

149 份山楂种质资源果实总酚、黄酮、花青苷含量差异分析¹

赵柏棚¹, 崔茗洪¹, 孙馨宇¹, 汪宇¹, 王祥旭¹, 刘月学^{1,2}, 张泉^{1,2*}

(¹沈阳农业大学园艺学院, 沈阳 110866; ²国家山楂种质资源圃(沈阳), 沈阳 110866)

摘要: 【目的】山楂作为食药同源植物, 具有抗炎等药学潜能。为了开发山楂中的活性物质、选育山楂新品种, 通过评估 149 份山楂种质资源中总酚、黄酮和花青苷含量的多样性来筛选优异种质资源。【方法】实验试材为国家山楂种质资源圃(沈阳)里保存的 149 份山楂种质资源。分析了 149 份山楂种质资源果实中总酚、总黄酮和花青苷的含量, 并通过聚类分析和隶属函数分析对这些资源进行分类和筛选。【结果】结果表明: 总酚、总黄酮和花青苷含量存在显著差异。‘野圃 8 号’的总酚含量最高(1.531 mg/g), 而‘桓仁向阳’最低(0.110 mg/g)。“野圃 8 号”总黄酮含量最高(56.434 mg/g), ‘紫珍珠-1’最低(19.763 mg/g)。在花青苷含量方面, ‘野生山里红-3’最高(720.218 μg/g), ‘黄果’最低(19.187 μg/g)。聚类分析显示了五类山楂资源, 其中第一组的总酚(0.557 ~ 1.531 mg/g)和总黄酮(28.848 ~ 56.434 mg/g)含量平均值最高。利用百分位数分析初步建立了山楂 3 种活性成分的分级标准。【结论】根据隶属函数值和聚类分析结果筛选出 15 份优异山楂种质资源, 为后期筛选适宜鲜食和加工的品种以及今后选育优质山楂新品种提供相关依据。百分位数分析建立的分级标准可用于山楂种质资源成熟果实总酚、总黄酮、花青苷含量的系统性评价。

关键词: 山楂果实品质; 总酚; 总黄酮; 花青苷; 聚类分析; 隶属函数

Analyses of the Differences in the Content of the Total Phenols, Flavonoid, and Anthocyanin of 149 Hawthorn Germplasm Resources

ZHAO Baipeng¹, CUI Mingqi¹, SUN Xinyu¹, WANG Yu¹, WANG Xiangxu¹, LIU Yuexue^{1,2}, ZHANG Xiao^{1,2*}

(¹College of Horticulture, Shenyang Agricultural University, Liaoning 110866; ²National Field Genebank for Hawthorn, Shenyang 110866, Liaoning, China)

Abstract: 【Objective】 Hawthorn, a plant belonging to the Rosaceae family and the apple tribe of the subfamily Maloideae, is renowned for its dual utility as both food and medicinal herb. Its historical use in medicine and food processing underscores its significance in both areas. The bioactive components present in hawthorn, particularly total phenols, total flavonoids, and anthocyanins, are known to contribute significantly to its health benefits, exhibiting a range of effects including anti-inflammatory, anti-diabetic, and anti-cancer properties. However, the diversity among hawthorn species is vast, leading to substantial variations in the contents of these active components. A systematic evaluation method is needed for the diversity of bioactive components content in hawthorn fruit. This study will help cultivate new varieties of hawthorn, and improve the utilization of these resources in the development of functional foods and other areas. 【Methods】 149 hawthorn germplasm resources from the National Hawthorn Germplasm Repository in Shenyang were used in this research. The fruits of these resources were meticulously processed to ensure the integrity of the total phenols, total flavonoids, and anthocyanins. The process began with cutting the hawthorn fruits into pieces, which were then subjected to liquid nitrogen treatment to preserve their freshness and potency. The treated fruits were subsequently stored at -80°C to maintain their quality for later analysis. The fruits were ground using a grinder to obtain a fine powder, from which 0.5 grams of freeze-dried hawthorn powder was weighed for each variety. A small amount of pre-cooled 1% HCl methanol solution was added to the powder, and the mixture was diluted to 10 mL. The mixture was homogenized and extracted in the dark at 4°C for 20 minutes, with occasional shaking to ensure thorough mixing. After the extraction process, the samples were centrifuged at 12,000 r/min for 10 minutes at 4°C to separate the supernatant from the solid residue. The absorbance values at wavelengths of 280 nm, 325 nm, 600 nm, and 530 nm were measured for each variety using a 1% HCl-methanol solution as the blank reference. All data were processed using Excel 2016 for

收稿日期: 接受日期:

基金项目: 辽宁省教育厅基本科研项目(JYTQN2023298); 山楂物种资源保护项目(19240449)

作者简介: 赵柏棚, 男, 在读硕士研究生, 研究方向为果树种质资源评价与利用。E-mail: 15524203093@163.com

通信作者 Author for correspondence. E-mail: zhangxiao8866@syau.edu.cn

calculations of mean values, standard deviations, coefficients of variation, and membership functions. Descriptive statistics and frequency analysis were performed using SPSS v26.0 software, and cluster analysis was conducted using TBtools-II software to classify the resources based on the content of total phenols, total flavonoids, and anthocyanins. 【Results】 The results of this study revealed significant variations in the content of total phenols, total flavonoids, and anthocyanins among the 149 hawthorn germplasm resources. ‘Yepu No.8’ was identified as the highest total phenol content (1.531 mg/g), while ‘Huaren Xiangyang’ had the lowest (0.110 mg/g). Similarly, ‘Yepu No.8’ also exhibited the highest total flavonoid content (56.434 mg/g), ‘Zizhenzhu No.1’ was the lowest (19.763 mg/g). In terms of anthocyanin content, ‘Yesheng Shanlihong No.3’ had the highest (720.218 $\mu\text{g/g}$), and ‘Huangguo’ had the lowest (19.187 $\mu\text{g/g}$). A preliminary grading standard for these compounds was established using percentile analysis. The total phenol content below 0.260 mg/g was regarded as ‘low’, 0.260 mg/g ~ 0.587 mg/g considered as ‘medium’, and above 0.587 mg/g was ‘high’. The total flavonoid content below 22.242 mg/g was regarded as ‘low’, 22.242 mg/g ~ 28.103 mg/g considered as ‘medium’, and above 28.103 mg/g was ‘high’. The anthocyanin content below 99.875 $\mu\text{g/g}$ was regarded as ‘low’, 99.875 $\mu\text{g/g}$ ~ 249.819 $\mu\text{g/g}$ considered as ‘medium’, and above 249.819 $\mu\text{g/g}$ was ‘high’. Cluster analysis revealed five distinct groups, with the first group including ‘Yepu No.8’, ‘Wuming Hawthorn-4’, and ‘Yesheng Shanlihong-3’, having the highest average content of total phenols (1.531 ~ 0.557 mg/g), total flavonoids (56.434 ~ 28.848 mg/g), and anthocyanins (720.218 ~ 293.449 $\mu\text{g/g}$), with coefficients of variation of 35.1%, 23.4%, and 30.1%, respectively. The second group included ‘Yu8002’, ‘Baiquan7807’, and ‘Muhuli-1’, with total phenol content (0.980 ~ 0.327 mg/g), total flavonoid content (41.841 ~ 22.796 mg/g), and anthocyanin content (353.637 ~ 19.318 $\mu\text{g/g}$), with coefficients of variation of 24.7%, 11.5%, and 34.0%, respectively. The third group included ‘Zizhenzhu-1’, ‘Chaojinxing-1’, and ‘795507’, with total phenol content (0.526 ~ 0.180 mg/g), total flavonoid content (26.533 ~ 19.763 mg/g), and anthocyanin content (193.442 ~ 19.187 $\mu\text{g/g}$), with coefficients of variation of 23.0%, 7.14%, and 45.4%, respectively. The fourth group included ‘Xifenghong’, ‘Wangbaodi Dajinxing-2’, and ‘Lulong Dashanzha’, with total phenol content (0.596 ~ 0.365 mg/g), total flavonoid content (26.861 ~ 21.795 mg/g), and anthocyanin content (256.720 ~ 110.848 $\mu\text{g/g}$), with coefficients of variation of 12.6%, 5.1%, and 19.7%, respectively. The fifth group included ‘Feixian Zirou-1’, ‘Xifen No.5’, and ‘Songshancun Shisheng’, with total phenol content (0.332 ~ 0.110 mg/g), total flavonoid content (27.198 ~ 21.870 mg/g), and anthocyanin content (299.691 ~ 105.526 $\mu\text{g/g}$), with coefficients of variation of 25.8%, 6.20%, and 26.1%, respectively. 【Conclusion】 Based on the membership function values and cluster analysis, 15 excellent hawthorn germplasm resources were selected. These results provided the basis for the selection of suitable varieties for fresh consumption, processing, and the future hawthorn breeding. The grading standards established through percentile analysis provide a systematic evaluation of the total phenol, total flavonoid, and anthocyanin content in mature fruits of hawthorn germplasm resources. This study not only contributes to the understanding of the diversity of bioactive compounds in hawthorn, but also serves as a valuable resource for the development of functional foods and the advancement of hawthorn cultivation and utilization.

