

不同水稻品种抑制杂草潜力的田间评价

李 贵, 吴竞仑, 王一专, 刘丽萍

(江苏省农业科学院植物保护研究所, 南京 210014)

摘要:【目的】筛选具有较强抑制杂草特性的主栽水稻品种, 探索以水稻杂草生态关系为基础的水稻田杂草生态管理技术。【方法】采用田间小区试验方法, 建立各水稻品种与稗草、莎草科杂草和阔叶杂草的生物群落, 定量分析各水稻品种对田间杂草的抑制效果。【结果】两优华 6 号移栽后即表现出较强的抑制稗草、莎草科杂草和阔叶杂草的能力。移栽后 50 d 大多数水稻品种对稗草萌发的抑制率为 79.14%—88.84%, 对稗草干重的抑制率为 84.44%—90.23%, 但对阔叶杂草的抑制作用差异较大, 两优 932 和 PI312777 表现出较强的抑制所有杂草萌发、生长和干物质积累的作用, 移栽后 50 d 对杂草发生株数的抑制率超过 80%, 对杂草干重抑制率达 85%—90%。同时供试水稻品种对总草干重抑制率和对稗草干重抑制率具有相同趋势。【结论】筛选具有较强抑制杂草特性的主栽水稻品种并应用于生产实践具有良好的可行性和较强的实际意义, 利用分蘖性强、长势旺盛、群体整齐度好等农艺性状的水稻品种将有利于稻田杂草生态管理策略的完善。

关键词: 水稻品种; 抑制作用; 杂草; 评价

Field Evaluation of Suppressive Effect of Different Rice Varieties on Weeds in Paddy Field

LI Gui, WU Jing-lun, WANG Yi-zhuan, LIU Li-ping

(Institute of Plant Protection, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014)

Abstract: 【Objective】 Field experiments were conducted to screen out rice varieties with higher suppressive ability against weeds, and to explore the ecological weed management technics based on ecological relationship of rice and weeds. 【Method】 Biological community of rice and weeds including barnyardgrass [*Echinochloa crusgalli*(L.) Beauv], sedge and broad leaved weeds were established, and the suppressive effect of different rice cultivars on weeds were analyzed quantitatively. 【Result】 Liangyouhua 6 demonstrated suppressive effect on barnyardgrass, sedge and broad leaved weeds soon after rice transplanting. The suppressive effects of most tested rice varieties on barnyardgrass germination and dry weight were 79.14%-88.84% and 84.44%-90.23%, respectively, while the effects on broad leaved weeds were quite different at the time of 50d after rice transplanting. The suppressive effects on the weed germination, development and biomass accumulation mediated by Liangyouhua 6, Liangyou 932, and PI312777 were excellent compared with other rice cultivars, the effects were above 80% and 85%-90%, respectively. The same tendency was found in the suppressive effect on dry weight of total weeds and those on dry weight of barnyardgrass among the tested rice cultivars. 【Conclusion】 It is feasible and significant to screen out rice varieties with higher suppressive ability against weeds. Planting of the rice cultivars with suppressive traits such as strong tillering ability, fast growing and optimal population performance could improve ecological weed management in paddy field.

Key words: rice varieties; suppressive effect; weed; evaluation

0 引言

【研究意义】稻田杂草因与水稻争夺光、水、肥

等资源而成为影响水稻产量和稻米品质的重要因子。目前, 中国水稻生产主要采用化学除草手段来控制杂草危害, 但长期使用化学除草剂引发的食品安全、

收稿日期: 2009-04-06; 接受日期: 2009-11-02

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (30430460)、国家“十一五”科技支撑计划项目 (2006BAD08A09)、江苏省农业科技自主创新资金 (0610806-1)

作者简介: 李 贵, 副研究员, 硕士。Tel: 025-84390335; E-mail: ippligui@126.com。通信作者吴竞仑, 研究员。Tel: 025-84390228; E-mail: wujl4390228@163.com

