

沙棘叶片、果肉和种子中黄酮类成分的差异

蔡爽^{a,b}, 阮成江^{a,b,①}, 杜维^{a,b}, 丁健^{a,b}, 韩平^{a,b}, 王海明^{a,b}

(大连民族大学: a. 资源植物研究所, b. 生物技术与资源利用教育部重点实验室, 辽宁 大连 116600)

摘要: 以46个蒙古沙棘(*Hippophaë rhamnoides* subsp. *mongolica* Rousi)品种(品系、优系)和6个中国沙棘与蒙古沙棘的杂交品系(优系)(*H. rhamnoides* subsp. *sinensis* × subsp. *mongolica*)为研究样本,采用优化的LC-MS/MS法对各样本叶片、果肉和种子中黄酮类成分进行检测,并对52个样本不同器官中黄酮类成分含量的差异进行比较和分析。结果显示:异鼠李素、槲皮素、山柰酚、表没食子儿茶素、芦丁、没食子儿茶素没食子酸酯、木犀草素和柚皮苷8个黄酮类成分在供试样本叶片中均可检出,但果肉和种子中黄酮类成分组成存在差异;除山柰酚外,其余7个成分均可从果肉中检出,但部分样本果肉仅含其中的3~6个成分,且大多数样本果肉不含没食子儿茶素没食子酸酯;从种子中虽然检出8个黄酮类成分,但所有样本种子仅含有其中的3~7个成分,且大多数样本种子不含山柰酚和木犀草素。供试52个样本叶片中芦丁、槲皮素、表没食子儿茶素、山柰酚和异鼠李素的含量较高,分别为33.806~195.783、24.725~161.888、4.611~110.501、3.640~13.508和1.301~26.923 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$;果肉中芦丁、槲皮素、表没食子儿茶素和异鼠李素的含量较高,分别为12.510~136.558、5.451~19.932、1.688~3.738和0.160~9.601 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$;种子中表没食子儿茶素、芦丁、槲皮素和异鼠李素的含量较高,分别为4.661~31.488、3.306~55.204、5.121~15.149和0.386~11.175 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$;叶片、果肉和种子中黄酮类成分的总含量分别为105.384~341.698、16.294~152.129和8.771~73.360 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,以叶片中黄酮类成分的总含量最高。供试52个样本不同器官中8个黄酮类成分含量存在不同程度的变异,变异系数为1.421%~101.211%。蒙古沙棘品种(品系、优系)叶片、果肉和种子中黄酮类成分的总含量之和显著高于中国沙棘与蒙古沙棘的杂交品系(优系)。综合分析结果表明:供试52个沙棘品种(品系、优系)叶片、果肉和种子中黄酮类成分的组成和含量均存在明显差异,但主要黄酮类成分均为芦丁、槲皮素和表没食子儿茶素。建议在实际生产中,依据沙棘黄酮的应用目标对沙棘品种(品系、优系)进行定向选育。

关键词: 蒙古沙棘; 中国沙棘; 种质资源; LC-MS/MS; 黄酮类成分

中图分类号: Q949.761.2; Q946.8; R284.1 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2019)04-0058-10

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2019.04.07

Difference in flavonoid constituents in leaf, pulp, and seed of *Hippophaë rhamnoides* CAI Shuang^{a,b}, RUAN Chengjiang^{a,b,①}, DU Wei^{a,b}, DING Jian^{a,b}, HAN Ping^{a,b}, WANG Haiming^{a,b} (Dalian Minzu University: a. Institute of Plant Resources, b. Key Laboratory of Biotechnology and Bioresources Utilization, Ministry of Education, Dalian 116600, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2019, 28(4): 58-67

Abstract: Taking 46 cultivars (strains, superior lines) of *Hippophaë rhamnoides* subsp. *mongolica* Rousi and 6 hybrid strains (superior lines) of *H. rhamnoides* subsp. *sinensis* × subsp. *mongolica* as research samples, flavonoid constituents in leaf, pulp, and seed of each sample were detected by optimized LC-MS/MS method, and the differences in contents of flavonoid constituents in different organs of 52 samples were compared and analyzed. The results show that 8 flavonoid constituents of isorhamnetin, quercetin, kaempferol, (-)-epigallocatechin, rutin, (-)-gallocatechingallate, luteolin, and naringin can be detected in leaf of all test samples, but the composition of flavonoid constituents is different in pulp and

收稿日期: 2018-11-07

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31570681); 欧盟第七框架计划玛丽居里行动国际人才引进奖学金回国阶段项目(PIIFR-GA-2010-910048)

作者简介: 蔡爽(1992—),女,河北唐山人,硕士研究生,主要从事逆境特色油料种质资源评价和开发利用方面的研究。

①通信作者 E-mail: ruan@dlmu.edu.cn

seed; except kaempferol, other 7 flavonoid constituents can be detected in pulp, but pulp of some samples only contains 3–6 constituents of them, and pulp of most samples does not contain (–)-gallocatechingallate; although 8 flavonoid constituents can be detected in seed, but seed of all samples only contains 3–7 constituents of them, and seed of most samples does not contain kaempferol and luteolin. Contents of rutin, quercetin, (–)-epigallocatechin, kaempferol, and isorhamnetin in leaf of 52 test samples are relatively high, which are 33.806–195.783, 24.725–161.888, 4.611–110.501, 3.640–13.508, and 1.301–26.923 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, respectively; contents of rutin, quercetin, (–)-epigallocatechin, and isorhamnetin in pulp are relatively high, which are 12.510–136.558, 5.451–19.932, 1.688–3.738, and 0.160–9.601 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, respectively; contents of (–)-epigallocatechin, rutin, quercetin, and isorhamnetin in seed are relatively high, which are 4.661–31.488, 3.306–55.204, 5.121–15.149, and 0.386–11.175 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, respectively; total contents of flavonoid constituents in leaf, pulp, and seed are 105.384–341.698, 16.294–152.129, and 8.771–73.360 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, respectively, and its total content in leaf is the highest. There are different degrees of variation in contents of 8 flavonoid constituents among different organs of 52 test samples with the coefficients of variation of 1.421%–101.211%. The sum of total contents of flavonoid constituents in leaf, pulp, and seed of cultivars (strains, superior lines) of *H. rhamnoides* subsp. *mongolica* is significantly higher than that of hybrid strains (superior lines) of *H. rhamnoides* subsp. *sinensis* × subsp. *mongolica*. The comprehensive analysis result shows that there are obvious differences in composition and contents of flavonoid constituents in leaf, pulp, and seed of 52 test *H. rhamnoides* cultivars (strains, superior lines), but the main flavonoid constituents are all rutin, quercetin, and (–)-epigallocatechin. It is suggested that directive breeding of *H. rhamnoides* cultivars (strains, superior lines) should be performed according to the application purpose of flavonoid constituents in practical production.

Key words: *Hippophaë rhamnoides* subsp. *mongolica* Rousi; *H. rhamnoides* subsp. *sinensis* Rousi; germplasm resources; LC-MS/MS; flavonoid constituents

沙棘(*Hippophaë rhamnoides* Linn.)为落叶灌木或小乔木,广泛分布于欧亚温带地区,在中国主要分布于西北、西南、华北及东北地区,种质资源丰富^[1-2]。沙棘属(*Hippophaë* Linn.)植物现有9个亚种,其中,中国沙棘(subsp. *sinensis* Rousi)、云南沙棘(subsp. *yunnanensis* Rousi)、中亚沙棘(subsp. *turkestanica* Rousi)、蒙古沙棘(subsp. *mongolica* Rousi)和江孜沙棘[subsp. *gyantsensis* (Rousi) Y. S. Lian]5个亚种在中国有分布^[3]。沙棘叶片和果实含丰富的生物活性成分,广泛应用于食品、药品和保健品等行业^[4],其叶片、果肉和种子含丰富的黄酮类成分,有止咳平喘、改善心功能和抗肿瘤等功效^[5-8]。

杜蕾蕾等^[9]采用高效液相色谱(HPLC)法对15个来源于不同区域的沙棘叶片中的槲皮素、山柰酚和异鼠李素进行了分析,发现多数样本叶片中槲皮素含量较高;而张慧娟等^[10]采用HPLC法对沙棘果肉和种子中的槲皮素、山柰酚和异鼠李素进行了分析,结果表明沙棘果肉和种子中的黄酮类成分以异鼠李素和山柰酚为主。此外,还有一些研究者采用液相色谱-质谱联用(LC-MS/MS)法对沙棘叶片和果实中的黄酮类成分进行了研究,结果显示沙棘叶片和果实

