

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250227006

引用格式: 潘俊, 周继伟, 牛之瑞, 等. 浓香型天然香辛料抗氧化及酶抑制活性研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(14): 181-188.

PAN J, ZHOU JW, NIU ZR, *et al.* Study on the antioxidant and enzyme inhibition activities of strong fragrance natural spices [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(14): 181-188. (in Chinese with English abstract).

# 浓香型天然香辛料抗氧化及酶抑制活性研究

潘俊<sup>1</sup>, 周继伟<sup>1</sup>, 牛之瑞<sup>2</sup>, 王瀚墨<sup>1</sup>, 严静<sup>1</sup>, 吴昕怡<sup>1</sup>,  
朱志妍<sup>1</sup>, 田浩<sup>1</sup>, 刘秀薇<sup>1\*</sup>

(1. 云南省农业科学院农产品加工研究所, 昆明 650223;

2. 云南省产品质量监督检验研究院, 国家热带农副产品监督检验中心, 昆明 650223)

**摘要:** **目的** 探究浓香型天然香辛料的抗氧化能力及酶抑制活性。**方法** 采用福林酚比色法对浓香型香辛料中总酚含量进行测定; 以 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)自由基、2,2'-联氮-双-(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐[2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) ammonium salt, ABTS]阳离子自由基清除能力及总抗氧化能力为指标, 研究其抗氧化能力; 以多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO)和过氧化物酶(peroxidase, POD)活性为指标, 研究其酶抑制活性。**结果** 浓香型天然香辛料中总酚含量差异大, 其中母丁香含量最高。浓香型香辛料中, 公丁香、母丁香、大清桂、阴香、多香果表现出较强的 DPPH 自由基清除能力; 公丁香、母丁香、阴香对 ABTS 阳离子自由基的清除能力较强; 公丁香、母丁香、小豆蔻、大清桂、龙蒿、阴香、多香果、桂皮这 8 种香辛料具有一定的总抗氧化能力。桂皮对 PPO 酶的抑制活性最强, 阴香对 POD 酶的抑制作用最显著。香辛料中总酚含量与抗氧化活性、酶抑制活性呈显著相关性, 其中总酚含量与清除 DPPH 自由基能力、清除 ABTS 阳离子自由基能力、抑制 POD 酶活性的半数抑制浓度(median inhibition concentration, IC<sub>50</sub>)值呈现负相关, 与总抗氧化能力呈现正相关( $P < 0.05$ ,  $P < 0.01$ )。**结论** 母丁香、公丁香、阴香、大清桂、桂皮具有抗氧化和酶抑制活性, 是潜在的天然抗氧化剂和褐变防护剂, 具有开发成健康、高效且经济的天然抗氧化剂, 防腐剂和护色剂等产品的前景。

**关键词:** 香辛料; 酚类; 抗氧化; 多酚氧化酶; 过氧化物酶

## Study on the antioxidant and enzyme inhibition activities of strong fragrance natural spices

PAN Jun<sup>1</sup>, ZHOU Ji-Wei<sup>1</sup>, NIU Zhi-Rui<sup>2</sup>, WANG Han-Mo<sup>1</sup>, YAN Jing<sup>1</sup>,  
WU Xin-Yi<sup>1</sup>, ZHU Zhi-Yan<sup>1</sup>, TIAN Hao<sup>1</sup>, LIU Xiu-Wei<sup>1\*</sup>

(1. Institute of Agro-products Processing, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650223, China;

2. Yunnan Institute of Product Quality Supervision and Inspection, National Tropical Agricultural and By-product Supervision and Inspection Center, Kunming 650223, China)

收稿日期: 2025-02-27

基金项目: 云南省科技厅重大科技专项(202202AE090017)

第一作者: 潘俊(1982—), 男, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为农产品精深加工。E-mail: 38435992@qq.com

\*通信作者: 刘秀薇(1982—), 女, 博士, 副研究员, 主要研究方向为生物资源挖掘与利用。E-mail: liuxiuwei0305@hotmail.com

**ABSTRACT: Objective** To explore the antioxidant capacity and enzyme inhibition activity of strong fragrance natural spices. **Methods** The total phenolic content in spices was determined using the Folin-phenol colorimetric method. The antioxidant activity of spices was studied using the scavenging ability of 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical, 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) ammonium salt (ABTS) cation radical and total antioxidant activity as indicators. Using polyphenol oxidase (PPO) and peroxidase (POD) activities as indicators, the enzyme inhibitory activity of spices was studied. **Results** The results showed that there was a difference in the total phenolic content among strong fragrance spices, with the highest content in *Eugenia caryophyllata*. Among the spices, *Syzygium aromaticum*, *Eugenia caryophyllata*, *Cinnamomum loureirii*, *Cinnamomum burmanni* and *Pimenta dioica* exhibited strong DPPH free radical scavenging ability. *Syzygium aromaticum*, *Eugenia caryophyllata* and *Cinnamomum burmanni* had strong ability to scavenge ABTS cation free radicals. The 8 types of spices, including *Syzygium aromaticum*, *Eugenia caryophyllata*, *Elettaria cardamomum*, *Cinnamomum loureirii*, *Artemisia dracunculus*, *Cinnamomum burmanni*, *Pimenta dioica* and *Cinnamomum cassia*, had a certain total antioxidant capacity. *Cinnamomum cassia* had the strongest inhibitory activity on PPO enzyme, while *Cinnamomum burmanni* had the most significant inhibitory effect on POD enzyme. The total phenolic content in spices was significantly correlated with antioxidant activity and enzyme inhibition activity. The total phenolic content was negatively correlated with the median inhibition concentration ( $IC_{50}$ ) value of DPPH free radical scavenging ability, ABTS cation radical scavenging ability and inhibition of POD activity, and positively correlated with total antioxidant capacity ( $P < 0.05$ ,  $P < 0.01$ ). **Conclusion** *Eugenia caryophyllata*, *Syzygium aromaticum*, *Cinnamomum burmanni*, *Cinnamomum loureirii* and *Cinnamomum cassia* have antioxidant and enzyme inhibitory activities, and are potential natural antioxidants and browning protectants, which have the prospect of developing into healthy, efficient and economical natural antioxidants, preservatives and color protection agents.

