

# 团 体 标 准

T/CAPDA 064-2024

## 植保无人飞机喷雾作物冠层雾滴沉积分布 测量方法

Determination method of distribution for pesticide droplet deposition into Spray  
crop canopy for UAV

2024-09-16 发布

2024-09-16 实施

中国农药发展与应用协会

辽宁省农药工业协会

发 布



## 前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020《文件化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国农药发展与应用协会提出并归口。

本文件起草单位：北京宇悦生物科技有限公司、中国农业大学。

本文件主要起草人：何雄奎、徐妍、侯春青、刘亚佳、王昌陵、宋坚利、陶婧、刘细平、白乃茂、刘墁、吴康康。

# 植保无人飞机喷雾作物冠层雾滴沉积分布测量方法

## 1 范围

本文件描述了植保无人飞机（以下简称无人机）喷雾作物冠层上雾滴沉积分布测试方法、测试程序、测试报告。

本文件适用于无人机喷雾时，在作物上的沉积量、沉积位置、分布情况的喷雾沉积测量方法，以确定平面区域上的喷雾量和分布情况。本文件不适用靶标区外的农药沉积测试，也不涉及飘失测试。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 20085 植物保护机械 词汇

MH/T 0017 农业航空技术术语

ISO 24253-1 植物保护机械 大田作物喷雾沉积量的测试 第1部分：在水平地面上的测试

## 3 术语和定义

ISO 24253-1、GB/T 20085、MH/T 0017界定的术语和定义适用于本文件。

## 4 测试方法

### 4.1 原理

喷雾沉积测试包括测量所有靶标表面，作物冠层上部和内部指定点、冠层下方地面上的喷雾沉积。喷雾沉积测量可以利用染料或其他容易测量的示踪剂来模拟农药。

喷雾沉积可以被定量评估（喷雾沉积量， $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ ）和/或定性评估（沉积分布，覆盖率、覆盖密度滴/ $\text{cm}^2$ ，雾滴中值粒径）。

喷雾沉积量的值通常以被试无人机喷施药液的平均沉积量和沉积量变化值的方式来量化，是通过测量作物冠层内外不同高度的沉积界面[人工沉积界面（见附录 A）或植物实体如叶片、果穗、果实等]的喷雾沉积量计算得到。

### 4.2 测试区

测试应在具有代表性的作物且长势均匀的区域进行。采样点与测试区边缘之间的距离不小于 1.5m。

根据无人机尺寸、飞行能力以及飞行速度，测试区应在采样区域之前和之后设有足够长度的准备区，以确保无人机将药液按照设定喷雾量喷洒在采样区域内。准备区最小长度为 20m。

应将喷雾和取样方案的详细信息与测试结果一起报告。

在确定测试区的位置时，测试区与周围植被或建筑物的间距应至少是周围植被高度的 10 倍。

测试报告中应详细描述测试区和周围环境（图 1）。

### 4.3 气象条件监测

试验时，应在试验期间和地点进行气象条件的监测。测量的最大误差应满足：

- 风速：当风速不大于 1 m/s 时，精度 0.1 m/s；当风速大于 1 m/s 时，精度 0.2 m/s；
- 风向：相对于无人机飞行航线的方向，精度 5°；
- 温度：精度 0.5°C，在背阴处记录；
- 湿度：相对湿度，精度 5%。

测量应在地面以上  $2.0 \pm 0.1$  m 的高度进行，当作物冠层高于 1 m 时，在高于作物冠层  $1.0 \pm 0.1$  m 的高度进行。风向和风速的测量应不少于 1 Hz 的采样速率进行。

测试仪器应在使用前根据仪器说明书进行校准。

#### 4.4 田间测量喷雾沉积量可接受的气象条件

喷雾过程中的平均风速应不高于当地惯例或建议风速，且在 4.3 规定的测量高度处应低于 3 m/s。测试期间风速应保持稳定（标准偏差应不超过  $\pm 1$  m/s）。

