

花后不同时段高温对水稻籽粒充实的影响

何国成¹, 张桂莲^{1,2,3,*}, 蔡志欢¹, 刘逸童¹, 赵瑞¹

¹湖南农业大学农学院, 长沙410128; ²南方粮油作物协同创新中心, 长沙410128; ³湖南农业大学水稻油菜抗病育种湖南省重点实验室, 长沙410128

摘要: 以耐热性不同的2个水稻品系为材料, 研究了花后不同时段高温对水稻籽粒充实的影响。结果表明, 花后不同时段高温条件下, 水稻籽粒千粒重和充实度降低, 且随胁迫时间延长下降幅度增大, 热敏感品系4628籽粒千粒重和充实度的下降幅度大于耐热品系996。高温胁迫下种子可溶性糖、蔗糖和ABA含量增加, 但随着胁迫时间延长呈现降低趋势, 而高温下淀粉积累减少。高温胁迫下水稻种子发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数下降, 热敏感品系4628的下降幅度均大于耐热品系996; 花后高温条件下, 籽粒胚乳淀粉粒排列结合较为疏松, 淀粉粒间空隙大, 多为单粒淀粉体, 导致籽粒充实不良。

关键词: 水稻; 花后高温; 籽粒充实

全球气候变暖, 夏季较为频繁的高温气候已影响作物的产量与品质(Peng等2004)。作为全球最重要粮食作物之一的水稻, 虽然对高温气候具有一定的忍耐能力, 但当环境温度超过水稻适宜生长的临界值便会影响其正常的生长与发育, 最终造成产量降低, 稻米品质变劣(王才林和仲维功2004), 种子活力降低, 进而影响播种品质。中国长江以南的双季早稻的开花结实期及中稻开花期经常遭遇异常高温天气, 导致结实率降低, 水稻大幅度减产(Lin等2010), 高温热害已成为限制中国南方稻区水稻优质安全生产的瓶颈。因此开展水稻耐热研究, 并采取相应栽培技术缓解逆境危害, 对实现水稻高产稳产优质具有重要意义。

水稻籽粒充实是指颖花受精后, 光合产物和茎鞘贮存物向籽粒的运输和积累过程(许大全等1992)。一般水稻从开花受精到籽粒成熟需要30~40 d, 全穗开花持续5~7 d, 籽粒形成需要15~18 d, 籽粒灌浆期适宜的温度有利于籽粒淀粉的形成与积累, 而此时如遇高温热害不仅严重影响光合产物和茎鞘贮存物向水稻籽粒的运输和积累, 降低籽粒充实度(Jagadish等2007; 廖江林等2013), 而且高温能加快灌浆进程、缩短灌浆期而使粒质量降低, 使种子成熟度出现差异, 影响种子活力(舒英杰等2014)。

目前关于高温对水稻的生理影响已有诸多报道, 但花后高温对水稻籽粒充实的影响报道少, 因此本论文拟利用耐热性不同的水稻品种为材料, 研究花后高温对水稻籽粒充实的影响, 探讨高温下籽粒充实差的原因, 为水稻耐热性品种选育和高产栽培提供理论依据。

材料与方法

1 供试材料

试验于2014~2015年在湖南农业大学水稻所试验田进行。供试材料为耐热水稻(*Oryza sativa* L.) 品系996和热敏感水稻品系4628, 由湖南农业大学水稻研究所提供。

2 试验方法

2014年3月25日播种, 4月25日移栽, 2015年3月27日播种, 4月27日移栽, 抽穗前20 d选生育进程基本一致的植株带泥移入盆钵(盆钵内径266 mm, 高190 mm)中, 每钵3株, 抽穗当天对穗进行标记, 于抽穗第8天, 每品系选30盆移入人工气候室进行高温(8:00~17:00, 37°C; 17:00~8:00, 30°C)处理, 处理期间相对湿度控制在75%左右, 植株冠层光通量密度为850 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 另设适温条件(8:00~17:00, 30°C; 17:00~8:00, 25°C)下水稻作为对照(CK)。高温处理设置为处理5、10、15、20和25 d, 处理结束后返回自然温度下生长至成熟。成熟期收获种子进行籽粒充实度、千粒重、种子发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数、可溶性糖、蔗糖、淀粉、脱落酸(abscisic acid, ABA)含量测定及籽粒胚乳淀粉粒观察。

