

低湿度烟蚜寄主作物繁育装置的设计与应用

陈涛, 张瀛*, 林水良, 江庆绪 (福建省烟草公司三明市公司, 福建三明 365001)

摘要 为解决烟蚜茧蜂繁育过程中烟株叶面间湿度过大, 繁育用人工成本过高的问题, 设计了低湿度烟蚜寄主作物繁育装置, 并进行繁育效果验证。结果表明, 通过低湿度烟蚜寄主作物繁育装置繁育烟苗及烟蚜茧蜂较盆栽育苗和湿润育苗分别降低叶面间湿度 16.65% 和 21.54%; 单位面积增加烟蚜茧蜂繁育量 5.22 万和 1.69 万头/m²; 降低蚜霉病发生率 2.51% 和 10.87%; 降低烟蚜茧蜂繁育人工用时 0.236 和 0.283 h·人/万头; 降低繁育成本 4.41 和 10.31 元/万头。该装置具有一定的推广应用价值。

关键词 烟蚜; 寄主作物; 繁育装置; 低湿度
中图分类号 S476.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)29-0197-04

Design and Application of the Host Plant Breeding Equipment of *Myzus persicae* with Low-humidity
CHEN Tao, ZHANG Ying*, LIN Shui-liang et al (Sanming Tobacco Company of Fujian Province, Sanming, Fujian 365001)
Abstract In order to solve the problem of excessive humidity in leaf surface and high artificial cost in the breeding process of *Aphidius gifuensis*, the host plant breeding equipment of *Myzus persicae* with low-humidity was designed. The effect was verified by comparing with traditional breeding methods. The results indicate that compared with the potted seedling and moist tray seeding, by using the low-humidity equipment, the humidity between the leaf was reduced 16.65% and 21.54% respectively. The number of *Aphidius gifuensis* breeding in the unit area was increased 52 200 per m² and 16 900 per m² respectively. The incidence of aphid mildew was reduced 2.51% and 10.87% respectively. The labor time of breeding ten thousand *Aphidius gifuensis* was reduced 0.236 h and 0.283 h respectively. The cost of breeding ten thousand *Aphidius gifuensis* was reduced 4.41 yuan and 10.31 yuan respectively. This equipment has certain application value.
Key words *Myzus persicae*; Host plant; Breeding device; Low humidity

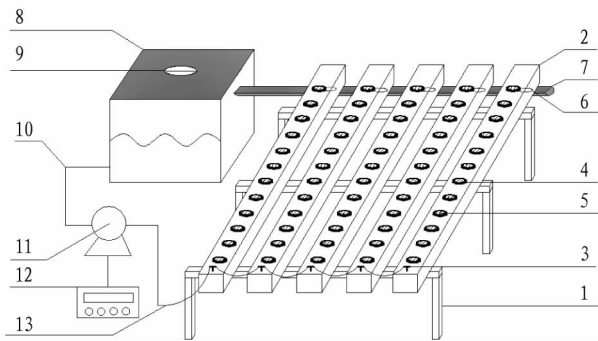
烟蚜茧蜂 [*Aphidius gifuensis* (Ashmead)] 是烟蚜 [*Myzus persicae* (Sulzer)] 的优势天敌^[1], 利用烟蚜茧蜂防治蚜虫来代替化学防治, 不会产生污染及农药残留, 可以提高烟叶安全性^[2-3]。但是烟蚜茧蜂在自然界中的数量比较少, 无法有效控制田间烟蚜。因此, 必须借助人工繁育技术, 增加蚜茧蜂种群数量, 在烟蚜大量发生前释放到田间, 方能发挥良好的控蚜作用, 该项技术已在全国各烟区得到应用^[4-7]。

