

基于多维度品质指标的 8 种板栗淀粉功能特性评价及适加工性分类研究

杨晓聪 王恩胜 李世卓 杜文青 李 坤

(信阳农林学院食品科学与工程学院, 河南 信阳 464000)

摘要: [目的] 明确不同品种板栗的综合功能特性及加工适配性。[方法] 对试验制得的 8 种板栗淀粉进行微观形貌观察, 测定直链淀粉含量、透明度、冻融稳定性、溶解度、膨胀度、凝胶质构等特性, 并运用相关性分析、主成分分析 (PCA) 和聚类分析对淀粉品质进行综合评价。[结果] 8 种板栗淀粉形态相似, 以圆形、椭圆形、多角形为主。相关性分析发现不同品种的各品质指标间存在显著相关性 ($P < 0.05$)。主成分分析将 8 个指标降维处理为 2 个主成分, 累计方差贡献率为 84.373%。聚类分析将 8 种板栗淀粉分为高弹性型、高膨胀型、低硬度型和高凝胶型。[结论] 不同种类之间板栗淀粉功能特性差异显著 ($P < 0.05$)。

关键词: 品种; 板栗淀粉; 相关性分析; 主成分分析; 聚类分析

Evaluation of functional properties and classification of processability of eight chestnut starch varieties based on multidimensional quality indexes

YANG Xiaocong WANG Ensheng LI Shizhuo DU Wenqing LI Kun

(College of Food Science and Engineering, Xinyang Agriculture and Forestry University, Xinyang, Henan 464000, China)

Abstract: [Objective] To clarify the comprehensive functional characteristics and processing adaptability of different chestnut varieties. [Methods] The microscopic morphology of starches prepared from eight chestnut varieties was observed, and their amylose content, transparency, freeze-thaw stability, solubility, swelling power, and gel texture properties were determined. Correlation analysis, principal component analysis (PCA), and cluster analysis were employed to comprehensively evaluate starch quality. [Results] The starch granules from the eight chestnut varieties exhibited similar morphologies, mainly including round, oval, and polygonal shapes. Correlation analysis revealed significant correlations among the quality indexes of different varieties ($P < 0.05$). PCA reduced the eight indexes to two principal components, with a cumulative variance contribution rate of 84.373%. Cluster analysis classified the starches from the eight chestnut varieties into four categories: high-elasticity, high-swelling, low-hardness, and high-gel types. [Conclusion] Significant differences in the functional properties of chestnut starches were observed among the different categories ($P < 0.05$).

Keywords: varieties; chestnut starch; correlation analysis; principal component analysis; cluster analysis

板栗 (*Castanea mollissima* Bl.) 中淀粉类成分约占干物质的 38%~80%^[1-2]。板栗品种众多, 达 100 余种^[3], 大体可分为北方板栗和南方板栗两大类^[4-5]。板栗淀粉的品质特性与加工性状和产品的食用品质密切相关, 但目前

前对板栗资源的利用大多为鲜食、炒制、制作罐头等。因此, 分析不同品种板栗淀粉品质特性, 识别代表性指标, 建立综合评价体系, 快速评价板栗淀粉品质十分必要。

目前, 相关研究主要集中在单一品种板栗淀粉的特

基金项目: 河南省科技攻关项目 (编号: 262102111039); 河南省本科高校青年骨干教师培养计划项目 (编号: 2025GGJS156); 信阳农林学院培育基金项目 (编号: pyjj20230105)

通信作者: 李坤 (1987—), 男, 信阳农林学院副教授, 博士。E-mail: likunkm@163.com

收稿日期: 2025-03-14 **改回日期:** 2026-04-20

引用格式: 杨晓聪, 王恩胜, 李世卓, 等. 基于多维度品质指标的 8 种板栗淀粉功能特性评价及适加工性分类研究[J]. 食品与机械, 2026, 42(5): 50-58.

Citation: YANG Xiaocong, WANG Ensheng, LI Shizhuo, et al. Evaluation of functional properties and classification of processability of eight chestnut starch varieties based on multidimensional quality indexes[J]. Food & Machinery, 2026, 42(5): 50-58.

性研究^[6-7]、部分品种间果实品质的比较分析^[8-10],有关快速判断不同品种淀粉特性及加工利用的研究尚未见报道。不同板栗品种间由于遗传差异,其淀粉的微观结构不同,进而表现出不同的功能特性^[11-14]。评价板栗淀粉品质的相关指标众多,使用多指标评价较为复杂,而单一指标又不能进行全面评价,具有一定局限性。

宋江峰等^[15]采用主成分分析、聚类分析对菜用大豆进行了品质综合评价;周文菊等^[16]采用相关性分析、主成分分析和聚类分析对青海主推春小麦品种进行了综合评价;李鋈洋等^[17]采用主成分对马铃薯全粉面片质构和面条品质进行了综合评价。

试验拟以燕山早丰、紫珀、羊毛栗、薄壳、处暑红、豫罗红、海丰和宋家早8种板栗淀粉为研究对象,分析其微观形貌、直链淀粉比例、透光性、冻融稳定性、溶解性、膨胀性及质构特性,通过相关性分析、PCA和聚类分析比较不同品种淀粉各指标差异,并对各品种板栗淀粉进行综合性评估,为基于少量关键指标快速评价板栗淀粉品质和加工利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

燕山早丰、紫珀、羊毛栗、处暑红、豫罗红、宋家早、海丰、薄壳板栗:网购;

氢氧化钠、无水乙醇、正丁醇、异戊醇、无水葡萄糖、冰醋酸:分析纯,郑州派尼化学试剂厂;

浓硫酸:分析纯,北京北化精细化学品有限公司;

蒽酮、DNS试剂:分析纯,上海源叶生物科技有限公司;

盐酸:分析纯,北京化学试剂公司;

