

药剂包衣对苗期大豆蚜防治效果 与安全性评价*

徐蕾** 赵彤华 钟涛 许国庆***

(辽宁省农业科学院植物保护研究所, 沈阳 110161)

摘要 【目的】大豆蚜 *Aphis glycines* (Matsumura) 是大豆上最重要的害虫之一。传统控制大豆蚜虫仍然以达到防治指标时大量喷洒化学药剂为主, 危害人畜和环境安全。只有在大豆蚜发生初期进行有效防控, 使其田间种群不能及时顺利的建立, 从而实现无公害绿色防控。【方法】对筛选出的 3 种内吸式杀虫剂按不同浓度拌种包衣进行大田小区试验, 调查分析包衣处理对大豆蚜、天敌以及大豆田其他害虫的影响和控制作用, 同时对包衣处理后的大豆安全性、产量和品质进行评估。【结果】药剂拌种包衣处理能够显著压低苗期大豆蚜虫口基数, 2014 年对照区与处理区蚜量最高峰值比值最大达到 448.15; 同时对苗期大豆田间的双斑萤叶甲 *Monolepta hieroglyphica* (Motschulsky) 有很好的控制作用, 处理区与对照区的受害株率差异极显著; 并且保护了自然天敌种群; 药剂拌种包衣处理在显著增产的同时还有效提升了大豆品质; 经权威检测, 收获后的籽粒在检出限内无药剂残留。【结论】药剂拌种包衣处理能有效控制苗期大豆蚜, 不杀伤天敌, 安全、无毒、无残留, 而且增产显著, 是比较理想的轻简无公害防控手段。

关键词 大豆蚜, 药剂拌种, 天敌, 新烟碱类杀虫剂, 绿色防控

A safer method of controlling soybean aphids

XU Lei** ZHAO Tong-Hua ZHONG Tao XU Guo-Qing***

(Institute of Plant Protection, Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110161, China)

Abstract [Objectives] The soybean aphid (*Aphis glycines*) is one of the most important pests of soybean crops. The traditional method of controlling this pest is based on applying a large number of chemical pesticides to achieve the control index, which is harmful to humans, livestock and the environment. In order to achieve pollution-free, green control, control measures were only applied in the early stage, so that the aphid population could not establish efficiently and the amount of pesticide could be reduced. [Methods] A field test of selected pesticides were conducted using different concentrations of seed coating and the effects of coating treatments on the control of soybean aphids, natural enemies, and other pests, in soybean fields were investigated, together with the nutrition and food-safety of soybeans. [Results] Seed dressing can significantly reduce the initial population number of *A. glycines*; the maximum number of aphids on 100 control soybean plants was 448.15 times that on treated plants. Seed dressing was also effective in controlling *Monolepta hieroglyphica* ($P < 0.05$) but was harmless to populations of natural enemies. The seed coating treatment significantly improved the yield and the quality of soybeans and pesticide residues were far below the MRL of the safety standard. [Conclusion] Seed dressing can effectively control *A. glycines* without adverse effects on natural enemies. It can significantly increase soybean production, and could be a relatively non-polluting method of controlling aphids on soybean crops.

Key words *Aphis glycines*, seed coating, natural enemies, neonicotinoid insecticides, green management

*资助项目 Supported projects: 国家公益性行业科研专项经费项目 (201103022)

**第一作者 First author, E-mail: XGQ66@126.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: syxlei81@126.com

收稿日期 Received: 2015-12-23, 接受日期 Accepted: 2016-01-11

大豆蚜 *Aphis glycines* (Matsumura) 属半翅目 Hemiptera, 蚜科 Aphididae, 蚜属 *Aphis*, 俗称腻虫、蜜虫, 是我国大豆产区最主要的害虫之一。大豆蚜以成蚜和若蚜集中在豆株的生长点顶叶、嫩叶、嫩茎和叶柄上刺吸汁液, 严重时布满茎叶, 也可侵害嫩荚 (戴长春, 2005)。传统控制大豆蚜虫的危害是在大豆蚜发生量平均达 250 头/株这一防治指标时, 全田施用化学农药进行治理。此方法人工劳动强度大, 用药、用水量高, 同时还会杀伤天敌, 危害人畜和环境安全。大豆蚜在大豆上繁殖和扩散, 天敌的跟随一般是滞后的, 到一定时期达到一个平衡, 如果在早期进行防控, 使大豆蚜在田间不能及时、顺利的建立种群, 即可控制大豆蚜发生量在经济危害水平以下, 随着拌种后期药效下降, 天敌种群已在田间形成优势, 可有效阻止大豆蚜直接或间接的造成危害, 从而把防治指标收窄, 实现不用药或少用药。因此将防治时间提前, 可避免或减少后期施用化学农药, 促进大豆增产, 提升大豆品质, 从而得到良好的经济、社会和生态效益。

吡虫啉和噻虫嗪是药效基因均为硝基亚胺的烟碱类杀虫剂的代表性药剂, 具有良好的内吸传导性、高选择性和生物活性, 在农业生产上被广泛应用于种子、叶面和土壤中多种害虫的防治 (Detlef and Klaus, 1999; Maienfisch *et al.*, 2001)。1926 年美国的 Thornton 和 Ganulee 提出利用药剂拌种包衣防治作物病虫害, 不久英国 Ger-mains 公司在禾谷类作物种子上首次成功研制出旱粮作物种衣剂 (Taylor *et al.*, 1998)。已有的大量试验已经证实, 种子周围土壤中含有极少量 (< 5 mg/kg) 的吡虫啉, 就可以有效防治金针虫 *Elateridae leach*、黄瓜条叶甲 *Acalymma vittata*、葱地种蝇 *Delia antiqua* (Meigen) 等多种作物的地下害虫 (Drinkwater, 1994)。对刺吸式口器害虫如飞虱、蚜虫等及其抗药性种群具有很好的防效, 对部分鞘翅目害虫表现高效 (Mullins, 1993; Tomizawa and Casida, 2003)。研究发现吡虫啉在农作物体内的某些代谢产物如 4-羟基吡虫啉、亚硝胺吡虫啉等具有一定的生物活性, 对桃蚜 *Myzus persicae* (Sulzer)、棉蚜 *Aphis*

gossypii (Glover)、甜菜蚜 *Aphis fabae* (Scopoli)、烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) 等具有一定的毒杀活性, 且亚硝基衍生物对桃蚜与棉蚜的杀虫生物活性是吡虫啉的 6 倍 (Nauen *et al.*, 1999, 2001)。通过温室和田间试验测定了不同浓度噻虫嗪种子包衣处理下的油菜植株上的甘蓝蚜 *Brevicoryne brassicae* (Linnaeus) 的存活率和繁殖率, 结果与对照相比, 均有显著降低 (Schroeder and Dumbleton, 2001); 噻虫嗪除具有杀虫生物活性外, 同时还可提高植物抗旱、抗盐等对生物/非生物胁迫的耐受力以及获得植物生命活力的能力, 研究发现, 吡虫啉和噻虫嗪及其在植物中的代谢物 6-氯吡啶-3-羧酸和 2-氯噻唑-5-羧酸可诱导拟南芥 *Arabidopsis thaliana* 中与水杨酸相关的植物防御功能 (Ford *et al.*, 2010)。

本项目组在国家行业科研专项基金的资助下, 8 年来积累了丰富的基础理论研究成果。分别从孤雌和有性生殖转换及其应对环境变化的生理调控等方面揭示了大豆蚜的生态适应机制 (许国庆等, 2011; 徐蕾等, 2015); 明确了生物及非生物逆境胁迫对大豆蚜及大豆植株重要生理指标的影响 (王兴亚等, 2011a); 从植物营养、灌溉调节以及大豆抗 (耐) 蚜品种选育等方面探索了大豆蚜农业防控新方法 (王兴亚等, 2011b); 率先引进并应用国内自主创新研发的迁飞型昆虫诱捕设备吸虫塔, 研发了以吸虫塔诱捕时序动态数据为预报主体, 以嵌入气象因子和田间消长动态分析拟合的数学模型为量化工具的预报预警体系 (徐蕾等, 2016)。围绕项目的“开发轻简、安全、高效的无公害防控新技术、保护天敌和有效遏制田间大豆蚜的种群增长”的整体目标, 本研究对已筛选出的有效成分为吡虫啉和噻虫嗪的 3 种内吸式杀虫剂连续两年进行了种子包衣防治苗期大豆蚜效果验证试验, 调查研究了包衣处理对田间自然天敌种群及大豆其他主要害虫的影响, 分析了其对大豆品质和产量的影响及相关性, 并且对药剂包衣处理后的大豆籽粒进行安全性评价。此研究不仅能够切实指导辽宁大豆产区大豆生产实践, 为促进我国大豆产品走向国际市场、促进农业的可持续发展也具有重要

