

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2019.05.014

黑龙江粮库库存玉米的营养成分、脂肪酸值和霉菌毒素含量分析

王薇薇, 宋歌, 王丽, 周航, 董正林, 刘宽博,
王永伟, 宋丹, 李爱科

(国家粮食和物资储备局科学研究院, 北京 100037)

摘要: 采集于2013、2014、2015和2016年收储的玉米库存样品各7个, 对样品营养成分、脂肪酸值、霉菌毒素含量和猪仿生消化能等进行测定。结果表明, 收储年份为2013年的库存玉米, 与其他收储年份(2014、2015和2016年)库存玉米相比, 精氨酸和酪氨酸含量较低($P<0.05$), 呕吐毒素含量较高($P<0.05$); 然而, 其呕吐毒素含量在GB 13078—2017《饲料卫生标准》规定的安全限量之内。同时, 各组间营养成分(水分、总能、粗蛋白质、粗脂肪、总膳食纤维、磷、中性洗涤纤维等)、脂肪酸值、霉菌毒素(黄曲霉毒素B₁、赭曲霉毒素和玉米赤霉烯酮)含量以及猪仿生消化能值均无明显差别($P>0.05$)。综上所述, 黑龙江粮库内2013、2014、2015和2016年收储的库存玉米对猪有类似的营养价值, 均利于猪饲料的配制。

关键词: 黑龙江; 库存玉米; 营养成分; 脂肪酸值; 霉菌毒素

中图分类号: TS210.2 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2019)05-0069-06

Analysis of nutritional components, fatty acid value and mycotoxin contents of stored corn in Heilongjiang granaries

WANG Wei-wei, SONG Ge, WANG Li, ZHOU Hang, DONG Zheng-lin,
LIU Kuan-bo, WANG Yong-wei, SONG Dan, LI Ai-ke

(Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100037)

Abstract: The nutrient composition, fatty acid value, mycotoxins and swine bionic digestible energy of 28 stored corn samples collected from Heilongjiang granaries stored in 2013, 2014, 2015 and 2016 were detected. The results showed that compared with stored corn samples collected in 2014, 2015 and 2016, stored corn collected in 2013 had lower content of arginine and tyrosine ($P<0.05$) and higher content of deoxynivalenol ($P<0.05$); however, the deoxynivalenol content of corn collected in 2013 was below the safety limit in GB 13078—2017 Hygienical Standard For Feeds. Meanwhile, there were no obvious differences in nutrient composition (moisture, total energy, crude protein, crude fat, dietary fiber, phosphorus, neutral detergent fiber, etc.), fatty acid value, mycotoxins (aflatoxin B₁, ochratoxin and zearalenone) and swine bionic digestible energy among the four groups of corn ($P>0.05$). In conclusion, the samples have similar nutrition value for pigs, so that all of them could be utilized in preparation of pig feed.

Key words: Heilongjiang; stored corn; nutritional components; fatty acid value; mycotoxins

收稿日期: 2019-01-17

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFC1604001, 2017YFD0500505); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(ZX1708)

作者简介: 王薇薇, 1984年出生, 女, 副研究员.

通讯作者: 李爱科, 1963年出生, 男, 研究员.

我国是玉米的种植和产量大国。2000~2015年,国内玉米产量由1.06亿吨增长至2.25亿吨,播种面积由3.46亿亩增长至5.72亿亩。其中,在2012年,玉米产量首次超过水稻,成为我国第一大粮食作物品种;2014年,我国超越美国,成为玉米种植面积最大的国家。然而,2015年年末,我国库存消费比为172.35%,成为玉米去库存压力最大的国家。因此,了解我国库存玉米的营养成分,分析其营养价值对我们更加充分、有效地利用库存玉米、高效地发挥其利用价值具有重要意义。玉米在我国分布广泛,主要在东北、华北和西南地区,形成一个从东北到西南的狭长玉米种植带。这一带状区域占中国玉米种植总面积的85%和产量的90%。其中,东北地区(黑龙江、辽宁、吉林)的玉米播种面积和产量均占全国最大比例(50%以上)^[1]。其中黑龙江省最多,截至2017年,黑龙江省的玉米总产量占全国的19%。

