

# 典型热加工对板栗品质的影响

## Effects of typical hot processing on the quality of chestnut

周葵<sup>1,2</sup> 李明娟<sup>1,2</sup> 张雅媛<sup>1,2</sup> 周晴<sup>1,2</sup>

ZHOU Kui<sup>1,2</sup> LI Ming-juan<sup>1,2</sup> ZHANG Ya-yuan<sup>1,2</sup> ZHOU Qing<sup>1,2</sup>

(1. 广西壮族自治区农业科学院农产品加工研究所, 广西南宁 530007;

2. 广西果蔬贮藏与加工新技术重点实验室, 广西南宁 530007)

(1. *Agro-Food Science and Technology Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning, Guangxi 530007, China*; 2. *Guangxi Key Laboratory of Fruits and Vegetables Storage-processing Technology, Nanning, Guangxi 530007, China*)

**摘要:**目的:探索适宜的板栗熟制方式。方法:对比分析带壳板栗(烘烤、常压隔水、常压浸水、高压隔水、高压浸水)以及去壳板栗(常压隔水、常压浸水、高压隔水、高压浸水)9种热加工方式对板栗品质的影响。结果:9种热加工均使板栗中淀粉及多酚含量降低,直链淀粉含量增加。与去壳方式相比,熟化带壳板栗能更有效保留多酚。带壳板栗经常压隔水蒸熟后,可溶性糖含量最高(125.187 μg/mg)、甜度值最大(121.53)、SRC分值最高(71.97)。带壳板栗经烘烤后,水分含量最低(36.69%)、硬度最大(8.9 N)、质地评分值最低(2.02分)。结论:板栗较适宜采用带壳方式进行常压隔水蒸制。

**关键词:**板栗;热加工;品质;可溶性糖

**Abstract: Objective:** This study aimed to explore the appropriate cooking method of chestnut. **Methods:** Nine kinds of thermal treatment on the quality of chestnut were compared. The thermal treatment included chestnut fruit (roasting, cooking without water under normal-pressure, cooking within water under normal-pressure, cooking without water under high-pressure, cooking within water under high-pressure) and chestnut kernel (cooking without water under normal-pressure, cooking within water under normal-pressure, cooking without water under high-pressure, cooking within water under high-pressure). **Results:** The content of starch and polyphenols in chestnut were decreased by the nine kinds of thermal treatment, while the amylose content increased. Compared with the shelling method, the ripe-

ning method of chestnut with shell was a more effective processing to retain polyphenols. The content of soluble sugar in chestnut fruit by cooking without water under normal-pressure was the highest (125.187 μg/mg), and the sweetness value was the highest (121.53), with the highest SRC score of 71.97. The moisture content of roasted chestnut fruit was the lowest (36.69%), and the hardness was the highest (8.9 N), with the lowest texture score of 2.02. **Conclusion:** The chestnut fruit by cooking without water under normal-pressure can be used as a suitable processing method to be eaten.

**Keywords:** chestnut; thermal treatment; quality; soluble sugar

板栗(*Castanea mollissima* Blume)壳斗科栗属植物,原产于中国<sup>[1]</sup>。在中国,板栗作为零食小吃、菜肴食用,常以带壳板栗或板栗仁(去壳板栗)形式进行烘烤、蒸煮等高温熟化。蒸煮是最传统的板栗食用加工处理技术,隔水蒸制、浸水煮制分别利用高温水蒸气、煮制水实现热传递以实现熟化<sup>[2]</sup>。不同加工方式对板栗的品质影响有所差异,例如 Li 等<sup>[3]</sup>研究表明以新鲜板栗为对照,将带壳板栗分别进行水煮[100 °C,  $m_{\text{板栗}} : V_{\text{水}} = 1 : 2$  (g/mL)、电烤箱烘烤(200 °C、20 min)、油炸(240 °C、15 min)后,板栗中淀粉、可溶性蛋白、蔗糖、游离氨基酸、蔗糖及黄酮含量均显著降低( $P < 0.05$ )。李琳玲等<sup>[4]</sup>研究发现与翻炒带壳板栗、调味烹饪板栗仁的加工处理相比,高温蒸制板栗罐头中抗性淀粉保留量最高(93.16%)。阚黎娜<sup>[5]</sup>以6种产地的带壳板栗为原料,经高压蒸制(121 °C、20 min)、烘烤(200 °C、20 min)后,板栗中营养成分发生不同改变,且变化程度因品种不同而存在差异。目前国内已有涉及板栗加工方式的研究报道,但不同熟化方式对带壳板栗、板栗仁品质的系统性研究少。

研究拟以广西板栗为原料,采用9种典型的方式熟

**基金项目:**广西重点研发计划(编号:桂科 AB19245001)

**作者简介:**周葵,女,广西壮族自治区农业科学院农产品加工研究所助理研究员,硕士。

**通信作者:**张雅媛(1981—),女,广西壮族自治区农业科学院农产品加工研究所研究员,博士。

E-mail: yayuanzhang325@hotmail.com

**收稿日期:**2022-04-18 **改回日期:**2022-10-09

化,即带壳板栗(烘烤、常压隔水、常压浸水、高压隔水、高压浸水)、去壳板栗(常压隔水、常压浸水、高压隔水、高压浸水)。系统分析不同熟化方式对板栗中水分、营养成分(氨基酸、淀粉、直链淀粉、可溶性糖)及多酚含量的影响,并结合微观结构、质构、感官评价,综合分析较适宜的食用热处理方式,为板栗在食用或加工中选择适宜的熟化工序提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与仪器

#### 1.1.1 材料与试剂

板栗:种植于广西天峨,广西天峨五福种业有限公司;

氢氧化钠、冰乙酸、碘、碘化钾、福林酚、碳酸钠等:分析纯,广西南宁泰诺生物工程有限公司;

氨基酸标品:上海安谱实验科技股份有限公司;

直链淀粉标准品、葡萄糖、果糖、海藻糖、麦芽糖、蔗糖、岩藻糖、鼠李糖、阿拉伯糖、半乳糖、核糖、乳糖、水苏糖、棉子糖标准品:美国 Sigma-Aldrich 公司;

淀粉含量检测试剂盒:北京索莱宝科技有限公司。

#### 1.1.2 主要仪器设备

板栗脱壳机:14 刀插电款,南宁辉轩食品机械有限公司;

不锈钢苏泊尔高压锅:YW20S1 型,浙江苏泊尔股份有限公司;

烤箱:KN204P 型,青岛金贝克机械有限公司;