的价值和意义。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

2014—2015 年在辽宁东南部山区岫岩县选择肥力水平较一致的大豆田作为试验地, 选用 3 种内吸式杀虫剂, 药剂商品名分别为高巧、锐胜和福蝶, 具体生产厂家、药剂有效成分和使用剂量如表 1 所示。

参试大豆品种为当地主栽品种丹豆 14, 生育期为 131 d。

1.2 试验方法

1.2.1 种子包衣方法 试验种子采用人工包衣 (戴防护手套) 对应不同药剂的不同剂量准备好与之对应的塑料盆, 按药种比称好大豆种子和处理药剂倒入盆内, 随即快速翻动, 拌匀后取出, 阴干备用。

1.2.2 田间小区试验方法 田间试验采用完全随机化区组设计。每种试验药剂 3 个浓度处理, 每个处理 4 次重复, 同时设置 4 个对照, 共计 40 个小区 (每小区面积 30 m²)。田间大豆蚜发生量及天敌消长情况调查于 5 月中旬开始, 调查采用棋盘式采点, 每处理地块随机选取 10 点, 每点 5 株, 每 5 d 1 次, 至 7 月中旬止。

1.2.3 考种与测产 试验密度为 18.75 万株/hm², 成熟后每处理小区随机取 5 点, 每点随机选取 10 株室内考种, 记录荚数、荚重、粒数、粒重、不成实数和虫蛀数, 计算百粒重; 实收中间 3 行测产, 测产面积 7.2 m², 管理同一般大田。

1.2.4 大豆籽粒农药残留及品质性状检测 对药剂包衣处理区和空白对照区收获后的大豆籽粒的农药残留量采用液相色谱-串联质谱法依照国家标准 GB/T 20770-2008 进行定量检测; 采用索氏提取法和凯氏法分别依照国家标准 GB/T 14772-2008 和 GB/T5511-2008 进行大豆籽粒营养成分的定量检测。

1.3 数据分析

试验结果采用 Excel 软件和 SPSS For Windows 11.5 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同浓度药剂包衣处理对大豆出苗率的影响

药剂包衣处理播种后第 10 天调查大豆出苗情况 (表 2), 结果表明 2014 年只有福蝶的低浓度处理出苗率高于空白对照, 且差异并不显著, 其他各处理的出苗率均低于空白对照区; 2015 年

表 1 拌种包衣处理供试药剂
Table 1 Insecticide of seed coating agents

处理药剂 Insecticide	有效成分 Active ingredient		生产厂家 Manufacturer		药种比 Deals (mL/kg)	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015
高巧 Gaoqiao	600 g/L 吡虫啉悬浮剂 Imidacloprid suspension	600 g/L 吡虫啉悬浮剂 Imidacloprid suspension	河北威远生物化工股份有限公司	德国拜耳作物种子子公司	2	2
			Hebei Veyong Bio-Chemical Co., Ltd.	German Bayer the Seed Company	2.5	2.5
锐胜 Ruisheng	70% 噻虫嗪种子处理可分散粉剂 Thiamethoxam dispersible powder	70% 噻虫嗪种子处理可分散粉剂 Thiamethoxam missible oil	德国拜耳作物种子子公司	瑞士先正达作物保护有限公司	3	1
			German Bayer the Seed Company	Syngenta Crop Protection Co. Ltd.	4	2
福蝶 Fudie	70% 吡虫啉种子处理可分散粉剂 Imidacloprid dispersible powder	70% 吡虫啉种子处理可分散粉剂 Imidacloprid dispersible powder	瑞士先正达作物保护有限公司	河北威远生物化工股份有限公司	5	5
			Syngenta Crop Protection Co. Ltd.	Hebei Veyong Bio-Chemical Co., Ltd.	6	6
					7	7

表 2 试验药剂各处理浓度种子包衣后出苗率
Table 2 Germination rate of soybean under different treatments of seed coating agents

处理药剂 Insecticide	药剂浓度 Consistence	播种后第 10 天出苗率 (%) Rate of emetgence in tenth days after sowing		播种后第 20 天出苗率 (%) Rate of emetgence in twentieth days after sowing	
		2014	2015	2014	2015
高巧 Gaoqiao	低 Low	71.26 ± 4.04ab	71.67 ± 4.75ab	90.77 ± 7.29b	87.31 ± 7.11c
	中 Medium	69.83 ± 3.11ab	68.67 ± 10.14b	89.01 ± 7.17b	85.92 ± 8.68c
	高 High	62.51 ± 3.49b	65.33 ± 8.54b	88.93 ± 10.73b	84.99 ± 6.47c
锐胜 Ruisheng	低 Low	84.99 ± 4.78a	89.33 ± 1.83a	90.23 ± 13.64b	96.46 ± 12.43a
	中 Medium	75.19 ± 2.34ab	85.17 ± 4.99a	89.92 ± 8.25b	90.43 ± 10.17bc
	高 High	76.57 ± 2.88ab	80.83 ± 4.32ab	88.64 ± 6.38b	92.37 ± 7.46b
福蝶 Fudie	低 Low	89.38 ± 5.06a	71.50 ± 6.31ab	92.17 ± 11.25a	90.79 ± 9.39bc
	中 Medium	86.23 ± 1.92a	69.34 ± 5.16ab	90.69 ± 8.84b	88.24 ± 4.25c
	高 High	73.44 ± 3.38ab	65.99 ± 7.07b	91.29 ± 11.44ab	85.48 ± 4.88c
空白对照	Blank	88.69 ± 3.94a	81.17 ± 3.07ab	90.38 ± 10.43b	86.11 ± 7.04c

表中数据为平均值 ± 标准误；数据后标注不同小写字母表示 $P < 0.05$ 水平差异显著 (Duncan's 多重检验法)。下表同。
The data in the table are mean ± SE, and followed by different lowercase letters indicate significant difference at $P < 0.05$ by Duncan's multiple tests. The same below.

锐胜的低、中浓度处理后的出苗率分别为 89.33% 和 85.17%，显著高于对照区的出苗率 81.17%，除此之外其他各处理的出苗率均低于对照区；而随着拌种药剂浓度的增加，大豆出苗率呈降低的趋势。在播种后第 20 天调查大豆出苗情况(表 2)，结果表明 2014 年有 4 个药剂浓度处理下的出苗率高于对照，其中福蝶低、高浓度处理出苗率与对照相比差异显著，高巧低浓度和福蝶中浓度处理出苗率与对照相比有所上升但差异不显著，除此以外其他各药剂处理的出苗率与对照相比均有降低但差异不显著；2015 年锐胜低、中、高处理和福蝶低浓度处理下的出苗率均显著高于对照，除此以外其他药剂处理的出苗率均与对照差异不显著。由此说明药剂拌种包衣处理后，附着在种子表面的药剂形成的包衣膜在播种初期对种子萌发产生了一定程度的阻碍，但随着大豆生长进程的递进，二者之间的差异逐渐缩小，最终拌种处理的大豆与对照相比出苗率趋于持平甚至有所超越。

2.2 不同浓度药剂包衣处理对大豆蚜量的控制作用

2014 年田间调查结果 (图 1, 图 2, 图 3)

