

米糠油安全生产标准方法的研究与实践

The study and practice on the standardized methods for rice bran oil safety and production

吴晓娟^{1,2} 吴 伟^{1,2}

WU Xiao-juan^{1,2} WU Wei^{1,2}

(1. 中南林业科技大学食品科学与工程学院, 湖南 长沙 410004;

2. 稻谷及副产物深加工国家工程实验室, 湖南 长沙 410004)

(1. College of Food Science and Engineering, Central South University of Forestry and Technology, Changsha, Hunan 410004, China; 2. National Engineering Laboratory for Rice and By-product Deep Processing, Changsha, Hunan 410004, China)

摘要:依据国家、地方和行业标准,对米糠油全产业链进行分析,确定关键控制节点、主要检测指标及风险评估体系,并结合企业实际情况建立米糠油安全生产控制方法。结果表明,试验方法的建立和应用可以降低米糠油产品的酸值、过氧化值和塑化剂含量,提高其谷维素和植物甾醇含量。2020 年生产的 36 个米糠油产品的谷维素质量分数为 0.41%~0.93%,植物甾醇质量分数为 0.61%~1.35%,这两项指标均达到同类标准限值的 1.2 倍以上。
关键词:米糠油;标准方法;关键控制节点;质量控制;风险评估

Abstract: According to national, local and industry standards, the entire chain of rice bran oil production was analyzed and the critical control points, main detection indicators and risk assessment systems were determined. The safety and production controlling method of rice bran oil was established in accordance with the actual situation of the enterprise. The results indicated that the establishment and application of this method could reduce the acid value, peroxide value and plasticizer content of rice bran oil products, and increase their oryzanol and phytosterol content. The oryzanol content of 36 kinds of rice bran oil products produced in 2020 was between 0.41% and 0.93%, and their phytosterol content was between 0.61% and 1.35%, both of which were 1.2 times of the relative standards.

Keywords: rice bran oil; standard method; critical control point; quality control; risk assessment

米糠油是从米糠(米皮、胚芽)中提取得到的食用植物油,其脂肪酸组成合理,而且富含谷维素、维生素 E、植物甾醇、角鲨烯等多种生理活性成分,是世界卫生组织推荐的三大营养食用油之一^[1]。米糠油还具有良好的氧化稳定性,适合作为煎炸用油,并可用于制作起酥油、人造奶油等^[2-3]。近年来,国内外研究者^[4-5]通过开发米糠稳定化新技术、优化精炼工艺、有效保留脂质有益伴随物等,在改善米糠油品质方面取得了显著成效。同时,依托快速发展的粮油装备制造业,食用油生产企业通过转型升级使得米糠油的工业化生产水平不断提升^[6]。但米糠酸败、多环芳烃、真菌毒素和塑化剂污染等仍是影响米糠油安全的主要危害因素,并且随着农业集约化和工业化的快速发展,米糠资源正遭受越来越严重的重金属污染^[7-9]。

近年来,中国部分企业采用 ISO 22000 食品安全管理体系和 HACCP 体系对食用油生产过程进行控制,以保证产品质量及安全性^[10]。但随着政府、行业、企业以及消费者对食品安全问题越来越重视,仅针对生产过程的风险控制已不能满足食品安全社会共治的客观要求,涉及从原料到产品的全产业链的过程监管、样本采集和数据分析才有利于行业可持续发展^[11-12]。研究拟对米糠油全产业链进行分析,依据国家、地方和行业标准,确定关键控制节点、主要检测指标及风险评估体系,再结合企业实际情况建立相应的米糠油安全生产控制方法,为米糠油的安全生产管理提供依据。

1 米糠油全产业链的关键控制节点

(1) 米糠油安全生产全链条主要包括稻谷种植和收储,米糠加工和储运,米糠油生产、储运和销售等环节,每个环节又包含数个关键控制节点。实际生产过程中,这

基金项目:国家重点研发计划项目(编号:2018YFC1604001)

作者简介:吴晓娟,女,中南林业科技大学高级实验师,硕士。

通信作者:吴伟(1981—),男,中南林业科技大学教授,博士。

E-mail: foodwuwei@126.com

收稿日期:2021-03-09

些环节和节点都有相应的标准规范进行约束和控制,并且要求记录相关信息(见表 1)。稻谷种植环节的关键控制节点包括稻谷品种、产地环境、栽培和田间管理。稻谷品种按 LS/T 3108《中国好粮油 稻谷》记录品种审定名;水稻产地环境应符合 NY/T 847《水稻产地环境技术条件》;栽培和田间管理按照 LS/T 1218《中国好粮油 生产质量控制规范》执行。严格按照以上标准对稻谷种植进行管控,可以从源头上阻遏重金属污染原料流向米糠油生产企业^[9]。

