

富硒营养黑麦片加工工艺研究

孟晶岩, 栗红瑜, 张倩芳, 李敏, 李新明

(山西省农业科学院农产品加工研究所, 特色农产品加工山西省重点实验室, 山西太原 030031)

摘要:以黑小麦为主要原料, 探究富硒营养黑麦片加工工艺条件和最佳配方。通过单因素和正交试验确定富硒营养黑麦片的最佳工艺条件为: 双螺杆挤压膨化机五区温度分别为 60、100、100、50、40 ℃, 加水量 25 %, 面粉细度 140 目, 干燥时间 30 min, 硒化卡拉胶的添加量 0.168 mg/kg, 藜麦添加量 50 %, 烘干温度 50 ℃, 果浆含量 30 %, 蔗糖 15 %, 柠檬酸 0.08 %。在该条件下富硒营养黑麦片的熟化度、品质较好, 黑小麦中的硒元素损失可以降低最小。

关键词:黑小麦; 富硒; 挤压膨化; 硒化卡拉胶; 正交试验

Study of Processing Technology of Selenium Enriched Nutritious Black Cereals

MENG Jing-yan, LI Hong-yu, ZHANG Qian-fang, LI Min, LI Xin-ming

(Institute of Agricultural Product Processing, Shanxi Academy of Agricultural Science, Shanxi Key Laboratory of Characteristic Agricultural Product Processing, Taiyuan 030031, Shanxi, China)

Abstract: Using triticale as raw material, the processing technology and optimal formula of selenium enriched nutritious cereals was investigated. Basing on single-factor and orthogonal test, optimal processing parameters of selenium-enriched nutritious cereals were as followings: five zone temperature (60, 100, 100, 50 ℃ and 40 ℃) of twin screw extruder, addition quantity of water 25 %, flour fineness 140 mesh, dryness time 30 mins, addition quantity of kappa-selenocarrageenan 0.168 mg/kg, addition quantity of quinoa 50 %, dryness temperature 50 ℃, fruit pulp content 30 %, sucrose 15 %, citric acid 0.08 %. Under the condition, degree of cure and quality of selenium enriched nutritious cereals were the best. Selenium loss in triticale was the lowest.

Key words: triticale; selenium enrichment; extrusion; selenide carrageenan; orthogonal test

引文格式:

孟晶岩, 栗红瑜, 张倩芳, 等. 富硒营养黑麦片加工工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(12): 116-121

MENG Jingyan, LI Hongyu, ZHANG Qianfang, et al. Study of Processing Technology of Selenium Enriched Nutritious Black Cereals[J]. Food Research and Development, 2019, 40(12): 116-121

黑小麦是一种天然的富硒黑色营养谷物, 硒是对人体健康很重要的元素, 食物中缺少硒会引起肌肉萎缩、心血管和肝脏疾病等^[1-3], 硒在体内不仅能解毒还可以阻止癌细胞生长, 防癌抗癌, 调理血脂, 增强免疫力; 调节人体对维生素的吸收; 护肝补肾^[4]。黑小麦中蛋白质的含量高达 17 %, 而优质普通小麦蛋白质的含量仅在 15 % 以下^[5-6]。氨基酸的含量比推广的优质普通小麦高出 37.33 %。目前, 国内黑小麦的应用主要集中于全麦粉和精选黑小麦产品的开发^[7-8], 而富硒黑小麦

片作为一种新兴的功能性方便食品^[9], 是近年来颇受关注的黑小麦新产品, 其市场潜力和利润空间较大。

目前, 不同种类的麦片研究较多, 但针对黑小麦富硒的特点进行研究鲜有报道。本研究拟采用挤压膨化技术^[10], 克服黑小麦黏性差、成型难的问题, 对富硒营养黑小麦麦片加工工艺进行研究^[11], 旨为该技术的大规模工业化生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

黑小麦 76 号: 山西省农业科学院作物所提供; 乌麦 526 号: 山西省农业科学院棉花研究所提供; 硒化卡

基金项目: 山西省科技厅科技攻关项目(2140311024-1)

