

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 23 期
Vol.30 No.23
2010



中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 30 卷 第 23 期 2010 年 12 月 (半月刊)

目 次

1940—2002 年长江中下游平原乡村景观区域中耕地类型及其土壤氮磷储量的变化	武俊喜,程 序,焦加国,等 (6309)
海洋生态资本概念与属性界定	陈 尚,任大川,李京梅,等 (6323)
海洋生态资本价值结构要素与评估指标体系	陈 尚,任大川,夏 涛,等 (6331)
黔中喀斯特山区退化生态系统生物量结构与 N、P 分布格局及其循环特征	杜有新,潘根兴,李恋卿,等 (6338)
长白山阔叶红松林林地槭属树木木生真菌的群落组成和分布	魏玉莲,戴玉成,袁海生,等 (6348)
内蒙古退化荒漠草原土壤细菌群落结构特征	吴永胜,马万里,李 浩,等 (6355)
盐度对尖瓣海莲幼苗生长及其生理生态特性的影响	廖宝文,邱凤英,张留恩,等 (6363)
基于树轮火疤塔河蒙克山樟子松林火灾的频度分析	胡海清,赵致奎,王晓春,等 (6372)
不同农业景观结构对麦蚜种群动态的影响	赵紫华,石 云,贺达汉,等 (6380)
黑河中游荒漠灌丛斑块地面甲虫群落分布与微生境的关系	刘继亮,李锋瑞,刘七军,等 (6389)
刺槐树冠光合作用的空间异质性	郑 元,赵 忠,周 慧,等 (6399)
南海北部夏季基础生物生产力分布特征及影响因素	宋星宇,刘华雪,黄良民,等 (6409)
怒江三种裂腹鱼属鱼类种群遗传结构	岳兴建,汪登强,刘绍平,等 (6418)
大型水生植物对重金属的富集与转移	潘义宏,王宏镔,谷兆萍,等 (6430)
依据大规模捕捞统计资料分析东黄渤海白姑鱼种群划分和洄游路线	徐兆礼,陈佳杰 (6442)
正交试验法分析环境因子对苦草生长的影响	朱丹婷,李铭红,乔宁宁 (6451)
基于中分辨率 TM 数据的湿地水生植被提取	林 川,官兆宁,赵文吉 (6460)
基于 CVM 的三江平原湿地非使用价值评价	敖长林,李一军,冯 磊,等 (6470)
耕地易地补充经济补偿的生态价值——以江阴市和兴化市为例	方 斌,杨 叶,郑前进,等 (6478)
自然旅游地居民自然保护态度的影响因素——中国九寨沟和英国新森林国家公园的比较	程绍文,张 捷,徐菲菲 (6487)
基于 PSR 方法的区域生态安全评价	李中才,刘林德,孙玉峰,等 (6495)
灌浆期高温对水稻光合特性、内源激素和稻米品质的影响	滕中华,智 丽,吕 俊,等 (6504)
秦岭北坡不同生境栓皮栎实生苗生长及其影响因素	马莉薇,张文辉,薛瑶芹,等 (6512)
子午岭三种生境下辽东栎幼苗定居限制	郭 华,王孝安,朱志红 (6521)
温度、盐度对龟足胚胎发育和幼虫生长的联合影响	饶小珍,林 岗,张殿彩,等 (6530)
锡林郭勒盟气候干燥度的时空变化规律	王海梅,李政海,韩国栋,等 (6538)
北京市水足迹及农业用水结构变化特征	黄 晶,宋振伟,陈 阜 (6546)
延安北部丘陵沟壑区退耕还林(草)成效的遥感监测	孙智辉,雷延鹏,卓 静,等 (6555)
冰川前缘土壤微生物原生演替的生态特征——以乌鲁木齐河源 1 号冰川为例	王晓霞,张 涛,孙 建,等 (6563)
储藏方式和时间对三峡水库消落区一年生植物种子萌发的影响	申建红,曾 波,施美芬,等 (6571)
云南普洱季风常绿阔叶林演替系列植物和土壤 C、N、P 化学计量特征	刘万德,苏建荣,李帅锋,等 (6581)
青藏高原高寒矮嵩草草甸碳增汇潜力估测方法	曹广民,龙瑞军,张法伟,等 (6591)
基于 CEVSA2 模型的亚热带人工针叶林长期碳通量及碳储量模拟	顾峰雪,陶 波,温学发,等 (6598)
太原盆地土壤呼吸的空间异质性	张义辉,李洪建,荣燕美,等 (6606)
专论与综述	
热带森林碳汇或碳源之争	祁承经,曹福祥,曹受金 (6613)
景观对河流生态系统的影响	欧 洋,王晓燕 (6624)
自由空气中臭氧浓度升高对大豆的影响	杨连新,王云霞,赵秩鹏,等 (6635)
研究简报	
基于生态系统服务价值的区域生态补偿——以山东省为例	王女杰,刘 建,吴大千,等 (6646)
鹤伴山国家森林公园土壤甲螨群落结构	许士国,付荣恕 (6654)
栓皮栎人工林树干液流对不同时间尺度气象因子及水面蒸发的响应	桑玉强,张劲松,孟 平,党宏忠,等 (6661)
赤眼蜂发育速率对梯度恒温的响应	陈洪凡,岑冠军,黄寿山 (6669)
学术信息与动态	
GIS 和遥感技术在生态安全评价与生物多样性保护中的应用	李文杰,张时煌 (6674)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 374 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 42 * 2010-12	

