DOI:10.3969/j.issn. 1673-1689.2018.04.012

马铃薯米线挤压工艺的研究

郭静璇[1]，李 柱[2]，王 莉[1]，王 韧[1]，沈存宽[1]，罗小虎[1]，李亚男[1]，陈正行[*1]

(1. 江南大学 食品学院/粮食发酵工艺与技术国家工程实验室,江苏 无锡 214122;2. 帝斯曼(江苏)生物技术有限公司,江苏 无锡 214253)

摘要：以马铃薯全粉与籼米粉的复配粉为原料,采用双螺杆挤压工艺制作马铃薯米线。对马铃薯米线挤压加工过程中的原料水分含量、螺杆转速、挤压糊化温度(三区)和挤压成型温度(四区)进行分析研究。试验结果表明,4 个因素对马铃薯米线品质的影响大小依次为原料水质量分数>挤压成型温度>挤压糊化温度>螺杆转速。通过正交试验分析得出马铃薯米线最佳挤压工艺条件为:原料水质量分数 38%、螺杆转速 100 r/min、挤压糊化温度 105 ℃、挤压成型温度 92.5 ℃。以此得到的马铃薯米线综合评分为 11.889,口感较好,蒸煮损失率降低。由此可预测,马铃薯米线的挤压加工具有一定可行性。

关键词：马铃薯;米线;挤压工艺;正交试验

中图分类号:TS 215　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1673—1689(2018)04—0409—08

Study on Fabrication Process of Extruded Potato Noodles

GUO Jingxuan[1]，*LI Zhu*[2]，*WANG Li*[1]，*WANG Ren*[1]，*SHEN Cunkuan*[1]，*LUO Xiaohu*[1]，*LI Yanan*[1]，*CHEN Zhengxing*[*1]

(1. School of Food Science and Technology / National Engineering Laboratory of Cereal Fermentation Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. DSM (Jiangsu) Biological Technology Co. Ltd., Wuxi 214253, China)

Abstract: In this paper, blend of potato flour with rice flour in the ratio of 6:4 was used as raw material to make potato noodles with twin-screw extrusion. The optimized process for extruded potato noodles was studied by evaluate effect of extrusion process parameters (moisture content, screw speed, barrel pasting temperature and extrusion temperature). The result indicated that the effect of four factors on the quality of potato noodles was as follow: moisture content > extrusion temperature > pasting temperature > screw speed. The orthogonal test revealed that optimal conditions for processing of extruded potato noodles were: moisture content 38 %, screw speed 100 rpm, barrel pasting temperature 105 ℃, barrel extrusion temperature 92.5 ℃. At these conditions, comprehensive evaluation score was 11.889, tasting better and cooking loss lower. Then the processing of extruded potato noodles was predicted to have certain feasibility.

Keywords: potato, noodles, extrusion, orthogonal test

收稿日期：2016-01-09

* **通信作者**：陈正行(1960—),男,江苏无锡人,工学博士,教授,博士研究生导师,主要从事粮食精深加工研究。
E-mail:zxchen2007@126.com

引用本文：郭静璇,李柱,王莉,等. 马铃薯米线挤压工艺的研究[J]. 食品与生物技术学报,2018,37(04):409-416.

马铃薯营养价值高,富含淀粉、蛋白质及多种营养物质,如维生素、矿物质等,素有“第二面包”之称[1]。马铃薯中蛋白质接近于动物蛋白,含有 18 种氨基酸,其中谷物粮食中缺乏的色氨酸和赖氨酸含量较高,能补充谷物粮食的欠缺[2-3]。在欧美发达国家,马铃薯多以主食形式消费,马铃薯制品加工率高达 76%;而在我国,受饮食习惯的影响,马铃薯主要作为蔬菜鲜食。现阶段,随着我国马铃薯主粮化战略的启动,越来越多的马铃薯将会作为主粮消费,马铃薯面条、馒头等传统主食的出现能逐步转变我国膳食结构。

