

一份特异多年生水稻种质主要农艺性状的遗传变异

赵正武^{1,2,3} 李仕贵^{1,*} 雷树凡²

(¹四川农业大学 水稻研究所,四川 温江 611130; ²重庆三峡农业科学研究所,重庆 万州 404001; ³四川农业大学 西南作物基因资源与遗传改良教育部重点实验室,四川 雅安 625014; * 通讯联系人, E-mail: lishigui_sc@263.net)

Genetic Variation of Main Agronomic Traits in a New Germplasm Resource of Perennial Rice

ZHAO Zheng wu^{1,2,3}, LI Shi gui^{1,*}, LEI Shu fan²

(¹Rice Research Institute, Sichuan Agricultural University, Wenjiang 611130, China; ²Chongqing Three gorge Agricultural Institute, Wanzhou 404001, China; ³Key Laboratory of Southwest Crop Genetic Resources and Improvement, Ministry of Education; Sichuan Agricultural University, Ya an 625014, China; * Corresponding author, E-mail: lishigui_sc@263.net)

Abstract: The heritabilities of the overwintering ability of axillary buds were analyzed using four hybrid rice combinations, which derived from a new germplasm resource of perennial waxy rice Nuodao 89-1 crossed with 4 different rice genotypes, and the genetic variation of main agronomic traits in F₂ generation was also investigated among the three combinations. The highest heritabilities of 1000-grain weight and plant height were in main crop season, whereas the lowest were in overwintering season, and grain number per panicle and seed setting rate reached peak in ratooning season. The averages of grain number per panicle, 1000-grain weight, plant height and panicle length in F₂ approached to those in F₁ with a nearly normal distribution, indicating there was no gametic selection from F₁ to F₂ generation. The variation range and coefficient were greater in main crop season and overwintering season. Though the average seed setting rate was higher in F₂ generation than in F₁ generation, the highest was in ratooning season, and the seed setting rate presented bimodal distribution, indicating gametic selection did exist from F₁ to F₂ generation, and result was in favor of gametes with a high seed setting rate.

Key words: rice; axillary buds; overwintering ability; agronomic traits; genetic variation

摘要: 分析了源自多年生种质糯稻 89-1 和 4 个不同材料配制的杂交组合腋芽越冬性的遗传力和其中 3 个杂交组合 F₂ 代主要农艺性状的遗传变异。千粒重和株高具有较高的遗传力,正季最大,越冬再生季最小,每穗粒数和结实率再生季的遗传力最大。3 个杂交组合 F₂ 每穗总粒数、千粒重、株高和穗长的平均值与 F₁ 很接近,且均呈正态分布,从 F₁ 到 F₂ 不存在配子选择;结实率在正季和越冬再生季变幅和变异系数较大,3 季的平均结实率均高于 F₁,再生季最高,结实率呈双峰分布,说明 F₁ 到 F₂ 存在配子选择,选择的结果总是有利于高结实率的配子。

关键词: 水稻;腋芽;越冬性;农艺性状;遗传变异

中图分类号: Q943; S511.032

文献标识码: A

文章编号: 1001-7216(2006)05-0481-06

水稻低温冷害在很多国家都普遍存在,全世界有 1500 万 hm² 以上的水稻受到低温威胁,有 24 个国家存在严重的水稻低温冷害问题,尤以日本、朝鲜和中国的东北稻区为甚^[1]。据潘铁夫等^[2]报道,建国后我国东北地区曾发生过 10 多次严重的低温冷害;在南方,水稻前期受低温影响,易造成烂种、烂秧、死苗,后期遇低温影响正常抽穗结实。在中国,每年因低温冷害使稻谷减产 30 亿 ~ 50 亿 kg^[3]。低温冷害已引起了世界各国水稻育种和研究单位的重视。经几十年的研究,水稻耐冷性遗传理论研究已取得较大成绩。近年来,随着分子生物学的迅速发展,水稻耐冷性状基因定位方面的研究结果相继报道^[4-13],已在第 1、3、4、6、7、10、11 染色体上找到了与水稻耐冷性有关的 QTL^[14-20],在利用生物技术研究水稻耐寒性方面也取得了突破性进展^[21]。育种家们通过对耐冷稻种资源的筛选与利用,生产