(2) 稻谷收储环节的关键控制节点包括稻谷收储、运输、干燥和储存。温度和水分含量是影响这一环节稻谷品质劣变的关键因素^[13]。稻谷干燥和储存分别参照 GB/T 21015《稻谷干燥技术规范》和 GB/T 29890《粮油储藏技术规范》进行质量管理,可以有效抑制稻谷脂肪酸值升高和真菌毒素产生。

(3) 米糠加工环节即大米生产环节,关键控制节点包括稻谷清理、砻谷、碾米等。生产过程应符合 GB/T

26630《大米加工企业良好操作技术规范》等操作规程;稻谷原料品质应符合 GB 1350《稻谷》等产品质量标准;成品米糠应符合 LS/T 3269《油用米糠》等标准规定。采用以上标准对这一环节进行管控,不仅可提高米糠原料品质,还可对成品米糠进行分级分类处理,有利于后续米糠油加工。

(4) 米糠油加工环节的关键控制节点包括压榨/浸出、脱胶、脱酸、脱色、脱臭、灌装等。加工过程应符合 GB 8955《食品安全国家标准 食用植物油及其制品生产卫生规范》等生产规程,GB 8955 明确规定了这一环节的工艺参数监控要点,包括取样点、监控项目与指标、监控频率、监控指标限值等。成品米糠油质量指标应符合 GB 19112《米糠油》、LS/T 3249《中国好粮油 食用植物油》和 GB 2716《食品安全国家标准 植物油》等规定。

(5) 米糠油储存和销售环节的关键控制节点包括储运、销售、召回。散装米糠油的储运应符合 GB/T 30354《食用植物油散装运输规范》;小包装油运输时如使用瓦

表 1 米糠油全产业链的关键控制节点

Table 1 The critical control point of the whole industry chain of rice bran oil

主要环节	关键控制节点	信息记录	参照标准
稻谷种植	品种	品种审定名	LS/T 3108
	产地环境	土壤条件、环境质量及环境保护情况	NY/T 847
	栽培和田间管理	栽培管理、水肥管理、农药管理	LS/T 1218
	收获	收获时间、方式	LS/T 3108
	运输	运输工具、运输路径、运输方式	LS/T 3108
稻谷收储	干燥	干燥方式、参数	GB/T 21015
	储存	储存量、储存地址、储存方式、储存条件、储存过程中的虫霉防控记录和样品抽检记录	GB/T 29890
米糠加工	清理	稻谷原料及各种加工助剂、包装材料等的名称、规格、数量、供货者信息、进货日期等;环境卫生及人员健康情况;各工序的工艺参数;产品检验批号、检验日期、检验人员、检验方法、检验结果等	GB/T 26630、LS/T 1218、GB 1350、GB/T 17891、LS/T 3108、LS/T 3269、GB 19641
	砻谷		
	碾米		
	成品米糠		
	压榨/浸出		
米糠油加工	脱胶		
	脱酸	米糠原料及各种加工助剂、包装材料、食品添加剂等的名称、规格、数量、供货者信息、进货日期等内容;环境卫生及人员健康情况;各工序的工艺参数;产品检验批号、检验日期、检验人员、检验方法、检验结果等	GB 14881、GB 8955、LS/T 1218、GB 19112、LS/T 3249、GB 2716
	脱色		
	脱臭		
	灌装		
米糠油储存和销售	包装或散装(贮油罐)		
	食用米糠油成品		
	储运	储存量及储存条件,运输容器及其清洁、维护和管理记录,运输过程气候条件、油温等	GB/T 30354、GB/T 6543、GB/T 191
	销售	产品名称、规格、数量、生产日期、生产批号、检验合格证单、购货者信息、销售日期等	GB/T 17374、GB 7718、GB 28050
	召回	召回产品名称、批次、规格、数量、召回原因及后续整改方案	GB 14881

