

碱提残余蛋白对籼米糊化特性的影响

Residual protein treated by alkali on pasting properties of *indica* rice

李艳 高文明 易翠平

LI Yan GAO Wen-ming YI Cui-ping

(长沙理工大学化学与生物工程学院健康谷物制品研究所, 湖南 长沙 410114)

(Institute of Healthy Cereal Product, School of Chemical and Biomedical Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha, Hunan 410114, China)

摘要:通过碱处理籼米粉(蛋白含量为 7.85%)分离得到蛋白含量分别为 2.36%, 4.23%, 0.38% 的籼米淀粉、黄淀粉和白淀粉, 并对 3 种淀粉的糊化与结构特性进行研究。RVA 分析结果表明, 籼米粉的糊化峰值粘度、热糊粘度和最终粘度均极显著低于籼米淀粉、黄淀粉与白淀粉($P < 0.01$), 与 DSC 对样品糊化温度的分析结果一致; RVA 分析发现籼米淀粉和黄淀粉的粘度值没有显著差异($P > 0.05$), 而 DSC 结果表明黄淀粉和白淀粉的糊化温度最为接近。对样品的结构进行分析发现: 碱处理籼米粉后 3 种淀粉的透光率均降低; 平均链长白淀粉最长、籼米粉最短, 聚合度白淀粉最大、籼米粉最小, 黄淀粉和籼米淀粉的聚合度和直、支链淀粉的链长接近; 蛋白亚基籼米粉和籼米淀粉主要含 60, 33, 22, 13 ku 亚基, 黄淀粉主要含 60, 22, 13 ku 亚基, 白淀粉中主要含 60, 33 ku 亚基。显微结构分析发现不同的淀粉中, 存在少量的蛋白质和纤维素。说明淀粉以外, 蛋白质的含量与组成及其与纤维素的相互作用对籼米粉的糊化特性也有一定的影响。
关键词:大米蛋白; 籼米; 淀粉; 糊化特性; 结构

Abstract: The rice starch (RS), yellow starch (YS) and white starch (WS), which protein content were 2.36%, 4.23%, 0.38% respectively, were obtained after *indica* rice flour (protein content was 7.85%) treated by alkaline, and their pasting and structure properties were then studied. Results of RVA indicated that the peak viscosity, hot pasting viscosity and final viscosity of rice flour had significantly lower than rice starch, yellow starch and white starch ($P < 0.01$), which agree with the result of the pasting temperature tested by DSC; RVA analysis also found that the viscosity between rice starch and yellow starch had no significant effect ($P > 0.05$), while

DSC result believed that the pasting temperature were approached between yellow starch and white starch. The structure analysis of the samples showed that transparency decreased with *indica* rice treated by alkali; the WS of average chain length was longest, while rice flour shortest; and as well the polymerization degree. To protein subunit, there were 60 ku, 33 ku, 22 ku and 13 ku mainly in rice flour and RS; 60 ku, 22 ku and 13 ku mainly in YS, 60 ku, with 33 ku in WS. The results of microstructure showed that the interaction of protein or protein with fiber was different. This study demonstrated that, beside starch, the pasting property of *indica* rice flour was also affected by the content and composite of protein, and interaction of protein with fiber.

Keywords: rice protein; *indica* rice flour; starch; pasting properties; structure

以往的研究认为, 米粉的糊化特性取决于直链淀粉和支链淀粉的含量及精细结构^[1-2]; 但近年来的研究发现, 蛋白质亦影响籼米粉的糊化特性^[3-5]。事实上, 不同品种间蛋白质亚基种类与含量差异很大, 这些差异可能是大米在食品加工中产生功能行为的原因之一, 不同品种和含量的碱提蛋白分离重组后对同种籼米淀粉糊化特性的影响也证实了这一点^[6], 但分离重组法并不涵盖大米中残余蛋白的含量对淀粉糊化特性影响的问题。研究^[7]表明, 碱处理籼米粉后, 籼米粉在离心力的作用下, 可分离成蛋白质含量不同的籼米淀粉、黄淀粉和白淀粉。基于此, 本研究拟通过碱处理籼米粉后分离得到不同蛋白含量的淀粉组分, 分析其糊化特性的变化趋势及相应的形成原因, 以此探讨内源性蛋白质对籼米糊化特性的作用机理, 从而为籼米的深加工提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与仪器

