

## 20 个水稻引进资源的花药开裂及苗期耐热性评价

赵凌, 赵春芳, 王建, 陈涛, 赵庆勇, 姚姝, 王才林

(江苏省农业科学院粮食作物研究所/江苏省优质水稻工程技术研究中心/国家水稻改良中心南京分中心, 南京 210014)

**摘要:**对 20 个从 USDA 引进的水稻资源进行了苗期耐热性鉴定和与开花期耐热性紧密相关的花药开裂性状测定。鉴定结果表明, 20 个资源苗期高温处理后恢复 7 d 的相对幼苗成活率为 83.23% ~ 100%, 恢复 10 d 的相对幼苗成活率为 68.18% ~ 100%。其中 N22、AD-1140、IR 9403-3-1-1 和 IR 4427-51-6-3 具有较强的苗期耐热性。引进资源的花药基部开裂长度为 234.9 ~ 559.0  $\mu\text{m}$ , 花药总长度为 1570.0 ~ 2351.7  $\mu\text{m}$ , 其中 IR 2006-p-P12-12-3-2 和 N22 的花药基部开裂长度分别最短和最长。20 个资源的花药基部开裂长度和高温胁迫后恢复 7 d 及 10 d 的相对幼苗成活率之间均存在极显著正相关, 花药长度和高温胁迫后恢复 7 d 及 10 d 的相对幼苗成活率没有相关性。系谱分析表明, 部分引进资源间具有较近的亲缘关系。花药基部开裂长度作为水稻耐热性的评价指标还需要进行进一步的深入研究。

**关键词:**水稻; 苗期耐热性; 花药基部开裂

## Analyzing of Length Dehiscence at Basal Part of Thecae and Heat Resistance during Seedling Stage of 20 Introduced Rice Germplasms

ZHAO Ling, ZHAO Chun-fang, WANG Jian, CHEN Tao, ZHAO Qing-yong, YAO Shu, WANG Cai-lin

(Institute of Food Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/Jiangsu High Quality Rice Research and Development Center/Nanjing Branch of China National Center for Rice Improvement, Nanjing 210014)

**Abstract:** 20 accessions of rice germplasm were introduced from USDA and the heat tolerance of those germplasms were evaluated at seedling stage based on relative survival rate of seedlings in Nanjing. Those 20 germplasms were originated from India or Philippines. The length of dehiscence at the basal part of thecae (BDL) which was recognized to be significantly related with heat resistance on heading time and the length of anther (AL) were measured during flowering. After planted 20 days and removed weaker plants, all the germplasms were moved into light growth incubator. After treated 40 °C for 7 d in light growth incubator and then recovered in outdoor for 7 and 10 days, the relative survival rates of seedlings were counted. When they recovered for 7 days, the relative survival rate was from 83.23% to 100%, while recovered for 10 days the relative survival rate was from 68.18% to 100%. The germplasms of N22, AD-1140, IR 9403-3-1-1 and IR 4427-51-6-3 showed high heat tolerance at seedling stage in our research. N22 was widely used in heat tolerance research for its highly tolerance. Other three germplasms were reported as heat tolerance resources firstly. N22 and AD-1140 were originated from India, IR 9403-3-1-1 and IR 4427-51-6-3 were originated from Philippines. All 20 germplasms were headed from Jul. 26 to Sept. 10 in 2015, Nanjing. AD-1140 and IR 9403-3-1-1 could be used as new parents of heat tolerance breeding in Nanjing for IR 4427-51-6-3 heading too late, about Aug. 31. The BDL and AL of the germplasms were ranged from 234.9  $\mu\text{m}$  to 559.0  $\mu\text{m}$  and 1570.0  $\mu\text{m}$  to 2351.7  $\mu\text{m}$ , respectively. Among them, N22 had the longest BDL, and IR 2006-p-P12-12-3-2 had the shortest BDL. It was found that significantly positive correlation existed between BDL and relative survival rate of

收稿日期: 2016-12-05 修回日期: 2016-12-18 网络出版日期: 2017-08-14

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20170814.1018.024.html>

基金项目: 国家自然科学基金项目(31201181); 国家水稻产业技术体系(CARS-01-47)

第一作者研究方向为水稻遗传育种。E-mail: zhaoling@jaas.ac.cn

通信作者: 王才林, 研究方向为水稻遗传育种。E-mail: clwang@jaas.ac.cn

seedlings, but there was nothing related between AL and the relative survival rate. Among all 20 germplasms, the pedigree information of E425, Krishna and N22 were not found. After analyzed the pedigree information of rest germplasms, we could confirm that there had a close relationship among those germplasms. The 13 germplasms had close genetic relationship, respectively originated from IR 22, IR 2061 and TKM6. The results indicated that the BDL might be considered as the index of heat tolerance during seedling stage, and deeply research would be needed in the future.

