

低温胁迫对水稻幼苗叶片生理生化特性的影响

王亚男, 范思静 (安徽金培因科技有限公司, 安徽合肥 230088)

摘要 [目的]研究低温胁迫对水稻叶片生理生化特性的影响。[方法]以水稻品种两优 5916 为试验材料,研究低温胁迫过程中水稻幼苗叶片的光合参数、叶绿素荧光参数、抗氧化系统酶活和丙二醛含量的变化。[结果]低温胁迫下,水稻的净光合效率、气孔导度与蒸腾速率均明显下降,叶绿素荧光参数光合系统 II 最大潜在光化学效率(F_v/F_m)与光化学转换的实际量子效率(Φ_{PSII})也显著降低,初始最小荧光(F_0)与光合系统 II 非调控能量耗散系数(Φ_{NO})升高。对抗氧化系统酶活的测定结果表明,在低温处理过程中水稻幼苗叶片的抗氧化系统 SOD、POD、CAT 酶活呈先升高后降低的趋势,丙二醛含量则逐步升高。[结论]在低温胁迫下,水稻对光能的吸收转换效率降低,而蒸腾速率与气孔导度的降低导致叶片净光合速率的降低,由于叶片抗氧化系统酶活的降低以及 MDA 含量的增加,叶片光合系统 II 受到了不可逆的损伤。

关键词 水稻;低温冷害;光合作用;叶绿素荧光参数;抗氧化系统

中图分类号 S501 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)05-0008-02

Effects of Low-temperature Stress on the Physiological and Biochemical Characteristics of Rice Seedling Leaves

WANG Ya-nan, FAN Si-jing (Anhui Jinpei Yin Technology Co. Ltd, Hefei, Anhui 230088)

Abstract [Objective] To study the effects of low-temperature stress on the physiological and biochemical characteristics of rice seedling leaves. [Method] Taking rice cultivar Liangyou 5916 as test materials, the changes of photosynthesis parameters, chlorophyll fluorescence parameters, enzyme activities of antioxidant system and MDA content in the process of low-temperature stress were studied. [Result] Under low-temperature stress, the net photosynthesis rate, stomatal conductance and transpiration rate obviously decreased, and chlorophyll fluorescence parameters F_v/F_m , Φ_{PSII} obviously decreased, but F_0 and Φ_{NO} increased. The determination results of the activities of SOD, POD and CAT enzymes firstly increased and then decreased, MDA content gradually increased. [Conclusion] Under low-temperature stress, photochemical conversion efficiency decreased, the net photosynthesis rate decreased by the decrease of stomatal conductance and transpiration rate. PS II was damaged because enzymes activities of antioxidant system decreased and MDA content increased.

Key words Rice; Cold damage; Photosynthesis; Chlorophyll fluorescence parameters; Antioxidant system

水稻在前期育苗生产过程中常常会遭遇低温的影响,导致苗期遭遇冷害,水稻生长缓慢或停滞^[1-3]。研究表明,当环境温度低于 10 ℃时,水稻的生理代谢过程就会受到伤害,如膜透性增加、叶绿素合成受到抑制、引起光合作用系统对光能的吸收转换与利用效率降低,直接影响水稻幼苗的生长^[4]。笔者通过测定低温胁迫下水稻叶片的光合参数、叶绿素荧光参数以及抗氧化系统酶活与丙二醛(MDA)含量,研究低温胁迫对水稻品种两优 5916 的影响,分析水稻对低温胁迫的生理生化应激反应,旨在为进一步探讨低温影响水稻生长的内在机制提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料及其处理 以安徽金培因公司选育的水稻品种两优 5916 为试验材料,挑取颗粒饱满的种子,用水浸泡后,用 70% 乙醇消毒 5 min,用水冲洗后在水中浸泡 24 h,然后播种于装有营养基质的培养盘中,置于气候培养箱中进行育苗,温度 28 ℃、湿度 80%、光照强度 120 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,白天 10 h,夜晚 14 h,进行连续培养。待幼苗生长至 4 叶期,选取表型基本一致的植株进行试验,以正常处理为对照,处理组处理温度为 8 ℃,连续处理 24 h,湿度 80%、光照强度 120 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,白天 10 h,夜间 14 h,每个处理设 5 次重复,以正常处理为对照,低温处理 4、8、12 和 24 h 后取样,进行相关生理生化指标的测定。

