

邢雅阁, 黄雪, 樊国全, 等. 基于 GC-MS 和感官评价鉴定南疆杏仁甜苦性状 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(21): 293-301. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022110259

XING Yage, HUANG Xue, FAN Guoquan, et al. Identification of Sweet/Bitter Traits of Apricot Kernel in Southern Xinjiang Based on GC-MS and Organoleptic Evaluation[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(21): 293-301. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022110259

· 分析检测 ·

# 基于 GC-MS 和感官评价鉴定南疆杏仁甜苦性状

邢雅阁<sup>1,2</sup>, 黄雪<sup>1,2</sup>, 樊国全<sup>3</sup>, 王亚铜<sup>3</sup>, 张红艳<sup>4</sup>, 郭玲<sup>1,2,\*</sup>

(1.塔里木大学园艺林学学院, 新疆阿拉尔 843300;

2.新疆生产建设兵团塔里木盆地生物资源保护利用重点实验室, 新疆阿拉尔 843300;

3.新疆农业科学院轮台国家果树资源圃, 新疆巴音郭楞蒙古自治州 841600;

4.华中农业大学园艺林学学院, 湖北武汉 430070)

**摘要:** 为了鉴定杏仁甜苦筛选鉴定指标, 为杏仁选育及深加工提供理论依据。本研究以南疆 88 份杏仁为实验材料, 利用高效液相色谱法和气相色谱-质谱联用技术对其苦杏仁苷和糖组分含量进行了测定分析。结果表明, 杏仁中均含有苦杏仁苷, 其含量在 0.945~36.055 mg/g 之间, 均值为 6.236 mg/g, 变异系数为 118.289%。通过感官评价, 其中有 19 份苦仁, 测定苦杏仁苷含量为 10.205~36.055 mg/g, 均值为 19.047 mg/g; 69 份甜仁, 测定其含量为 0.945~12.148 mg/g, 均值为 2.708 mg/g。杏仁中共检测出 7 种糖, 其中蔗糖含量最高, 棉子糖次之, 山梨醇含量最低。相关性分析表明杏仁甜苦性状与苦杏仁苷和葡萄糖呈极显著正相关性。主成分分析结果表明总糖、甜度值、蔗糖、苦杏仁苷等因子会影响杏仁甜苦。通过聚类分析将样本聚为 IV 类, 第 I 类杏仁的苦杏仁苷含量极高, 第 II 类杏仁的总糖、蔗糖、棉子糖和甜度值高, 第 III 类杏仁的苦杏仁苷、总糖、蔗糖等含量中等, 第 IV 类杏仁的总糖、蔗糖、棉子糖等含量较低。筛选出总糖含量高、苦杏仁苷含量低、味甜的‘赛买提’、‘托乎提库都’和‘大黄杏’等可用于杏仁加工的种质。

**关键词:** 杏仁, 气相色谱-质谱联用, 高效液相色谱, 苦杏仁苷, 糖组分

中图分类号: S662.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)21-0293-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022110259



本文网刊:

## Identification of Sweet/Bitter Traits of Apricot Kernel in Southern Xinjiang Based on GC-MS and Organoleptic Evaluation

XING Yage<sup>1,2</sup>, HUANG Xue<sup>1,2</sup>, FAN Guoquan<sup>3</sup>, WANG Yatong<sup>3</sup>, ZHANG Hongyan<sup>4</sup>, GUO Ling<sup>1,2,\*</sup>

(1.College of Horticulture and Forestry, Tarim University, Alaer 843300, China;

2.Xinjiang Production and Construction Corps Key Laboratory of Biological Resources Protection and Utilization in Tarim Basin, Tarim University, Alaer 843300, China;

3.National Frui Germ plasm Resources Garden of Xinjiang Academy of Agricultural Sciences in Luntai, Bayingol Mongolian Autonomous Prefecture 841600, China;

4.College of Horticulture and Forestry Sciences, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** In order to identify the sweet and bitter identification indicators of almonds, and provide theoretical basis for almond breeding and deep processing. 88 apricot kernels from southern Xinjiang were used as experimental materials. The content of amygdalin and sugar composition were determined by high performance liquid chromatography and gas

收稿日期: 2022-11-25

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFD1000600); 国家自然科学基金项目(32160694, 31760560); 科研条件项目(TDZKKY202204)。

作者简介: 邢雅阁(1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 园艺植物种质资源研究, E-mail: 1340524103@qq.com。

\* 通信作者: 郭玲(1974-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 园艺植物种质资源研究, E-mail: glzky@163.com。

chromatography mass spectrometry. The results showed that amygdalin was contained in all apricot kernels, and the content ranged from 0.945 mg/g to 36.055 mg/g, the average was 6.236 mg/g and the variation was 118.289%. 69 samples were sweet kernel. Meanwhile the amygdalin content were detected ranging from 0.945 mg/g to 12.148 mg/g, and the amygdalin of 19 samples were detected 10.205 mg/g to 36.055 mg/g. A total of 7 kinds types sugar were detected and sucrose content was the highest, followed by raffinose, and sorbitol content was the lowest. The sweet/bitter kernels was related to content of amygdalin and glucose. The total sugars, sweetness value, sucrose, amygdalin and other factors could affect sweetness/bitterness kernels by principal component analysis. 88 samples were clustered into class IV by cluster analysis. The class I was extremely high amygbin content, the class II was high total sugar, sucrose, raffinose and sweetness value, the class III was medium amygbin, total sugar and sucrose content, while class IV was low total sugar, sucrose and raffinose content. In conclusion, 'Saimaiti', 'Tuohutikudou' and 'Da huang xing' with high total sugar content, low amygdalin and sweet taste were selected for apricot kernels processing.

**Key words:** apricot kernel; gas chromatography mass spectrometry; high performance liquid chromatography; amygdalin; sugar composition

杏(*Prunus armeniaca* L.)是世界温带地区种植最广泛的核果类果树之一<sup>[1]</sup>。新疆作为杏重要的起源中心<sup>[2]</sup>,在长期实生繁殖和自然及人为选择条件下,形成了南疆丰富的杏种质资源<sup>[3]</sup>。南疆杏种植面积 8.98 万 hm<sup>2</sup>,年产量 7.80×10<sup>5</sup> t,面积和产量均位居全国首位<sup>[4]</sup>,其果实酸甜可口,多数种仁味甜可食,富含脂肪酸、氨基酸、矿质元素和多酚等多种营养成分<sup>[5-8]</sup>,具有低胆固醇和抗氧化性能<sup>[9]</sup>。但有些杏仁因呈现苦味被直接丢弃,造成杏种仁资源大量浪费,因此,鉴定杏仁甜苦在种质鉴定中显得尤为重要。

甜苦性状和苦杏仁苷含量是评价杏仁品质和商品性的重要指标<sup>[10]</sup>。《中国果树志·杏卷》将杏仁的仁味性状划分为甜和苦<sup>[11]</sup>,其甜苦由苦杏仁苷含量决定<sup>[12-13]</sup>,受 *CYP79D16* 和 *CYP71AN24* 基因控制<sup>[14]</sup>。苦杏仁苷含量与基因型密切相关<sup>[15]</sup>,Femenia 等<sup>[16]</sup>研究表明苦杏仁的苦杏仁苷含量为 55 mg/g,在甜杏仁中未检测到;Karsavuran 等<sup>[12]</sup>测定 13 个杏品种的苦杏仁苷含量发现,苦仁品种的平均含量为 26±14 mg/g,甜仁品种的平均含量为 0.16±0.09 mg/g,苦杏仁中的苦杏仁苷含量显著高于甜杏仁。苦仁通常被用作医药<sup>[7,17]</sup>、化妆品<sup>[9]</sup>和生物燃料<sup>[18]</sup>等行业的原材料,甜仁常直接被食用或被用到食品加工中<sup>[19]</sup>。杏仁的苦味主要源于氰苷的积累<sup>[20]</sup>,而甜味则与糖类物质含量及种类有关,杏仁中糖类物质含量较高,是使杏仁成为加工业可行副产品的最佳途径。Mesarović 等<sup>[21]</sup>测定了 70 个品种杏仁中 22 种糖的含量,结果表明杏仁中的糖主要是蔗糖、果糖和葡萄糖。苦味对甜味有一定的抑制作用,糖类化合物含量和苦杏仁苷含量的相互作用可能会影响杏仁的风味,因此,对

