

刘志刚,任红松,冯广余,等.熊蜂授粉对设施番茄产量和品质的影响[J].江苏农业科学,2021,49(9):107-111.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.09.019

熊蜂授粉对设施番茄产量和品质的影响

刘志刚¹,任红松¹,冯广余²,买买提·艾合买提³,胡西旦·买买提¹,阿木提·库尔班¹,
王瑞华¹,郭红梅¹,王建²,李海峰¹

(1.新疆农业科学院吐鲁番农业科学研究所,新疆吐鲁番 838000; 2.新疆农垦科学院畜牧兽医研究所,新疆石河子 832000;

3.新疆托克逊县伊拉湖镇农业技术推广站,新疆托克逊 838103)

摘要:以吐鲁番春季温室无冠番茄为试材,通过利用番茄熊蜂授粉和激素喷花(CK)2个不同授粉处理在吐鲁番4月高温期对番茄坐果特性、果实性状、产量品质、经济效益进行比较,筛选出春季番茄设施生产比较理想的授粉方式,为熊蜂授粉在新疆吐鲁番地区设施春季番茄的技术示范和推广应用提供理论依据。结果表明,熊蜂授粉替代激素授粉,番茄坐果率提高5.6个百分点,畸形果率降低10.6个百分点;熊蜂授粉番茄不仅外观品质好,销售价格高,而且内在品质在维生素C含量比激素授粉番茄(CK)高18.56 mg/kg;熊蜂授粉番茄比对照处理产量提高17.19%,增收约32.49万元/hm²,二者差异极显著。说明在生产中既要考虑到设施番茄生产的人工成本和物料成本等因素,更要考虑番茄的产量和品质,相比对熊蜂授粉方式结合提早定植、增加蜂量、上下通风口提前放风等方法进行改良,是春季设施番茄生产较理想的选择。

关键词:设施;番茄;熊蜂;产量;品质;授粉

中图分类号: S897+.3;S641.204 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)09-0107-04

随着设施农业发展,设施蔬菜栽培面积不断扩大,极大地保障了蔬菜生产供应,降低了天气灾害对蔬菜生产的影响,然而设施环境限制了虫媒、风媒等传粉媒介,降低了蔬菜作物的授粉效率,导致坐果差、结实率低等现象^[1]。提高产量品质对农作物生产至关重要,授粉是保证产量的关键技术环节。日光温室的结构和小气候环境阻碍了传粉昆虫的进入,如果设施蔬菜在开花期间不能良好地授粉,就会严重影响产量和品质。因此,在生产上通常采用人工授粉或昆虫授粉。昆虫授粉一直被认为是园艺作物的最佳授粉方式^[2]。熊蜂授粉作为一种最贴近自然授粉的授粉新技术,近几年在设施果菜种植中得到广泛应用。熊蜂授粉不仅省工省时,有效提高坐果率和产量,同时还可以改善果实

品质,避免人为激素污染,保证农产品安全^[3]。

研究者较多是利用熊蜂^[4-6]在正常设施温度条件下对番茄进行授粉和熊蜂习性的调查,通过熊蜂授粉、激素授粉2种授粉方法进行比较,研究者在新疆吐鲁番地区4—6月高温期研究熊蜂授粉对设施番茄果实生长发育、产量及品质的影响相对较少。为此,本研究通过探讨不同的授粉方法对设施番茄坐果特性、果实生长发育特性、产量品质及效益的影响,以期为熊蜂授粉在吐鲁番春季设施番茄生产中的应用提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验在2018、2019年1—6月吐鲁番市高昌区亚尔镇吕宗村设施农业基地温室进行,试验地土质为沙壤土,肥力中等,土壤有机质含量10.73 g/kg、碱解氮含量89.6 mg/kg、速效磷含量176.9 mg/kg、速效钾含量395 mg/kg,pH值为7.62。试验温室为2009年建下挖式干打垒土墙竹木结构型日光温室,温室跨度为11 m,东西长148 m,脊高4.2 m,后墙为泥土堆积碾压墙,墙底宽3.8 m,上宽1.6 m,竹木结构,三排立柱,无滴膜覆盖,棉被保温;建造时为便于卷帘机的操作,在温室中间打了1道土墙,将温

