

DOI:10.11829/j.issn.1001-0629.2017-0088

刘兆良,袁忠林,杨国锋,罗兰.苜蓿田蚜虫种群动态及最优分割.草业科学,2017,34(12):2561-2568.

Liu Z L, Yuan Z L, Yang G F, Luo L. Temporal dynamics and optimal partition of aphids in an alfalfa field. Pratacultural Science, 2017, 34(12): 2561-2568.

## 苜蓿田蚜虫种群动态及最优分割

刘兆良<sup>1</sup>, 袁忠林<sup>1</sup>, 杨国锋<sup>2</sup>, 罗兰<sup>1</sup>

(1. 青岛农业大学植物医学学院, 山东省植物病虫害综合防控重点实验室, 山东 青岛 266109;

2. 青岛农业大学生命科学学院, 山东 青岛 266109)

**摘要:** 苜蓿蚜虫是苜蓿(*Medicago sativa*)田的重要害虫之一。为了明确苜蓿蚜虫在青岛地区苜蓿田的空间分布格局和种群动态规律,为综合防治提供依据,2013年对青岛地区苜蓿蚜虫混合种群进行了田间系统调查,运用聚集指标法分析了蚜虫在不同时期的空间分布型,利用最优分割法对蚜虫种群田间动态进行了划分。结果表明,青岛苜蓿田蚜虫在田间发生有两个高峰期,分别在5月下旬和10月下旬;在种群密度较高时均为聚集分布,且聚集强度随蚜虫密度的上升而下降;采用最优分割法将苜蓿蚜虫种群动态划分为7个阶段,即发生初期(4月6日之前)、发展期(4月14日—5月11日)、快速增长期(5月18日—5月25日)、衰退期(6月1日—6月8日)、再次发生初期(6月8日—9月15日)、再次发展期(9月22日—10月2日)、再次快速增长期(10月7日—10月27日),并对每个阶段的特点及影响因素进行了分析。因此,苜蓿蚜虫在青岛地区苜蓿田中的分布以聚集分布为主,其发生有两个高峰期,防治时期应以种群快速增长期的5月上旬和10月上旬为主。

**关键词:** 苜蓿蚜虫;种群动态;空间格局;最优分割

中图分类号:S816;S435.4

文献标志码:A

文章编号:1001-0629(2017)12-2561-08\*

### Temporal dynamics and optimal partition of aphids in an alfalfa field

Liu Zhao-liang<sup>1</sup>, Yuan Zhong-lin<sup>1</sup>, Yang Guo-feng<sup>2</sup>, Luo Lan<sup>1</sup>

(1. College of Plant Health and Medicine, Qingdao Agricultural University,

Key Lab of Integrated Crop Pest Management of Shandong Province, Qingdao 266109, Shandong, China;

2. College of Life Sciences, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, Shandong, China)

**Abstract:** Aphids are one kind of serious insect pest in alfalfa fields. In order to clarify the spatial distribution pattern and population dynamics of alfalfa aphids in Qingdao, and provide a basis for integrated management, aphid population dynamics were analyzed in a Qingdao alfalfa field in 2013. We studied spatial distribution pattern and optimal partition using aggregation index method and optimal partition method, respectively. The results showed that the aphid population had two annual peak occurrences: late May and late October. The population demonstrated aggregate distribution when at a higher density, and the aggregation intensity decreased with an increase in population density. The population dynamics could be divided into seven periods using the optimal partition method: initial stage (before April 6); developing stage (April 14 to May 11); quick-increase stage (May 18—25); decline stage (June 1—8); secondary initial stage (June 8 to September 15); secondary developing stage (September 22 to October 2); and secondary quick-increase stage (October 7—27). We discussed the characteristics and impact factors of each stage. Alfalfa aphids in Qingdao demonstrated aggregate

\* 收稿日期:2017-02-24 接受日期:2017-09-14

基金项目:山东省现代农业产业技术体系牧草创新团队(SDAIT-23-01)

第一作者:刘兆良(1993-),男,山东青岛人,在读硕士生,主要从事农业昆虫与害虫防治工作。E-mail:1224269375@qq.com

通信作者:罗兰(1965-),女,陕西咸阳人,教授,博士,主要从事生物农药的研究。E-mail:luolanchinese@163.com

distribution and the population experienced two peaks. The suitable control stages are early May and early October.

**Key words:** alfalfa aphid; population dynamics; spatial distribution pattern; optimal partition

**Corresponding author:** Luo Lan E-mail: luolanchinese@163.com

紫花苜蓿(*Medicago sativa*)为豆科(Leguminosae)苜蓿属多年生草本植物,因其富含蛋白质、粗纤维、维生素、氨基酸、矿物质等,被誉为“牧草之王”<sup>[1-2]</sup>。山东省为畜牧大省<sup>[3]</sup>,随着人们对畜产品质量要求的不断提高,优良牧草的种植面积也不断扩大,而苜蓿则是主要的牧草之一,并且在农牧业生产中始终占据着重要地位<sup>[4-5]</sup>。然而,病虫害的防治问题是苜蓿生产和管理的突出问题。苜蓿田害虫种类繁多,其中,蚜虫是危害苜蓿的重要害虫类群之一。蚜虫群集于苜蓿茎叶上取食,影响苜蓿生长发育,其分泌的蜜露能导致多种霉菌的产生,影响苜蓿的光合作用,导致苜蓿产量减少,质量降低。更为严重的是,蚜虫能传播多种病毒病,造成更严重的经济损失<sup>[6-7]</sup>。青岛苜蓿田的蚜虫种类主要有豌豆蚜(*Acyrtosiphon pisum*)、苜蓿斑蚜(*Therioaphis trifolii*)和苜蓿蚜(*Aphis craccivora*)等,其中以豌豆蚜为优势种群,占蚜虫总量的 80%以上。蚜虫混合种群主要对春季第 1 茬苜蓿和秋季最后一茬苜蓿造成危害较大。