公共卫生、自然环境及杂草抗(耐)药性等方面的不利影响已日益引起人们的关注^[1]。因此,利用作物自身优势控制杂草危害,降低化学除草剂使用量已成为杂草科学研究的重要问题^[2]。【前人研究进展】生产上通常通过使用技术改进^[3]、使用适期选择^[4]、局部喷雾^[5]等方法来提高除草剂利用效率进而降低除草剂使用量,利用适当的深水层等农艺措施实现水稻田生态控草^[6]。20世纪90年代以来,人们陆续在甜菜^[7]、玉米^[8-9]、大豆^[10]和小麦^[11]等作物田开展作物—杂草竞争关系的研究,利用具有竞争优势的作物品种控制杂草,不仅能有效抑制杂草生长,降低杂草结实量和土壤种子库的输入量,而且具有安全、简便、易操作的特点^[12-13]。近年来开始关注利用水稻品种内在的竞争特性控制杂草危害^[14],为水稻田化学除草剂的减量使用提供了一种可能的途径^[15]。Gibson等^[16]研究表明水稻品种与稗草的竞争关系有明显差异,较高竞争能力的水稻品种需要较低的除草剂就可获得相当的杂草控制效果,Bastiaans等^[17]和Zhao等^[18]通过比较不同水稻品种对杂草的竞争抑制,认为水稻早期快速的营养生长是抑制杂草的关键,Johnson等^[19]也认为强竞争力水稻品种在杂草危害严重的早稻田有助于降低人工防除的强度。同样,一些作物包括水稻被证实能释放化感物质^[20],且已从化学角度对许多物质进行了阐述,Navarez等^[21]在排除竞争的试验条件下证实不同水稻品种对靶标植物具有不同抑制作用,Olofsdotter等^[22]研究表明化感作用会导致品种间约34%的抑制杂草差异。【本研究切入点】因为化感作用与竞争关系的区分、化感水稻品种的选择方法、田间条件下化感作用的相关性以及水稻化感特性与生理学、形态学、物候学特征的相互关系仍然是不确定的,实际田间状况水稻—杂草相互关系往往是相互竞争和化感作用的综合表现,且水稻和杂草的竞争关系表现更直接和更普遍,同时一些强竞争力水稻品种的化感特性不得而知,因此水稻对杂草的综合抑制作用在生产上更具实际意义。本研究选择适宜江苏、安徽地区种植的主栽水稻品种,通过田间小区试验的方法,考察它们对田间杂草的综合抑制作用。【拟解决的关键问题】筛选具有良好抑制杂草能力的主栽品种应用于生产实践,奠定基于水稻-杂草生态关系的,结合栽培、农艺措施的稻田杂草生态管理技术体系研究的基础,实现水稻生产中降低化学除草剂用量的目标。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试水稻品种:嘉33、常优1号、II优58、两优932、扬稻6号、PI312777(以上品种分别由邱学林先生、朱文达先生、张洪熙先生和孔垂华先生提供)、徐稻4号(江苏徐淮地区徐州农业科学研究所提供)、两优华6号、天协6号(安徽天禾农业科技股份有限公司提供)。

供试草种:稗草[*Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv.], 2007年采集于江苏省农业科学院。种子基本完熟,室内发芽率83%。

1.2 试验设计

9个水稻品种栽插密度为45万穴/hm²,共9个处理,另外设不栽水稻的空白对照,重复4次,每小区16m²,随机区组排列。

1.3 试验概况

试验于2008年在江苏省农业科学院植物保护研究所实验农场进行,试验地为连续6年以上稻麦轮作稻田,土壤为马肝土,pH 7.5,主要营养指标为:有机质含量11.0 g·kg⁻¹,有效性氮(N) 5.1 g·kg⁻¹,全磷(P₂O₅) 1.3 g·kg⁻¹,全钾(K₂O) 6.6 g·kg⁻¹。田间主要莎草科杂草和阔叶杂草有水莎草[*Juncellus serotinus* (Rottb.) C.B. Clarke]、萤蔺[*Scirpus juncooides* Roxb.]、陌上菜[*Lindernia procumbens* (Krock.) Philcox]、节节菜[*Rotala indica* (Willd.) Koehne]、矮慈姑[*Sagittaria pygmaea* Miq.]、鸭舌草[*Monochoria vaginalis* (Burm.f.) Presl ex Kunth]等,田间呈聚集分布。供试水稻5月21日落谷,6月19日水稻移栽前每小区接种稗草50g(约1300粒/m²),6月20日按设计密度栽插水稻,栽插时水稻秧龄5—6叶,6月25日各小区撒施尿素(300 kg·hm⁻²)。水肥管理和病虫害防治同常规水稻高产栽培技术^[23]。