1.2 光合参数的测定 使用美国 LI-COR 公司的 Li-6400

光合测定仪进行光合参数的测定,设定开放式气路,光照强度设定为 1 200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, CO_2 浓度约为 390 $\mu\text{mol}/\text{mol}$,叶室温度设定为 28 ℃,测定倒 3 叶的净光合速率(Net photosynthetic rate, P_n)、气孔导度(Stomatal conductance, G_s)、蒸腾速率(Transpiration rate, Tr)。取 3 片完全伸展的叶片进行测定,取平均值。

1.3 叶绿素荧光参数的测定 使用德国 WALZ 公司的 PAM-2500 便携式脉冲可调制式荧光测定仪进行叶绿素荧光参数的测定,设定饱和脉冲时间为 800 ms,脉冲频率为 20 s,脉冲光强 3 000 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,测量光强 100 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,作用光强为 150 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,测定低温处理过程中水稻幼苗叶片的叶绿素荧光参数。取 3 片完全伸展的叶片进行测定,取平均值。采用在线慢诱导模式测定初始荧光(F_0)、最大荧光(F_m)、光系统 II(PS II)最大光化学效率(F_v/F_m)。光化学转换过程中的实际量子效率(Φ_{PSII})、非调控能量耗散系数(Φ_{NO})与可调控能量耗散系数(Φ_{NPQ})参照 Genty 等^[5]、Kramer 等^[6]和 Calatayud 等^[7]的方法,根据“puddle model”和“lake model”进行计算。使用 DPS 2000 软件,按照 Turkey 多重比较对试验数据进行差异显著性分析^[8]。

1.4 抗氧化系统酶活与丙二醛含量的测定 抗氧化系统酶 SOD、POD 与 CAT 活性以及丙二醛含量使用南京建成生物工程研究所提供的试剂盒进行测定。

2 结果与分析

2.1 低温胁迫下水稻叶片光合参数的变化 从图 1 可以看出,低温胁迫下水稻叶片的光合作用参数净光合效率、气孔导度与蒸腾速率均明显下降,与对照(CK)相比,低温处理

基金项目 安徽省科技攻关计划项目(1501031111)。

作者简介 王亚男(1983—),女,安徽青阳人,农艺师,硕士,从事作物遗传育种研究。

收稿日期 2016-12-24

4 h 后净光合效率、气孔导度与蒸腾速率先迅速下降,然后缓慢下降;低温处理 12~24 h,叶片的净光合效率、气孔导度与蒸腾速率逐渐趋于稳定。以上结果表明,水稻叶片的光合作用系统在遭遇冷害处理的早期反应较为敏感,光合参数下降较快,中后期光合作用已经很微弱,光合参数降至最低值。

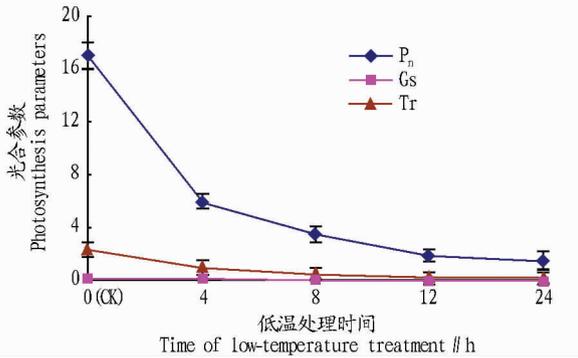


图1 低温胁迫对水稻叶片光合参数的影响

Fig.1 Effects of low-temperature stress on photosynthesis parameters of rice leaves

