

DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.021872

引用格式:李京凌,滕左,韩芳,等.四大产区商品莼菜多糖组成及抗氧化活性分析[J].食品与发酵工业,2020,46(1):262-268.

LI Jingling, TENG Zuo, HAN Fang, et al. Analysis of polysaccharide components and antioxidant activity of commodity *Brasenia schreberi* from four production areas[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(1): 262-268.

四大产区商品莼菜多糖组成及抗氧化活性分析

李京凌¹, 滕左², 韩芳¹, 袁婧¹, 于杰^{1,3*}

1(西南大学 园艺园林学院, 重庆, 400715) 2(重庆市铜梁二中, 重庆, 402560)

3(南方山地园艺学教育部重点实验室, 重庆, 400715)

摘 要 为探究莼菜多糖组成及其抗氧化活性,以4大产区商品莼菜嫩叶为实验材料,采用苯酚-硫酸法测定莼菜总糖含量,结果显示雷波莼菜的总糖含量最高,为 (15.470 ± 0.348) mg/g;利用高效液相色谱法(performance liquid chromatography, HPLC)检测莼菜多糖组成及含量,鉴定出10种单糖成分,主要为半乳糖(36.05% ~ 40.33%)、岩藻糖(14.32% ~ 16.68%)和甘露糖(11.60% ~ 16.35%)。采用DPPH、FRAP、ABTS三种体外抗氧化检测方法测定莼菜多糖的抗氧化活性,发现莼菜水溶性多糖抗氧化能力强于碱溶性多糖,综合抗氧化能力强弱顺序为:利川莼菜 > 石柱莼菜 > 雷波莼菜 > 西湖莼菜。相关性分析表明,多糖浓度与抗氧化活性密切相关,甘露糖等多种单糖具有抗氧化活性。这为我国莼菜研究和资源开发提供更多的基础数据。

关键词 莼菜;水溶性多糖;碱溶性多糖;高效液相色谱;抗氧化活性

Analysis of polysaccharide components and antioxidant activity of commodity *Brasenia schreberi* from four production areas

LI Jingling¹, TENG Zuo², HAN Fang¹, YUAN Jing¹, YU Jie^{1,3*}

1(College of Horticulture and Landscape Architecture, Southwest University, Chongqing 400715, China)

2(Tongliang No.2 Middle School, Chongqing 402560, China)

3(Key Laboratory of Horticulture Science for Southern Mountainous Regions, Ministry of Education, Chongqing 400715, China)

ABSTRACT Young leaves of commodity *Brasenia schreberi* from four production areas were used as experimental material in this experiment to explore the polysaccharide composition of *Brasenia schreberi* and its antioxidant activity. The total polysaccharide content of *Brasenia schreberi* was determined by phenol-sulfuric acid method. The result showed that the total polysaccharide content of Leibo *Brasenia schreberi* was the highest: (15.470 ± 0.348) mg/g. The components and contents of polysaccharide in *Brasenia schreberi* were detected by HPLC, where ten monosaccharide components were identified, and the major ones were galactose (36.05% - 40.33%), fucose (14.32% - 16.68%) and mannose (11.60% - 16.35%). The antioxidant activity of polysaccharide from *Brasenia schreberi* was determined by DPPH, FRAP and ABTS in vitro. It was found that water-soluble polysaccharide has stronger antioxidant capacity than alkal-soluble polysaccharide in *Brasenia schreberi*, and the comprehensive antioxidant capacity was in the order of Lichuan > Shizhu > Leibo > Xihu. Correlation analysis showed that polysaccharide concentration was closely related to antioxidant activity and mannose and some other monosaccharides had antioxidant activity. This study provides more basic data for *Brasenia schreberi* research and resource development in China.

Key words *Brasenia schreberi*; water-soluble polysaccharides; alkal-soluble polysaccharides; HPLC; antioxidant activity

第一作者:李京凌硕士研究生和滕左硕士研究生为共同第一作者(于杰副教授为通讯作者, E-mail: yujie1982@swu.edu.cn)

基金项目:国家自然科学基金(31772260);重庆市社会民生项目(cstc2017shms-kjfp80009);西南大学科技创新基金(SZ201802)

收稿日期:2019-08-01, 改回日期:2019-09-04

莼菜 (*Brasenia schreberi* J. F. Gmel.) 是莼菜科 (Cabombaceae) 多年生水生宿根草本, 在我国重庆、云南、四川、湖南、湖北、浙江和江苏等地均有分布^[1]。莼菜含有丰富的微量元素、膳食纤维、多糖物质和多种人体必需氨基酸^[2-4], 具有降血脂、抗氧化和调节免疫等功效^[5-11], 应用前景广阔^[12-13]。莼菜幼叶的果胶中富含多糖, 莼菜多糖的单糖组成成分及生物活性一直是莼菜的研究热点。据 KAKUTA 等^[14]、王倩^[7]、张平等^[15] 分析研究, 发现莼菜多糖含有半乳糖、岩藻糖、甘露糖等多种单糖成分, 但具体单糖种类及含量在各报道中存在差异; 周毅峰等^[9] 研究报道了莼菜多糖具有良好的抗氧化活性, 但对抗氧化活性起作用的具体单糖物质目前仍缺乏系统的研究。