糖化酶: 1×10^5 U/mL,北京奥博星生物技术有限公司;

α -淀粉酶: 1×10^3 U/mL,南宁庞博生物工程有限公司。

1.2 仪器与设备

离心机:TDL-40B型,上海安亭科学仪器厂;

紫外分光光度计:A390型,翱艺仪器(上海)有限公司;

电子分析天平:FA2104型,上海良平仪器有限公司;

电热恒温水浴锅:DZKW-D-2型,北京市永光明医疗仪器有限公司;

电子显微镜:EM-30PLUS型,北京欧波同光学技术有限公司;

破壁机:DJ12B-B40P70型,美的集团有限公司;

电热鼓风干燥箱:101-3A(S)型,上海信诺仪器设备有限公司;

质构仪:TMS-Pro型,东风科仪控股集团有限公司;

凝胶渗透色谱:Waters 1515型,美国Waters公司。

1.3 试验方法

1.3.1 板栗淀粉制备 参照郭泽航等^[2]的方法稍作调整。去除板栗外壳、涩皮,破碎打浆,浆液过200目纱布,滤液静置12 h,去除上层的灰褐色浆状物以及底部的浊液,重复3次,将白色沉淀于40℃干燥24 h,粉碎过筛,密封备用。

1.3.2 理化特性测定

(1) 微观形貌:固定双面导电胶于金属样品台上,将少量板栗淀粉样品分布于导电胶上并吹去多余淀粉,喷金后置于扫描电子显微镜(SEM)中观察,加速电压为15 kV^[18]。SEM图像分析由科学指南针科研工作台SEM分析工具完成(scientific compass-research workbench, sci.shiyanjia.com/sem-analysis),基于图像分割与形貌定量算法实现颗粒尺寸及分布特征的测算。

(2) 总淀粉含量:准确称取1 g板栗淀粉,加入10 mL乙醇,35 mL 0.5 mol/L的NaOH溶液,沸水浴20 min,冷却,4 500 r/min离心20 min。取上清液稀释1 000倍后,移取2 mL并加入5 mL硫酸—蒽酮溶液,混匀,加热10 min进行显色反应,冷却,测定620 nm处吸光度,计算板栗淀粉总含量。

(3) 支链淀粉含量:将1.3.2(2)所得上清液用2 mol/L HCl中和,加入丁醇—异戊醇溶液,沸水浴10 min,2~4℃下冷却24 h,4 500 r/min离心20 min。取上清液稀释1 000倍后,移取2 mL加入5 mL硫酸—蒽酮溶液,混匀,加热10 min进行显色反应,冷却,测定620 nm处吸光度,计算支链淀粉含量。按式(1)计算直链淀粉含量^[19]。

$$a = b - d, \quad (1)$$

式中:

a ——直链淀粉含量,%;

b ——总淀粉含量,%;

d ——支链淀粉含量,%。

(4) 相对分子质量:采用凝胶渗透色谱法。流动相为0.5% Libr DMSO;色谱柱为SB-805 (8 mm×300 mm);流速0.5 mL/min;柱温50℃;进样量50 μ L;检测器为Optilab T-Rex+Dawn HELEOS II,分析时间20 min。

(5) 透明度:配制1%的板栗淀粉乳,沸水浴15 min,糊化后,补充至初始体积,冷却。以蒸馏水作为空白对照,测定620 nm处吸光度^[20-21]。

(6) 冻融稳定性:配制6%板栗淀粉乳,沸水浴20 min,冷却。将淀粉糊转移至离心管中, -18℃冷冻24 h,自然解冻,3 000 r/min离心20 min,取沉淀物,按式(2)计算淀粉糊的析水率^[1]。

$$c_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

c_1 ——析水率, %;

m_1 ——淀粉糊质量, g;

m_2 ——离心管中沉淀物质量, g。

(7) 溶解度与膨胀度: 配制 2% 板栗淀粉乳浊液, 分别于 55, 65, 75, 85, 95 °C 水浴 30 min, 冷却, 3 000 r/min 离心 20 min。将上清液转移至平皿中, 干燥, 分别称取离心沉淀物和干燥后上清液中淀粉质量, 并分别按式(3)、式(4)计算淀粉的溶解度和膨胀度^[22]。

$$c_2 = \frac{m_3}{m_4} \times 100\%, \quad (3)$$

$$c_3 = \frac{m_5}{m_4 \times (1 - c_2)} \times 100\%, \quad (4)$$

式中:

c_2 ——溶解度, %;

m_3 ——上清液恒重后的质量, g;

m_4 ——淀粉样品干质量, g;

c_3 ——膨胀度, %;

c_2 ——溶解度, %;

m_5 ——沉淀物质量, g;

m_4 ——淀粉样品干质量, g。

(8) 凝胶质构特性: 参照张正茂等^[23]的方法稍作修改。分别准确称取 6 g 板栗粉, 配制 12% 的悬浊液, 充分搅拌后沸水浴 30 min。糊化完成后, 将混合物冷却至室温, 4 °C 冷藏 24 h。使用 P/0.5 型号探头, 测前、测中、测后速率均为 1.0 mm/s, 测试距离 10 mm, 触发力 1 N。

1.3.3 数据统计分析 采用 SPSS 软件进行显著性及主成分分析, $P < 0.05$ 表示差异显著; 采用 Origin 2019 软件进行相关性、聚类分析和绘图。各试验重复 3 次, 结果以平均值 ± 标准差表示。