杏仁甜苦程度需要进行细化分级,甜苦性状评价还需不断完善。目前,可以通过近红外光谱实现对甜苦杏仁的快速鉴定<sup>[22]</sup>,但实际生产中普遍利用感官评价鉴定杏仁甜苦。本研究采用气相色谱-质谱联用技术和高效液相色谱法对新疆农业科学院轮台国家果树资源圃和阿拉尔地区的 88 份杏仁中苦杏仁苷含量和糖组分进行测定,同时结合感官评价以探究其对杏仁甜苦的影响,以期为地方杏仁种质精准鉴定和利用提供科学理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

南疆成熟杏仁 88 份(见表 1),试材取自新疆农业科学院轮台国家果树资源圃(84°13'~85°25'E、41°05'~42°32'N,海拔为 950~1080 m,年降水量 52 mm,年均气温 10.6℃,该地区降水量少,蒸发量大,日照时间长,昼夜温差大)和阿拉尔地区(80°30'~81°58'E,40°22'~40°57'N,海拔 900~950 m,年降水量 50 mm,年均气温 10.7℃,温带大陆性气候)。每个品种选择一株健康试验树,待其果实完全成熟进行采样,于每株树的树冠外围东、西、南、北 4 个方位各采 10 个果实,共计 40 个果实,放置冰盒带回实验室后立即将果实全部剥去果肉,杏核放置干燥阴凉处自然风干,每隔 2 h 翻动一次,使其干燥均匀。将完全晾干的杏核取出杏仁,并于-40℃冰箱保存备用;甲醇(色谱纯)、乙腈(色谱纯)、苦杏仁苷标准品(纯度≥98%) 成都克洛玛生物科技有限公司;甲基三甲基硅烷基三氟乙酰胺(methyl-trimethyl-silyl-trifluoroacetamide, MSTFA)、盐酸甲氧胺、核糖醇(纯度 98% 以上)、果糖、葡萄糖、蔗糖、山梨醇、麦芽糖等分析纯 美国 Sigma 公司。

表 1 样本信息及感官甜苦性状

Table 1 Sample information and sweet/bitter characters

种名	种质	来源地	仁味	种名	种质	来源地	仁味	种名	种质	来源地	仁味	种名	种质	来源地	仁味
普通杏	2-5 极苦杏仁杏	阿拉尔	极苦	普通杏	赛买提	喀什	甜	普通杏	库买提	阿克苏	苦	普通杏	玛瑙杏	未知	苦
普通杏	苦杏仁杏	阿拉尔	极苦	普通杏	依力克大杏	未知	苦	普通杏	佳娜丽	和田	甜	普通杏	红玉杏	未知	苦
普通杏	白肉光杏	阿拉尔	甜	紫杏	叶城紫杏	阿克苏	甜	普通杏	阿克牙格勒克	喀什	甜	普通杏	银香白	未知	甜

续表 1

种名	种质	来源地	仁味	种名	种质	来源地	仁味	种名	种质	来源地	仁味	种名	种质	来源地	仁味
普通杏	梅杏	阿拉尔	苦	普通杏	晚熟黑叶杏	喀什	甜	普通杏	轮台小白杏	巴音郭楞	甜	普通杏	大果杏	未知	甜
普通杏	2-16 苦仁杏	阿拉尔	极苦	普通杏	早熟黑叶杏	喀什	甜	普通杏	伊犁阿克玉吕克	伊犁	甜	普通杏	阿克玉吕克	阿克苏	甜
普通杏	3-15 甜仁杏	阿拉尔	甜	普通杏	脆佳娜丽	和田	甜	普通杏	华县大接杏	未知	甜	普通杏	吾侯其	未知	苦
普通杏	麦黄杏	阿拉尔	甜	普通杏	阿克那瓦提	未知	甜	普通杏	大白油杏	阿克苏	甜	普通杏	洛浦红待克	和田	甜
普通杏	橄榄杏	阿拉尔	甜	普通杏	苏联8号	未知	甜	普通杏	奎克皮曼	喀什	甜	普通杏	串枝红	未知	甜
普通杏	晚熟毛杏	阿拉尔	极苦	普通杏	苏尔丹	巴音郭楞	苦	普通杏	卡巴克西米西	阿克苏	甜	普通杏	亚杏1号	未知	甜
普通杏	小白杏	阿拉尔	甜	普通杏	品种大树	未知	甜	普通杏	小树上干	喀什	甜	普通杏	托乎提库都	喀什	甜
普通杏	吊干杏	阿拉尔	甜	普通杏	一窝蜂	未知	甜	普通杏	克孜佳娜丽	阿克苏	甜	普通杏	卡巴克胡安娜	喀什	苦
普通杏	大黄杏	阿拉尔	甜	普通杏	苏联2号	未知	甜	普通杏	猪皮水杏	未知	苦	普通杏	TFL-3	未知	甜
普通杏	小黄杏	阿拉尔	甜	普通杏	雀斑杏	未知	甜	普通杏	2018伊-1	未知	甜	普通杏	黄其力干	阿克苏	甜
普通杏	冰糖毛杏	阿拉尔	甜	普通杏	木孜佳娜丽	和田	甜	普通杏	索格佳娜丽	巴音郭楞	甜	普通杏	赛来克玉吕克	阿克苏	甜
普通杏	大黄毛杏	阿拉尔	甜	普通杏	洛浦2号	和田	甜	普通杏	亚布拉克佳娜丽	未知	甜	普通杏	早熟佳娜丽	和田	甜
普通杏	303杏	阿拉尔	甜	普通杏	苏联4号	未知	甜	普通杏	黄口外	未知	甜	普通杏	黄肉油杏	喀什	甜
普通杏	早毛杏	阿拉尔	甜	普通杏	洛浦1号	和田	甜	普通杏	黄胡安娜	未知	甜	普通杏	大树上干	和田	甜
普通杏	青皮杏	未知	苦	普通杏	油杏	喀什	甜	普通杏	粗黑叶杏	喀什	苦	普通杏	晚熟佳娜丽	阿克苏	甜
普通杏	郭西玉吕克	和田	甜	普通杏	克孜玛伊桑	阿克苏	甜	普通杏	克孜达拉孜	阿克苏	甜	普通杏	二转子	未知	甜
普通杏	库尔勒托拥	巴音郭楞	甜	普通杏	特尔湾玉吕克	阿克苏	苦	普通杏	皮乃孜	和田	甜	普通杏	乔尔胖	喀什	甜
普通杏	木隆杏	阿克苏	甜	普通杏	早大油杏	未知	甜	普通杏	法国杏	未知	甜	紫杏	阿里瓦拉	阿克苏	苦
普通杏	张公园大接杏	未知	甜	普通杏	晚熟大黄杏	阿拉尔	甜	普通杏	早熟毛杏果	未知	极苦	普通杏	阿克达拉孜	阿克苏	甜

ISQ II 气相色谱-质谱联用仪(配有计算机质谱数据库 NIST05) 美国 Thermo 公司; 高效液相色谱仪(泵 20AD, 进样器 20AC, 检测器 SPD-M20A) 日本岛津; 冷冻离心机 H2100R 型 湘仪仪器有限公司; DTA-33 超声波清洗机 鼎泰(湖北)生化科技设备制造有限公司。

