

水稻低温冷害分析及研究进展

刘 民

(黑龙江省农垦科学院植物保护研究所, 黑龙江佳木斯 154007)

摘要: 从冷害这一角度出发, 结合我国水稻生产的实际情况, 对国内外水稻低温冷害进行了详细的概述。其中着重介绍了我国水稻冷害的类型、危害特点以及发生的时期和规律, 为今后的水稻冷害研究提供科学依据。

关键词: 水稻; 冷害; 研究进展

中图分类号: S511 文献标识码: A 文章编号: 1002-2767(2009)04-0154-04

Current Analysis and Advances of Chilling Injury on Research of Rice

LIU Min

(Plant Protection Institute of Heilongjiang Land Reclamation Academy, Jiamusi, Heilongjiang 154025)

Abstract: This article from the perspective of chilling injury, combined with rice production in our country's actual conditions on cold damage in rice at home and abroad to carry out a detailed overview. One of our country focused on the type of chilling injury in rice, as well as against the characteristics and laws of the period happened for future studies of chilling injury in rice to provide a scientific basis.

Key words: rice; chilling injury; research progress

水稻是我国最主要的粮食作物之一, 在国民经济中占有非常重要的地位, 其播种面积、总产和单产均居粮食作物的首位, 全国种植面积在 2 667 万~3 333 万 hm^2 , 约占粮食作物总面积的 30%, 关注水稻安全生产对于中国的可持续发展十分重要^[1-4]。然而, 世界很多水稻种植区(包括中国)目前都面临着同样的一个问题, 就是水稻种植经常受到冷害的侵袭。水稻受温度影响较大, 随着水稻连作面积的增大和在热带、亚热带地区向高海拔地区推广, 栽培面积不断扩大, 使冷害发生几率增加。水稻苗期气温不稳定, 更易遭受低温的危害。一般适于水稻播种的温度为日平均温度稳定在 12°C 以上, 如平均气温低于 12°C , 就会影响水稻的正常生长, 如低温时间持续 4 d 以上, 会引起水稻发芽不良, 秧苗生长迟缓, 烂秧, 甚至死亡, 并能诱导稻瘟病的大面积流行^[5], 给生产上造成损失。因此, 低温冷害是一种世界范围的自然灾害, 已经成为危害农业生产的主要问题之一。

1 水稻低温冷害的概念和分类

1.1 冷害

关于冷害的概念, 目前各家的说法不一。如日本

农业气象学家坪井认为, 所谓冷害是指: 因夏季低温少日照, 危害农作物的生育而减产的灾害; 佐竹彻夫认为: 由于夏季冷凉气候的影响, 导致显著减产的现象叫做冷害。国内方面《中国农业百科全书—农业气象卷》将冷害明确定义为“在农作物生长季节, 0°C 以上低温对作物的损害, 往往又称低温冷害”。根据我国冷害的实际情况, 一般认为低温冷害是由于作物遭受了低于其生育适温的连续或短期的低温的影响, 通常是 0°C 以上的低温, 同时出现少日照, 使作物生育延迟, 甚至发生生理障碍, 严重时还会造成某些组织遭到破坏, 造成减产, 称为低温冷害。低温冷害与霜、冻、旱、涝等自然灾害不同, 由于冷害是在气温 0°C 以上, 有时甚至在 20°C 的条件下发生的, 作物受害后, 外观无明显变化, 一般不易引起人们的注意, 直至秋收减产才知道, 以致有“哑巴灾”“慢性病”之称。而霜、冻害是指在农作物生长季里, 土壤表面或作物的茎、叶部分的温度短时间的下降到 0°C 以下, 使作物遭受伤害或死亡, 在农业生产上叫霜、冻害。因此, 受害时的温度是界定低温冷害和其他低温灾害的最主要指标。