**Key words:** rice; heat resistance during seedling stage; length dehiscence at the basal part of thecae

随着温室效应的日益严重,地球平均气温近年来一直持续升高,2016 年夏天受厄尔尼诺现象的影响,全球再次出现了大面积高温天气。同时极端高温出现的频率也不断增加,高温胁迫已成为影响许多国家和地区水稻生产最重要的灾害性气候因素<sup>[1]</sup>。根据预测,2021–2050 年全国各水稻种植区水稻高温事件还将继续增加,不仅高温日数、高温积温呈现增加的趋势,高温持续日数也有延长的趋势<sup>[2]</sup>。高温热害已经成为影响水稻和其他农作物生产的主要灾害之一。近年来,中国南方稻区特别是江淮地区水稻高温已经给水稻生产造成了严重的影响<sup>[3–5]</sup>。

花粉母细胞减数分裂期、抽穗开花期以及灌浆初中期是水稻对高温的 3 个敏感期,其中尤以抽穗开花期最为敏感<sup>[6]</sup>。当日均温度高于 32 °C 或者最高温度高于 35 °C 时,就会影响水稻抽穗扬花,造成严重的产量损失和品质下降。已有研究表明,水稻不同品种间开花期耐热性存在很大差异<sup>[7–10]</sup>。筛选和鉴定水稻耐高温资源,获得开花期耐热的材料具有非常重要的意义。近年来,水稻耐热研究在 QTL 定位、基因克隆、转录组和蛋白组学等方面已有大量报道<sup>[11–14]</sup>,但利用分子标记手段育成的耐热品种还很少。主要原因之一就是大规模耐热性自然鉴定实施困难,不仅影响了水稻品种的耐高温改良,同时也影响了耐热遗传机理研究的步伐。选择与耐热性相关的表型性状并进行研究,对于开花期耐热性的遗传改良非常重要。T. Matsui 等<sup>[15]</sup>、L. Zhao 等<sup>[16]</sup>、S. V. K. Jagadish 等<sup>[17]</sup>明确水稻开花期耐热性与花

药基部开裂长度呈显著正相关,花药基部开裂长度受环境因素影响较小,而且在高温处理和常温条件下差异不显著,从而和其他研究者们共同提出将花药基部开裂长度作为形态性状在常温下进行水稻耐热性的选择指标。

本研究对新引进的 20 个耐热水稻资源进行了苗期耐热性鉴定,同时测定了和开花期耐热性紧密相关的花药基部开裂长度这一形态指标,并且分析了热胁迫指数和花药基部开裂长度之间的相关性,以期加深对水稻花药开裂性状的了解,同时鉴定出强耐热的资源供育种利用。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料与种植

2014 年从美国农业部 (USDA, U. S. Department of Agriculture) 引进水稻耐热籼稻资源 20 份 (其中含有 1 份热敏感对照), 分别起源于印度和菲律宾 (表 1)。所有材料于 2015 年正季种植在江苏省农业科学院试验田内。2015 年 5 月 15 日播种, 6 月 20 日移栽。每份材料种植 3 行, 每行 25 株, 中间不空行, 株行距 17 cm × 13 cm。土壤中碱解 N 含量 202.2 μg/g, 速效 P 含量 10.0 μg/g, 速效 K 含量 136 μg/g, 土壤 pH 值 6.2, 有机质含量 18.6 μg/kg。移栽前施基肥 N 5.6 g/m<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 3.8 g/m<sup>2</sup>。移栽 1 周后施 N 6.9 g/m<sup>2</sup>; 移栽 2 周后施 N 10.4 g/m<sup>2</sup>。7 月 25 日前后施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 5.7 g/m<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 1.5 g/m<sup>2</sup>。以 50% 单株抽穗当天作为小区抽穗期。成熟后每小区连续取 3 株进行考种。

