

水稻分蘖田间耐热性鉴定方法

肖本泽 赵爽 龚耀 何亮

华中农业大学植物科学技术学院, 武汉 430070

摘要 利用湖北武汉7月中旬至8月下旬期间自然高温环境,采用分蘖田间耐热性鉴定法对2份耐热品种Ⅱ优838、汕优63和2份敏感品种Ⅱ优63、特优559进行耐热性鉴定。结果表明:在花期均温达到最高的时间点“08-02”,4份品种的分蘖结实率均达到最低值,但耐热品种Ⅱ优838和汕优63的结实率要远高于敏感品种Ⅱ优63和特优559;表明Ⅱ优838、汕优63的耐热性大大强于Ⅱ优63、特优559,与生产实践非常吻合。在另一个高温胁迫点“08-11”也得到了类似的结果。回归分析表明,在受到高温热害时所有供试品种的分蘖结实率与花期均温均存在极显著负相关,且对Ⅱ优63、特优559的结实率影响更为严重。

关键词 耐热性;水稻;分蘖;结实率;花期均温

中图分类号 S 511.03.7 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2011)05-0539-06

水稻是世界上最重要的粮食作物之一,全世界约一半的人口以之为主食。随着全球气候变化异常、温室效应日益加剧,高温胁迫已成为水稻生产的主要灾害性气候因素之一。这种变化对全世界稻作生产的影响程度将会是出乎预料的,其直接的影响是高温热害导致水稻减产和稻米品质的降低,同时会带来整个稻作制度的改变^[1]。国际水稻研究所 Peng 等^[2]综合 25 a 气象数据和 12 a 水稻产量数据对全球气候变暖对粮食减产进行了系统分析,结果表明水稻生长期平均夜间最低温度每升高 1℃,水稻产量就下降 10%。近年来,在我国水稻主产区的湖北、湖南、安徽、江西、四川、重庆、江苏、浙江等省市由于高温热害导致水稻大面积减产的情况时有发生,这给我国水稻生产和粮食安全造成了很大的冲击^[3-4]。水稻对高温胁迫的最敏感时期是开花期,在这个时期遇到高温会阻碍花粉成熟与花药开裂,并阻碍花粉在柱头上发芽、花粉管伸长,最终导致结实率降低和产量下降^[5-10]。目前我国水稻品种审定主要考察产量、品质、生育期、抗病性等指标^[8],现阶段还没有将耐热性等非生物抗性纳入水稻品种审定的硬性指标,这就为部分耐热性差的水稻品种在生产推广中由于遇到高温热害而造成严重减产留下了隐患。基于此,国家及湖北、湖南、四川等省陆续开展了水稻区试品种耐热性鉴定,并将其作为品种审

定和推广的参考依据。随着人们对高温热害频繁出现的重视和水稻耐热性鉴定方法和评价体系的不断完善,耐热性必将成为水稻品种审定中一个必不可少的重要指标。

笔者近年来一直承担国家及湖北省中籼稻区域试验和生产试验中品种的耐热性鉴定工作,通过多年研究和实践,总结出 1 种简便且实用的水稻耐热性鉴定方法——“分蘖田间耐热性鉴定法”:即按见穗期对水稻分蘖逐一挂牌,成熟后分别考察在不同时间见穗的分蘖的结实率;然后综合田间温度数据,分析不同花期均温对于相应见穗分蘖的结实率影响。本研究利用该方法对 4 份供试品种的耐热性进行鉴定,旨在为利用自然高温环境对水稻耐热性进行田间鉴定提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料共有 4 份,其中包括 2 份耐高温品种:Ⅱ优 838(国家耐热性鉴定抗性对照品种)和汕优 63(湖北省耐热性鉴定抗性对照品种);2 份高温敏感型品种:Ⅱ优 63 和特优 559(湖北省耐热性鉴定敏感型对照品种)。供试水稻种子均由湖北省种子管理局统一供种。

