

5个杂交沙棘品种果实营养成分比较分析

戈素芬, 张东为, 赵鑫丹, 胡建忠, 温秀凤, 高 岩

Analysis of Nutrient Compositions in Five Hybrid Sea Buckthorn Varieties Berries

GE Sufen, ZHANG Dongwei, ZHAO Xindan, HU Jianzhong, WEN Xiufeng, and GAO Yan

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022010253>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

季节变化对杂交鲟鱼肉营养成分的影响

Effects of Seasonal Variation on Nutrient Composition of Hybrid Sturgeon (*Huso dauricus* ♀ × *Acipenser schrenckii* ♂)

食品工业科技. 2021, 42(7): 360–365

八月瓜果实营养成分分析和评价

Analysis and Evaluation of Nutritional Components in *Akebia trifoliata* Fruit

食品工业科技. 2021, 42(3): 299–303

不同花生品种制作花生芽及营养成分分析

Research of peanut sprout production by different varieties of peanut and its nutrition analysis

食品工业科技. 2017(14): 304–309

7个不同品种藜麦营养成分比较分析

Comparative of 7 Different Varieties of *Chenopodium quinoa*

食品工业科技. 2020, 41(23): 266–271

10个产地莲藕营养成分分析与品质综合评价

Nutrient Composition Analysis and Quality Comprehensive Evaluation of Lotus Root in 10 Producing Areas

食品工业科技. 2021, 42(8): 320–325

柴达木地区不同果色枸杞果实营养成分比较分析

Comparative Analysis of Nutritional Ingredient of Goji Berries with Different Fruit Colors in Qaidam Area

食品工业科技. 2021, 42(4): 202–207



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

戈素芬, 张东为, 赵鑫丹, 等. 5 个杂交沙棘品种果实营养成分比较分析 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(22): 328–335. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022010253

GE Sufen, ZHANG Dongwei, ZHAO Xindan, et al. Analysis of Nutrient Compositions in Five Hybrid Sea Buckthorn Varieties Berries[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(22): 328–335. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022010253

· 分析检测 ·

5 个杂交沙棘品种果实营养成分比较分析

戈素芬¹, 张东为^{1,*}, 赵鑫丹¹, 胡建忠², 温秀凤², 高 岩²

(1. 辽宁省旱地农林研究所, 辽宁朝阳 122000;

2. 水利部沙棘开发管理中心, 北京 100038)

摘 要:为综合开发沙棘生物资源, 以杂雌优 1 号、杂雌优 2 号、杂雌优 10 号、杂雌优 12 号、杂雌优 54 号等 5 个杂交沙棘果实为试材, 比较分析果实中维生素 C、维生素 E、总黄酮、花青素、可滴定酸、 β -胡萝卜素、可溶性糖、葡萄糖、果糖、蔗糖等营养成分含量、超氧化物歧化酶(SOD)活性及其相关性。结果表明, 各营养成分含量与沙棘品种及成熟度有关。参试 5 种杂交沙棘品种完全成熟时, 维生素 C 和维生素 E 含量分别可达 318.28~531.78 和 7.60~13.14 mg/100 g, 可溶性糖和可滴定酸含量分别为 32.61~84.36 mg/g、0.97%~1.95%, β -胡萝卜素和总黄酮含量分别为 22.31~47.82 μ g/g、1.41~3.53 mg/g。参试 5 种杂交沙棘品种中, 杂雌优 10 号沙棘果实营养成分含量较高。相关性分析显示, 5 个杂交沙棘果实的 V_E 、 β -胡萝卜素、花青素、葡萄糖、总黄酮含量互为极显著正相关 ($P<0.01$)。研究结果为杂交沙棘在食品、保健品等方面的加工利用提供理论依据。

关键词: 杂交沙棘, 果实, 营养成分, 维生素 C, 相关性

中图分类号: TS255.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)22-0328-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022010253



本文网刊:

Analysis of Nutrient Compositions in Five Hybrid Sea Buckthorn Varieties Berries

GE Sufen¹, ZHANG Dongwei^{1,*}, ZHAO Xindan¹, HU Jianzhong², WEN Xiufeng², GAO Yan²

(1. Institute of Agriculture and Forestry in Arid Areas of Liaoning Province, Chaoyang 12200, China;

2. Sea Buckthorn Development and Management Center, Ministry of Water Resources, Beijing 100038, China)

Abstract: In order to comprehensively develop the biological resources of sea buckthorn, five hybrid sea buckthorn berries including Zacyou 1, Zacyou 2, Zacyou 10, Zacyou 12, and Zacyou 54 were used as test materials to compare and analyze. The vitamin C, vitamin E, total flavonoids, anthocyanins, titratable acids, β -carotene, soluble sugar, glucose, fructose, sucrose content and superoxide dismutase (SOD) enzyme activity were determined and their correlations were analyzed. The results showed that the content of each nutrient component was related to the variety and maturity of sea buckthorn. When the five hybrid sea buckthorn varieties participated in the test were fully mature, the content of vitamin C and vitamin E could reach 318.28~531.78 and 7.60~13.14 mg/100 g, respectively, and the content of soluble sugar and titratable acid could reach 32.61~84.36 mg/g, 0.97%~1.95%, the contents of β -carotene and total flavonoids could reach 22.31~47.82 μ g/g and 1.41~3.53 mg/g, respectively. Among the five hybrid sea buckthorn varieties tested, Zacyou 10 sea buckthorn had higher nutritional content. Correlation analysis showed that the contents of V_E , β -carotene, anthocyanin, glucose and total flavonoids in the five hybrid sea buckthorn berries were very significant correlation with each other ($P<0.01$). The research results would provide a theoretical basis for the processing and utilization of hybrid sea buckthorn in food and health care products.