目前在烟蚜茧蜂繁育过程中繁育烟蚜寄主作物的方法主要是湿润育苗法、漂浮育苗法以及盆栽烟株^[4,6,8]。其中用湿润育苗或漂浮育苗的方法繁育烟株, 营养液溶液存在于水盘或育苗池内, 虽为烟苗提供了充足的水分, 同时也加快了烟苗的蒸腾速率, 当在繁育期间气温较低时, 蒸腾的水蒸气遇到冷空气液化为水珠留在叶片上, 造成蚜虫生长环境湿度较大, 根据代园凤等^[9]、刘琼等^[10]、闫玉芳等^[11]的研究, 当繁育湿度较高时, 容易诱发蚜霉病, 导致烟蚜和寄生蚜数量的减少, 降低烟蚜茧蜂羽化率和寿命, 影响繁育质量。虽然盆栽烟株能在一定程度上解决蚜虫生长环境湿度偏大的问题, 但由于其费工费时、成本较高^[12]的缺点限制了该方法的大规模推广应用。

鉴于在烟蚜茧蜂繁育过程中湿度偏大、用工较多的问题, 笔者通过集成无土栽培技术、自动化控制技术和不同方式烟株繁育的优点, 设计制造了低湿度烟蚜寄主作物繁育装置, 以期降低叶片间湿度, 提高自动化程度, 从而获得较高的繁育质量和效益, 适应烟草行业减工降本的发展要求。

1 总体结构设计

低湿度烟蚜寄主作物繁育装置主要结构由 2 个以上依次降低的支架、内部中空的定植槽、三通分水器、定植篮以及定时控制系统组成(图 1), 是自动化繁育烟蚜茧蜂寄主作物的装置。主要原理是: 将生长至五叶一心叶苗假植入镂空定植篮内并用定植海绵固定, 将配制好的营养液装入贮液池内, 通过水泵和定时控制器将营养液定时定量输送至定植槽内, 定植槽间使用三通分水器和塑料软管相连, 定植槽内有一定斜度, 营养液流过定植槽经由回流槽过滤后流回贮液池内。



注: 1. 支架; 2. 定植槽; 3. 三通分水器; 4. 定植篮; 5. 定植海绵; 6. 回流孔; 7. 回流槽; 8. 贮液池; 9. 加料孔; 10. 供液管道; 11. 水泵; 12. 定时开关; 13. 供液管

Note: 1. stents; 2. engraftment slot; 3. splitter; 4. engraftment basket; 5. engraftment sponge; 6. reflux hole; 7. reflux tank; 8. liquid pool; 9. charging hole; 10. pipeline; 11. pump; 12. time switch; 13. liquid pipe

图 1 低湿度寄主作物繁育装置示意

Fig. 1 The host plant breeding equipment of *Myzus persicae* with low-humidity

2 技术实现

支架为钢架结构, 底部有支撑, 以 3 个为 1 组, 支架高度

基金项目 中国烟草总公司福建省公司科技项目(闽烟司科[2014]2号)。

作者简介 陈涛(1990—), 男, 福建三明人, 助理农艺师, 从事烟叶生产技术开发和推广研究。* 通讯作者, 从事烟草种植及管理研究。

收稿日期 2017-08-04

分别为 25、20 和 15 cm,支架长度根据定植槽数量确定。

定植槽是由白色塑料制作的长方体管道,定植槽规格 2 800 mm×70 mm×48 mm,其中在上底面一端至边 2 cm 中心处应开一小孔以安装三通分水器,以小孔后 4 cm 处为圆心,开直径为 4 cm 的定植孔,以此孔为准,在定植槽上底面连续开多个定植孔,各个定植孔圆心距为 8 cm,直至开至最后一个定植孔至另一边的距离仅够再开一个定植孔止,在定植槽下底面与三通小孔相对的一端开一个大于定植孔的回流孔。

定植篮可放置在定植板上小孔中,起到安放海绵及固定植株的作用。定植篮材质为黑色塑料,定植篮为圆台型,圆台底面有一个外缘,外缘直径 4.5 cm,圆台底面直径 4.0 cm,顶面直径 3.0 cm,高 4.0 cm,定植篮篮体除了保持应有连接和机械强度要求外,其余部分均镂空。

