

王士林,雷晓晖,唐玉新,等. 基于多旋翼无人机的梨树喷雾授粉技术[J]. 江苏农业科学,2020,48(23):210-214.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.23.043

基于多旋翼无人机的梨树喷雾授粉技术

王士林^{1,2}, 雷晓晖¹, 唐玉新¹, 常有宏³, 吕晓兰^{1,2}

(1. 江苏省农业科学院农业设施与装备研究所,江苏南京 210014; 2. 农业农村部长江中下游设施农业工程重点实验室,江苏南京 210014;

3. 江苏省农业科学院果树研究所,江苏南京 210014)

摘要:近年来,梨树液体授粉技术受到了越来越广泛的关注,但目前梨树液体授粉技术主要授粉机具为背负式喷雾器,这在一定程度上仍然没有彻底改变梨树授粉劳动强度大和作业效率低的问题,因此提出了基于多旋翼无人机的液体授粉技术,选用大疆 T20 型多旋翼植保无人机,对比不同喷雾量下多旋翼无人机和背负式喷雾器喷雾授粉时梨树冠层内沉积雾滴的粒径和覆盖结果,同时对比液体喷雾授粉和人工点授粉时的坐果率。结果表明:使用多旋翼无人机喷雾授粉时,梨树上层的雾滴粒径和覆盖率均明显高于下层,使用背负式喷雾器进行授粉时冠层下层雾滴粒径和覆盖率大于上层,多旋翼无人机喷雾授粉时沉降雾滴的粒径和覆盖率均与其喷雾量呈正相关性;当多旋翼无人机喷雾量为 218 L/hm² 时,其在梨树冠层上层的雾滴覆盖率最高,为 46.0%,使用背负式喷雾器喷雾时雾滴在梨树下层的覆盖率最高,为 51.7%;多旋翼无人机的单位面积喷雾量越高,其授粉效果越好,当喷雾量为 218 L/hm² 时,花序和花朵坐果率分别为 37.2%、15.2%。相比于传统的人工点授粉和目前新兴的背负式喷雾器液体授粉而言,采用低容量喷雾或超低容量喷雾的多旋翼无人机喷雾授粉的花序和花朵坐果率仍较低。

关键词:梨树;喷雾授粉技术;多旋翼无人机;授粉;覆盖率;雾滴密度

中图分类号:S252⁺.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2020)23-0210-04

梨树属于自花不结实果树,绝大多数的梨品种自花授粉不能结实,因此在梨园中必须合理配置授粉树^[1-2]。梨树花粉主要靠风力或蜂虫作为传粉媒介,但在实际生产中由于自动化农业的发展、气候的变化以及农药和化肥等农化产品的过度使用对蜜蜂产生严重的毒害,致使其种群数量在近些年内急剧下降^[3]。同时,由于异常天气的影响,尤其是在开花期前出现连续低温、盛花期间高温或连续下雨等不良天气会影响蜜蜂等昆虫的活动,甚至造成主栽梨品种与授粉品种的花期不遇^[4]。这些原因都会使授粉不良,降低坐果率,或造成花而不实。

因此,在梨的生产过程中果农常采用人工授粉的方式提高坐果率,确保梨的产量和品质。目前,人工授粉的方式主要有手工点授粉、机械喷粉和液

体授粉等方式^[5]。但面对盛花期的梨树高大冠型,人工授粉存在严重的作业效率低、劳动强度大、授粉效果差等问题,因此亟须开发一种新型高效的梨树授粉技术^[6]。

无人机可通过遥控飞行,灵活性强^[7],可克服梨树果园内地形复杂和冠层高大等问题,因此国内外相继出现基于无人机的授粉技术研究。国外主要采用微型无人机先采粉后授粉的方式进行授粉,但由于技术条件和作业效率的限制目前并没有真正用于农业生产中。近 2 年,国内开始采用植保无人机进行授粉作业,无人机授粉技术已被成功用于杂交水稻制种^[8-10],该技术是借助无人机旋翼气流将父本的花粉吹向母本进行授粉。

