

间作作物与生物药剂对梨园土壤化学农药残留和理化性质的协同调控作用

何 凯¹, 张建设², 赵印勇², 刘须祥², 花日茂¹, 巫厚长^{1*}

(1.安徽农业大学资源与环境学院, 农业部合肥农业环境科学观测实验站, 安徽 合肥 230036; 2.砀山县酥梨种质资源省级自然保护区办公室, 安徽 砀山 235300)

摘 要:施用化学农药是导致砀山梨园土壤污染的主要因素。本研究系统检测了梨园化学农药残留时空分布, 定量评价了间作作物与生物药剂结合对梨园土壤理化性状和农药残留的调控作用。春季、秋季分别检测了 0~20、20~40、40~60 cm 土壤主要化学农药检出率和残留量。调控作用试验设计为: ①间作白三叶草+0.3% SAVONA1200X+1% 申嗪霉素 2000X 替代 50% 常规施药化学农药用量; ②间作桔梗+0.3% SAVONA1200X+1% 申嗪霉素 2000X 替代 50% 常规施药化学农药用量; ③对照: 人工除草+常规施药。每个处理重复 3 次。结果显示: 主要化学农药检出率和残留量为: 0~20 cm>20~40 cm>40~60 cm, 秋季>春季, 表明土壤化学农药残留主要分布在 0~40 cm 土层, 来源于当年施用的化学药剂。通过 2 年调控试验, 处理①和② 0~40 cm 的土壤中苯醚甲环唑残留量分别为 17.00 ± 0.82 、 $5.67 \pm 1.25 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 显著低于对照 $57.67 \pm 1.70 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$; 毒死蜱分别为 3 ± 0.00 、 $2 \pm 0.00 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 显著低于对照 $4 \pm 0.00 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$; 吡虫啉分别为 103.33 ± 1.70 、 $180.00 \pm 4.08 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 显著低于对照 $401.67 \pm 13.12 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。桔梗对土壤中的氮吸收作用显著, 白三叶草固氮作用显著, 桔梗、白三叶草对土壤中的磷拦截作用显著。晴天测试的土壤含水量处理①和②显著高于对照, 2014 年 7 月 26 日 12:30 和 15:30 地表温度处理①和②均显著低于人工除草地。

关键词:白三叶草; 桔梗; 梨树; 间作; 生物药剂; 土壤理化性状; 化学农药残留

中图分类号: S181

文献标志码: A

文章编号: 2095-6819(2015)02-0209-06

doi: 10.13254/j.jare.2014.0373

Synergistic Regulation of Combining Intercrops with Biological Agent on Chemical Pesticide Residues and Physicochemical Characters in Pear Orchard Soil

HE Kai¹, ZHANG Jian-she², ZHAO Yin-yong², LIU Xu-xiang², HUA Ri-mao¹, WU Hou-zhang^{1*}

(1. School of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei Scientific Observing and Experimental Station of Agro-Environment, Ministry of Agriculture, Hefei 230036, China; 2. Dangshan County Provincial Natural Reserve Office of Germplasm Resources of Suli Pear, Dangshan 235300, China)

Abstract: Application of chemical pesticides is the main cause that leads the soil pollution in Dangshan pear orchard. This research tested systematically the spatial and temporal distribution of chemical pesticide residues and evaluated quantitatively the synergistic regulation of combining intercrops with biological agent on physicochemical characters and chemical pesticide residues in pear orchard soil. We examined the detectable rates and residues of main chemical pesticides in the depth of 0~20, 20~40 cm and 40~60 cm soil both in spring and autumn. The manipulating experiment was designed as: ① Intercropping *Trifolium repens*+0.3% SAVONA1200X+1% Phenazino-1-carboxylic acid 2000X substituted 50% of the amount of routine application of chemical pesticides; ② Intercropping *Platycodon grandiflorum*+0.3% SAVONA1200X+1% Phenazino-1-carboxylic acid 2000X substituted 50% of the amount of routine application of chemical pesticides; ③ Control: manual weeding+the routine application of chemical pesticides. Each of treatments was repeated three times. The results demonstrated that the orders of the detectable rate and residue of main chemical pesticides were 0~20 cm>20~40 cm>40~60 cm and autumn>spring, which showed the soil contamination of chemical pesticides was concentrated in the depth of 0~40 cm soil and caused mainly by chemical agent of current season application. After 2 years of the manipulation experiment, the residue of difenoconazole in the depth of 0~40 cm soil in treatment ① and ② was 17.00 ± 0.82 , $5.67 \pm 1.25 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ respectively, which were significantly lower than $57.67 \pm 1.70 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ in the control. The

