

不同环境条件下粮食及其制品真菌毒素变化趋势

李俊玲¹ 王书舟

(河南省安阳市疾病预防控制中心, 河南安阳 455000)

摘要: 目的 为了解在不同环境条件下粮食及其制品真菌毒素含量的变化趋势, 为食品安全风险评估、标准制定、修订及跟踪评价提供真菌毒素含量数据。方法 采用同位素稀释超高效液相色谱-串联质谱法 (UPLC-MS/MS) 测定小麦、玉米不同环境条件下 16 种真菌毒素含量。结果 小麦低温密闭的储存条件仅对伏马菌素 (FB, 包括 FB₁、FB₂ 和 FB₃) 含量有影响, 在 30 天 FB 含量变化不显著, 在 90 天后显著提高 2.1-34.0 倍, 对脱氧雪腐镰刀菌烯醇 (DON) 含量稳定; 小麦干燥通风条件下, 16 种真菌毒素含量 30 天无显著性差异, DON 在 90 天时显著下降 1.4 倍, 在其它时间含量变化不显著, 180 天 DON 小幅升高至 0 天水平, FB₂ 在 90 天和 180 天分别显著上升 6.4 倍和 11.5 倍, FB₃ 在 180 天显著上升 2.1 倍; 高温高湿条件下 3-乙酰脱氧雪腐镰刀菌烯醇 (3-ADON)、雪腐镰刀菌烯醇 (NIV) 和 FB₁ 在 30 天, DON、ZEN 在 90 天时均显著降低, 分别降低 1.2-4.6 倍, AFB₁ 在 30 天、FB₂ 在 90 天、FB₃ 在 180 天分别显著升高 3.8、11.0 和 3.9 倍; 不同粮食状态贮存 365 天后低温麦粒和低温小麦粉除 FB₂ 有显著性差异, DON、ZEN、FB₁ 以及 FB₃ 均无显著性差异; 不同包装材料真菌毒素密闭低温和干燥贮存时纸袋与塑料袋 DON、玉米赤霉烯酮 (ZEN) 以及 FB 均无显著差异。玉米及其制品在不同贮存条件对 DON 和 ZEN 含量的影响无显著差异性, 15-AC 在 3 个贮存条件下都显著升高, 在 180 天和 365 天黄曲霉毒素 B₁ (AFB₁) 含量降低, 黄曲霉毒素 B₂ (AFB₂) 含量升高 (除在 365 天低温密闭和干燥通风降低外), FB₁、FB₂ 和 FB₃ 在 3 个贮存条件贮存 180 天后含量均下降, 至 365 天又有小幅回升。结论 粮食及其制品中 DON 含量相对较稳定, 小麦 FB 含量在三个储存条件下均有不同程度的升高, 对于已经存在的真菌毒素, 三种储存方式下其含量变化趋势不同, 应根据不同的粮食种类选择合适的储存条件和储存时间, 总体来看真菌毒素稳定存在, 因此从源头控制是最好的措施, 粮食储存环节也是至关重要的环节。

关键词: 粮食; 小麦; 玉米; 储存; 真菌毒素

Trends of mycotoxins in grain and its products under different

基金项目: 安阳市科技攻关项目 (2018-78)

作者简介: 李俊玲 (1971-), 女, 硕士, 副主任技师; 研究方向: 理化检验;
Email: lijunlingf@163.com

作者单位: 河南省安阳市疾病预防控制中心, 河南省安阳市自由路 1 号邮编: 455000

environmental conditions

LI Junling WANG Shuzhou

(Anyang Center for Disease Control and Prevention, Henan Anyang 455000, China)

Abstract: Objective In order to understand the changing trend of mycotoxins content in grain and its products under different environmental conditions, and to provide mycotoxins content data for grain safety risk assessment, standard formulation, revision and follow-up evaluation.

