

铁皮石斛茎、叶、花功能性成分、抗氧化活性及其相关性

Analysis of functional composition, antioxidant activity and their correlation in stem, leaf and flower from *Dendrobium officinale*

唐文文^{1,2} 夏俊丽¹ 陈 垣²

TANG Wen-wen^{1,2} XIA Jun-li¹ CHEN Yuan²

(1. 铜仁职业技术学院, 贵州 铜仁 554300; 2. 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070)

(1. Tongren Polytechnic College, Tongren, Guizhou 554300, China;

2. College of Agriculture, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

摘要:目的:探索铁皮石斛茎、叶、花主要功能性成分的差异性、抗氧化能力大小及抗氧化活性的主要贡献成分。方法:以铁皮石斛茎、叶、花为试验材料,分别采用苯酚—硫酸法、 $\text{NaNO}_2\text{-Al}_3+\text{NaOH}$ 法、福林酚法和酸性染料比色法对其多糖、总黄酮、总多酚和总生物碱含量进行测定比较,研究茎、叶、花的抗氧化能力,并通过相关性分析确定其主要抗氧化活性成分。结果:铁皮石斛茎、叶、花中均含有多糖、黄酮、多酚和生物碱类成分,但含量差异极显著($P<0.01$),其中多糖含量为茎(31.00%)>叶(15.04%)>花(8.11%);总黄酮和总多酚含量均以花中最高,分别为2.133%和15.71%,叶中次之;总生物碱含量以花中最高,达0.0223%,为茎中的近4倍;铁皮石斛茎、叶、花均具有较高抗氧化活性,且随着浓度的增大,其对DPPH自由基和ABTS自由基的清除能力逐渐增强,其中花的水提物和醇提物清除DPPH自由基和ABTS自由基的 IC_{50} 均最小,说明其氧化活性最大,较接近于维生素C的。相关性分析发现,铁皮石斛茎、叶、花抗氧化活性与总黄酮、总多酚和总生物碱含量呈正相关,与多糖含量无明显相关性,说明总黄酮和总多酚含量对铁皮石斛茎、叶、花的抗氧化活性贡献最大,总生物碱含量的贡献

显著。结论:铁皮石斛叶和花同样具有广阔的应用价值和开发前景。

关键词:铁皮石斛;抗氧化活性;叶;花;茎;功能性成分;相关性

Abstract: **Objective:** To strengthen the comprehensive utilization of *Dendrobium officinale* (*D. officinale*) resources. **Methods:** The functional composition, antioxidant activity and their pearson correlation analysis of *D. officinale* stem, leaf and flower were studied and compared. **Results:** The results showed that the contents of 4 main functional components and antioxidant activity were significantly different between the stem, leaf and flower from *D. officinale*, the polysaccharide of leaf and flower were lower than that observed in stem: Stem (31.00%)> Leaf (15.04%)> Flower (8.11%); However, compared with stem, the total flavonoid, total polyphenol and total alkaloids contents of leaf and flower were much higher. The results of DPPH, ABTS, FRAP analyses all indicated that the *D. officinale* stem, leaf and flower all exhibited a great antioxidant activities, the flower approached that of vitamin C (V_c) at specific concentrations, the alcohol extract of leaf exhibited a higher antioxidant capacity than stem, The antioxidant activity of the samples increased positively with the concentration. According to correlation analysis, the total phenols and flavonoids have the strongest contribution to the antioxidant capacity ($P<0.01$), total alkaloid has stronger contribution to the antioxidant capacity ($P<0.05$). **Conclusion:** This study provided guidance for the comprehensive development and utilization of *D. officinale*.

Keywords: *D. officinale*; antioxidant; leaf; flower; stem; functional composition; relativity

基金项目:教育部精准扶贫项目(编号:XZ20190326);铜仁市科技计划项目(编号:铜市科研[2020]99号);贵州省职业院校石斛产业专业建设项目(编号:黔教办职成[2019]35号);甘肃省现代农业中药材产业体系首席专家(编号:GARS-ZYC-1)

作者简介:唐文文,女,铜仁职业技术学院副教授,甘肃农业大学在读博士研究生。

通信作者:陈垣(1963—),男,甘肃农业大学教授,博士。

E-mail: chenyan@gau.edu.cn

收稿日期:2021-04-03

铁皮石斛(*Dendrobium officinale* Kimura et Migo)

