

低温逆境对马铃薯叶片光合作用的影响

秦玉芝¹, 陈珏², 邢铮¹, 何长征¹, 熊兴耀^{1*}

(1.湖南农业大学园艺园林学院, 湖南 长沙 410128; 2.广西桂林茶叶科学研究所, 广西 桂林 541000)

摘要:为评价低温胁迫下不同马铃薯品种的光合适应性,以 7 个马铃薯普通栽培品种和 2 个湖南马铃薯地方种为材料,分析低温(5、10 °C,以 20 °C 为对照)对马铃薯光合作用的影响。结果表明:马铃薯净光合速率随环境温度的降低而下降,所有供试材料表现出相同的变化趋势,但不同材料之间的下降幅度存在差异,与 20 °C 相比,金山薯、中寨黄皮、中薯 3 号和中薯 5 号 10 °C 时最大净光合速率的下降幅度分别为 51.0%、33.4%、44.5%和 42.6%,费乌瑞它和湘马铃薯 1 号的下降幅度均为 14%~17%,以上供试材料与对照的差异均达显著水平($P < 0.05$),克新系列(1、3、4 号)的降幅在 4.5%以内,与对照的差异无统计学意义($P > 0.05$);10 °C 下所有供试马铃薯材料的表观量子速率、光饱和点、光补偿点、气孔导度和蒸腾速率均显著低于对照($P < 0.05$),费乌瑞它、中薯 3 号和中薯 1 号在 5 °C 时的最大净光合速率分别为 9.85、7.54、5.13 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2/\text{s})$,以上 3 种材料的气孔导度为对照的 25%~30%,其他供试马铃薯材料的光合作用则基本停止;随着环境温度由 20 °C 降到 5 °C,马铃薯叶片胞间 CO_2 浓度先下降后升高。综合考虑,认为 5 °C 下马铃薯光合作用的特点可以作为对其进行耐寒性评价的依据。

关键词:马铃薯;低温胁迫;光合作用

中图分类号: S602.4

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2013)01-0026-05

Effects of low temperature stress on photosynthesis in potato leaves

QIN Yu-zhi¹, CHEN Jue², XING Zhen¹, HE Chang-zheng¹, XIONG Xing-yao^{1*}

(1.College of Horticulture and Landscape, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2.Tea Research Institute of Guangxi Guilin, Guilin, Guangxi 541000, China)

Abstract: The effects of low temperature stress on photosynthesis in leaves of seven regular potato cultivars and two Hunan endemic potato species have been studied. The results showed that the photosynthetic rate (P_n) was significantly reduced with decreasing environmental temperature for all the species, however, every species exhibited different declining rate. For example, the maximum net photosynthetic rates ($P_{n_{\max}}$) between 10 °C and 20 °C treatments of Jinshanshu, Zhongzaihuangpi, Zhongshu3, Zhongshu5, Xiangshu1, Favorita were reduced by 51.0%, 33.4%, 44.5%, 42.6%, 14% and 17% respectively, where the $P_{n_{\max}}$ variations in these two groups of treatments reach significant level ($P < 0.05$). On the other hand, the decreasing rates of $P_{n_{\max}}$ of Kexin series (1, 3, 4) were within 4.5%, and insignificant variations were found between 10 °C and 20 °C treatments ($P > 0.05$). The apparent quantum yield (AQY), the light saturation points (LSP), the light compensation points (LCP), stomatal conductance (Gs) and transpiration rate (Tr) were significantly decreased under 10 °C temperature stress ($P < 0.05$). The $P_{n_{\max}}$ values of Favorita, Zhongshu3 and Xiangshu1 under 5 °C temperature stress were 9.85, 7.54, 5.13 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2/\text{s})$ respectively, while P_n values of the other materials were essentially zero. Increased intercellular CO_2 concentration (C_i) were observed after an obvious declination when the environmental temperature decreased from 10 °C to 5 °C. The above results indicate that the photosynthetic rate under 5 °C low temperature stress can be served as a promising index in for evaluation of seedling cold tolerance.