籽粒充实度测定参照张宏玉等(2006)的方法, 各高温处理时段结束后, 水稻移置室外生长至成

收稿 2017-02-20 修定 2017-07-09

资助 国家自然科学基金(30900874)、湖南省教育厅重点项目(17A100)、作物学开放基金资助项目(ZWKF201504)和湖南农业大学大学生创新计划项目(XCX1545)。

* 通讯作者(E-mail: zgl604@163.com)。

熟, 成熟期每处理收获带标记的主茎穗10穗, 脱粒后的每穗谷粒置于自来水中漂选, 下沉者为饱粒, 上浮者为空粒和秕粒; 晒干后利用装有荧光灯的灯箱进行观察将空壳粒和秕粒分开, 即无胚者为空壳粒, 有胚者为秕粒; 各处理的实粒和秕粒在统一平衡水分含量后分别称重。籽粒充实度(%)=[(处理每穗的实粒重+秕粒重)/(对照每穗的实粒重+秕粒重)] \times 100。

籽粒千粒重测定取标记穗7穗, 脱粒, 数粒, 烘干至恒重称重, 重复3次。千粒干重=(总干重/总粒数) \times 100。

种子发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数参照尹燕平和董学会(2008)的方法测定。种子可溶性糖和淀粉含量参照尹燕平和董学会(2008)的方法, 采用蒽酮比色法测定。种子蔗糖含量参照李合生等(2000)的方法测定。用ELISA方法测定种子ABA含量。

成熟期取花后高温处理10和20 d的标记穗中部籽粒, 用刀片横切籽粒背部2次, 取中部胚乳为观察

样本置于载物台上, 在IB23型离子溅射仪内对样品断裂面喷金后, 用日本产的JEOL型号JSM-5310LV扫描电镜观察籽粒胚乳淀粉粒形态和结构并拍照。

文中数据为2年数据的平均值。所有实验数据处理和方差分析采用Microsoft Excel和SAS软件完成。

实验结果

1 花后不同时段高温对水稻籽粒充实度和千粒重的影响

由图1-A可知, 与适温对照相比, 高温胁迫条件下水稻籽粒充实度受到影响, 随着胁迫时间延长, 籽粒充实度持续下降, 且下降幅度越大。相同条件下, 耐用品系996的籽粒充实度下降幅度小于热敏感品系4628。

从图1-B可以看出, 与适温对照相比, 高温胁迫条件下水稻籽粒千粒重下降, 且随着胁迫时间延长下降幅度越大。相同条件下, 耐用品系996的籽粒千粒重下降幅度小于热敏感品系4628。

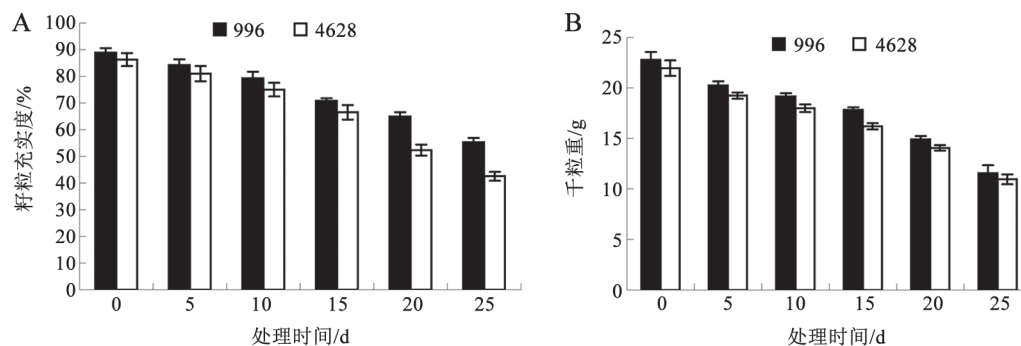


图1 花后不同时段高温对水稻籽粒充实度(A)和千粒重(B)的影响

Fig. 1 Effect of high temperature on grain plumpness (A) and 1 000 grain weight (B) of rice at different time after anthesis