上应用的水稻品种的耐冷性不断得到改良。20 世纪末,李勤修等^[22]以柳州野生稻和长药野生稻为材料,利用有性杂交产生宿根原种固定杂种优势,无性繁殖扩大利用的育种方式,培育出了宿根越冬再生杂交稻。然而,利用腋芽休眠耐寒越冬的水稻资源及其研究在国内外还未见报道。重庆市三峡农业科学研究所从重庆忠县马灌镇农民胡代书家征集到一份珍稀稻种资源——多年生糯稻 89-1。该资源芽期耐冷性达一级抗寒标准,能通过腋芽抗御低温休眠越冬,多年萌发再生,越冬稻苗生长整齐,生育期比正季大约长 5 d,产量与正季相当,每 1 hm² 可

收稿日期: 2005-12-30; 修改稿收到日期: 2006-05-16。

基金项目: 教育部新世纪优秀人才支持计划资助项目(NCET-04-0907); 教育部创新团队发展计划资助项目(IRT0453); 重庆市自然科学基金资助项目(2005BB1153)。

第一作者简介: 赵正武(1966-),男,高级农艺师,博士研究生。

达 6.29 t,是个具有多个优良性状的优异资源^[23]。我们研究了多年生糯稻 89-1 越冬性和主要农艺性状在正季、再生季和越冬再生季的遗传变异,旨在为利用该资源进行遗传育种提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

所用水稻材料包括糯稻 89-1、明恢 63、红芒糯、辐恢 838 和测 64。其中,糯稻 89-1、红芒糯为糯稻,明恢 63、测 64 为粘稻,辐恢 838 是一份含有糯性血缘的粘稻,由泰引 1 号的辐射早熟突变系辐恢 06 与大糯稻株系 80182(竹云糯/IR1529)杂交育成^[24]。糯稻 89-1 腋芽耐冷性、茎秆抗倒力和叶片抗褪绿力强,整个冬季低节位叶鞘始终呈绿色,从当年 10 月至次年 3 月稻秆成活率(稻秆所有节位腋芽枯死视为稻秆死亡)达 82.64%,倒 1 节腋芽全部枯死,其余 5 个节位腋芽均有成活,但主要集中在倒 5 节和倒 6 节,再生苗主要从这两个节位萌生^[22]。明恢 63、红芒糯、辐恢 838 和测 64 稻秆成活率为 0%。

1.2 方法

1.2.1 试验设计

试验设在重庆市三峡农业科学研究所试验田,海拔 200 m,亚热带季风气候,四季分明,雨热同季,春温回升早,夏热,多伏旱,年平均气温 17.5~18.0℃,1 月为最冷月,最低温度可达-3.5℃(资料来源于重庆市万州区气象站)。杂交水稻(中、迟熟品种)正常播种至收获时期为 3 月中旬至 8 月中旬。2002 年正季用糯稻 89-1 与明恢 63、红芒糯、辐恢 838 和测 64 组配 4 个杂交组合,将种子一分为二,一份用于海南秋繁种植,收获 F₂ 种子,组配 F₁ 回交群体,一份为下个试验备用。2003 年正季种植 F₁、F₁ 回交群体和 F₂ 群体,以明恢 63 为对照,3 次重复,株行距 17 cm×27 cm,采用湿润地膜育秧,秧龄为 35~40 d。施纯氮 187.5 kg/hm²,N:P:K(质量比)为 2:1:1,基肥和分蘖肥各 40%,穗肥 20%。田间湿润管理,及时防病虫害,除杂草,正季收获后进行正常的再生稻栽培管理,再生稻收获后保留稻桩,次年 4 月又进行正常的栽培管理。