我国玉米下游需求主要分为三个方向,除深加工和食用需求外,饲料需求占比超70%。而我国的全价饲料产量又以猪鸡饲料占比最高。有报道,玉米存贮一年后会降低它的硬度、容重和百粒重,蛋白质含量升高,但是蛋白质真消化率降低^[2]。储存时间还会改变玉米中脂肪酸的比例组成。随着储存时间的延长,玉米中脂肪和脂肪酸含量下降,脂肪酸值升高^[3]。另一方面,不同储藏时间的玉米,其挥发性物质成分基本相同,但含量存在差异。随着储藏时间延长,玉米的总挥发性物质及单个挥发性物质含量都逐渐增加,而这些挥发性物质主要是由脂质的氧化和水解产生^[4]。相反地,有研究发现一定储存期限的玉米与当年玉米相比,其营养成分和对畜禽生产的影响并无明显差别。郭英^[5]报道,五个品种玉米储存3年,其蛋白质总量均基本保持不变。有报道,适当的陈化玉米可显著提高肉仔鸡的生长性能、消化道发育和养分利用率,新玉米可能对鸡的空肠发育有不良影响,导致饲料消化率降低^[6]。可见,有关库存玉米的营养成分变化和营养价值的分析仍存在较大争议。

本研究旨在以我国玉米生产大省黑龙江省粮

库库存玉米为研究对象,研究不同储存年份的黑龙江库存玉米(2013、2014、2015和2016年)的营养成分、霉菌毒素含量和猪仿生消化能,为我国库存玉米在动物养殖上的利用提供基础理论数据。

1 材料与amp;方法

1.1 实验材料

采集于2013年、2014年、2015年和2016年收储的玉米样品各7个,分别采自黑龙江克东粮库、讷河中心粮库、甘南粮库、富粮粮库、龙江粮库、四合粮库、杨裕粮库7个粮库。共计28个样品。

1.2 仪器与试剂

电热恒温鼓风干燥箱(DHG-9245A):精宏;FOSS全自动定氮仪(Kjeltec 8400):FOSS公司,瑞典;电子分析天平(ME235):德国Sartorius公司;马弗炉(SX₂-5-12):天津中环实验电炉有限公司;低温粉碎机(M20):德国IKA公司;真空干燥箱(DZF-6050MBE):上海精宏公司;酶标仪(SpectraMaxPlus384):MolecularDevices公司;L-8800氨基酸自动分析仪:日立公司,日本;单胃动物仿生消化系统(SDS-2):中国农业科学院北京畜牧兽医研究所。

1.3 实验方法

本实验中,玉米样品水分含量、粗蛋白质含量、粗脂肪含量、粗纤维含量、粗灰分含量、钙含量和总磷含量分别采用GB/T 10362—2008《粮油检验玉米水分测定》、GB/T 6432—1994《饲料中粗蛋白测定方法》、GB/T 6433—2006《饲料中粗脂肪的测定》、GB/T 6434—2006《饲料中粗纤维的含量测定过滤法》、GB/T 6438—2007《饲料中粗灰分的测定》、GB/T 6436—2002《饲料中钙的测定》和GB/T 6437—2002《饲料中总磷的测定分光光度法》检测。直链淀粉/支链淀粉比例采用检测试剂盒(Megazyme,爱尔兰)测定。总膳食纤维、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维和氨基酸含量分别采用GB 5009.88—2014《食品安全国家标准食品中膳食纤维的测定》、GB/T 20806—2006《饲料中中性洗涤纤维(NDF)的测定》、NY/T

1459—2007《饲料中酸性洗涤纤维的测定》和 GB/T 18246—2000《饲料中氨基酸的测定》检测。脂肪酸值采用 GB/T 15684—2015《谷物碾磨制品脂肪酸值的测定》检测。黄曲霉毒素 B₁、玉米赤霉烯酮、呕吐毒素和赭曲霉毒素采用霉菌毒素检测试剂盒 (Finde, 深圳) 检测。玉米的猪仿生消化能采用单胃动物仿生消化系统 (SDS-2) 测定。

1.4 统计分析

实验数据用平均值±标准差表示, 采用 SAS (9.0) 统计软件中的 one-way ANOVA 过程进行单因素方差分析, $P < 0.05$ 代表具有统计学差异。

2 结果与分析

2.1 不同收储时间库存玉米的营养成分差异

由表 1 可知, 黑龙江粮库不同收储时间库存玉米之间, 除钙含量外, 其他概略养分 (包括水分、总能、粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分、总磷、总膳食纤维、中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维) 均无显著差异 ($P > 0.05$)。类似地, 有报道称, 不同储存年限 (3 个月、15 个月、27 个月和 36 个月) 的玉米在常规储藏条件下, 蛋白质的变化较为缓慢, 储藏稳定性较好^[5]。相反地, 刘永辉^[2]报道, 陈旧玉米中粗脂肪、粗纤维、粗灰分和无氮浸出物含量均高于新收玉米。本实验条件下, 2013 年收储的库存玉米钙含量最高, 2014 年收储的库存玉米钙含量最低, 二者有显著差异 ($P <$

