

静电喷雾在农药植保领域的应用与现状分析

张少杰¹, 孙轩¹, 高胜松¹, 朱法亮², 谢永辉², 王志江^{2*}, 艾宇¹, 张天顺¹

(1. 云南农业大学机电工程学院, 云南昆明 650201; 2. 云南省烟草公司昆明市公司, 云南昆明 650051)

摘要 首先从静电喷雾的静电产生、雾滴雾化以及雾滴吸附等基础理论出发, 论述了雾滴雾化性能评价指标和方法, 并概括性对比分析了3种不同静电充电方式及各自的优缺点, 得出在相同情况下感应式充电效果更佳的一般性结论; 其次, 通过对国内外大型喷雾器械的应用与现状的论述, 为我国静电喷雾机械设备的研发和发展明确了方向; 最后论述了静电电压、喷雾液压、喷雾速度和环境风速这4个关键因素对静电喷雾雾滴沉积分布的影响, 并提出静电喷雾技术在烟草农药施药上的应用研究展望与建议。

关键词 静电喷雾; 静电理论; 雾滴电荷; 沉积分布; 喷雾机械

中图分类号 S126 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)17-0015-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.17.005

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Application and Status Quo of Electrostatic Spray in Pesticide Plant Protection

ZHANG Shao-jie, SUN Xuan, GAO Sheng-song et al (Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201)

Abstract Firstly, based on the basic theory of electrostatic spray, atomization and droplet adsorption, the evaluation indexes and methods of fog atomization performance were discussed. Three different electrostatic charging methods and their respective advantages disadvantages were summarized and analyzed. The general conclusion that the inductive charging effect is better under the same conditions was obtained; secondly, through the discussion of the application and status quo of large-scale spray instruments at home and abroad, the direction of the research and development of electrostatic spray machinery in China was clear; the effects of electrostatic voltage, spray hydraulic pressure, spray velocity and ambient wind speed on the distribution of electrostatic spray droplets were discussed. The application prospects and recommendations of electrostatic spray technology on tobacco pesticide application were proposed.

Key words Electrostatic spray; Electrostatic theory; Droplet charge; Deposition distribution; Spray machinery

随着人们对生态环境、食品健康安全的意识越来越高。而目前植保依然以化学农药防治为主, 由于国内植保施药技术及机具的相对落后, 喷施农药的有效利用率只有 20%~30%, 远低于发达国家的 60%~70%^[1], 所以造成农药的过量和不科学使用, 导致有大量的农药残留, 造成农产品、土壤、水体等污染, 受污染的耕地面积已经超过 1 300~1 600 hm²^[2-3]。严重影响农产品的质量, 危害人的健康, 威胁 21 世纪现代农业的可持续发展^[4-5]。

雾滴可以吸附在作物的正反面, 提高雾滴的附着率。同时使雾滴粒径更小, 提高雾滴的穿透能力, 获得微小均匀的雾滴, 降低施药成本, 减少农药残留、雾滴飘移与环境污染, 提高农产品的质量^[6]。国家在“十三五”规划中提出全国农药用量逐年减少的目标, 达到农药减药增效的效果^[7]。基于静电喷雾等优点静电喷雾一直是国内外学者研究的热点课题。

1 静电喷雾理论概述

1.1 静电吸附理论 静电喷雾技术是将高压静电与液体连接, 在喷头处喷雾的雾滴与作物靶标形成静电场, 液滴雾化后雾滴被充上电荷形成荷电雾滴群, 在静电感应下作物靶标生成异种电荷, 产生库仑力^[8-9], 然后在静电场力、重力、粘滞力和雾滴的表面张力共同作用下做定向运动^[10]。静电喷雾原理如图 1 所示。