Methods The contents of 16 mycotoxins in wheat and maize under different environmental conditions were determined by UPLC-MS /MS. **Results** The contents of Fumonisin (FB, including FB₁, FB₂ and FB₃) in wheat were only affected by the storage conditions under low temperature and airtight storage conditions. FB content was not significantly changed at 30 days, but increased by 2.1-34.0 times at 90 days, especially for the content of deoxynivalenol (DON) was stable. Under dry and ventilated conditions, there was no significant difference in the contents of 16 mycotoxins at 30 days, DON decreased 1.4 times at 90 days, and FB₂ increased 6.4 times and 11.5 times at 90 and 180 days, respectively. FB₃ increased 2.1 times in 180 days. At high temperature and high humidity, 3-acetyl deoxynivalenol (3-ADon), Nivalenol (NIV) and FB₁ significantly decreased at 30 days, DON and ZEN significantly decreased by 1.2-4.6 times at 90 days, respectively. AFB₁ at 30 days, FB₂ at 90 days and FB₃ at 180 days were significantly increased by 3.8, 11.0 and 3.9 times, respectively. There were significant differences between low temperature wheat grains and low temperature wheat flour except FB₂, but no significant differences between DON, ZEN, FB₁ and FB₃. There was no significant difference between paper bag and plastic bag DON, zelalenone (ZEN) and FB when the mycotoxins of different packaging materials were stored in sealed low temperature and dry. There was no significant difference in the effects of maize and its products on DON and ZEN contents under different storage conditions, 15-AC increased significantly under three storage conditions, aflatoxin B₁(AFB₁) content decreased on 180 days and 365 days, aflatoxin B₂(AFB₂) content increased (except low temperature airtight and dry ventilation decreased on 365 days). The contents of FB₁, FB₂ and FB₃ decreased after 180 days of storage, and then increased slightly after 365 days. **Conclusion** DON content in grain and its products is relatively stable, FB content of wheat under the condition of the three storage has the varying degree to rise, to the already existing mycotoxins, three storage

mode its content change trend is different, should according to different types of grain to choose the appropriate storage conditions and storage time, overall mycotoxins are stable, So control at source is the best measure, and grain storage is also crucial.

Key words: grain; Wheat; Corn; Storage; mycotoxin

真菌毒素是由真菌产生的具有生物毒性的次级代谢产物。粮食及其制品在生长、收割、贮存、运输及加工中都会暴露或接触到产毒真菌。常见的产毒真菌有曲霉属，青霉属，镰刀菌属，目前已知的真菌毒素多达 400 多种，广泛存在于世界各地的粮食及其制品中，不仅造成产品品质下降、经济损失，而且对人类健康产生极大地危害。由于霉菌毒素是小分子有机化合物，不是复杂的蛋白质分子，所以在机体中无法产生抗体，也不能免疫，而且其化学性质稳定，各毒素的毒性大小、毒作用机理、毒素作用的器官、系统不尽相同。各种毒素既可引起急性中毒，但更多是长期低剂量摄入引起的慢性中毒，主要表现为肝脏、肾脏、神经系统、生殖系统、消化系统损害和免疫抑制、细胞毒性等。多数真菌毒素同时也是致癌、致畸和致突变的物质，如黄曲霉毒素、赭曲霉毒素、单端孢霉烯族化合物等都被证明具有较强的致癌性，各真菌毒素之间还可产生协同作用而加强毒性，目前已被联合国粮农组织和世界卫生组织确定为最危险的自然发生食品污染物之一^[1-6]。

我国主要粮食受镰刀菌毒素污染较严重，据化学结构不同，镰刀菌毒素分为单端孢霉烯族化合物、玉米赤霉烯酮、伏马菌素等类型，脱氧雪腐镰刀菌烯醇属于单端孢霉烯族化合物 B 类化合物^[7]。针对以上高毒性真菌毒素和我国的污染情况，为了解粮食及其制品中真菌毒素污染情况,也为监管部门制定政策及国家卫生标准提供理论及数据支持，于 2018-2019 年连续在收获季节对河南省田间地头新收获的小麦、玉米同时进行 16 种真菌毒素暴露风险及不同环境条件下变化趋势的研究，16 种真菌毒素分别为黄曲霉毒素(aflatoxin,AF)包括 AFB₁、AFB₂、AFG₁、AFG₂，伏马菌素(fumonisin,FB)包括 FB₁、FB₂ 和 FB₃，脱氧雪腐镰刀菌烯醇 (deoxynivalenol,DON) 及其乙酰化衍生物 3-乙酰脱氧雪腐镰刀菌烯醇(3-ADON) 和 15-乙酰脱氧雪腐镰刀菌烯醇(15-ADON)，雪腐镰刀菌烯醇(nivalenol,NIV)、玉米赤霉烯酮 (zearalenone,ZEN)、赭曲霉毒素 A(ochratoxin A,OTA)、杂色曲霉毒素(sterigmatocytin,ST)、T-2 毒素、HT-2 毒素。这些毒素也是主要贸易国(地区)食品中重点关注和监控的真菌毒素以及粮食及其制品中常见的易被污染危害人类健康的十几种真菌毒素^[8-10]，以期能为真菌毒素研究提供初步调查和参考。