2.2 低温胁迫下水稻叶片叶绿素荧光参数的变化 从图2可以看出,低温胁迫下初始最小荧光(F_0)与初始最大荧光(F_m)呈逐渐增加的趋势,而光合系统II的潜在最大光化学效率(F_v/F_m)则逐渐降低,表明低温处理损伤了光合系统II,导致初始荧光参数(F_0)的增加,最大光化学效率(F_v/F_m)的降低。对水稻叶片光合系统II的进一步研究表明,低温处理导致光合系统II的光化学转换的实际量子效率 Φ_{PSII} 降低,光合系统II可调控能量耗散系数(Φ_{NPQ})先升高后降低,低温处理4 h后达到最大值,此后逐渐降低,而光合系统II非调控能量耗散系数(Φ_{NO})则呈逐渐上升的趋势,低温处理8 h后叶片 Φ_{NO} 在0.6以上,表明水稻叶片光合系统II遭受了不可逆的伤害(表1)。

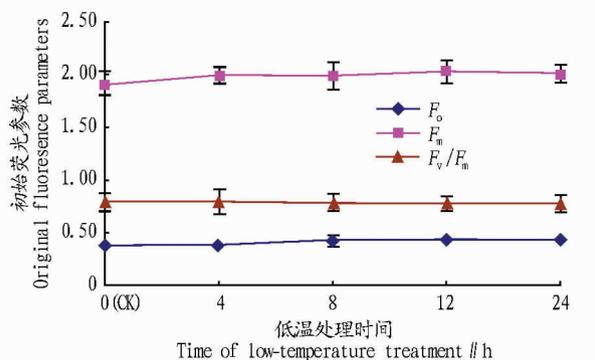


图2 低温胁迫对水稻叶片初始荧光参数的影响

Fig.2 Effects of low-temperature stress on original fluorescence parameters of rice leaves

2.3 低温胁迫下水稻叶片抗氧化系统酶活与丙二醛含量的变化 从表2可以看出,低温处理过程中水稻叶片抗氧化系统酶SOD、POD与CAT活性呈先升后降的趋势,在低温处理8 h时达到最大值;低温处理24 h时,SOD、POD与CAT活性显著低于对照(CK)。随着低温处理时间的延长,丙二醛含量呈逐步增加的趋势,低温处理24 h时丙二醛含量达到最

大值。

表1 低温胁迫对水稻叶片叶绿素荧光参数 Φ_{PSII} 、 Φ_{NPQ} 和 Φ_{NO} 的影响
Table 1 Effects of low-temperature stress on chlorophyll fluorescence parameters Φ_{PSII} 、 Φ_{NPQ} 、 Φ_{NO} of rice leaves

低温处理时间 Time of low-temperature treatment//h	Φ_{PSII}	Φ_{NPQ}	Φ_{NO}
CK	0.454 ± 0.015 a	0.293 ± 0.009 ab	0.253 ± 0.012 c
4	0.339 ± 0.024 a	0.350 ± 0.015 a	0.311 ± 0.018 c
8	0.121 ± 0.012 b	0.264 ± 0.011 b	0.615 ± 0.012 b
12	0.087 ± 0.008 bc	0.157 ± 0.014 c	0.756 ± 0.026 ab
24	0.038 ± 0.006 c	0.113 ± 0.008 c	0.849 ± 0.008 a

注:同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

Note: Different small letters in the same column indicated significant difference ($P < 0.05$)

表2 低温胁迫对水稻叶片抗氧化系统酶活与丙二醛含量的影响

Table 2 Effects of low-temperature stress on enzymes activities of antioxidant system and MDA content in rice leaves

低温处理时间 Time of low-temperature treatment//h	SOD 活性 SOD activity U/mg	POD 活性 POD activity U/mg	CAT 活性 CAT activity U/mg	MDA 活性 MDA content $\mu\text{mol/g}$
0	10.53 ± 0.18 b	274.00 ± 7.81 b	5.23 ± 0.26 cd	6.19 ± 0.12 e
4	13.23 ± 0.52 a	333.00 ± 7.23 a	6.57 ± 0.18 b	9.85 ± 0.36 d
8	14.63 ± 0.32 a	346.66 ± 5.69 a	8.27 ± 0.23 a	17.01 ± 0.24 c
12	10.10 ± 0.14 b	290.67 ± 3.48 b	6.03 ± 0.32 bc	20.71 ± 0.31 b
24	7.96 ± 0.23 c	219.33 ± 4.91 c	4.43 ± 0.19 d	22.29 ± 0.09 a