1.2.2 调查记载项目

调查记载 200 个单株的越冬成苗数。定点调查记载糯稻 89-1 与明恢 63、红芒糯、测 64 和辐恢 838 的 F₁、F₁ 回交群体和 F₂ 群体每个单株腋芽越冬成苗数,正季、再生季和次年越冬再生季的平均每穗总粒数、结实率、千粒重、株高和穗长。统计上述 5 个

主要农艺性状在正季、再生季和次年越冬再生季的变幅、平均数、变异系数、遗传力。分析这 5 个主要农艺性状在不同季节的遗传变异及糯稻 89-1 越冬性(腋芽通过越冬次年成苗)在不同杂交组合中的遗传差异。

2 结果与分析

2.1 糯稻 89-1 腋芽越冬性的遗传力在不同杂交组合中的表现

利用糯稻 89-1 与红芒糯、辐恢 838、测 64 和明恢 63 建立的 F₁、F₁ 回交群体和 F₂ 群体均有部分单株能通过腋芽越冬,下年萌发成苗成穗,而对照明恢 63 在 10 月 15 日调查时,腋芽无一成活,茎秆干枯,叶片和叶鞘失水变黄,没有生活力。从图 1 可以看出,4 个不同的杂交组合腋芽越冬性的广义遗传力和狭义遗传力均呈两极分化,糯稻 89-1/红芒糯和糯稻 89-1/辐恢 838 父母本均含有糯性血缘,亲缘关系相对较近,遗传力较高,糯稻 89-1/测 64 和糯稻 89-1/明恢 63 两个组合父母本是糯与非糯的关系,亲缘关系相对较远,遗传力较低。虽然糯稻 89-1 腋芽越冬性的遗传力在不同杂交组合中有较大差异,但遗传力较高。