风速在 2 m/s 以上时，风向应在平均风向  $\pm 30^\circ$  以内。

温度应在 5°C 至 35°C 之间。

逆温情况会影响沉积测量，因此需要报告（应使用 3D 风速计或者通过云量或两个高度的温度测量）。

#### 4.5 示踪剂

选用示踪剂应是安全的。请参阅环境和操作人员安全数据表以了解适用的情况。

示踪剂在田间条件下应稳定，并适用于各种试验类型的沉积界面（见附录 A 和 4.6），回收率应不低于 90%。

可用示踪剂的示例如下：

- 金属离子（推荐用于对同一靶标的多次喷雾）；
- 食品色素：
  - 柠檬黄（E102）；
  - 胭脂红；
  - 诱惑红；
- 荧光染色剂：
  - BSF（一种亮黄色示踪剂）；
  - 荧光素钠。

#### 4.6 沉积界面雾滴采集

用于对地面上的喷雾沉积进行收集。应在试验前确定沉积界面示踪剂的回收率。

使用的人造沉积界面的回收率应不低于 90%。附录 A 中给出了可以使用的人造沉积界面的示例。附录 B 中描述了如何量化处理从沉积界面中收集的示踪剂。

确定人造沉积界面的背景荧光量（见附录 B）。空白人造沉积界面的平均读数应不高于喷雾后沉积界面平均读数的 0.1%。应记录测量装置的准确度、沉积界面类型及其背景荧光，选定背景荧光量变异系数低于 10% 的沉积界面（见附录 B）。

可以通过测试（稀释体积、震荡时间、荧光计设置）10 个清洁的人造沉积界面的背景值来确定，并计算沉积界面的测量值的平均值和变异系数。

应注意确保采样沉积界面能够全部收集沉积到沉积界面上的雾滴。在试验前应对此进行检查。

#### 4.7 药液

按照推荐的使用浓度配制药液。

### 5 试验程序

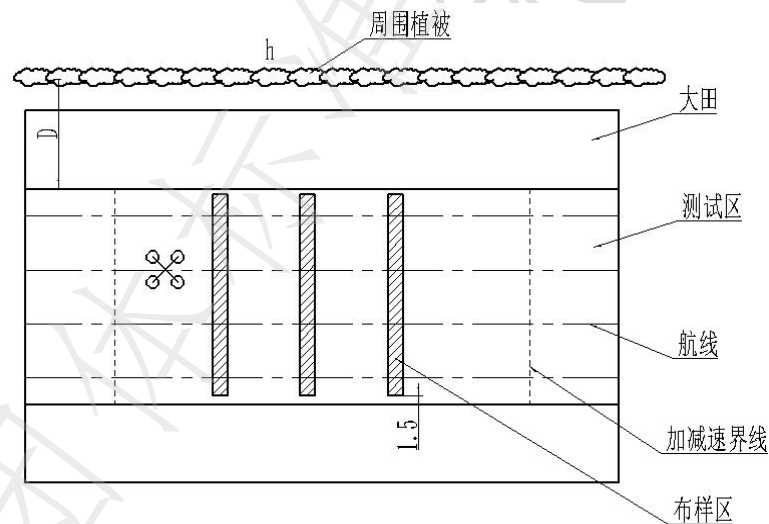
#### 5.1 一般要求

可以通过一个试验来量化或描述田间情况，或对比机具的定义情况（特定航线）。在对比测试中，如果对比喷头，则最好配置使用相同的无人机类型。无人机类型和所用喷头应在试验报告中写明。

应在田间标出沉积测量的试验区域。为量化沉积在作物冠层中和作物冠层下方地面的喷雾沉积总量和分布，测量下列喷雾沉积量：

- 冠层上部；
- 冠层内部；
- 冠层下方地面。

沉积界面通常放置在测试区的中心区域，如图 1 所示，沉积界面的布置应距离测试区长边距离不少于 1.5 m，至少进行三处喷雾沉积采样。沉积界面的位置应同时代表无人机“下方”、喷幅“中间”、喷幅叠加的区域，如图 2 所示。

