

# 干燥方式和贮藏对甘薯可溶性糖组分组成和变化的影响

石彩玲, 孙宁慧, 李 欢, 刘 庆\*, 祁 琳

(青岛农业大学资源与环境学院, 青岛 266109)

**摘要:** **目的** 探究不同干燥方式和贮藏时期对甘薯可溶性糖组分组成及其变化的影响。**方法** 以食用型甘薯烟薯 25 号和普薯 32 号为实验材料, 按不同贮藏时期取样, 分别进行冷冻干燥和热风干燥处理, 采用超声振荡提取-离子色谱-脉冲积分安培法对样品中 10 种可溶性糖组分进行提取和同时测定。**结果** 冷冻干燥处理, 烟薯 25 号和普薯 32 号甘薯中均检出大量的葡萄糖、果糖、蔗糖和少量麦芽糖、鼠李糖、阿拉伯糖、甘露糖、半乳糖, 其可溶性糖组分总量分别为 151.3 和 112.9 g/kg; 热风干燥处理, 除以上糖组分外, 还检出了棉子糖和水苏糖; 两个品种甘薯可溶性糖组分总量分别为 203.3 和 151.8 g/kg; 除蔗糖外, 烟薯 25 号甘薯各糖组分含量及其总量均显著高于冷冻干燥处理( $P<0.05$ )。随贮藏时间延长, 两个品种甘薯中可溶性糖组分总量均呈先增加后降低的趋势, 其中, 烟薯 25 号在贮藏 45 d 后达到最高, 普薯 32 号则在贮藏 15 d 后达到最高; 烟薯 25 号甘薯中葡萄糖、果糖、麦芽糖和可溶性糖组分总量在各贮藏期均显著高于普薯 32 号( $P<0.05$ ), 而蔗糖则在整个贮藏期间均低于普薯 32 号。**结论** 贮藏过程可使甘薯中可溶性糖含量增加, 贮藏 15~45 d 可溶性糖含量达到最高。冷冻干燥比热风干燥更好地保持了甘薯样品可溶性糖组分组成的稳定性。

**关键词:** 干燥方式; 贮藏时期; 甘薯; 可溶性糖组分; 离子色谱法

## Effects of drying methods and storage on the composition and changes of soluble sugar components of *Ipomoea batatas* (L.) Lam.

SHI Cai-Ling, SUN Ning-Hui, LI Huan, LIU Qing\*, QI Lin

(College of Resources and Environmental Sciences, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

**ABSTRACT: Objective** To investigate the effects of the composition and changes of soluble sugar of *Ipomoea batatas* (L.) Lam. under different drying methods and storage periods. **Methods** Taking the Yanshu No.25 and the Pushu No.32 edible *Ipomoea batatas* (L.) Lam. as experimental materials, samples were taken according to different storage periods and treated by freeze drying and hot air drying, 10 kinds of soluble sugar components were extracted by ultrasonic oscillation and detected through ion chromatography-pulse-integral amperometric detection. **Results** A large amount of glucose, fructose and sucrose and a small amount of maltose, rhamnose, arabinose, mannose, galactose were detected in Yanshu 25 and Pushu 32 under freeze drying treatment, the total soluble sugar components were 151.3 and

基金项目: 现代农业产业技术体系专项资金项目(CARS-10-B11)、青岛农业大学高层次人才基金项目(20210059, 663-1117702)

Fund: Supported by the Earmarked Fund for China Agriculture Research System (CARS-10-B11), and the High Level Talent Fund of Qingdao Agricultural University (20210059, 663-1117702)

\*通信作者: 刘庆, 博士, 教授, 主要研究方向为植物营养生理与品质生理。E-mail: qy7271@163.com

\*Corresponding author: LIU Qing, Ph.D, Professor, College of Resources and Environmental Sciences, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China. E-mail: qy7271@163.com

112.9 g/kg, respectively; in hot air drying treatment samples, raffinose and stachyose were also detected in addition to the above 8 soluble sugars, and the total soluble sugar components were 203.3 and 151.8 g/kg, respectively. Except sucrose, the content of every soluble sugar content and total soluble sugar components under hot air drying was significantly higher than those in freeze drying ( $P<0.05$ ), with the extension of storage period, the content of total soluble sugar components increased first and then decreased. The total soluble sugar components of Yanshu No.25 reached the highest after 45 day storage, while that of Pushu No.32 reached the highest after 15 day storage, the glucose, fructose, maltose and total soluble sugar of Yanshu No.25 were significantly higher than that of Pushu No.32 ( $P<0.05$ ), while the sucrose was lower than that of Pushu No.32 in the whole storage period. **Conclusion** The content of soluble sugar in *Ipomoea batatas* (L.) Lam. increases during storage, and reaches the highest after 15-45 days. Freeze drying is better than hot air drying to maintain the stability of soluble sugar composition of *Ipomoea batatas* (L.) Lam..