随着梨树液体授粉技术的发展,采用背负式喷雾器喷雾授粉方式日趋成熟^[11],研究人员进而开始从事无人机喷雾授粉技术研究。与传统背负式喷雾器相比,无人机为超低容量喷雾技术,单位面积喷雾量更低,雾滴粒径更细,其喷雾雾滴沉积分布特性差异较大^[12-13]。因此,为探究无人机在梨树喷雾授粉效果,提高梨树授粉质量和作业效率,本研究对不同喷雾参数下的多旋翼植保无人机液体喷雾授粉质量进行分析与探讨。

收稿日期:2020-09-28

基金项目:国家梨产业技术体系建设专项(编号:CARS-29-18);江苏省博士后科研资助项目(编号:2019K165)。

作者简介:王士林(1988—),男,山东临沂人,博士,助理研究员,主要从事植保机械与喷雾技术研究。E-mail:shilin@jaas.ac.cn。

通信作者:吕晓兰,博士,研究员,主要从事果园机械化装备研究。E-mail:lxlan@126.com。

1 材料与方 法

1.1 液体授粉喷雾液

采用圆黄梨花粉配制花粉喷雾液,花粉采自江苏省徐州市。梨花粉喷雾液由黄原胶、蔗糖、硝酸钙和硼酸组成,以配制 10 L 花粉喷雾溶液为例,各组分的含量如表 1 所示。配制花粉喷雾溶液时,先将适量去离子水煮沸后缓慢加入提前称量好的黄原胶并不断搅拌,使其充分溶解后用纱布过滤倒入定容桶内。同样地,将适量去离子水煮沸后加入提前称量好的蔗糖使其充分溶解过滤,倒入定容桶内,进而根据表 1 所称量好的硝酸钙和硼酸溶解后依次倒入定容桶,待各组分溶液均倒入定容桶后加去离子水定容至规定体积并充分混匀,配制成花粉营养液。液体授粉前根据喷雾体积定量加入花粉,搅拌使其在花粉营养液中均匀分散,配制好的花粉喷雾液应尽快使用。

表 1 梨花粉喷雾液组成及含量

成分	含量(%)	体积或质量
水		定容至 10 L
蔗糖	13.00	1.3 kg
硝酸钙	0.05	5.0 g
硼酸	0.01	1.0 g
黄原胶	0.02	2.0 g
花粉	0.08 ~ 0.12	10.0 g

1.2 喷雾机具与试验条件

1.2.1 试验果园条件 试验在安徽省宿州市砀山酥梨试验站(116°20'49"E、34°25'42"N)开展,供试梨树品种为砀山酥梨,为当地古老的优良品种,目前主要采取人工点授粉的方式进行授粉。试验于 2020 年 3 月下旬进行,试验期间梨树开花率高达 70%,试验梨园梨树行间距为 8 m,株距为 4 m,树体株高约 4 m,顶部冠幅约 6 m。

1.2.2 喷雾机具及作业参数 选用大疆 T20 型多旋翼植保无人机进行喷雾授粉,该机最大有效起飞质量为 47.5 kg,满载载荷 20 L,最大作业飞行速度可达 7 m/s。其喷雾系统配备了 8 个 SX111001VS 型喷头,单喷头最大流量为 3.6 L/min,雾滴粒径 130 ~ 250 μm ,根据飞行高度,其有效喷幅可达 4 ~ 7 m。为对该多旋翼无人机的喷雾授粉质量进行评价,分别选用人工点授粉和背负式喷雾器喷雾授粉进行对照(图 1)。多旋翼无人机设定 3 个不同喷雾量(分别编号为 A、B 和 C),背负式喷雾器参考其日常作业喷雾量(编号为 D),各处理的田间喷雾量见表 2。

1.2.3 田间气象条件 试验期间分别使用 Watch Dog 2000(美国 Spectrum)型气象站和 SP3000 型三维风速采集系统(意大利 LSI - LASTEM)对田间温湿度和风速进行测定。气象站和三维风速仪固定在试验果园上风方向空旷位置,高度为距离地面



a. 人工点授粉



b. 背负式喷雾器喷雾授粉



c. 多旋翼无人机喷雾授粉

图 1 梨树田间授粉方式

表 2 液体喷雾授粉机具作业参数

处理编号	喷雾机具	喷雾量 (L/hm ²)	单株喷雾量 (L/株)	花粉用量 (g/hm ²)
A	多旋翼无人机	102	0.33	102
B	多旋翼无人机	165	0.53	165
C	多旋翼无人机	218	0.70	218
D	背负式喷雾器	788	2.52	788

