

◆ 药效与应用 ◆

# 稻田茎叶喷雾农药沉积分布均匀性统计指标研究

徐德进<sup>1,2</sup>, 徐广春<sup>1</sup>, 徐鹿<sup>1</sup>, 王聪博<sup>1</sup>, 胡双女<sup>1</sup>, 顾中言<sup>1</sup>, 邱白晶<sup>2</sup>

(1. 江苏省农业科学院植物保护研究所, 南京 210014 2. 江苏大学现代农业装备与技术教育部重点实验室, 江苏镇江 212013)

**摘要:** 采用收入分配不公平程度测度指标, 分析并描述稻田农药沉积分布均匀性统计指标间的差异, 为建立稻田农药喷雾质量评价标准提供依据。利用生物染料进行农药示踪, 以水稻植株作为农药沉积量收集载体, 收集手动喷雾器、弥雾机、自走式喷杆喷雾机在水稻分蘖期、孕穗期、扬花期的茎叶喷雾后水稻植株上的示踪剂沉积量, 分析各组数据的变异系数、极差系数、绝对份额比例、分位点比率、基尼系数、阿特金森指数、泰尔指数及均值对数偏差指数值, 并通过相关性分析比较不同统计指标评间的关联度。对9个试验处理获得的19个统计指标值进行两两相关性分析, 发现变异系数、基尼系数分别与其他14、13个指标在 $P < 0.05$ 水平上显著相关。阿特金森指数 $A(0.5)$ 、 $A(1)$ 、 $A(2)$ 均与其他13个指标显著相关。绝对份额比例中 $F_{1th}^s$ 、 $F_{2th}^s$ 、 $F_{5th}^s$ 分别与其他13、12、13个指标显著相关, 但 $F_{3th}^s$ 、 $F_{4th}^s$ 仅与其他4、0个指标显著相关。分位点比例中,  $PR_{90th/20th}$ 与其他12个指标显著相关。极差系数仅仅与其他8个指标显著相关。泰尔指数、均值偏差指数除互相显著相关外, 与其他指标无显著相关性。综合比较不同指标的测定结果及各统计指标间的关联度, 笔者建议以变异系数、基尼系数、阿特金森指数、绝对份额比例、分位点比率等5个统计指标, 判断不同喷雾器械的稻田农药沉积分布均匀性统计指标。

**关键词:** 水稻; 农药沉积; 分布; 均匀性; 统计指标

中图分类号: S 491 文献标志码: A doi: 10.3969/j.issn.1671-5284.2021.05.005

## Study on the Statistical Index of Uniformity of Pesticide Deposition and Distribution of Foliage Spraying in Rice Field

XU Dejin<sup>1,2</sup>, XU Guangchun<sup>1</sup>, XU Lu<sup>1</sup>, WANG Congbo<sup>1</sup>, HU Shuangnv<sup>1</sup>, GU Zhongyan<sup>1\*</sup>, QIU Baijing<sup>2</sup>

(1. Institute of Plant Protection, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 2. Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education, Jiangsu University, Jiangsu Zhenjiang 212013, China)

**Abstract:** In order to provide the basis for evaluation criterion for pesticide spray quality, the difference of statistical indexes of pesticide deposition uniformity in rice field was described and analyzed in this paper. Biological dye was used for pesticide tracer. Rice plant was utilized to measure the rate of pesticide deposit. During the tillering stage, booting stage and the flowering stage of the rice, manual sprayer, mist sprayer, self-propelled boom sprayer sprayed pesticide on rice plant. The deposit rate of the tracer on the plant was measured. Coefficient of variation, range coefficient, absolute share proportion, quantile ratio, gini coefficient, atkinson index, theil index, and mean log deviation index were analyzed. The level of relevancy among statistical indicators were compared based on correlation analysis. Correlation analysis was made on the 19 statistical indexes obtained from the 9 test treatments. It was found that the coefficient of variation and gini coefficient were significantly correlated with the other 14 and 13 indexes at the level of  $P < 0.05$ . Atkinson index  $A(0.5)$ ,  $A(1)$ ,  $A(2)$  were significantly correlated with the other 13 indexes. In absolute share proportion,  $F_{1th}^s$ ,  $F_{2th}^s$  and  $F_{5th}^s$  are

收稿日期: 2021-03-05

基金项目: 国家自然科学基金(31401786) 江苏省自然科学基金(BK20191240)

作者简介: 徐德进(1980—) 男, 江苏盐城人, 硕士, 副研究员, 主要从事高效施药技术研究, E-mail: xaasxdj@jaas.ac.cn

significantly correlated with other 13, 12 and 13 indexes respectively, but  $F_{3th}^5$  and  $F_{5th}^5$  are only significantly correlated with other 4 and 0 indexes. In the quantile proportion,  $PR_{90th/20th}$  was significantly correlated with other 12 indexes. The range coefficient was only significantly correlated with the other 8 indexes. The theil index and mean log deviation index had no significant correlation with other indexes except for each other. Measurement results of different indexes and correlation of statistical indicators were comprehensively compared. As suggested, five indicators, including coefficient of variation, gini coefficient, atkinson index, absolute share proportion and quantile rate, were used to assess the uniformity of pesticide spray deposition by different equipment.

