

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250313002

引用格式: 孙涛, 刘敏, 王贤, 等. 新疆不同品种巴旦木营养分析及综合评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(11): 234–244.

SUN T, LIU M, WANG X, *et al.* Analysis and comprehensive evaluation of nutritional components of almonds from different cultivars in Xinjiang [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(11): 234–244. (in Chinese with English abstract).

新疆不同品种巴旦木营养分析及综合评价

孙涛^{1,2}, 刘敏¹, 王贤¹, 杨睿娜¹, 李静¹, 周晓龙^{1*}, 车会莲^{2*}

(1. 新疆维吾尔自治区农业科学院农业质量标准与检测技术研究所, 农业农村部农产品质量安全风险评估实验室, 新疆农产品质量安全实验室, 乌鲁木齐 830091; 2. 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083)

摘要: **目的** 分析评价新疆不同品种巴旦木的营养品质差异。**方法** 选取新疆种植的19种巴旦木作为研究对象, 测定其宏量和微量营养素、脂肪酸、氨基酸、活性物质等组分含量, 并在主成分分析的基础上对19种巴旦木的品质进行综合评价。**结果** 巴旦木中蛋白质含量为22.34 g/100 g、脂肪含量为35.93%、碳水化合物含量为35.76%; 测定出酒石酸、富马酸、柠檬酸3种有机酸, 其含量均值分别为217、3.98和197 g/kg; 总多酚和总黄酮的含量范围分别为0.54~1.94 mg/g和1.42~15.79 mg/g; 油酸和亚油酸是巴旦木中的主要脂肪酸, 其占比平均值分别为73%和18%; 在巴旦木中检测出18种氨基酸, 其中谷氨酸含量最高(4.97 g/100 g), 蛋氨酸含量最低(0.08 g/100 g); 巴旦木中的主要矿物质为钾(705 mg/100 g)、磷(484 mg/100 g)、镁(268 mg/100 g)、钙(264 mg/100 g); 主成分分析结果表明, 巴旦木中营养成分含量的前4个主成分的累计方差贡献率达86.60%, 丙氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、精氨酸、油酸、亚油酸、棕榈油酸、蛋氨酸和脯氨酸是鉴定巴旦木营养品质的重要指标。**结论** 新疆巴旦木不同品种之间各营养成分存在差异, 脂肪酸和氨基酸的组成及含量是评价巴旦木品质的主要参数。

关键词: 巴旦木; 营养组分; 活性物质; 主成分分析

Analysis and comprehensive evaluation of nutritional components of almonds from different cultivars in Xinjiang

SUN Tao^{1,2}, LIU Min¹, WANG Xian¹, YANG Rui-Na¹, LI Jin¹,
ZHOU Xiao-Long^{1*}, CHE Hui-Lian^{2*}

(1. Laboratory of Quality and Safety Risk Assessment for Agro-products of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Key Laboratory of Agro-products Quality and Safety of Xinjiang, Institute of Quality Standards & Testing Technology for Agro-products, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China; 2. College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

ABSTRACT: Objective To analyze and evaluate the nutritional quality of different varieties of almonds in

收稿日期: 2025-03-13

基金项目: 新疆现代农牧业发展高层次人才项目(2022SNGGGCC029); 新疆维吾尔自治区重点研发项目(2022B30006); 新疆科技特派员引导项目(2024KY029); 新疆维吾尔自治区重点研发项目(2024B02018); 核桃多元化加工技术推广应用项目

第一作者: 孙涛(1978—), 男, 博士, 正高级实验师, 主要研究方向为干果营养品质及安全评价。E-mail: suntao26@xaas.ac.cn

*通信作者: 周晓龙(1976—), 男, 硕士, 正高级实验师, 主要研究方向为农产品营养品质检测与评价。E-mail: 634724562@qq.com

车会莲(1977—), 女, 博士, 教授, 主要研究方向为食品安全、食物过敏及营养。E-mail: chehuilian@cau.edu.cn

Xinjiang. **Methods** The 19 kinds of varieties of almonds grown in Xinjiang were selected as the research objects. The content of macronutrients and micronutrients, fatty acids, amino acids and active substances were determined. Based on principal component analysis, a comprehensive evaluation of the quality of the 19 kinds of varieties of almonds was conducted. **Results** The protein content of almonds was 22.34 g/100 g, the fat was 35.93%, and the carbohydrate content was 35.76%. The 3 kinds of organic acids, namely tartaric acid, fumaric acid and citric acid, were detected, with average content of 217, 3.98 and 197 g/kg, respectively. The content ranges of total polyphenols and total flavonoids were 0.54–1.94 mg/g and 1.42–15.79 mg/g, respectively. Oleic acid and linoleic acid were the main fatty acids in almonds, with average proportions of 73% and 18%, respectively. The 18 kinds of amino acids were detected in almonds, among which glutamic acid had the highest content (4.97 g/100 g), and methionine had the lowest content (0.08 g/100 g). The main minerals in almonds were potassium (705 mg/100 g), phosphorus (484 mg/100 g), magnesium (268 mg/100 g) and calcium (264 mg/100 g). The results of principal component analysis indicated that the cumulative variance contribution rate of the first 4 principal components of the nutritional components in almonds was 86.60%. Alanine, isoleucine, leucine, phenylalanine, arginine, oleic acid, linoleic acid, palmitoleic acid, methionine and proline were important indicators for identifying the nutritional quality of almonds. **Conclusion** There are differences in the nutritional components among different varieties of Xinjiang almonds, and the composition and content of fatty acids and amino acids are the main parameters for evaluating almond quality.

KEY WORDS: almonds; nutrition component; active substance; principal component analysis

0 引 言

巴旦木, 又名扁桃、巴旦杏, 是蔷薇科桃属的中型乔木或灌木。其果实扁而平, 似桃非桃, 似杏非杏, 故名扁桃。扁桃原产于西亚和中亚山区, 在世界五大洲均有种植, 在我国主要种于西北和西南地区, 尤以新疆天山以南的阿克苏, 喀什、和田地区种植较多。喀什地区莎车县是我国巴旦木主要产区, 巴旦木种植面积超过 80 万亩, 是当地农民增收的重要来源。

巴旦木营养价值丰富, 富含蛋白质、脂肪酸、多种维生素、矿物质和抗氧化成分^[1-2]。巴旦木中钠含量低(1 mg/100 g)而钾含量高(700 mg/100 g), 因此, 被广泛用于低钠膳食中^[3]。巴旦木种类繁多, 可供药用或食用, 根据种仁滋味的甜度, 大致可分苦味、甜味、软壳甜巴旦木。甜味巴旦木可用于鲜食或烤制后食用, 并被广泛加工成巴旦木黄油或其他产品。而苦味巴旦木的药用价值在我国民间早有记载, 如止咳润肺、治疗高血压、神经衰弱、中风、心血管疾病、皮肤过敏等^[4-5]。目前, 大量研究已聚焦于巴旦木油的营养价值、化学组成以及基因分析^[6-8], 但对于不同品种和产地巴旦木的化学成分、酚类化合物含量等研究却鲜有报道。

本研究参照相关标准测定了新疆 19 种巴旦木中各种营养成分和活性物质含量, 并对比分析了不同巴旦木的营养价值差异, 以期为巴旦木的开发利用提供科学依据, 并为提升新疆巴旦木的市场价值和推广应用提供理论支持。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

