



DOI:10.13364/j.issn.1672-6510.20140030

含水量对脱脂大豆粉挤压组织化产品特性的影响

汪建明, 陶杰, 赵慧, 王奕云

(食品营养与安全教育部重点实验室, 天津科技大学食品工程与生物技术学院, 天津 300457)

摘要: 为提高大豆副产品的利用率, 采用挤压机对脱脂大豆粉进行加工得到具有纤维结构的挤压组织化蛋白。研究了含水量对脱脂大豆粉挤压组织化产品特性的影响, 对产品的色度、质构特性、脲酶活性、溶剂保持力、体外消化率指标进行了分析。结果表明: 当机筒温度为 140 °C, 螺杆转速 125 r/min, 含水量为 37% 时, 产品的亮度指数最高、色差值最小, 分别为 39.48 和 59.40; 相比于设定的最低含水量 24%, 产品硬度降低 46.30%, 弹性提高 34.40%; 脲酶活性最低为 0.25 U, 此时产品的消化性和营养价值最高; 溶剂保持力最佳, 蔗糖溶剂保持力 (SSRC)、碳酸钠溶剂保持力 (SCSRC)、乳酸溶剂保持力 (LASRC)、水溶性保持力 (WSRC) 与原料相比分别增加了 2.21%、24.70%、4.60%、18.90%, 水分的作用增加了脱脂大豆粉分子的运行性, 其分子溶胀程度和形成分子网络的能力增加, 因而溶剂保持力提高; 体外消化率提高 6.11%。

关键词: 脱脂大豆粉; 挤压组织化; 体外消化率; 溶剂保持力

中图分类号: TS252.4

文献标志码: A

文章编号: 1672-6510(2015)03-0034-06

Effect of Moisture Content on the Textural Properties of Products Extruded from Defatted Soy Powder

WANG Jianming, TAO Jie, ZHAO Hui, WANG Yiyun

(Key Laboratory of Food Nutrition and Safety, Ministry of Education, College of Food Engineering and Biotechnology, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China)

Abstract: Extrusion technology is an efficient method to improve the utilization of the by-products of food. In this study, the change of moisture content during extrusion process and its influence on the properties of extrudates were investigated in single factor experiments which showed: when the moisture content was 37%, the lightness index (L^*) reached an apex of 39.48 and the color difference reached a nadir of 59.40; the hardness decreased dramatically by 46.30% and the springiness increased by 34.40%, while the moisture content was 24%. When the urease activity had a nadir point of 0.25 U, the products had a better digestibility and nutrition. Water solvent retention capacity (WSRC), sucrose solvent retention capacity (SSRC), sodium carbonate solvent retention capacity (SCSRC) and lactic acid solvent retention capacity (LASRC) increased by 18.90%, 2.21%, 24.70% and 4.60% respectively compared with raw materials. Extrusion process increased the in vitro digestibility by 6.11%.

Key words: defatted soy flour; extrusion texturization; in vitro digestibility; solvent retention capacity

组织化蛋白是指以脱脂蛋白、浓缩蛋白或分离蛋白为原料(主要是植物蛋白原料), 根据营养或技术需要加入一定量合适的辅料或不添加任何辅料, 通过物理或化学方法改变其蛋白组成方式, 使蛋白质分子之间整齐排列产生同方向的组织结构, 形成的一类具有肉类咀嚼感的纤维状蛋白制品^[1]。挤压过程是温度、

压力和机械剪切等因素共同作用的结果, 水分对该过程的顺利进行和最终产品特性的形成有十分重要的作用^[2], 水分作为润滑剂、塑化剂和反应试剂等降低了玻璃化转变温度, 确保了物料在机筒内熔融^[3]。

孙照勇等^[4]研究了中低含水量对挤压组织化蛋白物理性质的影响。魏益民等^[5]研究了螺杆转速、物

收稿日期: 2014-03-13; 修回日期: 2014-10-21

作者简介: 汪建明(1972—), 女, 新疆库车人, 教授, wangjianming@tust.edu.cn.

