

棉花分行冠内冠上组合风送式喷杆喷雾机设计与试验

魏新华¹ 邵菁¹ 解禄观² 吕晓兰³

(1. 江苏大学现代农业装备与技术教育部重点实验室, 镇江 212013; 2. 南通黄海药械有限公司, 南通 226600;
3. 江苏省农业科学院农业设施与装备研究所, 南京 210014)

摘要: 为提高矮化密植棉花的机械化施药效果, 将分行冠内施药与风送式施药技术相结合, 设计了棉花分行冠内冠上组合风送式喷杆喷雾机。分行器在棉花冠层内部撑开雾滴扩散空间, 并通过冠内和冠上的组合式气流扰动和输送, 进一步提高雾滴的扩散范围和沉积分布均匀性。介绍了喷雾机总体结构以及分行器的设计, 详细阐述了风送系统和导风筒出风口的设计方法, 并进行了风场测试和雾量沉积分布试验。风场测试结果表明, 棉花行冠层区域气流场风速较大、横向分布较均匀。雾量沉积分布试验结果表明, 棉花冠层内部叶片正面雾滴平均覆盖率达到 65.30%, 叶片反面达到 39.83%, 上、中、下部冠层叶片正面雾滴平均覆盖率最大相差 10.25%, 叶片反面最大相差 11.75%, 整个冠层雾量沉积分布均匀性较好, 冠内组合风送施药效果明显提高。

关键词: 棉花; 喷杆喷雾机; 冠内施药; 组合风送施药; 风场测试; 雾量沉积分布

中图分类号: S491 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)01-0101-07

Design and Experiment of Air-assisted Cotton Boom Sprayer with Separating Row and Spraying in Inside and Upper Canopy

Wei Xinhua¹ Shao Jing¹ Xie Luguan² Lü Xiaolan³

(1. Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China

2. Nantong Huanghai Chemical Machinery Co., Ltd., Nantong 226600, China

3. Institute of Agriculture Facilities and Equipment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract: In order to improve the mechanized spraying effect of stunted and close planting cotton, an air-assisted cotton boom sprayer with separating row and spraying in inside and upper canopy by combining separating row and spraying inside canopy technology with air-assisted spraying technology was designed. This sprayer braced the droplet diffusion space of inside cotton canopy by row separator and improved droplet diffusion range and distribution uniformity by airflow disturbance and transport of inside and upper cotton canopy. The structure of air-assisted boom sprayer and the design of row separator were described. The air-assisted system was designed by combining substitution principle with end speed principle. The design method of air duct outlet was elaborated. The air-assisted cotton boom sprayer was tested by wind field test and spray deposit distribution test. Wind field test showed wind velocity of the air flow field was big enough and well-distributed. Spray deposit distribution test showed the front leaves average droplet coverage of inside cotton canopy was 65.30% and the back leaves average droplet coverage of inside cotton canopy was 39.83%. The biggest difference of front leaves average droplet coverage among upper canopy, middle canopy and lower canopy was 10.25% and the biggest difference of back leaves average droplet coverage among upper canopy, middle canopy and lower canopy was 11.75%. The spray deposit distribution uniformity of the whole cotton canopy was good and the spraying effect was improved obviously.

Key words: cotton; boom sprayer; inside canopy spraying; air-assisted spraying; wind field test; spray deposit distribution

收稿日期: 2015-07-31 修回日期: 2015-09-06

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201503130)、江苏省农业科技支撑计划项目(BE2013401)、国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2013AA10230704)和江苏高校优势学科建设工程项目(苏政办(2014)37号)

作者简介: 魏新华(1972—),男,研究员,博士生导师,主要从事精确变量高效施药技术研究, E-mail: wei_xh@126.com

引言

棉花是我国的重要经济作物,全国种植面积约420万公顷,其中新疆建设兵团机械化规模种植面积约70万公顷。由于普遍采用矮化密植种植模式,普通喷杆式喷雾机靠纯液力雾化从棉花冠层上方向下喷药,药液雾滴无法穿透棉花的稠密冠层,冠层中下部的药液沉积量很少,病虫害防治效果不佳。为提高施药效果,新疆建设兵团先后试制和引进了吊杆式喷杆喷雾机和风幕式喷杆喷雾机,药液沉积分布和施药效果均有所改善^[1]。吊杆式喷杆喷雾机^[2-3]在沉入冠层内部的吊杆上安装喷头,以实现分行冠内施药,可大幅度增加棉花中下部冠层内的药液量,但由于冠层内部的枝叶遮挡,雾滴扩散困难,冠层内部的药液沉积分布极不均匀。风幕式喷杆喷雾机^[4-9]依靠风送气流扰动,可显著提高棉花中上部冠层内的药液沉积分布均匀性,但对棉花稠密冠层的扰动效果有限,药液雾滴仍难以到达棉花下部冠层。

为提高矮化密植棉花的机械化施药效果,本文将分行冠内施药与风送式施药技术相结合,设计棉花分行冠内冠上组合风送式喷杆喷雾机,通过分行器在棉花冠层内部撑开雾滴扩散空间,并通过冠内和冠上的组合式气流扰动和输送,进一步提高雾滴的扩散范围和沉积分布均匀性。

