

## 利用自然异常高温开展耐高温水稻品种大群体筛选的方法研究与应用

申广勒, 张从合\*, 王慧, 严志, 周桂香, 杨韦, 黄艳玲, 汪和廷, 张云虎, 陈琳, 庞战士, 王林

(安徽荃银高科种业股份有限公司/安徽省水稻商业化分子育种工程研究中心/农业农村部杂交稻新品种创制重点实验室, 安徽合肥 230088)

**摘要** 分析了合肥地区 1985—2010 年 26 年间 7 月 20 日至 8 月 20 日的气象资料, 利用合肥地区高温频发天气, 通过分期播种使水稻抽穗开花期遇到田间连续 2d 最低温度高于 27 ℃ 且最高温度高于 35 ℃ 的自然高温, 进行多年大群体耐高温筛选, 形成了一种经济可行、简单高效的方法对水稻耐高温性进行鉴定, 筛选出一批具有耐高温特性的育种材料和品种, 为大田耐高温育种奠定基础。

**关键词** 水稻; 耐高温; 大群体筛选

**中图分类号** S511 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2022)17-0018-04

**doi**: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.17.005



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

## Research and Application of Screening Methods for Large Populations of Rice Varieties with High Temperature Tolerance Using Natural Abnormal High Temperature

SHEN Guang-le, ZHANG Cong-he, WANG Hui et al (Anhui Win-all Hi-tech Seed Co., Ltd. / Anhui Rice Commercial Molecular Breeding and Engineering Research Center/Key Laboratory of New Hybrid Rice Variety Creation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Hefei, Anhui 230088)

**Abstract** The meteorological data from July 20 to August 20 during 1985–2010 in Hefei were analyzed. By using the frequent high temperature weather in Hefei, rice was sown in stages to meet the natural high temperature of the lowest temperature above 27 ℃ and the highest temperature above 35 ℃ for two consecutive days in the field during the heading and flowering stage, and the high temperature resistance of large population was selected for many years. An economical, feasible, simple and efficient method was developed to identify the high temperature resistance of rice, and a batch of breeding materials and varieties with high temperature resistance were screened out, which laid a foundation for high temperature resistance breeding in field.

**Key words** Rice; High temperature resistance; Large group screening

全球气候变暖已成为不争的事实, 并有不断加剧的趋势。中国在 1960—2010 年的 50 年间平均地表气温上升了 1.2 ℃。到 21 世纪末, 预计还要上升 1~5 ℃。水稻是中国最主要的粮食作物之一, 气候因素, 尤其是高温对水稻生产的影响越来越大<sup>[1-2]</sup>。夏季极端高温天气频发, 且持续时间更长, 对水稻生产极为不利, 特别是我国长江流域每年都会出现持续性的高温天气, 对水稻生产造成了严重危害。相关研究表明, 抽穗开花期是水稻对高温胁迫最敏感的时期, 35 ℃ 以上高温会引起花器官发育不良和授粉行为障碍, 进而引起结实率下降, 造成水稻大幅度减产, 甚至绝收。2003 年夏季高温给湖南、湖北、安徽等长江中下游地区的一季中稻生产造成了巨大损失, 长江流域受害面积达  $3 \times 10^7 \text{ hm}^2$ , 损失稻谷达  $5.18 \times 10^7 \text{ t}$ , 经济损失近百亿元。以安徽省为例, 2003 年受灾面积  $3.3 \times 10^5 \text{ hm}^2$ , 损失稻谷  $1.28 \times 10^6 \text{ t}$ 。田间调查结果表明, 明显受害的田块中, 不同田块和不同品种受灾程度各异, 减产幅度 70%~10%, 大部分受害田块的结实率为 40%~60%, 受害的品种既有杂交稻也有常规稻。2006 年江淮地区水稻高温受灾面积达 6.67 万  $\text{hm}^2$ <sup>[3-7]</sup>。2013 年 7 月下旬至 8 月中旬, 安徽省江淮地区出现连续 27 d 高温 35 ℃ 以上的天气。因此, 选育耐高温品种并大面积推广, 具有重要意义。

