:1-400.

[4]中国农业科学院. 中国稻作学[M]. 北京:农业出版社,1986.

[5]全成哲,方秀琴,金京花,等. 水稻施用硅钙肥试验效果研究初报[J]. 北方水稻,2011,41(5):39-40,43.

[6]王厚胜,王吉春,李才库,等. 硅钙肥对水稻生育性状及产量的影响[J]. 吉林农业科学,2007,32(3):35-36,47.

[7]Bonman J M, Vergel de Dios T I, Khin M M. Physiologic specialization of *Pyricularia oryzae* in the Philippines[J]. Plant Disease, 1986(70):767-769.

[8]张 云,韩 树,王俊儒. 黄珠子草不同部位总黄酮和总酚含量及抑菌活性测定[J]. 西北农业学报,2009,18(6):306-309.

[9]孔 平. 施氮量对水稻叶瘟菌侵染循环中主要组分的影响[J]. 植物保护学报,1991,18(1):57-60.

[10]郭永霞,靳学慧,李红松. 施用化肥对稻瘟病发生程度的影响[J]. 安徽农学通报,2007,13(7):67-68.

[11]王公明,丁克坚. 施氮水平对水稻形态特征、内含物及稻瘟病的影响[J]. 安徽农学通报,2000,6(2):48-49,51.

[12]周文利,汤 利,郑 毅,等. 间作条件下施氮水平对水稻稻瘟病及产量的影响[J]. 江苏农业科学,2008(4):259-262.

[13]吴玖宏. 水稻施硅钙肥增产效果初探[J]. 耕作与栽培,2003(6):22.

[14]曲金玲,王 宁,张莉萍,等. 三种硅肥对水稻抗病增产效果的影响[J]. 牡丹江师范学院学报:自然科学版,2007,57(1):26-27.

[15]赖添奎,邓裕娴,葛少彬,等. 施用硅肥对水稻稻瘟病、生长及产量的影响[J]. 热带农业工程,2012,36(2):6-8.

[16]唐 旭,郑 毅,汤 利,等. 不同品种间作条件下的氮硅营养对水稻稻瘟病发生的影响[J]. 中国水稻科学,2006,20(6):663-666.

[17]杨秀娟,朱春雨,杜宜新,等. 氮、钾、硅肥对水稻苗生长和抗瘟性的影响[J]. 福建农业学报,2008,23(1):1-5.

[18]卢国理,楚铁欧,张朝春,等. 供氮水平对间作水稻稻瘟病发生和传播的影响[J]. 云南农业大学学报,2007,22(6):808-812.