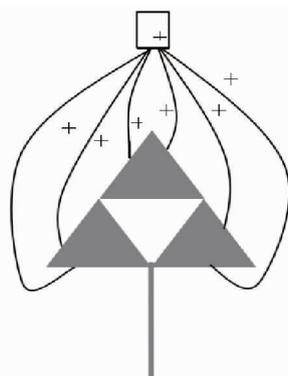


图 1 静电喷雾原理

Fig. 1 Principle of electrostatic spray

静电喷雾中带电荷雾滴形成的电力线具有穿透性, 雾滴具有吸附性, 所以雾滴不仅可以沉积于靶标作物的表面, 还可以穿入靶标作物的内部, 沉积到靶标作物叶片的背面和隐蔽部位。与传统喷雾方式相比, 因为静电喷雾所产生的雾滴群带同种电荷, 雾滴之间相互排斥分裂形成更小的雾滴, 使雾滴在靶标作物上分布更加均匀^[11]。

1.2 静电机理 在静电喷雾技术中, 充电喷雾以感应充电法、接触式充电法和电晕式充电法为主^[12]。3 种雾滴充电方法各有其特点。

(1) 感应式充电法是在喷杆与喷头之间加设电源, 使喷头与感应电极之间形成电场给雾滴充电的方法, 可以直接作用在普通的喷头上^[13-14]。

Inculet 等^[15]以黄铜为电极材料, 通过感应充电的方法设计了一套针对飞机使用的静电喷雾装置, 解决了航空农药

基金项目 云南省烟草公司科技计划项目(2018530000241010)。

作者简介 张少杰(1992—), 男, 山东烟台人, 硕士研究生, 研究方向: 农业电气化与自动化。* 通信作者, 农艺师, 从事烟草农艺研究。

收稿日期 2019-05-15

喷雾中由于正负充电不均匀导致飞机带电的问题。闻建龙等^[16]采用感应电极设计充电装置,使用普通压力雾化喷头,与非荷电情况进行对比,在感应充电下荷电雾滴在提高喷雾均匀性,细化雾滴粒径等方面有明显效果。

(2)电晕充电法是将喷杆与喷头接地,雾滴接高压正极电源,高压静电发生器在电极处放电,周围形成局部强电场,使雾滴带电。这种充电方式适用于大型农药喷雾机^[17-18]。陈志刚等^[19]采用电晕充电的方法设计多针组合机电极,研究得出电晕电极仅在运输初级阶段对雾滴的运动起主导作用。

(3)接触式充电是将高压静电发生器与液体相连,无感电极环和电极,使液体与大地形成电场,直接对雾化的液滴进行充电,一般作用于小型手持喷雾器。Maski等^[20]采用接触式静电喷雾器以模拟植株法,测定不同速度、荷电电压、流量、喷雾高度、喷雾角度下的沉积分布数值。

1.3 雾滴沉积分布指标 如何提高雾滴沉积性能是静电喷雾的重要研究^[21]。对于雾滴沉积分布特性具有相关的评定参数,包括雾滴粒径(数量中值直径和体积中值直径)、雾滴直径均匀度、雾滴变异系数等。

雾滴数量中值直径(数量中径)是指雾滴直径按照大小升序排列,雾滴数量达到总雾滴的50%时的雾滴直径,用NMD表示。

雾滴体积中值直径(体积中径)是指雾滴直径按照从小到大排列,雾滴体积累计达到总雾滴的50%时的雾滴直径,用VMD表示。计算公式如下:

$$VMD = \sqrt[3]{(\sum D_i^3 N_i) / \sum N_i} \quad (1)$$

雾滴数量中径和体积中径越小,代表其雾化越好,雾滴分布可能越均匀。

雾滴直径均匀度表示雾滴群的离散程度,是评价雾化程度性能的重要指标,为数量中径和体积中径的比值,用DR来表示。公式如下

$$DR = \frac{NMD}{VMD} \quad (2)$$

式中,NMD为雾滴数量中径(μm);VMD为雾滴体积中径(μm)。

均匀度小于0.67表示不均匀,DR越小表示越不均匀。若大于0.67表示比较均匀,DR值越接近于1表示雾滴粒径越均匀。

同时雾滴均匀性也可以用变异系数(CV)指标来表示,变异系数越小表明雾滴分布越均匀,其变异系数公式为

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} \times 100\% \quad (3)$$

其中

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (4)$$

式中,S为同组试验数据样本的标准差; X_i 表示采集样本的沉积率; \bar{X} 表示各组试验沉积率的平均值;n表示每组试验采集点的个数。

静电喷雾产生的细小雾滴具有漂移的特性,而如何去评价雾滴的飘移性能可以根据雾滴漂移质量中心距D和雾滴飘失率 β ,其公式如下:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n V_i d_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (5)$$

