

文冠果药用优良无性系评价

戚亚¹, 王改萍^{1*}, 轩辕欣彤¹, 彭大庆², 李硕民², 李守科³, 曹福亮¹

(1. 南京林业大学, 南方现代林业协同创新中心, 江苏 南京 210037; 2. 盐城林场, 江苏 盐城 224049;
3. 山东沃奇农业开发有限公司, 山东 潍坊 261000)

摘要:【目的】分析文冠果(*Xanthoceras sorbifolium*)无性系间表型性状、叶用成分及相关酶活性的变异程度和相关关系,开展综合评价,为优良叶用文冠果无性系的定向培育、引种推广提供科学依据。【方法】以引种到江苏盐城林场的23个文冠果无性系为研究对象,通过比较其变异系数分析表型性状、叶用成分及相关酶活性的变异程度,采用Pearson相关系数评价表型性状间、叶用成分及相关酶活性间的相关关系,运用主成分分析、系统聚类法对各无性系进行综合评价和分类。【结果】参试文冠果无性系的15个指标存在不同程度的变异,变异范围为6.17%~43.00%。表型性状间、叶用成分及相关酶活性间共有9对指标呈极显著相关($P<0.01$),5对指标呈显著相关($P<0.05$)。【结论】参试文冠果无性系的叶性状在各无性系间存在丰富变异,筛选潜力大。本研究筛选出的优良无性系为50、Y8和Y11,可在盐城地区进一步推广栽培。

关键词:文冠果;无性系;表型性状;活性成分;综合评价

中图分类号:S722

文献标志码:A

文章编号:1000-2006(2025)02-0038-07

Evaluation of medicinal asexual strains of *Xanthoceras sorbifolium*

QI Ya¹, WANG Gaiping^{1*}, XUANYUAN Xintong¹, PENG Daqing²,
LI Shuomin², LI Shouke³, CAO Fuliang¹

(1. Co-Innovation Center for Sustainable Forestry in Southern China, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 2. Jiangsu Yancheng Forest Farm, Yancheng 224049, China; 3. Shandong Woqi Agricultural Development Co. Ltd., Weifang 261000, China)

Abstract: 【Objective】 This study aimed to evaluate the variation in phenotypic traits, leaf nutrient content, and enzyme activities among 23 clonal lines of *Xanthoceras sorbifolium*, and to examine their interrelations. The findings aim to provide a scientific foundation for the targeted cultivation, introduction and promotion of superior clonal lines of leaf-use *X. sorbifolium*. 【Method】 Twenty-three clonal lines of *X. sorbifolia*, introduced to Yancheng Forest Farm in Jiangsu Province, were used as research subjects. Variation was assessed by analyzing the coefficient of variation across 15 key indicators. Pearson correlation coefficients were calculated to determine the relationships between phenotypic traits, leaf nutrients and enzyme activities. Principal component analysis and hierarchical clustering were applied to comprehensively evaluate and classify the clonal lines. 【Result】 The 15 indicators exhibited varying degrees of variation, with coefficients ranging from 6.17% to 43.00%. Significant correlations were identified: nine pairs of indicators showed extremely significant correlations ($P<0.01$), while five pairs demonstrated significant correlations ($P<0.05$). 【Conclusion】 Leaf traits among the clonal lines of *X. sorbifolium* display substantial variation, indicating strong potential for selective improvement. The superior clonal lines identified were 50, Y8 and Y11, which are recommended for further cultivation and introduction in the Yancheng region.

Keywords: *Xanthoceras sorbifolium*; clone; phenotypic character; active ingredient; comprehensive evaluation

文冠果(*Xanthoceras sorbifolium*)是无患子科小乔木,主要分布在中国东北、西北和华北地区。
(Sapindaceae)文冠果属(*Xanthoceras*)落叶灌木或文冠果耐旱、耐贫瘠,适应性强,是中国北方沙区防

收稿日期 Received: 2023-12-20

修回日期 Accepted: 2024-03-25

基金项目:国家重点研发计划(2017YFD0601301);江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)。

第一作者:戚亚(1579700192@qq.com)。*通信作者:王改萍(905181635@qq.com),副教授。

引文格式:戚亚,王改萍,轩辕欣彤,等. 文冠果药用优良无性系评价[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2025, 49(2): 38-44. QI Y, WANG G P, XUANYUAN X T, et al. Evaluation of medicinal asexual strains of *Xanthoceras sorbifolium*[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2025, 49(2): 38-44. DOI: 10.12302/j.issn.1000-2006.202312020.

