

中国四个地区代表性沙棘果实综合品质评价

方贵平^{1,2}, 毕金峰², 刘春海³, 岳丽华³, 李旋², 刘佳³, 王雅^{1*}

(1. 兰州理工大学生命科学与工程学院, 兰州 730050; 2. 中国农业科学院农产品加工研究所, 农业农村部农产品加工综合性重点实验室, 北京 100193; 3. 承德宇航人高山植物应用技术有限责任公司, 承德 068451)

摘要: 为明确中国代表性产区沙棘品质的差异, 该研究以山西、河北、内蒙古、新疆地区加工使用频率高的4个沙棘品种(中国沙棘 *Hippophae rhamnoides*.L.*Zhongguoshaji*、宇璐沙棘 *Hippophae rhamnoides*.L.*Yulushaji*、蒙古沙棘 *Hippophae rhamnoides*.L.*Neimenggushaji*、阿勒泰大果沙棘 *Hippophae rhamnoides*.L.*Aletaidaguoshaji*)为研究对象, 从色泽、质地、滋味、风味、营养功能组分等方面研究其品质, 测定沙棘浆中的香气成分和小分子活性物质组成, 明确四个地区沙棘的综合品质, 并探究不同地区沙棘综合品质的差异。结果显示: 新疆阿勒泰大果沙棘色泽最鲜艳; 内蒙古中国沙棘的糖酸比(1.997)最大; 河北宇璐沙棘总酚含量(1.14 mg/g)最高; 新疆沙棘类胡萝卜素含量(37.15 mg/100 g)最高; 4种沙棘维生素C的含量无明显差异($P>0.05$), 约为21~23 mg/100 g; 4种沙棘抗氧化活性水平存在显著差异, 山西沙棘DPPH自由基清除率最高($P<0.05$), 内蒙古沙棘的ABTS自由基清除率和铁离子还原能力(FRAP)均最高($P<0.05$)。四个地区沙棘挥发性成分差异显著($P<0.05$), 其中河北、内蒙古、新疆、山西沙棘中特征挥发物质分别为3-辛酮、2-庚烯醛等, 异戊酸异丙酯、2-甲基丁酸丙酯等, 正辛烷、2,3-二氢-2,2,6-三甲基苯甲醛, 己酸戊酯、癸酸乙酯。四个地区沙棘主要多酚类物质包括奎宁酸、异鼠李素、阿洛酮糖等。四个地区沙棘14项品质指标进行因子分析, 共提取3个公因子, 累计方差贡献率达到100%。综合品质评价模型得出, 四个地区代表性沙棘品种综合品质得分依次为河北沙棘, 山西沙棘, 内蒙古沙棘, 新疆沙棘。该研究将为沙棘系列产品开发及原料选择提供理论依据和基础。

关键词: 主成分分析; 品质评价; 沙棘; 色泽; 功能性成分; 香气成分

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2022.21.029

中图分类号: TS255.44

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2022)-21-0249-12

方贵平, 毕金峰, 刘春海, 等. 中国四个地区代表性沙棘果实综合品质评价[J]. 农业工程学报, 2022, 38(21): 249-260.
doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2022.21.029 http://www.tcsae.org

Fang Guiping, Bi Jinfeng, Li Chunhai, et al. Evaluation of the comprehensive quality of sea buckthorn fruit in four areas of China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2022, 38(21): 249-260. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2022.21.029 http://www.tcsae.org

0 引言

沙棘又名醋柳、黑刺, 属于胡颓子科沙棘属的一类多年生落叶灌木或小乔木。中国的沙棘资源极为丰富, 占世界沙棘资源的90%以上, 广泛分布在山西、新疆、河北、内蒙古、甘肃等省区^[1]。

沙棘果实中含有近200种营养成分和生物活性成分, 包括维生素(A、C和E)、类胡萝卜素、酚类物质、酚酸、不饱和脂肪酸、甾醇、矿物质(铁、镁、钠、钙)等^[2], 被国家卫生健康委员会列为“药食同源”水果^[3], 素有“天然维生素宝库”美称^[4]。近年来, 沙棘果提取物已被证明具有抗氧化、抑制肿瘤、降血糖、降血脂、免疫调节、缓解炎症和韧带损伤等功能^[5]。

目前沙棘各类产品的开发成为研究方向, 包括沙棘汁饮料、沙棘粉、沙棘油等。但是, 由于我国各地的地理位置和气候条件的差异, 导致各个地方的沙棘果实原

料品质之间存在较大差异。不同地区沙棘原料种植面积、产量和可应用开发的水平也不尽相同, 新疆特色的沙棘品种——阿勒泰大果沙棘(*Hippophae rhamnoides*.L.*Aletaidaguoshaji*)为新疆维吾尔自治区阿勒泰地区特产, 中国国家地理标志产品, 2013年, 阿勒泰大果沙棘种植已经发展到16 000余hm², 年产鲜果6 000余t; 2015年原国家质检总局批准对“阿勒泰大果沙棘”实施地理标志产品保护。河北也是大面积种植沙棘的省份, 以宇璐沙棘(*Hippophae rhamnoides*.L.*Yulushaji*)为主。中国沙棘(*Hippophae rhamnoides*.L.*Zhongguoshaji*)在全国的分布最广, 种植面积最大, 广泛分布于山西、青海、宁夏、甘肃、内蒙古、西藏等。以山西吕梁为例, 据统计, 吕梁市现有不同盖度的天然沙棘面积80 000余hm², 约占全省沙棘面积的1/5、占全国沙棘面积的5%, 正常年沙棘鲜果产量在5万t以上。但主流产品均以沙棘原浆和沙棘汁饮料为主, 在基于原料适宜性的沙棘产品开发方面还存在多样性和针对性不足的问题。

近年来, 对沙棘的研究越来越多, 但是大多数仅局限于对某些地区的沙棘进行研究, 在乌仁斯庆等^[6]对山西和内蒙古等地区的沙棘品质进行比较研究, 分析了其果浆中的可溶性固体、总糖、维生素C、总酸的含量以及果油和籽油的脂肪酸含量, 得出山西、内蒙古沙棘是沙

收稿日期: 2022-07-04 修订日期: 2022-10-17

基金项目: 河北省重点研发计划项目“沙棘及特色果蔬高效节能冻干技术集成创新与示范”

作者简介: 方贵平, 研究方向为食品生物技术。Email: 3076301355@qq.com
※通信作者: 王雅, 博士, 副教授, 研究方向为功能性食品。

Email: wangya502@163.com

棘饮料食品的最佳来源。王芳等^[7]对山西不同地区沙棘叶的品质进行对比研究, 主要从含水率、氨基酸种类、蛋白质等方面分析其差异。高国燕等^[8]对不同省份(甘肃、山西、内蒙古、新疆、辽宁)小果沙棘叶黄酮和抗氧化进行研究, 得出甘肃沙棘黄酮含量最高且抗氧化性能最好。基于当前中国不同品种沙棘品质方面的研究, 山西、河北、内蒙古及新疆地区的(中国沙棘 *Hippophae rhamnoides*.L.*Zhongguoshaji*)、(宇璐沙棘 *Hippophae rhamnoides*.L.*Yulushaji*)、(蒙古沙棘 *Hippophae rhamnoides*.L.*Neimenggushaji*)、(阿勒泰大果沙棘 *Hippophae rhamnoides*.L.*Aletaidaguoshaji*)沙棘作为产品开发原料, 在品质方面具有显著代表性, 但不同地区沙棘综合品质的对比研究依然不足, 因此本文选取 4 个典型沙棘产区的代表性沙棘品种为原料, 从果实色泽、风味、流变、功能性成分进行对比, 并对其特征性组分进行测定, 研究分析沙棘果实的品质特性, 旨在为深入研究沙棘果活性功能食品开发提供参考, 为沙棘相关产品的开发及应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

选取河北、山西、新疆、内蒙古 4 个沙棘重点产区的代表性沙棘品种: 宇璐沙棘、中国沙棘、阿勒泰大果沙棘、蒙古沙棘。于 2021 年 11 月霜降后沙棘完全成熟, 分别在新疆阿勒泰市青河沙棘园、河北承德围场沙棘园、山西右玉县野生沙棘园、内蒙古鄂尔多斯野生沙棘, 采集当季沙棘鲜果, 采摘时同树枝一起采摘, 低温贮藏(-40°C)。冷链运输, 并在 -40°C 低温贮藏, 在冷冻条件下剔除枝条, 得冷冻沙棘果。

4-辛醇, 海贤鼎生物科技有限公司; 甲醇(色谱纯), Fisher 国药集团化学试剂有限公司; 氢氧化钠、盐、酸等均为国产分析纯; 维生素 C 测定试剂盒, 南京建成生物工程研究所。

1.2 仪器与设备

UV-1800 紫外分光光度计, 日本岛津公司; CPA-12 电子天平, 德国 Sartorius 公司; KQ-500Z 超声波发生器, (工作频率 40 kHz、功率 500 W), 昆山市超声仪器有限公司; DK-S26 电热恒温水浴锅, 上海精宏实验设备有限公司; 精密阿贝折射仪, WZB 系列便携式数显折射仪, 上海仪电精密仪器有限公司; Zetasizer Nano ZS 电位分析仪, 英国 Malvern 公司; 气相色谱轨道质谱仪, 美国 Thermo Fisher Scien 公司; 九阳高速破壁机, 九阳股份有限公司; CM-5 色泽测定仪, 日本 Konica Minolta 公司; DV2T 粘度计, AMETEK Brookfield 公司; 超高效液相色谱(1290), 飞行时间质谱(6545), 美国 Agilent 公司。

1.3 理化指标测定方法

1.3.1 样品的制备

选取 -40°C 冷冻沙棘果, 室温放置解冻处理, 去除破碎、发霉、变色的沙棘果以及树枝等杂物; 用清水清洗 3 遍, 置于质量分数为 1% 的盐水中浸泡 2~3 min, 取出沥干水分, 用九阳打浆机进行打浆, 用纱布进行过滤待分析。

1.3.2 色泽

采用 CM-5 色泽测定仪对 4 种不同地区沙棘浆的 L、a 和 b 值进行测定, 以白板和黑板进行仪器校准, 在白板基础上沙棘样品色泽平行测定。每个样品做 3 次平行试验。