0.05)。这可能与当年的气候、水分、土壤和根系等诸多因素影响有关^[7]。直链淀粉与支链淀粉的比例反映淀粉的易消化程度, 本实验表明几个收储年份的库存玉米直链淀粉与支链淀粉的比例均无明显差别 ($P > 0.05$), 表明几个收储年份的库存玉米淀粉易消化程度相近。

Van Soest^[8]根据纤维在酸或碱溶液中的可溶性进行分类, 提出了中性洗涤纤维 (neutral detergent fiber, NDF) 和酸性洗涤纤维 (acid detergent fiber, ADF) 的概念, 该体系可以较为准确地评估饲料中含有的纤维素、半纤维素、木质素和酸不溶灰分的含量, 克服了粗纤维 (crude fiber, CF) 测定时的缺点, 是截至目前仍然盛行的评价饲料纤维含量的重要指标。2001 年, 美国谷物协会确定了膳食纤维 (dietary fiber, DF) 的定义: “DF 是指不能被机体小肠内源酶消化、但可在大肠中全部或部分发酵的可食碳水化合物及其类似物。DF 包括抗性淀粉、不易消化的低聚糖、非淀粉多糖、木质素或与之相缔合的植物成分。”传统营养学认为, 在猪饲料中纤维含量高会降低能量与营养物质的利用, 不利于猪的生长发育^[9]。但近些年, 日粮纤维受到营养学家的广泛关注, 其最主要原因是日粮纤维可以在猪肠道内被微生物利用, 改善肠道微生物菌群结构, 减少肠道疾病的发生, 促进肠道健康; 同时, 日粮纤维也有助于减少抗生素在猪上的使用^[10]。本实验结果发现, 不同收

表 1 黑龙江粮库不同收储时间库存玉米的营养成分

%, 干基

项目	收储年份				P 值
	2013	2014	2015	2016	
水分	11.90±0.27	12.08±0.16	12.10±0.29	12.12±0.31	0.939 2
总能 MJ/kg	18.78±0.05	18.70±0.07	18.89±0.10	18.78±0.03	0.308 7
粗蛋白质	8.37±0.17	8.52±0.16	8.69±0.18	8.65±0.14	0.510 6
粗脂肪	4.69±0.21	4.75±0.14	4.68±0.05	4.61±0.11	0.920 2
粗灰分	1.36±0.06	1.37±0.05	1.45±0.08	0.51±0.10	0.470 1
直链淀粉/支链淀粉	0.22±0.02	0.20±0.02	0.21±0.01	0.19±0.01	0.710 5
钙	0.53±0.04 ^a	0.34±0.04 ^c	0.51±0.04 ^{ab}	0.40±0.04 ^{bc}	0.007 6
总磷	0.64±0.03	0.66±0.04	0.60±0.05	0.60±0.03	0.588 6
中性洗涤纤维	7.10±0.26	7.35±0.29	7.67±0.27	7.43±0.37	0.610 0
酸性洗涤纤维	1.72±0.05	1.94±0.11	1.96±0.07	1.98±0.08	0.105 5
膳食纤维 g/100g	11.04±0.58	11.49±0.63	11.40±0.42	11.46±0.71	0.943 9

注: 结果以平均值±标准差 (SD) 表示, n=7。同行数据肩标不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 肩标相同或无字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。下表同。

储时间的库存玉米，其 NDF、ADF 和 DF 含量均无显著差别 ($P>0.05$)。由此推测，不同储存时间玉米对动物营养物质消化和肠道微生物菌群结构可能也未有影响。Bartov^[11]也研究表明，在良好适当的储存条件下，玉米的营养价值几乎不会受到影响。

2.2 不同收储时间库存玉米的氨基酸含量差异

由表 2 可知，除精氨酸和酪氨酸外，其余 15 种氨基酸的含量在不同收储时间库存玉米之间无显著差异 ($P>0.05$)。2013 年收储的库存玉米，其精氨酸和酪氨酸含量均显著低于其他三个年份收储的库存玉米 ($P<0.05$)。与本研究结果略有