1.2 冷害的分类及特点

对于不同作物和品种来说, 处于不同的生育阶段, 都有其不同的标准。根据水稻植株受害情况, 冷害有三种类型, 分别为障碍型冷害、延迟型冷害和混合型冷害。冷害的发生会造成水稻大面积减产, 使国民经济

收稿日期: 2008-12-12
作者简介: 刘民(1963-), 男, 湖南省武冈市人, 助理研究员, 主要从事水稻栽培研究。E-mail: nkliumin@163.com

154
黑龙江农业科学

遭受严重损失, 对于粮食安全产生很大的威胁。因此, 很多国内外学者都专注于水稻冷害的研究, 其成果为组织防灾减灾、指导水稻生产等决策提供了科学的依据。

1.2.1 延迟型冷害 主要是指农作物营养生长期发生的冷害, 使生育期延迟, 有时也包括生殖生长期间的冷害, 是作物最常发生的一种冷害类型。其特点是: 在较长时间低温的影响下, 植株生长发育速度缓慢, 导致抽穗开花延迟, 以至于不能在初霜来临前成熟, 有时虽然秋霜来的不早, 但因生育期拖后, 也会使作物成熟不了而受害。水稻延迟型冷害即由于生育期内出现较长时期的持续低温, 致使作物生育期推迟, 以致到秋霜来临时还不能完全成熟, 造成减产。其最终表现是成熟度差, 瘪粒率高, 粒重低。

1.2.2 障碍型冷害 指作物生殖生长期(主要是生殖器官分化到抽穗开花阶段), 遭受短期(一般仅几天)异常低温, 使生殖器官生理机能遭到破坏, 以致颖花不育, 籽粒空瘪。特点是: 持续时间短, 低温敏感期为孕穗、抽穗开花时期, 危害很大。水稻障碍型冷害主要是孕穗期至开花期遇低温, 使花粉发育不良, 授粉、受精过程受损, 胚的发育停止等, 造成结实率降低而引起减产, 秋收时的突出表现是空壳率增多。

1.2.3 混合型冷害 指在农作物生长期, 延迟型冷害与障碍型冷害相继出现, 即两种冷害交混发生的低温冷害。往往前期遇到延迟型冷害, 延迟了生育和抽穗, 到了孕穗开花期, 又遇到障碍型冷害, 引起了大量空壳、秕粒, 产量大幅度下降。此种类型冷害一旦发生, 减产幅度会有较大升高。

2 国外水稻冷害的研究进展

低温对植物的损伤一般划分为两个范畴: 即冰点以上低温对植物造成的冷害和冰点以下的低温对植物造成的冻害。冷害本质上是低温对植物体造成的生理损伤。引起冷害的温度一般为 $0 \sim 10^{\circ}\text{C}$ 或 15°C 。植物对低温的敏感程度与其起源密切相关, 热带起源的植物对低温冷害较为敏感, 而温带起源的植物则敏感程度较小。冷害对植物的损伤程度除取决于低温胁迫强度外, 还取决于低温维持时间的长短。由于低温胁迫与作物生产及其品质密切相关, 因此一个多世纪以来受到各国学者的普遍关注, 研究的内容主要涉及原生质膜透性、脂质过氧化作用、自由基伤害、酶系统、激素、核酸、蛋白质的含量、低温下的光合、呼吸等各个方面。近年来, 国内外从细胞和分子生物学角度研究植物的抵御温度逆境机制, 特别是植物抗寒机理, 取得了一些重要成果。

Lyons^[16] 提出, 低温逆境不可逆伤害的原初反应发生在生物膜系统的类脂分子的热致相变上。Prasad

等^[17] 人研究表明, 在正常情况下, 细胞内活性氧的产生与清除处于一种动态平衡状态, 当活性氧浓度超过正常水平时, 产生积累, 即对细胞形成氧化胁迫, 表现为膜透性增大, 离子渗漏, 严重者可导致植物死亡; 此外, 自由基还有使膜脂脱酯化的作用, 造成对膜的伤害。低温逆境能引起氧化胁迫, 对植物造成伤害。然而, Noctor 和 Foyer^[18] 则认为, 尽管低温逆境在植物体内引起氧化胁迫, 但植物本身具有保护机制而抵御活性氧所引起的伤害。

