

黑果腺肋花楸果汁产品品质分析与综合评价体系的建立

李海波¹, 王淑娟¹, 杨亚平¹, 郭栋卫¹, 鲍诗晗², 兰天², 孙翔宇³, 马婷婷^{2*}

(1. 山西路安石圪节智华生物科技有限公司, 山西长治 046299) (2. 西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西杨凌 712100) (3. 西北农林科技大学葡萄酒学院, 陕西杨凌 712100)

摘要: 该研究以现有较高销量 14 款市售黑果腺肋花楸果汁类产品为试材, 通过测定产品的色度、理化、酚类物质含量及抗氧化能力等共 18 项品质指标, 采用主成分分析法, 建立黑果腺肋花楸果汁产品品质分析与综合评价体系, 并使用该体系对市售黑果腺肋花楸果汁产品进行评价。主成分分析结果显示: 前 4 个主成分方差累计贡献率达到 91.88, h° (0.56)、总酸 (0.90)、糖酸比 (0.54)、悬浮稳定性 (0.48)、黄酮 (0.82)、缩合单宁 (0.82)、FRAP (0.57)、DPPH (0.70) 在前四个主成分中载荷权数较大, 是黑果腺肋花楸果汁类产品的特征评价指标。总体而言, 浓缩口服液及 100% 果汁产品综合品质较优; ZH 系列果汁饮料在其产品类别中综合品质较优。该研究通过建立黑果腺肋花楸果汁类食品品质分析与综合评价体系, 为黑果腺肋花楸果汁类食品的开发利用提供数据基础与理论支撑, 对于黑果腺肋花楸产业的健康发展具有重要意义。

关键词: 黑果腺肋花楸; 果汁; 感官价值; 营养价值; 评价体系

文章编号: 1673-9078(2021)12-177-186

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.12.0331

Establishment and Application of A Product Quality Analysis and Comprehensive Evaluation System for *Aronia melanocarpa* Juices

LI Haibo¹, WANG Shujuan¹, YANG Yaping¹, GUO Dongwei¹, BAO Shihan², LAN Tian², SUN Xiangyu³, MA Tingting^{2*}

(1. Shanxi Lu'an Shigiejie Zihua Biotechnology Co. Ltd., Changzhi 046299, China)

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

(3. College of Enology, Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

Abstract: In this study, 14 kinds of commercially available *Aronia melanocarpa* juice products with a relatively high sales volume were used as the experimental materials, a product quality analysis and comprehensive evaluation system for *Aronia melanocarpa* juices was established through analyzing 18 quality indexes (including color, physicochemical properties, phenolic content and antioxidant capacity) along with principal component analysis(PCA). This system was used to evaluate commercially available *Aronia melanocarpa* juice products. The results of PCA showed that the cumulative contribution rate of the first four principal component variances reached 91.88. The h° (0.56), total acid (0.90), sugar-acid ratio (0.54:1), suspension stability (0.48), flavonoids (0.82), condensed tannin (0.82), FRAP (0.57), and DPPH (0.70) had higher load weights among the first four principal components, which were characteristic evaluation indexes of *Aronia melanocarpa* juices. In general, the concentrated oral liquid and 100% fruit juice products had a higher comprehensive quality, and ZH fruit juices had the best overall quality in its product category. Through establishing a product quality analysis and comprehensive evaluation system for *Aronia melanocarpa*

引文格式:

李海波,王淑娟,杨亚平,等.黑果腺肋花楸果汁产品品质分析与综合评价体系的建立 [J].现代食品科技,2021,37(12):177-186,+119

LI Haibo, WANG Shujuan, YANG Yaping, et al. Establishment and application of a product quality analysis and comprehensive evaluation system for *Aronia melanocarpa* juices [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(12): 177-186, +119

收稿日期: 2021-03-27

基金项目: 中国博士后面上项目 (2020M673505), 陕西省重点研发计划一般项目 (2020NY-134), 企业横向项目 (2020-4)

作者简介: 李海波 (1979-), 男, 高级工程师, 研究方向: 农产品种植及加工, E-mail: kevinlhb1979@126.com

通讯作者: 马婷婷 (1987-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 果蔬营养与健康, E-mail: matingting@nwafu.edu.cn

juices, this study provides a database and theoretical support for the development and utilization of *Aronia melanocarpa* juice products, which is of great significance for the healthy development of the *Aronia melanocarpa* industry.

Key words: *Aronia melanocarpa*; juice; sensory; nutrition; quality evaluation system

不老莓, 又称野樱莓, 学名黑果腺肋花楸 (*Aronia melanocarpa* (Michx.) Ell.), 属于蔷薇科腺肋花楸属落叶灌木, 果实为紫黑色浆果, 是一种集食用、药用、园林和生态等价值于一体的珍贵经济树种^[1,2]。黑果腺肋花楸原产于北美洲东部, 1989年由辽宁省干旱地区造林研究所首次引种到我国, 在吉林、辽宁、山东、山西等地均有种植, 至今已有较丰富的种植资源^[3]。

黑果腺肋花楸在欧美各国被誉为“超级浆果”, 其果实中富含各类生物活性物质, 多酚、黄酮、花青素含量在所有已知植物中最高^[4]。已有研究表明, 黑果腺肋花楸在抗氧化、抑菌、抗炎、降低心血管疾病风险、预防及治疗糖尿病等方面均发挥着积极作用^[5-9]。虽然黑果腺肋花楸鲜果保健功能优越, 但由于其酸类物质及单宁含量过高, 口感较为酸涩, 消费者因不熟悉该类口感而对其接受度较低。将黑果腺肋花楸加工为各类食品, 可显著改善其口感。因而, 黑果腺肋花楸的深加工显得尤为重要。

据统计, 目前全球黑果腺肋花楸加工产品共计 279 种, 共分布于 33 个国家, 涵盖 39 种不同的食品品种, 主要应用于果酒、啤酒、果酱、果汁、果茶、沙拉、冰激凌、焙烤食品、食品着色剂以及膳食补充剂等^[10]。2018 年 9 月 12 日, 我国国家卫生健康委员会审查通过黑果腺肋花楸成为新食品原料^[11]。近年来, 国内也涌现出多家黑果腺肋花楸加工企业, 加工产品覆盖果酒、啤酒、果汁、保健品等多个品类, 黑果腺肋花楸加工产业也具有相当广阔的市场前景和巨大的发展潜力。然而, 与国际相比, 国内黑果腺肋花楸相关研究和产品开发程度仍处于较低水平, 亟需相关的理论依据和科研成果提供支撑。

目前, 我国黑果腺肋花楸果汁类食品的加工生产尚处于初级阶段, 其市场也刚刚起步。对于市面上大量涌出的黑果腺肋花楸果汁类食品, 尚且缺乏针对性的监管和控制, 也没有建立起科学合理的品质评价体系。此外, 黑果腺肋花楸相关产品普遍价格高昂。因此, 模糊的品质认知和高昂的价格, 是消费者选购黑果腺肋花楸果汁类食品两个最大的阻碍。

