

CaCl₂对铁棍山药块茎采后几种与膜脂过氧化相关的生理指标的影响

赵喜亭¹ 王会珍¹ 周娜¹ 张晓丽¹ 孙颖¹ 刘萍¹ 李明军^{1,2,*}

¹河南师范大学生命科学学院, 河南新乡 453007; ²华中农业大学园艺植物生物学教育部重点实验室, 武汉 430070

摘要 铁棍山药块茎采后经0.1%~1.0% (W/V)的CaCl₂溶液处理后, 其含水量增加, 相对电导率减小, 丙二醛(MDA)含量降低, 超氧化物歧化酶(SOD)活性升高, 超氧阴离子(O₂⁻)产生速率下降; 而浓度为2.0%的CaCl₂溶液则促进铁棍山药块茎贮藏后期SOD活性下降, 对含水量增加和相对电导率、MDA含量以及O₂⁻产生速率下降的效果不稳定。

关键词 铁棍山药; 块茎; CaCl₂; 膜脂过氧化

Effects of CaCl₂ on Several Physiological Indexes Related with Membrane Lipid Peroxidation of Postharvest Yam (*Dioscorea opposita* Thunb. cv. Tiegun) Tuber

ZHAO Xi-Ting¹, WANG Hui-Zhen¹, ZHOU Na¹, ZHANG Xiao-Li¹, SUN Ying¹, LIU Ping¹, LI Ming-Jun^{1,2,*}

¹College of Life Science, Henan Normal University, Xinxiang, Henan 453007, China; ²Key Laboratory of Horticultural Plant Biology of Ministry of Education, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract This work was aimed to probe into the effect of CaCl₂ on membrane lipid peroxidation of postharvest yam (*Dioscorea opposita* Thunb. cv. Tiegun) tuber. Several physiological indexes related with membrane lipid peroxidation, water content, relative conductivity, malondialdehyde (MDA) content, SOD activity and rate of O₂⁻ production were detected during storage. The results showed, during storage, the water content and the SOD activity increased, the relative conductivity, the MDA content and the O₂⁻ production rate decreased after the tubes were treated with 0.1%–1.0% CaCl₂, while these effects were not steady when the 2.0% CaCl₂ solution was used.

Key words Yam (*Dioscorea opposita* Thunb. cv. Tiegun); tuber; CaCl₂; membrane lipid peroxidation

目前, 怀山药块茎采后贮藏保鲜的研究较少。铁棍山药(*Dioscorea opposita* Thunb. cv. Tiegun)是怀山药中的一个优良品种, 其采后贮藏一般是收获后直接堆放在室内。如此贮藏会引起失水胁迫和营养成分丢失, 以致营养和药用价值降低, 过早失去商品价值, 植物失水胁迫引起的直接伤害是细胞膜脂过氧化, 所以研究采后铁棍山药的细胞膜脂过氧化, 对采后保鲜有一定的理论和实践意义。此外, 钙在采后果蔬贮藏中作用的报道已有很多, 如钙可以维持枣果(吴彩娥等2001; 赵鑫等2003)、金针菇(李金雨等2000)等果蔬的营养成分, 抑制膜脂过氧化的加剧, 阻止其品质大幅度下降。从2005年开始, 我们就钙对铁棍山药采后的影响展开了研究, 本文报道CaCl₂对铁棍山药块茎采后几种与细胞膜脂过氧化有关的生理指标的影响。

材料与方法

铁棍山药(*Dioscorea opposita* Thunb. cv. Tiegun)来自河南省温县农科所。大田采收后立即运回实验室, 挑选大小一致、无创伤、无病、无虫斑的块茎分别放在(1)蒸馏水(对照), (2)0.1% CaCl₂溶液, (3)1.0% CaCl₂溶液, (4)2.0% CaCl₂溶液中浸渍5 min, 于自然条件晾干后放在试验架上, 转放到12~15℃下避光贮藏, 每隔15 d取样(取去掉皮层的块茎中间2 cm厚的部位), 测定各项生理指标。

