

不同贮藏温度和时间下采后甘薯糖化效果的比较

解宏宇^{*}, 孙红男^{*}, 马梦梅^{*}, 木泰华^{*}

(中国农业科学院农产品加工研究所, 农业农村部农产品加工综合性重点实验室, 北京 100193)

摘要: 针对我国甘薯因采后糖化条件不明确导致加工产品品质不稳定的问题, 该研究以“烟薯 25 号”为实验材料, 通过比较不同贮藏温度和时间下采后鲜薯及其烤甘薯淀粉、糖组分、感官、质构特性等的差异, 并采用相关性分析法进行综合评价, 筛选出甘薯最佳的糖化温度和时间。结果表明, 与刚采收鲜薯相比, 不同贮藏条件下鲜薯淀粉含量均有所下降, 糖组分含量有所提高, 其中, 12 ℃贮藏 21 d 时鲜薯还原糖含量显著增加, 增幅达 37.39%, 且果糖含量最高。12 ℃下贮藏 12 d 的甘薯烤制后, 葡萄糖、果糖、蔗糖、麦芽糖含量较采后直接烤制 (对照组) 分别提升 11.90%、17.76%、64.72% 和 3.67%, 甜度系数 (0.75) 和 Brix 值 (31.80 °Bx) 也显著提升 ($P<0.05$), 高于对照组 (0.72, 25.20 °Bx) 和其它实验组 (0.65~0.76, 18.80~29.50 °Bx)。感官评价及质构特性结果表明, 该处理条件下烤甘薯风味与对照组无显著差别, 但具有最高的甜味响应值 (7.50)、较高的鲜味响应值 (6.70) 和较低的硬度 (840.80 g)。综上所述, 12 ℃贮藏 12 d 是适宜甘薯糖化的最佳条件, 该结果可为鲜薯加工制品品质提升提供理论依据和技术指导。

关键词: 甘薯; 贮藏温度; 贮藏时间; 糖化; 品质特性

文章编号: 1673-9078(2025)04-286-296

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.4.0326

Comparison of Saccharification Effect of Post-harvest Sweet Potatoes under Storages at Different Temperatures and for Different Time Periods

XIE Hongyu, SUN Hongnan^{*}, MA Mengmei^{*}, MU Taihua^{*}

(Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences; Key Laboratory of Agro-products Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100193, China)

Abstract: In order to solve the problems of unstable quality of processed sweet potato products due to unclear postharvest saccharification conditions in China, in this study, "Yanshu No. 25" was used as the experimental material, the differences in starch content, sugar components, sensory and texture characteristics of fresh and roasted sweet potatoes under different storage temperature and time. the optimal saccharification temperature and time for post-harvest fresh sweet potatoes and roasted sweet potato were compared, and a comprehensive evaluation was conducted by correlation analysis to screened

引文格式:

解宏宇,孙红男,马梦梅,等.不同贮藏温度和时间下采后甘薯糖化效果的比较[J].现代食品科技,2025,41(4):286-296.

XIE Hongyu, SUN Hongnan, MA Mengmei, et al. Comparison of saccharification effect of post-harvest sweet potatoes under storages at different temperatures and for different time periods [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(4): 286-296.

收稿日期: 2024-03-18

基金项目: 国家甘薯产业技术体系 (CARS-10)

作者简介: 解宏宇 (1992-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品化学与营养, E-mail: 376895075@qq.com

通讯作者: 孙红男 (1983-), 女, 博士, 研究员, 研究方向: 食品化学与营养, E-mail: sunhongnan@caas.cn; 共同通讯作者: 马梦梅 (1988-), 女, 博士, 助理研究员, 研究方向: 食品化学与营养, E-mail: meimei881020@163.com; 木泰华 (1964-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 食品化学与营养, E-mail: mutaihua@126.com

out the optimal saccharification temperature and time of sweet potatoes. The results showed that compared with freshly harvested sweet potatoes, the starch contents of the fresh sweet potatoes stored under different storage conditions decreased whilst their sugar contents increased, among them, the reducing sugar content increased significantly (by 37.39%) with the fructose content being the highest after storage at 12 °C for 21 d. The contents of glucose, fructose, sucrose and maltose of the roasted sweet potatoes after being stored at 12 °C for 12 d increased by 11.90%, 17.76%, 64.72% and 3.67%, respectively, compared with the sweet potatoes roasted straightly after harvest (the control group). The sweetness coefficient (0.75) and Brix value (31.80 °Bx) of the roasted sweet potatoes after being stored at 12 °C for 12 d were also significantly higher than those of the control (0.72, 25.20 °Bx) and other experimental groups (0.65~0.76, 18.80~29.50 °Bx). The results of sensory evaluation and texture characteristics showed that the roasted sweet potatoes under such treatment conditions exhibited a flavor essentially the same as that of the control, and had the highest sweetness response value (7.50), relatively high umami response value (6.70) and lower hardness (840.80 g). In conclusion, a storage at 12 °C for 12 d was identified as the optimal conditions for saccharification of post-harvest sweet potatoes. The results could provide a theoretical basis and technical guidance for improving the quality of processed products from fresh sweet potatoes.

Key words: sweet potato; storage temperature; storage time; saccharification; quality characteristic

我国甘薯资源丰富, 种植面积和产量均居世界首位^[1]。甘薯富含碳水化合物、膳食纤维、维生素及多种矿物元素, 具有抗氧化、抗炎症、抗肿瘤、抑制肥胖等潜在的健康作用, 是全球公认的营养食物^[2]。近年来, 以鲜食甘薯为主要原料加工而成的烤甘薯、冰烤薯、薯泥等休闲制品逐渐兴起^[3]。然而, 在鲜薯贮藏期间, 温度的波动和时间变化会使鲜薯呼吸代谢强度及内源酶活性发生改变, 导致鲜薯营养成分变化, 极大影响鲜薯加工制品的品质稳定性^[4]。例如, Agnes 等^[5]研究表明, 鲜薯淀粉含量与贮藏温度成显著负相关, 可溶性糖含量与贮藏温度成显著正相关。郭亮虎等^[6]发现, 紫甘薯中可溶性糖含量随贮藏温度的升高而增加, 淀粉含量则呈现先减少后增加的趋势。但在 Philip 等^[7]的研究中, 甘薯可溶性固形物含量只与贮藏时间呈正相关, 与贮藏温度则无明显相关性。可见, 采后甘薯的贮藏品质与贮藏温度和时间息息相关。

甘薯中的淀粉可以被淀粉酶水解为可溶性糖, 这促进了鲜薯糖化效果和熟化后食用品质的提升。甘薯中的淀粉酶包括 α -淀粉酶和 β -淀粉酶, 作用方式存在差异。 α -淀粉酶可随机作用于淀粉内部任意位置的 α -1,4-糖苷键, 水解产物为糊精、少量麦芽糖和其它小分子糖; 而 β -淀粉酶是外切型淀粉酶, 会从淀粉非还原性末端依次切开相隔的 α -1,4-糖苷键, 水解产物为麦芽糖^[8]。因此, 淀粉水解产物含量(即糖组分)具有随机性。大量研究表明, 糖组分是评价甘薯品质特性的重要指标之一, 不仅决定甘薯甜度, 也影响其质地、口感、整体可接