**KEY WORDS:** spices; phenols; antioxidant; polyphenol oxidase; peroxidase

## 0 引言

天然香辛料是具有赋香、调香、调味功能的植物果实、花、根、茎叶、皮或整植株等天然植物性产品<sup>[1]</sup>。我国天然香辛料使用历史悠久,资源丰富,列入国家标准的有 67 种,其中浓香型 18 种,辛辣型 20 种,淡香型 29 种。其中浓香型天然香辛料包括丁香、八角茴香、小豆蔻、小茴香、大清桂、牛至、龙蒿、百里香、阴香、多香果、桂皮等,其呈味成分多为芳香族化合物,且无辛、辣等刺激性气味。除作为调味料使用外,还具有抗氧化<sup>[2]</sup>、抗菌<sup>[3]</sup>、抗炎<sup>[4]</sup>、抗癌<sup>[5]</sup>、抗病毒<sup>[6]</sup>、降脂降糖<sup>[7]</sup>等多种生理活性功能,其显著的抗氧化及抑菌功能可作为天然的食品抗氧化剂和防腐剂使用。目前市场上使用的抗氧化剂大多为人工合成,如丁基羟基茴香醚(butyl hydroxyanisole, BHA)、二丁基羟基甲苯(butylated hydroxytoluene, BHT)、特丁基对苯二酚(tert-butylhydroquinone, TBHQ)等,人工合成抗氧化剂通常具有一定的毒副作用<sup>[8]</sup>,而天然抗氧化剂由于其安全、无毒、效果良好,已成为食品添加剂领域的研究热点<sup>[9]</sup>。香辛料是天然抗氧化剂与酶抑制剂的重要来源之一,其中香辛料含有的总酚是发挥抗氧化和酶抑制功能的关键成分。

酚类成分不仅赋予香辛料独特风味与色泽,更是其功能价值与实际应用的关键<sup>[10-12]</sup>。在开发高效、经济的抗氧化物质<sup>[13]</sup>,天然防腐剂<sup>[14]</sup>和护色剂<sup>[15]</sup>及综合开发利用方面均具有广阔的前景。

目前对浓香型天然香辛料的抗氧化活性和褐变防护作用的比较研究鲜有报道,也正因缺少了针对以上两方面的相关研究而阻碍了香辛料的相关产品开发。因此,本研究以国家标准中浓香型天然香辛料为研究对象,提取多酚类成分,采用多种活性评价方法对浓香型香辛料的抗氧化活性、酶抑制活性进行分析,为天然香辛料的综合开发利用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试剂与材料

邻苯二酚、愈创木酚(分析纯,上海金穗生物科技有限公司); 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH), 2,2'-联氮-双-(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐[2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) ammonium salt, ABTS](分析纯,上海麦克林生化科技有限公司); 过氧化物酶(peroxidase, POD)(来自

辣根)(生物试剂级, 300 U/mg)、多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO)(来自菌菇)(生物试剂级, 500 U/mg)、没食子酸(纯度 $\geq 98\%$ )(上海源叶生物科技有限公司); 无水乙醇(分析纯, 天津市风船化学试剂科技有限公司)。

浓香型天然香辛料购于云南香料市场, 样品信息见表 1。

表 1 浓香型天然香辛料的信息表

Table 1 Information table of strong fragrance natural spices

编号	中文名称	拉丁学名	使用部位
S1	公丁香	<i>Syzygium aromaticum</i> L. Merr. et Perry	花蕾
S2	母丁香	<i>Eugenia caryophyllata</i> Thunb	果实
S3	八角茴香	<i>Illicium verum</i> Hook. F.	果实
S4	小豆蔻	<i>Elettaria cardamomum</i> (L.) Maton	果实
S5	小茴香	<i>Foeniculum vulgare</i> Mill.	果实
S6	大清桂	<i>Cinnamomum loureirii</i> Nees.	皮
S7	牛至	<i>Origanum vulgare</i> L.	叶
S8	龙蒿	<i>Artemisia dracunculul</i> L.	叶
S9	百里香	<i>Thymus vulgaris</i> L.	叶
S10	阴香	<i>Cinnamomum burmanni</i> C. G. Nees ex Blume	皮
S11	多香果	<i>Pimenta dioica</i> (L.) Merrill	果实
S12	肉豆蔻	<i>Myristica fragrans</i> Houtt.	种仁
S13	芹菜籽	<i>Apium grauens</i> L.	植株
S14	芫荽	<i>Coriandrum sativum</i> L.	叶
S15	芫荽	<i>Coriandrum sativum</i> L.	种子
S16	葛缕子	<i>Carum carvi</i> L.	果实
S17	茴香	<i>Anethum graveolens</i> L.	叶
S18	桂皮	<i>Cinnamomum cassia</i> Nees.	皮
S19	甜罗勒	<i>Ocimum basilicum</i> L.	叶

## 1.2 仪器与设备

UPT-I-20T 优普系列超纯水器(成都超纯科技有限公司); AU220 型万分之一分析天平(日本岛津公司); KQ5200E 型超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司); TD25-WS 台式低速离心机(湖南湘仪实验室仪器有限公司); Spectrophotometer 1510 酶标仪(美国 Thermo Fisher Scientific 公司)。

## 1.3 实验方法

### 1.3.1 提取物制备

分别称取粉碎的不同品种香辛料样品 2 g, 加入 60% 乙醇 20 mL, 室温下超声提取 20 min。离心(5000 r/min, 5 min), 取上清, 滤渣再次超声提取, 合并滤液, 浓缩干燥后, 得香辛料提取物。

### 1.3.2 总酚的测定

参考 ZHANG 等<sup>[16]</sup>的方法测定香料样品中总酚含量。以没食子酸为标准品, 根据没食子酸标准曲线  $Y=0.1052X-0.0182$ ,  $r^2=0.9993$ , 计算香料样品中总酚含量,

如公式(1)所示。

$$\text{总酚含量}/\% = \frac{m_2}{m_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中:  $m_1$  为总酚质量, g;  $m_2$  为样品总质量, g。