收稿日期:2020-06-12

基金项目:新疆生产建设兵团科技攻关与成果转化项目(编号:2016AC003)。

作者简介:刘志刚(1977—),男,山西浑源县人,硕士研究生,高级农艺师,从事设施蔬菜栽培与生理研究。E-mail:lzg0327@163.com。

通信作者:王建,硕士研究生,助理研究员,从事动物养殖研究, E-mail:0993wangjian@sina.com;李海峰,硕士研究生,助理研究员,从事蔬菜质量安全风险评估研究, E-mail:281618339@qq.com。

室分为 2 个面积均约 667 m², 土壤条件基本一致的温室。授粉用箱式熊蜂由新疆农垦科学院畜牧兽医研究所提供, 每箱 20 ~ 30 只; 喷花用植物生长调节剂 65% 甲硫·乙霉威可湿性粉剂 3 000 倍液, 由住友化学(上海)有限公司生产; 供试番茄品种为优冠, 早熟性好, 成熟果粉红色, 果实高圆形, 上色均匀, 耐储运, 商品性好, 抗病性强, 单果质量约 350 g, 由北京北农亨利种子有限公司生产, 由吐鲁番市育苗中心提供, 为 50 穴穴盘育苗。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 设熊蜂辅助授粉、植物生长调节剂喷花 2 个处理, 分别在单独的温室内进行操作管理, 除授粉方式、风口防虫网 2 个操作不同, 番茄品种、整枝打杈、水肥管理等都一致。试验采用随机区组设计, 每个处理为 1 个小区, 面积 36 m², 每个处理 3 个重复, 每个重复 30 株, 共 90 株。熊蜂授粉试验温室上下放风口各拉宽 1.2 m 防虫网, 初花期在温室中部放入 2 箱熊蜂。激素授粉试验温室, 当开花植株数达到 50% 时, 用植物生长调节剂 65% 甲硫·乙霉威可湿性粉剂 3 000 倍液正对喷花。

1.2.2 田间管理 番茄开花大约 5% 时, 夜晚将蜂箱拿入熊蜂授粉温室中间位置, 使蜂巢门朝向东南方向, 静置 1 ~ 2 h 后打开巢门。番茄苗 1 月 29 日定植, 第 1 穗果开花为 2 月 10 日, 开花期间用 60 目防虫网封住温室上下放风口, 防止熊蜂飞出温室而使群势受影响。花期结束时间为 4 月 17 日, 初次采摘为 4 月 3 日, 末次采摘为 6 月 13 日。授粉期间温室 08:30 开棚升棉被, 10:30 开 50% 上风口, 12:00 打开全部上风口, 温室中午棚内温度高于 35 ℃ 时打开下风口进行降温, 激素授粉棚从盛花初期开始每天 08:00—11:00 喷花, 每隔 2 ~ 3 d 喷 1 次, 2 种授粉方式番茄植株都留 5 穗果打顶。

1.2.3 调查与测定 在番茄授粉期观察熊蜂的活动情况及授粉习性, 记录出巢、回巢的时间和温度。每小区分别在温室前部、中部、后部各随机选取 3 株, 共 9 株挂牌标记, 在盛花初期定株调查各小区植株的总花数、坐果数、畸形果数。4 月 25 日果实采收初期调查番茄的单果质量、籽粒数、单株产量, 用游标卡尺测量果实纵横径, 并在不同果肉部位重复测定 3 次可溶性固形物含量, 采用 WYT 手持式折光测糖仪测定可溶性固形物含量, 用 2,6 - 二氯酚靛酚法测定维生素 C 含量, 用滴定法测定总糖含量, 用酸碱中和滴定法测定总酸含量。