风固沙和生态建设的重要木本油料树种^[1]。同时,文冠果叶富含黄酮、多酚和皂苷类等多种活性成分,加工后可作为茶饮,具有强心、降压、降血脂^[2]、抗癌、抗炎、抗氧化^[3]和改善学习记忆能力^[4]等功效;其根、茎、叶、花、果实均可入药,能祛风湿、消肿止痛^[5],具有重要的药用价值。

目前,关于文冠果的研究多集中在果实和叶片上。其中,针对果实主要在果实油料提取^[6-7]、种仁黄酮类成分检测^[8]、不同种源种实性状差异分析及单株选育^[9-10]等方面。前人分别对文冠果叶黄酮^[11]、多酚^[12]、皂苷类^[13]物质的提取工艺进行了优化,并验证了其抗氧化活性^[11-12]和减肥降脂^[13]功效。如路瑾等^[14]利用 UPLC-QTOF-MS 法同时测定春季文冠果叶中 11 种黄酮类化合物的含量;姜鑫等^[1]比较分析了 495 株文冠果叶中黄酮类成分的差异,筛选出所有样树中黄酮类成分总含量最高的 3 个单株;苏泾涵^[15]通过测定不同时间段文冠果单株的相关指标,比较分析了其表型特征、药用成分及其抗氧化活性物质间的差异,并初步对不同单株文冠果进行了综合评价与筛选。综上,关于叶片的研究主要集中在药用物质提取工艺优化、生理活性研究以及优良种源选育等方面,而综合其生长表型特征、叶片药用成分及相关酶活性

的评价和选育研究鲜有报道。本研究以 23 个文冠果无性系为对象,对其苗高、地径、冠幅、叶表型及其活性成分含量等指标进行测定,分析不同无性系间表型特征、叶片药用成分及相关酶活性的差异,综合评价各无性系的生长表型与活性成分,以期为叶用文冠果良种选育、引种推广和开发利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验地位于江苏省盐城市盐城林场(119°27'~120°54'E,32°34'~34°28'N),该地属亚热带季风气候,年均气温 13.9~14.5℃,年降水量 980~1 100 mm。供试材料为 4 年生嫁接苗,砧木来源于同一优良无性系,接穗来源于大树的当年生枝条,母树年龄 10~15 a,树高 2.0~3.5 m,胸径 10~20 cm,树冠 2.5~4.0 m。参试的 23 个无性系来源情况见表 1,除了 7 号 F1 为观花系外,其余均为丰产系。各无性系按完全随机区组排列,设 3 个区组,每小区 10 株。苗木栽植密度为 3 m×4 m,采用高垄种植,中间设有排水沟,深度为 50~60 cm。采用相同的土、肥、水等抚育管理措施。

表 1 供试文冠果无性系名称及来源地

Table 1 The name and source of the test *Xanthoceras sorbifolium* clones

编号 No.	名称 name	来源地 source	编号 No.	名称 name	来源地 source	编号 No.	名称 name	来源地 source
1	Y11	陕西省延安市	9	Y23-1	内蒙古乌拉特前旗	17	Y15	山西吕梁山脉
2	50	陕西省延安市	10	20	内蒙古乌拉特前旗	18	Y34	山西吕梁山脉
3	24	陕西省延安市	11	46	内蒙古乌拉特前旗	19	Y4	山西吕梁山脉
4	Y14-2	陕西省延安市	12	Y1	内蒙古乌拉特前旗	20	Y2	山西吕梁山脉
5	22	内蒙古乌拉特前旗	13	Y30	内蒙古乌拉特前旗	21	Y28	山西吕梁山脉
6	Y8	内蒙古乌拉特前旗	14	Y37	山西吕梁山脉	22	48	山西吕梁山脉
7	F1	内蒙古乌拉特前旗	15	Y35	山西吕梁山脉	23	Y31	山西吕梁山脉
8	Y32	内蒙古乌拉特前旗	16	Y38	山西吕梁山脉			

1.2 样品采集

叶片采集时间为 2022 年 6 月 15 日(此时叶片已经完全展开,为成熟叶),同时测量苗高、地径和冠幅。每个无性系选取 3 株生长状况良好、无明显病虫害的苗,3 次重复。每次采集植株中上部成熟复叶 20 片,保证复叶完整,一个封口塑料袋放入 1 片复叶。做好标记后,一部分放入冰盒用于表型数据测定,另一部分放入液氮罐以测定其酶活性。将样品带回实验室洗净,立即进行表型数据测定,

而后用 60℃ 恒温干燥箱烘干,粉碎后过 60 目(孔径 0.25 mm)筛备用;其余样品于-80℃ 冰箱待测。

1.3 指标测定

1.3.1 表型数据测定

分别用卷尺、数显游标卡尺测量苗高(plant height, PH)、冠幅(crown width, CW)、地径(ground diameter, GD)、叶片厚度(blade thickness, BT)。使用 EPSON 扫描仪扫描复叶,利用 Photoshop CS6 计

算单个复叶面积(compound leaf area,CLA)及其小叶数(eaflet number,EN);用分析天平称量鲜叶质量(fresh leaf weight,FLW,以每 100 片小叶质量计)。

1.3.2 活性成分含量及抗氧化能力测定

准确称取 0.2 g 样品,包于脱脂滤纸中,参考最优提取工艺,加入一定浓度的乙醇溶液,在一定的提取温度、提取时间、料液比、体积分数乙醇的条件下进行提取,所得滤液即为待测液。采用硝酸钠-硝酸铝比色法^[16]测定总黄酮(total flavonoids,TF)含量;采用福林酚法^[17]测定总多酚(total polyphenol,TP)含量;采用香草醛-高氯酸比色法^[13]测定总皂苷(total saponin,TS)含量;DPPH 自由基(DPPH·)、ABTS 自由基(ABTS·)清除率的测定参考杨眷俪等^[18]的方法。