1 总体设计

1.1 整体结构

棉花分行冠内冠上组合风送式喷杆喷雾机在传统喷杆喷雾机的基础上增设了分行器和风送系统,其整体结构如图1所示,样机照片如图2所示。喷雾机主要由喷雾机机架、喷杆、分行器、喷杆高度调节装置、喷杆折叠装置、变速箱、风机、风囊^[10]、导风筒、药箱、隔膜泵、溢流装置、搅拌装置、药液管路和喷头等组成。喷雾机机架通过液压悬挂装置挂载在拖拉机上。喷杆高度调节装置和喷杆折叠装置由拖拉机液压系统驱动,通过喷杆高度调节油缸和折叠油缸实现喷杆的高度调节和喷杆的折叠与展开^[11]。喷雾机施药系统的隔膜泵和药液搅拌装置以及喷雾机风送系统的风机由拖拉机动力输出轴经变速箱提供动力。

风送系统设有上、下两排导风筒,上排导风筒位于棉花冠层上方,斜向下喷射气流;下排导风筒安装在各个分行器的后部空腔内,在棉花冠层内部斜向上向后喷射气流。上、下两排导风筒内都设置有喷头,喷头喷出的雾滴被导风筒气流裹挟吹入棉花冠

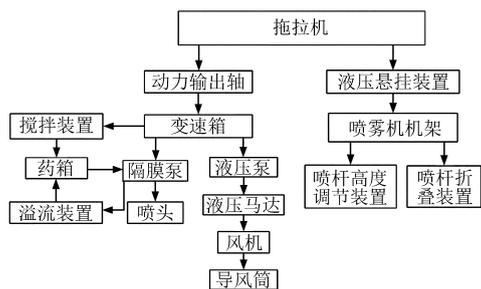


图1 棉花分行冠内冠上组合风送式喷杆喷雾机整体结构框图

Fig.1 Schematic diagram of air-assisted cotton boom sprayer with separating row and spraying in inside and upper canopy



图2 棉花分行冠内冠上组合风送式喷杆喷雾机样机
Fig.2 Prototype of air-assisted cotton boom sprayer with separating row and spraying in inside and upper canopy

层内部,形成冠内冠上立体风送式雾化区,并依靠气流扰动和分行器对冠层内部枝叶的扩撑作用,在棉花冠层内部均匀扩散,从而大幅度提高冠层内部和叶片背面的药液沉积量,改善施药效果。

1.2 分行器设计

分行器的结构^[12]如图3所示。为提高分行和扩撑效果,以便为雾滴扩散提供足够空间,分行器由前部V型导向机构和后部多层导向架组成。前部V型导向机构由一正一反两个类型体曲面组成,两曲面结合处及后端与导向架连接处为连接方便做了平滑调整。每层导向架都包含两根相互平行的导向杆,同层导向杆的后部自由端不连接,以防止刮伤棉株和棉桃,减小行驶阻力。喷雾机作业前进时,前部V型导向机构将棉花冠层内部稠密的枝叶沿着犁体曲面自下向上拨开、分行,后部导向杆则撑住已被分开的棉花枝叶,降低其合拢速度,从而在分行器后部形成一个没有枝叶遮挡的自由扩散区。雾滴在该区域内迅速扩散,并在风送气流的裹挟下穿透进入区域两侧和后部的棉花冠层,从而大幅度提高棉花冠层内部的药液沉积量和沉积分布均匀性。

矮化密植棉花行距为0.76 m,棉花分行后人依然可以在行间行走。为提高分行效果,又不损伤棉花枝叶和棉桃,经田间试验,优选分行器导向架撑开宽度 B_1 为0.28 m。矮化密植棉花株高约0.8 m,离

地高度 0.3 m 以内基本没有枝叶、棉桃,分行器高度 0.35 m 即可撑开棉花中下部冠层,考虑田间作业时喷杆上下颠簸,分行器高度 H_1 优选为 0.45 m。为有效撑住已被分开的棉花枝叶,间隔 0.15 m 设置 3 层导向杆,导向杆长度 L_1 为 0.3 m。

