

干热处理对稻米复配粉及米蛋白性质的影响

秦洋, 邱超, 曹金苗, 熊柳, 孙庆杰

(青岛农业大学食品科学与工程学院, 山东青岛 266109)

摘要: 本文对稻米复配粉进行了干热改性, 探究了干热处理对稻米复配粉及米蛋白性质变化的影响。实验结果表明, 添加米蛋白后, 稻米复配粉的峰值黏度降低, 表明米蛋白降低了稻米淀粉的含量, 产生了一定的稀释效应。干热处理后, 稻米复配粉的黏度显著增加, 表明干热处理使稻米淀粉与稻米淀粉或米蛋白之间通过非共价键或氢键产生相互作用。色差分析显示干热后的米蛋白明显偏黄。热重分析表明, 130 °C干热处理 4 h 后, 米蛋白的起始失重温度由 238 °C 增加到 291 °C, 表明米蛋白的热稳定性显著增强。傅里叶红外光谱显示, 干热 4 h 后的米蛋白在 1250 cm^{-1} 处产生一个新的小峰, 说明干热后的米蛋白有 β -折叠结构发生改变, 且在 1600~1700 cm^{-1} 处酰胺键振动增强, 蛋白质的二级结构发生改变, 表明干热促进了分子间的相互作用。

关键字: 干热; 稻米淀粉; 米蛋白; 性质

文章编号: 1673-9078(2015)9-180-184

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.9.030

Effect of Dry Heat Treatment on the Properties of Glutinous Rice Mixed Flour and Rice Proteins

QIN Yang, QIU Chao, CAO Jin-miao, XIONG Liu, SUN Qing-jie

(College of Food Science and Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

Abstract: Glutinous rice mixed flour (GRF) was modified by dry heat treatment and the effects of the dry heat treatment on the properties of GRF and glutinous rice proteins (GRP) were investigated. The results showed that GRF peak viscosity decreased after adding GRP, which indicated that GRP reduced the content of glutinous rice starch (GRS) and had a diluting effect. However, the viscosity of GRF increased significantly after dry heat treatment, which indicated that dry heat treatment prompted the interaction between GRS and GRS or GRP via non-covalent or hydrogen bonding. The analysis of color differences showed that the yellowness of GRP significantly increased after dry heat treatment. Results of thermogravimetric analysis (TGA) showed that the temperature at the onset of mass loss for GRF increased from 238 °C to 291 °C after dry heat treatment at 130 °C for 4 h, indicating that the thermal stability was significantly enhanced. Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) indicated that GRP dry-heated for 4 h produced a new small peak at 1250 cm^{-1} , which indicated that there were structural changes in the β -pleated sheets. In addition, amide bond vibration was enhanced and protein secondary structure modified at 1600~1700 cm^{-1} , suggesting that dry heat treatment promoted molecular interactions.

Key words: dry heat treatment; glutinous rice flour; rice protein; property

淀粉作为一种天然可食且来源丰富的高分子化合物, 在食品及其它行业中的应用不断扩大。但原淀粉糊化后具有黏度低、易老化等缺陷, 通常采用物理、化学或酶技术等方法对原淀粉进行处理, 改善其原淀粉的性质, 以满足生产的需要。干热改性是物理改性淀粉的一种新方法, 结合了干法工艺和热处理的优越性, 是指淀粉在较低水分含量时 100 °C~180 °C 的温度下进行热处理从而改善淀粉性质的一种方法。干热的

收稿日期: 2014-10-25

基金项目: 山东省科技发展计划项目 (2012GNC11306)

作者简介: 秦洋 (1990-), 男, 硕士, 研究方向为食品科学

通讯作者: 孙庆杰 (1970-), 男, 博士, 教授, 研究方向为粮食、油脂与蛋

白质工程

过程可以在常压下进行, 也可以在真空或高压条件下进行。干热改性具有操作流程简单、产品得率高, 不含化学试剂的残留, 可最大限度的抑制副反应的发生, 安全、无污染, 产品理化性质得到明显改善和提高, 产品应用范围和附加值也大大提高, 是当前很有发展前途的一种绿色生产改性淀粉的新方法。