2 结果与分析

2.1 微观形貌

板栗淀粉形状多样, 有圆形、椭圆形、荞麦籽形、梨形、三角形和多角形等不规则形状^[24-25]。由图 1 可知, 8 种板栗淀粉形态相似、表面光滑, 其颗粒形状均较为复杂, 有不规则形、椭圆形、鹅卵石、三角形等。由图 2 可知, 8 种淀粉粒径为 5.905~6.638 μm。以燕山早丰为例, 其淀粉粒形状包含圆形、椭圆形、椭球形和不规则多边形, 淀粉平均粒径最小, 为 (5.905 ± 2.202) μm。处暑红、紫珀及宋家早 3 种板栗淀粉的颗粒形态比较规则, 多为圆形和椭圆形, 其中紫珀淀粉的平均粒径最大, 为 (6.638 ± 2.309) μm。

2.2 总淀粉含量、直链/支链淀粉含量

支链淀粉为大多数淀粉的主要成分, 能增加粮食的

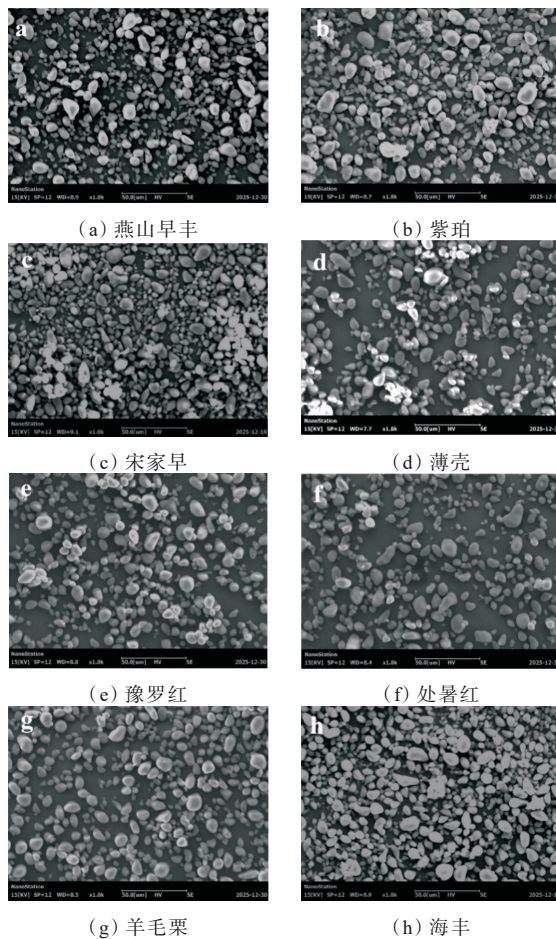


图 1 8 种板栗淀粉颗粒扫描电镜图

Figure 1 Scanning electron microscopy of eight kinds of chestnut starch particles

甜味和黏性^[26]; 直链淀粉为淀粉理化特性最重要的指标, 在结构和功能特性中起着重要作用。较高的直链淀粉含量有助于形成一定的凝胶强度^[27], 此外, 高直链淀粉含量能限制消化, 因此适用于低 GI 食品的开发。

由表 1 可知, 8 种板栗淀粉的直链淀粉、支链淀粉以及总淀粉含量差异显著 ($P < 0.05$)。总淀粉含量为 43.83%~64.69%, 其中宋家早的最高, 羊毛栗的最低; 支链淀粉含量为 25.52%~54.77%, 其中紫珀的最高, 燕山早丰的最低; 直链淀粉含量为 3.62%~27.52%, 其中宋家早的最高, 紫珀的最低。

2.3 相对分子质量

由表 2 可知, 宋家早的数均相对分子质量和重均相对分子质量更高。宋家早的相对分子质量分布集中在 $1 \times 10^6 \sim 2 \times 10^6$ g/mol, 紫珀的相对分子质量分布集中在 $6 \times 10^5 \sim 1 \times 10^6$ g/mol, 表明宋家早中含有更多的短链片段和更多的大相对分子质量片段, 相对分子质量分布更为分散, 紫珀的相对分子质量分布较集中。

