

# 陕西红枣中苯甲酸的本底值分析

李晓<sup>1</sup>, 李媛<sup>1</sup>, 张建成<sup>1</sup>, 陈鸿剑<sup>1</sup>, 樊成<sup>1</sup>, 李梅<sup>2</sup>, 安瑜<sup>1</sup>, 彭飞<sup>2</sup>, 吴坤<sup>1</sup>, 刘李婷<sup>1</sup>

(1. 陕西省产品质量监督检验研究院, 陕西西安 710048)

(2. 西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西杨凌 712100)

**摘要:** 该研究通过对陕西产区 146 批次 12 个品种枣类进行苯甲酸含量的测定, 研究了发育期、产地、品种、干燥方法对红枣苯甲酸含量的影响, 研究结果表明: 除去处于青春期的冬枣外, 其余所选红枣中均存在一定含量的内源性苯甲酸, 其值通常在 50 mg/kg 以下, 极少超过 150 mg/kg。红枣中的内源性苯甲酸在枣类由青枣-半熟枣-成熟红枣-干枣的发育过程中均会形成, 其含量随着红枣成熟度的增加而逐渐提高。红枣品种对红枣的苯甲酸本底值影响显著, 产地对红枣的苯甲酸本底值影响不大, 红枣的苯甲酸本底值随干燥温度的增加而升高。采集的红枣样品的苯甲酸含量符合正态分布, 95% 概率下置信区间最大值为 104 mg/kg, 该值可作为红枣中苯甲酸的本底限量值。在正常食用量的范围内, 红枣中所含内源性苯甲酸的含量对人体的潜在影响要远低于食品添加剂使用标准中苯甲酸含量的影响。

**关键词:** 红枣; 苯甲酸; 本底值; 发育期; 产地; 品种; 干燥方式; 风险评估

文章编号: 1673-9078(2022)04-254-259

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.4.0616

## Analysis of the Background Value of Benzoic Acid in Shaanxi Jujube

LI Xiao<sup>1</sup>, LI Yuan<sup>1</sup>, ZHANG Jiancheng<sup>1</sup>, CHEN Hongjian<sup>1</sup>, FAN Cheng<sup>1</sup>, LI Mei<sup>2</sup>, AN Yu<sup>1</sup>, PENG Fei<sup>2</sup>,  
WU Kun<sup>1</sup>, LIU Liting<sup>1</sup>

(1. Shaanxi Institute of Product Quality Supervision and Inspection, Xi'an 710048, China)

(2. College of Food Science and Engineering, Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

**Abstract:** In this study, the benzoic acid contents of 146 batches and 12 varieties of jujube grown in Shaanxi Province were measured, and the effects of development stage, origin, variety and drying method on the endogenous benzoic acid in jujube were investigated. The research results revealed that except for the winter jujube in the green stage, a certain amount of endogenous benzoic acid was found in the other selected jujubes, and its value was usually below 50 mg/kg, rarely exceeded 150 mg/kg. The endogenous benzoic acid in jujube was formed during the different development stages, from green jujube- half-ripe jujube-mature red jujube-dry jujube, and its content increased gradually with the increase of jujube maturity. The variety of jujube had a significant effect on the benzoic acid background value of jujube, and the origin had little effect on the benzoic acid background value of jujube. The benzoic acid background value of jujube increased with the increase of drying temperature. The benzoic acid content of the collected jujube samples conformed to the normal distribution, and the maximum confidence interval was 104 mg/kg under 95% probability. This value can be used as the background limit value of benzoic acid in jujube. Within the amount range of normal consumption, the potential impact of the endogenous benzoic acid contained in jujube on human body was much lower than that of benzoic acid at the level defined in the standard for food additive use.

