

海南不同产区铁皮石斛活性成分的比较研究

王佳¹, 陈海霞^{1*}, 邢利沙¹, 王艳伟¹, 黄宇航¹, 刘海青²¹天津大学药物科学与技术学院 天津市现代药物传递及功能高效化重点实验室, 天津 300072;²海南大学海洋学院, 海口 570228

摘要:海南是铁皮石斛主产区之一,为研究不同产地铁皮石斛的差异性,本文比较了海南八个产区铁皮石斛的醇提物及水提物的成分,抗氧化性和降血糖活性,并进一步研究该化学成分与对应活性的相关性。结果显示:海南琼中、三亚、保亭地区铁皮石斛提取物在清除 DPPH 自由基和总还原力模型中表现出较高的抗氧化性,儋州产区铁皮石斛水提物表现出最高的 α -淀粉酶抑制活性。相关性研究表明酸性糖、总多酚、总黄酮含量与上述抗氧化模型有一定的线性关系,醇提物中总多酚表现出相对最高的相关性($r=0.904, P<0.01; r=0.861; P<0.01$)。本研究为铁皮石斛在保健食品、药品领域中的开发提供一定的借鉴。

关键词:海南;铁皮石斛;抗氧化性;相关性

中图分类号:R284.2;Q946.91;R931.71 文献标识码:A

DOI:10.16333/j.1001-6880.2015.05.004

Comparative Analysis of Bioactive Components of *Dendrobium candidum* from Different Producing Areas of Hainan

WANG Jia¹, CHEN Hai-xia^{1*}, XING Li-sha¹, WANG Yan-wei¹, HUANG Yu-hang¹, LIU Hai-qing²¹School of Pharmaceutical Science and Technology, Tianjin Key Laboratory for Modern Drug Delivery & High-Efficiency, Tianjin University, Tianjin 300072, China; ²Ocean College, Hainan University, Haikou 570228, China

Abstract: Hainan is one of the main producing areas of *Dendrobium candidum*. To study and compare the differences of *D. candidum* among various regions, the alcohol extracts and aqueous extracts of *D. candidum* from eight areas of Hainan were obtained. The contents of the extracts were determined, the antioxidant and antidiabetic activities were tested. The correlation between biological activities and constituents were further investigated. The results indicated that the extracts of *D. candidum* obtained from Qiongzong, Sanya and Baoting in Hainan province showed higher antioxidant activity in DPPH radical-scavenging activity and reducing power activity. The aqueous extract of *D. candidum* obtained from Danzhou showed the highest inhibition capacity on α -amylase activity. The results of correlation analysis showed that the contents of uronic acid, total polyphenols and total triterpenoids highly correlated with DPPH radical scavenging rate and ferric reducing power. The correlation coefficient of total polyphenols content with DPPH radical scavenging ($r=0.904, P<0.01$) and ferric reducing power ($r=0.861, P<0.01$) was higher than others. The results would be helpful for the application of *D. candidum* in food and pharmaceutical industries.

Key words: Hainan; *Dendrobium candidum*; antioxidant activity; correlation coefficients

铁皮石斛(*Dendrobium candidum* Wall. ex Lindl)是兰科石斛属植物,具有滋阴清热、生津益胃、润肺止咳的功效^[1],名列“中华九大仙草”之首,为《中华人民共和国药典》中收录的名贵中草药之一。现代药理研究表明铁皮石斛具有提高机体免疫力、防治白内障、抗疲劳、抗氧化、促消化、降血糖、降血压、抗

肝损伤、抗肿瘤等功效^[2,3]。植物化学成分分析表明铁皮石斛中主要的生物活性物质是多糖类化合物,且含量较高^[4],多糖含量的高低是目前判断铁皮石斛质量的主要依据^[5]。

铁皮石斛为多年生植物,不同产地气候影响着植物代谢的过程,影响植物体内有效成分的形成与积累^[6],导致不同产区铁皮石斛的产量及质量有所差异,因此,有必要对不同产区铁皮石斛药材质量进行评价,为铁皮石斛的采收提供科学参考。目前,对于海南不同产区铁皮石斛有效成分比较还未见报

收稿日期:2014-11-20 接受日期:2015-04-02

基金项目:天津大学-海南大学协同创新基金(2014XZ-0056);国家自然科学基金(31371879)

