

## 灌浆初期高温对水稻籽粒充实和剑叶理化特性的影响

廖江林<sup>1</sup>, 肖小军<sup>1,2</sup>, 宋宇<sup>1</sup>, 周庆红<sup>1</sup>, 黄英金<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>江西农业大学, 作物生理生态与遗传育种教育部重点实验室, 南昌330045; <sup>2</sup>江西省红壤研究所, 南昌331717

**摘要:** 为探明灌浆初期高温热害降低水稻籽粒充实度的可能生理原因, 以遗传背景相近而灌浆期耐热性存在显著差异的耐热水稻纯系XN0437T和热敏感水稻纯系XN0437S为材料, 于水稻抽穗后第10天进行高温处理, 调查了水稻籽粒充实度, 测定了与水稻剑叶光合效率、细胞膜透性和渗透调节有关的生理指标。结果表明, 高温处理后水稻籽粒充实度下降, 剑叶的叶绿素含量、净光合速率和可溶性糖含量降低, 热敏感纯系的下降幅度大于耐热纯系; 剑叶的超氧化物歧化酶(SOD)活性、细胞膜透性、丙二醛(MDA)和脯氨酸含量增加, 其中热敏感纯系的MDA含量和细胞膜透性增加幅度大于耐热纯系, 而SOD活性和脯氨酸含量的增加幅度小于耐热纯系。说明灌浆初期高温抑制水稻剑叶光合效率, 增加细胞膜透性和改变细胞内环境是高温热害降低水稻籽粒充实度的生理原因。

**关键词:** 水稻; 高温; 籽粒充实度; 理化特性

## Effects of High Temperature on Grain-Filling of Rice Caryopsis and Physiological and Biochemical Characteristic of Flag Leave at Early Milky Stage

LIAO Jiang-Lin<sup>1</sup>, XIAO Xiao-Jun<sup>1,2</sup>, SONG Yu<sup>1</sup>, ZHOU Qing-Hong<sup>1</sup>, HUANG Ying-Jin<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding, Ministry of Education, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; <sup>2</sup>The Red Soil Research Institute of Jiangxi Province, Nanchang 331717, China

**Abstract:** To ascertain possible physiological causes of high temperature decreasing grain-filling rate at early milky stage of rice, two rice inbred lines, named XN0437T (heat-tolerant) and XN0437S (heat-sensitive), were selected and treated by high temperature at the 10th day after heading. The grain plumpness, indexes related to photosynthetic efficiency, cell membrane permeability and osmotic adjustment in flag leaves were detected in rice lines XN0437T and XN0437S. The result showed that the grain plumpness was reduced under high temperature in both XN0437T and XN0437S and the reduced range of heat-sensitive line was greater than that of heat-tolerant line. The net photosynthetic rate, chlorophyll content and soluble sugar content were decreased in comparison with control both in heat-sensitive and heat-tolerant rice lines, and the decrease range of these physiological matter contents in heat-sensitive line were greater than that in heat-tolerant line. The superoxide dismutase (SOD) activity, malondialdehyde (MDA) content, cell membrane permeability and proline content were increased under high temperature, and the increased ranges of MDA content and membrane permeability in heat-sensitive line were higher than that in heat-tolerant line, while the increased ranges of SOD activity and proline content in heat-sensitive line were less than that in heat-tolerant line. The present study suggested that decreasing the photosynthetic efficiency of flag leaves, damaging the structure and function of cell membrane, and result in the intracellular environment altering were the physiological causes of high temperature at early milky stage limiting the grain plumpness of rice.

**Key words:** rice; high temperature; grain plumpness; physiological and biochemical characteristics

全球气候变暖、夏季高温频繁影响作物的产量和品质(Easterling等1997; Peng等2004)。作为世界上最重要粮食作物之一的水稻, 虽然其对高温气候具有一定的忍耐能力, 但是, 温度超过水稻适宜范围的临界值, 便会影响其正常的生长发育(Welch等2010)。水稻灌浆前期是高温热害的敏感期之一, 此时遭遇高温热害既造成水稻单位面积

