

水稻品种化感潜力的双重评价与筛选

周勇军, 李 迪, 陆永良, 余柳青*, 陈铭学

(中国水稻研究所 水稻生物学国家重点实验室, 杭州 310006)

摘要:以初筛获得的 7 份水稻品种为材料, 用特征次生物质标记法在 HPLC 上测定化感指数 *AI* 值并结合田间小区试验进行双重评价与筛选, 得到 3 份既具高化感指数又具较高田间抗草活性的水稻化感品种(系), 它们是: 我国台湾品种 I-Kung-Pao、Parahainakoru 和大陆品种 HB-1。它们对无芒稗根长抑制率分别达 57%、64%、55%, 均超过 50%; 其化感指数分别是 0.61、0.56、0.59, 均与美国化感潜力品种 PI312777 的化感指数 0.59 相近; 结果表明, 水稻品种 I-Kung-Pao、Parahainakoru 和 HB-1 是我国宝贵的化感品种资源。

关键词:水稻化感品种(系); 无芒稗; 抑制率; 化感指数

文章编号:1000-0933(2005)07-1599-05 **中图分类号:**Q948.12 **文献标识码:**A

Evaluation of allelopathic potential in rice germplasm

ZHOU Yong-Jun, LI Di, LU Yong-Liang, YU Liu-Qing*, CHEN Ming-Xue (State Key Laboratory of Rice Biology, China National Rice Research Institute, Hangzhou 310006, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(7): 1599~1603.

Abstract: Weeds in paddy are known to reduce rice yield severely. Use of herbicides for weed control has given rise to many problems related to environmental protection, herbicide-tolerant weeds and contamination of agricultural products, which endangered the sustainable development of agriculture. Since last decades, ecological methods for weed control have been developed. Research on rice allelopathy against weeds that started in late 1980's had been encouraging and developed fast. It is one of the first steps for research on rice allelopathy against weeds that involved the screening potential of rice germplasm (*Oryza sativa* L.). The objective of this research was to determine the allelopathic rice germplasm with both high allelopathic index (*AI*) and high activity against weeds. Seven rice germplasm (*Oryza sativa* L.) were used as the test materials in this experiment which were primarily screened by bioassay methodology. The allelopathic indices (*AIs*) were determined with HPLC by the special secondary metabolite marking method, and then, the field experiments were conducted to confirm the weed control effects derived from rice varieties. High allelopathic activity against barnyardgrass (*Echinochloa crusgalli* L.) of the three rice germplasm (I-Kung-Pao, Parahainakoru from native Taiwan and HB-1 from Mainland China) was detected among the tested rice germplasm. The inhibitory ratios of barnyardgrass root length were 57, 64 and 55%, respectively. The *AIs* were 0.61, 0.56 and 0.59, respectively, similar to the allelopathic rice PI312777 from the United States considered as control in the experiment. Satisfactory weed control effects in field were obtained as reductions of both the plant density and the fresh weight of barnyardgrass. On short, the rice varieties of I-Kung-Pao, Parahainakoru and HB-1 were regarded as valuable rice germplasm with high allelopathic potential in China.

Key words: allelopathic rice varieties; *Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv. var. *mitis*; inhibitory ratio; allelopathic index (*AI*)

以稗草为代表的稻田杂草对水稻的生长和产量的影响很大^[1]。目前, 对稻田杂草的防治主要依赖化学除草剂, 但化学除草

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30170620); 国家“十五”科技攻关资助项目(2001BA509B07)

收稿日期:2004-09-16; **修订日期:**2005-05-24

作者简介:周勇军(1977~), 男, 湖南新化人, 硕士, 主要从事杂草生态学研究。E-mail: zhyj88888@163.com

* 通讯联系人 Author for correspondence. E-mail: liuquy53@yahoo.com.cn

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No. 30170620); The National “Tenth Five-Year Plan” Key Program of Science and Technology (No. 2001BA509B07)

Received date: 2004-09-16; **Accepted date:** 2005-05-24

Biography: ZHOU Yong-Jun, Master, mainly engaged in weed ecology. E-mail: zhyj88888@163.com

