

# 不同蜂蜜抗氧化活性和抑制酪氨酸酶活性的比较

张敏, 黄京平, 赵文, 王鹏, 金玥, 胡茵, 薛晓峰, 张金振\*

(中国农业科学院蜜蜂研究所农业农村部蜂产品质量监督检验测试中心(北京), 北京 100193)

**摘要:** 该研究采用分光光度法测定了 10 种蜂蜜中总酚酸和总黄酮的含量及对酪氨酸酶的活性抑制, 采用 1,1-二苯基苦基苯肼(DPPH) 自由基清除法和铁离子还原(FRAP)法测定了其体外抗氧化活性。结果表明, 10 种蜂蜜总酚酸含量为 116.46~2 133.33 mg PCA/kg, 总黄酮含量为 8.31~120.81 mg QUE/kg, DPPH 自由基清除 IC<sub>50</sub> 为 16.25~674.22 mg/mL, 铁离子还原 FRAP 值为 0.50~7.39 mmol Fe<sup>2+</sup>/kg, 酪氨酸酶抑制 IC<sub>50</sub> 为 9.15~350.26 mg/mL。荞麦蜜的 DPPH 自由基清除能力(IC<sub>50</sub> 为 16.25~45.83 mg/mL)、铁离子还原能力(3.21~7.39 mmol Fe<sup>2+</sup>/kg)和酪氨酸酶活性抑制能力(IC<sub>50</sub> 为 9.15~14.16 mg/mL)显著高于其他几种蜂蜜( $p<0.05$ )。蜂蜜抗氧化活性、酪氨酸酶抑制活性与蜂蜜中总酚酸、总黄酮含量显著相关( $p<0.05$ )。该研究为蜂蜜功能性产品的开发提供了依据。

**关键词:** 蜂蜜; 总酚酸; 总黄酮; 抗氧化; 酪氨酸酶

文章编号: 1673-9078(2023)01-113-119

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.1.0202

## Comparison of the Antioxidant and Tyrosinase Inhibitory Activities of Different Types of Honey

ZHANG Min, HUANG Jingping, ZHAO Wen, WANG Peng, JIN Yue, HU Han, XUE Xiaofeng, ZHANG Jinzhen\*

(Institute of Apicultural Research, Chinese Academy of Agricultural Sciences Bee Products Quality Supervision and Testing Center, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100193, China)

**Abstract:** In this study, the spectrophotometric method was used to determine the total phenolic acid contents, total flavonoid contents and tyrosinase inhibitory activities of 10 kinds of honey. Their antioxidant activities were evaluated by the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical-scavenging capacity and ferric ion reducing antioxidant power (FRAP) assays. The results showed the contents of the total phenolic acids and flavonoids in the 10 kinds of honey were 116.16~2 133.33 mg PCA/kg and 8.31~120.81 mg QUE/kg, respectively. The IC<sub>50</sub> values of DPPH honey samples were 16.25~674.22 mg/mL. The FRAP values were 0.50~7.39 mmol Fe<sup>2+</sup>/kg. The IC<sub>50</sub> values of tyrosinase inhibition were 9.15~350.26 mg/mL. The buckwheat honey exhibited a significantly higher DPPH radical scavenging ability (16.25 to 45.83 mg/mL), FRAP (3.21 to 7.39 mmol Fe<sup>2+</sup>/kg) and tyrosinase inhibitory activity (9.14 to 14.16 mg/mL), compared with other kinds of honey ( $p<0.05$ ). The antioxidant and tyrosinase inhibitory activities of honey were significantly correlated with the contents of total phenolic acids and flavonoids in honey ( $p<0.05$ ). This study provides a basis for the development of honey-based functional products.

**Key words:** honey; total phenolic acids; total flavonoids; antioxidant; tyrosinase

引文格式:

张敏,黄京平,赵文,等.不同蜂蜜抗氧化活性和抑制酪氨酸酶活性的比较[J].现代食品科技,2023,39(1):113-119

ZHANG Min, HUANG Jingping, ZHAO Wen, et al. Comparison of the antioxidant and tyrosinase inhibitory activities of different types of honey [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(1): 113-119

蜂蜜是由蜜蜂采集植物的花蜜、分泌物或蜜露,与自身分泌物结合后,经充分酿造而成的天然甜味物质。作为药食同源产品,蜂蜜除含有葡萄糖、果糖等营养成分外,还含有维生素、氨基酸、酚类化合物等