1.3.3 苯丙烷代谢酶活性测定

参考章雷^[19]、徐友^[20]的方法测定叶片苯丙氨酸解氨酶(phenylalanineammonialyase,PAL)、肉桂酸羟化酶(cinnamate4-hydroxylase,C4H)、4-香豆酰-CoA 合成酶(4-coumarin-CoAsynthetase,4CL)活性。

1.4 数据处理

运用 Excel、SPSS 等进行数据统计和图表绘

制。采用加权综合得分法进行各无性系间生长表型与活性成分含量的综合评价。

2 结果与分析

2.1 文冠果无性系变异分析

对 23 个文冠果参试无性系的 15 个指标进行统计分析,结果(表 2)表明:苗高、地径、复叶面积最大的均为 20 号 Y2 无性系,苗高、地径、小叶数最小的均为 16 号 Y38 无性系;7 个表型指标表现出了不同层次的变异,变异系数表现为复叶面积>鲜叶质量>地径>冠幅>苗高>小叶数>叶片厚度。总多酚含量、总皂苷含量、4CL 活性、DPPH·清除率、ABTS·清除率最大的无性系均为 2 号 50 无性系,总黄酮含量、PAL 活性最小的无性系均为 17 号 Y15 无性系;8 个叶用成分及相关酶活性指标变异程度各异,变异系数表现为 PAL 活性>4CL 活性>总皂苷含量>C4H 活性>ABTS·清除率>总黄酮含量>总多酚含量>DPPH·清除率。

表 2 参试的 23 个文冠果无性系各指标变异情况

Table 2 Variation in various indexes of 23 *X. sorbifolium* clones

指标 index	变异范围 variation range	均值 average	标准差 SD	变异系数/% CV	指标值最小 无性系 min clone	指标值最大 无性系 max clone
苗高/cm PH	161.50~250.70	220.56	24.18	10.96	Y38	Y2
地径/mm GD	21.27~41.37	34.59	5.74	16.60	Y38	Y2
冠幅/cm CW	103.32~177.70	137.36	19.30	14.05	24	Y4
复叶面积/cm ² CLA	38.38~76.18	55.71	11.92	21.40	24	Y2
叶片厚度/mm BT	0.29~0.36	0.33	0.02	6.17	Y11	Y14-2
小叶数 EN	15.00~18.33	16.35	1.07	6.20	Y11、Y34、50、Y38	48
鲜叶质量/g FLW	4.31~8.30	6.39	1.11	17.41	Y28	Y35
总黄酮质量分数/(mg·g ⁻¹) TF content	41.12~60.59	49.72	5.82	11.71	Y15	24
总多酚质量分数/(mg·g ⁻¹) TP content	18.90~29.15	22.95	2.54	11.05	Y31	50
总皂苷质量分数/(mg·g ⁻¹) TS content	93.14~269.61	161.99	40.49	25.00	Y35	50
PAL 活性/(U·min ⁻¹ ·g ⁻¹) PAL activities	12.57~45.67	25.61	11.02	43.00	Y15	Y32
C4H 活性/(U·min ⁻¹ ·g ⁻¹) C4H activities	113.78~236.00	158.97	34.07	21.43	Y23-1	Y15
4CL 活性/(U·min ⁻¹ ·g ⁻¹) 4CL activities	216.30~1 340.15	803.73	318.91	39.68	Y2	50
DPPH·清除率/% DPPH· clearance rate	69.03~94.83	83.68	0.07	8.13	22	50
ABTS·清除率/% ABTS· clearance rate	57.49~97.24	72.73	0.09	12.75	Y14-2	50

2.2 文冠果无性系各指标间的相关性分析

2.2.1 表型指标特征间的相关性

对 7 个表型指标的相关性分析表明:地径与苗高极显著正相关($P<0.01$),相关系数为 0.571;

地径与冠幅显著正相关($P<0.05$),相关系数为 0.428;复叶面积与鲜叶质量显著正相关($P<0.05$),相关系数为 0.417;其他指标间相关性均不显著(表 3)。

表 3 参试 23 个文冠果无性系表型指标间的 Pearson 相关性
Table 3 Pearson's correlation among phenotypic indices of 23 *X. sorbifolium* clones

指标 index	苗高 PH	地径 GD	冠幅 CW	复叶面积 CLA	叶片厚度 BT	小叶数 EN	鲜叶质量 FLW
苗高 PH	1						
地径 GD	0.571 **	1					
冠幅 CW	0.386	0.428 *	1				
复叶面积 CLA	0.162	0.235	0.325	1			
叶片厚度 BT	0.085	0.152	0.060	0.402	1		
小叶数 EN	-0.150	0.180	0.202	0.168	0.280	1	
鲜叶质量 FLW	-0.090	0.100	-0.013	0.417 *	0.233	0.163	1

注:*, $P<0.05$, ** , $P<0.01$ 。下同。The same below.