## 1.2 实验方法

1.2.1 杏仁感官评价 参照《杏种质资源数据标准和描述规范》<sup>[23]</sup> 对杏仁风味进行描述赋值: 1 甜, 2 苦。杏仁感官评价小组由从事杏资源研究的 10 名同学组成, 所有同学均无味觉障碍史。感官评价方法参考王尹叶<sup>[24]</sup> 的方法, 评价结果须至少 8 位评价人员意见一致才被接受。

### 1.2.2 苦杏仁苷的测定

1.2.2.1 苦杏仁苷标准溶液制备 分别以浓度为 6.25、12.5、25、50、100、200、400  $\mu\text{g/mL}$  苦杏仁苷标准溶液制作标准曲线, 在该浓度范围内进样量与峰面积呈现出良好的线性关系:  $Y=8.0089X-12.322$ ,  $R^2=0.9991$ 。

1.2.2.2 供试品溶液制备 以液氮磨碎四分法精确称取粉末 0.3 g, 溶解于 3 mL 的纯甲醇中, 涡旋混匀, 超声提取 30 min, 过夜浸提。取上清液 1 mL, 在 30  $^{\circ}\text{C}$  的温度条件下进行 4 h 的真空浓缩干燥处理, 再加入 80% 的乙腈溶液(体积比为: 乙腈: 水=80: 20) 1 mL, 以 13000 r/min 的转速离心 15 min, 取上清液(供试品溶液)进行测定。

1.2.2.3 色谱条件 采用高效液相色谱法测定苦杏仁苷的含量。色谱柱: Hypersil  $\text{C}_{18}$  柱(150.0 mm $\times$  4.6 mm, 5  $\mu\text{m}$ ); 流动相为乙腈: 水=80: 20(V: V); 检测波长 210 nm; 柱温为 30  $^{\circ}\text{C}$ ; 流速 1.0 mL/min; 进

样量 10  $\mu\text{L}$ ; 检测时长 6 min。苦杏仁苷含量测定采用外标法标准曲线定量, 公式如下:

$$X = \frac{(C - C_0) \cdot V \cdot N}{m}$$

式中: X 为样品中苦杏仁苷含量,  $\mu\text{m/g}$ ; C 为标准曲线中得到的待测液中苦杏仁苷浓度,  $\mu\text{g/mL}$ ;  $C_0$  为标准曲线中得到的空白液中苦杏仁苷浓度,  $\mu\text{g/mL}$ ; V 为试样提取液的体积, mL; N 为提取液的稀释倍数; m 为试样质量, g。

### 1.2.3 糖组分的分析测定

1.2.3.1 供试品溶液制备 参照 Roessner 等<sup>[25]</sup> 的方法, 并做适当修改。样品液氮速冻后磨碎, 四分法取充分磨碎的鲜样约 0.1 g, 加入 1500  $\mu\text{L}$  -20  $^{\circ}\text{C}$  预冷的甲醇(色谱纯, 至少提前 0.5 h 预冷), 摇匀后加入 150  $\mu\text{L}$  (0.2 mg/mL-水配制) 的核糖醇内标, 充分振荡至呈匀浆; 将样品置于超声清洗仪中 4  $^{\circ}\text{C}$  超声处理 15 min; 70  $^{\circ}\text{C}$  水浴孵育 15 min, 置于 -20  $^{\circ}\text{C}$  使溶剂冷凝 30 min; 4  $^{\circ}\text{C}$ , 5000 $\times$ g 离心 15 min; 吸取 100  $\mu\text{L}$  上清液于 1.5 mL 离心管中, 30  $^{\circ}\text{C}$  真空浓缩 2.5 h 至干燥后直接衍生化。

真空浓缩至干燥的样品加入 80  $\mu\text{L}$  的盐酸甲氧胺(白色晶体, 20 mg/mL 溶于吡啶), 37  $^{\circ}\text{C}$  于真空干燥箱中孵育 90 min 中; 再加 80  $\mu\text{L}$  MSTFA, 于真空干燥箱 37  $^{\circ}\text{C}$  孵育 30 min。12000 $\times$ g 离心 15 min, 取上清液 100  $\mu\text{L}$  用于 GC-MS 分析。

1.2.3.2 色谱条件 气相色谱质谱联用技术(Thermo, ISQ II) 的上样方法参照 Zhang 等<sup>[26]</sup> 作适当修改。采用 TR-5MS 毛细管柱(5% 苯基/甲基聚硅氧烷, 30 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25  $\mu\text{m}$ , Thermo Technologies), EI 离子源(70 eV), 扫描范围: 45~600 m/z, 进样口温

度: 230 ℃, 传输线温度: 250 ℃, 载气为高纯氮气(99.999%), 载气流量: 1.2 mL/min; 程序升温: 100 ℃开始, 保持 1 min, 以 3 ℃/min 升至 184 ℃, 0.5 ℃/min 升至 190 ℃ 保持 1 min, 15 ℃/min 升至 280 ℃ 保持 7 min; 分流比: 10:1; 自动上样, 进样量: 1 μL。

1.2.3.3 糖组分的定性和定量分析 糖组分的定性采用标准品验证结合 NIST2018 谱库检索和保留指数, 根据以下公式计算:

$$RI_x = 100 \times \left( Z + \frac{RT_x - RT_z}{RT_{z+1} - RT_z} \right)$$

式中,  $RI_x$  为糖组分的保留时间, min;  $RT_x$ 、 $RT_z$  和  $RT_{z+1}$  分别为 x、z 和 z+1 碳原子数的正构烷烃的保留时间, min; Z 为某一正构烷烃的碳原子数; 经色谱柱分析, 组分 x 的峰正好在正构烷烃碳原子数 Z 和 Z+1 之间。

采用内标法定量糖组分, 参照向思敏等<sup>[27]</sup>的方法做适当修改, 以核糖醇为内标, 找出各组分的峰面积, 再利用内标核糖醇的峰面积进行相对定量分析, 根据以下公式计算:

$$Wi = \frac{Cs \cdot Vs}{m} \cdot \frac{APi}{APs}$$

式中,  $Wi$  为待测糖组分的质量浓度, μg/mL;  $Cs$  为内标物的浓度, μg/mL;  $Vs$  为内标物加入的体积, μL;  $m$  为称取样品质量, g;  $APi$  为糖组分的峰面积;  $APs$  为内标物的峰面积。

甜度值参照姚改芳等<sup>[28]</sup>测定梨果实糖组分的计算方法, 甜度值=蔗糖含量×1.00+果糖含量×1.75+葡萄糖含量×0.70+山梨醇含量×0.40; 总糖=蔗糖+棉子糖+D-山梨醇+葡萄糖+果糖+麦芽糖+山梨醇。

### 1.3 数据处理

采用 Excel 2020 软件计算杏仁中总糖、甜度值等指标, 采用 SPSS 26.0 对苦杏仁苷和糖组分等指标进行相关性分析、主成分分析及聚类分析等, 应用 Origin 2022 软件进行图表绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 感官评价杏仁甜苦

所测定的 88 份新疆杏仁中(见表 1), 69 份杏仁评价为甜仁, 占调查总数的 78.409%; 19 份杏仁评价为苦仁(包含极苦仁), 占调查总数的 21.591%, 由此表明, 甜仁性状是新疆地方杏的优势性状。

### 2.2 新疆杏仁苦杏仁苷含量分布特性

对 88 份新疆杏仁的苦杏仁苷含量进行了测定分析, 结果如图 1 和表 2 所示, 其含量范围分布在 0.945~36.055 mg/g 之间, 均值为 6.236 mg/g, 变异系数为 118.289%, ‘2-5 极苦仁’含量最高, ‘大树上干’含量最低。19 份苦杏仁的苦杏仁苷含量分布范围为 10.205~36.055 mg/g, 平均含量为 19.047 mg/g, 变异系数为 29.223%, 69 份甜杏仁的苦杏仁苷含量分布范围为 0.945~12.148 mg/g, 平均含量为 2.708 mg/g,

