

羟丙基二淀粉磷酸酯对鲜湿方便米粉品质的影响

Effect of hydroxypropyl distarch phosphate on retrogradation and cooking quality of instant fresh rice noodle

黄 丽¹ 占柳菁² 梁 露² 罗舜芬³

HUANG Li¹ ZHAN Liu-jing² LIANG Lu² LUO Shun-fen³

(1. 南昌市食品药品检验所, 江西 南昌 330029; 2. 南昌大学食品学院, 江西 南昌 330047;

3. 赣南师范大学图书馆, 江西 赣州 341000)

(1. Nanchang Institute for Control of Food and Drug, Nanchang, Jiangxi 330029, China;

2. School of Food Science and Technology, Nanchang University, Nanchang, Jiangxi 330047, China;

3. Gannan Normal University Library, Ganzhou, Jiangxi 341000, China)

摘要:选用羟丙基二淀粉磷酸酯(HPDSP)/大米粉质量比 0.0%, 5.0%, 7.5%, 10.0%, 15.0% 制作米粉, 通过测定鲜湿方便米粉的长期老化、断条率及蒸煮损失, 反映 HPDSP 对米粉老化、蒸煮品质的影响, 研究结果表明: HPDSP 能显著降低米粉老化特征峰强度与相对结晶度, 降低回生焓, 抑制米粉的老化; 抑制老化效果随 HPDSP 添加量的增加而增强; 微观结构显示添加 HPDSP 后的老化米粉表现为多孔状蜂窝结构; 硬度结果进一步证明了 HPDSP 有抗米粉老化的作用。蒸煮试验表明, HPDSP 添加量为 0.0%~10.0% 时能显著改善米粉储藏过程中的品质劣变, 但添加 15.0% HPDSP 对米粉蒸煮品质有损害。

关键词:鲜湿米粉; 老化; 蒸煮; 羟丙基二淀粉磷酸酯

Abstract: The effect of hydroxypropyl distarch phosphate(HPDSP) on retrogradation and storage cooking quality properties of rice noodles was investigated. Fresh instant rice noodles was prepared under weight ratio of HPDSP to rice flour (RF) at 0.0%, 5.0%, 7.5%, 10.0%, and 15.0%, respectively, then the long-term retrogradation, breaking rate and cooking loss of noodles were determined. The results showed that, HPDSP could significantly decrease characteristic peak intensity of starch retrogradation and the degree of crystallinity, reduced retrogradation enthalpy, therefore inhibit rice noodles retrogradation. In addition, the inhibition effect enhanced with HPDSP contents. Microstructure showed that rice noodles containing HPDSP exhibited a porous honeycomb structure;

Hardness result further further confirmed anti-aging effect of HPDSP. Cooking test indicated that adding 0.0%~10.0% HPDSP could prevent quality deterioration of fresh rice noodles during storage, but 15.0% of HPDSP impaired cooking quality.

Keywords: instant fresh rice noodle; retrogradation; cooking; hydroxypropyl distarch phosphate

鲜湿方便米粉是近年来新型拓展的方便食品, 其口感爽滑、柔韧, 营养价值高, 备受消费者喜爱^[1]。但由于鲜湿方便米粉含水量较高(60%~70%), 在储藏过程中极易回生, 造成米粉硬度增大, 蒸煮损失增大, 严重影响了鲜湿方便米粉的食用口感, 阻碍了鲜湿方便米粉的市场推广度与即时产业化^[2]。因此, 抑制鲜湿方便米粉的老化, 使米粉具有良好的储藏、食用品质, 对米粉产业的发展至关重要。