为兰科石斛属多年生草本植物,因表皮呈铁绿色而得名,在中国享有“救命仙草”“药中黄金”之美誉,是一种药食两用中药材,其功能性成分主要包括多糖类、生物碱类、黄酮类以及酚酸类等^[1-3],具有增强机体免疫力、抑制肿瘤细胞生长、降低血糖、抗衰老等药理活性^[4]。铁皮石斛生长缓慢、药材资源珍贵,《中国药典》规定其药用部位为茎^[5],花和叶为非药用部位。有研究^[6]发现铁皮石斛叶对“三高”症状有一定的辅助疗效,石斛花有舒缓精神紧张、保持头脑清醒、解除精神抑郁等功效。

目前,有关铁皮石斛的研究大多集中在茎部或者某一类化学成分上,鲍素华等^[7-9]研究了铁皮石斛中多糖的抗氧化活性,黄琴等^[10]研究了铁皮石斛多酚、黄酮含量及抗氧化活性。而有关铁皮石斛茎、叶、花的多指标成分和抗氧化活性的综合分析尚未见报道,且其中多糖类、黄酮类、多酚类以及生物碱类对铁皮石斛抗氧化活性的关联程度尚不明确。研究拟对铁皮石斛茎、叶、花的多指标功能性成分进行差异性分析,采用 DPPH 自由基、ABTS 自由基清除率和 FRAP 法对茎、叶、花抗氧化活性进行全面评价,并通过相关性分析探讨铁皮石斛茎、叶、花抗氧化活性的主要贡献成分,确定其茎、叶、花的化学成分及其抗氧化活性的物质基础,为铁皮石斛资源最大化、多样化开发利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂及设备

铁皮石斛:3 年生,采于贵州松桃县长兴堡镇,花采收于 2020 年 5—6 月,茎、叶采收于 2020 年 10 月底,经甘肃农业大学陈垣教授和铜仁职业技术学院梁玉勇教授鉴定为兰科植物铁皮石斛(*Dendrobium officinale* Kimura et Migo);

紫外可见分光光度计:UV-1801 型,北京瑞丽分析仪器有限公司;

电子天平:CP214 型,奥豪斯仪器有限公司;

超纯水仪:New Human Power 型,韩国 Human 公司;

阿魏酸:批号 110773-201915,纯度 99.4%,中国食品药品检定研究院;

石斛碱:批号 111876-201704,纯度 100%,中国食品药品检定研究院;

芦丁:批号 B20771,纯度 $\geq 98\%$,上海源叶生物科技有限公司;

DPPH、ABTS、福林酚试剂:BR 级,美国 Sigma 公司;

甲醇、乙醇、无水葡萄糖、苯酚、硫酸、亚硝酸钠、硝酸铝、氢氧化钠、氯仿、溴甲酚绿:分析纯,上海国药集团化学试剂有限公司。

1.2 方法

1.2.1 样品处理 将铁皮石斛花、茎、叶分拣,去杂,各鲜

品于 50℃ 烘干,备用。

1.2.2 多糖含量测定 参照《中国药典》,线性回归方程为 $Y=0.08X+0.0021$, $R^2=0.9997$ 。

1.2.3 总黄酮含量测定 参照李志强等^[11]的方法,线性回归方程为 $Y=10.535X-0.0013$, $R^2=0.9999$ 。

1.2.4 总多酚含量测定 参照李娟等^[12]的方法,线性回归方程为 $Y=0.0823X+0.007$, $R^2=0.9992$ 。

1.2.5 总生物碱含量测定 参照李志强等^[11]的方法,线性回归方程为 $Y=0.1237X-0.0008$, $R^2=0.9992$ 。

1.2.6 抗氧化活性测定

(1) 样品制备:分别取干燥后的铁皮石斛茎、叶、花粉末(过三号筛)约 2.0 g,加入蒸馏水 50 mL,加热回流 2 h,放冷,过滤,滤液转移至 50 mL 量瓶中,定容得水提物。以体积分数为 70% 的乙醇代替蒸馏水进行提取,得醇提物。

(2) DPPH 自由基清除能力测定:参照 Dong 等^[13]的方法,并按式(1)计算 DPPH 自由基清除率。

$$Y=[A_0-(A_s-A_{s_0})]/A_0 \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

Y——DPPH 自由基清除率,%;

A_0 ——空白组吸光度值;

A_s ——样品吸光度值;

