DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2020.05.007

氯化钠对不同品种红小豆淀粉特性的影响

Effect of sodium chloride on starch properties from
different adzuki bean varieties

张静祎¹ 翟爱华^{1,2} 张东杰^{1,2,3}

ZHANG Jing-yi¹ ZHAI Ai-hua^{1,2} ZHANG Dong-jie^{1,2,3}

(1. 黑龙江八一农垦大学食品学院, 黑龙江 大庆 163319; 2. 国家杂粮工程技术研究中心, 黑龙江 大庆 163319;
3. 黑龙江省农产品加工与质量安全重点实验室, 黑龙江 大庆 163319)

(1. College of Food Science, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China;
2. National Coarse Cereals Engineering Research Center, Daqing, Heilongjiang 163319, China; 3. Key Laboratory
of Agro-Products Processing and Quality Safety of Heilongjiang Province, Daqing, Heilongjiang 163319, China)

摘要:从3种不同品种的红小豆中提取的淀粉为原料,通过分析淀粉及添加氯化钠后的淀粉糊的粒径、黏度值、回生值、热焓值、凝胶性等特性,探究氯化钠对淀粉糊化特性的影响。结果表明:低直链淀粉含量的大红袍中淀粉相较于宝清红和珍珠红淀粉,表现出较高的糊化起始温度、最终黏度、热焓值;较低的峰值黏度、较小的粒径;对比添加2%氯化钠前后,3种红小豆淀粉糊化后的平均粒径、峰值黏度、衰减值和回生值显著下降($P<0.05$);糊化温度、淀粉的凝沉性显著增大($P<0.05$);氯化钠对凝胶特性的影响体现在凝胶强度显著降低($P<0.05$),同时淀粉凝胶的黏度减小。

关键词:红小豆;淀粉;氯化钠;糊化特性

Abstract: The effects of sodium chloride on the properties of starch paste were studied by analyzing the size, viscosity, regeneration, enthalpy and gelatability of starch paste after adding sodium chloride. The results showed that the starch in da hong pao with low amylose content showed higher initial temperature, final viscosity and enthalpy of gelatinization than that in baoqing and pearl, with lower peak viscosity and smaller particle size; After the addition of 2% sodium chloride, the average particle size, peak viscosity, attenuation value and rejuvenation value of the

three kinds of red bean starch gelatinized decreased significantly ($P<0.05$). Gelatinization temperature and setting property of starch increased significantly ($P<0.05$). The influence of sodium chloride on the gel characteristics was reflected in the significantly decreased gel strength ($P<0.05$), and the viscosity of starch gel decreased. Amylose content was found to be the key factor affecting the change of starch paste properties.

Keywords: red adzuki bean; starch; sodium chloride; pasting properties

在食品生产过程中氯化钠作为一种极其普遍的添加剂,不但可以增加产品风味,且由于在电解过程中产生的 Na^+ 会与淀粉中的羟基发生相互作用,在淀粉分子链的重排过程中有阻碍作用,可以使得淀粉老化现象延缓^[1-2]。赵前程等^[3]研究了食盐对杂交玉米淀粉糊化特性的影响,结果表明氯化钠能够通过离子结合淀粉分子,使杂交玉米淀粉峰值和回生值下降,淀粉黏度稳定性增强,从而提高食品品质。蔡旭冉等^[4]研究结果表明氯化钠可提高马铃薯淀粉的成糊温度和回生值。陈学玲等^[5]研究了氯化钠对芡实淀粉糊的糊化性质影响,确定了添加氯化钠后降低了淀粉糊的透明度,提高了淀粉的膨胀度。程东等^[6]通过研究氯化钠对几种变性淀粉的糊化性质的影响,结果表明添加一定比例的氯化钠,提高了变性淀粉的峰值黏度、终值黏度增大,同时也使淀粉的崩解值和回生值增大。薛婷^[7]研究了氯化钠对马铃薯淀粉黏度特性的影响,结果表明氯化钠能够使蜡质马铃薯淀粉黏度的减弱程度减小,而对普通马铃薯淀粉黏度影响较大。李莎^[8]研究了氯化钠对大米和板栗中淀粉的糊化特性的影响,结果表明氯化钠能够显著抑制淀粉的溶胀性和凝胶性。以上分析表明氯化钠对淀粉糊化特性有一定的影

