

# 羟丙基-酶解木薯淀粉性质及其在速冻汤圆中的应用研究

邹建 (河南牧业经济学院, 河南郑州 450045)

**摘要** 以木薯淀粉为原料合成了羟丙基-酶解木薯淀粉, 通过对制备的羟丙基-酶解木薯淀粉的透明度、冻融稳定性测定, 得到羟丙基-酶解淀粉与羟丙基醚化淀粉相比透明度有了一定的提高, 并且随着水解 DE 值的升高, 淀粉产品的透明度不断提高, 与原淀粉相比, 冻融稳定性得到明显的增强。通过乳化性和乳化稳定性的测定, 得到羟丙基-酶解木薯淀粉的乳化稳定性较高。通过添加羟丙基-酶解淀粉在汤圆中进行应用试验, 得到该复合改性淀粉可作为汤圆面粉的改良剂提高速冻汤圆的感官质量, 尤其是在改善汤圆的形态、外观、口感和汤特性 4 个方面效果明显。

**关键词** 羟丙基-酶解; 透明度; 冻融稳定性; 乳化性; 汤圆

中图分类号 S 609.9; TS 235.1 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2015)03-196-04

## Studies on Properties of Hydroxypropyl-enzyme Tapioca Starch and Application in Quick-frozen Dumpling

ZOU Jian (Henan University of Animal Husbandry and Economy, Zhengzhou, Henan 450045)

**Abstract** The hydroxypropyl-enzyme tapioca starch was prepared by propylene oxide and  $\alpha$ -amylase. The transparency, freeze-thaw stability were investigated. Transparency of hydroxypropyl-enzyme starch was improved comparing with hydroxypropyl starch. Transparency was higher with the increase of DE value, freeze-thaw stability improved obviously. The emulsification and emulsion stability of hydroxypropyl-enzyme tapioca starch were studied. By adding the hydroxypropyl-enzyme tapioca starch in quick-frozen dumpling, the dietary quality was improved, especially the characteristics of shape, appearance, texture and soup.

**Key words** Hydroxypropyl-enzyme; Transparency; Freeze-thaw stability; Emulsification; Quick-frozen dumpling

羟丙基-酶解木薯淀粉是木薯淀粉经过羟丙基醚化生成羟丙基淀粉, 再以  $\alpha$ -淀粉酶水解成不同程度的复合改性淀粉<sup>[1]</sup>。该复合改性淀粉具有醚化淀粉和酶解淀粉二者的优点, 如糊的透明度、冻融稳定性及乳化性均较高的特性<sup>[2]</sup>。笔者通过对制备的羟丙基-酶解木薯淀粉的透明度、冻融稳定性进行测定研究该复合改性淀粉在速冻产品中的应用特性。通过乳化性和乳化稳定性的测定, 找出该复合改性淀粉作为乳化剂在蒸煮食品中的应用效果。此外, 笔者以实验室生产的汤圆为研究对象, 研究该复合改性淀粉对汤圆品质改善的效果, 为商业应用羟丙基-酶解木薯淀粉提供参考依据, 拓展该复合改性淀粉在实际中的应用范围。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

**1.1.1 原料及主要试剂。**木薯淀粉, 市售; 环氧丙烷 (CP)、氢氧化钠 (AR)、无水硫酸钠 (AR)、耐高温  $\alpha$ -淀粉酶, 湖北康宝泰精细化工有限公司; 糯米粉、黑芝麻、白糖、猪油等, 均从市场上购买食用产品。

**1.1.2 主要仪器设备。**PHS-25B 型数字酸度计, 上海大普仪器有限公司; JJ-1 型定时电动搅拌器、78HW-1 恒温磁力搅拌器, 金坛市华峰仪器有限公司; 721 型分光光度计, 上海菁华科技仪器有限公司; HLSY-B 速冻机, 郑州亨利制冷设备有限公司; TDL-80-2B 低速台式离心机, 上海安亭科学仪器厂; NDJ-79 旋转粘度仪, 上海沪粤明科学仪器有限公司。

