

套筒温度对谷朊粉高水分挤压组织化产品特性的影响

郑建梅¹, 魏益民^{1,2,*}, 张波², 陈锋亮^{2,3}

(1.西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2.中国农业科学院农产品加工研究所, 北京 100193; 3.山东省农业科学院农产品研究所, 山东 济南 250100)

摘要: 研究套筒温度对谷朊粉高水分挤压组织化产品特性的影响。以不同套筒温度条件下生产的高水分谷朊粉挤压组织化产品为实验材料, 观察产品的感官形态、测定产品的色泽、硬度、咀嚼度、弹性、组织化度、氮溶解指数及持水性。结果表明: 随着套筒温度升高, 挤压产品逐渐出现组织化现象, 但高温会造成产品的焦化, 使组织化程度变差; 随套筒温度的升高, 挤压产品的亮度指数(L^*)和黄蓝值(b^*)逐渐降低, 氮溶解指数(NSI)和红绿值(a^*)逐渐升高, 感官评分、硬度、咀嚼度、弹性和持水性先升高后降低。套筒温度对谷朊粉高水分挤压组织化产品特性有极显著影响。

关键词: 谷朊粉; 挤压组织化; 套筒温度; 产品特性; 感官评价

Effect of Barrel Temperature on Properties of Extruded Gluten with High Water Content

ZHENG Jian-mei¹, WEI Yi-min^{1,2,*}, ZHANG Bo², CHEN Feng-liang^{2,3}

(1. College of Food Science and Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 2. Institute of Agro-Products Processing Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 3. Institute of Agro-Food Science and Technology, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China)

Abstract: Thermal energy is one of the necessary conditions to produce textured plant protein by extrusion cooking technology. In the present study, the effect of barrel temperature on the properties of extruded gluten with high water content was explored. Extruded products prepared at different barrel temperatures were determined for appearance, color, texture characteristics, water-holding capacity and soluble nitrogen index. The results showed that wheat gluten was textured gradually with the increase of barrel temperature, but the appearance was bad at excessively high barrel temperatures. With a continuous increase in barrel temperature, the soluble nitrogen index and a^* value increased, but the L^* value and b^* value obviously decreased. On the other hand, the hardness, chewiness, springiness and water-holding capacity revealed an initial increase and a final decrease. Therefore, barrel temperature is an important factor affecting product properties of extruded gluten with high water content.

Key words: wheat gluten; extrusion; barrel temperature; product property; sensory evaluation

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)09-0099-06

植物蛋白的高水分挤压组织化研究开始于20世纪90年代, 产品水分含量为40%~70%, 口感细腻, 质地致密^[1]。植物蛋白在挤压过程中由于受高温、高压和高剪切力的作用, 蛋白质分子内部高度规则的空间结构被破坏, 次级键断裂, 肽链松散, 易于伸展, 蛋白质在变性的同时发生一定程度的定向排列, 形成具有类似于动物肌肉的纤维状组织结构。挤压过程中, 套筒温

度、原料pH值、物料水分等都会影响组织化产品的品质^[2]。研究套筒温度对于谷朊粉高水分挤压组织化产品特性的影响, 能够拓宽谷朊粉的应用领域^[3-4], 指导谷朊粉高水分挤压组织化产品开发。

对植物蛋白高水分挤压组织化的研究主要以大豆蛋白和花生蛋白为主, 集中在挤压工艺参数对产品特性^[5-10]和系统参数^[5-8,10]的影响、工艺优化^[5-6,11-13]、挤压组织化

收稿日期: 2011-12-06

作者简介: 郑建梅(1975—), 女, 讲师, 硕士, 研究方向为粮油及植物蛋白质。E-mail: zjm7511@yahoo.com.cn

*通信作者: 魏益民(1957—), 男, 教授, 博士, 研究方向为农产品加工及食品安全。E-mail: weiyimin36@hotmail.com

产品质量评价^[5,14]、蛋白质种类和质量对挤压产品特性的影响^[5,11,15-16],以及挤压过程中蛋白质分子的变化机理^[1,5,9,11]。不同来源的植物蛋白以及不同套筒温度条件下的组织化产品,其特性存在一定的差异。谷朊粉的挤压组织化以低水分挤压为主,高水分挤压组织化研究主要集中在挤压组织化工艺条件优化及不同小麦品种谷朊粉特性与挤压特性的关系分析^[17-19],对于套筒温度对挤压产品特性的影响还有待于进一步研究。

