

金花葵化学成分及其生物活性研究进展

杨美娟¹, 黄坤艳¹, 李玲², 韩庆典^{3*}

(1. 临沂大学生命科学学院, 山东临沂 276005; 2. 临沂市农业局, 山东临沂 276000; 3. 临沂大学农林科学学院, 山东临沂 276005)

摘要 药食两用植物金花葵的种子富含氨基酸、微量元素和不饱和脂肪酸, 可开发为新型植物油, 富含金丝桃苷等黄酮类化合物有多种保健和治疗功效。就金花葵的生物学性状、化学成分及其提取工艺、生物活性等方面进行了概述, 以期对金花葵的进一步研究和开发利用积累资料。

关键词 金花葵; 生物学性状; 化学成分; 提取; 生物活性

中图分类号 R284 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2019)17-0005-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.17.002

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research Progress on Chemical Constituents and Biological Activity of *Hibiscus manihot* L.

YANG Mei-juan¹, HUANG Kun-yan¹, LI Ling² et al (1. College of Life Science, Linyi University, Linyi, Shandong 276005; 2. Linyi Agricultural Bureau, Linyi, Shandong 276000)

Abstract The seeds of medicinal and edible *Hibiscus manihot* L. are rich in amino acids, microelements and unsaturated fatty acids, which can be developed into new vegetable oils. Flavonoids from *Hibiscus manihot* L. such as nectarine have a variety of health care and treatment effects. This paper summarized the biological traits, chemical constituents and extraction technology, pharmacological experiments of *Hibiscus manihot* L. in order to accumulate information for further research and development and utilization.

Key words *Hibiscus manihot* L.; Biological traits; Chemical constituents; Extraction; Biological activity

金花葵(*Hibiscus manihot* L.), 为锦葵科秋葵属一种濒临绝种植物, 是植物界的“大熊猫”, 又名菜芙蓉或野芙蓉、黏干或山榆皮, 极具食用、药用、保健价值^[1-2]。全草入药, 含多种有效成分, 主要为黄酮类物质, 功效为解热、镇痛、利湿、抗氧化、抑制肿瘤、美白、血脂调节、免疫调节、消化调节、滋阴壮阳等, 被誉为“生命救心草”^[1-6], 明代《顺德府志》有记载^[7], 现《中国药典》、药品标准至今尚未收载^[7]。由于研究起步较晚, 随着各方面研究逐渐深入, 金花葵的开发利用价值渐被人知。笔者就金花葵的生物学性状、化学成分、药理试验等研究成果进行了总结, 旨在为该植物的进一步研究和开发利用累积资料^[8]。

1 生物学性状

一年生直立草本, 茎粗壮, 基部木质化。掌状叶, 缺刻较深, 互生。花冠金黄, 紫心金蕊, 花粉粒颜色较深, 圆球形, $d=135\ \mu\text{m}$; 有较厚的花粉壁, 表面多刺状突起, 内凹或外凸, 萌发孔清晰可见。数条无色透明花粉管, 长度不一, 有分枝^[9]。蒴果, 种子宽肾球形, 长度为 $(0.435 \pm 0.039)\ \text{cm}$, 宽度为 $(0.414 \pm 0.035)\ \text{cm}$, 千粒重为 $(20.521 \pm 0.03)\ \text{g}$, 80~120粒/果角^[10-11]。种子繁殖, 生育期 100 d 以上^[12-13]。25℃水中种子吸胀充分需 7 h, 无深休眠; 30℃时, 光暗交替下种子萌发速率较高, 适合在淡水条件下萌发, 各项种子萌发指标随 NaCl 和 PEG 浓度的提高逐渐下降, 说明其对盐胁迫、渗透胁迫均敏感^[11]。金花葵适应性较强, 现已发展了很多人工驯化种植基地^[13]。

2 化学成分

金花葵含有黄酮类物质、不饱和脂肪酸、微量元素等, 其中黄酮类化合物是主要生物活性物质^[3, 14-18], 花中性激素含量高于其他补肾类植物^[14]。目前, 根部检测出 8 种单体化合物^[17], 其余部位 12 种化学成分已被检测, 有甘露醇、多糖、总黄酮、总皂苷和 8 种核苷类物质^[19]。