**KEY WORDS:** drying method; storage period; *Ipomoea batatas* (L.) Lam.; soluble sugar components; ion chromatography

## 0 引言

甘薯 [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.] 是世界上居水稻、小麦、马铃薯、玉米和木薯之后的第六大粮食作物<sup>[1-2]</sup>, 在亚洲、非洲、拉丁美洲等均有大面积种植<sup>[3-4]</sup>。根据其块根的营养特点和用途, 甘薯品种分为食用型、淀粉型和加工型等, 可满足不同人群和行业的需要<sup>[5]</sup>。其中, 食用型甘薯因具有软、糯、香、甜的口感及良好的营养与保健功能而受到广大消费者的喜爱<sup>[6]</sup>。在众多的营养指标中, 可溶性糖分组成及其含量是影响食用型甘薯甜度及香味等指标的重要因子, 常被用来作为甘薯食味品质和加工性能的重要评价指标<sup>[7-8]</sup>, 得到越来越多研究者的关注。

冷冻干燥和热风干燥是农学、食品等学科样品前处理时两种主要干燥方式, 会对样品中淀粉和可溶性糖等指标产生较大影响<sup>[9-10]</sup>。在甘薯相关研究中发现, 干燥升温过程易造成甘薯样品中淀粉分解, 导致样品中可溶性糖含量和组成发生变化<sup>[11-12]</sup>。此外, 多数研究均发现, 生产、贮藏及加工熟化等过程也是影响甘薯中糖分形成与变化的重要因素<sup>[13-14]</sup>。如 NABUBUYA 等<sup>[15]</sup>、MONTILL 等<sup>[16]</sup>、HUANG 等<sup>[17]</sup>均通过研究发现甘薯贮藏可导致可溶性糖含量增加, 淀粉含量降低; 贮藏开始后的两周内可溶性糖含量增加较快, 此后逐渐变缓; 闵晓宇等<sup>[18]</sup>还发现一定的贮藏期间内, 贮藏时间越长, 可溶性糖含量越高; 贮藏温度越高, 可溶性糖含量增加越快; LAI 等<sup>[19]</sup>和 WEI 等<sup>[20]</sup>研究还发现经烘烤后甘薯麦芽糖含量显著增加; 沈升法等<sup>[21]</sup>则进一步研究认为, 甘薯加热熟化过程增加的可溶性糖主要是还原糖, 而非还原糖含量变化不显著。但是, 已有研究重点关注了加热熟化及贮藏过程中甘薯可溶性糖含量的变化, 其可溶性糖分含量多利用高效液相色谱法 (high performance liquid chromatography, HPLC)<sup>[19-20]</sup>测定获得,

该方法灵敏度偏低, 一些含量较低的糖组分无法检出<sup>[22-23]</sup>, 导致已有研究结果多数只关注了葡萄糖、果糖、蔗糖、麦芽糖 4 种糖组分, 而对其他含量相对较低的糖组分关注较少, 如甘露糖、半乳糖等单糖以及在蔬菜、水果、谷物和豆科作物中广泛存在的棉子糖、水苏糖等低聚糖, 而这些糖组分对甘薯保健功能的发挥同样具有重要作用<sup>[24-25]</sup>。

本研究针对甘薯块根中基质组成的特点, 进一步优化甘薯中可溶性糖的提取条件, 利用离子色谱-脉冲积分安培检测法 (ion chromatography-pulse-integral amperometric detection, IC-PAD), 同时测定不同干燥方式和贮藏时期甘薯样品提取液中 10 种可溶性糖组分, 研究干燥方式和贮藏对甘薯块根中可溶性糖分组成及变化的影响, 为甘薯贮藏期管理及贮藏过程中糖组分变化相关研究提供参考。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 实验材料

实验所用甘薯品种分别为烟薯 25 号和普薯 32 号, 均取自山东胶州青岛农业大学现代农业高科技示范园。两个品种均于 2020 年 5 月 16 日栽插, 10 月 30 日收获。

### 1.2 试剂与仪器

无水乙醇、NaOH、NaOAc (分析纯, 国药集团化学试剂有限公司)。

ME 万分之一天平 [梅特勒托利多科技 (中国) 有限公司]; SCIENTZ-12ND 冷冻干燥机 (宁波新芝生物科技股份有限公司); GEL-230 鼓风烘箱 (天津市莱玻特瑞仪器设备有限公司); Neofge15R 冷冻离心机 (上海力申科学仪器有限公司); Milli-Q 去离子水发生器 (美国 Millipore 公司); ICS-5000 离子色谱仪、Carbo Pac PA20 色谱柱 (美国 Thermo Dionex 公司)。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 样品前处理

收获后的甘薯样品于 11 月 1 日开始在(12±2) °C 条件下贮藏。入库当天进行第一次取样, 以测定本底值。以后每 15 d 取样一次, 共取样 5 次。每个贮藏期样品均随机选择形状类似纺锤形(长度与胸径之比约为 2:1)、重量 300~400 g 薯块 5 个, 洗净去皮切丝后, 利用冷冻干燥机 -70 °C 条件下将样品干燥至恒重, 取出磨细过筛后备用; 其中, 第一个贮藏期结束时, 除进行冷冻干燥外, 另取一份样品于鼓风烘箱内 105 °C 进行热风干燥处理 24 h 至样品恒重, 并与同时期冷冻干燥样品一起进行糖分提取与测定。