本研究采用苯酚-硫酸显色法对不同产区莼菜总糖含量进行测定, 利用高效液相色谱法检测莼菜多糖成分及含量, 采用 DPPH、FRAP、ABTS 法对莼菜多糖进行抗氧化活性测定, 最后通过相关性分析探究对抗氧化活性有贡献的具体单糖物质, 旨在为我国莼菜资源研究提供更多的基础数据, 也为莼菜的生产加工及相关产品的开发利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料与试剂

本实验以重庆石柱 (SZ)、湖北利川 (LC)、四川雷波 (LB)、浙江西湖 (XH) 4 个地区莼菜的嫩叶为材料。

石油醚、氯仿、正丁醇、三氟乙酸、苯酚、过氧化氢等试剂, 成都科龙化工试剂厂。单糖标准品, 美国 Sigma 公司 (St Louis, Mo, USA)。

1.2 仪器与设备

Scientz-10N 冷冻干燥机, 宁波新芝冻干设备股份有限公司; 721G 可见分光光度计, 上海仪电分析仪器有限公司; Agilent1200 高效液相色谱仪, 南京利尔实验仪器设备有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 莼菜多糖的提取

将各产区莼菜冷冻干燥, 粉碎过 40 目筛获得莼菜干粉, 参考周毅峰^[9, 16-17] 方法提取莼菜多糖。离心所得上清液中的蛋白质用 Sevag 法^[18] 除去, 最后所得碱性及水溶性多糖溶液置于 4 ℃ 冰箱保存^[6]。

1.3.2 总糖含量测定

参考宁可^[19] 方法绘制标准曲线测总糖含量。

1.3.3 HPLC 测定多糖组成及含量

参考符梦凡等^[20]、栾丽杰等^[21] 柱前衍生化

HPLC 法略加修改。色谱条件: 选用 Thermo C₁₈ (4.6 mm × 250 mm, 5 μm) 色谱柱, 柱温 25 ℃, 流速为 1.0 mL/min, 进样量 10 μL, 流动相为 0.1 mol/L pH 7.0 V (磷酸盐缓冲溶液): V(乙腈) = 82:18 的溶液, 波长 245 nm。

1.3.4 抗氧化能力测定

参考左龙亚^[22]、张昭^[23] 的 DPPH、ABTS 和 FRAP 法检测样品的抗氧化能力。

1.3.5 统计学处理

实验进行 3 次生物学重复, 采用 SPSS 19.0 软件进行单因素差异分析 (one-way analysis of variance, ANOVA) 及皮尔森相关性分析^[24] (pearson's correlation analysis), 显著性水平为 0.05。莼菜多糖类物质抗氧综合百分比 (antioxidant percent comprehensive, APC) 指数/% = (测定值/最大值) × 100, APC 综合指数/% = Σ[(测定值)/(3 × 最大值) × 100]。

2 结果与分析

2.1 四大产区莼菜总糖含量分析

以葡萄糖为标准品, 绘制所得标准曲线 ($y = 0.046x - 0.0009$, $R^2 = 0.9999$) 如图 1 所示, 在 0 ~ 10 mg/mL 范围内线性关系良好。利用该标准曲线对不同产区莼菜的总糖含量进行分析, 结果如图 2 所示。

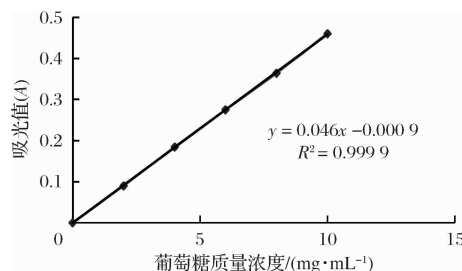
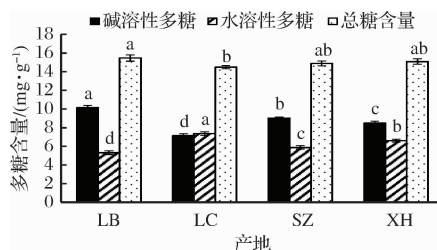


图 1 葡萄糖标准曲线

Fig. 1 Glucose standard curve



LB-雷波; LC-利川; SZ-石柱; XH-西湖

图 2 不同产区莼菜多糖含量

Fig. 2 The polysaccharide contents of *B. schreberi* in different areas

注: 柱上的字母代表 $P < 0.05$ 上的差异显著。下同。

莼菜碱溶性及水溶性多糖含量在不同产区中均存在显著性差异($P < 0.05$)。雷波莼菜碱溶性多糖含量最高,达到 (10.150 ± 0.236) mg/g (Mean \pm ED,下同);利川莼菜水溶性多糖含量最高,为 (7.360 ± 0.190) mg/g。除利川莼菜外,其他3个产区莼菜中的碱溶性多糖含量均高于水溶性多糖。