抑制米粉老化的方法有物理法^[3]、酶法^[3-4]以及加入添加剂法^[3-5]。其中, 使用价格低廉、功能多样的变性淀粉一直是食品工业中的研究热点^[5]。目前, 米粉工业中使用较多的变性淀粉为醋酸酯淀粉、羟丙基淀粉等单变性淀粉。而随着米粉产业的发展, 单一改性淀粉的性能已很难满足现代工业米粉抗老化的需求, 寻求高效经济的复合型变性淀粉是研究变性淀粉抗米粉老化的趋势。羟丙基二淀粉磷酸酯(HPDSP)是一种复合变性淀粉, 由淀粉与三偏磷酸钠或磷酸酐($\leq 0.1\%$)与环氧丙烷($\leq 10.0\%$)伴同酯化而成, 其糊液具有耐高温、抗剪切、冻融稳定性好的优点。HPDSP 含有大量羟丙基, 具有优异的持水性^[6-7]。有研究^[8-9]发现, HPDSP 具有优异的抗食品老化效果, 它能有效抑制冷冻面包内部水分迁移, 延缓淀粉储藏过程中的重结晶。此外, 还有研究^[10-11]表明 HPDSP 能在显著延缓面包老化的同时, 有效增加面包的弹性, 降低硬度, 改善其食用品质。

基金项目:“十二五”国家支撑计划项目(编号:2012BAD37B02-02)

作者简介:黄丽, 女, 南昌市食品药品检验所工程师, 硕士。

通讯作者:罗舜芬(1964—), 女, 赣南师范大学副研究员。

E-mail: hyxh1127@163.com

收稿日期:2016-03-09

目前,变性淀粉应用于米粉中的研究仅考察其对米粉中淀粉回生的影响或对米粉蒸煮品质的影响,未能将二者系统地结合起来考察变性淀粉对鲜湿米粉储藏过程中综合老化行为的影响。关于 HPDSP 对鲜湿方便米粉综合品质影响报道未见。本研究拟通过向大米粉中加入羟丙基二淀粉磷酸酯,考察 HPDSP 对米粉储藏期品质及对米粉储藏期内淀粉回生的的影响,以期为 HPDSP 在鲜湿方便米粉中的研究与应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

- 早籼米(RS):江西麻姑实业集团有限公司;
- 羟丙基二淀粉磷酸酯(HPDSP):中泰淀粉有限公司;
- 乳酸:西陇化工股份有限公司;
- 米粉机:SZ30 型,广州旭众食品机械有限公司;
- 高速万能粉碎机:DFY-300 型,温岭市林大机械有限公司;
- 质构仪:TA-XT 型,英国 StableMicro System 公司;
- X-衍射仪:DI 型,英国 Bede 公司;
- 扫描电镜:Quanta-200 型,荷兰 FEI 公司;
- 差示扫描量热仪:TA-2000 型,美国 TA 公司。

1.2 试验方法

1.2.1 鲜湿方便米粉样品制备 原料大米粉碎(过 60 目筛),备用。选用 HPDSP/大米粉质量比 0.0%,5.0%,7.5%,10.0%,15.0% 混合,加水调制体系水分含量为 40%,经和粉、挤压成型、室温老化、复蒸(100℃,30 min)、乳酸浸泡(1%,1 min)、真空包装、杀菌(95℃,30 min)等处理后得成品;将成品鲜湿方便米粉放于 4℃冰箱内储藏(0,1,3,5,7,14,21,28 d)待用。

1.2.2 储藏过程中米粉硬度的测定 根据文献[12]修改如下:鲜湿米粉 4℃老化 0,1,3,5,7,14,21,28 d 时取样,放入 500 mL 沸腾蒸馏水中浸泡 5 min 后捞出,再放入冰水中冷却 1 min 后捞出沥干,用滤纸吸去表面水分。每次测试时取长约 2 cm 的 3 根鲜湿粉条平行置于测试平台上,用 TA-XT 物性测试仪于室温下对样品进行测定。每个浓度样品重复测定 12 次。条件设置:探头为 P/50,测试类型为 TPA 模式;压缩形变为 75%;测前、后速度为 1 mm/s;测试速度为 0.5 mm/s;触发点负载 5.0 g;数据采集频率 400 pp/s。

