

自贡市高温热害对水稻生长的影响及对策探讨

鄢圣敏, 王开, 杨川航, 周大宾, 万山, 殷伟, 杨华伟, 曾玉清* (自贡市农业科学研究所, 四川自贡 643000)

摘要 自贡地区水稻生长经常遭受高温热害的影响。介绍了自贡市水稻抽穗扬花期、灌浆结实期高温热害影响其结实的危害机理, 初步分析了2017、2018年自贡稻区高温热害对该区域水稻生产影响特点。综合已有研究, 提出应对水稻高温热害的防御及补救对策。

关键词 水稻(*Oryza sativa* L.); 高温热害; 结实; 自贡; 对策

中图分类号 S511 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2020)09-0034-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.09.010

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effects of Heat Damage on Rice Growth in Zigong City and Its Countermeasures

YAN Sheng-min, WANG Kai, YANG Chuan-hang et al (Zigong Agricultural Research Institute, Zigong, Sichuan 643000)

Abstract Rice (*Oryza sativa* L.) usually suffered from heat in Zigong City, we reviewed the injured mechanism of flowering and grain filling stages, as well as the recent research progress in studying the effects of high temperature at 2 stages (heading and flowering, grain filling) on rice grain yield formation of Zigong City during the years of 2017 and 2018. Combing with the current research results, we put forward the relevant defense and remedial measures.

Key words Rice (*Oryza sativa* L.); Heat damage; Seed setting; Zigong; Countermeasures

近年来随着温室效应加剧, 气候持续变暖, 导致了极端高温的强度和频率增加, 持续时间不断提前和延长^[1-2]。在水稻抽穗结实期, 过高的环境温度会限制植株源供应和流转运输能力, 使正常开花结实受到影响, 导致空秕粒率上升^[3], 这就造成了高温热害。受高温热害的影响, 粮食生产特别是水稻生产发生了频繁的减产情况^[4-6], 这严重威胁了我国的粮食安全。作为自贡市的重要农作物之一, 水稻种植面积较大。自贡稻区夏季的气温较高, 四区两县历史极端最高气温在39℃左右, 其中部分区县还超过40℃, 高温热害对水稻生长影响较重, 对自贡市水稻安全生产也提出了新的挑战。

水稻在不同生育时期对温度的需求不同, 但均存在最适温度和临界温度, 若环境温度超过临界温度, 会极大限制植株的生长发育。在抽穗开花期, 水稻植株对高温最为敏感, 其次是水稻的灌浆结实期, 水稻在营养生长期对高温的敏感程度最低^[7]。因此, 研究水稻从抽穗扬花到灌浆结实阶段高温胁迫下植株生理特性对于水稻耐热育种和生产具有重要的指示意义。鉴于此, 笔者结合所在课题组水稻科研工作进展和近2年来自贡市水稻生产实际, 对高温热害影响水稻生长影响机理及应对策略进行了综述, 旨在为水稻耐热性育种研究及生产提供参考。

1 高温热害影响水稻扬花授粉

水稻对高温最敏感的时期是抽穗扬花期, 水稻抽穗扬花期高温热害的气象指标一般为日平均气温高于30℃且连续3d以上^[8], 相对于冷害、干旱等其他农业灾害而言, 水稻高温热害气象指标的研究相对较少, 研究者们提出的指标并不完全一致^[8]。高温胁迫会在不同程度上影响水稻颖花开放过程中花粉粒膨胀、花药开裂、柱头授粉、柱头上花粉的萌发及花粉管伸长等一系列敏感的生理过程^[9], 最终导致受精过

程受阻, 诱导水稻败育。

高温胁迫会引起水稻开花角度增大、花丝变长、花粉粒直径增大^[10], 造成花药疏导功能发生障碍。在正常情况下, 颖花柱头上萌发的花粉数量与颖花的育性密切相关, 为了保证正常受精, 每个柱头上至少需要20个花粉粒^[11], 高温会阻碍花粉粒吸水膨胀, 使花药开裂失去直接驱动力^[12], 严重影响散粉, 从而减少柱头上花粉的萌发数。此外, 尚未开裂花药内花粉吸水受阻加剧, 很大程度上也给花药开裂造成障碍, 阻碍正常授精^[3]。高温胁迫在水稻开花初期主要通过阻碍花药开裂能力来影响授粉过程; 然而, 随着高温胁迫时间的延续, 花药散粉能力成为授粉的主要限制因子, 这在一定程度上体现了高温胁迫时间对花药损伤的累加效应。水稻开花期高温胁迫条件下, 柱头上花粉萌发率及活性也会下降^[13-14], 随着胁迫温度的升高和胁迫时间的延长, 花粉萌发率及活性明显降低, 不同水稻品种间也存在着一一定的差异。高温胁迫还会减少水稻柱头上的分泌物, 这种情况对花粉粒的滞留不利, 使有效附着在柱头上花粉粒数目不足^[3], 也会给受精过程造成很大影响。