中的黄酮类成分主要为山柰酚、槲皮素、芦丁、异鼠李素和柚皮素^[11-14]。然而,已有的研究多集中于沙棘不同器官间黄酮类成分的比较,但对不同沙棘亚种(品种)间各器官的黄酮类成分差异尚缺乏深入了解,随着沙棘栽培品种(品系、优系)的不断增多,有必要了解其不同器官中黄酮类成分的差异,旨在有针对性地进行开发利用。

作者以52个沙棘样本(包括8个品种、14个品系和30个优系)为研究对象,采用LC-MS/MS法分析了叶片、果肉和种子中8种黄酮类成分(异鼠李素、槲皮素、山柰酚、表没食子儿茶素、芦丁、没食子儿茶素没食子酸酯、木犀草素和柚皮苷)的含量,研究不同沙棘品种(品系、优系)及各器官(叶片、果肉和种子)间黄酮类成分及其含量的差异,以期对沙棘的开发利用提供基础研究数据。

1 材料和方法

1.1 材料

于2018年8月24日,在黑龙江省农业科学院浆果研究所的沙棘资源圃选择52个品种(品系、优系)

的样株各3株,株龄11 a;在样株的旺盛生长期采集叶片100 g,在果实完全成熟时采集果实200 g,叶片和果实样品分别混匀。依据林业采样标准LY/T 1211—1999进行叶片和果实采集,选择样株树冠的上、中、下3个部位,分别在东、南、西、北4个方向的内、外部采集叶片和果实。所有样品采集后立即置于液氮中,并于-80℃冰箱中保存、备用。

供试52个沙棘样本(8个品种、14个品系和30个优系)包括46个蒙古沙棘样本和6个中国沙棘与蒙古沙棘的杂交样本(*H. rhamnoides* subsp. *sinensis* × subsp. *mongolica*)。46个蒙古沙棘样本为:引自俄罗斯的‘巨人’(‘Juren’)、‘金色’(‘Jinse’)、‘新俄3’(‘Xine 3’)和‘楚伊’(‘Chuyi’)4个品种;引自芬兰的‘无刺丰’(‘Wucifeng’)和‘芬兰’(‘Fenlan’)2个品种;黑龙江省农业科学院浆果研究所利用引自俄罗斯的实生苗选育获得的‘绥3’(‘Sui 3’)和‘绥2’(‘Sui 2’)2个品种;引自俄罗斯的‘TF2-1’、‘TF2-10’、‘TF1-15’、‘TF2-34’、‘TF2-36’、‘HS-21’、‘HS-14’、‘HS-01’、‘HS-20’和‘HS-19’10个品系;引自俄罗斯的‘01’、‘优株1’(‘You 1’)、‘12’、‘40’、‘36’、‘06’、‘201301’、‘201303’、‘201304’、‘201305’、‘201307’、‘201308’、‘201309’、‘201310’、‘201311’、‘201312’、‘201313’、‘201315’、‘201316’、‘201317’、‘201318’、‘201319’、‘201320’、‘201322’、‘CK1’、‘CK2’、‘CK3’和‘CK4’28个优系。6个中国沙棘与蒙古沙棘的杂交样本均为黑龙江省农业科学院浆果研究所中国沙棘雄株为父本、蒙古沙棘种子实生母株为母本杂交选育获得,包括‘杂2-2’(‘Za 2-2 Hybrid’)、‘杂3-2’(‘Za 3-2 Hybrid’)、‘杂3-3’(‘Za 3-3 Hybrid’)和‘杂5-21’(‘Za 5-21 Hybrid’)4个品系,以及‘56’和‘2-6’2个优系。

试剂:异鼠李素、槲皮素、山柰酚、芦丁、表没食子儿茶素和没食子儿茶素没食子酸酯标准品购自上海源叶生物科技有限公司,木犀草素和柚皮苷标准品购自上海安普实验科技股份有限公司,纯度均大于99.99%。无水乙醇为分析纯,甲酸和甲醇为色谱纯。

1.2 方法

1.2.1 样品中黄酮类成分提取 分别精确称取叶片、果肉和种子粉末2 g,加入体积分数75%乙醇5.0 mL,超声波(200 W)提取10 min,4℃、4 500 r·min⁻¹离心15 min,残渣同法提取2次,合并上清液;上清液

用10.0 mL石油醚反复萃取,以除去色素。取0.5 mL萃取液,用甲醇定容至5.0 mL;取1.0 mL,用0.22 μm微孔有机滤膜过滤,供LC-MS/MS分析。

1.2.2 LC-MS/MS分析条件和方法 用DGU-20A液相色谱(日本岛津公司)-API3200三重四级杆质谱仪(美国AB公司)进行LC-MS/MS分析。

色谱条件:岛津C18色谱柱(2.1 mm×50 mm, 1.9 μm);流速0.2 mL·min⁻¹,流动相A为质量体积分数0.1%甲酸水溶液,流动相B为质量体积分数70%甲醇;采集时间10 min,柱温30℃,进样量2 μL。

质谱条件:电喷雾离子源(ESI),负离子电离模式;质量扫描范围100~1 000 amu;干燥气(N₂)流速3 L·min⁻¹,温度550℃;气帘气压力30 psi;离子化电压-4 500 V;扫描方式为多重反应监测。

精确称取各标准品5.0 mg,分别配制成质量浓度10、20、50、100、500和1 000 ng·mL⁻¹的混合标样。采用上述色谱和质谱条件对混合标样进行系统测定。以定量离子峰面积为纵坐标、标准品溶液的质量浓度为横坐标绘制标准曲线。

取‘56’和‘金色’的叶片、果肉和种子的黄酮类提取液,按上述条件进样分析,对检测条件进行优化。

1.2.3 样品中黄酮类成分测定 按上述LC-MS/MS分析条件和方法对各样品提取液进行测定,进样量2 μL,3次重复。以定量离子峰面积为指标,依据各黄酮类成分的标准曲线计算样品中各成分的含量,黄酮类总含量为8个黄酮类成分含量之和。

1.2.4 方法学考察 以8个黄酮类成分混合标准品为样品,分别在最佳实验条件下对上述方法的日内精密度和日间精密度进行考察,每个浓度水平(质量浓度10、20、50、100、500和1 000 ng·mL⁻¹)连续测定6次。日内精密度在同一天的00:00、4:00、8:00、12:00、16:00和20:00测定;日间精密度在每天的8:00和16:00各测定1次,连续测定3 d。

利用加标回收率对回收率进行考察。称取‘56’和‘金色’叶片、果肉和种子粉末适量,按照上述样品中黄酮类成分的提取方法进行提取,分别加入8个黄酮化合物标准品各100 ng,并设置3次重复;按照上述LC-MS/MS分析条件和方法进行测定,并计算回收率,考察基质效应和提取方法的影响效应。

1.3 数据处理和分析

采用SPSS 22.0软件对数据进行单因素方差分析,并采用 t 检验进行差异显著性分析。

2 结果和分析

2.1 沙棘黄酮类成分 LC-MS/MS 分析

结果(表 1)显示:在本研究设置的实验条件下,8 个黄酮类标准品的日内精密度和日间精密度的分别低于 4.85% 和 6.48%,加标回收率为 91.85%~100.20%,说明本研究采用的黄酮类成分测定条件适宜、方法稳定、误差较小,可以满足黄酮类成分的定量分析要求。异鼠李素和芦丁的加标回收率分别为

100.20%和 100.00%,说明基质对这 2 种黄酮类成分的抑制效应非常弱;其余 6 种黄酮类成分的加标回收率为 91.85%~97.60%,说明基质对这 6 种黄酮类成分的抑制效应较弱。

2.2 叶片中黄酮类成分及其含量的比较

供试 52 个沙棘样本叶片中黄酮类成分的含量见表 2。结果显示:供试 52 个样本叶片均含有 8 个黄酮类成分,其中,芦丁、槲皮素、表没食子儿茶素、山柰酚和异鼠李素的含量分别为 33.806~195.783、24.725~161.888、4.611~110.501、3.640~13.508 和

表 1 8 个黄酮类成分标准品的 LC-MS/MS 分析及方法学考察结果($\bar{X} \pm SE$)
Table 1 Results of LC-MS/MS analysis and methodological study of eight standards of flavonoid constituents ($\bar{X} \pm SE$)