米线是我国南方地区的传统主食之一,是以大米或淀粉为主要原料的面条化食品[4]。米线韧性好、口感爽滑、食用方便,比较符合我国的饮食习惯,深受消费者喜爱。米线生产比面条复杂,主要依靠淀粉糊化后又凝胶化所形成的凝胶网络结构[5]。而马铃薯淀粉含量高,淀粉颗粒大,含有天然磷酸基团,具有优良的糊化特性,能形成品质优良的淀粉凝胶,是制作米线的优质原料[3]。但目前,以马铃薯为主要原料制作米线的研究还较少,市场上也几乎没有马铃薯米线产品。这主要是由于马铃薯全粉或淀粉极易吸水膨胀,会增加米线挤压制作的加工难度,制备出的米线硬度和韧性过大,使米线品质降低。此外,马铃薯全粉在水中的溶解度也远远大于大米粉,以马铃薯为原料制作的米线煮制时易浑汤、易断条。而籼米作为市售米线的主要原料,具有直链淀粉含量高、凝胶强度大等优点,但籼米米线持水能力相对较差,且弹性不足、难以熟化、加工工艺复杂。在马铃薯米线中添加适量籼米可以适当抑制马铃薯原料的吸水膨胀与溶解,提高马铃薯米线的品质,得到弹性较好、复水迅速且工艺简便的米线。前期研究中综合评价了马铃薯米线的食用品质及原料特性,发现马铃薯全粉与籼米粉以质量比 6:4 制成的米线品质较好,适合于产业化生产。因此,作者以马铃薯全粉为主要原料,以原料水分质量分数、螺杆转速、挤压糊化温度和挤压蒸煮温度为试验因素,采用双螺杆挤压工艺生产马铃薯米线,优化工艺参数,探索马铃薯加工米线产品的途径。

1 材料与方法

1.1 试验材料

马铃薯粉:兴化统全食品有限公司产品;中嘉早稻 17:中国水稻研究所提供。

1.2 仪器及设备

Polylab 型双螺杆挤压机:螺杆长径比>20:1,美国赛默飞世尔科技公司;TA- XT. Plus 物性分析仪:英国 SMS 公司产品;电子天平:中国梅特勒-托利多(上海)仪器有限公司产品;电热恒温鼓风干燥箱:中国上海三发科学仪器有限公司产品。

1.3 试验方法

将马铃薯粉与磨粉后的中嘉早稻 17 分别过 80 目筛,按马铃薯粉:米粉质量比 6:4 的比例混合,搅拌均匀,装入密封袋封口备用。

1.3.1 马铃薯米线的挤压工艺 工艺流程:复配粉 → 调节水分 → 过 30 目筛 → 平衡水分 → 挤压糊化 → 成型→ 老化 → 干燥 → 包装

操作时,调节水分是在复配粉中添加定量蒸馏水并均匀搅拌,搅拌速度 160 r/min,搅拌时间为 15 min。平衡水分需要将调湿后的复配粉装入封口袋后置于 4 ℃下平衡水分 12 h,并在挤压前放置在室温下回温 1 h。挤压糊化和成型是在一定的挤压条件下于双螺杆挤压机内完成,成型模头磨口直径为 2.2 mm。老化条件为:老化温度 25 ℃,老化时间 4 h;干燥条件为:干燥温度 40 ℃,干燥时间 12 h。

1.3.2 马铃薯米线挤压工艺单因素条件的选定 双螺杆挤压机可调节的参数主要为螺杆转速和 4 个腔体挤压温度。预实验选定挤压机一区、二区温度分别为 70 ℃和 90 ℃,而原料水分含量、挤压机三区温度(糊化温度)、四区温度(成型温度)和螺杆转速的范围为:

原料水分质量分数:34%、36%、38%、40%、42%;挤压机糊化温度:90、95、100、105、110 ℃;挤压机成型温度:80、85、90、95、100 ℃;螺杆转速:70、80、90、100、110 r/min。

1.3.3 马铃薯米线挤压工艺的优化 在单因素试验的基础上,以原料水分质量分数(A)、螺杆转速(B)、挤压糊化温度(C)和挤压成型温度(D)为影响因素,以蒸煮品质、质构特性和感官评价为指标,选用 $L_9(3^4)$正交试验方法,以确定最佳工艺条件。

1.3.4 马铃薯米线的蒸煮品质测定 蒸煮损失:称取长度约为 5 cm 的马铃薯米线5 g,记录干质量为 m_0(预先在 105 ℃下测定水分质量分数)。将马铃薯米线加入 200 mL 煮沸的蒸馏水中,保持微沸蒸煮 2.75 min 后挑出,置于滤勺上用 50 mL 蒸馏水淋洗

表 1 $L_9(3^4)$正交试验因素水平表

Table 1 Factors and levels table of $L_9(3^4)$ orthogonal test

水平	因素			
	水分质量分数 A/%	螺杆转速 B/(r/min)	挤压糊化温度 C/℃	挤压成型温度 D/℃
1	38	90	102.5	90.0
2	39	95	105.0	92.5
3	40	100	107.5	95.0