1.3.3 可溶性固形物

采用手持式折光仪测定沙棘浆的可溶性固形物含量。用纯净水进行仪器校准, 每个沙棘样品做 3 次平行测定。

1.3.4 Zeta 电位

利用 Zeta 电位分析仪来测定沙棘浆的 Zeta 电位。采用纯净水作为空白对照, 每个沙棘样品做 3 次平行测定。

1.3.5 黏度

利用粘度计对沙棘浆的黏度进行测定; 测量时间为 1 min。

1.3.6 可滴定酸

参考聂继云等^[9]苹果可滴定酸的测定方法, 略有修改; 称取 4 g 沙棘浆, 加入 40 mL 左右的蒸馏水, 于沸水浴中煮沸, 然后定容至 50 mL, 备用; 打开测量软件, 进行仪器的校准, 选择好测量所用的模式进行测定。可滴定酸计算公式如下:

$$\text{TA} = \frac{CVK}{V_0} \cdot \frac{V_1}{m(v)} \times 100\% \quad (1)$$

式中 C 为 NaOH 标准溶液的摩尔浓度, mol/L; V_1 为试样定容后的体积, mL; V 为滴定时消耗 NaOH 标准溶液的体积, mL; V_0 为吸取滴定液的体积, mL; $m(v)$ 为试样质量与体积比, g/mL; K 为换算为苹果酸的换算系数, 取值为 0.067 g/mmol。

1.3.7 总糖

参考郭玉霞等^[10]方法测定总糖, 采用苯酚-硫酸比色法测沙棘浆中总糖的含量。标准曲线的绘制参考 GB/T 15672-2009《食用菌中总糖含量的测定》中的方法^[11]。

1.3.8 感官评定

根据国家绿色食品感官评定有关的内容, 应用模糊综合评判法, 制定沙棘浆感官评价的项目, 确定评分权重: 色泽 25%, 滋味 25%, 风味 15%, 接受度 35%, 感官评价评判集由 20 人组成的评判小组(男女比例 1:1, 年龄范围为 23~30 岁), 对沙棘浆进行评价。评价标准如表 1 所示。

表 1 沙棘浆感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation criteria for sea buckthorn pulp

| 评价项目 Evaluation Item | 评级 Grade | 感官评价标准 Sensory evaluation criteria | 评分 Score |
|--------------------------------|-------------|---------------------------------------|-------------|
| 色泽 Color (25 分) | I 级 | 橙黄色、色泽均一、无杂质、鲜艳 | 1~8 分 |
| | II 级 | 橙黄色、色泽较均一、较鲜艳 | 9~16 分 |
| | III 级 | 黄色、有沉淀和杂质、发灰暗淡 | 17~25 分 |
| 滋味 Taste (25 分) | I 级 | 酸甜可口, 味道适中 | 17~25 分 |
| | II 级 | 较酸、有涩感, 味道可以接受 | 9~16 分 |
| | III 级 | 过酸、涩感极强、难以接受 | 1~8 分 |
| 风味 Aroma (15 分) | I 级 | 沙棘特有的果香、怡人 | 11~15 分 |
| | II 级 | 沙棘果香、有微许酸涩气味、可接受 | 6~10 分 |
| | III 级 | 无果香、有酸臭味、无法接受 | 1~5 分 |
| 接受度 Acceptability (35 分) | I 级 | 完全接受, 非常满意 | 24~35 分 |
| | II 级 | 接受, 比较满意 | 12~23 分 |
| | III 级 | 不接受, 不满意 | 1~11 分 |

1.4 活性成分的测定

1.4.1 总酚

参考张星等^[12-13]总酚含量的测定方法, 以没食子酸为标准品, 绘制标准曲线, 测定沙棘浆中总酚的含量。

1.4.2 类胡萝卜素

参考宋慧慧等^[14-15]类胡萝卜素含量测定的方法。

1.4.3 抗坏血酸

采用维生素 C(Vitamin C, VC) /抗坏血酸(Ascorbic Acid, ASA) 测定试剂盒(南京建成生物工程研究所)测定沙棘浆中维生素 C 的含量。

1.5 抗氧化活性

选用 Trolox 为标准品, 测定 DPPH 自由基清除率(1,1-Diphenyl-2-Picrylhydrazyl Free Radical, DPPH)、ABTS 自由基清除率(2, 2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid), ABTS)、铁离子还原能力(Ferric ion Reducing Antioxidant Power, FRAP), 绘制 DPPH、ABTS、FRAP 的标准曲线, 结果用 Trolox 当量来表示抗氧化能力(Trolox Equivalent Antioxidant Capacity, TEAC)。

样液制备: 称取 5 g 沙棘浆于 50 mL 带盖离心管中, 再加入 10 mL 80% 甲醇, 在室温避光(25 °C)水浴间歇超声 2 h(超声 20 min, 静置 10 min); 9 500 r/min 离心 15 min, 取上清液。重复上述提取 2 次, 合并上清液, 放置在 4 °C 条件下, 24 h 内测完。

1.5.1 DPPH 自由基清除率

参考张星等^[12,16]抗氧化性 DPPH 的测定方法, 略有修改。取 2 mL 待测液, 加入 4 mL DPPH 溶液完全混合, 室温避光静置 30 min, 于 517 nm 处测定吸光值。

1.5.2 ABTS 自由基清除率

参考张星等^[12,17]ABTS 自由基清除的方法来测定沙棘浆 ABTS 自由基清除力, 结果用 Trolox 当量表示。用移液器吸取取 0.1 mL 待测液, 加入 3.6 mL ABTS 溶液完全混合, 室温静置 1 min, 于 734 nm 处测定吸光值。

1.5.3 FRAP 铁离子还原能力

参考 Tabart 等^[18]测定 FRAP 的方法来测定沙棘浆铁离子还原能力。

用移液器吸取 0.2 mL 待测液, 加入 6 mL FRAP 工作液, 完全混合, 37 °C 保温 30 min 后于 593 nm 处测吸光值。

1.6 香气成分和挥发性成分

参考 Li 等^[19]挥发性成分的测定方法, 取沙棘原浆 2 mL, 2 g NaCl, 10 μL 2.5 μg/mL 的 4-辛醇溶液混匀于顶空瓶中, 密封得到待测样品, 样品在 40 °C 孵化 20 min, DVB/CAR/PDMS (30/50 μm, sulpeco) 纤维头 40 °C 萃取 40 min, 进样口 250 °C 脱附 3 min。

气相色谱及质谱条件: TriPlus RSH 自动进样器, Trace 1310GC, Q-Exactive 静电场轨道阱质谱仪(Bremen, ThermoFisher)。

气相条件: VF-WAX ms (60 m × 0.25 mm i.d. × 0.25 μm); 程序升温条件(40 °C 保持 2 min, 4 °C/min 升至 230 °C, 保持 5 min); 载气, He(纯度大于 99.999%),

流速 1 mL/min, 分流比 5 : 1; 传输线温度: 250 °C。

质谱条件: 离子源温度 280 °C, 电子轰击电离源(EI, 70 eV), 扫描方式: 全扫描, 扫描范围(30~400 m/z), 分辨率 60 000。

定性分析: tracefinder 解卷积, 峰提取和谱库检索(NIST、WEILY 和自建库), 相似度(Similarity, SI)和相对强弱指数(Relative Strength Index, RSI)均大于 750。定量分析: 采用峰面积归一化法计算各种成分的含量。

1.7 小分子活性组分筛查

取 1 g 沙棘粉, 加入 25 mL 纯甲醇溶液, 充分溶解, 置于超声提取 2 h, 在 9 800 r/min 的转速下离心 10 min, 取上清液, 备用。

采用超高效液相飞行时间质谱(Ultra High Performance Liquid Time-of-flight Mass Spectrometry, UHPLC-QTOF-MS)进行小分子组分分析, 方法参考 Guo 等^[20]的方法, 色谱分离采用 ACQUITY UPLC BEH C18 色谱柱(2.1 mm × 100 mm, 1.7 μm), 柱温 30 °C。进样量为 5 μL, 流速设置为 0.4 mL/min。负电离模式(ESI-)中的流动相 A(体积比 0.1% 甲酸的 Milli-Q 水)和流动相 B(体积比 0.1% 甲酸的乙腈)梯度为如下: 7%~30% B 0~4.5 min、30%~100% B 4.5~6.5 min、100% B 6.5~7.5 min、100%~7% B 7.5~8 min 和 7% B 8~10 min, 后置时间为 3 min。质谱和仪器参数设置如下: MS 范围(m/z)为 50~1 700; MS 扫描速率为 4 spectra/s; MS/MS 扫描速率为 6 spectra/s; 气体温度为 325 °C; 气体流量为 8 L/min; 雾化器为 310 kPa; 鞘气温度为 350 °C; 鞘气流量为 11 L/min; 喷嘴电压为 1 000 V。利用 AnalysisBaseFileConverter 和 MS-DIAL 软件对数据进行分析。

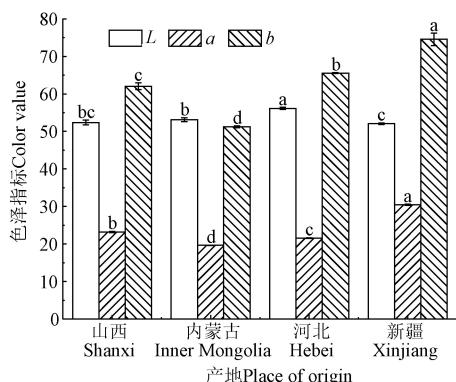
1.8 数据统计与分析

使用 SPSS26.0 软件对数据进行统计分析和因子分析, 使用单因素(ANOVA)检验进行显著性和差异性检验, 使用 Origin2021 软件进行绘图。

2 结果与分析

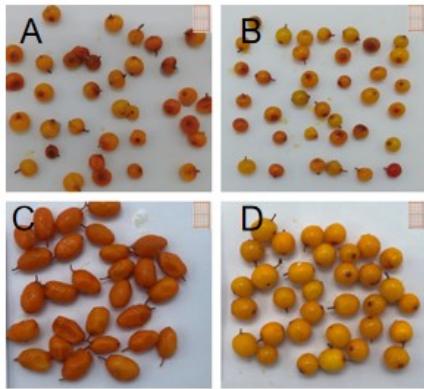
2.1 沙棘浆的色泽品质

以 L 值、a 值和 b 值作为评价沙棘浆色泽品质的依据, 如图 1 所示, 4 个品种的沙棘浆的 L 值、a 值和 b 值差异比较显著。河北沙棘的 L 值(56.14)是最高的, 新疆沙棘 L 值最低(52.07)最低; 新疆沙棘的 b 值(74.55)和 a 值(30.46)是最高的, 四个地区的沙棘中新疆沙棘的色泽偏黄且更鲜艳, 河北沙棘 b 值黄度值(65.55)次之, 内蒙古沙棘的 b 值(51.24)和 a 值(19.65)是最低的, 表现为内蒙古沙棘色泽偏暗。四个地区沙棘色泽的差异, 是由于各个地区之间气候条件和地理位置的差异引起的。在焦娇^[21]的研究结果中也发现光照、温度以及土壤中金属离子都会影响色泽的稳定性, 这充分说明各个地区之间由于地理位置的差异, 从而引起沙棘果实色泽的不同。



a. 中国四个地区沙棘表观色值对比

a. Comparison of color values of sea buckthorn in four areas of China



b. 中国四个地区沙棘图像

b. The picture of sea buckthorn pulp in four areas in China

A: 内蒙古产中国沙棘, B: 山西产中国沙棘, C: 新疆阿勒泰大果沙棘, D: 河北宇璐沙棘。

A: Chinese sea buckthorn from Inner Mongolia, B : Chinese sea buckthorn from Shanxi, C : Altay Big fruit sea buckthorn from Xinjiang, D: Yulu sea buckthorn from Hebei.