2.1 黄酮类化合物

2.1.1 总黄酮。含量非常高, 其根茎中总黄酮含量为 2.72%^[20], 花中总黄酮含量为 8.47%^[21]; 金花葵中总黄酮含量最高^[22], 含有芦丁、槲皮素、异槲皮苷、金丝桃苷、葛根素、杨梅素等^[7, 23], 种子中芦丁、槲皮素含量分别约为茎中含量的 8 倍、10 倍^[15]。金花葵不同地区、不同器官总黄酮含量存在差异, 如不同地区的花金葵中总黄酮含量为 5.63%~45.40%^[22, 24-25]; 金花葵不同器官和一些产品中总黄酮含量不同, 为 62.0~229.0 mg/g, 干花总黄酮含量居于首位^[26], 干花、籽仁总黄酮含量分别为 37.680、26.013 mg/g, 为银杏、大豆天然黄酮的近 100 倍^[10]。

2.1.2 金丝桃苷。金丝桃苷为金花葵中黄酮的主要成分, 含量为 0.258%^[27], 有抗炎、止咳、抗抑郁等功效^[26]。金丝桃苷含量由高到低依次为花、叶、茎、根、籽, 花中平均含量达 4.002%^[24]; 各类型花中其含量从高到低依次为花蕾、落花、鲜花^[28], 干花中金丝桃苷平均含量为 11.25 mg/g^[29]。不同采收期间, 末期花中金丝桃苷含量约为初期花中的 2 倍, 含量高低取决于花中水分含量; 不同产地其含量高低取决于当地的温度、湿度等^[14]。

2.2 不饱和脂肪酸 金花葵种子含油率较高, 籽仁可压榨为高品质食用油^[14], 试验测得金花葵籽油中不饱和脂肪酸含量分别为 68.91%、76.64% 和 76.12%^[29-31], 脂肪酸主要有 6 种, 棕榈油酸占 0.58%, 亚油酸占 35.65%, 油酸占

基金项目 山东省农业重大应用技术创新项目(2015NY212); 临沂大学校级科技发展规划项目(BS201017)。

作者简介 杨美娟(1975—), 女, 山东临沂人, 讲师, 硕士, 从事逆境植物研究。*通信作者, 教授, 博士, 从事农业生物技术研究。

收稿日期 2019-04-02

39.89%^[31];从金花葵籽中提取的挥发油中有亚油酸、软脂酸和顺-9-烯-十八烷酸等^[32]。

2.3 微量元素 金花葵富含 Fe、Zn、Mn、Cr 等微量元素,对人体有害的 Pb、Cd 含量低于允许摄入量^[33]。种子中微量元素含量高于花瓣^[29];花瓣中 Fe、Mn 含量较高,Pb 最少^[18],还有 Cu、Mg、Zn、Ca 等^[34]。金花葵籽、花苞及茎富硒能力最强,籽中有机硒占籽总硒含量的 97.04%,富硒效果最好;籽中硒的存在形式主要是硒多糖与硒蛋白,其中硒含量分别为籽中有机硒含量的 24.23%和 51.37%^[35]。

2.4 维生素 E(V_E) 金花葵种子中含 5.000 mg/g 的 V_E,具有抗氧化、抗衰老的特性;籽仁含 V_E 0.680 mg/g,籽油含 V_E 1.975 mg/g,是牛奶的 2 000 倍,鲜橙汁的 3 000 倍^[36]。