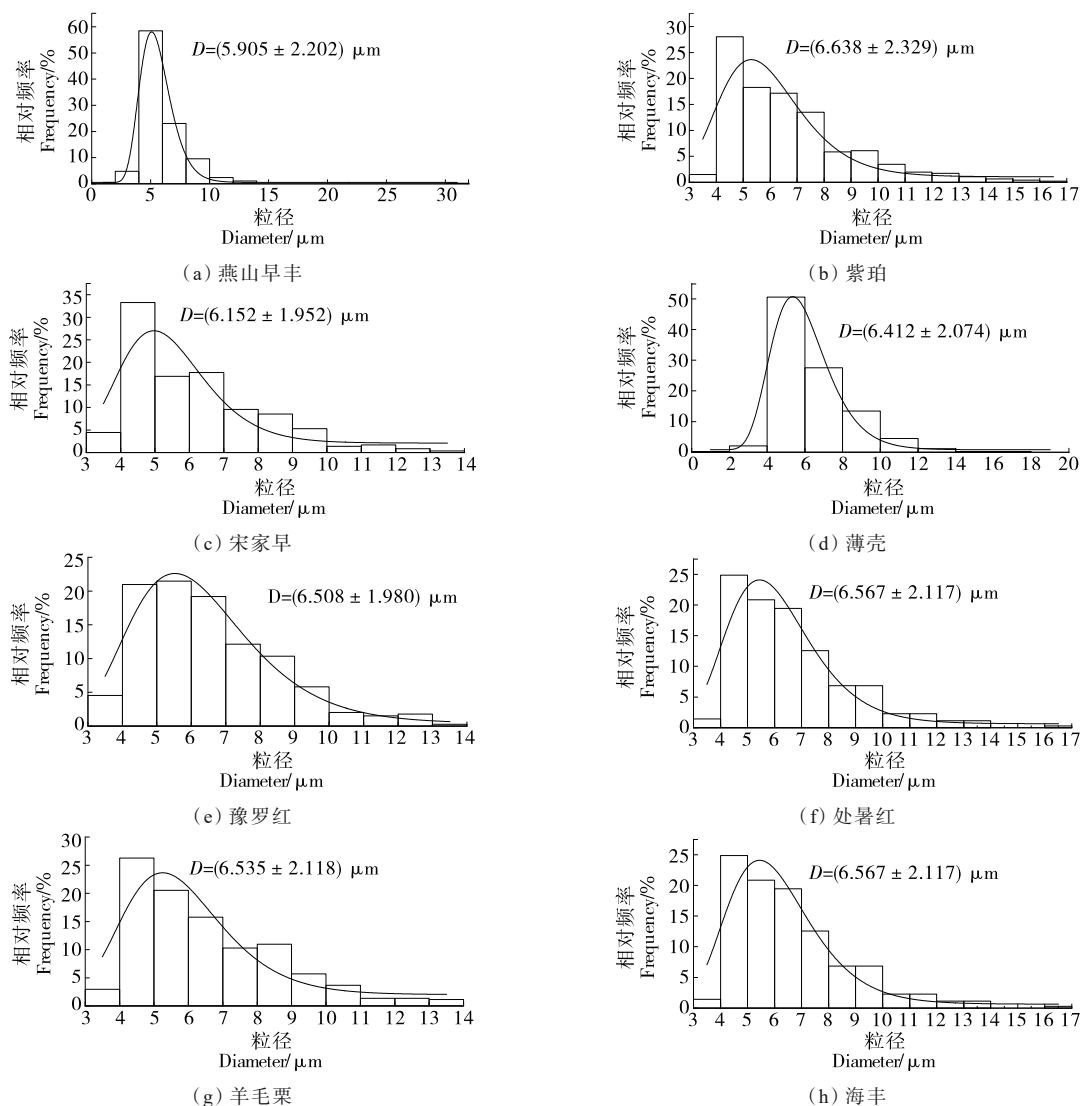


图2 不同品种板栗淀粉粒径分布图

Figure 2 Particle size distribution charts of starch from different chestnut varieties

表1 不同品种板栗淀粉的含量与组成[†]

Table 1 Starch content and composition of different chestnut varieties

品种	总淀粉/%	支链淀粉/%	直链淀粉/%
燕山早丰	51.62±1.23 ^d	25.52±1.86 ^f	26.10±0.30 ^b
紫珀	58.39±1.59 ^c	54.77±2.07 ^a	3.62±0.23 ^h
宋家早	64.69±1.67 ^a	37.50±1.27 ^d	27.19±0.38 ^a
薄壳	61.24±2.01 ^b	44.78±0.91 ^c	16.46±0.77 ^e
豫罗红	58.40±1.75 ^c	34.28±1.03 ^e	24.12±0.49 ^c
处暑红	52.07±2.11 ^d	32.82±1.57 ^e	19.25±0.24 ^d
羊毛栗	43.83±1.78 ^e	37.60±1.65 ^d	6.23±0.36 ^g
海丰	63.85±2.47 ^a	51.35±1.03 ^b	12.50±0.67 ^f

[†] 同列字母不同表示差异显著 ($P<0.05$)。

2.4 透明度

淀粉的透明度反映了淀粉与水互溶的能力及膨胀程度^[15]。透明度不仅影响食品的色泽和质地,还与淀粉的抗老化性能密切相关^[28]。直链淀粉含量较高的淀粉糊倾向于形成较为紧密的结构,透明度越低;而直链淀粉含量较低时,糊化后形成的结构较为松散,不易发生老化,透明度高^[29]。由图3可知,羊毛栗和紫珀的直链淀粉含量较低,透明度显著高于其他品种,与孙慧君等^[30]和 Seh 等^[31]的研究结果一致。

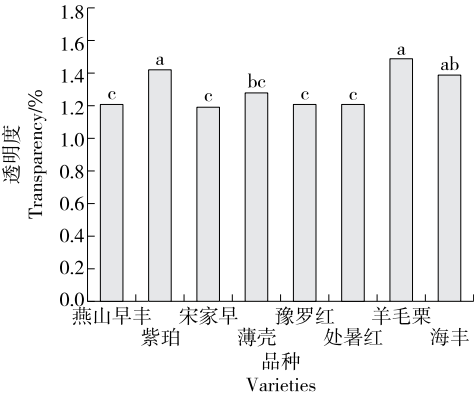
2.5 冻融稳定性

板栗淀粉与水结合形成的弹性凝胶在冷藏和冷冻条件下不稳定^[32]。由图4可知,不同品种淀粉的析水率呈现显著差异 ($P<0.05$)。相同冻融次数下,宋家早的直链淀粉含量最高,冻融稳定性最差,而紫珀和羊毛栗的直链淀粉

表 2 不同品种板栗淀粉的相对分子质量及分布

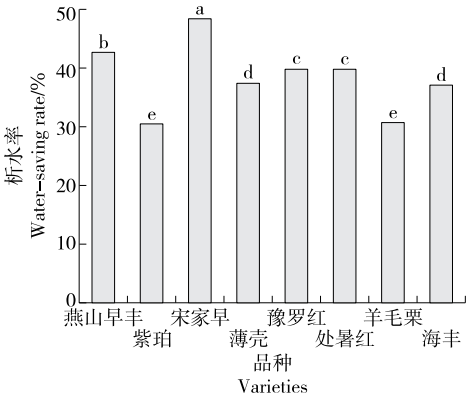
Table 2 Molecular weight and distribution of starch from different chestnut varieties

