

下吹气流速度对杂交水稻授粉分布的影响

方诗伦^{1,2}, 汤楚宙^{1,2*}, 罗海峰^{1,2}

(1.湖南农业大学工学院, 湖南 长沙 410128; 2.湖南省现代农业装备工程技术研究中心, 湖南 长沙 410128)

摘 要: 利用吊扇模拟直升机产生下吹气流, 设计下吹气流授粉试验装置, 以花粉总量、花粉密度、花粉水平分布和垂直分布为评价指标, 分析下吹气流速度对杂交水稻授粉花粉分布的影响。结果表明, 花粉总量、花粉水平分布和垂直分布随着下吹气流速度的增大而增大。当下吹气流速度小于 1.12 m/s 时, 花粉传播距离为 0.42 m; 当下吹气流速度为 3.23 m/s 时, 花粉总量和分布范围较下吹气流速度为 1.85 m/s 时明显增加, 花粉总量的增量为 413 粒, 花粉有效分布面积率增长 20.35%。

关 键 词: 杂交水稻; 气流速度; 授粉; 花粉; 分布

中图分类号: S233.71; S511.048 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2014)04-0426-05

Effect of katabatic airflow velocity on the distribution of pollination of hybrid rice

FANG Shi-lun^{1,2}, TANG Chu-zhou^{1,2*}, LUO Hai-feng^{1,2}

(1.College of Engineering, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2.Hunan Provincial Engineering Technology Research Center for Modern Agricultural Equipment, Changsha 410128, China)

Abstract: Ceiling fan was used to simulate helicopter to produce down blowing airflow, which was applied in design of a pollination device blowing katabatic airflow. Then total amount of pollens, pollen density, horizontal and vertical distributions of pollens were appraised to analyze the effects of down blowing airflow on the distribution of rice pollen during pollination. The results showed that the total amount of pollens, pollen density, pollen horizontal and vertical distributions increased with increasing velocity. When the air velocity is below 1.12 m/s, the propagation distance of pollens is 0.42 m. Total amount of pollens and distribution ranges under velocity of 1.85 m/s were obviously increased compared to those under velocity of 3.23 m/s, with total amount of pollens increased by 413 pollens and the percentage of effective pollen distribution area increased by 20.35%.

Key words: hybrid rice; airflow speed; pollination; pollen; distribution

充足适量的授粉能大大提高杂交水稻的结实率, 从而提高制种产量。现阶段杂交水稻的授粉主要依靠人工赶粉、绳索拉粉等方式, 授粉效率低且授粉不均匀, 严重制约了杂交水稻制种产量的提高^[2]。机械化、高效率的授粉是杂交水稻制种发展的必然趋势。近年来, 美国主要采用直升飞机进行人工辅助授粉, 实现了杂交水稻制种全程机械化^[3]。2012 年 4 月 9 日, 中国首次在海南三亚海

棠湾水稻制种基地成功实施无人直升机辅助授粉; 同年 8 月 26 日和 9 月 4 日无人驾驶直升机授粉在湖南岳阳君山育种基地和扬中油坊生态示范园取得成功。飞机授粉面积每天可达 133 hm², 每 hm² 成本仅 300 元^[4-7]。无人机辅助授粉最大的优势是花粉传播距离变大后, 可以实现 2 m 宽父本和 7 m 宽母本大间隔栽插, 不仅保证母本植株的优良, 也可使父本植株实现机械化插秧、收割, 保留授粉后

收稿日期: 2013-12-11

基金项目: 湖南省科学技术厅产业联盟项目(2010xk6001)

作者简介: 方诗伦(1989—), 男, 湖南益阳人, 硕士研究生, 主要从事农业机械创新设计与试验研究, 1300737@163.com; *通信作者, chzhtang2002@sina.com

父本，从而增加粮食产量。罗锡文等^[8-9]对无人直升机辅助授粉进行的试验与研究发现，直升机飞行的高度决定了风场范围的大小；直升机顺风飞行授粉效果比逆风飞行的效果好；平行于飞行方向的风力最大，有利于更远地传播水稻花粉。由直升机产生的下吹气流授粉具有效率高、自动化程度高、效果良好且节约成本的优点。

为了明确下吹气流速度对杂交水稻授粉的影响，笔者在室内采用吊扇模拟产生下吹气流，固定吊扇距离植株的高度及吊扇水平方向的移动速度，考察下吹气流速度对花粉总量、花粉的水平分布和垂直分布的影响，以期为下吹式气力授粉机械的设计提供理论依据。