定植海绵应回弹力适中,吸水性能良好,密度 20 ~ 25 g/cm³,海绵形状为圆柱形,底面直径 4 cm,高 1 cm。

贮液池选用容积较大的深色塑料桶,保证密封性,避免池内生长青苔,上方应有加料筒,可以添加营养液以及测定溶液理化性质,贮液池顶端应有回流孔与回流槽相连,底端通过供液管道与水泵相连。

回流槽由黑色塑料制成,主要是防止产生青苔,固定在最后一个支架上,槽沟为半圆形,一端封闭,另一端连接贮液池,封闭端略高,便于液体回流,在回流槽上端与定植槽回流孔连接处应对应开孔,使定植槽内液体流入回流槽内。

水泵是整个装置的动力系统,配置功率和压力大小由输送营养液管道的长度即定植槽的多少决定,定植槽数量多功率和压力就要大,通过计算后配置。定时开关与水泵开关相连接,可以人工设置水泵开关的时间及间隔。

供液管道材料为 PVC 管,尺寸与水泵进出口配套,颜色为黑色,连接贮液池和水泵以及连接水泵及定植槽,若定植槽组分布较广及定植槽组数量较多,可以设置主管道及各级

的支管,将营养液供应至定植槽组附件,通过供液软管与定植槽上三通分水器相连,供应营养液。

供液软管材质为橡胶,内径 4 mm,外径 7 mm,颜色黑色,与 PVC 管通过转换接口连接,同时作为各个三通接口的连接管。

三通分水器材质为塑料,颜色黑色,带倒钩,其中单独一段插在定植槽上预留的三通小孔上,固定牢固,另两端分别与供液软管相连,在一组定植槽的最后一个三通接口出口端应封闭。

定时开关与水泵开关相连接,由人工在定时开关上根据实际需要提前设置水泵的开关及间隔时间,在对应控制时间点,定时开关将会将控制信号传送给水泵,从而控制水泵的开启关闭,控制营养液溶液的供应。

3 实际应用效果

3.1 应用效果验证

3.1.1 验证材料。供试烟草品种采用当地主栽品种翠碧一号;种蜂和种蚜使用基地 2016 年度于人工气候箱内提纯复壮后烟蚜和烟蚜茧蜂。

3.1.2 试验设计。试验于 2016 年 11 月至 2017 年 5 月进行。在福建省泰宁县朱口镇音山村三明市烟草公司烟蚜茧蜂人工繁殖泰宁基地内,设置低湿度设备(A)、盆栽育苗(B)和湿润育苗(C)3 种烟蚜寄主作物繁育方式处理,每处理 1 个繁蜂小棚,占地 9 m²,繁育烟株数量见表 1。

3.1.3 材料预处理。采用湿润育苗方式培育烟苗,统一播种时间。盆栽育苗和湿润育苗处理操作标准按照三明市烟草公司《2017 年烟蚜茧蜂防治烟蚜技术方案》^[13] 最适方式执行,低湿度设备处理与盆栽育苗处理操作标准一致,营养液浓度与常规湿润育苗营养液浓度一致,使用烟草专用复合肥进行追肥,按每 1 000 株 2 kg 的标准使用。不同育苗方式主要操作标准见表 1。

表 1 不同育苗方式主要操作标准
Table 1 The main operating standard in different grow seedling methods

处理 Treatment	烟株数 Plant number 株	移栽标准 Transplanting standard	接蚜标准 <i>Myzus persicae</i> propagation 头/株	接蜂标准 <i>Aphidius gifuensis</i> propagation 头/株	接蜂蚜比 Proportion	追肥标准 Fertilizer standard
A	544	五叶一心	20	2 000	1:50	移栽后每 7 d 追肥 1 次,拌入水盘内,共 3 次,根据烟叶颜色决定施肥次数
B	96	五叶一心	20	2 000	1:50	移栽后 15 d 浇施 1 次,之后根据烟叶颜色决定施肥次数
C	1 024		5	300	1:100	接蚜后每 7 d 追肥 1 次,拌入水盘内,共 3 次