表 1 20 个引进资源的信息

Table 1 The information of 21 introduced germplasms

材料名称 Material name	来源地 Origin	USDA 编号 No. of USDA	材料提供单位 Donors	性状描述 Description
E425	India	PI 432557	国际水稻研究所	耐热, 早熟
CR 34-16	India	PI 432558	国际水稻研究所	耐热, 早熟
C633	India	PI 432559	国际水稻研究所	耐热, 早熟
CR 156-5021-207	Orissa, India	PI 432560	国际水稻研究所	耐热, 早熟

表 1(续)

材料名称 Material name	来源地 Origin	USDA 编号 No. of USDA	材料提供单位 Donors	性状描述 Description
CR 148-6023-215	India	PI 432561	-	耐热,早熟
UPR 96-1-1-1	India	PI 432562	国际水稻研究所	耐热,早熟
AD-1140	India	PI 432563	国际水稻研究所	耐热,早熟
I 2006-P12-12-2-2	Luzon, Philippines	PI 432564	国际水稻研究所	耐热,早熟
IR 3941-97-1	Luzon, Philippines	PI 432565	国际水稻研究所	耐热,早熟
IR 2008-22-2-2	Luzon, Philippines	PI 432566	国际水稻研究所	耐热,早熟
IR 9209-89-1-1	Luzon, Philippines	PI 432567	国际水稻研究所	耐热,早熟
IR 9403-3-1-1	Luzon, Philippines	PI 432568	国际水稻研究所	耐热,早熟
IR 9403-96-2-3	Luzon, Philippines	PI 432569	国际水稻研究所	耐热,早熟
krishna	India	PI 432570	-	耐热,早熟
N22	India	PI 432571	国际水稻研究所	耐热,早熟
Pusa 2-21	Delhi, India	PI 432572	国际水稻研究所	耐热,早熟
IR 2006-p-P12-12-3-2	Luzon, Philippines	PI 432573	国际水稻研究所	耐热,早熟
IR 4427-51-6-3	Luzon, Philippines	PI 432577	国际水稻研究所	耐热,中熟
IR 4482-5-3-9-5	Luzon, Philippines	PI 432578	-	耐热,中熟
C463	Philippines	PI 432579	-	热敏感对照,中熟

- 表示没有相应信息

- represents no related information

## 1.2 花药开裂性状的检测

使用数字显微镜(VHX-500, Keyence Corporation, Osaka, Japan)直接测量花药基部开裂长度(BDL, length dehiscence at the basal part of thecae)和花药总长度(AL, anther length),每个小花随机测量5个花药。取5个花药的平均值作为小花的BDL和AL值,5个小花的平均值作为小区的BDL和AL值。

## 1.3 苗期耐热性鉴定

小区成熟后按照单株收取种子,按照H. B. Li等<sup>[18]</sup>的方法萌发后进行苗期耐热性鉴定,以引进材料中的N22为耐热性对照,C4-63为热敏感对照。

将各株系置于45℃烘箱中干燥48h,每小区选3个单株,每个单株选50粒饱满的种子萌发后种植在周转箱中,在室外生长20d后去除生长较弱的植株,选择健壮一致的植株分别移植在2个周转箱中。一个周转箱保持在30℃培养箱中生长,一个周转箱移入人工气候箱40℃处理7d后30℃恢复,分别在恢复7d及10d时调查幼苗成活率,以相对幼苗成活率作为热胁迫指数。相对幼苗成活率(%) = 高温处理下的幼苗存活率/对照的幼苗存活率 × 100%。

## 1.4 统计和系谱分析

利用Microsoft Excel软件进行平均数计算和相

关性检测。在U. S. National Plant Germplasm System (<https://npgsweb.ars-grin.gov>)和The International Rice Genebank Collection Information System (<http://irgicis.irri.org:81/grc/Irgicishome.html>)查询引进资源的系谱。

## 2 结果与分析

### 2.1 引进资源的抽穗期和结实率

20个引进的耐热资源起源地不同,其中11个资源起源于印度,9个资源起源于菲律宾。2015年在南京种植时7月26日到9月6日之间抽穗,其中IR 3941-97-1在7月26日抽穗,是20个材料中抽穗最早的。IR 4482-5-3-9-5和C463较迟,在9月6日左右抽穗。20个资源成熟后的结实率分布在75.47%~98.63%之间,其中CR 148-6023-215结实率最低,IR 2008-22-2-2结实率最高(表2)。

