

doi:10.11937/bfyy.20200039

# 施加外源钙素对山药(*Dioscorea opposita* Thunb.) 块茎膨大的影响

季 祥, 张 艳 芳, 邵 盈, 赵 令 敏, 邢 丽 楠, 霍 秀 文

(内蒙古农业大学 园艺与植保学院, 内蒙古 呼和浩特 010019)

**摘 要:**以块茎膨大期的河北安平白山药的块茎为试材,通过施加不同浓度的外源钙,测定在施不同浓度外源钙下山药块茎形态指标的变化,淀粉、淀粉酶和淀粉合成酶含量及内源钙离子、钙调素含量的变化趋势,并对其进行相关性分析,从而探讨钙离子与钙调素对山药块茎膨大影响的生理机制。结果表明:施入恰当浓度的外源钙( $74 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )能促进山药块茎内源钙离子和钙调素含量的增加,能提高淀粉合成酶的含量,促进淀粉的合成与积累,有助于促进山药块茎的膨大,为山药块茎膨大生理机制的研究提供参考依据。

**关键词:**山药;块茎膨大;钙离子;钙调素;淀粉;酶;相关性

**中图分类号:**S 632.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2021)05-0008-07

山药(*Dioscorea opposita*)属薯蓣科(Dioscoreaceae)薯蓣属(*Dioscorea*)一年或多年生缠绕性藤本薯蓣(*Dioscorea opposita* Thunb.)。其产品器官为块茎,肉质细腻,味道鲜美,可供人们食用<sup>[1]</sup>。山药亦可药用,具有增强免疫力、延缓衰老和抗氧化等功效。山药经多年栽培驯化,已经形成了适应不同土壤和气候特点的栽培品种<sup>[2]</sup>。

钙是植物生长发育所需的大量元素之一,钙元素可以维持细胞壁结构和细胞膜的完整性,同时也是重要的信号分子之一,是植物生长发育所需的重要调节因子<sup>[3]</sup>。钙和钙调素可以抑制马铃薯中赤霉素的生物合成,从而影响马铃薯块茎的形成<sup>[4]</sup>。在马铃薯生长发育过程中及时补钙,不

仅可以促进主茎增粗,减少地茎发生和形成的数量,从而提高商品产量,还可以增加块茎内钙的含量,延长块茎的贮藏期,减少病害的发生<sup>[5-6]</sup>。

$\text{Ca}^{2+}$  信号靶蛋白是细胞中感受  $\text{Ca}^{2+}$  信号的元件,是  $\text{Ca}^{2+}$  信使产生后信号继续传递的下游元件,其参与特异性钙信号的解码和植物生长发育的调节及对外界各种逆境信号的应答转导过程。钙信号靶蛋白可以分为三大类:钙调素(CaM)、钙依赖蛋白激酶(CDPK)类蛋白以及钙调磷酸酶B类蛋白(CBL)<sup>[7-8]</sup>。CaM生理功能的研究目前的涉及面相当广泛,细胞分裂与分化、细胞骨架与细胞运动、在离子转运、酶活性调节、光合作用、激素反应、孢子种子和花粉萌发及胞内酶类及基因表达等生理过程中,都有CaM的参与<sup>[9]</sup>。

近年来,国内关于钙肥在山药生产上的研究并不多,但是钙肥在马铃薯、蔬菜、果树等生长方面的影响研究较多。辛建华<sup>[10]</sup>采用营养液栽培的方法,研究施加外源钙对马铃薯的生长发育、物质分配、干物质积累以及品质的影响,结果表明,增加钙浓度水平有利于提高叶片光合色素含量并提升其净光合速率,可以提高马铃薯的外观质量并改善其内在品质,提高马铃薯大薯率,提高抗病

**第一作者简介:**季祥(1991-),男,硕士,现主要从事蔬菜种质资源与生物技术等研究工作。E-mail:1554521926@qq.com.

**责任作者:**霍秀文(1968-),女,博士,教授,博士研究生导师,现主要从事蔬菜种质资源与生物技术等研究工作。E-mail:huoxiuwen@imau.edu.com.

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(31860558);内蒙古农业大学科技创新(培育)团队资助项目(NDPYTD2013-3)。