3.2 验证项目

3.2.1 叶面间湿度。每个处理随机取 3 个点,采用妙昕 TH10R 温湿度记录仪,将温湿度传感器放置在烟株叶面间(株高的一半位置,根据烟株生长情况进行调整),每隔 15 min 记录 1 次,从接蚜开始记录叶面间湿度,取平均值。

3.2.2 繁蜂效果和蚜霉病发生情况。采用五点取样法,每点调查有代表性烟株 3 株,在一致的放蜂时间(四月上中旬)前,调查各处理烟株上蚜虫数量(含僵蚜、不含患病烟蚜)、僵蚜数量(含寄生蚜)、蚜霉病量(患病烟蚜),计算烟蚜茧蜂寄

生率和蚜霉病发生率。

单位面积繁蜂量 = 单株蚜量 × 单位面积内繁育烟株数

烟蚜茧蜂寄生率 = 僵蚜数量 / 蚜虫数量 × 100%

蚜霉病发生率 = 蚜霉病量 / (蚜虫数量 + 蚜霉病量) × 100%

3.2.3 各环节用工量。记录各处理从育苗开始至繁育结束各项烟蚜茧蜂操作所用时间和操作人数(以一个繁蜂小棚计算)。

单株繁育操作总人工用时 = ∑ 单个操作用时 × 单个操

作人数 / 操作烟株数

1 万头烟蚜蜂繁育用时 = 单株繁育操作总人工用时 × 10 000/单株繁蜂量

3.2.4 繁育成本核算。统计 3 个不同处理烟蚜茧蜂繁殖成本,繁育成本分为不可以重复利用的花费(如临时人工、育苗物资等)和可以重复利用的花费(如繁蜂棚建设和用地租金、棚内设备、繁蜂工具等),参考文献[14]的方法计算繁育成本。

1 万头烟蚜蜂繁育成本 = 单株繁育成本 × 10 000/单株繁蜂量

3.3 应用效果分析

3.3.1 叶面间湿度。由表 2 可知,各处理叶面间湿度随着

外界气候环境的变化而变化,但总体规律基本保持一致,低湿度设备最低,盆栽育苗次之,湿润育苗最高。在整个繁蜂期间,低湿度设备叶面间平均湿度较盆栽育苗降低 16.65%,较湿润育苗降低 21.54%。虽然低湿度设备叶面间平均最高湿度达到 89.57%,但其平均最低湿度也仅为 24.82%,结合平均湿度说明低湿度设备叶面间高湿度环境发生时间较短,能够快速、高效地降低叶面间湿度。使用盆栽育苗叶面间最高湿度达 98.92%,接近饱和,极易在叶面间形成水珠。盆栽育苗叶面间湿度介于低湿度和湿润育苗之间,但叶面间湿度相对于烟蚜茧蜂繁育的最适湿度仍偏高。

表 2 不同育苗方式叶面间湿度
Table 2 The humidity among leaves in different grow seedling methods

日期 Date	平均湿度 Average humidity			平均最高湿度 Average maximum humidity			平均最低湿度 Average minimum humidity		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
02-22—02-29	66.56	83.07	87.36	90.20	94.97	99.27	26.22	53.47	63.57
03-01—03-07	63.78	77.52	82.06	87.71	91.05	96.57	22.69	50.53	65.41
03-08—03-14	68.72	81.07	88.45	88.97	94.68	99.84	28.52	49.11	70.32
03-15—03-21	69.66	85.03	87.92	92.58	96.82	99.67	30.01	54.62	70.88
03-22—03-28	64.13	80.82	86.71	88.53	92.17	98.63	26.03	55.21	68.36
03-29—04-04	58.17	73.65	80.26	87.02	91.18	95.42	18.53	45.44	58.80
04-05—04-11	61.03	82.41	83.18	89.92	93.82	97.97	21.29	50.21	66.82
04-12—04-18	58.82	78.21	85.04	90.18	94.86	98.13	25.32	51.92	67.03
04-19—04-25	63.22	82.19	87.92	91.03	93.31	98.92	24.76	48.92	64.55
平均 Average	63.79	80.44	85.43	89.57	93.65	98.27	24.82	51.05	66.19