减产, 也导致稻米品质变劣(张宏玉等2006; Prasad等2006; 盛婧等2007; Lin等2010)。

在我国, 夏季高温热害主要发生在长江流域

收稿 2012-12-10 修定 2013-01-09

资助 江西省主要学科带头人项目(70004)和江西省自然科学基金项目(2007GZN0253)。

\* 通讯作者(E-mail: yjhuang\_cn@126.com; Tel: 0791-83813484)。

及其以南地区,一般存在两次高温过程,其中一次出现在7月上旬,由于西太平洋副热带高压呈东西带状分布,高压脊线稳定在北纬28°~32°,控制着长江中下游地区;于是该区域在较长时间内维持高温天气,经常连续数日日平均气温达35℃,有时部分地区日最高气温在40℃以上(彭海燕等2005),此时正值长江流域以南地区双季早稻的灌浆初期,经常形成“籽粒高温逼熟”,造成水稻产量损失。双季早稻是我国粮食生产过程中不可替代的重要的一茬粮食作物,稻谷产量几次大的波动都与双季早稻的面积和产量密切相关(农业部优质农产品开发服务中心1999)。因此,加强水稻耐高温热害的机理研究,加快耐热水稻新品种的选育,对确保水稻稳产与丰产具有重大意义。

关于高温对水稻功能叶的生理影响已有诸多报道,学者们认为高温导致功能叶的光合效率降低,膜透性增加,叶绿素、可溶性糖、可溶性蛋白质和游离脯氨酸的含量以及超氧化物歧化酶活性升高(张桂莲等2007)。这些研究主要探讨了抽穗至开花期高温热害对水稻的生理影响,而关于灌浆初期高温热害影响水稻籽粒充实度的生理原因分析鲜见报道(汤日圣等2005;陶龙兴等2009)

为此,本文以本课题组选育的遗传背景相似而灌浆初期对高温热害忍耐力存在显著差异的耐高温水稻纯系XN0437T和高温敏感水稻纯系XN0437S为材料(Liao等2011),于水稻抽穗后10~15d进行高温处理,测定了水稻剑叶与光合效率和理化特性有关的生理指标,拟探明灌浆初期高温热害降低水稻籽粒充实度的可能生理原因,旨在为选育灌浆初期耐热的水稻新品种提供依据。

## 材料与amp;方法

### 1 试验材料

试验的水稻(*Oryza sativa* L.)材料为本课题组选育的耐高温纯系XN0437T和高温敏感纯系XN0437S,它们是协青早B/N<sub>22</sub>//协青早B的回交重组自交系;经基因组多态性分析和灌浆初期高温耐性鉴定表明,这2个水稻纯系的遗传背景相近而灌浆初期耐热性存在显著差异(Liao等2011,2012)。

### 2 水稻材料的培育

水稻的培育采用桶(高为50 cm,内径30 cm)栽

的方法,稻田土壤经晒干、粉碎、过筛和搅拌均匀后等量装桶,每桶20 kg,离桶内土表15 cm层面上均匀施用1 g总氮含量15%、有效磷含量4%和有效钾含量6%的水稻专用肥作为基肥,土壤经自来水浸泡5 d后待用。稻种播于大田,三叶一心期移栽入桶,每桶环形栽植生育进程与长势基本一致的单本秧苗10棵;在自然条件下按照常规栽培管理方法培育至抽穗期,并标记同一天抽穗的主茎,以保证所取样品的生长发育进程基本一致。

### 3 高温处理与取样

高温处理在人工气候室内进行。带标记的主茎抽穗后第10天开始进行高温处理,高温处理和对照的温度分别为(38.0±0.5)℃和(25.0±0.5)℃(Liao等2011,2012),处理时间设3、6、9、24、48、72、96和120 h,光照时间14 h,相对湿度80%±5%,光照强度800~1 250 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>,高温处理设3次重复。高温处理结束后,水稻置于自然条件下恢复生长24 h,各处理剪取生长发育进程一致的水稻剑叶约10 g。

### 4 水稻籽粒充实度调查

高温处理结束后,水稻移至自然条件下按常规栽培管理方法培育成熟,每处理收获带标记的主茎6穗,调查籽粒充实度。籽粒充实度调查参照张宏玉等(2006)的方法,取样时将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;晒干后用自制透光装置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(%)=100×(处理每穗的实粒重+秕粒重)/(对照每穗的实粒重+秕粒重)。

