

高温胁迫下 2 个超级杂交稻组合耐受性比较

朱校奇^{1,2}, 邓启云^{2,3,①}, 龙世平¹, 陈春光², 朱春晖⁴, 彭福元¹

(1. 湖南省农业科学院农业生物资源研究所, 湖南 长沙 410125; 2. 中南大学研究生院隆平分院, 湖南 长沙 410125; 3. 国家杂交水稻工程技术研究中心, 湖南 长沙 410125; 4. 湖南省植物保护研究所, 湖南 长沙 410125)

摘要: 在抽穗开花期对 2 个超级杂交稻组合‘Y 两优 1 号’和‘两优培九’进行了高温胁迫处理, 比较研究了这 2 个超级杂交稻组合对高温胁迫的耐受性。实验结果显示, 经高温胁迫后, ‘Y 两优 1 号’和‘两优培九’头季稻的花药开裂系数和花粉可染率均显著下降 ($P < 0.05$), 结实率则分别下降 6.07% 和 54.48%, 千粒重分别下降 9.03% 和 9.98%, ‘两优培九’的各指标降幅均大于‘Y 两优 1 号’。经高温胁迫后, ‘Y 两优 1 号’和‘两优培九’头季稻剑叶中的叶绿素含量较各自的对照分别下降 1.18% 和 3.20%, POD 和 CAT 活性均呈先升高后下降再升高的趋势, MDA 含量则呈先下降后升高再下降的趋势, ‘Y 两优 1 号’的 POD 和 CAT 活性总体上高于‘两优培九’, MDA 含量总体上低于‘两优培九’。高温胁迫导致‘Y 两优 1 号’和‘两优培九’再生稻的活芽率、平均芽长以及单茎腋芽数均显著下降, 且后者再生稻各指标的降幅大于前者; 高温胁迫对‘Y 两优 1 号’和‘两优培九’再生稻的再生率和每穗总粒数的影响不明显, 但均使再生稻的结实率和千粒重降低, 且‘两优培九’再生稻的结实率和千粒重与对照差异显著 ($P < 0.05$)。高温胁迫对‘Y 两优 1 号’和‘两优培九’头季稻的热害指数分别为 0.19 和 0.56, 对再生稻的热害指数分别为 0.04 和 0.13, 差异显著 ($P < 0.05$)。研究表明, 在抽穗开花期, ‘Y 两优 1 号’对高温胁迫的耐受性高于‘两优培九’, 且头季稻耐高温有利于再生芽的生长。

关键词: 超级杂交稻; 高温胁迫; ‘Y 两优 1 号’; 耐受性; 产量构成因素; 热害指数

中图分类号: S511.034; Q948.112⁺.2 文献标志码: A 文章编号: 1004-0978(2009)02-0028-06

Comparison of tolerance of two super hybrid rice combinations under high temperature stress

ZHU Xiao-qi^{1,2}, DENG Qi-yun^{2,3,①}, LONG Shi-ping¹, CHEN Chun-guang², ZHU Chun-hui⁴, PENG Fu-yuan¹ (1. Institute of Agri-biological Resources, Hu'nan Academy of Agricultural Sciences, Changsha 410125, China; 2. Longping Branch, College of Graduate Student, Central South University, Changsha 410125, China; 3. China National Hybrid Rice Research and Development Center, Changsha 410125, China; 4. Hu'nan Plant Protection Institute, Changsha 410125, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2009, **18**(2): 28-33

Abstract: Two super hybrid rice combinations ‘No. 1 of Y liangyou’ and ‘Liangyoupeijiu’ were subjected to high temperature stress treatment during the period from heading to flowering, and their tolerance were analyzed. The results show that after high temperature stress, the anther dehiscence coefficient and stainable pollen grain percentage of main crop rice of ‘No. 1 of Y liangyou’ and ‘Liangyoupeijiu’ decrease significantly ($P < 0.05$). The setting rate decreases 6.07% and 54.48%, and the 1 000-grain weight falls 9.03% and 9.98%, respectively, and ‘Liangyoupeijiu’ has a bigger decline of each index than ‘No. 1 of Y liangyou’. Compared to the controls, the chlorophyll content in flag leaf of main crop rice of ‘No. 1 of Y liangyou’ and ‘Liangyoupeijiu’ decreases 1.18% and 3.20%, respectively. POD and CAT activities of the two combinations increase, then decrease, and increase again, while the MDA content decreases, then increases, and decreases again. On the whole, ‘No. 1 of Y liangyou’ has higher POD and CAT activities and lower MDA content than ‘Liangyoupeijiu’. High temperature stress leads to significant decrease of living bud rate, average bud length and bud number per