楞纸箱,还应符合 GB/T 6543 规定;包装储运标志应符合 GB/T 191。销售时,米糠油的包装应符合 GB/T 17374《食用植物油销售包装》,识标签应符合 GB 7718 和 GB 28050。米糠油产品召回应按照 GB 14881《食品安全国家标准 食品生产通用卫生规范》执行。

2 米糠油全产业链的主要检测指标

米糠油安全生产过程中,环境样本、原辅材料、半成品、成品的检验记录是决定米糠油产品质量品质的关键,其主要检测对象及指标如表 2 所示。适宜的土壤条件和环境(空气、灌溉水、土壤)质量监测对于稻谷种植环节至关重要,土壤和灌溉水的 pH 值、环境污染物、农残等指标的检测方法和检测频率按 NY/T 847 及其规范性引用文件执行。稻谷收储环节的主要检测指标包括出糙率、整精米率、杂质含量等,这些指标直接决定了原粮等级,另

外稻谷储藏过程中还需监测粮温、相对湿度、害虫密度等粮情^[14]。收购粮要求每批必检,而储备粮的检测频率则根据 GB/T 29890 执行。米糠是大米生产的副产物,因而米糠加工环节中砻谷和碾米两个节点的检测指标分别是出糙率和整精米率。成品米糠的粗脂肪含量、酸值、水分等重要指标应符合 LS/T 3269《油用米糠》。米糠油加工环节,酸值、过氧化值和溶剂残留量是强制指标;除强制指标外,感官指标(色泽、气味、滋味、透明度)、理化指标(水分及挥发物、不溶性杂质、含皂量、烟点等)以及真菌毒素(黄曲霉毒素等)、污染物(苯并芘等)、农残(倍硫磷等)、抗氧化剂(特丁基对苯二酚等)也是确保米糠油质量安全的重要指标;此外,营养声称指标(谷维素含量、植物甾醇含量)也逐渐成为高档食用油竞争力的标志^[15-16]。

表 2 米糠油全产业链的主要检测指标

Table 2 The main detection indicator of the whole rice bran oil industry chain

主要环节	检测对象	检测指标	检测频率	检测方法
稻谷种植	土壤	pH、总镉、总汞、总砷、总铜、总铅、总铬、总锌、总镍	按 NY/T 847 执行	NY/T 395 等
	空气	二氧化硫、二氧化氮、总悬浮颗粒物、臭氧、氟化物	按 NY/T 847 执行	HJ 482 等
	灌溉水	pH、化学需氧量、氯化物、硫化物、总汞、总镉、铬(六价)、总铅、氟化物、氰化物、石油类	按 NY/T 847 执行	GB/T 6920 等
稻谷收储	收购粮	出糙率、整精米率、杂质含量、水分含量、黄粒米含量、谷外糙米含量、互混率、色泽、气味、真菌毒素、污染物、农残	按 GB/T 5490 执行	GB/T 5495 等
	储备粮	出糙率、整精米率、杂质含量、水分含量、黄粒米含量、谷外糙米含量、互混率、色泽、气味、真菌毒素、粮温、相对湿度、害虫密度	按 GB/T 29890 执行	GB/T 5495 等
	原粮	出糙率、整精米率、杂质含量、水分含量、黄粒米含量、谷外糙米含量、互混率、色泽、气味、真菌毒素、污染物、农残	每批	GB/T 5495 等
米糠加工	砻谷	出糙率	每班或每批	GB/T 5495
	碾米	整精米率	每班或每批	GB/T 21719
	成品米糠	粗脂肪含量、酸值、水分、杂质、色泽、气味	每批(型式检验为每半年 1 次)	GB/T 14488.1 等
米糠油加工	压榨或浸提	温度、溶剂残留	每班或每批	GB 5009.262
	脱胶	不溶性杂质	每班或每批	GB/T 15688
	脱酸	酸值、含皂量	每班或每批	GB 5009.229 等
	脱色	酸值、色泽	每班或每批	GB 5009.229 等
	脱臭	酸值、色泽、真空度、温度	每班或每批	GB 5009.229 等
	灌装	酸值、过氧化值	每批	GB 5009.229 等
	成品米糠油	折光指数、相对密度、碘值、皂化值、不皂化物、主要脂肪酸组成、气味、滋味、水分及挥发物、不溶性杂质、酸值、过氧化值、溶剂残留量、色泽、透明度、含皂量、烟点、谷维素含量、植物甾醇含量、加热试验、冷冻试验、真菌毒素(如:黄曲霉毒素 B ₁)、污染物(如:苯并[a]芘)、农残(如:倍硫磷)、抗氧化剂(如:特丁基对苯二酚)	每批(型式检验为每半年 1 次)	GB/T 5527 等