**Key words:** jujube; benzoic acid; background value; development stages; origins; varieties; drying methods; risk assessment

引文格式:

李晓, 李媛, 张建成, 等. 陕西红枣中苯甲酸的本底值分析[J]. 现代食品科技, 2022, 38(4): 254-259, +233

LI Xiao, LI Yuan, ZHANG Jiancheng, et al. Analysis of the background value of benzoic acid in Shaanxi jujube [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(4): 254-259, +233

红枣为鼠李科落叶小乔木或灌木植物枣的成熟果实, 含有丰富的维生素、多糖、膳食纤维和矿物质,

收稿日期: 2021-06-10

基金项目: 陕西省质量技术监督系统科研项目 (2017KY08)

作者简介: 李晓 (1963-), 男, 工程师, 研究方向: 农产品质量安全, E-mail:

542129280@qq.com

是我国传统的滋补保健佳品。中国红枣分布范围广, 种植面积大, 主要分布在新疆、陕西、河北、山西和山东地区, 陕西作为全国第二大红枣产业基地, 具有独特的地位和优势。2019 年陕西红枣种植面积 311.53 万亩, 年产量  $9.993 \times 10^5$  t, 产值 41.97 亿元, 红枣产业已成为陕西农村经济发展和农民增收致富的重要支撑<sup>[1]</sup>。

苯甲酸也称安息香酸,属芳香族酸,未离解的苯甲酸具有抗菌活性,常作为防腐剂在食品加工中被用于食品保鲜、抑制细菌生长。苯甲酸除了人为添加外,还天然存在于一些食物中,如红莓、青梅、李、蜂王浆、牛乳、酸奶、黄豆等。天然内源性的苯甲酸有两类来源,一类是植物来源,是植物在生长过程中的次级代谢产物;另一类是微生物来源,在食品加工过程中由微生物代谢产生。少量的苯甲酸在体内可以很快被吸收,主要与甘氨酸结合以马尿酸的形式排出体外,剩余部分与葡萄糖醛酸结合为1-苯甲酰葡萄糖醛酸而排出。10~14 h 便可从体内全部排出,因此,少量苯甲酸不会在人体内有蓄积<sup>[2]</sup>。

根据我国最新发布实施的国家标准 GB 2760-2014,苯甲酸及其钠盐可作为防腐剂用于果酱、蜜饯凉果、浓缩果汁、果汁饮料等的保鲜,并规定了苯甲酸及其钠盐的最大添加量,但并不涵盖新鲜水果和干果,故红枣中不允许添加苯甲酸<sup>[3]</sup>。近年来,红枣中检出苯甲酸的问题屡见报道。因此,确认红枣中苯甲酸的来源、含量及其影响因素将有助于促进红枣产业的健康发展,本文采集陕西产区的红枣样品对其进行苯甲酸检测分析,证明了天然苯甲酸的存在,分析计算红枣的苯甲酸本底值,为食品安全监管工作提供技术支持。

## 1 材料与方 法

### 1.1 样品采集

本研究共于2018~2021年间从陕西主要红枣产区采集红枣样品146批次,采集地区包括陕西神木(22批次)、佳县(35批次)、清涧(29批次)、延川(19批次)、大荔(18批次)、绥德(5批次)、合阳(6批次)和彬县(12批次)八个区域,采集品种包括:木枣(62批次)、狗头枣(14批次)、团枣(5批次)、桥枣(15批次)、芽枣(4批次)、条枣(4批次)、冬枣(10批次)、玲玲枣(6批次)、水枣(8批次)、大晋枣(10批次)、灰枣(4批次)和滩枣(4批次)12个品种,每批次样品抽样量不少于1 kg。对于鲜枣样品,在果园内采样时结合果园内果树实际分布状态,采用了对角线法、棋盘法或蛇行法随机多点采样,不同发育期按照等比例的原则进行。由于红枣种植热度存在明显的品种差异和产地差异,在不同地区未能实现不同品种之间的等比例取样。对相同地点不同年份样品中苯甲酸的含量的比较分析表明取样年份对苯甲酸含量无明显影响。

### 1.2 仪器与试剂

Agilent 1260 高效液相色谱仪,配有二极管检测器,美国安捷伦科技公司;Vortex-Genie2 涡旋混匀器,美国SI仪器公司;超声波恒温水浴锅,昆山市超声仪器有限公司;离心机,湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;超纯水机,西安优普仪器设备有限公司;DHG-9140A 鼓风干燥箱,上海慧泰仪器制造有限公司;MG-5021SV 微波炉,韩国LG公司。

甲醇,色谱纯,德国Meker公司;乙酸铵,色谱纯,上海麦克林生化科技有限公司;乙酸锌,分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司;亚铁氰化钾,分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司;苯甲酸标准溶液,1.00 mg/mL,中国计量科学研究院。

