

# 基于文献计量学分析的牡丹化学成分及其功能研究进展

潘艳花, 王卫成, 汤玲, 杨馥霞, 唐小刚, 任家玄  
(甘肃省农业科学院林果花卉研究所, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 为了探究牡丹及其化学成分的研究现状和未来的发展趋势, 为牡丹化学成分的研究提供参考, 基于CiteSpace软件对CNKI和Web of Science核心数据库中收录的2000—2023年间与牡丹及其化学成分研究相关的文献进行可视化分析。结果表明, 中国在牡丹化学成分的研究领域发文量位居全球第1, 发文量最大的研究机构为北京林业大学; 在研究内容方面, 研究者多侧重于牡丹化学成分的基因调控, 此外, 牡丹籽油的化学成分及牡丹鲜切花的保鲜技术也成为目前研究者关注的热点内容。

**关键词:** 牡丹; 化学成分; 功能; CiteSpace; 文献计量学

中图分类号: S685.11

文献标志码: A

文章编号: 2097-2172(2023)10-0962-013

doi: 10.3969/j.issn.2097-2172.2023.10.014

## Bibliometric Analysis on Chemical Constituents and Functions in Peonies

PAN Yanhua, WANG Weicheng, TANG Ling, YANG Fuxia, TANG Xiaogang, REN Jiaxuan  
(Institute of Fruit and Floriculture Research, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China)

**Abstract:** In order to investigate the research status and future development trend of peony and its chemical constituents, visual analysis was carried out on literatures related to the research of peony and its chemical constituents from 2000 to 2023 in the core databases of CNKI and Web of Science by using CiteSpace software to elucidate the development trend and the hotspots of the research in this research field. The results showed that China ranked the first in the world in terms of the number of articles published in the field of peony chemical composition, and the research institution with the largest number of articles published was Beijing Forestry University. The researchers focused on the gene regulation of peony chemical composition. In addition, the chemical composition of peony seed oil and the preservation technology of peony fresh-cut flowers were the hot topics of researchers' attentions as well.

**Key words:** Peony; Chemical composition; Function; CiteSpace; Bibliometrics

牡丹(Paeonia × Suffruticosa Andrews), 芍药科芍药属多年生落叶灌木植物, 原产自我国西北地区, 具有较强的适应性, 在我国河南、山东、安徽及甘肃等地广泛栽培, 目前我国牡丹的栽培面积已超过2万 $\text{hm}^2$ <sup>[1]</sup>。牡丹花型丰富、花朵较大, 色彩艳丽且气味芬芳, 素有“花王”之称, 是我国园艺品种最多的花卉<sup>[2]</sup>。牡丹花瓣中富含蛋白质、维生素和氨基酸等成分, 可作食用, 具有清热解毒、降血脂和抗氧化等作用; 其根(牡丹皮)可入药, 具有活血化瘀、凉血镇痛和提高人体免疫力

等功效, 其叶煎服具有一定的抗菌作用<sup>[3-4]</sup>。牡丹籽含油率较高, 其中 $\alpha$ -亚麻酸含量40%以上, 亚油酸含量30%以上, 此外牡丹籽油中还含有多种生物活性物质, 故而牡丹籽油被誉为新型木本健康食用油<sup>[5-6]</sup>。

目前关于牡丹的化学成分的研究主要侧重于牡丹的花、根和牡丹籽油等方面。牡丹花挥发油中富含香茅醇、芳樟醇和酯类等化学成分, 这些物质为牡丹花天然香味的主要来源物质<sup>[7]</sup>。牡丹花瓣中富含黄酮类化合物, 如花色苷、黄酮和花

收稿日期: 2023-09-06

基金项目: 甘肃省农业科学院博士基金(2023GAAS39); 甘肃省农业科学院重点研发计划项目(2021GAAS29)。

作者简介: 潘艳花(1985—), 女, 甘肃金昌人, 正高级农艺师, 硕士, 主要从事观赏型中药材育种及栽培等研究工作。Email: panyh2006@163.com。

通信作者: 王卫成(1968—), 男, 甘肃白银人, 主要从事林果花卉及园林绿化研究工作。Email: wang216630@sohu.com。

青素等, 此外牡丹花瓣含有多种高级脂肪酸, 如棕榈酸、亚油酸和亚麻酸等<sup>[8-9]</sup>。牡丹根的根皮(牡丹皮)干燥后为一种常用的中药材, 牡丹皮中含有牡丹酚、芍药苷、芍药酚和生物碱等多种生物活性物质<sup>[10]</sup>。牡丹籽油中富含不饱和脂肪酸、牡丹皂苷和多种氨基酸等<sup>[11]</sup>, 不饱和脂肪酸含量高于橄榄油, 是一种健康的食用油。随着牡丹产业的发展, 牡丹在食品、香料和医药等方面表现出较高的开发利用价值。我们基于 CiteSpace 可视化分析, 对中国知网数据库 (CNKI) 和 Web of Science (WOS) 核心数据库中有关牡丹化学成分研究的相关文献进行了可视化分析, 以阐明牡丹化学成分研究的现状和未来研究趋势等, 以期对牡丹化学成分的研究提供参考。

## 1 数据的来源与分析方法

### 1.1 数据来源

中文文献数据主要来自中国知网数据库 (CNKI), 检索主题为“牡丹化学成分”, 共检索到相关文献 237 篇。英文文献主要来自 Web of Science 核心数据库 (WOS), 检索式为 (TS= ((*paenonia suffruticosa* AND chemical composition) OR (Peony AND chemical composition) OR (Peonies AND chemical composition) OR (tree peony AND chemical composition) OR (*paenonia suffruticosa* AND chemical constitution) OR (peony AND chemical constitution) OR (Pe-

onies AND chemical constitution) OR (tree peony AND chemical constitution)), 共检索到相关文献 859 篇。