品种	数均相对分子 质量/($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$)	重均相对分子 质量/($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$)	PD/%	相对分子质量分布/%				
				$3\times 10^5\sim 4\times 10^5$ g/mol	$4\times 10^5\sim 5\times 10^5$ g/mol	$5\times 10^5\sim 6\times 10^5$ g/mol	$6\times 10^5\sim 1\times 10^6$ g/mol	$1\times 10^6\sim 2\times 10^6$ g/mol
宋家早	6.571×10^5	8.658×10^5	1.318×10^5	14.947	16.768	10.026	23.887	32.677
紫珀	6.249×10^5	8.062×10^5	1.290×10^5	15.345	18.784	11.703	28.652	22.766



字母不同表示差异显著($P<0.05$)
图 3 不同品种板栗淀粉的透明度

Figure 3 Transparency of starch from different chestnut varieties



字母不同表示差异显著($P<0.05$)
图 4 不同品种板栗淀粉的析水率

Figure 4 Freeze-thaw stability of starch from different chestnut varieties

粉含量最低,析水率最低,冻融稳定性最好,因此适合加工淀粉类冷冻食品。这与Hong等^[33]的研究结果一致。

2.6 溶解度与膨胀度

膨胀度反映淀粉与水之间相互作用大小,对淀粉的加工特性影响较大^[23]。由图5可知,不同品种板栗淀粉的溶解度和膨胀度均呈上升趋势,与戢得蓉等^[34]的研究结果一致。

95℃下淀粉溶解度、膨胀度分别为7.47%~10.09%, 17.69%~19.89%。8种板栗淀粉中,紫珀的溶解度和膨胀度最高,可能与其具有较大的淀粉粒径、较低的直链淀粉

含量有关。粒径较大的淀粉粒可能具有更大的膨胀潜力,能吸收更多水分并扩展成更大的体积^[35]。较低的直链淀粉含量表明淀粉分子链更容易解旋。在高于糊化温度的条件下,直链淀粉含量越高,其分子链更易形成氢键相互作用,限制水分子的进入,抑制淀粉颗粒的过度膨胀,因此溶解度和膨胀度越低^[36-37]。

2.7 凝胶质构特性

由表3可知,不同品种板栗淀粉凝胶的质构特性存在显著差异($P<0.05$),其中羊毛栗的硬度和咀嚼性最大,适合加工粉丝或凉粉;薄壳的硬度、弹性和咀嚼性较小,适

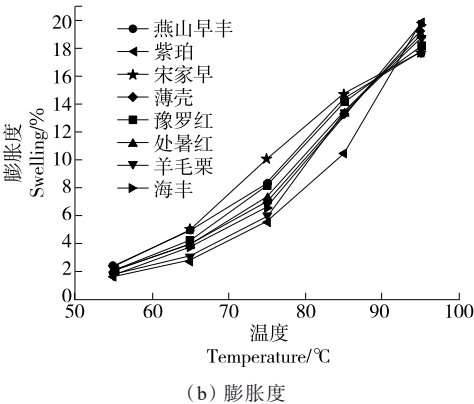
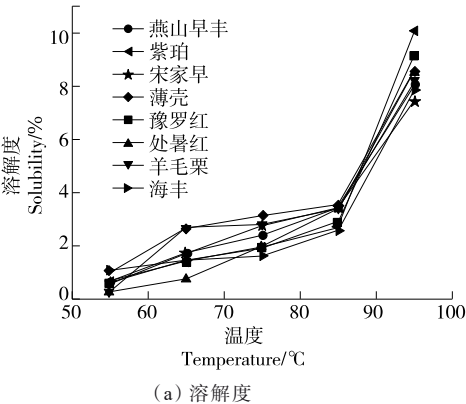


图 5 不同温度下板栗淀粉的溶解度和膨胀度
Figure 5 Solubility and swelling of chestnut starch at different temperatures

表3 不同品种板栗淀粉的质构特性[†]

Table 3 Texture characteristics of starch from different chestnut varieties

品种	弹性/mm	硬度/N	咀嚼性/mJ
燕山早丰	2.35±0.17 ^a	1.01±0.34 ^{abc}	1.91±0.67 ^a
紫珀	0.71±0.70 ^c	0.81±0.36 ^{bc}	0.94±0.16 ^{bc}
宋家早	1.03±0.30 ^c	1.27±0.32 ^{ab}	1.02±0.32 ^{bc}
薄壳	0.87±0.33 ^c	0.73±0.27 ^c	0.36±0.15 ^c
豫罗红	1.02±0.32 ^c	1.01±0.32 ^{abc}	0.69±0.46 ^c
处暑红	0.75±0.17 ^c	1.01±0.21 ^{abc}	0.49±0.37 ^c
羊毛栗	1.82±0.25 ^b	1.35±0.27 ^a	1.85±0.61 ^a
海丰	1.79±0.17 ^b	1.14±0.20 ^{abc}	1.61±0.38 ^{ab}

[†] 同列字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

合用于饮品增稠剂。燕山早丰的弹性和咀嚼性最大,适合作为需要成型的馅料或增稠剂等。

3 板栗淀粉特性的相关性分析与主成分分析

3.1 相关性分析

由图6可知,板栗淀粉特性之间存在显著相关性,如直链淀粉与冻融稳定性、硬度与咀嚼性、咀嚼性与弹性均表现出显著正相关,而透光率与冻融稳定性、膨胀度与透光率、直链淀粉与透光率、直链淀粉与膨胀度则显示出显著负相关。板栗淀粉品质指标众多,为进行品质综合评价,需采用PCA进一步处理数据。

3.2 主成分分析

由表4可知,前2个主成分的特征值 >1 ,累计贡献率为84.41%,可以用来表征原数据信息,因此选取前2个主

成分进行数据分析。第1主成分贡献率为44.777%,其中透光率、膨胀度具有较大的正向影响,直链淀粉含量、冻融稳定性具有较大的负向影响,表明较高的透光率和膨胀度可称为膨胀因子。第2主成分的贡献率为36.633%,其中溶解度具有负向影响,咀嚼性、弹性、硬度均有较大的正向影响,表明较好的咀嚼性、弹性和较大的硬度可称为咀嚼因子。

