

# 青稞淀粉的糊化特性及凝胶性能

## Pasting and gel properties of hulless barley starch

吕元娣 常雅宁 戴伟 聂嘉睿

LU Yuan-di CHANG Ya-ning DAI Wei NIE Jia-rui

(华东理工大学, 上海 200237)

(East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

**摘要:**以青稞淀粉(hulless barley starch, HBS)为研究对象,以市售荞麦淀粉(buckwheat starch, BS)、小麦淀粉(wheat starch, WS)为对照,比较 3 种淀粉糊化特性,并考察蔗糖、NaCl、酸碱介质对糊化性能的影响;对 3 种淀粉凝胶的质构和冻融稳定性、组成、颗粒结构、结晶度、透明度进行研究。结果表明:青稞淀粉颗粒大,呈扁平椭圆形,系 A 型晶体结构,结晶度为 26.7%;NaCl 能大幅提高青稞淀粉糊化冷稳定性,降低老化作用;3 种淀粉在 pH 3~11 及不同糖度条件下都保持相近的糊化特性。青稞淀粉凝胶黏着性较强,硬度适中,表现出较好的冷藏稳定性和较差的冻融稳定性。

**关键词:**青稞淀粉;荞麦淀粉;小麦淀粉;糊化特性;凝胶性能

**Abstract:** The pasting properties of starch from hulless barley were analyzed and compared with those of starches from buckwheat and wheat. Effects of different media (sucrose, NaCl and pH) on pasting was studied. The texture and stability of gels were analyzed. Chemical composition, granule structure, relative crystallinity and transparency of the starches were investigated. The results indicated that highland barley starch (HBS) granule is large, flat oval with A type crystal pattern and crystallinity of 26.7%. The pasting stability was increased with the addition of NaCl and retrogradation had been suppressed greatly. While little effects of sucrose and pH (3~11) on pasting properties was found. HBS gel shows strong adhesiveness and moderate hardness, as well as good refrigeration stability and bad freeze/thaw stability.

**Keywords:** hulless barley starch; buckwheat starch; wheat starch; pasting properties; gel properties

青稞淀粉是青稞中含量最多的营养成分,不同基因型的青稞中淀粉含量达到 57%~68%<sup>[1]</sup>。许多研究<sup>[2-3]</sup>表明,不同植物来源的淀粉在形态学、热力学、流变学和功能性等性

质上差异显著。而淀粉的糊化性能和凝胶性能是重要的加工性能,对淀粉的应用方向具有指导意义。

目前关于青稞淀粉的研究,国外涉及淀粉提取工艺优化<sup>[1]</sup>,含优良性能淀粉的青稞品种培育<sup>[4]</sup>以及不同基因型青稞淀粉的理化性能对比研究<sup>[5]</sup>等。近年来,国外也有关于青稞淀粉改性<sup>[6]</sup>的报道,对淀粉的结构进行改性也是目前研究的趋势,利用基团的引入或分子的交联等改变淀粉的分子结构,从而影响其功能特性以满足各种工业化生产与应用的需求<sup>[7]</sup>。中国也有对青稞产品的开发研究<sup>[8]</sup>,但少有关于青稞淀粉的研究报道<sup>[9-10]</sup>。郑学玲等<sup>[10]</sup>对不同品种的青稞淀粉理化性质进行了简单对比分析,主要包括淀粉颗粒性能和淀粉糊性能。本研究通过模仿淀粉在加工过程中的介质环境来研究其糊化特性,同时对淀粉凝胶的质构和稳定性进行对比分析,为青稞淀粉的深加工研究提供理论依据,也对其应用潜能做出预测。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

荞麦淀粉(BS)、小麦淀粉(WS):市售;

青稞淀粉(HBS):实验室制备;

氢氧化钠、柠檬酸、蔗糖、氯化钠、无水乙醇、硫酸:分析纯,上海凌峰化学试剂有限公司。

### 1.2 仪器与设备

布拉班德黏度仪:Micro-Visco-Amylograph 型,德国 Brabender 公司;

物性测定仪:TA-XT, Plus 型,英国 Stable MicroSystems 公司;

扫描电镜:JSM-6360LV 型,日本 JEOL 公司;

X 射线衍射仪:D/MAX 2550 型,日本 RIGAKU 公司;

紫外可见分光光度计:UV-754N 型,上海奥谱勒仪器有限公司;

凯氏自动定氮仪:KDN-103 型,上海纤检仪器有限公司。

### 1.3 方法

1.3.1 青稞淀粉提取 青稞粉与去离子水以 1:8(m:m)

**作者简介:**吕元娣,女,华东理工大学在读硕士研究生。

**通讯作者:**常雅宁(1969-),女,华东理工大学副教授,硕士。

E-mail: changyn@ecust.edu.cn

**收稿日期:**2015-11-29

料液比均匀混合,于室温下浸泡8 h。用质量百分数0.1%的NaOH溶液在40℃水浴中碱提8 h。碱提后过100目筛,取滤液于4 500 r/min条件下离心10 min。离心后小心刮去上层灰色蛋白层,下层即为淀粉层。上层蛋白质加蒸馏水搅拌后离心分离,重复水洗3次,合并所有离心得到的下层白色淀粉。分别用95%的乙醇、去离子水对合并的淀粉进行洗涤,再抽滤、自然风干、碾磨过100目筛后即得到淀粉成品。