本研究拟以市售黑果腺肋花楸果汁类食品为研究对象, 通过分析其感官品质、理化品质、营养成分及抗氧化能力等指标, 综合感官价值与营养价值, 建立黑果腺肋花楸果汁产品品质分析与综合评价体系, 并使用该体系对市售黑果腺肋花楸果汁产品进行评价,

以为黑果腺肋花楸果汁类食品的开发利用提供数据基础与理论支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

经前期调研, 选择销量较高的 14 种市售黑果腺肋花楸果汁类产品为样品, 样品具体信息如表 1 所示。

表 1 14 种市售黑果腺肋花楸果汁类产品

Table 1 14 kinds of commercial *Aronia melanocarpa* juices

产品类型	产品编号	果汁含量%	国产/进口
果汁饮料	K-1-20%	20	国产
	K-1-30%	30	国产
	K-1-40%	40	国产
	K-1-50%	50	国产
	K-2-30%	30	国产
	C-10%	10	国产
	ZH-20%	20	国产
	ZH-30%	30	国产
	ZH-40%	40	国产
	L-45%	45	国产
100%果汁	K-G-100%	100	进口 (韩国)
发酵果汁	J-100%	100	国产
浓缩口服液	G-M-c	100	进口 (德国)
	G-D-c	100	进口 (德国)

福林酚: 浓度 1 N, 北京索莱宝科技有限公司; 没食子酸: 纯度 $\geq 98\%$, sigma; 儿茶素: 纯度 $\geq 98\%$, sigma; 2,4,6-三吡啶基三嗪 (TPTZ 试剂): 纯度 $\geq 98\%$, 上海源叶科技有限公司; 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼 (DPPH 试剂): 纯度 $> 97.0\%$, 梯希爱化成工业发展有限公司; 6-羟基-2,5,7,8-四甲基色烷-2-羧酸 (trolox): 浓度 $\geq 98\%$, 上海源叶科技有限公司; 其余试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

PAL-1 手持糖度仪, 日本爱拓公司; 雷磁 phs-3e pH 计, 上海仪电科学仪器股份有限公司; TGL-16G 离心机, 上海安亭科学仪器厂; Centrifuge 5804R 冷冻离心机, 德国艾本德公司; UV2800 紫外分光光度计, 上海尤尼柯仪器有限公司; Ci760003040489 色度仪, 上海爱色丽色彩科技有限公司。

表2 市售黑果腺肋花楸果汁类产品感官评价表

Table 2 Sensory evaluation table of commercial *Aronia melanocarpa* juices

分值	组织形态	色泽	风味	酸甜度	口感
16~20	体系均一, 无沉淀, 无杂质	暗紫红色, 光泽好	黑果腺肋花楸香气纯正浓郁, 无涩味、无苦味、无异味	酸甜可口	爽口, 口感细腻光滑
11~15	微浑浊, 略有沉淀	紫红色较深或较淡, 有光泽	果味香气宜人、有略微涩味、无苦味、无异味	酸甜度略失调	口感较好, 无刺激性滋味, 较细腻
6~10	较混浊, 有少量沉淀或轻微分层	褐色或几乎无色, 光泽差	黑果腺肋花楸香气较淡、有略微涩味、有苦味、无异味	微酸或微甜	口感较差, 有刺激性滋味
1~5	严重浑浊或沉淀较多, 有分层现象	褐色或无色, 无光泽	无黑果腺肋花楸香气、口感发涩、有苦味、有明显异味	过酸或过甜	口感粗糙, 滋味不协调, 有刺激性滋味

1.3 试验方法

1.3.1 感官品评

选择 14 位具有感官品评经验的西北农林科技大学食品学院师生组成感官品评小组, 经培训后按照表 2 标准对样品进行感官品评。

1.3.2 理化指标测定

TSS: 使用 ATAGO PAL-1 手持糖度仪进行测定。

pH: 使用雷磁 phs-3e pH 计进行测定。

悬浮稳定性: 参考 Zhu 等人^[12]的方法并稍作修改。

取 10 mL 样品在 5000 r/min 转速条件下离心 10 min, 取上清液待测。分别取 3 mL 样品与上清液, 以去离子水作为空白, 测定其在 660 nm 处的吸光值, 记为 A_0 和 A_1 。悬浮稳定性 R 计算方法如下式:

$$R = (A_1/A_0) \times 100\%$$

可滴定酸: 参考 GB/T 12456-2008^[13]酸碱滴定法。

总糖: 使用斐林试剂滴定法。将样品于 8000 r/min 条件下离心 10 min 后, 取一定体积于 100 mL 容量瓶中, 加入 5 mL 50% (V/V) HCl 和一定量的蒸馏水, 于 68 ± 1 °C 水解 15 min, 流水冷却, 用 200 g/L NaOH 中和至中性后定容。取斐林试剂 A、B 液各 5 mL 于 250 mL 三角瓶中, 加入 50 mL 蒸馏水, 和 5 mL 样品水解液, 摇匀, 加热至沸腾并在沸腾状态下用 5 g/L 标准葡萄糖标液滴定, 当溶液的蓝色将消失呈红色时, 加入 2 滴亚甲基蓝指示剂, 继续滴定至蓝色消失, 记录消耗 5 g/L 标准葡萄糖溶液的体积 V_1 。此外, 取斐林试剂 A、B 液各 5 mL 于 250 mL 三角瓶中, 加入 50 mL 蒸馏水, 摇匀, 加热至沸腾并在沸腾状态下用 5 g/L 标准葡萄糖溶液滴定, 当溶液的蓝色将消失呈红色时, 加入 2 滴指示剂, 继续滴定至蓝色消失, 记录标定斐林试剂消耗 5 g/L 标准葡萄糖溶液的体积 V_2 。

$$\text{总糖含量(g/L)} = c \times (V_2 - V_1) \times Df/V_0$$

式中:

c ——标准葡萄糖溶液浓度, 为 5 g/L;

V_1 ——滴定样品消耗的葡标液体积;

V_2 ——滴定斐林试剂消耗的葡标液体积;

Df ——稀释倍数;

V_0 ——取样体积, 为 5 mL。

1.3.3 色度测定

取适量样品, 8000 r/min 离心 10 min 后, 取上层清液, 用 1 cm 玻璃比色杯盛装, 使用 10 mm 透光孔、色度仪全透射模式测定样品的 L^* 、 a^* 、 b^* 、 C^* 、 h° 值。