2.2.2 叶用成分及相关酶活性间的相关性

对 8 个叶用成分及相关酶活性指标的相关性分析表明:总多酚含量与总黄酮含量、总皂苷含量、DPPH·清除率、ABTS·清除率极显著正相关($P<0.01$),总黄酮含量与ABTS·清除率,总皂苷含量与

DPPH·清除率、ABTS·清除率,以及 DPPH·清除率与 ABTS·清除率之间极显著正相关($P<0.01$);总黄酮含量与 DPPH·自由基清除率,C4H 活性与总皂苷含量、ABTS·清除率显著正相关($P<0.05$),其他指标间相关性均不显著(表 4)。

表 4 参试 23 个文冠果无性系叶用成分含量及相关酶活性间的 Pearson 相关性

指标 index	总黄酮 TF	总多酚 TP	总皂苷 TS	PAL	C4H	4CL	DPPH·	ABTS·
总黄酮 TF	1							
总多酚 TP	0.570 **	1						
总皂苷 TS	0.159	0.568 **	1					
PAL	0.039	-0.279	-0.296	1				
C4H	0.238	0.265	0.496 *	-0.169	1			
4CL	0.400	0.400	0.250	0.040	0.285	1		
DPPH·	0.473 *	0.660 **	0.573 **	0.165	0.362	0.199	1	
ABTS·	0.558 **	0.705 **	0.628 **	0.008	0.456 *	0.316	0.853 **	1

2.3 文冠果无性系核心评价指标的主成分分析

药用植物选育的最终目标是尽可能多地提供药用物质,叶的生长量、形态和药用物质含量是评价叶用树种药用价值优劣的重要依据。根据相关性分析结果及选育目标,将冠幅、复叶面积、叶片厚度、鲜叶质量、总黄酮含量、总多酚含量和总皂苷含量 7 个指标作为核心评价指标进行主成分分析,结果(表 5)可知,决定第 1 主成分的主要是总多酚含量、总皂苷含量和复叶面积,决定第 2 主成分的主要是叶片厚度和总黄酮含量,决定第 3 主成分的主要是冠幅,决定第 4 主成分的主要是鲜叶质量。前 4 个主成分累积方差贡献率达 83.339%,能反映原有性状的大部分信息,故选择前 4 个主成分进行综合评价。分别计算每个无性系的 4 个主成分得分,根据所选主成分的贡献率对主成分得分进行加权平均,求得主成分综合得分(表 6)。由表 6 可以看出:23 个无性系综合排名由高到低依次为 50、24、F1、Y8、Y11、Y2、Y28、Y4、46、Y37、Y30、Y35、

Y34、22、Y38、Y15、Y14-2、20、48、Y32、Y23-1、Y31、Y1。

表 5 文冠果无性系 7 个核心指标的主成分分析结果

Table 5 Results of principal component analysis(PCA) of seven core indices in <i>X. sorbifolium</i> clones				
项目 item	PC1	PC2	PC3	PC4
总多酚含量 TP content	0.789	0.404	0.310	0.061
总皂苷含量 TS content	0.675	0.355	-0.402	0.306
复叶面积 CLA	-0.661	0.523	0.016	0.150
叶片厚度 BT	-0.327	0.618	-0.296	0.447
总黄酮含量 TF content	0.429	0.614	0.386	-0.356
冠幅 CW	-0.421	0.097	0.792	0.293
鲜叶质量 FLW	-0.456	0.510	-0.239	-0.584
特征值 genvalue	2.191	1.590	1.179	0.873
贡献率/% contribution rate	31.293	22.720	16.848	12.478
累积贡献率/% cumulative contribution rate	31.293	54.013	70.861	83.339

表 6 文冠果无性系 7 个核心指标的综合评价得分
Table 6 Comprehensive evaluation scores of seven core indices of *X. sorbifolium* clones

无性系 clone	得分 score				
	PC1	PC2	PC3	PC4	综合 aggregate
Y11	1.439	-1.231	2.101	-0.649	0.444
50	2.050	3.411	-0.524	0.240	1.358
24	3.374	0.884	-0.469	-1.232	1.024
Y14-2	-1.145	-0.341	-0.643	1.068	-0.411
22	-1.451	-0.599	1.238	0.772	-0.285
Y8	0.587	-0.217	1.108	1.327	0.487
F1	2.140	-0.872	0.611	0.418	0.626
Y32	-1.594	0.786	-1.022	-0.090	-0.503
Y23-1	-1.184	0.092	-1.209	-0.661	-0.636
20	-1.545	0.677	-0.389	-0.567	-0.466
46	-0.225	-0.030	0.794	0.532	0.123
Y1	-0.452	-1.255	-1.279	-1.186	-0.790
Y30	-0.006	0.496	-0.351	-0.056	0.045
Y37	-0.281	1.406	-0.846	0.004	0.089
Y35	-1.372	1.611	1.372	-1.496	-0.019
Y38	0.944	-1.843	-0.609	-0.611	-0.302
Y15	1.162	-2.048	-1.275	0.038	-0.312
Y34	0.441	-1.014	0.887	-0.638	-0.023
Y4	-0.749	0.283	2.421	-0.544	0.170
Y2	-0.576	1.304	-0.128	2.076	0.353
Y28	0.693	-0.617	-0.016	1.620	0.276
48	-1.028	0.314	-0.780	-0.814	-0.483
Y31	-1.222	-1.199	-0.993	0.450	-0.766