### 1.3 方法与条件

按照 GB 5009.28-2016《食品安全国家标准 食品中苯甲酸、山梨酸和糖精钠的测定》第一法:液相色谱法进行测定<sup>[4]</sup>,该方法检出限为5 mg/kg。为避免水分对红枣样品苯甲酸含量的影响,本文苯甲酸结果均以干基计。水分按照 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》第一法测定<sup>[5]</sup>。

色谱柱:Agilent Eclipse XDB-C18 (5  $\mu$ m, 4.6 mm $\times$ 250 mm),流动相:甲醇+乙酸铵溶液=5+95,流速1.0 mL/min,柱温35  $^{\circ}$ C,检测波长:230 nm,进样量:20  $\mu$ L。

红枣干燥时采用烘干、晒干、煮+烘干、微波干燥、风干和冻干等六种常用干燥方式,每种干燥方式的具体执行方法如下:烘干,将成熟红枣在65  $^{\circ}$ C使用鼓风干燥箱热风烘制30 h;晒干,将成熟红枣采摘后在太阳下晾晒一周,温度约为15  $^{\circ}$ C~20  $^{\circ}$ C;煮+烘干,紫金枣和蜜枣是委托企业进行的干燥,烘干温度65  $^{\circ}$ C;微波干燥,采用微波炉选取60%火力,干燥10 min,温度为100  $^{\circ}$ C;风干,将红枣成熟后树上挂果至自然风干,温度约为5  $^{\circ}$ C~10  $^{\circ}$ C;冻干,将成熟红枣样品-18  $^{\circ}$ C贮藏6个月。

## 2 结果与分析

### 2.1 线性范围及回收率

配制0、0.20、0.50、1.00、2.00、5.00、10.00 mg/L 7个浓度的苯甲酸标准工作液以绘制标准曲线,相关系数 $R^2$ 为0.9999,此浓度范围内线性良好。在5.00、50.00和250.00 mg/kg三个浓度水平下对红枣进行苯甲酸加标实验,回收率范围为94.62%~103.08%,方法准确可靠。

## 2.2 红枣中苯甲酸的本底值分析

表1 红枣样品的苯甲酸本底值范围及比例

**Table 1 Background value range and proportion of benzoic acid in jujube samples**

采样地点	苯甲酸含量范围/(mg/kg)	样品数量/批	占样品量/%
神木	0~50	19	86.36
	50~100	2	9.09
	>100	1	4.55
佳县	0~50	31	88.57
	50~100	4	11.43
	>100	0	0.00
清涧	0~50	24	82.76
	50~100	5	17.24
	>100	0	0.00
延川	0~50	15	78.95
	50~100	4	21.05
	>100	0	0.00
大荔	0~50	13	72.22
	50~100	2	11.11
	>100	3	16.67
绥德	0~50	4	80.00
	50~100	1	20.00
	>100	0	0.00
合阳	0~50	5	83.33
	50~100	0	0.00
	>100	1	16.67
彬县	0~50	3	25.0
	50~100	3	25.00
	>100	6	50.00

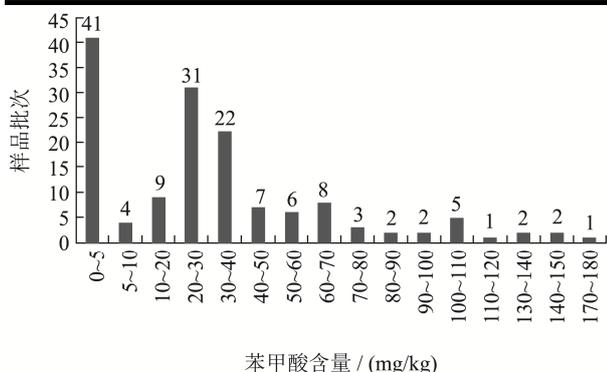


图1 红枣样品苯甲酸含量分布

**Fig.1 Distribution of benzoic acid in jujube samples**

146 批次红枣样品的苯甲酸本底值范围及比例如下表1。以每 10 mg/kg 为一个区间，绘制总体数据分布如图1，苯甲酸含量低于 5 mg/kg 视为未检出。146 批次红枣样品中，有 41 批次样品未检出苯甲酸，105