国内外对于干热淀粉、谷物粉的研究已有相关报道。Falade 和 Onyeoziri(2012)报道了山药粉经干热处理后峰值黏度显著增加^[1]。陈平生等^[2]报道了干热处理温度升高会使大蕉抗性淀粉溶解度和膨胀度降低, 持水性增大, 而对色泽没有显著地影响。Sun 等报道了

黄米淀粉和黄米粉在干热之后峰值黏度增加^[3]。Lee 等报道了玉米淀粉在 3% 的大豆分离蛋白存在的条件下经 130 °C 干热处理 4 h 后, 糊化黏度明显增加^[4]。国内外对于谷物粉和淀粉的干热改性的研究多集中在理化特性上, 对于谷物粉中蛋白在干热过程中的变化和作用尚没有报道。

本文以稻米粉和米蛋白为原料, 采用快速黏度分析仪(RVA)、扫描电镜(SEM)、热重分析(TG)、傅立叶变换红外光谱仪(FT-IR)、测色色差仪等, 揭示了稻米粉和米蛋白在干热处理后其理化性质和结构的变化, 探讨稻米粉干热处理中米蛋白的变化和作用。

1 材料与方法

1.1 材料

稻米(龙糯 3 号): 黑龙江省农科院; 二硫苏糖醇(DTT): 山东福田糖醇有限公司; 三氯乙酸(TCA): 山东福田糖醇有限公司。

1.2 试验仪器

Newport-4D 快速黏度分析仪(RVA): Newport-4D 澳大利亚新港公司; 傅立叶变换红外光谱仪(FTIR-8400): 日本岛津制作所; 扫描电镜(JSM 840): 日本电子公司; 热重分析仪(TG STA449C/4/G): 北京恒久科学仪器厂; 分光光度计: 上海仪电分析仪器有限公司; 测色色差仪(WSC-S), 上海物理光学仪器厂; 其他药品均为化学试剂, 试剂均为分析纯。

1.3 试验方法

1.3.1 稻米粉和干热前后稻米淀粉的制备

将稻米破碎成米粉, 过 100 目筛, 密封冷藏备用, 得到稻米粉; 稻米淀粉的制备采用碱浸法^[5], 将稻米粉在去离子水浸泡 24 h, 打浆。在 4 °C 环境下静置 48 h, 将沉淀与 0.35% (m/m) 的 NaOH 溶液以 1:3 的比例混匀, 置于 4 °C 环境下反应 48 h。然后以 3000 r/min, 离心 15 min, 得到上清液即为米蛋白溶液, 用碱液将沉淀制成悬浆液离心(重复 4 次)。对溶液进行脱脂处理, $V_{\text{甲醇}}:V_{\text{氯仿}}=1:2$ 抽提 36 h, 然后用 1.0 mol/L HCL 中和至 pH 6.5, 离心, 再用去离子水将沉淀制成悬浆, 离心(重复 3 次), 把沉淀转移到干燥皿 45 °C 下干燥 48 h, 研磨后过 100 目筛, 密封冷藏备用, 即得到稻米淀粉; 将稻米淀粉分别经过 130 °C 干热处理 2, 4 h 后, 即得到干热改性 2, 4 h 的稻米淀粉。

1.3.2 干热前后米蛋白和稻米复配粉的制备

将 1.3.1 所得米蛋白溶液进行脱脂处理, 采用 V

甲醇:V 氯仿=1:2 抽提 36 h, 脱脂后的溶液用 1.0 mol/L HCL 中和至 pH 4.5, 待沉淀析出后, 离心, 将沉淀物置于 45 °C 下干燥 24 h, 粉碎后过 100 目筛, 密封冷藏备用, 即得到米蛋白。按照稻米淀粉与米蛋白(未干热改性)的添加量 2%、4%、6%, 得到复配粉, 然后经 130 °C, 分别干热处理 2、4 h 后, 即得到干热改性的稻米复配粉。分别选取经过 130 °C 干热处理 2, 4 h 后的复配粉(2%、4%、6%), 提取米蛋白, 即得到干热改性 2, 4 h 米蛋白。