料湿度、喂料速度和机筒温度操作参数对挤压组织化蛋白的物理性质的影响。以上研究都是对产品的物理性质进行评价。挤压组织化蛋白产品质量指标有4类, 即系统参数、理化特性、功能特性和营养特性。本文分别从理化特性(色泽、质构、微观结构和溶剂保持力)和营养特性(感官、脲酶活性和体外消化率)方面研究了含水量对挤压组织化蛋白的影响。通过模拟实验更加真实地反映了产品的品质特性。

1 原料与方法

1.1 原料

脱脂大豆粉: 由市售豆粕(蛋白质含量 39.4%, 干基)粉碎得到, 至少 60%过 40 目筛。

1.2 实验方法

利用 SYSLG32-II 型挤压膨化实验机(螺杆直径为 32 mm, 径长比为 1 : 18)进行挤压组织化实验。I 区温度设定为 70 °C, II 区温度(机筒温度)设定为 140 °C, III 区温度设定为 120 °C, 螺杆转速为 125 r/min。

通过加水(加水量分别为 $m(\text{水})/m(\text{大豆粉}) = 0.15、0.20、0.25、0.30、0.35、0.40$)调节物料的湿基含水量(以下简称含水量), 实际测得物料含水量分别为 24%、28%、33%、37%、42%、46%, 研究不同含水量对脱脂大豆粉挤压组织化产品特性的影响。

1.3 挤压组织化产品特性的测定

1.3.1 色度

色度是评价挤压组织化产品品质的指标之一, 在一定程度上反映了挤压组织化过程中化学反应和营

养变化的程度^[6-7]。根据均匀色空间理论^[8]确定样品的 L^* (明度)、 a^* (红色度)、 b^* (黄色度)、 ΔE (色差)。 L^* 反映的是白度和亮度的综合值, 该值越大表明被测物越亮白。 a^* 和 b^* 称为彩度指数, 两者共同决定色调($+a^*$)红色/ $(-a^*)$ 绿色和($+b^*$)黄色/ $(-b^*)$ 蓝色。 ΔE 表示样品与白色板的色差, 值越小表示与白色板的差别越小, 被测物越亮白。

色度指标使用 DC-P3 型全自动测色色差仪测量, 其中, L^* 、 a^* 和 b^* 可由色差仪直接读出, ΔE 由式(1)求得。

$$\Delta E = [(L^* - L_s^*)^2 + (a^* - a_s^*)^2 + (b^* - b_s^*)^2]^{0.5} \quad (1)$$

式中: L^* 、 a^* 和 b^* 分别为样品的明度、红色度和黄色度; L_s^* 、 a_s^* 、 b_s^* 为标准白色板的测定值, 分别为 97.13、0.21、1.87。

1.3.2 质构特性

将自然冷却的新鲜挤压组织化产品切成长 10 mm 的小块, 使用 TA.XT Plus 型质构测定仪(TPA 模式, P/36R 探头)测定样品的质构参数。测试前速度为 5 mm/s, 测试速度为 1 mm/s, 测试后速度为 1 mm/s, 下压程度为 50%, 往复 2 次, 间隔时间 5 s。

质构参数包括硬度、胶着度、咀嚼度、弹性、黏聚性以及回复性, 参照 Bournem^[9]的定义方法。硬度、胶着度及咀嚼度的单位为 g; 弹性为第 2 次穿刺高度与第 1 次穿刺高度的比值; 黏聚性为第 2 次穿刺做功面积与第 1 次穿刺做功面积的比值; 回复性为第 2 次穿刺后物质面积与第 1 次穿刺后物质面积的比值。

1.3.3 感官特性

根据表 1 的评分标准^[10]进行感官评分, 每一项的满分为 5 分。

表 1 挤压组织化样品感官评分表

Tab. 1 Standards for sensory evaluation of extruded product

分值	感官特征描述				
	色泽	成型性	外观状态	风味	内部结构
0	深棕色, 亮度差	不能成型	极易散花	焦糊味明显	完全无纤维状结构
1	浅棕色, 亮度差	成碎状, 易散花	表面凹凸不平	有一定的焦糊味	基本无纤维状结构
2	浅黄色, 亮度差	基本成型, 不能连续挤出	表面部分平整	略有焦糊味	纤维状结构较差
3	浅黄或浅棕色, 亮度一般	成型较好, 不能连续挤出	表面基本平整	基本无异味	纤维状结构一般
4	浅黄色, 有光泽	成型好, 能连续挤出, 偶尔有断条	表面较光滑	豆香味较好	纤维状结构较好
5	浅黄色, 鲜亮	成型好, 能连续挤出, 基本无断条	表面平整光滑	具有产品固有的豆香味, 无异味	纤维状结构明显