1.4 调查方法

水稻移栽后15d和50d,每小区随机选择5点,每点0.25m²(0.5m×0.5m),调查稗草、莎草和阔叶杂草株数,水稻移栽后50d调查杂草株数后,将调查点稗草、莎草和阔叶杂草连根挖出,用自来水洗净根系并把各植株根系分开,置入恒温干燥箱,104℃杀青30min,然后于70℃烘72h至恒重,用电子天平分别测定它们的干重,以空白区稗草、莎草和阔叶杂草的株数和干重为对照,按下式分别计算各处理区稗草、莎草和阔叶杂草的株数抑制率和干重抑制率。所有测定数据均采用DPS^[24]统计软件进行统计分析。

抑制率 (%) = [对照区杂草株数 (干重) - 处理区杂草株数 (干重)] / 对照区杂草株数 (干重) × 100%

2 结果

2.1 不同水稻品种移栽 15 d 后对杂草发生数量的抑制效果

虽然通常认为水稻移栽前期杂草与水稻在资源

竞争上并不突出, 但由表 1 可知, 水稻移栽 15 d 后, 两优华 6 号表现出良好的抑制稗草发生的潜力, 其它供试水稻品种表现一般。另外莎草科杂草、阔叶杂草发生数量也较大, 但各供试品种的抑制作用差异较大。比较对杂草总体发生数量的抑制效果, 两优华 6 号和具有明显化感特性 PI312777 的抑制率在 80% 左右, 明显优于其它品种, 这种移栽前期水稻对伴生杂草良好

表 1 不同水稻品种对杂草发生数量的抑制效果 (水稻移栽 15 d 后)

Table 1 Suppressive effect of different rice cultivars on weed plant numbers (%) (15 days after rice planting)

水稻品种 Rice cultivars	稗草 <i>E. crusgalli</i>	莎草科杂草 Sedge weeds	阔叶杂草 Broadleaf weeds	总草 Total weeds
嘉 33 Jia 33	62.50bc (124.0)	71.45de (75.0)	47.52d (310.0)	57.01d (509.0)
常优 1 号 Changyou 1	64.92bc (116.0)	68.41de (83.0)	46.17d (318.0)	56.34d (517.0)
扬稻 6 号 Yangdao 6	73.09b (89.0)	79.06bcd (55.0)	45.66d (321.0)	60.73cd (465.0)
徐稻 4 号 Xudao 4	66.43bc (111.0)	83.25abc (44.0)	52.26cd (282.0)	63.09cd (437.0)
两优华 6 号 Liangyouhua 6	84.58a (51.0)	86.30ab (36.0)	82.06a (106.0)	83.70a (193.0)
天协 6 号 Tianxie 6	69.76bc (100.0)	72.59cd (72.0)	68.34b (187.0)	69.68bc (359.0)
PI312777 PI312777	71.27b (95.0)	90.48a (25.0)	80.19a (117.0)	79.98ab (237.0)
II 优 58 II you 58	58.88c (136.0)	82.87abc (45.0)	58.86bc (243.0)	64.19cd (424.0)
两优 932 Liangyou 932	59.18c (135.0)	61.55e (101.0)	66.65b (197.0)	63.43cd (433.0)
对照 (株/m ²)	(330.7)	(262.7)	(590.7)	(1184.1)
Control (Plants/m ²)				

同列不同小写字母表示差异达显著水平 ($P < 0.05$)。括号外数字表示对相应杂草的抑制率, 括号内数字表示相应杂草株数/m²

Data followed by different letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level. The data show the suppressive effect on weeds, while the data in brackets represent corresponding weed numbers/m²

