

小麦间作豌豆对麦长管蚜及其主要天敌种群动态的影响

周海波^{1,2}, 陈巨莲^{1,*}, 程登发¹, 刘勇², 孙京瑞¹

(1. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193;

2. 山东农业大学植物保护学院, 山东泰安 271018)

摘要: 为探索麦田物种多样性对麦长管蚜 *Sitobion avenae* 的生态调控效应, 于 2007 年 10 月至 2008 年 7 月在河北省廊坊市进行田间小区试验, 系统调查了豌豆与小麦分别以 2:2, 2:4, 2:6 和 2:8 比例间作(分别记作 2-2 间作、2-4 间作、2-6 间作和 2-8 间作)种植模式下麦长管蚜种群数量的时序动态, 同时分析了麦田主要天敌种群数量的时序动态、丰富度、多样性指数及均匀度的变化。结果表明:在麦长管蚜发生高峰期, 小麦与豌豆间作麦长管蚜无翅蚜的百株蚜量(平方根转换)极显著低于单作田($P < 0.01$), 其中小麦单作(77.38) > 2-2 间作(68.62) > 2-4 间作(68.51) > 2-8 间作(65.19) > 2-6 间作(64.94)。尽管不同种植模式下, 麦长管蚜主要天敌的动态变化趋势基本一致, 但间作处理的优势天敌瓢虫类和蚜茧蜂类均有较高的种群密度, 天敌群落的丰富度明显提高, Shannon-Wiener 多样性指数增加, 但均匀度下降。总之, 小麦间作豌豆不仅有效降低了麦长管蚜的种群数量, 同时也增加了天敌控制害虫的稳定性和可持续性。

关键词: 小麦; 麦长管蚜; 天敌; 物种多样性; 种群动态; 间作

中图分类号: Q968.1 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2009)07-0775-08

Effects of wheat-pea intercropping on the population dynamics of *Sitobion avenae* (Homoptera: Aphididae) and its main natural enemies

ZHOU Hai-Bo^{1,2}, CHEN Ju-Lian^{1,*}, CHENG Deng-Fa¹, LIU Yong², SUN Jing-Rui¹ (1. State Key Laboratory of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China)

Abstract: To study the ecological regulation effects of species diversity in wheat fields on *Sitobion avenae*, field experiments were carried out in Langfang Experimental Station of Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences from October, 2007 to July, 2008. The intercropping patterns of wheat and pea, by the proportions of planting row of pea and wheat in 2:2, 2:4, 2:6 and 2:8 (referred to as 2-2 intercropping, 2-4 intercropping, 2-6 intercropping and 2-8 intercropping, respectively), were plotted, and the field cultivar monoculture of wheat was planted as the control. Population dynamics of apterae and alatae *S. avenae*, population dynamics, species richness, diversity index and evenness of main natural enemies were systematically investigated and analyzed. The results showed that, compared with monoculture of wheat, the amount of *S. avenae* apterae per 100 plants (square-root transformed) in aphid peak period were very significantly lower in the intercropping treatments than in the control ($P < 0.01$), and the cascade was as wheat monoculture (77.38) > 2-2 intercropping (68.62) > 2-4 intercropping (68.51) > 2-8 intercropping (65.19) > 2-6 intercropping (64.94). Although population dynamics of main natural enemies showed a similar trend with time, wheat-pea intercropping could preserve and augment natural enemies more than monoculture of wheat, and there were higher population densities of ladybeetles and aphid parasitoids, and higher species richness and diversity index of natural enemies, but lower evenness index in every intercropping field. It is so concluded that wheat-pea intercropping system can not only reduce the population of *S. avenae*, but also improve the stability and sustainability of controlling wheat pests by natural enemies.

基金项目: “973”计划项目(2006CB10023); “十一五”国家科技支撑计划(2006BAD08A05); 粮食丰产科技工程(2006BAD02A16); 行业科研专项(200803002); 中-比合作项目; 现代农业产业技术体系建设专项资金(nycytx-03)

作者简介: 周海波, 男, 1982年11月生, 山东人, 硕士研究生, 主要从事昆虫化学生态研究, E-mail: zhouhaibo417@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: jlchen@ippcaas.cn

收稿日期 Received: 2008-12-27; 接受日期 Accepted: 2009-04-29

Key words: Wheat; *Sitobion avenae*; natural enemies; species diversity; population dynamics; intercropping

麦长管蚜 *Sitobion avenae* (Fabricius) 是我国黄淮海麦区麦蚜的优势种, 可直接刺吸小麦叶片和麦穗汁液, 还可传播病毒病, 造成小麦严重减产并影响品质。面对重大虫害的威胁, 单纯的化学防治常常带来生物多样性被破坏、环境污染加重等突出问题。为了解决这一矛盾, 丁岩钦(1993)提出了“生态调控”害虫的理念, 利用生物多样性控制害虫也就引起人们广泛的关注。

