

不同产地黑果腺肋花楸品质分析

孙 怡, 李建颖*, 蒋冬阳, 孙嘉辰, 邢丽颖, 韩 东

(天津商业大学 生物技术与食品科学学院, 天津 300134)

摘要: 为研究黑果腺肋花楸的品质状况,选取了我国 15 个不同产地的黑果腺肋花楸样品,对理化品质、营养品质、质构特性以及感官品质进行了综合分析。结果表明,12 个品质指标中变异系数大于 15% 的有 9 个,包括咀嚼性、花色苷、原花青素、黄酮、多酚等,说明不同产地之间品质差异明显。主成分分析将 12 个品质指标降维成 3 个主成分,累积方差贡献率为 77.42%,能够很好地表达黑果腺肋花楸的品质,其综合排名前三的产地为 HLJ-MDJ-8、LN-SY-1、LN-TL-6。聚类分析将不同产地的黑果腺肋花楸分成了 3 类,与主成分分析的综合排名结果基本一致。据此可以得出 HLJ-MDJ-8、LN-SY-1、LN-TL-6 由于营养物质质量分数高所以更适合作为保健品开发的原料;GS-JC-14 甜度高,口感较好,所以更加适合鲜食。

关键词: 黑果腺肋花楸;理化品质;营养品质;质构特性;感官品质;相关性分析;主成分分析;聚类分析

中图分类号:TS 255.7 文章编号:1673-1689(2022)04-0045-10 DOI:10.3969/j.issn. 1673-1689.2022.04.007

Quality Analysis of *Aronia melanocarpa* from Different Origins

SUN Yi, LI Jianying*, JIANG Dongyang, SUN Jiachen, XING Liying, HAN Dong

(School of Biotechnology and Food Science, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China)

Abstract: In order to study the quality of *Aronia melanocarpa*, various *Aronia melanocarpa* samples from 15 different origins in China were investigated, and the physical and chemical quality, nutritional quality, texture characteristics and sensory quality were comprehensively analyzed. The results showed that 9 of the 12 quality indicators had a coefficient of variation greater than 15%, including chewiness, anthocyanin, proanthocyanidin, flavonoid and polyphenol, etc., indicating significant quality differences between samples from different origins. The 12 quality indicators were reduced into 3 principal components by principal component analysis, and their cumulative variance contribution rate was up to 77.42 %, which well-expressed the quality of *Aronia melanocarpa*, and suggested the top three origins were HLJ-MDJ-8, LN-SY-1 and LN-TL-6. *Aronia melanocarpa* from different origins could be divided into three categories by cluster analysis, which was basically consistent with the comprehensive ranking results of principal component analysis. Based on the results, it was concluded that HLJ-MDJ-8, LN-SY-1 and LN-TL-6 were more suitable to be used as raw materials to develop health care products due to their high nutrient content, while GS-JC-14 was

收稿日期: 2021-06-17

基金项目: 天津市科技支撑重点项目(19YFZCSN00010);天津市农业科技成果转化与推广项目(202101120)。

* 通信作者: 李建颖(1961—),女,教授,硕士研究生导师,主要从事天然产物功能性成分的提取、分离纯化、构效关系研究。

E-mail: ljying@tjcu.edu.cn

more suitable for fresh food because of its high sweetness and good taste.

Keywords: *Aronia melanocarpa*, physical and chemical properties, nutritional quality, texture characteristics, sensory quality, correlation analysis, principal component analysis, cluster analysis

黑果腺肋花楸 (*Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliott), 俗称野樱莓、不老莓等, 属蔷薇科植物, 果实外观呈紫黑色, 果肉呈紫红色, 富含多酚、黄酮、多糖以及碳水化合物等营养物质^[1], 抗氧化活性比蓝莓、越橘和蔓越莓高出几倍, 还具有缓解酒精性脂肪肝、降血糖、抗氧化、抗菌消炎等功效^[2], 兼具了丰富的营养价值及药用价值, 所以在 2018 年 9 月被国家卫生健康委员会列入新型食品原料^[3]。我国最早开始引种的地区为辽宁省, 且发展势头较迅速, 其他地区也陆续有种植, 但不同产地的黑果腺肋花楸果实质量参差不齐, 加工贮藏期较短, 导致综合利用率低, 农户和加工企业的效益均无法保证。近年来, 黑果腺肋花楸产业在我国发展的势头正猛, 除了果实可利用价值高外, 还与国家推动的精准扶贫项目和政策有关^[4], 果实的综合品质主要受外观、内在营养成分和质地影响, 目前国内外有关黑果腺肋花楸的研究主要集中在一个或多个指标的研究上, 忽略了各个品质指标之间的相关性分

析以及不同产地黑果腺肋花楸的品质特性。所以对不同产地黑果腺肋花楸的品质特性进行综合评价, 筛选出适宜深加工或者鲜食的果实种植产地, 能够引导农户们选择更加优质的生长环境, 有针对性对果实进行加工或售卖, 提高质量品质, 促进黑果腺肋花楸产业的蓬勃发展。

因此, 针对 3 个产区的 15 份不同产地的黑果腺肋花楸品质指标进行数据采集, 运用主成分分析和聚类分析, 对果实品质的优劣进行了综合评价, 并探究不同产地之间的相似性, 旨在使黑果腺肋花楸的质量评价标准合理化, 为黑果腺肋花楸良种选育、深加工产品的开发提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

