

美拉德反应对燕麦 β -葡聚糖 乳化性能影响的研究

孙涛^{1,2}, 徐宏蕾^{1,2}, 谢晶^{1,2}, 甘建红^{1,2}, 薛斌^{1,2}, 邵则淮^{1,2}, 崔宇³

(1.上海海洋大学食品学院, 上海 201306;

2.上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心, 上海 201306;

3.江阴中炬生物科技有限公司, 江苏江阴 214400)

摘要:通过美拉德反应对燕麦 β -葡聚糖进行改性以期提高其乳化性。燕麦 β -葡聚糖与L-谷氨酰胺(质量比10:1、5:1以及2:1)发生美拉德反应, 监测反应进程, 对产物的结构进行表征, 进而考察了其乳化性能及表面张力。结果表明, 随美拉德反应的进行, 体系的pH减小($p < 0.05$), 紫外吸光值和荧光吸光值增大($p < 0.05$), 燕麦 β -葡聚糖美拉德反应后, 产物有 β -葡聚糖特征吸收峰和氨基酸的特征吸收峰; β -葡聚糖的分子量增大, 且随L-谷氨酰胺添加比例的增加而增大。随着反应时间和L-谷氨酰胺添加比例的增大, 产物乳化活性和乳化稳定性增大($p < 0.05$), 表面张力减小($p < 0.05$)。

关键词:美拉德反应, 燕麦 β -葡聚糖, 乳化性能

Influence of Maillard reaction on emulsifying properties of oat β -glucan

SUN Tao^{1,2}, XU Hong-lei^{1,2}, XIE Jing^{1,2}, GAN Jian-hong^{1,2}, XUE Bin^{1,2}, SHAO Ze-huai^{1,2}, CUI Yu³

(1.College of Food Science & Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2.Shanghai Engineering Research Center of Aquatic-Product Processing & Preservation, Shanghai 201306, China;

3.Jiangyin Zhongju Biotechnology Co., Ltd, Jiangyin 214400, China)

Abstract: The aim of this paper is to improve the emulsifying property of oat β -glucan through Maillard reaction. The Maillard reaction was occurred by heating oat β -glucan and L-glutamine (the mass ratio was 10:1, 5:1, and 2:1). The reaction process was monitored. The oat β -glucan Maillard reaction products were prepared, and their structure was characterized. Emulsifying properties and surface tension of β -glucan Maillard reaction products were evaluated. The results showed that the pH decreased ($p < 0.05$), UV-vis absorbance and the fluorescence intensity increased during the reaction ($p < 0.05$). The products had the characteristic absorption peaks of β -glucan and amino acids after Maillard reaction. The molecular weights of the β -glucan increased after Maillard reaction, and the molecular weights of the β -glucan increases with the increase of the proportion of L-glutamine. The emulsion capability and emulsion stability of products increased and the surface tension of products decreased with the increasing of reaction time and the amount of L-glutamine ($p < 0.05$).

Key words: Maillard reaction; oat β -glucan; emulsifying property

中图分类号: TS202.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2017)15-0015-05

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2017.15.004

燕麦 β -葡聚糖是存在于燕麦胚乳和糊粉层细胞壁中的一种非淀粉多糖, 具有降血糖、降血脂、增加肠道益生菌和提高免疫力等多种生理活性, 由于这些优良的性能, 燕麦 β -葡聚糖被广泛应用于食品工业中^[1]。燕麦 β -葡聚糖具有一定的乳化性^[2], 而乳化性良好的多糖可作为乳化剂应用于食品工业中。目前应用于食品工业中的乳化剂大多为蛋白质, 而蛋白质的乳化性经常会受温度、pH以及电解质的影响而降低, 限制了其在食品工业中的应用^[3], 因此开发多糖类食品乳化剂具有重要意义。化学改性可以