#### 1.3.2 可溶性糖的提取

万分之一天平称取 0.5 g(精确至 0.0001 g)样品于 50 mL 带盖玻璃瓶中, 加入 40 mL 80% 的乙醇水溶液(乙醇:水 =8:2, V:V), 在通过自来水循环控制水温不超过 15 °C 条件下, 超声萃取 60 min 后接着放入振荡器再振荡提取 2 h, 放置澄清<sup>[19]</sup>。取上清液 2 mL 于冷冻离心机中 10000 r/min 冷冻离心 5 min, 取 1 mL 上清液用超纯水定容至 100 mL 容量瓶, 将稀释后样品使用注射器通过已活化的 RP 柱去除疏水有机物杂质, 弃去前约 0.5 mL 样品, 收集后续样品上机测定其中鼠李糖、阿拉伯糖、半乳糖、甘露糖、葡萄糖、果糖、蔗糖、麦芽糖、棉子糖和水苏糖不同组分含量。

#### 1.3.3 仪器配置与色谱条件

离子色谱仪配备安培检测器、AS-AP 自动进样器, Carbo Pac PA20 (150 mm×3 mm, 6 μm)分析柱和 Carbo Pac PA20 (30 mm×3 mm, 6 μm)保护柱。淋洗液分别为: 18.2 MΩ 超纯水(A)、250 mmol/L NaOH (B)、1.0 mol/L NaOAc (C)。样品进样体积 10 μL; 柱温 30 °C; 检测器为电化学检测器, 金电极, 标准糖电位。色谱柱梯度条件如表 1, 流速为 0.40 mL/min。混合标准溶液各可溶性糖组分谱图见图 1。

表 1 离子色谱色谱柱梯度条件

Table 1 Gradient conditions of ion chromatography column

序号	时间/min	淋洗液/%		
		A	B	C
1	0.0	98	2	0
2	15.0	98	2	0
3	25.0	10	90	0
4	30.0	0	100	0
5	35.0	40	50	10
6	40.0	0	100	0
7	50.0	98	2	0

### 1.4 数据分析

用 Excel 2010 进行数据整理和图表绘制。利用 DPS

14.0 软件进行统计分析, 用 Duncan 法进行平均数间的显著性检验, 显著性水平取  $\alpha=0.05$ 。

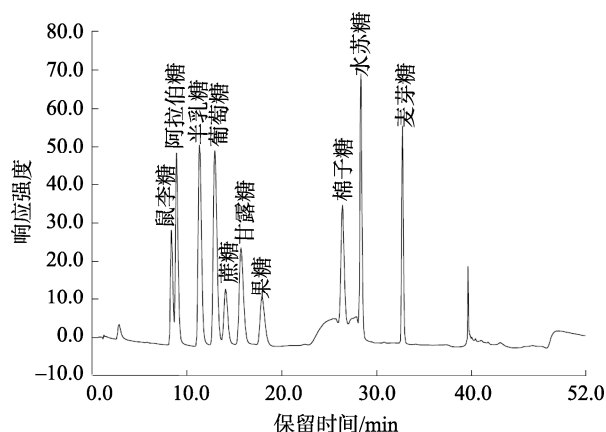


图 1 各糖组分混合标准溶液谱图

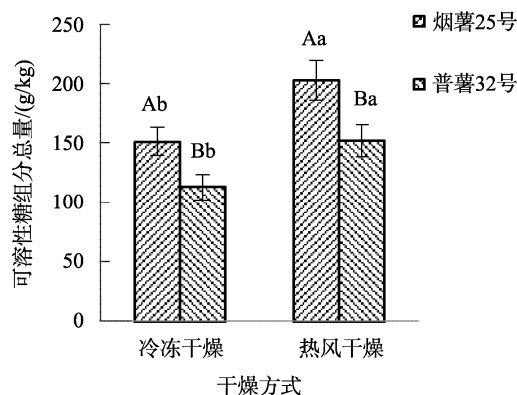
Fig.1 Spectrogram of mixed standard solution of each sugar component

## 2 结果与分析

### 2.1 不同干燥方式对甘薯中可溶性糖组分组成及含量的影响

#### 2.1.1 可溶性糖组分总量

图 2 展示了冷冻干燥和热风干燥两种方式下, 烟薯 25 号和普薯 32 号甘薯样品中可溶糖组分总量。由图 2 可以看出, 冷冻干燥方式下, 烟薯 25 号和普薯 32 号可溶性糖组分总量分别为 151.3、112.9 g/kg; 热风干燥方式下, 烟薯 25 号和普薯 32 号可溶性糖组分总量分别为 203.3、151.8 g/kg, 差异均达显著水平( $P<0.05$ )。对同一甘薯品种来讲, 热风干燥方式下甘薯可溶性糖组分总量均高于冷冻干燥, 差异同样达显著水平( $P<0.05$ )。



注: 不同大写字母表示不同品种之间差异显著( $P<0.05$ ), 不同小写字母表示同一品种不同干燥方式之间差异显著( $P<0.05$ )。

图 2 不同干燥方式下甘薯可溶性糖组分总量( $n=3$ )

Fig.2 Total soluble sugar components in *Ipomoea batatas* (L.) Lam. at different drying methods ( $n=3$ )