收稿日期: 2022-02-10

基金项目: 水利部财政项目“水土保持业务”(126216223000200001); 辽宁省农业科学院学科建设计划项目(2019DD206530); 辽宁省科技厅“辽宁省建平县沙棘产业科技特派团”项目(2021030244-JHS/104)。

作者简介: 戈素芬(1968-), 女, 本科, 副研究员, 研究方向: 经济林及水土保持生态研究, E-mail: 892102946@qq.com。

* 通信作者: 张东为(1970-), 男, 硕士, 研究员, 研究方向: 经济林及水土保持生态研究, E-mail: zhangdw2004@126.com。

Key words: hybrid sea buckthorn; berry; nutrient compositions; vitamin C; correlation

沙棘 (*Hippophae rhamnoides* L.), 胡颓子科 (Elaeagnaceae) 沙棘属 (*Hippophae*) 多年生落叶灌木或小乔木, 又名醋柳、酸刺和黑刺^[1]。我国是沙棘种质资源最丰富的国家, 也是人工种植沙棘面积最大的国家^[2]。沙棘生命力旺盛, 生态适应性及抗逆性都很强, 功能多样, 生态意义巨大。从 2007 年开始由水利部沙棘中心主持, 由 5 家单位参加实施的“广适优质高产沙棘杂交新品种选育与应用”取得了丰硕的成果。课题组通过长达 13 年 (2007~2019) 试验研究, 以中国沙棘为父本, 分别以俄罗斯大果沙棘和蒙古沙棘为母本进行杂交育种, 从 21 个杂交沙棘无性系中选育出了杂雌优 1 号、杂雌优 2 号、杂雌优 10 号、杂雌优 12 号、杂雌优 54 号等无性系新品种, 其适应性好、抗逆性强、生长发育快、果实和叶片等资源经济产值高, 与引进的大果沙棘和中国沙棘比, 杂交沙棘品种经济、生态和社会效益十分突出^[3]。

沙棘含有黄酮^[4-5]、多糖^[6]、多酚^[7]、维生素^[8-9]、不饱和脂肪酸^[10]、有机酸^[11]等多种活性物质, 具有抗氧化、抗衰老、降血糖等医疗保健作用^[12]。卢薇等^[13]对 5 种果汁进行研究, 结果发现沙棘汁和刺梨汁总酚含量最高, 且抗氧化活性与总酚含量呈显著相关性。刘雅娜等^[14]研究发现沙棘多糖具有很强的体外抗氧化能力, 其对 DPPH 自由基、ABTS⁺自由基清除能力 IC₅₀ 值分别为 0.81 和 2 mg/mL。王玉等^[15]采用小鼠模型研究发现沙棘黄酮改善机体运动后的肝、肌糖原与乳酸的浓度水平及乳酸脱氢酶活力, 从而缓解机体疲劳。申屠平等^[16]研究发现沙棘脂肪酸可以调节线粒体内膜蛋白辅酶活性, 改善线粒体呼吸功能, 从而起到抗衰老作用。高山等^[17]采用大鼠模型研究发现沙棘棕榈油酸可促进肌糖原合成、缓解 2 型糖尿病症状, 起到降低血糖的作用。Gao 等^[18]研究表明沙棘黄酮对人体癌细胞 HepG2 的增殖具有抑制作用。Chen 等^[19]研究发现沙棘多糖可以增强机体超氧化物歧化酶、谷胱甘肽过氧化物酶以及过氧化氢酶活性。尽管国内外已对沙棘的活性成分进行了研究报道, 但缺乏对杂交沙棘品种及不同成熟度间营养成分的全面分析。

本研究以新选育的 5 个杂交沙棘品种为研究对象, 测定其不同品种及不同成熟度间维生素、总黄酮、花青素、可滴定酸、可溶性糖、蔗糖、葡萄糖、果糖、 β -胡萝卜素等营养成分含量以及超氧化物歧化酶活性, 以期对杂交沙棘资源的开发利用和在食品、保健品等领域的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

引种试验地位于朝阳市南郊的辽宁省旱地农林研究所试验示范基地内, 地势平坦, 海拔 184 m, 属暖温带半湿润半干旱气候, 年平均气温 8.3 °C 左右, 日

照充足, 昼夜温差较大, 极端最低温度为 -34.4 °C, 极端最高温度 43.3 °C, ≥ 10 °C 的活动积温 3445.6~3720.4 °C, 无霜期 145~165 d, 多年平均年降水量 450 mm 左右, 蒸发量 2000 mm, 年平均日照时数 2752~2950 h, 土壤类型为褐土, 土壤质地为沙壤土, 土层厚度 0.6 m 左右, 地势平坦, 土壤有机质含量为 0.8%, pH7.8。

5 个参试杂交沙棘品种于 2018 年春季进行栽植, 苗木为硬枝扦插大苗。2019 年开始见果, 2020 年果实成熟时采果, 每个品种选择 3 株, 在每株的东南西北 4 个方向剪取结果枝条 2~3 条, 将每条枝上的饱满果实摘下后充分混合, 置于冰箱中 -20 °C 冷冻保存。其中, 杂雌优 10 号和杂雌优 54 号为晚熟品种, 其果实分 2 次采集, 第 1 次采样时间为 2020 年 7 月 31 日, 果实开始成熟, 第 2 次采样时间为 8 月 11 日, 果实已经完全成熟; 杂雌优 1 号, 杂雌优 2 号和杂雌优 12 号均在 7 月 31 日进行采样, 此时果实已完全成熟。5 个参试品种中, 杂雌优 10 号为红果沙棘, 其余 4 个品种为黄果沙棘。

维生素 C、芦丁 标准品, 上海源叶生物科技有限公司; 维生素 E 试剂盒 南京建成生物工程研究所; 超氧化物歧化酶 (SOD) 试剂盒 上海索桥生物科技有限公司; 无水乙醇、石油醚、硫酸、盐酸 分析纯, 成都市科龙化工试剂厂; 亚硝酸钠 分析纯, 广东省工程技术研究开发中心; 硝酸铝 分析纯, 阿拉丁试剂 (上海) 有限公司。

ML204 型万分之一天平 梅特勒-托利多仪器上海有限公司; MDSpectraMax190 全波长酶标仪 美国 MD 公司; T16 新世纪分光光度计 上海元析仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 维生素 C 和维生素 E 含量测定 采用 2,6-二氯酚酚滴定法测定样品维生素 C 含量^[20]。取样品按照 1:1 的比例加入草酸溶液研磨匀浆, 称取匀浆后试样 20.0 g, 用草酸溶液将样品转移至 100 mL 容量瓶, 并稀释至刻度, 摇匀后过滤。准确吸取 10 mL 稀释液于 50 mL 锥形瓶中, 用标定过的 2,6-二氯酚酚溶液滴定, 直至溶液呈粉红色 15 s 不褪色为止。同时做空白实验。采用维生素 E 试剂盒测定样品维生素 E 含量。按料液比 1:9 的比例加入匀浆介质, 冰水浴条件下匀浆, 2500 r/min 离心 10 min, 取上清待测。

1.2.2 总黄酮含量测定 总黄酮含量采用的硝酸铝-亚硝酸钠法^[21]。取待测样品, 精密称取 0.5 g, 用 60% 乙醇回流提取 2 次 (每次用 20 mL) 过滤, 滤液合并后蒸干, 加入 60% 乙醇 25 mL, 得样品溶液。以芦丁为标准品绘制标准曲线, 得回归直线方程 $y=1431.72x+$