A_{s_0} ——样品对照组吸光度值。

(3) ABTS 自由基清除能力测定:将 5 mL 7.0 mmol/L 的 ABTS 溶液和 5 mL 2.45 mmol/L 的过硫酸钾溶液混匀,室温避光静置 12 h,使用前,用乙醇稀释至 734 nm 下的吸光度为 0.70 ± 0.02 的 ABTS⁺ 自由基工作液,取不同浓度的样品溶液 50 μ L,加入 2 mL ABTS⁺ 自由基工作液,混匀,室温避光反应 6 min,测定 734 nm 处吸光度,以维生素 C 为阳性对照,按式(2)计算 ABTS 自由基清除率。

$$T=(1-A_s/A_0) \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

T——ABTS 自由基清除率,%;

A_0 ——空白组吸光度值;

A_s ——样品吸光度值。

(4) FRAP 总还原力测定:参照 Jin 等^[14]的方法,以不同浓度的维生素 C 系列溶液绘制标准曲线($y=0.0055x+0.0023$, $R^2=0.9993$),以维生素 C 当量表示各样品的抗氧化能力。

1.2.7 数据处理 采用 OriginPro 9 软件计算 IC₅₀ 值,采用 SPSS 20.0 软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 主要化学成分含量比较

由表 1 可知,铁皮石斛茎、叶、花中多糖、总黄酮、总

多酚和总生物碱含量差异显著($P<0.05$),其中茎中多糖含量最高,为 31.00%,叶中次之(15.04%),仅为茎中的 1/2,与陈静等^[15]的结果一致;花中多糖含量最低(8.11%),可能是由于茎能够特异性表达与甘露糖和果糖合成有关的一些关键酶基因,茎也因其富含多糖而被广泛认可,作为铁皮石斛记入药典的药效部位。茎、叶、花中总黄酮和总多酚含量差异极显著($P<0.01$),均以花中最高,分别为 2.133%和 15.71%,叶中次之,与黄彪等^[16-17]的结果一致;黄酮类化合物也是一类非常重要的多酚化合物,铁皮石斛茎、叶、花中总多酚含量远高于总黄酮,推测其应含有酚酸类、单宁类以及花色苷类等多酚类物质,特别是铁皮石斛花中多酚类含量远高于茎,这与花中含量较多的花色素类成分有关,而多酚类物质被称为“第七类营养元素”,是具有促进健康作用的一类化合物。生物碱类是铁皮石斛中重要的化学成分之一,为铁皮石斛的次生代谢产物,总生物碱含量以铁皮石斛花中最高,达0.022 3%,为茎中的近 4 倍,这可能与花、叶中含有较多的阿魏酸、咖啡酸和对羟基苯甲酸等有机酸^[16],在提取过程中能与生物碱结合形成盐,利于生物碱溶出有关,也可能是花中存在生物碱合成的特殊途径,其具体途径有待进一步探索。

2.2 抗氧化活性比较

2.2.1 DPPH 自由基清除作用 由图 1 可知,铁皮石斛茎、叶、花均有较高的 DPPH 自由基清除能力,且清除率随样品质量浓度的升高而增大,其中花的水提取物和醇提

物对 DPPH 自由基的清除能力最大,当质量浓度为 3 000 $\mu\text{g/mL}$ 时,其清除率分别达 95.2%和 91.3%,接近于维生素 C 的,可能与铁皮石斛花中含有较多的花色素有关;各部位水提取物的 DPPH 自由基清除能力为茎>叶,而醇提取物的 DPPH 自由基清除能力为茎<叶;当质量浓度为 3 000 $\mu\text{g/mL}$ 时,茎的水提取物和醇提取物的 DPPH 自由基清除能力相似,而叶的醇提取物的 DPPH 自由基清除能力(86.2%)远优于水提取物(76.2%)的,这可能与铁皮石斛叶中含有较多的黄酮类化合物和游离的多酚有关,黄酮类成分能够直接捕捉自由基,而多酚的酚羟基是一种氢供体,具有很强的抗氧化效果^[18-19]。