合肥市是长江中下游中籼主产区之一, 也是长江流域夏季极端高温频发的地区之一。利用合肥地区频发高温天气,

研究一种经济高效的方法对水稻品种大群体耐高温性进行鉴定十分必要。鉴于此, 笔者利用合肥地区频发高温天气进行多年大群体耐高温筛选, 在 1985—2010 年的实践的基础上筛选了大量耐高温材料和品种, 并从中总结出了一种经济可行、简单高效的水稻耐高温性鉴定方法, 以为大田耐高温育种提供参考。

### 1 气象资料分析

合肥地区 1985—2010 年 26 年间 7 月 20 日—8 月 20 日的气象资料(表 1)显示, 日最高温度累计 4 d 达到 35 ℃ 以上的年份达 21 年, 占比超过 80%, 其中日最低温度高于 27 ℃ 且日最高温度高于 35 ℃ 累计达 4 d 以上的年份为 18 年, 占近 70%(表 1)。在气象资料分析的基础上, 通过调整水稻播种期和分期播种的办法, 将待鉴定材料和组合的抽穗期安排在 7 月 20 日—8 月 20 日期间遇到自然高温, 进行耐高温筛选, 因此合肥地区气候为自然高温环境胁迫进行大群体耐高温水稻品种的筛选提供了天然鉴定环境。

### 2 技术路线与方法

**2.1 技术路线** 对鉴定材料(包括低世代育种材料、常规稻、恢复系和不育系测配组合)采取分期播种的方式, 同时播种耐高温对照品种, 使抽穗开花期在 7 月 20 日—8 月 20 日, 并记录每日气温的最高温、最低温及日平均温度, 对遇到日均温在 32 ℃ 以上、连续 2 d 最低温度高于 27 ℃ 且最高温度高于 35 ℃ 高温胁迫的穗子进行标记; 成熟期考察已标记的待鉴定材料穗子和耐高温对照品种的穗子结实率; 选择结实率高于耐高温对照品种且结实率在 73% 以上的材料和组合进入下 1 年高温筛选, 同时结合材料选育, 从低世代开始反

**基金项目** 上海市科技兴农项目(沪农科推字[2021]第 1-3 号)。

**作者简介** 申广勒(1982—), 男, 安徽寿县人, 高级农艺师, 硕士, 从事水稻育种工作。\* 通信作者, 推广研究员, 硕士, 从事水稻育种工作。

**收稿日期** 2022-05-24; **修回日期** 2022-05-31

复大群体筛选。中选鉴定材料放在模拟大田高温 (27 ~ 39 ℃) 的人工气候箱中进行,从见穗到齐穗开花期为期 6 d 的高温验证,确认鉴定材料在高温条件下的耐高温特性,最终选育出耐高温亲本和组合(图 1)。该设计可对大群体材料的耐高温定性筛选,通过多年反复大群体筛选,同时对于中选鉴定材料进行人工气候箱高温验证,最终获得耐高温性好的组合和材料。

表 1 1985—2010 年 7 月 20 日—8 月 20 日合肥地区温度情况统计  
Table 1 Statistics of temperature situation in Hefei area from July 20 to August 20 in 1985-2010 次

年份 Year	日最高温 高于 35 ℃ 次数 Times of daily maximum temperature greater than 35 ℃	日最低气 温高于 27 ℃ 次数 Times of daily minimum temperature lower than 27 ℃	最低温度 高于 27 ℃ 且最高温度 高于 35 ℃ 次数 Times of minimum temperature higher than 27 ℃ and maximum temperature greater than 35 ℃	连续 2 d 最 低温度高 于 27 ℃ 且 最高温度高 于 35 ℃ 次数 Times of continuous 2 days with minimum temperature higher than 27 ℃ and maximum temperature greater than 35 ℃
1985	6	2	2	1
1986	10	8	7	3
1987	1	2	1	0
1988	2	2	1	0
1989	3	1	1	0
1990	15	8	8	5
1991	7	11	6	2
1992	16	10	9	4
1993	2	1	1	0
1994	17	11	10	5
1995	11	15	10	5
1996	12	17	12	8
1997	4	8	2	0
1998	8	9	7	4
1999	3	2	1	0
2000	4	7	4	1
2001	13	12	10	7
2002	6	8	6	4
2003	16	12	12	9
2004	17	10	9	5
2005	6	10	4	0
2006	4	8	4	2
2007	11	8	7	3
2008	5	1	1	0
2009	4	6	4	2
2010	14	10	9	6