Key words: potato; low temperature stress; photosynthesis

收稿日期: 2012-09-18

基金项目: 国家“948”项目(2011G1(2)12); 国家“十二·五”科技支撑计划项目(2012BAD02B05); 作物种质创新与资源利用重点实验室开放科学基金项目(10KFxm12); 湖南省教育厅科学研究项目(10C0811); 湖南省发改委科技专项([2011]1318)

作者简介: 秦玉芝(1971—), 女, 湖南永顺人, 博士, 主要从事逆境生理与蔬菜遗传育种研究, qyuz@163.com; *通信作者, xiongxingyao@126.com

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)喜光(生长期日照时间长和光照度大有利于光合作用), 10~12 °C为马铃薯幼芽的适宜生长温度^[1-2]。在南方冬作区利用冬闲田进行马铃薯生产时, 一般根据市场和水稻种植情况在12月中下旬播种, 于翌年4~5月收获。以湖南为例, 冬作马铃薯的播种至萌发期为12月至翌年2月, 期间是全年气温最低的季节; 马铃薯生长旺盛期为2—3月, 期间的气温多迂回变化, 频发“倒春寒”, 且阴雨连绵。据统计, 近50年来, 1月1日至3月20日, 湖南全省平均气温7.4 °C(2012年为5.5 °C), 日照时间平均162.1 h(2012年仅为49.6 h), 此期间湖南全省平均雨日38.8 d(2012年为45.9 d)^[2]。南方冬作区马铃薯规模种植起步晚, 产业基础薄弱, 适宜于南方低温、弱光和高湿逆境生态条件的优良冬作马铃薯品种缺乏。目前的马铃薯常规栽培品种对南方冬、春季前期低温、弱光不适应已经成为马铃薯生产南移的重要限制因子之一^[2-3]。在南方冬、春季低温、弱光情况下, 马铃薯光合强度低, 光合产物积累少, 产量与品质受到严重影响, 因此, 在选育冬作区特殊生态条件适应型马铃薯品种时对马铃薯材料低温逆境光合作用进行评价显得尤为重要。以目前湖南种植面积较大的马铃薯普通栽培种和笔者收集的部分湖南本地种及部分北方生态型主栽品种为研究材料, 研究低温逆境对马铃薯叶片光合作用的影响, 旨在为南方冬作区马铃薯适栽品种的引种与选育提供参考。

1 材料与方 法

1.1 材 料

供试材料为费乌瑞它、中薯3号、湘马铃薯1号、中寨黄皮(地方种)、金山薯(地方种)、中薯5号、克新1号、克新3号、克新4号共9个马铃薯常规栽培品种, 由湖南省马铃薯工程技术研究中心和黑龙江省农业科学院克山分院提供。

1.2 方 法

1.2.1 试验设计

种薯用营养土盆栽, 人工气候箱(20 °C、相对湿度80%、光照200 ($\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$))中培养, 昼16 h,

夜8 h, 昼夜温度不变化。于苗龄30 d时低温处理2 h后进行光合测定。处理I设定为10 °C, 处理II设定为5 °C, 对照温度设定为20 °C, 其他条件不变。每品种每处理各重复3次。

1.2.2 光合作用响应曲线的绘制

选取由顶端开始的第四节位完全展开叶, 使用LI-6400XT 便携式光合测定仪测定其光合速率。将光照度分别设定为2 000、1 800、1 600、1 400、1 200、1 000、800、600、400、200、150、100、80、50、20、0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$, 参照文献[4], 采用非直角双曲线模型对净光合速率与光照度进行拟合。