水稻雌花器官对高温胁迫耐受性高于雄蕊。36℃以上的短期高温处理即可引起雄蕊花粉育性显著下降。40℃的高温胁迫条件下, 处理4h后雌蕊仍能保持一定的受精能力^[15]; 继续延长高温处理时间或提高处理温度则会引起雌蕊柱头分泌物持续减少, 对花粉的吸附能力进一步降低或使落在柱头上的花粉失活, 甚至损伤雌蕊花器官, 显著降低育性。研究表明, 在早晨提前开花可以避免或减缓开花时高温胁迫的危害, 然而这部分提前开放的颖花花粉尚未发育成熟, 花药开裂率和颖花受精率均较低^[16], 对结实率的提升作用不明显。

2 高温热害影响水稻灌浆结实

水稻灌浆期是同化产物向籽粒运输、积累的时期, 也是产量形成的重要时期, 该时期最适合的温度为21~22℃^[3]。

作者简介 鄢圣敏(1989—), 男, 湖北天门人, 农艺师, 硕士, 从事水稻育种与栽培研究。*通信作者, 研究员, 从事作物栽培研究及推广工作。

收稿日期 2019-09-17

籽粒的大小和充实度影响其粒重,水稻灌浆期温度高于 26 ℃时,籽粒大小、灌浆速率以及充实度均会受到不良影响,最终引起籽粒变小、粒重降低。水稻籽粒粒长和粒宽受高温胁迫会变小,粒重也随之降低。对籽粒的外形起到决定性作用的是胚乳细胞的数量和大小,高温胁迫会阻碍胚乳细胞分裂、减小胚乳容纳同化产物的能力,这可能是高温降低水稻籽粒长宽的主要原因^[17-18]。水稻籽粒灌浆的充实过程中,影响籽粒重量决定性的因素是灌浆速率和灌浆持续时间。一方面,水稻同化产物的运输效率在适当的高温胁迫条件下会加快,其籽粒的灌浆速率会有一定程度的增加。高温处理除了提高籽粒灌浆速率,也会使灌浆期变短,如果较高的灌浆速率未能补偿灌浆期缩短对籽粒充实度造成的影响^[19],还是会导致水稻单粒重的降低。另一方面,汤日圣等^[20]研究表明,极端高温也会使水稻籽粒的灌浆速率降低。由此可见,不同区段的高温处理对水稻籽粒灌浆速率的影响不同,适度的高温会提高籽粒灌浆速率,长时间或极端高温胁迫则会使籽粒灌浆速率变低。

此外,灌浆期高温胁迫还会对稻米品质造成不良影响。高温加快籽粒灌浆速率、缩短灌浆期,所形成的复合淀粉粒呈核状,排列疏松且颗粒间充气,引起光折射而呈白色不透明状,导致稻米垩白率和垩白度增加,还会使直链淀粉含量增加、支链淀粉的精细结构发生改变,胶稠度变硬,糊化温度升高,黏性和弹性变差,最终导致稻米品质变差^[21-22]。水稻籽粒灌浆中前期和中期是稻米品质形成变化的主要时期^[23],齐穗 20 d 内是温度对其影响的关键时间段。

3 高温热害影响水稻光合作用

光合作用及其产物的储备是水稻器官的形成与分化的条件与基础^[24],高温热害通过影响水稻光合作用,影响最终产量。高温胁迫可使水稻植株光合效率降低,并加重其光合抑制。PSII 是光合作用系统中对热胁迫最敏感的成分^[25],高温一定程度上会改变光系统 II 的捕光复合体 II 的结构,使其从核心复合体脱落。放氧复合体位于叶绿体类囊体膜基粒片层外侧,对高温非常敏感;极端高温胁迫会导致叶绿素类囊体膜的渗漏,引起类囊体堆叠减少和膜整体结构的分解,引起跨膜质子泄露,影响三磷酸腺苷(ATP)的合成^[26-27],从而影响光合效率。