受采摘季节及取材部位等因素影响^[19],莼菜总糖含量在各研究报道中存在一定差异^[16,19,25]。本研究所测总糖含量相较其他报道偏低,除莼菜嫩叶可能存在多糖物质合成积累不足外,还可能是莼菜中含有相同浓度下吸光值较葡萄糖低的单糖组分,故以葡萄糖为标准曲线计算所得总糖含量偏低。在本研究中,雷波莼菜的总糖含量最高,为 (15.470 ± 0.348) mg/g,显著高于含量最低的利川莼菜 (14.500 ± 0.179) mg/g($P < 0.05$)。莼菜多糖含量的地区差异除与生长状况有关外,还与品种及产区生态条件密切相关^[3]。

2.2 四大产区莼菜多糖的组成及含量分析

2.2.1 HPLC 结果分析

将10种单糖标准品在245 nm波长下进行检测,所得回归方程如表1所示,相关性良好。图形波峰明显,对称性良好,能够进行各类单糖物质的检测。图3为部分样品及标准品色谱图。

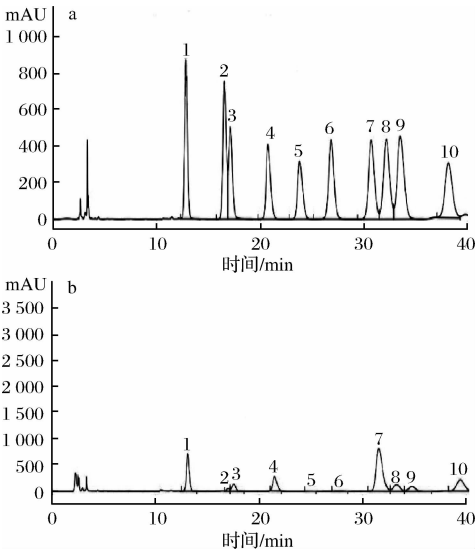
表1 单糖标准品标准曲线

单糖标准品	回归方程	相关系数(R^2)
甘露糖	$y = 81.474\ 77x + 116.577\ 40$	0.999 80
核糖	$y = 87.874\ 58x - 26.273\ 16$	0.999 92
鼠李糖	$y = 65.397\ 77x + 2.790\ 36$	0.999 98
葡萄糖醛酸	$y = 60.093\ 71x + 175.108\ 33$	0.999 11
半乳糖醛酸	$y = 52.724\ 09x + 193.554\ 06$	0.998 51
葡萄糖	$y = 79.072\ 25x + 114.162\ 27$	0.999 78
半乳糖	$y = 85.840\ 32x + 116.106\ 00$	0.999 82
木糖	$y = 92.819\ 43x + 26.407\ 75$	0.999 97
阿拉伯糖	$y = 104.769\ 80x + 103.012\ 90$	0.999 91
岩藻糖	$y = 75.800\ 38x + 108.051\ 14$	0.998 74

2.2.2 多糖的组成及含量分析

据余昌均^[25]研究报道,莼菜多糖中各单糖组分及所占比例为:半乳糖32%~40%、葡萄糖醛酸19%~29%、岩藻糖13%~16%、甘露糖10%~14%、鼠李糖6%~9%、木糖2%~7%、阿拉伯糖2%~3%和少量葡萄糖,共8种单糖组分。与余昌均^[25]报道相比,王倩^[7]、宁可^[19]研究报道为7种单糖组分,均未检测到葡萄糖醛酸,而崔杰等^[26]同样报

道为7种单糖组分,未检测到阿拉伯糖。



a-标准品色谱图;b-部分样品色谱图;
1-甘露糖;2-核糖;3-鼠李糖;4-葡萄糖醛酸;5-半乳糖醛酸;
6-葡萄糖;7-半乳糖;8-木糖;9-阿拉伯糖;10-岩藻糖