电热鼓风干燥箱:BG2-140 型,上海博迅实业有限公司医疗设备厂;

真空冷冻干燥机:Pilot 10-15M 型,北京博医康实验仪器有限公司;

高速中药粉碎机:WND-200 型,浙江省兰溪市伟能达电器有限公司;

紫外分光光度计:TU-1810 型,北京普析通用仪器有限责任公司;

氨基酸自动分析仪:LA8080 型,日本株式会社日立高新技术科学;

飞纳台式扫描电镜:Phenom 型,荷兰 PHENOM 公司;

质构仪:CT3 型,美国 Brookfield 公司;

离子色谱仪:ICS5000 型,配有 Thermo ICS5000(Dionex, Thermo Scientific, Waltham, US)离子色谱系统,美国戴安公司。

### 1.2 试验方法

1.2.1 原料处理 采用重量法初步剔除病虫害、霉烂板栗,随机分为三大组,一组采用人工划十字口,用于带壳板栗熟化处理;一组采用自动板栗脱壳机进行脱壳,脱壳

时间设为 45 s,然后用刀人工去除部分残留的壳和内衣,再进行清洗,用于去壳板栗熟化处理;另一组未处理,作为对照组,样品编号记为 UC。经前期预试验,确定 9 种熟化方式的参数。

(1) 带壳板栗熟化方式:① 烘烤(185 °C 烤箱烘烤 30 min),样品编号记为 RC;② 常压隔水熟化(取约 500 g 板栗置于蒸架上,蒸锅内加水量约 3 000 mL,蒸煮 45 min),样品编号记为 CoN;③ 常压浸水熟化(取约 500 g 板栗直接放入蒸锅中,锅内加水量约 1 500 mL,蒸煮 30 min),样品编号记为 CiN;④ 高压隔水熟化(取约 300 g 板栗置于蒸架上,高压锅内加水量约 2 000 mL,蒸煮 20 min),样品编号记为 CoH;⑤ 高压浸水熟化(取约 500 g 板栗直接放入高压锅中,锅内加水量约 800 mL,蒸煮 16 min),样品编号记为 CiH。

(2) 去壳板栗熟化方式:① 常压隔水熟化(取约 600 g 板栗仁置于蒸架上,蒸锅内加水量约 3 000 mL,蒸煮 45 min),样品编号记为 CKoN;② 常压浸水熟化(取约 600 g 板栗仁直接放入蒸锅中,锅内加水量约 1 700 mL,蒸煮 25 min),样品编号记为 CKiN;③ 高压隔水熟化(取约 350 g 板栗仁置于蒸架上,高压锅内加水量约 2 000 mL,蒸煮 20 min),样品编号记为 CKoH;④ 高压浸水熟化(取约 300 g 板栗仁直接放入高压锅中,锅内加水量约 600 mL,蒸煮 10 min),样品编号记为 CKiH。

每种熟化方式重复 3 次,经过上述各熟化方式处理后,带壳板栗进行人工去壳去内衣,得到板栗仁样品。所有样品一部分直接用于感官评价、水分及质构的测定;一部分直接进行切片,−18 °C 预冻约 3 d,再进行真空冷冻干燥,直至水分含量低于 5.0%。将干制后的样品放入粉碎机内粉碎,过 100 目筛,用于品质指标的测定;另一部分直接取板栗仁最中心部位,切成约 0.5 cm×0.3 cm×0.1 cm 块状,用液氮迅速降温,−18 °C 预冻 1 d,再进行真空冷冻干燥 72 h,用于微观结构的测定。

#### 1.2.2 基本营养成分测定

(1) 水分含量:按 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》执行。

(2) 淀粉含量:采用北京索莱宝科技有限公司试剂盒(可见分光光度法)。

(3) 直链淀粉含量:采用碘结合法。

1.2.3 可溶性糖组分测定及甜度值计算 取 10~100 mg 样品于 2.0 mL 离心管中,加入 700 μL 80%乙醇,50 °C 震荡 2 h。然后再加 700 μL H<sub>2</sub>O 稀释,10 000 r/min 离心 3 min。吸取上清液,进行离子色谱检测。

离子色谱检测条件:采用 CarboPac™ PA1(250 mm×4.0 mm)色谱柱;流动相为 A: H<sub>2</sub>O, B: 100 mmol/L NaOH;进样量为 10 μL,流速为 1.0 mL/min,柱温为

30 ℃。洗脱梯度: 0 min  $V_{A相} : V_{B相} = 95 : 5$ , 9 min  $V_{A相} : V_{B相} = 95 : 5$ , 20 min  $V_{A相} : V_{B相} = 0 : 100$ , 40 min  $V_{A相} : V_{B相} = 0 : 100$ , 40.1 min  $V_{A相} : V_{B相} = 95 : 5$ , 60 min  $V_{A相} : V_{B相} = 95 : 5$ 。

分别根据式(1)和式(2)计算可溶性糖总含量及甜度值<sup>[6-7]</sup>。

$$T_{ss} = C_{Tre} + C_{Gal} + C_{Glu} + C_{Fru} + C_{Suc} + C_{Raf} + C_{Sta} + C_{Mal}, \quad (1)$$

$$S_w = C_{Tre} \times 0.45 + C_{Gal} \times 0.3 + C_{Glu} \times 0.7 + C_{Fru} \times 1.75 + C_{Suc} \times 1 + C_{Raf} \times 0.23 + C_{Sta} \times 0.22 + C_{Mal} \times 0.35, \quad (2)$$

$T_{ss}$ ——可溶性糖总含量,  $\mu\text{g}/\text{mg}$ ;

$S_w$ ——甜度值;

$C_{Tre}$ ——海藻糖含量,  $\mu\text{g}/\text{mg}$ ;

$C_{Gal}$ ——半乳糖含量,  $\mu\text{g}/\text{mg}$ ;

$C_{Glu}$ ——葡萄糖含量,  $\mu\text{g}/\text{mg}$ ;

$C_{Fru}$ ——果糖含量,  $\mu\text{g}/\text{mg}$ ;

$C_{Suc}$ ——蔗糖含量,  $\mu\text{g}/\text{mg}$ ;

$C_{Raf}$ ——棉子糖含量,  $\mu\text{g}/\text{mg}$ ;

$C_{Sta}$ ——水苏糖含量,  $\mu\text{g}/\text{mg}$ ;