本实验以谷朊粉为原料,采用DSE-25型双螺杆挤压实验室工作站,研究不同套筒温度下高水分谷朊粉挤压产品的特性。分析套筒温度对谷朊粉挤压组织化产品特性的影响,为谷朊粉高水分挤压组织化生产和新产品开发提供技术依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料

谷朊粉为“福临门”牌谷朊粉(蛋白质含量80.88%,脂肪1.5%,灰分0.50%,吸水率177%) 东海粮油工业(张家港)有限公司。

谷朊粉高水分挤压组织化产品:挤压参数为:一区、二区、四区和五区温度不变,三区温度(以下称套筒温度)分别为130、140、150、160、170、180℃,物料水分为50%,喂料速度为19.20g/min,螺杆转速160r/min。产品从模头挤出后,散去余热,部分产品4℃保存,用于色泽及质构测定,其余产品40℃低温干燥,粉碎,过80目筛,4℃保存。

1.2 仪器与设备

DSE-25型双螺杆挤压实验室工作站 德国Brabender OHG食品仪器公司;FW100型高速万能粉碎机 天津市泰斯特仪器有限公司;CR-400型美能达色差计 日本美能达公司;TA-XT2i型物性测定仪 英国Stable Microsystems公司;Kjeltec 2100 System凯氏自动定氮仪 瑞典富斯-特卡脱公司;HH系列恒温水浴锅 上海市安亭电子仪器厂;TDL-5-A型低速台式大容量离心机 上海安亭科学仪器厂。

1.3 方法

1.3.1 氮溶解指数(NSI)

参照AACC 46-23《氮可溶性指数》进行。

1.3.2 持水性

参照AACC 88-04《蛋白质物质的水合能力》进行。

1.3.3 色泽

用CIELAB(L^* 、 a^* 、 b^*)色空间表示。每次测量色差计显示 L^* (0表示黑色,100表示白色), a^* (正值表

示红色,负值表示绿色), b^* (正值表示黄色,负值表示蓝色)。每个样品测定5次,求平均值。

1.3.4 质构特性分析

采用质构仪测定挤压后产品的硬度、弹性和咀嚼度等流变学指标。质构仪采用质地剖面分析(texture profile analysis, TPA)模式,配P/35探头。将散去余热的产品切成长宽各为1.5cm,水平放在承载平台上进行测定,测试前速度2.0mm/s,测试速度1.0mm/s,测试后速度2.0mm/s,下压程度为50%,每个样品测量5次,取平均值。

1.3.5 组织化度测定

对谷朊粉挤压后产品进行如图1所示的横向和纵向取样,用质构仪对试样进行剪切实验。用横向与纵向剪切力的比值表示产品组织化程度的大小,即组织化度。质构仪采用A/CKB探头,测试前速度1.0mm/s,测试速度1.0mm/s,测试后速度2.0mm/s,剪切程度75%。

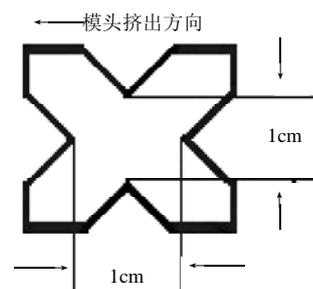


图1 挤压产品组织化度测定样品

Fig.1 Schematic diagram showing sampling for determination of texturization degree

1.3.6 挤压产品感官评价

参照张余^[11]的方法进行感官评价。选取10名食品专业的研究生,将其培训后作为感官评价员,进行挤压产品的感官评价。分别从挤压产品的组织化程度(系数0.4)、色泽(系数0.1)、表观状态(系数0.1)、口感(系数分别为:硬度0.1、润滑感0.1、黏弹性0.1)和风味(系数0.1)对产品进行感官评价,每个项目满分为15分。感官评价评分表见表1,挤压产品的感官评分取10位评价员评分的平均值,挤压产品的感官评价得分按下式计算:

$$\text{挤压产品感官得分} = \frac{\sum(\text{各项目得分} \times \text{相应系数})}{15} \times 100$$