小麦储存是小麦原料向小麦加工制品转变中不可避免的环节。如田间未感染，收获后遇

潮湿环境会使毒素增加。储存环境不当会使镰孢菌毒素继续增加。为探讨不同的贮藏环境、贮藏时间、粮食状态以及包装材料对真菌毒素含量的影响。本实验拟将小麦及其制品、玉米及其制品分别储存在高温高湿、低温密封、干燥通风三种常见环境下,在不同储存时间、储存小麦粒和小麦粉以及不同包装材料下,对其真菌毒素含量变化进行研究。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 样品来源 2019 年,在河南省范围内采集小麦和玉米,在主产区采样,采集当地农户当年生产的小麦粒样品和玉米及其制品。采样工作由相关地市级粮食部门承担。采样后我们按照检测要求先测定小麦粒和玉米中 16 种真菌毒素含量,再选取有代表性的 16 份样品,模拟在高温高湿、低温密封、干燥通风三种常见环境下,分别对其储存 30 天、90 天、180 天和 365 天(玉米及其制品分别在 180 天和 365 天)后的真菌毒素含量进行测定;测定小麦粉分别在两种包装(聚乙烯袋、牛皮纸袋)中真菌毒素的含量;对存放小麦籽粒和小麦粉真菌毒素含量变化等进行深入研究。

1.1.2 主要仪器与试剂: TQ-S 超高效液相色谱-串联质谱仪(美国 Waters),电子天平(感量 0.001g),高速粉碎机,多位试管涡旋振荡器,漩涡混匀器。Multitoxin 标准物质(QCM7C1),16 种真菌毒素标准品 AFB₁(L18204A)、AFB₂(L18204A)、AFG₁(L18204A)、AFG₂(L18204A)、DON(L17012M)、3-ADON(L17012M)、15-ADON(L17012M)、NIV(L17012M)、ZEN(L16165M)、OTA(L18304B)、FB₁(L18025M)、FB₂(L18025M)、FB₃(L18415C)、ST(18325S)、T-2 毒素(L19302M)和 HT-2 毒素(L19302M),以及相应的 15 种 ¹³C 同位素内标标准溶液(无 15-ADON)均购自美国 ROMER;乙腈(CH₃CN,色谱纯)。

1.2 方法

1.2.1 储存条件

高温高湿:通过四分法分别选取样品各 500g,放置于恒温培养箱中,温度设为 35℃,湿度控制在 75%左右。低温密封:通过四分法分别选取样品各 500g,装入干净的自封袋中,密封后,放入 4℃冰箱中。干燥通风:通过四分法分别选取样品各 500g,用干净的自封袋盛装放于实验室,自封袋敞口以保持空气流通,通过空调将实验室温度控制在 20℃上下,湿度 50%左右。

1.2.2 真菌毒素检测、质控以及评价和统计方法

采用同位素稀释超高效液相色谱-串联质谱(UPLC-MS/MS)法测定 16 种真菌毒素含量,通过全过程空白、平行、加标回收、标准物质对照实验、超标样品及时复测等措施,进行质量控制,保证数据的准确性。AFB₁、AFB₂、AFG₁ 的检测限均为 0.1μg/kg, AFG₂ 为 0.5μg/kg,

OTA 和 T-2 毒素均为 1.0μg/kg, DON、3-ADON、15-ADON、ZEN、ST 和 HT-2 毒素均为 5.0μg/kg, FB₁、FB₂ 均为 0.5μg/kg, FB₃ 为 1.2μg/kg, NIV 为 2.9μg/kg。

按照 GB2761-2017《食品安全国家标准 食品中真菌毒素限量》进行评价^[14], 所测数据全部输入 Excel 数据库, 采用 PEMS3.1 统计软件进行计量资料统计学分析, 来计算集中趋势指标。