0.4368 ($R^2=0.9995$)。根据标准曲线计算样品总黄酮含量,以每 g 样品相当于芦丁的毫克数 mg/g 表示总黄酮含量。

1.2.3 花青素含量测定 采用紫外分光光度法测定果实花青素含量^[22]。取 0.5 g 样品放在三角瓶中,加 5 mL 盐酸-乙醇溶液,在 60 ℃ 水浴中浸提 60 min,重复两次。以 0.1 mol/L 的盐酸-乙醇溶液做参比液,采用分光光度计测定提取液在 530、620、650 nm 波长下的光密度值,计算样品中花青素含量。

1.2.4 可滴定酸含量测定 参考文献^[23]的方法,剔除试样的非可食部分,准确称取 10 g,置 75~80 ℃ 水浴上加热 30 min,期间摇动数次,取出冷却,加水至 50 mL,摇匀过滤。用移液管吸取 10 mL 样液,加入酚酞指示剂 2~3 滴,用氢氧化钠标准溶液滴定,至出现微红色 30 s 内不褪色为终点,记下所消耗的体积。

1.2.5 β -胡萝卜素含量测定 采用李琿等^[24]的方法测定样品 β -胡萝卜素含量,稍加修改。称打碎样品 2 g 于小研钵中,加入少量石英砂和 3 mL 1:9 乙醇-石油醚混合液,研磨提取数次,直到没有黄色为止。把每次研磨的提取液合并已在已装有 70~80 mL 水的 250 mL 分液漏斗中,盖塞振摇 1 min 后静置 2 min,待水相与石油醚相明显分层,去除水相,再向分液漏斗内倒入少量石油醚,倾斜转动分液漏斗,将壁上粘的提取液全部溶在石油醚中,用石油醚定容至 50 mL,即为胡萝卜素的提取液。

1.2.6 超氧化物歧化酶含量测定 采用试剂盒测定样品超氧化物歧化酶(SOD)活性。

1.2.7 可溶性糖含量测定 采用蒽酮法测定样品可溶性总糖、葡萄糖、果糖、蔗糖含量^[25]。可溶性糖标准曲线为 $y=257.78x+4.1653$ ($R^2=0.9963$),葡萄糖标准曲线为 $y=481.20x+1.0767$ ($R^2=0.9996$),果糖标准曲线为 $y=244.65x-0.1399$ ($R^2=0.9996$),蔗糖标准曲线为 $y=284.76x-0.2553$ ($R^2=0.9998$)。称取已粉碎样品 0.2 g 于 15 mL 离心管中,加入 10 mL 蒸馏水,沸水浴提取 30 min,取出冷却,离心,上清液转移至 25 mL 容量瓶中,再向残渣中加入 10 mL 蒸馏水,沸水浴提取 20 min,取出冷却,全部转移至 25 mL 容量瓶中,反复冲洗离心管及残渣,定容,过滤,滤液待测。

1.3 数据处理

各营养成分测定设置三次重复试验,试验结果以(平均值±标准差)表示;利用 Excel 2010 软件进行数据处理和作图,SPSS 21.0 软件进行 Duncan 法显著性差异分析及 Pearson 法相关性分析。

2 结果与分析

2.1 V_C 及 V_E 含量

5 个参试杂交品种 V_C 及 V_E 含量分别如图 1A 和图 1B 所示,各品种之间及同一品种不同成熟度之间 V_C 及 V_E 含量均有显著差异($P<0.05$)。由图 1A 可知,5 个参试杂交品种完全成熟时 V_C 含量大小

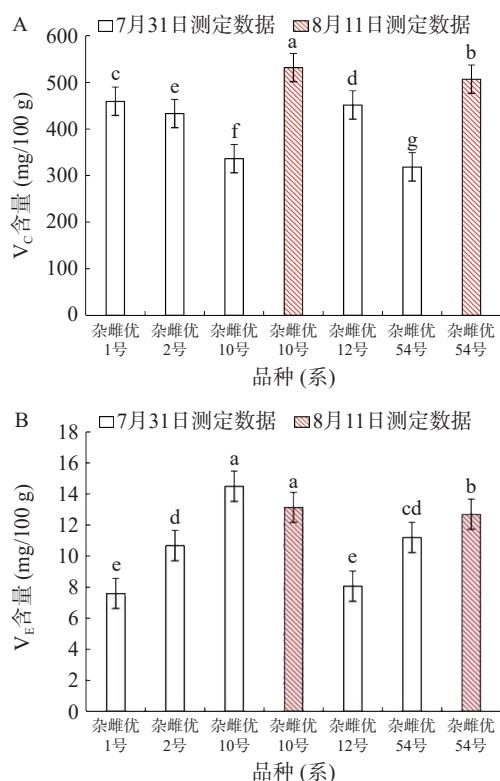


图1 5个参试杂交品种果实中维生素C及维生素E含量

Fig.1 Contents of vitamin C and vitamin E in berries of five hybrid sea buckthorn varieties

注:图中小写字母不同表示差异显著($P<0.05$);图2~图7同。

顺序为:杂雌优 10号(8月11日)>杂雌优 54号(8月11日)>杂雌优 1号>杂雌优 12号>杂雌优 2号。杂雌优 54号和杂雌优 10号在果实刚刚变色时 V_C 含量较低,分别为 318.28 和 336.06 mg/100 g,而在 10 d 后果实完全成熟时 V_C 含量显著增加,达到了 500 mg/g 以上,是前 10 d 的 1.6 倍。由如图 1B 可知,5 个参试杂交品种完全成熟时 V_E 含量大小顺序为:杂雌优 10号(8月11日)>杂雌优 54号(8月11日)>杂雌优 2号>杂雌优 12号>杂雌优 1号。7月31日,杂雌优 10号的 V_E 含量最高,随着果实的成熟,杂雌优 10号 V_E 含量开始下降,而杂雌优 54号 V_E 含量呈上升趋势。

V_C 是沙棘果实中的主要维生素,具有较强的抗氧化能力,沙棘果实中的 V_C 的含量与沙棘品种和产地有关,除沙棘品种外,采收时间、果实的成熟度、贮藏条件等因素同样会影响 V_C 的水平。内蒙古宇航人高技术产业有限责任公司曾对国内不同地域(山西、内蒙古、河北、甘肃、宁夏)的中国沙棘进行统计, V_C 含量阈值为 395~1000 mg/100 g(鲜质量),黑龙江、新疆等地的大果沙棘中 V_C 含量阈值为 135~145 mg/100 g(鲜质量)^[26]。本研究中完全成熟的 5 个杂交沙棘品种 V_C 含量均超过了 430 mg/100 g,超过了黑龙江、新疆等地的大果沙棘维生素含量,达到了中国沙棘 V_C 含量的标准含量,本研究中 V_C 含量最高的杂雌优 10号已达到 531.78 mg/100 g,达到了中国沙棘的 50% 以上。果实的成熟度影响了杂交