表明，2014 年 7 月 4 日以前，在 3 种药剂各处理浓度下大豆百株蚜量均为 0，同时期空白对照区的蚜量高于 120 头/百株，最高峰值达到 12 100 头/百株，该峰值与高巧低、中、高浓度处理蚜量最高峰值比值分别为 121、113.08 和 180.59，与锐胜低、中、高浓度峰值比值分别为 142.35、345.71 和 448.15，与福蝶低、中、高浓度峰值比值分别为 201.67、212.28 和 355.88，由此表明药剂包衣处理下苗期大豆蚜发生得到有效控制；7 月 4 日以后，药剂处理区的蚜量逐渐增多，形成上升趋势，始自 8 月 13 日，对照区与药剂处理区的百株蚜量趋于相近。由于 2015 年出现偏旱的气候特征，田间大豆蚜发生量明显少于往年，是典型的轻发生或不发生年，但在田间调查周期内(图 4, 图 5, 图 6)，空白对照区的大豆蚜量仍然高于药剂处理区且差异显著，7 月 13 日对照区平均百株蚜量最高峰值达到 126.94 头，相当于处理区中最高平均百株蚜量 (锐胜低浓度处理最高为 25.89 头) 的 4.9 倍。可见，在大豆植株生长前期，空白对照区的百株蚜量均显著高于施药区，说明药剂拌种包衣能够有效压低苗期大豆蚜虫口基数，以此延迟为害时间和卷叶发生期，是

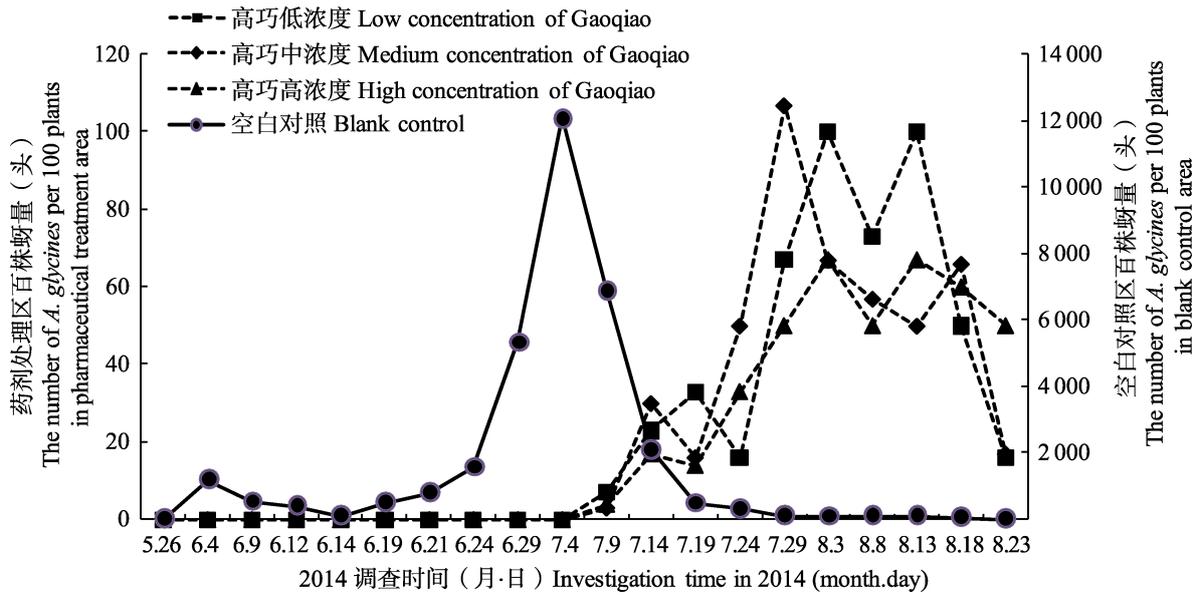


图 1 2014 年利用不同浓度高巧种子包衣处理对大豆蚜的控制作用

Fig. 1 Controlling effect of *Aphis glycines* under different concentration treatments of Gaoqiao in 2014

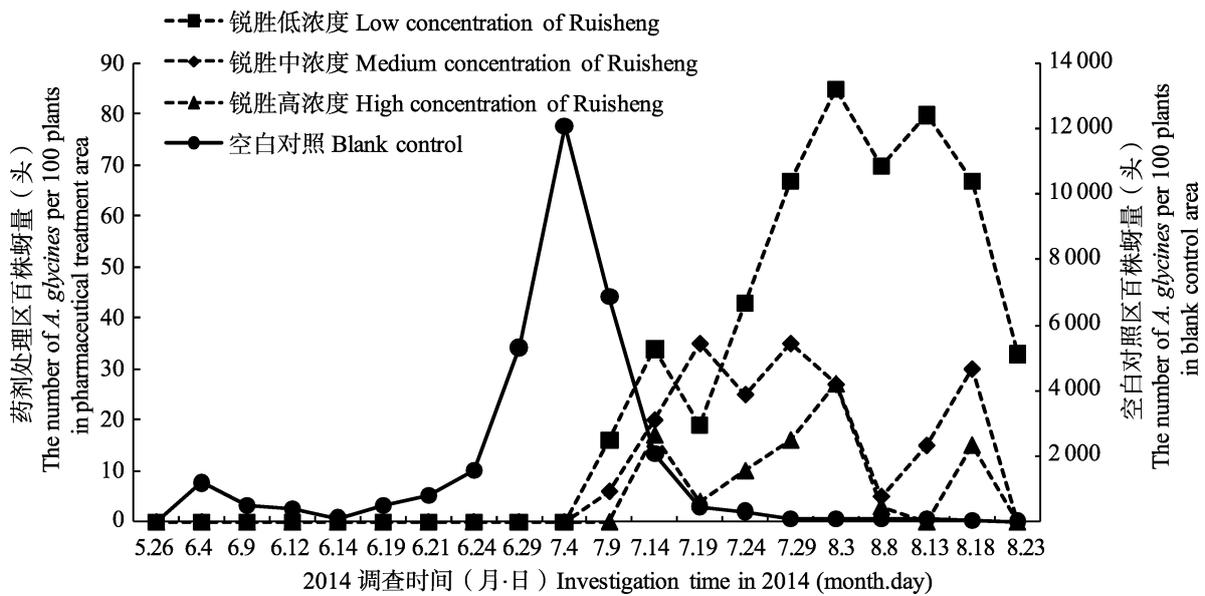


图 2 2014 年利用不同浓度锐胜种子包衣处理对大豆蚜的控制作用

Fig. 2 Controlling effect of *Aphis glycines* under different concentration treatments of Ruisheng in 2014

防治苗期大豆蚜的行之有效的办法。

2.3 不同浓度药剂包衣处理对大豆蚜主要天敌的影响

经调查,岫岩地区的大豆蚜捕食性天敌昆虫以蜘蛛、瓢虫和食蚜蝇 Syrphidae 为主要优势种群,结果表明药剂包衣处理对大豆蚜天敌优势种群并没有产生较大的影响。综合 2 个试验年份

(表 3,表 4),高巧低浓度和福蝶中浓度处理下蜘蛛量均大于对照区,但差异并不显著;高巧低、中浓度、福蝶低浓度处理下瓢虫量均大于对照区,其中高巧低、中浓度处理与对照区相比均差异显著;高巧低浓度和福蝶低浓度处理下食蚜蝇量均大于对照区,其中 2014 年的福蝶低浓度处理与对照区差异显著。在天敌总量上,高巧低浓度、锐胜低浓度和福蝶低、中浓度处理均大于空