2 花后不同时段高温对种子碳水化合物含量和ABA含量的影响

从表2可知, 与对照相比, 短期高温处理籽粒可溶性糖和蔗糖含量增加, 但随着高温胁迫时间延长, 籽粒可溶性糖和蔗糖含量呈现降低趋势, 高温处理5~10 d的籽粒可溶性糖和蔗糖含量高于适温对照, 10 d后则低于适温对照, 耐用品系996的可溶性糖和蔗糖含量低于热敏感品系4628。而高温胁迫下淀粉含量下降, 且随时间延长淀粉含量下降幅度增大。

从表2可以看出, 短期高温下ABA含量增加, 但随着高温胁迫时间延长, ABA含量下降, 两品系表现趋势一致, 与热敏感品系4628相比, 耐用品系996的下降幅度小些。

3 花后不同时段高温对水稻种子萌发的影响

由表2可知, 与适温对照相比, 高温胁迫下水稻种子发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数均下降, 且随着胁迫时间延长下降幅度增大, 相同条件下, 耐用品系996的种子发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数下降幅度均小于热敏感品系4628。

表1 花后不同时段高温对水稻种子碳水化合物和ABA含量的影响

Table 1 Effect of high temperature on seed carbohydrate content and ABA content of rice at different time after anthesis

品系	处理时间/d	可溶性糖含量/%	蔗糖含量/%	淀粉含量/%	ABA含量/ng·g ⁻¹ (FW)
996	0 (CK)	8.28±0.15 ^c	5.11±0.15 ^b	62.54±2.19 ^a	139.93±4.90 ^a
	5	10.08±0.28 ^a	6.23±0.27 ^a	61.35±1.66 ^a	141.25±2.83 ^a
	10	9.39±0.12 ^b	5.63±0.11 ^b	59.76±1.79 ^a	133.51±1.87 ^{ab}
	15	8.34±0.30 ^c	4.54±0.08 ^{bc}	56.74±2.27 ^{ab}	125.45±2.26 ^b
	20	7.83±0.19 ^{cd}	4.25±0.12 ^c	55.35±0.72 ^b	117.56±4.58 ^c
	25	6.73±0.19 ^e	4.02±0.14 ^c	49.54±1.18 ^c	108.79±3.70 ^d
4628	0 (CK)	8.38±0.25 ^c	5.21±0.11 ^b	61.67±2.96 ^a	142.53±3.99 ^a
	5	10.75±0.54 ^a	6.14±0.15 ^a	60.89±2.13 ^a	145.63±3.93 ^a
	10	9.59±0.22 ^b	5.81±0.07 ^a	57.78±1.62 ^a	135.26±2.57 ^b
	15	8.67±0.13 ^c	4.44±0.18 ^c	55.44±0.94 ^{ab}	124.56±1.87 ^c
	20	7.85±0.19 ^d	4.15±0.12 ^c	54.17±1.04 ^b	118.34±2.96 ^d
	25	6.76±0.21 ^e	3.95±0.11 ^c	48.14±1.86 ^c	109.35±3.83 ^e

同列不同小写字母表示同一品种各处理间在0.05水平上差异显著, 下表同此。

表2 花后不同时段高温对水稻种子萌发的影响

Table 2 Effect of high temperature on seed germination of rice at different time after anthesis