### 1.3.2 成分测定

(1) 水分测定:按GB/T 12087—2008的直接干燥法执行。

(2) 蛋白质测定:按GB/T 5009.5—2010的微量凯氏定氮法执行。

(3) 灰分测定:按GB/T 5009.4—2010的灼烧法执行。

(4) 淀粉测定:DNS比色法<sup>[11]104</sup>。

(5) 直链淀粉测定:按GB/T 15683—2008执行。

1.3.3 淀粉颗粒表面结构 采用扫描电镜观察淀粉颗粒表面结构,分别放大3 000倍。

1.3.4 淀粉颗粒结晶结构 采用粉末X射线衍射仪法。测试条件:系统测试电压40 kV,电流100 mA;Cu K $\alpha$ 波长为1.54 Å,测试角度3°~50°,步宽0.02°,连续扫描速率8°/min。

### 1.3.5 糊化特性分析

(1) 介质对淀粉糊化特性的影响:先用去离子水配制不同质量百分含量的介质溶液(蔗糖、氯化钠、柠檬酸、氢氧化钠溶液),准确称取6 g淀粉(干基),用介质溶液配成质量浓度为6%的淀粉乳,置于布拉班德粘度仪中。从30℃以7.5℃/min升温至93℃保持5 min,再以7.5℃/min降温至50℃保持1 min。

(2) 溶解度和膨润力:配制1%(m/m)淀粉乳溶液(干基),分别在50,60,70,80,90℃下加热搅拌30 min,再以4 500 r/min离心10 min。分离上层清液,110℃烘干至恒质量;下层为膨胀淀粉部分<sup>[12-13]</sup>。分别按式(1)、(2)计算溶解度和膨润力。

$$S = \frac{m_1}{m} \times 100\%, \quad (1)$$

$$B = \frac{m_2}{m \times (1 - S)} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

S——溶解度,%;

B——膨润力,%;

m——淀粉总质量,mg;

$m_1$ ——水溶淀粉质量,mg;

$m_2$ ——膨胀淀粉质量,mg。

### 1.3.6 凝胶性能分析

(1) 凝胶制备:配制质量百分浓度为8%的淀粉乳,运用布拉班德黏度仪,根据1.3.5的升温程序制得淀粉糊,将其冷却至室温后于4℃下保存3 h即得凝胶。

(2) 质构特性:选用TPA<sup>[14]</sup>压缩模式,每个样品做6次平行。下降速度1 mm/s;测试速度1 mm/s;返回速度1 mm/s;测试距离15 mm;触及压力:5 g;探头P/0.5R。

(3) 冷藏脱水收缩(冷藏稳定性):离心管称入约6 g凝胶,4℃冰箱保存3周。每7 d将其取出于室温下放置1 h,4 500 r/min离心15 min,称取上清。脱水收缩率按式(3)计算:

$$\text{Syneresis} = \frac{m_1}{m_2} \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

Syneresis——脱水收缩率,%;

$m_1$ ——称取凝胶质量,mg;

$m_2$ ——离心后上清液质量,mg。

(4) 冷冻脱水收缩(冻融稳定性):离心管称入约6 g凝胶,-18℃冰箱保存3周。每7 d取出于30℃水浴1.5 h,4 500 r/min离心15 min,称取上清。脱水收缩计算同式(3)。

1.3.7 透明度 配制1%(m/m)淀粉乳溶液(干基),于沸水浴加热搅拌20 min,冷却至25℃后,以去离子水为空白于620 nm处测吸光度(A)。

1.3.8 数据处理 测定数据均设置3组平行,结果以 $\bar{x} \pm s$ 表示;显著性分析通过SPSS 19.0(ANOVA),在 $\alpha=0.05$ 显著水平上进行分析;图形处理由sigmaplot 12.5完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 主要化学成分测定结果

如表1所示,荞麦淀粉的直链淀粉含量最高,青稞淀粉次之,小麦淀粉最低。直链淀粉作为淀粉研究中的一项重要参数,与淀粉的回生值和糊化最终黏度呈正相关<sup>[12]</sup>。青稞淀粉的透明度最好,这有利于其在清汁饮料、胶基糖果等产品中的应用。

### 2.2 淀粉颗粒的扫描电镜观察

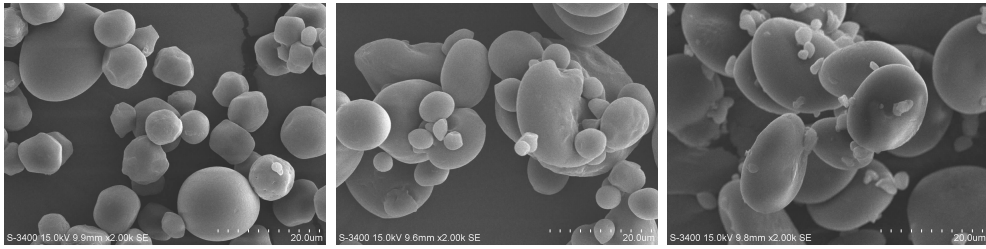
青稞淀粉颗粒大部分呈扁平椭圆形且有凹陷,表面粘附较小的不规则淀粉颗粒。小麦淀粉大小不均,呈圆滑椭圆状,颗粒较小,少部分颗粒较大且不规则,见图1。荞麦淀粉呈不规则多面体形,这与刘瑞等<sup>[15]</sup>研究一致,但荞麦淀粉中有少数颗粒较大且呈饱满球形,这与大部分荞麦颗粒研究相背,可能是市售荞麦淀粉中混入了少量其他植物来源的淀粉。