剂的长期使用,其残留对作物的药害时有发生,局部地区农田和水环境被污染,杂草抗药性生物型增多,农产品安全问题突出,给农业可持续发展构成潜在威胁^[2]。

因此,如何在生态安全的条件下实现对稻田杂草的有效控制成为科研工作者近年追求的目标^[3,4]。近年水稻化感作用在国内外得到广泛的研究^[4~10]。幸运的是,少数水稻品种(系)自身能够产生并释放特定的次生物质而抑制伴生的杂草,开发和利用水稻自身抑制杂草的化感功能将有助于实现可持续的稻田杂草防治策略,大大减少除草剂的使用。因此,近年来选育能商业化的水稻化感品种已成为各国学者关注的焦点^[11,12]。对于化感水稻品种的选育,首要的工作便是筛选出具有高化感潜力的抗原材料。

近年来,国内外学者在水稻化感品种的筛选上做了很多出色的工作,并取得了可喜的成果^[2,5,6,13~24]。我国稻种资源十分丰富,现保存有 46885 种(包括 4655 份野生稻)^[25]。与我国这样丰富的稻种资源量相比,目前我国开展的水稻化感作用评价规模小,被评价的品种(系)比例还不到 4%^[2]。因此,水稻化感品种的筛选,对我国丰富的稻种资源的化感作用的全面评价和利用具有非常重要的意义。

本研究借鉴了前人的研究方法,利用在人工气候箱中初筛的水稻品种(系)为材料,利用特征次生物质标记法^[5]测定其化感指数 AI 值,同时在田间自然条件下进行复筛验证。通过测定化感指数 AI 值和田间自然条件下双重验证筛选出一些既具高化感指数又在田间自然条件下具有较高抗草活性的水稻化感品种(系),对加速水稻化感种质资源信息库的建立,为利用基因工程技术进行化感育种,培育高产、优质及高抗性的水稻品种提供重要的资源。

1 材料和方法

1.1 材料

供试 7 份具有化感潜力的水稻品种(系)由中国水稻研究所李迪等(2004)用砂培法在人工气候箱中初筛获得,它们分别是: I-Kung-Pao、NO-IKU1716、Parahainakoru、C. Dzolia Sel、DIANSHAO 1、HB-1 和 D-Gu,原产地为我国台湾和大陆;对照非化感水稻品种 Xiushui 63 由本课题组鉴定保存^[21];对照化感水稻品种 PI312777 由美国 Dale Bumpers 国家水稻研究中心提供。

无芒稗种子分别于 2001 年 9 月和 2002 年 9 月从中国水稻研究所富阳试验基地采集,晾干后置冰柜(-20°C)中保存备用。

高效液相色谱(HPLC)为惠普公司 HP-1100 型。

1.2 方法

1.2.1 用特征次生物质标记法^[5]测定抗草品种的化感指数 AI 值 从 3 叶期水稻幼苗取第 2 片叶片剪碎混匀,称取鲜样 20mg,用 3ml 甲醇在冰箱中 5°C 浸泡 12h。取上清液,除去甲醇后加 1:1 的甲醇:水(V/V)1ml,配成 $20\text{mg F. W. ml}^{-1}$ 的溶液,用 HPLC 测定。对照品种是 PI312777。HPLC 测定条件:C18 反相柱(Hypersil, $250\times 4\text{mm}$, $5\mu\text{m}$),以 1%乙酸水溶液(A)和乙腈(B)混合溶剂为流动相进行梯度测定。在 $1.0\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$ 流速下,以 8%的 B 流 3min,然后以 35%B 流 22min,再以 8%的 B 流 5min,总共 30min,进样量 $10\mu\text{l}$,紫外检测波长 320nm,采集 14.5~18min 的色谱数据,确定相应特征次生物质色谱峰面积,计算样品的化感指数(allelopathic index, AI)。

$$AI = \text{化感物质色谱峰 } 2, 3, 6, 7, 8 \text{ 面积之和} / \text{总色谱峰}(1\sim 8) \text{ 面积}$$

化感指数 AI 值愈大,化感抑制潜力愈大。

1.2.2 对筛选的化感水稻品种(系)进行田间验证 田间试验于 2003 年 6 月至 10 月在中国水稻研究所富阳试验基地进行。土壤为砂壤粘土,pH7.1,有机质含量 3.4%。