1.4 数据统计

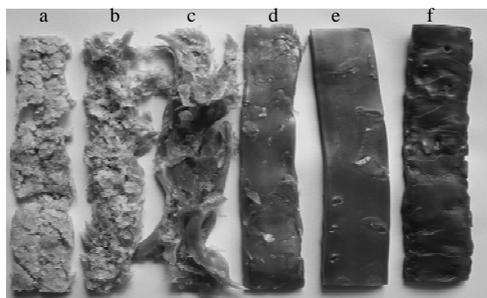
采用Excel进行数据处理、作图和方差分析。

表1 组织化谷朊粉感官评价表
Table 1 Criteria for sensory evaluation of textured gluten

评价内容	定义	感官评价				
		差(1~3分)	较差(4~6分)	中(7~9分)	较好(10~12分)	好(13~15分)
色泽	产品的颜色和亮度	深棕色或棕红色, 亮度差		深褐色, 亮度一般	灰褐色, 光亮	
外观状态	产品表面结构的细密性和光滑度	表面粗糙, 膨胀, 不成形	表面较粗糙, 变形严重	一般	表面结构细密、光滑	
组织化程度	产品内部的纤维化程度和质地均匀度	碎片状, 易分散, 基本无纤维化结构	基本上呈片状, 内部纤维化结构较弱, 表面黏软, 黏附片断易脱落	一般	密实的片断, 有较明显的纤维化结构, 但质地不太均匀	明显的纤维化有结构, 纵向撕裂有明显的层次结构, 质地均匀
硬度	用牙横向咬断产品所需力的大小	太硬或太软		稍偏硬或偏软	力适中	
口感	润滑感	润滑程度差, 有颗粒感		一般	口感润滑	
	黏弹性	在咀嚼产品时的咬劲和弹性大小以及是否黏牙		较爽口, 弹性一般, 稍黏牙	咀嚼时爽口, 有咬劲, 富有弹性且不黏牙	
风味	品尝时的味道	有异味(酸味或苦味)		基本无异味	无异味	

2 结果与分析

2.1 套筒温度对谷朊粉高水分挤压组织化感官质量的影响



a~f. 套筒温度分别为 130、140、150、160、170、180℃。

图2 套筒温度与挤压产品的外观特性

Fig.2 Barrel temperature and appearance property of extruded products

由图2可知, 套筒温度对挤压产品的外观有显著的影响。在130℃时, 谷朊粉在挤压机内发生一定的变性, 失去其网状结构, 产品色泽较浅, 结构疏松、且形状不完整; 140℃时, 产品表现出组织化状态, 有一些可视的纤维状组织结构, 说明谷朊粉在挤压机内虽然变性, 但还是未达到充分的熔融状态; 150℃时, 出现一些大的纤维状物质, 但此时没有完整的形态, 说明谷朊粉在挤压机内的熔融状态较140℃时加强, 但仍未

能达到较充分的熔融状态; 到160℃时, 形成具有完整形态的、且具有纤维状结构的产品, 但其表面有许多皮状纤维, 不光滑, 这时谷朊粉已在挤压机内达到较充分的熔融状态; 170℃时, 产品外观形态完整, 表面比较光滑, 谷朊粉在挤压机内达到充分的熔融状态; 到180℃时, 产品从挤压机模口挤出的瞬间, 表面有许多鼓泡, 很快气泡消失, 表面留有孔洞, 产品有很多浅层横向裂纹; 到185℃时, 挤出物质地较差, 气泡大, 且挤压机工作不稳定。

表2 套筒温度对挤压产品感官评分的影响
Table 2 Barrel temperature and sensory evaluation of extruded products

套筒温度/℃	感官评分							总分
	色泽	外观状态	组织化程度	硬度	润滑感	黏弹性	风味	
130	8.0	2.8	2.0	4.4	3.2	4.6	10.8	27.9
140	9.2	3.6	4.0	6.8	5.2	7.0	11.0	39.2
150	11.4	4.8	6.4	9.0	9.0	11.6	11.4	55.2
160	10.8	7.4	8.8	10.2	10.8	12.2	11.4	65.3
170	10.6	12.4	14.4	10.4	13.0	13.4	11.4	85.9
180	6.2	8.8	10.2	8.4	10.4	11.2	8.0	62.5

从表2可见, 套筒温度对挤压产品的感官评分有极显著的影响($P < 0.01$)。套筒温度为130℃时, 挤压产品的感官评分最低(27.9分), 套筒温度为170℃时, 产品的感官评分最高(85.9分)。套筒温度在130~170℃时, 随着温度的升高, 挤压产品的感官评分逐渐升高。当

温度达到 180℃时, 挤压产品的感官得分急剧下降。随套筒温度的升高, 挤压产品的感官评分总体呈现先升高后降低的趋势。这与挤压产品的外观由差到优、再变劣的感官结果吻合(图 2)。