### 1.2 方法

**1.2.1 淀粉水分含量测定。**淀粉水分含量按 GB12087-89 方法测定。

**1.2.2 羟丙基-酶解木薯淀粉的制备。**称取一定量木薯淀粉 (含水量 12.07%) 均匀分散于硫酸钠溶液中, 搅拌下缓慢加入一定量氢氧化钠, 再快速加入环氧丙烷, 密闭容器, 置于恒温搅拌器上进行反应, 反应若干小时后, 用稀盐酸 (3%) 调节体系的 pH 至 6.7 左右, 终止反应, 离心机离心脱水, 水洗 3 次, 常温干燥, 即得到羟丙基木薯淀粉<sup>[3]</sup>。

取一定量的羟丙基木薯淀粉配制成 35% 浓度的淀粉溶液, 将 pH 调节到 6.0~6.5, 放入恒温水浴中使淀粉糊化, 彻底糊化后, 加入一定量的耐高温的液化酶, 保持一定的反应温度反应一段时间, 反应过程中不断用搅拌器搅拌, 反应结束后用 HCl 溶液将反应溶液 pH 调节至 6.5。反应溶液静置一定时间后, 用不同浓度的乙醇溶液洗涤沉淀产品, 直至将产品中的水全部洗出为止, 在干燥箱中过夜干燥<sup>[4]</sup>。

**1.2.3 糊透明度。**称取一定量的样品配成的质量分数为 1% 的淀粉乳, 取 50 ml 放入 100 ml 的烧杯中, 置于沸水浴中加热, 搅拌 15 min 并保持原有体积, 然后冷却至 25  $^{\circ}$ C, 用分光光度计进行测定, 以蒸馏水作参比 (设蒸馏水的透光率为 100%), 用 1 cm 比色皿在 650 nm 波长下测定糊的透光率。然后将糊在 25~30  $^{\circ}$ C 下静置 24 h, 再测定其透光率<sup>[5]</sup>。

**1.2.4 糊冻融稳定性的测定。**准确称取样品 3.00 g, 加蒸馏水 50 ml, 配成 6% (W/V) 的淀粉乳, 在沸水浴中加热糊化, 再冷却至室温。取 10 ml 倒入塑料离心管中, 加盖置于 -18~-20  $^{\circ}$ C 冰箱内冷却, 24 h 后取出, 室温下自然解冻, 然后在 3 000 r/min 条件下离心 20 min, 弃去上清液 (若无水析出则反复冻融, 直至有水析出), 称取沉淀物质量, 计算析水率 (析水率低, 冻融稳定性好)。

析水率 = (糊重 - 沉淀物重) / 糊重  $\times$  100%<sup>[6]</sup>

**1.2.5 羟丙基淀粉取代度的测定。**羟丙基淀粉取代度的测定是依据 Johnson D P 的分光光度法<sup>[7]</sup>。

**1.2.6 羟丙基-酶解淀粉葡萄糖当量浓度 (DE 值) 的测**

**作者简介** 邹建 (1981-), 男, 河南周口人, 讲师, 硕士, 从事食品添加剂的合成及应用研究。

**收稿日期** 2014-12-05

定<sup>[8]</sup>。计算公式如下:

$$\text{还原糖}(\%) = \frac{F}{m \frac{V_1}{V} \times 100} \times 100$$

式中,  $V_1$  为滴定时消耗样液量(ml);  $V$  为样液总量(ml);  $m$  为样品质量(g);  $F$  为还原糖因数, 即 10 ml 斐林试剂(甲、乙液各 5 ml) 相当的还原糖量(mg)。

