

水产饲料中真菌毒素污染现状及风险分析

毕思远^{1,2}, 王雅玲^{3*}, 王小博³, 刘晓燕³, 朱志强¹, 朱海⁴, 王炳志⁴

(1. 哈尔滨体育学院滑雪教学训练基地博士后科研工作站, 黑龙江哈尔滨 150008; 2. 广东禅正司法鉴定所, 广东佛山 528051; 3. 广东海洋大学食品科技学院, 广东湛江 524088; 4. 深圳市易瑞生物技术有限公司, 广东深圳 518101)

摘要 主要介绍了水产饲料中一些主要真菌毒素污染情况及其对水产动物的危害, 并在其基础上进行了水产饲料真菌毒素的风险防控调查, 同时建议政府加强对水产企业的监管, 大量推进产品生产质量管理规范(GMP)、危害分析和关键控制点(HACCP)等管理体系的落实, 构建信息平台使行业信息共享, 促进水产饲料、水产养殖业的健康发展。

关键词 水产饲料; 真菌毒素; 污染; 风险防控

中图分类号 S816.17 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)21-0092-04

Mycotoxin Contamination Status and Risk Analysis in Aquaculture Feed

BI Si-yuan^{1,2}, WANG Ya-ling^{3*}, WANG Xiao-bo³ et al (1. Ski Teaching and Training Base Post-doctoral Research Station of Harbin Sport University, Harbin, Heilongjiang 150008; 2. Guangdong Chanzheng Judicial Identification Institute, Foshan, Guangdong 528051; 3. Food Technology Institute of Guangdong Ocean University, Zhanjiang, Guangdong 524088)

Abstract This paper mainly introduced some main mycotoxins contamination in aquatic feed and its harm to aquatic animal, and risked prevention and control of aquatic feed. Mycotoxins were investigated on the basis of it. It also suggested the government need to strengthen the supervision of a large number of aquaculture enterprises, to promote GMP and HACCP management system implementation, and to build information platform to promote information sharing. And it will make the aquaculture and aquatic feed in a better way in the future.

Key words Aquatic feed; Mycotoxins; Pollution; Risk prevention and control

真菌毒素的本质是有毒代谢产物, 常见的危害性大的真菌毒素有黄曲霉毒素、赭曲霉毒素、T-2毒素、呕吐毒素、玉米赤霉烯酮等, 是具有产毒特性的真菌在适宜的条件下代谢产生的。饲料中的真菌毒素通过食物链蓄积而残留在水产品中, 不仅引起水产品品质下降, 还会对动物肝脏、肾脏、免疫系统产生不可逆的毒害, 引起慢性或急性中毒, 引发食品安全风险。真菌毒素对动物及人类的危害越来越受到人们的关注和重视, 国际食品法典委员会早在1995年便已制定《食品和饲料中污染物和毒素通用准则》, 而欧盟关于黄曲霉毒素等真菌毒素的指导文件于2005年后陆续发布。总体来说, 我国这方面的科研水平与国际上还有差距, 同时真菌毒素的限量标准等也不够完善, 给监控造成困难^[1-2]。

笔者将对广东省水产饲料中真菌毒素的种类和数量进行调查, 分析当前水产品饲料中真菌毒素的分布情况, 归纳目前水产饲料受真菌毒素污染的分布规律, 为水产饲料生产时间的确定提供理论指导, 促进水产养殖和海洋资源开发利用的可持续发展。

1 广东省水产饲料污染原因

2014年我国水产饲料产量高达1 903.00万t, 广东省占全国水产饲料总量的21.8%, 为415.85万t^[3]。2015年全国商品饲料总产量2 009.00万t, 广东省同比增长1.4%, 稳居全国之首^[4]。但到目前为止, 还很少有关于广东省水产饲料

中真菌毒素污染情况的报道, 因此以广东省的水产饲料霉变情况作为研究对象更加具有代表性。

水产饲料成分中的蛋白主要是动物蛋白和植物蛋白。动物蛋白源主要包括血粉、羽毛粉、肉骨粉、骨粉、肉粉以及动物副产品粉等, 植物蛋白源主要包括亚麻饼粕、大豆产品、土豆蛋白、棉籽饼粕、玉米蛋白粉等。

随着水产品需求量的逐步提高, 水产养殖业前景广阔, 作为物质基础的水产饲料需求量也不断提高, 饲料生产行业竞争日益激烈, 企业为了降低水产饲料的加工成本, 多用植物性蛋白代替动物性蛋白原料, 水产饲料中植物性蛋白含量比例增加。