### 2.2 引进资源的花药基部开裂长度和花药长度

20个耐热资源的花药基部开裂长度在234.9~559.0 μm之间,来源于印度的IR 2006-p-P12-12-3-2和N22花药基部开裂长度分别最短和最长。对于花药整个长度来说,CR 148-6023-215和Pusa 2-21长度分别达到2351.7 μm和1570.0 μm,是20个引进资源中花药长度最长和最短的材料(图1,表2)。

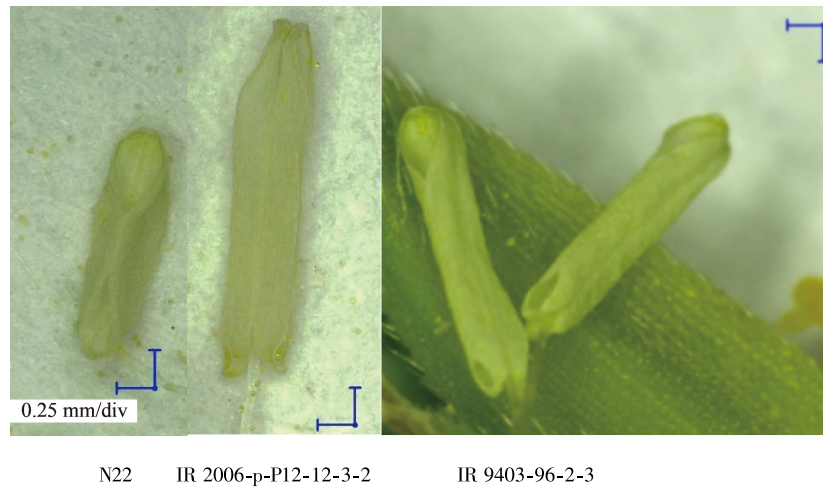


图 1 部分资源的花药开裂

Fig. 1 Anther dehiscence of some germplasm

表 2 引进资源的花药开裂和苗期耐热性

Table 2 Heat tolerance on seedling stage and anther dehiscence of some germplasm

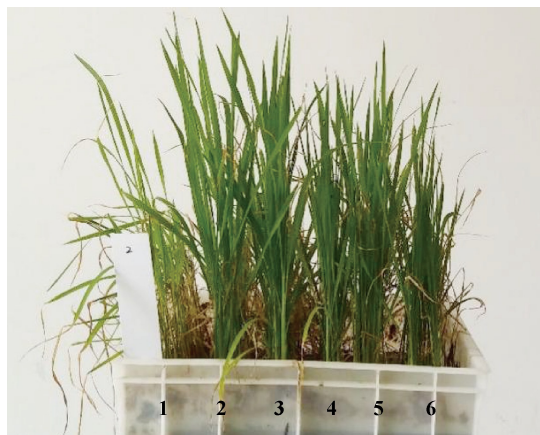
材料名称 Material name	抽穗期 Heading date	花药基部 开裂长度 ( $\mu\text{m}$ )BDL	花药 总长度 ( $\mu\text{m}$ )AL	结实率(%) Seed set	恢复 7 d 相对幼苗 成活率(%) Relative survival rate of seedlings after 7 days	恢复 10 d 相对幼苗 成活率(%) Relative survival rate of seedlings after 10 days
E425	8 月 6 日	272.3	1928.3	91.33	83.78	70.27
CR 34-16	7 月 28 日	395.6	1826.0	81.08	93.55	90.32
C633	8 月 5 日	422.3	2186.5	88.92	94.29	91.43
CR 156-5021-207	8 月 21 日	280.8	1834.0	96.72	92.59	85.19
CR 148-6023-215	7 月 28 日	551.3	2351.7	75.47	97.37	89.47
UPR 96-1-1-1	8 月 11 日	434.7	1964.4	80.67	93.33	93.33
AD-1140	8 月 6 日	513.5	2184.7	89.14	100.00	93.94
I 2006-P12-12-2-2	8 月 11 日	392.5	1867.3	82.64	97.37	86.84
IR 3941-97-1	7 月 26 日	370.7	1975.0	91.65	96.30	96.30
IR 2008-22-2-2	8 月 8 日	296.3	1925.0	98.63	90.32	74.19
IR 9209-89-1-1	7 月 31 日	461.8	1735.2	95.31	94.59	94.59
IR 9403-3-1-1	8 月 13 日	315.4	1803.3	96.44	100.00	100.00
IR 9403-96-2-3	8 月 11 日	316.3	1745.8	92.24	97.37	94.74
krishna	8 月 1 日	283.6	2050.0	84.35	85.71	74.29
N22	8 月 5 日	559.0	1795.0	94.68	100.00	100.00
Pusa 2-21	8 月 12 日	315.4	1570.0	86.75	97.50	85.00
IR 2006-p-P12-12-3-2	8 月 15 日	234.9	2178.0	93.41	86.36	68.18
IR 4427-51-6-3	8 月 31 日	383.2	1812.2	92.62	100.00	100.00
IR 4482-5-3-9-5	9 月 6 日	381.0	2340.0	85.83	97.62	92.86
C463	9 月 6 日	361.2	2206.0	92.43	83.33	77.78