批次样品检出苯甲酸，检出率为 71.92%。在取样的过程中，采样人员还对样品生长过程中农药使用情况及加工过程中添加剂的使用进行了详细的调研，调研结果表明所采集的样品在生长过程和加工过程中均不存在人为引入苯甲酸的情况，因此本实验红枣样品中所检测出的苯甲酸均为内源性苯甲酸。

图2 是红枣样品的苯甲酸含量分布占比，苯甲酸未检出样品占比为 28.08%，苯甲酸检出量在 20~30 mg/kg 区间和 30~40 mg/kg 区间的样品占比较高，其值分别为 21.23%和 15.07%。73 批次样品苯甲酸本底值在 5~50 mg/kg 之间，占样品总量的 50.00%，占检出样品量的 69.52%；21 批次样品苯甲酸本底值介于 50~100 mg/kg，占样品总量的 14.38%，占检出样品量的 20.00%；11 批次样品苯甲酸本底值超过 100 mg/kg，占样品总量的 7.53%，占检出样品量的 10.48%；只有 1 批次样品苯甲酸本底值超过 150 mg/kg，占样品总量的 0.68%，占检出样品量的 0.95%。

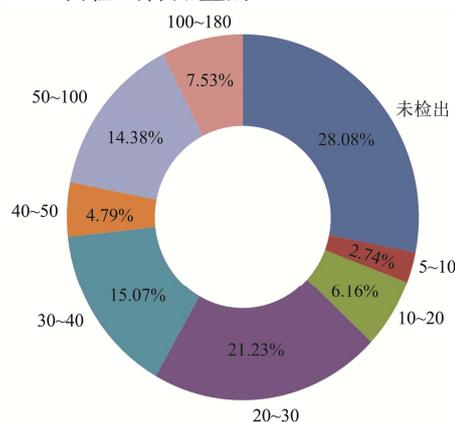


图2 红枣样品苯甲酸含量分布占比

**Fig.2 Proportion of benzoic acid content in jujube samples**

## 2.3 红枣中苯甲酸本底值的影响因素

实验结果显示，红枣中苯甲酸的本底含量因影响因素改变而不同，故从发育期、产地、品种和干燥方法四个方面分析苯甲酸本底值的变化。

### 2.3.1 不同发育期红枣的苯甲酸本底值

按照红枣成熟程度及水分含量的不同，抽样的过程中等比例抽取了青枣（果面全青或 1/4 红）、半熟枣（1/2 青 1/2 红）、成熟红枣（3/4 红或全红）和干枣四类不同发育期的红枣样品，计算 12 个品种红枣每个发育期的苯甲酸含量平均值，其含量随生长发育呈规律上升趋势，如图3所示。

由图3可知，青枣时期12个品种均未检出苯甲酸。半熟枣时期，大多数品种都未检出苯甲酸，只有木枣、狗头枣、团枣、水枣和大晋枣检出微量苯甲酸，且含量均在 25 mg/kg 左右，未超过 35 mg/kg。成熟红枣时

期,仅冬枣未检出苯甲酸,其余11种红枣苯甲酸含量各不相同,桥枣、滩枣和灰枣在16~20 mg/kg,芽枣、条枣、玲玲枣和狗头枣在25~30 mg/kg,木枣、团枣、水枣和大晋枣分别为39、50、53和85 mg/kg。随着红枣水分流失,干枣时期的苯甲酸含量迅速上升,大多数品种红枣集中在20~80 mg/kg之间,大晋枣含量最高为115 mg/kg,是灰枣干枣含量的5倍多、木枣干枣含量的两倍多。随着红枣发育成熟,除冬枣一直未检出外,其余11个品种红枣的苯甲酸含量呈明显递增趋势,进一步证明了红枣中确实存在天然苯甲酸,且其本底含量随红枣变红成熟而逐渐增加。