注:同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

Note: Different small letters in the same column indicated significant difference ($P < 0.05$)

3 讨论与结论

低温冷害是水稻苗期常遭受的逆境胁迫主要因子之一^[9]。近年来,由于极度天气频发,南方地区常常因低温连阴雨导致水稻停滞生长,甚至秧苗死亡,已逐渐成为水稻减产的主要原因之一^[10-11]。该研究围绕水稻遭遇低温冷害的应激反应,研究低温冷害处理过程中水稻光合作用系统以及抗氧化系统相关指标的变化,结果表明低温处理降低了水稻叶片的净光合速率、蒸腾速率与气孔导度,低温引起叶片初始最小荧光(F_0)与光合系统II非调控能量耗散系数(Φ_{NO})的升高,叶片光合系统II最大潜在光化学效率(F_v/F_m)与光化学转换的实际量子效率(Φ_{PSII})的降低。这表明水稻叶片在遭遇低温胁迫时,水稻对光能的吸收转换效率降低,蒸腾速率与气孔导度的降低会导致叶片净光合速率的降低,由于叶片抗氧化系统酶活的降低以及MDA含量的增加,可能导致叶片单线态氧与膜脂过氧化程度的增加,对叶片光合系统II产生了不可逆的损伤。

参考文献

- [1] 王品,魏星,张朝,陈一,等. 气候变暖背景下水稻低温冷害和高温热害的研究进展[J]. 资源科学,2014,36(11):2316-2326.
- [2] 李健陵,霍治国,吴丽姬,等. 孕穗期低温对水稻产量的影响及其生理机制[J]. 中国水稻科学,2014,28(3):277-288.
- [3] 聂元元,蔡耀辉,颜满莲,等. 水稻低温冷害分析研究进展[J]. 江西农业学报,2011,23(3):63-66.
- [4] 王春萍,雷开荣,李正国,等. 低温胁迫对水稻幼苗不同叶龄叶片叶绿素荧光特性的影响[J]. 植物资源与环境学报,2012,21(3):38-43.

(下转第13页)

(12.0 叶) 2~3 cm 浅水灌溉, 期间视苗情晒露田 1~2 次; 12.0 叶~倒 3.5 叶(即 13.0 叶期)进行分次搁田, 先轻后重, 第 1 次在 12.0 叶期轻搁, 隔 5 d 第 2 次重搁, 搁到风吹稻叶响、叶尖刺手掌、田面泛白根、中间不发白; 14.0 叶至抽穗 25 d, 浅水勤灌, 以浅水层和湿润为主; 齐穗至成熟以湿润为主, 养根保叶。

3.5 预测预报, 绿色专业防控 根据预测、预报结果, 选择无公害农药, 以村为单位, 对病虫害进行联防, 秧田期和大田期各联防 2~3 次, 制定合理的害虫防治指标, 绿色、经济有效地控制其危害, 达到受害允许水平及增产增收为目的。

①温暖粳稻区和冷凉粳稻区。主要抓好稻飞虱、稻螟虫、稻瘟病、纹枯病 2 病 2 虫的防治, 稻飞虱可用飞虱扫光光、对决, 稻螟虫可用毒死蜱、好卫稻, 稻瘟病可用 75% 三环唑、富士一号, 纹枯病可用井冈霉素、叶枯唑, 还可用杀虫灯、性诱剂进行绿色防控, 确保稻田达到高产优质高效目标。②低热河谷籼稻区。主要抓好稻飞虱、稻螟虫、稻瘟病、细菌性条斑病 2 病 2 虫的防治, 稻飞虱可用飞虱扫光光、对决, 稻螟虫可用毒死蜱、好卫稻, 稻瘟病可用 75% 三环唑、富士一号, 细菌性条斑病可用叶枯唑, 确保稻田达到高产优质高效目标。