收稿日期: 2014-12-29

基金项目: 安徽省省级环保课题(2013-006); 国家科技支撑计划项目(2012BAK17B12); 安徽农业大学学科提升项目(XKTS2013004)

作者简介: 何 凯(1989—), 男, 硕士, 主要研究方向为群落生态学和生态工程。E-mail: hekai1110@163.com

* 通信作者: 巫厚长 E-mail: houzhongw@ahau.edu.cn

residue of chlorpyrifos in the depth of 0~40 cm soil in treatment ① and ② was 3 ± 0.00 , $2\pm0.00 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ respectively, which were significantly lower than $4\pm0.00 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ in the control. The residue of imidacloprid in the depth of 0~40 cm soil in treatment ① and ② was 103.33 ± 1.70 , $180.00\pm4.08 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ respectively, which were significantly lower than $401.67\pm13.12 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ in the control. *Platycodon grandiflorum* had a significant effect on assimilating nitrogen in the soil. *Trifolium repens* had a significant effect on fixation of nitrogen. Both *Platycodon grandiflorum* and *Trifolium repens* had an apparent effect on intercepting phosphorus in the soil. The water content of soil examined in sunny day was significantly higher in treatment ① and ② than in the control. The temperatures of surface soil examined at 12:30 and 15:30 on July 26th, 2014 in treatment ① and ② were significantly lower than in the control.

Keywords: *Trifolium repens*; *Platycodon grandiflorum*; pear tree; intercrop; biological agent; physicochemical characters of soil; pesticide residue in soil

化学农药是控制植物病虫害的有效药物,对农业的增产、保收和保存等方面起了非常大的作用。在传统的果园生态系统中,一直都是以高剂量化学农药输入来达到控制果树病虫害的目的。但是当化学农药落入土壤中以后,通过挥发、扩散、迁移转入大气、水体和生物体中,导致一系列的环境问题、健康风险和生物多样性丧失^[1]。仅美国每年因农药环境危害折合经济损失就超过 80 亿美元^[2]。降低化学农药施用量是当前集约农业的首要问题,已有的研究表明:在单一农田生态系统中提高植物多样性能够增强生物防治效果,控制有害生物入侵,减少或消除化学农药的施用,防治水土流失等生态系统服务功能^[3]。果园是较为持久的生态系统,不像小麦、玉米等大田作物因季节性收获而使生态系统功能中断,因此为各种害虫和天敌提供了良好的生境连续性,是各种昆虫种群波幅相对稳定,对害虫最易实行生态调控的地方^[4-5]。几十年来,果园自然天敌控制害虫的生态系统服务重要性越来越受重视,果园自然天敌主要控制了螨、蚜虫、食心虫、木虱的为害^[6-7]。自然天敌对梨园梨木虱、对苹果园叶螨的控制作用已有报道^[8-9]。果园间作作物,可以通过物理屏障、视觉干扰、气味隐蔽以及化学物质驱避等机制驱避干扰害虫对果树的识别和定居,也为自然天敌提供栖息和庇护场所,良好的果园生态环境可促使周围农田生态系统中的天敌因季节性变动向果园迁移,并通过不同生态系统之间的运动,扩大天敌种群数量达到系统控制果园害虫的效果^[10-12]。白三叶草(*Trifolium repens*)为多年生牧草,繁殖能力极强,茎匍匐生长,长 30~60 cm,主根短,侧根发达,根瘤固氮,春播的当年和秋播的次年就能形成密集草层,花期 5—10 月,招引多种自然天敌定居^[13]。桔梗(*Platycodon grandiflorum*)为多年生草本药用植物,6—9 月开花^[14]。梨园间作白三叶草和桔梗与生物药剂结合,生态控制梨园病虫害,减少化学农药的施用量尚无报道。本研究在系统检测梨园化学农药残留时空分布的基础上,