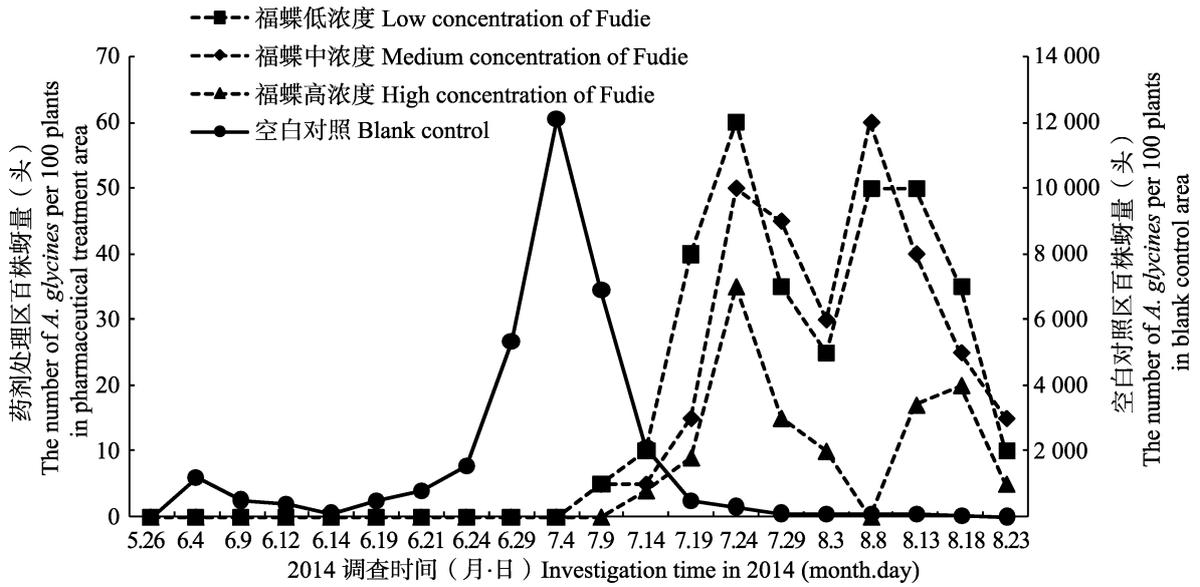


图 3 2014 年利用不同浓度福蝶种子包衣处理对大豆蚜的控制作用
 Fig. 3 Controlling effect of *Aphis glycines* under different concentration treatments of Fudie in 2014

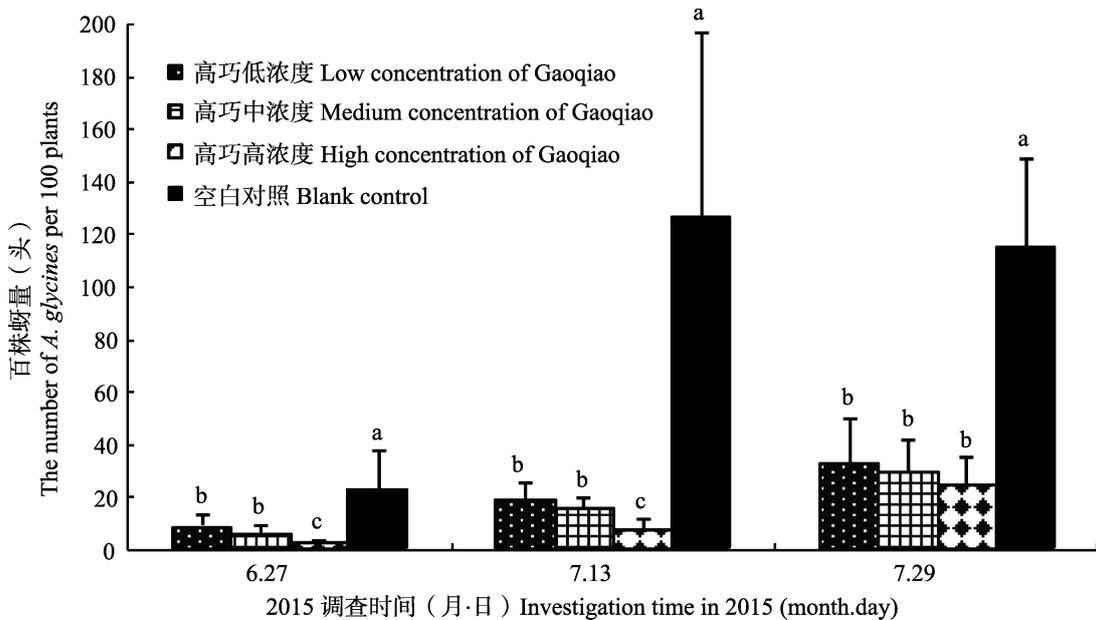


图 4 2015 年利用不同浓度高巧种子包衣处理对大豆蚜的控制作用
 Fig. 4 Controlling effect of *Aphis glycines* under different concentration treatments of Gaoqiao in 2015
 柱上标有不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下图同。

Histograms with different letters indicate significant difference at the 0.05 level. The same below.

白对照区,且 2014 年这个增量表现为差异显著,而 2015 年表现为差异不显著。在对苗期大豆蚜防控效果最好的 3 个高浓度药剂处理区内,2014 年天敌总量与对照区相比均无显著差异,2015 年天敌总量与对照区相比均呈显著降低。由此说明种子包衣处理在防治苗期蚜虫的同时并没有给自然天敌带来较大杀伤,从而为药剂持效期过

后天敌跟随并有效控制大豆蚜的猖獗危害赢得了时间。

2.4 不同浓度药剂包衣处理对大豆田其他害虫的控制作用

在对苗期大豆蚜进行调查的过程中,发现田间空白对照区的双斑萤叶甲 *Monolepta hieroglyphica*

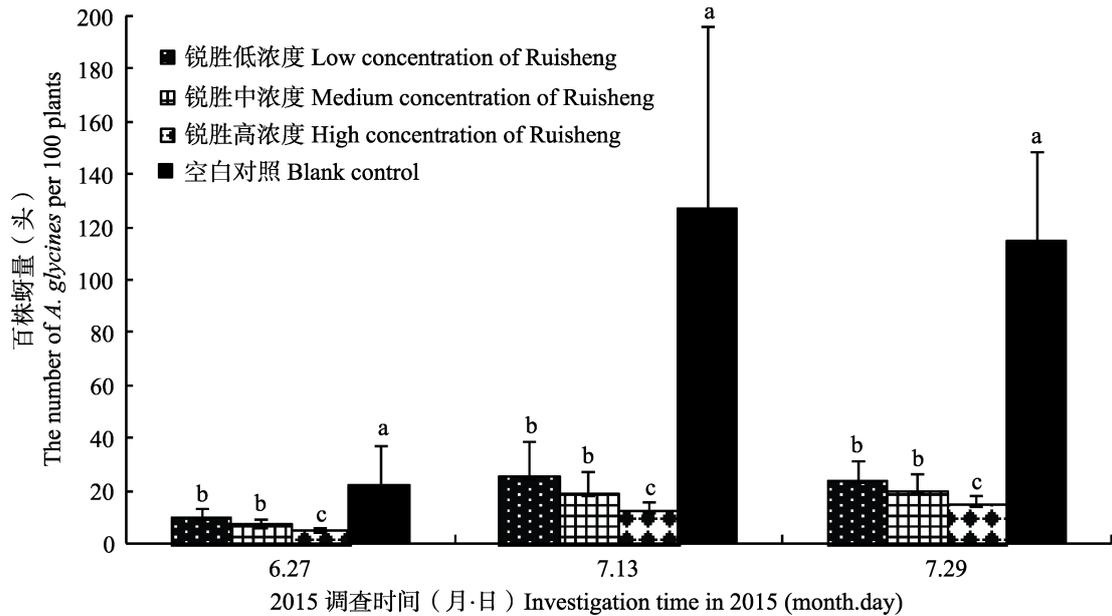


图 5 2015 年利用不同浓度锐胜种子包衣处理对大豆蚜的控制作用

Fig. 5 Controlling effect of *Aphis glycines* under different concentration treatments of Ruisheng in 2015