图3 标准品及样品色谱图

Fig.3 Chromatogram of the sample and the standard sample

本研究以4大产区莼菜嫩叶为材料,分别测定莼菜碱溶性多糖和水溶性多糖的组分及含量,结果如表2所示。所测成分为半乳糖等10种单糖,各单糖在2类多糖中的含量存在差异。各产区莼菜的半乳糖质量分数在2类多糖中均为最高(36.05%~40.33%),其次是岩藻糖(14.32%~16.68%)、甘露糖(11.60%~16.35%)和葡萄糖醛酸(6.85%~12.55%),其他单糖组分为鼠李糖、木糖、阿拉伯糖,少量葡萄糖、半乳糖醛酸和核糖。其中,半乳糖醛酸和核糖均为首次报道,核糖可能因含量过低而在部分莼菜中未检测出。以往的报道中,一般均认为半乳糖在莼菜多糖组分中含量最高,但其余单糖组分及所占比例在各报道中不尽相同。除半乳糖外,王倩^[7]研究报道,其次应为鼠李糖、岩藻糖和木糖,而崔杰等^[26]报道为岩藻糖、木糖和鼠李糖。本研究所测结果显示半乳糖、岩藻糖、甘露糖和葡萄糖醛酸的含量位列前四,与余昌均^[25]研究结果最为接近。莼菜不同部位提取的多糖中各单糖组分及含量存在明显差异^[19]。本研究所测甘露糖含量相比王倩^[7]、崔杰等^[26]报道偏高,葡萄糖醛酸含量相比余昌均^[25]报道偏低,这除了与莼菜取材部位有关外,还可能是受提取溶剂的影响。在本研究中由于碱液浸提过程会对莼菜嫩叶细胞壁造成一定破坏,导致浸提液中的多糖种类及

含量与水解法存在差异。

表 2 不同产区莼菜多糖组成成分及含量

单位: %

Table 2 The composition and content of polysaccharide from *B. schreberi* in different producing areas

组分	莼菜单糖质量分数							
	LB	LC	SZ	XH	LB *	LC *	SZ *	XH *
甘露糖	14.50	16.35	14.25	14.25	16.18	13.67	14.59	11.60
核糖	2.67	ND	ND	0.39	1.23	5.45	3.08	8.19
鼠李糖	6.89	5.23	5.97	5.37	5.19	5.15	4.97	4.89
葡萄糖醛酸	6.85	11.22	11.14	11.86	12.55	11.29	12.21	11.09
半乳糖醛酸	0.99	0.11	0.17	2.55	0.12	0.22	0.12	0.23
葡萄糖	3.69	1.69	2.06	3.36	0.56	2.25	1.29	0.32
半乳糖	37.65	38.74	40.33	36.38	39.76	36.18	38.83	36.05
木糖	5.90	5.77	5.48	5.47	5.97	5.15	5.29	5.22
阿拉伯糖	6.57	4.59	5.08	5.36	4.01	4.12	3.85	4.25
岩藻糖	14.32	16.30	15.52	15.02	14.44	16.52	16.00	16.68

注:不带 * 表示水溶性多糖,带 * 表示碱性多糖,下同;ND 表示未检测出。

比较 4 大产区莼菜水溶性多糖中各单糖组分及含量,发现主要单糖组分中,甘露糖、岩藻糖在利川莼菜中含量最高,分别为 16.35%、16.30%;半乳糖在石柱莼菜中含量最高(40.33%),西湖莼菜中含量最低(36.38%);葡萄糖醛酸在雷波莼菜中含量仅 6.85%,远低于其他产区;其余含量较低的单糖组分如葡萄糖、半乳糖醛酸的含量也存在一定差异。同样比较不同产区莼菜碱性多糖中各单糖组分及含量,发现西湖莼菜中的半乳糖、甘露糖和葡萄糖醛酸含量均为 4 个产区中最低,而岩藻糖在雷波莼菜中含量最低,为 14.44%。核糖在西湖莼菜中的含量则远高于其他产区。莼菜对栽培条件要求较高,气候、水质等环境条件对莼菜多糖物质的合成有较大影响^[27],这是各产区莼菜单糖含量产生差异的重要原因。

2.3 四大产区莼菜多糖抗氧化活性分析

2.3.1 莼菜多糖 DPPH 自由基清除能力比较

前人对于莼菜多糖抗氧化能力的研究主要集中在多糖类型和莼菜取材部位^[9,19],本研究分别提取 4 大产区莼菜的碱性多糖和水溶性多糖,比较不同产区莼菜 2 类多糖抗氧化能力的差异。如图 4 所示,4 大产区莼菜碱性多糖对 DPPH 自由基清除能力由强到弱为:雷波莼菜、石柱莼菜、利川莼菜、西湖莼菜。雷波莼菜清除率最高,清除率达(24.563 ± 0.950)%,显著高于其他 3 个产区($P < 0.05$)。四大产区莼菜水溶性多糖中,利川莼菜对 DPPH 自由基清除能力最强,清除率为(46.950 ± 0.976)%;显著高于石柱莼菜和西湖莼菜($P < 0.05$),后 2 者分别为(40.990 ± 0.528)%、(39.640 ± 0.597)%,而雷波莼菜清除率最低,为(36.570 ± 0.888)%。总体来说,