通过 2 年的调控作用实验,定量评价间作作物与生物药剂结合对梨园土壤农药残留和理化性状的调控作用,旨在为梨园化学农药减量化施用提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验设计

供试梨园为砀山酥梨种质资源省级自然保护区,梨树 50 年树龄,株行距为 4 m×8 m,树体生长健壮。试验设置 3 个处理:①间作白三叶草+0.3%SAVON-A1200X+1%申唛霉素 2000X 替代 50%常规施药化学农药用量;②间作桔梗+0.3%SAVON-A1200X+1%申唛霉素 2000X 替代 50%常规施药化学农药用量;③对照:人工除草+常规施药。每个处理重复 3 次。各处理面积均为 3×666.7 m²。间作作物于 2013 年 4 月上旬播种。SAVON 是一种源自天然钾盐,经特别组配而成的生物杀虫剂(科伯特(北京)农业有限公司生产)。申唛霉素是一种抗菌素(江西珀乐农作物工程有限公司生产)。

1.2 土壤样品的采集

2012 年 4 月 10 日采集保护区酥梨施药前土壤,共 10 个点,土壤深度 0~20、20~40、40~60 cm,共计 30 个样品;2012 年 9 月 17 日采集保护区酥梨采收前土壤,共 6 个点,土壤深度 0~20、20~40、40~60 cm 共计 18 个样品,待测梨园本底化学农药残留。

2014 年 8 月 6 日分别在 3 个处理区每个重复中随机设 3 个取样点,土壤深度 0~40 cm,共计 27 个样品,待测调控试验后每个处理区化学农药残留。

2014 年 4 月 26 日、5 月 10 日、6 月 6 日、7 月 6 日和 8 月 6 日分别在 3 个处理区每个重复中随机设 5 个取样点,土壤深度 0~40 cm,每次共计 45 个样品,待测土壤理化性状。

1.3 土壤化学农药残留的测定

样土中农药残留采用气相色谱法和超高效液相色谱-串联质谱法测定(食品中农药最大残留限量 GB

2763—2012)。
1.4 土壤理化性状的测定^[15]
土壤称取湿重后在 105 ℃下烘干 6 h, 取出称干重, 计算含水量。土壤水含量=(湿重-干重)/湿重×100%。

根据所测得的土壤湿重和含水量,采用环刀法公式计算土壤容重: $d=m/[V(1+W)]$
式中: d 为土壤容重($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$), m 为土壤的湿重(g), V 为环刀的体积(cm^3), W 为样品的含水量。

