

## 水稻耐冷性研究

### . 特定颖花结实率作为耐冷性指标的分子依据

戴陆园<sup>1,2</sup> 林兴华<sup>2</sup> 叶昌荣<sup>1</sup> 加藤明<sup>3</sup> 齐藤浩二<sup>3</sup> 余腾琼<sup>1</sup> 徐福荣<sup>1</sup>  
张端品<sup>2\*</sup>

(<sup>1</sup>云南省农业科学院农作物品种资源站, 云南昆明 650205; <sup>2</sup>华中农业大学作物遗传改良国家重点实验室, 湖北武汉 430070; <sup>3</sup>北海道国立农业研究中心, 北海道 062-8555, 日本)

**摘要** 以云南稻种耐冷性资源昆明小白谷及弱耐冷性的日本品种十和田配制的杂交 F<sub>2</sub> 代为材料, 采用 159 个 RFLP 及 SSR 分子标记构建的连锁图和 STATISTIC 等分析软件, 以单株结实率作为耐冷性评价指标。分析结果显示单株结实率与单株特定颖花结实率之间的相关系数 ( $r$ ) 为 0.8364; 与耐冷性 (以单株结实率为指标) 相关的分子标记有 43 个, 分布在 8 条染色体的 11 个区域。与单株特定颖花结实率相关分子标记有 34 个, 分布在 7 条染色体的 9 个区域, 这 7 条染色体属于与耐冷性相关的 8 条染色体之中; 与单株特定结实率相关的这 9 个区域均属于与耐冷性相关 11 个区域之中。表明用特定颖花结实率可以很好地反映植株受冷害情况, 单株特定颖花结实率可以作为耐冷性鉴定指标。最后就特定颖花结实率来替代整穗结实率问题展开了讨论。

**关键词** 水稻; 耐冷性指标; 特定颖花结实率; 分子标记; 云南  
中图分类号: S511 文献标识码: A

## Studies on Cold Tolerance of Rice, *Oryza sativa* L.

### . Molecular Basis for Special Fertility Percentage as Evaluation Indicator of Cold Tolerance

DAI Lu Yuan<sup>1,2</sup> LIN Xing-Hua<sup>2</sup> YE Chang-Rong<sup>1</sup> KATO Akira<sup>3</sup> SAITO Koji<sup>3</sup> YU Teng-Qiong<sup>1</sup> XU Fu-Rong<sup>1</sup>  
ZHANG Du'an Pin<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> Crop Genetic Resources Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming, Yunnan 650205; <sup>2</sup> Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei, 430070, China; <sup>3</sup> National Agriculture Research Center for the Hokkaido Region, Sapporo, Hokkaido, 062-8555, Japan)

**Abstract** Here is the third part of a series papers to describe the studies on cold tolerance of rice. This part describes the results obtained by using the parents, Kunmingxiaobaigu, an indigenous variety with cold tolerance from Yunnan, and Towada, a cold-sensitive variety bred in Japan, as well as their F<sub>2</sub> progenies as tested materials, combining by using 159 RFLP and SSR markers and STATISTIC software. The total fertility percentage (TFP) was used as indicator of cold tolerance. The coefficient of relationship between TFP and special fertility percentage (SFP) of single plant was 0.8364. 43 markers were related to cold tolerance based on the TFP as its indicator, distributed in eleven regions on eight chromosomes while 34 ones related to SFP over nine regions on seven chromosomes. The seven chromosomes related to SFP belonged to the eight ones related to TFP. The nine regions related to SFP belonged to the eleven regions related to TFP. The above results showed that SFP can be used to represent TFP in evaluation of cold tolerance. The issue over SFP to represent TFP in other fields was discussed.

**Key words** Rice (*Oryza sativa* L.); Criterion of cold tolerance; Special fertility percentage (SFP); Molecular marker; Yunnan

基金项目: 云南省自然科学基金、跨世纪人才基金和作物遗传改良国家重点实验室基金资助。

作者简介: 戴陆园 (1962 - ), 男, 浙江慈溪人, 博士, 研究员, 主要从事稻种资源耐冷性研究和农作物资源保护研究。

Tel: 0871-5892493, Fax: 0871-5892196.

Received (收稿日期): 2002-06-04, Accepted (接受日期): 2002-10-15.