1.2.4 统计与分析 采用 DPS 14.5 对数据进行处理, 将 2018、2019 年 2 年物候期的试验数据取平均值, 采用 Duncan's 新复极差法进行生物学统计分析, 不同大写、小写字母分别表示在 0.01、0.05 水平上差异显著。

2 结果与分析

2.1 熊蜂在日光温室番茄上的授粉特性

据观察, 由于吐鲁番春季气温升温快, 熊蜂早晨出巢早, 中午回巢早, 下午出巢晚, 进巢晚; 熊蜂在早上温室内温度 9 ~ 12 ℃ 开始出巢活动, 温室 1 月底种植番茄后, 第 1 穗果开花时 2 月中下旬温度较低, 早晨揭棉被后 10:00 左右开始有熊蜂开始活动, 每天早上每箱蜂饲喂 1 瓶盖糖水, 10:30 左右熊蜂出巢开始授粉活动, 12:30 左右棚内温度开始迅速升高时开始回巢, 随外界气温的升高, 熊蜂早上出巢时间提早, 回巢时间也提早; 中午在棚内通风降温后, 17:00 开始逐渐出巢授粉, 20:30 左右时仍有 3 ~ 5 只/箱熊蜂在采集花粉, 熊蜂活动时间 7 ~ 8 h/d。

通过长时间的观察发现, 熊蜂的对番茄的授粉效率很高, 仅 1 只熊蜂在番茄花上授粉, 用自己的吸器边吸蜜采花粉边绕花朵的柱头 1 ~ 2 圈, 平均每 2 ~ 3 s 就可以完成 1 朵花的授粉, 完成 1 朵花的授粉后, 立即飞到另一朵花上完成同样的授粉, 不仅授粉充分, 而且授粉效率高。从形态上熊蜂与普通蜜蜂相比, 熊蜂体型大、体力强、全身有细绒毛, 授粉和飞行中发出嗡嗡声, 能够使花粉充分释放出来, 有利于花粉的传播。同时, 观察到熊蜂的趋光性较差, 而热感觉灵敏, 打开蜂箱后熊蜂在整个温室空间分布均匀; 防虫网虽然能防止熊蜂飞走, 但影响高温期温室放风效果。如果及时打开上下风口放风, 熊蜂就授粉时间长, 中午回巢时间晚, 如果放风不及时, 温室内温度很快升高到接近 40 ℃, 这个过程中温室温度上升到一定程度, 大部分熊蜂回巢, 30 ~ 45 只/hm² 找到缝隙逃走, 15 ~ 30 只/hm² 被夹到棚膜和防虫网中间死亡, 有个别熊蜂出现“撞棚”现象, 造成熊蜂数量减少, 所以需要 2 箱熊蜂授粉, 以确保授粉效果。

2.2 不同授粉方式对番茄坐果的影响

从表 1 可以看出, 春季日光温室 4—6 月高温期番茄采用熊蜂授粉, 坐果率为 95.2%, 与对照激素处理相比提高 5.6 个百分点, 而畸形果率下降 10.6 个百分点, 其授粉结实效果优于激素授粉, 二者差异显著; 熊蜂授粉番茄的果实横径、纵径均高于激素授

粉处理,但对果形指数影响不明显。由此可见,由于春季前期棚内温度低,激素浓度或品种等原因,激素授粉导致畸形果率明显比熊蜂授粉高,同时,由于新疆吐鲁番 4 月初开始外界气温的迅速升高,试验温室上下风口都拉了防虫网,降低了风口的通

风降温效果,加上棚主温室较多,激素授粉人工需求量大,放风降温措施不及时,后期连续开花坐果期温度偏高等因素也影响了番茄坐果。因此,在温室番茄管理中,为了促进坐果和果实发育,控制好花期和坐果期温度是管理的关键环节。