**1.2.7 淀粉产品乳化性和乳化稳定性的测定。**准确称取 0.5 g 样品(干基计), 分散于 25 ml 的水中, 在沸水浴中加热糊化并保温 10 min, 冷却, 于淀粉糊中加入 25 ml 的大豆色拉油, 在均质仪上以 10 000 r/min 的速度均质 2 次, 每次约 30 s, 将乳化液转移至 10 ml 的离心管中, 以 3 500 r/min 离心约 15 min, 记录乳化层高度和液体总高度<sup>[9]</sup>。按下式计算乳化能力(Emulsion Apacity, EA):

$$EA(\%) = \frac{\text{离心管中乳化层高度}}{\text{离心管中液体总高度}} \times 100\%$$

上述样品在室温下放置 24 h, 再以 3 500 r/min 离心约 15 min, 记录乳化层高度和液体总高度。按下式计算乳化稳定性(Emulsion Stability, ES):

$$ES(\%) = \frac{\text{离心管中仍保持乳化层的高度}}{\text{离心管中液体总高度}} \times 100\%$$

**1.2.8 速冻汤圆的生产工艺流程。**原辅料配方及处理→制馅心→制糯米团→包馅→速冻→冷藏。工艺条件: 面皮采用冷水调粉, 搅拌均匀, 按米粉总质量的 80%~85% 加水继续搅拌, 使粉团达到一定的柔软度, 静置 10~20 min。试验制备规格为 10 g/个的汤圆, 皮与馅为 3:1 的质量比例。将制好的汤圆放入铺有塑料薄膜的盘中进行速冻。在 -30~-35℃ 的温度下速冻 30~45 min, 使汤圆中心温度达到 -18℃ 时为止<sup>[10]</sup>。

**1.2.9 速冻汤圆感官评分标准。**将加入不同羟丙基-酶解木薯淀粉的粉料, 按工艺流程及参数制成汤圆, 对其烹煮前后的外观、形态、口感、汤特性等用定量描述的方法进行感官鉴定<sup>[11]</sup>。具体评分细则见表 1。

**1.2.10 制备的不同样品的特征说明。**制备的 1 号样品为木薯原淀粉, 2、3、4 号为不同 DS 的羟丙基醚化淀粉(2、3、4 号样品的 DS 分别为 0.008、0.014 和 0.019), 5、6 号为 2、3 号水解到同一个 DE 值的羟丙基-酶解淀粉, 7、8、9 号样品是 4 号样品水解到不同 DE 值的羟丙基-酶解淀粉(7、8、9 号样品的 DE 值分别为 2、4、8), 具体见表 2。

## 2 结果与分析

**2.1 糊的透明度** 由图 1 可知, 羟丙基醚化木薯淀粉的透光率随取代度的增加而增大, 羟丙基-酶解淀粉的透光率随水解度的增加而增大。这说明羟丙基-醚化和羟丙基-酶解均可以提高淀粉的透光率, 而淀粉经过复合改性后透光率升高显著。这是因为淀粉糊的透光率直接与淀粉在糊液中的存在状态有关<sup>[12]</sup>。淀粉分子中引入的羟丙基基团, 阻碍了淀粉分子链间氢键的形成, 降低了淀粉分子间的结合力, 增加了淀粉颗粒的亲水性和膨胀率, 使淀粉分子高度水合和

分散, 因此使透光率提高。

表 1 速冻汤圆感官评分标准

工序	项目	评分内容	评分值//分
速冻后 (30分)	色泽	亮白、奶白	8~10
		奶白、白斑 杂色、灰色、土黄	3~7 0~2
	形态 (20分)	完整、均匀一致、球形或扁球形、无裂纹、不塌陷	18以上
烹煮后 (70分)	外观 (20分)	完整、不太均匀、少量裂纹、较塌陷	11~17
		个体不完整且形态不均一、大量裂纹、塌陷严重	0~10
		白色、奶白色, 表面光滑细腻、水平放置不平铺、无空洞	18以上
	气味 (10分)	奶黄、表面较粗糙、平铺、微小孔洞	11~17
		暗黄、表面粗糙、平铺严重、空洞较大	0~10
	口感 (20分)	较大糯香, 无异味	8~10
糯香不足		3~7	
无明显糯香味		0~2	
汤特性 (20分)	软硬适中并且没有硬心, 不粘牙, 细腻, 没有后味	18~20	
	稍硬或稍软, 稍粘牙, 不很细腻	11~17	
	过硬或过软, 粘牙, 不细腻, 吞咽后有后味	0~10	
		清晰, 无沉淀	16~20
		较清晰, 沉淀少	6~15
		浑浊, 沉淀少	0~5

