

基于模糊综合评价法优化挤压型速冻青稞鱼面关键工艺

Research on the key technological application of extrusion type quick-frozen highland barley fish noodle based on the fuzzy comprehensive

胡欣洁^{1,2} 赵雪梅³ 丁捷³ 段丽丽³

HU Xin-jie^{1,2} ZHAO Xue-mei³ DING Jie³ DUAN Li-li³

(1. 江南大学食品学院, 江苏 无锡 214122; 2. 四川农业大学食品学院, 四川 雅安 625014;
3. 四川旅游学院, 四川 成都 610100)

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China;
2. College of Food Science, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China;
3. Sichuan Tourism College, Chengdu, Sichuan 610100, China)

摘要:以加水量、和面时间、静置时间、速冻温度为工艺关键点,在单因素试验基础上,基于模糊综合评价法,利用响应面法优化挤压型速冻青稞鱼面关键工艺参数。试验结果表明:加水量和速冻温度对面条综合品质影响均达到显著水平($P < 0.05$),且加水量和速冻温度之间存在明显的协同作用,对面条品质综合评分影响的主次顺序为加水量 > 速冻温度。而和面时间与静置时间对成品综合品质影响呈正相关,但是影响不显著。最佳关键参数为:加水量 18.84%、和面时间 12 min、静置时间 25 min、速冻温度 $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

关键词:速冻青稞鱼面;工艺;模糊评价法

Abstract: Taking the Water addition, mixing time, settling time and freezing temperature as factors, response surface experiments were used to optimize the technological application of extrusion type quick-frozen highland barley fish noodle based on the results of single factor experiments by the fuzzy comprehensive. Results were as followed: Water addition and freezing temperature with the quality of noodle were significant ($P < 0.05$), which have synergistic enhancing effects. The primary and secondary order of technological factors that affect the total quality score of noodle were water addition and freezing temperature, respectively. Mixing time and settling time on consumer behavior on the total quality score of noodle was positively

correlated, but the impact was not significant. The optimum parameters for extrusion type quick-frozen highland barley fish noodle were: water addition 18.84%, mixing time of 12 min, settling time of 25 min and freezing temperature of $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Keywords: quick-frozen highland barley fish noodle; technological; fuzzy comprehensive

挤压技术是多学科交叉所产生的一门高新技术。食品挤压是集混合、搅拌、成型等多种操作单元为一体,具有连续加工、方便灵活和高效等优点^[1]。将挤压技术应用于面条的生产上,不仅能够减少传统的工艺过程,大大缩短生产周期,降低生产成本,还能够改善产品的组织状态和口感,有效提高成品面条的品质等^[2]。王威等^[3]采用双螺杆挤压膨化机加工全麦鲜湿面,通过响应面法优化得到的最佳工艺参数为:水分含量 41 g/100 g,螺旋转速 35 r/min,挤压温度 $83\text{ }^{\circ}\text{C}$;钱平等^[4]利用单螺杆挤压机加工非油炸方便面,以正交试验筛选出一组改良剂配方,获得了较好的效果;梁卓然^[5]利用挤压技术得到具有良好外观与烹调特性的红蓉营养面条;徐颖^[6]发现挤压型鱼糜面条的最佳工艺参数为物料外加水分 31.1%,机筒温度 $122.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,螺杆转速 53 r/min;魏益民^[7]利用双螺杆挤压机制备玉米面条和荞麦面条,试验结果表明,样品水分含量 30%、挤压温度 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右面条的蒸煮品质最好;隋继学等^[8]选取加水量、香椿汁添加量和搅拌辊转速对速冻香椿面条的工艺条件进行优化,得到了最佳工艺参数,该工艺条件下,香椿面条的品质能达到最佳状态。但常见的面条工艺优化考察目标以感官评分、弹性、硬度等简单且少量指标为主,未全面考察关键工艺对成品综合品质的

基金项目:四川省科技厅应用基础研究计划项目(编号:2013JY0084);四川省教育厅自然科学重点项目(编号:16ZA0348,17ZA0291);烹饪科学四川省高校重点实验室重点项目(编号:PRKX2015Z04)

作者简介:胡欣洁,女,四川农业大学讲师,博士。

通信作者:段丽丽(1980—),女,四川旅游学院副教授,博士。

E-mail: 12289484@qq.com

收稿日期:2017-02-15

影响,优化效果较片面。

青稞是中国西北、内蒙和西藏等高寒地区广泛栽培种植的一种常见裸大麦,属低脂低糖优质杂粮,有较高的营养价值及医疗保健作用^[9-11]。在推动青稞深加工的过程中,考虑到其特殊的保健功效,目前多利用青稞全粉和小麦面粉的混粉生产一些快餐食品、高纤维食品、低能量烘焙食品;本课题组^[12]前期曾以青稞粉、小麦粉、鱼糜和谷朊粉等为原料,成功研发出一种工艺简单且风味较佳、营养丰富的单螺旋挤压型速冻青稞鱼面。但采用单螺旋挤压法加工的速冻青稞鱼面与压延法^[13](CN 105767886 A)相比,在加工过程中有容易黏连成团,成品率较低,糊化后断条率较高,口感较差等问题。现阶段对于速冻青稞面条品质的改良,基本停留在配方优化的基础上,丁捷等^[14]发现青稞粉与麦芯粉混粉比例为1:9~1:6时速冻面条成品品质最好。目前对于基于综合评价法的挤压型速冻青稞面条关键工艺优化尚未见报道。

本试验针对挤压型速冻青稞鱼面,基于模糊综合评价法研究关键工艺参数对其品质的影响,利用响应面试验优化显著影响品质综合评分的关键工艺,以期为速冻青稞鱼面进一步工业化生产提供参考依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料与仪器

1.1.1 试验材料

青稞粉:由甘孜州农科所八美农场提供的康青8号(2016年产)制备;

面条专用粉:临邑县鸿泰制粉有限公司;

谷朊粉:山东渠风食品科技有限公司;

绿色生态井盐:四川久大制盐有限责任公司;

食用纯碱:郑州特正商贸有限公司;

复合磷酸盐:徐州恒世磷酸盐有限公司;

CMC(羧甲基纤维素钠):郑州特正商贸有限公司。

1.1.2 仪器与设备

电子天平:YB-N型,上海精密仪器仪表有限公司;