2.2 3 个不同杂交组合 F₂ 主要农艺性状在不同生长季节的遗传变异

从表 1 可以看出,明恢 63、辐恢 838 和红芒糯与糯稻 89-1 杂交 F₂ 单株每穗平均总粒数、结实率、千粒重、株高及穗长的变幅、平均数、变异系数和

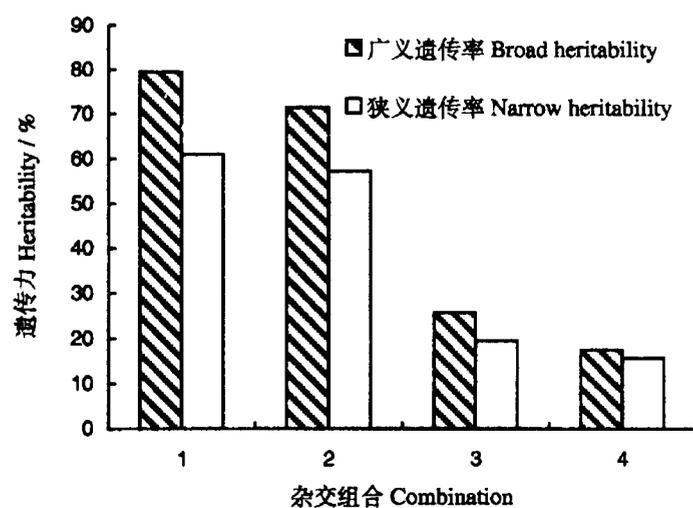


图 1 不同杂交后代的越冬性遗传力

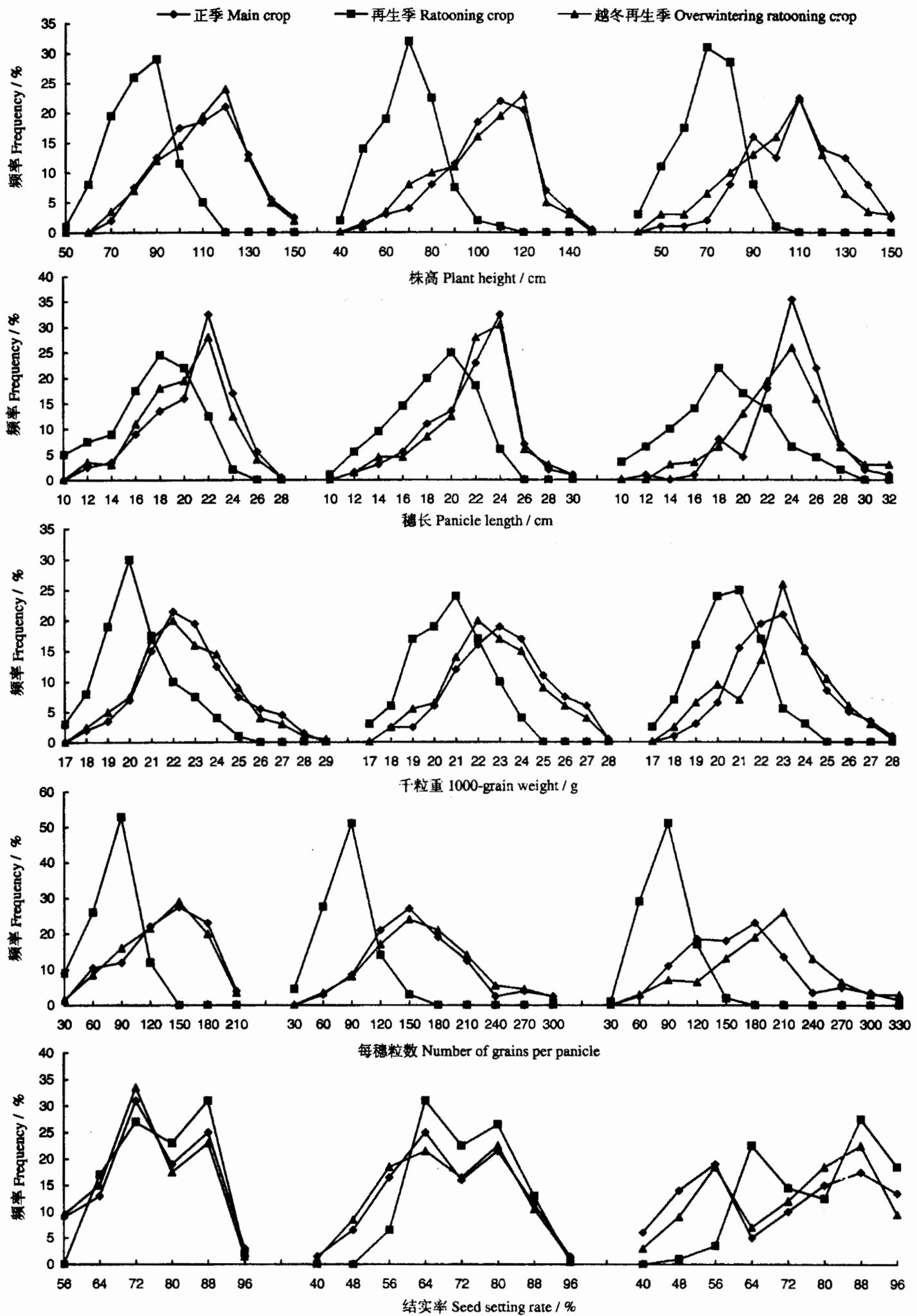
Fig. 1. Overwintering heritability of different combinations.

1—糯稻 89-1/红芒糯; 2—糯稻 89-1/辐恢 838; 3—糯稻 89-1/测 64; 4—糯稻 89-1/明恢 63。

1, Nuodao 89-1/Hongmangnuo; 2, Nuodao 89-1/Fuhui 838; 3, Nuodao 89-1/Ce 64; 4, Nuodao 89-1/Minghui 63.