表1 荞麦、小麦、青稞淀粉的主要化学成分和透明度<sup>†</sup>

Table 1 Main constituents and transparency of BS, WS and HBS

淀粉	水分	蛋白质	灰分	淀粉	直链淀粉	透明度
荞麦	13.14±0.02	1.68±0.04	0.032±0.001	96.59±0.11	27.33±0.01	28.9±0.4
小麦	11.52±0.06	0.62±0.01	0.019±0.002	99.31±0.26	23.93±0.08	27.0±0.1
青稞	9.88±0.05	0.70±0.01	0.018±0.001	99.02±0.14	25.99±0.01	34.6±0.1

<sup>†</sup> 所有成分(除水分)数据以干基含量计算。



(a) 荞麦淀粉 (b) 小麦淀粉 (c) 青稞淀粉

图 1 荞麦、小麦、青稞淀粉的扫描电镜照片

Figure 1 Scanning electron micrographs of BS, WS and HBS ( $\times 3\ 000$ )

2.3 X-射线衍射

淀粉颗粒内部结构来自于支链淀粉通过其复杂的双螺旋结构形成的结晶区域<sup>[11]</sup>79-80。淀粉晶体分 3 类:A 型在  $2\theta$  为  $15.20^\circ, 17.00^\circ, 23.60^\circ$  出现明显衍射峰;B 型在  $2\theta$  为  $5.60^\circ, 17.00^\circ, 22.00^\circ, 24.00^\circ$  出现明显衍射峰;C 型结晶结构则是 A 型和 B 型的混合体<sup>[16]</sup>。通过衍射图谱(图 2)可以看出,3 种淀粉都呈现出明显的 A 型结晶结构特征,其中在  $17.00^\circ$  时 3 种淀粉强度均达到 100%。但荞麦淀粉在  $5.60^\circ$  出现微小的衍射峰,这也反映出荞麦淀粉可能混入薯类淀粉。小麦淀粉的结晶度略高于其他两种淀粉。

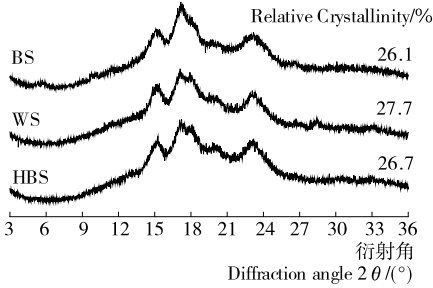


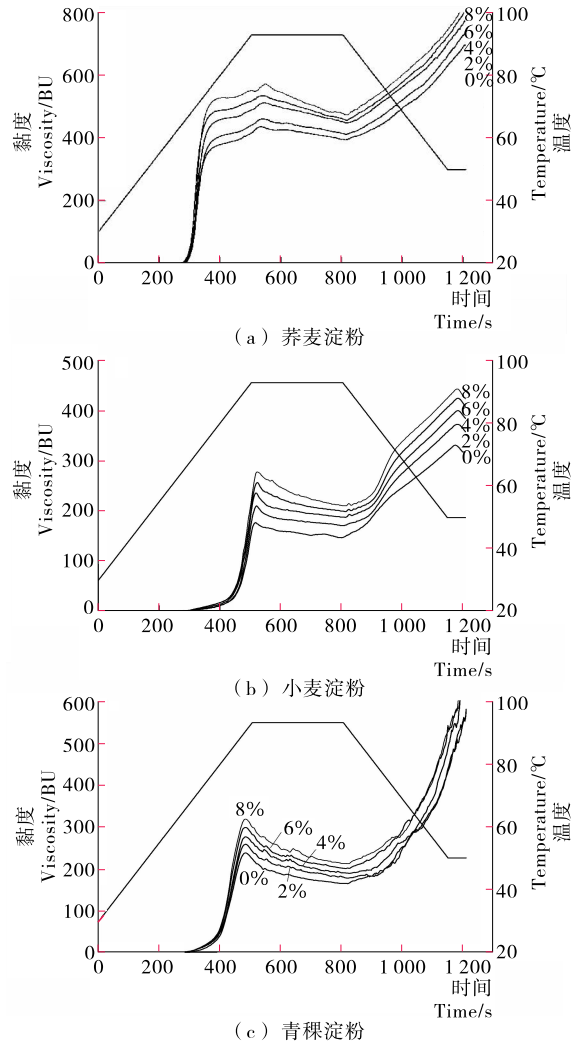
图 2 荞麦、小麦及青稞淀粉的 X 射线衍射图谱和结晶度  
Figure 2 X-ray diffraction patterns and relative crystallinity of BS, WS and HBS