**Key words:** rice; pesticide deposition; distribution; uniformity; statistical index

水稻原产于亚洲,世界上一半人口以水稻为主粮<sup>[1]</sup>。每年稻田病虫害导致的水稻产量损失率可达50%以上<sup>[2]</sup>。农药是保障水稻产量的关键物资,是水稻生产投入的主要资源<sup>[3-4]</sup>。农药最佳使用效率是将理论上的最小剂量喷洒在作物靶标上并获得预期生物效果<sup>[5]</sup>。稻田施药以茎叶喷雾方式为主,科学的喷雾质量评价体系可为建立稻田高效施药技术提供依据,对减少稻田农药投入量有重要意义。

农药雾滴漂移率、覆盖率和分布均匀性是喷雾质量评价的主要指标<sup>[6]</sup>。农药雾滴田间分布均匀性是指雾滴在喷雾靶标表面、水平或垂直空间内的分布均匀程度,一般用变异系数表示,变异系数越大,分布越不均匀<sup>[7]</sup>。农田喷雾现阶段仍是要求全田无差别施药,通常认为农药沉积的均匀性越高,防效越好,即变异系数值越小,农药沉积分布越均匀,农药有效利用率越高<sup>[8]</sup>。手动喷雾器以“Z”字形摆动喷雾农药雾滴沉积分布的变异系数值为0.49,且纵向变异系数低于横向变异系数,原因是喷头左右“Z”字形摆动,左右差异较大,而前后的差异仅与操作者的行进速度和握喷杆的高度有关<sup>[9-10]</sup>。含多喷头的喷杆喷雾,因喷头位置相对固定,喷雾时喷雾高度易保持,与传统的手动喷雾器摆动喷雾相比变异系数显著减小<sup>[11-13]</sup>。陈海涛等<sup>[14]</sup>对烟田中不同施药器械喷雾的雾滴分布均匀性进行了比较,发现变异系数值为电动喷雾器<手动喷雾器<手动弥雾器<机动喷雾机。王立军等<sup>[15]</sup>发现采用双流辅助喷雾技术可使雾滴分布的变异系数显著减小。王俊等<sup>[16]</sup>研究发现风幕辅助气流能够有效增强玉米田喷杆喷雾机喷雾的穿透性,使雾滴在玉米冠层中的分布更加均匀。王明等<sup>[17]</sup>研究发现茶园使用植保无人机低容量喷雾的农药利用率比传统的大容量喷雾农药利用率提高了9.7%~24.5%,但从植保无人机喷雾的变异系数值大于大容量喷雾。除变异系数外,宋淑然等<sup>[18]</sup>将收集位点沉积量的极差值与算术平均值的商定义为不均匀系数,用来比较水稻不同层间雾

滴分布的均匀性,但该指数未被广泛采用。

农药防效与农药雾滴的沉积分布均匀性高度相关。分布均匀性是评价不同施药器械、施药方式、施药参数优劣的重要指标。变异系数和不均匀系数均为普通离散系数测度法指数,易受极大值和极小值影响而不能反映农药沉积分布的全部面貌。特别是在田间条件下,农药沉积量受到多个不可控因素,如取样植株的个体差异、距离喷头的位置差异、喷杆的晃动、风向风速等影响而出现极端数据。单纯以变异系数作为统计指标评价施药装备、施药方式或作业参数的优劣,易造成与客观事实不符的错误结论。在国民收入分配不公平程度的评价中,发展了许多经济学统计指标。在农药田间沉积分布均匀性的评价中,我们可以将收集位点上的农药沉积量视为个体收入值,通过引进经济学中收入分配不公平程度测度指数进行综合比较分析,从多重纬度对农药分布的均匀程度进行评价。笔者拟通过引进新的统计学指标,对水稻田获得的农药沉积数据进行实证分析,并比较不同统计学指标描述农药沉积分布均匀状态及特征的异同,为建立标准化的喷雾质量评价体系提供理论依据。