收稿日期: 2008-12-08

基金项目: 国家科学技术部农业科技成果转化资金项目(2006GB2D200); 湖南省农业科学院院长基金项目(05-18)

作者简介: 朱校奇(1961—), 男, 湖南平江人, 博士, 研究员, 主要从事农业生物资源研究及其管理工作。

①通讯作者 E-mail: dqy100@163.com

stem of ratoon rice of the two combinations, and the ratoon rice of ‘Liangyoupeijiu’ has a bigger decline of each index than the ratoon rice of ‘No. 1 of Y liangyou’. High temperature stress has no obvious effects on the regeneration rate and grain number per panicle of ratoon rice of the two combinations, but causes decrease of setting rate and 1 000-grain weight, and the setting rate and 1 000-grain weight of ratoon rice of ‘Liangyoupeijiu’ are significantly different with the controls ($P < 0.05$). The difference of heat injury index between the two combinations is significant ($P < 0.05$), the heat injury index of main crop rice of ‘No. 1 of Y liangyou’ and ‘Liangyoupeijiu’ is 0.19 and 0.56, and the heat injury index of ratoon rice is 0.04 and 0.13, respectively. It is suggested that during the period from heading to flowering, ‘No. 1 of Y liangyou’ has higher tolerance to high temperature stress than ‘Liangyoupeijiu’, and the heat resisting ability of main crop rice is beneficial to the growth of regeneration bud.

Key words: super hybrid rice; high temperature stress; ‘No. 1 of Y liangyou’; tolerance; yield component; heat injury index

随着工业化进程的加快,全球生态环境日趋恶化,温室效应导致全球气温持续升高,20世纪全球的平均气温已经上升了 $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,到21世纪末全球的平均气温将上升 $1.4\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 5.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[1-2]。水稻(*Oryza sativa* L.)在生长过程中遭遇夏季高温影响的几率非常高,受高温热害的风险较大^[3]。一般情况下,当日平均气温 $\geq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或日最高气温 $\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,可称为高温。高温热害是世界水稻种植区的主要自然灾害之一^[4-5]。在2003年7月中旬至8月上旬,中国南方稻区出现了历史上罕见的高温天气,部分稻区 $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上的高温天气持续了20 d,最高气温达到了 $41.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,此期热害对正处于抽穗扬花期的中稻造成了很大危害。湖南省南县近 $1\ 300\text{ hm}^2$ ‘两优培九’超级杂交稻的结实率降至60%以下,个别区域的结实率更是低至9.5%,单产仅 $1.125\text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[6]。

夏季高温会引起水稻结实不正常,如不灌浆或灌浆不良产生大量空瘪粒,使实粒重减少,导致减产,并影响稻米品质^[7]。要提高水稻品种对光、温的利用能力,除了培育理想的株型来提高光合能力外,还要求水稻对外界条件的光、温环境有较强的适应能力^[8]。因此,开展水稻耐热性研究已成为水稻科学研究中的重要课题之一,对促进水稻生产持续稳定地发展和保障粮食安全具有深远意义。

近几年来,中国超级稻的研发取得了长足进展。‘Y两优1号’是国家杂交水稻工程技术研究中心新育成的超级杂交稻组合,2006年通过湖南省农作物品种审定委员会审定并被国家农业部确认为广适型超级稻品种,在其试验示范期间表现出较耐高温的特性。鉴于此,笔者以超级杂交稻先锋组合‘两优培九’为对照,着重从花粉和花药特性、结实率、叶片叶绿素含量和抗氧化酶活性及丙二醛含量变化