表 1 不同授粉方式对番茄坐果的影响

授粉方式	授粉花数 (朵)	结果数 (个)	畸形果数 (个)	坐果率 (%)	畸形果率 (%)	纵径 (mm)	横径 (mm)
激素授粉(CK)	276bB	247bB	34aA	89.6bA	12.3aA	78.36bA	63.26aA
熊蜂授粉	293aA	279aA	5bA	95.2aA	1.7bA	81.18aA	66.79aA
比 CK 增加	17	32	-29	5.6 百分点	-10.6 百分点	2.82	3.53

注:同列数据后不同小写、大写字母分别表示处理间差异显著($P < 0.05$)、极显著($P < 0.01$)。表 2、表 3、表 4 同。

2.3 熊蜂授粉对番茄产量的影响

从表 2 可以看出,熊蜂授粉番茄果实心室数略高于激素授粉处理,2 处理分别为 3.80、3.20 个,二者差异不显著,但籽粒数极显著高于激素授粉处理,分别为 34、13 个。通过熊蜂授粉的番茄单平均果质量为 229.72 g,激素授粉处理的平均单质量为 202.35 g,产量分别达 141 139.2、165 398.4 kg/hm²,熊蜂授粉比

激素喷花产量增加 17.19%,二者差异显著;从外观来看,熊蜂授粉的番茄果个大,果实圆滑丰满,红色均匀,心室内籽粒多,汤汁饱满,而激素授粉的番茄果实稍小,由于汤汁和籽粒均少,各心室处呈凹陷。表明熊蜂授粉方式有利于番茄果实的生长发育和产量品质的提高。

表 2 不同授粉方式对番茄产量的影响

授粉方式	心室数 (个)	籽粒数 (个)	平均单果质量 (g)	平均单株 结果数(个)	平均单株产量 (g)	平均产量 (kg/hm ²)
激素授粉(CK)	3.20aA	13bB	202.35bA	31aA	6 272.85bA	141 139.2bA
熊蜂授粉	3.80aA	34aA	229.72aA	32aA	7 351.04aA	165 398.4aA
比 CK 增加	0.60	21	27.37	1	1 078.19	24 259.2

2.4 熊蜂授粉对番茄品质的影响

从表 3 可以看出,熊蜂授粉番茄果实的品质指标可溶性固形物、维生素 C、总糖、总酸含量均高于激素授粉处理,分别比激素授粉处理高 0.8 百分点、18.56 mg/kg、9.49 g/kg、0.9 g/kg,同时,前者果实风味(糖酸比)也稍好于后者。试验采用熊蜂授粉的番茄果实平均可溶性固形物和总酸含量分别为 6.7% 和 4.2 g/kg,而激素授粉番茄的分别为 5.9% 和 3.3 g/kg,二者可溶性固形物含量相比均呈显著差异,而总酸含量相比差异不显著;熊蜂授粉的番茄果实平均维生素 C 和总糖含量分别为 137.24 mg/kg 和 36.81 g/kg,激素授粉番茄的分别为 118.68 mg/kg 和 27.32 g/kg,二者相比均呈极显著差异;而熊蜂授粉的番茄果实平均糖酸比为 8.76,高于激素授粉番茄的 8.28。相比激素授粉处理,熊蜂授粉的番茄不仅内在品质好,而且外观品质圆润饱满,果实周正,颜色均匀。由此可见,熊蜂授粉能不仅改善番茄果实的品质,而且能提高果实商品性。

表 3 不同授粉方式对番茄品质的影响

授粉方式	可溶性固 形物含量 (%)	维生素 C 含量 (mg/kg)	总糖含量 (g/kg)	总酸含量 (以苹果酸 计)(g/kg)	糖酸比
激素授粉(CK)	5.9bA	118.68bB	27.32bB	3.3aA	8.28
熊蜂授粉	6.7aA	137.24aA	36.81aA	4.2aA	8.76

