

## 地熊蜂访花行为及对番茄营养品质的影响

杨佳林<sup>1</sup>, 顾向红<sup>1</sup>, 肖克来提<sup>1</sup>, 吉别克<sup>1</sup>, 刘燕<sup>1</sup>, 焦子伟<sup>2\*</sup>

(1. 伊犁州农业技术推广总站, 伊宁 835000; 2. 伊犁师范学院化学与生物科学学院, 伊宁 835000)

**摘要:** 为了深入分析熊蜂在新疆伊犁温室番茄上的授粉行为及对营养品质的影响, 以地熊蜂为材料, 观察地熊蜂日活动规律, 测定其出巢温度、授粉温度、蜂群 30 min 内的出巢数及工作时间; 分别对熊蜂授粉、座果灵蘸花授粉处理 (对照) 的番茄进行可溶性固形物、硬度、维生素 C、还原糖、总酸及种子数等营养成分的测定, 明确番茄储藏期间可溶性固形物、硬度的变化规律。结果表明, 地熊蜂出巢、授粉温度分别为 8℃和 9℃, 日工作时间为 10 h, 在 13:00 左右熊蜂的出巢数达到最大值; 熊蜂授粉处理的番茄, 其维生素 C、可溶性固形物含量、硬度和种子数显著高于对照, 呈极显著性差异 ( $P < 0.01$ ); 经回归方程预测, 熊蜂授粉处理的果实储存时间比对照延长 5.75 d, 提高番茄的保质期和营养价值。

**关键词:** 番茄; 地熊蜂; 授粉行为; 激素; 营养成分

中图分类号: S641.2; S897.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2015)03-0454-04

### Flower-visiting behaviors of *Bombus terrestris* and its effect on the nutritional quality of tomato in greenhouse

YANG Jialin<sup>1</sup>, GU Xianghong<sup>1</sup>, XIAO Kelaiti<sup>1</sup>, JI Bieke<sup>1</sup>, LIU Yan<sup>1</sup>, JIAO Ziwei<sup>2</sup>

(1. Agricultural Technology Extension Station of Yili State, Yining 835000;

2. College of Chemistry and Biological Sciences, Yili Normal University, Yining 835000)

**Abstract:** The aim of this study was to analyze the effect of pollination behavior of bumble bees on the nutritional quality of the greenhouse tomatoes in Ili prefecture, Xinjiang Uygur autonomous region. In this paper, the daily activity of *Bombus terrestris* was observed and the nest and pollination temperatures, the nest number within 30 minute, and the swarm working time were tested. The concentration of soluble solid, firmness, vitamin C, reducing sugar, total acid, and seed number in tomato fruits developed from the flowers visited by *Bombus terrestris* or sprayed with the hormone solution (the control) were compared to determine the changes of soluble solid and firmness of tomatoes during the storage period. The results showed that bumble bees' nest and pollination temperatures were 8℃ and 9℃, respectively. The daily working time was 10 hours, and the number of out-of-nest peaked at about 13:00 pm. The content of vitamin C, soluble solid, firmness, and the seed number in tomatoes developed from bee-pollinated flowers were significantly higher than those in the control ( $P < 0.01$ ). It was predicted using the regression analysis that bee pollination extended the storage life of tomatoes for 5.75 days that was longer than that in the control. It was clear that bee pollination enhanced the nutritional value and shelf life of tomatoes.

**Key words:** *Lycopersicon esculentum* Mill.; *Bombus terrestris*; foraging behavior; hormone; nutrient content

番茄是我国主要设施蔬菜之一, 在栽培面积上占有很大的比重。截止 2002 年, 我国各类设施番茄栽培面积近 100 万  $\text{hm}^2$ , 居世界第 1 位, 但设施番茄种植配套技术研究比较薄弱, 智能化、标准化技

术配套体系不够完善, 番茄产量和品质低下、年利用率不高<sup>[1-2]</sup>。温室番茄主要以喷施激素等方法来提高其座果率, 而采用人工授粉或蜂授粉, 可以促进作物花朵的受精成功率, 使得作物的杂交优势明显,

收稿日期: 2014-09-17

基金项目: 新疆维吾尔自治区科技支疆项目, 设施农业昆虫授粉技术引进及示范推广 (2013911069), 新疆维吾尔自治区高层次人才引进工程项目及新疆维吾尔自治区基层青年科技人才项目 (2013741095) 共同资助。

