

文章编号: 1000-8020(2016)05-0766-05

·调查研究·

2013—2014年中国部分地区 饲料原料真菌污染状况调查



韩小敏 余东敏 张靖 张宏元 韩春卉 赵熙 江涛 徐进 李凤琴¹

国家食品安全风险评估中心 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会
食品安全风险评估重点实验室 北京 100021

摘要:目的 调查2013—2014年中国部分地区4种常见饲料原料的真菌污染状况。方法 从中国部分地区有代表性的饲料生产企业采集豆粕、棉籽粕、麦麸和玉米干酒糟及其可溶物(distillers dried grains with soluble, DDGS)4种饲料原料共计795份,分别参照GB 4789.15—2010《食品微生物学检验 霉菌和酵母计数》和GB/T 4789.16—2003《食品微生物学检验 常见产毒霉菌的鉴定》进行真菌计数和真菌的分离及鉴定。结果 共检出25属54种真菌,曲霉属、青霉属和镰刀菌属是饲料原料常见污染真菌。麦麸真菌污染最为严重,四季的真菌检出率均大于84.9%,超过饲用限量标准的样品比例达20.8%。棉籽粕和DDGS的真菌检出率和污染水平相对较低,超过饲用限量标准的样品比例分别为0.9%和1.4%。黄曲霉和串珠镰刀菌的污染存在原料种类、季节和地域差异,麦麸中黄曲霉在四季和全国的检出率均较高,以秋、冬两季和华中地区最高;豆粕中串珠镰刀菌在秋冬两季和华北地区的检出率较高。DDGS中黄曲霉的检出率很低,但串珠镰刀菌的检出率较高,以秋季和华中地区样品中串珠镰刀菌检出率最高,分别达40.4%和50.0%。结论 中国饲料原料普遍受到真菌污染,加强夏秋两季、华北和华中地区饲料原料的真菌污染监测是保证饲料原料质量的重要措施。

关键词: 真菌 饲料原料 污染 季节 调查

中图分类号: S816 S816.3

文献标志码: A

Survey on fungi invasion of feed ingredients in 2013 – 2014 from parts of China

HAN Xiaomin, YU Dongmin, ZHANG Jing, ZHANG Hongyuan, HAN Chunhui,
ZHAO Xi, JIANG Tao, XU Jin, LI Fengqin

Key Lab of Food Safety Risk Assessment, National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China National Centre for Food Safety Risk Assessment, Beijing 100021, China

Abstract: Objective To survey the fungi contamination of four kinds of feed ingredients in 2013 – 2014 from parts of China. **Methods** A total of 795 feed ingredients including soybean meal, cottonseed meal, wheat bran and distillers dried grains with soluble (DDGS) were collected from representative enterprises in different parts of China. Food safety national standards GB 4789.15—2010 microbiological examination of food hygiene enumeration of molds and yeast and GB/T 4789.16—2003 was used to enumerate, isolate and identify fungi, respectively. **Results** A total of 25 genus 54

基金项目: 科技基础性工作专项(No. 2013FY113400); 国家自然科学基金(No. 31301489)

作者简介: 韩小敏 副研究员 研究方向: 食品微生物 E-mail: hanxiaomin@cfsa.net.cn

¹ 通信作者: 李凤琴 研究员 研究方向: 食品微生物 E-mail: lifengqin@cfsa.net.cn

species kinds of fungi were isolated and the fungi from *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* were the common contamination fungi in feed ingredients. Wheat bran was the most serious contaminated feed ingredients by fungi, and the detection rate of fungi contamination in four seasons were all greater than 84.9%, and the exceeding feed limit rate was amount to 20.8%. The fungi detection rate and contamination level were relatively lower in cottonseed meal and soybean meal, and the exceeding feed limit rate was 0.9% and 1.4%, respectively. There were types of feed ingredients, seasonal and regional differences for *Aspergillus flavus* and *Fusarium moniliforme* contamination. The detection rate of *Aspergillus flavus* in wheat bran was higher in four seasons and all surveyed areas, and autumn and winter and huazhong district were with the highest contamination level. The detection rate of *Fusarium moniliforme* for soybean meal in autumn and winter and huabei district was higher than others. The detection rate of *Aspergillus flavus* for DDGS was very low, but the detection rate of *Fusarium moniliforme* was higher, especially for autumn and huazhong district, the detection rate was 40.4% and 50.0%, respectively. **Conclusion** The feed ingredients from China were commonly contaminated by fungi. It is recommended that strengthening the fungi contamination monitoring of feed ingredients from summer and autumn, huabei and huazhong district was an important prevention method.