样土中有机质采用重铬酸钾容量法测定,全氮采用重铬酸钾-硫酸消化法测定,碱解氮采用碱扩散法测定,速效磷采用碳酸氢钠法测定。

在 2014 年 7 月 26 日 12:30 和 15:30, 分别在 3 个处理区每个重复中随机选取 4 个样点,测量土壤表层温度。

1.5 数据处理和分析^[16]
采用 Excel 计算软件处理数据,不同处理的多重分析采用 Duncan 新复极差法检验。

2 结果与分析

2.1 调控试验前梨园土壤农药残留时空分布

由表 1 可知,毒死蜱、溴氰菊酯、氰戊菊酯和 op'-DDT 在 2012 年春季各采样深度和秋季 40~60 cm 均

未检测到。秋季溴氰菊酯和氰戊菊酯在 0~20 cm 的检出率(66.67%、100%)高于在 20~40 cm 的检出率(16.67%、83.3%); 氰戊菊酯在 0~20 cm 的残留量($34.70\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)显著高于在 20~40 cm 的残留量($2.70\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$);溴氰菊酯在 0~20 cm 的残留量($36.50\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)与在 20~40 cm 的残留量($36.10\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)无显著差异;毒死蜱在 0~20 cm 的检出率(83.33%)低于在 20~40 cm 的检出率(100%),在 0~20 cm 的残留量($8.70\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)显著低于在 20~40 cm 的残留量($11.20\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)。表明毒死蜱、溴氰菊酯和氰戊菊酯在土壤中的残留主要分布在 0~40 cm 土层,来源于当年施用的农药。

2.2 不同处理对土壤中农药残留的影响

2014 年桔梗间作区和白三叶草间作区土壤中苯醚甲环唑、毒死蜱和吡虫啉残留量均显著低于人工除草地(表 2)。表明梨园间作白三叶草+0.3%SAVON-A1200X+1%申嗪霉素 2000X 替代 50%常规施药化学农药用量,间作桔梗+0.3%SAVONA1200X+1%申嗪霉素 2000X 替代 50%常规施药化学农药用量的调控措施对土壤中当年施用的农药苯醚甲环唑、毒死蜱和吡虫啉残留控制效果显著。

2.3 不同处理对土壤养分的影响

表 3 显示桔梗间作区碱解氮、全氮含量均为 3 次

表 1 不同季节不同深度土壤中化学农药检出率和残留量(2012 年)
Table 1 The detectable rate and residue of chemical pesticide in soil in different depths and seasons (2012)

农药 Pesticide	采样深度 Depth/cm	春季 Spring		秋季 Autumn	
		检出率 Detectable rate/%	残留量 Residue/ $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	检出率 Detectable rate/%	残留量 Residue/ $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$
pp'-DDE	0~20	100	63.10±0.05a	100	161.30±0.02a
	20~40	60.00	47.10±0.16b	100	171.50±0.02a
	40~60	20.00	7.70±0.02c	90.00	43.00±0.02b
op'-DDT	0~20	0	0	66.67	9.30±0.01a
	20~40	0	0	50.00	7.80±0.01b
	40~60	0	0	0	0c
毒死蜱 Chlorpyrifos	0~20	0	0	83.33	8.70±0b
	20~40	0	0	100	11.20±0a
	40~60	0	0	0	0c
溴氰菊酯 Deltamethrin	0~20	0	0	66.67	36.50±0.01a
	20~40	0	0	16.67	36.10±0.02a
	40~60	0	0	0	0b
氰戊菊酯 Fenvalerate	0~20	0	0	100	34.70±0.06a
	20~40	0	0	83.33	2.70±0.01b
	40~60	0	0	0	0c

注:表中数据为平均数±标准差;同列数据后标有相同小写字母者表示差异不显著($P>0.05$)。下同。
Note: Data in the table are mean±SD; Means in the same column followed by the same letter are not significantly different at $P>0.05$. The same below.

显著低于人工除草区,2 次无显著差异。白三叶草间作区碱解氮含量 3 次显著高于人工除草区,2 次无显著差异;全氮含量 1 次显著高于人工除草区,4 次无显著差异。表明桔梗对土壤中的氮吸收作用显著,白三叶草固氮作用显著。桔梗、白三叶草间作区速效磷含量均 4 次显著高于人工除草区,1 次无显著差异,表明桔梗、白三叶草对土壤中磷的拦截作用显著。