在农田系统中, 大面积种植单一品种, 容易导致系统中植被较单纯, 群落结构趋于简单, 群落的物种数和个体数都比自然生态系统中少(Trenbath, 1999; 吕昭智等, 2005)。然而, 农田系统的稳定性会因物种的合理增加而提高(Trenbath, 1999), 在农田中增种开花作物的条带, 有效增加农田生物多样性的同时, 还为害虫天敌提供花粉、花蜜、花外蜜腺等食物资源(Landis *et al.*, 2000; Irvin and Hoddle, 2007), 天敌的繁殖力、寿命、寄生率也会明显提高(Berndt and Wratten, 2005; Irvin *et al.*, 2006), 从而提高自然天敌的适合度, 增强了生物防治的效果。

利用物种多样性来控制作物害虫、保护天敌的实例已经非常普遍, 并且取得明显的控害和保益效果, 例如玉米间作高粱、蚕豆(Songa *et al.*, 2007), 苜蓿间作棉花(Lin *et al.*, 2003), 小麦间作苜蓿(Ma *et al.*, 2007)、油菜(Ferguson *et al.*, 2006; 王万磊等, 2008)、大蒜(王万磊等, 2008)等等。菜用豌豆作为一种新兴特种蔬菜在我国各地发展迅速, 栽培面积逐年扩大, 小麦与豌豆进行间作已经作为一

种种植模式被提出(赵伯善等, 1995; 贾志红等, 2004), 但对于该种植模式的控害保益效果、田间配置模式以及在生产中的可操作性和经济效益等还未见报道。本文研究了麦田间作不同量的豌豆对麦长管蚜及其主要天敌的影响, 旨在为实现麦长管蚜的生态调控提供新思路 and 理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试作物品种

小麦 *Triticum aestivum*: 北京 837 (黄淮海麦区主栽品种), 为中国农业科学院植物保护研究所植保信息技术研究课题组保留的种质。豌豆 *Pisum sativum*: 中豌 5 号, 由中国农业科学院北京畜牧兽医研究所提供。

1.2 试验小区设置

试验在河北省廊坊市中国农业科学院植物保护研究所廊坊基地(116°69'E, 39°52'N)进行, 设 6 个处理: 豌豆与小麦分别以 2:2, 2:4, 2:6, 2:8 行间作, 分别记作 2-2 间作、2-4 间作、2-6 间作和 2-8 间作, 小麦、豌豆分别单作作为对照。小区面积均为 67 m², 所有小区试验地的宽度均为 7.05 m, 但种植的宽度分别为 7.05, 5.88, 5.00, 6.20, 6.70 和 6.70 m, 多余的宽度作为空白隔离带(如图 1 所示, 小区内的种植面积以长×宽表示, 单位:m); 各处理重复 3 次。试验采用完全随机区组设计, 小区间隔至少 2 m 空行, 试验田四周种植 1 m 宽的对照小麦作保护行。

2-6间作 2-6 intercropping 13.4 m × 5.00 m	豌豆单作 Pea monoculture 10 m × 6.70 m	2-2间作 2-2 intercropping 9.5 m × 7.05 m	小麦单作 Wheat monoculture 10 m × 6.70 m	2-8间作 2-8 intercropping 10.8 m × 6.20 m	2-4间作 2-4 intercropping 11.4 m × 5.88 m
2-4间作 2-4 intercropping	小麦单作 Wheat monoculture	2-8间作 2-8 intercropping	2-6间作 2-6 intercropping	2-2间作 2-2 intercropping	豌豆单作 Pea monoculture
豌豆单作 Pea monoculture	2-6间作 2-6 intercropping	2-4间作 2-4 intercropping	2-8间作 2-8 intercropping	小麦单作 Wheat monoculture	2-2间作 2-2 intercropping

图 1 小区田间分布示意图

Fig. 1 The schematic diagram of experimental plots in field

小麦在 2007 年 10 月 20 日播种, 同时预留出种植豌豆的区域, 豌豆于 2008 年 3 月 11 日播种, 小麦和豌豆的收获时间分别为 2008 年 6 月 29 日和 6 月 5 日。小麦行距为 30 cm, 豌豆的行距为 40 cm, 豌豆与小麦之间的间距为 40 cm。所选试验

田土壤特点及田间管理一致, 整个试验期不施用其他任何农药及除草剂。

1.3 田间调查方法

从 4 月中下旬开始调查至 6 月初, 每隔 4 d 调查一次, 部分天敌每隔 5 d 调查一次。对麦蚜的调

查采用“Z”形抽样法, 每个小区选取 5 个点, 每点连续抽取 10 株小麦植株, 并记录麦长管蚜无翅蚜数量。对麦长管蚜有翅成蚜的调查采用粘性黄板诱捕法 (Zhu and Park, 2005), 将黄板 (30 cm × 20 cm) 置于试验小区中央, 黄板下缘距地面 1.2 m, 每次调查后更换黄板; 对瓢虫、捕食性蜘蛛、食蚜蝇幼虫的调查采用直接记数法, 每个小区取 1 个样点 (在小区中央固定 1 m², 并随机向四周各方向延伸 0.5 m 长); 对寄生蜂、草蛉、食蚜蝇成虫等的调查采用网捕法, 每个小区取 1 个样点 (1 m²), 每点扫 10 网 (网口直径 30 cm, 网深 50 cm, 一个往返为一网, 网幅为 1 m); 将采到的样本用 75% 的酒精浸泡, 带回实验室鉴定物种并记数。