**收稿日期:**2020-01-03

性。李华东等<sup>[11]</sup>研究了施用不同种类钙肥对芒果产量和品质的影响,结果表明,与不施钙肥相比,施用不同钙肥均能减少芒果的得病数量,提高单果质量和果实产量。陈锋<sup>[12]</sup>以“富士”苹果为试验试材,研究了分期施加钙肥对盛果期间的“富士”不同器官分配的影响及钙素吸收情况,发现施加外源钙素可以提高苹果果实的钙浓度。关于施外源钙对山药块茎膨大影响的研究较少,因此有必要对其进行研究,深入了解山药块茎生长发育过程中钙离子与钙调素的作用。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试材料为河北安平白山药(*D. opposita* Thunb.),由内蒙古农业大学种植资源圃提供。

### 1.2 试验方法

试验于2019年在呼和浩特市内蒙古农业大学种质资源圃进行,前茬作物为山药,土壤条件为沙壤土,地势平坦,灌溉方便。2018年4月种植,同年10月收获。将其分为4组,其中1组为对照(CK)不做任何处理,其余3组在块茎膨大始期即6月30日根部灌施外源钙肥,钙肥形式为可溶性氯化钙。每隔5d灌施一次,共灌施3次。并将其设为3个钙水平,浓度分别为纯钙37、74、111 kg·hm<sup>-2</sup>。

参考孙霞<sup>[2]</sup>的试验方法并加以改进和补充,将山药块茎膨大始期起至收获期每隔15d分为一个生长期,共分5个不同生长发育时期,分别为:块茎膨大初期(种植后105~120d)、块茎膨大前期(种植后120~135d)、块茎膨大中期(种植后135~150d)、块茎膨大盛期(种植后150~165d)、块茎膨大末期(种植后165~180d)。分别采集块茎膨大初期至块茎膨大末期5个不同生长发育阶段的块茎,并将对照组(CK),施钙肥37、74、111 kg·hm<sup>-2</sup>依次标记为A-0、A-1、A-2、A-3,便于区分。每组试验材料各选取3株作为生物学重复。

取样时,将挖出的块茎放入自封袋中,并迅速放入装有生物冰袋的取样箱中,以保持新鲜。带回实验室后,清水洗净、擦干,用卷尺测量其长度,用游标卡尺测量其粗度,并用分析天平称取质量。取10g样品切成片状置于70℃烘箱烘烤8h,烘

干后称量干物质的质量。

### 1.3 项目测定

山药块茎去皮后从顶端每次切取1g,共9次,用锡箔纸包好,立即放入液氮中速冻,再放入-80℃冰箱中保存,用于钙离子、钙调素与酶含量的测定。并将其余样品放于-20℃冰箱里用于生理指标的测定。淀粉含量的测定采用高氯酸法;钙离子含量的测定采用原子吸收分光光度法;淀粉酶(AMY)含量、淀粉合成酶(SSS)含量、钙调素(CaM)含量的测定采用酶联免疫法,参照ELISA试剂盒说明书。

### 1.4 数据分析

采用Microsoft Excel 2016软件对试验数据进行分析并制图。利用SPSS 25.0统计学软件进行方差分析与相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 山药块茎膨大期间形态指标

由表1可知,山药块茎长度和块茎周长在整个块茎膨大期呈均匀增长状态,4个处理的生长趋势基本一致。在块茎长度上,180d4组山药块茎长度差异性并不显著( $P>0.05$ ),A-2处理的山药长度最大,对照处理A-0的山药长度最小,在块茎周长上,120~135d4组山药块茎周长差异性并不显著( $P>0.05$ ),150~180d,4组山药块茎周长的差异性显著( $P<0.05$ ),且A-2处理最长,A-3处理最短。