高速组织搅碎机:DS-1型,上海标本模型厂;

高速分散器(内切式匀浆机):XHF-D型,宁波新芝生物科技股份有限公司;

自动面条机:HR2356型,飞利浦投资有限公司;

高精度专业食物性分析仪:TMS-PRO型,美国TFC公司;

手压封口机:SF-400型,沈阳东泰机械制造有限公司;

急冻柜:RD10型立式,北京荣港顺华制冷设备有限公司;

锤片式粮食试验粉碎机:IFSJ-I型,成都施特威科技发展有限公司;

电热鼓风干燥箱:101-oA型,北京中兴伟业仪器有限公司;

电子恒温不锈钢水浴锅:HHS-8s型,上海光地仪器设备有限公司。

1.2 速冻青稞鱼面加工工艺

1.2.1 加工工艺 根据文献^[12~13],将草鱼洗净,去头、去

鳞、去内脏预处理后得到两片鱼肉。用水洗净鱼肉后,放入5倍水,漂洗2次。然后将鱼肉和水按1:1(质量比)的比例在组织捣碎匀浆机1200 r/min下匀浆1 min得到鱼糜。以180 g青稞混粉(青稞粉:高筋麦芯粉=1:9)为基准,称取0.10%食用碱,复合磷酸盐0.25%,CMC(羧甲基纤维素钠)0.20%,谷朊粉8.33%,食盐1.25%,鱼糜33.33%,纯净水16.67%。将食用碱、复合磷酸盐、CMC、食盐、纯净水在95℃水浴锅中加热溶解,获得复合改良剂溶液。将青稞混粉、谷朊粉混和在匀浆机10000 r/s的条件下匀浆30 s后,将鱼糜(含复合改良剂、纯净水)一起加入自动面条机中。采用孔径为1 mm的模具,和面8 min后静置15 min单螺旋挤压压制得生面条。将生面条经沸水糊化,冷水冷却后沥干,称重分袋包装,然后进行速冻冷藏。面条直接置于微波炉、蒸汽或沸水加热,即可拌上调料食用。

1.2.2 单因素试验

(1)加水量对速冻青稞鱼面品质的影响:控制加水量分别为10%,12%,14%,16%,18%,20%,探讨对成品面条质构、感官和蒸煮品质的影响。

(2)和面时间对速冻青稞鱼面品质的影响:控制和面时间分别为4,6,8,10,12,14 min,探讨对成品面条质构、感官和蒸煮品质的影响。

(3)和面后的静置时间对速冻青稞鱼面品质的影响:控制和面后静置时间分别为4,6,8,10,12,14 min,探讨对成品面条质构、感官和蒸煮品质的影响。

(4)速冻温度对速冻青稞鱼面品质的影响:控制速冻温度分别为-19,-22,-25,-28,-31,-34℃,探讨对成品面条质构、感官和蒸煮品质的影响。

完成单因素试验后,对关键工艺参数与面条品质指标的相关性进行分析,确定显著影响面条综合品质评分的因素。

1.2.3 CCD响应面试验设计 在单因素试验基础上,采用和面时间12 min,静置时间25 min,选择加水量及速冻温度为变量,以面条品质综合评分为考察指标,根据CCD响应面试验设计原理^[15],采取两因素三水平的响应面分析方法对速冻青稞鱼面关键工艺参数进行优化。

1.3 指标的测定

1.3.1 质构特性的测定 根据文献^[16~17]的方法,改进如下:取速冻青稞鱼面10 g,不解冻直接放入盛有500 mL沸水中煮熟捞出,置于漏水丝网容器中过水,然后立即放入装有200 mL室温蒸馏水中,2 min后取出沥干至无明水。每次将4根面条水平放置在载物台上,放置方向与平口探头垂直,参数设定(高度30 mm,形变量50 mm,速度60 mm/min,回复力0.375 N,两次压缩停留间隔5 s)。每组试验平行6组,每个仪器参数处理采用去掉最大值和最小值,求平均值的方法。

1.3.2 蒸煮特性的测定

(1)水分的测定:采用常压干燥法^[18]。

(2)干物质吸水率测定:根据文献^[19],取20根长为22 cm的面条称重,置于500 mL沸腾的蒸馏水中煮制4 min,捞出面条放到滤纸上沥干5 min称重,按式(1)计算干物质吸水率。

$$X = \frac{M_2 - M_1 \times (1 - W)}{M_1 - (1 - W)} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

X ——干物质吸水率,%;

M_2 ——煮后面条的重量,g;

M_1 ——煮前面条的重量,g;

W ——面条水分含量,%。

(3) 干物质损失率测定:根据文献[20]的方法,修改如下:将测干物质吸水率时剩余的面汤放至常温后,转入 500 mL 容量瓶中定容混匀,量取 50 mL 面汤倒入恒重的 250 mL 烧杯中,放在可调式电炉上蒸发掉大部分水分后,再量取 50 mL 面汤,如此重复 4 次,当量取的 200 mL 面汤在烧杯中蒸发至少许时,将烧杯放入 105 ℃ 烘箱内烘至恒重,取出放入干燥器中冷却至室温称重,按式(2)计算干物质损失率。

$$Y = \frac{2.5 \times M}{G \times (1 - W)} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

Y ——干物质损失率,%;

M ——200 mL 面汤中干物质质量,g;

G ——煮前面条质量,g;

W ——煮前面条的水分含量,%。

(4) 面条最佳煮制时间的测定:根据文献[21]的方法,修改如下:取 25 根速冻面条放入 200 mL 沸水中,同时开始计时。保持水处于微沸状态下煮制,从 2 min 开始,每隔 10 s 取出一根面条,用透明片压开观察面条中间有无白芯,白芯刚消失为止,记录时间,为面条的最佳煮制时间,每个试样进行 3 个平行。

(5) 面条断条率的测定:参照文献[22],取 25 根面条放入 200 mL 的沸水煮至最佳煮制时间后捞出,观察有无断条,按式(3)计算面条的断条率。

$$N = \frac{n_1}{n} \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

N ——断条率,%;

n_1 ——断条根数;

n ——烹煮根数。

(6) 成品率的测定:按式(4)计算成品率。

$$M = \frac{m_1}{m} \times 100\%, \quad (4)$$

式中:

M ——成品率,%;

m_1 ——成品重量,g;

m ——投料重量,g。

1.3.3 感官评价 参考文献[23~24],修改如下:量取 500 mL 自来水于不锈钢锅中,在 2 000 W 电磁炉上煮沸,煮至面条芯的白色生粉刚刚消失,立即捞出分装在碗中待品尝。选择 10 名感官评定员,对不同处理的样品进行色泽、表观状态和风味的感官评定。评价标准见表 1。

1.3.4 品质综合评价 评价项目成品率 U_1 、感官评分 U_2 、水分含量 U_3 、吸水率 U_4 、损失率 U_5 、最佳煮制时间 U_6 、断

表 1 速冻面条感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation quick-frozen noodles

项目	满分	评分标准
色泽	10	指面条颜色和亮度,面条白,乳黄色。光亮为 8~10 分,亮度一般为 5~8 分,色泽发暗、发灰、亮度差为 1~5 分
表观状态	10	指面条表面光滑和膨胀度,表面结构细密。光滑为 7~10 分,中间为 4~7 分,表面能粗糙、膨胀、严重变形为 1~4 分
适口性	20	用力咬掉一根面条需要力的大小。适中 15~20 分,稍偏硬或软 10~15 分,太硬或太软 1~10 分
韧性	25	指面条在咀嚼时的咬劲和弹力的大小。有咬劲、有弹性 21~25 分,一般 15~21 分,咬劲差、弹性弱 1~15 分
粘性	25	指在咀嚼时面条过程中的黏牙程度。咀嚼时爽口、不黏牙 18~25 分,较爽口、稍黏牙 10~18 分,不爽口、发黏 1~10 分
光滑性	5	指在品尝时面条的光滑程度。光滑 4~5 分,中间 3~4 分,较差 1~3 分
食味	5	指品尝时的味道。具有适宜的青稞香味 4~5 分,青稞味较浓或过淡 3~4 分,有异味 1~3 分

条率 U_7 、硬度 U_8 、黏附性 U_9 、弹性 U_{10} 、咀嚼性 U_{11} ,根据前期研究实践并参考文献[25],确定指标范围: $U_1 = 60\% \sim 90\%$, $U_2 = 55 \sim 90$, $U_3 = 20\% \sim 35\%$, $U_4 = 55\% \sim 110\%$, $U_5 = 5\% \sim 25\%$, $U_6 = 10 \sim 260$ s, $U_7 = 0\% \sim 35\%$, $U_8 = 0.5 \sim 1.5$ N, $U_9 = 0.01 \sim 4$ mJ, $U_{10} = 0 \sim 4$ mm, $U_{11} = 0 \sim 2$ N。

为了进行模糊综合评价,要计算隶属度值,根据线性模型建立如下隶属度^[26-27]:

$$p(U_1) = \begin{cases} 1(U_1 \geq 90) \\ \frac{U_1 - 60}{90 - 60} & (60 < U_1 < 90), \\ 0(U_1 \leq 60) \end{cases}$$

$$p(U_2) = \begin{cases} 1(U_2 \geq 90) \\ \frac{U_2 - 55}{90 - 55} & (55 < U_2 < 90), \\ 0(U_2 \leq 55) \end{cases}$$

$$p(U_3) = \begin{cases} 1(U_3 \geq 35) \\ \frac{U_3 - 20}{35 - 20} & (20 < U_3 < 35), \\ 0(U_3 \leq 20) \end{cases}$$

$$p(U_4) = \begin{cases} 1(U_4 \geq 110) \\ \frac{U_4 - 55}{110 - 55} & (55 < U_4 < 110), \\ 0(U_4 \leq 55) \end{cases}$$

$$p(U_5) = \begin{cases} 1(U_5 \geq 25) \\ \frac{U_5 - 5}{25 - 5} & (5 < U_5 < 25), \\ 0(U_5 \leq 5) \end{cases}$$

$$p(U_6) = \begin{cases} 1(U_6 \geq 260) \\ \frac{U_6 - 10}{260 - 10} & (10 < U_6 < 260), \\ 0(U_6 \leq 10) \end{cases}$$

$$p(U_7) = \begin{cases} 1(U_7 \geq 35) \\ \frac{U_7}{35} & (0 < U_7 < 35), \\ 0(U_7 \leq 0) \end{cases}$$

$$p(U_8) = \begin{cases} 1(U_8 \geq 1.5) \\ \frac{U_8 - 0.5}{1.5 - 0.5} & (0.5 < U_8 < 1.5), \\ 0(U_8 \leq 0.5) \end{cases}$$

$$p(U_9) = \begin{cases} 1(U_9 \geq 4) \\ \frac{U_9 - 0.01}{4 - 0.01} & (0.01 < U_9 < 4), \\ 0(U_9 \leq 0.01) \end{cases}$$

$$p(U_{10}) = \begin{cases} 1(U_{10} \geq 4) \\ \frac{U_{10}}{4} & (0 < U_{10} < 4), \\ 0(U_{10} \leq 0) \end{cases}$$

$$p(U_{11}) = \begin{cases} 1(U_{11} \geq 2) \\ \frac{U_{11}}{2} & (0 < U_{11} < 2), \\ 0(U_{11} \leq 0) \end{cases}$$

品质综合评分为:

$$Y = p(U_1) \times a_1 + p(U_2) \times a_2 + p(U_3) \times a_3 + p(U_4) \times a_4 - p(U_5) \times a_5 + p(U_6) \times a_6 - p(U_7) \times a_7 + p(U_8) \times a_8 + p(U_9) \times a_9 + p(U_{10}) \times a_{10} - p(U_{11}) \times a_{11}, \quad (5)$$

式中:

Y——品质综合评分;

a_i ——各指标在评价体系中所占的比重,由经验确定,品质综合评分 a_i 其值分别为 0.05, 0.2, 0.1, 0.1, 0.1, 0.05, 0.1, 0.1, 0.1, 0.05, 0.05。

1.4 数据处理

数据统计采用 Excel 软件,方差分析、Duncan 多重比较显著性差异分析、相关性分析用 SPSS 20.0,响应面分析采用 Desgin 8.0.6。

2 结果与分析

2.1 加水量对速冻青稞鱼面品质的影响

由表 2 可知,面条品质综合评分随加水量的增加呈现先增加后减小的趋势,加水量为 16%~20%时面条品质相对较佳,成品率和吸水率较高,分别达到 74.83%~81.10%, 72.87%~78.25%,硬度和黏附性适中,咀嚼性、断条率和损失率较低,感官风味口感较好。