30 s,并沥水5 min。将沥干的马铃薯米线倒入铝盒,置于 105 ℃干燥箱中干燥至恒重(mL),记录干质量为 m_1,按照以下公式计算蒸煮损失率:

$$蒸煮损失率(\%)=\frac{(m_0-m_1)}{m_0}\times 100\%$$

断条率:取直径均匀、长度约为 25 cm 的马铃薯米线 30 根,加入 600 mL 沸腾的蒸馏水,保持微沸蒸煮 2.75 min 后挑出,用蒸馏水淋洗并沥干,记录断条数(n)。马铃薯米线的断条率即为:

$$断条率(\%)=\frac{n}{30}\times 100\%$$

1.3.5 马铃薯米线的质构特性测定 马铃薯米线的质构特性采用 TA-XT.Plus 物性测试仪进行测定。将马铃薯米线加入 600 mL 沸腾的蒸馏水中,保持微沸蒸煮 2.75 min 后挑出,在 500 mL 蒸馏水中冷却 30 s,沥干。每次取 3 根马铃薯米线进行全质构(TPA),每个样品平行 6 次取平均值。测试条件如下:TPA:测试探头为 P/35,压缩比为 50%,感应力为 5 g,测前、测中、侧后探头速度均为 1 mm/s[6]。

1.3.6 马铃薯米线的感官评价 马铃薯米线的感官评价由经过培训的 15 人组成品评小组对蒸煮过后的样品进行品尝评分。感官评价主要针对蒸煮过后马铃薯米线的外观形态、色泽、风味和口感 4 个方面进行评分,4 个方面分数总和为感官评价总分。具体评价标准见表 2。

1.4 数据分析

数据统计与分析采用 SPSS 20.0 和 Excel 软件。正交实验中马铃薯米线质构特性采用主成分分析法,蒸煮品质采用无量纲化处理。

2 结果与分析

2.1 不同加工条件对马铃薯米线品质的影响

2.1.1 原料水质量分数对马铃薯米线品质的影响 由图 1 可知,当原料水质量分数在 34%~40%之间时,马铃薯米线的蒸煮损失率呈现下降趋势,当原料水质量分数为 40%时,蒸煮损失率达到最小,随后增加;马铃薯米线的断条率随着原料水质量分数由 34%增加至 38%时明显减小,当原料水分质量分数大于 38%时,断条率无明显变化。

表 2 正交试验感官评分标准

Table 2 Sensory evaluation standard of potato noodles in orthogonal test

		满分	感官评定
外观形态		15	具有光滑的表面和完整的形态(11-15 分); 一般(6-10 分); 表面粗糙不平整(0-5 分)
色泽		10	呈马铃薯粉色泽,颜色均匀(7-10 分); 较接近马铃薯粉色泽,一般(4-6 分); 颜色偏暗,不均匀(0-4 分)
风味味道		15	具有较好的马铃薯风味(11-15 分); 一般(6-10 分); 风味难以接受(0-5 分)
口感	硬度	15	软硬适中(11-15 分); 偏硬或偏软(6-10 分); 过硬或过软(0-5 分)
	粘牙性	15	爽滑不粘牙(11-15 分); 一般(6-10 分); 明显粘牙(0-5 分)
	弹性	15	滑爽,弹性好(11-15 分); 一般(6-10 分); 弹性差,不滑爽(0-5 分)
	咀嚼性	15	有咬劲,有嚼头(11-15 分); 一般(6-10 分); 嚼劲差,毫无咬感(0-5 分)

图 2 所示可得,原料水质量分数由 34%增加至 36%时,马铃薯米线的硬度、弹性和咀嚼性均呈下降趋势。当原料水质量分数增加至 38%时,马铃薯米线的硬度和咀嚼性急剧升高,随后保持相对恒定,且水质量分数为 38%时硬度达到最大值(1 665.320 g),水质量分数为 40%时咀嚼性达到最大值(1 314.887 g)。而当原料水质量分数在 36%~40%时,马铃薯米线的弹性呈现逐渐增加的趋势,并在水质量分数为 40%时达到最大(0.974),随后降低。

在相同加工条件下,原料中水质量分数过低时,马铃薯米线不能完全且均匀地糊化,容易干裂,煮后易糊汤、易断条[7]。随着原料水质量分数的增加,马铃薯米线糊化更加彻底均匀,使米线的结构更加致密,煮后光滑而又嚼劲。当原料中水质量分数过高时(42%以上),原料与螺杆之间的摩擦减小,