不同，刘永辉^[2]报道，在饲喂基础条件下，陈旧玉米中除异亮氨酸含量高于新收玉米外，其他氨基酸含量均无明显差异。造成这一差异的原因可能包括各收储年份内施肥不同、化学调控剂不同以及自然环境条件不同等。有研究报道，在 18 种氨基酸中，天冬氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、胱氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、色氨酸、组氨酸和精氨酸这 11 种氨基酸的含量与施氮量呈极显著或显著正相关^[12]。在本实验条件下，不同收储年份玉米的必需氨基酸含量无明显差别，仅非必需氨基酸中的精氨酸和酪氨酸有差别，并不影响其在畜禽饲料配制中的使用。

表 2 黑龙江粮库不同收储时间库存玉米的氨基酸含量

%

项目	收储年份				P 值
	2013	2014	2015	2016	
苯丙氨酸	0.423±0.014	0.457±0.013	0.441±0.009	0.491±0.035	0.141 0
丙氨酸	0.557±0.012	0.581±0.009	0.581±0.011	0.630±0.034	0.083 5
蛋氨酸	0.131±0.006	0.141±0.014	0.127±0.005	0.136±0.007	0.685 1
甘氨酸	0.264±0.004	0.274±0.005	0.271±0.006	0.304±0.023	0.125 4
谷氨酸	1.391±0.039	1.433±0.041	1.417±0.037	1.499±0.051	0.347 0
胱氨酸	0.144±0.003	0.153±0.003	0.149±0.003	0.154±0.003	0.083 7
精氨酸	0.297±0.006 ^b	0.317±0.003 ^a	0.317±0.005 ^a	0.324±0.009 ^a	0.025 5
赖氨酸	0.233±0.016	0.257±0.022	0.241±0.012	0.296±0.030	0.182 6
酪氨酸	0.287±0.004 ^b	0.306±0.002 ^a	0.301±0.018 ^a	0.299±0.036 ^a	0.010 7
亮氨酸	0.879±0.020	0.937±0.015	0.924±0.019	0.953±0.026	0.183 6
脯氨酸	0.573±0.020	0.613±0.015	0.616±0.019	0.624±0.026	0.302 5
丝氨酸	0.36±0.009	0.379±0.006	0.374±0.008	0.409±0.045	0.074 1
苏氨酸	0.286±0.005	0.296±0.004	0.291±0.005	0.313±0.016	0.174 4
天冬氨酸	0.486±0.007	0.504±0.006	0.504±0.008	0.56±0.045	0.160 1
缬氨酸	0.379±0.005	0.396±0.006	0.393±0.006	0.414±0.020	0.191 7
异亮氨酸	0.226±0.004	0.257±0.019	0.234±0.004	0.244±0.006	0.197 4
组氨酸	0.203±0.006	0.220±0.007	0.213±0.005	0.243±0.019	0.090 5
氨基酸总量	7.119±0.142	7.521±0.123	7.397±0.117	7.893±0.353	0.094 6

2.3 不同收储时间库存玉米脂肪酸值的差异

由表 3 可知，不同收储时间库存玉米的脂肪酸值没有显著差异 ($P>0.05$)。在玉米储存过程中，籽粒中的不饱和脂肪酸易被水解产生甘油和脂肪酸，脂肪酸不易被分解而在籽粒中逐渐沉积；脂肪酸值与食用品质评分的相关性极强。因此，脂肪酸值是判断玉米储存品质最主要的指标之一。影响脂肪氧化降解的因素较多，如样品的种类、含水量、霉菌、金属离子以及储藏的温度和

湿度等^[13]。GB/T 20570—2015《玉米储存品质判定规则》中规定玉米脂肪酸值 65 mgKOH/100 g 为宜存，65 且 78 mgKOH/100g 为轻度不宜存，>78 mgKOH/100g 为重度不宜存。在本实验条件下 2013 年收储玉米样品为轻度不宜存样品。在 2013 收储的 7 个样品中，有 3 个样品达到重度不宜存数值、1 个数值达到轻度不宜存数值，应及时出库。可能是由于个别样品随着储存时间的延长，引起样品中游离脂肪酸含量的增加，从而

引起脂肪酸值的提高。然而, 储存 3 年内的玉米 (2014、2015 和 2016 年收储玉米) 均为宜存品质, 可能是玉米样品含水量较低, 粮库内温度较

低所致。王红美^[14]研究发现, 玉米在储存期间水分含量在 14% 以下、温度在 -5~25 范围内时均能够在较长时间内保持较低的脂肪酸值。

表 3 黑龙江粮库不同收储时间库存玉米的脂肪酸值

mgKOH/100g

项目	收储年份				P 值
	2013	2014	2015	2016	
脂肪酸值	67.89±6.70	55.78±5.21	51.53±2.71	55.66±6.42	0.194 7