沙棘的 V_C 含量,完全成熟的杂雌优 10 号和杂雌优 54 号果实维生素 C 含量显著高于果实刚成熟时的含量($P<0.05$)。

沙棘果实中的 V_E 含量与栽培品种有关。中国沙棘成熟的果实果肉中 V_E 的含量阈值为 8.0~9.7 mg/100 g^[26], 本研究中供试品种果实完全成熟时 V_E 含量阈值为 7.6~13.1 mg/100 g, 其中杂雌优 1 号 V_E 含量略低于中国沙棘, 杂雌优 12 号 V_E 含量达到了中国沙棘含量标准, 其余 3 个品种 V_E 含量均在 10 mg/100 g 以上, 高于中国沙棘果实的最高含量。

2.2 总黄酮含量

5 个参试杂交品种总黄酮含量如图 2 所示, 各品种之间及同一品种不同成熟度之间总黄酮含量均有显著差异($P<0.05$)。由图 2 可知, 果实完全成熟的 5 个杂交沙棘品种总黄酮含量阈值为 1.41~3.53 mg/g。含量最高的是杂雌优 10 号和杂雌优 54 号, 分别为 3.53 和 3.43 mg/g, 杂雌优 12 号和杂雌优 1 号含量较低, 分别为 1.65 和 1.41 mg/g。杂雌优 10 号在 7 月 31 日时总黄酮含量可达 4.08 mg/g, 到 8 月 11 日完全成熟时的含量降低; 而杂雌优 54 号总黄酮含量变化与此不同, 其在 7 月 31 日为 2.74 mg/g, 而到 8 月 11 日黄酮含量增至 3.43 mg/g, 是 7 月 31 日果实刚成熟时的 1.25 倍。

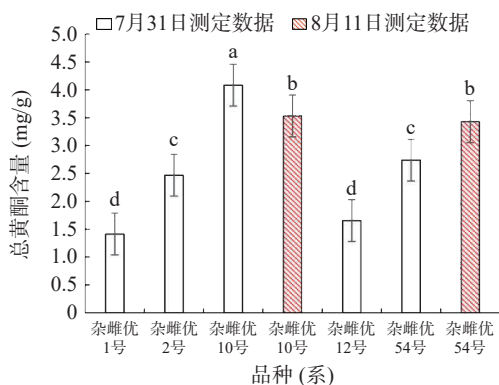


图 2 5 个参试杂交品种果实中总黄酮含量
Fig.2 Contents of flavonoids in berries of five hybrid sea buckthorn varieties

本研究测定的完全成熟的沙棘果实中总黄酮含量阈值为 1.41~3.53 mg/g, 而研究发现山西野生的中国沙棘果实的总黄酮含量阈值为 4.26~14.33 mg/g^[27], 吉林省蛟河市栽培的中国沙棘果实总黄酮含量阈值为 5.1~7.7 mg/g^[28], 与山西的野生中国沙棘和吉林的栽培中国沙棘相比, 5 个参试杂交品种总黄酮含量均处于较低水平。沙棘果实中黄酮类物质的含量受果实成熟度、栽培气候、栽培品种以及栽培地理位置的不同而有所差异, 本研究为杂交沙棘品种, 由于品种不同而导致黄酮含量不同。

2.3 花青素含量

由图 3 可知, 沙棘果实完全成熟时花青素含量

阈值为 52.09~96.35 nmol/g, 大小依次为: 杂雌优 10 号(8 月 11 日)>杂雌优 2 号>杂雌优 54 号(8 月 11 日)>杂雌优 12 号>杂雌优 1 号。其中杂雌优 10 号含量最高, 达到了 96.35 nmol/g, 为杂雌优 1 号(52.09 nmol/g)的 1.85 倍。杂雌优 10 号和杂雌优 54 号在 7 月 31 日花青素含量均比 8 月 11 日的含量高, 说明随着果实的成熟, 其花青素含量下降, 可能是随着沙棘的成熟, 花青素类物质发生变化, 导致含量下降。

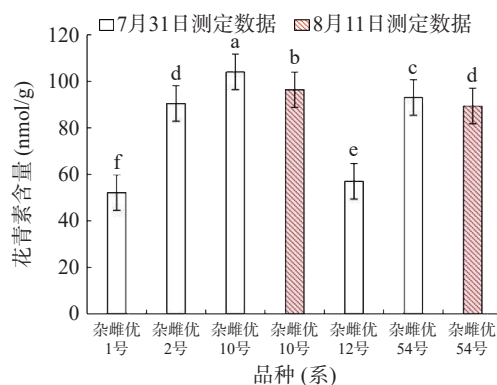


图 3 5 个参试杂交品种果实中花青素含量
Fig.3 Contents of anthocyanins in berries of five hybrid sea buckthorn varieties

2.4 可滴定酸含量

由图 4 可知, 沙棘果实完全成熟时可滴定酸含量阈值为 0.97%~1.95%, 大小依次为: 杂雌优 1 号>杂雌优 54 号(8 月 11 日)>杂雌优 12 号>杂雌优 2 号>杂雌优 10 号(8 月 11 日)。其中杂雌优 1 号可滴定酸含量最高, 达到了 1.95%, 是含量最低的杂雌优 10 号的 2 倍。杂雌优 10 号和杂雌优 54 号果实完全成熟后的可滴定酸含量比果实刚刚成熟时的含量低, 其中杂雌优 10 号可滴定酸含量下降较大, 下降了 18.5%, 杂雌优 54 号仅下降了 5.8%。

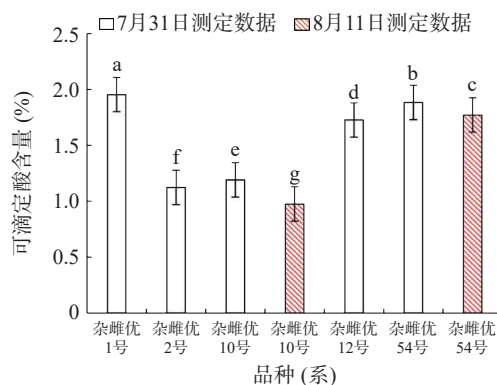


图 4 5 个参试杂交品种果实中可滴定酸含量
Fig.4 Contents of titratable acid in berries of five hybrid sea buckthorn varieties