1.4 麦蚜优势天敌群落多样性参数的分析

物种丰富度 (species richness) 为不同处理方式下麦长管蚜天敌群落中的物种数, 以 S 表示。

群落均匀度 (evenness), 以 Pielou (1975) 提出的均匀度指数 J' 表示: $J' = H'/H'_{\max} = H'/\ln S$; S 为总物种数。

群落多样性指数 (diversity of community), 以 Shannon-Wiener (1963) 多样性指数表示:

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln(P_i), P_i \text{ 为第 } i \text{ 物种的个体数量占群落内各物种个体总数的比率。}$$

1.5 数据转换和统计分析

由于数据的非正态性影响正常的信息分析, 因

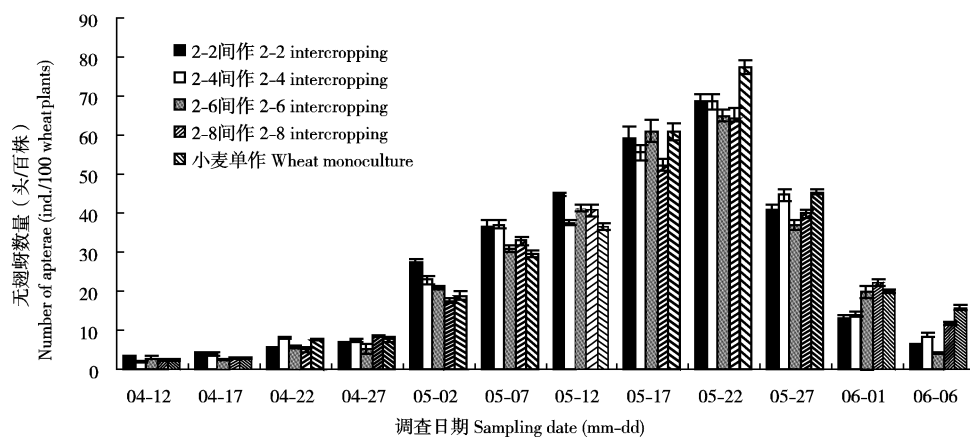


图 2 不同处理方式下麦长管蚜无翅蚜 (平方根转换) 的种群动态

Fig. 2 Population dynamics of *Sitobion avenae* apterae (square-root transformed) in different planting patterns

图中数据均为平均值 ± 标准误, 下同。Data are mean ± SE, the same below.

小麦间作豌豆处理的不同模式, 除了不同程度的降低高峰期蚜虫量之外, 对小麦整个调查期间的麦长管蚜无翅蚜总量也有极显著的影响。其所有调查日期无翅蚜总数量分别为: 小麦单作 324.71 头 > 2-2 间作 315.29 头 > 2-4 间作 310.17 头 > 2-8 间作

此对麦长管蚜无翅蚜进行平方根 \sqrt{x} 转换; 对麦长管蚜有翅蚜、瓢虫以及蚜茧蜂进行平方根 $\sqrt{x+1}$ 转换以达到数据规范化的目的。

采用 SAS9.0 软件对试验数据进行统计分析, 对各处理进行方差分析和 Duncan 氏多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同种植方式对麦长管蚜种群动态的影响

2.1.1 不同处理方式下麦长管蚜无翅蚜的种群动态: 从图 2 可以看出, 不同处理方式下麦长管蚜无翅蚜种群数量的时序变化趋势基本一致, 为单峰型。无翅蚜在 4 月 27 日前种群增长缓慢, 间作处理也没有表现出控害的优势, 之后种群数量迅速增加, 5 月 2 日至 12 日, 部分间作处理的蚜量反而高于小麦单作处理; 5 月 17 日至 22 日达到高峰。高峰期的百株平均蚜量 (头/百株) 为: 小麦单作 77.38 > 2-2 间作 68.62 > 2-4 间作 68.51 > 2-8 间作 65.19 > 2-6 间作 64.94 ($df=4, F=24.92, P<0.01$)。小麦单作的无翅蚜量高于所有小麦间作, 差异极显著 ($P<0.01$), 2-2 与 2-4 间作差异不显著, 2-6 与 2-8 间作差异不显著, 但 2-2、2-4 间作与 2-6、2-8 间作差异显著 ($P<0.05$)。5 月 27 日以后, 小麦单作处理的蚜量依然高于部分间作处理。

301.13 头 > 2-6 间作 296.62 头, 除 2-2 间作外, 小麦单作的蚜量显著高于其他间作 ($df=4, F=12.24, P<0.05$)。小麦单作与 2-6 间作、2-8 间作差异极显著 ($P<0.01$); 小麦单作与 2-2 间作没有明显差异; 2-8 间作与 2-6 间作无显著差异, 但 2-6 间作与 2-4 间作、