有关苜蓿蚜虫种类、种群动态和防治方面的研究已有不少报道。张蓉等<sup>[8]</sup>通过田间系统地调查和鉴定,明确了宁夏苜蓿害虫天敌种类和优势种群,并对主要害虫与其天敌的动态关系进行了分析,其中蚜虫的发生高峰期在 5 月下旬—6 月上旬;张新瑞等<sup>[9]</sup>对甘肃定西市九华沟苜蓿田节肢动物主要种类的数量动态进行了系统研究分析,苜蓿斑蚜于 6 月上旬达高峰期,豌豆蚜 7 月上旬达高峰期;伊卫东等<sup>[10]</sup>分析了内蒙古苜蓿蚜虫与其天敌龟纹瓢虫种群动态消长规律,发现蚜虫于 6 月上旬—中旬达高峰期;以上研究都表明,蚜虫在苜蓿田的发生只有一个高峰期。韩凤英等<sup>[11-12]</sup>对山东省济南历城区唐王镇的调查发现,蚜虫 6 月上中旬达到第 1 个高峰期,8 月下旬开始回升;在山东阳谷县调查发现,不同年份蚜虫的发生规律有所不同,2011 年在 4 月下旬和 6 月下旬各出现一个高峰期,2012 年只在 4 月下旬出现一个高峰期。

由于气候条件和栽培管理技术的差异,蚜虫种群在田间的动态规律不尽相同,而青岛地区苜蓿田蚜虫种群田间动态规律尚未见报道。因此,本研究于 2013 年 4—10 月对青岛地区苜蓿田蚜虫混合种群数量消长动态及田间分布格局进行详细的调查,以期揭示青岛

苜蓿田蚜虫的发生规律,对其防治提供科学依据,保持苜蓿种植业的可持续发展。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

试验地点位于山东省青岛市胶州试验田,属北半球半湿润季风气候,且具有海洋性气候特征。年平均降水量 755.6 mm,年平均无霜期 210 d;年平均气温 12.2 °C,夏季平均气温 23 °C,冬季平均气温 5 °C;其土壤大多为沙质土壤,土质疏松,养分含量较高,适合种植各种农作物及牧草等<sup>[13]</sup>。

### 1.2 供试虫源

田间自然虫源,为蚜虫的混合种群。主要有豌豆蚜、苜蓿斑蚜和苜蓿蚜,以豌豆蚜为优势种群。

### 1.3 田间试验设计

于 2012 年 4 月采用条播方式在青岛农业大学胶州试验田播种紫花苜蓿约 26 680 m<sup>2</sup>,生长过程中进行正常的肥水管理,未施任何化学农药。苜蓿田的东侧为小麦(*Triticum aestivum*)—玉米(*Zea mays*)连作试验田,北侧为水泥路、排水沟和梨品种试验田,西侧和南侧为围墙,无任何其他情况干扰试验。

2013 年调查期间苜蓿刈割 6 次,时间分别为 4 月 29 日、6 月 7 日、7 月 15 日、8 月 20 日、9 月 30 日和 10 月 30 日。

### 1.4 田间系统调查及分析方法

**1.4.1 田间调查时间与方法** 2013 年 4 月上旬至 10 月下旬,对青岛胶州市青岛农业大学试验站紫花苜蓿田以豌豆蚜为主的复合种群进行了系统的动态调查研究。调查采用随机五点取样法,每点调查 20 个茎,每 7 d 左右调查一次,采用拍打法记录每茎蚜量,用百茎虫量表示害虫的发生程度<sup>[11]</sup>。

**1.4.2 分析方法** 计算苜蓿蚜虫平均密度( $m$ )和样本方差( $S^2$ ),以百茎蚜量与调查时间序列作图,明确苜蓿蚜虫的田间种群动态。利用聚集指标法计算苜蓿平均拥挤度( $m^2$ ),聚块性指数( $m^*/m$ )、扩散系数( $C$ )、丛生指数( $I$ )、Cassie 指数( $Ca$ )、负二项分布( $K$ ),明确苜蓿蚜虫的空间分布格局<sup>[14-18]</sup>。 $m^*/m = 1 + S^2/m^2 - 1/m$ ,  $C = S^2/m$ ,  $I = S^2/m - 1$ ,  $Ca = (S^2 - m)/m^2$ ,  $K = m^2/(S^2 - m)$ 。

聚块型指标( $m^*/m$ ):当  $m^*/m>1$  时为聚集分布,  $m^*/m=1$  时为随机分布,  $m^*/m<1$  时为均匀分布。

扩散系数( $C$ ):当  $C>1$  时为聚集分布,  $C=1$  时为随机分布,  $C<1$  时为均匀分布。

丛生指数( $I$ ):当  $I>0$  时为聚集分布,  $I=0$  时为随机分布,  $I<0$  时为均匀分布。

Cassie 指数( $Ca$ ):当  $Ca>0$  时为聚集分布,  $Ca=0$  时为随机分布, 当  $Ca<0$  时为均匀分布。

负二项分布( $K$ )值:当  $K>0$  时为聚集分布, 而当  $K\rightarrow+\infty$  时为随机分布, 当  $K<0$  时为均匀分布。

利用  $(m^*+1)/m$  确定蚜虫的田间扩散或聚集趋势<sup>[19-20]</sup>, 当  $(m^*+1)/m$  减少时表现为扩散, 当  $(m^*+1)/m$  增大时表现为聚集。