2.2.2 ABTS 自由基清除作用 由图 2 可知,铁皮石斛茎、叶、花的 ABTS 自由基清除能力与 DPPH 自由基清除能力相似,各部位水提取物对 ABTS 自由基的清除能力为花>茎>叶,醇提取物为花>叶>茎,高浓度时,花的清除能力随样品质量浓度的增加变化较大,说明到达一定质量浓度时,铁皮石斛花具有极强的抗氧化活性;当质量浓度为 4 000 $\mu\text{g/mL}$ 时,茎、叶和花的醇提取物的 ABTS 自由基清除能力远强于水提取物的,说明茎、叶、花中起到 ABTS 自由基清除作用的成分主要是黄酮和多酚类物质。

由表 2 可知,铁皮石斛花水提取物和醇提取物清除 DPPH 自由基的 IC_{50} 显著强于茎和叶的($P<0.01$),但相对于茎醇提取物来说,叶醇提取物也表现出了较强的 DPPH 自由基清除能力($P<0.01$),此外各部位醇提取物清除 DPPH 自由基的 IC_{50} 值均显著小于水提取物的($P<0.01$),

表 1 铁皮石斛茎、叶、花中各化学成分含量[†]

Table 1 Active ingredient content of stem, leaf and flower from *D. officinale* ($n=6$)

部位	多糖	总黄酮	总多酚	总生物碱
茎	31.00±1.11 **	0.602±0.035 **	7.18±0.34 **	0.006 6±0.000 4 **
叶	15.04±1.20 **	1.566±0.083 **	10.29±0.41 **	0.011 8±0.001 3 **
花	8.11±0.41 **	2.133±0.020 **	15.71±0.49 **	0.022 3±0.001 9 **

† * 表示差异显著($P<0.05$), ** 表示差异极显著($P<0.01$)。

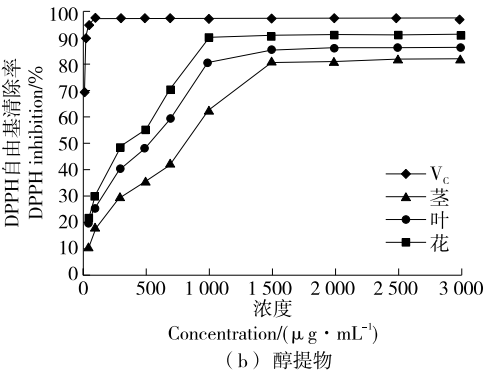
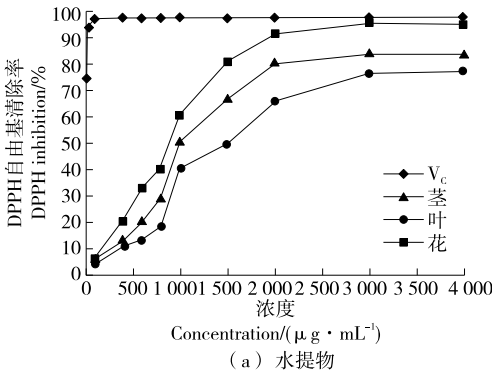


图 1 铁皮石斛茎、叶、花的 DPPH 自由基清除能力

Figure 1 DPPH radical scavenging activity of stem, leaf and flower from *D. officinale*

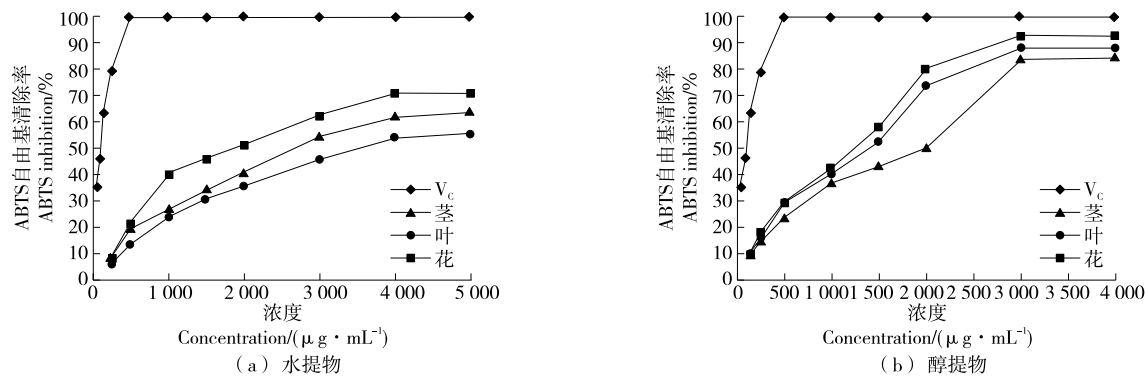


图 2 铁皮石斛茎、叶、花的 ABTS 自由基清除能力

Figure 2 ABTS radical scavenging activity of stem, leaf and flower from *D. officinale*