注: L 表示亮度; a 表示红色到绿色的范围; b 表示蓝色到黄色的范围。同一指标上标不同字母表示在 0.05 水平差异显著, 下同。

Note: L stands for brightness; a is the range from red to green. b is the blue to yellow range. Different letters in the superscript of the same index indicate significant differences at the 0.05 level, the same as below.

图 1 中国四个地区沙棘浆色泽分析

Fig.1 Color analysis of sea buckthorn pulp in four areas in China

2.2 沙棘浆的质地品质

以可溶性固形物含量、黏度和 Zeta 电位作为评价沙棘浆质地品质的依据。从表 2 可知, 沙棘浆的可溶性固形物含量在 3%~7% 之间, 其中山西沙棘 (6.53%) 可溶性固形物含量最高, 河北沙棘 (6.30%) 次之, 新疆沙棘 (3.27%) 最低。沙棘浆的黏度测定结果如表 2 所示, 内蒙古沙棘 (1 644 mPa·s) 和新疆沙棘 (1 655 mPa·s) 黏度要显著高于山西沙棘 (1 559 mPa·s) 和河北沙棘 (1 547 mPa·s) ($P<0.05$)。

通过测定颗粒表面的带电性质即 Zeta 电位, 来评估体系中悬浮颗粒的静电稳定性。一般来说, Zeta 电位的绝对值越高, 颗粒间排斥力越大, 从而达到分散稳定状态。而 Zeta 电位绝对值越低, 颗粒间排斥力小, 相互聚集, 体系不稳定。四个地区沙棘浆的 Zeta-电位如表 2 所示, 河北、山西和新疆沙棘 Zeta-电位无显著差异 ($P>0.05$), 而内蒙古沙棘 Zeta-电位显著低于以上三个地

区 ($P<0.05$), Zeta-电位指征沙棘浆的稳定性, 因此说明河北、山西和新疆三个地区沙棘浆稳定性无显著性差异 ($P>0.05$), 而内蒙古沙棘稳定性显著低于以上三个地区 ($P<0.05$)。

表 2 四个地区沙棘浆质地品质测定

Table 2 Determination of physical quality of sea buckthorn pulp in four areas

| 指标 Index | 山西 Shanxi | 内蒙古 Inner Mongolia | 河北 Hebei | 新疆 Xinjiang |
|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 可溶性固形物 Soluble solid/% | 6.53±0.15 ^a | 5.37±0.06 ^b | 6.30±0.10 ^a | 3.27±0.15 ^c |
| 黏度 Viscosity/(mPa·s) | 1 559.33±22.28 ^b | 1 644.33±28.45 ^a | 1 547.33±32.65 ^b | 1 655.33±20.74 ^a |
| Zeta-电位 Zeta-potential/mV | 0.41±0.07 ^a | 0.29±0.07 ^b | 0.42±0.06 ^a | 0.41±0.06 ^a |

注: 同一指标上标不同字母表示在 0.05 水平差异显著, 下同。

Note: Different letters in the superscript of the same index indicate significant differences at the 0.05 level. The same below.

2.3 沙棘浆的滋味品质

如图 2a 所示, 不同地区沙棘浆中可滴定酸 (Titratable Acidity, TA) 的含量差异显著, 其中河北沙棘中可滴定酸含量 (2.81%) 最高, 约为山西 (1.81%) 和内蒙古沙棘 (1.36%) 的 2 倍, 新疆沙棘 (0.46%) 的 7 倍, 这与沙棘生长过程中环境和气候的差异密切相关, 比如光照时长、湿度、土壤的肥沃程度、土壤微生物等都会影响可滴定酸的含量^[22]。

总糖是沙棘中非常重要的活性物质, 对人体有很多有益的功能, 例如抗氧化活性、降血糖抗炎等的作用^[23], 四个地区的沙棘浆的总糖含量如图 2b 所示, 四个地区沙棘中总糖含量存在显著差异 ($P<0.05$), 其中山西沙棘 (2.900 g/100 g) 最高, 内蒙古沙棘 (2.720 g/100 g) 次之, 新疆沙棘 (0.790 g/100 g) 最低; 总糖的含量也受很多外在因素的影响, 在热阳古·阿布拉^[24]的研究中发现温度和时间均会影响总糖含量。

糖酸比能直观的反映出沙棘的酸甜度, 从而大致判断其滋味、人们的接受度和喜好程度; 通过图 2a 和图 2b 数据计算可以明显比较出来, 内蒙古沙棘的糖酸比 (1.997) 最大, 新疆沙棘次之 (1.710), 山西沙棘 (1.603) 第三, 河北沙棘糖酸比 (0.523) 最小。

对不同品种的沙棘浆进行感官评价, 如图 2c 所示, 在风味和色泽两方面, 4 个品种沙棘的得分情况差异不大, 而在滋味方面 4 个品种的沙棘差异较大, 其中最受消费者欢迎的是内蒙古沙棘, 评分最高 (15.25 分), 山西沙棘得分次之 (13.00 分), 新疆沙棘的得分第三, 为 10.16 分, 河北沙棘的得分最低 (8.08 分); 最终对 4 个品种沙棘浆满意度进行综合评价, 最终总得分依次为内蒙古沙棘 (54.13 分)、山西沙棘 (47.62 分)、新疆沙棘 (46.18 分) 和河北沙棘 (40.40 分)。因此通过感官评价和糖酸比综合判断, 内蒙古沙棘的滋味品质接受度最高。结果表明, 消费者最满意的和最接受的是内蒙古沙棘 (19.25 分), 新疆沙棘次之 (16.68 分), 山西沙棘第三 (14.70 分), 河北沙棘最小 (11.40 分)。

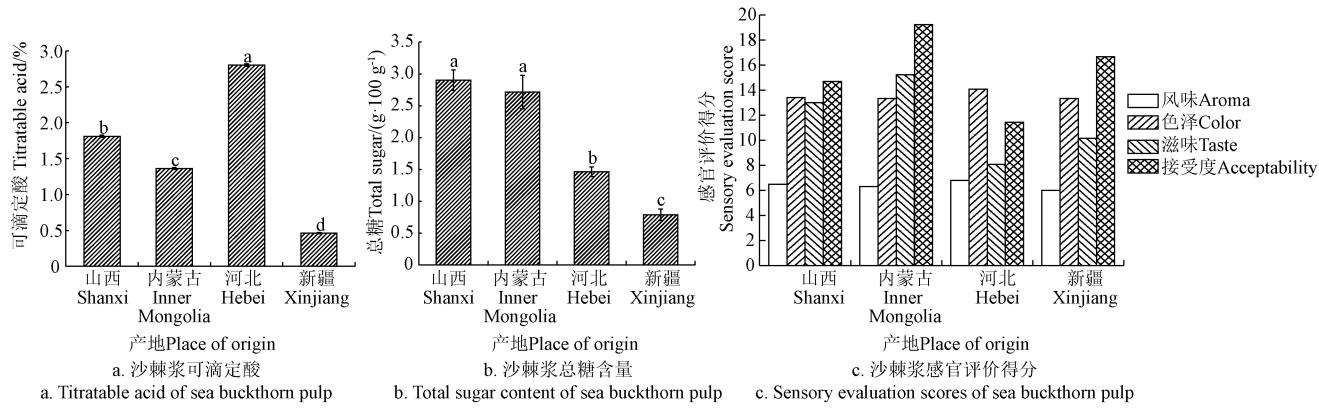


Fig.2 Taste quality determination of sea buckthorn pulp in four areas

2.4 沙棘浆的主要活性成分

四个地区沙棘中总酚的含量如表 3 所示, 山西 (1.258 mg/g)、内蒙古 (1.067 mg/g) 和河北 (1.141 mg/g) 沙棘中的总酚含量分别为新疆 (0.197 mg/g) 沙棘中总酚含量的 3~4 倍, 这与新疆大果沙棘水分含量较高密切相关。

类胡萝卜素是沙棘中重要的活性成分, 也是沙棘中重要的呈色物质^[25], 王启林等^[26]研究证实了沙棘类胡萝卜素具有抗氧化、免疫调节、抗癌等作用。四个地区沙棘中类胡萝卜素含量差异比较显著 (表 3), 新疆沙棘 (37.15 mg/100 g) 中类胡萝卜素含量最高, 河北沙棘的含量 (26.19 mg/100 g) 次之, 内蒙古沙棘中含量 (4.6 mg/100 g) 最低。严华等^[27]的研究发现不同品种沙棘粉中类胡萝卜素含量的差异明显, 且类胡萝卜素含量与采摘时间有关, 考虑到浆与粉的区别, 与本文的测定结果类似。

沙棘中富含维生素, 被称为“维生素之王”^[28], 其中维生素 C 对人体有着很重要的作用, 可以用于治疗炎症性疾病^[29]。四个地区沙棘中维生素 C 含量如表 3 所示, 其中山西、内蒙古、河北沙棘中维生素 C 含量无明显差异, 约为 21~23 mg/100 g, 新疆沙棘中维生素 C 含量显著低于其他三个地区 ($P<0.05$), 为 17.96 mg/100 g。在 Sytařová 等^[30]的研究中发现, 在冻干 48 h 后沙棘果粉中维生素 C 的含量在 98~365 mg/100 g 之间, 本文测定的为沙棘浆中维生素 C 的含量, 按照果实中含水率, 本文测定结果与其一致; 在赵晶等^[31]的研究中发现沙棘维生素 C 的含量还与贮藏的温度以及时间有关, 说明沙棘维生素 C 水平的变异性除受地域影响还与多种因素有关。

表 3 四个地区沙棘浆活性成分测定

Table 3 Determination of active components in sea buckthorn pulp from four areas

| 项目 Item | 山西 Shanxi | 内蒙古 Inner Mongolia | 河北 Hebei | 新疆 Xinjiang |
|---|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 总酚 Total phenols/ (mg·g ⁻¹) | 1.26±0.17 ^a | 1.07±0.15 ^a | 1.14±0.10 ^a | 0.20±0.11 ^b |
| 类胡萝卜素 Carotenoid/ (mg·100 g ⁻¹) | 15.89±0.06 ^c | 4.60±0.74 ^d | 26.19±4.57 ^b | 37.15±1.29 ^a |
| 维生素 C Vitamin C/ (mg·100 g ⁻¹) | 23.57±0.69 ^a | 21.35±1.96 ^a | 22.46±1.17 ^a | 17.96±1.28 ^b |

