

含水量对新疆鲜食核桃贮藏期黄曲霉生长及黄曲霉毒素 M₁ 积累的影响

Effect of water content on the growth of *A. flavus* and Aflatoxin M₁ accumulation during storage of fresh walnut in Xinjiang

王园梦^{1,2}

白羽嘉^{1,2}

冯作山^{1,2}

成欢^{1,2}

WANG Yuan-meng^{1,2} BAI Yu-jia^{1,2} FENG Zuo-shan^{1,2} CHENG Huan^{1,2}

(1. 新疆农业大学食品科学与药学学院, 新疆 乌鲁木齐 830052;

2. 新疆果品采后科学与技术重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830052)

(1. School of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China;

2. Xinjiang Key Laboratory of Fruit Post-harvest Science and Technology, Urumqi, Xinjiang 830052, China)

摘要:目的:提高新疆鲜食核桃的贮藏安全性。方法:以新疆“新2”薄皮核桃为材料,无菌水接种为对照组,黄曲霉菌接种为试验组,将从自然霉变核桃上分离纯化出的黄曲霉菌人工接种至不同含水量(10%, 15%, 20%, 25%, 30%)的新疆薄皮鲜食核桃上,探究黄曲霉菌生长量及产毒变化情况。结果:最适宜黄曲霉菌生长繁殖并分泌黄曲霉毒素 M₁ 的核桃含水量为 15%;随着核桃含水量的升高,黄曲霉菌生长量呈先上升后下降趋势,但各含水量之间的生长量各不相同,且黄曲霉菌生长量与产生黄曲霉毒素 M₁ 的量成正比。结论:原料的含水量与黄曲霉菌生长量及产生黄曲霉毒素 M₁ 的量有着密切的关系。**关键词:**黄曲霉菌;黄曲霉毒素 M₁;含水量;薄皮核桃;鲜食核桃

Abstract: Objective: To improve the storage safety of Xinjiang fresh walnut. Methods: Xinjiang "Xin 2" thin-skinned walnut was used as material, sterile water was inoculated as a control group, and *Aspergillus flavus* was inoculated as an experimental group. The *Aspergillus flavus* isolated and purified from naturally moldy walnut was artificially inoculated into Xinjiang thin-skinned fresh walnut with different water content (10%, 15%, 20%, 25%, 30%) to investigate the growth and toxicity of *Aspergillus flavus*. Results: The water content of walnut which was suitable for the growth of *Aspergillus flavus* and the secretion of Aflatoxin M₁ was 15%. With the increase of walnut

water content, the growth of *Aspergillus flavus* increased first and then decreased, but the growth of each water content was different, and the growth of *Aspergillus flavus* was proportional to the content of Aflatoxin M₁. Conclusion: The water content of raw materials is closely related to the growth of *Aspergillus flavus* and the content of Aflatoxin M₁ produced.

Keywords: *Aspergillus flavus*; Aflatoxin M₁; water content; thin-skinned walnut; fresh walnut

黄曲霉菌是一种常见的腐生型好氧真菌,其环境适应能力非常强^[1],可以寄生于粮食作物、粮食制品及富含脂肪酸的干果、坚果上^[2],可产生多种有毒的真菌毒素,其中黄曲霉毒素为黄曲霉菌分泌的最主要的一种真菌毒素^[3-4]。黄曲霉毒素主要包括黄曲霉毒素 B₁ (AFB₁)、B₂、G₁、G₂ 和两种主要的代谢物 AFM₁ 和 AFM₂^[5]。AFM₁ 具有强致癌性和致突变性^[6-7]。在坚果和干果中,黄曲霉毒素不仅污染检出率高,而且污染情况严重,可超出限量标准的几十倍^[8],主要涉及核桃、开心果、杏仁、扁桃、葡萄干等。

黄曲霉菌生长及产毒的条件受地区气候条件、环境因素、生长介质等的影响^[9]。杨博磊等^[10]研究发现,新疆吐鲁番地区的花生由于气候条件干热受到黄曲霉菌污染产毒的情况较为严重。课题组在不同批次自然霉变的新疆薄皮核桃上也检出黄曲霉毒素。新疆因其气候条件优越,地理位置合适,成为了优质干果种植区^[11],其干热的自然气候条件更容易导致黄曲霉菌在各类作物上生长繁殖及产毒^[12]。研究^[13]发现,气候条件的不同对黄曲霉菌生长及产毒有着重要的影响。Gary 等^[14]研究表明,高温和干旱既可以抑制作物生长和生物量的积累,也可促进