2.5 多糖 金花葵多糖在花中含量最高,种子中含量最低,

其余部位由高到低依次为根、果皮、茎^[19]。籽中硒含量最高达 1.735 mg/kg,为硒多糖^[35]。

3 有效成分的提取

3.1 多糖 黄杰涛等^[37]、程丽敏等^[38]对金花葵多糖进行了提取,认为影响最大的为料液比,提取时间次之,提取温度影响最小;巫玲丽等^[39]认为超声时间影响最大、料液比次之,超声温度影响最小;陈冯钱等^[40]以多糖得率为考察指标,采用正交设计法优化微波辅助提取金花葵多糖,结果表明,微波功率影响最大,提取时间影响最小,微波辐射时间和提取温度居中,且前者影响大于后者(表 1)。黄杰涛等^[37]、刘剑等^[41]均利用响应面法优化金花葵多糖的提取工艺,多糖得率与预测值的相对误差分别为 0.23%、3.74%;刘剑^[35]还用响应面法对其籽硒多糖的提取工艺进行了优化(表 1)。

表 1 金花葵多糖最佳提取工艺参数
Table 1 Optimal extraction process parameters of *H. manihot* polysaccharide

编号 No.	提取方法 Extraction method	料液比 Solid-liquid ratio (g:mL)	提取时间 Extraction time h	提取温度 Extraction temperature ℃	得糖率 Sugar yield %	备注 Note
1	热水浸提法 ^[38]	1:60	2.50	90	—	茎
2	水提醇沉法、超声辅助法 ^[39]	1:50	0.50	50	22.32	茎
3	微波辅助法 ^[40]	—	3.00	70	5.51	干花苞($P_{\text{微波}}=280\text{ W},t_{\text{辐射}}=2\text{ min}$)
4	水提法 ^[37]	1:32	3.25	72	4.30	茎叶
5	热水浸提法 ^[41]	1:31	3.30	71	13.58	籽
6	水提醇沉法 ^[35]	1:31	3.30	71	13.58	籽硒多糖

3.2 黄酮 黄酮提取方法主要有有机溶剂回流法^[15,23]、浸提法^[24]和索式提取法^[42]。兰蓉等^[16]提取金花葵干花中总黄酮,认为有机溶剂回流法提取效果最好,索式提取法次之,超声提取法得率最低。辅助提取方法有助于提高金花葵黄酮提取速度和效率^[43]。仇燕^[24]认为微波提取法提取效果最好;杨秀松^[43]用正交试验分析金花葵黄酮粗提物的最佳提

取工艺,宋琳琳等^[21]摸索出其花中总黄酮超声波法的最佳提取工艺(表 2);申利英等^[44]、王璐珊等^[45]采用响应曲面法优化出金花葵黄酮提取的最佳工艺参数;梅洪睿^[15]用回归正交试验法优化了金花葵茎和种子中黄酮的提取工艺参数(表 2)。

表 2 金花葵黄酮最佳提取工艺参数
Table 2 Optimal extraction process parameters of flavonoids from *H. manihot*

编号 No.	提取方法 Extraction method	乙醇浓度 Ethanol concentration %	料液比 Solid-liquid ratio (g:mL)	提取时间 Extraction time h	提取温度 Extraction temperature ℃	含量 Content	备注 Note
1	乙醇浸提法 ^[24]	80	1:40	0.50	70	5.63%	干花苞
2	超声辅助法 ^[44]	60	1:40	1.25	80	56.37 mg/g	$t_{\text{超声}}=0.5\text{ h}$
3	超声辅助法 ^[21]	80	1:25	0.58	—	8.47%	—
4	超声辅助法 ^[45]	50.56	1:21.22	0.60	31.97	50.52%	$V_{\text{超声}}=100\text{ Hz}$
5	水浴回流法 ^[46]	60	1:39	1.00	80	5.50 mg/g	种子
6	乙醇浸提法 ^[15]	70	1:46.4	1.80	63	4.03 mg/g	种子
7	超声辅助法 ^[15]	—	1:12	0.80	—	1.02 mg/g	茎, $P_{\text{超声}}=400\text{ W}$