收稿日期: 2022-02-27

作者简介: 张敏(1995-),女,硕士,研究方向:食品加工与安全, E-mail: minzhang163@163.com

通讯作者: 张金振(1976-),女,硕士,副研究员,研究方向:食品科学, E-mail: 914341923@qq.com

丰富的生物活性物质,不仅具有较高的营养价值,还具有抗菌、抗氧化和调节机体免疫力等功效<sup>[1-3]</sup>。

酚酸和黄酮类化合物是蜂蜜中主要的抗氧化活性物质,其含量与蜂蜜抗氧化能力具有相关性<sup>[4,5]</sup>。目前,蜂蜜中总酚酸的测定多采用福林-酚显色法,用没食子酸或原儿茶酸做当量;总黄酮的测定采用硝酸铝或三氯化铝比色法,用槲皮素或芦丁做当量;体外抗氧化能力主要通过 DPPH 自由基清除、Fe<sup>3+</sup>还原、阳离子脱色、氧化自由基吸收能力等方法测定<sup>[4-8]</sup>。由于测定

方法种类较多,不同文献间测定方法不统一,因此难以根据文献报道的数据系统地比较不同蜂蜜的差异。

酪氨酸酶是生成黑色素的关键限速酶,对其活性抑制的强弱是目前评价保健品和化妆品等是否具有美白功效的指标<sup>[9]</sup>。由于曲酸、熊果苷等酪氨酸酶抑制剂的安全性、稳定性、穿透力等方面较差<sup>[10]</sup>,利用天然产物的有效成分来抑制酪氨酸酶活性具有应用前景。有研究表明蜂蜜对酪氨酸酶具有抑制作用,并推断可能是蜂蜜中酚酸、黄酮类化合物在发挥作用<sup>[11]</sup>。酚酸和黄酮类化合物的羟基可与酪氨酸酶的某个部位形成氢键,还可与酪氨酸酶活性部位的铜离子相互作用,从而抑制酪氨酸酶活性<sup>[12,13]</sup>。但蜂蜜中酚酸和黄酮类化合物含量与酪氨酸酶活性抑制能力的相关性还不清楚。

本文系统比较了我国常见的 10 种植物源蜂蜜的抗氧化和抑制酪氨酸酶活性的能力,并研究了总酚酸和总黄酮含量与这 2 种生物活性的相关性,为蜂蜜的营养功能开发和评价提供理论依据和数据支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料和试剂

10 种植物源蜂蜜(椴树蜜、油菜蜜、枣花蜜、洋槐蜜、荆条蜜、荞麦蜜、龙眼蜜、荔枝蜜、黄芪蜜、树参蜜)信息见表 1。所有样品均直接从蜂农处购买,保存于 4℃条件下备用。通过花粉含量测定(除洋槐蜜花粉率为 19.20%~25.70%,其余蜂蜜花粉率均大于 50%)保证样品的真实性。

原儿茶酸(PCA,纯度≥98%)、槲皮素(QUE,纯度≥98%)、酪氨酸酶(1 240 U/mg)、左旋多巴(纯度≥99%)、1,1-二苯基苦基苯肼(DPPH)(纯度≥95%)、Folin-Ciocalteu 试剂(1 mol/L)均购自上海源叶生物科技有限公司;总抗氧化能力(FRAP 法)试剂盒购自南京建成生物工程研究所;碳酸钠、三氯化铝、磷酸氢二钠、柠檬酸购自国药集团化学试剂有限公司;无水乙醇、95%乙醇购自福晨化学试剂有限公司。

### 1.2 仪器和设备

Multiskan FC photometer 全波长酶标仪,赛默飞世尔科技中国有限公司;高速离心机,曦玛离心机扬州有限公司;涡旋振荡器,上海宛胜仪器设备有限公司;水浴锅,北京市永光明医疗仪器有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 总酚酸的测定

参考曹炜等<sup>[14]</sup>的方法,吸取 0.1 g/mL 的蜂蜜溶液

1.00 mL 至 10 mL 容量瓶中,加入 Folin-Ciocalteu 试剂 1 mL,混匀,再加入 1 mol/L 的碳酸钠溶液 5 mL,用超纯水定容至刻度,混匀。室温、避光条件下反应 1 h,吸取反应液 200 μL 至 96 孔板,于 760 nm 处测定吸光度值。蜂蜜总酚酸含量以原儿茶酸的相对量表示。

#### 1.3.2 总黄酮的测定

参考孙丽萍等<sup>[15]</sup>的方法,称取 10.0 g 蜂蜜样品,加入 5 mL 超纯水超声至溶解。8 000 r/min 离心 5 min,吸取上清液 3 mL 于 10 mL 容量瓶中,加入  $m=1\%$  三氯化铝溶液 1 mL, $\varphi=95\%$  乙醇定容至刻度,摇匀,静置 10 min。吸取反应液 200 μL 至 96 孔板,于 405 nm 处测定吸光值。蜂蜜总黄酮含量以槲皮素的相对量来表示。