籼稻谷: 浓香 18, 湖南金健米业有限公司;
白淀粉、黄淀粉、淀粉: 实验室自制;

基金项目:国家自然科学基金资助项目(编号: 31301404)

作者简介:李艳, 女, 长沙理工大学在读硕士研究生。

通讯作者:易翠平(1973—), 女, 长沙理工大学教授, 博士。

E-mail: 109823769@qq.com

收稿日期: 2016-01-20

十二烷基磺酸钠、聚丙烯酰胺:化学纯,国药集团化学试剂有限公司;

四甲基二乙胺、三羟甲基氨基甲烷:生物试剂,国药集团化学试剂有限公司;

过硫酸铵:分析纯,西陇化工股份有限公司;

低分子量标准蛋白:14.4~94.0 ku,上海楷洋生物技术有限公司;

快速粘度测定仪(RVA):Super-4型,澳大利亚 Newport scientific 公司;

冷冻切片机:Leica CM1950型,德国徕卡公司;

显微镜:Leica DM4000 B LED型,德国徕卡公司;

电泳槽:DYY-III型,北京市六一仪器厂;

稳压稳流电泳仪:DYY-5型,北京市六一仪器厂;

差示扫描量热分析仪:DSC Q2000型,美国TA公司;

低速离心机:TG16K型,长沙东旺实验仪器有限公司;

冷冻干燥机:FD-1A型,北京博医康实验仪器有限公司;

循环水式真空泵:SHZ-D(III)型,巩义市予华仪器有限责任公司;

精米机:LTJM-2008型,台州市路桥京奥粮用器材厂;

紫外可见风光光度计:UV-1800型,日本岛津公司。

1.2 试验方法

1.2.1 样品制备 将籼稻脱壳碾米,粉碎过100目,加0.05 mol/L NaOH,25℃水浴搅拌3 h,3 500 r/min离心10 min,去除上清液,可以明显看到沉淀物从上到下依次分为黄色的淀粉糊、白淀粉、黄淀粉3层,刮除黄色的淀粉糊,再将白淀粉和黄淀粉分别取出作为样品,籼米淀粉为总沉淀物,白淀粉、黄淀粉和籼米淀粉3种样品再分别用0.1 mol/L HCl调中性、离心、洗涤、低温烘干,干燥器室温保存^[7]。

1.2.2 基本成分的测定

(1) 蛋白质含量的测定:按GB 5009.5—2010的微量凯氏定氮法执行。

(2) 淀粉含量的测定:按GB/T 5009.9—2003的酸水解法执行。

(3) 大米直链淀粉含量的测定:按GB/T 15683—2008执行。

1.2.3 透光率测定 配制浓度为1%的淀粉样品,取50 mL放入烧杯中,置于沸水浴中玻璃棒搅拌加热20 min,不时加入沸蒸馏水保持淀粉乳的体积不变。冷却到室温后以蒸馏水为空白,设置蒸馏水的透光率为100%,在620 nm波长下测定淀粉糊的透光率。

1.2.4 RVA分析 取3.0 g样品(干基),加25 mL蒸馏水,放置入快速粘度测定仪进行测定:样品升温,在50℃保温1 min,95℃保温2.5 min,再降温到50℃、保温1.4 min,得到籼米粉的糊化特性曲线,记录峰值粘度(PV)、热糊粘度(HV)、崩解值(BD)、最终粘度(FV)、回生值(SB)和糊化温度(PT)等特征值。