成分 ¹⁾ Constituent ¹⁾	保留时间/min Retention time	m/z ²⁾	线性方程 Regression equation	线性范围/($mg \cdot L^{-1}$) Linear range	相关系数 Correlation coefficient	日内精密度/% Intra-day precision	日间精密度/% Inter-day precision	加标回收率/% Recovery of standard addition
C1	1.76	300.1*/153.0	$y = 14.70x$	0.025-1.000	0.999 9	1.42	3.54	100.20±2.63
C2	1.24	151.0*/299.0	$y = 3.38x - 123.00$	0.050-0.950	0.992 5	0.55	2.91	91.85±1.71
C3	1.66	117.0*/258.0	$y = 31.70x + 828.00$	0.040-0.900	0.999 0	0.97	3.02	96.75±2.20
C4	0.69	124.8*/179.2	$y = 95.10x - 2540.00$	0.010-1.000	0.998 8	2.13	6.48	95.75±3.74
C5	0.82	300.0*/132.0	$y = 14.40x - 6.55$	0.010-1.000	0.999 4	3.99	4.06	100.00±3.12
C6	0.68	169.1*/169.0	$y = 102.00x - 2090.00$	0.035-0.950	0.999 7	2.64	5.69	94.60±2.73
C7	1.36	133.0*/135.8	$y = 816.00x - 4260.00$	0.015-0.990	0.999 9	2.51	3.03	97.60±1.30
C8	0.77	150.9*/116.0	$y = 326.00x + 97.50$	0.010-1.000	0.999 7	4.85	6.14	96.25±1.54

¹⁾ C1: 异鼠李素 Isorhamnetin; C2: 槲皮素 Quercetin; C3: 山柰酚 Kaempferol; C4: 表没食子儿茶素(-)-Epigallocatechin; C5: 芦丁 Rutin; C6: 没食子儿茶素没食子酸酯(-)-Gallic acid gallate; C7: 木犀草素 Luteolin; C8: 柚皮苷 Naringin.

²⁾ m/z : 质荷比 Mass-to-charge ratio. *: 定量离子 Quantitative ion.

表 2 沙棘叶片中黄酮类成分及其含量($\bar{X} \pm SE$)
Table 2 Flavonoid constituents and their contents in leaf of *Hippophaë rhamnoides* Linn. ($\bar{X} \pm SE$)

样本 ¹⁾ Sample ¹⁾	各成分的含量/($\mu g \cdot g^{-1}$) ²⁾ Content of each constituent ²⁾								
	异鼠李素 Isorhamnetin	槲皮素 Quercetin	山柰酚 Kaempferol	C4	芦丁 Rutin	C6	木犀草素 Luteolin	柚皮苷 Naringin	总计 Total
56	3.514±0.016	55.138±1.230	3.699±0.021	12.481±0.832	54.135±1.120	2.406±0.031	0.556±0.021	0.183±0.003	132.112±6.231
2-6	1.301±0.032	45.993±2.104	11.672±0.831	17.364±1.123	148.084±3.781	2.189±0.011	0.819±0.034	0.137±0.002	227.559±9.235
Za 2-2 Hybrid	5.591±0.416	93.768±3.413	5.941±0.085	16.715±0.934	54.747±1.236	2.895±0.302	0.810±0.101	0.128±0.012	180.595±4.862
Za 3-2 Hybrid	2.620±0.061	107.430±2.863	10.392±0.863	22.189±2.102	195.783±5.124	2.264±0.206	0.748±0.023	0.272±0.021	341.698±13.215
Za 3-3 Hybrid	14.934±0.427	147.244±4.212	10.049±0.932	17.725±1.016	85.136±1.367	3.350±0.137	1.026±0.035	0.332±0.013	279.796±8.723
Za 5-21 Hybrid	2.791±0.021	113.396±1.789	8.474±0.113	14.081±0.984	74.143±1.108	3.302±0.348	0.748±0.102	0.173±0.007	217.108±6.272
HS-21	4.103±0.316	24.725±0.936	5.598±0.436	110.501±3.283	79.976±2.013	2.906±0.043	0.629±0.037	0.194±0.036	228.632±14.726
TF2-10	3.548±0.218	137.705±3.212	13.508±1.032	13.967±0.132	116.721±3.862	2.793±0.017	1.056±0.083	0.238±0.024	289.536±8.325
01	1.815±0.062	108.404±1.487	7.308±0.861	11.510±0.678	52.253±1.138	3.015±0.702	0.767±0.022	0.226±0.013	185.298±9.273
Juren	5.365±0.433	36.842±1.024	3.654±0.082	22.967±1.132	97.488±5.625	2.231±0.007	0.616±0.011	0.256±0.028	169.419±7.118
HS-14	8.602±0.786	115.591±3.282	5.679±0.116	37.030±0.893	79.973±2.348	2.681±0.301	0.813±0.045	0.274±0.037	250.643±12.487
You 1	2.085±0.045	67.173±1.113	4.136±0.831	18.925±1.104	139.603±6.271	2.652±0.126	0.583±0.011	0.218±0.012	235.375±11.224
HS-01	15.572±1.032	111.953±3.824	7.551±1.011	17.424±0.930	113.636±8.134	3.316±0.381	1.044±0.034	0.320±0.008	270.816±9.162
TF2-1	6.080±0.321	41.654±1.168	5.171±0.423	9.613±0.871	38.674±3.410	2.996±0.084	0.931±0.016	0.265±0.003	105.384±9.631
Sui 3	4.237±0.086	125.341±2.781	5.899±0.811	8.787±0.636	74.251±1.933	3.583±0.009	0.715±0.032	0.330±0.012	223.143±13.426
Jinse	2.911±0.015	67.742±1.982	5.641±0.731	17.309±1.011	86.546±2.106	3.721±0.012	0.710±0.015	0.375±0.009	184.955±11.262
12	3.065±0.127	57.961±3.114	8.110±0.963	10.495±0.837	64.401±3.218	2.970±0.112	0.692±0.008	0.308±0.031	148.002±6.317
Xine 3	7.557±0.643	61.229±4.152	4.831±0.037	16.548±0.764	33.806±1.277	3.239±0.033	0.835±0.017	0.277±0.003	128.322±8.932
40	5.905±0.821	79.489±3.112	12.349±0.823	25.266±1.468	110.717±4.832	3.903±0.421	1.235±0.024	0.345±0.026	239.209±14.786

续表2 Table 2 (Continued)