干物质含量和鲜质量在整个块茎膨大期呈均匀增长状态,4个处理的生长趋势基本一致。在干物质含量上,前期4组山药块茎干物质含量差异性并不显著( $P>0.05$ ),但在后期A-1、A-2处理的山药干物质含量高于A-3、A-0处理的山药且差异性显著( $P<0.05$ ),A-2处理的山药干物质含量最高,而A-3处理的干物质含量最低;在鲜质量上,120~135d4组山药块茎鲜质量差异性并不显著( $P>0.05$ ),但在块茎膨大末期,A-0、A-1、A-2处理的山药均高于A-3处理的山药且差异性显著( $P<0.05$ ),A-2处理的山药鲜质量最高。

### 2.2 块茎膨大期间淀粉与其相关酶

由表2可知,山药块茎AMY含量除个别时

表1 山药在同一时期形态指标方差分析

Table 1 Variance analysis of morphological indicators of Chinese yam in the same period

形态指标 Morphological indicators	处理 Treatments	种植天数 Sampling times/d				
		120	135	150	165	180
块茎长度 Tuber length/cm	A-0	35.60±2.81ab	43.50±7.02a	51.46±4.19b	58.50±7.41a	57.63±1.99a
	A-1	28.47±3.18b	45.73±1.37a	55.00±7.11ab	61.13±7.17a	58.00±5.07a
	A-2	37.27±1.44a	45.30±2.63a	60.40±1.65a	63.00±8.61a	65.90±4.69a
	A-3	33.23±2.63ab	47.43±3.31a	51.80±3.39b	59.60±6.09a	60.87±2.41a
块茎周长 Tuber perimeter/cm	A-0	5.69±0.49a	7.56±0.27a	20.18±1.29ab	23.47±0.88a	26.64±0.61b
	A-1	6.04±0.27a	8.08±0.10a	21.28±1.09a	24.00±1.44a	27.58±1.18ab
	A-2	6.75±1.25a	8.39±0.60a	21.96±0.90a	25.03±1.05a	28.57±0.78a
	A-3	5.87±0.61a	7.55±1.19a	18.95±1.40b	21.69±1.90b	22.17±1.76c
干物质含量 Dry matter content/%	A-0	0.075±0.0017a	0.061±0.0061a	0.180±0.0068a	0.206±0.0082b	0.231±0.0146b
	A-1	0.079±0.0077a	0.073±0.0131a	0.118±0.0235a	0.258±0.0209a	0.263±0.0297a
	A-2	0.089±0.0068a	0.059±0.0045a	0.133±0.0115a	0.259±0.0367a	0.268±0.0186a
	A-3	0.063±0.0022a	0.063±0.0076a	0.129±0.0101a	0.201±0.0390b	0.222±0.0229b
块茎鲜质量 Fresh weight of tuber/g	A-0	29.54±8.09a	162.96±21.38a	249.08±29.63b	303.16±37.92b	322.20±23.46a
	A-1	30.87±6.74a	151.96±13.70a	293.54±52.76ab	307.53±79.43ab	335.30±19.82a
	A-2	36.75±8.26a	188.56±33.96a	304.83±61.27a	354.76±72.31a	365.22±20.76a
	A-3	38.94±10.07a	168.81±19.88a	191.15±9.92c	271.34±46.98b	272.15±14.92b

注:小写字母表示同一时期的差异显著水平( $P<0.05$ )。下同。

Note: Lowercase letters indicate the significant difference in the same period ( $P<0.05$ ). The same as below.