灌浆期高温对水稻光合特性、内源激素和稻米品质的影响

滕中华¹, 智丽², 吕俊¹, 宗学风¹, 王三根^{1,*}, 何光华¹

(1. 西南大学农学与生物科技学院, 重庆 400716; 2. 西南大学园艺园林学院, 重庆 400716)

摘要:以2个籼稻品种:温度钝感型品种 K30 和温度敏感型品种 R21 为材料,利用人工气候室控温,在水稻灌浆期设置高温(日均温度 34.9℃)和适温(日均温度 28.0℃)处理,测定不同灌浆时期(5, 10, 15, 20, 25d 和 30d)光合特性、内源激素含量及稻米品质的变化。结果表明,高温增强了 K30 的光合能力, K30 高温处理净光合速率(P_n)在整个灌浆期都明显高于对照; R21 在灌浆前期(5、10d 和 15d)高温处理与适温处理 P_n 差异不明显,在灌浆后期(20、25d 和 30d)高温处理 P_n 下降。高温增加了 K30 叶片和籽粒脱落酸(ABA)含量;而 R21 高温处理和适温处理叶片与籽粒 ABA 含量的对比不明显。高温处理对两个水稻品种叶片和籽粒赤霉素(GA_3)与生长素(IAA)含量也有不同程度影响。高温胁迫降低稻米品质,但 K30 比 R21 表现出更强的温度钝感特性。

关键词:高温胁迫;水稻;光合特性;内源激素;稻米品质

Effects of high temperature on photosynthesis characteristics, phytohormones and grain quality during filling-periods in rice

TENG Zhonghua¹, ZHI Li², LÜ Jun¹, ZONG Xuefeng¹, WANG Sangen^{1,*}, HE Guanghua¹

¹ College of Agronomy and Biotechnology, Southwest University, 400716 Chongqing, China

² College of Horticulture and Landscape Architecture, Southwest University, 400716 Chongqing, China

Abstract: Rice is one of the most important food crops in the world. In recent years, extremely and constantly high temperature often appears in many parts of China in summer, and it leads to high frequency of the heat injury in rice. The hazard of high temperature is serious to the forming of grain quality in rice filling-period. To reveal the physiological adaptation mechanism of high temperature stress in rice, two rice cultivars (*Oryza sativa* L. *indica*), K30-insensitive to high temperature, and R21-sensitive to high temperature, were treated with high temperature 34.9℃ and normal temperature 28.0℃ in artificial climate chamber, and the photosynthesis, endogenous phytohormones and grain quality were measured during grain-filling period at 5 d, 10 d, 15 d, 20 d, 25 d and 30 d. The results showed that the net photosynthesis rate (P_n) of K30 increased during whole grain-filling period under high temperature stress, whereas P_n of R21 changed little during early stage of filling period (5 d, 10 d and 15 d) and dropped during late stage (20 d, 25 d and 30 d). High temperature stress intensified the falling speed of P_n of R21 in late stage of filling-period. Stomatal conductance (G_s), transpiration rate (Tr) and CO_2 concentration in middle lamella (C_i) also increased in the two cultivars during whole filling-periods under high temperature stress. The drop of P_n was related to non-stomatic factors. Leaf and grain abscisic acid (ABA) content of K30 increased, whereas ABA content of R21 changed little during grain-filling period. Gibberellins (GA_3) and indoleacetic acid (IAA) contents were also affected by high temperature stress to some degree. High temperature increased leaf GA_3 content of K30 and decreased grain GA_3 content. The proportion of GA_3

基金项目:重庆市自然科学基金重点项目(2009BA1006);重庆市水稻玉米良种创新重大专项(CSTC, 2007AB1033; 2007AA1019);西南大学博士基金项目(SWU110002)

收稿日期:2010-01-12; 修订日期:2010-09-30

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangsg@swu.edu.cn

distribution in leaf and grain differed in two cultivars. Leaf and grain IAA contents of two cultivars decreased in late stage of filling-period. Grain IAA content of K30 changed little under high temperature, whereas IAA content of R21 ascended. For the two cultivars, the total starch and amylose contents of grain were lower than those of control, whereas the protein contents and chalkiness were significantly higher than control. The grain quality debased under high temperature stress, but K30 was more insensitive to high temperature than R21. The present study demonstrated that the change of endogenous phytohormones metabolism, which regulates many physiological properties under high temperature stress, is the main reason for degeneration of grain quality, contraction of functional period of leaf and drop of photosynthetic efficiency. The physiological mechanism of endogenous phytohormones is very complicated due to the process of signal transduction from the binding of receptor and phytohormone to the physiological effect. The present study provides a base to further study the physiological mechanism of rice under high temperature stress and to breed heat-tolerance rice cultivar.

