

油料蛋白

糖相对分子质量对微波合成花生蛋白 - 糖接枝产物结构性质的影响

贾 聪, 芦 鑫, 黄纪念, 孙 强, 高锦鸿, 张丽霞

(河南省农业科学院 农副产品加工研究中心, 郑州 450000)

摘要:采用微波辐射的方式合成花生蛋白 - 糖接枝产物,以接枝程度和褐变程度为考察指标,研究糖相对分子质量对接枝反应的影响,通过还原电泳、红外光谱及扫描电镜分析不同相对分子质量糖接枝花生蛋白的结构差异,并对其乳化性质进行测定。结果表明:较低相对分子质量葡聚糖与花生蛋白接枝程度较高,糖接枝改性不会影响花生蛋白的亚基组成,花生蛋白和糖以共价键进行连接,通过接枝,花生蛋白二级结构的 α -螺旋含量增加, β -逆折叠含量下降,接枝改性减少了花生蛋白的聚集,且接枝较小相对分子质量葡聚糖的结构更为分散;与花生蛋白相比,接枝产物的乳化性明显增强,且随着接枝葡聚糖相对分子质量的减小,接枝产物的乳化性逐渐提高,相对分子质量为1 000的葡聚糖与花生蛋白形成的接枝产物乳化活性和乳化稳定性最高,分别为 $(111.07 \pm 2.27) \text{ m}^2/\text{g}$ 和 $(13.70 \pm 0.22) \text{ min}$ 。

关键词:花生蛋白;接枝;糖相对分子质量;结构;性质

中图分类号:TS218;TS229

文献标识码:A

文章编号:1003 - 7969(2018)10 - 0036 - 06

Effect of saccharide relative molecular weight on structure properties of peanut protein - saccharide graft product synthesized by microwave

JIA Cong, LU Xin, HUANG Jinian, SUN Qiang, GAO Jinhong, ZHANG Lixia

(Research Center for Agricultural and Sideline Products Processing, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: Peanut protein - saccharide graft product was synthesized by microwave radiation, and with the degree of grafting and the degree of browning as the investigation indexes, the effect of saccharide relative molecular weight on the grafting reaction was studied. The structures of the different relative molecular weight saccharide - peanut protein graft products were analyzed through SDS - PAGE, infrared spectroscopy and scanning electron microscopy, and their emulsifying properties were measured. The results showed that the degree of grafting of low relative molecular weight dextran and peanut protein was higher. The saccharide graft modification had no effect on the composition of peanut protein subunits. The peanut protein and saccharide were linked by covalent bonds. In the secondary structures of peanut protein, content of α - helix increased, and the content of β - inverse folding decreased by graft. The peanut protein aggregation decreased through graft modification, and the structures of low relative molecular weight dextran - peanut protein graft was more dispersed. Compared with peanut protein, the emulsifying property of

graft products enhanced significantly. In addition, with the decrease of the relative molecular weight of dextran, the emulsifying property of graft product increased gradually. The emulsifying activity and emulsion stability of the graft product formed by dextran with 1 000 relative molecular weight and peanut protein were the highest, which were

收稿日期:2018 - 02 - 22;修回日期:2018 - 06 - 22

基金项目:2016年河南省科技开放合作项目(152106000053);河南省农业科学院科研发展专项(YNK201710606)

作者简介:贾 聪(1991),女,研究实习员,硕士,研究方向为油脂及植物蛋白工程(E-mail)1219513832@qq.com。

通信作者:黄纪念,研究员,博士(E-mail)915318503@qq.com。

(111.07 ± 2.27) m²/g and (13.70 ± 0.22) min, respectively.