采用直播法,小区面积 1m^2 ,重复 3 次。水稻种子经消毒、浸种、催芽至露白。每小区播种 3 排水稻种子,每排 10 粒,共 30 粒。每 2 排水稻种子间隔 30cm。水稻生长 7d 后,播种无芒稗种子,无芒稗种子预先浸种、催芽至露白,分 4 排播于 3 行稻苗之间及两侧,每排播 5 粒,共播 20 粒。并设单一无芒稗对照。

田间试验对稗草抑制率以 R 表示,设处理值为 T ,对照值为 C ,则 $R=1-T/C$, $R>0$ 为抑制, $R<0$ 为促进, R 愈大表明化感抑制作用愈强。

水稻全生育期不施除草剂,接种无芒稗前人工拔除杂草一次。水、肥、及病虫害管理同常规。

1.3 数据分析

所有数据用 DPS 软件^[26]中的 Duncan's 法进行方差分析和差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 水稻化感潜力品种(系)的化感指数 AI 值

经 HPLC 测定并计算各水稻品种的化感指数 AI 值,对比各水稻品种的 AI 值与其对稗草根长的抑制率的关系(表 1),可以看出:对照水稻品种 Xiushui63 的 AI 值只有 0.24,其对稗草根长的抑制率为负值,即对稗草根长有促进作用;而水稻品种 D-Gu 的 AI 值只有 0.14,其对稗草的根长抑制率也只有 20%左右,显著小于其它 7 个 AI 值均大于 0.40 的水稻品种对稗草的抑

制率。其它 7 个水稻品种的 AI 值均大于 0.40,其对稗草根长的抑制率显著增大,抑制率都在 50%以上,但随着水稻品种 AI 值的增大对根长的抑制率变化不大。说明这 7 个水稻品种在室内都具有较大的化感潜力。

按照孔垂华等评价标准,表 1 中的水稻品种 I-Kung-Pao、HB-1 和 Parahainakoru 的 AI 值均大于水稻品种能显示化感效应的临界化感指数值 0.45,均可能是具有化感潜力的水稻品种资源。其中筛选的水稻品种之一 I-Kung-Pao 的 AI 值还稍微高于公认化感水稻品种 PI312777。对比水稻化感品种 PI312777 的 HPLC 图谱^[5],从化感潜力水稻品种 I-Kung-Pao 与化感品种 PI312777 以及非化感品种 Xiushui63 的 HPLC 色谱图(图 1)可以看出:在本色谱条件下,对文献中化感品种 PI312777 的色谱峰峰 1,2 未能分开,因峰 1,2 均为非特征峰,故可以把它们合并在一起为峰 1,其它色谱峰 3,4,5,6,7,8,9 依次变成峰 2,3,4,5,6,7,8,它们分属间长链烷基苯二酚、黄酮和羟基脂肪酸 3 类不同的糖甙分子。这样,特征峰就变成了峰 2,3,6,7,8,它们分别是:2. 间阿拉伯糖甙十五烷基苯酚;3. 间阿拉伯糖甙十五烯-8-苯酚;6. 木糖甙木犀草素;7. 葡萄糖甙羟基脂肪酸;8. 葡萄糖甙甲基羟基脂肪酸。照样可以按照其计算化感指数 AI 值的方法计算各水稻品种的化感指数 AI 值,并不影响计算结果。而在同一色谱条件下,不同色谱峰代表不同化合物或化合物组合,化感潜力水稻品种 I-Kung-Pao 的色谱峰峰型与化感品种 PI312777 的峰型基本相似,只是在个别色谱峰上大小有较小的差异,故表明该水稻品种释放的特征次生物质与化感水稻品种 PI312777 释放的次生物质基本上是相似的。而非化感品种 Xiushui63 与化感品种 PI312777 的峰型相差很远,特别是在化感特征色谱峰上差别非常大,在非化感品种 Xiushui63 上,特征色谱峰只有峰 3,而其它的特征色谱峰基本没有,表明该非化感品种在释放的特征次生物质种类和数量上都较化感品种 PI312777 少,故不显示化感效应。