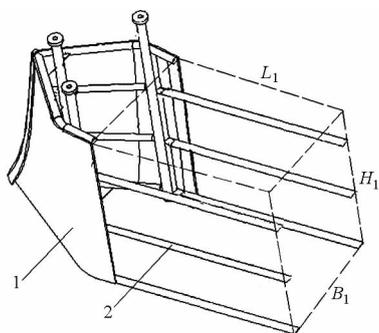


图 3 分行器结构示意图

Fig. 3 Schematic diagram of row separator

1. 前部 V 型导向机构 2. 导向杆

2 风送系统设计

2.1 上排风送系统设计

如图 4 所示,为提高气流扰动效果,上排导风筒出风口呈长方形,内侧安装有可调角度的分风导风板,使气流呈扇形均匀分布,吹动棉花中、上部冠层。



图 4 导风筒结构

Fig. 4 Structure of air duct

1. 上排出口 2. 下排出口 3. 上排导风筒
4. 分行器 5. 下排导风筒

置换原则是风送式喷雾机风量计算的通用方法,其要求各出风口吹出的气流应能驱除并完全置换出风口与作物冠层之间的所有空气^[13-15]。

假设喷雾机作业时作业前进速度和风量恒定,则根据置换原则,单位时间内上排导风筒出风口吹出的气流应为图 5 中虚线所示的立方体体积乘以气流衰减系数,即

$$Q_1 = L_2 H_2 v K_1 \quad (1)$$

式中 Q_1 ——上排导风筒出风口总风量, m^3/s

L_2 ——喷雾机喷幅, m

H_2 ——上排导风筒出风口至棉花冠层顶部的垂直距离, m

v ——喷雾机作业前进速度, m/s

K_1 ——气流衰减和沿途损失系数,取 1.2 ~ 1.5

根据喷雾机设计参数和棉花施药农艺要求,各参数取值为: $L_2 = 12\text{ m}$ 、 $H_2 = 0.18\text{ m}$ 、 $v = 1.33\text{ m/s}$,由于出风口距离棉花冠层较近, K_1 取 1.2,求得 $Q_1 \geq 3.45\text{ m}^3/s$ 。

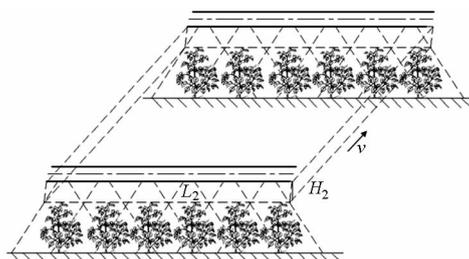


图 5 上排导风筒风量计算简图

Fig. 5 Air volume calculation diagram of upper air duct

为提高气流扰动效果,确保气流和雾滴能够穿透冠层内部,风送系统设计还需满足末速度原则,即气流到达作物冠层时,必须仍具有一定的速度,即末速度。根据作物冠层特性,末速度一般取为 2 ~ 4 m/s ^[13]。

如图 6 所示,上排导风筒出风口吹出的风量总和等于棉花冠层顶部受风区域吹入的风量总和乘以气流衰减系数,即

$$Q_1 = N_1 L_3 B_3 v_1 = L_2 B_2 v_2 K_1 \quad (2)$$

其中

$$v_1 = \frac{L_2 B_2 v_2 K_1}{N_1 L_3 B_3}$$

式中 N_1 ——上排导风筒出风口数量

L_3 ——上排导风筒出风口长度, m

B_3 ——上排导风筒出风口宽度, m

v_1 ——上排导风筒出风口风速, m/s

B_2 ——棉花冠层顶部受风区域的宽度, m

v_2 ——上排导风筒气流到达棉花冠层顶部时的末速度, m/s

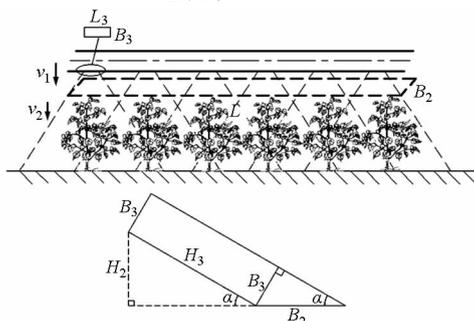


图 6 上排导风筒末速度计算简图

Fig. 6 End speed calculation diagram of upper air duct

根据喷雾机设计参数和棉花施药的农艺要求,各参数的取值为: $N_1 = 17$ 、 $L_2 = 12 \text{ m}$ 、 $v_2 = 2 \text{ m/s}$ 、 $K_1 = 1.2$,为提高出风口风速,增强气流扰动强度,出风口长度 L_3 设为 0.22 m ,出风口与水平面夹角 α 取为 30° (如图4、6所示),所以 $B_2 = 2B_3$,求得 $v_1 \geq 15.4 \text{ m/s}$ 。

由 $Q_1 = N_1 L_3 B_3 v_1$,得出上排导风筒出风口宽度 B_3 为

$$B_3 = \frac{Q_1}{N_1 L_3 v_1} = \frac{3.45}{17 \times 0.22 \times 15.4} \approx 0.06 \text{ m} \quad (3)$$

为使上排导风筒气流到达棉花冠层顶部时,覆盖整个喷雾机的喷幅,要求每个出风口气流向左右两侧扩散至棉花冠层顶部时,可以覆盖棉花整个行间距离。由图6可得,上排导风筒出风口至棉花冠层顶部的距离 $H_3 = 2H_2 = 0.36 \text{ m}$ 。由图7a可得,上排导风筒出风口向左右两侧扩散角 β 为

$$\beta = \arctan \frac{L_4 - L_3}{2H_3} = \arctan \frac{0.76 - 0.22}{2 \times 0.36} \approx 37^\circ \quad (4)$$

式中 L_4 ——棉花行距, m

H_3 ——上排导风筒出风口至棉花冠层顶部的距离, m

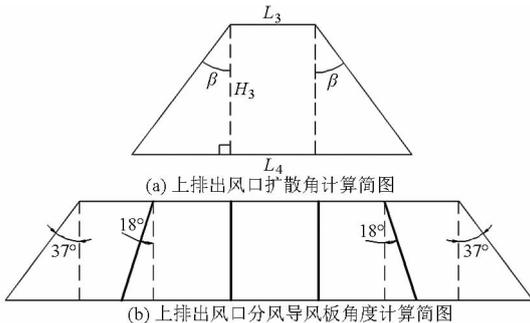


图7 上排导风筒出风口扩散角及导风板角度计算简图
Fig. 7 Diffusion angle and air deflector angle calculation diagram of upper air duct

