

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2022.05.013

张莉, 司健芳, 李红箫, 等. 螺旋藻芋头豆粉团团的工艺优化[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(5): 172-177.

ZHANG L, SI J F, LI H X, et al. Process optimization of spirulina taro bean flour dumpling[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2022, 30(5): 172-177.

螺旋藻芋头豆粉团团的工艺优化

张莉, 司健芳, 李红箫, 周亚俐, 张喜喜, 时佳

(青岛农业大学 海都学院, 山东 莱阳 265200)

摘要: 选取优质的黑豆粉、螺旋藻、莱阳孤芋、菠菜为主要原料, 通过黑豆粉和螺旋藻、菠菜的合理搭配, 加入芋泥, 改进以糯米粉为主要原料的传统做法; 通过单因素实验与响应面实验探索螺旋藻芋头豆粉团团的最佳生产工艺。结果表明: 黑豆粉添加量为 9%, 螺旋藻添加量为 0.10%, 白砂糖添加量为 7%, 蒸制时间为 14 min 时, 获得的产品色泽天然, 呈浅绿色, 细腻软糯, 甜度适宜, 具有浓郁的豆香味。

关键词: 黑豆粉; 螺旋藻; 芋头; 工艺; 响应面法

中图分类号: TS214.9 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2022)05-0172-06

Process Optimization of Spirulina Taro Bean Flour Dumpling

ZHANG Li, SI Jian-fang, LI Hong-xiao, ZHOU Ya-li, ZHANG Xi-xi, SHI Jia

(Haidu College, Qingdao Agricultural University, Laiyang, Shandong 265200, China)

Abstract: High-quality black bean flour, spirulina, Laiyang taro and spinach were selected as the main raw materials in this study. Through the reasonable combination of black bean flour, spirulina and spinach, adding taro mud, the traditional practice of using glutinous rice flour as the main raw material was improved, and the best production process of spirulina and taro bean flour dumpling was explored through single factor test and response surface test. The results showed that when the content of black bean powder was 9%, the content of spirulina was 0.10%, the content of white sugar was 7%, and the steaming time was 14 minutes, the product had natural color of light green, tasting delicate and soft with suitable sweetness and strong bean flavor.

Key words: black bean flour; spirulina; taro; technology; response surface method

黑豆营养丰富, 其蛋白质含量高达 40%~50%^[1], 含有多种生物活性物质, 如花色苷、多糖、异黄酮等^[2], 其中 B 族维生素和维生素 E 含量较高, 其营养价值显著高于其它豆类^[3-4], 被誉为“东方黑珍珠”“植物蛋白之王”^[5]。螺旋藻是一种丝状

多细胞螺旋形藻类生物^[6], 因其形态而得名, 其蛋白质含量高达 60%~70%^[7-8], 富含藻多糖、不饱和脂肪酸、多种维生素等, 所含营养成分全面、均衡, 有“生命营养库”之称^[9]。但是螺旋藻直接食用口感较差, 且具有独特的藻腥味,

收稿日期: 2022-04-06

基金项目: 山东省教育厅重点项目 (Z2018X079); 青岛农业大学海都学院大学生创新项目 (CXCYC202101005); 青岛农业大学海都学院研究课题 (JY202105)

Supported by: Key Project of Shandong Provincial Department of Education (No.Z2018X079); College Student Innovation Project of Haidu College of Qingdao Agricultural University (No.CXCYC202101005); Research project of Haidu College of Qingdao Agricultural University (No.JY202105)

作者简介: 张莉, 女, 1979 年出生, 硕士, 副教授, 研究方向为食品科学。E-mail: lizhangluck@163.com.