在本系列论文的前面两篇中,较系统地阐述了低温冷害是水稻生产中的主要障碍之一,利用云南稻种资源筛选鉴定耐冷性资源及其应用取得的进展<sup>[1,2]</sup>。结实率是评价稻作生产中低温危害的主要指标,也是有关水稻孕穗开花期耐冷性研究中最主要和最重要指标<sup>[2~4]</sup>。为了有效地开展水稻耐冷性育种,我们研制出了以结实率为指标的水稻耐冷性鉴定评价方法<sup>[2,5]</sup>。颖花对低温的敏感性因发育时期而异,同一稻穗上发育最早与发育最迟颖花的生育进程相差一周左右,颖花对低温的敏感程度因其在穗上的位置不同而异,穗上部颖花或一次枝梗颖花较穗下部颖花或二次枝梗颖花对低温更加敏感<sup>[6~8]</sup>。为了进一步明确水稻颖花的冷敏感时期及不同发育时期与冷敏感性的关系, Satake *et al.*<sup>[9,10]</sup>选择了同一穗上发育时期较一致的颖花作为研究对象,而不是以整穗的颖花为研究对象。他们所选择的颖花就是穗最上端的三个一次枝梗上从顶端往下数的第3、第4和第5朵颖花,每穗上共计9朵颖花,这些颖花被称为特定颖花<sup>[2,7]</sup>,特定颖花的结实率称为特定结实率;通过以特定颖花为对象的颖花低温敏感性研究明确了颖花对低温最敏感的时期为减数分裂前期 I 中从四分子(tetrad)到第一收缩期(the first contraction stage)之间的小孢子时期(young microspore stage),而不是以往认为的颖花低温敏感时期为一个减数分裂时期;还发现颖花对低温的敏感时期有两个,新发现的另一个敏感时期即为刚刚进入减数分裂之前或还没有进入细线期(leptotene)的时刻。

在水稻孕穗开花期耐冷性鉴定评价中,尽管有许多评价指标被不同的工作者所采用<sup>[11~13]</sup>,但低温条件下的整个稻穗结实率仍然是最主要和重要的评价指标<sup>[2~4,14]</sup>。鉴于不同发育时期颖花对低温的敏感程度不相同,以整穗的结实率来评价水稻耐冷性虽然在生产中具有实际意义,但由于穗子的大小不同,一个穗子上颖花的发育进程各异,遭遇低温时对低温最敏感的颖花多少或比率不同,采用整穗结实率为指标对于精确评价水稻耐冷性就存在着精度不够高的问题。

采用特定结实率为耐冷性指标可能有利于提高耐冷性评价精度,还可以节省考种劳力。本文试图为特定结实率来代替整穗结实率作为耐冷性评价指标提供分子生物学依据。

## 1 材料与方法

以强耐冷性的云南地方稻种资源昆明小白谷及弱耐冷性的日本育成品种十和田为材料,配制杂交组合。

以开展自然条件下耐冷性鉴定比较理想的基地—昆明为试验场所<sup>[2]</sup>。1997年3月16日在昆明云南省农业科学院试验农场(海拔1916 m)播种昆明小白谷与十和田杂交组合的双亲、 $F_1$ 和 $F_2$ 代材料,5月7日移栽,单本栽,株行距10 cm × 17 cm,常规田间肥水管理。成熟时每株取4穗考查其结实率和“特定结实率”(指特定颖花的结实率),以4穗的总平均结实率和总平均特定结实率作为该单株结实率和单株特定结实率,并以单株结实率为耐冷性评价指标。

1998年5月在华中农业大学农场播种昆明小白谷与十和田组合的 $F_3$ 和双亲材料,每个 $F_3$ 株行播种种子在30粒以上,同年6月取秧苗叶片提取DNA。DNA提取方法同Liu *et al.*<sup>[15]</sup>。分子标记工作在华中农业大学作物遗传改良国家重点实验室和日本国立北海道农业研究中心育种工学实验室进行,所用的分子标记多为美国康乃尔大学、日本水稻基因组计划提供、上述两实验室保存和使用的标记。

采用限制性内切酶 *Bam*H、*Dra*I、*Eco*R、*Eco*RV、*Hind*III 进行酶切,在0.8%琼脂糖(Sigma公司)凝胶上电泳。电泳结束后,将凝胶用0.2 mol/L HCl 处理10 min,再用蒸馏水冲洗,凝胶上的DNA片段用0.4 mol/L NaOH 溶液转移至尼龙膜上(Hybrid N),进行Southern DNA 印迹。