1.2.5 DSC分析 采用差示扫描量热法。取2.5 mg样品(干基),加5.0 μL去离子水,以铝制样品盘密封后置于4℃

平衡过夜,测试前取出回温1 h,放入DSC中测定:以空盘为参考样品,升温速率10.0℃/min,温度范围30~100℃,得试样的DSC热效应曲线,参数包括淀粉糊化时的热焓(ΔT)、起始温度(T_o)、峰值温度(T_p)及终结温度(T_c)。

1.2.6 淀粉—碘复合物性质分析 采用碘吸收法^[8]。

1.2.7 蛋白亚基分析 采用SDS—聚丙烯酰胺凝胶电泳(SDS—PAGE)法。Leammli系统,分离胶浓度为12%,浓缩胶浓度为4.0%,板胶厚度1.5 mm,进样量15 μL,电流强度为20 mA,至样品带迁移到距离胶板底部1 cm左右停止电泳。R250考马斯亮蓝染色约5 h,脱色至电泳带清晰。Scn-Image软件扫描电泳胶,转变为灰度图片,根据谱带的灰度和面积,计算谱带相对百分含量。

1.2.8 显微结构观察 采用冷冻切片法。样品0.25 g+水2 mL,80℃搅拌10 min,2 000 r/min离心2 min,取沉淀作样品于-16℃冷冻,切片成3 μm,Lugols碘染色30 s,流水漂洗,甘油封片,显微镜观察,软件LAS V4.1处理图片。

1.2.9 数据处理 以上试验均重复3遍,采用LSD法进行方差分析。

2 结果与讨论

2.1 碱处理籼米粉后的基本构成

将籼米粉用0.05 mol/L NaOH碱处理3 h,得到白淀粉、黄淀粉和籼米淀粉3个样品,与籼米粉一起,分析其主要成分(表1)。结果表明,蛋白质含量由低到高分别是白淀粉、籼米淀粉、黄淀粉、籼米粉,且蛋白质与淀粉含量之间均有极显著差异(P<0.01);淀粉含量则呈现相反的趋势,由高到低分别为白淀粉、籼米淀粉、黄淀粉、籼米粉,二者之间亦有极显著差异(P<0.01);且除籼米粉外,另外3种样品的直链淀粉含量均为12%左右。由于0.05 mol/L碱液的主要作用在于碱溶蛋白的提取,因此碱处理籼米粉后各组分的含量变化可能是由蛋白质的变化引起。

2.2 不同样品的糊化性质

2.2.1 透光率分析 由图1可知,籼米粉的透光率极显著高于其他3种淀粉(P<0.01)。这4种样品均去除了碱溶蛋白且结合蛋白和淀粉含量均不同,但除籼米粉外的其他3种淀粉的直链淀粉含量基本一致,说明直链淀粉含量有可能是影响各种籼米淀粉糊透明度的主要因素^[9],直链淀粉含量高、淀粉的透光率低^[10-11]。

表1 碱处理籼米粉各组分的基本成分分析[†]

Table 1 The elementary element analysis of various components of alkali treated indica rice flour % (DB)

组分	蛋白质含量	淀粉含量	直链淀粉含量
白淀粉	0.38±0.02 ^D	84.77±3.13 ^A	12.99±1.41 ^A
黄淀粉	4.23±0.02 ^B	81.84±2.54 ^B	12.45±1.38 ^B
籼米淀粉	2.36±0.02 ^C	82.85±3.01 ^B	12.97±1.64 ^A
籼米粉	7.85±0.02 ^A	77.38±2.62 ^C	9.74±1.19 ^B