1.1.1 材料 供试材料来自各黑果腺肋花楸种植基地, 采摘时期为 8—9 月份, 产地及生长环境见表 1。

表 1 黑果腺肋花楸的产地以及生长环境

Table 1 Origin and growth environment of *Aronia melanocarpa*

区域	编号	产地	气候条件	平均温度/℃	年降水量/mm	土壤条件
东北产区	LN-SY-1	辽宁沈阳	温带季风气候, 无霜期 156 d, 年日照 2 590 h	7.2	510.0	平原, 黄沙土
	LN-HLD-2	辽宁葫芦岛	暖温带大陆半湿润气候, 无霜期 144 d, 年日照 2 600 h	7.8	567.0	丘陵, 林地
	LN-AS-3	辽宁鞍山	温带季风性气候, 无霜期 146 d, 年日照 2 570 h	10.4	721.3	平原, 河沙土
	LN-HC-4	辽宁鞍山	暖温带季风气候, 无霜期 151 d, 年日照 2 590 h	8.5	695.0	山坡地、林地
	LN-FC-5	辽宁凤城	温带湿润大陆性季风气候, 无霜期 158 d, 年日照 2 490 h	7.9	1 044.0	山坡地、林地
	LN-TL-6	辽宁铁岭	中温带亚湿润季风大陆性气候, 年日照 2 775 h	7.0	607.0	平原, 沙土地
	HLJ-JMS-7	黑龙江佳木斯	温带大陆性季风气候, 无霜期 142 d, 年日照 2 600 h	2.9	532.0	平原, 黑土、草甸土
	HLJ-MDJ-8	黑龙江牡丹江	寒温带大陆性季风气候, 无霜期 107 d, 年日照 2 388.9 h	4.2	725.0	山坡地、林地
	JL-BS-9	吉林白山	寒温带湿润气候, 无霜期 125 d, 年日照 2 352.5 h	4.0	800.0	山地、河滩地
华北产区	NMG-CF-10	内蒙古赤峰	温带大陆性季风气候, 无霜期 120 d, 年日照时数 2 700 h	5.2	400.0	丘陵漫岗
	HB-QHD-11	河北秦皇岛	暖温带大陆性季风气候, 年无霜期 164 d, 年日照 2 654 h	10.7	725.0	山坡地、林地
	HB-BD-12	河北保定	暖温带大陆性季风气候, 年无霜期 164 d, 年日照 2 303.1 h	10.7	484.5	山坡地、林地
西北产区	TJ-JH-13	天津静海	暖温带半湿润大陆性季风气候, 无霜期 171 d, 年日照 2 789 h	13.6	600.0	山坡地、平原、洼地
	GS-JC-14	甘肃金昌	温带大陆性气候, 无霜期 134 d, 年日照 2 884.2 h	4.8	185.1	山地平川、绿洲荒漠
	SX-WN-15	陕西渭南	温带大陆性气候, 无霜期是 208 d, 年日照 2 130.6 h	11.2	907.0	平原, 黄土

1.1.2 仪器与设备 游标卡尺:成都成量工具有限公司产品;PAL-1 数显糖度计:ATAGO 爱宕拓公司产品;CM-5 色差仪:柯尼卡美能达控股公司产品;UV-分光光度计:岛津企业管理(中国)有限公司产品;DZ-2AII 真空干燥机:天津泰斯特仪器有限公司产品;TA-XT2i 型质构分析仪:英国 STABLE MICROSYSTEMS 公司产品;电热鼓风干燥箱:中仪国科(北京)科技有限公司产品;多功能粉碎机:永康市速锋工贸有限公司产品;酸度计:赛多利斯科学仪器(北京)有限公司产品;电热恒温水浴锅:上海博讯实业有限公司医疗设备厂产品;湘仪离心机:长沙高新技术产业开发区湘仪离心机仪器有限公司产品;电子天平:奥豪斯仪器(常州)有限公司产品。

1.2 实验方法

1.2.1 黑果腺肋花楸理化品质测定

1)果形指数 每个产地的黑果腺肋花楸选取大小均一、外观无腐烂变质的果实 30 个,用游标卡尺测定每个果实赤道部位的横径、纵径,果形指数为果实纵径与果实横径比值,其中 0.6~0.8 为扁圆形,0.8~0.9 为圆形或近圆形,0.9~1.0 为椭圆形或圆锥形,1.0 以上的为长圆形^[5]。

2)水分 参照《食品安全国家标准 食品中水分的测定》(GB 5009.3—2016)中直接干燥法测定。

3)可溶性固形物 使用糖度计对黑果腺肋花楸的可溶性固形物进行测定,使用前注意调零,将过滤后的黑果腺肋花楸原汁,直接滴入测定槽内,按 start 键,待数据平稳后读数。

4)颜色 将黑果腺肋花楸切开放置在色差仪的测定容器中,测定果肉颜色 L^* 值,重复 3 次。 L^* 代表亮度,数值越大,代表果肉的亮度就越高^[6]。

1.2.2 黑果腺肋花楸活性物质测定 对原料进行前处理,将不同产地的黑果腺肋花楸果实放到 45℃ 的鼓风干燥箱内,烘至近干,用粉碎机粉碎成粉末,过 80 目筛备用。精密称取黑果腺肋花楸粉末 1.0 g,加入 30 mL 体积分数 60%乙醇-盐酸溶液,功率设为 250 W,温度设为 45℃,超声提取 40 min 后拿出,放冷,5 000 r/min 离心 20 min,取上清液,得到待测样品提取液。

1)多酚质量分数的测定 参考文献[7]中的方法进行测定,并略微修改。

配制 150 $\mu\text{g/mL}$ 的没食子酸标准液作为对照

品溶液,低温保存备用。

多酚标准曲线的制备:取没食子酸母液分别配制 100、75、50、25、12.5、0 $\mu\text{g/mL}$ 的没食子酸标准液,各取 0.5 mL 加入 2.5 mL 0.2 mol/L 的福林酚试剂和 2.0 mL 质量分数 7.5%的 Na_2CO_3 溶液,充分混合,在室温下避光反应 2 h,最终在 760 nm 处测不同质量浓度标准液的吸光度(A),最后以多酚的质量浓度($\mu\text{g/mL}$)为横坐标,吸光度为纵坐标,绘制标准曲线,得到回归方程。

多酚质量分数的测定:精密吸取 0.5 mL 的不同产地黑果腺肋花楸的样品提取液,按上述方法测定 760 nm 处吸光度,根据回归方程求出提取液中多酚的质量浓度($\mu\text{g/mL}$),并换算成多酚质量分数。