式中,D为雾滴漂移中心距;i为编号;n为总个数;V为体积;d为距离(mm)。中心距D越小,代表飘移的距离越小,在喷头附近雾滴的沉积量越大,漂移越少。

β 为雾滴的飘失率, β 越小表明雾滴作用在作物附近的雾滴越多,其雾滴的抗飘失能力越强^[22]。

$$\beta = \frac{M - \sum_{i=1}^{z=k} m_i}{M} \times 100\% \quad (6)$$

式中, β 为雾滴飘失率(%);k为最大的收集雾滴槽;M为雾滴的实际喷雾量。

2 国内外发展概况

2.1 国外发展概况 国外学者在静电喷雾方面的研究较早,20世纪40年代美国学者应用静电技术对农药粉剂进行了试验研究,证明了在静电场的作用下粉剂农药的附着率明显提高^[23]。随之英国、加拿大等国家对液体农药进行了静电喷雾的研究,表明:静电喷雾显著提高了雾滴在作物正反面的覆盖率,减少了农药的飘移^[15]。

1966年美国学者Law等^[24-27]研制了静电喷雾系统并应用在棉花植株上,并提出在静电喷雾的基础上加上送风系统有助于提高雾滴的附着率和在植株上的穿透率。大量试验研究表明,在相同情况下,静电喷雾喷雾量增加55%,雾滴粒径在30~50 μm ,作用于作物上的荷质比在2mc/kg的情况下雾滴的沉积效果较好。美国乔治亚大学专家研制的气助式静电喷雾系统有美国ESS公司生产投入市场应用,相比常规施药节约农药50%以上^[28]。该公司生产的气助式静电喷雾机如图2所示。



图2 气助式静电喷雾机

Fig. 2 Gas-assisted electrostatic sprayer

2010年印度学者Maski等^[20]在不同的喷药速度、作物

高度和喷药方向研究雾滴在作物叶片正反面的沉积效果以及变化规律,研究表明:工作参数和作物的形状对雾滴的沉积效果影响显著。

2.2 国内发展概况 我国在静电喷雾方面的研究比较晚,大约在 20 世纪 70 年代开始研究^[29]。从静电的荷质比和雾滴的沉积分布,如何减少雾滴的漂移,增加雾滴的覆盖率,研制相关的大型喷雾机械等方面展开研究。

于水等^[30]运用静电喷雾对液滴的二次雾化的机理进行了建模分析,得到了荷电液滴雾化破裂的理论边界条件,量化临界荷质比与雾滴粒径的关系。研究得到使得雾滴荷电临界荷质比至少要达到 10^{-5} C/g 数量级,要想雾滴发生荷电雾化必须提高其荷电能力。静电力减少了雾滴的表面张力,减少了雾化阻力,同时增大雾滴的运动速度可以增加雾滴的荷电雾化能力。王潇楠等^[31]研究一套喷雾机的漂移测试系统,并对喷头类型与压力对漂移的影响进行了研究,对漂移性能进行了对比试验,研究表明:压力对雾滴的漂移潜力影响显著,漂移潜力随着喷雾压力的增大而增大,并说明小雾滴比大雾滴等容易发生漂移,其小于 $100\ \mu\text{m}$ 的雾滴更容易漂移。

2.3 喷雾器械研究 在大型的喷雾机方面我国已经拥有了长足的研究。中国农业大学李龙龙等^[32]研发设计了一套变风量与变喷雾量的自动精准的喷雾机,采用高精度的激光传感器检测植株作物,自动实现对作物的扫描和对作物冠层的分割模型设计,通过 PWM 信号实时调节风速大小控制电机实现喷头流量的变化。可以根据作物的生长形态实行变量的喷药。样机如下图 3、4 所示。