[†] 上标字母表示显著性差异(P<0.05)。

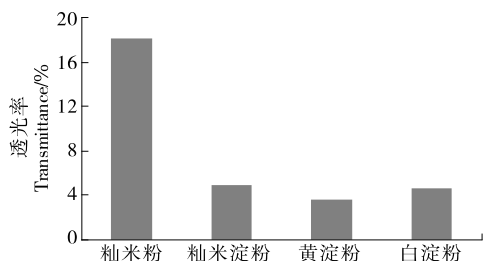


图 1 籼米粉和不同淀粉的透光度

Figure 1 Transparency of indica rice flour and different starch

2.2.2 RVA 分析 由表 2 可知,籼米粉各组分的糊化特性有极显著差异($P < 0.01$),籼米粉的峰值粘度、热糊粘度和最终粘度最低($P < 0.01$),崩解值和糊化温度最高($P < 0.01$);白淀粉的峰值粘度、热糊粘度和最终粘度最高($P < 0.01$),崩解值和回生值最低($P < 0.01$);黄淀粉和籼米淀粉的各个糊

化指标接近($P > 0.05$)。

2.2.3 DSC 分析 DSC 是用于测定物质相变温度的一种方法,因为淀粉的糊化也是一种相变,所以近年来谷物糊化特性的分析也常用这种方法^[12-13]。本研究同时用 DSC 分析样品的相变温度,以从不同的角度分析碱处理籼米粉糊化特性及两种方法可能存在的差异^[14]。结果(表 3)表明,籼米粉与其他 3 种淀粉的热特性有极显著差异($P < 0.01$),起始温度、峰值温度和终止温度均高于另外 3 种淀粉;其次是黄淀粉和白淀粉,二者之间没有显著差异($P > 0.05$),但均极显著高于籼米淀粉。前述 2.1 的结果表明,籼米粉的蛋白质含量极显著高于其他 3 种淀粉($P < 0.01$),因此可以认为这种热特性的差异在一定程度上由蛋白质引起。余世锋等^[15]的研究亦表明,蛋白质对大米的热特性有显著影响,因为蛋白体包裹在淀粉体四周,阻止水分的进入,需要更多的能量来破坏这结合体,因而导致更高的焓变。

表 2 籼米粉和不同籼米淀粉的糊化特性[†]

Table 2 Pasting properties of indica rice flour and different starch

淀粉	峰值粘度/RVU	崩解值/RVU	热糊粘度/RVU	最终粘度/RVU	回生值/RVU	糊化温度/°C
籼米粉	210.00±4.45 ^C	130.38±2.74 ^A	79.62±1.65 ^C	180.25±1.06 ^C	100.63±0.88 ^A	91.05±0.01 ^A
籼米淀粉	249.21±2.11 ^B	63.13±1.55 ^C	180.09±2.89 ^B	239.04±1.87 ^B	52.95±0.34 ^C	79.98±0.02 ^B
黄淀粉	248.92±5.63 ^B	77.92±1.47 ^B	171.00±2.05 ^B	240.83±5.55 ^B	57.83±1.62 ^B	80.00±0.00 ^B
白淀粉	257.96±5.33 ^A	60.21±1.46 ^C	197.75±2.99 ^A	246.71±1.68 ^A	48.96±0.21 ^C	80.00±0.02 ^B

† 上标字母表示显著性差异($P < 0.05$)。

表 3 籼米粉及不同籼米淀粉的热特性分析[†]

Table 3 Thermal properties of indica rice flour and different starch

淀粉	起始温度/°C	峰值温度/°C	终止温度/°C	焓变/(J·g ⁻¹)
籼米粉	73.87±0.05 ^A	77.23±0.09 ^A	83.87±0.38 ^A	0.68±0.06 ^A
籼米淀粉	61.57±0.23 ^C	64.85±0.18 ^C	68.74±0.65 ^C	0.39±0.09 ^C
黄淀粉	64.03±0.08 ^B	68.87±0.15 ^B	75.83±0.13 ^B	0.46±0.02 ^B
白淀粉	63.20±0.08 ^B	67.41±0.51 ^B	74.70±0.60 ^B	0.68±0.01 ^A