1.2 试验设计

利用湖北武汉7月中旬至8月下旬的自然高温条件,采用分期播种单分蘖挂牌进行田间自然鉴定。试验安排在华中农业大学水稻育种基地,各份材料分3期,分别于2010年4月21日、5月2日和5月14日播种;5叶期左右移栽,栽插规格为16.7 cm×26.7 cm,每个组合栽3×10株,每穴单苗,肥水管理和病虫害防治按照常规大田生产进行。利用DSR-TH数字化温湿度记录仪(ZOGLAB Microsystem Co. Ltd)每5 min进行1次大田温度、湿度实时记录。水稻抽穗时,每天(雨天除外)对见穗分蘖逐一挂牌,每小区每次至少挂10个见穗分蘖;成熟收获时分别考察不同时间见穗分蘖的结实率。

1.3 数据分析及整理

根据对湖北武汉7—8月田间水稻开花动态观察,单个分蘖从第1朵颖花开花(分蘖见穗期)至绝大部分(80%)颖花开完,一般约4 d时间;同时这一时期(开花期)又是水稻对高温胁迫最敏感的时期,主要影响水稻花粉育性和结实率^[7,11-12]。因此,可将从见穗开始的这4 d日均温的平均值作为相应分蘖的花期均温。综合分蘖结实率考种数据和田间温度资料,可得到供试品种分蘖结实率随相应花期均温的动态变化曲线。选取花期均温最高时的分蘖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的最高结实率作为常温条件下的结实率。为了消除结实率在不同的供试品种中遗传背景的差异,采用耐热性指数(heat tolerance index, HTI, 即高温结实率/常温结实率×100%)对各品种的耐热性进行评价^[10,12]。同时,分蘖结实率与花期均温间的相关性分析及显著性检测采用统计软件SPSS software (version 12.0)进行;显著性测验利用ANOVA,采用最小显著差数法(LSD)进行多重比较。

