

# 无人机喷施花粉对昭苏县高原油菜增产效果研究

董爱云<sup>1</sup> 耿明阳<sup>2</sup> 杨佳林<sup>3</sup>

(1 昭苏县种子管理站, 昭苏 835600; 2 伊犁哈萨克自治州畜牧总站, 伊宁 835000; 3 伊犁哈萨克自治州黑蜂(蜂业)保护管理办公室, 伊宁 835000)

**摘要:** 为应对自然授粉不确定性对油菜产量的制约, 本研究针对新疆伊犁昭苏县这一典型高原油菜产区, 系统评估了无人机授粉技术的应用潜力。试验设置无处理对照、无人机吹风对照及无人机喷施新鲜花粉三个处理, 采用田间随机区组设计, 系统测定油菜平均单株角果数、每角果粒数等关键产量构成因子。结果表明, 无人机辅助授粉处理显著提高了各产量构成指标, 最终折合亩产较无处理对照增加4.89%。证明, 无人机授粉技术尤其适用于昭苏县规模化、机械化种植区, 为油菜高产稳产与种植效益提升提供了有效的技术支撑, 具有重要的推广应用价值。

**关键词:** 油菜; 无人机授粉; 昭苏县; 增产效果

## 1 前言

油菜 (*Brassica napus* L.) 是我国第一大油料作物, 在保障国家食用油安全、促进农民增收及激活乡村产业经济中占据着不可替代的战略地位<sup>[1,2]</sup>。新疆维吾尔自治区伊犁哈萨克自治州的昭苏县, 凭借其得天独厚的自然地理条件——海拔较高、夏季气候凉爽、日照时间长且昼夜温差显著, 已发展成为我国西部重要的优质春油菜生产基地, 被誉为“中国油菜之乡”<sup>[3,4]</sup>。然而, 油菜作为典型的异花授粉作物, 其最终的产量与品质, 极大地依赖于花期能否完成充分、有效的授粉过程。在异花授粉过程中, 雄性植株的花粉必须传播到雌性植株的柱头上才能确保角果形成<sup>[5]</sup>, 传统授粉方式包括风媒、人工和虫媒授粉<sup>[6]</sup>。自然风媒授粉因环境风力和风向不可控而存在高度不确定性<sup>[6]</sup>; 人工授粉效率低下, 难以满足大田规模化制种需求; 虫媒授粉, 尽管效率较高, 但其种群数量与活性易受农药使用、栖息地破坏、极端气候事件以及病虫害的多重威胁, 其服务的可靠性和持续性正面临严峻挑战<sup>[7-9]</sup>。因此, 探索一种能够克服自然条件限制、稳定且高效的辅助授粉技术, 对于挖掘昭苏县油菜的产量潜力、保障区域油料产业的稳定发展, 显得尤为迫切。

进入21世纪以来, 以无人机为代表的智能装备正在深刻重塑现代农业的生产模式。作为新型农业装备, 无人农用航空系统(UAAS)在中国迅速发展。通过搭载不同任务设备, UAAS可执行遥感监测、航空喷施、颗粒施肥、飞播播种等作业<sup>[10-14]</sup>, 其应用触角正逐步延伸至作物授粉这一新兴领域。国内外学者

已开始在梨树、苹果等果园以及温室大棚内的番茄、草莓等作物上, 尝试利用无人机进行授粉, 并初步验证了其技术可行性<sup>[15-18]</sup>, 这些先驱性研究为我们提供了宝贵的思路与技术借鉴。开展油菜无人机授粉技术的研究与应用, 对于昭苏县油菜产业的发展具有迫切的现实需求。通过在昭苏县进行油菜无人机授粉的实践与研究, 可以深入了解该技术在当地的应用效果和适应性, 为解决油菜授粉难题提供切实可行的方案, 助力昭苏县油菜产业实现增产增收, 推动当地农业经济的发展, 同时也为其他地区推广应用无人机授粉技术提供宝贵的经验和参考。