2.5 沙棘浆抗氧化特性

沙棘中含有很多种活性成分, 辛燕花等^[32]研究发现并证实了沙棘中维生素 C、多糖以及多酚都具有很高的抗氧化活性, 梁楷等^[33]的研究分析了沙棘中的抗氧化成分以及活性水平, Ursache 等^[34]在研究中证实了沙棘黄酮、类胡萝卜素和多酚类物质的抗氧化活性。四个地区沙棘抗氧化性的测定结果如表 4 所示山西沙棘和内蒙古沙棘的 DPPH 自由基清除能力显著高于河北沙棘和新疆沙棘 ($P<0.05$), 而四个地区沙棘浆的 ABTS 自由基清除能力无显著差异; 铁还原力 FRAP 活性 (表 4, 与 DPPH 自由基清除能力趋势一致, 山西、内蒙古沙棘的 FRAP 水平显著高于河北和新疆沙棘。相比而言, 新疆沙棘浆的抗氧化性能最低, 这与汪成等^[35]的研究结果相符; 沙棘的抗氧化活性与其中活性物质的含量正向相关。

表 4 四个地区沙棘浆抗氧化活性分析

Table 4 Antioxidant activity analysis of sea buckthorn pulp from four areas

| 项目 Item | 山西 Shanxi | 内蒙古 Inner Mongolia | 河北 Hebei | 新疆 Xinjiang |
|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| DPPH Trolox/(μmol·g ⁻¹) | 22.61±0.70 ^a | 20.72±0.69 ^b | 18.44±0.52 ^c | 15.87±0.58 ^d |
| ABTS Trolox/(μmol·g ⁻¹) | 57.11±2.42 ^a | 60.04±5.89 ^a | 51.08±4.32 ^a | 52.75±3.61 ^a |
| FRAP Trolox/(μmol·g ⁻¹) | 38.18±1.39 ^a | 42.67±5.17 ^a | 26.60±8.49 ^b | 19.50±1.42 ^b |

2.6 相关性分析

四个地区沙棘浆各项指标的相关性如表 5 所示, 沙棘浆 DPPH 自由基清除力与其可溶性固形物、总糖、维生素 C 以及总酚含量呈显著正相关 ($P<0.05$); ABTS 自由基清除力与总糖含量显著正相关 ($P<0.05$); FRAP 铁离子还原力与总糖、总酚含量显著正相关 ($P<0.05$)。而沙棘浆总酚含量与其可溶性固形物、可滴定酸、总糖及维生素 C 含量呈显著正相关 ($P<0.05$); 维生素 C 含量与可溶性固形物、可滴定酸和总糖含量显著正相关 ($P<0.05$); 而其类胡萝卜素含量与沙棘浆总糖含量显著负相关, 与色值 (a^* , b^*) 显著正相关 ($P<0.05$)。此外, 沙棘浆稳定性 (Zeta 电位) 与其色值 (b^*) 显著正相关, 其黏度与总酚、维生素 C、可滴定酸和可溶性固形物水平显著负相关 ($P<0.05$)。

表 5 四个地区沙棘浆果实品质指标的相关性分析
Table 5 Correlation analysis of fruit quality indexes of sea buckthorn pulp in four areas

| 果实品质指标 Fruit quality index | 色泽 L Color value L | 色泽 a Color value a | 色泽 b Color value b | 黏度 Viscosity | 可溶性固形物 Soluble solid | 可滴定酸 Titratable acid | 总糖 Total sugar | Zeta-电位 Zeta-potential | 维生素 C 含量 Vitamin C content | 类胡萝卜素 Carotenoid | 总酚 Total phenols | DPPH | ABTS | FRAP |
|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------|---------------------|------|------|------|
| 色泽 L Color value L | 1.00 | | | | | | | | | | | | | |
| 色泽 a Color value a | -0.49 | 1.00 | | | | | | | | | | | | |
| 色泽 b Color value b | -0.077 | 0.88 | 1.00 | | | | | | | | | | | |
| 黏度 Viscosity | -0.54 | 0.37 | -0.0088 | 1.00 | | | | | | | | | | |
| 可溶性固形物 Soluble solid | 0.48 | -0.79 | -0.54 | -0.76 | 1.00 | | | | | | | | | |
| 可滴定酸 Titratable acid | 0.84 | -0.68 | -0.26 | -0.82 | 0.86 | 1.00 | | | | | | | | |
| 总糖 Total sugar | -0.16 | -0.72 | -0.83 | -0.25 | 0.68 | 0.25 | 1.00 | | | | | | | |
| Zeta-电位 Zeta-potential | | 0.36 | 0.59 | -0.33 | 0.028 | 0.18 | -0.33 | 1.00 | | | | | | |
| 维生素 C 含量 Vitamin C content | 0.30 | -0.68 | -0.50 | -0.59 | 0.88 | 0.71 | 0.61 | 0.027 | 1.00 | | | | | |
| 类胡萝卜素 Carotenoid | 0.037 | 0.84 | 0.98 | 0.038 | -0.56 | -0.23 | -0.90 | 0.49 | -0.51 | 1.00 | | | | |
| 总酚 Total phenols | 0.44 | -0.86 | -0.68 | -0.69 | 0.94 | 0.77 | 0.74 | -0.24 | 0.81 | -0.69 | 1.00 | | | |
| DPPH | -0.099 | -0.68 | -0.71 | -0.42 | 0.77 | 0.37 | 0.96 | -0.21 | 0.73 | -0.79 | 0.80 | 1.00 | | |
| ABTS | -0.30 | -0.35 | -0.058 | 0.14 | 0.14 | -0.18 | 0.58 | -0.67 | 0.13 | -0.60 | 0.34 | 0.56 | 1.00 | |
| FRAP | -0.13 | -0.86 | -0.86 | -0.074 | 0.55 | 0.19 | 0.87 | -0.30 | 0.49 | -0.93 | 0.65 | 0.74 | 0.37 | 1.00 |

因此, 沙棘浆总酚、维生素 C、总糖和可溶性固形物指示其抗氧化水平及其相关活性, 可作为功能性沙棘产品加工原料选择的依据; 而类胡萝卜素和色值及黏度和 Zeta-电位指标指示其表观特征及加工品质, 可作为沙棘复合调制产品的开发。

2.7 沙棘浆中挥发性成分

表 6 对比了四个地区沙棘浆中香气成分和挥发性成分, 共检出 153 种化合物, 其中主要为酯类 (67 种), 包括 3-甲基丁酸 2-甲基丁酯, 辛酸乙酯, 己酸戊酯, 苯甲酸异戊酯, 己酸乙酯, 异戊酸异戊酯, 3-甲基丁酸乙酯等; 醇类 (18 种), 包括苯乙醇, 异丙醇, 正己醇, 苯甲醇, 5-甲基-1-己醇等; 醛类 (14 种), 包括 2-辛烯醛, 苯甲醛, 苯乙醛; 烃类 (15 种) 和酮类 (13 种) 等化合物。而宋自娟等^[36]对沙棘挥发性成分分析中, 共检测出 178 种化合物, 其中大多数化合物与本研究结果一致, 均检测出乙酸乙酯、苯乙酸乙酯、异戊醇、异戊酸、庚醛、2-庚酮、2-丁酮等化合物。黄蕊等^[37]对沙棘浆中挥发性成分进行定性和定量分析, 最终在沙棘原浆中共检测出 93 种化合物, 其中以醇类化合物和酯类化合物为主, 且含量上存在显著的差异, 这与当地的地理环境和气候条件密切相关, 从各组分的整体占比来说, 结果与本研究结果一致, 均为醇类和酯类化合物。

四个地区沙棘挥发性成分的含量差异显著。主成分分析 PCA (图 3) 获得两个主成分 PC1 和 PC2, 共解释了样品 96% 的差异, 其中 PC1=58% 可以有效地区分山西沙棘、新疆沙棘, 差异来源是己酸乙酯、己酸戊酯、正己醛、苯甲醛等含量的变化; PC2=38% 可以有效的区分河北沙棘和内蒙古沙棘, 差异来源是乙基 3-羟基-3-甲基丁酸酯、3-辛酮、1,3-二叔丁基苯、2-甲-1-硝丙烷; 苯甲酸仲丁酯、二氢猕猴桃内酯、正辛醛、庚酸等含量的差异。河北宇璐沙棘中特征挥发物质为 3-辛酮、2-庚烯醛、异丁酸戊酯; 内蒙古沙棘中特征挥发物质为异戊酸异丙

酯、2-甲基丁酸丙酯和 (甲硫基) 乙酸乙酯; 新疆沙棘中特征挥发物为正辛烷、2,3-二氢-2,2,6-三甲基苯甲醛; 山西沙棘挥发性物质种类最少为 128 种, 其中的特征性挥发物为己酸戊酯、罗勒烯、癸酸乙酯。

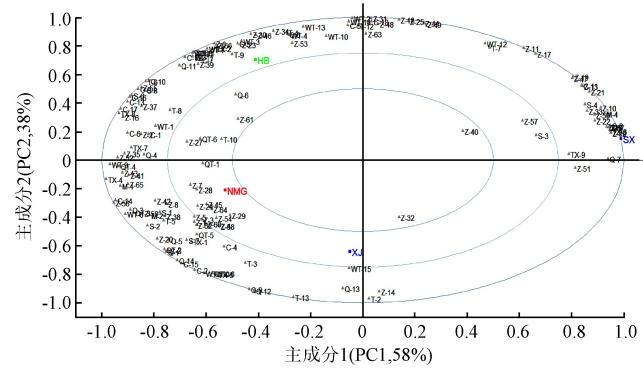
表 6 四个地区沙棘浆挥发性成分测定结果对比

Table 6 Comparison of determination results of volatile components in sea buckthorn pulp in four areas