另外, 引起饲料霉变的3个主要条件是湿度、温度和氧气^[5], 2013年江南大学的张自强^[6]对蛋白饲料储存期间品质变化进行了研究, 发现植物性蛋白源的含水量普遍高于动物性蛋白源, 而且水分含量高和高温会使饲料过早氧化酸败, 储存期大大缩短, 导致饲料储存期间霉变风险提高^[7-8]。

2 水产饲料中常见的真菌毒素

2.1 水产饲料中的真菌毒素种类及危害 真菌毒素有300余种, 但鉴于仍有众多的真菌代谢产物对动物产生的影响有待进一步研究, 所以目前多聚焦于已报道的毒性强、危害大、在饲料原料或饲料中较常见的毒素(表1)。

2.1.1 黄曲霉毒素 B1 (Aflatoxin B1, AFB1)。黄曲霉毒素(Aflatoxin, AF)是一组基本结构为1个双呋喃环和1个氧杂萘邻酮(香豆素)的化合物, 无色、无味、无嗅, 是真菌毒素里最稳定的一类。黄曲霉毒素是一群真菌次级代谢物的总称, 目前共有12种被鉴定出来: AFB1、AFB2、AFB2a、AFM1、AFM2、AFG1、AFG2、AFGM、AFH1、AFP1、AFQ和毒醇。其中, AFM2是AFB1的代谢产物, 通常在乳制品中出现。而AFB1的基本结构为二呋喃环和氧杂萘邻酮(图1), 其化学结

基金项目 中国博士后科学基金资助项目(2017M611382); 深圳市技术攻关项目(重20160117: 水产品药物残留快速检测关键技术研发, JSJG20160429184803117); 广东省省级科技计划项目(广东省易瑞生物毒品现场快速检测技术科技特派员工作站, 2015A090905020)。

作者简介 毕思远(1983—), 男, 山东济南人, 副研究员, 博士, 从事食品安全检测分析及法医毒物分析。*通讯作者, 教授, 博士, 从事真菌毒素和水产品安全检测研究。

收稿日期 2017-06-28

构在呋喃末端有双键,毒性非常强,且最具致癌力,同时是最为常见的天然污染物,在 pH 为 9~10 的碱性溶液则迅速分解,在中性及酸性溶液中比较稳定,在强酸性溶液中会有少部分分

解。AFB1 是无色结晶,耐高温,在 268 °C 以上热解,在波长 425 nm 的紫外光下显强烈荧光。常见极性最大的几种黄曲霉毒素的毒性顺序为 B1_ > M2 > G1 > B2 > M2 > B2^[9]。

表 1 饲料中的真菌毒素的危害及常见污染物

Table 1 Harm of mycotoxins in feed and common pollutants

毒素 Toxin	危害 Harm	污染物 Contaminants	参考文献 Reference
黄曲霉毒素 Aflatoxin	致癌、剧毒、免疫抑制、肝肾毒性	小麦、大麦、花生、玉米、	[9]
单端孢霉烯族毒素 Trichothecenes	肝、肾毒性,消化道刺激引起厌食、抵制生长	玉米、小麦等谷物及其制品	[10]
镰刀菌烯醇 Nivalenol	消化道癌变、抑制蛋白质合成、细胞突变、呕吐毒性等	玉米、小麦等谷物及其制品	[11]
赭曲霉毒素 Ochratoxin	B 类剧毒、三致性、肝肾毒性、免疫毒性、神经毒性、残留毒性等	谷物、油料、草本茎叶、咖啡、果渣等	[12]
玉米赤霉酮 Zearalenone	性早熟、生殖毒性、致癌性、神经毒性	玉米、小麦等作物及制品	[13-14]
伏马菌素 Fumonisin	致肿瘤、突变,生长停滞、遗传毒性、肾脏毒性	玉米、小麦等作物及制品	[15]
桔青霉素 Citrinin	肢体坏疽、神经毒性、血管收缩、缺氧	谷物、油料等	[16]
麦角生物碱 Ergot alkaloid	神经毒性、血管收缩、缺氧、肢体坏疽	燕麦等麦类谷物	[17]