根据 Blackith(1961)的种群聚集均数( $\lambda$ )判断聚集的原因<sup>[14,20]</sup>。

1.5 数据分析

所有数据计算均在 Excel 2007 中进行, 利用蚜虫的平均密度( $m$ )和有蚜茎率( $P$ )作为属性指标, 采用最优分割法分析苜蓿蚜虫种群动态<sup>[21-24]</sup>, 最优分割数据分析在 DPS v6.55 数据处理系统上进行<sup>[25]</sup>。

2 结果与分析

2.1 苜蓿田蚜虫种群数量动态

2013 年苜蓿田蚜虫混合种群有两个高峰期, 分别为 5 月下旬和 10 月下旬(图 1)。蚜虫于 4 月上旬开始出现, 随着气温的升高和苜蓿缓慢生长, 种群数量逐渐增加, 5 月下旬达到第 1 个高峰期, 百茎蚜量

达到 1 167 头(图 1)。之后, 随着气温的上升、苜蓿下部叶片老化以及第 2 茬苜蓿的收获, 蚜量锐减。在 6 月上旬末至 6 月下旬田间未调查到蚜虫; 7 月中旬至 8 月下旬田间蚜虫数量很少; 从 9 月中旬开始, 苜蓿田蚜虫数量开始回升, 10 月下旬达到第 2 个高峰期, 百茎蚜量达到 1 015 头(图 1)。随着最后一茬苜蓿的收获和越冬季的到来, 蚜虫进入越冬期。由此可以看出, 在青岛地区 5 月和 10 月是蚜虫田间危害的两个重要时期。

2.2 苜蓿田蚜虫种群的空间格局时序动态分析

根据分布型的判断标准, 4 月 14 日—6 月 1 日田间发生均为聚集分布; 6 月 30 日—8 月 13 日, 除 7 月 14 日、8 月 3 日和 8 月 13 日为聚集分布外, 其他时间蚜虫为均匀分布(表 1)。9 月 15 日—10 月 27 日, 除 9 月 15 日为均匀分布外, 其他时间均为聚集分布。

根据 Blackith(1961)的种群聚集均数( $\lambda$ )判断聚集的原因, 5 月 18 日、5 月 25 日、10 月 7 日、10 月 12 日和 10 月 27 日苜蓿蚜虫聚集是由蚜虫本身的习性或本身习性与环境条件两个因素所致; 其他时期的聚集可能是由于环境因素所致。

根据  $(m^*+1)/m$  分析扩散或聚集趋势。在苜蓿蚜虫发生的第 1 个时期(4 月 14 日—6 月 1 日), 表现为扩散—聚集趋势; 在第 2 个时期内(6 月 30 日—8 月 13 日), 由于田间蚜量很少, 其表现为扩散—聚集一再扩散一再聚集的趋势; 在第 3 个时期内(9 月 15 日—10 月 27 日)表现为聚集—扩散—聚集的趋势(表 1)。苜蓿田蚜虫的这种种群变化规律是适应苜蓿田生态环

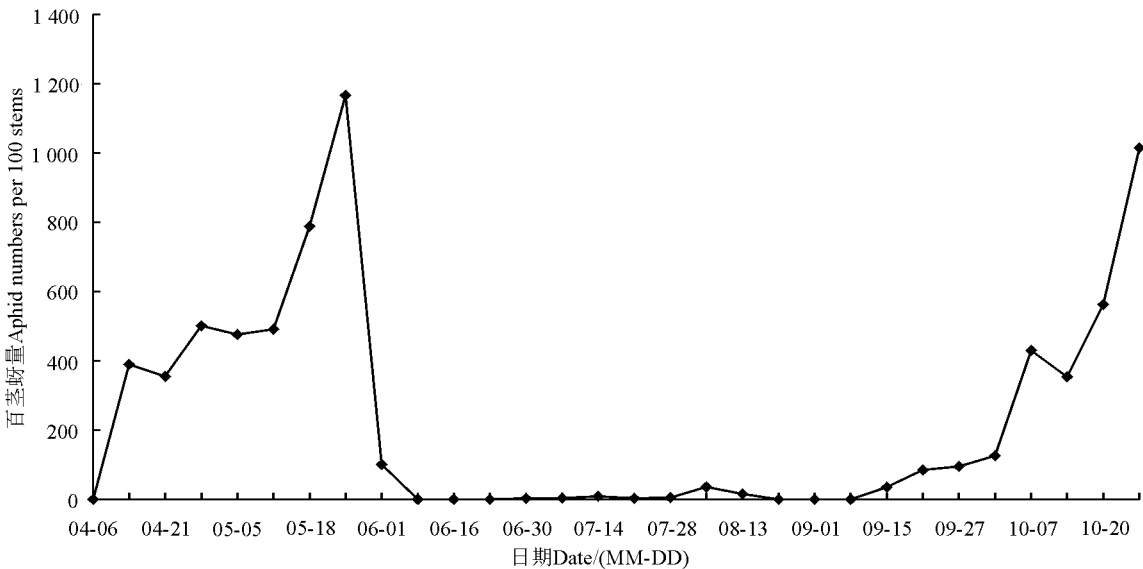


图 1 苜蓿田蚜虫种群数量动态  
Fig. 1 Aphid population dynamics in alfalfa field

表 1 苜蓿田蚜虫混合种群数量动态及空间分布指标  
Table 1 Mix population dynamic and spatial distribution index of alfalfa aphids in field