表 2 铁皮石斛茎、叶、花水提取物和醇提取物清除 DPPH 自由基和 ABTS 自由基的 $IC_{50}^{\dagger}$

Table 2 IC_{50} values of DPPH and ABTS radicals inhibition for water and ethanol extracts

部位	水提取物		醇提取物	
	DPPH 自由基	ABTS 自由基	DPPH 自由基	ABTS 自由基
	$\mu\text{g/mL}$			
茎	$1\,071.81 \pm 18.50^{**}$	$2\,728.28 \pm 98.54^{**}$	$632.12 \pm 9.56^{**}$	$1\,187.91 \pm 79.41^{*}$
叶	$1\,495.49 \pm 15.50^{**}$	$3\,644.65 \pm 103.50^{**}$	$353.00 \pm 6.32^{**}$	$1\,034.48 \pm 38.44^{*}$
花	$794.50 \pm 17.95^{**}$	$1\,821.82 \pm 42.95^{**}$	$251.06 \pm 6.00^{**}$	$904.99 \pm 6.10^{**}$

$\dagger$ * 表示差异显著($P < 0.05$), ** 表示差异极显著($P < 0.01$)。

说明醇提取物比水提取物的抗氧化效果好。铁皮石斛茎、叶、花水提取物和醇提取物清除 ABTS 自由基的 IC_{50} 值均大于清除 DPPH 自由基的,说明各部位具有更强的 DPPH 自由基清除能力,此外,茎、叶醇提取物清除 ABTS 自由基的 IC_{50} 值未达到极显著水平。

2.2.3 铁离子(FRAP)总还原力 由表 3 可知,FRAP 总还原力与 DPPH 自由基和 ABTS 自由基的清除结果类似,花的水提取物和醇提取物的还原力最高,分别为 125.60, 36.49 mg 维生素 C/g 样品,叶的醇提取物的还原力为 10.78 mg 维生素 C/g 样品,与茎的差异显著($P < 0.05$)。

综上,铁皮石斛花、叶均具有较强的自由基清除能力和抗氧化活性,且其醇提取物的抗氧化活性均优于其传统药用部位——茎,可能与其黄酮和多酚含量较高有关。此外,铁皮石斛茎、叶、花对 DPPH 自由基和 ABTS 自由基的清除力与 FRAP 抗氧化能力存在差异,这与其化学成分含量和组成不同有关,同时也与不同的抗氧化考察

方法有关。不同的抗氧化体系中,茎、叶、花的抗氧化活性均低于维生素 C 的,可能是茎、叶、花粗提取液中的抗氧化活性物质含量不够高。

2.3 化学成分含量与抗氧化活性的相关性

由表 4 可知,铁皮石斛茎、叶、花抗氧化活性与总黄

表 3 铁皮石斛茎、叶、花水提取物和醇提取物的 FRAP 总还原力 †

Table 3 Test results of FRAP assays of stem, leaf and flower from *D. officinale* mg 维生素 C/g 样品

部位	FRAP 总还原力	
	水提取物	醇提取物
茎	$26.13 \pm 0.44^{**}$	$8.99 \pm 0.09^{*}$
叶	$16.72 \pm 0.56^{**}$	$10.78 \pm 1.18^{*}$
花	$125.60 \pm 1.99^{**}$	$36.49 \pm 0.47^{**}$

$\dagger$ * 表示差异显著($P < 0.05$), ** 表示差异极显著($P < 0.01$)。

表 4 铁皮石斛茎、叶、花化学成分含量与抗氧化活性的相关性分析 †

Table 4 Correlation analysis between content composition and antioxidant activity

化学成分	DPPH 自由基清除率	ABTS 自由基清除率	FRAP 总还原力
多糖含量	-0.095	-0.162	-0.688 [*]
总黄酮含量	0.995 ^{**}	0.982 ^{**}	0.837 ^{**}
总多酚含量	0.960 ^{**}	0.985 ^{**}	0.947 ^{**}
总生物碱含量	0.783 [*]	0.724 [*]	0.784 [*]