Key Words: high temperature stress; rice; photosynthesis characteristics; endogenous phytohormones; grain quality

近年来,在全球变暖的大背景下,我国很多地区出现夏季持续性极端高温。由此导致水稻高温热害问题日益频繁^[1]。研究表明,灌浆结实期高温胁迫会造成稻米品质严重下降^[1-4],其原因与花器官发育不良和授粉行为障碍直接相关,Kobata T^[5]和 Matsui T 等^[6]的研究表明高温对稻米充实度、干物质积累速率及花粉育性等方面产生不利影响。高温胁迫导致水稻淀粉合成相关酶活性变化也是稻米品质下降的主要原因,程方民等^[7]利用人工气候箱,研究灌浆结实期温度对早籼水稻籽粒淀粉合成代谢的影响,结果表明:蔗糖合成酶(SS)、ADPG 焦磷酸化酶(ADPG-PPase)、可溶性淀粉合成酶(SSS)、淀粉分支酶(SBE)和淀粉去分支酶(DBE)等淀粉合成相关酶活性不同程度地发生变化。高温胁迫下水稻抗氧化能力下降,水稻叶片产生光抑制和光氧化,导致光合速率降低。汤日圣等^[8]用杂交水稻特优 559 为材料进行高温胁迫 12d,发现高温胁迫加速了剑叶叶绿素降解,使 SOD 活性明显降低,质膜透性和 MDA 含量明显增加,脯氨酸、谷胱甘肽以及可溶性蛋白质含量明显降低。张桂莲等^[9]对水稻灌浆结实前期(7d)高温处理后,也发现水稻剑叶光合特性和膜透性等生理特性异常。高温热害的机制,归根结底在于高温胁迫破坏水稻体内正常的生理代谢活动。水稻在遭受高温胁迫的过程中,体内的各种抗性物质和内源激素都会发生变化,产生防御胁迫的适应能力。目前的研究表明,内源激素的含量变化调节着叶片光合作用^[10]以及籽粒中蔗糖、氨基酸、蛋白质及各种酶类的合成和运输速度等众多生理生化过程^[11-13]。虽然不少作者研究了高温胁迫下水稻的抗氧化能力特性,但对水稻灌浆过程中籽粒和叶片内源激素的变化特征的研究涉及甚少。本试验选择温度钝感型和温度敏感型水稻品种作为研究材料,在人工气候控温处理条件下,从开花抽穗开始,在整个灌浆结实期高温胁迫处理,研究灌浆结实期持续高温胁迫对水稻光合特性、内源激素含量与稻米品质形成的影响。旨在揭示高温胁迫下内源激素含量的变化特点以及对光合特性和稻米品质形成的影响,加深水稻品种在高温胁迫时期响应机理认识,为水稻耐热育种和抗热栽培等提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 材料处理

试验于 2006 年在西南大学农学院人工气候室进行,供试材料为 K30 和 R21。其中,K30 是从 33 份美国稻品种中选择出来的高温钝感籼稻品种^[14],米质优良、对高光强的适应性强、单叶净光合速率高^[15],且米质对温度钝感^[14];R21 是西南大学水稻研究所育成的中籼迟熟杂交水稻组合,属不耐热品种。供试材料的大田播种期为 3 月 18 日,移栽期为 7 月 1 日,在大田长到孕穗期后,分别选取发育进程与长势基本一致的稻株,移入盆钵中,每盆 3 株,在盆钵中继续培养。在盆钵中的水稻齐穗当日(7 月 14 日),将盆钵移到不同温度处理的人工气候室中。人工气候室的温度处理设计参照前文^[16]及程方民等^[7]实验方法和重庆地区自然条件下夏季高温特征(表 1)。温度日变化模拟自然气温特征,由程序自动控制。除温度处理外,两人工气候室中的其他气候因子保持一致,相对湿度 80%,光照时间为 5:30—19:30,光照强度 $1000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。自抽穗第 5

天起,每隔 5 d 取样,每次时间为 9:00—10:30,同步进行光合指标等测定。取样后,迅速保存于低温冰柜中,样品用于内源激素含量测定。高温处理直至籽粒成熟,收获籽粒,经烘干后用于稻米品质指标的测定。

表 1 灌浆结实期 K30 与 R21 两个水稻品种温度处理设置

Table 1 Settings of different temperature while the two varieties treated during filling period

处理 Treatment	日均温度/℃ Daily average temperature	温度日设计 Daily change of temperature
适温	28.0	6:00—9:30 期间设为 31℃;9:30—15:30 期间设为 35℃;15:30—19:30 期间设为 31℃;夜间温度设为 20℃
高温	34.9	6:00—9:30 期间设为 36℃;9:30—15:30 期间设为 39℃;15:30—19:30 期间设为 36℃;夜间温度设为 29℃

1.2 测定指标与试验方法

1.2.1 光合指标及蒸腾指标测定

用 LI-6400 便携式光合作用测量系统(美国, Li -Cor 公司),从灌浆期开始,每隔 5d 测 1 次水稻剑叶,测定指标包括叶片净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(Tr)和胞间 CO_2 浓度(C_i)。测定重复 3—6 次。

1.2.2 内源激素含量测定

采用间接酶联免疫吸附法(ELISA)测定 3 种内源激素 IAA、 GA_3 和 ABA 的含量,测定方法按中国农业大学何钟佩方法进行,样品前处理:称取水稻剑叶 1.0g(去皮籽粒 0.2g),在冰浴、弱光条件下,用预冷的 80% 甲醇研磨样品,置冰箱提取 15min,在 4℃、转速 4000 r/min 下离心 10min,上清液为水稻叶片内源激素提取液。试剂盒由中国农业大学作物化控室提供。设备为 Microplate Reader 2318 型酶标仪。测定重复 3—6 次^[17]。

1.2.3 籽粒品质测定

取成熟稻谷人工去壳,将样品于 70℃ 烘箱中烘干至恒重,用高速磨粉机磨至 95% 的粉样通过 0.15mm (100 目)筛后作为直链淀粉、总淀粉和蛋白质含量测定试样,用碘比色法测定直链淀粉含量^[18],用旋光法测定总淀粉含量^[18],用凯氏定氮法测定蛋白质含量。采用湖南农业大学植物激素重点实验室开发的软件,测定垩白度^[19]。测定重复 3 次。