2.4 青稞淀粉糊化特性的比较分析

淀粉糊化主要是一个膨胀驱动过程。通过直链淀粉所在的无定型区域的膨胀,对支链淀粉所在的结晶区域施加压力,最终引起支链淀粉双螺旋结构消失,导致淀粉颗粒刚性结构丧失。在此过程中淀粉颗粒膨胀、吸水、失去结晶性,以及沥出直链淀粉<sup>[11]</sup>87。而淀粉糊化过程中所处的介质环境对其糊化特性具有一定的影响。

2.4.1 蔗糖对 3 种淀粉糊化特性的影响比较 如图 3 所示,3 种淀粉在不同浓度蔗糖溶液中,其糊化曲线形状都未曾发生改变,只是随着浓度上升曲线有所轻微上移。淀粉的峰值黏度有所增加,一方面是因为随着介质本身浓度上升势必造成溶液黏度上升,另一方面,在“高固形物”或者“高糖度”体系中,蔗糖等亲水性基团,可促进亲水性的淀粉分子基团充分水合,从而使得黏度上升<sup>[17]</sup>。

表 2 中,荞麦淀粉在 0~8% 的蔗糖质量百分数范围中,其成糊温度并未出现显著性差异,小麦淀粉和青稞淀粉却表现出不同程度的下降趋势。这说明荞麦淀粉相比于其他两种薯类淀粉,其抵制蔗糖对成糊温度影响的能力更强,小麦相



折线为糊化过程中的温度变化线

图 3 蔗糖对荞麦、小麦、青稞淀粉糊化特性的影响  
Figure 3 Effect of sucrose on brabender curves of BS, WS and HBS

对较弱,青稞居中。成糊温度反映了淀粉溶胀的难易程度,也在一定程度上体现了淀粉结构紧密度。青稞淀粉的成糊温度与小麦淀粉相近,而荞麦淀粉的成糊温度较低。

2.4.2 NaCl 对 3 种淀粉糊化特性的影响比较 如图 4 所示,NaCl 的添加对 3 种淀粉的糊化特性影响各异。NaCl 的添加显著改变了青稞淀粉的糊化特性曲线,降低了青稞淀粉的崩解值和回生值(见表 3),这说明青稞淀粉在盐溶液中耐剪

表2 不同蔗糖含量(m/m)下3种淀粉的糊化黏度特征值<sup>†</sup>

Table 2 Pasting parameters of 3 kinds of starches with different sucrose concentration

淀粉	蔗糖含量/%	成糊温度/°C	峰值黏度/BU	崩解值/BU	回生值/BU
荞麦淀粉	0	66.3±0.1 <sup>a</sup>	438±1 <sup>a</sup>	41±0 <sup>a</sup>	232±1 <sup>a</sup>
	2	67.1±0.8 <sup>a</sup>	462±11 <sup>b</sup>	47±0 <sup>b</sup>	248±5 <sup>b</sup>
	4	66.7±0.3 <sup>a</sup>	514±11 <sup>c</sup>	62±17 <sup>c</sup>	250±7 <sup>b</sup>
	6	66.8±0.2 <sup>a</sup>	538±1 <sup>d</sup>	76±7 <sup>d</sup>	263±11 <sup>c</sup>
	8	67.1±0.1 <sup>a</sup>	574±9 <sup>e</sup>	95±6 <sup>e</sup>	267±1 <sup>c</sup>
小麦淀粉	0	78.3±0.9 <sup>a</sup>	177±5 <sup>a</sup>	29±2 <sup>a</sup>	170±5 <sup>a</sup>
	2	78.2±0.6 <sup>a</sup>	211±8 <sup>b</sup>	39±8 <sup>b</sup>	186±1 <sup>b</sup>
	4	76.3±0.5 <sup>b</sup>	236±1 <sup>c</sup>	48±1 <sup>c</sup>	194±6 <sup>c</sup>
	6	74.8±0.3 <sup>c</sup>	257±2 <sup>d</sup>	57±1 <sup>d</sup>	206±1 <sup>d</sup>
	8	74.5±0.3 <sup>c</sup>	278±6 <sup>e</sup>	67±2 <sup>e</sup>	214±3 <sup>e</sup>
青稞淀粉	0	74.8±0.2 <sup>a</sup>	237±3 <sup>a</sup>	73±3 <sup>a</sup>	323±7 <sup>bc</sup>
	2	73.6±0.1 <sup>b</sup>	257±2 <sup>b</sup>	78±1 <sup>b</sup>	251±33 <sup>a</sup>
	4	73.1±0.4 <sup>bc</sup>	275±1 <sup>c</sup>	85±5 <sup>c</sup>	248±12 <sup>a</sup>
	6	73.1±0.1 <sup>b</sup>	297±1 <sup>d</sup>	97±3 <sup>d</sup>	340±57 <sup>c</sup>
	8	72.5±0.1 <sup>c</sup>	318±2 <sup>e</sup>	105±1 <sup>e</sup>	313±5 <sup>b</sup>

<sup>†</sup> 同种淀粉的小写字母不同表示差异显著(P<0.05)。

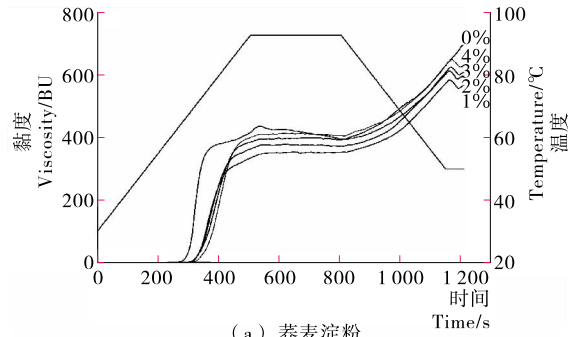
表3 不同NaCl含量(m/m)下3种淀粉的糊化黏度特征值<sup>†</sup>