研究报道, 产于山西的野生中国沙棘果实可滴定酸含量阈值为 3.8%~4.3%, 其中红色果实含量最低^[27], 本研究供试的 5 个参试杂交沙棘品种可滴定酸阈值为 0.97%~1.95%, 与产于山西的中国沙棘相

比,其含量均处于较低水平。本研究杂雌优 10 号果实颜色为红色,其他 4 个杂交品种果实颜色为黄色,而杂雌优 10 号可滴定酸含量最低,与陈汉鑫等^[27]的研究成果一致,说明红果沙棘的可滴定酸含量低于黄果沙棘。研究表明沙棘中可滴定酸主要为苹果酸,而高浓度的苹果酸会造成原浆口感酸涩,酸含量偏低会增加沙棘原浆直接饮用的可接受度^[29]。

2.5 β -胡萝卜素含量

5 个参试杂交品种及不同成熟度沙棘果实 β -胡萝卜素含量如图 5 所示。完全成熟的 5 个参试杂交品种果实中 β -胡萝卜素含量最高的是杂雌优 10 号,达到了 47.82 $\mu\text{g/g}$,杂雌优 2 号、杂雌优 12 号及杂雌优 54 号果实 β -胡萝卜素含量阈值为 23~25 $\mu\text{g/g}$,这三者之间并没有显著差异($P>0.05$),杂雌优 1 号含量最低,仅为 22.31 $\mu\text{g/g}$ 。杂雌优 54 号在果实刚成熟时 β -胡萝卜素含量最高,达到了 51.78 $\mu\text{g/g}$,果实完全成熟时其含量降到了 23.37 $\mu\text{g/g}$,是果实刚成熟时的 44.74%;完全成熟的杂雌优 10 号 β -胡萝卜素含量也比果实刚成熟时低 7.65%。安雄韬^[30]研究发现山西省引进的无刺丰等 5 种大果沙棘 β -胡萝卜素含量为 23.8~54.3 $\mu\text{g/g}$,本研究与此相似。类胡萝卜素是一类重要的功能性物质, β -胡萝卜素是沙棘中主要的类胡萝卜素,具有抗氧化、免疫调节、抗癌、延缓衰老等重要作用^[31]。

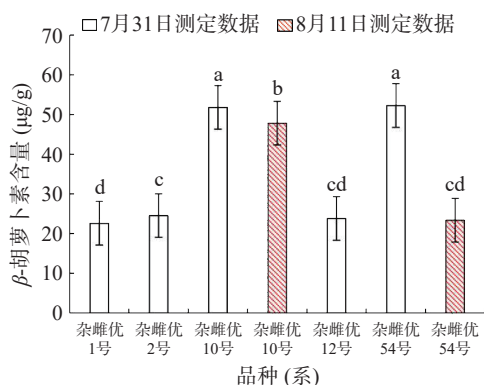


图 5 5 个参试杂交品种果实中 β -胡萝卜素含量
Fig.5 Contents of β -carotene in berries of five hybrid sea buckthorn varieties

2.6 超氧化物歧化酶 (SOD) 活性

由图 6 可知,沙棘果实完全成熟时 SOD 活性大小依次为:杂雌优 1 号>杂雌优 10 号(8 月 11 日)>杂雌优 12 号>杂雌优 2 号>杂雌优 54 号(8 月 11 日)。杂雌优 1 号和杂雌优 10 号 SOD 活性最高,达到了 5000 U/g 左右,且二者之间没有显著差异($P>0.05$),其余品种间 SOD 活性差异显著($P<0.05$),其中活性最低的为杂雌优 54 号,仅为 2319.28 U/g,分别是杂雌优 1 号和杂雌优 10 号的 46.05% 和 46.7%。杂雌优 10 号在 7 月 31 日 SOD 活性显著低于完全成熟时 8 月 11 日的 SOD 活性,而杂雌优 54 号在 7 月 31 日 SOD 活性高于完全成熟时 8 月 11 日

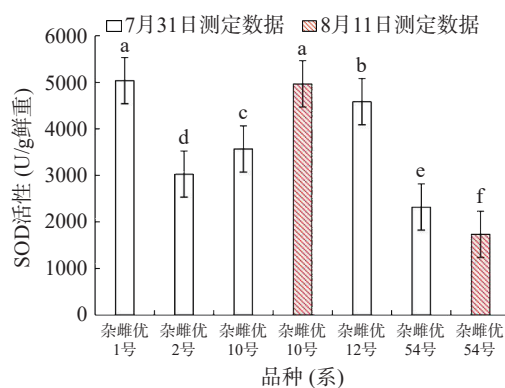


图 6 5 个参试杂交品种果实中 SOD 活性

Fig.6 Activity of SOD in berries of five hybrid sea buckthorn varieties

的 SOD 活性。

SOD 是迄今为止人类抵抗衰老、疾病及癌症的最有效物质,5 个参试杂交品种鲜果中含有丰富的 SOD。朱世琴等^[32]研究发现不同品种的山西野生中国沙棘的 SOD 活性为 3099.9~3535.7 U/g,而本研究中杂雌优 1 号、杂雌优 12 号和杂雌优 10 号 SOD 活性均高于山西野生中国沙棘,其中杂雌优 1 号 SOD 活性可达到山西野生中国沙棘的 1.42~1.62 倍。

2.7 可溶性糖含量

5 个参试杂交品种可溶性糖、葡萄糖、果糖及蔗糖含量分别如图 7A~图 7D 所示,各品种之间及同一品种不同成熟度之间含量均有显著差异($P<0.05$)。

由图 7A 可知,完全成熟的果实中,杂雌优 54 号可溶性糖含量最高,达到了 84.36 mg/g,其次是杂雌优 10 号(68.13 mg/g)。杂雌优 12 号和杂雌优 1 号含量最低,且二者含量在同一水平上,分别为 32.61 和 32.65 mg/g。杂雌优 10 号和杂雌优 54 号在 7 月 31 日可溶性糖含量均显著低于完全成熟时 8 月 11 日的可溶性糖含量,说明随着果实的成熟,可溶性糖含量升高($P<0.05$)。陈汉鑫等^[27]研究发现山西 45 个野生沙棘品种的可溶性糖含量为 6~52 mg/g,本试验杂雌优 2 号、10 号和 54 号可溶性糖含量均高于山西野生沙棘,杂雌优 12 号和杂雌优 1 号可溶性糖含量在山西野生沙棘含量范围内。

