

## 2 款植保无人机的作业质量技术指标对比——以雪茄烟叶施药为例

邹宇航<sup>1</sup>, 王俊<sup>1</sup>, 钟秋<sup>1</sup>, 董建国<sup>1</sup>, 杨军<sup>1</sup>, 陈勇<sup>1</sup>, 雷云康<sup>1</sup>, 向欢<sup>1</sup>, 张华述<sup>1</sup>, 李诚然<sup>1</sup>, 朱小波<sup>2\*</sup>

(1. 四川省烟草公司德阳市公司烟叶生产经营管理中心, 四川什邡 618400; 2. 中国民用航空总局第二研究所, 四川成都 610041)

**摘要** 以雪茄烟叶施药为例, 通过测定 2 款无人机在相同条件下的雾滴覆盖密度、雾滴分布均匀度、雾滴粒径、雾滴谱宽度、喷雾沉积量、沉积量分布均匀度、有效喷幅宽度等技术指标, 评估了 2 款无人机在雪茄烟叶施药中的作业质量。结果表明, 2 款无人机的作业质量技术指标符合作业要求, 对雪茄烟植株均具有较好的穿透性, 但在植株反面的沉积效果较差。不同型号的无人机具有不同的沉积效果及有效喷幅宽度。该试验结果为筛选适用于雪茄烟精准施药的无人机型号提供了参考, 同时也为无人机作业性能优化、作业效率提升提供了技术依据。

**关键词** 植保无人机; 作业质量; 技术指标; 烟草

中图分类号 S252 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)05-0174-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.05.044



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Comparison of Operational Quality Technical Indices between Two Types of Unmanned Aerial Vehicle for Plant Protection—Taking the Medication for Cigar Tobacco Leaves as an Example

ZOU Yu-hang, WANG Jun, ZHONG Qiu et al (Tobacco Leaf Production and Operation Management Center of Deyang Company, Sichuan Tobacco Company, Shifang, Sichuan 618400)

**Abstract** Taking the medication for cigar tobacco leaves as an example, the droplet's coverage density, droplet's distribution uniformity, droplet's particle size, droplet spectrum width, spray deposition amount, distribution uniformity of deposition amount, effective spray width and other technical indices of two types of unmanned aerial vehicle(UAV) under the same conditions were determined to evaluate the operational quality of the two types of UAVs in the medication of cigar tobacco leaves. The results showed that the operational quality and technical indices of the two types of UAVs met the operational requirements. They both had good penetrability on cigar tobacco plants, but the deposition effect on the opposite side of tobacco plants was poor. Different types of UAVs had different deposition effects and effective spray width. The test results provided references for the selection of UAV models for the precise medication of cigar cigarettes, and provided the technical basis for the optimization of the operational performance and the improvement of operational efficiency of UAVs.

**Key words** Unmanned aerial vehicle for plant protection; Operational quality; Technical indices; Tobacco

植保无人机是近年来快速发展的一类空中施药器械, 与地面施药器械相比, 具有机动灵活、施药效率高、作业质量好、施药量和用水量少、不损伤农作物等优点。截至 2019 年底, 我国共有农用植保无人机型号 170 多个, 保有量 5.5 万余架, 2019 年作业面积超过 0.567 亿  $\text{hm}^2$ , 防治作物包括水稻、小麦、玉米、棉花等<sup>[1]</sup>, 为我国农业现代化和规模化发展发挥了重要作用。然而, 由于无人机生产厂家多、种类型号多, 作业性能、作业质量和应用环境等存在较大差异, 有必要在针对某种农作物开展作业飞行前, 对不同无人机的性能质量和适用性进行评估, 以筛选出符合性最好的农用植保无人机。

雪茄烟种植的规模化和集约化程度较高, 并且由于雪茄烟生长后期烟株较高、密度较大, 不太适合地面机械进入或进行人工施药, 因此植保无人机为雪茄烟施药提供了一种新的解决方案。在无人机施药质量研究方面, 杨知伦等<sup>[2]</sup>研究了植保无人机旋翼下洗气流对喷幅的影响, 结果发现无人机产生的下洗气流, 有利于增强雾滴沉降、减少雾滴飘移, 同时可以使植株叶片翻动, 进而使雾滴沉积到叶片背面, 增强雾滴在植株中的穿透性; 裴洲洋等<sup>[3]</sup>对植保无人机防治烟蚜进