2-2 间作及小麦单作均有显著差异 ($P < 0.05$)。综上所述,无论是从高峰期蚜量还是从整个调查期间记录的总蚜量来看,2-8 与 2-6 间作模式对无翅型麦长管蚜种群数量具有一定抑制作用。

2.1.2 不同处理方式下麦长管蚜有翅成蚜的种群动态:不同处理方式下麦长管蚜有翅成蚜的种群变动皆为双峰型(图 3)。5 月 2 日至 12 日有翅成蚜出现了第 1 个高峰,从该高峰期的峰值来看,小麦单作为 9.92、2-2 间作为 9.37、2-4 间作为 8.88、2-6 间作为 8.78、2-8 间作为 8.26。小麦单作蚜量显著高

于其他间作 ($df = 4, F = 21.08, P < 0.05$), 2-4 间作与 2-6 间作无明显差异,但 2-6 间作、2-8 间作与单作、2-2 间作和 2-4 间作均有显著差异 ($P < 0.05$)。5 月 22 日有翅成蚜又达到第 2 个高峰期,与第 1 次高峰期不同的是,小麦单作的有翅成蚜量峰值极显著高于其他各间作模式 ($df = 4, F = 53.50, P < 0.01$), 且所有处理的发生量略高于前一个高峰期,2-8 间作有翅成蚜发生量最小,极显著低于其他所有处理 ($P < 0.01$)。

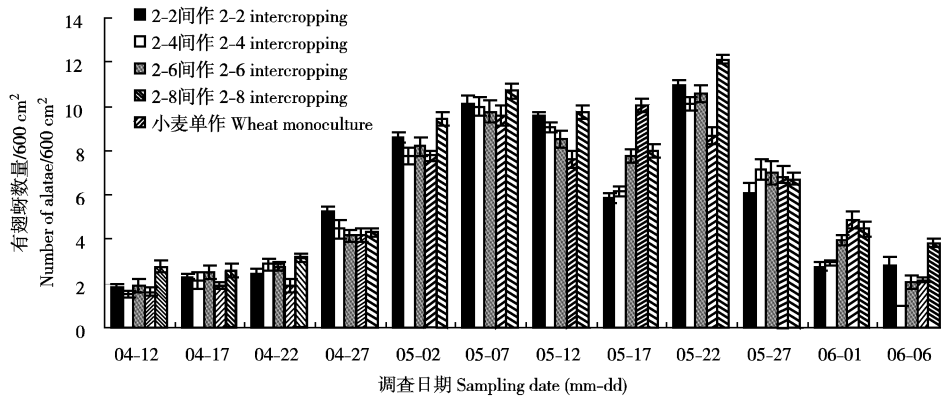


图 3 不同种植方式下麦长管蚜有翅成蚜(平方根转换)的种群动态

Fig. 3 Population dynamics of *Sitobion avenae alatae* (square-root transformed) in different planting patterns

从所有调查日期有翅成蚜的总量来看:小麦单作(77.86) > 2-6 间作(69.17) > 2-2 间作(68.51) > 2-8 间作(67.25) > 2-4 间作(65.20), 小麦单作总蚜量高于其他各间作模式,差异极显著 ($df = 4, F = 69.08, P < 0.01$)。2-8 间作与 2-4 间作没有显著差异 ($P < 0.05$)。尽管小麦单作处理的所有调查日期总蚜量和高峰期的蚜量都显著高于小麦间作处理,但并不是所有日期小麦间作处理都能表现出控

害优势,如 4 月 27 日、5 月 17 日部分间作处理的蚜量反而显著高于小麦单作。

2.2 不同种植方式对麦长管蚜天敌种群动态的影响

2.2.1 对瓢虫种群动态的影响:从田间调查的情况可知:七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* (Linnaeus)、异色瓢虫 *Harmonia axyridis* (Pallas) 和龟纹瓢虫 *Propylaea japonica* (Thunberg) 是当地麦田中瓢虫的优势种。

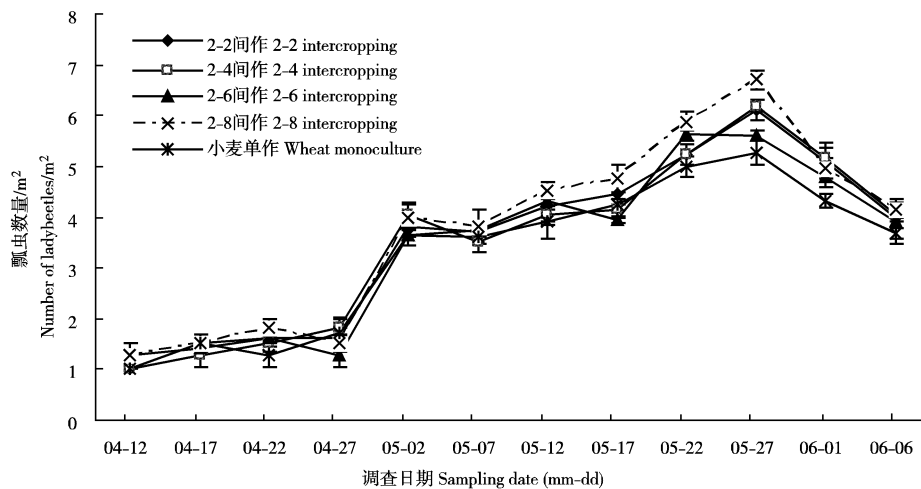


图 4 在不同种植方式下瓢虫(平方根转换)的种群动态

Fig. 4 Population dynamics of ladybeetles (square-root transformed) in different planting patterns