预杂交为向杂交袋中加入10 mL 预热至65℃的杂交缓冲液(5 × SSC, 50 mmol/L Phosphate buffer, 2.5 mmol/L EDTA, 5 × Denhardt's, 5% Dextran Sulfate, 0.1% SDS, 100 μg/mL ssDNA),于65℃空气摇床中预杂交6~12 h。

探针标记和杂交:探针DNA的用量为100 ng,进行<sup>32</sup>P-dCTP 标记。杂交完毕,用1 × SSC, 0.1% SDS (预热至65℃)在65℃空气摇床中漂洗2次,每次15 min。洗完后的杂交膜晾干后包上一层保鲜膜,压上X光片,于-70℃冰箱中自显影3~7 d。

每个PCR的总体积为10 μL,其中引物各0.2 μmol/L、模板DNA 10 ng、dNTPs 100 μmol/L、50 mmol/L KCl、10 mmol/L Tris-Cl (pH 8.3)、1.5 mmol/L MgCl<sub>2</sub>和0.2单位 Gold DNA polymerase。PCR的反应条件为

先在 94 °C 下变性 4 min, 然后扩增 45 个周期, 每个周期的反应条件为 94 °C 30 s、55 °C 30 s、72 °C 60 s, 45 个周期后在 72 °C 下延伸 7 min。取 6  $\mu$ L PCR 产物在 4% Nusieve 3:1 Agarose (FMC, Rockland, Marine, SA) 的胶上电泳, 电泳条件为每厘米胶长 16 V 的电压, 电泳 50 min。电泳后用溴乙锭染色, 观察记录材料的带型。

根据 X 光片放射自显影和溴乙锭染色的结果, 将各个单株的带型按亲本的 RFLP 带型、SSR 带型归类, 凡与非耐冷性品种“十和田”带型相同者赋值为 1, 与耐冷性亲本“昆明小白谷”带型相同者赋值为 2, 双亲杂合型赋值为 3。非共显性标记情形时, 即十和田有带型, 昆明小白谷无带型时, 十和田带型者赋值为 1, 其余的赋值为 4; 相反的情形, 则昆明小白谷带型赋值为 2, 其余的赋值为 5。由于各种原因造成的带型不清楚或缺失数据, 均赋值为“-”, 作缺失数据处理。采用 MAPMAKER/EXP. Version 3.0 构建 F<sub>2</sub> 代的 RFLP 遗传连锁图。采用 STATISTIC 软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 构建遗传连锁图

构建的昆明小白谷与十和田杂交 F<sub>2</sub> 代的遗传连锁图如图 1。

### 2.2 F<sub>2</sub> 代单株结实率与特定结实率相关性

F<sub>2</sub> 代单株结实率与单株特定结实率之间的相关性见图 2, 它们的相关系数 ( $r$ ) 为 0.8364 ( $n = 249$ ), 表明在形态水平上单株结实率与单株特定结实率呈密切相关, 总体而言单株特定结实率可以反映单株结实率的状况。

### 2.3 F<sub>2</sub> 代单株结实率和单株特定结实率相关的分子标记相互关系

以 F<sub>2</sub> 代单株结实率为耐冷性指标, 则共有 43 个标记与耐冷性存在显著或极显著相关, 其中显著相关标记 15 个、极显著相关标记 28 个。共有 34 个标记与 F<sub>2</sub> 代单株特定结实率存在显著或极显著相关, 其中显著相关标记 14 个、极显著标记 20 个, 如

