

黑斑病对新疆红枣营养成分的影响

范盈盈^{1,2}, 胡东强³, 张锐利⁴, 李晓龙⁵, 何伟忠^{1,2}, 华震宇^{1,2}, 李静^{1,2}, 武爱波³, 王成^{2,6,*}

(1.新疆农业科学院农业质量标准与检测技术研究所, 新疆 乌鲁木齐 830091;

2.农业农村部农产品质量安全风险评估实验室(乌鲁木齐), 新疆农产品质量安全重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830091;

3.中国科学院营养代谢与食品安全重点实验室, 中国科学院上海营养与健康研究所, 中国科学院上海生命科学研究院, 中国科学院大学, 上海 200031; 4.塔里木大学生命科学学院, 新疆 阿拉尔 843300;

5.昌吉州农产品质量安全中心, 新疆 昌吉 831100; 6.新疆农业科学院科研管理处, 新疆 乌鲁木齐 830091)

摘要:为研究红枣感染黑斑病后营养成分的变化情况, 针对南疆7个不同地区枣园中采集的14个健康红枣和黑斑病红枣样品, 分析其中31种营养指标(糖类、氨基酸、总酸、总糖、还原糖、蛋白质和矿物质元素)及4种主要有毒代谢产物(链格孢毒素)的含量变化。结果发现: 相比于健康红枣, 黑斑病枣中检测的7种矿物质元素下降显著; 所检测的17种氨基酸中, 有8种苦味氨基酸(Val、Ile、Leu、Tyr、Phe、His、Lys、Arg)均升高, 1种甜味氨基酸(Pro)显著降低; 果糖、蔗糖、还原糖、总糖、总酸、水溶性蛋白质含量明显降低, 葡萄糖含量升高; 毒性最强的细交链孢菌酮酸(tenuazonic acid, TeA)在所有样品中均检出, 其在健康枣中检出含量显著低于黑斑病枣。另外, 通过偏最小二乘-判别分析发现链格孢酚、天冬氨酸、蛋氨酸、TeA和赖氨酸这5项指标可作为判别健康红枣和病枣的主要判别因子, 为后续开展红枣感染黑斑病后的代谢组学研究提供思路。

关键词: 黑斑病; 红枣; 营养成分; 链格孢毒素; 代谢组学

Effects of Black Spot Disease on Nutritional Composition of Red Jujubes Grown in Xinjiang

FAN Yingying^{1,2}, HU Dongqiang³, ZHANG Ruiqi⁴, LI Xiaolong⁵, HE Weizhong^{1,2}, HUA Zhenyu^{1,2}, LI Jing^{1,2}, WU Aibo³, WANG Cheng^{2,6,*}

(1. Institute of Quality Standards and Testing Technology for Agro-products, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Ürümqi 830091, China; 2. Key Laboratory of Agro-products Quality and Safety of Xinjiang, Laboratory of Quality and Safety Risk Assessment for Agro-products (Ürümqi), Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Ürümqi 830091, China;

3. Key Laboratory of Nutrition, Metabolism and Food Safety of CAS, Shanghai Institute of Nutrition and Health of CAS, Shanghai Institutes for Biological Sciences of CAS, University of Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200031, China;

4. College of Life Sciences, Tarim University, Alar 843300, China;

5. Center for Quality and Safety of Agricultural Products, Changji Hui Autonomous Prefecture, Changji 831100, China;

6. Management of Scientific Research, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Ürümqi 830091, China)

Abstract: In order to study the changes of the nutrients in red jujubes after being infected with black spot disease, we analyzed 14 infected and healthy jujube samples collected from 7 jujube orchards in South Xinjiang for 31 nutritional components (sugars, amino acids, total acid, total sugar, reducing sugars, proteins and mineral elements) and four main toxic metabolites (*Alternaria* toxins). Results showed that the contents of 7 mineral elements were decreased significantly in infected jujubes as compared with healthy ones. Among the 17 amino acids detected, the contents of 8 bitter amino acids (Val, Ile, Leu, Tyr, Phe, His, Lys, and Arg) were all increased while one sweet amino acid, Pro, was significantly decreased. The contents of fructose, sucrose, reducing sugar, total sugar, total acid and water-soluble protein were significantly reduced, whereas glucose content was increased. Tenuazonic acid (TeA), the most toxic among the four metabolites, was detected in all samples, at a significantly lower level in health jujubes than in infected ones. In addition, by partial least squares discriminant analysis we found that alternariol (AOH), aspartic acid, methionine, TeA and lysine could act as main indicators