2.2 套筒温度对谷朊粉高水分挤压组织化产品色泽的影响

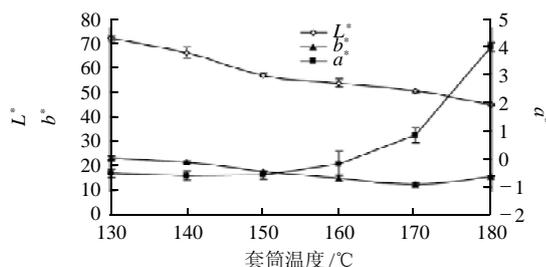


图 3 套筒温度对挤压产品色泽的影响

Fig.3 Effect of barrel temperature on color parameters of extruded products

由图 3 可知, 套筒温度对挤压产品的色泽有极显著的影响($P < 0.01$)。套筒温度为 130℃时, 挤压产品的 L^* 值和 b^* 值最大, 分别为 71.79 和 23.25; 180℃时, 挤压产品的 L^* 值最低(44.70), 170℃时, 挤压产品的 b^* 值最低(12.58)。在套筒温度为 140℃时, 挤压产品的 a^* 值最低(-0.60); 套筒温度为 180℃时, 挤压产品的 a^* 值最大(3.97)。随着套筒温度的升高, L^* 值和 b^* 值总体呈现下降的趋势, a^* 值呈现升高的趋势。随着套筒温度的升高, 物料在挤压机内所受的热效应和剪切效应加强, 美拉德反应加剧, 产生类黑色素, 导致产品的 L^* 值下降, a^* 值升高。

2.3 套筒温度对谷朊粉高水分挤压组织化产品 TPA 的影响

由图 2 可知, 套筒温度低于 150℃时, 产品形状不完整, 无法将其制成测定 TPA 用的样品。从表 3 可见, 当套筒温度从 160℃升高到 180℃时, 套筒温度对挤压产品的硬度影响显著($P < 0.05$), 对挤压产品的咀嚼度影响极显著($P < 0.01$), 在此温度范围内, 硬度和咀嚼度呈现先升高后降低的趋势, 弹性在实验涉及的温度范围内没有显著变化。

挤压过程中, 随着套筒温度的升高, 原料受到的温度作用不同, 挤出物的质构特性存在一定的差异。Lin 等^[7]研究发现, 随着套筒温度的升高, 大豆分离蛋白和面粉混合后挤压产品的硬度、弹性、咀嚼度和胶凝性均降低。张余^[11]认为, 当套筒温度高于 130℃时,

随着套筒温度的升高, 花生蛋白挤压产品的硬度和咀嚼度呈现先升高后降低的趋势。赵多勇^[6]发现随套筒温度的升高, 咀嚼度逐渐升高。本研究发现, 随套筒温度的升高, 挤压产品的硬度、咀嚼度和弹性均呈现先升高后降低的趋势, 这一结果与张余^[11]的结论一致, 但与 Lin 等^[7]和赵多勇^[6]的结论均不同, 这可能与蛋白质种类不同有关, 也可能与挤压操作中其他操作参数的差异有关。

表 3 套筒温度对挤压产品 TPA 的影响

Table 3 Effect of barrel temperature on texture property analysis of extruded products

套筒温度 / °C	硬度 / kg	咀嚼度 / kg	弹性
160	10.80 ± 1.77 ^{AA}	7.93 ± 0.99 ^{AA}	0.96 ± 0.04 ^{AA}
170	15.63 ± 1.53 ^{BA}	11.96 ± 0.80 ^{BB}	1.00 ± 0.04 ^{AA}
180	11.05 ± 2.44 ^{AA}	8.27 ± 1.83 ^{AA}	0.98 ± 0.01 ^{AA}

注: a、b. 差异显著($P < 0.05$); A、B. 差异极显著($P < 0.01$)。

2.4 套筒温度对谷朊粉高水分挤压组织化产品组织化度的影响

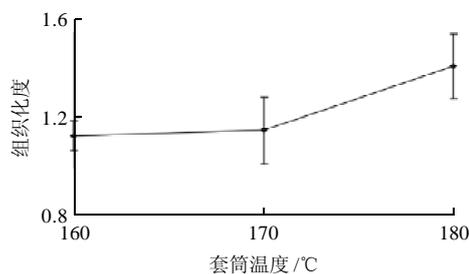


图 4 套筒温度对挤压产品组织化度的影响

Fig.4 Effect of barrel temperature on texturization degree of extruded products

由图 4 可知, 套筒温度在 160~180℃之间, 套筒温度对挤压产品的组织化度影响极显著($P < 0.01$), 当套筒温度从 160℃升高到 170℃, 挤压产品的组织化度没有显著变化; 温度高于 170℃时, 挤压产品的组织化度急剧升高。随着套筒温度的升高, 蛋白质变性形成纤维化的程度加剧, 蛋白质更易于定向排列, 其横切力与纵切力的比值增大, 即组织化度增大。

