

安飞飞, 简纯平, 杨 龙, 等. 木薯幼苗叶绿素含量及光合特性对盐胁迫的响应[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(3): 500-504.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2015.03.006

木薯幼苗叶绿素含量及光合特性对盐胁迫的响应

安飞飞¹, 简纯平¹, 杨 龙², 陈松笔¹, 李开绵¹

(1. 中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所/农业部木薯种质资源保护与利用重点实验室, 海南 儋州 571737; 2. 海南大学农学院, 海南 海口 570228)

摘要: 为研究盐胁迫对不同基因型木薯幼苗叶绿素含量及光合特性的影响, 本研究采用水培法对 4 个木薯品种进行盐胁迫, 利用 SPAD-502 测定胁迫 5 d 内叶片相对叶绿素含量, LCpro-SD 光合仪测定光合特性参数。结果显示: 10 g/L NaCl 胁迫降低了 4 个木薯品种叶片中相对叶绿素含量、净光合速率、气孔导度、蒸腾速率, 且均在胁迫 5 d 时达到最低值; 胞间 CO₂ 浓度均呈先下降后上升的趋势, 在胁迫 5 d 时达到最大值。由光合特性参数的变化得出随着盐胁迫时间的延长, 光合速率下降的原因逐渐由气孔限制转向非气孔限制, 叶绿素含量及光合特性参数的变化与木薯基因型抗性密切相关。

关键词: 木薯; 盐胁迫; 叶绿素含量; 光合特性

中图分类号: S533.034 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2015)03-0500-05

Chlorophyll contents and photosynthetic characteristics of cassava seedlings in response to NaCl stress

AN Fei-fei¹, JIAN Chun-ping¹, YANG Long², CHEN Song-bi¹, LI Kai-mian¹

(1. Tropical Crops Genetic Resources Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences/Key Laboratory of Ministry of Agriculture for Germplasm Resources Conservation and Utilization of Cassava, Danzhou 571737, China; 2. College of Agriculture, Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract: To study the effect of severe salt stress on chlorophyll content and photosynthetic characteristics of cassava seedlings, four kinds of cassava seedlings were treated with NaCl solution, and the relative chlorophyll contents of leaves and photosynthetic parameters were measured. The results showed that relative chlorophyll contents, net photosynthetic rates, stomatal conductances, transpiration rates of four kinds of cassava subjected to 10 g/L NaCl stress were decreased and reached the lowest on day 5 of salt stress. Intercellular CO₂ concentration showed an upward trend following initial decline, and reached the maximum on day 5 of salt stress. Stomatal limitation was replaced by non-stomatal limitation as a leading cause for decreased photosynthetic rate over the time of salt stress. Chlorophyll content and photosynthetic parameters were closely related to salt tolerance of cassava genotypes.

Key words: cassava; salt stress; chlorophyll content; photosynthetic characteristic

木薯 (*Manihot esculenta* Crantz) 是大戟科 (Eu-

phorbiaceae) 木薯属 (*Manihot* Miller) 唯一的栽培种, 是世界第六大农作物, 仅次于小麦、水稻、玉米、马铃薯和大麦, 为热带地区 8×10⁸ 多人提供基本主食^[1]。目前, 世界木薯产区主要集中在亚洲、非洲和拉丁美洲相对贫瘠的地方, 在盐渍土地上种植不多。据统计, 全球约 10% 的可耕地面积存在不同程度的盐渍化^[2]。中国盐渍地占可利用土地面积的 5%, 主要分