2.4 不同收储时间库存玉米霉菌毒素的差异

对玉米颗粒造成污染的产毒素霉菌主要包括曲霉属、镰刀菌属、青霉属和麦角菌属等^[15]。关于饲料中的霉菌毒素, 目前研究最多的有黄曲霉毒素 (Aflatoxin, AFB1)、呕吐毒素 (Deoxynivalenol, DON)、赭曲霉毒素 (Ochratoxin, OT) 和玉米赤霉烯酮 (Zearalenone, ZEN) 由表 4 可知, 2013 年收储库存玉米的 DON 含量显著高于其他年份收储库存玉米 ($P < 0.05$), 该年份的 7 个样品中有 5 个样品的 DON 含量超过 1 000 ng/g; 但包括 2013 年在内所有收储年份的玉米样品 DON 含量均在 GB 13078—2017《饲料卫生标准》规定的安全限量 (5 mg/kg) 之内。另外, 四组玉米之间, 其他三种霉菌毒素 (包括 AFB1、OT 和 ZEN) 均无显著差异 ($P > 0.05$)。有研究认为, 玉米主要在田间容易受霉菌毒素污染而霉变, 储存中环境控制得当则可以避免过程中的霉变。本实验所采集样品均来自国家粮库, 储藏条件良好, 均通过自然通风或机械通风保持粮堆温度不超过 25 , 并采用湿度传感器实时检测粮仓内相对湿度, 保持在 30%~60%; 并采用磷化氢环流熏蒸进行杀虫, 且定期进行粮情监控。另外, 在玉米进库前, 均按照 GB/T 20570—2015《玉米储存品质判定规则》标准对水分、霉菌等进行严格控制。因此, 东北地区粮库内储藏玉米发生霉变的可能

性较小^[16-17]。有研究报道, 在田间环境温度 20 , 水分含量 17%~20% 时, 作物的 DON 含量显著增加; 但在仓储过程中, 如果粮仓环境控制得当, 不会在仓储过程中增加其含量^[18]。因此, 考虑到本实验样品来源粮仓的良好储存条件, 出现的 2013 年收储个别样品 DON 含量偏高的现象, 可能是所采样品田间 DON 污染或由采样误差引起, 而非受粮库内储存时间的影响。

2.5 不同收储时间库存玉米猪仿生消化能的差异

分别选用 4 个收储年份 (2013 年、2014 年、2015 年和 2016 年) 的库存玉米, 每个年份 3 个重复 (3 个重复的样品分别来自克东粮库、四合粮库和杨裕粮库三个地点), 利用单胃动物仿生消化系统测定猪的仿生消化能, 结果如图 1 所示。由图 1 可知, 不同收储时间的库存玉米之间, 玉米的猪仿生消化能无显著差别 ($P > 0.05$)。单胃动物仿生消化系统是一套用于全自动模拟猪胃、小肠和大肠消化的仿生消化系统, 实现了酶法测定猪饲料消化能值的“自动化、仪器化和操作规范化”; 已能够较好的预测猪的饲料及饲料原料的消化能^[19]。由本实验结果可知, 东北粮库不同收储时间的库存玉米的猪能量消化率无显著差别 ($P > 0.05$), 这也与本文 2.1 中有关不同收储时间玉米对动物营养物质消化率影响的推测相符。

表 4 黑龙江粮库不同收储时间库存玉米的霉菌毒素含量

ng/g

项目	年份				P 值
	2013	2014	2015	2016	
玉米赤霉烯酮	7.84±1.39	3.96±1.11	6.38±0.92	4.89±0.99	0.101 0
呕吐毒素	1 954.26±548.49 ^a	537.24±89.23 ^b	936.8±294.21 ^{ab}	519.21±275.36 ^b	0.022 0
赭曲霉毒素	7.48±1.80	6.95±1.92	3.91±1.06	4.54±1.25	0.309 6
黄曲霉毒素 B1	0.37±0.02	0.38±0.06	0.32±0.04	0.34±0.04	0.731 9