* 通讯作者 Tel:86-22-27401483; E-mail:chenhx@tju.edu.cn

道,本研究比较了铁皮石斛水提物,醇提物中主要成分及其与 DPPH 自由基清除,还原力及 α -淀粉酶抑制活性的关系,为海南产区铁皮石斛资源利用,铁皮石斛天然产物在药品及保健食品领域中的开发利用提供科学依据和理论基础。

1 材料与方法

1.1 仪器与试剂

UV-2450 紫外分光光度计(日本 Shimadzu), BP211D 分析天平(德国 Sartorius),恒温水浴锅(上海亚荣生化仪器厂)。1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)(美国 Sigma,257621), α -淀粉酶(上海晶纯生化科技股份有限公司,A109182),其余试剂均购买于天津市化工技术有限公司。铁皮石斛药材从海南省琼中县宝元堂、三亚、儋州、保亭、五指山、昌江、乐东、陵水收集采购,由天津大学陈海霞教授鉴定。

1.2 不同产区铁皮石斛活性成分提取及分离纯化

将取自海南省上述八个产区的铁皮石斛粉碎后,分别精密称取铁皮石斛粗粉 10 g,按 1:30(m/v)加入 80% 乙醇于 80 °C 加热回流提取 3 次,每次 2 h,提取液合并后减压回收溶剂,真空冷冻干燥得到醇提物。取上述醇提物,经 AB-8 大孔树脂吸附完全后,分别用 30%、40%、50%、60%、70%、80%、90% 乙醇洗脱,每种洗脱液收集 4 BV,浓缩后,测定总多酚及总黄酮含量,取富集部位分别计算铁皮石斛醇提物得率及主要成分含量。乙醇提取后的残渣,按 1:30(m/v)加入去离子水于 100 °C 加热回流提取 3 次,每次 2 h,将提取液合并旋转蒸干后,真空冷冻干燥得到水提物,测定水提物得率及主要成分含量。

1.3 铁皮石斛醇提物中主要成分含量测定

1.3.1 总多酚含量测定

采用福林酚法测定总多酚含量^[7],取样品 500 μ L,加入 500 μ L 福林酚试液,20% Na_2CO_3 溶液 500 μ L,加水补至 5 mL,在 760 nm 处测定吸光值。以没食子酸为标准品,绘制标准曲线,从标准曲线中计算总多酚含量。所有的测定都进行了三次重复。

1.3.2 总黄酮含量测定

采用氧化铝法测定总黄酮含量^[7],取样品 250 μ L,加入 5% NaNO_2 溶液 150 μ L,摇匀放置 6 min 后,加入 10% $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 溶液 150 μ L,混匀放置 6 min 后,加入 1 mol/L NaOH 溶液 2 mL,加水 0.2 mL,摇匀后放置 10 min,在 510 nm 处测定吸光值。

以芦丁为标准品,绘制标准曲线,从标准曲线中计算总黄酮含量。所有的测定都进行了三次重复。

1.4 铁皮石斛水提物中主要成分含量测定

1.4.1 中性糖含量测定

采用硫酸苯酚法测定中性糖含量^[8],取样品 200 μ L,加入 5% 苯酚,混匀后加入浓硫酸 1.0 mL,静置冷却后,在 490 nm 处测定吸光值。以葡萄糖为标准品,绘制标准曲线,从标准曲线中计算中性糖含量。所有的测定都进行了三次重复。

1.4.2 酸性糖含量测定

采用硫酸咔唑法测定酸性糖含量^[8],取样品 250 μ L,加入四硼酸钠溶液 1.5 mL,混匀后在 100 °C 下加热 10 min,迅速冷却后加入 50 μ L 咔唑溶液,混匀后在 100 °C 下加热 15 min,迅速冷却至室温,在 525 nm 处测定吸光值。以 D-半乳糖醛酸为标准品,绘制标准曲线,从标准曲线中计算酸性糖含量。所有的测定都进行了三次重复。

1.4.3 蛋白质含量测定

采用考马斯亮蓝染色法测定蛋白质含量^[8],取样品 500 μ L,加入 5.0 mL 考马斯亮蓝染液,混匀后,在 595 nm 处测定吸光值。以牛血清蛋白为标准品,绘制标准曲线,从标准曲线中计算蛋白质含量。所有的测定都进行了三次重复。