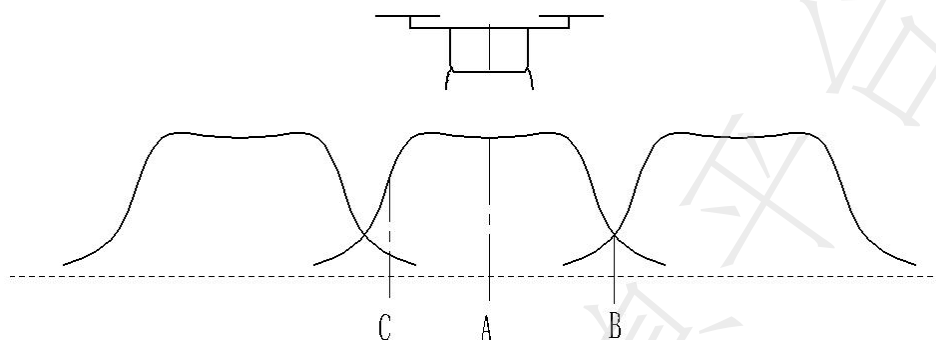


标引序号说明：

h——周围植被的高度

D——植被与测试区域间的距离， $D > 10 \times h$

图 1 布样示意图

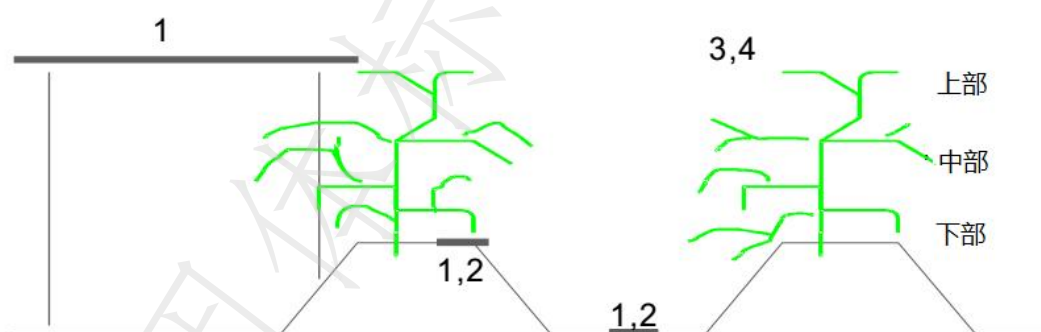


标引序号说明：

- A——无人机下方；
- B——喷幅叠加区域；
- C——喷幅中间区域。

图 2 布样示意图

沉积界面的测量应包括在冠层上部（5.2.1）、冠层内部（5.2.2）和下方地面（5.3）定量的或定性的（5.4）喷雾沉积采样，具体喷雾沉积布局见图 3。在同一沉积界面位置或在彼此不同的位置进行不少于三次测量。所有的沉积测量结果应根据方差分析（ANOVA，检验水准 5%），进行统计评估。



标引序号说明：

- 1——过滤沉积界面；作物冠层顶部，作物冠层下方的地面（垄脊和沟底）；
- 2——水敏纸；作物冠层下方的地面（（垄脊和沟底））；
- 3——水敏纸；在冠层内三个高度水平的叶片的正面和反面；
- 4——色谱纸；在冠层内三个高度水平的叶片的正面和反面。

图 3 测量作物在冠层中喷雾沉积界面的布局示例

## 5.2 冠层的喷雾沉积采样

### 5.2.1 作物冠层上部的雾滴采集

在作物冠层的顶部上方，应布置总收集面积不少于 1000 cm<sup>2</sup> 的水平片状沉积界面，以测量无人机的喷雾量和进入冠层的总喷雾量。应布置不少于 2 个沉积界面。

注 1：测得的喷雾沉积量表示为叶片单位面积上的雾滴沉积量 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ 。

## 5.2.2 冠层内部

### 5.2.2.1 一般要求

喷雾后，通过对冠层内部的叶片和茎秆采样，或收集喷雾前放置在冠层不同高度（上部、中部、下部）的人造沉积界面，来测量冠层内的喷雾沉积量。

### 5.2.2.2 叶片和茎秆的雾滴收集

喷雾结束后，待雾滴全部干燥后，在冠层不同部位收集不少于 4 片叶子和茎秆（优选在同一植株上），收集后的叶子和茎秆放置于合适的容器中，冷藏避光保存。为确定喷雾沉积量，将样本用一定体积的溶剂（例如去离子水）洗涤并测量叶片的单侧表面积（见附录 B）。计算单位叶面积的沉积量时，表面积为单侧表面积的两倍。

