

# 抽穗开花期耐高温的爪哇稻资源筛选

赵 森<sup>1,2</sup>, 于江辉<sup>1</sup>, 周 浩<sup>1</sup>, 孟秋成<sup>1</sup>, 肖国樱<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>中国科学院亚热带农业生态研究所/亚热带农业生态过程重点实验室,长沙 410125;<sup>2</sup>中国科学院研究生院,北京 100049)

**摘要:**通过人工气候室鉴定和分期播种试验,对来自于不同国家和地区的 95 份爪哇稻进行抽穗开花期耐高温特性评价。以综合结实率为指标,通过聚类分析将 95 份爪哇稻分为耐热能力不同的 3 类。综合考虑大田分期播种的结实率和人工气候室鉴定结果,筛选出耐高温品种 IRAT109 (IRRI 编号 38563)、260 (IRRI 编号 14888) 和 L 4-34 (IRRI 编号 13403),可用于水稻耐高温新品种的选育及耐热性遗传机制研究。

**关键词:**爪哇稻;抽穗开花期;耐高温;综合结实率

## Screening of *Javanica* Rice for Thermo-tolerance at Heading Stage

ZHAO Sen<sup>1,2</sup>, YU Jiang-hui<sup>1</sup>, ZHOU Hao<sup>1</sup>, MENG Qiu-cheng<sup>1</sup>, XIAO Guo-ying<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Key Laboratory of Agro-ecological Processes in Subtropical Region/Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125; <sup>2</sup>Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

**Abstract:** Thermo-tolerance of 95 accessions of *javanica* rice, which originated from different countries and regions, were tested through artificial climate chamber appraisal and different seeding time trials at heading stage. According to the comprehensive seed set, the 95 accessions were classified into 3 groups with different thermo-tolerance based on clustering analysis. Overall consideration of comprehensive seed set at different seeding time and artificial climate chamber appraisal result, the variety of IRAT109 (IRRI accession number 38563), 260 (IRRI accession number 14888), and L 4-34 (IRRI accession number 13403) were of thermo-tolerance varieties, which could be used for breeding new thermo-tolerance rice and further genetic mechanism research of high temperature stress.

**Key words:** *Javanica* rice; heading stage; thermo-tolerance; comprehensive seed set

随着温室气体排放的不断增加,全球气温正缓慢上升,且上升速度有逐渐加快的趋势。在过去 50 年中,每 10 年气温上升 0.13 °C,这个速度是这之前 100 年间温度上升速度的 2 倍;据推测,到本世纪末全球平均气温将会升高 1.8~4.0 °C,而且高温热害发生的频率也有加大的趋势,这样的气候变化会对农业生态系统产生广泛的影响<sup>[1]</sup>。如何应对全球气候变化,保障水稻的高产、稳产是广大水稻育种工作者面临的重要问题。

高温热害对水稻的危害在水稻生产国都有发生,也是我国水稻生产面临的重要自然灾害之一。水稻虽属喜温作物,但过高的温度对水稻的各个生长阶段都会造成危害,其中开花期对高温

最敏感,其次为减数分裂期。水稻颖花在高温下 1 h 就会造成不育<sup>[2]</sup>。孕穗期遇到 35 °C 以上的持续高温天气,水稻花器官将发育不全,造成花粉不育或活力下降。若在抽穗扬花期遇到 35 °C 以上的持续高温天气,高温会阻止花粉成熟、花药开裂、花粉在柱头上萌发及花粉管的伸长,最终导致不能授精或授精受阻而形成空秕粒<sup>[3]</sup>。如果能筛选到在抽穗开花期和减数分裂期耐高温的种质资源对培育耐高温水稻新品种具有重要意义。

不同水稻品种的耐高温能力不同,一般来说,籼稻的耐高温能力比粳稻强,N22 和 Akitakomachi 是至今筛选到的最耐高温的籼稻和粳稻品种<sup>[2]</sup>。国

收稿日期:2012-07-16 修回日期:2012-10-22 网络出版日期:2013-04-02

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20130402.1734.007.html>

基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向项目(KSCX2-EW-N-01)

