

防虫网对豇豆蓟马的阻隔效果及 对田间小气候环境的影响*

范亚龙^{1,2**} 董子齐² 吴圣勇^{2,3***} 解海翠^{1***}

(1. 河北科技师范学院, 河北省作物逆境生物学重点实验室, 秦皇岛 066600; 2. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害综合治理全国重点实验室, 北京 100193; 3. 三亚中国农业科学院国家南繁研究院, 三亚 572204)

摘要 【目的】明确不同规格防虫网对豇豆蓟马的阻隔作用, 测定防虫网覆盖对田间小气候环境的影响, 旨在为防虫网的选择应用提供参考。【方法】测定了4种规格的防虫网对豇豆蓟马的阻隔效果, 并采用光照计、风速仪和温湿度记录仪等仪器测定了防虫网对光照、通风和湿度的影响。【结果】在4种规格的防虫网中, 80目防虫网对豇豆蓟马的阻隔效果最高, 蓟马穿透率小于10%, 60目防虫网次之, 20和40目防虫网的阻隔效果较弱。综合考虑防虫和通风, 选择覆盖60目防虫网后, 相较于露地, 棚内蓟马发生量显著小于露地蓟马发生量 ($P<0.01$); 棚内光照强度和风速显著降低 ($P<0.01$), 棚内光照强度平均降低192.42 lx, 棚内棚边、棚中部和行间位置风速平均分别降低0.59、0.86和0.98 m/s。覆盖防虫网对棚内温湿度有一定影响, 相较于露地, 在12:00–20:00之间棚内温度显著增高 ($P<0.01$), 棚内棚边、棚中部和行间位置温度平均分别升高2.81、2.23和3.09 °C。在12:00前和20:00后棚内湿度显著增高 ($P<0.01$), 棚内棚边、棚中部和行间位置湿度平均分别升高4.66%、7.11%和7.44%; 在12:00–20:00之间棚内湿度显著降低 ($P<0.01$), 棚内棚边、棚中部和行间位置湿度平均分别降低7.63%、3.53%和5.80%。【结论】室内试验表明80目防虫网对豇豆蓟马阻隔效果最佳, 但田间实际应用推荐60目防虫网, 因其在保证有效阻隔蓟马的同时兼顾通风需求。此外, 覆盖防虫网会改变田间小气候环境, 导致光照和风速降低, 并在不同时段对温湿度产生明显影响。

关键词 防虫网; 蓟马; 阻隔; 小气候

The barrier effect of insect-proof screens on cowpea thrips and their impact on field microclimate

FAN Ya-Long^{1,2**} DONG Zi-Qi² WU Sheng-Yong^{2,3***} XIE Hai-Cui^{1***}

(1. Hebei Key Laboratory of Crop Stress Biology, Hebei Normal University of Science and Technology, Qinhuangdao 066600, China; 2. National Key Laboratory of Integrated Management of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 3. National Hainan Research Institute (Sanya), Chinese Academy of Agricultural Sciences, Sanya 572204, China)

Abstract 【Aim】To clarify the barrier effects of different sized of insect-proof mesh on cowpea thrips, and to determine the impact of mesh on field microclimate, aiming to provide references for the selection and application of insect-proof screens. 【Methods】The effect of four sizes of insect-proof mesh on the abundance of cowpea thrips was measured and the effect of different sized mesh on aspects of the crop microclimate, such as light, ventilation, temperature and humidity, was measured using light meters, anemometers, and temperature and humidity recorders. 【Results】Eighty mesh insect-proof screen was the most effective barrier to cowpea thrips, with less than 10% of the thrips passed through, followed by the

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划 (2024YFD1400100); 河北省专业学位研究生教学案例建设项目(KCJSZ2025092); 农业农村部华北北部作物有害生物综合治理重点实验室科研基金项目 (202303)

**第一作者 First author, E-mail: 18231038719@163.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: wushengyong@caas.cn; hcxie2008@126.com

收稿日期 Received: 2024-10-17; 接受日期 Accepted: 2025-03-06

60-mesh screen. Twenty and 40-mesh screens were relatively weak barriers. Considering the importance of excluding insects but also allowing adequate ventilation, the 60-mesh insect-proof screen was selected for field trials. The results indicate significantly lower thrip numbers than in an unscreened control site ($P<0.01$). Light intensity and wind speed inside the mesh were significantly reduced ($P<0.01$), with an average decrease in light intensity of 192.42 lx. Average wind speed at the edge of the mesh decreased by 0.59 m/s, and the average wind speed in the middle of the enclosure decreased by 0.86 m/s. The average wind speed between rows decreased by 0.98 m/s. Enclosing cowpea crops with insect-proof screens affects the temperature and humidity inside the enclosure. Compared to an open field, the temperature inside the mesh significantly increased between 12:00 and 20:00 ($P<0.01$). Average temperature increased by 2.81 °C at the edge of the enclosure, by 2.23 °C in the middle and by 3.09 °C between rows. Humidity inside enclosures significantly increased before 12:00 and after 20:00 ($P<0.01$), with an average increase of 4.66% at the edge, 7.11% at the middle, and 7.44% between rows. However, between 12:00 and 20:00, the humidity inside the enclosure significantly decreased ($P<0.01$), with an average decrease of 7.63% at the edge, 3.53% in the middle, and 5.80% between rows. **[Conclusion]** The laboratory tests demonstrated that the 80-mesh insect-proof screen provided the best barrier effect against cowpea thrips. However, for practical field application, the 60-mesh screen is recommended as it balances the requirements of excluding pests with maintaining proper ventilation. Additionally, the use of insect-proof screen alters the microclimate conditions in fields, resulting in reduced light intensity and wind speed, along with noticeable variations in temperature and humidity during different time periods.