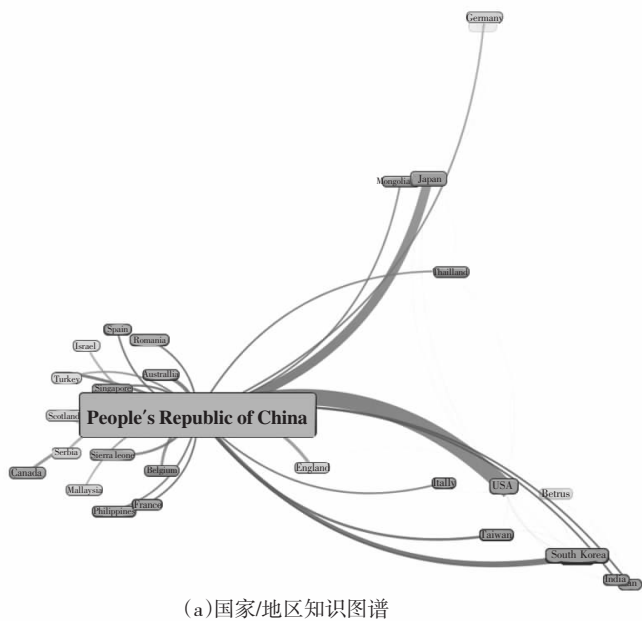
### 1.2 分析方法

文献数据分析前使用 UltraEdit 28.10 软件剔除与主题内容不符的文献以保证结果的准确性, 通过筛选共得中文文献 200 篇, 英文文献 625 篇。使用 CiteSpace 6.1.R3 和 VOSviewer 对相关研究文献的国家/地区、机构、作者和关键词等进行可视化分析。其中 CiteSpace 软件参数设置为: 时间段 (time slicing) 为 2000—2023 年, 时间切片为 1 a, 阈值参数 G-index、Top N 和 Top N% 分别设为 25、50 和 100, 其他参数为默认值。

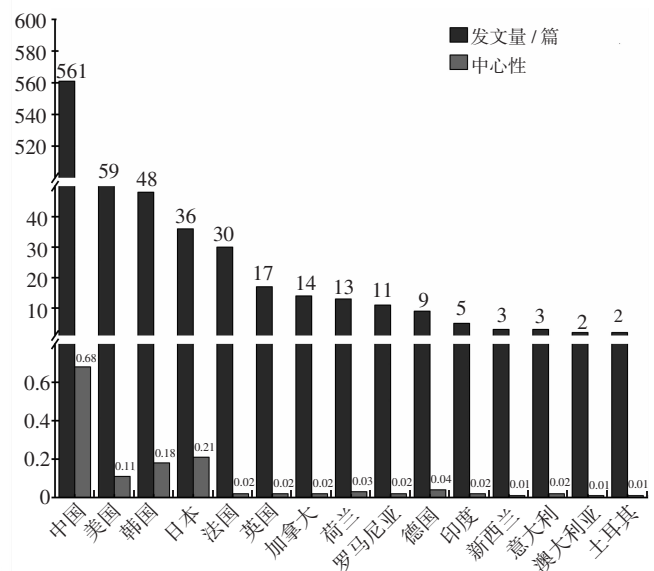
## 2 结果与分析

### 2.1 发文国家/地区分析

知识图谱中相同的颜色表示两者之间存在合作关系, 连线的数量表示合作的密切程度。通过可视化分析 (图 1 a) 可知, 关于牡丹化学成分研究的发文国家共 46 个, 发文量较高的国家分别为中国 (561 篇)、美国 (59 篇)、韩国 (48 篇) 和日本 (36 篇) 等 (图 1 b)。知识图谱中, 中心值用来衡量节点之间的关联密切程度, 某一节点的中心值与其影响力呈正相关关系。由图 1 b 还可知, 中国 (0.68)、韩国 (0.18) 和日本 (0.21) 在国家/地区分析知识图谱中具有较高的中心性。表明这些国家在



(a) 国家/地区知识图谱



(b) 发文量前15位的国家/地区

图1 牡丹化学成分研究的国家/地区

此研究领域中具有较高的影响力且与其他国家合作较为密切，美国虽具有较高的发文量，但其节点中心值低于日本和韩国。

### 2.2 发文机构分析

通过对来源于 CNKI 数据库的相关文献的可视化分析，共得相关机构 201 个，发文量前 15 的机

构如表 1 所示。其中发文量最大的机构为河南科技大学(8篇)、安徽中医药大学(6篇)、菏泽尧舜牡丹生物科技有限公司(4篇)和中国医学科学院药用植物研究所(4篇)。此外河南科技大学在知识图谱中具有较高的中心值(0.03)，表明该研究机构在牡丹化学成分研究领域中具有较高的影响力，其

表 1 发文量前 15 位的研究机构

排名	CNKI数据库			WOS核心数据库		
	机构	频次	中心性	机构	频次	中心性
1	河南科技大学	8	0.03	Beijing Forestry University (北京林业大学)	91	0.10
2	安徽中医药大学	6	0.02	Chinese Academy of Sciences (中国科学院)	86	0.26
3	菏泽尧舜牡丹生物科技有限公司	4	0	Henan University of Technology(河南工业大学)	76	0.05
4	中国医学科学院药用植物研究所	4	0	Yangzhou University(扬州大学)	67	0
5	安徽省食品药品检验研究院	3	0.01	Northwest A&F Univ(西北农林科技大学)	37	0.03
6	山东省分析测试中心	3	0	Chinese Academy of Agricultural Sciences(中国农业科学院)	35	0.03
7	北京中医药大学中药学院	3	0.01	Qingdao Agricultural University(青岛农业大学)	25	0.01
8	菏泽学院	3	0.01	Shandong Agricultural University (山东农业大学)	23	0.01
9	山东师范大学	3	0.01	University of Chinese Academy of Sciences(中国科学院大学)	22	0
10	军事医学科学院毒物药物研究所	3	0.01	Hunan Agricultural University (河南农业大学)	20	0.01
11	河南工业大学	3	0.01	China Academy of Chinese Medical Sciences (中国医学科学院)	16	0.10
12	甘肃省医学科学研究院	3	0.01	Chinese Academy of Forestry (中国林业科学研究院)	14	0
13	广东药科大学	3	0	Hong Kong University(香港大学)	13	0
14	江苏大学	2	0	Northeast Forestry University(东北林业大学)	12	0.01
15	南京中医药大学	2	0	Kyung Hee University(庆熙大学)	11	0.01