Key words: peanut protein; graft; saccharide relative molecular weight; structure; property

在植物蛋白资源中,花生蛋白居第三位,占蛋白总量11%,是较理想的食用蛋白资源^[1]。花生蛋白具有独特的风味和品质,在食品加工生产中常用作基础原料。天然花生蛋白虽表现出一定的功能性质,如乳化性、起泡性、凝胶性等,但仍不能满足工业生产的需要^[2]。因此,对花生蛋白进行改性处理,改善其使用价值,具有重要应用价值^[3-4]。利用美拉德反应对蛋白进行接枝改性是常见的改性方式之一,基于蛋白质分子中氨基酸侧链的自由氨基和糖分子还原末端的羰基之间发生羰氨反应,通过糖接枝改性可以有效提高蛋白的界面性质^[5-6]。研究发现:花生蛋白引入糖链后其溶解性、乳化性和起泡性都得到明显改善^[7]。此外,通过对花生蛋白进行糖接枝改性能有效改善蛋白膜的强度及延伸性^[8],提高蛋白的热稳定性、溶解性、乳化等功能性质^[9]。

虽然在糖接枝改性花生蛋白方面已开展了相关研究,但是目前的研究成果主要集中在改性工艺优化,对糖接枝改性对花生蛋白结构的影响研究较少。对于改性过程中,花生蛋白亚基、二级结构、蛋白颗粒聚集形态的研究尚未有相关报道。另外,糖种类对于糖接枝反应程度以及产物性质影响的研究报道也较少。因此,有必要开展研究不同相对分子质量糖与花生蛋白发生糖接枝反应的特点,考察产物的结构功能性质差异。

本实验采用微波辐射方式,将不同相对分子质量葡聚糖接枝花生蛋白,并测定其乳化性质,利用还原电泳、傅里叶红外光谱及扫描电镜等技术研究了糖相对分子质量对花生蛋白结构变化的影响,以期对花生蛋白的改性及应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 原料与试剂

花生米、鲁花花生油:市场购买; β -巯基乙醇、考马斯亮蓝 R-250:美国 Sigma 公司;电泳 Marker (相对分子质量 10~200 kDa):立陶宛 MBI 公司;丙烯酰胺、N,N'-亚甲双丙烯酰胺、甘氨酸、赖氨酸等:美国 Amersco 公司;葡聚糖、乳糖、磷酸二氢钠(NaH₂PO₄)、碳酸钠(Na₂CO₃)、邻苯二甲醛(OPA)、硼砂、溴化钾、十二烷基硫酸钠(SDS)等,均为分析纯。

1.1.2 仪器与设备

DYY-12 型电泳仪;T18DS25 型高速剪切乳化机:德国 IKA 公司;Nicole is5 型红外光谱仪:美国 Thermo 公司;Hitachi S-3400 型扫描电子显微镜:荷兰 FEI 公司;LIV-6300 型紫外分光光度计;RRHP-350 型粉碎机;MAS-II 型微波辐射反应器;FD5-3 型冻干机:德国 SRK 公司;DL-5-B 型离心机;DELTA 320 型 pH 计;Gel-Doc XR+凝胶成像仪:美国伯乐生命医学产品有限公司;K-05 型自动定氮仪。

1.2 实验方法

1.2.1 花生蛋白的提取

称取一定量的去皮花生米,用粉碎机粉碎后过 60 目网筛,收集筛下物并采用索氏抽提法去除其中的油脂,剩余的花生粕与去离子水在 40℃ 下以 1:10 混合,调节 pH 为 11.0 并不断搅拌 1 h,5 000 r/min 离心 30 min,取上清,然后调 pH 为 4.5,搅拌 20 min 后于 5 000 r/min 下离心 30 min,取沉淀,将沉淀透析,冻干,得到花生蛋白。凯氏定氮法测定花生蛋白中蛋白质含量为(81.69 ± 2.96)%。

1.2.2 花生蛋白-糖接枝产物的制备

采用微波辐射的方法对花生蛋白和糖进行接枝改性^[10]。取一定量的花生蛋白,溶于 0.1 mol/L 的 NaH₂PO₄-Na₂CO₃ 缓冲溶液(pH 9.0)中,搅拌 1 h 后,5 000 r/min 离心 30 min,取上清部分并用相同 pH 的缓冲液将其稀释至 10 mg/mL,按 1:2 的质量比分别加入不同相对分子质量(1 000~40 000)葡聚糖,充分搅拌溶解后倒入圆底烧瓶中,置入微波反应装置内,反应温度 90℃,辐射功率 500 W,反应 20 min 后迅速用冰水浴冷却,取 8 mL 放入 4℃ 冰箱保存备用,其余冻干。