1.2.4 实验数据用 Excel 及 DPS 数据处理系统进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 灌浆结实期高温胁迫对水稻叶片光合特性的影响

图 1A 表明,在高温胁迫下,2 个材料的 P_n 随籽粒灌浆进程均呈下降趋势。高温增强了 K30 的光合能力: K30 高温处理 P_n 在整个灌浆期都明显高于对照,在 15—30d 期间,高温处理 P_n 比适温处理分别高出 83.0%、76.4%、124.2% 和 126.8%;高温对 R21 光合能力的影响分为两个阶段:灌浆前期(5、10d 和 15d)高温处理 P_n 与对照的差异不明显,在灌浆后期(20、25d 和 30d)高温处理 P_n 低于对照。整个灌浆结实期,2 个材料高温处理 G_s 、 Tr 和 C_i 都高于适温处理(K30 灌浆早期 C_i 除外)(图 1B、1C 和 1D)。高温胁迫明显加速了灌浆后期 R21 的 P_n 下降速率。

2.2 灌浆结实期高温胁迫对水稻叶片内源激素含量的影响

由图 2A 和 2B 可知,高温明显增加了 K30 叶片 ABA 含量:在灌浆期 15d、20d 和 25d,高温处理分别高于对照 61.0%、17.7% 和 35.4%;高温也增加了 K30 籽粒 ABA 含量:在灌浆各时期,高温处理分别高于对照 43.1%、62.4%、56.1%、107.4%、118.5% 和 138.6%。高温对灌浆期 R21 叶片和籽粒 ABA 含量的影响不明显。

从图 2C 和 2D 可见,两个材料高温和适温处理叶片与籽粒 GA_3 含量在灌浆后期都下降。高温胁迫对 2 个温度敏感性不同材料产生不同影响,高温增加了 K30 叶片 GA_3 含量:在灌浆各时期,高温处理分别高于对照 68.9%、1.0%、15.4%、35.6%、104.9% 和 46.2%;高温降低了 K30 籽粒 GA_3 含量:在灌浆 5—25 d 时期,高温处理分别低于对照 126.9%、242.8%、30.1%、58.5% 和 23.9%。高温降低了 R21 叶片 GA_3 含量:在灌浆各时

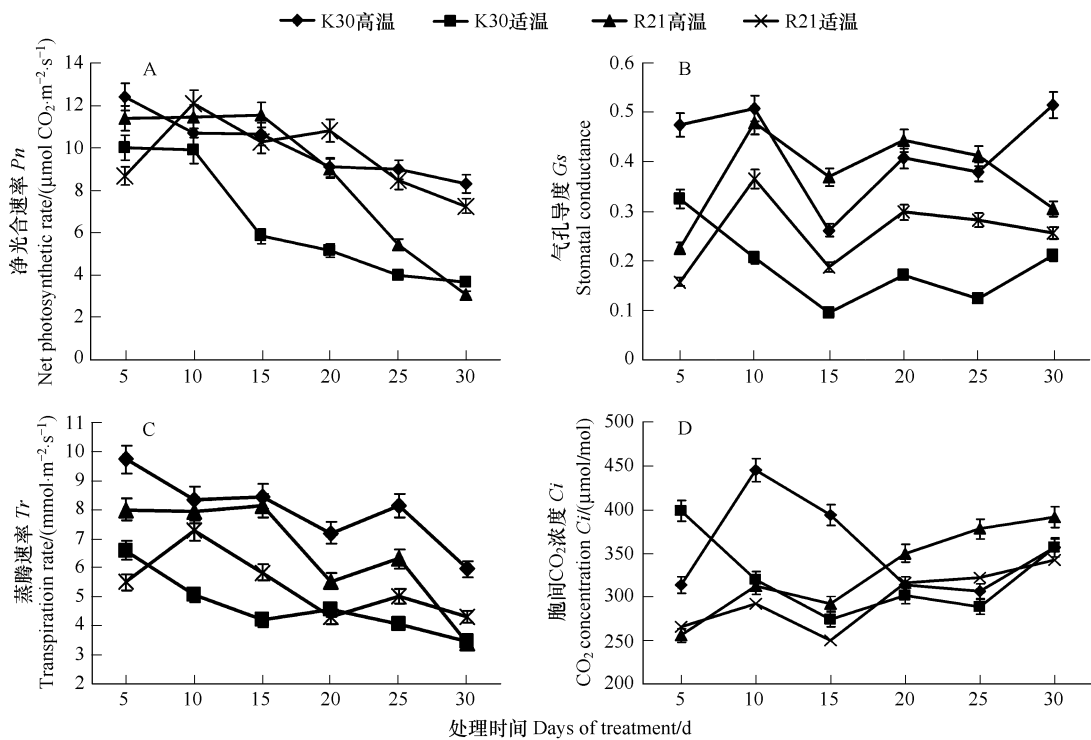


图1 灌浆结实期高温胁迫下水稻剑叶的 P_n 、 G_s 、 C_i 、 T_r 动态变化
Fig. 1 Dynamic change of P_n during grain filling period under high temperature

