

膨化大豆粉的生产加工技术及在饲料中的应用

曾红卫, 汤金甫, 季茂忠

(中储粮油脂(唐山)有限公司, 河北 唐山 063611)

摘要:为给膨化大豆粉相关产品的开发和应用提供参考,根据生产实践经验,总结了在无抗大环境下膨化大豆粉的生产加工技术、关键设备和关键指标控制,并对膨化大豆粉在仔猪、奶牛、水产和家禽饲料中的应用研究情况进行了综述。原料大豆经除杂、破碎、粉碎、调质、膨化、冷却、干燥、破碎等工艺生产膨化大豆粉,膨化大豆粉生产关键设备包括原料破碎机、锤片式粉碎机、调质器、膨化机、翻板冷却器、成品破碎机等。膨化大豆粉关键指标为抗营养因子(脲酶活性0.01~0.03 U/g)、氢氧化钾蛋白质溶解度(75%~80%)、脂肪(17%~20%)、粗蛋白质(35%~39%)、水分($\leq 12\%$)、颗粒度(0.85 mm筛网过筛率 $\geq 90\%$)等,可通过调节工艺参数和加工工艺等方式,控制关键指标。膨化大豆粉可用于仔猪、奶牛、水产、家禽的饲料中,具有促进消化吸收、提高生产性能等优点。综上,膨化大豆粉生产工艺简单,同时对提高养殖经济效益具有十分重要的意义。

关键词:膨化大豆粉;抗营养因子;饲料;无抗;蛋白质

中图分类号:S816.4;S816.9 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2024)02-0052-05

Processing technology of extruded soybean powder and its application in feed

ZENG Hongwei, TANG Jinpu, JI Maozhong

(Sinograin Oils & Fats (Tangshan) Co., Ltd., Tangshan 063611, Hebei, China)

Abstract: In order to provide reference for the development and application of extruded soybean powder products, the processing technology of extruded soybean powder in non-resistant environment, key equipments and key control indicators were summarized according to the practical experience of production. In addition, the applications of extruded soybean powder in piglets, dairy cows, poultry and aquatic feed were overviewed. Extruded soybean powder was produced by the process of impurity removal, crushing, grinding, conditioning, extruding, cooling, drying and crushing. The key equipments of the extruded soybean powder production included raw material crusher, hammer mill, conditioner, extruder, flip plate cooler, finished product crusher and other equipment. The key indicators of extruded soybean powder were mainly anti-nutritional factors (urease activity 0.01-0.03 U/g), KOH nitrogen solubility index (75%-80%), fat (17%-20%), crude protein (35%-39%), moisture ($\leq 12\%$), and particle size (0.85 mm screen passing rate $\geq 90\%$), which could be controlled by adjusting production process and process parameters. Extruded soybean powder could be used in the feed of piglets, dairy cows, aquatic products and poultry, which had the advantages of promoting digestion and absorption, improving production performance. In summary, the production process of extruded soybean powder is simple, and it has a very important significance for improving the economic benefits of breeding.

Key words: extruded soybean powder; anti-nutritional factor; feed; non-resistant; protein

收稿日期:2022-10-31;修回日期:2023-11-14

作者简介:曾红卫(1967),男,高级工程师,主要从事大型粮油企业生产运营管理(E-mail) zenghongwei123@126.com。

膨化大豆粉因营养价值高、豆香味浓郁、酥脆性强、适口性好等特性,在畜禽、反刍动物及水产等养殖行业中得到广泛应用。近几年,膨化大豆粉深受市场的青睐,其市场需求量逐年增加,导致国内膨化

大豆粉产能急剧扩张,市场竞争日趋激烈,市场对膨化大豆粉产品质量也提出了更高的要求。本文根据生产实践经验重点从膨化大豆粉的加工工艺、关键设备、关键指标控制,以及膨化大豆粉应用等方面进行阐述与分析,以期为业内相关产品的开发和应用提供参考。