Key words: Hawthorn Fruit Quality; Total Phenols; Flavonoid; Anthocyanin; Cluster Analysis; Membership Function

蔷薇科 (Rosaceae) 梨亚科苹果族山楂属 (*Crataegus* L.), 是目前蔷薇科中最大的属之一^[1]。山楂属植物广泛分布于亚洲、欧洲、中北美洲及南美洲北部^[2]。我国是山楂属植物的起源中心之一, 种质资源丰富⁰。野生山楂从两千多年前就发现可以被食用。我国山楂的栽培历史已有 1700 余年^[4], 栽培山楂广泛分布于东北、京津、辽冀、太行山区和山东等五大栽培产区, 其中主要用于栽培生产推广的有 4 个种, 包括羽裂山楂、湖北山楂、云南山楂和伏山楂^[5]。

山楂作为一种在传统医学和现代食品具有重要地位的植物^[6], 近年来, 随着科学研究的深入研究的重点从果实外观形态转向了内在的生物活性成分^[7-10]。酚类化合物以及其涵盖黄酮类化合物作为山楂果实中的主要活性成分, 已被证实具有治疗心血管^[11]、抗氧化^[12]、抗炎^[13]、降血脂^[14]等多种生物活性^[15-16]。花青苷作为一类特殊的黄酮类化合物, 不仅赋予了山楂果实色泽, 还具有抗氧化和抗肿瘤等药学效能^[17]。

总酚、总黄酮与花青苷含量作为果蔬评价的重要指标, 已有不少学者利用其含量对植物进行评价^[18]。

杨迎东等人^[19]利用总酚、总黄酮、花青苷等活性成分含量对百合品质进行评价，徐子媛^[20]利用总酚等活性物质含量对 73 份桃种质资源果实筛选出特异种质资源。山楂种类繁多，不同品种山楂果实间活性成分的含量差异较大^[21]，基于这 3 种活性物质的评价较为少见，在《作物种质资源鉴定评价技术规范 山楂》^[22]中将总黄酮含量（干果实）大于 4%的资源归为优良种质资源，关于总酚和花青苷含量的缺乏系统性评价。因此，本研究系统评估来自国家山楂种质资源圃（沈阳）的 149 份山楂资源果实总酚、总黄酮和总花青苷 3 种活性成分含量的多样性，并基于这 3 种活性成分的含量采用聚类分析、隶属函数等方法对 149 份山楂资源进行分类，旨在为筛选鲜食、加工的适宜品种及今后选育优异山楂新品种奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究所用的试材为国家山楂种质资源圃（沈阳）里保存的 149 份山楂种质资源（表 1），取样时间为 2023 年 9 月下旬至 10 月上旬，在果实着色后，对植株进行观察，当确认植株上 75%的果实均已达到成熟状态时，即可采摘^[22]。每个品种从长势一致的 3 棵山楂树上选取 10 个大小，成熟度一致的果实，削块后低温液氮处理，放入-80℃冰箱保存用于后续的测定。

142 份品种资源，编号 1-15 的山楂种质资源产地为北京；16-37 为河北；38-45 为河南；46 为黑龙江；47-50 为湖北；51-52 为吉林；53：为捷克；54-87 为辽宁；88 为内蒙古；89-129 为山东；130-141 为山西；142-149 为野生。

表 1 供试山楂种质资源信息

Table 1 Information of germplasm resources of hawthorn

编号 Code	名称 Name	编号 Code	品种 Name	编号 Code	名称 Name	编号 Code	名称 Name
1	聂家峪 2 号 Niejiayu No.2	39	豫 8002 Yu 8002	77	沈 78201 Shen 78201	115	大糖球 Datangqiu
2	蟹子石 3 号 Xiezi Shi No.3	40	百泉 7901 Baiquan 7901	78	砖台山楂 Zhuan Tai Shanzha	116	小金星 Xiaojinxing
3	银冶岭 7 号 Yinyeling No.7	41	百泉 7807 Baiquan 7807	79	本溪 7 号 Benxi No. 7	117	面楂 Mianzha
4	卧龙岗 2 号-1 Wolonggang No.2-1	42	百泉 7801 Baiquan 7801	80	秋金星 Qiujinxing	118	百花裕大金星 Baihuayu Dajinxing
5	蟹子石 Xiezishi.	43	辉县大红孔杞 Huixian Dahongkongqi	81	向阳 2 号 Xiangyang No. 2	119	山东红面楂-2 Shandong Hongmianzha - 2
6	海棠 Haitang	44	7910	82	甜水 Tianshui	120	万宝地实生 Wanbaodi shisheng
7	蟹子石-2 Xiezishi - 2	45	豫北红 Yubei Hong	83	山城 1 号 Shancheng No. 1	121	福山铁球 Fushan Tieqiu
8	卧龙岗 2 号-2 Wolonggang No.2-2	46	牡丹峰山里红 Mudanfeng Shanlihong	84	开原红 Kaiyuan Hong	122	枣行小金星 Zaohang Xiaojinxing
9	京短 1 号 Jingduan No.1	47	湖北山楂 Hubei Shanzha	85	晚秋山里红 Wanqiu Shanlihong	123	旧寨山楂 Jiuzhai Shanzhi
10	蟹子石 4 号-1 Xiezishi No.4-1	48	湖北 1 号 Hubei No. 1	86	小糖球 Xiaotangqiu	124	松山村实生 Songshancun Shisheng
11	西坟实生 Xifen Shisheng	49	湖北 2 号-1 Hubei No. 2-1	87	软肉山里红 2 号 Ruanrou Shanlihong No. 2	125	超金星-2 Chaojinxing - 2