3 米糠油全产业链的风险评估

通过对中国多家食用油生产企业进行调研,并对原料稻谷和米糠油产品质量的检测数据进行分析发现,稻谷的主要危害因子为 6 种污染物、2 种真菌毒素和 19 种农药残留,而米糠油的主要危害因子为 7 种污染物、1 种真菌毒素和 3 项强制指标(图 1)^[17-18]。成品米糠油的主要危害因子见表 3,这些危害因子一部分来源于原料米糠,另一部分主要来源于加工助剂和包装材料污染^[18]。

采用食品安全指数法和危害物风险系数法对米糠油安全生产过程中的主要危害因子进行风险评估。食品安全指数法可反映这些因子的危害程度,危害物风险系数

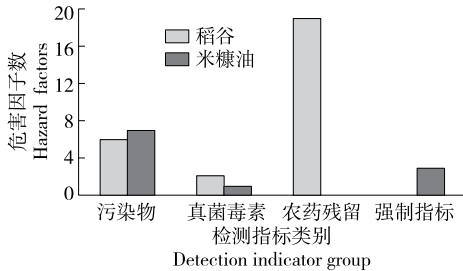


图 1 稻谷和米糠油主要危害因子比较

Figure 1 Comparison of the main hazard factors of paddy and rice bran oil

法可进一步反映危害因子在一定时期内的分布趋势,综合使用这两种方法,可为合理设计质量安全控制方案提供更为全面的依据^[25]。

按式(1)~式(3)计算安全指数。

$$I_{FS} = \frac{\sum_{i=1}^n I_{FS,Ci}}{n}, \tag{1}$$

$$I_{FS,C} = \frac{E_{DL,c} \times f}{S_{L,c} \times w_b}, \tag{2}$$

$$E_{DL,c} = \sum (R_i \times F_i \times E_i \times P_i), \tag{3}$$

式中:

I_{FS} ——安全指数;

$S_{L,c}$ ——危害因子 c 的安全摄入量(采用法定限量值);

w_b ——平均体重,按 60 kg 计;

$E_{DL,c}$ ——危害因子 c 的摄入量估算值;

R_i ——米糠油样品 i 中危害因子 c 的残留水平,取实际检出值;

F_i ——米糠油的估计摄入量,按食用油合理摄入量每人每天 25 g 计;

E_i, P_i, f ——可食用部分因子、加工处理因子、校正因子,参照相关文献均取 1^[21, 26]。

表 3 米糠油全产业链主要危害因子

Table 3 The main hazard factors of rice bran oil safety and production

类别	危害因子	单位	限量值(≤)	危害描述	检测方法
污染物	无机砷(以 As 计)	mg/kg	0.1	导致代谢障碍,具有致癌作用和神经毒性等 ^[19]	GB 5009.11
	铅(以 Pb 计)	mg/kg	0.1	造成消化、神经等系统损伤 ^[20]	GB 5009.12
	镉(以 Cd 计)	mg/kg	0.1	损害肾脏,导致软骨病 ^[20]	GB 5009.15
	苯并[a]芘	μg/kg	10.0	具有致癌、致畸、致突变性 ^[21]	GB 5009.27
	邻苯二甲酸酯(DINP)	mg/kg	9.0	具有潜在的生殖毒性、发育毒性和脏器毒性,甚至产生致畸、致癌作用 ^[22]	GB 5009.271
	邻苯二甲酸酯(DBP)	mg/kg	0.3		GB 5009.271
	邻苯二甲酸酯(DEHP)	mg/kg	1.5		GB 5009.271
真菌毒素	黄曲霉毒素 B ₁	μg/kg	10.0	诱发肝癌 ^[23]	GB 5009.22
强制指标	酸值(KOH)	mg/g	0.2(一级)	食用油氧化变质程度的判定指标 ^[18]	GB 5009.229
			0.3(二级)		
			1.0(三级)		
			3.0(四级)		
			4.0(原油)		
强制指标	过氧化值	mmol/kg	5.0(一级、二级)	食用油氧化变质程度的判定指标 ^[18]	GB 5009.227
			7.5(三级、四级、原油)		
			不得检出(压榨)		
	溶剂残留	mg/kg	不得检出(浸出一级、二级)	成分复杂,脂溶性和挥发性强,特别对神经系统有毒性 ^[24]	GB 5009.262
			50.0(浸出三级、四级)		
			100.0(浸出原油)		