2.2 和面时间对速冻青稞鱼面品质的影响

由表 3 可知,不同处理组的面条品质综合评分差异显著,和面时间 10~14 min 时面条品质评分较为理想,面条成品率较高,损失率较低,蒸煮品质和质构特性较佳。其中,面条品质综合评分在和面 12 min 时达到最高值(0.90),此时感官评分为 86.00 成品率为 83.77%。

2.3 静置时间对速冻青稞鱼面品质的影响

由表 4 可知,面条品质综合评分随静置时间的延长呈现先增加后减小的趋势。静置 20~30 min 时面条品质综合评分较高,较其他处理组差异显著 ($P < 0.05$),成品硬度、咀嚼性和黏附性较小,断条率和损失率较低,最佳煮制时间较长。静置时间为 25 min 时,面条综合品质最佳,显著优于其他处理组 ($P < 0.05$)。

2.4 速冻温度对速冻青稞鱼面品质的影响

速冻温度越低,冻结速度越快,所形成的冰晶越小,其对面条内部面筋结构破坏程度越小,成品综合评价越佳。由表 5 可知,面条品质综合评分随速冻温度的升高总体呈现下降的趋势,在速冻温度为 -34~-31 °C 时评分最高(0.88), -19 °C 时显著下降(0.80)。当速冻温度低于 -31 °C 时,成品综合品质评分差异不显著 ($P > 0.05$),因此从工艺成本出

表 2 加水量对速冻青稞鱼面品质的影响[†]

Table 2 Effect of purified water addition on quick-frozen Highland barley fish noodles quality

加水量/%	成品率/%	硬度/N	黏附性/mJ	弹性/mm	咀嚼性/mJ	水分/%
10	76.47±0.74 ^{bc}	0.82±0.02 ^{ab}	0.07±0.01 ^d	0.31±0.01 ^d	0.11±0.02 ^c	27.27±0.18 ^d
12	74.36±1.42 ^c	0.76±0.03 ^{bc}	2.75±0.12 ^a	2.50±0.14 ^b	1.29±0.06 ^a	31.56±0.41 ^b
14	78.64±1.41 ^{ab}	0.85±0.00 ^a	2.90±0.25 ^a	3.47±0.03 ^a	1.27±0.08 ^a	29.16±0.83 ^c
16	74.83±1.27 ^{bc}	0.74±0.06 ^c	2.03±0.04 ^b	1.26±0.05 ^c	1.33±0.37 ^a	28.32±1.10 ^{cd}
18	78.40±2.77 ^{ab}	0.85±0.00 ^a	2.10±0.17 ^b	1.23±0.13 ^c	0.55±0.01 ^b	31.50±0.32 ^b
20	81.10±0.83 ^a	0.84±0.01 ^a	1.45±0.02 ^c	0.84±0.04 ^d	0.45±0.10 ^{bc}	34.03±0.01 ^a
加水量/%	吸水率/%	损失率/%	最佳煮制时间/s	断条率/%	感官	综合评分
10	62.50±6.10 ^b	17.10±0.37 ^{ab}	210.75±4.60 ^c	8.00±0.00 ^b	73.70±2.12 ^b	0.76±0.00 ^d
12	63.00±1.13 ^b	19.78±2.21 ^b	229.00±5.66 ^b	21.12±5.67 ^a	72.84±0.74 ^b	0.75±0.01 ^d
14	65.56±1.74 ^b	20.09±3.85 ^a	242.50±3.54 ^{ab}	2.00±0.00 ^c	82.35±0.07 ^a	0.85±0.01 ^c
16	72.87±0.14 ^a	13.26±0.87 ^{bc}	243.50±3.54 ^{ab}	2.00±2.83 ^c	84.30±2.97 ^a	0.88±0.01 ^b
18	78.25±1.04 ^a	12.98±1.12 ^{bc}	251.50±12.02 ^a	2.00±2.84 ^c	83.90±0.99 ^a	0.91±0.01 ^a
20	76.97±0.89 ^a	11.43±0.70 ^c	230.00±5.66 ^b	4.00±0.00 ^{bc}	80.30±0.71 ^a	0.88±0.01 ^b

† 同列数据中标注不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

表 3 和面时间对速冻青稞鱼面品质的影响[†]

Table 3 Effect of different mixing time on quick-frozen Highland barley fish noodles quality

和面时/min	成品率/%	硬度/N	黏附性/mJ	弹性/mm	咀嚼性/mJ	水分/%
4	76.16±2.72 ^b	0.82±0.06 ^{ab}	0.08±0.02 ^b	0.52±0.02 ^c	0.18±0.01 ^c	31.17±0.30 ^c
6	68.89±1.32 ^c	0.85±0.00 ^{ab}	0.07±0.01 ^{bc}	0.55±0.00 ^{bc}	0.20±0.01 ^c	32.86±0.04 ^b
8	76.27±1.39 ^b	0.51±0.04 ^c	0.30±0.00 ^a	0.13±0.03 ^d	0.03±0.01 ^d	30.88±0.13 ^c
10	79.60±1.66 ^{ab}	0.89±0.05 ^a	0.05±0.00 ^c	0.69±0.007 ^a	0.28±0.01 ^a	33.70±0.64 ^{ab}
12	83.77±1.58 ^a	0.76±0.03 ^b	0.05±0.00 ^c	0.53±0.04 ^{bc}	0.20±0.00 ^c	34.65±0.42 ^a
14	80.55±2.16 ^{ab}	0.89±0.00 ^a	0.05±0.002 ^c	0.59±0.04 ^b	0.23±0.03 ^b	34.85±0.42 ^a
和面时/min	吸水率/%	损失率/%	最佳煮制时间/s	断条率/%	感官	综合评分
4	92.51±0.25 ^a	9.99±1.09 ^c	193.50±2.12 ^a	22.00±2.83 ^a	78.15±1.77 ^d	0.82±0.01 ^{cd}
6	79.72±4.26 ^b	13.75±0.21 ^{ab}	197.50±10.61 ^a	10.00±2.83 ^{bc}	79.00±1.41 ^{cd}	0.80±0.02 ^{cd}
8	81.53±1.66 ^b	11.55±1.03 ^{bc}	197.00±1.41 ^a	12.00±0.00 ^b	81.60±1.41 ^{bc}	0.83±0.01 ^c
10	67.76±2.48 ^c	15.04±1.21 ^a	177.50±7.78 ^b	4.00±0.00 ^d	82.70±0.99 ^b	0.80±0.009 ^d
12	90.34±3.28 ^a	11.40±1.30 ^{bc}	197.50±0.71 ^a	4.00±0.00 ^d	86.00±0.71 ^a	0.90±0.008 ^a
14	80.17±1.24 ^b	11.82±0.78 ^{bc}	195.00±5.66 ^a	6.00±2.83 ^{cd}	84.01±0.13 ^{ab}	0.86±0.01 ^b