3.3 叶黄素 仇燕等^[46]采用超声波提取菜芙蓉干花中叶黄素,摸索出最佳工艺参数,得率为 43.25 mg/kg。

3.4 生物碱 梅洪睿^[15]对金花葵种子中生物碱的最佳提取工艺进行了研究,发现浸提温度影响最大,料液比居中,乙酸浓度影响最小。

4 生物活性

4.1 抑菌抗炎 涂抹金花葵总黄酮后,二甲苯致小鼠耳廓肿胀明显得到了改善^[4]。采用灌胃或局部涂抹金花葵提

取物,小鼠急性炎症部位水肿程度被有效地降低,说明金花葵具有解热和有效抑制急性炎症发生的作用^[47]。仇燕等^[48]通过滤纸片扩散法发现菜芙蓉总黄酮对细菌有较强的抑制效果,用金黄色葡萄球菌和枯草芽孢杆菌作为指示菌,发现提取物的抑菌活性有热稳定性和紫外光稳定性,抑菌效果与 pH 有关,于酸性条件下较好,pH 6~8 抑菌活性变化最大,pH 8 后抑菌活性微弱。抑菌活性与菜芙蓉花提取物浓度呈正相关,抑制枯草芽孢杆菌和金黄色葡萄球菌的效果较好,而抑

制肠杆菌和蜡状芽孢杆菌效果较差^[49]。

4.2 解热镇痛 用金花葵总黄酮灌胃家兔发热模型后,家兔体温下降明显^[4];吴正平^[6]发现金花葵总黄酮能有效地抑制小鼠扭体反应,镇痛作用明显。

4.3 降血脂、护肝 实验性高脂血症小鼠用金花葵黄酮灌胃 28 d 后,血清 TC、TG 均显著下降、HDL-C 显著升高^[50],高脂血症 SD 大鼠用之后 ox-LDL 水平降低^[5],剂量越大效果越明显^[51]。吴正平^[50]对实验性高脂血症 SD 大鼠灌胃金花葵籽不饱和脂肪酸原液 42 d 后,高剂量组效果显著,血脂调节作用明显,同时患者血清 GPT、GOT 水平降低显著,肝脏切片中脂滴明显减少,体现了金花葵籽不饱和脂肪酸的降血脂、护肝作用。

4.4 免疫调节 杨秀松^[2]通过多个试验,发现金花葵粗黄酮提取物能有效提高正常小鼠的非特异性免疫能力,NK 细胞活力、巨噬细胞吞噬能力及脾淋巴细胞增殖水平等均得到了提高。

4.5 抑制肿瘤 仇燕等^[52]采用 MTT 法发现金花葵总黄酮提取物有效地抑制了 Hela 细胞的生长,呈剂量效应,已排除金丝桃苷,其他单体成分有待于进一步研究证明。朴明淑等^[53]研究发现金花葵提取物对 NaNO₂ 的清除作用从强到弱依次为 V_C、金花葵多糖、葵花叶多糖。

4.6 抗衰老、抗氧化 用金花葵黄酮灌胃老龄大鼠 90 d 后,体内 GSH 水平升高,SOD 活性增强,高剂量组大鼠皮肤中 HYP 水平升高,延缓了皮肤衰老^[54];亚急性衰老模型小鼠用金花葵总黄酮灌胃后 MDA 下降,SOD 和 GSH-Px 升高、活性增强,提高了清除机体氧自由基及代谢能力^[55-56]。仇燕等^[52]研究发现菜芙蓉花乙醇提取物的抗氧化活性高于 V_C,清除·OH、O₂·⁻及 DPPH·的能力与总黄酮含量成正比。金花葵葵花叶提取物抗氧化性良好,对 DPPH·有较强的清除能力^[56]。巫玲丽等^[39]认为金花葵多糖对 DPPH·和·OH 的清除率呈剂量依赖性。金花葵籽硒多糖浓度与清除自由基及抑制小鼠多糖肝匀浆脂质过氧化能力呈正相关,且清除·OH 能力比清除 O₂·⁻的能力强^[40],说明金花葵籽硒多糖有较强的抗氧化活性^[35]。

4.7 美白 酪氨酸酶活性直接影响机体黑色素的合成。酪氨酸酶活性受金花葵黄酮的抑制,总黄酮浓度越大和处理时间越长,抑制作用越明显,证实金花葵有一定的美白功效^[1]。