收稿日期: 2019-06-10

基金项目: NSFC-新疆联合基金重点支持项目(U1703234); 乌鲁木齐市科技计划项目(P161210005);

新疆维吾尔自治区自然科学基金青年基金项目(2017D01B25)

第一作者简介: 范盈盈(1987—)(ORCID: 0000-0002-1693-1702), 女, 助理研究员, 硕士, 研究方向为农产品质量安全。

E-mail: fyyxaas@sina.com

*通信作者简介: 王成(1971—)(ORCID: 0000-0002-2497-3099), 男, 研究员, 博士, 研究方向为农产品质量安全。

E-mail: wangchengxj321@sina.com

to distinguish between healthy and infected jujubes. This research provides novel ideas for future metabolomics research of red jujubes infected with black spot disease.

Keywords: black spot; red jujubes; nutritional components; *Alternaria* toxins; metabonomics

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190610-095

中图分类号: TS255.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2020)08-0303-05

引文格式:

范盈盈, 胡东强, 张锐利, 等. 黑斑病对新疆红枣营养成分的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(8): 303-307. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190610-095. <http://www.spkx.net.cn>

FAN Yingying, HU Dongqiang, ZHANG Ruili, et al. Effects of black spot disease on nutritional composition of red jujubes grown in Xinjiang[J]. Food Science, 2020, 41(8): 303-307. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190610-095. <http://www.spkx.net.cn>

红枣 (*Ziziphus jujuba* Mill.) 富含果糖、葡萄糖、蔗糖等可溶性糖, 以及钾、磷、钙、锰、酚类、黄酮类、三萜酸、氨基酸等营养物质, 是一种广受国内外消费者欢迎的药食同源的果品^[1]。中国是世界上最大的红枣生产国和消费国, 而新疆红枣年产量300多万 t^[2], 占全国的30%以上, 居全国首位^[3]。新疆红枣的品种按产量分主要有骏枣、灰枣和哈密大枣, 其中骏枣呈椭圆形, 个大, 皮薄, 口感偏酸, 主要种植在南疆环塔里木盆地的阿克苏、喀什、和田等地州; 灰枣个小, 果肉密实, 味甜, 主要种植在南疆巴音郭楞蒙古自治州的若羌、库车等地; 哈密大枣呈圆形, 大小介于骏枣和灰枣之间, 主要种植在东疆的哈密地区。目前, 红枣产业是新疆经济发展的重要支柱产业之一, 也是最具资源优势和发展潜力的产业^[4]。然而, 自2010年以来, “黑斑病”已成为危害新疆红枣最大的病害, 造成平均产量损失超过30%, 严重时超过50%^[5-6]。

黑斑病不仅给新疆的支柱产业带来产量损失, 而且给采后果品的营养和品质造成了巨大影响。正常红枣果实的颜色在生长期是从青色到暗红色, 而黑斑病红枣感病部位的果肉颜色则是从淡红色到黑色。红枣感病部位肉质坚硬、腐烂、有涩味, 不同于正常红枣的软和甜味。许瑛等^[7]发现, 与健康枣果相比, 发病‘骏枣’鲜果在硬度、质量、含水量、亮度、色差等外观品质明显下降; VC、蛋白质、含糖量、可滴定酸等内在品质均明显下降。

黑斑病的主要致病菌为链格孢霉菌, 侵染红枣后可产生链格孢毒素。链格孢毒素具有致畸、致癌、致突变作用, 主要包括腾毒素 (tentoxin, TEN)、细交链孢菌酮酸 (tenuazonic acid, TeA)、链格孢酚 (alternariol, AOH)、链格孢酚甲基醚 (alternariol monomethyl ether, AME) 等, 其中TeA毒性最强, AOH和AME具有急性毒性且可显示协同效应^[8]。