## 2.1.2 各可溶性糖组分组成

表 2 展示了不同干燥方式下甘薯样品可溶性糖组分含量。由表 2 可以看出, 冷冻干燥方式下, 两个品种甘薯均检测出 6 种单糖和 2 种二糖, 共 8 种糖组分, 而热风干燥方式下, 除以上 8 种糖组分外, 还检测出棉子糖(三糖)和水苏糖(四糖), 说明这两种糖组分在热风干燥过程中形成, 而其他 8 种糖组分则为生产过程中形成。DEN 等<sup>[26]</sup>曾利用液相色谱法在熟化后的甘薯样品中检测到了棉子糖, 与本研究结果一致, 但未见其报道检测到水苏糖, 这可能与其所采用的检测方法有关。

## 2.1.3 各可溶性糖组分含量及转化

由表 2 还可以看出, 除蔗糖外, 热风干燥方式下两个品种甘薯中其他糖组分含量均显著高于冷冻干燥样品 ( $P<0.05$ )。其中, 差异最大的是麦芽糖, 热风干燥使烟薯 25 号和普薯 32 号中麦芽糖含量分别为冷冻干燥的 13.30 倍和 15.06 倍。这与热风干燥过程导致了甘薯中淀粉酶活性增强, 促进淀粉水解生成了大量麦芽糖有关<sup>[12,26-27]</sup>。同时, 麦芽糖的进一步分解也使得一些葡萄糖含量有所增加, 而葡萄糖、果糖、半乳糖之间的缩合又生成了水苏糖和棉子糖。另外, 无论热风干燥和冷冻干燥处理, 两个品种甘薯中的葡萄糖、果糖、蔗糖含量均较高, 鼠李糖、阿拉伯糖、半乳糖、甘露糖、棉子糖、水苏糖含量均较低, 这与收获时鲜薯中各糖组分组成及含量特点有关。

## 2.1.4 各可溶性糖组分含量的品种差异

从两个品种甘薯糖组分含量比较来看, 无论是冷冻干燥还是热风干燥, 鼠李糖、阿拉伯糖、甘露糖和半乳糖 4 种单糖含量在两个品种间差异不显著 ( $P>0.05$ ), 其他 6 种糖组分差异均达显著水平 ( $P<0.05$ )。冷冻干燥和热风干燥条件下, 烟薯 25 号葡萄糖含量分别为普薯 32 号的 4.08 倍、2.13 倍, 果糖含量分别为普薯 32 号的 3.78 倍、4.26 倍, 麦芽糖含量分别为普薯 32 号的 1.34 倍、1.18 倍; 而普薯 32 号蔗糖含量分别为烟薯 25 号的 1.46 倍、1.43 倍, 差异均达显著水平 ( $P<0.05$ )。两种干燥方式下, 普薯 32 号甘薯仅蔗糖显著高于烟薯 25 号 ( $P<0.05$ ), 而葡萄糖、果糖、麦芽糖均显著低于烟薯 25 号 ( $P<0.05$ ), 这可能也是烟薯 25 号甘薯甜度显著高于普薯 32 号的原因。

表 2 不同干燥方式下甘薯中各糖组分含量(g/kg)

糖组分名称	烟薯 25 号		普薯 32 号	
	冷冻干燥	热风干燥	冷冻干燥	热风干燥
鼠李糖	0.067 <sup>Ab</sup>	0.129 <sup>Aa</sup>	0.066 <sup>Ab</sup>	0.121 <sup>Aa</sup>
阿拉伯糖	0.077 <sup>Ab</sup>	0.130 <sup>Aa</sup>	0.073 <sup>Ab</sup>	0.124 <sup>Aa</sup>
半乳糖	0.271 <sup>Ab</sup>	0.405 <sup>Aa</sup>	0.268 <sup>Ab</sup>	0.395 <sup>Aa</sup>
甘露糖	0.239 <sup>Ab</sup>	0.357 <sup>Aa</sup>	0.243 <sup>Ab</sup>	0.362 <sup>Aa</sup>

表 2(续)

糖组分名称	烟薯 25 号		普薯 32 号	
	冷冻干燥	热风干燥	冷冻干燥	热风干燥
葡萄糖	45.700 <sup>Ab</sup>	52.700 <sup>Aa</sup>	11.200 <sup>Bb</sup>	24.800 <sup>Ba</sup>
果糖	42.300 <sup>Ab</sup>	59.600 <sup>Aa</sup>	11.200 <sup>Bb</sup>	14.000 <sup>Ba</sup>
蔗糖	60.600 <sup>Ba</sup>	62.000 <sup>Ba</sup>	88.300 <sup>Aa</sup>	88.800 <sup>Aa</sup>
麦芽糖	2.030 <sup>Ab</sup>	27.000 <sup>Aa</sup>	1.520 <sup>Bb</sup>	22.900 <sup>Ba</sup>
棉子糖	ND	0.335 <sup>A</sup>	ND	0.223 <sup>B</sup>
水苏糖	ND	0.626 <sup>A</sup>	ND	0.070 <sup>B</sup>

注: 同一行不同大写字母表示不同品种之间差异显著 ( $P<0.05$ ), 同一行不同小写字母表示同一品种不同干燥方式之间差异显著 ( $P<0.05$ )。ND 表示本检测条件下未检出。

## 2.2 不同贮藏期对甘薯中可溶性糖组分含量及其变化的影响

由以上分析可知, 热风干燥样品检出的棉子糖和水苏糖可能是热风干燥中形成而非生产过程形成。因此, 本研究仅利用冷冻干燥样品的糖分检测结果, 对不同贮藏期甘薯样品中 8 种可溶性糖组分含量及其变化进行分析。