收稿日期: 2015-01-30

基金项目: “十二五”农村领域国家科技计划项目 (2012AA101204-2); 2012 年海南省创新创业人才启动基金项目

作者简介: 安飞飞 (1983-), 女, 河北定州人, 硕士, 助理研究员, 主要从事木薯光合生理及蛋白质组学研究。(Tel) 15248904134

通讯作者: 李开绵, (E-mail) likaimian@sohu.com

布在于旱半干旱地区和沿海地区^[3-4]。干旱和半干旱地区土壤的盐渍化已成为限制农作物产量的重要因素^[5]。

盐胁迫是影响植物生长导致农作物减产的非生物因素之一,它对植物有渗透胁迫、离子失衡和离子毒害等方面的影响^[6],从而使植物光合速率下降、生长抑制、衰老加速^[7]。在众多被盐胁迫抑制的细胞机能中,光合作用被认为是对盐胁迫最为敏感的生理过程,该方面研究已有不少报道^[8-14]。叶绿体是植物光合作用的场所,也是对盐胁迫最敏感的细胞器^[14]。叶绿素同光合作用关系密切,其含量在一定程度上能反映植物同化物质的能力^[15],影响植物对光能的吸收、传递以及在 PS I、PS II 之间的分配和转换,从而影响光合作用^[16]。

目前,针对木薯耐盐方面的研究尚不多,盐胁迫下植物叶绿素含量及光合作用变化的机理仍不清楚。本试验采用水培法,选用 4 个不同的华南系列木薯品种为材料,研究重度 NaCl 胁迫对幼苗叶绿素含量及光合性能的影响,探讨盐胁迫下其变化规律,为进一步探明盐胁迫伤害的生理机制奠定基础。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

供试材料华南 8 号(SC8)、华南 9 号(SC9)、华南 124(SC124)、华南 205(SC205)均来自中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所国家木薯种质资源圃。挑选粗细一致,长约 15 cm 的种茎放入循

环装置中进行培养。培养 40 d 后,用 10 g/L 的 NaCl 溶液处理 5 d,以未加 NaCl 处理的苗作为对照。

1.2 试验方法

采用叶绿素含量测定仪 SPAD-502 测定叶片的相对叶绿素含量(SPAD 值),每张叶片选 6 个测量点,分别位于叶片中脉两侧^[17]。

选距离生长点第 3~4 片完全展开叶,应用 LCpro-SD 全自动便携式光合仪于晴天 10:00 测定叶片的净光合速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度、蒸腾速率^[18]。叶室面积 6.25 mm²,每个处理选 3 株,每株读数 3 次。

利用 Excel 2003 和 DPS v7.05 统计学软件对数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫下木薯幼苗叶绿素相对含量的变化

叶绿素相对含量也称叶色值(SPAD 值),其值的大小可定量描述叶片的绿色度^[19]。SPAD 值与叶绿素含量有显著的相关性^[20]。盐胁迫 5 d 内,4 个木薯品种叶片相对叶绿素含量随着胁迫时间的延长均呈下降规律。华南 9 号、华南 124 及华南 205 在盐胁迫 3 d 内,叶片 SPAD 值无显著变化,盐胁迫 5 d 后 SPAD 值显著低于对照,分别比对照低 19.57%、10.41% 和 24.45%。华南 8 号叶片 SPAD 值在盐胁迫 1 d 后显著下降,盐胁迫 5 d 后达到最低值,比对照低 35.39% (表 1)。

表 1 盐胁迫对木薯叶片相对叶绿素含量的影响

Table 1 Effect of salt stress on relative chlorophyll contents of cassava leaves

盐胁迫时间(d)	相对叶绿素含量			
	华南 8 号	华南 9 号	华南 124	华南 205
0 (对照)	27.86±0.72a	26.27±0.40a	40.63±0.76a	26.87±0.44a
1	22.20±1.97b	24.57±2.50a	40.23±0.55a	25.47±0.76a
3	21.77±1.27b	25.20±0.79a	40.07±0.87a	26.53±0.42a
5	18.03±2.02c	21.13±3.10b	36.40±1.56b	20.30±1.06b

同列不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平。

2.2 盐胁迫下木薯幼苗叶片净光合速率的变化

由表 2 可知,随着盐胁迫时间的延长,4 个木薯品种叶片的净光合速率均呈持续下降的规律,且都与对照达到了显著差异水平。盐胁迫 5 d 后,4 个木薯品种叶片的净光合速率均达到最低值,分

别比对照下降 81.82%、74.91%、62.79% 和 80.23%。4 个木薯品种中,以华南 124 叶片的净光合速率下降幅度最小,华南 8 号下降幅度最大。表明盐胁迫对 4 个木薯叶片净光合速率的影响比较明显。

