

陕西主要荞麦品种的淀粉理化特性分析

张国权,师学文,罗勤贵

(西北农林科技大学 食品科学与工程学院,陕西 杨凌 712100)

【摘要】 【目的】掌握陕西主要荞麦品种的淀粉理化特性,为荞麦淀粉的深加工利用及荞麦食品的加工提供依据。【方法】以陕西主要推广荞麦品种榆荞 1 号、榆荞 2 号、日本秋播荞麦以及甘肃红花荞麦为材料,以玉米和马铃薯淀粉为对照,采用水提法分离荞麦淀粉,研究荞麦淀粉的颗粒结构、组成、糊化特性以及凝胶质构特性。【结果】荞麦淀粉颗粒为多角形或球形,粒径 $1.4\sim 14.5\ \mu\text{m}$,大小较为一致,偏光十字较明显,微晶结构为 A 型;4 个荞麦品种的直链淀粉含量为 $258.2\sim 326.7\ \text{g/kg}$,溶解度较低,介于马铃薯和玉米淀粉之间;荞麦淀粉的峰值黏度、起始恒温糊化阻力、起始降温糊化阻力、降温结束糊化阻力和 $50\ ^\circ\text{C}$ 恒温结束糊化阻力均高于玉米淀粉,淀粉糊具有较强的热黏度稳定性、冷黏度稳定性和凝胶形成能力,抗酸、碱和耐剪切能力较强;荞麦淀粉糊的透明度较低,冻融稳定性较强,淀粉凝胶硬度、回弹性和粘聚性均较高,凝胶质构特性优良。【结论】荞麦淀粉的颗粒形态、微晶结构及淀粉构成与谷物淀粉相近,凝胶质构特性兼顾薯类淀粉和豆类淀粉的优点,是食品工业增稠剂、粘结剂和淀粉凝胶制品等的理想原料。

【关键词】 荞麦;荞麦淀粉;颗粒结构;糊化特性;凝胶质构

【中图分类号】 S517;TS231

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2009)05-0105-09

Physicochemical properties of buckwheat Starch of Shaanxi Province

ZHANG Guo-quan,SHI Xue-wen,LUO Qin-gui

(College of Food Science & Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 The study was done in order to get physicochemical properties of starch from buckwheat mainly cultivated in Shaanxi Province, and provide basis for the processing of buckwheat starch and buckwheat food. 【Method】 Main buckwheat varieties planted in Shaanxi Province, such as Yuqiao 1, Yuqiao 2, Japanese autumn buckwheat and red flower buckwheat, are taken as materials, and checked with maize and potato starch. Buckwheat starch is separated by water extraction and the granular structure, composition, gelatinization characteristic, gel texture characteristics of buckwheat starch are determined in the paper. 【Result】 The buckwheat starch granule is commonly polygonical or round shaped. The particle size scope is $1.4\sim 14.5\ \mu\text{m}$, and the size is consistent. The polarization cross is clear. Its X-ray diffraction pattern is A-type. The amylose content of 4 buckwheat varieties is $258.2\sim 326.7\ \text{g/kg}$, the solubility is low, situating between the potato starch and the maize starch. The peak viscosity of buckwheat starch, the viscosity at the beginning of holding period, the viscosity at the beginning of coolinging period, the viscosity of final cooling period, and the viscosity at the end of $50\ ^\circ\text{C}$ holding period are higher than those of maize starch. The starch paste has stronger thermo stability, cold stability and gel formation ability. As well, the acid and the alkali resistance, and bear cutting ability are strong. The transparency of buckwheat starch paste is low, the freeze-thaw stability and the gel formation ability are a bit strong. The hardness, resilience and cohesiveness of gel are high. The characteristic of gel texture is fine. 【Conclusion】 The granule shape,

* [收稿日期] 2008-06-26

[基金项目] 西北农林科技大学博士科研启动基金项目(2007);陕西省科技攻关项目(2008G01-02)

[作者简介] 张国权(1968—),男,天津蓟县人,副教授,博士,硕士生导师,主要从事谷物品质评价及淀粉工程技术研究。

E-mail: zhanggq98@126.com

micro-crystal structure, starch composition of the buckwheat starch are similar to those of cereal starch. The gel texture characteristic has both yam and legume starch merits. The buckwheat starch can be used as ideal raw material of thickening agent, cementing agent and the starch gel product in the food industry.

Key words: buckwheat; buckwheat starch; particle structure; paste property; gel texture

荞麦为蓼科荞麦属一年生宿根性植物,栽培种主要有甜荞和苦荞,主要分布在我国东北、华北、西北和西南等地区,种植面积和产量均仅次于俄罗斯,居世界第二位^[1-2]。荞麦籽粒的淀粉含量因品种和栽培条件不同而有很大差异^[3-6],一般为585~735 g/kg,甜荞与苦荞淀粉的糊特性和热特性之间无显著差异^[5-11]。与玉米淀粉、大米淀粉和小麦淀粉相比,荞麦淀粉具有较高的峰值黏度、水合能力和较低的脱水收缩性^[6,11]。荞麦淀粉的含量、组成及性质,是确定荞麦食品加工工艺和用途的主要技术依据,但目前对荞麦淀粉的理化性质及其与加工品质间的关系还不十分明确。陕西省是我国主要荞麦生产与出口省区之一,其荞麦产量及品质对我国乃至世界荞麦市场贸易与加工均具有重要影响。因此,本试验研究了陕西省主要荞麦栽培品种及引进荞麦品种的淀粉理化性质,以期掌握陕西省及引进荞麦品种的淀粉品质特性,为荞麦淀粉的深加工利用及荞麦食品开发奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

荞麦品种榆荞1号、榆荞2号和日本秋播荞麦(以下简称日本秋荞),均于2004年取自陕西省靖边县;红花荞麦于2004年取自甘肃省环县。参比淀粉玉米淀粉由陕西国维淀粉有限公司提供,马铃薯淀粉为市售商品。