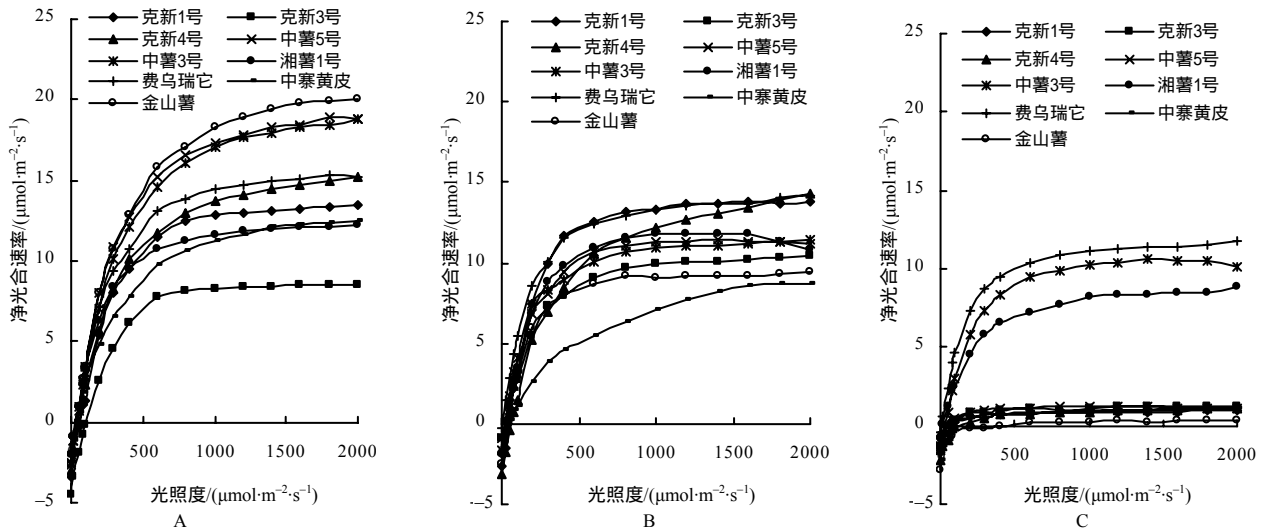
1.3 数据分析

用 Microsoft Excel 软件处理数据和制图, 用 DPS 软件的 LSD 法进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 低温胁迫对马铃薯叶片光合作用的影响

研究表明, 马铃薯净光合速率随环境温度的下降而下降, 所有供试材料表现出相同的变化趋势(图1)。在相同条件下, 与对照(20 °C)相比, 10 °C时湖南本地马铃薯种中寨黄皮和金山薯最大净光合速率的下降幅度分别为33.4%和51.0%, 中薯5号和中薯3号的下降幅度分别为42.6%和44.5%, 费乌瑞它和湘马铃薯1号的下降幅度均为14%~17%, 以上材料在10 °C环境下的最大净光合速率与对照的差异均达到显著水平; 克新系列(1、3、4号)的下降幅度均在5%以内, 与对照的差异无统计学意义, 可见, 克新系列(1、3、4号)对10 °C环境的适应性较强。10 °C下所有供试马铃薯材料的表观量子速率(AQY)均比对照显著下降。表1数据表明, 所有供试材料的光饱和点和光补偿点都显著下降, 可见, 低温不仅使马铃薯的光合作用效率降低, 还使马铃薯可有效利用的光照度发生变化。费乌瑞它、中薯3号和湘薯1号于5 °C仍分别具有9.85、7.54、5.13 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 的最大净光合速率, 而其他供试马铃薯材料的光合作用基本停止(图1-C), 可见, 5 °C低温强烈抑制马铃薯的光合作用, 且品种间的表现不一。



A 对照(20 °C); B 处理 I (10 °C); C 处理 (5 °C)。

图 1 不同温度下马铃薯叶片的光合响应曲线

Fig.1 Response curves of photosynthesis of potatoes leaves under different temperatures

表 1 供试马铃薯品种在不同温度下的最大净光合速率、表观量子速率、光饱和点和光补偿点

Table 1 Temperature on Pn_{max} , AQY , LSP and LCP

温度/ °C	最大净光合速率/ $(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$									光饱和点/ $(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$								
	CL ₁	CL ₂	CL ₃	CL ₄	CL ₅	CL ₆	CL ₇	CL ₈	CL ₉	CL ₁	CL ₂	CL ₃	CL ₄	CL ₅	CL ₆	CL ₇	CL ₈	CL ₉
20	17.36	13.26	19.56	23.17a	22.90a	14.90a	17.32a	17.32a	24.87a	475a	497a	542a	483a	533a	397a	418a	666a	514a
10	17.15	12.70	19.03	13.28b	12.69b	12.72b	14.35b	11.53b	12.17b	384b	361b	512b	353b	348b	352b	340b	527b	335b
5	—	—	—	—	7.54c	5.13c	9.85c	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

温度/ °C	表观量子效率									光补偿点/ $(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$								
	CL ₁	CL ₂	CL ₃	CL ₄	CL ₅	CL ₆	CL ₇	CL ₈	CL ₉	CL ₁	CL ₂	CL ₃	CL ₄	CL ₅	CL ₆	CL ₇	CL ₈	CL ₉
20	0.067a	0.058a	0.062a	0.071a	0.061a	0.061a	0.073a	0.097a	0.070a	67a	115a	67a	39a	41a	35a	34a	49a	41a
10	0.052b	0.042b	0.055b	0.051b	0.058b	0.054b	0.065b	0.073b	0.068b	48b	89b	56b	28b	25b	22b	21b	46b	38b
5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