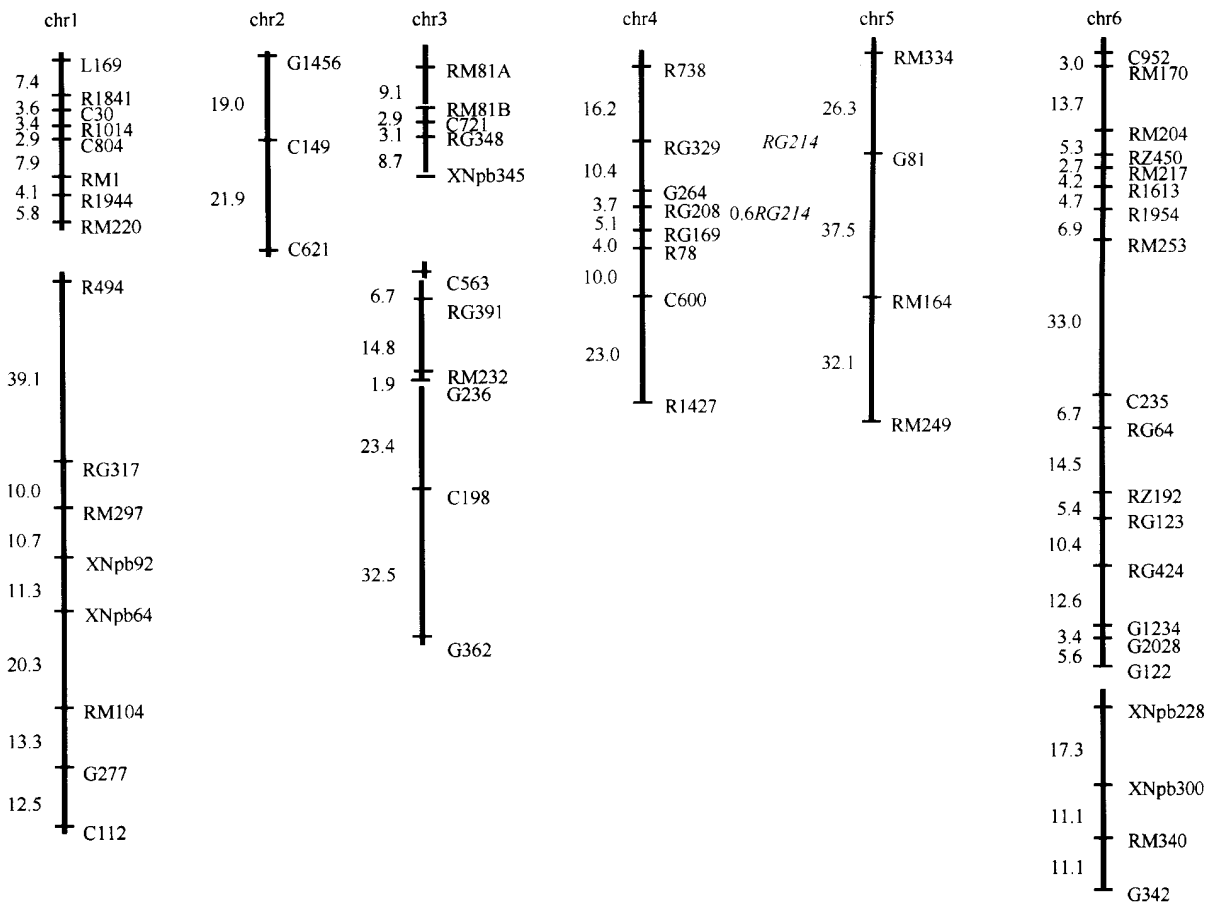


图 1(上)