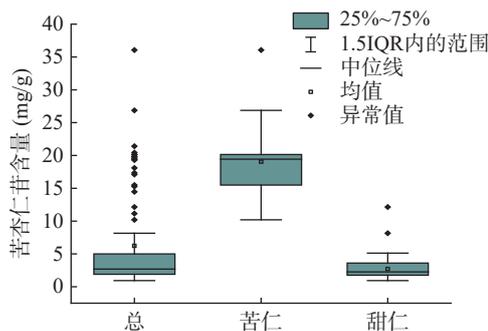


图 1 苦、甜仁及总样本的苦杏仁苷含量变化范围

Fig.1 Variation range of amygdalin content in bitter sweet kernel and total samples

表 2 杏仁中苦杏仁苷含量分析

Table 2 Content analysis of amygdalin in apricot seed kernels

样品	最大值(mg/g)	最小值(mg/g)	平均值(mg/g)	标准偏差	变异系数(%)
总	36.055	0.945	6.236	7.377	118.289
苦仁	36.055	10.205	19.047	5.566	29.223
甜仁	12.148	0.945	2.708	1.713	63.245

变异系数为 63.245%, 苦杏仁中含有的苦杏仁苷高于甜杏仁中的。样本中杏仁的苦杏仁苷含量达到 18 mg/g 以上占总数的 13.636%。苦杏仁苷/总糖的分布范围在 0.299~8.650 之间, ‘2-5 极苦仁杏’最大, 其次为‘2-16 苦仁杏’和‘苦杏仁’, ‘赛买提’比值最小。苦杏仁苷含量与总糖含量差值最大的是‘赛买提’, 其次为‘托乎提库都’和‘大黄杏’。此外, 感官评价结果分析, ‘2-5 极苦仁’和‘2-16 苦仁杏’仁味均为极苦, 且‘2-5 极苦仁’的苦杏仁苷含量最高, ‘2-16 苦仁杏’次之, ‘大树上干’和‘早毛杏’仁味均为甜, 且苦杏仁苷含量极低, 因此, 感官评价可以直接鉴定杏仁甜苦, 为测定苦杏仁苷含量提供一定参考。

### 2.3 新疆杏仁糖组分含量分布特性

在 88 份新疆杏仁中共检测到 7 种糖组分, 分布情况如图 2 和表 3 所示, 其糖组分含量为蔗糖>棉子糖>D-山梨醇>葡萄糖>果糖>麦芽糖>山梨醇, 中间值排列顺序与糖组分一致, 变异系数为果糖>D-山梨醇>山梨醇>葡萄糖>麦芽糖>棉子糖>总糖>蔗糖, 变异系

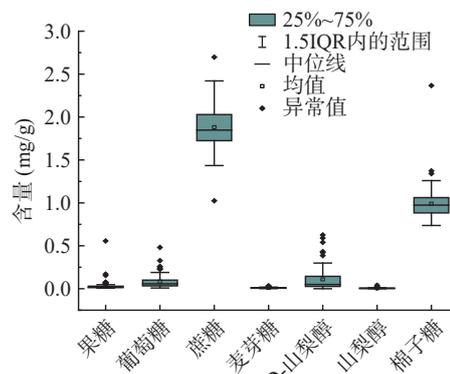


图 2 杏仁糖组分含量变化范围及分布

Fig.2 Variation range and distribution of sugar component in apricot seeds kernels

表 3 杏仁中糖类化合物含量多样性分析

Table 3 Diversity analysis of carbohydrate compounds content in apricot kernels

成分	最大值 (mg/g)	最小值 (mg/g)	平均值 (mg/g)	标准偏差	变异系数 (%)
果糖+	0.557	0.007	0.032	0.062	193.070
葡萄糖+	0.481	0.008	0.082	0.078	94.702
蔗糖+	2.697	1.025	1.881	0.261	13.886
麦芽糖+	0.033	0.002	0.009	0.006	65.062
D-山梨醇	0.626	-	0.109	0.131	119.869
山梨醇	0.041	-	0.006	0.006	95.356
棉子糖	2.366	0.737	0.990	0.200	20.163
总糖	4.802	2.298	3.110	0.436	14.011
甜度值	3.391	1.077	1.997	0.320	16.015
苦杏仁苷	36.055	0.945	6.236	7.377	118.289

注: “+”表示标品验证, “-”表示未检出。

数越大, 说明杏仁中各组分含量相差越大且分布分散, 反之则说明含量相近且分布集中。

2.3.1 总糖及甜度值 新疆杏仁中总糖含量及甜度值的分布情况如图 3 和表 3 所示, 总糖的分布范围为 2.298~4.802 mg/g, 平均值为 3.110 mg/g, 中间值为 3.038 mg/g, 变异系数为 14.011%, 表明不同品种间杏仁总糖含量相近, 此外, 杏仁的总糖含量多集中在 2.500~3.700 mg/g 之间, 占总数的 92.045%, 其中‘紫杏’的总糖含量最高, ‘大树干’的总糖含量最低; 甜度值与总糖的变化趋势较为相似, 其主要分布范围为 1.077~3.391, 平均值为 1.997, 变异系数为 16.015%, 有 76.136% 的杏仁甜度值主要集中在 1.700~2.300 之间, 以‘紫杏’的甜度值最高, ‘雀斑杏’的甜度值最低。

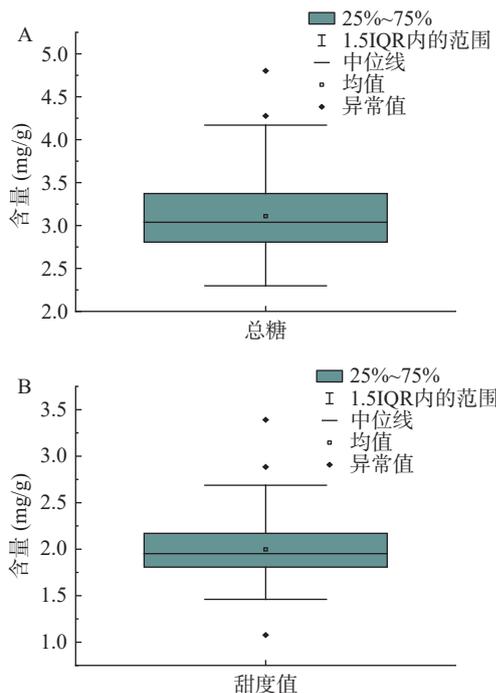


图 3 杏仁的总糖和甜度值的含量分布范围

Fig.3 Distribution range of total sugar and sweetness values in seed kernels

2.3.2 蔗糖 样本中杏仁糖组分含量分布如图 2 和表 3 所示, 杏仁中的糖以蔗糖为主, 其分布范围为 1.025~2.697 mg/g, 均值为 1.881 mg/g, 中间值为 1.848 mg/g, 占总糖含量的 60.693%, 且变异系数最小, 为 13.886%, 说明杏仁中蔗糖含量分布较为集中且差异不大。以‘2-5 极苦仁杏’含量最高, ‘雀斑杏’含量最低。此外, 54.545% 杏仁的蔗糖含量分布在 1.8 mg/g 以上, 该组分含量高于棉子糖、D-山梨醇、葡萄糖等 6 种糖组分。

2.3.3 棉子糖、D-山梨醇及葡萄糖 样本中杏仁的棉子糖含量仅次于蔗糖含量, 其分布范围为 0.737~2.366 mg/g, 均值为 0.990 mg/g, 中间值为 0.974 mg/g, 变异系数为 20.163%。‘库买提’含量最高, ‘紫杏’含量最低, 88.636% 杏种质的棉子糖含量分布在 0.800 mg/g 以上; D-山梨醇含量位居第三, 其分布范围为未检测出~0.626 mg/g, 均值为 0.109 mg/g, 中间值为 0.050 mg/g, 变异系数为 119.869%, 其中, 以‘阿里瓦拉’含量最高, ‘苏联 4 号’未检测出该组分, 不同种质间含量相差较大; 葡萄糖的分布范围为 0.008~0.481 mg/g, 均值为 0.082 mg/g, 中间值为 0.057 mg/g, 变异系数为 94.702%, 其中, ‘猪皮水杏’含量最高, ‘轮台小白杏’含量最低。此外, 苦仁葡萄糖的平均含量为 0.130 mg/g, 甜仁葡萄糖的平均含量为 0.069 mg/g。