市场上螺旋藻多被制作成胶囊片剂,用来制作食品的用途较少^[10]。莱阳孤芋是山东省莱阳市特产,皮薄糯甜、洁白细腻、富含营养。

目前,市场上的团类产品多以糯米为基础添加其他辅料如艾草、果馅等制成,添加豆粉等制作的团团产品暂无人研究。本研究选用优质的黑豆粉、螺旋藻、莱阳孤芋为主要原料,辅以糯米粉、白砂糖,添加菠菜汁以获得天然色泽,经过一系列加工制团蒸制得到螺旋藻芋头豆粉团团。产品新颖,特色鲜明,软糯细腻,兼具黑豆与螺旋藻的多重营养,健康美味,此豆粉团团的研发既可以增加团类产品新种类,又可以推动黑豆、螺旋藻及莱阳孤芋的进一步加工利用。

芋头→清洗去皮→蒸制→捣碎→过筛

螺旋藻、黑豆粉、糯米粉、白砂糖→研磨过筛→制团→成形→蒸制→冷却→包装

菠菜→清洗→漂烫→榨汁

1.3.2 操作要点

原料预处理:将干燥无杂质的螺旋藻、黑豆粉、糯米粉、白砂糖用研磨机研磨后过100目筛^[11];选择新鲜无腐烂的菠菜,清洗摘选备用;选择新鲜的莱阳孤芋,清洗去皮后切块备用^[12];

芋泥的制备:将预处理后的芋头块置于蒸锅内,100℃蒸制15min;冷却后使用捣泥器将蒸熟后的芋头捣成泥状,将芋泥过筛^[13]。

漂烫榨汁:将清洗的菠菜,放入沸水中漂烫1min,然后用榨汁机打成均匀、细腻的汁液,再用四层纱布过滤,得汁备用^[14-15]。

制团成形:将一定量的螺旋藻粉、黑豆粉、糯米粉、白砂糖混合均匀后,与芋泥混合,再少量多次加入菠菜汁制得色泽均匀的团团,借助模具成形。

团团蒸制:将成形后的团团放入蒸锅,100℃的条件下蒸制一定时间,即得成品。

1.3.3 单因素实验设计

1.3.3.1 黑豆粉添加量对螺旋藻芋头豆粉团团感官品质的影响 在芋泥为36%、糯米粉为39.9%、菠菜汁为8%、螺旋藻为0.10%、白砂糖为7%、100℃蒸制14min的条件下,分别添加7%、8%、9%、10%、11%的黑豆粉,制得成品后进行感官

1 材料与方法

1.1 实验材料

黑豆粉:市售;螺旋藻:云南德科特生物工程有限公司;糯米粉:上海松冠食品有限公司;白砂糖:弥勒市嘉宏食品有限责任公司。

1.2 仪器与设备

电子天平(BSM-2204):上海卓精电子科技有限公司;电磁炉:广东太古电器科技有限公司;研磨机:永康市金味来电器有限公司;榨汁机:中山市海马电器有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 工艺流程

评定,确定团团中黑豆粉的最佳用量。

1.3.3.2 螺旋藻添加量对螺旋藻芋头豆粉团团感官品质的影响 在芋泥为36%、糯米粉为39.9%、菠菜汁为8%、黑豆粉为9%、白砂糖为7%、100℃蒸制14min的条件下,分别添加0.05%、0.10%、0.15%、0.20%、0.25%的螺旋藻,制得成品后进行感官评定,确定团团中螺旋藻的最佳用量。

1.3.3.3 白砂糖添加量对螺旋藻芋头豆粉团团感官品质的影响 在芋泥为36%、糯米粉为39.9%、菠菜汁为8%、黑豆粉为9%、螺旋藻为0.10%、100℃蒸制14min的条件下,分别添加6%、7%、8%、9%、10%的白砂糖,制得成品后进行感官评定,确定团团中白砂糖的最佳用量。

1.3.3.4 蒸制时间对螺旋藻芋头豆粉团团感官品质的影响 在芋泥为36%、糯米粉为39.9%、菠菜汁为8%、黑豆粉为9%、螺旋藻为0.10%、白砂糖为7%、温度为100℃的条件下,分别蒸制11、12、13、14、15min,制得成品后进行感官评定,确定团团的最佳蒸制时间。

1.3.4 响应面实验设计

在单因素实验的基础上,选取黑豆粉添加量(A),螺旋藻添加量(B),白砂糖添加量(C),设计三因素三水平响应面实验,因素水平见表1。

1.3.5 感官评价标准

感官评定小组由 10 名专业的评定人员组成, 评价指标为外观(20 分)、质地(30 分)、气味(20 分)、口感(30 分), 评定人员对产品进行综合评价, 螺旋藻芋头豆粉团团的感官评价标准见表 2。

