

不同杂粮淀粉物性的研究

付丽红¹, 赵佳琪¹, 李晓斌², 白凌曦¹, 罗瑞涵¹

(1.山西农业大学食品科学与工程学院, 山西 太谷 030801;

2.山西农业大学工学院, 山西 太谷 030801)

摘要: 为丰富和拓展特色杂粮深加工技术和品质控制方法, 以莠麦、高粱、薏苡、小米和甜荞5种特色杂粮淀粉为对象, 进行色度、粒径、直链淀粉含量、溶胀度及流变性等特性的研究。结果表明, 5种淀粉L*值为94.34~97.15, 符合淀粉色度要求, 平均粒径分布介于1.572~16.989 μm 。淀粉中直链淀粉含量为5.08%~30.97%, 存在显著性差异($P<0.05$)。热学特性方面, 莠麦淀粉的峰值温度 T_p 、终止温度 T_c 和糊化焓 ΔH 显著低于其他淀粉($P<0.05$)。淀粉溶胀性与温度有关, 随温度增加而增大, 95 $^{\circ}\text{C}$ 薏苡淀粉溶胀度最大为20.282 g/g, 但其冻融析水率最低。流变性分析发现, 5种淀粉糊均为假塑性流体, 表现出剪切稀化特性。综合分析, 不同种类杂粮淀粉的物理特性间存在差异性, 应根据加工目的选择适合的淀粉, 并为淀粉的深加工与品质控制提供理论依据和参考。

关键词: 杂粮; 淀粉; 物理特性; 流变性

中图分类号: TS 235.1

文献标志码: A

文章编号: 1005-9989(2021)03-0141-06

DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2021.03.025

Research of Physicochemical Properties of Different Coarse Grain Starches

FU Lihong¹, ZHAO Jiaqi¹, LI Xiaobin², BAI Lingxi¹, LUO Ruihan¹

(1.College of Food Science and Engineering, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China; 2.College of Engineering, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801,

收稿日期: 2020-11-05

基金项目: 山西省高等学校科技创新项目(2019L0355); 山西农业大学创新基金项目(20142-13)。

作者简介: 付丽红, 女, 山西大同人, 博士, 副教授, 研究方向为粮油加工。

- 质构和品质的影响[J].食品研究与开发,2018,39(15):14-17,43.
- [14] VERLY-JR E, PEREIRA A S, MARQUES E, et al. Reducing ultra-processed foods and increasing diet quality in affordable and culturally acceptable diets: a study case from Brazil using linear programming[J]. The British journal of nutrition,2020:21-25.
- [15] 马文,李喜宏,刘霞,等.支链淀粉与直链淀粉比例对重组营养强化米品质的影响[J].中国食品学报,2014,14(11):42-48.
- [16] 陈厚荣.杂粮米型营养强化剂的生产技术研究[D].重庆:西南大学,2009.
- [17] 杨柳.大米蒸煮溶出淀粉对米饭质构的影响及米饭质构的电化学评价[D].吉林:吉林大学,2017.
- [18] YANG L, SUN Y H, LIU Y, et al. Effects of Leached Amylose and Amylopectin in Rice Cooking Liquid on Texture and Structure of Cooked Rice[J]. Brazilian Archives of Biology and Technology,2016,59.
- [19] 孙静鑫.杂粮籽粒生物力学特性及损伤机理研究[D].太谷:山西农业大学,2019.

China)

Abstract: In order to enrich and expand the deep processing technology and quality control methods of characteristic coarse cereals, the chrominance, size, amylose content, pasting properties, and rheological characteristics of starches from millet, buckwheat, sorghum, *avena chinensis* and coixan were investigated in Shanxi province. The results showed that the L^* parameter of five starches were in the range of 94.34 to 97.15, which met the requirements of starch color. Moreover, on the basis of particle size, the five starches ranged from 1.572 μm to 16.989 μm , and the granules of millet starch was the smallest. The amylose content of samples tested were significantly different among cultivars ($P<0.05$), which ranged from 5.08% to 30.97%. In terms of thermal properties, gelation temperatures (T_0 , T_p and T_c) and enthalpy (ΔH) of *avena chinensis* starch were significantly lower than those of other starches ($P<0.05$). The swelling power of starches were temperature-dependent, but it showed non-linear increase with temperature. When the pasting temperature rose to 95 $^{\circ}\text{C}$, the swelling degree of coixan starch was 20.282 g/g, but its freeze-thaw water condensation rate was the lowest. Rheological analysis showed that five kinds of starch pastes were pseudoplastic fluid, showing shear thinning characteristics. According to the comprehensive analysis, there were differences in the physical properties of different kinds of coarse cereals starch. The suitable starch should be selected according to the processing purpose, and provide theoretical basis and reference for the further processing and quality control of starch.