| 代号 Code name | 化合物名称 Name of compound | 山西 Shanxi | 内蒙古 Inner Mongolia | 河北 Hebei | 新疆 Xinjiang | ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) |
|--------------------|---------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|------------------|-------------------------------------|
| | 醇类 | 5 693.88 | 14 912.428 | 16 796.423 | 6 444.403 | |
| C-1 | 异丙醇 | 2 105.574 | 5 714.95 | 4 326.909 | 2 535.972 | |
| C-2 | 正辛醇 | 37.276 | 149.201 | 69.424 | 155.423 | |
| C-3 | 正己醇 | 172.534 | 114.135 | 277.471 | 109.617 | |
| C-4 | 仲丁醇 | — | 70.36 | 52.55 | 18.051 | |
| C-5 | 异戊醇 | 186.674 | 738.298 | 902.167 | 345.135 | |
| C-6 | 苯甲醇 | 132.412 | 32.443 | 87.073 | 54.818 | |
| C-7 | 苯乙醇 | 2 937.089 | 7 181.372 | 10 450.355 | 2 528.528 | |
| C-8 | 2-(甲硫基)乙醇 | 8.901 | 121.753 | 139.377 | 46.686 | |
| C-9 | 5-甲基-1-己醇 | 86.479 | 452.785 | 314.339 | 329.313 | |
| C-10 | 6-甲基-5-庚烯-2-醇 | 15.604 | 284.897 | 111.311 | 292.414 | |
| C-11 | 异丁醇 | 11.337 | 52.234 | 65.447 | 28.446 | |
| | 酯类 | 35 683.699 | 18 137.041 | 33 095.157 | 6 614.89 | |
| Z-1 | 2-甲基丁酸仲丁酯 | — | 754.957 | 95.02 | 238.338 | |
| Z-2 | 苯甲酸异丁酯 | 26.495 | 93.102 | 70.146 | 37.341 | |
| Z-3 | 2-甲基丙酸丙酯 | — | 179.542 | 16.427 | 48.083 | |
| Z-4 | 3-甲基丁酸 2-甲基丁酯 | 4 435.142 | 7 434.876 | 12 016.234 | 3 158.1 | |
| Z-5 | 异戊酸异丙酯 | 23.087 | 198.433 | 60.61 | 42.361 | |
| Z-6 | 辛酸乙酯 | 6 767.01 | 60.778 | 526.223 | 27.54 | |
| Z-7 | 己酸戊酯 | 1 027.072 | 27.573 | 230.69 | 6.366 | |
| Z-8 | 癸酸乙酯 | 392.51 | 9.05 | 13.948 | 3.022 | |
| Z-9 | 苯甲酸异戊酯 | 7 551.692 | 602.059 | 3 088.627 | 221.61 | |
| Z-10 | 壬酸乙酯 | 12.532 | 18.413 | 2.018 | 17.395 | |
| Z-11 | 惕各酸乙酯 | 440.957 | 31.739 | 310.02 | 6.302 | |
| Z-12 | 庚酸乙酯 | 210.287 | 23.448 | 106.692 | 16.12 | |
| Z-13 | 苯甲酸仲丁酯 | — | 663.202 | 223.691 | 440.827 | |
| Z-14 | 己酸乙酯 | 8 640.56 | 118.599 | 2 981.226 | 29.62 | |
| Z-15 | 苯乙酸乙酯 | 71.657 | 17.25 | 15.084 | 4.955 | |
| Z-16 | 异戊酸异丁酯 | 10.805 | 583.99 | 87.478 | 124.919 | |
| Z-17 | 2-羟基-3-甲基丁酸乙酯 | 131.288 | 43.299 | 188.013 | 13.771 | |
| Z-18 | 4-癸烯酸乙酯 | 158.087 | 1.864 | 5.156 | 0.201 | |
| Z-19 | 乙酸苯乙酯 | 14.518 | 44.81 | 26.401 | 12.295 | |

续表

| 代号 Code name | 化合物名称 Name of compound | 山西 Shanxi | 内蒙古 Inner Mongolia | 河北 Hebei | 新疆 Xinjiang |
|--------------------|---------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|-------------------|
| | 酯类 | 35 683.699 | 18 137.041 | 33 095.157 | 6 614.89 |
| Z-20 | 2-甲基丙酸 3-甲基丁酯 | 78.238 | 427.746 | 63.984 | 122.111 |
| Z-21 | 异戊酸异戊酯 | 1 956.001 | 2 740.668 | 8 365.653 | 775.189 |
| Z-22 | 异丁酸苯乙酯 | 46.837 | 69.299 | — | 19.933 |
| Z-23 | 乙基 3-羟基-3-甲基丁酸酯 | 105.577 | 100.97 | 462.937 | 20.031 |
| Z-24 | 乙酸乙酯 | 114.575 | 345.203 | 614.088 | 96.402 |
| Z-25 | 乙酸异戊酯 | 15.443 | 102.085 | 92.986 | 26.8 |
| Z-26 | 丁酸丙酯 | — | 306.542 | 84.507 | 126.366 |
| Z-27 | 异戊酸丙酯 | 19.364 | 41.155 | 45.892 | 10.979 |
| Z-28 | 2-甲基丁酸异丁酯 | — | 1 868.495 | 643.431 | 674.146 |
| Z-29 | 3-甲基丁酸乙酯 | 1 072.608 | 249.839 | 1 465.603 | 58.108 |
| Z-30 | (甲硫基)乙酸乙酯 | — | 103.036 | 9.794 | 15.575 |
| Z-31 | 2-甲基丁酸乙酯 | 575.768 | 73.504 | 271.605 | 19.447 |
| Z-32 | 戊酸苄酯 | 145.288 | 35.903 | 197.209 | 21.267 |
| Z-33 | 苯甲酸乙酯 | 1 361.164 | 264.671 | 297.745 | 49.539 |
| Z-34 | 己酸异丁酯 | 3.011 | 150.133 | 103.174 | 60.677 |
| Z-35 | 异丁酸戊酯 | 138.582 | 174.468 | 199.929 | 40.562 |
| Z-36 | 2-甲基异丙酸 2-甲基丁酯 | 73.877 | 50.09 | 27.885 | 10.778 |
| Z-37 | 2-甲基丙酸乙酯 | 46.348 | 110.284 | 64.759 | 14.208 |
| Z-38 | 2-乙基丁酸丁酯 | 17.319 | 15.966 | 20.272 | 3.606 |
| | 醛类 | 313.555 | 215.236 | 228.43 | 243.646 |
| Q-1 | 壬醛 | 11.407 | 138.269 | 82.467 | 160.456 |
| Q-2 | 2-辛烯醛 | 223.75 | 2.827 | 22.483 | 4.464 |
| Q-3 | 正辛醛 | 0.383 | 16.923 | 13.543 | 24.254 |
| Q-4 | 苯甲醛 | 54.795 | 40.668 | 37.095 | 39.693 |
| Q-5 | 苯乙醛 | 23.22 | 16.549 | 72.842 | 14.779 |
| | 酮类 | 65.284 | 636.027 | 611.238 | 325.703 |
| T-1 | 2-庚酮 | 4.083 | 2.519 | 17.168 | 1.399 |
| T-2 | 甲基庚烯酮 | 24.781 | 464.758 | 148.729 | 222.107 |
| T-3 | 2-丁酮 | — | 11.932 | 17.665 | 3.649 |
| T-4 | 3-辛酮 | 8.342 | 10.622 | 28.41 | 11.182 |
| T-5 | 3-羟基-2-丁酮 | 22.424 | 136.046 | 394.771 | 74.007 |
| T-6 | 3,5,5-三甲基-3-环己烯-1-酮 | 5.654 | 10.15 | 4.495 | 13.359 |
| | 酸类 | 113.088 | 323.116 | 637.438 | 140.13 |
| S-1 | 乙酸 | 6.141 | 100.285 | 34.987 | 44.561 |
| S-2 | 庚酸 | — | 31.476 | 11.931 | 18.66 |
| S-3 | 辛酸 | 28.024 | 19.013 | 9.909 | 6.476 |
| S-4 | 正己酸 | 44.478 | 14.394 | 16.649 | 6.357 |
| S-5 | 异戊酸 | 34.445 | 100.949 | 554.814 | 35.372 |
| S-6 | β -羟基异戊酸 | — | 56.999 | 9.148 | 28.704 |
| | 烃类 | 99.646 | 143.468 | 241.389 | 100.119 |
| WT-1 | 对二甲苯 | 6.974 | 6.107 | 8.761 | 4.474 |
| WT-2 | 间二甲苯 | 17.63 | 18.422 | 24.243 | 17.374 |
| WT-3 | 2,2,4,6,6-五甲基庚烷 | 5.494 | 3.609 | 18.127 | 3.512 |
| WT-4 | 2,4-二甲基庚烷 | 4.943 | 19.06 | 16.219 | 19.451 |
| WT-5 | 邻二甲苯 | 9.75 | 11.109 | 14.057 | 9.819 |
| WT-6 | 甲苯 | 40.889 | 78.497 | 132.474 | 41.848 |
| WT-7 | 4, 4-二甲基庚烷 | 13.966 | 6.664 | 27.508 | 3.641 |
| | 萜烯类 | 69.792 | 505.774 | 375.746 | 324.442 |
| TX-1 | 3-异丙基-6-亚甲基-1-环己烯 | — | 42.772 | 5.797 | 21.004 |
| TX-2 | 柠檬烯 | 2.86 | 6.808 | 18.48 | 3.45 |
| TX-3 | 苯乙烯 | 55.724 | 411.424 | 318.911 | 279.966 |
| TX-4 | 2, 5-二甲基-1,4-己二烯 | 11.208 | 44.77 | 32.558 | 20.022 |
| | 醚类 | 1 121.167 | 158.364 | 260.681 | 74.776 |
| M-1 | 二甲基二硫醚 | 0.409 | 9.076 | 5.397 | 4.694 |
| M-2 | 安息香异丙醚 | — | 124.406 | 44.775 | 60.815 |
| M-3 | 二乙二醇乙醚 | 3.121 | 7.294 | 9.818 | 2.038 |
| M-4 | 4-辛烯酸乙醚 | 1 117.637 | 17.588 | 200.691 | 7.229 |
| | 其他 | 1.416 | 6.82 | 10.291 | 8.526 |
| QT-1 | 萘 | 1.199 | 2.574 | 1.512 | 1.122 |
| QT-2 | 2-乙基呋喃 | — | 2.533 | 3.161 | 2.786 |
| QT-3 | 1,1,6-三甲基-1,2-二氢萘 | 0.217 | 1.713 | 5.618 | 4.618 |
| | 总量 | 43 161.527 | 35 038.274 | 52 256.793 | 14 276.635 |



注: C-1 代表异丙醇, 其他符号见表 6。

Note: C-1 stands for isopropanol, the other symbol can be found in Table 6.