作者简介: 孟晶岩(1968—), 男(汉), 副研究员, 硕士, 研究方向: 农产品加工。

拉胶:青岛鹏洋科技发展有限公司;纯净水:市售。

FMHE36-24 双螺杆挤压机:湖南富马科食品工程技术有限公司;BF-I 型搅拌混合机:济南赛信膨化机械公司;KC-705 型粉碎机:北京同和科技发展有限公司。

1.2 方法

1.2.1 工艺流程

原料→去杂→粉碎→挤压膨化→添加混合→压片→干燥→灭菌→包装→成品

1.2.2 操作要点

- 1)筛选优质黑小麦,去除黑小麦中的灰尘、杂质。
- 2)将精选好的黑小麦放入流化床进行烘干,烘干温度为 40℃、时间为 20 min~30 min。
- 3)将烘干后的黑小麦放入粉碎机进行粉碎处理,粉碎后黑小麦粉的粒度要达到 100 目以上。
- 4)取粉碎好的黑小麦粉 100 kg,硒化卡拉胶添加量为 168 μg/kg,硒总量为 3%,进行混合得到混合物料。
- 5)用双螺杆挤压对混合物料进行挤压膨化,双螺杆挤压机分 5 个区域温度处理,分别为 60、100、100、50℃和 40℃,物料的喂料量为 18 kg/h、添加水分量为 25%,双螺杆挤压机的切割速率为 700 r/min。
- 6)将熟化好的物料通过流化床进行干燥,干燥温度为 60℃、时间为 30 min。
- 7)将干燥后的物料放入烤炉机烘焙,进行第二次熟化,烤炉机进、出口温度都为 100℃,烤炉机的传送带速率为 70 m/s。
- 8)将二次熟化后的物料冷却至常温,即得到紫色均匀的富硒黑麦片,最后检验、包装即可。

1.2.3 黑小麦加工品种的筛选

黑小麦具有高蛋白、低脂肪、高纤维、低热能的独

特营养特点和多种保健功能^[12-13]。就山西省来讲主要有黑小麦 76 号、乌麦 526 号,种植面积大,分布广,品种之间品质差异也较大,因此把这两个品种作为主要的加工品种,在黑小麦的主要营养成分含量、微量元素含量、蒸煮品质等方面进行对比筛选。

1.2.4 挤压机微膨熟化区温度优化设计

在黑小麦片的加工中,考虑到硒在高温的状态下,时间越久,损失越大的性质^[14],采用 FMHE36-24 双螺杆挤压机进行分阶段分步骤控温处理,以全粉片产品的外观形状、色泽、气味、弹韧性、粘牙、结构作为品质分析的标准。项目正交分析采用 SPSS 分析软件。

1.2.5 黑小麦粉中硒化卡拉胶强化量的设计试验以及黑小麦全麦片硒元素的测定

硒化卡拉胶强化量的设计依据:按 GB 14880-2012《食品营养强化剂使用标准》的规定,硒化卡拉胶作为谷类及其制品强化硒的原料时,以元素硒计强化量为 140 μg/kg~280 μg/kg。试验中采用硒强化量以其下限的 1.2 倍为依据,即硒的强化量为 0.168 mg/kg (0.0168%),设计硒强化基本量 0.168 mg/kg 的 0.5 倍、1 倍和 1.5 倍 3 个水平并进行硒化卡拉胶(硒酸酯多糖)的理化指标的测定^[15-16]。

1.2.6 富硒营养黑麦片加工工艺优化

在以上试验的基础上,选择强化硒的不同倍数,加水量,粉碎细度,干燥时间 4 个因素进行正交试验 L₉(3⁴)。以黑麦片的熟化度以及硒含量为考察指标,对富硒营养黑麦片加工工艺进行优化。

1.2.7 富硒麦片感官评分以及数据分析方法

以麦片的色泽、气味、口感、外观形态、耐煮性为指标对麦片感官进行评价,数据分析是以满分 100 分记,采用感官指标评分标准独立对样品进行打分,取平均值为该样品得分,感官评定标准见表 1。

表 1 感官评分标准
Table 1 Sensory score evaluation criteria

感官评分	感官评定项目				
	色泽	气味	外观形态	耐煮性	口感
85~100	麦片呈褐色、光亮	黑麦麦香味较浓、无异味	麦片外形完整,无碎片	麦片浸泡后达到食用状态,有良好的弹性和韧性	口感软硬适中
60~84	麦片呈褐色、光亮度差	黑麦麦香味较淡、无异味	较完整 有少量碎片	弹性和韧性一般	稍偏软或硬
60 分以下	色发灰或发暗、亮度差	有异味	碎片较多	嚼劲差无弹性	太硬或太软