### 2.3 引进资源的苗期耐热性表现

引进资源的苗期高温处理后恢复 7 d 的相对幼苗成活率在 83.33% ~ 100% 之间,恢复 10 d 的相对幼苗成活率在 68.18% ~ 100% 之间。其中热敏感

对照 C463 最不耐苗期高温,恢复 7 d 的相对幼苗成活率最低,为 83.33%,恢复 10 d 的相对幼苗成活率也只有 77.78%。资源 AD-1140、IR 9403-3-1-1、N22、IR 4427-51-6-3 苗期耐热性较好,其中 IR

9403-3-1-1、N22 和 IR 4427-51-6-3 高温处理后恢复 7 d 和 10 d 的相对幼苗成活率均为 100% (表 2, 图 2)。



1: E425; 2: CR 34-16; 3: C633; 4: CR 156-5021-207;  
5: CR 148-6023-215; 6: UPR 96-1-1-1

图 2 部分资源高温处理后恢复 7 d 的苗期耐热性表现

Fig. 2 Heat resistance of some germplasms during seedling stage after 7 d's recovering from heat treatment

对花药基部开裂长度和高温处理后恢复 7 d (10 d) 的相对幼苗成活率进行相关性分析, 结果发现花药基部开裂长度和高温处理后恢复 7 d、10 d 的相对幼苗成活率之间均呈极显著正相关 ( $r_{7d} = -0.55, r_{10d} = 0.62, df = 19$ )。

## 2.4 引进资源的系谱分析

20 个引进的耐热资源中, E425、krishna 和 N22 没有查到系谱。热敏感对照 C463 由 Peta/BPI 76 育成, 而本研究中鉴定出苗期耐热性较好的资源 AD-1140 是从 C463 中选育得到的, RP 825-70-7-1 和 RP 825-24-7-5 都是从 VIJAYA/PTB 21 后代中选育得到的。分析剩余 13 个资源的系谱后发现, CR 34-16、CR 148-6023-215、Pusa 2-21、IR 4482-5-3-9-5 等 4 个资源具有共同的亲本 TKM6, I 2006-P12-12-2-2、IR 2006-p-P12-12-3-2 和 UPR 96-1-1-1 具有共同的亲本 IR 22, 而 IR 3941-97-1、IR 9209-89-1-1、IR 9403-3-1-1、IR 9403-96-2-3 和 IR 4427-51-6-3 等 5 个耐热资源都起源于 IR 2061 (图 3)。