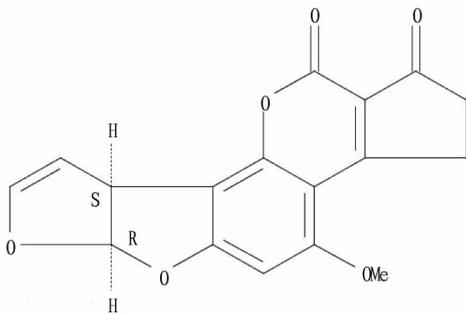


图 1 黄曲霉毒素 B1 结构式

Fig.1 Chemical structure of aflatoxin B1

2.1.2 T-2 毒素。T-2 毒素是主要由寄生在谷物中三线镰刀菌 (trichothecenes, TS) 产生的毒性最强的单端孢霉烯族化合物,分子结构中具有活性单位氧环和双键(图 2),是单端孢霉烯族毒素的重要代表。三线镰刀菌在 16~24 °C、相对湿度为 85% 的环境条件下有较好的繁殖能力,多发生在气候温和的地方。T-2 毒素性质稳定,熔点高达 151 °C,耐高温,易溶于极性溶剂,为白色针状结晶体,主要作用于细胞分裂旺盛的组织器官,如胸腺、骨髓等;能通过抑制蛋白质和 DNA 的合成进而抑制软骨细胞增殖,令细胞变性、坏死及凋亡,细胞功能受到损伤^[18-19]。

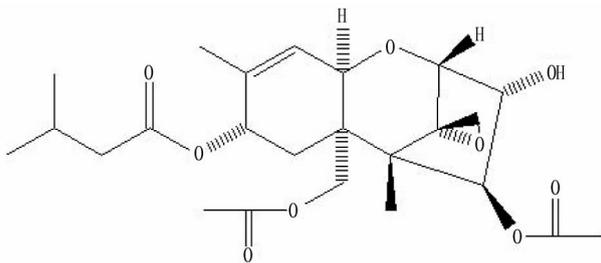


图 2 T-2 毒素化学结构式

Fig.2 Chemical structure of T-2 toxin

2.1.3 呕吐毒素 (Deoxynivalenol, DON)。呕吐毒素 (vomitoxin), 又称脱氧雪腐镰刀菌烯醇 (Deoxynivalenol, DON), 化学名为 3 α ,7 α ,15 - 三羟基草镰孢菌 - 9 - 烯 - 8 - 酮,化学

结构为四环的倍半萜烯化合物(图 3),对细胞有很强的毒性作用^[20]。对于胃肠道黏膜细胞、淋巴细胞、胸腺细胞、脾细胞、骨髓细胞等生长较快的细胞均有损伤作用,并且可以参与抑制蛋白质的合成,且在抑制合成 DNA 的同时诱导 DNA 单链断裂,但不增加程序外的 DNA 合成。DON 属单端孢霉烯族化合物,通过食物链进行传递,化学性质稳定,是一种针状结晶,可溶于极性溶液,欧盟分类标准为三级致癌物^[21]。

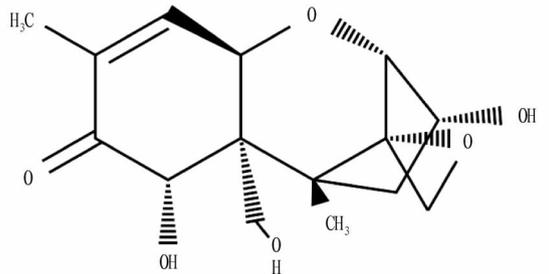


图 3 呕吐毒素 (DON) 化学结构式

Fig.3 Chemical structure of deoxynivalenol toxin (DON)

2.1.4 赭曲霉毒素 A (Ochratoxin A, OTA)。赭曲霉毒素 A 是赭曲霉毒素 (OT) 中的毒性最大的。赭曲霉毒素 A 是一种稳定的无色结晶化合物(图 4),溶于极性溶剂和稀碳酸氢盐溶液中,微溶于水。在避光保存的情况下,将赭曲霉毒素 A 放于乙醇溶液中 1 年以上未见损失,其毒性特点是造成肾营养不良性病变以及肾小管炎症等^[22-23]。

2.2 真菌毒素对水产动物的危害 真菌毒素首先污染饲料,破坏饲料的蛋白质、脂质、维生素等重要营养成分,降低饲料利用率,使得水产动物生长发育缓慢,繁殖性能降低;严重时还可能污染水质,影响水产动物的组织器官,干扰水产动物免疫系统,引发癌症、畸形、应激性和抗病力下降等各种疾病;甚至通过食物链进入到人体中,产生癌变、肾毒性、肝毒性、基因毒性和免疫抑制等毒害作用。

水生动物摄入高浓度的霉菌毒素会导致死亡;低浓度长期摄入则会慢性中毒,导致免疫力下降,受传染病侵入的风险加大;严重的还会引起癌症^[24]。

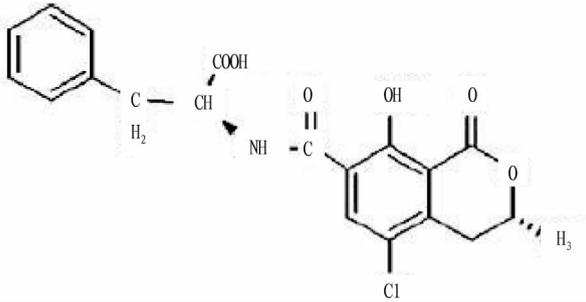


图4 赭曲霉毒素 A(OTA)化学结构式

Fig. 4 Chemical structure of ochratoxin A (OTA)