1.4.4 总多酚含量测定

测试方法同 1.3.1。

1.5 铁皮石斛醇提物及水提物抗氧化活性比较

1.5.1 铁皮石斛醇提物及水提物 DPPH 自由基清除活性的测定

参照文献^[8],分别取不同浓度的样品(5、10、20、25、30 mg/mL)0.1 mL 与 2.9 mL DPPH(120 μ mol/L)充分混匀,37 °C 避光保温 30 min,测量其在 517 nm 下的吸光值,只加入样品溶剂的反应体系作为空白对照。样品 DPPH 自由基清除率的计算公式为: $I\% = [(A_{blank} - A_{sample}) / A_{blank}] \times 100$ 。 A_{blank} 为空白对照的吸光度, A_{sample} 为样品的吸光度。

1.5.2 铁皮石斛醇提物及水提物三价铁还原/抗氧化性的测定

参照文献^[8],分别取不同浓度的样品(5、10、20、25、30 mg/mL)0.1 mL,加入 0.2 mol/L 磷酸盐缓冲液(pH=6.6)0.7 mL,1% 铁氰化钾溶液 2 mL,50 °C 水浴 20 min 后加 10% 三氯乙酸 2 mL,混匀后离心(3000 \times g)5 min。取上清液 1 mL 加入 1% 三氯化铁 3 mL,混匀后在 700 nm 处测定吸光值,吸光值

大表明还原力强。

1.6 铁皮石斛醇提物及水提物对 α -淀粉酶抑制活性的比较

参考文献^[9],分别取上述醇提物及水提物(5 mg/mL)0.1 mL,加入 α -淀粉酶,底物为淀粉溶液,加入 DNS 溶液(1% 3,5-二硝基水杨酸和 0.4 mol/L NaOH 溶解的 12% 酒石酸钾钠)用于终止反应。反应液稀释 20 倍后,测定其在 540 nm 下吸光值,只加

入样品溶剂的反应体系作为空白对照。样品 α -淀粉酶抑制率的计算公式为: $I\% = [(A_{blank} - A_{sample}) / A_{blank}] \times 100$ 。 A_{blank} 为空白对照的吸光度, A_{sample} 为样品的吸光度。

2 结果与分析

2.1 铁皮石斛醇提物中总多酚,总黄酮的含量

表 1 海南不同产区铁皮石斛醇提物得率,总多酚,总黄酮的含量

Table 1 Comparative analysis of extraction yield, total phenolic contents and total flavonoids contents in alcohol extracts of *D. candidum* from different areas of Hainan

产区 Area	得率 Yield (mg/g)	总多酚含量 Total phenolic content (mg/g)	总黄酮含量 Total flavonoid content (mg/g)
琼中 Qiongzong	61.23 ± 1.60a	241.31 ± 22.42a	94.87 ± 5.82a
三亚 Sanya	58.31 ± 6.04a	315.56 ± 22.63a	77.72 ± 7.33a
儋州 Danzhou	43.11 ± 3.72a	102.62 ± 13.84a	66.94 ± 4.51a
保亭 Baoting	51.28 ± 5.22a	203.79 ± 13.24a	75.05 ± 7.55a
五指山 Wuzhishan	41.72 ± 6.15a	126.22 ± 8.58a	50.38 ± 4.28a
昌江 Changjiang	60.90 ± 4.21a	116.69 ± 9.15a	50.64 ± 1.86a
乐东 Ledong	35.20 ± 4.02b	103.05 ± 5.03b	38.12 ± 1.23b
陵水 Lingshui	33.15 ± 3.82b	87.43 ± 7.56b	37.43 ± 1.85b

注:每次测试重复三次,结果显示为:平均值 ± 标准偏差;同一列所标字母不同说明存在显著性差异。

Note: Values were presented as means ± SD ($n=3$); Values in the same column with different letters were significantly different ($P < 0.05$).