3 国内水稻冷害的研究进展

大量研究指出, 膜脂中的类脂不饱和性与细胞抗冷性关系密切, 实验证实, 抗冷性植物一般具有较高的膜脂不饱和度。许多植物对低温反映的一种表现就是增加不饱和较高的脂肪酸, 如油酸、亚油酸、亚麻酸的含量。王洪春等^[19] 对 206 个水稻品种种子干胚膜脂肪酸组成所做的分析表明, 抗冷品种的膜总类脂肪酸组成中, 含有较多亚油酸和较少的油酸, 其脂肪酸的不饱和指数高于不抗冷品种。然而, 目前对于植物细胞膜在某一低温范围内发生相变还是在特定的阈值临界温度发生膜脂相变还无定论; 不饱和脂肪酸与植物抗冷性之间的关系有待于进一步研究。

王以柔等^[2] 在对黄瓜的研究中证实, 在有光照的低温胁迫下叶绿素含量的下降要比黑暗低温下显著, 他认为在低温下叶绿素 b 的降解速度要比叶绿素 a 大。此外, 气孔导度是植物遭受环境胁迫的敏感指标之一, 可用于预测植物遭受水分、热等环境胁迫的程度^[20]。也有许多研究表明^[21-23] 低温引起植物叶片气孔阻力增加。

总之, 稻作中的低温冷害是一个非常复杂的过程, 水稻生长期的低温抑制其营养生长外, 主要是对其生殖生长(花药器官)的危害^[24]。水稻的生殖生长过程中对低温最敏感的时期是四分体期至第一收缩期的小孢子初期, 这一时期的低温直接影响小孢子的分化和发育, 造成小孢子分化数量减少和已分化的小孢子发育不良, 同时, 低温使花药药壁的绒毡层细胞膨大, 影响药壁向花粉的营养供给, 使花药内花粉充实不良, 从而导致开花时花药裂开不良或不能裂开, 受精率低, 这是造成结实率下降的主要原因^[25-28]。研究证明花药大小、花药内的可育花粉数、不育花粉率等均与结实率密切相关^[29-32], 与上述结论完全一致。

4 我国水稻冷害类型、危害特点及发生时期和规律

4.1 我国水稻冷害的类型

4.1.1 春季冷害 2、3 月份是华南早稻播种育秧季节, 而此时北方冷空气频频南下与海上移来的暖湿气流相遇, 形成急剧降温或持续低温阴雨天气, 容易造成

早稻烂秧。3、4月份是长江中下游地区早稻播种育秧季节,此时冷暖空气交替频繁,也常出现低温阴雨天气,造成早稻烂秧。

4.1.2 夏季冷害 东北地区地处我国的边陲,由于纬度较高,大陆季风气候明显,各年的天气气候情况变化较大,热量条件不很稳定,有些年份水稻生育期内会遇到低温天气,常因热量不足而造成水稻大面积减产。

4.1.3 秋季冷害 每年秋季寒露节气前后,正值华南及长江中下游地区晚稻抽穗扬花的关键时期,此时如遇低温危害,就会造成空壳瘪粒,导致减产。

此外,我国长江中下游地区属于亚热带季风气候,热量和水分资源都较为丰富,有利于双季稻的生产。但由于季风的影响,春季常受寒潮侵袭,造成有些年份不同程度的春寒而引起烂秧死苗。因此在当今人们还不能有效控制大自然的条件下,通过各种技术措施积极防御,以克服和回避水稻生产中冷害,防止和减轻早春冷害对水稻生产造成的危害和损失具有十分重要的意义。