表 1 响应面设计因素水平表

Table 1 Response surface design factor level table %

水平	因素		
	A 黑豆粉添加量	B 螺旋藻添加量	C 白砂糖添加量
-1	8	0.05	6
0	9	0.10	7
1	10	0.15	8

表 2 螺旋藻芋头豆粉团团感官评价标准

Table 2 Sensory evaluation criteria of spirulina spinach and bean flour 分

项目	评价标准	感官评分
外观 (20 分)	光滑饱满, 呈浅绿色, 色泽均匀	16~20
	稍有粗糙, 颜色较深或较浅, 色泽不均	11~15
	粗糙松软, 颜色过深或过浅, 且色泽极其不均	0~10
质地 (30 分)	软硬适中	21~30
	稍软或稍硬	11~20
	过硬或过软	0~10
气味 (20 分)	香味纯正, 无豆腥味及其他异味	16~20
	香味不显, 豆腥味偏大	11~15
	有明显豆腥味和异味	0~10
口感 (30 分)	甜度适中, 细腻爽口, 不黏牙	21~30
	稍甜或稍淡, 有轻微颗粒感, 微微黏牙	11~20
	滋味偏甜或偏淡, 颗粒感突出, 黏牙	0~10

1.4 数据分析

先是采用 WPS office 2021 对数据进行处理及分析, 后用 Design Expert 10 软件进行响应面实验分析。

2 结果与分析

2.1 单因素实验

2.1.1 黑豆粉添加量的确定

黑豆粉是螺旋藻芋头豆粉团团色泽跟风味形成的重要因素之一, 其添加量直接影响团团的感官。由图 1 可知, 当黑豆粉添加量为 9% 时, 螺旋藻芋头豆粉团团感官评定得分最高, 所制得的豆粉团团呈浅绿色, 色泽均匀, 无豆腥味, 软糯适中。当黑豆粉添加量低于 9% 时, 豆粉团团色泽较浅, 豆香味不够明显。而当黑豆粉添加量高于 9% 时, 豆粉团团色泽发暗不均匀, 且豆腥味

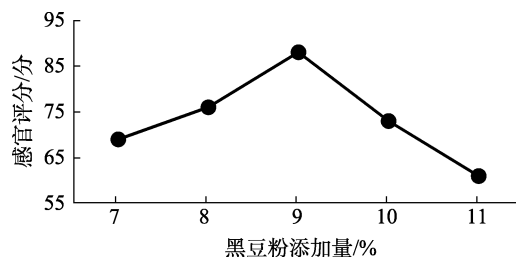


图 1 黑豆粉添加量对螺旋藻芋头豆粉团团感官品质的影响

Fig.1 Effect of black bean flour addition on sensory quality of spirulina taro bean flour dumpling

较重。因此, 黑豆粉的最佳添加量为 9%。

2.1.2 螺旋藻添加量的确定

由图 2 可知, 当螺旋藻添加量为 0.10% 时, 螺旋藻芋头豆粉团团感官评分最高, 所制得的豆粉团团呈浅绿色且色泽均匀, 香味纯正, 无异味。当螺旋藻添加量低于 0.10% 时, 所制得的豆粉团团色泽较浅且不均匀。当螺旋藻添加量高于 0.10% 时, 豆粉团团颜色较深发暗, 有比较明显的藻腥味。因此, 螺旋藻的最适添加量为 0.10%。

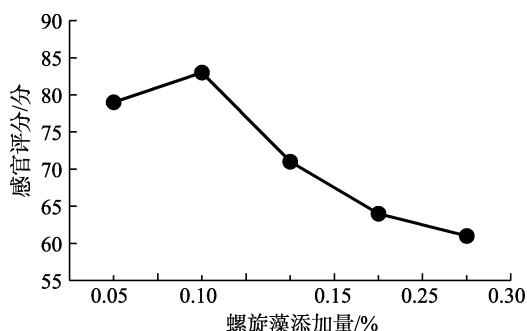


图 2 螺旋藻添加量对螺旋藻芋头豆粉团团感官品质的影响

Fig.2 Effect of spirulina addition on sensory quality of spirulina taro bean flour dumpling