作者简介: 杨佳林, 农艺师。E-mail: yjia8311161@163.com

\* 通信作者: 焦子伟, 博士, 副教授。E-mail: 741285332@qq.com

提高作物果实或种子的产量与品质<sup>[3]</sup>。蜜蜂授粉技术可明显地节约人工成本,减少化学激素的使用量,也是发展绿色、有机食品,保护生态环境的重要手段之一。

国内应用较多的授粉昆虫有意大利蜜蜂以及熊蜂属,近几年来已在本地对小蜂熊蜂(*Bombus hypocrite*)、地熊蜂(*Bombus terrestris*)以及从国外引进的熊蜂培养扩繁成功。温室果蔬主要采用意大利蜜蜂(*Apis mellifera*)和中华蜜蜂(*Apis cerana*)授粉,人工授粉以及喷施激素等方式座果。因意大利蜜蜂不喜欢番茄花朵所具有的特殊气味,在温室番茄生产上也较少应用。最近几年,我国从荷兰等国引进地熊蜂(*Bombus terrestris*)为温室番茄、草莓等作物授粉<sup>[4-5]</sup>,熊蜂已在茄科类作物授粉应用特别广泛;人工授粉采用人工振荡授粉可以显著提高番茄的座果率和总产量,但人工成本高,效率低;而喷施座果素在增加产量上较为理想,但影响果实品质,畸形果较多,会造成激素残留,在一些发达国家已被严禁使用。

果实的硬度是果实重要的品质性状之一,研究硬度的测定方法及其变化规律可为贮藏过程中的优化控制提供有价值的依据,可有效进行果蔬贮藏过程中品质变化的预测和监控<sup>[6]</sup>。目前,关于熊蜂对番茄、草莓授粉行为和不同品种番茄硬度的研究已有相关报道<sup>[7-9]</sup>,魏宝东<sup>[10]</sup>等对6种番茄品种的货架期硬度的变化及其影响因素进行了分析,但是关于熊蜂授粉和喷施激素对番茄品质影响及储藏期间营养价值变化规律还未见报道。本研究系统分析了熊蜂在温室番茄上的授粉行为,并测定了授粉和喷施激素的番茄营养品质,研究了2种番茄硬度变化规律,建立了番茄储存期间硬度变化规律方程,为熊蜂授粉对番茄营养品质和保存期研究提供了参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验时间及地点

试验于2013年12月—2014年5月在新疆伊犁州察布察尔县温室番茄基地进行,选择3座条件和番茄长势基本一致的日光温室作为试验区。该试验日光温室为钢筋水泥构架棚,南北坐向,棚前墙和侧墙均为40 cm厚的土墙,高3 m,长80 m,宽8 m,棚顶部为拱圆形钢架结构,采用塑料薄膜覆盖。

### 1.2 试验材料与管理

供试熊蜂由荷兰科伯特公司提供,为地熊蜂(*Bombus terrestris*),试验用地熊蜂长势基本一致,工蜂数量每箱80~100头,且绝大部分为青壮年工

蜂。激素:座果灵,购自伊犁禾丰农资公司。

供试番茄属于越冬栽培,株距35~40 cm,行距50 cm。栽培品种为当地主栽品种-安娜。根据当地温室番茄种植习惯,每年12月份播种,次年2月下旬定植,3月份左右进入开花座果期,于温室番茄花期正常放置熊蜂,同时对座果灵进行稀释进行蘸花授粉后并用防虫网进行遮盖。温室番茄水肥及病虫害防治按常规管理。

### 1.3 试验方法

**1.3.1 授粉行为测量** 采用防虫网将温棚顶部的通风口封住以防授粉熊蜂的外逃。熊蜂箱则固定离地面高度80 cm的台面上,巢门朝南,保证蜂路的畅通。初次放入时于前1 d下午将蜂群搬入温室,静置后,第2天再打开蜂箱巢门,并在固定的地点放置喂水器,每2 d更换1次水。在番茄花期每天早晨10:00开始开棚,从10:00至17:00利用自动温湿度计每隔1 h记录室内温湿度、熊蜂出巢温度和授粉温度;每隔1 h记录授粉蜂群的30 min内的出巢数;并记录授粉熊蜂的工作时间,在3个温室番茄中进行试验,重复3次。