2 结果与分析

2.1 不同储存条件下小麦样品真菌毒素含量测定

除表 1 所列毒素外, 其它毒素 AFG₁、AFG₂、T-2、HT-2 和 ST 在三个储存条件下含量均小于检出限, 故没统计其变化量。结果见表 1。

表 1 不同储存条件下小麦样品真菌毒素含量测定(μg/kg)

储存条件	储存时间 (天)	DON	3-AC	15-AC	NIV	ZEN	FB ₁	FB ₂	FB ₃	AFTB ₁	AFTB ₂	OTA
低温密封	0	1180.00	11.52	14.90	20.90	19.50	8.89	0.25	0.60	0.12	0.05	0.76
	30	1457.00	11.00	16.60	17.90	21.10	7.20	1.62	1.15	0.05	0.05	0.50
	90	1119.00	4.68	16.90	9.14	17.50	18.3*	8.51*	7.44*	0.05	0.05	0.84
	180	1213.00	14.10	16.60	17.00	13.30	11.2*	3.44*	2.44*	0.22	0.05	1.02
	365	1110.60	2.50	6.36	1.45	15.70	20.8*	5.14*	3.41*	0.20	0.05	0.61
干燥通风	0	1180.00	11.52	14.90	20.90	19.50	8.89	2.50	0.60	0.12	0.05	0.76
	30	1179.00	2.50	9.61	25.90	7.44	5.37	2.50	0.60	0.24	0.05	0.79
	90	830.00*	15.90	15.90	1.45	17.70	11.30	1.59*	0.10	0.20	0.05	1.08
	180	1087.00	10.20	5.88	0.45	12.20	7.75	2.87*	1.28*	0.10	0.05	0.92
	365	1262.30	17.00	17.80	1.45	24.70	21.00	3.94	1.76	0.05	0.05	1.90
高温高湿	0	1180.00	11.52	14.90	20.90	19.50	8.89	0.25	0.60	0.10	0.05	0.76
	30	1000.00	2.5*	8.54	9.6*	11.20	4.58*	0.55	0.60	0.38*	0.10	0.90
	90	924.00	3.28	2.50	1.45	7.14*	10.10	2.76*	1.15	0.10	0.05	1.03
	180	765.00	3.14	5.08	1.45	19.74	13.10	2.50	2.32*	0.05	0.05	0.86

注: *表示和 0 天同种污染项目有显著性差异($P<0.05$)

2.1.1 小麦低温密闭真菌毒素测定结果

与 0 天相比: 低温密闭的储存条件仅对 FB 有影响, 其它真菌毒素随贮存时间的延长会引起含量变化, 但无显著差异性。尤其对于 DON 在平均值超标的情况下放 30 天、90 天、

180 天和 365 天均无显著变化，含量很稳定；小麦在 30 天 FB₁、FB₂ 和 FB₃ 含量变化均不显著，在 90 天后均显著提高 2.1-34.0 倍。低温密闭条件下利于 FB 的生长。

2.1.2 小麦干燥通风真菌毒素测定结果

和 0 天比较：16 种真菌毒素含量 30 天无显著性差异，DON 在 90 天时显著下降 1.4 倍，其它时间含量变化不显著，180 天 DON 也会小幅升高至 0 天水平。FB₂ 在 90 天和 180 天分别显著上升 6.4 倍和 11.5 倍，FB₃ 在 180 天显著上升 2.1 倍。

2.1.3 小麦高温高湿真菌毒素测定结果

与 0 天相比：3-AC、NIV 和 FB₁ 在 30 天，DON、ZEN 在 90 天时均显著降低，分别降低 1.2-4.6 倍，AFB₁ 在 30 天、FB₂ 在 90 天、FB₃ 在 180 天分别显著升高 3.8、11.0 和 3.9 倍。

2.2 不同粮食状态贮存 365 天测定真菌毒素结果

由表 2 看出：低温麦粒和低温小麦粉除 FB₂ 有显著性差异，DON、ZEN、FB₁ 以及 FB₃ 均无显著性差异，其它真菌毒素均未检出。

表 2 不同包装材料和粮食状态小麦样品真菌毒素含量测定(μg/kg)