1.2.3 X-衍射(X-ray)分析 用 X 衍射仪测定米粉中淀粉的长程晶体结构[13]。取 4℃老化 7 d 的各样品,冻干粉碎过 80 目筛,用 X-射线衍射仪进行测试,分析淀粉结晶结构的变化。测定条件:特征衍射线 Cu-K_α靶(λ=0.154 06 nm),扫描范围 2θ:4°~40°,步长 0.02°。相对结晶度按式(1)计算:

$$R = \frac{A_c}{A_c + A_a} \times 100\%, \tag{1}$$

式中:

R——相对结晶度,%;

Aa——X 射线衍射图谱中非结晶区的面积;

Ac——结晶区的面积。

1.2.4 热力学分析 用铝盒称量 3.0 mg 样品,再用微量注射器按照 1:2 的质量比加入蒸馏水,将铝盒密封并室温放置 2 h。采用差示扫描量热仪进行测定,扫描温度从 30℃升至 90℃,然后从 90℃冷却到 30℃,温度扫描速率为 10℃/min。每个样品重复测定 3 次,结果取平均值。根据峰面积计算出样品的老化焐值(ΔHr)[14]。

1.2.5 微观结构分析 用扫描电镜(SEM)观察米粉老化后的微观结构。取 4℃老化 7 d 的样品冻干粉碎过 80 目筛。SEM 的分析方法[13]:取少量老化米粉样品,均匀撒在扫描电镜载物台的双面电胶布上,用洗耳球吹去多余的粉末,将样品放入扫描电镜中观察即可。

1.2.6 米粉储藏过程中蒸煮品质的测定

(1) 米粉蒸煮损失测定:根据 Fiorda 等[15]方法并修改如下:分别取在 4℃储藏 0,3,7,14,28 d 的米粉,置入 500 mL 沸水中浸泡 5 min,捞出沥干,立即取 100 mL 残液倒入 250 mL 已恒重烧杯内,于 110℃蒸发至恒重。米粉蒸煮损失按式(2)计算:

$$LS = \frac{MER \times VCM}{MS \times VA} \times 100\%, \tag{2}$$

式中:

LS——米粉蒸煮损失,%;

MER——蒸发残余物重,g;

VCM——水体积,mL;

MS——样品质量,g;

VA——体积的整除,mL。

(2) 米粉断条率测定:参照 QB/T 2652—2004 修改如下:分别取在 4℃储藏 0,3,7,14,28 d 的米粉,置入 500 mL 沸水中浸泡 5 min,捞出沥干,固形物置于磁盘中,挑出长度不足 10 cm 与超过 10 cm 的鲜湿方便米粉,分别称重。米粉断条率按式(3)计算:

$$BR = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \times 100\%, \tag{3}$$

式中:

BR——米粉断条率,%;

m₁——长度不足 10 cm 的鲜湿方便米粉重量,g;

m₂——长度超过 10 cm 的鲜湿方便米粉重量,g。

1.3 数据分析

所有试验数据采用 SPSS 22.0 软件计算,应用方差分析(ANOVA)进行显著性分析,以 P<0.05 表示有显著性差异。

2 结果与分析

2.1 硬度分析

由图 1 可见,所有米粉样品在储藏期间内硬度都呈增长趋势,但添加 HPDSP 的样品硬度显著低于空白,表明 HPDSP 对米粉老化具有明显的抑制作用。同时,随着 HPDSP 添加量的增加,样品硬度降低,其中,添加 10% HPDSP 的样品硬度峰值对比空白降低了 29.92%,15% HPDSP 同比降低达 46.9%,抗老化效果明显。这可能是 HPDSP 对淀粉量的稀释作用,以及 HPDSP 具有很高的亲水性,能够控制米粉在储藏过程中水分的渗出与流动,减缓

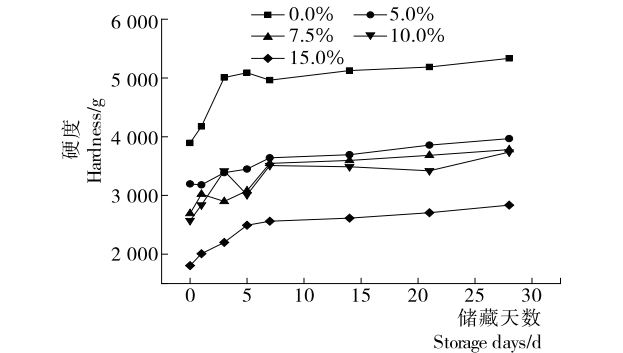


图 1 羟丙基二淀粉磷酸酯对鲜湿方便米粉硬度的影响

Figure 1 Effects of hydroxypropyl distarch phosphate on hardness of instant fresh rice noodle