$\dagger$ * 表示相关性显著($P < 0.05$), ** 表示相关性极显著($P < 0.01$)。

酮、总多酚和总生物碱含量呈正相关,其中 DPPH 自由基清除率、ABTS 自由基清除率和 FRAP 总还原力与总黄酮和总多酚含量极显著相关($P<0.01$),与总生物碱含量显著相关($P<0.05$),与铁皮石斛茎、叶、花中总黄酮、总多酚和生物碱含量呈现一致性。此外,有研究^[20]发现抗氧化活性主要与酚酸和黄酮含量密切相关;DPPH 自由基清除率和 ABTS 自由基清除率与多糖含量无明显相关性,FRAP 抗氧化能力与多糖含量呈显著负相关,黄凯伟等^[21]的研究表明铁皮石斛中碱溶性多糖的抗氧化活性优于水溶性多糖的,推测多糖含量与抗氧化活性无相关性的原因是由于铁皮石斛茎、叶、花水提取物中的水溶性多糖抗氧化活性差造成的。

3 结论

通过对比分析铁皮石斛茎、叶、花中主要功能性成分多糖、黄酮、多酚和生物碱类物质含量,发现铁皮石斛茎、叶、花中均含有多糖、黄酮、多酚和生物碱类活性成分,且含量差异极显著($P<0.01$);茎中多糖含量高于叶和花中的,但叶和花中黄酮类成分、多酚类成分以及生物碱类含量甚至比茎中更高,但试验测出的茎中总生物碱含量相对于诸燕等^[22-23]的研究得出的结论较低,可能是样品差异和分析方法不一致造成,后续将继续探索。铁皮石斛茎、叶、花的水提物和醇提物对 DPPH 自由基和 ABTS 自由基的清除能力和 FRAP 总还原力均较强,其中花的抗氧化活性最强,叶的醇提物的抗氧化活性优于茎的。铁皮石斛茎、叶、花中的黄酮类成分和多酚类成分是其抗氧化活性的主要贡献成分。茎中含有较多的多糖类,叶和花中含有较多的黄酮类和多酚类,可以根据不同需要充分开发铁皮石斛资源,叶和花一方面可以作为提取天然抗氧化剂的原料应用于美容护肤产品、保健品和食品中,也可以制作养生茶、食品防腐剂、保健品添加剂等。铁皮石斛叶相对于茎具有生长快、再生能力强、生物产量大的特点,具有更为广阔的发展潜力和应用价值,后续需对其叶和花的抗菌、抗疲劳等药理活性和长期毒理试验进行进一步研究。

参考文献

- [1] 吕朝耕,杨健,康传志,等.铁皮石斛中 10 种黄酮类成分 UPLC-MS/MS 测定与多糖组成含量分析[J].中国实验方剂学杂志,2017,23(17): 47-52.
- LU Chao-geng, YANG Jian, KANG Chuan-zhi, et al. Determination of 10 flavonoids by UPLC-MS/MS and analysis of polysaccharide contents and compositions in *dendrobium officinale* caulis from different habitats[J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2017, 23(17): 47-52.
- [2] 徐德林,储士润,肖世基,等.不同产地的铁皮石斛和金钗石斛多糖、石斛碱、氨基酸含量的比较[J].时珍国医国药,2016,

27(11): 2 738-2 740.