12	劈破石 2 号 Piposhi No.2	50	湖北 2 号-2 Hubei No. 2-2	88	通辽红 Tongliao Hong	126	歪把红 Waibahong
13	西坎 5 号 Xifen No.5	51	太平山楂-1 Taiping Shanzha - 1	89	黄果 Huangguo	127	甜红 Tianhong
14	银冶岭 9 号 Yinyeling No.9	52	太平山楂-2 Taiping Shanzha - 2	90	牧孤梨-1 Muhuli - 1	128	费县紫肉-1 Feixian Zirou - 1
15	佳甜 Jiatian.	53	Early hawthorn	91	牧孤梨-2 Muhuli - 2	129	费县紫肉-2 Feixian Zirou - 2
16	795507	54	野圃 6 号 Yepu No. 6	92	大黄 Dahuang.	130	陈沟大红 Chengou Dahong
17	紫珍珠-1 Zizhenzhu - 1.	55	辽红 Liaohong	93	超金星-1 Chaojinxing - 1	131	晋县大红小楂 Jinxian Dahong Xiaozha
18	紫珍珠-2 Zizhenzhu - 2.	56	沈农山里红 Shennong Shanlihong	94	益都红口 Yidu Hongkou	132	绛县 789201 Jiangxian 789201
19	遵化 33 Zunhua 33.	57	沈 78213 Shen 78213	95	大五楞 Dawuleng	133	安泽大果-1 Anze Daguo - 1
20	795507	58	西丰红 Xifeng Hong	96	白瓢棉 Bairangmian	134	安泽大果-2 Anze Daguo - 2
21	涑水大金星 Laishui Dajinxing	59	闽山红 Lyushan Hong	97	万宝地大金星-1 Wanbaodi Dajinxing - 1	135	安泽大果-3 Anze Daguo - 3
22	黄宝峪 1 号-1 Huangbaoyu No.1-1	60	上砖白楂 Shangzhuang Baizha	98	莱芜黑红-1 Laiwu Heihong - 1	136	临汾 1 号 Linfen No. 1
23	自根系 Zigenxi.	61	山城 2 号 Shancheng No. 2	99	小棉球 Xiaomianqiu	137	绛县山楂 Jiangxian Shanzhi
24	黄宝峪 1 号-2 Huangbaoyu No.1-2	62	短枝山里红 Duanzhi Shanlihong	100	红瓢棉 Hongrangmian	138	798202
25	隔红 Gehong.	63	鞍山紫肉-1 Anshan Zirou - 1	101	甜香玉 Tianxiangyu	139	山西田生 Shanxi Tiansheng
26	兴隆紫肉 Xinglong Zirou.	64	磨盘 Mopanshan	102	蒙阴大金星-1 Mengyin Dajinxing - 1	140	8321
27	隆化 795502 Longhua 795502	65	西丰铜台白野生 Xifeng Tongtai	103	万宝地大金星-2 Wanbaodi Dajinxing - 2	141	五台山山里红 Wutaishan Shanlihong
28	燕瓢青 Yanrangqing	66	马家粉肉 Majia Fenrou	104	莱芜黑红-2 Laiwu Heihong - 2	142	八棱 Baleng
29	兴红二号 Xinghong No.2	67	建昌山楂 Jianchang Shanzha	105	万宝地实生 4 号 Wanbaodi Shisheng No. 4	143	无名山楂-1 Wuming Shanzhi - 1
30	兴红三号-1 Xinghong No.3-1	68	桓仁向阳 Huanren Xiangyang	106	红石榴 Hongshiliu	144	无名山楂-2 Wuming Shanzhi - 2
31	兴红三号-2 Xinghong No.3-1	69	牛心台 1 号 Niuxintai No. 1.	107	益都敞口-1 Yidu Changkou - 1	145	无名山楂-3 Wuming Shanzhi - 3
32	燕瓢红 Yanranghong.	70	东陵青口 Dongling Qingkou	108	蒙阴大金星-2 Mengyin Dajinxing - 2	146	无名山楂-4 Wuming Shanzhi - 4
33	隆化 795801 Longhua 795801.	71	鞍山紫肉-2 Anshan Zirou - 2	109	枣行小果 Zaoxing Xiaoguo	147	野生山里红-1 Yesheng Shanlihong - 1
34	黄宝峪 2 号 Huangbaoyu No.2	72	792204	110	益都敞口-2 Yidu Changkou - 2	148	野生山里红-2 Yesheng Shanlihong - 2
35	滦红 Luanhong	73	野圃 8 号 Yepu No. 8	111	水营山楂 Shuiying Shanzhi	149	野生山里红-3 Yesheng Shanlihong - 3
36	芦龙大山楂 Lulong Dashanzha	74	开原软籽 Kaiyuan Ruanzi	112	枣行早红 Zaoxing Zaohong		
37	燕果红	75	甜水	113	蒙阴金星		

38	Yanguohong 百泉 7903 Baiquan 7903	76	Tianshui 马刚早红 Magang Zaohong	114	Mengyin Jinxing 山东红面楂-1 Shandong Hongmianzha - 1
----	---------------------------------------	----	------------------------------------	-----	--

注：编号为 15、47、75、90、91 为湖北山楂 (*Crataegus hupehensis* Sarg)，编号为 51、52、62、74、87 为羽裂山楂 (*Crataegus pinnatifida* Bge)，编号为 49、50、124、142

无法确定种名，其余均为羽裂山楂大果变种 (*Crataegus pinnatifida* Bge. var. *major* N.E.Br)。

1.2 试验方法

1.2.1 总酚的提取及测定

山楂总酚含量的测定参考曹建康^[22]的方法，并进行适当改动。以没食子酸标准品（源叶生物，B20851）为标样，分别测定不同浓度下标准品溶液在 OD_{280 nm} 吸光值。以 OD_{280 nm} 的吸光值为横坐标 x，浓度为纵坐标 y 绘制标准曲线：

$$y = 8.9567x + 0.0256 (R^2 = 0.9926)$$

使用 1% 盐酸-甲醇溶液作空白参比调零，取上清液测定 OD_{280 nm} 吸光值。山楂果实总酚含量 (mg/g) = C×V/M，其中 C 为标准曲线计算结果，V 为提取液体积，M 为果实鲜重。

1.2.2 总黄酮、花青苷的测定

山楂总黄酮含量的测定^[22]，以芦丁标准品（源叶生物，B20771）为标样，分别测定不同浓度下标准品溶液在 OD_{325 nm} 吸光值。以 OD_{325 nm} 的吸光值为横坐标 x，浓度为纵坐标 y 绘制标准曲线：

$$y = 0.5861x - 0.4344 (R^2 = 0.9933)$$

山楂总黄酮含量的提取步骤与总酚相同，以 1% 盐酸-甲醇溶液作空白参比调零，取上清液测定 OD_{325 nm} 吸光值。山楂果实总黄酮含量 (mg/g) = C×V/M，其中 C 为标准曲线计算结果，V 为提取液体积，M 为果实鲜重。

山楂总花青苷含量的测定^[22]，以矢车菊素-3-O-葡萄糖苷（源叶生物，B21171）为标样，分别测定不同浓度下标准品溶液在 OD_{530 nm}、OD_{600 nm} 的吸光值。根据所得结果，以 OD_{530 nm} - OD_{600 nm} 吸光值之差为横坐标 x、浓度为纵坐标 y，绘制标准曲线：

$$y = (15.219 \times x - 0.0141) \times 1000 (R^2 = 0.9977)$$

山楂花青苷含量的提取与总酚相同，以 1% 盐酸-甲醇溶液作空白调零，取上清液分别于 OD_{530 nm} 和 OD_{600 nm} 处测定溶液的吸光值。山楂果实花青苷含量 (μg/g) = C×V/M，其中 C 为标准曲线计算结果，V 为提取液体积，M 为果实鲜重。

1.3 数据分析

利用 Excel 2016 进行数据平均值、标准偏差、变异系数、隶属函数等计算。采用 SPSS v26.0 软件进行描述统计和频率分析并作图，TBtools-II 软件进行聚类分析并作图。数据分析所用公式如下^[24]：

隶属函数值 (Membership Function Values) : $\mu_{X_i} = (X_i - X_{min}) / (X_{max} - X_{min})$ (i=1, 2, 3...n)

权重公式: $W_i = P_i / \sum_{i=1}^n P_i$ (i=1, 2, 3...n)

综合评价值 (Comprehensive Evaluation Values) : $D = \sum_{j=1}^n [\mu(X_i) \times W_i]$ ($i=1, 2, 3 \dots n$)

μ_{xi} 为总酚等三个指标的隶属函数值, X_{min} 和 X_{max} 为各指标最小值和最大值, W_i 为各指标的权重, D 为各指标的综合评价值由隶属函数值 μ 乘以权重 W 计算得出。

百分位数计算公式^[25]:

$$P_r = X_{[d]} + (X_{[d+1]} - X_{[d]})(d - [d])$$

$$d = 1 + (n - 1)r$$

其中 P_r 为第 r 个百分位数; d 为百分位数 r 在样本中的具体位置; $[d]$ 为取 d 的整数部分; $X_{[d]}$ 、 $X_{[d+1]}$ 分别为位次为 $[d]$ 、 $[d+1]$ 上的数据; n 为样本总数; r 为百分位数数值。

2 结果与分析

2.1 山楂种质资源果实总酚、总黄酮、花青苷的含量分析

149 份山楂种质资源果实的总酚、总黄酮、花青苷含量分析 (表 2), 山楂果实中总酚含量分布为 0.110mg/g 至 1.531mg/g, 其中含量最高的为‘野圃 8 号’ (1.531mg/g), 最低的为‘桓仁向阳’ (0.110mg/g); 总黄酮含量分布在 19.763mg/g 至 56.434mg/g, 最高资源为‘野圃 8 号’ (56.434mg/g), 最低为‘紫珍珠-1’ (19.763mg/g); 花青苷含量分布在 19.187 μ g/g 至 720.218 μ g/g, 最高资源为‘野生山里红-4’ (720.218 μ g/g), 最低资源为‘黄果’ (19.187 μ g/g)。其变异系数分别为 45.2%、17.4%、52.5%, 总黄酮含量变异系数小于总酚和花青苷含量, 说明总酚和花青苷含量的遗传多样性更为丰富。149 份山楂种质资源果实的总酚、总黄酮、花青苷均值分别为 0.495mg/g、26.536mg/g、205.450 μ g/g。