2.4 基于核心评价指标的文冠果无性系聚类
利用欧氏距离对 23 个无性系文冠果叶的 7 个

表 7 各类群文冠果无性系 7 个核心指标的平均值

Table 7 Mean values of seven core indicators for each population of *X. sorbifolia* clones

聚类群 cluster	冠幅/cm CW	复叶面积/cm ² CLA	叶片厚度/mm BT	鲜叶质量/g FLW	总黄酮 质量分数/ (mg·g ⁻¹) TF content	总多酚 质量分数/ (mg·g ⁻¹) TP content	总皂苷质量分数/ (mg·g ⁻¹) TS content
I	128.83	57.95	0.35	7.40	60.24	29.15	269.61
II	130.14	55.59	0.33	6.25	49.77	23.28	190.42
III	143.01	55.63	0.32	6.41	48.87	22.24	134.04

3 讨 论

变异是林木遗传改良的重要研究内容,变异系数越大,品种改良时选择的潜力就越大^[21]。本研究对 23 个文冠果无性系的 15 个指标变异系数大小进行分析,各性状变异系数为 6.17%~43.00%,变异幅度较大。其中,总皂苷质量分数(25.00%)的改良潜力大于总黄酮质量分数(11.71%)及总多

核心评价指标进行聚类分析,23 个文冠果无性系可以分为 3 个类群(图 1),各类群 7 个性状的平均值见表 7。其中:表 1 中 2 号无性系 50 的复叶面积大,叶片厚,鲜叶质量大,总黄酮、总多酚和总皂苷含量高,冠幅处于中等水平,整体性状表现为较高水平,单独被聚为第 I 类,为丰产优质型无性系;第 II 类群有 9 个无性系,包括 10 号、14 号、9 号、13 号、7 号、21 号、20 号、17 号和 3 号,该类群复叶面积和鲜叶质量较低,其他性状处于中等水平,为普通型无性系。其余无性系被聚为第 III 类,该类群冠幅较大,叶片厚较小,总黄酮、总多酚和总皂苷含量较低,其他性状处于中等水平,为大冠幅型无性系。

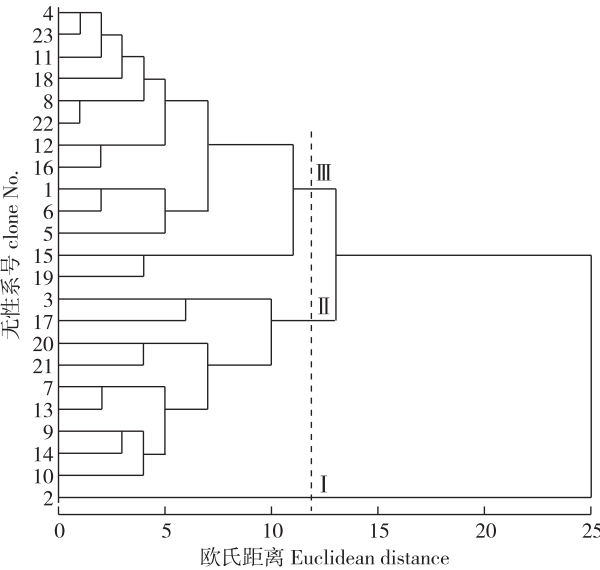


图 1 基于 7 个核心指标的文冠果无性系聚类结果

Fig. 1 Clustering of *X. sorbifolium* clones based on seven core indexes

酚质量分数(11.05%),这与田力等^[22]的研究结果一致。表型指标中复叶面积变异系数最大(21.40%),因此,在文冠果无性系叶用资源的选育中,可将复叶面积作为评价选育潜力的首要指标。

董乐等^[23]对浙江红花油茶(*Camellia chekiangoleosa*)优株进行了筛选,提出要根据相关关系来综合考量性状的重要性。当对相关性极强

的性状组进行选择时,其中一个性状的改良会同时影响其他性状目标^[24],故可将相关性强的性状作为整体进行新品种选育^[25]。本研究分析了供试文冠果无性系的表型性状间、叶活性成分含量间的相关性,结果表明:苗高、地径与复叶面积、叶片厚、鲜叶质量之间相关性均不显著。王海峰等^[26]调查了5个种源的青钱柳(*Cyclocarya paliurus*)幼树生长特性与叶片性状,发现其苗高、地径与叶面积和叶片厚度相关性均不显著,与本研究结论一致。本研究发现黄酮、多酚类物质含量之间呈极显著正相关,这是因为多酚、类黄酮可能来自一个共同的前体物质——肉桂酸,而多酚、类黄酮在生物合成、运输、积累等方面有一定的相关性^[27]。作为黄酮类化合物合成通路上游的3个关键酶, PAL、C4H、4CL的活性对其积累具有重要意义。本研究中总黄酮含量与这3种苯丙烷代谢酶活性之间相关性均不显著,这是因为不同的组织里有多种同工酶,且定位于不同的组织细胞中,控制不同的代谢途径。因此,这3种酶活性并不简单地与特定次生代谢产物呈正相关,而是在不同的阶段以不同的代谢途径为主^[28]。本研究中总黄酮、总多酚、总皂苷含量与清除 DPPH·、ABTS·的能力之间均存在显著或极显著的正相关关系,这与杨眷俪等^[18]、谭天宇等^[29]的结论相似。因此,在今后的文冠果药用优良无性系选育工作中,可将复叶面积与鲜叶质量,总黄酮、总多酚与总皂苷含量整体进行考虑。