### 5 水稻剑叶的净光合速率和叶绿素含量(SPAD值)测定

水稻在自然条件下恢复生长24 h后,测定水稻功能叶的净光合速率和SPAD值。净光合速率采用美国Gene公司的LI-6400型便携式自动光合测定系统测定;SPAD值采用日本生产的SPAD-502PLUS型便携式叶绿素含量测定仪测定;各指标、每个样品重复测定3次,取平均值。

### 6 叶片电导率测定

水稻在自然条件下恢复生长24 h后,测定处理与对照水稻功能叶的电解质渗漏率。测定方法参

照张宪政(1992)的方法。

## 7 细胞理化特性有关生理指标的测定

水稻移出人工气候室,在自然条件下恢复生长24 h后,测定水稻功能叶的各生理指标,方法参照高俊凤(2006)主编的植物生理学实验指导:丙二醛(MDA)含量采用三氯乙酸-巴比妥酸法测定,可溶性糖含量采用蒽酮法测定,脯氨酸(Pro)含量采用碘基水杨酸-茚三酮法测定,超氧化物歧化酶(SOD)活性采用光照还原法测定。

## 8 计算与统计分析

各测定指标的相对变化表示处理与其平行对照的差异,相对变化(%)=100×处理值/平行对照值;数据处理和统计分析采用Excel软件和DPS统计分析软件进行。

## 实验结果

### 1 高温降低籽粒充实度

由图1可知,高温处理后,两纯系籽粒充实度都呈现下降的趋势,随着高温处理时间的延长,籽粒充实度的下降幅度越大;热敏感纯系XN0437S的籽粒充实度下降幅度大于耐热纯系XN0437T,当水稻XN0437S和XN0437T遭受72 h高温热害后,耐热水稻XN0437T的籽粒充实度开始显著高于热敏感水稻XN0437S的籽粒充实度。当高温处理120 h时,XN0437S和XN0437T的籽粒充实度分别为其平行对照的51.3%和82.2%。

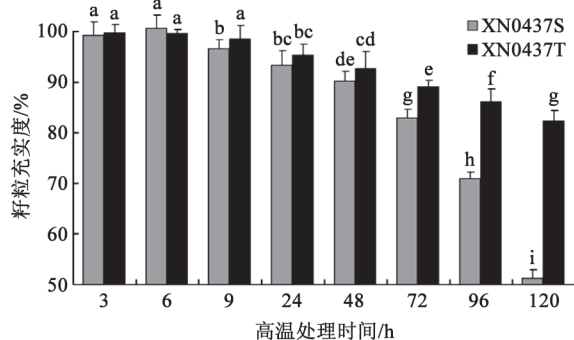


图1 高温对水稻籽粒充实度的影响

Fig.1 Effects of high temperature on rice grain plumpness  
柱形上方不同小写字母表示5%的差异显著水平。下图同此。

### 2 高温影响剑叶光合效率

图2-A显示,高温处理仅6 h后,两水稻纯系的

净光合速率较其对照下降约5%;随着高温处理时间的延长,净光合速率下降幅度越大;在相同高温处理条件下,热敏感纯系的下降幅度大于耐热纯系,当高温处理48 h后,热敏感水稻的净光合速率的下降幅度开始显著高于耐热水稻的净光合速率的下降幅度。高温处理120 h时,热敏感纯系和耐热纯系的净光合作用速率分别为其平行对照的59.9%和76.1%。

由图2-B可以看出,高温热害导致水稻剑叶的SPAD值下降,热敏感纯系的下降速度大于耐热纯系,且随着高温处理时间的延长,SPAD值的下降幅度越大,当高温处理24 h后,热敏感纯系的SPAD值的下降速度开始显著高于耐热纯系。高温处理120 h时,热敏感纯系和耐热纯系的叶绿素含量分别为其平行对照的70.1%和76.6%。