基金项目:新疆维吾尔自治区重点实验室开放课题

作者简介:王园梦,女,新疆农业大学在读硕士研究生。

通信作者:白羽嘉(1984—),男,新疆农业大学副教授,博士后。

E-mail: saintbyj@126.com

收稿日期:2022-09-26

改回日期:2023-04-20

真菌的生长和毒素的积累。王后苗等^[15]探讨了高温和干旱协同作用时,作物籽粒会发生营养不良情况,影响充实和成熟,不饱满或者熟过的籽粒受黄曲霉侵染的机率会更大。Cotty 等^[16]研究发现,干热环境有利于黄曲霉菌等真菌侵染植物在自然状态下衰老。核桃因其营养价值高,优质脂肪含量丰富还具有一定的药用价值^[17]。近年来,去掉青皮直接出售的鲜食核桃深受人们的喜爱,其口味新奇、口感细腻,且营养价值较高^[18]。但新鲜核桃的优质脂肪等营养成分高、含水量高、核桃自身的呼吸强度及代谢水平高,导致其在自然环境下更易受到霉菌污染而变质^[11]。谢华里等^[19]使用代谢组学的方法发现核桃受到污染后会产生多种有毒代谢产物,其中危害最大的为黄曲霉毒素。尤其像“新 2”薄皮核桃皮薄易碎,果壳之间缝隙较大的核桃,霉菌通过缝隙进入内部污染果仁的几率更大。Diella 等^[20]研究表明,核桃易受到黄曲霉菌的侵害,进而产生不同的黄曲霉毒素。侯琛元等^[21]分离纯化了自然霉变的“新 2”薄皮核桃上的致病菌,发现黄曲霉菌在核桃上的生长较为活跃,且适应性较强。前期预试验发现,黄曲霉菌在“新 2”薄皮核桃上能产生黄曲霉毒素 B₁、B₂、G₁、G₂、M₁,其中含量较多的为黄曲霉毒素 M₁。研究拟探究不同含水量下,黄曲霉菌在新疆薄皮鲜食核桃上的生长情况及黄曲霉毒素 M₁产生量变化,以期为新疆核桃的贮藏安全及其他原料控制黄曲霉菌生长及产毒条件提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

鲜食核桃:新疆阿克苏地区温宿县的“新 2”薄皮核桃,采摘后于无菌条件下剥去青果皮和外壳,取无菌状态的新鲜核桃仁备用;

黄曲霉菌:分离自自然霉变的核桃仁果实,纯化后 PDA 保存;

乙腈、甲醇:分析纯,天津永晟精细化工有限公司;

胶体金检测试剂盒:湖州艾维德生物技术有限公司;

PDA 培养基:青岛高科技工业园海博生物技术有限公司;

黄曲霉毒素 M₁ 免疫亲和柱:COIAC1005,广州金默生物科技有限公司。

1.2 仪器及设备

电子天平:FA2104N 型,上海民桥精密科学仪器有限公司;

卤素水分测定仪:DHS-16A 型,上海菁海仪器有限公司;

立式压力蒸汽灭菌锅:LDZX-50KBS 型,上海申安医疗器械厂;

高速冷冻离心机:TGL-16G 型,上海安亭科技仪

器厂;

无菌操作台:NBCJ-B 型,上海鸿都电子科技有限公司;

恒温霉菌培养箱:MHP-250 型,上海鸿都电子科技有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 新疆鲜食核桃仁菌落总数测定 挑选无损伤、无褐变、青果皮完整的新疆鲜食核桃,于无菌操作箱中剥开去除青果皮和内壳,根据 GB 4789.2—2016 测定菌落总数。

1.3.2 新疆薄皮鲜食核桃仁预处理 根据鲜食核桃仁的初始含水量,采用烘干的方式,将其含水量分别调整至 30%、25%、20%、15%、10%,于 4℃ 恒温冰箱平衡 24 h。称取 20 g 核桃仁于灭菌后的组培瓶中,加入 0.4 mL 黄曲霉菌孢子悬浮液,于(28±1)℃ 霉菌培养箱中培养。从第 3 天开始每隔 1 d 取样测定黄曲霉毒素 M₁ 含量,取至第 15 天,并以无菌水为对照组。