2.5 套筒温度对谷朊粉高水分挤压组织化产品 NSI 的影响

由图 5 可知, 套筒温度对谷朊粉挤压产品的 NSI 有极显著的影响($P < 0.01$)。套筒温度为 130℃时, 挤压产品的 NSI 最低(2.12%); 180℃时, 挤压产品的 NSI 达到最大(5.15)。挤压产品的 NSI 随套筒温度的升高呈现逐

渐升高的趋势, 温度从 130℃ 升高到 160℃, 挤压产品的 NSI 缓慢增加; 温度高于 160℃ 时, 挤压产品的 NSI 迅速增大。随着机筒温度的升高, NSI 呈增加趋势, 是因为一些大分子蛋白质在熔融状态下, 可能会不断被重新组合, 蛋白质的三级结构或四级结构被破坏, 形成相对线性的大分子物质; 蛋白质各亚基在高温和高剪切力作用下产生分离, 使得一些小分子蛋白质解离出来, 分子质量变小, 从而使 NSI 升高。康立宁^[1]和赵多勇^[6]以大豆蛋白为原料, 研究发现随着挤压温度的提高, 挤压产品的 NSI 逐渐升高。张余^[11]以花生蛋白为原料, 也得出相同的结论。本研究得出 NSI 随套筒温度的升高而升高的结果与上述研究结果一致。

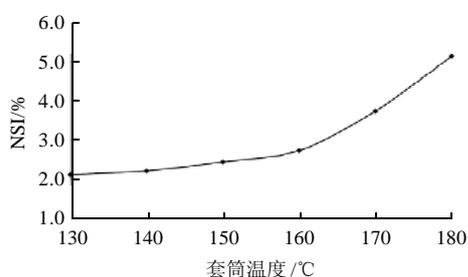


图 5 套筒温度对挤压产品 NSI 的影响

Fig.5 Effect of barrel temperature on NSI of extruded products

2.6 套筒温度对谷朊粉高水分挤压组织化产品持水性的影响

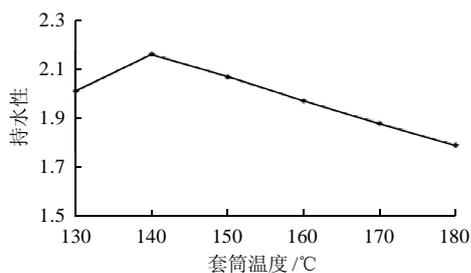


图 6 套筒温度对挤压产品持水性的影响

Fig.6 Effect of barrel temperature on water-holding capacity of extruded products

由图 6 可知, 套筒温度对挤压产品的持水性有极显著的影响 ($P < 0.01$)。套筒温度为 140℃ 时, 挤压产品的持水性最高 (2.16); 温度高于 140℃ 时, 挤压产品的持水性迅速下降; 180℃ 时, 挤压产品的持水性最低 (1.88)。挤压产品的持水性随套筒温度的升高呈现先升高后降低的趋势。

随着套筒温度的升高, 蛋白质的变性重排, 氨基

酸残基暴露出更多的疏水基, 从而直接导致其持水性的增强。张余^[11]研究认为随着套筒温度的升高, 花生蛋白挤压产品持水性增加。于明晓等^[20]也得出挤压组织化前后花生蛋白的持水性随蒸煮温度的升高而增大的结论。赵多勇^[6]认为随挤压温度的升高, 挤压组织化蛋白的持水性先降低后升高。本研究中, 持水性随挤压温度升高逐渐降低的结论与上述研究者的结论均存在一定的差异, 这可能与这些研究者挤压时的套筒温度一般低于 160℃, 而本研究套筒温度高达 180℃。另外差异的存在也可能与蛋白质种类和组成, 以及分子质量等有关。