4.2 水稻冷害的危害特点

4.2.1 播种至出苗期 水稻种子发芽的下限温度指标为 $7\sim 11.6^{\circ}\text{C}$ 。低于此温度会造成水稻播种至出苗的冷害,成苗率明显下降。

4.2.2 营养生长期 主要以延迟型冷害为主。经调查,播种至幼穗分化期临界温度是 $7\sim 18^{\circ}\text{C}$ 。气温在临界点以下,每降低 1°C 抽穗期延迟 $9\sim 11\text{d}$ 。

4.2.3 孕穗期 影响枝梗数及穗粒数的温度敏感期是在幼穗枝梗分化期至颖花分化期,大致在群体抽穗前 $23\sim 25\text{d}$;此期如遇低温,枝梗及颖花分化不良,每穗粒数减少。诱发不育的临界温度因品种和栽培条件的不同而不同,一般在 $16\sim 18^{\circ}\text{C}$ 。

4.1.4 开花灌浆期 此期遭遇低温主要是花粉粒不能正常成熟,花粉无效不能进行受精。期间的临界温度是 20°C ,易造成空秕率的增加而减产。水稻在开花期遇低温造成大量空壳的发生,影响水稻安全齐穗和产量。水稻在开花授粉期的最适温度是 $30\sim 32^{\circ}\text{C}$,最低温度为 15°C 。如果平均气温低于 20°C ,日最高气温低于 23°C ,开花就会减少,或虽开花而不授粉,形成空壳。

总之,水稻孕穗期的低温冷害是国际性的问题。我国各稻区也有冷害发生,据不完全统计,每年因冷害损失稻谷50亿 \sim 100亿 $\text{kg}^{[11]}$ 。而东北稻区在过去50a中发生的主要是延迟型冷害,对水稻生产危害较严重。近年来,随着栽培技术水平的提高,对防御延迟型冷害的能力也大幅度提高。但随着气候的变化,特别是7、8月份常常出现阶段性低温,障碍型冷害成为今后相当一段时间内的主要冷害类型,也是今后生产上应特别

关注的问题。因此,在水稻低温冷害的防治研究中,选育耐冷性强的良种、改良耕作制度、研制利用抗寒剂^[12-14]、植物生长调节剂等^[15]是主要的途径。

4.3 水稻冷害发生时期及发生规律

水稻一生中有四个时期最易发生冷害。一、芽期,此期的耐寒性直接影响水稻的成苗率;二、苗期,此期的耐寒性直接影响水稻根茎叶的生长和分蘖的多少及早晚、幼穗分化期的早晚、抽穗期的早晚以及最终的产量,这是水稻延迟型冷害的关键期;三、孕穗期,此期影响水稻结实率的关键时期;四、开花灌浆期,此期是直接影响水稻空秕率的关键时期。

水稻冷害在年际间的发生是有一定规律的。研究指出,水稻年成指数与8月份平均气温及8月份积温的相关性很大。8月份平均气温在 20°C 以下,积温在 600°C 以下时,年成指数多在80以下。统计表明,东北地区1949年以来冷害较重年集中在1951 \sim 1960年和1968 \sim 1977年这两段时间,东北稻区冷害频率大约每4a一遇。而较大范围的低温冷害则大约6a一遇。在东北三省中,黑龙江省冷害出现的频率最高。进入21世纪以来,冷害发生频繁,连续两年发生了不同程度的冷害,这也暗示着可能又进入了一个低温冷害的高发生阶段。

5 东北稻区冷害研究的迫切性

在东北稻区,水稻生长期短、气温低,从播种到秋季成熟各生育阶段,随时都有可能遭受低温冷害。1949年以来,东北稻区水稻产量由于冷害的影响一直很不稳定。据吉林省统计,在1954、1957、1969、1972、1976、1979、1988年,延边地区由于冷害而造成水稻减产高达65%以上。2002年,黑龙江省东部三江平原遭受历史上70a未遇的混合性低温冷害。2003年,黑龙江省南部和西部稻区也遭受了低温冷害,减产幅度多在30%左右,严重的地块接近绝产。近年来普遍流传着一种说法,认为随着全球气温的升高,今后将进入暖期,冷害将不会成为问题,可是近年来东北地区连续发生的延迟型和障碍型冷害的实事说明,东北稻区的冷害还会经常发生。