2.4 不同处理对土壤含水量和容重的影响

2014 年 5 月 10 日和 7 月 6 日晴天,白三叶草间作区和桔梗间作区土壤的含水量均显著高于人工除草区(表 4)。4 月 26 日、6 月 6 日和 8 月 6 日为阴雨天,4 月 26 日和 8 月 6 日白三叶草间作区、桔梗间作

区与人工除草区之间差异不显著,6 月 6 日桔梗间作区、白三叶草间作区的含水量显著低于人工除草区。表明梨园间作白三叶草和桔梗作物土壤保水能力显著提高,有效地抑制土壤水分的蒸发。

2.5 不同处理对土壤表层温度的影响

2014 年 7 月 26 日 12:30 和 15:30 桔梗间作区和三叶草间作区土壤表层温度显著低于人工除草,表明间作白三叶草和桔梗均可显著缓冲土壤表层温度(表 5)。

3 讨论

目前大多数果园中病虫害的防治按“防治历”进

表 2 不同处理对土壤中农药残留量的影响(2014 年)

Table 2 Effects of different treatments on residue of pesticide in soil (2014)

处理 Treatment	残留量 Residual quantity/ $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$			
	苯醚甲环唑 Difenoconazole	毒死蜱 Chlorpyrifos	吡虫啉 Imidacloprid	高效氯氰酯 Beta-cypermethrin
人工除草 Manual weeding	57.67 $\pm$ 1.70a	4.00 $\pm$ 0a	401.67 $\pm$ 13.12a	0
桔梗 <i>T. repens</i>	5.67 $\pm$ 1.25c	2.00 $\pm$ 0c	180.00 $\pm$ 4.08b	0
白三叶草 <i>P. grandiflorum</i>	17.00 $\pm$ 0.82b	3.00 $\pm$ 0b	103.33 $\pm$ 1.70b	0

表 3 不同处理对土壤碱解氮、全氮、速效磷、有机质含量的影响(2014 年)($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Table 3 Effects of different treatments on Alkaline-N, Total N, Avail P, Organic materials in soil (2014) ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

土壤养分 Nutrients	处理 Treatment	4 月 26 日	5 月 10 日	6 月 6 日	7 月 6 日	8 月 6 日
碱解氮 Alkaline-N	人工除草 Manual weeding	33.95 $\pm$ 3.86a	37.76 $\pm$ 4.01b	47.87 $\pm$ 1.75b	34.72 $\pm$ 3.44b	49.83 $\pm$ 1.57a
	桔梗 <i>T. repens</i>	41.72 $\pm$ 10.88a	44.00 $\pm$ 8.31b	29.99 $\pm$ 4.62c	30.51 $\pm$ 0.84c	34.10 $\pm$ 5.13b
	白三叶草 <i>P. grandiflorum</i>	42.63 $\pm$ 6.99a	60.78 $\pm$ 5.18a	97.17 $\pm$ 0.91a	49.81 $\pm$ 1.87a	51.16 $\pm$ 2.15a
全氮 Total N	人工除草 Manual weeding	0.44 $\pm$ 0.02a	0.51 $\pm$ 0.13a	0.59 $\pm$ 0.08a	0.38 $\pm$ 0.01b	0.42 $\pm$ 0.07a
	桔梗 <i>T. repens</i>	0.46 $\pm$ 0.04a	0.40 $\pm$ 0.05b	0.39 $\pm$ 0.02b	0.39 $\pm$ 0.04b	0.37 $\pm$ 0.02b
	白三叶草 <i>P. grandiflorum</i>	0.36 $\pm$ 0.02a	0.50 $\pm$ 0.01a	0.51 $\pm$ 0.09a	0.48 $\pm$ 0.04a	0.43 $\pm$ 0.08a
速效磷 Avail P	人工除草 Manual weeding	35.40 $\pm$ 1.88b	23.06 $\pm$ 3.15c	23.06 $\pm$ 2.47c	28.16 $\pm$ 1.04c	38.23 $\pm$ 9.61a
	桔梗 <i>T. repens</i>	41.07 $\pm$ 2.61a	71.11 $\pm$ 2.24a	31.07 $\pm$ 3.44b	34.33 $\pm$ 1.92b	30.69 $\pm$ 1.19a
	白三叶草 <i>P. grandiflorum</i>	41.45 $\pm$ 2.89a	65.54 $\pm$ 2.71b	45.82 $\pm$ 1.70a	46.59 $\pm$ 1.31a	35.83 $\pm$ 1.17a
有机质 O. M.	人工除草 Manual weeding	8.91 $\pm$ 0.34a	8.09 $\pm$ 2.67a	11.98 $\pm$ 1.49a	7.71 $\pm$ 0.33b	8.56 $\pm$ 1.34a
	桔梗 <i>T. repens</i>	9.11 $\pm$ 0.87a	10.21 $\pm$ 0.98a	7.94 $\pm$ 0.54b	7.90 $\pm$ 0.79b	7.64 $\pm$ 0.39a
	白三叶草 <i>P. grandiflorum</i>	7.24 $\pm$ 1.52b	9.87 $\pm$ 0.28a	10.21 $\pm$ 1.88a	9.62 $\pm$ 0.74a	8.81 $\pm$ 1.60a