## 1 材料与方法

试验于2018年7月至2018年10月在江苏省农业科学院溧水植物科学试验基地完成。

### 1.1 试验材料

水稻品种“南粳46”。人工插秧,水稻株行距为15 cm×30 cm。生物染料为丽春红-G,由北京恒业中远化工有限公司提供。

### 1.2 试验仪器

亿丰丸山3WP-500CN自走式喷杆喷雾机,黑龙江省吉亿丰农机有限公司;永佳3WF-2.6型弥雾机,临沂三禾永佳动力有限公司;NS-16卫士牌手动喷雾器,山东卫士植保机械有限公司;AB135-S电子天平(精确至0.1 mg或0.01 mg)梅特勒-托利多仪器(上

海)有限公司,UV-9100紫外可见分光光度计,北京瑞利分析仪器厂。农药喷雾雾滴采集装置(自制)<sup>[19]</sup>。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 试验处理

在水稻分蘖期、孕穗期、扬花期分别采用手动喷雾器、弥雾机、自走式喷杆喷雾器进行叶面喷雾。试验共设9个处理。自走式喷杆喷雾机采用出厂标配圆锥雾喷头,喷孔直径为1.1 mm,0.8 MPa工作压力下喷头流量为0.57 L/min,施药液量为300 L/hm<sup>2</sup>。弥雾机叶轮转速为6 500 r/min,配套动力为1E40F-3Z,喷头流量1.5 L/min,施药液量为350 L/hm<sup>2</sup>。手动喷雾器采用圆锥雾喷头,喷孔直径1.6 mm,0.3 MPa工作压力下喷头流量0.8 L/min,施药液量为900 L/hm<sup>2</sup>。

#### 1.3.2 农药示踪方法

以生物染料丽春红-G作为农药示踪剂,每亩示踪剂用量固定为50 g,喷雾前按施药液量配制丽春红-G溶液,喷雾完成后待水稻植株上丽春红-G自然干燥后收回。

#### 1.3.3 农药沉积量的采集与测定方法

参照徐德进等<sup>[19]</sup>的方法,预先在室内确定每试验小区内的取样数及取样位置,喷雾后1 h,每个取样点取3株水稻,沿基部用剪刀剪断,放入规格为28 cm×38 cm的聚乙烯袋中带回实验室。将取回的每个聚乙烯袋中的3株水稻用剪刀剪成1~2 cm长小段,放入250 mL烧杯中,先用30 mL清水清洗,再用30 mL清水漂洗。洗涤液转移至塑料杯中,沉淀24 h后用移液器吸取4 mL上清液,在UV-9100紫外可见分光光度计510 nm处测定吸光值。根据徐德进等<sup>[19]</sup>制定的丽春红-G标准曲线,由洗脱液体积和吸光度值计算每个取样点丽春红-G沉积量。

#### 1.3.4 统计指标的计算方法

##### 1.3.4.1 变异系数(CV)

标准差 $\sigma$ 与沉积量的算术平均值 $\bar{X}$ 的比值,即按式(1)计算。

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{X}} \quad (1)$$

##### 1.3.4.2 极差(全距)系数测度指数(CR)

最大沉积量 $X_{\max}$ 与最小沉积量 $X_{\min}$ 的差与算术平均值 $\bar{X}$ 的比值,即按式(2)计算。

$$CR = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{\bar{X}} \quad (2)$$

##### 1.3.4.3 绝对份额比例测度指数(I)

将沉积量数据从低到高进行排序,按采样点数

将沉积量分成五等份,计算各等份沉积量占总沉积量的比例,用 $F_{i_{th}}^s$ 分别表示,如第1个五等份比例记录为 $F_{1_{th}}^s$ 。

##### 1.3.4.4 分位点比率测度指数(PR)

将沉积量数据从低到高进行排序,以高分位点所对应采样点的沉积量除以某低分位点所对应的沉积量所得出的一个比率测度指数,按式(3)计算。

$$PR_{90/10} = \frac{90th}{10th} \quad (3)$$

##### 1.3.4.5 基尼系数(Gini)

基尼系数计算采用梯形面积法,先将 $n$ 个样点沉积量从低到高按1、2、3、...、 $i$ 、...、 $n$ 排列。式中 $N_i$ 为样点数累计比例, $P_i$ 为对应样点沉积量累计比例。按式(4)计算。

$$Gini = N_n P_n - 2 \sum_{i=1}^n \frac{N_i P_i}{2} \quad (4)$$

##### 1.3.4.6 阿特金森指数 $A(\varepsilon)$

阿特金森指数 $A(\varepsilon)$ 按式(5)计算。

$$A(\varepsilon) = 1 - \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{X_i}{\bar{X}} \right)^{1-\varepsilon} \right]^{\frac{1}{1-\varepsilon}}, 0 < \varepsilon \neq 1 \quad (5)$$

$$A(\varepsilon) = 1 - \prod_{i=1}^n (X_i)^{\frac{1}{n}} / \bar{X}, \varepsilon = 1$$