Key words insect-proof screen; thrips; barrier; microclimate

防虫网是由聚乙烯原料经拉丝编制而成(陈育民等, 2020), 具有坚韧性强、抗紫外线、抗热性、耐水性、耐腐蚀性和耐老化性, 以及无毒无味的优点, 且不受地域、栽培方式、气候条件等因素的限制。防虫网覆盖技术, 作为一种作物高产实用的环保农业新技术, 通过覆盖在棚架上, 构建物理隔离屏障, 将害虫隔离在网外, 并切断其繁殖途径, 也在一定程度上切断了病毒的传播途径, 达到防虫、防病的目的(李成, 2012; 荣利, 2015; Mahmood *et al.*, 2018)。通过覆盖防虫网, 可以改善防虫网室内的小气候条件, 创造适宜作物生长的光照、通风、温湿度等条件(Kittas *et al.*, 2002, 2008; Majdoubi *et al.*, 2007), 同时能够相应地减少化学农药的使用。这项技术契合无公害农产品的生产技术要求, 是促进无公害农产品生产的关键手段之一(张力, 2005)。

海南省处于我国热带地区, 有着得天独厚的地理气候条件, 常年日照充足, 温湿度适宜, 是我国重要的冬季瓜菜生产基地, 在全国冬季蔬菜市场上发挥了不可替代的作用(张瑞敏等, 2015; 李良会等, 2022)。豇豆是海南省冬季种植的主要蔬菜之一, 也是海南农民收入的主要来源, 在三亚、陵水、乐东和海口等地多有种植。然而,

海南高温高湿的气候条件使得各类病虫害易于发生, 且呈逐渐加重趋势(袁伟方等, 2017)。由于化学农药的不科学使用, 豇豆农药残留问题时有发生, 备受关注(吕岱竹等, 2018)。因此, 做好害虫综合治理, 降低农药使用量和使用次数, 确保农产品质量安全, 对海南省冬季瓜菜产业尤为重要。

豆大蓟马 *Megalurothrips usitatus* 和花蓟马 *Frankliniella intonsa* 是目前海南省豇豆的主要害虫, 可致豇豆生长停止、豆荚出现“黑头黑尾”现象, 严重影响豇豆的产量和品质(范咏梅等, 2013; 肖春雷等, 2014; 邱海燕等, 2017)。豆大蓟马在冬季豇豆整个生育期可发生, 花蓟马主要发生在豇豆开花结荚期(范咏梅等, 2013; 唐良德等, 2015; 邱海燕等, 2017; Fu *et al.*, 2022)。当前生产中防治蓟马仍然主要依赖于化学农药, 在豇豆生长期尤其是开花结荚期, 用药较为频繁。由于蓟马生活隐蔽、繁殖力强、世代历期短, 农药的大量使用不仅增加了豇豆质量安全风险, 也造成了害虫抗药性水平不断提高, 化学药剂药效不断下降(邱海燕等, 2014; 唐良德等, 2016, 2018)。防虫网作为一种有效的物理防控措施, 对豇豆主要害虫的阻隔及豇豆的安全生产有着重要意义。在海南目前推广的“防虫网+”模式

下, 本研究测定了市场上不同规格防虫网的孔径, 并在室内和田间条件下评价了防虫网对豇豆蓟马的防控作用, 并监测了防虫网覆盖后棚内的温湿度和光照情况, 以期防虫网的选择和应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试防虫网 本试验所用防虫网为白色, 4 种规格, 即 20、40、60 和 80 目, 由河北安平舜天丝网制品有限公司提供。

1.1.2 供试虫源 豇豆蓟马和花蓟马, 采自海南省陵水黎族自治县文罗镇五星村豇豆试验田, 豇豆蓟马占比 80% 以上。室内试验所用蓟马均为羽化后第 2 天的成虫。

1.2 方法

1.2.1 不同规格防虫网尺寸测量 采用光学显微镜 (SZX16, Olympus Corporation) 测量不同规格防虫网的孔径 (孔径 A: 横径, 孔径 B: 纵径) 和丝径。每种规格的防虫网分别截取 10 cm × 10 cm 的小块进行测量。光学显微镜与计算机图像分析软件连接, 将目镜里观察到的信息转换到视频接口和摄像头, 启动计算机中图像分析软件, 观察来自显微镜的实时图像。将 10 cm × 10 cm 的小块防虫网放置在显微镜置物台上, 在显微镜下随机选取 1 个孔眼进行测量, 分别测量孔径和丝径, 重复 3 次, 取平均值, 计算防虫网透孔率。透孔率 = $\frac{\text{孔径 A} \times \text{孔径 B}}{(\text{孔径 A} + \text{丝径}) \times (\text{孔径 B} + \text{丝径})}$ (闫冬梅等, 2020)。

1.2.2 室内阻隔试验 每种网均制成 20 cm × 30 cm 和 40 cm × 70 cm 两种规格的网袋各 4 个, 共计 32 个防虫网袋; 用 80 目网再制成 60 cm × 60 cm × 120 cm 的防虫网框 32 个, 框架为塑料 (图 1)。用 50 mL 离心管装 100 头蓟马成虫, 用 120 目尼龙网盖住管口并用皮筋扎好, 管内不放任何食物和水, 共装 50 管, 在室温下放置 2 h 后检查蓟马成活率, 每管成活率在 90% 以上的用于试验。

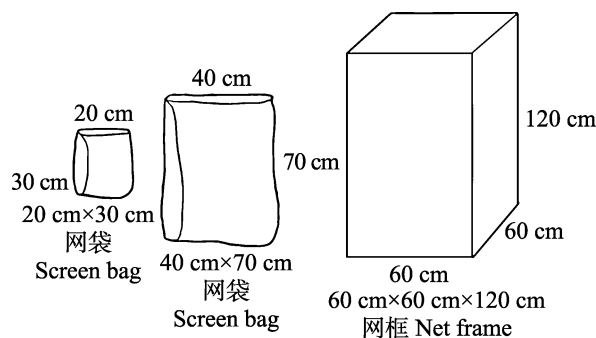


图 1 两种规格的防虫网袋和网框示意图

Fig. 1 Schematic diagram of two sizes of insect-proof screen bag and net frame

1.2.2.1 成虫释放在网袋内的穿透实验 以 20 cm × 30 cm 的防虫网袋进行试验。把装有蓟马成虫的离心管放置在不同孔规格的防虫网袋中, 扎紧袋口并打开离心管口释放蓟马成虫, 每一防虫网袋内释放 1 管蓟马。每种规格以一个防虫网袋为 1 个重复, 重复 4 次。把已装有蓟马的防虫网袋及时放入 60 cm × 60 cm × 120 cm 的防虫网框中, 每框放一袋。分别于 15、30 和 60 min 后观察网袋内的蓟马是否穿透防虫网出现在防虫网框内, 并统计出现在防虫网框内的蓟马数量。