行了研究, 结果表明无人机作业均匀性好, 穿透性优于人工作业, 喷洒效率是人工施药的 31 倍, 防治效果比电动喷雾器提高了 7.0 百分点; 周龙等<sup>[4]</sup>以平昌县烟田植保无人机飞防为例, 探讨了植保无人机的选用、组织模式、取得的成效及存在的问题, 并对植保无人机在烟田的大面积应用提出了建议。然而, 相关研究仅对植保无人机在烟草上的应用进行了一般性探讨, 并未对无人机的作业质量进行系统性研究, 同时也缺乏对不同无人机施药质量的对比分析。笔者以雪茄烟叶施药为例, 依据我国相关技术标准<sup>[5-6]</sup>, 将雾滴覆盖密度、雾滴分布均匀度、雾滴粒径、雾滴谱宽度、喷雾沉积量、沉积量分布均匀度、有效喷幅宽度作为评价植保无人机在雪茄烟叶施药中的作业质量指标, 通过测定 2 款无人机在相同条件下的作业质量技术指标, 评估无人机在雪茄烟叶施药中的作业质量, 旨在为筛选适用于雪茄烟叶精准施药的无人机型号提供参考, 同时也为无人机作业参数设置、作业性能优化提供技术依据。

#### 1 材料与方法

**1.1 试验设备与材料** 1 号四旋翼植保无人机、2 号八旋翼植保无人机、农业环境监测仪(浙江托普云农科技股份有限公司)、水敏纸(先正达生物科技有限公司)、航空喷雾质量现场检测系统(中国民用航空局第二研究所)、支撑架、皮尺等。

**1.2 试验条件** 试验地点为四川省什邡市, 试验开展时雪茄烟叶处于旺长期, 平均株高 80 cm; 作业区平均气温 31.4  $^{\circ}\text{C}$ , 相对湿度 48.6%, 风速 1.4 m/s。

**基金项目** 中国烟草总公司四川省公司计划管理类科研项目(DYYC-201901)。

**作者简介** 邹宇航(1984—), 男, 四川什邡人, 助理农艺师, 从事雪茄栽培和调制工作。\*通信作者, 高级工程师, 硕士, 从事农业航空及无人机应用技术研究。

**收稿日期** 2021-07-16

### 1.3 试验方法

**1.3.1 试验区设计。**选择净空条件好、地势平坦、无高大障碍物的区域作为试验区,共设置 2 个试验区。每个试验区长 60 m、宽 20 m,试验区长边相邻,间隔距离 5 m。试验前,对各试验区的长度和宽度进行测量,并用旗帜做好标记,明确各试验区的位置和边界。

