

大豆蛋白复配挤压工艺优化研究

樊 炯, 马骏骅, 张慧恩, 曹少谦, 戚向阳, *杨 华

(浙江万里学院 生物与环境学院, 浙江 宁波 315100)

摘要: 通过测定挤压产品质构, 得到植物蛋白产品最佳工艺配方。以大豆分离蛋白为原料, 加入谷朊粉、豆粕和玉米淀粉, 采用螺杆挤压技术, 通过单因素试验和正交试验确定挤压组织化的植物蛋白产品最优工艺。结果表明, 挤压原料对挤压蛋白质质构影响较大, 大豆分离蛋白为必要条件; 谷朊粉能改善成品的适口性和黏性; 豆粕能促进成品形成纤维感和质感; 玉米淀粉保证成品的完整性和感官性。在固定参数下, 植物蛋白产品最佳工艺配方为大豆蛋白添加量 35%, 谷朊粉添加量 35%, 玉米淀粉添加量 20%, 豆粕添加量 20%。

关键词: 大豆蛋白; 谷朊粉; 挤压工艺; 质构特性

中图分类号: TS215

文献标志码: A

doi: 10.16693/j.cnki.1671-9646(X).2022.06.043

Optimization of Soybean Protein Compound Extrusion Process

FAN Jiong, MA Junhua, ZHANG Huien, CAO Shaoqian, QI Xiangyang, *YANG Hua

(School of Biology and Environment, Zhejiang Wanli University, Ningbo, Zhejiang 315100, China)

Abstract: By measuring the texture of the extruded product, the best process formula for plant protein products is obtained. Soy protein isolate as a raw material, added wheat gluten soybean meal and corn starch, the optimal extrusion technology of textured plant protein product was determined by single factor experiment and orthogonal experiment. The results showed that the extrusion materials had a great influence on the texture of extruded protein, and the existence of soy protein isolate was a necessary condition; Gluten can improve the palatability and viscosity of the finished product; Soybean meal can promote the formation of fiber and texture; Corn starch ensures the integrity and sensory properties of the finished product. Under the fixed parameters, the optimum formula of plant protein product were as follows: soybean protein 35%, gluten 35%, corn starch 20%, soybean meal 20%.

Key words: soybean protein; wheat gluten; extrusion process; texture characteristics

大豆 (*Glycine max* (L.) Merrill), 属于蝶形花科、大豆属, 原产于我国, 人们通常称其为“黄豆”, 与蚕豆、豌豆同属豆科植物。在我国新石器时代, 便有大规模种植大豆的记载, 古代诗歌集《诗经》中, 已经有“蕞之荏菹、荏菹旆旆”的记载。同时, 大豆具有很高的营养价值, 我国种植的大豆蛋白质含量为 40%~50%, 是理想的蛋白质来源, 除蛋氨酸和半胱氨酸比联合国粮农组织 (FAO) 推荐值稍低外, 其他氨基酸组成基本平衡, 为完全蛋白^[1]。

大豆及其制品含有丰富的大豆蛋白和营养, 但不含肉类食品的高油高脂, 不会像肉类膳食由于摄入量过高而导致肥胖、心脑血管等疾病发生的反作用。近年来, 各领域的新型技术不断涌现, 能给予大豆蛋白有类似瘦肉的纤维质感和良好的咀嚼度; 经过组织化加工也能使大豆蛋白呈现干燥的状态,

这对减少微生物含量、延长货架期有着重要作用^[2]。对大豆和大豆蛋白及其质构特性的研究极具有理论和实践意义, 了解不同种蛋白在蛋白质含量、组分和结构上的差异, 这对于大豆产品开发的物料选择有重要的指导价值^[3]。

大豆蛋白是以低温豆粕为原料, 豆粕是大豆油脂工业中胚料经过浸出脱溶后的产物, 蛋白质含量一般为 40%~60%^[4]。像大豆分离、组织蛋白由分离提取制得的此类新型制品与动物蛋白相比有着不少优点, 如不含胆固醇, 虽然含有的甲硫氨酸少, 但其存在的异黄酮是生理活性物质, 可以降低胆固醇。大豆蛋白也有缺点: 不耐高温、气味怪 (100 ℃就会破坏大豆蛋白的性质, 从而导致营养流失)。