如图7b所示,为使风送均匀,喷雾机作业时,将上排导风筒出风口内侧的分风导风板(图7b粗实线所示)角度从左至右依次调至 18° 、 0° 、 0° 、 18° 。

2.2 下排风送系统设计

如图4所示,安装在各个分行器后部空腔内的下排导风筒左右两侧各有一个出风口,出风口呈梯形,内侧安装有角度可调的分风导风板,使气流向两侧呈扇形均匀分布,吹动棉花中、下部冠层。

下排导风筒的总风量为置于各个分行器后部空腔内的所有出风口风量的总和。根据置换原则,单位时间内每个下排导风筒的两个出风口吹出的气流应为图8粗虚线所示立方体的体积乘以气流衰减系数,即

$$Q_2 = N_2 H_1 B_1 v K_1 \quad (5)$$

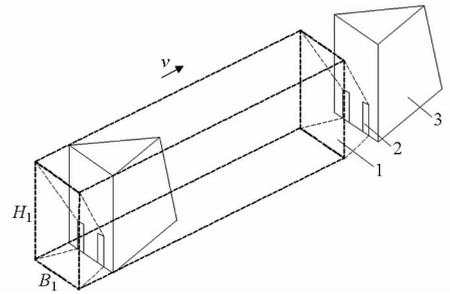


图8 下排导风筒风量计算简图

Fig. 8 Air volume calculation diagram of lower air duct

1. 气流到达棉花的平面 2. 出风口 3. 分行器

式中 Q_2 ——下排导风筒出风口总风量, m^3/s

N_2 ——下排导风筒个数

根据喷雾机设计参数和棉花施药的农艺要求,各参数的取值为: $N_2 = 16$ 、 $H_1 = 0.45 \text{ m}$ 、 $B_1 = 0.28 \text{ m}$ 、 $v = 1.33 \text{ m/s}$,由于下排导风筒出风口距分行器侧后方棉花冠层较近, K_1 取 1.2 ,求得 $Q_2 \geq 3.22 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

如图9所示,每个分行器后部空腔内两个出风口吹出的风量应等于分行器后部棉花冠层受风区域(即分行器导向架撑开区域的横向面积)吹入的风量乘以气流衰减系数,即

$$Q_2 = 2N_2 H_4 B_4 v_3 = N_2 H_1 B_1 v_4 K_1 \quad (6)$$

其中

$$H_4 B_4 = \frac{H_1 B_1 v_4 K_1}{2v_3}$$

式中 H_4 ——下排导风筒出风口高度, m

B_4 ——下排导风筒出风口宽度, m

v_3 ——下排导风筒出风口风速, m/s

v_4 ——下排导风筒气流到达棉花冠层时的末速度, m/s

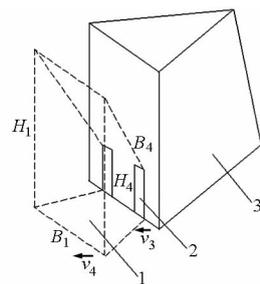


图9 下排导风筒末速度计算简图

Fig. 9 End speed calculation diagram of lower air duct

1. 气流到达棉花的平面 2. 出风口 3. 分行器

根据喷雾机设计参数和棉花施药的农艺要求,各参数的取值为: $v_4 = 2 \text{ m/s}$ 、 $K_1 = 1.2$,为使上下排导风筒出风口末速度相同,取 $v_3 = v_1 = 15.4 \text{ m/s}$,得出下排导风筒出风口面积 $S = H_4 B_4 \approx 0.01 \text{ m}^2$ 、 $Q_2 \geq 4.93 \text{ m}^3/\text{s}$,取 $H_4 = 0.2 \text{ m}$ 、 $B_4 = 0.05 \text{ m}$ 。

如图10a所示,为使下排导风筒气流向上扩散至整个分行器导向杆撑开的后部空间,下排导风筒出风口向上扩散角 γ 为

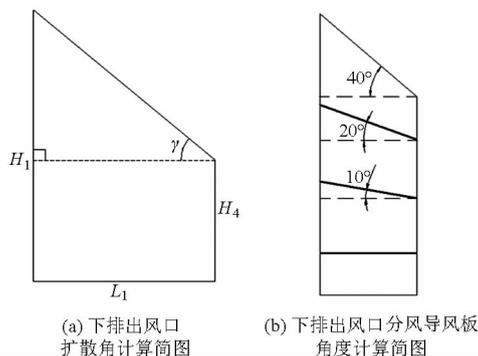


图 10 下排导风筒出风口扩散角及导风板角度计算简图

Fig. 10 Diffusion angle and air deflector angle calculation diagram of lower air duct

$$\gamma = \arctan \frac{H_1 - H_4}{L_1} = \arctan \frac{0.45 - 0.2}{0.3} \approx 40^\circ \quad (7)$$