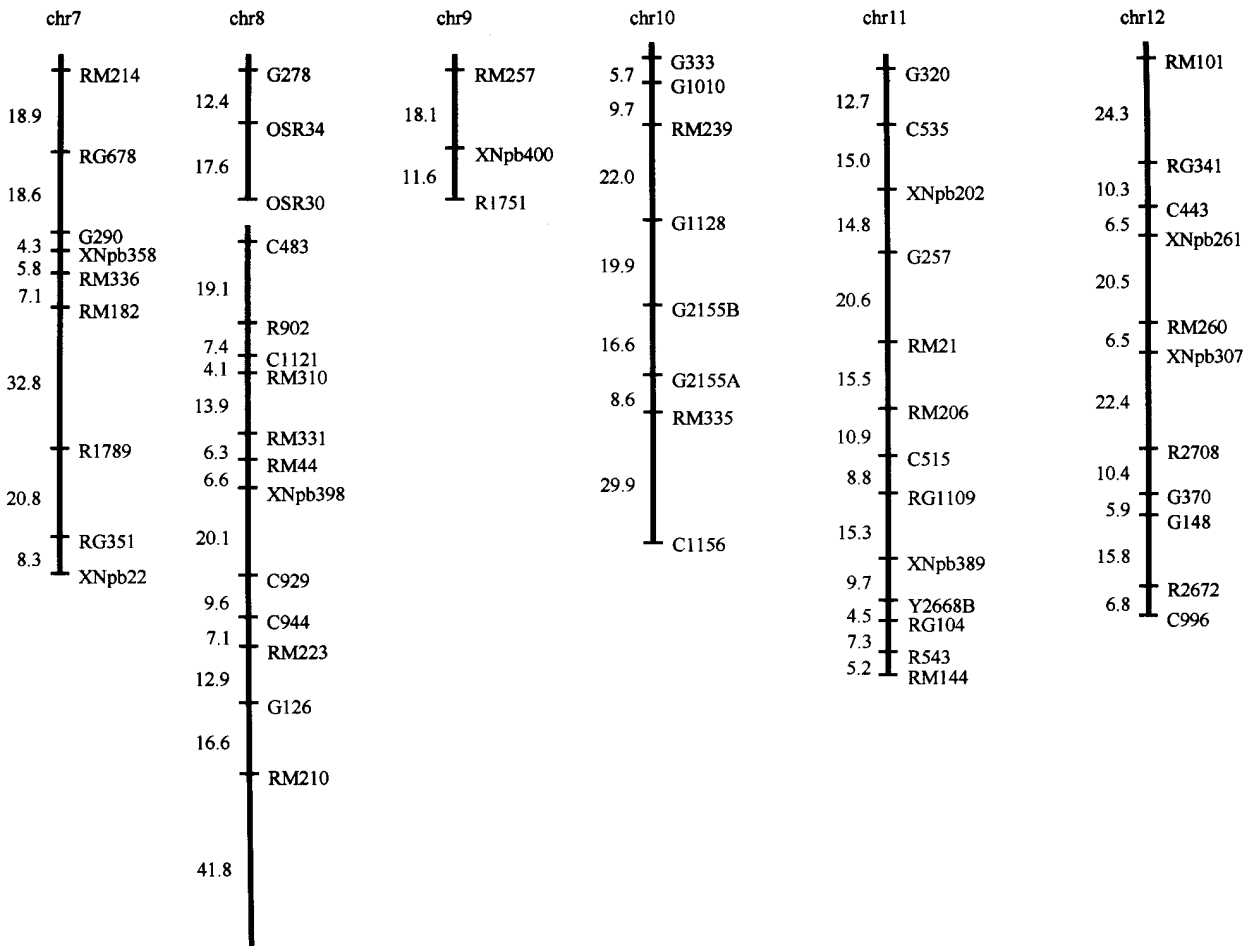


图 1(下)

图 1 昆明小白谷与十和田杂交 F<sub>2</sub> 代遗传连锁图

Fig. 1 Linkage map of the F<sub>2</sub> population between Kunmingxiaobaigu and Towada

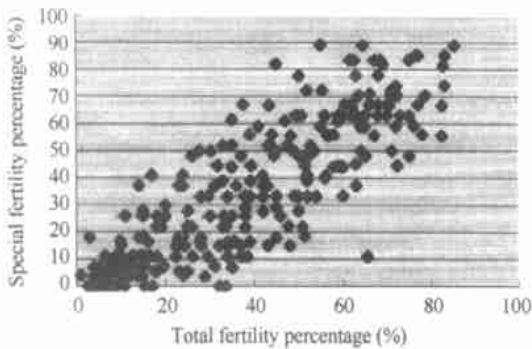


图 2 F<sub>2</sub> 代单株结实率与特定结实率相关

Fig. 2 Correlation between total fertility percentage and special fertility percentage in the F<sub>2</sub> population

表 1. 与 F<sub>2</sub> 代单株特定结实率显著或极显著相关的 34 个标记中,有 31 个标记也与单株结实率(或耐冷性)呈现显著或极显著相关,占 34 个显著性相关标记的 91%;只有 3 个标记(RM232、XNPB358 和

GI128)没有表现为与单株结实率显著相关性,这 3 个标记中除了 GI128 与单株特定结实率相关达极显著水平外 ( $F = 7.347567$ ),其余两个标记的相关只达到显著水平,却  $F$  值比较小,分别为 RM232 的  $F = 3.043525$  ( $P = 0.049669$ )、XNPB358 的  $F = 3.745208$  ( $P = 0.025239$ )。

#### 2.4 F<sub>2</sub> 代单株结实率相关的染色体区域与单株特定结实率相关的染色体区域之间相互关系

与 F<sub>2</sub> 代的结实率相关的染色体共有 8 条,与单株特定结实率有关的染色体有 7 条。除了第 8 染色体仅与单株结实率相关、不与单株特定结实率相关外,其余的与单株结实率相关的 7 条染色体均与单株特定结实率相关。从染色体水平上而言,共计 12 条染色体中,有 8 条染色体与耐冷性有关,这 8 条染色体中的 7 条与单株特定结实率也呈现显著或极显著相关性。

表 1 对 F<sub>2</sub> 代总结实率及特定结实率有显著影响的探针及其 F 值  
 Table 1 Markers affecting significantly total fertile spikelet percentage and special fertile spikelet percentage in F<sub>2</sub> population and their F values