目前, 仅有国内学者对新疆枣果黑斑病有研究, 主要集中在黑斑病的危害分布^[9-10]、病原鉴定^[11-12]、发生规

律^[13-14]以及防治^[15-16]等方面, 而红枣感染黑斑病后的品质变化、毒素产生情况、食用安全性方面的研究则很少。本研究以南疆不同地区枣园中采集的健康红枣和黑斑病红枣为研究对象, 通过对其内在品质指标, 如糖类、氨基酸、总酸、总糖、还原糖、蛋白质、矿物质元素及主要链格孢毒素进行检测分析, 最终找到病害枣果变化显著的代谢物因子, 以期为全面研究黑斑病对南疆红枣的代谢组学研究提供基础。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

2016年红枣成熟期分别在阿克苏、喀什、和田等地区的7个县市枣园的不同方位随机采集100粒黑斑病骏枣 (至少含有1个黑斑病斑) 和100粒健康骏枣 (无病斑), 分别去核混匀后, 加入液氮, 用刀式研磨仪打碎, -20℃冷冻保存, 用于后续枣果营养成分和链格孢毒素的含量测定, 每个实验重复3次, 结果取平均值。

果糖、葡萄糖、蔗糖标准品 美国Sigma-Aldrich试剂公司; 铜、钾、锌、铁、锰、镁、钙标准品 国家标准物质中心; 17种氨基酸混合标准溶液 德国赛卡姆公司; 4种链格孢毒素标准品 奥地利Romer公司; 乙酸钠、乙酸钾、乙酸 (均为分析纯) 北京北化精细化学品有限责任公司; 茚三酮 上海三爱思公司; 苯酚、盐酸 (均为分析纯) 广东光华化学有限公司; 硝酸、过氧化氢 (均为优级纯) 德国Merk试剂公司; 甲醇、乙腈、甲酸 (均为色谱级) 美国Fisher试剂公司。

1.2 仪器与设备

HM100型刀式研磨仪 北京格瑞德曼仪器设备有限公司; 8400型全自动凯氏定氮仪 丹麦FOSS公司; BSA223S型电子天平 德国赛多利斯公司; Mars型微波消解仪 美国CEM公司; 900F型原子吸收分光光度计 美国PE公司; AFS0820型原子荧光分光光度计 北京

吉天仪器有限公司; LS-5型荧光分光光度计、UPLC-TQD型超高效液相色谱-串联质谱仪 美国Waters公司; 1260 INFINITY型高效液相色谱仪 美国安捷伦公司; S-433D型氨基酸分析仪 德国SYLM公司; TYE-100型真空干燥浓缩仪 东京理化器械株式会社; WX-2型真空泵 台州市枫江创新电机厂。

1.3 方法

枣果葡萄糖、果糖和蔗糖含量测定: 参考GB/T 22221—2008《食品中果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖的测定 高效液相色谱法》; 还原糖含量测定: 参考GB/T 5009.7—2008《食品中还原糖的测定》, 采用直接滴定法; 17种氨基酸含量测定: 参考GB/T 5009.124—2003《食品中氨基酸的测定》, 采用氨基酸全自动分析仪测定; 总酸含量测定: 参考GB/T 12456—2008《食品中总酸的测定》, 采用酸碱中和滴定法; 蛋白质含量测定: 参考GB 5009.5—2010《食品中蛋白质的测定》, 采用凯氏定氮法; 矿物质元素Fe、Mg、Mn、Ca含量测定: 参考GB/T 5009.90—2003《食品中铁、镁、锰的测定》和GB/T 5009.92—2003《食品中钙的测定》, 采用原子吸收分光光度法; Cu含量测定: 参考GB/T 5009.13—2003《食品中铜的测定》, 采用火焰原子吸收光谱法; K含量测定: 参考GB/T 5009.91—2003《食品中钾、钠的测定》, 采用火焰发生光谱法。