迟迟未被《中国药典》收载的金花葵,其化学成分多样,多糖类化合物、不饱和脂肪酸和黄酮类物质等含量较高。目前对金花葵的研究集中在总黄酮等化学成分测定及其药理作用等方面,植物学、植物生理学等方面的研究较少,鉴于其广泛的药理作用和巨大潜在应用价值,有必要进一步丰富该植物的研究内容和方法,积累更多的研究资料。

参考文献

[1] 雷波. 金花葵总黄酮抑制酪氨酸酶活性的研究[J]. 宜春学院学报, 2009, 31(4): 101-102.
[2] 杨秀松. 金花葵粗黄酮提取物的免疫调节作用研究[J]. 中国药师, 2013, 16(9): 1307-1311.
[3] 卢丹, 贾瑞波. 中药金花葵的研究进展[J]. 中国药物评价, 2015, 32(2): 90-92.

[4] 张建. 金花葵总黄酮解热抗炎作用的实验研究[J]. 中国医科大学学报, 2011, 40(8): 763-764.
[5] 李芸, 杨秀松, 何计国. 金花葵黄酮对高脂血症大鼠血脂的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(1): 248-251.
[6] 吴正平. 金花葵总黄酮镇痛作用的实验研究[J]. 宜春学院学报, 2009, 31(4): 75-76.
[7] 白云, 朱瑞超, 李晋, 等. 超高效液相色谱法同时测定金花葵中 5 个黄酮类成分含量[J]. 天津中医药, 2018, 35(2): 147-150.
[8] 史刚荣. 金花葵的研究进展[J]. 中国野生植物资源, 2003, 22(6): 5-6, 29.
[9] 李云爽, 靳芳, 杨喜霞, 等. 电子束辐照对金花葵花粉萌发率的影响[J]. 中国农业科技导报, 2011, 13(3): 97-101.
[10] 袁伯英. 药食兼用花卉——菜芙蓉[J]. 现代农业研究, 2008(1): 23.
[11] 孙林华, 杜建梅, 孙晴, 等. 金花葵种子萌发特性及萌发期抗胁迫能力分析[J]. 种子, 2014, 33(11): 5-9.
[12] 刘惠芬, 李学慧, 孟月霞. 金花葵丰产栽培技术[J]. 现代农村科技, 2016(11): 19.
[13] 吴名全. 金花葵在南方的引种表现[J]. 现代园艺, 2008(12): 7.
[14] 今科. “生命救心草”: 株株山间立, 迎风撒健康—珍稀植物金花葵药用价值得显现[J]. 今日科苑, 2008(5): 85-86.
[15] 梅洪睿. 金花葵中提取物生物活性物质的研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2009: 23-47, 55.
[16] 兰蓉, 李淳, 刘卉, 等. 金花葵总黄酮的提取和含量测定[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(12): 280-282.
[17] 马楠, 郑鑫, 杨虹, 等. 金花葵根部化学成分研究[J]. 沈阳药科大学学报, 2018, 35(12): 1003-1006, 1015.
[18] 李淳, 胡定煜, 辛秀兰, 等. 原子光谱法测定金花葵花瓣及种子中微量元素[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(4): 152-155.
[19] 曹东怡, 虞泓, 曾文波, 等. 金花葵不同部位化学成分分析[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(22): 90-92, 109.
[20] 张路, 于慧敏, 杜凤沛, 等. 金花葵中总黄酮的分离提取及含量测定[J]. 吉林师范大学学报(自然科学版), 2015, 37(4): 104-108.
[21] 宋琳琳, 黄蓓蓓, 张朝晖. 金花葵中总黄酮的超声波提取工艺[J]. 贵州农业科学, 2016, 44(2): 70-72.
[22] 夏文宽. 菜芙蓉花总黄酮的提取与抗氧化活性研究[D]. 南京: 江苏大学, 2007: 13-37.
[23] 刘琦. 金花葵总黄酮提取、纯化、分离制备及抗氧化性研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2012: 18, 34-54.
[24] 仇燕. 菜芙蓉花中总黄酮的提取及含量测定[J]. 河北师范大学学报(自然科学版), 2006, 30(6): 713-715.
[25] 吴名全, 雷波. 金花葵中总黄酮的提取纯化及含量测定[J]. 农技服务, 2009, 26(10): 127, 138.
[26] 陈亮, 辛秀兰, 苏东海, 等. 金花葵总黄酮的精制工艺研究[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(8): 339-343.
[27] 易剑峰. HPLC 法测定金花葵中金丝桃苷的含量[J]. 宜春学院学报(自然科学), 2007, 29(4): 72, 97.
[28] 邱金玲, 刘朋, 熊维政, 等. 金花葵中金丝桃苷的含量测定[J]. 中医学报, 2015, 30(12): 1793-1795.
[29] 彭志兵, 吴正平. 高效液相色谱-质谱法分析金花葵中金丝桃苷[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(23): 10028-10029.
[30] 李淳, 胡定煜, 李双石, 等. 金花葵籽油中不饱和脂肪酸的 GC-MS 测定[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(5): 121-123.
[31] 吴晓宗, 郝莉花, 赵光远, 等. 响应面法优化超临界 CO₂ 萃取金花葵籽油工艺[J]. 中国油脂, 2017, 40(7): 15-18.
[32] 王刚, 姚佳. 金花葵挥发油的气质联用成分分析[J]. 中国实验方剂学杂志, 2010, 16(6): 116-118.
[33] 刘临. 原子吸收光谱法测定金花葵中微量元素[J]. 微量元素与健康研究, 2008, 25(4): 27-29.
[34] 郭小慧, 卑占宇. 微波消解——火焰原子吸收光谱法测定金花葵中的微量元素[J]. 中国当代医药, 2014, 21(13): 9-10, 13.
[35] 刘剑. 金花葵富硒及硒多糖的研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2008: 1-25.
[36] 金花葵浑身上下都是宝[J]. 农产品市场周刊, 2014(27): 15.
[37] 黄杰涛, 张莲姬. 响应面法优化金花葵多糖提取工艺[J]. 食品工业科技, 2016, 37(9): 216-220.
[38] 程丽敏, 董爽, 梁文明, 杨莉莉, 陈野. 金花葵茎可溶性糖的提取及抗氧化性研究[J]. 2016, 37(22): 59-23.
[39] 巫玲丽, 穆祯强, 张利. 金花葵多糖提取的工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 南方农业学报, 2017, 48(1): 109-113.