1 膨化大豆粉加工工艺

原料大豆经输送设备输入原料暂存仓,去除杂质(豆梗、豆荚、铁杂等)后,经双对辊破碎机破碎成4~6瓣的粒状物,再经锤片式粉碎机粉碎,达到满足调质及膨化工艺要求。粉碎后的物料进入双层调质器,利用直接蒸汽进行加热调质。上层调质器(单轴)主要用于物料与蒸汽充分混合与初步调质,下层调质器(双轴)将混合均匀的物料进行初步熟化后,再进入膨化机中膨化。物料在膨化机腔内被强烈地搅拌、挤压与剪切,随着其压力和温度逐步升高,在高温、高压以及高剪切作用下,其物性发生变化,包括淀粉糊化、蛋白质变性及纤维质部分降解和细化。当糊状料从出料模孔喷出的瞬间,在强大的压差作用下,物料被失水、降温和膨化,形成结构疏松、多孔、酥脆且具有较好适口性和风味性的产品。膨化料先经逆流式翻板冷却器冷却、干燥,再经双对辊破碎机破碎,使其符合颗粒度标准,最终经称重包装后发运或库存。图1是目前较为常见的膨化大豆粉生产工艺流程。

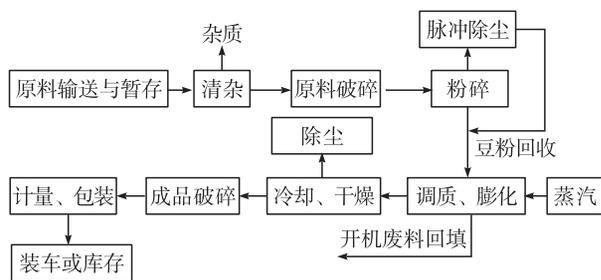


图1 膨化大豆粉生产工艺流程

2 膨化大豆粉生产加工的关键设备

膨化大豆粉生产加工的关键设备包括原料破碎机、锤片式粉碎机、调质器、膨化机、翻板冷却器、成品破碎机(或成品粉碎机)等。

2.1 破碎机和粉碎机

大豆破碎机出料控制指标为4~6瓣的粒状物,这有利于减少锤片式粉碎机锤片的磨损,提高产能。锤片式粉碎机筛网孔径一般控制在1.6~2.0 mm,以利于调节粉状物在调质器中与蒸汽的接触表面积,保证调质效果,更好地控制产品脲酶活性和颗粒度。因大豆含油量高,全脂大豆粉过筛比较困难,所以粉碎系统中加装了吸风和除尘系统,其除尘器滤

袋材质选用拒水防油漆涤纶针刺毡,可有效减少滤袋粘料的现象。成品破碎机出料控制指标:颗粒度满足通过0.85 mm筛网的过筛率在90%以上,这有利于反刍动物的消化、吸收。目前国内部分地区和市场已将上述过筛率提升至98%。

2.2 调质器和膨化机

调质器多采取双层调质器,其优点包括:①增加空间体积,延长有效调质时间;②蒸汽通过蒸汽喷嘴以雾状穿透整个料层,有利于蒸汽热能与物料间的能量交换;③在上层调制器的进料口设有料封绞龙,保证进料的连续性,同时杜绝了蒸汽从进料口逸出进入料封绞龙和破拱暂存仓,引起物料结拱。双轴调质器出料水分不超过14.7%、温度96~103℃,可提高膨化效果。膨化机的出料模孔直径通常控制在8~10 mm,出料温度为125~135℃,水分不超过13.5%,脲酶活性为0.01~0.03 U/g,氢氧化钾蛋白质溶解度为75%~80%。

2.3 翻板冷却器

翻板冷却器采用的是负压干燥冷却工艺,顶部设有旋转阀,可阻隔膨化料闪蒸后的湿气进入翻板冷却器从而影响干燥冷却效果,其内部配置旋转布料器,转速可调,翻板频率与进料量匹配,根据风机的风压,控制料位为420~580 mm。翻板冷却器出料控制指标:料温 \leq 环境温度+5℃,水分 \leq 12%(可随季节灵活调控)。料温过高膨化大豆粉易发生酸败,水分过高则容易霉变,会缩短产品的保质期,不利于安全储存。