3 m 处,气象站和三维风速采集系统的采样频率均为 1 Hz,设定每隔 10 min 记录 1 次各气象参数的平均值。整个试验期间温度为 15.3 ~ 23.0 $^{\circ}\text{C}$,相对湿度为 32.9% ~ 40.8%,平均最大风速不高于 2 m/s。

1.3 样品处理与检测

1.3.1 冠层区域划分与雾滴检测 由于梨树冠层高大,将其冠层划分为上、下 2 层,分别在其冠层上

层和下层部位选取5个布样点放置水敏纸(先正达集团股份有限公司),用于接收冠层不同区域内的沉降雾滴。待喷雾完成且雾滴充分干燥后将水敏纸放入干燥信封保存并带回实验室使用扫描仪在600 dpi下进行灰度扫描,通过DepositScan软件^[14]对水敏纸上的雾滴粒径、密度和覆盖率进行分析。

1.3.2 坐果率调查 每个试验小区选取3株梨树用于坐果率调查,在每株取样梨树上选取50个花序,授粉试验前对所选取花序进行挂牌并统计其花朵数。待授粉结束10 d后,分别对各处理下梨树的花序和花果坐果率进行调查,并计算各处理下所选的3株梨树坐果率的平均值。

2 结果与分析

2.1 喷雾参数对雾滴粒径的影响

为有效评估水敏纸上雾滴粒径分布范围,选取DV10、DV50和DV90对各处理间的雾滴粒径进行对比。DV10是指将全部雾滴按照体积从小到大的顺序累加,当累加值等于全部雾滴体积的10%时所对应的雾滴直径,同理DV50和DV90分别为雾滴体积累加至总体积的50%和90%时所对应的雾滴直径,DV50又称体积中值中径。

对比雾滴在梨树冠层上层和下层间的雾滴分布结果(表3)可知,对于多旋翼无人机喷雾授粉的3个处理,雾滴在上层的雾滴粒径均明显高于其在下层的粒径。以其体积中值中径(DV50)为例,处理A、B、C在上层的粒径分别为914.0、742.6、2 223.7 μm ,而下层分别为218.7、294.2、944.7 μm 。使用背负式喷雾器进行授粉的处理D的雾滴呈现出上层雾滴粒径小于下层粒径的趋势,其在上层雾滴的DV10、DV50、DV90分别为328.1、600.2、1 048.8 μm ,其在下层雾滴的DV10、DV50、DV90分别为596.8、1 417.0、2 155.9 μm 。这一结果与2种喷雾机具的作业方式有关,采用旋翼无人机授粉的3个处理为空手喷雾,雾滴由梨树冠层上方向下方沉降,受冠层遮蔽的影响,多数雾滴沉降到梨树冠层上部,而下部雾滴相对较少,上层雾滴较多时会出现相互黏连或覆盖的情况,从而导致雾滴铺展面积增大;而背负式喷雾器由操作人员地面进行背负作业,雾滴难以向上运动到梨树冠层顶部,其雾滴主要沉积在梨树冠层的下层部位导致其下层雾滴粒径大于上层。

对比多旋翼无人机喷雾授粉的3个处理结果,

表3 不同处理下水敏纸上雾滴粒径分布

处理	上层滴雾粒径(μm)			下层滴雾粒径(μm)		
	DV10	DV50	DV90	DV10	DV50	DV90
A	415.3b	914.0b	1 782.3bc	129.8c	218.7c	395.8d
B	313.0b	742.6b	1 366.3bc	201.7c	294.2c	478.2c
C	952.3a	2 223.7a	3 071.3a	425.6b	944.7b	1 309.5b
D	328.1b	600.2c	1 048.8c	596.8a	1 417.0a	2 155.9a

注:同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。表4同。

虽然3个处理选用同一套喷雾系统,其初始雾滴粒径相同,但由于喷雾量的差异致使最终沉积到水敏纸上的雾滴粒径有所差异。处理A、B在冠层上层雾滴的体积中值中径分别为914.0、742.6 μm ,两者间无显著性差异;同样地,处理A、B在冠层下层的体积中值中径分别为218.7、294.2 μm ,两者间也没有显著性差异。对于处理A和B,无论是上层还是下层沉积雾滴的粒径均明显小于处理C所对应的雾滴粒径。总体而言,多旋翼无人机喷雾授粉时沉降雾滴的粒径与其单位面积喷雾量呈正相关性。