表 1 3 个杂交组合 F₂ 主要农艺性状在不同生长季节的遗传变异Table 1 . Heredity and variation of the main agronomic traits in F₂ populations of three combinations in different seasons .

组合和生长季 Combination and season	每穗粒数 No . of grains per panicle	结实率 Seed setting rate / %	千粒重 1000 grain weight / g	株高 Plant height / cm	穗长 Panicle length / cm
糯稻 89 1/明恢 63 Nuodao 89 1/ Minghui 63					
正季 Main crop season					
变幅 Range	34.9 ~ 309.2	32.0 ~ 95.2	16.1 ~ 27.8	48.0 ~ 146.0	10.5 ~ 30.3
平均 Average	150.6	67.6	22.4	105.6	22.5
F ₁	151.3	58.2	22.4	104.8	21.9
变异系数 CV/%	38.6	26.7	8.8	17.8	13.9
遗传力 Heritability/%	62.8	61.9	90.1	81.5	67.5
再生季 Ratooning crop season					
变幅 Range	27.9 ~ 139.2	47.0 ~ 96.6	16.3 ~ 23.2	31.0 ~ 91.0	8.0 ~ 26.0
平均 Average	84.1	76.3	20.0	64.4	17.5
变异系数 CV/%	29.1	16.6	7.0	20.7	22.3
遗传力 Heritability/%	73.9	70.6	88.5	75.2	54.0
越冬再生季 Overwintering crop season					
变幅 Range	40.8 ~ 301.9	40.6 ~ 92.2	18.2 ~ 27.1	38.0 ~ 143.0	9.6 ~ 29.3
平均 Average	145.8	65.4	22.4	101.0	21.8
变异系数 CV/%	34.6	19.9	10.1	27.3	21.2
遗传力 Heritability/%	69.6	65.4	84.7	68.4	62.2
糯稻 89 1/红芒糯 Nuodao 89 1/Hongmangnuo					
正季 Main crop season					
变幅 Range	19.2 ~ 208.2	55.3 ~ 96.9	17.4 ~ 28.5	62.0 ~ 149.0	11.7 ~ 26.6
平均 Average	138.6	71.2	22.0	119.9	21.6
F ₁	137.6	67.4	21.5	118.5	22.0
变异系数 CV/%	42.4	37.0	10.0	21.3	27.6
遗传力 Heritability/%	60.2	59.3	87.3	75.1	61.3
再生季 Ratooning crop season					
变幅 Range	17.7 ~ 112.5	60.0 ~ 96.8	16.7 ~ 24.1	49.0 ~ 110.0	9.0 ~ 23.5
平均 Average	79.8	81.3	18.8	82.3	18.6
变异系数 CV/%	31.2	21.4	10.7	28.7	31.5
遗传力 Heritability/%	68.3	67.4	85.4	61.2	49.0
越冬再生季 Overwintering crop season					
变幅 Range	17.8 ~ 205.9	51.7 ~ 94.6	17.9 ~ 28.1	61.0 ~ 146.0	10.3 ~ 28.8
平均 Average	136.9	72.2	21.6	118.5	21.0
变异系数 CV/%	36.1	31.7	7.3	41.1	29.2
遗传力 Heritability/%	63.5	61.8	83.9	57.2	53.3
糯稻 89 1/ 辐恢 838 Nuodao 89 1/Fuhui 838					
正季 Main crop season					
变幅 Range	31.6 ~ 290.0	39.8 ~ 94.7	16.9 ~ 27.5	51.0 ~ 141.0	8.9 ~ 28.4
平均 Average	147.8	68.2	23.2	103.4	23.7
F ₁	148.5	61.4	22.8	105.0	24.1
变异系数 CV/%	40.7	26.0	13.0	19.3	20.0
遗传力 Heritability/%	61.2	63.2	81.3	78.6	62.4
再生季 Ratooning crop season					
变幅 Range	25.0 ~ 135.9	52.9 ~ 94.9	16.2 ~ 23.7	35.0 ~ 102.0	7.5 ~ 25.0
平均 Average	84.0	81.3	20.2	66.8	19.0
变异系数 CV/%	30.7	19.4	8.2	26.5	27.4
遗传力 Heritability/%	70.6	68.1	87.1	68.2	51.9
越冬再生季 Overwintering crop season					
变幅 Range	29.4 ~ 287.4	43.7 ~ 91.6	17.1 ~ 27.4	47.0 ~ 145.0	7.9 ~ 27.4
平均 Average	146.7	69.3	21.6	105.9	23.1
变异系数 CV/%	35.7	21.4	8.7	35.6	25.3
遗传力 Heritability/%	65.7	65.3	84.0	62.1	61.8