† 上标字母表示显著性差异($P < 0.05$)。

2.3 不同样品的结构性质

2.3.1 不同样品一碘复合物性质分析 由表 4 可知,不同淀粉的 λ_{\max} 、DP、BV 和 A_{680}/A_{545} 值不同,其中白淀粉的最大,极显著高于其它 3 种淀粉($P < 0.01$),说明白淀粉的平均链长最长、聚合度最大;籼米粉的最低,极显著低于其它 3 种淀粉($P < 0.01$),说明其含较少直链或者少量较长的支链^[16];黄淀粉和籼米淀粉的非常接近,可以推测两者的聚合度和直、支链淀粉的链长接近,故籼米淀粉的某些性质可能跟黄淀粉的比较类似,也从另一个角度印证了表 2 中测得这两者的糊化特性值比较接近的原因。此外,这 4 个指标均随着直链淀粉含量的增加而增加,这与 Fredriksson 等^[17]的研究报道一致。

2.3.2 不同样品中蛋白亚基分析 图 2 是籼米粉和不同籼米淀粉的 SDS—PAGE 电泳图,将电泳图扫描并计算得到相应蛋白亚基的组成及含量见表 5。结果表明,籼米粉和碱处理后籼米淀粉的主要蛋白亚基条带完整,尤其是籼米粉中的

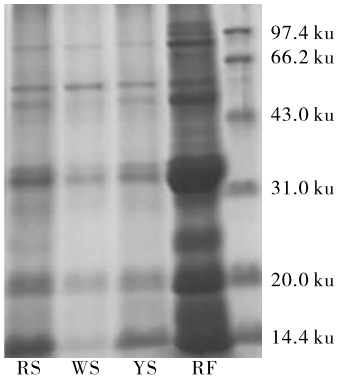
表 4 籼米粉和不同淀粉—碘复合物的性质[†]

Table 4 Properties of indica rice flour and starch-iodine complex

淀粉	λ_{\max}/nm	DP	BV	A_{680}/A_{545}
白淀粉	586	69.03±0.71 ^A	0.222±0.02 ^A	0.86±0.03 ^A
黄淀粉	579	60.61±1.41 ^B	0.198±0.01 ^B	0.79±0.01 ^B
籼米淀粉	580	61.70±2.12 ^B	0.205±0.01 ^B	0.80±0.02 ^B
籼米粉	572	53.88±0.00 ^C	0.180±0.00 ^C	0.70±0.01 ^C

† 上标字母表示显著性差异($P < 0.05$)。

碱溶蛋白亚基 33,22 ku 占相当大的比重,分别为 43.53%,28.79%;碱处理后,籼米淀粉的 33,22 ku 亚基含量下降明显,相对突出了 60,13 ku 的含量,这与笔者^[6]前期研究结果基本一致。黄淀粉中的高分子质量亚基条带含量则显著下降,亚基条带 60,22,13 ku 相对突出。白淀粉中则仅存 60,33 ku 亚基。



RS. 籼米淀粉 WS. 白淀粉 YS. 黄淀粉 RF. 籼米粉

图2 籼米粉及不同籼米淀粉的 SDS—PAGE 图

Figure 2 Image of SDS—PAGE from indica rice flour and different starch

表5 籼米粉及不同籼米淀粉的蛋白亚基组成及含量

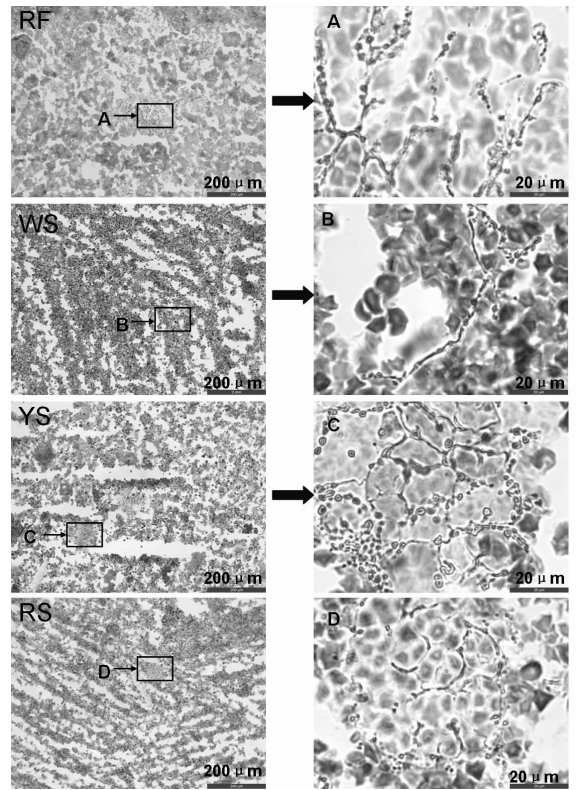
Table 5 Composites and contents of protein subunit from indica rice flour and different starch %