† 同列数据中标注不同字母表示差异显著(P<0.05)。

表 4 静置时间对速冻青稞鱼面品质的影响[†]

Table 4 Effect of different tanding time on quick-frozen Highland barley fish noodles quality

静置时间/min	成品率/%	硬度/N	黏附性/mJ	弹性/mm	咀嚼性/mJ	水分/%
5	72.39±1.33 ^{ab}	0.87±0.03 ^a	0.14±0.004 ^c	0.48±0.02 ^c	0.21±0.007 ^b	27.04±0.65 ^c
10	69.70±1.44 ^{bc}	0.81±0.00 ^a	0.17±0.005 ^{ab}	0.26±0.04 ^d	0.05±0.00 ^c	29.23±0.51 ^{ab}
15	73.86±1.58 ^a	0.78±0.00 ^a	0.19±0.02 ^{ab}	0.12±0.01 ^e	0.05±0.01 ^c	29.64±0.07 ^{ab}
20	75.37±2.67 ^a	0.57±0.03 ^c	0.17±0.00 ^{bc}	0.74±0.00 ^b	0.26±0.007 ^b	29.33±0.21 ^{ab}
25	74.67±1.23 ^a	0.67±0.08 ^b	0.19±0.005 ^a	0.23±0.00 ^d	0.05±0.01 ^c	30.02±0.03 ^a
30	66.08±0.99 ^c	0.59±0.00 ^{bc}	0.19±0.001 ^a	0.86±0.03 ^a	0.46±0.08 ^a	28.94±0.52 ^b
静置时间/min	吸水率/%	损失率/%	最佳煮制时间/s	断条率/%	感官	综合评分
5	79.68±2.43 ^{bc}	11.85±0.88 ^{ab}	172.50±3.54 ^{cd}	4.00±0.00 ^b	80.10±2.40 ^{ab}	0.80±0.01 ^{cd}
10	75.64±6.06 ^c	14.64±2.83 ^a	169.00±4.24 ^d	8.00±0.00 ^{ab}	80.10±1.27 ^{ab}	0.77±0.01 ^d
15	83.22±2.12 ^{abc}	12.76±0.11 ^a	168.50±4.95 ^d	6.00±2.83 ^{ab}	79.70±0.71 ^{ab}	0.80±0.005 ^{cd}
20	84.01±0.18 ^{ab}	8.83±0.37 ^{bc}	192.50±17.68 ^{bc}	10.00±2.83 ^a	84.90±1.56 ^a	0.85±0.02 ^{ab}
25	82.45±1.68 ^{abc}	8.33±0.04 ^c	232.50±3.54 ^a	4.00±0.00 ^b	78.70±0.71 ^b	0.88±0.003 ^a
30	88.45±2.18 ^a	12.74±1.33 ^a	208.00±9.90 ^b	8.00±0.00 ^{ab}	77.90±4.10 ^b	0.83±0.03 ^{bc}

† 同列数据中标注不同字母表示差异显著(P<0.05)。

表 5 速冻温度对速冻青稞鱼面品质的影响[†]

Table 5 Effect of different quick-frozen temperatures on quick-frozen Highland barley fish noodles quality

速冻温度/℃	成品率/%	硬度/N	黏附性/mJ	弹性/mm	咀嚼性/mJ	水分/%
-19	72.55±2.74 ^{bc}	0.96±0.06 ^a	0.02±0.00 ^b	0.71±0.06 ^{ab}	0.27±0.01 ^b	30.73±0.45 ^d
-22	71.12±0.99 ^c	0.81±0.02 ^b	0.03±0.005 ^b	0.68±0.007 ^{bc}	0.34±0.02 ^a	41.40±1.04 ^a
-25	72.34±0.40 ^{abc}	1.01±0.007 ^a	0.15±0.005 ^a	0.47±0.007 ^d	0.10±0.00 ^c	32.56±0.42 ^c
-28	74.62±1.36 ^{abc}	0.99±0.08 ^a	0.04±0.01 ^b	0.75±0.04 ^{ab}	0.36±0.05 ^a	34.64±0.12 ^b
-31	76.31±0.51 ^a	0.94±0.03 ^a	0.04±0.006 ^b	0.62±0.00 ^c	0.26±0.00 ^b	32.42±0.20 ^c
-34	75.12±1.55 ^{ab}	0.99±0.04 ^a	0.03±0.00 ^b	0.78±0.007 ^a	0.37±0.01 ^a	34.00±0.07 ^b
速冻温度/℃	吸水率/%	损失率/%	最佳煮制时间/s	断条率/%	感官	综合评分
-19	94.67±0.45 ^d	8.82±0.10 ^a	160.50±4.95 ^d	6.00±2.83 ^a	73.29±1.18 ^b	0.80±0.00 ^d
-22	106.11±0.50 ^a	8.90±0.04 ^a	173.50±3.54 ^c	2.00±2.83 ^{ab}	66.96±0.42 ^c	0.84±0.01 ^c
-25	100.10±0.87 ^b	7.41±0.02 ^b	171.50±3.54 ^c	4.00±0.00 ^{ab}	73.37±0.09 ^b	0.83±0.00 ^c
-28	99.19±0.35 ^b	8.12±0.39 ^b	185.50±4.95 ^b	6.00±2.84 ^a	78.97±0.02 ^a	0.87±0.00 ^b
-31	97.29±0.33 ^c	4.13±0.16 ^d	189.00±4.24 ^b	4.00±0.00 ^{ab}	80.21±0.13 ^a	0.88±0.003 ^a
-34	97.53±0.91 ^c	7.92±0.15 ^c	209.00±4.24 ^a	0.00±0.00 ^b	74.11±0.34 ^b	0.88±0.002 ^a