1 下吹气力式授粉原理

气力式授粉是指利用吊扇或风机产生气流，将父本花粉吹送到母本雌蕊上，完成授粉过程。气流

作用的方式主要有 2 种：一种是气流直接将花粉吹起使其落在柱头上；另一种是气流作用在植株的茎秆，使植株发生弯曲形变将花粉抛洒出去^[10-11]。研究表明，2 种方式花粉传播的距离都与气流的初速度有关，气流初速度越大，花粉脱离植株获得的动能就越大，花粉沿风力方向传播距离越远^[12]。吊扇产生的气流是由上往下的气流，气流向下达到植株时，一方面使植株发生弹性变形，扬起花粉；另一方面气流受到植株的阻碍而向四周传播，吹动花粉沿气流传播方向运动。已有研究表明，吊扇产生的气流为一墙壁射流，下方任意一点的速度与其距离吊扇运动圆周的距离成反比^[13]。根据 Wallis 的理论，风速流量正比于转速，吊扇产生的气流速度也应正比于吊扇的转速^[13]。室内用风速仪测得的吊扇距植株不同高度、不同转速档位对应的气流速度见表 1。

表 1 不同吊扇 转速和距植株高度下的气流速度

Table 1 Airflow velocities under different rotational speeds of the fan and different distances between the fan and the plant					
吊扇距离植株的高度/m	吊扇转速/(r·min ⁻¹)	气流速度/(m·s ⁻¹)	吊扇距离植株的高度/m	吊扇转速/(r·min ⁻¹)	气流速度/(m·s ⁻¹)
0.5	70	1.12	1.1	70	0.78
0.5	140	1.85	1.1	140	1.33
0.5	210	2.47	1.1	210	2.02
0.5	280	3.23	1.1	280	2.68
0.5	350	4.07	1.1	350	3.52
0.8	70	0.93	1.4	70	0.64
0.8	140	1.62	1.4	140	1.23
0.8	210	2.35	1.4	210	1.89
0.8	280	2.96	1.4	280	2.55
0.8	350	3.77	1.4	350	3.05

2 材料与方法

2.1 材 料

杂交水稻父本 R608，3 月中下旬播种，7 月中旬至 8 月初抽穗扬花。开始抽穗时，将水稻植株移至直径 0.25 m 的塑料培养钵内。每组 15 株，共 45 株。试验期间室内平均温度约为 25.5 ℃，最高温度 34 ℃，最低温度 21 ℃。保持室内清洁。

主要仪器设备包括钻石牌 56 cm 大功率吊扇、XSP-6C 生物显微镜。自制水平采样板和竖直采样板(根据田间父母本插秧的宽度的要求设计，由木条和有机玻璃条拼接成 3 块 1.2 m×1 m 的采样板，采用均分法划分采样点，采样点间距为 120 mm)。

保持 3 块采样板通风率(即采样板中透风的面积与采样板总面积的比)80%左右。采样板如图 1 所示。

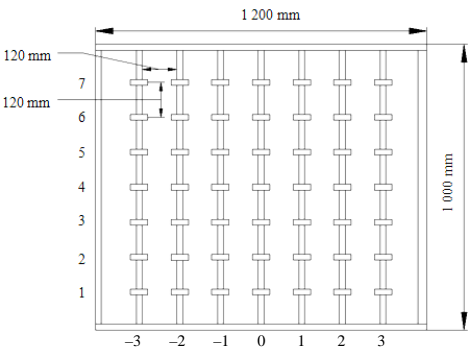


图 1 水平采样板和竖直采样板

Fig.1 Horizontal and vertical sampling boards

2.2 试验设计

45 株父本分成 3 组, 分别在下吹气流速度 1.12、1.85、2.47、3.23、4.17 m/s 下进行试验。每组试验取 3 株样本重复 3 次, 取平均值作为试验数据。在水稻植株处于旺花期进行试验(10:00 至 12:00)将其移到试验室内, 减小自然风的影响。试验装置如图 2 所示。水稻植株处于 2 块水平采样板的中间, 水稻植株靠近采样板, 竖直采样板位于水稻植株其中一侧距离植株 1 m 处, 底端比植株穗头低 0.3~0.4 m。上方是可调速且能水平移动的吊扇。试验中, 将吊扇保持在同一高度, 调至试验所需档位, 并使其充分转动, 再使吊扇以恒定的速度由右至左从植株上方通过, 完成 1 次试验。以植株中心为原点, 垂直植株方向为 Z 轴, 以沿吊扇前进方向为 X 轴正向, 垂直吊扇移动方向为 Y 轴, 将涂有凡士林的载玻片放置在采样点进行数据采集, 试验结束后, 观察载玻片上花粉数量。每个载玻片采用均分法, 沿玻片轴线划分上、下、左、右、中 5 个采样点, 分别为对称中心和距离对称中心上下 15 mm、左右 30 mm 处。取 5 个视野平均值为单个视野面积花粉数量。各张载玻片单视野花粉数量相加作为水平分布量或竖直分布量。