表4 旋转成分载荷矩阵图

Table 4 Load values and eigenvectors of principal components

指标	主成分1	主成分2
直链淀粉	-0.986	0.026
冻融稳定性	-0.970	0.067
透光率	0.934	0.297
膨胀度	0.838	-0.328
咀嚼性	0.205	0.929
弹性	-0.016	0.885
硬度	-0.117	0.804
溶解度	0.525	-0.662
特征值	3.943	2.807
方差贡献率/%	47.736	36.637
累计方差贡献率/%	47.736	84.373

通过2个主成分与其方差贡献率构建模型进行综合评价,即

$$F=(47.736F_1+36.637F_2)\div84.373。$$
 (5)

由表5可知,紫珀、羊毛栗和海丰的主成分1得分较高,表示具有较好的透光率和膨胀度;燕山早丰、羊毛栗和海丰的主成分2得分较高,表示具有较好的咀嚼性、弹性和较大的硬度。

由图7可知,8种板栗淀粉可分为4类:第1类为海丰和羊毛栗,具有较好的弹性、咀嚼性和透光率,较低的直

表5 主成分得分及排序

Table 5 Principal component scores and ranking

品种	F_1		F_2		F	
	得分	排序	得分	排序	得分	排序
燕山早丰	-0.828 92	7	0.992 54	2	-3.21	4
紫珀	1.456 81	1	-1.019 12	7	32.20	3
宋家早	-1.413 82	8	0.336 58	4	-55.16	8
薄壳	0.006 81	4	-1.098 00	8	-39.90	5
豫罗红	-0.579 10	6	-0.641 03	5	-51.13	7
处暑红	-0.396 81	5	-0.791 16	6	-47.93	6
羊毛栗	1.159 28	2	1.389 31	1	106.24	1
海丰	0.595 75	3	0.830 87	3	58.88	2

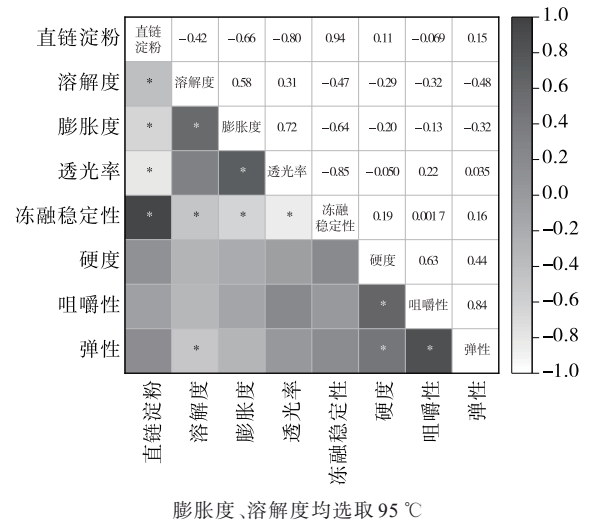


图6 不同品种板栗淀粉特性的相关性图

Figure 6 Correlation diagram of starch characteristics of different chestnut varieties

链淀粉含量,可用于肉糜制品的改良剂或用于对外观有要求的馅料;第2类为紫珀,直链淀粉含量低,膨胀度和透光率好,具有良好的糯性,适合加工淀粉类冷冻食品、冷冻甜品馅料或作为烘焙原料、膨化食品原料;第3类为处暑红、豫罗红和薄壳,具有较低的硬度、咀嚼性和弹性,可用于液体物料的增稠剂;第4类为宋家早和燕山早丰,具有较高的直链淀粉含量和较低的膨胀度、透光率,适合加工需要较强凝胶、成型或耐煮的产品,比如粉丝、凝胶糖果或应用于传统烹饪中。

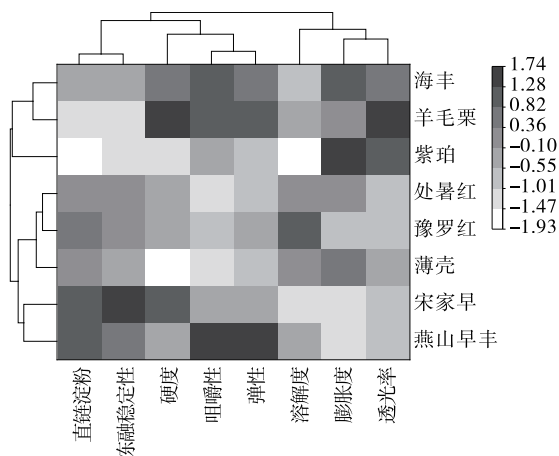


图7 不同品种板栗淀粉特性指标的聚类热图

Figure 7 Cluster heatmap of starch property indexes for different chestnut varieties

4 结论

8种板栗淀粉形态基本相似,以圆形、椭圆形、多角形为主,但不同品种各指标差异显著($P < 0.05$),其中紫珀的淀粉颗粒平均粒径最大,直链淀粉含量最低,表现出较高的溶解度和膨胀度。相关性分析发现,不同品种板栗淀粉指标间存在显著相关性($P < 0.05$),如直链淀粉与冻融稳定性、硬度与咀嚼性、咀嚼性与弹性均表现出显著正相关,而透光率与冻融稳定性、膨胀度与透光率、直链淀粉与透光率、直链淀粉与膨胀度则显示出显著负相关。主成分分析将8个指标降维处理为2个主成分,累计方差贡献率为84.373%。聚类分析将8种板栗淀粉分为4类,不同类之间淀粉功能特性差异显著。