2.5 不同授粉方式的经济效益分析

从表 4 可以看出,番茄人工激素授粉需要喷花 225 次/hm²,每次按 1 个工 100 元计算,劳务成本约在 22 500 元/hm²,购买激素药物等物化成本约为 4 500 元/hm²,激素授粉的总成本约 27 000 元/hm²;熊蜂授粉仅需在番茄开花授粉期内释放 30 箱/hm²蜂即可满足设施番茄春季授粉的需求,熊蜂价格为 400 元/箱,购买熊蜂需 12 000 元/hm²,购买熊蜂摆放架和遮阳布等需 1 500 元/hm²,上下防虫网需要 70 m × 1.2 m × 2 元/m² ÷ 667 m² × 2 (表示上下共 2 道) × 15 × 667 m²/hm² = 5 040 元/hm²,可使用 2 年,

表 4 不同授粉方式的经济效益分析

授粉方式	劳务成本 (元/hm ²)	物化成本 (元/hm ²)	总成本 (元/hm ²)	番茄单价 (元/kg)	总产值 (万元/hm ²)	纯收入 (万元/hm ²)
激素授粉(CK)	22 500	4 500	27 000	4.2aA	59.28bB	56.58bB
熊蜂授粉	3 000	16 020	19 020	5.5aA	90.97aA	89.07aA
比 CK 增加	-19 500	11 520	-7 980	1.3	31.69	32.49

注:不同授粉方式的番茄单价为当年的生产销售平均价格。

年均 2 520 元/hm², 劳务成本 3 000 元/hm², 熊蜂授粉的总成本约 19 020 元/hm², 比激素授粉节约 7 980 元/hm²。

番茄熊蜂授粉比激素授粉的平均产量提高 17.19%, 可增产 24 259.2 kg/hm², 畸形果率降低 10.6%, 产量和品质提高, 销售价格也随之提高, 除去所有生产成本, 增收约 32.49 万元/hm², 且番茄熊蜂授粉总产值和纯收入与激素授粉相比差异极显著。

3 讨论与结论

研究表明, 熊蜂授粉替代激素授粉可促进番茄充分授粉和果实生长发育, 显著降低果实畸形率, 提高熊蜂授粉番茄的坐果率、平均单果质量和单株产量, 且果实周正、饱满、圆润, 汤汁多, 口感好, 富含种子; 另外, 熊蜂授粉番茄的籽粒发育比较齐全, 平均籽粒数 34 粒, 明显高于激素授粉番茄平均籽粒数 21 粒, 激素授粉番茄的籽粒有 50% 以上未发育, 以上研究结论与前人的研究结果^[7-9]一致。

番茄果实品质指标主要包括可溶性糖含量、可滴定酸含量、维生素 C 含量、维生素 E 含量、硝酸盐、番茄红素、蛋白质含量等^[8], 而番茄果实风味主要取决于糖、酸的绝对含量^[10]。从营养角度看, 本研究中熊蜂授粉的番茄果实平均维生素 C 含量为 137.24 mg/kg, 平均总糖含量为 36.81 g/kg, 平均总酸含量为 4.2 g/kg, 平均糖酸比为 8.76, 这些主要品质指标均高于激素授粉处理, 可见熊蜂授粉对番茄的内在品质改善效果明显。研究表明, 与激素授粉处理相比, 熊蜂授粉的番茄果实总糖含量、可溶性固形物含量、维生素 C 含量均提高^[11-13]。本研究结果显示, 熊蜂授粉与激素授粉处理相比可以极显著提高番茄果实的可溶性总糖和维生素 C 含量, 对提高糖酸比和可溶性固形物含量也有一定作用, 可以明显改善番茄果实风味和品质, 这与相关研究结论一致。

