

· 研究论文 ·

30% 矮壮素·烯效唑微乳剂 对水稻抗倒伏性状及产量的影响

张 倩¹, 张海燕², 谭伟明¹, 段留生^{*1}

(1. 植物生长调节剂教育部工程研究中心/中国农业大学 农学与生物技术学院, 北京 100193;

2. 黑龙江农垦八五〇农场, 黑龙江 虎林 158422)

摘 要: 为了研究 30% 矮壮素·烯效唑微乳剂对提高水稻抗倒伏能力和增产的效果, 进行了两年的田间试验和全国多点药效试验。在拔节初期进行药液喷雾处理的结果表明: 该 30% 矮壮素·烯效唑微乳剂能够显著降低水稻节间的赤霉素(GAs)含量, 显著缩短水稻基部节间长度, 增加节间粗度; 提高节间单位长度干物质重, 增强水稻抗倒伏能力; 穗粒数增加 8.3%~10.5%, 空秕率降低 3.8%~12.4%, 水稻产量增加 2.0%~5.3%。全国药效试验结果统计也表现出相似结果。表明 30% 矮壮素·烯效唑微乳剂具有防止水稻茎秆倒伏、增加产量的作用。

关键词: 矮壮素; 烯效唑; 水稻; 抗倒伏; 增产

DOI: 10.3969/j.issn.1008-7303.2011.02.08

中图分类号: S482.8

文献标志码: A

文章编号: 1008-7303(2011)02-0114-05

Effects of chlormequat-uniconazole 300 micro-emulsion on lodging resistance and yield of rice

ZHANG Qian¹, ZHANG Hai-yan², TAN Wei-ming¹, DUAN Liu-sheng^{*1}

(1. Engineering Research Center of Plant Growth Regulator, Ministry of Education/ College of Agronomy and Biotechnology,
China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Heilongjiang 850 Farm, Hulin 158422, Heilongjiang Province, China)

Abstract: Field experiments and the nationwide multi-sites experiments were carried out to investigate the effects of chlormequat-uniconazole 300 micro-emulsion (ME) on improving the lodging resistance and the yield of rice. Spraying at the early jointing stage of rice, the results showed that the gibberellin (GAs) content in internode, the basic internode and the diameter of the internode were significantly reduced, the dry internode weight was increased, the lodging resistance was improved, the grains/panicle were increased from 8.3% to 10.5%, the unripe grain ratio of rice was decreased from 3.8% to 12.4%, and the yields were increased from 2.0% to 5.3%. The tests of national multi-sites experiments have the consistent results.

Key words: chlormequat; uniconazole; rice; lodging-resistance; yield

收稿日期: 2010-07-02; 修回日期: 2010-10-19.

作者简介: 张倩(1983-), 女, 黑龙江哈尔滨人, 硕士研究生, E-mail: zhangqian1983102@163.com; * 通讯作者(Author for correspondence): 段留生(1969-), 男, 山东东明人, 教授, 主要从事农作物化学控制研究, 电话: 010-62731301, E-mail: duanlsh@cau.edu.cn

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划(2006BAD02A00); 国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2006AA10A213)。

随着生产条件的改善、单产水平的提高和气候等因素的变化,高产与倒伏的矛盾已成为限制水稻产量提高的重要因素之一^[1-4]。因此,抗倒伏成为水稻生产的迫切需求和高产研究的热点。植物激素作用机理的研究和作物化控技术的发展^[7-8],为水稻抗倒伏开辟了新的技术途径。矮壮素等季胺盐类、烯效唑和多效唑等三唑类植物生长调节剂可分别控制赤霉素(GAs)生物合成途径中的环化和氧化位点,有效抑制GAs的生物合成,降低节间的GAs含量,从而抑制水稻节间伸长,降低株高和增强后期抗倒伏能力。但近年研究发现,多效唑在土壤中残留时间长,对环境和后茬作物不安全,因而限制了其在水稻上的应用^[7,9-13]。烯效唑的生物活性为多效唑的8~10倍,降解也比多效唑快,目前已逐渐替代多效唑。中国农业大学农学与生物技术学院利用烯效唑与矮壮素控制赤霉素生物合成途径的原理及增效作用,研制了安全、高效的复合型植物生长调节剂30%矮壮素·烯效唑微乳剂,并已获得农药临时登记(LS20090813)。本研究以黑龙江寒地水稻为材料,结合全国多点试验结果,探讨该调节剂对水稻抗倒伏性状和籽粒产量的影响。