的抑制作用值得关注。

2.2 不同水稻品种移栽 50 d 后对杂草发生数量的抑制效果

与水稻移栽 15 d 后杂草发生数量相比较, 对照区稗草在水稻移栽后期甚至水稻封行后仍有所萌发, 莎草科杂草和阔叶杂草发生数量则因种内、种间生态关系有所下降。表 2 显示, 除常优 1 号外, 供试水稻品种对稗草发生数量的抑制作用均在 70% 以上, 其中扬稻 6 号、两优华 6 号、天协 6 号、PI312777、II 优 58 和两优 932 对稗草发生数量的抑制率均超过 80%, 同时扬稻 6 号、两优华 6 号、天协 6 号、PI312777 和两优 932 对莎草科杂草发生数量的抑制作用亦比较明显, 而常优 1 号和徐稻 4 号对莎草科杂草发生的抑制作用较弱, 对阔叶杂草发生数量的抑制作用各品种差异较大。由于在水稻移栽前接种了大量稗草, 稗草发生数量明显高于生产实际状况, 因此需结合水稻对杂草总体发生数量的抑制效果、对稗草生物量的抑制效果, 综合评价不同水稻品种抑草潜力。两优华 6 号、

两优 932 和具有明显化感特性的 PI312777 表现出较为突出的抑制杂草总体发生数量的作用, 总体控制效果超过 80%。笔者认为两优华 6 号和两优 932 长势繁茂、茎秆粗壮、分蘖力较强及其良好的株叶型态促进了其与杂草的竞争优势, 有利于抑制杂草的发生, 当然其是否具有化感抑草特性还需进一步探明。

2.3 不同水稻品种移栽 50 d 后对杂草干重的抑制效果

由表 3 可知, 除嘉 33、常优 1 号和徐稻 4 号外, 其它供试水稻品种对稗草干重的抑制作用均在 80% 以上, 除常优 1 号、扬稻 6 号和徐稻 4 号外, 其它供试水稻品种对莎草科杂草或阔叶杂草干重的抑制作用也较明显, 其中两优华 6 号对稗草干重的抑制率最高, 达 90.23%。但由于稗草发生数量明显较高, 因此供试水稻品种对总草干重抑制率与对稗草干重抑制率具有相同趋势。各品种比较表明扬稻 6 号、两优华 6 号、天协 6 号、II 优 58、两优 932 和 PI312777 对总草干重抑制率均超过了 80%, 具有良好的控制杂草干物质

表 2 不同水稻品种对杂草发生数量的抑制效果 (水稻移栽 50 d 后)

Table 2 Suppressive effect of different rice cultivars on weed plant numbers (%) (50 days after rice planting)

水稻品种 Rice cultivars	稗草 <i>E. crusgalli</i>	莎草科杂草 Sedge weeds	阔叶杂草 Broadleaf weeds	总草 Total weeds
嘉 33 Jia 33	79.14ab (99.0)	87.25a (17.0)	50.60c (137.0)	71.42cde (253.0)
常优 1 号 Changyou 1	69.67b (144.0)	69.99c (40.0)	46.27c (149.0)	62.39def (333.0)
扬稻 6 号 Yangdao 6	86.10a (66.0)	82.75ab (23.0)	4.44e (265.0)	60.01f (354.0)
徐稻 4 号 Xudao 4	79.78ab (96.0)	73.74bc (35.0)	23.91d (211.0)	61.37ef (342.0)
两优华 6 号 Liangyouhua 6	88.84a (53.0)	89.50a (14.0)	76.92ab (64.0)	85.20a (131.0)
天协 6 号 Tianxie 6	82.58a (82.7)	85.00a (20.0)	69.24b (85.3)	78.76abc (188.0)
PI312777 PI312777	83.99a (76.0)	87.25a (17.0)	76.92ab (64.0)	82.27ab (157.0)
II 优 58 II you 58	84.26a (74.7)	67.97c (42.7)	53.37c (129.3)	72.13bcd (246.7)
两优 932 Liangyou 932	82.09a (85.0)	90.25a (13.0)	81.25a (52.0)	83.06a (150.0)
对照 (株/m ²) Control (Plants/m ²)	(474.7)	(133.3)	(277.3)	(885.3)