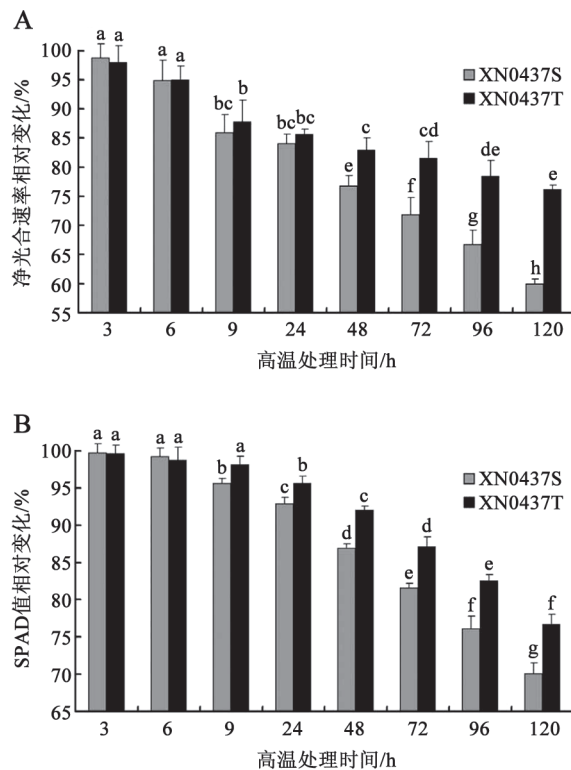


图2 高温对水稻剑叶的净光合速率和叶绿素含量的影响  
Fig.2 Effects of high temperature on the net photosynthetic rate and chlorophyll content of rice flag leave

### 3 高温热害加强细胞膜的氧化作用

由图3-A可知,高温处理后,两水稻纯系剑叶的SOD活性呈现总体上升、个别波动的趋势;耐

热纯系的SOD活性的增加幅度大于热敏感纯系的SOD活性的增加幅度,当高温处理48、72和96 h时,耐热纯系的SOD活性的增加幅度显著高于热敏感纯系的SOD活性的增加幅度。热敏感纯系在高温处理120 h时, SOD活性的增加幅度达最大值、活性较其平行对照增加了49.3%;而耐热纯系XN0437T在高温处理96 h时, SOD活性的增加幅度达最大值、活性较其平行对照增加了53.5%。

从图3-B可知,高温处理后,两纯系剑叶中的MDA含量较对照增加,随着高温处理时间的延长,MDA的增加幅度加大;热敏感纯系的MDA含量的增加幅度大于耐热纯系的MDA含量的增加幅度,当高温处理96 h后,热敏感纯系的MDA含量的增加幅度开始显著高于耐热纯系的MDA含量的增加幅度。高温处理120 h时,热敏感和耐热纯系的MDA含量分别较其平行对照增加了29.0%和18.2%。

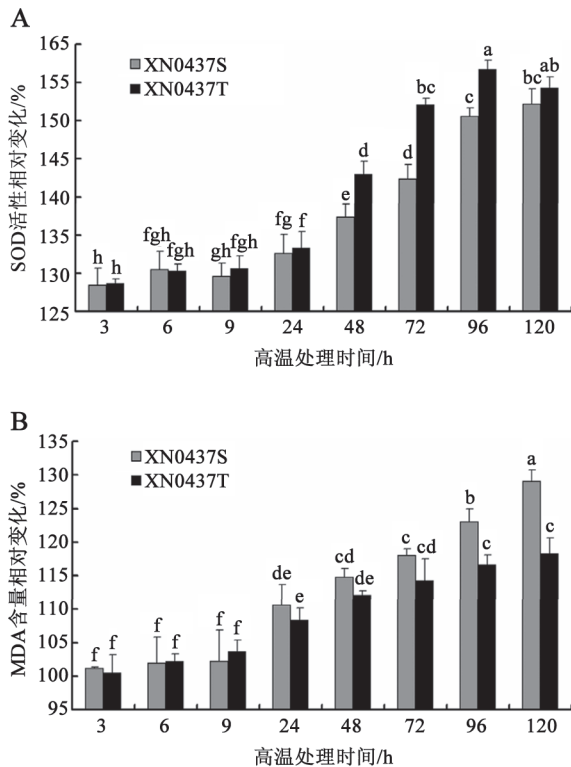


图3 高温对水稻剑叶的超氧化物歧化酶(SOD)活性和丙二醛(MDA)含量的影响

Fig.3 Effects of high temperature on the superoxide dismutase (SOD) activity and malondialdehyde (MDA) content of rice flag leaf

#### 4 高温热害增加细胞膜透性

图4显示,高温处理后,两水稻纯系的相对电导率与其对照相比,呈现上升的变化趋势,随着高温处理时间的延长,相对电导率增加越大;热敏感纯系的上升幅度大于耐热纯系,当高温处理9 h后,热敏感纯系的相对电导率的上升幅度开始显著高于耐热纯系的相对电导率的上升幅度。高温处理120 h时,热敏感和耐热纯系的相对电导率分别较其平行对照增加了36.6%和23.2%。