表 2 1~9 号样品特征说明

样品编号	DS	DE
1	0	0
2	0.008	0
3	0.014	0
4	0.019	0
5	0.008	1
6	0.014	1
7	0.019	2
8	0.019	4
9	0.019	8

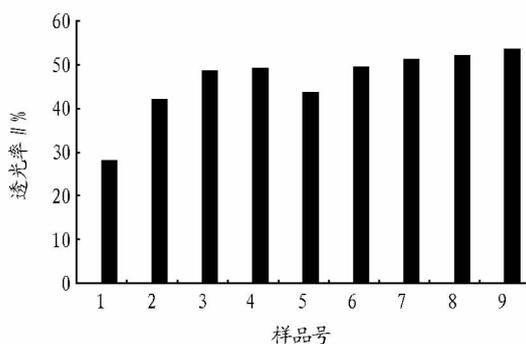


图 1 不同改性淀粉透光率

经过  $\alpha$ -淀粉酶水解的产品的透明度较羟丙基醚化淀粉又有了提高, 并且随着水解 DE 值的提高, 淀粉产品的透明度也不断上升。淀粉溶液透光率降低, 是由于单位体积内分子数目增多, 光散射增强所致。由图 1 可以发现, 经  $\alpha$ -淀粉酶水解后, 其透光率增加更大。分析原因为经过水解后, 直链

淀粉链长度变短,淀粉支链化程度提高,使得淀粉更容易溶于水中,与水缔合,淀粉分子量降低,粘度降低,溶解性增强,凝沉性减弱,透光率增强,从而使得淀粉产品的透明度提高。

**2.2 糊液的冻融稳定性** 从表 3 中可以看出,原木薯淀粉经过 2 次冻融循环,析水率达到 10.6%,6 次冻融循环后析水率达到 41.2%,说明原木薯淀粉的冻融稳定性较差,而经过羟丙基-酶解双重改性后,冻融稳定性得到明显的提高。分析原因为:淀粉中的直链淀粉分子由  $\alpha$ -1,4 糖苷键连接,支链淀粉分子则由  $\alpha$ -1,4 糖苷键和少部分的  $\alpha$ -1,6 糖苷键连接。 $\alpha$ -淀粉酶作用与淀粉分子的形式就是水解  $\alpha$ -1,4 糖苷键,但不水解相邻的  $\alpha$ -1,4 糖苷键也不水解  $\alpha$ -1,6 糖苷键。因此经过  $\alpha$ -淀粉酶的作用后,直链淀粉分子链长缩短,在水中易于扩散,不易聚集,也不易定向排列,此外疏水性的长链烯基基团的存在也会对直链淀粉重新聚集造成一定的空间位阻,在二者的共同作用下使得淀粉产品不容易回生<sup>[13]</sup>。因此水解后的羟丙基-酶解淀粉冻融稳定性更好。

表 3 不同程度的改性淀粉冻融稳定性 %

样品	冻融次数				
	2	3	4	5	6
1	10.6	21.7	29.0	34.6	41.2
5	1.9	5.4	7.9	18.1	31.3
6	1.4	4.6	7.6	17.0	27.6
7	0.6	3.7	6.3	14.6	20.7
8	0	0	1.1	4.8	12.3
9	0	0	0	0	0

**2.3 酯化-酶解木薯淀粉乳化能力及乳化稳定性测定** 由图 2 分析可知,随着取代度的增加淀粉的乳化能力和乳化稳定性比原淀粉有很大提高。酯化淀粉糊化后分散在水中,当淀粉糊中加入油相后,经过均质机的剧烈剪切作用,

有效地使其分散在油水两相中。淀粉分子中的长链辛烯基基团会使淀粉产品在油/水界面上形成界面膜,并能有效降低油水界面的张力,油水混合物混合的更加充分<sup>[14]</sup>,因此淀粉产品的乳化能力和乳化稳定性比原淀粉有很大的提高。