表 2 盐胁迫对木薯叶片净光合速率的影响

Table 2 Effect of salt stress on net photosynthetic rates of cassava leaves

盐胁迫时间(d)	净光合速率 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]			
	华南 8 号	华南 9 号	华南 124	华南 205
0(对照)	5.83±0.06a	5.58±0.26a	6.45±0.59a	5.16±0.20a
1	3.71±0.18b	4.03±0.11b	5.35±0.29b	3.70±0.17b
3	3.22±0.05c	3.13±0.27c	3.84±0.18c	2.30±0.18c
5	1.03±0.06d	1.46±0.10d	2.40±0.36d	0.96±0.16d

同列不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平。

2.3 盐胁迫下木薯幼苗叶片气孔导度(Gs)的变化

盐胁迫对 4 种木薯叶片气孔导度的影响见表 3。由表 3 可知,随着盐胁迫时间的延长,4 个品种叶片的气孔导度总体上呈下降趋势,且与对照达到了显著差异水平。盐胁迫 5 d 后,4 个木薯品种叶片

的气孔导度均达到最低值,分别比对照下降 94.68%、87.89%、80.49% 和 91.35%。华南 124 和 华南 205 在盐胁迫 3 d 后气孔导度显著下降,5 d 后持续下降且达到最低值。华南 8 号与华南 9 号在盐胁迫 1 d 后即显著下降,5 d 后达到最低。

表 3 盐胁迫对木薯叶片气孔导度的影响

Table 3 Effect of salt stress on stomatal conductances of cassava leaves

盐胁迫时间(d)	气孔导度 [$\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]			
	华南 8 号	华南 9 号	华南 124	华南 205
0(对照)	0.188±0.014a	0.190±0.014a	0.246±0.041a	0.185±0.022a
1	0.115±0.010b	0.095±0.007b	0.234±0.029a	0.166±0.002a
3	0.103±0.004b	0.082±0.006b	0.152±0.008b	0.129±0.003b
5	0.010±0.001c	0.023±0.001c	0.048±0.005c	0.016±0.002c

同列不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平。

2.4 盐胁迫下木薯幼苗叶片胞间 CO₂浓度的变化

由表 4 可知,盐胁迫对 4 个木薯品种叶片胞间 CO₂浓度的影响。随着盐胁迫时间的延长,总体上呈先下降后上升的趋势。盐胁迫 5 d 后,4 个木薯品种叶片的胞间 CO₂浓度均达到最大值,分别比对照

高 56.01%、45.29%、51.48% 和 28.90%。华南 205 在盐胁迫 3 d 后胞间 CO₂浓度显著下降,5 d 后显著高于对照。华南 8 号、华南 9 号及华南 124 在盐胁迫 1 d 后即显著下降,5 d 后显著高于对照。

表 4 盐胁迫对木薯叶片胞间 CO₂浓度的影响Table 4 Effect of salt stress on intercellular CO₂ concentrations of cassava leaves

盐胁迫时间(d)	胞间 CO ₂ 浓度 ($\mu\text{mol}/\text{mol}$)			
	华南 8 号	华南 9 号	华南 124	华南 205
0(对照)	169.34±4.00b	173.39±2.09b	178.54±2.72b	191.86±0.54b
1	162.71±0.75c	162.92±1.61c	165.18±0.81c	188.43±1.37b
3	157.67±2.90c	166.45±1.38c	155.13±2.54c	176.37±2.84c
5	264.18±4.60a	251.91±2.96a	270.46±12.63a	247.31±9.59a

同列不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平。

2.5 盐胁迫下木薯幼苗叶片蒸腾速率的变化

盐胁迫对 4 种木薯叶片蒸腾速率的影响见表 5。由表 5 可知,随着盐胁迫时间的延长,4 个木薯品种叶片的蒸腾速率总体上持续下降,且与对照达

到显著水平。盐胁迫 5 d 后,4 个品种叶片的蒸腾速率均达到最低值,分别比对照下降 91.96%、90.45%、77.93% 和 88.06%。华南 8 号、华南 9 号在盐胁迫 1 d 后即显著下降,5 d 后显著低于对照。