本研究选取巴旦木样品主要来自新疆莎车县二林场。

没食子酸(纯度 $\geq 98\%$)、芦丁(纯度 $\geq 99\%$)(上海源叶生物科技有限公司); 果糖、葡萄糖、蔗糖、富马酸、柠檬酸、酒石酸等(纯度 $\geq 99\%$, 上海山浦化工有限公司); 17 种氨基酸标准品(纯度 $\geq 98\%$, 美国 Sigma 公司); 矿物元素储备液(含钾、钙、钠、镁、铁、锌、铜、硼、锰、磷、镉)(质量浓度 1000mg/L, 国家有色金属及电子材料分析测试中心); 37 种脂肪酸甲酯混合标准溶液(上海安谱公司); 酚酞试剂、Folin 酚试剂、乙醇、氢氧化钠、正丁醇、硝酸、磷酸、冰乙酸、乙酸锌、硫酸铜、亚铁氰化钾、酒石酸钾钠、硫酸铁铵、重铬酸钾、乙酸镁(分析纯, 天津市盛奥化学试剂有限公司); 硼酸、乙醇、碘、氨水、无水硫酸钠、柠檬酸钠、氢氧化钾(分析纯, 天津市鑫铂特化工有限公司); 硫酸、无水乙醚、盐酸(分析纯, 成都市科技化学品有限公司); 硫酸铜、乙酸钠、葡萄糖(优级纯, 天津市光复科技发展有限公司); 甲基红指示剂、溴甲酚绿指示剂、亚甲基蓝指示剂(基准试剂, 天津市天新精细化工开发中心天津基准化学试剂有限公司); 氢氧化钠、氯化钠、磷酸(分析纯, 天津市永大化学试剂有限公司); 甲醇、乙腈(色谱纯, 赛默飞世尔科技有限公司); 硫酸钾(分析纯, 北京化工厂); 酚酞(分析纯, 北京市制药厂); 石油醚沸程 30~60 °C(分析纯, 天津市富宇精细化工有限公司); 碘、碘化钾(分析纯, 上海申博化工有限公司); 乙酸锌(分析纯, 上海化学试剂总厂); 亚铁氰化钾(分析纯, 天津永晟精细化工有限公司); 偏磷酸(分析纯, 上海展云化工有限公司); 海砂(分析纯, 福晨天津化学试剂有限公司); 可溶性淀粉(分析纯, 浙江菱湖化工试剂厂)。

1.2 仪器与设备

BS124S 电子天平(精度 0.1 mg, 德国赛多利斯公司);

FOSS KJELTECTM 8400 全自动凯氏定氮仪(丹麦福斯 FOSS 公司); S-433D 氨基酸分析仪(德国 SYLAM 赛卡姆公司); R-12 平行蒸发定量浓缩仪(瑞士 Syncore BUCHI 公司); GC2010 PLUS 气相色谱仪(日本 SHIMAZU 公司); e2695 高效液相色谱仪(美国 WATERS 公司); 电感耦合等离子体质谱仪(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)、722 可见分光光度计(上海仪电分析仪器有限公司); SPN-300 氮气发生器、SPH-300 氢气发生器、SPB-3 全自动空气源(北京中惠普分析技术研究所); 202 型电热恒温干燥箱、FW-80 高速万能粉碎机(北京市永光明医疗仪器厂)。

1.3 方法

1.3.1 样品来源及制备

巴旦木品种包括当地主栽和主推的 19 个品种, 主要包括莎车 12 号、莎车 14 号、莎车 1 号、浓帕列、尼普鲁斯、米星、莎车 9 号、索诺拉、莎车 11 号、莎车 18 号, 大巴旦、汤普森、莎车 39 号和莎车 22 号等。依次编号 AM1-19。巴旦木的种子(核仁)在完全成熟后收获, 收获时巴旦木外壳已经完全干燥并沿着接缝裂开, 去除外部青皮后, 避免阴雨天自然晾晒 5~7 d 后, 收集不同品种巴旦木 3 kg。剥去外部硬质壳后, 巴旦木核仁经干燥箱 40 °C 处理 24 h 后, 经高速万能粉碎机处理后, 装入样品盒冷冻备用。

1.3.2 相关指标的测定

蛋白质含量测定参照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》, 采用全自动凯氏定氮法; 氨基酸含量测定参照 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸含量的测定》, 用全自动氨基酸分析仪定量 17 种氨基酸; 脂肪含量测定参照 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》, 采用索氏抽提法; 脂肪酸含量测定参照 GB 5009.168—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》, 采用归一化法; 总糖和还原糖含量测定参照 GB 5009.8—2016《食品安全国家标准 食品中果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖的测定》, 采用酸水解-茱茵-坎农氏法; 总酸含量测定参照 GB 12456—2021《食品安全国家标准 食品中总酸的测定》, 采用酸碱滴定法; 淀粉含量测定参照 GB 5009.9—2023《食品安全国家标准 食品中淀粉的测定》, 采用酸水解法; 膳食纤维含量测定参照 GB 5009.88—2014《食品安全国家标准 食品中膳食纤维的测定》; 水分含量测定参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》, 采用直接干燥法; 灰分含量测定参照 GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 总灰分的测定(含磷量较高的食品)》; 矿物质(微量元素)含量测定参照 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》, 采用仪器法; 酚酸类含量测定参照 NY/T 2012—2011《水果及制品中游离酚酸含量的测定》; 黄酮类含量测定参照 SN/T 4592—2016《出口食品中总黄酮的测定》, 采用分光光度法。

1.4 数据处理

采用 Excel 2021 统计软件进行数据统计与整理, 采用 SPSS Statistics 25 进行数据分析, 采用 Origin 2021 进行图形绘制。

2 结果与分析

2.1 营养组分分析

对 19 种巴旦木的宏量营养素含量进行统计分析, 结果如表 1 所示。不同品种巴旦木蛋白质、脂肪和碳水化合物的含量均值分别为 22.34 g/100 g、35.93% 和 35.76%。以往的研究结果显示巴旦木蛋白质含量在 20%~25% 之间, 是一种高蛋白含量的植源性食物^[9]。LARISSA 等^[10]的测定结果中, 巴旦木的蛋白质、脂肪和碳水化合物含量分别为 8.87%、69.72% 和 15.89%, 与本研究相比, 其蛋白质和碳水化合物含量较低, 脂肪含量较高。也有研究表明, 不同品种间巴旦木脂肪含量差异较大, 总脂肪含量在 25~66 g/100 g 鲜重之间^[4]。巴旦木中蔗糖、葡萄糖和果糖含量较低, 其均值总和占比不到 0.5%, 并且其变异系数均大于 15%, 说明不同品种巴旦木间蔗糖、葡萄糖和果糖含量变化较大。膳食纤维含量均值可达 20.85%, 在 LARISSA 等^[10]的研究中, 巴旦木中粗纤维含量仅为 2.72%, 而在 YADA 等^[4]的研究中, 甜巴旦木中总膳食纤维含量为 11~14 g/100 g。这些差异可能是因为巴旦木的品种不同。本研究中每 100 g 巴旦木的能量均值为 513.46 kcal, 根据《中国居民膳食指南(2022)》高能量食物是指提供 400 kcal/100 g 以上能量的食物^[11], 因此, 巴旦木是高能量食物, 多食易导致肥胖。