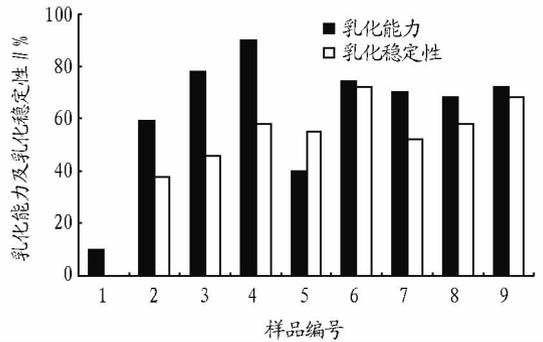


图 2 不同淀粉产品的乳化能力和乳化稳定性

5、6 号样品是 2、3 号样品的水解产品,从图 2 中可以看出,虽然淀粉产品的乳化能力有所降低,但是其乳化稳定性相应有了很大的提高。7、8、9 3 种样品是 4 号样品的同一取代度的产品水解到不同的程度,随着水解程度的提高,淀粉产品的乳化能力有所降低但是乳化稳定性却相应提高<sup>[15]</sup>。这是因为将淀粉产品经过淀粉酶水解后,淀粉直链长度降低,支链化程度提高,在水包油的体系中分散更加容易,且经过长时间的静置也不易发生重排和聚集,因此其抗老化性能提高,由于  $\alpha$ -淀粉酶只水解  $\alpha$ -1,4 糖苷键而不影响酯键,在其乳化性没有损失的情况下其稳定性相应有了很大的提高。

**2.4 羟丙基-酶解木薯淀粉对速冻汤圆感官品质的影响** 用添加不同比例的 9 号羟丙基-酶解木薯淀粉样品制备速冻汤圆,对其进行感官评分。

从表 4 中可以看出,用羟丙基-酶解淀粉作为添加剂制

表 4 不同羟丙基-酶解淀粉添加量对速冻汤圆感官品质的影响

添加种类	添加量 %	项目评分细则					总分	
		色泽//分	形态//分	外观//分	气味//分	口感//分		汤特性//分
空白	0	6	5	8	7	7	5	38
羟丙基-酶解木薯淀粉	1	6	16	16	7	17	16	78
	2	6	16	17	7	17	17	80
	3	7	18	17	7	18	17	84
	4	7	18	19	7	18	17	86
	5	7	18	19	7	18	18	87
市售汤圆品质改良剂	5	7	17	18	7	17	17	83

作的汤圆,感官质量得到很大的提高,尤其是使用 5% 的羟丙基-酶解淀粉作为改良剂制备的汤圆,其感官评分可以达到 87 分。

这是由于糯米粉本身吸水性、保水性较差,在加工过程中加水量的小幅度变化就可能影响到汤圆的开裂程度,进而影响汤圆的感官品质。制作汤圆时加入羟丙基-酶解淀粉,能起到一定的乳化稳定效果,减少游离水,保证汤圆在冻结过程冰晶细小,使内部结构细腻、无孔洞,形状保持完好<sup>[16]</sup>。

同时,通过表 4 也可看出,羟丙基-酶解淀粉在改善汤圆的形态、外观、口感和汤特性 4 个方面效果明显,这也进一

步印证了该复合改性淀粉透明度、冻融稳定性及乳化性高的特点。将羟丙基-酶解淀粉与市售的汤圆品质改良剂相比较,其效果比市售的改良剂还要明显,说明羟丙基-酶解淀粉是比较理想的汤圆品质改良剂,可以在商业上进行广泛的开发应用。

### 3 结论

羟丙基-酶解淀粉与羟丙基醚化淀粉相比透明度有了进一步提高,并且随着水解 DE 值的升高,淀粉产品的透明度不断提高。羟丙基-酶解淀粉与原淀粉相比,冻融稳定性得到明显的提高。通过乳化性和乳化稳定性的测定,得到羟丙

基-酶解木薯淀粉的乳化稳定性较高。羟丙基-酶解淀粉可以作为汤圆面粉的改良剂提高速冻汤圆的感官质量,尤其是在改善汤圆的形态、外观、口感和汤特性 4 个方面效果明显。