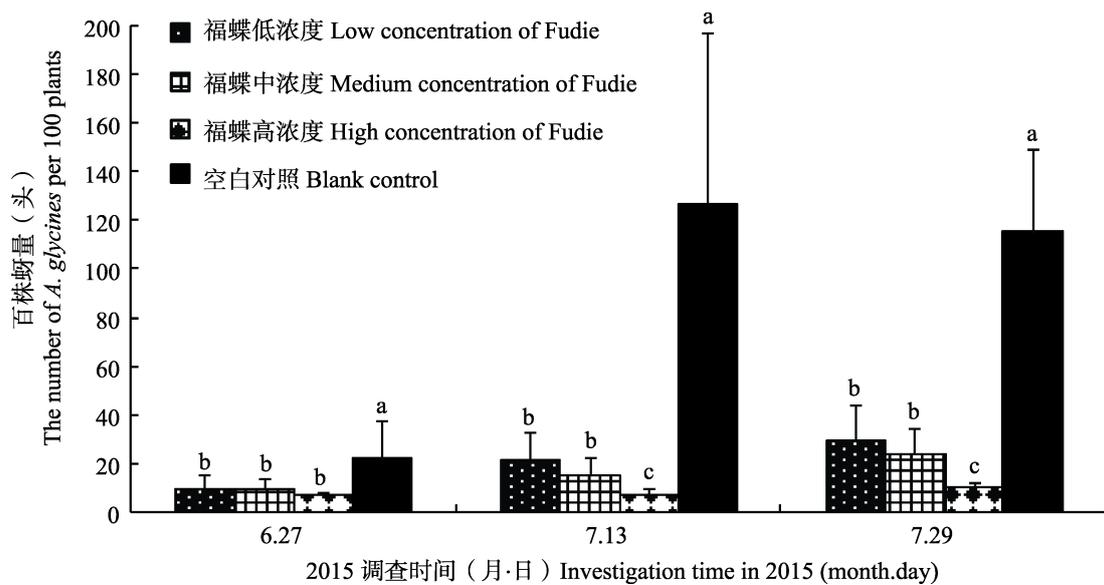


图 6 2015 年利用不同浓度福蝶种子包衣处理对大豆蚜的控制作用

Fig. 6 Controlling effect of *Aphis glycines* under different concentration treatments of Fudie in 2015

(Motschulsky) 为害较为严重, 随机抽样调查得知受害株率在 2014 年达到 93.91%, 2015 年达到 90.53%。而通过对药剂拌种包衣各处理区的调查发现 (表 5), 处理区的受害株率非常小, 2 个试验年份中福蝶高浓度处理区内受害株率均为 0; 2014 年福蝶低浓度和 2015 年锐胜低浓度处理区最高受害株率分别为 1.31% 和 1.35%, 与对照相比差异显著。可见药剂包衣处理在有效控制苗蚜

的同时, 还有效兼防大豆田间双斑萤叶甲的危害, 从而实现一次施药防治多虫, 取得了双重的生态效益。

对田间为害大豆的另外两种主要害虫大豆卷叶螟 *Lamprosema indicata* (Fabricius) 和跳甲进行调查, 结果发现 (表 6), 大豆卷叶螟 2014 年平均发生量只有在福蝶高浓度处理区 (2.44 头) 显著低于对照 (3.68 头) ($P < 0.05$), 此外在高

表 3 试验药剂各处理浓度种子包衣后对大豆蚜主要天敌的影响 (2014)
Table 3 Effect of important natural enemies under different treatments of seed coating agents in 2014

处理药剂 Insecticide	处理浓度 Consistence	天敌 (头) Natural enemies			天敌总量 (头) Natural enemies
		蜘蛛 Spider	瓢虫 Laydbug	食蚜蝇 <i>Scaeva pyrastris</i>	
高巧 Gaoqiao	低 Low	11.24 ± 6.76a	11.81 ± 5.25a	21.44 ± 7.66ab	56.86 ± 14.99a
	中 Medium	9.27 ± 3.59a	10.43 ± 3.77a	20.51 ± 9.39ab	50.54 ± 14.63ab
	高 High	8.09 ± 1.67ab	7.69 ± 1.52b	17.97 ± 8.45b	43.70 ± 10.92b
锐胜 Ruisheng	低 Low	9.77 ± 3.52a	8.33 ± 4.71b	20.67 ± 11.25ab	53.11 ± 12.83ab
	中 Medium	10.51 ± 4.18a	7.96 ± 2.39b	20.38 ± 9.37ab	49.98 ± 15.66ab
	高 High	7.38 ± 2.64ab	6.54 ± 1.88b	16.56 ± 7.29b	40.36 ± 7.97b
福蝶 Fudie	低 Low	11.93 ± 2.89a	11.29 ± 3.26a	27.42 ± 10.96a	63.66 ± 20.29a
	中 Medium	10.41 ± 5.03a	10.44 ± 5.17a	19.68 ± 7.43ab	52.96 ± 13.43ab
	高 High	7.79 ± 2.83ab	7.78 ± 2.31b	18.96 ± 3.03b	42.91 ± 9.27b
空白对照 Blank		9.86 ± 3.2a	8.64 ± 3.29b	20.88 ± 7.64ab	50.94 ± 13.13b

表 4 试验药剂各处理浓度种子包衣后对大豆蚜主要天敌的影响 (2015 年)
Table 4 Effect of important natural enemies under different treatments of seed coating agents in 2015

处理药剂 Insecticide	处理浓度 Consistence	天敌 (头) Natural enemies			天敌总量 (头) Natural enemies
		蜘蛛 Spider	瓢虫 Laydbug	食蚜蝇 <i>Scaeva pyrastris</i>	
高巧 Gaoqiao	低 Low	7.18 ± 1.24a	7.98 ± 2.36a	5.75 ± 2.88a	33.31 ± 5.49a
	中 Medium	6.97 ± 0.49a	8.07 ± 3.33a	6.98 ± 2.01a	19.27 ± 1.28b
	高 High	5.63 ± 1.11a	5.75 ± 2.43ab	7.35 ± 3.42a	27.25 ± 4.93ab
锐胜 Ruisheng	低 Low	5.23 ± 1.18a	7.11 ± 2.94a	6.37 ± 2.14a	33.62 ± 3.09a
	中 Medium	3.88 ± 0.47ab	4.83 ± 1.29ab	3.85 ± 1.06a	24.44 ± 4.18ab
	高 High	3.28 ± 0.99ab	5.11 ± 2.3ab	3.39 ± 0.77a	18.37 ± 2.52b
福蝶 Fudie	低 Low	5.21 ± 2.07a	8.18 ± 2.94a	8.86 ± 4.52a	41.14 ± 8.96a
	中 Medium	5.68 ± 1.73a	6.74 ± 1.38a	4.94 ± 1.27a	32.55 ± 6.27a
	高 High	4.49 ± 0.88ab	4.90 ± 1.01ab	5.66 ± 2.92a	27.22 ± 3.61ab
空白对照 Blank		5.22 ± 2.12a	7.14 ± 2.27a	5.08 ± 2.32a	31.7 ± 4.85a

巧低浓度、锐胜低、中、高浓度等 4 个药剂处理区也都低于对照,但差异并不显著;2015 年只有在高巧高浓度处理下平均发生量 (1.75 头) 低于对照 (1.95 头) 外,其他各浓度药剂处理下的平均发生量均高于对照,但差异均不显著。跳甲 2014 年在各药剂处理区的发生量与对照相比均无显著差异,而 2015 年在锐胜低浓度处理区内平均发生量最大为 18.91 头,与对照 (14.26 头) 相比差异显著 ($P < 0.05$),除此之外只有在高巧

中、高浓度和福蝶高浓度处理区发生量与对照相比有所降低,但差异并不显著。由此表明,药剂拌种包衣处理对大豆卷叶螟和跳甲的防控效果不显著。

2.5 不同浓度药剂包衣处理的大豆籽粒安全性评价

对药剂包衣处理区和空白对照区收获后的大豆籽粒采用液相色谱-串联质谱法,依照国家标准 GB/T 20770-2008 进行定量检测,结果表明,

表 5 试验药剂各处理浓度种子包衣后对田间双斑萤叶甲的控制作用
Table 5 Controlling effect of *Monolepta hieroglyphica* under different treatments of seed coating agents