1 材料与方法

1.1 供试材料与试验设计

试验于2008-2009年在黑龙江省八五〇农场(北纬45°,东经132°)水稻科技园区(示范田)进行。该园区全年内 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的活动积温为2823.2 $^{\circ}\text{C}$,无霜期152d;地势平坦,土质为草甸白浆土,耕层20cm左右,土壤肥力中等,土壤有机质含量3.9%,pH值约6.0。供试水稻为垦稻12(黑龙江省农垦科学院水稻研究所选育的优质高产水稻新品种,抗性中等)。播种、田间管理和收获均按常规进行。

30%矮壮素·烯效唑微乳剂(chlormequat-uniconazole 300 ME)由黑龙江卫星生物科技有限公司生产。试验设4个处理:清水对照(CK)和药剂处理(0.9、1.2和1.5 L/hm²,分别折合有效成分4050、5400、6750 g/hm²)。在水稻拔节初期进行叶面喷施处理,每公顷对水量均为450 L。试验采用随机区组设计,重复4次。每小区15行,行长10.0 m,行距0.35 m,面积52.5 m²。

全国多点试验于2007-2008年分别在浙江、江苏、辽宁、黑龙江和湖北等水稻主栽区进行,品种为当地主要品种,栽培管理措施按常规进行,药剂处理方式同上。

1.2 试验方法

1.2.1 节间性状测定 于施药前选取长势一致的水稻植株20穴,并挂牌,于齐穗期时调查其中10穴的株高、主茎的各节间长度、节间粗度;主茎经105 $^{\circ}\text{C}$ 杀青后,在80 $^{\circ}\text{C}$ 下烘干24 h,测定各节间单位长度的干重。

1.2.2 GAs含量测定 在水稻拔节期于主茎第1、2节处于基本固定时间取样,剥取上述两节间,立即经液氮固定后保存于低温冰箱(-40 $^{\circ}\text{C}$)中,采用植物激素酶联免疫吸附测定法(ELISA)测茎秆中GAs含量^[14]。

1.2.3 产量构成因素调查 成熟期时从挂牌水稻中取10穴进行考种,调查穗粒数、千粒重和结实率,调查每m²穗数。理论产量/(kg/hm²)=每m²穗数×穗粒数×结实率×千粒重/10⁴。由于两年试验的结果一致性较好,本文主要以较为完整的2009年试验结果进行分析探讨。采用Microsoft Office Excel 2003与SAS V8.0软件对所测定数据进行整理及差异性分析,显著性水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 30%矮壮素·烯效唑微乳剂对株高及茎秆形态特征的影响

2.1.1 对株高和节间长度的影响 于水稻拔节初期应用不同浓度的30%矮壮素·烯效唑微乳剂处理,有降低植株高度的效果,特别是能显著抑制水稻基部1~3节间伸长,两年试验结果一致(表1)。

从对水稻株高的调控来看:由2008年的试验结果发现,用制剂1.2和1.5 L/hm²的剂量处理后株高分别比对照降低了8.0%和11.2%,与清水对照处理的差异达到显著水平;2009年的试验也表现出一致的结果,用相同剂量的制剂处理后,株高与对照差异显著,分别降低了7.4%和10.8%。随着调节剂用量的加大,水稻第1节间长度缩短。2008年的试验结果较对照缩短31.2%~44.2%,达到差异显著水平;2009年试验的缩短程度不如2008年,但也达到了9.1%~30.2%。30%矮壮素·烯效唑微乳剂也显著地缩短了水稻第2、3节间长度。2008年中,用制剂1.2和1.5 L/hm²的剂量处理后,2、3节间长度比对照分别缩短了18.5%、11.3%和26.7%、17.3%,2009年分别缩短了11.4%、5.7%和17.0%、10.2%。两年试验均出现“反跳”现象,即用调节剂处理未能缩短第4节间(穗下节)长度,部分浓度处理反而在一定程度上使其稍有增加,这有

表 1 30% 矮壮素·烯效唑微乳剂处理对水稻株高和节间长度的影响

Table 1 Effects of chlormequat-uniconazole 300 ME on plant height and internodes length of rice