1.3.3 干热改性的稻米淀粉按比例添加米蛋白后对糊化性质的测定

黏度由快速黏度分析仪(RVA)测定。开启 RVA 及连用的计算机, 分别添加总样品量 3 g 的 2%、4%、6% 米蛋白于稻米淀粉置于铝盒中, 加入 25 mL 蒸馏水, 保证最终总质量为 28 g, 用旋转桨搅拌均匀后开始测定。所有样品平行测定三次, 取平均值。

1.3.4 干热改性前后米蛋白扫描电镜观察

将干热前后的米蛋白取少量粉末, 均匀涂于导电胶上, 喷金后用扫描电子显微镜观察, 采用 2 kV 的加速电压($\times 3000$), 拍摄干热前后米蛋白的内部微观结构^[6]。

1.3.5 干热改性前后米蛋白热重的测定

热重分析(Thermogravimetric Analysis, TG 或 TGA), 是指在程序控制温度下测量待测样品的质量与温度变化关系的一种热分析技术。开启 TGA 电源, 打开冷却水, 用电子天平称取约 3 mg 样品放入 TGA 的坩埚内, 测试范围为 45~450 °C, 测试速度为 10 min/°C, 纪录 TG 曲线^[7]。

1.3.6 干热改性前后米蛋白红外光谱测定

将 1.3.2 得到的干热改性前后的米蛋白研细, 分别取米蛋白与干燥的 KBr 粉末按 1:100 的比例研磨, 压片, 放入红外光谱仪样品池中, 扫描范围: 500~4000 cm^{-1} , 扫描次数为 32 次, 分辨率为 4 cm^{-1} , 分析作图^[8]。

1.3.7 干热改性前后米蛋白色度的测定

取适量干热前后的米蛋白样品, 用色差仪测定其色差参数, 待仪器校准完毕后, 开始测定。其原理是应用亨特-Lab 表色系测定 3 个颜色的分量, 以公式 $=(\Delta L)^2+(\Delta a)^2+(\Delta b)^2)^{1/2}$ 计算样品与参照物的色差(ΔE), 其中 $\Delta L = L$ 样品-L 标准(明度差异), $\Delta a = a$ 样品-a 标准(红/绿差异), $\Delta b = b$ 样品-b 标准(黄/蓝差异)。

1.3.8 数据分析

所有实验都进行至少三次, 取平均值。使用 SPSS v17.0 软件分析实验数据, 并表示为平均值±标准差。在 95% 的显著水平($P < 0.05$)范围内分析显著性。

2 结果与讨论

2.1 稻米淀粉中添加不同比例米蛋白对其性质影响

表 1 稻米淀粉中添加不同比例米蛋白干热后的黏滞特性

Table 1 RVA pasting properties of glutinous rice starch with different protein contents by dry heating treatment