按式(4)计算风险系数。

$$R=aP+b/F+S,$$

(4)

式中:

P ——危害因子超标率,%;

F ——施检频率;

S ——敏感因子;

a 、 b ——权重系数。

采用长期风险系数进行分析,参照文献[25],设定 $a=100$ 、 $b=0.1$ 、 $S=1$ 、 $F=1$ 。

通过对湖南、江苏地区 3 家食用油生产企业 2019 年生产的 36 个不同批次米糠油产品(含 30 个一级油和 6 个四级油)的检测数据(表 4)分析发现,11 种主要危害因子的 I_{FS} 均 ≤ 1 ,说明这些指标对米糠油的整体安全状况可接受,但酸值和过氧化值的 I_{FS} 较高,分别为 0.406 3、0.169 8。同时,综合比较 11 项指标的风险系数发现,酸值的 R 值最高,达 17.77,其次是过氧化值、重金属铅和塑化剂 DBP,均为 3.88,此 4 项指标的 R 值均 ≥ 2.5 ,属于高度风险等级^[25]。综上,米糠油安全生产过程中,酸值、过氧化值、铅和 DBP 是重点监测对象。

4 米糠油安全生产控制方法的建立和应用

针对上述 3 家食用油生产企业的实际生产情况,建立相应的米糠油安全生产控制方法,主要包括采集关键控制节点的记录信息和检测数据(关键控制节点、检测对象和指标、检测方法和频率、检测结果等);评估影响安全生产的主要危害因子(强制指标、真菌毒素、污染物、抗氧化剂等);将酸值、过氧化值、铅、DBP 以及部分营养声称指标(谷维素、植物甾醇等)作为实际生产过程的主要控制指标,特别是在原料处理和精炼加工环节将酸值作为最重要的控制指标。分别采集这 3 家企业 2020 年生产的 36 个不同批次的米糠油样品进行检测,并与 2019 年生产的 36 个样品进行比较,结果如表 5 所示。

由表 5 可知,与 2019 年生产的米糠油相比,2020 年生产的一级、四级米糠油的酸值、过氧化值和 DBP 含量均明显下降,酸值分别下降了 26.32%、56.68%,过氧化值分别下降了 59.55%、40.20%,DBP 含量分别下降了 20.00%、22.22%;一级米糠油的铅含量无明显变化,但四

表 4 米糠油主要危害因子的安全指数和风险系数

Table 4 The safety index and risk coefficient of the main hazards of rice bran oil

检测指标	样品数	检出数	单位	检出值范围	检出率/%	超标数	超标率/%	I_{FS}	R
无机砷(以 As 计)	36	5	mg/kg	0.00~0.050	13.89	0	0.00	0.018 5	1.10
铅(以 Pb 计)	36	7	mg/kg	0.00~0.12	19.44	1	2.78	0.049 8	3.88
镉(以 Cd 计)	36	5	mg/kg	0.00~0.065	13.89	0	0.00	0.024 0	1.10
苯并[a]芘	36	4	μ g/kg	0.00~7.10	11.11	0	0.00	0.025 3	1.10
邻苯二甲酸酯(DINP)	36	3	mg/kg	0.00~7.21	8.33	0	0.00	0.022 0	1.10
邻苯二甲酸酯(DBP)	36	7	mg/kg	0.00~0.66	19.44	1	2.78	0.084 5	3.88
邻苯二甲酸酯(DEHP)	36	9	mg/kg	0.00~1.42	25.00	0	0.00	0.040 0	1.10
黄曲霉毒素 B ₁	36	2	μ g/kg	0.00~5.50	5.56	0	0.00	0.012 4	1.10
酸值(KOH)	36	36	mg/g	0.12~5.14	100.00	6	16.67	0.406 3	17.77
过氧化值	36	36	mmol/kg	0.78~8.55	100.00	1	2.78	0.169 8	3.88
溶剂残留	36	3	mg/kg	0.00~21.50	8.33	0	0.00	0.009 5	1.10