### 参考文献

- [1] RANDAL L S, ARVIND V, FREDERICK F, et al. Gross. Distribution of octenyl succinate groups in octenyl succinic anhydride modified waxy maize starch[J]. *Starch*, 2000, 52(6): 196-204.
- [2] KIM H Y L, HYEON W Y, LIRA H S. Replacement of shortening in yellow layer cakes by corn dextrins[J]. *Cereal Chemistry*, 2001, 78(3): 267-271.
- [3] LI L, JIANG H, CAMPBELL M, et al. Characterization of maize amylose-extender(ae) mutant starches. Part I: Relationship between resistant starch contents and molecular structures[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2008, 74(3): 396-404.
- [4] 张玉娟, 毛圣陶, 王晶晶. TEMPO 修饰酶解淀粉的制备及其表面施胶[J]. *南京林业大学学报:自然科学版*, 2013, 37(1): 111-116.
- [5] HIRSCH J B, KOKINI J L. Understanding the mechanism of cross-linking agents(POCl<sub>3</sub>, STMP, and EPI) through swelling behavior and pasting properties of cross-linked waxy maize starches(1)[J]. *Cereal Chem*, 2002, 79(1): 102-107.
- [6] 伊莱亚森. 食品淀粉的结构、功能及应用[M]. 赵凯, 等, 译. 北京: 中国

轻工业出版社, 2009.

- [7] JOHNSON D P. Spectrophotometric determination of hydroxypropyl group in starch ethers[J]. *Anal Chem*, 1969, 41(6): 859-860.
- [8] 谢笔钧, 何慧. 食品分析[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [9] ZHONG F, YOKOYAMA W, WANG Q, et al. Rice starch, amylopectin, and amylose: Molecular weight and solubility in dimethyl sulfoxide-based solvents[J]. *Food Chem*, 2006, 54(6): 2320-2326.
- [10] WANG X Y, LI X X, CHEN L. Preparation and characterization of octenyl succinate starch as a delivery carrier for bioactive food components [J]. *Food Chemistry*, 2011, 126: 1218-1225.
- [11] 郭爱平, 田阳荣. 三种糯玉米食品制作工艺研究[J]. *扬州大学烹饪学报*, 2013(2): 23-28.
- [12] 郑茂强, 王辛, 王猛, 等. 辛烯基琥珀酸蜡质玉米淀粉乳化性质的研究[J]. *食品科技*, 2011, 18(1): 32-36.
- [13] 赖小玲, 肖生鸿, 陈华絮, 等. 四种食品添加剂对菠萝蜜种子淀粉老化度[J]. *食品研究与开发*, 2009, 30(11): 167-170.
- [14] WANG X, GAO W Y, ZHANG L M, et al. Study on the morphology, crystalline structure and thermal properties of yam starch acetates with different degrees of substitution [J]. *Science in China*, 2008, 51(9): 859-865.
- [15] 卢海风, 张本山. 醇溶剂法制备非晶颗粒态辛烯基琥珀酸淀粉酯的新工艺和机理的研究[J]. *现代食品科技*, 2010(10): 1135-1139.
- [16] JAYAKODY L, HOOVER R. Effect of annealing on the molecular structure and physicochemical properties of starches from different botanical origins-A review[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2008, 74(3): 691-703.

(上接第 185 页)

L-阿拉伯糖, D-木糖, D-甘露糖, D-葡萄糖醛酸, L-岩藻糖各 50 mg 为对照品, 分别溶于 10 ml 蒸馏水中, 配制成 5 mg/ml 的单糖溶液。

吸取上述 7 种溶液各 3  $\mu$ l, 分别点于同一含 0.3 mol/L NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 的硅胶 G 薄层板上, 以正丁醇:丙酮:水(4:3:1)为展开剂, 展开, 取出, 晾干, 喷以苯胺-二苯胺-磷酸显色剂, 于 85  $^{\circ}$ C 烘 15 min, 取出, 检视。供试品在对照品相应位置上, 显相同颜色斑点, 结果见图 6。