| 日期<br>Date/<br>(MM-DD) | 平均值<br>Mean<br>(m) | 有蚜茎率<br>Ratio of<br>aphids on<br>each stem(p) | 平均拥挤度<br>Mean<br>crowding<br>(m <sup>*</sup> ) | 聚集指数<br>Aggregation<br>index<br>(m <sup>*</sup> /m) | 扩散系数<br>Dispersal<br>coefficient<br>(C) | 丛生指数<br>Clumping<br>index<br>(I) | Cassie 指数<br>Cassie<br>index<br>(Ca) | 负二项分布 K 值<br>Negative binomial<br>distribution<br>(K) | 分布格局<br>Distribution<br>pattern | λ    | (m <sup>*</sup> +1)/<br>m | 趋势<br>Trend |
|------------------------|--------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------|------|---------------------------|-------------|
| 04-06                  | 0                  | 0                                             | —                                              | —                                                   | —                                       | —                                | —                                    | —                                                     |                                 | —    | —                         | —           |
| 04-14                  | 3.9                | 65                                            | 42.75                                          | 10.96                                               | 39.85                                   | 38.85                            | 9.96                                 | 0.10                                                  | a                               | —    | 11.22                     |             |
| 04-21                  | 3.55               | 74                                            | 12.33                                          | 3.47                                                | 9.78                                    | 8.78                             | 2.47                                 | 0.40                                                  | a                               | —    | 3.75 ↑                    | D           |
| 04-28                  | 5.01               | 86                                            | 13.58                                          | 2.71                                                | 9.57                                    | 8.57                             | 1.71                                 | 0.58                                                  | a                               | 1.95 | 2.91 ↑                    | D           |
| 05-05                  | 4.76               | 86                                            | 11.17                                          | 2.35                                                | 7.41                                    | 6.41                             | 1.35                                 | 0.74                                                  | a                               | 1.46 | 2.56 ↑                    | D           |
| 05-11                  | 4.91               | 91                                            | 11.34                                          | 2.31                                                | 7.43                                    | 6.43                             | 1.31                                 | 0.76                                                  | a                               | 1.46 | 2.51 ↑                    | D           |
| 05-18                  | 7.88               | 100                                           | 11.63                                          | 1.48                                                | 4.75                                    | 3.75                             | 0.48                                 | 2.10                                                  | a                               | 6.30 | 1.60 ↑                    | D           |
| 05-25                  | 11.67              | 100                                           | 20.60                                          | 1.77                                                | 9.93                                    | 8.93                             | 0.77                                 | 1.31                                                  | a                               | 6.19 | 1.85 ↓                    | M           |
| 06-01                  | 1.01               | 60                                            | 1.16                                           | 1.15                                                | 1.15                                    | 0.15                             | 0.15                                 | 6.73                                                  | a                               | 0.93 | 2.14 ↓                    | M           |
| 06-08                  | 0                  | 0                                             | —                                              | —                                                   | —                                       | —                                | —                                    | —                                                     |                                 | —    | —                         | —           |
| 06-16                  | 0                  | 0                                             | —                                              | —                                                   | —                                       | —                                | —                                    | —                                                     |                                 | —    | —                         | —           |
| 06-22                  | 0                  | 0                                             | —                                              | —                                                   | —                                       | —                                | —                                    | —                                                     |                                 | —    | —                         | —           |
| 06-30                  | 0.03               | 3                                             | 0.01                                           | 0.33                                                | 0.98                                    | -0.02                            | -0.67                                | -1.49                                                 | e                               | —    | 33.66                     |             |
| 07-06                  | 0.04               | 4                                             | 0.01                                           | 0.24                                                | 0.97                                    | -0.03                            | -0.76                                | -1.32                                                 | e                               | —    | 25.24 ↑                   | D           |
| 07-14                  | 0.09               | 7                                             | 0.68                                           | 7.58                                                | 1.59                                    | 0.59                             | 6.58                                 | 0.15                                                  | a                               | —    | 18.70 ↑                   | D           |
| 07-22                  | 0.03               | 3                                             | 0.01                                           | 0.33                                                | 0.98                                    | -0.02                            | -0.67                                | -1.48                                                 | e                               | —    | 33.66 ↓                   | M           |
| 07-28                  | 0.05               | 5                                             | 0.01                                           | 0.19                                                | 0.96                                    | -0.04                            | -0.81                                | -1.24                                                 | e                               | —    | 20.19 ↑                   | D           |
| 08-03                  | 0.36               | 25                                            | 0.68                                           | 1.89                                                | 1.32                                    | 0.32                             | 0.89                                 | 1.13                                                  | a                               | 0.22 | 4.67 ↑                    | D           |
| 08-13                  | 0.16               | 14                                            | 0.26                                           | 1.63                                                | 1.10                                    | 0.10                             | 0.63                                 | 1.58                                                  | a                               | 0.12 | 7.88 ↓                    | M           |
| 08-25                  | 0                  | 0                                             | —                                              | —                                                   | —                                       | —                                | —                                    | —                                                     |                                 | —    | —                         | —           |
| 09-01                  | 0                  | 0                                             | —                                              | —                                                   | —                                       | —                                | —                                    | —                                                     |                                 | —    | —                         | —           |
| 09-08                  | 0                  | 0                                             | —                                              | —                                                   | —                                       | —                                | —                                    | —                                                     |                                 | —    | —                         | —           |
| 09-15                  | 0.35               | 20                                            | 2.72                                           | 0.78                                                | 0.22                                    | -0.78                            | -0.22                                | -4.51                                                 | e                               | —    | 1.06                      |             |
| 09-22                  | 0.85               | 42                                            | 1.95                                           | 2.29                                                | 2.10                                    | 1.10                             | 1.29                                 | 0.77                                                  | a                               | 0.25 | 3.47 ↓                    | M           |
| 09-27                  | 0.98               | 55                                            | 2.82                                           | 2.88                                                | 2.84                                    | 1.84                             | 1.88                                 | 0.53                                                  | a                               | 0.42 | 3.90 ↓                    | M           |
| 10-02                  | 1.26               | 57                                            | 3.22                                           | 2.56                                                | 2.96                                    | 1.96                             | 1.56                                 | 0.64                                                  | a                               | 0.45 | 3.35 ↑                    | D           |
| 10-07                  | 4.3                | 88                                            | 7.75                                           | 1.80                                                | 4.45                                    | 3.45                             | 0.80                                 | 1.25                                                  | a                               | 2.39 | 2.03 ↑                    | D           |
| 10-12                  | 3.54               | 87                                            | 6.86                                           | 1.94                                                | 4.32                                    | 3.32                             | 0.94                                 | 1.07                                                  | a                               | 2.30 | 2.22 ↓                    | M           |
| 10-20                  | 5.63               | 98                                            | 13.92                                          | 2.47                                                | 9.29                                    | 8.29                             | 1.47                                 | 0.68                                                  | a                               | 1.89 | 2.65 ↓                    | M           |
| 10-27                  | 10.15              | 98                                            | 24.11                                          | 2.38                                                | 14.96                                   | 13.96                            | 1.38                                 | 0.73                                                  | a                               | 3.18 | 2.47 ↓                    | M           |