华南 124 在盐胁迫 3 d 时显著下降,5 d 达到最低。 迫 5 d 达到最低。
华南 205 在盐胁迫 1 d 后先显著升高后下降,在胁

表 5 盐胁迫对木薯叶片蒸腾速率的影响

Table 5 Effect of salt stress on transpiration rates of cassava leaves

盐胁迫时间(d)	蒸腾速率 [mmol/(m ² ·s)]			
	华南 8 号	华南 9 号	华南 124	华南 205
0(对照)	3.36±0.19a	3.35±0.15a	3.76±0.35a	3.10±0.28b
1	2.68±0.19b	2.32±0.11b	3.68±0.39a	3.53±0.05a
3	2.66±0.10b	2.23±0.06b	2.70±0.21b	3.04±0.08b
5	0.27±0.02c	0.32±0.03c	0.83±0.06c	0.37±0.05c

同列不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平。

3 讨论

叶绿素是光合作用中最重要的色素分子,排列在类囊膜上,在光能的吸收和转换中起着重要作用^[21-22],其直接影响植物的光合作用速率和光合产物形成^[23-25]。不同水稻品种间叶绿素含量存在一定的差异^[26],其光合作用速率及光合产物也将存在较大不同。本试验也发现,4 个不同基因型的木薯叶绿素含量也存在差异,其净光合速率也不尽相同。盐胁迫后 4 个木薯品种相对叶绿素含量及净光合速率均下降,可能是因为盐胁迫破坏植物叶绿体结构,使体内叶绿素含量下降,引起植株光合能力减弱^[27-28],这与张艳艳等^[29]、刁丰秋等^[30]分别对玉米及大麦的研究结果一致。但也有相反的结论,认为盐胁迫可以增加植物体内叶绿素含量^[31-32]。这可能与试验材料、处理时间和处理浓度等因素有关。不同木薯品种相对叶绿素含量的变化不尽一致,说明其对盐胁迫的适应性不同。这与金雅琴等^[33]对乌柏幼苗的研究结果一致。

研究结果表明盐胁迫能抑制植物的碳同化能力^[34-39]。影响净光合速率的因素主要有气孔导度、胞间 CO₂ 浓度和蒸腾速率等,它们在光合作用过程中协同作用,使得光合作用顺利进行^[40]。本试验中,随着盐胁迫时间的延长,木薯幼苗净光合速率呈下降趋势,这种变化趋势与气孔导度和蒸腾速率的变化趋势基本一致。胞间 CO₂ 浓度在盐胁迫早期,处理组低于对照组,后期却高于对照组。在盐胁迫初期,盐胁迫对光合作用的限制主要表现为气孔限制,从而影响植物的光合作用^[41],随着胁迫时间的延长,除了气孔限制外,还会产生非气孔因素^[42]。

这表明,木薯盐胁迫后净光合速率下降可分为 2 个阶段,即在盐处理前期,叶片胞间 CO₂ 浓度随气孔导度的降低而降低,从而光合速率降低,此时光合速率下降的主导因素为气孔因素,之后虽然气孔导度减小,但叶片胞间 CO₂ 浓度升高,说明随胁迫时间的延长光合速率下降原因逐渐以非气孔因素为主。这与王丹等^[43]、韩浩章等^[44]的研究结果一致。

综上所述,随着盐胁迫时间的延长,木薯叶片中叶绿素含量、净光合速率、蒸腾速率及气孔导度均显著下降,叶片胞间 CO₂ 浓度总体上呈先下降后上升的趋势,光合速率下降的原因逐渐由气孔限制转向非气孔限制,叶绿素含量及光合特性参数的变化与木薯基因型抗性密切相关。在盐胁迫下,华南 124 仍能够维持一定的光合作用强度,其耐盐能力最强。

参考文献:

- [1] LEBOT V. Tropical root and tuber crops: cassava, sweet potato, yams and aroids [M]. Oxfordshire, UK: CABI, 2009.
- [2] 朱新广,张其德. NaCl 对光合作用影响的研究进展[J]. 植物学通报,1999,16(4): 332-338.
- [3] 王遵亲. 中国盐渍土[M]. 北京:科学出版社,1993.
- [4] 全国土壤普查办公室. 中国土壤[M]. 北京:中国农业出版社,1998.
- [5] MUNNS R. Comparative physiology of salt and water stress [J]. Plant Cell Environ, 2002, 25: 239-250.
- [6] AKITA S, CABUSLAY G S. Physiological basis of differential response to salinity in rice cultivars [J]. Plant Soil, 2000, 123: 277-294.
- [7] 刘友良,毛才良,汪良驹. 植物耐盐性研究进展[J]. 植物生理学通讯,1987(4):1-7.
- [8] 王丽燕,赵可夫. 玉米幼苗对盐胁迫的生理响应[J]. 作物学报,2005,31(2): 264-266.
- [9] 杨颖丽,杨宁,王菜,等. 盐胁迫对小麦幼苗生理指标的影

- 响[J]. 兰州大学学报:自然科学版, 2007, 43(2): 29-34.
- [10] 葛江丽, 石雷, 谷卫彬, 等. 盐胁迫条件下甜高粱幼苗的光合特性及光系统 II 功能调节[J]. 作物学报, 2007, 33(8): 1272-1278.
- [11] 王素平, 李娟, 郭世荣, 等. NaCl 胁迫对黄瓜幼苗植株生长和光合特性的影响[J]. 西北植物学报, 2006, 26(3): 455-461.
- [12] MELONI D A, OLIVA M A, MARITINEZ C A. Photosynthesis and activity of superoxide dismutase, peroxidase and glutathione reductase in cotton under salt stress[J]. Environmental and Experimental Botany, 2003, 49: 69-76.
- [13] 孙国荣, 阎秀峰, 肖玮. 星星草耐盐碱生理机制的初步研究[J]. 武汉植物学研究, 1997, 15(2): 162-166.
- [14] 华春, 王仁雷. 盐胁迫对水稻叶片光合效率和叶绿体超显微结构的影响[J]. 山东农业大学学报:自然科学版, 2004, 35(1): 27-31.
- [15] CHEESEMAN J M. Mechanism of salinity tolerance in plants[J]. Plant Physiology, 1988, 87: 547-550.
- [16] 林世青, 许春辉, 张其德, 等. 叶绿素荧光动力学在植物抗性生理学、生态学和农业现代化中的应用[J]. 植物学通报, 1992, 9(1): 1-16.
- [17] 王素平, 郭世荣, 胡晓辉, 等. 盐胁迫对黄瓜幼苗叶片光合色素含量的影响[J]. 江西农业大学学报, 2006, 28(1): 32-38.
- [18] NICOLAS F, PHILIPPE V. Limitation of coffee leaf photosynthesis by stomatal conductance and light availability under different shade levels[J]. Trees-structure and Function, 2009, 23(4): 761-769.
- [19] 刘昊, 余树全, 江洪, 等. 模拟酸雨对山核桃叶绿素荧光参数、叶绿素和生长的影响[J]. 浙江林学院学报, 2009, 26(1): 32-37.
- [20] 姜丽芬, 石福臣, 王化田, 等. 叶绿素计 SPAD-502 在林业上应用[J]. 生态学杂志, 2005, 24(12): 1543-1548.
- [21] 郝乃兵, 戈巧英, 张玉竹, 等. 高光效大豆光合特性的研究[J]. 大豆科学, 1989, 8(3): 283-287.
- [22] VON WETTATEIN D, GOUGH S, KANANGARA C G. Chlorophyll biosynthesis[J]. The Plant Cell, 1995, 7(7): 1039-1057.
- [23] 王正航, 武仙山, 昌小平, 等. 小麦旗叶叶绿素含量及荧光动力学参数与产量的灰色关联度分析[J]. 作物学报, 2010, 36(2): 217-222.
- [24] 陈罡, 樊平声, 冯伟民, 等. 外源硅对盐胁迫下黄瓜幼苗生长和光合荧光特性的影响[J]. 江苏农业学报, 2014, 30(6): 1402-1409.
- [25] 牟建梅, 张国芹, 刘凤军, 等. 白菜叶绿素含量的测定方法筛选[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(9): 289-290.
- [26] 刘贞琦, 刘振业, 马达鹏, 等. 水稻叶绿素含量及其与光合速率关系的研究[J]. 作物学报, 1984, 10(1): 57-64.