将主成分分析和聚类分析相结合,是在多性状联合控制育种研究中应用最普遍和有效的方法^[30],目前在李^[31](*Prunus salicina*)、杏^[32](*Prunus armeniaca sibirica*)、杜仲^[33](*Eucommia ulmoides*)和宽皮柑橘^[34](*Citrus sinensis*)等多个树种的研究中均有运用。本研究通过主成分分析加权综合得分法筛选出6个药用成分含量较高且冠幅较大的文冠果无性系,分别为W2、24、F1、Y8、W1和Y2,可用于药用文冠果开发及叶用文冠果园选种。聚类分析将23个无性系分为3类:第Ⅰ类为高药用成分型,第Ⅲ类为大冠幅型,其余无性系聚为第Ⅱ类。在今后的育种工作中,可采用嫁接、杂交育种等技术培育药用成分含量高且冠幅大的新品种。

限于试验条件,本研究中仅测定了1个时期的数据,样本量较少,并且用来评价药用价值的指标因子偏少,在后续研究中将进一步丰富样本量和评价指标数量,以期能为叶用文冠果的高效选育提供参考。

参考文献(reference):

- [1] 姜鑫,房安石,赵振,等.不同产地文冠果叶片黄酮类成分差异[J].经济林研究,2023,41(1):292-300. JIANG X, FANG A S, ZHAO Z, et al. Differences of flavonoids in the leaves of *Xanthoceras sorbifolium* Bunge growing in different regions[J]. Non Wood For Res, 2023, 41(1): 292-300. DOI: 10.14067/j.cnki.1003-8981.2023.01.030.
- [2] 刘湘,汪秋安.天然产物化学[M].北京:化学工业出版社,2005. LIU X, WANG Q A. Natural products chemistry [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.
- [4] JIAO Q, ZOU L B, LIU P, et al. Xanthoceraside induces apoptosis in melanoma cells through the activation of caspases and the suppression of the IGF-1R/Raf/MEK/ERK signaling pathway[J]. J Med Food, 2014, 17(10): 1070-1078. DOI: 10.1089/jmf.2013.3035.
- [4] JI X F, CHI T Y, LIU P, et al. The total triterpenoid saponins of *Xanthoceras sorbifolia* improve learning and memory impairments through against oxidative stress and synaptic damage[J]. Phytomedicine, 2017, 25: 15-24. DOI: 10.1016/j.phymed.2016.12.009.
- [5] 张育松,郭素枝,韦勤,等.文冠果叶茶制作工艺及保健功效[J].福建茶叶,2016,38(3):26,79. ZHANG Y S, GUO S Z, WEI Q, et al. Preparation technology and health care effect of *Xanthoceras sorbifolia* leaf tea[J]. Tea Fujian, 2016, 38(3): 26, 79. DOI: 10.3969/j.issn.1005-2291.2016.03.015.
- [6] YANG N, JIN Y M, LI D D, et al. Development of a series-parallel reaction system for rapid aqueous extraction of seed oil from yellow horn at mild condition[J]. Food Bioprod Process, 2017, 102: 144-152. DOI: 10.1016/j.fbp.2016.12.010.
- [7] ZHANG Y, MA J N, MA C L, et al. Simultaneous quantification of ten constituents of *Xanthoceras sorbifolia* Bunge using UHPLC-MS methods and evaluation of their radical scavenging, DNA scission protective, and α -glucosidase inhibitory activities[J]. Chin J Nat Med, 2015, 13(11): 873-880. DOI: 10.1016/S1875-5364(15)30092-3.
- [8] 姜鑫,房安石,杜维,等.不同产地文冠果种仁黄酮类成分的LC-MS/MS检测[J].中国油脂,2023,48(5):133-140. JIANG X, FANG A S, DU W, et al. LC-MS/MS detection of flavonoids in *Xanthoceras sorbifolium* Bunge kernel from different origin[J]. China Oils Fats, 2023, 48(5): 133-140. DOI: 10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.220227.
- [9] 江明军,国靖,赵祥树,等.不同种源文冠果种实性状差异及优良单株筛选[J].森林与环境学报,2023,43(3):265-271. JIANG M J, GUO J, ZHAO X S, et al. Differences of *Xanthoceras sorbifolia* traits from different provenances and selection of superior individual plants[J]. J For Environ, 2023, 43(3): 265-271. DOI: 10.13324/j.cnki.jfef.2023.03.006.
- [10] 于丹,毕泉鑫,赵阳,等.文冠果地理种源变异及优良种源筛选[J].东北林业大学学报,2019,47(2):12-16. YU D, BI Q X, ZHAO Y, et al. Geographic variation and excellent provenance selection in *Xanthoceras sorbifolium*[J]. J Northeast For Univ, 2019, 47(2): 12-16. DOI: 10.13759/j.cnki.dlxb.2019.02.003.
- [11] 王慧芳,赵飞燕,刘勇军,等.文冠果叶总黄酮微波辅助酶提取工艺的优化及其抗氧化、抑菌活性[J].中成药,2020,42(2):290-296. WANG H F, ZHAO F Y, LIU Y J, et al. Microwave-assisted enzyme extraction process optimization and antioxidant, bacteriostasis activities of total flavonoids from *Xanthoceras sorbifolium* leaves[J]. Chin Tradit Pat Med, 2020, 42(2): 290-296. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1528.2020.02.004.
- [12] 苏泾涵,王改萍,刘玉华,等.叶用文冠果总多酚提取工艺及抗氧化活性分析[J].南京林业大学学报(自然科学版),2023,47(5):129-137. SU J H, WANG G P, LIU Y H, et al. Extraction technology and antioxidant activity analysis of total polyphenols from *Xanthoceras sorbifolia* leaves[J]. J Nanjing For Univ (Nat Sci Ed), 2023, 47(5): 129-137. DOI: 10.123021/j.issn.1000-

