

网络出版时间:2014-09-10 18:19

DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2014.10.047

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13207/j.cnki.jnwfufu.2014.10.047.html>

不同寄主植物上麦长管蚜生活史的比较

高素霞^a, 黄贤亮^a, 刘德广^a, 陈 辉^b

(西北农林科技大学 a 旱区作物逆境生物学国家重点实验室, b 林学院, 陕西 杨凌 712100)

【摘要】 **【目的】** 探讨寄主植物对麦长管蚜种群分化的作用, 剖析寄主转换对其生长发育及繁殖的影响。 **【方法】** 在人工气候箱中于温度(20 ± 1) °C、相对湿度(65 ± 5)%、光周期为 16 h : 8 h(L : D)的条件下, 对麦长管蚜在不同寄主植物(小麦、大麦、燕麦)及转换寄主后的生活史和生命表参数进行比较。 **【结果】** 不同寄主植物上, 麦长管蚜种群的若虫发育历期以及成虫寿命、存活率和繁殖力都存在很大差异。当原始寄主和替代寄主相同时, 与大麦上麦长管蚜种群相比, 小麦和燕麦上麦长管蚜种群若虫发育历期和成虫寿命较短, 存活率、繁殖力、种群内禀增长率、净增殖率和周限增长率均较高。小麦上麦长管蚜种群转到燕麦上后, 其成虫寿命和繁殖期缩短。大麦上麦长管蚜种群转到小麦和燕麦上后, 其若虫发育历期明显缩短, 净增殖率明显增加。各寄主植物上麦长管蚜种群转换寄主后, 其存活率和繁殖力会发生明显改变。 **【结论】** 转换寄主后, 各寄主植物上麦长管蚜种群呈现一定程度的分化。

【关键词】 麦长管蚜; 寄主植物; 生命表; 种群分化

【中图分类号】 S435.122+.2

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2014)10-0045-06

Life-history comparison of *Sitobion avenae* on different host plants

GAO Su-xia^a, HUANG Xian-liang^a, LIU De-guang^a, CHEN Hui^b

(a State Key Laboratory of Crop Stress Biology for Arid Areas,

b College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: **【Objective】** This study aimed to determine the impacts of host plants on population differentiation of *Sitobion avenae* and analyzed the effects of host transfer on the development and reproduction, and life-history traits of *S. avenae*. **【Method】** The life history and life table parameters of *S. avenae* clones on original host plants (wheat, barley and oat) and alternative host plants were compared based on the results from artificial climate chamber experiment with temperature of (20 ± 1) °C, RH of (65 ± 5)% and light cycle of 16 h : 8 h(L : D). **【Result】** Significant differences existed in the nymph developmental time, adult lifespan, survival rate, and fecundity of *S. avenae* on different host plants. With the same original host plants and alternative host plants, *S. avenae* on wheat and oat had shorter nymph developmental time and adult lifespan, and higher survival rate, fecundity, intrinsic population growth rate, net reproductive rate, and finite increase rate than that on barley. Adult lifespan and reproductive time became shorter after transferring from wheat to oat. When transferring from barley to wheat or oat, nymph developmental time became shorter while net reproductive rate increased. After transferring to alternative hosts, both adult survival

【收稿日期】 2013-07-04

【基金项目】 高等学校博士学科点专项科研基金项目(20110204120001); 长江学者和创新团队发展计划项目(IRT1035); 西北农林科技大学科研业务费资助项目(QN2011059)

【作者简介】 高素霞(1980—), 女, 河南周口人, 博士, 主要从事昆虫生态学与害虫综合治理研究。

E-mail: gaosx2011@nwsuaf.edu.cn

【通信作者】 刘德广(1972—), 男, 湖北襄樊人, 教授, 博士生导师, 主要从事农林害虫的分子生态学、化学生态学及综合治理研究。

E-mail: dgliu@nwsuaf.edu.cn

rate and fecundity of *S. avenae* changed significantly. 【Conclusion】 *S. avenae* clones presented significant differentiation when transferring to different host plants.

Key words: *Sitobion avenae*; host plant; life table; population differentiation

麦长管蚜 *Sitobion avenae* (Fabrieius) 是一种世界范围内广泛分布的害虫,在我国各麦区均有发生,是大多数麦区的优势种^[1]。麦长管蚜除了为害小麦外,还为害大麦、燕麦和黑麦,另外还取食禾本科和莎草科的杂草^[2]。尽管麦长管蚜能取食田边的很多种杂草,但更喜食禾本科的麦类作物^[3]。麦长管蚜先为害麦叶,然后转到穗部为害,造成小麦严重减产和品质下降。同时,该虫在取食过程中能传播大麦黄矮病毒(BYDV),并随着蚜虫的迁飞引起小麦黄矮病的流行,造成严重的经济损失。农民长期使用高毒化学杀虫剂防治该虫,使环境日益恶化,蚜虫的抗药性也日益增强,因此应该发展以生态调控为基础的蚜虫绿色防治技术。