样本 ¹⁾ Sample ¹⁾	各成分的含量/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) ²⁾ Content of each constituent ²⁾								
	异鼠李素 Isorhamnetin	槲皮素 Quercetin	山柰酚 Kaempferol	C4	芦丁 Rutin	C6	木犀草素 Luteolin	柚皮苷 Naringin	总计 Total
HS-20	22.836±1.684	79.893±1.189	8.123±0.715	34.421±0.783	131.158±1.786	2.989±0.083	0.912±0.032	0.375±0.012	280.707±11.882
TF2-34	6.667±0.362	78.692±2.313	7.861±0.312	11.219±0.668	135.593±1.329	3.487±0.322	0.977±0.018	0.380±0.047	244.876±7.937
Wucifeng	14.039±0.672	102.320±4.112	7.020±0.860	9.518±0.326	104.700±3.165	2.540±0.017	0.732±0.110	0.335±0.028	241.204±11.202
Sui 2	3.974±0.061	99.812±3.447	7.219±0.778	15.443±1.036	76.585±2.367	2.398±0.206	0.722±0.023	0.293±0.010	206.446±14.983
HS-19	17.786±0.933	110.130±5.126	8.068±0.932	11.955±0.921	120.730±4.781	2.261±0.116	0.748±0.042	0.249±0.022	271.927±16.288
36	9.231±0.065	82.943±1.192	11.906±0.621	15.050±0.312	95.652±3.277	2.415±0.031	0.950±0.067	0.294±0.041	218.441±14.320
06	2.213±0.012	82.321±2.034	8.030±0.431	6.815±0.167	161.269±6.981	2.632±0.043	0.715±0.038	0.202±0.006	264.197±11.761
TF2-36	26.923±1.315	79.021±1.186	6.245±0.086	12.657±0.834	190.909±3.290	3.580±0.622	0.874±0.024	0.313±0.035	320.522±18.214
Fenlan	6.561±0.662	76.357±2.316	7.410±0.832	9.276±1.013	72.398±1.673	2.873±0.033	0.758±0.011	0.311±0.081	175.944±7.683
TF1-15	1.589±0.020	93.685±4.352	4.906±0.623	13.810±2.124	139.486±6.732	3.185±0.017	0.708±0.033	0.232±0.004	257.601±13.274
Chuyi	12.715±0.962	113.402±3.278	9.536±0.871	13.058±1.182	146.907±5.431	3.497±0.203	1.031±0.067	0.492±0.035	300.638±14.663
201301	6.337±0.048	140.899±4.315	8.454±0.916	12.490±1.106	151.561±8.792	2.925±0.018	0.725±0.082	0.381±0.027	323.772±11.098
201303	3.229±0.012	126.201±2.866	6.662±0.648	6.131±0.216	53.491±3.127	3.632±0.307	0.782±0.071	0.332±0.012	200.460±8.293
201304	2.201±0.006	67.122±1.343	3.970±0.312	5.455±0.831	77.929±2.886	2.383±0.102	0.548±0.032	0.251±0.007	159.859±9.112
201305	3.818±0.014	115.290±4.168	8.667±0.643	7.776±0.867	115.290±3.723	3.451±0.035	0.859±0.027	0.336±0.013	255.487±13.280
201307	3.965±0.363	68.819±1.254	6.300±0.871	12.229±1.104	96.877±2.871	2.462±0.027	0.572±0.018	0.242±0.004	191.466±11.276
201308	7.294±0.782	129.412±3.116	8.294±0.368	7.706±0.321	115.882±3.446	3.559±0.035	0.888±0.033	0.373±0.062	273.408±8.921
201309	3.300±0.468	93.101±6.452	7.739±0.326	13.217±1.154	103.076±3.789	3.283±0.067	0.786±0.012	0.306±0.038	224.808±14.364
201310	24.516±1.681	110.220±3.218	10.154±0.847	25.985±1.383	70.808±4.112	2.859±0.018	0.822±0.033	0.316±0.024	245.68±12.371
201311	5.812±0.632	117.123±1.764	5.544±0.031	18.332±1.104	74.475±3.211	2.896±0.023	0.713±0.025	0.352±0.011	225.247±11.258
201312	16.167±1.109	82.019±0.137	6.459±0.132	12.066±1.003	62.539±4.128	3.407±0.081	0.946±0.018	0.238±0.012	183.841±19.432
201313	12.013±0.986	126.518±2.453	6.262±0.467	9.137±1.062	71.565±3.210	2.869±0.031	0.620±0.011	0.388±0.045	229.372±12.341
201315	14.335±1.101	89.595±1.084	11.908±1.016	11.445±1.031	93.642±1.789	2.231±0.045	0.890±0.042	0.269±0.013	224.315±11.809
201316	4.234±0.062	104.399±2.318	7.101±0.412	5.029±0.767	125.066±4.387	2.448±0.028	0.647±0.006	0.232±0.008	249.156±10.384
201317	5.500±0.087	142.944±4.352	7.268±0.763	5.597±0.321	90.854±3.212	2.792±0.037	0.733±0.031	0.295±0.032	255.983±8.236
201318	5.000±0.031	161.888±3.892	12.545±1.024	5.783±0.286	111.111±4.671	2.963±0.062	0.932±0.052	0.445±0.084	300.667±12.862
201319	2.338±0.011	90.305±1.894	6.039±0.083	7.645±0.123	132.410±8.302	2.199±0.017	0.551±0.006	0.217±0.018	241.704±11.035
201320	3.883±0.645	80.454±1.926	5.312±0.012	9.799±0.782	93.347±3.764	2.140±0.118	0.624±0.013	0.207±0.030	195.766±12.327
201322	11.185±0.863	80.079±2.336	3.640±0.067	20.582±1.368	74.785±4.562	3.388±0.346	0.702±0.024	0.353±0.027	194.714±7.630
CK1	1.699±0.024	79.596±1.843	10.802±0.921	5.174±0.876	84.649±2.663	2.647±0.167	0.745±0.016	0.184±0.034	185.496±12.341
CK2	2.590±0.016	48.514±2.106	6.376±0.672	5.239±1.246	88.501±5.120	2.855±0.281	0.678±0.026	0.165±0.002	154.918±8.942
CK3	4.115±0.208	95.850±3.482	12.449±1.103	4.611±0.831	189.363±6.112	2.367±0.361	0.906±0.035	0.162±0.007	309.823±15.281
CK4	2.131±0.042	96.080±2.763	5.522±0.678	26.118±1.348	76.753±4.577	2.711±0.021	0.646±0.024	0.147±0.018	210.108±11.436
均值 Average	7.210±0.117	93.317±0.569	7.554±0.048	15.528±0.288	100.281±0.717	2.885±0.009	0.783±0.003	0.278±0.002	227.837±0.995

¹⁾ ‘56’、‘2-6’、‘杂 2-2’、‘杂 3-2’、‘杂 3-3’和‘杂 5-21’为中国沙棘与蒙古沙棘的杂交品系(优系),其余样本均为蒙古沙棘品种(品系、优系)‘56’、‘2-6’、‘Za 2-2 Hybrid’、‘Za 3-2 Hybrid’、‘Za 3-3 Hybrid’, and ‘Za 5-21 Hybrid’ are the strains (superior lines) of *H. rhamnoides* subsp. *sinensis* subsp. *mongolica*, and other samples are the cultivars (strains, superior lines) of *H. rhamnoides* subsp. *mongolica*.

²⁾ C4: 表没食子儿茶素(-)-Epigallocatechin; C6: 没食子儿茶素没食子酸酯(-)-Gallocatech gallate.

1.301~26.923 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, 含量较高,是供试沙棘样本叶片中黄酮类的主要成分;没食子儿茶素没食子酸酯、木犀草素和柚皮苷含量较低,分别为 2.140~3.903、0.548~1.235 和 0.128~0.492 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。在供试 52 个样本中,‘杂 3-2’、‘TF2-36’和‘CK3’叶片中芦丁含量较高,分别为 195.783、190.909 和 189.363 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$;‘201318’、‘杂 3-3’、‘201317’和‘201301’的叶片中槲皮素含量较高,分别为 161.888、147.244、142.944 和 140.899 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$;‘HS-21’叶片中表没食子儿茶素含量最高,为 110.501 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$;‘TF2-10’、‘CK3’和‘40’叶片中山柰酚含量较高,分别为 13.508、12.449 和 12.349

$\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

由表 2 还可见:供试 52 个样本叶片中 8 个黄酮类成分的总含量差异明显,其中,‘杂 3-2’、‘201301’、‘TF2-36’和‘CK3’叶片中黄酮类成分的总含量较高,分别为 341.698、323.772、320.522 和 309.823 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$;‘TF2-1’、‘新俄 3’、‘56’和‘12’叶片中黄酮类成分的总含量较低,分别为 105.384、128.322、132.112 和 148.002 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

2.3 果肉中黄酮类成分及其含量的比较

供试 52 个沙棘样本果肉中黄酮类成分的含量见表 3。结果显示:供试 52 个样本果肉含有 7 个黄酮类成分,未检出山柰酚;其中,‘56’、‘金色’和‘201310’

表 3 沙棘果肉中黄酮类成分及其含量 ($\bar{X} \pm SE$)
Table 3 Flavonoid constituents and their contents in pulp of *Hippophaë rhamnoides* Linn. ($\bar{X} \pm SE$)