Key words: fungi, feed ingredients, contamination, season, survey

饲料受真菌及真菌毒素污染而引起的动物性食品中真菌毒素残留已成为全球性的食品安全问题,据联合国粮农组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, UNFAO)报道,全球每年约有25%的农作物被真菌毒素污染,约2%的农作物因污染严重而失去营养和经济价值,造成数千亿美元的经济损失^[1]。近年来,中国饲料原料真菌毒素污染和畜禽真菌毒素中毒已有逐年增加趋势^[2]。受真菌及真菌毒素污染的饲料原料不仅可造成腐败变质、营养物质损失和品质降低,还可使家畜出现生长减缓、畸胎及死亡现象^[3]。近年来,国家陆续制定了饲料以及配合饲料中黄曲霉毒素B₁($\leq 10 \sim 50 \mu\text{g}/\text{kg}$)、脱氧雪腐镰刀菌烯醇($\leq 1 \sim 5 \text{mg}/\text{kg}$)、赭曲霉毒素A($\leq 100 \mu\text{g}/\text{kg}$)、玉米赤霉烯酮($\leq 500 \mu\text{g}/\text{kg}$)和T-2毒素($\leq 1 \text{mg}/\text{kg}$)的限量标准以保证饲料的质量。

已证实有12属上百种真菌具有产生真菌毒素的能力,因此饲料原料中真菌污染状况的调查对饲料原料质量的控制具有重要意义^[4]。为掌握我国饲料原料中真菌污染水平和季节变化差异并为饲料原料中真菌及真菌毒素的风险评估提供理论依据与数据支撑开展本研究。

1 材料与方法

1.1 饲料原料样品采集

根据我国4种饲料原料在全国的年产量分布情况,

确定采样地点和采样量。于2013年12月—2014年11月,从全国7个地区18省(市)采集豆粕、棉籽粕、麦麸和玉米干酒糟及其可溶物(DDGS)样品共795份,送至实验室2周内完成检测,样品采集信息见表1。

1.2 仪器与主要试剂

生化培养箱(上海一恒科学仪器有限公司)、二级生物安全柜(北京东方照生科技有限公司)、玻璃试管(海门海泰实验器材有限公司)、一次性无菌培养皿(直径15.0 cm和6.0 cm)均购自青岛金典生化器材有限公司。

马铃薯葡萄糖琼脂培养基(PDA,北京三药科技开发公司),含0.1 g/L氯霉素的马铃薯葡萄糖琼脂培养基(北京陆桥生物技术有限公司),察氏培养基(Sigma股份有限公司),氯化钠、苯酚、乳酸和甘油均购自国药集团化学试剂有限公司。

1.3 真菌计数、分离与鉴定

分别按照食品安全国家标准《GB 4789.15—2010 食品微生物学检验 霉菌和酵母计数》^[5]和《GB/T 4789.16—2003 食品微生物学检验 常见产毒霉菌的鉴定》^[6]及相关文献^[7-8]进行真菌的计数、分离及鉴定。

1.4 数据处理

采用Bonferroni校正卡方检验对不同种类样品、同一样品不同季节的污染水平差异以及不同地区样品中的真菌污染水平进行统计学分析, $P < 0.05$ 表示差异具有统计学意义。