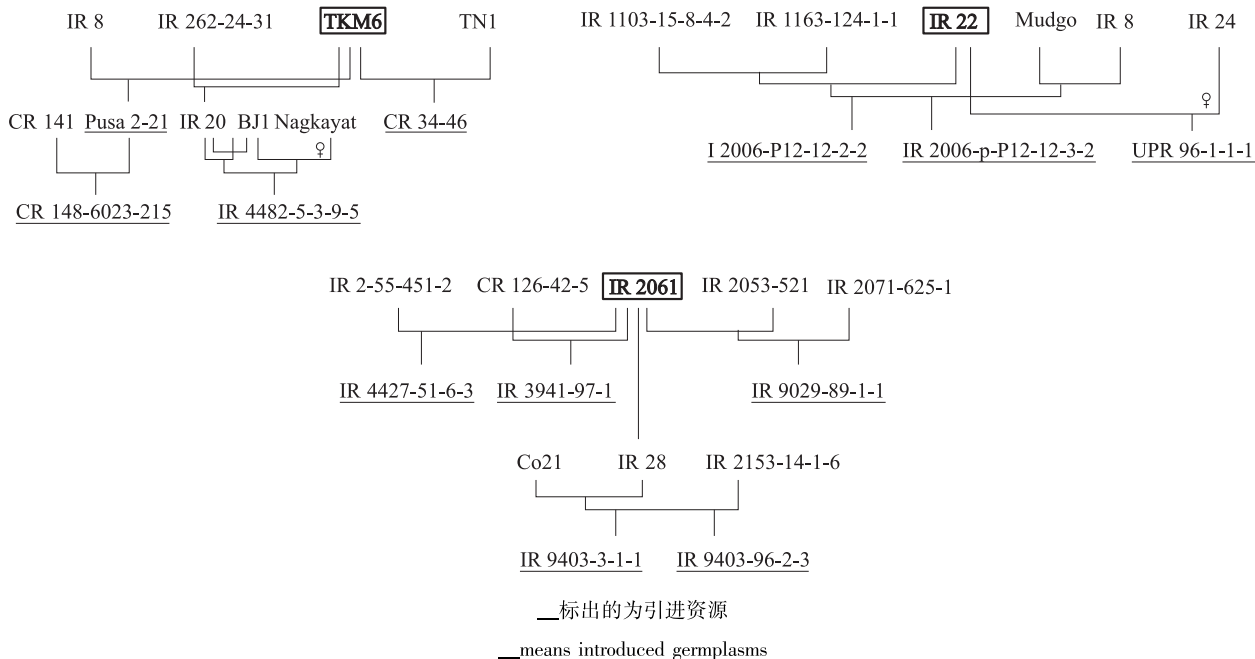


图 3 部分引进资源的系谱分析

Fig. 3 Pedigree analysis of some introduced germplasms

## 3 讨论

由于近年来极端高温天气的频繁出现, 水稻耐热性已经成为重要的研究方向。高温属于自然灾害, 很难提前预知, 生产中选用耐热品种是减轻或避

免高温危害的根本措施, 筛选和鉴定水稻耐热资源对于耐热水稻品种的选育具有非常重要的意义。本研究对引进的 20 个水稻资源进行了苗期耐热性鉴定。虽然引进资源除 C463 为高温敏感对照外, 其他均为 USDA 的耐热资源, 但是在南京鉴定结果显

示这些材料间苗期耐热性有差异,苗期高温处理后恢复 7 d 的相对幼苗成活率在 83.33% ~ 100% 之间。鉴定出 AD-1140、IR 9403-3-1-1、N22、IR 4427-51-6-3 等 4 个苗期耐热性较好的资源,其中 N22 是目前公认强耐热的水稻资源,来源于印度<sup>[19-20]</sup>。AD-1140、IR 9403-3-1-1 和 IR 4427-51-6-3 之前均未见报道。AD-1140 来自于印度,IR 9403-3-1-1 和 IR 4427-51-6-3 则来源于菲律宾。AD-1140 在南京 8 月 6 日抽穗,抽穗较早,生育期和 N22 相仿。IR 9403-3-1-1 在南京 8 月 13 日抽穗,IR 4427-51-6-3 较迟,8 月 31 日才抽穗,AD-1140 和 IR 9403-3-1-1 这 2 个资源对于在南京地区进行粳稻耐热性遗传改良是比较有用的资源。

系谱分析发现引进的 13 个耐热资源间具有较近的亲缘关系,分别来源于 IR 22、IR 2061 和 TKM6。M. Maavimani 等<sup>[21]</sup>分析 98 个耐热资源的耐热性和开花期柱头性状时,通过系谱分析也发现国际水稻所的耐热资源部分也来源于 IR 2061 和 IR 22。IR 2061 在我国水稻育种中也作为优良亲本被育种工作者使用。通过查询国家水稻数据中心(<http://www.ricedata.cn/>)的系谱信息,我国育种工作者利用 IR2061 作为亲本,分别育成了 ZR9、银占、丽恢 862、桂 8、桂 99、测 25、R 科 96、测 1018、温恢 233、测 253、R682、银桂粘、闽糯 580 等一些中间品系和品种,又衍生出豫粳 8 号、信阳 03、汕优 862、汕优桂 8、枝优 25、博优 25、天优 96、T 优 682、赣早粳 32 号、温恢 365、新优 365、R1251、闽岩糯等多个品种,其中桂 99、银桂粘被鉴定具有一定耐热性<sup>[22-23]</sup>。以 IR 2061 衍生的测 253 为父本,和不同的母本杂交后育成了香二优 253、特优 253、汕优 253、中优 253、枝优 253、优 I 253、金优 253、博优 253 等多个杂交稻品种。L. R. Cheng 等<sup>[24]</sup>利用粳稻品种秀水 9 号和籼稻品种 IR 2061 构建高代回交导入系,对开花期高温胁迫下的结实率进行定位,共获得 4 个耐热 QTL,其中来源于 IR 2061 的第 5、6、11 染色体上的 QTL 具有降低高温不育的效应。因此,IR 2061 可作为耐热改良的优良供体亲本进行利用。