同列不同小写字母表示差异达显著水平 ($P < 0.05$)。括号外数字表示对相应杂草的抑制率, 括号内数字表示相应杂草株数/m²

Data followed by different letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level. The data show the suppressive effect on weeds, while the data in brackets represent corresponding weed numbers/m²

表 3 不同水稻品种对杂草干重的抑制效果 (水稻移栽 50 d 后)

Table 3 Suppressive effect of different rice cultivars on weed dry weight (%) (50 days after rice planting)

水稻品种 Rice cultivars	稗草 <i>E. crusgalli</i>	莎草科杂草 Sedge weeds	阔叶杂草 Broadleaf weeds	总草 Total weeds
嘉 33 Jia 33	57.81b (496.4)	92.49a (2.8)	50.64cd (15.4)	58.67b (514.6)
常优 1 号 Changyou 1	61.27b (455.7)	57.10e (16.0)	57.05c (13.4)	61.04b (485.1)
扬稻 6 号 Yangdao 6	84.44a (183.1)	75.60c (9.1)	43.59d (17.6)	83.15a (209.8)
徐稻 4 号 Xudao 4	65.14b (410.1)	63.81de (13.5)	41.03d (18.4)	64.50b (442.0)
两优华 6 号 Liangyouhua 6	90.23a (114.9)	89.81ab (3.8)	82.37ab (5.5)	90.02a (124.2)
天协 6 号 Tianxie 6	87.80a (143.5)	70.78cd (10.9)	91.35a (2.7)	87.38a (157.1)
PI312777 PI312777	85.72a (168.0)	80.70bc (7.2)	81.09ab (5.9)	85.45a (181.1)
II 优 58 II you 58	86.74a (156.0)	90.08ab (3.7)	80.45b (6.1)	86.68a (165.8)
两优 932 Liangyou 932	85.24a (173.6)	75.07c (9.3)	91.35a (2.7)	85.09a (185.6)
对照 Control (g/m ²)	(1176.5)	(37.3)	(31.2)	(1245.0)

同列不同小写字母表示差异达显著水平 ($P < 0.05$)。括号外数字表示对相应杂草的抑制率, 括号内数字表示相应杂草干重/m²

Data followed by different letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level. The data show the suppressive effect on weeds, while the data in brackets represent corresponding weed dry weight/m²

积累的作用, 分析认为, 在与已萌发杂草的竞争中, 两优华 6 号、两优 932 优良的农艺性状同样有利于抑制杂草生长和生物量积累, 尤其是对前期发生稗草的控制作用更明显, 具有化感作用的 PI312777 对杂草生长也具有一定的抑制作用, 扬稻 6 号、天协 6 号和 II 优 58 虽然对莎草科杂草或阔叶杂草发生数量的抑制作用不显著, 但在对稗草发生数量及其生物量积累方面, 它们表现出良好的抑制潜力。分蘖性强、长势旺盛、群体整齐度好等农艺性状是这种抑制

作用的外在表现, 它们抑制杂草潜力的内在机理值得探讨。

3 讨论

利用水稻自身的竞争能力以及化感水稻品种抑制杂草是水稻田杂草生态管理的重要组成部分。目前国内外的研究主要集中在具有稳定抑草性状水稻品种(系)的遗传改良和化感水稻品种的应用基础^[6,25-29], 但筛选具有抑草性状的水稻基因型是一个劳动强度大