表 1 饲料原料样品采集信息

Table 1 Information of feed samples used in the present study

地区	省市	DGGS	麦麸	豆粕	棉籽粕	合计
华北	北京市	33	1	1	1	36
	天津市	1	1	1	1	4
	河北省	20	25	15	17	77
	内蒙古自治区	15	7	6	9	37
	小计	69	34	23	28	154
华东	上海市	3	0	0	0	3
	山东省	40	38	24	17	119
	江苏省	15	14	6	7	42
	安徽省	86	37	9	3	135
	福建省	2	4	7	2	15
	小计	146	93	46	29	314
华中	江西省	1	1	1	0	3
	河南省	1	5	14	10	30
	小计	2	6	15	10	33
华南	广东省	19	39	7	1	66
	小计	19	39	7	1	66
西南	四川省	2	0	15	1	18
	小计	2	0	15	1	18
西北	陕西省	0	10	3	0	13
	新疆维吾尔自治区	10	4	5	5	24
	小计	10	14	8	5	37
东北	黑龙江省	31	18	29	21	99
	吉林省	1	0	1	1	3
	辽宁省	8	12	33	18	71
	小计	40	30	63	40	173
合计		288	216	177	114	795

2 结果

2.1 4种饲料原料的真菌检出率和带菌量的整体污染水平

由表 2 可见,不同饲料原料真菌污染水平存在差异。真菌检出率根据 Bonferroni 校正卡方检验统计结果可知,麦麸中真菌的检出率最高,与其他三类饲料原料相比差异具有统计学意义;其次

为豆粕和棉籽粕,两者差异不具有统计学意义; DGGS 的真菌检出率最低,其真菌检出率与麦麸和豆粕相比差异具有统计学意义,但与棉籽粕相比差异不具有统计学意义。从带菌量分布可知,麦麸和豆粕中超过限量使用标准 40 000 CFU/g 的样品比例最高,分别为 8.8% 和 8.5%,DDGS 中超过限量使用标准的样品比例最低为 1.4%。

表 2 饲料原料真菌检出率及带菌量分布情况

Table 2 The detectable rate and distribution for amount of fungi in feed ingredients

饲料原料	样品数	阳性样品数	真菌检出率/%	带菌量范围 ⁽⁵⁾ / (CFU/g)	带菌量分布 ⁽⁶⁾ / %		
					<1000 CFU/g	1000 ~ 40000 CFU/g	>40000 CFU/g
豆粕	177	143	80.8 ^(1,4)	0 ~ 5 × 10 ⁵	80.8	10.7	8.5
棉籽粕	114	84	73.7 ⁽¹⁾	0 ~ 5.1 × 10 ⁴	89.5	9.7	0.9
麦麸	216	197	91.2 ^(2,3,4)	0 ~ 1.5 × 10 ⁶	69.9	21.1	8.8
DDGS	288	185	64.2 ^(1,2)	0 ~ 1.0 × 10 ⁶	79.5	18.8	1.4
小计	795	609	76.6	0 ~ 1.5 × 10 ⁶	78.6	16.4	4.9

注: (1) 与麦麸相比 $P < 0.05$; (2) 与豆粕相比 $P < 0.05$; (3) 与棉籽粕相比 $P < 0.05$; (4) 与 DGGS 相比 $P < 0.05$; (5) 当 10^{-1} 稀释度平板被根霉、毛霉等覆盖或菌落无法计数时,计数 10^{-2} 或 10^{-3} 稀释度平板; (6) 豆粕和棉籽粕带菌量的分布界值分别为 <1000、1000 ~ 50000 和 >50000 CFU/g

2.2 4种饲料原料中真菌检出率和带菌量的季节分布

由表 3 可见,除秋季豆粕样品中超过饲用限

量标准的样品比例最高,可达 27.7% 外,麦麸样品中真菌带菌量超过饲用限量标准的样品比例在四季均最高。经 Bonferroni 校正卡方检验可

知,豆粕、棉籽粕和麦麸样品在四季的真菌检出率差异无统计学意义,而 DDGS 样品在夏秋两季的真菌检出率显著高于冬春两季的真菌检出率。

表 3 不同季节饲料原料中真菌检出率及带菌量

Table 3 The detectable rate and amount of fungi in different feed ingredients for different seasons