链格孢毒素(AOH、AME、TEN、TeA)的检测方法参考文献[17]。

1.4 数据处理

采用Excel建立数据系统, 用SPSS软件进行显著性差异分析, 用SIMCA-P软件进行主成分分析和营养分析评价。

2 结果与分析

2.1 黑斑病对红枣中矿物质元素的影响

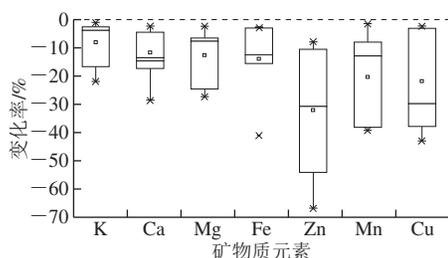


图1 病枣样品相比与健康红枣中不同种类矿物质元素含量变化率
Fig. 1 Changes in contents of mineral elements in infected jujubes as compared with healthy ones

如图1所示, 通过检测来自7个枣园中的健康红枣和黑斑病枣中的7种矿物质元素, 发现同一个枣园黑斑病红枣中的矿物质元素含量相比于健康红枣中的含量分别减少了2.4%~28.7% (Ca)、3.1%~43.0%

(Cu)、3.97%~12.73% (Fe)、1.1%~21.9% (K)、2.4%~27.3% (Mg)、1.5%~38.2% (Mn)、7.9%~66.9% (Zn), 而且通过配对样本t检验分析, 黑斑病红枣和健康红枣中这7种矿物质在95%的置信区间内变化显著(P值为0.017~0.046, 均小于0.05)。其中, K、Ca、Mg为红枣中含量较高的矿物质元素(>100 mg/kg)^[18], 其在黑斑病枣中的流失情况低于Zn、Mn、Cu等微量元素(<10 mg/kg)。

2.2 黑斑病对红枣中氨基酸含量的影响

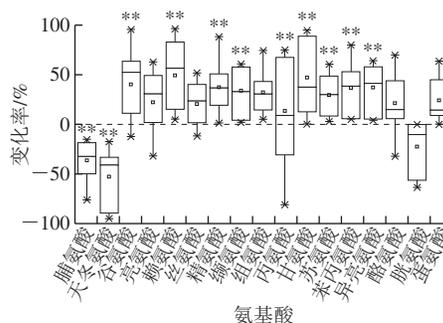


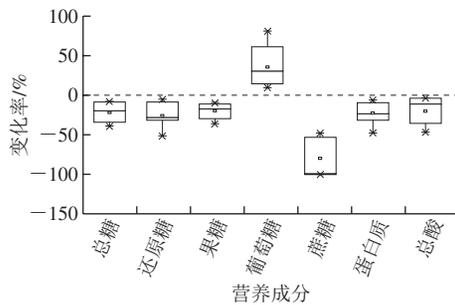
图2 病枣样品相比与健康红枣中不同种类氨基酸含量变化率
Fig. 2 Changes in contents of amino acids in infected jujubes as compared with healthy ones

如图2所示, 通过检测健康红枣和黑斑病红枣中17种氨基酸的含量发现, 相比于健康红枣, 黑斑病枣中的脯氨酸和天冬氨酸含量显著降低(配对检验P值为0.003~0.008, 小于0.05), 谷氨酸、赖氨酸、精氨酸、缬氨酸、丙氨酸、甘氨酸、苏氨酸、苯丙氨酸、异亮氨酸含量显著升高(配对检验P值为0.001~0.033, 小于0.05), 胱氨酸含量降低不显著(配对检验P值为0.322, 大于0.05), 亮氨酸、丝氨酸、组氨酸、酪氨酸、蛋氨酸含量升高但不显著(配对检验P值为0.092~0.304, 大于0.05)。其中苦味氨基酸(Leu、Lys、Arg、Val、His、Phe、Ile、Tyr)含量均升高含量, 而含量最高的氨基酸(Pro)为甜味氨基酸, 其在病枣中的含量显著降低, 这与红枣在发病过程中果肉变质发苦有很大关系^[19]。

2.3 黑斑病对红枣中其他营养成分含量的影响

如图3所示, 同一个枣园黑斑病红枣中的其他营养成分含量相比于健康红枣中的含量分别减少7.4%~38.9% (总糖)、4.6%~51.4% (还原糖)、8.8%~35.7% (果糖)、47.5%~100% (蔗糖)、5.6%~47.5% (水溶性蛋白质)、3.1%~46.6% (总酸), 然而葡萄糖含量升高了10.0%~81.8%, 根据配对检验结果(P值为0.004~0.034, 小于0.05)发现这7项营养指标均为显著性变化。这是由于枣感染病害后, 呼吸作用增强, 增加了贮藏物质的糖消耗, 尤其是二元糖——蔗糖的消耗(在部分