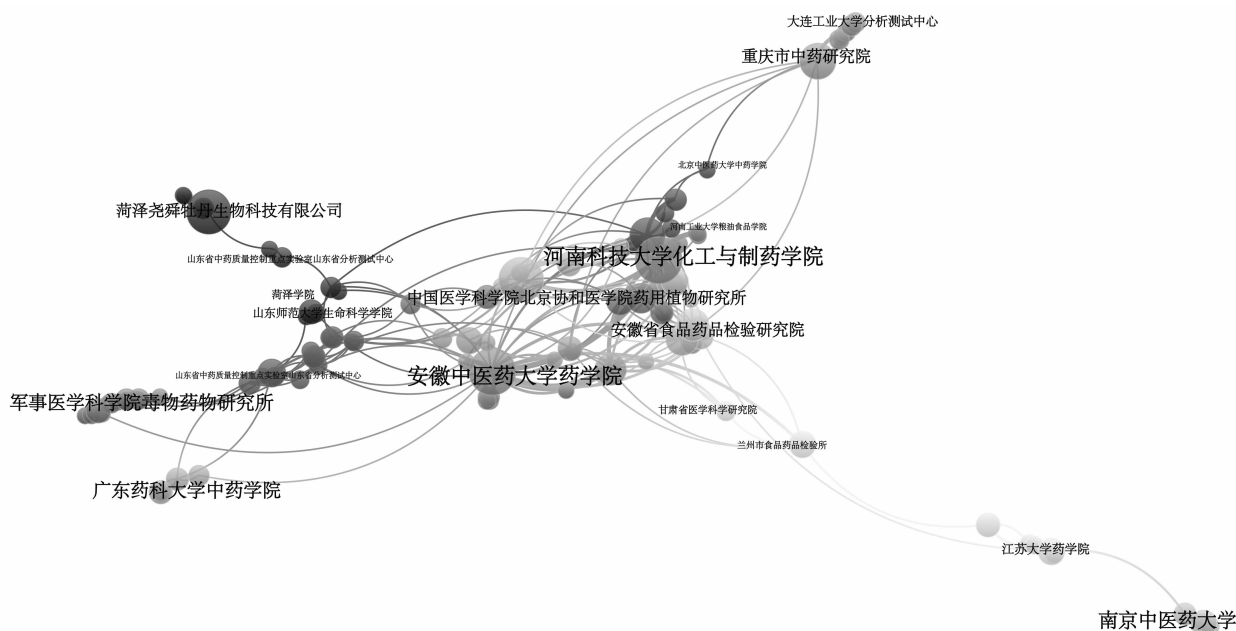


图 2 CNKI 核心数据库牡丹化学成分研究机构知识图谱

次为安徽中医药大学(0.02), 而菏泽尧舜牡丹生物科技有限公司和南京中医药大学少于其他机构间的合作(图2)。

通过对来源于 WOS 核心数据库的相关文献的可视化分析, 共得相关机构 538 个, 其中发文量较高的机构为 Beijing Forestry University(北京林业大学)(91篇)、Chinese Academy of Sciences(中国科学院)(86篇)、Henan University of Technology(河南工业大学)(76篇)和Yangzhou University(扬州大学)

(67篇)(表1), 其中中国科学院与其他研究机构合作较为密切, 在知识图谱中具有较高的中心值(0.26), 其次为河南工业大学, 而扬州大学虽具有较高的发文量, 但与其他机构间的合作少(图3)。

2.3 作者合作知识图谱分析

通过对来源于 CNKI 核心数据库的相关文献的可视化分析, 共得相关发文作者 114 人, 发文量较高的作者为刘谱(8篇)、邓瑞雪(8篇)、吴德玲(7篇)和王晓(7篇)(表2), 其中吴德玲在知识图谱

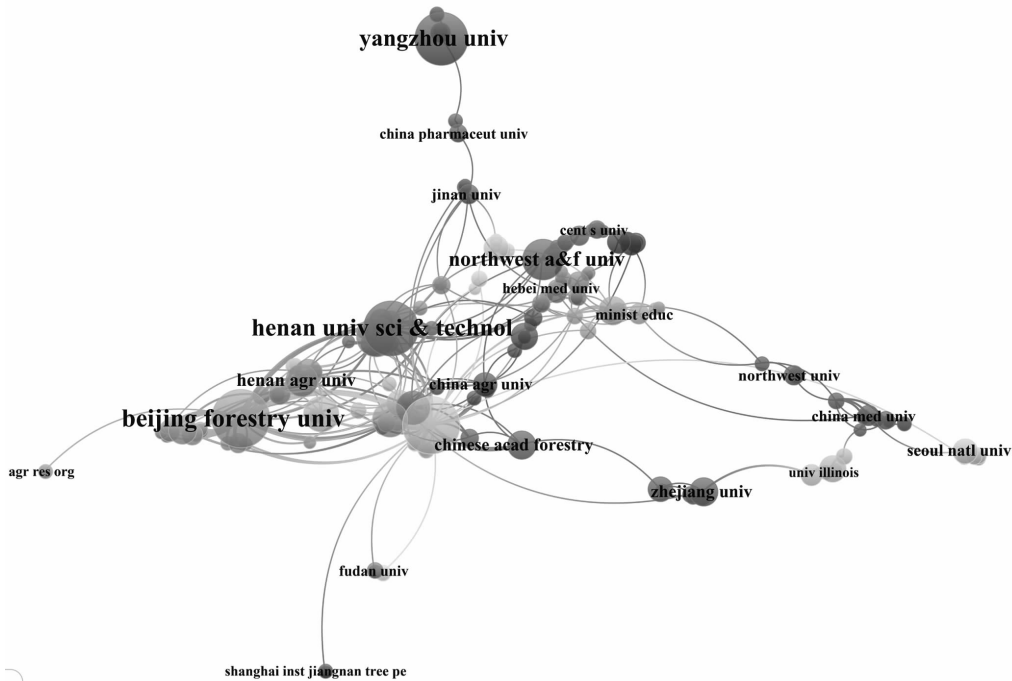


图3 WOS 核心数据库牡丹化学成分研究机构知识图谱

表2 发文量排名前15的作者

排名	CNKI数据库			WOS核心数据库		
	作者	频次	中心性	作者	频次	中心性
1	刘谱	8	0.03	Jun Tao	61	0.05
2	邓瑞雪	8	0.02	Daqiu Zhao	55	0.03
3	吴德玲	7	0.06	Yanlong Zhang	33	0.02
4	王晓	7	0.01	Xiaogai Hou	32	0.02
5	耿岩玲	7	0.02	Fangyun Cheng	27	0.01
6	闫慧娇	7	0.01	Lixin Niu	27	0.01
7	方成武	5	0.04	Xiuxin Zhang	27	0.01
8	张伟	4	0.01	Jingqi Xue	23	0.02
9	王娟	4	0.01	Shunli Wang	22	0.01
10	石晓峰	4	0	Liangsheng Wang	20	0.01
11	崔莉	4	0.01	Yuqian Xue	20	0.01
12	卢宗元	4	0.02	Lili Guo	17	0.02
13	方文韬	2	0.01	Dalong Guo	15	0.01
14	方成武	2	0	Yuhan Tang	15	0
15	任晓东	2	0	Jaime A. Teixeira da Silva	14	0.01