2.1.3 白砂糖添加量的确定

由图 3 可知, 当白砂糖添加量为 7%, 螺旋藻芋头豆粉团团感官评定得分最高, 所制得的豆粉团团甜度适中, 细腻软糯, 无豆腥味。当白砂糖添加量低于 7% 时, 豆粉团团甜度较淡, 豆腥味较重。当白砂糖添加量高于 7% 时, 豆粉团团过于甜腻, 口感不佳。因此, 选择 7% 为白砂糖的最适添加量。

2.1.4 蒸制时间的确定

由图 4 可知, 随着蒸制时间的延长, 螺旋藻芋头豆粉团团的感官评分呈先升高后下降的趋势, 当蒸制时间为 14 min 时, 豆粉团团感官评分最高, 产品软硬适中, 细腻有弹性, 不黏牙。当

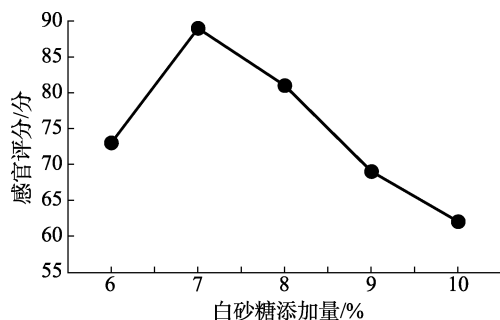


图3 白砂糖添加量对螺旋藻芋头豆粉团团感官品质的影响

Fig.3 Effect of white sugar addition on sensory quality of spirulina taro bean flour dumpling

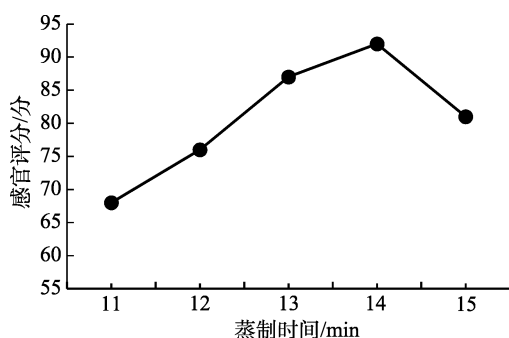


图4 蒸制时间对螺旋藻芋头豆粉团团感官品质的影响

Fig.4 Effect of steaming time on sensory quality of spirulina taro bean flour dumpling

蒸制时间少于 14 min 时, 豆粉团团硬度较大, 有颗粒感。当蒸制时间大于 14 min 时, 豆粉团团软塌不成型, 粘性过大, 容易黏牙。因此, 豆粉团团的最适蒸制时间为 14 min。

2.2 响应面实验

2.2.1 响应面实验设计及结果

表3 响应面实验设计及结果

Table 3 Response surface test design and results

实验编号	因素			感官评分/分
	A 黑豆粉添加量/%	B 螺旋藻添加量/%	C 白砂糖添加量/%	
1	-1	0	-1	66
2	-1	0	1	73
3	0	-1	-1	64
4	0	-1	1	71
5	1	0	1	65
6	-1	-1	0	67
7	-1	1	0	68
8	0	1	1	69
9	0	0	0	82
10	1	0	-1	60
11	0	0	0	86
12	1	-1	0	62
13	1	1	0	61
14	0	0	0	84
15	0	0	0	85
16	0	0	0	86
17	0	1	1	63

2.2.2 回归方程与方差分析

采用 Design Expert 10 软件进行相关分析, 黑豆粉添加量 (A)、螺旋藻添加量 (B) 及白砂糖添加量 (C) 之间多元二次回归方程为: $Y=84.60-3.25A-0.37B+1.62C-0.50AB-0.50AC-3.25BC-10.43A^2-9.68B^2-8.17C^2$ 。

由表 4 可知, 螺旋藻芋头豆粉团团感官评分建立的回归模型的 F 值为 39.39, P 值 < 0.000 1, 说明建立的模型极显著。而失拟项 P 值为 0.257 2, $P > 0.05$, 不显著, 说明对实验的拟合程度较高。从表中 F 值大小也可以看出, 3 个因素对螺旋藻芋头豆粉团团感官品质的影响顺序为: $A > C > B$, 即黑豆粉添加量 > 白砂糖添加量 > 螺旋藻添加量。其中, 黑豆粉添加量是最主要的因素。