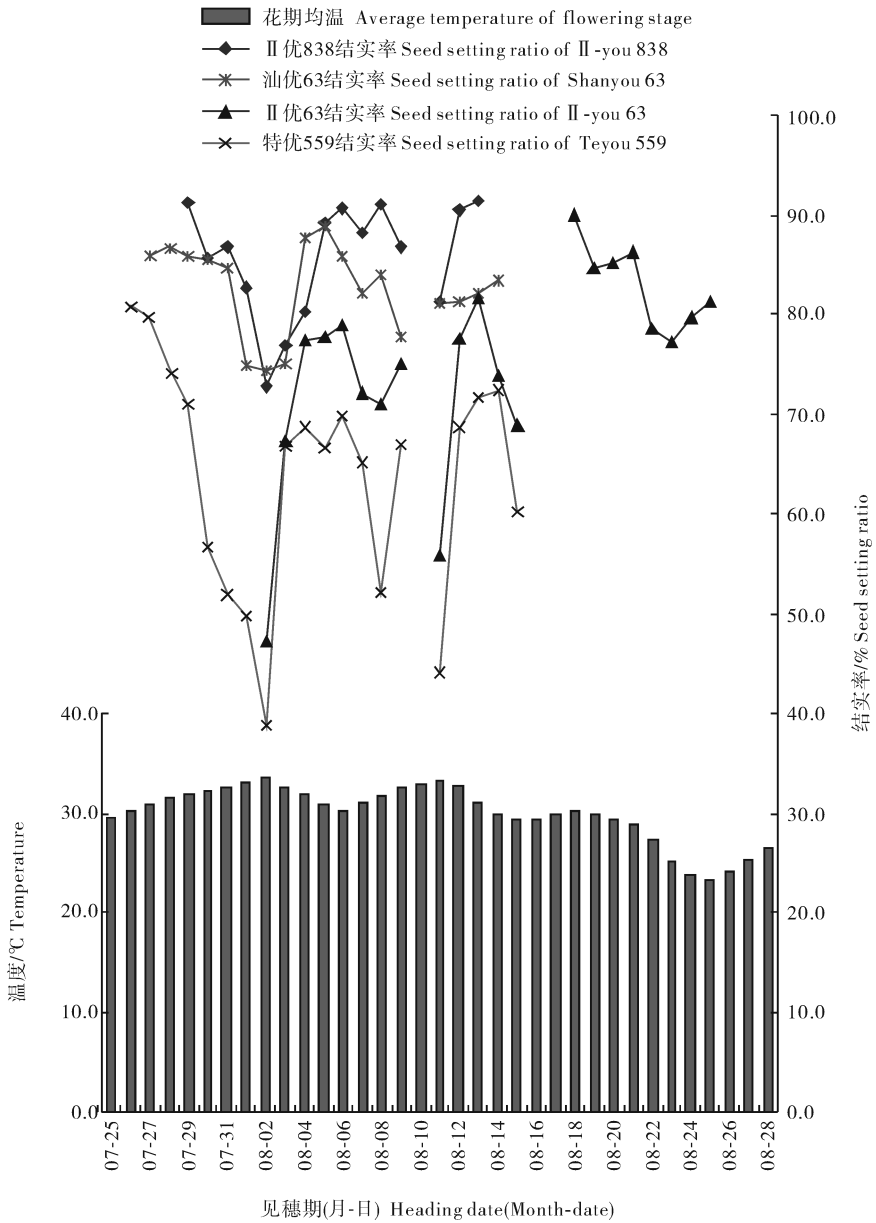
2 结果与分析

2.1 不同开花期水稻分蘖的结实率随花期均温的变化

为了客观准确地分析温度对水稻结实率的影响,按不同分蘖见穗期进行分类考种,获取供试品种在不同花期温度下的分蘖结实率情况。试验结果(图1)表明:供试品种Ⅱ优838、汕优63和Ⅱ优63在非高温时间段的最高分蘖结实率(91.3%、88.8%、89.9%)均显著高于特优559(80.9%)

(图1、表1),对应的花期均温分别为30.92、30.81、30.24、30.20℃。显然,耐热性对照品种Ⅱ优838、汕优63出现最高结实率的花期均温要比耐热性敏感对照品种Ⅱ优63、特优559高一些。供试品种其各期分蘖结实率随花期均温的波动而不断变化,且所有品种在“08-02”时间点其分蘖结实率均出现了一个明显的“低谷”(图1)。综合田间温度数据,发现在“08-02”见穗的分蘖其开花期正好位于当地当年最为炎热的时间段:2010-08-02—08-05,日均温分别32.81、33.50、34.17、34.06℃;这4 d平均温度和平均最高温度分别达到33.64、39.68℃,比生产上水稻高温热害临界温度阈值(平均温度30℃、平均最高温度35℃)高出许多^[1,13]。在“08-02”时间点,供试品种的耐受性在结实率水平上有很大差别,分别为72.7%(Ⅱ优838)、74.4%(汕优63)、47.3%(Ⅱ优63)、38.7%(特优559),其中Ⅱ优838、汕优63的结实率均极显著地高于Ⅱ优63、特优559(表1)。很显然,品种Ⅱ优838、汕优63的耐热性与Ⅱ优63、特优559位于不同的水平,前者明显优于后者。考虑到结实率性状在4个品种的遗传背景上可能存在差异,进行了耐热性指数比较:汕优63(0.838) > Ⅱ优838(0.796) > Ⅱ优63(0.526) > 特优559(0.478),表明水稻品种汕优63、Ⅱ优838的耐热性大大地优于Ⅱ优63、特优559(表1),这与4个品种多年以来在生产实践中的耐热性表现十分吻合^[14]。

通过进一步分析水稻分蘖开花期间日均温数据,发现2010-08-11—08-14期间出现了新一轮高温,连续4 d的日均温都在33℃以上,分别为33.20、33.47、33.58、33.11℃,此阶段平均温度和平均最高温度分别达到33.34、38.8℃,属于高温危害范围,这从同期分蘖的结实率得到了证实(图1)。4份供试品种在“08-11”见穗时间点其分蘖结实率处于另一个“低谷”,结实率分别为81.2%(Ⅱ优838)、81.0%(汕优63)、55.8%(Ⅱ优63)和44.1%(特优559),其中Ⅱ优838、汕优63的结实率均极显著地高于Ⅱ优63、特优559(表1);耐热性指数表现为汕优63(0.912) > Ⅱ优838(0.889) > Ⅱ优63(0.621) > 特优559(0.545)。以上结果表明,在“08-11”高温时间点Ⅱ优838、汕优63耐热性显著优于Ⅱ优63、特优559,这与时间点“08-02”非常吻合(图1、表1)。不难发现,供试品种在“08-11”时间点的耐热性指数比“08-02”时间点高一点,这与2次高温胁迫的强度不同(前一个胁迫点的均温及最高温



在花期均温曲线中, 左边 Y 轴表示从见穗期开始的 4 d(花期)的日均温的平均值; 在结实率曲线中, 分别在 08-10、08-16、08-17 出现断点是由于当天下雨不能挂牌所致 Left Y axis represents average temperature of four days at the beginning of tiller flowering, blank areas at 10th, 16th, 17th August are due to raining in the curve of setting ratio versus temperature.