† 同列数据中标注不同字母表示差异显著(P<0.05)。

发,速冻温度选择在-34~-28℃时,面条硬度较为适宜,弹性较高,损失率较低,耐煮不易混汤,感官品质较佳。

2.5 关键工艺参数与速冻青稞鱼面品质指标的相关性分析

由表6可知,各工艺参数与面条品质指标之间有一定的相关性。加水量与面条的吸水率呈极显著正相关($P < 0.01$),与品质综合评分呈显著正相关($P < 0.05$);和面时间与断条率呈显著负相关($P < 0.05$),与感官评分呈极显著正相关($P < 0.01$);静置时间与硬度呈显著负相关($P < 0.05$);速

冻温度与最佳煮制时间、品质综合评分呈极显著正相关($P < 0.01$),与成品率呈显著正相关($P < 0.05$)。综上所述,与面条综合品质相关性显著的工艺参数条件为加水量和速冻温度,而和面时间与静置时间对成品综合品质影响呈正相关,但是影响不显著。因此,选择加水量、速冻温度进行后续试验。

2.6 CCD 响应面试验结果与分析

2.6.1 CCD 响应面试验 CCD 试验编码因素水平、实施方案与结果分别见表7、8。

表6 速冻青稞鱼面加工工艺特性间的 Pearson 相关性分析[†]

Table 6 Pearson correlation analysis between quick-frozen Highland barley fish noodles and Processing Technology

指标	成品率	硬度	黏附性	弹性	咀嚼性	水分	吸水率	损失率	最佳煮制时间	断条率	感官	综合评分
加水量	0.519	0.289	0.211	-0.154	-0.047	0.700	0.949**	-0.797	0.608	-0.550	0.717	0.881*
和面时间	0.732	0.171	-0.249	0.236	0.317	0.815	-0.263	0.164	0.083	-0.826*	0.922**	0.647
静置时间	-0.229	-0.880*	0.785	0.435	0.472	0.592	0.807	-0.400	0.810	0.265	-0.219	0.713
速冻温度	0.831*	0.381	-0.033	0.215	0.275	-0.122	-0.180	-0.547	0.957**	-0.503	0.558	0.928**

† ** .在 0.01 水平上显著相关; * . 在 0.05 水平上显著相关。

表7 编码因素水平

Table 7 The coded form of factor level

水平	A 加水量/%	B 速冻温度/℃
-1	16	-34
0	18	-31
1	20	-28

表8 试验实施方案与结果

Table 8 Experiment implementing plan and results

试验号	A	B	Y 品质综合评分
1	-1	-1	0.826
2	1	-1	0.951
3	-1	1	0.833
4	1	1	0.824
5	-1.41	0	0.791
6	1.41	0	0.914
7	0	-1.41	0.895
8	0	1.41	0.815
9	0	0	0.978
10	0	0	0.955
11	0	0	0.979
12	0	0	0.961
13	0	0	0.982

2.6.2 方差分析 对表8试验数据进行回归拟合,得到品质综合评分(Y)为响应值的回归方程:

$$Y = 0.97 + 0.036A - 0.029B - 0.034AB - 0.058A^2 - 0.057B^2 \quad (6)$$

对该模型进行方差分析(表9)可知,该模型具有高度显著性, ($P < 0.0001$),失拟项($P > 0.05$)不显著, $R^2_{adj} = 0.9833$ 表明方程能解释98.33%的响应值变化,拟合程度良好,品质综合评分与全体自变量之间的关系高度显著,且误差较小,可利用该回归方程确定最佳工艺条件。

表9 综合品质评分的方差分析[†]

Table 9 Variance analysis of the comprehensive quality scores

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	0.06	5	0.01	82.36	< 0.0001	极显著
A	0.01	1	0.01	69.35	< 0.0001	极显著
B	0.01	1	0.01	44.83	0.0003	极显著
AB	0.00	1	0.00	29.62	0.0010	极显著
A ²	0.02	1	0.02	154.76	< 0.0001	极显著
B ²	0.02	1	0.02	148.17	< 0.0001	极显著
误差	0.00	7	0.00			
失拟项	0.00	3	0.00	1.06	0.4577	不显著
纯差	0.00	4	0.00			
总和	0.06	12				

† $R^2 = 0.9833$; $R^2_{adj} = 0.9713$; $C.V\% = 1.37\%$ 。

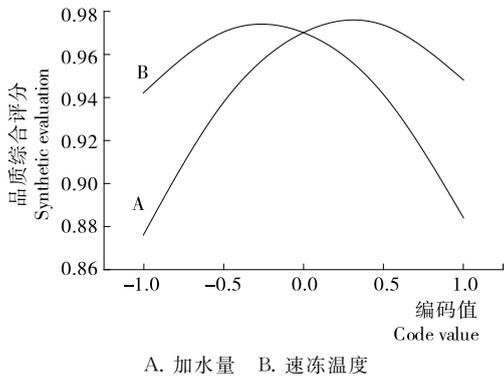
2.6.3 单因素效应分析 采用降维分析法进行单因素效应分析,即将回归方程中两个因素固定在零水平,分别得到2个因素的因素模型:

$$Y_A = 0.97 + 0.036A - 0.058A^2 \quad (7)$$

$$Y_B = 0.97 - 0.029B - 0.057B^2 \quad (8)$$

由图1可知,随着水量的增加、速冻温度的增高,面条的品质综合评分呈现先增加后降低的趋势,各因素在-0.5~0.5水平间对品质综合评分的影响存在极大值,曲线的弯曲程度为A>B,因此对面条品质综合评分影响的主次顺序为加水量>速冻温度。

2.6.4 因素交互作用分析 加水量和速冻温度的交互作用对面条品质综合评分的影响见图2。当加水量在18.20%左右和速冻温度达到-31.20℃左右时,品质综合评分达到最大值(0.98);在加水量>18.20%、速冻温度>-31.20℃时,品质综合评分随水量、速冻温度的增加而增加,这是两个因素协同所致,可能是水量的增加,有利于面筋组织的充分形成,弹性增加,不容易被拉伸^[28];随速冻温度的上升,在一