图 3 四个地区沙棘浆香气和挥发性成分主成分分析
Fig.3 PCA analysis of aroma and volatile components in sea buckthorn pulp in four areas

2.8 四个地区沙棘浆小分子活性组分分析

对四个地区沙棘浆采用超高效液相飞行时间质谱分析其小分子组分, 利用数据库进行对比、筛选, 选取匹配度高的组分(表 7)。共鉴定了 60 个非挥发小分子组分, 以有机酸为主, 酚类次之, 还包括多种维生素等物质。

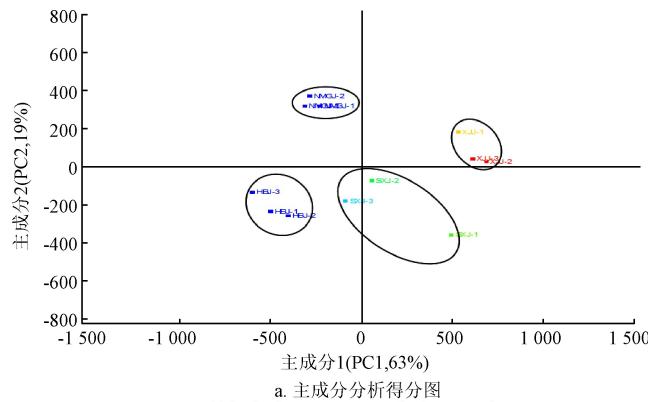
表 7 四个地区沙棘浆活性组分筛查鉴定

Table 7 Screening and identification of active components of sea buckthorn pulp in four areas %

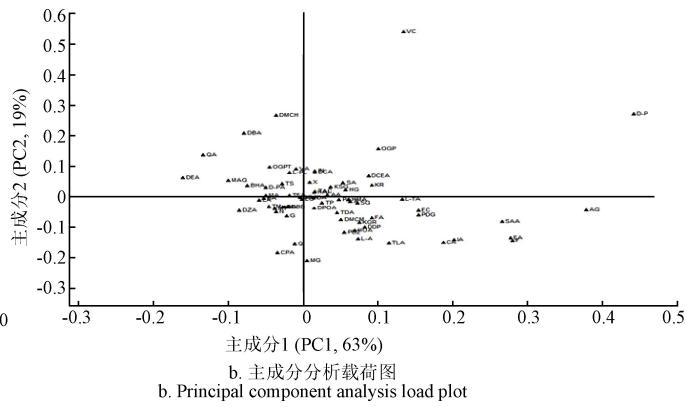
| 代号 Code name | 化合物名称 Name of compound | 山西 Shanxi | 内蒙古 Inner Mongolia | 河北 Hebei | 新疆 Xinjiang | |
|--------------------|---------------------------|-------------------|--------------------------|-------------|----------------|------|
| QA | 奎宁酸 | 4.30 | 3.78 | 3.07 | 7.61 | |
| DEA | 1,3-二羟基-12,24-二烯酸 | 53.34 | 46.08 | 42.30 | 66.63 | |
| OA | 6-十八碳烯酸 | 1.07 | 1.61 | 1.67 | 1.40 | |
| G | [6]-姜酚 | 1.95 | 2.69 | 2.37 | 2.04 | |
| X | 1,4-D 二甲苯 | 0.19 | 0.30 | 0.24 | 0.01 | |
| DOA | 12,13-二羟基-9Z-十八碳烯酸 | 0.53 | 0.71 | 0.67 | 0.65 | |
| DA | 2,2-二甲基琥珀酸 | 0.43 | 0.28 | 0.13 | 0.46 | |
| TM | 3,4,5,7-四羟基-3-甲氧基黄酮 | 0.43 | 0.44 | 0.36 | 0.15 | |
| HG | 3,5-二-β-吡喃葡萄糖基根皮素 | 0.91 | 1.34 | 1.28 | 1.13 | |
| BHA | 3,5-二叔丁基-4-羟基苯甲酸 | 0.14 | 0.20 | 0.12 | 0.06 | |
| DBB | 3,6-二叔丁基-1,2-苯二醇 | 0.23 | 0.19 | 0.26 | 0.14 | |
| AA | 玉米黄素 | 0.44 | 0.61 | 0.67 | 0.43 | |
| A | 黄芪甲苷 | 0.03 | 0.02 | 0.12 | 0.15 | |
| CPA | 环己胺丙磺酸 | 1.08 | 0.68 | 0.90 | 1.58 | |
| MA | 苹果酸 | 0.91 | 1.17 | 1.06 | 0.15 | |
| DZA | 十二烷基苯磺酸 | 1.15 | 1.57 | 1.52 | 1.35 | |
| D-P | d-阿洛酮糖 | 7.87 | 8.81 | 13.30 | 1.42 | |
| EG | 表儿茶素没食子酸酯 | 0.16 | 0.27 | 0.26 | 0.24 | |
| EC | 表没食子儿茶素 | 3.50 | 0.86 | 1.48 | 1.87 | |
| EA | 洋桔梗酸 | 1.35 | 0.91 | 0.24 | 0.97 | |
| I | 异鼠李素 | 0.21 | 0.31 | 0.30 | 0.28 | |
| IN | 异鼠李素 3-新橙皮苷 | 1.09 | 1.66 | 1.53 | 1.37 | |
| GR | 山奈酚 3-葡萄糖苷 | 3.40 | 9.40 | 1.03 | 2.80 | |
| L-A | 鼠李糖苷 | 1.44 | 1.81 | 1.07 | 1.04 | |
| L-TA | 精氨酸 | 1.94 | 4.38 | 7.41 | 1.30 | |
| MT | 酒石酸 | 0.12 | 0.04 | 0.10 | 0.11 | |
| MG | 麦芽三糖 | N-(3-硝基苯甲酰基)甘氨酸甲酯 | 0.13 | 0.27 | 0.16 | 0.01 |
| Q | 槲皮苷 | 0.20 | 0.23 | 0.10 | 0.43 | |
| PB2 | 原花青素 B2 | 0.27 | 0.39 | 0.17 | 0.17 | |
| SA | 漆树酸 | 0.27 | 0.34 | 0.34 | 0.32 | |
| VA | 戊酸 | 0.13 | 0.28 | 0.20 | 0.03 | |
| VC | 维生素 C | 0.35 | 0.74 | 0.98 | 0.04 | |

主成分分析如图 4 所示, 获得了 5 个主成分, 共解释了样品 98% 的差异, 其中 PC1=63% 可以有效的区分内蒙古沙棘、河北沙棘、新疆沙棘和山西沙棘, 差异来源主要是异鼠李素、N-(3-硝基苯甲酰基)甘氨酸甲酯、环己胺丙磺酸等含量的差异, PC2=19% 和

PC3=9% 可以有效地区分山西沙棘与其他三个地区的沙棘, 差异来源主要是 1, 3-二羟基-12, 24-二烯酸、奎宁酸等的含量差异; PC4=5% 和 PC5=2% 可以区分新疆沙棘和其他三个地区的沙棘, 差异来源主要是 d-阿洛酮糖等组分。



a. 主成分分析得分图
a. Principal component analysis score chart



b. 主成分分析载荷图
b. Principal component analysis load plot

注: QA 代表奎宁酸, 其他符号见表 8。

Note: QA represented quinic acid, and other symbols are shown in Table 8.

图 4 四个地区沙棘浆多酚组成主成分分析

Fig.4 Principal component analysis of polyphenols in sea buckthorn pulp in four areas

2.9 四个地区代表性沙棘品种品质综合评价

2.9.1 四个地区代表性沙棘品种品质的公因子分析

对四个地区代表性品种沙棘的品质指标进行数据标准化处理, 对其进行公因子分析^[38-40], 利用最大方差法进行旋转后得到公因子载荷矩阵, 如表 8 所示。

表 8 四个地区代表性沙棘品质公因子分析

Table 8 Common factor analysis of sea buckthorn quality in four areas

| 果实品质指标 Fruit quality index | 公因子 Common factor | | |
|---|-------------------|--------|--------|
| | f_1 | f_2 | f_3 |
| 色泽 b Color b | -0.962 | -0.223 | -0.159 |
| 色泽 a Color a | -0.725 | -0.483 | -0.491 |
| Zeta-电位 Zeta-potential | -0.927 | 0.372 | -0.045 |
| 类胡萝卜 Carotenoid | -0.953 | -0.302 | -0.016 |
| 总糖 Total sugar | 0.782 | 0.573 | -0.246 |
| ABTS | 0.917 | 0.037 | -0.398 |
| FRAP | 0.908 | 0.400 | -0.121 |
| DPPH | 0.633 | 0.735 | -0.243 |
| 总酚 Total phenols | 0.492 | 0.827 | 0.272 |
| 维生素 C 含量 Vitamin C content | 0.327 | 0.930 | 0.166 |
| 黏度 Viscosity | 0.251 | -0.918 | -0.306 |
| 可溶性固体物 Soluble solid | 0.297 | 0.911 | 0.285 |
| 可滴定酸 Titratable acid | -0.007 | 0.742 | 0.671 |
| 色泽 L Color L | -0.142 | 0.301 | 0.943 |
| 特征根 Characteristic root | 6.416 | 5.407 | 2.176 |
| 贡献率 Contribution rate/% | 45.831 | 38.623 | 15.546 |
| 累计方差贡献率 Cumulative variance contribution rate/% | 45.831 | 84.454 | 100 |

通过分析, 共得出 3 个公因子, 其累计方差贡献率达到 100%, 同时其特征值均大于 1, 基本能反映沙棘浆品质的大部分信息。第 1 公因子的贡献率达到 45.831%, 包括色泽 b、色泽 a、类胡萝卜素、Zeta-电位、总糖、ABTS、

FRAP 值, 它们的因子载荷分别为 -0.962、0.725、-0.159、-0.725、-0.483、-0.491, 主要反映沙棘色泽、甜味及抗氧化活性; 第 2 个公因子的贡献率为 38.623%, 包括维生素 C、黏度、可溶性固体物、总酚、可滴定酸, 它们的因子载荷为 0.917、0.908、0.633、0.492、0.327, 主要反映沙棘涩度和酸味的; 第 3 个公因子的贡献率为 15.546%, 主要包括色泽 L, 其因子载荷为 0.943, 主要反映沙棘汁的亮度。

2.9.2 四个地区代表性沙棘品种品质的各公因子得分和综合评价

对四个地区代表性沙棘品种进行因子分析, 提取公因子, 通过公因子的贡献率为权重^[44-46], 建立果实品质综合得分 (f_2) 的数学模型: $f_2 = 45.831/100f_1 + 38.623/100f_2 + 15.546/100f_3$, 通过模型计算, 获得四个地区沙棘的综合得分, 根据得分情况进行排序, 如表 10 所示。根据表 9 得知, 四个地区综合得分依次为河北、山西、内蒙古、新疆。其中, 河北沙棘的第 1 个公因子排在第 1, 沙棘浆的颜色比较鲜艳, 同时糖含量比较高, 抗氧化活性较强, 第 2 个公因子和第 3 个公因子排在第 3 和第 2, 其果实中维生素 C、总酚和可滴定酸含量较适中, 沙棘浆的亮度较好, 综合得分最高。山西沙棘第 1 个公因子排在第 2, 其果实色泽较适中, 糖含量和抗氧化活性较适中, 第 2 个公因子排在第 1, 其浆中维生素 C、可滴定酸含量较高, 浆口感比较酸, 第 3 个公因子排在第 4, 其果实亮度较差, 综合得分排在第 2。内蒙古沙棘第 3 个公因子排在第 1, 其沙棘浆亮度是最好的, 第 1 个公因子和第 2 个公因子排在第 3 和第 2, 其沙棘浆抗氧化活性偏差, 糖含量较低, 维生素 C、总酚和可滴定酸含量较适中, 综合得分排在第 3。新疆沙棘第 1 个公因子和第 2 个公因子均排在第 4, 其果实活性物质的含量较低, 抗氧化活性偏差,