图 1 花期均温对于水稻分蘖结实率的影响

Fig. 1 Effect of average temperature in flowering stage on seed setting ratio of rice tillers

比后一个胁迫点要高)有直接关系。

2.2 水稻分蘖结实率与花期均温间相关性分析

为了客观评价花期均温对于水稻分蘖结实率的影响, 对两者间的相关性进行了分析, 以确定两者间的相关系数及显著性(图 2)。结果表明, 水稻品种 II 优 838 分蘖结实率与花期均温间相关系数 r 为 -0.649 , 达到极显著水平 ($P < 0.01$); 结实率 $y/\%$ 对于花期均温 $x/^\circ\text{C}$ 的回归方程为: $y = 250.76 - 5.12x$, 表明 II 优 838 在受到高温危害时

($>30.92^\circ\text{C}$), 花期均温每增高 1°C 其结实率降低 5.12 个百分点(图 2-a)。汕优 63 分蘖结实率与花期均温间相关系数 r 为 -0.678 , 达到极显著水平 ($P < 0.01$), 结实率 $y/\%$ 对于花期均温 $x/^\circ\text{C}$ 的回归方程为: $y = 196.93 - 3.57x$, 表明汕优 63 在受到高温 ($>30.81^\circ\text{C}$) 危害时, 花期均温每增高 1°C 其结实率降低 3.57 个百分点(图 2-b)。II 优 63 分蘖结实率与花期均温间相关系数 r 为 -0.816 , 达到极显著水平 ($P < 0.01$); 结实率 $y/\%$ 对于花期均温

$x/^\circ\text{C}$ 的回归方程为: $y=346.26-8.59x$,表明Ⅱ优63在受到高温($>30.24^\circ\text{C}$)危害时,花期均温每增高 1°C 其结实率降低8.59个百分点(图2-c)。特优559分蘖结实率与花期均温间相关系数 r 为 -0.754 ,达到极显著水平($P < 0.01$);结实率 $y/\%$ 对于花期均温 $x/^\circ\text{C}$ 的回归方程为: $y=334.16-$

$8.49x$,表明特优559在受到高温($>30.20^\circ\text{C}$)危害时,花期均温每增高 1°C 其结实率降低8.49个百分点(图2-d)。以上结果表明:在受到高温热害时花期均温与水稻分蘖结实率存在极显著的负相关,耐热性品种Ⅱ优838、汕优63在受到高温胁迫时结实率损失较高温敏感性品种Ⅱ优63、特优559要轻很多。

表1 供试品种在常温及高温条件下的结实率表型¹⁾

Table 1 Seed setting ratio of tested cultivars under normal and high temperature conditions

品种 Cultivar	常温最高结实率/% Max seed setting ratio at normal temperature	高温结实率/% Seed setting ratio at high temperature		耐热性指数 Heat tolerance index	
		Seed setting ratio at high temperature		Heat tolerance index	
		08-02	08-11	08-02	08-11
Ⅱ优838 II-you 838	91.3±3.9 a	72.7±4.2 A	81.2±6.8 A	0.796	0.889
汕优63 Shanyou 63	88.8±3.5 a	74.4±3.9 A	81.0±5.2 A	0.838	0.912
Ⅱ优63 II-you 63	89.9±3.2 a	47.3±3.5 B	55.8±3.1 B	0.526	0.621
特优559 Teyou 559	80.9±3.1 b	38.7±3.2 B	44.1±2.9 B	0.478	0.545

1)数据以平均值±标准误($n=10$,即10个代表性的同期分蘖)表示。品种间显著性差异利用方差分析进行,并采用最小显著差数法进行多重比较(大写字母示0.01水平,小写字母示0.05水平)。Values are mean ± SE ($n=10$, namely 10 representative tillers with same beginning-flowering stage), significant difference was performed by one-way ANOVA followed by the LSD test (upper or lower letters mean the probability level of $P < 0.01$ or 0.05 , respectively) among tested cultivars.