1.2.2.2 成虫释放在网袋外的穿透实验 以 40 cm × 70 cm 防虫网袋进行试验。每个防虫网袋分别套住一株豇豆苗 (扎紧袋口但在盆土中插上塑料撑杆把防虫网袋撑起来, 避免网袋与枝叶接触) 作为 1 个处理, 每个规格的防虫网袋重复 4 次, 然后分别放进 60 cm × 60 cm × 120 cm 的防虫网框中。把装有蓟马成虫的离心管放置网框内, 每框内释放 1 管成虫。在 24、48 和 72 h 后分别检测套有防虫网袋的豇豆苗上是否有蓟马成虫, 并统计数量。

1.2.3 田间试验

1.2.3.1 蓟马发生量调查 依据 1.2 节的试验结果, 综合考虑防虫、通风和透光性, 选择 60 目防虫网进行田间试验, 以检测该规格的防虫网对蓟马的防控效果。在海南省陵水县文罗镇五星村周边有豇豆田且上年度发生过蓟马的田间建防虫网棚, 面积为 0.17 hm², 网室内种植豇豆, 以露地栽培作为对照。2023 年 11 月 1 日建好

棚并铺设地膜,豇豆播种时间为 11 月 5 日,自 1 月 3 日起豇豆开花结荚期开始调查,每隔 5 d 调查 1 次蓟马发生数量,共调查 6 次,于每天上午 10:00 左右进行调查。具体调查方法:采用五点调查法,每个点取 5 朵花,每次共调查 25 朵,将花放入密封袋中带回室内把 3 层花拆开调查蓟马数量。豇豆整个生长期不使用化学农药。

1.2.3.2 覆盖防虫网对光照强度和通风的影响调查 采用光照计(DT-1301,北京山承伟业科技有限公司)和风速仪(NK1000,北京山承伟业科技有限公司)测量 60 目防虫网棚室内与露地的光照强度和风速。在防虫网棚内与露地分别测量光照强度,于每天下午 14:00 进行测量,重复 3 次,持续测量 15 d;在 60 目防虫网棚内不同位置(棚边、棚中部、行间)与露地分别测量风速,于每天下午 14:00 左右进行测量,重复 3 次,持续测量 15 d。分析每个时间点不同处理的光照和风速差异。

1.2.3.3 覆盖防虫网对温湿度的影响调查 采用温湿度记录仪(Hw-98-0,北京山承伟业科技有限公司)测量 60 目防虫网棚内不同位置(棚边、棚中部、行间)与露地的温度和湿度。在豇豆开花结荚盛期选取 1 d 即 1 月 4 日记录 24 h 的温湿度变化。分别在防虫网棚内(棚边、棚中部、行间)与露地安置温湿度记录仪,对棚内与露地的温湿度进行 1 d 的持续监测,温湿度记录仪每 5 min 记录 1 次,共记录 288 次,每隔 4 h 为一个时间点。分析每个时间点不同处理间温湿度差异。

1.3 数据分析

采用 Excel 2021 进行数据整理,用 SPSS 26.0 和 GraphPad 8.0 进行 Tukey 检验或 *T* 检验和作图。

2 结果与分析

2.1 不同规格防虫网尺寸测量

20、40、60 和 80 目防虫网的横径、纵径

和丝径不同。4 个目数防虫网的横径在 0.62-1.34 mm,纵径在 0.30-0.85 mm,丝径在 0.11-0.30 mm。不同目数防虫网的横径差异显著($F=111.82, P<0.001$),其中 20 目防虫网的横径最大,其次是 40 和 60 目,80 目最小。同样,不同目数防虫网之间的纵径差异显著($F=260.89, P<0.001$),其中 20 目防虫网的纵径最大,其次是 40 和 60 目,80 目最小。在丝径方面,20 目防虫网的丝径显著大于 40、60 和 80 目防虫网($F=62.81, P<0.001$),40 和 60 目防虫网的丝径无显著差异($F=37.97, P=0.8926$),60 和 80 目之间防虫网的丝径无显著差异($F=35.92, P=0.0546$)(图 2)。20、40、60 和 80 目防虫网的透孔率分别为 $60.44\%\pm 0.1\%$ 、 $68.27\%\pm 1.0\%$ 、 $57.95\%\pm 2.5\%$ 和 $62.18\%\pm 0.3\%$ 。

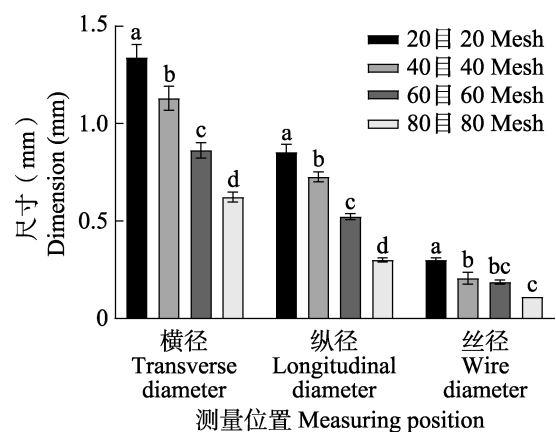


图 2 不同规格防虫网的尺寸

Fig. 2 Different sizes of insect-proof screen

图中数据为平均值±标准误,柱上不同字母表示显著差异($P<0.05$, Tukey 检验)。图 3 和图 4 同。

Data in the table are mean±SE, and different letters above bars indicate significant difference ($P<0.05$, Tukey test).

The same for Fig. 3 and Fig. 4.

2.2 室内阻隔试验

2.2.1 成虫释放在网袋内的穿透实验 不同目数防虫网在蓟马释放不同时间的穿透率不同。释放 15 min 后,20、40、60 和 80 目之间防虫网的蓟马穿透率差异显著($F=36.79$,

$P<0.001$), 其中 20 目防虫网的蓟马穿透率最大, 其次是 40 和 60 目, 80 目最小, 蓟马穿透率小于 10%, 但 40 和 60 目之间防虫网的蓟马穿透率无显著差异 ($F=11.66$, $P=0.1080$)。蓟马释放 30 min 后, 20、40、60 和 80 目之间防虫网的蓟马穿透率差异显著 ($F=113.53$, $P<0.001$), 其中 20 目防虫网的蓟马穿透率最大, 其次是 40 和 60 目, 80 目最小。蓟马释放 60 min 后, 20、40、60 和 80 目之间防虫网的蓟马穿透率差异显著 ($F=103.17$, $P<0.001$), 其中 20 目防虫网的蓟马穿透率最大, 其次是 40 和 60 目, 80 目最小 (图 3)。