期,高温处理分别低于对照:84.7%、7.7%、7.2%、51.7%、21.5%和55.3%;高温对 R21 籽粒 GA_3 含量的影响分为 2 个阶段:在灌浆前期(5、10 d),籽粒 GA_3 含量增加,而灌浆结实中后期(15、20、25、30 d),籽粒 GA_3 含量减少。这表明高温胁迫下,2 个温度敏感性不同材料的 GA_3 在叶片和籽粒的分布比例是不同的。

由图 2E 和 2F 可知,2 个材料高温和适温处理叶片与籽粒 IAA 含量在灌浆后期大幅降低。K30 高温处理叶片 IAA 含量随着灌浆进程,不断下降,最高值在灌浆早期;R21 高温处理叶片 IAA 含量最高值出现在灌浆中期(15、20 d)。高温对灌浆期 K30 籽粒 IAA 含量的影响不明显;对 R21 籽粒 IAA 合成表现为促进作用:在整个灌浆期高温处理均高于对照。

2.3 高温胁迫对稻米品质的影响

高温处理下稻米垩白度大幅增加,蛋白质含量上升,总淀粉和直链淀粉含量下降(表 2)。比较 2 个材料:K30 高温处理垩白度和蛋白含量均低于 R21 高温处理,淀粉含量则相反。说明高温胁迫降低了稻米品质,但 2 个水稻品种属不同的反应类型:K30 比 R21 表现出更强的温度钝感特性。

表 2 灌浆结实期高温对 K30 和 R21 两个品种稻米品质的影响
Table 2 Effects of high temperature in filling period on rice grain quality of two cultivars

品种 Cultivar	处理 Treatment	垩白度 Chalkiness/%	蛋白质含量 Protein content/%	总淀粉含量 Total starch content/%	直链淀粉含量 Amylose content/%
K30	高温	41.2a	16.9a	71.7c	8.9c
	适温	4.7b	14.5b	80.0a	14.4b
R21	高温	47.7a	18.5b	61.8b	18.4c
	适温	5.0b	14.0c	80.8a	22.6a

用 DPS 检验差异性,同一列含有相同字母的表示没有显著性差异($P < 0.05$)

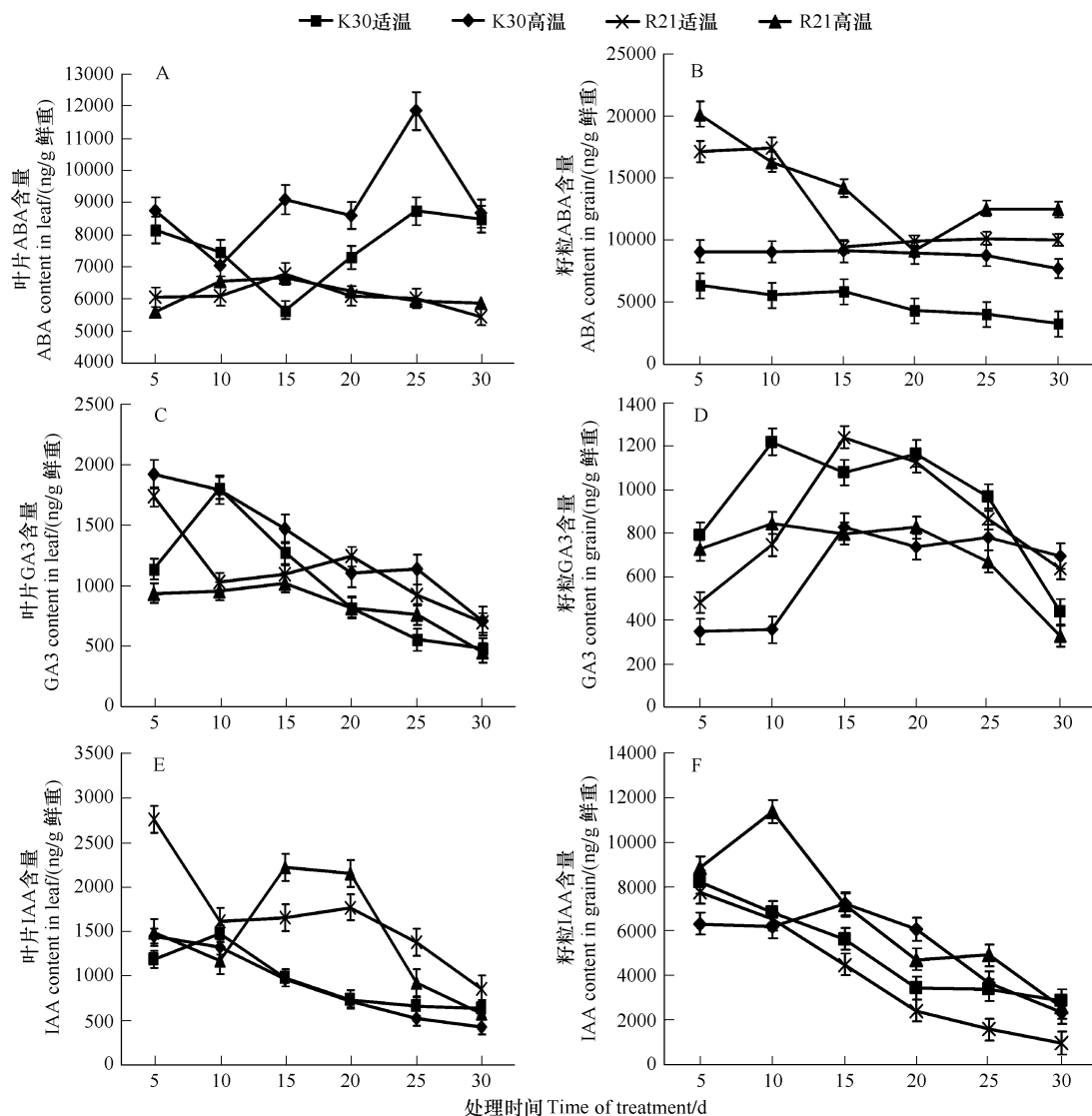


图2 高温胁迫下水稻叶片和籽粒3种内源激素含量的动态变化

Fig. 2 Dynamic change of endogenous hormone content during grain filling period in leaf of rice under high temperature