基金项目:黑龙江八一农垦大学研究生创新科研项目(编号:YJSCX2018-Y54);国家重点研发计划(编号:2018YFE0206300);黑龙江省杂粮产业技术协同创新体系杂粮食品加工技术协同创新岗、优势特色学科资助项目(编号:黑教联[2018]4号)

作者简介:张静祎,女,黑龙江八一农垦大学在读硕士研究生。

通信作者:翟爱华(1970—),女,黑龙江八一农垦大学教授,博士。
E-mail:420680832@qq.com

收稿日期:2020-03-30

响,但由于淀粉来源不同,其淀粉结构及组成也不同,盐离子对淀粉的结合度也有差异,因此氯化钠对红小豆淀粉的糊化特性影响也不同。关于氯化钠对红小豆淀粉特性的影响研究尚未见报道。

红小豆是近年来比较受欢迎的杂粮之一,红小豆中淀粉含量超过 70%,是重要的食品淀粉来源,其性质是影响淀粉作为食品原料食品品质的关键因素^[9]。目前黑龙江省市场上红小豆的品种较多,形成种植规模的主要有大红袍、宝清红和珍珠红等。试验拟以黑龙江省的 3 种高产红小豆品种(大红袍、宝清红和珍珠红)经碱法提取的淀粉,添加 2%氯化钠对红小豆淀粉糊特性进行分析,明确红小豆淀粉结构与性质的变化,为氯化钠改变淀粉特性后在食品中的应用提供理论依据和技术参数。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

红小豆:品种宝清红、大红袍、珍珠红,黑龙江省大庆市泰来县农场;

氯化钠:分析纯,天津市大茂化学试剂厂。

1.1.2 主要仪器设备

激光粒度分析仪:Bettersize 2000 型,丹东市百特仪器有限公司;

快速黏度分析仪:RVA4500 型,瑞典波通仪器公司;

差示扫描量热仪:DSC1 型,瑞士梅特勒—托利多仪器有限公司;

质构仪:TA.XT Plus 型,英国 SMS 公司。

1.2 方法

1.2.1 样品制备 采用碱提法^[10]提取红小豆淀粉,将所得淀粉平铺于干净平皿中,于 35 ℃下鼓风干燥 24 h,过 80 目筛,得到红小豆中的淀粉。试验组用质量分数为 2%的氯化钠溶液配制成浓度质量分数为 3%的淀粉乳,对照组用蒸馏水配制成浓度质量分数为 3%的淀粉乳。

1.2.2 理化指标测定

(1) 淀粉水分含量:按 GB/T 12087—2008 执行。

(2) 淀粉含量:按 GB 5009.9—2016 执行。

(3) 蛋白含量:按 GB/T 5009.5—2016 执行。

(4) 直链淀粉含量:按 GB/T 15683—2008 执行。

(5) 粗脂肪含量:按 GB/T 5009.6—2016 执行。

(6) 透光率:参照文献^[11]。

1.2.3 粒径分布的测定 参照文献^[12]。

1.2.4 淀粉糊凝沉性的测定 参照文献^[13]。

1.2.5 差示扫描量热仪(DSC)的热学特性测定 参照文献^[14]。

1.2.6 快速黏度(RVA)的测定 参照文献^[15]。

1.2.7 淀粉凝胶特性的测定 将 RVA 试验后的红小豆淀粉糊迅速转移到玻璃器皿中,保鲜膜密封后于 4 ℃的冰箱中冷藏 12 h,放置在质构仪上开始检测,所设置的具体参数参照文献^[16]。

1.2.8 数据统计分析 采用 Excel、SPSS 软件对数据统计分析,用 Origin 8.0 软件进行绘图处理,各数据重复测定 3 次取平均值。

2 结果与分析

2.1 红小豆淀粉的理化特性

由表 1 可知,所测得的理化指标存在显著性差异($P<0.05$)。红小豆淀粉中水分含量为 8.58%~11.04%,淀粉含量为 73.29%~75.16%,其中珍珠红淀粉的水分和淀粉含量最低,大红袍淀粉含量最高;在提取的 3 种粉中,蛋白含量皆不高,为 0.28%~0.35%;脂肪含量为 0.03%~0.07%,主要是与淀粉结合的离子以及提取淀粉时残留的较少脂肪。3 种红小豆淀粉中,大红袍的直链淀粉含量最低为 28.35%,珍珠红最高为 35.43%。此外,大红袍淀粉的透光率最高为 6.47%,珍珠红淀粉最低为 5.93%,因为淀粉溶液的透光率与淀粉分子的分支大小有关,直链淀粉含量越高,淀粉糊重结晶易于出现回生的现象,使得透光率降低^[17],所以直链淀粉含量最低的大红袍淀粉具有较高的透光率。