不同寄主植物所含次生物质有别,使蚜虫的取食受到影响^[4],其生命表参数会发生变化,种群也可能因此发生分化。小麦品系间次生物质如生物碱、单宁、氧肟酸的含量有明显差异^[5-6],其中氧肟酸的含量与蚜虫的感染率呈明显负相关^[7]。可见,这些次生物质使得抗蚜小麦品种对麦长管蚜有明显的抗生作用,而且其抗生性在蚜虫世代间可能存在累加效应^[8]。小麦收割后,麦长管蚜为了繁衍下去,需要寻找替代寄主或野生寄主如田边杂草。国内外有关麦双尾蚜(*Diuraphis noxia* Mord.)各种寄主的研究很多^[9-10],但对麦长管蚜与其寄主植物之间关系的研究还非常有限,特别是关于它在不同寄主植物上的生命表方面的研究几乎还是空白。本研究通过对不同寄主上麦长管蚜的生活史和生命表参数进行分析,探讨蚜虫在田间经历长期自然选择后,取食经验对其生长发育及繁殖的影响,以及寄主转换后,蚜虫对各种寄主植物的适合度是否发生改变,以探明寄主植物在麦长管蚜种群分化中的作用,从而为发展麦长管蚜生态控制技术奠定基础,为抗蚜育种提供新的材料。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

2012-04 开始在陕西杨凌周边的小麦、大麦、燕麦上采集各麦长管蚜种群。为了尽可能地采集到不同蚜虫克隆系样品,每头蚜虫均间隔 10 m 以上采集,将无翅孤雌成蚜带回实验室,在(20±1)℃及光

周期 16 h : 8 h(L : D)条件下分别饲养于小麦、大麦和燕麦上,在每种寄主上饲养 2~3 代后用于试验。

1.2 供试寄主植物及寄主转换方法

试验所用 3 种寄主植物分别是小麦(矮抗 58)、燕麦(sandle)和大麦(西安 91-2)。

3 种植物分别栽种于直径 10 cm 的塑料花盆,以维持不同的种群。试验前,每种植物分别转移至直径 6 cm 的塑料杯中,每杯 1 株苗,所有植物都在养虫室同一条件下生长,每周浇水 2 次。寄主转换试验中,小麦上麦长管蚜种群分别被转接到小麦、大麦和燕麦上,以小麦作为对照,共计 3 个处理,每处理设 30 个重复;燕麦和大麦上麦长管蚜种群也同样地在上述 3 种寄主上转换并进行生测。

1.3 生命表参数调查方法

试验前,从各种群取刚蜕皮的无翅成蚜,单头接于 1~2 叶期的幼苗上(大约 7 d),产蚜 4 h 后取走成蚜,单株只留 1 头刚出生的若蚜,然后罩于用透明塑料胶片制成的圆柱形(直径 6 cm,高 15 cm)笼罩中,顶部用尼龙纱网封口。每天早晚 2 次调查若蚜蜕皮和存活情况,并移去蚜蜕。蜕皮 4 次后进入成蚜阶段,每天 1 次定时调查并记录产蚜数量,然后用毛笔刷掉所有初产若蚜,保留成蚜,直至所有成蚜死亡时结束观察。试验均在温度(20±1)℃、相对湿度(65±5)%、光周期为 16 h : 8 h(L : D)的恒温气侯箱中进行,所用植物每 7 d 左右更换 1 次。

1.4 数据分析

用以下公式计算麦长管蚜世代平均周期(T)、净增殖率(R_0)、内禀增长率(r_m)和周限增长率(λ)及种群倍增时间(DT)^[11]: $T = \sum(l_x m_x x) / \sum(l_x m_x)$, $R_0 = \sum l_x m_x$, $r_m = \ln(R_0) / T$, $\lambda = e^{r_m}$, $DT = \ln(2) / r_m$ 。式中: x 为处理时间, l_x 为第 x 天时雌虫存活率, m_x 为第 x 天时平均每头雌虫产下的后代数,即繁殖力。

数据用“平均值±标准差”表示。处理均应用 SAS 9.1 统计分析软件进行,用 PROC GLM 步骤进行方差分析,然后用 Tukey 检验进行处理间差异显著性分析。生命表参数参照 Maia 等^[12]的方法进行分析和比较。

2 结果与分析

2.1 不同寄主植物麦长管蚜种群若虫发育时间和成虫繁殖参数的比较

由表 1 可以看出,不同寄主植物上麦长管蚜若虫发育历期存在明显差异。当原始寄主和替代寄主相同时,小麦和燕麦上麦长管蚜种群若虫发育历期较短(约 8.5 d),大麦上麦长管蚜种群若虫发育历期较长(10.1 d)。当小麦上麦长管蚜种群转到大麦后,发育历期显著延长;大麦上麦长管蚜种群转接到小麦后,若虫发育历期则显著缩短;而燕麦上麦长管蚜种群在转移到大麦和小麦后,若虫发育历期没有显著差异。不同寄主上麦长管蚜种群成虫寿命也存在明显差异。当原始寄主和替代寄主相同时,大麦上麦长管蚜种群成虫寿命最长(35.6 d),小麦和燕麦上麦长管蚜种群成虫寿命明显缩短。大麦上麦长管蚜种群转到小麦和燕麦之后,其成虫寿命缩短 11 d 以上;小麦上麦长管蚜种群转到燕麦上之后,其成虫寿命也明显缩短,而转移到大麦之后则无显著变