式中 $\varepsilon$ 为不平等厌恶指数, $\varepsilon$ 值分别取0.5、1、2、5、10, $n$ 为采样点数量, $X_i$ 为第 $i$ 个取样点的沉积量, $\bar{X}$ 为算术平均沉积量。

##### 1.3.4.7 泰尔指数(T)

泰尔指数T按式(6)计算。

$$T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{\bar{X}} \log \left( \frac{X_i}{\bar{X}} \right) \quad (6)$$

式中 $X_i$ 为第 $i$ 个取样点的沉积量, $\bar{X}$ 为算术平均沉积量。

##### 1.3.4.8 均值对数偏差指数(MLD)

均值对数偏差指数MLD按式(7)计算。

$$MLD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log \left( \frac{\bar{X}}{X_i} \right) \quad (7)$$

式中 $X_i$ 为第 $i$ 个取样点的沉积量, $\bar{X}$ 为算术平均沉积量。

## 1.4 数据统计与分析

利用EXCEL进行数据整理和图形绘制,采用SPSS 16数据处理软件进行相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 农药沉积分布的普通离散系数分析

从表1中列出的变异系数结果可以看出,手动喷雾器、弥雾机及自走式喷杆喷雾机在水稻分蘖期、孕穗期、扬花期喷雾沉积量分布的变异系数值分别为0.39、0.31和0.42,自走式喷杆喷雾机在水稻分蘖期、孕穗期、扬花期的变异系数值分别为0.24、0.23、0.31,分别比手动喷雾器减小了38.46%、25.81%和26.19%。在水稻分蘖期和孕穗期,喷杆喷雾机喷雾的变异系数值明显小于弥雾机,但在水稻扬花期,自走式喷杆喷雾机和弥雾机喷雾的变异系数值相近,分别为0.31和0.32。水稻分蘖期和孕穗期,弥雾机喷雾的变异系数值与手动喷雾器喷雾相近,但

在扬花期明显小于手动喷雾器。

从表1中列出的极差系数分析结果可以看出,手动喷雾器、弥雾机及自走式喷杆喷雾机在水稻分蘖期、孕穗期、扬花期喷雾沉积量分布的极差系数值在0.97~1.90。自走式喷杆喷雾机在水稻分蘖期、孕穗期、扬花期的极差系数值分别为1.10、1.04、1.52,分别比手动喷雾器减少了37.14%、6.55%和16.02%。在水稻分蘖期,喷杆喷雾机喷雾的极差系数值比弥雾机减少了42.11%,但在孕穗期和扬花期,自走式喷杆喷雾机喷雾的极差系数值比弥雾机分别增加了7.22%和24.59%。在水稻分蘖期,弥雾机喷雾的极差系数值大于手动喷雾器,但在孕穗期和扬花期,弥雾机喷雾的极差系数值均小于手动喷雾器。

表1 3种喷雾器械稻田茎叶喷雾农药沉积分布的变异系数和极差系数比较

普通离散 系数指标	分蘖期			孕穗期			扬花期		
	手动喷雾器	弥雾机	喷杆喷雾机	手动喷雾器	弥雾机	喷杆喷雾机	手动喷雾器	弥雾机	喷杆喷雾机
变异系数	0.39	0.42	0.24	0.31	0.30	0.23	0.42	0.32	0.31
极差系数	1.75	1.90	1.10	1.22	0.97	1.04	1.81	1.22	1.52

### 2.2 农药沉积分布的份额比例分析

从表2中列出的绝对份额比例结果可以看出,自走式喷杆喷雾机在水稻分蘖期喷雾,第1个5分位比例分别比手动喷雾器、弥雾机喷雾增加了33.97%、37.18%;在孕穗期分别增加了27.67%、21.87%;在扬花期分别增加了24.55%、15.95%。自走式喷杆喷雾机在水稻分蘖期喷雾,第5个5分位比例分别比手动喷雾器、弥雾机喷雾减少了21.34%、24.50%;在孕穗期分别减少了11.62%、11.98%;在扬

花期分别减少了24.45%、13.85%。弥雾机在水稻分蘖期喷雾,第1个5分位比例分别比手动喷雾器增加了33.97%;在孕穗期增加了27.67%;在扬花期增加了24.55%。弥雾机在水稻分蘖期喷雾,第5个5分位比例比手动喷雾器减少了21.34%;在孕穗期减少了11.62%;在扬花期减少了24.45%。