且昂贵的过程, 而且这种筛选通常在育种研究的后期才能成为可能^[30], 同时, 并非所有提高作物抑草效果的农艺性状都可以在生产实际中应用, 例如植株高度通常与其对杂草的抑制作用有关, 但易倒伏则增加了产量损失的风险。化感水稻品种的利用研究绝大多数限于控制条件下的化感物质分离、鉴定及对敏感杂草有效性测定等, 因为田间条件下化感作用很难与资源竞争及其它生物因子相区分, 所以田间条件下由化感作用介导的杂草-杂草、作物-杂草及当茬作物-后茬作物相互影响很难探明。另外, 化感物质的产生与释放很大程度上依赖于环境条件, 通常化感物质浓度在高温、干旱、营养缺乏、有害生物等逆境条件下较高, 因此在设计田间条件下高抑草特性的作物品种方面进展缓慢^[31], 甚至化感作用本质上能否成为持续有效的杂草管理手段仍然存在疑问^[32]。实际上, 在田间条件下水稻与杂草的相互关系往往是上述两方面共同作用的结果, 而且资源竞争表现更普遍、更直接, 利用具有较强抑草特性的主栽水稻品种来控制杂草危害, 进而达到减少化学除草剂使用量, 实现农田杂草生态管理的目标具有更强的可操作性。通常这些特性与水稻早期较高生长速率及较早的冠层建立有关, 虽然大多数情况下这些特性受环境因素影响, 但 Lemerle 等^[33]的研究认为不影响谷物产量的前提下选择种植具有抑草特性的栽培品种是可行的。本研究选择适宜江苏、安徽地区种植的主栽水稻品种, 考察它们在田间栽培条件下与杂草的竞争关系和对杂草萌发、生长以及生物量积累的控制效果, 结果表明, 供试水稻品种中, 两优华 6 号在移栽后即表现出较强的抑制杂草能力, 虽然其对杂草抑制作用的机理有待进一步探明, 但其幼苗矮壮墩实、茎秆粗壮和良好的株叶型态等农艺性状明显促进了其对杂草的抑制作用, 移栽 50 d 后对杂草发生株数的抑制率超过 85%, 对杂草干重抑制率超过 90%, 具有良好的抑制杂草萌发、生长和干物质积累的作用, 结果同样显示两优 932 也具有良好的抑制杂草潜力, 该结论提示, 挖掘利用一些具有分蘖性强、长势旺盛、群体整齐度好等农艺性状的水稻品种将有利于杂草生态管理策略的完善。同时比较分析认为 PI312777 更多依靠自身分泌的化感物质来抑制杂草的萌发。

本研究中, 水稻移栽前接种了大量稗草, 但实际水稻生产中不同地区、不同品种以及不同栽培条件下田间杂草群落结构各不相同, 水稻与杂草相互关系的利用只是杂草生态管理的基础, 栽培条件和农艺措施

同样是影响作物-杂草相互关系的重要因素^[34], 单纯依靠水稻群体优势或自身的化感特性来控制杂草往往表现不甚理想, 将这些生态因子和水稻杂草相互关系有机结合起来, 进而在水稻生产上合理组合各种生态因子, 在有效地控制稻田杂草危害的同时降低除草剂使用量和使用次数, 建立稻田杂草生态管理技术体系, 促进安全高效的水稻生产还需要大量的拓展研究, 但在充分挖掘水稻和杂草生态竞争关系的基础上进行有选择的杂草治理方式具有广阔的应用前景。

4 结论

不同水稻品种对伴生杂草的抑制作用存在差异, 两优华 6 号和两优 932 具有分蘖性强、长势旺盛、群体整齐度好等农艺性状, 其幼苗矮壮墩实、茎秆粗壮和良好的株叶型态明显促进了其对杂草的抑制作用, 表现出较强的抑制杂草萌发、生长和干物质积累的作用, 生产实践中利用具有较强抑草能力的主栽水稻品种, 同时结合适宜的生态因子调控技术和农艺措施, 将有助于形成以抑草水稻品种为基础的稻田杂草生态管理和田间应用技术体系, 进而达到减少化学除草剂的使用, 延缓抗(耐)药性杂草的发生和促进水稻安全生产的目的。虽然这样的综合抑制作用在评价标准、研究方法等方面还有待进一步完善, 但作为水稻田杂草综合治理的重要组成部分, 水稻品种抑草能力的利用与改进无疑是具有吸引力的杂草管理策略之一。