表4 回归方程方差分析

Table 4 Analysis of variance of regression equation

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	1 415.58	9	157.29	39.39	<0.000 1	**
A	84.50	1	84.50	21.16	0.002 5	**
B	1.13	1	1.13	0.28	0.612 0	
C	21.13	1	21.13	5.29	0.055 0	
AB	1.00	1	1.00	0.25	0.632 1	
AC	1.00	1	1.00	0.25	0.632 1	
BC	42.25	1	42.25	10.58	0.014 0	*
A ²	457.60	1	457.60	114.61	<0.000 1	**
B ²	394.13	1	394.13	98.71	<0.000 1	**
C ²	281.39	1	281.39	70.47	<0.000 1	**
残差	27.95	7	3.99			
失拟项	16.75	3	5.58	1.99	0.257 2	
纯误差	11.20	4	2.80			
总和	1 443.53	16				

注: $P < 0.01$, 用**表示, 极显著; $P < 0.05$, 用*表示, 显著。

Note: $P < 0.01$, represented by **, extremely significant; $P < 0.05$, marked by *, significant.

2.2.3 响应面交互作用分析

由图 5 可知, 螺旋藻芋头豆粉团团的感官评分随着黑豆粉添加量和螺旋藻添加量的增加均呈先上升再下降趋势; 等高线呈圆形, 说明黑豆粉添加量和螺旋藻添加量交互作用不显著。

由图 6 可知, 螺旋藻芋头豆粉团团的感官评分随着黑豆粉添加量的增加先呈上升趋势再快速下降, 变化幅度较大; 随着白砂糖添加量的增加亦先上升后下降, 变化幅度较平缓。等高线图趋近圆形, 说明黑豆粉添加量和白砂糖添加量的交互作用不显著。

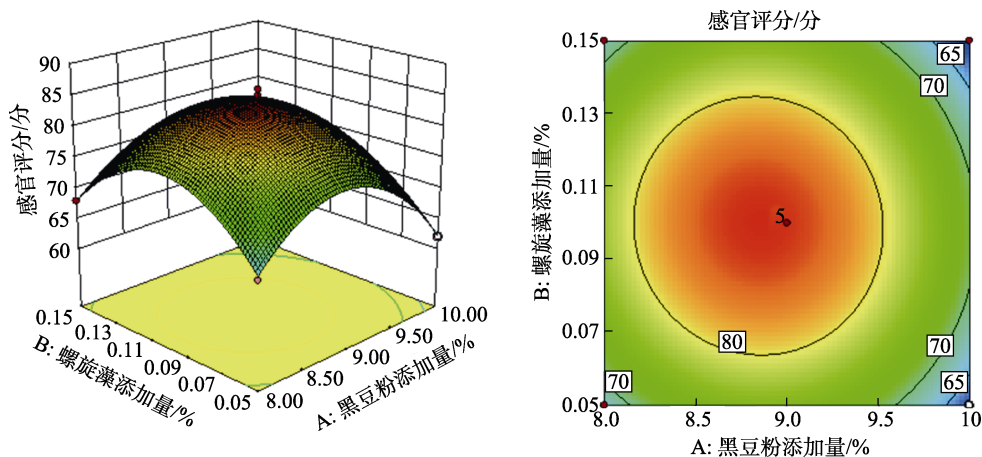


图 5 黑豆粉添加量和螺旋藻添加量交互作用对豆粉团团感官评分的影响

Fig.5 Effect of the interaction between the amount of black bean flour and spirulina on sensory score of the bean flour dumpling