当收集的叶片整个放入容器时，测定的是叶片的总沉积量，不易区分正面和背面的沉积信息，叶片正面和背面的喷雾沉积量可通过对折并粘合在叶片正面和背面的人造沉积界面来分别测定。

注 1：如果特别关注果实、花和种子，可以从作物中采集，并分别进行分析。分析程序与采集叶片和茎秆类似。果实、花和种子上的喷雾沉积结果可用单位质量的喷雾量来表示（例如 $\mu\text{L}/\text{g}$ ）。

注 2：测量整个叶片上的喷雾沉积量时，以喷雾量的百分比或单位叶片面积上的喷雾量 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ 表示。进行叶片正面或背面沉积情况的区别时，以叶片正面或背面单位面积上的喷雾量 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ 表示。正面和背面的喷雾沉积量之和为单位叶片面积的喷雾沉积量（采集整个叶片）。

### 5.2.2.3 人造沉积界面

人造沉积界面的尺寸和形状应与被采样植物（附录 A）部分的尺寸和形状相似，以测量冠层中的沉积。沉积界面可以在冠层上部、中部、下部的叶片或植物的其他部分对折并固定在叶片上。人造沉积界面也可以通过特殊支架放置在作物冠层内，但不能破坏冠层结构。人造沉积界面应按冠层或茎秆的高度和结构放置在不同的叶片层（例如上部、中部、下部），每个高度最少放置四个人造沉积界面（见图 3）。

应根据作物冠层的结构，放置沉积界面。叶片的形状和方向不应因附加沉积界面而改变。沉积界面和固定器的重量应不改变作物冠层结构。沉积界面的大小应适应叶片或被测试植株部位的大小。

喷雾后，按照示踪剂要求在喷雾后 30min 内，尽可能快地回收沉积界面。对沉积界面编号，并将其存放在黑暗、干燥、阴凉处。从沉积界面中提取示踪剂并确定喷雾沉积量，测量方法可参考附录 B 所述的荧光测定法。

测量应进行不少于 3 次重复。对于需要量化喷雾沉积的无人机和作物组合，应在相似的作物冠层和天气条件下进行不少于 3 次测量。

记录测量系统精度，沉积界面效率和回收率的详细信息。

## 5.3 冠层下方地面上的喷雾沉积采样

水平布置总收集面积不少于  $1000\text{cm}^2$  的平面人造沉积界面，用于测量冠层下方地面上的喷雾沉积。用于冠层沉积的植物周围的地面上布置的人造沉积界面不少于 2 个。对于典型大田作物（如马铃薯、甜

菜、棉花等），人造沉积界面可以放置在作物行内（旁边）或作物行间（见图3）。在喷雾前放置沉积界面和喷雾后取出沉积界面时应小心，防止与作物本身产生交叉污染。

对于小作物或杂草的沉积测试，可将人造沉积界面（如试管毛刷）垂直放置在裸露的地面上模拟小作物。

#### 5.4 雾滴分布/喷雾覆盖（可选）

当需要更多关于雾滴分布和雾滴覆盖率的信息时，可以将水敏纸（或类似纸张）放置在图3中所述沉积界面的位置。可以使用图像分析系统对这些纸张的雾滴数量和覆盖范围进行定量测定。需要对图像分析系统进行适当的校准（如，像素尺寸关系和背景去阈值）。不同样本位置每单位面积的覆盖百分比或雾滴数量（见附录C）。

注：示踪剂和添加剂对喷雾液体在水敏纸上的扩散系数有影响。此外，雾滴接触纸张的角度也会影响纸张上的雾滴点。非常小的雾滴不会显现，且大量喷雾会导致水敏纸完全着色。因此，水敏纸只能用于示性分析比较，不能用于精确分析。