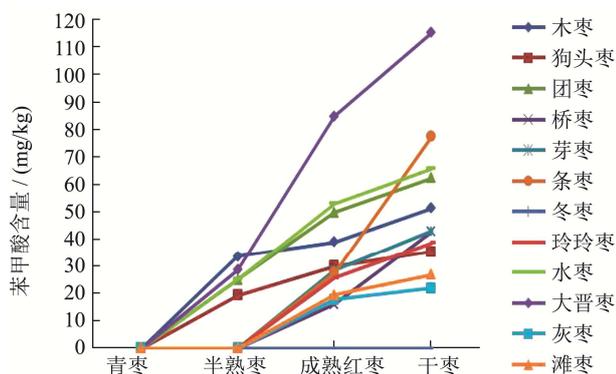


图3 不同发育期红枣苯甲酸含量的变化

Fig.3 Changes of benzoic acid content in jujube at different development stages

### 2.3.2 不同产地红枣的苯甲酸本底值

以取样批次最多、最具代表性的木枣为研究对象,研究了产地差异对红枣中苯甲酸含量的影响。木枣的主产地为神木、佳县和清涧三个产区,其苯甲酸含量分布如图4所示。神木木枣除去异常点175 mg/kg外,苯甲酸含量在61 mg/kg以下,佳县木枣在73 mg/kg以下,清涧木枣在90 mg/kg以下。三个产区木枣的苯甲酸含量均主要分布在20~45 mg/kg,其中位数分别是30、30和33 mg/kg,由此可见,产地对红枣苯甲酸含量的影响并不显著。

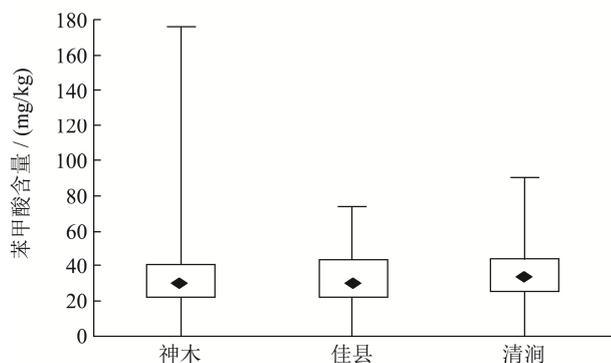


图4 不同产地木枣的苯甲酸含量分布箱线图

Fig.4 Box plot of benzoic acid content distribution in wood jujube from different origins

### 2.3.3 不同品种红枣的苯甲酸本底值

绘制木枣、狗头枣、团枣、桥枣、芽枣、条枣、冬枣、玲玲枣、水枣、大晋枣、灰枣和滩枣12种红枣的苯甲酸含量分布如图5,其中位数分别为31、27、23、0、34、50、0、15、66、105、10和10 mg/kg。可见苯甲酸本底含量差异较大,品种对红枣苯甲酸本底值的影响显著。

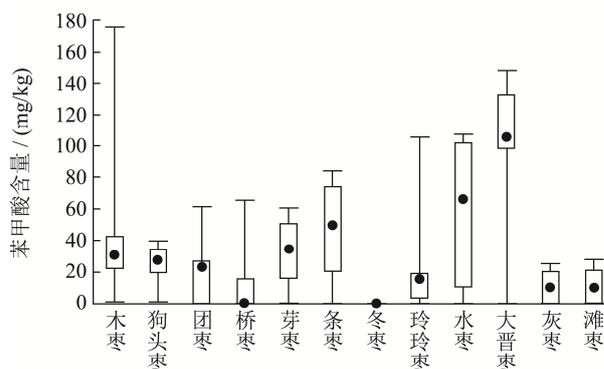


图5 不同品种红枣的苯甲酸含量分布箱线图

Fig.5 Box plot of benzoic acid content distribution in different jujube varieties

大晋枣内源性苯甲酸本底值最高,分布在98~133 mg/kg,水枣内源性苯甲酸含量分布最广,为11~102 mg/kg,桥枣、玲玲枣、灰枣、滩枣的苯甲酸含量大多在20 mg/kg以下,团枣在30 mg/kg以下,冬枣样品均未检出苯甲酸。木枣和狗头枣因种植面积广,抽样批次最多共76批,占总采样批次的一半多,除去异常点175 mg/kg外,其值主要分布在20~40 mg/kg。芽枣、条枣因样本量最少各只有4批次,苯甲酸值从0~59、0~83 mg/kg波动较大。水枣箱体最长数据波动最大,其原因主要与水枣的干燥方式有关,糖煮+烘干制成的水枣蜜枣中苯甲酸几乎未检出,风干水枣的含量为65 mg/kg,晒干水枣的含量为67 mg/kg,微波干燥的水枣平均含量为104 mg/kg。