2.2 试验方法

2.2.1 大群体自然高温筛选。以见穗期日均温在 32 ℃ 以上、连续 2 d 最低温度高于 27 ℃ 且最高温度高于 35 ℃ 作为已受到高温胁迫的标准进行标记,并以标记穗子的平均结实率作为高温胁迫条件下的结实率,以其他非高温时间段最高结实率作为常温条件下的结实率。耐高温对照品种处理同上。选择结实率高于耐高温对照品种且结实率在 73% 以

上的材料为耐高温性较强的中选材料,进入下一年试验。

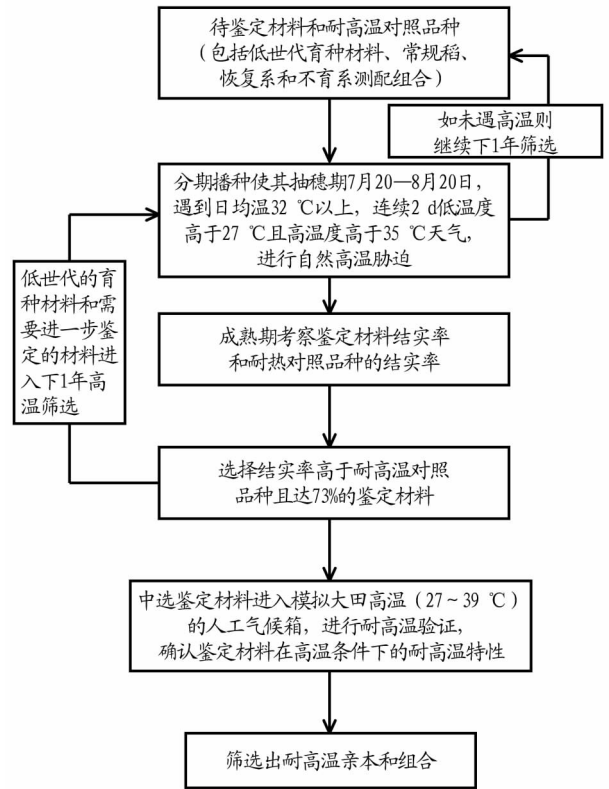


图 1 耐高温育种技术路线

Fig. 1 Technical route of high-temperature tolerance breeding

2.2.2 人工气候室耐高温筛选。每个品种栽 8 盆,每盆 4 株,其中 4 盆在抽穗期(30%以上稻穗开始抽出)放入玻璃温室进行高温胁迫连续处理 6 d (07:00—09:30, 32.5 ℃; 09:31—14:00, 40.0 ℃; 14:01—17:00, 36.5 ℃; 17:01—21:00, 32.0 ℃; 21:01—07:00, 29.0 ℃),对处于高温处理时期的稻穗进行标记;另 4 盆作为对照在自然条件下生长。高温处理结束后,所有植株均在自然条件下生长至成熟。抽穗 20 d 后,从每个品种高温处理(带有标记)和自然生长的样本中各取 20 个单穗,调查结实率,进行耐热性综合评价。耐高温对照品种处理同上。相对耐热系数 (HT) = 鉴定品种高温结实率/耐热对照品种高温结实率,评判分级标准见表 2。

表 2 耐高温性的分级评价标准

Table 2 Grading evaluation criterion of high-temperature tolerance

耐热性级别 Grade of high- temperature tolerance	相对耐热系数 Relative heat resistance (R)	耐热性 Heat resistance
1	HT ≥ 1.10	强
3	0.90 ≤ HT < 1.10	较强
5	0.70 ≤ HT < 0.90	一般
7	0.50 ≤ HT < 0.70	较弱
9	HT < 0.50	弱

3 结果与分析

3.1 大群体自然耐高温筛选方法的实施及验证 2004 年,笔者所在团队在合肥分期播种水稻育种材料 35 份编号 QY04-1 至 QY04-35,分 7 期播种,每隔 6 d 播种 1 期,播种时