**1.3.2 采样线设置。**如图 1 所示,在每个试验区的中间设置 3 条平行的采样线,采样线长度设为 10 m。相邻采样线间

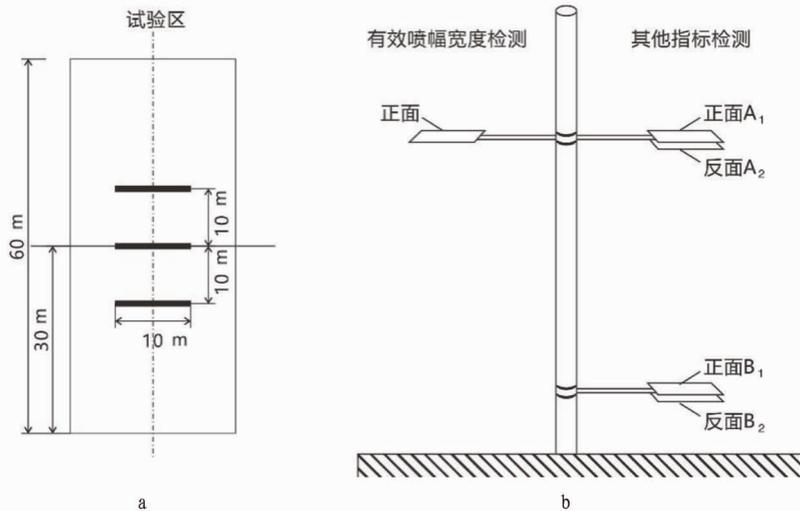


图 1 雾滴采样线与采样点设置示意

Fig. 1 Droplet's sampling line and sampling point's settings

**1.3.3 飞行试验。**2 款无人机均按照全自动方式进行飞行试验,飞行区域分别对应 2 个已设定的试验区。测定雾滴覆盖密度、雾滴分布均匀度、雾滴粒径、雾滴谱宽度、喷雾沉积量、沉积量分布均匀度等指标时,无人机采用往复式飞行方式,飞行速度为 4.0 m/s,飞行高度(无人机喷洒系统距离植株顶部平均距离)为 2.5 m,喷幅宽度为 3.5 m;测定有效喷幅宽度时,无人机采用单程飞行方式,飞行速度为 4.0 m/s,飞行高度为 2.5 m。

**1.3.4 技术指标测定。**飞行试验结束后,利用航空喷雾质量检测装置现场获取水敏纸上的雾滴图像,并利用专业检测软件对雾滴图像进行分析处理。记录每一条采样线上的雾滴覆盖密度、雾滴分布均匀度、雾滴粒径、雾滴谱宽度、喷雾沉积量、沉积量分布均匀度等参数,计算有效喷幅宽度,并用 3 条采样线上的平均值来表示相关技术指标。

## 2 结果与分析

**2.1 雾滴覆盖密度及其分布均匀度** 2 款无人机的雾滴覆盖密度及分布均匀度指标见表 1、图 2~3。从表 1、图 2~3 可以看出,2 款无人机在  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $B_1$ 、 $B_2$  4 个点位均有雾滴沉积,但反面( $A_2$ 、 $B_2$ )的雾滴覆盖密度远小于正面( $A_1$ 、 $B_1$ );从不同部位沉积情况来看,下部正面采样点( $B_1$ )的雾滴覆盖密度要小于上部正面( $A_1$ ),但反面无明显差异;从机型来看,1 号无人机的雾滴覆盖密度要大于 2 号无人机,1 号和 2 号无人机在下部正面( $B_1$ )的雾滴覆盖密度分别为上部正面( $A_1$ )的 69%和 51%,1 号无人机的雾滴分布均匀度(用雾滴覆盖密度

隔 10 m,在同一条采样线上采用间隔采样方式,每隔 0.5 m 设置一个采样点,每条采样线共设置 21 个采样点,每个采样点安装一个支撑架,以放置水敏纸。当测定雾滴覆盖密度、雾滴分布均匀度、雾滴粒径、雾滴谱宽度、喷雾沉积量、沉积量分布均匀度等指标时,在支撑架与植株顶部等高的位置和支撑架底部的正反面各设置 1 张水敏纸(从上往下标记为  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $B_1$ 、 $B_2$ );当测定有效喷幅宽度时,在支撑架与植株顶部等高的正面位置设置 1 张水敏纸。

的变异系数来表示,变异系数越小表示均匀度越好)<sup>[7]</sup>与 2 号无人机相比无明显差异。

表 1 2 款无人机的雾滴覆盖密度及其分布均匀度

Table 1 The droplet coverage density and its distribution uniformity of the two types of UAVs

无人机编号 No. of UAVs	采样点位置 Location of sampling sites	雾滴覆盖密度 Droplet coverage density//个/cm <sup>2</sup>	变异系数 Coefficient of variation//%
1 号 No. 1	$A_1$	47.5±26.4	46.7
	$A_2$	2.4±1.0	44.5
	$B_1$	33.0±19.4	59.3
	$B_2$	3.1±1.9	65.7
2 号 No. 2	$A_1$	31.5±20.6	57.7
	$A_2$	2.8±1.6	57.7
	$B_1$	16.2±7.3	47.5
	$B_2$	1.8±1.2	62.1