1.2 试验方法

1.2.1 荞麦淀粉的制备 取荞麦米于2.5倍体积3 g/L的亚硫酸钠浸泡液中浸泡18 h,浸泡温度为40℃。磨浆料水体积比为1:3,研磨4次,过0.147 mm筛,浆液pH值调至10.0,静置2 h,4 000 r/min离心10 min,沉淀物用5倍体积去离子水洗涤2次,45℃干燥得荞麦淀粉。

1.2.2 淀粉颗粒的扫描电镜观察 将待测样品均匀分布在粘有导电双面胶的样品台面上,放在HVS-SGB喷金机上,真空条件下喷上一层铂金,然后固定在载物台上,置于扫描电子显微镜JSM-6360LV下观察淀粉的颗粒形态。

1.2.3 淀粉颗粒的偏光十字观察 加适量淀粉于

甘油-水(V(甘油):V(去离子水)=1:1)中调制成淀粉乳,滴于载玻片上,加上盖玻片,置于偏光显微镜样品台上,放大400倍观察淀粉颗粒形态。

1.2.4 X-射线衍射 采用粉末衍射法^[6]。X-射线衍射仪(Bruker D8 Focus, German)分析条件:特征射线CuK α ,管压40 kV,管流40 mA,扫描范围 $2\theta=4^\circ\sim60^\circ$,扫描速度 $12^\circ/\text{min}$ 。

1.2.5 总淀粉含量的测定 参照GB5514-85粮食、油料检验淀粉测定法,并作适当改进。称取试样2~5 g,置于放有滤纸的漏斗内,先用50 mL无水乙醇分3次洗除脂肪,再用体积分数10%的乙醇洗涤3次洗去可溶性糖类,用100 mL去离子水将滤纸上的残渣物洗入250 mL烧杯内,放入沸水浴中加热15 min,使淀粉糊化,放冷至60℃,加中温 α -淀粉酶0.2 g,60℃水浴中水解2 h,经常搅拌,用碘液检验淀粉是否完全水解。水解完全后在电炉上加热至沸腾,然后移入100 mL容量瓶中,定容后过滤,取滤液10 mL注入100 mL容量瓶中,加入6 mol/L盐酸5 mL,沸水浴水解10 min,冷却后加入2滴甲基红指示剂,用200 g/L氢氧化钠溶液中和至红色褪去,加蒸馏水至刻度,混匀,用费林试剂直接滴定法测定还原糖,并计算淀粉含量:

$$\text{淀粉含量(干基)/}\%=\frac{\frac{A}{V}\times 0.9}{W\times(1-M)}\times 100\%。$$

式中:A为与5 mL费林试剂相当的还原糖(以葡萄糖计)质量,g;V为滴定5 mL费林试剂消耗的样品体积,mL;W为试样质量,g;M为试样的水分百分率,%;0.9为还原糖(以葡萄糖计)换算为淀粉的因数。

1.2.6 直链淀粉含量的测定 采用GB/T 15683-1995中稻米直链淀粉含量的测定方法。

1.2.7 碘蓝值的测定 准确称取1 mg(干基)淀粉,调制成淀粉溶液,依次加碘2 mg、碘化钾20 mg,定容至100 mL,于680 nm测定吸光率。碘蓝值=吸光度/淀粉浓度。

1.2.8 溶解度和膨胀度的测定 取50 mL 20 g/L的淀粉乳于25℃搅拌30 min后,于3 000 r/min离心20 min,上清液倾入恒重铝盒中,90℃水浴上蒸

干后,在 105 ℃ 干燥箱中烘干至恒质量,得溶解淀粉质量 $A(g)$,称取离心管中沉淀物的质量 $P(g)$,以 M 为淀粉干基质量(g)。溶解度(S)和膨胀度(B)的计算公式分别为:

$$S/\% = \frac{A}{M} \times 100\%, B/\% = \frac{P}{M \times (1-S)} \times 100\%。$$

1.2.9 淀粉黏度参数及耐酸碱性的分析 淀粉黏度参数采用布拉本德微型糊化黏度仪(Brabender Micro-Amylo Viscograph)测定。将淀粉与去离子水调配成 80 g/L 的淀粉乳,从 30 ℃ 开始升温,升温速度为 7.5 ℃/min,至 93 ℃ 保温 5 min,然后以同样的速度降温至 50 ℃,保温 1 min。黏度单位为 BU,黏度曲线上有 6 个关键点,其中 A 点为起始糊化温度,即曲线开始上升时的温度; B 点为峰值黏度,即升温期间淀粉达到的最高黏度值; C 点为起始恒温糊化阻力,即升温至 93 ℃ 时的黏度值,以 $C-B$ 表示淀粉糊化的难易,差值越大表示淀粉越易于糊化; D 点为起始降温糊化阻力,即开始降温时的黏度值,用 $D-C$ 反映淀粉糊的热黏度稳定性,其差值越小表示热黏度稳定性好; E 点为降温结束糊化阻力,即淀粉糊冷却至 50 ℃ 时的黏度值, $E-D$ 反映淀粉糊的老化或回生程度,也表示冷却凝胶形成能力的强弱,其差值越大则凝胶形成能力越强,越易老化; F 点为 50 ℃ 恒温结束糊化阻力,即 50 ℃ 保温 1 min 后的黏度值,以 $F-E$ 反映淀粉糊的冷黏度稳定性,其差值越大则低温稳定性越差。

测定淀粉的耐酸碱性的时,分别用 pH 4.0 的柠檬酸-磷酸氢二钠缓冲液和 pH 10.0 的碳酸钠-碳酸氢钠缓冲液替换去离子水,调制淀粉乳。其余操作步骤同上。

1.2.10 淀粉糊的透明度分析 称取一定量的淀粉,配成 10 g/L 的淀粉乳,置沸水浴中加热、搅拌 30 min 后冷却至室温,用去离子水调整至原来体积。在 UV1700 分光光度计上,以去离子水作参比,用 1 cm 比色皿,于 620 nm 处测定淀粉糊的透光率。