淀粉分子链迁移,并且使得参与淀粉重结晶的水分减少,达到抗淀粉回生的作用^[16-17]。

2.2 XRD 分析

添加 HPDSP 的米粉在 4℃下储藏 7 d 时的 X-衍射图谱见图 2。由图 2 可知,空白样品在 17°,20°,22°时显示出典型的 B-型结晶特征峰。在 17°形成的峰主要是体系中支链淀粉的长期老化所引起的^[18],添加 HPDSP 的样品在 17°,20°,22°时 B-型特征峰吸收强度降低,峰型变宽。其中,添加 10%,15% HPDSP 样品分别在 22°,17°时强吸收基本消失,转变为泛峰,抗老化效果显著。经计算得 5 组样品(0.0%,5.0%,7.5%,10.0%,15.0%)相对结晶度分别为 10.17,6.29,5.20,3.46,2.22。这些结果表明随着 HPDSP 添加量的增加,抑制淀粉重结晶的效果越显著。

2.3 热力学分析

表 1 为添加 HPDSP 米粉在 4℃储藏 7 d 的热力学性质。样品老化后淀粉晶体融化峰值温度(T_p)均在 53~58℃,这个温度范围内的吸收峰是由融化有序支链淀粉结晶所形成,而非直链淀粉^[19]。由表 1 可看出,添加 HPDSP 可以显著抑制米粉的回生。其中,当 HPDSP 添加量为 15.0%时,米粉回生焓值降到 1.28 J/g,对比空白的下降 72.1%,抗支

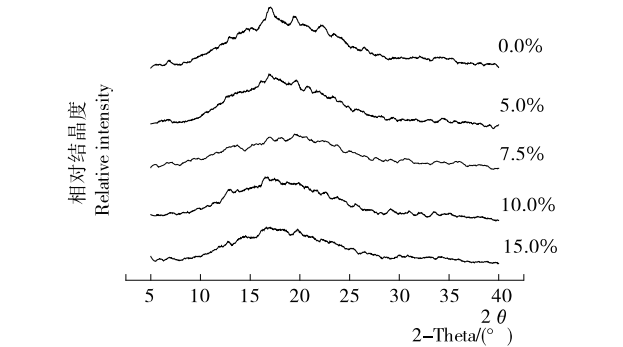


图 2 添加羟丙基二淀粉磷酸酯的米粉在 4℃储藏 7 d 后的 X-ray 衍射图

Figure 2 X-ray diffraction patterns of rice noodle prepared from flour substituted with hydroxypropyl distarch phosphate during retrogradation at 4℃ for 7 days

表 1 添加羟丙基二淀粉磷酸酯的米粉在 4℃储藏 7 d 的热力学性质[†]

Table 1 Retrogradation temperatures and enthalpy of freeze-drying rice noodle prepared from flour substituted with hydroxypropyl distarch phosphate during retrogradation at 4℃ for 7 days

HPDSP 添加量/%	起始温度 $T_o/^\circ\text{C}$	峰值温度 $T_p/^\circ\text{C}$	终点温度 $T_c/^\circ\text{C}$	老化焓 $\Delta H_g/(\text{J}\cdot\text{g}^{-1})$
0.0	49.21 ± 0.14^a	55.89 ± 0.29^a	65.59 ± 0.65^a	4.58 ± 0.21^a
5.0	48.80 ± 0.09^a	55.18 ± 0.03^b	65.01 ± 0.24^{ab}	3.42 ± 0.39^b
7.5	48.16 ± 0.08^{ab}	54.93 ± 0.09^{bc}	64.54 ± 0.12^{ab}	3.19 ± 0.18^b
10.0	47.42 ± 0.12^b	54.61 ± 0.02^{cd}	63.89 ± 0.14^{bc}	2.69 ± 0.28^b
15.0	46.23 ± 0.60^c	54.39 ± 0.02^d	63.16 ± 0.33^c	1.28 ± 0.61^c