年份 Year	处理 Treatment /(L/hm ²)	株高 Plant length /(cm, ± %)	节间长度 Internodes length/(cm, ± %)			
			1	2	3	穗下节 Blow spike
2008	CK	107.25 a	8.55 a	20.07 a	23.44 a	30.02 a
	0.9	101.98 ab(-4.9)	5.88 b(-31.2)	17.45 ab(-13.0)	21.61 ab(-7.8)	30.42 a(+1.3)
	1.2	98.65 bc(-8.0)	5.07 b(-40.7)	16.35 b(-18.5)	20.80 bc(-11.3)	30.25 a(+0.7)
	1.5	95.23 c(-11.2)	4.77 b(-44.2)	14.70 b(-26.7)	19.39 c(-17.3)	28.35 a(-5.5)
2009	CK	109.60 x	7.90 x	20.54 x	22.44 x	26.32 x
	0.9	105.63 xy(-3.6)	7.18 xy(-9.1)	18.10 y(-11.9)	20.28 y(-9.6)	25.55 x(-2.9)
	1.2	101.44 yz(-7.4)	5.99 yz(-24.1)	18.19 y(-11.4)	21.15 xy(-5.7)	26.40 x(+0.3)
	1.5	97.75 z(-10.8)	5.51 z(-30.2)	17.04 y(-17.0)	20.16 y(-10.2)	26.60 x(+1.1)
2007 - 2008	0.9	(-3.4)	(-15.8)	(-8.9)	(-5.6)	/
全国 10 地平均*	1.2	(-6.8)	(-23.2)	(-12.5)	(-8.4)	/
Average of 10 areas throughout the country*	1.5	(-9.5)	(-31.6)	(-13.8)	(-10.7)	/

* 括号内数字为处理较对照的增减百分数,数据后所带小写字母表示在 0.05 水平上差异显著,2008 年用 a,b,c 表示,2009 年用 x,y,z 表示;1~3 表示从基部数 3 个节间;全国示范试验由于品种不统一,株高和节间不具可比性,只列出平均株高降低和基部 1~3 节间缩短的幅度。

* The numbers in the bracket means the increase or decrease percent of the treatment prepared with the control. In the same column,different letters indicate significantly different (P < 0.05), a,b,c in 2008, and x,y,z in 2009; 1 - 3 indicate internodes from base; height and internodes are not comparable because the rice varieties are different in the test of national multi-sites, only average decreased and shortened extent of height and 1 - 3 internodes length are showed.

利于提高生育后期叶片光合作用的效率^④。

2007 - 2008 年在全国 10 个地区的示范试验结果与本试验结果一致。

2.1.2 对基部茎粗的影响 表 2 结果显示,用 1.2 和 1.5 L/hm² 的剂量处理后,水稻第 1 和第 2 节间

表 2 30% 矮壮素·烯效唑微乳剂对水稻各节间直径的影响

Table 2 Effects of chlormequat-uniconazole 300 ME on internode diameter of rice plant

年份 Year	处理 Treatment/ (L/hm ²)	节间直径 Diameter of internodes/mm			
		1	2	3	穗下节 Blow spike
2008	CK	5.26 b	4.34 b	3.54 a	1.84 a
	0.9	5.36 ab	4.48 a	3.50 a	1.86 a
	1.2	5.49 a	4.50 a	3.58 a	1.86 a
	1.5	5.51 a	4.50 a	3.55 a	1.85 a
2009	CK	5.27 y	4.34 y	3.42 x	1.84 x
	0.9	5.24 y	4.43 y	3.33 x	1.87 x
	1.2	5.62 x	4.49 x	3.40 x	1.75 xy
	1.5	5.63 x	4.50 x	3.39 x	1.67 y

* 数据后所带小写字母表示在 0.05 水平上差异显著,2008 年用 a,b,c 表示,2009 年用 x,y,z 表示;1~3 表示从基部数 3 个节间。

* In the same column,different letters indicate significantly different (P < 0.05), a,b,c in 2008, and x,y,z in 2009; 1 - 3 indicate internodes from base.