3.3.2 繁蜂效果和蚜霉病发生情况。由表 3 可知,通过使用低湿度育苗设备繁育烟蚜茧蜂,其繁蜂的数量为盆栽育苗繁蜂数量的 53.58%,为湿润育苗繁蜂数量的 2.40 倍,但由于其在单位面积内可繁育的烟株数较盆栽育苗多,单位面积内繁蜂数量较盆栽育苗多 5.22 万头/m²,较湿润育苗多

1.69 万头/m²,繁育场地利用率较高。繁育烟蚜茧蜂过程中低湿度设备蚜霉病发生率明显低于湿润育苗处理,烟蚜茧蜂寄生率最高。说明低湿度设备较低的叶面间湿度更适宜烟蚜茧蜂的繁育,能够降低蚜霉病发生率,提高烟蚜茧蜂寄生率。

表 3 不同育苗方式繁蜂效果
Table 3 Effect of *Aphidius gifuensis* breeding in different grow seedling methods

处理 Treatment	蚜虫 Number of <i>M. persicae</i> 头/株	僵蚜 Number of mummified aphids//头/株	单位面积繁蜂量 Propagation number of <i>A. gifuensis</i> //万头/m ²	蚜霉病量 Number of aphid mycosis //头/株	寄生率 Parasitic rate of <i>A. gifuensis</i> //%	蚜霉病发病率 Aphid mycosis rate %
A	1 595.98	1 287.80	7.78	91.99	80.69	5.45
B	3 063.24	2 399.13	2.56	264.92	78.32	7.96
C	749.10	535.53	6.09	146.10	71.49	16.32

3.3.3 各环节用工量。由表 4 可知,低湿度设备 1 万头烟蚜茧蜂繁育人工用时相对盆栽育苗降低 0.236 h·人/万头,相对湿润育苗降低 0.283 h·人/万头。最大的差异主要体现在水肥管理人工工用时上,低湿度设备、盆栽育苗、湿润育苗水肥管理人工工时分别占总人工工时的 6.73%、45.14%、71.27%。说明低湿度设备通过自动化控制给水给肥操作,能够有效降低繁育的人工成本,特别是水肥管理人工成本。

3.3.4 繁育成本核算。由表 5 可知,使用低湿度育苗设备繁育烟蚜茧蜂,相对于盆栽和湿润育苗方式增加了设备和电费的支出。通过成本核算对 3 个育苗方式成本进行核算,低湿度设备、盆栽育苗和湿润育苗繁育万头烟蚜茧蜂成本分别为 31.57、35.89 和 41.88 元/万头,按三明市单位面积放蜂 6 000 头/hm²计算,平均繁蜂成本分别为 19.05、21.60 和 25.20 元/hm²,低湿度设备单位面积均繁蜂成本相对于盆栽育苗和湿润育苗分别降低 2.55 和 6.15 元/hm²。

表 4 不同育苗方式繁蜂人工用时

Table 4 The labor time of breeding in different grow seedling methods
h·人/万头

处理 Treatment	前期育苗 Early grow seedling	假植 Provisional planting	水肥管理 Water and fertilizer management	接蚜接蜂 Propagation	合计 Total
A	0.042	0.259	0.036	0.199	0.535
B	0.023	0.241	0.348	0.160	0.771
C	0.101		0.583	0.134	0.818

注:水肥管理数据从盆栽育苗移栽后开始计算
Note:Date of water and fertilizer management were calculated from potted seedlings after transplanting

4 应用前景分析

现行烟蚜茧蜂寄主作物繁育用的湿润育苗方式,存在叶面间湿度过高、单位面积繁蚜量较少、蚜虫繁育蚜霉病发生率高、单位面积平均繁蜂成本高的问题,采用盆栽育苗的方式虽然在一定程度上降低了叶面间湿度以及繁育成本,但其