1.2.3 褐变程度的测定

参照 Brands 等^[11]的方法。取 2 mL 样品液加入 2 mL 稀释液(含质量分数 10% SDS 和 0.05 mol/L 硼砂),以稀释液作为空白,于 420 nm 下测定吸光度。

1.2.4 接枝程度测定

接枝程度测定参考 Chevalier 等^[12]的方法。OPA 试剂配制:准确称取 80 mg 的 OPA 溶解于 2 mL 的甲醇中,然后加入质量分数 20% SDS 2.5 mL,0.1 mol/L 的硼砂 25 mL 及 β -巯基乙醇 200 μ L,最后用蒸馏水定容至 100 mL。测定时,取 4 mL OPA

试剂和 200 μL 样品液混合均匀后,于 35 $^{\circ}\text{C}$ 水浴中反应 2 min,在 340 nm 下测定吸光度,以赖氨酸绘制标准曲线,计算样品中的自由氨基含量。按下式计算接枝程度(DG)。

$$DG = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中: C_0 为未反应时蛋白质自由氨基含量; C_t 为反应 t min 蛋白质自由氨基含量。

1.2.5 还原电泳(SDS-PAGE)分析

将样品与溶解液(含 0.02 g/mL 的 SDS,0.05 g/mL β -巯基乙醇,0.001 g/mL 溴酚蓝,0.10 g/mL 甘油,0.05 mol/L、pH 6.8 Tris-HCl)等体积混合(2 mg/mL),沸水加热 5 min 后在 10 000 r/min 下离心 10 min。上样量 5 μL ,分离胶质量分数 12.5%,浓缩胶质量分数 3%。样品在浓缩胶中时电流为 15 mA,进入分离胶后调为 30 mA。参照 PAS 方法染色糖^[13]。采用考马斯亮蓝 R-250 染色蛋白 1 h,之后使用脱色液(含 0.1 g/mL 甲醇和 0.1 g/mL 冰乙酸)脱色直至背景清楚。

1.2.6 傅里叶红外光谱(FTIR)分析

取适量样品与溴化钾混合研磨成均匀粉末,压成薄片。傅里叶红外光谱仪扫描的波数范围 4 000 ~ 400 cm^{-1} ,扫描次数 64 次,分辨率 2 cm^{-1} 。花生蛋白的红外光谱用 Origin8.5 以二次微分从红外光谱 1 600 ~ 1 700 cm^{-1} 的波峰中寻找隐峰,按照 1 610 ~ 1 642 cm^{-1} 归属 β -折叠,1 642 ~ 1 650 cm^{-1} 归属无规卷曲,1 650 ~ 1 660 cm^{-1} 归属 α -螺旋,1 660 ~ 1 680 cm^{-1} 归属 β -转角,1 680 ~ 1 700 cm^{-1} 归属 β -逆折叠^[14],进行归类与计算二级结构组成。

1.2.7 扫描电子显微镜(SEM)分析

取少量样品放入玻璃容器中,用 1% 的四氧化锇气体固定 4 h,利用离子溅射仪对样品进行镀膜,最后用扫描电子显微镜观察。

1.2.8 乳化性质分析

参照 Juan 等^[15]的方法并略有改动,样品溶于 0.1 mol/L 的 NaH_2PO_4 - Na_2CO_3 缓冲溶液(pH 9.0)中,配制质量浓度为 1 mg/mL,取 50 mL 样品溶解液并向其中加入 1/4 体积的花生油,10 000 r/min 高速剪切 1 min 后迅速从底部吸取 20 μL 乳液,用 1 mg/mL SDS 稀释至 5 mL,在 500 nm 处测定吸光度。10 min 后采用同样操作测定吸光度。空白参照为 1 mg/mL SDS 溶液。按下式计算乳化活性(EAI)和乳化稳定性(ESI)。

$$EAI = \frac{2 \times 2.303 \times N \times A_0}{\varphi \times C \times 10\,000} \quad (2)$$

$$ESI = \frac{A_0 t}{A_0 - A_t} \quad (3)$$

式中:EAI 为乳化活性, m^2/g ;ESI 为乳化稳定性,min; N 为乳液稀释倍数; A_0 为 0 min 时的吸光度; A_t 为 10 min 时的吸光度; φ 为油相比例; C 为初始蛋白质质量浓度,g/mL; t 为 10 min。