Key words: coarse grains; starch; physicochemical properties; rheologic characteristics

杂粮是小宗粮豆类作物的统称, 品种资源繁多、分布广泛, 具有耐旱、耐贫瘠、生长周期短和营养价值高等优点, 通常分为杂谷、杂豆、杂油料和杂薯类, 其中杂谷类占据重要地位^[1-2]。研究表明, 杂谷作物主成分为淀粉, 占籽粒质量的34%~85%^[3]。淀粉作为天然多糖化合物, 单体葡萄糖分子通过不同糖苷键形成直链淀粉和支链淀粉, 这2种淀粉聚合形成晶体颗粒存在于谷物的籽粒中。不同来源的淀粉, 其结构和性质存在差异性, 如淀粉粒径、直链和支链淀粉比例、结晶度等, 这些差异性会影响淀粉的溶解度、黏度、糊化温度等理化特性, 进而影响杂粮制品的加工工艺条件和感官品质^[4-5]。刘飞雁等^[6]研究发现由于杂粮淀粉直链淀粉含量、结晶度和存在明显差异, 造成杂粮挂面的消化特性的不同。艾志录等^[7]发现不同淀粉原料理化特性的差异对水晶皮的透明性和适口性等品质特性有直接的影响。卢丹妮^[8]发现7种不同淀粉完全替代和部分替代面粉中淀粉组分, 造成面团特性及馒头品质的差异。

山西因独特的地理气候条件, 孕育了莜麦、高粱、小米和甜荞等名优杂粮品种。目前, 山西特色小杂粮常年种植面积达 $1.3 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 总产量达 $2.5 \times 10^6 \text{ t}$, 占全国杂粮总产量的12.5%^[9-10]。现在对杂粮的加工处于初级阶段, 淀粉的结构和性质是影响其深入加工利用主要因素。因此, 文章

以山西特色莜麦、高粱、薏苡、甜荞和小米品种为研究对象, 对其色度、粒度、直链淀粉含量、热学特性、冻融稳定性、流变性等进行系统全面研究, 旨在为5种杂粮的精细加工和品质控制提供一定的理论依据和参考。

1 材料与方法

1.1 主要材料

莜麦: 晋燕16号; 高粱: 晋杂30号; 薏苡: 杂交新品种85-15; 甜荞: 品甜荞1号; 小米: 晋谷21号; 直链淀粉含量试剂盒: 南京建成研究所; 总淀粉检测试剂盒: 爱尔兰Megazyme公司。

1.2 主要仪器

Nastersizer 2000激光粒度仪: 英国Malvern公司; Q20差示扫描量热仪、ARES-G2流变仪: 美国TA公司; WSC-S色差仪: 上海仪电物理光化学仪器公司; TMS-Pro质构仪: 美国FTC公司。

1.3 试验方法

1.3.1 淀粉的提取 参考付丽红等^[11]采用的碱液提取法。得到的5种杂粮淀粉采用淀粉总量检测试剂盒测定淀粉含量, 计算得到淀粉纯度均大于95%, 可用于后续研究。

1.3.2 淀粉色度测定 将淀粉置于粉末样品盒中, 采用WSC-S色差计测定色度, 结果用 L^* 、 a^* 、 b^* 值和 ΔE 表示。其中 L^* 值表示试样亮度, a^* 值表示红

色至绿色, b^* 值表示黄色至蓝色, ΔE 表示色差。

1.3.3 淀粉粒度测定 取淀粉悬浮于蒸馏水中, 浓度为30%, 超声分散3 min, 采用Nastarsizer 2000激光粒度仪进行分析。

1.3.4 直链淀粉含量测定 根据直链淀粉含量试剂盒原理, 利用80%乙醇将样品中可溶性糖与淀粉分开, 直链淀粉与碘形成络合物在620 nm下有吸收峰, 计算直链淀粉含量。