CL₁、CL₂、CL₃、CL₄、CL₅、CL₆、CL₇、CL₈、CL₉ 分别为材料克新 1 号、克新 3 号、克新 4 号、中薯 5 号、中薯 3 号、湘薯 1 号、费乌瑞它、中寨黄皮、金山薯。下同。

2.2 低温胁迫对供试马铃薯气孔导度和蒸腾速率、胞间 CO₂ 浓度的影响

由表 2 可见，不同马铃薯材料的气孔导度(G_s)和蒸腾速率(T_r)随温度的降低而下降，中寨黄皮和金山薯的 G_s 对低温较敏感，10 °C 时仅为对照的 15% 和 14%，其他材料均为对照的 50% 以上，其中中薯 5 号为对照的 73.5%。当环境温度为 5 °C 时，克新 1 号、中寨黄皮和金山薯的 G_s 降至仅为对照的 5% 以内，而中薯 3 号、湘薯 1 号和费乌瑞它的 G_s 分别为对照的 28%、29%、32%。各材料不同温

度下蒸腾速率的变化与气孔导度的变化相似，其中中寨黄皮和金山薯 T_r 的下降幅度最大，10 °C 时降至对照的 40% 以内，5 °C 时降至对照的 2% 以内。克山系列在 10 °C 时的 T_r 为对照的 57%~66%，5 °C 时却仅为对照的 2%~4%。温度由 20 °C 降到 10 °C，马铃薯叶片胞间 CO₂ 浓度(C_i)呈下降趋势，各材料在 10 °C 时的 C_i 与对照的差异均达显著水平；5 °C 时 C_i 上升，并超过对照，除中薯 3 号、湘薯 1 号和费乌瑞它与对照的差异无统计学意义外，其他材料与对照的差异均达到显著水平，其中金山薯 C_i 的增加幅度最大，为 38.8%。

表2 供试马铃薯品种在不同温度下的气孔导度、蒸腾速率和胞间 CO₂ 浓度

Table 2 Effects of temperatures on G_s , Tr and C_i									
气孔导度/(mmol·m ⁻² ·s ⁻¹)									
温度/℃	CL ₁	CL ₂	CL ₃	CL ₄	CL ₅	CL ₆	CL ₇	CL ₈	CL ₉
20	0.43a	0.38a	0.39a	0.34a	0.35a	0.31a	0.31a	0.39a	0.48a
10	0.24b	0.20b	0.21b	0.25b	0.19b	0.20b	0.18b	0.06b	0.07b
5	0.02c	0.03c	0.04c	0.05c	0.10c	0.09c	0.10c	0.02c	0.01c
蒸腾速率/(mmol·m ⁻² ·s ⁻¹)									
温度/℃	CL ₁	CL ₂	CL ₃	CL ₄	CL ₅	CL ₆	CL ₇	CL ₈	CL ₉
20	4.59a	3.71a	3.69a	3.34a	3.51a	3.55a	3.77a	4.32a	5.00a
10	2.65b	2.46b	2.21b	2.25b	2.10b	2.19b	1.99b	1.02b	1.97b
5	0.13c	0.15c	0.14c	0.13c	0.96c	0.70c	0.85c	0.04c	0.09c
胞间 CO ₂ 浓度/(μmol·mol ⁻¹)									
温度/℃	CL ₁	CL ₂	CL ₃	CL ₄	CL ₅	CL ₆	CL ₇	CL ₈	CL ₉
20	350.78b	350.21b	344.20b	327.03b	333.61a	343.82a	330.07a	343.82b	336.13b
10	301.99c	301.99c	319.30c	318.29c	301.67b	300.75b	294.30b	300.75c	237.80c
5	367.50a	363.44a	357.19a	338.42a	339.01a	346.13a	332.20a	356.13a	466.87a

3 结论与讨论

光合作用指标中的光补偿点、光饱和点、最大净光合速率和表观量子速率是反映光能利用能力和效率的重要指标^[5-6]。本研究结果表明,马铃薯在同等光合有效辐射下的净光合速率随环境温度的下降而降低,不同生态型马铃薯材料对 10℃低温具有明显不同的适应性,耐寒性弱的马铃薯品种在 5℃低温条件下的净光合速率接近于零。马铃薯叶片气孔导度和蒸腾速率也出现低温抑制,这与对草莓^[7]、番茄^[8]和茄子^[9]的研究结果相同。随温度的降低,气孔对 CO₂ 的扩散阻力增大,蒸腾速率降低,胞间 CO₂ 浓度受到影响,进而对光合作用产生影响^[10]。本研究中 10℃环境下胞间 CO₂ 浓度下降,当温度降到 5℃时升高。由于马铃薯性喜冷凉,10℃条件下光合作用速率虽然减小,但仍能进行光合作用,表现出胞间 CO₂ 浓度下降。当温度继续下降到 5℃时,马铃薯光合能力迅速降低,甚至受到限制,表现出胞间 CO₂ 浓度升高,这与前人的研究结果^[11-12]相同。胞间 CO₂ 浓度变化的剧烈程度与马铃薯对低温的适应性强弱存在相关性,对低温(5℃)具有较强耐受性的