作者简介:赵森,博士,主要从事水稻分子育种研究。E-mail: szhao1982@126.com

通信作者:肖国樱,研究员,博士,主要从事水稻遗传育种研究。E-mail: xiaoguoying@isa.ac.cn

内外对耐高温种质资源的筛选也开展了一些研究,国内学者筛选到的耐高温水稻品种有原丰早、浙85-2、早莲 31、HA891037、中优早 1 号、辐 9136、8072-2、盐粳 13、吉 89-60、89203、珍珠粳 2 号、IART118 和冷水白等<sup>[3-5]</sup>。1977-1984 年间国际水稻研究所在人工控温条件下,筛选出 Jubilienc、Ghrailba 和 N22 为耐热性较好的品种<sup>[4]</sup>。S. V. K. Jagadish 等<sup>[6]</sup>对 15 份亚洲栽培稻,1 份非洲栽培稻和 2 份亚洲栽培稻与非洲栽培稻的杂交种在开花期进行高温筛选,认为 N22 为高抗品种。同时印度品种 Sorachi、SKL 17-67-11、UPR 251-102-2 也是较耐热的种质资源;然而这些品种的农艺性状多数不佳,难以直接利用。因此,迄今尚未通过育种方法育成高产、适应性好的耐热新品种<sup>[7]</sup>。

爪哇稻,又称热带粳稻,主要分布在马来半岛、印度尼西亚、菲律宾等地的热带山区<sup>[8]</sup>。由于其处在热带生存环境中,推测从中筛选到耐高温种质资源的几率较大,但关于爪哇稻品种耐高温特性的研究并不多<sup>[6]</sup>。同时,爪哇稻本身也有很多优良特性,如茎秆粗壮,穗大粒多,根系发达,抗稻瘟病等<sup>[8-9]</sup>。籼爪交和粳爪交配组的亚种间杂交稻具有强大的杂种优势<sup>[8]</sup>,本研究就来源于不同国家和地区的爪哇稻进行广泛筛选,以期筛选到耐高温能力好的爪哇稻品种应用于水稻遗传育种研究。

1 材料与方法

1.1 材料

95 份爪哇稻(表 1)来源于不同的国家和地区,由本课题组收集、保存。籼稻 996 和 4628 作为耐热和热敏感对照品种<sup>[10]</sup>。

1.2 试验方法

1.2.1 温室高温处理 所有材料浸种 1 d 后在 38 ℃生化培养箱中催芽 2 d,种子破胸后播种(2011 年 4 月 9 日),3 叶 1 心期移栽到盆中,每盆 5 株,每个品种 5 盆。每个品种在开花当日取 3 盆在 PGW-40 型人工气候箱中连续处理 7 d,处理后放在自然条件下生长,以一直在自然温度下生长的另外 2 盆作为对照。采用 ZDR-20 型温湿度连续记录仪记录自然温度。人工气候箱内高温处理方案与文献<sup>[11]</sup>相同。人工气候箱设定的日平均温度为 33.5 ℃,在 35 ℃及以上温度的持续时间为 10 h。成熟后分别收取高温处理和自然温度下生长的穗子,考察结实率(表 1)。

1.2.2 田间分期播种试验 试验在中国科学院亚热带农业生态研究所所长长沙水稻试验站(28. 16°N, 113. 15°E)进行,随机区组试验设计,分别于 2011 年 3 月 20 日、3 月 30 日、4 月 9 日、4 月 19 日、4 月 29 日、5 月 9 日、5 月 19 日及 5 月 29 日分 8 期播种。3 叶 1 心期选取 50 株健壮幼苗移栽到大田,田间常规肥水管理和病虫害防治。成熟后每期各品种小区中间行连续取 5 个无病虫害危害植株考查结实率。

1.2.3 数据调查与分析 以自然温度和高温胁迫下结实率的平均值作为综合结实率。如果自然条件下生长的对照植株在开花期间也受到 35 ℃以上的高温胁迫,则采用大田分期播种中结实率最高的时期作为对照,以避免误差。根据综合结实率,同时参考大田分期播种的试验数据,最终确定耐高温品种。数据分析采用 Excel 和 DPS 软件进行。