如果示踪剂的颜色合适，也可直接在叶片上进行雾滴数量和覆盖率的量化。叶片上的雾滴粒径也可用诱发性的荧光染料来显现，例如在黑光诱发。雾滴分布可以使用数码相机拍摄，然后使用图像分析软件进行分析。

雾滴分布的测量结果可根据方差分析（ANOVA，检验水准5%）进行统计学评估。

## 6 测试报告

### 6.1 报告内容

#### 6.1.1 一般要求

测试报告的描述和结论应是完整的、准确的，测试过程的阐述应是详细的。

#### 6.1.1 报告内容

报告至少应记录下列项目：

- a) 喷雾系统相关数据，包括无人机作业条件，雾化系统，喷头和雾滴分布等；
- b) 试验地块相关数据；
- c) 作物相关数据；
- d) 喷淋液体相关数据；
- e) 作物或作物特定部位（目标区域）的总喷雾沉积量；
- f) 穿透在整个植物冠层中的喷雾沉积量与上部叶片层上的喷雾沉积量的比值，地面沉积量占总喷雾量的比例，不同叶片层（例如上部、中部、下部或内部/外部叶片）的喷雾沉积量占总喷雾量的比例；
- g) 此次测量中喷雾沉积质量平衡；
- h) 雾滴覆盖率

附录 A  
(资料性)  
用于冠层和地面测量的沉积界面示例

A.1 冠层

- 滤纸；
- 色谱纸（例如 Whatman®<sup>1)</sup> 第 2 号；
- 水敏纸；
- 叶片；
- 茎；
- 沉积界面：相同尺寸和类型。

A.2 地表

- 醋酸纤维板（或麦拉片或 PVC 卡）；；
- 铝箔；
- 滤纸；
- 色谱纸（例如 Whatman®<sup>1)</sup> 第 2 号；
- 过滤材料（例如 Technofil®<sup>1)</sup> TF-290, Camfil®<sup>1)</sup> CM-360）；
- 水敏纸；
- 培养皿；
- 沉积界面：相同尺寸和类型。

A.3 冠层顶部

- 滤纸；
- 色谱纸（例如 Whatman®）第 2 号；
- 过滤材料（例如 Technofil® TF-290, Camfil® CM-360）；
- 水敏纸；
- 试管毛刷；
- 培养皿；
- 沉积界面：相同尺寸和类型。

1) Whatman®、Technofil®和Camfil®是合适的产品在商业上可用的例子。此信息是为了方便本文件的使用者而提供的，而不构成对此产品的认可。

## 附录B

## (资料性)

## 荧光测定法和沉积量计算

优化荧光仪的激发波长和发射波长达到示踪剂的最大激发波长强度,以最大限度地分辨示踪剂和背景荧光。干扰或背景荧光可能来自沉积界面、稀释液以及荧光仪中比色(测量)皿的污染物。当沉积界面贴附在叶片上时,必须注意来自叶片(植物汁液)的背景荧光。

用稀释液浸泡沉积界面,使示踪剂进入溶液。结合采样区域和收集到的喷雾量,尽可能减少稀释液的体积以最大限度提高荧光剂回收率。应预先研究示踪剂进入溶液所需的最佳稀释量和时间。

荧光仪的读数与溶液中示踪剂量的相关性为校准曲线。该曲线在一定范围内是一条直线(例如在0-1000范围内,  $10 < x < 950$ ),并通过采样已知浓度的示踪剂确定。

根据荧光仪的读数、校准曲线、沉积界面表面积、喷雾液中的示踪剂浓度、背景荧光(沉积界面和稀释液)以及稀释液的体积,计算每单位面积的喷雾沉积量,例如:按照公式 B.1 计算,单位  $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ 。通过将喷雾飘移沉积量与在相同单位面积上的施用量相关联,可以根据公式 B.2 计算沉积界面上喷雾沉积量的百分比。

$$\beta_{\text{dep}} = \frac{(\rho_{\text{smp}} - \rho_{\text{blk}}) \times F_{\text{cal}} \times V_{\text{dil}}}{\rho_{\text{spray}} \times A_{\text{col}}} \dots\dots\dots (\text{B.1})$$

$$\beta_{\text{dep}\%} = \frac{\beta_{\text{dep}}}{(\beta_V / 100)} \times 100\% \dots\dots\dots (\text{B.2})$$