由图 7B~图 7D 可知,果实完全成熟的 5 个杂交沙棘品种的葡萄糖、果糖及蔗糖含量依次为:杂雌优 10 号(8 月 11 日)>杂雌优 54 号(8 月 11 日)>杂雌优 2 号>杂雌优 1 号>杂雌优 12 号、杂雌优 54 号(8 月 11 日)>杂雌优 2 号>杂雌优 10 号(8 月 11 日)>杂雌优 1 号>杂雌优 12 号、杂雌优 12 号>杂雌优 10 号(8 月 11 日)>杂雌优 54 号(8 月 11 日)>杂雌优 2 号>杂雌优 1 号。葡萄糖含量和果糖含量最高的分别为杂雌优 10 号和杂雌优 54 号,杂雌优 12 号的葡萄糖和果糖含量都是最低的,而蔗糖含量是最高。随着果实的成熟,杂雌优 10 号的葡萄糖、果糖和蔗糖含量都是上升的,分别达到了刚成熟时的

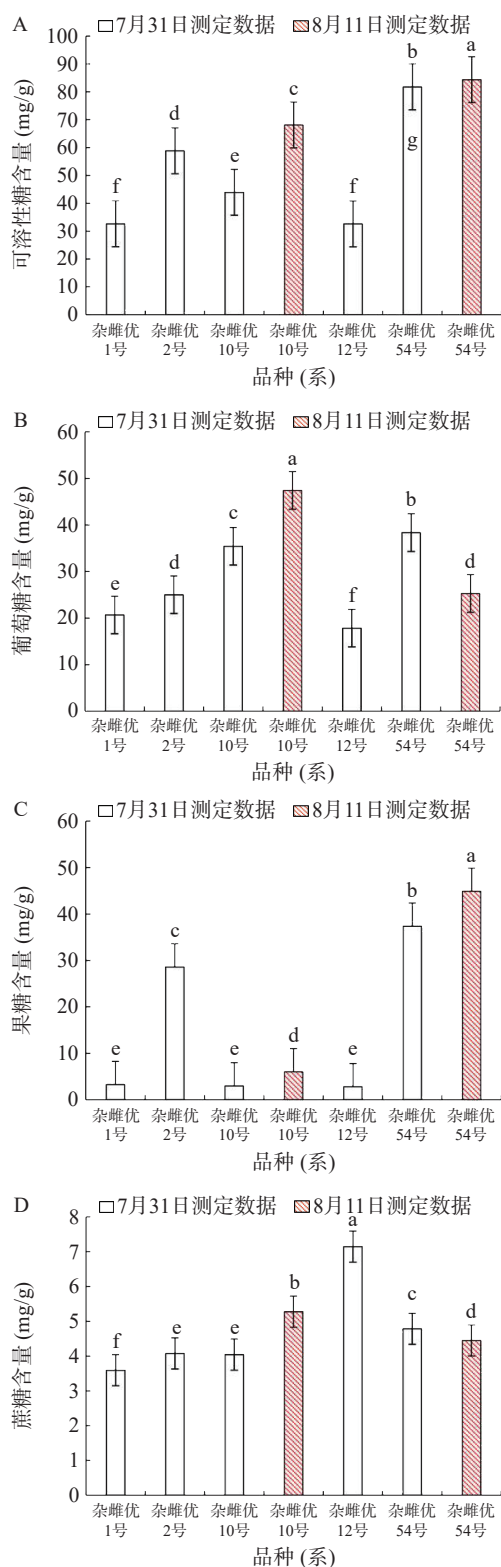


图 7 5 个参试杂交品种果实中可溶性糖、葡萄糖、果糖及蔗糖含量

Fig.7 Contents of soluble sugar, glucose, fructose and saccharose in berries of 5 hybrid sea buckthorn varieties

1.34、2.03、1.31 倍;而随着果实的成熟,杂雌优 54 号的葡萄糖和蔗糖的含量都是下降的,分别为刚成熟时的 65.92%、93.10%。吴紫洁等^[1]对黑龙江省农业科学院绥棱浆果研究所基地保存的 12 个沙棘品种糖含量进行测定,结果发现沙棘果实糖组分以葡萄糖和果糖为主,其含量分别为 4.16~9.43 和 0.30~6.53

mg/g, 本试验研究的 5 个杂交品种其葡萄糖含量均高于黑龙江 12 个品种,其中杂雌优 2 号和杂雌优 54 号果糖含量也高于上述 12 个品种。

生物组织中存在多种可溶性糖,其中葡萄糖、果糖、麦芽糖和蔗糖较为常见。本研究测定了 5 个参试杂交品种的可溶性糖总量及葡萄糖、果糖和蔗糖含量。杂雌优 1 号、杂雌优 10 号、杂雌优 12 号葡萄糖含量要远远高于其他 2 种糖类,其中杂雌优 1 号葡萄糖含量占可溶性糖含量的 63.37%。在果实刚成熟时,杂雌优 54 号葡萄糖含量和果糖含量接近,分别占可溶性糖含量的 46.9% 和 45.7%,完全成熟的杂雌优 54 号果糖含量明显增多,占可溶性糖含量的 53.2%,而葡萄糖含量则降为 30%,杂雌优 2 号果糖含量在 3 种糖中含量最高,占可溶性糖的 48.57%。除杂雌优 1 号和杂雌优 12 号果实中蔗糖含量高于果糖外,其他 3 个品种均低于果糖。

2.8 各营养成分之间的相关性

由表 1 可以看出,5 个杂交沙棘的 V_C 含量与 β -胡萝卜素含量呈显著($P<0.05$)负相关关系; V_E 含量与花青素含量、总黄酮含量、葡萄糖含量及 β -胡萝卜素含量呈极显著相关关系($P<0.01$),与可溶性糖含量呈显著相关关系($P<0.05$),而与可滴定酸含量呈极显著负相关关系($P<0.01$);SOD 活性与可溶性糖和果糖含量呈极显著负相关关系($P<0.01$),与花青素含量呈显著负相关关系($P<0.05$);可滴定酸含量与花青素含量、总黄酮含量呈极显著负相关关系($P<0.01$),与葡萄糖含量呈显著负相关关系($P<0.05$);可溶性糖含量与花青素含量、果糖含量呈极显著相关关系($P<0.01$),与总黄酮含量、葡萄糖含量呈显著相关关系($P<0.05$);花青素含量与总黄酮含量、葡萄糖含量及 β -胡萝卜素含量均呈现极显著相关关系($P<0.01$);总黄酮含量与葡萄糖含量及 β -胡萝卜素含量均呈现极显著相关关系($P<0.01$);葡萄糖含量与 β -胡萝卜素含量呈现极显著相关关系($P<0.01$)。结果表明沙棘果实各成分之间存在一定的相关关系,相互影响。其中 V_E 、 β -胡萝卜素、花青素类物质及黄酮类物质均具有很强的抗氧化活性,说明这些物质共同影响着沙棘果实的抗氧化、抗衰老活性。可滴定酸、果糖及蔗糖类均与果实风味密切相关,这些物质共同影响着沙棘果实的口感。5 个参试杂交沙棘中果实鲜食口感不同,杂雌优 2 号和杂雌优 54 号口感酸甜,而其他 3 个品种口感偏酸,不同种类的糖对果实的甜度贡献不同,果糖、蔗糖、葡萄糖的甜度分别为 1.75、1 和 0.75,杂雌优 2 号和杂雌优 54 号的果糖含量在 3 种糖中都是最高的,分别占了可溶性糖的 48.57% 和 53.22%,验证了这两个品种口感呈酸甜、而其他品种口感偏酸这一特征。