### 2.3.4 不同干燥方式红枣的苯甲酸本底值

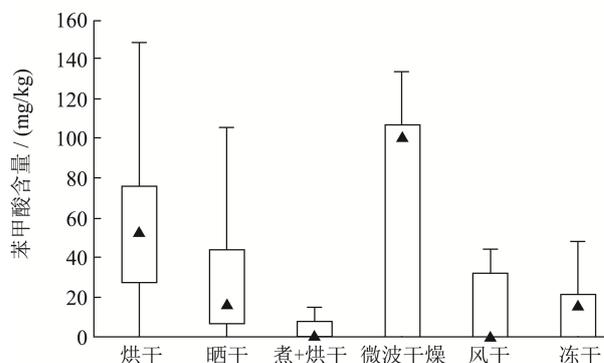


图6 不同干燥方法红枣的苯甲酸含量分布箱线图

Fig.6 Box plot of benzoic acid content distribution in jujube by different drying methods

图 6 是烘干、晒干、煮+烘干、微波干燥、风干和冻干 6 种干燥方式下红枣的苯甲酸含量分布图, 其中位数分别为 54、17、0、100、0 和 16 mg/kg。其中微波干燥方式的红枣苯甲酸含量最高分布最广, 烘干含量次之, 主要分布在 27~76 mg/kg。晒干红枣的苯甲酸含量略高于风干的红枣, 基本在 44 mg/kg 以下, 冻干含量偏低大多不超过 21 mg/kg。煮+烘干这种干燥方法制成的红枣有两种, 一种是水煮+烘干制成的紫金枣, 另一种是糖煮+烘干制成的蜜枣, 其苯甲酸本底含量都很低, 一半样品都是未检出, 检出样品含量均未超过 15 mg/kg。同样的鲜枣样品, 经过微波干燥后苯甲酸本底值显著增加, 经过冻干处理后苯甲酸本底值几乎减小一半, 烘干样品的苯甲酸含量是风干的两倍多, 晒干样品则略高于风干样品。可见, 红枣中内源性苯甲酸的本底值同干燥方式密切相关, 随着干燥温度增加, 内源性苯甲酸本底值呈现增加的趋势。

#### 2.4 红枣苯甲酸的本底判定值

苯甲酸及其衍生物普遍存在于天然植物中, 具有诱导传粉、抵抗虫害等重要的生理作用<sup>[6]</sup>。植物体内苯甲酸的合成途径, 目前主要认为有两种, 一种是由苯丙氨酸经酶催化而成, 一种是由莽草酸转化生成<sup>[7]</sup>。红枣是一种核果, 会按照上述两种途径产生天然内源性苯甲酸。

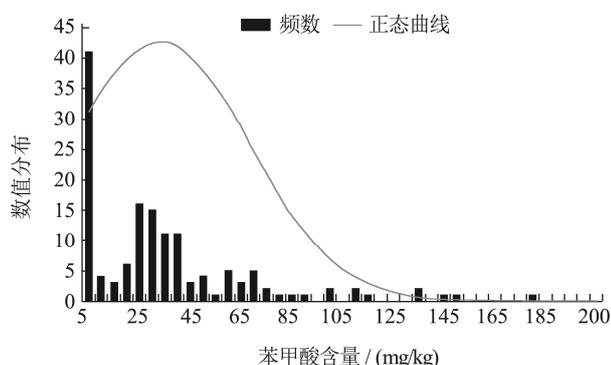


图 7 红枣中苯甲酸本底值正态分布图

Fig.7 Normal distribution of background value of benzoic acid in jujube

所有红枣样本的苯甲酸本底平均值为 33 mg/kg, 105 批次检出苯甲酸的红枣的本底平均含量为 46 mg/kg, 变幅为 7~175 mg/kg。如图 7 所示, 以每 5 mg/kg 为一个区间重新绘制苯甲酸含量分布图, 红枣的苯甲酸本底值呈正态分布。根据拉依达准则, 95% 概率下置信区间最大值为 104 mg/kg, 该值可作为所有红枣样品的苯甲酸本底判定值。