2.2 喷雾参数对雾滴沉积量的影响

由表4可知,使用多旋翼喷雾的3个处理的雾滴覆盖率分别为35.3%、28.4%、46.0%,处理A和B间差异不显著,但2个处理的雾滴覆盖率均显著低于喷雾量最高的处理C。使用背负式喷雾器喷雾时雾滴在梨树上层的覆盖率为28.2%,与处理A和B差异不显著,但其覆盖率也显著低于处理C。而在梨树冠层的下层,由于背负式喷雾器为地面作业且单位面积喷雾量最高,因此其雾滴的覆盖率最高,为51.7%,明显高于使用多旋翼无人机进行喷雾授粉的3个处理;使用多旋翼无人机进行作业的3个处理的雾滴覆盖率之间均存在显著性差异,单位面积喷雾量越高其覆盖率越大。

表4 不同处理下水敏纸上雾滴的覆盖率和密度

处理	上层		下层	
	覆盖率(%)	雾滴密度(个/ cm^2)	覆盖率(%)	雾滴密度(个/ cm^2)
A	35.3b	99.8a	8.2d	51.4b
B	28.4b	104.5a	17.1c	141.3a
C	46.0a	86.2a	40.6b	119.5a
D	28.2b	100.2a	51.7ab	91.9a

与雾滴粒径的分布结果相似,使用多旋翼无人机喷雾时,雾滴在梨树冠层上层的覆盖率均高于其在梨树冠层下层的覆盖率;而使用背负式喷雾器作业时,雾滴在梨树冠层下层的雾滴覆盖率高于其在

梨树冠层上层的覆盖率。这一结果也再次证明多旋翼无人机喷雾的雾滴主要集中于梨树冠层的上部,而背负式喷雾器喷雾雾滴主要集中在梨树冠层的下部。

与雾滴的覆盖率相比,各处理间的雾滴在水敏纸上的覆盖密度并无较大差异,除使用多旋翼无人机的处理 A 由于单位面积喷雾量较少且其雾滴主要集中于梨树冠层上部,致使其在梨树下层的雾滴密度最低,仅为 54.1 个/cm²,而其他处理的雾滴平均覆盖密度均约为 100 个/cm²,无论是在梨树冠层上层还是下层其雾滴密度均无显著性差异。

2.3 喷雾参数对坐果率的影响

由图 2 可知,使用背负式喷雾器和多旋翼无人机液体授粉方法的花序和花朵坐果率均低于人工点授粉的方式。人工点授粉的花序和花朵坐果率均最高,分别为 76.8%、25.3%,使用背负式喷雾器液体授粉的处理效果次之,其花序和花朵坐果率分别为 51.9%、17.4%。

相比于传统的人工点授粉和目前新兴的背负式喷雾器液体授粉而言,采用低容量喷雾或超低容量喷雾的多旋翼无人机喷雾授粉的花序和花朵坐果率仍较低。多旋翼无人机的单位面积喷雾量越高,其授粉效果越好,即喷雾量为 102 L/hm² 的处理 A 的花序和花朵坐果率分别为 16.3%、7.8%;喷雾量为 165 L/hm² 的处理 B 的花序和花朵坐果率分别为 20.3%、10.5%;喷雾量为 218 L/hm² 的处理 C 的花序和花朵坐果率分别为 37.2%、15.2%。

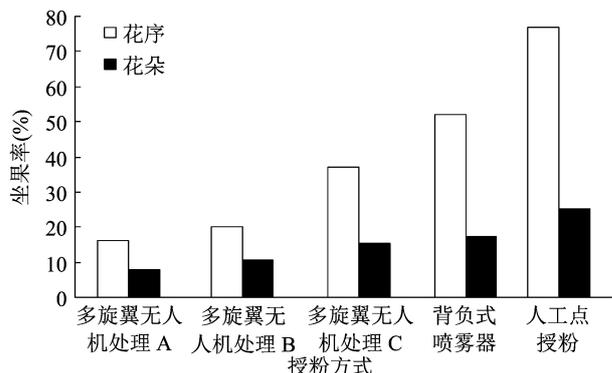


图2 不同授粉方式下的花序与花朵坐果率

3 讨论与结论

人工点授粉的坐果成功率高,目前仍然是我国梨树授粉最主要的方式^[15],但其存在劳动强度大、作业效率低、生产成本高等问题。为有效解决梨树授粉难的问题,越来越多的科研人员开始从事梨树