### 1.3.3 DPPH 自由基清除率的测定

参照 CHEN 等<sup>[17]</sup>的方法测定不同品种香辛料提取物对 DPPH 自由基清除率。计算 DPPH 自由基清除率, 如公式(2)所示。

$$\text{DPPH 自由基清除率}/\% = \frac{A_1 - A_2}{A_1} \times 100\% \quad (2)$$

式中:  $A_1$  为空白组吸光度;  $A_2$  为样品组吸光度。

采用 Graphpad prism 8.0 软件计算浓香型香辛料提取物对 DPPH 自由基清除率的半数抑制浓度 (median inhibition concentration,  $IC_{50}$ )。  $IC_{50}$  为 50% 自由基被清除时所需要的样品浓度。

### 1.3.4 ABTS 阳离子自由基清除率的测定

参照 YIN 等<sup>[18]</sup>的方法测定不同品种香辛料提取物对 ABTS 阳离子自由基清除率。根据公式(3)计算 ABTS 阳离子自由基清除率。采用 Graphpad prism 8.0 软件计算浓香型香辛料提取物对 ABTS 阳离子自由基清除率的  $IC_{50}$ 。

$$\text{ABTS 阳离子自由基清除率}/\% = \frac{A_3 - A_4}{A_3} \times 100\% \quad (3)$$

式中:  $A_3$  为空白组吸光度;  $A_4$  为样品组吸光度。

### 1.3.5 总抗氧化能力的测定

参考赵玉静等<sup>[19]</sup>的铁离子还原抗氧化能力 (ferric ion reducing antioxidant power, FRAP) 方法测定不同品种香辛料提取物的总抗氧化能力。以硫酸亚铁为标准品, 根据硫酸亚铁标准曲线  $Y=1.1007X+0.2427$ ,  $r^2=0.9991$ , 计算香辛料提取物的硫酸亚铁浓度。香辛料提取物的总抗氧化能力用标准物质硫酸亚铁的浓度来表示, 如公式(4)所示。

$$\text{FRAP} = \frac{Y}{m} \quad (4)$$

式中:  $Y$  为样品对应的标准品浓度, mmol/L;  $m$  为样品质量浓度, mg/mL; FRAP 为该样品的 FRAP, mmol/g。

### 1.3.6 多酚氧化酶抑制活性的测定

参照冯焱等<sup>[20]</sup>的方法测定不同品种香辛料提取物的 PPO 抑制活性。将 0.1 mL PPO 液加入含有 1.9 mL 磷酸缓冲液 (pH 6.8)、0.5 mL 不同浓度的香辛料提取物和 1.0 mL 邻苯二酚的混合体系中, 混合后 2 min 内在 398 nm 下的检测其吸光度值。另设置自身对照组, 即以纯水替换 PPO 液, 其余操作不变。根据公式(5)计算 PPO 抑制率。采用 Graphpad prism 8.0 软件计算浓香型香辛料提取物对 PPO 抑制活性的  $IC_{50}$ 。  $IC_{50}$  为 50% 的酶活性被抑制时所需要的样品浓度。

$$\text{PPO 抑制率}/\% = \frac{A_5 - A_6}{A_5} \times 100\% \quad (5)$$

式中:  $A_5$  为空白组吸光度;  $A_6$  为样品组吸光度。

### 1.3.7 过氧化物酶抑制活性的测定

参照罗磊等<sup>[21]</sup>的方法测定不同品种香辛料提取物的 POD 抑制活性。以愈创木酚为反应底物,反应体系包括 2.90 mL 18 mmol/L 愈创木酚、1 mmol/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (pH 5 磷酸缓冲液配制)、0.05 mL POD 液、0.05 mL 不同浓度的香辛料提取物。混合均匀后,在 30 °C 下测定 470 nm 处的吸光度值。根据公式(6)计算 POD 抑制率。采用 Graphpad prism 8.0 软件计算其 IC<sub>50</sub>。

$$\text{POD 抑制率}/\% = \frac{A_7 - A_8}{A_7} \times 100\% \quad (6)$$

式中: A<sub>7</sub> 为空白组吸光度; A<sub>8</sub> 为样品组吸光度。

## 1.4 数据处理

采用 SPSS Statistics 18.0 软件进行方差分析,数据均以平均值±标准偏差表示。利用联川生物云平台网站 (<https://www.omicstudio.cn/tool>) 进行聚类热图和相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 浓香型天然香辛料中总酚含量分析

如表 2 所示,浓香型天然香辛料中,总酚含量差异大,母丁香总酚含量最高,为 21.42%。S6、S10、S11 3 种香辛料中总酚含量高于 10%; 而 S4、S5、S14、S15、S16 中总酚含量低于 1%。丁香蒲桃果实母丁香的化学成分主要为黄酮类、酚酸类及木质素类<sup>[22]</sup>,而这些成分是天然酚类化合物的主要组成<sup>[23]</sup>。杨洁瑜等<sup>[24]</sup>采用高效液相色谱法分析母丁香中丁香酚和母丁香酚的含量,均超过 1%。

表 2 浓香型天然香辛料中总酚的含量  
Table 2 Content of total phenol in strong fragrance natural spices

编号	总酚/%	编号	总酚/%
S1	7.77±0.18	S11	11.99±0.47
S2	21.42±0.67	S12	2.58±0.07
S3	5.26±0.37	S13	1.74±0.23
S4	0.26±0.03	S14	0.72±0.04
S5	0.73±0.04	S15	0.60±0.01
S6	11.61±0.47	S16	0.29±0.01
S7	8.75±0.24	S17	2.43±0.21
S8	2.13±0.07	S18	8.88±0.59
S9	9.71±0.53	S19	5.12±0.27
S10	11.04±0.45		

### 2.2 浓香型天然香辛料的抗氧化活性分析

#### 2.2.1 DPPH 自由基清除能力分析

DPPH 作为稳定的自由基供体,被广泛用于测定天然抗氧化剂或植物提取物的体外抗氧化活性<sup>[25]</sup>。基于 DPPH 自由基清除活性对浓香型天然香辛料进行聚类热图分析,