色泽偏差, 第3个公因子排在第3, 其沙棘浆亮度较低, 综合得分排在第4。

表9 四个地区代表性沙棘品质各公因子得分和综合评价
Table 9 Common factor scores and comprehensive evaluation of sea buckthorn quality in four areas

| 品种名称 Cultivar names | 公因子1 Common factor 1 | 排序 Sort | 公因子2 Common factor 2 | 排序 Sort | 公因子3 Common factor 3 | 排序 Sort | 综合得分 Compre- hensive score | 排序 Sort |
|---------------------------|----------------------------|------------|----------------------------|------------|----------------------------|------------|----------------------------------|------------|
| 山西 Shanxi | 0.033 16 | 2 | 1.150 13 | 1 | -0.962 34 | 4 | 0.31 | 2 |
| 内蒙古 Inner Mongolia | -0.562 08 | 3 | 0.461 73 | 2 | 1.311 82 | 1 | 0.12 | 3 |
| 河北 Hebei | 1.392 09 | 1 | -0.518 76 | 3 | 0.207 34 | 2 | 0.47 | 1 |
| 新疆 Xinjiang | -0.863 17 | 4 | -1.093 11 | 4 | -0.556 82 | 3 | -0.9 | 4 |

3 结 论

1) 中国四个地区代表性品种沙棘在色泽、滋味、质地、功能物质和抗氧化活性方面的对比表明: 在色泽方面, 新疆沙棘浆 b 值最高, 河北沙棘次之, 内蒙古沙棘最低; 在滋味方面, 内蒙古沙棘的糖酸比(1.997)最大, 感官评分最高。河北沙棘的糖酸比(0.523)最小、感官综合评分最低。在质地方面, 新疆和内蒙古沙棘黏度显著大于山西和河北沙棘($P<0.05$), 而内蒙古沙棘 Zeta-电位显著小于其他三个地区沙棘。在功能性物质方面, 内蒙古沙棘总抗氧化活性最高, 河北沙棘总酚含量(1.14 mg/g)最高, 新疆沙棘类胡萝卜素含量(37.15 mg/100 g)最高, 河北沙棘中类胡萝卜素的含量(26.19 mg/100 g)次之, 而四个地区沙棘维生素C的含量无明显差异, 其含量范围为21~23 mg/100 g; 内蒙古沙棘的抗氧化性显著高于其他三个地区。在抗氧化活性方面, 内蒙古的抗氧化水平最高。

2) 4个代表性品种沙棘挥发性成分和小分子活性组分的特征性组分分析鉴定。在挥发性成分方面, 共检测出153种化合物, 四个地区沙棘的挥发性成分差异比较显著。在小分子活性物质的分析中, 检测出60种化合物。

3) 四个地区代表性沙棘品种14项品质指标的因子分析得知, 共提取3个公因子, 累计方差贡献率达到100%。第1公因子的贡献率达到45.831%, 主要反映沙棘的色泽和抗氧化活性; 第2个公因子的贡献率为38.623%, 主要反映沙棘浆的滋味品质; 第3个公因子的贡献率为15.546%, 主要反映沙棘浆的亮度。经综合品质评价模型得出, 四个地区代表性沙棘品种综合品质得分依次为河北沙棘, 山西沙棘, 内蒙古沙棘, 新疆沙棘。

[参考文献]

- [1] 张春雷, 王建玉, 王秋霞. 沙棘的利用价值及发展建议[J]. 现代农业科技, 2015(2): 194-195.
Zhang Chunlei, Wang Jianyu, Wang Qiuxia. Utilization value and development suggestion of seabuckthorn[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2015(2): 194-195. (in Chinese with English abstract)
- [2] 吕兆林, 袁玮琼, 张柏林, 等. 沙棘果实中主要活性成分

质量分布[J]. 北京林业大学学报, 2021, 43(1): 144-152.

Lü Zhaolin, Yuan Weiqiong, Zhang Bolin, et al. A review on mass distribution of active components from *Hippophae rhamnoides* fruits[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2021, 43(1): 144-152. (in Chinese with English abstract)

- [3] Wang K W, Xu Z Z, Liao X J. Bioactive compounds, health benefits and functional food products of sea buckthorn: A review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2021(6): 1-22.

- [4] 钟心, 尤飞, 周振亚, 等. 我国沙棘产业发展现状与对策建议[J]. 世界林业研究, 2021, 34(3): 102-106.

Zhong Xin, You Fei, Zhou Zhenya, et al. Analysis and suggestions on the sea buckthorn industry development in China[J]. World Forestry Research, 2021, 34(3): 102-106. (in Chinese with English abstract)

- [5] 胡高爽, 高山, 王若桦, 等. 沙棘活性物质研究及开发利用现状[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(3): 218-224.

Hu Gaoshuang, Gao Shan, Wang Ruohua, et al. Research on development and utilization of active substances in sea buckthorn[J]. Food Research and Development, 2021, 42(3): 218-224. (in Chinese with English abstract)

- [6] 乌仁斯庆, 姚玉军, 张宇, 等. 不同产地和品种沙棘果品质研究[J]. 食品安全导刊, 2022(23): 80-85, 125.

Wurenqing, Yao Yujun, Zhang Yu, et al. Comparative study on fruit quality of seabuckthorn from different producing habitats and varieties[J]. China Food Safety Magazine, 2022(23): 80-85, 125. (in Chinese with English abstract)

- [7] 王芳, 陈海银, 王海滨, 等. 山西四个地区沙棘叶有机物组成及茶叶适制性分析[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2021, 41(3): 17-24.

Wang Fang, Chen Haiyin, Wang Haibin, et al. Organic composition analysis and suitability for tea manufacture of sea buckthorn leaves in four regions of Shanxi[J]. Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition), 2021, 41(3): 17-24. (in Chinese with English abstract)

- [8] 高国燕, 蒋林树, 年芳, 等. 不同省份小果沙棘叶中黄酮类化合物含量测定及体外抗氧化能力评价[J]. 中国饲料, 2022(10): 30-35.

Gao Guoyan, Jiang Linshu, Nian Fang, et al. Antioxidant activity and the level of flavonoids in small fruit sea buckthorn leaves from different provinces[J]. Chinese Fodder 2022(10): 30-35. (in Chinese with English abstract)

- [9] 聂继云, 李海飞, 李静, 等. 基于159个品种的苹果鲜榨汁风味评价指标研究[J]. 园艺学报, 2012, 39(10): 1999-2008.

Nie Jiyun, Li Haifei, Li Jing, et al. Studies on taste evaluation indices for fresh apple juice based on 159 cultivars[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2012, 39(10): 1999-2008. (in Chinese with English abstract)

- with English abstract)
- [10] 郭玉霞, 毕金峰, 易建勇, 等. 添加果皮对真空冷冻干燥重组芒果和火龙果脆片品质的影响[J]. 中国食品学报, 2022, 22(3): 1-13.
Guo Yuxia, Bi Jinfeng, Yi Jianyong, et al. Effect of adding peel on quality of freeze-dried restructured mango and pitaya chips[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22(3): 1-13. (in Chinese with English abstract)
- [11] 农业部食用菌产品质量监督检验测试中心, 上海市农业科学院食用菌所, 上海市农业科学院农产品质量标准与检测技术研究所, 等. 食用菌中总糖含量的测定[Z]. 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局; 中国国家标准化管理委员会, 2009: 8.
- [12] 张星, 毕金峰, 陈芹芹, 等. 4 种浆果成分分析及抗氧化活性研究[J]. 食品科技, 2020, 45: 52-58.
Zhang Xing, Bi Jianfeng, Chen Qinjin, et al. Components analysis and antioxidant activities of four varieties of berries[J]. Food Ssience and Tehnology 2020, 45: 52-58. (in Chinese with English abstract)
- [13] Song H H, Bi J F, Chen Q Q, et al. Structural and health functionality of dried goji berries as affected by coupled dewaxing pre-treatment and hybrid drying methods[J]. International Tournal of Food Properties, 2018, 21(1): 2527-2538.
- [14] 宋慧慧, 陈芹芹, 毕金峰, 等. 干燥方式及碱液处理对鲜枸杞干燥特性和品质的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(15): 197-206.
Song Huihui, Chen Qinjin, Bi Jinfeng, et al. Effects of different drying methods and alkali pretreatment on drying characteristics and quality of fresh goji berries (*Lycium barbarum*)[J]. Food Science, 2018, 39(15): 197-206. (in Chinese with English abstract)
- [15] Knochkaert G, Lemmens L, Vanbuggenhout S, et al. Changes in β -carotene bioaccessibility and concentration during processing of carrot puree[J]. Food Chemistry, 2012, 133(1): 60-67.
- [16] Brand-williams W, Cuvelier M E, Berset C. Use Of a free-radical method to evaluate antioxidant activity[J]. Food Science and Technology-lebensmittel-wissenschaft & Technology, 1995, 28(1): 25-30.
- [17] Jeong J H, Jung H, Lee S R, et al. Anti-oxidant, anti-proliferative and anti-inflammatory activities of the extracts from black raspberry fruits and wine[J]. Food Chemistry, 2010, 123(2): 338-344.
- [18] Tabart J, Kevers C, Evers D, et al. Ascorbic acid, phenolic acid, flavonoid, and carotenoid profiles of selected extracts from *Ribes nigrum*[J]. Journal of Agricultural and food chemisritry, 2011, 59(9): 4763-4770.
- [19] Li J, Yang Y, Tang C, et al. Changes in lipids and aroma compounds in intramuscular fat from Hu sheep[J]. Food Chemistry, 2022, 383: 132611.
- [20] Guo C T, Bi J F, Li X, et al. Polyphenol metabolic diversity of Chinese peach and nectarine at thinned and ripe stages by UPLC-ESI-Q-TOF-MS combined with multivariate statistical analysis[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2020, 90: 103502.
- [21] 焦娇. 红枣发酵酒挥发性成分及其稳定性的研究[D]. 太原: 山西大学, 2018.
Jiao Jiao. Study on Volatile Components and Stability of Fermented Chinese Jujube[D]. Taiyuan: Shanxi University, 2018. (in Chinese with English abstract)
- [22] 冯璞玉, 陈思, 周振江, 等. 基于旋转设计的番茄果实可滴定酸含量对土壤水分的响应[J]. 西北农林科技大学学报 (自然科学版), 2017, 45(11): 67-75, 84.
Feng Puyu, Chen Si, Zhou Zhengjiang, et al. Effect of soil water content on titratable acid content in tomato fruits based on rotatable design[J]. Journal of Northwest A&F University (Nature and science edition) 2017, 45(11): 67-75, 84. (in Chinese with English abstract)
- [23] Wei E W, Yang R, Zhao H P, et al. Microwave-assisted extraction releases the antioxidant polysaccharides from seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berries[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 123: 280-290.
- [24] 热阳古·阿布拉. 不同贮藏条件对喀什石榴多糖含量的影响[J]. 山东化工, 2022, 51(6): 4-6.
Reyanggu·Abula. Effects of different storage conditions on polysaccharide content of pomegranate in Kashi.[J]. Shandong Chemical Industry, 2022, 51(6): 4-6. (in Chinese with English abstract)
- [25] 王丹, 张建, 王晓蕊, 等. 番茄果实类胡萝卜素组成含量与色泽相关性分析[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(6): 1554-1564.
Wang Dan, Zhang Jian, Wang Xiaorui R, et al. Correlation analysis between tomato color with carotenoid constitutes and content[J]. Jiangsu Journal of Agriculture, 2021, 37(6): 1554-1564. (in Chinese with English abstract)
- [26] 王启林, 袁木荣. 沙棘类胡萝卜素研究进展[J]. 中国野生植物资源, 2016, 35(1): 37-39, 45.
Wang Qilin, Yuan Murong. The study progress of carotenoids in sea buckthorn[J]. Chinese Wild Plant Resources, 2016, 35(1): 37-39, 45. (in Chinese with English abstract)
- [27] 严华, 别玮, 崔凤云, 等. 高效液相色谱法分析沙棘中类胡萝卜素的含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(11): 4459-4466.
Yan Hua, Bie Wei, Cui Fengyun, et al. Analysis of