品系	处理时间/d	发芽势/%	发芽率/%	发芽指数	活力指数
996	0 (CK)	93.34±2.80 ^a	95.17±3.81 ^a	40.12±1.60 ^a	354.72±14.19 ^a
	5	92.36±3.23 ^a	94.87±2.37 ^a	38.79±0.97 ^a	346.26±8.66 ^a
	10	88.43±3.54 ^{ab}	92.33±3.69 ^a	34.50±1.38 ^{ab}	334.50±13.38 ^b
	15	85.86±2.06 ^b	88.67±3.01 ^b	30.85±1.05 ^b	310.24±10.55 ^{bc}
	20	77.34±1.55 ^c	80.35±1.77 ^c	28.75±0.63 ^b	295.06±6.49 ^c
	25	72.34±1.23 ^c	76.33±2.82 ^c	24.65±0.91 ^{bc}	277.09±10.25 ^{cd}
4628	0 (CK)	90.23±3.28 ^a	94.00±3.38 ^a	39.76±1.43 ^a	348.33±12.54 ^a
	5	88.12±3.26 ^b	93.53±3.46 ^a	37.75±1.40 ^a	335.49±12.41 ^{ab}
	10	85.12±1.96 ^b	89.86±2.97 ^{ab}	31.95±1.05 ^b	319.64±10.55 ^b
	15	81.23±0.97 ^{bc}	84.23±2.70 ^{bc}	28.65±0.92 ^b	297.65±9.52 ^c
	20	71.56±1.29 ^c	76.45±2.14 ^c	26.12±0.73 ^b	272.02±7.90 ^d
	25	66.12±1.92 ^d	70.44±1.34 ^d	23.45±0.45 ^c	254.61±4.95 ^e

进一步对籽粒充实度与种子发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数进行相关分析表明, 籽粒充实度与种子发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数呈极显著正相关, 相关系数分别为0.9898、0.9875、0.9702和0.9873。

4 花后不同时段高温对稻米胚乳淀粉粒结构的影响

对耐用品系996和热敏感品系4628在花后高温处理10和20 d的籽粒胚乳内部淀粉粒结构进行扫描电镜观察。结果(图2)表明, 花后10 d适温条件下, 耐用品系996籽粒内部淀粉粒间结合较为紧密, 许多淀粉粒粘挤在一起结合成团; 而高温胁迫下, 淀粉粒间结合较为疏松, 淀粉粒间空隙大, 籽粒内大多以单个淀粉粒的形式存在, 且随着胁迫时间

延长, 胚乳淀粉粒排列更为疏松, 这可能是导致高温下籽粒充实不良的原因之一。高温下热敏感品系4628的表现与耐用品系996基本一致。

讨 论

稻谷产量形成是籽粒灌浆充实的结果, 灌浆不完全将会引起稻谷籽粒充实不良, 形成空粒或秕粒, 进而影响产量和品质(杨建昌2010)。汤日圣等(2005)研究表明高温会加速灌浆期水稻叶片衰老和光合能力下降, 导致灌浆速率和籽粒产量降低, 原因在于高温胁迫可使籽粒磷酸化酶和蔗糖酶活性减弱, 不利于光合产物向籽粒中运转与卸出以及光合产物在籽粒中积累, 导致籽粒充实不