海南省八个不同产区铁皮石斛醇提物经 AB-8 大孔树脂进一步富集后,其总多酚,总黄酮含量见表 1,其中琼中产区的铁皮石斛醇提物具有最高得率(61.23 mg/g),其次为昌江(60.90 mg/g)、三亚(58.31 mg/g)、保亭(51.28 mg/g),乐东、陵水产区所得铁皮石斛醇提物得率相对较低。总多酚含量由大到小对应的产区依次为:三亚 > 琼中 > 保亭 > 五

指山 > 昌江 > 乐东 > 儋州 > 陵水。总黄酮含量由大到小对应的产区依次为:琼中 > 三亚 > 保亭 > 儋州 > 昌江 > 五指山 > 乐东 > 陵水。在这八个产区中,琼中、三亚、保亭三个产区铁皮石斛醇提物得率,总多酚,总黄酮均显示较高值。

2.2 铁皮石斛水提物中性糖,酸性糖,蛋白质,总多酚的含量

表 2 海南不同产区铁皮石斛水提物得率,中性糖,酸性糖,蛋白质,总多酚的含量

Table 2 Comparative analysis of extraction yield, neutral sugar contents, uronic acid contents, protein contents and total phenolic contents in aqueous extracts of *D. candidum* from different areas of Hainan

产区 Area	得率 Yield (mg/g)	中性糖含量 neutral sugar content (mg/g)	酸性糖含量 Uronic acid content (mg/g)	蛋白质含量 Protein content (mg/g)	总多酚含量 Total phenolic content (mg/g)
琼中 Qiongzong	99.42 ± 6.53a	666.42 ± 27.13a	173.47 ± 19.08a	6.05 ± 0.47a	17.65 ± 1.00a
三亚 Sanya	50.79 ± 3.91a	548.64 ± 26.86b	240.09 ± 22.42b	11.01 ± 0.94a	31.13 ± 0.43b
儋州 Danzhou	214.96 ± 17.73b	709.85 ± 53.12c	158.41 ± 17.17c	10.85 ± 0.94a	4.41 ± 1.26c
保亭 Baoting	75.74 ± 0.18c	678.47 ± 12.03d	173.67 ± 13.49c	10.79 ± 0.18a	28.98 ± 2.05d
五指山 Wuzhishan	179.44 ± 0.92d	862.41 ± 8.52e	135.25 ± 0.17d	10.79 ± 0.82a	2.19 ± 0.82e
昌江 Changjiang	180.00 ± 3.31d	792.09 ± 40.91f	48.09 ± 2.06e	13.46 ± 5.24b	2.76 ± 0.34e
乐东 Ledong	106.30 ± 15.04d	764.67 ± 38.11g	62.49 ± 7.69e	10.36 ± 0.77c	2.26 ± 0.47e
陵水 Lingshui	118.69 ± 13.07d	723.32 ± 13.44g	62.36 ± 8.42e	11.41 ± 1.53c	1.92 ± 0.73e

注:每次测试重复三次,结果显示为:平均值 ± 标准偏差;同一列所标字母不同说明存在显著性差异。

Note: Values were presented as means ± SD ($n=3$); Values in the same column with different letters were significantly different ($P < 0.05$).

海南省八个不同产区铁皮石斛水提物的得率,中性糖,酸性糖,蛋白质,总多酚含量见表2,其中儋州产区的铁皮石斛水提物具有最高得率(214.96 mg/g),其次为昌江(180.00 mg/g),五指山(179.44 mg/g),琼中、三亚、保亭产区所得铁皮石斛水提物得率相对较低。中性糖为铁皮石斛水提物的主要成分,其含量由大到小对应的产区依次为:五指山>昌江>乐东>陵水>儋州>保亭>琼中>三亚。酸性

糖含量由大到小对应的产区依次为:三亚>保亭>琼中>儋州>五指山>乐东>陵水>昌江,酸性糖的含量大小顺序与中性糖的含量大小顺序基本呈现出相反的趋势。铁皮石斛水提物中所含蛋白质和多酚的含量相对较少,昌江产区蛋白质含量最高(13.46 mg/g),三亚产区多酚含量最高(31.13 mg/g)。

2.3 铁皮石斛醇提取物及水提取物 DPPH 自由基清除活性的测定

表3 海南不同产区铁皮石斛醇提取物及醇提取物 DPPH 自由基清除活性

Table 3 Scavenging activity against DPPH radical of alcohol extracts and aqueous extracts of *D. candidum* from different areas of Hainan