水稻经历高温热害过程中,植株类胡萝卜素积累变慢,抗氧化能力降低,因过剩激发能量积累引起活性氧产生、积累并伤害光合细胞;而且,高温胁迫下过量的激发能无法通过有效的叶黄素循环进行热耗散,难以维系稳定的光合功能、正常的光合效率和较高的热稳定蛋白含量^[28]。此外,高温胁迫也会增大外界环境和水稻叶片蒸汽压力差,为了降低高温胁迫下蒸腾作用引起过量的水分散失,植株会关闭叶片气孔,这会引起叶片光合速率降低和同化能力减弱^[23]。

4 近两年自贡稻区高温热害对水稻生产影响特点

2017、2018 年盛夏季节自贡稻区四区(自流井区、贡井区、大安区和沿滩区)两县(荣县、富顺县)出现了持续异常高温天气,给当地水稻生产带来了不利影响。笔者结合自贡市

气象局公布的气象资料和各稻区田间穗层温度测定数据,对近两年自贡稻区高温热害对当地水稻生产影响特点进行了初步分析。2017 年 7 月 1 日—8 月 10 日自贡稻区四区平均日最高气温为 34.44 ℃,富顺稻区平均日最高气温为 34.76 ℃,荣县稻区平均日最高气温为 33.76 ℃;而且 7 月 1—4 日自贡四区两县日最高气温达到 33.00~35.00 ℃,7 月 10—13 日自贡四区两县日最高气温达到 34.00~36.00 ℃,稻区日平均气温达到了 30.00~34.10 ℃的致害高温;7 月初期正值自贡稻区水稻大面积始穗,过高的环境温度致使该稻区水稻花器发育不全,花粉发育不良,花粉管生长受阻,授粉活力明显下降。同期始穗的多数主栽一季稻结实率均比正常年份有不同程度的降低,稻区田间取样考种数据表明多数田块籽粒结实率在 80%左右,少数田块籽粒结实率尚未达到 70%。

2018 年 7 月 1 日—8 月 10 日自贡稻区四区平均日最高气温为 33.22 ℃,富顺稻区平均日最高气温为 33.98 ℃,荣县稻区平均日最高气温为 32.39 ℃。虽然同一时期平均日最高气温比 2017 年同期要略微偏低,但在 2018 年 7 月 18—25 日出现了日平均气温达 30.00~34.00 ℃的致害高温,7 月 14 日以后 15 d 该稻区每天日最高气温均超过了 34.00 ℃,且这 15 d 中有 13 d 日平均气温超过 30.00 ℃,有 6 d 日平均气温超过 32.00 ℃。这种高温天气很大程度上影响了该稻区水稻的灌浆进程,许多主栽品种千粒重较正常年份有明显降低,给该稻区稻米品质及产量带来不利影响。2018 年对自贡稻区 10 个主栽品种稻米品质抽样调查结果表明,大多数主栽品种垩白米率和垩白度较正常年份有显著增加,透明度显著降低,综合稻米品质也明显降低。

5 缓解水稻高温热害的对策

5.1 建立区域水稻高温热害预警监测系统 通过采集区域水稻生产大数据,建立区域水稻高温热害监测预警系统,制定各项避灾减灾的技术措施,对减轻损失以及确保粮食安全具有重要意义^[22]。首先,通过采集区域气象大数据,绘制当地各稻区不同等级高温热害地域分布特征专题地图,明确不同稻区高温热害对水稻影响的时空分布规律^[30];其次,建立区域水稻高温热害监测预警系统,通过区域实时气象资料及热害分布专题地图来滚动监测区域内水稻高温热害发展动向^[31]。此外,把卫星遥感动态监测信息与水稻高温热害监测预警系统相结合^[22],可以更高效地开展水稻高温热害预报工作。