结果见图 1。19 份浓香型天然香辛料可分为 3 类,第一类包含 S1、S2、S6、S10、S11,此类香辛料资源清除 DPPH 自由基能力强,总酚含量高,第二类包含 S3、S8、S12、S18,此类资源清除 DPPH 自由基能力较强,总酚含量较高。其余香辛料资源归属第三类,清除 DPPH 自由基能力弱。各种香辛料的 DPPH 自由基清除率随提取物浓度增加而增加,呈明显量效关系。当提取物质量浓度为 0.20 mg/mL 时,公丁香、母丁香、大清桂、阴香、多香果 5 种香辛料提取物对 DPPH 自由基清除率均超过 70%; 八角茴香、龙蒿、肉豆蔻、桂皮 4 种香辛料提取物对 DPPH 自由基清除率次之,超过 40%。浓香型天然香辛料提取物对 DPPH 自由基清除率的 IC<sub>50</sub> 值结果表明(表 3),其清除能力大小顺序为母丁香>公丁香>阴香>大清桂>多香果>肉豆蔻>八角茴香>龙蒿>桂皮。施璐等<sup>[26]</sup>报道丁香花蕾油具有较好的清除自由基能力,随着浓度的增加,其抑制率最高可达 65%左右。张镜等<sup>[27]</sup>研究表明阴香果实内富含花色苷,其总花色苷对 DPPH 自由基的半抑制剂量(IC<sub>50</sub>)为 5.46 μg/mL。

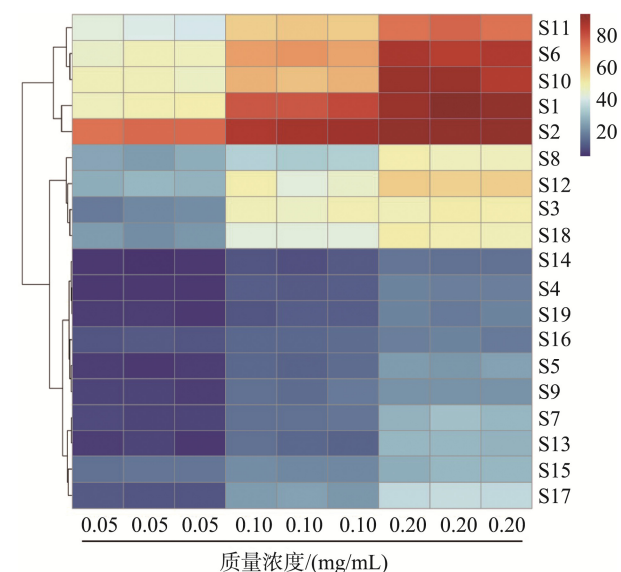


图 1 浓香型天然香辛料提取物 DPPH 自由基清除活性的聚类热图

Fig.1 Clustering heat map of DPPH free radical scavenging activity of strong fragrance natural spices extracts

#### 2.2.2 ABTS 阳离子自由基清除能力分析

ABTS 法是使用最广泛的间接检测方法,可用于亲水性和亲脂性物质抗氧化能力的快速测定<sup>[28]</sup>。基于 ABTS 阳离子自由基清除活性对浓香型天然香辛料进行聚类热图分析,结果见图 2。19 份浓香型天然香辛料可分为 4 类,第一类包含 S1、S2、S10,此类香辛料资源清除 ABTS 阳离子自由基能力强。当提取物质量浓度为 0.20 mg/mL 时,公丁香、母丁香、阴香 3 种香辛料提取物对 ABTS 阳离子自由基清除率均超过 90%。第二类包含 S6、S7、S9、S11、S12、S18,此类资源清除 ABTS 阳离子自由基能力较强。

表 3 浓香型天然香辛料提取物对 DPPH 自由基清除能力、ABTS 阳离子自由基清除能力及总抗氧化能力的影响

Table 3 Effects of strong fragrance natural spices extracts on DPPH free radical scavenging capacity, ABTS cation radical scavenging ability and total antioxidant ability

编号	IC <sub>50</sub> /(μg/mL)		总抗氧化能力/(mmol/g)
	DPPH 自由基清除能力	ABTS 阳离子自由基清除能力	
S1	25.85±0.23	31.66±0.58	0.90±0.03
S2	16.25±0.78	22.70±0.32	0.97±0.02
S3	156.30±9.22	234.20±9.34	0.46±0.04
S4	2572.00±233.15	637.20±12.65	0.91±0.03
S5	1081.00±36.12	493.20±10.24	0.18±0.02
S6	50.18±0.70	67.45±1.87	0.80±0.10
S7	953.00±20.30	107.70±3.41	0.54±0.05
S8	241.70±8.51	222.30±7.94	0.75±0.01
S9	1578.00±27.15	172.70±6.82	0.57±0.06
S10	45.78±2.00	35.72±0.96	0.89±0.05
S11	64.46±1.52	51.27±1.21	0.78±0.06
S12	136.20±2.52	118.90±8.42	0.39±0.05
S13	464.90±13.95	214.50±5.75	0.11±0.02
S14	2458.00±59.18	778.10±18.04	0.01±0.00
S15	803.40±19.09	481.00±10.95	0.01±0.01
S16	1407.00±87.12	693.00±16.73	0.65±0.04
S17	474.00±13.87	396.50±11.39	0.17±0.01
S18	498.70±10.21	82.74±2.86	0.73±0.06
S19	1482.00±32.47	235.30±6.91	0.55±0.04

当提取物质量浓度为 0.20 mg/mL 时, 大清桂、牛至、百里香、多香果、肉豆蔻、桂皮 6 种香辛料提取物对 ABTS 阳离子自由基清除率均超过 50%。第三类包含 S3、S13、S19, 此类资源八角茴香、芹菜籽、甜罗勒具有一定的清除 ABTS 阳离子自由基能力, 其自由基清除率为 40%左右。其余香辛料资源归属第四类, 清除 ABTS 阳离子自由基能力较弱。根据浓香型香辛料提取物对 ABTS 阳离子自由基清除率的 IC<sub>50</sub>, 其自由基清除能力大小顺序为母丁香>公丁香>阴香>多香果>大清桂>桂皮>牛至>肉豆蔻>百里香>芹菜籽>八角茴香~甜罗勒。母丁香和公丁香提取物对 ABTS 阳离子自由基的清除能力最强, IC<sub>50</sub> 分别为 22.70 mg/mL、31.66 mg/mL, 与文献[29]报道一致。左遨勋等<sup>[29]</sup>研究发现丁香花蕾、果实、叶、枝部位挥发油对 ABTS 阳离子自由基的 IC<sub>50</sub> 分别为 139.48、244.99、117.32、141.61 μg/mL。邓超澄等<sup>[30]</sup>研究表明, 阴香叶挥发油具有较好地清除 ABTS 阳离子自由基的能力, 清除效率与药液的浓度成正比, 其清除效率可达到 58.89%。