1.3.4 酚类物质含量测定

样品准备: 将样品于 8000 r/min 离心 10 min, 取上清液稀释至一定倍数待测。

总酚含量: 使用福林酚比色法, 参考 Li 等^[14]的方法并稍作修改。取稀释后上清液 0.2 mL, 加入 2 mL 10 倍稀释后的福林酚溶液, 混匀后加入 1.8 mL 7.5% 的 Na_2CO_3 溶液, 混匀避光放置 1 h 后于 765 nm 处测定吸光度值。配制浓度分别为 10 mg/L、20 mg/L、40 mg/L、60 mg/L、80 mg/L、100 mg/L、200 mg/L 的没食子酸标准溶液, 按照上述实验方法建立标准曲线。结果以没食子酸当量表示。

总黄酮含量: 使用 $NaNO_2$ - $Al(NO_3)_3$ 比色法, 参考 Wen 等^[15]的方法并稍作修改。取 5 mL 稀释后上清液于试管中, 加入 0.3 mL 5% $NaNO_2$ 溶液, 混匀避光静置 6 min, 加入 0.3 mL 10% $Al(NO_3)_3$ 溶液, 混匀避光静置 6 min, 加入 2 mL 1.0 mol/L NaOH 溶液, 用 30% 乙醇定容至 10 mL, 避光静置 15 min, 于 510 nm 处测吸光度值。配制浓度分别为 5 mg/L、10 mg/L、20 mg/L、30 mg/L、40 mg/L、50 mg/L、60 mg/L 的儿茶素标准溶液, 按照上述实验方法建立标准曲线。结果以儿茶素当量表示。

总花色苷含量: 使用 pH 示差法, 参考刘树勋等人^[16]的方法并稍作修改。取一定体积样品于两支试管中, 分别加入 pH 1.0 和 pH 4.5 的缓冲液定容至 5 mL, 避光稳定 15 min, 于分光光度计 520 nm、700 nm 处

测定吸光度值。

计算方法如下：

$$A=(A_{520}-A_{700})pH_{1.0}-(A_{520}-A_{700})pH_{4.5}$$

$$\text{样品中花色苷含量}W(\text{mg/L})=(A \times M_w \times D_f \times 1000)/(\epsilon \times l)$$

式中：

M_w ——二甲花翠素葡萄糖苷分子量 493.5；

D_f ——稀释倍数；

ϵ ——二甲花翠素葡萄糖苷的消光系数 28000。

缩合单宁含量：使用酸化香草醛法，参考王储炎等^[17]的方法并稍作修改。取稀释后上清液 0.5 mL，加入 2.5 mL 3%的香草醛-甲醇溶液，混匀后加入 2.5 mL 30%的硫酸-甲醇溶液，30 °C 避光反应 20 min 后于 500 nm 处测定吸光度值。配制浓度分别为为 10 mg/L、20 mg/L、40 mg/L、80 mg/L、100 mg/L、200 mg/L、400 mg/L 的儿茶素标准溶液，按照上述实验方法建立标准曲线。单宁含量以儿茶素当量表示。

1.3.5 抗氧化能力测定

样品准备：将样品于 8000 r/min 离心 10 min，取上清液稀释至一定倍数待测。

FRAP 铁离子还原能力：参考 I. F 等^[18]的方法并稍作修改。取 0.25 mL 稀释后上清液和 8 mL TPTZ 工作液于试管中，混合均匀，于 37 °C 水浴反应 15 min 后，测定其在 593 nm 处的吸光值。配制浓度分别为 0.1 mmol/L、0.2 mmol/L、0.4 mmol/L、0.6 mmol/L、0.8 mmol/L、1 mmol/L 的 trolox 标准溶液，按照上述实验方法建立标准曲线。FRAP 铁离子还原能力以 trolox 当量表示。

DPPH 自由基清除能力：参考 Ouyang 等^[19]的方法并稍作修改。取 0.25 mL 稀释后上清液和 4 mL DPPH 溶液于试管中，混合均匀，避光反应 30 min，于 517 nm 处测定其吸光度值。配制浓度分别为 0.1 mmol/L、0.2 mmol/L、0.4 mmol/L、0.6 mmol/L、0.8 mmol/L、1 mmol/L 的 trolox 标准溶液，按照上述实验方法建立标准曲线。DPPH 自由基清除能力以 trolox 当量表示。

1.4 数据分析

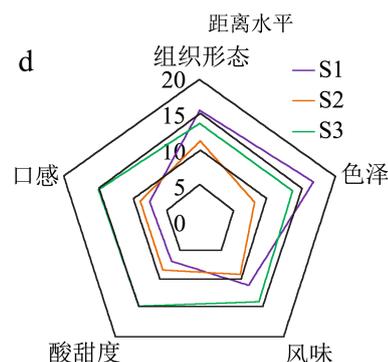
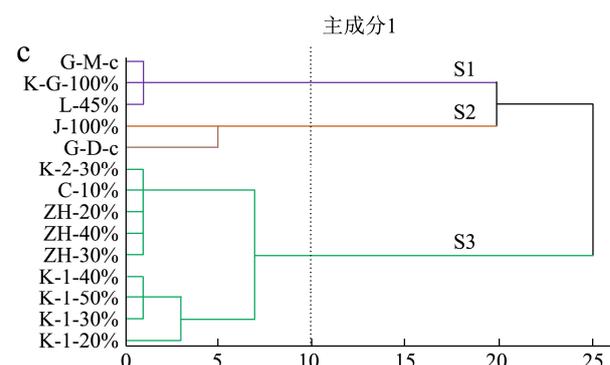
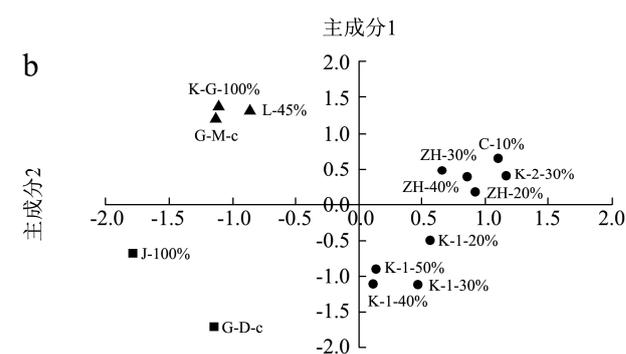
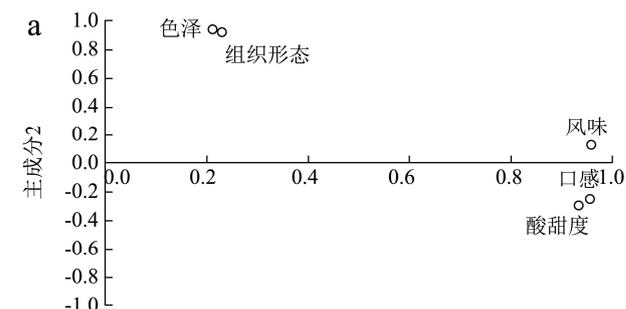
测定数据采用 SPSS 21.0 软件进行方差分析、聚类分析及主成分分析。聚类分析采用 The Ward 系统聚类法，聚类距离为欧氏平方距离，主成分分析及聚类分析前先将数据进行无量纲化处理。