糯稻 89-1/红芒糯 Nuodao 89-1/ Hongmangnuo 糯稻 89-1/辐恢838 Nuodao 89-1/ Fuhui 838 糯稻 89-1/明恢63 Nuodao 89-1/ Minghui 63

图2 3个杂交后代主要农艺性状在不同生长季的表现

Fig. 2. Distribution of main agronomic traits of the three combinations in different cropping seasons.

遗传力在 3 个不同生长季节呈相似变化,每穗平均总粒数再生季变异系数最小,遗传力最大,正季遗传力最小;千粒重遗传力比较接近,且值较大;株高正季变异系数最小,遗传力最大,越冬再生季遗传力最小;穗长正季遗传力最大,再生季最小;结实率正季变异系数最大,遗传力最小,再生季遗传力最大,3 季的平均结实率均高于 F_1 ,说明从 F_1 到 F_2 存在配子选择,选择的结果总是有利于高结实率的配子,其余 4 个农艺性状 F_1 与 F_2 的值比较接近,从 F_1 到 F_2 不存在配子选择。

2.3 主要农艺性状的分布

从 3 个杂交后代的农艺性状看(图 2),结实率呈双峰分布,其余 4 个农艺性状均呈正态分布,正季和越冬再生季的分布很接近。糯稻 89 1/红芒糯 F_2 结实率的分布区间最小,集中分布在 64%~88%,另外两个组合集中分布在 56%~88%。糯稻 89 1/红芒糯 F_2 每穗粒数分布区间较小(30~210 粒),3 个组合 F_2 正季和越冬再生季每穗粒数集中分布在 90~210 粒,再生季分布偏向低粒数区间,集中分布在 60~120 粒。千粒重主要分布区间是 19~24 g。株高正季和越冬再生季的分布主要集中在 80~130 cm,分布区间最大的是 100~110 cm,正季更集中在这个区域,再生季主要集中在 60~90 cm。穗长在正季和越冬再生季主要分布区间是 20~26 cm,最大分布区间是 22~24 cm,虽然平均穗长有些偏低,但长穗型的单株 26~32 cm 仍占一定比例,如糯稻 89 1/明恢 63 在该区间占 8.93%,从穗长的角度说明利用糯稻 89 1 是可能的。

3 讨论

每穗粒数和结实率的遗传受多基因控制,易受环境的影响,遗传力一般较低^[25-27]。沈锦骅等^[28]用回归法估算出的每穗粒数和空秕率的遗传力分别为 3.2%~23.4%和 2.7%~45.3%。但也有不少研究表明,这两个性状有中等偏高的遗传力,周开达等^[29]用双列杂交分析法估算出的这 2 个性状的广义遗传力分别为 84.7%和 92.79%,狭义遗传力分别为 79.03%和 78.13%。穗型大小不同的品种杂交,杂交 F_1 表现中间型,杂交 F_2 呈连续变异,且每穗粒数具有较高的遗传力。千粒重受多基因控制^[30],遗传力较高,粒重不同的品种杂交 F_1 表现为中间型, F_2 表现为连续分布。穗长表现为多基因的加性效应,遗传力较高。