2.2.3 总抗氧化能力分析

基于总抗氧化能力对浓香型天然香辛料进行聚类热图分析, 结果见图 3。19 份浓香型天然香辛料可分为 3 类, 第一类包含 S1、S2、S4、S6、S8、S10、S11、S18, 这 8 种香辛料资源具有一定的总抗氧化能力, 其他两类的总抗氧化能力较弱。当提取物质量浓度为 1.5 mg/mL 时, 浓香型天然香辛料提取物的总抗氧化能力测定结果见表 3。结果表明, 8 种香辛料资源总抗氧化能力的大小顺序为母丁香>小豆蔻>公丁香>阴香>大清桂>多香果>龙蒿>桂皮。左遨勋等<sup>[29]</sup>研究表明, 丁香叶铁离子还原、抗氧化能力最大, 花蕾次之, 丁香果实最小。

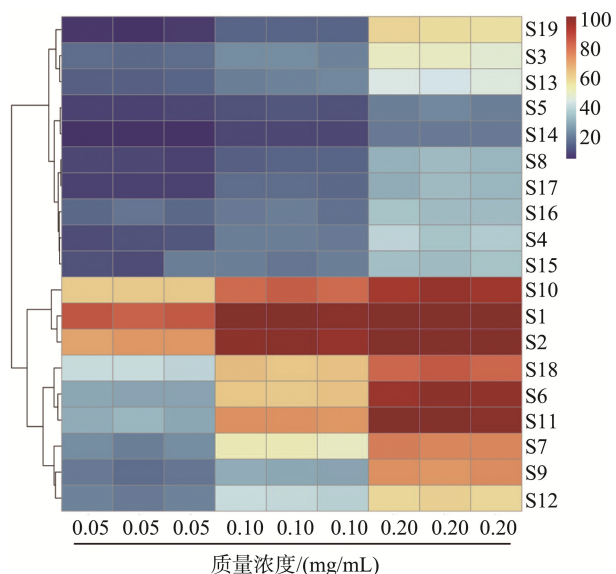


图 2 浓香型天然香辛料提取物 ABTS 阳离子自由基清除活性的聚类热图

Fig.2 Clustering heat map of ABTS cation radical scavenging activity of strong fragrance natural spices extracts

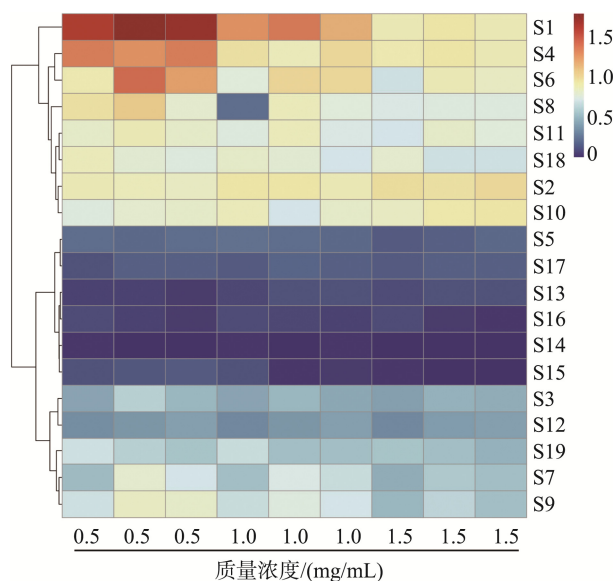


图 3 浓香型天然香辛料提取物总抗氧化能力的聚类热图

Fig.3 Clustering heat map of total antioxidant ability of strong fragrance natural spices extracts

## 2.3 浓香型天然香辛料的酶抑制活性分析

### 2.3.1 PPO 抑制活性分析

PPO 是酶促褐变最主要的酶类, 催化酚类底物产生有色醌, 醌再进一步聚合形成黑色素物质。通过有效抑制 PPO 酶活性, 阻止酚类氧化, 达到抑制褐变的效果<sup>[31]</sup>。浓香型天然香辛料提取物对 PPO 酶活性的抑制作用, 如图 4 和表 4 所示。当香辛料提取物处理质量浓度低于 0.5 mg/mL 时, 桂皮

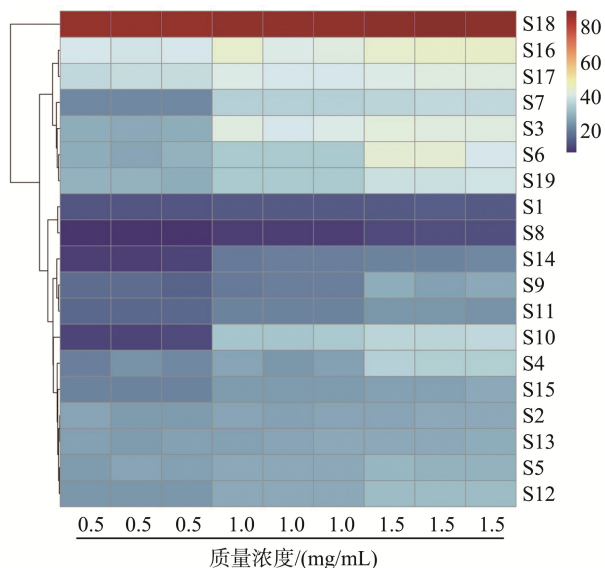


图 4 浓香型天然香辛料提取物 PPO 抑制活性的聚类热图

Fig.4 Clustering heat map of PPO inhibitory activity of strong fragrance natural spices