表 4 不同处理区间作物对土壤含水量(%)和容重($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)的影响(2014 年)

Table 4 Effects of intercropping in different treatments on water content (%) and bulk density ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) in soil (2014)

处理 Treatment	晴天 Sunny day		雨天 Rainy day			
	5 月 10 日含水量 / 容重	7 月 6 日含水量 / 容重	4 月 26 日含水量 / 容重	6 月 6 日含水量 / 容重	8 月 6 日含水量 / 容重	
人工除草 Manual weeding	1.45 $\pm$ 0.59c/1.43 $\pm$ 0.09a	1.29 $\pm$ 0.86b/1.19 $\pm$ 0.12a	14.13 $\pm$ 3.06a/1.13 $\pm$ 0.17a	4.89 $\pm$ 0.44a/1.38 $\pm$ 0.12a	4.68 $\pm$ 1.16a/1.20 $\pm$ 0.07a	
桔梗 <i>T. repens</i>	2.50 $\pm$ 0.50b/1.35 $\pm$ 0.08a	1.91 $\pm$ 0.39a/1.15 $\pm$ 0.06a	11.82 $\pm$ 0.31a/1.27 $\pm$ 0.18a	3.70 $\pm$ 0.84b/1.36 $\pm$ 0.01a	4.74 $\pm$ 0.72a/1.28 $\pm$ 0.12a	
白三叶草 <i>P. grandiflorum</i>	3.30 $\pm$ 0.22a/1.37 $\pm$ 0.08a	2.54 $\pm$ 0.40a/1.12 $\pm$ 0.11a	11.18 $\pm$ 1.42a/1.04 $\pm$ 0.16a	3.96 $\pm$ 0.68b/1.31 $\pm$ 0.11a	4.26 $\pm$ 0.45a/1.05 $\pm$ 0.09a	

表 5 不同处理对土壤表层温度(℃)的影响(2014 年)

Table 5 Effects of different treatments on soil surface temperature (℃) (2014)

处理 Treatment	时间 Time	
	12:30	15:30
人工除草 Manual weeding	42.23 ± 1.12a	36.68 ± 0.35a
桔梗 <i>T. repens</i>	37.73 ± 0.54b	35.50 ± 0.31b
三叶草 <i>P. grandiflorum</i>	36.35 ± 0.54b	33.93 ± 0.23c