显著增粗;而对第 4 节间直径的影响两年的试验结果存在一定差异,2009 年 1.5 L/hm² 的调节剂处理缩短了第 4 节间的直径。

2.1.3 对节间单位长度干重的影响 两个试验剂量处理均不同程度地增加了水稻单茎节间干重。用 1.2 和 1.5 L/hm² 的调节剂处理能显著提高水稻基部前 3 个节间单位长度干重,其中对第 1 节间的单位长度干重提高最显著,分别增加 41.0% 和 46.3% (表 3);但是用 1.5 L/hm² 的调节剂处理却降低了水稻第 4 节间的单位长度干重。

2.2 30% 矮壮素·烯效唑微乳剂对茎秆节间赤霉素 (GAs) 含量的影响

水稻茎的发育过程和功能表达是由其内源激素调控的,其中赤霉素 GAs 对节间伸长生长有促进作用,与 IAA(3-吲哚乙酸) 互作有加强效应,该作用是通过调节微管排列及缩短细胞分裂周期而实现的。对水稻第 1、2 茎节的 GAs 含量测定结果(见图 1)表明,在水稻拔节期喷施不同剂量的 30% 矮壮素·烯效唑微乳剂能显著降低基部节间 GAs 含量,喷施 0.9、1.2 和 1.5 L/hm² 制剂的处理分别能使 GAs 含量降低 32.0%~48.9%。GAs 含量的降低与节间和株高的试验结果一致,这是因为微乳剂的两个有效成分都能引起 GAs 含量的下降。

表3 30%矮壮素·烯效唑微乳剂处理对水稻各节间干重的影响

Table 3 Effects of chlormequat-uniconazole 300 ME on dry weight per unit length of the internode

处理 Treatment/(L/hm ²)	节间单位长度干重 Dry weight per unit length of the internode/(mg/cm, ±%)			
	1	2	3	穗下节 Blow spike
CK	12.79 c	8.96 d	7.67 b	3.76 b
0.9	14.40 b(+12.6)	9.72 c(+8.5)	7.59 b(-0.9)	3.88 b(+3.0)
1.2	18.03 a(+41.0)	10.67 b(+19.1)	8.56 a(+11.7)	4.13 a(+9.8)
1.5	18.70 a(+46.3)	11.09 a(+23.8)	8.88 a(+15.8)	3.53 c(-6.0)

* 括号内数字为处理较对照的增减百分数,数据后所带小写字母表示在0.05水平上差异显著,2008年用a,b,c表示,2009年用x,y,z表示;1~3表示从基部数3个节间。

* The numbers in the bracket means the increase or decrease percent of the treatment than control. In the same column, different letters indicate significantly different ($P < 0.05$), a,b,c in 2008, and x,y,z in 2009; 1-3 indicate internodes from base.

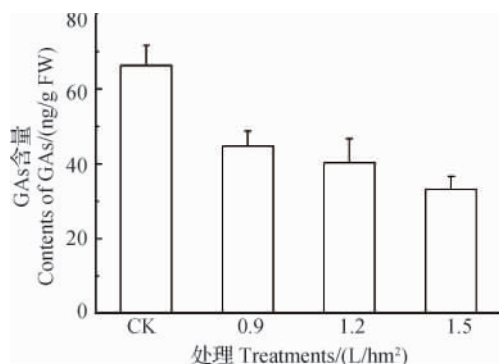


图1 30%矮壮素·烯效唑微乳剂处理对水稻节间GAs含量的影响

Fig. 1 Effects of chlormequat-uniconazole 300 ME on GAs contents in the second internode of rice plant

2.3 30%矮壮素·烯效唑微乳剂对水稻产量的影响

由对2009年水稻产量构成因素的调查结果(见表4)发现,0.9~1.5 L/hm²的30%矮壮素·烯效唑微乳剂能提高水稻平均穗粒数8.3%~10.5%,降低籽粒空秕率3.8%~12.4%,其中1.2 L/hm²的处理影响最显著。虽然该生长调节剂未能提高水稻单位面积穗数,水稻千粒重也并未提高,但由于其大幅提高了水稻穗粒数,降低了空秕率,因此水稻理论产量提高了6.4%~11.1%,差异达显著水平。其中以使用1.2 L/hm²调节剂的效果最佳。调节剂不同浓度处理提高水稻实际收获产量的范围是2.0%~5.3%,同样也以1.2 L/hm²的处理增产幅度最明显。

表4 30%矮壮素·烯效唑微乳剂处理对水稻产量及其构成因子的影响

Table 4 Effects of chlormequat · uniconazole 300 ME on yield and components of rice