产区 Area	IC ₅₀ (μg/mL)	
	醇提取物 Alcohol extract	水提取物 Aqueous extract
琼中 Qiongzhong	20.18 ± 0.19a	926.88 ± 34.53a
三亚 Sanya	15.87 ± 1.21b	1055.40 ± 24.20b
儋州 Danzhou	302.72 ± 18.44c	ND
保亭 Baoting	78.73 ± 7.52c	846.36 ± 42.33c
五指山 Wuzhishan	399.44 ± 28.56d	ND
昌江 Changjiang	369.12 ± 34.10d	ND
乐东 Ledong	268.02 ± 34.69e	ND
陵水 Lingshui	255.01 ± 16.30e	ND

注:每次测试重复三次,结果显示为:平均值 ± 标准偏差;同一列所标字母不同说明存在显著性差异。

Note: Values were presented as means ± SD (n = 3); Values in the same column with different letters were significantly different (P < 0.05); ND; Not detected.

DPPH 自由基清除活性试验是常用的用来评价化合物抗氧化活性的指标之一,当 DPPH 自由基与抗氧化剂发生反应后,颜色由深紫色变成亮黄色,通过测定波长 517 nm 下的吸光值,比较被测物质 DPPH 自由基清除活性^[10]。表3结果显示,比较同一产区铁皮石斛醇提取物及水提取物的 DPPH 自由基清除活性,醇提取物表现出较好的 DPPH 自由基清除活性,水提取物 DPPH 自由基清除活性相对较低。琼中、三亚、保亭产区铁皮石斛醇提取物显示较强 DPPH 自由

基清除活性,此三个产区醇提取物中总多酚,总黄酮含量相对较高(表1),儋州、五指山、昌江、乐东、陵水产区铁皮石斛水提物未显示 DPPH 自由基清除活性,结合水提取物主成分分析(表2),相比其他产区,以上五个产区铁皮石斛水提物中所含酸性糖,总多酚含量较低,推测可能与该产区铁皮石斛 DPPH 自由基清除活性较低有关。

2.4 铁皮石斛醇提取物及水提取物三价铁还原/抗氧化性的测定

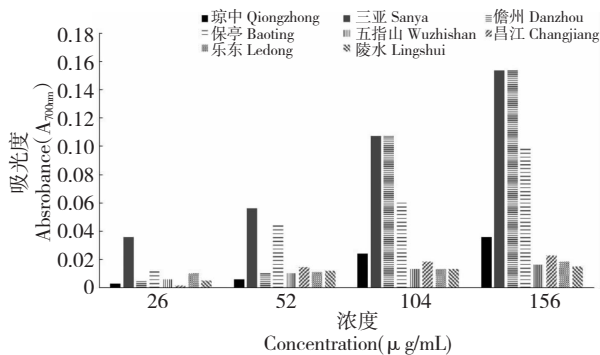
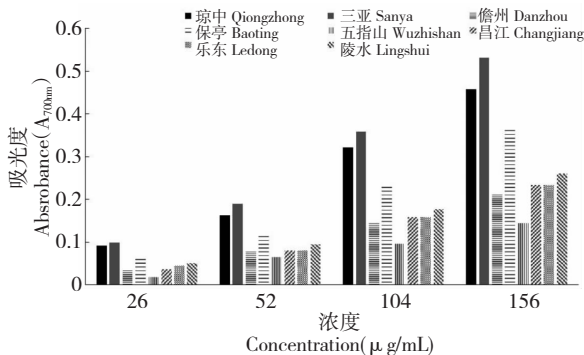


图1 海南不同产区铁皮石斛醇提取物及水提取物还原力 (n = 3, means ± SD)

Fig. 1 Reducing power of alcohol extracts (A) and aqueous extracts (B) of *D. candidum* from different areas of Hainan (n = 3, means ± SD)

还原力试验是另一种用来评价化合物抗氧化活性的指标之一,抗氧化物质将铁氰化钾中三价铁离子还原成二价铁离子,生成蓝色螯合物普鲁士蓝,通过在 700 nm 波长下测定其吸光值来评价抗氧化性强弱^[11]。图 1 结果显示,同一产区铁皮石斛,醇提物(A)比水提物(B)表现出更高的还原力。同 DP-PH 自由基清除活性试验结果相似,不同产区铁皮石斛还原力活性有较大差异,琼中、三亚、保亭产区醇提物表现出较高的还原力,其对应的水提物及儋州产区水提物显示出较高的还原力,且表现出一定的浓度依赖性。