不同处理区瓢虫种群变动趋势一致, 但种群数量存在差异(图 4)。4 月 27 日以前瓢虫种群数量较少, 数量增长缓慢。4 月 27 日以后, 随着麦长管蚜种群数量的激增, 瓢虫种群数量也随之增长, 直到瓢虫的高峰期。小麦与豌豆间作处理的增长速度与增加量都比小麦单作高, 5 月 22 日至 5 月底, 不同处理中的瓢虫种群数量达到高峰。6 月 1 日以后, 瓢虫种群数量也急剧下降。

从整个调查期间瓢虫总量来看, 小麦单作(39.17 头) < 2-6 间作(41.15 头) < 2-4 间作(41.97 头) < 2-2 间作(42.38 头) < 2-8 间作(44.93 头)。调查期内, 小麦单作的瓢虫总量低于各间作处理, 2-8 间作模式的瓢虫量高于其他间作模式, 差异极显著($df=4, F=20.13, P<0.01$), 其余 3 个间作模式之间没有差异。由 5 月 22 日至 6 月 1 日高峰期瓢虫平均数量得知, 2-8 间作模式显著高于其他所有处理($df=4, F=19.44, P<0.05$), 2-2 间作、

2-4 间作及 2-6 间作之间无显著差异, 但极显著高于小麦单作($P<0.01$)。

2.2.2 对蚜茧蜂类种群动态的影响: 田间调查的蚜茧蜂优势种主要为燕麦蚜茧蜂 *Aphidius avenae* (Haliday) 和烟蚜茧蜂 *Aphidius gifuensis* (Ashmead)。这两种蚜茧蜂都是寄生麦长管蚜的内寄生蜂。

调查结果(图 5)表明, 不同处理的蚜茧蜂种群数量的时序变化趋势基本一致, 随着麦蚜数量的增长而增加, 各间作处理蚜茧蜂的种群数量均有增加, 且 5 月 22 日各处理均达到高峰期, 每平方米燕麦蚜茧蜂的平均数量依次为: 2-4 间作(5.52 头) > 2-2 间作(5.12 头) > 2-8 间作(4.97 头) > 2-6 间作(4.66 头) > 小麦单作(4.42 头), 处理之间差异极显著($df=4, F=25.26, P<0.01$)。且 2-4 间作、2-2 间作、2-8 间作蚜茧蜂数量显著高于 2-6 间作和小麦单作($P<0.05$)。5 月 22 日以后, 数量开始骤降, 直到 6 月初, 随蚜虫的迁出而消失。

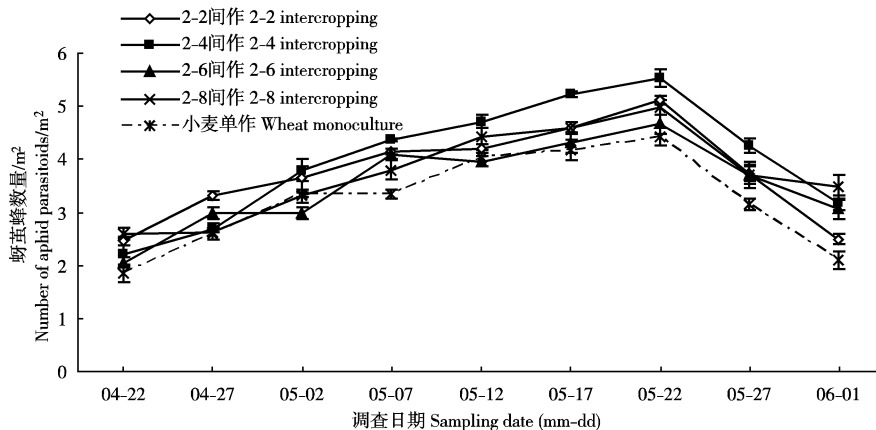


图 5 在不同种植方式下蚜茧蜂(平方根转换)的种群动态

Fig. 5 Population dynamics of aphid parasitoids (square-root transformed) in different planting patterns

2.3 不同种植方式对天敌物种丰富度的影响

Poole (1974) 认为只有物种丰富度这个指标才是唯一真正客观的多样性指标。在整个调查期间,

处理和对照区的天敌群落组成随麦长管蚜种群数量的变化而波动(表 1)。

表 1 不同处理的天敌物种数(S)