根据 149 份山楂种质资源果实总酚、总黄酮、花青苷含量的百分位数分析 (表 2) 建立分级标准, 总酚含量低于 0.260 mg/g 为低含量, 0.260 mg/g 至 0.587 mg/g 为中等含量, 高于 0.587 mg/g 为高含量; 总黄酮含量低于 22.242 mg/g 为低含量, 22.242 mg/g 至 28.103 mg/g 为中等含量, 高于 28.103 mg/g 为高含量; 花青苷含量低于 99.875 μ g/g 为低含量, 99.875 μ g/g 至 249.819 μ g/g, 高于 249.819 μ g/g 为高含量。50%的山楂种质资源果实总酚含量不超过 0.453mg/g、总黄酮含量不超过 25.441mg/g、花青苷含量不超过 191.603 μ g/g, 这些含量均低于平均值, 说明大部分山楂种质资源含量较低, 高含量存在但较少。

表 2 149 份山楂种质资源果实总酚、总黄酮、花青苷含量分析

Table 2 Analysis of total phenols, flavonoids, and anthocyanin contents in 149 hawthorn germplasm resources

成分 Component	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV(%)	最大值 Max.	最小值 Min.	百分位数 Percentile		
						10%	50%	75%
总酚 Total phenols	0.495 mg/g	0.224 mg/g	45.2%	1.531 mg/g	0.110 mg/g	0.260 mg/g	0.453 mg/g	0.587 mg/g
总黄酮 Flavonoids	26.536 mg/g	4.623 mg/g	17.4%	56.434 mg/g	19.763 mg/g	22.242 mg/g	25.441 mg/g	28.103 mg/g
花青苷 Anthocyanin	205.450 μ g/g	107.930 μ g/g	52.5%	720.218 μ g/g	19.187 μ g/g	99.875 μ g/g	191.603 μ g/g	249.819 μ g/g

149 份山楂种质资源果实总酚、总黄酮、花青苷含量的频率分布均呈正偏态（图 1）。其中共有 98 份山楂资源总酚含量在 0.251 mg/g 至 0.532 mg/g 之间，有 112 份山楂资源总黄酮含量在 22.581 mg/g 至 29.440 mg/g 之间，98 份山楂资源花青苷含量在 104.146 $\mu\text{g/g}$ 至 249.819 $\mu\text{g/g}$ 。频率分布结果和百分位数分级结果较为接近，说明两种分析方法准确可靠。

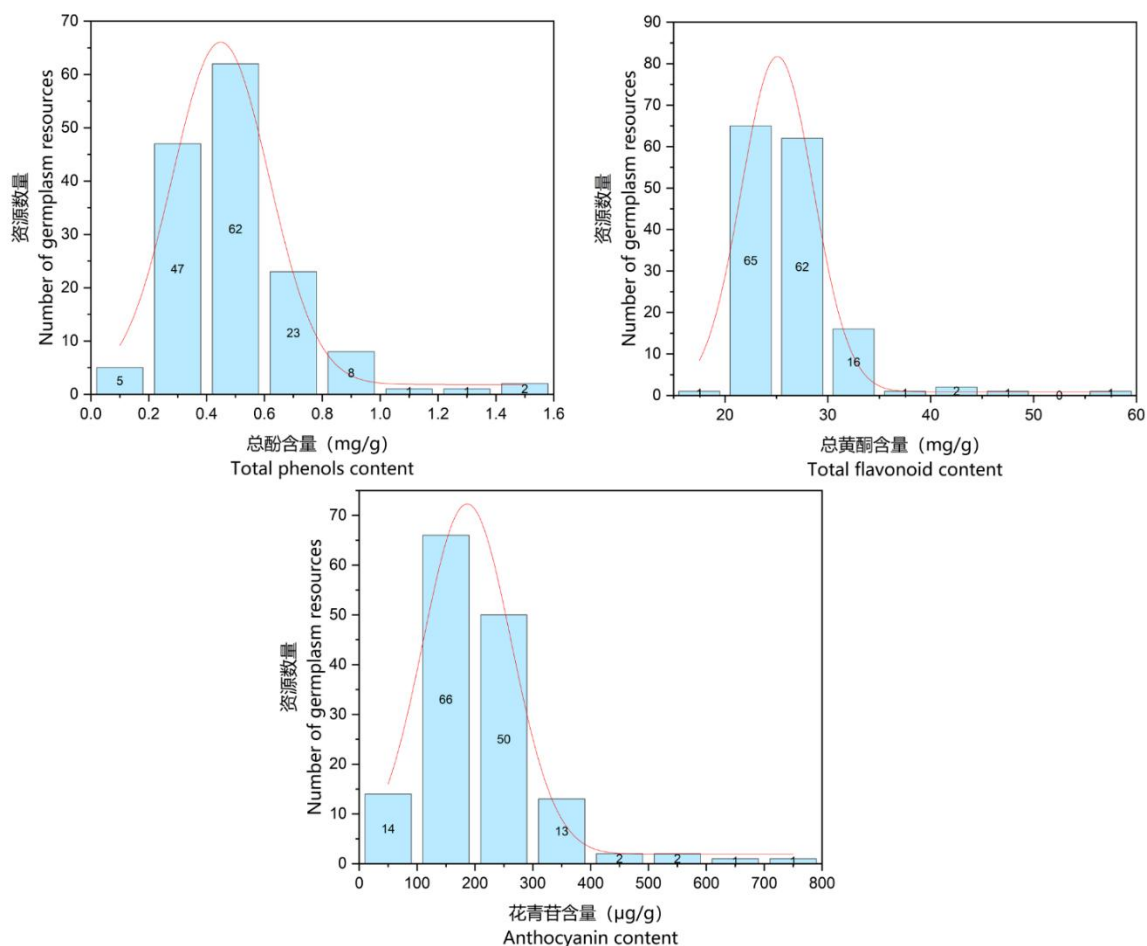


图 1 149 份山楂种质资源总酚、总黄酮、花青苷含量频率分布

Fig.1 Frequency distribution of total phenols, flavonoids, and anthocyanin contents in 149 hawthorn germplasm resources

2.2 总酚、总黄酮、花青苷含量综合评价

根据隶属函数公式计算总酚、总黄酮、花青苷的隶属函数值 μ_1 、 μ_2 、 μ_3 （表 3），‘无名山楂-4’ μ_1 为 1.00，表明所有被测资源中‘无名山楂-4’总酚含量最高，而‘紫珍珠-1’的 μ_1 为 0.00，表明所有被测资源中‘紫珍珠-1’的总酚含量最低。根据权重公式计算出三个指标的权重分别为 $W_1=0.71575$ 、 $W_2=0.22936$ 、 $W_3=0.05489$ 。对 149 份山楂资源分析综合评价值并根据综合评价值大小排序（表 3），其中‘软肉山里红 2 号’、‘野圃 8 号’、‘晚秋山里红’、‘无名山楂-4’、‘野生山里红-3’等为排名为前 15 的优异资源。

表 3 149 份山楂种质资源的隶属函数值 μ 和综合评价值 D

Table 3 The membership function values μ and comprehensive evaluation values D of 149 hawthorn germplasm resources