从表3中列出的分位点比率可以看出,自走式喷杆喷雾机在水稻分蘖期、孕穗期、扬花期喷雾,4个分位点比率值均低于手动喷雾器和弥雾机。

表2 3种喷雾器械稻田茎叶喷雾农药沉积分布的绝对份额比例比较

绝对份额 比例	分蘖期			孕穗期			扬花期		
	手动喷雾器	弥雾机	喷杆喷雾机	手动喷雾器	弥雾机	喷杆喷雾机	手动喷雾器	弥雾机	喷杆喷雾机
$F_{1th}^5$	10.96	10.70	14.68	12.85	13.47	16.41	11.05	11.87	13.76
$F_{2th}^5$	16.83	15.05	18.71	16.34	16.66	16.74	14.88	15.90	17.60
$F_{3th}^5$	20.23	18.67	20.20	18.37	18.62	18.77	18.13	19.50	19.87
$F_{4th}^5$	21.13	23.42	22.13	22.29	20.98	21.43	22.21	23.14	23.28
$F_{5th}^5$	30.86	32.15	24.28	30.15	30.27	26.64	33.74	29.59	25.49

表3 3种喷雾器械稻田茎叶喷雾农药沉积分布的分位点比率比较

分位点 比率	分蘖期			孕穗期			扬花期		
	手动喷雾器	弥雾机	喷杆喷雾机	手动喷雾器	弥雾机	喷杆喷雾机	手动喷雾器	弥雾机	喷杆喷雾机
60:10	1.68	1.72	1.33	1.64	1.46	1.38	1.65	1.81	1.45
90:20	1.98	2.75	1.57	1.86	1.97	1.63	2.26	1.85	1.39
90:50	1.67	2.35	1.32	1.51	1.66	1.37	1.75	1.46	1.28
80:20	1.65	1.79	1.53	1.71	1.70	1.51	2.10	1.60	1.25

### 2.3 农药沉积分布的集中度指标分析

从表4中可以看出,自走式喷杆喷雾机在分蘖期、孕穗期、扬花期水稻田喷雾,基尼系数值分别为0.11、0.13、0.16,均小于同一生育期内采用手动喷雾器、弥雾机喷雾处理的基尼系数值。

阿特金森指数分析结果表明,随厌恶程度值增

加,对应的阿特金森指数值增加。值相同时,自走式喷杆喷雾机在每个生育期喷雾的阿特金森指数值均低于手动喷雾器和弥雾机。

均值偏差MLD指数分析结果表明,分蘖期自走式喷杆喷雾机<手动喷雾器<弥雾机、孕穗期和扬花期弥雾机<手动喷雾器<自走式喷杆喷雾机。

表 4 3 种喷雾器械稻田喷雾农药沉积量分布集中度测度比较

集中度指标	分蘖期			孕穗期			扬花期		
	手动喷雾器	弥雾机	喷杆喷雾机	手动喷雾器	弥雾机	喷杆喷雾机	手动喷雾器	弥雾机	喷杆喷雾机
<i>Gini</i>	0.208	0.219	0.112	0.170	0.157	0.128	0.222	0.180	0.162
$A(\epsilon=0.5)$	0.035	0.039	0.014	0.023	0.020	0.013	0.039	0.025	0.022
$A(\epsilon=1)$	0.069	0.076	0.028	0.044	0.038	0.025	0.078	0.050	0.043
$A(\epsilon=2)$	0.133	0.148	0.056	0.086	0.072	0.050	0.150	0.099	0.083
$A(\epsilon=5)$	0.299	0.328	0.146	0.193	0.148	0.114	0.332	0.218	0.194
$A(\epsilon=10)$	0.453	0.484	0.281	0.314	0.221	0.200	0.483	0.318	0.322
<i>T</i>	0.031	0.034	0.042	0.020	0.017	0.051	0.035	0.022	0.071
<i>MLD</i>	0.032	0.034	0.029	0.020	0.017	0.035	0.035	0.022	0.047

### 2.4 农药沉积量分布不同统计指标关联度分析

对19个统计指标进行两两相关性分析。变异系数、基尼系数分别与其他14、13个指标在 $P<0.05$ 上显著相关。阿特金森指数 $A(0.5)$ 、 $A(1)$ 、 $A(2)$ 、 $A(5)$ 、 $A(10)$ 分别与其他13、13、13、12、10个指标在 $P<0.05$ 水平上显著相关。绝对份额比例中 $F_{1th}$ 、 $F_{2th}$ 、 $F_{5th}$ 分别与其他13、12、13个指标在 $P<0.05$ 水平上显著相关,但 $F_{3th}$ 、 $F_{4th}$ 仅与其他4、0个指标在 $P<0.05$ 水平上显著相关。分位点比例中, $PR_{90th/20th}$ 、 $PR_{90th/50th}$ 分别与其