1.3.4 微观结构

将样品粉碎后于 60 °C 干燥过夜, 采用扫描电子显微镜(SU1510, 放大 3 000 倍)对挤压组织化产品的微观结构进行观察分析。

1.3.5 脲酶活性

尿素缓冲液的制备: 称取 15 g 尿素, 溶于 500 mL 0.05 mol/L 磷酸盐缓冲液中, 即得尿素缓冲液。进行脲酶活性(urease activity, UA)测定前, 将磷

酸盐缓冲液和尿素缓冲液均调节至 pH 7.0.

参照 AACC22-90 方法,取干燥样品,粉碎过 40 目筛,分别称取 0.100 g 样品粉末置于 2 支 10 mL 离心管中,其中一支加入 5 mL pH 7.0 的尿素缓冲液,另一支加入 5 mL pH 7.0 的磷酸盐缓冲液(空白对照),离心管分别单独混匀后,置于 30 °C 水浴锅中,水浴处理 30 min,过程中每 5 min 摇匀一次,结束后立即测定上层液体的 pH,以两离心管 pH 的差值表示脲酶活性.

1.3.6 溶剂保持力

溶剂保持力(solvent retention capacity, SRC)参照 AACC56-11 方法测定,分别选取蒸馏水、质量分数为 50%的蔗糖溶液、质量分数为 5%的碳酸钠溶液、质量分数为 5%的乳酸溶液 4 种溶剂.利用蔗糖溶剂保持力(SSRC)反映样品中戊聚糖含量和醇溶蛋白特性,碳酸钠溶剂保持力(SCSRC)反映样品中淀粉粒的损伤程度,乳酸溶剂保持力(LASRC)反映样品中的谷蛋白特性^[11-12],水溶性保持力(WSRC)反映样品所有组分的特性,综合反映样品的品质.

称取 1.00 g 样品粉末于 50 mL 带盖离心管中,分别加入 5.00 g 蒸馏水、50%蔗糖溶液、5%碳酸钠溶液和 5%乳酸溶液作溶剂,剧烈摇晃离心管至样品粉末与溶剂混合均匀,静置溶胀 20 min,溶胀过程中每隔 5 min 混匀一次,每次摇晃 5 s 左右.溶胀结束后,立即将离心管置于离心机中,3 000 r/min 离心 15 min.离心后,缓慢弃去上清液,将离心管倒置于滤纸上排水 10 min,带盖称其质量.

溶剂保持力 SRC 根据式(2)计算.

$$SRC = \left[\frac{m_3 - m_1}{m_2} \times \frac{86}{100 - w} - 1 \right] \times 100\% \quad (2)$$

式中: m_1 为称取样品的质量, g; m_2 为空离心管和盖子的质量, g; m_3 为排水后离心管、盖子和样品的质量, g; w 为称取样品的含水量, %.

1.3.7 体外消化率

缓冲液 A 的制备:称取 10.0 g 磷酸二氢钾、0.5 g 硫酸镁、0.5 g 氯化钠、0.1 g 氯化钙和 0.5 g 尿素(试剂级),定容至 1 L 即可.

缓冲液 B 的制备:称取 15.0 g 碳酸钠和 1.0 g 硫化钠,定容至 1 L 即可.