表2 山药在同一时期2种酶和淀粉含量的方差分析

Table 2 Variance analysis of 2 enzymes and starch contents of Chinese yam in the same period

酶和淀粉 Enzyme and starch	处理 Treatments	种植天数 Sampling times/d				
		120	135	150	165	180
淀粉酶 AMY ( $\text{pg} \cdot \text{mL}^{-1}$ )	A-0	939.36±162.97a	807.54±161.20a	797.98±76.90b	799.67±215.62a	918.70±112.47a
	A-1	834.64±98.92a	811.70±108.04a	834.67±117.08a	746.64±96.31a	876.00±82.23ab
	A-2	842.92±130.88a	776.08±74.93a	799.83±50.84b	762.82±38.39a	812.29±31.94ab
	A-3	761.15±115.19a	752.19±85.80a	727.67±55.92b	642.57±62.42a	714.80±88.27b
淀粉合成酶 SSS ( $\text{pg} \cdot \text{mL}^{-1}$ )	A-0	660.95±122.68a	661.09±147.98a	804.87±82.18a	502.70±156.71b	503.52±199.34b
	A-1	603.22±83.15a	622.89±157.68a	849.35±180.14a	620.84±85.22ab	569.30±61.68b
	A-2	542.33±75.32a	574.87±101.62a	921.51±124.79a	832.43±171.48a	788.08±114.10a
	A-3	538.19±63.48a	538.17±104.05a	364.78±25.68b	665.86±103.35ab	619.96±101.06ab
淀粉 Starch content/( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	A-0	49.81±1.53b	55.70±1.34c	64.40±2.49b	61.73±3.49b	60.45±1.88c
	A-1	50.14±0.78b	63.38±3.43b	67.78±3.05b	67.34±1.75b	64.57±5.45bc
	A-2	60.41±6.12a	72.55±4.92a	76.12±5.79a	80.15±3.60a	75.79±4.30a
	A-3	61.46±2.38a	62.83±2.20b	64.65±3.23b	64.48±5.32b	67.87±5.45b

期有一定变化外,在块茎膨大阶段变化较小,且4个处理的变化趋势基本一致。在150 d, A-1与A-0、A-2、A-3呈显著差异( $P<0.05$ ),在180 d, A-1与A-2无显著差异( $P>0.05$ ), A-0与A-3差异显著( $P<0.05$ ),在4组处理中A-0的AMY含量最高, A-3的含量最低。

山药块茎SSS含量在整个块茎膨大期呈先

增后减的趋势,4个处理的变化趋势基本一致。SSS含量在120~135 d 4组数据差异不显著( $P>0.05$ ),在180 d A-2与A-0、A-1差异显著( $P<0.05$ ),且在4组处理中块茎膨大末期A-2的SSS含量最高, A-0的含量最低。

山药块茎淀粉含量在整个块茎膨大期呈先增后减的趋势, A-0、A-1、A-2处理的变化趋势基本

一致,而 A-3 的变化趋势不明显。山药淀粉含量 4 组处理差异显著。

### 2.3 块茎膨大期间钙离子与钙调素

由表 3 可知,总体来说,A-0 的钙调素含量呈下降趋势,A-1、A-2 钙调素含量呈递增趋势,A-3 钙调素含量变化趋于平稳。且 4 组处理的山药块茎钙调素含量在 120~135 d 差异性显著,在 165~

180 d,A-1、A-2 之间差异性不显著( $P>0.05$ ),但与 A-0 和 A-3 之间差异性显著( $P<0.05$ )。

山药块茎内钙离子含量在整个块茎膨大期呈先增后减状态,A-1、A-2、A-3 处理的变化趋势基本一致,而 A-0 呈下降趋势。钙离子含量在 150 d A-0 与 A-1、A-2、A-3 差异性显著( $P<0.05$ ),其余均不显著。

表 3 山药在同一时期钙调素和钙离子含量的方差分析

Table 3 Variance analysis of the contents of calmodulin and calcium ions in the same period of Chinese yam