#### 1.3.3 抗氧化能力的测定

##### 1.3.3.1 DPPH 自由基清除能力测定

参考王海敏等<sup>[16]</sup>的方法,用超纯水将样品稀释成 0.01、0.05、0.20、0.50、0.80 g/mL 的蜂蜜溶液,按  $A_1$ : 100 μL 水+100 μL DPPH 自由基乙醇溶液(浓度为 0.1 mmol/L);  $A_2$ : 100 μL 样品+100 μL DPPH 自由基溶液;  $A_3$ : 100 μL 样品+100 μL 无水乙醇,加入到 96 孔板,混匀后于室温避光反应 30 min,于 517 nm 波长处测定吸光度。按公式(1)计算样品对 DPPH 自由基的清除率( $I$ ,%)。以维生素 C 为阳性对照。

$$I = \frac{A_1(A_2 - A_3)}{A_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

$A_1$ ——溶剂本底吸光值;

$A_2$ ——样品溶液吸光值;

$A_3$ ——样品溶液空白吸光值。

##### 1.3.3.2 铁离子还原能力的测定

按照试剂盒提供的方法测定蜂蜜铁离子还原能力。用超纯水将蜂蜜稀释至 0.5 g/mL,在 96 孔板内依次加入 5 μL 样品溶液和 180 μL FRAP 工作液,37℃孵育 5 min,于 593 nm 下测定各样品吸光值。以  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  为标准品,用超纯水稀释成不同浓度的标准工作液,以浓度为横坐标,吸光度值为纵坐标绘制标准曲线。总抗氧化活性用达到相同吸光度所需  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  的浓度来表示。

##### 1.3.4 酪氨酸酶抑制实验

参考《T/SHRH 015-2018 化妆品-酪氨酸酶抑制实验方法》并进行优化,用 pH 值 6.8 的磷酸氢二钠-柠檬酸(PBS)缓冲液将样品稀释为 0.01、0.05、0.20、0.50、0.8 g/mL 的蜂蜜溶液,按照 A: 1 mL 样品+0.5 mL 100 u/mL 酪氨酸酶溶液; B: 1 mL 样品+0.5 mL PBS 缓冲液; C: 1 mL PBS 缓冲液+0.5 mL 100 u/mL 酪氨酸酶溶液; D: 1.5 mL PBS 缓冲液加入 10 mL 离心管

中, 混匀, 于 37 °C 避光水浴孵育 10 min。依次在各管中加入 1.0 mg/mL 的左旋多巴溶液 2 mL, 反应 5 min, 即刻在 475 nm 处测定吸光值。每批样品以曲酸为阳性对照, IC<sub>50</sub> 在 0.05 mg/mL~0.15 mg/mL, 则认为试验有效。酪氨酸酶抑制率 ( $E$ , %) 按公式 (2) 计算:

$$E = (1 - \frac{A-B}{C-D}) \times 100\% \quad (2)$$

式中:

$A$ ——为样品与酪氨酸酶反应后溶液吸光值;

$B$ ——不含酪氨酸酶样品本底吸光值;

$C$ ——未加样品时酪氨酸酶和多巴反应的吸光值;

$D$ ——溶剂本底吸光值。

#### 1.4 数据处理

采用 SPSS 22.0 软件进行统计分析。所有数据均以平均值 ± 标准差表示。采用单因素方差分析 (One-Way Analysis of Variance, ANOVA) 和 Tukey's 分析组间差异显著性。采用 GraphPad Prism 9.0 通过浓度与清除率 (抑制率) 拟合曲线计算 DPPH 自由基清除率和酪氨酸酶抑制率 IC<sub>50</sub> 值。

表 1 不同品种蜂蜜总酚酸、总黄酮含量及其抗氧化活性和酪氨酸酶抑制能力

Table 1 Contents of total phenolic acids and total flavonoids, and their antioxidant and tyrosinase inhibitory activities of honey from different nectar plants