## 2.2.1 对可溶性糖组分总量及其变化的影响

图 3 展示了不同贮藏期甘薯样品中可溶性糖组分总量及变化。由图 3 可以看出, 两个品种甘薯中可溶性糖组分总量随贮藏时间延长均呈先增加后降低的趋势。其中, 烟薯 25 号在贮藏期前 45 d 一直保持缓慢增加的趋势, 此后有所下降; 而普薯 32 号在贮藏开始 15 d 时达到最高, 此后一直保持缓慢下降。整个贮藏期间, 烟薯 25 号甘薯中可溶性糖组分总量始终高于普薯 32 号。其原因可能是甘薯贮藏过程中, 部分淀粉在淀粉酶的作用下水解, 从而使可溶性糖分总量增加<sup>[28]</sup>, 而随贮藏时间延长, 淀粉水解变慢, 加之甘薯呼吸作用消耗, 导致各种糖组分含量开始下降<sup>[29]</sup>。

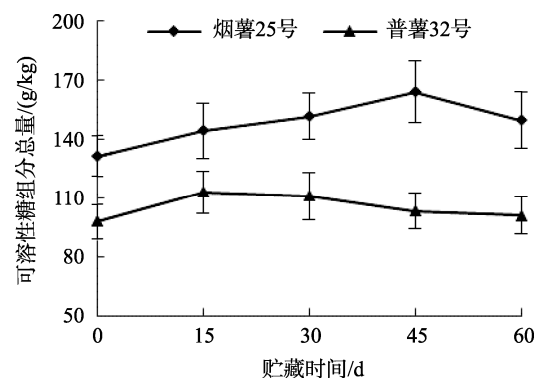


图 3 不同贮藏期甘薯块根中可溶性糖组分总量 ( $n=3$ )  
Fig.3 Total soluble sugars components in *Ipomoea batatas* (L.) Lam. root tubers at different storage stage ( $n=3$ )

2.2.2 对甘薯中 6 种单糖含量及其变化的影响

图 4 展示了不同贮藏期甘薯样品中葡萄糖、果糖、半乳糖、甘露糖、鼠李糖、阿拉伯糖 6 种单糖含量变化。从图 4 可以看出, 葡萄糖含量在两个品种甘薯中随贮藏期延长呈先增加后降低的趋势, 在贮藏 15 d 后含量最高, 此后持续缓慢降低; 果糖含量在烟薯 25 号甘薯中随贮藏期变化规律与葡萄糖相同, 均表现为先增加后降低, 且在贮藏 15 d 后达到最高, 而在普薯 32 号甘薯中则随贮藏期延长呈持续降低的趋势。整个贮藏期间, 烟薯 25 号甘薯葡萄糖和果糖含量始终远高于普薯 32 号。葡萄糖与果糖在贮藏期间的变化规律与陈玲玲等<sup>[11]</sup>的研究结果基本一致, 而品种之

间的差异则可能与品种特性有关。

样品中鼠李糖、阿拉伯糖、半乳糖、甘露糖 4 种单糖含量, 在烟薯 25 号甘薯中均表现为贮藏开始后 30 d 内缓慢降低, 而在 30 d 后有所增加或增加后再降低, 60 d 时的含量与贮藏开始时接近。在普薯 32 号甘薯中则表现为在贮藏开始后 30 d 内保持稳定, 30 d 后鼠李糖和甘露糖含量开始增加, 在 45 d 后再降低, 而阿拉伯糖和半乳糖含量则在 30 d 后开始降低, 在 45 d 后上升, 在 60 d 时接近开始贮藏时的水平。由于这 4 种糖组分在甘薯中的绝对含量较低, 因此, 其含量变化对可溶性糖组分总量的影响较小。