2.2 主要品质组分及含量特征

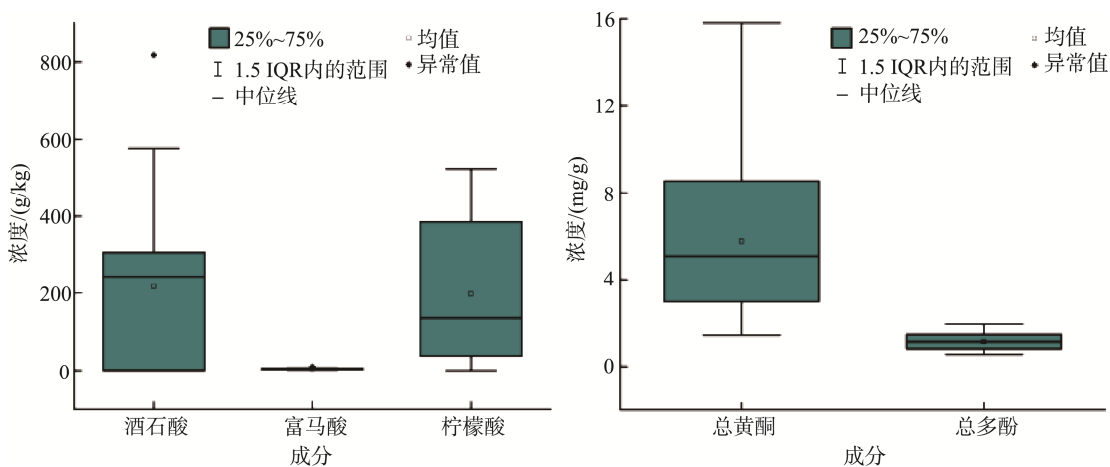
本研究测定了不同品种巴旦木中活性物质的含量, 如图 1 所示, 在本研究中, 巴旦木中含有酒石酸、富马酸和柠檬酸, 此外还含有一定量的黄酮和多酚类物质。李维霞等^[12]的研究发现巴旦木青皮提取物中还含有三萜类物质如齐墩果酸和熊果酸。如图 1 和表 2, 本研究中酒石酸的含量范围在 0~818 g/kg, 平均值为 217 g/kg, 高于平均值的巴旦木品种占 53%, 其中 AM17 酒石酸含量最高, AM2、AM3、AM4、AM5、AM10、AM18 和 AM19 中酒石酸含量均为 0。富马酸的含量范围在 1.38~9.12 g/kg, 平均值为 3.98 g/kg, 高于平均值的巴旦木品种占 42%, 高于平均值的巴旦木品种富马酸含量由高到低分别为 AM17、AM11、AM15、AM5、AM4、AM7、AM8 和 AM18。柠檬酸的含量范围在 0~523 g/kg, 平均值为 197 g/kg, 高于平均值的巴旦木品种占 47%, 分别为(含量从高到低)AM8、AM7、AM18、AM4、AM3、AM6、AM2、AM13 和 AM12。邢雅阁等^[13]的研究发现柠檬酸为新疆杏仁的主要酸类物质, 含量均值为 251 μg/g, 略高于巴旦木。总黄酮的含量范围在 1.42~15.79 mg/g, 平均值为 5.76 mg/g, 高于平均值的巴旦木品种占 32%, 分别为

(含量由高到低)AM5、AM12、AM18、AM4、AM8 和 AM13。总多酚的含量范围在 0.54~1.94 mg/g, 平均值为 1.14 mg/g, 高于平均值的巴旦木品种占 47%, 分别为(含量由高到低)AM13、AM18、AM19、AM5、AM10、AM7、AM3、AM16 和 AM2。目前关于巴旦木中酸类物质的公开数据鲜

有报道, 巴旦木中含有类黄酮、多酚和单宁, 是天然的抗氧化剂^[14-15]。REDA 等^[16]发现摩洛哥东部地区 4 种甜巴旦木油中总酚含量在 85.33~141.66 mg/kg, 远低于本研究巴旦木中总多酚和黄酮含量水平。此外, 巴旦木中还含有大量的维生素 E, 因此巴旦木油也被提取用于护肤品领域^[4]。

表 1 宏量营养素含量表
Table 1 Table of macronutrient content

样品	蛋白质 (g/100 g)	脂肪 /%	总碳水化合物 /%	淀粉 /%	膳食纤维 /%	蔗糖 /%	葡萄糖 /%	果糖 /%	水分 /%	灰分 /%	能量 (kcal/100 g)
AM1	21.03±0.60	33.21±0.41	39.62±0.29	7.09±0.15	21.56±0.17	1.15±0.03	0.21±0.02	0.19±0.01	3.88±0.03	3.24±0.04	496.38±4.22
AM2	22.69±0.69	36.49±0.72	36.69±0.53	7.98±0.37	22.46±0.29	1.65±0.06	0.28±0.03	0.24±0.01	2.39±0.03	3.09±0.01	517.52±5.78
AM3	23.09±0.58	33.51±0.72	37.71±1.05	8.10±0.43	20.63±0.29	0.91±0.01	0.27±0.04	0.16±0.01	2.26±0.05	3.19±0.05	510.50±5.85
AM4	25.02±0.59	35.61±0.55	33.97±0.50	9.29±0.47	25.05±0.17	1.26±0.01	0.11±0.02	0.11±0.00	2.77±0.06	3.15±0.04	497.86±7.11
AM5	19.33±0.52	34.83±0.47	38.84±0.27	7.59±0.39	21.37±0.24	1.08±0.08	0.14±0.02	0.12±0.01	4.02±0.09	2.57±0.05	512.87±8.58
AM6	22.08±0.60	39.85±0.92	32.87±0.73	8.60±0.32	16.98±0.22	1.25±0.01	0.11±0.04	0.12±0.01	3.00±0.06	2.93±0.03	537.89±0.00
AM7	21.11±0.58	37.54±0.76	33.72±0.67	7.76±0.34	18.47±0.29	1.52±0.01	0.23±0.02	0.20±0.01	3.72±0.09	3.32±0.08	525.77±0.00
AM8	20.00±0.57	39.59±0.58	34.75±0.96	8.47±0.36	22.03±0.29	1.41±0.01	0.15±0.03	0.12±0.01	3.13±0.03	3.29±0.05	525.97±0.00
AM9	21.50±0.86	33.85±0.93	38.20±0.67	8.03±0.44	20.18±0.22	1.31±0.01	0.12±0.04	0.14±0.01	2.60±0.06	3.33±0.08	501.77±0.00
AM10	22.98±0.82	34.60±0.85	36.16±0.76	9.24±0.44	20.22±0.32	1.02±0.01	0.06±0.02	0.08±0.01	3.59±0.08	3.30±0.09	508.01±0.00
AM11	22.32±0.82	38.83±0.95	31.78±0.68	8.25±0.44	21.77±0.36	1.45±0.01	0.13±0.02	0.16±0.01	3.22±0.06	3.35±0.08	521.11±0.00
AM12	20.07±0.80	39.11±0.86	34.92±0.66	7.34±0.16	23.66±0.29	1.19±0.01	0.12±0.03	0.12±0.01	2.86±0.05	2.62±0.09	529.34±0.00
AM13	21.84±0.79	37.65±0.49	35.08±0.74	8.42±0.42	21.23±0.29	1.53±0.01	0.11±0.04	0.15±0.01	3.00±0.05	2.65±0.08	521.49±0.00
AM14	25.56±0.79	38.12±0.87	30.63±0.81	7.32±0.16	19.31±0.29	1.07±0.03	0.10±0.02	0.11±0.01	2.95±0.05	3.26±0.06	529.80±0.00
AM15	19.74±0.79	40.34±0.93	32.63±0.68	7.16±0.24	20.02±0.22	1.22±0.01	0.09±0.02	0.11±0.01	3.70±0.10	3.15±0.03	530.49±0.00
AM16	23.11±0.86	34.08±0.82	37.47±0.82	6.41±0.35	23.33±0.29	1.06±0.02	0.12±0.04	0.15±0.01	2.82±0.05	3.13±0.06	503.19±0.00
AM17	24.54±0.66	31.04±0.65	38.72±0.82	7.96±0.38	17.51±0.29	1.56±0.02	0.10±0.02	0.14±0.01	2.71±0.05	3.54±0.09	492.39±0.00
AM18	23.52±0.87	30.12±0.87	41.36±1.00	6.51±0.36	21.18±0.29	0.98±0.01	0.11±0.02	0.14±0.01	2.48±0.08	3.22±0.05	488.03±0.00
AM19	24.93±0.81	34.27±1.03	34.44±0.69	8.56±0.27	19.29±0.30	1.24±0.01	0.08±0.02	0.12±0.01	2.85±0.05	3.16±0.06	505.45±0.00
平均值	22.34	35.93	35.76	7.90	20.85	1.26	0.14	0.14	3.05	3.13	513.46
标准差	1.87	3.00	2.88	0.80	2.05	0.21	0.06	0.04	0.51	0.26	14.58
变异系数/%	0.08	0.08	0.08	0.10	0.10	0.17	0.45	0.26	0.17	0.08	0.03