1.3.3 黄曲霉菌生长量变化 参照 GB 4789—2010。

1.3.4 黄曲霉毒素 M₁ 含量测定 称取 1 g 样品,加 2 g 氯化钠,20 mL 乙腈—水(V_{乙腈}:V_水为 84:16)溶剂超声萃取 30 min,4 000 r/min 离心 10 min,取上清液 5 mL,加入 20 mL PBS 稀释。取 10 mL 稀释后的样品,以 1 滴/s 的速度通过免疫亲和柱,弃掉流出液。加入 10 mL 水淋洗柱子,弃掉流出液,抽干柱中水,加入 2 mL 乙腈缓慢洗脱,洗脱液过滤膜后上机测试。

1.4 数据统计与分析

采用 Origin 2018b 64Bit 和 IBM SPSS Statistics 25 软件处理数据并作图,所有试验平行 3 次,取平均值。

2 结果与分析

2.1 新疆鲜食核桃仁的菌落总数

试验发现,不同稀释倍数的鲜食核桃仁培养基上基本无杂菌生长,符合国标规定的无菌状态,可以保证后续接种目标菌种试验的准确性,无其他杂菌影响其生长及产毒。

2.2 黄曲霉菌在鲜食核桃仁中生长量的变化

由图 1 可知,黄曲霉菌生长量随培养时间的延长呈上升趋势,培养初期,黄曲霉菌增长较快,后期增长较为缓慢,是因为培养前期黄曲霉菌适应了生长环境后,快速大量生长繁殖;培养后期微生物数量过多,黄曲霉菌之间形成了竞争关系,数量趋于平缓。当初始含水量为 25% 和 30% 时,黄曲霉菌生长量一直处于较低水平,可能是因为较高的含水量不适宜黄曲霉菌生长;当初始含水量为 10% 和 15% 时,黄曲霉菌生长繁殖较好,说明新疆薄皮鲜食核桃的含水量对黄曲霉菌的生长繁殖有着重要的影响。

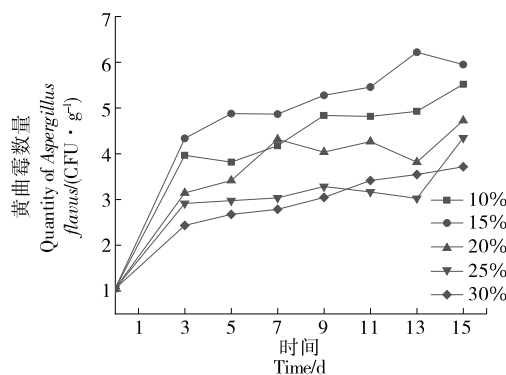


图1 不同含水量下黄曲霉菌的生长量变化

Figure 1 Growth changes of *Aspergillus flavus* on fresh walnut in Xinjiang with different water content

2.3 黄曲霉毒素 M₁ 标准曲线及色谱图

配制质量浓度为 1, 5, 10, 20, 50 ng/mL 的黄曲霉毒素 M₁ 系列标准溶液, 其总离子色谱图如图 2 所示, 3.681 min 时出现目标峰。以峰面积为纵坐标, 标准溶液质量浓度为横坐标, 绘制黄曲霉毒素 M₁ 线性回归标准曲线如图 3 所示。当样品质量浓度为 1~50 ng/mL 时, 黄曲霉毒素 M₁ 线性关系相对较好, 方程为 $y = 55\,615x - 17\,483$, 相关系数 R^2 为 0.999 2。