- XU De-lin, CHU Shi-run, XIAO Shi-ji, et al. Comparison of different origin of *dendrobium officinale* and *dendrobium Jinchai* polysaccharide, dendrobine, amino acid content[J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 2016, 27(11): 2 738-2 740.
- [3] 李燕,王春兰,王芳菲,等.铁皮石斛化学成分的研究[J].中国中药杂志,2010,35(13): 1 715-1 719.
- LI Yan, WANG Chun-lan, WANG Fang-fei, et al. Studies on the chemical constituents of *dendrobium candidum*[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2010,35(13):1 715-1 719.
- [4] 许子杨,敬思群,林映君,等.石斛与粉葛体外体内降糖降脂协同作用研究[J].食品与机械,2020,36(1): 181-185.
- XU Zi-yang, JING Si-qun, LIN Yin-jun, et al. Synergistic effects of *dendrobium* and *pueraria thomsonii* on hyperglycemic and lipid-lowering between in vitro and in vivo[J]. Food & Machinery, 2020, 36(1): 181-185.
- [5] 国家药典委员会.中华人民共和国药典[S].北京:中国医药科技出版社,2020: 295.
- Chinese Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China[S]. Beijing: China Medical Science Press, 2020: 295.
- [6] 陈佳江,郭力,许莉,等.叠鞘石斛茎叶花 HPLC-DAD-ELSD 对比研究[J].时珍国医国药,2013,24(3): 574-575.
- CHEN Jia-jiang, GUO Li, XU Li, et al. A comparison study on different organs of *dendrobium aurantiacum* var. *b. F. var. denneanum* (Kerr.) Z. H. Ts[J]. Shizhen Medicine and Materia Medica Research, 2013, 24(3): 574-575.
- [7] 鲍素华,查学强,郝杰,等.不同分子量铁皮石斛多糖体外抗氧化活性研究[J].食品科学,2009,30(21): 123-127.
- BAO Su-hua, ZHA Xue-qiang, HAO Jie, et al. In vitro antioxidant activity of polysaccharides with different molecular weights from *dendrobium candidum*[J]. Food Science, 2009, 30(21): 123-127.
- [8] 邱现创.铁皮石斛多糖提取工艺优化及其抗氧化活性研究[D].太原:山西大学,2017: 23-27.
- QIU Xian-chuang. Study on optimization of extraction technology of polysaccharide and antioxidant activity of polysaccharide from *dendrobium officinale*[D]. Taiyuan: Shanxi University, 2017: 23-27.
- [9] 林为艺,颜美秋,吕圭源,等.铁皮石斛茎非多糖与粗多糖体内外抗氧化活性的比较[J].中药药理与临床,2016,32(2): 138-141.
- LIN Wei-yi, YAN Mei-qiu, LU Gui-yuan, et al. Antioxidant activity comparison between non-polysaccharides and crude polysaccharides from *dendrobium officinale* stems in vitro and in vivo[J]. Pharmacology and Clinics of Chinese Materia Medica, 2016, 32(2): 138-141.
- [10] 黄琴,沈杨霞,张成静,等.铁皮石斛多酚和黄酮含量及与抗氧化活性的相关性[J].应用与环境生物学报,2014,20(3): 438-442.
- HUANG Qin, SHEN Yang-xia, ZHANG Cheng-jing, et al. Correlation of the antioxidant property with the total phenolic content and