由图 6 可以看到, 黑木耳中的多糖显示的不十分明显(银耳中的单糖-葡萄糖显示得比较明显, 但也未能很好地分离其多糖以检测单糖组分), 黑木耳多糖的分离效果也不太好, 没能很好地把黑木耳中的多糖的单糖组分分别显示出来, 所以在显色剂与展开剂的选择上还应再进行试验, 选配出更好的展开剂与显色剂。

### 3 结论

复合酶提取黑木耳多糖的最佳条件为: 浸提料液比 1:40 g/ml, pH 7.0, 温度 40  $^{\circ}$ C, 时间 3.0 h, 在此条件下, 黑木耳多糖提取率为 4.353%。条件较温和, 能耗较低, 是很好的生产方法。

黑木耳多糖的分离情况并不好, 所含有的各单糖组分也没有完全显现(但在银耳中可以明显看到银耳含有 D-葡萄糖成分), 无法判断黑木耳中所含有的具体的单糖成分, 可能需要进一步的试验确定合适的展开剂与显色剂, 以找到不用高效液相色谱初步检测黑木耳多糖的单糖组分简便方法。

### 参考文献

- [1] ZHANG H A, WANG Z Y. In vitro antioxidant activities of sulfated derivatives of polysaccharides extracted from *Auricularia auricular* [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2011, 12(5): 3288-3302.
- [2] 叶挺梅, 钱令波, 崔洁, 等. 黑木耳多糖对抗氧化心脏缺血/再灌注损伤的研究[J]. *中国应用生理学杂志*, 2010, 26(2): 154-158.
- [3] LI L, DING J N, LUO L, et al. Preliminary studies on the early quality identification of *Auricularia auricular* [J]. *Journal of Forestry Research*, 2005, 16(1): 61-64.
- [4] 郭村荣. 黑木耳——防病保健功效多[J]. *中国食物与营养*, 2004, 9(9): 43-44.
- [5] 宋慧, 马利华, 秦卫东, 等. 复合酶法提取牛蒡多糖[J]. *粮油加工*, 2009, 8(8): 109-113.
- [6] 郑仕中. 银耳的化学成分和药理研究进展[J]. *中国药学杂志*, 1993, 28(5): 264-267.
- [7] HAMMERSCHMIDT D E. *Szechwan Prupura* [J]. *N Engl Med*, 1980, 302(21): 1191-1193.
- [8] 吴梧桐, 陈琼华, 徐碧如. 银耳孢子多糖的分离和分析[J]. *真菌学报*, 1982, 1(2): 119-121.
- [9] 林敏, 吴冬青, 李彩霞. 黑木耳多糖提取条件的研究[J]. *河西学院学报*, 2004, 20(5): 87-89.
- [10] 包海花, 高雪玲, 祖国美. 一种改良的黑木耳多糖提取方法[J]. *中国林产特产*, 2005(4): 29.
- [11] 韩秋菊. 黑木耳多糖提取方法比较[J]. *食品工业科技*, 2005, 26(5): 109-111.
- [12] 姜红, 孙宏鑫, 李晶, 等. 酶法提取黑木耳多糖[J]. *食品与发酵工业*, 2005, 31(6): 131-133.
- [13] 张立娟, 于国萍, 周国华. 黑木耳多糖酶法提取条件的研究[J]. *食品研究与开发*, 2005, 26(3): 89-91.
- [14] 张立娟, 于国萍. 黑木耳多糖酶法提取条件的优化及脱蛋白工艺的研究[J]. *食品工业科技*, 2005(5): 109-111.
- [15] 宁正祥. 食品成分分析手册[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1998.
- [16] 张东杰, 黄明海. 苜蓿多糖提取中适宜品种及工艺的研究[J]. *黑龙江八一农垦大学学报*, 2003, 15(3): 93-96.
- [17] 张惟杰. 糖复合生化研究技术[M]. 2版. 杭州: 浙江大学出版社, 1999: 11-13.
- [18] 颜军, 郭晓强, 李晓光, 等. TLC 快速分析多糖的单糖组成[J]. *食品科学*, 2006, 27(12): 603.