编号 Code	隶属函数值				综合评价值 D	编号 Code	隶属函数值				综合评价值 D	编号 Code	隶属函数值				综合评价值 D
	MFV			D			MFV			D			MFV			D	
	μ_1	μ_2	μ_3				μ_1	μ_2	μ_3				μ_1	μ_2	μ_3		
146	0.93	0.54	0.39	0.81	29	0.29	0.42	0.34	0.32	115	0.17	0.48	0.40	0.25			
73	1.00	0.08	1.00	0.79	81	0.29	0.49	0.08	0.32	2	0.18	0.40	0.56	0.25			
149	0.58	1.00	0.45	0.67	143	0.34	0.29	0.07	0.32	36	0.21	0.31	0.49	0.25			
87	0.73	0.39	0.38	0.63	148	0.23	0.54	0.46	0.32	131	0.19	0.38	0.43	0.25			
53	0.46	0.86	0.53	0.56	35	0.23	0.54	0.49	0.32	108	0.18	0.40	0.43	0.25			
26	0.44	0.80	0.60	0.53	121	0.25	0.47	0.48	0.31	3	0.17	0.43	0.48	0.24			
74	0.49	0.59	0.29	0.50	38	0.38	0.08	0.43	0.31	57	0.20	0.34	0.43	0.24			
46	0.50	0.48	0.29	0.48	136	0.23	0.47	0.71	0.31	113	0.17	0.43	0.39	0.24			
10	0.45	0.57	0.45	0.48	40	0.38	0.17	0.00	0.31	7	0.12	0.48	0.71	0.24			
85	0.53	0.34	0.29	0.48	71	0.23	0.44	0.82	0.31	24	0.17	0.41	0.41	0.24			
142	0.42	0.49	0.50	0.44	72	0.27	0.41	0.43	0.31	68	0.10	0.54	0.76	0.23			
117	0.41	0.56	0.32	0.44	63	0.28	0.35	0.51	0.31	110	0.17	0.41	0.25	0.23			
39	0.54	0.00	0.79	0.43	126	0.19	0.58	0.69	0.30	141	0.16	0.36	0.58	0.23			
86	0.42	0.43	0.46	0.43	128	0.18	0.64	0.42	0.30	107	0.12	0.45	0.86	0.23			
41	0.48	0.09	0.78	0.41	49	0.29	0.31	0.37	0.30	23	0.16	0.41	0.44	0.23			
145	0.35	0.47	0.63	0.39	101	0.32	0.25	0.27	0.30	30	0.13	0.48	0.54	0.23			
43	0.41	0.29	0.51	0.39	116	0.25	0.43	0.43	0.30	48	0.15	0.43	0.38	0.23			
60	0.31	0.56	0.73	0.39	123	0.21	0.54	0.42	0.30	8	0.12	0.52	0.43	0.23			
61	0.35	0.54	0.23	0.39	31	0.26	0.48	0.02	0.30	133	0.16	0.43	0.25	0.23			
119	0.40	0.33	0.54	0.39	62	0.25	0.37	0.59	0.29	28	0.14	0.45	0.30	0.22			
127	0.36	0.46	0.42	0.39	50	0.23	0.45	0.44	0.29	98	0.15	0.37	0.53	0.22			
59	0.34	0.54	0.42	0.39	11	0.20	0.50	0.62	0.29	1	0.12	0.41	0.70	0.22			
34	0.33	0.48	0.70	0.38	144	0.23	0.45	0.44	0.29	56	0.15	0.37	0.43	0.22			
84	0.35	0.48	0.37	0.38	109	0.26	0.33	0.48	0.29	111	0.13	0.45	0.41	0.22			
125	0.36	0.43	0.39	0.38	79	0.17	0.54	0.69	0.29	22	0.13	0.41	0.51	0.22			
75	0.31	0.54	0.48	0.37	91	0.35	0.04	0.42	0.28	99	0.15	0.37	0.40	0.22			
129	0.27	0.66	0.44	0.37	124	0.16	0.60	0.64	0.28	19	0.16	0.32	0.41	0.21			
132	0.29	0.56	0.62	0.37	69	0.22	0.44	0.47	0.28	42	0.13	0.42	0.39	0.21			
25	0.29	0.64	0.31	0.37	78	0.21	0.49	0.36	0.28	104	0.15	0.41	0.12	0.21			
33	0.35	0.42	0.41	0.37	51	0.25	0.40	0.21	0.28	102	0.09	0.44	0.70	0.20			
83	0.31	0.49	0.50	0.36	6	0.23	0.40	0.44	0.28	20	0.11	0.38	0.69	0.20			
140	0.29	0.53	0.62	0.36	65	0.21	0.42	0.53	0.28	96	0.12	0.39	0.45	0.20			
138	0.33	0.42	0.39	0.36	44	0.17	0.57	0.49	0.28	47	0.15	0.30	0.48	0.20			
14	0.32	0.44	0.42	0.35	134	0.21	0.44	0.38	0.27	130	0.12	0.39	0.47	0.20			
139	0.34	0.48	0.05	0.35	5	0.19	0.43	0.75	0.27	15	0.17	0.27	0.26	0.20			
82	0.29	0.49	0.46	0.35	135	0.17	0.49	0.68	0.27	55	0.13	0.36	0.36	0.20			
37	0.29	0.46	0.53	0.34	52	0.20	0.44	0.49	0.27	100	0.11	0.42	0.44	0.20			
120	0.29	0.43	0.67	0.34	27	0.18	0.40	0.78	0.27	21	0.11	0.42	0.36	0.19			
106	0.26	0.61	0.34	0.34	67	0.19	0.45	0.45	0.26	54	0.18	0.19	0.43	0.19			
80	0.31	0.44	0.36	0.34	13	0.16	0.55	0.39	0.26	95	0.10	0.41	0.53	0.19			

45	0.29	0.47	0.51	0.34	70	0.15	0.50	0.68	0.26	93	0.12	0.27	0.76	0.19
114	0.30	0.36	0.68	0.33	103	0.23	0.34	0.36	0.26	97	0.10	0.41	0.44	0.19
122	0.29	0.45	0.39	0.33	4	0.16	0.44	0.83	0.26	94	0.12	0.39	0.15	0.18
118	0.29	0.40	0.55	0.33	88	0.19	0.42	0.45	0.26	18	0.11	0.33	0.32	0.17
147	0.28	0.49	0.26	0.33	58	0.22	0.35	0.40	0.26	16	0.10	0.33	0.34	0.17
77	0.28	0.42	0.57	0.33	90	0.30	0.08	0.37	0.26	92	0.07	0.28	0.48	0.14
12	0.25	0.47	0.68	0.33	9	0.17	0.48	0.38	0.25	89	0.06	0.29	0.49	0.13
105	0.34	0.25	0.48	0.33	112	0.19	0.39	0.43	0.25	17	0.00	0.34	0.44	0.10
137	0.26	0.48	0.52	0.32	66	0.17	0.46	0.44	0.25					

2.3 聚类分析

根据总酚，总黄酮及花青苷含量对 149 份山楂资源进行聚类分析，结果显示（图 2）依据指标可将所有资源分为 5 类，具体数据见（表 4）。第 I 类包括‘野圃 8 号’、‘无名山楂-4’、‘野生山里红-3’等 13 份山楂种质资源，总酚含量（1.531 ~ 0.557 mg/g），总黄酮含量（56.434 ~ 28.848 mg/g），花青苷含量（720.218 ~ 293.449 $\mu\text{g/g}$ ），变异系数为 35.1%、23.4%、30.1%。