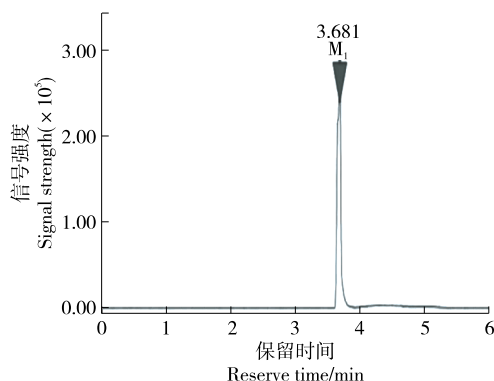


图2 总离子色谱图

Figure 2 Total ion chromatography diagram

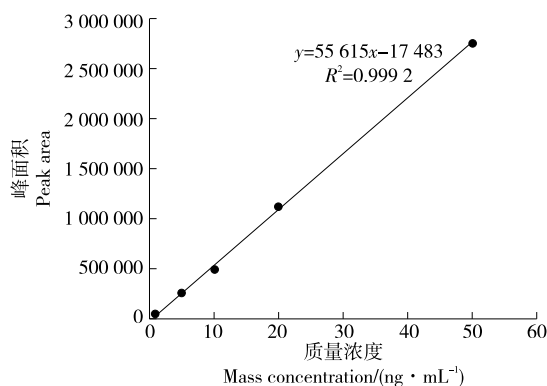
图3 黄曲霉毒素 M₁ 标准曲线

Figure 3 The Aflatoxin M₁ standard curve

2.4 黄曲霉毒素 M₁ 含量

2.4.1 在初始含水量为 10% 的核桃仁中的变化 由图 4 可知, 当初始含水量为 10% 时, 黄曲霉毒素 M₁ 含量随培养时间的延长呈先上升后下降趋势。培养第 3~7 天, 黄曲霉毒素 M₁ 积累量变化较为明显 ($P < 0.05$); 培养第 7~11 天, 黄曲霉毒素 M₁ 积累量增加较缓慢; 培养第 13 天, 黄曲霉毒素 M₁ 含量出现峰值, 为 18.88 ng/g, 之后黄曲霉毒素 M₁ 含量明显下降, 培养第 15 天时降至最低为 12.37 ng/g。

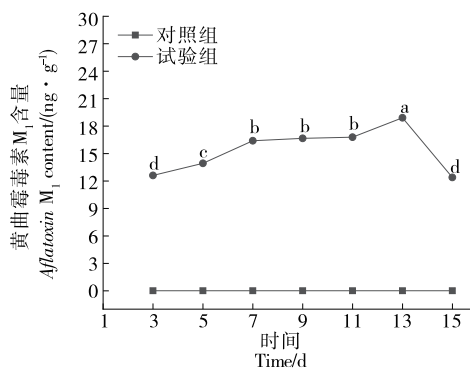
图4 黄曲霉毒素 M₁ 在初始含水量为 10% 的核桃仁中的变化

Figure 4 Changes of Aflatoxin M₁ in the walnut kernel with an initial water content of 10%

2.4.2 在初始含水量为 15% 的核桃仁中的变化 由图 5 可知, 当初始含水量为 15% 时, 黄曲霉毒素 M₁ 含量随培养时间的延长呈上升趋势 ($P < 0.05$)。培养第 3 天的黄曲霉毒素 M₁ 含量最低为 8.15 ng/g, 培养第 15 天黄曲霉毒素 M₁ 含量出现峰值, 为 27.91 ng/g, 是第 3 天的 3.43 倍, 说明黄曲霉菌在此初始含水量上生长繁殖最为旺盛。因此, 初始含水量为 15% 的新疆薄皮鲜食核桃仁最适宜黄曲霉菌的生长及产毒。

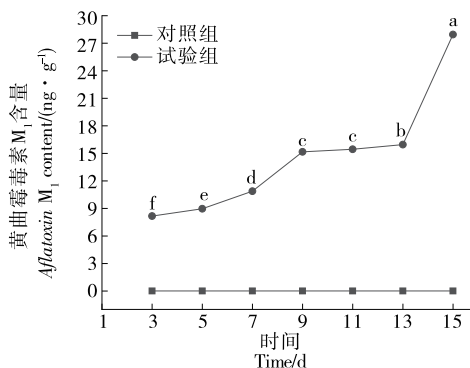
图5 黄曲霉毒素 M₁ 在初始含水量为 15% 的核桃仁中的变化

Figure 5 Changes of Aflatoxin M₁ in the walnut kernel with an initial water content of 15%