间分别为4月20日、4月26日、5月2日、5月8日、5月14日、5月20日、5月26日,试验所用耐高温对照品种II优838;第1期播种材料遇到7月28—30日高温,统计高温结实率,根据大群体自然高温筛选方法筛选出QY04-5、QY04-7、QY04-12、QY04-16、QY04-19、QY04-33和QY04-35结实率耐高温对照品种且结实率达73%以上的7份材料;将筛选出的对应材料在人工气候室进行耐高温鉴定(表3)。结果显示,自然大群体耐高温筛选的7份材料除了QY04-33耐热性5级之外,其余6份材料耐热性均在3级以上,达到较强水平,验证了方法的可行性。同时,将筛选出的耐高温材料进入下1年大群体自然高温筛选试验。

目前,笔者所在团队按照自然大群体耐高温筛选对育种材料及组合进行耐高温选育,已选育出YR0822、荃9311A、荃211S、YR1606等耐高温性强的亲本。

表3 大群体自然耐高温筛选与人工气候室高温筛选验证结果

Table 3 Results of large group natural high temperature resistant screening and the high temperature screening verification in artificial climate chamber

品种名称 Variety name	大群体自然耐高温筛选 Large group natural high temperature resistant screening//%		人工气候室高温筛选验证 High temperature screening verification in artificial climate chamber	
	自然结实率 Natural seed-setting-rate	高温结实率 High temperature seed-setting-rate	HT	级别 Grade
QY04-5	92.1	76.8	0.97	3
QY04-7	88.6	75.4	1.05	3
QY04-12	89.2	75.4	0.94	3
QY04-16	89.4	80.4	1.11	1
QY04-19	88.7	76.8	1.03	3
QY04-33	89.0	73.3	0.89	5
QY04-35	83.7	74.0	1.04	3
II优838(CK)	89.6	70.5	1.00	3

**3.2 大群体自然耐高温筛选结果与区试耐热性鉴定效果比较** 2019年通过该试验方法对17个荃两优系列品种进行分期播种耐热性鉴定,2019年7月20日—8月20日合肥日最高温度达到35℃以上天数有18d,7月26—29日连续4d低温超过27℃且高温达35℃,平均气温超过32℃(表4),耐热性鉴定结果(表5)与国家级长江中下游审定品种耐热性鉴定结果(表6)比较,结果显示除荃两优136外,其余品种鉴定结果基本一致,达到极显著正相关。其中审定品种耐热性鉴定中,荃两优丝苗和荃两优532耐热性级别1级,耐热性强;荃两优2118、荃两优851等14个品种耐热性都是3级,耐热性较强。育成耐热品种的比例94.1%。

#### 4 结论与讨论

水稻高温热害对我国的粮食安全特别是水稻的生产造成了严重的危害,针对当前水稻高温热害日益严重的现状,国内也开展了大量有关水稻品种耐高温鉴定方法研究以及水稻耐高温性品种的筛选工作。例如,赵森等<sup>[8]</sup>通过田间分

表4 2019年7-8月合肥高低温记载

Table 4 Records of high and low temperatures from July to August in 2019

日期 Date	最高温 Maximum temperature	最低温 Minimum temperature	平均温度 Average temperature
07-21	36.5	24.4	30.7
07-22	37.2	25.4	31.4
07-23	37.1	27.4	30.9
07-24	36.8	26.2	30.7
07-25	37.3	26.6	30.9
07-26	38.0	27.1	32.5
07-27	38.1	27.7	32.6
07-28	38.8	27.6	33.1
07-29	38.0	27.9	33.3
07-30	38.0	26.9	31.7
07-31	37.4	25.8	29.3
08-01	38.3	24.8	28.4
08-02	35.9	23.4	28.1
08-07	35.2	25.6	29.5
08-08	35.1	25.8	29.6
08-09	35.0	26.6	30.4
08-13	35.4	21.7	28.2
08-16	36.3	22.0	29.1