饲料原料	季节	样品数	阳性样品数	真菌检出率 / %	最大带菌量 / ($\times 10^3$ CFU/g) ⁽²⁾	超过限量使用标准(>40000 CFU/g) 的样品比例 / % ⁽³⁾
豆粕	春季	71	52	73.2	3.5	
	夏季	47	42	89.4	500	27.7
	秋季	14	10	71.4	59	7.1
	冬季	45	39	86.7	54	2.2
	合计	177	143	80.8	500	8.5
棉籽粕	春季	54	41	75.9	51	1.9
	夏季	15	10	66.7	11	
	秋季	13	10	76.9	14	
	冬季	32	23	71.9	21	
	合计	114	84	73.7	51	0.9
麦麸	春季	53	45	84.9	150	3.8
	夏季	53	45	84.9	1000	1.9
	秋季	77	74	96.1	810	20.8
	冬季	33	33	100.0	5.5	
	合计	216	197	91.2	1000	8.8
DDGS	春季	49	22	44.9	1.7	
	夏季	92	65	70.7 ⁽¹⁾	1000	1.1
	秋季	114	85	74.6 ⁽¹⁾	800	2.6
	冬季	33	13	39.4	0.2	
	合计	288	185	64.2	1000	1.4

注: (1) 与冬季 DDGS 相比, $P < 0.05$; (2) 当 10^{-1} 稀释度平板被根霉、毛霉等覆盖或菌落无法计数时, 计数 10^{-2} 或 10^{-3} 稀释度平板; (3) 豆粕和棉籽粕的带菌量饲用限量标准为 >50000 CFU/g

2.3 不同饲料原料中的真菌菌相分布

本次调查共检出 25 属 54 种真菌, 包括曲霉属 13 种、镰刀菌属 4 种、青霉属 15 种、其他真菌 22 种。其中曲霉属的黄曲霉、聚多曲霉、黑曲霉、亮白曲霉、构巢曲霉, 镰刀菌属的串珠镰刀菌, 青霉属的绳状青霉, 其他真菌中的毛霉属、根霉属、散囊菌等真菌在 4 种饲料原料的检出率均较高。

麦麸样品污染真菌种类最多, 包括曲霉属 13 种、镰刀菌属 4 种、青霉属 15 种、其他真菌 19 种共 51 种真菌, 未检出脉孢霉属、葡萄状穗霉属和单端孢霉属真菌。除常见污染真菌外, 麦麸中检出较多的还有橘灰青霉(7.4%)、酵母(18.5%)、犁头霉(10.7%)和木霉(9.3%)。豆粕次之, 共检出 39 种真菌, 包括曲霉属 12 种、镰刀菌属 2 种、青霉属 8 种、其他真菌 17 种(属), 未检出米曲霉、半裸镰刀菌、尖孢镰刀菌、橘青霉、局限青霉、牵连青霉、纠结青霉、单端孢霉属等 15 种真菌。再次为 DDGS 共检出 37 种真菌, 包括曲霉属 12 种、镰刀菌属 2 种、青霉属 6 种、其他真菌 17 种。棉籽粕共检出真菌 32 种, 包括曲霉属 10 种、

镰刀菌属 2 种、青霉属 7 种、其他真菌 13 属(种)。

2.4 不同饲料原料中黄曲霉和串珠镰刀菌污染的季节分布

从图 1 可见, 麦麸中黄曲霉的检出率较高, 冬、春两季的检出率最高分别可达 90.9% 和 56.6%, 其次为豆粕和棉籽粕, 两者黄曲霉的检出率在各季节均比较接近, 秋、冬两季的检出率高于春、夏两季。DDGS 中黄曲霉检出率最低, 四季检出率均低于 20.7%。此外秋季的 DDGS 样品中串珠镰刀菌的检出率最高, 可达 40.4%。豆粕、棉籽粕和麦麸中串珠镰刀菌在秋、冬两季的检出率分别高于春、夏两季, 其中豆粕和麦麸两者的串珠镰刀菌检出率在秋、冬两季比较接近。