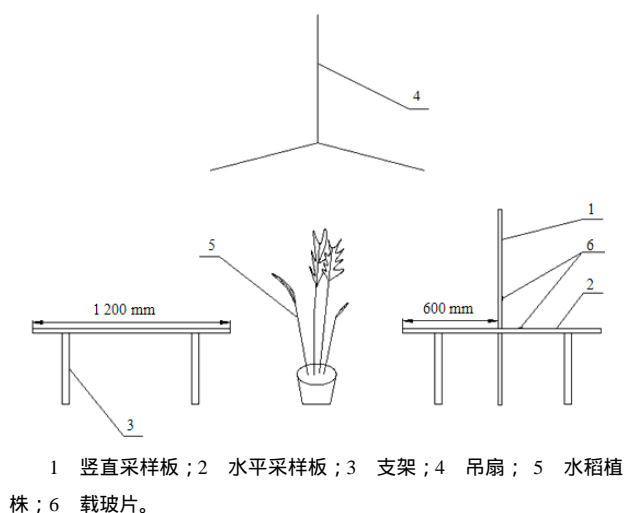


图 2 试验装置

Fig.2 Arrangement diagram of the test device

第 1 组样本进行水平分布试验。吊扇距地面高度固定为 0.5 m, 水平移动速度固定为 30 m/min; 将采集到花粉的涂有凡士林的载玻片置于放大倍数 10×10 的生物显微镜下观察, 记录花粉值、花粉最大值、花粉最大值坐标、有效作用面积占总面积的百分比(花粉值大于 1 为有效采样点)。第 2 组样

本, 将竖直采样板置于植株一边距离植株 0.6 m 处, 进行竖直分布试验。第 3 组样本, 将 2 块水平采样板置于植株两侧且靠近植株, 竖直采样板置于植株一边距离植株 0.6 m 处, 进行花粉总量测定。

采用 Excel 和 Malab 软件对数据进行分析, 绘制等高线图和分布三维图。

3 结果与分析

3.1 下吹气流速度对花粉分布总量的影响

随着气流速度的增大, 花粉总量呈现逐渐上升的趋势。在气流速度较低时, 竖直采样板上的花粉量几乎为 0; 随着气流速度的增大, 竖直采样板上的花粉缓慢增多。在气流速度从 2.47 m/s 增大到 3.23 m/s 时, 竖直采样板上花粉总量增长最大(图 3)。当气流速度较低时, 主要靠植株的振动使花粉脱落, 风力不足以将花粉带到竖直采样板的位置, 因而竖直采样板上花粉很少。随着气流速度越来越大, 能达到竖直采样板位置的花粉越来越多, 竖直采样板上的花粉随之增多。由于花药上的花粉大部分已经被吹出且有部分花粉被吹出采样范围, 当气流速度大于 3.23 m/s 时, 花粉总量增长较之前明显下降。水平方向上花粉总量增长较为明显, 随着气流速度的增大, 水平采样板上的花粉量呈迅速增加趋势, 当气流速度达到一定值后, 由于部分花粉超出水平采样板, 花粉总量增长开始下降。

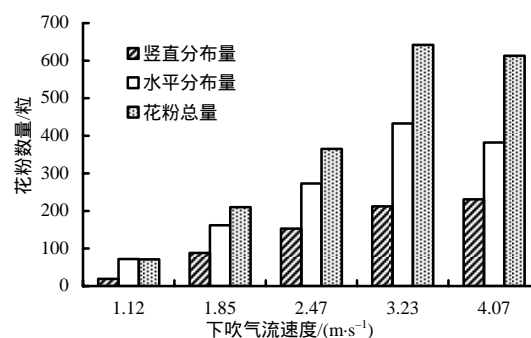


图 3 不同下吹气流速度的花粉总量

Fig.3 Pollen quantity under different katabatic airflow velocities

3.2 下吹气流速度对花粉竖直分布的影响

花粉在不同气流速度下的竖直分布如表 2 所示。分析得知, 在气流速度较小时, 只在 1~2 个视野内观测到花粉, 且观测到花粉的载玻片分布在风力直接作用面的下方。这主要是气流速度较小时, 风力不足以将花粉从花药上吹落, 花粉间的振