受度等^[9]。

近年, 已有关于甘薯糖化的相关研究。例如, Nicolas 等^[10]发现, 不同甘薯品种在蔗糖低温诱导甜化过程中存在差异, 特别是可溶性糖的积累和蔗糖分解酶的活性变化。Li 等^[11]研究结果表明, 10 °C 结合冷藏可诱使甘薯块根迅速变甜。姚黎霞^[12]的研究表明, 4 °C 和 8 °C 低温条件能在短时间内促进甘薯糖化。可以看出, 现有关于甘薯糖化的研究多侧重于低温条件, 而低温条件糖化的缺点较为明显, 即容易发生冷害^[13]。因此, 本研究的目的是探索不同贮藏温度(12、23、35 °C)和时间(3~21 d)对甘薯糖化的影响, 通过基本成分、糖组分、感官和质构特性等, 明确适合甘薯最佳的糖化温度和时间, 以为鲜薯加工制品品质特性的提升提供理论依据和技术指导。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

鲜食型甘薯品种“烟薯 25 号”, 购自承德宇都生态农业有限公司, 挑选无病虫害、无机械损伤、大小均匀的甘薯, 于收获当天在相对湿度 85% 和 12 °C (传统贮藏窖)、23 °C (室温)、35 °C (高温愈伤) 条件下, 分别贮藏 3、6、9、12、15、18、21 d。

淀粉总量检测试剂盒, 购自爱尔兰 Megazyme 公司; 3,5-二硝基水杨酸(DNS)、 β -淀粉酶(β -AL)活性检测试剂盒, 购自北京索莱宝科技有限公司; 麦芽糖标准物质, 购自北京北方伟业计量技术研究院; 葡

葡萄糖、蔗糖、果糖标准物质, 购自东京化成工业株式会社。本研究所使用的化学试剂均为分析级。

1.2 仪器与设备

HWS-80 恒温恒湿培养箱: 宁波江南仪器厂; 128 型烤红薯机: 中国沈阳神州机械装备有限公司; FD5-3 真空冷冻干燥机: 美国 SIM 集团; UV-2800S 紫外-可见分光光度计: 上海舜宇恒平科学仪器有限公司; ICS-3000 离子色谱仪: 美国戴安公司; LB90T 手持糖度计: 广州市速为电子科技有限公司; TA.HDplus 物性测试仪: 英国 Stable Micro Systems 公司; PEN3.5 电子鼻: 德国 Airsense 公司; Asrree II /LS16 电子舌: 法国 Alpha MOS 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 鲜薯和烤甘薯冻干粉样品制备

甘薯烤制参照 Hou 等^[14]的方法, 取单颗质量为 150~200 g 新鲜甘薯, 清水洗净后于 235 °C、40 r/min 条件下烘烤 40 min, 得到烤甘薯。将新鲜甘薯及烤甘薯去皮, 余下部分冻干, 将冻干物粉碎后过 100 目筛网, 收集筛下冻干粉, 存放于干燥器中以备进一步分析。

1.3.2 基本成分分析

1.3.2.1 水分含量测定

鲜薯及烤甘薯水分含量的测定依据 AOAC 930.04^[15]进行。

1.3.2.2 淀粉含量测定

淀粉含量依据 AOAC 996.11^[16]并通过淀粉总量检测试剂盒测定。

1.3.2.3 还原糖含量测定

还原糖含量的测定采用 3,5-二硝基水杨酸 (DNS) 比色法进行, 参考 Ramses 等^[17]的方法并稍作修改。称取 250 mg 冻干粉, 用 20 mL 超纯水在 50 °C 下 60 r/min 震荡提取 20 min 后, 4 000 r/min 离心 10 min, 收集上清液; 重复一次, 合并上清液, 并定容至 100 mL。吸取 1 mL 样品溶液于试管中, 加入 2 mL DNS 试剂, 沸水浴显色 3 min, 流水冷却后稀释至 15 mL; 在 540 nm 处测定吸光值, 还原糖含量以葡萄糖计。质量浓度分别为 0.20、0.40、0.60、0.80、1.00 mg/mL 的葡萄糖标准溶液用于制作标准曲线, 得到线性方程 $y=0.9194x-0.0184$ ($R^2=0.9985$)。

1.3.2.4 糖组分测定

采用离子色谱法 (IC) 测定糖组分^[18]。称取

100 mg 冻干粉, 糖的提取同 1.3.2.3 所述, 定容至 100 mL 后, 取 10 mL 稀释 5 倍后的溶液, 过 0.2 μm 滤膜。滤液注入 Carbo PacTMPA10 分析柱 (4×250 mm), 两种溶剂系统作为流动相进行分析, 其中溶剂 A 为超纯水, 溶剂 B (淋洗液) 为 200 mmol/L NaOH。进样体积 10 μL, 流速 1.0 mL/min, 柱温 35 °C。质量浓度为 0.1~5 μg/mL 的葡萄糖、蔗糖、果糖和麦芽糖溶液用于制作标准曲线。

1.3.2.5 可溶性糖含量计算

本研究中可溶性糖含量按下式计算得出:

$$W_{SLS} \approx W_G + W_F + W_S + W_M \quad (1)$$

式中:

W_{SLS} ——可溶性糖含量, g/100 g DW;

W_G ——葡萄糖含量, g/100 g DW;

W_F ——果糖含量, g/100 g DW;

W_S ——蔗糖含量, g/100 g DW;

W_M ——麦芽糖含量, g/100 g DW。

1.3.3 甜度系数计算

食物的甜味常用甜度系数来表示, 一般以蔗糖为基准物, 在 20 °C 时其甜度系数为 1.0, 其它糖的甜度则与之相比较而得, 即比甜度, 又称甜度系数。其中, 葡萄糖、果糖和麦芽糖的比甜度分别为 0.7、1.5 和 0.5^[19]。参考 Anna 等^[20]的计算方法, 本研究中烤甘薯甜度系数计算公式为:

$$SC = \frac{0.7 \times W_G + 1.5 \times W_F + 1.0 \times W_S + 0.5 \times W_M}{W_G + W_F + W_S + W_M} \quad (2)$$

式中:

SC——甜度系数, 1。

其它同 1.3.2.5 所述。

1.3.4 Brix值测定

烤甘薯的 Brix 值通过手持糖度计读取。

1.3.5 淀粉酶活性测定

参考 Nanam 等^[21]的方法并稍作修改。称取 0.1 g 鲜薯冻干粉, 加入 1 mL 蒸馏水研磨匀浆, 室温下提取 15 min, 以 4 000 r/min 离心 10 min, 取上清液定容至 100 mL, 得到淀粉酶原液; 稀释 5 倍后, 得到淀粉酶稀释液。原液和稀释液各 75 μL 经沸水浴处理 5 min, 分别作为 α-淀粉酶和总淀粉酶活性测定的对照组。采用 β-淀粉酶活性检测试剂盒 (微量法) 测定总淀粉酶和 α-淀粉酶活性, 通过计算得出 β-淀粉酶活性。配置质量浓度分别为 0.20、0.40、0.60、0.80、1.00 mg/mL 的葡萄糖标准溶液, 得到标准曲

线线性方程 $y=0.9895x+0.0021$ ($R^2=0.9990$)。按照试剂盒提供的计算公式,将测定的吸光值换算成以鲜薯冻干粉计的酶活性单位 (U/g DW)。

1.3.6 感官特性分析

1.3.6.1 电子鼻分析

将 1 g 烤甘薯样品装入 20 mL 螺口顶空瓶中,插入进样探头,采样 60 s,传感器读数 1 次/s,取 48~52 s 范围内的响应值。每次测试后,用清洁空气清洁系统 180 s。