样本 ¹⁾ Sample ¹⁾	各成分的含量/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) ²⁾ Content of each constituent ²⁾							
	异鼠李素 Isorhamnetin	槲皮素 Quercetin	C4	芦丁 Rutin	C6	木犀草素 Luteolin	柚皮苷 Naringin	总计 Total
56	1.643±0.031	6.955±1.201	1.688±0.043	33.651±1.832	1.262±0.015	0.356±0.034	0.010±0.003	45.565±2.317
2-6	2.052±0.036	19.932±2.432	2.804±0.085	34.122±4.310	—	0.524±0.027	0.015±0.001	59.449±5.423
Za 2-2 Hybrid	5.700±0.324	8.689±1.124	2.651±0.104	27.614±1.237	—	0.480±0.082	0.026±0.004	45.160±2.928
Za 3-2 Hybrid	0.743±0.086	—	2.235±0.203	37.217±2.354	—	0.348±0.012	0.017±0.002	40.560±1.782
Za 3-3 Hybrid	0.787±0.025	—	2.608±0.711	28.490±3.371	—	0.459±0.021	—	32.344±3.137
Za 5-21 Hybrid	0.378±0.030	—	2.291±0.082	32.494±2.987	—	0.420±0.013	0.014±0.001	35.597±4.125
HS-21	9.601±0.723	—	3.397±0.029	26.359±1.283	—	0.591±0.020	0.011±0.007	39.959±2.386
TF2-10	—	—	2.608±0.113	26.083±1.245	—	0.558±0.034	0.002±0.000	29.251±1.292
O1	0.881±0.024	—	2.384±0.325	12.510±0.983	—	0.519±0.017	—	16.294±3.210
Juren	1.747±0.128	8.434±2.073	1.977±0.122	48.576±3.182	—	0.357±0.008	0.002±0.000	61.093±4.317
HS-14	—	—	2.430±0.783	29.333±1.227	—	0.475±0.027	—	32.238±2.890
You 1	0.195±0.032	8.558±1.862	2.977±0.129	17.209±2.983	—	0.596±0.028	0.007±0.001	29.542±1.352
HS-01	8.405±0.783	10.328±0.980	2.635±0.083	63.960±4.152	—	0.485±0.014	—	85.813±6.782
TF2-1	2.317±0.125	—	3.040±0.092	14.051±0.781	—	0.523±0.021	—	19.931±1.208
Sui 3	4.394±0.721	10.422±1.132	2.452±0.047	39.578±1.057	—	0.427±0.063	0.026±0.002	57.299±5.233
Jinse	7.547±0.346	9.491±1.073	2.224±0.028	47.570±2.416	1.309±0.026	0.387±0.023	0.008±0.003	68.536±6.727
12	4.314±0.120	9.782±0.865	2.224±0.017	36.312±3.271	—	0.497±0.071	0.037±0.000	53.166±3.282
Xine 3	4.053±0.782	6.383±0.913	2.259±0.325	25.914±1.054	—	0.364±0.024	—	38.973±3.337
40	0.160±0.009	—	3.738±0.431	34.783±2.383	—	0.516±0.018	0.008±0.002	39.205±4.318
HS-20	1.086±0.138	—	1.967±0.078	27.904±1.925	1.331±0.167	0.382±0.025	—	32.670±2.925
TF2-34	0.485±0.005	—	2.121±0.092	27.499±2.081	1.179±0.082	0.350±0.016	—	31.634±3.272
Wucifeng	5.482±0.931	12.361±1.136	2.176±0.327	54.017±3.262	—	0.405±0.031	0.012±0.001	74.453±4.781
Sui 2	0.466±0.035	7.057±1.263	1.952±0.435	15.367±1.286	—	0.357±0.084	0.005±0.000	25.204±1.432
HS-19	0.450±0.017	—	2.150±0.078	27.354±1.167	—	0.443±0.010	—	30.397±3.901
36	—	—	1.971±0.024	22.707±2.382	—	0.356±0.008	0.016±0.004	25.050±3.506
O6	1.665±0.247	—	1.773±0.071	37.058±1.986	—	0.375±0.024	0.017±0.002	40.888±4.326
TF2-36	1.778±0.039	—	1.912±0.033	20.181±1.024	—	0.353±0.032	0.017±0.001	24.241±1.285
Fenlan	0.434±0.028	—	2.338±0.028	40.299±3.718	—	0.450±0.018	0.011±0.003	43.532±3.281
TF1-15	0.398±0.019	—	3.726±0.052	20.881±2.054	—	0.613±0.004	—	25.618±1.864
Chuyi	1.679±0.372	—	1.772±0.021	47.429±3.116	1.253±0.061	0.357±0.035	—	52.490±5.332
201301	2.835±0.279	9.859±0.985	2.407±0.062	136.558±5.348	—	0.459±0.071	0.011±0.001	152.129±10.271
201303	6.811±0.843	11.660±0.862	2.703±0.069	52.124±2.951	—	0.541±0.062	0.033±0.004	73.872±5.219
201304	5.908±1.014	10.247±1.186	2.657±0.031	55.406±3.662	—	0.487±0.003	0.050±0.002	74.755±1.386
201305	8.389±0.925	9.240±1.033	2.274±0.028	31.976±2.953	—	0.426±0.018	—	52.305±2.902
201307	1.557±0.076	—	1.960±0.070	75.925±10.318	—	0.463±0.033	0.001±0.000	79.906±4.880
201308	—	—	2.111±0.032	40.486±7.893	1.324±0.073	0.419±0.046	—	44.340±4.957
201309	0.279±0.062	—	1.957±0.029	30.163±2.379	—	0.387±0.028	0.011±0.001	32.797±2.381
201310	7.819±0.073	11.334±1.132	2.511±0.332	49.928±4.921	1.607±0.062	0.488±0.019	0.005±0.001	73.692±6.290
201311	0.748±0.022	—	2.793±0.721	52.892±3.412	—	0.540±0.061	—	56.973±3.088
201312	6.151±0.718	8.404±0.863	1.961±0.038	14.312±3.121	—	0.408±0.032	—	31.236±3.219
201313	1.023±0.243	7.392±1.367	2.466±0.284	62.685±5.432	—	0.407±0.029	0.004±0.000	73.977±3.182
201315	0.548±0.062	—	1.710±0.527	28.013±1.028	—	0.364±0.016	—	30.635±3.173
201316	1.760±0.727	—	2.514±0.120	100.559±12.094	—	0.494±0.057	0.017±0.002	105.344±11.208
201317	0.845±0.063	—	2.528±0.731	88.643±7.328	—	0.475±0.021	0.023±0.003	92.514±8.973
201318	—	5.451±0.842	2.121±0.036	54.331±6.253	1.332±0.026	0.411±0.038	—	63.646±4.732
201319	0.644±0.037	—	2.872±0.082	37.579±8.329	—	0.545±0.019	—	41.640±6.227
201320	1.690±0.162	7.081±1.276	2.218±0.017	16.232±1.236	—	0.432±0.052	0.013±0.003	27.666±1.368
201322	0.780±0.047	8.192±1.345	2.874±0.062	29.194±1.036	—	0.418±0.017	0.015±0.001	41.473±5.432
CK1	0.988±0.025	9.083±0.307	2.689±0.393	30.988±2.301	—	0.569±0.006	—	44.317±3.952
CK2	—	—	2.847±0.417	34.672±1.874	—	0.401±0.024	—	37.920±2.567
CK3	1.757±0.081	9.652±0.832	2.296±0.282	112.710±9.268	—	0.418±0.063	—	126.833±11.425
CK4	1.629±0.043	—	2.208±0.091	53.652±3.222	—	0.409±0.025	0.046±0.002	57.944±6.734
均值 Average	2.558±0.055	9.304±0.111	2.396±0.008	42.068±0.487	1.324±0.013	0.445±0.001	0.015±0.000	101.714±0.916

¹⁾ ‘56’、‘2-6’、‘杂 2-2’、‘杂 3-2’、‘杂 3-3’ 和 ‘杂 5-21’ 为中国沙棘与蒙古沙棘的杂交品系 (优系), 其余样本均为蒙古沙棘品种 (品系、优系) ‘56’, ‘2-6’, ‘Za 2-2 Hybrid’, ‘Za 3-2 Hybrid’, ‘Za 3-3 Hybrid’, and ‘Za 5-21 Hybrid’ are the strains (superior lines) of *H. rhamnoides* subsp. *sinensis* × subsp. *mongolica*, and other samples are the cultivars (strains, superior lines) of *H. rhamnoides* subsp. *mongolica*.

²⁾ C4: 表没食子儿茶素 (-)-Epigallocatechin; C6: 没食子儿茶素没食子酸酯 (-)-Gallocatechingallate. —: 未检出 No detection.