样品名称	产地	总酚酸/ (mg PCA/kg)	总黄酮/ (mg QUE/kg)	FRAP/ (mmol Fe <sup>2+</sup> /kg)	DPPH		酪氨酸酶
					IC <sub>50</sub> /(mg/mL)	IC <sub>50</sub> /(mg/mL)	
椴树蜜 1	黑龙江	205.61±0.93	27.10±0.95	1.34±1.25	146.50±0.56	207.21 ±0.64	
椴树蜜 2	吉林	249.93±3.01	20.01±0.66	1.67±0.67	88.39±1.06	168.95±1.27	
椴树蜜 3	吉林	255.19±2.01	22.44±0.84	1.53±1.74	80.19±1.53	256.74±1.47	
油菜蜜 1	江苏	201.60±1.61	17.60±1.28	1.10±0.54	168.33±0.54	106.41±0.44	
油菜蜜 2	江苏	220.03±1.18	27.88±0.70	1.25±1.22	142.14±1.16	82.88±1.67	
油菜蜜 3	江苏	211.56±1.00	16.69±0.69	1.14±0.89	154.71±1.27	85.35±2.34	
枣花蜜 1	陕西	478.66±4.94	47.57±1.79	2.67±1.56	57.18±2.04	60.30±1.94	
枣花蜜 2	山西	450.75±1.56	34.94±2.14	2.79±1.08	33.17±1.14	55.21±1.09	
枣花蜜 3	山西	472.53±2.75	33.16±1.22	2.14±0.71	48.74±1.31	32.99±1.56	
洋槐蜜 1	北京	154.73±1.88	11.44±0.69	0.67±1.02	390.31±1.17	79.22±3.01	
洋槐蜜 2	甘肃	116.46±1.79	8.31±0.11	0.50±0.53	674.22±0.27	95.08±2.47	
洋槐蜜 3	河南	141.02±2.04	10.61±0.22	0.66±0.90	481.77±0.89	88.43±1.55	
荆条蜜 1	北京	259.24±5.18	21.01±0.95	1.34±0.61	124.77±1.27	211.90±0.56	
荆条蜜 2	河北	226.24±2.41	33.37±1.52	1.04±0.88	188.74±1.74	199.83±1.32	
荆条蜜 3	辽宁	268.12±1.96	22.93±0.93	1.28±0.27	159.40±0.65	131.71±2.05	
荞麦蜜 1	陕西	2 133.33±3.05	120.81±1.18	7.39±0.78	16.25±0.74	9.15±0.96	
荞麦蜜 2	内蒙古	968.55±3.13	75.36±0.48	3.38±0.49	45.83±0.69	14.16±0.53	
荞麦蜜 3	内蒙古	860.20±1.56	48.74±0.95	3.21±0.62	26.15±0.26	13.26±1.47	
龙眼蜜 1	福建	322.53±3.70	36.18±1.65	1.25±1.24	95.07±0.57	91.36±0.67	
龙眼蜜 2	福建	394.63±9.33	44.01±0.45	1.81±0.58	95.41±0.85	94.62±1.34	
龙眼蜜 3	福建	313.00±1.41	40.36±0.51	1.41±0.76	64.38±1.27	104.56±2.33	
荔枝蜜 1	广西	270.00±5.03	27.07±3.04	1.01±0.54	102.19±1.13	141.50±0.45	
荔枝蜜 2	福建	349.22±4.55	34.09±2.03	1.40±1.26	83.36±1.57	125.61±1.27	
荔枝蜜 3	福建	321.73±0.94	41.53±1.23	1.21±0.63	80.47±1.26	132.69±1.49	
黄芪蜜 1	山西	246.20±2.07	22.94±1.00	1.26±0.91	165.99±0.78	295.91±0.74	
黄芪蜜 2	山西	231.59±1.41	21.45±0.54	1.39±1.45	175.68±0.97	301.14±0.54	
黄芪蜜 3	四川	251.13±0.81	22.31±0.63	1.35±0.28	154.37±0.66	285.63±1.28	
树参蜜 1	江西	243.16±3.11	22.79±0.85	1.44±0.56	186.00±1.21	314.87±0.92	
树参蜜 2	江西	230.64±1.22	21.30±0.45	1.32±0.49	180.12±1.47	350.26±1.37	
树参蜜 3	湖南	217.92±1.30	22.06±0.78	0.87±0.87	197.85±1.59	334.05±1.15	

## 2 结果与分析

### 2.1 总酚酸和总黄酮含量

蜂蜜中酚酸和黄酮类物质主要来源于蜜源植物的花蜜、花粉或蜂巢中蜂胶的迁移等,因此不同植物来源的蜂蜜样品之间总酚酸和总黄酮含量差异较大<sup>[17-19]</sup>。表 1 中可知 10 种蜂蜜总酚酸含量为 116.46~2 133.33 mg PCA/kg,总黄酮含量为 8.31~120.81 mg QUE/kg。其中,荞麦蜜总酚酸和总黄酮含量显著高于其他几种蜂蜜 ( $p<0.05$ ),平均含量分别为 1 320.69 mg PCA/kg 和 81.64 mg QUE/kg;枣花蜜含量次之,总酚酸和总黄酮平均含量分别为 467.31 mg PCA/kg 和 38.56 mg QUE/kg;洋槐蜜的含量最低,总酚酸和总黄酮平均含量分别为 137.40 mg PCA/kg 和 10.12 mg QUE/kg;其他几种蜂蜜总酚酸含量在 201.60~394.63 mg PCA/kg 之间,总黄酮含量在 16.69~44.01 mg QUE/kg 之间。