动作用只能将花粉振落在离植株很近的位置^[13]。随着气流速度增大,花粉总量小幅增多,但观测到花粉的视野依然很少,主要集中在风力作用的下方。当气流速度达到 2.47 m/s 后,竖直采样板上可观测到花粉的视野量、花粉总量、花粉密度均明显增加;随着气流速度的增大,花粉分布的位置越来越高,表现为三维图像(图 4-左)越来越陡峭,呈单峰形状,花粉分布越来越集中,且主要集中在风力作用的平

面上。主要是因为气流初速度增大,能到达竖直采样板的花粉增加,部分没有直接吹到竖直采样板的花粉也由自身的平抛运动,落在风力作用面下方的载玻片上。当气流速度达到 3.23 m/s 后,绝大多数的花粉都能直接达到竖直采样板,花粉在风力作用的水平面上越来越集中,等高线图(图 4-右)的特点是随着 z 坐标的变化,呈现出明显的阶梯性。

表 2 不同下吹气流速度下花粉的竖直分布

Table 2 Vertical distribution of pollens under different katabatic airflow velocities				
气流速度/(m·s ⁻¹)	花粉量峰值/粒	峰值位置坐标(y, z)	有效作用面积率/%	单个视野大于 5 粒的面积率/%
1.12	0.0	—	0.00	0.0
1.85	1.8	1, 1	0.45	0.0
2.47	4.4	-1, 2	9.70	0.7
3.23	7.4	0, 3	20.80	6.8
4.07	8.2	0, 3	23.20	10.1

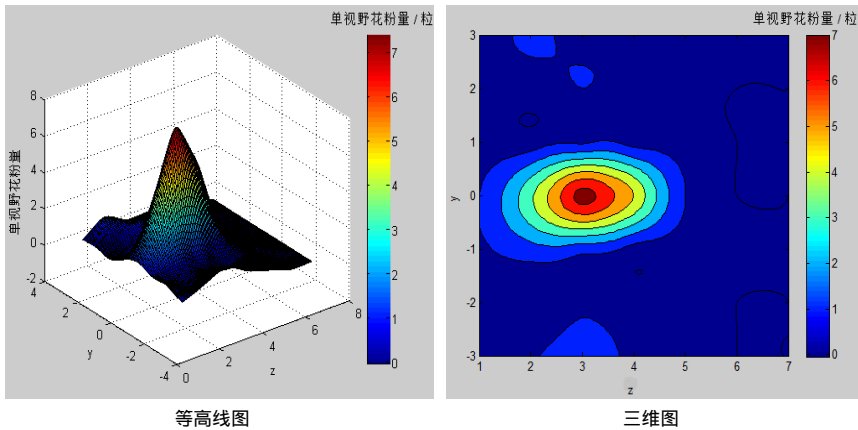


图 4 下吹气流速度为 3.23 m/s 时花粉竖直分布的三维图(左)和等高线图(右)

Fig.4 Three-dimension graph (left) and contour map (right) for vertical distribution of pollens when the katabatic airflow velocity is 3.23 m/s

3.3 下吹气流速度对花粉水平分布的影响

花粉在不同气流速度下的水平分布状况如表 3 所示。分析得知,随着气流速度的增大,水平采样板上单个视野的花粉数增加,花粉总量增加。当气流速度小于 2.47 m/s 时,三维图像为以植株位置为

中点的两边单峰,当气流速度增大到 3.23 m/s 时,花粉总量增大,单个视野内的花粉数也增大,三维图呈现以植株位置为中点两边双峰图像(图 5-左),前锋离植株近,后峰离植株较远。

表 3 不同气流速度下花粉的水平分布

Table 3 Horizontal distribution of pollens under different katabatic airflow velocities				
气流速度/(m·s ⁻¹)	花粉量峰值/粒	峰值位置坐标(y, z)	有效作用面积/%	单个视野大于 5 粒的面积率/%
1.12	2.3, 2.1	1, 0 -1, 0	7.7	0.0
1.85	3.3, 3.5	2, 0 -2, 0	12.3	1.2
2.47	5.7, 5.3	3, 0 -3, 1	22.5	4.9
3.23	6.8, 10.6	2, 0 5, 0	45.2	13.2
	6.6, 9.4	-2, 0 -5, 0		
4.07	7.8, 11.5	3, 0 7, 0	56.8	18.2
	7.4, 10.9	-3, 0 -7, 0		

前锋形成的主要原因是气流速度较小时,只有一小部分的花粉被吹落,且花粉所获得的初速很小,很快就作平抛运动,落在离植株不远处。另外在风力作用下植株茎秆、枝叶间的相互作用将花粉振落,也落在离植株不远处。后峰的形成主要是随