**2.2 雾滴粒径及雾滴谱宽度** 2 款无人机的雾滴粒径及雾滴谱宽度指标见表 2。由表 2 可知,2 款无人机在同一点位采样点反面( $A_2$ 、 $B_2$ )的体积中值直径、数量中值直径均小于正面( $A_1$ 、 $B_1$ ),约为正面的 50%~70%。从不同部位沉积情况来看,不管是体积中值直径还是数量中值直径,同一机型上部和下部正面( $A_1$ 、 $B_1$ )相差不大,反面( $A_2$ 、 $B_2$ )也相差不大;从机型来看,1 号无人机在采样点正面的体积中值直径、数量中值直径与 2 号无人机相差不大,采样点反面也相差不大。2 号无人机雾滴粒径分布均匀度(用雾滴谱宽度来表

示,值越小表示均匀度越好)要稍好于1号无人机。

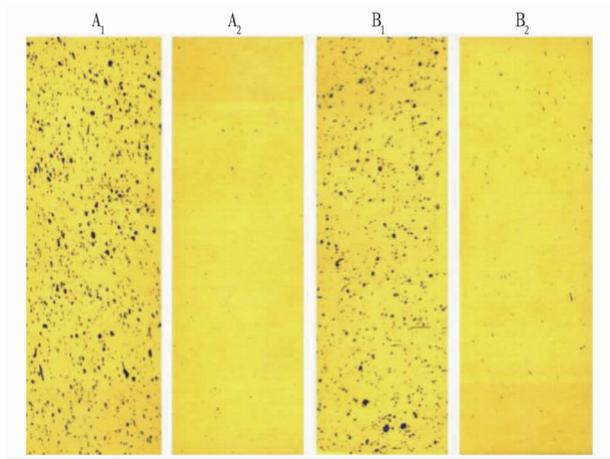


图2 1号无人机在4个点位的雾滴沉积情况

Fig.2 The droplet deposition of UAV No. 1 at four sampling points

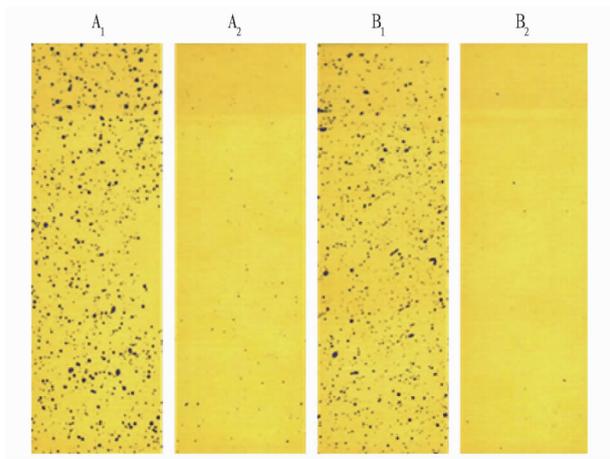


图3 2号无人机在4个点位的雾滴沉积情况

Fig.3 The droplet deposition of UAV No. 2 at four sampling points

表2 2款无人机的雾滴粒径及雾滴谱宽度

Table 2 The droplet's particle size and droplet spectrum width of the two types of UAVs

无人机编号 No. of UAVs	采样点位置 Location of sampling sites	体积中值直径 Median diameter of volume μm	数量中值直径 Median diameter of quantity μm	雾滴谱宽度 Droplet spectrum width
1号 No. 1	A <sub>1</sub>	226	119	1.90
	A <sub>2</sub>	121	70	1.73
	B <sub>1</sub>	216	111	1.95
	B <sub>2</sub>	130	77	1.69
2号 No. 2	A <sub>1</sub>	210	113	1.86
	A <sub>2</sub>	137	82	1.67
	B <sub>1</sub>	201	109	1.84
	B <sub>2</sub>	128	80	1.60

**2.3 喷雾沉积量及其分布均匀度** 2款无人机的喷雾沉积量及其分布均匀度见表3。由表3可知,2款无人机在正面(A<sub>1</sub>、B<sub>1</sub>)的喷雾沉积量均明显大于反面(A<sub>2</sub>、B<sub>2</sub>),反面的沉积量几乎可以忽略不计。从不同部位沉积情况来看,正面采