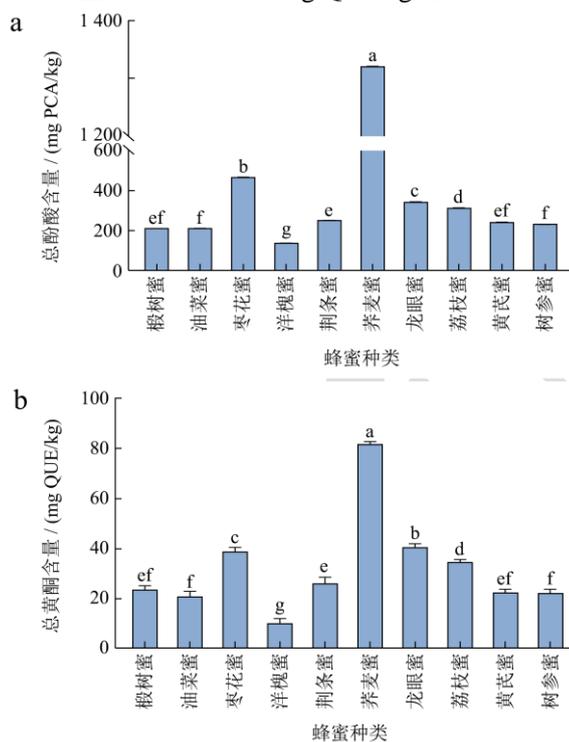


图1 不同植物源蜂蜜总酚酸 (a) 和总黄酮 (b) 含量显著性分析

Fig.1 Significant analysis of total phenolic acid (a) and total flavonoid (b) contents of different botanical honey

注: 所有数据均以  $\bar{x} \pm SD$  表示; 不同组别不同字母表示差异显著 ( $p<0.05$ ); 下同。

Małgorzata 等<sup>[6]</sup>测定的波兰荞麦蜜总酚酸平均为 2 540 mg GAE/kg,总黄酮平均为 140 mg QUE/kg,杨二林等<sup>[7]</sup>测定的陕西不同地区枣花蜜总酚酸平均含量为 359.16 mg GAE/kg,总黄酮平均含量为

30.76 mg RT/kg,这说明酚酸和黄酮的含量除了受蜜源植物种类的影响,还与地理位置有关<sup>[20]</sup>。

### 2.2 抗氧化能力

#### 2.2.1 DPPH 自由基清除能力

样品对 DPPH 自由基的清除能力反映其抗氧化能力,IC<sub>50</sub> 值越低,说明蜂蜜抗氧化能力越强。10 种蜂蜜清除 DPPH 自由基 IC<sub>50</sub> 值和显著性分析结果见表 1 和图 2a。不同植物源蜂蜜清除 DPPH 自由基能力具有差异性。荞麦蜜 IC<sub>50</sub> 值最低,平均值为 29.41 mg/mL,其清除 DPPH 自由基能力显著高于其他蜂蜜 ( $p<0.05$ );其次是枣花蜜,IC<sub>50</sub> 平均值为 46.36 mg/mL;洋槐蜜 IC<sub>50</sub> 值最高,平均值为 515.43 mg/mL,其清除 DPPH 自由基能力显著低于其他蜂蜜 ( $p<0.05$ );其他几种蜂蜜 IC<sub>50</sub> 值为 64.38~197.85 mg/mL。曹炜等<sup>[14]</sup>对枇杷、枸杞、黄芪、党参和荆条 5 种蜂蜜清除 DPPH 自由基能力研究同样发现不同蜂蜜清除 DPPH 自由基能力具有差异性。

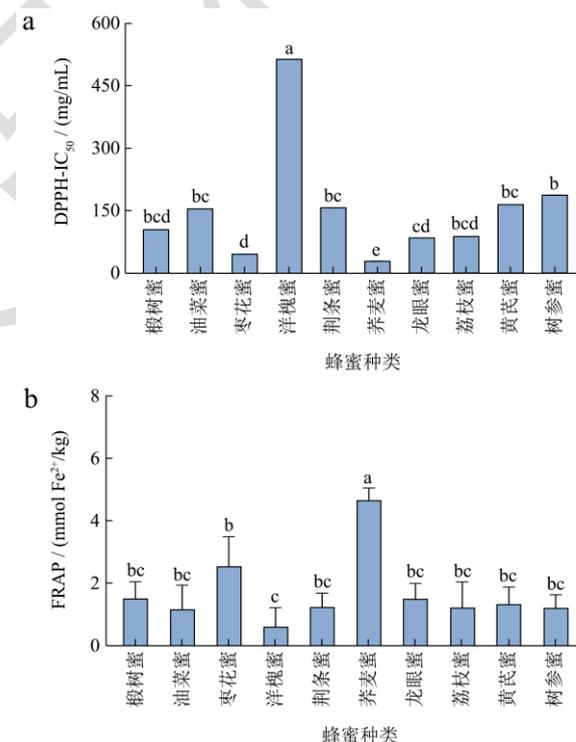


图2 不同植物源蜂蜜 DPPHIC<sub>50</sub> (a) 和铁离子还原力 FRAP (b)

显著性分析

Fig.2 Significant analysis of DPPHIC<sub>50</sub> (a) and FRAP (b) of different botanical honey