#### 2.5 红枣的食用风险评估

正常食用范围内红枣内源性苯甲酸的日常摄入量为日常食用量×红枣苯甲酸的本底值<sup>[8-12]</sup>。红枣正常食用量一般每日不超过 10 颗, 按每颗重量为几克到十几克计算, 日均食用量最大值将小于 0.2 kg。当红枣样品的苯甲酸本底值为 104 mg/kg 时, 正常食用范围内红枣内源性苯甲酸的日常摄入量为 21 mg, 按照所采集样品苯甲酸含量的最大值 175 mg/kg 计算, 日常摄入量为 35 mg。其值远小于按照联合国粮农组织 (FAO)、世界卫生组织 (WHO) 规定苯甲酸的每日允许摄入量 5 mg/kg·bw<sup>[13]</sup>×体重 (bw) 60 kg 计算所得到的成人苯甲酸每日允许摄入量 300 mg。可见, 在正常食用量范围内, 红枣内源性苯甲酸的膳食摄入风险处于可接受的水平。

### 3 讨论

巩志国<sup>[14]</sup>等对新疆、山东、河北共 122 批干制红枣样品进行检测, 初步明确了红枣中天然苯甲酸的本底值含量普遍小于 0.15 g/kg, 大多数红枣的天然苯甲酸含量在 0.011~0.060 g/kg 之间; 天然苯甲酸的生成时期为红枣果实生育期, 并随着果实成熟而逐渐增加; 红枣中天然苯甲酸含量受品种影响较大, 受地域影响不显著。兰文忠<sup>[15]</sup>等对山东红枣的苯甲酸含量研究发现, 干燥温度可明显影响干枣的苯甲酸含量, 干燥温度越高样品中苯甲酸含量越高。这与本文的结果基本一致。本文食用风险评估和聂继云<sup>[16]</sup>等对红枣苯甲酸的风险评估结果均表明, 红枣中苯甲酸的慢性膳食摄入风险远低于 100%, 不足 10%, 在正常食用量范围内, 红枣中所含内源性苯甲酸的含量对人体的潜在影响要远低于符合添加剂使用标准含量苯甲酸的影响。

### 4 结论

结果表明陕西红枣中存在一定含量的内源性苯甲酸。红枣中的内源性苯甲酸在枣类由青枣—半熟枣—成熟红枣—干枣的发育过程中均会形成, 其含量随着红枣成熟度的增加而逐渐提高。除去处于青枣期的冬枣未检出外, 其余红枣中内源性苯甲酸的含量通常在 50 mg/kg 以下, 很少超过 100 mg/kg, 极少超过 150 mg/kg。产地对红枣的苯甲酸本底值影响不大, 品种则对其含量影响显著, 其中大晋枣的苯甲酸含量最高。干燥温度越高红枣中苯甲酸本底值越大, 微波干燥红枣的苯甲酸含量最高, 烘干次之, 晒干枣含量小于烘干枣但大于风干枣, 冻干枣的含量最低。本文采集的红枣样品的苯甲酸本底含量符合正态分布, 95% 概率下置信区间最大值为 104 mg/kg, 该值可为红枣中苯甲酸的安全检测提供本底限量值判断依据。而红枣中