2)黄酮质量分数的测定 参考文献[8]中的方法进行测定,略微修改。

配制 200 $\mu\text{g/mL}$ 的芦丁标准液作为对照品溶液,低温保存备用。

黄酮标准曲线的制备:取 200 $\mu\text{g/mL}$ 的芦丁标准液分别配制 120、100、80、60、40、20、0 $\mu\text{g/mL}$ 的芦丁标准液,各取 1 mL 加入 2.0 mL 0.1 mol/L 的 AlCl_3 和 3.0 mL pH 5.2 的缓冲溶液(0.2 mol/L $\text{CH}_3\text{COONa}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 和 CH_3COOH 的混合溶液),充分混合,40℃ 水浴显色 30 min,最终在 420 nm 处测不同质量浓度标准液的吸光度,最后以芦丁的质量浓度($\mu\text{g/mL}$)为横坐标,吸光度为纵坐标,绘制标准曲线,得到回归方程。

黄酮质量分数的测定:精密吸取 1 mL 的不同产地黑果腺肋花楸的样品提取液,按上述方法测定 420 nm 处吸光度,根据回归方程求出提取液中黄酮的质量浓度($\mu\text{g/mL}$),并换算成黄酮质量分数。

3)花色苷质量分数的测定 采用 pH 示差法^[9]对黑果腺肋花楸中花色苷的质量分数进行测定。

配制 pH 1.0 的缓冲液:精密称取 1.85 g KCl 加入 980 mL 的蒸馏水,用磁力搅拌器充分混合,使用浓盐酸对 pH 进行微调,调至混合溶液 pH 为 1.0,转移至 1 L 的容量瓶中,定容。

配制 pH 4.5 的缓冲液:精密称取 54.43 g CH_3COONa 加入 960 mL 的蒸馏水,用磁力搅拌器充分混合,使用浓盐酸对 pH 进行微调,调至 pH 为 4.5,转移至 1 L 容量瓶中,定容。

花色苷质量分数的测定:将不同产地黑果腺肋花楸提取液分别用 pH 1.0 和 pH 4.5 缓冲液稀释

30 倍, 30 ℃水浴下避光平衡 40 min, 分别在 520 nm 和 700 nm 下测定吸光度。

$$\Delta A = A_1 - A_2 - (A_3 - A_4)$$

$$\omega = \frac{\Delta A \times V \times DF \times M_w}{\varepsilon \times m \times l}$$

式中: A_1 为 pH 1.0 缓冲液稀释待测样品提取液在波长 520 nm 处的吸光度; A_2 为 pH 1.0 缓冲液稀释待测样品提取液在波长 700 nm 处的吸光度; A_3 为 pH 4.5 缓冲液稀释待测样品提取液在波长 520 nm 处的吸光度; A_4 为 pH 4.5 缓冲液稀释待测样品提取液在波长 700 nm 处的吸光度; ω 为花色苷质量分数, mg/g; V 为待测样品提取液体积, mL; DF 为待测液稀释倍数; M_w 为矢车菊-3-O-葡萄糖苷的摩尔质量, 484.838 g/mol; ε 为摩尔消光系数, 26 900 L/(mol·cm); m 为样品质量, g; l 为光程, cm。

4) 原花青素质量分数的测定 采用香草醛法^[10]对黑果腺肋花楸中原花青素质量分数进行测定

对照品溶液的制备: 精密称取 1 mg 儿茶素标准品, 加入 1 mL 体积分数 60% 的乙醇, 即可制成 1 mg/mL 的儿茶素标准液, 低温保存备用。

儿茶素标准曲线的制备: 取 1 mg/mL 的儿茶素标准液分别配制 100、80、60、40、20、0 μg/mL 的儿茶素标准液, 各取 1 mL 加入 2.5 mL 质量分数 1% 的香草醛-乙醇溶液和 2.5 mL 质量分数 8% 的盐酸-乙醇溶液, 充分混合, 30 ℃水浴显色 20 min, 最终在 500 nm 处测不同质量浓度对照品的吸光度, 最后以儿茶素的质量浓度(μg/mL)为横坐标, 吸光度为纵坐标, 绘制标准曲线, 得到回归方程。

原花青素质量分数的测定: 精密吸取 1 mL 的不同产地黑果腺肋花楸的样品提取液, 按上述方法测定 500 nm 处吸光度, 根据回归方程求出提取液中原花青素的质量浓度(μg/mL), 并换算成原花青素质量分数。

1.2.3 黑果腺肋花楸质构特性测定 将不同产地的黑果腺肋花楸放置在质构分析仪下测定, 参考文献[11]中的方法, 采用 TA-XT2i 型质构分析仪, TPA 模式下用圆柱形的 P/5 探头, 测前速率为 5 mm/s, 测试速率为 1 mm/s, 测后上行速率为 1 mm/s, 果实受压变形为 5 mm, 两次停顿时间为 5 s, 触发力为 5 g。

1.2.4 黑果腺肋花楸果实感官评价 由 10 名经验丰富的感官评定人员组成感官评定小组, 分别对黑果腺肋花楸的酸味、甜味、口感、肉质以及果味进行

打分, 如表 2 所示。评定过程中感官员独立打分, 不交流不讨论。

表 2 黑果腺肋花楸的感官评价标准

Table 2 Standard of sensory evaluation on *Aronia melanocarpa*

评分项目	评分内容	分值
酸味(20%)	酸度适中	14~20
	较酸	7~13
	极酸	0~6
甜味(20%)	香甜可口	14~20
	甜味适中	7~13
	无明显甜味	0~6
口感(20%)	酸甜可口, 无苦涩味	14~20
	口感一般, 带有苦涩味	7~13
	苦涩感明显, 难以下咽	0~6
肉质(20%)	爽脆	14~20
	适中	7~13
	松散	0~6
果味(20%)	花楸特有的果香, 后味持久且可口	14~20
	花楸特有的果香, 后味清淡	7~13
	无花楸特有的果香味	0~6