1.3.5 淀粉热学特性测定 将淀粉样品置于特制铝碟中, 加蒸馏水制备浓度30%的淀粉乳, 加盖密封于4 °C冰箱平衡, 取样计量, 将样品置于差示扫描加热器上, 同时用一空碟作对照, 从30 °C开始, 以10 °C/min加热至130 °C, 结果以吸热曲线表示, 曲线上的吸热峰是计算糊化温度和反应热的依据。

1.3.6 淀粉溶胀性测定 取0.5 g/L淀粉乳5 mL置于离心管中, 分别在50、60、70、80 °C和95 °C下恒温加热30 min, 期间震荡混匀, 冷却至25 °C, 4000 r/min离心10 min, 弃上清液, 称量 M_1 , 淀粉溶胀度为 M_1 与淀粉质量比值。

1.3.7 淀粉凝沉性测定 将0.1 g/L淀粉乳加热糊化30 min, 冷却置于50 mL量筒中, 记录上清液体积, 0~12 h内每隔2 h记录一次, 之后每隔12 h记录一次, 通过上清液所占比例分析淀粉凝沉性。

1.3.8 淀粉冻融稳定性 将0.6 g/L淀粉乳置于离心管中, 100 °C中糊化30 min, 随后于-20 °C冷冻16 h, 25 °C解冻4 h, 3000 r/min离心20 min, 连续反复4次冻融循环, 分析淀粉的冻融稳定性。

1.3.9 淀粉流变性测定 取0.5 g/L淀粉糊, 糊化加热30 min后, 冷却至室温, 采用TA流变仪进行流变分析。流变条件为: 恒温30 °C, 剪切速率 γ 为0~200 s⁻¹, 测定剪切应力 τ 和表观黏度 η 变化。

1.3.10 数据处理与统计分析 每组数据重复3次, 取平均值。采用SPSS统计软件分析显著性, $P<0.05$ 表示差异显著。采用Excel软件作图。

2 结果与分析

2.1 淀粉色度结果

淀粉色度如表1所示, L^* 、 a^* 、 b^* 值和 ΔE 值因供试样品不同而有差异。 L^* 值为94.34~97.15, 其表示色彩的明暗度, 值越大则测量物越亮即越白。小米与莜麦淀粉 L^* 值最高, 表示亮度最大, 且差异不显著, 其次为高粱和薏苡淀粉, 甜荞淀粉亮度最低。5种淀粉 a^* 值均为负值, 表示色度

表1 淀粉的色度

淀粉种类	L^*	a^*	b^*	ΔE
小米	97.15±0.07 ^a	-11.54±0.07 ^a	4.43±0.05 ^{bc}	6.14±0.09 ^a
甜荞	94.34±0.26 ^c	-9.83±0.35 ^c	6.71±0.08 ^a	4.30±0.17 ^b
高粱	95.50±0.31 ^b	-10.695±0.14 ^b	4.27±0.11 ^c	4.34±0.29 ^b
莜麦	97.10±0.11 ^a	-11.77±0.07 ^a	4.51±0.13 ^b	6.16±0.14 ^a
薏苡	94.52±0.06 ^c	-10.58±0.16 ^b	3.03±0.10 ^d	3.42±0.05 ^c

注: 同列上标小写字母不同表示差异显著($P<0.05$), 表2~表4同。

偏绿, 其中莜麦淀粉绿色度最大, 甜荞则最小。 b^* 值范围为3.03~6.71, 说明5种淀粉色度偏黄, 其中甜荞淀粉黄色度最高, 薏苡淀粉最低。综合分析, 莜麦和小米淀粉色泽最好。淀粉色度与淀粉种类、颗粒粒径与形态、物料分散度、提取方法、测试条件和色彩模型等相关^[12]。