$C_{Mal}$ ——麦芽糖含量,  $\mu\text{g}/\text{mg}$ 。

1.2.4 多酚含量测定 采用 Folin-Ciocalteus 法<sup>[8]</sup>。

1.2.5 水解氨基酸测定 采用氨基酸自动分析仪测定。

1.2.6 微观结构 用导电胶将其粘在样品台上,并用氮气反复吹样品,然后在 10 mA 的电流下喷金 60 s,再装入扫描电镜观察室,在加速电压为 10 kV 的情况下观察并拍照。

1.2.7 质构测定 去壳板栗直接挑选出完整颗粒;带壳板栗采用人工去壳去衣的方式,去掉约 50% 的外壳外衣,然后进行质构测试。选取 TA39 型探头,采用 TPA(Texture Profile Analysis)测试模式。测试速度为 1 mm/s,返回速度为 1 mm/s,压缩形变率为 30%,触发点负载 0.098 N,然后直接从系统内导出硬度、黏性数值。

1.2.8 数据处理 试验数据采用 Microsoft Excel 进行统计,并计算平均值、标准差,按式(3)计算各成分的变化率。使用 IBM SPSS Statistics 21.0 软件进行差异显著性

分析,采用 Origin 8.6 软件绘图。

$$c = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

$c$ ——变化率, %;

$W_1$ ——熟化前板栗中该成分含量, %;

$W_2$ ——熟化后板栗中该成分含量, %。

## 2 结果与分析

### 2.1 熟化方式对板栗营养品质的影响

2.1.1 水分含量 新鲜板栗的含水量为 45.08%,烹饪方式对板栗中水分含量的影响见表 1。带壳板栗烘烤处理后,水分含量为 36.69%,显著降低了 8.39% ( $P < 0.05$ ),变化率为 -18.6%;隔水烹饪带壳板栗后,水分含量略有下降,但浸水烹饪带壳板栗均显著增加板栗中水分含量 ( $P < 0.05$ )。去壳板栗进行熟化加工后,水分含量显著增加 ( $P < 0.05$ ),变化率为 6.8%~35.8%,其中浸水熟化后,水分含量最高(59.76%, 61.21%)。原因可能是烘烤以空气为传热媒介,板栗中水分在高温条件下快速挥发而降低。其他加工方式均以水为传热媒介,热加工破坏了板栗细胞组织而导致水分降低<sup>[9]</sup>,但由于板栗与水分、水蒸气接触,又会吸收水,而吸水量又与温度、时间、物料形态等相关,因此经过不同熟化方式加工后,板栗中水分含量呈不同变化。

2.1.2 氨基酸组成比例及含量 如表 2 所示,新鲜板栗含有 17 种氨基酸,氨基酸总量、必需氨基酸总量依次为 4.57, 1.48 g/100 g。不同加工后板栗中氨基酸总量、必需氨基酸总量分别为 4.16~4.82, 1.30~1.57 g/100 g。与未加工的板栗相比,熟制后板栗中氨基酸总量、必需氨基酸总量相差仅为 0.25~0.41, 0.09~0.18 g/100 g。

通过计算必需氨基酸的氨基酸比值(RAA)、氨基酸比值系数(RC)和比值系数分(SRC)<sup>[10]</sup>,综合评价不同热加工对板栗中蛋白质的营养价值,具体结果如表 3 所示。未加工的板栗中除蛋氨酸+胱氨酸低于 WHO/FAO 推荐值,其他必需氨基酸均高于推荐值。由表 3 可知,不同加工后板栗中亮氨酸的质量分数最高,为 7.76%~

表 1 熟化方式对板栗水分的影响†

Table 1 Effects of different cooking methods on water contents of chestnut

样品	水分含量/%	水分变化率/%	样品	水分含量/%	水分变化率/%
UC	45.08±0.75 <sup>e</sup>		CiH	51.25±0.43 <sup>e</sup>	13.7
RC	36.69±0.63 <sup>a</sup>	-18.6	CKoN	49.12±0.41 <sup>d</sup>	9.0
CoN	41.72±0.39 <sup>b</sup>	-7.5	CKiN	59.76±0.22 <sup>f</sup>	32.6
CiN	48.84±0.35 <sup>d</sup>	8.3	CKoH	48.13±0.13 <sup>d</sup>	6.8
CoH	44.28±0.18 <sup>c</sup>	-1.8	CKiH	61.21±2.22 <sup>f</sup>	35.8

† 字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

8.47%,是WHO/FAO推荐值的1.11~1.21倍。由表4可知,不同加工后板栗中氨基酸的SRC值为63.55~71.97,其中,带壳板栗经常压隔水蒸制后, SRC值最高,为71.97。与未加工的板栗相比,除了常压隔水蒸制处理带壳板栗之外,其余热加工处理板栗后, SRC值均降低。SRC值越接近100,蛋白质营养价值越高<sup>[11]</sup>。因此,根据SRC值,带壳板栗经常压隔水蒸熟后,蛋白质的营养价值最高。

2.1.3 淀粉、直链淀粉含量 烹饪方式对板栗中淀粉、直

链淀粉含量的影响见表5,未加工的板栗中淀粉、直链淀粉含量依次为58.57%,29.47%,所有加工方式均显著降低淀粉含量、增加直链淀粉含量( $P < 0.05$ )。原因可能是烹饪处理使板栗中淀粉颗粒受热分解,使总淀粉含量降低<sup>[12]</sup>。Bao等<sup>[13]</sup>研究发现带壳板栗经蒸制或烘烤后,直链淀粉含量显著增加( $P < 0.05$ )。由表5可知,高压隔水与高压浸水处理带壳板栗后,板栗中直链淀粉含量无显著性差异( $P > 0.05$ ),但其他浸水加工后板栗中直链淀粉含量均显著高于隔水处理( $P < 0.05$ )。

表2 不同熟化方式后板栗中氨基酸组成<sup>†</sup>

Table 2 Amino acid compositions of chestnuts by different cooking methods g/100 g