前人的研究大多数是在正季进行的,还没有人

利用越冬再生季来研究上述农艺性状的分布和遗传力。本试验从正季、再生季和越冬再生季 3 个生长季节来研究水稻主要农艺性状的遗传变异。从表 1 和图 2 可见,在越冬再生季 5 个农艺性状的分布和遗传力与正季很相似,与再生季有较大差异,但是它们的分布规律和遗传力的表现与前人研究结果基本一致。研究还发现,变异系数越小的性状遗传力越高,千粒重在 5 个农艺性状中变异系数最小,遗传力最大,且值比较接近。结实率和每穗平均总粒数正季变异系数最大,遗传力最小,再生季变异系数最小,遗传力最大,株高和穗长正季变异系数最小,遗传率最大。这些变化规律可为育种者利用越冬耐冷资源提供参考。

矮化育种和三系、两系杂交水稻育种的突破,均源于新种质的发现和应用。禾占糯品种间杂交一代生育期明显超亲,功能叶好,植株高大,优势明显比品种间强,而与籼粳交相似,结实率和籽粒充实度又不同于籼粳交,与典型的品种间杂交相似,甚至更好^[23]。从本试验结果来看,主要农艺性状变异幅度大,分离类型丰富,分布范围较大,具有适宜育种选择目标的株系。因此,在育种上利用糯稻 89 1 是可能的。

目前,水稻耐冷性的研究主要集中在水稻低温发芽力、苗期和孕穗期等方面。研究得比较多的是这些时期耐冷性的 QTL 定位,前人的研究结果表明水稻的耐冷性大多由多基因控制,表现为数量性状遗传。糯稻 89 1 是一份新材料,腋芽越冬耐冷性前人未作研究,从本试验腋芽越冬成苗数和越冬性在不同杂交组合中的遗传力表现可初步推知,越冬耐冷性受多基因控制,其遗传力在不同杂交后代中虽然有所不同,但从试验结果可知它有较强的遗传力。为了深入研究糯稻 89 1,我们正在对它的越冬性和各时期的耐冷性进行分子生物学方面的研究,从而为充分利用该资源进行水稻抗逆育种奠定基础。

参考文献:

- [1] 高亮之,李林.水稻气象生态.北京:农业出版社,1992:1-24.
- [2] 潘铁夫.农作物低温冷害及其防御.北京:农业出版社,1983:1-36.
- [3] 刘建丰,徐立云.水稻耐冷性研究进展及前景.作物研究,1996,10(2):41-43.
- [4] 韩龙植,高熙宗,朴钟泽.水稻耐冷性遗传及基因定位研究概况与展望.中国水稻科学,2002,16(2):193-198.