处理药剂 Insecticide	处理浓度 Consistence	受害株量(株) Infested plants		未受害株量(株) Uninfested plants		受害株率(%) Rate of infested	
		2014	2015	2014	2015	2014	2015
高巧 Gaoqiao	低 Low	0.33 ± 0.06b	0.19 ± 0.03b	120.75 ± 4.99a	100.26 ± 5.12a	0.27 ± 0.18b	0.19 ± 0.01b
	中 Medium	0.50 ± 0.13b	0.56 ± 0.10b	121.25 ± 3.30a	112.94 ± 6.89a	0.41 ± 0.22b	0.49 ± 0.07b
	高 High	1.25 ± 0.22b	0.88 ± 0.22b	111.75 ± 6.70a	118.56 ± 7.44a	1.11 ± 0.74b	0.74 ± 0.25b
锐胜 Ruisheng	低 Low	0.75 ± 0.47b	1.24 ± 0.37b	110.50 ± 3.70a	90.78 ± 1.99a	0.67 ± 0.13b	1.35 ± 0.37b
	中 Medium	0.25 ± 0.01b	0.39 ± 0.07b	109.75 ± 5.12a	107.55 ± 2.07a	0.23 ± 0.09b	0.36 ± 0.09b
	高 High	0.75 ± 0.18b	0.17 ± 0.02b	109.25 ± 2.50a	119.46 ± 4.26a	0.68 ± 0.17b	0.14 ± 0.01b
福蝶 Fudie	低 Low	1.50 ± 0.42b	1.22 ± 0.13b	113.25 ± 8.77a	106.40 ± 3.78a	1.31 ± 0.45b	1.13 ± 0.28b
	中 Medium	1.50 ± 0.36b	0.49 ± 0.08b	115.00 ± 4.97a	120.57 ± 3.43a	1.29 ± 0.33b	0.40 ± 0.06b
	高 High	0.00 ± 0.00b	0.00 ± 0.00b	114.00 ± 4.16a	133.62 ± 7.38a	0.00 ± 0.00b	0.00 ± 0.00b
空白对照	Blank	111.75 ± 5.19a	97.56 ± 7.18a	7.25 ± 2.99b	10.21 ± 3.05b	93.91 ± 2.15a	90.53 ± 3.38a

表 6 试验药剂各处理浓度种子包衣后对田间卷叶螟和跳甲的控制作用
Table 6 Controlling effect of medinalis and flea beetles under different treatments of seed coating agents

处理药剂 Insecticide	处理浓度 Consistence	卷叶螟(头) Medinalis		跳甲(头) Flea beetle	
		2014	2015	2014	2015
高巧 Gaoqiao	低 Low	3.41 ± 1.04a	1.99 ± 1.43a	12.37 ± 6.07a	15.27 ± 4.64b
	中 Medium	3.81 ± 0.55a	2.08 ± 1.12a	11.33 ± 4.18a	13.04 ± 6.96b
	高 High	3.84 ± 1.12a	1.75 ± 1.06a	10.95 ± 3.44a	13.52 ± 3.44b
锐胜 Ruisheng	低 Low	3.26 ± 1.28a	2.15 ± 0.66a	11.34 ± 3.27a	18.91 ± 8.58a
	中 Medium	3.09 ± 0.41a	2.03 ± 1.11a	11.13 ± 2.26a	15.88 ± 5.05b
	高 High	3.17 ± 0.48a	1.98 ± 0.64a	10.88 ± 1.64a	14.59 ± 3.93b
福蝶 Fudie	低 Low	3.76 ± 0.94a	2.25 ± 1.06a	12.02 ± 3.90a	15.89 ± 4.52b
	中 Medium	3.80 ± 0.12a	2.07 ± 1.26a	11.43 ± 2.69a	15.19 ± 7.24b
	高 High	2.44 ± 0.77b	1.96 ± 0.37a	11.38 ± 2.47a	14.17 ± 6.78b
空白对照	Blank	3.68 ± 0.59a	1.95 ± 1.23a	11.56 ± 5.78a	14.26 ± 7.07b

在 0.01 mg/kg 的检出限下,所有送检样品中均未检测出吡虫啉和噻虫嗪成分的药剂残留。说明供试的各处理药剂在试验剂量范围内拌种包衣对大豆籽粒安全、无毒、无残留污染。

2.6 不同浓度药剂包衣处理对大豆蚜产量和品质的影响

影响大豆生产潜力的产量性状主要有株荚数、株荚重、株粒数和百粒重等,测产结果表明(表 8),除了株粒数在福蝶低浓度处理下(295.55 个)

与对照(299.93 个)相比有所减少($P > 0.05$)外,其他各浓度药剂处理的株荚重、株荚数、株粒数和百粒重等产量构成因子的数值与对照相比均有所增加,同时不成实率和虫蛀率与对照相比均有所降低,且差异显著。植株的健壮生长是大豆生殖生长和产量品质形成的基础,拌种包衣对于保证产量具有促进作用。实验数据表明,药剂拌种包衣处理对大豆增产效果显著,各浓度药剂处理后的产量由高到底依次表现为福蝶高 > 福蝶中 > 锐胜高 > 高巧高 > 锐胜中 > 高巧中 >

表 7 各浓度药剂包衣处理后大豆籽粒农药残留检测结果 (2014, 2015)
Table 7 The detection results of pesticide residues under different treatments of seed coating agents

处理药剂 Insecticide	处理浓度 Consistence	检测成分 Detection component	检出限 Detection limit	单位 Unit	测试方法 Detection method	检测结果 Detection result
高巧 Gaoqiao	低 Low	吡虫啉 Imidacloprid				未检出 Not detected
	中 Medium	吡虫啉 Imidacloprid				未检出 Not detected
	高 High	吡虫啉 Imidacloprid				未检出 Not detected
锐胜 Ruisheng	低 Low	噻虫嗪 Thiamethoxam				未检出 Not detected
	中 Medium	噻虫嗪 Thiamethoxam	0.01	mg/kg	GB/T 20770-2008	未检出 Not detected
	高 High	噻虫嗪 Thiamethoxam				未检出 Not detected
福蝶 Fudie	低 Low	吡虫啉 Imidacloprid				未检出 Not detected
	中 Medium	吡虫啉 Imidacloprid				未检出 Not detected
	高 High	吡虫啉 Imidacloprid				未检出 Not detected

高巧低 > 锐胜低 > 福蝶低 > 空白对照, 其中产量最高的福蝶高浓度处理区的大豆产量为 $2\ 765.28\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 增产率最高为 44.79%, 其次为福蝶中浓度处理的大豆产量为 $2\ 408.70\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 增产率为 26.12%, 增产效果非常显著。

大豆的蛋白质和脂肪含量等性状是衡量大豆品质的重要指标。根据对各处理的大豆籽粒的粗蛋白和粗脂肪含量的检测结果表明 (表 9), 随着处理药剂浓度的增加, 大豆粗脂肪含量呈下降趋势, 粗蛋白含量呈上升趋势, 同时籽粒的蛋脂总含量呈上升趋势; 从营养成分的产量方面进行分析, 粗脂肪、粗蛋白和蛋脂总量均呈上升趋势, 且除了福蝶低浓度处理区的粗蛋白产量 ($773.05\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) 与对照相比 ($769.67\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) 差异不显著 ($P > 0.05$) 以外, 其余各处理区内粗脂肪、粗蛋白和蛋脂总量的产量与对照相比均呈显著增加 ($P < 0.05$)。将各处理区的大豆籽粒的粗脂肪、粗蛋白含量与产量进行相关性分析, 结果 (见图 7) 呈现出显著的线性相关性。其中, 籽粒中的粗脂肪含量与产量呈显著负相关 ($R^2 =$

0.730 , $P < 0.05$), 粗蛋白含量与产量呈显著正相关 ($R^2 = 0.5827$, $P < 0.05$), 由此判断粗脂肪含量随药剂处理浓度的增加而下降是由与产量的负协同作用引起的。

药剂拌种包衣处理能够增加大豆籽粒的蛋脂总产量, 在实现有效增产的同时, 促进了大豆品质的提升。

3 讨论

以药剂拌种、拌土等地下施药防治地上害虫是内吸性农药的特殊应用方式, “生物抽提”的内吸机制可以使药剂的有效成分运输到作物地上的各个部分从而起到控制害虫的作用 (宗建平, 2009)。本研究通过几年的田间试验、药剂筛选和示范, 提出了在大豆播种前选用适当浓度的药剂包衣拌种来降低苗期大豆蚜的防控技术, 应用结果表明药剂处理区苗蚜发生量远远低于未处理区, 同时兼治田间双斑莠叶甲的为害, 且效果显著; 拌种处理用药量少, 操作简单, 通过播种操作一次完成; 施药隐蔽, 不杀伤天敌, 也