黑斑病枣中未检测到蔗糖), 因而可能造成葡萄糖含量升高、总糖含量降低^[20]。



横坐标不同种类营养成分按照在红枣中的平均含量从高到低依次排列。

图3 病枣样品相比与健康红枣中不同种类营养成分含量变化率

Fig. 3 Changes in contents of nutritional components in infected jujubes as compared with healthy ones

2.4 黑斑病对红枣中链格孢毒素含量的影响

表1 不同枣园中健康红枣和黑斑病枣样品中链格孢毒素的含量

Table 1 Contents of *Alternaria* toxins in infected and healthy jujubes from different orchards

采样地点 编号	TeA		AOH		AME		TEN	
	健康红枣	黑斑病枣	健康红枣	黑斑病枣	健康红枣	黑斑病枣	健康红枣	黑斑病枣
A1	3.839 7	80.148 8	未检出	0.071 7	未检出	0.343 9	<LOQ	0.001 5
A2	0.865 5	19.259 6	未检出	0.102 7	<LOQ	0.021 3	0.004 6	0.002 1
A3	1.262 5	3.105 0	未检出	0.020 2	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.001 8
A4	3.445 6	109.671 8	未检出	0.040 0	0.001 2	1.551 7	<LOQ	0.005 0
A5	0.168 7	4.208 0	0.044 0	0.063 0	未检出	<LOQ	未检出	<LOQ
A6	0.161 2	4.086 4	未检出	0.019 6	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.001 7
A7	0.370 7	1.966 6	0.039 1	0.058 2	未检出	<LOQ	0.001 8	0.029 1

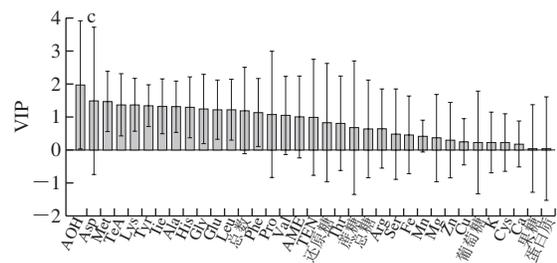
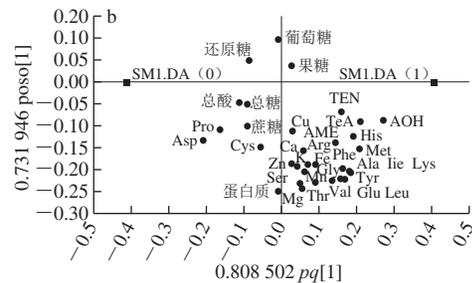
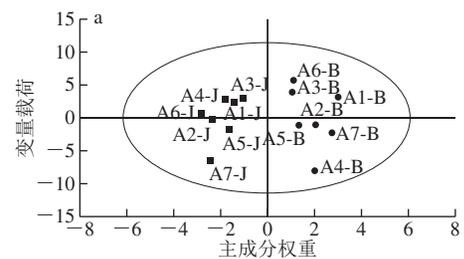
注: LOQ:定量限。

从表1可以看出, TeA在所有样品中均检出, 而且检出含量随着黑斑病感染程度而变化: 健康枣(0.161 2~3.839 7 mg/kg) < 病枣(3.105 0~109.671 8 mg/kg)。AOH、AME和TEN在大部分的健康红枣中都未检出或者低于LOQ, 病枣中的检出含量范围分别为0.019 6~0.102 7 mg/kg、<LOQ~1.551 7 mg/kg和<LOQ~0.029 1 mg/kg。健康枣在运输、保存、处理过程中可能受到病枣污染, 因此有少量链格孢毒素检出。何丽等^[21]在不同病级发病枣果中也均检出TeA、AME和AOH, 其中TeA检出含量最高, 可达3 102.27 mg/kg。