- 2006.202205009.
- [13] 邱悦,潘佳,沈明浩.文冠果叶总皂苷的提取工艺优化及减肥降脂功效[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2020,48(11):113-122,132. QIU Y, PAN J, SHEN M H. Extraction process optimization of total saponins from leaves of *Xanthoceras sorbifolia* Bunge and the effect on weight loss and lipid-lowering[J]. J Northwest A F Univ (Nat Sci Ed), 2020, 48(11): 113-122, 132. DOI: 10.13207/j.cnki.jnwafu.2020.11.013.
 - [14] 路撞,王侠,李佳鸿,等.UPLC-QTOF-MS法同时测定春季文冠果叶中11种黄酮类化合物的含量[J].沈阳药科大学学报,2021,38(2):147-154. LU T, WANG X, LI J H, et al. Simultaneous determination of 11 flavonoids in spring leaves of *Xanthoceras sorbifolia* Bunge by UPLC-QTOF-MS[J]. J Shenyang Pharm Univ, 2021, 38(2): 147-154. DOI: 10.14066/j.cnki.cn21-1349/r.2019.0555.
 - [15] 苏泾涵.叶用文冠果主要药用成分分析及优良单株筛选[D].南京:南京林业大学,2023. SU J H. Analysis of main medicinal components of *Xanthoceras sorbifolia* and screening of fine individual plants[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2023.
 - [16] 郝倩,段力歆,马挺军,等.超声辅助提取文冠果叶总黄酮的工艺研究[J].食品工业科技,2013,34(16):295-300. HAO Q, DUAN L X, MA T J, et al. Study on technology of extracting total flavones from *Xanthoceras sorbifolia* Bunge leaves by ultrasonic wave[J]. Sci Technol Food Ind, 2013, 34(16): 295-300. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2013.16.034.
 - [17] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会.茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法:GB/T 8313—2018[S].北京:中国标准出版社,2018. State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. Determination of total polyphenols and catechins content in tea: GB/T 8313—2018[S]. Beijing: Standards Press of China, 2018.
 - [18] 杨眷俪,许雪蓉,张振军,等.文冠果芽茶与叶茶主要营养成分分析及抗氧化活性评价[J].食品工业科技,2022,43(15):366-373. YANG J L, XU X R, ZHANG Z J, et al. Main nutritional and functional ingredients and antioxidant evaluation of *Xanthoceras sorbifolia* Bunge bud tea and leaf tea[J]. Sci Technol Food Ind, 2022, 43(15): 366-373. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021110047.
 - [19] 章雷.不同光质下银杏生长及黄酮醇积累规律探究[D].南京:南京林业大学,2022. ZHANG L. Study on the growth and flavonol accumulation of *Ginkgo biloba* under different light quality[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2022.
 - [20] 徐友.温度和光强对银杏生长和次生代谢产物合成的影响[D].南京:南京林业大学,2016. XU Y. Effects of temperature and light intensity on growth and secondary metabolites biosynthesis of ginkgo (*Ginkgo biloba* L.) leaves[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2016.
 - [21] 张恒,袁汕,傅志强,等.广宁红花油茶优树综合评价及指标筛选[J].浙江农林大学学报,2023,40(2):374-381. ZHANG H, YUAN S, FU Z Q, et al. Comprehensive evaluation and index screening of excellent plants of *Camellia semiserrata* [J]. J Zhejiang A & F Univ, 2023, 40(2): 374-381. DOI: 10.11833/j.issn.2095-0756.20220376.
 - [22] 田力,徐骋炜,尚旭岚,等.青钱柳药用优良单株评价与选择[J].南京林业大学学报(自然科学版),2021,45(1):21-28. TIAN L, XU C W, SHANG X L, et al. Evaluation and selection on superior individuals for medicinal use of *Cyclocarya paliurus* [J]. J Nanjing For Univ (Nat Sci Ed), 2021, 45(1): 21-28. DOI: 10.12302/j.issn.1000-2006.202002018.
 - [23] 董乐,李田,黄文印,等.浙江红花油茶优株筛选与综合评价[J].中南林业科技大学学报,2021,41(11):35-45. DONG L, LI T, HUANG W Y, et al. Selection and comprehensive evaluation of superior individual plant in *Camellia chekiangoleosa* [J]. J Cent South Univ For Technol, 2021, 41(11): 35-45. DOI: 10.14067/j.cnki.1673-923x.2021.11.005.