莼菜的两种类型多糖对 DPPH 自由基清除能力均存在地区间的差异,且水溶性多糖对 DPPH 自由基清除能力强于碱性多糖。

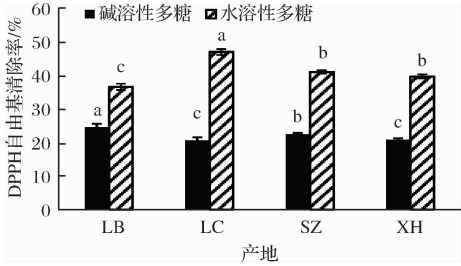


图 4 莼菜多糖 DPPH 自由基清除能力比较

Fig. 4 DPPH radical scavenging activity of *B. schreberi* polysaccharides

2.3.2 莼菜多糖 FRAP 抗氧化能力比较

由图 5 可知:4 大产区莼菜的 2 种类型多糖对 FRAP 铁离子还原能力均存在显著性差异($P < 0.05$)。

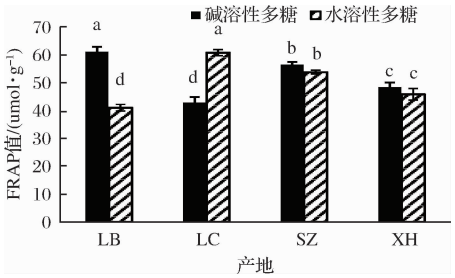


图 5 不同莼菜多糖 FRAP 还原能力比较

Fig. 5 FRAP redcing power of *B. schreberi* polysaccharides

在莼菜碱性多糖中,对 FRAP 铁离子抗氧化能

力由强到弱依次为:雷波莼菜、石柱莼菜、西湖莼菜、利川莼菜,其 FRAP 还原值依次为(61.060 ± 1.756)、(56.450 ± 0.966)、(48.250 ± 1.777)、(42.820 ± 1.961) $\mu\text{mol/g}$ 。而在莼菜水溶性多糖中,对 FRAP 铁离子抗氧化能力强弱顺序为:利川莼菜 > 石柱莼菜 > 西湖莼菜 > 雷波莼菜;最高还原值(利川莼菜)与最低还原值(雷波莼菜)分别为(60.775 ± 1.181)、(40.980 ± 1.119) $\mu\text{mol/g}$ 。

2.3.3 莼菜多糖 ABTS 自由基清除能力比较

由图 6 可知:在莼菜碱溶性多糖中,雷波莼菜 ABTS 自由基清除能力最强,为(48.690 ± 1.782)%,显著高于利川、石柱莼菜($P < 0.05$),但与西湖莼菜差异不显著。在莼菜水溶性多糖中,利川莼菜水溶性多糖对 ABTS 自由基清除能力最强,为(57.240 ± 2.242)%;其次是雷波莼菜,为(52.620 ± 1.256)%;石柱和西湖莼菜最弱,但均高于 45%。总体来说,莼菜水溶性多糖对 ABTS 自由基清除能力强于碱溶性多糖,且存在产区间的差异。据周毅峰等^[9]研究报道,莼菜水溶性多糖抗氧化能力强于碱溶性多糖,总抗氧化能力与多糖浓度密切相关,受水溶性多糖含量的影响更大。本研究针对不同产区莼菜的 2 类自由基清除实验中,水溶性多糖抗氧化能力强于碱溶性多

糖,这与周毅峰等^[9]的研究结果基本一致。

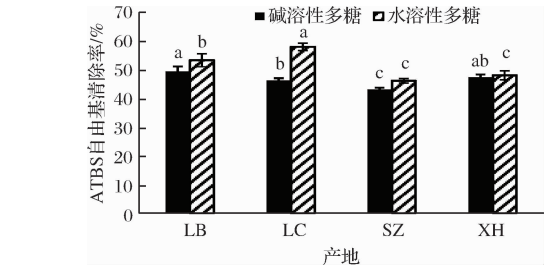


图 6 莼菜多糖 ABTS 自由基清除能力比较

Fig. 6 ABTS[•] radical scavenging activity of *B. schreberi* polysaccharides

2.3.4 四大产区莼菜多糖抗氧化活性综合评价

3 种抗氧化检测方法所得不同莼菜及多糖类型的 APC 综合性指数如表 3 所示,各类莼菜多糖的 APC 综合性指数在 51.88% ~ 99.62% 之间。在水溶性多糖中,综合抗氧化力由强到弱依次为:利川莼菜、石柱莼菜、西湖莼菜、雷波莼菜;其中利川莼菜的综合抗氧化能力最强,APC 综合性指数为 99.62%,对 DPPH 自由基清除能力(APC 指数 100%)、ABTS 自由基清除能力(APC 指数 100%)及对 FRAP 铁离子还原能力(APC 指数 98.86%)均达到最大 APC 指数;雷波莼菜则最弱,APC 综合性指数为 79.38%。

表 3 莼菜多糖抗氧化活性 APC 指数及排序

单位: %

Table 3 The APC index and rank of the antioxidant capacities of *B. schreberi* polysaccharides