2.2 氯化钠对不同红小豆淀粉粒径的影响

如表 2 所示:3 种红小豆淀粉颗粒的平均粒径中珍珠红淀粉的平均粒径最高(为 43.29 μm),宝清红淀粉的居中(为 39.04 μm),大红袍淀粉的最低(为 35.58 μm);当加入 2%氯化钠时,3 种红小豆淀粉的粒径显著降低。因为在 70 ℃下已经达到淀粉完全糊化所需的温度,2%氯化钠的加入,产生的渗透压影响了淀粉分子与水分子的进一步结合,淀粉颗粒不能充分膨胀,所以使得 3 种红小豆

表 1 红小豆淀粉的理化性质测定结果[†]

Table 1 Physicochemical properties of different cultivars of red adzuki bean starch %

品种	水分含量	淀粉含量	粗蛋白含量	粗脂肪含量	直链淀粉含量	透光率
珍珠红	8.58±1.31 ^c	73.29±0.62 ^a	0.35±0.03 ^a	0.053±0.004 ^{ab}	35.43±0.18 ^a	5.93±0.41 ^a
宝清红	10.56±0.91 ^{ab}	74.54±0.81 ^b	0.39±0.02 ^b	0.072±0.003 ^a	31.29±0.20 ^b	6.32±0.57 ^c
大红袍	11.04±0.53 ^a	75.16±0.52 ^{bc}	0.28±0.04 ^c	0.034±0.001 ^{bc}	28.35±0.13 ^c	6.47±0.32 ^{ab}

[†] 同列字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

表 2 红小豆淀粉的粒径[†]

Table 2 Particle size of red adzuki bean starch

品种	氯化钠添加量/%	平均粒径/ μm	$D_{10}/\mu\text{m}$	$D_{50}/\mu\text{m}$	$D_{90}/\mu\text{m}$
珍珠红	0	43.29 $\pm$ 1.32 ^a	29.13 $\pm$ 0.61 ^a	45.12 $\pm$ 0.43 ^a	59.87 $\pm$ 0.18 ^a
	2	40.36 $\pm$ 0.90 ^b	28.12 $\pm$ 0.32 ^b	44.07 $\pm$ 0.32 ^b	58.22 $\pm$ 0.31 ^b
宝清红	0	39.04 $\pm$ 0.91 ^a	26.98 $\pm$ 0.80 ^a	42.16 $\pm$ 0.39 ^a	57.90 $\pm$ 0.20 ^a
	2	37.59 $\pm$ 1.14 ^b	25.46 $\pm$ 0.32 ^b	41.09 $\pm$ 0.26 ^b	56.07 $\pm$ 0.15 ^b
大红袍	0	35.58 $\pm$ 0.51 ^a	25.16 $\pm$ 0.53 ^a	40.92 $\pm$ 0.25 ^a	55.28 $\pm$ 0.13 ^a
	2	34.27 $\pm$ 0.83 ^b	24.03 $\pm$ 0.72 ^b	39.15 $\pm$ 0.44 ^b	54.09 $\pm$ 0.25 ^b

[†] 同列字母不同表示差异显著(P<0.05)。

淀粉的粒径减小^[18]。

2.3 氯化钠对不同红小豆淀粉凝沉性的影响

由表 3 可知:3 种红小豆原淀粉都出现了凝沉现象,但在 36 h 后凝沉的变化不明显;添加氯化钠后,增大了红小豆淀粉糊的凝沉速率,可能是带电离子的存在阻碍了淀粉颗粒吸水溶胀,影响了淀粉糊化,促进淀粉链之间的相互作用。随着时间的延长,使淀粉分子集聚的同种电荷增多,分子间相互排斥不易聚集,凝沉作用稳定^[2]。不同品种间淀粉的凝沉性差异,主要是直链淀粉含量不同引起的,直链淀粉含量高的珍珠红淀粉的凝沉速度加快,使淀粉分子重新聚焦,凝沉硬化^[19]。