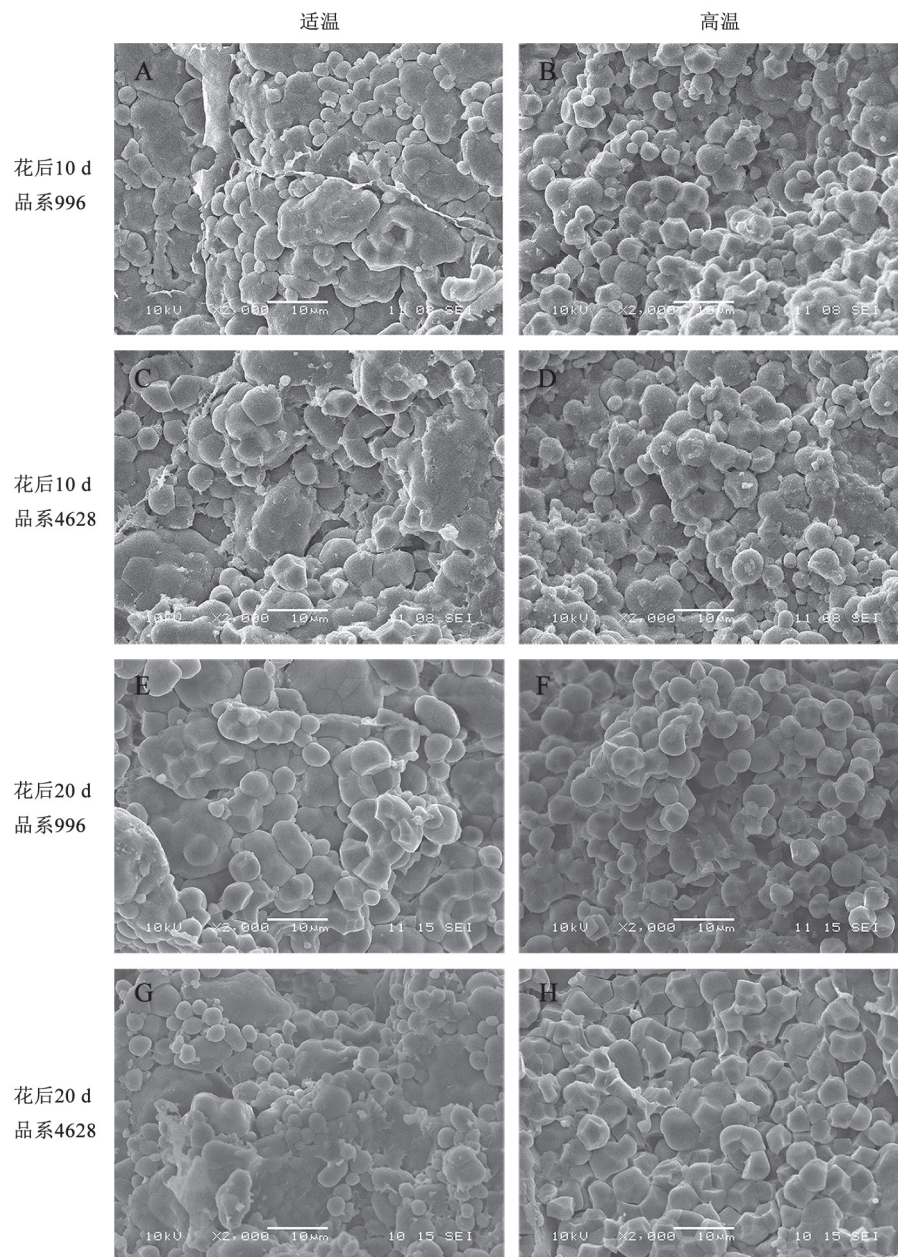


图2 高温和适温下籽粒胚乳内部淀粉粒扫描结构

Fig.2 Starch granule structure of grain endosperm under optimal temperature and high temperature

A、B: 耐热品系996花后10 d适温和高温下淀粉粒结构; C、D: 热敏感品系4628花后10 d适温和高温下淀粉粒结构; E、F: 耐热品系996花后20 d适温和高温下淀粉粒结构; G、H: 热敏感品系4628花后20 d适温和高温下淀粉粒结构。

良(Zheng和He 1999)。本研究表明,花后不同时段高温导致水稻籽粒干重下降,充实度降低,种子质量下降。籽粒胚乳淀粉粒扫描电镜观察结果也反映了,高温下胚乳淀粉粒形状及淀粉颗粒之间的排列发生了变化,淀粉粒排列较为疏松,淀粉粒间空隙大,导致籽粒充实不良,粒重或千粒重降低,

这与前人的报道基本一致(Lin等2010;周浩等2011)。与996相比,4628受高温伤害程度大些。因此,在生产上,采取相应的缓解措施可以防御或减少高温对水稻籽粒产量和品质造成的损失。