1.3 数据统计

每组实验重复 3 次, 利用 Excel 2016 与 SPSS statistics 18.0 软件处理数据结果, 进行差异显著性分析(Duncan 法)、相关性分析、主成分分析、系统聚类分析。

2 结果与分析

2.1 黑果腺肋花楸理化品质分析

结果如表 3 所示, 果形指数最能直观反映果实外观品质, 黑果腺肋花楸果形指数平均值为 1.00, 变异系数 4.37%, 大多都在 0.92~1.09, 各产地之间的差异不明显, 都为近圆形或长圆形; 水分质量分数是影响水果口感和保鲜的重要指标, 黑果腺肋花楸的水分质量分数平均值为 81.50%, 变异系数为 3.21%, 表明不同产地之间果实的水分质量分数差异不显著, 是比较稳定的指标, 都含有较高的水分, 其中水分质量分数最高的是 LN-FC-5, 最低的是 CS-JC-14; 果肉颜色 L^* 值是反映果实色泽的重要标准^[12], L^* 值越大表示果实颜色越明亮, 平均值为 21.60, 变异系数为 19.98%, 其中最亮的 HB-BD-12, 最暗的为 LN-TL-6, 表明各个产地之间的颜色

差异较大,同时也反映了花楸中营养物质含量的差异,是后续实验开展的基础;可溶性固形物能够反映果实的甜度值,数值越大表明果实鲜食的口感越佳^[13],其变化范围在 8.80%~21.00%,变异系数为

19.64%,平均值为 14.59%,质量分数最高的是 GS-JC-14,属我国的西北产区,其次是 NMG-CF-10、TJ-JH-13,最低的是 HLJ-JMS-7。

表 3 不同产地黑果腺肋花楸基础理化性质品质

Table 3 Basic physical and chemical properties and quality of *Aronia melanocarpa* from different origins

区域	编号	果形指数	水分质量分数/%	L^* 值	可溶性固形物质量分数/%
东北产区	LN-SY-1	1.09±0.09 ^a	82.93±0.01 ^c	17.73±0.05 ^m	15.03±0.15 ^d
	LN-HLD-2	1.00±0.06 ^{bcd}	80.23±0.01 ^f	21.05±0.02 ^h	15.63±0.42 ^c
	LN-AS-3	0.95±0.06 ^{de}	81.47±0.01 ^{de}	19.90±0.03 ⁱ	14.67±0.06 ^{def}
	LN-HC-4	0.96±0.09 ^{cde}	85.20±0.01 ^b	23.74±0.02 ^d	14.33±0.15 ^{fe}
	LN-FC-5	0.95±0.04 ^{de}	86.47±0.01 ^a	25.37±0.02 ^c	9.87±0.21 ⁱ
	LN-TL-6	1.03±0.07 ^{abc}	81.90±0.01 ^{cd}	16.71±0.04 ^o	15.60±0.27 ^c
	HLJ-JMS-7	1.03±0.06 ^{abc}	80.17±0.01 ^f	18.51±0.02 ^l	8.80±0.10 ^j
	HLJ-MDJ-8	1.03±0.07 ^{abc}	81.73±0.01 ^{de}	19.64±0.01 ^j	14.53±0.21 ^{efg}
	JL-BS-9	1.01±0.08 ^{bcd}	84.20±0.01 ^b	21.59±0.02 ^f	12.00±0.10 ^h
	NMG-CF-10	0.98±0.07 ^{bcd}	80.63±0.01 ^{ef}	19.34±0.01 ^k	16.73±0.06 ^b
华北产区	HB-QHD-11	1.04±0.05 ^{ab}	81.37±0.01 ^{de}	21.15±0.03 ^g	14.87±0.15 ^{de}
	HB-BD-12	0.92±0.11 ^e	79.50±0.01 ^f	33.26±0.01 ^a	14.13±0.15 ^g
	TJ-JH-13	1.03±0.05 ^{abc}	77.57±0.01 ^g	22.25±0.04 ^e	16.53±0.32 ^b
西北产区	GS-JC-14	0.99±0.07 ^{bcd}	76.67±0.02 ^g	17.12±0.03 ⁿ	21.00±0.70 ^a
	SX-WN-15	0.99±0.08 ^{bcd}	82.30±0.01 ^{cd}	26.56±0.02 ^b	15.10±0.10 ^d
平均值		1.00	81.50	21.60	14.59
标准差		0.04	0.03	4.32	2.87
变异系数		4.37%	3.21%	19.98%	19.64%

2.2 黑果腺肋花楸营养品质分析

黑果腺肋花楸富含多酚类物质,多酚可分为单体多酚和聚合多酚^[14],单体多酚主要包括花青素和各种糖苷类化合物、酚酸、类黄酮和甙类;聚合多酚为原花青素,也称为前花青素。由于人体无法合成,所以日常饮食中的摄入是非常重要的。多酚、黄酮、花色苷、原花青素被证明具有抗氧化、抗炎、抑菌等作用^[15-17],含量越高说明具有越高的营养价值。如表 4 所示,不同产地之间 4 个营养成分质量分数的变异系数均大于 15%,表明营养成分的质量分数差异显著。其中 HLJ-MDJ-8 含有的多酚、黄酮、花色苷质量分数最高,其次是 LN-TL-6 和 JL-BS-9;原花青素质量分数最高的产地是 LN-TL-6,其次是 LN-SY-1,而 HB-BD-12 产地的 4 个营养物质质量分数均为最低的,由此可见我国东北产区的果实营养价值丰富,更适合作为深加工的材料。

2.3 黑果腺肋花楸质构特性分析

质构仪能客观、详细地反映成熟果实的质地状态。硬度是表示果实在外力作用下发生形变所需要的屈服力的大小,其大小可以反映果实的货架期;咀嚼性是将食物咀嚼到可吞咽状态时需做功的大小;凝聚性是一种抗拉伸强度,凝聚性越强,检测探头越干净;胶着性反映果实的内部结合力,数值越小,组织结构越疏松^[18]。由表 5 可知,4 个质构指标中除凝聚性外,均存在较大的变异系数(26.37%~54.20%),显著性分析结果显示 GS-JC-14 产地的凝聚性、咀嚼性、胶着性均高于其他产地,硬度仅次于 SX-WN-15、HB-BD-12,说明我国西北产区的果实口感较好,更加适合鲜食,而东北产区的果实口感方面均表现不佳。