最常见的大豆蛋白产品是在肉制品中的应用。酸碱的处理会使大豆蛋白的亲水基团与疏水基团变

收稿日期: 2021-08-06

基金项目: 浙江省重点研发计划项目 (2020C02042); 宁波市公益项目 (202002N3085); 鄞州区农业科技项目 (2015-96)。

作者简介: 樊 炯 (1997—), 男, 硕士, 研究方向为植物蛋白剂压加工。

*通讯作者: 杨 华 (1978—), 男, 博士, 教授, 研究方向为水产品加工及贮藏。

得紧密,导致三、四级结构变化,使其具有独特的保水性、持水性和乳化性。这类特性很适合应用于肉制品加工制作^[5-8]。

在乳制品中的应用。澳大利亚等国使用特殊大豆分离蛋白来代替奶粉、非奶饮品和其他乳品等。几乎不含胆固醇而且营养均衡,是替代婴儿食品的理想选择^[9-11]。此外,大豆蛋白还有乳化、凝胶等特性,在咖啡奶油和甜品中效果显著,其次在酸乳酪产品中,还可以代替脱脂奶粉和酪素钠^[12]。

在营养食品方面的应用。英国、中东等国家为婴儿、病人和运动员提供了各种营养食品。将大豆蛋白、调味料和其他维生素按不同比例和摄取量,添加并分配给需要的不同群体,得到了很好的反馈。国外研究发现,大豆蛋白用于米粉中再经酶类物质MTGase处理,不仅可以增加产品的黏附性和弹性,而且增加了氨基酸的含量,提高产品品质与风味,如应用到蛋糕中还能提高含水量、降低硬度。

研究大豆蛋白复配后以质构为指标的挤压参数工艺,即大豆分离蛋白、谷朊粉、豆粕和玉米淀粉不同添加量下制作的成品,使用质构仪测其硬度、弹性、咀嚼性、胶黏性、黏着性,再进行正交试验,通过极差分析得到最优工艺配方。

1 材料与方法

1.1 材料

大豆分离蛋白,山东嘉华保健品股份有限公司提供;谷朊粉,山东渠风食品科技有限公司提供;玉米淀粉,山东恒仁工贸有限公司提供;豆粕,山东御馨生物科技有限公司提供。

1.2 仪器与设备

TN65-V型双螺杆膨化机,济南泰诺机械有限公司产品;搅拌机,广东锦华泰包装机械有限公司产品;剪切机,济南泰诺机械有限公司产品;WF-20型粉碎机,江阴市康和机械制造有限公司产品;烘箱,济南泰诺机械有限公司产品;TMS—Touch型物性测定仪、TMS—Touch型质构仪,美国FTC公司产品;金属异物检测机,东莞市超强电子科技有限公司产品;PL2002型电子分析天平,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司产品;DHG-9140A型电热恒温鼓风干燥箱,上海申贤恒温设备厂产品。

1.3 试验方法

1.3.1 工艺流程

挤压原料调配(大豆蛋白、谷朊粉、豆粕、玉米淀粉)→挤压→干燥→冷却→质构检测。

1.3.2 单因素试验设计

在固定参数下进行挤压,试验选取4个主要影响因素作为研究对象,分别为大豆蛋白添加量、谷朊粉添加量、玉米淀粉添加量和豆粕添加量进行单

因素试验。

(1) 大豆蛋白添加量变化(其他原料的添加量暂定为谷朊粉25%,玉米淀粉10%,豆粕15%),调整大豆蛋白添加量分别为30%,35%,40%,45%,50%。

(2) 谷朊粉添加量变化(其他原料的添加量暂定为大豆蛋白40%,玉米淀粉10%,豆粕15%),调整谷朊粉添加量分别为15%,20%,25%,30%,35%。

(3) 玉米淀粉添加量变化(其他原料的添加量暂定为大豆蛋白40%,谷朊粉25%,豆粕15%),调整玉米淀粉添加量分别为5%,10%,15%,20%,25%。

(4) 豆粕添加量变化(其他原料的添加量暂定为大豆蛋白40%,谷朊粉25%,玉米淀粉10%),调整豆粕添加量分别为5%,10%,15%,20%,25%。

1.3.3 样品前处理

水浴40℃下,固定蒸馏水水量为1 000 mL,将样品复水60 min,排水沥水5 min,除去表面毛刺,观察样品横截面,无干燥硬核为完全浸泡。

1.3.4 质构特性测定方法

使用TMS—Touch型物性测试仪,测定产品的硬度、黏附性、弹性、咀嚼性、胶黏性等^[13-14]。采用物性测定仪在TPA模式(P/1000)下对组织化大豆蛋白质构特性进行测定,样品置于物性测定仪测试台中央,物性测定仪操作参数为1 000 N(探头),测试前速度40 mm/min,测试速度60 mm/min,测试后速度60 mm/min,下压程度100%,间隔时间5 s,往复运动2次^[15-16]。每个样品测3次,取平均值。