表 4 浓香型天然香辛料提取物的 PPO 活性和 POD 活性的 IC<sub>50</sub>  
Table 4 IC<sub>50</sub> of PPO activity and POD activity of strong fragrance natural spices extracts

编号	IC <sub>50</sub> /(μg/mL)	
	PPO 活性	POD 活性
S1	22750.0±694.34	262.1±7.52
S2	20689.0±573.06	169.6±3.96
S3	6414.0±127.94	760.4±14.75
S4	5217.0±116.07	13411.0±465.14
S5	6839.0±124.93	2839.0±246.70
S6	3335.0±268.31	192.3±4.81
S7	16875.0±396.04	658.7±10.64
S8	54936.0±892.17	1975.0±167.36
S9	9317.0±147.02	473.4±12.65
S10	6826.0±97.09	74.0±1.79
S11	19126.0±553.76	260.9±8.96
S12	12033.0±290.47	1560.0±86.35
S13	9553.0±180.26	1851.0±49.03
S14	18446.0±639.01	8283.0±154.04
S15	16103.0±489.14	5647.0±146.18
S16	2352.0±185.49	4862.0±144.06
S17	13955.0±450.25	1202.0±52.92
S18	107.3±5.15	206.1±7.63
S19	6419.0±153.97	487.7±11.07

对 PPO 酶的抑制活性最强, 其 IC<sub>50</sub> 为 107.3 μg/mL。MURMU 等<sup>[32]</sup>报道含有桂皮精油的可食用涂层用于番石榴采后保鲜研究, 涂层后的番石榴果肉中 PPO 和 POD 活性较低, 有效抑制番石榴褐变过程。

### 2.3.2 POD 抑制活性测定分析

POD 在 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 存在时, 可通过催化酚类底物发生氧化, 形成褐色产物<sup>[31]</sup>。如图 5 所示, 不同浓香型天然香辛料提取物对 POD 酶活性的抑制作用有所差异。根据聚类热图结果, 19 份浓香型天然香辛料可分为 3 类, 第一类包含 S1、S2、S6、S10、S11、S18, 此类 6 种香辛料资源 POD 抑制活性强。当提取物处理质量浓度为 0.5 mg/mL 时, 公丁香、母丁香、大清桂、阴香、多香果、桂皮 6 种香辛料提取物对 POD 抑制活性均超过 60%, 其 IC<sub>50</sub> 分别为 262.1、169.6、192.3、74.0、260.9、206.1 μg/mL。第二类包含 S3、S7、S8、S9、S12、S13、S17、S19, 此类资源八角茴香、牛至、龙蒿、百里香、肉豆蔻、芹菜籽、苜蓿、甜罗勒具有一定的抑制 POD 活性。当提取物处理质量浓度为 1.5 mg/mL 时, 其抑制率为 40%左右。其余香辛料资源归属第三类, POD 抑制活性较弱。根据香辛料提取物对 POD 酶活性的 IC<sub>50</sub>, 其抑制活性大小顺序为阴香>母丁香>大清桂>桂皮>多香果≈公丁香>百里香>甜罗勒>牛至>八角茴香>苜蓿>肉豆蔻>芹菜籽>龙蒿, 其中阴香的酶抑制活性最强。张福平等<sup>[33]</sup>研究表明阴香叶乙醇提取物处理能有效抑制番石榴果实 POD 活性, 从而有利于延长果实贮藏时间。

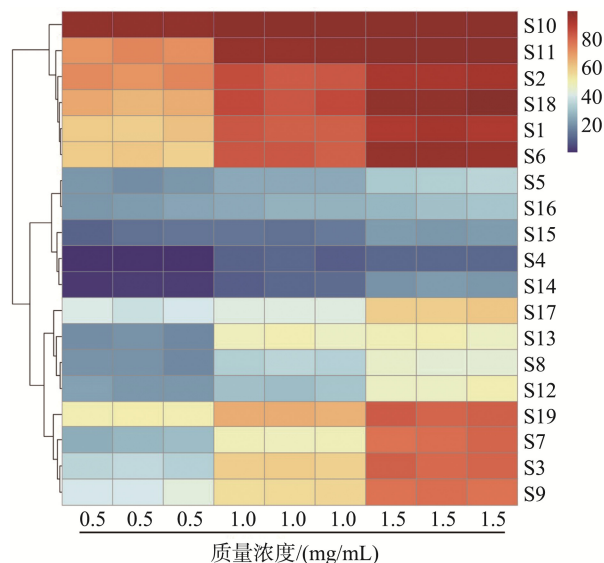


图 5 浓香型天然香辛料提取物 POD 抑制活性的聚类热图

Fig.5 Clustering heat map of POD inhibitory activity of strong fragrance natural spices

## 2.4 相关性分析

香辛料中含有不同种类酚类化合物, 其抗氧化活性是酚类最为重要的生物活性<sup>[34]</sup>。浓香型天然香辛料提取物的总酚含量、抗氧化活性及酶抑制活性的相关性分析如表 5 所示。香辛料中总酚含量与清除 DPPH 自由基清除能力、

表 5 浓香型天然香辛料提取物的总酚含量、抗氧化活性及酶抑制活性的相关性分析  
Table 5 Correlation analysis of total phenolic content, antioxidant activity and enzyme inhibitory activity of strong fragrance natural spices

	总酚含量	DPPH 自由基清除能力	ABTS 阳离子自由基清除能力	PPO 活性	POD 活性	总抗氧化能力
总酚含量	1.000	-0.493*	-0.744**	0.002	-0.588**	0.626**
DPPH 自由基清除能力		1.000	0.781**	-0.225	0.776**	-0.266
ABTS 阳离子自由基清除能力			1.000	-0.122	0.823**	-0.509*
PPO 活性				1.000	-0.069	0.075
POD 活性					1.000	-0.197
总抗氧化能力						1.000