表 5 不同育苗方式的繁蜂核算

Table 5 The cost of breeding in different grow seedling methods

元/万头

处理 Treatment	不可重复利用物资 Non-repeatable utilization goods and materials					可以重复利用物资 Repeatable utilization goods and materials					合计 Total 元/万头
	繁育用 人工 Wage	种子 Seeds	基质或土 Substrates	营养液和肥料 Nutrient solution and fertilizer	电费 Electricity	育苗托盘 Float tray	花盆 Pot	低湿度繁 育装置 Equipment	棚内设备设 施及改造 Device and Remould	接蚜、接蜂 设备 Tool	
A	4.28	0.43	0.85	0.87	4.44	0.26	—	12.29	8.12	0.60	31.57
B	6.17	0.27	5.57	0.68	1.05	0.16	16.67	—	5.03	0.37	35.98
C	6.54	1.19	2.36	1.83	4.72	1.01	—	—	22.55	1.68	41.88

注:此繁蜂核算不包含温室大棚建设和用地租金

Note: This calculation does not include the construction cost of greenhouse and the rent of the land

单位面积繁蚜量受到限制,影响其大面积推广应用。

在烟苗和蚜茧蜂繁育方面,低湿度设备吸收了湿润育苗单位面积内繁育烟苗数量较多的优点,同时也限制了叶面间湿度的进一步增加,虽然密度较大,但叶面间湿度最低,可通过控制营养液的流入以及定植海绵阻止水汽向叶面蒸发,以达到控制叶面间湿度的效果。盆栽育苗由于烟苗能够获得较好的生长条件,其生长叶面积较大,能够繁育较多的蚜虫和蚜茧蜂,而低湿度设备繁育烟苗根部直接吸收较为适宜浓度的营养液溶液,其烟苗生长速度明显较湿润育苗快,并且由于湿度的优势,其繁育蚜茧蜂数量明显高于湿润育苗。结合单位面积繁育烟苗数和单株烟苗繁育蚜虫数来看,以低湿度设备繁育蚜茧蜂数量最多。

在繁育成本方面,湿润育苗由于烟苗数量较多,在前期育苗过程需要用到较多的人工。低湿度设备和盆栽育苗由于假植操作耗时耗工,需要用较多的人工,其假植人工占总人工分别为 48.41% 和 31.26%。低湿度设备在接蚜时需要采用挑接法进行接蚜,用工较多。而 3 种育苗方式最大的差异主要是体现在水肥管理人工用时上,低湿度设备仅为 0.036 h·人/万头,基本实现了设计之初达到自动化控制给水给肥操作的目的。使用低湿度育苗设备繁育烟蚜茧蜂,增加了设备和电费的支出,而盆栽育苗也需要增加花盆的支出,湿润育苗由于单株繁蚜量偏小,繁育万头烟蚜茧蜂需要更多的烟株,因此需要各项繁育费用均较高,导致了总繁蜂成本最高。低湿度设备在成本方面的优势,满足了行业减工降本的发展需求。

综上所述,通过低湿度烟蚜寄主作物繁育装置繁育烟苗及烟蚜茧蜂较盆栽育苗和湿润育苗分别降低叶面间湿度

16.65% 和 21.54%;增加烟蚜茧蜂繁育量 5.22 万和 1.69 万头/m²;降低蚜霉病发生率 2.51% 和 10.87%;降低烟蚜茧蜂繁育人工用时 0.236 和 0.283 h·人/万头;降低繁育成本 4.41 和 10.31 元/万头。该装置能够解决目前冬、春季繁育烟蚜茧蜂叶面间湿度过大而导致的烟蚜数量减少、蚜霉病发生率高等一系列问题,并且实现自动化控制,降低繁育成本,有一定的推广应用价值。

参考文献

[1] 陈家骅,官宝斌,张玉珍.烟蚜与烟蚜茧蜂相互关系研究[J].中国烟草学报,1996,3(1):8-12.

[2] 江忠明.南方春烟区应用烟蚜茧蜂防治烟蚜主要技术障碍及对策[J].农业灾害研究,2015,5(8):9-10.

[3] 李娟.烟蚜茧蜂防治烟蚜对烟叶质量的影响:以楚雄彝族自治州牟定县新桥镇为例[J].安徽农业科学,2016,44(31):97-99.