1.3.6.2 电子舌分析

将 1 g 烤甘薯样品溶于 10 mL 蒸馏水中并震荡,经 4 000 r/min 离心 10 min,吸取 5 mL 上清液,过 0.2 μm 滤膜后,稀释至 100 mL 用于测定,以麦芽糖为甜度标准品^[22]。传感器探头于稀释液中工作 120 s,传感器读数每秒 1 次,取 100~120 s 内的响应值。两次测试之间需使用蒸馏水清洗探头,以避免测量误差。电子舌系统所包含的 7 个传感器中,AHS 对酸味有特异性响应,CTS 对咸味有特异性响应,NMS 对鲜味有特异性响应,其余传感器对甜味和苦味有响应。

1.3.7 质构特性

烤甘薯的质构特性参照徐茂等^[23]的方法但略有修改。测定应用 TPA 模式,探头型号 P/36R,测前速率 1.00 mm/s,测试速率 1.50 mm/s,测后速率 1.50 mm/s,压缩比 80%,触发力 5.00 g,试样压缩 2 次间隔时间为 5.00 s。测定指标包括硬度、粘附性、弹性、胶粘性和咀嚼性。

1.3.8 统计分析

采用 SPSS 26.0 软件进行数据分析,采用 Duncan 多重比较法进行方差分析 (ANOVA) 及显著性检验 ($P<0.05$),采用 Pearson 法进行相关性分析;Origin 2023 软件用于作图。所有试验最少重复 3 次,结果以“平均值 $\pm$ 标准差”表示。

2 结果与讨论

2.1 不同贮藏温度和时间对鲜薯及烤甘薯基本成分的影响

2.1.1 水分

因受本身生理活动和贮藏环境波动等影响,收获后甘薯的水分含量发生变化,影响其外观形态、加工特性和食用品质^[13]。表 1 为不同贮藏

温度下鲜薯及烤甘薯水分含量随贮藏时间的变化规律。可以看出,鲜薯水分含量始终保持在 72.77~80.28 g/100 g FW,且随着贮藏时间的增加,呈现缓慢升高的趋势。在 Philip 等^[7]的研究中,鲜薯水分含量保持在 66.66~80.51 g/100 g FW,且随贮藏时间的增加同样呈缓慢升高趋势。值得一提的是,大多数研究结果表明,甘薯的水分含量随贮藏时间的增加而降低,与本研究的结论相反,这可能是由于甘薯贮藏前期呼吸代谢旺盛,干物质损耗较大,且 85% 湿度的贮藏环境可在一定程度上降低甘薯的失水率;同时,本研究只考察了甘薯于各温度下贮藏 21 d 的水分含量,随着贮藏时间的进一步延长,水分含量有可能呈逐渐下降的趋势^[6]。此外,烤甘薯水分含量与鲜薯水分含量呈明显正相关性,高温蒸发造成了烤甘薯总体较鲜薯 4%~14% 的水分下降率,维持在 63.89~72.28 g/100 g FW 范围内。

2.1.2 淀粉

作为最重要的食源性营养组分之一,淀粉含量是评价食物食用品质的指标,极大地影响食物的营养价值和适口性,在甘薯制品中尤其如此^[24]。从表 1 可以看出,12 $^{\circ}\text{C}$ 和 23 $^{\circ}\text{C}$ 下鲜薯淀粉含量随贮藏时间的增加呈现出先减少后增加趋势,23 $^{\circ}\text{C}$ 贮藏 15 d 后淀粉增加显著;而 35 $^{\circ}\text{C}$ 下淀粉含量则随贮藏时间的增加呈现明显下降趋势。贮藏期间,与鲜薯初始淀粉含量相比,12、23、35 $^{\circ}\text{C}$ 下分别贮藏 18、6、15 d 时淀粉含量降幅最大,分别为 29.27%、17.13%、11.24%,说明较高的贮藏温度不利于甘薯糖化。Li 等^[25]的研究结果也显示甘薯的淀粉含量随贮藏时间的增加呈下降趋势,这主要与甘薯块根呼吸代谢消耗淀粉以及淀粉酶作用导致淀粉水解有关。与鲜薯相比,经加热,甘薯中的淀粉会在淀粉酶的作用下发生水解,因此含量大大降低^[26]。本研究中,12 $^{\circ}\text{C}$ 下贮藏鲜薯淀粉含量为 41.96~55.89 g/100 g DW,烤制后淀粉含量则降低至 17.82~23.44 g/100 g DW。23 $^{\circ}\text{C}$ 下烤甘薯淀粉含量随鲜薯贮藏时间的增加而缓慢降低,但 35 $^{\circ}\text{C}$ 条件下却显著升高且明显高于对照组和其它实验组。有文献报道显示,甘薯若长期处于 35 $^{\circ}\text{C}$ 以上较高温度环境下,由于呼吸强度大,消耗自身养分多,薯心易发生“糠化”或“硬化”,而这两种变化均不利于甘薯的热加工熟化,因此在相同的烤制工艺下,淀粉呈现出更低的转化率^[27]。

表 1 不同贮藏温度和时间下鲜薯及烤甘薯的水分和淀粉含量

Table 1 Moisture and starch content of fresh and roasted sweet potatoes under different storage temperature and time

贮藏温度/℃	贮藏时间/d	鲜薯		烤甘薯	
		水分/(g/100 g FW)	淀粉/(g/100 g DW)	水分/(g/100 g FW)	淀粉/(g/100 g DW)
12	0	72.82 ± 2.26 ^{de}	59.32 ± 0.68 ^b	69.96 ± 0.38 ^{de}	21.19 ± 0.16 ⁱ
	3	75.18 ± 3.55 ^{bcd}	55.89 ± 0.49 ^d	72.09 ± 0.60 ^{ab}	19.25 ± 0.15 ⁿ
	6	75.53 ± 2.03 ^{bcd}	52.37 ± 0.55 ^h	66.63 ± 0.58 ^h	22.63 ± 0.26 ^{hi}
	9	74.75 ± 1.05 ^{bcd}	50.96 ± 0.43 ⁱ	65.24 ± 0.19 ⁱ	22.11 ± 0.30 ⁱ
	12	74.12 ± 1.84 ^{cde}	54.31 ± 0.62 ^{fg}	63.89 ± 0.39 ^j	19.71 ± 0.47 ^{mn}
	15	75.65 ± 0.65 ^{bcd}	52.79 ± 0.61 ^h	71.49 ± 0.31 ^{abc}	17.82 ± 0.42 ^o
	18	78.59 ± 2.00 ^{ab}	41.96 ± 0.22 ^k	70.62 ± 0.30 ^{cd}	23.44 ± 0.51 ^g
	21	76.88 ± 3.37 ^{abcde}	55.32 ± 0.71 ^{de}	69.24 ± 0.11 ^e	21.05 ± 0.40 ^{jk}
23	3	74.15 ± 2.61 ^{cde}	59.45 ± 0.30 ^b	66.63 ± 0.19 ^h	22.67 ± 0.28 ^{hi}
	6	80.28 ± 1.69 ^a	49.16 ± 0.59 ^j	72.28 ± 0.19 ^a	22.87 ± 0.65 ^{gh}
	9	72.77 ± 2.77 ^c	54.85 ± 0.28 ^{ef}	64.46 ± 0.72 ^{ij}	19.73 ± 0.45 ^{mn}
	12	76.95 ± 3.09 ^{abcd}	54.10 ± 0.40 ^{fg}	69.06 ± 0.71 ^{ef}	20.46 ± 0.15 ^{kl}
	15	74.74 ± 1.57 ^{bcd}	60.08 ± 0.13 ^b	66.62 ± 0.22 ^h	20.31 ± 0.38 ^{lm}
	18	75.38 ± 1.26 ^{bcd}	58.15 ± 0.78 ^c	69.32 ± 0.49 ^c	19.79 ± 0.30 ^{mn}
	21	73.33 ± 1.45 ^{de}	61.65 ± 0.34 ^a	68.13 ± 0.07 ^g	19.71 ± 0.34 ^{mn}
	3	73.76 ± 0.37 ^{cde}	58.35 ± 0.76 ^c	65.33 ± 0.40 ⁱ	25.41 ± 0.67 ^e
35	6	73.13 ± 1.85 ^{de}	57.52 ± 0.45 ^c	64.50 ± 1.07 ^{ij}	24.14 ± 0.28 ^f
	9	74.74 ± 1.78 ^{bcd}	54.28 ± 0.41 ^{fg}	71.22 ± 0.87 ^{bc}	26.72 ± 0.30 ^d
	12	73.80 ± 1.47 ^{cde}	57.94 ± 0.52 ^c	66.27 ± 1.14 ^h	28.21 ± 0.43 ^{bc}
	15	76.64 ± 3.14 ^{abcde}	52.76 ± 0.31 ^h	69.38 ± 0.35 ^e	28.14 ± 0.32 ^c
	18	77.76 ± 1.42 ^{abc}	53.84 ± 0.89 ^g	66.51 ± 0.36 ^h	28.81 ± 0.27 ^b
	21	76.09 ± 0.40 ^{bcd}	53.70 ± 0.13 ^g	68.30 ± 0.35 ^{fg}	30.05 ± 0.21 ^a