1.2.11 冻融稳定性的分析 量取测定黏度参数后的淀粉糊 40 mL,冷却至室温,称取淀粉糊质量,并于 -18 ℃ 冰箱中冷冻 24 h,取出自然解冻,于 3 000 r/min 离心 15 min,称取析出清液的质量,按下式计算析水率:析水率/ $\%$ = 析出清液质量/淀粉糊总质量 $\times 100\%$ 。

1.2.12 淀粉糊凝沉曲线的绘制 取 10 g/L 的淀粉乳 25 mL 于刻度试管中,沸水浴煮沸 10 min,在

30 ℃ 条件下,每隔 1 h 记录上层清液体积,绘制清液体积百分比对时间的变化曲线,即得凝沉曲线。沉降 24 h 时,下层淀粉糊体积即为沉降体积,单位为 mL/L。

1.2.13 淀粉凝胶质构特性的分析 称取一定量淀粉样品放入烧杯中,加入去离子水(固液比 1:5)搅拌均匀后,于沸水浴中加热并缓慢搅拌 30 min,使淀粉充分糊化;冷却至室温,置于 0~4 ℃ 冰箱中成胶 24 h。将凝胶切成直径 15 mm、高 10 mm 的圆柱体,测定质构特性。凝胶质构特性采用英国 Texture Analyzer 测定,选用 TPA 模式,探头为 PK/100,压缩比为 50%,探头测前下降速度 1.0 mm/s,测试速度 1.0 mm/s,测后的上升速度 1.0 mm/s,测定高度为 5 mm,触发力 5.0 g,两次测定时间间隔为 3 s。TPA 模式测定的典型质构曲线如图 1 所示。由质构特征曲线分析淀粉凝胶的硬度(压缩凝胶的厚度为 50%时所达到的力,即第 1 个峰值对应的力 F)、回弹性(图 1 中 A_2 与 A_1 面积的比值)、粘聚性(图 1 中 A_3 面积与 A_1 、 A_2 面积之和的比值)。

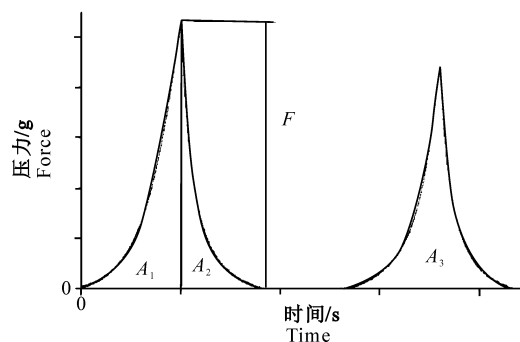


图1 淀粉凝胶的典型质构曲线示意图

Fig.1 Texture analysis model of starch gel

2 结果与分析

2.1 淀粉颗粒的形状与大小

由图 2 可知,马铃薯淀粉颗粒多为卵圆形,颗粒大,少数为球形且颗粒小,粒径为 4.8~72.6 μm ,平均 34.0 μm (图 2A)。玉米淀粉颗粒为球形和多角形,粒径为 4.1~19.3 μm ,颗粒较小(图 2B)。与马铃薯淀粉、玉米淀粉相比,荞麦淀粉颗粒为多角形或球形,多角形颗粒所占的比例较高。荞麦淀粉颗粒较小,粒径为 1.4~14.5 μm ,其中榆荞 2 号的淀粉颗粒稍大,平均粒径为 7.2 μm (图 2C~F)。总体来看,荞麦淀粉的颗粒大小差异不大,大小较为均一。