硬度(hardness)是最直接反映口感的一项指标,在质地剖面分析中,直接影响咀嚼性、胶着性及凝聚性,可以反映肉类嫩度^[17],黏附性表示探头向上移动需克服物体表面黏性阻力而作的功,数值越大,被测物黏性越大。弹性表示被测物在被压冲后恢复到变形前的能力,即第2次的压冲程度与第1次的比值,无量纲。

咀嚼性从数值上看,咀嚼性=硬度×胶凝性。

胶黏性从数值上看,胶黏性等同弹性聚结性。

1.3.5 数据分析

采用Excel和SPSS软件进行数据处理和分析。

2 结果与分析

2.1 大豆分离蛋白添加量对质构特性的影响

根据1.3.2中单因素试验设计,研究大豆分离蛋白添加量对高水分挤压组织化样品的影响。

大豆分离蛋白添加量对产品质构的影响见表1。

由表1可知,大豆分离蛋白的添加直接影响到产品综合质构特性,随着大豆分离蛋白添加量的增

表1 大豆分离蛋白添加量对产品质构的影响

大豆分离蛋白添加量 / %	硬度	黏附性	弹性	咀嚼性	胶黏性
30	5.24 ± 1.29 ^{ab}	0.45 ± 0.25 ^{abc}	2.48 ± 0.58 ^a	4.68 ± 2.45 ^a	1.80 ± 0.66 ^a
35	8.22 ± 0.77 ^{ac}	0.35 ± 0.06 ^{bcd}	5.56 ± 0.75 ^{bc}	22.35 ± 4.34 ^{bcd}	4.00 ± 0.55 ^{bcd}
40	12.32 ± 2.90 ^c	0.49 ± 0.27 ^{ac}	5.25 ± 0.87 ^a	29.20 ± 10.96 ^{cd}	5.42 ± 1.33 ^c
45	5.26 ± 0.62 ^a	0.16 ± 0.04 ^{bc}	6.72 ± 0.48 ^d	25.00 ± 2.84 ^d	3.72 ± 0.42 ^b
50	6.82 ± 0.86 ^b	0.33 ± 0.05 ^b	4.28 ± 0.51 ^a	15.50 ± 3.19 ^a	3.60 ± 0.60 ^a

注：“±”后为标准偏差，标有不同字母的表示经方差检验在5%水平上达显著水平。下同

加，挤压产品的硬度、咀嚼性和胶黏性变化趋势一致，即先升高后下降。硬度与咀嚼性数值在大豆分离蛋白添加量为40%时，达到最高值12.32与29.20，产品成型明显；当大豆分离蛋白添加量大于40%时，硬度与咀嚼性开始显著降低，这是由于大豆分离蛋白中粗纤维含量相对较少，在一定的挤压条件下，当添加量过多时，影响产品的硬度与咀嚼性。根据