2.5 黑斑病对红枣中营养成分的整体影响

同一枣园中的健康红枣和黑斑病枣的营养品质具有一定的差异性, 利用测定的营养品质参数, 尝试构建判别模型, 判别红枣是否已感染黑斑病。将测定的来自7个不同枣园中的健康红枣和黑斑病枣的31个营养指标和4个链格孢毒素构成为14×35的数据矩阵。利用偏最小二乘法-判别分析(partial least squares-discriminant analysis, PLS-DA)方法^[22-23], 挖掘差异特征信息, 提取特征因子, 构建红枣感病判别模型。如图4a所示, 7个健康红枣和7个黑斑病枣在前2个潜变量空间的投影可以

明显区分。如图4b所示, AOH、ASP、TeA对第1个潜变量具有较大贡献, 而蛋白质、Mg、Ser对第2个潜变量具有较大贡献。如图4c所示, AOH、Asp、Met、TeA、Lys等是红枣PLS-DA发病判别模型最主要的特征变量(VIP值>1)。



a. 14个红枣样品的主成分分析; b. 不同营养成分及链格孢毒素对红枣样品的贡献比重; c. 不同营养成分及链格孢毒素的VIP值排序。

图4 基于PLS-DA的健康红枣和黑斑病枣的判别模型

Fig. 4 PLS-DA based identification model for infected versus healthy jujubes

3 讨论与结论

由于骏枣皮薄、肉质疏松, 并且矮化密植、恶劣天气等因素, 特别容易受到链格孢霉菌侵染, 从而易得黑斑病^[24]。白剑宇等^[25]以3种不同栽培模式的不同黑斑病发病程度的骏枣为研究对象, 检测10种主要营养成分, 发现总糖、还原糖、蔗糖、黄酮、VC、Ca、P、Fe、Zn等营养成分的含量与枣黑斑病危害级别呈负相关。许瑛等^[7]对不同黑斑病发病程度的骏枣和灰枣进行外观及内在品质指标测定, 发现2种病枣中的VC、蛋白质、含糖量、可滴定酸等含量均明显下降, 而且在2种病枣中均检测到TeA、AME和AOH这3种链格孢毒素。本课题组^[26]曾对3种红枣(哈密大枣、和田骏枣和若羌灰枣)接种黑斑病病原菌——链格孢菌(*Alternaria alternata*)和细极链格孢菌(*A. tenuissima*), 用超高效液相色谱-离子阱轨道-

高分辨质谱进行代谢物筛查,发现感染了病原菌的枣果中有4种皂苷、3种有机酸、3种生物碱含量显著下降,链格孢毒素TeA和AOH显著升高。

本研究采集的红枣主要来自阿克苏、和田两地兵团的7个连队枣园的矮化密植的骏枣。经过检测健康红枣和黑斑病枣中的7种矿物质元素、17种氨基酸、3种糖类、总酸、总糖、蛋白质、还原糖等31项指标发现:1)病枣中所检测的7种矿物质元素含量显著下降,说明果实在病变过程中矿物质元素均有不同程度的流失^[27],且K、Ca、Mg等红枣中含量较高的矿物质元素在黑斑病枣中的流失情况低于Zn、Mn、Cu等微量元素。相关文献报道^[28]枣果中的Ca含量与裂果密切相关,而裂果也是红枣黑斑病的诱因之一。2)相比于健康红枣,黑斑病枣中的一些苦味氨基酸含量(Val、Ile、Leu、Tyr、Phe、His、Lys、Arg)均升高,甜味氨基酸含量(Pro)显著降低,这与红枣在发病过程中果肉变质发苦有关。3)红枣感染黑斑病后,果糖、葡萄糖、蔗糖、还原糖、总糖、总酸、水溶性蛋白质等明显降低,这是由于骏枣感染病害后,呼吸作用增强,增加了贮藏物质的糖消耗,因而糖含量降低。4)毒性最强的TeA在所有的样品中均检出,且含量最高,其在健康枣中检出含量(0.161 2~3.839 7 mg/kg)显著低于黑斑病枣(3.105~109.671 8 mg/kg)。AOH、AME和TEN在所有的健康红枣中均未检出或者低于定量限,在病枣中的检出量较低。5)通过主成分分析发现AOH、Asp、Met、TeA和Lys为主要判别健康红枣和病枣的区分因子。由此可以推测黑斑病中链格孢毒素AOH和TeA的生物合成^[29-30]可能与氨基酸Asp、Met和Lys有关。