2.4 氯化钠对不同红小豆淀粉热学特性的影响

由表 4 可知:糊化起始温度为 59.75~62.92 $^{\circ}\text{C}$,其中

表 3 红小豆淀粉的凝沉性

Table 3 Condensing of red adzuki bean starch %

品种	氯化钠添加量/%	12 h	24 h	36 h	48 h	60 h	72 h
珍珠红	0	50.3	54.7	55.9	56.4	56.8	57.2
	2	41.6	45.2	45.4	45.5	45.6	46.6
宝清红	0	48.6	50.4	51.2	51.7	52.0	52.5
	2	39.7	42.1	42.3	42.4	42.5	43.5
大红袍	0	46.9	49.3	50.5	50.9	51.2	51.4
	2	37.6	40.5	40.6	40.7	40.8	41.8

表 4 红小豆淀粉的热学性质[†]

Table 4 The thermal properties of different varieties of red adzuki bean starch

品种	氯化钠添加量/%	起始温度/ $^{\circ}\text{C}$	峰值温度/ $^{\circ}\text{C}$	终止温度/ $^{\circ}\text{C}$	热焓值/($\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$)
珍珠红	0	59.75 $\pm$ 0.55 ^a	67.92 $\pm$ 0.23 ^a	79.73 $\pm$ 0.31 ^a	6.55 $\pm$ 0.30 ^a
	2	63.51 $\pm$ 0.36 ^b	73.51 $\pm$ 0.18 ^b	85.34 $\pm$ 0.27 ^b	7.39 $\pm$ 0.16 ^c
宝清红	0	60.38 $\pm$ 0.25 ^a	68.02 $\pm$ 0.02 ^a	77.87 $\pm$ 0.11 ^a	7.34 $\pm$ 0.19 ^a
	2	65.73 $\pm$ 0.19 ^b	73.24 $\pm$ 0.15 ^b	81.24 $\pm$ 0.16 ^b	8.13 $\pm$ 0.25 ^b
大红袍	0	62.92 $\pm$ 0.16 ^a	71.98 $\pm$ 0.08 ^a	79.82 $\pm$ 0.24 ^a	7.47 $\pm$ 0.46 ^a
	2	67.39 $\pm$ 0.30 ^b	76.54 $\pm$ 0.27 ^b	84.83 $\pm$ 0.39 ^b	7.89 $\pm$ 0.21 ^a

[†] 同列字母不同表示差异显著(P<0.05)。

大红袍淀粉最高,珍珠红淀粉最低。直链淀粉含量高的珍珠红淀粉,由于淀粉分子间的结合弱,水分子在升温阶段易于捕获的淀粉亲水基,易于糊化,因此,珍珠红淀粉相对其他淀粉易糊化^[20];珍珠红、宝清红和大红袍淀粉的热焓值分别为 6.55,7.34,7.47 J/g,因为热焓值的不同与淀粉颗粒结晶区域的双螺旋之间的键合力和双螺旋结构数量的差异相关,所以珍珠红淀粉中的直链淀粉含量高,其中的双螺旋链比例低,加热过程中由支链淀粉双螺旋结构与相邻的淀粉结晶区的相互作用力较弱,糊化解构时所需热焓低;此外,直链淀粉分子排列无序化,使淀粉分子间的结合力小,淀粉更容易糊化,测得的糊化温度低^[21]。添加氯化钠后,不同红小豆淀粉糊化温度均有所提高,主要是由于氯化钠溶解后产生的离子溶液形成较高的渗透压,抑制淀粉分子的吸水作用,使淀粉分子完成糊化作用获得的水分不足,限制了淀粉的充分糊化,结果糊化温度升高^[22]。由于有氯化钠存在时,淀粉分子上的羟基与钠离子相互作用,淀粉无定形区的初始膨胀度下降,改变了淀粉的热转变,使热焓值提高^[2]。

2.5 氯化钠对不同红小豆淀粉糊化特性的影响

如表 5 所示,珍珠红淀粉、宝清红淀粉、大红袍淀粉 3 种淀粉的峰值黏度依次递减,主要是由于直链淀粉分子间的结合力弱,在升温过程中的淀粉分子易于被水分子崩解,形成稠度较高的淀粉糊,提高了峰值黏度;珍珠红淀粉、宝清红淀粉、大红袍淀粉 3 种淀粉的谷值黏度、最