[4] 邓小刚,李春明,王硕媛,等.烟蚜茧蜂:规模化繁殖与应用[M].北京:中国环境科学出版社,2010:62-63.

[5] 魏佳宁,况荣平,何丽平,等.烟蚜茧蜂规模化繁殖和释放技术[C]//中国昆虫学会 2001 年学术年会论文集.成都:中国昆虫学会,2001:456-463.

[6] 王玉川,陈蕊,陈玉荣,等.烟蚜茧蜂不同繁育技术研究[J].安徽农业科学,2016,44(33):127-128.

[7] 黄继梅.烟蚜茧蜂防治烟蚜研究及推广应用[D].长沙:湖南农业大学,2008.

[8] 李宏光,刘春明,吴伟,等.漂浮苗高效繁殖烟蚜茧蜂方法:CN102334468[P].2012-02-01.

[9] 代园凤,王玉川,洪枫,等.不同生育期烟苗规模化繁殖烟蚜茧蜂的效果比较[J].贵州农业科学,2016,44(3):69-72.

[10] 刘琼,马建光,丁福章,等.空气相对湿度对烟蚜茧蜂繁育的影响[J].安徽农业科学,2015,43(31):88-90.

[11] 闫玉芳,陈文龙,董代文.湿度对烟蚜茧蜂和菜蚜茧蜂羽化率及寿命的影响[J].山地农业生物学报,2014,33(4):6-9.

[12] 吕娅维,李宏光,刘春明,等.不同漂浮烟苗密度对繁殖烟蚜及烟蚜茧蜂的影响研究[J].安徽农学通报,2014,20(6):26-28.

[13] 福建省烟草公司三明市公司.2017 年烟蚜茧蜂防治烟蚜技术方案[Z].2016.

[14] 王树会,魏佳宁.烟蚜茧蜂规模化繁殖和释放技术研究[J].云南大学学报(自然科学版),2006,28(S1):377-382.

(上接第 113 页)

[2] 董凤彩.丹参成分及其药理作用[J].中国药物经济学,2015(3):99-100.

[3] 陈睿.复方丹参片药理作用及临床应用研究进展[J].中国民族民间医药,2015(4):30-32.

[4] 黄芬.丹参的药理作用及临床应用[J].湖南中医药导报,2004,10(7):69-71.

[5] 薛永峰,王建华,耿慧云,等.丹参光合日变化的研究[J].山东农业科学,2008(7):21-23.

[6] LUO Y,LUO M H. Effects of drought stress on gas exchange characteristics and protective enzyme activities in two varieties of *Salvia miltiorrhiza* Bge. seedlings[J]. Journal of nuclear agricultural sciences,2011,25(2):375-381.

[7] 罗明华,胡进耀,吴庆贵,等.干旱胁迫对丹参叶片气体交换和叶绿素荧光参数的影响[J].应用生态学报,2010,21(3):619-623.

[8] 姜东燕,于振文.土壤水分对小麦产量和品质的影响[J].核农学报,2007,21(6):641-645.

[9] 李永宁,张宾兰,秦淑英,等.郁闭度及其测定方法研究与应用[J].世界林业研究,2008,21(1):40-46.

[10] 孟祥海,张跃进,张欢强,等.遮荫对半夏生物学特性的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2007,35(3):219-222.

[11] 郭志华,张宏达,李志安.鹅掌秋苗光合作用特性的研究[J].生态学报,1999(2):164-169.

[12] 王爱民,孙明学,聂绍茎,等.凉水地区白桦光一光合特性的比较研究[J].东北林业大学学报(自然科学版),2001,29(2):44-49.

[13] 谢会成,姜志林,叶镜中.麻栎光合作用的特性及其对 CO 倍增的响应[J].南京林业大学学报(自然科学版),2002,26(4):67-70.

[14] ZHOU L J,SHI H Z,GUO Q S,et al. Effects of light intensity on photosynthetic characteristics and seedlings growth of *Prunella vulgaris* [J]. China journal of chinese materia medica,2011,36(13):1393-1396.