提高多糖的乳化性, 如沙蒿多糖经乙酰化修饰后乳化性得以提升^[4-7]。但由于化学改性常会引入一些化学试剂并经过复杂的化学反应, 其安全性受到质疑^[8]。美拉德反应(Maillard reaction)是羰基化合物(还原糖类)和氨基化合物(氨基酸和蛋白质)间的反应^[7], 在美拉德反应中, 蛋白质与糖类发生共价结合, 能够有效的改善产物的性能, 如溶解性、乳化性等, 是多糖改性的一种安全且有效的方法^[9], 因此期待通过美拉德反应提高燕麦 β -葡聚糖的乳化性能。

L-谷氨酰胺是人体内最重要的游离氨基酸, 它

收稿日期: 2017-01-16

作者简介: 孙涛(1970-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 多糖的改性及生物功能的开发, E-mail: taosun@shou.edu.cn。

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31571914); 上海市科委(14dz1205101)。

可以调节人体代谢,具有较高的营养价值^[10]。本文通过燕麦 β -葡聚糖与L-谷氨酰胺的美拉德反应制得产物,考察了反应物的比例和反应时间对产物乳化活性、乳化稳定性及表面张力的影响,为 β -葡聚糖在食品中的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

燕麦 β -葡聚糖(90%) 西安斯诺特生物技术有限公司;L-谷氨酰胺 国药集团化学试剂有限公司;金龙鱼大豆色拉油 嘉里粮油(深圳)有限公司。

DK-S28 型电热恒温水浴锅 上海精宏实验设备有限公司;TU-1901 双光束紫外可见分光光度计 北京普析通用仪器有限责任公司;6511 型电动搅拌调速器 上海标本模型厂;Delta pH 计 320A/C 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司/Mettler Toledo;TG16-WS 台式高速离心机 湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;Beta 2-8 LD plus 冷冻干燥机 德国 Marin Christ 公司;岛津 RF-530Pc 荧光分光光度计 日本岛津公司;H1650 台式高速离心机 德国赛多利斯(Sartorius)公司。

1.2 实验方法

1.2.1 燕麦 β -葡聚糖与L-谷氨酰胺的美拉德反应

取三份 10 g 燕麦 β -葡聚糖分别与 1、2、5 g L-谷氨酰胺(质量比分别为 10:1、5:1、2:1)溶于 150 mL 去离子水中,在 80 °C 恒温水浴下进行回流反应,监测反应过程的 pH、紫外吸光值和荧光吸光值。用乙醇沉淀并过滤提取反应时间为 6、12、18、24、30、36 h 的美拉德反应产物,茚三酮法检验无残留氨基酸,于 -50 °C 冷冻干燥^[11]。

1.2.2 反应过程监测及结果表征

1.2.2.1 反应过程检测 在反应过程中用 pH 计、双光束紫外可见分光光度计和荧光光度计监测体系的 pH、紫外-可见吸光光度值以及荧光值的变化,荧光值测定发射波长:420 nm,激发波长 337 nm。

1.2.2.2 红外表征 用傅里叶变换红外光谱仪对产物进行表征,采用 KBr 压片法,测定的波数范围 500 ~4000 cm^{-1} ,分辨率 2 cm^{-1} 。

1.2.2.3 分子量 分子量的测定用凝胶色谱法。色谱条件:色谱柱为 Shodex OH Pak SB-803HQ,流动相为 0.71% 的 Na_2SO_4 (含有 0.02% 叠氮钠),检测器为示差折光检测器,柱温为 35 °C,流速为 0.5 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$,进样量为 100 μL 。标准品为葡聚糖。

1.2.3 乳化性能测定

1.2.3.1 乳化活性及乳化稳定性 分别取质量分数为 1% 的燕麦 β -葡聚糖及不同反应时间产物水溶液 100 mL,在室温下加入 100 mL 色拉油,于高速分散器中以 2000 r/min 的转速乳化 2 min,2000 r/min 离心 10 min,记录乳化层体积,三次重复,计算平均值^[12]。

乳化活性 $\text{EC}(\%) = \text{被乳化层高度}(\text{mL}) / \text{离心管中液体总体积}(\text{mL}) \times 100$ 式(1)