Table 1 Species richness of natural enemies under different treatments

日期 Date	2-2 间作 2-2 intercropping	2-4 间作 2-4 intercropping	2-6 间作 2-6 intercropping	2-8 间作 2-8 intercropping	小麦单作 Wheat monoculture
05-07	7.3 ± 0.6	7.0 ± 1.0	8.3 ± 0.6	9.0 ± 2.0	6.3 ± 2.1
05-13	8.7 ± 1.5	9.0 ± 1.0	9.3 ± 0.6	10.3 ± 2.1	7.3 ± 0.6
05-19	11.0 ± 1.0	9.3 ± 2.1	12.0 ± 0.0	12.3 ± 2.9	8.7 ± 1.5
05-25	12.3 ± 0.6	11.3 ± 2.3	12.0 ± 3.5	14.3 ± 1.2	9.7 ± 1.2
05-31	10.0 ± 1.0	9.3 ± 1.2	10.0 ± 1.5	11.0 ± 0.0	7.0 ± 1.0
累计 Total	14.3 ± 1.2 aAB	12.0 ± 1.7 bBC	14.3 ± 0.6 aAB	15.0 ± 0.0 aA	10.0 ± 1.0 cC

表中数据为 3 次重复的平均值(± 标准误), 同一行数据后不同小写字母表示差异达到 5% 显著水平, 不同大写字母的数据之间差异达到 1% 显著水平; 表 2 和 3 同。Means (± SE) in the same line with different small letters have a significant difference at the 5% level, while those with different capital letters have a significant difference at the 1% level. The same for Tables 2 and 3.

通过对天敌累计物种丰富度的比较发现, 2-8 间作(15.0 种) > 2-6 间作(14.3 种) = 2-2 间作(14.3 种) > 2-4 间作(12.0 种) > 小麦单作(10.0 种)。小麦单作物种丰富度最小, 与其他间作处理差异显著($P < 0.05$)。结果表明, 小麦与豌豆间作能够吸引更多的天敌, 各间作处理区天敌丰富度显著升高。

2.4 不同种植方式对天敌群落多样性指数和均匀度指数的影响

从表 2 可知, 处理和对照区的天敌群落多样性

表 2 不同处理下天敌的多样性指数(H')

Table 2 Diversity of community of natural enemies under different treatments

日期 Date	2-2 间作 2-2 intercropping	2-4 间作 2-4 intercropping	2-6 间作 2-6 intercropping	2-8 间作 2-8 intercropping	小麦单作 Wheat monoculture
05-07	2.52 ± 0.08 a	2.44 ± 0.37 a	2.79 ± 0.18 a	2.83 ± 0.29 a	2.43 ± 0.50 a
05-13	2.82 ± 0.22 ab	2.71 ± 0.20 ab	2.80 ± 0.22 ab	2.98 ± 0.32 a	2.42 ± 0.13 b
05-19	2.94 ± 0.02 abc	2.80 ± 0.26 bc	3.19 ± 0.05 a	3.15 ± 0.27 ab	2.69 ± 0.15 c
05-25	3.01 ± 0.04 ab	2.98 ± 0.19 ab	3.03 ± 0.46 ab	3.36 ± 0.16 a	2.85 ± 0.12 b
05-31	2.76 ± 0.06 a	2.75 ± 0.18 a	2.73 ± 0.19 a	2.65 ± 0.15 a	2.00 ± 0.28 b

由表 3 可知: 随着时间的变化, 不同处理天敌群落的均匀度指数均下降, 其原因是随着麦长管蚜数量的剧增, 其优势天敌(如七星瓢虫、异色瓢虫、燕麦蚜茧蜂等)的数量也会增多, 而其他非优势天敌数量变化平稳, 导致天敌群落均匀度下降。在调

指数变化趋势基本一致, 均在 5 月 25 日达到峰值。2-8 间作的多样性指数显著高于小麦单作($P < 0.05$), 各间作处理之间无显著差异。不同处理多样性指数分别为: 2-2 间作为 3.0、2-4 间作为 2.9、2-6 间作为 3.0、2-8 间作为 3.4、小麦单作为 2.9。此后, 随着麦蚜数量的下降, 麦田间的天敌种群的种类和数量发生变化, 天敌的多样性指数有所降低, 6 月初, 小麦单作的多样性指数最低, 间作处理依然有较高的多样性。

查期间, 均匀度指数的平均值分别为: 2-2 间作为 0.859、2-4 间作为 0.863、2-6 间作为 0.869、2-8 间作为 0.862、小麦单作为 0.861, 且各处理间没有显著差异($df = 4$, $F = 0.05$, $P > 0.05$)。

表 3 不同处理下天敌的均匀度指数(J')