a: 聚集分布 Aggregation distribution; e: 均匀分布 Even distribution; D: 扩散 Dispersal; M: 聚集 Aggregation.

境变化(包括刈割)和自身密度制约的综合应答效应。

2.3 苜蓿蚜虫种群动态的最优分割

根据有蚜茎率对 30 次调查数据以时间序列进行最优分割,且以卜庆国等<sup>[21]</sup>对马铃薯(*Solanum tu-berosum*)田蚜虫的种群动态最优分割的划分阶段为依据,结果如表 2 所列。当 7 分割时,误差函数下降开始变缓,说明在整个生育期苜蓿蚜虫种群动态可以划分为 7 个阶段。各阶段的特点是:

表 2 苜蓿蚜虫田间种群的最优分割  
Table 2 Optimal partition of mix population dynamics of alfalfa aphids

| 分类数<br>Number of clusters | 误差函数<br>Error function | 最优分割结果<br>Results of optimal partition                                                                       |
|---------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2                         | 5.071 7                | 1-8, 9-30                                                                                                    |
| 3                         | 2.377 3                | 1-9, 10-24, 25-30                                                                                            |
| 4                         | 1.577 1                | 1, 2-8, 9-26, 27-30                                                                                          |
| 5                         | 1.067 5                | 1, 2-9, 10-23, 24-26, 27-30                                                                                  |
| 6                         | 0.774 1                | 1, 2-6, 7-8, 9-23, 24-26, 27-30                                                                              |
| 7                         | 0.496 3                | 1, 2-6, 7-8, 9, 10-23, 24-26, 27-30                                                                          |
| 8                         | 0.316 2                | 1, 2-6, 7-8, 9, 10-23, 24-26, 27-29, 30                                                                      |
| 9                         | 0.213 7                | 1, 2-6, 7-8, 9, 10-22, 23, 24-26, 27-29, 30                                                                  |
| 10                        | 0.161 0                | 1, 2-6, 7, 8, 9, 10-22, 23, 24-26, 27-29, 30                                                                 |
| 11                        | 0.109 3                | 1, 2-3, 4-6, 7, 8, 9, 10-22, 23, 24-26, 27-29, 30                                                            |
| 12                        | 0.087 7                | 1, 2-3, 4-6, 7, 8, 9, 10-22, 23, 24-26, 27-28, 29, 30                                                        |
| 13                        | 0.055 1                | 1, 2-3, 4-6, 7, 8, 9, 10-17, 18-19, 20-22, 23, 24-26, 27-29, 30                                              |
| 14                        | 0.033 5                | 1, 2-3, 4-6, 7, 8, 9, 10-17, 18-19, 20-22, 23, 24-26, 27-28, 29, 30                                          |
| 15                        | 0.020 1                | 1, 2-3, 4-6, 7, 8, 9, 10-17, 18-19, 20-22, 23, 24, 25-26, 27-28, 29, 30                                      |
| 16                        | 0.013 9                | 1, 2-3, 4-6, 7, 8, 9, 10-17, 18, 19, 20-22, 23, 24, 25-26, 27-28, 29, 30                                     |
| 17                        | 0.009 4                | 1, 2, 3, 4-6, 7, 8, 9, 10-17, 18, 19, 20-22, 23, 24, 25-26, 27-28, 29, 30                                    |
| 18                        | 0.005 7                | 1, 2, 3, 4-6, 7, 8, 9, 10-12, 13-17, 18, 19, 20-22, 23, 24, 25-26, 27-28, 29, 30                             |
| 19                        | 0.003 5                | 1, 2, 3, 4-6, 7, 8, 9, 10-12, 13-17, 18, 19, 20-22, 23, 24, 25-26, 27, 28, 29, 30                            |
| 20                        | 0.001 9                | 1, 2, 3, 4-5, 6, 7, 8, 9, 10-12, 13-17, 18, 19, 20-22, 23, 24, 25-26, 27, 28, 29, 30                         |
| 21                        | 0.001 4                | 1, 2, 3, 4-5, 6, 7, 8, 9, 10-12, 13-17, 18, 19, 20-22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30                        |
| 22                        | 0.001 0                | 1, 2, 3, 4-5, 6, 7, 8, 9, 10-12, 13-14, 15, 16-17, 18, 19, 20-22, 23, 24, 25-26, 27, 28, 29, 30              |
| 23                        | 0.000 5                | 1, 2, 3, 4-5, 6, 7, 8, 9, 10-12, 13-14, 15, 16-17, 18, 19, 20-22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30             |
| 24                        | 0.000 3                | 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10-12, 13-14, 15, 16-17, 18, 19, 20-22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30            |
| 25                        | 0.000 1                | 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10-12, 13-14, 15, 16, 17, 18, 19, 20-22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30           |
| 26                        | 0.000 0                | 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10-12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20-22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30          |
| 27                        | 0.000 0                | 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11-12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20-22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30      |
| 28                        | 0.000 0                | 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20-22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30     |
| 29                        | 0.000 0                | 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21-22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 |