2.5 铁皮石斛提取物对 α -淀粉酶抑制活性的测定

α -淀粉酶抑制剂能抑制肠道内唾液及胰 α -淀粉酶的活性,阻碍食物中淀粉及其他碳水化合物的消化吸收,从而起到降血糖的作用^[12]。图 2 显示同等浓度下(5 mg/mL),儋州产区铁皮石斛水提物表现出最高的 α -淀粉酶抑制活性。与 DPPH 自由基清除活性,还原力试验结果不同,相同产区铁皮石斛,其水提物比醇提物表现出更高的 α -淀粉酶抑制

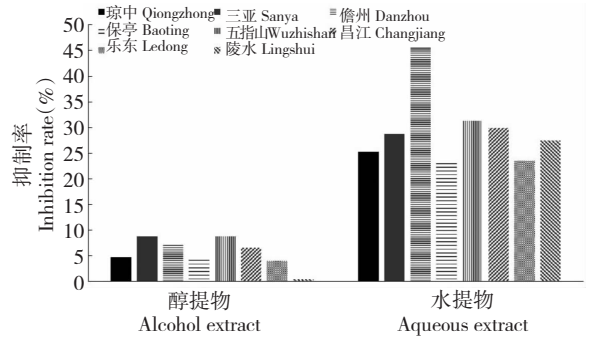


图 2 海南不同产区铁皮石斛醇提物及水提物 α -淀粉酶抑制活性($n = 3$, means \pm SD)

Fig. 2 Inhibitory effects on α -amylase of alcohol extracts and aqueous extracts of *D. candidum* from different areas of Hainan ($n = 3$, means \pm SD)

活性,可能与水提物中含有较高含量的多糖有关, Gourgue^[13]等人曾报道过多糖结构中大量游离羧基可以抑制酶的活性。

2.6 铁皮石斛中的活性成分与抗氧化性,降血糖活性的线性关系

表 4 铁皮石斛醇提物及水提物中主要成分含量与 DPPH 自由基清除活性,还原力, α -淀粉酶抑制活性的 Pearson 相关系数
Table 4 Correlation coefficients (Pearson's correlation coefficient) of the contents of main components in alcohol extracts and aqueous extracts of *D. candidum* with the DPPH radical scavenging activity, reducing power and α -amylase inhibition activity

Pearson 相关性 Pearson's correlation coefficient	DPPH 自由基清除 DPPH radical scavenging	还原力 Reducing power	α -淀粉酶抑制 α -Amylase inhibition
醇提物 Alcohol extract			
总多酚含量 Total phenolic content	0.904 * *	0.861 * *	0.165
总黄酮含量 Total flavonoid content	0.867 * *	0.836 * *	0.147
水提物 Aqueous extract			
中性糖含量 Neutral sugar content	0.364	0.470	0.306
酸性糖含量 Uronic acid content	0.752 *	0.762 *	0.145
蛋白质含量 Protein content	0.530	0.020	0.212
总多酚含量 Total phenolic content	0.725 *	0.807 *	0.130

注: * 在 0.05 水平(双侧)上显著相关; * * 在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

Note: * Correlation was significant at $P < 0.05$; * * Correlation was significant at $P < 0.01$.

为了研究铁皮石斛中有效成分对抗氧化,降血糖活性的影响,通过 SPSS 软件计算 Pearson 相关系数($P < 0.05$), Pearson 相关系数越接近 1,说明该成分与对应的活性相关性越高。从表 4 可以看出,醇提物总黄酮含量与 DPPH 自由基清除活性,还原力有显著的线性相关性($r = 0.867$, $P < 0.01$; $r = 0.836$, $P < 0.01$),总多酚表现出相对较高的相关性($r = 0.904$, $P < 0.01$; $r = 0.861$, $P < 0.01$),可推测得

出总多酚可能是铁皮石斛醇提物中主要的抗氧化活性成分之一。水提物中性糖,蛋白质含量与 DPPH 自由基清除活性,还原力无相关性,说明铁皮石斛水提物中以上两种成分抗氧化活性较小。水提物酸性糖,总多酚含量与 DPPH 自由基清除活性,还原力有很好的线性相关性($r = 0.752$, 0.762 ; $r = 0.725$, $r = 0.807$)。此外,水提物,醇提物中检测的成分与 α -淀粉酶抑制活性无明显相关性,对于铁皮石斛的 α -