将上述乳化样品,置于 80 °C 水浴中保温 30 min,再用自来水冷却 15 min,于 1300 r/min 离心 5 min。

乳化稳定性 $\text{ES}(\%) = \text{保持乳化状态的液层高度}(\text{mL}) / \text{最初乳化层的高度}(\text{mL}) \times 100$ 式(2)

1.2.3.2 表面张力 用最大气泡法测定燕麦 β -葡聚糖及其美拉德反应产物的表面张力^[13],室温 25 °C,超级恒温水浴锅恒温 30 °C,常压。

1.3 数据处理

实验最少重复 3 次,所有数据用 SPSS 17.0 软件处理,得到的结果表示为平均值 \pm 标准误差,并使用 Origin8.5 软件进行作图。

2 结果与讨论

2.1 结构表征

2.1.1 pH 图 1 为不同比例燕麦 β -葡聚糖与L-谷氨酰胺美拉德反应过程中体系 pH 的变化。反应初始阶段三种比例的反应物体系 pH 呈弱酸性,反应比例为 10:1 的体系 pH 最高,5:1 的体系次之,2:1 的体系 pH 最低。随着反应的进行,三个体系的 pH 不断下降,这是由于在美拉德反应的过程中产生了甲酸和乙酸等酸类物质,而反应过程中羰基与碱性的氨基不断缩合也是导致体系 pH 下降的原因之一^[14]。其中反应比例为 2:1 的体系 pH 下降最快,说明其反应速率最快;5:1 的体系次之;10:1 的体系 pH 下降最慢($p < 0.05$),反应速率最慢,这是由于在反应体系中,增加了L-谷氨酰胺的量,使分子间的碰撞几率增大,反应速率增大,积累了更多的酸性物质^[15]。在反应时间进行到 36 h 左右变化平缓,这是由于随反应进程的加深,产生的甲酸和乙酸等酸性物质积累增多,使得反应逐渐平缓。

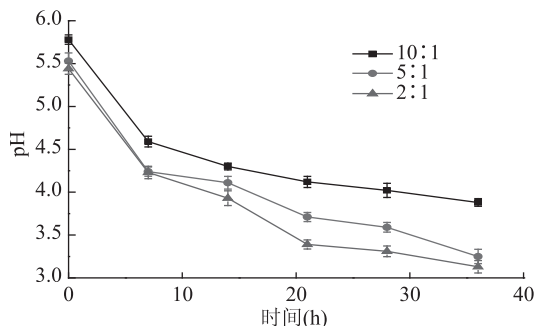


图1 美拉德反应过程 pH 的变化

Fig.1 The pH change during Maillard reaction

2.1.2 紫外-可见吸收 美拉德反应的过程中,糖会发生易构和脱水,产生糠醛类物质,在 290 nm 左右有特征吸收^[16]。全波段紫外-可见分光光度扫描发现产物在 295 nm 处有最大吸收峰。图 2 为三种比例反应体系反应过程中在波长 295 nm 吸光光度值的变化。在反应初始阶段,体系吸光值上升平缓,在反应进行到 14 h 后吸光值增大速率加快。L-谷氨酰胺添加比例增大,紫外-可见吸光光度值增大速率加快($p < 0.05$),说明体系反应速率增大,pH 的变化也能说明反应速率随 L-谷氨酰胺添加比例的增加而增大。

2.1.3 荧光强度 在反应初期,产物经脱水、重排会产生荧光物质^[17],荧光物质可以作为美拉德反应的指示剂灵敏的反映出反应进程^[18]。三种美拉德体系反

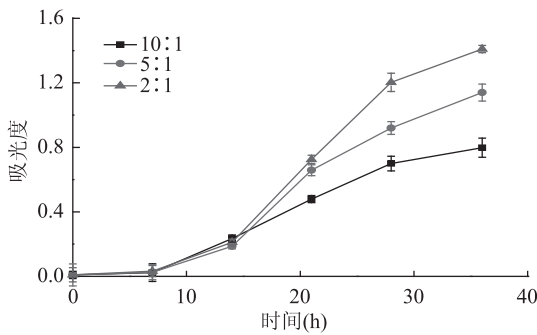


图2 美拉德反应过程中 295 nm 处紫外-可见吸光度
Fig.2 The UV-vis absorbance
at 295 nm during Maillard reaction