钙调素和钙离子 CaM and Ca <sup>2+</sup>	处理 Treatments	种植天数 Sampling times/d				
		120	135	150	165	180
钙调素 CaM (pg·mL <sup>-1</sup> )	A-0	999.22±110.79a	939.64±31.03b	861.86±141.97b	746.81±46.90b	703.37±41.41b
	A-1	862.12±102.94b	1023.58±42.43ab	1081.10±61.58a	1046.47±30.91a	1022.43±49.05a
	A-2	827.69±49.47bc	1108.40±33.72a	1125.42±112.22a	1127.48±94.87a	1098.83±86.74a
	A-3	707.57±48.22c	698.09±15.05c	693.51±98.46c	697.21±45.06b	643.34±29.60b
Ca <sup>2+</sup> (pg·mL <sup>-1</sup> )	A-0	0.697±0.213a	0.642±0.058a	0.555±0.180b	0.469±0.183a	0.364±0.087a
	A-1	0.707±0.189a	0.809±0.155a	0.945±0.165a	0.431±0.100a	0.396±0.077a
	A-2	0.713±0.162a	0.763±0.203a	1.150±0.209a	0.661±0.094a	0.576±0.087a
	A-3	0.798±0.055a	0.876±0.154a	1.021±0.057a	0.614±0.164a	0.482±0.074a

### 2.4 山药形态指标、淀粉与淀粉合成相关酶、钙离子、钙调素的相关性

从表 4 可以看出,块茎长度与淀粉含量呈显著正相关( $P<0.05$ ),相关系数达 0.581,与钙调素含量呈极显著正相关( $P<0.01$ ),相关系数达 0.821;块茎周长与干物质含量呈极显著正相关( $P<0.01$ ),相关系数达 0.866,与钙调素呈显著正相关( $P<0.05$ ),相关系数达 0.568;块茎干物质含量与鲜质量呈极显著正相关( $P<0.01$ ),相关系数达 0.760,与钙离子含量呈极显著负相关( $P<0.01$ ),相关系数达 0.739;块茎鲜质量与淀粉含量呈显著正相关( $P<0.05$ ),相关系数达 0.520,与钙调素含量呈极显著正相关( $P<0.01$ ),相关系数达 0.730;淀粉合成酶与钙调素含量呈显著正相关( $P<0.05$ ),相关系数达 0.604,与钙离子含量呈极显著正相关,相关系数达 0.758。

## 3 讨论

### 3.1 山药块茎形态指标在块茎膨大期的变化分析

该研究发现,在块茎膨大期间,3 组外源

钙处理下和对照组的山药块茎长度和周长总体呈上升趋势,周长在块茎膨大初期至块茎膨大前期增长较慢,在块茎膨大中期至块茎膨大盛期增长较快,说明山药块茎膨大主要在块茎膨大中期进行,这与石正太等<sup>[13]</sup>的研究结果一致。3 组外源钙处理下的山药块茎和对照组的山药块茎鲜质量和块茎干物质的含量总体表现为上升趋势,这与梁任繁等<sup>[14]</sup>的研究结果相一致。施加 74 kg·hm<sup>-2</sup> 浓度外源钙处理的块茎长度、周长、鲜质量、干物质含量均高于对照和其它 2 个处理,而膨大末期施加 111 kg·hm<sup>-2</sup> 浓度外源钙的块茎周长、鲜质量、干物质含量块茎低于对照和其它处理,这与辛建华等<sup>[15]</sup>研究结果相同。

### 3.2 山药块茎内淀粉含量、SSS 含量、AMY 含量在块茎膨大期的变化分析

淀粉是山药块茎内含物质主要成分,罗海玲等<sup>[16]</sup>指出块茎膨大初期后淀粉快速积累,与块茎膨大同步,因而,块茎的膨大离不开淀粉的积累。该研究发现,在块茎膨大始期施加外源钙有助于促进山药块茎淀粉含量的积累,且能稍微延长山药块茎内淀粉含量增长的时间,由此为干物质含量的增加奠定了基础。这与张

听<sup>[17]</sup>研究结果相同。总体上来说,SSS含量呈现出先增后减的趋势,且在块茎膨大末期,施加 $74\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 浓度外源钙处理的块茎SSS含量最高,而施加 $111\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 浓度外源钙的块茎次之,对照组的含量最低。这可能是由于施加外源钙的同时提高了钙调素的含量,从而促进山药块