注: 四分位距(interquartile range, IQR)。

图1 巴旦木活性物质含量分布

Fig.1 Distribution of organic acid components in almonds

表 2 主要品质组分含量表
Table 2 Table of main quality component content

巴旦木 种类	酒石酸/(g/kg)		柠檬酸/(g/kg)		富马酸/(g/kg)		总黄酮/(mg/g)		总多酚/(mg/g)	
	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差
AM1	111.76	4.24	135.58	2.69	3.10	0.06	2.99	0.02	0.86	0.02
AM2	0.00	0.00	268.86	5.62	2.29	0.05	3.58	0.11	1.20	0.02
AM3	0.00	0.00	386.08	6.27	3.16	0.07	3.27	0.05	1.27	0.03
AM4	0.00	0.00	407.06	11.28	4.87	0.10	10.40	0.27	1.13	0.02
AM5	0.00	0.00	30.88	0.79	5.28	0.16	15.79	0.23	1.50	0.03
AM6	89.83	7.07	275.02	8.12	1.38	0.03	2.49	0.09	1.14	0.02
AM7	300.48	19.09	454.24	10.80	4.68	0.16	2.96	0.10	1.42	0.02
AM8	306.41	14.14	523.26	12.30	4.37	0.13	8.57	0.22	0.56	0.01
AM9	295.68	7.07	37.30	1.22	3.63	0.12	5.42	0.16	0.74	0.02
AM10	0.00	0.00	0.00	0.00	1.99	0.05	3.30	0.11	1.47	0.02
AM11	577.12	12.73	84.03	2.63	6.69	0.17	5.36	0.15	0.54	0.01
AM12	505.11	16.97	216.60	5.53	3.34	0.08	11.04	0.22	0.81	0.01
AM13	288.84	14.85	224.02	5.52	2.67	0.07	6.14	0.17	1.94	0.02
AM14	312.22	10.61	26.57	0.80	2.92	0.07	1.42	0.05	1.02	0.02
AM15	275.86	10.61	22.35	0.91	5.34	0.11	2.81	0.10	0.86	0.02
AM16	243.30	5.66	86.18	2.85	3.46	0.09	2.51	0.08	1.21	0.03
AM17	817.93	16.97	116.61	2.78	9.12	0.27	5.38	0.18	0.69	0.02
AM18	0.00	0.00	417.93	10.55	4.35	0.11	10.86	0.24	1.66	0.03
AM19	0.00	0.00	39.90	1.56	2.94	0.09	5.08	0.18	1.60	0.03

2.3 脂肪酸组分及含量特征

脂肪酸组成是评价油脂营养价值的重要指标。以往的研究表明,巴旦木富含不饱和脂肪酸,其中油酸含量在 63%~78%之间,亚油酸含量在 12%~27%之间^[17],是非常健康的脂肪来源^[2]。由图 2 可知,油酸(18:1)和亚油酸(18:2)是巴旦木中主要的脂肪酸,其占比平均值分别为 73%和 18%。其中,油酸(18:1)占比最高的品种为 AM3,占比为 78%,占比最低品种为 AM9,占比为 65%;亚油酸(18:2)占比最高的品种为 AM9(占比为 26%),最低品种为 AM3(占比为 14%)。除了油酸(18:1)和亚油酸(18:2),IBOURKI 等^[18]在巴旦木中还检测出十四酸(14:0)、棕榈酸(16:0)、棕榈油酸(16:1)、硬脂酸(18:0)、亚麻酸(18:3)和花生酸(20:0),本研究中仅测出棕榈酸(16:0)、棕榈油酸(16:1)和硬脂酸(18:0),其占比均值分别为 6%、0.5%和 1%。以往的研究结果表明,巴旦木中油酸(18:1)和亚油酸(18:2)约占总脂质的 90%,饱和脂肪酸含量很低(<10%)^[14,19],这与本研究的结果一致。但在不同品种间,油酸(18:1)和亚油酸(18:2)的比值差异很大。本研究中不同品种间,油酸(18:1)和亚油酸(18:2)比值可能存在差异,脂肪组成和含量主要受巴旦木基因型影响,但生长环境、灌溉方式、气候和丰收年份等因素也是影响因素^[20-22]。本研究中不同品种巴旦木间的生长环境等不同,因此并未做显著性差异分析。

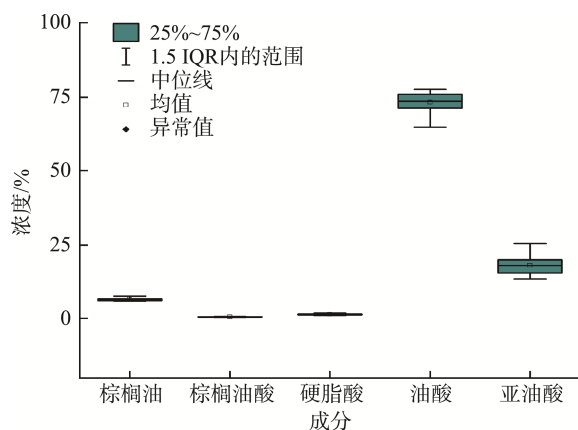


图2 脂肪酸甲酯组分含量分布

Fig.2 Distribution of fatty acid methyl ester components

2.4 氨基酸组分及含量特征

2.4.1 氨基酸组分分析

目前关于巴旦木氨基酸组成和含量分析的研究较少。从总氨基酸含量看(表 3),氨基酸总量在 14.16%~25.55%之间,平均值为 19.51%,该含量与杏仁(20.44%)^[23]和核桃(18.16%)^[24]接近。本研究共检测出 18 种氨基酸(图 3),含量最高的为谷氨酸(4.97 g/100 g),最低的为蛋氨酸(0.08 g/100 g)。谷氨酸在神经系统生长、发育方面起重要作用,主要用于改

表 3 巴旦木中氨基酸含量表(%)
Table 3 Amino acid content in almonds (%)

品种	氨基酸总量	必需氨基酸	必需氨基酸占比	儿童氨基酸	儿童氨基酸占比	药用氨基酸	药用氨基酸占比
AM1	16.49	4.75	28.82	2.05	12.46	11.76	71.30
AM2	17.97	5.00	27.84	2.39	13.27	12.89	71.72
AM3	17.12	4.96	28.97	2.14	12.48	12.35	72.15
AM4	17.62	4.93	27.99	2.31	13.10	12.89	73.17
AM5	15.16	4.26	28.10	2.01	13.25	10.97	72.37
AM6	22.71	6.45	28.39	3.20	14.08	16.97	74.74
AM7	22.42	6.24	27.82	3.09	13.78	16.65	74.27
AM8	16.71	4.77	28.55	2.15	12.86	12.31	73.67
AM9	22.95	6.72	29.27	3.21	13.99	16.93	73.74
AM10	14.16	4.21	29.76	1.79	12.66	10.09	71.28
AM11	25.33	7.19	28.37	3.60	14.22	19.15	75.59
AM12	20.34	5.72	28.13	2.68	13.16	15.03	73.90
AM13	16.22	4.60	28.33	2.03	12.51	11.70	72.16
AM14	21.26	5.95	27.97	2.86	13.46	15.49	72.88
AM15	20.66	5.87	28.39	2.83	13.72	15.38	74.45
AM16	18.52	5.32	28.71	2.46	13.31	13.36	72.14
AM17	25.55	7.29	28.53	3.55	13.90	19.24	75.30
AM18	18.46	4.97	26.94	2.48	13.44	13.16	71.28
AM19	21.06	5.68	26.98	2.83	13.46	15.14	71.90
平均值	19.51	5.52	28.31	2.61	13.32	14.29	73.05
标准差	3.31	0.93	0.01	0.54	0.01	2.66	0.01
变异系数	0.17	0.17	0.02	0.21	0.04	0.19	0.02