表 5 米糠油部分指标比较分析

Table 5 Comparative analysis of some indicators of rice bran oil

检测指标	单位	一级米糠油($n=30$)				四级米糠油($n=6$)			
		2019 年		2020 年		2019 年		2020 年	
		检出值	平均值	检出值	平均值	检出值	平均值	检出值	平均值
酸值(KOH)	mg/g	0.12~0.38	0.19	0.08~0.20	0.14	1.57~5.14	3.37	1.05~1.97	1.46
过氧化值	mmol/kg	0.78~4.21	1.78	0.50~0.97	0.72	2.09~8.55	5.00	2.09~4.01	2.99
铅	mg/kg	0.00~0.12	0.01	0.00~0.07	0.01	0.00~0.08	0.03	0.00~0.07	0.02
DBP	mg/kg	0.00~0.66	0.05	0.00~0.29	0.04	0.00~0.30	0.09	0.00~0.21	0.07
谷维素含量	%	0.15~0.51	0.35	0.41~0.59	0.51	0.56~0.69	0.63	0.42~0.93	0.70
植物甾醇含量	%	0.31~0.58	0.46	0.61~0.92	0.67	0.50~1.26	0.87	0.61~1.35	0.93

级米糠油的铅含量有所下降;一级、四级米糠油的谷维素和植物甾醇含量均明显提高,谷维素含量分别提高了 45.71%,11.11%,植物甾醇含量分别提高了 45.65%,6.45%。谷维素和植物甾醇均是米糠油中天然的抗氧化成分,其含量的提高主要归因于米糠油生产过程中氧化酸败程度的有效控制^[16]。

目前,中国越来越多的地区重视以标准引领粮食产业发展,实现粮油产品优质优价,推进优质粮油工程建设^[27]。浙江制造团体标准 T/ZB 0674—2018《米糠油》规定了一级米糠油中谷维素和植物甾醇的限量值分别为 0.1%和 0.5%。黑龙江、湖北也分别制定了团体标准规定各级米糠油的谷维素限量值为 3 000 mg/kg。2020 年生产的 36 个不同批次米糠油的谷维素质量分数为 0.41%~0.93%,植物甾醇质量分数为 0.61%~1.35%,这两项指标均达到同类标准限量值的 1.2 倍以上。

5 结论

通过对米糠油全产业链(包括稻谷种植和收储,米糠加工和储运,米糠油生产、储运和销售等环节)进行分析,依据国家、地方和行业标准,逐步确定了米糠油安全生产的关键控制节点、主要检测指标和危害因子。综合采用食品安全指数法和危害物风险系数法对主要危害因子进行分析,确定了酸值、过氧化值、重金属铅和塑化剂 DBP 作为米糠油安全生产的重点监测指标。针对 3 家食用油生产企业的实际情况,建立相应的米糠油安全生产控制方法。结果表明,米糠油安全生产控制方法的建立和应用可以明显降低米糠油的酸值、过氧化值和塑化剂含量,提高米糠油的谷维素和植物甾醇含量。但不同地区的稻谷品种和米糠品质差异较大,试验目前仅在湖南、江苏 3 家企业进行初步实践,后续还需进一步调研和分析中国其他地区的米糠油加工情况,才能建立更加精准的米糠油安全生产控制方法。

参考文献

- [1] LIU Ru-ru, XU Ying, CHANG Ming, et al. Antioxidant interaction of α -tocopherol, γ -oryzanol and phytosterol in rice bran oil[J]. Food Chemistry, 2021, 343: 128431.
- [2] RAHMANIA H, KATO S, SAWADA K, et al. Revealing the thermal oxidation stability and its mechanism of rice bran oil[J]. Scientific Reports, 2020, 10(1): 14091.
- [3] DOAN C D, TAVERNIER I, DANTHINE S, et al. Physical compatibility between wax esters and triglycerides in hybrid shortenings and margarines prepared in rice bran oil[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2017, 98(3): 1 042-1 051.
- [4] YU Cheng-wei, HU Qi-rui, WANG Hao-wei, et al. Comparison of 11 rice bran stabilization methods by analyzing lipase activities[J].