2 结果与分析

2.1 不同品种对高温胁迫的反应差异

在自然温度条件下,不同品种的结实率不同,最低的只有 20. 98% (TUA DIKIN),最高的品种达 93. 37% (MOROBEREKAN B-47-7-7-4),所有品种的平均结实率为 72. 65%。在高温胁迫条件下,不同品种爪哇稻结实率的变化范围在 4. 21% ~ 84. 59% 之间,最低的品种为香爪-089,最高的品种为 DAROKA,平均结实率为 34. 75% (表 1),说明不同爪哇稻品种的耐高温能力不同。

2.2 不同播期对结实率的影响

从大田分期播种的试验结果看,播期间的结实率变化较大。有些品种随着播期的推迟,结实率逐渐升高,遇到高温胁迫时结实率又会降低,如 BANTIA、UCHUTI 等。也有些品种随着播期的推迟,结实率逐渐降低,遇到高温时结实率最低,后期结实率又有所升高,如 PANTIA、KIYALEH 等。所以不同爪哇稻品种对高温条件的反应不同。同时,不同爪哇稻品种在长沙特定生态环境下的适应能力不同,在大田生长条件下 NPE844 第 2 期的结实率最高,为 91. 53%;BINTENU 第 8 期的结实率最低,为 0。

2.3 系统聚类分析和耐高温品种的筛选

采用欧式距离,最长距离聚类方法对所有爪哇稻的综合结实率进行系统聚类(图 1)。当群间距离为 26. 46 时,可将 95 份爪哇稻分为 3 类(表 1)。

表 1 不同爪哇稻品种及结实率

Table 1 Accessions of javanica rice and their seed sets

编号 No.	品名 Variety name	IRRI 编号 IRRI accession number	来源 Origin	结实率(%)Seed set		综合结实率(%) Comprehensive seed set	类别 Group
				自然温度	高温胁迫		
				Natural temperature	High temperature stress		
1	DAROKA	56784	象牙海岸	85.38	84.59	84.99	Ⅲ
2	GNAN NAN SAHA	56773	象牙海岸	91.89	70.88	81.39	Ⅲ
3	L 4-34	13403	罗马尼亚	78.57	78.07	78.32	Ⅲ
4	PANTIA-1	31112	利比里亚	83.71	67.98	75.85	Ⅲ
5	NGNONKOSSOKA	56791	象牙海岸	80.84	70.59	75.72	Ⅲ
6	9 BB	14830	利比里亚	81.12	67.50	74.31	Ⅲ
7	MAMBLO	56924	象牙海岸	89.89	57.51	73.70	Ⅲ
8	MOROBEREKAN 28-4-2-10-7	68720	象牙海岸	88.44	57.49	72.96	Ⅲ
9	LAC18	14954	利比里亚	84.06	59.91	71.98	Ⅲ
10	TOS 7545	46995	象牙海岸	71.24	70.81	71.02	Ⅲ
11	996	-	中国	87.70	54.10	70.90	Ⅲ
12	MOROBEREKAN B-51-4-9-2	68722	象牙海岸	71.04	70.15	70.60	Ⅲ
13	BORO 1	8358	孟加拉国	89.05	49.78	69.42	Ⅲ
14	MARIA GAKIT	57070	菲律宾	87.57	50.93	69.25	Ⅲ
15	IRAT 109	38563	象牙海岸	83.93	54.55	69.24	Ⅲ
16	260	14888	利比里亚	80.16	57.19	68.68	Ⅲ