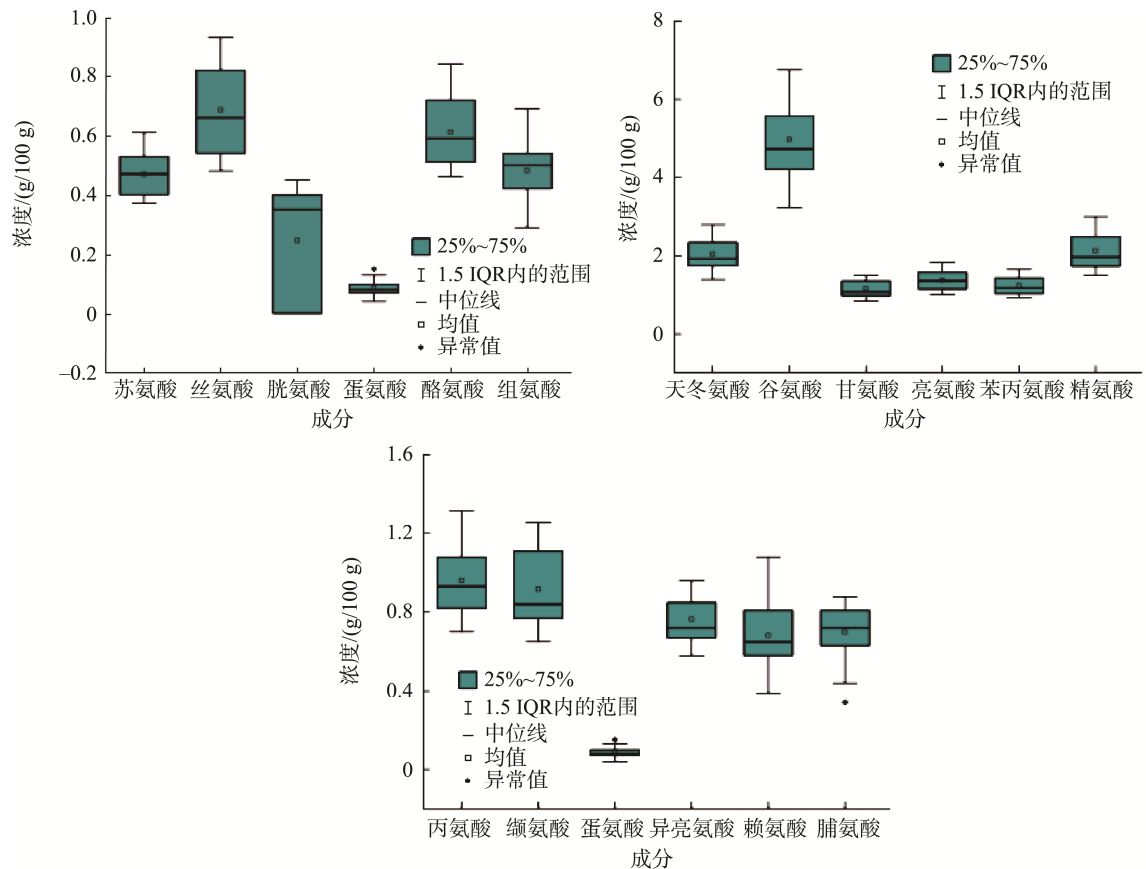


图3 氨基酸组分含量分布

Fig.3 Distribution of amino acid components

善儿童智力发育, 以及治疗神经损伤、脑震荡, 预防高血压、心脏病等, 是重要的功能性氨基酸^[25]。其他氨基酸含量排序(由高到低)为: 精氨酸>天冬氨酸>亮氨酸>苯丙氨酸>甘氨酸>丙氨酸>缬氨酸>异亮氨酸>脯氨酸>丝氨酸>赖氨酸>酪氨酸>组氨酸>苏氨酸>胱氨酸。必需氨基酸是指人体不能合成或合成速度远不能适应机体需要, 必须由食物蛋白质供给的氨基酸, 包含赖氨酸、苯丙氨酸、蛋氨酸、苏氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、缬氨酸在内 7 种^[26]。如表 3 所示, 巴旦木中必需氨基酸占比为 27%~30%, 略低于杏仁必需氨基酸与总氨基酸比值(32%~34%)^[23]。药用氨基酸包括天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、蛋氨酸、亮氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、精氨酸等 9 种氨基酸, 是维持机体平衡的重要氨基酸, 因此也成为评价食品和中药材品质的重要指标^[27-28]。儿童氨基酸是指儿童成长所需的具有促进生长激素分泌与骨骼发育等重要生理功能的氨基酸, 包括组氨酸和精氨酸^[29]。本研究统计分析了巴旦木儿童氨基酸和药用氨基酸的占比(表 3), 巴旦木中含有较高水平的药用氨基酸, 其占比均值可达 73.05%, 变异系数为 0.02, 表明不同品种样品间药用氨基酸含量水平波动较小。儿童氨基酸占比均值为 13.32%。

2.4.2 氨基酸营养价值评价

标准模式均采用联合国粮农组织(Food and Agriculture

Organization of the United Nations, FAO)和世界卫生组织(World Health Organization, WHO)在 2013 年提出的针对年龄大于 3 岁的大龄儿童、青少年及成人需求的国际标准参考模式^[30]。

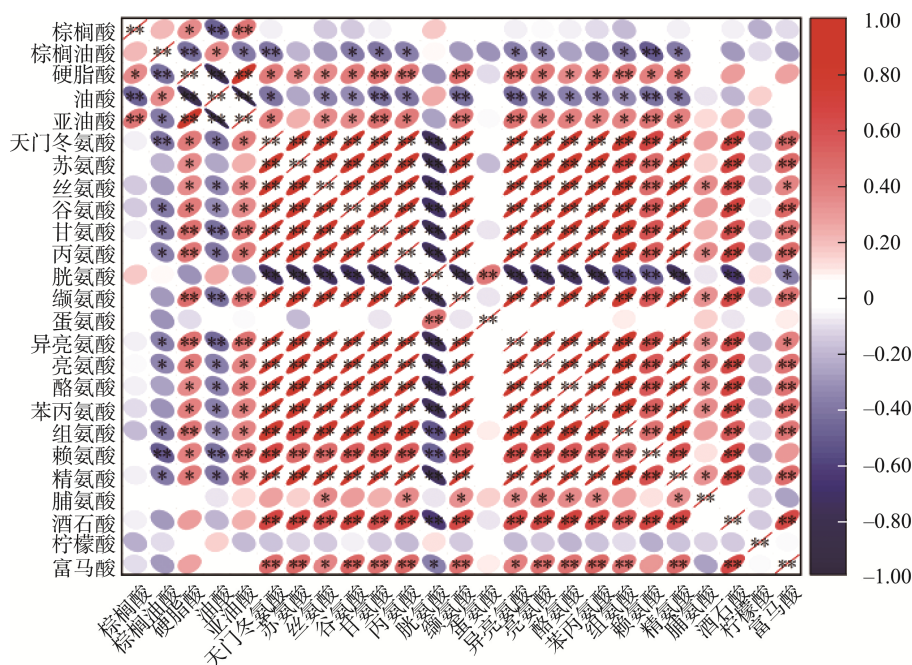
由表 4 可知, 巴旦木中所有必需氨基酸含量均低于 FAO/WHO 对大龄儿童、青少年及成年人的要求。因此, 巴旦木无法满足 3 岁及以上年龄儿童及成年人对必需氨基酸的营养需求, 需通过与其他食物搭配食用才能满足人体营养健康需要。总含硫氨基酸是所有巴旦木蛋白的第 1 限制氨基酸(0.40~1.49 mg/g)。这与 SERON 等^[31]的研究结果一致, 但其研究中巴旦木总含硫氨基酸水平在 0.02~0.11 mg/g 之间, 且其他各类氨基酸含量均较低。

2.5 相关性分析

对样本中 25 种酸类化合物含量进行相关性分析, 图 4 从蓝色到红色表示由负相关到正相关, 颜色由浅到深代表相关性系数从低到高, 反映不同指标之间相关性的差异。结果表明, 在脂肪酸中, 棕榈酸仅与亚油酸($P<0.01$)和硬脂酸($P<0.05$)呈显著正相关, 与油酸呈极显著负相关($P<0.01$); 棕榈油酸与硬脂酸、天冬氨酸和赖氨酸呈极显著负相关($P<0.01$), 与精氨酸、组氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、丙氨酸、甘氨酸、谷氨酸和亚油酸呈显著负相关($P<0.05$), 与油酸呈显著正相关($P<0.01$)。硬脂酸和