表 8 不同浓度药剂处理对大豆产量及产量构成因子的影响
Table 8 Effect of different treatments of seed coating agents on yield and its constitution factors

处理药剂 Insecticide	处理浓度 Consistence	株荚重 (g) Pod weight per plant	株荚数 (个) Pod number per plant	株粒数 (个) Seed number per plant	百粒重 (g) 100-seed weight	不成实 (个) Withered beans	虫蛀 (个) Damaged by pest	产量 (kg·hm ⁻²) Yield	增产率 (%) Increase rate
高巧	低 Low	96.90 ± 4.35c	154.30 ± 9.39b	313.75 ± 6.95ab	22.95 ± 0.20b	30.95 ± 2.38b	5.30 ± 0.47b	2065.93 ± 119.83ab	8.17
Gaoqiao	中 Medium	115.88 ± 9.77c	168.83 ± 3.74ab	305.70 ± 10.26b	23.14 ± 2.42b	30.10 ± 4.54b	4.70 ± 0.73b	2082.44 ± 56.28ab	9.04
	高 High	208.00 ± 19.03a	186.50 ± 12.08a	304.18 ± 33.47b	24.19 ± 0.36ab	26.90 ± 2.49bc	4.33 ± 0.87b	2176.99 ± 201.18ab	13.99
锐胜	低 Low	92.53 ± 4.83cd	147.70 ± 6.40b	331.75 ± 11.67a	22.53 ± 1.35b	30.23 ± 2.48b	4.50 ± 0.42b	2027.51 ± 169.42ab	6.16
Ruisheng	中 Medium	93.90 ± 7.65cd	148.18 ± 16.98b	316.27 ± 26.83ab	23.47 ± 5.04b	29.13 ± 3.76b	4.23 ± 0.21b	2112.46 ± 218.20ab	10.61
	高 High	100.15 ± 8.65c	154.83 ± 18.01b	306.85 ± 26.73b	25.79 ± 1.96ab	22.75 ± 3.51c	4.08 ± 0.43bc	2321.66 ± 484.31ab	21.56
福蝶	低 Low	92.00 ± 3.18cd	150.18 ± 7.33b	295.55 ± 19.18b	22.14 ± 0.36b	34.08 ± 2.64ab	5.40 ± 1.48b	1992.39 ± 151.89b	4.32
Fudie	中 Medium	119.21 ± 27.42c	175.75 ± 24.50a	332.13 ± 36.83a	26.76 ± 0.69ab	29.05 ± 3.29b	3.85 ± 0.78bc	2408.70 ± 354.53ab	26.12
	高 High	162.53 ± 60.23b	187.73 ± 43.72a	327.75 ± 90.03a	30.72 ± 2.10a	27.23 ± 2.48bc	3.68 ± 0.22bc	2765.28 ± 136.78a	44.79
空白对照	Blank	76.88 ± 8.84d	146.73 ± 12.57b	299.93 ± 36.93b	21.22 ± 1.76bc	38.70 ± 6.44a	8.69 ± 1.62a	1909.85 ± 80.90b	—

表 9 不同浓度药剂处理对大豆籽粒营养成分的影响
Table 9 Effect of different treatments of seed coating agents on nutritional ingredient

药剂处理 Treatment	营养成分 Nutritional ingredient	粗脂肪 Crude fat		粗蛋白 Crude protein		蛋脂总量 Protein and fat	
		含量 (%) Content	产量 (kg·hm ⁻²) Yield	含量 (%) Content	产量 (kg·hm ⁻²) Yield	含量 (%) Content	产量 (kg·hm ⁻²) Yield
高巧	低 Low	15.9 ± 0.27b	328.48 ± 24.98b	39.2 ± 1.27c	809.84 ± 58.67c	55.1 ± 11.29b	1138.33 ± 123.44c
Gaoqiao	中 Medium	15.8 ± 0.15b	329.03 ± 26.37b	40.3 ± 1.39c	839.22 ± 60.72c	56.1 ± 14.16a	1168.24 ± 129.38c
	高 High	15.3 ± 0.21bc	333.08 ± 22.52b	41.5 ± 1.90b	903.45 ± 79.38bc	56.8 ± 15.08a	1236.53 ± 142.17bc
锐胜	低 Low	16.0 ± 0.26b	326.43 ± 20.38b	38.6 ± 0.98c	782.62 ± 47.17d	54.6 ± 10.62c	1107.02 ± 110.12cd
Ruisheng	中 Medium	15.6 ± 0.11b	329.54 ± 18.46b	39.2 ± 1.05c	828.08 ± 60.49c	54.8 ± 13.49bc	1157.63 ± 129.38c
	高 High	15.4 ± 0.09b	341.28 ± 26.88b	39.5 ± 1.17c	917.06 ± 82.13bc	54.9 ± 12.38bc	1274.59 ± 120.49bc
福蝶	低 Low	16.7 ± 0.14a	332.73 ± 30.54b	38.8 ± 0.76c	773.05 ± 50.10d	55.5 ± 16.88b	1105.78 ± 101.08cd
Fudie	中 Medium	14.1 ± 0.10c	339.63 ± 33.69b	41.6 ± 2.18b	1002.02 ± 116.92b	55.7 ± 15.79b	1341.65 ± 138.46b
	高 High	13.7 ± 0.17d	378.84 ± 37.73a	42.9 ± 2.43a	1186.31 ± 132.63a	56.6 ± 16.96a	1565.15 ± 142.91a
空白对照	Blank	15.2 ± 0.20bc	290.29 ± 18.66c	40.3 ± 1.62c	769.67 ± 60.48d	55.5 ± 15.97b	1059.97 ± 97.26d

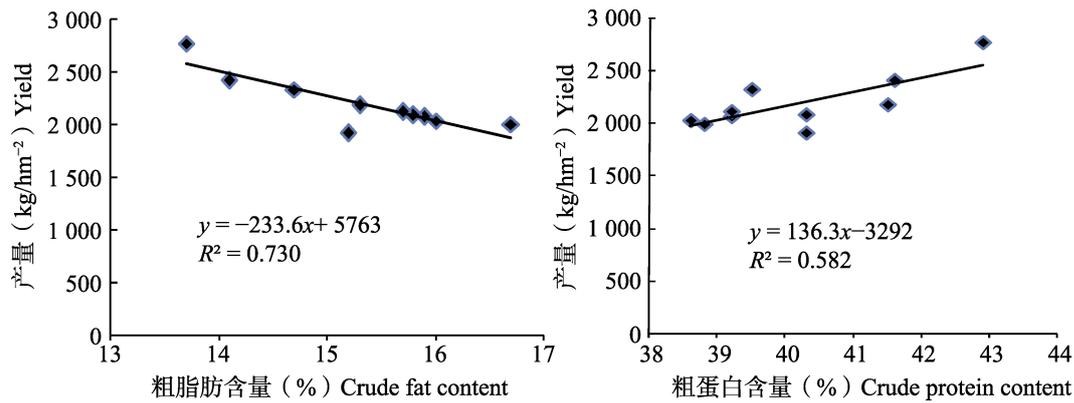


图 7 各浓度药剂处理大豆籽粒中粗脂肪、粗蛋白含量与产量的相关性分析

Fig. 7 Correlation analysis between crude protein content, crude fat content and yield under different treatments

不影响天敌在大豆植株上的搜寻和捕食活动,为后期天敌跟随进而有效控制大豆蚜赢得时间和创造条件;药剂拌种包衣处理后,可增加株荚数、株荚重、株粒数和百粒重,增产显著。药剂包衣处理后大豆籽粒中的蛋脂总产量相对对照均有显著增加,表明增产的同时,大豆品质得到显著提升。综上所述,本研究提出的药剂拌种包衣防治苗蚜技术是比较理想的轻简绿色防控手段,能够起到大豆苗期多种虫害的可持续控制的作用,安全、无毒、无农药残留,达到了良好的防虫、增产、无公害的实践效果,可列入无公害大豆生产技术规程中,为国家高油、绿色大豆产品的生产提供有力技术保障,也将为营造健康和谐的农业生产环境和食品安全做出应有的贡献。