F <sub>2</sub> 代总结实率 Total fertile spikelet percentage in F <sub>2</sub>				F <sub>2</sub> 代特定结实率 Special fertile spikelet percentage in F <sub>2</sub>			
探针 Marker	染色体 Chro	个体数 No.	F 值 F value	探针 Marker	染色体 Chro	个体数 No.	F 值 F value
R1841	1	242	7.085784	R1841	1	242	4.550278
C804	1	250	3.602164				
RM1	1	188	8.151569	RM1	1	188	6.155963
R1944	1	228	4.223853				
RZ288	1	248	5.684185	RZ288	1	248	3.618358
C563	3	248	5.723608	C563	3	248	4.523754
RG91	3	240	4.885911	RG91	3	240	4.151011
C198	3	238	3.183383	C198	3	238	3.730536
				RM232	3	223	3.043525
C600	4	248	6.968293	C600	4	248	8.816615
R78	4	249	3.374318	R78	4	249	4.523198
RG214	4	247	3.791245	RG214	4	247	5.193745
RG208	4	246	3.401414	RG208	4	246	4.745294
G264	4	210	5.218990	G264	4	210	7.793692
R738	4	241	4.491397	R738	4	241	5.045199
C952	6	246	10.39807	C952	6	247	6.340128
RM170	6	93	5.284894	RM170	6	93	4.086594
RM204	6	185	8.854174	RM204	6	185	5.544965
RZ450	6	241	10.25738	RZ450	6	242	4.463919
RM217	6	227	8.401270	RM217	6	228	3.578002
R1613	6	246	12.07945	R1613	6	246	5.795763
R1954	6	247	13.95578	R1954	6	248	7.247339
RM253	6	188	4.805757				
C235	6	202	6.168714	C235	6	202	7.907932
RG64	6	244	6.381379	RG64	6	244	5.525964
RG123	6	191	5.509809	RG123	6	191	4.311237
RG424	6	249	3.782777				
Y2668A	6	207	7.924212	Y2668A	6	207	8.359281
R1789	7	242	7.011041	R1789	7	242	4.187480
RM182	7	92	4.987292	RM182	7	92	5.346468
RM336	7	189	8.174287	RM336	7	189	8.586197
G290	7	211	5.378821	G290	7	211	6.922916
RG678	7	228	4.281194				
				XNPB358	7	210	3.745208
GI26	8	199	4.480682				
RM239	10	93	17.19458	RM239	10	93	14.71994
GI010	10	210	21.95396	GI010	10	210	20.85275
G333	10	206	14.59975	G333	10	206	14.75575
				GI128	10	249	7.347567
GI79	11	209	3.652841				
C996	12	243	3.46934				
GI48	12	248	5.643521				
G370	12	204	4.736939				
R2708	12	199	3.849617				
XNPB307	12	207	3.121169				
RM260	12	126	5.685911	RM260	12	126	3.168700

与  $F_2$  代单株结实率相关的 43 个标记中, 即与  $F_2$  代耐冷性相关的 43 个标记中, 有 3 个标记 (RZ288、Y2668A 和 G179) 未整合进连锁图, 其余 40 个标记分布于 8 条染色体上 (除了第 2、第 5、第 9 和第 11 染色体以外), 第 6 染色体上分布的与耐冷性相关标记较多, 共有 13 个, 其次为第 4 染色体和第 12 染色体上均有 6 个标记; 再次为第 1 染色体、第 7 染色体, 各有 5 个标记; 最少的为第 8 染色体, 只有 1 个标记。结合这些标记在连锁图上的分布, 可能共有 11 个染色体区域与  $F_2$  代耐冷性相关, 即第 6 染色体的 3 个区域、第 1 染色体的 2 个区域、第 3 染色体、第 4 染色体、第 7 染色体、第 8 染色体、第 10 染色体和 12 染色体各 1 个区域。

与单株特定结实率相关的 34 个标记中有 2 个标记 (RZ288 和 Y2668A) 未整合进连锁图, 其余 32 个标记的分布情况如下, 第 6 染色体上共有 10 个, 第 4 染色体有 6 个标记, 第 7 染色体上有 5 个, 第 3、10 染色体上各有 4 个, 第 1 染色体上 2 个, 第 12 染色体有 1 个标记。结合这些标记在连锁图上的分布, 可能共有 9 个染色体区域与  $F_2$  代单株特定结实率相关, 即第 1 染色体和第 6 染色体上各 2 个区域, 第 3 染色体、第 4 染色体、第 7 染色体、第 10 染色体和第 12 染色体上各 1 个区域。