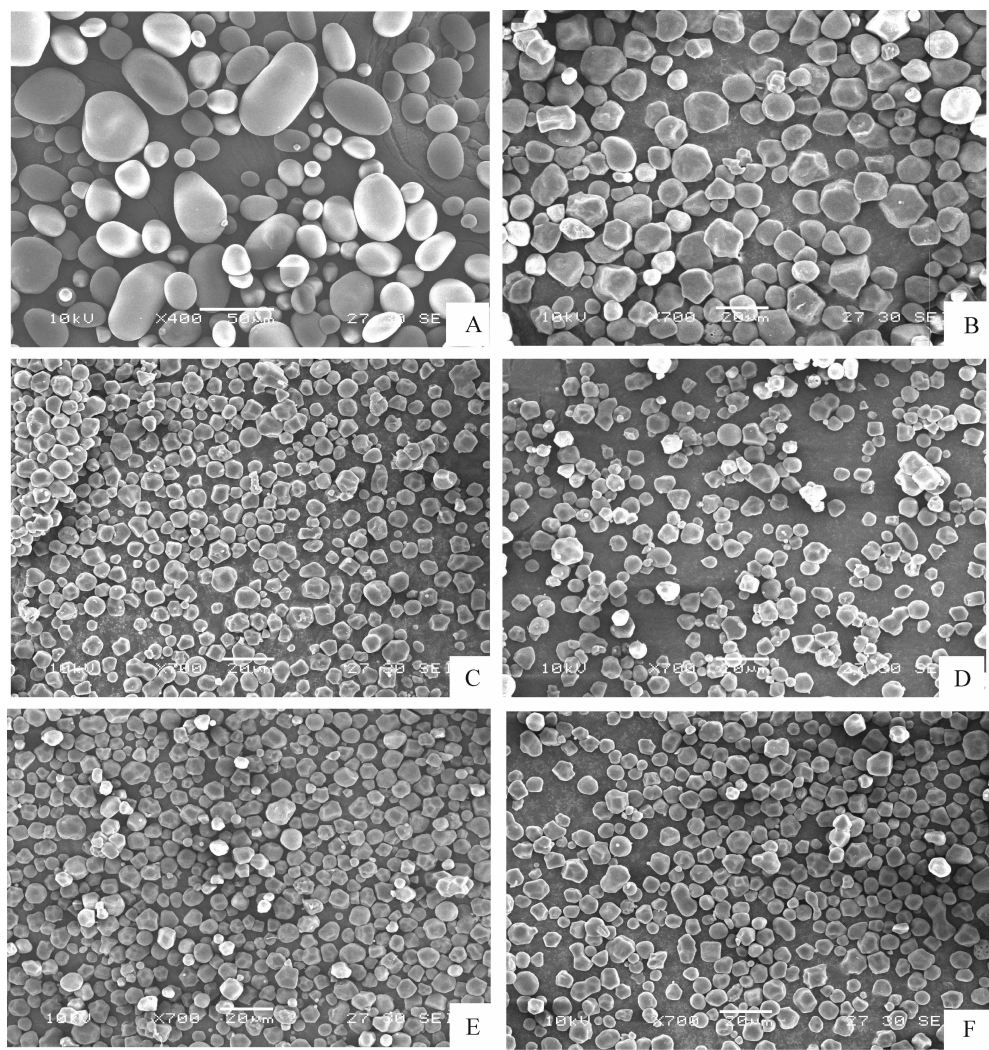


图 2 马铃薯、玉米及 4 种荞麦淀粉的扫描电镜观察

A. 马铃薯淀粉, $\times 400$; B. 玉米淀粉, $\times 700$; C. 榆荞 1 号淀粉, $\times 700$;
D. 榆荞 2 号淀粉, $\times 700$; E. 日本秋荞淀粉, $\times 700$; F. 甘肃红花荞麦淀粉, $\times 700$

Fig. 2 Scanning electron micrographs of potato, corn and 4 kinds of buckwheat starches

A. Potato starch, $\times 400$; B. Corn starch, $\times 700$; C. Buckwheat starch from Yuqiao 1, $\times 700$; D. Buckwheat starch from Yuqiao 2, $\times 700$; E. Starch from Japanese autumn buckwheat, $\times 700$; F. Starch from red flower buckwheat in Gansu Province, $\times 700$

2.2 淀粉颗粒的偏光十字

淀粉颗粒存在着微晶结构,在偏光显微镜下具有双折射特性,即在淀粉颗粒脐点处有交叉的偏光十字。由图 3 可知,马铃薯淀粉的偏光十字最为明显,十字交叉点接近于颗粒一端(图 3 A);荞麦淀粉与玉米淀粉的偏光十字较为明显,十字交叉点接近于淀粉颗粒的中心位置,大部分淀粉粒呈现垂直十字交叉,少部分淀粉粒为斜十字型(图 3 B~F)。

2.3 淀粉颗粒的晶体结构

已知的天然淀粉主要产生 A、B 和 C 型 3 种不

同的 X-射线衍射图谱,不同植物淀粉分属于这 3 种类型,其中玉米淀粉为 A 型图谱,马铃薯淀粉为 B 型图谱。荞麦淀粉的 X-射线衍射图谱见图 4。由图 4 可知,荞麦淀粉的 X-射线衍射图谱与玉米淀粉相近,即在 2θ 分别为 15.02° , 17.02° , 18.08° 和 23.34° 附近出现强衍射峰,在 2θ 为 20.04° 处出现了中等强度的衍射峰,衍射峰强度及位置在荞麦品种间略有差异。由此可见,荞麦淀粉的微晶结构与玉米淀粉相同,属于 A 型图谱,结晶度较高,为 $32.10\% \sim 33.48\%$ 。

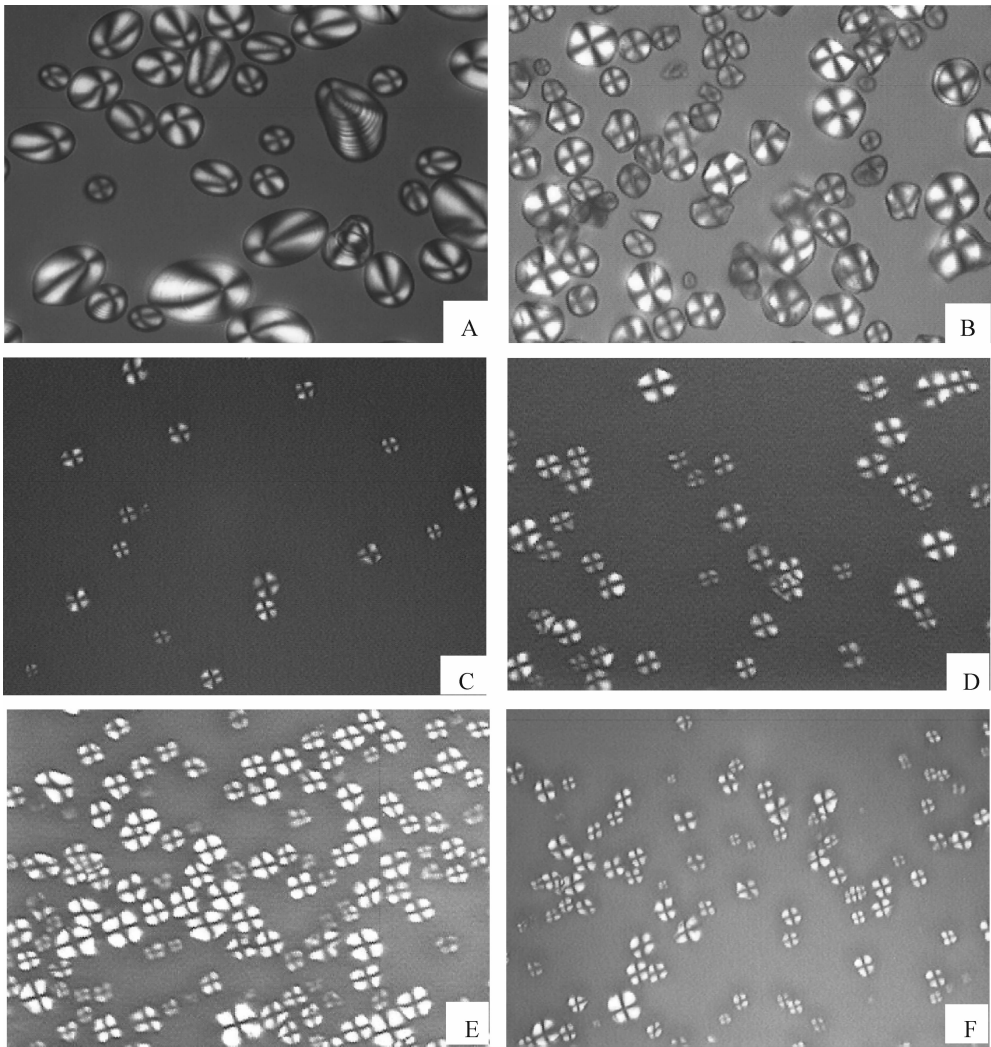


图 3 马铃薯、玉米及 4 种荞麦淀粉的偏光显微镜观察(×400)