氨基酸	UC	RC	CoN	CiN	CoH	CiH	CKoN	CKiN	CKoH	CKiH
天冬氨酸	0.76	0.95	0.93	0.96	1.00	0.93	0.88	0.77	0.85	0.76
苏氨酸*	0.20	0.19	0.19	0.19	0.20	0.19	0.18	0.19	0.18	0.18
丝氨酸	0.21	0.20	0.20	0.20	0.21	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20
谷氨酸	0.83	0.79	0.84	0.84	0.88	0.80	0.75	0.74	0.82	0.77
脯氨酸	0.14	0.15	0.14	0.15	0.15	0.14	0.12	0.13	0.14	0.14
甘氨酸	0.25	0.24	0.24	0.25	0.26	0.25	0.22	0.22	0.22	0.22
丙氨酸	0.30	0.25	0.25	0.25	0.26	0.26	0.22	0.24	0.24	0.24
缬氨酸*	0.24	0.23	0.24	0.25	0.26	0.26	0.21	0.24	0.23	0.24
甲硫氨酸(蛋氨酸)*	0.012	ND	0.023	ND	0.012	0.014	ND	0.019	0.016	0.011
异亮氨酸*	0.19	0.17	0.19	0.18	0.20	0.20	0.16	0.18	0.17	0.17
亮氨酸*	0.37	0.35	0.36	0.36	0.39	0.37	0.33	0.36	0.35	0.35
酪氨酸	0.13	0.11	0.12	0.098	0.076	0.11	0.080	0.081	0.077	0.061
苯丙氨酸*	0.17	0.18	0.19	0.20	0.20	0.19	0.16	0.18	0.17	0.17
赖氨酸*	0.30	0.28	0.29	0.29	0.31	0.29	0.26	0.29	0.26	0.28
组氨酸	0.15	0.12	0.091	0.10	0.11	0.11	0.13	0.12	0.14	0.12
精氨酸	0.28	0.26	0.28	0.29	0.27	0.28	0.24	0.26	0.24	0.23
胱氨酸	0.035	0.038	0.036	0.034	0.027	0.031	0.026	0.028	0.025	0.021
氨基酸总量(AA)	4.57	4.51	4.61	4.64	4.82	4.62	4.16	4.25	4.33	4.16
必需氨基酸总量(EAA)	1.48	1.40	1.48	1.47	1.57	1.51	1.30	1.46	1.38	1.40
EAA/AA/%	32.5	31.1	32.2	31.7	32.6	32.8	31.3	34.3	31.8	33.7

† \* 为人体必需氨基酸;ND为未检出。

表3 不同熟化方式板栗中人体必需氨基酸占总氨基酸的质量分数

Table 3 Proportions of essential amino acid in total amino acids in chestnuts by different cooking methods %

必需氨基酸	UC	RC	CoN	CiN	CoH	CiH	CKoN	CKiN	CKoH	CKiH	WHO/FAO 推荐值
异亮氨酸	4.16	3.77	4.12	3.88	4.15	4.33	3.85	4.24	3.93	4.09	4.0
亮氨酸	8.10	7.76	7.81	7.76	8.09	8.01	7.93	8.47	8.08	8.41	7.0
赖氨酸	6.56	6.21	6.29	6.25	6.43	6.28	6.25	6.82	6.00	6.73	5.5
蛋氨酸+胱氨酸	1.03	0.84	1.28	0.73	0.81	0.97	0.63	1.11	0.95	0.77	3.5
酪氨酸+苯丙氨酸	6.56	6.43	6.72	6.42	5.73	6.49	5.77	6.14	5.70	5.55	6.0
苏氨酸	4.38	4.21	4.12	4.09	4.15	4.11	4.33	4.47	4.16	4.33	4.0
缬氨酸	5.25	5.10	5.21	5.39	5.39	5.63	5.05	5.65	5.31	5.77	5.0
合计	36.0	34.3	35.6	34.5	34.8	35.8	33.8	36.9	34.1	35.6	35.0

表 4 不同熟化方式板栗各氨基酸比值系数比较

Table 4 Comparison of amino acid ration coefficients of chestnuts with different cooking methods

样品	项目	异亮氨酸	亮氨酸	赖氨酸	蛋氨酸+胱氨酸	酪氨酸+苯丙氨酸	苏氨酸	缬氨酸	SRC	SRC 变化率/%
UC	RAA	1.04	1.16	1.19	0.29	1.09	1.09	1.05	68.52	
	RC	1.05	1.17	1.21	0.30	1.11	1.11	1.06		
RC	RAA	0.94	1.11	1.13	0.24	1.07	1.05	1.02	66.58	-2.8
	RC	1.00	1.18	1.20	0.26	1.14	1.12	1.09		
CoN	RAA	1.03	1.12	1.14	0.37	1.12	1.03	1.04	71.97	5.0
	RC	1.05	1.14	1.17	0.37	1.15	1.05	1.06		
CiN	RAA	0.97	1.11	1.14	0.21	1.07	1.02	1.08	65.22	-4.8
	RC	1.03	1.18	1.21	0.22	1.14	1.09	1.14		
CoH	RAA	1.04	1.16	1.17	0.23	0.95	1.04	1.08	65.72	-4.1
	RC	1.09	1.21	1.23	0.24	1.00	1.09	1.13		
CiH	RAA	1.08	1.14	1.14	0.28	1.08	1.03	1.13	68.11	-0.6
	RC	1.10	1.16	1.16	0.28	1.10	1.05	1.15		
CKoN	RAA	0.96	1.13	1.14	0.18	0.96	1.08	1.01	63.55	-7.3
	RC	1.04	1.23	1.23	0.19	1.04	1.17	1.09		
CKiN	RAA	1.06	1.21	1.24	0.32	1.02	1.12	1.13	68.72	0.3
	RC	1.04	1.19	1.22	0.31	1.01	1.10	1.11		
CKoH	RAA	0.98	1.15	1.09	0.27	0.95	1.04	1.06	67.83	-1.0
	RC	1.05	1.23	1.17	0.29	1.02	1.11	1.13		
CKiH	RAA	1.02	1.20	1.22	0.22	0.93	1.08	1.15	64.20	-6.3
	RC	1.05	1.23	1.26	0.23	0.95	1.11	1.18		

2.1.4 可溶性糖 糖分种类、含量及其构成比例是果实风味形成的重要基础之一<sup>[14]</sup>。研究采用离子色谱法进行板栗中可溶性糖种类、含量的检测,利用软件 Chromeleon 处理色谱数据,通过出峰时间确定目标化合物,进行定性,同时采用外标法进行定量,结果如图 1、表 6 所示。由图 1 可知,板栗样品中共检测到 8 种可溶性糖(海藻糖、半乳糖、葡萄糖、果糖、蔗糖、棉子糖、水苏糖、麦芽糖),尚

未检测到岩藻糖、鼠李糖、阿拉伯糖、核糖、乳糖。不同熟化方式处理的板栗中可溶性糖的组成及其含量有所差异。由表 6 可知,与未加工的板栗相比,经熟化处理的板栗中果糖含量增加,而半乳糖、葡萄糖、麦芽糖含量降低。原因可能是烹饪处理使板栗受热,引起糖分解,例如棉子糖、蔗糖受热分解生成果糖<sup>[15-16]</sup>,从而引起熟化后板栗中果糖含量升高。