3.6 适时收割, 提质增效 ①温暖粳稻区和冷凉粳稻区。齐穗后逐步撒水晒田, 采取九黄十收或八黄十收, 有条件地区进行机械化收割, 机械烘干, 提高稻米品质。②低热河谷籼稻区。灌浆结束立即撒水晒田, 采取九黄十收或八黄十收, 机械化收割, 提高稻米品质。

4 良态是保障

良态指的就是政治生态和气候条件, 良好政治生态提供科学发展保障。政策措施推动得力, 隆阳区人民政府制定隆政发[2013]43 号和隆政发[2014]41 号文件《隆阳区大春粮食生产指导性意见》; 国家、省、市、区对水稻生产的扶持政策资金到位, 资金投入合计 351 万元; 举办样板以点带面, 2013—2014 年, 超计划完成省级现代农业水稻产业体系建设综合示范区、国家基层农技推广体系改革与建设补助、水稻高产创建、水稻高产创建整乡推进、农业综合开发水稻高产样板等项目, 面积 9 000 hm², 新增产量 1 101.08 万 kg。有研究表明, 水稻生长期, 高温低湿, 抽穗后昼夜温差较大, 灌浆结实期光照充足是水稻高产的生态因子之一^[16]。隆阳区年平均气温 15.5 ℃, 最冷 1 月平均气温 8.5 ℃, 最热月 7 月平均气温 20.7 ℃, 年极端最高气温 32.4 ℃, 年极端最低气温 -3.8 ℃, ≥10 ℃ 的年有效积温 4 940 ℃, 全年无霜期 290 d 以上; 年相对

湿度 70%~80%, 年均太阳总辐射 5 553.7~5 959.8 MJ/m², 平均日照时数 2 307.4 h, 年降雨量 966.5 mm, 干雨季分明, 雨量多集中在 6—10 月, 冬春干旱。由此可见, 保山市隆阳区已经具备有利条件, 水稻可实现大面积产量过 12 t/hm²。