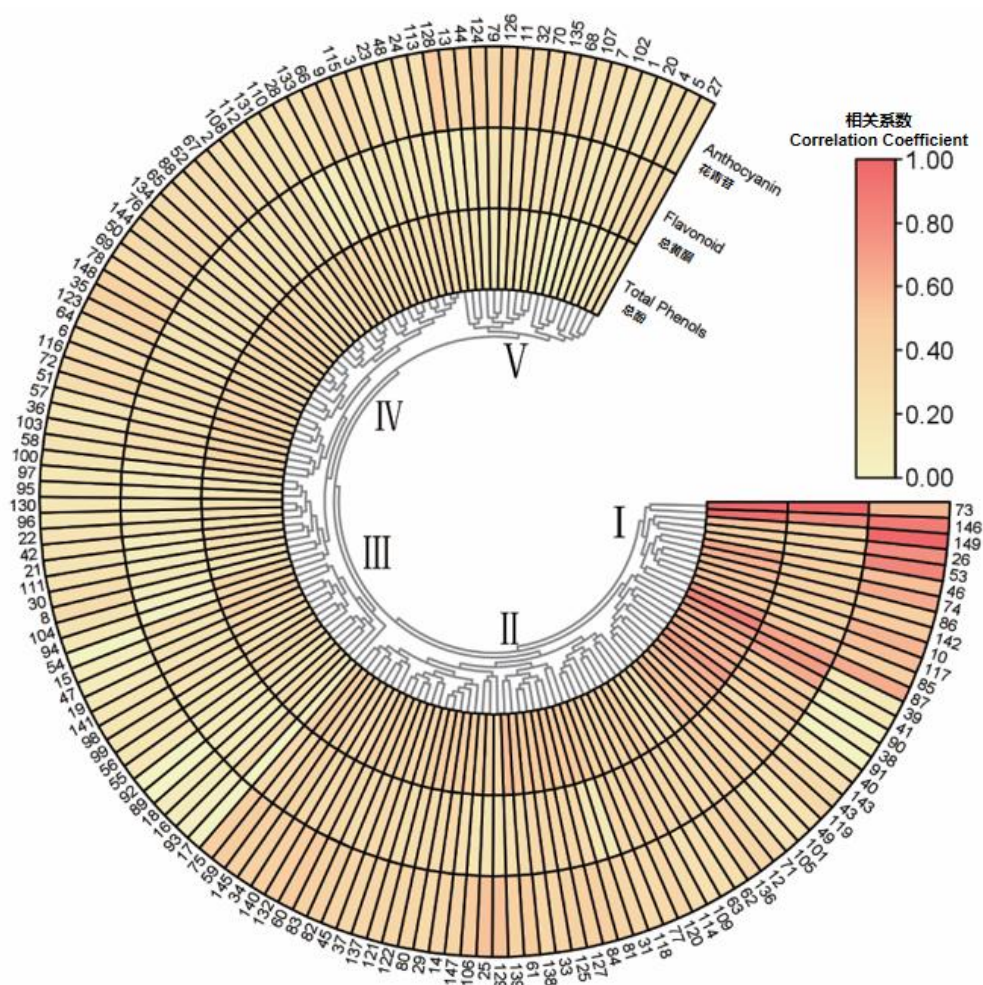


图 2 基于总酚、总黄酮、花青苷含量的 149 份山楂种质资源聚类分析

Fig.2 Cluster analysis of 149 hawthorn germplasm resources based on total phenols, flavonoid, and anthocyanin contents

第II类包括‘豫 8002’、‘百泉 7807’、‘牧狐梨-1’等 52 份山楂种质资源，总酚含量（0.980~0.327 mg/g），总黄酮含量（41.841~22.796 mg/g），花青苷含量（353.637~19.318 μg/g），变异系数为 24.7%、11.5%、34.0%。第III类包括‘紫珍珠-1’、‘超金星-1’、‘795507’等 28 份山楂种质资源，总酚含量（0.526~0.180 mg/g），总黄酮含量（26.533~19.763 mg/g），花青苷含量（193.442~19.187 μg/g），变异系数为 23.0%、7.14%、45.4%。第IV类包括‘西丰红’、‘万宝地大金星-2’、‘芦龙大山楂’等 37 份山楂种质资源，总酚含量（0.596~0.365 mg/g），总黄酮含量（26.861~21.795 mg/g），花青苷含量（256.720~110.848 μg/g），变异系数为 12.6%、5.1%、19.7%；第V类包括‘费县紫肉-1’、‘西坟 5 号’、‘松山村实生’等 19 份山楂种质资源总酚含量（0.332~0.110 mg/g），总黄酮含量（27.198~21.870 mg/g），花青苷含量（299.691~105.526 μg/g），变异系数为 25.8%、6.20%、26.1%。

第I类山楂种质资源总酚、总黄酮和花青苷含量均值最高，且根据百分位法分级建立的评价标准均属于高含量，与综合评价结果基本一致，说明两种方法准确可靠。

表 4 基于 149 份山楂种质资源总酚、总黄酮、花青苷的聚类分析

Table 4 Cluster analysis of total phenols, flavonoids, and anthocyanin in 149 hawthorn germplasm resources

分类 Clade	总酚 Total phenols			总黄酮 Flavonoids			花青苷 Anthocyanin		
	均值 ± 标准差	分布范围	变异系数	均值 ± 标准差	分布范围	变异系数	均值 ± 标准差	分布范围	变异系数
	Mean ± SD (mg/g)	Distribution (mg/g)	CV (%)	Mean ± SD (mg/g)	Distribution (mg/g)	CV (%)	Mean ± SD (μg/g)	Distribution (μg/g)	CV (%)
第I类	0.905 ± 0.318	0.557~1.531	35.100	34.626 ± 8.112	28.848~56.434	23.400	439.981 ± 132.514	293.449~720.218	30.100
第II类	0.603 ± 0.149	0.327~0.980	24.700	28.576 ± 3.300	22.796~41.841	11.500	224.628 ± 76.343	19.318~353.637	34.000
第III类	0.349 ± 0.080	0.180~0.526	23.000	22.957 ± 1.640	19.763~26.533	7.140	101.115 ± 45.945	19.187~193.442	45.400
第IV类	0.441 ± 0.056	0.365~0.596	12.600	24.547 ± 1.258	21.795~26.861	5.100	178.789 ± 35.146	110.848~256.720	19.700
第V类	0.241 ± 0.062	0.110~0.332	25.800	24.504 ± 1.523	21.870~27.198	6.200	198.170 ± 51.810	105.526~299.691	26.100

3 讨论

目前，已有许多学者对山楂资源的总酚，总黄酮，花青苷等活性物质进行研究。孙博^[25]等人对 10 种不同产地的山楂进行了总黄酮的测定，测定所得山楂的总黄酮含量范围为 16.87 至 38.61 mg/g，总黄酮含量最高为 38.61 ± 0.25 mg/g，约为总黄酮最低含量 16.87 ± 0.22 mg/g 的 2.3 倍，结果表明山楂资源总黄酮含量具有显著差异。白婧^[27]对 10 种辽宁地区主要栽培品种测定了总酚、总黄酮、花青苷含量，其结果表明 10 种山楂的总酚，总黄酮，花青苷含量具有显著差异。李培嵩^[28]测定了 51 份山楂资源的花青苷含量，其结果表明山楂资源的花青苷含量存在显著差异。本研究对 149 份山楂资源进行了总酚、总黄酮、花青苷含量的测定，其中与白婧相同的山楂资源总黄酮、花青苷含量基本一致，总酚含量结果总体上差异较大，可能是样本保存条件，实验仪器等差异导致这一结果。在相同试验方法下本研究与李培嵩^[28]测出山楂资源花青苷含量基本一致，表明本研究花青苷含量结果较为准确，具有一定重复性。

聚类分析可用于筛选优异的种质资源。张伟清^[29]等人以 8 种矿物质含量、总酚含量以及总黄酮含量聚类，筛选出各类物质含量均较高的酸橙类。张乔乔^[31]等人以总酚和总黄酮含量进行聚类分析将 142 份枣种质资源分为 5 类筛选出总酚和总黄酮含量较高的枣种质资源。白婧^[27]以山楂果实颜色、糖酸比等品质特性与山楂花色苷、黄酮含量等功能性成分进行聚类分析，将 10 种山楂资源分为 4 类，得到具有较高的功能性成分含量，如黄酮、多酚和花色苷的第 I 类和第 III 类。李培磊^[28]根据对 51 份山楂资源的色差值和果实花青苷含量进行的聚类分析，结果显示将其分为了 4 类，其中包括第 I 类花青苷含量最高和第 III 类花青苷含量较高。本研究根据总酚、总黄酮和花青苷含量进行聚类分析，将 149 份山楂种质资源分为 5 类，其中‘兴隆紫肉’在第 I 类花青苷含量均值最高，这与李培磊^[28]、白婧^[27]涉及功能性成分花青苷含量聚类结果相似，‘蒙阴大金星’在第 II 类总酚，总黄酮含量均值较高这与白婧^[27]涉及总酚，总黄酮含量聚类结果相似，并由此筛选出第 I 类总酚、总黄酮和花青苷含量均值最高。筛选出来的资源包括‘无名山楂-4’、‘野圃 8 号’、‘野生山里红-3’、‘软肉山里红 2 号’、等，这些资源在总酚、总黄酮和花青苷含量方面表现优异，为后续山楂相关研究与开发利用提供了重要依据。

百分位法作为一种常用的统计工具，在许多数据分析领域被广泛使用^[30]。张乔乔^[31]等人采用第 25、50 和 75 的百分位数对枣种质资源的总酚、总黄酮含量建立了分级标准，将总酚和总黄酮含量分为高中低等级。关于山楂总酚、总黄酮和花青苷含量的分级标准较为少见，在《作物种质资源鉴定评价技术规范 山楂》^[22]中将总黄酮含量大于 4%的山楂种质资源归为优良种质资源。常用百分数为第 25、50、75 百分数^[31]，在数据满足正态分布的情况能较好的将数据划分为不同等级，由于 149 份山楂种质资源果实总酚、总黄酮、花青苷含量的频率分布满足正偏态，常用的百分数划分可能对数据存在划分不能反映真实情况，有较多数据的值和第 25 百分数的值极为接近，二者之间的差异极小，所以在结合了频数分析的情况下将低含量值划分时采用第 10 百分数、高含量值划分时采用第 75 百分数。