Table 3 Pasting parameters of 3 kinds of starches with different NaCl concentration

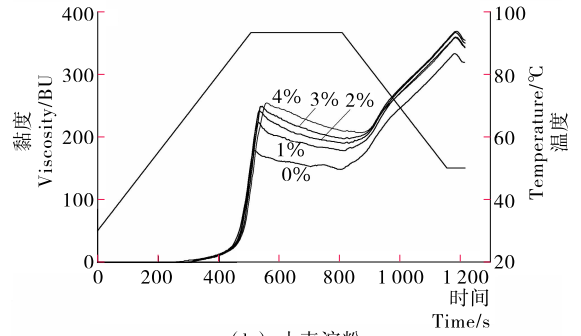
淀粉	NaCl含量/%	成糊温度/°C	峰值黏度/BU	崩解值/BU	回生值/BU
荞麦淀粉	0	66.3±0.1 <sup>c</sup>	438±1 <sup>e</sup>	41±0 <sup>c</sup>	232±1 <sup>b</sup>
	1	71.2±0.4 <sup>b</sup>	354±2 <sup>a</sup>	1±1 <sup>a</sup>	220±2 <sup>a</sup>
	2	72.0±0.5 <sup>ab</sup>	379±6 <sup>b</sup>	6±6 <sup>b</sup>	230±3 <sup>ab</sup>
	3	72.3±0.0 <sup>a</sup>	400±1 <sup>c</sup>	6±2 <sup>b</sup>	215±11 <sup>a</sup>
	4	72.8±0.3 <sup>a</sup>	416±1 <sup>d</sup>	9±4 <sup>b</sup>	225±8 <sup>a</sup>
小麦淀粉	0	78.3±0.9 <sup>b</sup>	177±5 <sup>a</sup>	29±2 <sup>a</sup>	170±5 <sup>c</sup>
	1	79.9±0.1 <sup>a</sup>	222±1 <sup>b</sup>	44±3 <sup>b</sup>	166±7 <sup>c</sup>
	2	78.7±0.1 <sup>ab</sup>	241±3 <sup>c</sup>	52±6 <sup>c</sup>	162±10 <sup>c</sup>
	3	78.9±0.3 <sup>ab</sup>	249±1 <sup>d</sup>	52±1 <sup>c</sup>	155±3 <sup>b</sup>
	4	78.9±0.1 <sup>ab</sup>	254±1 <sup>e</sup>	45±4 <sup>b</sup>	133±29 <sup>a</sup>
青稞淀粉	0	74.8±0.2 <sup>e</sup>	237±3 <sup>e</sup>	73±3 <sup>d</sup>	323±7 <sup>e</sup>
	1	85.6±0.1 <sup>d</sup>	200±0 <sup>d</sup>	22±1 <sup>c</sup>	137±0 <sup>d</sup>
	2	87.6±0.1 <sup>c</sup>	181±2 <sup>c</sup>	8±1 <sup>b</sup>	84±23 <sup>c</sup>
	3	88.4±0.3 <sup>b</sup>	162±4 <sup>b</sup>	0±0 <sup>a</sup>	46±2 <sup>b</sup>
	4	89.7±0.1 <sup>a</sup>	133±6 <sup>a</sup>	0±1 <sup>a</sup>	22±2 <sup>a</sup>

<sup>†</sup> 同种淀粉的小写字母不同表示差异显著(P<0.05)。

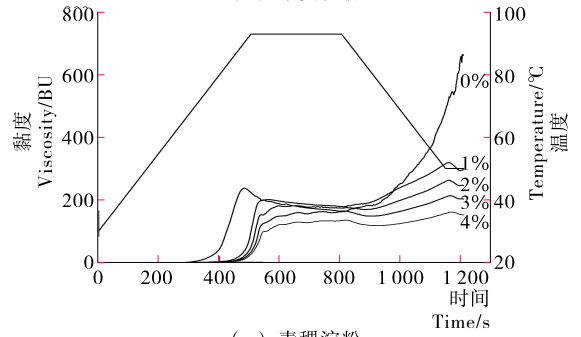
切性增强,且不易回生。其他两种淀粉的糊化曲线并未由NaCl的添加产生显著变化。根据于靖等<sup>[8]</sup>研究可知,淀粉由于其本身可能带有磷酸基团而成负电性,Na<sup>+</sup>和Cl<sup>-</sup>作为强电解质溶解于水中,会影响体系中水分子和淀粉的相互作用,其之间的相互作用力将阻止淀粉凝胶的破坏并延缓直链淀粉的浸出,从而使青稞淀粉糊化过程中黏度有所下降。吕振磊等<sup>[9]</sup>研究表明,食盐的添加使马铃薯淀粉的回生值略有增加。