参考文献

- [1] 买天. 我国将采取多项措施新增 500 亿公斤粮食产能[N]. 农民日报, 2009-11-05(001).
- [2] FAO. Statistical databases[Z]. Rome: Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, 2004.
- [3] 张洪程, 戴其根, 霍中洋, 等. 水稻超高产栽培研究与探讨[J]. 中国稻米, 2012, 18(1): 1-14.
- [4] 朱德峰, 张玉屏, 陈惠哲, 等. 中国水稻高产栽培技术创新与实践[J]. 中国农业科学, 2015, 48(17): 3404-3414.
- [5] 杨军雄, 房宝仙, 章燕飞. 963.65 公斤中国超级稻平均亩产新纪录[N]. 浙江日报, 2012-11-28(009).
- [6] 张振中, 李慧兰. 988.1 公斤/亩, 超级稻创世界纪录[N]. 农民日报, 2013-09-30(001).
- [7] 赵经平. 超级稻百亩方亩产创 1026.7 公斤新纪录[N]. 农民日报, 2014-10-13(001).
- [8] 俞慧友, 杨耀松. 超级稻 4 个万亩片全部达到亩产 800 公斤[N]. 科技日报, 2015-12-03(001).
- [9] 屈宝香, 李文娟, 钱静萍. 中国粮食增产潜力主要影响因素分析[J]. 中国农业资源与区划, 2009, 30(4): 34-39.
- [10] 高云, 陈伟忠, 詹慧龙, 等. 中国粮食增产潜力影响因素分析[J]. 中国农学通报, 2013, 29(35): 132-138.
- [11] 孔令娟, 汪新国, 杨惠成. 安徽省水稻全面增产之浅析[J]. 农学学报, 2014, 4(7): 100-106.
- [12] 凌启鸿, 张洪程, 丁艳锋, 等. 水稻高产技术的新发展——精确定量栽培[J]. 中国稻米, 2005, 11(1): 3-7.
- [13] 张建民. “甬优 12”产量 1000kg/667m² 超高产栽培技术探索[J]. 上海农业科技, 2014(3): 37-38.
- [14] 李建武, 张玉焯, 吴俊, 等. 超高产水稻新组合 Y 两优 900 百亩方 15.40 t/hm² 高产栽培技术研究[J]. 中国稻米, 2014, 20(6): 1-4.
- [15] 闵思桂, 杨杰, 王军, 等. 南粳 49 梗稻 12000kg/hm² 目标高产栽培技术措施[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(7): 49-51.
- [16] 夏琼梅, 李贵勇, 邓安凤, 等. 云南特殊生态区水稻高产机理研究[J]. 西南农业学报, 2016, 29(1): 6-10.
- [17] 赵应平, 曾林, 余德元, 等. 粳稻隆科 16 不同栽插密度对其产量及构成因素的影响[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(24): 25-27.
- [18] 曾林, 苏文斌, 阮顺生, 等. 粳稻隆科 16 不同栽插密度对其产量及构成因素的影响[J]. 农业科学与技术, 2016, 17(11): 2582-2585.
- [19] 张朝钟, 陶加进, 戈芹英, 等. 保山市隆阳区整县制一季中稻超 10.5 t/hm² 技术集成[J]. 云南农业科技, 2015(3): 20-22.
- [20] 石全红, 王宏, 陈阜, 等. 中国中低产田时空分布特征及增产潜力分析[J]. 中国农学通报, 2010, 26(19): 369-373.
- [21] 凌启鸿, 张洪程, 丁艳锋, 等. 水稻精确定量栽培理论与技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007: 76-87.
- [22] 彭少兵, 黄见良, 钟旭华, 等. 提高中国稻田氮肥利用率的研究策略[J]. 中国农业科学, 2002, 35(9): 1095-1103.
- [23] 朱兆良. 中国土壤供氮和化肥氮去向研究的进展[J]. 土壤, 1985, 17(1): 2-9.
- [24] 李庆远, 朱兆良, 于天仁. 中国农业持续发展中的肥料问题[M]. 南昌: 江西科学技术出版社, 1998: 1-266.
- [25] 凌启鸿, 张洪程, 戴其根, 等. 水稻精确定量施氮研究[J]. 中国农业科学, 2005, 38(12): 2457-2467.
- [26] 张洪程, 吴桂成, 戴其根, 等. 水稻氮肥精确后移及其机制[J]. 作物学报, 2011, 37(10): 1837-1851.

(上接第 9 页)

- [5] GENTY B, BRIANTAIS J M, BAKER N R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence[J]. Biochim et Biophys Acta, 1989, 990(1): 87-92.
- [6] KRAMER D M, JOHNSON G, KIIRATS O, et al. New fluorescence parameters for the determination of QA redox state and excitation energy fluxes[J]. Photosynthesis research, 2004, 79(2): 209-218.
- [7] CALATAYUD A, ROCA D, MARTÍNEZ P F. Spatial-temporal variations in rose leaves under water stress conditions studied by chlorophyll fluorescence imaging[J]. Plant physiology and biochemistry, 2006, 44(10):

564-573.

- [8] TANG Q Y, ZHANG C X. Data Processing System(DPS) software with experimental design, statistical analysis and data mining developed for use in entomological research[J]. Insect science, 2013, 20(2): 254-260.
- [9] 宋广树, 孙忠富, 孙蕾, 等. 东北中部地区水稻不同生育时期低温处理下生理变化及耐冷性比较[J]. 生态学报, 2011, 31(13): 3788-3795.
- [10] 宋广树, 孙忠富, 王夏, 等. 不同生育时期低温处理对水稻品质的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(18): 174-179.
- [11] 刘民. 水稻低温冷害分析及研究进展[J]. 黑龙江农业科学, 2009(4): 154-157.