发生初期(4月6日之前)。此时虽然苜蓿已经开始生长,但田间气温还比较低,蚜虫已经开始活动,但由于田间种群数量极低,在调查点内未发现蚜虫。

发展期(4月14日—5月11日)。随着田间气温的不断回升,蚜虫种群数量、分布范围不断增大,平均密度 $3.9\sim 5.01$ 头·茎<sup>-1</sup>,有蚜茎率由65%增加到91%,田间蚜虫的聚集强度高,聚集强度( $m^*/m$ )为 $2.31\sim 10.96$ 。

快速增长期(5月18日—5月25日)。此时是第1茬苜蓿营养生长最旺盛时期,气温条件合适,适宜于苜蓿蚜虫的生长与发育,蚜虫种群数量较大,很快达到了第1个发生高峰期。田间平均密度为 $7.88\sim 11.67$ 头·茎<sup>-1</sup>,有蚜茎率达到100%,聚集强度下降为 $1.48\sim 1.77$ 。

衰退期(6月1日—6月8日)。此时为苜蓿初花期,气温较高,下部叶片衰老,不适合于蚜虫的生存,产生有翅蚜迁出苜蓿田,蚜虫种群数量锐减,田间蚜虫密度锐减为 $1.01$ 头·茎<sup>-1</sup>,调查区内的有茎蚜率为60%,聚集强度下降为1.15。

再次发生初期(6月8日—9月15日)。第2茬苜蓿收获后,在一段时间内未见到蚜虫,随苜蓿的生长,蚜虫有零星发生,由于气温高,降水量较多,不适合于蚜虫种群的建立,在较长一段时间内蚜虫数量很低。平均密度为 $0\sim 0.36$ 头·茎<sup>-1</sup>,有蚜茎率在 $0\sim 25\%$ ,大多都在7%以下,聚集强度为 $0\sim 7.58$ ,大多数在2以下。

再次发展期(9月22日—10月2日)。此时期随着气温降低,苜蓿处于营养生长期,蚜虫数量增长缓慢,分布范围不断扩大。此时期平均密度为 $0.85\sim 1.26$ 头·茎<sup>-1</sup>,有蚜茎率从42%增长到57%,聚集强度较大,为 $2.29\sim 2.88$ 。

再次快速增长期(10月7日—10月27日)。此时是最后一茬苜蓿的营养生长最旺盛的时期,气温适合于蚜虫的生长发育,田间种群数量快速增加,平均虫口密度为 $4.30\sim 10.15$ 头·茎<sup>-1</sup>,达到了最后一次高峰期,有蚜茎率从87%增加到98%,聚集强度有所减弱,从1.80到2.47。此后由于苜蓿收获,蚜虫也进入越冬阶段。

### 3 讨论与结论

昆虫分布格局及种群数量动态是明确昆虫田间

发生规律、制定防治措施的重要依据。昆虫分布格局的变化,表现为时间和空间两个方面,它们与种群数量变化共同组成了昆虫种群的田间动态规律,是昆虫本身生物学特性和环境条件共同作用的结果。通过对青岛地区苜蓿田蚜虫种群数量动态的调查发现,发现在5月下旬蚜虫数量达到了第1个高峰期,在10月下旬达到了第2个高峰期且有持续增加的趋势,而在6月上旬至9月上旬基本上无蚜虫或数量很少。这有可能与青岛地处胶东半岛且具有明显的海洋性气候和蚜虫本身的发生规律有关。在最适宜的条件下,蚜虫短时间内就可以产生较大的种群,如果条件不适或生态环境条件破坏,其种群数量就会锐减。由于苜蓿是多年生多茬刈割牧草,青岛地区每年根据气候、降水等情况可刈割5~6次<sup>[26]</sup>,苜蓿的刈割对蚜虫种群数量有较大的影响,气候条件(气温、降水)、营养条件、天敌因素也会对蚜虫的种群动态产生较大的影响。所以,根据蚜虫的发生特点,必须在其种群快速增长期前进行防治,防治时期应分别在5月中旬之前和10月上旬之前。

最优分割法是对有序数列通过寻找到段内离差平方和的总和最小的一种方案作为最终划分方案的方法,适合于分析种群或群落的有序样本,并对划分结果给予生物学方面的解释。卜庆国等<sup>[21]</sup>、郭玉人<sup>[23]</sup>、高书晶等<sup>[27]</sup>分别用最优分割法分析了马铃薯田蚜虫种群、稻田节肢动物群落和麦田昆虫群落时序动态,比较好地解释了各阶段昆虫种群(群落)的动态特征。