样品	糊化温度/℃	峰值黏度/cP	谷值黏度/cP	末值黏度/cP	衰减值/cP	回升值/cP
GRS	66.51±0.27 ^a	2430.01±7.19 ^a	1042.48±11.23 ^a	1412.76±10.34 ^a	1388.15±8.30 ^a	370.64±11.37 ^a
GRS2%Pr	69.30±0.28 ^a	2198.32±12.10 ^b	989.67±9.17 ^b	1335.46±7.21 ^b	1209.67±9.18 ^b	346.73±7.17 ^b
GRS4%Pr	68.60±0.09 ^a	2124.56±8.09 ^c	1015.74±6.12 ^c	1316.82±7.18 ^c	1109.30±9.10 ^c	301±4.05 ^d
GRS6%Pr	68.10±0.17 ^a	2043.16±4.02 ^d	951.27±7.05 ^d	1267.17±5.04 ^d	1092.40±7.15 ^c	316.61±6.14 ^c
GRS2	67.50±0.28 ^a	3209.96±7.18 ^a	1478.76±8.02 ^d	1789.27±4.30 ^a	1731.37±9.34 ^a	311.19±7.23 ^b
GRS2%Pr2	68.50±0.34 ^b	3102.63±10.12 ^b	1520.09±5.12 ^c	1862.48±9.20 ^b	1582.57±9.24 ^b	342.21±6.31 ^a
GRS4%Pr2	67.60±0.17 ^a	3055.38±12.07 ^c	1569.50±7.19 ^b	1839.34±8.15 ^c	1486.43±7.17 ^c	270.39±6.17 ^c
GRS6%Pr2	66.40±0.18 ^a	3009.58±6.01 ^d	1601.21±8.25 ^a	1833.58±11.18 ^c	1408.76±5.09 ^d	232.08±8.05 ^d
GRS4	67.90±0.19 ^a	3353.37±9.19 ^a	1555.43±6.16 ^b	1853.10±6.14 ^c	1798.23±5.31 ^a	298.43±6.24 ^a
GRS2%Pr4	67.80±0.08 ^a	3193.21±6.13 ^b	1673.65±5.32 ^a	1976.28±9.32 ^a	1520.16±8.16 ^b	303.09±8.30 ^a
GRS4%Pr4	67.75±0.29 ^a	2986.65±6.06 ^c	1668.14±7.29 ^a	1894.52±6.23 ^b	1318.46±6.36 ^c	226.19±3.12 ^b
GRS6%Pr4	66.80±0.17 ^a	2706.23±4.03 ^d	1515.28±6.09 ^c	1810.73±5.05 ^d	1191.30±8.10 ^d	295.21±5.23 ^a

注: GRS2, 4: 稻米淀粉干热 2 h, 4 h; GRS2, 4, 6%Pr: 稻米淀粉添加 2, 4, 6%蛋白; GRS2, 4, 6%Pr2, 4: 稻米淀粉添加 2, 4, 6%蛋白, 干热处理 2 h, 4 h。同列字母不同表示差异显著, $P < 0.05$ 。

稻米淀粉与添加不同比例米蛋白(2%、4%、6%)的稻米复配粉在干热 2, 4 h 后的黏滞特性如表 1 所示, 随着米蛋白添加量的增加, 稻米复配粉的峰值黏度从 2430 cP 下降到 2043 cP, 下降了约 16%, 回升值由 370 cP 下降到了 316 cP, 下降了约 15%; 而干热 4 h 后, 稻米复配粉的峰值黏度由 3353 cP 下降到 2706 cP, 下降了约 19%, 可能是因为干热 4 h 后稻米复配粉中米蛋白和淀粉结合更加紧密而改变了淀粉的吸水性, 最终使得淀粉不能充分膨胀, 也可能是因为稻米复配粉中米蛋白含量增加, 米蛋白吸收水分也随之增加, 致使稻米淀粉糊化时就没有大量的水分供其吸收, 所以最终导致其峰值黏度的下降。表明米蛋白添加后, 稻米淀粉的含量下降, 蛋白质产生了一定的稀释效应。Hamaker 和 Griffin(1993)等人研究表明蛋白质含量与峰值黏度呈现负相关^[9-10]。米蛋白添加量为 2% 时, 干热 2 h 和 4 h 的稻米复配粉的峰值黏度分别升高了 904 cP 和 995 cP; 添加量为 6% 时, 干热 2 h 和 4 h 峰值黏度分别升高了 885 cP 和 582 cP, 米蛋白添加量 6% 的稻米淀粉峰值温度下降程度比 2% 的明显降低, 可能是因为蛋白比例越大, 蛋白在淀粉中填充的就越紧密, 淀粉的糊化程度会降低。说明了稻米淀粉与稻米淀粉或蛋白质之间产生了相互作用, 从而导致了淀粉糊化性质发生改变。Lee 等^[4]报道了玉米淀粉与 3% 的大豆分离蛋白 130 °C 干热处理后, 淀粉与蛋白的相互作用