2 结果与分析

2.1 黑小麦加工品种的筛选结果

试验对选用的黑小麦 76 号、乌麦 526 号同普通小麦(鲁抗 14)在主要营养成分含量、微量元素含量、蒸

煮品质等方面进行了对比,结果见表 2。

从表 2 中可以看出,黑小麦 76、乌麦 526 的营养成分含量比普通小麦(鲁抗 14)优越,尤其是硒的含量分别是 0.273 mg/kg 和 0.200 mg/kg,远远高于普通小麦

表 2 黑小麦 76 与乌麦 526 的主要营养成分与对照的比较结果

Table 2 Comparison of main nutritional components between triticale 76 and 526

测定项目	黑小麦 76	乌麦 526	普通小麦(鲁抗 14)
蛋白质/%	15.41	16.1	12.21
脂肪/%	2.5	1.7	1.5
纤维素/%	4.6	4.6	3.2
碳水化合物/%	68.9	66.4	73.4
铁/(mg/kg)	37.08	29.2	21.9
锌/(mg/kg)	4480	2280	2230
钙/(mg/kg)	399.0	450.0	450.0
磷/(mg/kg)	2400	3280	1600
硒/(mg/kg)	0.273	0.200	0.09
维生素 B ₁ /(mg/100 g)	39.8	14.8	8.17
维生素 B ₂ /(mg/100 g)	6.6	11.4	7.52

的 0.09 mg/kg。而且具有良好的加工品质^[17-18]。就黑小麦 76、乌麦 526 两个黑小麦品种而言。乌麦 526 的蛋白质和纤维素以及矿质元素含量均衡,尤其是谷物蛋白质较高,在预试验中发现乌麦 526 比黑小麦 76 的黏度高,紧密型强,是更易于进行加工的黑麦品种^[19-20],因此,试验选用乌麦 526 为加工的原料。

2.2 挤压机微膨熟化区温度优化设计结果

根据 FMHE36-24 双螺杆挤压机的结构特性进行分阶段分步骤控温处理。在熟化段 3、4 区的温度设定为 100、120、140 ℃,进行比较试验,在 5、6 区的温度设定为 60 ℃~30 ℃,进行黑麦片的熟化。正交试验结果见表 3~表 4。

表 3 试验因素和水平安排

Table 3 Experimental factors and level arrangement

水平	因素			
	A 3 区温度/℃	B 4 区温度/℃	C 5 区温度/℃	D 6 区温度/℃
1	100	100	60	50
2	120	120	50	40
3	140	140	40	30

表 4 黑小麦全麦片熟化温度正交试验结果

Table 4 Orthogonal test for whole wheat cereal aging temperature

试验号	A	B	C	D	综合评分
1	1	1	1	1	86.6
2	1	2	2	2	85.5
3	1	3	3	3	80.51
4	2	1	2	3	84.68
5	2	2	3	1	82.32
6	2	3	1	2	80.43
7	3	1	3	2	80.49

续表 4 黑小麦全麦片熟化温度正交试验结果

Continue table 4 Orthogonal test for whole wheat cereal aging temperature

试验号	A	B	C	D	综合评分
8	3	2	1	3	78.79
9	3	3	2	1	76.6
k ₁	84.20	83.92	81.94	81.84	
k ₂	82.48	82.20	82.26	82.14	
k ₃	78.62	79.18	81.11	81.32	
R	5.58	4.74	1.15	0.82	

由表 4 可知,对黑小麦片熟化温度进行分析:从 k 值可以得出挤压膨化机最佳加工温度组合为 A₁B₁C₂D₂,由 R 值分析可知,影响黑小麦全麦片熟化温度的因素主次因素顺序为:A>B>C>D。即 3 区温度>4 区温度>5 区温度>6 区温度。经感官综合评定可知,黑小麦全麦片熟化温度试验最佳组合为 A₁B₁C₂D₂ 或者 A₁B₁C₁D₁。