3 讨论

3.1 高温胁迫对光合特性的影响

高温胁迫抑制光合作用,是因为高温对植物光合作用的光反应和暗反应的各个阶段产生影响:气孔导度改变、 CO_2 扩散阻力增加、光合色素、原初反应及电子传递链等受损或被抑制、Rubisco 羧化活力下降以及产生光抑制和光氧化等,把这些影响因素归结起来,分为两个方面:气孔因素和非气孔因素。有研究显示^[20],高温胁迫下,气孔因素是植物叶片净光合速率下降的主要原因。但也有许多学者研究发现,高温胁迫下,气孔因素不是光合速率降低的主要原因^[21-22]。从本试验的结果看,高温胁迫下水稻叶片 P_n 的下降,伴随着 Tr 增加, G_s 升高, C_i 上升。高温胁迫下, G_s 增大,有利于 CO_2 通过扩散作用进入植物叶片内部,表现为 C_i 上升, C_i 的上升有利于叶肉细胞原生质和叶绿体基质中 CO_2 浓度增加。但是最后并未起到提高 P_n 的效应。根据 Farquhar、Sharkey 和许大全等的观点^[23-24], C_i 的降低方向是判断导致光合速率降低原因的主要依据,在恒定的叶片-大气蒸汽压差 (VPD) 下,随叶温增加 G_s 会增加^[22],甚至在光合器官造成破坏时,气孔仍在开放^[21],所以在一般情况下一般不会引起 C_i 的降低,也就不会发生气孔限制。这表明,在本试验的高温处理条件下,水稻叶片 P_n 下降的主要原因是:与光合作用光反应关系密切的 PS II 和暗反应有关的 Rubisco 羧化活力等非气孔因素。在

灌浆结实中后期的高温胁迫下,温度钝感型品种 K30 的 P_n 不仅高于对照,也高于温度敏感型品种 R21 的高温处理材料,并且 R21 的光合速率下降更快(图 1A),这表明 K30 在灌浆结实期光合作用有效时期延长,有利于光合同化物合成增多,可供籽粒充实的光合产物也会相应增加,这是温度钝感型品种提高籽粒品质的重要途径。因此,灌浆结实中后期维持较高的 P_n 是 K30 适应高温胁迫的重要生理特征。

3.2 高温胁迫下,内源激素对光合作用与籽粒品质形成的调控作用

ABA 常被称为胁迫激素,因其常作为逆境胁迫过程中的信号物质。已有研究证实:高温条件下,植物体内 ABA 浓度升高^[10],叶片和籽粒中 ABA 的来源主要是由根部合成再运输至地上部分产生。高温逆境会造成植物光合功能衰退,活性氧积累;但 ABA 对光合作用多方面都起到保护作用:不仅可以调节气孔运动、防护光抑制以及诱导或增强抗性基因的表达等^[25-27],ABA 还可以提高 SOD、POD 和 CAT 等酶的活性,减轻逆境胁迫对细胞光合膜系统造成的伤害^[28]。籽粒中 ABA 浓度升高还能提高 ADPG 焦磷酸化酶和淀粉分支酶(SBE)活性,从而促进淀粉合成^[11]。本试验结果表明,高温胁迫对温度敏感型不同的两个水稻品种内源激素含量变化影响不同,与温度敏感型品种 R21 相比,温度钝感型品种 K30 的叶片和籽粒 ABA 含量均明显高于对照。这表明,温度钝感型品种 K30 可以通过增加 ABA 含量来维持高光合速率,促进光合产物的合成,调节籽粒灌浆进程,进而提高稻米品质。

植物叶片中 GA_3 是一类促进生长的植物激素。本试验的两个水稻品种叶片 GA_3 含量在灌浆后期都有不同程度降低(图 2C、D),说明灌浆后期,叶片中 GA_3 促进细胞分裂,茎、叶生长的生理效应降低,这也与前人^[12,29]的研究结果基本一致。籽粒 GA_3 对灌浆起调控作用,籽粒 GA_3 低含量可抑制水解酶合成,有利于淀粉合成代谢,提高籽粒品质,这可能是随着灌浆进程推进,两个水稻品种籽粒 GA_3 含量逐渐下降的原因。高温胁迫下,温度钝感型品种 K30 叶片 GA_3 含量上升,籽粒 GA_3 下降;而温度敏感型品种 R21 叶片 GA_3 含量下降。这表明,温度钝感型品种 K30 通过有效调节 GA_3 在叶片和籽粒的分布比例,适应高温胁迫。