3 膨化大豆粉关键指标控制

膨化大豆粉作为饲料原料,关键指标有抗营养因子(脲酶活性0.01~0.03 U/g)、氢氧化钾蛋白质溶解度(75%~80%)、水分(\leq 12%)、颗粒度(0.85 mm筛网过筛率 \geq 90%)、脂肪(17%~20%)、粗蛋白质(35%~39%)、灰分(5%~6%)、感官(香味浓、适口性好,无异味和酸味)等(上述指标为我司生产控制指标),膨化大豆粉关键指标对饲料配方有直接的影响。根据生产实践经验,本文重点阐述抗营养因子、脂肪、粗蛋白质、水分、颗粒度等指标的控制方法。

3.1 抗营养因子的控制

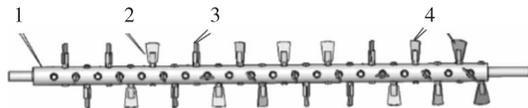
抗营养因子主要包括抗原蛋白、大豆凝集素、胰蛋白酶等^[1]。在膨化大豆粉的加工中,大豆的适度熟化非常重要,熟化度过低则抗营养因子含量高,熟化度过高又会导致蛋白质利用率低。在生产实践中,常用脲酶活性判定膨化大豆粉的熟化度,且一般

常用快速测定法(半固体法)测定脲酶活性^[1]。脲酶活性越低则表明胰蛋白酶抑制因子被破坏得越彻底。脲酶活性指标易于生产企业及用户自行检测,而抗原蛋白、抗胰蛋白酶则不便于检测,因此业内一般通过监测脲酶活性来间接反映抗营养因子的变化情况。我司多年的生产实践发现,膨化大豆粉的脲酶活性与物料的颗粒度、调质时间、出料温度、膨化压力以及膨化温度等因素有关。

3.1.1 颗粒度、调质时间、出料温度与脲酶活性的关系

实践发现,等质量的物料,其颗粒度越小,表面积越大,调质、膨化效果越好,其脲酶活性越低。

物料在双层调质器内的调质总时间为 150 ~ 180 s,双层调质器出料温度一般控制在 96 ~ 103 ℃。调质器的桨叶有前推桨叶、搅拌桨叶和后推桨叶(见图 2)。物料的调质时间可以根据实际产量通过调整前推桨叶或后推桨叶的安装角度进行调节。若调质时间过短、出料温度过低,则调质效果不佳,从而影响膨化效果,导致脲酶活性超标。



注:1. 调质器主轴;2. 搅拌桨叶;3. 后推桨叶;4. 前推桨叶

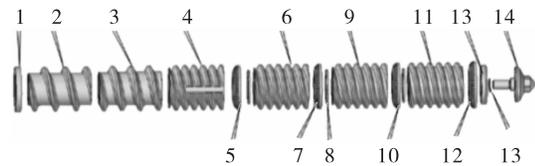
图 2 单轴调质器桨叶角度分布示意图

3.1.2 膨化压力、温度与脲酶活性的关系

图 3 是一种常用单螺杆膨化机内部挤压件的结构图,沿物料流动方向,螺旋的间距递减、耐压环的直径递增、螺旋沟槽的深度越来越浅,膨化腔的体积也越来越小,这种结构有利于物料在膨化机末端增温、增压。在同等产量的情况下,可通过减小膨化机出料膜孔的孔径和增大膨化机耐压环直径的方式,增加膨化腔中压力和温度,从而增强物料膨化效果,降低其脲酶活性。膨化机压力一般控制在 4 ~ 5 MPa,出料温度控制在 125 ~ 135 ℃,便于控制脲酶活性和氢氧化钾蛋白质溶解度。若膨化温度过高、物料过熟,则会降低物料的氢氧化钾蛋白质溶解度;若膨化温度过低,则会导致物料的脲酶活性超标。

