

不同早稻品种(系)乳熟初期高温胁迫下产量及其构成因素的差异性分析

杨 军,刘向蕊,陈小荣,朱昌兰,彭小松,贺晓鹏,傅军如,
边建民,胡丽芳,欧阳林娟,贺浩华*

(江西农业大学 农学院/作物生理生态与遗传育种教育部重点实验室 江西 南昌 330045)

摘要: 选用 11 个早稻常规品系和 2 个杂交组合为试验材料,于乳熟初期放入人工气候箱中进行高温处理,以同期自然温度为对照,对比分析了各材料处理与对照的产量及其构成因素。结果表明:不同水稻品种(系)对高温的响应存在显著的基因型差异,高温处理下 8 个材料单株产量显著低于对照,2 个高于对照,10 个材料结实率低于对照,11 个材料籽粒充实度和千粒质量低于对照,7 个材料的收获指数处理高于对照;与常规品系相比,杂交组合受高温的影响更大;常规品系中 531 和 B670 表现出强耐热性;对常规品种乳熟初期高温胁迫更钝感的原因进行了探讨。

关键词: 早稻;乳熟初期;高温;产量形成

中图分类号: S511.3⁺1 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2012)04-0635-06

Difference Analyses of Grain Yield and Its Components of Different Early Rice Varieties (Strains) under High Temperature Stress at the Early Milk Stage

YANG Jun, LIU Xiang-ru, CHEN Xiao-rong, ZHU Chang-lan,
PENG Xiao-song, HE Xiao-peng, FU Jun-ru, BIAN Jian-min, HU Li-fang,
OUYANG Lin-juan, HE Hao-hua*

(Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding, Ministry of Education, College of Agronomy, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

Abstract: The comparative analyses of grain yield and its components of 11 early rice conventional strains and 2 hybrid combinations in the plant growth cabinet with a temperature treatment at the early milk stage were made. The natural temperature was taken as the control. The results showed that there were significant genotypic differences in high temperature responses among the thirteen varieties (strains). The single plant yields of 8 materials were significantly lower than that of the control while those of 2 materials were higher than that of CK; the seed setting rates of 10 varieties (strains) were lower than that of the CK; the 1 000-grain weight and plumpness of 11 materials were lower than those of the CK; the harvest indexes of 7 materials were higher

收稿日期: 2012-03-27 修回日期: 2012-05-16

基金项目: 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201006025)、赣鄱英才 555 工程“性状机能协调型”双季超级稻的选育与应用、2012 年超级稻新品种选育与示范项目(开展长江中下游稻区超级早稻新品种选育与示范)

作者简介: 杨军(1987—),男,硕士生,主要从事水稻生理与遗传育种研究, E-mail: 573286952@qq.com; * 通讯作者: 贺浩华,教授,博士, E-mail: hhhua64@163.com。

than those of the CK; Compared with inbred rice varieties, the hybrid combinations were more easily affected by high temperature; Zhong531 and B670 showed a strong heat resistance; the reasons why inbred rice varieties were less sensitive to high temperature stress at the early milk stage were discussed.

Key words: early rice; early milk stage; high temperature; yield formation

温度是影响水稻生长发育诸因子(光照、温度和水分等)中最重要的因素之一^[1]。在过去的 100 年,全球气温已经升高了(0.74 ± 0.18) °C^[2-3],世界种植业面临高温挑战^[4]。随着工业化的加快和温室效应的加剧,极端性天气现象(如夏季高温等)在全球许多区域将出现得更加频繁,且持续时间更长,高温已成为影响水稻生长发育和产量的主要因素之一^[5]。因此,高温逆境下水稻的耐热性研究变得日趋重要。迄今为止,有关高温胁迫对水稻影响的研究已有不少报道。研究表明,开花期前后高温易造成花粉不育,导致结实率和粒质量降低而使产量严重下降^[6-8];高温胁迫下水稻的生理过程也会出现相应的变化,如叶绿素含量降低,净光合速率下降等^[8-9];同时,高温也会导致稻米品质的降低和光温敏核不育系育性的转换^[9-10],这些研究有助于人们了解高温对水稻结实的伤害机理。然而,上述研究较多以杂交稻为材料,针对常规品种的报道较少。由于常规品种在育种上有其独特的利用价值,据此,本文拟以 11 个常规品系和 2 个杂交组合为试验材料,通过智能人工气候箱进行高温处理,以同期自然温度为对照,考察了产量及其构成因素,探讨水稻不同品种(系)对乳熟初期高温响应的基因型差异,以为水稻耐热育种材料选取提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