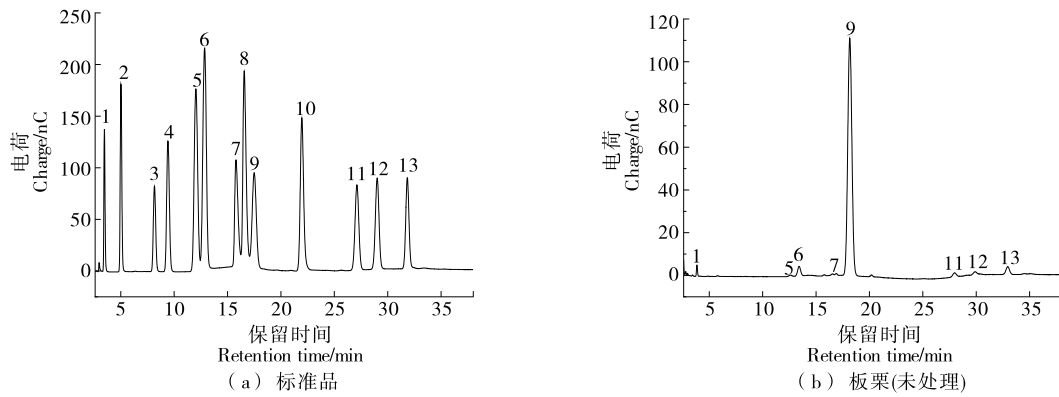
表 5 不同熟化方式板栗中淀粉、直链淀粉含量<sup>†</sup>

Table 5 Starch and amylose content in chestnuts by different cooking methods

熟化方式	淀粉含量/%	淀粉含量变化率/%	直链淀粉含量/%	直链淀粉含量变化率/%
UC	66.97±1.06 <sup>g</sup>		29.47±0.48 <sup>a</sup>	
RC	59.81±0.43 <sup>a</sup>	-10.7	30.55±0.11 <sup>cd</sup>	3.7
CoN	62.87±0.44 <sup>c</sup>	-6.1	30.01±0.11 <sup>b</sup>	1.8
CiN	64.75±0.55 <sup>ef</sup>	-3.3	30.66±0.25 <sup>d</sup>	4.0
CoH	65.71±0.47 <sup>f</sup>	-1.9	30.49±0.17 <sup>cd</sup>	3.5
CiH	66.81±0.42 <sup>g</sup>	-0.2	30.25±0.06 <sup>bc</sup>	2.6
CKoN	65.43±0.67 <sup>f</sup>	-2.3	30.16±0.05 <sup>bc</sup>	2.3
CKiN	61.50±0.54 <sup>b</sup>	-8.2	31.88±0.20 <sup>e</sup>	8.2
CKoH	63.43±0.18 <sup>cd</sup>	-5.3	30.68±0.10 <sup>d</sup>	4.1
CKiH	64.19±0.54 <sup>de</sup>	-4.2	32.04±0.23 <sup>e</sup>	8.7

† 同列字母不同表示差异显著(P<0.05)。





1. 海藻糖 2. 岩藻糖 3. 鼠李糖 4. 阿拉伯糖 5. 半乳糖 6. 葡萄糖 7. 果糖 8. 核糖 9. 蔗糖 10. 乳糖 11. 棉子糖 12. 水苏糖 13. 麦芽糖

图 1 板栗中可溶性糖的色谱图

Figure 1 Chromatogram of soluble sugars in chestnut

表 6 熟化方式对板栗中可溶性糖的影响<sup>†</sup>

Table 6 Effects of different cooking methods on soluble sugar content in chestnuts  $\mu\text{g}/\text{mg}$

熟化方式	葡萄糖	果糖	半乳糖	蔗糖	海藻糖	麦芽糖	棉子糖	水苏糖
UC	1.607	0.652	0.268	105.127	0.294	4.146	2.035	1.312
RC	0.932	0.893	0.137	104.567	0.296	0.836	2.071	1.197
CoN	1.011	0.978	0.089	117.652	0.358	0.993	2.614	1.493
CiN	0.890	1.078	0.097	103.535	0.314	0.628	2.456	1.772
CoH	1.454	1.065	0.088	100.336	0.286	0.568	2.074	0.968
CiH	1.284	1.550	0.108	111.683	0.288	0.528	2.584	1.412
CKoN	0.575	0.828	0.092	99.257	0.350	0.474	2.403	1.788
CKiN	0.438	0.680	0.080	82.856	0.220	0.591	1.878	0.967
CKoH	0.807	1.098	0.094	98.049	0.299	0.501	2.362	1.387
CKiH	0.580	0.751	0.049	83.267	0.213	0.530	2.060	0.924

<sup>†</sup> 葡萄糖、果糖、半乳糖为单糖;蔗糖、海藻糖、麦芽糖为双糖;棉子糖为三糖;水苏糖为四糖。

可溶性糖的总含量、甜度值的具体结果如图 2 所示。与带壳板栗相比,去壳板栗熟化后可溶性糖总含量及甜度均降低。一方面,淀粉受热分解引起可溶性糖含量升高;另一方面,板栗在熟制过程中,组织疏松,可溶性糖渗出而导致含量降低<sup>[17]</sup>。或许由于去壳板栗缺少外壳保护作用,可溶性糖易渗出导致偏低。在 9 种加工方式中,带壳板栗采用常压隔水蒸煮后,可溶性糖含量最高(125.187  $\mu\text{g}/\text{mg}$ )、甜度值最大(121.53);去壳板栗采用常压浸水熟化后,可溶性糖含量最低(87.710  $\mu\text{g}/\text{mg}$ )、甜度值最大(85.33)。

2.1.5 多酚含量 不同熟化加工对板栗中多酚含量的影响有所差异,具体数据如表 7 所示。未加工的板栗中多酚含量为 1.51 mg GAE/g,所有加工方式均使多酚含量降低,表明烹饪加热会破坏酚类物质<sup>[18]</sup>。除了带壳板栗的高压隔水与高压浸水加工对多酚含量无显著性差异( $P>0.05$ ),其余 3 种浸水加工后板栗中多酚含量均显著低于相应的隔水烹饪方式( $P<0.05$ ),原因可能是板栗直