淀粉	相对分子质量					
	89 ku	80 ku	60 ku	33 ku	22 ku	13 ku
籼米粉	0.93	3.34	5.91			
籼米淀粉	2.25	5.59	23.15	20.07	20.21	28.02
黄淀粉			11.16	9.56	28.04	50.09
白淀粉			30.55	18.81		

2.3.3 不同样品的显微结构分析 为分析碱处理籼米粉理化性质形成的原因,采用组织切片—显微镜观察的方法分析了4种样品的淀粉和蛋白质相互作用情况(图3)。结果表明,籼米粉中有很多蛋白体或游离于淀粉中,或与纤维素(糊粉层内的细胞壁)紧密结合在一起,这与 Zheng Yan-kun 等^[18]的报道结果一致。白淀粉因为碱液的提取以及黄淀粉的分离,蛋白体含量极少,只剩下未完全去除的纤维素片段。黄淀粉则因离心力的作用还残留了较多的蛋白体与纤维素,并且较为紧密的结合在一起,形成比较密集的网络结构。籼米淀粉的蛋白体与纤维素之间的相互结合则介于白淀粉和黄淀粉之间。籼米粉中这些蛋白质和淀粉的结构和相互作用的不同可能是影响其糊化性质的原因。

3 结论

碱处理籼米粉后不同的籼米淀粉糊化特性差异很大,其中糊化粘度值:籼米粉<籼米淀粉、黄淀粉<白淀粉;蛋白质含量高的米粉/淀粉糊化粘度值低,蛋白含量最低的白淀粉糊化粘度最高,这与研究^[19]报道蛋白含量对籼米淀粉的影响结果一致。其中,籼米淀粉和黄淀粉的糊化粘度值没有显著差异。黄淀粉和籼米淀粉的聚合度以及直、支链淀粉的链长接近;黄淀粉和籼米淀粉的蛋白含量和亚基组成有差别,说明黄淀粉所含的相对分子质量为60 ku以下的小分子亚基可能对籼米淀粉的 RVA 糊化性质起着非常重要的作用。此外,黄淀粉和籼米淀粉中网络状结构的纤维素含量较高,在糊化过程中也会与谷蛋白一起,阻碍淀粉粒的溶胀^[18],影



RF. 籼米粉 WS. 白淀粉 YS. 黄淀粉 RS. 籼米淀粉

图3 籼米粉及不同籼米淀粉的显微结构图

Figure 3 Microstructure from indica rice flour and different starch

响籼米粉的糊化特性和热特性。

采用 DSC 分析发现糊化温度:籼米粉>黄淀粉、白淀粉>籼米淀粉,与 RVA 测定的糊化特性结果不同,黄淀粉和白淀粉的糊化温度没有显著差异($P>0.05$)。有报道^[12]称,DSC 技术经常用于纯淀粉糊化热特性的研究,较少用于原粉糊化热特性的研究,且由于原粉中存在蛋白质、脂肪等其他高分子物质,与淀粉分子结合形成复合物,导致原粉的糊化特性与纯淀粉的糊化特性间存在差异。本试验中也可以观察到籼米粉、黄淀粉、白淀粉和籼米淀粉中纤维素的结构和含量,以及淀粉与纤维素和蛋白质的相互作用并不相同,这可能是 DSC 和 RVA 测定的糊化特性结果略有差异的原因。

参考文献

[1] Ramesh M, Ali Z S, Bhattacharya K R. Structure of rice and its relation to cooked-rice texture[J]. Carbohydr Polym, 1999, 38: 337-347.
 [2] Iturriaga L B, Mishima B L, Anon M C. Effect of amylose on starch pastes viscoelasticity and cooked grains stickiness in rice from seven Argentine genotypes[J]. Food Res Int, 2006, 39: 660-666.
 [3] Hamaker B R, Griffin V K. Changing the viscoelastic properties of cooked rice through protein disruption[J]. Cereal Chem, 1990, 67: 261-264.