明确苜蓿田中特殊昆虫群落组成及其动态,是对害虫进行有效预测和防治的关键<sup>[28]</sup>。本研究应用最优分割法对苜蓿田蚜虫年度内田间种群动态进行了分析,将其分为7个阶段:发生初期—发展期—快速增长期—衰退期—再次发生初期—再次发展期—再次快速增长期,并对每个阶段蚜虫的发生特点进行了分析,较好地说明了苜蓿田蚜虫种群动态的规律,苜蓿蚜虫种群动态空间格局的变化,主要与其自身繁殖快、营养、天敌和环境条件变化有关。

本研究结果为苜蓿田蚜虫的防治提供了理论依据。但苜蓿蚜虫是一个混合种群,每个种群的时间、空间分布格局及种群动态、生态位的分化与环境条件的关系等方面还需要进一步深入研究。

## 参考文献 References:

- [1] 刘自学,苏爱莲.苜蓿:牧草之王.森林与人类,2013(3):28-33.  
Liu Z X, Su A L. Alfalfa: King of forage. Forest and Humankind, 2013(3): 28-33. (in Chinese)
- [2] 周鹏.“牧草之王”:紫花苜蓿.新疆畜牧业,2013(7):56.  
Zhou P. King of forage: Alfalfa. Xinjiang Husbandry, 2013(7): 56. (in Chinese)
- [3] 孙世民,周林,邵娟,吴鲁智.山东省畜牧产业发展态势分析.山东农业大学学报(社会科学版),2005,7(4):68-76.  
Sun S M, Zhou L, Shao J, Wu L Z. Analyses on the development situation of stock raising in Shandong Province. Journal of Shandong Agricultural University (Social Science Edition), 2005, 7(4): 68-76. (in Chinese)
- [4] 冯光燕,高洪文,张新全,孙果丽,王学敏.16个紫花苜蓿品种维生素E含量测定与分析.草业科学,2015,32(9):1444-1450.  
Feng G Y, Gao H W, Zhang X Q, Sun G L, Wang X M. Determination and analysis of vitamin E content in 16 alfalfa (*Medicago sativa*) varieties. Pratacultural Science, 2015, 32(9): 1444-1450. (in Chinese)
- [5] 陶雪,苏德荣,乔阳,寇丹.西北旱区灌溉方式对苜蓿产量及品质的影响.草业科学,2015,32(10):1641-1647.  
Tao X, Su D R, Qiao Y, Kou D. Effects of irrigation methods on yield and quality of alfalfa in arid northwest China. Pratacultural Science, 2015, 32(10): 1641-1647. (in Chinese)
- [6] 杨彩霞,高立原,张蓉,张治科.宁夏苜蓿蚜虫的发生和综合防治.宁夏农林科技,2005(2):4-6,3.  
Yang C X, Gao L Y, Zhang R, Zhang Z K. Occurrence and integrated control on alfalfa aphids of Ningxia. Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology, 2005(2): 4-6, 3. (in Chinese)
- [7] 马亚玲,刘长仲.蚜虫的生态学特性及其防治.草业科学,2014,31(3):519-525.  
Ma Y L, Liu C Z. Review on ecological characteristics and control of aphids. Pratacultural Science, 2014, 31(3): 519-525. (in Chinese)
- [8] 张蓉,马建华,杨芳,常兆斌,李云,王秉锋,杨涛.宁夏苜蓿害虫天敌种类及其田间发生规律的初步研究.草业科学,2003,20(7):60-62.  
Zhang R, Ma J H, Yang F, Chang Z B, Li Y, Wang B F, Yang T. Preliminary study on predator species and their occurrence regulation of alfalfa insects. Pratacultural Science, 2003, 20(7): 60-62. (in Chinese)
- [9] 张新瑞,刘长仲,严林,陈应武,魏列新,钱秀娟.苜蓿田主要节肢动物种群数量研究.草地学报,2007,15(6):556-560.  
Zhang X R, Liu C Z, Yan L, Chen Y W, Wei L X, Qian X J. Study on the population dynamics of main arthropod groups in alfalfa fields. Acta Agrestia Sinica, 2007, 15(6): 556-560. (in Chinese)
- [10] 伊卫东,孟瑞芳,闫锋,陈海燕.苜蓿蚜虫与其天敌龟纹瓢虫的种群动态.内蒙古农业大学学报,2010,31(4):51-52.  
Yi W D, Meng R F, Yan F, Chen H Y. Population dynamics between alfalfa aphid and its predator *Propylaea japonica*. Journal of Inner Mongolia Agricultural University, 2010, 31(4): 51-52. (in Chinese)
- [11] 韩凤英,杨慧,秦旭,王绍敏,杨向黎.济南市紫花苜蓿害虫和天敌种类及其发生动态的研究.中国农学通报,2012,28(29):5-9.  
Han F Y, Yang H, Qin X, Wang S M, Yang X L. Study on the species and dynamics of pest insects and their natural enemies on *Medicago sativa* L. in Jinan. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(29): 5-9. (in Chinese)
- [12] 韩凤英,徐金强,秦旭,于晓庆,杨慧,杨向黎.山东苜蓿地主要害虫种群的消长规律.湖北农业科学,2014,53(9):2058-2060.  
Han F Y, Xu J Q, Qin X, Yu X Q, Yang H, Yang X L. The field growth and decline rule of main pests in alfalfa in Shandong Province. Hubei Agricultural Science, 2014, 53(9): 2058-2060. (in Chinese)
- [13] 白宇,高兴珂,王业臣,陈中超,孙娟,万方浩,袁忠林.33个苜蓿品种对蓟马的田间抗性比较.草业学报,2015,24(3):187-194.  
Bai Y, Gao X K, Wang Y C, Chen Z C, Sun J, Wan F H, Yuan Z L. Field comparison of the resistance of 33 alfalfa varieties to thrips. Acta Prataculturae Sinica, 2015, 24(3): 187-194. (in Chinese)
- [14] 郭建蒲,袁忠林.明亮长脚金甲成虫的空间分布型及抽样技术研究.青岛农业大学学报(自然科学版),2013,30(3):188-191.  
Guo J P, Yuan Z L. Spatial distribution pattern and sampling technology of adult of *Hoplia spectabilis*. Journal of Qingdao Agricultural University (Natural Science Edition), 2013, 30(3): 188-191. (in Chinese)
- [15] 矫振彪,陆宴辉,吴孔明.棉田绿盲蝽的空间分布型及其抽样模型.应用昆虫学报,2012,49(3):605-609.  
Jiao Z B, Lu Y H, Wu K M. Spatial distribution of *Apolygus lucorum* in cotton fields. Chinese Journal of Applied Entomology, 2012, 49(3): 605-609. (in Chinese)
- [16] 朱惠英,沈平,吴建华,王新东,常承秀,田炜.斑膜合垫盲蝽若虫在国槐上的空间分布型及抽样技术.生态学报,2014,34(4):