2.4.3 在初始含水量为 20% 的核桃仁中的变化 由图 6 可知,当初始含水量为 20% 时,黄曲霉毒素 M_1 含量随培养时间的延长呈先下降后上升再下降趋势,培养前期黄曲霉菌的产毒能力较弱,呈下降趋势,可能是因为含水量较高不利于黄曲霉菌的生长,导致其产毒能力较低,在培养第 9 天降至最低值;培养中后期,部分生命力较为活跃的黄曲霉菌适应了生存环境,开始不断地分泌毒素,黄曲霉毒素 M_1 含量开始不断增加,在培养第 13 天上升至峰值;培养末期因黄曲霉菌细胞的衰败、老化以及死亡率的增加和黄曲霉菌生长繁殖所需要的营养物质不断减少,导致其生长及产毒能力衰退,黄曲霉毒素 M_1 含量又下降。

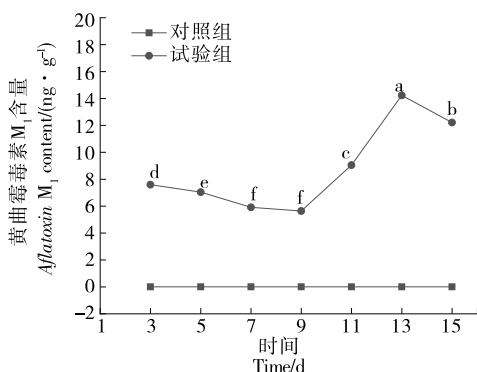


图 6 黄曲霉毒素 M_1 在初始含水率为 20% 的核桃仁中的变化

Figure 6 Changes of Aflatoxin M_1 in the walnut kernel with an initial water content of 20%

2.4.4 在初始含水率为 25% 的核桃仁中的变化 由图 7 可知,当初始含水量为 25% 时,黄曲霉毒素 M_1 含量随培养时间的延长呈先上升后下降再上升趋势,培养前、中期,黄曲霉毒素 M_1 含量一直处于较低值,培养第 11 天出现最低值(7.27 ng/g),培养末期才开始上升达到峰值

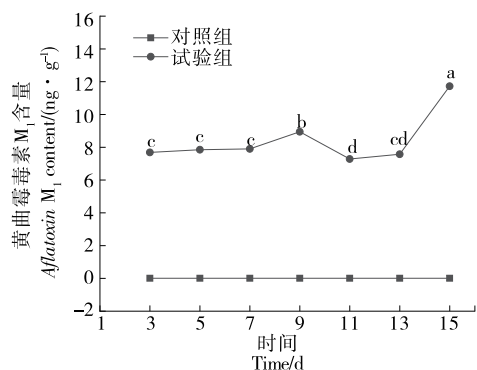


图 7 黄曲霉毒素 M_1 在初始含水量为 25% 的核桃仁中的变化

Figure 7 Changes of Aflatoxin M_1 in the walnut kernel with an initial water content of 25%

(11.71 ng/g),为最低值的 1.61 倍,可能是因为含水量较高的核桃仁不利于黄曲霉菌的生长繁殖,黄曲霉菌不活跃,适应能力也较弱,导致其产毒能力弱,因此,整个培养期间黄曲霉毒素 M_1 含量一直处于较低水平。

2.4.5 在初始含水量为 30% 的核桃仁中的变化 由图 8 可知,当初始含水量为 30% 时,黄曲霉毒素 M_1 含量随培养时间的延长呈先上升后下降再上升趋势,培养第 3~7 天增加较为显著($P < 0.05$),从含量 6.90 ng/g 增加到 9.55 ng/g。培养中期下降变化不明显,在第 13 天达到峰值(11.09 ng/g),为第 3 天的 1.61 倍,说明黄曲霉菌不适宜在初始含水量较高的新疆薄皮鲜食核桃仁中生长繁殖及产生有毒有害物质。

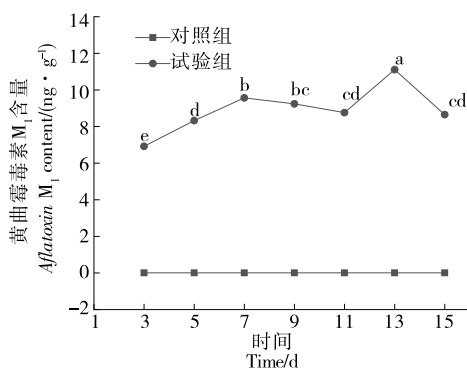


图 8 黄曲霉毒素 M_1 在初始含水量为 30% 的核桃仁中的变化

Figure 8 Changes of Aflatoxin M_1 in the walnut kernel with an initial water content of 30%