正交试验方差分析表见表 5。

表 5 正交试验方差分析

Table 5 Analysis of variance of orthogonal test

因素	偏差平方和	自由度	F 值	F _{0.05}	显著性
A	48.903	2	24.452	31.128	*
B	34.598	2	17.299	22.023	*
C	2.127	2	1.064	0.387	
D	1.015	2	0.508	0.025 1	
误差	0.001	2			
校正的总计	86.643	8			

注:* 表示差异显著 P<0.05。

由表 5 可知,3、4 区温度对黑小麦全麦片的感官评分影响极显著。5、6 区的温度对感官影响不大,差异不显著,主要原因是感官评定受多方因素的影响,如时间、地点、温度、以及品鉴人的专业水准差别,致使感官评分和正交试验出现偏差,从生产实际以及硒元素损失情况考虑,确定挤压膨化最佳温度组合为 A₁B₁C₂D₂,即挤压膛 3、4、5、6 区温度分别为 100、100、50、40 ℃。2 区温度是机器固定的区域温度,为 60 ℃。

2.3 验证试验

取正交试验最优组合,进行 3 次重复试验,结果见表 6。

由表 6 可知,在最优组合条件下进行黑小麦片的加工,以黑小麦的感官综合评分作为测定指标,结果稳定,且数值高于 1 号试验组。因此,挤压膨化机的温度最终优化方案为:挤压膛 3、4、5、6 区温度分别为

表 6 3 次平行试验结果
Table 6 Results of three parallel experiments

项目	感官综合评分
重复 1	86.3
重复 2	88.2
重复 3	86.8
均值	87.1
标准偏差	0.984 9

100、100、50、40℃。

2.4 黑小麦粉中硒化卡拉胶强化量的设计试验以及黑小麦全麦片硒元素的测定结果

试验中采用添加有机硒的方法,对黑小麦片加工中进行硒元素的补充,试验数据由北京营养源研究所提供(见表 7)。

表 7 不同倍数硒化卡拉胶制备黑小麦硒元素的比较
Table 7 Comparison of selenium content in triticale prepared by seleno carrageenan with different times

序号	处理	硒/(mg/kg)
1	0.5 倍样	0.404
2	1 倍样	2.30
3	1.5 倍样	2.89
4	原料	0.134
5	对照样	0.107

从测样结果来看,3 种处理都使谷物的硒含量得到有效的补充,但 1.5 倍硒化卡拉胶添加的黑小麦全麦片的硒元素含量 2.89 mg/kg 要大于国家的硒添加量,根据实际情况选用添加硒化卡拉胶 0.168 mg/kg。

2.5 富硒营养黑麦片加工工艺单因素试验结果与分析

2.5.1 物料细度对感官品质的影响

在试验中物料以 4 个不同的细度加入,对产品的感官综合评定,细度对感官品质的影响见图 1。

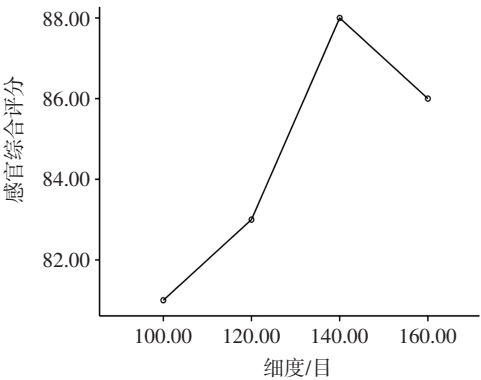


图 1 细度对感官品质的影响

Fig.1 Effect of fineness on sensory quality

从图 1 可以看出细度从 100 目到 140 目,产品的

感官评分呈上升趋势,到 160 目时趋于下降,分析是因为随着物料细度的提高,口感细腻,但黏度也随之增大,导致产品外观孔隙增大^[21-22],不光滑,影响感官效果。综合考虑选择物料细度为 140 目。