- 832-836.
- Zhu H Y, Shen P, Wu J H, Wang X D, Chang C X, Tian W. Spatial distribution pattern and sampling technique for *Orthotylus sophorae* nymphs on *Sophora japonica*. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(4): 832-836. (in Chinese)
- [17] 张聪, 葛星, 赵磊, 王振营, 何康来, 白树雄. 双斑长跗萤叶甲越冬卵在玉米田的空间分布型. *生态学报*, 2013, 33(11): 3452-3459.
- Zhang C, Ge X, Zhao L, Wang Z Y, He K L, Bai S X. The spatial distribution pattern of overwintering egg of *Monolepta hieroglyphica* (Motschulsky) in corn field. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(11): 3452-3459. (in Chinese)
- [18] Fonseca P R B, Fernandes M G, Justiniano W, Cavada L H, Silva J A N. Spatial distribution of adults and nymphs of *Euschistus heros* (F.) (Hemiptera: Pentatomidae) on Bt and Non-Bt soybean. *Journal of Agricultural Science*, 2014, 6(6): 131-142.
- [19] 丁伟, 王进军, 赵志模, 陈贵红. 春玉米田蚜虫种群的数量消长及空间动态. *西南农业大学学报*, 2002, 24(1): 13-16.
- Ding W, Wang J J, Zhao Z M, Chen G H. Studies on the population dynamics of aphids on spring sown maize. *Journal of South-west Agricultural University*, 2002, 24(1): 13-16. (in Chinese)
- [20] 赵志模, 周新远. 生态学引论. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1984: 108-153.
- Zhao Z M, Zhou X Y. Introduction of Ecology. Chongqing: Scientific and Technology Documentation Press, 1984: 108-153. (in Chinese)
- [21] 卜庆国, 庞保平, 张若芳, 孙清华. 呼和浩特地区马铃薯田蚜虫的种群动态. *生态学杂志*, 2013, 32(1): 135-141.
- Bu Q G, Pang B P, Zhang R F, Sun Q H. Population dynamics of aphids in potato fields in Hohhot, Inner Mongolia. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, 32(1): 135-141. (in Chinese)
- [22] 赵志模, 郭依泉. 群落生态学原理与方法. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1990: 219-223.
- Zhao Z M, Guo Y Q. Theory and Method of Community Ecology. Chongqing: Scientific and Technology Documentation Press, 1990: 219-223. (in Chinese)
- [23] 郭玉人. 沈阳地区稻田节肢动物群落结构及群落生态研究. *生态学报*, 2001, 21(11): 1854-1862.
- Guo Y R. The constructions and ecology of arthropod community of paddies in Shenyang. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(11): 1854-1862. (in Chinese)
- [24] 胡竞辉, 王美超, 孔云, 姚允聪, 魏巍, 宋备舟, 李振茹. 梨园芳香植物间作区节肢动物群落时序格局. *生态学报*, 2010, 30(17): 4578-4589.
- Hu J H, Wang M C, Kong Y, Yao Y C, Wei W, Song B Z, Li Z R. Temporal structures of arthropod community of intercropping aromatic plants in pear orchard. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(17): 4578-4589. (in Chinese)
- [25] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统. 北京: 科学出版社, 2002: 347-349.
- Tang Q Y, Feng M G. DPS' Data Processing System for Practical Statistics. Beijing: Science Press, 2002: 347-349. (in Chinese)
- [26] 罗兰, 孙娟, 袁忠林. 3.6% 烟碱·苦参碱微囊悬浮剂对苜蓿蚜虫和蓟马的防治效果. *农药*, 2016, 55(10): 771-773.
- Luo L, Sun J, Yuan Z L. The control effects of Nicotine·Matrine 3.6% CS on alfalfa aphids and thrips. *Agro Chemicals*, 2016, 55(10): 771-773. (in Chinese)
- [27] 高书晶, 庞保平, 于洋, 路慧. 麦田昆虫群落的结构与时序动态. *生态学杂志*, 2004, 23(6): 47-50.
- Gao S J, Pang B P, Yu Y, Lu H. Seasonal dynamics and structures of insect communities in wheat fields. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(6): 47-50. (in Chinese)
- [28] 张奔, 周敏强, 王娟, 蒲毅, 张丽, 袁明龙. 我国苜蓿害虫种类及研究现状. *草业科学*, 2016, 33(4): 785-812.
- Zhang B, Zhou M Q, Wang J, Pu Y, Zhang L, Yuan M L. Species checklist and research status of alfalfa insect pests reported in China. *Pratacultural Science*, 2016, 33(4): 785-812. (in Chinese)

(责任编辑 武艳培)