A. 马铃薯淀粉;B. 玉米淀粉;C. 榆荞 1 号淀粉;D. 榆荞 2 号淀粉;E. 日本秋荞淀粉;F. 甘肃红花荞麦淀粉

Fig. 3 Polarizing micrographs of potato, corn and 4 kinds of buckwheat starches(×400)

A. Potato starch; B. Corn starch; C. Buckwheat starch from Yuqiao 1; D. Buckwheat starch from Yuqiao 2;
E. Starch from Japanese autumn buckwheat; F. Starch from red flower buckwheat in Gansu Province

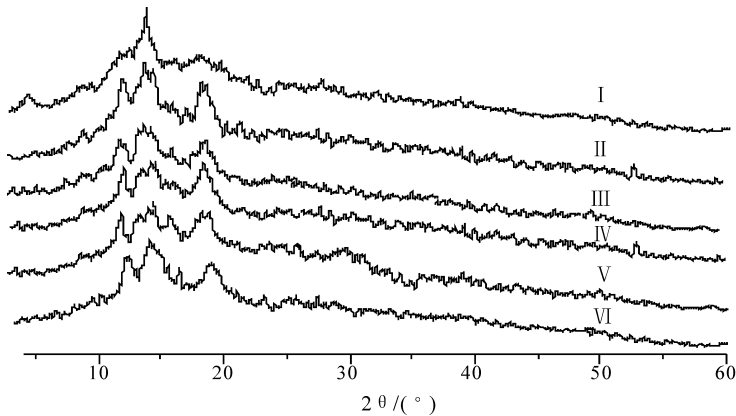


图 4 马铃薯、玉米及 4 种荞麦淀粉 X-射线衍射图谱的比较

I. 马铃薯淀粉; II. 甘肃红花荞麦淀粉; III. 日本秋荞淀粉; IV. 榆荞 1 号淀粉; V. 榆荞 2 号淀粉; VI. 玉米淀粉

Fig. 4 X-ray diffraction pattern of potato, corn and 4 kinds of buckwheat starches

I. Potato starch; II. Starch from red flower buckwheat in Gansu Province; III. Starch from Japanese autumn buckwheat;
IV. Buckwheat starch from Yuqiao 1; V. Buckwheat starch from Yuqiao 2; VI. Corn starch

2.4 直链淀粉与支链淀粉的含量

由表 1 可以看出,试验制备的荞麦淀粉中的总淀粉含量与商品玉米淀粉和马铃薯淀粉相当,但其蛋白质含量较高。直链淀粉含量在荞麦品种和产地

间存在一定差异,4 个荞麦品种的直链淀粉含量为 258.2~326.7 g/kg,支链淀粉含量为 673.3~741.8 g/kg,甘肃红花荞麦的直链淀粉含量明显高于其他 3 个荞麦品种。

表 1 马铃薯、玉米及 4 种荞麦淀粉中直链淀粉和支链淀粉含量的比较

Table 1 The amylase and amylopectin content of potato,corn and 4 kinds of buckwheat starches

淀粉种类 Starch type	蛋白质含量/(g·kg ⁻¹) (干基) Protein content (Dry basis)	总淀粉/(g·kg ⁻¹) (干基) Starch content (Dry basis)	直链淀粉/ (g·kg ⁻¹) Amylose content	支链淀粉 /(g·kg ⁻¹) Amylopectin content	直支比 Ratio of amylose content to amylopectin content
马铃薯 Potato	0.8	922.9	246.8	753.2	0.33
玉米淀粉 Corn starch	2.7	905.6	248.9	751.1	0.33
榆荞 1 号 Yuqiao 1	17.4	915.4	258.2	741.8	0.35
榆荞 2 号 Yuqiao 2	19.4	897.8	259.3	740.7	0.35
日本秋荞 Japanese autumn buckwheat	14.3	936.4	280.8	719.2	0.39
甘肃红花荞麦 Red flower buckwheat in Gansu Province	10.4	947.8	326.7	673.3	0.48

2.5 淀粉的碘蓝值分析

淀粉遇碘呈蓝色反应,吸附碘的颜色反应与直链淀粉的含量及分子大小有关。由于直链淀粉的线性聚合度高,故直链淀粉含量越高,碘蓝值也越大。由表 2 可知,荞麦淀粉的碘蓝值较高,不同荞麦品种

的淀粉碘蓝值差异较大,其中日本秋荞、甘肃红花荞麦和榆荞 2 号淀粉的碘蓝值明显高于玉米和马铃薯淀粉。可见,荞麦淀粉的直链淀粉聚合度较高,或是其支链淀粉具有更多的长侧链,支链淀粉中含有的这些长侧链也能与碘络合^[12]。

表 2 马铃薯、玉米及 4 种荞麦淀粉的碘蓝值、溶解性及膨胀特性的比较

Table 2 The blue value,solubility and swelling value of potato,corn and 4 kinds of buckwheat starches