紫珀品种具有较低的直链淀粉含量,宋家早具有较高的直链淀粉含量,且宋家早较紫珀品种拥有更多的短链片段和更多的大相对分子质量片段,相对分子质量分布更为分散,紫珀的数均相对分子质量更小,相对分子质量分布较集中,显示紫珀品种可能具有糯性潜质,与贾云霞等^[38]的研究结果一致。通常认为淀粉在湿热条件下的糊化和凝胶化会产生糯性,其糯性大小与淀粉微观结构如直支比、淀粉颗粒形态结构、加工条件等息息相关。对

于糯性品质的评价方法、不同品种、加工条件下的糯性差异及其影响因素需进一步研究。

参考文献

- [1] 梁建兰, 刘秀凤, 赵萌, 等. 板栗贮藏前后淀粉性质的比较[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(1): 51-54, 59.
- [2] 郭泽航, 余子香, 迪珂君, 等. 高压均质对板栗淀粉糊化、流变及质构特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(17): 91-97.
- [3] 李彤彤, 郭素娟, 江锡兵. 不同板栗品种坚果表型差异分析及稳定性指标筛选[J]. 林业科学研究, 2023, 36(4): 99-108.
- [4] YANG F, HUANG X J, ZHANG C L, et al. Amino acid composition and nutritional value evaluation of Chinese chestnut (*Castanea mollissima* Blume) and its protein subunit [J]. RSC Advances, 2018, 8(5): 2 653-2 659.
- [5] 段春月. 板栗淀粉理化特性及老化机理研究[D]. 秦皇岛: 河北科技师范学院, 2021: 13.
- [6] 魏源, 马亚特, 吕梦炀, 等. 基于GC-MS技术分析燕山板栗果实糖组分及其含量特征[J]. 食品科学, 2023, 44(22): 345-352.
- [7] 张希讯, 文茜, 刘畅, 等. 预糊化板栗淀粉的制备及性质研究[J]. 中国粮油学报, 2025, 40(5): 99-104.
- [8] 何秀娟, 全铸, 肖翠, 等. 基于穿刺测试和TPA法的板栗果实质地分析[J]. 保鲜与加工, 2023, 23(9): 59-68.
- [9] 李小艳, 段鹏慧, 张兴亮, 等. 板栗果实酚类物质及其抗氧化活性研究[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(4): 138-144.

- and antioxidant activities in different parts of chestnut fruits of different varieties[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2023, 49(4): 138-144.
- [10] SHEN H R, LI J Q, CHEN L, et al. Insights into multiscale structure and digestive characteristic of starch from two cultivars of chestnut during kernel development[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2024, 269: 131978.
- [11] 王金梦, 张思维, 赵康云, 等. 不同品种木薯淀粉理化及结构性质的比较[J]. *食品工业科技*, 2023, 44(2): 115-122.
- WANG J M, ZHANG S W, ZHAO K Y, et al. Comparison of physicochemical and structural properties of different varieties of cassava starch[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2023, 44(2): 115-122.
- [12] 贺捷群, 辛世华, 刘慧燕, 等. 21种宁夏大米淀粉分子结构及特性的比较分析[J]. *食品与生物技术学报*, 2023, 42(10): 100-106.
- HE J Q, XIN S H, LIU H Y, et al. Comparative analysis of starch molecular structure and properties of 21 rice varieties in Ningxia[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2023, 42(10): 100-106.
- [13] 黄银银, 田明广, 任海滨, 等. 3个不同品种芋头淀粉结构及凝胶化特性研究[J]. *中国粮油学报*, 2025, 40(9): 109-115.
- HUANG Y Y, TIAN M G, REN H B, et al. Gelation properties and structure of starches from three taro varieties[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2025, 40(9): 109-115.
- [14] KONG S Y, QI W J, LI X Q, et al. Clarifying the structure and characteristics of different varieties potatoes starch[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2025, 306: 141631.
- [15] 宋江峰, 刘春泉, 姜晓青, 等. 基于主成分与聚类分析的菜用大豆品质综合评价[J]. *食品科学*, 2015, 36(13): 12-17.
- SONG J F, LIU C Q, JIANG X Q, et al. Comprehensive evaluation of vegetable soybean quality by principal component analysis and cluster analysis[J]. *Food Science*, 2015, 36(13): 12-17.
- [16] 周文菊, 张文韬, 陈志国, 等. 青海主推春小麦品种品质特性分析与综合评价[J]. *中国粮油学报*, 2025, 40(8): 53-59.
- ZHOU W J, ZHANG W T, CHEN Z G, et al. Comprehensive evaluation of quality characteristics of mainly promoted spring wheat varieties in Qinghai Province[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2025, 40(8): 53-59.
- [17] 李璠洋, 陈安均, 聂伟, 等. 基于主成分对比食盐对马铃薯生、熟全粉面片质构与面条品质的影响[J]. *食品与机械*, 2025, 41(2): 22-32.
- LI J Y, CHEN A J, NIE W, et al. Effect of salt on the texture and noodle quality of raw and cooked potato whole flour pasta sheets based on principal component comparison[J]. *Food & Machinery*, 2025, 41(2): 22-32.
- [18] 刘畅, 阎贺静, 常学东. 初化处理对板栗淀粉特性的影响[J]. *中国粮油学报*, 2018, 33(5): 24-29, 36.
- LIU C, YAN H J, CHANG X D. Effect of annealing on characteristics of chestnut starch[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2018, 33(5): 24-29, 36.
- [19] 梁丽松, 徐娟, 王贵禧, 等. 板栗淀粉糊化特性与淀粉粒粒径及直链淀粉含量的关系[J]. *中国农业科学*, 2009, 42(1): 251-260.
- LIANG L S, XU J, WANG G X, et al. Relationship between starch pasting, amylose content and starch granule size in different Chinese chestnut variety groups[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(1): 251-260.
- [20] 张玲, 韩基明, 丁卫英, 等. 不同品种糯玉米淀粉特性的比较研究[J]. *中国调味品*, 2021, 46(12): 6-13.
- ZHANG L, HAN J M, DING W Y, et al. Comparative study on the properties of different kinds of waxy corn starches[J]. *China Condiment*, 2021, 46(12): 6-13.
- [21] 陈俊芳. 安徽板栗淀粉的理化性质及其糊化特性的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2010: 12.
- CHEN J F. Study on properties of physicochemistry and gelatinization of chestnut starches from Anhui[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2010: 12.
- [22] 梁建兰, 刘秀凤, 李志博, 等. 板栗淀粉与板栗变性淀粉性质的比较[J]. *中国粮油学报*, 2011, 26(1): 65-68.
- LIANG J L, LIU X F, LI Z B, et al. Property comparison of chestnut starch and modified chestnut starch[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2011, 26(1): 65-68.
- [23] 张正茂, 阚玲. 不同来源淀粉凝胶质构特性的比较研究[J]. *食品科技*, 2017, 42(7): 216-222.
- ZHANG Z M, KAN L. Comparative study on gel textural properties of starch from different sources[J]. *Food Science*, 2017, 42(7): 216-222.
- [24] 李志西, 张莉, 毛加银, 等. 板栗淀粉糊粘度特性的研究[J]. *中国粮油学报*, 2001(1): 28-31.
- LI Z X, ZHANG L, MAO J Y, et al. Viscosity property of chestnut starch paste[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2001(1): 28-31.
- [25] 江美都, 顾振宇, 王强林, 等. 板栗淀粉加工特性的研究[J]. *中国粮油学报*, 2001(6): 55-58.
- JIANG M D, GU Z Y, WANG Q L, et al. Study on processing properties of chestnut starch[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2001(6): 55-58.
- [26] 吴雪辉, 张加明. 板栗淀粉糊特性的研究[J]. *食品与发酵工业*, 2002, 28(6): 46-48.
- WU X H, ZHANG J M. Pastes properties of chestnut starch[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2002, 28(6): 46-48.
- [27] MEERA K, SMITA M, HARIPRIYA S, et al. Varietal influence on antioxidant properties and glycemic index of pigmented and non-pigmented rice[J]. *Journal of Cereal Science*, 2019, 87: 202-208.