膨化大豆粉脲酶活性的行业标准为不大于 0.1 U/g(NY/T 4269—2023)。脲酶活性值太低,易引起氢氧化钾蛋白质溶解度降低,影响膨化大豆粉中蛋白质的利用。因此,在生产实践中结合脲酶活性和氢氧化钾蛋白质溶解度来共同评价膨化大豆粉产品的品质,即用脲酶活性值反映膨化大豆粉熟化度及抗营养因子的破坏程度;用氢氧化钾蛋白质溶解度反映膨化大豆粉的熟化度。部分养殖户对脲酶活性

值的要求越来越严格,甚至要求脲酶活性值为 0,但综合考量加工成本、养殖成本、养殖安全等方面,建议将脲酶活性值控制在 0.01 ~ 0.03 U/g。



注:1. 螺杆挡圈;2. 进料螺杆;3. 邻进料螺杆;4. 短双螺杆(开槽);5、7、10、12. 耐压环;6、9. 短双螺杆;8. 螺杆隔片;11. 出料螺料;13. 螺杆垫片;14. 分体式紧定螺母

图 3 单螺杆膨化机内部挤压件的结构

3.2 脂肪、粗蛋白质、水分、颗粒度的控制

生产实践中一般要求膨化大豆粉的脂肪、粗蛋白质含量之和不能低于 52%,其中脂肪含量不能低于 18%。膨化大豆粉的脂肪、粗蛋白质含量与原料大豆中脂肪、粗蛋白质含量有直接的关系,因此选择合适的原料是控制膨化大豆粉脂肪、粗蛋白质含量最有效的方法。当原料的脂肪、粗蛋白质含量偏低时,可通过去除原料中杂质、降低成品水分的方式提高膨化大豆粉脂肪、粗蛋白质含量,有条件的工厂可适当脱去部分豆皮来提高膨化大豆粉脂肪、粗蛋白质含量。

生产线上控制膨化大豆粉成品水分的常见方法为控制调质器出料水分、冷却干燥箱物料高度、冷却干燥箱风机风量、膨化机抽湿风机风量、冷却干燥箱空气预热器温度、粉碎机出料颗粒度等。生产企业可根据自身实际情况和需求灵活调控。

调整膨化大豆粉颗粒度的方法主要包括控制粉碎机出料颗粒度,调整成品破碎机辊间距或改变成品破碎机筛网孔径。双对辊破碎机的上对辊辊间距一般控制在 0.35 ~ 0.55 mm 之间,下对辊辊间距一般控制在 0.15 ~ 0.30 mm。辊间距过大,产品颗粒度无法满足客户要求;辊间距过小,会增加破碎机电耗,加速磨损。

4 膨化大豆粉在动物日粮中的应用

4.1 在仔猪饲料中的应用

仔猪的肠道及消化器官发育并不完善,存在消化酶分泌不足、胃酸分泌量不够等缺陷,而且幼龄动物普遍存在神经系统发育不完全,免疫力低下等问题^[2]。一般的无抗饲料在动物饲养中利用率较低,对于动物抵抗疾病的作用较差^[3],而普通豆粕添加过量会引起断奶仔猪消化异常,例如肠道黏膜的炎症反应^[2,4]。膨化大豆粉则可替代普通豆粕,既能满足仔猪营养需求,又能有效缓解仔猪的过敏反应和腹泻程度,减少应激反应,提高疾病抵抗力,促进