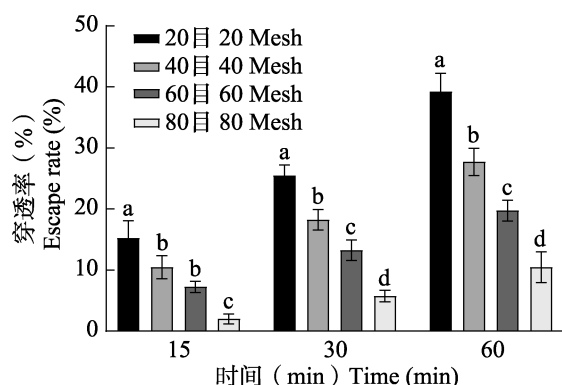


图 3 蓟马成虫释放在不同规格防虫网袋内不同时间的穿透率

Fig. 3 The escape rate of adult thrips released inside of different size of insect-proof screen bags at different times

2.2.2 成虫释放在网袋外的穿透实验 不同目数防虫网在蓟马释放不同时间的穿透率不同。释放 24 h 后, 20、40、60 和 80 目之间防虫网的蓟马穿透率差异显著 ($F=66.57$, $P<0.001$), 其中 20 目防虫网的蓟马穿透率最大, 其次是 40 和 60 目, 80 目最小。释放 48 h 后, 20、40、60 和 80 目之间防虫网的蓟马穿透率差异显著 ($F=132.00$, $P<0.001$), 其中 20 目防虫网的蓟马穿透率最大, 其次是 40 和 60 目, 80 目最小。释放 72 h 后, 20、40、60 和 80 目之间防虫网的蓟马穿透率差异显著 ($F=296.40$, $P<0.001$), 其中 20 目防虫网的蓟马穿透率最大, 其次是 40 和 60 目, 80 目最小 (图 4)。

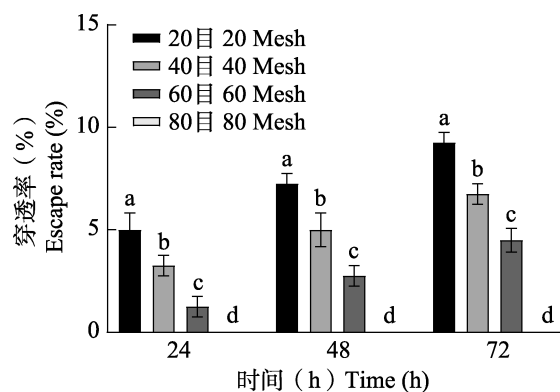


图 4 蓟马成虫释放在不同规格防虫网袋外不同时间的穿透率

Fig. 4 The escape rate of adult thrips released outside of different size of insect-proof screen bags at different times

2.3 田间实验

2.3.1 棚内与露地的蓟马发生量 60 目防虫网覆盖后, 棚内蓟马发生量和露地蓟马发生量不同。调查第 1 次、第 2 次和第 3 次的棚内蓟马发生量和露地蓟马发生量之间无显著差异 ($F=29.95$, $P=0.2669$), 调查第 4 次、第 5 次和第 6 次的棚内蓟马发生量显著小于露地蓟马发生量 ($F=5.97$, $P<0.001$) (图 5)。

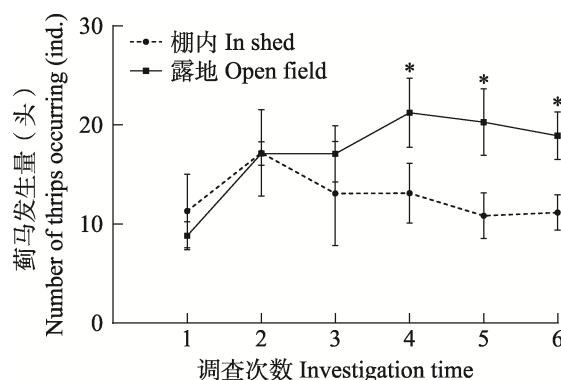


图 5 60 目防虫网覆盖对豇豆蓟马的阻隔效果
Fig. 5 Effect of 60 mesh insect-proof screen covering on cowpea thrips

图中数据为平均值±标准误, 星号表示差异显著 ($P<0.05$, T 检验)。下图同。

Data in the table are mean±SE, and asterisk indicate significant difference ($P<0.05$, T -test). The same below.

2.3.2 棚内与露地光照强度和通风的测量 60 目覆盖防虫网后, 第 1-15 天每个测试时间点的棚

内光照强度和露地光照强度都不同,棚内光照强度为 325.00-1 735.67 lx,露地光照强度为 384.33-1 984.67 lx。每个测试时间点的棚内光照强度显著低于露地光照强度 ($F=22.74$, $P<0.001$)。相较于露地,棚内光照强度平均降低 192.42 lx (图 6)。

第 1-15 天每个测试时间点的棚内风速和露地风速都不同,棚内不同位置的风速不同,棚内棚边位置风速为 0.30-0.87 m/s,棚中部位置风速为 0.03-0.43 m/s,行间位置风速为 0-0.17 m/s,露地风速为 0.53-1.57 m/s。每个测试时间点棚内棚边位置、棚中部位置、行间位置和露地的风速均差异显著 ($F=9.23$, $P<0.001$),其中露地风速最大,其次是棚内棚边位置和棚内棚中部位置,棚内行间位置的风速最小。相较于露地,覆盖防虫网导致棚内通风大幅度减弱,行间位置风速平均降低 0.98 m/s,棚中部位置平均降低 0.86 m/s,棚边位置平均降低 0.59 m/s (图 7)。

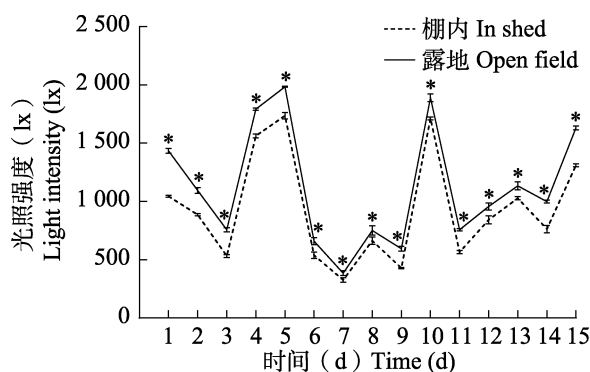


图 6 60 目防虫网覆盖后棚内和露地的光照强度

Fig. 6 Light intensity after 60 mesh insect-proof screen is covered in shed and open field