3 结论与讨论

在植物蛋白高水分挤压组织化过程中, 套筒温度是谷朊粉热变性和发生组织化现象的决定性因素。温度较低时, 谷朊粉不能形成组织化结构; 当温度高到足以使谷朊粉变性时, 在高温高压的作用下, 蛋白质被组织化。当温度过高时, 由于热量过剩, 产品呈现焦化状态。本研究中套筒温度必须高于 150℃ 才能得到形态完整的挤压组织化产品, 与大豆蛋白的 130℃^[1,12]和花生蛋白的 140℃^[11]得到形态完整的组织化蛋白存在一定差异, 这种差异可能与所用挤压原料的蛋白质分子质量和分子结构有关。谷朊粉主要是由醇溶蛋白和谷蛋白组成, 其分子质量大于王洪武等^[12]研究中的大豆蛋白的分子质量, 且谷朊粉中含有较多的二硫键, 打断蛋白质分子的二硫键并进行定向排列需要较高的能量。因此, 需要更高的套筒温度。

套筒温度对挤压产品的感官评分、色泽、咀嚼度、组织化度、NSI、持水性有极显著的影响 ($P < 0.01$), 对挤压产品的硬度有显著影响 ($P < 0.05$)。随着套筒温度的升高, 挤压产品从部分变性到充分变性形成组织化, 外观形态从不成形到形成较为光滑的产品, 再到产品的外观劣变; 挤压产品的感官得分先升高后降低。随着套筒温度的升高, 挤压产品的 L^* 和 b^* 值逐渐降低, a^* 值和 NSI 逐渐升高, 持水性先升高后降低, 硬度和咀嚼度先升高后降低, 而组织化度则先缓慢升高后再急剧升高, 弹性没有显著变化。套筒温度对谷朊粉高水分挤压组织化产品特性有极显著影响。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] ANDREAS R, MARIE H M, JOELLE B. Extrusion of wheat gluten plasticized with glycerol: influence of process conditions on flow behavior, rheological properties, and molecular size distribution[J]. Cereal Chemistry, 1999, 76(3): 361-370.
- [3] 严忠军, 卞科, 司建中. 谷朊粉应用概述[J]. 中国粮油学报, 2005, 20(5): 16-20.

- [4] AKDOGAN H. High moisture food extrusion[J]. *International Journal Food Science and Technology*, 1999, 34(3): 195-207.
- [5] 魏益民, 康立宁, 张余. 食品挤压理论与技术: 中卷[M]. 中国轻工业出版社, 2009: 107-108; 245-247.
- [6] 赵多勇. 高水分组织化大豆蛋白产品特性研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2006.
- [7] LIN S, HUFF H E, HSIEH F. Texture and chemical characteristics of soy protein meat analog extruded at high moisture[J]. *Journal of Food Science*, 2000, 65(2): 264-269.
- [8] LIN S, HUFF H E, HSIEH F, et al. Extrusion process parameters, sensory characteristics and structural properties of a high moisture soy protein meat analog[J]. *Journal of Food Science*, 2002, 67(3): 1066-1072.
- [9] 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.
- [10] 王洪武. 大豆蛋白质双螺杆挤压加工工艺参数对系统参数的影响[J]. *中国油脂*, 2005, 30(9): 28-30.
- [11] 张余. 花生蛋白挤压组织化技术及其机理研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2007.
- [12] 王洪武, 周建国, 林炳鉴. 双螺杆挤压机工艺参数对组织蛋白的影响[J]. *中国粮油学报*, 2001, 16(2): 54-58.
- [13] 郎珊珊, 阎树田, 石戴卫. 高温脱脂花生粕双螺杆挤压组织化的工艺研究[J]. *中国粮油学报*, 2011, 26(5): 83-86.
- [14] 帅益武, 张波, 魏益民. 大豆组织化蛋白产品质量因子分析[J]. *食品研究与开发*, 2007, 27(8): 5-8.
- [15] 王洪武, 马榴强, 周建国, 等. 大豆蛋白质原料体系对挤压组织化的影响[J]. *中国食品学报*, 2002, 2(1): 33-38.
- [16] 张余, 魏益民, 张波. 脱脂花生粉特性对其挤压产品结构的影响[J]. *中国粮油学报*, 2007, 22(3): 53-59.
- [17] 张丙虎, 魏益民, 张波, 等. 谷朊粉高水分挤压组织化工艺参数优化[J]. *中国粮油学报*, 2010, 25(6): 90-93.
- [18] 张丙虎, 魏益民, 张波, 等. 谷朊粉特性与挤压组织化特性的关系[J]. *中国农业科学*, 2010, 43(11): 2334-2339.
- [19] 张丙虎. 小麦谷朊粉挤压组织化特性研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2010.
- [20] 于明晓, 郭顺堂. 挤压组织化对脱脂花生蛋白粉持水性和持油性的影响[J]. *食品工业科技*, 2007, 28(1): 87-89.