他12、11个指标显著相关, $PR_{60th/20th}$ 、 $PR_{80th/20th}$ 分别与其他9、4个指标显著相关。极差系数与其他8个指标显著相关。泰尔指数、均值偏差指数除互相显著相关外,与其他指标均不相关。

### 2.5 3种喷雾器械稻田喷雾农药沉积量分布均匀性比较

综合不同指标的测定结果,以变异系数、基尼系数、阿特金森指数( $\epsilon=2$ )、绝对份额比例 $F_{1th}$ 、分位点比例 $PR_{90th/20th}$ 等5个指标判断不同喷雾器械稻田喷雾农药沉积分布均匀性,结果列于表5。

表 5 3 种喷雾器械在水稻 3 个生育期喷雾的农药沉积量分布均匀性比较

统计指标	水稻生育期			喷雾器械		
	分蘖期	孕穗期	扬花期	手动喷雾器	弥雾机	喷杆喷雾机
变异系数	孕>分>扬	孕>扬>分	孕>分>扬	自>手>弥	自>弥>手	自>弥>手
绝对份额比例	孕>分>扬	孕>扬>分	孕>分>扬	自>手>弥	自>弥>手	自>弥>手
分位点比率	孕>分>扬	孕>扬>分	孕>扬>分	自>手>弥	自>弥>手	自>弥>手
基尼系数	孕>分>扬	孕>扬>分	分>孕>扬	自>手>弥	自>弥>手	自>弥>手
阿特金森指数	孕>分>扬	孕>扬>分	孕>分>扬	自>手>弥	自>弥>手	自>弥>手

从表5中可以看出,5个统计指标均显示在水稻分蘖期、孕穗期、扬花期喷雾,自走式喷杆喷雾机喷雾农药沉积分布的均匀性高于手动喷雾器和弥雾机喷雾;手动喷雾器在水稻分蘖期喷雾的均匀性高于弥雾机,但弥雾机在水稻孕穗期、扬花期喷雾的均匀性高于手动喷雾器。5个统计指标分析均表明,手动喷雾器在水稻3个生育期喷雾均匀性表现为孕穗期>分蘖期>扬花期;弥雾机在水稻3个生育期喷雾均匀性表现为孕穗期>扬花期>分蘖期;自走

式喷杆喷雾机在水稻孕穗期和扬花期喷雾均匀性表现为孕穗期>扬花期。

## 3 讨论

农药导致的农业面源污染是我国农业生态环境整治的重点领域。21世纪以来,农药使用技术迅速发展,传统的大容量向低容量高浓度均匀喷雾发展。研究农药雾滴在作物上的分布规律对科学选择施药器械及其施药参数,提高农药使用效率具有现

实意义<sup>[20-22]</sup>。研究农药分布问题首先要解决对农药沉积分布均匀性的测度问题。现阶段我国许多学者对农药分布进行大量研究,但绝大多数研究局限于使用变异系数这一个统计指标<sup>[23]</sup>。农药喷雾主要是在田间条件下进行,受不可控因素,如阵风、植株疏密度及空间遮蔽等影响,收集获得的农药沉积量或雾滴密度数据常出现异常值,单通过一个统计指标来评价分布均匀性,容易造成了结果而误用、滥用数据的现象,从而导致错误的结论。通过变异系数也只能进行喷雾均匀性的相对比较,无法利用变异系数值建立农药喷雾均匀性的限制性标准。

将田间每一个收集农药沉积量的单元视为个体,农药喷雾过程可看作社会财富的分配过程,农药沉积分布均匀性评价问题就转换为收入分配不公平程度的测定问题。普通离散系数测度法、份额比例测度法、收入集中度测度法是收入分配不公平程度评价研究中使用的主要方法<sup>[24-25]</sup>。变异系数、极差系数属于离散系数,反映单位均值上的离散程度。份额比例测度法又称为“库兹涅茨比率”,由1975年诺贝尔经济学奖获得者西蒙·库兹涅茨提出。该法是将各个阶层的收入比重与人口比重的差额的绝对值相加而得。收入集中度测度法就是通过实际收入分布与某一分布基准进行比较,对二者之间的差距利用不同方法进行表示的一种测度方法。基尼系数、阿特金森指数、泰勒指数、均值对数偏差指数是目前经济学领域使用最多的收入集中度测度指标,其中基尼系数最为经常使用。基尼系数是赫希曼根据洛伦茨曲线提出的判断分配平等程度的指标,基尼系数最大为1,最小等于0。基尼系数越接近0,表明收入分配越是趋向平等。国际惯例把0.2以下视为收入绝对平均,0.2~0.3视为收入比较平均,0.3~0.4视为收入相对合理,0.4~0.5视为收入差距较大,当基尼系数达到0.5以上时,则表示收入悬殊。国际上通常将0.4作为收入分配贫富差距的警戒线<sup>[26-27]</sup>。借鉴基尼系数评价贫富差距的标准,3种常用喷雾机械稻田喷雾的基尼系数值均小于0.3,说明以基尼系数为标准,稻田农药田间分布是相对均匀的。自走式喷杆喷雾机水稻分蘖期、孕穗期、扬花期喷雾的基尼系数值均小于0.2,说明农药沉积分布高度均匀。相关性分析结果显示基尼系数和变异系数相关系数值达到了0.982,高度相关,如果单纯比较变异系数值,无法做出科学的论断。