等方面,对超级杂交稻新组合‘Y两优1号’在抽穗开花期对高温胁迫的耐受性表现以及高温胁迫对其再生特性的影响进行了比较分析,以期超级杂交稻的研发提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料

供试的超级杂交稻组合‘Y两优1号’(‘Y58S’/‘9311’)和‘两优培九’(‘培矮64S’/‘9311’)种子均由国家杂交水稻工程技术研究中心提供。

1.2 方法

1.2.1 水稻育苗及高温处理方法 于2007年3月24日采用薄膜育秧法在国家杂交水稻工程技术研究中心试验田内进行播种。秧龄30 d时插单本,株距 20.0 cm 、行距 26.7 cm ,小区面积 15 m^2 。

高温处理前10天,选择生育进程基本一致的水稻植株连泥土移植至钵钵中,每个杂交稻组合各移植10钵,每钵3株;在始穗期将钵钵移入人工气候室内进行高温处理,每天8:00至19:00处理温度为 $38\text{ }^{\circ}\text{C}$,19:00至次日8:00处理温度为 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$,日平均气温 $33.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (根据距试验地约600 m的长沙马坡岭气象站2007年7月气象资料显示,同期试验大田的日平均气温为 $30.5\text{ }^{\circ}\text{C}$);另在网室内进行对照试验。连续高温处理6 d后,将水稻苗移至网室内让其自然生长。头季稻成熟时撩穗收割,保留植株的倒2节,蓄留再生稻。

1.2.2 测定方法 于高温处理第3天,取当天或次日将开放的颖花5枚,用镊子取每枚小花中的全部花药,用 $\text{I}_2 - \text{KI}$ 溶液染色后,在低倍显微镜下观察,

每处理 5 个制片, 每片观察 3 个视野, 统计花粉可染率。于高温处理第 3 天, 选取已开放的小花, 用镊子剥去颖壳, 在显微镜下直接观察花药的开裂状况, 每处理观察 30 朵小花^[9], 花药开裂系数的计算公式为: 花药开裂系数 = 开裂花药数/镜检花药总数。于高温胁迫处理结束后第 2 天(抽穗期), 随机选取剑叶, 用手持便携式 Minolta-502 型叶绿素测定仪(日本产)测定叶绿素含量, 每片叶的测定部位相对一致, 每处理各测定 5 片叶, 叶绿素含量以 SPAD 值计量。于收割后第 3 天取样, 徒手剥离叶鞘, 观测单茎腋芽数和芽长, 并计算活芽率。分别于高温处理的第 1 天、第 3 天、第 5 天及处理后的第 2 天取剑叶和倒 2 叶混合, 参照陈建勋^[10]和李合生^[11]的方法测定过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)活性及丙二醛(MDA)含量, 每处理 3 次重复。在头季稻和再生稻籽粒成熟后, 分单株收获、考种, 统计再生率并计算每穗总粒数、结实率、千粒重及热害指数等。热害指数 = (对照结实率 - 高温处理结实率)/对照结实率。

1.3 数据处理

使用 Excel 软件进行相关数据的处理, 用 DPS

301 软件进行数据的统计分析。

2 结果和分析

2.1 高温胁迫对头季稻花药、花粉和产量构成因素的影响

通常情况下, 植物的花器官对高温胁迫的反应比较敏感。经过始穗期的高温处理后, 超级杂交稻组合‘Y 两优 1 号’和‘两优培九’头季稻的花药开裂系数和花粉可染率见表 1。由表 1 可以看出, 高温胁迫对 2 个超级杂交稻组合的花药开裂系数和花粉可染率的影响较一致, 经高温处理后二者的花药开裂系数和花粉可染率均显著下降($P < 0.05$), 且‘两优培九’的下降幅度比‘Y 两优 1 号’更大, 说明‘Y 两优 1 号’花粉受高温的影响相对较小。由于高温可能通过影响水稻颖花的退化进而影响每穗总粒数^[1], 而供试的 2 个超级杂交稻组合经高温处理后的每穗总粒数均与各自的对照差异不显著($P > 0.05$)(表 1), 说明抽穗开花期的高温不会引起超级杂交稻组合‘Y 两优 1 号’和‘两优培九’颖花的显著退化。