应过程中荧光值的变化见图3。可见在反应0~10 h, 体系荧光吸光度增幅较小, 而后增幅逐渐变大。*L*-谷氨酰胺添加比例增大, 紫外吸光度值增大速率加快($p < 0.05$), 说明体系反应速率增大, 这与 pH 以及紫外吸光度的变化表现出相同的规律。

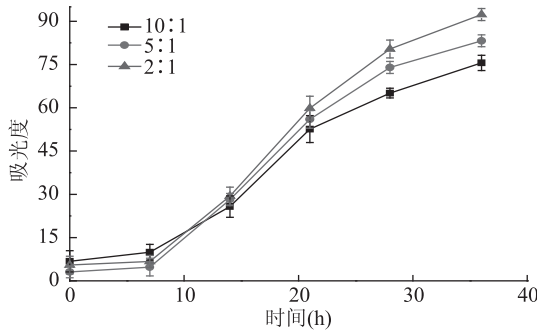


图3 美拉德反应产物荧光吸光度
Fig.3 The fluorescence absorbance
change during Maillard reaction

2.1.4 红外光谱表征 图4是燕麦 β -葡聚糖美拉德产物的红外光谱图。燕麦 β -葡聚糖及其产物的红外吸收光谱图中均包含糖类特征吸收峰^[19], 它们是 2933 cm^{-1} 处的糖类化合物 C-H 伸缩振动、 1410 cm^{-1} 处的糖类化合物 C-H 弯曲振动^[20]以及 3410 cm^{-1} 处的糖类化合物 O-H 伸缩振动^[21]。*L*-谷氨酰胺在 1623 cm^{-1} 和 1515 cm^{-1} 附近处产生的吸收峰分别归因于酰胺(C=O)^[19]和自由氨基(-NH₂)。燕麦 β -葡聚糖在 1643 cm^{-1} 附近处产生的吸收峰归因于糖类化合物 C=O 键, 而产物在 1627 cm^{-1} 附近处产生的吸收峰则归因于 C=N 伸缩振动。以上结果表明, 产物保留了燕麦 β -葡聚糖的原有结构, 并在羰基上键合了含有氨基的基团^[22]。

2.1.5 分子量及分子量分布 GPC 测定结果表明, 燕麦 β -葡聚糖的分子量为 119051 Da, 36 h 反应物质量比 10:1、5:1 和 2:1 制得的产物的分子量分别为 169399、225849、275479 Da。由此可见, 美拉德反应后, 燕麦 β -葡聚糖的分子量有所增大, 并且随着 *L*-谷氨酰胺添加比例的增大而增大, 这可能由于在美拉德反应过程中, *L*-谷氨酰胺分子键合到燕麦 β -葡聚糖分子, 使产物分子量增大; 当 *L*-谷氨酰胺的添加比例增大, 在反应中结合到燕麦 β -葡聚糖分子链上的氨基酸分子随之增多, 使分子量增大^[23]。

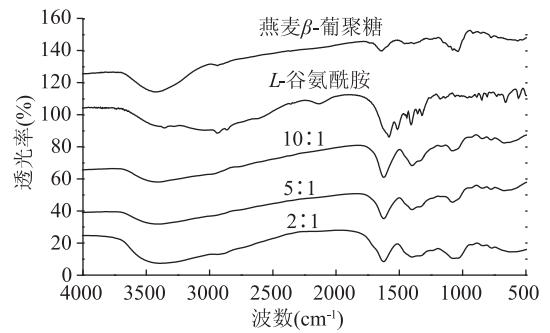


图4 燕麦 β -葡聚糖美拉德反应产物的红外光谱
Fig.4 FTIR spectra of Maillard reaction derivatives

2.2 乳化活性及乳化稳定性

2.2.1 产物乳化活性(EC)及乳化稳定性(ES) 在食品体系中, 互不相融的两个液态相由于极性不同, 在界面上存在着较大的表面张力, 无法形成稳定的分散体系。食品乳化剂分子中存在着亲水基团和亲油基团, 具有表面活性和乳化增溶性。当乳化剂分散到食品体系中时, 可以使互不相容的两相界面上的表面张力降低, 形成稳定的乳浊液体系。图5分别是三种反应体系中燕麦 β -葡聚糖产物乳化活性和乳化稳定性的变化, 可以看出, 燕麦 β -葡聚糖的乳化活性和乳化稳定性随着反应的进行而增大($p <$