**1.3.2 授粉果实品质检测** 该实验分为2个处理,分别采摘熊蜂授粉、座果灵蘸花授粉处理(对照)成熟的番茄,剥去番茄底部的果皮,将压头压到指定的刻度,得到果实的硬度。将番茄分成6组,每组5个样品,储存在302A型恒温恒湿箱中,控制温度在(25±2)℃,相对湿度为85%~90%,采用GY-1型果实硬度计(浙江托普仪器有限公司),每3 d进行1次硬度测定。同时将番茄打汁后,使用101手持折光仪(浙江托普仪器有限公司)测定番茄可溶性固形物的含量,在3个温室番茄中进行试验,重复3次。

此外,为比较2种座果方式成熟后的番茄的营养品质,在每个重复区随机各选取长势一致的番茄,番茄进入全红期后,取成熟度一致的番茄,测定V<sub>C</sub>、还原糖、总酸和种子数,V<sub>C</sub>、还原糖和总酸的测定分别按照国家相关标准测定<sup>[11-13]</sup>。

**1.3.3 硬度及可溶性固形物含量变化分析** 以番茄的可溶性固形物、硬度(单位:牛顿,N)为指标,测定各储藏期间(t)番茄的可溶性固形物含量、硬度,建立番茄硬度随时间变化的回归方程,预测2种番茄储藏期间营养品质的变化。

### 1.4 数据处理

本实验数据以平均值为依据,数据分析采用EXCEL软件、SPSS软件(Version 16.0, USA)进行数据处理、方差及回归分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 授粉行为结果分析

熊蜂的授粉行为包括熊蜂出巢数、出巢温度、出巢湿度、日工作时间等记录结果如图1所示。从图1可知,温度随着时间增加而逐渐上升,熊蜂出巢温度为8℃,授粉温度9℃,在13:00左右,温度达到最高值38℃,下午13:00—16:00温度保持在30℃以上,而后逐渐下降。湿度与温度呈现相反的趋势,随着温度的升高湿度逐渐降低到15%,13:00以后湿度则逐渐升高。温度和光照强度的变化趋势基本一致,温室内熊蜂在不同的时间段30 min内出巢数不同,在上午11:00时,熊蜂出巢数较少,30 min内有4头熊蜂出巢,随着温度的增高,在12:00及13:00分别达到6头和15头,在13:00左右达到最高值,15:00—17:00,出巢数逐渐降低,30 min内出巢数分别4头、3头和3头。此外试验观察表明,熊蜂日工作时间长达10 h。

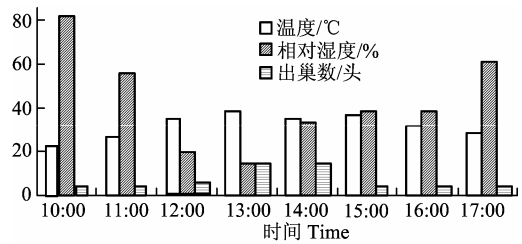


图1 熊蜂出巢数与温度、湿度的关系

Figure 1 The relationship among number of bumble bees out of nest, temperature and humidity

### 2.2 营养品质比较分析

对2种处理番茄中的营养成分的测定结果如表1所示,喷施座果灵处理(对照)的番茄VC含量为27.2%,而熊蜂授粉处理的VC含量为30.8%,熊蜂授粉处理的VC极显著地高于对照( $P < 0.01$ ),熊蜂授粉处理的还原糖极显著地低于对照( $P < 0.01$ ),而总酸差异不显著,熊蜂授粉组硬度、种子数极显著地高于对照( $P < 0.01$ )。

表1 熊蜂授粉与对照处理番茄营养品质比较

Table 1 Comparison of the nutrients and quality between the tomatoes pollinated by *Bombus terrestris* and the control

处理 Treatment	维生素C/% Vitamin C	还原糖 (以葡萄糖计)/% Reducing sugar (as glucose)	总酸 (以柠檬酸计)/% Total acid (as citric acid)	硬度/N Hardness	种子数 Number of seeds
熊蜂授粉处理 Pollinated by <i>Bombus terrestris</i>	30.8±0.018**	2.6±0.039**	0.50±0.04	13.63±0.004**	148±0.029**
对照 Control	27.2±0.013	2.7±0.006	0.52±0.038	11.37±0.002	128±0.063

注:数据为平均值和标准误差。“\*”、“\*\*”分别为不同水平的显著性差异( $P < 0.05$ ,  $P < 0.01$ )。对照,喷施座果灵处理。

Note: Data was shown by Mean± standard errors. “\*” and “\*\*” indicate statistically significant ( $P < 0.05$ ,  $P < 0.01$ ), respectively. Control group, sprayed with the hormone of Zuogouling.