2.5 不同饲料原料黄曲霉和串珠镰刀菌污染的地区分布

由于本次调查西南和西北地区的样品较少, 不具有代表性, 因此仅对华北、华东、华中、华南、东北 5 个地区的样品进行分析。据表 4 可知, 麦麸中黄曲霉的检出率在 5 个地区均较高, 其次为豆粕和 DDGS 的黄曲霉检出率。据 Bonferroni 校正卡方检验可知, 豆粕中黄曲霉的检出率在华中

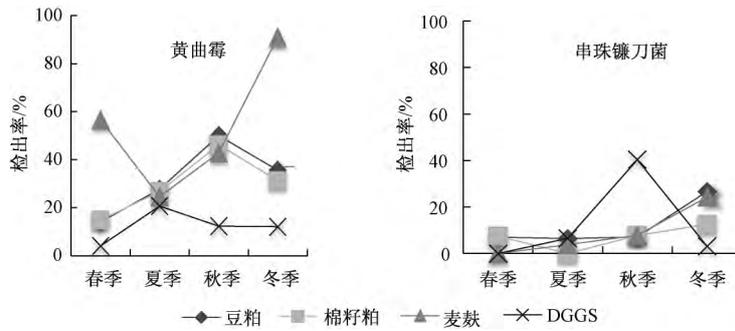


图 1 黄曲霉和串珠镰刀菌污染状况的季节分布

Figure 1 *Aspergillus flavus* and *Fusarium moniliforme* contamination level for different seasons

地区最高、华北和东北地区最低;棉籽粕中黄曲霉的检出率在华中地区显著高于其他地区;麦麸和 DDGS 中黄曲霉的检出率在不同地区间差异无统计学意义。豆粕中串珠镰刀菌的检出率以华北地

区较高,棉籽粕中串珠镰刀菌的检出率在不同地区间差异无统计学意义,麦麸中串珠镰刀菌的检出率在华中地区稍高,DDGS 中串珠镰刀菌的检出率以华北、华中地区较高。

表 4 饲料原料黄曲霉及串珠镰刀菌污染的地区特性

Table 4 *Aspergillus flavus* and *Fusarium moniliforme* contamination level for feed ingredients in different regions

地区	豆粕			棉籽粕			麦麸			DGGS		
	样品数	黄曲霉检出率/%	串珠镰刀菌检出率/%	样品数	黄曲霉检出率/%	串珠镰刀菌检出率/%	样品数	黄曲霉检出率/%	串珠镰刀菌检出率/%	样品数	黄曲霉检出率/%	串珠镰刀菌检出率/%
华北	23	13	35 ⁽¹⁾	28	25	14	34	56	6	69	4	46 ⁽¹⁾
华东	46	39	9	29	24	7	93	40	12	146	18	12
华中	15	67 ⁽¹⁾	20	10	90 ⁽¹⁾	20	6	83	33 ⁽¹⁾	2	50	50 ⁽¹⁾
华南	7	43	0	1	0	0	39	54	0	19	21	5
东北	63	16	8	40	8	3	30	50	3	10	20	0

注: (1) 与东北地区比较 $P < 0.05$

3 讨论

本次调查发现 4 种饲料原料的带菌量可达 1.5×10^6 CFU/g, 高于殷蔚申等^[9]报道的正常粉状饲料带菌量 $10^3 \sim 10^4$ 个/g。4 种饲料原料的真菌污染状况不同,麦麸中的真菌检出率和超过饲用限量标准的样品比例均最高,分别为 91.2% 和 8.8%, DDGS 和棉籽粕的真菌检出率和超过限量饲用标准的样品比例相对较低。此外,发现我国饲料原料普遍受到多种真菌污染,其中曲霉属的黄曲霉、聚多曲霉、黑曲霉、亮白曲霉、构巢曲霉,镰刀菌属的串珠镰刀菌,青霉属的绳状青霉,其他真菌中的毛霉属、根霉属、散囊菌属等的检出率均较高,与 MACIOROWSKI 等^[10]的调查结果相同。