液体授粉技术研究,目前梨树液体授粉技术已在江苏、甘肃、陕西和新疆等地推广应用^[16-17]。但目前所推广应用的梨树液体授粉技术主要授粉机具为背负式喷雾器,这在一定程度上仍然没有彻底改变梨树授粉劳动强度大和作业效率低的问题,因此本研究提出了基于多旋翼无人机的液体授粉技术。

相比于人工点粉的授粉方式,液体授粉效果不仅受机具喷雾质量的影响,还受花粉溶液中花粉活性的影响^[17]。试验选取的圆黄梨花粉活性在 90% 以上,为确保花粉溶液中花粉的萌芽率,在梨花粉喷雾液中添加适量醋酸以调节其酸碱度,但试验结果发现无论是背负式喷雾器还是多旋翼无人机的授粉效果较人工点授粉方式仍有一定的差距。

多旋翼无人机为超低容量喷雾或低容量喷雾,其单位面积花粉溶液用量较小,而背负式喷雾器单位面积梨花粉喷雾液用量大,因此多旋翼无人机的喷雾授粉效果低于背负式喷雾器。但多旋翼无人机较背负式喷雾器大大提高了作业效率,降低了劳动强度和人工成本。有研究表明,梨树只需 5% 的花坐果就可以满足实际生产需求^[18],虽然本研究中使用多旋翼无人机授粉的 3 个处理授粉 10 d 后的坐果率均大于这一数值,但在生产后期由于生理落果等进一步降低了梨树的坐果率,致使梨树产生减产风险。这一现象也可能与授粉后当地连续多日的低温阴雨天气有关,但为确保多旋翼无人机授粉的坐果率和作业效率,一方面应进一步优化无人机的飞行参数和喷雾量,另一方面还应增加梨花粉喷雾液的花粉萌芽率。

参考文献:

- [1] 齐开杰,张晓斌,郭成宝,等. 基于 S 基因型的梨树授粉品种自动配置系统[J]. 江苏农业科学,2016,44(1):396-398.
- [2] 王宇. 梨树不同授粉技术影响果实发育、品质形成的机理研究[D]. 南京:南京农业大学,2014.
- [3] 何旭,刘新宇. 中华蜜蜂种群数量下降的成因分析[J]. 中国蜂业,2011,62(5):21-23.
- [4] 马文会,刘树海,于利国,等. 不同低温保存对雪花梨花粉萌发的影响[J]. 河北农业科学,2012,16(1):33-35,83.
- [5] 王斌,葛丰,王春强. 不同授粉条件对“南果梨”坐果率的影响[J]. 北方果树,2011,34(2):12-13.
- [6] 杨丹丹. 不同授粉方式对黄金梨座果率的影响[J]. 河南农业,2012,23(15):46.
- [7] Wang S L, Liu Y J, He X K, et al. Distribution and residues of imidacloprid sprayed with electric multi-rotor unmanned aerial vehicle in paddy[J]. International Agricultural Engineering Journal, 2018,27(1):53-63.

彭田田,范燕敏,武红旗,等. 基于 Landsat8 OLI 的不同年际尺度玉米估产研究[J]. 江苏农业科学,2020,48(23):214-219.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.23.044

基于 Landsat8 OLI 的不同年际尺度玉米估产研究

彭田田¹, 范燕敏¹, 武红旗¹, 吕 昱¹, 贺梦婕², 皇甫蓓炯²

(1. 新疆农业大学草业与环境科学学院, 新疆乌鲁木齐 830052; 2. 新疆奇台县农业技术推广中心, 新疆奇台 831800)