真菌毒素	储存条件	包装材料		粮食状态	
		纸袋	塑料袋	小麦粒	小麦粉
DON	低温	1154.40	1110.60	404.20	438.39
	干燥	990.60	1070.29	445.72	571.30
ZEN	低温	18.61	21.25	4.94	8.61
	干燥	14.64	20.28	5.12	2.50
FB ₁	低温	21.36	20.76	7.84	12.49
	干燥	14.51	18.62	7.58	5.18
FB ₂	低温	4.82	4.92	0.37	2.49*
	干燥	3.47	3.91	1.57	1.48
FB ₃	低温	3.00	2.97	0.60	1.60
	干燥	2.90	3.12	0.60	0.60

注：*表示小麦粉和小麦粒有显著性差异(P<0.05)

2.3 不同包装材料真菌毒素结果

由表 2 看出密闭低温和干燥贮存时纸袋与塑料袋 DON、ZEN 以及 FB 均无显著差异。

2.4 玉米真菌毒素测定结果

由表 3 看出，贮存条件对玉米及其制品 DON 和 ZEN 含量的影响无差异性，其它表中

所列的毒素在 180 天内均受低温、干燥和高温等贮存条件的影响，15-AC 在 3 个贮存条件下都显著升高，180 天和 365 天 AFB₁ 含量降低，AFB₂ 含量升高（除在 365 天低温密闭和干燥通风降低外），可能是 AFB₁ 转化为 AFB₂ 导致其含量升高，FB₁、FB₂ 和 FB₃ 在 3 个贮存条件下储存 180 天后含量均下降，至 365 天又有小幅回升。其它 7 种在 0 天时含量小于检出限，放 365 天仍小于检出限。

表 3 不同储存条件下玉米及其制品真菌毒素含量测定(μg/kg)

储存条件	储存时间（月）	ZEN	DON	15-AC	AFB ₁	AFB ₂	FB ₁	FB ₂	FB ₃
低温密封	0 天	100.00	149.00	10.00	2.44	0.05	2604.00	475.00	435.00
	180 天	90.70	222.00	28.6*	2.16	0.19*	708.00*	128.00	189.00
	365 天	45.00	170.00	28.1*	1.87	0.05	1626.60	347.00	319.70
干燥通风	0 天	100.00	149.00	10.00	2.44	0.05	2604.00	475.00	435.00
	180 天	107.00	208.00	24.00	1.67*	0.16*	676.00*	175.00	181.00
	365 天	55.70	167.00	22.90	1.22*	0.05	1555.00	317.80	311.20
高温高湿	0 天	100.00	149.00	10.00	2.44	0.05	2604.00	475.00	435.00
	180 天	99.80	184.00	22.6*	0.99*	0.11*	540.00*	145.00*	140.20*
	365 天	83.90	152.50	23.8*	0.48*	0.10*	1219.00	256.00	237.00

注：*表示和 0 天有显著性差异($P<0.05$)

3 讨论

国外对粮食中真菌毒素污染调查也表明，真菌毒素检出率高，部分地区超标严重，据联合国粮农组织估算，全球每年约有 25% 的粮食受到不同程度真菌毒素污染，造成数千亿元损失，严重影响经济、贸易和社会发展^[12-13]。无论是发展中国家，还是美国、加拿大、法国、英国、澳大利亚等发达国家都存在严重的真菌毒素污染问题，粮食及其制品中真菌毒素污染问题是世界各国高度关注的食品安全热点问题。中国是受真菌毒素污染比较严重的国家之一，每年因真菌毒素污染粮油造成的直接经济损失达 680 亿~850 亿元，2010 年在西班牙的 91 份婴儿谷物食品中黄曲霉毒检出率为 66%^[14]；2010 年江淮地区一些省份新收获小麦 DON 污染严重，封存了 170 余万吨毒素超标粮食。我们于 2016 年就对河南省小麦粉及其制品中脱氧雪腐镰刀菌烯醇及其衍生物进行了监测，共监测生面制品和馒头 182 份，监测食品包括小麦粉、生湿面制品面条、生干面制品挂面，发酵面制品馒头等，DON 检出普遍，检出率