定单一的统一施药技术规范,要针对特定作物,特定作物的生长形态制定其喷药技术规范,可以对粮食类作物或经济作物进行相应的研究,根据其研究情况为大型喷雾器械设计提供参考。

(3)不同的作物叶面有不同的特性,其静电吸附性又与作物叶片的特性有关,可以研究特定作物叶片的特性与静电吸附性的关系。

参考文献

[1] 何雄奎,曾爱军,何娟. 果园喷雾机风速对雾滴的沉积分布影响研究[J]. 农业工程学报,2002,18(4):75-77.

[2] 何雄奎,严苟荣,储金字,等. 果园自动对靶静电喷雾机设计与试验研究[J]. 农业工程学报,2003,19(6):78-80.

[3] 何雄奎. 改变我国植保机械和施药技术严重落后的现状[J]. 农业工程学报,2004,20(1):13-15.

[4] 沈从举,贾首星,汤智辉,等. 农药静电喷雾研究现状与应用前景[J]. 农机化研究,2010,32(4):10-13.

[5] 范小博,邓巍,吴桂芳. 飘移控制喷雾施药技术研究进展[J]. 农机化研究,2016,38(6):1-9.

[6] 朱和平,冼福生,高良润. 静电喷雾技术的理论与应用研究综述[J]. 农业机械学报,1989(2):53-59.

[7] 董祥,杨学军,严苟荣,等. 气流辅助防飘移流场三维数值模拟[J]. 农机化研究,2012,34(9):44-48.

[8] 蔡道基. 农药环境毒理学研究[M]. 北京:中国环境科学出版社,1999.