茎SSS含量的增长,并提高SSS活性。而AMY含量呈现先缓慢下降后缓慢上升趋势,且4组数据之间的差异并不显著,由此可以证明,在块茎膨大始期施加外源钙对于山药块茎膨大期AMY含量影响并不大,但与不施外源钙相比会略有降低。这与刘喜平等<sup>[18]</sup>和丁洪瑾等<sup>[19]</sup>研究结果相一致。

表4 山药块茎内钙离子与钙调素含量、淀粉含量、酶含量、形态指标之间的相关系数

Table 4 Correlation coefficient between calcium ions and calmodulin content, starch content, enzyme content and morphological index in tuber of Chinese yam

相关性 Correlation analysis	块茎长 Tuber length	块茎周长 Tuber perimeter	块茎干物质含量 Tuber dry matter content	块茎鲜质量 Tuber fresh weight	淀粉含量 Starch content	淀粉合成酶 SSS	淀粉酶 AMY	钙调素含量 CaM content	钙离子含量 Ca <sup>2+</sup> content
块茎长 Tuber length	1.000	0.839**	0.652**	0.903**	0.581*	0.354	0.111	0.821**	-0.148
块茎周长 Tuber perimeter		1.000	0.866**	0.920**	0.285	0.103	0.127	0.568*	-0.459
块茎干物质含量 Tuber dry matter content			1.000	0.760**	0.010	-0.212	-0.190	0.336	-0.739**
块茎鲜质量 Tuber fresh weight				1.000	0.520*	0.266	0.068	0.730**	-0.269
淀粉含量 Starch content					1.000	0.638*	0.306	0.656**	0.488
淀粉合成酶 SSS						1.000	0.395	0.604*	0.758**
淀粉酶 AMY							1.000	0.149	0.413
钙调素含量 CaM content								1.000	0.255
钙离子含量 Ca <sup>2+</sup> content									1.000

注: \* ( $P<0.05$ ); \*\* ( $P<0.01$ )。

Note: \* ( $P<0.05$ ); \*\* ( $P<0.01$ ).

### 3.3 山药块茎内钙调素含量、钙离子含量在山药块茎膨大期的变化分析

在山药块茎膨大期间,总体上来说,施加外源钙离子的山药块茎钙离子呈现先增加后减少的趋势,其中,在块茎膨大初期及块茎膨大前期,A-3的钙离子含量高于A-1、A-2,但在块茎膨大中期,A-2超过了A-3,在块茎膨大末期,A-2含量最高,A-3次之,而对照A-0呈现递减的趋势,在块茎膨大末期,A-0钙离子含量最低。这说明,在块茎膨大始期施加适当的外源钙有助于促进山药块茎内钙离子的积累,但外源钙施入过多,则钙离子会有所下降,这与李文霞等<sup>[20]</sup>研究结果相一致。在山药块茎膨大初期,钙调素含量对照A-0最高,A-1次之,A-3最低,这说明在块茎膨大初期刚施加外源钙的时候,可能造成土壤里钙离子浓度的迅速增高,不易于钙调素的合成,但随着膨大期的进行,A-0呈下降趋势,而A-2、A-1呈上升趋势,A-3含量变化不大,在块茎膨大前期,A-2、A-1含

量超过了A-0,在块茎膨大末期,A-2含量最高,A-1次之,A-3最低。这说明,在块茎膨大始期施加适当的外源钙从而提高植物体内钙离子的含量,进而促进山药块茎内钙调素的合成与积累,这与张哲等<sup>[21]</sup>研究结果相同,但超过这个最适浓度,则会对钙调素的合成起抑制作用。

### 3.4 山药块茎内钙调素含量、钙离子含量和山药淀粉含量、淀粉相关酶含量、形态指标的相关性分析

山药块茎的膨大是一个复杂的动态变化过程,块茎周长、块茎长度与块茎鲜质量、块茎干物质含量呈极显著正相关,表明在块茎膨大过程中块茎的鲜质量跟干物质含量也在增加。结合相关性分析和生长趋势说明,淀粉占块茎干物质含量中很大一部分,其中淀粉的积累及其相关酶活性的变化随着膨大时期的不同而变化。植物体内的AMY、SSS是淀粉合成的相关酶。