2.5.2 加水量对感官品质的影响

加水量对感官品质的影响见图 2。

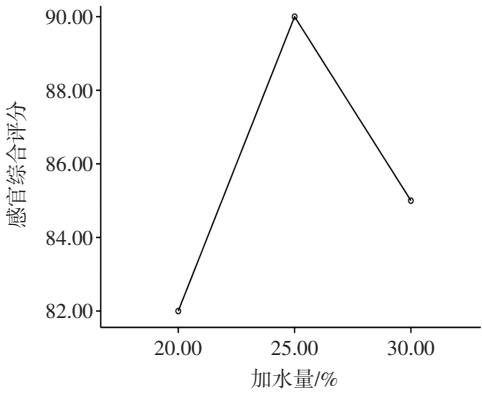


图 2 加水量对感官品质的影响

Fig.2 Effect of Water Addition on Sensory Quality

由图 2 可知,随着加水量的增加,产品的感官品质逐步提高,加水量为 25 %时,产品的感官品质达到最大值,加水量升高,物料容易成团,产品成型差,加水量少,物料松散,膨化效果差^[23]。根据产品的膨化效果和感官选择加水量为 25 %。

2.5.3 干燥时间对感官品质的影响

干燥时间对感官品质的影响见图 3。

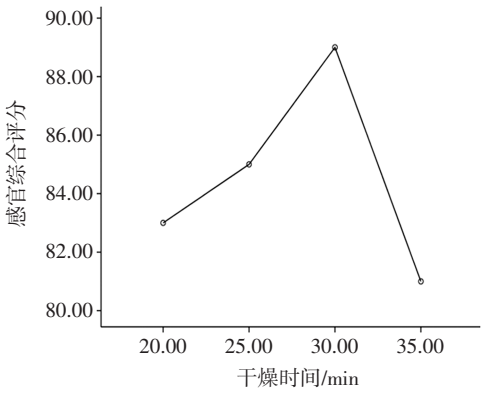


图 3 干燥时间对感官品质的影响

Fig.3 Effects of drying time on sensory quality

由图 3 可知,产品感官品质随干燥时间的延长而降低,在 20 min~30 min 时趋于快速上升阶段,在 30 min 达到最大,可见产品在 30 min 时已基本完成干燥,随着时间延续至 35 min,产品的品质下降,这是因为干燥时间的延长比较导致产品有效营养成分的减少^[24-25],使硒元素流失,为节约能源选择干燥时间 30 min。

2.5.4 硒化卡拉胶添加量对感官品质的影响

硒化卡拉胶添加量对感官品质的影响见图 4。

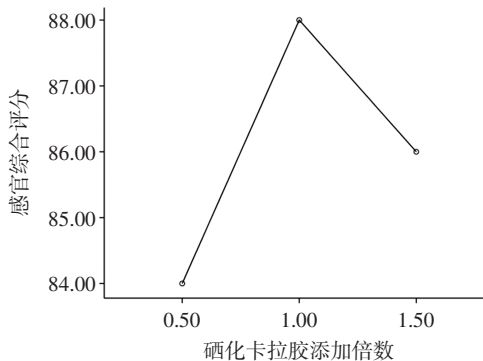


图4 硒化卡拉胶添加量对感官品质的影响

Fig.4 Effect of addition quantity of selenium carrageenan on sensory quality

从图4可知,硒化卡拉胶添加以0.168 mg/kg为基准,在0.5倍~1倍时感官品质处于上升,产品中硒含量提到提升,随着硒含量加大,产品品质下降,这是因为在添加1.5倍时,产品中硒含量的大于国家标准,并且产品的适口性下降,考虑食品安全,硒化卡拉胶添加为0.168 mg/kg。

2.6 富硒营养黑麦片加工工艺优化结果

在单因素试验的基础上,选择强化硒的不同倍数(0.5、1、1.2倍3个等级)、加水量、粉碎细度、干燥时间4个因素进行正交试验 $L_9(3^4)$,试验因数和水平安排设计如表4所示,以感官评分作为考察指标,试验因素水平表见表8,正交试验结果见表9。

表8 试验因素和水平安排

Table 8 Experimental factors and level arrangement

水平	因素			
	A 硒添加倍数	B 加水量/%	C 细度/目	D 干燥时间/min
1	0.5	20	100	25
2	1	25	120	30
3	1.2	30	140	35

表9 黑小麦全麦片品质与工艺条件的正交试验表

Table 9 Orthogonal experiment table on quality and processing conditions of triticale

试验号	A	B	C	D	综合评分
1	1	1	1	1	79.0
2	1	2	2	2	79.3
3	1	3	3	3	81.8
4	2	1	2	3	84.8
5	2	2	3	1	89.9
6	2	3	1	2	87.6
7	3	1	3	2	87.5
8	3	2	1	3	87.6
9	3	3	2	1	77.6