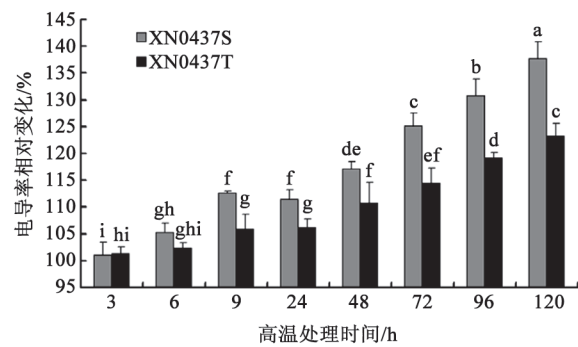


图4 高温对水稻剑叶细胞膜透性的影响

Fig.4 Effects of high temperature on the cell membrane permeability of rice flag leaf

#### 5 高温热害影响细胞内渗透调节物质含量

由图5-A可知,高温处理后,两水稻纯系的脯氨酸含量呈现上升的变化趋势,随着高温处理时间的延长,脯氨酸含量的增加幅度越大;耐热纯系的增加幅度大于热敏感纯系,当高温处理72 h后,耐热纯系的脯氨酸含量的增加幅度开始显著大于热敏感纯系的脯氨酸含量的增加幅度。高温处理120 h时,耐热纯系的脯氨酸含量较其平行对照增加了52.6%,热敏感纯系增加了38.9%。

从图5-B可以看出,随着高温处理时间的延长,两水稻纯系的可溶性糖含量较其对照都呈下降的趋势;耐热纯系的可溶性糖含量的下降幅度小于热敏感纯系,当高温处理72 h后,耐热纯系的可溶性糖含量的下降幅度开始显著低于热敏感纯系的可溶性糖含量的下降幅度。高温处理120 h时,热敏感纯系的可溶性糖含量为其平行对照的可溶性糖含量的77.7%,耐热纯系的可溶性糖含量为其平行对照的可溶性糖含量的83.7%。

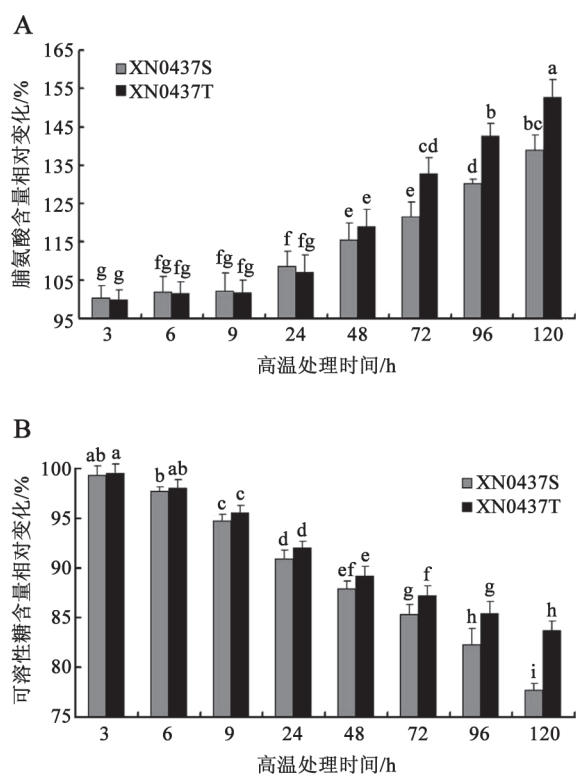


图5 高温对水稻剑叶脯氨酸和可溶性糖含量的影响  
Fig.5 Effects of high temperature on the proline and soluble sugar contents of rice flag leaf

## 讨 论

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)。此时遇高温热害会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而降低籽粒充实度(Jagadish等2007)。Lin等(2010)于抽穗至灌浆期采用白天35.0 °C、夜间30.0 °C的温度对水稻进行不同时长的高温处理后, 发现2个水稻品种的穗重和千粒重明显下降。本文在水稻灌浆初期对2个纯系进行了不同时间的高温处理, 发现水稻籽粒充实度下降, 并且随着高温处理时间的延长, 充实度下降幅度越大; 在相同高温处理条件下, 热敏感纯系籽粒充实度的下降幅度大于耐热纯系。前人主要研究了抽穗-灌浆期高温对水稻籽粒充实度或粒重的影响(Lin等2010; 周浩等2011), 而本文明确了灌浆初期高温对水稻籽粒充实度的影响。