淀粉酶属水解酶类,是催化淀粉、糖元和糊精

中糖苷键的酶的统称<sup>[22]</sup>。在该研究中,AMY含量在整个生长期变化较小,但在块茎膨大盛期都有下降趋势。说明在山药块茎形成初期淀粉水解活跃,为前期山药的膨大提供物质和能量。后期减弱有利于淀粉的积累,从而促进块茎的膨大。这与淀粉在块茎膨大中后期含量达到最高相一致。

淀粉合成酶是以腺苷二磷酸葡萄糖(ADPG)为葡萄糖的供体,是对葡萄糖聚合体,通过糖基转移而催化 $\alpha$ -1,4-糖苷键的延长作用的酶。在该研究中,SSS含量呈单峰型变化,在块茎膨大中期达到峰值,酶含量最高,积累速度最快,增长最为迅速。这与淀粉变化趋势相吻合,说明SSS控制着淀粉合成速率。王月福等<sup>[23]</sup>研究表明,淀粉合成酶活性与总淀粉积累速率及支链淀粉积累速率均呈极显著正相关,而钙调素与淀粉合成酶的关系呈极显著正相关,证明钙调素有促进淀粉合成酶合成的作用。

#### 4 结论

在山药整个块茎膨大过程中,向根茎施入 $37.74 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 浓度的外源钙对山药块茎的周长、鲜质量、干物质含量、淀粉、淀粉合成酶、钙离子、钙调素的含量均有不同程度的促进作用,其中,对块茎内钙离子含量、淀粉、淀粉合成酶的含量促进效果显著,而施入 $111 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 浓度的外源钙处理对于促进山药块茎膨大效果不明显,且对山药块茎淀粉合成酶、钙调素含量有一定的抑制作用,其机理有待进一步研究。

#### 参考文献

- [1] 朱海旺,霍秀文.长山药块茎休眠期相关酶活性及内源激素含量变化[J].华北农学报,2011,26(2):198-202.
- [2] 孙霞.毕克齐长山药生育和贮藏期间营养成分及相关酶活性的研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2008.
- [3] POOVAIAH B W, REDDY A S N. Calcium and signal transduction in plants[J]. Crit Rev Plant Sci, 1993, 12(3): 185-211.
- [4] MACINTOSH G C, ULLOA R M, RAICES M, et al. Changes in calcium-dependent protein kinase activity during *in vitro*

tuberization in potato [J]. Plant Physiology, 1996, 112: 1541-1550.