目前,真菌毒素对水产动物危害性的研究中,毒素方面多集中在黄曲霉毒素上,而作为表现性状分析对象的水产动物则主要为鱼,虾次之。据目前研究,虹鳟是对黄曲霉毒素最为敏感鱼类,仅摄入 $1 \mu\text{g}/\text{kg}$ 黄曲霉毒素 B1 的饲料就可导致肝脏肿瘤,长期的低浓度饲喂所致的肝脏肿瘤呈浅黄色,并可蔓延至肾脏。不同鱼类对黄曲霉毒素的敏感性不同,研究表明,对黄曲霉毒素敏感程度依次是虹鳟鱼 > 灰鲟鲤 > 鲤鱼 > 红罗非鱼 > Nile 罗非鱼^[25]。另一方面,尽管黄曲霉毒素对虾的组织病理学方面的研究较少,但泰国和菲律宾已经有研究表明,不同水平的饲料黄曲霉毒素污染对虾养殖产量均有不同程度的影响。菲律宾学者发现,虾饲料的霉菌毒素浓度在 $73.8 \mu\text{g}/\text{kg}$ 时,虾生长缓慢,易患皮肤病,肝胰腺的损伤还会引发其他病情。

其他毒素如赭曲霉毒素的相关研究非常少见,其毒性主要损害水生动物的肾脏。环匹阿尼酸则是一种神经毒素,据美国调查发现,环匹阿尼酸经常与黄曲霉毒素一同出现,在美国南部饲料中调查发现:黄曲霉毒素毒性低于环匹阿尼酸。研究还表明,环匹阿尼酸对斑点叉尾鲷的毒性作用强于黄曲霉毒素。伏马菌素作为毒性物质对鱼的影响仍所知甚少,其专门破坏神经鞘脂类的代谢。单端孢霉烯族毒素(包括 A 型的 T-2 毒素、玉米赤霉烯酮和 B 型的呕吐毒素等)可降低虹鳟鱼、斑点叉尾鲷及南美白对虾等水产动物的存活率和疾病抵抗能力等。

3 饲料及其原料中真菌毒素的污染调查情况

3.1 国内饲料真菌毒素的污染调查情况 国内饲料中的真菌毒素污染主要来源于饲料中滋生的霉菌产生的毒素。霉菌以孢子的形式繁殖下一代,从热带到寒带地区都可发现霉菌的孢子,其对于寒冷、高温、干旱的气候有很强的耐受性。土壤和一些腐烂植物里存在着大量的霉菌孢子。在饲料原料加工、运输、储存、饲喂过程中,通过空气、水、地面、加工机械以及其他可能直接接触的储物场所中的霉菌孢子附于颗粒饲料和谷物之中,在适宜的环境条件便开始生长繁殖。

2009—2010 年奥特奇公司对我国部分地区饲料原料及配合饲料样品中 6 种常见霉菌毒素污染情况进行了检测,特别是玉米副产品中的霉菌毒素进行了抽样检测,收集了 18 个不同地区的饲料样品,结果显示,其中伏马菌素、呕吐毒素和玉米赤霉烯酮含量较高,超标率分别为 19.8%、37.1%、50.8%,黄曲霉毒素 B1 含量相对较低,为 2.59%。

潘振亮等^[26]在 2008 年对广东、天津、哈尔滨 3 个地区春季饲料用玉米中黄曲霉毒素进行了含量检测,检出率达 100%,天津、哈尔滨地区的样品检测结果基本合格,广东地区超标率高。使用受污染的饲料原料会导致饲料产品中黄曲霉毒素超标^[27]。

2004 年,广西贵港市也进行了食用油中黄曲霉毒素的含量检测,对市内油厂抽取 459 份花生油样品,结果黄曲霉毒素 B1 检出率 32.3%,超标率达 16.9%。饲料用油脂中污染较严重。

2012 年谢云发等^[28]对青海省的 205 份猪饲料样品进行了黄曲霉毒素 B1、赭曲霉毒素 A、玉米赤霉烯酮、呕吐毒素含量检测。结果表明,在 156 份商品饲料中,OTA、AFBI、DON、ZON 阳性率分别为 7.05%、16.03%、83.33% 和 69.87%,49 份自配饲料中,OTA、AFBI、DON、ZON 阳性率分别为 6.12%、28.57%、85.71% 和 73.40%。