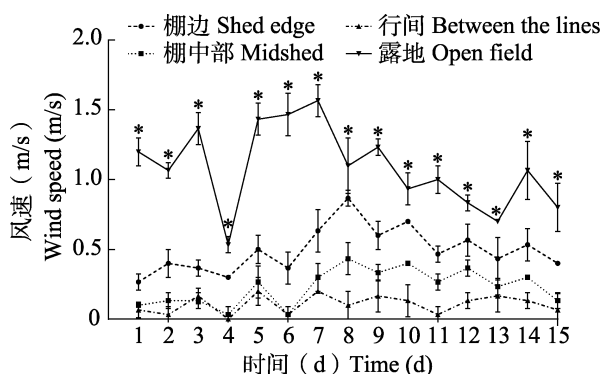


图 7 60 目防虫网覆盖后棚内不同位置和露地的风速

Fig. 7 Wind speed at different locations after 60 mesh insect-proof screen is covered in shed and open field

2.3.3 棚内与露地温度的测量 60 目防虫网覆盖后,在 4、8、12、16、20 和 24 h,棚内棚边位置、棚中部位置、行间位置和露地的温度不同,棚内棚边位置温度为 20.12-32.97 °C,棚中部位置温度为 20.07-32.31 °C,行间位置温度为 20.03-34.14 °C,露地温度为 20.66-26.70 °C。在 4、8、20 和 24 h 棚内棚边位置、棚中部位置、行间位置和露地之间的温度无显著差异 ($F=21.21$, $P=0.7214$),在 12 和 16 h 棚内棚边位置、棚中部位置和行间位置之间的温度无显著差异 ($F=26.77$, $P=0.3426$),棚内棚边位置、棚中部位置和行间位置的温度显著高于露地的温度 ($F=26.77$, $P<0.001$)。相较于露地,棚边位置平均升高 1.10 °C,棚中部位置平均升高 0.73 °C,行间位置平均升高 1.13 °C (图 8)。

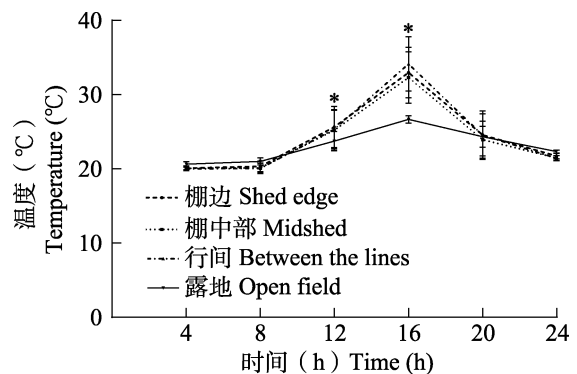


图 8 60 目防虫网覆盖后棚内不同位置和露地的温度

Fig. 8 Temperature at different locations after 60 mesh insect-proof screen is covered in shed and open field

2.3.4 棚内与露地湿度的测量 60 目防虫网覆盖后,在 4、8、12、16、20 和 24 h 棚内棚边位置、棚中部位置、行间位置和露地的湿度不同,棚内棚边位置湿度为 46.53%-90.80 %,棚中部位置湿度为 50.46%-92.38 %,行间位置湿度为 46.54%-93.15 %,露地湿度为 64.20%-85.05 %。在 12 和 20 h 棚内棚边位置、棚中部位置、行间位置和露地之间的湿度无显著差异 ($F=14.27$, $P=0.9869$),每个测试时间点棚内棚边位置、棚中部位置和行间位置之间的湿度无显著差异 ($F=41.17$, $P=0.1735$),在 4、8 和 24 h 棚内棚边位置、棚中部位置、行间位置的湿度显著大于露地的湿度,在 16 h 棚内棚边

位置、棚中部位置和行间位置和棚边位置的湿度显著小于露地的湿度 ($F=25.57$, $P<0.001$)。相较于露地, 棚边位置湿度平均降低 1.49%, 棚中部位置平均升高 1.79%, 行间位置平均升高 0.82% (图 9)。

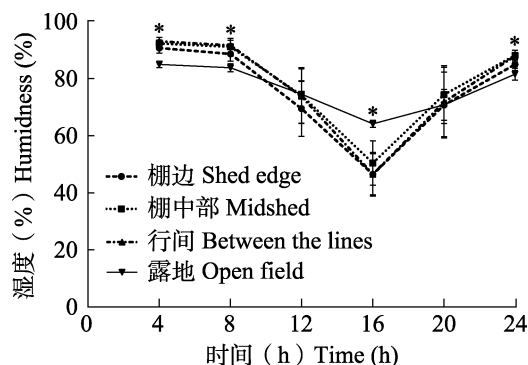


图 9 60 目防虫网覆盖后棚内不同位置和露地的湿度
Fig. 9 Humidity at different locations after 60 mesh insect-proof screen is covered in shed and open field

3 结论与讨论

不同规格防虫网对豇豆蓟马的阻隔效果不同, 覆盖防虫网对棚室内小气候环境有明显影响 (苗兵兵等, 2014; 张瑞敏等, 2015)。冯学杰等 (2014) 认为, 40 目防虫网可有效阻隔豇豆蓟马。许如意等 (2011) 试验表明, 50 目防虫网对豇豆蓟马具有较好的阻隔作用。张瑞敏等 (2015) 试验表明, 在阳光充足时 80 目防虫网对蓟马的阻隔效果最好, 若播种较晚, 阳光有限, 60 目防虫网对蓟马的阻隔效果最好。从本研究室室内结果可以看出, 20 和 40 目防虫网对豇豆蓟马具有一定的阻隔作用, 80 目阻隔效果最好, 60 目次之。试验观察发现, 当蓟马头部穿入防虫网孔后, 其身体可以通过收缩或者调整方向穿出网孔。室内阻隔试验中, 当成虫释放在 80 目防虫网袋内, 有较低比例的蓟马可以穿透, 而当成虫释放在 80 目网袋外, 几乎没有蓟马可以穿透, 其原因可能与试验空间有关, 即活动范围较小的空间内, 蓟马会表现出较强的穿透行为。根据前期调查, 在当地的豇豆全生育期内, 豆大蓟马占比 80% 以上, 其余几乎为花蓟马, 瓜蓟马 *Thrips palmi* 和黄胸蓟马 *Thrips hawaiiensis* 占比