产地	DPPH · APC 指数	FRAP APC 指数	ABTS + APC 指数	APC 综合性指数 APC index	APC 综合 指数均值	排序
LB	77.89	66.67	93.57	79.38	73.61	4
LB *	52.76	100	50.77	67.84		5
LC	100.00	98.86	100.00	99.62	75.75	1
LC *	43.81	69.66	42.16	51.88		8
SZ	87.31	87.48	87.48	87.42	74.58	2
SZ *	47.58	91.83	45.79	61.73		6
XH	84.42	74.47	95.77	84.89	69.98	3
XH *	44.17	78.5	42.51	55.06		7

在碱溶性多糖中,综合抗氧化能力强弱顺序为:雷波莼菜、石柱莼菜、西湖莼菜、利川莼菜, APC 综合性指数分别为 67.84%、61.73%、55.06%、51.88%。各产区莼菜 2 类多糖抗氧化能力强弱顺序与其多糖的含量排序大致相同,这表明莼菜多糖的抗氧化活性与其含量密切相关。

综合 2 种类型多糖抗氧化能力比较各产区商品莼菜的抗氧化活性,结果为利川莼菜 > 石柱莼菜 > 雷波莼菜 > 西湖莼菜,其 APC 综合指数均值分别为 75.75%、74.58%、73.61%、69.98%。以上数据表

明,莼菜 2 类多糖均具有良好的抗氧化活性,这与周毅峰^[9]、XIAO 等^[28]研究结果一致。但各产区莼菜 2 类多糖抗氧化能力存在显著差异($P < 0.05$),这种差异除与多糖含量有关外,可能还与其所含的有效作用因子有关。

2.4 莼菜多糖物质组分与抗氧化活性的相关性分析

进一步分析莼菜多糖及其物质组分与抗氧化活性之间的相关性,如表 4、5 所示。相关系数表明,莼菜 2 类多糖的浓度对 DPPH 自由基清除率、FRAP 铁离子还原能力均具有极显著或显著促进作用,相关系

数在 0.642 ~ 0.933 之间。

表 4 莼菜水溶性多糖与抗氧化活性的相关系数

Table 4 The correlation between water-soluble polysaccharides and antioxidant activity in *B. schreberi*

组分	多糖	甘露糖	核糖	鼠李糖	葡萄糖醛酸	半乳糖醛酸	葡萄糖	半乳糖	木糖	阿拉伯糖	岩藻糖	DPPH	FRAP
甘露糖	0.643 *												
核糖	-0.670 *	-0.084											
鼠李糖	-0.944 **	-0.474	0.855 **										
葡萄糖醛酸	0.764 **	0.166	-0.988 **	-0.920 **									
半乳糖醛酸	0.077	-0.508	-0.054	-0.116	0.118								
葡萄糖	-0.527	-0.631 *	0.601 *	0.572	-0.574	0.735 **							
半乳糖	-0.15	0.160	-0.230	0.058	0.117	-0.884 **	-0.746 **						
木糖	-0.264	0.462	0.844 **	0.515	-0.793 **	-0.341	0.182	-0.095					
阿拉伯糖	-0.809 **	-0.549	0.867 **	0.891 **	-0.880 **	0.317	0.875 **	-0.398	0.473				
岩藻糖	0.762 **	0.738 **	-0.685 *	-0.782 **	0.703 *	-0.525	-0.945 **	0.489	-0.206	-0.955 **			
DPPH ·	0.784 **	0.822 **	-0.588 *	-0.770 **	0.627 *	-0.481	-0.878 **	0.374	-0.076	-0.897 **	0.965 **		
FRAP	0.642 *	0.709 **	-0.626 *	-0.678 *	0.625 *	-0.634 *	-0.970 **	0.607 *	-0.168	-0.912 **	0.976 **	0.922 **	
ABTS +	0.313	0.853 **	0.375	-0.085	-0.277	-0.358	-0.216	-0.094	0.788 **	-0.082	0.315	0.445	0.313

注: ** 代表在 0.01 水平上显著相关(双尾); * 代表在 0.05 水平上显著相关(双尾);下同。

表 5 莼菜碱溶性多糖与抗氧化活性的相关系数

Table 5 The correlation between alkali-soluble polysaccharides and antioxidant activity in *B. schreberi*