注：同列右肩不同小写字母表示具有显著差异（ $P<0.05$ ）。FW：鲜重，DW：干重。

2.1.3 糖组分

糖组分是反映鲜食甘薯糖化效应的重要指标，直接决定烤甘薯的甜度，进而影响其特征风味和整体可接受度^[9]。不同贮藏温度及时间对鲜薯及烤甘薯中糖组分的影响见图 1a~1d。结果显示，鲜薯和烤甘薯中均含有葡萄糖、果糖、蔗糖和麦芽糖，但鲜薯中可检测到麦芽糖含量极低，均未超过 0.68 g/100 g DW，这说明，在鲜薯糖化阶段， α -淀粉酶的水解作用占主导。本研究中，12℃贮藏的鲜薯，其葡萄糖、果糖、蔗糖含量均随贮藏时间的增加呈上升趋势，其中，葡萄糖含量由 6.24 g/100 g DW 增加至 7.14 g/100 g DW，果糖含量由 5.45 g/100 g DW 增加至 7.26 g/100 g DW，蔗糖含量由 8.72 g/100 g DW 增加至 10.06 g/100 g DW；在 23℃下的鲜薯中三种糖含量总体保持不变或略有下降；在 35℃下，只有蔗糖含量呈显著升高趋势，葡萄糖、果糖含量均低于其它处理组。可见，12℃下

贮藏的鲜薯表现出了较好的糖化效果。Yuan 等^[28]研究发现，15℃贮藏的鲜薯，其葡萄糖、果糖、蔗糖含量同样随贮藏时间的增加呈上升趋势，在 23℃下，葡萄糖含量随贮藏时间的增加而增加，果糖、蔗糖含量呈下降趋势；Agnes 等^[5]则认为，23℃下甘薯中葡萄糖和蔗糖含量均随贮藏时间的增加而增加。甘薯中 α -淀粉酶水解作用的随机性及不同品种或同品种甘薯间个体差异所带来的酶活性、代谢差异，可能造成了上述不一致的研究结果^[9,10]。

有关糖类对甘薯食味贡献的研究发现，麦芽糖的贡献率接近 50%，对甘薯香味和质地的作用尤其突出^[29]。由图 1a~1d 可知，麦芽糖是烤甘薯中最主要的糖类，含量最高可达 44.34 g/100 g DW。不同条件下贮藏的鲜薯，烤制后麦芽糖含量均有极大程度增加，其中，23℃条件下麦芽糖含量平均增量为 40.15 g/100 g DW，12℃为 35.54 g/100 g DW，尽

管 35 ℃ 最少, 但仍达 32.62 g/100 g DW。这说明, β -淀粉酶在甘薯熟化进程中起到了关键作用, 水解糊化的淀粉产生大量麦芽糖^[30]。沈升法等^[29]和 Sun 等^[31]研究表明, 麦芽糖是甘薯香气形成的关键前体物质, 且黏度低于果糖、葡萄糖和蔗糖。因此, 麦芽糖对不同贮藏条件下甘薯烤后香味和质地的影响十分重要。虽然少有关于贮藏温度和时间对烤甘薯麦芽糖含量直接影响的探究^[22], 但本研究的结论依旧能够表明, 烤甘薯中麦芽糖含量与鲜薯贮藏温度存在一定关系。

2.1.4 还原糖

不同贮藏温度及时间对鲜薯及烤甘薯还原糖含

量的影响见图 1e。结果表明, 12 ℃ 贮藏条件下鲜薯还原糖含量随贮藏时间的增加而升高, 在 21 d 内由 11.82 g/100 g DW 升高至 16.24 g/100 g DW; 而 23 ℃ 和 35 ℃ 条件下则随贮藏时间的增加而降低, 贮藏结束时, 降幅分别为 8.29% 和 21.15%, 这与糖组分的测定结果吻合。烤制后, 由于产生大量麦芽糖, 甘薯还原糖含量升高, 其中以 12 ℃ 和 23 ℃ 条件下最为显著, 最高可达 54.22 g/100 g DW。值得关注的是, 不同贮藏温度下, 烤甘薯还原糖含量均随贮藏时间的增加而降低, 其中, 35 ℃ 条件下烤甘薯还原糖含量下降 37.35%, 最为显著。这与淀粉含量的测定结果一致, 即较少的淀粉被水解成还原糖 (主要为麦芽糖)。