致谢: 对本研究提供供试水稻品种的个人和单位表示衷心感谢。李永丰先生为本研究提供部分参考资料, 一并表示感谢。

References

- [1] Bastiaans L, Paolini R, Baumann D T. Focus on ecological weed management: What is hindering adoption? *Weed Research*, 2008, 48: 481-491.
- [2] Fernando B P, Emilio A L, David J M, Grisel M F, Albert J F. Relating rice traits to weed competitiveness and yield: A path analysis. *Weed Science*, 2006, 54: 1122-1131.
- [3] Brown L, Soltani N, Shropshire C, Spieser H, Sikkema P H. Efficacy of four corn (*Zea mays* L.) herbicides when applied with flat fan and air induction nozzles. *Weed Biology and Management*, 2007, 7: 55-61.
- [4] Riethmuller-Haage I, Bastiaans L, Kempenaar C, Smutny V, Kropff M J. Are pre-spraying growing conditions a major determinant of

- herbicide efficacy? *Weed Research*, 2007, 47: 415-424.
- [5] Gerhards R, Christensen S. Real-time weed detection, decision making and patch spraying in maize, sugarbeet, winter wheat and winter barley. *Weed Research*, 2003, 43: 385-392.
- [6] 李 贵, 吴竞仑, 王一专, 刘丽萍. 栽插密度和水层对水稻化感品种抑草作用的影响. 上海交通大学学报: 农业科学版, 2007, 25(6): 561-565.
- Li G, Wu J L, Wang Y Z, Liu L P. Effects of transplanting density and water depth on interference of allelopathic rice in weeds. *Journal of Shanghai Jiaotong University: Agricultural Science*, 2007, 25(6): 561-565. (in Chinese)
- [7] Lotz L A P, Groeneveld R M W, de Groot N A M A. Potential for reducing herbicide inputs in sugar beet by selecting early closing cultivars//*Proceedings 1991 Brighton Crop Protection Conference -Weeds*, Brighton, UK, 1991: 1241-1248.
- [8] Lindquist J L, Mortensen D A, Johnson B E. Mechanisms of corn tolerance and velvetleaf suppressive ability. *Agronomy Journal*, 1998, 90: 787-792.
- [9] Williams II M M, Boydston R A, Davis A S. Crop competitive ability contributes to herbicide performance in sweet corn. *Weed Research*, 2008, 48: 58-67.
- [10] Callaway M B, Forcella F. Crop tolerance to weeds//Callaway M B, Francis C A. *Crop Improvement for Sustainable Agriculture*. Lincoln: University of Nebraska Press, 1993: 100-131.
- [11] Lemerle D, Verbeek B, Martin P. Breeding wheat cultivars more competitive against weeds//*Proceedings of the 2nd International Weed Control Congress*, Copenhagen. Department of Weed Control and Pesticide Ecology, Slagelse, Denmark, 1996: 1323-1324.
- [12] Jordan, N. Prospects for weed control through crop interference. *Ecological Applications*, 1993, 3(1): 84-91.
- [13] Gibson K D, Fischer A J, Foin T C, Hill J E. Crop traits related to weed suppression in water-seeded rice (*Oryza sativa* L.). *Weed Science*, 2003, 51: 87-93.
- [14] Ni H W, Moody K, Robles R P. Analysis of competition between wet-seeded rice and barnyardgrass (*Echinochloa crusgalli*) using a response-surface model. *Weed Science*, 2004, 52: 142-146.
- [15] Gealy D R, Wailes E J, Estorninos Jr. L E, Chavez R S C. Rice cultivar differences in suppression of barnyardgrass (*Echinochloa crusgalli*) and economics of reduced propanil rates. *Weed Science*, 2003, 51: 601-609.
- [16] Gibson K D, Hill J E, Foin T C, Caton B P, Fischer A J. Water-seeded rice cultivars differ in ability to interfere with watergrass. *Agronomy Journal*, 2001, 93: 326-332.
- [17] Bastiaans L, Kropff M J, Kempuchetty N, Rajan A, Migo T R. Can simulation models help design rice cultivars that are more competitive against weeds? *Field Crops Research*, 1997, 51: 101-111.
- [18] Zhao D L, Atlin G N, Bastiaans L, Spiertz J H J. Cultivar weed-competitiveness in aerobic rice: heritability, correlated traits, and the potential for indirect selection in weed-free environments. *Crop Science*, 2006, 46: 372-380.
- [19] Johnson D E, Dingkuhn M, Jones M P, Mahamane M C. The influence of rice plant type on the effect of weed competition on *Oryza sativa* and *Oryza glaberrima*. *Weed Research*, 1998, 38: 207-216.
- [20] Inderjit, Keating K I. Allelopathy: principles, procedures, processes, and promises for biological control. *Advances in Agronomy*, 1999, 67: 141-232.
- [21] Navarez D C, Olofsdotter M. Relay seeding technique for screening allelopathic rice (*Oryza sativa*)//*Proceedings of the 2nd International Weed Control Congress*, Copenhagen. Department of Weed Control and Pesticide Ecology, Slagelse, Denmark, 1996: 1285-1290.
- [22] Olofsdotter M, Navarez D, Rebulanan M, Streibig J C. Weed-suppressing rice cultivars—does allelopathy play a role? *Weed Research*, 1999, 39: 441-454.
- [23] 杨立炯, 崔继林, 汤玉庚. 江苏稻作科学. 南京: 江苏科学技术出版社, 1990: 260-456.
- Yang L J, Cui J L, Tang Y G. *Rice Crop Science and Technology in Jiangsu Province*. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1990: 260-456. (in Chinese)
- [24] 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: 43-187.
- Tang Q Y, Feng M G. *DPS Data Processing System for Practical Statistics*. Beijing: Science Press, 2002: 43-187. (in Chinese)
- [25] 胡 飞, 孔垂华, 徐效华, 张朝贤, 陈雄辉. 水稻化感材料的抑草作用及其机制. 中国农业科学, 2004, 37(8): 1160-1165.
- Hu F, Kong C H, Xu X H, Zhang C X, Chen X H. Weed-suppressing effect and its mechanism of allelopathic rice accessions. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(8): 1160-1165. (in Chinese)
- [26] 林文雄, 何海斌, 熊 君, 沈荔花, 吴敏鸿, 林瑞余, 何华勤, 梁义元, 李兆伟, 陈 婷. 水稻化感作用及其分子生态学研究进展. 生态学报, 2006, 26(8): 2687-2694.
- Lin W X, He H B, Xiong J, Shen L H, Wu M H, Lin R Y, He H Q, Liang Y Y, Li Z W, Chen T. Advances in the investigation of rice allelopathy and its molecular ecology. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(8): 2687-2694. (in Chinese)
- [27] 吴竞仑, 李永丰, 陈志石, 王一专. 不同生态条件下华抗草 78 水稻