3 结论

5 个参试杂交品种果实中含有丰富的营养成分,其中 V_C 含量、 V_E 含量及 SOD 酶活性均达到并超

表 1 5 个参试杂交沙棘营养成分之间的相关性分析结果

Table 1 Correlation analysis of nutritional components in five hybrid sea buckthorn

项目	V _C 含量	V _E 含量	SOD活性	可滴定酸含量	可溶性糖含量	花青素含量	总黄酮含量	蔗糖含量	葡萄糖含量	β -胡萝卜素含量	果糖含量
V _C 含量	1										
V _E 含量	-0.136	1									
SOD活性	0.321	-0.396	1								
可滴定酸含量	-0.152	-0.588**	-0.192	1							
可溶性糖含量	0.042	0.533*	-0.74**	-0.042	1						
花青素含量	-0.277	0.921**	-0.511*	-0.624**	0.642**	1					
总黄酮含量	-0.118	0.980**	-0.39	-0.574**	0.524*	0.913**	1				
蔗糖含量	0.188	-0.251	0.251	0.05	-0.155	-0.286	-0.23	1			
葡萄糖含量	-0.114	0.703**	-0.009	-0.539*	0.512*	0.747**	0.700**	-0.106	1		
β -胡萝卜素含量	-0.533*	0.644**	-0.055	-0.359	0.309	0.692**	0.645**	-0.063	0.876**	1	
果糖含量	-0.071	0.216	-0.918**	0.258	0.843**	0.367	0.2	-0.226	0.011	-0.089	1

注: *和**分别表示在0.05和0.01水平下显著相关。

过野生中国沙棘的水平。各营养成分之间具有相关性,其中V_E、 β -胡萝卜素、花青素、葡萄糖、总黄酮含量互为极显著相关关系($P < 0.01$)。

各营养成分含量与品种及果实成熟程度有关。5个参试杂交品种果实中,红果沙棘(杂雌优10号)营养成分含量高于黄果沙棘,其中V_C含量、V_E含量、黄酮含量、花青素含量、 β -胡萝卜素含量、葡萄糖含量均居于首位,SOD活性、可溶性糖含量及蔗糖含量居于第二位。随着果实的成熟,红果沙棘(杂雌优10号)的V_C含量、SOD酶活性、可溶性糖含量、葡萄糖含量、果糖含量、蔗糖含量呈上升趋势,V_E含量、黄酮含量、花青素含量、可滴定酸含量、 β -胡萝卜素含量呈下降趋势;黄果沙棘(杂雌优54号)V_C含量、V_E含量、黄酮含量、SOD活性、可溶性糖含量、果糖含量、呈上升趋势,其余营养成分呈下降趋势。

参考文献

- [1] 吴紫洁,阮成江,李贺,等. 12个沙棘品种的果实可溶性糖和有机酸组分研究[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(4): 106-112. [WU Z J, RUAN C J, LI H, et al. Compositions of soluble sugars and organic acids in berries of 12 sea buckthorn cultivars[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(4): 106-112.]
- [2] 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 S G, LU J, WEN X F. Summary of distribution of sea buckthorn plant resources and application of nutrition[J]. Soil and Water Conservation in China, 2019 (7): 45-49.]
- [3] 胡建忠,蔡建勤,闫晓玲,等. 广适优质高产沙棘杂交新品种选育与应用[J]. 中国科技成果, 2021(16): 27-28, 32. [HU J Z, CAI J Q, YAN X L, et al. Breeding and application of new hybrid sea buckthorn varieties with wide adaptability, high quality and high yield[J]. China Science and Technology Achievements, 2021(16): 27-28, 32.]
- [4] 胡建忠,张滨,高岩. 我国主要野生沙棘果实的黄酮含量分析[J]. 青海农林科技, 2021(4): 8-12. [HU J Z, ZHANG B, GAO Y. Analysis on total flavonoids of fruits from main natural sea buckthorn resources in China[J]. Science and Technology of Qinghai Agriculture and Forestry, 2021(4): 8-12.]
- [5] MA X Y, LAAKSONEN O, ZHENG J, et al. Flavonol glycosides in berries of two major subspecies of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) and influence of growth sites[J]. Food Chemistry, 2016, 200: 189-198.
- [6] TKACZ K, WOJDYLO A, TURKIEWICZ I P, et al. UPLC-PDA-Q/TOF-MS profiling of phenolic and carotenoid compounds and their influence on anticholinergic potential for AChE and BuChE inhibition and on-line antioxidant activity of selected *Hippophae rhamnoides* L. cultivars[J]. Food Chemistry, 2020, 309: 1-11.
- [7] CRISTE A, URCAN A, BUNEA A, et al. Phytochemical composition and biological activity of berries and leaves from four Romanian sea buckthorn *Hippophae rhamnoides* L. cultivars[J]. Molecules, 2020, 25(5): 1-21.
- [8] GUO R X, GUO X B, LI T, et al. Comparative assessment of phytochemical profiles, antioxidant and anti-proliferative activities of Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berries[J]. Food Chemistry, 2017, 221: 997-1003.
- [9] SYTAROVA I, ORSAVOVA J, SNOPEK 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: 1-34.
- [10] DING J, RUAN C J, GUANG Y, et al. Nontargeted metabolomic and multigene expression analyses reveal the mechanism of oil biosynthesis in sea buckthorn berry pulp rich in palmitoleic acid[J]. Food Chemistry, 2022, 374: 1-11.
- [11] ZOMPRA AIKATERINI A, CHASAPI STYLIANI A, KARAGKOUNI EVDOKIA C, et al. Metabolite and bioactive compounds profiling of meteora sea buckthorn berries through high-resolution NMR analysis[J]. Metabolites, 2021, 11(12): 1-19.
- [12] 周浩楠,胡娜,董琦,等. 沙棘化学成分及药理作用的研究进展[J]. 华西药学杂志, 2020, 35(2): 211-217. [ZHOU H N, HU N, DONG Q, et al. Research progress on the chemical composition and pharmacological action of *Hippophae rhamnoides*[J]. West China Journal of Pharmaceutical Sciences, 2020, 35(2): 211-217.]
- [13] 卢薇,费建军,沈晓梅,等. 五种果汁的酚类组成及其抗氧化、抗肿瘤细胞增殖活性研究[J]. 食品工业科技, 2022, 43(6): 365-371. [LU W, FEI J J, SHEN X M, et al. Phenolic profiles, antioxidant and antiproliferative activities towards tumor cells of five