式中:

$\beta_{\text{dep}}$  ——为是喷雾沉积量,以微升每平方厘米 ( $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ ) 表示;

$\beta_{\text{dep}\%}$  ——为喷雾沉积量百分比 (%);

$\beta_V$  ——为施药液量,以升/公顷 ( $\text{L}/\text{m}^2$ ) 表示;

$\rho_{\text{smp}}$  ——为样品的荧光计读数;

$\rho_{\text{blk}}$  ——为空白沉积界面(沉积界面+稀释水)荧光仪读数;

$F_{\text{cal}}$  ——为荧光计读数与示踪剂浓度 ( $\mu\text{g}/\text{L}$ , 荧光仪刻度单位)之间的关系;

$V_{\text{dil}}$  ——为用于溶解沉积界面上示踪剂的稀释液体(如自来水或去离子水)的体积,用升(L)表示;

$\rho_{\text{spray}}$  ——为喷头处采样的喷雾液体中示踪剂浓度,以克每升(g/L)表示;

$A_{\text{col}}$  ——为沉积界面捕捉喷雾雾滴的投影面积,以平方厘米( $\text{cm}^2$ )表示。

沉积界面的背景荧光可以通过采集不少于10个沉积界面来测定;用适合沉积界面类型的稀释液体浸泡沉积界面;并根据规程确定荧光值。背景荧光平均值由单个荧光仪读数计算。

建议在连续的样本的开头和结尾加入空白水样和空白沉积界面,以便对测试区沉积界面的标准分析程序中进行背景荧光的测定。

## 附录C

(资料性)

## 喷雾分布结果的计算和表述

## C.1 用于测量喷雾分布的沉积界面示例

- 市售的水敏纸 (WSP) 尺寸为 76mm×26mm;
- Kromekote®纸 (KC)。

## C.2 在地面上的沉积界面测得的喷雾分布

喷雾分布可以通过将水敏纸 (WSP) 或透明的 Kromekote®纸 (KC) 放置在沉积界面位置来测量。喷雾后, WSP 或 KC 上的雾滴图案即可可视化的喷雾沉积。WSP 上的雾滴图案将黄色卡纸变成黄底蓝点, 蓝点即雾滴接触卡纸的部位。使用 Kromekote®纸 (KC) 作为沉积界面时应该在喷雾液体中加入红色染料。可使用图像分析系统分析雾滴沉积痕迹, 获得喷雾分布参数, 即雾滴覆盖面积的百分比和单位面积雾滴数。

喷雾分布的测定值应表示为雾滴覆盖面积的百分比 (覆盖率, %), 雾滴数量应表示为单位面积的雾滴数 (滴/cm<sup>2</sup>)。

平均喷雾覆盖率 ( $\bar{x}$ ) 应以占地面面积的百分比给出。

平均雾滴数 ( $\bar{x}$ ) 应以滴/cm<sup>2</sup>表示。

采样点上喷雾分布的均匀性应以测得的喷雾分布值 (覆盖率%, 或雾滴数) 的变异系数 (CV) 或最大偏差 ( $d_{\max}$ ) 记录。

## C.3 计算

平均喷雾分布 (覆盖率或雾滴数) ( $\bar{x}$ ):

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

n ——为沉积界面数量;

$x_i$  ——为第 i 个沉积界面上的雾滴 (覆盖率或雾滴数)。

最大偏差 ( $d_{\max}$ ):

$$d_{\max} = \max\left(\frac{|x_i - \bar{x}|}{\bar{x}} \times 100\right) \dots\dots\dots (C.2)$$

变异系数 (CV):

$$CV = \frac{d_s}{\bar{x}} \times 100 \dots\dots\dots (C.3)$$

式中:

$d_s$  ——为标准差。

$$d_s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Kromekote®是一个合适的产品在商业上可用的例子。此信息是为了方便本文件的使用者而提供的,

而不构成对此产品的认可。

---

全CAPDA 标准团体标准信息平台