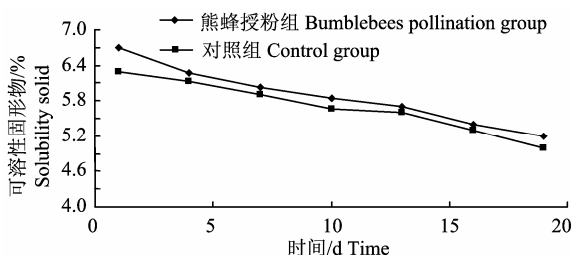


图2 可溶性固形物含量随时间变化规律

Figure 2 Variation of tomato solubility solid pollinated by *Bombus terrestris* and the control

### 2.3 果实储藏期间营养指标变化分析

**2.3.1 可溶性固形物含量变化** 从测定2种处理的番茄可溶性固形物的含量结果可以看出(图2),熊蜂授粉、对照处理的番茄可溶性固形物的含量分别是6.69%和6.3%,两者差异极显著( $P < 0.01$ )。随着随贮藏时间的延长,果实固形物的含量成逐渐降低,

储藏到第19天,可溶性固形物的含量分别降低到5.2%和5%;第10天,熊蜂授粉处理的可溶性固形物的含量与对照差异不显著( $P < 0.05$ ),其余各天熊蜂授粉处理的可溶性固形物的含量极显著地高于对照( $P < 0.01$ ),2种处理的番茄储藏期间可溶性固形物下降了20%左右。

**2.3.2 果实硬度的变化规律** 在贮藏过程中,番茄硬度随时间变化规律如图3和图4所示:随贮藏时间( $t$ )的延长,果实硬度 $F$ 逐渐降低,时间和硬度呈指数变化。对贮藏过程中番茄的果实硬度变化用指数方程进行回归分析,建立熊蜂授粉、喷施激素两组番茄果实硬度随贮藏时间变化的回归方程,分别是 $F = 13.87e^{-0.0895t}$ ,  $R^2 = 0.96$ ,  $F = 13.825e^{-0.1161t}$ ,  $R^2 = 0.95$ ,其相关系数分别为0.96, 0.95,回归方程拟合度较好,可用于番茄果实的保质期的预测。

**2.3.3 模型验证** 根据回归方程,果实的硬度降低

到 5 N, 熊蜂授粉处理的储藏天数为 11.4 d, 喷施座果灵处理的为 8.76 d, 试验观察表明熊蜂授粉处理和喷施座果灵处理的番茄分别储藏 11d 和 9 d 后, 果实硬度为 5 N。预测结果和试验结果基本一致, 说明这 2 个回归方程能够用于番茄保质期的预测。

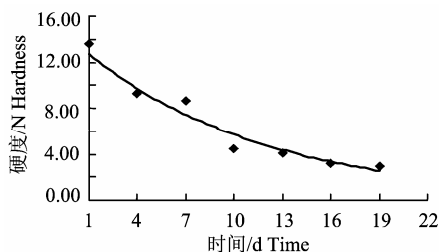


图 3 熊蜂授粉组果实硬度变化

Figure 3 Variation of tomato hardness by *Bombus terrestris* pollination

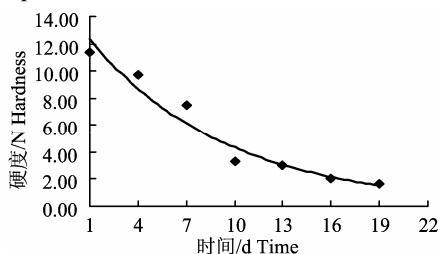


图 4 喷施激素组果实硬度变化

Figure 4 Variation of tomato hardness by spraying hormone

通过试验观察, 当番茄的硬度降低到 1.5 N 时, 番茄出现腐烂变质现象。番茄硬度下降到 1.5 N, 根据回归方程, 熊蜂授粉处理的能保存 24.85 d, 喷施座果灵处理的能保存 19.1d, 说明在 25℃, 相对湿度为 85% 条件下, 熊蜂授粉能延长番茄 5.75 d 保质期, 熊蜂授粉果实能显著地提高保质期。