- Journal of Food Processing and Preservation, 2020, 44(4): e14370.
- [5] LIU Rui-jie, LIU Ru-ru, SHI Long-kai, et al. Effect of refining process on physicochemical parameters, chemical compositions and in vitro antioxidant activities of rice bran oil[J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 109: 26-32.
- [6] 王瑞元. 长足发展的中国稻米油生产与装备制造业[J]. 中国油脂, 2019, 44(10): 1-3.
- [7] BOLLINEDI H, SINGH A K, SINGH N, et al. Genetic and genomic approaches to address rapid rancidity of rice bran[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2021, 61(1): 75-84.
- [8] 刘玉兰, 胡爱鹏, 马宇翔, 等. 植物油料和食用油脂加工质量安全控制[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(11): 177-185, 190.
- [9] 符海琰, 李昌模, 黄晓涛, 等. 米糠油精炼过程中重金属迁移规律的研究[J]. 中国油脂, 2016, 41(10): 76-79.
- [10] 李兴伟, 马申嫣, 白宏伟. HACCP 体系在食用油灌装生产中的应用[J]. 粮食与食品工业, 2020, 27(4): 18-23.
- [11] 张飞, 景亚萍, 朱平, 等. 食品安全大数据标准体系建设研究[J]. 食品科学, 2020, 41(13): 318-325.
- [12] 生吉萍, 宿文凡, 罗云波. 食品流通领域风险分析与风险控制[J]. 食品工业科技, 2020, 41(19): 240-243.
- [13] 段依梦, 宋玉, 曹磊, 等. 温度对高水分稻谷储藏品质的影响及其预测模型研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(19): 304-308, 326.
- [14] 罗慧, 马海乐, 王洋, 等. 基于图像处理的储粮低密度虫害监测系统的设计与验证[J]. 现代食品科技, 2019, 35(10): 268-273, 115.
- [15] SUN Xiao-yang, ZHANG Li-fen, YAN Jing-feng, et al. Effects of enzymatic free fatty acid reduction process on the composition and phytochemicals of rice bran oil [J]. Food Chemistry, 2021, 337: 127757.
- [16] 李杰, 赵声兰, 陈朝银. 食用油天然抗氧化剂的研究与开发[J]. 食品工业科技, 2015, 36(2): 373-378.
- [17] 吴晓娟, 许东, 董界, 等. 方便米饭安全生产关键监管数据标准化方法的研究[J]. 食品与机械, 2020, 36(9): 91-96, 107.
- [18] 余晓琴, 何绍志, 钟慈平, 等. 普通食用油检验关键点分析[J]. 中国油脂, 2020, 45(10): 127-131.
- [19] LI Li-bing, FENG Hua-shuai, WEI Jun-xiao. Toxic element (As and Hg) content and health risk assessment of commercially available rice for residents in Beijing based on their dietary consumption[J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2020, 27: 13 205-13 214.
- [20] SHARMA S, NAGPAL A K, KAUR I. Heavy metal contamination in soil, food crops and associated health risks for residents of Ropar wetland, Punjab, India and its environs[J]. Food Chemistry, 2018, 255: 15-22.
- [21] CHEN Kai-ge, KANG Run-run, SUN Qian, et al. Resveratrol ameliorates disorders of mitochondrial biogenesis and mitophagy in rats continuously exposed to benzo(a)pyrene from embryonic development through adolescence[J]. Toxicology, 2020, 442: 152532.

(下转第 110 页)