- fruit juices[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(6): 365–371.]
- [14] 刘雅娜,包晓玮,王娟,等.沙棘多糖抗运动性疲劳及抗氧化作用的研究[J].*食品工业科技*, 2021, 42(10): 321–326. [LIU Y N, BAO X W, WANG J, et al. Anti exercise fatigue and antioxidant of polysaccharide from *Hippophae rhamnoides* [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(10): 321–326.]
- [15] 王玉,刘琦,耿杰.沙棘黄酮的分离纯化及其抗运动性疲劳作用[J].*食品工业科技*, 2021, 41(23): 169–174. [WANG Y, LIU Q, GENG J. Purification and resisting movement fatigue activity of flavonoids from *Hippophae rhamnoides* L [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 41(23): 169–174.]
- [16] 申屠平平,魏霞蓁,王振林,等.沙棘脂肪酸对老龄雌性大鼠线粒体功能影响的研究[J].*国际沙棘研究与开发*, 2011, 9(2): 1–5. [SHEN T P P, WEI X Q, WANG Z L, et al. Experimental study on effect of sea buckthorn fatty acids (SBFAs) on the mitochondrial functional influence in aged female rats[J]. *The Global Sea buckthorn Research and Development*, 2011, 9(2): 1–5.]
- [17] 高山,刘暄,王晶,等.沙棘棕榈油酸提取物调节肌糖原合成及缓解 2 型糖尿病大鼠胰岛素抵抗的研究[J].*中国食品添加剂*, 2017(11): 51–57. [GAO S, LIU X, WANG J, et al. Research of sea buckthorn palmitic acid extract on regulation muscle glycogen synthesis and alleviating insulin resistance in type 2 diabetes mellitus rats[J]. *China Food Additives*, 2017(11): 51–57.]
- [18] GAO Y, GUO X B, LIU Y, et al. Comparative assessment of phytochemical profiles, antioxidant capacity and anti-proliferative activity in different varieties of brown rice[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2018, 96: 19–25.
- [19] CHEN S, WANG T, GUO F, et al. Structural characterization and intestinal protection activity of polysaccharides from sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berries[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2021, 274: 118648.
- [20] 中华人民共和国国家标准. GB/T 5009.86-2016 食品中抗坏血酸的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Standard of the People's Republic of China. GB/T 5009.86-2016 Determination of ascorbic acid in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]
- [21] 李娜,胡月月,葛亮.不同产地沙棘中总黄酮、总多酚含量测定及其抗氧化活性研究[J].*化学与生物工程*, 2021, 38(8): 64–68. [LI N, HU Y Y, GE L. Determination of contents of total flavonoids and total polyphenols in *Hippophae rhamnoides* L. from different origins and their antioxidant activity[J]. *Chemistry & Bioengineering*, 2021, 38(8): 64–68.]
- [22] 孙美玲,梁月洋,王红朵,等.河南南阳地产绿米稻壳中花青素的提取工艺研究[J].*中国农学通报*, 2018, 34(18): 71–76. [SUN M L, LIANG Y Y, WANG H D, et al. Extraction process of anthocyanins from husk of local-grown rice *Oryza sativa* L. Nanyangensis in Nanyang, Henan[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2018, 34(18): 71–76.]
- [23] 中华人民共和国国家标准. GB/T 12293-1990 水果、蔬菜制
- 品可滴定酸度的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009. [National Standard of the People's Republic of China. GB/T 12293-1990 Determination of titratable acidity of fruit and vegetable products [S]. Beijing: China Standards Press, 2009.]
- [24] 李琨,王雨霜,俞杰,等.几种番茄营养成分含量的测定[J].*浙江农业科学*, 2020, 61(11): 2366–2370. [LI H, WANG Y S, YU J, et al. Determination of nutrient content in several tomato varieties[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2020, 61(11): 2366–2370.]
- [25] 张四杰,钱正,刘京晶,等.铁皮石斛花多糖相对分子质量及其单糖组成的研究[J].*中国中药杂志*, 2017, 42(20): 3919–3925. [ZHANG S J, QIAN Z, LIU J J, et al. Relative molecular mass and monosaccharide composition of polysaccharide in *Dendrobium officinale* flowers[J]. *China J Chin Mater Med*, 2017, 42(20): 3919–3925.]
- [26] 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 Z L, YUAN W Q, ZHANG B L, 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.]
- [27] 陈汉鑫,李晓庆,王林,等.山西野生沙棘结实性状的果实营养成分研究[J].*经济林研究*, 2019, 37(3): 153–160. [CHEN H X, LI X Q, WANG L, et al. Fruiting characters and nutrient components of wild *Hippophae rhamnoides* in Shanxi[J]. *Non-wood Forest Research*, 2019, 37(3): 153–160.]
- [28] 张英楠.中国沙棘不同品系有效成分的比较研究 [D]. 长春: 吉林农业大学, 2009. [ZHANG Y N. Comparative study on the effective components of different strains of *Hippophae rhamnoides* in China[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2009.]
- [29] 付依依,王永霞,宋惠月,等.沙棘原浆苹果酸-乳酸发酵过程中理化指标及抗氧化能力的变化 [J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(5): 89–94. [FU Y Y, WANG Y X, SONG H Y, et al. Changes in physical and chemical indicators and antioxidant capacity of sea buckthorn puree during malic acid-lactic acid fermentation[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2022, 48(5): 89–94.]
- [30] 安雄韬.不同品种大果沙棘果实品质研究[J].*绿色科技*, 2021, 23(3): 78–80. [AN X T. Study on fruit quality of different varieties of large berry sea buckthorn[J]. *Journal of Green Science and Technology*, 2021, 23(3): 78–80.]
- [31] 严华,别玮,崔风云,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 H, BIE W, CUI F Y, 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.]
- [32] 朱世琴,郝家骥,苏小静.沙棘超氧化物歧化酶动态研究[J].*沙棘*, 1993, 12(1): 34–36. [ZHU S Q, HAO J Q, S X J. Dynamic study on superoxide dismutase of seabuckthorn[J]. *Seabuckthorn*, 1993, 12(1): 34–36.]