试验初步确定大豆蛋白分离白添加量的正交试验范围为35%~45%。

2.2 谷朊粉添加量对质构的影响

根据1.3.2中单因素试验设计，试验研究谷朊粉添加量对高水分挤压组织化样品的影响。

谷朊粉添加量对产品质构的影响见表2。

由表2可知，谷朊粉的添加对产品的硬度和咀

表2 谷朊粉添加量对产品质构的影响

谷朊粉添加量 / %	硬度	黏附性	弹性	咀嚼性	胶黏性
15	6.22 ± 1.85 ^a	0.47 ± 0.17 ^{cd}	2.15 ± 0.42 ^a	5.22 ± 1.73 ^a	2.44 ± 0.72 ^a
20	14.36 ± 0.83 ^b	0.70 ± 0.33 ^b	4.16 ± 0.44 ^{bcd}	24.37 ± 3.94 ^{bcd}	5.82 ± 0.40 ^{bcd}
25	10.26 ± 0.58 ^{ab}	0.24 ± 0.09 ^{ab}	4.38 ± 1.13 ^{ab}	26.07 ± 11.31 ^{ab}	5.74 ± 1.29 ^{ab}
30	9.18 ± 1.74 ^{ab}	0.26 ± 0.02 ^{ab}	4.67 ± 0.78 ^{ab}	27.82 ± 2.97 ^{ab}	6.04 ± 0.76 ^{ab}
35	9.00 ± 1.83 ^a	0.21 ± 0.04 ^a	4.46 ± 0.53 ^a	25.56 ± 2.98 ^a	5.82 ± 0.90 ^a

嚼性影响比较大，同时产品的形态、膨化度有了明显改观。随着谷朊粉添加量的增加，挤压产品的质构特性变化趋势，即先升高后下降，弹性与咀嚼性数值在谷朊粉添加量为30%时，达到最高值4.67与27.82。硬度逐渐减小，综合分析，谷朊粉是活性面筋，水溶后呈粉末状^[18-20]由于含有醇溶蛋白，富有黏性和膨

胀性，故能提供延展性^[21]，提高黏附性与胶黏性。初步确定谷朊粉添加量的正交试验范围为25%~35%。

2.3 玉米淀粉添加量对质构的影响

根据1.3.2中单因素试验设计，研究玉米淀粉添加量对高水分挤压组织化样品的影响。

玉米淀粉添加量对产品质构的影响见表3。

表3 玉米淀粉添加量对产品质构的影响

玉米淀粉添加量 / %	硬度	黏附性	弹性	咀嚼性	胶黏性
5	12.64 ± 2.12 ^{abd}	0.07 ± 0.01 ^{abcd}	1.68 ± 0.28 ^{abd}	11.10 ± 1.50 ^{abcd}	6.72 ± 1.15 ^{abd}
10	11.84 ± 1.80 ^b	0.08 ± 0.03 ^{bcd}	1.64 ± 0.28 ^{bcd}	10.68 ± 2.88 ^{bcd}	6.46 ± 1.09 ^{bcd}
15	17.26 ± 2.96 ^{cd}	0.07 ± 0.02 ^{ab}	1.46 ± 0.17 ^{cd}	12.74 ± 3.15 ^{ab}	8.70 ± 1.87 ^{cd}
20	14.84 ± 1.14 ^d	0.09 ± 0.02 ^{ab}	1.66 ± 0.45 ^d	12.77 ± 4.33 ^{ab}	7.60 ± 0.98 ^d
25	6.88 ± 1.78 ^a	0.09 ± 0.05 ^a	2.45 ± 0.68 ^a	10.09 ± 3.05 ^a	4.16 ± 0.87 ^a

由表3可知，添加玉米淀粉可在一定程度上改变产品的感官品质和质构特性^[22]。玉米淀粉的添加能促进产品完整成型，但产品表面较粗糙。随着玉米淀粉的增加，挤压产品的硬度、咀嚼性和胶黏性变化趋势一致，即先降低又上升后又降低，推测为玉米淀粉假塑性和不容易成型的特性，导致产品组织

不稳定。综合分析，初步确定玉米淀粉添加量的正交试验范围为10%~20%。

2.4 豆粕添加量对质构的影响

根据1.3.2中单因素试验设计，研究豆粕添加量对高水分挤压组织化样品的影响。

豆粕添加量对产品质构的影响见表4。

表4 豆粕添加量对产品质构的影响

豆粕添加量 / %	硬度	黏附性	弹性	咀嚼性	胶黏性
5	6.14 ± 0.35 ^{ac}	0.16 ± 0.05 ^{abcd}	1.70 ± 0.31 ^a	4.77 ± 0.96 ^a	2.82 ± 0.08 ^{ab}
10	7.48 ± 0.67 ^{bcd}	0.16 ± 0.02 ^{bcd}	1.87 ± 0.69 ^{bc}	6.36 ± 2.75 ^b	3.36 ± 0.49 ^{bc}
15	7.82 ± 1.36 ^{cd}	0.13 ± 0.08 ^{ab}	2.38 ± 0.31 ^{cd}	9.60 ± 2.80 ^{cd}	4.00 ± 0.79 ^{cd}
20	8.14 ± 1.17 ^d	0.20 ± 0.07 ^d	2.59 ± 0.30 ^d	10.62 ± 2.15 ^d	4.10 ± 0.60 ^d
25	5.36 ± 0.94 ^a	0.11 ± 0.01 ^a	0.80 ± 0.41 ^a	1.59 ± 1.22 ^a	1.82 ± 0.48 ^a