2.3.4 果糖、麦芽糖及山梨醇 样本中果糖、麦芽糖和山梨醇含量在杏仁中含量较低, 果糖的分布范围为 0.007~0.557 mg/g, 均值为 0.032 mg/g, 中间值为 0.019 mg/g, 变异系数为 193.070%, 以‘紫杏’含量最高, ‘粗黑叶杏’含量最低; 麦芽糖的分布范围为 0.002~0.033 mg/g, 均值为 0.009 mg/g, 中间值为 0.008 mg/g, 变异系数为 65.062%, 以‘卡巴克西米西’含量最高, ‘大黄杏’含量最低; 山梨醇含量最低, 其分布范围为未检测出~0.041 mg/g, 均值为 0.006 mg/g, 中间值为 0.005 mg/g, 变异系数为 95.356%, 以‘阿里瓦拉’含量最高, 在‘卡巴克西米西’中未检测到该组分。

此外, 样本中除‘雀斑杏’的棉子糖含量最高以外, 其余 87 份杏仁均以蔗糖含量最高, 表明新疆杏仁为蔗糖积累型, 同时也是影响杏仁总糖含量的主要糖类。

2.4 相关性分析

新疆杏仁糖组分与苦杏仁苷之间表现出一定关联性, 通过相关性分析可在考察单一指标的同时兼顾其它关联指标的变化。图 4 中从蓝色到红色的颜色分别代表从低到高的相关系数, 反映了不同指标之间相关性的差异。结果表明, 苦杏仁苷与葡萄糖之间呈极显著 ( $P < 0.01$ ) 正相关性, 与总糖、棉子糖均呈显著 ( $P < 0.05$ ) 正相关性。总糖与果糖、葡萄糖、蔗糖、D-山梨醇、山梨醇、棉子糖和甜度值之间均呈极显著 ( $P < 0.01$ ) 正相关, 其中与甜度值的相关性最强, 相关系数高达 0.870, 与蔗糖相关性次之, 相关系数为

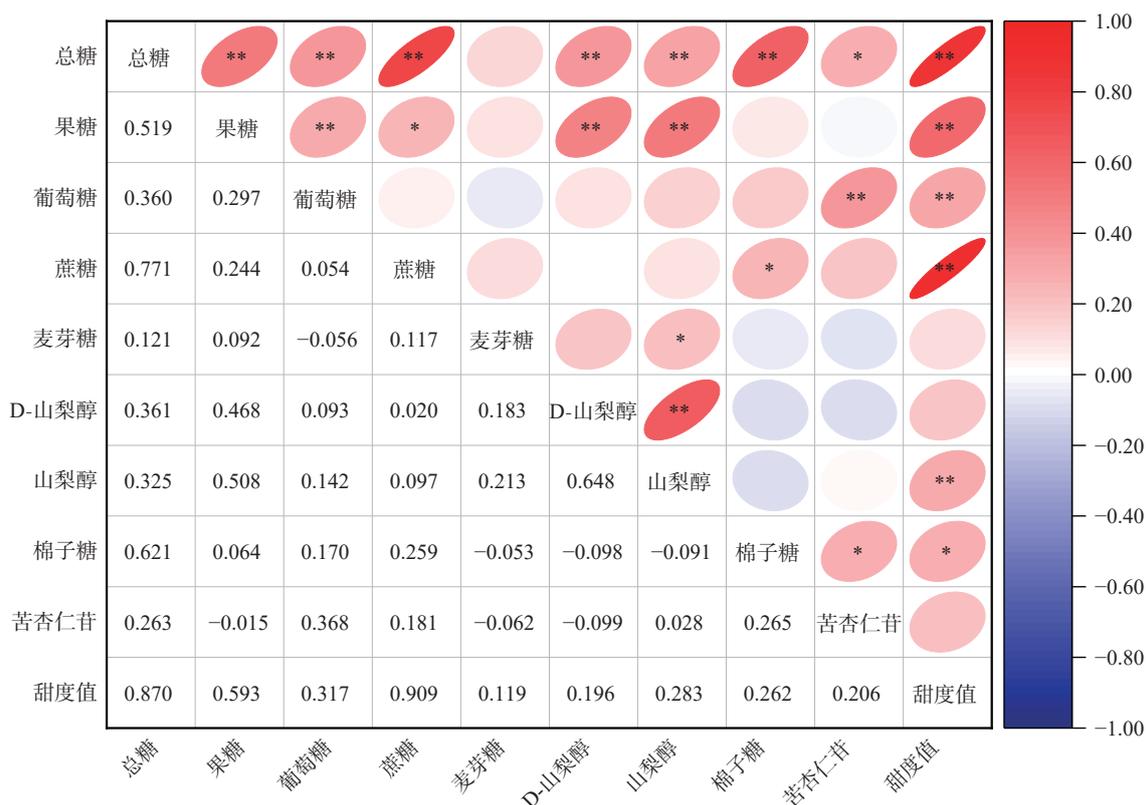


图4 88种南疆杏仁化合物的相关性热图

Fig.4 Correlation heat map of flavor compounds of 88 apricot seed kernels in southern Xinjiang

注: \*表示  $P < 0.05$ , \*\*表示  $P < 0.01$ 。

0.771, 与苦杏仁苷之间呈显著 ( $P < 0.05$ ) 正相关性。蔗糖与甜度值、总糖呈极显著 ( $P < 0.01$ ) 正相关性, 与果糖、棉子糖呈显著 ( $P < 0.05$ ) 正相关性。棉子糖与总糖呈极显著 ( $P < 0.01$ ) 正相关性, 与蔗糖、苦杏仁苷和甜度值之间呈显著 ( $P < 0.05$ ) 正相关性。山梨醇与总糖、D-山梨醇、果糖和甜度值之间呈极显著 ( $P < 0.01$ ) 正相关性, 与麦芽糖呈显著 ( $P < 0.05$ ) 正相关性。果糖与总糖、葡萄糖、D-山梨醇、山梨醇和甜度值之间呈极显著 ( $P < 0.01$ ) 正相关性, 与蔗糖呈显著 ( $P < 0.05$ ) 正相关性。甜度值与蔗糖、总糖、果糖、葡萄糖、山梨醇呈极显著 ( $P < 0.01$ ) 正相关性, 与蔗糖相关性最强, 相关系数为 0.909, 与棉子糖呈显著 ( $P < 0.05$ ) 正相关性。

### 2.5 主成分分析

对 88 份南疆杏仁的糖类各组分和苦杏仁苷含量进行了主成分分析(见表 4), 前 5 个主成分的累计方差贡献率为 85.849%。PC<sub>1</sub> 特征值最大, 为 3.691, 方差贡献率为 36.911%, 总糖、甜度值和蔗糖的载荷值较高, 说明 PC<sub>1</sub> 可能表征杏仁的主要甜味物质; PC<sub>2</sub> 特征值为 1.922, 方差贡献率为 19.221%, 累计方差贡献率为 56.132%, D-山梨醇和山梨醇的载荷值较高, 说明 PC<sub>2</sub> 可能与杏仁的甜味物质有关; PC<sub>3</sub> 特征值为 1.245, 方差贡献率为 12.449%, 累计方差贡献率为 68.581%, 葡萄糖和苦杏仁苷的载荷值较高; PC<sub>4</sub> 特征值为 0.912, 方差贡献率为 9.123%, 累计方差贡献率为 77.704%, 麦芽糖和棉子糖的载荷值较

表 4 88 种南疆杏仁糖组分和苦杏仁苷因子载荷矩阵、方差贡献率及初始特征值

Table 4 Marzipan component and amygdalin factor loading matrix, variance contribution rate and initial eigenvalue in 88 apricot seed kernels of southern Xinjiang