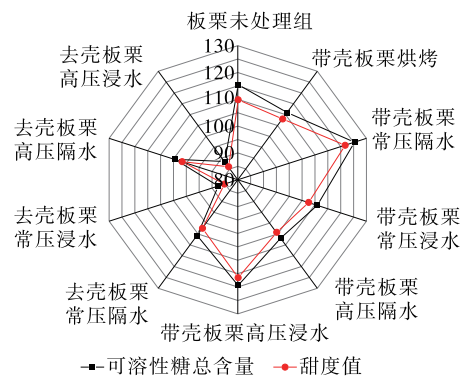


图 2 不同熟化方式的板栗中可溶性糖总含量及甜度值雷达图

Figure 2 Radar charts of soluble sugars content and sweetness values in chestnut with different cooking methods

接与水接触,而水分的存在会加剧热传递,导致多酚类物质氧化损失<sup>[19]</sup>或迁移到水中<sup>[20]</sup>。

表 7 熟化方式对板栗多酚含量的影响<sup>†</sup>

Table 7 Effects of different cooking methods on polyphenol content in chestnuts

样品	多酚含量/(mg GAE · g <sup>-1</sup> )	多酚含量变化率/%	样品	多酚含量/(mg GAE · g <sup>-1</sup> )	多酚含量变化率/%
UC	1.51±0.02 <sup>d</sup>		CiH	1.46±0.01 <sup>d</sup>	-3.3
RC	1.44±0.02 <sup>d</sup>	-4.6	CKoN	1.10±0.05 <sup>b</sup>	-27.2
CoN	1.49±0.04 <sup>d</sup>	-1.3	CKiN	0.64±0.01 <sup>a</sup>	-57.6
CiN	1.09±0.03 <sup>b</sup>	-27.8	CKoH	1.17±0.02 <sup>c</sup>	-22.5
CoH	1.45±0.07 <sup>d</sup>	-4.0	CKiH	1.08±0.01 <sup>b</sup>	-28.5

† 字母不同表示差异显著(P<0.05)。

2.1.6 微观结构 如图 3 所示,生板栗淀粉颗粒完整,可见板栗淀粉颗粒紧密分布于蜂窝状细胞结构中。不同烹饪加工的板栗无法观察到完整的淀粉颗粒,原因可能是烹饪加工后淀粉出现了不同程度的糊化。对于 5 种带壳板栗熟化处理而言,常压浸水加工后板栗截面中有较大裂缝,空隙较大。对于 4 种去壳板栗熟化处理而言,常压浸水加工后板栗仁的截面中空隙裂缝大。

2.1.7 质地、感官评分 由表 8 可知,去壳板栗经高压隔水蒸制后,香气值最高(1.82 分),常压浸水煮制的带壳板

栗甜度分值最高(3.62 分),高压浸水煮制的带壳板栗质地分值最高(4.25 分),而烘烤后带壳板栗质地分值最低(2.02 分)。经烹饪后,板栗的硬度、黏性值均显著降低(P<0.05)。其中,烘烤的带壳板栗硬度最大,为 8.9 N;常压浸水加工的去壳板栗黏性最低,为 1.1 mJ。与带壳板栗相比,去壳板栗的硬度、黏性均较低。

### 3 结论

带壳板栗采用常压隔水蒸煮后,板栗仍富含 17 种氨

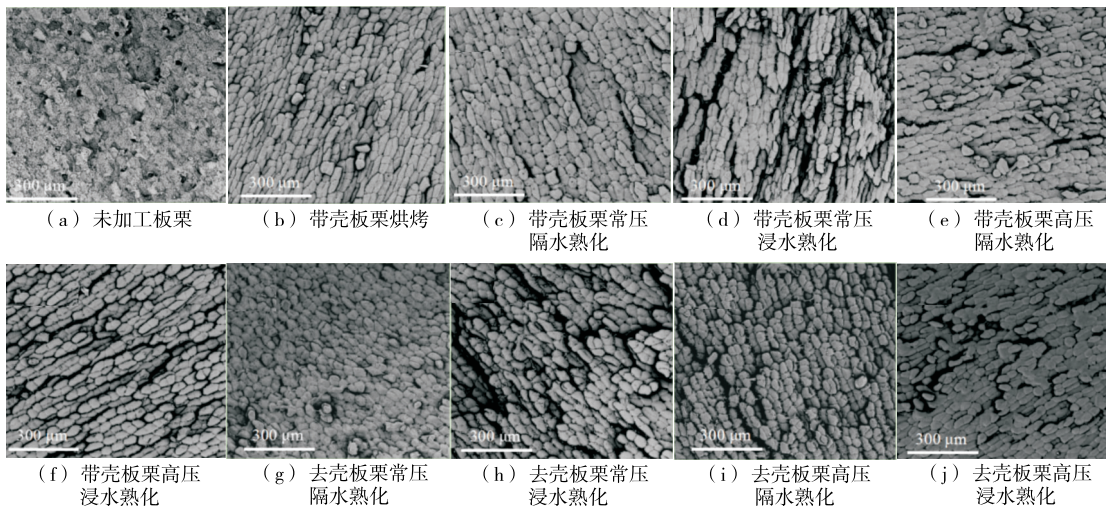


图 3 不同方式熟化后板栗微观结构扫描电子显微镜图

Figure 3 Scanning electron microscope graph of chestnuts by different cooking methods (280×)

表 8 熟化方式对板栗感官评分的影响<sup>†</sup>

Table 8 Effects of different cooking methods on sensory score in chestnuts

熟化方式	香气	甜度	质地	熟化方式	香气	甜度	质地
RC	1.67±0.81 <sup>bc</sup>	2.50±0.71 <sup>abc</sup>	2.02±0.19 <sup>a</sup>	CKoN	1.45±0.67 <sup>abc</sup>	2.70±0.87 <sup>abc</sup>	3.85±0.24 <sup>bc</sup>
CoN	1.63±0.25 <sup>bc</sup>	3.19±0.81 <sup>c</sup>	3.45±0.84 <sup>bc</sup>	CKiN	1.00±0.41 <sup>ab</sup>	1.70±0.90 <sup>a</sup>	3.52±1.10 <sup>bc</sup>
CiN	1.45±0.10 <sup>abc</sup>	3.62±0.35 <sup>c</sup>	3.88±0.25 <sup>bc</sup>	CKoH	1.82±0.23 <sup>c</sup>	2.88±0.48 <sup>bc</sup>	3.24±0.51 <sup>b</sup>
CoH	1.31±0.22 <sup>abc</sup>	3.16±0.71 <sup>c</sup>	4.15±0.44 <sup>c</sup>	CKiH	0.88±0.48 <sup>a</sup>	2.00±0.71 <sup>ab</sup>	4.00±0.08 <sup>bc</sup>
CiH	1.18±0.28 <sup>abc</sup>	3.01±0.83 <sup>bc</sup>	4.25±0.33 <sup>c</sup>				