## 2 材料与方法

### 2.1 试验地概况

试验地位于新疆伊犁昭苏县, 该区域属温带大陆性半干旱半湿润气候, 年均气温3.7℃, 年降水量约507 mm, 年均蒸发量1261.6 mm, 无霜期短, 相对湿度67%, 较为湿润<sup>[4]</sup>。该地区土壤土质疏松, 可耕性好, 土壤结构层次优良, 腐殖层较厚, 有机质含量高。选用当地主栽的甘蓝型春油菜品种“众油杂259”<sup>[19]</sup>, 该品种具有株高适中、不易倒伏、较适应昭苏县气候条件的特点, 播种期为4月。为了避免大规模蜜蜂授粉活动对试验的影响, 试验选择在没有人工饲养蜂群的胡松图喀尔逊乡阔斯托别村进行。

### 2.2 无人机规格

本次试验采用新疆农业T50型多旋翼植保无人机(图1、表1)。该机具搭载高精度RTK导航系统, 能够实现厘米级精度的自主飞行与定高。其有效载重为

通讯作者: 杨佳林(1983.11-), 男, 博士, 正高级农艺师, E-mail: yjia8311161@163.com; 耿明阳为共同通讯作者。



图1 大疆 T50 无人机在测试场飞行

表1 大疆T50无人机主要性能指标

作业机型	大疆T50型无人机
整机重量/kg	52
旋翼数量/个	4
作业载荷/kg	40
喷头数量/个	2
雾化粒径/ $\mu\text{m}$	50~330

50公斤，配备4通道液泵和离心喷头，雾化粒径可在50~300微米之间调节，确保花粉悬浊液能够均匀雾化并覆盖作物冠层。

本次试验用花粉液配方：0.1%油菜花粉+10%蔗糖+7.5%硼酸+6%磷酸二氢钾+0.04%黄原胶+76.36%水。试验所用油菜花粉均于授粉前1天采集自非试验区，确保新鲜度；采集后采用 $-20^{\circ}\text{C}$ 真空冷冻条件保存。花粉液需在授粉作业启动前30 min内配置，并于配置完成后2 h内完成喷施，以保障花粉活性。

### 2.3 试验设计

试验采用单因素随机区组设计。因素为授粉方式，共设置3个水平。无处理对照，该组不接受任何人为干预，完全依靠自然环境下的风力和昆虫进行授粉，作为评估其他处理效果的基准。花粉液化无人机喷施处理，无人机装载预先配制好的花粉悬浊液，在晴朗无风或微风的上午（9:00~11:00）进行作业。飞行高度为冠层上方8 m，飞行速度4 m/s，喷幅4 m。无人机空飞对照，无人机在油菜冠层上方8 m高度飞行，作业参数（速度、航线）与无人机喷施新鲜花粉处理完全一致，但仅开启旋翼产生下行气流，喷液系统关闭。此处理的核心目的是剥离并评估无人机飞行本身所产生的物理风力扰动对授粉可能产生的独立影响。

试验于油菜盛花期的7月开展，具体在7月1日至7月3日持续进行，为期3天。试验用地总面积为12亩，每个处理设3个重复小区，共9个小区，每个小区面积

设为 $30\text{ m} \times 20\text{ m}=600\text{ m}^2$ （约0.9亩）。小区之间设置宽度为2米的隔离行，以此避免作业过程中出现相互干扰的情况。

### 2.4 测定项目与方法

于油菜生理成熟期（约80%角果变黄），在各小区内按照3点取样法选取3个有代表性的样点进行测产<sup>[4, 20, 21]</sup>。

平均单株角果数：在已计数的1平方米样方内，连续抽取20株生长正常、无病虫害的植株，小心地将所有有效角果（内含至少一粒饱满籽粒）摘下并计数，计算单株平均角果数。

平均每角果粒数：从混合样本中，随机抽取20个角果，人工脱粒后，计数每个角果中的全部籽粒数（包括瘪粒），计算平均值。此指标反映授粉受精的充分程度。

亩产量：考虑到田间收获过程中的落粒、遗漏、鸟害等实际损失，以及测产过程中的潜在误差，将理论产量乘以一个经验性的折算系数（本试验依据当地经验，取0.85），以得到更贴近实际收获情况的亩产量。亩产量（kg/亩）=每亩株数 $\times$ 单株有效角果数 $\times$ 角粒数 $\times$ 千粒重 $\times$ 折算系数（0.85） $\times 10^{-6}$ 。