不同的评价指标,有其优点,也有其难以克服的缺点。通过建立综合指标评价体系,可以更好地

比较分析不同施药器械、施药方法的喷雾均匀性。综合不同指标的测定结果,建议以变异系数、基尼系数、阿特金森指数、绝对份额比例、分位点比例等5个指标作为判断农药沉积分布均匀性的统计学指标,多维度分析农药田间分布的均匀性。以水稻扬花期茎叶喷雾为例,采用喷杆喷雾机和弥雾机喷雾,植株采集测定的农药沉积变异系数分别为0.31和0.32,仅从变异系数值判断,二者均匀性相当,但喷杆喷雾机喷雾的 $F_{1th}$ 值较弥雾机喷雾提高了15.92%, $F_{5th}$ 值降低了23.00%。喷杆喷雾机 $PR_{90th/20th}$ 值较弥雾机减小了33.10%, $Gini$ 值和 $A(2)$ 值分别比弥雾机减少11.10%和19.28%。通过多个指标分析,可以明确得出喷杆喷雾机水稻扬花期茎叶喷雾的均匀性优于弥雾机喷雾的结论,弥补了变异系数分析结果的不足。

#### 参考文献

- [1] 朱德峰,程式华,张玉屏,等.全球水稻生产现状与制约因素分析[J].中国农业科学,2010,43(3):474-479.
- [2] 董坤,董艳,王海龙,等.水稻多元有害生物为害特征及产量损失量化[J].生态学报,2014,34(2):6124-6136.
- [3] 蔡书凯,李靖.水稻农药施用强度及其影响因素研究:基于粮食主产区农户调研数据[J].中国农业科学,2011,44(11):2403-2410.
- [4] 王华书,徐翔.微观行为与农产品安全:对农户生产与居民消费的分析[J].南京农业大学学报(社会科学版),2004,4(1):23-28.
- [5] EBERT T A, DOWNER R A. A different look at experiments on pesticide distribution[J]. Crop Protection, 2006, 25: 299-309.
- [6] MUSIU E M, QI L J, WU Y. Spray deposition and distribution on the targets and losses to the ground as affected by application volume rate, airflow rate and target position[J]. Crop Protection, 2019, 116: 170-180.
- [7] PENIDO E D C, TEIXEIRA M M, FERNANDES H C, et al. Development and evaluation of a remotely controlled and monitored self-propelled sprayer in tomato crops[J]. Revista Ciencia Agronomica, 2019, 50(1): 8-17.
- [8] 袁会珠,杨代斌,闫晓静,等.农药有效利用率与喷雾技术优化[J].植物保护,2011,37(5):14-20.
- [9] 袁会珠,何雄奎.手动喷雾器摆动喷施除草剂剂分分布均匀性探讨[J].植物保护,1998,24(3):41-42.
- [10] 李红军,何雄奎,周继忠,等.一种小型机动背负式喷杆喷雾机的性能试验[J].中国农业大学学报,2007,12(2):54-57.
- [11] BUTTS T R, LUCK J D, FRITZ B K, et al. Evaluation of spray pattern uniformity using three unique analyses as impacted by nozzle, pressure, and pulse-width modulation duty cycle[J]. Pest Management Science, 2019, 75(7): 1875-1886.
- [12] WANG G B, LAN Y B, YUAN H Z, et al. Comparison of spray