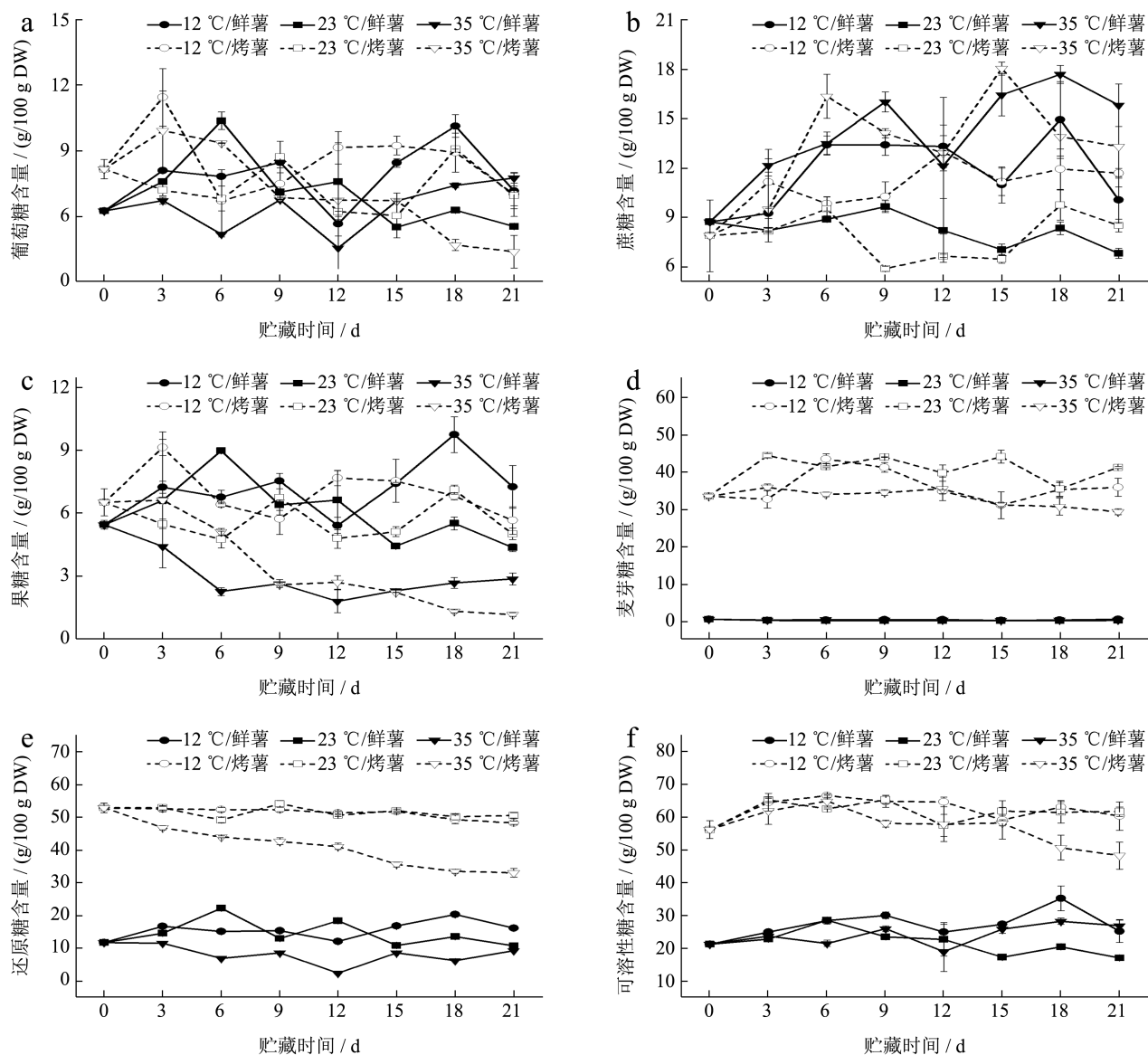


图 1 不同贮藏温度和时间下鲜薯及烤甘薯糖组分、还原糖和可溶性糖含量变化

Fig.1 Changes in sugar composition, reducing sugar and soluble sugar content of fresh and roasted sweet potatoes under different storage temperature and time

2.1.5 可溶性糖

图 1f 是不同贮藏温度和时间条件下鲜薯及烤甘薯可溶性糖含量的计算结果。如图所示, 烤制后, 甘薯可溶性糖含量大幅升高, 这同样是大量麦芽糖生成所带来的结果, 其中, 12 ℃ 条件下贮藏鲜薯制备的烤甘薯可溶性糖含量总体最高, 可达 66.45 g/100 g DW, 23 ℃ 次之, 35 ℃ 增加最少, 且随着贮藏时间的增加呈进一步降低的趋势。

2.2 不同贮藏温度和时间对烤甘薯甜度系数和 Brix 值的影响

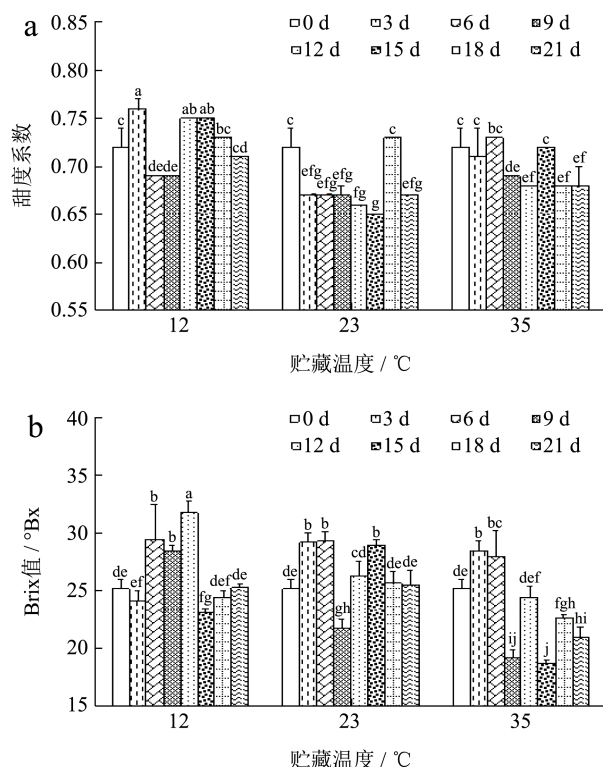


图 2 不同贮藏温度和时间下烤甘薯甜度和 Brix 值变化
Fig.2 Changes in sweetness and Brix value of roasted sweet potatoes under different storage temperature and time

注: 不同小写字母表示具有显著差异 ($P < 0.05$)。图 3 同。

图 2a 为不同贮藏条件下新鲜甘薯制备烤甘薯的甜度系数结果。可以看出, 12 ℃ 贮藏条件下鲜薯烤后甜度整体最高, 贮藏 3 d 时鲜薯制备烤甘薯的甜度在所有实验组中最高, 为 0.76, 其次是 12 d 和 15 d, 且无显著性差异; 23 ℃ 则整体较低, 且在贮藏时间内未见明显变化趋势; 35 ℃ 贮藏鲜薯制备烤甘薯的甜度与 12 ℃ 较为接近, 但在 6 d 后降低。Yuan 等^[28]用相同方法计算了鲜薯在 4、15 和 25 ℃ 下贮藏 8 d 的甜度系数, 结果表明, 鲜薯甜度系数随贮藏时间的增加而增长, 其中, 4 ℃ 下系数增长

最快, 15 ℃ 次之, 25 ℃ 最慢。以上结论说明, 较高的贮藏温度不利于采后甘薯块根糖化。同时, 由图 2b 可知, 不同贮藏温度下的甘薯, 烤制后的 Brix 值均随贮藏时间的增加呈先升高后降低的变化趋势, 具体而言, 鲜薯在 23 ℃ 或 35 ℃ 条件下贮藏 3~6 d、在 12 ℃ 条件下贮藏 6~12 d 时, 制备烤甘薯的 Brix 值均大于 28.00 °Bx, 其中以 12 ℃ 下贮藏 12 d 最高 (31.80 °Bx)。值得注意的是, 三个贮藏温度下鲜薯烤后甜度、Brix 值的变化趋势与其可溶性糖含量的变化趋势一致, 但可溶性糖含量的高低并不完全代表甜度大小, 这主要是因为糖类不同的比甜度产生了不同的甜度贡献^[19]。

2.3 不同贮藏温度和时间对鲜薯淀粉酶活性的影响

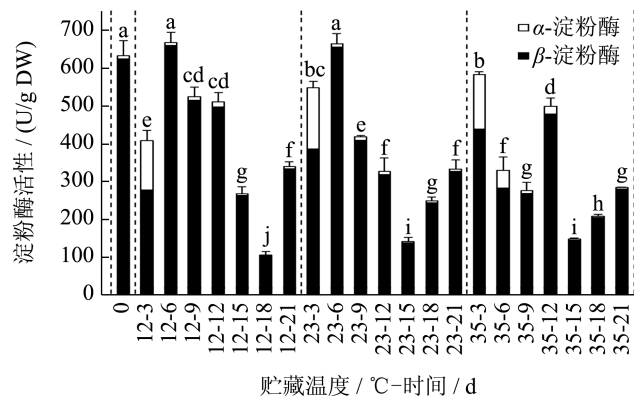


图 3 不同贮藏温度和时间下鲜薯淀粉酶活性的变化
Fig.3 Changes in amylase activity of fresh sweet potatoes under different storage temperature and time