17	NAKABAWA	14691	肯尼亚	88.76	46.93	67.85	Ⅲ
18	MOROBEREKAN B-47-7-7-4	68721	象牙海岸	93.37	42.08	67.72	Ⅲ
19	KHEME MA	13005	老挝	85.05	49.96	67.51	Ⅲ
20	UCHUTI	14694	肯尼亚	82.09	52.65	67.37	Ⅲ
21	19 C	14837	利比里亚	81.01	50.79	65.90	Ⅲ
22	IR71217-24-1-2	-	菲律宾	83.19	46.99	65.09	Ⅲ
23	L 4-34-1	13403	罗马尼亚	79.86	48.94	64.40	Ⅲ
24	MATEGBE 1	56827	象牙海岸	76.21	51.90	64.06	Ⅲ
25	LABELLE-2	-	美国	70.77	54.29	62.53	Ⅱ
26	ZOUTI	56846	象牙海岸	77.94	46.94	62.44	Ⅱ
27	19 D	14814	利比里亚	66.35	57.64	61.99	Ⅱ
28	MACK HING	11627	老挝	72.02	51.28	61.65	Ⅱ
29	IB104	40626	不详	77.35	45.49	61.42	Ⅱ
30	ARC 13254	22606	印度	66.44	55.79	61.12	Ⅱ
31	MESES 6	50619	巴西	75.58	44.73	60.16	Ⅱ
32	IR65598-112-2	-	菲律宾	66.60	53.23	59.91	Ⅱ
33	MD757	-	美国	82.93	36.35	59.64	Ⅱ
34	BADJINNAKA	56836	象牙海岸	85.36	33.52	59.44	Ⅱ
35	ARK. FORTUNA S 3-3	25943	巴西	87.18	31.69	59.43	Ⅱ
36	ARC 11288	21290	印度	81.91	36.19	59.05	Ⅱ
37	BACLAR	47128	菲律宾	88.89	27.28	58.08	Ⅱ
38	PANTIA	31111	利比里亚	80.87	35.07	57.97	Ⅱ
39	4628	-	中国	76.90	38.60	57.75	Ⅱ
40	PADI RATA	54287	印度尼西亚	74.43	39.99	57.21	Ⅱ
41	ARC 12878	22412	印度	63.74	50.15	56.94	Ⅱ
42	MUAT MENIA 16238	66868	印度尼西亚	74.58	39.03	56.80	Ⅱ
43	PODAO	44701	菲律宾	64.81	48.78	56.79	Ⅱ
44	PADI PAPAR	14362	马来西亚	78.86	34.43	56.65	Ⅱ
45	MACK HING-1	11627	老挝	80.40	31.71	56.06	Ⅱ
46	LEBONNET	-	美国	65.08	44.87	54.97	Ⅱ
47	MAMADOU SALIF	56494	塞内加尔	85.40	24.27	54.84	Ⅱ
48	NAKABAWA-1	14692	肯尼亚	82.48	25.95	54.21	Ⅱ
49	CYPRESS	19532	美国	89.98	17.90	53.94	Ⅱ
50	IAPAR9	-	巴西	78.07	29.77	53.92	Ⅱ
51	BOAFO	14747	加纳	67.18	40.34	53.76	Ⅱ
52	BALU PRIA	54158	印度尼西亚	84.27	22.63	53.45	Ⅱ
53	HILL PDDI	13413	马来西亚	80.14	26.63	53.38	Ⅱ

表 1( 续)