黑龙江省是我国主要的粳稻生产基地,是长江以北14个粳稻省区中稻作面积最大的省份。受气候变暖、栽培技术进步以及市场拉动等因素的影响,20世纪90年代以来,黑龙江省水稻种植区域不断扩大。目前黑龙江省水稻种植几乎遍及全省,东到乌苏里江边,由张广才岭山间河谷到西部大兴安岭山麓;南从拉林河流域到北纬 50°N 的黑河地区,全省除大兴安岭地区的3个县零星种植外,其余市县均有水稻种植,且部分地区已形成了稻谷集中产区。

然而,黑龙江省地处寒地,低温冷害常易发生,每3

~5 a便发生一次。建国后有记录的低温冷害年份垦区 14 次, 省内 10 次, 其中垦区重大冷害发生 5 次, 即 1971、1972、1981、1982 和 2002 年。历史上水稻面积有四次大的起伏, 主要是由于低温冷害所致。冷害分障碍型冷害、延迟型冷害、混合型冷害。历史上发生多为延迟型冷害, 其次为混合型冷害。2002 年受厄尔尼诺现象影响, 发生严重冷害, 从育苗期、插秧初期、分蘖期、幼穗形成期、减数分裂期、抽穗开花期、乳熟灌浆期均出现了不同程度阶段性低温, 造成障碍型冷害、延迟型冷害、稻瘟病型冷害均发生的混合型冷害, 损失较严重。据统计, 垦区平均产量 $6\,510\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 比上年减产 16% 。

总之, 未来的气候是难以预测的。因此, 在现实生产中, 应时刻确立低温年份也能够稳产的指导思想。

参考文献:

[1] 陈山, 李维秀, 董文胜. 阶段性低温冷害对水稻生长的影响[J]. 垦殖与稻作, 2004(增刊): 18-19.

[2] 梁书民. 中国农业种植结构及演化的空间分布和原因分析[J]. 中国农业资源与区划, 2006, 27(2): 29-34.

[3] 宫攀, 陈仲新, 唐华俊, 等. 土地覆盖分类系统研究进展[J]. 中国农业资源与区划, 2006, 27(2): 35-40.

[4] 姚艳敏, 陈佑启, 石淑芹, 等. 耕地保有量分析和保护对策研究——以山东青岛市为例[J]. 中国农业资源与区划, 2007, 28(2): 24-28.

[5] 毛建辉, 何明. 持续低温对稻瘟病的影响研究[J]. 西南农业大学学报, 1997(3): 228-230.

[6] 潘瑞炽, 李玲. 植物生长发育的化学控制[M]. 广东: 广东高等教育出版社, 1995: 4-5.

[7] Ho T D. Hormonal regulation of gene expression[J]. Plant Growth Regulation, 1993, 12: 197-205.

[8] Stickenetal D. A single cell system to study hormone signal transduction[J]. Plant Growth Regulation 1996 18: 149-154.

[9] 冯亮. G-蛋白与植物细胞信号转导[J]. 植物生理学通讯, 1996, 32(3): 215-223.

[10] 韩德元. 植物生长调节剂[M]. 北京: 科学技术出版社, 1997: 2-5.

[11] 李太贵, 朱德峰, 郭望模. 中国栽培稻种资源对主要逆境的抗性鉴定研究[M] //中国稻种资源. 北京: 中国农业科技出版社, 1993: 71-82.

[12] 朴春会, 崔泰振, 李淑琴. 抗寒剂 CR-4 在东北地区水稻生产中的应用效果[J]. 延边农业科技, 1994(47): 27.