分别称取 0.25 g 左右样品于滤袋中,将每个滤袋封口,平均放置于消化罐中的分隔板两侧;最少放置一个封口的空白滤袋,用于确定测定结果校正因子.将缓冲液 A 和 B 预热至 37 °C,按照 $V(A)$:

$V(B) = 5 : 1$ 的比例混合(1 330 mL 缓冲溶液 A 和 266 mL 缓冲溶液 B,理论上 pH 为 6.8),每个消化罐中加入 1 600 mL A/B 混合缓冲液.将盛有样品和缓冲溶液的消化罐放置于 DAISY II 体外模拟培养箱中,进行体外模拟消化.允许消化罐的温度在 20 ~ 30 min 达到平衡.参考张铁鹰等^[13]的方法准备猪小肠消化液.然后,在盛有样品和缓冲溶液的消化罐中加入 400 mL 猪小肠消化液,在 (37.0 ± 0.5) °C 条件下消化 48 h 后,根据测量结果采用式(3)计算样品的体外消化率.

$$\text{体外消化率} = (m_2 - m_1 C) / m \times 100\% \quad (3)$$

式中: m 为样品质量, g; m_1 为样品滤袋质量, g; m_2 为体外消化后滤袋和样品残渣的总质量, g; C 为空白滤袋校正因子(烘箱干燥后空白滤袋的质量/空白滤袋的初始质量).

2 结果与讨论

2.1 挤压组织化产品的色度

含水量对挤压组织化产品色度的影响见表 2.

表 2 含水量对脱脂大豆粉挤压组织化产品色度的影响
Tab. 2 Effects of moisture content on the colour qualities of the extruded products of defatted soybean powder

含水量/%	色度			
	L^*	a^*	b^*	ΔE
24	40.00 ± 1.90	3.98 ± 1.01	17.20 ± 0.66	59.29 ± 1.80
28	39.18 ± 1.01	3.90 ± 0.50	15.63 ± 0.36	59.68 ± 0.91
33	37.71 ± 0.82	3.97 ± 0.58	15.29 ± 0.18	61.04 ± 0.80
37	39.48 ± 0.59	3.29 ± 0.62	15.81 ± 0.54	59.40 ± 0.47
42	35.85 ± 1.56	2.77 ± 0.63	15.44 ± 1.07	62.83 ± 1.33
46	36.48 ± 0.37	3.86 ± 0.24	14.91 ± 0.76	62.14 ± 0.28

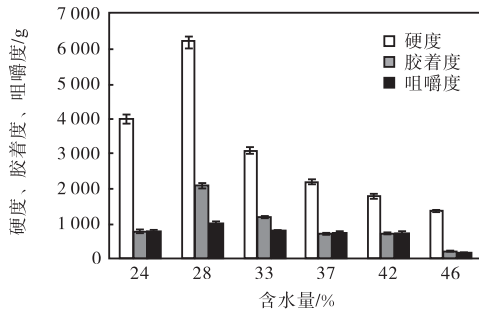
由表 2 可知:在研究范围内,脱脂大豆粉挤压组织化产品亮度指数 L^* 的变化范围为 35.85 ~ 40.00,彩度指数 a^* 的变化范围为 2.77 ~ 3.98,彩度指数 b^* 的变化范围为 14.91 ~ 17.20,色差 ΔE 的变化范围为 59.29 ~ 62.83.在加工中,期望亮度指数 L^* 越大,色差 ΔE 越小,说明产品越亮白,色泽总体上越好.含水量为 24% 和 37% 时,脱脂大豆粉挤压组织化产品的色泽较好,含水量在 40% 以上时,脱脂大豆粉挤压组织化产品的亮度指数 L^* 明显降低,色差 ΔE 明显变大.这是因为,在物料的运行过程中,水分不仅起到黏合的作用,还起到很好的润滑作用,当含水量低时,主要起润滑作用,物料在机筒内的滞留时间短,但随着含水量的增加,物料的黏度增加,物料在机筒内的滞留时间增加,物料发生美拉德反应时间也会增

加, 最终导致产品颜色的改变。

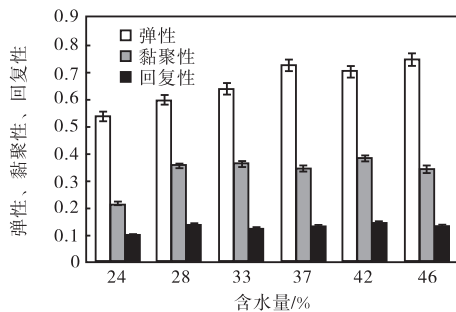
2.2 挤压组织化产品的质构特性

含水量对挤压组织化产品质构参数的影响见图 1。

图 1。



(a) 硬度、胶着度和咀嚼度



(b) 弹性、黏聚性和回复性

图 1 含水量对脱脂大豆粉挤压组织化产品质构参数的影响

Fig. 1 Effects of moisture content on the springiness, cohesiveness and resilience of the extruded products of defatted soybean powder