编号 No.	品名 Variety name	IRRI 编号 IRRI accession number	来源 Origin	结实率( % )Seed set		综合结实率( % ) Comprehensive seed set	类别 Group
				自然温度	高温胁迫		
				Natural temperature	High temperature stress		
54	MD756	-	美国	91. 81	14. 23	53. 02	Ⅱ
55	PATEGBE	56787	象牙海岸	79. 40	26. 62	53. 01	Ⅱ
56	SEIHUE	56771	象牙海岸	87. 04	17. 74	52. 39	Ⅱ
57	SENSAY	13136	马来西亚	56. 91	47. 70	52. 30	Ⅱ
58	ARC 11890	21716	印度	56. 56	46. 82	51. 69	Ⅱ
59	PARE DOLO	27354	印度尼西亚	72. 24	30. 70	51. 47	Ⅱ
60	BANTIA	6453	利比里亚	58. 46	42. 71	50. 58	Ⅱ
61	GBLANECHE	32468	利比里亚	82. 35	17. 68	50. 02	Ⅱ
62	MABGABA	50499	巴西	85. 38	13. 98	49. 68	Ⅱ
63	KETAN NANGKA	16466	印度尼西亚	72. 43	26. 86	49. 64	Ⅱ
64	GBANTE	16081	象牙海岸	67. 59	31. 14	49. 36	Ⅱ
65	旱 135	-	不详	53. 63	44. 71	49. 17	Ⅱ
66	BURENG KUNING	54166	印度尼西亚	84. 22	13. 80	49. 01	Ⅱ
67	BINTENU	16357	印度尼西亚	63. 43	34. 51	48. 97	Ⅱ
68	SINALAKSAK	30395	菲律宾	74. 71	22. 90	48. 81	Ⅱ
69	47 A	14818	利比里亚	76. 21	21. 12	48. 67	Ⅱ
70	IAC703-73	64815	巴西	67. 98	26. 94	47. 46	Ⅱ
71	C711098	13788	中国台湾	75. 29	18. 84	47. 06	Ⅱ
72	MD762	-	美国	73. 97	18. 48	46. 23	Ⅱ
73	ARC 11533	21458	印度	76. 99	12. 62	44. 80	Ⅱ
74	PADI LAMU	54276	印度尼西亚	69. 39	19. 47	44. 43	Ⅱ
75	AMERALAO PRECOCE	50422	巴西	73. 26	14. 30	43. 78	Ⅱ
76	ARC 12849	22384	印度	75. 28	11. 84	43. 56	Ⅱ
77	旱 89	-	不详	67. 71	14. 27	40. 99	I
78	SIPAYAK	11235	菲律宾	66. 07	15. 04	40. 56	I
79	GOBO	14790	苏里南	65. 91	11. 48	38. 70	I
80	CICIH BULU BARAK	43373	印度尼西亚	53. 07	24. 18	38. 63	I
81	香爪-089	-	南美	72. 55	4. 21	38. 38	I
82	KETAN IRENG	43440	印度尼西亚	53. 33	23. 29	38. 31	I
83	KETAN GURUNINI	17869	印度尼西亚	59. 78	15. 24	37. 51	I
84	MESES AMERELO 3	50612	巴西	61. 13	13. 63	37. 38	I
85	C 5794	7472	马来西亚	62. 33	11. 00	36. 66	I
86	PADI TAUN	14338	马来西亚	66. 97	5. 14	36. 05	I
87	TULAK BALA	35924	印度尼西亚	60. 12	10. 28	35. 20	I
88	MALAPAY	44589	菲律宾	63. 84	6. 54	35. 19	I
89	NPE844	38698	巴基斯坦	58. 63	7. 86	33. 24	I
90	SAQUAREMA ROXO	50581	巴西	50. 96	9. 03	29. 99	I
91	BS145	56749	几内亚比绍	49. 18	10. 26	29. 72	I
92	培迪-3	-	印度尼西亚	47. 00	11. 90	29. 45	I
93	ARC 12126	21931	印度	32. 90	25. 38	29. 14	I
94	KH. KONEDAM	11829	老挝	50. 02	7. 44	28. 73	I
95	KIYALEH	30747	利比里亚	42. 76	10. 67	26. 71	I
96	旱 57	-	不详	36. 37	5. 13	20. 75	I
97	TUA DIKIN	25159	印度尼西亚	20. 98	16. 71	18. 84	I
	平均值 Mean			72. 65	34. 75	53. 70	
	标准差 S			13. 87	19. 60	14. 02	
	变异系数 CV( % )			19. 09	56. 41	26. 11	

第Ⅰ类为高温敏感类型,包括 21 份材料。此类群的综合结实率在 41.00% 以下,最低的 TUA DIKIN 只有 18.84%。自然温度和高温胁迫下的结实率都不高。第Ⅱ类为中间类型材料,包括 52 份材

料。此类爪哇稻资源的综合结实率在 43.56% ~ 62.53% 之间,有的品种在自然温度下结实率高,但高温胁迫后结实率下降幅度大,如 MD756 自然温度下的结实率为 91.81%,但高温胁迫后的结实率