续表9 黑小麦全麦片品质与工艺条件的正交试验表
Continue table 9 Orthogonal experiment table on quality and processing conditions of triticale

试验号	A	B	C	D	综合评分
k_1	80.03	83.77	84.7	82.17	
k_2	87.43	85.6	80.5	84.8	
k_3	84.23	82.3	86.4	84.7	
R	7.4	3.3	5.9	2.63	

由正交试验结果与方差表以及正交试验结果可知,不同硒化卡拉胶的添加倍数>面粉细度>加水量>干燥时间,硒化卡拉胶添加量为0.168 mg/kg 物料细度在140目,加水率在25%,物料的干燥时间在30 min时黑小麦片感官品质最好,考虑到黑小麦加工中硒元素的损失以及加工后的适口性,为此可以确定富硒黑小麦全麦片最佳的加工工艺为水分添加量25%,面粉细度140目,干燥时间30 min,硒化卡拉胶的添加量0.168 mg/kg,即 $A_2B_2C_3D_2$ 。

2.7 验证试验

取正交试验最佳组合,进行3次重复试验,结果见表10。

表10 3次平行试验结果

Table 10 Results of three parallel experiments

项目	硒含量测定/(mg/kg)	感官评分
重复1	2.23	89.4
重复2	2.37	91.5
重复3	2.29	90.3
均值	2.296	90.4
标准偏差	0.070 2	1.069 3

由表10可见,在最优工艺组合条件下进行富硒黑小麦麦片加工,以硒元素含量和感官综合评分为测定指标。并且结果与正交试验相吻合,因此,可以确定富硒黑小麦全麦片最佳的加工工艺为加水量25%,面粉细度140目,干燥时间30 min,硒化卡拉胶的添加量0.168 mg/kg。综合前期试验,双螺杆挤压膨化机五区温度设定为即挤压膛2、3、4、5、6区温度分别为60、100、100、50、40℃时富硒黑小麦全麦片的熟化度、品质最好、黑小麦中的硒元素损失可以降低到最小。

2.8 富硒黑麦片品质分析

试验对富硒黑小麦全麦片进行成分品质分析,分析结果由谱尼检测中心提供,试验结果如表11。

通过品质分析可以看出,黑小麦全麦片以及改进型黑小麦全麦片(添加3%的果粉膳食纤维)的营养远远高于普通小麦。就营养成分比较而言,两种黑小麦片在蛋白、脂肪、总膳食纤维、可溶性膳食纤维、硒等品

表 11 富硒黑麦片品质分析
Table 11 Quality analysis of selenium enriched triticale flour

主要营养成分	黑小麦全麦片	改进型黑小麦全麦片	普通小麦片
粗蛋白/(g/100g)	15.6	15.8	12.21
脂肪/(g/100 g)	1.36	2.03	1.5
总膳食纤维/(g/100 g)	9.42	9.38	3.2
可溶性膳食纤维/(g/100 g)	0.34	0.30	0
维生素 C/(mg/100 g)	42.4	95.2	0
硒/(mg/kg)	2.3	2.3	0.09

质方面相差无几,在维生素 C 方面,改进型黑小麦全麦片添加了 3 %的果粉膳食纤维,含量大大增加,增加量为 124.5 %,而且口感也有改善,说明在保证黑小麦全麦品质的基础上,通过添加天然的果粉膳食纤维,能够提高黑小麦片的品质。

3 结论

本研究利用黑小麦为原料,采用挤压膨化技术进行分阶段分步骤控温处理,有机硒的添加对黑小麦全麦片进行工艺研究,使黑小麦全麦片硒元素的损失减小,硒的含量达到富集,富硒黑小麦全麦片最佳的加工工艺为,双螺杆挤压膨化机五区温度为即挤压膛 2、3、4、5、6 区温度分别为 60、100、100、50、40 ℃,加水量 25 %,面粉细度 140 目,干燥时间 30 min,硒化卡拉胶的添加量 0.168 mg/kg。该条件下保证了黑小麦中营养成分成份、风味、特性不变,而且改善了黑小麦的口感。但相关加工工艺对硒元素的保护还有待进一步的研究。