IAA 可以通过促进细胞伸长和调节核酸与蛋白质的合成促进灌浆,吸引同化物从叶片向籽粒运输^[30]。灌浆早期是灌浆速率最快的时期,中后期逐渐减慢^[12],因此,这一时期的 IAA 含量变化对籽粒灌浆的调控作用非常关键。本试验结果表明,在高温胁迫下,与温度敏感型品种 R21 相比,温度钝感型品种 K30 叶片 IAA 含量最高值出现在灌浆早期(5 d 和 10 d),而 R21 出现在灌浆中期(15 d 和 20 d)。这表明在灌浆结实期的高温胁迫下,K30 叶片 IAA 含量峰值出现时期与籽粒灌浆速率最快的时期吻合,由此推断,温度钝感型品种 K30 通过调整 IAA 含量在籽粒灌浆过程中的有利分布时期,提高籽粒品质。

高温胁迫下,水稻内源激素代谢改变,引起激素调控的多种生理生化功能变化:水稻叶片功能期缩短,光合能力及光合产物的运输与卸载能力下降,产生高温逼熟,最终导致籽粒淀粉合成降低、垩白度增加及蛋白质含量的变化,这也是稻米品质降低的主要原因。内源激素作用的机理涉及从激素与受体结合开始到生理效应发生为止的信号转导过程,以及该过程中每个环节的分子组成和反应模式,其作用机制非常复杂,激素与生理效应之间的中间过程待研究和证实。

References:

- [1] Xu F X, Zheng J K, Zhu Y C, Wang G X. Effect of ratio source to sink on percentage of head milled rice and chalky rice of combinations of mid-season hybrid rice in the south-east districts of Sichuan province under high temperature and summer drought. *Acta Agronomica Sinica*, 2004, 30 (5): 432-437.
- [2] Cheng F M, Zhang S W, Wu Y C. Effect of temperature during filling period on the chalkiness formation of rice. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 1996, 5(2): 31-34.
- [3] Jin Z X, Yang J, Qian C R, Liu H Y, Jin X Y, Qiu T Q. Effects of temperature during grain filling period on activities of key enzymes for starch synthesis and rice grain quality. *Chinese Journal of Rice Science*, 2005, 19(4): 377-380.
- [4] Dela Cruz N, Kumar I, Kaushik R P, Khush G S. Effect of temperature during grain development on stability of cooking quality components in rice. *Japan Journal of Breeding*, 1989, 39: 299-306.
- [5] Kobata T, Uemuki N. High temperatures during the grain-filling period do not reduce the potential grain dry matter increase of rice. *Agronomy*

- Journal, 2004, 96(2): 406-414.
- [6] Matsui T, Omasa K, Rice (*Oryza sativa* L.) cultivars tolerant to high temperature at flowering: anther characteristics. *Annals of Botany*, 2002, 89: 683-687.
- [7] Cheng F M, Zhong L J, Sun Z X. Effect of temperature at grain-filling stage on starch biosynthetic metabolism in developing rice grains of early-indica. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(5): 492-501.
- [8] Tang R S, Zheng J C, Chen L G, Zhang D D, Jin Z Q, Tong H Y. Effects of high temperature on grain filling and some physiological characteristic in flag leaves of hybrid rice. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, 2005, 31 (6): 657-662.
- [9] Zhang G L, Chen L Y, Zhang S T, Liu G H, Tang W B, He Z Z, Wang M. Effects of high temperature on physiological and biochemical characteristics in flag leaf of rice during heading and flowering period. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40 (7): 1345-1352.
- [10] Qiang X, Henry R L, Guikema J A, Paulsen G M. Association of high-temperature injury with increased sensitivity of photosynthesis to abscisic acid in wheat. *Environmental and Experimental Botany*, 1995, 35: 441-454.
- [11] Rook F, Corke F, Card R, Munz G, Smith C, Bevan M W. Impaired sucrose induction mutants reveal the modulation of sugar-induced starch biosynthetic gene expression by abscisic acid signalling. *Plant Journal*, 2001, 26: 421-433.
- [12] Yang J C, Wang Z Q, Zhu Q S, Su B L. Regulation of ABA and GA to the grain filling of rice. *Acta Agronomica Sinica*, 1999, 25 (3): 341-348.
- [13] Wang R Y, Yu Z W, Pan Q M, Xu Y M. Changes of endogenous plant hormone contents during grain development in wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 1999, 25(2): 225-231.
- [14] Zhong B Q, Yang Z L, Ran Q L, He G H. Study on temperature insensitivity of characters of agronomy and quality in the American rice variety. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, 21 (2): 118-121.
- [15] Hu P S, Tang S Q, Luo J, Huang F S. Utilization of American glabrous rice and breeding of super-high-yielding varieties. *Acta Agronomica Sinica*, 1999, 25(1): 32-38.
- [16] Teng Z H, Zhi L, Zong X F, Wang S G, He G H. Effects of high temperature on chlorophyll fluorescence, active oxygen resistance activity, and grain quality in grain filling periods in rice plants. *Acta Agronomica Sinica*, 2008, 34(9): 1662-1666.
- [17] He Z P. Experiment Instruction of Crop Chemical Control. Beijing: China Agricultural University Press, 1993: 60-68.
- [18] Shanghai Institute of Plant Physiology, CAS. Guide to Modern Plant Physiology Experiments. Beijing: Science Press, 2004.
- [19] Xiao L T, Li D H, Lin W H, Hong B, Hong Y H. An objective method to measure chalkiness of rice grain. *Chinese Journal of Rice Science*. 2001, 15 (3): 206-208.
- [20] Yang W P, Wu R Y, Dai Y. Effect of high temperature on photosynthesis of two poplar varieties. *Journal of Zhejiang Forest Science & Technology*, 2009 (1) 31-35.
- [21] Berry J, Bjorkman O. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 1980, 31: 491-543.
- [22] Dai Z, Edwards G E, Ku M S B. Control of photosynthesis and stomatal conductance in *Ricinus communis* L. (castor bean) by leaf to air vapor pressure deficit. *Plant Physiology*, 1992, 99: 1426-1434.
- [23] Xu D Q. Some problems in stomatal limitation analysis of photosynthesis. *Plant Physiology Communications*, 1997, 33(4), 241-243.
- [24] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology*, 1982, 33: 317-345.
- [25] Alamillo J M, Bartels D. Effects of desiccation on photosynthesis pigments and the ELIP-like dsp 22 protein complexes in the resurrection plant *Craterostigma plantagineum*. *Plant Science*, 2001: 1161-1170.
- [26] Gong M, Li Y J, Chen S Z. Abscisic acid-induced thermotolerance in maize seedlings is mediated by calcium and associated with antioxidant systems. *Journal of Plant Physiology*, 1998: 488-496.
- [27] Xiao L T, Wang S G. *Plant Physiology*. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2004: 189-234.
- [28] Li X M, Chen Q, Wang L L, Hao L. Effects of abscisic acid on photosynthesis and antioxidant enzymes in wheat seedling. *Journal of Shenyang Normal University*, 2006, 2: 221-223.
- [29] Wang F, Cheng F M, Liu Y, Zhong L J, Zhang G P. Dynamic changes of plant hormones in developing grains at rice filling stage under different temperatures. *Acta Agronomica Sinica*, 2006, 32(1): 25-29.
- [30] Lur H S, Setter T L. Role of auxin in maize endosperm development (Timing of nuclear DNA endoreduplication, zein expression, and cytokinin). *Plant Physiology*, 1993, 103: 273-280.