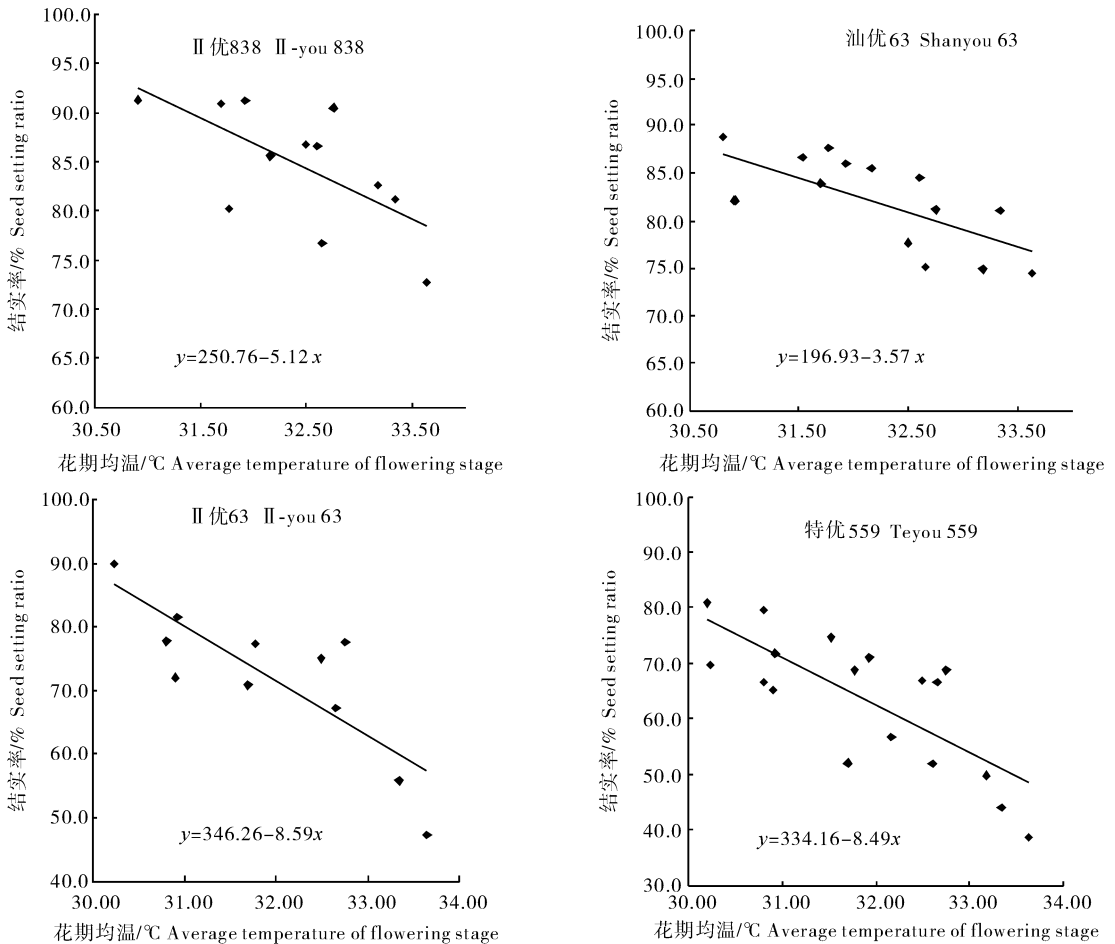


图2 高温热害对水稻品种结实率影响的散点分布图及回归分析

Fig. 2 Scatter diagram and regression analysis between average temperature of flowering stage and seed setting ratio of rice cultivars