3.2 国外饲料真菌毒素的污染情况 2006 年,联合国粮农组织 (FAO) 通过调查确认,全球的饲料、粮油、食品受到真菌毒素污染的情况严重,约有 8.6 亿 t 受到污染,占比 20%^[27]。百奥明公司在 2012 年采集了 4 023 个饲料样品,分别在多个国家的霉菌毒素检测实验室进行检测。结果发现,赭曲霉毒素 A、黄曲霉毒素、伏马菌素、呕吐毒素和玉米赤霉烯酮的阳性率分别为 31%、25%、56%、46% 和 64%^[29]。

3.3 饲料中真菌毒素的限量标准 我国已经制定了饲料卫生标准 (GB13078),包括黄曲霉毒素、赭曲霉毒素、玉米赤霉烯酮、脱氧雪腐镰刀菌烯醇、T-2 毒素 5 种真菌毒素的检查和限量指标。伏马菌素的检测方法和限量标准正在研究制订中。2010 年,美国食品药品监督管理局 (FDA) 提出了饲料中的容忍限量,且在此之前制定了饲料中呕吐毒素、伏马菌素、黄曲霉毒素的限量标准,对其他类真菌毒素则没有限量规范,在饲料进口时,采取全面检测的政策。

在加拿大食品检验署 (CFIA) 发布的 RG-8 标准中,制定了关于赭曲霉毒素、黄曲霉毒素、HT-2 毒素、脱氧雪腐镰刀菌烯醇、玉米赤霉烯酮、T-2 毒素、蛇形霉毒素、麦角生物碱共计 8 个真菌毒素的限量标准。

2006 年,欧盟修订并发布了玉米赤霉烯酮、呕吐毒素、赭曲霉毒素、伏马菌素、黄曲霉毒素 5 种饲料真菌毒素的限量指南 (2006-576-EC) 标准,同时要求加强对饲料中其他真菌毒素监测、数据采集和检测技术研究。欧盟还发布了 (EU) 250/2012 号法规,主要是为了针对产自日本福岛地区的食品和饲料,对《进口产或者源于日本的食物和饲料施加特殊条件的第 (EU) 961/2011 号执行法规》进行了修改,增加相应的检测项目。日本也于 2002 年重新修订了日本饲料安全法规关于饲料中真菌毒素的限量标准,真菌毒素在进口饲料中的检测范围得到了扩大。目前我国也制定了饲料中各种霉菌毒素的限量标准:黄曲霉毒素 B1 $10 \mu\text{g}/\text{kg}$ 、T-2 毒素 $100 \mu\text{g}/\text{kg}$ 、赭曲霉毒素 A $1 000 \mu\text{g}/\text{kg}$ 、呕吐毒素 $100 \mu\text{g}/\text{kg}$ 。

4 水产饲料真菌毒素的风险防控现状及建议

目前饲料原料紧缺、质量差,饲料企业多且散,市场竞争

激烈无序,水产饲料生产企业从业人员专业素质不高;水产基础营养研究相对滞后,饲料的科技创新度低等^[30-33]。这些问题不可能在短时间内完全解决。加上水产饲料本身特有的缺陷,如较强的对气候环境的依赖性和周期性较强,导致管理和生产人员忙闲不均,造成生产的不连续性,企业经营和质量管理措施相对难以持续落实,饲料产品质量不稳定^[34]。

以上所出现的新问题都会增加饲料真菌污染的风险,进而引发霉变饲料中真菌毒素对水产品等动物的危害。因此对饲料产业链进行科学的监控和实施严格的管理以及科学的理论指导就显得非常重要,该研究主要在水产饲料的原料采集、生产、储存等关键点上给出风险防控的建议。

4.1 水产饲料中真菌毒素污染的风险防控现状 随着真菌毒素污染的调查研究越来越多,真菌毒素污染风险也越来越引起人们的关注,目前水产饲料中真菌毒素污染的风险防控措施主要从原料的质量把控、生产过程的质量控制,以及成品脱毒和储存等方面开展。为确保水产质量,首先得把控好原料来源,原料的质量把控包括选择耐霉的品种、高质量的种苗、田间预防工作及原料的恰当收储等各个环节。过程的质量监控包括对原料验收、生产工艺、成品检验、运输贮藏等过程的监控。虽然加工过程和养殖环境以及水质等多个因素均对水产品安全构成影响,但是水产饲料是首要因素。只有监控好水产饲料的质量安全监控,才能保障水产品的安全。饲料生产商和养殖户在出售和使用饲料时应学会简单的成品质量鉴别。如发现饲料存在质量问题,可采用技术手段进行脱毒处理^[35-39]。