表 1 高温胁迫对 2 个超级杂交稻组合头季稻花药、花粉和产量构成因素的影响¹⁾

Table 1 Effects of high temperature stress on anther, pollen and yield component of main crop rice of the two super hybrid rice combinations (*Oryza sativa* L.)¹⁾

杂交组合 Hybrid combination	处理组 Treatment group	花药开裂系数 Anther dehiscence coefficient	花粉可染率/% Stainable pollen grain percentage	每穗总粒数 Grain number per panicle	结实率/% Setting rate	千粒重/g 1 000-grain weight	热害指数 Heat injury index
Y 两优 1 号 No. 1 of Y liangyou	对照 CK 高温 High temperature	0.93a 0.81b	92.6a 79.7b	181.1a 179.8a	77.4a 72.7a	25.24a 22.96b	0.19b
两优培九 Liangyoupeijiu	对照 CK 高温 High temperature	0.89ab 0.57c	91.9ab 59.4c	187.2a 188.9a	71.4a 32.5b	24.64a 22.18b	0.56a

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示在 5% 水平上差异显著 The different small letters in the same column indicate the significant difference at 5% level.

在水稻生殖生长期, 温度等环境因素变化会导致花粉败育或子房受精受阻, 最终表现为结实率下降。由表 1 可见, 在高温胁迫条件下, ‘Y 两优 1 号’头季稻结实率的下降幅度不显著, 与对照相比, 仅下降 6.07%; 而‘两优培九’的下降幅度较显著, 与对照相比, 结实率下降了 54.48%。说明‘Y 两优 1 号’对高温反应较不敏感。经高温处理后, 2 个超级杂交稻组合头季稻的千粒重均低于各自的对照组, ‘Y 两优 1 号’和‘两优培九’的千粒重分别较对照组下降

9.03% 和 9.98%。

高温处理对‘Y 两优 1 号’和‘两优培九’头季稻的热害指数分别为 0.19 和 0.56(表 1), 且二者间的差异达到显著水平($P < 0.05$), 表明在抽穗开花期, ‘Y 两优 1 号’耐高温的能力强于‘两优培九’。

2.2 高温胁迫对头季稻叶绿素含量的影响

经过高温胁迫处理后, 2 个超级杂交稻组合头季稻剑叶中的叶绿素含量见表 2。表 2 结果显示, 经高温处理后, ‘Y 两优 1 号’和‘两优培九’剑叶中的叶

绿素含量均较各自的对照有所下降,其中‘Y两优1号’处理组剑叶中的叶绿素含量较对照下降了1.18%,‘两优培九’剑叶中的叶绿素含量较对照下降了3.20%,前者降幅较后者小,说明高温胁迫对‘Y两优1号’剑叶叶绿素含量的影响较‘两优培九’小,但影响程度不显著。

表2 高温胁迫后2个超级杂交稻组合头季稻剑叶中叶绿素含量(以SPAD值表示)的比较

Table 2 Comparison of chlorophyll content (represented by SPAD value) in flag leaf of main crop rice of the two super hybrid rice combinations (*Oryza sativa* L.) after high temperature stress

杂交组合 Hybrid combination	处理组 Treatment group	SPAD值 SPAD value
Y两优1号 No. 1 of Y liangyou	对照 CK 高温 High temperature	42.4 41.9
两优培九 Liangyoupeiuiu	对照 CK 高温 High temperature	43.7 42.3

2.3 高温胁迫对头季稻抗氧化酶活性及丙二醛(MDA)含量的影响

过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)都是植

物体内 H_2O_2 等活性氧的清除酶,它们与超氧化物歧化酶(SOD)等协同作用以维持体内活性氧代谢的平衡。经高温胁迫后,2个超级杂交稻组合头季稻叶片的POD和CAT活性变化见表3。由表3可见,高温处理对‘Y两优1号’和‘两优培九’叶片的POD和CAT活性的影响较一致,2个超级杂交稻组合叶片的POD和CAT活性均在高温胁迫第3天时有所上升,胁迫第5天时下降,高温胁迫结束后第2天恢复至胁迫初期水平。从总体趋势上看,‘Y两优1号’的POD和CAT活性均高于‘两优培九’。