(a) 荞麦淀粉



(b) 小麦淀粉



(c) 青稞淀粉

折线为糊化过程中的温度变化线

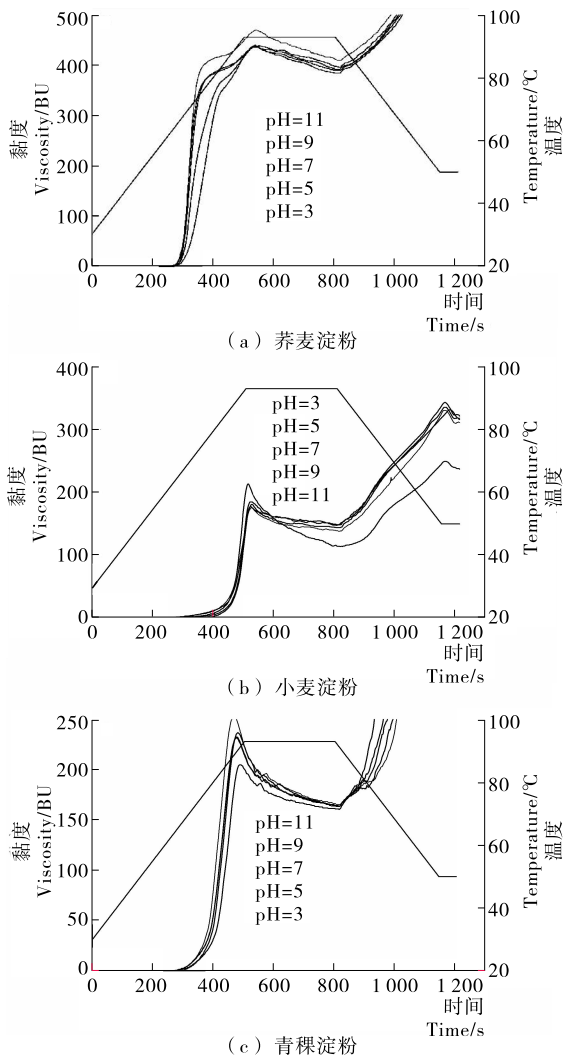
图4 NaCl对荞麦、小麦、青稞淀粉糊化特性的影响

Figure 4 Effect of NaCl on brabender curves of BS, WS and HBS

2.4.3 pH对3种淀粉糊化特性的影响比较 在pH 3~11范围内,3种淀粉均能表现出较好的稳定性,各曲线形状无明显变化且重合性较好(图5(a)和(c)由于后部几乎重合而没有给出)。相比之下,小麦淀粉的酸稳定性较弱。由图5(b)可知,在pH为3时小麦淀粉曲线出现略微的“垮塌”,崩解值显著上升至99(见表4),曲线后段黏度下降幅度大。酸碱破坏发生在氢键上,导致淀粉颗粒更容易膨胀。在极端pH条件下,随着温度升高,颗粒过早地破裂并伴随着黏度的迅速降低,就会产生“垮塌”的糊化曲线。

2.4.4 溶解度和膨润力 当淀粉在过量的水中加热时,由于连接裸露的直链淀粉和支链淀粉羟基的氢键断裂,破坏了晶体结构,水分子开始结合在淀粉分子上。这引起了颗粒膨润力和溶解性的增大。溶解度指颗粒融入水的能力,而膨润力反映颗粒吸收水的能力。

如图6所示,从膨润力来看,荞麦和青稞淀粉的吸水胀润能力优于小麦淀粉。这与颗粒本身结构密切相关,青稞淀粉颗粒较大,一般认为颗粒大的淀粉结构较为松散,所以更



折线为糊化过程中的温度变化线

图 5 pH 对荞麦、小麦、青稞淀粉糊化特性的影响

Figure 5 Effect of pH on brabender curves of BS, WS and HBS

容易发生溶胀。小麦淀粉结晶度较高(图 2),不易与水分子结合溶胀。溶解性和膨润力提供了无定型和晶体区域内部淀粉之间相互作用大小的证据,这种相互作用的程度受样品的直链淀粉含量、直链淀粉和支链淀粉的结构、颗粒化程度等因素的影响<sup>[20-21]</sup>。

## 2.5 青稞淀粉凝胶特性的比较分析

2.5.1 质构分析 淀粉的凝胶性能对其实际生产应用具有重大影响。如表 5 所示,青稞淀粉凝胶比较脆,受到挤压易发生破裂,易剪切稀化,而荞麦和小麦淀粉凝胶不易破裂。青稞淀粉凝胶黏着性明显高于其他两种淀粉,硬度和咀嚼性适中,回复性也介于其他两种淀粉之间。

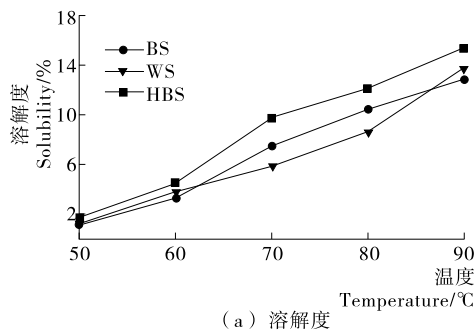
2.5.2 凝胶稳定性 本研究探讨了 3 种淀粉凝胶分别在冷藏和冷冻条件下的稳定性。通过脱水收缩作用表示凝胶抵抗温度变化及冻融过程的能力。如图 7 所示,3 种淀粉冷藏条件下的脱水收缩作用都低于冷冻(冻融)条件,这是由于冷冻条件下,冰晶体大且坚固,对淀粉结晶度及吸附水量的影