11 个自育性状稳定的常规稻品系和 2 个杂交稻品种淦鑫 203 及淦鑫 206 均由江西农业大学农学院作物遗传育种课题组提供。

1.2 材料种植

试验于 2011 年在江西农业大学科技园试验田进行。浸种催芽后于 4 月 1 日播种,4 月 30 日移栽,行株距为 27.45 cm × 25.50 cm,单本栽插。整个生育期的田间水肥管理和病虫害防治按照高产栽培方式进行。

1.3 高温处理

在穗分化后期选取发育进程与长势基本一致的稻株带泥移入盆钵(内径 16.5 cm × 深度 15.5 cm)培育 10 d,每个品系的处理和对照各 3 盆,每盆移栽 1 蔸。供试 13 个材料生育进度基本一致,当盆钵中的稻株齐穗进入灌浆乳熟期(10% 稻株抽穗后 7 ~ 10 d)时,将各处理盆钵移入 PRX-1500B 型多段可编程智能人工气候箱(上海比朗仪器有限公司)中培养 3 d。采用温度日变化模拟来开展高温控制试验,其它气候因子各处理保持统一。人工气候箱的控制为 05:30—10:30 33.5 °C,相对湿度 84%,光照 17 600 lx; 10:30—15:30 38 °C,相对湿度 80%,光照 22 000 lx; 15:30—19:00 35 °C,相对湿度 84%,光照 17 600 lx; 19:00—5:30 30 °C,相对湿度 88%,光照 0 lx,设定的程序每 24 h 自动循环。每个材料的另外 3 盆放在大田作对照。高温处理后的材料移回水稻大田,并将所有盆钵除去让其自然生长。处理期间日最高气温、平均气温、最低气温和相对湿度见表 1,处理期间高温处理的日最高温度、日平均温度、日最低温度平均分别比对照提高 3.5、3.8、5.5 °C(表 1)。

1.4 测定项目与方法

成熟后进行考种,测定结实率、千粒质量、籽粒充实度、收获指数和单株产量,并计算热害指数等。

$$\text{籽粒充实度} = (\text{受精籽粒平均粒质量} / \text{比重大于 1.0 的饱粒粒质量}) \times 100 \quad (1)$$

$$\text{热害指数}(\text{index of heat sensitivity HIS}) = (\text{大田对照的结实率} - \text{高温胁迫的结实率}) / \text{大田对照的结实率} \quad (2)$$

水稻产量结构分析按《农业气象观测规范》(上册)中的有关要求进行。

1.5 数据分析方法

采用 DPS 软件进行统计分析数据,用 Duncan 新复极差法进行品种间和处理间差异性检验($P=0.05$)。

表1 高温处理日期及处理期间的气候因子
Tab.1 The date and climatic factors during heat-stress treatment

气候因子 Climatic factor	7月2日 July 2		7月3日 July 3		7月4日 July 4	
	对照 CK	高温胁迫 Heat-stress	对照 CK	高温胁迫 Heat-stress	对照 CK	高温胁迫 Heat-stress
日最高气温/°C Daily maximum temperature	33.0	38.0	34.4	38.0	35.3	38.0
日平均气温/°C Daily mean temperature	28.9	33.1	29.5	33.1	30.3	33.1
日最低气温/°C Daily minimum temperature	24.1	30.0	24.3	30.0	25.0	30.0
相对湿度/% Relative humidity (RH)	80.0	84.9	83.0	84.9	79.0	84.9

2 结果与分析

2.1 乳熟初期高温胁迫对水稻产量及其构成因素的影响

2.1.1 结实率 乳熟期是水稻生殖生长的敏感时期。外界环境因子如温度可能会导致花粉败育和子房受精受阻,结实率下降^[12]。表2可看出,乳熟初期高温胁迫对不同基因型材料结实率的影响程度有一定差异,其中B633、B165(08)、B065、淦鑫203、ST66和E134高温胁迫下的结实率显著低于对照,降幅分别是4.37%、4.82%、6.94%、15.29%、20.80%和24.73%。然而,值得注意的是,E181、中531和T368结实率较对照分别提高了1.36%、1.99%和6.40%,其中T368处理与对照差异达显著水平。其余材料高温胁迫下的结实率与对照相比均略有下降,但差异均不显著。