行,即从早春至收果,在规定时间内喷施化学农药^[12]。单一化学农药的过度施用,果园生境的单一化,生态系统内物种之间的制约作用减弱,特别是天敌控制功能的降低,导致次要害虫上升为主要害虫、害虫抗药性增加、害虫再增猖獗。为了控制日益猖獗的病虫草害,果农施药浓度和次数增加,加重了果园化学农药的污染,水果品质 and 安全性下降。果园是个多年生的作物系统,病虫害种类多,关系复杂,且市场需求好果率和品质高的水果。单纯依赖化学农药难以控制病虫害问题,难以解决好果率与品质高的问题。化学农残对农田生态系统的污染已成为主要的、急切的关注问题,迫切需要开发合理的生态控制病虫害技术^[17]。非作物生境具有更稳定和多样化的环境,可以满足天敌的多项需求(例如越冬地、庇护所、替代食物与猎物等),降低天敌死亡率,有利于其在农业景观中的持续存在^[18-19]。我们在果园间作多年生的白三叶草、桔梗,空间配置非作物生境和作物生境,充分利用这两种生境在资源上的互补性,有利于天敌在生境间来回迁移,促进梨园生态系统内物种之间的制约作用,结合在目标病虫害为害盛期喷施生物农药,协同控制病虫害为害,从源头控制化学农药的施药量。研究结果表明了梨园间作白三叶草、桔梗结合喷施生物药剂,改良了梨园土壤理化性状,抑制了杂草生长,保水、保肥能力提高,为自然天敌提供了替代食物资源和庇护场所。在这样的生境中由于自然天敌的控制能力增强,结合针对性地施用生物药剂,目标病虫害种群数量减少,发生时间缩短,化学农药施用量减少了 50%。为了提高生物防治效果和其他生态系统服务,从源头减少农用化学品对果园的污染,需要深入研究果园生物间的相互作用机制,指导果园病虫害生态调控措施的构建。

4 结论

(1)2012 年春季和秋季不同深度土壤中农药残留的本底值检测表明,春季的农药残留量和检出率显

著低于秋季,毒死蜱、溴氰菊酯和氰戊菊酯在土壤中的残留主要分布在 0~40 cm 土层,来源于当年施用的农药。

(2)梨园通过 2 年间作白三叶草、桔梗结合生物药剂的调控试验表明,梨园间作白三叶草、桔梗结合生物药剂均显著控制当年施用的农药苯醚甲环唑、毒死蜱和吡虫啉残留量。

(3)桔梗对土壤中的氮吸收作用显著,白三叶草固氮作用显著,桔梗、白三叶草对土壤中磷的拦截作用显著。2 年的调控试验对梨园土壤有机质含量和容重的改善不显著,尚待进一步试验。

(4)晴天,白三叶草间作区和桔梗间作区土壤的含水量均显著高于人工除草地,梨园间作白三叶草和桔梗作物均显著提高土壤保水能力。酷暑季节中午 12:30 桔梗间作区和三叶草间作区土壤表层温度显著低于人工除草,梨园间作白三叶草和桔梗均可显著缓冲土壤表层温度。

参考文献:

[1] Barriuso E, Andrades M S, Benoit P, et al. Pesticide desorption from soils facilitated by dissolved organic matter coming from composts: experimental data and modelling approach[J]. *Biogeochemistry*, 2011, 106: 117-133.

[2] Pimentel D. Environmental and economic costs of the application of pesticide primarily in the United States[J]. *Environmental, Development and Sustainability*, 2005, 7(2): 229-252.

[3] Jannoyer M L, Bellec F L, Lavigne C, et al. Choosing cover crops to enhance ecological services in orchards: A multiple criteria and systemic approach applied to tropical areas[J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2011(9): 104-112.

[4] Simon S, Bouvier J C, Debras J F. Biodiversity and pest management in orchard systems: A review[J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2010, 30: 139-152.

[5] 魏巍,孔云,张玉萍,等. 梨园芳香植物间作区中国梨木虱与其天敌类群的相互作用[J]. *生态学报*, 2010, 30(8): 2063-2074.