由表4可知,产品的硬度、弹性、咀嚼性、胶黏性在10%~20%逐渐增加,硬度、弹性、黏附性、咀嚼性、胶黏性数值在豆粕添加量为20%时,达到最高值8.14,0.20,2.59,10.62,4.10;当添加量为25%时,挤出为大颗粒粉末,产品无法成型,这是由于豆粕中粗纤维含量相对较高;当添加量过多时,在一定的挤压条件下影响产品的成型,豆粕为大豆榨油后的一种副产品^[23],其含有大豆异黄酮、大豆膳食纤维等,纤维物质的添加可以增加产品的纤维感^[24]。综合分析,初步确定豆粕添加量的正交试验范围为10%~20%。

2.5 正交试验设计与结果分析

在通过单因素试验进行结果分析的基础上,确定了正交试验水平梯度范围,进一步确定大豆分离蛋白、谷朊粉、玉米淀粉、豆粕等各原料的添加量。

正交试验设计方案见表5,正交试验结果见表6,正交因素与水平设计见表7。

表5 正交试验设计方案 / %

水平	A 大豆分离蛋白 添加量	B 谷朊粉 添加量	C 玉米淀粉 添加量	D 豆粕 添加量
1	35	25	10	10
2	35	30	15	15
3	35	35	20	20
4	40	25	15	20
5	40	30	20	10
6	40	35	10	15
7	45	25	20	15
8	45	30	10	20
9	45	35	15	10

2.6 极差分析

极差分析是正交试验中常用的分析方法,可以比较直观地排列出影响试验结果因素的主次^[25-26],找出最优组合,通过极差分析能较为直观清楚地将试验数据的因素主次排列。

$L_9(3^4)$ 正交试验结果见表8,正交试验极差分析结果见表9。

由表9可知,4个单因素变量中对大豆蛋白成品硬度的影响主次顺序为 $B<C<D<A$,最优组合为 $A_1B_3C_3D_3$;影响黏附性的主次顺序为 $C<B<A<D$,最优组合为 $A_3B_3C_2D_1$;影响弹性的主次顺序为 $B<C<A<D$,最优组合为 $A_2B_2C_3D_1$;影响咀嚼性的主次顺序

表6 正交试验结果

水平	硬度	黏附性	弹性	咀嚼性	胶黏性
1	8.04 ± 0.26	0.20 ± 0.03	2.85 ± 0.15	11.41 ± 0.93	3.80 ± 0.07
2	15.00 ± 2.43	0.09 ± 0.03	1.76 ± 0.12	14.11 ± 1.72	8.06 ± 1.11
3	54.98 ± 2.96	0.13 ± 0.06	1.79 ± 0.16	51.92 ± 4.67	29.10 ± 0.90
4	14.76 ± 1.91	0.10 ± 0.02	2.36 ± 0.21	19.37 ± 2.38	8.20 ± 0.62
5	6.60 ± 0.56	0.29 ± 0.08	3.99 ± 0.68	14.08 ± 3.11	3.56 ± 0.41
6	5.90 ± 1.06	0.14 ± 0.04	2.21 ± 0.18	6.97 ± 1.53	3.14 ± 0.56
7	6.70 ± 0.43	0.13 ± 0.05	1.67 ± 0.39	4.51 ± 1.29	2.68 ± 0.19
8	8.08 ± 0.41	0.17 ± 0.03	1.63 ± 0.11	4.83 ± 0.70	2.94 ± 0.30
9	5.12 ± 0.52	0.79 ± 0.35	3.32 ± 0.85	6.48 ± 2.64	1.88 ± 0.37

表7 正交因素与水平设计 / %

水平	A 大豆分离蛋白 添加量	B 谷朊粉 添加量	C 玉米淀粉 添加量	D 豆粕 添加量
-1	35	25	10	10
0	40	30	15	15
1	45	35	20	20