#### 2.2.2 铁离子还原能力 (FRAP 法)

在酸性条件下,抗氧化剂能够提供电子将 Fe<sup>3+</sup>-TPTZ 还原成蓝色 Fe<sup>2+</sup>-TPTZ,亚铁离子的浓度与抗氧化剂给电子数成正比,因此可用亚铁离子浓度高低表示蜂蜜的抗氧化能力强弱。10 种蜂蜜 FRAP 值为

0.50~7.39 mmol Fe<sup>2+</sup>/kg (表 1)。荞麦蜜铁离子还原能力最强(图 2b),FRAP 值平均为 4.66 mmol Fe<sup>2+</sup>/kg, 优于 Beretta G 等<sup>[21]</sup>测定的金合欢蜜(0.80 mmol Fe<sup>2+</sup>/kg)、板栗蜜(3.89 mmol Fe<sup>2+</sup>/kg)和菊苣蜜(2.1 mmol Fe<sup>2+</sup>/kg); 洋槐蜜最弱, 平均值为 0.61 mmol Fe<sup>2+</sup>/kg; 其他几种蜂蜜 FRAP 值范围在 0.87~2.79 mmol Fe<sup>2+</sup>/kg, 与巴西蜂蜜铁离子还原能力(0.66~3.89 mmol Fe<sup>2+</sup>/kg)相当<sup>[22]</sup>。Monika K 等<sup>[23]</sup>测定波兰蜂蜜铁离子还原能力结果显示荞麦蜜>荆条蜜>洋槐蜜, 与本研究结果一致。

### 2.3 酪氨酸酶抑制能力

不同植物源蜂蜜对酪氨酸酶活性抑制能力具有差异性, 其 IC<sub>50</sub> 值为 9.16~350.26 mg/mL (表 1)。荞麦蜜 IC<sub>50</sub> 平均值为 12.19 mg/mL, 对酪氨酸酶活性抑制能力显著优于其他 9 种蜂蜜 ( $p < 0.05$ ); 枣花蜜次之, IC<sub>50</sub> 平均值为 49.50 mg/mL; 黄芪蜜和树参蜜酪氨酸酶活性抑制能力较差, IC<sub>50</sub> 范围为 285.63 mg/mL~350.26 mg/mL; 其他几种蜂蜜酪氨酸酶活性抑制能力 IC<sub>50</sub> 为 79.22~256.74 mg/mL。Sıcak 等<sup>[24]</sup>测得的土耳其松树蜜和百里香蜂蜜正丁醇萃取物酪氨酸酶活性抑制 IC<sub>50</sub> 值分别为 49.50 mg/mL 和 60.67 mg/mL, 低于本实

验中测定的荞麦蜜。

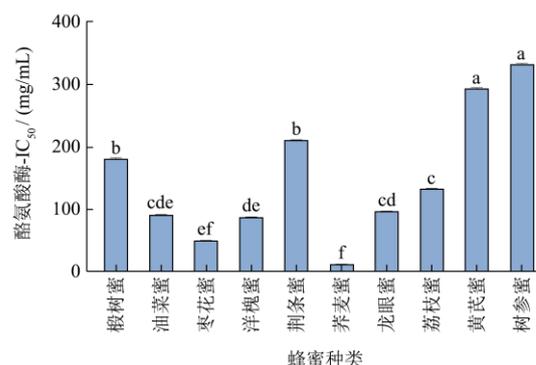


图 3 不同植物源蜂蜜对酪氨酸酶抑制率 IC<sub>50</sub> 显著性分析

Fig.3 Significance analysis of tyrosinase inhibition rate IC<sub>50</sub> of different botanical honey

### 2.4 相关性分析

为探究蜂蜜总酚酸、总黄酮含量与抗氧化能力、酪氨酸酶活性抑制能力的相关性, 对蜂蜜中总酚酸、总黄酮含量以及 FRAP 抗氧化活性、DPPH 自由基清除活性、酪氨酸酶抑制活性之间进行 Pearson 相关性分析, 结果如表 2 所示。

表 2 抗氧化能力和对酪氨酸酶抑制能力与总酚酸和总黄酮含量相关性

Table 2 Correlations of Antioxidant capacity and tyrosinase inhibitory activity with total phenolic acid and total flavonoid

	总酚酸	总黄酮	FRAP	DPPHIC <sub>50</sub>	酪氨酸酶抑制 1/IC <sub>50</sub>
总酚酸	1				
总黄酮	0.948**	1			
FRAP	0.976**	0.925**	1		
DPPHIC <sub>50</sub>	-0.422*	-0.541*	-0.497**	1	
酪氨酸酶抑制 1/IC <sub>50</sub>	0.922**	0.898**	0.892**	0.310	1