WEI Wei, KONG Yun, ZHANG Yu-ping, et al. The interaction among *Psylla chinensis* and natural enemies in the different aromatic plants intercropping plots of pear orchard[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(8): 2063-2074. (in Chinese)

[6] Brown M W, Mathews C R. Conservation biological control of spirea aphid, *Aphis spiraeicola* (Hemiptera: Aphididae) on apple by providing natural alternative food resources[J]. *European Journal of Entomology*, 2008, 105: 537-540.

[7] Dib H, Libourel G, Warlop F. Entomological and functional role of floral strips in an organic apple orchard: Hymenopteran parasitoids as a case study[J]. *Journal of Insect Conservation*, 2012, 16: 315-318.

[8] Shaltiel L, Coll M. Reduction of pear psylla damage by the predatory bug

- Anthocoris nemoralis* (Heteroptera: Anthocoridae): the importance of orchard colonization time and neighbouring vegetation[J]. *Biocontrol Science and Technology*, 2004, 14: 811–821.
- [9] Solomon M G, Cross J V, Fitz Gerald J D, et al. Biocontrol of pests of apples and pears in northern and central Europe—3. Predators[J]. *Biocontrol Science and Technology*, 2000, 10(2): 91–128.
- [10] Blaauw B, Ufusi R. Larger wildflower plantings increase natural enemy density, diversity, and biological control of sentinel prey, without increasing herbivore density[J]. *Ecological Entomology*, 2012, 37: 386–394.
- [11] Bianchi F J J A, Booij C J H, Tscharntke T. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control[J]. *Proceedings of the Royal Society B*, 2006, 273: 1715–1727.
- [12] 孔建, 王海燕, 赵白鸽, 等. 苹果园主要害虫生态调控体系的研究[J]. *生态学报*, 2001, 21(5): 789–794.
KONG Jian, WANG Hai-yan, ZHAO Bai-ge, et al. Study on ecological regulation system of the pest control in apple orchard[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(5): 789–794.(in Chinese)
- [13] 向佐湘, 肖润林, 王久荣, 等. 间种白三叶草对亚热带茶园土壤生态系统的影响[J]. *草业学报*, 2008, 17(1): 29–35.
XIANG Zuo-xiang, XIAO Run-lin, WANG Jiu-rong, et al. Effects of interplanting *Trifolium repens* in tea plantation on soil ecology in subtropical hilly region[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2008, 17(1): 29–35. (in Chinese)
- [14] 李美善, 严一字, 朴锦, 等. 不同土壤条件下桔梗种质资源的比较试验[J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(17): 7988–7990.
LI Mei-shan, YAN Yi-zi, PU Jin, et al. Comparative trial on the germplasm resources of *Platycodon grandiflorum* in different soils[J]. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 2009, 37(17): 7988–7990. (in Chinese)
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
BAO Shi-dan. The analysis of soil agricultural Chemistry[M]. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2005. (in Chinese)
- [16] 李喜春, 邵云, 姜丽娜. 生物统计学[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
LI Xi-chun, SHAO Yun, JIANG Li-na. Biostatistics[M]. Beijing: Science Press, 2012. (in Chinese)
- [17] Ruscha A, Valantin-Morison M, Sarthou J P, et al. Effect of crop management and landscape context on insect pest populations and crop damage[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2013, 166: 118–125.
- [18] 戴漂漂, 张旭珠, 肖晨子, 等. 农业景观害虫控制生境管理及植物配置方法[J]. *中国生态农业学报*, 2015, 23(1): 9–19.
DAI Piao-piao, ZHANG Xu-zhu, XIAO Chen-zi, et al. Habitat management and plant configuration for biological pest control in agricultural landscapes[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2015, 23(1): 9–19. (in Chinese)
- [19] Fiedler A K, Landis D A, Wratten S D. Maximizing ecosystem services from conservation biological control: The role of habitat management[J]. *Biological Control*, 2008, 45(2): 254–271.