Table 3 Evenness of natural enemies under different treatments

日期 Date	2-2 间作 2-2 intercropping	2-4 间作 2-4 intercropping	2-6 间作 2-6 intercropping	2-8 间作 2-8 intercropping	小麦单作 Wheat monoculture
05-07	0.877 ± 0.006	0.869 ± 0.068	0.912 ± 0.033	0.900 ± 0.034	0.933 ± 0.007
05-13	0.910 ± 0.030	0.858 ± 0.041	0.868 ± 0.044	0.890 ± 0.017	0.843 ± 0.026
05-19	0.851 ± 0.029	0.878 ± 0.016	0.891 ± 0.013	0.877 ± 0.022	0.871 ± 0.045
05-25	0.830 ± 0.005	0.855 ± 0.014	0.857 ± 0.047	0.876 ± 0.020	0.872 ± 0.031
05-31	0.832 ± 0.044	0.855 ± 0.019	0.821 ± 0.024	0.767 ± 0.043	0.784 ± 0.063
均值 Mean	0.860 ± 0.014 a	0.863 ± 0.007 a	0.870 ± 0.024 a	0.862 ± 0.014 a	0.861 ± 0.014 a

3 讨论

作物多样性布局是有效增加农田生物多样性的措施之一。多样性的农田生态系统能够造成复杂的视觉和嗅觉刺激, 从而扰乱害虫寻找寄主植物(吕昭智等, 2005), 干扰植食性昆虫在田间的活动, 使之更倾向于少迁入或多迁出。同时, 由于多样性的

生态系统能够为天敌提供替代寄主或更多食物资源和猎物(Landis *et al.*, 2000), 为天敌种类和数量的增加创造了有利条件, 提高了对害虫的控制效果。

试验结果表明: 在所有间作处理田中麦长管蚜的平均数量及高峰期数量显著低于小麦单作田。在麦长管蚜无翅蚜数量到达高峰之前, 间作处理的蚜量并没有明显降低, 这应该与间作田中有较大裸地

有关, 依适当/不适当着陆假说 (appropriate/inappropriate landings) (Finch and Collier, 2000), 当植食性昆虫飞过裸露土地上的植株时, 大多数的植食性昆虫都避免着陆在像土壤颜色的表面, 而更偏着重着陆在寄主植物上。在小麦生长前期, 豌豆植株比较矮小, 再加上其间距较大, 裸地就会较多。随着豌豆的长大, 多样性的优势就表现出来, 导致在麦蚜发生的高峰期, 间作田麦长管蚜数量显著低于小麦单作, 且 2-8 间作模式的优势比较明显。

从对主要天敌的影响来看, 间作处理田中瓢虫和蚜茧蜂的数量高于小麦单作田。除 2-8 间作模式显著有较高的瓢虫量以外, 其他 3 种间作模式之间并没有显著差异。2-6 间作模式的蚜茧蜂数量尽管也高于小麦单作, 但差异不明显, 其他 3 种模式均显著高于小麦单作。间作处理田中天敌的种类较多, 丰富度也高于小麦单作, 除 2-4 间作处理外, 不同间作田丰富度之间并没有显著差异, 这与文献报道的多样化的农田生态系统比纯作系统具有更为丰富和多样的害虫天敌是相一致的。侯茂林和盛承发(1999)和尤民生等(2004)研究认为捕食者大多是多食性的, 能适应较宽的栖境, 再加上复杂环境所提供的避难所使得猎物能够逃避大规模的残杀, 专一性的捕食者种群也不会发生较大的波动, 因而保证了专一性捕食者持续的食物供应。6 月初, 小麦单作的多样性指数变低, 间作处理依然保持较高的多样性, 其中作物多样性系统能够保持有较多物种种类及数量是造成这种差异的重要因素。本文中小麦与豌豆间作对天敌发挥的作用可能体现在这样两个方面: 其一, 豌豆起到了诱集作物的作用, 吸引了较多的植食性昆虫, 为保持天敌较高密度提供了食物条件; 再者, 豌豆植株释放的一些特异性挥发物对天敌可能产生一些吸引作用。其机理有待于进一步研究。

作物间作对麦长管蚜起到了一定的调控作用, 且 2-8 间作与 2-6 间作处理的蚜虫种群密度较低, 而 2-8 间作在吸引天敌方面优于其他种植方式; 另一方面, 作物间作一般是按一定的比例, 在一定的时期种植在主栽作物田中, 如果比例太大, 将会影响主栽作物的产量, 种植者不易接受; 反之, 如果比例太小, 对害虫的控制力就会降低, 起不到应有的效果。对于小麦生产而言, 2-8 间作模式对土地的利用率较高, 产生经济效益的可能性也就最大; 另外, 不同间作模式的天敌多样性指数和均匀度之间也没有显著差异。因此初步提出了豌豆与小麦以

2-8 行间作为最佳模式, 该模式具有一定的推广价值和可操作性。关于从经济效益和生产应用的角度研发小麦与豌豆间作最佳模式和生态调控实用技术, 以及探明间作对蚜虫调控的化学生态机理等还需进一步研究。

参 考 文 献 (References)