[†] 同列相同字母代表无显著性差异($P<0.05$)。

链淀粉回生效果最优。这主要是 HPDSP 中引入的亲水基团能够阻碍淀粉分子间氢键的脱水缩合作用,抑制直链淀粉与支链淀粉的进一步聚合^[4]。Miyazaki 等^[8]也指出,羟丙基淀粉可以与淀粉竞争吸水降低参与淀粉重结晶所需的水分,从而抑制淀粉的老化。此外,HPDSP 的加入也稀释了米粉中淀粉的含量。

2.4 微观结构分析

图 3 为添加 HPDSP 样品 4℃老化 7 d 时的微观结构图。由图 3 可知:空白样品结构致密,紧实。添加了 HPDSP 的样品则形成了均匀、连续状网络结构,并且存在大量蜂窝状空腔(水分升华所致)。而随着 HPDSP 浓度的增加,这种蜂窝状结构越发显著,同时空腔壁变薄,空腔也明显越多、越深。说明 HPDSP 能够显著增强米粉在储藏过程中的持水性,抑制米粉老化过程中淀粉的重结晶。

2.5 羟丙基二淀粉磷酸酯对储藏期间米粉品质的影响

米粉的老化会显著影响其食用品质,例如米粉断条率增加,蒸煮损失增大。图 4、5 分别为添加 HPDSP 米粉在储藏期间的断条率与蒸煮损失。结果表明:除 15.0%添加量外,米粉蒸煮品质(断条率、蒸煮损失)都随 HPDSP 添加量的增加而降低,例如在 4℃下储藏 28 d 时,添加 5.0%,7.5%,10.0% HPDSP 的样品断条率相比于空白分别降低了 44.9%,64.1%,72.3%,蒸煮损失同比分别降低了 7.57%,13.9%,24.5%,说明 HPDSP 能显著改善米粉在老化期间的品质劣变。这主要是 HPDSP 糊化温度较低,受热时优先吸水膨胀,并分散在逐步形成的淀粉、蛋白网络结构中,起到加固体系网络结构的作用,使得最终形成的米粉凝胶结构致密均匀,从而改善了米粉在储藏过程中的蒸煮品质^[8, 20-21]。但若过量添加 HPDSP(15.0%添加量),其反而会与体系中的淀粉、蛋白质竞争吸收水分,使得淀粉分子不能充分吸水膨胀,也不利于蛋白质网络结构的形成,致使米粉无法形成结实的凝胶结构,表现为断条率、蒸煮损失增大^[22-23]。所以,虽然硬度、XRD、DSC 结果表明 15.0%浓度的 HPDSP 表现出最优的抗老化效果,但蒸煮性质结果表明其对米粉的蒸

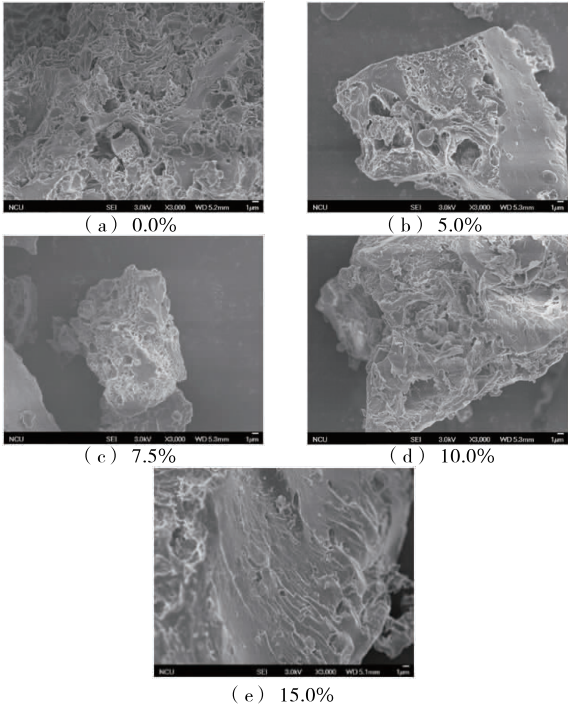


图 3 添加羟丙基二淀粉磷酸酯的米粉在 4 °C 储藏 7 d 的微观结构

Figure 3 SEM microstructure of freeze-drying rice noodle prepared from flour substituted with hydroxypropyl-distarch phosphate during retrogradation at 4 °C for 7 days