由图 1(a)可知:含水量变化对产品硬度的影响十分显著,对产品胶着度和咀嚼度的影响显著;含水量为 28%时,产品的硬度、胶着度和咀嚼度最高,之后,随着含水量的增加,三者均呈现逐渐降低的趋势,变化趋势一致,且硬度的变化最为明显;含水量在 37%时,产品的硬度降至 2 200 g 左右,此时,产品口感较好。

由图 1(b)可知:含水量变化对产品弹性影响比较显著,对产品的黏聚性和回复性影响不显著;随着含水量的增加,挤压组织化产品的弹性、黏聚性和回复性三者的变化均为先增大后趋于平缓,变化趋势基本一致。含水量在 37%时,产品的弹性为 0.758,之后随着含水量的增加,弹性变化很小,所以含水量在 37%时产品的弹性较大,口感较好。

2.3 挤压组织化产品的感官特性

根据 1.3.3 方法对挤压组织化产品的感官评分结果见图 2。

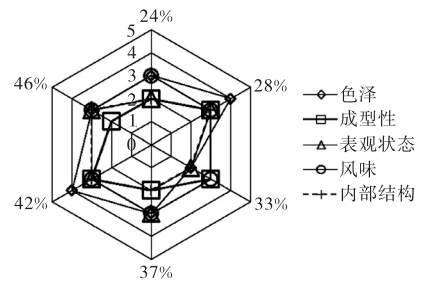


图 2 含水量对脱脂大豆粉挤压组织化产品感官特性的影响

Fig. 2 Effects of moisture content on the sensory analysis of the extruded products of defatted soybean powder

分析图 2 可知:含水量在 24%时,挤压组织化产品的色泽和风味较好,含水量为 28%和 42%时,色泽最好。含水量在 33%和 42%时,成型性相同且色泽较好;含水量为 37%和 46%时,表观状态相同且色泽较好;含水量在 24%、33%、37%和 46%时,风味较好;含水量在 28%和 46%时,内部结构较好。

2.4 挤压组织化产品的微观结构

含水量对挤压组织化产品微观结构的影响见图 3。

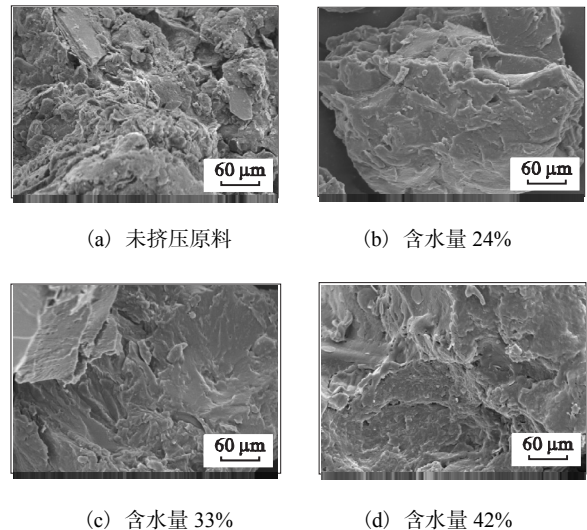


图 3 含水量对脱脂大豆粉挤压组织化产品微观结构的影响

Fig. 3 Effects of moisture content on the microstructure of the extruded products of defatted soybean powder

由图 3 可看出:经过挤压组织化处理,水分能够帮助蛋白质分子的折叠和对齐,使脱脂大豆粉蛋白质分子由最初的无序多孔结构变为结构致密、具有一定规则的晶型排列结构^[14];随着含水量的增加,挤压组织化产品逐渐出现细小的气孔,且含水量越高,机筒

内水分蒸发产生的蒸汽越多,使蛋白质形成膜状气孔结构,加剧蛋白质内部疏水基暴露和蛋白质交联导致变性程度增大^[15],气孔结构越明显.