2 结果与讨论

2.1 市售黑果腺肋花楸果汁类产品感官评价

结果

对感官评价结果进行主成分分析，发现前两个主成分累计方差贡献率达到 94.35%，即前两个主成分即可解释原有变量包含的绝大部分信息。由图 1a 可知，主成分 1 包括风味、酸甜度和口感，是反应样品入口后感官品质指标，因此，主成分 1 可以命名为味觉主成分；主成分 2 包括组织形态与色泽，反映样品外观优劣，可以命名为视觉主成分。



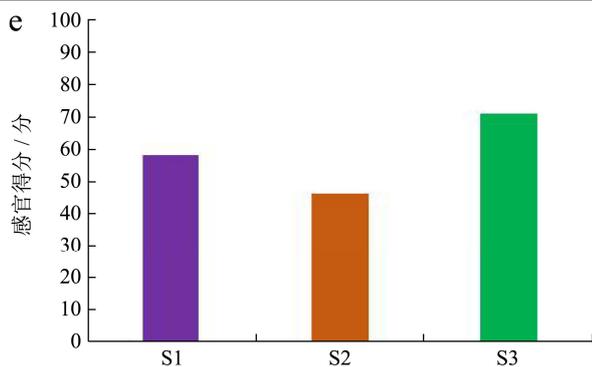


图1 市售黑果腺肋花楸果汁类产品感官品评结果

Fig.1 Sensory evaluation results of commercial *Aronia melanocarpa* juices

注: (a) 感官品评主成分载荷图; (b) 产品主成分得分图; (c) 产品聚类分析树状图; (d) 产品感官评价得分雷达图; (e) 产品感官评价得分图。

根据样品主成分得分图, 再结合聚类分析, 可以通过感官品评将 14 种样品分为 3 类。S1 包括 L-45%、K-G-100%、G-M-c; S2 包括 J-100%、G-D-c; S3 包括 K-1-20%、K-1-30%、K-1-40%、K-1-50%、K-2-30%、C-10%、ZH-20%、ZH-30%、ZH-40%。S1 与 S2 类产品包括 100%果汁、发酵果汁与浓缩口服液, 在味觉感官方面表现较差, 这是由于黑果腺肋花楸原浆含量过高, 无法消除原料中较强的酸涩味导致的。然而, S1 视觉感官在三类产品中表现最优。S3 组包括所有果汁饮料, 通过使用甜味剂、酸味剂进行复配, 使产品拥有最佳的味觉感官, 同时, 其感官总分在三类产品中最高, 达到 70 分以上。因此, 在所有类型的黑果腺肋花楸产品中, 果汁饮料是消费者接受度最高。

表3 市售黑果腺肋花楸果汁类产品感官指标主成分特征值及方差贡献率

成分	特征值 λ	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%
1	2.82	56.30	56.30
2	1.90	38.06	94.35
3	0.20	3.95	98.30
4	0.07	1.32	99.62
5	0.02	0.38	100.00

2.2 市售黑果腺肋花楸果汁类产品色度测定结果

样品色度测定结果如图 2 所示。由图 2a 可知, 所有样品 a^* 值均大于 0, 表明样品为红色色调, 样品 a^*

值在 4.72~39.24 之间, 最大值是 K-2-30%, 最小值是 K-1-20%。所有样品 b^* 值均大于 0, 表明样品为黄色色调, 其中 G-D-c 为最大值 55.77, G-M-c 为最小值 1.74。所有样品的 a^* 、 b^* 值均表现出显著差异。

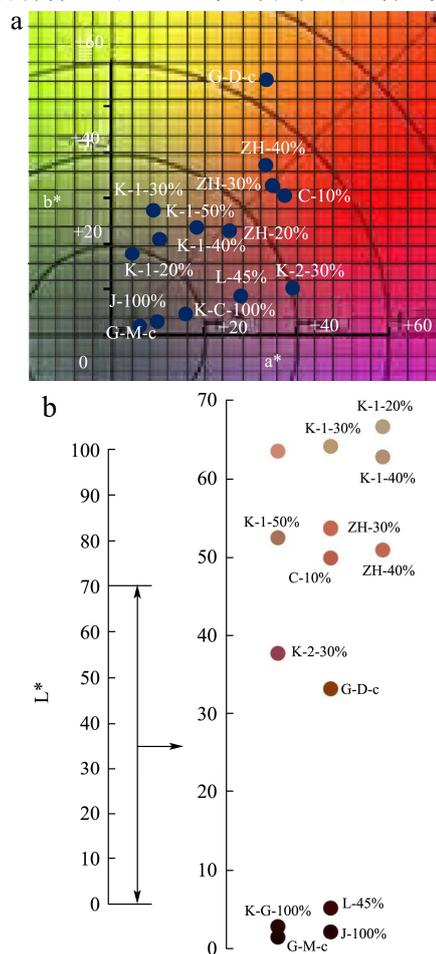


图2 市售黑果腺肋花楸果汁类产品色度测定结果

Fig.2 The chromaticity of commercial *Aronia melanocarpa* juices

注: (a) 产品色度分布图; (b) 产品明度分布图。

将所有样品的 L^* 值绘制在明度轴上, 如图 2b 所示, 其中色斑颜色即自然观察条件下的样品颜色。由图 2b 可知, 14 种样品 L^* 差异较大, 但都小于 70, 因此黑果腺肋花楸产品明度均较暗, 光泽度相对较差。 L^* 基本呈现随原浆浓度降低而增加的趋势, 其中 K-1-20% L^* 值最大, 为 66.62, G-M-c L^* 最小, 为 1.34。

黑果腺肋花楸果汁产品 a^* 、 b^* 、 L^* 值均与红葡萄酒相近^[20-21], 故可以使用红葡萄酒色泽描述词汇对黑果腺肋花楸果汁产品进行评价, 如宝石红、紫红、瓦红、砖红等。如图 1d 所示, S3 色泽得分最高, 三种产品 G-M-c、K-G-100% 及 L-45% 在图 2a 中分布于紫红及宝石红色区, 故紫红色与宝石红色的黑果腺肋花楸果汁更符合消费者喜好, 这也与红葡萄酒表现出相似性^[22]。

表4 市售黑果腺肋花楸果汁类产品理化指标测定结果

Table 4 Determination of physicochemical indexes of commercial *Aronia melanocarpa* juices