为 100%，含量范围 15.5-4664.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，平均检测值 575.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ， P_{50} 为 331.2 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，有健康风险。共监测面包饼干样品 90 份，监测食品类别包括烘焙面制品面包、饼干类，DON 检出率为 100%，总体超标率为 8.9%，有健康风险。紧接几年也做了真菌调查，发现 DON 普遍存在，寻找不含 DON 空白小麦粉都很难。有时候只凭肉眼是看不出的，像玉米发白部分不一定真菌毒素含量高，但磨成粉后，感官肉眼看不出来的，有可能是含量很高。真菌毒素污染可分为农作物收获前、收获后、储存运输及加工过程的污染，从源头控制是最好的措施。。源头控制好了，粮食储存环节也是至关重要的环节，由于磨粉过程使面粉与镰刀菌充分混合，在贮藏过程中易导致小麦粉的营养物质被真菌利用，从而使 DON 等真菌毒素大量增加。

三个储存条件真菌毒素基本稳定或者个别稍有变化，含量显著升高的真菌毒素在储存条件下适宜真菌存在和毒素稳定，降低可能是发生化学转化，如 FB_1 向 FB_2 和 FB_3 转化，也可能转化为隐蔽型真菌毒素、与蛋白质、淀粉结合或者我们没有监测的毒素项目。FB 含量的降低可能不仅是由于高温下发生的美拉德反应使伏马毒素发生了化学降解，还可能是由于 FB 与其他成分的相互作用而导致毒素结构发生改变。尽管高温处理可降低毒素含量，但大多数可稳定存在，热稳定性较强。所以要想控制真菌毒素的生长，就要保证粮食储存在良好的条件下（水分<14%）同时还要控制虫害，产毒菌不适于生长了，可以尽可能地降低有毒真菌的毒性进一步表达。此外，如果粮食已经成熟，应尽快储存在适宜的环境，真菌毒素就不会进一步积累了。小麦收割后和贮存中含水量过高，被霉菌污染发生霉变进而产生毒素也是重要的原因。

参考文献:

- [1] 王建林,龚阿琼,戴晋军,等.2016 年上半年我国原料及饲料毒素检测分析[J].中国饲料,2016,(22):43~44.
- [2] 何智勇,牛红红,魏春雁,等.真菌毒素的危害及应对措[J].植物保护,2016 (22):100-101.
- [3] 王丽娟,柯润辉,安红梅,等.固相萃取柱净化—液相色谱—串联质谱法测定糕点中脱氧雪腐镰刀菌烯醇及其衍生物和玉米赤霉烯酮[J].食品工业科技,2017,38(14):31-32.
- [4] 耿建强,赵丽,张旭,等.我国婴幼儿营养米粉中真菌毒素污染情况调查[J].中国食品卫生杂志,2017,29 (1):167-69.
- [5] 朱芸,雒婉霞,赵清荣,等.液质联用同位素内标法同时测定 3 类小麦终产品中 4 种 B 类单端孢烯霉族类真菌毒素[J].中国卫生检验杂志, 2017,27(13): 1863.
- [6] 王守经,胡 鹏,汝 医,等.谷物真菌毒素污染及其控制技术[J].中国食物与营养,2012,18(3):

13-16.

- [7] 解魁,李杉,杨丽,等.2013 年河南省部分食品中真菌毒素污染状况分析[J].现代预防医学,2015,42 (21):3877-3879.
- [8] 刘青,邹志飞,余炆炆,等.食品中真菌毒素法规限量标准概述[J].中国酿造,2017,36 (1):12-17.
- [9] 马惠蕊,王玉坤,刘淑艳,等.食源性真菌毒素检测技术研究进展[J].福建分析测试,2011,20(1):40.
- [10] 廉慧锋,赵笑天,王蓉珍,等.超高效液相色谱-串联质谱法同时测定玉米、花生、麦仁中的 9 种真菌毒素[J]. 食品科学,2010,31(20):360-361.
- [11] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准 食品中真菌毒素限量:GB 2761-2017 [S].北京:中国标准出版社,2017.
- [12] 许娇娇,黄百芬,周健,等.直接稀释-超高效液相色谱-串联质谱法快速测定谷物及其制品中 16 种真菌毒素[J].中国食品卫生杂志,2017,29 (6): 709.
- [13] 李 娜,孙 辉,唐朝晖,等.小麦及其制品加工过程主要真菌毒素含量的变化[J].粮油食品科技,2014,22(2):30.
- [14] 畅慧霞,王亚平.粮食及其制品真菌毒素监测与处理技术发展现状与趋势[J].河南工业大学学报(社会科学版),2014,10,(2):15-19.