注: \*表示数据呈显著相关( $P<0.05$ ); \*\*表示数据呈极显著相关( $P<0.01$ )。

ABTS 阳离子自由基清除能力、抑制 POD 活性及总抗氧化能力之间有强相关性, 其相关系数分别为 0.493、0.744、0.588、0.626, 与 PPO 活性具有弱相关性。19 种香辛料中总酚含量与 DPPH、ABTS、POD 的  $IC_{50}$  值呈现显著负相关, 与总抗氧化能力呈现显著正相关( $P<0.05$ ,  $P<0.01$ )。本研究采用清除 DPPH 自由基、ABTS 阳离子自由基能力以及抑制 POD 活性的  $IC_{50}$  来评价 19 种香辛料的抗氧化性差异。 $IC_{50}$  越小, 表明抗氧化能力越强。以上结果表明浓香型天然香辛料中酚类物质的含量在一定程度上直接反映其清除 DPPH 和 ABTS 阳离子自由基能力、POD 抑制活性的能力以及总抗氧化能力。单恬恬等<sup>[34]</sup>研究表明天然香辛料水提物、醇提物的多酚含量与 DPPH 自由基清除能力呈显著相关。

### 3 结 论

本研究对比分析了浓香型天然香辛料的多酚含量及其抗氧化与酶抑制活性, 发现浓香型天然香辛料中多酚含量差异大, 且多酚含量与抗氧化活性、酶抑制活性显著相关。香辛料中, 公丁香、母丁香、大清桂、阴香、多香果清除 DPPH 自由基能力强; 公丁香、母丁香、阴香清除 ABTS 阳离子自由基能力强; 公丁香、母丁香、小豆蔻、大清桂、龙蒿、阴香、多香果、桂皮这 8 种香辛料具有一定的总抗氧化能力。PPO 和 POD 酶抑制活性最强的香辛料分别为桂皮和阴香。本研究旨在为天然香辛料的加工利用提供参考依据, 为今后进一步开发利用天然香辛料提供了数据支持。

### 参考文献

- [1] 红卫, 许睦农. 天然香辛料中的植物化学物及其生理活性研究进展[J]. 中国调味品, 2017, 42(5): 176-180.
- [2] HONG W, XU MN. Research progress on phytochemicals in natural spices and their physiological activities [J]. China Condiment, 2017, 42(5): 176-180.
- [3] CAZZOLA R, CAMEROTTO C, CESTARO B. Anti-oxidant, anti-glycant, and inhibitory activity against  $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase of selected spices and culinary herbs [J]. International Journal of Food Sciences & Nutrition, 2011, 62(2): 175-184.
- [4] ALBANO M, CRULHAS BP, ALVES FCB, et al. Antibacterial and anti-biofilm activities of cinnamaldehyde against *S. epidermidis* [J]. Microbial Pathogenesis, 2019, 126: 231-238.
- [5] KIM DH, KIM CH, KIM MS, et al. Suppression of age-related inflammatory NF- $\kappa$ B activation by cinnamaldehyde [J]. Biogerontology, 2007, 8: 545-554.
- [6] KAEFER CM, MILNER JA. The role of herbs and spices in cancer prevention [J]. Journal of Nutritional Biochemistry, 2008, 19(6): 347-361.
- [7] TRAGOOLPUA Y, JATISATIENR A. Anti-herpes simplex virus activities of *Eugenia caryophyllus* (Spreng.) Bullock & S. G. Harrison and essential oil, eugenol [J]. Phytotherapy Research, 2007, 21(12): 1153-1158.
- [8] BOWER A, MARQUEZ S, MEJIA EGD. The health benefits of selected culinary herbs and spices found in the traditional mediterranean diet [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2016, 56(16): 2728-2746.
- [9] 石子悦, 刘旺, 黄莹, 等. 酚类抗氧化剂及其代谢产物对鱼类的毒性研究进展[J]. 环境监测与预警, 2020, 12(5): 49-57.
- [10] SHI ZY, LIU W, HUANG Y, et al. Research progress on the toxicity of synthetic phenolic antioxidants and their metabolites to fish [J]. Environmental Monitoring and Forewarning, 2020, 12(5): 49-57.
- [11] HĚŠ M, DZIEDZIC K, GÓRECKA D, et al. *Aloe vera* (L.) webb.: Natural sources of antioxidants-a review [J]. Plant Foods for Human Nutrition, 2019, 74: 255-265.
- [12] 孙金沅, 闫如毓, 孙宝国. 白酒中酚类化合物的代谢转化、风味贡献及健康功效研究[J]. 武汉轻工大学学报, 2025, 44(1): 1-8, 21.
- [13] SUN JY, YAN RY, SUN BG. Study on themetabolic transformation, flavor contribution and health effects of phenolic compounds in Baijiu [J]. Journal of Wuhan Polytechnic University, 2025, 44(1): 1-8, 21.
- [14] 曹艳, 刘晨星, 夏其乐. 不同多酚对山茱萸汁色泽稳定性的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(23): 108-114.
- [15] CAO Y, LIU CX, XIA QL. Effects of different polyphenols on the color stability of *Cornus officinalis* juice [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15(23): 108-114.
- [16] 黄雪君, 孙琦, 陈小强, 等. 植物多酚增强蛋白质起泡性研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(22): 220-228.
- [17] HUANG XJ, SUN Q, CHEN XQ, et al. Research progress of plant polyphenols enhancing protein foamability [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15(22): 220-228.
- [18] 吴月德, 吴俊斌, 罗海娟, 等. 复配香辛料五香粉及其各组分的抗氧化