1.2.9 数据分析

所有实验均重复测定 3 次,数据结果表示为“平均值 \pm 标准偏差”,并采用 SPSS Statistics 20 对数据进行显著性分析。

2 结果与讨论

2.1 不同相对分子质量糖对接枝反应的影响

实验考察不同相对分子质量(1 000 ~ 40 000)葡聚糖对接枝反应的影响,结果见图 1。相对分子质量 40 000、20 000、10 000、5 000、1 000 葡聚糖与花生蛋白反应得到的接枝产物分别标记为 P1、P2、P3、P4、P5,花生蛋白-乳糖接枝产物标记为 P6,未改性花生蛋白标记为 P0。

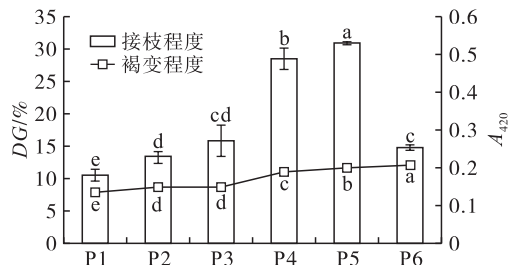


图 1 不同糖对接枝程度(DG)和褐变程度(A_{420})的影响

由图 1 可知,在相同的微波辐射反应条件下,随着葡聚糖相对分子质量的减少,花生蛋白-葡聚糖接枝产物的接枝程度逐渐增加,这可能是由于较小相对分子质量多糖分子灵活性较高,碳架空间位阻作用较小^[16],从而有利于与花生蛋白氨基接触发生接枝反应。另外,接枝产物的褐变程度与接枝程度有明显的正相关关系,接枝程度越大,褐变程度也越大。由图 1 还可知,花生蛋白-乳糖接枝产物(P6)的褐变程度略高于花生蛋白-葡聚糖接枝产物,然而花生蛋白-乳糖接枝程度(14.73% \pm 0.38%)显著低于 P4 (28.51% \pm 1.54%)、P5 (30.89% \pm 0.19%),与 P3 接枝程度(15.87% \pm 2.31%)较接近。

2.2 SDS-PAGE 分析

花生蛋白和接枝产物的 SDS-PAGE 分析见图 2。由图 2(a)的电泳图谱可知,与花生蛋白相比,接枝产物在较高相对分子质量区域出现连续谱带,这

证明了花生蛋白与糖发生了接枝反应,生成了相对分子质量较大的物质。并且随着葡聚糖相对分子质量的下降(即接枝产物接枝程度的增加),在浓缩胶与分离胶的交界处出现的蛋白谱带越来越明显,这