可溶性糖与蔗糖是水稻光合作用的主要产物,源器官形成的光合产物主要以蔗糖形式通过韧皮

部输导系统运至库器官。蔗糖进入库细胞后, 首先降解为葡萄糖, 继而转化为葡萄糖供体UDPG (ADPG), 之后才能用于淀粉合成(Zhu等2011)。研究表明灌浆结实期高温胁迫导致水稻籽粒可溶性糖含量和蔗糖含量增加(李万成等2013)。朱雪梅等(2005)和丁四兵等(2004)研究表明, 高温能加速籽粒灌浆, 缩短了品种的灌浆时间, 使籽粒的灌浆物质积累减少, 籽粒充实度降低。本研究表明, 与对照相比, 高温下籽粒可溶性糖含量和蔗糖含量增加, 但随着胁迫时间延长, 增加幅度逐渐降低。而高温下淀粉含量积累减少。这可能是因为高温胁迫伤害了水稻叶片的光合特性, 减少了水稻光合产物的产生量, 另一方面, 高温下籽粒中糖转化成淀粉的能力弱, 无力拉动光合产物和茎鞘贮藏物质迅速输入籽粒中, 同时高温下淀粉合成酶活性降低, 导致淀粉转化积累总量变少, 籽粒充实度差。

植物激素往往通过调节酶活性或物质运输影响水稻灌浆充实。研究报道ABA能够促进籽粒淀粉的合成, 增加对蔗糖的需求, 从而促进了同化物向籽粒的运输, 促进籽粒灌浆(黄升谋和邹应斌2006), 其原因是ABA与蔗糖合酶有一定联系, ABA通过调节蔗糖合酶活性和蔗糖合酶蛋白基因表达量, 并最终影响蔗糖代谢从而影响水稻灌浆充实(唐塘等2011)。Zhu等(2011)研究表明水稻弱勢粒中相对高浓度的ABA和乙烯含量抑制其淀粉合成相关基因的表达, 降低酶活性, 最终导致弱勢粒籽粒灌浆速率低。本研究表明, 短期高温处理ABA含量增加, 但随着高温胁迫时间延长, ABA含量下降。这说明高温下籽粒中较高的ABA含量, 可能会造成灌浆期缩短导致籽粒充实不良等不利影响。至于植株内源ABA含量与同化物的再分配及籽粒充实的机理还有待进一步研究和探讨。