少于 2%, 斑潜蝇 *Liriomyza* spp. 和豇豆荚螟 *Maruca vitrata* 在防虫网内未见发生。据报道, 豆大蓟马和花蓟马的体宽分别在 0.48-0.69 和 0.18-0.25 mm (蔬菜地防虫网应用技术规程: NY/T 4449-2023. 中国标准出版社, 2023), 室内测量试验所用的 60 目防虫网的横径和纵径分别为 0.86 和 0.52 mm, 均大于蓟马体宽。从理论上说, 蓟马是可以进入防虫网的, 此外, 花蓟马体宽比豆大蓟马小, 所以花蓟马进入防虫网的几率要大。田间调查发现, 覆盖 60 目防虫网后棚内蓟马发生量显著小于露地。尽管覆盖防虫网后, 相较于露地, 蓟马数量显著减少, 但棚内蓟马数量仍然较多, 其主要原因是在农事操作过程中, 防虫网入口处经常打开, 成为外源蓟马侵入网内的主要通道, 防虫网内部温湿度比露地更适宜快速建立种群, 网内的“养虫室”环境加速蓟马繁殖和种群增长。本研究在海南省陵水县文罗镇五星村开展, 蓟马一直是困扰当地豇豆产业的主要问题, 尽管本试验结果具有区域性, 但可为利用防虫网阻隔蓟马提供借鉴, 一方面, 覆盖 60 目防虫网可以起到阻隔蓟马的作用, 另一方面, 做好入口处的防护及相应的辅助或配套措施是覆盖防虫网技术的重要内容。例如, 在农事操作上, 减少人为进出次数, 并及时关闭入口; 在防控措施上, 防虫网入口外种植具有驱虫作用的功能性植物, 同时在入口内增加粘虫板的数量。

研究表明, 防虫网覆盖会改变温度、湿度、光照强度和风速等环境因子 (邢后银等, 2007; 潘复生和顾耀忠, 2011; 吴乾兴等, 2013; 王广印等, 2016)。本研究结果表明, 覆盖防虫网降低了棚内的光照强度和风速, 且棚内不同位置降低的风速不同, 特别是棚内中部位置和行间位置风速降低较大; 覆盖防虫网后增高了棚内的温度和湿度, 在 12:00-20:00 之间温度增幅较大, 但在 12:00 之前和 20:00 之后湿度增高, 在 12:00-20:00 之间棚内湿度低于露地, 这可能是该时间段温度升高导致湿度降低。结合田间调查, 覆盖防虫网后, 由于光照强度降低、通风不畅、温度增加, 豇豆“徒长”现象较为明显, 但另一方面, 防虫网阻隔蓟马效果较好, 如果针对“徒长”采取

恰当的管理措施,豇豆总体长势良好,采摘期可延长 7 d,产量和品质均提高(罗丰等, 2014)。此外,网内温度增加,但仍在 25-35 °C 范围内,蓟马的生长发育和繁殖加快,且进入网内的蓟马几乎不可能再迁移出去,如果防控不当,网内的环境就成为“养虫室”,蓟马种群会很快暴发。关于覆盖防虫网后湿度在不同时间段的变化,试验期间并未发现其对病虫害产生明显影响。

在应用防虫网防治豇豆蓟马时,原则上尽量选择对豇豆蓟马阻隔效果好的防虫网。然而,目数越高,孔径越小,光照强度和通风效果越低,温度和湿度越大。光照强度低对豇豆的结荚不力(庞淑敏和方贯娜, 2016),也会引起落花落荚;温度和湿度过高,会导致豇豆植株徒长,开花结果能力下降,落花落荚的现象增多,温度过高同时会导致豇豆畸形或变短,不仅影响产量还会影响质量。防虫网的孔径(包括横茎和纵径)影响防虫网对蓟马的阻隔效果,孔径和丝径共同影响通风透光效果,本研究中 60 目防虫网覆盖后的豇豆总体长势较好,品质较高。经成本测算,在未受到极端天气环境影响的情况下,覆盖 60 目防虫网,其成本(包括网、支架、劳动力)在 4 000-6 000 元/667 m²,但化学用药成本降低 1 200-2 500 元,产量在 3 250 kg 以上/667 m²,比露地栽培增加 10%-20%,在农资和种植管理成本一致的情况下,如果豇豆销售价在 5 元/kg 以上,覆盖防虫网还是有利的。综合考虑通风需求,田间应用推荐选择 60 目防虫网,其既能有效控制蓟马危害,又对田间小气候的影响相对较小,目前海南推广的“防虫网+”模式也常用 60 目防虫网。周仙红等(2016)研究发现防虫网目数大于 70 目不利于韭菜生长,推荐选择 40-60 目防虫网防治迟眼蕈蚊。目前,防虫网覆盖技术还存在很多突出问题(吴跃民等, 2024),如孔径不标准、选择不规范等,还需要在基础研究和应用研究上开展深入系统的研究。此外,由于防虫网的抗风能力有限,在沿海易发生台风等极端天气的区域,防虫网是不适宜使用的,因此,防虫网覆盖还应因地制宜选用。

参考文献 (References)