其中共现频次较高的中文关键词如表 3 所示。共现频次较高的中文关键词为牡丹皮 (51个)、牡丹籽油 (15个)、丹皮酚 (12个)、芍药苷 (12个) 和指纹图谱 (10个) 等, 其中关键词牡丹皮、丹皮酚和芍药苷在知识图谱中具有较大的节点和较高的中心值。由关键词共现可视化分析可知牡丹皮药用成分及其药理作用为国内该研究领域的主要的研究热点内容。牡丹皮为牡丹根系的韧皮部和皮层部分, 干燥以后即称为丹皮, 其中的主要的活性成分为丹皮酚、芍药苷、儿茶素、没食子酸和槲皮素等, 具有清热、活血、镇痛和消炎等功效<sup>[12-13]</sup>。牡丹籽油因其中较高含量的不饱和脂肪酸, 被誉为油中珍品, 关于牡丹籽化学成分的代谢机制和基于基因层面选育优质油用牡丹成为该研究领域的重点研究内容之一<sup>[14]</sup>。Yin 等<sup>[15]</sup>通过转录组学分析发现牡丹种子中 *PsFAD3* 基因能够参与  $\alpha$ -亚麻酸 (ALA) 不及饱和脂肪酸的合成, 该基因可用作油用牡丹新品种选育的重要依据。Xie 等<sup>[16]</sup>以不同 ALA 含量的牡丹品种作为花粉供体, 紫斑牡丹作为花粉受体, 结果发现, 受体 ALA 的含量与花粉供体的变化一致, 高含量 ALA 的牡丹品种的花粉能够促进紫斑牡丹中与 ALA 合成基因的表达量显著增加。

通过对来源于 WOS 的英文文献数据的可视化分析共得英文关键词 642 个 (图 6), 其中共现频次

较高的英文关键词如表 3 所示。共现频次较高的英文关键词为转录组 (transcriptome) (96个)、芍药苷 (paeoniflorin) (70个)、鉴定 (identification) (66个)、基因 (gene) (64个)、生长 (growth) (61个) 和基因表达 (gene expression) (52个) 等, 其中转录组 (transcriptome)、芍药苷 (paeoniflorin) 和基因表达 (gene expression) 等在知识图谱中具有较大的节点和较高的中心值。而牡丹化学成分的基因表达调控为该研究领域国际范围内的研究热点内容, 目前研究者多关注于牡丹的花色调控方面<sup>[17]</sup>。花色为牡丹的主要观赏性状之一, 如紫斑牡丹因其靠近花蕊处有紫色斑点而得名, 为中国特有的品种, 其花色丰富, 香味浓郁, 具有较高的观赏价值, 而牡丹花色的调控与花朵中花青素和黄酮类物质的含量有关<sup>[18]</sup>。Qi 等<sup>[19]</sup>研究发现, 牡丹花色的形成与花青素的组成和浓度密切相关, 并证实了 *bHLHs* 基因家族中 *PbHLH1*、*PbHLH2* 和 *PbHLH3* 是调控牡丹花瓣中花青素生物合成是重要基因。Luo 等<sup>[20]</sup>研究发现, 黄酮/黄酮醇是黄色牡丹花瓣颜色的主要贡献者, 而与类黄酮生物合成的相关基因的表达与牡丹花瓣中黄色素形成密切相关。Gu 等<sup>[21]</sup>研究发现, 紫斑牡丹中特有的基因 *PsMYB12* 能够与花色相关的基因相互作用, 直接激活 *PsCHS* 基因的表达, 促使牡丹花瓣上形成紫斑。目前关于牡丹花色的形成及调控机制成为该研究领域的潜在热

表 3 频次排名前 15 的关键词

排名	CNKI数据库			WOS核心数据库		
	关键词	频次	中心性	关键词	频次	中心性
1	牡丹皮	51	0.70	transcriptome	96	0.10
2	牡丹籽油	15	0.24	paeoniflorin	70	0.15
3	丹皮酚	12	0.15	identification	66	0.07
4	芍药苷	12	0.16	gene	64	0.06
5	指纹图谱	10	0.07	growth	61	0.05
6	牡丹花	9	0.19	gene expression	52	0.07
7	HPLC	6	0.10	cultivar	51	0.09
8	提取工艺	5	0.09	arabidopsis	48	0.03
9	没食子酸	5	0.01	plant	44	0.05
10	挥发油	5	0.13	anthocyanin	40	0.05
11	GC-MS	5	0.09	constituent	39	0.05
12	含量测定	5	0.04	biosynthesis	37	0.03
13	氧化芍药苷	5	0.08	monoterpene glycoside	35	0.03
14	丹皮酚	12	0.15	fatty acid	32	0.02
15	单萜苷类化合物	4	0.06	antioxidant activity	31	0.07



### 2.5.1 牡丹药用活性成分及药理作用机制研究

其代表聚类为: #4 牡丹皮、#5 网络药理学、#1 氧化芍药苷、#1 traditional chinese medicine、#0 tree peony、#5 paeoniflorin、#6 Interleukin-8(表4)。牡丹的药用部位主要为其根, 经加工后即为中药材牡丹皮, 牡丹皮的主要活性成分为丹皮酚, 丹皮酚具有良好抗炎、降糖、保护心脏和肝脏及抗肿瘤等功效<sup>[22]</sup>。基于网络药理学研究发现丹皮酚的作用机制主要是通过与其分子靶点如促炎症机制、酶和蛋白质等相互作用而达到治疗疾病的效果<sup>[23]</sup>, 丹皮酚可通过阻断炎症细胞因子的表达从而达到抑制炎症的作用, 还可通过阻断钙离子通道、抑制血管平滑肌细胞增殖和相关基因的表达对人体心脑血管起到一定的保护作用<sup>[24-25]</sup>。此外, 牡丹皮中含有多种萜类物质, 如芍药苷、氧化芍药苷和苯甲酰芍药苷等, 其中氧化芍药苷属单萜类糖苷化合物<sup>[26]</sup>。Xing 等<sup>[27]</sup>研究发现, 氧化芍药苷能抑制肿瘤细胞的生长, 具有良好的抗癌效果。此外氧化芍药苷可抑制 PC12 细胞内钙和钙 / 钙调蛋白激酶 II 的活性从而起到抗抑郁和保护神经系统的作用。此外, 芍药苷可降低肝脏激酶, 从而影响肝功能的相关标志物的浓度, 进而对肝脏起到一定的保护作用<sup>[28]</sup>。