淀粉酶活性是决定甘薯糖化程度的主要因素之一^[4]。糖组分的研究结果显示, 在鲜薯糖化阶段, α -淀粉酶的水解作用占主导, 而 β -淀粉酶在甘薯熟化进程中起关键作用, 因此, 酶活性的保持对甘薯糖化效果和食用品质的提升至关重要。不同贮藏温度和时间对鲜薯淀粉酶活性的影响如图 3 所示。结果显示, 在不同温度下, α -淀粉酶活性随贮藏时间的增加呈现先升高再降低的趋势, 在贮藏 3 d 时最高, 为 130.35~161.74 U/g DW; 总淀粉酶及 β -淀粉酶活性整体呈降低趋势。陈显让等^[32]的研究也表明, 在贮藏期间, 经不同采后处理的不同品种甘薯, 其 β -淀粉酶活性都呈现出整体降低的趋势。与 23 ℃ 和 35 ℃ 相比, 贮藏温度为 12 ℃ 时鲜薯 β -淀粉酶活性降低速率更慢, 直至 15 d 总淀粉酶和 β -淀粉酶活性才降至 500 U/g DW 以下, 说明 12 ℃ 贮藏温度下甘薯内源淀粉酶活性

保持时间较长，因此，可取得更好的糖化效果，烤甘薯的食用品质更佳。

2.4 不同贮藏温度和时间对烤甘薯感官特性的影响

2.4.1 电子鼻

电子鼻可以较好区分不同贮藏条件鲜薯烤制后的风味差异，结果如图 4 所示。第一主成分和第二主成分的贡献率分别为 98.23%、0.93%，两者总贡献率达 99.16%，表明这两个主成分（尤其第一主成分）能够较准确地反映原始数据集的主要特征信息。图中重叠圆圈代表样品间气味区分不明显，表明风味存在较大共性；样品间距越远，表明风味差异越大。从横坐标来看，在 12 ℃下贮藏 12 d 的鲜薯，烤制后风味与对照组和大多数处理组烤薯风味一致，而在 23 ℃或 35 ℃下贮藏 9 d、12 d、在 12 ℃下贮藏 9 d，所得鲜薯制备烤甘薯的风味与其它样品组具有显著性差异。这可能是鲜薯中可溶性糖、还原糖含量降低造成的。Margit 等^[33]研究表明，在煮制过程中，淀粉和可溶性糖含量的差异会导致不同程度的热解反应，致使马铃薯产生不同香气。由此可见，本研究中甘薯熟化后的风味与其化学组成具有极大相关性。

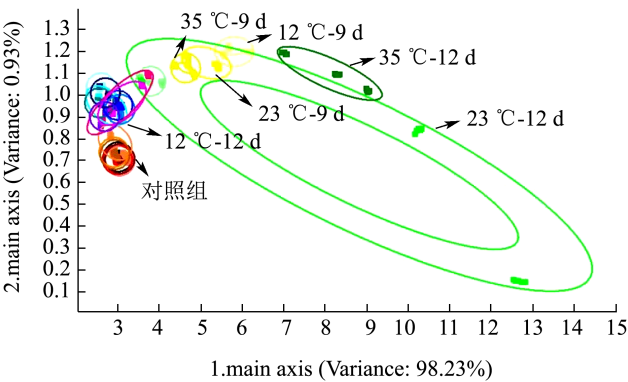


图 4 基于电子鼻的烤甘薯主成分分析

Fig.4 PCA of roasted sweet potatoes based on electronic nose

2.4.2 电子舌

甜味增强被认为能够提升甘薯的整体食用品质，而酸味和咸味则被认为不利于甘薯的食用品质评价^[25]。图 5a~5c 分别为 12、23、35 ℃条件下贮藏鲜薯烤制后的电子舌组内响应值分析结果。12 ℃下贮藏 12 d 的鲜薯烤制后具有最高的甜味响应值（7.50）和较高鲜味响应值（6.70），以及较低的酸味响应值（6.30）和最低的咸味响应值（4.50）；相

似地，在 23 ℃下贮藏 12 d 的鲜薯烤制后同样具有最高的甜味响应值（8.70）和较低的酸味响应值（5.20），但同时具有最低的鲜味响应值（6.40）和咸味响应值（3.30）；在 35 ℃下，具有最高甜味响应值（7.80）的甘薯贮藏天数为 3 d，在该时间下，烤甘薯具有较高的鲜味响应值（6.60）、较低的酸味响应值（5.30）和最低的咸味响应值（4.20）。由此可得，12 ℃下贮藏 12 d 和 35 ℃下贮藏 3 d，鲜薯烤制后的甜味更突出、鲜味更佳、酸味和咸味不明显，食用品质更高。