样点上部(A<sub>1</sub>)的喷雾沉积量要大于下部(B<sub>1</sub>),反面采样点上部(A<sub>2</sub>)的喷雾沉积量与下部(B<sub>2</sub>)大致相当;从机型来看,1号无人机的喷雾沉积量要大于2号无人机,1号和2号无人机在下部正面(B<sub>1</sub>)的喷雾沉积量分别为上部正面(A<sub>1</sub>)的70%和48%。2款无人机的喷雾沉积量分布均匀度(用喷雾沉积量的变异系数来表示,变异系数越小表示均匀度越好)无明显规律。

表3 2款无人机的喷雾沉积量及其分布均匀度

Table 3 The spray deposition amount and its distribution uniformity of the two types of UAVs

无人机编号 No. of UAVs	采样点位置 Location of sampling sites	喷雾沉积量 Spray deposition amount//L/hm <sup>2</sup>	变异系数 Coefficient of variation//%
1号 No. 1	A <sub>1</sub>	10.2±6.5	65.0
1号 No. 1	A <sub>2</sub>	0.1±0.1	112.5
1号 No. 1	B <sub>1</sub>	7.1±5.1	82.3
1号 No. 1	B <sub>2</sub>	0.1±0.1	70.6
2号 No. 2	A <sub>1</sub>	5.8±4.5	81.1
2号 No. 2	A <sub>2</sub>	0.2±0.2	86.1
2号 No. 2	B <sub>1</sub>	2.8±1.4	52.7
2号 No. 2	B <sub>2</sub>	0.1±0.1	95.2

**2.4 有效喷幅宽度** 2款无人机的有效喷幅宽度测量数据见图4~5。从图4~5可以看出,1号无人机的雾滴沉积分布曲线呈梯形,中心点位于无人机飞行路线的正下方,3条采样线的有效喷幅宽度分别为3.5、3.1和2.6 m,平均值为3.1 m;2号无人机的雾滴沉积分布曲线呈三角形,中心点位于无人机飞行路线的左侧,3条采样线的有效喷幅宽度分别为2.8、2.4和1.9 m,平均值为2.4 m。1号无人机的有效喷幅宽度大于2号无人机。

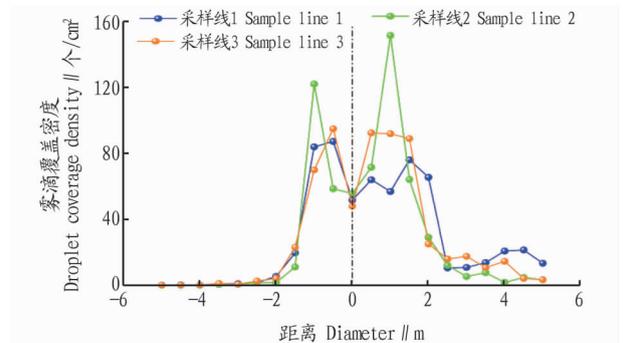


图4 1号无人机的有效喷幅宽度

Fig.4 The effective spray width of UAV No. 1

**3 结论与讨论**

2款无人机的作业质量技术指标总体上符合作业要求。该研究中的无人机属于低容量喷洒作业,参照行业标准《农业航空作业质量技术指标 第1部分:喷洒作业》的技术要求,雾滴覆盖密度不小于20个/cm<sup>2</sup>,雾滴分布均匀度不大于60%,体积中值直径150~300 μm,雾滴谱宽度不大于2.0。该试验结果表明,2种型号的无人机在采样点正面的雾滴覆盖密度、雾滴分布均匀度、雾滴粒径、雾滴谱宽度等技术指标均在技术标准要求的范围以内<sup>[8]</sup>。