表 1 不同 AI 值的水稻品种对稗草根长的抑制率
Table 1 Root length inhibition of barnyardgrass by rice varieties with different AI

水稻品种 Rice varieties	化感指数(AI) Allelopathic Index	对稗草抑制率(%) Root length inhibition ratio(%)
I-Kung-Pao	$0.61 \pm 0.01a$	$57 \pm 9a$
PI312777	$0.59 \pm 0b$	$55 \pm 3a$
HB-1	$0.59 \pm 0b$	$55 \pm 3a$
Parahainakoru	$0.56 \pm 0.01c$	$63 \pm 9a$
Cophadi Dzolia Sel	$0.43 \pm 0.01d$	$62 \pm 5a$
DIANSHAO 1	$0.42 \pm 0.02d$	$57 \pm 6a$
No-Iku 1716	$0.41 \pm 0.01e$	$63 \pm 16a$
Xiushui 11	$0.24 \pm 0.01f$	$-2 \pm 10c$
D-Gu	$0.14 \pm 0.01g$	$20 \pm 9b$

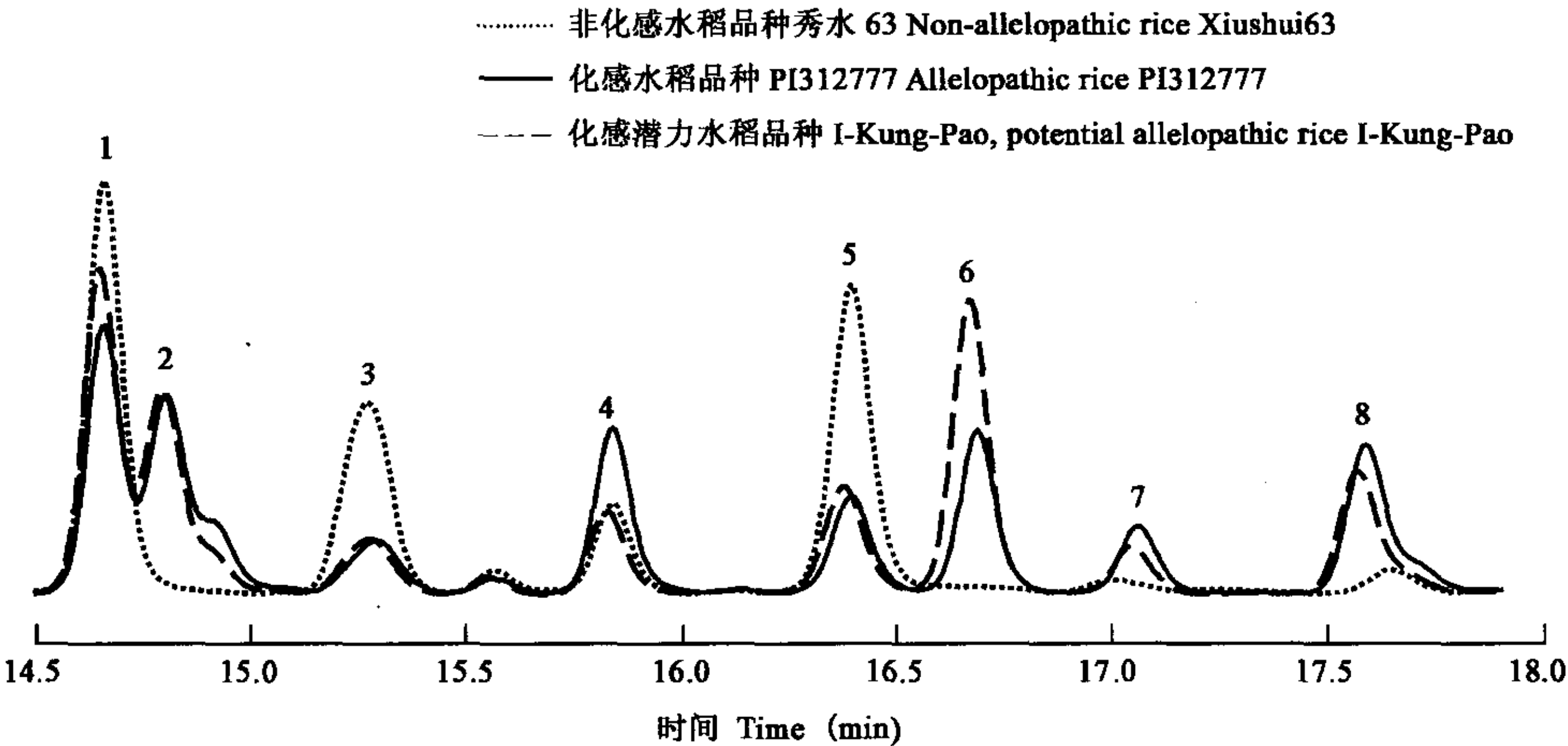


图 1 水稻化感潜力品种 I-Kung-Pao 与化感品种 PI312777 以及非化感品种 Xiushui63 的 HPLC 色谱比较图
Fig. 1 HPLC profiles of potential allelopathic rice I-Kung-Pao, allelopathic rice PI312777 and non-allelopathic rice Xiushui 63

2.2 水稻化感潜力品种的田间验证

在大田自然条件下,无芒稗与水稻共生 40d 后,取样调查。结果表明,和非化感品种 Xiushui 63 相比,初筛的 7 个品种对无芒稗的茎数防效和植株鲜重防效明显高于 Xiushui 63,其中 6 个水稻品种与 PI312777 相比差异不显著,表明该 6 个初筛水稻品种对无芒稗的田间防效较好,与 PI312777 防效相近。而 D-gu 对无芒稗的茎数防效和植株鲜重防效最高,达到显著水平,且 D-gu 对无芒稗的控制效果也明显高于美国化感潜力品种 PI312777 和其它 6 个初筛的水稻品种(表 2)。这是因为田间条件下水稻对杂草的抑制效应,除了化感作用因子外,还与竞争作用和环境条件有关^[21]该水稻品种在田间表现的抑草效应可能与其高竞争能力和高环境适应性相关,而此时化感作用因子不占主导地位。