表 4 巴旦木必需氨基酸组成及比较分析(mg/g)
Table 4 Composition and comparative analysis of essential amino acids in almonds (mg/g)

组别	亮氨酸	缬氨酸	蛋氨酸+半胱氨酸	异亮氨酸	苏氨酸	苯丙氨酸+酪氨酸	赖氨酸	组氨酸
FAO/WHO 标准模式	61	40	23	30	25	41	48	16
AM1	11.53	7.72	0.76	6.65	4.13	14.98	6.53	4.19
AM2	12.69	8.10	1.49	7.13	4.15	17.40	4.94	4.65
AM3	12.04	8.24	0.79	6.92	4.70	14.88	6.67	3.39
AM4	11.98	7.84	0.78	7.02	3.91	16.57	6.56	4.41
AM5	10.38	7.07	0.85	6.12	3.94	14.86	4.19	4.29
AM6	15.78	11.10	0.78	9.05	5.05	21.56	8.34	5.05
AM7	16.07	11.22	0.40	8.53	5.78	21.88	5.80	5.95
AM8	11.10	7.34	0.94	6.56	4.05	15.28	7.57	4.22
AM9	16.90	12.26	0.73	9.05	5.40	22.05	8.12	5.37
AM10	10.21	6.52	0.51	5.82	3.65	13.99	6.27	2.92
AM11	17.77	11.77	0.82	9.56	6.09	22.71	10.81	6.88
AM12	14.56	9.82	0.50	8.14	5.14	19.27	6.27	5.37
AM13	10.94	7.13	0.74	6.42	4.17	15.57	6.18	3.31
AM14	14.68	9.54	0.77	8.24	4.66	19.96	8.36	5.65
AM15	14.14	9.85	0.76	8.41	5.30	20.26	6.46	4.79
AM16	12.82	8.30	1.26	7.17	3.85	17.56	8.15	5.18
AM17	18.33	12.60	1.12	9.38	6.05	24.80	8.97	5.52
AM18	13.65	8.40	1.00	6.92	4.10	17.37	3.91	5.10
AM19	14.56	9.52	1.07	8.31	5.06	19.52	5.32	5.27



注: *. $P \leq 0.05$; **. $P \leq 0.01$ 。

图4 巴旦木酸类物质相关性热图

Fig.4 Correlation heatmap of acid compounds in almond kernels

棕榈油酸、油酸呈极显著负相关($P < 0.01$), 与亚油酸、甘氨酸、丙氨酸、缬氨酸、异亮氨酸和组氨酸呈极显著正相关($P < 0.01$), 与精氨酸、赖氨酸、苯丙氨酸、酪氨酸、亮氨酸、谷氨酸、丝氨酸、苏氨酸和天门冬氨酸呈显著相关($P < 0.05$); 油酸与棕榈酸、亚油酸、甘氨酸、缬氨酸、异亮氨酸和赖氨酸呈极显著负相关($P < 0.01$); 与天门冬氨酸、丝氨酸、谷氨酸、丙氨酸、亮氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸、组氨酸和精氨酸呈显著负相关($P < 0.05$); 亚油酸与甘氨酸、缬氨酸、异亮氨酸和赖氨酸呈极显著正相关($P < 0.01$), 与天门冬氨酸、丝氨酸、谷氨酸、丙氨酸、亮氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸、组氨酸和精氨酸呈显著相关($P < 0.05$)。除了脯氨酸和蛋氨酸, 所有氨基酸间均极显著相关。其中胱氨酸与蛋氨酸呈极显著正相关($P < 0.01$), 与其他氨基酸均呈极显著负相关($P < 0.01$)。柠檬酸和其他酸类均不相关($P > 0.05$); 酒石酸与除脂肪酸、脯氨酸、蛋氨酸、柠檬酸外的酸类均极显著相关($P < 0.01$), 其中, 与胱氨酸呈极显著负相关($P < 0.01$)。富马酸的相关性趋势与酒石酸一致, 但其与赖氨酸不相关($P > 0.05$)。由相关性分析可知, 不同的酸类物质间既存在不同也存在信息重叠, 因此需要用主成分分析对数据进行降维和综合评价。

2.6 矿物质组分及含量特征

美国农业部建立了国家营养标准参考数据库, 提供了各类食物的成分数据。在此数据库中收录了 9 种主要巴旦木品种的完整营养数据集, 其中关于矿物质的数据显示,

巴旦木中的主要矿物质为钾(705 mg/100 g)、磷(484 mg/100 g)、镁(268 mg/100 g)、钙(264 mg/100 g), 此外, 还含有少量的铁、锌、锰、硒、钠和铜。本研究结果中巴旦木的各种矿物质含量水平平均高于美国农业部发布的数据。如图 5 所示, 巴旦木中的矿物质主要为钾(9175.88 mg/kg)、磷(6135.54 mg/kg)、镁(3220.43 mg/kg)和钙(2766.30 mg/kg)。RICHARDSON 等^[3]的研究表明, 巴旦木钠含量低(1 mg/100 g), 而磷的含量较高(700 mg/100 g), 从而使得其在低钠膳食中发挥着重要的作用, 适合低胆固醇血症患者食用。本研究中巴旦木也呈现低钠(22 mg/100 g)高磷(61 mg/100 g)含量的特点。锌具有激活酶的活性和参与氧化还原反应等多种生物活性, 从而对人体健康有益。BERNOUSSI 等^[32]的研究中来自摩洛哥两个不同品种的巴旦木锌含量最高分别可达 46.27 mg/kg 和 43.38 mg/kg, 远超核桃(31 mg/kg)、开心果(22 mg/kg)和澳洲坚果(13 mg/kg)中锌的含量^[15]。本研究中巴旦木锌含量均值为 41.91 mg/kg, 锌含量最高的品种为 AM14, 锌含量可达 68.69 mg/kg。WANG 等^[15]的研究中发现, 巴旦木中富含各种矿物质, 除了铁(44.3 mg/kg), BERNOUSSI 等^[32]巴旦木酸类物质相关性热图发现摩洛哥巴旦木中铁元素含量在 25.36~113.50 mg/kg 之间。本研究中铁元素虽不是巴旦木的主要矿物质成分, 但其含量也表现出较高水平, 在 94.47~142.70 mg/kg 之间。总的来说, 本研究中的巴旦木矿物质整体水平较高, 各类矿物质含量水平与 IBOURKI 等^[18]报道的结果一致, 即不同地区巴旦木中主要矿物质为钾、钙、磷和镁, 含有少量的钠、铁、铜、锌和锰。