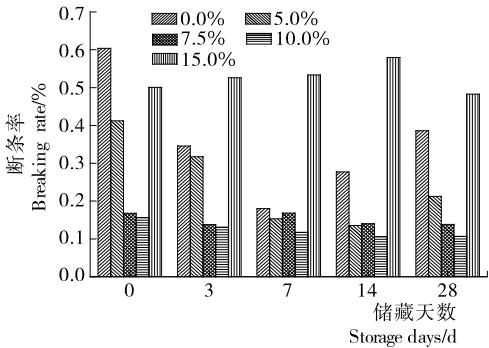


图 4 羟丙基二淀粉磷酸酯对米粉储藏过程中断条率的影响

Figure 4 Breaking rate of instant fresh rice noodle prepared from flour substituted with hydroxypropyl distarch phosphate

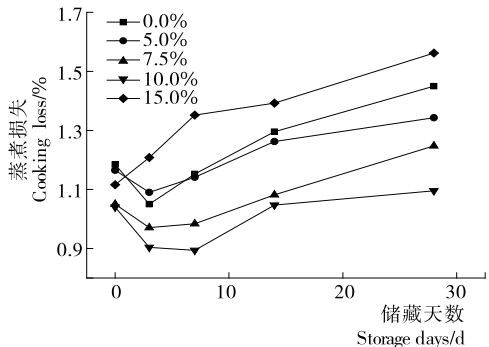


图 5 羟丙基二淀粉磷酸酯对米粉储藏过程蒸煮损失的影响

Figure 5 Cooking loss of instant fresh rice noodle prepared from flour substituted with hydroxypropyl distarch phosphate

煮品质会产生损害。10.0%添加量则能在具有优异抗老化效果的同时改善米粉品质。

3 结论

通过对羟丙基二淀粉磷酸酯(HPDSP)不同添加量的米粉进行质构、X-ray 衍射、微观结构分析以及测定成品米粉的储藏蒸煮品质得知,在储藏过程中,HPDSP 可以显著降低鲜湿方便米粉的硬度、相对结晶度和老化焓,抑制鲜湿方便米粉的长期老化,且抑制效果随 HPDSP 添加量的增加而增强,以 15.0%添加量抗老化效果最优;微观结构显示添加 HPDSP 后的老化米粉表现为多孔状蜂窝结构,出现大量空腔,表明 HPDSP 的加入增强了米粉储藏期间的持水力;储藏蒸煮试验表明,在 HPDSP 添加量为 0.0%~10.0%时,HPDSP 可以改善米粉的蒸煮品质,提高米粉的持水性,降低米粉的断条率和蒸煮损失,且这种现象随 HPDSP 添加量的增加更显著;而过量(15.0%)的 HPDSP 会对米粉蒸煮品质产生损害。

参考文献

[1] 罗舜菁, 占柳菁, 刘成梅. 食品添加剂抗鲜湿方便米粉老化的研究进展[J]. 食品工业科技, 2016(6): 392-395, 399.

[2] 涂宗财, 刘成梅, 付桂明. 方便湿米粉防止回生和品质改良[J]. 食品工业, 2003(5): 7-8.

[3] 汪霞丽, 沈娜, 李亦蔚, 等. 方便湿米粉的加工工艺及抗老化研究[J]. 食品与机械, 2012, 28(4): 197-200.

[4] 谢定, 刘永乐, 单阳, 等. 保鲜方便米粉抗老化研究[J]. 食品与机械, 2006, 22(2): 8-10.