3 讨论

在智能人工气候箱中水稻与无芒稗共生至 3 叶期,考察无芒稗的根长影响因子 R_{RL} 、植株高度影响因子 R_{SH} 、植株干重影响因子 R_{PDW} 和计算其综合影响因子 R_I ,以综合影响因子 R_I 作为评价指标,初步评价了 470 多份水稻品种(系)的化感控制杂草作用,获得了 R_I 小于 0.7 具有化感作用趋势的 7 个品种(系)No-Iku1716、C. Dzolia Sel、Parahainakoru、HB-1、DIANSHAO 1、D-gu 和 I-Kung-Pao^[2]。本实验再通过特征次生物质标记法测定该 7 个水稻品种的化感指数 AI 值并结合田间验证,对初筛的 7 个水稻品种进行了双重验证。结果显示:只有 Parabainakoru、HB-1、I-Kung-Pao 3 个水稻品种的 AI 值超过能显示化感效应的临界化感指数值 0.45^[5],分别达到 0.61、0.56、0.59,均与公认的化感品种 PI312777 的化感指数 0.59 相近,且在田间条件下也对无芒稗显示较强的化感抑制效应。

水稻品种 D-Gu 虽然对无芒稗的综合影响因子 R_I 值也小于 0.70,特别是对植株高度影响因子 R_{SH} 和植株干重影响因子 R_{PDW} 都小于其它 6 个水稻品种的 R_{SH} 和 R_{PDW} 值,且该水稻品种在田间也显示出较好的抑草活性,故被李迪等确定为化感潜力品种。但本实验通过测定其化感指数 AI 值仅为 0.14,远低于能显示化感效应的临界化感指数 0.45;且其对无芒稗根长的抑制作用很小,其影响因子 R_{RL} 值高达 0.80,所以可以确定该水稻品种应为非化感水稻品种。该水稻品种之所以能对无芒稗的综合影响因子 R_I 值小于 0.70,是因为其对无芒稗的植株高度影响因子 R_{SH} 和植株干重影响因子 R_{PDW} 分别达到 0.62 和 0.58,才降低了综合影响因子 R_I 值,以至于其 R_I 值小于 0.70 的。该水稻品种在田间也显示出较好的抑草活性,这可能与其在田间条件下的高竞争能力和高环境适应性有关。