图 3 基于 PWM 信号自动变量喷药作业样机

Fig. 3 Automatic variable spraying operation prototype based on PWM signal

美国公司 ESS 在喷雾机的基础上加上静电喷头研发的大型静电喷雾机,适用于大型的果园,通过风机产生的高速气流,将雾滴运输到果树的冠层中,同时静电雾滴可以更好的吸附在叶片的反面,增加雾滴的覆盖率^[33]。ESS 公司与 MARTIGNANI 公司生产的静电喷雾机如图 4 所示。



图 4 果园静电喷雾机

Fig. 4 Orchard electrostatic sprayer

农业部南京农机化研究所研制低矮果树自走式风送喷雾机,针对于果园行距较少,果树低矮状况,利用轴流风机扩大了雾滴的施药面积,很好地将雾滴输送到果树的内部与叶片的反面。通过试验证明,风机转速与树冠内外枝叶片上的雾滴密度与覆盖率呈正相关关系。风机转速在 $1\ 400\ \text{r/min}$ 时风量为 $2.7\ \text{m}^3/\text{s}$,树冠内部叶片正面的平均覆盖率达 58.76% ,反面的平均覆盖率达 19.65% ;树冠外部叶片正面有 69.35% 的覆盖率,沉积密度 $105\ \text{个}/\text{cm}^2$ 反面覆盖率 32.66% 的覆盖率,沉积密度 $96\ \text{个}/\text{cm}^2$ 达到病虫害防治雾滴密度要求^[34]。试验样机如图 5 所示。



图 5 自走式风送喷雾试验样机

Fig. 5 Self-propelled air spray test prototype

目前我国大型喷雾机研究较为广泛,但未形成完整的产业链,并未大范围的推广使用,相对于发达国家建患有一定的差距,而随着近年来国家对土地三权分置政策的实施,未来土地将呈现大小农场的形式,对于大型喷雾机的应用将越来越广泛,对于商品化生产将起到良好的促进作用。

3 影响因素研究

除了对大型喷雾器械的研究,喷雾设备的具体的施药参数对雾滴沉积分布具有极其显著的影响。相关领域学者进行了大量的试验对比,研究总结其影响因素主要有静电喷雾的静电电压、环境的风速大小、距离作物的喷药高度、器械的喷雾速度和喷雾压力,在不同风速方向也影响着雾滴在作物上的沉积分布。

3.1 静电电压影响 雾滴的静电电压直接决定这雾滴的静电吸附力。高雄等^[35]研究静电电压对雾滴沉积特性的影响,结论证明静电明显减小了雾滴的平均粒径。当静电电压由0~4 kV的情况下,雾滴平均粒径变小,沉积雾滴数增加,沉积分布状态得到明显改善。

Maski等^[36]研究施药速度与静电电压对雾滴沉积分布的影响,研究证明:在低速喷雾时雾滴在叶片背面的沉积量与电压呈正相关关系。而在高速喷雾时,雾滴叶背面的沉积量与充电电压呈负相关关系。周良富等^[37]研究在感应电压、风机频率、喷雾距离和喷雾压力等四因素三水平对雾滴沉积分布的影响,研究表明,对雾滴反面吸附性影响程度从大到小依次为充电电压、喷雾距离、喷雾压力、风机平率。

茹煜等^[38]研究荷电电压对雾滴沉积特性与作物附着性的影响,对比静电与非静电的雾滴沉积分布特性和叶片附着率。得出结论,雾滴荷电增加雾滴的运动速度与作物的定向移动,因为同种电荷相互排斥,所以静电电荷增加叶片正面与反面的雾滴密度,静电电荷减少雾滴的表面张力,提高了雾滴的附着率。

3.2 压力、风速的影响 陈志刚等^[19]研究不同风速、喷雾压力和静电电压对雾滴沉积分布的影响,其对沉积分布的影响因素由强到弱依次为静电电压、喷雾压力和风速。随着电压的升高雾滴荷质比随之增大,在3~4 kV增幅最大,在6 kV达到最大,且雾滴的正反面的沉积率达到最大,分别是37.86%和7.15%。升高雾滴的变异系数减少均匀度有了明显的提高。在无风条件下选取不同的喷雾压力研究,发现随着喷雾压力的增大雾滴的沉积率随之增大,在6 kV的电压和0.4 MPa的压力下最大沉积率为40.17%,但是随着风速的增大雾滴的沉积率反而减少,变异系数增大。