指标	PC <sub>1</sub>	PC <sub>2</sub>	PC <sub>3</sub>	PC <sub>4</sub>	PC <sub>5</sub>
总糖	0.495	-0.136	-0.072	-0.023	0.218
果糖	0.357	0.288	0.113	-0.268	-0.062
葡萄糖	0.224	-0.103	0.618	0.087	-0.257
蔗糖	0.387	-0.237	-0.432	-0.064	-0.275
麦芽糖	0.096	0.233	-0.333	0.847	-0.019
D-山梨醇	0.230	0.517	0.127	-0.028	0.267
山梨醇	0.260	0.483	0.166	0.072	0.072
棉子糖	0.217	-0.398	0.055	0.778	0.778
苦杏仁苷	0.153	-0.326	0.461	-0.203	-0.203
甜度值	0.477	-0.109	-0.208	-0.289	-0.289
特征值	3.691	1.922	1.245	0.912	0.814
方差贡献率(%)	36.911	19.221	12.449	9.123	8.144
累计方差贡献率(%)	36.911	56.132	68.581	77.704	85.849

高; PC<sub>5</sub> 特征值为 0.814, 方差贡献率为 8.144%, 累计方差贡献率为 85.849%, 棉子糖的载荷值最高。因此, 总糖、甜度值、蔗糖、苦杏仁苷等因子是影响杏仁产生甜苦的原因。

利用总糖、糖组分、甜度值和苦杏仁苷作为不同维度绘制主成分散点图(见图 5), 前 3 个主成分的累计方差贡献率已达到了 68% 以上, 表明这三个主成分可以代表其它指标进行分析。由图 5A 可知, 糖组

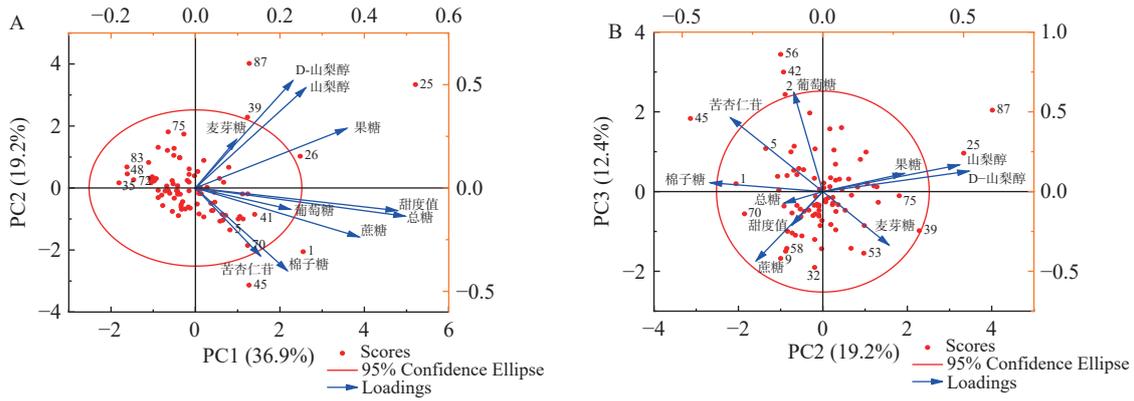


图 5 88 种新疆杏仁糖组分和苦杏仁苷含量主成分值散点图

Fig.5 Scatter plot of principal component values of marzipan fractions and amygdalin contents in 88 apricot seed kernels southern Xinjiang

分、总糖、甜度值和苦杏仁苷的载荷值方向均靠近  $PC_1$  轴正方向, 说明以上指标与  $PC_1$  均存在正相关关系, 其中总糖、甜度值、蔗糖和果糖等指标载荷值较大, 说明对  $PC_1$  的影响程度较深; 由图 5B 可知, D-山梨醇、山梨醇、果糖和麦芽糖均位于  $PC_2$  轴的正方向且 D-山梨醇和山梨醇的载荷值较大, 说明这 4 种糖组分与  $PC_2$  存在正相关关系, 而棉子糖、苦杏仁苷和蔗糖等指标位于  $PC_2$  轴的反方向, 说明与  $PC_2$  存在负相关关系, 另外, 葡萄糖、苦杏仁苷位于  $PC_3$  轴的正方向且载荷值较大, 说明对  $PC_3$  的影响

程度较深, 总糖、甜度值、蔗糖和麦芽糖分别位于  $PC_3$  的负轴, 说明与  $PC_3$  存在负相关关系。

### 2.6 聚类分析

88 份新疆杏仁材料根据 7 种糖组分和苦杏仁苷含量通过聚类分析可聚为 IV 类(见图 6)。第 I 类包括 4 份杏仁材料, 主要特征为苦杏仁苷含量极高, 蔗糖、葡萄糖、总糖、棉子糖和甜度值较高, D-山梨醇、山梨醇含量极低; 第 II 类包括 38 份杏仁材料, 主要特征为总糖、蔗糖、棉子糖和甜度值较高, 苦杏仁苷、麦芽糖含量较低; 第 III 类主要包括 23 份杏仁材

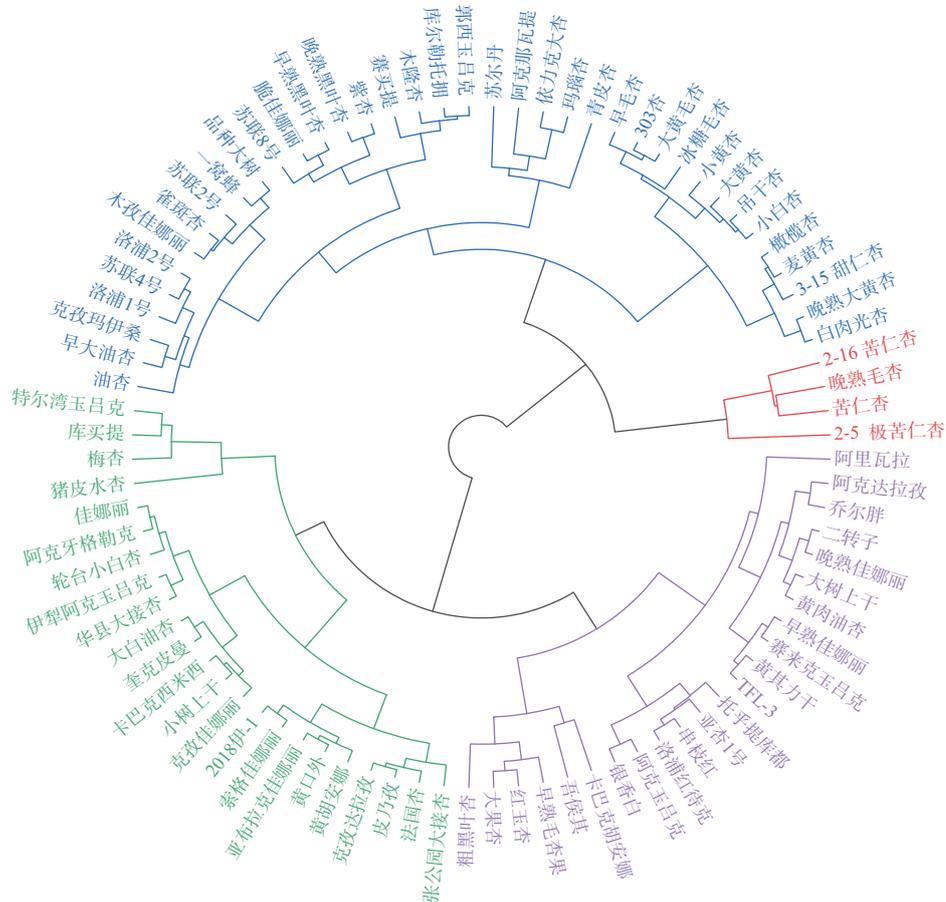


图 6 88 种新疆杏仁糖组分系统聚类分析

Fig.6 Systematic cluster analysis of marzipan components in southern Xinjiang of 88 apricot seed kernels