水稻品种 No-Iku1716、C. Dzolia Sel 和 DIANSHAO 1 对无芒稗的综合影响因子 R_I 值也小于 0.70,且其对无芒稗根长的影响因子 R_{RL} 值均小于 0.50,田间实验也显示出较好的抑草活性;但其化感指数分别为 0.41、0.43、0.42,均小于临界化感指数 0.45。所以可以确定这 3 个水稻品种也为非化感水稻品种。

只有 Parabainakoru、HB-1 和 I-Kung-Pao 三个水稻品种不但对无芒稗的综合影响因子 R_I 值小于 0.70,其对无芒稗根长影响因子 R_{RL} 值均小于 0.50,田间实验显示出较好的抑草活性,而且其化感指数 AI 值也超过能显示化感效应的临界化感指数值 0.45^[5],分别达到 0.56、0.59、0.61,均与公认化感水稻品种 PI312777 的化感指数 AI 值相近。故可以确定这 3 个水稻品种为既具有高化感潜力又具有高抗性的水稻品种。

本实验筛选的化感水稻品种占水稻种质资源的比例还不到 1%,与相关文献^[21]报道的 5%相差较大。这可能有两个方面的原因:首先是本实验的筛选是通过砂培法初筛,然后通过测定化感指数 AI 值并结合田间实验等双重验证的筛选,这样筛选出来的水稻品种是既具有高化感潜力又具有抑草活性的水稻品种。而文献报道的 5%都只是通过其中一种或两种方法筛选,这样的筛选方法并不能保证既具有高化感指数又具有高抗草活性。然后可能是该方法的初筛采用的是对无芒稗的综合影响因子 R_I 值作为评价指标,在综合影响因子 R_I 值中,根长影响因子 R_{RL} 和植株高度影响因子 R_{SH} 、植株干重影响因子 R_{PDW} 所占的权重是一样的,事实上,杂草根部是对水稻释放特定次生物质敏感的部位^[6],即对根长影响因子 R_{RL} 是最关键的影响因子。很显然,按照本实验方法通过双重筛选评价出来的水稻品种更为准确可靠,因为它既保证具有高的化感指数又能在室内和田间表现出好的抑草活性。

水稻化感效应并不完全等同于抑制杂草效应,田间抑草效应是竞争作用、化感作用和环境因素等共同作用的结果^[27]。水稻化感品种和水稻抑草品种密切相关,但不是等同的,只有释放化感物质的品种才是化感品种,抑草品种包括化感品种也包括高竞争等其它特性的品种。化感品种在田间释放化感物质,并有合适的环境条件时,才能表现出抑草作用,环境条件的变化会影响化感品种的抑草效应大小;而抑草品种中则既包括表现抑草作用的化感品种,又包括那些不是依靠释放化感物质而是其本身具有高竞争作用和高环境适应能力等因素而抑制伴生杂草而表现出好的抑草作用的水稻品种。水稻品种具有化感潜力仅表明其在田间能以自身的化学因子抑制杂草。因此,筛选出既具有高化感指数又具有高田间抑草活性的水稻品种(系),将为利用基因工程技术进行化感育种,培育高产、优质及高抗性的水稻品种提供重要的资源。

表 2 水稻化感潜力品种对田间无芒稗的控制效果

Table 2 Control effects of potential allelopathic rice on barnyard-grass in field

水稻品种名称 Name of rice variety	化感 指数 AI 值 (Number/m ²)	茎数 Stem	茎数防效 (%) Stems control	鲜重 (g/m ²) Fresh weight	鲜重防效 (%) Fresh weight control
Xiushui 63 (ck)	0.24a	185.00 a	0 b	2231.65 a	0 b
D-gu	0.14b	89.67 b	51.5 a	1203.01 b	46.1 a
No-Iku1716	0.41c	121.33 ab	34.4 ab	1577.09 ab	29.3 ab
DIANSHAO 1	0.42d	148.67 ab	19.6 ab	1914.63 ab	14.2 ab
C. Dzolia Sel	0.43d	161.00 a	13.0 ab	1762.69 ab	21.0 ab
Parahainaru	0.56e	152.67 ab	17.5 ab	1558.55 ab	30.2 ab
HB-1	0.59f	155.00 ab	16.2 ab	1872.41 ab	16.1 ab
PI312777	0.59f	132.33 ab	28.5 ab	1475.71 ab	33.9 ab
I-kung-pao	0.61g	144.33 ab	22.0 ab	1648.21 ab	26.1 ab