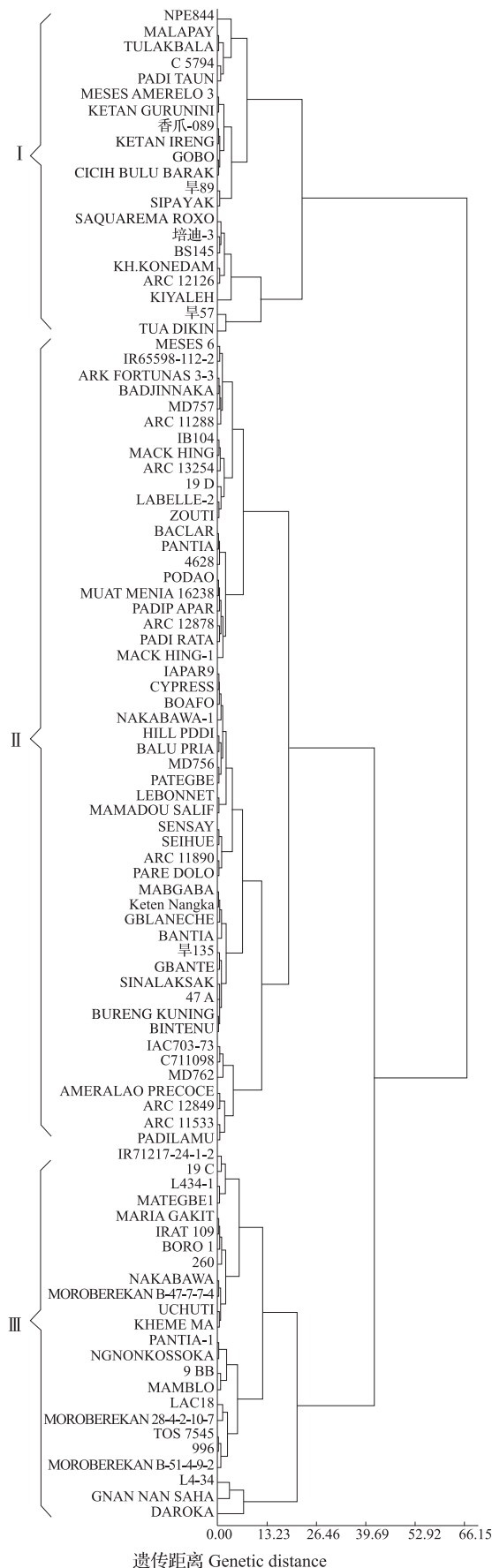


图1 爪哇稻资源耐高温特性聚类分析

Fig. 1 Cluster analysis of javanica rice for thermo-tolerance

仅为 14.23% ,下降了 77.58% ;CYPRESS 在自然温度和高温胁迫后的温度分别为 89.98% 和 17.90% ,两者相差 72.08% 。有些品种在自然温度下结实率不很高,高温处理后结实率下降也不大,如 19 D 高温胁迫后的结实率 57.64% 仅比自然温度下的结实率 66.35% 低 8.71% ;旱 135 高温胁迫后的结实率 44.71% 仅比自然温度下的结实率 53.63% 低 8.92% 。第Ⅲ类材料为耐高温类型,包括耐高温对照品种 996 在内的 24 份材料。此类水稻材料的综合结实率在 64.06% ( MATEGBE 1 ) ~ 84.99% ( DAROKA ) 之间,自然温度下的结实率在 71.04% ( MOROBEREKAN B-51-4-9-2 ) ~ 93.37% ( MOROBEREKAN B-47-7-7-4 ) 之间,高温胁迫后的结实率在 42.08% ( MOROBEREKAN B-47-7-7-4 ) ~ 84.59% ( DAROKA ) 之间。

对于人工气候室筛选到的 24 个第Ⅲ类的耐高温材料,大田分期播种中不同播种期的田间结实率均保持在 50% 以上的品种有 L 4-34、IRAT 109、260 和 996,认为这些品种的耐热性是可靠的。