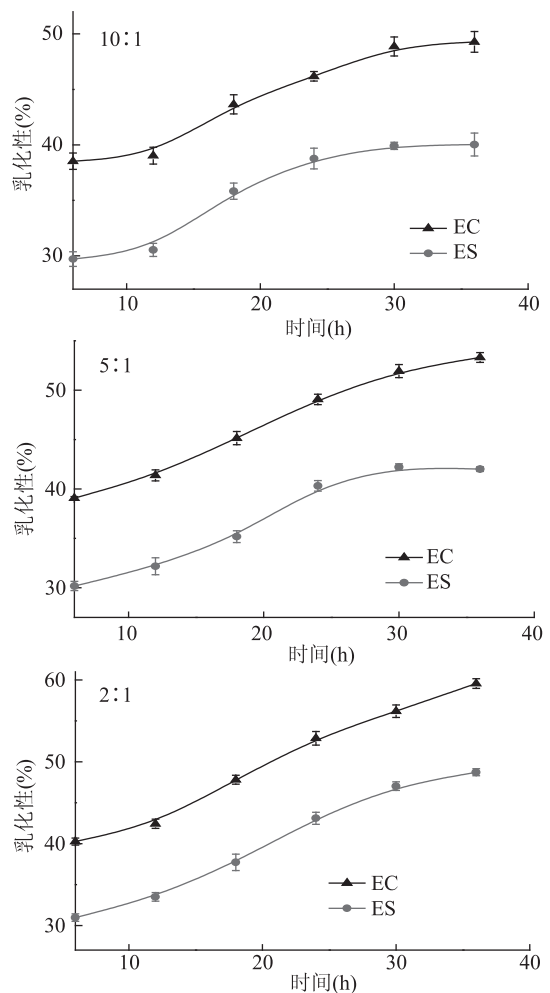


图5 产物乳化活性及乳化稳定性
Fig.5 EC and ES change during Maillard reaction

0.05)。多糖的改性可以引入水溶性集团,增加多糖的水溶性和亲水性,有利于多糖在溶液中向油水界面的快速移动,并增大多糖表面的水化层厚度,从而提升多糖的乳化性^[24]。随着反应的进行,*L*-谷氨酰胺不断的以共价结合的方式缔合到 β -葡聚糖分子链上,使得产物分子上含有的水溶性集团不断增多,产物水溶性增强,极性增大,乳化性增强。

2.2.2 三种不同比例反应体系燕麦 β -葡聚糖美拉德产物的乳化活性及乳化稳定性 图中吐温(Tween)为阳性对照。由图6可见,燕麦 β -葡聚糖自身具有一定的乳化性,但其乳化活性和乳化稳定性均不高,而与*L*-谷氨酰胺发生美拉德反应后的产物乳化性能得到提升,这可能是由于*L*-谷氨酰胺通过美拉德反应连接到燕麦 β -葡聚糖分子链上后,使产物的亲水基团增多,乳化性增强^[25]。2:1体系产物乳化活性和乳化稳定性相比于其他两种产物为最强,分别是59.57%和48.73%,5:1体系产物次之,10:1体系产物的乳化活性和乳化稳定性均为最弱($p < 0.05$)。这是由于当*L*-谷氨酰胺加入的比例增大,燕麦 β -葡聚糖分子链上结合的氨基酸分子数量增大,从而使产物的极性基团增多,极性增大;而键合到 β -葡聚糖分子上的*L*-谷氨酰胺分子数量增多导致产物分子链上的侧链基团增多,分子构象扩张,有利于产物分子包裹在液滴表面,使分散系中液滴尺寸维持较小^[5],乳化性增强。