References:

[1] Yu L Q, Huang S W, Xu Z H. Development of the study on *Echinochloa* biology. in Development of Plant Protection in 21th Century.

- Beijing: Chinese Publishing House of Sci-Technology, 1998. 599~603.
- [2] Li D, Zhou Y J, Liu X C, *et al.* Evaluation of allelopathic potential of some Chinese rice against weeds. *Chinese J. Rice Sci.*, 2004, **18**(4):309~314.
- [3] Kong C H, Hu F. *Allelopathy and Its Application*. Beijing: China Agriculture Press, 2001. 77~93.
- [4] Wang D L. A review on allelopathy of rice. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, **18**(3):326~334.
- [5] Kong C H, Xu X H, Hu F, *et al.* Using specific secondary metabolite as marker to evaluate allelopathic potential of rice variety and its individual plant. *Chinese Science Bulletin*, 2002, **47**(10):839~843.
- [6] Olofsdotter M, Navarez D. Allelopathy rice for *Echinochloa crus-galli* control. In: Brown H, Cussans G W, Devine M D, *et al.*, eds. *Proceedings of the Second International Weed Control Congress*. Copenhagen, Denmark: Department of Weed and Pesticide Ecology, 1996. 1175~1182.
- [7] Kong C H, Xu X H, Liang W J, *et al.* Nonphenolic allelochemicals in root exudates of an allelopathic rice variety and their identification and weed-suppressive activity. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, **24**(7):1317~1322.
- [8] Yan F, Yang Z M, Han L M. Review on research methods for allelopathy and allelochemicals in plants. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, **20**(4):692~696.
- [9] Kong C H, Hu F, Zhang C X, *et al.* Inducible effects of methyl jasmonate on allelochemicals from rice. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, **24**(2):177~180.
- [10] Hibayama H, Matsuo M. Some studies on allelopathic effects of rice varieties to paddy weeds in Wagner pots, plant box and Petri dish experiments. Olofsdotter M A. *Workshop on Allelopathy in Rice*. Los Banos, Philippines: IRRI, 1996. 25~27.
- [11] Olofsdotter M. Rice A step toward use of allelopathy. *Agronomy Journal*, 2001. **93**(1):3~8.
- [12] Wu H, Prateley J, Lemerle D, *et al.* Crop cultivars with allelopathic capability. *Weed Research*, 1999. **39**:3~8.
- [13] Dilday R H, Lin J and Yan W. Identification of allelopathy in the USDA-ARS rice germplasm collection. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 1994, **34**:907~910.
- [14] Fujii Y. The potential biological control of paddy weeds with allelopathic effect of some rice varieties. In: *Proceedings Conference Biological Control and Integrated Management of Paddy and Aquatic Weeds in Asia*. National Agricultural Research Centre, Tsukuba, Japan: National Agricultural Research Center, 1992. 305~320.
- [15] Hassan S M, Aidy I R, Bastawisi A O, *et al.* Weed management using allelopathic rice varieties in Egypt. Olofsdotter M. *Allelopathy in Rice*. Manila, Philippines: IRRI, 1998. 27~38.
- [16] Hassan S M, Rao A N, Bastawisi A O, *et al.* Weed management in wet seeded rice in Egypt. Moody K. *Constraints, Opportunities and Innovations for Wet-seeded Rice*. Manila, Philippines: IRRI, 1994. 257~269.
- [17] Kim K U, Shin D H. Rice allelopathy research in Korea. Olofsdotter M. *Allelopathy in Rice*. Manila, Philippines: IRRI, 1998. 39~44.
- [18] Wang D L, Ma R X, Liu X F. A preliminary study on the allelopathic activity of rice germplasm. *Sci. Agric. Sin.*, 2000, **33**(3):94~96.
- [19] Manechote C, Krasaesinhu P. Allelopathic effects of some upland and wild rice genotypes in Thailand. In: Macias F A, Fujii Y, eds. *Recent Advances in Allelopathy: A science for the future*. Spain: Cadiz, 1996. 383~389.
- [20] Xu Z H, Yu L Q, Zhao M, *et al.* Research of allelopathy of rice with barnyardgrass. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, **14**(5):737~740.
- [21] Zhu H L, Kong C H, Hu F, *et al.* Evaluation methods for allelopathic potentials of rice germplasms. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, **36**(7):788~792.
- [22] Xu Z H, Yu L Q, Zhao M, *et al.* Competition and allelopathy of rice with barnyardgrass. *Chinese J. Rice Sci.*, 2003, **14**(5):737~740.
- [23] Chou C H, Chang F J, Oka H I. Allelopathic potentials of wild rice, *Oryza perennis*. *Taiwania*, 1991, **36**(3):201~210.
- [24] Fujii Y. The allelopathic effect of some rice varieties. In: Shihayama H, Olofsdotter M, eds. *Biological Control and Integrated Management of Paddy and Aquatic Weeds in Asia*. Proceedings of the International Seminar Japan, Tsukuba, 1992. 160~165.
- [25] Ying C S. *Chinese Rice Germplasm*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1991. 1~5.
- [26] Tang Q Y, Feng M G. *DPS Data Processing System for Practical Statistics*, Beijing: Chinese Publishing House of Science. May 2002.
- [27] Olofsdotter M, Navarez D, Rebulanan M. Weed suppressing rice cultivars does allelopathy play a role? *Weed Research*, 1999, **39**:441~454.