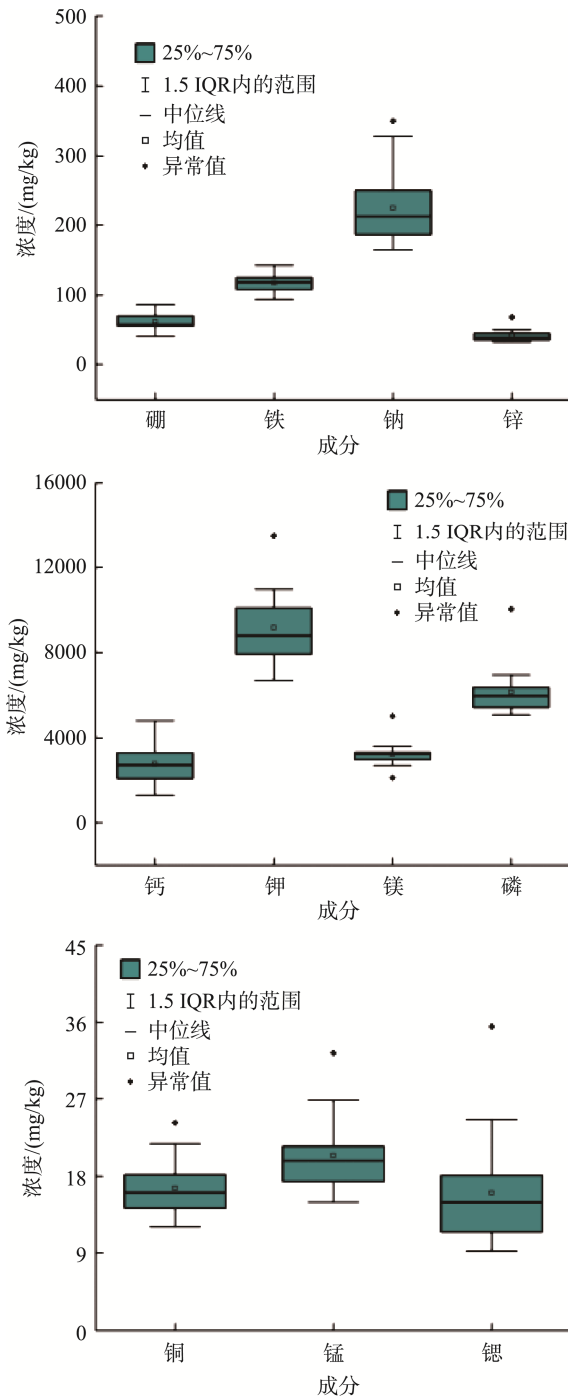


图5 矿物质组分含量分布

Fig.5 Distribution of minerals components

2.7 主成分分析

主成分分析是研究将原始变量的少数几个线性组合来解释原始变量的绝大部分信息(表 5)。第一个主成分(PC1)是解释数据集中方差最大的线性组合,尽可能多地保留数据中的信息;第二个主成分(PC2)解释剩余的方差,且与 PC1 不相关,其他主成分以此类推。对样本的营养成分进行主成分分析,结果如表 5 所示,巴旦木中营养成分含量

的前 4 个主成分的累计方差贡献率达 86.60%,且特征值均大于 1。以 PC1 为例, $PC1 = -0.01 \times \text{棕榈酸} - 0.11 \times \text{棕榈油酸} + 0.14 \times \text{硬脂酸} - 0.13 \times \text{油酸} + 0.13 \times \text{亚油酸} + 0.26 \times \text{天冬氨酸} + 0.24 \times \text{苏氨酸} + 0.26 \times \text{丝氨酸} + 0.26 \times \text{谷氨酸} + 0.26 \times \text{甘氨酸} + 0.27 \times \text{丙氨酸} + 0.26 \times \text{缬氨酸} + 0.27 \times \text{异亮氨酸} + 0.27 \times \text{亮氨酸} + 0.26 \times \text{酪氨酸} + 0.27 \times \text{苯丙氨酸} + 0.23 \times \text{组氨酸} + 0.17 \times \text{赖氨酸} + 0.27 \times \text{精氨酸} + 0.08 \times \text{脯氨酸} + 0.13 \times \text{富马酸}$ 。可以看到, PC1 与棕榈酸、棕榈油酸、油酸含量呈负相关,剩下的成分则相反,且当正负值(即载荷值)的绝对值越接近 1,相关性越高。PC1 方差贡献值最大,为 61.39%,载荷值绝对值较高的有丙氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸和精氨酸; PC2 方差贡献值为 12.24%,载荷值绝对值较高的有油酸和亚油酸; PC3 方差贡献值为 6.91%,载荷值绝对值较高的有棕榈油酸; PC4 方差贡献值为 6.06%,载荷值绝对值较高的有蛋氨酸和脯氨酸。因此,筛选出丙氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、精氨酸、油酸、亚油酸、棕榈油酸、蛋氨酸和脯氨酸可作为鉴定巴旦木营养品质的重要指标。

表 5 巴旦木营养成分因子载荷矩阵、方差贡献率及初始特征值
Table 5 Loading matrix, variance contribution rates and initial eigenvalues of nutrition components in almond kernels

指标	初始因子载荷矩阵			
	PC1	PC2	PC3	PC4
棕榈酸	-0.01	-0.40	0.30	-0.10
棕榈油酸	-0.11	0.15	0.58	-0.22
硬脂酸	0.14	-0.45	-0.09	-0.12
油酸	-0.13	0.51	-0.03	-0.05
亚油酸	0.13	-0.51	0.04	0.07
天冬氨酸	0.26	0.05	-0.01	-0.03
苏氨酸	0.24	0.10	0.10	-0.24
丝氨酸	0.26	0.10	0.09	0.03
谷氨酸	0.26	0.09	-0.03	-0.01
甘氨酸	0.26	0.02	0.01	-0.06
丙氨酸	0.27	0.05	0.03	0.01
缬氨酸	0.26	0.02	0.11	-0.04
蛋氨酸	0.00	0.02	-0.37	0.60
异亮氨酸	0.27	0.03	0.06	0.02
亮氨酸	0.27	0.07	0.07	0.05
酪氨酸	0.26	0.08	0.07	0.04
苯丙氨酸	0.27	0.08	0.05	0.01
组氨酸	0.23	0.06	-0.09	0.10
赖氨酸	0.17	-0.12	-0.20	-0.01
精氨酸	0.27	0.06	0.02	0.02
脯氨酸	0.08	0.06	0.41	0.60
富马酸	0.13	0.12	-0.41	-0.36
特征值	13.51	2.69	1.52	1.33
方差贡献值/%	61.39	12.24	6.91	6.06
累计方差贡献值/%	61.39	73.62	80.54	86.60

3 结 论

本研究对 19 种新疆喀什地区莎车县巴旦木的营养组分进行测定分析。新疆巴旦木不同品种之间各营养成分存在差异, 脂肪酸和氨基酸的组成及含量是评价巴旦木品质的主要指标。不同品种巴旦木间蔗糖、葡萄糖和果糖含量变化较大。在多种巴旦木中均测出了富马酸、酒石酸、柠檬酸、黄酮和多酚物质, 但也有样品如 AM10, 未检测出酒石酸和柠檬酸, 而 AM18 在所有活性物质含量水平上均高于平均值。巴旦木富含不饱和脂肪酸, 油酸和亚油酸是主要的不饱和脂肪酸。巴旦木中氨基酸含量丰富, 含有 18 种氨基酸, 谷氨酸含量最高, 而蛋氨酸是第一限制性氨基酸。此外, 巴旦木中药用氨基酸含量占比较高。巴旦木中的主要矿物质为钾、磷、镁和钙, 均高于美国农业部发布的巴旦木矿物质含量水平的数据。综上所述, 新疆巴旦木的营养价值高, 但不同品种之间各营养成分可能存在差异, 丙氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、精氨酸、油酸、亚油酸、棕榈油酸、蛋氨酸和脯氨酸可作为鉴定巴旦木营养品质的重要指标。我国巴旦木种类繁多, 本研究仅选取新疆莎车县 19 种巴旦木, 今后还可进一步扩大样本量, 深度挖掘, 为巴旦木的营养价值分析、品种筛选提供更多理论依据。