熊蜂授粉不用人工喷花, 省时省工, 避免了激素授粉对温室环境和作物的污染等问题, 且熊蜂对

农药敏感, 要求农民用药更符合安全标准, 更加科学精准, 极大地降低了农药使用量, 提高用药效率, 为设施番茄的绿色生产起到了保障作用。大量研究表明, 熊蜂授粉方式的坐果率、果实商品性和安全性较好^[14-18], 但在生产示范过程中, 个别种植户担心吐鲁番 4 月的高温会影响温室内熊蜂出巢授粉和正常寿命, 熊蜂授粉会降低坐果率而影响产量, 但试验结果证明, 熊蜂授粉不但效率高, 坐果率、产量和经济效益均明显提高。

通过试验观察, 建议广大种植户在种植设施春季番茄、茄子等果蔬过程中, 根据天气情况尽早在 1 月底前完成定植, 在开花期前提高地温, 加强温度和水肥管理, 促进营养生长, 初花期开始采用 30 箱/hm² 熊蜂进行授粉, 同时结合提前通风、灌水、遮阴等降温管理技术措施, 在 4—6 月高温期来临前尽量多留果, 根据天气情况适时适期通风, 合理保温, 促进果蔬生长发育。通过早定植将授粉期提前, 提高熊蜂的授粉效率, 延长熊蜂的有效授粉期和授粉寿命, 提高果蔬的坐果率, 为设施熊蜂授粉技术进一步在新疆吐鲁番地区设施生产推广应用奠定基础。

参考文献:

- [1] 谢 鹤. 熊蜂及其在现代农业授粉实践中的应用研究[J]. 中国蜂业, 2012(7): 29-30.
- [2] 殷学云, 高 龙, 葛 亮, 等. 科伯特熊蜂授粉技术[J]. 农业工程技术, 2016, 36(31): 62-64.
- [3] 黄家兴, 安建东, 吴 杰, 等. 熊蜂为温室茄属作物授粉的优越性[J]. 中国农学通报, 2007, 23(3): 5-9.
- [4] Ravestijn W V, Vander J S. Use of bumblebees for the pollination of glasshouse tomatoes[J]. Acta Hort, 1991, 288(6): 204-212.
- [5] Lee S B, Bae T W, Kim S E, et al. The influence of over foraging, and pollinating activities on tomato fruits by a Korean native bumblebee, *Bombus ignitus* S. (Hymenoptera: Apidae) in cherry-tomato houses[J]. Korean Journal of Applied Entomology, 2003, 42(4): 293-300.
- [6] Meisels S, Chiasson H. Effectiveness of *Bombus impatiens* Cr. as pollinators of greenhouse sweet peppers (*Capsicum annuum* L.)[J]. Acta Horticulturae, 1997(437): 425-430.

林榕燕,钟准钦,方能炎,等. 秋石斛抗寒性生理的综合评价[J]. 江苏农业科学,2021,49(9):111-116.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.09.020

秋石斛抗寒性生理的综合评价

林榕燕,钟准钦,方能炎,林兵,叶秀仙

(福建省农业科学院作物研究所/福建省特色花卉工程技术研究中心,福建福州 350013)

摘要:为建立秋石斛抗寒性生理综合评价体系,选取6个秋石斛品种为材料,测定各品种的叶片相对电导率,结合 Logistic 方程计算半致死温度(LT₅₀),同时测定抗寒性相关生理指标[叶绿素含量、可溶性蛋白含量、可溶性糖含量、丙二醛(MDA)含量、保护酶活性等],通过相关性分析及主成分分析,选用相对电导率、CAT活性、SOD活性、可溶性糖含量和可溶性蛋白含量这5个指标,利用隶属函数分析法综合评价供试秋石斛抗寒性。结果表明,秋石斛不同品种的LT₅₀大小依次为D117、四面佛、三亚阳光、D128、香江美人和水芙蓉,说明水芙蓉在供试品种中抗寒性较强。隶属函数分析法评价结果显示,水芙蓉和香江美人为高抗寒品种,D128为低抗品种,三亚阳光、四面佛和D117为不抗品种,综合评价的结果与LT₅₀结果和越冬条件下的田间观测结果基本吻合,说明了该综合评价体系的可行性。本研究初步建立了秋石斛抗寒性生理综合评价体系,为进一步开展秋石斛抗寒机理研究奠定了基础。