增强, 导致峰值黏度显著增加。谢新华等^[11]指出蛋白质含量的增加, 使得蛋白质与淀粉结合更加紧密, 糊化时需要更多的能量; 蛋白质网络本身结合也更为紧密, 使得破坏蛋白质网络也需要更多的能量, 最终导致稻米淀粉糊化膨胀受到限制, RVA 谱线下降。

2.2 干热改性前后米蛋白形态影响

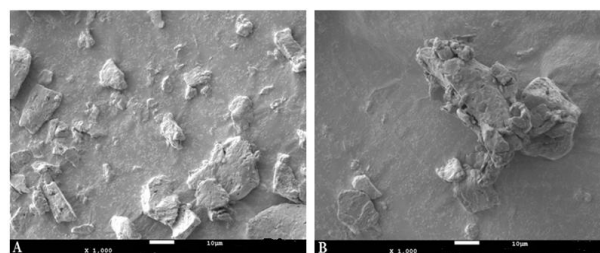


图 1 干热改性前后米蛋白形态影响

Fig.1 Morphology of glutinous rice protein before and after dry heating treatment

注: A: 干热改性前的米蛋白; B: 干热改性后的米蛋白。

干热前后对米蛋白形态的影响如图 1 所示: 干热前, 米蛋白颗粒大小不均一, 多面体, 分散较均匀。干热后, 米蛋白颗粒之间紧密连接, 且出现聚集现象, 可能是干热处理促使蛋白质在从天然态折叠成变性状态的过程中形成的蛋白折叠中间体即为“熔球态”和蛋白质的聚集, Farruggia 和 Garcia 等^[12]研究表明血清白蛋白 HSA (human serum albumin) 变性过程可以用

Eyring 和 Lumry 模型描述:天然态→可逆伸展态→不可逆伸展态,指出蛋白质变性过程中存在一个“熔球态”。说明了干热后米蛋白之间产生了相互作用,导致颗粒发生了形态变化。

2.3 干热改性前后米蛋白热特性影响

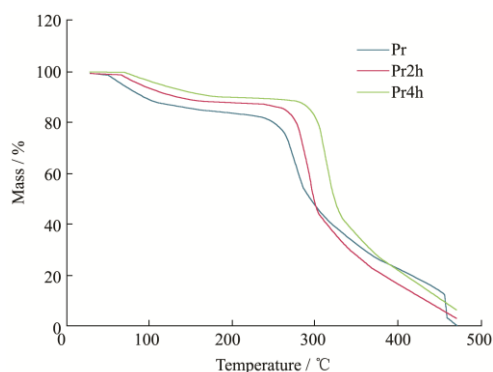


图 2 干热改性前后米蛋白热特性

Fig.2 Thermal properties of glutinous rice protein before and after dry heat treatment

注: Pr: 米蛋白; Pr2h: 干热改性 2 h 米蛋白; Pr 4 h: 米蛋白 4 h。

干热前后米蛋白的热重变化如图 2 所示。米蛋白分解分为三个阶段,第一阶段为水分蒸发阶段,这一阶段重量损失较少,且渐渐趋于平稳,第二阶段为重量快速分解阶段,大部分的米蛋白在此阶段经高温快速分解,此阶段重量损失较快第三阶段为重量缓慢损失阶段。由变化曲线可知:原蛋白的起始失重温度为 238 °C,干热 2 h 的蛋白质的起始失重温度为 265 °C,而干热 4 h 的米蛋白的起始失重温度为 291 °C,干热后较干热前蛋白质的起始失重温度分别增加 27 °C 和 53 °C,干热 2, 4 h 的米蛋白的热稳定性的明显增强。Xia 等报^[13]道了干热导致米蛋白与米蛋白之间的相互作用增强,形成新的二硫键,且二硫键的增加能够增强蛋白质的稳定性。