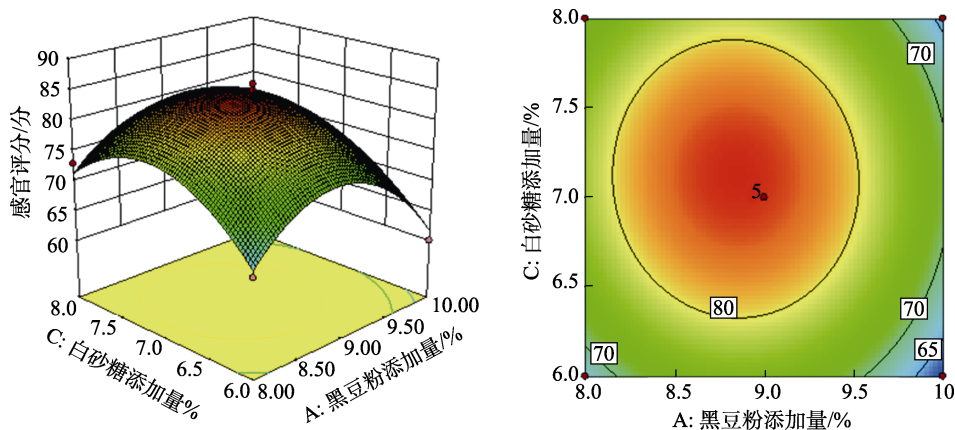


图 6 黑豆粉添加量和白砂糖添加量交互作用对豆粉团团感官评分的影响

Fig.6 Effect of the interaction between the amount of black bean flour and white sugar on sensory score of the bean flour dumpling

由图 7 可知,螺旋藻芋头豆粉团团的感官评分随着螺旋藻添加量与白砂糖添加量的增加呈先升高后降低的趋势。曲面图较为陡峭,等高线图呈椭圆形,说明螺旋藻添加量和白砂糖添加量的

交互作用是显著的。

2.2.4 最佳工艺条件实验验证

由 Design Expert 10 软件分析结果得到豆粉团团的最佳工艺参数为:黑豆粉添加量 8.842%,

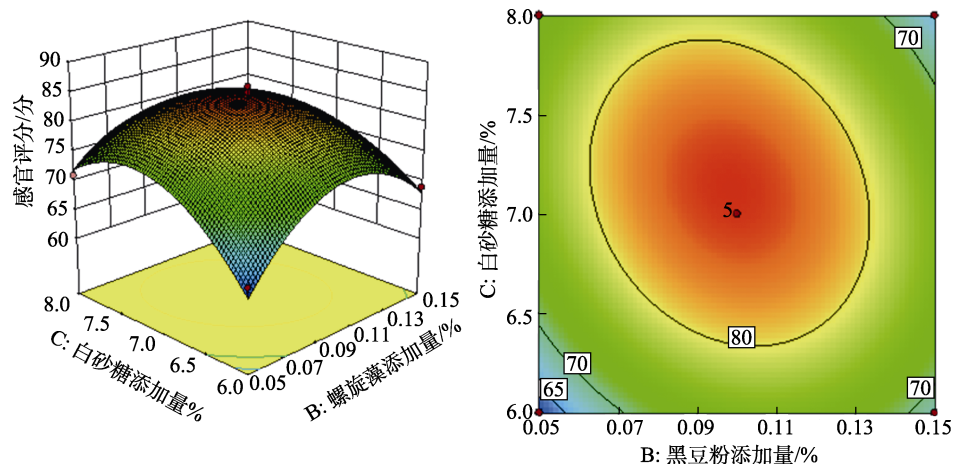


图 7 螺旋藻添加量和白砂糖添加量交互作用对豆粉团团感官评分的影响

Fig.7 Effect of the interaction between the amount of spirulina and white sugar on sensory score of the bean flour dumpling

螺旋藻添加量 0.098%，白砂糖添加量 7.110%，获得的螺旋藻芋头豆粉团感官评分为 84.95 分。考虑实际的生产操作需要，将参数修正为：黑豆粉添加量 9%，螺旋藻添加量 0.10%，白砂糖添加量 7%，经过 3 次重复验证实验，螺旋藻芋头豆粉团的最终感官评分为 83.8，与预测值接近，说明该最优工艺方案是合理可行的。

3 结论

通过单因素实验和响应面实验，得到螺旋藻芋头豆粉团的最佳工艺条件：黑豆粉添加量为 9%，螺旋藻添加量为 0.10%，白砂糖添加量为 7%，100℃下蒸制时间为 14 min，加工获得的豆粉团团色泽天然，呈浅绿色，细腻光滑，软糯香甜，豆香浓郁，口感佳。