表 4 不同 pH 条件下 3 种淀粉的糊化黏度特征值<sup>†</sup>

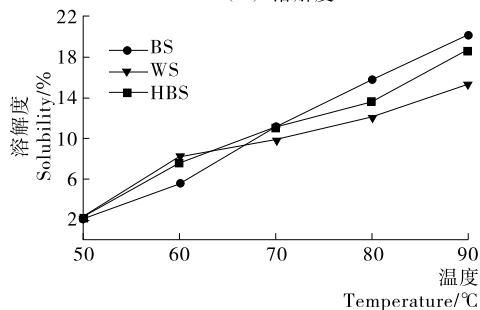
Table 4 Pasting parameters of 3 kinds of starches with different pH conditions

淀粉	pH	成糊温度/°C	峰值黏度/BU	崩解值/BU	回升值/BU
荞麦淀粉	3	67.9±0.1 <sup>b</sup>	440±11 <sup>a</sup>	55±2 <sup>b</sup>	269±0 <sup>c</sup>
	5	66.3±0.2 <sup>a</sup>	437±7 <sup>a</sup>	45±11 <sup>a</sup>	254±2 <sup>b</sup>
	7	66.3±0.1 <sup>a</sup>	438±1 <sup>a</sup>	41±0 <sup>a</sup>	232±1 <sup>a</sup>
	9	66.2±0.1 <sup>a</sup>	439±4 <sup>a</sup>	41±0 <sup>a</sup>	248±10 <sup>ab</sup>
	11	66.3±0.6 <sup>a</sup>	470±18 <sup>b</sup>	58±15 <sup>b</sup>	228±1 <sup>a</sup>
小麦淀粉	3	80.9±0.1 <sup>b</sup>	214±6 <sup>c</sup>	99±6 <sup>c</sup>	130±1 <sup>a</sup>
	5	82.1±0.3 <sup>c</sup>	185±3 <sup>b</sup>	36±1 <sup>b</sup>	188±6 <sup>c</sup>
	7	78.3±0.9 <sup>a</sup>	177±5 <sup>a</sup>	29±2 <sup>a</sup>	170±5 <sup>b</sup>
	9	83.2±0.7 <sup>d</sup>	181±0 <sup>b</sup>	37±1 <sup>b</sup>	185±2 <sup>c</sup>
	11	78.7±0.1 <sup>a</sup>	175±2 <sup>a</sup>	36±2 <sup>b</sup>	186±1 <sup>c</sup>
青稞淀粉	3	75.1±0.4 <sup>c</sup>	205±1 <sup>a</sup>	44±3 <sup>a</sup>	428±36 <sup>b</sup>
	5	73.3±0.6 <sup>a</sup>	232±1 <sup>b</sup>	67±2 <sup>b</sup>	444±18 <sup>b</sup>
	7	74.8±0.2 <sup>b</sup>	237±3 <sup>b</sup>	73±3 <sup>bc</sup>	323±7 <sup>a</sup>
	9	73.3±0.3 <sup>a</sup>	233±3 <sup>b</sup>	68±3 <sup>b</sup>	385±47 <sup>ab</sup>
	11	73.1±0.1 <sup>a</sup>	253±1 <sup>c</sup>	86±2 <sup>c</sup>	341±36 <sup>a</sup>

<sup>†</sup> 同种淀粉的小写字母不同表示差异显著(P<0.05)。



(a) 溶解度



(b) 膨润力

图 6 不同温度下荞麦、小麦和青稞淀粉的溶解度和膨润力比较

Figure 6 Solubility and swelling power versus temperature of BS, WS and HBS

响更大。在冷藏条件下,青稞淀粉脱水收缩作用最小,而冷冻条件下却表现不佳。

## 3 结论

(1) 青稞淀粉颗粒较大,呈扁平椭圆形,为 A 型结晶结构,结晶度(26.7%)介于荞麦和小麦淀粉之间。

表5 3种淀粉的TPA特征值

Table 5 TPA parameters of 3 kinds of starches

淀粉种类	硬度	弹性	黏着性	内聚性	咀嚼性	回复性
荞麦淀粉	82.32±0.54	0.94±0.01	29.32±0.13	0.31±0.01	36.37±0.12	0.12±0.01
小麦淀粉	11.24±0.15	0.97±0.02	22.32±0.42	0.32±0.02	4.24±0.01	0.06±0.01
青稞淀粉	33.14±0.56	0.96±0.02	69.37±0.14	0.43±0.11	12.26±0.11	0.11±0.02

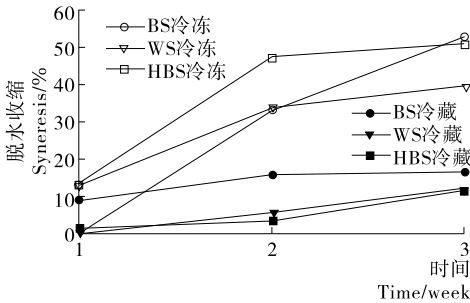


图7 荞麦、小麦和青稞淀粉凝胶的冷藏稳定性和冻融稳定性比较

Figure 7 Refrigeration stability and freeze/thaw stability for up to 3 weeks of gels from BS, WS and HBS