- carotenoids content in sea buckthorn by high performance liquid chromatography[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2021, 12(11): 4459-4466. (in Chinese with English abstract)
- [28] 卢顺光, 卢健, 温秀凤. 沙棘植物资源分布与营养学应用综述[J]. 中国水土保持, 2019(7): 45-49.
- Lu Shunguang, Lu Jian, Wen Xiufeng. Review of plant resources distribution and nutritional application of seabuckthorn[J]. Soil And Water Conservation of China, 2019(7): 45-49. (in Chinese with English abstract)
- [29] 白璐, 谢卓霖, 王智文, 等. 维生素C对炎症的治疗作用[J]. 临床与病理杂志, 2021, 41(12): 2973-2979.
- Bai Lu, Xie Zhuolin, Wang Zhiwen, et al. Therapeutic effect of vitamin C on inflammation[J]. Journal of Clinical and Pathology 2021, 41(12): 2973-2979. (in Chinese with English abstract)
- [30] Sytařová I, Oršáková J, Snopk L, et al. Impact of phenolic compounds and vitamins C and E on antioxidant activity of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berries and leaves of diverse ripening times[J]. Food Chemistry, 2020, 310: 125784.
- [31] 赵晶, 张庆钢, 郭丽华, 等. 不同冻藏温度和时间对沙棘果中Vc含量的影响[J]. 食品科技, 2008(10): 243-245.
- Zhao Jing, Zhang Qinggang, Guo Lihua, et al. Influence of different frozen storage temperature and time on Vc content of seabuckthorn fruits[J]. Food Science and Technology, 2008(10): 243-245. (in Chinese with English abstract)
- [32] 辛燕花, 赵三虎, 王瑜, 等. 沙棘叶不同溶剂提取物活性物质含量及抗氧化性研究[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(17): 44-49.
- Xin Yanhua, Zhao Sanhu, Wang Yu, et al. Study on the active substances and antioxidant activity of different solvent extracts of sea buckthorn leaves[J]. Food Research and Development, 2021, 42(17): 44-49. (in Chinese with English abstract)
- [33] 梁楷, 蒋玉梅, 李霁昕, 等. 沙棘鲜果抗氧化成分提取参数优化及抗氧化性能分析[J]. 食品工业科技, 2014, 35(24): 264-269.
- Liang Kai, Jiang Yumei, Li Jixin, et al. Active compound extraction from sea-buckthorn fruit and antioxidation activity research[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(24): 264-269. (in Chinese with English abstract)
- [34] Ursache F M, Ghinea I O, Turturică M, et al. Phytochemicals content and antioxidant properties of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) as affected by heat treatment-Quantitative spectroscopic and kinetic approaches[J]. Food Chemistry, 2017, 233: 442-449. (in Chinese with English abstract)
- [35] 汪成, 王怀友, 汪蔓青, 等. 不同产地沙棘果化学成分含量及抗氧化活性的研究[J]. 华西药学杂志, 2020, 35(5): 513-517.
- Wang Cheng, Wang Huaiyou, Wang Manqing, et al. Study on content of major chemical constituents and anti-oxidation activities of Sea buckthorn fruit[J]. West China Journal of Medicine, 2020, 35(5): 513-517. (in Chinese with English abstract)
- [36] 宋自娟, 徐怀德, 高锦明, 等. 冷打浆法沙棘浓缩汁加工过程中挥发性成分的变化[J]. 中国食品学报, 2015, 15(10): 263-274.
- Song Zijuan, Xu Huaide, Gao Jinming, et al. Study on volatile components changes during frozen squeezing and processing sea buckthorn concentrated cloudy juice[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2015, 15(10): 263-274. (in Chinese with English abstract)
- [37] 黄蕊, 盛文军, 李霁昕, 等. 超高压及热处理对中国沙棘原浆挥发性成分影响的比较[J]. 食品科学, 2018, 39(18): 204-208.
- Huang Rui, Sheng Wenjun, Li Jixin, et al. A comparison of the effects of Ultra-high pressure and heat treatments on the volatile components of Chinese sea buckthorn pulp (*Hippophae rhamnoides* L. subsp. *sinensis* Rousi)[J]. Food Science, 2018, 39(18): 204-208. (in Chinese with English abstract)
- [38] 木合塔尔·扎热, 阿卜杜许库尔·牙合甫, 故丽米热·卡克什, 等. 新疆地方品种梨果实品质性状综合评价[J]. 农业工程学报, 2021, 37(7): 278-285.
- Muhtar Zari, Abdusukur Yakup, Mahmut Ablat, et al. Comprehensive evaluation of fruit quality traits of local pear cultivars in Xinjiang Region of China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2021, 37(7): 278-285. (in Chinese with English abstract)
- [39] 姜璐, 包怡红, 贾雨彤, 等. 18个品种蓝靛果营养成分分析及综合品质评价[J]. 农业工程学报, 2022, 38(7): 326-335.
- Jiang Lu, Bao Yihong, Jia Yutong, et al. Nutritional component analysis and comprehensive quality evaluation of 18 different varieties of *Lonicera caerulea*[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2022, 38(7): 326-335. (in Chinese with English abstract)
- [40] 公丽艳, 孟宪军, 刘乃侨, 等. 基于主成分与聚类分析的苹果加工品质评价[J]. 农业工程学报, 2014, 30(13): 276-285.
- Gong Liyan, Meng Xianjun, Liu Naiqiao, et al. Evaluation of apple quality based on principal component and hierarchical cluster analysis[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(13): 276-285. (in Chinese with English abstract)

Evaluation of the comprehensive quality of sea buckthorn fruit in four areas of China

Fang Guiping^{1,2}, Bi Jinfeng², Liu Chunhai³, Yue Lihua³, Li Xuan², Liu Jia³, Wang Ya^{1*}

(1. School of Life Science and Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China; 2. Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Science/Key Laboratory of Agro-Products Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100193, China; 3. Chengde Yuhangren Alpine Plant Application Technology Co.Ltd, Chengde, 068451, China)

Abstract: Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) fruits are gradually used to develop various functional foods, due to their high edible and medicinal values rich in nearly 200 kinds of nutrients and active substances, such as polyphenols, polysaccharides, carotenoids, and flavonoids. This present research aims to clarify the difference of Sea buckthorn from the representative places of origin, in order to provide the selection basis for the research and development of the Sea buckthorn nutritious products. The Sea buckthorn was collected from Shanxi, Hebei, Inner Mongolia, and Xinjiang in China. The varieties of Sea buckthorn were mostly used in the processing (*Hippophae rhamnoides*. L. Zhongguoshaji, *Hippophae rhamnoides*. L. Yulushaji, *Hippophae rhamnoides*. L. Neimenggushaji, and *Hippophae rhamnoides*. L. Altaydagushaji). The quality of fruit was comprehensively evaluated from the aspects of color, texture, taste, flavor, and nutritional components. Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) and Ultra-High Performance Liquid Time-Of-Flight Mass Spectrometry (UHPLC-QTOF-MS) were selected to determine the volatile components and small molecule active substances. The comprehensive quality of Sea buckthorn was explored to determine the difference in four regions of China. The results showed that the Sea buckthorn from Xinjiang was the brightest among the four regions. The highest sugar-acid ratio (1.997) was found in the Sea buckthorn from Inner Mongolia. The sea buckthorn from Hebei Province presented the highest polyphenol content (1.14 mg/g). By contrast, Xinjiang Sea buckthorn shared the highest carotenoid content (37.15 mg/100 g). However, there was no significant difference ($P>0.05$) in the vitamin C content of the sea buckthorn from four regions (21-23 mg/100 g). Moreover, there was a significant difference ($P<0.05$) in the antioxidant activity of sea buckthorn from the four regions. In addition, the Shanxi Sea buckthorn possessed the highest scavenging rate of DPPH free radical. Inner Mongolia sea buckthorn presented the highest ABTS free radical scavenging rate and iron ion reduction ability (FRAP). A total of 153 compounds were detected in the sea buckthorn from the four regions, indicating the significant difference in the volatile components. The characteristic volatile substances in the Hebei sea buckthorn were 3-octanone, 2-heptenal, and amyl isobutyrate, whereas, there were the isopropyl isovalerate, propyl 2-methylbutyrate, and (methylthiol) ethyl acetate in Inner Mongolia. The n-octane, 2,3-dihydro-2,2,6-trimethylbenzaldehyde was found in the XinJiang sea buckthorn, whereas, the amyl hexanoate, basil, and ethyl decanoate were in the Shanxi one. 61 compounds were detected in the small molecular active components, among which the main polyphenols were quinic acid, isorhamnetin, aloxone sugar, kaempferol, and quercetin. On the whole, the Inner Mongolia sea buckthorn was the strongest antioxidant capacity and the highest sugar-acid ratio, indicating a promising potential raw material for functional products and health products. The characteristic components of sea buckthorn from the Shanxi were 1,3-dihydroxy-12,24-dienoic acid, quinic acid, and 2-[(2-ethyl butyryl) amino]-4,5-dimethoxybenzoic acid. The characteristic components of sea buckthorn from Xinjiang were mainly 1-oleyl-glycerol-3-phosphocholine, and aloxone. A comprehensive comparison was performed on the physicochemical characteristic of representative sea buckthorn in the XinJiang, Inner Mongolia, Shanxi, and Hebei regions. A factor analysis was carried out on the 14 quality indexes of Sea buckthorn. Among them, three common factors were extracted, where the cumulative variance contribution rate reached 100%. The contribution rate of the first common factor reached 45.831%, followed by 38.623%, and 15.546%. The comprehensive quality scores of the representative sea buckthorn varieties were ranked in descending order of the Hebei, Shanxi, Inner Mongolia, and Xinjiang sea buckthorn, according to the comprehensive quality evaluation model. A better performance was achieved to compare the color, taste, flavor, active component, and antioxidant quality of sea buckthorn in four regions of China. The finding can provide the technical reference and application approaches for the raw material selection in the series of sea buckthorn products.

Keyword: principal component analysis; quality evaluation; sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*); color; functional components; aroma component