如图 10b 所示,为使风送均匀,喷雾机作业时,将下排导风筒出风口内侧的分风导风板(图 10b 粗实线所示)角度从上到下依次调至 20°、10°、0°。

为同时满足置换原则和末速度原则,上、下排导风筒出风口总风量必须满足: $Q_1 \geq 3.45 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $Q_2 \geq 4.93 \text{ m}^3/\text{s}$,所以风机风量 Q 必须满足

$$Q = Q_1 + Q_2 \geq 8.38 \text{ m}^3/\text{s} \quad (8)$$

根据风机风量要求,选取 T35-11 型风机(上海锐友机械有限公司),额定转速 1 450 r/min、额定风量 31 325 m^3/h (即 8.7 m^3/s)、风压 354 Pa,风机所需轴功率为

$$N = \frac{Q' p_t}{1\,000 \eta_i \eta_m} = \frac{8.7 \times 354}{1\,000 \times 0.85 \times 1} \approx 3.62 \text{ kW} \quad (9)$$

式中 N ——风机轴功率, kW
 Q' ——风机风量, m^3/s
 p_t ——风机风压, Pa
 η_i ——叶轮效率,取 0.85
 η_m ——机械效率,取 1.0

3 风场测试

3.1 风场测试方法

为检验喷雾机风送系统的气流强度及均匀性,对风送系统的气流场速度分布进行了测试^[16]。选取一个上排导风筒及其左右两侧相邻的两个下排导风筒的后部区域为测试区域。根据上下排导风筒出风口的布置特点,测点安排如图 11 黑点所示。测试区域横向宽度取为下排导风筒的间距 0.76 m,由于上排导风筒出风口处于两个下排导风筒的正中,宽度为 0.22 m,且上排导风筒出风口两侧与相邻下排导风筒出风口的距离为 0.13 m,所以在横向间隔 0.14 m、0.13 m、0.11 m、0.11 m、0.13 m、0.14 m 共设置 7 排测点。测试区域纵向长度 1.5 m,从距离出风口 0.5 m 处开始,每间隔 0.5 m 共设置 4 排测点。测试区域垂直高度取为矮化密植棉花的冠层高度 0.8 m,由于上排导风筒出风口距离地面为 1 m,下排导风筒出风口下端距离地面为 0.3 m、出风口高度 0.2 m,所以从距离地面 0.2 m 处开始,每间隔 0.2 m 共设置 5 层测点。

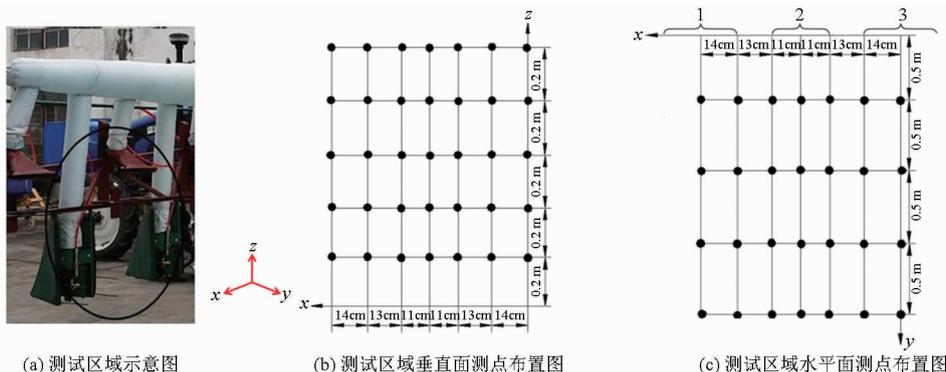


图 11 风速检测点分布图

Fig. 11 Distribution map of wind speed detection point

1,3. 下排导风筒 2. 上排导风筒

风场测试在室外进行,施药机组原地不动,调节拖拉机油门,使风机转速达到 1 450 r/min 的额定转速。由于室外测试需考虑自然风的影响,故采用两台 VT100 型精密热线风速仪(法国 KIMO 仪器公司)同步测量气流场风速和自然风速,并将气流场风速减去自然风速,得到实际气流场风速,每个测点测量 3 次取均值。

3.2 风场测试结果及分析

气流场风速的测量结果如图 12 所示。

由图 12a 可知,在距离出风口 0.5 m 处的横向垂面上,对应于棉花行间空隙处(横坐标为 0 cm 和 76 cm 附近)的气流场风速较小;而对应于棉花行冠层区域(横坐标 14 ~ 62 cm 范围)的气流场风速较大且比较均匀,中下部冠层对应区域(0.6 m 和 0.4 m

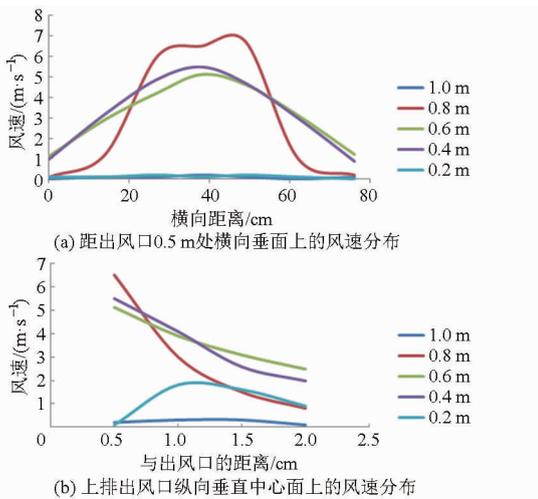


图 12 风速测试结果

Fig. 12 Result of wind speed test

离地高度处)的风速均在 3 m/s 以上,上部冠层对应区域 (0.8 m 离地高度处)的中心区域风速达到了 6 m/s 以上,完全满足风送系统的末速度要求。由于棉花的类树形结构,其上部冠层宽度较小,离地高度 0.3 m 以下基本没有枝、叶、棉桃,所以上部冠层对应区域的两侧区域风速较小、 0.2 m 离地高度附近风速很小,不但不会影响病虫害防治效果,反而有利于减小风机风量和能耗。