3 讨论

3.1 水稻耐热性的评价指标

对水稻等粮食作物而言,收获籽粒是人们栽培作物的终极目标,而且在一个相当长的时间内作物产量仍将是第一要素,因此与产量相关的性状是水稻耐热性鉴定中最直接、最主要的评价指标。高温对水稻不同生长发育阶段均能造成危害,其中尤以抽穗扬花期最为敏感,将直接引起结实率下降,导致产量大幅减产甚至绝收^[12,14]。因此,结实率是热害最为敏感的指标之一,可综合反映水稻颖花开放、散粉和受精的综合受害程度,可直接作为耐热性评价指标^[5,7,13]。另外,许多基于结实率和粒重的水稻耐热性评价指标应运而生,如耐热指数(heat tolerance index, HTI, 即高温结实率/常温结实率 $\times 100\%$)^[12]、热敏感指数(heat susceptibility index, HSI, 为常温结实率与高温结实率之差/常温下结实率 $\times 100\%$)^[15]、粒重感热指数(常温下千粒重与高温下千粒重之差/常温下千粒重 $\times 100\%$)^[16]等。其中耐热指数、热敏感指数、粒重感热指数等评价指标考虑到了产量相关性状(如结实率、粒重等)在不同品种遗传背景中的差异,其在耐热性QTL检测和遗传分析中应用较多^[12,15-16];而高温结实率、相对耐热指数(供试材料高温结实率/耐热对照材料高温结实率 $\times 100\%$)等评价指标直接对在供试品种在高温热害下的结实率性状进行评价,适合于对现有品种的耐热性进行评价。我国每年审定的水稻品种数量在450个左右,其中国家级审定品种约50个,主产省平均15~20个^[8]。应该说,这些通过国家或省级审定的水稻品种在产量、品质、生育期及抗病性等综合性状上均能满足当前生产水平。为了应对生产中可能遇到的高温热害,应以经过多年生产实践检验的耐热品种如II优838、汕优63等作为对照品种,采用高温结实率、相对耐热指数等作为评价指标对现有水稻审定品种进行耐热性鉴定,筛选出一批综合性状优良、耐热性强的品种用于水稻生产。

3.2 水稻耐热性的鉴定方法

水稻耐热性鉴定从胁迫来源的不同有田间鉴定法^[11]、温室(或生长箱)鉴定法^[12,16]。显然,田间鉴定法操作简便,可以批量处理材料,实验数据更接近于生产实际;但这种方法难以排除其他环境因子的干扰,高温出现的时期及程度难以预测和控制,抽穗开花期不一致将导致高温胁迫不均衡,重复性差^[12,15]。温室(生长箱)鉴定法则是通过人工模拟自然高温环

境进行鉴定;此方法比较精确、温湿度容易控制,且重复性好;但处理材料有限,模拟高温环境存在着盆栽苗根系生长不良、土层温度和空气湿度高等问题,设备昂贵且运行费用高^[7]。

本鉴定试验中所采用的“分蘖田间耐热性鉴定法”最大限度地利用了特定区域的自然高温环境。如本试验中利用的湖北武汉7月中旬至8月下旬这段时间,历年气象资料表明几乎每年这段时间都会出现一轮或几轮天气晴朗、均温在33℃以上、持续时间4 d以上的高温天气;供试品种(II优838、汕优63、II优63、特优559)通过分期播种(即3期04-21、05-02、05-14,每期30株)其挂牌分蘖的开花期范围为07-26—08-25;意味着只要在这段时间内出现高温热害天气均可以从结实率水平上对其耐热性进行客观评价(图1)。显然,通过适当地增加分期播种次数(如5期:04-01、04-16、05-01、05-16、06-01)和扩大种植规模(如每期100株)还可以拓展高温胁迫时期的跨度(如7月上旬至9月中旬),在一个更广范围内(甚至是低温冷害^[17])评估温度对于水稻结实率的影响。本研究按见穗期将水稻分蘖进行分类,即使生育期不一致的材料也可通过各自相同时间内见穗的分蘖对其耐热性进行客观准确地比较(此时所有气候条件对于供试分蘖都是一致的),这样有效地避免了由于开花期不一致而导致高温胁迫不均衡的问题。另外,本试验对温度、湿度等主要气候因素进行了实时实地监控,并按见穗期对分蘖结实率、千粒重及品质性状进行了考察,可以系统地分析花期均温(或温度)对于相应分蘖结实率、千粒重及品质性状的影响;同时,鉴定结果可在同一试验中进行比较和验证(如“08-02”与“08-11”)。在采用“分蘖田间耐热性鉴定法”进行水稻或其它作物耐热性鉴定时,一定要注意以下几点:合理安排分期播种期数及种植规模;进行实时实地温湿度监控;选取生长健壮、未受病虫害侵袭的分蘖进行挂牌;开花期坚持天天挂牌;小区每次挂牌分蘖要尽量多;做好病虫害及鸟害防治。本研究通过“分蘖田间耐热性鉴定法”对4个供试品种(II优838、汕优63、II优63、特优559)进行耐热性鉴定,鉴定结果在“08-02”、“08-11”2个胁迫点非常一致,且耐热表现与多年生产实践十分吻合。因此,该方法可应用于水稻等分蘖作物的耐热、耐冷性鉴定中,为作物品种审定和推广应用提供一定依据。