产生的热量也越少,糊化度反而下降[8]。此外,由于水的润滑作用,螺杆转动时所受阻力减小,挤压加工难度增加,马铃薯米线的强度、韧性均会降低,并且容易造成并条现象[9-10]。综合马铃薯米线的蒸煮品质和质构品质,原料水质量分数为38%~40%时,各项指标达到最佳。

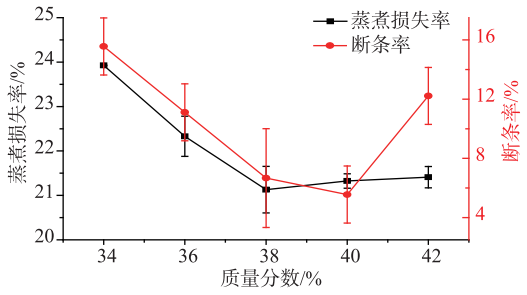


图1 原料水质量分数对马铃薯米线蒸煮品质的影响

Fig. 1 Effect of moisture content on cooking qualities of potato noodles

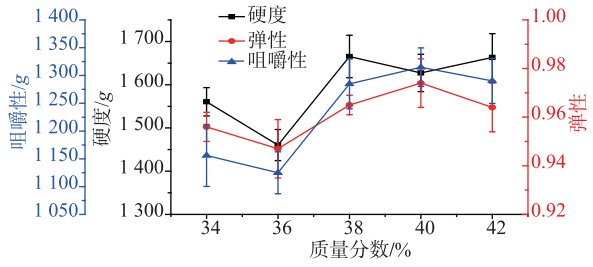


图2 原料水质量分数对马铃薯米线硬度、弹性、咀嚼性的影响

Fig. 2 Effect of moisture content on hardness,elasticity and chewiness of potato noodles

2.1.2 挤压糊化温度对马铃薯米线品质的影响

图3表明,随着挤压糊化温度由90 ℃升高至100 ℃,马铃薯米线的蒸煮损失迅速减少,当挤压糊化温度在100~110 ℃之间时,蒸煮损失保持相对稳定,并在105 ℃时达到最小值(19.38%)。与此同时,马铃薯米线的断条率也随着挤压糊化温度升高至105 ℃而急剧下降,同样在105 ℃时达到最小值(1.11%),随后增加。

图4展示了挤压糊化温度对马铃薯米线质构硬度、弹性和咀嚼性的影响。当挤压糊化温度在90~100 ℃时,马铃薯米线的硬度和咀嚼性逐渐增加,当温度升至105 ℃时,硬度(1 838.852 g)和咀嚼性(1 465.326 g)均迅速达到最大值,随后降低。马铃薯米线的弹性随着挤压糊化温度的升高而增大,在105 ℃的挤压糊化温度下能得到最大的弹性(0.977),但当温度高于105 ℃时,弹性反而下降。

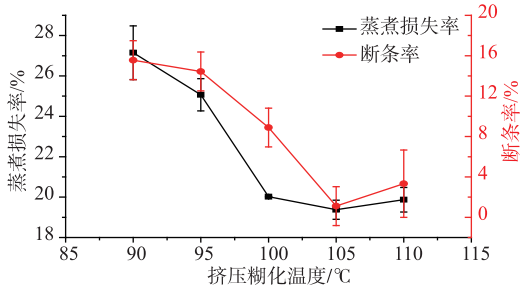


图3 挤压糊化温度对马铃薯米线蒸煮品质的影响

Fig. 3 Effect of pasting temperature on cooking qualities of potato noodles

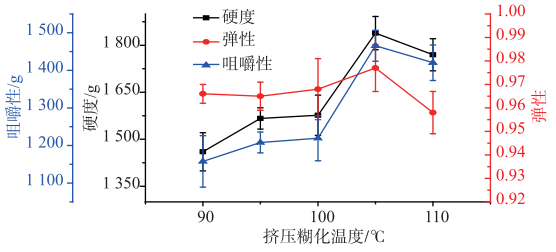


图4 挤压糊化温度对马铃薯米线硬度、弹性、咀嚼性的影响

Fig. 4 Effect of pasting temperature on hardness, elasticity and chewiness of potato noodles

对于马铃薯米线的挤压工艺,糊化温度能够影响淀粉的糊化和蛋白质的变性[11]。挤压糊化温度较低时,原料中淀粉糊化不充分,所形成的马铃薯米线凝胶品质较差。挤压糊化温度越高,原料淀粉的糊化越充分,马铃薯米线内部结构越致密,能形成良好的米线凝胶[11-12]。但同时,挤压糊化温度过高,容易引起原料粉变质,造成断条率的增加、硬度和咀嚼性的下降,不利于产品质量的保持与提高。故考虑选定挤压糊化温度为105 ℃左右。