由图 12b 可知,在对应棉花行中心区域的上排出口纵向垂直中心面上,对应棉花上部、中部和下部冠层 (0.8 m 、 0.6 m 和 0.4 m 离地高度处)区域的气流场风速都较大(距离出口 0.5 m 处的风速都在 5 m/s 以上),且气流穿透能力较强(距离出口 1.0 m 处的风速仍大于 3 m/s);由于上下排导风筒气流的叠加,对应中、下部冠层区域的气流速度衰减较慢,在距离出口 1.5 m 处的风速仍大于 3 m/s ,有利于雾滴在棉花冠层内部的扩散;由于下排导风筒气流的扩散,在下排导风筒出口后方, 0.2 m 离地高度附近的气流强度逐渐增加,有利于减少雾滴向地面的沉降。

4 雾量沉积分布试验

4.1 试验方法

为检验喷雾机的雾量沉积分布情况,采用高度约 0.8 m 的仿真棉花和水敏纸在室外进行雾量沉积分布场地试验。经试验测试,仿真棉花机械特性与真实棉花基本相同。6 株仿真棉花按株距 0.2 m 、行距 0.76 m 排成两行,在每行中间的那株棉花上分别选择测点并布置水敏纸,如图 13 所示。在离地 70 cm 、 55 cm 和 40 cm 左右的上部、中部和下部冠层内设置 3 层共 9 个测点:棉株上部冠层前边和后边的冠层外部(远离棉株主干)叶片各 1 个、棉株中部冠层内侧(两行之间)的冠层内部和外部叶片各 1 个、棉株下部冠层前边的冠层内部叶片 1 个,棉株下部冠层左右两侧与作业前进方向呈 120° 角的冠层外部叶片各 1 个。在每个测点上,用曲别针将两片水敏纸分别固定在测试叶片的正反两面。

冠层前边和后边的冠层内部(靠近主干)叶片各 1 个、棉株中部冠层内侧(两行之间)的冠层内部和外部叶片各 1 个、棉株下部冠层前边的冠层内部叶片 1 个,棉株下部冠层左右两侧与作业前进方向呈 120° 角的冠层外部叶片各 1 个。在每个测点上,用曲别针将两片水敏纸分别固定在测试叶片的正反两面。



图 13 雾量沉积分布试验现场图像

Fig. 13 Scene picture of spray deposit distribution test

1. 仿真棉花 2. 水敏纸

将喷雾机上排导风筒出口高度调至距棉花冠层顶部 0.18 m ,使喷雾机以 4.8 km/h 的作业速度(此时风机转速为 1450 r/min)进行施药。施药后,等水敏纸晾干,取下水敏纸并对其标号放入塑封袋,带回实验室进行图像处理并计算雾滴覆盖率^[17-19]。

4.2 试验结果

水敏纸的图像处理过程如图 14 所示,首先采用扫描仪扫描水敏纸,得到灰度图,再使用 Matlab 软件将灰度图二值化,最后根据二值化的结果计算出测试叶片的雾滴覆盖率,并分别统计上、中、下部冠层、内部冠层和整个冠层叶片正反面雾滴平均覆盖率。结果如表 1 所示。

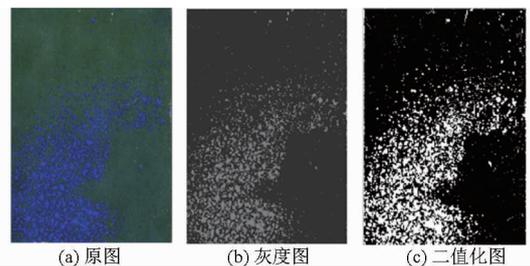


图 14 图像处理

Fig. 14 Image processing

表 1 仿真棉花冠层雾滴平均覆盖率

Tab. 1 Average droplet coverage of artificial cotton canopy %

上部冠层		中部冠层		下部冠层		内部冠层		整个冠层	
正面	反面								
79.29	35.43	70.92	47.18	69.04	44.51	65.30	39.83	72.15	43.68

如表 1 所示,棉花整个冠层的叶片正面雾滴平均覆盖率达到 72.15% ,叶片反面达到了

43.68%;即使冠层内部,叶片正面雾滴平均覆盖率也达到了65.30%,叶片反面达到了39.83%,分行冠内施药效果明显提高;上、中、下部冠层叶片正面雾滴平均覆盖率最大相差10.25%,叶片反面最大相差11.75%,整个冠层雾量沉积分布均匀性较好。