2.4 相关性分析

首先对于不同产地的各个指标采用二项正态分布置信检测,确认其符合正态分布后,再采用

表 4 不同产地黑果腺肋花楸营养品质

Table 4 Nutrient quality of *Aronia melanocarpa* from different producing areas

区域	编号	多酚质量分数/ (mg/g)	黄酮质量分数/ (mg/g)	花色苷质量分数/ (mg/g)	原花青素质量分数/ (mg/g)
东北产区	LN-SY-1	131.27±0.18 ^c	9.82±0.60 ^b	11.67±0.02 ^c	31.80±0.59 ^a
	LN-HLD-2	101.54±1.69 ^{cd}	6.41±0.93 ^{cd}	10.08±0.06 ^f	22.02±0.22 ^{bc}
	LN-AS-3	124.20±1.58 ^d	7.66±0.39 ^c	10.54±0.01 ^c	22.47±0.45 ^{bc}
	LN-HC-4	97.12±1.80 ^f	5.16±1.04 ^{de}	7.50±0.01 ⁱ	18.91±1.24 ^{cd}
	LN-FC-5	130.92±1.95 ^e	7.67±0.40 ^c	6.89±0.01 ^j	12.69±5.88 ^{cd}
	LN-TL-6	142.07±1.54 ^b	7.32±0.50 ^c	13.40±0.04 ^b	32.91±1.11 ^a
	HLJ-JMS-7	78.35±1.33 ^b	6.52±0.30 ^{cd}	7.69±0.01 ^b	16.24±0.59 ^{de}
	HLJ-MDJ-8	180.83±3.54 ^a	12.32±0.68 ^a	13.55±0.11 ^a	29.80±1.33 ^a
	JL-BS-9	80.48±1.71 ^b	10.72±1.08 ^b	10.76±0.06 ^d	23.80±4.44 ^b
	NMG-CF-10	119.42±2.32 ^d	6.30±0.60 ^{cd}	8.94±0.04 ^e	14.24±0.79 ^e
华北产区	HB-QHD-11	64.55±0.82 ⁱ	2.32±0.50 ^f	2.21±0.01 ^m	4.91±0.97 ^g
	HB-BD-12	59.42±3.20 ^j	2.32±1.97 ^f	0.87±0.02 ⁿ	1.13±0.45 ^h
	TJ-JH-13	107.03±3.58 ^c	7.55±0.35 ^c	5.72±0.01 ^k	12.91±0.80 ^d
西北产区	GS-JC-14	83.66±1.28 ^b	4.02±0.68 ^e	5.41±0.03 ^l	9.58±0.80 ^f
	SX-WN-15	90.39±4.54 ^e	3.91±0.20 ^e	1.77±0.03 ⁿ	13.58±0.89 ^e
	平均值	106.08	6.67	7.80	17.80
	标准差	32.53	2.88	4.04	9.41
	变异系数	30.67%	43.25%	51.84%	52.86%

表 5 不同产地黑果腺肋花楸质构品质

Table 5 Texture and quality of *Aronia melanocarpa* from different origins

区域	编号	硬度	咀嚼性	凝聚性	胶着性
东北产区	LN-SY-1	431.93±31.34 ^b	22.55±1.31 ^{cd}	0.25±0.02 ^{bc}	91.86±3.94 ^c
	LN-HLD-2	221.57±88.18 ^{de}	49.28±0.94 ^b	0.25±0.02 ^{bc}	78.76±2.16 ^{de}
	LN-AS-3	365.08±81.79 ^{bc}	45.48±1.00 ^b	0.23±0.02 ^c	78.56±5.70 ^{de}
	LN-HC-4	212.68±44.51 ^c	16.37±2.00 ^e	0.29±0.01 ^{ab}	54.24±6.73 ^{hi}
	LN-FC-5	372.02±6.11 ^{bc}	17.56±0.81 ^{fg}	0.25±0.03 ^{bc}	46.24±4.24 ⁱ
	LN-TL-6	248.69±17.58 ^{de}	16.80±0.71 ^g	0.26±0.03 ^{abc}	63.27±1.50 ^g
	HLJ-JMS-7	296.67±63.67 ^{cd}	22.44±5.85 ^{cd}	0.26±0.03 ^{abc}	88.62±3.40 ^c
	HLJ-MDJ-8	383.13±41.28 ^{bc}	31.00±0.86 ^c	0.25±0.01 ^{bc}	83.44±3.44 ^{cd}
	JL-BS-9	281.75±54.88 ^{cd}	28.87±3.55 ^{cd}	0.24±0.05 ^c	61.87±11.38 ^{gh}
	NMG-CF-10	244.42±24.26 ^{de}	24.40±1.11 ^{de}	0.26±0.01 ^{abc}	73.82±1.36 ^{cd}
华北产区	HB-QHD-11	373.51±51.90 ^{bc}	14.37±2.70 ^g	0.24±0.01 ^c	73.57±1.45 ^{cd}
	HB-BD-12	448.59±58.53 ^b	30.88±0.89 ^c	0.23±0.01 ^c	91.36±1.92 ^c
	TJ-JH-13	324.18±23.37 ^{cd}	27.26±5.44 ^{cd}	0.22±0.02 ^c	69.26±3.00 ^{fg}
西北产区	GS-JC-14	439.32±33.48 ^b	77.72±4.04 ^a	0.30±0.03 ^a	124.27±6.04 ^a
	SX-WN-15	547.79±91.00 ^a	47.94±5.54 ^b	0.24±0.01 ^c	115.32±5.43 ^b
	平均值	346.09	31.53	0.25	79.63
	标准差	96.58	17.09	0.02	21.00
	变异系数	27.91%	54.20%	8.13%	26.37%

person 相关系数分析对各个品质参数之间的相关性进行分析,表 6 可以看出不同产地黑果腺肋花楸各个品质指标之间的相关性。其中果形指数和 L^* 值呈极显著负相关($P<0.01$),与黄酮、花色苷都呈正相关($P<0.05$),与原花青素呈极显著正相关($P<0.01$),说明果形指数的改变影响着果皮颜色的深浅同时也影响着黑果腺肋花楸营养物质的含量(质量分数);水分和可溶性固形物、咀嚼型、胶着性都呈显著负相关($P<0.05$),表明其水分质量分数越大黑果腺肋