- 活性研究[J]. 中国调味品, 2015, 40(6): 47-50, 61.
- WU YD, WU JB, LUO HJ, *et al.* Study on the antioxidant activity of chinese five-spice powder and its ingredients [J]. China Condiment, 2015, 40(6): 47-50, 61.
- [14] 何皎, 牛明福, 张改平, 等. 天然复配香料对猪肉保鲜的影响[J]. 中国食品学报, 2024, 24(9): 409-419.
- HE J, NIU MF, ZHANG GP, *et al.* The effects of composite spice natural preservatives on pork storage [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2024, 24(9): 409-419.
- [15] 李秋松. 天然抗氧化剂对红花黄色素的护色效果研究[J]. 中国食品工业, 2025(3): 118-120.
- LI QS. Study on the color protection effect of natural antioxidants on safflower pigments [J]. China Food Industry, 2025(3): 118-120.
- [16] ZHANG L, TU ZC, WANG H, *et al.* Metabolic profiling of antioxidants constituents in artemisia selengensis leaves [J]. Food Chemistry, 2015, 186: 323-331.
- [17] CHEN HX, WANG ZS, QU ZS, *et al.* Physicochemical characterization and antioxidant activity of a polysaccharide isolated from oolong tea [J]. European Food Research and Technology, 2009, 229(4): 629-635.
- [18] YIN TP, CAI L, XING Y, *et al.* Alkaloids with antioxidant activities from aconitum handelianum [J]. Journal of Asian Natural Products Research, 2016, 18(6): 603-610.
- [19] 赵玉静, 李建宽, 张鑫, 等. 番石榴叶黄酮类化学成分及其抗氧化活性研究[J]. 中国中药杂志, 2018, 43(4): 760-765.
- ZHAO YJ, LI JK, ZHANG X, *et al.* Study on antioxidant activity of flavonoids from leaves of *Psidium guajava* [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2018, 43(4): 760-765.
- [20] 冯焯, 周宏伟. 两种抑制剂对肥城桃(*Prunus persica*)多酚氧化酶抑制类型的研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2000, 31(2): 177-179.
- FENG X, ZHOU HW. Studies on inhibitory pattern of polyphenol oxidase from *Prunus persica* [J]. Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition), 2000, 31(2): 177-179.
- [21] 罗磊, 董金龙, 朱文学, 等. 金银花过氧化酶抑制动力学研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(7): 111-116.
- LUO L, DONG JL, ZHU WX, *et al.* Study on inhibition kinetics of peroxidase from *Lonicera japonica* Thunb [J]. Food & Machinery, 2017, 33(7): 111-116.
- [22] 谭培艺, 王春杰, 于欢, 等. 丁香蒲桃果实母丁香化学成分研究[J]. 中草药, 2022, 53(11): 3280-3285.
- TAN PY, WANG CJ, YU H, *et al.* Chemical constituents from fruits of *Syzygium aromaticum* [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2022, 53(11): 3280-3285.
- [23] 赵盈, 於天, 郑志刚, 等. 多酚在植物中的分布及其生物活性研究进展[J]. 中草药, 2023, 54(17): 5825-5832.
- ZHAO Y, YU T, ZHENG ZG, *et al.* Research progress on distribution and bioactivity of polyphenols in plants [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2023, 54(17): 5825-5832.
- [24] 杨洁瑜, 祝晨蓁, 侯慧婵. 母丁香质量标准研究[J]. 今日药学, 2015, 25(3): 172-175.
- YANG JY, ZHU CZ, HOU HC. Quality standard of *syzygii fructus* [J]. Pharmacy Today, 2015, 25(3): 172-175.
- [25] IONITA P. The chemistry of DPPH • free radical and congeners [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2021, 22(4): 1545.
- [26] 施璐, 史颖颖, 曹晓琴, 等. GC-MS 鉴定不同产地丁香花蕾油的生物活性成分及其抗氧化性研究[J]. 中国食品添加剂, 2023, 34(11): 190-196.
- SHI L, SHI YY, CAO XQ, *et al.* Analysis of active components of clove flower bud oil from different producing areas by GC-MS and their antioxidant activity [J]. China Food Additives, 2023, 34(11): 190-196.
- [27] 张镜, 廖富林, 陈梓云, 等. 阴香果实花色苷的体外抗氧化活性[J]. 食品科学, 2011, 32(17): 128-132.
- ZHANG J, LIAO FL, CHEN ZY, *et al.* Antioxidant activity of anthocyanins from *Cinnamomum burmannii* fruits *in vitro* [J]. Food Science, 2011, 32(17): 128-132.
- [28] 王会, 周燕. 筛选和表征抗氧化剂的方法-ABTS法[J]. 广州化工, 2012, 40(22): 41-43.
- WANG H, ZHOU Y. The method of ABTS assay for screening and evaluating antioxidant [J]. Guangzhou Chemical Industry, 2012, 40(22): 41-43.
- [29] 左遨勋, 刘积光, 高玉梅, 等. 丁香不同部位挥发油的 GC-MS 成分分析和抗氧化活性比较[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(8): 146-151.
- ZUO AOX, LIU JG, GAO YM, *et al.* GC-MS analysis and comparison of antioxidant activities of volatile oils from different parts of *Eugenia caryophyllata* Thunb [J]. Food Research and Development, 2022, 43(8): 146-151.
- [30] 邓超澄, 霍丽娜, 李培源, 等. 广西阴香叶挥发油化学成分及其抗氧化性研究[J]. 中国实验方剂学杂志, 2010, 16(17): 105-109.
- DENG CC, HUO LN, LI PY, *et al.* Chemical constituents and antioxidant activity of essential oils from leaves of *Cinnamomum burmannii* in Guangxi [J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2010, 16(17): 105-109.
- [31] QIAO L, GAO M, WANG Y, *et al.* Integrated transcriptomic and metabolomic analysis of cultivar differences provides insights into the browning mechanism of fresh-cut potato tubers [J]. Postharvest Biology and Technology, 2022, 188: 111905.
- [32] MURMU SB, MISHRA HN. The effect of edible coating based on Arabic gum, sodium caseinate and essential oil of cinnamon and lemon grass on guava [J]. Food Chemistry, 2018, 245(15): 820-828.
- [33] 张福平, 陈蔚辉, 叶小萍, 等. 阴香叶乙醇提取物涂膜液对番石榴耐藏性的影响[J]. 中国南方果树, 2017, 46(4): 60-63.
- ZHANG FP, CHEN WH, YE XP, *et al.* Effect of ethanol extract coating liquid of *Cinnamomum burmannii* leaf on the storage stability of guava [J]. South China Fruits, 2017, 46(4): 60-63.
- [34] 单恬恬, 代钰, 徐筱莹, 等. 14种香辛料提取物的多酚、黄酮含量及抗氧化活性比较研究[J]. 中国调味品, 2019, 44(4): 80-83, 88.
- SHAN TT, DAI Y, XU XY, *et al.* Comparative study on polyphenols, flavonoids and antioxidant activities of 14 kinds of extract of spices and seasonings [J]. China Condiment, 2019, 44(4): 80-83, 88.

(责任编辑: 安香玉 韩晓红)