天然苯甲酸的生成机制和代谢途径,有待进一步研究。

## 参考文献

- [1] 智研咨询.2019 年陕西省红枣行业发展现状分析,亩均产量为 337 公斤/亩[EB/OL].(2020-08-03).<https://www.chyxx.com/industry/202008/886627.html>  
ZHI Yan Consulting. Analysis of the development status of the jujube industry in Shaanxi Province in 2019, the average yield per mu is 337 kg/mu [Figure][EB/OL]. (2020-08-03). <https://www.chyxx.com/industry/202008/886627.html>.
- [2] 唐文强,刘长海.天然苯甲酸生物合成机制的研究进展[J].中国调味品,2011,36(8):12-15  
TANG Wenqiang, LIU Changhai. Advance on the biosynthesis of natural benzoic acid [J]. Chinese Condiment, 2011, 36(8): 12-15
- [3] GB 2760-2014.食品安全国家标准食品添加剂使用标准[S]  
GB 2760-2014. National Food Safety Standard Food Additive Use Standard [S]
- [4] GB 5009.28-2016.食品安全国家标准 食品中苯甲酸、山梨酸和糖精钠的测定[S]  
GB 5009.28-2016. National Food Safety Standard Determination of Benzoic Acid, Sorbic Acid and Sodium Saccharin in Foods [S]
- [5] GB 5009.3-2016.食品安全国家标准 食品中水分的测定[S]  
GB 5009.3-2016. National Food Safety Standard Determination of Moisture in Food [S]
- [6] Uta Effmert, Sandra Saschenbrecker, Jeannine Ross, et al. Floral benzenoid carboxyl methyltransferases: from *in vitro* to *in planta* function [J]. Phytochemistry, 2005, 6(1): 1211-1230
- [7] Wildermuth Mary C. Variations on a theme: synthesis and modification of plant benzoic acids [J]. Current Opinion in Plant Biology, 2006, 9: 288-296
- [8] 聂继云,李志霞,刘传德,等.苹果农药残留风险评估[J].中国农业科学,2014,47(18):3655-3667  
NIE Jiyun, LI Zhixia, LIU Chuande, et al. Risk assessment of pesticide residues in apples [J]. Scientia Agricultural Sinica, 2014, 47(18): 3655-3667
- [9] 智研咨询.2020 年中国红枣产量、进出口及消费量分析:新疆占比约为总产量的一半[EB/OL].(2021-01-20).<https://www.chyxx.com/industry/202101/924908.html>  
ZHI Yan Consulting. Analysis of China's red jujube output, import and export and consumption in 2020: Xinjiang accounts for about half of the total output [EB/OL]. (2021-01-20).<https://www.chyxx.com/industry/202101/924908.html>
- [10] 梁鸿.中国红枣及红枣产业的发展现状、存在问题和对策的研究[D].西安:陕西师范大学,2006  
LIANG Hong. On the actuality, existing problems and solutions to the industry of the Chinese jujube [D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2006
- [11] 张晓峰,刘畅,陈庆森,等.枣在我国加工利用现状及发展对策[J].郑州牧业工程高等专科学校学报,2007,27(2):25-26  
ZHANG Xiaofeng, LIU Chang, CHEN Qingsen, et al. The present situation of processing *Zizyphus jujube* and development strategy in our country [J]. Journal of Zhengzhou College of Animal Husbandry Engineering, 2007, 27(2): 25-26
- [12] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Submission and Evaluation of Pesticide Residues Data for Estimation of Maximum Residue Levels in Food and Feed (FAO Plant Production and Protection Paper 197) [R]. Rome: FAO, 2009
- [13] World Health Organization. Evaluations of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA), Benzoic Acid [DB/OL]. (2015-03-06). <http://apps.who.int/food-additives-contaminant-jecfa-database/chemi-cal.aspx?chemID=4530>.
- [14] 巩志国,苏敏,宋姣,等.红枣中天然苯甲酸的溯源分析及本底调查[J].食品科技,2017,42(9):290-293  
GONG Zhiguo, SU Min, SONG Jiao, et al. Resource analysis and background investigation of natural benzoic acid in red jujube [J]. Food Science and Technology, 2017, 42(9): 290-293
- [15] 兰文忠,张彦昊,黄艳红,等.枣中苯甲酸形成机理的初步研究[J].中国果菜,2016,36(4):10-12  
LAN Wenzhong, ZHANG Yanhao, HUANG Yanhong, et al. Preliminary research on the formation mechanism of benzoic acid in Chinese jujube [J]. China Fruit and Vegetable, 2016, 36(4): 10-12
- [16] 聂继云,李静,徐国锋,等.红枣中的苯甲酸及其膳食暴露评估[J].农产品质量与安全,2015,3:47-50  
NIE Jiyun, LI Jing, XU Guofeng, et al. Benzoic acid in jujube and its dietary exposure assessment [J]. Agricultural Product Quality and Safety, 2015, 3: 47-50
- [17] F Moradinezhad, F Setayesh, S Mahmoodi, et al. Physicochemical properties and nutritional value of jujube (*Zizyphus jujuba* Mill.) fruit at different maturity and ripening stages [J]. International Journal of Horticultural Science and Technology, 2016, 3(1): 43-50

(下转第 233 页)