花楸的口感越差; L^* 值和花色苷($P<0.01$)、原花青素($P<0.05$)都呈负相关,表明花色苷和原花青素的质量分数越高,其果实表面的亮度越低;胶着性和硬度、咀嚼性均呈极显著正相关($P<0.01$),表明其果实内部的结合力越大,其硬度和咀嚼性越大;多酚、黄酮、花色苷以及原花青素的质量分数两两之间均呈极显著正相关($P<0.01$),由此可见,黑果腺肋花楸中几个营养物质指标联系紧密,可以进一步使用主成分分析^[19]。

表 6 黑果腺肋花楸各指标相关系数矩阵

Table 6 Correlation coefficient matrix of each index of *Aronia melanocarpa*

	果形指数	水分	L^* 值	可溶性固形物	硬度	咀嚼性	凝聚性	胶着性	多酚	黄酮	花色苷
水分	-0.020	1									
L^* 值	-0.704**	0.176	1								
可溶性固形物	0.017	-0.581*	-0.248	1							
硬度	-0.099	-0.166	0.391	0.129	1						
咀嚼性	-0.126	-0.578*	-0.124	0.560*	0.341	1					
凝聚性	0.095	0.074	-0.330	0.177	-0.366	0.281	1				
胶着性	0.114	-0.623*	-0.039	0.502	0.642**	0.735**	0.018	1			
多酚	0.376	0.293	-0.417	0.030	-0.206	-0.152	-0.170	-0.229	1		
黄酮	0.565*	0.346	-0.439	-0.253	-0.251	-0.178	0.033	-0.353	0.732**	1	
花色苷	0.580*	0.269	-0.675**	-0.071	-0.520*	-0.116	0.195	-0.348	0.756**	0.841**	1
原花青素	0.685**	0.344	-0.601*	-0.067	-0.358	-0.138	0.113	-0.221	0.729**	0.796**	0.922**

注:* 代表相关性显著($P<0.05$),** 代表相关性极显著($P<0.01$)。

2.5 主成分分析

将不同产地的黑果腺肋花楸的 12 个品质指标进行主成分分析, $K_{\text{m}}(K_{\text{m}}=0.602)>0.500$,显著性为 0.000,可以做主成分分析。如表 7 得到 3 个主成分,特征值均大于 1,第一主成分方差贡献率最大,达到了 43.11%,3 个主成分累积方差贡献率为 77.42%,能够作为多个变量中起主导作用的因素,综合反映 15 个产地黑果腺肋花楸果实的品质特征。

表 7 主成分分析的特征值和贡献率

Table 7 Eigenvalues and contribution rate of principal component analysis

主成分	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
1	5.17	43.11	43.11
2	2.64	22.02	65.13
3	1.48	12.29	77.42

为了更好地解释各品质指标和主成分因子之间的关系,将所提取的主成分因子进行旋转处理,

生成载荷得分图,比较载荷值的大小就能反映出各个品质指标在主成分中的重要程度^[20]。如图 1 所示,第一主成分主要综合了花色苷、原花青素、黄酮、多酚,主要反映了黑果腺肋花楸的抗氧化能力,由于这 4 个品质指标两两之间都存在极显著相关性,所以将花色苷、原花青素作为第一主成分的代表指标,定义为抗氧化因子。第二主成分主要包括咀嚼性、胶着性、可溶性固形物、果形指数,在表 5 中咀嚼性和胶着性呈极显著相关,所以将咀嚼性作为第二主成分的代表指标,定义为咀嚼性因子。第三主成分主要综合了硬度、多酚、黄酮、胶着性和 L^* 值,但硬度的特征值系数最大,所以定义为硬度因子。

用新的 3 个综合指标来代替原来的 12 个品质指标对不同产地黑果腺肋花楸的品质进行评价,得到黑果腺肋花楸中前 3 个主成分的得分函数表达式为:

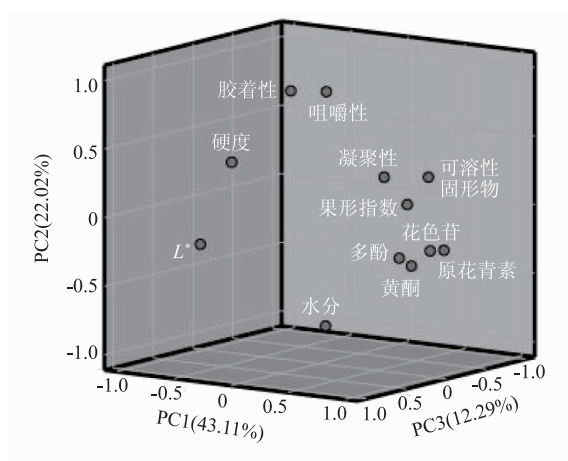


图1 黑果腺肋花楸 12 个品质指标的 3D 载荷得分图

Fig. 1 3D loading plots derived from 15 quality indexes of *Aronia melanocarpa*

$$F_1 = 0.296x_1 + 0.131x_2 - 0.320x_3 + 0.301x_4 - 0.238x_5 - 0.097x_6 + 0.077x_7 - 0.168x_8 + 0.343x_9 + 0.372x_{10} + 0.426x_{11} +$$

$$0.405x_{12}$$

$$F_2 = 0.192x_1 - 0.472x_2 - 0.292x_3 + 0.296x_4 + 0.173x_5 + 0.509x_6 + 0.130x_7 + 0.507x_8 - 0.024x_9 - 0.056x_{10} + 0.021x_{11} + 0.022x_{12}$$

$$F_3 = 0.165x_1 + 0.054x_2 + 0.177x_3 - 0.085x_4 + 0.557x_5 - 0.065x_6 - 0.637x_7 + 0.213x_8 + 0.321x_9 + 0.213x_{10} - 0.013x_{11} + 0.130x_{12}$$