- Chen YM, Feng WM, Hao DC, Wu YY, Zhang JG, Li K, Wen HL, 2020. Analysis of the application effect of carpet covering fly net to prevent and control *Phyllotreta striolata* in *Brassica campestris*. *Tianjin Agricultural Sciences*, 26(8): 80-83, 87. [陈育民, 冯伟明, 郝东川, 吴颖仪, 张均功, 黎昆, 温华良, 2020. 地毯式覆盖防虫网防治菜心黄曲条跳甲应用效果探析. 天津农业科学, 26(8): 80-83, 87.]
- Fan YM, Tong XL, Gao LJ, Wang M, Liu ZQ, Zhang Y, Yang Y, 2013. The spatial aggregation pattern of dominant species of *Thrips* on cowpea in Hainan. *Journal of Environmental Entomology*, 35(6): 737-743. [范咏梅, 童晓立, 高良举, 王萌, 柳志强, 张宇, 杨叶, 2013. 普通大蓟马在海南豇豆上的空间分布型. 环境昆虫学报, 35(6): 737-743.]
- Feng XJ, Wu YY, Deng CZ, Li XQ, 2014. Cultivation experiment of covering with insect-proof screen for cowpea. *Guangdong Agricultural Sciences*, 41(10): 27-29, 41. [冯学杰, 吴月燕, 邓长智, 李雪峤, 2014. 豇豆防虫网覆盖栽培试验. 广东农业科学, 41(10): 27-29, 41.]
- Fu BL, Tao M, Xue H, Jin HF, Liu K, Qiu HY, Yang SY, Yang X, Gui LY, Zhang YJ, Gao YL, 2022. Spinetoram resistance drives interspecific competition between *Megalurothrips usitatus* and *Frankliniella intonsa*. *Pest Management Science*, 78(6): 2129-2140.
- Kittas C, Boulard T, Bartzanas T, Katsoulas N, Mermier M, 2002. Influence of an insect screen on greenhouse ventilation. *Transactions of the Asae*, 45(4): 1083-1090.
- Kittas C, Katsoulas N, Bartzanas T, Mermier M, Boulard T, 2008. The impact of insect screens and ventilation openings on the greenhouse microclimate. *Transactions of the Asabe*, 51(6): 2151-2165.
- Li C, 2012. The application of inset-net technology in pest integrated control. *Journal of Guangxi Agriculture*, 27(3): 51-54, 101. [李成, 2012. 防虫网技术在有害生物综合治理中的应用. 广西农学报, 27(3): 51-54, 101.]
- Luo F, Yuan TQ, Ke YC, Wang S, Wu QX, Liu Y, Huang GS, Kong XY, 2014. Effects of different color insect-proof nets on occurrence of thrips and growth characteristics and yield of cowpea. *Journal of Southern Agriculture*, 45(9): 1584-1588. [罗丰, 袁廷庆, 柯用春, 王爽, 吴乾兴, 刘勇, 黄国宋, 孔祥义, 2014. 不同颜色防虫网对豇豆生长特性、产量及蓟马发生量的影响. 南方农业学报, 45(9): 1584-1588.]
- Li LH, Chen S, Wang CH, Chen JY, 2022. Occurrence and control

- strategies of cowpea diseases and insect pest in Hainan. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 42(4): 70–76. [李良会, 陈帅, 王春花, 陈俊谕, 2022. 海南豇豆主要病虫害的发生与防控对策. 热带农业科学, 42(4): 70–76.]
- Lü DZ, Lin JL, Han BJ, Luo JH, Li JG, 2018. Research and application of pest control technology for Hainan cowpea. *Quality and Safety of Agroproducts*, 2018(3): 35–38. [吕岱竹, 林靖凌, 韩丙军, 罗金辉, 李建国, 2018. 海南豇豆病虫害全程控制技术研究与应用. 农产品质量与安全, 2018(3): 35–38.]
- Mahmood A, Hu YG, Tanny J, Asante EA, 2018. Effects of shading and insect-proof screens on crop microclimate and production: A review of recent advances. *Scientia Horticulturae*, 241: 241–251.
- Majdoubi H, Boulard T, Hanafi A, Bekkaoui A, Fatnassi H, Demrati H, Nya M, Bouirden L, 2007. Natural ventilation performance of a large greenhouse equipped with insect screens. *Transactions of the Asabe*, 50(2): 641–650.
- Miao BB, Mo WQ, Wu WS, Luo S, Liu YX, 2014. Effects of different pore size of insect-proof net on microclimate environment of net room. *Guangdong Agricultural Sciences*, 41(5): 84–85, 95. [苗兵兵, 莫伟钦, 伍文生, 罗诗, 刘远星, 2014. 不同孔径防虫网对网室内小气候环境的影响. 广东农业科学, 41(5): 84–85, 95.]
- NY/T 4449–2023. Technical code of practice for application on insect-proof net in vegetable fields. Agricultural industry standard of the People's Republic of China. [NY/T 4449–2023. 蔬菜地防虫网应用技术规程. 中华人民共和国农业行业标准.]
- Pan FS, Gu YZ, 2011. Effects of different insect control net coverage on microclimate of net room and green vegetable production. *Journal of Changjiang Vegetables*, 2011(24): 30–32. [潘复生, 顾耀忠, 2011. 不同防虫网覆盖对网室小气候及青菜生产的影响. 长江蔬菜, 2011(24): 30–32.]
- Pang SM, Fang GN, 2016. Effects of light intensity and growing space on the growth of vigna sinensis. *Northern Horticulture*, 2016(19): 39–41. [庞淑敏, 方贯娜, 2016. 光照强度与生长空间对蔓生豇豆生长的影响. 北方园艺, 2016(19): 39–41.]
- Qiu HY, Fu BL, Tang LD, Chen JY, Liu K, 2017. Occurrence regularity of *Thrips* in cowpea and evaluation of insecticides. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 33(19): 138–142. [邱海燕, 付步礼, 唐良德, 陈俊谕, 刘奎, 2017. 豇豆蓟马发生规律及防治药剂筛选的研究. 中国农学通报, 33(19): 138–142.]
- Qiu HY, Liu K, Li P, Fu BL, Tang LD, Zhang ML, 2014. Biological characteristics of the bean flower thrips, *Megalurothrips usitatus* (Bagnall) (Thripidae: thysanoptera). *Chinese Journal of Tropical Crops*, 35(12): 2437–2441. [邱海燕, 刘奎, 李鹏, 付步礼, 唐良德, 张曼丽, 2014. 豆大蓟马的生物学特性研究. 热带作物学报, 35(12): 2437–2441.]
- Rong L, 2015. High quality, safety and efficient cultivation technology of summer leafy vegetables. National Agricultural Plastic Facilities Greenhouses, Greenhouse Cultivation Technology Exchange Meeting Expert Reports. Harbin, Heilongjiang Province, China: 126–130. [荣利, 2015. 夏季叶菜类蔬菜优质、安全、高效栽培技术. 全国农用塑料设施大棚、温室栽培技术交流会专家报告、交流论文汇编. 中国黑龙江哈尔滨: 126–130.]
- Tang LD, Liang YP, Han Y, Fu BL, Qiu HY, Zhang RM, Wu JH, Liu K, 2015. Investigation on the occurrence and damage of Hainan cowpea thrips and study on blue plate monitoring technology. *China Plant Protection*, 35(3): 53–57, 93. [唐良德, 梁延坡, 韩云, 付步礼, 邱海燕, 张瑞敏, 吴建辉, 刘奎, 2015. 海南豇豆蓟马发生为害调查及蓝板监测技术研究. 中国植保导刊, 35(3): 53–57, 93.]
- Tang LD, Zhao HY, Fu BL, Han Y, Yan KL, Qiu HY, Liu K, Wu JH, Li P, 2016. Monitoring the insecticide resistance of the population of *Megalurothrips usitatus* in Hainan area. *Journal of Environmental Entomology*, 38(5): 1032–1037. [唐良德, 赵海燕, 付步礼, 韩云, 闫凯莉, 邱海燕, 刘奎, 吴建辉, 李鹏, 2016. 海南地区豆大蓟马田间种群的抗药性监测. 环境昆虫学报, 38(5): 1032–1037.]
- Tang LD, Zhao HY, Fu BL, Qiu HY, Wu JH, Li P, Liu K, 2018. Insecticide resistance monitoring of the Hainan field populations of *Megalurothrips usitatus* and their susceptibility to 6 insecticides. *Journal of Environmental Entomology*, 40(5): 1175–1181. [唐良德, 赵海燕, 付步礼, 邱海燕, 吴建辉, 李鹏, 刘奎, 2018. 海南普通大蓟马抗药性监测及对 6 种杀虫剂的敏感性. 环境昆虫学报, 40(5): 1175–1181.]
- Wang GY, Wang SN, Chen BH, Shen J, 2016. Effects of insect-proof screens on microclimate in greenhouse, growth and pests of autumn tomato. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 45(7): 76–81, 92. [王广印, 王胜楠, 陈碧华, 沈军, 2016. 防虫网覆盖对大棚内小气候、秋番茄生长和病虫害的影响. 河南农业科学, 45(7): 76–81, 92.]
- Wu QX, Xiao RS, Li JS, Kong XY, Xu RY, 2013. Effects of different mesh number of fly net on microclimate of cowpea cultivation. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 41(12): 5244–5246. [吴乾兴, 肖日升, 李劲松, 孔祥义, 许如意, 2013. 不同目数防虫网覆盖对豇豆栽培小气候的影响. 安徽农业科学, 41(12): 5244–5246.]
- Wu YM, Yan BC, Jia Q, Zhang HY, Yan JJ, Yin J, Wu SY, 2024.