- deposition, control efficacy on wheat aphids and working efficiency in the wheat field of the unmanned aerial vehicle with boom sprayer and two conventional knapsacks prayers [J]. Applied Sciences-Basel, 2019, 9(2): 218-225.
- [13] JULIAN S H, Vi CTOR J R, FRANCISCO P. Field evaluation of a self-propelled sprayer and effects of the application rate on spray deposition and losses to the ground in greenhouse tomato crops[J]. Pest Management Science, 2011, 67(8): 942-947.
- [14] 陈海涛, 杜根平, 许安定, 等. 烟田中使用不同喷雾器的农药沉积分布研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(25): 12518-12520.
- [15] 王立军, 姜明海, 孙文峰, 等. 气流辅助喷雾技术的试验分析[J]. 农机化研究, 2005, 4: 174-175.
- [16] 王俊, 董祥, 严荷荣, 等. 风幕式喷杆喷雾机玉米田间施药试验[J]. 农业机械学报, 2015, 46(7): 79-84.
- [17] 王明, 王希, 何玲, 等. 植保无人机低空低容量喷雾在茶园的雾滴沉积分布及对茶小绿叶蝉的防治效果[J]. 植物保护, 2019, 45(1): 62-68.
- [18] 宋淑然, 王卫星, 洪添胜, 等. 水稻田农药喷雾上层植株雾滴截留影响的试验研究[J]. 农业工程学报, 2003(6): 114-117.
- [19] 徐德进, 顾中言, 徐广春, 等. 喷雾方式对农药雾滴在水稻群体内沉积分布的影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(1): 69-79.
- [20] XIAO J J, CHEN L, PAN F, et al. Application method affects pesticide efficiency and effectiveness in wheat fields[J]. Pest Management Science, 2019, 76(4): 1256-1624.
- [21] GOSENB B D, PENG G, WOLF T M. Improving spray retention to enhance the efficacy of foliar-applied disease- and pest-management products in field and row crops[J]. Canadian Journal of Plant Pathology, 2008, 30(4):505-516.
- [22] SUNDARAM A, SUNDARAM K M S. Role of physical factors on pesticide performance in forestry: An overview[J]. Journal of Environmental Science and Health, Part B, 1991, 26(1): 115-146.
- [23] 王穗, 彭尔瑞, 吴国星, 等. 农药雾滴在作物上的沉积量和其分布规律的研究概述[J]. 云南农业大学学报, 2010, 25(1): 113-117.
- [24] 刘志伟. 收入分配不公平程度测度方法综述[J]. 统计与信息论坛, 2003, 18(5): 28-32.
- [25] 邵建平, 孟鑫, 邓兆卉. 收入分配公平性偏态分布方法警戒标准研究[J]. 统计与决策, 2011, 21: 4-8
- [26] 刘德地, 陈晓宏. 一种区域用水量公平性的评估方法[J]. 水科学进展, 2008,18(2): 268-272.
- [27] 龚红娥. 基尼系数及其实际应用[J]. 市场与人口分析, 2002, 8(6): 35-40.

(责任编辑:高蕾)

## 《现代农药》投稿简则

《现代农药》(双月刊)是由国家新闻出版总署批准在国内外公开发行的中国农药行业技术类期刊,并入选“中国科技核心期刊”。本刊主要报道未曾发表过的、具有新颖性的农药研究成果,分综述、研究论文和试验简报三个类型。投稿方式为邮箱(agrochem@263.net)或投稿系统(<http://xdnyqk.com/>)。现将有关稿件要求禀告如下:

**题名** 文章应主题鲜明,内容新颖,条理清晰,文字简洁,数据可靠。题名应简明、具体、确切,概括文章的要旨。中文题名一般不超过20个汉字,英文题名一般不超过10个实词。

**摘要与关键词** 正文前有100~200字的摘要及3~5个关键词,中英文摘要均采用第三人称书写,应包括目的、方法、结果和结论,突出创新性。简报可省略英文摘要和关键词。

**作者与单位** 按排名先后顺序,用中英文写出全部作者及工作单位全称、所在城市和邮政编码,以\*标明通信作者。第一作者简介包括姓名、出生年份、性别、籍贯(某省某市/县人)、职称或学位、从事专业或研究方向、联系方式。

**字体及格式** 正文用5号宋体,每段首行缩进2字,标题一律左顶格排,层次划分不超过4级。正确使用简化汉字和标点符号。采用国家规定的统一计量单位与符号。

**图表** 文中图表力求精简,内容不应重复。图、表题、注释和图、表中文字均用中文,图题和表题用小5号黑体、居中;图、表中文字用6号宋体。表格采用国际通用的3线表。插图要绘制清晰,色谱图要附原图。表、图内数据须标明计量单位。

**农药名称** 应使用农药通用名称,制剂需注明含量和剂型,可在正文中首次出现时用括号标注英文通用名、商品名(注册商标)及生产厂家。

**参考文献** 参考文献只列作者阅读过、与文章内容密切相关、正式发表的主要文献资料,一般在20篇以内为宜。按正文中引用先后顺序编号,采用6号宋体,并在正文中引用处用方括号作上标加以标注,即……[1],……[2-4],……[3, 5]。参考文献作者仅列前3名,3名后加“等”。作者姓名一律姓在前,名在后;外国人名可缩写为首字母(大写),但不加缩写点(.)。

电话 025-86581148

传真 025-86581147

邮编 210046

地址 南京经济技术开发区恒竞路31-1号