与 Shepherd 等^[13]的报道结果类似。另外,根据图 2 (b)出现的糖基谱带,进一步证实了花生蛋白与糖经微波辐射发生了接枝反应。

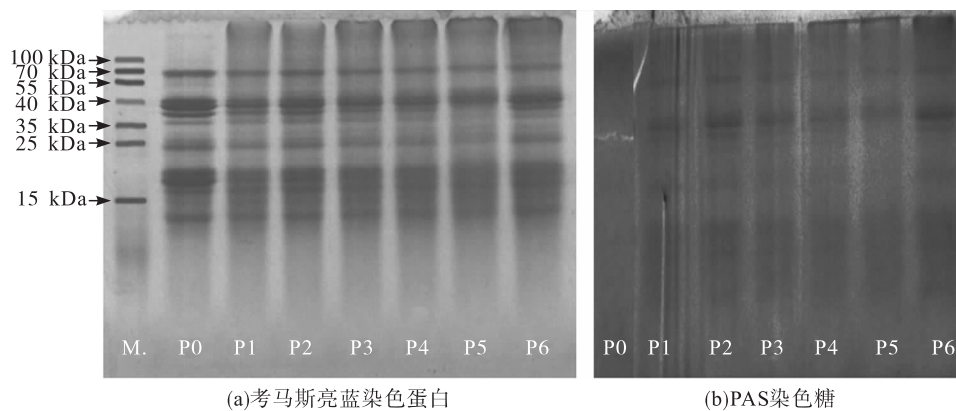


图 2 花生蛋白和接枝产物的 SDS-PAGE 图谱

2.3 傅里叶红外光谱 (FTIR) 分析

花生蛋白和接枝产物的 FTIR 分析见图 3。

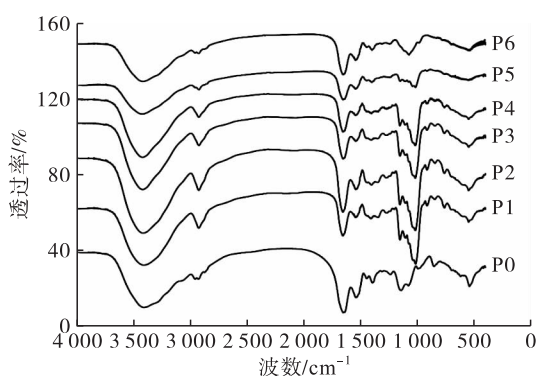


图 3 花生蛋白和接枝产物的 FTIR 图谱

由图 3 可知,花生蛋白-糖接枝产物在 1 260 ~

1 000 cm^{-1} 出现明显的吸收峰,这个结果与赵卓等^[17]研究玉米蛋白-糖接枝产物的结论类似。1 260 ~ 1 000 cm^{-1} 吸收峰的出现是由 O—H 面内变性振动引起的,表明花生蛋白以共价键的方式结合糖分子,进一步证明了花生蛋白与糖发生了接枝反应。

表 1 是根据红外图谱计算得到的花生蛋白及接枝产物不同的二级结构含量。由表 1 可知,与花生蛋白相比,接枝产物出现较明显的特点是 α -螺旋含量增加,而 β -逆折叠含量下降,这说明花生蛋白与糖发生接枝反应,影响蛋白的二级结构分布,从一种有序结构转化为另一种有序结构。

表 1 花生蛋白及接枝产物的二级结构含量

样品	二级结构含量/%				
	α -螺旋	β -折叠	β -逆折叠	β -转角	无规卷曲
P0	12.72 \pm 0.92 ^b	34.10 \pm 1.10 ^a	13.68 \pm 0.19 ^a	27.43 \pm 0.75 ^{bc}	12.08 \pm 0.26 ^b
P1	15.93 \pm 1.42 ^a	28.30 \pm 0.75 ^b	10.55 \pm 0.04 ^{bc}	28.95 \pm 0.47 ^b	16.27 \pm 2.58 ^a
P2	16.28 \pm 0.99 ^a	29.92 \pm 2.62 ^b	11.17 \pm 0.95 ^b	31.73 \pm 2.05 ^a	10.90 \pm 0.61 ^b
P3	16.79 \pm 3.31 ^a	33.19 \pm 1.61 ^a	9.23 \pm 0.34 ^{cd}	28.27 \pm 2.02 ^{bc}	12.51 \pm 0.66 ^b
P4	14.70 \pm 1.52 ^a	30.49 \pm 0.90 ^b	8.31 \pm 2.45 ^d	33.68 \pm 3.74 ^a	12.82 \pm 1.13 ^b
P5	17.03 \pm 2.61 ^a	34.21 \pm 3.06 ^a	7.94 \pm 1.30 ^d	27.71 \pm 0.78 ^{bc}	13.10 \pm 0.07 ^b
P6	16.66 \pm 2.40 ^a	34.89 \pm 1.32 ^a	10.01 \pm 0.25 ^{bc}	26.01 \pm 0.24 ^c	12.44 \pm 1.07 ^b

注:上标的不同字母代表同一列不同样品的显著性差异 ($P < 0.05$)。

2.4 SEM 分析

图 4 为花生蛋白 (P0)、花生蛋白-葡聚糖(相对分子质量 40 000)接枝产物 (P1) 和花生蛋白-葡聚糖(相对分子质量 1 000)接枝产物 (P5) 的微观结构图。由图 4 可见,花生蛋白呈现出较明显的聚集