类别	编号	pH	TSS/°Brix	悬浮稳定性/%	总酸(以柠檬酸计)/(g/L)	总糖/(g/L)	糖酸比	固酸比
S1	L-45%	3.23±0.01 ⁱ	10.40±0.06 ^g	63.39±1.98 ^c	8.45±0.06 ^a	63.34±1.15 ⁱ	7.5±0.09 ^l	1.23±0.01 ^k
	G-M-c	3.93±0.01 ^b	15.60±0.06 ^c	86.87±1.09 ^a	6.25±0.03 ^d	68.34±2.52 ^h	11.11±0.28 ^{ij}	2.54±0.08 ^g
	K-G-100%	3.70±0.01 ^e	15.30±0.13 ^d	89.21±0.25 ^a	7.09±0.09 ^c	75.01±2.00 ^f	10.58±0.17 ^j	2.16±0.03 ⁱ
S2	J-100%	3.67±0.01 ^f	31.90±0.12 ^a	27.49±1.47 ^h	5.91±0.01 ^e	69.34±2.52 ^{gh}	11.523±0.16 ⁱ	5.3±0.17 ^a
	G-D-c	4.18±0.01 ^a	31.00±0.15 ^b	32.77±1.94 ^g	8.12±0.03 ^b	162.68±2.52 ^a	20.02±0.25 ^h	3.82±0.03 ^d
S3	K-1-20%	3.02±0.01 ^m	8.90±0.10 ^j	16.08±0.28 ⁱ	2.64±0.01 ^j	106.17±1.89 ^c	40.19±0.63 ^c	3.36±0.02 ^e
	K-1-30%	3.15±0.01 ^j	2.50±0.10 ^m	9.70±0.90 ^j	2.76±0.03 ⁱ	24.50±0.75 ^k	8.89±0.21 ^k	0.92±0.03 ^l
	K-1-40%	3.43±0.01 ^h	8.90±0.14 ^j	5.57±0.83 ^k	2.85±0.02 ^h	121.79±1.39 ^d	42.75±0.3 ^b	3.11±0.04 ^f
	K-1-50%	3.50±0.00 ^g	6.60±0.06 ^l	8.93±0.69 ^j	2.73±0.01 ⁱ	71.56±3.08 ^g	26.22±1.24 ^f	2.43±0.03 ^h
	K-2-30%	3.03±0.00 ^l	9.20±0.06 ⁱ	36.68±0.19 ^f	2.41±0.05 ^k	127.12±2.04 ^c	52.65±0.33 ^a	3.8±0.08 ^d
	C-10%	3.14±0.01 ^k	11.90±0.00 ^e	28.69±1.06 ^h	5.81±0.06 ^f	138.90±1.68 ^b	23.9±0.1 ^g	2.05±0.02 ^j
	ZH-20%	3.68±0.01 ^e	8.00±0.12 ^k	82.39±4.92 ^b	1.90±0.01 ^m	59.50±0.87 ^j	31.35±0.34 ^e	4.2±0.04 ^c
	ZH-30%	3.70±0.01 ^d	9.60±0.14 ^h	69.90±1.51 ^d	2.18±0.01 ^l	71.34±1.26 ^{gh}	32.76±0.38 ^d	4.41±0.03 ^b
ZH-40%	3.71±0.01 ^c	11.30±0.14 ^f	76.81±2.35 ^c	2.96±0.01 ^g	77.34±1.33 ^f	26.16±0.51 ^f	3.81±0.02 ^d	
CV		27.58%	68.40%	71.54%	57.73%	48.28%	60.85%	47.31%

注：同一列数据不同小写字母标记表示差异显著 ($p < 0.05$)。

将色度指标与感官品评中的色泽得分进行相关性分析，计算 Pearson 相关系数，结果如图 3 所示。由图 3 可知， h° 与色泽感官得分呈显著负相关关系，Pearson 系数为-0.63 ($p < 0.05$)。 h° 表示色度角，更靠近 0° 表示接近紫红色色调，越受消费者喜爱。

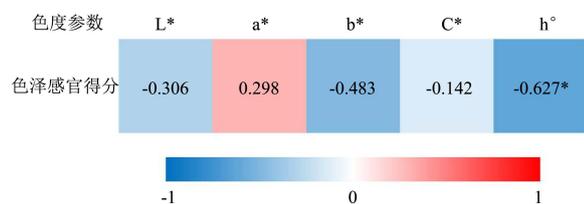


图3 市售黑果腺肋花楸产品色度参数与色泽感官得分相关性热图

Fig.3 Heat map of correlation between chromaticity parameters and color sensory scores of commercial *Aronia melanocarpa* juices

2.3 市售黑果腺肋花楸果汁类产品理化指标测定结果

市售黑果腺肋花楸果汁类产品理化指标测定结果如表 4 所示。其中糖酸比为总糖均值与总酸均值之比值，固酸比为 TSS 均值与总酸均值之比值。由表 4 可知，S1、S2 总糖含量位于 63.34~162.68 g/L 范围内，总酸含量最低 5.91 g/L，最高 8.45 g/L，二者总酸、总糖含量均较高。S3 产品糖酸比可高达 52.75，在三类产品中最高。S1 悬浮稳定性为 63.39%~89.21%，ZH

系列果汁饮料悬浮稳定性为 69.90%~82.39%。除上述样品外，其余样品悬浮稳定性表现均较差，甚至低于一些浊汁产品^[23]，此类产品混浊且表现出轻微分层现象，严重影响消费者感官印象。

将理化指标与酸甜度感官得分进行相关性分析，计算 Pearson 相关系数，结果如图 4 所示。由图 4 可知，TSS 与酸甜度感官得分显著正相关，Pearson 系数为 0.58 ($p < 0.05$)；总酸和糖酸比与酸甜度感官得分极显著相关，Pearson 系数分别为-0.81、0.68 ($p < 0.05$)。表明总酸越低、TSS 与糖酸比越高，样品的消费者接受度越高。

将悬浮稳定性与组织状态感官得分进行相关性分析，Pearson 系数极显著，为 0.75 ($p < 0.05$)。



图4 市售黑果腺肋花楸果汁类产品理化指标与酸甜度感官得分相关性热图

Fig.4 Heat map of correlation between physicochemical indexes and sweetness and acidity sensory scores of commercial *Aronia melanocarpa* juices

2.4 市售黑果腺肋花楸果汁类产品酚类物质含量测定结果

表 5 市售黑果腺肋花楸果汁类产品酚类物质含量测定结果

Table 5 Determination of phenolic compounds in commercial *Aronia melanocarpa* juices