与  $F_2$  代特定结实率相关的 9 个染色体区域全部包含在与  $F_2$  代耐冷性相关 (以单株结实率为指标) 的 11 个染色体区域中, 只是第 8 染色体上与  $F_2$  代耐冷性相关的 1 个区域, 没有呈现与单株特定结实率相关; 第 6 染色体上与单株结实率相关的区域有 3 个, 比与单株特定结实率相关区域多 1 个, 其余的 9 个染色体区域既与单株结实率相关又与单株特定结实率相关。并且在第 8 染色体上与  $F_2$  代耐冷性相关的标记只有 G126 一个, 均未检测出与 G126 相邻的其他标记如 RM223 和 RM210 与  $F_2$  代单株结实率之间存在显著相关, 可以推论第 8 染色体与  $F_2$  代耐冷性没有十分密切的相关性, 或者第 8 染色体对  $F_2$  代耐冷性的影响不很明显。如果第 8 染色体上 G126 标记与单株结实率的相关性不予考虑的话, 与  $F_2$  代单株特定结实率相关的染色体和与  $F_2$  代耐冷性相关的染色体都是相同的 7 条; 与  $F_2$  代耐冷性相关的染色体区域数为 10 个, 比与  $F_2$  代单株特定结实率相关的染色体区域 9 个多 1 个, 除了在第 6 染色体上与耐冷性相关的区域较与单株特定结实率

相关区域多 1 个外, 其余的 9 个染色体区域都是一致的, 表明无论从染色体水平还是染色体区域水平上看, 特定结实率可以很好地反映耐冷性的情况, 单株特定结实率可以作为耐冷性的评价指标。

### 3 讨论

在水稻孕穗开花期耐冷性鉴定评价中, 尽管有许多评价指标被不同的工作者所采用<sup>[1,6]</sup>, 但低温条件下的单株结实率一直是广泛采用的、最主要和重要的评价指标<sup>[4,10,11,15]</sup>。鉴于不同发育时期颖花对低温的敏感程度不相同, 以整穗的结实率来评价其耐冷性虽然在生产中具有实际意义, 但从研究的角度考虑存在评价精度不高的问题, 单株特定颖花结实率作为评价指标则可以较好地解决这一问题。

本研究从 DNA 分子水平上提供证据, 表明与  $F_2$  代的单株结实率和单株特定结实率相关的分子标记有很大的一致性, 单株结实率与单株特定结实率在染色体、染色体区域层面上是一致的。为此建议可以用单株特定结实率取代整穗结实率的考查, 这样既可以大大减少考种的工作量、提高考种工作效率, 还可以提高耐冷性鉴定评价的精度。值得注意的是, 特定颖花的发育时期基本一致, 在应用单株特定结实率作为耐冷性指标时应注意进行耐冷性鉴定的时期必须是特定颖花的敏感期, 否则容易产生鉴定错误。

结实率是非常重要的农艺性状, 正常生长条件下的结实率是重要的产量构成因子。穗上的颖花可以分成强势颖花和弱势颖花, 而本研究所用的特定颖花属于强势颖花的范畴。本研究结果显示, 单株特定结实率相关分子标记与单株结实率的分子标记具有很大一致性, 据此能否考虑适当增加特定颖花的范围, 即在弱势颖花中也选择一些特定颖花, 以强势颖花中特定颖花和弱势颖花中特定颖花所构成的“总特定颖花”来代表整穗的颖花, 进一步研究“总特定颖花”结实率是否可以代表整穗总结实率等, 如果这样的研究结果证明“总特定颖花结实率”可以很好地反映整穗的结实率状况, 在水稻产量测定、杂种优势研究中采用特定颖花结实率来取代整穗结实率的调查, 那样可以大大节约各种研究中的考种成本、提高考种精度和效率, 其研究结果将具有更广泛的现实指导意义。