状态,经接枝改性后则变为较为分散的片状结构,且随着接枝葡聚糖相对分子质量的减少,片状结构更为碎小。这可能是由于花生蛋白与葡聚糖共价结合后减少了蛋白质分子的聚集^[10],且接枝程度越高,分散越开。

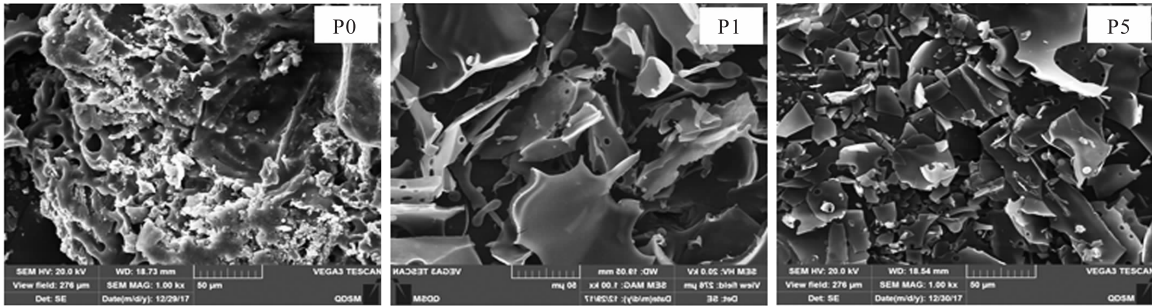


图4 花生蛋白和接枝产物的扫描电镜图

2.5 乳化性质

花生蛋白和接枝产物的乳化活性(*EAI*)和乳化稳定性(*ESI*)结果见图5。

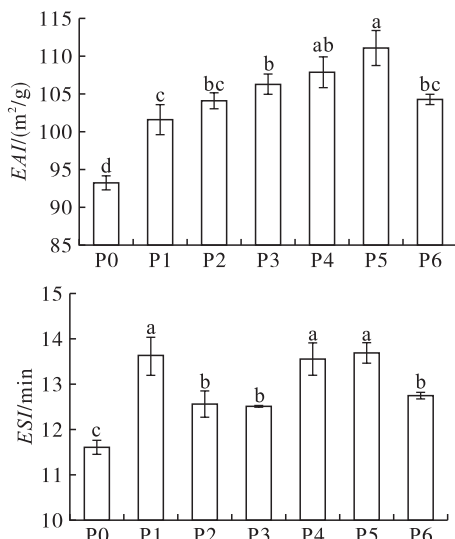


图5 花生蛋白和接枝产物的乳化活性(*EAI*)和乳化稳定性(*ESI*)

由图5可知,接枝产物的乳化活性和乳化稳定性均显著高于花生蛋白。随着葡聚糖相对分子质量的减少,乳化活性逐渐增加,与前面研究的接枝程度变化一致。乳化稳定性随着葡聚糖相对分子质量的减少出现由高降低再增加的趋势,推测是由于相对分子质量为40 000的葡聚糖与花生蛋白接枝后,虽然接枝程度降低,但是因为葡聚糖的相对分子质量较大,由此能够产生较强的空间位阻作用,从而有助于维持乳液的稳定^[16];相对分子质量较小的葡聚糖与花生蛋白反应由于具有较高的接枝程度,能够有效改善界面膜弹性,有利于提高乳液稳定性^[18]。相对分子质量为1 000的葡聚糖与花生蛋白形成的接枝产物乳化活性和乳化稳定性最高,分别为 $(111.07 \pm 2.27) \text{ m}^2/\text{g}$ 和 $(13.70 \pm 0.22) \text{ min}$ 。由图5还可知,乳糖与花生蛋白发生接枝反应后对花生蛋白乳化性质的改善优势不如葡聚糖。