2.2 淀粉粒度分析

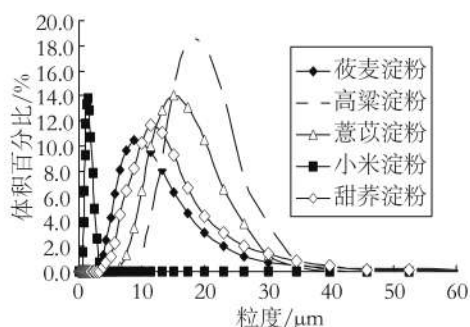


图1 不同淀粉粒度分布图

5种淀粉粒度分布曲线如图1所示, 粒度分布为0.3~40 μm, 均呈单一峰。分析测得: 薏苡淀粉 D_{10} 为7.675 μm, D_{50} 为14.182 μm, D_{90} 为25.500 μm; 莜麦淀粉 D_{10} 为3.284 μm, D_{50} 为8.433 μm, D_{90} 为16.596 μm; 高粱淀粉 D_{10} 为10.320 μm, D_{50} 为16.662 μm, D_{90} 为23.598 μm; 小米 D_{10} 为0.920 μm, D_{50} 为1.498 μm, D_{90} 为2.433 μm; 甜荞淀粉 D_{10} 为4.310 μm, D_{50} 为9.518 μm, D_{90} 为17.721 μm。其中, 5种淀粉颗粒平均粒径排序为: 高粱淀粉(16.989 μm)>薏苡淀粉(14.732 μm)>甜荞淀粉(10.010 μm)>莜麦淀粉(8.710 μm)>小米淀粉(1.572 μm)。比表面积与粒径呈相反趋势, 即小米(4.280 m²/g)>莜麦淀粉(1.180 m²/g)>甜荞淀粉(0.981 m²/g)>薏苡淀粉(0.808 m²/g)>高粱淀粉(0.736 m²/g)。

2.3 直链淀粉测定结果

淀粉中直链淀粉含量如图2所示, 直链淀粉含量范围为5.08%~30.97%, 其中高粱淀粉含量最

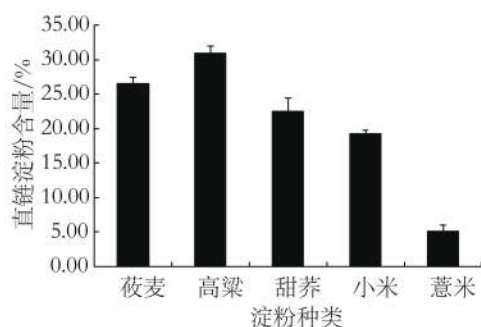


图2 淀粉中直链淀粉含量

高, 苡麦次之, 薏苡淀粉含量最低, 且不同种类间差异显著($P<0.05$)。一般禾谷类粮油中直链淀粉含量为20%~30%, 高粱、苡麦、甜荞和小米淀粉基本符合该情况, 但薏苡特殊, 其直链淀粉含量仅为5.05%。研究发现, 淀粉颗粒大小、结晶度及糊化特性对食品的口感、色泽、形态等品质性状和蒸煮品质均有影响, 而这些因素与直链淀粉含量有关^[13]。

2.4 热力学特性分析

差示扫描仪测定结果如表2所示, 5种淀粉热学特性存在差异, 淀粉糊化起始温度 T_o 、峰值温度 T_p 和终止温度 T_c 范围分别为54.76~65.82 °C、63.26~75.18 °C和72.99~92.79 °C。相转变温度反映淀粉颗粒晶体稳定性, 稳定性高的晶体表现出较高的凝胶转变温度。综合分析, 粒径大的淀粉颗粒晶体结构稳定需要较高的凝胶转化温度。研究测得5种杂粮淀粉中高粱淀粉平均粒径最大, 需要高的相转变温度 T_o 、 T_p 和 T_c 。在30~100 °C范围内, 5种淀粉均发生糊化, 产生相转变, 同时伴随着热量的吸收。糊化焓 ΔH 值比较分析发现, 高粱淀粉的值最高(5.097 J/g), 苡麦淀粉最低(1.729 J/g), 淀粉分子间结晶度越高, 分子间结合