参考文献:

- [1] 徐富贤, 郑家奎, 朱永川, 王贵雄. 川东南高温伏旱区杂交中稻品种库源结构对稻米整精米率与垩白粒率的影响. *作物学报*, 2004, 30

(5): 432-437.

- [2] 程方民, 张篙午, 吴永常. 灌浆结实期温度对稻米垩白形成的影响. 西北农业学报, 1996, 5(2): 31-34.
- [3] 金正勋, 杨静, 钱春荣, 刘海英, 金学泳, 秋太权. 灌浆成熟期温度对水稻籽粒淀粉合成关键酶活性及品质的影响. 中国水稻科学, 2005, 19(4): 377-380.
- [7] 程方民, 钟连进, 孙宗修. 灌浆结实期温度对早籼水稻籽粒淀粉合成代谢的影响. 中国农业科学, 2003, 36(5): 492-50.
- [8] 汤日圣, 郑建初, 陈留根, 张大栋, 金之庆, 童红玉. 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, 2005, 31(6): 657-662.
- [9] 张桂莲, 陈立云, 张顺堂, 刘国华, 唐文邦, 贺治洲, 王明. 抽穗期高温对水稻剑叶理化特性的影响. 中国农业科学, 2007, 40(7): 1345-1352.
- [12] 杨建昌, 王志琴, 朱庆森, 苏宝林. ABA 与 GA 对水稻籽粒灌浆的调控. 作物学报, 1999, 25(3): 341-348.
- [13] 王瑞英, 于振文, 潘庆民, 许玉敏. 小麦籽粒发育过程中激素含量变化. 作物学报, 1999, 25(2): 225-231.
- [14] 钟秉强, 杨正林, 冉启良, 何光华. 美国水稻品种农艺性状和品质性状的温度钝感特性研究. 中国农学通报, 2005, 21(2): 118-121.
- [15] 胡培松, 唐绍清, 罗炬, 黄发松. 美国光身稻品种的利用与超高产品种的选育. 作物学报, 1999, 25(1): 32-38.
- [16] 滕中华, 智丽, 宗学风, 王三根, 何光华. 高温胁迫对水稻灌浆结实期叶绿素荧光、抗活性氧活力和稻米品质的影响. 作物学报, 2008, 34(9): 1662-1666.
- [17] 何钟佩. 农作物化学控制实验指导. 北京: 中国农业大学出版社, 1993: 60-68.
- [18] 中国科学院上海植物生理研究所. 现代植物生理学实验指南. 北京: 科学出版社, 2004: 131-132.
- [19] 萧浪涛, 李东晖, 蔺万煌, 洪彬, 洪亚辉. 一种测定稻米垩白性状的客观方法. 中国水稻科学, 2001, 15(3): 206-208.
- [20] 杨维平, 吴瑞云, 戴月. 高温胁迫对不同杨树品种光合作用影响的比较研究. 浙江林业科技, 2009(1): 31-35.
- [23] 许大全. 光合作用气孔限制分析中的一些问题. 植物生理学通讯, 1997, 33(4): 241-243.
- [27] 萧浪涛, 王三根. 植物生理学. 北京: 中国农业出版社, 2004: 189-234.
- [28] 李雪梅, 陈强, 王兰兰, 郝林. 脱落酸对小麦幼苗光合及抗氧化酶的影响. 沈阳师范大学学报, 2006, 2: 221-223.
- [29] 王丰, 程方民, 刘奕, 钟连进, 张国平. 不同温度下灌浆期水稻籽粒内源激素含量的动态变化. 作物学报, 2006, 32(1): 25-29.

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1~9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任: 孔红梅

执行编辑: 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 30 卷 第 23 期 (2010 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 23 2010

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元