2.4 干热改性前后米蛋白热红外光谱影响

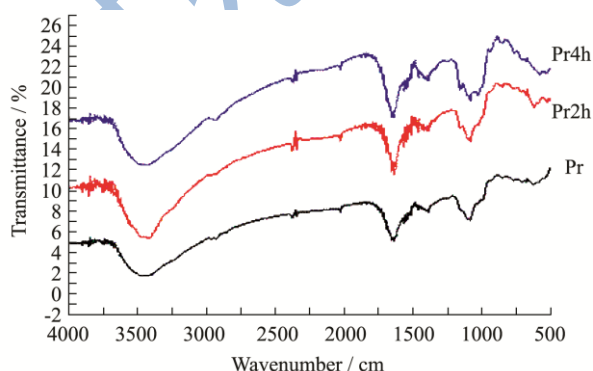


图 3 米蛋白干热前后红外光谱图 (4000~500 cm⁻¹)

Fig.3 FT-IR analysis of glutinous rice protein before and after dry heat treatment (4000~500 cm⁻¹)

注: Pr: 米蛋白; Pr2h: 干热改性 2 h 米蛋白; Pr4h: 干热改性 4 h 米蛋白

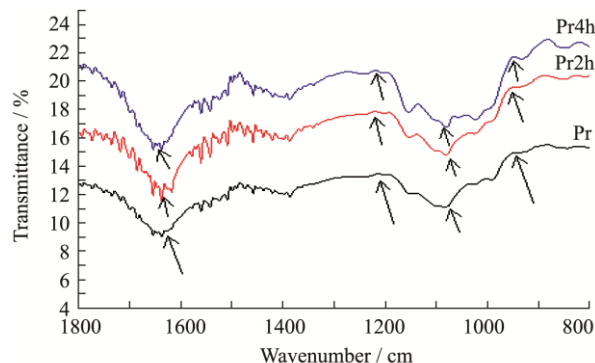


图 4 米蛋白干热前后红外光谱图 (800~1800cm⁻¹)

Fig.4 FT-IR analysis of glutinous rice protein before and after dry heat treatment (1800~800cm⁻¹)

注: Pr: 米蛋白; Pr2h: 干热改性 2 h 米蛋白; Pr4h: 干热改性 4 h 米蛋白。

图 3 与图 4 分别为米蛋白干热前后的红外光谱图。在红外光线下,米蛋白分子中的化学键被激活而产生振动。3400 cm⁻¹为 O-H 伸缩振动吸收峰,呈现宽而强的吸收峰,典型多聚体分子间缔合羟基特征峰,干热后峰宽度变宽,说明 O-H 间的相互作用加强。2932 cm⁻¹为 C-H 的伸缩振动吸收峰,干热后此峰透射强度增强,说明 C-H 键间的相互作用加强。干热后没有新的吸收峰,说明蛋白质作用没有生成新的基团。在波数 1330 cm⁻¹~667 cm⁻¹也有 C-C、C-N、C-O 等单键的伸缩振动和各种弯曲振动。谢孟峡等^[14]报道,在酰胺 III 带中,1330~1290 cm⁻¹为 α-螺旋;1295~1265 cm⁻¹为 β-转角;1270~1245 cm⁻¹为无规则卷曲;1250~1220 cm⁻¹为 β-折叠。干热 4 h 的米蛋白在 1250 cm⁻¹处产生一个新的小峰,说明干热后有 β-折叠结构发生改变,反应出对分子振动的影响。然而对于二级结构的变化,还需要进一步研究。

2.5 干热改性前后米蛋白色差影响

表 3 干热前后米蛋白色差参数

Table 3 Color parameters of glutinous rice protein treated with dry heating

样品	L*	a*	b*	ΔE
Pr	82.79±0.12 ^a	-0.98±0.09 ^a	13.03±0.21 ^a	1.92±0.18 ^c
Pr2	83.77±0.17 ^a	-0.38±0.02 ^b	16.79±0.09 ^c	4.42±0.28 ^b
Pr4	84.12±0.02 ^a	-0.22±0.01 ^c	18.13±0.13 ^b	8.19±0.43 ^a

注: Pr: 米蛋白; Pr2: 干热改性 2 h 米蛋白; Pr4: 干热改性 4h 米蛋白。注: 同列字母不同表示差异显著, P<0.05。

米蛋白干热前后色度值的测定数据如表3所示。干热处理2, 4h后, 米蛋白的L*值分别从82.79增加到83.77和84.12, 亮度略有增加; b*值显著升高, 经干热后米蛋白色泽偏黄。这可能是由于干热过程中发生的羰氨反应引起米蛋白颜色明显变化。