收稿 2006-08-16 修定 2006-11-08

资助 河南省重点科技攻关项目(0623030700)、河南师范大学博士启动基金(051007)和大学生科研活动基金项目(0510418)。

*通讯作者(E-mail: limingjun2002@263.net, Tel: 0373-3328189)。

含水量测定用烘干法(陈艳乐等1990); 相对电导率参照朱诚等(1998)文中的方法; 丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量测定用硫代巴比妥酸(thiobarbituric acid, TBA)法(张宪政等1994); 超氧阴离子(O_2^-)产生速率测定用羟氨氧化法(王爱国和罗广华1990), 以 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}(\text{DW})\cdot\text{min}^{-1}$ 表示; 超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性的测定采用改良的连苯三酚自氧化法(邓碧玉等1991), 以 $\text{U}\cdot\text{g}^{-1}(\text{DW})$ 表示酶活性。样品为单根块茎, 重复3次。

结果与讨论

1 CaCl_2 对铁棍山药块茎采后贮藏期间含水量的影响

从表1中可以看出, 在采后贮藏过程中, 铁棍山药块茎含水量的变化总体上呈下降趋势。 CaCl_2 处理的在30 d之前呈现上升趋势, 这可能是 CaCl_2 吸收块茎表面空气中水分所致, 30 d后变化趋势和未经 CaCl_2 处理的相似, 但不同处理间存在差异, 其中0.1% CaCl_2 处理的与未经 CaCl_2 处理的相比, 整个贮藏期间含水量在 $P=0.05$ 水平上显著高于未经 CaCl_2 处理的, 150 d时, 其块茎含水量比未经 CaCl_2 处理的提高3.6个百分点。另外, 从块茎形态上来看, 75 d后块茎硬度明显下降, 块

表1 CaCl_2 对铁棍山药块茎贮藏期间含水量的影响
Table 1 Effect of CaCl_2 on water content of *D. opposita* cv. Tiegun tuber during storage

贮藏时间/d	块茎中含水量/%			
	对照	0.1% CaCl_2	1.0% CaCl_2	2.0% CaCl_2
0	68.4 ^a	68.4 ^a	68.4 ^a	68.4 ^a
15	68.5 ^b	70.0 ^a	72.2 ^a	69.2 ^b
30	66.7 ^c	71.4 ^a	72.3 ^a	69.3 ^b
45	66.8 ^b	69.9 ^a	70.7 ^a	68.8 ^a
60	66.1 ^c	69.6 ^{ab}	70.3 ^a	68.2 ^b
75	65.2 ^c	68.6 ^a	69.9 ^a	66.8 ^{bc}
90	66.0 ^b	67.5 ^a	67.6 ^a	67.4 ^a
105	65.6 ^b	66.9 ^{ab}	67.8 ^a	64.5 ^b
120	64.7 ^{bc}	66.1 ^{ab}	66.9 ^a	64.2 ^c
135	64.1 ^b	66.9 ^a	66.5 ^a	63.3 ^b
150	63.9 ^b	65.1 ^{ab}	66.5 ^a	63.2 ^c

同一行中不同字母表示经Duncan氏新复极差法检验在0.05水平上差异显著, 相同字母表示差异不显著, $n=3$ 。

茎皮皱缩, 呈现明显的缩水现象; 0.1% CaCl_2 和1.0% CaCl_2 处理的块茎失水现象有显著的改善。

2 CaCl_2 对铁棍山药块茎采后贮藏期间相对电导率的影响

在采后贮藏期间, 铁棍山药块茎的相对电导率前期呈波动变化, 90 d时开始快速上升; CaCl_2 处理的其变化趋势没有改变, 但波动期延长到105 d, 比未经 CaCl_2 处理的推迟15 d, 并且电导率有不同程度的下降, 其中1.0% CaCl_2 处理的下降效果最明显, 与未经 CaCl_2 处理的相比, 除贮藏45 d的以外, 整个贮藏期间均达到显著水平($P=0.05$) (表2)。