(下转第 51 页)

- [2] Volden J, Bengtsson G B, Wicklund T. Glucosinolates, L-ascorbic acid, total phenols, anthocyanins, antioxidant capacities and colour in cauliflower (*Brassica oleracea* L. ssp. *botrytis*); effects of long-term freezer storage[J]. Food Chemistry, 2009, 112(4): 967-976.
- [3] 朱军伟, 谢晶, 林永艳, 等. 贮藏温度和包装方法对两种叶菜采后品质的影响[J]. 食品与机械, 2012, 28(4): 175-178.
- [4] Uzun A, Bilgili U, Sincik M, et al. Yield and quality of forage type pea lines of contrasting leaf types[J]. European Journal of Agronomy, 2005, 22(1): 85-94.
- [5] Kumar S, Rai S K, Pandey-Rai S, et al. Regulation of unipinnate character in the distal tendrilled domain of compound leaf blade by the gene *MULTIFOLIATE PINNA* (*MFP*) in pea *Pisum sativum*[J]. Plant Science, 2004, 166(4): 929-940.
- [6] 付金锋, 王凤宝, 董立峰, 等. 卷须对半无叶豌豆生长发育的影响[J]. 作物杂志, 2009(3): 48-51.
- [7] 张皓月, 吴益梅, 夏雪, 等. 青萝卜与红萝卜的生物活性物质及抗氧化能力分析[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2015, 41(1): 75-81.
- [8] 孙勃, 许映君, 徐铁峰, 等. 青花菜不同器官生物活性物质和营养成分的研究[J]. 园艺学报, 2010, 37(1): 59-64.
- [9] Prior R L, Fan E, Ji H P, et al. Multi-laboratory validation of a standard method for quantifying proanthocyanidins in cranberry powders[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2010, 90(9): 1 473-1 478.
- [10] Chang Chia-chi, Yang Ming-hua, Wen Hwei-mei, et al. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods[J]. Journal of Food and Drug Analysis, 2002, 10(3): 178-182.
- [11] Benzie I F, Strain J J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay[J]. Analytical Biochemistry, 1996, 239(1): 70-76.
- [12] Wootton-Beard P C, Moran A, Ryan L. Stability of the total antioxidant capacity and total polyphenol content of 23 commercially available vegetable juices before and after in vitro digestion measured by FRAP, DPPH, ABTS and Folin-Ciocalteu methods[J]. Food Research International, 2011, 44(1): 217-224.
- [13] Sun Bo, Zhang Fen, Zhou Guo-jun, et al. Genetic variation in alkaloid accumulation in leaves of *Nicotiana* [J]. Journal of Zhejiang University Science B, 2013, 14(12): 1 100-1 109.
- [14] 曲云卿, 张同刚, 刘敦华. 不同产地枸杞中主要类胡萝卜素的聚类分析[J]. 食品与机械, 2015, 31(2): 76-79.
- [15] 伍鹤, 王远亮, 赵琳, 等. 蓝莓多酚提取方法及功能活性研究进展[J]. 食品与机械, 2015, 31(2): 257-261.
- [16] 周凯, 胡卓炎, 周沫霖, 等. 龙眼核提取物的体外抗氧化剂抑菌活性研究[J]. 食品与机械, 2015, 31(4): 167-171.
- [17] 朱玉昌, 焦必宁. ABTS 法体外测定果蔬类总抗氧化能力的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(8): 77-80.
- [18] Bahorun T, Luximon-Ramma A, Crozier A, et al. Total phenol, flavonoid, proanthocyanidin and vitamin C levels and antioxidant activities of Mauritian vegetables[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2004, 84(12): 1 553-1 561.
- [19] 郭长江, 徐静, 韦京豫, 等. 我国常见蔬菜类黄酮物质的含量[J]. 营养学报, 2009, 31(2): 185-190.
- [20] Šamec D, Bogovic M, Vincek D, et al. Assessing the authenticity of the white cabbage (*Brassica oleracea* var. *Capitata* f. *alba*) cv. 'Varazdinski' by molecular and phytochemical markers[J]. Food Research International, 2014, 60(1): 266-272.
- [21] Altemimi A, Choudhary R, Watson D G, et al. Effects of ultrasonic treatments on the polyphenol and antioxidant content of spinach extracts[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2015, 24(25): 247-255.