4.2 对水产饲料霉变风险防控的建议 随着水产业的发展,企业也越来越关注水产饲料霉变的防控,从目前的防控现状来看,在饲料的生产环节应引入危害分析和关键控制点(HACCP)管理体系,严格执行产品生产质量管理规范(GMP)和卫生操作标准程序(SSOP)的相关条款,在储存时选择卫生整洁、低温干燥的环境。

政府对水产饲料的生产应鼓励实行 HACCP 体系认证,落实 GMP、SSOP 或“5S”等质量保证管理^[40-42]。要求饲料生产企业参照“GB/T 13078 饲料卫生标准”严格制定符合国家标准和自身情况的成品和原料的真菌毒素最高残留限量(MRLs),并进行企业自检和官方抽检。政府部门还可对生产企业的现场生产环境进行突击检查并建立奖惩机制,确保终端水产品的质量安全。在水产养殖方面,政府应保证养殖户持有许可证,不定期对其养殖水质和水产动物进行现场抽查,督促养殖户落实好水产品质量安全主体责任。

政府最好能组织建设水产养殖业风险预警体系,建立实体组织(包括官方组织和民间组织)和网络平台,对饲料原料养殖种植户、饲料生产商、水产养殖户、水产品消费者及广大民众进行包括如何鉴别饲料原料、饲料成品优劣和判定水产品质量及各类相关法规标准等基本知识的宣传教育,对不合格成品和产品进行公布,对其生产商或养殖户进行预警通报、建档记录,并勒令其召回产品、赔偿损失,形成组织和

个人的广泛讨论和评价,采纳其中提出的合理建议等,最终形成有效的舆论监督和信息交流系统^[43]。

5 展望

综上所述,现阶段我国很多区域中霉菌毒素分布规律的调查研究还处于空白期,缺乏完善统一的霉菌毒素限量标准。广东省作为水产饲料的主产地,有多个大型饲料生产企业,水产饲料销量巨大,水产养殖业发展迅速,而现代水产饲料生产工艺中更多的使用花生粕等植物蛋白源,导致饲料本身的霉变风险增高,不利于饲料的长期存储。但随着水产业的快速发展,人们越来越关注水产品的安全,为了规避水产品带来了食品安全风险,企业和政府不得不好做好风险防控措施。建议企业采购耐霉的品种、高质量的种苗,在饲料的生产环节引入 HACCP 管理体系,严格执行 GMP 和 SSOP 的相关条款,在储存时选择卫生整洁、低温干燥的环境。同时建议政府加强对水产业的监管,大量推进 GMP、HACCP 等管理体系的落实,构建信息平台使行业信息共享,促进水产饲料、水产养殖业的健康发展。

参考文献

- [1] 北京饲料工业协会. 2015 年全国饲料工业八大特点[J]. 江西饲料, 2016(4): 53-54.
- [2] 刘臣宇,徐廷学. 沿海仓储环境中霉菌的生长规律及防治方法[J]. 价值工程, 2012, 31(5): 322-323.
- [3] 孙伟. 霉菌毒素: 饲料领域的一大问题[J]. 国外畜牧学(猪与禽), 2009, 29(5): 30-33.
- [4] 《当代水产》编辑部. 2014 年广东水产饲料总产量 415 万余吨,同比增长 6.3%; 记 2014 年广东省饲料行业年会[J]. 当代水产, 2015(1): 50-51.
- [5] MAGAN N, OLSEN M. Mycotoxins in food: Detection and control[M]. Boca Raton, USA: Woodhead Publishing Limited, 2004: 34-36.
- [6] 张自强. 我国饲料中黄曲霉毒素 B₁、T-2 毒素和赭曲霉毒素 A 分布规律的研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2009.
- [7] 陈云良. 粮食中真菌毒素检测技术研究进展[J]. 食品安全导刊, 2016(12): 52.
- [8] 魏文忠, 梁艳红, 马红峰, 等. 粮食中真菌毒素检测技术研究进展[J]. 粮油食品科技, 2012, 20(2): 37-39.
- [9] MARIN S, RAMOS A J, CANO-SANCHO G, et al. Mycotoxins: Occurrence, toxicology, and exposure assessment[J]. Food Chem Toxicol, 2013, 60(10): 218-237.
- [10] SHEPARD G S, BERTHILLER F, BURDASPAL P A, et al. Developments in mycotoxin analysis: An update for 2010-2011[J]. World Mycotoxin J, 2013, 6(1): 3-30.
- [11] 霍星华, 赵宝玉, 万学攀, 等. 脱氧雪腐镰刀菌烯醇的毒性研究进展[J]. 毒理学杂志, 2008, 22(2): 151-154.
- [12] 李凤琴, 计融. 赭曲霉毒素 A 与人类健康关系研究进展[J]. 卫生研究, 2003, 32(2): 172-175.
- [13] MALEKINEJAD H, MAAS-BAKKER R, FINK-GREMMELS J. Species differences in the hepatic biotransformation of zearalenone[J]. Vet J, 2006, 172(1): 96-102.
- [14] ERASMUSON A F, SCAHILL B G, WEST D M. Natural zearalenone (a-zearalenol) in the urine of pasture-fed animals[J]. J Agric Food Chem, 1994, 41(12): 2721-2725.
- [15] PETERSEN A, THORUP I. Preliminary evaluation of fumonisins by the Nordic countries and occurrence of fumonisins (FB₁ and FB₂) in corn-based foods on the Danish market[J]. Food Addit Contam, 2001, 18(3): 221-226.
- [16] LI Y, ZHOU Y C, YANG M H, et al. Natural occurrence of citrinin in widely consumed traditional Chinese food red yeast rice, medicinal plants and their related products[J]. Food Chem, 2012, 132(2): 1040-1045.
- [17] 张艺兵. 农产品中真菌毒素的检测分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [18] 吕旌桥, 王治伦, 吕社民, 等. T-2 毒素研究进展[J]. 中国地方病防治杂志, 1996, 11(5): 282-285.