类别	编号	黄酮含量	总酚含量	花色苷含量	单宁含量
		以儿茶素计/($\mu\text{g/mL}$)	以没食子酸计/($\mu\text{g/mL}$)	以二甲花翠素葡萄糖苷计/($\mu\text{g/mL}$)	以儿茶素计/($\mu\text{g/mL}$)
S1	L-45%	1496.36 \pm 2.14 ^d	4440.70 \pm 19.93 ^d	248.07 \pm 5.13 ^a	1164.00 \pm 5.77 ^c
	G-M-c	3345.80 \pm 5.66 ^a	6169.12 \pm 6.08 ^b	203.89 \pm 1.63 ^b	2107.67 \pm 6.29 ^a
	K-G-100%	2779.14 \pm 2.14 ^b	5063.86 \pm 12.16 ^c	92.03 \pm 0.56 ^c	1635.17 \pm 5.20 ^b
S2	J-100%	2251.11 \pm 0.00 ^c	3619.18 \pm 4.05 ^e	8.86 \pm 0.80 ^d	886.54 \pm 0.89 ^d
	G-D-c	410.91 \pm 0.86 ^f	18971.93 \pm 30.39 ^a	2.45 \pm 0.15 ^{fg}	211.78 \pm 5.09 ^e
S3	K-1-20%	26.92 \pm 0.14 ^m	95.17 \pm 0.49 ^l	0.13 \pm 0.01 ^g	82.28 \pm 2.33 ⁱ
	K-1-30%	67.83 \pm 0.25 ^l	142.79 \pm 0.70 ^k	0.42 \pm 0.05 ^g	10.13 \pm 0.29 ^k
	K-1-40%	90.96 \pm 0.14 ^k	237.94 \pm 1.46 ^j	0.820 \pm 0.02 ^g	43.90 \pm 0.43 ^j
	K-1-50%	144.62 \pm 0.43 ^j	284.49 \pm 1.22 ⁱ	2.63 \pm 0.020 ^{fg}	100.22 \pm 1.69 ^h
	K-2-30%	30.63 \pm 0.14 ^m	141.57 \pm 1.77 ^k	nd	7.86 \pm 1.20 ^k
	C-10%	223.71 \pm 0.29 ^h	546.71 \pm 2.14 ^g	6.50 \pm 1.44 ^{de}	116.19 \pm 0.24 ^g
	ZH-20%	187.84 \pm 1.14 ⁱ	335.06 \pm 0.81 ^h	2.52 \pm 0.02 ^{fg}	100.64 \pm 0.52 ^g
	ZH-30%	312.61 \pm 1.43 ^g	529.22 \pm 6.48 ^g	4.07 \pm 0.34 ^{ef}	162.86 \pm 1.82 ^h
	ZH-40%	428.00 \pm 0.00 ^e	682.67 \pm 1.40 ^f	5.42 \pm 0.06 ^e	189.25 \pm 0.42 ^f
CV	135.14%	172.55%	190.56%	140.48%	

注：同一列数据不同小写字母标记表示差异显著 ($p < 0.05$)。

表 6 市售黑果腺肋花楸果汁类产品抗氧化能力测定结果

Table 6 Determination of antioxidant capacity of commercial *Aronia melanocarpa* juices

类别	编号	FRAP 清除能力/(mmol trolox equiv/L)	DPPH 清除能力/(mmol trolox equiv/L)
S1	L-45%	24.72 \pm 0.03 ^e	14.94 \pm 0.03 ^e
	G-M-c	46.51 \pm 0.06 ^b	30.77 \pm 0.09 ^b
	K-G-100%	38.14 \pm 0.080 ^c	24.53 \pm 0.06 ^c
S2	J-100%	27.90 \pm 0.04 ^d	16.78 \pm 0.04 ^d
	G-D-c	112.39 \pm 0.03 ^a	119.63 \pm 0.15 ^a
S3	K-1-20%	0.36 \pm 0.01 ⁿ	0.10 \pm 0.00 ^m
	K-1-30%	1.15 \pm 0.01 ^l	0.38 \pm 0.00 ^k
	K-1-40%	1.99 \pm 0.00 ^k	0.57 \pm 0.01 ^j
	K-1-50%	2.18 \pm 0.01 ^j	0.89 \pm 0.00 ⁱ
	K-2-30%	0.71 \pm 0.01 ^m	0.26 \pm 0.00 ^l
	C-10%	5.07 \pm 0.01 ^g	2.10 \pm 0.00 ^g
	ZH-20%	2.59 \pm 0.00 ⁱ	0.87 \pm 0.01 ⁱ
	ZH-30%	4.03 \pm 0.01 ^h	1.91 \pm 0.00 ^h
	ZH-40%	5.59 \pm 0.01 ^f	2.62 \pm 0.01 ^f
CV	158.15%	204.93%	

注：同一列数据不同小写字母标记表示差异显著 ($p < 0.05$)。

市售黑果腺肋花楸果汁类产品酚类物质含量测定结果如表 5 所示。由表 5 可知，样品酚类物质含量基本随黑果腺肋花楸原浆添加量的增加而增大，且差异较大。在所有产品中，G-M-c 与 G-D-c 酚类物质含量较高，总酚含量可高达 6169.12 及 18971.93 $\mu\text{g/mL}$ (以没食子酸计)，二者都属于浓缩口服液产品，其果汁含

量极高 (>100%)。而在感官表现最优的果汁饮料产品 S3 中，总酚含量为 100.64~189.25 $\mu\text{g/mL}$ (以没食子酸计) 的 ZH 系列产品酚类物质含量较高，且优于与其黑果腺肋花楸原浆添加量类似的 K 系列产品。

在 14 种黑果腺肋花楸果汁类产品中，花色苷含量普遍低于黄酮含量，L-45% 中花色苷占总酚比例最高，

仅为 5.59%，而 K-2-30% 则未检出花色苷。然而已有研究表明^[24]，黑果腺肋花楸果实中花色苷约占总酚含量 25%，且远高于黄酮类化合物含量，与黑果腺肋花楸果汁产品的实验结果有一定差异。这说明黑果腺肋花楸果汁的加工工艺造成了花青素类化合物的较高损失，如何优化工艺条件以提高花青素保留率是黑果腺肋花楸果汁产业亟待解决的关键问题之一。

2.5 市售黑果腺肋花楸果汁类产品抗氧化能力测定结果

市售黑果腺肋花楸果汁类产品抗氧化能力测定结果如表 6 所示。抗氧化能力测定结果与酚类物质含量测定结果类似，即浓缩口服液 G-M-c 与 G-D-c 抗氧化能力最强 FRAP 抗氧化能力分别为 46.51 及 112.39 mmol trolox equiv/L，DPPH 抗氧化能力分别为 30.77 及 119.63 mmol trolox equiv/L。果汁饮料中 ZH 系列产品抗氧化能力最强，其 FRAP 抗氧化能力分别为 2.59~5.59 mmol trolox equiv/L，DPPH 抗氧化能力分别为 0.87~2.62 mmol trolox equiv/L。

褚大可等^[25]研究了 14 种市售果汁的抗氧化活性，发现柠檬汁抗氧化能力最强，其 FRAP 抗氧化能力为 3.26 mmol trolox/L，DPPH 抗氧化能力为 13.61 mmol Vc/L，低于大部分黑果腺肋花楸果汁产品，因此，黑果腺肋花楸果汁产品具有极高的营养价值。

2.6 市售黑果腺肋花楸果汁类产品品质指标主成分分析

2.6.1 市售黑果腺肋花楸果汁类产品品质指标的确定与数据的无量纲化处理

测定获得了 14 种市售黑果腺肋花楸产品的色度、理化、酚类物质含量、抗氧化能力共 18 项品质指标数据。从色度指标 L*、a*、b*、C*、h° 中筛选出与色泽感官得分显著相关，且变异系数大于 10 的 h° 进行下一步分析；从理化指标 pH、TSS、悬浮稳定性、总糖、总酸、糖酸比、固酸比中筛选出与酸甜度、组织状态感官得分相关性显著，且变异系数大于 10 的 TSS、总酸、糖酸比、悬浮稳定性进行下一步分析。