[5] 胡爱军, 郑捷, 秦志平, 等. 变性淀粉特性及其在食品工业中应用[J]. 粮食与油脂, 2010(6): 1-4.

[6] 刘晓明. 羟丙基二淀粉磷酸酯与酪蛋白在酸奶体系中的作用研究[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2013: 1-2.

[7] 宋晓. 羟丙基二淀粉磷酸酯在番茄酱中作用机理的研究[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2013: 3-5.

[8] MIYAZAKI M, MAEDA T, MORITA N. Starch retrogradation and firming of bread containing hydroxypropylated, acetylated, and phosphorylated cross-linked tapioca starches for wheat flour [J]. Cereal Chemistry, 2005, 82(6): 639-644.

[9] 王晓艳, 荐桂茹, 田颖. 变性淀粉对冷冻面团面包品质的影响[J]. 中国食品添加剂, 2014(1): 192-197.

[10] 李嘉瑜, 宋臻善, 郭桦, 等. 变性淀粉对海绵蛋糕品质影响[J]. 粮食与油脂, 2012(10): 25-27.

[11] 宋贤良, 张建广, 洗沛枝, 等. 变性淀粉对面包品质的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2011(3): 28-31.

[12] LIMROONGREUNGRAT Kullaya, HUANG Yao-wen. Pasta products made from sweetpotato fortified with soy protein[J]. LWT-Food Science and Technology, 2007, 40(2): 200-206.

[13] WU Yue, CHEN Zheng-xing, LI Xiao-xuan, et al. Retrogradation properties of high amylose rice flour and rice starch by physical modification[J]. LWT-Food Science and Technology, 2010, 43(3): 492-497.

(下转第 213 页)

[J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 102(1): 838-845.

[38] LEI Dan-dan, LIU Jia, YE Fa-yin, et al. Synthesis, characterization and aqueous self-assembly of octenylsuccinic corn dextrin ester with high molecular weight[J]. Food Hydrocolloids, 2014, 41(41): 250-256.

[39] GUO Yan-zhu, WANG Xiao-hui, SHU Xuancai, et al. Self-assembly and paclitaxel loading capacity of cellulose-graft-poly (lactide) nanomicelles[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(15): 3 900-3 908.

[40] XIONG Xiao-bing, FALAMARZIAN A, GARG S M, et al. Engineering of amphiphilic block copolymers for polymeric micellar drug and gene delivery[J]. Journal of Controlled Release, 2011, 155(2): 248-261.

[41] WU Min-ming, GUO Kai, DONG Hong-wei, et al. In vitro drug release and biological evaluation of biomimetic polymeric micelles self-assembled from amphiphilic deoxycholic acid-phosphorylcholine-chitosan conjugate[J]. Materials Science and Engineering: C, 2014, 45: 162-169.

[42] ŠMEJKALOVA D, NESPOROVA K, HERMANNOVA M, et al. Paclitaxel isomerisation in polymeric micelles based on hydrophobized hyaluronic acid [J]. International Journal of Pharmaceutics, 2014, 466(1/2): 147-155.

[43] MANJU S, SREENIVASAN K. Conjugation of curcumin onto hyaluronic acid enhances its aqueous solubility and stability[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2011, 359 (1): 318-325.

[44] LI Jing-lei, SHIN G H, CHEN Xi-guang, et al. Modified curcumin with hyaluronic acid: Combination of pro-drug and nanomicelle strategy to address the curcumin challenge[J]. Food Research International, 2015, 69: 202-208.

[45] LI Jing, YIN Ting-jie, WANG Lei, et al. Biological evaluation of redox-sensitive micelles based on hyaluronic acid-deoxycholic acid conjugates for tumor-specific delivery of paclitaxel[J]. International Journal of Pharmaceutics, 2015, 483(1/2): 38-48.

[46] MANDRACCHIA D, TRIPODO G, LATROFA A, et al. Amphiphilic inulin- α -tocopherol succinate (INVITE) bioconjugates for biomedical applications[J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 103: 46-54.