隶属函数被广泛运用于简化植物评价指标的过程中，并提高评价的准确性和可靠性。李春红^[32]等人运用隶属函数将大豆 14 个指标进行综合评价对大豆品种耐荫性进行筛选，筛选出强耐荫型大豆品种 9 个。费丹^[33]等人运用隶属函数筛选出 4 个芦笋品种中最好的品种。本研究利用隶属函数对总酚、总黄酮、花青苷含量进行综合评价，根据 D 值大小排序后筛选出前 15 份资源，前 15 份资源的 D 值均大于 0.40，其中包括‘无名山楂-4’、‘野圃 8 号’、‘野生山里红-3’、‘软肉山里红 2 号’等资源，与聚类结果相似。。

4 结 论

1、研究以 149 份山楂种质资源果实为研究对象，总酚、总黄酮、花青苷的含量存在显著差异，其中总酚和花青苷含量的遗传多样性更为丰富。总酚含量最高的资源为‘野圃 8 号’（1.531 mg/g），最低的为‘桓仁向阳’（0.110 mg/g）；总黄酮含量最高的资源为‘野圃 8 号’（56.434 mg/g），最低的为‘紫珍珠’（19.763 mg/g）；花青苷含量最高的资源为‘野生山里红-4’（720.218 μg/g），最低的资源‘黄果’（19.187 μg/g）。

2、根据隶属函数值和聚类分析结果筛选出 15 份优异山楂资源种质资源，为后期筛选鲜食、加工的适宜品种及今后选育优异山楂新品种奠定基础。

3、通过百分位数法建立分级标准，从而初步形成针对山楂种质资源成熟果实总酚、总黄酮、花青苷含量的系统性评价标准。

参考文献 References:

- [1] Potter, D., Eriksson, T., Evans, R. C., Oh, S., Smedmark, J. E. E., Morgan, D. R., Kerr, M., Robertson, K. R., Arsenault, M., Dickinson, T. A., Campbell, C. S. Phylogeny and classification of Rosaceae[J]. *Plant Systematics and Evolution*, 2007, 266, 5-43.
- [2] 段志文, 王双艳, 庞旭, 张洁, 赵晔, 郑晓晖, 马百平. 山楂叶中的萜类化合物[J]. *中国中药杂志*, 2021, 46 (11): 2830-2836
DUAN Zhiwen, WANG Shuangyan, PANG Xu, ZHANG Jie, ZHAO Ye, ZHENG Xiaohui, MA Baiping. Terpenoids from leaves of Chinese hawthorn[J]. *Chinese Journal of Traditional Chinese Medicine*, 2021, 46(11): 2830-2836.
- [3] 劳永春. 山楂属种质资源形态学评价及疑似资源鉴定[D]. 沈阳农业大学, 2019.
LAO Yongchun. Morphological Evaluation and Putative Resource Identification of Crataegus Species Germplasm[D]. Shenyang Agricultural University, 2019.
- [4] 杜潇. 我国原产栽培山楂及其近缘种的种间关系及起源演化研究[D]. 沈阳农业大学, 2019.
U Xiao. Study on the Interspecies Relations and Origins, Evolution of Cultivated Hawthorn (*Crataegus* spp.) and Related Species in China[D]. Shenyang Agricultural University, 2019.
- [5] 赵焕璋, 丰宝田. 中国果树志·山楂卷[M]. 北京: 中国林业出版社, 1996.
ZHAO Huanzhu, FENG Baotian. Monograph on Chinese Fruit Trees: Volume on Hawthorn. Beijing[M]: China Forestry Publishing House, 1996.
- [6] 齐索尼. 山楂果实性状遗传多样性及果肉花色苷 HPLC 分析[D]. 沈阳农业大学, 2023.
QI Suoni. Analysis of genetic diversity and anthocyanins in hawthornfruit by HPLC[D]. Shenyang Agricultural University, 2023.
- [7] 赵玉辉, 齐索尼, 李昂轩, 赵迎汐, 马欣然, 刘月学. 基于果实表型性状的山楂种质资源遗传多样性分析[J]. *沈阳农业大学学报*, 2024, 55 (04): 395-404.
ZHAO Yuhui, QI Suoni, LI Angxuan, ZHAO Yingxi, MA Xinran, LIU Yuexue. Genetic Diversity Analysis of Hawthorn Germplasm Resources Based on Fruit Phenotypic Traits[J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2024, 55 (04): 395-404.
- [8] 秦宇, 郝瑞鑫, 李若晴, 王燕, 董宁光. 山楂种质资源表型性状多样性分析及评价[J]. *果树学报*, 2022, 39 (10): 1759-1773.
QIN Yu, HAO Ruixin, LI Ruoqing, WANG Yan, DONG Ningguang. Diversity analysis of phenotypic characters in germplasm resources of hawthorn[J]. *Journal of Fruit Science*, 2022, 39 (10): 1759-1773.
- [9] 赵瑞. 山楂种质资源性状调查与分析[D]. 河北科技师范学院, 2015.
ZHAO Rui. Traits Investigation and Analysis of Hawthorn Germplasm Resources[D]. Hebei Normal University of Science and Technology, 2015.

- [10] 沈燕琳, 董文轩, 李鲜, 孙崇德, 陈昆松. 山楂酚类物质及其生物活性研究进展[J]. 园艺学报, 2013, 40(09): 1691-1700.
- SHEN Yanlin, DONG Wenxuan, LI Xian, SUN Chongde, CHEN Kunsong. Phenolic Compounds and Their Bioactivities in Hawthorn (*Crataegus* spp.) [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2013, 40(09): 1691-1700.
- [11] 吴瞻邑, 由璐, 刘素稳, 常学东. 山楂抗心血管系统疾病的研究进展[J]. 中国食物与营养, 2019, 25 (04): 67-71.
- WU Zhanyi, YOU Lu, LIU Suwen, CHANG Xuedong. Research Advancements on Effects of Hawthorn Against Cardiovascular System Diseases [J]. *Chinese Journal of Food and Nutrition*, 2019, 25 (04): 67-71.
- [12] 陆施婷, 张晟, 陈月. 超重肥胖青壮年 2 型糖尿病中西医结合治疗概述[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2024, 26 (04): 927-933.
- U Shiting, ZHANG Sheng, CHEN Yue. The Review of Traditional Chinese and Western Medicine Treatment of Type 2 Diabetes Mellitus in Overweight Obese Young Adults [J]. *World Science and Technology - Modernization of Traditional Chinese Medicine*, 2024, 26 (04): 927-933.
- [13] 贾彬, 麦子盈, 陈启文, 覃思意, 王乐琪, 严诗楷, 李莎莎, 肖雪. 山楂药用价值与上市药品研究进展[J]. 中草药, 2023, 54 (20): 6878-6888.
- JIA Bin, MAI Ziyang, CHEN Qiwen, QIN Siyi, WANG Leqi, YAN Shikai, LI Shasha, XIAO Xue. Research progress on medicinal value of *Crataegi Fructus* and related marketed drugs [J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2023, 54 (20): 6878-6888.
- [14] 李宣, 何迎春, 周芳亮. 山楂酸药理作用及其机制的研究进展[J]. 中国现代医学杂志, 2021, 31 (08): 49-53.
- LI Xuan, HE Yingchun, ZHOU Research advances on pharmacological effects and mechanisms of maslinic acid [J]. *Chinese Journal of Modern Medicine*, 2021, 31 (08): 49-53.
- [15] 祖齐欣, 王勇, 刘素稳, 徐永平, 李淑英, 王淑玉, 常学东. 不同提取方式对山楂果渣可溶性膳食纤维结构及功能特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50 (09): 164-173.
- ZU Qixin, WANG Yong, LIU Suwen, XU Yongping, LI Shuying, WANG Shuyu, CHANG Xuedong. Effects of Different Extraction Methods on the Structure and Functional Properties of Soluble Dietary Fiber from Hawthorn Pomace[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2024, 50 (09): 164-173.
- [16] 赵盈, 於天, 郑志刚, 陈位三, 弓思涵, 宋天宝, 李先宽, 於洪建. 多酚在植物中的分布及其生物活性研究进展[J]. 中草药, 2023, 54 (17): 5825-5832.
- HAO Ying, YU Tian, ZHENG Zhigang, CHEN Weisan, GONG Sihan, SONG Tianbao, LI Xiankuan, YU Hongjian. Research progress on distribution and bioactivity of polyphenols in plants [J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2023, 54 (17): 5825-5832.
- [17] 庄维兵, 刘天宇, 束晓春, 渠慎春, 翟恒华, 王涛, 张凤娇, 王忠. 植物体内花青素苷生物合成及呈色的分子调控机制[J]. 植物生理学报, 2018, 54 (11): 1630-1644.
- HUANG Weiping, LIU Tianyu, SHU Xiaochun, QU Shenchun, ZHAI Henghua, WANG Tao, ZHANG Fengjiao, WANG Zhong. The molecular regulation mechanism of anthocyanin biosynthesis and coloration in plants [J]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2018, 54 (11): 1630-1644.
- [18] 陈奕琳, 崔梦凡, 马晨阳, 荀天卓, 贾凯, 李雯雯. 不同杏品种成熟期果实生长指标、总酚含量及总黄酮含量的比较[J]. 江苏农业科学, 2024, 52 (15): 208-213.
- HEN Yilin, CUI Mengfan, MA Chenyang, XUN Tianzhuo, JIA Kai, LI Wenwen. Comparison of fruit growth indicators, total phenols content and total flavonoids content of different apricot varieties at maturity stage [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2024, 52 (15): 208-213.
- [19] 杨迎东, 王伟东, 张睿琪, 冯秀丽, 白一光, 杨盼盼, 周俐宏, 李雪艳, 胡新颖. 不同百合食用药用功能指标检测分析[J]. 沈阳农业大学学报, 2024, 55 (04): 45-50.