组分	多糖	甘露糖	核糖	鼠李糖	葡萄糖醛酸	半乳糖醛酸	葡萄糖	半乳糖	木糖	阿拉伯糖	岩藻糖	DPPH	FRAP
甘露糖	0.655 *												
核糖	-0.703 *	-0.991 **											
鼠李糖	0.165	0.729 **	-0.641 *										
葡萄糖醛酸	0.839 **	0.924 **	-0.960 **	0.432									
半乳糖醛酸	-0.809 **	-0.855 **	0.914 **	-0.282	-0.978 **								
葡萄糖	-0.648 *	0.080	-0.035	0.403	-0.196	0.180							
半乳糖	0.880 **	0.894 **	-0.936 **	0.381	0.994 **	-0.978 **	-0.271						
木糖	0.857 **	0.782 **	-0.765 **	0.561	0.795 **	-0.677 *	-0.467	0.813 **					
阿拉伯糖	-0.471	-0.727 **	0.794 **	-0.198	-0.805 **	0.884 **	-0.206	-0.780 **	-0.29				
岩藻糖	-0.847 **	-0.887 **	0.875 **	-0.613 *	-0.887 **	0.782 **	0.335	-0.891 **	-0.979 **	0.457			
DPPH ·	0.872 **	0.819 **	-0.829 **	0.414	0.873 **	-0.813 **	-0.391	0.890 **	0.890 **	-0.519	-0.920 **		
FRAP	0.933 **	0.723 **	-0.777 **	0.154	0.906 **	-0.900 **	-0.531	0.937 **	0.809 **	-0.630 *	-0.844 **	0.888 **	
ABTS +	0.249	0.139	-0.059	0.403	0.042	0.119	-0.397	0.063	0.586 *	0.494	-0.466	0.373	0.176

莼菜水溶性多糖中,甘露糖、葡萄糖醛酸、半乳糖、木糖和岩藻糖在内的 5 种单糖组分具有一定的抗氧化作用。其中,甘露糖、葡萄糖醛酸和岩藻糖对 DPPH 自由基清除和 FRAP 铁离子还原均具有极显著或显著促进作用,相关系数在 0.625 ~ 0.976 之间。半乳糖仅对 FRAP 铁离子还原能力有较大贡献。而仅甘露糖和木糖对 ABTS 自由基清除具有极显著促进作用。核糖、鼠李糖、半乳糖醛酸、葡萄糖和阿拉伯糖 5 种单糖则在对 DPPH 自由基清除或 FRAP 铁离子还原能力方面显示出显著或极显著的负相关,表明水溶性多糖中的这几类单糖对抗氧化活性具有抑制作用。

莼菜碱溶性多糖中,甘露糖、葡萄糖醛酸、半乳糖和木糖在内的 4 种单糖组分具有一定的抗氧化作用,这 4 类单糖对 DPPH 自由基清除或 FRAP 铁离子还原能力均具有极显著的促进作用,相关系数在 0.723 ~ 0.937 之间。而仅木糖对 ABTS 自由基清除具有显著促进作用。核糖、半乳糖醛酸、阿拉伯糖和岩藻糖在内的 4 种单糖在 DPPH 自由基清除及 FRAP 铁离子还原能力方面显示出显著或极显著的负相关,表明碱溶性多糖中这 4 类单糖对抗氧化活性具有抑制作用。综上,在 2 类多糖中,对抗氧化能力有贡献的单糖种类除岩藻糖外均一致。岩藻糖在水溶性多糖中为极显著正相关,而在碱溶性多糖中为极显著负相

关,它对抗氧化活性的作用机制还有待进一步研究。而在不同抗氧化测定方法中,起作用的单糖种类存在差异:ABTS法主要是甘露糖、木糖起作用,DPPH及FRAP法中甘露糖、葡萄糖醛酸、半乳糖和木糖均有不同程度贡献。

相关性分析数据表明,莼菜多糖的抗氧化活性与其含量及组成密切相关。甘露糖、葡萄糖醛酸、半乳糖和木糖对抗氧化能力有显著促进作用,是抗氧化活性的有效作用因子。而核糖、半乳糖醛酸和阿拉伯糖则与抗氧化能力呈显著负相关,它们与鼠李糖、葡萄糖均不是抗氧化活性的贡献者。西湖莼菜多糖综合抗氧化能力较低,可能与其所含的甘露糖、半乳糖等有效作用因子相较其他产区偏低有关。

3 结论

由于莼菜对生长环境的要求较高,目前我国仅少部分产区种植莼菜。国内4大产区莼菜由于生长的环境条件不同,导致产生品质上的差异。本研究以国内四大产区商品莼菜为研究对象,分析了其总糖含量、多糖组成及含量,并分别提取四大产区莼菜的碱溶性多糖和水溶性多糖,比较不同产区莼菜2类多糖抗氧化能力的差异,探究各单糖组分对抗氧化活性的贡献。与其他产区莼菜相比,利川莼菜多糖的综合抗氧化能力更强。另外,各产区莼菜中,2类多糖均具有良好的抗氧化活性,但水溶性多糖抗氧化能力强于碱溶性多糖;而甘露糖等多种单糖组分对抗氧化活性具有显著的贡献作用。此结果对莼菜产区生态环境和栽培条件的研究有一定参考价值,同时,也为我国莼菜研究和莼菜多糖相关产品的开发利用提供理论依据。