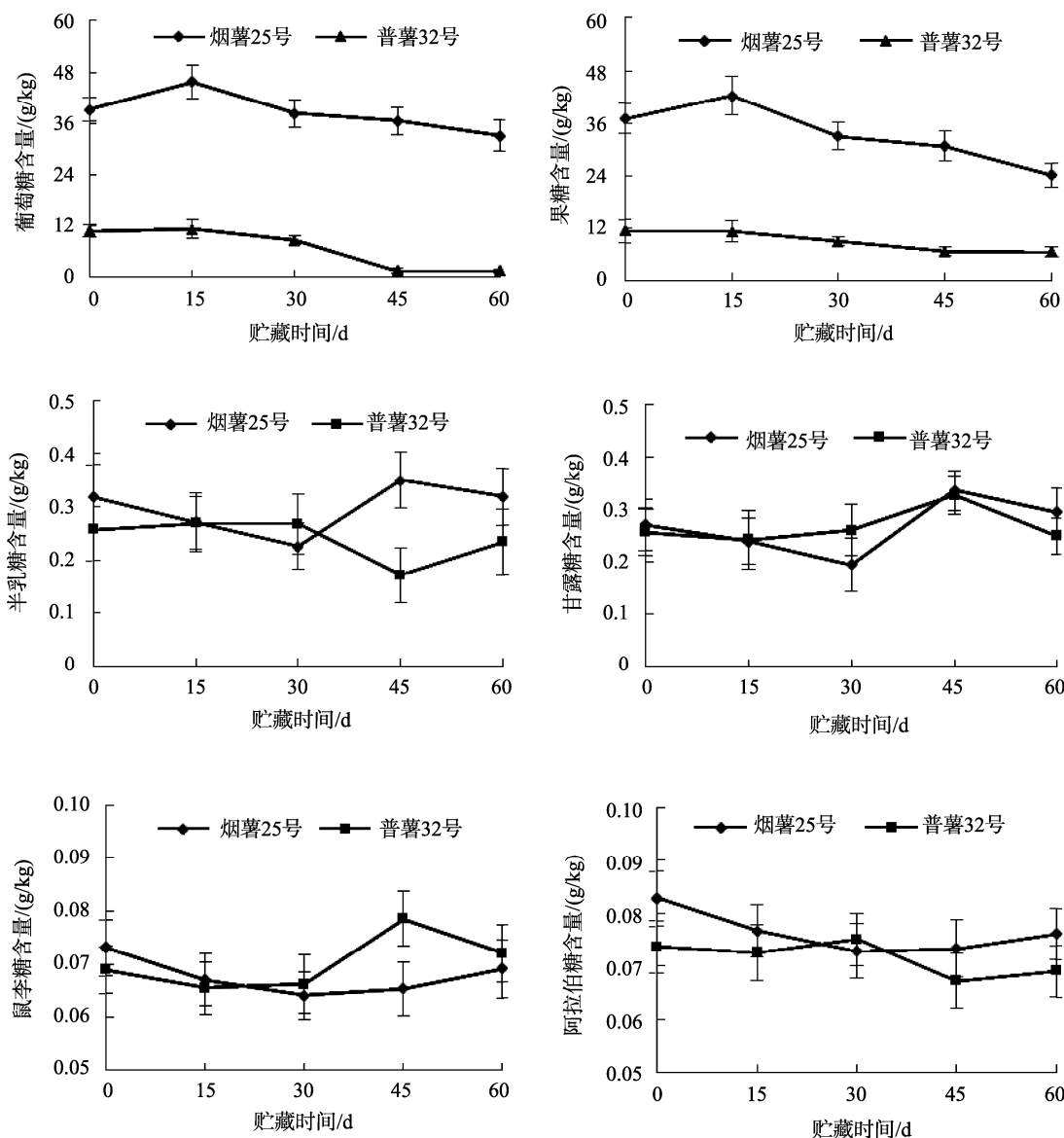


图 4 不同贮藏期甘薯块根中单糖含量(n=3)

Fig.4 Monosaccharide content in *Ipomoea batatas* (L.) Lam. root tubers at different storage stage (n=3)

### 2.2.3 对甘薯中蔗糖和麦芽糖含量及其变化的影响

图5展示了不同贮藏期蔗糖和麦芽糖含量变化。从图5可以看出,两个品种甘薯中蔗糖含量在贮藏开始后的45 d内均表现出随贮藏期延长而增加的趋势;在45 d之后两个甘薯样品蔗糖含量均有所下降,贮藏60 d时,蔗糖含量在两个品种甘薯中含量差异不明显。麦芽糖含量在两个甘薯样品中均表现为随贮藏时间延长而持续降低的趋势。其中烟薯25号麦芽糖含量在贮藏45 d内持续缓慢下降,在45 d之后快速下降;而普薯32号麦芽糖含量在贮藏前期15 d快速降低,而在贮藏15 d到45 d期间持续缓慢降低,在45 d之后再次快速降低。整个贮藏期间,烟薯25号甘薯麦芽糖含量始终高于普薯32号,贮藏结束时,麦芽糖含量在两个品种甘薯中含量差异不明显。分析麦芽糖含量在整个贮藏期间表现为持续降低的原因,可能由于淀粉水解生成的麦芽糖在短期内即分解形成葡萄糖,而葡萄糖又被用于合成蔗糖或因呼吸所消耗所致<sup>[29]</sup>。以上各种糖组分含量随贮藏时间的变化规律,可能与两个品种甘薯的淀粉特性有关<sup>[30]</sup>,其具体原因还有待于进一步深入研究。

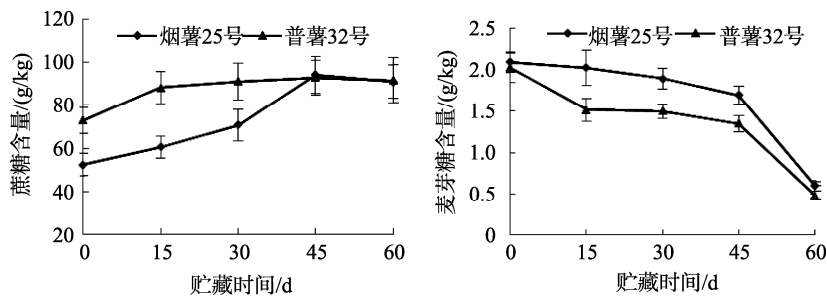


图5 不同贮藏期甘薯块根中蔗糖和麦芽糖含量(n=3)

Fig.5 Content of sucrose and maltose in *Ipomoea batatas* (L.) Lam. root tubers at different storage stage (n=3)