参考文献

- Ding SB, Zhu BY, Wu DY, Zhang L (2004). Effect of temperature and light on senescence of flag leaf and grain-filling after rice heading. *J South China Norm Univ*, (1): 117–121, 128 (in Chinese with English abstract) [丁四兵, 朱碧岩, 吴冬云, 张磊(2004). 温光对水稻抽穗后剑叶衰老和籽粒灌浆的影响. *华南师范大学学报: 自然科学版*, (1): 117–121, 128]
- Huang SM, Zou YB (2006). Effect of gibberellin and abscisic acid on grains-filling and seed setting rate. *J Anhui Agric Univ*, 33 (3): 293–296 (in Chinese with English abstract) [黄升谋, 邹应斌(2006). 赤霉素和脱落酸对水稻籽粒灌浆及结实的影响. *安徽农业大学学报*, 33 (3): 293–296]
- Jagadish SVK, Craufurd PQ, Wheeler TR (2007). High temperature stress and spikelet fertility in rice (*Oryza sativa* L.). *J Exp Bot*, 58 (7): 1627–1635
- Li HS, Sun Q, Zhao SJ, Zhang WH (2000). *The Experiment Principle and Technique for Plant Physiology and Biochemistry*. Beijing: Higher Education Press, 167–169 (in Chinese) [李合生, 孙群, 赵世杰, 章文华(2000). *植物生理生化试验原理和技术*. 北京: 高等教育出版社, 167–169]
- Li WC, Zhu QS, Wang YS, Wang SM, Chen XC, Zhang DW, Wang WL (2013). The relationships between physiological and biochemical indexes and the yield characteristics of rice under high temperature stress. *Chin Agric Bull*, 29 (9): 5–10 (in Chinese with English abstract) [李万成, 朱启升, 王云生, 王士梅, 陈秀晨, 张德文, 汪婉琳(2013). 高温胁迫条件下水稻生理生化指标与产量性状的相关性研究. *中国农学通报*, 29 (9): 5–10]
- Liao JL, Xiao XJ, Song Y, Zhou QH, Huang YJ (2013). Effects of high temperature on grain-filling of rice caryopsis and physiological and biochemical characteristic of flag leave at early milky stage. *Plant Physiol J*, 49 (2): 175–180 (in Chinese with English abstract) [廖江林, 肖小军, 宋宇, 周庆红, 黄英金(2013). 灌浆初期高温对水稻籽粒充实和剑叶理化特性的影响. *植物生理学报*, 49 (2): 175–180]
- Lin CJ, Li CY, Lin SK, Yang FH, Huang JJ, Liu YH, Lur HS (2010). Influence of high temperature during grain filling on the accumulation of storage proteins and grain quality in rice (*Oryza sativa* L.). *J Agric Food Chem*, 58 (19): 10545–10552
- Peng S, Huang J, Sheehy JE, Laza RC, Visperas RM, Zhong X, Centeno GS, Khush GS, Cassman KG (2004). Rice yields decline with higher night temperature from global warming. *Proc Natl Acad Sci USA*, 101 (27): 9971–9975
- Shu YJ, Wang S, Tao Y, Song LR, Huang LY, Zhou YL, Ma H (2014). Effects of high temperature and humidity stress at the physiological maturity stage on seed vigor, main nutrients and coat structure of spring soybean. *Chin J Appl Ecol*, 25 (5): 1380–1386 (in Chinese with English abstract) [舒英杰, 王爽, 陶源, 宋利茹, 黄丽燕, 周玉丽, 麻浩(2014). 生理成熟期高温高湿胁迫对春大豆种子活力、主要营养成分及种皮结构的影响. *应用生态学报*, 25 (5): 1380–1386]
- Tang RS, Zhang JC, Chen LG, Zhang DD, Jin ZQ, Tong HY (2005). Effects of high temperature on grain filling and some physiological characteristic in flag leaves of hybrid rice. *J Plant Physiol Mol Biol*, 31 (6): 657–662 (in Chinese with English abstract) [汤日圣, 郑建初, 陈留根, 张大栋, 金之庆, 童红玉(2005). 高温对杂交水稻籽粒灌浆和剑叶某些生理特性的影响. *植物生理与分子生物学学报*, 31 (6): 657–662]
- Tang T, Xie H, Lu B, Liang JS (2011). Effects of plant hormones in regulating sucrose synthase activity and grain filling of rice. *Chin J Rice Sci*, 25 (2): 182–188 (in Chinese with English abstract) [唐塘, 谢红, 吕冰, 梁建生(2011). 植物激素对杂交水稻籽粒灌浆及蔗糖合酶活性影响. *中国水稻科学*, 25 (2): 182–188]
- Wang CL, Zhong WG (2004). Effect of high temperature on seed setting rate of rice and its countermeasures. *J Jiangsu Agric Sci*, (1): 15–18 (in Chinese) [王才林, 仲维功(2004). 高温对水稻结实率