### 3 小结与讨论

通过对地熊蜂在温室大棚中授粉行为的分析表明, 熊蜂出巢温度为 8℃, 授粉温度 9℃, 日工作时间为 10 h, 13:00 左右温度达 38℃, 熊蜂的出巢数达到最大值, 温度对熊蜂授粉行为的影响较大; 对 2 种授粉处理的番茄营养成分分析表明, 熊蜂授粉处理番茄的  $V_C$ 、种子数、硬度极显著地高于对照处理 ( $P < 0.01$ )、总酸差异不显著, 熊蜂授粉能增加果实的营养价值, 极显著地提高番茄的硬度, 增加番茄的种子数 ( $P < 0.01$ )。通过对 2 种处理的番茄储藏期间果实的可溶性固形物、果实硬度分析表明, 熊蜂授粉处理番茄可溶性固形物含量和硬度极显著地高于对照 ( $P < 0.01$ ), 随贮藏时间增加, 可溶性固形物逐渐下降, 硬度呈指数下降。通过观察果实硬度变化规律, 建立了回归方程, 试验证实该回归方程可

以用于预测番茄储藏期间果实硬度的变化, 通过预测, 熊蜂授粉组番茄能保存 24.85 d, 喷施激素组能保存 19.1 d, 熊蜂授粉能延长番茄 5.75 d 保质期。

地熊蜂是通过声震传粉<sup>[14-16]</sup>, 一些植物的花只有当被昆虫的嗡嗡声震动时才能释放花粉, 这就使得熊蜂成为这些声震授粉作物如番茄、茄子等的理想授粉者, 人工喷施激素时, 需要在每朵花上蘸 1~3 次, 需要耗费大量的人力和时间, 与人工喷施激素相比熊蜂授粉具有成本低, 效率高的特点。硬度是衡量果实品质的一个重要指标, 果实采收后硬度的下降, 主要是由于细胞壁酶的作用引起果胶和细胞壁物质的水解所致<sup>[10]</sup>, 试验证实, 地熊蜂授粉能提高果实硬度, 增加温室番茄的营养价值, 延长果实保存期。综上所述, 地熊蜂授粉技术是一种绿色、健康、低成本设施农业配套技术, 适合大面积推广。

### 参考文献:

- [1] 张真和. 蔬菜产业可持续发展对策[J]. 中国蔬菜, 2004 (1): 1-3.
- [2] 王松涛. 工厂化农业是现代农业的重要标志[J]. 温室园艺, 2004 (1): 12-15.
- [3] Cunningham S A, Fitz Gibbon F, Heard T A. The future of pollinators for Australian agriculture[J]. Australian Journal of Agricultural Research, 2002, 53(8): 893-900.
- [4] 李继莲, 吴杰, 彭文君, 等. 熊蜂和蜜蜂为日光温室草莓授粉效果的比较[J]. 蜜蜂杂志, 2005(7): 3-4.
- [5] 童越敏, 李继莲, 彭文君, 等. 熊蜂授粉对温室草莓的影响研究[J]. 中国养蜂, 2005(11): 7-8.
- [6] 王昕, 李建桥, 任露泉, 等. 番茄果实采收后的硬度测定及其变化规律[J]. 农业机械学报, 2005, 36(6): 65-67.
- [7] 魏民, 张志斌, 贺超兴, 等. 人工振荡授粉对春番茄座果率及产量的影响[J]. 北方园艺, 2004 (2): 46-47.
- [8] 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 (7): 8-10.
- [9] 李继莲, 彭文君, 吴杰. 明亮熊蜂和意大利蜜蜂为温室草莓的授粉行为比较观察[J]. 昆虫学报, 2006, 49(2): 342-348.
- [10] 魏宝东, 姜炳义, 冯辉. 番茄果实货架期硬度变化及其影响因素的研究[J]. 食品科学, 2005, 26(3): 249-252.
- [11] 江苏省农科院综合实验室. 水果、蔬菜维生素 C 含量测定(2,6-二氯酚磺酸滴定法)[S]. 国家标准局, 1986.
- [12] 龚玲娣, 徐清渠. 食品中总酸的测定[S]. 中国国家标准化管理委员会, 2008.
- [13] 杨大进, 常迪, 赵罄, 等. 食品中还原糖的测定[S]. 中国国家标准化管理委员会, 2008.
- [14] Buchmann S L, Jones C E, Colin L J. Vibratile pollination of *Solanum douglasii* and *S. xanti* (Solanaceae) in Southern California [J]. The Wasmann Journal of Biology, 1977, 35:1-25.
- [15] Buchmann S L, Hurley J P. A biophysical model for buzz pollination in angiosperms[J]. The Journal of Theoretical Biology, 1978, 72: 639-657.
- [16] Birmingham A L, Winston, M L. Orientation and drifting behaviour of bumblebees (*Hymenoptera:Apidae*) in commercial tomato greenhouses [J]. Canadian Journal of Zoology, 2004, 82(1): 52-59.