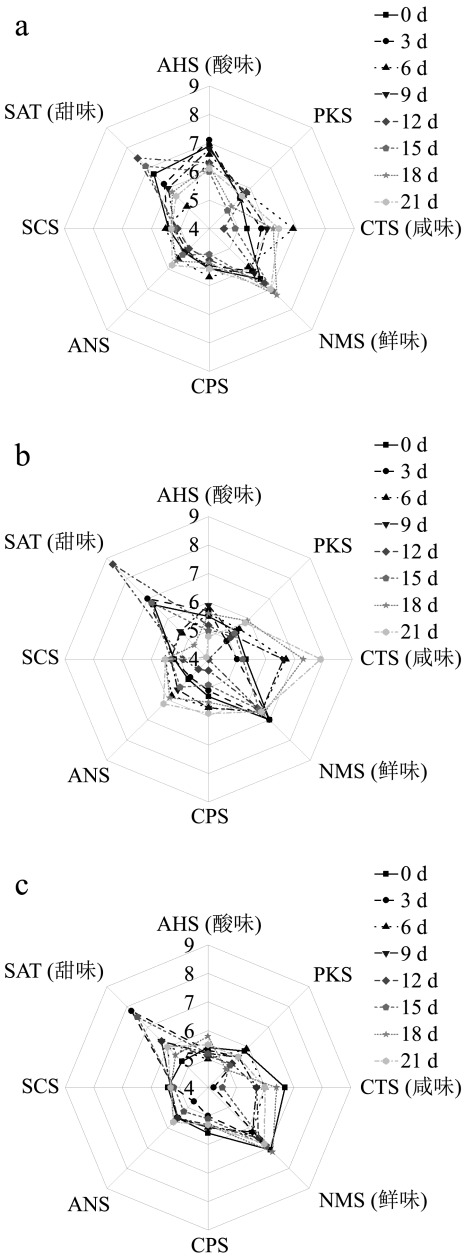


图 5 烤甘薯电子舌响应值雷达图

Fig.5 Radar map of electronic tongue response value for roasted sweet potatoes

表 2 不同贮藏温度和时间下烤甘薯的质构特性

Table 2 Texture characteristics of roasted sweet potatoes under different storage temperature and time						
贮藏温度/℃	贮藏时间/d	硬度/g	黏附性/(g·sec)	弹性/%	胶粘性	咀嚼性
12	0	1 037.71 ± 91.10 ^{gh}	-123.21 ± 33.19 ^{abc}	12.31 ± 1.20 ^j	42.19 ± 5.45 ^{kl}	5.15 ± 0.29 ^h
	3	1 092.75 ± 269.65 ^{gh}	-115.30 ± 20.59 ^{abc}	12.47 ± 3.05 ^{ij}	53.38 ± 5.33 ^j	5.25 ± 1.51 ^h
	6	1 383.66 ± 208.39 ^{efg}	-110.49 ± 14.70 ^{ab}	17.04 ± 2.69 ^{ghij}	60.51 ± 6.88 ^{ij}	8.16 ± 3.32 ^{fgh}
	9	4 263.44 ± 285.26 ^a	-175.07 ± 5.91 ^{efg}	17.21 ± 3.89 ^{fghij}	131.41 ± 8.99 ^a	24.72 ± 3.12 ^b
	12	840.80 ± 155.79 ^h	-129.17 ± 6.35 ^{abc}	14.70 ± 0.96 ^{hij}	37.80 ± 3.56 ^l	5.57 ± 0.84 ^h
	15	1 573.57 ± 239.65 ^{ef}	-221.57 ± 23.80 ^{hi}	22.78 ± 4.53 ^{def}	55.60 ± 6.37 ^j	14.74 ± 3.65 ^{de}
	18	1 652.76 ± 158.80 ^c	-143.26 ± 17.77 ^{bcd}	16.11 ± 1.41 ^{ghij}	66.16 ± 5.85 ^{hi}	12.23 ± 1.65 ^{ef}
	21	2 390.40 ± 60.19 ^d	-220.92 ± 14.64 ^{hi}	36.13 ± 3.17 ^a	89.80 ± 4.16 ^d	37.44 ± 3.45 ^a
23	3	2 075.66 ± 366.46 ^d	-145.78 ± 24.30 ^{bcd}	29.45 ± 3.81 ^{bc}	51.60 ± 5.65 ^{jk}	14.87 ± 3.53 ^{de}
	6	2 172.78 ± 129.12 ^d	-151.24 ± 14.06 ^{cdef}	18.02 ± 2.17 ^{efghij}	74.34 ± 6.52 ^{fgh}	13.81 ± 1.58 ^{de}
	9	3 319.36 ± 252.20 ^b	-195.30 ± 26.01 ^{gh}	20.75 ± 5.27 ^{defg}	117.75 ± 7.28 ^b	36.61 ± 2.33 ^a
	12	1 110.28 ± 133.16 ^{gh}	-142.26 ± 10.00 ^{bcd}	16.18 ± 1.67 ^{ghij}	36.83 ± 2.34 ^l	6.67 ± 1.09 ^{gh}
	15	1 223.47 ± 183.33 ^{fgh}	-143.55 ± 22.38 ^{bcd}	15.62 ± 3.02 ^{ghij}	41.57 ± 2.41 ^l	6.86 ± 0.97 ^{gh}
	18	1 298.15 ± 58.33 ^{efg}	-97.12 ± 12.14 ^a	13.85 ± 0.38 ^{hij}	51.15 ± 5.05 ^{ik}	12.19 ± 0.82 ^{ef}
	21	1 612.82 ± 261.35 ^{ef}	-185.70 ± 27.15 ^{fgh}	31.78 ± 4.13 ^{ab}	70.58 ± 4.67 ^{gh}	20.00 ± 4.19 ^c
	3	2 240.23 ± 279.71 ^d	-132.57 ± 9.53 ^{abcd}	15.66 ± 4.33 ^{ghij}	77.64 ± 3.03 ^{efg}	11.78 ± 3.23 ^{ef}
35	6	2 358.38 ± 377.81 ^d	-126.48 ± 19.80 ^{abc}	22.90 ± 2.97 ^{de}	86.45 ± 7.06 ^{de}	21.41 ± 3.45 ^{bc}
	9	2 769.70 ± 167.62 ^c	-194.85 ± 22.02 ^{gh}	15.05 ± 2.09 ^{ghij}	87.13 ± 6.36 ^{de}	13.10 ± 2.03 ^{de}
	12	1 305.21 ± 124.18 ^{efg}	-234.61 ± 39.60 ⁱ	18.38 ± 1.95 ^{efghi}	57.63 ± 3.38 ^{ij}	10.33 ± 1.57 ^{efg}
	15	2 280.16 ± 209.78 ^d	-168.40 ± 8.17 ^{defg}	18.99 ± 2.95 ^{efgh}	83.70 ± 2.72 ^d	17.52 ± 1.78 ^{cd}
	18	3 159.88 ± 228.05 ^b	-152.46 ± 10.09 ^{cdef}	16.35 ± 1.94 ^{ghij}	103.28 ± 3.70 ^c	12.74 ± 0.51 ^{ef}
	21	3 036.24 ± 169.89 ^{bc}	-302.31 ± 24.14 ^j	25.22 ± 3.11 ^{cd}	130.61 ± 5.29 ^a	39.15 ± 3.40 ^a

注：同列右肩不同小写字母表示具有显著差异（ $P<0.05$ ）。

2.5 不同贮藏温度和时间对烤甘薯质构特性的影响

质构特性是评价烤甘薯食用品质的关键因素之一^[23]。其中，硬度表示柔软程度，黏附性表示剥离烤甘薯和粘连物所需的力，弹性代表烤甘薯在外力影响下产生形变后的恢复程度，胶粘性表示烤甘薯经剪切时最先反应的对抗力，咀嚼性则反映烤甘薯从咀嚼状态到可吞咽状态所产生的抵抗力。由表 2 可知，12℃下贮藏 3、6、12 d 和 23℃下贮藏 12、15、18 d 以及 35℃下贮藏 12 d 的鲜薯，其烤制后硬度值均低于 1 383.66 g，且与对照组相比无显著性差异。同时，12℃下贮藏 12 d 和 23℃下贮藏 12、15 d 的鲜薯，其烤制后的黏附性等质构指标与对照组相比均无显著性差异。根据徐茂等^[23]关于硬度、黏附性、弹性、胶粘性和咀嚼性之间相关性关系的描述，经上述条件贮藏的鲜薯烤制后可以获得

较低的硬度值和咀嚼抵抗力，使烤甘薯易于吞咽，具有更优的适口性。

2.6 相关性分析

对在不同温度和时间条件下贮藏的鲜薯及烤甘薯的基本成分、酶活性、甜度系数及其质构特性等指标进行相关性分析，结果如图 6 所示。由图 6 可知，鲜薯及烤薯的淀粉含量与其葡萄糖、蔗糖、果糖、还原糖、可溶性糖含量呈显著负相关，这说明，在淀粉酶的作用下，淀粉含量减少，糖组分、还原糖和可溶性糖含量则显著提升，甘薯糖化效果更佳。同时，烤甘薯淀粉含量与贮藏温度呈显著正相关（ $r=0.76, P<0.05$ ），但果糖、还原糖、可溶性糖含量及甜度系数均与贮藏温度呈显著负相关（ $r=-0.76, r=-0.76, r=-0.47, r=-0.45, P<0.05$ ），这说明在相同时间内，与 12℃相比，23、35℃贮藏不利于甘薯

糖化^[34]。淀粉酶活性、烤甘薯可溶性糖和葡萄糖含量均与贮藏时间呈显著负相关($r=-0.71$, $r=-0.43$, $r=-0.44$, $P<0.05$)。本文数据进一步表明, 淀粉酶活性、烤甘薯可溶性糖和葡萄糖含量均在贮藏 12 d 以后呈现出较明显的下降趋势。因此, 在贮藏 12 d 以后, 随着贮藏时间的进一步延长, 淀粉酶活性降低, 糖化效应减弱, 烤甘薯的食用品质也会受到影响。