2.5 黄曲霉毒素 M_1 含量最大值比较

由表 1 可知,不同初始含水量下,黄曲霉毒素 M_1 均在培养第 13~15 天出现峰值,且黄曲霉毒素 M_1 含量峰值随初始含水量的升高大致呈下降趋势。及华等^[22]研究发现,黄曲霉毒素 B_1 含量随玉米中初始含水量的升高大致呈先上升后下降趋势,初始含水量为 16.35% 的玉米上黄曲霉生长量及毒素含量均处于最高水平,且两者具有极显著相关性。王红美^[23]研究表明,当玉米中初始含水量为 15.7% 时,毒素含量最高,黄曲霉菌最活跃。丁丽等^[24]研究发现,初始水分含量是控制原料中黄曲霉菌生长的首要环境因素,贮藏时应保持原料水分含量 $< 8\%$ 。将黄曲霉菌人工接种到不同初始含水量的新疆鲜食薄皮核桃上,黄曲霉菌生长及产毒情况有所差异,但各初始含水量下均出现了黄曲霉菌的生长繁殖以及产毒情况。说明介质中初始含水量对黄曲霉菌生长及产毒有较大影响。

2.6 培养第 15 天的黄曲霉毒素 M_1 含量比较

由表 2、表 3 可知,相同培养时间下,以初始含水量为 15% 的核桃仁为基准,初始含水量越低,黄曲霉菌生长量越低,产生黄曲霉毒素 M_1 含量也相对减少,两者呈正相

表 1 不同初始含水量下核桃仁中黄曲霉毒素 M₁ 含量最大值比较

Table 1 Comparison of the maximum content of Aflatoxin M₁ in the walnut kernel under different initial water content

初始含水量/%	培养时间/d	黄曲霉毒素 M ₁ 含量/(ng · g ⁻¹)
10	13	18.88
15	15	27.91
20	13	14.21
25	15	11.71
30	13	11.09

关。随着初始含水量的增加,黄曲霉菌的生长量降低,黄曲霉毒素 M₁ 含量也降低,初始含水量为 15% 时黄曲霉毒素 M₁ 含量一直处于较高水平,在培养末期达到了 27.91 ng/g,是其他含水量最高值的 1~3 倍。当初始含水量为 30% 时,黄曲霉菌生长量相比于 15% 的减少了 37.54%,而黄曲霉毒素 M₁ 产生量则减少了 69.06%,两者呈正相关。综上,黄曲霉菌的产毒与黄曲霉菌的生长量存在极大的相关性,黄曲霉菌生长量越多,黄曲霉毒素 M₁ 含量越多,两者成正比;黄曲霉菌更利于在初始含水量

表 2 不同初始含水量下培养第 15 天的黄曲霉毒素 M₁ 含量

Table 2 Aflatoxin M₁ content on the 15th day of culture under different initial water content

初始含水量/%	黄曲霉毒素 M ₁ 含量/ (ng · g ⁻¹)	黄曲霉生长量/ (log CFU · g ⁻¹)
10	12.37	5.51±0.12
15	27.91	5.94±0.23
20	12.19	4.72±0.18
25	11.71	4.34±0.31
30	8.63	3.71±0.09

表 3 贮藏第 15 天新疆鲜食核桃初始含水量、黄曲霉毒素 M₁ 含量及黄曲霉生长量的相关性[†]

Table 3 Correlation between initial water content, Aflatoxin M₁ content and Aflatoxin growth of Xinjiang fresh walnut on the 15th day of storage

指标	初始含水量	黄曲霉毒素 M ₁ 含量	黄曲霉生长量
初始含水量	1.000	-0.868	-0.972 *
黄曲霉毒素 M ₁ 含量		1.000	0.959 *
黄曲霉生长量			1.000

† * 表示显著相关(P<0.05)。

低的新疆薄皮鲜食核桃仁上生长及产毒,且 15% 为黄曲霉菌生长繁殖及产毒的最佳初始含水量。

3 结论

研究表明,原料的初始含水量与黄曲霉菌生长量及产生黄曲霉毒素 M₁ 含量密切相关,黄曲霉菌在初始含水量为 15% 的新疆鲜食薄皮核桃上最适宜生长繁殖及分泌黄曲霉毒素 M₁,适宜的含水量可以有效地控制原料受黄曲霉菌及黄曲霉毒素污染的可能性。后续可以探究其他干果中的黄曲霉污染程度及产毒情况。