着花粉传播距离的增大,风力逐渐衰减,达到某一位置后花粉在自身重力作用下沉降,花粉在这一位置的周围集中。等高线(图 5-右)随 x 轴的变化呈现明显的阶梯性。

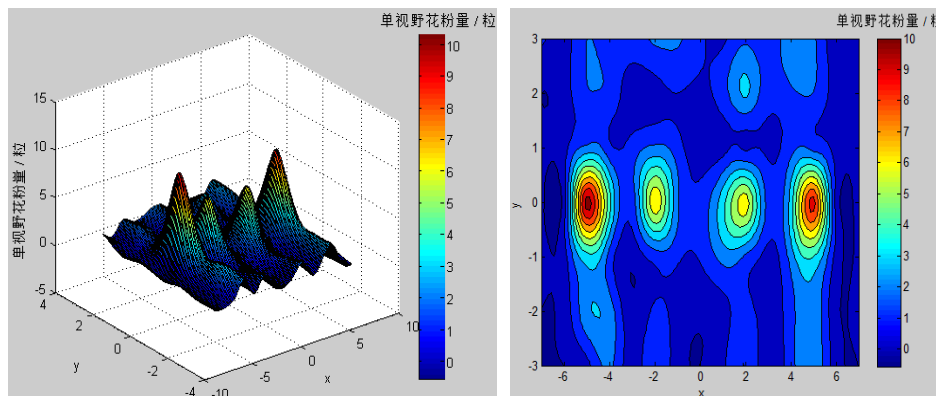


图 5 下吹气流速度为 3.23 m/s 时的花粉水平分布的三维图(左)和等高线(右)

Fig.5 Three-dimension graph (left) and contour map (right) for horizontal distribution of pollens when the katabatic airflow velocity is 3.23 m/s

4 小 结

下吹气流速度越大,花粉总量越大,花粉传播的距离和范围也越大。当气流速度为 1.12 m/s 时,花粉传播距离为 0.42 m,主要分布在植株周围离植株较近的地方。

气流速度为 3.23 m/s 时,花粉总量和分布范围增加,在水平采样板上尤为明显。此时花粉总量的增大、花粉分布范围的扩大最为明显。

下吹气流速度是影响授粉的重要因素。由于受限于室内试验条件,在气流速度更大时花粉的分布未能验证。本试验结果表明,仅控制下吹气流的速度,花粉分布的不均匀性依然明显。

参考文献:

- [1] 黄育忠. 杂交水稻机械化制种技术初探[J]. 种子, 1995(6): 41-43.
- [2] 许世觉. 中国杂交水稻制种技术的发展[J]. 杂交水稻, 1994, 9(3/4): 50-51, 57.
- [3] 邓小林. 杂交水稻在美国的研究现状和应用前景[J]. 杂交水稻, 1998, 13(4): 29-30.
- [4] 鄢玫. 杂交稻直升机辅助授粉技术问世[J]. 农村百事通, 2012(11): 10.
- [5] 陈娟. 水稻授粉, 直升机来帮忙[EB/OL]. 2013-09-04.

//http://www.yzxw.com/yz/Article/wz.asp?id=131503[EB/OL].

- [6] 杂交水稻种子生产全程机械化暨无人驾控直升机授粉现场观摩会在岳阳君山召开[EB/OL]. 2012-08-27. http://www.lpht.com.cn/Info.aspx?ModelId=1&Id=1894.
- [7] 无人直升机显神威[EB/OL]. 2012-04-16/http://www.nyjx.cn/news/2012/4/16/20124161533170281.shtml.
- [8] 汪沛, 胡炼, 周志艳, 等. 无人油动力直升机用于水稻制种辅助授粉的田间风场测量[J]. 农业工程学报, 2013, 29(3): 54-61.
- [9] 湖南杂交水稻研究中心. 利用中小型飞行器进行农作物人工辅助授粉的减灾方法: 中国, 201210120614[P]. 2012-08-01.
- [10] 胡凝, 陈万隆, 刘寿东, 等. 水稻花粉扩散的模拟研究[J]. 生态学报, 2010, 30(14): 3665-3671.
- [11] 唐建成, 黄怀旺. 明恢 77 父本散粉习性观察[J]. 种子, 2004, 23(5): 79-80.
- [12] 王慧敏, 汤楚宙, 李明, 等. 气流速度对杂交水稻制种授花粉分布规律的研究[J]. 农业工程学报, 2012, 28(6): 63-69.
- [13] 吴锦康, Hughes H A. 吊扇在鸡舍中的应用及其气流特性[J]. 上海农学院学报, 1985(3): 205-215.

责任编辑: 罗慧敏

英文编辑: 罗 维