摘要:探究农作物产量遥感估测模型年际尺度的适用性,可为快速估产提供参考依据。以新疆维吾尔自治区奇台县为研究区,利用 Landsat8 OLI 遥感影像提取的玉米不同生育期植被指数,结合 2016 年、2017 年、2016—2017 年实地调查的玉米地块的产量信息作回归分析,建立基于县域的产量模型,讨论估产的最佳生育期,比较不同植被指数、不同回归模型的估产精度,最后再根据 2018 年的产量信息对各模型进行精度验证,探究不同模型年际尺度的适用性。结果表明,乳熟期的归一化植被指数(NDVI)与产量之间的相关性最高,相关系数为 0.751,达到极显著水平($P < 0.01$);构建年际尺度的 NDVI、作物氮反应指数(NRI)、增强归一化植被指数(ENDVI)与玉米单产的逐步回归模型预测 R^2 达到 0.727 1。基于不同年际尺度的遥感数据建立的模型进行产量预测具有一定的可行性。

关键词:遥感;年际尺度;生育期;植被指数;估产模型

中图分类号: TP79;S127 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)23-0214-06

农业是人类一切生产的首要条件。然而根据联合国粮农组织(FAO)的数据,到 2050 年,全球粮食产量须要增加 70%,才能满足日益增长的全球需求^[1],农业在 21 世纪面临重大挑战。全球、国家和区域规模的及时、准确的作物产量信息在农业和形成粮食安全决策等一系列方面有极为重要的作用^[2]。随着科技的发展,信息技术被广泛应用于农

业生产^[3]。特别是从地球观测(EO)卫星问世以来,人们认识到遥感技术在农业监测方面具有独特的优势^[4]。

近年来,遥感技术发展突飞猛进,并出现在农业生产研究中,这奠定了遥感估产的技术基础^[5]。遥感估产是基于绿色作物对光谱的反射特征,利用植被指数来反演作物的生长信息,并建立生长信息与产量间的关系来获取作物的产量。植被指数是对地表植被状况简单、有效和经验的度量,已广泛用来定性和定量评价植被覆盖情况及其生长活力。国内外许多学者利用植被指数进行了作物估产的研究,并取得了较好的成果^[6-10]。最常用的遥感估产方法是统计模型法,它具有操作实施简单灵活、

收稿日期:2020-03-25

基金项目:国家自然科学基金(编号:31560340)。

作者简介:彭田田(1989—),女,河南商丘人,硕士研究生,主要从事农业遥感研究。E-mail:1375045324@qq.com。

通信作者:范燕敏,博士,硕士生导师,主要从事农业资源遥感研究。

E-mail:yfamt@126.com。

[8] 吴 辉. 农用植保无人直升机辅助杂交水稻制种授粉效果研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2014.

[9] Liu A, Zhang H Q, Liao C M, et al. Effects of supplementary pollination by single-rotor agricultural unmanned aerial vehicle in hybrid rice seed production[J]. Agricultural Science & Technology, 2017, 18(3):543-547, 552.

[10] 陈盛德,兰玉彬,李继宇,等. 小型无人直升机喷雾参数对杂交水稻冠层雾滴沉积分布的影响[J]. 农业工程学报,2016, 32(17):40-46.

[11] 胡建芳,李天红,廖 康,等. 一种适合于果树液体授粉的花粉悬浮液及其制备方法:CN101617619[P]. 2009-07-31.

[12] Wang S L, Song J L, He X K, et al. Performances evaluation of four typical unmanned aerial vehicles used for pesticide application in China [J]. International Journal of Agricultural and Biological

Engineering, 2017, 10(4):22-31.

[13] 杨 帅. 无人机低空喷雾雾滴在作物冠层的沉积分布规律及防治效果研究[D]. 北京:中国农业科学院,2014.

[14] Zhu H P, Salyani M, Fox R D. A portable scanning system for evaluation of spray deposit distribution[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2011, 76(1):38-43.

[15] 徐 锴,赵德英,袁继存,等. 不同授粉品种对南果梨果实性状的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(21):191-194.

[16] 齐开杰,陶书田,吴巨友,等. 梨树省力化液体授粉技术[J]. 中国南方果树,2017,46(3):168-169.

[17] 王 鹏,曹 鹏,齐开杰,等. 水质对梨树液体授粉的花粉萌发的影响[J]. 中国南方果树,2018,47(2):145-147.

[18] 周先章. 翠冠梨人工授粉技术[J]. 浙江柑橘,2005,22(3):40-41.