仔猪生长。邹成义等^[5]研究表明,将膨化大豆粉添加到断奶仔猪日粮中,对早期断奶仔猪生产性能的提高有显著效果。有研究发现,与普通大豆相比,在断奶仔猪日粮中添加膨化大豆粉后,仔猪的平均日增重提高了7.54%,且料重比和腹泻率分别下降了6.64%和15.76%^[4]。杨彩梅^[2]、杨菁^[4]等报道,利用去皮膨化大豆粉饲喂仔猪可有效提高断奶仔猪的平均日采食量,并且可改善仔猪对饲料的消化率。廖珂等^[6]研究表明,在断奶仔猪日粮中添加膨化大豆粉可以显著增加空肠蔗糖酶以及麦芽糖酶活性水平($p < 0.05$),但对乳糖酶活性没有显著影响($p > 0.05$)。膨化大豆粉作为蛋白能量源,不但可以代替豆粕,还可以代替部分甚至全部鱼粉,仔猪饲料中膨化大豆粉的添加比例可根据仔猪生长周期进行适当调整。

4.2 在奶牛饲料中的应用

膨化大豆粉富含多不饱和脂肪酸,是 $n-3$ 系列和 $n-6$ 系列多不饱和脂肪酸最经济的来源之一,乳脂中的多不饱和脂肪酸含量、结构及其中间产物——共轭亚油酸是衡量牛乳品质的重要指标^[7]。蒋树林等^[8]研究表明,添加膨化大豆粉可显著增加日粮中的长链不饱和脂肪酸含量($p < 0.05$),显著减少其短链饱和脂肪酸含量($p < 0.05$),日粮中适度添加膨化大豆粉可改善牛乳品质,此外,日粮中添加一定量的膨化大豆粉能够显著提高奶牛的泌乳量。纪鹏等^[9]研究了在无抗日粮中分别添加膨化大豆粉、全棉籽、双低油菜籽对泌乳早期奶牛养分表观消化率及泌乳性能的影响,结果发现:膨化大豆粉组干物质消化率最高,达65.4%,且其粗蛋白质消化率和日粮的总能消化率均高于全棉籽组和双低油菜籽组;膨化大豆粉组可提高常乳产量以及乳蛋白产量,但是对乳脂产量有一定的抑制作用。王斐然等^[10]研究表明,随着膨化大豆粉补饲水平的增加,泌乳早期奶牛的产奶量和能量校正乳产量有增加的趋势,乳脂率有降低趋势,乳尿素氮含量及乳蛋白、乳糖及非脂固形物产量显著增加($p < 0.05$),当膨化大豆粉补饲水平为2.0 kg/d时,血浆总胆红素含量有下降的趋势,乙酸/丙酸显著低于对照组($p < 0.05$),故推荐泌乳早期奶牛补饲膨化大豆粉的最佳水平为1.0~2.0 kg/d,以利于缓解能量负平衡,提高生产性能。

4.3 在水产饲料中的应用

膨化大豆粉加工过程涉及高温、高压,可杀死致病细菌,使各种有害因子和酶失活,降低饲料通过消化道将有害微生物传给鱼类的风险;而且膨化大豆粉在高温、高压处理过程中,提高了物料淀粉的糊化

度,破坏和软化了纤维结构的细胞壁,使蛋白质变性,有利于水产类饲养物的消化吸收,并且使饲料具有特殊的香味,提高了适口性。研究表明,膨化大豆粉代替部分动物蛋白用于水产饲料中得到了良好效果,如膨化大豆粉在鱼和虾饲料中取代部分鱼粉并补充植物性脂肪,降低了饲料成本^[11]。此外,水产类饲养物对水质环境要求较高,而膨化大豆粉经过充分的熟化,成型效果好,在水中的稳定性强,长时间不会溶散,不会造成水质污染,有利于水产类饲养物的健康生长。膨化大豆粉作为水产类饲料具有以上优点,逐渐受到水产养殖户的重视,其在水产饲料中的占比也逐渐提高。

4.4 在家禽饲料中的应用

膨化大豆粉对肉鸡和蛋鸡也均有良好的效果,实践证明,以膨化大豆粉取代蛋鸡饲料中的豆粕,可提高鸡蛋质量,并明显改善蛋黄中脂肪酸的组成,显著提高其亚麻酸及亚油酸的含量^[12]。钟丽华等^[13]研究表明,在肉仔鸡或蛋鸡中使用全脂膨化大豆粉可促进肉鸡增重,提高蛋鸡产蛋率和饲料转换率。通过给家禽喂养膨化大豆粉,可提高家禽品质,更有益于人类健康。