药剂拌种包衣处理播种后第 10 天调查出苗率与对照相比有所降低,分析是包衣剂对种子的发芽生理产生药害作用从而引起的出苗滞后,或者是包衣膜降低了种子对水的黏性,使得包衣种子无法吸水至饱和,导致膜无法降解,阻止了气体 O_2 的交换,这种现象与报道过的对豇豆 (Lawford and Luther, 1986)、南瓜 (周荣和林毓娥, 2002)、大豆 (张树民, 2005)、玉米 (蔡万涛等, 2006) 种子包衣的研究中结论一致。

大豆蚜由于其体型、发育特点、繁殖规律及迁移习性等生物学特性,使它成为典型的 r-生态策略选择型害虫,这种生态策略型害虫一旦具备适宜条件,极易暴发成灾,所以在药剂的使用过程中,对大豆蚜的抗药性监测工作显得极为重

要;尤其大豆蚜营全周期异寄主生活史,每年在秋迁 (由夏寄主迁回至冬寄主产卵越冬) 及春迁 (由越冬寄主向夏寄主迁移为害) 期间不受药剂的影响,自身可对药剂的抗性产生稀释作用,抓住这两个特殊阶段进行监测和深层次的分析,在一定程度上可以更有效地减缓抗性的产生。接下来可以应用刺探电位技术 (EPG) 研究亚致死剂量下试验药剂对大豆蚜的取食行为影响,同时结合相关田间试验,以此提供可靠的理论和数据依据,从而制定系统、完整的播前拌种、全程防控大豆蚜的轻简无公害防控体系。

参考文献 (References)

- Cai WT, Hou LB, Liu EC, Jiang WC, 2006. The effect mechanism of maize seed coating on the delaying seeds germination. *Journal of Maize Sciences*, 14(1): 123-126. [蔡万涛, 侯立白, 刘恩才, 蒋文春, 2006. 种子包膜处理对延迟玉米种子发芽的作用机理研究. *玉米科学*, 14(1): 123-126.]
- Dai CC, 2005. Studies on the population dynamics of *Aphis glycines* (Homoptera: Aphididae) and its natural enemies control. Master dissertation. Heilongjiang: Northeast Agricultural University. [戴长春, 2005. 大豆蚜 (*Aphis glycines* Matsumura) 种群动态及天敌控制研究. 硕士学位论文. 黑龙江: 东北农业大学.]
- Detlef W, Klaus T, 1999. Chloronicotinyl Insecticides: A success of the new chemistry Yamamoto I, Casida JE (eds.). *Nicotinoid Insecticides and the Nicotinic Acetylcholine Receptor*. Berlin Heidelberg: Springer Japan. 109-125.
- Drinkwater TW, 1994. Comparison of imidacloprid with carbamate insecticides, and the role of planting depth in the control of false wireworms, *Somaticus* species, in maize. *Crop Protection*, 13(5): 341-345.

- Ford KA, Casida JE, Chandran D, Gulevich AG, Okrent RA, Durkin KA, Sarpong R, Bunnelle EM, Wildermuth MC, 2010. Neonicotinoid insecticides induce salicylate-associated plant defense responses. *PNAS*, 107(41): 17527–17532.
- Lawford B, Luther W, 1986. Effect of hydrophilic polymer seed coating on the imbibition, perspiration, and germination of sweet corn at four matric potentials. *J.Am.Hort.Sci.*, 111(4): 517–520.
- Maienfisch P, Huerlimann H, Rindlisbacher A, Gsell L, Dettwiler H, Haettenschwiler J, Sieger E, Walti M, 2001. The discovery of thiamethoxam: a second-generation neonicotinoid. *Pest Manag. Sci.*, 57(2): 165–176.
- Mullins JW, 1993. Imidacloprid: a new nitroguanidine insecticide Duke SO, Menn JJ, Plimmer JR (eds.). *Pest Control with Enhanced Environmental Safety ACS Sym.* Washington DC: American Chemical Society. 183–198.
- Nauen R, Reckmann U, Armbrorst S, Stupp HP, Elbert A, 1999. Whitefly-active metabolites of imidacloprid: biological efficacy and translocation in cotton plants. *Pesticide Science*, 55(3): 265–271.
- Nauen R, Ebbinghaus-Kintscher U, Schmuck R, 2001. Toxicity and nicotinic acetylcholine receptor interaction of imidacloprid and its metabolites in *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae). *Pest Management Science*, 57(7): 577–586.
- Schroeder NC, Dumbleton AJ, 2001. Thiamethoxam seed coating on rape seed for the control of cabbage aphid *Brevicoryne brassicae* (L.). *New Zealand Plant Protection*, 54: 240–243.
- Taylor AG, Allen PS, Bennett MA, Bradford KJ, Burriss JS, Misra MK, 1998. Seed enhancement. *Seed Science Research*, 8(2): 245–256.
- Tomizawa M, Casida JE, 2003. Selective toxicity of neonicotinoids attribution to specificity of insect and mammalian nicotinic receptors. *Annu. Rev. Entomol.*, 48: 339–364.
- Wang XY, Chen Y, Zhao TH, Xu L, Xu GQ, 2011a. Population dynamic and fecundity parameters of *Aphis glycines* in different soybean cultivars. *Soybean Science*, 30(5): 830–833. [王兴亚, 陈彦, 赵彤华, 徐蕾, 许国庆, 2011a. 不同大豆品种大豆蚜田间种群发生及实验种群生殖力表研究. *大豆科学*, 30(5): 830–833.]
- Wang XY, Zhou LH, Chen Y, Zhao TH, Xu L, Xu GQ, 2011b. The activity of some physiological indexes of soybean leaves fed by *Aphis glycines*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(6): 1655–1660. [王兴亚, 周俐宏, 陈彦, 赵彤华, 徐蕾, 许国庆, 2011b. 大豆蚜危害胁迫对大豆叶片几个重要生理指标的影响. *应用昆虫学报*, 48(6): 1655–1660.]
- Xu GQ, Chen Y, Wang XY, Liu PB, Xu L, Zhao TH, 2011. Adaptation of the dwarf forms of soybean aphid, *Aphis glycines* to environment and impact on soybean yield. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(6): 1638–1645. [许国庆, 陈彦, 王兴亚, 刘培斌, 徐蕾, 赵彤华, 2011. 大豆蚜对环境的适应及对大豆产量的影响. *应用昆虫学报*, 48(6): 1638–1645.]
- Xu L, Zhao JQ, Xu GQ, Zhong T, Zhao TH, 2015. Artificial induction of sexuales in *Aphis glycines* (Hemiptera:Aphididae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 52(6): 1429–1437. [徐蕾, 赵季秋, 许国庆, 钟涛, 赵彤华, 2015. 室内人工诱导大豆蚜产生有性世代的研究. *应用昆虫学报*, 52(6): 1429–1437.]
- Xu L, Zhong T, Zhao TH, Xu GQ, 2016. Migration quantitative dynamic of *Aphis glycines* in the suction trap monitor and the relationships with meteorological factors in Shenyang. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(2): 365–372. [徐蕾, 钟涛, 赵彤华, 许国庆, 2016. 沈阳地区吸虫塔监测大豆蚜迁飞动态及其与气象因子关系的分析. *应用昆虫学报*, 53(2): 365–372.]
- Zhang SM, 2005. A study of effect and application on yield and quality of soybean on applying seed coating formulation. Master dissertation. Jilin: Yanbian University. [张树民, 2005. 种衣剂对大豆产量和品质的影响及应用研究. 硕士学位论文. 吉林: 延边大学.]
- Zhou R, Lin YE, 2002. Effects on development and reproduction of seeding coating of pumpkin. *Seed*, 125(5): 63. [周荣, 林毓娥, 2002. 南瓜种子包衣对其生长发育及产量影响的探讨. *种子*, 125(5): 63.]
- Zong JP, Wei SJ, Wang JY, Luo WC, 2009. System is distribution of imidacloprid in tomato crop and its control effect against bemisia tabaci with foliar spraying or root pouring. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 11(2): 219–224. [宗建平, 魏书娟, 王景阳, 罗万春, 2009. 喷雾和灌根施药后吡虫啉在番茄植株中的分布及其对烟粉虱的防效. *农药学报*, 11(2): 219–224.]