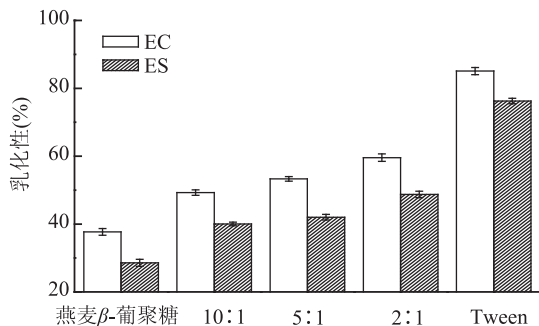


图6 不同比例美拉德反应产物
乳化活性及乳化稳定性比较

Fig.6 EC and ES of different proportion
Maillard reaction derivatives

2.3 表面张力

在食品体系中,互不相融的两个液态相界面表面张力较大,无法形成稳定的乳浊液体系。表面活性剂可通过结合到乳浊液体系的亲水或疏水位点来减少界面的表面张力^[3],而相界面表面张力越低,乳状液的形成越容易,乳状液体系越稳定,表现出的乳化性越强^[12]。图7为燕麦 β -葡聚糖及其与*L*-谷氨酰胺美拉德反应产物表面张力随浓度的变化,蒸馏水的表面张力 $\gamma = 71.18 \text{ mn} \cdot \text{m}^{-1}$ 。由图可见,燕麦 β -葡聚糖及其产物的表面张力随浓度的变大而减小($p < 0.05$),燕麦 β -葡聚糖的表面张力较大,而10:1、5:1、2:1体系产物的表面张力依次减小,这是由于发生美拉德反应后,*L*-谷氨酰胺键合到燕麦 β -葡聚糖分子上,产物的亲水基团数量增大,极性增大,表面张力减小。

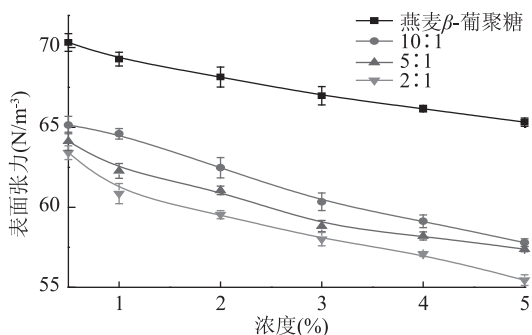


图7 美拉德反应产物表面张力随浓度的变化

Fig.7 Surface tension of Maillard reaction derivatives

3 结论

产物中含有燕麦 β -葡聚糖和*L*-谷氨酰胺的特征吸收峰;且随着*L*-谷氨酰胺添加比例增大,产物的分子量增大,说明美拉德反应后,*L*-谷氨酰胺键合到燕麦 β -葡聚糖分子上,并且随着氨基酸添加比例增大,产物中结合的*L*-谷氨酰胺分子数量增大。

随反应的进行以及*L*-谷氨酰胺添加比例的增加, β -葡聚糖分子上键合的*L*-谷氨酰胺数量增大,产物极性基团增多,水溶性和极性增大,在溶液中迅速向水油界面移动,并使产物表面水化层增厚,表面张力减小,表现出更强乳化活性和乳化稳定性,可以期待产物应作为乳化剂用于食品中以提高体系的稳定性。