绿色植物的光合作用包括光反应和暗反应两个过程, 光反应通过叶绿体完成能量的吸收、传

递和转换, 暗反应由一系列酶催化将活跃的化学能转变成稳定的化学能; 光合作用过程对高温非常敏感, 高温胁迫不仅破坏参与光反应的叶绿素, 也会抑制参与暗反应的酶活性, 从而影响植物的光合作用效率(潘瑞焱2004)。张桂莲等(2007)在水稻始穗期进行连续7 d的高温(平均33.5 °C)处理, 发现水稻剑叶光合速率和叶绿素含量在高温处理1 d后就有下降的趋势; 随着处理时间的延长, 剑叶光合速率和叶绿素含量继续下降, 且品种间存在差异。本文在水稻灌浆初期对2个纯系进行高温处理, 也发现水稻剑叶的叶绿素含量和净光合速率下降, 随着高温处理时间的延长, 二者下降幅度越大, 且热敏感纯系剑叶叶绿素含量和净光合速率的下降幅度大于耐热纯系。作物的产量只有极小部分物质来自根部吸收的营养物质, 而大部分物质则来自作物光合作用的产物, 因此, 我们认为高温胁迫造成剑叶光合效率降低, 导致水稻合成和积累的光合产物减少, 即源不足, 是造成水稻籽粒充实度降低, 最终造成水稻减产的生理原因之一。

植物器官衰老或在逆境下(如高温热害)遭受伤害, 往往发生膜脂过氧化作用, 产生超氧阴离子自由基和MDA, 造成细胞膜透性增加; SOD具有清除超氧阴离子自由基的作用, 因此, 植物体内SOD活性和MDA含量以及细胞膜透率可以反映植物遭受逆境伤害的程度(高俊凤2006)。张桂莲等(2006)在分析高温胁迫对水稻剑叶保护酶活性的影响时, 认为SOD活性在高温胁迫后表现先升后降的趋势, 耐用品系SOD活性的增幅大于热敏感品系; 同时, 水稻剑叶电解质外渗率升高, 耐用品系电解质外渗率小于热敏感品系。雷东阳等(2005)在抽穗期对8个耐热性不同的杂交水稻组合进行37 °C的高温胁迫7 d后, 测定各组合倒一叶和倒二叶混合物的MDA含量, 结果显示各杂交水稻组合的MDA含量极显著增加, 且耐热性强的水稻品系MDA含量增幅明显低于热敏感水稻。本文在水稻灌浆初期对2个纯系进行了不同时长的高温处理后, 也发现SOD活性、MDA含量和细胞膜透率增加, 且随着处理时间的延长, 上述3个指标的增幅加大, 且耐热纯系的SOD活性大于热敏感纯系, 而热敏感纯系的MDA含量和细胞膜透率大于耐热纯系。

可溶性糖不仅为植物的各种生命活动提供了所需的能量,而且是许多物质如纤维素、核苷酸和核酸等的组成成分,也是植物体内有效的渗透调节物质(高俊凤2006);脯氨酸普遍存在于动植物细胞中,在细胞适应胁迫过程中表现为细胞内的渗透调节剂、还原剂或能量来源、氮素储藏物质、羟基自由基清除剂、细胞内酶的保护剂以及降低细胞内酸度和调节氧化还原电势等的作用(Singer等2004;汤章城1984)。基于上述作用,可溶性糖和脯氨酸的含量变化一直作为生物耐逆境的重要评价指标。张桂莲等(2007)于抽穗期对2个耐热性不同的水稻品种进行高温处理后,分析了2个水稻品种的可溶性糖和脯氨酸含量变化;认为高温胁迫下,剑叶中的可溶性糖含量降低,脯氨酸含量增加,且随着高温胁迫时间延长,可溶性糖含量持续下降,脯氨酸含量则持续上升,耐热品系可溶性糖含量的下降幅度小于热敏感品系,而脯氨酸含量的上升幅度则大于热敏感品系。本研究在水稻灌浆初期对2个纯系进行了不同时间的高温处理后,测定处理和对照剑叶的可溶性糖和脯氨酸含量,也得出了相同的结论。