- 的影响及其防御对策. 江苏农业科学, (1): 15–18]
- Xu DQ, Zhang YZ, Zhang RX (1992). Photoinhibition of photosynthesis in plants. *Plant Physiol Comm*, 28 (4): 237–243 (in Chinese with English abstract) [许大全, 张玉忠, 张荣铤(1992). 植物光合作用的光抑制. *植物生理学通讯*, 28 (4): 237–243]
- Yang JC (2010). Mechanism and regulation in the filling of inferior spikelets of rice. *Acta Agrono Sin*, 36 (12): 2011–2019 (in Chinese with English abstract) [杨建昌(2010). 水稻弱勢粒灌浆机理与调控途径. *作物学报*, 36 (12): 2011–2019]
- Yin YP, Dong XH (2008). *Experiment Technique of Seed Science*. Beijing: China Agricultural Press (in Chinese) [尹燕平, 董学会主编(2008). 种子学实验技术. 北京: 中国农业出版社]
- Zhang HY, Liu K, Zhong PA, Wang FJ, Huang YJ, Xu ZJ (2006). Comprehensive evaluation of heat tolerance of rice varieties at filling stage. *Acta Ecol Sin*, 26 (7): 2154–2160 (in Chinese with English abstract) [张宏玉, 刘凯, 钟平安, 王锋尖, 黄英金, 徐正进(2006). 水稻品种灌浆期耐热性的综合评判. *生态学报*, 26 (7): 2154–2160]
- Zheng F, He ZP (1999). Effect of high temperature stress on transportation and distribution of ^{14}C -assimilates in grain filling period of winter wheat. *J Chin Agr Univ*, 4 (1): 73–76 [郑飞, 何钟佩(1999). 高温胁迫对冬小麦灌浆期物质运输与分配的影响. *中国农业大学学报*, 4 (1): 73–76]
- Zhou H, Hu WB, Wang ZP, Peng KQ, Xiao GY (2011). Effect of high temperature during heading and flowering stage on seed setting rate of rice recombinant inbred lines RIL47. *Chin J Eco-Agric*, 19 (1): 69–74 (in Chinese with English abstract) [周浩, 胡文彬, 王作平, 彭克勤, 肖国樱(2011). 抽穗扬花期高温对水稻重组自交系群体RIL47结实率的影响. *中国生态农业学报*, 19 (1): 69–74]
- Zhu G, Ye N, Yang J, Peng X, Zhang J (2011). Regulation of expression of starch synthesis genes by ethylene and ABA in relation to the development of rice inferior and superior spikelets. *J Exp Bot*, 62 (11): 3907–3916
- Zhu XM, Shao JR, Yang WY (2005). Effect of temperature on grain filling and amyloplast development of high-quality medium indica rice. *J Sichuan Agric Univ*, 23 (2): 152–155, 167 (in Chinese with English abstract) [朱雪梅, 邵继荣, 杨文钰(2005). 温度对优质中籼稻籽粒灌浆及淀粉体发育的影响. *四川农业大学学报*, 23 (2): 152–155, 167]

Effect of high temperature on grain plumpness of rice at different times after anthesis

HE Guo-Cheng¹, ZHANG Gui-Lian^{1,2,3,*}, CAI Zhi-Huan¹, LIU Yi-Tong¹, ZHAO Rui¹

¹College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; ²Southern Regional Collaborative Innovation Center for Grain and Oil Crop, Changsha 410128, China; ³Hunan Provincial Key Laboratory of Rice and Rapseed Breeding for Disease Resistance, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China

Abstract: The experiment was carried out in growth chamber to investigate the effect of high temperature at different time after anthesis on grain plumpness of two rice (*Oryza sativa*) lines including the heat-tolerant line 996 and heat-sensitive line 4628. The results showed that 1 000 grain weight and grain plumpness was reduced under high temperature at different time after anthesis, and the decrease extent was increased with the increase of stress time, the reduced range of heat-sensitive line 4628 was greater than that of heat-tolerant line 996. The soluble sugar, sucrose and ABA contents increased under high temperature stress, and then decreased with the increase of stress time, while starch accumulation decreased under high temperature. The germination rate, germination potential, germination index and vigor index of rice seeds were decreased under high temperature, the reduced range of heat-sensitive line 4628 was greater than that of heat-tolerant line 996. Under high temperature at different time after anthesis, starch granule had an incompact arrangement, most of the starch granule existed in the form of a single starch endosperm, and led to poor grain filling.

Key words: rice; high temperature after anthesis; grain plumpness

Received 2017-02-20 Accepted 2017-07-09

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 30900874), Major Foundation from Department of Education of Hunan Province (Grant No. 17A100), Open Foundation Program of Crop Science (Grant No. ZWKF201504) and Student Innovation Program of Hunan Agricultural University (Grant No. XCX1545).

*Corresponding author (E-mail: zgl604@163.com).