3 讨论

3.1 耐高温评价指标的选择

我国长江中下游稻区,每年最炎热的时期为 7 月中下旬至 8 月上旬,这时正是早稻灌浆充实和中稻拔节孕穗的关键时期。一方面,高温影响花粉粒中淀粉的积累,花粉发育不能正常进行,造成花粉败育,不能正常受精。另一方面高温逼熟,高温缩短了灌浆成熟过程,秕粒增多,千粒重下降,垩白粒率增加,影响稻米品质。水稻在生殖生长阶段对温度最敏感,对水稻的产量影响最大,所以大部分耐高温资源筛选工作都以与结实率和千粒重相关指标来研究。徐云碧等<sup>[4]</sup>、李太贵等<sup>[5]</sup>、方先文等<sup>[3]</sup>都以结实率为指标对不同的材料进行耐高温筛选。陈庆全等<sup>[12]</sup>和 S. V. K. Jagadish 等<sup>[13]</sup>以高温胁迫后结实率与常温下结实率的比值进行耐高温特性的数量遗传分析。曹立勇等<sup>[14]</sup>以高温处理条件下结实率的下降值与大田条件下结实率的比值,来分析 DH 群体的耐高温特性。周浩等<sup>[15]</sup>以热害指数为指标分析了籼爪重组自交系群体的耐热性。C. Zhu 等<sup>[16]</sup>以高温胁迫下千粒重的下降值与常温下的结实率的比值为指标,对灌浆期的耐高温 QTL 进行了定位。但是,这些评价方法都存在一定的不足。如以高温胁迫后的结实率或结实率的相对下降值为指标评价耐高温能力,有些品种高温胁迫后结实率相对较高,但其在自然温度下的结实率并不高,把这样的品种归

类于耐高温品种,在生产上没有多大实际利用价值。同样,热害指数法以及以下降值为基础的其他评价方法,均会产生类似误判的可能性。本研究中爪哇稻品种 19 D 在自然温度下的结实率为 66.35%,高温胁迫后的结实率为 57.64%,二者相差仅 8.71%;早 135 自然温度下的结实率为 53.63%,高温胁迫后的结实率为 44.71%,两者相差 8.92%。如采用上述评价方法,这 2 个品种均应归类于耐高温品种。本研究采用自然温度下的结实率和高温处理后的结实率的平均值(综合结实率)进行评价,能综合反应被评价品种的常温结实性和高温胁迫下的结实性,克服了以上方法的片面性。

### 3.2 不同耐高温鉴定方法的比较

水稻的耐高温鉴定中,人工气候室筛选是常用的方法之一。在人工气候室内能对温度、湿度和光照进行精确控制,此方法能使被处理的材料受到相对一致的高温胁迫,得到的结果重复性好。本试验品种多、开花期不同,人工气候室容量有限,所有材料并不能在同一时间进行高温胁迫,造成每个品种在高温胁迫前后所经历的自然环境不同,会对试验造成一定误差。如果作为对照的品种在自然环境下开花也受到高温胁迫,则采用分期播种中最高的结实率来代替对照数据,以降低试验误差。因此,虽然人工气候室鉴定的精确性有保障,但一次鉴定的容量有限,材料较多时误差难以控制。

分期播种可以考察某一品种在特定生态地点的田间表现。如果分期播种时间跨度足够大,跨越特定生态条件下水稻能生长的时期,这样就可以确定某一品种在特定生态条件下的结实稳定性和生产潜力,通过分期播种试验可以对品种进行大规模筛选。自然条件下,极端高温胁迫可遇而不可求,分期播种试验的高温胁迫强度不能完全保证。通过分期播种筛选到的结实稳定性好的品种,需要在人工气候室内进一步进行高温胁迫验证。

本研究还发现,有些爪哇稻品种在人工气候室条件下的综合结实率较高,但在分期播种中有些播期的结实率却很低,造成这种结果的原因可能是田间复杂的气象因素,也可能是土壤、生物等其他环境因素,分期播种的误差控制难度也较大。因此,耐高温品种筛选时需要综合考虑人工气候室和大田分期播种的结果,各种方法多次重复且能相互印证的结果才是可信的。