表5 荃两优系列品种耐热性鉴定结果

Table 5 Results of variety heat resistance test of Quanliangyou series

品种名称 Variety name	自然结实率 Natural seed-setting rate//%	高温结实率 High temperature seed-setting rate//%
荃两优丝苗 Quanliangyou Simiao	91.3	84.3
荃两优2118 Quanliangyou 2118	88.8	75.2
荃两优851 Quanliangyou 851	89.3	76.6
荃两优069 Quanliangyou 069	87.6	76.6
荃两优1606 Quanliangyou 1606	85.8	74.5
筑两优427 Zhuliangyou 427	89.5	73.1
荃两优95占 Quanliangyou 95 zhan	91.6	76.6
荃两优532 Quanliangyou 532	88.1	80.8
荃两优087 Quanliangyou 087	85.6	74.5
荃两优136 Quanliangyou 136	88.0	61.8
荃两优鄂丰丝苗 Quanliangyou Efengsimiao	89.2	75.2
荃两优洁田丝苗 Quanliangyou Jietiansimiao	86.7	73.8
荃两优洁丰丝苗 Quanliangyou Jiefengsimiao	88.5	75.2
荃两优美香新占 Quanliangyou Meixiangxin zhan	86.9	73.1
荃两优粤农丝苗 Quanliangyou Yuenongsimiao	89.6	73.1
荃两优8238 Quanliangyou 8238	81.5	62.5
荃两优879 Quanliangyou 879	91.3	76.6
丰两优四号 Fengliangyou 4(CK)	88.4	70.3

期播种与人工气候室高温处理相结合筛选耐高温品种;张德文等<sup>[9]</sup>利用智能温室高温胁迫筛选耐高温水稻品种等。笔者所在团队分析近30年合肥地区高温气候特点,利用合肥地区7—8月份的频发高温天气,通过调整水稻播期使抽穗开花期遇到日均温在32℃以上、连续2d最低温度高于27℃且最高温度高于35℃的自然高温,进行水稻大群体耐高温性筛选,并通过人工气候室进行耐高温验证,筛选出耐高温的材料和组合。2019年对近几年通过审定的品种进行

耐热试验,结果与区试耐热结果基本吻合,因此通过自然异常高温开展耐高温水稻品种大群体筛选的方法所选的材料符合耐高温要求。经过 18 年积累,筛选出一批具有耐高温特性的育种材料和品种,选育出 YR1671、荃 9311A、荃 211S、YR1606 等亲本,先后审定了以徽两优 898 为代表微

两优系列组合、荃优 822 为代表的荃优系列组合以及荃两优丝苗为代表的荃两优系列组合,耐高温性较强,单一品种年推广面积近 13.33 万  $\text{hm}^2$ ,未发生过因高温结实问题而引起的纠纷。

表 6 国家区试审定荃两优系列品种耐热鉴定结果

Table 6 Results of variety heat resistance test of Quanliangyou series authorized national regional test

序号 Code	品种名称 Variety name	区试年份 Regional year	审定编号 Authorized number	对照 CK	耐热性 Heat tolerance
1	荃两优丝苗	2014—2016	国审稻 20176041	丰两优四号	1
2	荃两优 2118	2015—2017	国审稻 20180025	丰两优四号	3
3	荃两优 851	2017—2018	国审稻 20196110	丰两优四号	3
4	荃两优 069	2018—2019	国审稻 20200210	丰两优四号	3
5	荃两优 1606	2018—2019	国审稻 20206076	丰两优四号	3
6	筑两优 427	2018—2019	国审稻 20200216	丰两优四号	3
7	荃两优 95 占	2017—2019	国审稻 20200163	丰两优四号	3
8	荃两优 532	2019—2020	国审稻 20216086	丰两优四号	1
9	荃两优 087	2019—2020	国审稻 20216101	丰两优四号	3
10	荃两优 136	2018—2020	国审稻 20210161	丰两优四号	3
11	荃两优鄂丰丝苗	2019—2020	国审稻 20210264	丰两优四号	3
12	荃两优洁田丝苗	2019—2020	国审稻 20216102	丰两优四号	3
13	荃两优洁丰丝苗	2019—2020	国审稻 20216097	丰两优四号	3
14	荃两优美香新占	2019—2020	国审稻 20210296	丰两优四号	3
15	荃两优粤农丝苗	2019—2020	国审稻 20216109	丰两优四号	3
16	荃两优 8238	2019—2020	国审稻 20216095	丰两优四号	5
17	荃两优 879	2019—2020	国审稻 20216089	丰两优四号	3