注: \*\*在 0.01 级别 (双尾), 相关性极显著; \*在 0.05 级别 (双尾), 相关性显著。

#### 2.4.1 抗氧化能力与总酚酸、总黄酮的相关性

表 2 相关性结果表明, 蜂蜜总酚酸和总黄酮的含量与铁离子还原能力相关性极显著 ( $p < 0.01$ ), 与清除 DPPH 自由基 IC<sub>50</sub> 相关性显著 ( $p < 0.05$ )。蜂蜜总酚酸和总黄酮的含量与铁离子还原能力的相关系数高于与清除 DPPH 自由基的相关系数, 这是因为不同抗氧化方法的反应机理不同, 同一物质可能会表现出不同的抗氧化能力。油菜蜜和荆条蜜总酚酸和总黄酮含量差异显著, 但 DPPH 自由基清除能力相当, 这说明蜂蜜抗氧化能力除了受总酚酸和总黄酮含量的影响外, 还可能与酚酸和黄酮的种类有关。Monika 等<sup>[23]</sup>通过 ABTS 和 FRAP 两种方法比较了 8 种酚酸和 4 种黄酮类化合物的抗氧化能力, 结果显示, 抗氧化能力与对羟基苯甲酸、对香豆酸、咖啡酸相关性显著, 与阿魏酸、苯甲酸、槲皮素相关性不强, 且不同化合物与

ABTS 和 FRAP 的相关系数不同。

#### 2.4.2 酪氨酸酶抑制能力与总酚酸、总黄酮的相关性

蜂蜜对酪氨酸酶抑制活性 1/IC<sub>50</sub> 值与总酚酸和总黄酮相关系数分别为 0.922 和 0.898 (表 2), 呈显著正相关, 表明酚酸和黄酮类物质在酪氨酸酶活性抑制方面发挥作用。有文献报道酚类化合物如原儿茶酸、*p*-香豆酸、绿原酸、槲皮素和山奈酚等均可抑制酪氨酸酶活性<sup>[25-29]</sup>。本研究表明, 总酚酸和总黄酮含量最高的荞麦蜜抑制酪氨酸酶能力最强, 洋槐蜜总酚酸和总黄酮含量虽低, 但显现出较高的酪氨酸酶活性抑制能力, 说明酪氨酸酶抑制能力还可能与酚酸和黄酮的种类有关。Corradi I 等<sup>[30]</sup>在测定植物提取物对酪氨酸酶活性抑制能力中发现, 没食子酸甲酯和没食子酸表现出较强的酪氨酸酶活性抑制能力, 而咖啡酸则不强。

### 3 结论

本研究比较了 10 种不同植物源蜂蜜的总酚酸和总黄酮含量的差异,通过 DPPH 自由基清除和铁离子还原能力评价其抗氧化能力,通过酪氨酸酶抑制试验评价不同蜂蜜美白效果,并分析了总酚酸和总黄酮含量与这两种生物活性之间的相关性。结果表明,不同植物源蜂蜜均具有抗氧化和抑制酪氨酸酶活性。荞麦蜜表现出最强的抗氧化能力和酪氨酸酶活性抑制能力,其总酚酸和总黄酮含量也相对最高。相关性分析表明,蜂蜜中总黄酮和总酚酸在抗氧化活性和酪氨酸酶活性抑制方面发挥作用。本研究从抗氧化活性和抑制酪氨酸酶评价不同植物源蜂蜜的品质,为蜂蜜功能食品开发提供依据,为消费者选购蜂蜜提供参考。