### 3.3 爪哇稻耐高温特性的相关因素分析

本研究发现,许多耐高温的品种本身就是早稻品

种,如 IRAT109 和 260。由此推测,水稻的耐旱和耐热性之间关系密切,这可能与抗旱品种一般有发达的根系有关,根系发达的品种吸水能力就强,在高温胁迫条件下通过强的蒸腾速率,达到降温的目的。S. Peng 等<sup>[17]</sup>的研究结果也表明改良的爪哇稻品种的蒸腾速率高于籼稻品种的蒸腾速率。在耐高温品种的选育工作中,发达的根系也是一个需要考虑的目标性状。

聚类分析确定的 24 份耐高温材料中有 10 份来自象牙海岸、5 份来自利比里亚,约占该类群的 42%;象牙海岸、利比里亚位于赤道附近,属热带气候。这部分材料的耐高温能力可能与其所处的特殊生态环境有关。在下一步的筛选工作中,对来源于这一区域更多的水稻品种进行筛选,有可能筛选到耐高温特性更好的材料。

### 参考文献

- [1] Craufurd P Q, Wheeler T R. Climate change and the flowering time of annual crops [J]. J Exp Bot, 2009, 60(9): 2529-2539
- [2] Jagadish S V K, Craufurd P Q, Wheeler T R. High temperature stress and spikelet fertility in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. J Exp Bot, 2007, 58(7): 1627-1635
- [3] 方先文,汤陵华,王艳平. 水稻孕穗期耐热种质资源的初步筛选[J]. 植物遗传资源学报, 2006, 7(3): 342-344
- [4] 徐云碧,石春海,申宗坦. 热害对早稻结实率的影响[J]. 浙江农业科学, 1989(2): 51-54
- [5] 李太贵,沈波. 水稻品种开花期抗热性鉴定研究[J]. 作物品种资源, 1995(1): 34-35
- [6] Jagadish S V K, Craufurd P Q, Wheeler T R. Phenotyping parents of mapping populations of rice for heat tolerance during anthesis [J]. Crop Sci, 2008, 48(3): 1140
- [7] 张桂莲,陈立云,雷东阳,等. 水稻耐热性研究进展[J]. 杂交水稻, 2005, 20(1): 1-5
- [8] 肖国樱,袁隆平. 爪哇稻及其亚种间杂种优势的研究[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 6-7
- [9] Guiderdoni E, Galinato E, Luistro J, et al. Anther culture of tropical *japonica* × *indica* hybrids of rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Euphytica, 1992, 62: 219-224
- [10] 张桂莲,陈立云,张顺堂,等. 高温胁迫对水稻剑叶保护酶活性和膜透性的影响[J]. 作物学报, 2006, 32(9): 1306-1310
- [11] 于江辉,赵森,周浩,等. 抽穗开花期高温对东北粳稻花粉育性及结实率的影响[J]. 湖南农业科学, 2012(5): 1-4, 8
- [12] 陈庆全,余四斌,李春海. 水稻抽穗开花期耐热性 QTL 的定位分析[J]. 中国农业科学, 2008, 41(2): 315-321
- [13] Jagadish S V K, Cairns J, Lafitte R, et al. Genetic analysis of heat tolerance at anthesis in rice [J]. Crop Sci, 2010, 50(5): 1633-1641
- [14] 曹立勇,朱军,赵松涛,等. 水稻籼粳交 DH 群体耐热性的 QTLs 定位[J]. 农业生物技术学报, 2002, 10(3): 210-214
- [15] 周浩,胡文彬,王作平,等. 抽穗扬花期高温对水稻重组自交系群体 RIL74 结实率的影响[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(1): 69-74
- [16] Zhu C, Xiao Y, Wang C, et al. Mapping QTL for heat-tolerance at grain filling stage in rice [J]. Rice Sci, 2005, 12(1): 33-38
- [17] Peng S, Laza R C, Khush G S, et al. Transpiration efficiencies of indica and improved tropical *japonica* rice grown under irrigated conditions [J]. Euphytica, 1998, 103: 103-108