综合2个水稻纯系剑叶各生理指标在高温与常温下的变化情况,我们认为高温破坏了细胞膜的结构和功能,使细胞膜透性增加、细胞质外渗,从而改变了细胞内环境、影响了细胞内物质的合成、转换和运输等正常生理活动,导致向籽粒运输和贮藏的物质减少是造成水稻籽粒充实度降低,是最终造成水稻减产的生理原因之二。

### 参考文献

- 高俊凤(2006). 植物生理学实验指导. 北京: 高等教育出版社
- 雷东阳, 陈立云, 李稳香, 姜琴(2005). 高温对不同杂交稻开花期影响的生理差异. 农业现代化研究, 26 (5): 397~400
- 农业部优质农产品开发服务中心(1999). 中国南方粮食结构优化研究. 北京: 气象出版社, 71~75, 105~108
- 潘瑞焱(2004). 植物生理学. 第5版. 北京: 高等教育出版社, 56~94
- 彭海燕, 周曾奎, 赵永玲, 魏建苏, 杨秋明(2005). 2003年夏季长江中下游地区异常高温的分析. 气象科学, 25 (4): 355~361
- 盛婧, 陶红娟, 陈留根(2007). 灌浆结实期不同时段温度对水稻结实与稻米品质的影响. 中国水稻科学, 21 (4): 396~402
- 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
- 汤章城(1984). 逆境条件下植物脯氨酸的累积及其可能的意义. 植物生理学通讯, (1): 15~21
- 陶龙兴, 谈惠娟, 王熹, 曹立勇, 宋建, 程式华(2009). 开花和灌浆初期高温胁迫对国稻6号结实的生理影响. 作物学报, 35 (1): 110~117
- 许大全, 张玉忠, 张荣铨(1992). 植物光合作用的光抑制. 植物生理学通讯, 28 (4): 237~243
- 张桂莲, 陈立云, 张顺堂, 刘国华, 唐文邦, 贺治洲, 王明(2007). 抽穗开花期高温对水稻剑叶理化特性的影响. 中国农业科学, 40 (7): 1345~1352
- 张桂莲, 陈立云, 张顺堂, 肖应辉, 贺治洲, 雷东阳(2006). 高温胁迫对水稻剑叶保护酶活性和膜透性的影响. 作物学报, 32 (9): 1306~1310
- 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
- 张宪政(1992). 作物研究法. 北京: 中国农业出版社, 197~212
- 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
- Easterling DR, Horton B, Jones PD, Peterson TC, Karl TR, Parker DE, Salinger MJ, Razuvayev V, Plummer N, Jamason P et al (1997). Maximum and minimum temperature trends for the globe. Science, 277 (18): 364~367
- Jagdish SVK, Craufurd PQ, Wheeler TR (2007). High temperature stress and spikelet fertility in rice (*Oryza sativa* L.). J Exp Bot, 58 (7): 1627~1635
- Liao JL, Zhang HY, Liu JB, Zhong PA, Huang YJ (2012). Identification of candidate genes related to rice grain weight under high-temperature stress. Plant Sci, 196: 32~43
- Liao JL, Zhang HY, Shao XL, Zhong PA, Huang YJ (2011). Identification on heat tolerance of backcross recombinant lines and screening of backcross introgression lines with heat tolerance at milky stage in rice. Rice Sci, 18 (4): 279~286
- 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, Centena 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
- Prasad PVV, Boote KJ, Allen Jr LH, Sheehy JE, Thomas JMG (2006). Species, ecotype and cultivar differences in spikelet fertility and harvest index of rice in response to high temperature stress. Field Crops Res, 95: 398~411
- Singer AL, Bunnell SC, Obstfeld AE, Jordan MS, Wu JN, Myung PS, Samelson LE, Koretzky GA (2004). Roles of the proline-rich domain in SLP-76 subcellular localization and T cell function. J Biol Chem, 279 (15): 15481~15490
- Welch JR, Vincent JR, Auffhammer M, Moya PF, Dobermann A, Dawe D (2010). Rice yields in tropical/subtropical Asia exhibit large but opposing sensitivities to minimum and maximum temperatures. Proc Natl Acad Sci USA, 107 (33): 14562~14567