- Major issues in the application of insect-proof screens in China and potential solutions. *Plant Protection*, 50(6): 141–145. [吴跃民, 燕炳辰, 贾倩, 张红艳, 闫俊杰, 尹姣, 吴圣勇, 2024. 我国防虫网应用存在的突出问题及破解对策. 植物保护, 50(6): 141–145.]
- Xiao CL, Liu Y, Wu QJ, Zhang YJ, Wu QX, Yuan YQ, Luo F, Wan SL, Kong XY, 2014. Toxicity of different pesticides to cowpea thrips *Megalurothrips usitatus* (Bagnall) in Sanya area. *Plant Protection*, 40(6): 164–166, 170. [肖春雷, 刘勇, 吴青君, 张友军, 吴乾兴, 袁延庆, 罗丰, 万三连, 孔祥义, 2014. 不同药剂对三亚地区豇豆上普通大蓟马的毒力. 植物保护, 40(6): 164–166, 170.]
- Xing HY, Zhou LL, Bo GL, Zhang YY, Yin DX, 2007. Change of meteorological factors and correlative analysis under the condition of net for protection against insects. *Journal of Changjiang Vegetables*, 2007(2): 41–42. [邢后银, 周黎丽, 柏广利, 张燕燕, 尹德兴, 2007. 防虫网覆盖下气象因子的变化及相关分析. 长江蔬菜, 2007(2): 41–42.]
- Xu RY, Yuan YQ, Wu QX, Yang XF, Xiao RS, Li JS, 2011. Effects of mesh density of mesh-net cover on cowpea growth. *Chinese Cucurbits and Vegetables*, 24(5): 40–43. [许如意, 袁廷庆, 吴乾兴, 杨小锋, 肖日升, 李劲松, 2011. 不同目数防虫网覆盖对豇豆生长的影响. 中国瓜菜, 24(5): 40–43.]
- Yan DM, Xu KL, Zhang QS, Li XY, 2020. Wind load test of insect control nets with different mesh numbers. *Agricultural Engineering Technology*, 40(16): 57–63. [闫冬梅, 徐开亮, 张秋生, 李秋野, 2020. 不同目数防虫网的风荷载试验研究. 农业工程技术, 40(16): 57–63.]
- Yuan WF, Wang S, Zhang ML, Chen CF, Li ZL, Deng DZ, 2017. Dynamic monitoring of major diseases and pests in cowpea in Sanya City. *China Plant Protection*, 37(7): 39–41, 65. [袁伟方, 王硕, 张曼丽, 陈川峰, 李祖莅, 邓德智, 2017. 三亚市豇豆重大病虫发生动态监测. 中国植保导刊, 37(7): 39–41, 65.]
- Zhang L, 2005. Overview of integrated control technology of nonpollution vegetable pests and diseases. *Inner Mongolia Agricultural Science and Technology*, 2005(6): 26–29, 38. [张力, 2005. 无公害蔬菜病虫害综合防治技术概述. 内蒙古农业科技, 2005(6): 26–29, 38.]
- Zhang RM, Fu BL, Qiu HY, Tang LD, Li T, Li P, Liu K, 2015. Study on the barrier effect of insect nets on the main pests of cowpea. *China Plant Protection*, 35(11): 36–38, 42. [张瑞敏, 付步礼, 邱海燕, 唐良德, 李涛, 李鹏, 刘奎, 2015. 防虫网对豇豆主要害虫的阻隔作用研究. 中国植保导刊, 35(11): 36–38, 42.]
- Zhou XH, Zhao N, Chen H, Zhuang QY, Zhang SC, Yu Y, 2016. Evaluation of using insect-proof nets to control *Bradysia odoripaga* in Chinese chive crops and the effects of nets on the growth of Chinese chives. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(6): 1211–1216. [周仙红, 赵楠, 陈浩, 庄乾营, 张思聪, 于毅, 2016. 防虫网对韭菜迟眼蕈蚊隔离效果和对韭菜生长的影响. 应用昆虫学报, 53(6): 1211–1216.]