表5 红小豆淀粉的糊化性质[†]

Table 5 Pasting properties on different varieties of red adzuki bean of starch

品种	氯化钠添加量/%	峰值黏度/cP	谷值黏度/cP	最终黏度/cP	衰减值/cP	回生值/cP
珍珠红	0	11 461.2±1.2 ^a	5 023.1±2.7 ^a	6 170.4±1.8 ^a	6 438.2±1.5 ^a	1 147.1±0.5 ^a
	2	9 587.4±5.6 ^b	4 127.1±3.5 ^b	5 209.3±4.0 ^b	5 561.3±5.4 ^b	1 029.2±2.5 ^b
宝清红	0	8 632.1±1.3 ^a	6 020.2±3.0 ^a	6 595.3±0.4 ^a	2 612.1±1.9 ^a	575.3±1.8 ^a
	2	7 539.4±4.9 ^b	5 428.2±1.8 ^b	5 672.1±3.2 ^b	2 056.3±3.5 ^b	453.3±4.9 ^b
大红袍	0	8 614.3±0.4 ^a	6 329.3±1.1 ^a	6 863.3±2.6 ^a	2 285.2±0.8 ^a	534.3±3.5 ^a
	2	7 203.2±3.2 ^b	5 103.2±2.9 ^b	5 327.2±4.9 ^b	1 367.3±5.1 ^b	409.2±1.6 ^b

† 同列字母不同表示差异显著(P<0.05)。

终黏度依次递增,主要是由于大红袍淀粉属于低直链淀粉特性,升温糊化阶段较高结合度的支链淀粉更易形成高稠度的淀粉糊。加入质量分数为2%的氯化钠后,3种淀粉由于糊化所需能量小,使峰值黏度下降,同样原理淀粉糊在高温状态下的谷值黏度、最终黏度显著下降(P<0.05),主要是淀粉糊溶液中离子的存在,使淀粉分子间及淀粉分子与水分子间的氢键被破坏,淀粉糊化困难,这一结果与淀粉的热学性质中糊化温度提高的变化一致。珍珠红淀粉、宝清红淀粉、大红袍淀粉3种淀粉的衰减值和回生值依次降低,主要是直链淀粉的含量不同使淀粉分子间由于能量下降,分散的直链淀粉分子重新有序排列引起的;加入质量分数为2%的氯化钠使3种淀粉衰减值和回生值显著下降(P<0.05),与淀粉凝沉特性一致。衰减值和回生值下降的主要原因是淀粉分子上的弱阴离子和溶液中存在的阳离子交换,使得淀粉分子内的排斥作用发生增强^[23],氯化钠可延缓红小豆淀粉的回生特性,可提高抗老化性。

2.6 氯化钠对不同淀粉凝胶特性的影响

由表6可知,珍珠红淀粉的凝胶强度最大,其次是宝清红淀粉,大红袍淀粉的最小,凝胶的差异主要是由于淀粉糊的凝胶强度是与直链淀粉含量多少有关,直链淀粉分子之间分支少,分子间的距离则小,淀粉分子相互结合力强,当热动力动能降低时容易形成凝胶网状结构^[23-24]。

表6 红小豆淀粉颗粒的凝胶特性[†]

Table 6 Gel properties of red adzuki bean of starch

品种	氯化钠添加量/%	凝胶强度/g	黏度/g
珍珠红	0	176.89±11.30 ^a	29.13±3.61 ^a
	2	154.36±10.91 ^b	26.12±2.33 ^b
宝清红	0	169.04±12.92 ^a	26.98±2.82 ^a
	2	143.59±9.12 ^b	22.46±1.32 ^b
大红袍	0	150.58±10.51 ^a	25.16±2.51 ^a
	2	134.27±8.52 ^b	20.03±1.72 ^b

† 同列字母不同表示差异显著(P<0.05)。

加入氯化钠之后,不同红小豆淀粉的凝胶强度均显著下降(P<0.05),这是由于氯化钠不利于淀粉分子聚集回生,阻碍淀粉凝胶向固体性质转变的过程^[8]。另外,3种红小豆淀粉凝胶中,在加入食盐后,大红袍淀粉的黏度下降最明显,与RVA测试结果一致,说明添加质量分数2%的氯化钠对直链淀粉含量较低的大红袍淀粉凝胶流动性有促进作用^[4-7]。