(2) 本研究中,青稞淀粉的成糊温度和峰值黏度均介于小麦淀粉和荞麦淀粉之间,其糊化易于小麦淀粉,难于荞麦淀粉。模拟淀粉加工环境考察介质对淀粉糊化特性的影响,发现3种淀粉在不同环境中显现出不同的变化特征:在8%(m/m)的蔗糖溶液和pH 3~11的环境下,3种淀粉仍能保持较好的热、冷稳定性,其中青稞淀粉耐酸碱性强;NaCl的添加使得青稞淀粉糊化特性曲线发生改变,极大程度改善了淀粉的冷稳定性、减缓其老化。

(3) 青稞淀粉凝胶黏着性高,可应用于胶基糖果、面包粉等;青稞淀粉凝胶在冷藏环境下脱水收缩相对小,而冷冻环境下脱水收缩相对大,不利于加工成冷冻食品,但盐的加入能够改善其冻融稳定性,所以青稞淀粉适合应用于肉制品及浓汁调味品中。

(4) 青稞淀粉溶解度高,膨润力介于荞麦淀粉和小麦淀粉之间。透明度好,为34.6%,有利于其在清汁饮料中的应用。

参考文献

[1] Gao Jun, Vasanthan T, Hoover R. Isolation and characterization of high-purity starch isolates from regular, waxy and high-amylose hull-less barley grains[J]. Cereal Chemistry, 2009, 86(2): 157-163.

[2] G Singh N, Singh J, Kaur L, et al. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources [J]. Food Chemistry, 2003, 81(2): 219-231.

[3] Sanchez T, Dufour D, Ximena I, et al. Comparison of pasting and gel stabilities of waxy and normal starches from potato, maize and rice with those of a novel waxy cassava starch under thermal, chemical and mechanical stress[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2010, 58(5): 5 093-5 099.

[4] Getachew A, Berhane L, Paul N N. Cropping sequence and nitrogen fertilizer effects on the productivity and quality of malting barley and soil fertility in the Ethiopian highlands[J]. Archives

of Agronomy and Soil Science, 2014, 60(9): 1 261-1 275.

[5] Halal S L M, Colussi R, Pinto V Z, et al. Structure, morphology and functionality of acetylated and oxidized barely starches [J]. Food Chemistry, 2015, 168(2): 247-256.

[6] Gao Jun, Vasanthan T, Hoover R, et al. Structural modification of waxy, regular, and high amylose maize and hullless barley starches on partial acid hydrolysis and their impact on physico-chemical properties and chemical modification[J]. Starch, 2012, 64(3): 313-325.

[7] Ashogbon A O, Akintayo E T. Recent trend in the physical and chemical modification of starches from different botanical sources [J]. Starch, 2014, 66(2): 41-57.

[8] 吕远平,熊荣君,贾利蓉,等. 青稞特性及其在食品中的应用 [J]. 食品科学, 2005, 25(7): 266-272.

[9] 邹奕星,潘志芬,邓光兵,等. 青藏高原青稞的淀粉特性[J]. 麦类作物学报, 2008, 28(1): 74-79.

[10] 郑学玲,张玉玉,张杰. 青稞淀粉理化特性的研究[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(4): 30-38.

[11] Eliasson A C, 赵凯. 食品淀粉的结构、功能及应用[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2009.

[12] 张根生,孙静,岳晓霞,等. 马铃薯淀粉的物化性质研究[J]. 食品与机械, 2010, 26(5): 22-27.

[13] 曹清明,钟海雁,李忠海,等. 蕨根淀粉糊化温度测定及影响因素研究[J]. 食品与机械, 2007, 23(3): 16-21.

[14] 赵延伟,吕振磊,王坤,等. 面条的质构及感官评价的相关性研究[J]. 食品与机械, 2011, 27(4): 25-30.

[15] 刘瑞,冯佰利,晁桂梅,等. 苦荞淀粉颗粒及淀粉糊性质研究 [J]. 中国粮油学报, 2014, 29(12): 32-37.

[16] Sharma P, Gujral H S, Rosell C M. Effects of roasting on barley  $\beta$ -glucan, thermal, textural and pasting properties [J]. Journal of Cereal Science, 2011, 53(4): 25-30.

[17] Xie Li-hong, Chen Neng, Duan Bin-wu, et al. Impact of proteins on pasting and cooking properties of waxy and non-waxy rice[J]. Journal of Cereal Science, 2008, 47(2): 372-379.

[18] 于靖,熊柳,孙庆杰. 不同离子胶对玉米磷酸酯双淀粉性质的影响[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(5): 36-43.

[19] 吕振磊,李国强,陈海华. 马铃薯淀粉糊化及凝胶特性研究 [J]. 食品与机械, 2010, 26(3): 22-29.

[20] Gupta M, Gill B S, Bawa A S. Gelatinization and X-ray crystallography of buckwheat starch: effect of microwave and annealing treatments[J]. International Journal of Food Properties, 2008, 11(5): 173-185.

[21] Zhou Yu-guang, Wang Li-jun, Li Dong, et al. Effect of water content on thermal behaviors of common buckwheat flour and starch [J]. Journal of Food Engineering, 2009, 93 ( 2 ): 242-248.