参考文献

[1] 邢福国,李旭,张晨曦. 黄曲霉毒素的产生机制及污染防控策略[J]. 食品科学技术学报, 2021, 39(1): 13-26.
XING F G, LI X, ZHANG C X. Production mechanism of aflatoxin and pollution prevention and control strategies[J]. Journal of Food Science and Technology, 2021, 39(1): 13-26.

[2] LEE H J, RYU D. Worldwide occurrence of mycotoxins in cereals and cereal-derived food products: Public health perspectives of their co-occurrence[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2017, 65(33): 7 034-7 051.

[3] JIANG K, HUANG Q, FAN K, et al. Reduced graphene oxide and gold nanoparticle composite-based solid-phase extraction coupled with ultra-high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry for the determination of 9 mycotoxins in milk[J]. Food Chemistry, 2018, 264(30): 218-225.

[4] 罗自生,秦雨,徐艳群,等. 黄曲霉毒素的生物合成代谢和毒性研究进展[J]. 食品科学, 2015, 36(3): 250-257.
LUO Z S, QIN Y, XU Y Q, et al. Progress in the bioanabolism and toxicity of aflatoxin[J]. Food Science, 2015, 36(3): 250-257.

[5] TAHIR N, HUSSAIN S, JAVED M, et al. Nature of aflatoxins: Their extraction, analysis, and control[J]. Journal of Food Safety, 2018, 38(6): e12561.

[6] JAMAL R, SOLMAZ A, ALI M, et al. The prevalence of aflatoxin M₁ in milk of middle east region: A systematic review, meta-analysis and probabilistic health risk assessment[J]. Food Chem Toxicol, 2018, 118: 653-666.

[7] RODRIGUEZ B M, RAMOS A J, PRIM M, et al. Usefulness of the analytical control of aflatoxins in feedstuffs for dairy cows for the prevention of aflatoxin M₁ in milk[J]. Mycotoxin Res, 2019, 36(1): 11-22.

[8] MEHAN V K, MCDONALD D, HARAVU L J, et al. The groundnut aflatoxin problem review and literature database[M]. Patancheru: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, 1991.

[9] BARROR G G, TORRES A, CHULZE S. Aspergillus flavus population isolated from soil of Argentina's peanut-growing region: Sclerotia production and toxigenic profile[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2005, 85: 2 349-2 353.