不同型号的无人机具有不同的沉积效果及有效喷幅宽

度。1 号无人机与 2 号无人机相比具有更大的雾滴覆盖密度及喷雾沉积量,其中 1 号无人机在上部正面的雾滴覆盖密度是 2 号无人机的 1.5 倍,在下部正面的雾滴覆盖密度是 2 号无人机的 2.0 倍;1 号无人机在上部正面的喷雾沉积量是 2 号无人机的 1.8 倍,在下部正面的喷雾沉积量是 2 号无人机的 2.5 倍,表明 1 号无人机的雾滴沉积效果更好。1 号无人机的有效喷幅宽度是 2 号无人机的 1.3 倍,表明 1 号无人机在作业过程中具有更高的作业效率。在无人机选型的过程中,无人机的沉积效果和有效喷幅宽度是必须要考虑的重要因素<sup>[9-10]</sup>,同等条件下应选择沉积效果更好、有效喷幅宽度偏差不大的无人机。为了优化无人机作业性能或提高作业效率,一方面应对喷嘴、液泵等部件进行调试和校准,另一方面应对飞行高度、喷幅宽度等参数进行调整,以确保作业质量技术指标满足要求。

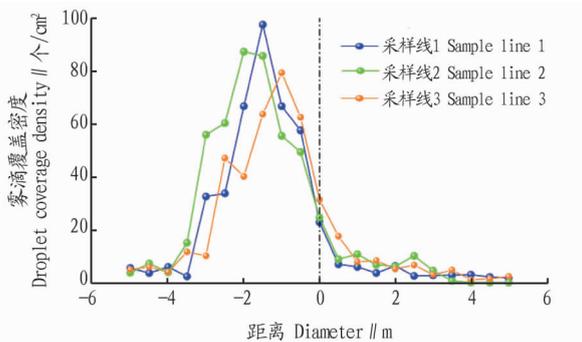


图 5 2 号无人机的有效喷幅宽度

Fig. 5 The effective spray width of UAV No. 2

无人机喷雾对烟草植株具有较好的穿透性,但在植株反面的沉积效果较差。2 款无人机在植株下部正面均获得了较好的雾滴覆盖密度及喷雾沉积量,其中 1 号和 2 号无人机在

(上接第 163 页)

糖基含水量 6.34%。在此条件下,贡糖的最终感官评分预测值为 89.33 分。

考虑到实际生产操作的方便性,将最优参数修正如下:花生粒径 1.6 mm、糖基添加比例为 50%、糖基含水量为 6%。通过进一步试验对这些参数进行验证,验证试验结果表明感官评分为 89.68 分,与预测值的相对误差为 0.39%,表明采用该方法预测贡糖的感官评分具有实际可行性。

### 3 结论

应用 Box-Behnken 响应面试验设计对贡糖的加工参数进行优化,得出最优加工参数为花生粒径 1.6 mm、糖基添加比例为 50%、糖基含水量为 6%。依此参数加工的贡糖在贮藏期间色泽均匀、无明显的油渍渗出及哈败味,口感协调,无异物感,甜度适宜,贡糖贮藏期间的质量稳定性明显提高。

### 参考文献

[1] 周中英,王丽,祝水兰,等. 不同贮藏方式对花生仁品质的影响[J]. 中国农业科技导报,2021,23(2):134-140.  
[2] 王军,王忠合,陈瑞英,等. 烘烤对花生仁抗氧化性、蛋白功能性及油脂氧化稳定性的影响[J]. 食品工业科技,2014,35(9):100-104.

下部正面的雾滴覆盖密度分别为上部正面的 69% 和 51%;1 号和 2 号无人机在下部正面的喷雾沉积量分别达到上部正面的 70% 和 48%,表明无人机旋翼产生的下洗气流能够使植株叶片翻动,提高雾滴在植株中的穿透性。然而,不管是在植株上部还是下部,尽管 2 款无人机喷雾雾滴在采样点反面有少量沉积,但均远小于正面,其雾滴覆盖密度、喷雾沉积量均可以忽略不计,表明无人机喷雾雾滴在植株叶背的附着性还需进一步研究。

除无人机本身的作业性能以外,作业环境、气象条件、作业人员技能等因素均会影响无人机作业质量。在开展飞防作业前,应结合机型性能、作物特点、气象条件等因素进行测试和调整,必要时应结合无人机的防治效果,确定最佳作业技术参数,以确保无人机作业质量技术指标符合要求。