淀粉酶抑制活性及有效成分还有待进一步研究。

3 结论

本研究对海南八个不同产区铁皮石斛水提物及醇提物主要成分, DPPH 自由基清除活性, 还原力和 α -淀粉酶抑制活性进行评价。其中琼中、三亚、保亭产区铁皮石斛水提物及八个产区铁皮石斛醇提物均表现出较高的 DPPH 自由基清除活性及还原力活性, 儋州产区铁皮石斛水提物表现出较高的 α -淀粉酶抑制活性。铁皮石斛中性糖, 蛋白质含量与抗氧化活性的线性相关系数较小, 酸性糖, 总多酚, 总黄酮与抗氧化活性有较好的线性相关性, 其中醇提物中总多酚表现出相对最高的线性相关 ($r = 0.904, P < 0.01; r = 0.861, P < 0.01$)。由此推断总多酚是铁皮石斛中抗氧化的活性成分之一。参考上述研究结果, 可根据铁皮石斛在药品及保健食品中的用途, 选择性的采收某些产区的铁皮石斛以及针对性的提取活性成分, 提高铁皮石斛在开发过程中的资源利用率。

参考文献

- 1 Zhu Y (朱艳), Qin MJ (秦民坚). Cluster shoots induction from stem segments of *Dendrobium candidum*. *Chin Wild Plant Res* (中国野生植物资源), 2003, 22(2): 56-57.
- 2 Chen XM (陈晓梅), Guo SX (郭顺星). Advances in the research of constituents and pharmacology of dendrobium. *Nat Prod Res Dev* (天然产物研究与开发), 2001, 13: 70-75.
- 3 Lv KY (吕圭源), Yan MQ (颜美秋), Chen SH (陈素红). Advances on pharmacological activities of *Dendrobium candidum*. *Chin J Chin Mater Med* (中国中药杂志), 2013, 38: 489-493.
- 4 Bao SH (鲍素华), Zha XQ (查学强), Hao J (郝杰), et al. *In vitro* antioxidant activity of polysaccharides with different

- molecular weights from *Dendrobium candidum*. *Food Sci* (食品科学), 2009, 30: 123-127.
- 5 Nie SP (聂少平), Cai HL (蔡海兰). Research progress in bioactive components and functions of *Dendrobium officinale*. *Food Sci* (食品科学), 2012, 33: 356-361.
- 6 Li S (李墅), Wang CL (王春兰), Guo SX (郭顺星). Determination of dendrobin in *Dendrobium nobile* by HPLC Analysis. *Chin Pharm J* (中国药学杂志), 2009, 44: 252-254.
- 7 Lu XM (卢雪明), Chen HX (陈海霞), Qu ZS (曲志爽), et al. Studies on the antioxidant activities and glycosidase inhibitory effects of different extracts from *Inonotus obliquus*. *Nat Prod Res Dev* (天然产物研究与开发), 2009, 21: 132-135.
- 8 Ma LS, Chen HX, Zhu WC, et al. Effect of different drying methods on physicochemical properties and antioxidant activities of polysaccharides extracted from mushroom *Inonotus obliquus*. *Food Res Int*, 2013, 50: 633-640.
- 9 Kim YM, Jeong YK, Wang MH, et al. Inhibitory effect of pine extract on α -glucosidase activity and postprandial hyperglycemia. *Nutrition*, 2005, 21: 756-761.
- 10 Dawidowicz AL, Wianowska D, Olszowy M. On practical problems in estimation of antioxidant activity of compounds by DPPH method (problems in estimation of antioxidant activity). *Food Chem*, 2012, 131: 1037-1043.
- 11 Benzie, IF, Strain JJ. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Anal Biochem*, 1996, 239: 70-76.
- 12 Lv FX (吕凤霞), Lu ZX (陆兆新). Research progress in α -amylase inhibitor. *Food Sci* (食品科学), 2002, 23: 152-155.
- 13 Gourgue CMP, Champ MMJ, Lozano Y. Dietary fiber from mango byproducts: characterization and hypoglycemic effects determined by *in vitro* methods. *J Agric Food Chem*, 1992, 40: 1864-1868.