5.2 耐高温品种筛选与遗传改良 依据目前相关水稻品种审定标准,广大育种工作者往往关注水稻品种的优质、高产和抗病特性,而对水稻应对高温热害能力重视程度还不够。分子育种作为一种快捷、高效的育种途径,在培育耐热新品种、缓解水稻高温热害上有广阔的运用前景。可以将优异耐高温基因导入水稻从而提高耐高温能力,筛选出优质、高产、抗病、抗逆、稳产的品种,缓解高温对水稻伤害,加快水稻品种区域化布局,为保障粮食安全服务。

5.3 加强水稻品种耐热性鉴定 目前,很多农业科研单位在水稻品种耐热性鉴定方面展开了许多研究工作,因受资

金、设备和技术等限制,参加耐热性鉴定品种数量不多,各项研究得到的指标存在差异,采用的评价体系仍有待进一步完善,有关水稻高温热害灾损表达方式也不统一,开展的试验往往也存在一定局限性。各级政府和相关部门可以逐渐完善水稻耐热性评价体系,加强水稻品种耐热性鉴定工作的资金投入力度,强化即将审定和推广使用的水稻品种的耐热性鉴定工作。

5.4 选择合适的栽培措施 水稻群体微环境可以通过栽培措施来改善,这在一定程度上减缓了高温热害。采取田间及时灌深水可起到调节局部小气候、提湿降温的作用,高温危害可得到部分缓解。应加强对已经发生高温热害田块的后期田间管理,发生热害的田块结实率低,植株叶片颜色深且转色较慢,极易遭受病虫害危害,因此要重视水稻热害田块病虫害防治工作,确保已结实籽粒饱满充实、粒重增加,同时也有助于弱势花的灌浆结实。对结实率特别低的田块,在确保再生分蘖在安全齐穗期以前抽穗的前提下,可适度趁早追施氮肥,促使低节位休眠芽分蘖成穗^[29]。

5.5 人工辅助授粉和施用植物生长调节剂 高温胁迫阻碍花药开裂,导致柱头花粉数不足,造成结实率降低。虽然花药开裂受到影响,但是水稻外露的柱头在未完全失活的前提下,仍然可能接受后续散落的花粉。使外露柱头表面的花粉数增加,一定程度上可以缓解高温对水稻柱头授粉的不良影响^[3]。赤霉素的施用可以促进水稻柱头外露,结合“人工赶粉”的形式^[32],有助于花粉散落,可以有效提高受精率,从而提高结实率。此外,也可以通过使用其他植物生长调节剂缓解高温对植株的伤害和产量损失,如细胞分裂素、脱落酸可以提高叶片的抗氧化能力及膜稳定性,维持叶片功能^[3];施用2,4-表油菜素内酯(EBR)可以维持花粉育性和花药正常,减轻高温热害对水稻结实的不利影响^[33];使用亚精胺可以使高温胁迫下花粉萌发能力提升。