2.5.2 牡丹籽油化学成分研究 其代表聚类为: #3 牡丹籽油、#7 凤丹、#2 peony seed oil、#7 alpha-linolenic acid、#3 monoterpene glycosides (表4)。牡丹籽油因具有较高的营养价值和保健作用而备受人们的青睐。生产上将出油率大于 20% 的牡丹品种定义为油用牡丹, 目前油用牡丹品种主要有凤丹和

紫斑牡丹, 其中凤丹因其耐旱性较强, 瓣化程度较低, 适种范围广, 为主推的油用牡丹品种<sup>[29]</sup>。据研究, 牡丹籽油中不饱和脂肪酸约占脂肪酸含量的 80% 以上, 一般食用油中的脂肪酸主要以偶数碳的直链羧酸为主, 而牡丹籽油中不仅含有少量的奇数碳脂肪酸如五烷酸、十六烷酸、顺-10-十五烷酸等, 还含环状脂肪酸如 2-己基-环丙烯-辛酸和 2-辛基-环丙烯-1-辛酸等<sup>[30-31]</sup>。Su 等<sup>[32]</sup>研究发现, 单链脂肪酸不仅能够增加胰岛素的敏感性, 从而降低患糖尿病的风险, 此外单链脂肪酸还具有预防心血管疾病的作用。牡丹籽油中所含的脂肪酸主要为棕榈酸(PA)、硬脂酸(SA)、油酸(OA)、亚油酸(LA)和  $\alpha$ -亚麻酸(ALA)。其中 ALA 属于  $\omega$ -3 多不饱和脂肪酸, LA 属于  $\omega$ -6 多不饱和脂肪酸, 而  $\omega$ -6/ $\omega$ -3PUFAs 值是评价油脂营养品质的重要指标<sup>[33]</sup>。一般认为  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 PUFAs 值 < 4 的食用油为健康食用油, 而牡丹籽油的  $\omega$ -6/ $\omega$ -3PUFAs 值远低于这一比值。此外牡丹籽油中富含单萜苷类化合物, 而单萜苷类化合物被称为牡丹籽油的特征性化合物<sup>[34-35]</sup>。Gong 等<sup>[36]</sup>研究表明, 牡丹籽油中的单萜苷类物质与牡丹的药用作用一致, 具有抗氧化、抗肿瘤和免疫调节等作用。近年来, 牡丹籽油的健康价值备受人们的关注使得牡丹籽油化学成分及其调控方面的研究成了该研究领域的热点内容之一。

2.5.3 牡丹化学成分的研究方法 其代表聚类为: #8 乙醚超声波、#6 指纹图谱、#2 质量控制 #4 transcription factor、#8 chromatography。近年来, 关于牡丹化学成分的研究方法多样, 主要分为两类:

表 4 关键词聚类信息

CNKI数据库				WOS核心数据库			
聚类名称	节点数/个	轮廓值	年份/年	聚类名称	节点数/个	轮廓值	年份/年
#0化学成分	50	0.851	2012	#0 tree peony	127	0.722	2011
#1氧化芍药苷	38	0.912	2013	#1 traditional chinese medicine	96	0.870	2007
#2质量控制	34	0.898	2014	#2 peony seed oil	71	0.768	2012
#3牡丹籽油	29	0.906	2014	#3 monoterpene glycosides	63	0.801	2009
#4牡丹皮	24	0.956	2014	#4 transcription factor	61	0.827	2018
#5网络药理学	23	0.908	2020	#5 paeoniflorin	46	0.901	2015
#6指纹图谱	22	0.877	2013	#6 Interleukin-8	46	0.934	2008
#7凤丹	19	0.942	2014	#7 alpha-linolenic acid	37	0.990	2008
#8乙醚超声波	14	0.879	2014	#8 chromatography	35	0.940	2006



一类采用分子生物学技术，如转录组学和基因组学等。目前在牡丹化学成分的研究中多采用转录组学的研究方法，通过转录组学技术揭示化学成分的合成机制也是该目前研究的重点之一<sup>[37]</sup>。第二类为牡丹化学成分提取与鉴定方法的改进，目前牡丹化学成分的提取方法主要包括溶剂萃取、超声波萃取、微波辅助萃取、超临界流体萃取、超高压提取和酶解法等<sup>[38]</sup>。其中乙醚超声波因所需时间短，提取率高，多用于牡丹挥发油的提取<sup>[39]</sup>。而关于牡丹化学成分鉴定的方法目前主要有色谱法和质谱法等，包括了气相色谱技术、高效液相色谱技术和超临界流体色谱技术等。此外，采用

色谱指纹图谱技术结合化学计量学的方法，对色谱数据进行分析比较，而达到牡丹化学成分的鉴定和质量评价<sup>[40-41]</sup>。

2.6 关键词突现分析

知识图谱中，关键词突现分析可以明晰某一研究领域的热点演替情况，可用于预测某一研究领域未来的研究重点内容。分析结果如表 5、表 6 所示，表中窄线条表示选取文献的时间跨度，宽线条表示关键词使用频数(突现强度)最高的年份。本文通过关键词突现分析，共得中文关键词 25 个，英文关键词 43 个，其中中文文献关键词突现强度较高的为牡丹籽油(2.23)、牡丹皮(2.02)、丹

表 5 中文文献关键词突现分析

关键词	年份/年	突现强度	起始年	截止年	2000—2022 年
牡丹皮	2003	2.02	2004	2018	=====
质量控制	2003	1.27	2006	2014	=====
牡丹籽	2003	1.22	2009	2019	=====
凤丹	2003	1.36	2013	2021	=====
牡丹籽油	2003	1.22	2014	2021	=====
牡丹花	2003	1.47	2016	2019	=====
牡丹籽油	2003	2.23	2016	2022	=====
单萜苷类化合物	2003	1.27	2017	2020	=====
分子对接	2003	1.26	2018	2020	=====
丹皮酚	2003	1.86	2008	2016	=====