- [10] 杨博磊, 耿海荣, 王刚, 等. 我国花生土壤黄曲霉菌分布与产花生黄曲霉毒素污染相关性研究[J]. 核农学报, 2021, 35(4): 863-869.
YANG B L, GENG H R, WANG G, et al. Study on the correlation between peanut soil *Aspergillus flavus* distribution and postpartum peanut aflatoxin contamination in China[J]. Journal of Nuclear Agriculture, 2021, 35(4): 863-869.
- [11] 王建友, 刘凤兰, 毛金梅, 等. 采摘期对新疆 3 个品种核桃品质的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(3): 145-148.
WANG J Y, LIU F L, MAO J M, et al. Effect of picking period on the quality of three walnut varieties in Xinjiang [J]. Food & Machinery, 2016, 32(3): 145-148.
- [12] 徐莎莎, 张锐, 王倩, 等. 新疆喀什地区核桃腐烂病病原鉴定[J]. 现代园艺, 2022, 45(11): 74-76.
XU S S, ZHANG R, WANG Q, et al. Identification of walnut rot pathogens in Kashgar, Xinjiang[J]. Modern Horticulture, 2022, 45(11): 74-76.
- [13] 周颀, 张晓娜, 陈庆富. 水活度和温度对苦荞麦黄曲霉菌株 MI18-S1 生长和产毒的影响[J/OL]. 福建农业学报. (2020-05-08) [2022-10-11]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/35.1195.S.20200508.1724.002.html>.
ZHOU P, ZHANG X N, CHEN Q F. Effects of water activity and temperature on the growth and toxicity of Tarbuckwheat strain MI18-S1[J/OL]. Fujian Agricultural Journal. (2020-05-08) [2022-10-11]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/35.1195.S.20200508.1724.002.html>.
- [14] GARY L W, PAUL W, LEIGH K H, et al. Effect of *Aspergillus flavus* inoculation methods and environmental conditions on aflatoxin accumulation in corn hybrids[J]. Toxin Reviews, 2009, 28(2): 70-78.
- [15] 王后苗, 潘婷, 魏杰, 等. 花生收获前黄曲霉毒素污染抗性及其与花生安全贮藏关系的分析[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2018, 39(3): 58-62, 90.
WANG H M, PAN T, WEI J, et al. Analysis of aflatoxin contamination resistance before peanut harvest and its relationship with peanut safe peanut storage[J]. Journal of Yangzhou University (Agriculture and Life Sciences Edition), 2018, 39(3): 58-62, 90.
- [16] COTTY P J, JAIME G R. Influences of climate on aflatoxin producing fungi and aflatoxin contamination [J]. International Journal of Food Microbiology, 2007, 119(1/2): 109-115.
- [17] 李俊南, 习学良, 熊新武, 等. 核桃的营养保健功能及功能成分研究进展[J]. 中国食物与营养, 2018, 24(5): 60-64.
LI J N, XI X L, XIONG X W, et al. Progress in the nutritional and health care function and functional components of walnut [J]. Chinese Food and Nutrition, 2018, 24(5): 60-64.
- [18] 晏梦溪, 刘婧玮, 徐珂鹏, 等. 20 种新鲜核桃脂肪酸与卵磷脂品质分析[J]. 食品与机械, 2022, 38(1): 52-56.
YAN M X, LIU J W, XU K P, et al. Analysis of fatty acids and lecithin quality of 20 fresh walnuts[J]. Food & Machinery, 2022, 38(1): 52-56.
- [19] 谢华里, 李培武, 王秀娉, 等. 非靶标代谢组研究温度对黄曲霉菌代谢的影响[J]. 分析测试学报, 2017, 36(11): 1 304-1 311, 1 317.
XIE H L, LI P W, WANG X P, et al. Non-target metabolome studies the effect of temperature on the metabolism of *Aspergillus flavus*[J]. Journal of Analysis and Testing, 2017, 36(11): 1 304-1 311, 1 317.
- [20] DIELLA G, CAGGIANO G, FERRIERI F, et al. Aflatoxin contamination in nuts marketed in Italy: Preliminary results[J]. Annali Di Igiene: Medicina Preventiva Edi Comunita, 2018, 30(5): 456-467.
- [21] 侯琛元, 白羽嘉, 冯作山, 等. 新疆薄皮核桃污染霉菌的分离鉴定[J]. 保鲜与加工, 2022, 22(4): 90-98, 107.
HOU C Y, BAI Y J, FENG Z S, et al. Isolation and identification of contaminated mold from thin-skinned walnut in Xinjiang[J]. Fresh and Processing, 2022, 22(4): 90-98, 107.
- [22] 及华, 张海新, 李运朝, 等. 含水量对玉米粉贮藏期黄曲霉生长及黄曲霉毒素 B₁ 积累的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(22): 5 863-5 866.
JI H, ZHANG H X, LI Y C, et al. Effect of water content on the growth of *A. flavus* and aflatoxin B₁ accumulation during cornmeal storage period [J]. Food Safety and Quality Testing Journal, 2018, 9(22): 5 863-5 866.
- [23] 王红美. 饲用玉米储藏期间黄曲霉毒素 B₁ 含量变化初探[J]. 现代畜牧科技, 2021(2): 15-16.
WANG H M. Study on the content change of aflatoxin B₁ during feeding maize storage[J]. Modern Animal Husbandry Science and Technology, 2021(2): 15-16.
- [24] 丁丽, 李会荣, 杨智国, 等. 温度、水分含量及贮藏期对玉米、DDGS 及花生粕霉菌与霉菌毒素 B₁ 的影响[J]. 山东畜牧兽医, 2014, 35(6): 3-4.
DING L, LI H R, YANG Z G, et al. Effects of temperature, moisture content, and storage period on maize, DDGS, and peanut meal mold and mycotoxin B₁[J]. Shandong Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2014, 35(6): 3-4.