高温胁迫对2个超级杂交稻组合头季稻叶片中MDA含量的影响见表3。由表3可以看出,‘Y两优1号’和‘两优培九’叶片的MDA含量在胁迫第3天时有所下降,胁迫第5天时升高,胁迫结束后第2天又有所下降。实验结果显示,2个超级杂交稻组合叶片的MDA含量变化的总趋势与POD和CAT活性的变化趋势相反,表现为‘Y两优1号’低于‘两优培九’。

表3 高温胁迫对2个超级杂交稻组合头季稻叶片POD和CAT活性及MDA含量的影响

Table 3 Effects of high temperature stress on POD and CAT activities and MDA content in leaf of main crop rice of the two super hybrid rice combinations (*Oryza sativa* L.)

杂交组合 Hybrid combination	取样时间 Sampling time	酶活性/ $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ Enzyme activity		丙二醛含量/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ MDA content
		POD	CAT	
Y两优1号 No. 1 of Y liangyou	胁迫第1天 The 1st day of stress	374.8	25.52	19.36
	胁迫第3天 The 3rd day of stress	414.8	27.12	17.74
	胁迫第5天 The 5th day of stress	288.8	17.36	24.45
	胁迫结束后第2天 The 2nd day after stress	342.4	32.64	19.03
两优培九 Liangyoupeiuiu	胁迫第1天 The 1st day of stress	365.2	23.40	18.74
	胁迫第3天 The 3rd day of stress	399.6	27.48	17.94
	胁迫第5天 The 5th day of stress	261.6	18.21	25.81
	胁迫结束后第2天 The 2nd day after stress	313.2	31.28	21.79

2.4 高温胁迫对再生芽生长的影响

头季稻收割后第3天,经过高温胁迫后的2个超级杂交稻组合再生芽的生长状况见表4。由表4可见,高温胁迫对‘Y两优1号’和‘两优培九’头季稻收割后再生芽的活芽率和平均芽长的影响较一致,均可导致再生芽的活芽率和平均芽长显著下降,且‘两优培九’的下降幅度比‘Y两优1号’更大;经高温胁迫后,2个超级杂交稻组合的单茎腋芽数也都较对照显著下降(表4),且‘两优培九’的下降幅度大于‘Y两优1号’并达到显著水平。研究结果显示,就再生芽生长而言,高温胁迫对‘Y两优1号’的

影响小于对‘两优培九’的影响。由于头季稻抽穗开花期正处于盛夏(7月中旬)高温季节,因而,耐高温能力强的超级杂交稻组合的再生芽生长状况优于耐高温能力略弱的超级杂交稻组合。

2.5 高温胁迫对再生率和再生稻产量构成因素的影响

高温胁迫对2个超级杂交稻组合再生率和再生稻产量构成因素的影响见表5。从表5的数据可以看出,经高温胁迫后,‘Y两优1号’和‘两优培九’的再生率均较对照有所下降,但差异均不显著;高温胁迫对2个超级杂交稻组合再生稻每穗总粒数的影响

也很小,均与各自的对照差异不显著;就再生稻的结实率和千粒重而言,经高温胁迫后的‘Y两优1号’与对照差异不显著,而经高温胁迫后的‘两优培九’则较对照显著降低($P < 0.05$),说明头季稻抽穗开花期的高温胁迫对再生稻产量构成因素的影响因品种而异。需要说明的是,2个供试超级杂交稻组合对

照组的再生稻结实率也很低,这可能是网室及钵钵生长环境条件劣于大田所致。

经高温胁迫后,‘Y两优1号’再生稻的热害指数较‘两优培九’低(表5),且二者差异显著($P < 0.05$),也说明‘Y两优1号’耐高温胁迫的能力较‘两优培九’强。

表4 高温胁迫后2个超级杂交稻组合再生芽生长指标的比较¹⁾

Table 4 Comparison of growth indexes of regeneration buds of ratoon rice of the two super hybrid rice combinations (*Oryza sativa* L.) after high temperature stress¹⁾

杂交组合 Hybrid combination	处理组 Treatment group	活芽率/% Living bud rate	平均芽长/cm Average bud length	单茎腋芽数 Bud number per stem
Y两优1号 No. 1 of Y liangyou	对照 CK	96.9a	2.63a	3.88a
	高温 High temperature	84.4b	0.69b	3.50b
两优培九 Liangyoupeijiu	对照 CK	95.4a	2.61a	3.80a
	高温 High temperature	81.6b	0.47b	3.22c

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示在5%水平上差异显著 The different small letters in the same column indicate the significant difference at 5% level.