表2 CaCl_2 对铁棍山药块茎贮藏期间相对电导率的影响
Table 2 Effect of CaCl_2 on relative conductivity of *D. opposita* cv. Tiegun tuber during storage

贮藏时间/d	相对电导率/%			
	对照	0.1% CaCl_2	1.0% CaCl_2	2.0% CaCl_2
0	25.7 ^a	25.7 ^a	25.7 ^a	25.7 ^a
15	24.0 ^a	18.8 ^b	14.0 ^c	19.7 ^{ab}
30	27.2 ^a	16.8 ^b	15.6 ^b	19.0 ^b
45	21.0 ^b	26.1 ^a	19.8 ^b	22.2 ^{ab}
60	24.8 ^a	22.6 ^{ab}	19.5 ^b	23.9 ^a
75	28.2 ^a	23.7 ^{ab}	17.8 ^c	21.2 ^{bc}
90	27.8 ^a	27.6 ^a	25.0 ^b	26.4 ^{ab}
105	34.9 ^a	23.6 ^b	22.6 ^b	24.6 ^b
120	40.1 ^a	33.1 ^b	26.5 ^c	33.1 ^b
135	47.5 ^a	33.4 ^{bc}	29.2 ^c	35.0 ^b
150	46.0 ^a	43.3 ^{ab}	31.8 ^c	40.3 ^c

同一行中不同字母表示经Duncan氏新复极差法检验在0.05水平上差异显著, 相同字母表示差异不显著, $n=3$ 。

3 CaCl_2 对铁棍山药块茎采后贮藏期间MDA含量的影响

MDA是膜脂过氧化作用的最终产物之一, 也是膜脂过氧化程度的标志之一(王爱国等1986; 陈少裕1991)。在采后贮藏期间, 铁棍山药块茎MDA含量前期波动升高, 45 d之后保持稳定, 直到105 d时开始快速上升; 经 CaCl_2 处理的其变化趋势没有改变, 但MDA含量却有不同程度的下降, 其中以1.0% CaCl_2 处理的下降最明显, 与未经 CaCl_2 处理的相比, 整个贮藏期间均达显著水平($P=0.05$) (表3)。说明 CaCl_2 在一定程度上可抑制

表3 CaCl₂对铁棍山药块茎贮藏期间MDA含量的影响
Table 3 Effect of CaCl₂ on MDA content of *D. opposita*
cv. Tiegun tuber during storage

贮藏时间/d	MDA含量/mmol·g ⁻¹ (DW)			
	对照	0.1% CaCl ₂	1.0% CaCl ₂	2.0% CaCl ₂
0	22.6 ^a	22.6 ^a	22.6 ^a	22.6 ^a
15	32.3 ^a	28.1 ^{ab}	24.0 ^{bc}	23.7 ^c
30	30.5 ^a	31.2 ^a	23.8 ^b	30.0 ^a
45	41.6 ^a	26.9 ^b	26.3 ^b	38.1 ^a
60	43.7 ^a	39.5 ^{ab}	36.3 ^b	38.1 ^b
75	43.4 ^a	40.1 ^a	34.8 ^b	38.7 ^a
90	43.4 ^a	36.0 ^b	37.4 ^b	41.9 ^a
105	44.8 ^a	42.8 ^a	33.3 ^b	32.7 ^b
120	58.5 ^a	48.3 ^b	39.3 ^c	47.1 ^b
135	60.6 ^b	62.3 ^{ab}	49.0 ^c	67.0 ^a
150	81.0 ^a	61.1 ^b	54.8 ^c	60.4 ^b