3 结论

花生蛋白与不同相对分子质量葡聚糖发生接枝

反应对其结构及性质产生很大的影响。实验结果表明,随着葡聚糖相对分子质量的减少,花生蛋白-糖的接枝程度和褐变程度逐渐增加;SDS-PAGE及傅里叶红外光谱分析结果证明,采用微波辐射的方式,花生蛋白和糖发生了共价结合反应;花生蛋白经接枝改性后二级结构的 α -螺旋含量增加,而 β -逆折叠含量下降;通过扫描电镜观察微观结构发现,接枝改性减少了花生蛋白的聚集,且接枝较小相对分子质量葡聚糖的结构更为分散;同时,接枝改性对花生蛋白的乳化性质也具有显著改善效果,较小相对分子质量葡聚糖-花生蛋白接枝产物具有较高的乳化活性和乳化稳定性,相对分子质量1 000的葡聚糖与花生蛋白形成的接枝产物的乳化活性和乳化稳定性分别为 $(111.07 \pm 2.27) \text{ m}^2/\text{g}$ 和 $(13.70 \pm 0.22) \text{ min}$ 。利用微波辐射进行接枝反应,研究不同相对分子质量葡聚糖对改善花生蛋白结构性质的效果,为以后花生蛋白更好的开发利用提供理论指导意义。

参考文献:

- [1] 董新红,赵谋明,蒋跃明.花生蛋白改性的研究进展[J].中国粮油学报,2011,26(12):109-117.
- [2] 奥文芳,王承明,李克超,等.超声辅助花生蛋白-低聚异麦芽糖接枝改性的研究[J].中国油脂,2017,42(12):26-31.
- [3] CHEN L, CHEN J S, REN J Y, et al. Effects of ultrasound pretreatment on the enzymatic hydrolysis of soy protein isolates and on the emulsifying properties of hydrolysates[J]. J Agric Food Chem, 2011, 59(6):2600-2609.
- [4] 封小龙,刘红芝,刘丽,等.修饰改性对花生蛋白组分结构与功能性质影响的研究进展[J].中国食品学报,2014,14(4):179-183.
- [5] MEDRANO A, ABIRACHED C, PANIZZOLO L, et al. The effect of glycation on foam and structural properties of β -lactoglobulin[J]. Food Chem, 2014, 143(1):127-133.
- [6] AMINLARI M, RAMEZANI R, JADIDI F. Effect of mail-lard-based conjugation with dextran on the functional properties of lysozyme and casein[J]. J Sci Food Agr, 2005, 85(15):2617-2624.

(下转第45页)