表5 高温胁迫对2个超级杂交稻组合再生稻的再生率和产量构成因素的影响¹⁾

Table 5 Effects of high temperature stress on regeneration rate and yield component of ratoon rice of the two super hybrid rice combinations (*Oryza sativa* L.)¹⁾

杂交组合 Hybrid combination	处理组 Treatment group	再生率/% Regeneration rate	每穗总粒数 Grain number per panicle	结实率/% Setting rate	千粒重/g 1 000-grain weight	热害指数 Heat injury index
Y两优1号 No. 1 of Y liangyou	对照 CK	128.6a	58.1a	48.0a	24.78a	
	高温 High temperature	123.8a	58.2a	46.1a	24.50a	0.04b
两优培九 Liangyoupeijiu	对照 CK	130.0a	61.3a	49.1a	24.60a	
	高温 High temperature	126.1a	62.0a	42.7b	22.84b	0.13a

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示在5%水平上差异显著 The different small letters in the same column indicate the significant difference at 5% level.

3 结论和讨论

据报道^[12-14],高温造成水稻减产的主要原因是花药的开裂度降低,从而造成花粉散出量减少,继而导致不育花的数量增加。李训贞等的研究结果表明^[15],高温等不利环境因素能显著影响水稻的花粉发育和花粉育性,从而降低结实率及产量。花药开裂系数的生物学含义是表示花药散落花粉的效率,花药开裂系数值大,表明花粉散落的效率高,柱头易着粉;花药开裂系数值小,说明花粉散落的效率低,柱头不易着粉。本实验结果显示,在抽穗开花期,高温胁迫可导致超级杂交稻组合‘Y两优1号’和‘两优培九’的花药开裂系数和花粉可染率下降,且‘两优培九’的降幅大于‘Y两优1号’,说明‘Y两优1号’的花粉受高温胁迫的影响相对较小,耐高温的能

力强于‘两优培九’。

研究结果显示,高温胁迫对‘两优培九’的热害指数明显高于‘Y两优1号’,而且‘两优培九’的结实率下降幅度较大(54.48%),而‘Y两优1号’的结实率下降幅度仅为6.07%,但2个超级杂交稻组合每穗总粒数的增减都不明显,这可能是由于水稻抽穗开花期颖花总量已基本确定,高温并没有导致颖花显著退化,但却使花粉败育,致使空秕粒增多,从而造成结实率降低^[2]。水稻花药的开裂状况参与了小穗受精的控制,并在特定条件下成为影响受精的主要因素,花粉育性和裂药特性通过控制柱头上萌发花粉量而成为影响小穗正常受精的重要因素^[16]。因而,可以推断高温条件下水稻植株雄性器官和育性的异常是造成其结实率偏低的重要原因。

在头季稻的抽穗开花期进行高温胁迫处理,对‘Y两优1号’再生稻再生芽生长的影响较‘两优培

九’小,且经高温胁迫后的‘Y两优1号’再生稻的结实率和千粒重与对照差异不显著,而‘两优培九’再生稻的结实率和千粒重则较对照显著降低($P < 0.05$),也说明‘Y两优1号’耐高温胁迫的能力较‘两优培九’强。