深加工处理,得到一种符合国家食品卫生标准的保健食品油,但是仅从目前所检测的数据还无法扩大酸枣仁油的使用范围,其降血压助睡眠的药理机制机理还需要通过进一步的药理试验数据来阐明。该试验结果对后续酸枣仁保健食品油的提取研究提供了基础的参考数据。

酸枣仁中含有大量的油脂类成分,诸多学者对提取酸枣仁油的方法做了工艺研究^[8-10],主要的方法有有机溶剂提取法、压榨法和超临界萃取方法。采用有机溶剂法提取通常需要大量的溶剂,且会有溶剂残留在产品中;压榨法提取不够完全,会造成资源的浪费;而超临界萃取方法不涉及到任何溶剂,提取效率高,所用的二氧化碳可二次回收利用,不会对环境造成污染,所以该试验采用了二氧化碳超临界萃取方法萃取酸枣油。

超临界萃取技术针对的是酸枣仁中中极性的物质,酸枣仁油中的游离脂肪酸以及其他酸性物质同时被萃取出来,根据它们的沸点和分子量大小差异,采用分子蒸馏的方式将这些影响酸枣仁油酸价和过氧化值的物质逐一分开,从而降低了产品的酸价和过氧化值。

经过分子蒸馏处理的酸枣仁油颜色会加深,且其具有的

特殊性味道会加重。白土与活性炭有良好的脱色脱味吸附剂,通过正交试验设计确定白土和活性炭的最优加入量为5.0%和2.0%。过滤后得到的酸枣仁油颜色最浅,味道最淡。

参考文献

- [1] 王文龙,云月英.药食同源之酸枣仁[J].农产品加工·学刊,2009(2):67-70.
- [2] 吴尚霖,袁秉祥,马志义.酸枣仁油长期使用对小鼠催眠作用的影响[J].西北药学杂志,2001,16(3):114-115.
- [3] 赵启铎.酸枣仁油中不饱和脂肪酸的药理实验研究[J].天津中医药,2005,22(4):331,333.
- [4] 李宝莉,夏传涛,袁秉祥.不同提取工艺的酸枣仁油对小鼠镇静催眠作用的影响[J].西安交通大学学报(医学版),2008,29(2):227-229.
- [5] 韩俊伟.酸枣仁油对昆明种小鼠睡眠作用的研究[J].中国药物与临床,2011,11(6):668-669.
- [6] 刘志梅,徐颖娟,李巍.可用于保健食品中酸枣仁的药理活性研究进展[J].亚太传统医药,2011,7(3):152-154.
- [7] 雷蕾,欧阳亚楠,杨硕,等.国内改善睡眠类保健食品现状分析[J].中国现代中药,2015,17(10):1091-1095.
- [8] 张雪,李云芳,张晓晓,等.酸枣仁油提取工艺优化研究[J].郑州牧业工程高等专科学校学报,2012,32(4):8-9,33.
- [9] 白鹤龙,王晶.不同提取方法对酸枣仁中脂肪油提取效果的影响[J].北京农业,2014(21):7.
- [10] 刘砚墨,应苗法,杨颖昕,等.超临界萃取酸枣仁油的工艺研究[J].浙江中医杂志,2015,50(11):856-857.
- [11] 罗伟.食品中毒死霉残留的暴露评估[D].武汉:华中农业大学,2010.
- [12] 黄安平. AS/NZS 4360 风险管理标准评介[J].北方经贸,2003(10):99-100.
- [13] SWEETMAN J, SPRING P, 敖志刚. 霉菌毒素:水产养殖中需要关注的问题[J].中国畜牧杂志,2008(18):11-14.
- [14] 张满强,何小慧.防止水产饲料霉变的研究[J].河北渔业,2003(6):35-36.
- [15] 严祖文.水产饲料的加工工艺[J].广东饲料,2009,18(5):32-34.
- [16] 谢晓鹏,易卫,庄智明,等.饲料中的霉菌毒素及其防控措施[J].中国畜牧兽医,2013,40(5):101-105.
- [17] 孙广勇,刘响,许凤明,等.黄曲霉毒素对养殖业的危害及预防措施[J].畜牧与饲料科学,2007,28(6):74-77.
- [18] 王庆峰,王岩,柴竹林.黄曲霉毒素在粮食和食品中的危害及防治措施研究[J].食品安全导刊,2015(24):52.