(上接第 8 页)

- [4] Martin M, Fitzgerald A. Proteins in rice grains influence cooking properties[J]. J. Cereal Sci., 2002(36): 285-294.
- [5] Singh N, Pal N, Mahajan G, et al. Rice grain and starch properties: Effects of nitrogen fertilizer application [J]. Carbohydr Polym, 2011, 86: 219-225
- [6] Yi Cui-Ping, Gao Wen-Ming, Zhong Chun-Mei, et al. The effect of alkaline soluble proteins on pasting properties of indica rice [J]. Cereal Chem, 2014, 91(5): 502-507.
- [7] 易翠平, 姚惠源. 高纯度大米蛋白和淀粉的分离提取[J]. 食品与机械, 2004, 20(6): 18-21.
- [8] Sujka M, Jamroz J. Ultrasound-treated starch: SEM and TEM imaging, and functional behavior [J]. Food hydrocolloids, 2013, 31(2): 413-419.
- [9] Oetterer M, Wosiacki G. Characterization of chest-nut starch for industrial utilization[J]. Braz. Arch. Biol. Techn., 2001, 44(1): 72-73.
- [10] Varavinit S, Shobngob S, Varayanond W, et al. Effect of amylose content gelatinization and pasting of properties of flours from different cultivars of thai rice[J]. Starch/Starke, 2003, 55: 410-415.
- [11] Park IM, Zhong Fang, Shoemaker C F. Gelatinization and pasting properties of waxy and non-waxy rice starches [J]. Starch/Starke, 2007, 59: 388-396.
- [12] 冷雪, 曹龙奎. 利用差示扫描量热仪研究小米淀粉及小米粉的糊化特性[J]. 食品科学, 2015, 36(19): 60-66.
- [13] Sulaiman R, Dolan R. Effect of amylase content on estimated kinetic parameters for a starch viscosity model[J]. J. Food Engineer, 2012, 114(1): 75-82.
- [14] Eliasson A C. Starch in food: structure, function and applications[M]. Boca Raton: CRC Press, 2009: 87.
- [15] 余世峰, 杨秀春, Menager L, 等. 直链淀粉、蛋白质及脂类对大米粉热特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(4): 38-44.
- [16] Sujka M, Jamroz J. Ultrasound-treated starch: SEM and TEM imaging, and functional behaviour [J]. Food Hydrocoll, 2013, 31(2): 413-419.
- [17] Fredriksson H, Silverio J, Andersson R, et al. The influence of amylose and amylopectin characteristics on gelatinization and retrogradation properties of different starch[J]. Carbohydrate, 1998, 35: 119-134.
- [18] Zheng Yan-kun, Wang Zhong. Protein accumulation in aleurone cells, sub-aleurone cells and the center starch endosperm of cereals[J]. Plant Cells Rep, 2014, 33: 1 607-1 615.
- [19] Baxter G, Blanchard C, Zhao Jian. Effects of glutelin and globulin on the physicochemical properties of rice starch and flour [J]. J. Cereal Sci., 2014, 60(2): 414-420.