杨洲等^[39]研究在1、2、4 m/s侧风下静电电压对雾滴飘移的影响。随着静电电压增大雾滴粒径变小,侧风速增大,雾滴的飘移中心距增大飘失率增大,在2 m/s的恒风速和0~4 s的自然风对比对雾滴的飘失率无明显差异。

以上研究说明压力与风速在不同程度上影响雾滴的沉积分布,风速是影响雾滴漂移的主要因素。

4 静电喷雾在烟草的应用

2012年,南方烟区种植面积占全国总收购量的87%。在南方烟区又以云南的产量最大,约占全国总量的46%,近几年河南山东等地烟草种植面积的减少,以云南四川贵州等地占比越来越大^[40]。目前我国烟农还是以小区域作业,烟草植保喷雾器械仍以手持式小型喷雾器械为主,这就意味着存在农药大量浪费,雾滴漂移严重,危害土壤环境的问题,随着静电喷雾技术的发展现在逐步以电动静电喷雾器替代原有的手动喷雾器。静电喷雾器产生的雾滴粒径更小,且在静电力的作用下雾滴带电可以自动吸附在烟草作物上,提高农药的利用率。但作为烟草指定作物,喷雾特定的时间要求,在烟苗移栽时必须喷一次农药,在烟草40 cm的高度必须喷一次药,在烟草打顶喷一次药,时间不同,对应的烟草的生长状态不同。为了达到节约农药,保护环境的效果,根据特定的

作物形态,采取不同的喷药作业参数。

由于云南地势高低不平,难以使用大型的喷雾器械,所以目前还是以静电喷雾器喷药为主。农户还是采用农药水洗的方式进行喷药,在烟草的不同生长姿态下没有正确的喷药技术指导,在云南省烟草科技项目的支持下,采用卡纸法,运用图像处理技术展开针对静背负式静电喷雾器对烟草的正确喷药技术参数的研究。研究烟草移栽40 cm左右的第二次喷药,在不同的喷雾高度、喷雾压力、行走速度、环境风速、风速方向下,雾滴的沉积分布状况,从而选取出最佳的施药参数。试验过程如图6所示。



图6 烟草施药参数选择试验过程

Fig. 6 Experimental procedure of tobacco application parameter selection

根据水敏纸上雾滴的分布情况可以发现在不同的作业参数下,对叶片正面与反面的雾滴沉积情况有显著影响。烟草叶片顶端叶面少,中下段叶面面积大,接下来将具体研究影响的程度和最佳的施药参数。雾滴效果展示如图7所示。

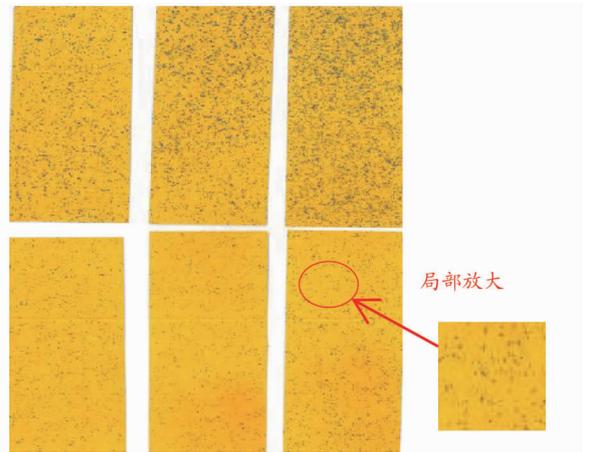


图7 雾滴效果展示

Fig. 7 Fog drop effect display

5 研究展望与建议

(1)我国的静电喷雾研究不少,但针对大型静电喷雾器械的研究较少,且并没有实现大面积的商用。未来土地集中,对大型喷雾器械的应用越来越广泛,可以着重研究。

(2)作物在不同的生长期有不同的作物形态,并不能制

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,储金宇,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. Structural, optical and electrical properties of tin oxide thin films by electrostatic spray 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] 傅泽汀,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,储金宇,吴春笃. 静电喷雾技术中高压电源及应用[J]. 高压电技术,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. 金花葵总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,崔雪飞,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血脂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.