2.1.2 千粒质量 千粒质量是水稻产量构成的三大要素之一,极端高温可能会通过影响颖花发育和干物质转运,而导致千粒质量的下降^[13]。表2结果显示,乳熟初期高温胁迫对千粒质量的影响因基因型而异。B633、淦鑫203、中早22和T368高温胁迫下的千粒质量较对照分别下降10.37%、11.61%、12.56%和15.89%,且差异均达到显著水平,而中531和ST66高温胁迫下的千粒质量较对照升高1.35%和13.47%,前者差异不显著,后者差异显著。其余材料高温胁迫下的千粒质量与对照相比稍微略有下降,但差异均不显著。

2.1.3 单株产量 乳熟初期高温胁迫对单株产量的影响较大。与常规品系相比,杂交组合单株产量受高温胁迫的影响更大,淦鑫206和淦鑫203高温处理下的单株产量较对照分别下降30.75%和44.73%。常规品系中531高温处理下的单株产量较对照上升15.12%,差异达到显著水平,ST66处理较对照上升7.19%,但差异不显著。B670、B165(08)和中早22处理单株产量较对照略有下降,分别为1.78%、10.14%和14.21%,但差异不显著。其余材料高温胁迫下的单株产量与对照相比均有不同程度的下降,且差异均显著(表2)。

综合看来,乳熟初期高温胁迫下,各材料产量构成要素中结实率对高温最敏感,千粒质量次之。热害指数与单株产量之间相关不明显,中531和B670的耐热能力较强。

2.2 乳熟初期高温胁迫对水稻籽粒充实度和收获指数的影响

2.2.1 籽粒充实度 籽粒充实度与水稻产量和稻米品质密切相关,环境、栽培和遗传等因素均能影响水稻的籽粒充实度^[14]。表3可知,乳熟初期高温胁迫对籽粒充实度的影响因基因型不同而存在较大差异。淦鑫203、淦鑫206、B633、B065和ST66受高温影响较大,籽粒充实度显著下降,分别比对照降低7.11%、8.03%、8.06%、9.95%和12.15%,而中531和97-1比对照略有升高,但差异不显著。其余材料高温胁迫下的籽粒充实度与对照相比有所下降,但差异均不显著。

表 2 乳熟初期高温胁迫对水稻产量及其构成要素的影响

Tab. 2 Effects of high temperature stress at early milk ripe stage on grain yield and its components

品种 Cultivar	处理 Treatment	单株产量/g Yield per plant	千粒质量/g 1000 – grain weight	结实率/% Seed setting rate	热害指数 HIS
中 531	对照 CK	21.96b	25.10a	82.78a	
	高温胁迫 Heat – stress	25.28a	25.44a	84.42a	-0.01b
E181	对照 CK	22.32a	21.14a	85.09a	
	高温胁迫 Heat – stress	18.06b	20.54a	86.25a	-0.01b
T368	对照 CK	23.32a	23.92a	87.51b	
	高温胁迫 Heat – stress	19.57b	20.12b	93.11a	-0.05b
中早 22	对照 CK	31.45a	26.76a	94.08a	
	高温胁迫 Heat – stress	26.98a	23.40b	93.59a	0.00b
97 – 1	对照 CK	24.05a	21.30a	85.29a	
	高温胁迫 Heat – stress	22.12b	21.26a	84.79a	0.00b
B670	对照 CK	23.03a	26.40a	95.41a	
	高温胁迫 Heat – stress	22.62a	25.22a	93.91a	0.01b
淦鑫 206	对照 CK	31.67a	27.68a	91.67a	
	高温胁迫 Heat – stress	21.93b	26.08a	88.59a	0.03b
B633	对照 CK	21.11a	27.78a	92.44a	
	高温胁迫 Heat – stress	18.68b	24.90b	88.40b	0.04b
B165(08)	对照 CK	18.74a	21.94a	91.96a	
	高温胁迫 Heat – stress	16.84a	21.34a	87.53b	0.05b
B065	对照 CK	20.92a	24.52a	93.41a	
	高温胁迫 Heat – stress	16.07b	23.26a	86.93b	0.06b
淦鑫 203	对照 CK	33.33a	25.66a	92.90a	
	高温胁迫 Heat – stress	18.42b	22.68b	78.69b	0.15a
ST66	对照 CK	16.82a	20.94b	94.62a	
	高温胁迫 Heat – stress	18.03a	22.76a	74.94b	0.21a
E134	对照 CK	20.78a	24.92a	90.82a	
	高温胁迫 Heat – stress	11.77b	24.42a	68.36b	0.30a

表中数据用 DPS 软件进行分析,每一列数据中具有相同的小写字母表示无显著性差异 ($P < 0.05$)。

The data in the table was analysed with DPS software, the same letters in every column indicate no significant difference at 5% level.