淀粉种类 Starch type	碘蓝值 Blue value of iodine test	溶解度/% Solubility	膨胀度/% Swelling power
马铃薯 Potato	0.144	2.54	236.93
玉米 Corn	0.443	0.27	200.60
榆荞 1 号 Yuqiao 1	0.472	0.76	231.83
榆荞 2 号 Yuqiao 2	0.611	1.64	235.20
日本秋荞 Japanese autumn buckwheat	0.940	0.43	224.67
甘肃红花荞麦 Rde flower buckwheat in Gansu Province	0.858	0.35	239.30

2.6 淀粉的溶解性及膨胀特性分析

由表 2 可知,荞麦淀粉的溶解度均远低于马铃薯淀粉,而高于玉米淀粉。不同荞麦品种间淀粉的溶解度差异较大,其中榆荞 2 号淀粉的溶解度较高,日本秋荞和甘肃红花荞麦淀粉的溶解度均较低。同时,荞麦淀粉的膨胀度较高,品种间变化较小,与马铃薯淀粉相近,却明显高于玉米淀粉。这说明荞麦淀粉的膨胀能力较强。

2.7 淀粉的糊化特性分析

表 3 表明,荞麦淀粉的起始糊化温度(A)基本介于马铃薯和玉米淀粉之间。荞麦淀粉的峰值黏度(B)、起始恒温糊化阻力(C)、起始降温糊化阻力(D)、降温结束糊化阻力(E)和 50 ℃恒温结束糊化阻力(F)均高于玉米淀粉,而低于马铃薯淀粉,且品种间差异较小。

4 个荞麦品种中,日本秋荞淀粉糊的热黏度稳定性、冷黏度稳定性强,凝胶形成能力好,但较难糊化,其余荞麦品种间差异很小。荞麦淀粉糊的热黏度稳定性基本优于玉米和马铃薯淀粉;凝胶形成能力明显高于玉米淀粉,但低于马铃薯淀粉;冷黏度稳定性明显低于玉米淀粉,而与马铃薯淀粉相近。可见,荞麦淀粉糊具有较强的热黏度稳定性、冷黏度稳定性和凝胶形成能力。

表 3 还表明,pH 值对荞麦淀粉糊黏度的影响很大,可使黏度曲线特征发生改变。与对照相比,在酸性或碱性条件下,荞麦淀粉的起始糊化温度、峰值黏度、起始恒温糊化阻力、起始降温糊化阻力、降温结束糊化阻力、50 ℃恒温结束糊化阻力均基本有所提高。酸性条件(pH 4.0)可使荞麦淀粉的起始糊化温度有较大幅度提高,使淀粉糊的热黏度稳定性

降低,导致凝胶的形成能力减弱,冷黏度稳定性增强。在碱性条件(pH 10.0)下,荞麦淀粉起始糊化温度的变化较小,较难于糊化,淀粉凝胶形成能力、淀粉糊的热黏度稳定性和冷黏度稳定性均有所增

强。这表明酸性条件对荞麦淀粉糊化黏度特性的影响更为明显。与玉米淀粉和马铃薯淀粉相比,荞麦淀粉的抗酸、抗碱能力更强。

表 3 马铃薯、玉米及 4 种荞麦淀粉黏度参数的比较
Table 3 The viscograms of potato, corn and 4 kinds of buckwheat starches

淀粉种类 Starch type	处理 Treatment	A /℃	B /BU	C /BU	D /BU	E /BU	F /BU	C-B /BU	D-C /BU	E-D /BU	F-E /BU
马铃薯 Potato	CK	60.0	1204	526	408	801	826	678	118	393	25
	pH 4.0	62.2	770	475	313	614	632	295	162	301	18
	pH 10.0	60.5	825	481	319	604	622	344	162	285	18
玉米 Corn	CK	79.2	228	227	185	386	393	1	42	201	7
	pH 4.0	82.8	235	233	193	334	341	2	40	141	7
	pH 10.0	76.9	263	251	165	358	359	12	86	193	1
榆荞 1 号 Yuqiao 1	CK	73.2	306	282	304	553	575	24	22	249	22
	pH 4.0	78.8	386	293	356	550	552	93	63	194	2
	pH 10.0	73.3	373	368	356	616	622	5	13	260	6
榆荞 2 号 Yuqiao 2	CK	73.1	304	277	304	529	552	27	27	225	23
	pH4.0	78.0	386	285	370	569	567	101	85	199	2
	pH10.0	74.6	369	359	355	598	610	10	4	244	12
日本秋荞 Japanese autumn buckwheat	CK	72.0	324	311	323	588	585	13	12	265	3
	pH 4.0	77.5	398	324	368	555	569	74	44	187	14
	pH 10.0	73.3	387	383	361	616	628	4	22	255	12
甘肃红花荞麦 Red flower buckwheat in Gansu Province	CK	70.9	293	266	293	504	534	27	27	211	30
	pH 4.0	83.0	384	318	370	555	564	66	52	185	9
	pH 10.0	76.2	342	336	329	614	600	6	7	285	14

2.8 淀粉糊的透明度和冻融稳定性分析

淀粉糊的透光率越大,表明其透明度越好。由表 4 可知,荞麦淀粉糊的透明度较低,明显低于马铃薯和玉米淀粉。这可能是由于荞麦淀粉的颗粒较小,

膨胀能力强,糊化温度高,不易糊化,且直链淀粉含量较高,淀粉颗粒吸水润胀和受热糊化后,淀粉分子重排相互缔合的程度较高,致使其淀粉糊透明度较低。4 个荞麦品种的淀粉糊透明度仅为 2.69%~4.19%。

表 4 马铃薯、玉米及 4 种荞麦淀粉糊透明度和冻融稳定性的比较

Table 4 The transparency and freeze-thawing stability of potato, corn and 4 kinds of buckwheat starch pastes