2.5 挤压组织化产品的脲酶活性

含水量对挤压组织化产品脲酶活性的影响见图 4.

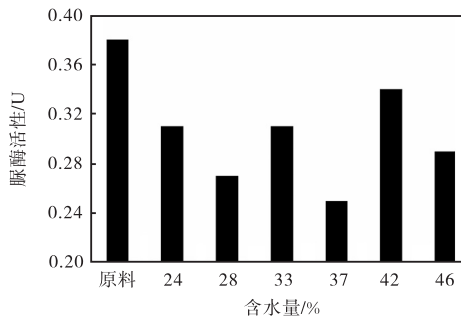


图 4 含水量对脱脂大豆粉挤压组织化产品脲酶活性的影响

Fig. 4 Effects of moisture content on urease activity of defatted soybean flour extruded products

由图 4 可知:脱脂大豆粉原料的脲酶活性低于 0.4 U,符合国家标准 (GB/T 5009.183—2003);不同含水量脱脂挤压组织化产品的脲酶活性均低于原料的脲酶活性,说明挤压组织化过程进一步降低了脱脂大豆粉的脲酶活性,有利于挤压组织化产品的消化性;随着含水量的变化,脱脂大豆粉挤压组织化产品的脲酶活性呈现不规则变化,但影响并不显著.

大豆制品中的脲酶本身并不是抗营养因子,但因为其活性与抗胰蛋白酶抑制剂的含量呈正相关性.而抗胰蛋白酶抑制剂能在肠道消化过程中干扰蛋白质消化酶发挥作用,导致摄入蛋白质的消化性和营养价值降低.所以,在加工过程中可以通过脲酶活性评定加工程度对大豆制品营养品质的影响.

2.6 溶剂保持力

含水量对挤压组织化产品溶剂保持力的影响见图 5.

由图 5 可知:在含水量为 24%或 28%时,挤压组织化产品的溶剂保持力最佳;随着含水量的增加,脱脂大豆粉挤压组织化产品的溶剂保持力呈现先增加后降低,最后趋于稳定的趋势,但在研究范围内,脱脂大豆粉经过挤压组织化后 4 种溶剂保持力均比原料有所增加,原因可能是水分在脱脂大豆粉挤压组织化过程中具有增塑性,可以增加脱脂大豆粉分子的运行性,提高脱脂大豆粉分子的溶胀程度和形成分子网络的能力.但脱脂大豆粉及其挤压组织化产品,因其

分子组成的特性和含量限制,溶剂保持力必定有最大的限度,在一定范围内,含水量的增加会使其溶剂保持力相对降低,超过这一范围,其溶剂保持力则处于相对稳定状态.

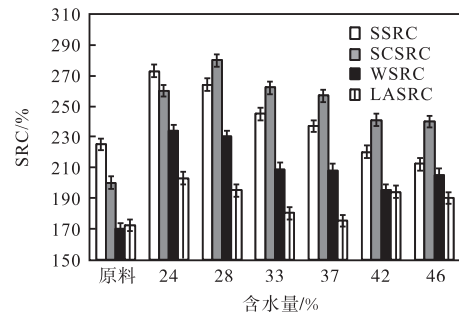


图 5 含水量对脱脂大豆粉挤压组织化产品溶剂保持力的影响

Fig. 5 Effects of moisture content on SRC of defatted soybean flour extruded products

2.7 挤压组织化产品的体外消化率

体外消化率的测定可以间接反映物质在体内消化和吸收的情况.含水量对挤压组织化产品体外消化率的影响见图 6.

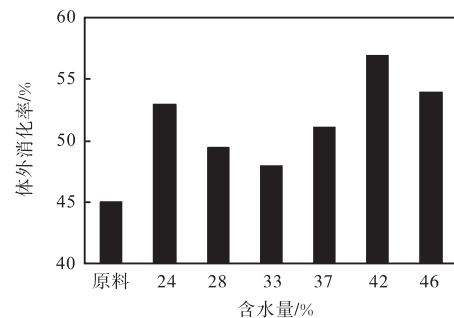


图 6 含水量对脱脂大豆粉挤压组织化产品体外消化率的影响

Fig. 6 Effects of moisture content on in vitro digestibility of defatted soybean flour extruded products