2.1.3 挤压成型温度对马铃薯米线品质的影响

选择水分质量分数为38%的复配粉原料,挤压糊化温度105 ℃,其他条件不变,改变挤压成型温度。结果如图5所示,挤压成型温度在80~90 ℃之间时,马铃薯米线的蒸煮损失逐渐降低;成型温度高于90 ℃时,蒸煮损失逐渐增加。马铃薯米线的断条率随温度升高而略微降低,当温度超过90 ℃后断条率反而增加,尤其当温度由95 ℃升至100 ℃时,断条率由14.44%迅速增加至27.78%。

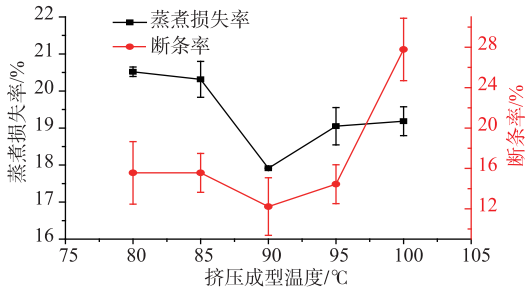


图 5 挤压成型温度对马铃薯米线蒸煮品质的影响

Fig. 5 Effect of extrusion temperature on cooking qualities of potato noodles

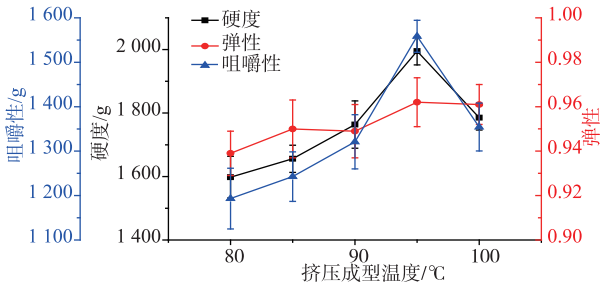


图 6 挤压成型温度对马铃薯米线硬度、弹性、咀嚼性的影响

Fig. 6 Effect of extrusion temperature on hardness, elasticity and chewiness of potato noodles

马铃薯米线的质构特性变化结果见图 6。马铃薯米线的硬度和咀嚼性具有相同的变化趋势,当挤压成型温度在 80~95 ℃之间时,硬度和咀嚼性明显具有上升趋势;在 95 ℃下挤压出的马铃薯米线硬度(1 995.342 *g*)和咀嚼性(1 558.449 *g*)最大;温度进一步升高,反而具有明显下降的趋势。挤压成型温度在 80~95 ℃之间时,马铃薯米线的弹性呈缓慢上升趋势,在 95 ℃之后无明显变化趋势。

双螺杆挤压机挤压过程中,一区、二区主要用于输送物料,三区用于加热糊化物料,而四区则在进一步促进物料的糊化的基础上,通过提高腔体内部压力降物料挤压成型。因此,对于马铃薯米线的挤压过程,控制挤压成型温度是包装产品质量的关键[13]。当挤压成型温度较低时,原料糊化不充分且黏度大,挤压出的米线结果较为松散。挤压成型温度的升高,有利于原料的进一步糊化,使马铃薯米线内部结构更加均匀致密。然而当挤压成型温度过高时,可能会较大程度地改变原料组分性质,并且由于较高的糊化程度使得原料黏度下降,使腔体内部压力降低,不利于马铃薯米线凝胶的成型[14-15]。因此,选定挤压成型温度为 90~95 ℃。

2.1.4 螺杆转速对马铃薯米线品质的影响 选择水分质量分数为 38%的复配粉原料,挤压糊化温度 105 ℃,挤压成型温度 95 ℃,其他条件不变,改变螺杆转速。结果如图 7 所示,当螺杆转速在 70~90 r/min 之间时,马铃薯米线的蒸煮损失逐渐降低;当螺杆转速在 90~100 r/min 时,蒸煮损失相对较低且无明显变化趋势。当螺杆转速由 70 r/min 升高至 100 r/min 时,马铃薯米线的断条率显著性下降,并在 100 r/min 时达到最低值(5.56%);当螺杆转速达到 110 r/min,断条率反而降低。