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] PENG S B, HUANG J L, SHEEHY J E. Rice yields decline with high temperature from global warming[J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2004, 101(27): 9971-9975.
- [3] 杨太明,陈金华. 江淮之间夏季高温热害对水稻生长的影响[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(27): 8530-8531.
- [4] 龚红兵,周义文,李闯,等. 高温对大面积应用杂交水稻组合结实率的影响[J]. 江苏农业科学, 2008(2): 23-25.
- [5] 张彬,芮雯奕,郑建初,等. 水稻开花期花粉活力和结实率对高温的响应特征[J]. 作物学报, 2007, 33(7): 1177-1181.
- [6] 张桂莲,陈立云,张顺堂,等. 抽穗开花期高温对水稻剑叶理化特性的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(7): 1345-1352.
- [7] 曹云英,段骅,杨立年,等. 抽穗和灌浆早期高温对耐热性不同水稻品种产量的影响及其生理原因[J]. 作物学报, 2009, 35(3): 512-521.
- [8] 杨仕华,廖琴,谷铁城,等. 我国水稻品种审定回顾与分析[J]. 中国稻米, 2010, 16(2): 1-4.
- [9] 庄文,邓启云,熊跃东,等. 高产优质两系杂交水稻新组合 Y 两优 8 号[J]. 杂交水稻, 2009, 24(2): 83-84.
- [10] 池忠志,郑家国,姜心禄,等. 四川杂交水稻品种耐热性研究[J]. 中国稻米, 2010, 16(3): 14-15.
- [11] 朱兴明,曾庆曦,宁清利. 自然高温对杂交稻开花受精的影响[J]. 中国农业科学, 1983, 16(2): 37-44.
- [12] 陈庆全,余四斌,李春海,等. 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] 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.
- [14] 雷东阳,陈立云,李稳香,等. 杂交水稻抽穗扬花期高温对结实率及相关生理特性的影响[J]. 杂交水稻, 2006, 21(3): 68-71.
- [15] 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.
- [16] 朱昌兰,肖应辉,王春明,等. 水稻灌浆期耐热害的数量性状基因位点分析[J]. 中国水稻科学, 2005, 19(2): 117-121.
- [17] 杨爱萍,冯明,刘安国. 湖北省水稻盛夏低温冷害变化特征分析[J]. 华中农业大学学报, 2009, 28(6): 771-775.

An effective method of investigating high-temperature tolerance of rice tiller under field conditions

XIAO Ben-ze ZHAO Shuang GONG Yao HE Liang

College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract High-temperature tolerance of two heat-tolerant rice cultivars (II-you 838 and Shanyou 63) and two heat-sensitive rice cultivars (II-you 63 and Teyou 559) was investigated by the HTTF (high-temperature tolerance identification of rice tiller under field conditions) method under natural high-temperature conditions between mid-July and late-August in Wuhan, Hubei Province. The results showed that the lowest seed setting rate (SSR) was observed at the hottest time point “2nd August”, and SSR of II-you 838 and Shanyou 63 was significantly higher than that of II-you 63 and Teyou 559, suggesting that high-temperature tolerance of cultivars II-you 838 and Shanyou 63 was superior to that of cultivars II-you 63 and Teyou 559, coinciding well with the practical performance of those cultivars. Similar results were obtained at time point “11th August”. The correlation and regression analysis showed that the SSR of tiller was negatively correlated with corresponding average temperature in flowering stage for all tested cultivars encountered by high-temperature stress, and the SSR of tiller of heat-sensitive cultivars II-you 63 and Teyou 559 was much more lower compared to heat-resistant cultivars II-you 838 and Shanyou 63.

Key words high-temperature tolerance; rice (*Oryza sativa* L.); tiller; seed setting rate; average temperature of flowering stage

(责任编辑:张志钰)