同一行中不同字母表示经Duncan氏新复极差法检验在0.05水平上差异显著, 相同字母表示差异不显著, $n=3$ 。

采后贮藏期间块茎中MDA含量的增加, 与膜透性的变化趋势一致, 这与枣果(赵鑫等2003)采后贮藏期间的变化相似。说明膜透性大小与膜脂过氧化作用的强弱密切相关。

4 CaCl₂对铁棍山药块茎采后贮藏期间SOD活性的影响

采后贮藏期间, 铁棍山药块茎SOD活性出现2个峰值: 30 d时出现第1个峰值, 之后变化相对平稳; 75 d时出现第2个峰值, 之后快速下降。CaCl₂没有改变块茎SOD活性的变化趋势, 但第1个峰值却显著提高, 且第1个峰值后的平稳期也延长, 直到105 d (1.0% CaCl₂和2.0% CaCl₂处理的)或120 d (0.1% CaCl₂处理的)才出现第2个峰值。其中以0.1% CaCl₂和1.0% CaCl₂处理的效果较为稳定, 以后者的效果最好, 与未经CaCl₂处理的相比, 整个贮藏期间均达显著水平($P=0.05$); 2.0% CaCl₂处理的波动性较大, 平稳期间的某些时段和贮藏结束时SOD活性低于未经CaCl₂处理的(表4)。这一结果与前述3个指标一致。

5 CaCl₂对铁棍山药块茎采后贮藏期间O₂⁻产生速率的影响

O₂⁻是植物体内分子氧活化的第1个中间产物, 与植物失水胁迫耐性密切相关, 是引起氧化胁迫的主要原因之一。O₂⁻产生速率在45 d之前

表4 CaCl₂对铁棍山药块茎贮藏期间SOD活性的影响
Table 4 Effect of CaCl₂ on SOD activity of *D. opposita*
cv. Tiegun tuber during storage

贮藏时间/d	SOD活性/U·g ⁻¹ (DW)			
	对照	0.1% CaCl ₂	1.0% CaCl ₂	2.0% CaCl ₂
0	624.7 ^a	624.7 ^a	624.7 ^a	624.7 ^a
15	686.8 ^{bc}	750.6 ^b	865.4 ^a	661.3 ^c
30	712.3 ^c	909.2 ^{ab}	942.2 ^a	872.0 ^b
45	643.9 ^{bc}	699.7 ^b	803.5 ^a	590.4 ^c
60	628.3 ^c	697.1 ^b	836.7 ^a	715.4 ^b
75	752.0 ^b	758.6 ^b	828.0 ^a	677.3 ^c
90	685.9 ^{bc}	736.8 ^b	830.0 ^a	677.3 ^c
105	664.5 ^c	740.8 ^b	863.2 ^a	748.3 ^b
120	579.8 ^b	757.0 ^a	759.9 ^a	721.8 ^a
135	534.0 ^c	644.1 ^b	725.8 ^a	625.1 ^b
150	471.3 ^c	557.6 ^b	645.1 ^a	403.7 ^c

同一行中不同字母表示经Duncan氏新复极差法检验在0.05水平上差异显著, 相同字母表示差异不显著, $n=3$ 。

波动增大, 之后降低, 75 d时下降到最低值(此时SOD活性出现第2次高峰), 然后快速升高, 与SOD活性前期较高、后期快速降低密切相关, 与膜透性、MDA含量的变化趋势一致。经CaCl₂处理的O₂⁻产生速率有不同程度的下降, 其快速增大起始点也推迟到105 d。其中, 1.0% CaCl₂处理的效果最明显, 整个过程中的O₂⁻产生速率显著

表5 CaCl₂对铁棍山药块茎贮藏期间O₂⁻产生速率的影响
Table 5 Effect of CaCl₂ on O₂⁻ production rate of
D. opposita cv. Tiegun tuber during storage