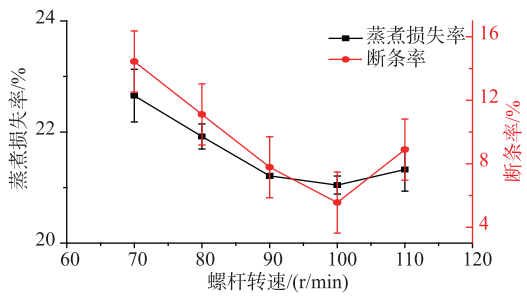


图 7 螺杆转速对马铃薯米线蒸煮品质的影响

Fig. 7 Effect of screw speed on cooking qualities of potato noodles

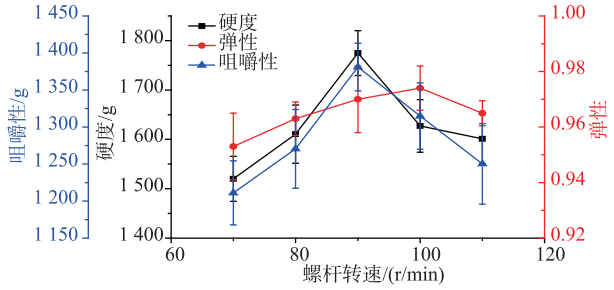


图 8 螺杆转速对马铃薯米线硬度、弹性、咀嚼性的影响

Fig. 8 Effect of screw speed on hardness, elasticity and chewiness of potato noodles

由图 8 可知,马铃薯米线的硬度和咀嚼性的变化趋势相同。当螺杆转速在 70~90 r/min 之间时,马铃薯米线的硬度和咀嚼性上升趋势明显;螺杆转速在大于 90 r/min 之后,硬度和咀嚼性下降趋势明显。当螺杆转速由 70 r/min 升高至 100 r/min 时,马铃薯米线的弹性逐渐缓慢地增加;当螺杆转速达到 110 r/min 时,弹性反而有所下降。

螺杆转速是挤压工艺中重要的参数之一。螺杆转速的高低,直接影响物料在挤压过程中的剪切程

度、在挤压机内停留时间的长短以及模口成型压力[15]。在低螺杆转速下,虽然物料在挤压机内停留时间较长,有利于淀粉糊化,但受到的剪切作用力较弱[16]。随着螺杆转速的增加,挤压机内部摩擦力增强,原料受到的剪切作用力增大,挤压出的米线结构较为致密。但当螺杆转速过高时,马铃薯米线受到的剪切作用过大,分子间作用力受到破坏,部分物质发生局部降解,并且物料在挤压机内停留时间过短而无法充分糊化,最终会导致马铃薯米线的品质变差[17-18]。综合分析,选定螺杆转速为 90~100 r/min。

2.2 马铃薯米线挤压工艺正交试验

根据单因素试验的结果,选取合适的因素水平进行 $L_9(3^4)$正交试验,以确定马铃薯米线的最佳挤压工艺。考虑到评价指标的多样性,正交试验中马铃薯米线的蒸煮品质采用无量纲化处理,质构特性采用主成分分析法[19],对正交试验结果采用综合评价法[20]。如表 3 和 4 所示,分别为经过分析处理后的蒸煮品质、质构特性结果。表 5 为马铃薯米线的感官评价结果。

表 3 马铃薯米线蒸煮品质正交试验结果分析表(无量纲化)

Table 3 Result of cooking qualities of potato noodles on orthogonal test(nondimensionalization)

试验号	蒸煮损失率/%	断条率/%	X_1	X_2	T_1
1	17.23	11.11	1.032	0.552	1.584
2	14.22	5.56	−2.044	−0.690	−2.734
3	15.82	4.44	−0.409	−0.940	−1.349
4	16.37	5.56	0.153	−0.690	−0.536
5	16.80	5.56	0.593	−0.690	−0.097
6	15.55	8.89	−0.685	0.055	−0.630
7	17.44	7.78	1.247	−0.193	1.054
8	15.98	10.00	−0.245	0.303	0.058
9	16.57	18.89	0.358	2.292	2.650

注:X_1、X_2 分别为断条率和蒸煮损失率的无量纲化处理结果;$T_1=X_1+X_2$,为综合评价结果。

综合评分法设总权值为 1,正交试验中各项指标权值分别为马铃薯米线蒸煮品质 0.3,马铃薯米线质构特性 0.3,马铃薯米线感官评价 0.4。

综合评分 $Y=0.3\times Z_{蒸煮}+0.3\times Z_{质构}+0.4\times Z_{感官}$

式中:Z 为各指标的感官评分。

经计算,得到马铃薯米线挤压工艺正交试验结果,如表 6 所示。

表 4 马铃薯米线质构特性正交试验结果分析表(主成分分析法)

Table 4 Result of texture properties of potato noodles on orthogonal test(PCA)