各得分值与相应主成分的方差贡献率的乘积累加得出不同产地黑果腺肋花楸的综合评价指数 F , 以此来评价不同产地黑果腺肋花楸的综合品质

$$F = 0.431F_1 + 0.220F_2 + 0.123F_3$$

通过计算得分对 15 个产地的黑果腺肋花楸的品质进行了综合排名 (见表 8), 排名前五位的依次是 HLJ-MDJ-8、LN-SY-1、LN-TL-6、LN-HLD-2、LN-AS-3, 得分最低的 3 个产地依次是 HB-BD-12、HB-QHD-11、SX-WN-15, 所以适宜黑果腺肋花楸果实种植的地区集中在我国的东北产区, 华北产区以及西北产区种植的品质不高。

表 8 不同产地黑果腺肋花楸品质评价结果

Table 8 Quality evaluation results of *Aronia melanocarpa* from different producing areas

编号	F_1	F_2	F_3	F	综合排名
HLJ-MDJ-8	3.12	0.42	1.66	1.64	1
LN-SY-1	2.64	0.76	1.99	1.55	2
LN-TL-6	3.15	-0.33	-0.24	1.25	3
LN-HLD-2	0.89	1.04	-1.16	0.47	4
LN-AS-3	0.60	0.50	0.74	0.46	5
NMG-CF-10	0.96	0.06	-1.25	0.27	6
JL-BS-9	1.44	-1.11	-1.09	0.24	7
GS-JC-14	-1.62	4.33	-1.17	0.11	8
TJ-JH-13	-0.29	0.02	0.42	-0.07	9
HLJ-JMS-7	-0.28	0.31	-0.59	-0.13	10
LN-FC-5	-0.30	-2.94	0.60	-0.70	11
LN-HC-4	-0.06	-2.12	-2.02	-0.74	12
SX-WN-15	-2.91	0.59	1.39	-0.95	13
HB-QHD-11	-2.36	-0.67	-0.23	-1.19	14
HB-BD-12	-4.98	-0.87	0.95	-2.22	15

2.6 聚类分析

采用 SPSS statistics 18.0 软件对我国 3 个产区 15 个不同产地的黑果腺肋花楸进行系统聚类分析, 得到使用平均联接 (组间) 的谱系图和重新标度的距离聚类组合, 以此来分析不同产地黑果腺肋花楸样品之间的关系。如图 2 所示, 当距离为 15 时, 15 个产地的黑果腺肋花楸就被聚为了 3 类, 其中第一

大类聚集了黑龙江、吉林、辽宁、天津、河北、内蒙古地区, 第二类聚集了陕西渭南、河北保定地区, 第三类只有甘肃金昌地区的黑果腺肋花楸, 聚类分析的结果和主成分分析的综合排名结果基本类似, 其中第一大类在距离为 10 时又可以细化分为 3 个小类, 第 3 小类中聚集了主成分分析中综合排名的前 3 位, 产地分布在辽宁、黑龙江地区, 说明在我国的

东北产区种植黑果腺肋花楸可以得到较高品质的果实;第二类别中的 HB-BD-12 和 SX-WN-15 这两个产地在品质指标上的结果都较为接近且普遍偏低;第三类的 GS-JC-14 该果实的凝聚性、咀嚼性、胶着性均高于其他产地,硬度仅次于 SX-WN-15、HB-BD-12,说明西北产区的果实口感较好,适合鲜食。

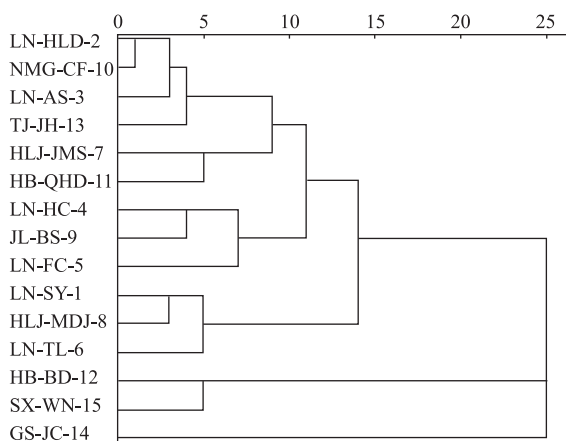


图 2 不同产地黑果腺肋花楸聚类分析图

Fig. 2 Cluster analysis map of *Aronia melanocarpa* from different origins

2.7 黑果腺肋花楸感官评价分析

黑果腺肋花楸的食用品质,其口感不容忽视,一般可以通过果实的酸味、甜味、口感、肉质以及果

味来进行评定。其结果由表 9 可知,不同产地的黑果腺肋花楸感官评定结果存在较大差异,其中排名前 3 位的地区为 HLJ-MDJ-8、LN-SY-1、GS-JC-14,其口感和风味明显优于其他地区。

3 结 语

对于我国 3 个产区 15 个不同产地黑果腺肋花楸果实的理化品质、营养品质、质构特性以及感官评价进行了对比分析,由于气候条件、年降水量、平均温度、种植土壤的不同,导致不同产地的果实存在着明显的差异^[21]。从显著性分析的结果中可以看出,测量的 12 个品质指标中,色差 L^* 值、可溶性固形物、多酚、黄酮、花色苷、原花青素、硬度、咀嚼性、胶着性的变异系数均大于 15%,最大的是咀嚼性可以达到 54.20%。利用相关性分析和主成分分析,将 12 个品质指标降维成 3 个综合指标,分别为花色苷、原花青素、咀嚼性和硬度 4 个品质指标,累积方差贡献率为 77.42%,可以作为黑果腺肋花楸品质分析的主要品质指标。聚类分析的结果将 15 个不同产地的果实分为 3 类,其中我国东北产区的 HLJ-MDJ-8、LN-SY-1、LN-TL-6 由于所含营养物质质量分数高所以更适合作为深加工产品的原料,西北产区的 GS-JC-14,甜度高,口感风味较好,所以更加适合鲜食。聚类分析和主成分分析的实验结果较为一致,说明两种方法都可以用来分析花楸的质量