### 参考文献

- [1] Alvarez-Suarez J M, Tulipani S, Romandini S, et al. Contribution of honey in nutrition and human health: a review [J]. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, 2009, 3: 15-23
- [2] Viuda-Martos M, Ruiz-Navajas Y, Fernández-López J, et al. Functional properties of honey, propolis, and royal jelly [J]. *Journal of Food Science*, 2008, 73(9): 117-124
- [3] Bogdanov S, Jurendic T, Sieber R, et al. Honey for nutrition and health: a review. [J]. *Journal of the American College of Nutrition*, 2008, 27(6): 677-689.
- [4] 解道豪,匡海鸥,谭霞,等.云南 6 种特色蜂蜜的抗氧化性分析[J].*江苏农业科学*,2021,49(4):135-140
- [5] Baek Y S, Kim Y J, Baik M Y, et al. Total phenolic contents and antioxidant activities of Korean domestic honey from different floral sources [J]. *Food Science and Biotechnology*, 2015, 24(4): 1453-1457
- [6] Dżugan M, Grabek-Lejko D, Swacha S, et al. Physicochemical quality parameters, antibacterial properties and cellular antioxidant activity of Polish buckwheat honey [J]. *Food Bioscience*, 2020, 34:100538
- [7] 杨二林,赵浩安,徐元元,等.枣花蜜酚类化合物组成及其抗氧化活性分析[J].*食品科学*,2021,42(3):150-157
- [8] 罗仕琼.蜂蜜的体外抗氧化研究[D].广州:暨南大学,2017
- [9] 杜孝元,刘玮,史飞,等.酪氨酸酶活性抑制实验及其在祛斑美白化妆品功效评价中的应用[J].*中国美容医学*,2005,14(6):740-742
- [10] Cheng J X, Li Y Q, Cai J, et al. Phenolic compounds from *Ficus hispida* L. f. as tyrosinase and melanin inhibitors: Biological evaluation, molecular docking, and molecular dynamics [J]. *Journal of Molecular Structure*, 2021, 1244: 130951
- [11] Habib H M, Kheadr E, Ibrahim W H. Inhibitory effects of honey from arid land on some enzymes and protein damage [J]. *Food Chemistry*, 2021, 364(20): 130415
- [12] Nuhu A, Nam Y K, Rim L K, et al. Antioxidant activities and tyrosinase inhibitory effects of different extracts from *pleurotus ostreatus* fruiting bodies [J]. *Mycobiology*, 2010, 38(4): 295
- [13] Şöhretoğlu D, Sari S, Barut B, et al. Tyrosinase inhibition by some flavonoids: Inhibitory activity, mechanism by in vitro and in silico studies [J]. *Bioorganic Chemistry*, 2018, 81: 168-174
- [14] 曹炜,卢珂,陈卫军,等.不同种类蜂蜜抗氧化活性的研究[J].*食品科学*,2005,8:352-356
- [15] 孙丽萍,伊作林,金晓露,等.新疆红花蜜成分分析[J].*食品工业科技*,2017,38(21):281-285
- [16] 王海敏,虞海霞,董蕊,等.苕子蜜总酚酸和总黄酮含量测定及抗氧化活性的研究[J].*食品科学*,2010,31(1):54-57
- [17] Al-Mamary M, Al-Meerri A, Al-Habori M. Antioxidant activities and total phenolics of different types of honey [J]. *Nutrition Research*, 2002, 22(9): 1041-1047
- [18] 颜秋燕.党参和党参蜂蜜中主要成分和活性物质的研究[D].杭州:浙江工商大学,2020
- [19] Shen S, Wang J, Qin Z, et al. Quantitative and discriminative evaluation of contents of phenolic and flavonoid and antioxidant competence for chinese honeys from different botanical origins [J]. *Molecules*, 2018, 23(5): 1110
- [20] Hamide I, Avni H. Phenolic and flavonoid content, and antioxidant activity of honey from Kosovo [J]. *Journal of Apicultural Research*, 2020, 59(4): 452-457
- [21] Beretta G, Granata P, Ferrero M, et al. Standardization of antioxidant properties of honey by a combination of spectrophotometric/fluorimetric assays and chemometrics [J]. *Analytica Chimica Acta*, 2005, 533(2): 185-191
- [22] Sant'Ana L D'O, Sousa J P L M, Salgueiro F B, et al. Characterization of monofloral honeys with multivariate analysis of their chemical profile and antioxidant activity [J]. *Journal of Food Science*, 2012, 77(1): C135-40
- [23] Monika K M, Małgorzata S, Anna T, et al. Relationships between the content of phenolic compounds and the antioxidant activity of polish honey varieties as a tool for botanical discrimination [J]. *Molecules*, 2021, 26(6): 1810
- [24] Sıcak Y, Şahin-Yağlıoğlu A, Öztürk M. Bioactivities and phenolic constituents relationship of Muğla thyme and pine

- honey of Turkey with the chemometric approach [J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2021: 1-14
- [25] Truong X T, Park S H, Lee Y G, et al. Protocatechuic acid from pear inhibits melanogenesis in melanoma cells [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2017, 18(8): 1809
- [26] Mi A S, Jae-Sook K, Chool B Y. P-coumaric acid not only inhibits human tyrosinase activity *in vitro* but also melanogenesis in cells exposed to UVB [J]. Phytotherapy Research: PTR, 2010, 24(8): 1175-1180
- [27] Jo H, Choi M, Sim J, et al. Synthesis and biological evaluation of caffeic acid derivatives as potent inhibitors of  $\alpha$ -MSH-stimulated melanogenesis [J]. Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters, 2017, 27(15): 3374-3377
- [28] Li H R, Habasi M, Xie L Z, et al. Effect of chlorogenic acid on melanogenesis of B16 melanoma cells [J]. Molecules, 2014, 19(9): 12940-12948
- [29] Szewczyk K, Miazga-Karska M, Pietrzak W, et al. Phenolic composition and skin-related properties of the aerial parts extract of different hemerocallis cultivars [J]. Antioxidants, 2020, 9(8): 690
- [30] Corradi I, De Souza E, Sande D, et al. Correlation between phenolic compounds contents, anti-tyrosinase and antioxidant activities of plant extracts [J]. Chemical Engineering Transactions, 2018, 64: 109-114