- [28] 陆勇, 郭丽慧, 李学红, 等. 高粱淀粉的理化特性及其水解率的研究[J]. 食品工业, 2015, 36(9): 29-33.
LU Y, GUO L H, LI X H, et al. The physical and chemical properties and hydrolysis rate of sorghum starch research[J]. The Food Industry, 2015, 36(9): 29-33.
- [29] 刘泽亿. 玉米淀粉新型提取工艺优化及提取物性质的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2024: 35.
LIU Z Y. Study on the optimization of new extraction process of corn starch and the properties of the extract[D]. Changchun: Jilin University, 2024: 35.
- [30] 孙慧君, 徐艺璇, 王佳萌, 等. 微波处理对燕麦淀粉结构、理化特性及消化性的影响[J]. 食品与机械, 2025, 41(12): 19-27.
SUN H J, XU Y X, WANG J M, et al. Effect of microwave treatment on structure, physicochemical properties, and digestibility of oat starch[J]. Food & Machinery, 2025, 41(12): 19-27.
- [31] SEH M A, AMIN T, HUSSAIN S Z, et al. Physicochemical, thermal, pasting, morphological, functional and bioactive binding characteristics of starches of different oat varieties of North-Western Himalayas[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2023, 253: 126612.
- [32] 曹小艳, 李志, 张卿, 等. 不同板栗品种(系)抗性淀粉综合评价[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(7): 39-46.
CAO X Y, LI Z, ZHANG Q, et al. Comprehensive evaluation of resistant starch in different Chinese chestnut varieties (lines) [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2019, 34(7): 39-46.
- [33] HONG E M, RHO S J, KIM U, et al. Physicochemical properties and freeze-thaw stability of rice flour blends among rice cultivars with different amylose contents[J]. Food Science and Biotechnology, 2021, 30(10): 1 347-1 356.
- [34] 戢得蓉, 周婷婷, 吴珊, 等. 提取方法对慈姑淀粉品质的影响[J]. 食品与机械, 2025, 41(4): 179-186.
JI D R, ZHOU T T, WU S, et al. Effects of four extraction methods on the quality of arrowhead starch[J]. Food & Machinery, 2025, 41(4): 179-186.
- [35] MORÁN J I, CYRAS V P, GIUDICESSI S L, et al. Influence of the glycerol content and temperature on the rheology of native and acetylated starches during and after gelatinization [J]. Journal of Applied Polymer Science, 2011, 120(6): 3 410-3 420.
- [36] 王朋钰, 贺殷媛, 高嫚, 等. 稻米中直链淀粉含量对其性质和米制品品质的影响研究进展[J/OL]. 食品工业科技. (2025-12-02) [2026-03-07]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2025070208>.
WANG P Y, HE Y Y, GAO M, et al. The influence of amylose content in rice on its properties and the quality of rice products [J/OL]. Science and Technology of Food Industry. (2025-12-02) [2026-03-07]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2025070208>.
- [37] 李鑫, 王鹏程, 王紫雯, 等. 马铃薯淀粉理化特性对糊化特性的影响[J]. 食品科技, 2021, 46(6): 238-244.
LI X, WANG P C, WANG Z W, et al. Effect of potato starch and particle size on gelatinization characteristics[J]. Food Science and Technology, 2021, 46(6): 238-244.
- [38] 贾云霞, 李立强, 宋颖, 等. 板栗良种紫珀的品种特性及栽培技术要点[J]. 河北果树, 2021(1): 40-41.
JIA Y X, LI L Q, SONG Y, et al. Variety characteristics and cultivation techniques of the elite chestnut variety 'Zipo'[J]. Hebei Fruits, 2021(1): 40-41.