表2 不同淀粉的热力学特性参数

淀粉种类	起始温度 $T_o/^\circ\text{C}$	峰值温度 $T_p/^\circ\text{C}$	结束温度 $T_c/^\circ\text{C}$	糊化焓 $\Delta H/(\text{J/g})$
小米	54.76 ± 1.01^a	65.69 ± 0.93^c	79.76 ± 1.73^b	3.610 ± 0.33^{bc}
苡麦	58.53 ± 1.03^b	63.26 ± 0.31^d	72.99 ± 0.65^e	1.729 ± 0.134^d
高粱	65.37 ± 0.55^a	71.25 ± 1.01^b	92.14 ± 0.80^a	5.097 ± 0.495^a
薏苡	65.82 ± 1.16^a	75.18 ± 1.03^a	92.79 ± 1.31^a	4.383 ± 0.761^{ab}
甜荞	60.34 ± 0.35^b	70.03 ± 0.15^b	80.56 ± 0.70^b	2.489 ± 0.256^{cd}

力越强(氢键联结), 糊化越难, 所需的糊化焓越高, 因此, 糊化焓是影响谷物蒸煮糊化度的主要因素^[14-15]。由此可知, 淀粉的结晶度顺序为: 高粱>薏苡>小米>甜荞>苡麦, 苡麦淀粉分子间结晶度和糊化焓值均较低, 易加工糊化。

2.5 淀粉溶胀性结果

溶胀性反映淀粉与水分子间结合作用力, 是衡量淀粉加工品质的重要指标。淀粉溶胀度如表3所示, 5种淀粉均属于分阶段性溶胀, 50 °C时淀粉溶胀度最低1.516~2.441。随着温度升高, 溶胀度逐渐增加, 但不同温度对淀粉溶胀度影响不同, 且存在差异性。小米和苡麦淀粉在50~60 °C时, 溶胀度迅速增大, 而甜荞、高粱和薏苡3种淀粉在60~70 °C时, 溶胀度开始迅速增大。温度为95 °C时, 薏苡、高粱和小米淀粉的溶胀度分别为20.282、19.915 g/g和20.047 g/g, 显著高于甜荞和苡麦淀粉溶胀度($P<0.05$)。一般淀粉结晶度越高, 淀粉越难糊化, 热糊稳定性越好, 吸水膨胀性也越高。5种淀粉热学特性分析得出, 苡麦和甜荞淀粉结晶度低则溶胀度低。同时, 淀粉溶胀度一定程度上反映淀粉烹煮时的膨胀度和糊汤情况^[16]。综合分析, 高粱、薏苡和小米淀粉的溶胀性高, 但这3种淀粉食品易糊汤和断条, 不耐烹煮。

表3 不同温度下淀粉的溶胀性

淀粉种类	温度/ $^\circ\text{C}$				
	50	60	70	80	95
小米	2.406 ± 0.304^a	7.011 ± 0.121^a	7.219 ± 0.118^a	8.120 ± 0.557^b	20.047 ± 0.156^a
甜荞	2.158 ± 0.200^{ab}	3.118 ± 0.466^c	7.438 ± 0.270^a	7.749 ± 0.638^b	11.449 ± 0.664^b
高粱	1.516 ± 0.202^b	2.163 ± 0.357^d	5.140 ± 0.267^b	8.069 ± 0.448^b	19.915 ± 0.095^a
苡麦	1.928 ± 0.045^{ac}	5.116 ± 0.167^b	5.437 ± 0.174^b	7.624 ± 0.167^b	12.132 ± 0.407^b
薏苡	2.441 ± 0.718^a	3.025 ± 0.328^c	8.941 ± 0.278^c	19.772 ± 0.323^a	20.282 ± 0.244^a