### 参考文献

[1] 中国航空运输协会通用航空分会. 2019 中国民用无人机发展报告[M]. 北京:中国航空运输协会,2019.  
[2] 杨知伦,葛鲁振,祁力钧,等. 植保无人机旋翼下洗气流对喷幅的影响研究[J]. 农业机械学报,2018,49(1):116-122.  
[3] 裴洲洋,李世金,刘国侠,等. 智能植保无人机防治烟蚜试验分析[J]. 安徽农学通报,2017,23(22):72,124.  
[4] 周龙,张哲,姜自斌,等. 植保无人飞机在烤烟上应用的探索与思考:以平昌县烟田植保无人机飞防为例[J]. 农业开发与装备,2019(4):169-170.  
[5] 中国民用航空局. 农业航空作业质量技术指标 第 1 部分:喷洒作业:MH/T 1002.1—2016[S]. 北京:中国民航出版社,2016.  
[6] 中国民用航空局. 航空喷施设备的喷施率和分布模式测定:MH/T 1040—2011[S]. 北京:中国民航出版社,2012.  
[7] 钟玲,邱高辉,宋建辉,等. 水稻纹枯病飞防作业雾滴沉降效应与防效[J]. 中国植保导刊,2014,34(8):64-66.  
[8] 王大帅,张俊雄,李伟,等. 植保无人机动态变量施药系统设计与试验[J]. 农业机械学报,2017,48(5):86-93.  
[9] 宋坚利,刘杨,刘亚佳,等. 无人旋翼机航空施药有效喷幅确定方法比较[J]. 中国农业大学学报,2017,22(10):126-132.  
[10] 郭爽,兰玉彬,许童羽,等. 寒地玉米植保无人机航空施药雾滴沉积效果研究[J]. 沈阳农业大学学报,2021,52(4):451-459,382.  
[11] 袁贝,邵亮亮,张迪骏,等. 储藏条件对花生的氨基酸和脂肪酸组成及风味的变化影响[J]. 食品工业科技,2016,37(8):318-322.  
[12] 董玲. 不同贮藏温度对花生品质影响研究[J]. 食品安全导刊,2018(16):73-75.  
[13] 王延华,常嵩,周霞,等. 抹茶味花生蔓越莓牛轧糖的工艺研究[J]. 美食研究,2021,38(1):68-70.  
[14] 曹洁. 三七花花生酥糖的研制[J]. 湖北农业科学,2019,58(9):90-93,127.  
[15] 于泓鹏,杨晨,韦晓云,等. 食源性物料混合压榨对花生油氧化稳定性的影响研究[J]. 粮食与油脂,2020,33(1):29-33.  
[16] 王滢,王园园,谢正军,等. 淀粉糖浆对硬糖品质的影响[J]. 食品与生物技术学报,2019,38(9):67-71.  
[17] 楚朝阳,张愨,李瑞杰. 加工工艺及参数对奶糖品质的影响[J]. 食品与生物技术学报,2014,33(6):611-617.  
[18] 王晓丹,李文钊. 影响硬糖感官品质的关键因素[J]. 天津科技大学学报,2013,28(1):17-21.  
[19] 王丽霞,陆东和,周凤超. 响应面法优化紫薯魔芋硬糖配方[J]. 食品工业,2021,42(1):120-124.  
[20] 李莉,张赛,何强,等. 响应面法在试验设计与优化中的应用[J]. 实验室研究与探索,2015,34(8):41-45.  
[21] 张献领,杜先锋,王丽,等. 黑芝麻酥糖的工艺优化研究[J]. 四川旅游学院学报,2017(3):22-25,41.  
[22] 汪秀妹,汪毅宁,胡玲芳,等. 响应面法优化红枣酸奶配方及质构特性研究[J]. 食品研究与开发,2021,42(7):62-69.  
[23] 杨颖,潘兆平,李绮丽,等. 响应面法优化赣南脐橙全果酱微波制作工艺[J]. 中国食品学报,2020,20(12):167-175.