参 考 文 献

- [1] 于丹. 中国北部莼菜 (*Brasenia schreberi*) 地史分布与生态适应[J]. 植物研究, 1991, 11(4): 99-105.
- [2] 巩江, 倪士峰, 司衍乐, 等. 莼菜药学研究概述[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(10): 4489-4490.
- [3] 吴会会, 刘乐承. 湖北利川莼菜资源的开发利用与保护[J]. 长江蔬菜, 2013(18): 15-17.
- [4] 万茜, 胡志辉. 莼菜的生物学特征特性观察[J]. 上海蔬菜, 2002(4): 31-32.
- [5] 刘翠俐, 于秋英. 莼菜多糖降低小鼠血糖作用的研究[J]. 现代预防医学, 1999(3): 358-359.
- [6] 于秋英, 刘翠俐. 莼菜多糖蛋白体降低小鼠血脂作用的研究[J]. 中国公共卫生学报, 1997, 16(2): 85-86.
- [7] 王倩. 莼菜多糖的提取及其功能特性的研究[D]. 江南大学, 2009.
- [8] 丁晓雯, 李洪军, 章道明. 莼菜的生理功能和护绿工艺研究概况[J]. 四川食品与发酵, 2007, 43(1): 43-45.
- [9] 周毅峰, 唐巧玉, 罗兴武, 等. 莼菜嫩叶胞内多糖体外抗氧化作用研究[J]. 食品科学, 2008, 29(8): 78-79.
- [10] HYUNSOOK K, QIAN W, CHARLES F, et al. Polysaccharide gel coating of the leaves of *Brasenia schreberi* lowers plasma cholesterol in hamsters[J]. Journal of Traditional and Complementary Medicine, 2015, 5(1): 56-61.
- [11] TAKAHASHI J, TOSHIMA G, MATSUMOTO Y, et al. *In vitro* screening for antihyperlipidemic activities in foodstuffs by evaluating lipoprotein profiles secreted from human hepatoma cells[J]. Journal of Natural Medicines, 2011, 65(3-4): 670-674.
- [12] 王慧芳, 谈如蓝. 莼菜的药用价值与综合开发应用[J]. 现代食品, 2016, 7(13): 45-46.
- [13] 刘美玉, 习向银, 罗丽娟, 等. 莼菜资源利用研究综述及展望[J]. 长江蔬菜, 2011(10): 7-10.
- [14] KAKUTA M, MISAKI A. Polysaccharide of "Junsai (*Brasenia schreberi* J. F. Gmel)" mucilage: constitution and linkage analysis[J]. Journal of the Agricultural Chemical Society of Japan, 1979, 43(5): 993-1005.
- [15] 张平, 俞智熙. 乙酰化莼菜多糖中单糖组分的 GC-MS 分析[J]. 武汉工程大学学报, 2008, 30(4): 36-38.
- [16] 周毅峰. 莼菜胶质及含锌生物大分子的初步研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2005.
- [17] 周毅峰, 吴永尧, 唐巧玉, 等. 莼菜体外胶质分离及组成成分的初步分析[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(4): 150-153.
- [18] 崔亦华, 崔英德, 易国斌. 应用广泛的天然多糖及其提取方法[J]. 广州化工, 2002, 30(3): 7-9.
- [19] 宁可. 莼菜多糖提取分离、结构鉴定及抗氧化研究[D]. 浙江工业大学, 2019.
- [20] 符梦凡, 赵一帆, 阎卫东. 柱前衍生化 HPLC 法分析枸杞多糖中单糖组成[J]. 食品科学, 2018(1): 186-191.
- [21] 栾丽杰, 邢欣欣, 杨永涛. 柱前衍生化 HPLC 法测定葡萄皮多糖中5种单糖的含量[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(2): 91-94.
- [22] 左龙亚. 柑橘亚属植物果皮多酚类物质提取及其抗氧化、抑菌活性检测[D]. 重庆: 西南大学, 2018.
- [23] 张昭. 中国地方柚果实酚类物质含量及其抗氧化活性分析[D]. 重庆: 西南大学, 2015.
- [24] SENSUSE D I, CAHYANINGSIH E, WIBOWO W C. Identifying knowledge management process of indonesian government human capital management using analytical hierarchy process and pearson correlation analysis[J]. Procedia Computer Science, 2015, 72(Complete): 233-243.
- [25] 余昌均. 福宝山莼菜的生物学特性和营养成分[J]. 资源开发与市场, 1995(6): 262-263.
- [26] 崔杰, 何正有, 屠银芳, 等. 莼菜多糖的分离、纯化及结构初步研究[J]. 中成药, 2018, 40(4): 990-993.
- [27] 王苗苗, 吴宜钟, 于杰, 等. 莼菜优质高产种植技术[J]. 现代农业科技, 2018(1): 64-65.
- [28] XIAO H W, CAI X R, FAN Y J, et al. Antioxidant activity of water-soluble polysaccharides from *Brasenia schreberi*[J]. Pharmacognosy Magazine, 2016, 12(47): 193.