美拉德反应可以作为 β -葡聚糖的改性手段,提高其乳化性。

参考文献

- [1] 王晓磊,赵小皖,司辉清,等.燕麦 β -葡聚糖的研究进展及在食品中的应用[J].粮食与饲料工业,2011(3):42-43.
- [2] 李小平.燕麦 β -葡聚糖的提取纯化及功能特性研究进展[J].麦类作物学报,2010,30(6):1180-1183.
- [3] Junjun Li, Xinzhong Hu, Xiaoping Li, et al. Effects of acetylation on the emulsifying properties of Artemisia sphaerocephala Krasch. polysaccharide [J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 144:531-540.
- [4] 崔健,邴金龙,王盼,等.温度、pH和盐对乳清蛋白乳状液稳定性的影响[J].食品工业科技,2010,31(11):84-87.
- [5] Junjun Li, Xinzhong Hu, Ximei Yan, et al. Effects of hydrolysis by xylanase on the emulsifying properties of Artemisia sphaerocephala Krasch. polysaccharide [J]. Food Hydrocolloids, 2016 (in press).
- [6] Fabíola Cristina de Oliveira, Jane Sélia dos Reis Coimbra, Eduardo Basílio de Oliveira, et al. Acacia gum as modifier of thermal stability, solubility and emulsifying properties of α -lactalbumin [J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 119:210-218.
- [7] 胡燕,陈忠杰,李斌.美拉德反应产物的功能特性和安全性研究进展[J].食品工业,2016,37(10):258-262.
- [8] 张欣,熊幼翎,陈洁.美拉德反应对豌豆蛋白水解物乳化性和抗氧化性的影响[J].食品工业科技,2014,35(17):125-129.
- [9] 张涛,魏安池,刘若瑜.大豆蛋白改性技术研究进展[J].粮油食品科,2011,19(5):26-29.

- [10] 杨海军. L-谷氨酰胺[J]. 精细与专用化学品, 2003, (2): 14-15.
- [11] 吴慧伦, 张亦鸣, 关曼, 等. 菊糖与精氨酸的美拉德反应及其产物的抗氧化性能研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(6): 179-181.
- [12] 邓塔, 李军生, 肖海波, 等. 大豆分离蛋白表面活性比较分析[J]. 粮油食品科技, 2013, 21(3): 35-38.
- [13] 胡坤, 赵谋明, 彭志英. 乳化剂和多糖对蛋白质乳浊液的稳定性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2002, 28(6): 61-65.
- [14] 丑华, 朱宇萍. 最大气泡法测定乙醇溶液表面张力[J]. 内江师范学院学报, 2009, 24(6): 72-75.
- [15] 邱元武. 分子束反应动力学[J]. 物理学进展, 1987, 7(2): 162-186.
- [16] 孙丽平, 汪东风, 徐莹. pH和加热时间对美拉德反应挥发性产物的影响[J]. 食品工业科技, 2009, 30(4): 122-125.
- [17] Wittayachai L, Soottawat B, Munehiko T. Characteristics and antioxidative activity of Maillard reaction products from a porcine plasma protein-glucose model system as influenced by pH[J]. Food Chemistry, 2007, 100(2): 669-677.
- [18] Matiacevich S B, PilarBuera M, Lertittikul W, et al. A critical evaluation of fluorescence as a potential marker for the Maillard

- reaction[J]. Food Chemistry, 2006, 95(3): 423-430.
- [19] 孙玉军, 陈彦, 王洵, 等. 蜜环菌胞外多糖的分离纯化及其性质研究[J]. 安徽大学学报: 自然科学版, 2005, 29(5): 87-91.
- [20] 于广利, 王莹, 赵峡, 等. 一种碱溶性灰树花菌丝体多糖GFM2A的制备和结构表征[J]. 高等学校化学学报, 2007, 28(1): 87-91.
- [21] Umemura K, Kawai S. Modification of chitosan by the Maillard reaction using cellulose model compounds[J]. Carbohydr Polym, 2007, 68: 242-248.
- [22] Ying Chien Chung, Cheng Fang TSAI, Chin Fung LI. Preparation and characterization of water-soluble chitosan produced by Maillard reaction[J]. Fisheries Science, 2006(72): 1096-1103.
- [23] 徐晓霞, 李炎, 刘华, 等. 高效凝胶色谱法测定多花黄精多糖分子量与分子量分布[J]. 四川生理科学杂志, 2008, 30(3): 102-103.
- [24] 马文宏, 张凤娇, 焦永立, 等. 我国食品乳化剂的发展现状[J]. 甘肃农业, 2011(6): 26-27.
- [25] 唐凌云, 胡新中, 方亚鹏, 等. 沙蒿多糖乳化特性研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(23): 59-62.