为 $B<C<D<A$,最优组合为 $A_1B_3C_3D_3$;影响胶黏性的主次顺序为 $B<C<D<A$,最优组合为 $A_1B_3C_3D_3$ 。综合分析最后可得最优配方为 $A_1B_3C_3D_3$ (即大豆分离蛋白添加量为35%,谷朊粉添加量为35%,玉米淀粉添加量为20%,豆粕添加量为20%)。

2.7 最佳工艺条件的确定

分析得最优配方为大豆分离蛋白添加量35%,谷朊粉添加量35%,玉米淀粉添加量20%,豆粕添加量20%,与表5正交试验设计方案中第3组正好相符。

3 结论

在大豆蛋白复配挤压工艺中,大豆蛋白、谷朊粉、玉米淀粉及豆粕对挤压产品品质的影响显著。大豆蛋白是成品的必备条件;谷朊粉有很好的延展性,为成品提供了较好的形态和膨化度;豆粕的添加促进了成品的纤维感官;玉米淀粉保持了产品的完整性和感官性。

经四因素三水平的正交试验设计及极差分析得到最优配方为大豆蛋白添加量35%,谷朊粉添加量35%,玉米淀粉添加量20%,豆粕添加量20%。

参考文献:

[1] 郑雅丹.植物蛋白的纤维组织化技术研究[D].杭州:

表8 $L_9(3^4)$ 正交试验结果

水平	A	B	C	D	X_1 硬度	X_2 黏附性	X_3 弹性	X_4 咀嚼性	X_5 胶黏性
1	-1	-1	-1	-1	8.04	0.20	2.85	11.41	3.80
2	-1	0	0	0	15.00	0.09	1.76	14.11	8.06
3	-1	1	1	1	54.98	0.13	1.79	51.92	29.10
4	0	-1	0	1	14.76	0.10	2.36	19.37	8.20
5	0	0	1	-1	6.60	0.29	3.99	14.08	3.56
6	0	1	-1	0	5.90	0.14	2.21	6.97	3.14
7	1	-1	1	0	6.70	0.13	1.67	4.51	2.68
8	1	0	-1	1	8.08	0.17	1.63	4.83	2.94
9	1	1	0	-1	5.12	0.79	3.32	6.48	1.88

表9 正交试验极差分析结果

指标	K_1	K_2	K_3	k_1	k_2	k_3	R	因素主次	最优组合
硬度	78.02	27.26	19.90	26.01	9.09	6.63	19.38	$B < C < D < A$	$A_1B_3C_3D_3$
	29.50	29.68	66.00	9.83	9.89	22.00	12.17		
	22.02	34.88	68.28	7.34	11.63	22.76	15.42		
	19.76	27.60	77.82	6.59	9.20	25.94	19.35		
黏附性	0.42	0.53	1.09	0.14	0.18	0.36	0.22	$C < B < A < D$	$A_3B_3C_3D_1$
	0.43	0.55	1.06	0.14	0.18	0.35	0.21		
	0.51	0.98	0.55	0.17	0.33	0.18	0.16		
	1.28	0.36	0.40	0.43	0.12	0.13	0.31		
弹性	6.40	8.56	6.62	2.13	2.85	2.21	0.72	$B < C < A < D$	$A_2B_2C_3D_1$
	6.88	7.38	7.32	2.29	2.46	2.44	0.17		
	6.69	7.44	7.45	2.23	2.48	2.48	0.25		
	10.16	5.64	5.78	3.39	1.88	1.93	1.51		
咀嚼性	77.44	40.42	15.82	25.81	13.47	5.27	20.54	$B < C < D < A$	$A_1B_3C_3D_3$
	35.29	33.02	65.37	11.76	11.01	21.79	10.78		
	23.21	39.96	70.51	7.74	13.32	23.50	15.76		
	31.97	25.59	76.12	10.66	8.53	25.37	16.84		
胶黏性	40.96	14.90	7.50	13.65	4.97	2.50	11.15	$B < C < D < A$	$A_1B_3C_3D_3$
	14.68	14.56	34.12	4.89	4.85	11.37	6.52		
	9.88	18.14	35.34	3.29	6.05	11.78	8.49		
	9.24	13.88	40.24	3.08	4.63	13.41	10.33		

注： K_1 为（第一水平，-1）； K_2 为（第二水平，0）； K_3 为（第三水平，1）； $k_1=K_1/3$ ； $k_2=K_2/3$ ； $k_3=K_3/3$ ，因素主次看 R ，最优组合根据 $K_1K_2K_3$ 最大值

浙江工业大学，2009.