水稻耐高温品种的选育工作不仅需要研究制定一套完整的耐高温鉴定体系,还要研究耐高温遗传机理。相关试验证明水稻耐高温遗传是受多基因控制的数量性状遗传。尽管水稻育种学家已鉴定出众多水稻耐热相关 QTL,但是水稻耐热功能基因的分离克隆还较少,应用分子标记辅助选择培育耐热水稻品种也鲜见成功报道<sup>[10]</sup>。因此,克隆鉴定水稻生殖生长期耐热性相关的功能基因将是今后水稻耐热性研究的侧重点。克隆鉴定目标功能基因的同时,还需要进一步加强对于水稻耐热性种质资源的筛选和培育研究,进一步深入研究其所介导的水稻耐热性相关分子机制,笔者团队将继续相关研究,以期为培育耐热且高产优质的水稻品种奠定理论基础。

#### 参考文献

[1] 丁一汇,任国玉,石广玉,等. 气候变化国家评估报告(I):中国气候变

化的历史和未来趋势[J]. 气候变化研究进展,2006,2(1):3-8,50.

- [2] 陈刚,吴文革,许有尊,等. 杂交中籼水稻花期耐热性品种筛选及鉴定指标评价[J]. 作物杂志,2014(5):80-85.
- [3] 范国太. 南优二号作一季稻种植的空秕问题[J]. 湖北农业科学,1979,18(9):13-18.
- [4] 黄义德,曹流俭,武立权,等. 2003 年安徽省中稻花期高温热害的调查与分析[J]. 安徽农业大学学报,2004,31(4):385-388.
- [5] 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,2004,32(1):15-18.
- [6] 任久江. 高、低温对杂交稻结实率危害规律的探讨[J]. 气象,1979,5(9):22-24.
- [7] 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.
- [8] 赵森,于江辉,周浩,等. 抽穗开花期耐高温的爪哇稻资源筛选[J]. 植物遗传资源学报,2013,14(3):384-389.
- [9] 张德文,汪婉琳,张伟. 江淮地区水稻耐热性鉴定技术研究[J]. 安徽农业科学,2020,48(12):20-22.
- [10] 丁杰荣,孙炳蕊,王庆林,等. 水稻耐热相关功能基因的克隆及其分子机理研究进展[J]. 广东农业科学,2021,48(10):23-31.

(上接第 17 页)

- [40] CHEN X M, SANG X X, LI S H, et al. Studies on a chlorogenic acid-producing endophytic fungi isolated from *Eucommia ulmoides* Oliver [J]. Journal of industrial microbiology & biotechnology, 2010, 37(5): 447-454.
- [41] 程浩,王晓丽,董小婧,等. 杜仲内生真菌 SX2018-06 发酵产松酯醇二葡萄糖苷工艺条件的优化[J]. 化学与生物工程, 2020, 37(3): 48-53.
- [42] WU S D, JIANG X Y, CHEN Q Y, et al. Comparison of techniques for the extraction of the hypotensive drugs geniposidic acid and geniposide from

*Eucommia ulmoides* [J]. Journal of the Iranian Chemical Society, 2007, 4(2): 205-214.

- [43] 岑娟,张峰. 杜仲内生真菌发酵产物多糖的体外细胞毒活性筛选[J]. 科技资讯, 2019, 17(36): 156, 158.
- [44] ZHANG H C, AN Z P. Gliotoxin analogues from endophytic *Penicillium* sp. of *Eucommia ulmoides* and their antimicrobial activity [J]. Chemistry of natural compounds, 2019, 55(4): 793-795.
- [45] 丁婷,孙微微,韩亚惠,等. 杜仲内生真菌 DJZJ07 在小麦根际定殖及对根部酶活的影响[J]. 核农学报, 2015, 29(6): 1149-1157.