[9] JOSHI B N,YOON H,YOON S S. Strucral, optical and electrical properties of tin oxide thin films by electrostatic spay deposition[J]. Journal of electrostatics,2013,71:48-52.

[10] 果红忠. 静电喷雾变量控制系统雾化效果的研究[D]. 重庆:西南大学,2013.

[11] 张丽丽. 静电喷雾的理论分析与应用研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2011.

[12] 傅泽町,祁力钧,王秀. 农药喷施技术的优化[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2002.

[13] 李春杰. 静电喷雾装置改装设计与试验研究[D]. 郑州:河南农业大学,2006.

[14] 余扬. 超低量静电喷雾机具的充电效果研究[J]. 云南农业大学学报,1995,10(3):202-206.

[15] INCULET I,FISCHER J K. Electrostatic aerial spraying[J]. IEEE Transactions on Industry Applications,1989,25(3):558-562.

[16] 闻建龙,王军锋,陈松山,等. 荷电改善喷雾均匀性的实验研究[J]. 排灌机械,2000,18(5):45-47.

[17] 王保华. 组合充电液力式静电喷雾装置设计与试验研究[D]. 郑州:河南农业大学,2005.

[18] 刘同光. 助静电喷雾器和气助静电喷雾[J]. 农药译丛,1995(3):59-62.

[19] 陈志刚,于成程,杜彦生,等. 风速、喷雾压力和静电电压对雾滴沉积性

的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(23):97-101.

[20] MASKI D,DURAIRAJ D. Effects of electrode voltage,liquid flow rate,and liquid properties on spray chargeability of an air-assisted electrostatic-induction spray-charging system[J]. Journal of electrostatics,2010,68(2):152-158.

[21] 袁湘月,储金字,吴春笃. 静电喷雾技术中高压电源及应用[J]. 高电压技术,2004,30(8):45-46,67.

[22] 贾卫东,申彬,周慧涛,等. 不同侧风和风幕风速对风幕式喷杆喷雾飘移的影响[J]. 农机化研究,2018,40(7):62-67.

[23] SPLINTER W E. Electrostatic charging of agricultural sprays[J]. Transactions of ASAE,1968,11(4):491-495.

[24] LAW S E,BOWEN H D. Charging liquid spray by electrostatic induction[J]. Transaction of ASAE,1966,9(4):501-506.

[25] LAW S E,COOPER S E. Depositional characteristics of charged and uncharged droplets applied by an orchard air carrier sprayer[J]. Transactions of the ASAE,1988,31(4):984-989.

[26] LAW S E. Electrostatic pesticide spraying: Concepts and practice[J]. IEEE Transactions on Industry Applications,1983,19(2):160-168.

[27] LAW S E. Agricultural electrostatic spray application: A review of significant research and development during the 20th century[J]. Journal of electrostatics,2001,51/52:25-42.

[28] Electrostatic spraying systems, Inc. HEMIS_CE_GPS Crescent OEM technical Reference[S]. Electrostatic spraying systems, Inc,2002.

[29] 刘兴华,刘雪美,苑进,等. 植保静电喷雾技术发展现状与前景[J]. 农机化研究,2019(2):8-14.

[30] 于水,李理光,胡宗杰,等. 静电喷雾液滴破碎的理论边界条件研究[J]. 内燃机学报,2005,23(3):239-243.

[31] 王潇楠,何雄奎,HERBST A,等. 喷杆式喷雾机雾滴飘移测试系统研制及性能试验[J]. 农业工程学报,2014,30(18):55-62.

[32] 李龙龙,何雄奎,宋坚利,等. 基于变量喷雾的果园自动仿形喷雾机的设计与试验[J]. 农业工程学报,2017,33(1):70-76.

[33] PASCUZZI S,CERRUTO E. Spray deposition in “tendone” vineyards when using a pneumatic electrostatic sprayer[J]. Crop Prot,2015,68(2):1-11.

[34] 丁素明,傅锡敏,薛新宇,等. 低矮果园自走式风送喷雾机研制与试验[J]. 农业工程学报,2013,29(15):18-25.