酚类物质含量指标与抗氧化能力指标变异系数均大于 10，因此均选入进行下一步分析。

综上，选取 h°、TSS、总酸、糖酸比、悬浮稳定性、总酚、总黄酮、花色苷、缩合单宁、FRAP、DPPH 共 11 项品质指标数据，进行无量纲化处理后，再进行黑果腺肋花楸果汁类产品品质指标主成分分析。

2.6.2 市售黑果腺肋花楸果汁类产品主成分分析得分及综合评价

表 7 市售黑果腺肋花楸果汁类产品品质指标主成分特征值及方差贡献率

Table 7 Principal component eigenvalue and variance contribution rate of quality indexes of commercial *Aronia melanocarpa* juices

成分	特征值 λ	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%
1	5.85	53.15	53.15
2	2.77	25.21	78.37
3	0.84	7.65	86.02
4	0.65	5.86	91.88
5	0.44	4.04	95.91
6	0.28	2.56	98.47
7	0.10	0.93	99.40
8	0.07	0.59	99.99
9	0.00	0.01	100.00
10	0.00	0.00	100.00

表 8 市售黑果腺肋花楸果汁类产品品质指标主成分分析载荷矩阵

Table 8 Principal component analysis load matrix for quality index of commercial *Aronia melanocarpa* juices

品质指标	PC1	PC2	PC3	PC4
h°	-0.58	0.56	-0.41	0.26
TSS	0.69	0.47	0.28	-0.41
总酸	0.90	0.11	-0.20	-0.09
糖酸比	-0.70	0.17	0.54	0.06
悬浮稳定性	0.49	-0.51	0.43	0.48
黄酮	0.82	-0.45	0.02	-0.20
总酚	0.76	0.62	0.04	0.17
花色苷	0.67	-0.54	-0.26	0.22
缩合单宁	0.82	-0.50	-0.05	-0.03
FRAP	0.81	0.57	0.06	0.13
DPPH	0.68	0.70	0.06	0.18

主成分分析的目的之一就是利用原变量间相关性较强这一特点，降低原变量数据维数，用较少的因素来描述多种指标或因素之间的关系^[26]。由表 7 可知，前 4 个主成分累计方差贡献率达 91.88%，即一个 4 因素模型可解释 91.88% 的数据，因此选定前 4 个主成分来对黑果腺肋花楸果汁类产品品质进行评价。

由表 8 可知，在第一主成分中，总酸、黄酮及缩合单宁载荷权数较大，为主要评价指标；在第二主成分中，h°、FRAP、DPPH 为主要指标；糖酸比在第三主成分中载荷较高；悬浮稳定性在第三及第四主成分中载荷较高。第一主成分主要反映样品的酚类物质含

量,第二主成分包含样品的抗氧化能力信息,第三及第四主成分则主要反映样品的感官品质。

表9 市售黑果腺肋花楸果汁类产品品质综合评价及排名

Table 9 Comprehensive evaluation and ranking of the quality of commercial *Aronia melanocarpa* juices

类别	编号	得分	排名
S1	L-45%	0.26	5
	G-M-c	0.60	2
	K-G-100%	0.49	3
S2	J-100%	0.31	4
	G-D-c	1.60	1
S3	K-1-20%	-0.46	12
	K-1-30%	-0.55	14
	K-1-40%	-0.46	11
	K-1-50%	-0.47	13
	K-2-30%	-0.36	10
	C-10%	-0.24	7
	ZH-20%	-0.27	9
	ZH-30%	-0.26	8
	ZH-40%	-0.19	6

综上, h° 、总酸、糖酸比、悬浮稳定性、黄酮、缩合单宁、FRAP、DPPH 为评价黑果腺肋花楸果汁类产品品质的主要指标。

将各指标变量的主成分载荷除以主成分相对应的特征值开平方根^[27-28],得到4个主成分中每个指标所对应的系数,即特征向量,以特征向量为权重可以构建4个主成分的表达式:

$$Z_1 = -0.10X_1 + 0.12X_2 + 0.15X_3 - 0.12X_4 + 0.08X_5 + 0.14X_6 + 0.13X_7 + 0.12X_8 + 0.14X_9 + 0.14X_{10} + 0.12X_{11}$$

$$Z_2 = 0.20X_1 + 0.17X_2 + 0.04X_3 + 0.06X_4 - 0.18X_5 - 0.16X_6 + 0.22X_7 - 0.19X_8 - 0.18X_9 + 0.20X_{10} + 0.25X_{11}$$

$$Z_3 = -0.49X_1 + 0.33X_2 - 0.24X_3 + 0.64X_4 + 0.51X_5 + 0.03X_6 + 0.05X_7 - 0.31X_8 - 0.05X_9 + 0.07X_{10} + 0.08X_{11}$$

$$Z_4 = 0.40X_1 - 0.64X_2 - 0.14X_3 + 0.09X_4 + 0.74X_5 - 0.30X_6 + 0.26X_7 + 0.34X_8 - 0.05X_9 + 0.21X_{10} + 0.28X_{11}$$

上述表达式中, Z_1 - Z_4 表示四个主成分; X_1 - X_{11} 分别表示 h° 、TSS、总酸、糖酸比、悬浮稳定性、黄酮、总酚、花色苷、缩合单宁、FRAP、DPPH。以每个主成分相对应的方差贡献率作为权重,通过每一指标标准化后数值与相应指标的权重线性加权求和,得到黑果腺肋花楸果汁类产品品质评价函数: $F = 0.53Z_1 + 0.25Z_2 + 0.08Z_3 + 0.06Z_4$ 。根据该函数,计算出了14种黑果腺肋花楸果汁类产品的综合得分值(F)和总排名结果见表9。

由表9可知,浓缩口服液及100%果汁产品由于

营养价值优势而在所有产品中排名靠前;ZH系列果汁饮料则由于同时兼顾感官品质与营养价值,在果汁饮料中排名靠前。

3 结论

本文通过测定现有较高销量的14种黑果腺肋花楸果汁类产品的感官相关指标及理化指标,采用主成分分析法,建立黑果腺肋花楸果汁产品品质分析与综合评价体系,并使用该体系对市售黑果腺肋花楸果汁产品进行评价。通过主成分分析对黑果腺肋花楸产品品质进行综合评价,前4个主成分方差累计贡献率达到91.88, h° (0.56)、总酸 (0.90)、糖酸比 (0.54)、悬浮稳定性 (0.48)、黄酮 (0.82)、缩合单宁 (0.82)、FRAP (0.57)、DPPH (0.70) 在前四个主成分中载荷权数较大,被确定为黑果腺肋花楸果汁类产品的特征评价指标。总体而言,浓缩口服液及100%果汁产品由于营养价值优势而在所有产品中排名靠前;ZH系列果汁饮料则由于同时兼顾感官品质与营养价值,在果汁饮料中排名靠前。因此,本研究建立了黑果腺肋花楸果汁产品品质分析与综合评价体系,并使用该体系对市售黑果腺肋花楸果汁产品进行评价;首次提供了14份黑果腺肋花楸产品的感官品质、理化指标及营养价值指标评价数据,并且采用化学计量学的方法探讨了黑果腺肋花楸产品的品质特征,对于黑果腺肋花楸产业的健康发展具有重要意义。