参考文献

- [1] MOORE EM, WAGNER C, KOMARNYTSKY S. The enigma of bioactivity and toxicity of botanical oils for skin care [J]. *Frontiers in Pharmacology*, 2020, 11: 785.
- [2] BARRECA D, NABAVI SM, SUREDA A, *et al.* Almonds (*Prunus dulcis* Mill. DA Webb): A source of nutrients and health-promoting compounds [J]. *Nutrients*, 2020, 12: 672.
- [3] RICHARDSON DP, ASTRUP A, COCAUL A, *et al.* The nutritional and health benefits of almonds: A healthy food choice [J]. *Food Science and Technology Bulletin: Functional Foods*, 2009, 6: 41–50.
- [4] YADA S, LAPSLEY K, HUANG G. A review of composition studies of cultivated almonds: Macronutrients and micronutrients [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2011, 24(4): 469–480.
- [5] BALAKRISHNA R, BJORNERUD T, BEMANIAN M, *et al.* Consumption of nuts and seeds and health outcomes including cardiovascular disease, diabetes and metabolic disease, cancer and mortality: An umbrella review [J]. *Advances in Nutrition*, 2022, 13(6): 2136–2148.
- [6] OLIVEIRA I, MEYER AS, AFONSO S, *et al.* Phenolic and fatty acid profiles, α -tocopherol and sucrose contents, and antioxidant capacities of understudied Portuguese almond cultivars [J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2019, 43. DOI: 10.1111/jfbc.12887
- [7] GOUTA H, LAARIBI I, KSIA E, *et al.* Physical properties, biochemical and antioxidant contents of new promising Tunisian almond genotypes: Traits stability, quality aspects and post-harvest attributes [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2021, 98. DOI: 10.1016/j.jfca.2021.103840
- [8] VICHI S, MAYER MN, LEÓN-CÁRDENAS MG, *et al.* Chemical markers to distinguish the homo- and heterozygous bitter genotype in sweet almond kernels: *Foods* [J]. 2020: 9. DOI: 10.3390/foods9060747
- [9] MELHAOUI R, KODAD S, HOUMY N, *et al.* Characterization of sweet almond oil content of four european cultivars (Ferragnes, Ferraduel, Fournat and Marcona) recently introduced in morocco [J]. 2021.
- [10] LARISSA TT, YPOLYTE C, ARMEL TF, *et al.* Impact of two processing methods on the antioxidant, hypolipidemic and hypoglycaemic capacities of *Irvingia gabonensis* (wild mango) almonds [J]. *Food Chemistry Advances*, 2023, 2: 100264.
- [11] 中国营养学会. 中国居民膳食指南(2022)[Z]. 2022. Chinese Nutrition Society. Chinese dietary guidelines for residents (2022) [Z]. 2022.
- [12] 李维霞, 魏佳, 苏玉红, 等. 高效液相色谱法测定巴旦木青皮提取物中齐墩果酸和熊果酸[J]. *食品科学*, 2016, 37(10): 151–157. LI WX, WEI J, SU YH, *et al.* Determination of oleanolic acid and ursolic acid in almond green skin extract by high-performance liquid chromatography [J]. *Food Science*, 2016, 37(10): 151–157.
- [13] 邢雅阁, 丁杰, 郭玲. 新疆杏仁酸类化合物及其营养品质分析[J]. *食品科学*, 2023, 44(12): 199–207. XING YG, DING J, GUO L. Analysis of acid compounds and nutritional quality of southern Xinjiang almonds [J]. *Food Science*, 2023, 44(12): 199–207.
- [14] SHAN X, LI L, LIU Y, *et al.* Untargeted metabolomics analysis using UPLC-QTOF/MS and GC-MS to unravel changes in antioxidant activity and compounds of almonds before and after roasting [J]. *Food Research International*, 2024, 194: 114870.
- [15] WANG W, WANG HL, XIAO XZ, *et al.* Wild almond (*Amygdalus pedunculata* Pall.) as potential nutritional resource for the future: Studies on its chemical composition and nutritional value [J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2019, 13(2019): 250–258.
- [16] REDA Melhaoui, SOUHAYLA Kodad, NADIA Houmy, *et al.* Characterization of sweet almond oil content of four european cultivars (Ferragnes, Ferraduel, Fournat, and Marcona) recently introduced in Morocco [J]. *Scientifica*, 2021, 2021: 1–10.
- [17] GHARBY S, HARHAR H, FARSSI M, *et al.* Influence of roasting olive fruit on the chemical composition and polycyclic aromatic hydrocarbon content of olive oil [J]. *Oilseeds and Fats Crops and Lipids*, 2018, 25(3): 1–7.
- [18] IBOURKI M, BOUZID HA, BIJLA L, *et al.* Physical fruit traits, proximate composition, fatty acid and elemental profiling of almond (*Prunus dulcis* Mill. DA Webb) kernels from ten genotypes grown in southern Morocco [J]. *OCL*, 2022, 29(9): 1–13.
- [19] HERNANDEZ EM. 4-specialty oils: Functional and nutraceutical properties [M]. Sanders TAB. *Functional Dietary Lipids*. Woodhead Publishing, 2016.
- [20] NANOS GD, KAZANTZIS I, KEFALAS P, *et al.* Irrigation and harvest time affect almond kernel quality and composition [J]. *Scientia Horticulturae*,

- 2002, 96(1): 249–256.
- [21] GUTIÉRREZ-GORDILLO S, DURÁN-ZUAZO VH, GARCÍA-TEJERO I. Response of three almond cultivars subjected to different irrigation regimes in Guadalquivir river basin [J]. *Agricultural Water Management*, 2019, 222: 72–81.
- [22] BARREALES D, PEREIRA JA, CASAL S, *et al.* Influence of sustained deficit irrigation and foliar kaolin application on almond kernel composition [J]. *Scientia Horticulturae*, 2023, 321: 112262.
- [23] 卢冉, 王炳智, 田英姿. 不同品种杏仁氨基酸组成分析及综合评价[J]. *食品科学*, 2021, 42(24): 229–235.
- LU R, WANG BZ, TIAN YZ. Amino acid composition analysis and comprehensive evaluation of different almond varieties [J]. *Food Science*, 2021, 42(24): 229–235.
- [24] 杨旭昆, 汪禄祥, 叶艳萍, 等. 7种云南产核桃中17种氨基酸含量测定与必需氨基酸模式分析[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(6): 1889–1894.
- YANG XK, WANG LX, YE YP, *et al.* Determination of 17 amino acids and analysis of essential amino acid patterns in 7 walnut varieties from Yunnan [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2020, 11(6): 1889–1894.
- [25] 熊丙全, 兰秀华, 彭卫红, 等. 不同羊肚菌氨基酸比较分析及营养评价[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(2): 114–119.
- XIONG BQ, LAN XH, PENG WH, *et al.* Comparative analysis of amino acids and nutritional evaluation of different morel mushrooms [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(2): 114–119.
- [26] 罗旭璐, 吴训锋, 刘强, 等. 不同菌株栽培天麻的氨基酸含量分析及营养评价[J]. *中国野生植物资源*, 2024, 43(5): 28–34.
- LUO XL, WU XF, LIU Q, *et al.* Amino acid content analysis and nutritional evaluation of gastrodia grown on different substrates [J]. *Chinese Wild Plant Resources*, 2024, 43(5): 28–34.
- [27] 冯笑笑, 李娟, 陈侨侨, 等. 翅果油树种仁蛋白氨基酸组成分析及营养价值评价[J]. *食品科学*, 2016, 37(22): 160–165.
- FENG XX, LI J, CHEN QQ, *et al.* Amino acid composition analysis and nutritional value evaluation of seed protein from winged bean [J]. *Food Science*, 2016, 37(22): 160–165.
- [28] 赵方杰, 廉喜红, 胡小平, 等. 不同产地西洋参氨基酸种类及含量分析[J]. *西北农业学报*, 2020, 29(7): 1051–1058.
- ZHAO FJ, LIAN XH, HU XP, *et al.* Analysis of amino acid types and content of ginseng from different regions [J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2020, 29(7): 1051–1058.
- [29] 陈玉芹, 赵成法, 沐远, 等. 刺通草的营养成分分析及其氨基酸评价[J]. *食品安全质量检测学报*, 2024, 15(7): 305–313.
- CHEN YQ, ZHAO CF, MU Y, *et al.* Nutritional component analysis and amino acid evaluation of *Tribulus terrestris* [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2024, 15(7): 305–313.
- [30] YANG F, HUANG X, ZHANG C, *et al.* Amino acid composition and nutritional value evaluation of Chinese chestnut (*Castanea mollissima* Blume) and its protein subunit [J]. *RSC Advances*, 2018, 8(5): 2653–2659.
- [31] SERON LH, POVEDA EG, PRATS-MOYA MS, *et al.* Characterisation of 19 almond cultivars on the basis of their free amino acids composition [J]. *Food Chemistry*, 1998, 61(4): 455–459.
- [32] BERNOUSSI S, BOUJEMAA I, EL-GUEZZANE C, *et al.* Comparative analysis of nutritional value and antioxidant activity in sweet and bitter almonds [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2024, 206: 116587.

(责任编辑: 蔡世佳 韩晓红)