参考文献

- [1] MCCARTHY M P, BEST M J, BETTS R A. Climate change in cities due to global warming and urban effects[J]. *Geophys Res Lett*, 2010, 37(9): 1-5.
- [2] 陈升李, 刘安国, 张亚杰, 等. 气候变化背景下湖北省水稻高温热害变化规律研究[J]. *气象与减灾研究*, 2013, 36(2): 51-56.
- [3] 吴超, 崔克辉. 高温影响水稻产量形成研究进展[J]. *中国农业科技导报*, 2014, 16(3): 103-111.
- [4] 李才媛, 彭春华, 赵勤炳, 等. 武汉市 2003 年盛夏异常高温特征分析[J]. *华中师范大学学报(自然科学版)*, 2004, 38(3): 379-382.
- [5] 黄义德, 曹流俭, 武立权, 等. 2003 年安徽省中稻花期高温热害的调查与分析[J]. *安徽农业大学学报*, 2004, 31(4): 385-388.
- [6] 柳军, 岳伟, 邓斌. 2010 年安徽江淮地区高温热害气象成因及其对一季稻生产影响分析[J]. *安徽农学通报*, 2011, 17(10): 199-201.
- [7] 孙辽. 水稻开花期耐热性和主要农艺性状 QTL 分析[D]. 武汉: 华中农业大学, 2015: 1-2.
- [8] 刘宗钱, 李白菜. 重庆市高温天气对水稻结实的影响及对策探讨[J]. *南方农业*, 2014, 8(31): 20-21.
- [9] MATSUI T, OMASA K, HORIE T. The difference in sterility due to high temperatures during the flowering period among japonica rice varieties[J]. *Plant Prod Sci*, 2001, 4(2): 90-93.
- [10] 徐小健, 李波, 刘思言, 等. 抽穗期高温胁迫对水稻开花习性及其结实率的影响[J]. *杂交水稻*, 2014, 29(2): 57-62.
- [11] SATAKE T, YOSHIDA S. High temperature induced sterility in indica rices at flowering [J]. *Jpn J Crop Sci*, 1978, 47: 6-17.
- [12] MATSUI T, OMASA K. Rice (*Oryza sativa* L.) cultivars tolerant to high temperature at flowering: Anther characteristics [J]. *Ann Bo*, 2002, 89(6): 683-687.
- [13] 谢晓金, 李秉柏, 申双和, 等. 抽穗期高温胁迫对水稻花粉活力与结实率的影响[J]. *江苏农业学报*, 2009, 25(2): 238-241.
- [14] 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(自然科学版)*, 2010, 31(2): 125-130.
- [15] TONG L, YOSHIDA T. Can hotwater emasculation be applied to artificial hybridization of indica-type Cambodian rice? [J]. *Plant Prod Sc*, 2008, 11(1): 132-133.
- [16] KOBAYASI K, ATSUTA Y. Sterility and poor pollination due to early flower opening induced by methyl jasmonate [J]. *Plant Prod Sci*, 2010, 13(1): 29-36.
- [17] MORITA S, YONEMARU J I, TAKANASHI J I. Grain growth and endosperm cell size under high night temperatures in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. *Ann Bot*, 2005, 95(4): 695-701.
- [18] 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.
- [19] KIM J, SHON J, LEE C K, et al. Relationship between grain filling duration and leaf senescence of temperate rice under high temperature [J]. *Field Crop Res*, 2011, 122(3): 207-213.
- [20] 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学报*, 2005, 31(6): 657-662.
- [21] 张桂莲, 张顺堂, 王力, 等. 抽穗结实期不同时段高温对稻米品质的影响[J]. *中国农业科学*, 2013, 46(14): 2869-2879.
- [22] 谭诗琪, 申双和, 邓丽蓉. 高温热害对水稻生长的影响及其应对措施[J]. *湖北农业科学*, 2016, 55(7): 1633-1636.
- [23] 兰旭. 高温对水稻生长发育的危害概述[J]. *农技服务*, 2017, 34(12): 41.
- [24] 穰中文, 周清明. 水稻高温胁迫的生理响应及耐热机理研究进展[J]. *中国农学通报*, 2015, 31(21): 249-258.
- [25] HECKATHOM S A, DOWNS C A, SHARKEY T D, et al. The small, methionine-rice chloroplast heat-shock protein protects photosystem II electron transport during heat stress [J]. *Plant physiology*, 1998, 116(1): 439-444.
- [26] SCHRADER S M, WISE R R, WACHOLTZ W F, et al. Thylakoid membrane responses to moderately high leaf temperature Pima cotton [J]. *Plant cell environment*, 2004, 27(6): 725-735.
- [27] 吴韶辉, 蔡妙珍, 石学根. 高温对植物叶片光合作用的抑制机理[J]. *现代农业科技*, 2010(15): 16-18.
- [28] 欧志英, 林桂珠, 彭长连. 超高产杂交水稻培矮 64S/E32 和两优培九剑叶对高温的响应[J]. *中国水稻科学*, 2005, 19(3): 249-254.
- [29] 王才林, 仲维功. 高温对水稻结实率的影响及其防御对策[J]. *江苏农业科学*, 2004(1): 15-18.
- [30] 刘伟昌, 张雪芬, 余卫东, 等. 长江中下游水稻高温热害时空分布规律研究[J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(14): 6454-6457.
- [31] 阳园燕, 何永坤, 罗攀攀, 等. 三峡库区水稻高温热害监测预警技术研究[J]. *西南农业学报*, 2013, 26(3): 1249-1254.
- [32] 赵银燕. 高温对水稻生长的影响及措施研究[J]. *农业与技术*, 2017, 37(12): 40.
- [33] 高健, 王亚梁, 孙磊, 等. 2,4-表油菜素内酯缓解水稻花期高温胁迫的生理机制[J]. *中国稻米*, 2019, 25(3): 70-74.