淀粉种类 Starch type	透光率/% Transparency	冻融次数 Freezen-thawing times	冻融析水率/% Water released after freezen-thawing	沉降体积/(mL·L ⁻¹) Volume of retrogradation
马铃薯 Potato	92.81	2	20.41	0
玉米 Corn	9.31	1	19.11	306.0
榆荞 1 号 Yuqiao 1	3.38	2	28.17	354.0
榆荞 2 号 Yuqiao 2	2.69	2	11.48	308.0
日本秋荞 Japanese autumn buckwheat	3.60	2	2.52	330.0
甘肃红花荞麦 Red flower buckwheat in Gansu Province	4.19	2	0.05	246.0

表 4 还表明,玉米淀粉糊冻融 1 次,其冻融析水率为 19.11%,而荞麦、马铃薯淀粉糊均可冻融 2 次,且荞麦淀粉糊的冻融稳定性明显优于玉米淀粉糊。冻融 2 次后,不同品种荞麦淀粉糊的冻融析水率表现出较大差异,其中甘肃红花荞麦、日本秋荞淀粉糊的冻融析水率均较低,而榆荞 1 号淀粉糊的冻融稳定性相对较差。

2.9 淀粉糊的凝沉特性分析

由表 4 和图 5 可知,马铃薯淀粉糊非常稳定,几

乎不发生凝沉现象。荞麦和玉米淀粉糊较为稳定,不易凝沉。荞麦淀粉糊的清液体积百分比在前 18 h 内呈线性缓慢增加,直至达到其凝沉体积。凝沉顺序依次为玉米淀粉>荞麦淀粉>马铃薯淀粉。不同荞麦品种淀粉糊的凝沉性存在一定差异,其中日本秋荞与榆荞 1 号淀粉的凝沉速度、凝沉体积接近,甘肃红花荞麦淀粉的凝沉速度稍高,但凝沉体积低于其他荞麦品种,这与甘肃红花荞麦淀粉直链淀粉的含量高于其他荞麦品种的结论一致。

2.10 淀粉凝胶的质构特性分析

凝胶硬度是指压缩凝胶的厚度至 50%时所达到的力,回弹性反映了凝胶恢复形变的能力,粘聚性则反映了凝胶内部粘结的紧密程度和抵抗外界破坏的能力。由图 6 和表 5 可看出,马铃薯淀粉凝胶的

回弹性和粘聚性均最高,但其凝胶硬度低。荞麦淀粉凝胶的硬度、回弹性和粘聚性均较高,表明荞麦淀粉凝胶的质构特性优良。不同荞麦品种间,甘肃红花荞麦和日本秋荞淀粉凝胶的硬度均较大,但回弹性和粘聚性在品种间的差异较小。

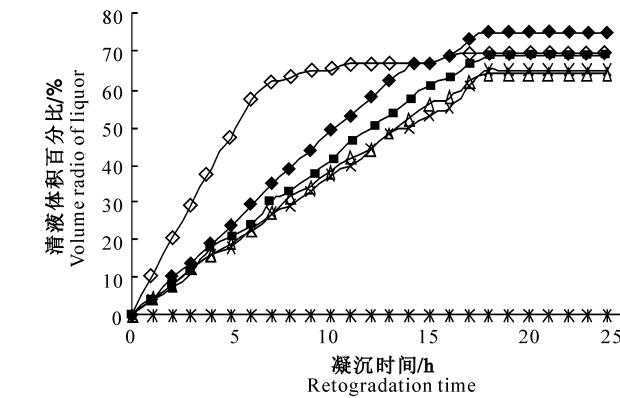


图 5 马铃薯、玉米及 4 种荞麦淀粉糊凝沉曲线的比较
△. 榆荞 1 号淀粉; ■. 榆荞 2 号淀粉; ×. 日本秋荞淀粉;
◆. 甘肃红花荞麦淀粉; ◇. 玉米淀粉; *. 马铃薯淀粉
Fig. 5 Retrogradation curves of potato, corn and 4 kinds of buckwheat starch pastes
△. Buckwheat starch from Yuqiao 1; ■. Buckwheat starch from Yuqiao 2; ×. Starch from Japanese autumn buckwheat; ◆. Starch from red flowerbuckwheat in Gansu Province;
◇. Corn starch; *. Potato starch

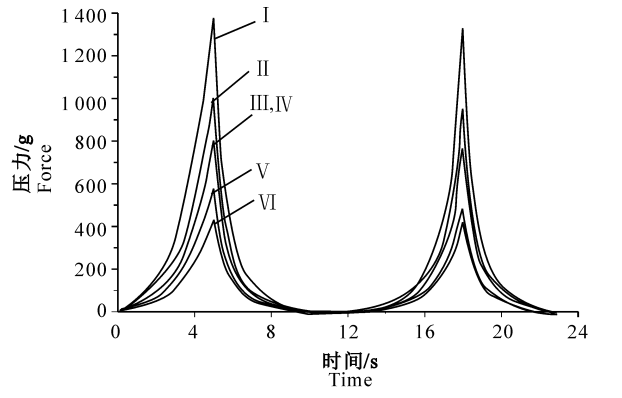


图 6 马铃薯、玉米和 4 种荞麦淀粉凝胶质构曲线的比较
I. 甘肃红花荞麦淀粉; II. 日本秋荞淀粉; III. 榆荞 1 号淀粉;
IV. 榆荞 2 号淀粉; V. 玉米淀粉; VI. 马铃薯淀粉
Fig. 6 Textural curves of potato, corn and 4 kinds of buckwheat starch gel
I. Starch from red flower buckwheat in Gansu Province;
II. Starch from Japanese autumn buckwheat; III. Buckwheat starch from Yuqiao 1; IV. Buckwheat starch from Yuqiao 2; V. Corn starch; VI. Potato starch

表 5 马铃薯、玉米和 4 种荞麦淀粉凝胶的质构特性参数的比较			
Table 5 Textural parameters of potato, corn and 4 kinds of buckwheat starch gel			
淀粉种类 Starch type	硬度/g Hardness	回弹性 Resilience	粘聚性 Cohesiveness
玉米 Corn	588.8	0.533 7	0.710 8
马铃薯 Potato	483.0	0.654 1	0.866 5
榆荞 1 号 Yuqiao 1	839.1	0.595 0	0.815 6
榆荞 2 号 Yuqiao 2	829.5	0.609 2	0.835 4
日本秋荞 Japanese autumn buckwheat	989.3	0.577 7	0.810 4
甘肃红花荞麦 Red flower buckwheat in Gansu Province	1 397.1	0.545 9	0.782 1