3 结论

本文研究了干热处理对稻米复配粉及米蛋白性质的影响。结果表明, 添加米蛋白后, 稻米复配粉的峰值黏度降低, 干热处理后, 稻米复配粉的黏度显著增加, 说明了稻米淀粉与米蛋白之间产生了相互作用, 从而导致了淀粉糊化性质发生改变。FTIR表明, 干热后没有新的吸收峰, 说明蛋白质作用没有生成新的基团, 干热处理后的米蛋白的二级结构发生改变, 干热促进了米蛋白分子间的相互作用。色差数据表明: 干热后的米蛋白和米蛋白之间产生相互作用而导致米蛋白的颜色明显偏黄。

参考文献

- [1] Falade K, Onyeoziri N. Effects of cultivar and drying method on color, pasting and sensory attributes of instant yam (*Dioscorea rotundata*) flours [J]. Food and Bioprocess Technology, 2012, 5(3): 879-887
- [2] 陈平生, 黄智君, 王娟. 不同热处理方式对大蕉抗性淀粉理化性质的影响[J]. 现代食品科技, 2012, 28(1): 9-13
CHEN Ping-sheng, HUANG Zhi-jun, WANG Juan. Effects of different heat treatments on the physicochemical properties of plantain resistant starch. [J]. Modern Food Science and Technology, 2012, 28(1): 9-13
- [3] Sun Q J, Gong M, Li Y, et al. Effect of dry heat treatment on the physicochemical properties and structure of proso millet flour and starch [J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 110, 128-134
- [4] Lee K J, Lee S Y, Kim Y R, et al. Effect of dry heating on the pasting/retrogradation and textural properties of starch-soy protein mixture [J]. Korean Journal of Food Science and Technology, 2004, 36(4): 568-573
- [5] Ju Z Y, Hettiarachchy N S, Rath N. Extraction, denaturation and hydrophobic properties of rice flour proteins [J]. Journal of Food Science, 2001, 66(2): 229-232
- [6] Singh J, Kaur L, McCarthy O J. Factors influencing the physicochemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications-a review [J]. Food Hydrocolloids, 2007, 21(1): 1-22
- [7] Marques P T, Lima A M F, Blanco G, et al. Thermal properties and stability of cassava starch films cross-linked with tetraethylene glycol diacrylate [J]. Polymer Degradation and Stability, 2006, 91(4): 726-732
- [8] Zhang J, Chen F, Liu F, et al. Study on structural changes of microwave heat-moisture treated resistant canna edulis ker starch during digestion *in vitro* [J]. Food Hydrocolloids, 2010, 24, 27-34
- [9] Hamker B R, Griffin V K. Changing the viscoelastic properties of cooked rice through protein disruption [J]. Cereal Chemistry, 1990, 67(3): 261-264
- [10] Hamaker B R, Griffin V K. Effect of disulfide bond-containing protein on rice starch gelatinization and pasting [J]. Cereal Chemistry, 1993, 70(4): 377-380
- [11] 谢新华, 李元瑞. 稻米淀粉物性研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2007
XIE Xin-hua, LI Yuan-rui. Physical properties research of rice starch [D]. Yangling, Northwest Agriculture and Forestry University of Science and Technology, 2007
- [12] Farruggia B, Garcia G, D'Angelo C, et al. Destabilization of human serum albumin by polyethylene glycols studied by thermodynamical equilibrium and kinetic approaches [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 1997, 20(1): 43-51
- [13] Xia N, Wang J, Yang X, et al. Preparation and characterization of protein from heat-stabilized rice bran using hydrothermal cooking combined with amylase pretreatment. [J] Journal of Food Engineering. 2012, 110, 95-101
- [14] XIE Meng-xia, LIU Yuan. Studies on amide III infrared bands for the secondary structure determination of proteins. [J] Journal of High School Chemistry. 2003, 24(2): 226-231