A. 加水量 B. 速冻温度

图 1 单因素轨迹图

Figure 1 Perturbation of single factors

定范围内会防止因速冻温度过低而使面条表面出现干裂、粗糙的现象,品质较佳。当加水量大于 18.20%、速冻温度大于 -31.20°C 时,评分随加水量和速冻温度的增加而降低,可能是水量过高时,面条较柔软,难以切分;而速冻温度越高,冻结的速度越慢,在面条组织内形成的冰晶颗粒越大,越容易破坏面筋网络结构,导致品质下降^[29-30]。

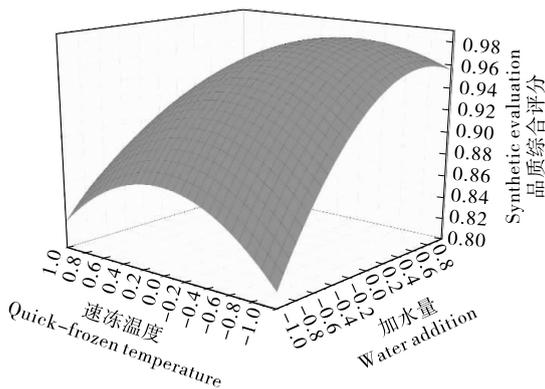


图 2 各因素交互作用的响应面图

Figure 2 Response surface plots showing the interactive effects of two factors on bacteriostatic rate

2.6.5 关键工艺参数优化及验证实验结果 通过 Desgin 8.0.6 进行模型优化的最佳工艺参数为:加水量 18.84%、速冻温度 -32.14°C ,品质综合评分预计能够达到 0.984,为了实际生产操作的便利,将工艺参数调整为加水量 18.84%、速冻温度 -32°C 。利用此工艺进行验证实验,重复 5 次,得到的品质综合评分为 0.982 ± 0.006 ,优于其他工艺组合。

3 结论

对于挤压型速冻青稞鱼面加工工艺而言,加水量、和面时间、静置时间和速冻温度均为重要关键工艺,但加水量和速冻温度对面条综合品质影响更显著($P < 0.05$),且加水量和速冻温度之间存在明显的协同作用,对面条品质综合评分的影响的主次顺序为加水量 $>$ 速冻温度。而和面时间与静置时间对成品综合品质影响呈正相关,但是影响不显著。

试验获得挤压型速冻青稞鱼面最佳工艺参数:加水量 18.84%、和面时间 12 min、静置时间 25 min、速冻温度

-32°C ,此时品质综合评分为 0.982。通过此方法生产的鱼面不仅口感良好,质构特性和蒸煮特性较佳,还有效解决了单螺旋挤压型速冻青稞鱼面在加工过程中有容易黏连成团、成品率较低,糊化后断条率较高,口感较差等问题,为青稞主食工业化的生产提供了依据。本研究主要是针对单螺旋挤压面条机的特点进行工艺参数的优化,并未考虑速冻青稞鱼面本身的工艺条件,后续将针对鱼糜加工工艺、鱼面速冻的时间和冷藏时间等进行深入研究。

参考文献

- [1] 陶海腾,李倩,刘丽娜,等.不同淀粉挤压面条品质研究[J].食品研究与开发,2017,38(2):86-89.
- [2] 孙于庆,冉旭,李建新.挤压参数对荞麦方便面质量的影响[J].食品科技,2011,36(2):138-141.
- [3] 王威,李喜宏,刘霞,等.响应面法优化全麦面条挤压工艺研究[J].食品工业,2016,37(1):36-39.
- [4] 钱平,何锦凤,王智渝.单螺旋挤压面条品质改良研究[J].食品工业科技,1998(4):27-28.
- [5] 梁卓然,苏伟,母应春.挤压红稗营养面条的加工工艺研究[J].食品科技,2014(2):162-166.
- [6] 徐颖.挤压玉米面条的研究[D].武汉:武汉工业学院,2009:62-63.
- [7] 魏益民,张明晶,王锋,等.荞麦和玉米面条挤压生产工艺探讨[J].中国粮油学报,2004(6):39-42.
- [8] 隋继学,李和平,王斌,等.速冻香椿面条的工艺优化[J].农产品加工·学刊,2011(5):45-48.
- [9] OKARTER N, LIU Rui-hai. Health benefits of whole grain phytochemical[J]. Crit. Rev. Food Sci, 2010, 50: 193-208.
- [10] ARRETT J P, KNOWLTON K F, PIKE K L, et al. Barley protein meal for lactating dairy cows: Effects on production, intake and nutrient excretion[J]. Professional Animal Scientist, 2011, 27(6): 518-524.
- [11] EDENY M J, TKACHUK M G A W. Nutrient composition of the hullless barley cultivar, Conder JSH[J]. Food Agri, 1994, 60: 451-455.
- [12] 乔明锋,彭毅秦,丁捷,等.速冻青稞鱼面的研发及配方优化[J].食品科技,2017,42(3):162-168.
- [13] 丁捷,何江红,肖猛,等.一种速冻青稞鱼面及其制作方法:中国, CN 105767886 A[P]. 2016-07-20.
- [14] 丁捷,唐艳,黄益前,等.青稞粉对速冻面条品质的影响[J].粮油食品科技,2016,24(4):27-32.
- [15] 欧阳辉,余信,陈小原,等.响应面分析法优化湘西见草籽油的超临界萃取工艺研究[J].食品科学,2010,31(2):42-45.
- [16] 吕振磊,王坤,陈海华.亲水胶体对面粉糊化特性和面条品质的影响[J].食品与机械,2010,26(4):26-31.
- [17] HEO H, BAKE B K, KANG C S, et al. Influence of amylose content on cooking time and textural properties of white salted noodles[J]. Food Sci Biotechnol, 2012, 21(2): 345-353.
- [18] 中华人民共和国卫生部. GB/T 5009.3—2003 食品中水分的测定[S].北京:中国标准出版社,2003:1.