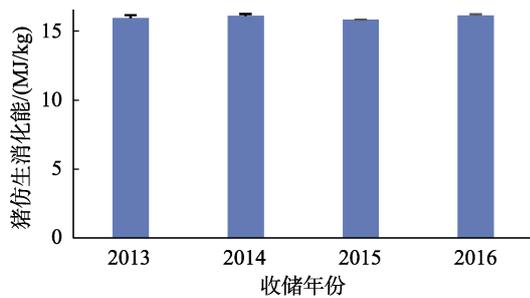


图 1 黑龙江粮库不同收储时间库存玉米的猪仿生消化能

注：结果以平均值±标准差 (SD) 表示，n=3。同行数据肩标不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)，肩标相同或无字母表示差异不显著 ($P>0.05$)。

3 结论

在本实验条件下，黑龙江省粮库收储年份为 2013 年的库存玉米，与其他收储年份 (2014 年、2015 年和 2016 年) 库存玉米相比，精氨酸和酪氨酸含量较低，且呕吐毒素含量较高；除此之外，各个收储年份库存玉米之间，营养成分 (包括氨基酸含量，但钙含量除外)、脂肪酸值、霉菌毒素 (AFB₁、ZEN 和 OT) 含量以及猪的仿生消化能值均无明显差别。因此，所取样品的粮库内 2013 年、2014 年、2015 年和 2016 年收储的库存玉米对猪有类似的营养价值，可以考虑用于猪饲料的配制。

参考文献：

[1] 牟悦龙. 玉米种植现状与新技术应用的效率分析[J]. 农业与技术. 2018, 38(22): 152.
 [2] 刘永辉. 储存时间和种植区域对玉米营养价值和物理性状影响研究[D]. 山东农业大学, 2011.
 [3] 解慧, 修琳, 郑明珠, 等. 储藏时间对玉米原粮中脂肪酸组成的影响[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(12): 101-111.
 [4] 周显青, 张玉荣, 张勇. 储藏玉米陈化机理及挥发物与品质

变化的关系[J]. 农业工程学报, 2008, 24(7): 242-246.
 [5] 郭英. 不同储藏时间玉米蛋白变化浅析[J]. 现代畜牧科技, 2018(5): 50.
 [6] 殷洁鑫. 储存玉米营养价值变化及其对肉仔鸡生长、消化道发育和养分利用率的影响[D]. 扬州大学, 2016.
 [7] 王红娟. 我国北方粮食主产区土壤养分分布特征研究[D]. 中国农业科学院, 2007.
 [8] VANSOEST PJ, WINE RH. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds[J]. J Assoc Off Anal Chem. 1963, 46: 825-835.
 [9] WENK C. The role of dietary fibre in the digestive physiology of the pig[J]. Anim Feed Sci Tech. 2001, 90(1-2): 21-33.
 [10] AGYEKUM AK, NYACHOTI CM. Nutritional and metabolic consequences of feeding high-fiber diets to swine: A review[J]. Anim Nutr Feed Sci. 2017, 3: 716-725.
 [11] BARTOV I. Effect of storage duration on the nutritional value of corn kernels for broilerchicks[J]. Poultry Science. 1996, 75(12): 1524-1527.
 [12] 王德仁, 卢婉芳, 陈苇, 等. 施氮对稻米蛋白质、氨基酸含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报. 2001, 7(3): 353-356.
 [13] MRIDULA D, JAIN R, SINGH KK. Quality, acceptability and shelf life study of micronutrient fortified Indian traditional sattu[J]. Journal of Agricultural Engineering. 2009, 46(2): 26-32.
 [14] 王红美. 玉米储藏期间脂肪酸值变化初探[J]. 现代畜牧科技. 2016, 20: 54-83.
 [15] MOR S, MANORAMAKISHAN S. Aflatoxins produced from aspergillus flavus isolated from animal feed concentrate mixture [J]. Indian Journal Animal Sciences. 1999, 69(4): 266-267.
 [16] 雷元培, 马秋刚, 谢实勇, 等. 抽样调查北京地区猪场饲料及饲料原料玉米赤霉烯酮污染状况[J]. 动物营养学报. 2012, 24(5): 905-910.
 [17] 崔小燕. 初探不同储存期玉米对稚科鸟类抗氧化及免疫功能的影响[D]. 东北林业大学, 2013.
 [18] BIRZELE B, PRANGE A, KRAMER J. Deoxynivalenol and ochratoxin A in German wheat and changes of level in relation to storage parameters[J]. Food AdditContam. 2000, 12: 1027-1035.
 [19] 王钰明, 赵峰, 张虎, 等. 仿生消化法评定猪饲料营养价值的研究进展[J]. 动物营养学报. 2016, 28(5): 1324-1331.