料,主要特征为苦杏仁苷、总糖、蔗糖、葡萄糖、麦芽糖、棉子糖含量中等,D-山梨醇、山梨醇含量极低;第IV类包括23份杏仁材料,主要特征为D-山梨醇、山梨醇含量高,苦杏仁苷含量中等,总糖、蔗糖、葡萄糖、棉子糖和甜度值等含量较低。

### 3 讨论与结论

苦杏仁苷含量是区分甜杏仁和苦杏仁的主要依据。有研究对70份新疆南部地区杏种质中有42份杏仁的苦杏仁苷含量为0.002 mg/g~3.778 mg/g,28份杏仁未检出苦杏仁苷或其含量低于0.002 mg/g<sup>[29]</sup>,本研究测定发现88份新疆杏仁均含有苦杏仁苷,平均含量为6.236 mg/g,并通过感官评价结果表明69份杏仁具有甜味,平均苦杏仁苷含量为2.708 mg/g,19份杏仁具有苦味,其平均苦杏仁苷含量为19.047 mg/g,这一结果均低于Yildirim等<sup>[30]</sup>研究的土耳其杏仁中苦杏仁苷的平均含量(苦杏仁55.59 mg/g,甜杏仁8.61 mg/g)和黄雪<sup>[10]</sup>测定的伊犁野生杏仁平均苦杏仁苷含量,产生该差异可能是地理生态环境导致的,也可能是基因型的选择对苦杏仁苷含量的影响<sup>[31]</sup>。因此,苦杏仁苷含量的定量分析对研究杏仁甜苦性状十分重要。‘2-5极苦仁’和‘2-16苦仁杏’的仁味均为极苦,苦杏仁苷含量高,分别为36.055、26.868 mg/g,‘大树主干’和‘早毛杏’仁味均为甜,苦杏仁苷含量极低,表明苦杏仁中的苦杏仁苷含量明显高于甜杏仁中,但仅从感官评价会有失客观,对于有些甜杏仁中的苦味物质可能被其他化合物所掩盖<sup>[32]</sup>,如“阿克那瓦提”(苦杏仁苷含量为12.148 mg/g)甜味类型比“阿里瓦拉”(10.205 mg/g)和“吾侯其”(11.148 mg/g)轻度苦味具有更高的苦杏仁苷含量。因此,有待构建杏仁不同程度的甜、苦味鉴定分级标准,对杏仁的感官评价很有必要。此外,本研究表明甜仁为新疆地区的优势性状,与徐乐<sup>[33]</sup>和图尔荪古丽<sup>[34]</sup>的研究结果一致,说明人类最初由野生杏驯化为栽培杏的过程中,在选择优良性状上具有一定的偏好性。

杏仁中糖含量是影响杏仁品质的重要指标,高含量的糖可以不同程度影响感官评价结果。糖类物质是杏仁中最主要的初级代谢产物,本研究从88份新疆杏仁中共检测出7种糖组分,蔗糖含量最高,为主要糖类物质,棉子糖次之,山梨醇含量最低,其中,仅有“雀斑杏”的棉子糖含量最高,其余87份杏仁均以蔗糖含量最高,表明蔗糖为新疆杏仁主要糖积累类型,与Alpaslan等<sup>[35]</sup>和Mesarović等<sup>[21]</sup>研究结果相近,而新疆杏仁的糖含量则以棉子糖、D-山梨醇和葡萄糖含量较高,这些差异可能与种质特征、糖积累方式及外界环境等多种因素有关。苦杏仁中葡萄糖的平均含量(0.130 mg/g)显著高于甜杏仁(0.069 mg/g),均低于蔗糖含量,与Farg等<sup>[36]</sup>通过研究不同土壤条件的杏品种,沙土土壤条件下具有轻微苦味的果实检测到的葡萄糖含量最低为67.1 mg/g,在甜杏仁中葡萄糖含量仅为0.51 mg/g,显著低于蔗糖(10.78 mg/g)

的这一结论相近。此外,有研究表明随着海拔高度升高,杏果实中糖组分和干物质含量不断增高<sup>[37]</sup>,但对杏仁中苦杏仁苷含量无影响<sup>[31]</sup>,有待进一步研究苦杏仁苷在新疆杏仁中的积累。

杏仁甜苦是苦杏仁苷与糖类化合物共同作用的结果。通过相关性分析可知苦杏仁苷与葡萄糖之间呈极显著正相关性,与总糖和棉子糖之间呈显著正相关性,蔗糖与甜度值、总糖呈极显著正相关,与果糖、棉子糖呈显著正相关,说明杏仁甜苦与苦杏仁苷和葡萄糖有关,与图尔荪古丽<sup>[34]</sup>研究结果一致。聚类分析依据糖组分和苦杏仁苷含量将88份新疆杏仁划分为IV类,第I类杏仁的苦杏仁苷含量极高,第II类杏仁的总糖、蔗糖、棉子糖和甜度值高,第III类杏仁的苦杏仁苷、总糖、蔗糖等均为中等,第IV类杏仁的总糖、蔗糖、棉子糖等含量较低,其聚类结果一定程度上反映出糖组分和苦杏仁苷含量在不同种质中存在差异。采用GC-MS、高效液相色谱法和感官评价从苦杏仁苷和糖组分含量精准解析杏仁甜苦,也可通过构建杏种质苦杏仁苷光谱数据库,快速无损鉴定种仁甜苦及其苦杏仁苷的含量,为杏仁鉴定分类提供理论依据与技术支持。

### 参考文献

- [1] DINESH K, SINGH D B, SRIVASTAVA K K, et al. Performance of apricot varieties/genotypes in north western himalayan region of India[J]. *Saarc Journal of Agriculture*, 2017, 14(2): 107-116.
- [2] LI W W, LIU L Q, WANG Y N, et al. Genetic diversity, population structure, and relationships of apricot (*Prunus*) based on restriction site-associated DNA sequencing[J]. *Horticulture Research*, 2020, (7): 69.
- [3] 孙家正, 张大海, 张艳敏, 等. 新疆栽培杏品种杏仁油脂脂肪酸组成及其遗传多样性[J]. *园艺学报*, 2011, 38(2): 251-256. [SUN J Z, ZHANG D H, ZHANG Y M, et al. Genetic diversity and constituents of fatty acid in almond oil in southern Xinjiang apricot cultivars[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2011, 38(2): 251-256.]
- [4] 新疆维吾尔自治区统计局, 国家统计局新疆调查总队. 新疆统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021: 321-334. [Statistic Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Xinjiang Survey Team, National Bureau of Statistics. Xinjiang statistical yearbook [M]. Beijing: China Statistical Publishing House, 2021: 321-334.]
- [5] FAHAD Y A, GHAFOR K, ÖZCAN M M, et al. Phenolic compounds, antioxidant activity and fatty acid composition of roasted alyanak apricot kernel[J]. *Journal of Oleo Science*, 2021, 70(5): 1-7.
- [6] HRICHI S, RIGANO F, RAJA C B, et al. Identification of fatty acid, lipid and polyphenol compounds from *Prunus armeniaca* L. kernel extracts[J]. *Foods*, 2020, 9(7): 896.
- [7] JAAFAR H J. Effects of apricot and apricot kernels on human health and nutrition: A review of recent human research[J]. *Technium BioChemMed*, 2021, 2(2): 139-162.
- [8] 黄雪, 韩爱芝, 图尔荪古丽·吾拉伊木, 等. 新疆新疆杏核心种质种仁氨基酸比较分析[J]. *华中农业大学学报*, 2021, 40(4): 133-140. [HUANG X, HAN A Z, TUERSUNGULI W, et al. Comparison and analysis of amino acids in kernel of apricot core germplasm in southern Xinjiang[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*