[13] 段传嘉. 水稻育秧抗寒剂应用效果[J]. 湖南农业科学, 1992(2): 20.

[14] 宋天庆, 赵慧珠. 水稻应用抗冻灵抗寒增产效果明显[J]. 大理科技, 1994(1): 14.

[15] Flores Nimedez A A, Dorffl I K, Vergara B S. Improvment of chilling resistance in rice by application of na abscisic acid analog in combina-

tion with the growth retardant tetcyclacis[J]. Journal of Plant Growth Regulation 1993 12: 27.

[16] Lyons J M. Chilling injury in plants[J]. Ann. Rev Plant physiol, 1973 24: 445-446.

[17] Prasad T K, Anderson M D, Martin B A, et al. Evidence for chilling-induced oxidative stress in maize seedlings and a regulatory role for hydrogen peroxide[J]. Plant Cell 1994, 6: 65-74.

[18] Noctor G, Foyer C H. Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control[J]. Annu. Rev. Plant Physiol Plant Mol. Biol, 1998 49: 249-279.

[19] 王洪春, 汤章城, 苏维埃, 等. 水稻干胚膜脂肪酸组分差异性分析[J]. 植物生理学报, 1980 6(3): 225-236.

[20] 王以柔, 曾韶西. 在光照和黑暗条件下低温对水稻幼苗光合器官膜脂过氧化作用的影响[J]. 植物生理学报, 1986, 12(3): 244-251.

[21] 喻方圆, 徐锡增. 植物逆境生理研究进展[J]. 世界林业研究, 2003 16(5): 6-11

[22] 郁继华, 舒英杰, 吕军芬, 等. 低温弱光对茄子幼苗光合特性的影响[J]. 西北植物学报, 2004, 24(5): 831-836.

[23] 张放, 唐小蕴. 低温胁迫对处于不同水分状态柑桔光合作用的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2001, 27(4): 393-396.

[24] Hayase H T, Satake I, Nishiyama, et al. Male sterility caused by cooling treatment at the meiotic stage in rice plants. II. The most sensitive stage to cooling and the fertilizing ability of pistils[J]. Proc. Crop Sci. Soc. Japan, 1969, 39: 706-711.

[25] Ito N H, Hayase T, Satake, et al. Male sterility caused by cooling treatment at the meiotic stage in rice plants. Male abnormalities at anthesis. Proq[J]. Crop Sci. Soc. Japan, 1970, 39: 60-64.

[26] Satake T, Hayase H. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. V. Estimation of pollen developmental stage and the most sensitive stage to coolness[J]. Proc. Crop Sci. Soc. Japan, 1970, 39: 468-473.

[27] Satake T. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. XXX. Relation between fertilization and the number of engorged pollen grains among spikelets cooled at different pollen developmental stages[J]. Jpn. J. Crop Sci. 1991, 60: 523-528.

[28] Satake T, Shibata M. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. XX XI. Four components participating in fertilization[J]. Jpn. J. Crop Sci. 1992, 61: 454-462.

[29] 王怀义, 熊建华, 张思竹, 等. 水稻花药长度与耐寒性的关系[J]. 西南农业学报, 1988 1(2): 65-67.

[30] 叶昌荣, 熊建华, 戴陆园, 等. 水稻花药在耐寒性鉴定上的应用[J]. 西南农业学报, 1996 9(1): 1-4.

[31] 叶昌荣, 戴陆园, 廖新华, 等. 低温诱导下水稻花药和不育花粉数的变化及其与耐冷性的关系[J]. 西南农业学报, 1996, 9(3): 1-6.

[32] 叶昌荣, 廖新华, 戴陆园, 等. 水稻品种孕穗期耐冷性构成因子分析[J]. 中国水稻科学, 1998, 12(1): 6-10.

★ 欢迎刊登广告 ★