2.6 淀粉凝沉性结果

淀粉凝沉性结果如图3所示, 0~12 h, 5种淀粉糊上清液体积随静置时间的增加而增加, 12 h

后上清液体积趋于平缓。淀粉糊静置36 h后, 高粱、苡麦、甜荞和小米淀粉上清液体积分别达85.89%、72.22%、73.11%和57.78%, 显著高于薏

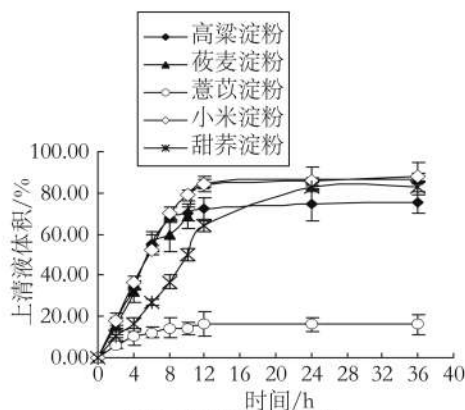


图3 淀粉凝沉性结果

苡淀粉(22.96%)。上清液体积越大表示其凝沉性越强,越易回生。因此,薏苡淀粉凝沉稳定性最高,不易老化。糊化后的淀粉分子链通过相邻分子间的氢键结合自动排列成序,部分淀粉恢复,形成致密、结晶化的淀粉微晶束,凝集沉淀,致使淀粉糊分层^[17]。

2.7 淀粉冻融稳定性结果

冷冻食品反复冻融,会破坏淀粉分子结构,形成类似海绵结构,导致水分析出,因此,析水率成为评价淀粉冻融稳定性的指标^[18]。5种淀粉冻融结果如表4所示。经过1次冻融循环后,苡麦淀粉的析水率最高为21.12%,其次是小米和高粱淀粉,薏苡淀粉析水率最低2.14%。随着冻融循环次数的增加,5种淀粉析水率均逐渐增加。第4次冻融循环后,苡麦淀粉的析水率最高46.69%,显著高于其他4种淀粉($P<0.05$),高粱和薏苡淀粉析水率仅为16.48%和14.97%。结果表明,高粱和薏苡淀粉的冻融稳定性高于其他淀粉,适用于冷冻食品加工。

表4 淀粉的冻融稳定性结果

淀粉种类	析水率/%			
	1次循环	2次循环	3次循环	4次循环
小米	9.88±2.10 ^{bc}	15.12±3.20 ^b	23.37±2.08 ^b	33.01±2.93 ^b
甜荞	6.41±1.44 ^c	11.78±1.79 ^b	21.53±2.04 ^b	22.44±1.64 ^c
高粱	9.14±1.09 ^{bc}	13.35±1.35 ^b	13.56±2.12 ^c	16.48±1.30 ^d
苡麦	21.12±2.80 ^a	40.96±3.37 ^a	44.22±2.00 ^a	46.69±1.43 ^a
薏苡	2.14±0.62 ^d	6.48±1.06 ^c	10.15±1.12 ^d	14.97±1.23 ^d

2.8 流变性分析

5种杂粮淀粉的静态流变曲线如图4所示,随着剪切速率 γ 的增加,剪切应力 τ 逐渐增加,且曲线凸向应力轴,表明5种杂粮淀粉糊均为假塑性

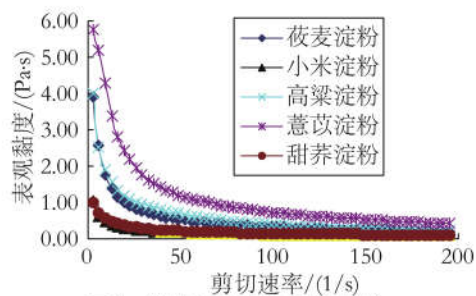


图4 淀粉的静态流变性曲线

流体,不遵循牛顿黏度定律,属于非牛顿流体。而表观黏度 η 随着剪切速率 γ 的增加而降低,淀粉糊均表现出剪切稀化特性。分析原因:剪切应力作用淀粉溶液产生流动,使缠绕的淀粉分子链被拉直,流层间的剪切应力减小,导致表观黏度 η 下降。当剪切速率增大到某一数值后,分子来不及取向或已经充分取向,则表观黏度 η 维持在一个常数^[19]。5种淀粉糊表观黏度范围 η 分别为:苡麦淀粉0.18~3.93 Pa·s、小米淀粉0.07~1.02 Pa·s、高粱淀粉0.23~4.00 Pa·s、薏苡淀粉0.42~5.76 Pa·s、甜荞淀粉0.10~0.98 Pa·s。在同一剪切速率 γ 下,5种淀粉表观黏度 η 排序为:薏苡>高粱>苡麦>甜荞>小米,薏苡淀粉黏度最高。