- ty, 2021, 40(4): 133–140.]
- [ 9 ] CHEN Y S, ALGHAMDI A A, ELSHIKH M S, et al. Phytochemical profiling, antioxidant and HepG2 cancer cells' antiproliferation potential in the kernels of apricot cultivars[J]. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2020, 27(1): 163–172.
- [ 10 ] 黄雪. '小白杏'基因组与甜仁选择驯化研究[D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2022. [ HUANG X. Study on the genome of 'Xiaobaixing' and sweet kernel selection for domestication[D]. Alaer: Tarim University, 2022. ]
- [ 11 ] 张加延, 张钊. 中国果树志·杏卷[M]. 北京: 中国林业出版社, 2003: 590–597. [ ZHANG J Y, ZHANG Z. China fruit tree journal apricot roll[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2003: 590–597. ]
- [ 12 ] KARSAVURAN N, CHAREHSAZ M, CELIK H, et al. Amygdalin in bitter and sweet seeds of apricots[J]. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 2014, 96(10): 1564–1570.
- [ 13 ] KRAFFT C, CERVELLATI C, PAETZ C, et al. Distribution of amygdalin in apricot (*Prunus armeniaca*) seeds studied by raman microscopic imaging[J]. *Applied Spectroscopy*, 2012, 66(6): 644–649.
- [ 14 ] YAMAGUCHI T, YAMAMOTO K, ASANO Y. Identification and characterization of *CYP79D16* and *CYP71AN24* catalyzing the first and second steps in L-phenylalanine-derived cyanogenic glycoside biosynthesis in the Japanese apricot, *Prunus mume* Sieb. et Zucc. [J]. *Plant Molecular Biology*, 2014, 86: 215–223.
- [ 15 ] RAI I, BACHHETI R K, SAINI C K, et al A review on phytochemical, biological screening and importance of Wild Apricot (*Prunus armeniaca* L.)[J]. *Oriental Pharmacy and Experimental Medicine*, 2016, 16(1): 1–15.
- [ 16 ] FEMENIA A, ROSSELLO C, MULET A, et al. Chemical composition of bitter and sweet apricot kernels. [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1995, 43(2): 356–361.
- [ 17 ] YASAMAN V M, ELAHE K R, AKBARZADEH T, et al. Anti-cholinesterase and neuroprotective activities of sweet and bitter apricot kernels (*Prunus armeniaca* L.)[J]. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 2020, 19(4): 216–224.
- [ 18 ] GORNA P, RAMOS M J, MONTANO M C, et al. Fruit pits recovered from 14 genotypes of apricot (*Prunus armeniaca* L.) as potential biodiesel feedstock[J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2018, 120(2): 1700147.
- [ 19 ] MANSOOR A A, AARTI B, MANSURI M, et al. Apricot kernel: Bioactivity, characterization, applications, and health attributes[J]. *Foods*, 2022, 11(15): 2184.
- [ 20 ] DENG P, CUI B, ZHU H L, et al. Accumulation pattern of amygdalin and prunasin and its correlation with fruit and kernel agronomic characteristics during apricot (*Prunus armeniaca* L.) kernel development[J]. *Foods*, 2021, 10(2): 397.
- [ 21 ] MESAROVIĆ J, TRIFKOVIĆ J, TOSTI T, et al. Relationship between ripening time and sugar content of apricot (*Prunus armeniaca* L.) kernels[J]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2018, 40(8): 1–10.
- [ 22 ] HUANG X, XU J Y, GAO F, Rapid quantitative typing spectra model for distinguishing sweet and bitter apricot kernels[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2022, 31(9): 1123–1131.
- [ 23 ] 刘宁, 刘威生. 杏种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 20. [ LIU N, LIU W S. Descriptors and data standard for apricot[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2005: 20. ]
- [ 24 ] 王尹叶. 白酒中挥发性呈苦和/或涩味物质研究[D]. 无锡: 江南大学, 2018. [ WANG Y Y. A profile of the volatile compounds with bitter and/or astringent taste in baijiu (Chinese liquor) [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2018. ]
- [ 25 ] ROESSNER T U, HEGEMANN B, LYTOVCHENKO A, et al. Metabolic profiling of transgenic tomato plants overexpressing hexokinase reveals that the influence of hexose phosphorylation diminishes during fruit development[J]. *Plant Physiology*, 2003, 133: 84–99.
- [ 26 ] ZHANG X, RAGIN O, SMITH C J. Analysis of agricultural residues on tea using d-SPE sample preparation with GC-NCI-MS and UHPLC-MS/MS. [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2010, 58(22): 11553–11560.
- [ 27 ] 向思敏, 刘园, 王雪其, 等. 基于 HS-SPME-GC-MS 方法的不同倍性库尔勒香梨果实风味相关代谢物质的变化[J]. 华中农业大学学报, 2020, 39(1): 53–60. [ XIANG S M, LIU Y, WANG X Q, et al. Difference of fruit qualities between different ploidy Korla Pear based on HS-SPME-GC-MS analysis[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2020, 39(1): 53–60. ]
- [ 28 ] 姚改芳, 张绍铃, 曹玉芬, 等. 不同栽培种梨果实中可溶性糖组分及含量特征[J]. *中国农业科学*, 2010, 43(20): 4229–4237. [ YAO G F, ZHANG S L, CAO Y F, et al. Characteristics of components and contents of soluble sugars in pear fruits from different species [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(20): 4229–4237. ]
- [ 29 ] 黄雪, 图尔荪古丽·吾拉伊木, 郭玲. 新疆南部地区杏种核表型性状与苦杏仁苷含量分析[J]. *经济林研究*, 2020, 38(4): 143–151, 160. [ HUANG X, TUERSUNGULI W L Y M, GUO L. Phenotypic traits and amygdalin content of apricot seed kernels in southern Xinjiang[J]. *Non-wood Forest Research*, 2020, 38(4): 143–151, 160. ]
- [ 30 ] YILDIRIM F A, ASKIN M A. Variability of amygdalin content in seeds of sweet and bitter apricot cultivars in Turkey[J]. *African Journal of Biotechnology*, 2010, 9(39): 6522–6524.
- [ 31 ] NARYAL A, BHARDWAJ P, KANT A, et al. Altitude and seed phenotypic effect on amygdalin content in apricot (*Prunus armeniaca* L.) Kernel[J]. *Pharmacognosy Journal*, 2019, 11(2): 332–337.
- [ 32 ] DICENTA F, MARTINEZ G P, GRANE N, et al. Relationship between cyanogenic compound in kernels, leaves and roods of sweet and bitter kernelled almonds[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002, 50(7): 2149–2152.
- [ 33 ] 徐乐. 新疆轮台果树资源圃下中亚生态品种群杏的植物学特性频度分析[D]. 石河子: 石河子大学, 2019. [ XU L. The botanical characteristics frequency distribution of apricot varieties in central asia ecological species group under the habitat of Luntai fruit resources nursery in Xinjiang[D]. Shihezi: Shihezi University, 2019. ]
- [ 34 ] 图尔荪古丽·吾拉伊木. 新疆南疆杏种质花粉特征及种仁品质研究[D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2021. [ TUERSUNGULI W L Y M. Study on palynology characteristics and kernel quality of apricot germplasm in southern Xinjiang[D]. Alaer: Tarim University, 2021. ]
- [ 35 ] ALPASLAN M, HAYTA M. Apricot kernel: Physical and chemical properties[J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2006, 83: 469–471.
- [ 36 ] FARAG M A, RAMADAN N S, SHORBAGI M, et al. Profiling of primary metabolites and volatiles in apricot seed kernels and fruits in the context of its different cultivars and soil type as analyzed using chemometric tools[J]. *Foods*, 2022, 11(9): 1339.
- [ 37 ] NARYAL A, ACHARYA S, KUMAR B A, et al. Altitudinal effect on sugar contents and sugar profiles in dried apricot (*Prunus armeniaca* L.) fruit. [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2019, 76: 27–32.