† 字母不同表示差异显著(P<0.05)。

表 9 熟化方式对板栗质构的影响<sup>†</sup>

Table 9 Effects of different cooking methods on texture in chestnuts

熟化方式	硬度/N	硬度变化率/%	黏性/mJ	黏性变化率/%
UC	30.6±1.5 <sup>a</sup>		28.5±1.7 <sup>f</sup>	
RC	8.9±0.8 <sup>f</sup>	-71.0	11.3±1.0 <sup>e</sup>	-60.4
CoN	7.5±0.6 <sup>e</sup>	-75.6	12.3±1.9 <sup>e</sup>	-56.8
CiN	5.6±0.3 <sup>d</sup>	-81.7	6.0±0.3 <sup>c</sup>	-78.9
CoH	4.3±0.5 <sup>bc</sup>	-86.1	8.1±0.9 <sup>d</sup>	-71.6
CiH	4.8±0.3 <sup>cd</sup>	-84.5	8.6±2.1 <sup>d</sup>	-69.8
CKoN	2.0±0.2 <sup>a</sup>	-93.4	3.0±0.1 <sup>ab</sup>	-89.5
CKiN	2.0±0.8 <sup>a</sup>	-93.6	1.1±0.1 <sup>a</sup>	-96.1
CKoH	3.4±0.2 <sup>b</sup>	-89.0	3.8±1.0 <sup>b</sup>	-86.7
CKiH	1.9±0.1 <sup>a</sup>	-93.7	2.0±0.0 <sup>ab</sup>	-93.0

<sup>†</sup> 字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )。

氨酸、SRC 分值最高(71.97);除蛋氨酸+胱氨酸占总氨基酸的质量分数(1.28%)低于 WHO/FAO 推荐值(3.5%)外,其余必需氨基酸占总氨基酸的质量分数均高于推荐值,说明熟化后的板栗中必需氨基酸组成比例合理,蛋白质营养价值高。

不同熟化方式处理后,板栗中淀粉及多酚含量呈降低趋势、直链淀粉含量呈增加趋势。在熟化加工方式相同的条件下,带壳处理能有效保留板栗中多酚物质,其中带壳板栗采用常压隔水蒸煮后,多酚含量最高(1.49 mg GAE/g)。9 种典型热加工方式对板栗中可溶性糖含量及构成比例有不同程度的影响,但熟化后板栗中果糖的含量升高,而半乳糖、葡萄糖、麦芽糖的含量均减少。此外,海藻糖、水苏糖尚未有统一的变化规律。不同糖种类的相对甜度不同,直接影响产品的食用口感。在 9 种熟化处理中,带壳板栗采用常压隔水蒸煮熟化后,可溶性糖含量最高(125.187  $\mu\text{g}/\text{mg}$ )、甜度值最大(121.53)。所以,从蛋白质营养价值、可溶性糖、多酚角度综合考虑,带壳板栗经常压隔水熟化,能较好地保持产品品质。

### 参考文献

- [1] 曹尚银, 孙其宝. 中国板栗地方品种图志[M]. 北京: 中国林业出版社, 2018: 13.  
CAO S Y, SUN Q B. Local cultivars of Chinese chestnut[M]. Beijing: China Forestry Press, 2018: 13.
- [2] 张子敬. 预处理和蒸煮方式对红米品质和储藏特性影响的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2021: 4.  
ZHANG Z J. Study on the effect of pretreatment and cooking methods on quality and storage characteristics of red rice [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2021: 4.
- [3] LI Q, SHI X H, ZHAO Q J, et al. Effect of cooking methods on nutritional quality and volatile compounds of Chinese chestnut (Cas-

tanea mollissima Blume) [J]. Food Chemistry, 2016, 201: 80-86.

- [4] 李琳玲, 黄兵杰, 程华, 等. 几种常见加工方式对“罗田油栗”抗性淀粉及主要营养物质含量变化的影响[J]. 北方园艺, 2018(8): 129-133.  
LI L L, HUANG B J, CHENG H, et al. Effect of several common processing methods on content changes of resistant starch and main nutrients of 'Luotian chestnut'[J]. Northern Horticulture, 2018(8): 129-133.
- [5] 阙黎娜. 我国六个产地板栗差别及热加工对其品质的影响[D]. 北京: 北京林业大学, 2018: 69.  
KAN L N. Quality differentiation of chestnut from six different origins in China and effect of thermal processing on their quality[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2018: 69.
- [6] JAIN N K, ROY I. Effect of trehalose on protein structure [J]. Protein Science, 2009, 18(1): 24-36.
- [7] 王镜岩. 生物化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 15.  
WANG J Y. Biochemistry [M]. Beijing: Higher Education Press, 2002: 15.
- [8] 陈晨, 胡文忠, 田沛源, 等. 超声辅助提取香蕉皮多酚工艺优化及其抗氧化性的分析[J]. 食品科学, 2014, 35(2): 12-17.  
CHEN C, HU W Z, TIAN P Y, et al. Optimization of ultrasonic-assisted extraction of polyphenols from banana peel and their antioxidant activity[J]. Food Science, 2014, 35(2): 12-17.
- [9] 赵晓珍. 储存条件和熟化处理对两种芋梗品质的影响及芋梗提取物的抗氧化活性研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2017: 47.  
ZHAO X Z. Changes of storage conditions and cooking treatments on the quality of two kinds of dasheen petiole and the antioxidant activity of their extracts [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2017: 47.
- [10] 李瑞, 陆斌, 刘云, 等. 云南 17 种核桃仁氨基酸组成分析及营养价值[J]. 食品与机械, 2019, 35(1): 80-85, 180.  
LI R, LU B, LIU Y, et al. Amino acid composition analysis and nutritional value evaluation of 17 walnut kernels in Yunnan[J]. Food & Machinery, 2019, 35(1): 80-85, 180.
- [11] 孙娟娟, 阿拉木斯, 赵金梅, 等. 6 个紫花苜蓿品种氨基酸组成分析及营养价值评价[J]. 中国农业科学, 2019, 52(13): 2 359-2 367.  
SUN J J, Alamusi, ZHAO J M, et al. Analysis of amino acid composition and six native alfalfa varieties [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2019, 52(13): 2 359-2 367.
- [12] 延莎, 毛晓慧, 杨莉榕, 等. 不同蒸煮方式对藜麦营养特性及风味的影响[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(4): 20-26.  
YAN S, MAO X H, YANG L R, et al. Effects of different cooking methods on nutritional characteristics and flavor of quinoa [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2018, 33(4): 20-26.
- [13] BAO W J, LI Q, WU Y W, et al. Insights into the crystallinity and in vitro digestibility of chestnut starch during thermal processing[J]. Food Chemistry, 2018, 269: 244-251.