贮藏时间/d	O ₂ ⁻ 产生速率/μg·g ⁻¹ (DW)·min ⁻¹			
	对照	0.1% CaCl ₂	1.0% CaCl ₂	2.0% CaCl ₂
0	1.1 ^a	1.1 ^a	1.1 ^a	1.1 ^a
15	2.0 ^a	1.1 ^b	1.0 ^b	1.7 ^b
30	1.9 ^a	1.0 ^b	0.8 ^b	1.2 ^b
45	2.4 ^a	1.9 ^a	1.3 ^b	2.1 ^a
60	1.9 ^a	1.8 ^a	1.1 ^b	1.9 ^a
75	1.3 ^b	1.1 ^b	1.4 ^b	2.0 ^a
90	2.6 ^a	1.7 ^{bc}	1.2 ^c	1.8 ^b
105	2.7 ^a	1.6 ^b	1.0 ^c	1.4 ^{bc}
120	3.8 ^a	2.0 ^c	1.6 ^c	2.7 ^b
135	3.9 ^a	2.5 ^b	1.6 ^c	2.9 ^b
150	4.0 ^a	3.0 ^b	1.7 ^c	3.0 ^b

同一行中不同字母表示经Duncan氏新复极差法检验在0.05水平上差异显著, 相同字母表示差异不显著, $n=3$ 。

低于未经 CaCl_2 处理的 ($P=0.05$) (表 5), 其次是 0.1% CaCl_2 处理的。

总之, 铁棍山药采后贮藏初期, 块茎含水量较高, SOD 活性保持在较高水平, 清除活性氧能力较强, O_2^- 产生速率较低, MDA 积累较少, 相对电导率较小, 膜损伤较轻; 后期, 块茎失水程度加深, SOD 活性下降, 清除活性氧的能力下降, O_2^- 产生速率增加, MDA 积累增加, 相对电导率增大, 膜脂过氧化作用增强, 膜损伤加剧。0.1%~1.0% CaCl_2 能有效地削弱其块茎采后贮藏期间含水量和 SOD 活性的下降以及 O_2^- 产生速率、MDA 含量和相对电导率的增加。这与前人在枣(吴彩娥等 2001; 赵鑫等 2003)、杨桃(李金雨和黄维南 1995) 和奈李(苏冬梅等 2001) 中的结果相似。

参考文献

- 陈少裕(1991). 膜脂过氧化对植物细胞的伤害. 植物生理学通讯, 27 (2): 84~90
- 陈艳乐, 贾守菊, 肖化层, 童莉里, 陈玲玲, 黄慧慧(2004). 温州薯蕷贮藏期间生理生化指标的变化. 河南科学, 22 (3): 356~359
- 邓碧玉, 袁勤生, 李文杰(1991). 改良的连苯三酚自氧化测定超氧化物歧化酶活性的方法. 生物化学与生物物理进展, 18 (2): 163~164
- 李金雨, 黄维南(1995). 钙处理对杨桃果实采后生理生化变化的影响. 热带作物学报, 16 (1): 60~64
- 李金雨, 庄荣福, 黄维南, 蔡龙祥, 胡维冀(2000). Ca处理对金针菇采后生理生化变化的影响. 福建农业大学学报, 29 (2): 176~180
- 苏冬梅, 谷文众, 陈灿(2001). 氯化钙处理对奈李低温贮藏期生理生化的影响. 中南林学院学报, 21 (2): 47~49, 95
- 王爱国, 罗广华(1990). 植物的超氧物自由基与羟胺的反应. 植物生理学通讯, 26 (6): 55~57
- 王爱国, 邵从本, 罗广华(1986). 丙二醛作为脂质过氧化指标的探讨. 植物生理学通讯, (2): 55~57
- 吴彩娥, 王文生, 寇晓红, 闫师杰, 杜立红(2001). CaCl_2 和6-BA处理对枣果采后膜脂过氧化作用的影响. 园艺学报, 28 (5): 457~459
- 张宪政, 陈凤玉, 王荣富(1994). 植物生理学实验技术. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 161~165
- 赵鑫, 张继澍, 王敏(2003). CaCl_2 和 GA_3 处理对枣果采后衰老和膜脂过氧化的影响. 西北农林科技大学学报, 31 (2): 118~120
- 朱诚, 刘菲燕, 郭达初(1998). 桂花开花和衰老过程中乙烯及脂质过氧化水平初探. 园艺学报, 25 (3): 275~279