由于高温条件下结实率的稳定性是水稻耐热性的重要指标,因此通常用结实率的胁迫指数作为高温胁迫的评价指标。结实率鉴定需要经过高温处理过程,也有研究者利用柱头上的花粉数、花粉在柱头

和培养基上的萌发率等指标来鉴定水稻的耐热性<sup>[25-26]</sup>。水稻花药基部开裂长度是近年来新提出的一个可能的潜在耐热性指标,大量的研究已经证明其不仅和开花期耐热性呈显著正相关,而且受强烈的遗传控制,年度间稳定,受温度影响小,可以实现常温条件下对水稻耐热性的预测<sup>[15-17]</sup>。杂交籼稻和杂交粳稻中花药基部开裂长度的遗传特性已经通过不完全双列杂交进行了研究<sup>[27-28]</sup>,QTL 定位也有报道<sup>[29-30]</sup>,为水稻耐热研究提供了新的思路和方法。本研究发现水稻苗期耐热性和与开花期耐热性紧密相关的花药基部开裂长度之间存在着显著的正相关关系,水稻苗期耐热性和开花期耐热性间的相关性还需要进一步深入研究。

#### 参考文献

- [1] 田小海,罗海伟,周恒多,等. 中国水稻热害研究历史、进展与展望[J]. 中国农学通报,2009,25(22):166-168
- [2] 熊伟,冯灵芝,居辉,等. 未来气候变化背景下高温热害对中国水稻产量的可能影响分析[J]. 地球科学进展,2016,31(5):515-528
- [3] 王才林,仲维功. 高温对水稻结实率的影响及其防御对策[J]. 江苏农业科学,2004(1):15-18
- [4] 朱镇,赵庆勇,张亚东,等. 抽穗扬花期极端自然高温胁迫对水稻结实率的影响研究[J]. 西南农业学报,2015,28(1):1666-1671
- [5] 谭诗琪,申双和. 长江中下游地区近 32 年水稻高温热害分布规律[J]. 江苏农业科学,2016,44(8):97-101
- [6] 杨舒畅,申双和. 水稻高温热害及其风险评估的研究进展[J]. 农学学报,2016,6(2):122-125
- [7] 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
- [8] 黎毛毛,余丽琴,熊玉珍,等. 抽穗扬花期耐热水稻种质资源的筛选鉴定[J]. 江西农业学报,2016,28(6):1-5
- [9] 符冠富,宋健,廖西元,等. 中国常用水稻保持系及恢复系开花灌浆期耐热性评价[J]. 中国水稻科学,2011,25(5):495-500
- [10] 潘孝武,李小湘,黎用朝,等. 水稻生殖发育期耐热性的分子遗传机制研究进展[J]. 生物技术通报,2015,31(4):40-46
- [11] 盘毅,罗丽华,邓化冰,等. 水稻开花期高温胁迫下的花粉育性 QTL 定位[J]. 中国水稻科学,2011,25(1):99-102
- [12] 曹立勇,赵建根,占小登,等. 水稻耐热性的 QTL 定位及耐热性与光合速率的相关性[J]. 中国水稻科学,2003,17(3):223-227
- [13] 赵志刚,江玲,肖应辉,等. 水稻孕穗期耐热性 QTLs 分析[J]. 作物学报,2006,32(5):640-644
- [14] 万丙良,查中萍. 气候变暖对水稻生产的影响及水稻耐高温遗传改良[J]. 中国农学通报,2012,28(36):1-7
- [15] Matsui T, Kobazsai K, Kagata H, et al. Correlation between viability of pollination and length of basal dehiscence of the theca in rice under a hot and humid condition[J]. Plant Prod Sci,2005,8(2):109-114
- [16] Zhao L, Kobayasi K, Hasegawa T, et al. Traits responsible for variation in pollination and seed set among six rice cultivars grown in a miniature paddy field with free air at a hot, humid spot in China [J]. Agr Ecosyst Environ,2010,139(1-2):110-115