- 对杂草的干扰控制作用. 应用生态学报, 2006, 17(9): 1645-1648.
- Wu J L, Li Y F, Chen Z S, Wang Y Z. Interference of allelopathic rice Huakangcao 78 on weeds under different ecological conditions. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(9): 1645-1648. (in Chinese)
- [28] Weston L A. History and current trends in the use of allelopathy for weed management//*Proceedings of the 4th World Congress on Allelopathy*, Wagga Wagga, Australia, 2005: 15-21.
- [29] Jensen L B, Courtois B, Olofsdotter M. Quantitative trait loci analysis of allelopathy in rice. *Crop Science*, 2008, 48: 1459-1469.
- [30] Mortensen D A, Bastiaans L, Sattin M. The role of ecology in the development of weed management systems: An outlook. *Weed Research*, 2000, 40: 49-62.
- [31] Olofsdotter M. Getting closer to breeding for competitive ability and the role of allelopathy—An example from rice (*Oryza sativa*). *Weed Technology*, 2001, 15: 789-806.
- [32] Barberi P. Weed management in organic agriculture: are we addressing the right issues? *Weed Research*, 2002, 42: 177-193.
- [33] Lemerle D, Verbeek B, Cousens R D, Coombes N E. The potential for selecting wheat varieties strongly competitive against weeds. *Weed Research*, 1996, 36: 505-513.
- [34] Lemerle D, Verbeek B, Orchard B. Ranking the ability of wheat varieties to compete with *Lolium rigidum*. *Weed Research*, 2001, 41: 197-209.

(责任编辑 毕京翠, 李 莉)