果肉含有全部的7个黄酮类成分;而‘HS-14’和‘CK2’果肉中黄酮类成分最少,仅检出3个成分。表没食子儿茶素、芦丁和木犀草素均存在于供试52个样本果肉中,而其余4个成分仅存在于部分样本果肉中,其中,大多数样本果肉中未检出没食子儿茶素没食子酸酯。

果肉中芦丁、槲皮素、表没食子儿茶素和异鼠李素分别为12.510~136.558、5.451~19.932、1.688~3.738和0.160~9.601 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,含量较高,这4个成分是供试沙棘样本果肉中黄酮类的主要成分;果肉中没食子儿茶素没食子酸酯、木犀草素和柚皮苷含量较低,分别为1.179~1.607、0.348~0.613和0.001~0.050 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。在供试52个样本中,‘201301’、‘CK3’和‘201316’果肉中芦丁含量较高,分别为136.558、112.710和100.559 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$;‘2-6’、‘无刺丰’、‘201303’和‘201310’果肉中槲皮素含量较高,分别为19.932、12.361、11.660和11.334 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$;‘40’、‘TF1-15’、‘HS-21’和‘TF2-1’果肉中表没食子儿茶素含量较高,分别为3.738、3.726、3.397和3.040 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$;‘HS-21’、‘HS-01’和‘201305’果肉中异鼠李素含量较高,分别为9.601、8.405和8.389 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

由表3还可见:供试52个样本果肉中7个黄酮类成分的总含量差异明显,其中,‘201301’、‘CK3’和‘201316’果肉中黄酮类成分的总含量较高,分别为152.129、126.833和105.344 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$;‘01’和‘TF2-1’果肉中黄酮类成分的总含量较低,分别仅为16.294和19.931 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

2.4 种子中黄酮类成分及其含量的比较

供试52个沙棘样本种子中黄酮类成分的含量见表4。结果显示:供试52个样本种子中共含有8个黄酮类成分;其中,‘杂3-3’、‘HS-01’、‘201303’、‘201305’、‘201310’、‘201320’、‘CK1’和‘CK4’种子中黄酮类成分最多,含有其中7个成分;而‘2-6’、‘01’、‘巨人’、‘TF2-1’、‘新俄3’、‘40’和‘HS-20’种子中黄酮类成分最少,仅检出3个成分。表没食子儿茶素、芦丁和柚皮苷均存在于供试52个样本种子中,而其余5个成分仅存在于部分样本种子中,其中,大多数样本种子中未检出山柰酚和木犀草素。

种子中表没食子儿茶素、芦丁、槲皮素和异鼠李素的含量分别为4.661~31.488、3.306~55.204、5.121~15.149和0.386~11.175 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,含量较高,是供试沙棘样本种子中黄酮类的主要成分;没食子儿茶素没食子酸酯、木犀草素、山柰酚和柚皮苷含量较

表4 沙棘种子中黄酮类成分及其含量($\bar{X} \pm SE$)

Table 4 Flavonoid constituents and their contents in seed of *Hippophaë rhamnoides* Linn. ($\bar{X} \pm SE$)

样本 ¹⁾ Sample ¹⁾	各成分的含量/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) ²⁾ Content of each constituent ²⁾								
	异鼠李素 Isorhamnetin	槲皮素 Quercetin	山柰酚 Kaempferol	C4	芦丁 Rutin	C6	木犀草素 Luteolin	柚皮苷 Naringin	总计 Total
56	1.026±0.071	—	—	7.958±0.451	12.729±0.982	—	—	0.045±0.007	21.758±2.431
2-6	—	—	—	13.511±1.032	3.306±0.362	—	—	0.048±0.002	16.865±1.862
Za 2-2 Hybrid	0.580±0.023	—	—	11.971±2.134	6.409±0.681	—	—	0.148±0.013	19.108±1.928
Za 3-2 Hybrid	—	—	—	4.661±0.187	7.049±1.011	1.320±0.231	—	0.049±0.002	13.079±3.210
Za 3-3 Hybrid	1.057±0.016	—	2.088±0.036	7.814±0.932	4.813±0.467	1.556±0.121	0.546±0.033	0.073±0.011	17.947±1.225
Za 5-21 Hybrid	1.010±0.104	—	—	5.551±0.082	6.142±0.830	2.102±0.086	0.727±0.028	0.045±0.005	15.577±2.190
HS-21	3.321±0.086	—	0.340±0.012	8.870±0.473	4.276±0.563	—	—	0.080±0.002	16.887±3.123
TF2-10	—	—	—	8.535±0.178	4.251±0.721	—	0.655±0.011	0.052±0.012	13.493±1.228
01	—	—	—	5.238±0.234	3.506±0.084	—	—	0.027±0.008	8.771±0.992
Juren	—	—	—	11.929±1.216	8.616±0.738	—	—	0.041±0.003	20.586±1.836
HS-14	1.326±0.107	—	0.170±0.035	17.823±3.212	6.330±0.189	2.037±0.107	—	0.089±0.010	27.775±1.237
You 1	0.643±0.009	—	—	8.048±1.080	7.044±0.893	—	—	0.073±0.014	15.808±1.395
HS-01	11.175±1.132	15.149±1.324	1.076±0.071	10.017±1.267	10.017±1.011	—	0.676±0.006	0.051±0.003	48.161±2.378
TF2-1	—	—	—	6.406±0.932	8.327±0.892	—	—	0.066±0.004	14.799±1.364
Sui 3	0.472±0.031	—	—	15.645±1.012	6.377±0.476	2.187±0.204	—	0.104±0.012	24.785±1.478
Jinse	2.260±0.874	9.077±0.876	—	19.557±1.435	12.454±1.433	2.269±0.313	—	0.195±0.031	45.812±1.934
12	—	—	—	15.563±2.389	13.328±1.026	1.879±0.046	—	0.143±0.025	30.913±3.183
Xine 3	—	—	—	14.086±1.632	6.086±0.778	—	—	0.041±0.008	20.213±1.157
40	—	—	—	9.332±1.120	7.166±0.682	—	—	0.075±0.007	16.573±1.562
HS-20	—	—	—	10.102±1.078	9.012±1.014	—	—	0.067±0.012	19.181±1.202
TF2-34	—	—	—	11.845±0.943	8.758±0.678	1.615±0.072	0.577±0.012	0.062±0.008	22.857±1.336
Wucifeng	1.926±0.167	10.531±1.251	—	13.757±1.621	8.529±0.893	—	—	0.086±0.020	34.829±2.724

续表4 Table 4 (Continued)