- total flavonoids of different *dendrobium officinale* extracts [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2014, 20(3): 438-442.
- [11] 李志强, 周红秋, 欧阳臻, 等. 不同生长年限霍山石斛的主要成分和对急性肝损伤保护作用的比较研究[J]. *中国中药杂志*, 2021, 46(2): 298-305.
- LI Zhi-qiang, ZHOU Hong-qiu, OU-YANG Zhen, et al. Comparison of active ingredients and protective effects of *dendrobium huoshanense* of different growth years on acute liver injury[J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2021, 46(2): 298-305.
- [12] 李娟, 麻晓雪, 李顺祥, 等. 铁皮石斛中总酚的含量测定[J]. *中国实验方剂学杂志*, 2013, 19(24): 60-62.
- LI Juan, MA Xiao-xue, LI Shun-xiang, et al. Determination of total phenols in *dendrobium officinale* caulis[J]. *Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae*, 2013, 19(24): 60-62.
- [13] DONG Xu-zhe, HUANG Yu-ying, WANG Yi-hai, et al. Anti-inflammatory and antioxidant jasmonates and flavonoids from lychee seeds[J]. *J Funct Foods*, 2019, 54(3): 74-80.
- [14] JIN Liang, LI Xiao-bai, TIAN Dan-qing, et al. Antioxidant properties and color parameters of herbal teas in China[J]. *Ind Crops Prod*, 2016, 87(9): 198-209.
- [15] 陈静, 陈乃东, 郑途. 四种石斛的根、茎、叶主要成分及其 DPPH 自由基清除能力对比[J]. *北方园艺*, 2020(10): 128-133.
- CHEN Jing, CHEN Nai-dong, ZHENG Quan. Comparative study on the main constituents and scavenging DPPH free radicals of root, stem and leaf of four *dendrobium* plants[J]. *Northern Horticulture*, 2020(10): 128-133.
- [16] 黄彪, 何伟, 吴建鸿, 等. UPLC-MS/MS 同时测定铁皮石斛茎、叶、花中酚类组分的含量[J]. *食品科学*, 2021, 42(10): 262-268.
- HUANG Biao, HE Wei, WU Jian-hong, et al. Simultaneous determination of phenolic components in *dendrobium officinale* stem, leave and flower by ultra high performance liquid [J]. *Food Science*, 2021, 42(10): 262-268.
- [17] 李芳, 魏石, 陈艳杰. 铁皮石斛茎、叶、花中黄酮含量及其体外抗氧化活性研究[J]. *中医学报*, 2019, 34(5): 1 020-1 023.
- LI Fang, WEI Shi, CHEN Yan-jie. Study on the content of flavonoids in stems, leaves and flowers of *dendrobium officinale* kimura & migo and its antioxidant activity in vitro [J]. *Acta Chinese Medicine*, 2019, 34(5): 1 020-1 023.
- [18] 魏明, 刘艳艳, 蔡为荣, 等. 霍山石斛多酚超声波辅助提取工艺优化及其抗氧化活性研究[J]. *食品与机械*, 2016, 32(7): 136-140.
- WEI Ming, LIU Yan-yan, CAI Wei-rong, et al. Optimization on ultrasonic-assisted extraction of polyphenols from *Dendrobium huoshanense* and its antioxidant activity[J]. *Food & Machinery*, 2016, 32(7): 136-140.
- [19] 陈明威, 魏明, 陶良凡, 等. 大孔树脂分离纯化霍山石斛多酚及其抗氧化活性研究[J]. *食品与机械*, 2020, 36(11): 148-153.
- CHEN Ming-wei, WEI Ming, TAO Liang-fan, et al. Purification of polyphenols from *Dendrobium huoshanense* by macroporous resin and its antioxidant activity[J]. *Food & Machinery*, 2020, 36(11): 148-153.
- [20] CHO J Y, KIM C M, LEE H J, et al. Caffeoyl triterpenes from pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai.) fruit peels and their antioxidative activities against oxidation of rat blood plasma[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2013, 61(19): 4 563-4 569.
- [21] 黄凯伟, 严慕贤, 李运容, 等. 铁皮石斛碱溶性和水溶性多糖的比较研究[J]. *广东药学院学报*, 2016, 32(1): 46-50.
- HUANG Kai-wei, YAN Mu-xian, LI Yun-rong, et al. Comparison between alkali-soluble and water-soluble polysaccharides from *dendrobium officinale* [J]. *Journal of Guangdong Pharmaceutical University*, 2016, 32(1): 46-50.
- [22] 诸燕, 张爱莲, 何伯伟, 等. 铁皮石斛总生物碱含量变异规律[J]. *中国中药杂志*, 2010, 35(18): 2 388-2 391.
- ZHU Yan, ZHANG Ai-lian, HE Bo-wei, et al. Quantitative variation of total alkaloids contents in *dendrobium officinale* [J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2010, 35(18): 2 388-2 391.
- [23] 尚喜雨. 不同来源铁皮石斛不同部位生物碱的分布规律研究[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(23): 12 441-12 442.
- SHANG Xi-yu. Research on the distribution of the alkaloids in the different parts of the *dendrobium candidum* with various origins[J]. *Journal of Agri Sci*, 2010, 38(23): 12 441-12 442.
- (上接第 44 页)
- [18] HONG P K, BETTI M. Non-enzymatic browning reaction of glucosamine at mild conditions: Relationship between colour formation, radical scavenging activity and alpha-dicarbonyl compounds production[J]. *Food Chemistry*, 2016, 212: 234-243.
- [19] 徐珊珊. 小麦面筋蛋白美拉德肽的制备及风味特性研究[D]. 无锡: 江南大学, 2018: 10.
- XU Shan-shan. Research on preparation and flavor characteristics of wheat gluten Maillard peptide[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2018: 10.
- [20] SONG S, ZHANG X, HAYAT K, et al. Correlating chemical parameters of controlled oxidation tallow to gas chromatography-mass spectrometry profiles and e-nose responses using partial least squares regression analysis[J]. *Sensors & Actuators: B. Chemical*, 2010, 147: 660-668.
- [21] 沈宁. 基于品质风格特征剖析的中低档卷烟改善研究[D]. 无锡: 江南大学, 2016: 16.
- SHEN Ning. Research on improvement of intermediate and low grade cigarette based on the analysis of its quality style characteristics[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2016: 16.
- [22] YAN F, CUI H, ZHANG Q, et al. Small peptides hydrolyzed from pea protein and their Maillard reaction products as taste modifiers: Saltiness, umami, and kokumi enhancement [J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2021, 14: 1 132-1 141.