3 结论

通过比较分析不同品种红小豆淀粉间的粒度、黏度、热力学特性和凝胶性差异及氯化钠对淀粉特性的影响。结果表明:直链淀粉的差异性影响了淀粉的糊化特性,主要由于直链淀粉分子结构简单,给予一定的能量,水分子易与亲水基相互作用,使直链淀粉含量高的珍珠红淀粉表现出较低的糊化起始温度、最终黏度、热焐值,较高的峰值黏度及较大的粒径;在添加质量分数为2%的氯化钠后,氯化钠增强了淀粉分子内与羟基的作用,改变了糊化特性,使红小豆淀粉糊化温度提高,同时粒径减小,说明氯化钠电离出的钠离子与淀粉分子相互作用;此外,添加氯化钠后能够促进直链淀粉含量较低的淀粉凝胶的流动,增大了凝胶的黏度。添加氯化钠的红小豆淀粉由于结构发生改变而引起的其在谷物食品中的应用特性随之改变,生产出来的谷物食品的膨胀性、抗老化性及糊化性也会发生改变。

试验还需进一步研究氯化钠对红小豆淀粉的微观结构、离子的结合状态等对淀粉糊化特性的影响等问题,揭示其结构与性质的关系。

参考文献

- [1] 王冠青. 淀粉种类及氯化钠对淀粉冻融稳定性的影响[D]. 无锡: 江南大学, 2015: 12.
- [2] LI Day, CLAIRE Fayet, STEPHEN Homer. Effect of NaCl on the thermal behaviour of wheat starch in excess and limited water[J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 94(1): 31-37.
- [3] 赵前程, 李新华, 王翀. 食盐对普通玉米杂交种淀粉糊化性质的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2007(3): 33-36.

- [4] 蔡旭冉, 顾正彪, 洪雁, 等. 盐对马铃薯淀粉及马铃薯淀粉—黄原胶复配体系特性的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(9): 1-5.
- [5] 陈学玲, 关键, 梅新, 等. 氯化钠、蔗糖和碳酸钠对芡实淀粉糊化特性的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(17): 60-65.
- [6] 程东, 洪雁, 顾正彪, 等. 柠檬酸和 NaCl 对变性淀粉糊化性质的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2017, 36(10): 1 047-1 053.
- [7] 薛婷. pH、盐、糖、酸对马铃薯淀粉黏度特性的影响[D]. 西安: 陕西科技大学, 2014: 37-38.
- [8] 李莎. 盐糖复合对淀粉功能性质的影响[D]. 天津: 天津科技大学, 2017: 16-17.
- [9] LUO Jia-qiang, CAI Wei-xi, WU Tong, et al. Phytochemical distribution in hull and cotyledon of adzuki bean (*Vigna angularis* L.) and mung bean (*Vigna radiate* L.), and their contribution to antioxidant, anti-inflammatory and anti-diabetic activities[J]. Food Chemistry, 2016, 201: 350-360.
- [10] ZHANG Du-qin, MU Tai-hua, SUN Hong-nan. Effects of starch from five different botanical sources on the rheological and structural properties of starch-gluten model doughs[J]. Food Research International, 2018, 103: 156-162.
- [11] CRAIG A S, MANINGAT C C, SEIB P A, et al. Starch paste clarity[J]. Cereal Chemistry, 1989, 66(3): 173-182.
- [12] LIU Ming, WU Na-na, YU Guo-ping, et al. Physicochemical, structural properties and in vitro digestibility of pea starch treated with high hydrostatic pressure[J]. Starch-Strke, 2017, DOI: 10.1002/star.201700082.
- [13] 王立东, 肖志刚, 齐鹏志. 气流粉碎对高直链玉米淀粉颗粒形态及性质的影响[J]. 东北农业大学学报, 2017, 48(12): 221-228.
- [14] NARA S, KOMIYA T. Studies on the relationship between water-saturated state and crystallinity by the diffraction method for moistened potato starch[J]. Starch-Stärke, 1983, 35(12): 407-410.
- [15] 袁美兰, 鲁战会, 程永强, 等. 自然发酵对米粉 RVA 黏度性质及米粉拉伸性质的影响[J]. 中国粮油学报, 2008, 23(1): 6-9.
- [16] 罗舜菁, 李燕, 杨榕, 等. 氨基酸对大米淀粉糊化和流变性质的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(15): 178-182.
- [17] TENG L Y, CHIN N L, YUSOFY A. Rheological and textural studies of fresh and freeze-thawed native sago starch-sugar gels II; Comparisons with other starch sources and reheating effects[J]. Food Hydrocolloids, 2013, 31(2): 156-165.
- [18] 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): 22-27.
- [19] 葛云飞, 康子悦, 沈蒙, 等. 高粱自然发酵对淀粉分子结构及老化性质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(18): 35-40.
- [20] 刘佳男, 于雷, 王婷, 等. 微波处理对白高粱淀粉理化特性的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(5): 186-190.
- [21] 王志伟, 闫凤霞, 徐嘉良, 等. 3 种高粱品种淀粉特性和酿造黄酒的风味品质分析[J]. 食品科学, 2019, 40(13): 45-51.
- [22] 张涛, 缪铭, 江波. 不同品种鹰嘴豆淀粉糊与凝胶特性研究[J]. 食品与发酵工业, 2007(9): 6-10.
- [23] 葛云飞, 康子悦, 沈蒙, 等. 自然发酵对高粱淀粉理化性质的影响[J]. 中国粮油学报, 2018(7): 51-56.
- [24] 刘淑婷, 王颖, 余铁军, 等. 黑龙江地区不同品种芸豆淀粉的物化特性研究[J]. 农产品加工, 2018(19): 16-19, 22.