参考文献

- [1] Balcerek M, Szopa J. Ethanol biosynthesis and hydrocyanic acid liberation during fruit mashes fermentation [J]. Czech Journal of Food Sciences, 2012, 30(2): 144-152
- [2] Sidor A, Gramza-michalowska A. Black chokeberry *Aronia melanocarpa* L. - a qualitative composition, phenolic profile and antioxidant potential [J]. Molecules, 2019, 24(20): 3710-3761
- [3] 马兴华. 优良的经济树种-果腺肋花楸[J]. 林业科技通讯, 1992, 11: 31-34
MA Xinghua. An excellent economic tree species: *Aronia melanocarpa* [J]. Forest Science and Technology, 1992, 11: 31-34
- [4] 韩文忠, 马兴华. 黑果腺肋花楸的生物学特性和应用价值[J]. 辽宁林业科技, 2005, 4: 40-42
HAN Wenzhong, MA Xinghua. Biological characteristics and application value of *Aronia melanocarpa* [J]. Liaoning Forestry Science and Technology, 2005, 4: 40-42
- [5] Denev P, Čiž M, Kratchanova M, et al. Black chokeberry

- (*Aronia melanocarpa*) polyphenols reveal different antioxidant, antimicrobial and neutrophil-modulating activities [J]. Food Chemistry, 2019, 284: 108-117
- [6] Jurikova T, Mlcek J, Skrovankova S, et al. Fruits of black chokeberry *Aronia melanocarpa* in the prevention of chronic diseases [J]. Molecules, 2017, 22(6): 944-967
- [7] Mu J J, Xin G, Zhang B, et al. Beneficial effects of *Aronia melanocarpa* berry extract on hepatic insulin resistance in type 2 diabetes mellitus rats [J]. Journal of Food Science, 2020, 85: 1307-1318
- [8] Meng L S, Zhu J Y, Ma Y, et al. Composition and antioxidant activity of anthocyanins from *Aronia melanocarpa* cultivated in Haicheng, Liaoning, China [J]. Food Bioscience, 2019, 30: 100413
- [9] 孙智谋,张佳霖,周旭.黑果腺肋花楸多酚类物质抗氧化功效的研究进展[J].食品工业科技,2017,38(9):396-400
SUN Zhimou, ZHANG Jialin, ZHOU Xu. Progress of antioxidant activity for polyphenols in *Aronia melanocarpa* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(9): 396-400
- [10] Zhong S, Liu J, Ren X, et al. Pharmacokinetics and excretion of chlorogenic acid in beagle dogs [J]. Pharmazie, 2008, 63: 520-524
- [11] 国家卫生健康委员会.关于黑果腺肋花楸果等 2 种新食品原料的公告 2018 年第 10 号[J].中国食品卫生杂志,2018,30(6):638
National Health Commission of the People's Republic of China. Announcement No.10 of 2018 on 2 new food ingredients such as *Aronia melanocarpa* [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2018, 30(6): 638
- [12] Zhu D S, Shen Y S, Wei L W, et al. Effect of particle size on the stability and flavor of cloudy apple juice [J]. Food Chemistry, 2020, 328: 126967
- [13] GB/T 12456-2008,食品中总酸的测定[S]
GB/T 12456-2008, Determination of Total Acid in Foods [S]
- [14] Li Z X, Teng J, Lyu Y L, et al. Enhanced antioxidant activity for apple juice fermented with *Lactobacillus plantarum* ATCC14917 [J]. Molecules, 2019, 24(1): 51-63
- [15] Wen J, Ma L, Xu Y J, et al. Effects of probiotic litchi juice on immunomodulatory function and gut microbiota in mice [J]. Food Research International, 2020, 137: 109433
- [16] 刘树勋,杨航宇,王绍阳,等.野生蓝莓酒皮渣花色苷及其抗氧化活性研究[J].中国酿造,2016,35(2),115-118
LIU Shuxun, YANG Hangyu, WANG Shaoyang, et al. Anthocyanins of wildblueberry wine pomace and its antioxidant activity [J]. China Brewing, 2016, 35(2): 115-118
- [17] 王储炎,张继刚,杨柳青,等.3 种乳酸菌发酵对蓝莓多酚、原花青素含量及抗氧化活性的影响[J].食品科学,2020,41(24):87-94
WANG Chuyan, ZHANG Jigang, YANG Liuqing, et al. Comparative effects of fermentation with three species of lactic acid bacteria on polyphenol and proanthocyanidin contents and antioxidant activity of blueberry fruit [J]. Food Science, 2020, 41(24): 87-94
- [18] I F B, J J S. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay [J]. Analytical Biochemistry, 1996, 239(1): 70-76
- [19] Ouyang H, Hou K, Peng W X, et al. Antioxidant and xanthine oxidase inhibitory activities of total polyphenols from onion [J]. Saudi Journal of Biology Science, 2018, 25(7): 1509-1513
- [20] 王宏,陈晓艺,张军翔.贺兰山东麓年轻红葡萄酒的 CIELab 颜色空间特征[J].食品科学,2014,35(9):20-23
WANG Hong, CHEN Xiaoyi, ZHANG Junxiang. Characteristic analysis of young red wine from the eastern foot of Helan mountain based on CIELab color space parameters [J]. Food Science, 2014, 35(9): 20-23
- [21] 李运奎,韩富亮,张予林,等.基于 CIELAB 色空间的红葡萄酒颜色直观表征[J].农业机械学报,2017,48(6):296-301
LI Yunkui, HAN Fuliang, ZHANG Yulin, et al. Visualization for representation of red wine color based on CIELab color space [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2017, 48(6): 296-301
- [22] 李斌斌,张亚飞,白友强,等.发酵前冷浸渍工艺结合橡木片处理对干红葡萄酒品质的影响[J].食品工业科技,2020,41(8):151-156
LI Binbin, ZHANG Yafei, BAI Youqiang, et al. Effects of cold maceration process before fermentation combined with oak chips treatment on the quality of dry red wine [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(8): 151-156
- [23] Aggarwal P, Kumar V, Yaqoob M, et al. Effect of different levels of hydrocolloids on viscosity and cloud stability of kinnow juice and beverages [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2020, 44(10): e14802

(下转第 119 页)