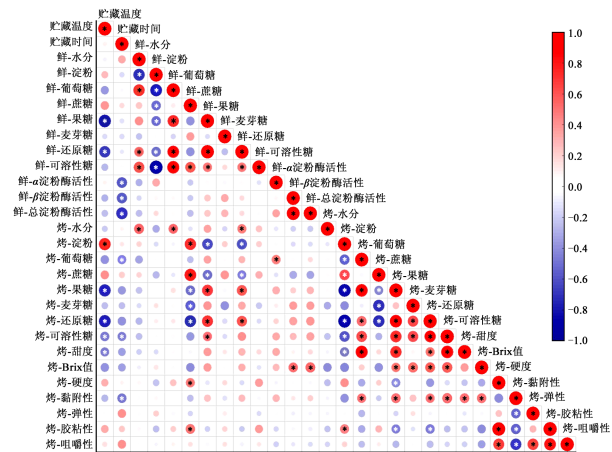


图 6 相关性分析热图

Fig.6 Heat map of correlation analysis

注: * 表示具有显著差异 ($P<0.05$)。

3 结论

本研究探索了不同贮藏温度和时间对采后甘薯糖化及烤甘薯品质特性的影响。结果表明, 23、35 ℃贮藏或贮藏超过 12 d 均会降低鲜薯的糖化效果和烤甘薯的食用品质。与对照组相比, 经 12 ℃贮藏 12 d 鲜薯烤制后的淀粉含量略有降低, 但葡萄糖、蔗糖、果糖、麦芽糖含量和可溶性糖含量均有大幅提升; 甜度系数和 Brix 值也显著高于对照组和其它实验组。感官评价和质构特性结果显示, 该处理条件并未使烤甘薯产生不愉快风味, 且表现出了更高的甜味、鲜味响应值和更优的适口性。因此, 甘薯采后于 12 ℃条件下贮藏 12 d, 糖化效果最佳, 烤制后的食用品质最好。

参考文献

[1] FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations Online Statistical Database [EB/OL]. (2023-12-27)[2024-1-8]. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.

[2] THATYANE M R D A, KAROLINY B S, EVANDRO L D S. Sweet potato roots: unrevealing an old food as a source of

health promoting bioactive compounds-a review [J]. Trends in Food Science & Technology, 2019, 85: 277-286.

[3] 马梦梅,木泰华,孙红男.营养健康型薯类食品加工与副产物高值化利用研发进展[J].食品安全质量检测学报,2020, 11(24):9154-9163.

[4] 张勇为,张义正,谭文芳,等.甘薯贮藏期间淀粉酶种类变化及其部分性质分析[J].四川大学学报(自然科学版), 2018,55(1):197-200.

[5] AGNES N, AGNES N, YUSUF B, et al. Influence of development, postharvest handling, and storage conditions on the carbohydrate components of sweetpotato (*Ipomea batatas* Lam.) roots [J]. Food Science & Nutrition, 2017, 5: 1088-1097.

[6] 郭亮虎,王镇,李楠,等.温度和湿度对紫甘薯贮藏品质的影响[J].中国农业科技导报,2020,22(2):107-114.

[7] PHILIP D C S, NORHASHILA H, ROSNAH S, et al. Effects of different storage temperatures on the quality and shelf life of Malaysian sweet potato (*Ipomoea Batatas* L.) varieties [J]. Food Packaging and Shelf Life, 2021, 28: 100642.

[8] 史春余,王汝娟,梁太波,等.食用型甘薯块根碳水化合物代谢特性及与品质的关系[J].中国农业科学,2008,11: 3878-3885.

[9] KANEFUMI K, YOSHIYUKI N, MOTOYASU O, et al. Carbohydrate components in sweet potato storage roots: their diversities and genetic improvement [J]. Breeding Science, 2017, 67(1): 62-72.

[10] NICOLAS O D A, MARIO L M V, MIRELLE N D S S, et al. Sucrose degradation pathways in cold-induced sweetening and its impact on the non-enzymatic darkening in sweet potato root [J]. Food Chemistry, 2020, 312: 125904.

[11] LI X, YANG H Q, LU G Q. Low-temperature conditioning combined with cold storage inducing rapid sweetening of sweetpotato tuberous roots (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) while inhibiting chilling injury [J]. Postharvest Biology and Technology, 2018, 142: 1-9.

[12] 姚黎霞.低温贮藏对甘薯和马铃薯及加工制品糖含量的影响[D].杭州:浙江农林大学,2019.

[13] 解则义,李洪民,马代夫,等.低温胁迫影响甘薯贮藏的研究进展[J].植物生理学报,2017,53(5):758-767.

[14] HOU F N, MU T H, MA M M, et al. Optimization of processing technology using response surface methodology and physicochemical properties of roasted sweet potato [J]. Food Chemistry, 2019, 278: 136-143.

[15] AOAC. AOAC Official Method 930.04 Moisture In Plants [S]. Washington: AOAC International, 2000.

[16] AOAC. AOAC Official Method 996.11 Starch (Total) in Cereal Products [S]. Washington: AOAC International, 2005.

[17] RAMSES B T, HENRY K L. Determination of reducing sugars in French fried potatoes by 3,5-dinitrosalicylic acid [J].

- Food Chemistry, 1987, 23(1): 29-33.
- [18] HOU F N, MU T H, MA M M, et al. Sensory evaluation of roasted sweet potatoes influenced by different cultivars: a correlation study with respect to sugars, amino acids, volatile compounds, and colors [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2020, 44: e14646.
- [19] 阚建全. 食品化学(第3版)[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2016.
- [20] ANNA K, ELKE P. Modifications of taste-relevant compounds in strawberry fruit under NaCl salinity [J]. Food Chemistry, 2007, 105: 1487-1494.
- [21] NANAM T D, ANDREW J G, ANDREW W, et al. Influence of variety and growth environment on β -amylase activity of flour from sweet potato (*Ipomea batatas*) [J]. Food Control, 2010, 21(2): 162-165.
- [22] 李臣, 后猛, 马猛, 等. 甘薯块根熟化过程中麦芽糖变化及其影响因素研究进展[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(2): 539-544.
- [23] 徐茂, 向敏, 王子涵, 等. 冻结速率对烤甘薯品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(13): 217-224.
- [24] JIA R Y, CUI C L, GAO L, et al. A review of starch swelling behavior: its mechanism, determination methods, influencing factors, and influence on food quality [J]. Carbohydrate Polymers, 2023, 321: 121260.
- [25] LI L L, SUN H N, ZHANG M, et al. Fungal communities, nutritional, physiological and sensory characteristics of sweet potato under three Chinese representative storages [J]. Postharvest Biology and Technology, 2023, 201: 112366.
- [26] CHARLOTTE F D S, PIETER M, CAROLIEN B, et al. Starch hydrolysis during mashing: a study of the activity and thermal inactivation kinetics of barley malt α -amylase and β -amylase [J]. Carbohydrate Polymers, 2021, 255: 117494.
- [27] 聂明建. 甘薯温床育苗的管理[J]. 湖南农业, 2014, 2: 26.
- [28] YUAN J, ZHANG J, HU W F, et al. Cyclic variable temperature conditioning induces the rapid sweetening of sweet potato tuberous roots by regulating the sucrose metabolism [J]. Food Chemistry, 2024, 433: 137364.
- [29] 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.
- [30] YOSHIHIRO K, YVAN L, NOBORU S, et al. Computer simulation of microwave cooking of sweet potato-kinetics analysis of reactions in the maltose production process and their modeling [J]. Journal of Food Engineering, 2023, 349: 111469.
- [31] SUN J B, SEVERSON R F, KAYS S J. Effect of heating temperature and microwave pretreatment on the formation of sugars and volatiles in Jewel sweet potato [J]. Journal of Food Quality, 1994, 17(6): 447-456.
- [32] 陈显让. 甘薯膨大期和贮藏期 β -淀粉酶活性变化与淀粉率、糖等指标的相关分析[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
- [33] MARGIT D, BERT D B, HANNELE L K, et al. Identification of metabolites associated with boiled potato sensory attributes in freshly harvested and stored potatoes [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2023, 115: 104934.
- [34] 王炜, 黄开红, 刘春泉, 等. 不同贮藏温度对甘薯商品性的影响[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(3): 233-235.