3 结论与讨论

淀粉颗粒的形状、大小与其来源有关。本试验结果表明,荞麦淀粉颗粒为多角形或球形,多角形颗粒所占比例较高,淀粉颗粒较小,粒径为1.4~14.5 μm,大小较为一致,小于玉米和马铃薯淀粉颗粒^[6];荞麦淀粉颗粒的偏光十字较为明显,十字交叉点接近于淀粉颗粒的中心位置,大部分淀粉粒呈现垂直十字交叉,少部分淀粉粒为斜十字型交叉;荞麦淀粉的 X-射线衍射图谱在 2θ 分别为 15.02°,17.02°,18.08°,23.34°附近出现强吸收峰,微晶结构为 A

型,其颗粒形态及微晶结构与玉米淀粉相同,在 2θ 为 20.04°处出现了中等强度的衍射峰,说明试验制备的荞麦淀粉中还有一定量的脂类物质存在^[13]。
本研究发现,荞麦淀粉的直链淀粉含量在品种和产地间存在一定差异,4 个荞麦品种的直链淀粉含量为 258.2~326.7 g/kg,支链淀粉含量在 673.3~741.8 g/kg,与谷物淀粉相似。荞麦淀粉的溶解度较低,介于马铃薯和玉米淀粉之间,不同荞麦品种淀粉间的溶解度差异较大,而荞麦淀粉的膨胀度较高,品种间变化较小。
本研究结果表明,荞麦淀粉的峰值黏度、起始恒

温糊化阻力、起始降温糊化阻力、降温结束糊化阻力和 50 ℃ 恒温结束糊化阻力均高于玉米淀粉,品种间差异较小;荞麦淀粉糊具有较强的热黏度稳定性、冷黏度稳定性和凝胶形成能力。酸、碱对荞麦淀粉糊黏度性质的影响很大,在 pH 为 4.0 的酸性条件下,荞麦淀粉的起始糊化温度提高幅度较大,更易于糊化,使淀粉糊的热粘度稳定性降低,凝胶形成能力减弱,冷粘度稳定性增强。在 pH 为 10.0 的碱性条件下,荞麦淀粉的起始糊化温度变化较小,较难于糊化,淀粉凝胶形成能力、淀粉糊的热黏度稳定性和冷黏度稳定性均有所增强。可知荞麦淀粉的抗酸、碱和耐剪切能力均较强。

本研究中,荞麦淀粉糊的透明度较低,但冻融稳定性较强,明显优于玉米淀粉,凝沉顺序为玉米淀粉>荞麦淀粉>马铃薯淀粉。荞麦淀粉的凝胶形成能力较强,凝胶硬度、回弹性和粘聚性均较高,凝胶质构特性优良。

总之,荞麦淀粉的颗粒形态、微晶结构及淀粉构成与谷物淀粉相近,凝胶质构特性则兼顾了薯类淀粉和豆类淀粉的优点。荞麦淀粉以其独特的物理特性,将会成为食品工业中增稠剂、粘结剂和淀粉凝胶制品等的理想原料。

[参考文献]

- [1] 林汝法. 中国荞麦 [M]. 北京:中国农业出版社,1994.
Lin R F. Chinese buckwheat [M]. Beijing: China Agriculture Press,1994. (in Chinese)
- [2] Lin R, Tao Y, Li X. Preliminary division of cultural and ecological regions of Chinese buckwheat [J]. *Fagopyrum*, 1992, 12: 48-55.
- [3] Ikeda K. Buckwheat: Composition, chemistry, and processing [J]. *Adv Food Nutr Res*, 2002, 44: 395-434.
- [4] Kim S K, Hahn T R, Kwon T W, et al. Physicochemical properties of buckwheat starch [J]. *Korean J Food Sci Technol*, 1977, 9: 138-143.
- [5] Li W, Lin R, Corke H. Physicochemical properties of common and tartary buckwheat starch [J]. *Cereal Chemistry*, 1997, 74: 79-82.
- [6] Qian J, Rayas-Duarte P, Grant L. Partial characterization of buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) starch [J]. *Cereal Chemistry*, 1998, 75: 365-373.
- [7] Acquistucci R, Fornal J. Italian buckwheat starch physicochemical and functional characterization and *in vitro* digestibility [J]. *Starch*, 1997, 49: 281-287.
- [8] Lorenz K, Dilsaver W, Collins F. Buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) starch physical-chemical properties and functional characteristics [J]. *Starch*, 1982, 34: 217-220.
- [9] Soral-Smietana M, Fornal L, Fornal J, et al. Characteristics of buckwheat grain starch and the effect of hydrothermal processing upon its chemical composition, properties and structure [J]. *Starch* 1984, 36: 153-158.
- [10] Kusano T, Izumita N, Inui S, et al. A preliminary study on structural change on degradation of starch granules in tartary buckwheat [J]. *Fagopyrum*, 1999, 16: 85-87.
- [11] Zheng G H, Sosulski F W, Tyler R T. Wet-milling, composition and functional properties of starch and protein isolated from buckwheat groats [J]. *Food Research International*, 1998, 30(7): 493-502.
- [12] Noda T, Takahata Y, Sato I, et al. Relationships between chain length distribution of amylopectin and gelatinization properties within the same botanical origin for sweet potato and buckwheat [J]. *Carbohydrate Polymers*, 1998, 37: 153-158.
- [13] Abe J I, Nakahma K H, Nagano H, et al. Properties of the raw starch digesting amylase of *Aspergillus* SP. K-27: A Synergistic Action of Glucoamylase and Alpha-Amylase [J]. *Carbohydrate Research*, 1988, 175: 85-92.