样本 ¹⁾ Sample ¹⁾	各成分的含量/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) ²⁾ Content of each constituent ²⁾								
	异鼠李素 Isorhamnetin	槲皮素 Quercetin	山柰酚 Kaempferol	C4	芦丁 Rutin	C6	木犀草素 Luteolin	柚皮苷 Naringin	总计 Total
Sui 2	0.386±0.062	8.088±0.936	—	16.354±1.466	12.601±1.435	—	—	0.085±0.017	37.514±3.862
HS-19	—	—	—	13.980±1.333	11.001±0.912	1.849±0.143	—	0.136±0.042	26.966±1.117
36	1.097±0.106	—	—	6.838±0.924	7.921±0.413	—	0.565±0.031	0.102±0.007	16.523±1.032
06	1.661±0.092	—	—	8.339±0.438	12.485±0.324	—	—	0.110±0.003	22.595±2.093
TF2-36	1.163±0.035	9.251±1.042	—	27.629±2.132	14.989±1.312	2.841±0.082	—	0.157±0.008	56.030±3.182
Fenlan	2.394±0.108	—	—	8.709±1.041	11.724±0.886	2.296±0.053	—	0.047±0.005	25.170±1.236
TF1-15	—	5.121±0.723	—	9.272±1.720	8.650±1.024	1.425±0.041	—	0.157±0.007	24.625±1.092
Chuyi	2.892±0.243	—	—	12.048±1.678	8.842±0.776	—	—	0.081±0.010	23.863±1.781
201301	—	—	—	12.558±0.946	24.561±2.103	2.188±0.080	—	0.127±0.013	39.434±2.920
201303	3.861±0.814	7.742±0.892	0.289±0.006	5.994±0.432	10.989±1.788	—	0.405±0.024	0.059±0.008	29.339±1.863
201304	8.824±0.931	9.062±0.778	—	12.162±1.083	17.409±2.304	—	—	0.110±0.001	47.567±2.117
201305	6.062±1.210	7.102±1.013	0.034±0.003	7.448±0.436	9.007±1.025	—	0.482±0.016	0.091±0.002	30.226±1.245
201307	1.760±0.067	—	—	31.488±3.489	16.062±1.237	—	—	0.187±0.014	49.497±2.783
201308	—	—	—	11.597±1.263	11.176±1.090	—	0.683±0.032	0.108±0.013	23.564±1.376
201309	—	—	—	16.806±1.098	9.532±0.872	2.149±0.103	—	0.137±0.009	28.624±2.734
201310	4.852±0.064	8.329±0.772	1.639±0.012	10.317±0.931	7.039±1.083	1.376±0.009	—	0.070±0.002	33.622±2.198
201311	3.071±0.031	10.541±1.238	—	18.332±0.072	38.222±3.167	2.016±0.301	—	0.144±0.006	72.326±2.099
201312	—	6.846±0.229	—	12.469±1.131	12.714±0.942	1.972±0.072	—	0.192±0.032	34.193±1.273
201313	0.681±0.024	—	—	7.800±0.560	7.956±1.326	1.326±0.021	0.420±0.017	0.112±0.017	18.295±1.204
201315	0.812±0.072	—	—	8.426±1.235	8.118±0.932	1.476±0.034	—	0.109±0.003	18.941±0.832
201316	—	—	—	12.615±1.333	17.035±2.346	2.164±0.068	0.749±0.026	0.143±0.010	32.706±1.013
201317	—	—	—	11.675±1.024	13.134±1.356	1.800±0.062	—	0.140±0.007	26.749±1.785
201318	—	—	—	14.674±1.467	16.141±1.478	1.731±0.107	0.602±0.030	0.107±0.020	33.255±1.682
201319	—	—	—	16.247±1.222	14.135±1.002	2.177±0.060	—	0.112±0.001	32.671±2.308
201320	0.691±0.013	5.822±0.185	—	11.270±1.081	5.517±0.774	1.706±0.039	0.512±0.041	0.136±0.026	25.654±1.347
201322	1.759±0.411	6.774±0.983	—	16.009±0.788	8.991±0.823	1.735±0.057	—	0.116±0.024	35.384±1.230
CK1	5.625±0.725	10.445±0.724	1.440±0.023	8.539±0.432	13.126±1.277	1.694±0.024	—	0.053±0.006	40.922±2.439
CK2	2.070±0.018	—	—	14.673±1.357	17.388±2.364	2.103±0.081	—	0.131±0.002	36.365±3.123
CK3	2.862±0.082	5.805±0.083	—	9.356±1.022	55.204±5.327	—	—	0.133±0.007	73.360±3.420
CK4	1.368±0.036	7.212±0.462	—	16.891±1.728	16.069±3.272	2.115±0.063	0.623±0.023	0.096±0.003	44.374±2.181
均值 Average	2.538±0.079	8.405±0.135	0.884±0.094	12.091±0.097	11.581±0.161	1.831±0.016	0.456±0.014	0.099±0.001	29.348±0.264

¹⁾ ‘56’、‘2-6’、‘杂 2-2’、‘杂 3-2’、‘杂 3-3’和‘杂 5-21’为中国沙棘与蒙古沙棘的杂交品系(优系),其余样本均为蒙古沙棘品种(品系、优系) ‘56’, ‘2-6’, ‘Za 2-2 Hybrid’, ‘Za 3-2 Hybrid’, ‘Za 3-3 Hybrid’, and ‘Za 5-21 Hybrid’ are the strains (superior lines) of *H. rhamnoides* subsp. *sinensis*×subsp. *mongolica*, and other samples are the cultivars (strains, superior lines) of *H. rhamnoides* subsp. *mongolica*.

²⁾ C4: 表没食子儿茶素(-)-Epigallocatechin; C6: 没食子儿茶素没食子酸酯(-)-Gallocatechingallate. —: 未检出 No detection.

低,分别为 1.320 ~ 2.841、0.405 ~ 0.749、0.034 ~ 2.088 和 0.027 ~ 0.195 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。在供试 52 个样本中,‘201307’、‘TF2-36’和‘金色’种子中表没食子儿茶素含量较高,分别为 31.488、27.629 和 19.557 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$; ‘CK3’、‘201311’和‘201301’种子中芦丁含量较高,分别为 55.204、38.222 和 24.561 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$; ‘HS-01’、‘201311’、‘无刺丰’和‘CK1’种子中槲皮素含量较高,分别为 15.149、10.541、10.531 和 10.445 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$; ‘HS-01’和‘201304’种子中异鼠李素含量较高,分别为 11.175 和 8.824 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

由表 4 还可见:供试 52 个样本种子中 8 个黄酮类成分的总含量差异明显,其中,‘CK3’、‘201311’和‘TF2-36’种子中黄酮类成分的总含量较高,分别为 73.360、73.326 和 56.030 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$; ‘01’、‘杂 3-

2’和‘TF2-10’种子中黄酮类成分的总含量较低,分别为 8.771、13.079 和 13.493 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

2.5 不同器官中黄酮类成分总含量的比较

对供试 52 个沙棘样本叶片、果肉和种子中黄酮类成分的含量进行进一步统计和分析,结果显示:供试 52 个样本叶片、果肉和种子中黄酮类成分的总含量之和为 140.114 ~ 515.335 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。其中,‘201301’和‘CK3’叶片、果肉和种子中黄酮类成分的总含量之和较高,依次为 515.335 和 510.016 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$; ‘TF2-1’和‘新俄 3’叶片、果肉和种子中黄酮类成分的总含量之和较低,分别仅为 140.114 和 187.508 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

‘56’、‘2-6’、‘杂 2-2’、‘杂 3-2’、‘杂 3-3’和‘杂 5-21’6 个杂交品系(优系)叶片、果肉和种子中

黄酮类成分的总含量之和为 199.435 ~ 395.337 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, 平均值为 290.311 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$; 46 个蒙古沙棘品种(品系、优系)叶片、果肉和种子中黄酮类成分的总含量之和为 140.114 ~ 515.335 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, 平均值为 310.71 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。t 检验结果表明: 蒙古沙棘品种(品系、优系)叶片、果肉和种子中黄酮类成分的总含量之和显著($P < 0.05$)高于中国沙棘与蒙古沙棘的杂交品系(优系)。

2.6 不同器官中黄酮类成分含量的变异分析

对供试 52 个沙棘样本叶片、果肉和种子中黄酮类成分含量的变异系数进行比较, 结果见表 5。供试 52 个样本中 8 个黄酮类成分含量的变异系数为

1.421% ~ 101.211%, 变幅很大。

叶片中表没食子儿茶素和异鼠李素含量的变异系数均超过 85%, 芦丁、山柰酚和槲皮素含量的变异系数均在 30% 以上, 而没食子儿茶素没食子酸酯和木犀草素含量的变异系数均在 20% 以下; 果肉中芦丁含量变异系数超过 100%, 柚皮苷和槲皮素含量的变异系数均在 30% 以上, 而异鼠李素、表没食子儿茶素和木犀草素含量的变异系数均在 5% 以下; 种子中芦丁和山柰酚含量的变异系数均在 85% 以上, 异鼠李素和柚皮苷含量的变异系数均在 30% 以上, 而表没食子儿茶素和木犀草素含量的变异系数均在 15% 以下。

表 5 沙棘叶片、果肉和种子中黄酮类成分含量的变异系数

Table 5 Coefficient of variation of contents of flavonoid constituents in leaf, pulp, and seed of *Hippophaë rhamnoides* Linn.

器官 Organ	各成分含量的变异系数/% ¹⁾				Coefficient of variation of content of each constituent ¹⁾				
	异鼠李素 Isorhamnetin	槲皮素 Quercetin	山柰酚 Kaempferol	C4	芦丁 Rutin	C6	木犀草素 Luteolin	柚皮苷 Naringin	总计 Total
叶片 Leaf	86.148	32.217	33.788	97.406	37.576	16.309	19.017	28.677	23.019
果肉 Pulp	3.441	30.704	—	2.585	101.211	9.478	1.421	76.764	52.731
种子 Seed	68.508	24.029	88.072	29.334	96.252	11.504	13.365	32.332	47.174

¹⁾ C4: 表没食子儿茶素(-)-Epigallocatechin; C6: 没食子儿茶素没食子酸酯(-)-Gallocatechingallate. —: 无数据 No datum.