从季节分析可知,夏秋两季 4 种饲料原料的真菌检出率和带菌量均高于冬春两季。麦麸和豆粕四季真菌检出率和超过饲用限量标准的样品比例普遍高于棉籽粕和 DDGS。其中秋季麦麸样品超过饲用限量标准的比例最高,可达 20.8%, DDGS 样品在冬春两季的真菌检出率均最低,且冬春两季均无超过饲用限量标准的样品。这可能

与夏秋两季高温、高湿环境更适于真菌生长繁殖相关^[11]。同时 DDGS 样品是玉米深加工生产酒精的副产物,因在生产加工过程中经历了高温蒸馏过程,可能已杀灭绝大部分微生物而导致该类样品受真菌污染较轻。

本研究还发现豆粕、棉籽粕和麦麸 3 种饲料原料中黄曲霉的检出率均高于串珠镰刀菌的检出率,与本课题组前期研究结果相同^[12]。麦麸中黄曲霉的检出率较高,其次为豆粕和棉籽粕,DDGS 最低。但 DDGS 中串珠镰刀菌的检出率最高,可达 40.4%,与汪昭贤等^[13]发现镰刀菌是玉米类饲料的主要污染真菌相吻合。已有研究报道,来自我国不同省区、不同粮食的黄曲霉和串珠镰刀菌的某些菌株具有产生高水平的黄曲霉毒素和伏马菌素的能力^[14-15],提示饲料原料在贮藏过程中具有产生真菌毒素的风险。

综上,为保证饲料原料品质,需根据饲料原料的种类、季节和地区分布的特点制定不同的监测计划。

(下转第 776 页)

- rates of cancers caused by naturally occurring asbestos [J]. *J Expo Sci Environ Epidemiol*, 2012, 22(5): 516-521.
- [7] LUO Suqiong, LIU Xueze, MU Shihui, et al. Asbestos related diseases from environmental exposure to crocidolite in Dayao [J]. *Occup Environ Med*, 2003, 60(1): 35-41.
- [8] 杨昌跃. 大姚县青石棉污染区肺痛和间皮瘤死亡率的调查及其趋势预测 [D]. 成都: 四川大学, 2005.
- [9] SNYDERWINE E G. Mammary gland carcinogenesis by food-derived heterocyclic amines: metabolism and additional factors influencing carcinogenesis by 2-amino-1-methyl-6-phenylimidazo [4, 5-b] pyridine (PhIP) [J]. *Environ Mol Mutagen*, 2002, 39: 165-170.
- [10] FELTON J S, KNIZE M G, SALMON C P, et al. Human exposure to heterocyclic amine food mutagens /carcinogens: relevance to breast cancer [J]. *Environ Mol Mutagen*, 2002, 39: 112-118.
- [11] 聿静, 朋文佳, 贾贤杰, 等. 大姚县农村生活饮用水青石棉污染与消化道癌症关联的病例-对照研究 [J]. *卫生研究* 2015, 44(1): 28-31.
- [12] 杨功焕, 马杰民, 刘娜, 等. 中国人群 2002 年吸烟和被动吸烟的现状调查 [J]. *中华流行病学杂志*, 2005, 26(2): 77-83.
- [13] 高静, 项永兵, 徐望红, 等. 吸烟、饮酒与子宫内膜癌关系的病例对照研究 [J]. *复旦学报: 医学版*, 2006, 33(1): 10-16.
- [14] 许小琴, 蔡琳. 饮茶与肺癌发病风险的病例-对照研究 [J]. *卫生研究* 2013, 42(2): 211-213.
- [15] KNOL M J, VANDERWEELE T J, GROENWOLD R H, et al. Estimating measures of interaction on an additive scale for Dreventive exposures [J]. *Eur J Epidemiol* 2011, 26(6): 433-438.
- [16] ANDERSSON T, ALFREDSSON L, KALLBERG H, et al. Calculating measures of biological interaction [J]. *Eur J Epidemiol* 2005, 20(7): 575-579.
- [17] 靳子义, 韩仁强, 刘爱民, 等. 中国人群饮茶与肺癌关系的 Meta 分析 [J]. *中华流行病学杂志* 2012, 33(8): 857-861.
- [18] TAIKEZAKI T, HIROSE K, INOUE M, et al. Dietary factors and lung cancer risk in Japanese: with special reference to fish consumption and adenocarcinomas [J]. *Br J Cancer* 2001, 84(9): 1199-1206.
- [19] KUBIK A, ZATLOUKAL P, TBMASEK L, et al. A case. control study of lifestyle and lung cancer associations by histological types [J]. *Neoplasma*, 2008, 55(3): 192-199.
- [20] 殷建忠, 周玲仙. 云南野生菌维生素 B₁、B₂ 含量分析 [J]. *营养学报* 2003, 25(2): 163-165.
- [21] 王文辉, 彭永芳. 云南九种野生食用菌氨基酸的快速测定 [J]. *中国食用菌*, 1999, 18: 29-30.