[47] WEI Yu-ping, CHENG Fa. Synthesis and aggregates of cellulose-based hydrophobically associating polymer [J]. Carbohydrate Polymers, 2007, 68(4): 734-739.

[48] ARUNKUMAR R, PRASHANTH K V H, BASKARAN V. Promising interaction between nanoencapsulated lutein with low molecular weight chitosan: Characterization and bioavailability of lutein in vitro and in vivo[J]. Food Chemistry, 2013, 141 (1): 327-337.

[49] TAN Ying, XU Kun, LI Yang, et al. A robust route to fabricate starch esters vesicles [J]. Chemical Communications, 2010, 46(25): 4 523-4 525.

[50] SEO S, LEE C S, JUNG Y S, et al. Thermo-sensitivity and triggered drug release of polysaccharide nanogels derived from pullulan-g-poly(L-lactide) copolymers[J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 87(2): 1 105-1 111.

[51] MA Ya-qin, LIU Jia, YE Fa-yin, et al. Solubilization of β -carotene with oat β -glucan octenylsuccinate micelles and their freeze-thaw, thermal and storage stability[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 65: 845-851.

[52] SAADAT E, AMINI M, KHOSHAYAND M R, et al. Synthesis and optimization of a novel polymeric micelle based on hyaluronic acid and phospholipids for delivery of paclitaxel, in vitro and in-vivo evaluation[J]. International Journal of Pharmaceutics, 2014, 475(1/2): 163-173.

[53] GAN Quan, WANG Tao, COCHRANCE C, et al. Modulation of surface charge, particle size and morphological properties of chitosan-TPP nanoparticles intended for gene delivery [J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2005, 44(2/3): 65-73.

[54] MORIMOTO N, HIRANO S, TAKAHASHI H, et al. Self-assembled pH-sensitive cholesteryl pullulan nanogel as a protein delivery vehicle[J]. Biomacromolecules, 2012, 14(1): 56-63.

[55] SKAAT H, CHEN R, GRINBERG I, et al. Engineered polymer nanoparticles containing hydrophobic dipeptide for inhibition of amyloid- β fibrillation [J]. Biomacromolecules, 2012, 13(9): 2 662-2 670.

(上接第 180 页)

[14] XU Lin-juan, XIE Jian-kun, KONG Xiang-li, et al. Analysis of genotypic and environmental effects on rice starch. 2. Thermal and retrogradation properties[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52(19): 6 017-6 022.

[15] FIORDA F A, SOARES JUNIOR M S, SILVA F A, et al. Amaranth flour, cassava starch and cassava bagasse in the production of gluten - free pasta: technological and sensory aspects [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2013, 48(9): 1 977-1 984.

[16] HAN J A, LEE B H, LIM W J, et al. Utilization of hydroxypropylated waxy rice and corn starches in Korean waxy rice cake to retard retrogradation[J]. Cereal Chemistry, 2005, 82(1): 88-92.

[17] 刘成梅, 吴頔, 罗舜菁, 等. 羟丙基交联木薯淀粉对籼米淀粉老化特性的影响[J]. 食品工业科技, 2014(15): 58-62.

[18] THIRÉ R M S M, SIMAO R A, ANDRADE C T. High resolution imaging of the microstructure of maizestarch films[J]. Carbohydrate Polymers, 2003, 54(2): 149-158.

[19] OTTENHOF M A, HILL S, FARHAT I A. Comparative study of the retrogradation of intermediate water content waxy maize, wheat, and potato starches[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2005, 53: 631-638.

[20] 孙慢慢. 变性淀粉的性质及在酸奶中的应用研究[D]. 无锡: 江南大学, 2012: 23-25.

[21] 王放, 黄淑霞. 变性淀粉对面条品质改良的研究[J]. 中国粮油学报, 1997(5): 7-11, 26.

[22] 吴建平, 丁霄霖. 变性淀粉对新鲜面品质改良的研究[J]. 粮食与饲料工业, 1997(4): 43-45.

[23] 郭玉秋, 董海洲, 刘传富, 等. 羟丙基交联木薯淀粉对面团特性及挂面品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2013(3): 35-39.