- 活性研究[J]. 中国油脂, 2009, 34(4):27-30.
- [6] 邵元龙, 董英. 芝麻蛋白水解工艺优化及芝麻多肽组分抗氧化活性的研究[J]. 中国粮油学报, 2010, 25(1):69-73.
- [7] 李旻, 张莉, 陈文帮, 等. 发酵芝麻粕小肽体内抗氧化和免疫活性[J]. 食品科学, 2014, 35(19):251-254.
- [8] STALL S. Considering greek yogurt for chronic kidney disease[J]. J Renal Nutr, 2012, 22(6):57-62.
- [9] ZHANG X, ZHAO Y, ZHANG M, et al. Structural changes of gut microbiota during berberine-mediated prevention of obesity and insulin resistance in high-fat diet-fed rats[J]. Plos One, 2012, 7(8):425-429.
- [10] SOLIERI L, BIANCHI A, MOTTOLESE G, et al. Tailoring the probiotic potential of non-starter *Lactobacillus* strains from ripened Parmigiano Reggiano cheese by in vitro screening and principal component analysis [J]. Food Microbiol, 2014, 38(4):240-249.
- [11] MAJCHRZAK D, LAHM B, DÜRRSCHMID K. Conventional and probiotic yogurts differ in sensory properties but not in consumers' preferences[J]. J Sens Stud, 2010, 25(3):431-446.
- [12] HAYEK S A, IBRAHIM S A. Current limitations and challenges with lactic acid bacteria: a review[J]. Food Nutr Sci, 2013, 4(11):73-87.
- [13] 付龙云. 乳酸菌抗氧胁迫及有氧生长的研究[D]. 济南:山东大学, 2013.
- [14] 韦慧娟, 陈树兴, 李丽丽, 等. 乳清蛋白水解物对乳酸菌生长影响的研究综述[J]. 农产品加工(学刊), 2013(7):43-45.
- [15] ZHANG Q, REN J, ZHAO M, et al. Isolation and characterization of three novel peptides from casein hydrolysates that stimulate the growth of mixed cultures of *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*[J]. J Agric Food Chem, 2011, 59(13):7045-7053.
- [16] 谭允冰, 赵强忠. 大豆蛋白酶解产物对不同发酵剂酸奶品质的影响[J]. 现代食品科技, 2017, 33(8):103-109.
- [17] 钱森和, 葛言顺, 赵世光, 等. 超声波预处理芝麻粕制备芝麻多肽的研究[J]. 中国油脂, 2016, 41(11):105-108.
- [18] CHEN H M, MURAMOTO K, YAMAUCHI F, et al. Antioxidative properties of histidine-containing peptides designed from peptide fragments found in the digests of a soybean protein[J]. J Agric Food Chem, 1998, 46(1):49-53.
- [19] 劳斐, 孔令明, 李芳, 等. 响应面法优化杏仁蛋白酶解工艺及其抗氧化活性研究[J]. 中国食物与营养, 2012, 18(3):54-59.
- [20] LI X, LIN J, GAO Y, et al. Antioxidant activity and mechanism of *Rhizoma Cimicifugae* [J]. Chem Cent J, 2012, 6(1):1-10.
- [21] 梁琼, 鲁明波, 卢正东, 等. 对羟基联苯法定量测定发酵液中的乳酸[J]. 食品科学, 2008, 29(6):357-360.
-
- (上接第40页)
- [7] LI C, XUE H, CHEN Z, et al. Comparative studies on the physicochemical properties of peanut protein isolate-poly-saccharide conjugates prepared by ultrasonic treatment or classical heating[J]. Food Res Int, 2014, 57:1-7.
- [8] 林伟静, 刘红芝, 刘丽, 等. 不同类糖接枝改性对花生蛋白膜物理性质的影响[J]. 农业工程学报, 2014, 30(11):261-267.
- [9] 赵冠里. 酶解与多糖接枝改性花生蛋白及其构效机理研究[D]. 北京:中国农业科学院, 2012.
- [10] 管军军. 微波合成大豆蛋白-糖接物机理、结构及功能性[D]. 江苏 无锡:江南大学, 2005.
- [11] BRANDS C M J, WEDZICHA B L, VAN BOEKEL M A J S. Quantification of melanoidin concentration in sugar-casein systems[J]. J Agric Food Chem, 2002, 50:1178-1183.
- [12] CHEVALIER F, HOBERT J M, POPINEAU Y, et al. Improvement of functional properties of β -lactoglobulin glycosylated through the Maillard reaction is related to the nature of the sugar[J]. Int Dairy J, 2001(11):145-152.
- [13] SHEPHERD R, ROBERTSON A, OFMAN D. Dairy glycoconjugate emulsifiers casein-maltodextrins [J]. Food Hydrocoll, 2000, 14:281-286.
- [14] HE S D, SHI J, WALIDA E, et al. Reverse micellar extraction of lectin from black turtle bean (*Phaseolus vulgaris*): optimisation of extraction conditions by response surface methodology [J]. Food Chem, 2015, 166(1):93-100.
- [15] JUAN C, XIONG Y L, SUAREZ R. Rheological properties of mixed muscle/nonmuscle protein emulsions treated with transglutaminase at two ionic strengths [J]. Int J Food Sci Tech, 2003, 38:777-785.
- [16] WU H L, WANG Z Q, HAN C, et al. Factors affecting the maillard reaction[J]. Modern Food Sci Tech, 2010, 26(5):440-444.
- [17] 赵卓, 袁媛, 肖志刚, 等. 超声辅助合成玉米醇溶蛋白-糖接枝物的研究[J]. 农产品加工, 2016(4):1-5.
- [18] WIHODO M, MORARU C I. Physical and chemical methods used to enhance the structure and mechanical properties of protein films: a review [J]. J Food Eng, 2013, 114(3):292-302.