参考文献：

- [1] 陆恒. 黑豆蛋白质的营养价值优势及利用对策[J]. 现代商贸工业, 2003(2): 40-42.
LU H. The nutritive value advantage of the protein of the black soya bean and countermeasure of utilizing[J]. Modern Trade and Industry, 2003(2): 40-42.
- [2] 牛小杰, 孙鲁阳. 黑豆中花色苷的研究进展[J]. 现代农业研究, 2021, 27(11): 48-49.
NIU X J, SUN L Y. Progress in colorsides in black beans[J]. Modern Agricultural Research, 2021, 27(11): 48-49.
- [3] 李文斌. 黑豆营养保健功能的研究与产品开发[J]. 食品工程, 2010(4): 19-20.
LI W B. Study and development of the nutritional and healthy function of black soybean[J]. Food Engineering, 2010(4): 19-20.
- [4] 葛玉琨, 陈芹, 金雪莲, 等. 黑豆糕制作工艺的研究[J]. 农产品加工, 2017(22): 32-33.
GE Y K, CHEN Q, JIN X L, et al. Study on the processing technology of black bean cake[J]. Agricultural Product Processing, 2017(22): 32-33.
- [5] 王凤舞, 朴美子, 李文凤. 黑豆糕的研制[J]. 粮油食品科技, 2012(6): 80-83.
WANG F W, PIAO M Z, LI W F. Preparation of black bean cake[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2012(6): 80-83.
- [6] 崔玮, 张永博, 单雪银, 等. 洋葱螺旋藻葡萄酒的酿制及降血脂作用研究[J]. 农产品加工, 2021(24): 17-20.
CUI W, ZHANG Y B, SHAN X Y, et al. Study on the brewing and blood lipid lowering effect of onion spirulina wine[J]. Agricultural Product Processing, 2021(24): 17-20.
- [7] 钟凯. 科学解读“21 世纪最理想食品”螺旋藻[J]. 中国食品, 2018(8): 130-131.
ZHONG K. Scientific interpretation of “The most ideal food in the 21st century” Spirulina[J]. Chinese Food, 2018 (8): 130-131.
- [8] SADEGHI S, JALILI H, SIADAT S O R. Anticancer and antibacterial properties in peptide fractions from hydrolyzed spirulina protein[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2018, 20(4): 673-683.
- [9] 赵晓山. 螺旋藻的营养价值和功能分析[J]. 科教导刊, 2018, (30): 295.
ZHAO X S. Analysis of nutritional value and function of Spirulina[J]. Science and Education Guide, 2018, (30): 295.
- [10] 程秀云, 罗建玲, 罗玉芳. 螺旋藻破壁脱腥方法的研究[J]. 福建轻纺, 2015(4): 37-40.
CHEN X Y, LUO J L, LUO Y F. Study on the wall-breaking and Deodorization of spirulina[J]. Fujian Light Textile, 2015(4): 37-40.
- [11] 范亭亭, 谢岩黎, 王晨, 等. 黑豆粉-小麦粉共混体系的线性和非线性蠕变-回复分析[J]. 粮油食品科技, 2020, (5): 24-30.
FAN T T, XIE Y L, WANG C, et al. Linear and nonlinear creep-recovery analysis of black bean-wheat flour blend system[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2020, (5): 24-30.
- [12] 席亭亭, 沈镒, 巩敏, 等. 芋头粘多糖的去除工艺及芋头淀粉特性的研究[J]. 粮油食品科技, 2013, (6): 11-14.
XI T T, SHEN D, GONG M, et al. The technology of removing mucopolysaccharide from taro and determination of the properties of taro starch[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2013, (6): 11-14.
- [13] 郭晓婷, 刘树萍, 董美鑫, 等. 芋泥添加对猪肉丸子品质影响[J]. 肉类工业, 2019(11): 1-6.
GUO X T, LIU S P, DONG M X, et al. The effect of adding taro mud on the quality of pork balls[J]. Meat Industry, 2019(11): 1-6.
- [14] 薛建娥, 蔺楠, 岳子燕, 等. 响应面法优化菠菜胡萝卜挂面工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2020(10): 122-127.
XUE J E, LIU N, YUE Z Y, et al. Optimization of spinach carrot noodles by response surface methodology[J]. Food Research and Development, 2020(10): 122-127.
- [15] 兰小艳, 张敬慧, 郭云霞, 等. 菠菜馒头工艺优化的研究[J]. 现代食品, 2020(12): 106-108.
LAN X Y, ZHANG J H, GUO Y X, et al. Study on the process optimization of spinach steamed bread[J]. Modern Food, 2020(12): 106-108. ☞

备注：本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lyspkj.ijournal.cn>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。