表 6 英文文献关键词突现分析

关键词	年份/年	突现强度	起始年	截止年	2000—2023 年
moutan cortex	2000	3.58	2001	2010	=====
peony flowers	2000	4.82	2004	2014	=====
antidepressant	2000	4.07	2008	2012	=====
diversity	2000	3.83	2008	2016	=====
paeoniflorin	2000	8.09	2009	2014	=====
total glucoside	2000	3.33	2012	2016	=====
gene expression	2000	4.86	2013	2015	=====
overexpression	2000	3.93	2015	2019	=====
apoptosis	2000	6.15	2016	2018	=====
alpha-linolenic acid	2000	3.49	2017	2021	=====

皮酚(1.86)和牡丹花(1.47)等。年份跨度分别为2016—2022年、2004—2018年、2008—2016年和2016—2019年等(表5),表明在相应的年份范围内研究者对该关键词的关注度较高,为重点研究内容。早期关于牡丹化学成分的研究多集中于牡丹的药用成分方面。随着研究的多样化发展,关于牡丹化学成分研究的后期则侧重于牡丹籽化学成分的研究,尤其是关于牡丹籽油化学成分的研究备受研究者的灌注。牡丹籽油中不仅含有较高含量的不饱和脂肪酸,还含有丹皮酚、植物甾醇、牡丹多糖等多种生物活性物质。牡丹籽油不仅可以有效地防治心脑血管疾病,还具有抗氧化和调节人体免疫力的作用<sup>[42-43]</sup>。目前牡丹籽油中的化学成分主要包括三类。①脂肪酸。包括饱和脂肪酸,含量为10%~20%;不饱和脂肪酸含量为80%~90%,其含量因牡丹品种和牡丹籽油的提取工艺密切相关<sup>[44]</sup>。②微量元素。牡丹籽油中含有丰富的微量元素,包括Fe、Se、Zn、K、Na和Ca等,其中Na和Ca的含量较高<sup>[45]</sup>。③其他成分。主要包括甾醇类、维生素和某些萜类等物质<sup>[46]</sup>。关于牡丹籽油的提取方法主要为水提、压榨、低温萃取和超临界CO<sub>2</sub>萃取等<sup>[47]</sup>。目前牡丹籽油主要以食用为主,也可用作化妆品和保健品的添加成分<sup>[48]</sup>。

英文文献中关键词突现强度较高的为芍药苷(paeoniflorin)(8.09)、细胞凋亡(apoptosis)(6.15)、基因表达(gene expression)(4.86)和牡丹花(peony flowers)(4.82)等(表6)。国际范围内早期关于牡丹化学成分研究主要集中于牡丹皮化学成分研究,后期主要倾向于 $\alpha$ -亚麻酸的应用价值开发方面。 $\alpha$ -亚麻酸为三键不饱和脂肪酸,是牡丹籽油中的主要化学成分之一,也是人体必需脂肪酸之一<sup>[49]</sup>。此外, $\alpha$ -亚麻酸能够降血脂和防治血栓等功能,可做医用药品也可做保健品食用,具有广泛开发应用价值<sup>[50]</sup>。Su等<sup>[51]</sup>研究发现,牡丹籽油中含有丰富的抗-葡萄糖苷酶,通过喂食糖尿病小鼠发现牡丹籽油能够显著降低小鼠糖化血红蛋白、血清总胆固醇和甘油三酯,对小鼠糖尿病具有一定的缓解作用。Ma等<sup>[52]</sup>研究发现,牡丹籽油可参与肝脏血脂和胆固醇的代谢过程,对小鼠的脂质代谢具有一定的调节作用。目前,关于 $\alpha$ -亚麻酸的合成代谢机制的研究是该研究领域的潜在研究热

点内容之一。此外,牡丹花(peony flowers)的研究爆发持续时间最长,目前关于牡丹花的研究主要集中于花色调控、切花保鲜和牡丹花的应用价值开发等方面。牡丹因其花型优美、色彩艳丽和花朵较大而极具观赏价值,但牡丹花期较短,不易做成切花,不利于牡丹价值开发,因此牡丹切花保鲜既该研究领域研究的热点,也是研究的难点<sup>[53-54]</sup>。鲜切花采收后因机械损伤、不适宜的环境条件和微生物污染等原因会导致鲜切花内部代谢活动发生变化,从而影响鲜切花的品质<sup>[55]</sup>。目前牡丹切花保鲜技术主要以物理方法(冷藏、调气和减压)、化学方法(防腐剂、植物生长调节剂)、生物方法(微生物制剂)等为主,牡丹切花保鲜技术是影响牡丹切花产业的发展重要因素<sup>[56-58]</sup>。

### 3 小结与展望

我们基于文献计量可视化分析对近年来关于牡丹及其化学成分研究的相关文献进行了可视化分析,从发文国家/机构、期刊、作者、研究热点和研究趋势等方面进行分析,结果表明,目前关于牡丹及其化学成分的研究中,我国的研究者发文量位居第1,且具有较高的影响力,美国虽具有较高的发文量,但在该研究领域的影响力不及韩国和日本。因此应该加强国际间的交流合作,从而提高该领域的研究质量和创新性。不同来源的文献数据中,我国的研究者和研究结构均具有较高的频次,表明我国在该研究领域具有较高的国际影响力。内在该领域的研究热点侧重于为牡丹皮化学成分及其药用作用与机制等方面。而在国际范围内,研究者侧重于通过分子生物学技术调控牡丹化学物质的代谢与调控。随着研究的深入,目前该领域的研究内容偏向于对牡丹副产品的开发,其中关于牡丹籽化学成分的基因调控和牡丹鲜切保鲜技术的开发等是近年来的研究重点内容。未来的研究工作应加大对牡丹化学成分的合成机制、基因调控和表达等方面的深入探究,建立有效的研究方法和技术手段,明晰牡丹化学成分合成有关基因簇和代谢途径,利用分子技术改善和提高牡丹化学成分的合成效率,更有效地促进牡丹及其化学成分的研究和开发。