由图 6 可知:不同含水量的脱脂大豆粉经挤压组织化后,产品的体外消化率均高于未经处理脱脂大豆粉原料的体外消化率,含水量对产品的体外消化率影响较为显著;在含水量为 42%时,挤压组织化产品的体外消化率为 56.93%,比原料 (45.03%) 提高了 12%左右.引起这种变化的原因可能是脱脂大豆粉经过挤压组织化后,蛋白质部分降解使游离氨基酸含量升高,同时蛋白质分子变性伸展,酶作用位点的暴露也会改善组织化蛋白产品的消化性.此外,脱脂大豆粉原料经挤压组织化后,各种抗营养因子,如胰蛋白酶抑制剂^[16]和植凝集素,因加热变性、钝化而失去作

用,因此脱脂大豆粉挤压组织化产品的体外消化率显著提高。

3 结 论

含水量和机筒温度作为挤压过程中的重要参数影响最终产品的特性,机筒温度会影响蛋白质的变性及美拉德反应的程度。本文重点讨论了含水量对脱脂大豆粉挤压过程的影响,通过色泽、质构特性、感官特性、溶剂保持力、脲酶活性等指标对终产品进行评价。当机筒温度为 140 ℃、螺杆转速为 125 r/min、含水量为 37%时,脱脂大豆粉挤压组织化产品的色泽、口感、风味和外观状态较好,脲酶活性进一步降低,溶剂保持力有所升高。经过挤压组织化处理,脱脂大豆粉由最初的无序多孔结构,变为结构致密、具有一定规则的晶型排列结构。

参考文献:

- [1] 武建堂,董海洲. 花生蛋白挤压组织化及应用现状[J]. 粮食与油脂,2008(1):13-15.
- [2] 陈锋亮,魏益民,张波,等. 食品挤压过程中水分的作用及变化研究进展[J]. 食品科学,2009,30(21):416-419.
- [3] Chen Fengliang, Wei Yimin, Zhang Bo. Characterization of water state and distribution in textured soybean protein using DSC and NMR[J]. Journal of Food Engineering, 2010,100(3):522-526.
- [4] 孙照勇,魏益民,张波,等. 物料含水率对大豆蛋白挤压组织化产品特性的影响[J]. 中国粮油学报,2009,24(10):28-32.
- [5] 魏益民,康立宁,张波,等. 高水分大豆蛋白组织化生产工艺和机理分析[J]. 农业工程学报,2006,22(10):193-197.
- [6] Iio S, Berghofer E. Kinetics of colour changes during extrusion cooking of maize grits[J]. Journal of Food Engineering, 1999,39(1):73-80.
- [7] Sgaramella S, Ames J M. The development and control of colour in extrusion cooked foods[J]. Food Chemistry, 1993,46(2):129-132.
- [8] CIE. CIE Publ. 15 Colorimetry[S]. Vienna, Austria: Central Bureau of the CIE, 1976.
- [9] Bouren M C. Texture profile analysis[J]. Food Technology, 1978,32:62-66, 72.
- [10] 杨耸. 原料特性对高湿挤压纤维化大豆蛋白影响研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2009.
- [11] 周新安,盖钧镒,马育华. 大豆种子贮存蛋白组成及其相关分析[J]. 大豆科学,1992,11(3):191-197.
- [12] 刘侠. 大豆中淀粉测定条件的优化[J]. 江苏农业科学,2008(3):222-224.
- [13] 张铁鹰,汪傲,卢庆萍,等. 肉仔鸡体外消化模拟技术的研究[J]. 中国农业科学,2007,40(11):2601-2606.
- [14] Chen Fengliang, Wei Yimin, Zhang Bo, et al. System parameters and product properties response of soybean protein extruded at wide moisture range[J]. Journal of Food Engineering, 2010,96(2):208-213.
- [15] 康立宁. 大豆蛋白高水分挤压组织化技术和机理研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2007.
- [16] Su G, Chand K C. Trypsin inhibitor activity in vitro digestibility and sensory quality of meat-like Yuba products as affected by processing[J]. Journal of Food Science, 2002,67(3):1260-1266.

责任编辑:常涛