- Berndt LA, Wratten SD, 2005. Effects of alyssum flowers on the longevity, fecundity, and sex ratio of the leafroller parasitoid *Dolichogenidea tasmanica*. *Biological Control*, 32: 65–69.
- Ding YQ, 1993. Ecological management of insect population. *Acta Ecologica Sinica*, 13(2): 99–105. [丁岩钦, 1993. 论害虫种群的生态控制. *生态学报*, 13(2): 99–105]
- Ferguson AW, Barari H, Warner DJ, Campbell JM, Smith ET, Watts NP, Williams IH, 2006. Distributions and interactions of the stem miners *Psylliodes chrysocephala* and *Ceutorhynchus pallidactylus* and their parasitoids in a crop of winter oilseed rape (*Brassica napus*). *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 119: 81–92.
- Finch S, Collier RH, 2000. Host-plant selection by insects: a theory based on ‘appropriate/inappropriate landings’ by pest insects of cruciferous plants. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 96: 91–102.
- Hou ML, Sheng CF, 1999. Effect of plant diversity in agroecosystems on insect pest populations. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 10(2): 245–250. [侯茂林, 盛承发, 1999. 农田生态系统植物多样性对害虫种群数量的影响. *应用生态学报*, 10(2): 245–250]
- Irvin NA, Hoddle MS, 2007. Evaluation of floral resources for enhancement of fitness of *Gonatocerus ashmeadi*, an egg parasitoid of the glassy-winged sharpshooter, *Homalodisca vitripennis*. *Biological Control*, 40: 80–88.
- Irvin NA, Scarratt SL, Wratten SD, Frampton CM, Chapman RB, Tylianakis JM, 2006. The effects of floral understoreys on parasitism of leafrollers (Lepidoptera: Tortricidae) on apples in New Zealand. *Agricultural and Forest Entomology*, 8: 25–34.
- Jia ZH, Yang ZP, Zhang YQ, Miao GY, 2004. Study on the quantity of three main colony of soil microbe in wheat farmland. *Journal of Triticeae Crops*, 24(3): 53–56. [贾志红, 杨珍平, 张永清, 苗果园, 2004. 麦田土壤微生物三大种群数量的研究. *麦类作物学报*, 24(3): 53–56]
- Landis DA, Wratten SD, Gurr GM, 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology*, 45: 175–201.
- Lin R, Liang H, Zhang R, Tian C, Ma Y, 2003. Impact of alfalfa/cotton intercropping and management on some aphid predators in China. *Journal of Applied Entomology*, 127: 33–36.
- Lv ZZ, Li JB, Tian WD, Tian CY, 2005. Ecological functions and mechanism of biodiversity in controlling insect pests in agroecosystems. *Arid Zone Research*, 22(3): 400–404. [吕昭智, 李进步, 田卫东, 田长彦, 2005. 生物多样性在害虫控制中的生态功能与机理. *干旱区研究*, 22(3): 400–404]
- Ma KZ, Hao SG, Zhao HY, Kang L, 2007. Strip cropping wheat and

- alfalfa to improve the biological control of the wheat aphid *Macrosiphum avenae* by the mite *Allothrombium ovatum*. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 119: 49 – 52.
- Pielou EC, 1975. *Ecological Diversity*. John Wiley and Sons, New York.
- Poole RW, 1974. *An Introduction to Quantitative Ecology*. McGraw-Hill, New York.
- Songa JM, Jiang N, Schulthess F, Omwega C, 2007. The role of intercropping different cereal species in controlling lepidopteran stemborers on maize in Kenya. *Journal of Applied Entomology*, 131 (1): 40 – 49.
- Trenbath BR, 1999. Multispecies cropping systems in India: Predictions of their productivity, stability, resilience and ecological sustainability. *Agroforestry Systems*, 45: 81 – 107.
- Wang WL, Liu Y, Ji XL, Wang G, Zhou HB, 2008. Effects of wheat-oilseed rape or wheat-garlic intercropping on the population dynamics of *Sitobion avenae* and its main natural enemies. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 19(6): 1 331 – 1 336. [王万磊, 刘勇, 纪祥龙, 王光, 周海波, 2008. 小麦间作大蒜或油菜对麦长管蚜及其主要天敌种群动态的影响. *应用生态学报*, 19(6): 1 331 – 1 336]
- You MS, Liu YF, Hou YM, 2004. Biodiversity and integrated pest management in agroecosystems. *Acta Ecologica Sinica*, 24(1): 117 – 122. [尤民生, 刘雨芳, 侯有明, 2004. 农田生物多样性与害虫综合治理. *生态学报*, 24(1): 117 – 122]
- Zhao BS, Li SX, Li SQ, 1995. The causes of the differences of legume and non legume crop responses to P fertilizers. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 13(2): 45 – 56. [赵伯善, 李生秀, 李世清, 1995. 豆科与非豆科作物对磷肥反应差异根源之探讨. *干旱地区农业研究*, 13(2): 45 – 56]
- Zhu JW, Park KC, 2005. Methyl salicylate, a soybean aphid-induced plant volatile attractive to the predator *Coccinella septempunctata*. *Journal of Chemical Ecology*, 31(8): 1 733 – 1 746.

(责任编辑: 袁德成)