综上所述,新疆红枣感染黑斑病后,多种营养成分发生显著变化,并主要产生有毒代谢产物——链格孢毒素,其中健康红枣和黑斑病枣的5个主要区分因子中,AOH和TeA为有毒代谢产物,Asp、Met和Lys为主要营养成分,推测这5个因子可能存在一定的代谢关系,具体代谢途径还有待于后期的实验验证。本研究结果可为阐释新疆红枣黑斑病病变过程中链格孢毒素的产生机理提供理论依据。

参考文献:

- [1] FANG S, WANG Z, HU X, et al. Hot-air drying of whole fruit Chinese jujube (*Zizyphus jujuba* Miller): physicochemical properties of dried products[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2010, 44(7): 1415-1421. DOI:10.1111/j.1365-2621.2009.01972.x.
- [2] 新疆维吾尔自治区统计局. 新疆统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2016.
- [3] 农业部. 中国农业统计资料2015[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016.
- [4] 陈文博, 余国新, 刘运超. 基于新疆红枣产业景气分析的抗风险研究[J]. *新疆农业科学*, 2015, 52(2): 386-391. DOI:10.6048/j.issn.1001-4330.2015.02.033.
- [5] 陈小飞, 熊仁次, 徐崇志, 等. 红枣黑斑病研究现状与展望[J]. *黑龙江农业科学*, 2013(10): 141-144. DOI:10.3969/j.issn.1002-2767.2013.10.045.
- [6] 宋博, 徐兵强, 朱晓峰, 等. 新疆红枣黑斑病病原鉴定及其保守基因序列分析[J]. *植物病理学报*, 2017, 47(3): 411-415. DOI:10.13926/j.cnki.apps.000013.
- [7] 许瑛, 姚兆群, 王兰, 等. 枣果黑斑病对新疆红枣品质的影响[J]. *西北农业学报*, 2018, 27(6): 908-914. DOI:10.7606/j.issn.1004-1389.2018.06.020.
- [8] OSTRY V. *Alternaria* mycotoxins: an overview on chemical characterization, producers, toxicity, analysis and occurrence in foodstuffs[J]. *World Mycotoxin Journal*, 2008, 1(2): 175-188. DOI:10.3920/WMJ2008.x013.
- [9] 赵燕. 新疆红枣病害种类调查及枣缩果病原的相关研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2014.
- [10] 徐兵强, 宋博, 阿布都克尤木·卡德尔, 等. 红枣黑斑病发生影响因素及防治措施[C]//中国植物保护学会2015年学术年会.
- [11] 向征, 钟聪慧, 胡军, 等. 新疆枣果黑斑病病原鉴定[J]. *新疆农业科学*, 2013, 50(5): 845-850. DOI:10.6048/j.issn.1001-4330.2013.05.009.
- [12] 刘晓琳, 刘玉, 马荣, 等. 新疆枣果黑斑病病原菌鉴定及生物学特性[J]. *西北林学院学报*, 2015, 30(3): 132-138. DOI:10.3969/j.issn.1001-7461.2015.03.23.
- [13] 范晓栋, 符泽, 钟聪慧, 等. 新疆阿拉尔垦区红枣黑斑病发病规律[J]. *北方园艺*, 2017, 41(19): 35-41. DOI:10.11937/bfy.20170532.
- [14] 张栋海, 李克福, 赵思峰. 新疆南疆矮化密植枣园三种红枣病害发生规律及其影响因素研究[J]. *北方园艺*, 2015, 39(3): 105-108. DOI:10.11937/bfy.201503031.
- [15] 范瑛阁, 赵静, 黄克强, 等. 新疆阿克苏地区红枣黑斑病病原的鉴定及拮抗菌筛选[J]. *江苏农业科学*, 2015, 43(12): 175-177. DOI:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.12.054.
- [16] 蔡龙. 红枣黑斑病发病研究及药剂防治试验[J]. *山西果树*, 2013(3): 3-5. DOI:10.3969/j.issn.1005-345X.2013.03.001.
- [17] WANG C, FAN Y, HE W, et al. Development and application of a QuEChERS-based liquid chromatography tandem mass spectrometry method to quantitate multi-component *alternaria* toxins in jujube[J]. *Toxins*, 2018, 10(10): 382-393. DOI:10.3390/toxins10100382.