参考文献:

[1] 修立显,龚叶南.积极开发富硒保健品[J].精细化工, 1995(5): 8-12
[2] 王程. 富硒食品生产的新策略——化学修饰法大量制备含硒蛋白质[J].食品研究与开发,2016(21): 4
[3] 武芸.富硒黑木耳营养成分研究[J].食品科学,2008,29(8): 87-90
[4] 于章龙,刘瑞,宋昱,等.黑系列黑小麦营养品质分析[J].麦类作物学报,2018(5): 558-562
[5] 刘光利,刘骏,简俊涛,等.黑小麦研究现状及其发展制约因素分析[J].农业科技通讯,2018(2): 28-29
[6] 苏卓勋. 黑小麦 76 号抗性、营养成分与产量研究[J]. 新疆农垦科技, 2015,38(8): 12-14

[7] 裴自友,孙玉.黑小麦 76 号及其开发利用[J].中国乳业,1997(8): 16
[8] 白云凤,侯变英,孙善澄,等.黑粒小麦醇溶蛋白指纹图谱及其遗传分析[J].麦类作物学报,2002,22(2): 22-25
[9] 孟雅宁,兰素缺,张业伦,等.蓝、紫粒小麦遗传资源的染色体组型及生物学特性分析[J].河北农业科学, 2011,15(2): 81-84,161
[10] 孙元琳,仪鑫,李云龙,等.复合全谷物挤压膨化产品的配方优化研究[J].中国粮油学报,2017(11): 47-52
[11] Yan Wen, Zhang Zhengmao, Arhalh Yeresanbay. Nutritional Characteristics and Processing Quality Assessment of Heidasui Black Wheat[J]. Food Science, 2012,33(19): 146-150
[12] 王秋叶,张建成,姚景珍.河东乌麦 526 黑小麦品种资源营养学评价[J].陕西农业科学,1999(6): 3-5
[13] Lv Shaowei, Wang Xiaobo, Feng Jianyue. Research and Development of Black Wheat Cereal[J]. Food and Nutrition in China, 2013, 19(2): 38-40
[14] 李庆龙,刘建林,王海滨,等.硒化卡拉胶在小麦粉及其制品中的应用研究[J].粮食与饲料工业, 2007(6): 10-12
[15] 丁文平,甘平洋.硒化卡拉胶预混料在面粉中的添加技术与混合均匀性探讨[J].粮食加工,2007(6): 25-26,30
[16] 戴舒春,周华生,成恒嵩.硒化卡拉胶中有机硒比率的测定[J].中国食品添加剂,2014(7): 188-192
[17] 王立新.黑小麦加工品质特性的研究[J].哈尔滨商业大学学报(自然科学版),2004(10): 593-596
[18] Wang Haijun, Shen Shiqian, Chen Zebin, et al. The effects on antioxidant activity of black wheat flour under different processing methods[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2017(1): 204-209
[19] Dang Bin, Yang Xijuan, Zhang Guoquan. Study on processing quality characteristics of black kernel wheat bran ultrafine powder with flour mixture[J]. Cereals & Oils, 2010(9): 20-23
[20] 于章龙,宋昱,谢三刚,等.黑小麦加工优势及开发利用[J].食品研究与开发,2016,37(4): 209-211
[21] 吕少伟,王晓波,冯建岳.全黑小麦麦片的开发研究[J].中国食品与营养,2013,19(2): 38-40
[22] Guo Saiqin, Luo Qingui, Zhang Guoquan, et al. Effect of Peeling on the Main Nutritional and Processing Quality of the Black Wheat[J]. Grain Processing, 2011(6): 14-16, 49
[23] 燕雯,张正茂,阿尔哈力合·叶热仙巴依.西农黑大穗黑小麦营养特性与蒸煮食品加工品质评价[J].食品科学,2012(19): 146-150
[24] 林存亮,李鸿文,石培春,等.黑小麦品种(系)加工品质性状和蒸煮食品加工品质特性研究[J].新疆农业科学,2012(4): 610-616
[25] 王士苗,张金霞,刘骏,等.黑小麦的营养价值及其加工技术探究[J].农业科技通讯,2018(5): 203-204

收稿日期:2018-10-09