- [5] Kang J R , Kim H Y , Lim S J , et al . Genetic analysis on low temperature germinability of rice seeds . *Korean Breeding* , 1996 , 41 (Suppl 1) : 12-13 .
- [6] Le T B , Kiyoharu O . Molecular cloning and characterization of genes related to chilling tolerance in rice . *Plant Physiol* , 1992 , 99 : 1146-1150 .
- [7] Hitoshi Y , Akira K . Cold induced accumulation of RNAs and cloning of cDNAs related to chilling injury in rice . *Breeding Sci* , 1994 , 44 : 361-365 .
- [8] Jeong E G . Molecular genetic analysis of quantitative trait loci related to cold tolerance in rice [PhD thesis] . Chunchon : Kangwon National University , 2001 : 1-19 .
- [9] Teng S , Zeng D L , Qing Q , et al . QTL analysis of low temperature germinability . *Chin Sci Bull* , 2001 , 46 (21) : 1800-1803 .
- [10] Redona E D , Mackill D J . Quantitative trait locus analysis of rice seedling vigor in japonica and indica genetic backgrounds // The Third International Rice Genetic Symposium . Manila : IRRI , 1995 : 64-71 .
- [11] Kim K M , Sohn J K , Kato A , et al . Detection of a QTL for growth of seedling at a suboptimal low temperature in rice by genetic map . *Korean J Breeding* , 1997 , 29 (Suppl 1) : 26-27 .
- [12] Li H B , Wang J , Liu K D , et al . Genetic basis of low temperature sterility in indica japonica hybrid of rice as determined by RFLP analysis . *Theor Appl Genet* , 1997 , 95 : 1092-1097 .
- [13] Ye C R , Kato A , Saito K , et al . QTL analysis of cold tolerance at the booting stage in Yunnan rice variety Chongtui . *Chinese J Rice Sci* (中国水稻科学) , 2001 , 15(1) : 13-17 .
- [14] 叶昌荣 , 廖新华 , 戴陆园 , 等 . 水稻孕穗期耐冷性影响因子 . 中国水稻科学 , 1998 , 12(1) : 6-10 .
- [15] 乔永利 , 韩龙植 , 安永平 , 等 . 水稻芽期耐冷性 QTL 的分子定位 . 中国农业科学 , 2005 , 38(2) : 217-221 .
- [16] 钱前 , 曾大力 , 何平 , 等 . 水稻籼粳交 DH 群体苗期的耐冷性 QTLs 分析 . 科学通报 , 1999 , 44(22) : 2402-2405 .
- [17] 严长杰 , 李欣 , 程祝宽 , 等 . 利用分子标记定位水稻芽期耐冷性基因 . 中国水稻科学 , 1999 , 13(3) : 134-138 .
- [18] 徐福荣 , 戴陆园 , 叶昌荣 . 水稻耐冷性研究概况及前景 . 作物杂志 , 2000 (1) : 4-6 .
- [19] 牟致远 , 赖仲铭 . 作物育种 . 北京 : 农业出版社 , 1992 : 15-18 .
- [20] 韩龙植 , 乔永利 , 张媛媛 , 等 . 水稻孕穗期耐冷性 QTLs 分析 . 作物学报 , 2005 , 31(5) : 653-657 .
- [21] 季彪俊 . 水稻耐冷性生理遗传机制研究进展 . 河南科技大学学报 , 2004 , 24(3) : 6-11 .
- [22] 李勤修 , 彭叙咸 , 王玉兰 , 等 . 野生稻及其杂交后代的宿根越冬 . 四川农业科技 , 1978(3) : 18-20 .
- [23] 赵正武 , 王述民 , 李世平 , 等 . 珍稀稻种资源越冬糯稻 89-1 研究初报 . 杂交水稻 , 2000 , 15(3) : 3-4 .
- [24] 邓达胜 , 广华蓉 , 邓广敏 . 杂交水稻恢复系辐恢 838 的选育与利用 . 杂交水稻 , 1996 , 11(4) : 10-12 .
- [25] Katayama T C . Morphology of carbonized rice grains excavated at Non Yang site , Thailand and evolution of grain shape from a historical perspective . *Japan J Trop Agric* , 1995 , 39 (2) : 63-68 .
- [26] 顾自奋 , 朱庆森 , 曹显祖 . 水稻结实率的研究——稻穗上强弱势粒的干重积累过程与空秕粒的分布 . 中国农业科学 , 1981 (6) : 38-44 .
- [27] 王余龙 , 姚友礼 , 徐家宽 , 等 . 稻穗不同部位籽粒的结实能力 . 作物学报 , 1995 , 21(1) : 20-28 .
- [28] 沈锦骅 , 王恒立 . 自花授粉作物性状遗传力的估算和应用 . 北京 : 农业出版社 , 1963 : 99-125 .
- [29] 周开达 . 杂交水稻主要性状的配合力、遗传力的初步研究 . 作物学报 , 1982 , 8(3) : 145-152 .
- [30] 徐建龙 , 薛庆中 , 罗利军 , 等 . 水稻粒重及其相关性状的遗传解析 . 中国水稻科学 , 2002 , 16(1) : 6-10 .