(下转第 211 页)



- Microchemical Journal, 2019, 147: 157-162.
- [49] TANG Z, LIU Z H, WANG H. Trace determination of eleven natural estrogens and insights from their occurrence in a municipal wastewater treatment plant and river water[J]. Water Research, 2020, 182: 115976.
- [50] DAVOODI R, NODEHI R N, RASTKARI N. Solid-phase extraction followed by deep eutectic solvent based dispersive liquid-liquid microextraction and GC-MS detection of the estrogenic compounds in wastewater samples[J]. New Journal of Chemistry, 2020, 44(23): 9 844-9 851.
- [51] 李毓斌, 张奇洲, 秦永德, 等. 电化学发光法和放射免疫法在甲状腺激素检测中的应用效果[J]. 当代医药论丛, 2018, 16(15): 158-159.
- LI Y B, ZHANG Q Z, QIN Y D, et al. Application of electrochemiluminescence and radioimmunoassay in thyroid hormone detection[J]. Contemporary Medical Symposium, 2018, 16(15): 158-159.
- [52] 祝英, 杨晓迪, 王乐, 等. 化学发光法与酶联免疫法检测血样、尿样睾酮的对比分析[J]. 辽宁体育科技, 2016, 38(6): 49-51.
- ZHU Y, YANG X D, WANG L, et al. A comparative analysis of testosterone in blood and urine sample between chemiluminescence method and euzymelinked immunosorbent assay[J]. Liaoning Sport Science and Technology, 2016, 38(6): 49-51.
- [53] NISHIKAWA T, SATOH F, TAKASHI Y, et al. Comparison and commutability study between standardized liquid chromatography-mass spectrometry/mass spectrometry (LC-MS/MS) and chemiluminescent enzyme immunoassay for aldosterone measurement in blood[J]. Endocrine Journal, 2022, 69(1): 45-54.
- [54] JIANG H, ZHAO B, CAO X. Research progress in the application of gas chromatography/mass spectrometry technology[J]. International Core Journal of Engineering, 2022, 8(1): 330-334.
- [55] 王长健, 骆骄阳, 秦家安, 等. 间接和直接竞争酶联免疫吸附法快速检测中药材中黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 的对比研究[J]. 中国中药杂志, 2021, 46(22): 5 861-5 866.
- WANG C J, LUO J Y, QIN J A, et al. Rapid detection of aflatoxin B<sub>1</sub> in Chinese herbal medicines by indirect and direct competitive enzyme-linked immunosorbent assays: A comparative analysis[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2021, 46(22): 5 861-5 866.
- [56] SWART N, POOL E. Rapid detection of selected steroid hormones from sewage effluents using an ELISA in the kuils river water catchment area, South Africa[J]. Journal of Immunoassay & Immunochimistry, 2007, 28: 395-408.
- [57] MANICKUM T, JOHN W. Occurrence, fate and environmental risk assessment of endocrine disrupting compounds at the wastewater treatment works in Pietermaritzburg (South Africa)[J]. Science of the Total Environment, 2014, 468: 584-597.
- [58] 洪阳宁, 孙芳, 张和轩, 等. 化学发光法和放射免疫法对原发性醛固酮增多症的诊断效果比较[J]. 第三军医大学学报, 2019, 41(21): 2 080-2 086.
- HONG Y N, SUN F, ZHANG H X, et al. Diagnostic efficacy of chemiluminescence immunoassay versus radioimmunoassay in screening primary aldosteronism[J]. Journal of Army Medical University, 2019, 41(21): 2 080-2 086.
- 
- (上接第 197 页)
- [14] 廖光联, 钟敏, 黄春辉, 等. 果实糖代谢及其相关酶基因研究进展[J]. 江西农业大学学报, 2020, 42(1): 187-195.
- LIAO G L, ZHONG M, HUANG C H, et al. Progress in research on sugar metabolism and related enzyme genes in fruit[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2020, 42(1): 187-195.
- [15] 赵卿宇, 王占占, 陈博睿, 等. 大米储藏期间风味品质的变化研究[J]. 中国食品学报, 2021, 21(6): 203-215.
- ZHAO Q Y, WANG Z Z, CHEN B R, et al. Changes of flavor quality of rice during storage[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(6): 203-215.
- [16] 许丽梅, 徐旭耀, 马琳. 蔗糖水解反应速率常数测定实验的设计及改进[J]. 实验室科学, 2016, 19(1): 23-25.
- XU L M, XU X Y, MA L. Design and improvement of speed constant determination in sucrose hydrolysis reaction[J]. Laboratory Science, 2016, 19(1): 23-25.
- [17] 张娟, 于有伟, 张丽, 等. 加工方法及提取因素对甘薯中可溶性糖含量影响的研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(21): 254-258, 261.
- ZHANG J, YU Y W, ZHANG L, et al. The influential research of processing method and extraction factors on the soluble sugar content of sweet potato[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(21): 254-258, 261.
- [18] 刘淼, 宝心, 祁立波, 等. 不同焙烤条件的烤马铃薯条品质对比[J]. 现代食品科技, 2020, 36(4): 202-209.
- LIU M, BAO X, QI L B, et al. Quality comparison of baked potato strips under different baking conditions[J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(4): 202-209.
- [19] 于淼, 王长远, 王霞. 煮制加工对黑豆中多酚类代谢产物的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(22): 141-149.
- YU M, WANG C Y, WANG X. The effect of cooking on polyphenol metabolites in black soybeans[J]. Food and Fermentation Industry, 2021, 47(22): 141-149.
- [20] 程爱青, 尉万聪, 扎巴士多, 等. 烹调对蔬菜中总多酚和总黄酮含量的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2017, 43(1): 87-91.
- CHENG A Q, WEI W C, Zhabatudo, et al. Effects of cooking on content of total polyphenols and flavonoids in vegetables[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2017, 43(1): 87-91.