2.2.2 收获指数 收获指数 (harvest index, HI) 可作为作物品种产量水平和栽培成效的一个重要指标, HI 有着较高的遗传力,同时也受到环境条件的制约^[15]。表 3 结果显示,7 个材料乳熟初期高温胁迫下的收获指数与大田对照相比,呈现上升趋势,其中 B633、中 531 和 E181 处理下的收获指数显著高于对照,增幅分别为 19.07%、20.99% 和 22.52%。

3 讨 论

水稻籽粒灌浆期是受精颖花接受光合产物进行灌浆充实的重要时期,此时光合产物及其向籽粒运输和分配积累与产量的关系最密切^[7,13-17]。众多研究表明,灌浆期高温将导致叶片的同化能力降低、稻株的呼吸速度加快、籽粒灌浆加速、灌浆期缩短、秕粒率增加、籽粒充实度降低等,从而使单株产量减少、结实率下降、籽粒千粒质量降低^[18-20]。本文的研究结果显示,乳熟初期高温胁迫下大部分材料的结实率、千粒质量、单株产量和籽粒充实度呈下降趋势。然而,不同水稻基因型产量及其构成因素对高温

的响应不尽相同,陶龙兴等^[26]研究了开花结实期高温对国稻6号和协优46的影响,发现国稻6号在根系活力、剑叶光合效率、物质转运能力等均强于协优46,表现出更耐高温。曹云英等^[20]也发现高温处理后热敏感品种减产的幅度明显大于耐热品种。本研究表明,乳熟初期高温对产量及其构成要素的影响在不同基因型间存在很大差异,其中2个杂交稻较常规品系对高温更敏感,常规品系中531和B670表现出强耐热性,关于其耐热机理及育种应用潜力值得进一步研究。

表3 乳熟初期高温胁迫对水稻籽粒充实度和收获指数的影响

Tab.3 Effects of high temperature stress at early milk ripe stage on grain plumpness and harvest index

品种 Cultivar	处理 Treatment	籽粒充实度/% Plumpness	收获指数 Harvest index
中531	对照 CK	86.87a	0.486b
	高温胁迫 Heat-stress	86.93a	0.588a
E181	对照 CK	87.42a	0.413b
	高温胁迫 Heat-stress	85.20a	0.506a
T368	对照 CK	91.56a	0.529a
	高温胁迫 Heat-stress	91.45a	0.505a
中早22	对照 CK	95.74a	0.638a
	高温胁迫 Heat-stress	93.67a	0.634a
97-1	对照 CK	88.73a	0.557a
	高温胁迫 Heat-stress	89.36a	0.606a
B670	对照 CK	96.52a	0.538a
	高温胁迫 Heat-stress	93.42a	0.529a
淦鑫206	对照 CK	91.98a	0.559a
	高温胁迫 Heat-stress	84.59b	0.541a
B633	对照 CK	97.34a	0.451b
	高温胁迫 Heat-stress	89.49b	0.537a
B165(08)	对照 CK	88.42a	0.565a
	高温胁迫 Heat-stress	83.79a	0.573a
B065	对照 CK	93.48a	0.564a
	高温胁迫 Heat-stress	84.18b	0.549a
淦鑫203	对照 CK	93.61a	0.546a
	高温胁迫 Heat-stress	86.95b	0.572a
ST66	对照 CK	93.12a	0.514a
	高温胁迫 Heat-stress	81.81b	0.535a
E134	对照 CK	85.23a	0.566a
	高温胁迫 Heat-stress	80.10a	0.559a

表中数据用 DPS 软件进行分析,每一列数据中具有相同的小写字母表示无显著性差异 ($P < 0.05$)。

The data in the table was analysed with DPS software, the same letters in every column indicate no significant difference at 5% level.

收获指数(HI)是作物收获时经济产量(籽粒、果实等)与生物产量之比。近年来世界水稻产量的持续增长主要得益于收获指数改良^[27]。在作物生理机制上,HI涉及源库之间光合产物的转运与分配,同化物可以以淀粉的形式暂存或以蔗糖的形式转运,ADPG 焦磷酸化酶、磷酸果糖激酶、磷酸蔗糖合成酶等都参与其中^[28-29]。姬兴杰等^[30]基于气象资料,建立了中国冬小麦收获指数的统计模型,指出收获指数观测值与趋势收获指数差值即为由气象要素决定的气象收获指数,区域尺度气象收获指数与抽穗后30d平均气温的平均值单相关分析相关不显著。本研究表明,高温胁迫下大部分材料的单株产量呈下