参考文献:

- [1] 余柳青, 黄世文, 徐正浩. 稗草生物学研究进展. 北京: 21 世纪植物保护的发展. 中国科学技术出版社, 1998. 599~603.
- [2] 李迪, 周勇军, 刘小川, 等. 中国部分稻种资源的化感控制杂草潜力评价. 中国水稻科学, 2004, **18**(4):309~314.
- [3] 孔垂华, 胡飞. 植物化感(相生相克)作用及其应用. 北京: 中国农业出版社, 2001. 77~93.
- [4] 王大力. 水稻化感作用研究综述. 生态学报, 1998, **18**(3):326~334.
- [5] 孔垂华, 徐效华, 胡飞, 等. 以特征次生物质为标记评价水稻品种及单植株的化感潜力. 科学通报, 2002, **47**(10):839~843.
- [7] 孔垂华, 徐效华, 梁文举, 等. 水稻化感品种根分泌物中非酚酸类化感物质的鉴定与抑草活性. 生态学报, 2004, **24**(7):1317~1322.
- [8] 阎飞, 杨振明, 韩丽梅. 植物化感作用(Allelopathy)及其作用物的研究方法. 生态学报, 2000, **20**(4):692~696.
- [9] 孔垂华, 胡飞, 张朝贤, 等. 茉莉酮酸甲酯对水稻化感物质的诱导效应. 生态学报, 2004, **24**(2):177~181.
- [18] 王大力, 马瑞霞, 刘秀芬. 水稻化感抗草种质资源的初步研究. 中国农业科学, 2000, **33**(3):94~96.
- [20] 徐正浩, 余柳青, 赵明. 水稻对稗草的化感作用研究. 应用生态学报, 2003, **14**(5):737~740.
- [21] 朱红莲, 孔垂华, 胡飞, 等. 水稻种质资源的化感潜力评价方法. 中国农业科学, 2003, **36**(7):788~792.
- [22] 徐正浩, 余柳青, 赵明. 水稻与无芒稗的竞争和化感作用. 中国水稻科学, 2003, **17**(1):67~72.
- [25] 应存山. 中国水稻种质资源. 北京: 中国农业科技出版社, 1991. 1~5.
- [26] 唐启义, 冯明光. 实用统计 DPS 数据处理系统. 北京: 中国科学出版社, 2002.