3 讨论和结论

黄酮类成分是沙棘叶片和果实中主要活性成分之一, 具有广泛的药理活性^[15]。供试 52 个沙棘样本叶片、果肉和种子中黄酮类成分的总含量分别为 105.384 ~ 341.698、16.294 ~ 152.129 和 8.771 ~ 73.360 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, 且叶片中黄酮类成分的总含量明显高于果肉和种子, 种子中黄酮类成分的总含量最低, 这可能与供试 52 个品种(品系、优系)大多为蒙古沙棘有关, 蒙古沙棘分布于气候较寒冷的地区, 其叶片中黄酮类成分含量的增加, 有利于其在极端环境下的生长发育^[16]。李春英等^[17]发现, 引种于俄罗斯的大果沙棘叶片中总黄酮含量明显高于果肉, 与本研究结果一致; 但布海力且木等^[18]的研究结果表明: 产自陕西吴起的野生中国沙棘果实中黄酮类总含量高于叶片, 与本研究结果有一定差异。这主要是由于供试沙棘隶属于不同的亚种以及生长环境有差异。

沙棘叶片是沙棘茶的主要原料, 黄酮类含量是沙棘茶品质的重要指标之一^[19]。本研究供试 52 个品

种(品系、优系)叶片中主要黄酮类成分为芦丁、槲皮素、表没食子儿茶素和山柰酚, 叶片中黄酮类成分的总含量较高的样本有‘杂 3-2’、‘201301’、‘TF2-36’和‘CK3’, 且这 4 个样本中芦丁含量也较高, 因而, 针对叶片黄酮资源, 可将这 4 个品种(品系、优系)作为沙棘茶原料培育和示范推广的优良种质进行定向育种。沙棘黄酮及其他活性成分具有降低高血压、软化血管、改善血液循环等作用^[20]。供试 52 个品种(品系、优系)中, ‘201301’和‘CK3’叶片、果肉和种子中黄酮类成分的总含量之和较高, 分别为 515.335 和 510.016 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, 因而, 这 2 个优系可作为黄酮类化合物原料的定向育种材料。张慧娟等^[10]检出沙棘果肉和种子中黄酮类含量最高的成分分别为异鼠李素和山柰酚, 而本研究中沙棘果肉和种子中黄酮类含量最高的成分分别为芦丁和表没食子儿茶素, 这一现象与“沙棘不同器官中黄酮类成分的组成及比例随采摘时间、产量和品种的不同而存在很大差异”^[21]有关, 因而, 在实际生产过程中, 应综合考虑品种(品系、优系)和栽培环境的差异。

供试 52 个沙棘样本叶片、果实和种子中黄酮类

成分的含量存在不同程度的差异,其中,叶片中表没食子儿茶素和异鼠李素、果肉中芦丁和柚皮苷、种子中芦丁和山柰酚含量的变异系数均大于75%,但有一些黄酮类成分含量的变异程度很小,如叶片、果肉和种子中没食子儿茶素没食子酸酯和木犀草素含量的变异系数均在20%以下。不同器官的黄酮类成分组成也存在较大差异,其中有些品种(品系、优系)叶片、果肉和种子中黄酮类成分较全面,如‘201310’果肉和种子中均可检出7个黄酮类成分,而有些品种(品系、优系)果肉和种子中仅可检出3个黄酮类成分。可见导致沙棘不同部位黄酮类成分含量变异的原因与栽培生境的差异有关,但主要与各品种(品系、优系)的遗传特性以及黄酮类成分的代谢途径有关,因而,在针对沙棘黄酮资源的定向育种过程中,有必要了解不同品种(品系、优系)的黄酮类成分分子调控机制,以便更准确地选择育种材料。

供试52个沙棘品种(品系、优系)不同器官中黄酮类总含量由高到低依次为叶片、果肉、种子;芦丁、槲皮素和表没食子儿茶素均为沙棘叶片、果肉和种子中主要黄酮类成分。‘杂3-2’、‘201301’、‘TF2-36’和‘CK3’叶片中黄酮类成分的总含量较高,‘201301’、‘CK3’和‘201316’果肉中黄酮类成分的总含量较高,‘CK3’、‘201311’和‘TF2-36’种子中黄酮类成分的总含量较高;‘201301’和‘CK3’叶片、果肉和种子中黄酮类成分的总含量之和较高。此外,蒙古沙棘品种(品系、优系)叶片、果肉和种子中黄酮类成分总含量之和显著($P < 0.05$)高于中国沙棘与蒙古沙棘的杂交品系(优系)。因而,在实际生产过程中,应依据不同器官中主要黄酮类成分的差异,有针对性地进行沙棘食品、药品和保健品的开发。

参考文献:

- [1] RUAN C J, RUMPUNEN K, NYBOM H. Advances in biotechnological breeding of quality and resistance for multi-purpose sea buckthorn [J]. *Critical Reviews in Biotechnology*, 2013, 33(2): 126-144.
- [2] 孙妙,杨周婷,张存莉,等. 中国沙棘种子的水引发技术及其抗性生理效应[J]. *林业科学*, 2014, 50(12): 32-39.
- [3] 陈学林,马瑞君,孙坤,等. 中国沙棘属种质资源及其生境类型的研究[J]. *西北植物学报*, 2003, 23(3): 451-455.
- [4] 赵波,向晓玲,王微,等. 沙棘黄酮制备及体外抑制人前列腺癌PC-3细胞作用研究[J]. *天然产物研究与开发*, 2018, 30(1): 27-32, 160.
- [5] YANG B, HALTTUNEN T, RAIMO O, et al. Flavonol glycosides in wild and cultivated berries of three major subspecies of *Hippophae rhamnoides* and changes during harvesting period [J]. *Food Chemistry*, 2009, 115(2): 657-664.
- [6] CHENG J, KONDO K, SUZUKI Y, et al. Inhibitory effects of total flavones of *Hippophae rhamnoides* L on thrombosis in mouse femoral artery and in vitro platelet aggregation [J]. *Life Sciences*, 2007, 72(20): 2263-2271.
- [7] 邓小娟,司传领,刘忠,等. 沙棘的药理作用研究进展[J]. *中国药业*, 2009, 18(1): 63-64.
- [8] 焦岩,王振宇. 大果沙棘果渣黄酮降血脂与抗氧化作用[J]. *营养学报*, 2009, 31(5): 516-518.
- [9] 杜蕾蕾,陈维. 不同沙棘叶中槲皮素、山柰酚和异鼠李素的含量比较[J]. *成都医学院学报*, 2015, 10(1): 28-30, 34.
- [10] 张慧娟,陈佳佳,苏琴琴,等. 沙棘果肉黄酮与沙棘籽黄酮之槲皮素、山柰酚和异鼠李素含量的比较[J]. *中国中医药科技*, 2016, 23(5): 554-556, 562.
- [11] 付阳,王宇坤,刘明博,等. UPLC-ESIMS法同时测定沙棘黄酮中5种主要成分含量[J]. *内蒙古农业大学学报(自然科学版)*, 2016, 37(3): 129-133.
- [12] 李春英,王微,赵春建,等. 沙棘不同部位总黄酮含量的测定及比较[J]. *植物研究*, 2005, 25(4): 453-456.
- [13] ARIMBOOR R, ARUMUGHAN C. HPLC-DAD-MS/MS profiling of antioxidant flavonoid glycosides in sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) seeds [J]. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 2012, 63(6): 730-738.
- [14] FANGR, VEITCH N C, KITE G C, et al. Enhanced profiling of flavonol glycosides in the fruits of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2013, 61: 3868-3875.
- [15] YASUKAWA K, KITANAKA S, KAWATA K, et al. Anti-tumor promoters phenolics and triterpenoid from *Hippophae rhamnoides* [J]. *Fitoterapia*, 2009, 80(3): 164-167.
- [16] 陈星,匡亚兰,阎洁坤,等. 沙棘养生茶的研制及营养成分分析[J]. *吉林农业大学学报*, 1995, 17(3): 79-83.
- [17] 李春英,王微,赵春建. 沙棘不同部位总黄酮含量的测定及比较[J]. *植物研究*, 2005, 25(4): 453-456.
- [18] 布海力且木,买丽克. 薄层层析法测定沙棘不同部位黄酮类成分[J]. *新疆中医药*, 2003, 21(5): 18-19.
- [19] 洪道鑫,张雨欣,李轩豪,等. 西藏沙棘叶黄酮类化学成分的研究[J]. *中药材*, 2017, 40(4): 861-864.
- [20] 苏利荣,马绍英,李胜,等. 沙棘籽中总黄酮的提取及纯化工工艺研究[J]. *甘肃农业大学学报*, 2015, 50(1): 165-170.
- [21] 刘朵花,李建辉,吴伸. 沙棘果肉和叶中黄酮类化合物组分的比较研究[J]. *沙棘*, 1999, 12(3): 28-30.

(责任编辑:郭严冬)