(下转第 194 页)

品均质化评价要求,说明高温环境配送烟丝对卷烟质量影响较大。

3 结论

(1) 常温环境对配送烟丝及卷烟质量的影响程度小于低温和高温条件。低温和高温环境下配送烟丝表面和中心温度差较为明显,烟丝平衡时间较长;低温环境下碎丝率增加较为明显,高温环境下配送烟丝卷烟感官质量变化较为明显。

(2) 潮湿环境对配送烟丝及卷烟质量的影响程度小于干燥环境。干燥条件下随着配送烟丝含水率下降,整丝率下降较为明显,碎丝率明显增加,配送烟丝卷烟的吸阻标偏、端部落丝量、含末率等指标较差。

(3) 密封包装对配送烟丝及卷烟质量的影响程度小于非密封包装。非密封包装配送烟丝质量受配送环境温湿度的影响程度较大,配送后烟丝的平衡时间较长。

(4) 烟丝异地配送时,应采用密封包装方式,配送过程温度控制在 15~30 ℃,在温度(25±3) ℃、湿度(65±5)% 环境下平衡 8 h,烟丝质量变化较小,卷烟综合质量的一致性较好。

参考文献

[1] 吴文强,刘斌,毛伟俊,等. 压实法与抽空法装箱方式对烟丝质量的影响比较[J]. 烟草科技, 2014(3): 14-16.

[2] 陈家东,张晓纲,王洪权. 膨胀烟丝的包装和运输优化[J]. 烟草

科技, 2003(10): 13-16.

[3] 康金岭,范燕玲. 干冰膨胀工艺参数对膨胀烟丝整丝率的影响[J]. 食品与机械, 2013, 29(5): 246-249.

[4] 国家烟草专卖局. YC/T 31—1996 烟草及烟草制品 试样的制备和水分的测定 烘箱法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1996.

[5] 国家烟草专卖局. YC/T 178—2003 烟丝整丝率、碎丝率的测定方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.

[6] 国家烟草专卖局. YC/T 152—2001 卷烟 烟丝填充值的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.

[7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 22838—2009 卷烟和滤棒物理性能的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.

[8] 国家烟草专卖局. YC/T 151.2—2001 卷烟端部落烟丝的测定 第二部分 旋转箱法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.

[9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 19609—2004 卷烟 用常规分析用吸烟机测定总粒相物和焦油[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.

[10] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 23355—2009 卷烟 总粒相物中烟碱的测定 气相色谱法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.

[11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 中国国家标准化管理委员会. GB/T 23356—2009 卷烟 烟香气相中一氧化碳的测定 非散射红外法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.

[12] 国家烟草专卖局. YC/T 138—1998 烟草及烟草制品 感官评价法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

(上接第 143 页)

[7] EOM S H, KIM Y M, KIM S K. Antimicrobial effect of phlorotannins from marine brown algae[J]. Food and Chemical Toxicology, 2012, 50(9): 3 251-3 255.

[8] KANNAN R R R, ADEROGBA M A, NDHLALA A R, et al. Acetylcholinesterase inhibitory activity of phlorotannins isolated from the brown alga, Ecklonia maxima (Osbeck) Papenfuss[J]. Food Research International, 2013, 54(1): 1 250-1 254.

[9] 杨会成,曾名勇,刘尊英,等. 超声波、微波复合提取海带多酚的工艺研究[J]. 食品与发酵工业, 2007, 33(11): 132-135.

[10] 吕成林,汪秋宽,宋悦凡,等. 羊栖菜多酚的提取及纯化工艺研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(22): 231-240.

[11] 林超,于曙光,郭道森,等. 鼠尾藻中褐藻多酚化合物的抑菌活性研究[J]. 海洋科学, 2006, 30(3): 94-97.

[12] 钟明杰,王阳光. 微波辅助提取紫菜多酚及抗氧化活性研究[J]. 食品科技, 2010, 35(10): 204-207.

[13] 李颖畅,张笑,吕艳芳,等. 响应面优化超声波辅助提取紫菜多酚[J]. 中国食品学报, 2014, 14(9): 82-89.

[14] 蔡建秀,曾炜,陈姗龙,等. 紫菜多酚的超声波辅助提取工艺及其抗氧化作用[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(21): 54-60.

[15] 裘晨阳,吴祥庭. 龙须菜多酚类物质的双水相系统纯化及抗氧化研究[J]. 食品工业, 2015, 36(8): 122-126.

[16] 金寒冰,方丽,赖蓓蕾,等. 苦苣菜多酚超声辅助提取及抗氧化研究[J]. 食品与机械, 2014, 30(5): 211-215.

(上接第 170 页)

[19] 魏晓明,郭晓娜,朱科学,等. 谷氨酰胺转氨酶对荞麦面条品质的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(3): 188-192.

[20] 刘颖,刘丽宅,于晓红,等. 马铃薯全粉对小麦粉及面条品质的影响[J]. 食品工业科技, 2016, 37(24): 163-167.

[21] 倪文霞,王尚玉,王宏勋,等. 红薯渣面条的制备工艺研究[J]. 武汉工业学院学报, 2011, 30(3): 18-21.

[22] 谢玉锋,葛英亮,郑茂波,等. 龙麦 26 面条预混粉配方优化[J]. 食品与机械, 2014, 30(4): 231-234.

[23] 周明,黎冬明,郑国栋. 黑麦面条工艺优化及质构特性的研究[J]. 食品科技, 2016, 41(1): 121-124.

[24] 肖东,周文化,邓航,等. 3 种食品添加剂对鲜湿面抗老化作用研究[J]. 食品与机械, 2015, 31(6): 142-145, 189.

[25] 许先猛,张增帅,宋武明,等. 富纤高钙面条加工工艺的优化[J].

粮食与油脂, 2015, 28(8): 52-55.

[26] HANG J J, TZENG G H, ONG C S. A novel algorithm for uncertainty in portfolio selection[J]. Applied Mathematics and Computation, 2006, 173: 350-359.

[27] ENRIQUETA V, JOSE D B, JOSE V S, et al. Fuzzy portfolio optimization under downside risk measures[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2007, 158: 769-782.

[28] YE Yi-li, ZHANG Yong, YAN Jun, et al. Effects of flour extraction rate, added water and salt on color and texture of Chinese white noodles[J]. Cereal Chemistry, 2009, 86(4): 477-485.

[29] 郑子懿,陆启玉,章绍兵. 冷冻面条品质影响因素的研究进展[J]. 现代食品科技, 2013, 29(2): 434-447.

[30] 李玲玲,贾春利,黄卫宁,等. 冰结构蛋白对湿面筋蛋白冻藏稳定性的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(19): 26-27.