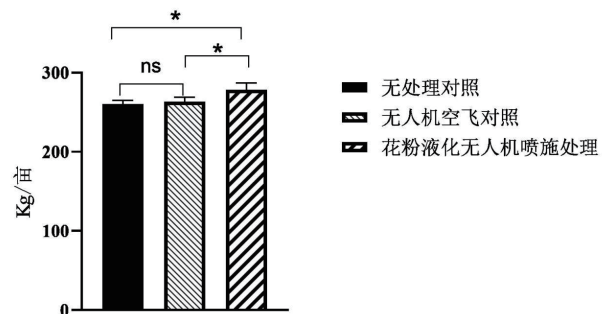
### 2.5 数据分析

试验数据采用SAS 9.4软件进行数据分析。

## 3 结果与分析

### 3.1 不同授粉处理对油菜产量的影响

产量是衡量授粉技术有效性的终极指标，根据图2可以清晰地看出不同授粉方式对油菜最终产量的决定性影响。

图2 不同授粉方式对油菜亩产量的影响 (\* $p<0.05$ )

无人机喷施花粉处理的折合亩产达到了275.98 kg/亩，与无处理对照的263.11 kg/亩相比，实现了12.87 kg/亩的绝对增产，增产率达4.89%。这一增幅在农业生产中具有重要的经济意义，若推广至昭苏县数十万亩的油菜种植面积，其总增产潜力将十分可观。

无人机吹风的折合亩产为268.39 kg/亩，与无处

理对照相比,增产幅度仅为5.28 kg/亩,增产率低至2%,这一微弱的增长在统计学不具有显著意义。它明确地指示我们,无人机飞行时产生的下行气流,虽然能够引起油菜植株的轻微晃动,但这种单纯的物理扰动并不足以显著促进花粉在花间的高效转移,或者说,其效果并未超越该试验条件下自然风媒的作用上限。因此,无人机喷施花粉处理的增产主要归因于花粉的补充,而非机械风力。

### 3.2 不同授粉处理对油菜产量构成因素的分解

为了深入探究无人机授粉实现增产的内在途径,我们对形成产量的2个核心指标(单株角果数、每角果粒数)进行了细致的分析比较(图3)。

对产量构成因素的剖析,为我们揭示了清晰的增产图谱。无人机喷施花粉处理的平均单株角果数高达103个,相较无处理对照增幅为6.53%。角果是油菜籽粒的最终载体,其数量的增加直接意味着植株“库容”的扩大<sup>[21]</sup>。这得益于充分授粉有效减少了因授粉不良导致的花朵和幼果脱落,提高了坐果率。同样,无人机喷施花粉处理的平均每角果粒数为29粒,显著高于无处理对照的26粒,这个指标是反映授粉受精效率最直接的表现<sup>[20]</sup>。更多的花粉到达柱头,意味着更多的胚珠能够顺利完成受精并发育成健全的籽粒,从而使得每个角果的填充度大大提高。

## 4 结论与讨论

基于田间试验的数据结果显示,无人机喷施新鲜花粉是一项能够显著提高昭苏县油菜产量的有效技术。无人机授粉技术作业效率高,授粉均匀性好,适用于昭苏县这种规模化种植程度高的地区,是应对油菜花期授粉不足、挖掘产量潜力的有力工具。未来可进行详细的成本收益分析,明确该项技术推广应用的经济阈值。建立科研单位、农业推广部门、专业合作社与无人机企业的协同推广机制,通过示范田、培训会等形式,加速该项先进技术的普及应用。