- [19] 程波财.抑制镰刀菌及降解两种真菌毒素的益生菌筛选和机理研究[D].长沙:中南大学,2010.
- [20] 李改英,傅彤,陈文,等.二丙酸铵抑制苜蓿霉变效果的研究[J].草业科学,2009,26(10):103-108.
- [21] 杨宏强.5S管理的概念、特点和实施[J].科技与管理,2011,13(3):101-104.
- [22] 傅仲.危害分析与关键控制点(HACCP)在饲料企业中的应用研究[D].北京:中国农业大学,2005.
- [23] 李雅楠.论我国食源性动物饲料质量监管制度的完善[D].绵阳:西南科技大学,2013.
- [24] 李会涛.《水产饲料生产良好操作规范》(GMP)技术管理体系构建与生产示范研究[D].青岛:中国海洋大学,2010.
- [25] 周晓菲,冯晓声,张乃生,等.T-2毒素及其对关节软骨和心肌毒性研究进展[J].动物医学进展,2006,27(12):49-53.
- [26] 王文龙,刘阳,李少英,等.脱氧雪腐镰刀菌烯醇与人类健康[J].食品研究与开发,2008,29(6):153-157.
- [27] KLÖTZEL M, LAUBER U, HUMPT H U. A new solid phase extraction clean-up method for the determination of 12 type A and B trichothecenes in cereals and cereal-based food by LC-MS/MS [J]. Molecular nutrition & food research, 2006, 50(3): 261-269.
- [28] SPEIJERS G J A, SPEIJERS M H M. Combined toxic effect of mycotoxins [J]. Toxicology letters, 2004, 153(7): 91-98.
- [29] LINDENMEIER M, SCHIEBERLE P, RYCHLIK M. Quantification of ochratoxin A in foods by a stable isotope dilution assay using high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. J Chromato A, 2004, 1023(1): 57-66.
- [30] 勾金玉,张秀丰.多种真菌毒素的检测方法分析[J].山东工业技术,2014(20):210.
- [31] 杨振宇,俞天乐,周瑶,等.进口玉米酒糟粕中15种真菌毒素的检测和风险分析[J].中国粮油学报,2014,29(11):123-128.
- [32] 潘振亮,姜翠翠,王文杰.饲料采用玉米霉菌污染状况调查[J].饲料工作,2008,29(23):52-53.
- [33] 施琦.T-2毒素的自然发生与降解及其在对虾中的蓄积规律[D].湛江:广东海洋大学,2013.
- [34] 谢云发,汪生贵,韩廷义.青海部分地区猪饲料中霉菌毒素污染情况调查分析[J].家畜生态学报,2013,34(10):74-77.
- [35] 彩鸿翔,鲁晓翠,李彬彬,等.酶联免疫吸附技术在食品安全检测中的应用研究进展[J].河北农业科学,2007,11(6):67-69.

本刊提示 参考文献只列主要的、公开发表的文献,序号按文中出现先后编排。著录格式(含标点)如下:(1)期刊——作者(不超过3人者全部写出,超过者只写前3位,后加“等”)。文章题名[J]。期刊名,年份,卷(期):起止页码。(2)图书——编著者.书名[M]。版次(第一版不写)。出版地:出版者,出版年:起止页码。(3)论文集——析出文献作者.题名[C]//。主编.论文集名.出版地:出版者,出版年:起止页码。