- [2] Friedman M, Brandon D L. Nutritional and health benefits of soy proteins [J]. Agric. Food Chem, 2001, 49 (3): 1 069-1 086.
- [3] 陈锋亮, 魏益民, 张波, 等. 植物蛋白原料体系影响挤压组织化研究进展 [J]. 中国粮油学报, 2012, 27 (4): 110-113, 122.
- [4] 郑荣生. 大豆蛋白理化特性与挤压组织化产品特性关系的研究 [D]. 石河子: 石河子大学, 2013.
- [5] Riaz Mn. Soybeans as functional foods [J]. CFW, 1999, 44 (2): 88-92.
- [6] Lavers. Soya raises its profile [J]. Food Ingredients and Analysis International, 2001, 23 (1): 24-25.
- [7] Keshun L. Expanding soybean food utilization [J]. Food Technology, 2000, 54 (7): 46-58.
- [8] Pszczola D E. Soy: Why it's moving into mainstream [J]. Food Technology, 2000, 54 (9): 76-86.
- [9] 高连胜, 李铁红, 崔洪滨, 等. 适合婴儿配方奶粉用蛋白粉的研究 [J]. 食品工业, 2009, 30 (4): 52-55.
- [10] Ana Pavasovic, Alex J Anderson, Peter B. Mather. Effect of a variety of animal, plant and single cell-based feed ingredients on diet digestibility and digestive enzyme activity in red claw crayfish, *Cherax quadricarinatus* [J]. Aquaculture, 2007 (27): 564-572.
- [11] Ohr L M. A Magic beans prouts [J]. Prepared Foods, 2000 (2): 60-62.
- [12] 王淑娟. 大豆蛋白的功能特性解析——大豆蛋白的乳化特性 [J]. 肉类研究, 2007 (7): 53.
- [13] Lin S, Huff H. E, Hsieh F. Texture and chemical characteristics of soy protein meat extruded at high moisture [J]. Journal of Food Science, 2000, 65 (2): 264-269.
- [14] Hagan R C, Dahl S R, Villota R, et al. Texturization of co-precipitated soybean and proteins by twin-screw extrusion [J]. Journal of Food Science, 1986, 51 (2): 367-370.
- [15] N Badrie, W Mellowes. Texture and microstructure of cassava (*Manihot esculenta*) flour extrudate [J]. Journal of Food Science, 1991 (5): 1 319-1 322.
- [16] Valentina S, Paul A, Andrew P, et al. The recycling of brewer's processing by-product into ready-to-eat snacks using extrusion technology [J]. Journal of Cereal Science, 2008 (7): 469-479.
- [17] 夏建新, 王海滨, 徐群英. 肌肉嫩度仪与质构仪对燕麦复合火腿肠测定的比较研究 [J]. 食品科学, 2010 (3): 145-149.
- [18] 付博非, 刘晓, 徐绍建, 等. 谷朊粉的功能特性及改性研究 [J]. 中国食物与营养, 2012, 18 (11): 35-37.
- [19] 李逢振. 蛋清蛋白质功能特性及改性方法研究进展 [J]. 农产品加工, 2020 (19): 99-101.
- [20] 王叔全. 谷朊粉应用概述 [J]. 粮油食品科技, 2000 (2): 5-7.
- [21] 钟耕, 陈宗道. 小麦面筋蛋白及其化学改性研究 [J]. 粮食与饲料工业, 2001 (5): 41-43.
- [22] 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.
- [23] 何斌, 李多伟, 王晓燕. 豆粕有效成分的研究进展 [J]. 西北药学杂志, 2012, 27 (1): 86-88.
- [24] 郭树国, 王丽艳, 郭树行. 豆粕挤压膨化过程中化学成分变化分析 [J]. 中国农机化, 2005 (1): 67-69.
- [25] 唐佳丽, 徐章韬. 正交试验中的极差分析与方差分析 [J]. 中学数学, 2017 (9): 31-34.
- [26] 郝婉名, 祝超智, 赵改名, 等. 基于极差分析法、主成分分析与模糊数学法的沙茶烤牛肉工艺优化 [J]. 食品研究与开发, 2020, 41 (18): 91-97. ◇