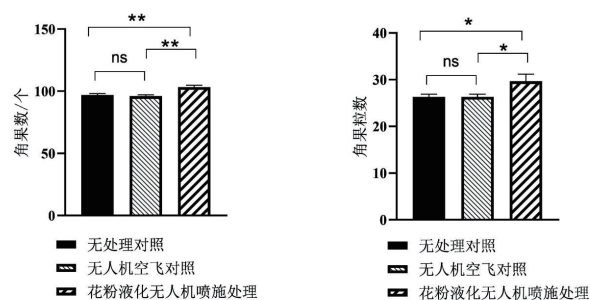


图3 不同授粉方式的平均单株角果数和每角果粒数 (\* $p<0.05$ , \*\* $p<0.01$ )

## 参考文献

- [1] 底翠,张冬,许刚,等.河北省油菜产业发展中存在的问题及对策[J].现代农村科技,2025(08):6-7.
- [2] 李佳慧,李靓靓,赵佳,等.中国油菜生产和品种选育现状研究[J].中国种业,2025(10):1-12.
- [3] 巴莎·铁格斯.“中国油菜之乡”这样提升“一壶油”品质[N].新疆日报(汉),2023-10-19.
- [4] 夏徽,韩云,韦世豪.昭苏地区春油菜新品种筛选试验[J].农业科技通讯,2021(04):64-67.
- [5] REQUIER F, ODOUX J F, TAMIC T, et al. Honey bee diet in intensive farmland habitats reveals an unexpectedly high flower richness and a major role of weeds[J]. Ecol Appl, 2015, 25(4): 881-890.
- [6] 王修竹.授粉和传粉的进化[J].云南农业科技,1983(01):43-45.
- [7] 郝改莲.蜜蜂传粉及与授粉植物之间的形态学适应[J].生物学教学,2014,39(08):2-3.
- [8] ALLEN-WARDELL G, BERNHARDT P, BITNER R, et al. The potential consequences of pollinator declines on the conservation of biodiversity and stability of food crop yields[J]. Conserv Biol, 1998, 12(1): 8-17.
- [9] KLEIN A M, VAISSI ÈRE B E, CANE J H, et al. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops[J]. P Roy Soc B-Biol Sci, 2007, 274(1608): 303-313.
- [10] ZHANG S C, XUE X Y, CHEN C, et al. Development of a low-cost quadrotor UAV based on ADRC for agricultural remote sensing[J]. Int J Agr Biol Eng, 2019, 12(4): 82-87.
- [11] 高凌宇.无人机在智慧农业中的应用与前景[J].农业工程技术,2025,45(11):66-67.
- [12] ZHANG S C, QIU B J, XUE X Y, et al. Parameters optimization of crop protection UAS based on the first industry standard of China[J]. Int J Agr Biol Eng, 2020, 13(3): 29-35.
- [13] HUANG X M, ZHANG S, LUO C M, et al. Design and experimentation of an aerial seeding system for rapeseed based on an air-assisted centralized metering device and a multi-rotor crop protection UAV[J]. Applied Sciences-Basel, 2020, 10(24): 8854.
- [14] CAI G W, DIAS J, SENEVIRATNE L. A survey of small-scale unmanned aerial vehicles: recent advances and future development trends[J]. Unmanned Syst, 2014, 2(2): 175-199.
- [15] 位杰,蒋媛,谢宏江.库尔勒香梨无人机辅助授粉飞行作业参数优选[J].果树学报,2024,41(01):162-173.
- [16] 王秋萍.山西·吉县推广苹果园无人机作业[J].中国果业信息,2017,34(05):52-53.
- [17] 何倍倍.温室微型授粉无人机关键部件设计及气动特性研究[D].江苏大学,2022.
- [18] 王海洲,秦贵平,娄祥军,等.不同授粉方式对草莓产量及品质的影响[J].中国蜂业,2025,76(02):22-24.
- [19] 邓红梅.春油菜新油26号高产栽培技术[J].农村科技,2024(04):10-12.
- [20] 林耀威,林国冰,王龙,等.油菜每角粒数形成及其调控的研究进展[J].江苏农业学报,2025,41(08):1647-1654.
- [21] 李亦扬,王龙,钱晨,等.密度对油菜角果性状的影响及高产油菜增产路径分析[J].中国农业科学,2024,57(22):4459-4472. 📄