试验号	F_1	F_2	F_3	T_2
1	−0.963	1.682	1.817	0.346
2	1.767	1.907	−1.558	0.752
3	0.798	−1.230	1.616	0.325
4	−3.342	−0.696	−0.516	−1.670
5	−1.472	−1.705	−1.159	−1.226
6	−1.526	0.875	0.715	−0.384
7	2.233	−1.436	−0.940	0.363
8	0.199	1.165	−1.385	0.189
9	2.305	−0.562	1.410	1.306

注:F_1、F_2、F_3 分别为 3 个主成分(累计贡献率大于 90%且主成分个数最少)的评价值;$T_1=F_1\times0.426\ 35+F_2\times0.220\ 44+F_3\times0.099\ 2$,为综合评价结果。

表 5 马铃薯米线感官评价正交试验结果

Table 5 Result of sensory evaluation of potato noodles on orthogonal test

试验号	感官评价总分
1	72.30
2	77.00
3	76.50
4	74.90
5	72.80
6	74.10
7	72.40
8	71.00
9	70.30

图 9 所示为正交试验结果中因素与指标的关系。原料水分质量分数的增加会使马铃薯米线品质下降,挤压时腔体压力的减小使加工成型困难,即使成型其蒸煮损失也较大。当水分质量分数在 38%时,马铃薯米线品质综合评分较好。螺杆转速升高至 95 r/min 后,马铃薯米线的品质较好并保持相对稳定。挤压糊化温度和挤压成型温度在一定的范围内,对马铃薯米线品质呈正向增加影响,温度越高品质越好,但挤压糊化温度超过 105 ℃、挤压成型温度超过 92.5 ℃时米线品质变差。

表 6 $L_9(3^4)$正交试验结果

Table 6 Result of $L_9(3^4)$ orthogonal test

试验	A	B	C	D	试验结果			综合评分 Y
					Z 蒸煮	Z 质构	Z 感官	
1	1	1	1	1	0.198	0.677	0.000	0.875
2	1	2	2	2	1.000	0.814	9.400	11.214
3	1	3	3	3	0.743	0.670	8.400	9.813
4	2	1	2	3	0.592	0.000	5.200	5.792
5	2	2	3	1	0.510	0.149	1.000	1.659
6	2	3	1	2	0.609	0.432	3.600	4.641
7	3	1	3	2	0.296	0.683	0.200	1.179
8	3	2	1	3	0.481	0.625	−2.600	−1.494
9	3	3	2	1	0.000	1.000	−4.000	−3.000
k_1	7.301	2.615	1.341	−0.155				
k_2	4.031	3.793	4.669	5.678				
k_3	−1.105	3.818	4.217	4.704				
极差 R	25.217	3.608	9.983	17.500				

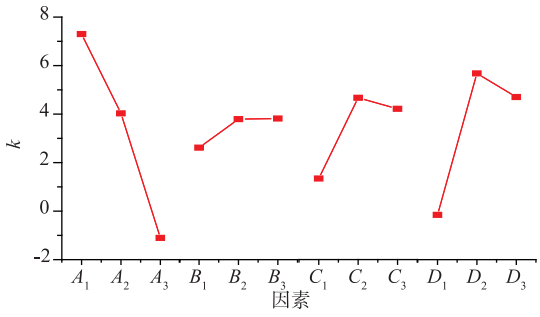


图 9 正交试验中因素与指标关系

Fig. 9 Relationship between factors and indicators on orthogonal test

由表 6 极差分析可以看出,$RA>RD>RC>RB$,原料水分质量分数对马铃薯米线品质的影响最大,其次是挤压成型温度,而挤压糊化温度和螺杆转速对马铃薯米线品质的影响相对较小。由正交试验结果可得,挤压工艺各因素各水平最佳的搭配组合为$A_1B_3C_2D_2$。即马铃薯米线挤压工艺的最佳条件为:原料水分质量分数 38%,挤压机螺杆转速 100 r/min,挤压糊化温度(三区)105 ℃,挤压成型温度(四区)92.5 ℃。验证试验得出,采用最佳工艺条件制得的马铃薯米线综合评分 11.889,感官评价得分和蒸煮品质有所提高。