[35] 高雄,王安亭,刘玉洲,等. 静电电压对喷雾沉降特性的试验研究[J]. 农机化研究,2012,34(9):180-182,186.

[36] MASKI D,DURAIRAJ D. Effects of charging voltage,application speed, target height,and orientation upon charged spray deposition on leaf abaxial and adaxial surfaces[J]. Crop protection,2010,29(2):134-141.

[37] 周良富,张玲,丁为民,等. 风送静电喷雾覆盖率响应面模型与影响因素分析[J]. 农业工程学报,2015,31(S2):52-59.

[38] 茹煜,金兰,周宏平,等. 雾滴荷电特性对其沉积分布及黏附靶标的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2014,38(3):129-133.

[39] 杨洲,牛萌萌,李君,等. 不同侧风和静电电压对静电喷雾飘移的影响[J]. 农业工程学报,2015,31(24):39-45.

[40] 赵玉清,张永华,宁旺云,等. 云南省烟草田间生产机械化发展现状与对策[J]. 湖南农业科学,2014(15):73-76.

(上接第7页)

[40] 陈冯钱,黄杰涛,郑婷婷,等. 微波辅助提取金花葵多糖工艺及体外抗氧化性研究[J]. 食品研究与开发,2017,38(19):47-51.

[41] 刘剑,罗仓学,伍贤密,等. 响应面法优化金花葵籽多糖提取工艺研究[J]. 食品研究与开发,2018,39(1):25-29.

[42] 宋秋华,张磊,梁飞,等. 黄酮类化合物提取和纯化工艺研究进展[J]. 陕西化工,2007,27(4):24-27.

[43] 杨秀松. 金花葵粗黄酮的提取工艺研究[J]. 化学工程师,2011(10):31-35.

[44] 申利英,高玉红,任立伟,等. 响应曲面法优化金花葵总黄酮超声提取工艺[J]. 煤炭与化工,2017,40(9):24-31.

[45] 王璐珊,吴士龙,王淼,等. 响应曲面法优化金花葵种子中黄酮的提取工艺[J]. 中国现代中药,2016,18(7):907-912.

[46] 仇燕,崔雷飞,李振侠. 超声波提取菜芙蓉花中叶黄素的研究[J]. 河北科技大学学报,2008,29(1):11-14.

[47] 付向晶,冯雪建,何杨,等. 金花葵分复对小鼠急性炎症的抑制作用研究[J]. 动物医学进展,2018,39(3):63-66.

[48] 仇燕,王明珠,赵紫华. 菜芙蓉总黄酮提取物抑菌作用及其稳定性研究[J]. 北方园艺,2016(8):150-153.

[49] 王明珠. 菜芙蓉花总黄酮的提取分离及活性研究[D]. 石家庄:河北科技大学,2015:49-53.

[50] 吴正平. 金花葵籽不饱和脂肪酸对实验性高脂血症大鼠血脂和肝功能的影响[J]. 中成药,2011,33(7):1245-1247.

[51] 雷波. 金花葵总黄酮对小鼠血脂影响的实验研究[J]. 宜春学院学报,2010,32(12):95-95.

[52] 仇燕,宋建军,王少杰. 菜芙蓉花乙醇提取物抗氧化性及抑制 Hela 细胞生长的研究[J]. 食品科学,2011,32(19):209-213.

[53] 朴明淑,李美兰,葛冰洁,等. 金花葵和葵花叶提取物的亚硝酸盐清除能力的初步研究[J]. 中小企业管理与科技,2017(9):191-192.

[54] 雷波,刘长征. 金花葵总黄酮对老龄大鼠皮肤中 HYP、GSH 及 SOD 的影响[J]. 中国皮肤性病学杂志,2011,25(2):110-111.

[55] 吴正平. 金花葵总黄酮对衰老模型小鼠抗氧化和免疫功能的影响[J]. 中国老年学杂志,2011,31(10):1800-1802.

[56] 李一婷,林书缘,葛冰洁,等. 金花葵和葵花叶提取物的体外抗氧化性的初步研究[J]. 中小企业管理与科技,2017(8):189-190.