5 结论

(1)将分行冠内施药与风送式施药技术相结合,设计了棉花分行冠内冠上组合风送式喷杆喷雾机,通过分行器在棉花冠层内部撑开雾滴扩散空间,并通过冠内和冠上的组合式气流扰动和输送,进一步提高雾滴的扩散范围和沉积分布均匀性。

(2)风场测试结果表明,棉花行冠层区域气流

场风速较大、横向分布较均匀、气流穿透能力较强,完全满足风送系统的末速度要求;中、下部冠层区域的气流速度衰减较慢,有利于雾滴在棉花冠层内部的扩散。

(3)雾量沉积分布试验结果表明,棉花冠层内部叶片正面雾滴平均覆盖率达到65.30%、叶片反面达到了39.83%,上、中、下部冠层叶片正面雾滴平均覆盖率最大相差10.25%、叶片反面最大相差11.75%,整个冠层雾量沉积分布均匀性较好,冠内组合风送施药效果明显提高。

(4)由于本文风送系统设计采用的是置换原则和末速度原则等经验方法,若对风送系统进行流场仿真分析和优化,施药效果还可进一步提高。

参 考 文 献

- 刘刚,张晓辉,范国强,等.棉花施药机械的应用现状及发展趋势[J].农机化研究,2014,36(4):225-228.
Liu Gang, Zhang Xiaohui, Fan Guoqiang, et al. Application status and development trend of cotton spraying machine[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2014, 36(4): 225-228. (in Chinese)
- 陈志刚,吴春笃,杨学军.喷杆喷雾雾量的分布均匀性[J].江苏大学学报:自然科学版,2008,29(6):465-468.
Chen Zhigang, Wu Chundu, Yang Xuejun. Spray distribution uniformity of boom spraying[J]. Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition, 2008, 29(6): 465-468. (in Chinese)
- 王潇楠,何雄奎,Andreas Herbst,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.
Wang Xiaonan, He Xiongkui, Andreas Herbst, et al. Development and performance test of spray drift test system for sprayer with bar[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(18): 55-62. (in Chinese)
- 何雄奎,曾爱军,刘亚佳,等.水田风送低量喷杆喷雾机设计及其参数研究[J].农业工程学报,2005,21(9):76-79.
He Xiongkui, Zeng Aijun, Liu Yajia, et al. Design and parameter test of the low volume air assistant rice boom sprayer[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(9): 76-79. (in Chinese)
- 张铁,杨学军,董祥,等.超高地隙风幕式喷杆喷雾机施药性能试验[J].农业机械学报,2012,43(10):66-71.
Zhang Tie, Yang Xuejun, Dong Xiang, et al. Experiment on spraying performance of super-high clearance boom sprayer with air-assisted system[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(10): 66-71. (in Chinese)
- 张铁,杨学军,严荷荣,等.超高地隙喷杆喷雾机风幕式防飘移技术研究[J].农业机械学报,2012,43(12):77-86.
Zhang Tie, Yang Xuejun, Yan Herong, et al. Anti-drift technology of super-high clearance boom sprayer with air-assisted system[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(12): 77-86. (in Chinese)
- 燕明德,毛罕平,贾卫东,等.风幕式喷杆喷雾气流两相流数值模拟[J].农业机械学报,2013,44(10):68-74.
Yan Mingde, Mao Hanping, Jia Weidong, et al. Numerical simulation on gas-liquid two phase flow of air-assist boom spraying[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(10): 68-74. (in Chinese)
- 燕明德,贾卫东,毛罕平,等.风幕式喷杆喷雾雾滴粒径与速度分布试验[J].农业机械学报,2014,45(11):104-110.
Yan Mingde, Jia Weidong, Mao Hanping, et al. Experimental investigation of droplet diameter and velocity distributions in air-assist boom sprays[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(11): 104-110. (in Chinese)
- Zhu H, Brazee R D, Derksen R C. A specially designed air-assisted sprayer to improve spray penetration and air jet velocity distribution inside dense nursery crops[J]. Transactions of the ASABE, 2006, 49(5): 1285-1294.
- 解禄观.一种高效喷雾机用风幕:中国,201420331496.6[P].2014-10-22.
- 魏新华,邵菁,缪丹丹,等.喷杆式喷雾机喷杆高度及平衡在线调控系统[J].农业机械学报,2015,46(8):66-71.
Wei Xinhua, Shao Jing, Miao Dandan, et al. Online control system of spray boom height and balance[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(8): 66-71. (in Chinese)
- 解禄观.一种适用于棉田的分行器:中国,201410321288.2[P].2014-10-08.
- 戴奋奋.风送喷雾机风量的选择与计算[J].植物保护,2008,34(6):124-127.
Dai Fenfen. Selection and calculation of the blowing rate of air assisted sprayers [J]. Plant Protection, 2008, 34(6): 124-127. (in Chinese)
- 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.
Ding Suming, Fu Ximin, Xue Xinyu, et al. Design and experiment of self-propelled air-assisted sprayer in orchard with dwarf culture[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(15): 18-25. (in Chinese)