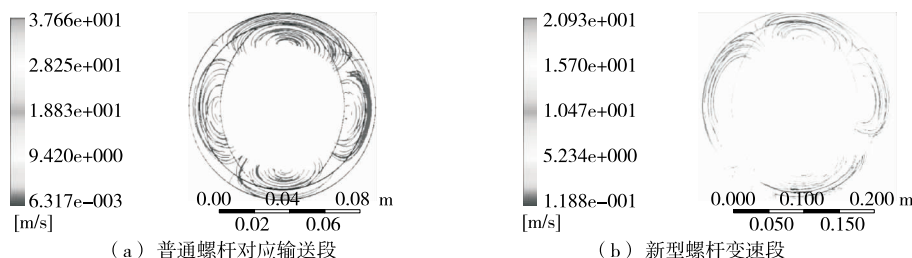


图 8 单螺杆挤出机流道速度矢量图

Figure 8 Single screw extruder runner speed vector diagram

行星盘和反向螺纹的作用下出现明显的减速,使物料在机筒内停留时间更长,混合更加充分。

3 结论

使用 ANSYS/CFX 模块分析了带行星轮的同轴变速单螺杆在流场中的运动状况。结果表明:① 传统普通单螺杆物料传送速度均匀,只存在建压能力,不存在背压区,物料只能保持匀速前进,无法被反复挤压,混合性能较差;② 在螺杆中段内部增设行星轮盘,行星轮盘所作用的输送段转向相反且转速明显下降,相当于增加了一个转速减慢的反向螺纹,使物料在此背压区中出现回流,故物料可以停留更长时间,从而增加了混合性能;③ 相比于只带反向螺纹的单螺杆,在行星轮盘作用下反向螺纹还具有减速作用且不影响普通输送段的速度,既延续了反向螺纹的优点,又在此基础上进一步增加了物料停留时间;④ 相比于常规螺纹,行星轮盘与普通螺纹的组合使用使建压能力提高了 3.51 倍;⑤ 研究仅讨论了增加变速输送段的优点,但变速输送段设在何处可以使螺杆性能达到最佳还需进一步探索。

参考文献

[1] 邢应生,朱复华,江顺亮.单螺杆挤出过程固体输送段的数值模拟[J].中国塑料,2004,18(10):83-87.

[2] 郭树国,张召,王丽艳.基于 ANSYS 的豆粕双螺杆膨化机的三维流场分析[J].中国农机化学报,2014,35(6):213-216,240.
 [3] 王会然,李宗军.螺杆挤压机及其应用研究现状[J].食品工业,2011,32(10):99-102.
 [4] 潘龙,张玉霞,金志明,等.单螺杆挤压机高速挤出技术研究进展[J].中国塑料,2009,23(8):1-6.
 [5] 耿孝正.双螺杆挤出机原理及其应用[M].北京:中国轻工业出版社,2002:4.
 [6] 杨凯,武凯,王以龙,等.双螺杆挤压膨化机螺杆的力学模型及有限元分析[J].机械设计与制造,2013(1):175-177.
 [7] 陈晋南,胡冬冬.计算流体力学(CFD)及其软件包在双螺杆挤出中的应用[J].中国塑料,2001(12):12-16.
 [8] 赵玉莲,李鑫,安琪,等.非等温条件下啮合同向双螺杆挤出过程数值模拟分析[J].食品与机械,2019,35(4):76-79.
 [9] 郭树国,张召,王丽艳,等.基于 CFX 的豆粕单螺杆挤出机的三维流场分析[J].大豆科学,2015,34(4):699-702.
 [10] 杜德鑫.关于单螺杆塑料挤出机的节能分析和设计[J].机械设计与制造工程,2013,42(7):59-62.
 [11] 郭树国,韩进,王丽艳,等.基于 CFX 的新型豆粕单螺杆挤出机数值模拟分析[J].大豆科学,2017(2):300-304.
 [12] 王少峰,张媛,刘美莲,等.不同温度状态下啮合异向双螺杆挤出机的流道分布规律[J].食品与机械,2018,34(10):71-74.
 [13] 芦菲,陈喜东,李波,等.双螺杆挤压制备豆渣膨化食品工艺研究[J].大豆科学,2015,34(2):306-309.

(上接第 94 页)

[22] 任琳,秦忠雪,何玲,等.四川省植物性食用油中邻苯二甲酸酯类的污染状况和暴露评估[J].现代预防医学,2020,47(22):4 076-4 075.
 [23] TAGHIZADEH S F, REZAEE R, DAVARYNEJAD G, et al. Risk assessment of exposure to aflatoxin B₁ and ochratoxin A through consumption of different Pistachio (*Pistacia vera* L.) cultivars collected from four geographical regions of Iran[J]. Environmental Toxicology and Pharmacology, 2018, 61: 61-66.
 [24] FLECKER T, SCHICHER M, LEITNER E, et al. Residual solvent

or intrinsically formed during production: Analysing volatile compounds in unrefined vegetable oils using headspace gas chromatography coupled with mass spectrometry[J]. Food Additives & Contaminants: Part A, 2019, 36(7): 1-13.
 [25] 段夏非,曾雅,李映霞,等.食品安全指数法评估广州市海珠区果品中有机磷类农药残留的风险[J].中国卫生检验杂志,2020,30(1):87-90.
 [26] 曾小峰,吴德仁,陈坚磊,等.食品安全指数法评估北海市海产品重金属污染水平[J].现代预防医学,2014,41(4):621-623.
 [27] 李雯雯.强化标准引领推动粮食产业高质量发展[J].中国粮食经济,2021(1):25-26.