处理 Treatment/(L/hm ²)	每平方米穗数 Panicles/m ²	穗粒数 Grains/panicle (±%)	空秕率 Unripened grain ratio/(% , ±%)	千粒重 1 000 grain weight/g	理论产量 Theory yield /(kg/hm ² , ±%)	收获产量 Harvested yield /(kg/hm ² , ±%)	
CK	564.3 a	77.4 b	18.6 a	23.80 a	8 461.6 c	7 090.6 b	
0.9	548.3 a	83.9 a(+ 8.3)	17.9 a(− 3.8)	23.90 a	9 026.5 b(+ 6.7)	7 235.4 ab(+ 2.0)	
1.2	553.3 a	85.6 a(+ 10.5)	16.3 b(− 12.4)	23.73 a	9 407.1 a(+ 11.1)	7 464.8 a(+ 5.3)	
1.5	550.3 a	84.7 a(+ 9.4)	17.7 ab(− 4.8)	23.47 a	9 003.2 b(+ 6.4)	7 285.7 b(+ 2.8)	
2007 − 2008	0.9	+ 0.25%	+ 7.6%	− 2.5%	− 0.27%	/	+ 1.8%
全国 10 地平均*	1.2	+ 0.02%	+ 12.3%	− 10.4%	+ 0.42%	/	+ 6.8%
Average of 10 areas throughout the country*	1.5	− 0.27%	+ 10.8%	− 11.2%	+ 0.13%	/	+ 4.7%

* 括号内数字为处理较对照的增减百分数,全国示范试验由于品种不统一,产量和产量构成因素不具可比性,只列出产量各构成因素及收获产量的变化幅度。

* The numbers in the bracket means the increase or decrease percent of the treatment than control. Yield and related factors of rice are not comparable because of the rice varieties are different in the test of the other national sites, only the average of the changed extent of yield and related factors of rice are showed.

3 结论与讨论

水稻抗倒伏能力与植株高度,特别是与基部节间长度有密切关系。大量研究结果表明:倒伏指数

与株高呈显著或极显著正相关^[5-14];抗倒伏能力与基部节间长度呈显著负相关,基部节间长的品种易发生倒伏^[7-14],而穗下节间长度对抗倒伏能力影响不大^[9]。另有报道,穗下节间长度与产量呈高度正

相关^[8,10]。本试验在水稻拔节初期应用 30% 矮壮素·烯效唑微乳剂处理,通过显著降低水稻基部节间的 GAs 含量,从而显著缩短了水稻基部第 1~3 节间长度,而对穗位节间的生长未表现出抑制效果,部分浓度处理还出现“反跳”现象,即增加了该节的长度。除了植株高度和基部节间长度外,水稻抗倒伏性与茎秆基部节间直径、茎壁厚度及充实度相关^[1-2,15],基部茎秆越粗,节间干重越大,茎秆充实程度越高,水稻越不易倒伏。施用 30% 矮壮素·烯效唑微乳剂能够显著增粗水稻基部节间直径,提高单位节间干重,显著增加茎秆干物质量,提高水稻的抗倒伏能力。

两年的园区示范试验均未发生植株倒伏现象,但在 2009 年农场连队试验田(类似实际生产)中却发生了不同程度的倒伏,对照处理出现 1/4 以上面积严重倒伏,这一状况与田间管理有关,因为农户为增产通常施用大量的氮肥,从而增加了倒伏的机率。施用 30% 矮壮素·烯效唑微乳剂后较对照有显著改善,并且高浓度比低浓度处理效果明显,1.2 L/hm² 处理已使未倒伏率达到 97% 左右。

于水稻拔节期施用不同浓度的 30% 矮壮素·烯效唑微乳剂,对构成水稻产量的因素如单位面积穗数、穗粒数、千粒重有不同的调控效果。与对照相比,调节剂未能提高水稻每平米穗数和千粒重,但能显著增加穗粒数,降低籽粒空秕率,显著提高水稻结实能力。从实际产量来看,使用 30% 矮壮素·烯效唑微乳剂 1.2 L/hm² 处理,水稻产量显著提高。全国多点示范试验结果也验证了其防止倒伏、提高产量的应用效果,今后将对其提高水稻产量的作用机理进行系统研究。

参考文献:

- [1] DENG Wen(邓文), QING Xian-guo(青先国), MA Guo-hui(马国辉), et al. 水稻抗倒伏研究进展 [J]. *Hybrid Rice*(杂交水稻), 2006, 21(6): 6-10.
- [2] YANG Shi-min(杨世民), XIE Li(谢力), ZHENG Shun-lin(郑顺林), et al. 氮肥水平和栽插密度对杂交稻茎秆理化特性与抗倒伏性的影响 [J]. *Acta Agronomica Sinica*(作物学报), 2009, 35(1): 93-103.
- [3] KASHIWAGI T. Lodging resistance locus *prl5* improves physical strength of the lower plant part under different conditions of fertilization in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. *Field Crops Res*, 2010, 115: 107-115.
- [4] KONO M. Physiological aspects of lodging // MATSUO T, KUMAZAWA K, ISHII R, et al. Science of the Rice Plant, Vol. 2: Physiology [M]. Food and Agriculture Policy Research Center, Tokyo, Japan, 1995: 971-982.
- [5] MAE T. Physiological nitrogen efficiency in rice: nitrogen utilization, photosynthesis, and yield potential [J]. *Plant Soil*, 1997, 196: 201-210.
- [6] SETTER T L, LAURELES E V, MAZAREDO A M, et al. Lodging reduces yield of rice by selfshading and reductions in canopy photosynthesis [J]. *Field Crops Res*, 1997, 49: 95-106.
- [7] DUAN Liu-sheng(段留生), TIAN Xiao-li(田晓莉). Crop Chemical Control Principle and Technology(作物化学控制原理与技术) [M]. Beijing(北京): China Agricultural University Press(中国农业大学出版社), 2004.
- [8] DONG Xue-hui(董学会), DUAN Liu-sheng(段留生), MENG Fan-lin(孟繁林), et al. 30% 已·乙水剂对玉米产量和茎秆质量的影响 [J]. *J Maize Sci*(玉米科学), 2006, 14(1): 138-140, 143.
- [9] ZHUANG Yun(庄云), MA Yao-mu(马尧牟), JIN Ming(金明), et al. 植物生长延缓剂对谷子生长及产量性状的影响 [J]. *J Anhui Agric Sci*(安徽农业科学), 2007, 35(33): 10641-10644.
- [10] DUAN Liu-sheng(段留生), LI Zhao-hu(李召虎), HE Zhong-pei(何钟佩), et al. 20% 多效唑·甲哌鎓微乳剂防止小麦倒伏和增产机理研究 [J]. *Chin J Pestic Sci*(农药学报), 2002, 4(4): 33-39.
- [11] XIAO Yue-tu(肖月土), LIU Ming-kuan(刘明宽), HE Chang-shui(何长水), et al. 几种生长调节剂对两系亚种间杂交水稻生长的影响 [J]. *China Seed*(中国种业), 2006(10): 33-34.
- [12] TONG Xiang-bing(童相兵), YE Tian-feng(叶天峰), YE Xiu-fen(叶秀芬), et al. 烯效唑防止连作杂交稻倒伏的效果初探 [J]. *Hybrid Rice*(杂交水稻), 1996(6): 38-39.
- [13] WANG Jian-guo(王建国), WANG Chen(王陈), YU Zheng-mao(于正茂), et al. 矮壮素烯效唑微乳剂对水稻生长及产量的影响 [J]. *Anhui Agric Sci Bull*(安徽农学通报), 2008, 14(5): 81-82.
- [14] HE Zhong-pei(何钟佩). Crop Chemical Control Experiment Guidance(作物化学控制实验指导) [M]. Beijing(北京): China Agricultural University Press(北京农业大学出版社), 1993.
- [15] YANG Hui-jie(杨惠杰), YANG Ren-cui(杨仁崔), LI Yi-zhen(李义珍), et al. 水稻茎秆性状与抗倒性的关系 [J]. *Fujian J Agric Sci*(福建农业学报), 2000, 15(2): 1-7.
- [16] YOSHIDA S. Physiological aspect of grain yield [J]. *Ann Rev Plant Physiol*, 1972, 23: 437-464.
- [17] ZHANG Qiu-ying(张秋英), OU-YANG You-nan(欧阳由男), DAI Wei-min(戴伟民), et al. 水稻基部伸长节间性状与倒伏相关性分析及 QTL 定位 [J]. *Acta Agronomica Sinica*(作物学报), 2005, 31(6): 712-717.
- [18] KASHIWAGI T, ISHIMARU K. Identification and functional analysis of a locus for improvement of lodging resistance in rice [J]. *Plant Physiol*, 2004, 134: 676-683.
- [19] ZHANG Zhong-xu(张忠旭), CHEN Wen-fu(陈温福), YANG Zhen-yu(杨振玉), et al. 水稻抗倒伏能力与茎秆物理性状的关系及其对产量的影响 [J]. *J Shenyang Agric Univ*(沈阳农业大学学报), 1999, 30(2): 81-85.

(责任编辑: 金淑惠)