## 3 结论

利用本研究中检测方法,在冷冻干燥甘薯样品中检测出了鼠李糖、阿拉伯糖、半乳糖、甘露糖、葡萄糖、果糖、蔗糖、麦芽糖8种糖组分,在热风干燥样品中,除以上8种组分外,还检测出棉子糖和水苏糖2种糖组分,证明了棉子糖和水苏糖为热风干燥过程中形成而非甘薯生产过程中形成。热风干燥甘薯样品中可溶性糖含量显著高于冷冻干燥样品。因此,对于淀粉含量较高的作物产品进行糖分含量测定时,需对样品进行冷冻干燥处理或提前进行淀粉酶的快速灭活,以提高糖类分析的准确性。

随贮藏时间延长,甘薯中含量较高的3种糖组分葡萄糖、果糖、蔗糖及可溶性糖组分总量均呈先增加后降低的趋势。长时间的贮藏并不利于甘薯内可溶性糖分的积累。整个贮藏期间,烟薯25号甘薯中葡萄糖、果糖含量和可溶性糖组分总量均显著高于普薯32号,这种差异由甘薯的品种特性决定。

## 参考文献

- [1] SHIKUKU KM, OKELLO JJ, WAMBUGU S, *et al.* Nutrition and food security impacts of quality seeds of biofortified orange-fleshed sweetpotato: Quasi-experimental evidence from Tanzania [J]. *World Dev*, 2019, 124: 104646.
- [2] LOW JW, THIELE G, HANSEN JW, *et al.* Understanding innovation: The development and scaling of orange-fleshed sweet potato in major African food systems [J]. *Agric Syst*, 2020, 179: 102770.
- [3] KLIPCAN L, OSS RV, KEREN-KIESERMAN A, *et al.* Potassium positively affects skin characteristics of sweet potato storage roots [J]. *Agronomy*, 2020, 10(9): 1385.
- [4] HUMMEL M, TALSMA EF, DER HAV, *et al.* Sensory and cultural acceptability tradeoffs with nutritional content of biofortified orange-fleshed sweet potato varieties among households with children in Malawi [J]. *PLoS One*, 2018, 13(10): e0204754.
- [5] 王欣, 李强, 曹清河, 等. 中国甘薯产业和种业发展现状与未来展望 [J]. *中国农业科学*, 2021, 54(3): 483-492.
- [6] 张立明, 王庆美, 王荫墀. 甘薯的主要营养成分和保健作用 [J]. *杂粮作物*, 2003, 23(3): 162-166.
- [7] 沈升法, 项超, 吴列洪, 等. 甘薯块根可溶性糖组分特征及其与食味的关联分析 [J]. *中国农业科学*, 2021, 54(1): 34-45.
- [8] 叶夏芳, 胡琮之, 邱天越, 等. 不同品种和加工方式对甘薯糖化特性的影响 [J]. *河南农业科学*, 2019, 48(7): 141-149.
- [9] AUNG LH, FOUSE DC, HARRIS CM. Effect of postharvest desiccation at high temperature on soluble sugar changes of two super sweet corn cultivars [J]. *J Horticult Sci Biotechnol*, 2015, 67(6): 745-750.
- [10] BECHOFF A, DUFOUR D, DHUIQUE-MAYER C, *et al.* Effect of hot air,