- [27] 汪贵斌, 曹福亮. 盐分和水分胁迫对落羽杉幼苗的生长量及营养元素含量的影响[J]. 林业科学, 2004, 40(6): 56-62.
- [28] 吴永波, 薛建辉. 盐胁迫对 3 种白蜡树幼苗生长与光合作用的影响[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2002, 26(3): 19-22.
- [29] 张艳艳, 刘俊, 刘友良. 一氧化氮缓解盐胁迫对玉米生长的抑制作用[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2004, 30(4): 455-459.
- [30] 刁丰秋, 章文华, 刘友良. 盐胁迫对大麦叶片类囊体膜脂组成和功能的影响[J]. 植物生理学报, 1997, 23(2): 105-110.
- [31] MUNNS R, TEMMAT A. Whole plant responses to salinity[J]. Australian Journal of Plant Physiology, 1986(13): 143-160.
- [32] 王仁雷, 华春, 刘友良. 盐胁迫对水稻光合特性的影响[J]. 南京农业大学学报, 2002, 25(4): 11-14.
- [33] 金雅琴, 李冬林, 丁雨龙, 等. 盐胁迫对乌柏幼苗光合特性及叶绿素含量的影响[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2011, 35(1): 29-34.
- [34] CHAUDHURI K, CHOUDHURI M A. Effect of short term NaCl stress on water relations and gas exchange of two jute species[J]. Biology Plant, 1997, 40: 373-380.
- [35] CHEN H X, LI W J, AN S Z, et al. Characterization of PSII photochemistry and thermo stability in salt treated *Rumex* leaves[J]. Journal of Plant Physiology, 2004, 161: 257-264.
- [36] SOUSSI M, OCANA A, LLUCH C. Effects of salt stress on growth, photosynthesis and nitrogen fixation in chick-pea (*Cicer arietinum* L.)[J]. Journal of Experimental Botany, 1998, 49: 1329-1337.
- [37] KAO W Y, TSAI H C, TSAI T T. Effect of NaCl and nitrogen availability on growth and photosynthesis of seedling of a mangrove species, *Kandelia candel* (L.) Druce[J]. Journal of Plant Physiology, 2001, 158: 841-846.
- [38] ROMEROARANDA R, SORIA T, CUARTERO J. Tomato plant water uptake and plant water relationships under saline growth conditions[J]. Plant Science, 2001, 160: 265-272.
- [39] 张乃华, 高辉远, 邹琦. Ca²⁺缓解 NaCl 胁迫引起的玉米光合能力下降的作用[J]. 植物生态学报, 2005, 29(2): 324-330.
- [40] 刘全吉, 孙学成, 胡承孝, 等. 硼对小麦生长和光合作用特性的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(2): 854-859.
- [41] BRUGNOLI E, BJORKMAN O. Growth of cotton under continuous salinity stress: influence on allocation pattern, stomatal and non-stomatal components of photosynthesis and dissipation of excess light energy[J]. Planta, 1992, 187: 335-345.
- [42] JACOB J, LAWLOR D W. Stomatal and mesophyll limitations of photosynthesis in photosynthesis in phosphate deficient sunflower, maize and wheat plants[J]. Journal of Experimental Botany, 1991, 241: 1001-1011.
- [43] 王丹, 万春阳, 侯俊玲, 等. 盐胁迫对甘草叶片光合色素含量和光合生理特性的影响[J]. 热带作物学报, 2014, 35(5): 957-961.
- [44] 韩浩章, 王晓立, 张颖, 等. 盐胁迫对秋季香樟幼苗抗氧化酶系统和光合特性的影响[J]. 浙江农业学报, 2014, 26(5): 1235-1239.