3 结 语

以马铃薯全粉与籼米质量比 6:4 比例的复配粉为原料,采用双螺杆挤压和一次老化的工艺加工马铃薯米线。挤压工艺的各个参数对马铃薯米线品质影响的主次顺序为:原料水分质量分数>挤压成型温度(四区)>挤压糊化温度(三区)>螺杆转速,其中水分质量分数和挤压成型温度对米线的品质影响远远大于后两者。在原料水质量分数为 38%、螺杆转速为 100 r/min、挤压糊化温度为 105 ℃、挤压成型温度为 92.5 ℃的挤压工艺参数下加工出的马铃薯米线品质最佳,综合评分为 11.889,煮食后米线不易断条、面汤澄清不浑浊、口感爽滑有筋道。因此,马铃薯米线挤压工艺的最优条件即为:水分质量分数 38%,螺杆转速 100 r/min,挤压糊化温度 105 ℃,挤压成型温度 92.5 ℃。

参考文献:

[1] ZHEN Jie,HU Aijun. A study on application of whole potato flour to bread [J]. **Cereal & Feed Industry**,2005,11:18-20.(in Chinese)

[2] SUN Ping,ZHOU Qingzhen,YANG Mingming,et al. Development of potato granules cookie [J]. **Food Science and Technology**,2010,9:201-204.(in Chinese)

[3] WANG Chunxiang. Development of potato noodles[J]. **The Processing of Agricultural Products**,2004(6):30-31.(in Chinese)

[4] WANG Xiali, SHEN Na, LI Yiwei, et al. Study on processing technology and anti-retrogradation of instant wet rice noodles[J]. **Food & Machinery**, 2012, 28(4): 197-200. (in Chinese)

[5] HAN Wengfeng, QIU Po, ZHANG Lin, et al. A study on effect of processing technology on quality of rice gel [J]. **Grain Processing**, 2009, 34(1): 23-24. (in Chinese)

[6] HAN H M, CHO J H, KOH B K. Processing properties of Korean rice varieties in relation to rice noodle quality[J]. **Food Science & Biotechnology**, 2011, 20(5): 1277-1282.

[7] CHINNASWAMY R, M. A H P D. Expansion, color and shear strength properties of com starches extrusion-cooked with urea and salts[J]. **Starch–Stärke**, 1988, 40(5): 186-190.

[8] CAO Jing, ZHAO Jianwei, TIAN Yaoqi, et al. Effects of extrusion process on the quality of fresh instant rice[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2014, 33(4): 381-386. (in Chinese)

[9] LI Ying. Study and development of japonica rice noodles [J]. **Journal of the Chinese Cereals and Oils Association**, 2010, 24(12): 10-14. (in Chinese)

[10] ZHAO Lin, HUANG Runting, CAI Lufeng, et al. Optimization of process parameters for double screw extruded buckwheat tea[J]. **Food Science**, 2015, 36(4): 74-79. (in Chinese)

[11] DING Wengping, DING Xiaolin. Effects of temperature on gelation and retrogradation of rice starch [J]. **Cereal & Feed Industry**, 2002, 12: 39-42. (in Chinese)

[12] WEI Yiming, ZHANG Mingjing, WANG Feng, et al. Processing parameters of buckwheat and corn spaghettis [J]. **Journal of the Chinese Cereals and Oils Association**, 2005, 19(6): 39-42. (in Chinese)

[13] 魏益民. 食品挤压理论与技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2009.

[14] REDL A, MOREL M H, BONICEL J. 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): 361-70.

[15] ZHANG Kangyi, KANG Zhimin, WAN Jingrui, et al. Effect of twin-screw extrusion operation parameters on physio-chemical quality in rice noodle production[J]. **Academic Periodical of Farm Products Processing**, 2013, 1: 82-86. (in Chinese)

[16] CHUANG C C, YEH A I. Effect of screw profile on residence time distribution and starch gelatinization of rice flour during single screw extrusion cooking[J]. **Journal of Food Engineering**, 2004, 63(1): 21-31.

[17] NING Gengzhe, ZHANG Bo, WEI Yimin, et al. Study on extrusion parameters of oat flour [J]. **Journal of the Chinese Cereals and Oils Association**, 2010, 25(12): 28-31. (in Chinese)

[18] GUHA M, ALI S Z, BHATTACHARYA S. Twin-screw extrusion of rice flour without a die: Effect of barrel temperature and screw speed on extrusion and extrudate characteristics[J]. **Journal of Food Engineering**, 1997, 32(3): 251-267.

[19] WANG Zhenbin, SHAO Shuping, ZHAO Shuai, et al. Application of principal component analysis in comprehensive assessment of ultrasound treatment on vinegar[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2015, 6: 627-633. (in Chinese)

[20] CHEN Zhi, CHEN Jiayi, JIA Wei, et al. Study on extraction technology of Zhishi Shaoyao power by multi-index comprehensive scoring method[J]. **Chin J Pharm Anal**, 2013, 33(2): 193-196. (in Chinese)