- [18] 陈恺, 李瑾瑜, 李琼, 等. ICP-AES法同时测定新疆红枣中的12种元素[J]. *食品与机械*, 2015(1): 84-87. DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2015.01.018.
- [19] 姜雪, 李焕荣, 王威, 等. 新疆红枣中氨基酸与枣苦味相关性分析[J]. *食品科技*, 2016, 41(7): 87-91. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2016.07.016.
- [20] 徐斌, 车凤斌, 郑素慧, 等. 不同含水量骏枣干枣自然条件下贮藏品质及生理指标变化[J]. *新疆农业科学*, 2015, 52(5): 843-847. DOI:10.6048/j.issn.1001-4330.2015.05.009.
- [21] 何丽, 郭开发, 艾尼古丽·依明, 等. 新疆红枣枣果主要致病菌交链格孢菌产生毒素种类及黑斑病病果毒素含量测定[J]. *新疆农业科学*, 2017, 54(6): 1076-1084. DOI:10.6048/j.issn.1001-4330.2017.06.014.
- [22] ALLADIO E, GIACOMELLI L, BIOSA G, et al. Development and validation of a partial least squares-discriminant analysis (PLS-DA) model based on the determination of ethyl glucuronide (EtG) and fatty acid ethyl esters (FAEEs) in hair for the diagnosis of chronic alcohol abuse[J]. *Forensic Science International*, 2018, 282: 221-230. DOI:10.1016/j.forsciint.2017.11.010.
- [23] LIU Z, ZHANG W, ZHANG Y, et al. Assuring food safety and traceability of polished rice from different production regions in China and Southeast Asia using chemometric models[J]. *Food Control*, 2019, 99: 1-10. DOI:10.1016/j.foodcont.2018.12.011.
- [24] 刘晓琳, 梁英梅, 游崇娟, 等. 枣果黑斑病病原菌对新疆不同枣树品种的致病性[J]. *植物保护*, 2015, 41(5): 183-187. DOI:10.3969/j.issn.05291542.2015.05.035.
- [25] 白剑宇, 宋峰惠, 吴正保. 不同栽培模式下枣黑斑病发病程度及其与果实营养成分相关性[J]. *新疆农业科学*, 2017, 54(9): 1651-1658. DOI:10.6048/j.issn.1001-4330.2017.09.011.
- [26] HU D, FAN Y, TAN Y, et al. Metabolic profiling on *alternaria* toxins and components of Xinjiang jujube incubated with pathogenic *Alternaria alternata* and *Alternaria tenuissima* via orbitrap high resolution mass spectrometry[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2017, 65(38): 8466-8474. DOI:10.1021/acs.jafc.7b03243.
- [27] 徐华, 戴小华, 杨耘, 等. 不同脐橙生理病害对叶片矿质元素含量及营养物质代谢的影响[J]. *北方园艺*, 2010(14): 166-168. DOI:10.11937/bfy.2010014061.
- [28] 钱立龙, 李建贵, 李欢, 等. 骏枣中几种矿质元素含量动态及对骏枣裂果的影响[J]. *新疆农业科学*, 2014, 51(9): 1618-1623. DOI:10.6048/j.issn.1001-4330.2014.09.008.
- [29] AHUJA M, CHIANG Y, CHANG S, et al. Illuminating the diversity of aromatic polyketide synthases in *Aspergillus nidulans*[J]. *Journal of the American Chemical Society*, 2012, 134(19): 8212-8221. DOI:10.1021/ja3016395.
- [30] YUN C, MOTOYAMA T, OSADA H. Biosynthesis of the mycotoxin tenuazonic acid by a fungal NRPS-PKS hybrid enzyme[J]. *Nature Communications*, 2015, 6: 8758. DOI:10.1038/ncomms9758.