(上接第14页)

苯乙晴、二氢芳樟醇、苯乙醇相对较低。

本实验比较了不同烘焙温度对丹桂乌龙茶品质的影响, 筛选出了较好的烘焙温度参数, 但影响茶叶烘焙效果的因素较多, 如烘焙时间、摊叶量及摊叶厚度等, 在茶叶大生产中对茶叶烘焙技术的掌控还需继续深入实践。

参考文献

- [1] 李远华, 吴涛. 春兰等8个品种种植武夷山的植物学性状观察及主要生化成分分析[J]. 贵州茶叶, 2014(1): 28-30.
- [2] 王丽. 57份茶树种质资源的生化成分及抗氧化活性研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2012.
- [3] 林小端. 乌龙茶种质资源的儿茶素总量变化分析[D]. 福州: 福建农林大学, 2009.
- [4] 商虎. 不同施肥配方对乌龙茶品质的影响[D]. 福州: 福建农林大学, 2010.
- [5] 吴志丹, 江福英, 王峰, 等. 喷施富硒有机肥对茶叶产量及硒含量的影响[J]. 茶叶科学技术, 2011(3): 14-16.
- [6] 王丽, 郑德勇, 叶乃兴, 等. 不同茶树品种氟含量的研究[J]. 武夷学院学报, 2013(2): 32-36.
- [7] 王庆森, 黄建, 陈常颂, 等. 茶树种质叶片组织结构与其对黑刺粉虱抗虫性的关系[J]. 茶叶科学, 2009(1): 60-66.
- [8] 高香凤, 王庆森, 陈常颂. 茶蚜对乌龙茶种质资源的选择性[J]. 福建农业学报, 2012(8): 835-840.
- [9] 郭龄盛, 王秀萍, 陈泉宾, 等. 高 γ -氨基丁酸白茶品种选制

性研究[J]. 茶叶科学技术, 2014(2): 4-7.

- [10] 刘德发. 武平绿茶名优品种引种与选制性实验小结[J]. 中国茶叶, 2012(11): 8-9.
- [11] 游小妹, 钟秋生, 陈常颂. “丹桂”乌龙茶不同做青环境主要生化成分的变化[J]. 中国农学通报, 2011(11): 70-73.
- [12] 陈荣冰, 张方舟, 黄福平, 等. 丹桂与名优乌龙茶品种香气特征比较[J]. 茶叶科学, 1998(2): 35-40.
- [13] 游小妹, 陈常颂, 钟秋生, 等. 丹桂白茶加工过程主要生化成分的变化[J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2009(6): 639-643.
- [14] 游小妹, 陈常颂, 钟秋生, 等. 丹桂品种红茶加工过程主要生化成分的变化[J]. 福建农业学报, 2010(1): 67-71.
- [15] 钟秋生, 陈常颂, 游小妹, 等. 不同做青环境对丹桂秋季乌龙茶香气品质的影响[J]. 福建农业学报, 2010(4): 468-474.
- [16] 李少华, 陈荣冰, 王飞权, 等. 烘焙对武夷岩茶生化成分影响及品质相关性分析[J]. 武夷学院学报, 2016(12): 22-25.
- [17] 林东艺, 陈倩洁, 罗岸芷. 不同烘焙方式对毛蟹品种乌龙茶品质的影响[J]. 南方农机, 2016(11): 67-71.
- [18] 钟秋生, 林郑和, 陈常颂, 等. 烘焙温度对九龙袍品种乌龙茶生化品质的影响[J]. 茶叶科学, 2014(1): 9-20.
- [19] 孙庆娜, 张丽霞, 王小会, 等. 烘焙提香时间对工夫红茶品质的影响[J]. 中国茶叶加工, 2012(2): 20-22, 27.
- [20] 赖幸菲, 黄亚辉, 赖榕辉, 等. 做青和烘焙对单丛茶品质及生化成分的影响[J]. 食品科学, 2014(2): 91-95.