(上接第 33 页)

- [9] 张喻, 章丽琳, 曾嵘, 等. 凉薯淀粉的理化性质研究[J]. 粮食与油脂, 2016, 29(9): 19-22.
- [10] 刘灿灿, 黄群, 孙潇鹏, 等. 槟榔芋淀粉与其球磨酯化淀粉理化性质比较[J]. 食品与机械, 2018, 34(5): 44-48.
- [11] SHEN Xin-yu. Amylopectin fine structure: Mechanism of the long chain function[D]. Indiana: Purdue University, 2010: 3-5.
- [12] HUANG Han-han, JIANG Qian-qian, CHEN Yu-ling, et al. Preparation, physico-chemical characterization and biological activities of two modified starches from Yam (*Dioscorea Opposita* Thunb.)[J]. Food Hydrocolloids, 2015, 55(9): 244-253.
- [13] 欧阳梦云, 王燕, 赵传文. RS₃ 型籼米抗性淀粉制备方法对其结构和理化性质的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(8): 14-18.
- [14] 赵小梅, 李清明, 苏小军, 等. 桂淮系列淮山淀粉性质的测定[J]. 食品科学, 2018, 39(1): 48-53.
- [15] 吴会琴, 杨秋歌, 黄梦迪, 等. 白芸豆淀粉与小利马豆淀粉理化性质的比较研究[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(9): 3-4.
- [16] 侯蕾, 韩小贤, 郑学玲, 等. 不同种类淀粉理化性质的比较[J]. 粮食加工, 2015, 40(2): 32-37.
- [17] 赵神彳, 王辉, 康辉, 等. 不同品种来源的大麦淀粉理化和功能特性的研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(20): 1-8.

(上接第 19 页)

- sembly of head of bacteriophage-T4[J]. Nature, 1970, 227(5 259): 680-685.
- [19] 严萍, 朱喜梅, 李璐, 等. Mincle 受体蛋白克隆、原核表达与纯化[J]. 现代食品科技, 2015(3): 77-83, 76.
- [20] 杨旭, 谢盈. 茶渣硒蛋白的分离纯化及其性质研究[J]. 食品与机械, 2018, 34(11): 152-156.
- [21] LEVARSKI Z, ŠOLTÝŠOVA A, KRAHULEC J, et al. High-level expression and purification of recombinant human growth hormone produced in soluble form in *Escherichia coli*[J]. Protein Expression and Purification, 2014, 100: 40-47.
- [22] LIU Yang, REN Li-mei, GE Ling-miao, et al. A strategy for fusion expression and preparation of functional glucagon-like peptide-1 (GLP-1) analogue by introducing an enterokinase cleavage site[J]. Biotechnology Letters, 2014, 36(8): 1 675-1 680.
- [23] 杨宁, 赵凌侠, 唐克轩. 重组人胰岛素类似物蛋白在大肠杆菌中克隆、表达与纯化[J]. 武汉大学学报: 医学版, 2010, 31(3): 281-287.