关键词:秋石斛;抗寒性;半致死温度(LT₅₀);生理指标;相关性分析

中图分类号:S682.310.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2021)09-0111-06

秋石斛(*Dendrobium* spp.)为兰科石斛属多年生植物,花型优美、色彩丰富、花期较长,不仅可作

为切花材料,也是重要的盆花品种,在国际花卉市场上占有一席之地^[1]。但秋石斛的生长期对温度和湿度要求较高,过高或过低的温度都有可能使其停止生长^[2]。在我国,仅有部分地区可以生产秋石斛,如福建、海南、云南等地,但这些地区仍无法完全满足秋石斛的生长,冬季低温的影响不容忽视^[3]。低温不仅造成秋石斛切花产量和品质下降,还影响到来年的生产^[4]。因此,低温被普遍认为是秋石斛推广应用的最大限度因素。

提高秋石斛的抗寒性以降低冬季低温伤害是秋石斛产业亟须解决的主要问题,而获得高抗寒性

收稿日期:2020-11-06

基金项目:福建省省属公益类科研院所基本科研专项(编号:2019R1031-6);福建省农业科学院自由探索项目(编号:ZYTS2019003);福建省农业科学院对外合作项目(编号:DEC201821212);福建省农业科学院科技创新团队(编号:STYT2017-2-9)。

作者简介:林榕燕(1990—),女,福建平潭人,硕士,助理研究员,主要从事花卉生物技术研究。E-mail:lryyan@163.com。

通信作者:叶秀仙,副研究员,主要从事花卉育种与组织培养技术研究。E-mail:yxx7861@163.com。

[7]陈红,祝花,王孝琴,等. 熊蜂授粉技术在早春大棚番茄生产中的应用研究[J]. 湖北农业科学,2015,54(4):875-877.

[8]Favati F, Lovelli S, Galgano F, et al. Processing tomato quality as affected by irrigation scheduling[J]. Scientia Horticulturae, 2009, 122(4):562-571.

[9]张瑞雪,张影,孙凤刚,等. 衡水市设施番茄熊蜂授粉技术试验示范推广分析[J]. 现代农村科技,2018(7):67-68.

[10]Malundo T M, Shewfelt R L, Scott J W. Flavor quality of fresh tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by sugar and acid levels[J]. Postharvest Biology and Technology, 1995, 6(1):103-110.

[11]牛庆生,阎德斌,王志,等. 熊蜂为温室番茄授粉效果研究[J]. 蜜蜂杂志,2015,35(6):5-6.

[12]邢艳红,彭文君,安建东. 不同蜂授粉对设施番茄产量和品质的影响[J]. 中国养蜂,2005,56(7):8-10.

[13]周进,吴杨焕,张爱萍. 不同授粉方法对设施番茄果实生长发育的影响[J]. 北方园艺,2017(10):47-53.

[14]陈方,孙雄军,程鹏飞. 大棚番茄熊蜂授粉技术应用效果研究[J]. 中国瓜菜,2013,26(5):34-35,38.

[15]安建东,童越敏,国占宝,等. 熊蜂为温室茄子授粉试验[J]. 中国养蜂,2004,55(3):7-8.

[16]王强,李翠梅,李鹏飞,等. 新疆日光温室番茄熊蜂授粉试验[J]. 长江蔬菜,2013(20):27-29.

[17]Asada S, Ono M. Crop pollination by Japanese bumblebees, *Bombus* spp. (Hymenoptera: Apidae): tomato foraging behavior and pollination efficiency[J]. Applied Entomology and Zoology, 1996, 31(4):581-586.

[18]Atal Y Z, Kasrawi M A, Nazer I K. Influence of pollination technique on greenhouse tomato production[J]. University Journal for Scientific Research Agricultural Sciences, 2003, 8(1):21-26.