降趋势,而收获指数呈上升趋势,表明高温胁迫下,叶、茎和鞘等营养器官将积累的干物质尽可能多的转移到籽粒中去,提高了收获指数,不过高温胁迫下收获指数上升的机理有待进一步研究。

参考文献:

- [1]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.
- [2]Houghton J T, Meira L G, Bruce J, et al. Climate change 1994 radiative forcing of climate change and an evaluation of the IPCC IS92 emission scenarios [M]. Cambridge UK: Cambridge University, 1995: 1-49.
- [3]IPCC. Climate change 2001 the scientific basis [M]. Cambridge UK: Cambridge University, 2001: 101-125.
- [4]李萍萍,程高峰,张佳华,等.高温对水稻抽穗扬花期生理特性的影响[J].江苏大学学报,2010,31(2):1671-1675.
- [5]朱昌兰,肖应辉,王春明,等.水稻灌浆期耐热性的数量性状基因位点分析[J].中国水稻科学,2005,19(2):117-121.
- [6]石春林,金之庆,汤日圣,等.水稻颖花结实率对减数分裂期和开花期高温的响应差异[J].江苏农业学报,2010,26(6):1139-1142.
- [7]汤日圣,郑建初,陈留根,等.高温对杂交水稻籽粒灌浆和剑叶某些生理特性的影响[J].植物生理与分子生物学报,2005,31(6):657-662.
- [8]张顺堂,张桂莲,陈立云,等.高温胁迫对水稻剑叶净光合速率和叶绿素荧光参数的影响[J].中国水稻科学,2011,25(3):335-338.
- [9]唐湘如,余铁桥.灌浆成熟期温度对稻米品质及有关生理生化特性的影响[J].湖南农学院学报,1991,17:1-10.
- [10]贺浩华,朱昌兰,彭小松,等.水稻新质源光温敏核不育系B06S的发现与研究[J].江西农业大学学报,2003,25(3):315-319.
- [11]谢晓金,李秉柏,李映雪,等.抽穗期高温胁迫对水稻产量构成要素和品质的影响[J].中国农业气象,2010,31(3):411-415.
- [12]郑建初,张彬,陈留根,等.抽穗期高温对水稻产量构成要素和稻米品质的影响及其基因型差异[J].江苏农业学报,2005,21(4):249-254.
- [13]张桂莲,陈立云,张顺堂,等.高温胁迫对水稻花器官和产量构成要素及稻米品质的影响[J].湖南农业大学学报,2007,33(2):132-136.
- [14]顾世梁,惠大丰,朱庆森.亚种间杂交稻籽粒充实度的遗传分析[J].中国水稻科学,1996,10(3):129-137.
- [15]潘晓华,邓强辉.作物收获指数的研究进展[J].江西农业大学学报,2007,29(1):1-5.
- [16]黄英金,罗永峰,黄兴作,等.水稻灌浆期耐热性的品种间差异及其与剑叶光合特性和内源多胺的关系[J].中国水稻科学,1999,13(4):205-210.
- [17]曹云英,段骅,杨立年,等.抽穗和灌浆早期高温对耐热性不同籼稻品种产量的影响及其生理原因[J].作物学报,2009,35(3):512-521.
- [18]郑志广.光温条件对水稻结实及干物质生产的影响[J].北京农学院学报,2003,18(1):13-16.
- [19]李木英,熊伟,石庆华,等.高温胁迫对早稻不同品种灌浆结实和稻米品质的影响[J].江西农业大学学报,2006,28(2):483-487.
- [20]李祥洲,任昌福,陈晓玲.水稻亚种间杂种一代籽粒充实的气温条件研究[J].作物学报,1996,22(2):247-250.
- [21]陶龙兴,谈惠娟,王熹,等.开花和灌浆初期高温胁迫对国稻号结实的生理影响[J].作物学报,2009,35(1):110-117.
- [22]Randhir S, Malhotra S P, Singh R. Molecular manipulation of sourcesink interactions in crop plants [J]. Proc Indian Natl Sci Acad, 1999, 65(6):351-376.
- [23]袁葵洲,官春云.作物收获指数的研究概况[J].作物研究,1994(4):45-48.
- [24]袁葵洲,官春云.影响油菜收获指数的几个生理因子[J].作物学报,1997,23(5):580-586.
- [25]姬兴杰,于永强,张稳,等.基于气象资料的中国冬小麦收获指数模型[J].中国农业科学,2010,43(20):4158-4168.