- 4 Qin Shuhao, Zhang Junlian, Dai Hailin, et al. Effect of ridge-furrow and plastic-mulching planting patterns on yield formation and water movement of potato in a semi-arid area[J]. *Agricultural Water Management*,2014,131:87-94.
- 5 Daniel S Egel, Ray Martyn, Chris Gunter. Planting method, plastic mulch, and fumigation influence growth, yield, and root structure of watermelon[J]. *Hort Science*,2008,43(5):1410-1414.
- 6 李来祥,刘广才,杨祁峰,等. 甘肃省旱地全膜双垄沟播技术研究与应用进展[J]. *干旱地区农业研究*,2009,27(1):114-118.
Li Laixiang, Liu Guangcai, Yang Qifeng, et al. Research and application development for the techniques of whole plastic-film mulching on double ridges and planting in catchment furrows in dry land[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*,2009,27(1):114-118. (in Chinese)
- 7 刘晓伟,何宝林,郭天文. 全膜双垄沟不同覆膜时期对玉米土壤水分和产量的影响[J]. *核农学报*,2012,26(3):602-609.
Liu Xiaowei, He Baolin, Guo Tianwen. Effects of full mulching on double ridges with different mulching methods on soil water content and maize yield in dryland[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*,2012,26(3):602-609. (in Chinese)
- 8 Borut Gosar, Dea Baričević. Incorporation of a ridge-furrow-ridge rainwater harvesting system with mulches in high-value plant production[J]. *Irrigation and Drainage*,2011,60(4):518-525.
- 9 赵武云,戴飞,张锋伟,等. 全膜双垄沟玉米种植全程机械化作业方法:中国,201310492318.1[P],2015-04-01.
- 10 史增录,赵武云,马海军,等. 全膜双垄沟播起垄施肥铺膜机的研制[J]. *干旱地区农业研究*,2012,30(2):169-174.
Shi Zenglu, Zhao Wuyun, Ma Haijun, et al. Whole plastic-film double furrow sowing cultivation of the design and manufacture of ridge fertilization filming machine[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*,2012,30(2):169-174. (in Chinese)
- 11 NY/T 986—2006 铺膜机作业质量[S]. 2006.
- 12 DB62/T 1935—2010 全膜双垄沟铺膜机操作规程及作业质量验收[S]. 2010.
- 13 夏连明,王相友,耿端阳. 倾斜圆台型玉米精密排种器种子破损试验[J]. *农业机械学报*,2012,43(12):67-71.
Xia Lianming, Wang Xiangyou, Geng Duanyang. Corn seed damaging experiment in truncated cone precision metering[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*,2012,43(12):67-71. (in Chinese)
- 14 易军鹏,朱文学,马海乐,等. 牡丹籽油超声波辅助提取工艺的响应面法优化[J]. *农业机械学报*,2009,40(6):103-110.
Yi Junpeng, Zhu Wenxue, Ma Haile, et al. Optimization on ultrasonic-assisted extraction technology of oil from *paonia suffruticosa* andr. seeds with response surface analysis[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*,2009,40(6):103-110. (in Chinese)
- 15 袁雪,祁力钧,王虎,等. 温室摇摆式变量弥雾机喷雾参数响应面法优化[J]. *农业机械学报*,2012,43(4):45-50.
Yuan Xue, Qi Lijun, Wang Hu, et al. Spraying parameters optimization of swing, automatic variables and greenhouse mist sprayer with response surface method[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*,2012,43(4):45-50. (in Chinese)

~~~~~

(上接第 107 页)

- 15 邱威,丁为民,汪小昆,等. 3WZ-700型自走式果园风送定向喷雾机[J]. *农业机械学报*,2012,43(4):26-30,44.  
Qiu Wei, Ding Weimin, Wang Xiaochan, et al. 3WZ-700 self-propelled air-blowing orchard sprayer[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2012,43(4):26-30,44. (in Chinese)
- 16 邱威,丁为民,傅锡敏,等. 果园喷雾机圆环双流道风机的设计与试验[J]. *农业工程学报*,2012,28(12):13-17.  
Qiu Wei, Ding Weimin, Fu Ximin, et al. Design and experiment of ring double-channel fan for spraying machine in orchard[J]. *Transactions of the CSAE*,2012,28(12):13-17. (in Chinese)
- 17 祁力钧,胡开群,莽璐,等. 基于图像处理的雾滴检测技术[J]. *农业机械学报*,2009,40(增刊):48-51.  
Qi Lijun, Hu Kaiqun, Mang Lu, et al. Droplet detection based on image processing[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*,2009,40(Supp.):48-51. (in Chinese)
- 18 张晓辛,吕晓兰,丁素明,等. 果园风送式喷雾机仿形喷雾试验研究[J]. *中国农机化*,2011,32(3):68-72.  
Zhang Xiaoxin, Lü Xiaolan, Ding Suming, et al. Experimental research on profiling spray of air-assisted orchard sprayer [J]. *Chinese Agricultural Mechanization*,2011,32(3):68-72. (in Chinese)
- 19 吕晓兰,傅锡敏,吴萍,等. 喷雾技术参数对雾滴沉积分布影响试验[J]. *农业机械学报*,2011,42(6):70-75.  
Lü Xiaolan, Fu Ximin, Wu Ping, et al. Influence of spray operating parameters on droplet deposition[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*,2011,42(6):70-75. (in Chinese)