- 2024, 55 (03): 276-284.
- YANG Yingdong, WANG Weidong, ZHANG Ruiqi, FENG Xiuli, BAI Yiguang, YANG Panpan, ZHOU Lihong, LI Xueyan, HU Xinying. Detection and Analysis of Functional Indexes for Food and Medicine of Different Lilies[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2024, 55 (03): 276-284.
- [20] 徐子媛, 严娟, 蔡志翔, 孙滕, 宿子文, 沈志军, 马瑞娟, 俞明亮. 桃果实糖酸和酚类物质与口感风味的相关性[J]. 江苏农业学报, 2022, 38 (01): 190-199.
- XU Ziyuan, YAN Juan, CAI Zhixiang, SUN Meng, SU Ziweng, SHEN Zhijun, MA Ruijuan, YU Mingliang. Correlation between Soluble Sugar, Organic Acid, and Phenolic Substances with Tasted Flavor in Peach Fruit[J]. Jiangsu Agricultural Journal, 2022, 38 (01): 190-199.
- [21] 张春丹. 山楂贮存期间黄酮含量变化及抗氧化活性的研究[D]. 河北科技师范学院, 2012.
- ZHANG Chundan. Studies on Changes of Flavonoids Content of Hawthorn Fruit During Storage and Their Antioxidant Activities [D]. Hebei University of Science and Technology, 2012.
- [22] NY/T 2325-2013, 农作物种质资源鉴定评价技术规范 山楂[S].
- NY/T 2325-2013, Technical code for evaluating crop germplasm resources—Hawthorn (*Crataegus L.*) [S]
- [23] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2017: 50-51.
- CAO Jiankang, JIANG Weibo, ZHAO Yumei. Experimental Guidance on Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2017: 50-51.
- [24] 谢志坚. 农业科学中的模糊数学方法[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1983: 99-193.
- XIE Zhijian. Fuzzy Mathematical Methods in Agricultural Science[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 1983: 99-193.
- [25] 陈颖, 马禹. 新疆不同等级暴雨洪涝灾害的时空变化特征[J]. 干旱区地理, 2021, 44 (06): 1515-1524.
- CHEN Ying, MA Yu. Spatial and temporal characteristics of flood and rainstorm disaster in Xinjiang[J]. Arid Land Geography, 2021, 44(6): 1515-1524.
- [26] 孙博, 霍华珍, 蔡爱华, 谢运昌, 李典鹏. 不同产地大果山楂总黄酮含量及抗氧化活性[J]. 广西科学, 2020, 27 (04): 356-361.
- UN Bo, HUO Huazhen, CAI Aihua, XIE Yunchang, LI Dianpeng. Total Flavonoids Content and Antioxidant Activity of *Malus doumeri* Fruit from Different Producing Areas [J]. Guangxi Sciences, 2020, 27 (04): 356-361.
- [27] 白婧. 辽宁主栽山楂品种特征差异与主要功能性成分研究[D]. 沈阳农业大学, 2020.
- BAI Jing. Study on the variety characteristics and functional components of cultivated hawthorn [D]. Shenyang Agricultural University, 2020.
- [28] 李培磊, 孙馨宇, 王键, 付东旭, 董文轩, 刘月学, 张泉. 山楂种质资源果实颜色与花青苷含量的关系[J]. 植物遗传资源学报, 2024, 25 (01): 72-83.
- LI Peihao, SUN Xinyu, WANG Jian, FU Dongxu, DONG Wenxuan, LIU Yuexue, ZHANG Xiao. Relationship of Fruit Color and Anthocyanin Content of Hawthorn Germplasm Resources [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2024, 25 (01): 72-83.
- [29] 张伟清, 林媚, 平新亮, 王伟, 冯先橘, 姚周麟, 王天玉. 柑橘果实矿质元素、活性物质含量特征及综合评价[J]. 果树学报, 2024, 41 (08): 1592-1603.
- HANG Weiqing, LIN Mei, PING Xinliang, WANG Wei, FENG Xianju, YAO Zhoulin, WANG Tianyu. A comprehensive evaluation of mineral elements and active substances in citrus fruits [J]. Journal of Fruit Science, 2024, 41 (08): 1592-1603.
- [30] 徐万玲. 氮沉降、放牧和极端降水对羊草草地 N₂O 排放的影响机制研究[D]. 东北师范大学, 2021.

- XU Wanling. Study on effects of nitrogen deposition, grazing and extreme precipitation on N₂O emissions in a *Leymus chinensis* meadow[D]. Northeast Normal University, 2021.
- [31] 张乔乔, 王艳, 刘经延, 张乐乐, 吴翠云. 142 份枣种质资源果实黄酮和总酚含量的差异分析[J]. 分子植物育种, 1-22.
- ZHANG Qiaoqiao, WANG Yan, LIU Jingyan, ZHANG Lele, WU Cuiyun. Analysis on the Difference of Flavonoids and Total Phenols in 142 Jujube Fruits [J]. Molecular Plant Breeding, 1-22.
- [32] 李春红, 姚兴东, 鞠宝韬, 朱明月, 王海英, 张惠君, 敖雪, 于翠梅, 谢甫绀, 宋书宏. 不同基因型大豆耐荫性分析及其鉴定指标的筛选[J]. 中国农业科学, 2014, 47 (15): 2927-2939.
- I Chunhong, YAO Xingdong, JU Baotao, ZHU Mingyue, WANG Haiying, ZHANG Huijun, AO Xue, YU Cuimei, XIE Futai, SONG Shuhong. Analysis of Shade - Tolerance and Determination of Shade - Tolerance Evaluation Indicators in Different Soybean Genotypes[J]. Chinese Agricultural Science, 2014, 47 (15): 2927-2939.
- [33] 费丹, 谢敏, 徐俊, 周瑶敏, 广业兰, 汤泳萍, 涂田华, 熊晓晖. 基于主成分分析和隶属函数法对不同品种芦笋品质的综合评价[J]. 江西农业学报, 2024, 36 (04): 33-39.
- EI Dan, XIE Min, XU Jun, ZHOU Yaomin, GUANG Yelan, TANG Yongping, TU Tianhua, XIONG Xiaohui. Comprehensive Quality Evaluation of Different Varieties of Asparagus Based on Principal Component Analysis and Membership Function Analysis [J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2024, 36 (04): 33-39.