收稿日期: 2016-06-15

(上接第 770 页)

参考文献

- [1] NEGEDU A, ATAWODI S E, AMEH J B, et al. Economic and health perspectives of mycotoxins: a review [J]. *Continental J Biomed Sci*, 2011(5): 5-26.
- [2] 陈心仪. 2009-2010 年中国部分省市饲料原料及配合饲料的霉菌毒素污染概况 [J]. *浙江畜牧兽医* 2011(2): 7-10.
- [3] DOHLMAN E. Mycotoxin hazards and regulations [R]. *Agricultural Economic Reports*, 2003.
- [4] MARAGOS C M, BUSMAN M. Rapid and advanced tools for mycotoxin analysis: a review [J]. *Food Addit Contam*, 2010, 27(5): 688-700.
- [5] 中华人民共和国卫生部. GB 4789.15—2010 食品安全国家标准 食品微生物学检验 霉菌和酵母计数 [S]. 北京: 中国标准出版社 2010.
- [6] 中华人民共和国卫生部. GB/T 4789.16—2003 食品安全国家标准 食品微生物学检验 常见产毒霉菌的鉴定 [S]. 北京: 中国标准出版社 2003.
- [7] 齐祖同. 中国真菌志 第五卷 曲霉属及其相关有性型 [M]. 北京: 科学出版社, 1997: 30-440.
- [8] 孔华忠. 中国真菌志 第三十五卷 青霉属及其相关有性型属 [M]. 北京: 科学出版社 2007: 20-480.
- [9] 殷蔚申, 张耀东, 吴小荣. 我国饲料中的真菌和真菌毒素 [J]. *中国粮油学报*, 1992, 7(2): 32-37.
- [10] MACIOROWSKI K G, HERRERA P, JONES F T, et al. Effects on poultry and livestock of feed contamination with bacteria and fungi [J]. *Animal Feed Sci Technol*, 2007, 133(1): 109-136.
- [11] 程忠刚. 酵母源生物饲料的研究应用 [J]. *猪业科学*, 2010(11): 68-69.
- [12] 韩小敏, 赵熙, 张靖, 等. 中国饲料原料中真菌污染状况研究 [J]. *卫生研究*, 2014, 43(3): 430-434.
- [13] 汪昭贤, 李长生, 谢毓芬, 等. 陕西省畜禽饲料有毒真菌的调查 [J]. *中国兽医科技*, 1988(5): 3-7.
- [14] 刘兴玠, 尹秀英, 李玉伟, 等. 我国各地区粮食中黄曲霉产毒性能的调查研究 [J]. *中国医学科学院学报*, 1981, 3(4): 266-269.
- [15] 刘秀梅, 王晓英, 邱茂锋, 等. 串珠镰刀菌伏马菌素产毒基因及毒力的测定 [J]. *中华预防医学杂志*, 2005, 39(4): 249-252.

收稿日期: 2015-10-15