表 9 不同产地黑果腺肋花楸感官评价结果

Table 9 Sensory evaluation results of *Aronia melanocarpa* from different producing areas

编号	酸味	甜味	口感	肉质	果味	总分
HLJ-MDJ-8	17	15	17	16	17	82
LN-SY-1	17	16	17	15	15	80
GS-JC-14	15	17	16	17	14	79
LN-HLD-2	15	14	15	17	16	77
NMG-CF-10	14	15	14	17	16	76
LN-TL-6	14	13	15	14	17	73
LN-AS-3	14	13	16	15	14	72
SX-WN-15	12	13	17	15	15	72
JL-BS-9	15	14	15	14	13	71
HLJ-JMS-7	13	12	14	14	16	69
TJ-JH-13	12	14	15	13	15	69
LN-FC-5	15	13	10	14	13	65
LN-HC-4	16	14	9	13	12	64
HB-QHD-11	13	11	10	14	14	62
HB-BD-12	13	14	10	14	10	61

优劣。作者对不同产地的黑果腺肋花楸进行了综合评价,为农户以及深加工企业有针对性地选择种植

区域提供理论帮助,为果实选育栽培及推广奠定了基础。

参考文献:

- [1] EUN-SUN H, MI S Y. Effects of storage temperature on the bioactive compound content and antioxidant activity of aronia (*Aronia melanocarpa*) fruit[J]. **Korean Journal of Food Preservation**, 2019, 26(5): 455-465.
- [2] 毛佳汶. 新食品原料批准品种及现状分析[J]. 现代食品, 2020(2): 75-78.
- [3] 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.
- [4] 于军. 黑果腺肋花楸在我国的引种栽培和发展现状[J]. 现代农业科技, 2020(8): 166-167.
- [5] 刘丙花, 孙锐, 王开芳, 等. 不同蓝莓品种果实品质比较与综合评价[J]. 食品科学, 2019, 40(1): 70-76.
- [6] 张维, 付复华, 罗赛男, 等. 湖南红心猕猴桃品种品质评价及综合分析[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(5): 201-210.
- [7] 黄佳双, 曹庆超, 金允哲, 等. 黑果腺肋花楸果实多酚含量及体外抗氧化活性研究[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2019, 40(6): 100-104.
- [8] 丛龙娇, 史锐, 吴鹏, 等. 不同产地黑果腺肋花楸果实中总多酚、总黄酮含量测定[J]. 辽宁中医药大学学报, 2021, 23(1): 31-34.
- [9] KATALIN H, LEVENTE C. Black chokeberry (*Aronia melanocarpa*) pomace extract immobilized in chitosan for colorimetric pH indicator film application[J]. **Food Packaging and Shelf Life**, 2018, 16: 185-193.
- [10] 朱月, 李奋梅, 王艳丽, 等. 黑果腺肋花楸原花青素的提取及抑菌性研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(2): 302-306.
- [11] KAMALEIDIN A, GEORGE N, SOBTI B, et al. Dietary fiber components, microstructure, and texture of date fruits[J]. **Scientific Reports**, 2020, 10(1): 1-11.
- [12] 王雪婷, 许学文, 陈学好. 园艺作物果肉颜色研究进展[J]. 分子植物育种, 2022, 20(3): 1014-1025.
- [13] 郑丽静, 聂继云, 闫震. 糖酸组分及其对水果风味的影响研究进展[J]. 果树学报, 2015, 32(2): 304-312.
- [14] 于雪, 胡文忠, 姜爱丽, 等. 黑果腺肋花楸营养物质与功效的研究进展[J]. 食品工业科技, 2016, 37(10): 396-400.
- [15] MANDICA-TAMARA T, INES P, PREDRAG V, et al. Effects of weather conditions on phenolic content and antioxidant capacity in juice of Chokeberries (*Aronia melanocarpa* L.)[J]. **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences**, 2017, 67(1): 67-74.
- [16] VALCHEVA-KUZMANOVA S, KUZMANOV A, KUZMANOVA V, et al. *Aronia melanocarpa* fruit juice ameliorates the symptoms of inflammatory bowel disease in TNBS-induced colitis in rats[J]. **Food and Chemical Toxicology**, 2018, 113: 33-39.
- [17] HANDELAND M, GRUDE N, TORP T, et al. Black chokeberry juice (*Aronia melanocarpa*) reduces incidences of urinary tract infection among nursing home residents in the long term: a pilot study[J]. **Nutrition Research**, 2014, 34(6): 518-525.
- [18] SUSANA R S, SIMONE G, FABRIZIO T, et al. Impact of different advanced ripening stages on berry texture properties of 'Red Globe' and 'Crimson Seedless' table grape cultivars (*Vitis vinifera* L.)[J]. **Scientia Horticulturae**, 2013, 160: 313-319.
- [19] 王子涵, 向敏, 徐茂, 等. 响应面优化黑果腺肋花楸汁澄清工艺及其抗氧化活性评价[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(8): 189-196.
- [20] 潘越, 卢明艳, 杜研, 等. 不同外源激素浓度对黑果腺肋花楸嫩枝扦插生根效果的影响[J]. 北方园艺, 2018(16): 121-125.
- [21] 胡艳, 艾力江·麦麦提, 安尼瓦尔·艾木都, 等. 土壤干旱胁迫及复水对黑果腺肋花楸生理指标的影响[J]. 湖南农业科学, 2020(4): 12-15.