5 结语

膨化大豆粉具有高蛋白质、高能量、高营养、安全、易吸收等特性,其生产工艺简单,生产成本及安全环保风险低,同时对提高养殖经济效益具有十分重要的意义。

随着绿色消费观念的深入,人们对饲料原料的质量提出了更高的要求,对动物蛋白需求量也越来越大,膨化大豆粉具有广阔的应用前景。在膨化大豆粉的生产实践中,我们还需要不断深入研究,优化工艺,提高产品价值,研发新产品,提供适合更多不同类别动物的产品,以便更好地服务于日益发展的饲养业。

参考文献:

- [1] 李芝银. 膨化大豆粉两种脲酶活性定性测定方法及比较[J]. 饲料与畜牧: 新饲料, 2009(1): 42-43.
- [2] 杨彩梅. 日粮能量、蛋白水平对断奶仔猪生长性能、血液生化指标及激素水平的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2005, 41(9): 31-32.
- [3] 董尚云. 中药及EM制剂在“无抗肉鸡”饲养模式中的应用[C]//纪念《国务院关于加强民间兽医工作的指示》五十周年暨2006中国中兽医发展高层论坛报告集. 北京: 中国畜牧兽医学会中兽医学分会, 2006: 91-94.
- [4] 杨菁, 刘小芳, 杨舒翔, 等. 能量原料在仔猪上的应用[J]. 广东饲料, 2019, 28(11): 47-50.

3 结论

本文以 SH 为原料,采用浸渍沉淀法制备了 CSH,对其负载芽孢杆菌属菌株 WTX1 得到 FCSH,考察不同固定化条件和吸附条件对 FCSH 脱除 AFB₁ 的影响,并通过 FTIR 和扫描电镜证实 FCSH 对 AFB₁ 的吸附作用。结果表明:在固定化时间 16 h、固定化转速和吸附转速 160 r/min、固定化温度和吸附温度 35 ℃、吸附 pH 8、振荡时间 48 h 条件下, AFB₁ 脱除率可达 97.45%;通过 FTIR 和扫描电镜表征发现 FCSH 对 AFB₁ 有吸附作用,且 FCSH 的吸附效果强于 CSH。FCSH 对粮食中 AFB₁ 脱除有很大的潜力,可进一步扩展研究其对其他毒素的脱除。

参考文献:

- [1] KARAMI - OSBOO R, MAHAM M, NASROLLAHZADEH M. Rapid and sensitive extraction of aflatoxins by Fe₃O₄/zeolite nanocomposite adsorbent in rice samples [J/OL]. *Microchem J*, 2020, 158: 105206 [2022 - 10 - 01]. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105206>.
- [2] REZAAE M, KHALILIAN F, ALI MASHAYEKHI H, et al. A novel method for the high preconcentration of trace amounts of the aflatoxins in pistachios by dispersive liquid - liquid microextraction after solid - phase extraction [J]. *Anal Methods*, 2014, 6(10):3456 - 3461.
- [3] WANG N, DUAN C, GENG X, et al. One step rapid dispersive liquid - liquid micro - extraction with in - situ derivatization for determination of aflatoxins in vegetable oils based on high performance liquid chromatography fluorescence detection [J]. *Food Chem*, 2019, 287:333 - 337.
- [4] 宁阳阳,宋平.我国粮食中黄曲霉毒素 B₁ 的污染情况及检测方法研究[J]. *中国食品*, 2021(9):123.
- [5] 鲍蕾,梁成珠,刘学惠,等.出入境农产品中真菌毒素的污染、检测及控制[J]. *中国食品工业*, 2005(1):60 - 61.
- [6] PHILLIPS T D, KUBENA L F, HARVEY R B, et al. Hydrated sodium calcium aluminosilicate: A high affinity sorbent for aflatoxin [J]. *Poult Sci*, 1988, 67(2):243 - 247.
- [7] 吴静娜,杨秀娟,韦璐阳,等.磁性多壁碳纳米管固相萃取 - 液质联用法测定植物油中的黄曲霉毒素 B₁ [J]. *农业研究与应用*, 2020, 33(6):33 - 38.
- [8] 唐璎,黄佳,邓展瑞,等.一株枯草芽孢杆菌降解黄曲霉毒素 B₁ 产物分析 [J]. *生物技术通报*, 2021, 37(12):82 - 90.
- [9] 杨冬,唐璎.枯草芽孢杆菌 WTX1 胞外酶降解 AFB₁ 酶学特性及降解位点分析 [J]. *生物技术通报*, 2023, 39(4):93 - 102.
- [10] 韩强,刘利军,郭晨辉,等.磁性纳米活性炭的制备及其吸附性能研究 [J]. *环境科学导刊*, 2021, 40(4):9 - 16, 96.
- [11] 莫冰玉,唐玉斌,陈芳艳,等.磁性活性炭的制备及其对水中甲基橙的吸附 [J]. *环境工程学报*, 2015, 9(4):1863 - 1868.
- [12] 陈瑞福.磁场对磁性吸附剂吸附锌、汞的影响 [J]. *水处理技术*, 1999, 25(1):42 - 44.
- [13] 张秀霞,秦丽姣,吴伟林,等.固定化原油降解菌的制备及其性能研究 [J]. *环境工程学报*, 2010, 4(3):659 - 664.
- [14] DONNET J, BOEHM H, STOECKLI F. Third international conference on carbon black [J]. *Carbon*, 2002, 40(2):137 - 224.
- [15] 王莉,徐晓珍,郑晓青,等.铁锰氧化物/生物炭复合材料对水中六价铬的吸附性能研究 [J]. *化工管理*, 2022(24):162 - 165.
- (上接第 55 页)
- [5] 邹成义,王康宁,左绍群.乳清粉、鱼粉和膨化大豆粉对 3 周龄断奶仔猪生产性能的影响 [J]. *西南农业学报*, 2000(S1):32 - 40.
- [6] 廖珂,王自蕊,游金明,等.不同处理豆粕及嗜酸乳杆菌培养物对断奶仔猪生长性能和肠道形态结构的影响 [J]. *动物营养学报*, 2018, 30(5):1872 - 1879.
- [7] BROKAW L, HESS B W, RULE D C. Supplemental soybean oil or corn for beef heifers grazing summer pasture: Effects on forage intake, ruminal fermentation, and site and extent of digestion [J]. *J Anim Sci*, 2001, 79(10):2704 - 2712.
- [8] 蒋树林,孟庆翔,马俊云,等.膨化全脂大豆对高产奶牛乳脂中 PUFA 含量的影响 [J]. *中国农学通报*, 2007, 23(2):5 - 9.
- [9] 纪鹏,陈萍,李胜利,等.不同油料籽实日粮对奶牛养分表观消化率、生产性能及血液指标的影响 [J]. *动物营养学报*, 2008, 20(2):217 - 222.
- [10] 王斐然,何雅琴,王富伟,等.补饲全脂膨化大豆对奶牛生产性能和消化代谢的影响 [J]. *动物营养学报*, 2021, 33(10):5677 - 5689.
- [11] 程宗佳.膨化大豆在鱼饲料中的养分消化率 [J]. *渔业现代化*, 2006(1):39 - 41.
- [12] 王娇,李军国,谷旭,等.膨化大豆代替豆粕对鸡蛋营养指标和蛋品质的影响 [J]. *饲料工业*, 2019, 40(3):39 - 43.
- [13] 钟丽华,卢德秋,范玉山.全脂膨化大豆粉在畜禽饲料中的应用 [J]. *饲料博览*, 2001(9):44 - 45.