- solar and sun drying treatments on provitamin A retention in orange-fleshed sweet potato [J]. *J Food Eng*, 2019, 92(2): 164–171.
- [11] 陈玲玲, 曹如霞, 徐舒, 等. 甘薯块根在不同温度贮藏过程中游离糖及膳食纤维的变化[J]. *植物生理学报*, 2020, 56(4): 871–878.  
CHEN LL, CAO RX, XU S, *et al.* Changes of free sugar and dietary fiber in sweet potato roots during storage at different temperatures [J]. *Plant Physiol J*, 2020, 56(4): 871–878.
- [12] SUN JB, SEVERSON RF, KAYS SJ. Effect of heating temperature and microwave pretreatment on the formation of sugars and volatiles in Jewel sweet potato [J]. *J Food Qual*, 1994, 17(6): 447–456.
- [13] 刘明, 张爱君, 陈晓光, 等. 秸秆还田配施化肥对土壤肥力及鲜食甘薯产量和品质的影响[J]. *应用生态学报*, 2020, 31(10): 3445–3452.  
LIU M, ZHANG AIJ, CHEN XG, *et al.* Effects of straw returning and fertilization on soil fertility and yield and quality of edible sweet potato [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2020, 31(10): 3445–3452.
- [14] 赵琳, 叶夏芳, 董韦, 等. 贮藏期不同类型甘薯块根营养品质与淀粉特性变化[J]. *浙江农业学报*, 2021, 33(12): 2224–2233.  
ZHAO L, YE XF, DONG W, *et al.* Changes of nutritional quality and starch properties of different types of sweet potato roots during storage [J]. *Acta Agric Zhejiangensis*, 2021, 33(12): 2224–2233.
- [15] NABUBUYA A, NAMUTEBI A, BYARUHANGA Y, *et al.* Influence of development, postharvest handling, and storage conditions on the carbohydrate components of sweet potato (*Ipomea batatas* Lam.) roots [J]. *Food Sci Nutr*, 2017, (5): 1088–1097.
- [16] MONTILLA C, HARRIS H, SMART R, *et al.* Influence of storage on sweet potato sugar content [J]. *Proceed Carib Food Crop Soc*, 2014, 50: 89–92.
- [17] HUANG CL, LIAO WC, CHAN CF, *et al.* Storage performance of Taiwanese sweet potato cultivars [J]. *J Food Sci Technol*, 2014, 51(12): 4019–4025.
- [18] 闵晓宇, 刁乔乔, 陈天娇, 等. 2 种贮藏温度下甘薯品质变化的比较[J]. *江苏师范大学学报(自然科学版)*, 2018, 36(2): 38–41.  
MIN XY, DIAO QQ, CHEN TJ, *et al.* Comparison of quality changes of sweet potato under two different storage temperatures [J]. *J Jiangsu Norm Univ (Nat Sci Ed)*, 2018, 36(2): 38–41.
- [19] LAI YC, HUANG CL, CHAN CF, *et al.* Studies of sugar composition and starch morphology of baked sweet potatoes (*Ipomea batatas* (L.) Lam) [J]. *Food Sci Technol Int*, 2013, 50(6): 1193–1199.
- [20] WEI SY, LU GQ, CAO HP, *et al.* Effects of cooking methods on starch and sugar composition of sweet potato storage roots [J]. *PLoS One*, 2017, 12(8): e0182604.
- [21] 沈升法, 项超, 吴列洪, 等. 十一份甘薯种质资源的可溶性糖含量测定与差异分析[J]. *浙江农业学报*, 2020, 32(11): 1934–1940.  
SHEN SF, XIANG C, WU LH, *et al.* Determination and difference analysis of soluble sugar content in 11 kinds of sweet potato germplasm resources [J]. *Acta Agric Zhejiangensis*, 2020, 32(11): 1934–1940.
- [22] 于丽, 王婷, 周健南, 等. 超声提取-离子色谱法检测市售常见 15 种蔬菜中 7 种单糖和双糖[J]. *食品安全质量检测学报*, 2016, 7(1): 373–377.  
YU L, WANG T, ZHOU JN, *et al.* Ultrasonic extraction-ion chromatography detection of 7 kinds of monosaccharides and disaccharides in 15 kinds of common vegetables [J]. *J Food Saf Qual*, 2016, 7(1): 373–377.
- [23] 吴列洪, 沈升法, 李兵. 甘薯甜度与薯块蒸煮前后糖分的相关性研究[J]. *中国粮油学报*, 2012, 27(9): 25–28.  
WU LH, SHEN SF, LI B. Study on the correlation between sweetness and sugar of sweet potato before and after steaming [J]. *J Chin Cere Oils Ass*, 2012, 27(9): 25–28.
- [24] GUO ZB, ZHAO BB, LI H, *et al.* Optimization of ultrasound-microwave synergistic extraction of prebiotic oligosaccharides from sweet potatoes (*Ipomea batatas* L.) [J]. *Innov Food Sci Emerg*, 2019, 54: 51–63.
- [25] 刘孝沾, 卞科. 甘薯与大豆胀气特点比较[J]. *粮食与饲料工业*, 2012, 8: 33–36.  
LIU XZ, BIAN K. Flatulence comparison of sweet potato and soybean [J]. *Cere Feed Ind*, 2012, 8: 33–36.
- [26] DEN TV, BIERMANN CJ, MARLETT JA. Simple sugars, oligosaccharides and starch concentrations in raw and cooked sweet potato [J]. *J Agric Food Chem*, 1986, 34(3): 421–425.
- [27] 宋俏娟, 孔亮亮, 刘俊峰, 等. 浸渍提取温度对鲜食玉米可溶性糖含量的影响[J]. *食品工业*, 2018, 39(7): 116–119.  
SONG QH, KONG LL, LIU JF, *et al.* Effect of impregnation temperature on soluble sugar content of fresh corn [J]. *Food Ind*, 2018, 39(7): 116–119.
- [28] 刘少茹, 聂明建, 王丽虹, 等. 甘薯贮藏过程中淀粉与可溶性糖的变化[J]. *安徽农业科学*, 2015, 43(25): 274–276.  
LIU SR, NIE MJ, WANG LH, *et al.* Change of sweet potato starch and soluble sugar in the process of storage [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2015, 43(25): 274–276.
- [29] 柳洪鹏, 史春余, 张海峰, 等. 甘薯贮藏过程中营养品质变化及生理机制研究进展[J]. *山东农业大学学报(自然科学版)*, 2012, 43(1): 159–162.  
LIU HJ, SHI CY, ZHANG HF, *et al.* Research progress on nutritional changes and physiological mechanism of sweet potato during storage [J]. *J Shandong Agric Univ (Nat Sci Ed)*, 2012, 43(1): 159–162.
- [30] DE AN, VERASB ML, *et al.* Sucrose degradation pathways in old-induced sweetening and its impact on the non-enzymatic darkening in sweet potato root [J]. *Food Chem*, 2020, 312: e125904.

(责任编辑: 于梦娇 郑 丽)

## 作者简介



石彩玲, 硕士研究生, 主要研究方向为甘薯营养与品质生理。  
E-mail: shicailing051109@126.com



刘庆, 博士, 教授, 主要研究方向为植物营养生理与品质生理。  
E-mail: qy7271@163.com