费乌瑞它、中薯 3 号和湘薯 1 号,在相同条件下的胞间 CO₂ 浓度与对照(20℃)的差异无统计学意义。低温促使马铃薯光合作用的光补偿点、光饱和点、最大净光合速率和表观量子速率下降,这是因为光合过程中的暗反应由一系列的酶促反应组成,受温度的影响较大^[13]。5℃环境下马铃薯的光合作用受到很大影响,但不同材料受抑制程度的差异较大,这一特点可用于对马铃薯的耐寒性评价。

本试验结果表明,马铃薯光合作用对环境温度的适应性不仅与基因型有关,而且与驯化地生态环境有关。虽然源自高寒地区的克新系列(1、3、4号)在 10℃环境有着较好的光合适应性,平均最大净光合速率为 20℃时的 93%,但光补偿点仍然维持在较高的水平,对弱光的利用能力差。由于北方马铃薯生长在春夏季节,不经历寒冷气候,因此,5℃低温下基本检测不到克新 1、3、4 号的净光合速率,表现出较弱的耐寒性。湖南地方马铃薯材料金山薯和中寨黄皮虽然在 20℃环境下表现出较强的光能利用率,但是其对温度变化的适应性较差,10℃环境的最大净光合速率比常温下低 50%以上,气孔导度和蒸腾速率下降迅速,不适宜冬种。费乌瑞它、

中薯3号、湘薯1号在10℃环境下的净光合速率下降幅度小,光补偿点(21~25 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$)低,对弱光利用率高,在5℃低温下仍具有一定的光合作用能力,较耐寒,表明这些材料对湖南冬春低温环境已经具备了较强的适应性。

参考文献:

- [1] 熊兴耀,刘明月,何长征.马铃薯生产实用技术[M].长沙:湖南科技出版社,2006:18-19.
- [2] 宋勇,刘明月,何长征,等.湖南春马铃薯品种比较试验[J].中国马铃薯,2005,19(4):208-211.
- [3] 何长征,刘明月,宋勇,等.马铃薯叶片光合特性研究[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2005,31(5):518-520.
- [4] 刘宇峰,萧浪涛,童建华,等.非直线双曲线模型在光合响应曲线数据分析中的应用[J].中国农学通报,2005,21(8):76-79.
- [5] 程云清,刘剑锋,倪福太,等.不同草莓品种对温度的光合响应研究[J].中国农学通报,2011,27(16):233-239.
- [6] Ruimy A, Jarvis P G, Baldocchi D D, et al. CO_2 fluxes over plant canopies and solar radiation: A review [J]. *Advance in Ecological Research*, 1995, 26: 1-69.
- [7] Schulze E D, Caldwell M M. *Ecophysiology of photosynthesis*[M]. Beilin: Springer Verlag, 1994.
- [8] 胡文海,喻景权.低温弱光对番茄叶片光合作用和叶绿素荧光参数的影响[J].园艺学报,2001,28(1):41-46.
- [9] 张素勤,程智慧,耿广东.低温胁迫对不同耐寒性茄子品种光合特性的影响[J].安徽农业科学,2007,35(27):8435-8437.
- [10] Xu D Q, Xu B J. The role of stomatal limitation in photosynthetic induction of plant leaves[J]. *Acta Phytophysiol Sin*, 1989, 15(3): 275-280.
- [11] Buckley T N, Farquhar G D, Mott K A. Carbon-water balance and patchy stomatal conductance[J]. *Oecologia*, 1999, 118: 132-143.
- [12] 艾希珍,王秀峰,郭延奎,等.弱光亚适温和低温对黄瓜气孔特性及叶绿体超微结构的影响[J].中国农业科学,2006,39(10):2063-2068.
- [13] 萧浪涛,王三根.植物生理学[M].北京:中国农业出版社,2004.

责任编辑: 王赛群

责任编辑: Edward ZHANG