### 参考文献:

[1] 白茹冰. 历史时期中国牡丹的引种、传播与分布研究

- [D]. 西安: 陕西师范大学, 2022.
- [2] 邢立夏. 牡丹观赏性评价及花色研究[D]. 晋中: 山西农业大学, 2022.
- [3] WANG S, XUE J, ZHANG S, et al. Composition of peony petal fatty acids and flavonoids and their effect on *Caenorhabditis elegans* lifespan[J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2020, 155: 1–12.
- [4] 张树蓉, 赵宏苏, 佟沫儒, 等. 牡丹皮化学成分、药理作用及其质量标志物(Q-Marker)的预测分析[J]. *中草药*, 2022, 53(16): 5215–5224.
- [5] DENG R, GAO J, YI J, et al. Peony seeds oil by-products: Chemistry and bioactivity[J]. *Industrial Crops and Products*, 2022, 187: 115333.
- [6] DENG R, GAO J, YI J, et al. Could peony seeds oil become a high-quality edible vegetable oil? The nutritional and phytochemistry profiles, extraction, health benefits, safety and value-added-products[J]. *Food Research International*, 2022, 156: 111200.
- [7] 徐慧, 姚霞珍, 佟珂珂, 等. 3种牡丹花器官不同部位挥发性成分分析[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2023, 47(3): 63–69; 1–5.
- [8] WU Y, LI L Z, YUAN W Q, et al. Application of GC×GC coupled with TOF-MS for the trace analysis of chemical components and exploration the characteristic aroma profile of essential oils obtained from two tree peony species (*Paeonia rockii* and *Paeonia ostii*)[J]. *European Food Research and Technology*, 2021, 247: 2591–2608.
- [9] ZHANG Q, HUO R, MA Y, et al. A novel microwave-assisted steam distillation approach for separation of essential oil from tree peony(*Paeonia suffruticosa* Andrews) petals: Optimization, kinetic, chemical composition and antioxidant activity[J]. *Industrial Crops and Products*, 2020, 154: 112669.
- [10] EKIERT H, KLIMEK-SZCZYKUTOWICZ M, SZOPA A. *Paeonia*× *suffruticosa* (Moutan Peony)—a review of the chemical composition, traditional and professional use in medicine, position in cosmetics industries, and biotechnological studies[J]. *Plants*, 2022, 11(23): 3379.
- [11] BAI Z, YU R, LI J, et al. Application of several novel natural antioxidants to inhibit oxidation of tree peony seed oil[J]. *CyTA—Journal of Food*, 2018, 16(1): 1071–1078.
- [12] WANG Z, ZHU C, LIU S, et al. Comprehensive metabolic profile analysis of the root bark of different species of tree peonies (*Paeonia Sect. Moutan*)[J]. *Phytochemistry*, 2019, 163: 118–125.
- [13] LI S S, WU Q, YIN D D, et al. Phytochemical variation among the traditional Chinese medicine Mu Dan Pi from *Paeonia suffruticosa* (tree peony)[J]. *Phytochemistry*, 2018, 146: 16–24.
- [14] WANG X, LIANG H, GUO D, et al. Integrated analysis of transcriptomic and proteomic data from tree peony (*P. ostii*) seeds reveals key developmental stages and candidate genes related to oil biosynthesis and fatty acid metabolism[J]. *Horticulture Research*, 2019, 6(1): 194–200.
- [15] YIN D D, XU W Z, SHU Q Y, et al. Fatty acid desaturase 3(PsFAD3) from *Paeonia suffruticosa* reveals high  $\alpha$ -linolenic acid accumulation[J]. *Plant Science*, 2018, 274: 212–222.
- [16] XIE L, NIU L, ZHANG Y, et al. Pollen sources influence the traits of seed and seed oil in *Paeonia ostii* ‘Feng Dan’[J]. *HortScience*, 2017, 52(5): 700–705.
- [17] LUAN Y, CHEN Z, WANG X, et al. Herbaceous peony PIACLB2 positively regulates red petal formation by promoting anthocyanin accumulation[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2022, 13: 992529.
- [18] ZHANG Y, XU S, CHENG Y, et al. Functional identification of PsMYB57 involved in anthocyanin regulation of tree peony[J]. *BMC genetics*, 2020, 21(1): 1–11.
- [19] QI Y, ZHOU L, HAN L, et al. PsbHLH1, a novel transcription factor involved in regulating anthocyanin biosynthesis in tree peony (*Paeonia suffruticosa*) [J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2020, 154: 396–408.
- [20] LUO X, SUN D, WANG S, et al. Integrating full-length transcriptomics and metabolomics reveals the regulatory mechanisms underlying yellow pigmentation in tree peony (*Paeonia suffruticosa* Andr.) flowers[J]. *Horticulture Research*, 2021, 8(1): 00666.
- [21] GU Z, ZHU J, HAO Q, et al. A novel R2R3-MYB transcription factor contributes to petal blotch formation by regulating organ-specific expression of PsCHS in tree peony (*Paeonia suffruticosa*)[J]. *Plant and Cell Physiology*, 2019, 60(3): 599–611.
- [22] WANG S, XIE L, YANG Q, et al. Extraction and purification of paeonol from Moutan Cortex by a combined method of steam distillation and antisolvent recrystallization to reduce energy consumption and carbon dioxide emissions [J]. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 2023, 101(7): 3771–3785.