### References

- [1] Dai L-Y (戴陆园), Ye C-R (叶昌荣), Yu F-Q (余腾琼), Xu F-R (徐

- 福荣). Studies on cold tolerance of rice, *Oryza sativa* L. Description on types of cold injury and classifications of evaluation methods on cold tolerance of rice. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences* (西南农业学报), 2002, 15(1): 41—44
- [2] Dai L-Y(戴陆园), Kariya K(刈屋国男), Ye C-R(叶昌荣), 伊势一男, 丹野久, Yu T-Q(余腾琼), Xu F-R(徐福荣), Ma C-W(麻纯文). Studies on cold tolerance of rice, *Oryza sativa* L. Evaluation on cold tolerance of Yunnan rice genetic resources. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences* (西南农业学报), 2002, 15(3): 47—52
- [3] Saito K, Miura K, Nagano K, Hayano-Saito Y, Araki H, Kato A. Identification of two closely linked quantitative trait loci for cold tolerance on chromosome 4 of rice and their association with anther length. *Theor Appl Genet*, 2001, 103: 862—868
- [4] Tanno H, Kuchi H, Hirayama Y, Kikuchi H. Development of a simple testing method for cool weather tolerance at the flowering stage of rice using an air-conditioned room. *Japan Jour Crop Sci*, 2000, 69: 43—48
- [5] Dai L-Y(戴陆园), Ye C-R(叶昌荣), Xiong J-H(熊建华), Wang H-Y(王怀义). Methods for evaluating cold tolerance in rice. *Chinese Journal of Rice Science* (中国水稻科学), 1999, 13(1): 62
- [6] Nishiyama I, Satake T. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. XIX. The difference in susceptibility to coolness among spikelets on a panicle. *Japan Jour Crop Sci*, 1979, 48(2): 181—186
- [7] Nishiyama I. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. XXIII. Anther length, pollen number and the difference in susceptibility to coolness among spikelets on the panicle. *Japan Jour Crop Sci*. 1982, 51(4): 462—469
- [8] Shimizu M, Ujiie S. Sterile type cool injury in Miyagi prefecture in 1956. *Tohoku no Nogyo Kisho*, 1957, 2: 39—49
- [9] Satake T, Hayase H. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. V. Estimations of pollen developmental stage and the most sensitive stage to coolness. *Proc Crop Sci Soc Japan*, 1970, 39(4): 468—473
- [10] Satake T, Hayase H. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. X. A secondary sensitive stage at the beginning of meiosis. *Proc Crop Sci Soc Japan*, 1974, 43(1): 36—39
- [11] Nishiyama I. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. XI. Effects of some substances on sterility. *Proc Crop Sci Soc Japan*, 1975, 44(4): 397—402
- [12] Bertin P, Bouhaumont J. Use of somaclonal variation and in vitro selection for chilling tolerance improvement in rice. *Euphytica*, 1997, 96: 135—142
- [13] Bertin P, Bouhaumont J, Kinet J M. Somaclonal variation and improvement in chilling tolerance in rice: changes in chilling-induced electrolyte leakage. *Plant Breeding*, 1996, 115: 268—272
- [14] Satake T. Determination of the most sensitive stage to sterile cool injury in rice plants. Research Bulletin No. 113 of the Hokkaido National Agricultural Experiment Station, 1976. 1—35
- [15] Liu KD, Wang J, Li HB, et al. A genome-wide analysis of wide compatibility on rice and the precise location of the S<sub>5</sub> locus in the molecular map. *Theor Appl Genet*, 1997, 95: 809—814

## 欢迎订阅 2004 年《西北农业学报》

《西北农业学报》是由教育部主管,西北农林科技大学、甘肃、宁夏、青海、新疆农(林)业科学院、新疆、青海畜牧(兽医)科学院及新疆农垦科学院八院校联合主办的综合性农林牧业学术期刊。本刊立足大西北,面向国内外,主要刊登农学、林学、植(森)保、园艺、土壤农化、畜牧、兽医、农业机械与电子工程、水利与建筑工程、食品加工与食品机械等学科领域以第一手资料撰写的学术论文、研究报告、研究简报以及有新意的专题综述、评述等。读者对象为农林牧业科技人员、大专院校师生及高级农业技术管理人员。

《西北农业学报》为季刊,季末月 10 日出版,大 16 开,120 页,国内外公开发行。国内统一刊号:CN61-1220/S,国际标准刊号:ISSN 1004-1389,邮发代号:52-111。国外发行:中国国际图书贸易总公司(北京 399 信箱),代号 Q4380。每期定价:12 元,全年 48 元。全国各地邮局均可订阅,也可向编辑部直接订阅。编辑部地址:陕西杨陵 西北农林科技大学西农校区 33 号信箱 邮编:712100,电话:029-7091132 银行汇款:农业银行杨陵支行李台营业所,帐户:西北农林科技大学(7),帐号:200701040000391 E-mail:xbnx@chinajournal.net.cn