3 结论

淀粉是天然的高分子碳水化合物,在食品和工业中应用广泛,了解其特性有重要意义。文章研究测得5种杂粮淀粉的色度 L^* 值为94.34~97.15,符合淀粉产品色泽要求,满足消费者感官要求。杂粮淀粉粒径、直链淀粉含量、结晶度等存在差异性,直接影响淀粉热学特性、溶胀性等物理特性,其中薏苡淀粉凝沉性低,冻融稳定性高,不易老化,适合冷冻食品开发。高粱淀粉溶胀性高,适合凝胶类产品。淀粉糊化峰值温度63.26~75.18℃,苡麦淀粉糊化温度和糊化焓最低,相比较而言,苡麦淀粉最易糊化加工。流变性研究表明,5种淀粉糊溶液均为非牛顿流体,均表现出剪切稀化特性,且薏苡淀粉的黏度最高,因此,在产品加工过程中需要注意搅拌的方式和搅拌时间等因素的影响,通过研究比较分析5种杂粮的物理特性,对其产品开发具有重要的理论指导意义。

参考文献:

- [1] 郭志利.小杂粮利用价值及产业竞争力分析研究[D].北京:中国农业大学,2005.
- [2] 黄倩.杂粮(豆)淀粉的胶体特性研究[D].杨凌:西北农林科

- 技大学,2016.
- [3] LIU Q, DONNER E, YIN Y, et al. The physicochemical properties and in vitro digestibility of selected cereals, tubers and legumes grown in China[J]. Food Chemistry,2006,99(3):470-477.
- [4] 殷欣,陈文,彭涛,等.小杂粮淀粉糊化及回生研究进展[J].中国酿造,2019,38(10):26-30.
- [5] ZOU W, YU L, LIU X X. Effect of amylose/amylopectin ratio on starch-based superabsorbent polymers[J]. Carbohydrate Polymers,2012,87(2):1583-1588.
- [6] 刘飞雁,朱科学,郭晓娜.杂粮原料对其挂面淀粉消化性的影响及内在因素研究[J].中国粮油学报,2020,35(10):35-41.
- [7] 艾志录,孙茜茜,潘治利,等.不同来源淀粉特性对水晶皮质构品质的影响[J].农业工程学报,2016,32(1):318-324.
- [8] 卢丹妮.不同淀粉对面团特性及馒头品质的影响研究[D].无锡:江南大学,2018.
- [9] HE Z H, XIA X C, PENG S B, et al. Meeting demands for increased cereal production in china[J]. Journal of Cereal Science,2014,59(3):235-244.
- [10] 穆志新,郝晓鹏,秦慧彬,等.山西省干旱地区农作物种质资源普查与分析[J].植物遗传资源学报,2016,17(4):637-648.
- [11] 付丽红,李晓斌.基于岭脊分析的藜麦淀粉提取及糊化特性研究[J].农业工程学报,2016,32(18):299-306.
- [12] 朱克瑞,林金剑,PHILIP J K,等.粉状物料混合后颜色值的预测方法研究[J].中国粮油报,2008,23(6):215-219.
- [13] 廖卢艳,吴卫国.不同淀粉糊化及凝胶特性与粉条品质的关系[J].农业工程学报,2014,30(15):332-338.
- [14] 周福平,柳青山,张晓娟,等.不同高粱品系的淀粉糊化特征[J].植物学报,2014,49(3):306-312.
- [15] 王立东,肖志刚.气流粉碎对玉米淀粉结构及理化性质的影响[J].农业工程学报,2016,32(24):276-281.
- [16] 周爱梅,杨慧,杨磊,等.不同品种南瓜淀粉的理化特性对比研究[J].现代食品科技,2013,29(8):1784-1790.
- [17] 高金锋,晁桂梅,杨秋歌,等.红花甜荞籽粒淀粉的理化特性[J].农业工程学报,2013,29(8):284-292.
- [18] 杜传来,王丽,潘苗苗,等.蕨根淀粉的颗粒形态与糊化特性研究[J].中国粮油学报,2016,31(7):46-50.
- [19] 吴斌.微细化莲子淀粉理化特性研究[D].武汉:华中农业大学,2007.