- [23] WANG Z, HE C, PENG Y, et al. Origins, phytochemistry, pharmacology, analytical methods and safety of Cortex Moutan (*Paeonia suffruticosa* Andrew): A systematic review[J]. *Molecules*, 2017, 22(6): 946.
- [24] YOO C K, HWANG J H, LEE K, et al. Anti-inflammatory effects of moutan cortex radices extract, paeoniflorin and oxypaeoniflorin through TLR signaling pathway in RAW2647 Cells[J]. *J. Food Nutr. Res.*, 2018, 6(1): 26–31.
- [25] HU J, LI Y L, LI Z L, et al. Chronic supplementation of paeonol combined with danshensu for the improvement of vascular reactivity in the cerebral basilar artery of diabetic rats[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2012, 13(11): 14565–14578.
- [26] CHEN J, HOU X, WANG G, et al. Terpene glycoside component from Moutan Cortex ameliorates diabetic nephropathy by regulating endoplasmic reticulum stress-related inflammatory responses[J]. *Journal of ethnopharmacology*, 2016, 193: 433–444.
- [27] XING G, ZHANG Z, LIU J, et al. Antitumor effect of extracts from moutan cortex on DLD-1 human colon cancer cells in vitro[J]. *Molecular Medicine Reports*, 2010, 3(1): 57–61.
- [28] YANG J, XU L, WU M, et al. Paeonol derivative-6 attenuates inflammation by activating ZEB2 in acute liver injury[J]. *International Immunopharmacology*, 2021, 91: 107235.
- [29] 侯娜, 王纪辉, 吴运辉, 等. 贵州不同引种地油用牡丹种子营养成分含量分析[J]. *西南林业大学学报(自然科学)*, 2017, 37(6): 36–40.
- [30] NING C, JIANG Y, MENG J, et al. Herbaceous peony seed oil: a rich source of unsaturated fatty acids and  $\gamma$ -tocopherol[J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2015, 117(4): 532–542.
- [31] QU J, ZHANG F, THAKUR K, et al. The effects of process technology on the physicochemical properties of peony seed oil[J]. *Grasas y Aceites*, 2017, 68(2): e192–e192.
- [32] SU J, MA C, LIU C, et al. Hypolipidemic activity of peony seed oil rich in  $\alpha$ -linolenic, is mediated through inhibition of lipogenesis and upregulation of fatty acid  $\beta$ -oxidation[J]. *Journal of Food Science*, 2016, 81(4): H1001–H1009.
- [33] LIU Z, LI M, QIAN D, et al. Phytochemical profiles and the hypoglycemic effects of tree peony seed coats[J]. *Food & Function*, 2021, 12(23): 11777–11789.
- [34] WANG X, LI C, CONTRERAS M M, et al. Integrated profiling of fatty acids, sterols and phenolic compounds in tree and herbaceous peony seed oils: marker screening for new resources of vegetable oil[J]. *Foods*, 2020, 9(6): 770.
- [35] SUN L, KONG C, ZHAO H, et al. Progress in terpenes from genus *Paeonia*[J]. *Medicine Research*, 2021, 5(3): 210011.
- [36] GONG Q, DU Z, GUO J. Study on immunoregulation function of peony seed proteolysis product in mice[J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2020, 44(9): e13353.
- [37] LUO J, SHI Q, NIU L, et al. Transcriptomic analysis of leaf in tree peony reveals differentially expressed pigments genes[J]. *Molecules*, 2017, 22(2): 324.
- [38] LI M, ZHAO G, LIU J, et al. Optimization of ultrasound-assisted extraction of peony seed oil with response surface methodology and analysis of fatty acid[J]. *Agricultural Research*, 2021, 10(4): 1–13.
- [39] DENG R, YANG X, WANG Y, et al. Optimization of ultrasound assisted extraction of monoterpene glycoside from oil peony seed cake[J]. *Journal of food science*, 2018, 83(12): 2943–2953.
- [40] SHI Y H, ZHU S, GE Y W, et al. Characterization and quantification of monoterpenoids in different types of peony root and the related *Paeonia* species by liquid chromatography coupled with ion trap and time-of-flight mass spectrometry[J]. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 2016, 129: 581–592.
- [41] LI C, DU H, WANG L, et al. Flavonoid composition and antioxidant activity of tree peony (*Paeonia section Moutan*) yellow flowers[J]. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2009, 57(18): 8496–8503.
- [42] 陈淑慧. 基于文献计量分析牡丹籽油的研究现状[J]. *中国油脂*, 2020, 45(10): 5–9.
- [43] HAN X M, WU S X, WU M F, et al. Antioxidant effect of peony seed oil on aging mice[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2017, 26: 1703–1708.
- [44] CHANG M, WANG Z, ZHANG T, et al. Characterization of fatty acids, triacylglycerols, phytosterols and tocopherols in peony seed oil from five different major areas in China[J]. *Food Research International*, 2020, 137: 109416.
- [45] ZHANG X X, SUN J Y, NIU L X, et al. Chemical compositions and antioxidant activities of essential oils ex-

- tracted from the petals of three wild tree peony species and eleven cultivars[J]. *Chemistry & Biodiversity*, 2017, 14(11): e1700282.
- [46] 魏永峰, 黄志强, 赵雷振, 等. 牡丹籽油提取工艺及其生物活性研究进展[J]. *粮食与油脂*, 2023, 36(7): 1-4; 9.
- [47] 彭常梅, 方锐琳, 赖敏, 等. 不同提取方法对牡丹籽油品质的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(3): 104-111.
- [48] 侯天兰, 王顺利, 米生权, 等. 牡丹籽油营养成分和功能作用研究进展[J]. *中国油脂*, 2021, 46(8): 51-55; 71.
- [49] ZHANG Q Y, YU R, XIE L H, et al. Fatty acid and associated gene expression analyses of three tree peony species reveal key genes for  $\alpha$ -linolenic acid synthesis in seeds[J]. *Frontiers in plant science*, 2018, 9: 106.
- [50] WANG X, ZAN M, AMUTI A, et al. Evaluation of the oxidation stability and anti-cancer cell activity of *Paeonia ostii* seed oil and its linolenic acid fractions delivered as microemulsions[J]. *Journal of Molecular Liquids*, 2021, 342: 117579.
- [51] SU J, WANG H, MA C, et al. Anti-diabetic activity of peony seed oil, a new resource food in STZ-induced diabetic mice[J]. *Food & Function*, 2015, 6(9): 2930-2938.
- [52] MA Y, BAO H, WU X, et al. Study on sensory properties and efficacy evaluation of whole wheat biscuits supplemented with peony seed oil and chia seed[J]. *Food Science and Technology*, 2023, 43: e001623.
- [53] KAMENETSKY-GOLDSTEIN R, YU X. Cut peony industry: the first 30 years of research and new horizons[J]. *Horticulture Research*, 2022, 9:79.
- [54] SHU-LIN G A O, CHAO Z, DAN-NI D U, et al. Effect of glucose and ethylene on flower color and anthocyanin biosynthesis in tree peony 'Luoyanghong' cut flower[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2015, 42(7): 1356.
- [55] KAMENETSKY R, DOLE J. Herbaceous peony (*Paeonia*): genetics, physiology and cut flower production[J]. *Floriculture Ornamental Biotechnology*, 2012, 6: 62-77.
- [56] RABIZA-SWIDER J, SKUTNIK E, JĘDRZEJUK A, et al. Postharvest treatments improve quality of cut peony flowers[J]. *Agronomy*, 2020, 10(10): 1583.
- [57] 孙燕, 高德民. 牡丹花色性状的研究进展[J]. *寒旱农业科学*, 2023, 2(1): 17-22.
- [58] 王卫成, 贺欢, 杨馥霞, 等. 甘肃省紫斑牡丹种业现状及其发展对策[J]. *甘肃农业科技*, 2022, 53(3): 12-14.