- [5] MCGUIRE R G, KELMAN A. Reduced severity of *Erwinia* soft rot in potato tubers with increased calcium content[J]. Phyto Pathology, 1984, 74: 1250-1256.
- [6] MCGUIRE R G, KELMAN A. Calcium in potato tuber cell walls in relation to tissue maceration by *Erwinia carotovora* pv. atroseptica [J]. Phyto Pathology, 1986, 76(4): 401-406.
- [7] HETHERINGTON A M, BROWNLEE C. The generation of  $\text{Ca}^{2+}$  signals in plants[J]. Annu Rev Plant Biol, 2004, 55: 401-427.
- [8] BOTHWELL J H F, NG C K Y. The evolution of  $\text{Ca}^{2+}$  signaling in photosynthetic eukaryotes[J]. New Phytol, 2005, 166: 21-38.
- [9] CHIN D, MEANS A R. Calmodulin, a prototypical calcium sensor[J]. Trends Cell Biol, 2000(10): 322-328.
- [10] 辛建华. 钙素对马铃薯生长发育、光合作用及物质代谢影响的研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2008.
- [11] 李华东, 白亭玉, 郑妍, 等. 土壤施钙对芒果果实钾, 钙, 镁含量及品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2014(6): 76-80.
- [12] 陈锋. 苹果钙素营养吸收分配及其影响因素研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2008.
- [13] 石正太, 赵振安. 长山药块茎膨大进程的初步研究[J]. 中国蔬菜, 1996(1): 29-31.
- [14] 梁任繁, 李创珍, 张娟, 等. 山药块茎发育中物质积累及相关代谢酶变化[J]. 作物学报, 2011, 37(5): 903-910.
- [15] 辛建华, 李天来, 陈红波. 外源钙处理对马铃薯块茎重量和数量的影响[J]. 西北农业学报, 2008(5): 248-251.
- [16] 罗海玲, 龚明霞, 周芸伊, 等. 山药块茎发育过程中淀粉积累及差异蛋白分析[J]. 华南农业大学学报, 2018, 39(6): 67-75.
- [17] 张昕. 外源钙对马铃薯新18号形态、生理、产量与品质性状的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2015.
- [18] 刘喜平, 陈彦云, 任晓月, 等. 外源钙对马铃薯块茎贮藏期间几种酶活性及蛋白质含量的影响[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(2): 62-64.
- [19] 丁红瑾, 陈彦云, 曹君迈, 等. 外源钙对贮藏期马铃薯细胞膜及过氧化物酶的影响[J]. 中国农学通报, 2013(14): 103-106.
- [20] 李文霞, 张昕, 石瑛, 等. 外源钙对马铃薯形态、生理、产量与品质性状的影响[J]. 东北农业大学学报, 2015, 46(7): 1-8.
- [21] 张哲, 宋水山, 边子睿, 等. 植物细胞中钙离子作用的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(24): 14525-14527.
- [22] 康明丽. 淀粉酶及其作用方式[J]. 食品工程, 2008(3): 11-14.
- [23] 王月福, 于振文, 李尚霞, 等. 小麦籽粒灌浆过程中有关淀粉合成酶的活性及其效应[J]. 作物学报, 2003, 29(1): 75-81.

## Effects of Exogenous Calcium on Tuber Swelling of Chinese Yam

JI Xiang, ZHANG Yanfang, SHAO Ying, ZHAO Lingmin, XING Linan, HUO Xiuwen

(College of Horticulture and Plant protection, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010019)

**Abstract:** The expansion period tuber of white yam of Anping from Hebei was used as the experimental material, by using different concentrations of calcium, the yam tuber morphological indicators changes, the content of starch, amylase and starch synthase and the change of calcium ions, calmodulin content were measured, the correlation analysis for these data under different concentrations of calcium was conducted, and the calcium ion and calmodulin physiological mechanism of the impact in the period of Chinese yam tuber bulking were explored. The results showed that the application of appropriate concentration of exogenous calcium ( $74 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) could promote the tuber swelling, starch synthesis and accumulation, increase the content of starch synthase, and promote the content of endogenous calcium ions and calmodulin in the tuber. Finally, the results of this experiment will serve as a reference for the study of the physiological mechanism of yam.

**Keywords:** chinese yam; tubers swelling; calcium ion; calmodulin; enzyme; correlation

### 信息广角

## 贮存山药的好办法

山药是一种怕冷、怕热、怕风的植物产品,保存不好就会烂或变质而不能食用。贮存时受热会形成湿烂,受风形成黑心不能食用。所以,掌握正确贮存方法是贮存好的关键。

根据多年的经验,有2种贮存好的办法介绍如下:一是地窖保存法。地窖必须深达8 m以上,直径60 cm,再在左或右挖一个 $1 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 贮存窖,将收获的山药去掉病块、伤块,放入窖内,每隔15 d检查一次有无病块,温度保持在 $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,存至冬至前后,将窖口封好,留有10 cm的气孔,防止寒风侵袭,防止受热造成损失。二是室内保存法。将收获的山药去掉病、伤山药,放入纸箱,纸箱内放一杯水保持湿度,室内温度保持在 $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,不易受风,以上2种办法可保存山药到麦收前不会出现问题,不会变质。切记不能装入塑料袋内保存,不能与农药存放在一起,不能与氮素化肥共存,可保证贮存效果良好。

(来源:农业种植网)