 - [24] 白鑫磊,金华,邹吉祥,等.文冠果表型性状的相关性及主成分分析[J].经济林研究,2019,37(1):68-73. BAI X L, JIN H, ZOU J X, et al. Correlation analysis and principal component analysis on phenotypic characteristics in *Xanthoceras sorbifolia* [J]. Non Wood For Res, 2019, 37(1): 68-73. DOI: 10.14067/j.cnki.1003-8981.2019.01.010.
 - [25] 王为旋,田爽琪,柯瑾,等.26个金苦荞品系品质性状与农艺性状的遗传变异分析[J].广西植物,2023,25(4):1-14. WANG W X, TIAN S Q, KE J, et al. Genetical variation analysis of quality and agronomic traits of 26 *Fagopyrum tataricum* [J]. Guihaia, 2023, 25(4): 1-14.
 - [26] 王海峰,严贤春,罗建勋,等.青钱柳不同种源幼树生长特性及叶片性状差异分析[J].四川林业科技,2018,39(3):1-6. WANG H F, YAN X C, LUO J X, et al. Analysis of growth and leaf characteristics of different provenances of *Cyclocarya paliurus* saplings[J]. J Sichuan For Sci Technol, 2018, 39(3): 1-6. DOI: 10.16779/j.cnki.1003-5508.2018.03.001.
 - [27] 梁芳,卫旭芳,郝莎莎,等.文冠果新梢发育过程酚类物质及相关酶活性变化特性[J].西北植物学报,2017,37(3):501-509. LIANG F, WEI X F, HAO S S, et al. The variation characteristics of phenolics compound content and related enzyme activities during development of *Xanthoceras sorbifolia* Bunge shoots[J]. Acta Bot Boreali Occidentalia Sin, 2017, 37(3): 501-509. DOI: 10.7606/j.issn.1000-4025.2017.03.0501.
 - [28] 程水源,陈昆松,刘卫红,等.植物苯丙氨酸解氨酶基因的表达调控与研究展望[J].果树学报,2003,20(5):351-357. CHENG S Y, CHEN K S, LIU W H, et al. Regulation and expression of the PAL in plant and its outlook[J]. J Fruit Sci, 2003, 20(5): 351-357. DOI: 10.3969/j.issn.1009-9980.2003.05.004.
 - [29] 谭天宇,冯军军,景正义,等.超声辅助低共熔溶剂提取柴胡皂苷工艺及其抗氧化活性研究[J].山东农业科学,2022,54(10):127-134. TAN T Y, FENG J J, JING Z Y, et al. Extraction process optimization of saikosaponin with ultrasonic-assisted deep-eutectic solvents and study on its antioxidant activity[J]. Shandong Agric Sci, 2022, 54(10): 127-134. DOI: 10.14083/j.issn.1001-4942.2022.10.019.
 - [30] 王芳,孙彬,杨雨春,等.水曲柳半同胞家系变异分析与选择[J].中南林业科技大学学报,2023,43(2):144-154. WANG F, SUN Y, YANG Y C, et al. Variation analysis and selection of *Fraxinus mandshurica* half-sib families[J]. J Cent South Univ For Technol, 2023, 43(2): 144-154. DOI: 10.14067/j.cnki.1673-923x.2023.02.016.
 - [31] 林存学,杨晓华,刘海荣.东北寒地96份李种质资源表型性状遗传多样性分析[J].园艺学报,2020,47(10):1917-1929. LIN C X, YANG X H, LIU H R. Genetic diversity analysis of 96 plum germplasm resources by phenotypic traits in northeast cold area[J]. Acta Horti Sin, 2020, 47(10): 1917-1929. DOI: 10.16420/j.issn.0513-353x.2019-0982.
 - [32] 尹明宇,高福玲,乌云塔娜.内蒙古西伯利亚杏种质资源表型多样性研究[J].植物遗传资源学报,2017,18(2):242-252. YIN M Y, GAO F L, WUYUN T N. High-level genetic diversity of Siberian apricot (*Armeniaca sibirica*) in Inner Mongolia revealed by phenotyping[J]. J Plant Genet Resour, 2017, 18(2): 242-252. DOI: 10.13430/j.cnki.jpgr.2017.02.010.
 - [33] 杜庆鑫,庆军,刘攀峰,等.杜仲种质资源果实性状变异及综合评价[J].林业科学研究,2021,34(5):13-23. DU Q X, QING J, LIU P F, et al. Variation in fruit traits of *Eucommia ulmoides* germplasm resources and their comprehensive evaluation[J]. For Res, 2021, 34(5): 13-23. DOI: 10.13275/j.cnki.lykxyj.2021.005.002.
 - [34] 孙珍珠,李秋月,王小柯,等.宽皮柑橘种质资源表型多样性分析及综合评价[J].中国农业科学,2017,50(22):4362-4383. SUN Z Z, LI Q Y, WANG X K, et al. Comprehensive evaluation and phenotypic diversity analysis of germplasm resources in mandarin[J]. Sci Agric Sin, 2017, 50(22): 4362-4383. DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2017.22.012.

(责任编辑 郑琰琰)