逆境下植物遭受胁迫伤害的主要特征之一是活性氧产生和清除的代谢平衡被打破,导致活性氧积累和细胞结构被破坏^[17]。本研究结果显示,高温胁迫初期,2个超级杂交稻组合叶片的POD和CAT活性呈上升趋势,而后大幅度下降,说明抽穗开花期的高温胁迫可使水稻叶片中的保护酶活性降低,也即:胁迫初期,POD和CAT活性增加,活性氧清除能力较高;随着胁迫时间延长,POD和CAT活性下降,清除能力降低。此外,‘Y两优1号’的POD和CAT活性都高于‘两优培九’,具有较强的活性氧清除能力。因而,作物抗高温逆境的能力与保护酶活性的高低及其防御功能是密切相关的^[18]。此外,高温胁迫可导致植物细胞质膜过氧化,MDA是膜脂过氧化作用的主要产物之一,其含量是反映细胞膜脂过氧化作用强弱和膜脂破坏程度的重要指标^[19-20],高温胁迫下MDA含量在一定程度上反映了其抗逆性的差异,‘Y两优1号’的MDA含量在大多数情况下低于‘两优培九’,可见前者的耐高温能力较后者强。总之,‘Y两优1号’叶片的保护酶活性基本上高于‘两优培九’,而MDA含量则基本上低于‘两优培九’,这些都是‘Y两优1号’在抽穗开花期较耐高温的重要生理基础。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate Change 2001: the Scientific Basis [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001: 101-125.
- [2] 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: 自然科学版, 2007, 33(2): 132-136.
- [3] 葛道阔, 金之庆, 石春林, 等. 气候变化对中国南方水稻生产的阶段性影响及适应性对策[J]. 江苏农业学报, 2002, 18(1): 1-8.
- [4] Yoshida S, Satake T, Mackill D S. High temperature stress in rice [C]//IRRI Research Paper Series No. 67. Manila: IRRI, 1981.
- [5] Maestri E, Klueva N, Perrotta C, et al. Molecular genetics of heat tolerance and heat shock proteins in cereals [J]. Plant Molecular Biology, 2002, 48: 667-681.
- [6] 刘厚敖, 宋忠华, 刘云开, 等. 湖南省高温的时空分布与水稻生产的利用对策[J]. 农业现代化研究, 2005, 26(6): 453-455.
- [7] 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.
- [8] 焦德茂, 童红玉, 张建喜. 水稻适应广幅光强的光合特性及品种间差异[J]. 中国水稻科学, 1993, 7(4): 243-246.
- [9] 隗 溟, 王光明, 陈国惠, 等. 盛花期高温对两系杂交稻两优培九结实率的影响研究[J]. 杂交水稻, 2002, 17(1): 51-53.
- [10] 陈建勋, 王晓峰. 植物生理学实验指导[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2002: 119-121.
- [11] 李合生, 孙 群, 赵世杰, 等. 植物生理生化试验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 167-169.
- [12] Matsui T, Omasa K, Horie T. The difference in sterility due to high temperature during the flowering period among japonica rice varieties[J]. Plant Production Science, 2001, 4(2): 90-93.
- [13] 杨惠成, 黄仲青, 蒋之垠, 等. 2003年安徽早中稻花期热害及防御技术[J]. 安徽农业科学, 2004, 32(1): 3-4.
- [14] 罗丽华, 刘国华, 肖应辉, 等. 高温胁迫对水稻花粉和小穗育性及稻谷粒重的影响[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2005, 31(6): 593-596.
- [15] 李训贞, 梁满中, 周广洽, 等. 水稻开花时的环境条件对花粉活力和结实的影响[J]. 作物学报, 2002, 28(3): 417-420.
- [16] 朱晓红, 曹显祖, 朱庆森. 水稻籼粳亚种间杂种小穗不孕的细胞学研究[J]. 中国水稻科学, 1996, 10(2): 71-78.
- [17] Elstner E F, Wagner G A, Schutz W. Activated oxygen in green plants in relation to stress situations[J]. Current Topics in Plant Biochemistry and Physiology, 1988, 7: 159-187.
- [18] 李木英, 石庆华, 许锦彪, 等. 不同早稻品种灌浆期高温胁迫后根系生理差异研究[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(3): 105-107.
- [19] 彭文博, 王向阳, 赵会杰, 等. 不同光温条件对小麦旗叶生理特性及粒重的影响[J]. 植物生理学通讯, 1992, 28(6): 421-423.
- [20] 李 敏, 马 均, 王贺正, 等. 水稻开花期高温胁迫条件下生理生化特性的变化及其与品种耐热性的关系[J]. 杂交水稻, 2007, 22(6): 62-66.