化;燕麦上麦长管蚜转到大麦和小麦上之后,其成虫寿命显著延长。总体来看,原始寄主为燕麦时,其上麦长管蚜种群成虫的繁殖力较强,小麦上麦长管蚜种群居中,大麦上麦长管蚜种群繁殖力较弱。小麦上麦长管蚜种群转到燕麦上之后,其繁殖力显著下降;燕麦上麦长管蚜种群转到大麦上之后,其繁殖力也显著下降;而大麦上麦长管蚜种群转换寄主后其繁殖力无显著变化。除燕麦上麦长管蚜种群在转换寄主之后其成虫繁殖期没有显著变化外,大麦和小麦上麦长管蚜种群成虫繁殖期在转换寄主前后变化显著。

由表 1 还可以看出,不同寄主植物上麦长管蚜种群的日均产蚜量也存在明显差异。当原始寄主和替代寄主相同时,小麦和燕麦上麦长管蚜种群的日均产蚜量高于大麦。转换寄主后,大麦上麦长管蚜种群日均产蚜量增加,而小麦上麦长管蚜种群基本不变;燕麦上麦长管蚜种群转到大麦上之后日均产蚜量显著下降,转到小麦上之后无显著变化。

表 1 不同寄主植物上麦长管蚜发育历期和繁殖参数的比较

Table 1 Comparison of developmental durations and reproductive parameters of <i>Sitobion avenae</i> on different host plants						
原始寄主 Original host plant	替代寄主 Alternative host plant	若虫发育历期/d Developmental duration of nymphs	成虫寿命/d Adult longevity	繁殖力 Fecundity	成虫繁殖期/d Larvipositional duration	日均产蚜量 Daily fecundity
小麦 Wheat	大麦 Barley	9.4±0.2 bc	23.4±0.8 c	48.7±3.1 bc	17.4±0.6 abc	2.7±0.1 abc
小麦 Wheat	小麦 Wheat	8.3±0.1 d	22.0±1.1 c	45.3±2.7 cd	16.1±0.7 bc	2.8±0.1 ab
小麦 Wheat	燕麦 Oat	9.1±0.3 cd	14.1±1.0 d	35.3±2.3 e	12.0±0.6 d	2.9±0.1 a
大麦 Barley	大麦 Barley	10.1±0.4 a	35.6±2.0 a	37.4±2.9 de	18.7±1.3 a	2.0±0.1 e
大麦 Barley	小麦 Wheat	8.7±0.1 d	22.2±1.0 c	37.5±1.5 de	15.4±0.5 c	2.4±0.1 cd
大麦 Barley	燕麦 Oat	9.9±0.2 ab	24.1±1.9 c	35.3±3.5 e	14.9±1.1 c	2.3±0.1 d
燕麦 Oat	大麦 Barley	8.5±0.1 d	27.6±1.2 b	45.8±2.2 cd	18.1±0.6 ab	2.5±0.1 bed
燕麦 Oat	小麦 Wheat	8.6±0.1 d	29.1±1.4 b	55.0±2.0 ab	18.7±0.5 ab	3.0±0.1 a
燕麦 Oat	燕麦 Oat	8.6±0.1 d	22.9±0.7 c	57.1±1.4 a	18.5±0.5 ab	3.1±0.1 a

注:同列数据后标不同小写字母表示经 Tukey 检验后差异显著($\alpha=0.05$)。下表同。
Note: Data with different small letters within each column indicate significant difference based on Tukey tests at $\alpha=0.05$. The same for the following table.

2.2 不同寄主植物上麦长管蚜种群生命表参数的比较

从表 2 可以看出,当原始寄主和替代寄主相同时,燕麦上麦长管蚜种群的内禀增长率、净增殖率和周限增长率均最大,小麦上麦长管蚜种群居中,大麦上麦长管蚜种群最小。小麦和燕麦上麦长管蚜种群转换寄主之后,其内禀增长率(r_m)趋于下降;大麦上麦长管蚜种群转移寄主后,其 r_m 显著上升。麦长管蚜各种群的种群倍增时间(DT)与内禀增长率(r_m)的变化趋势刚好相反。小麦上麦长管蚜种群转移到燕麦上之后,其净增殖率(R_0)显著下降;转移到大

麦上之后其 R_0 无显著变化。燕麦上麦长管蚜种群转到大麦上之后,其 R_0 也显著下降;而转移到小麦上之后则无显著变化。大麦上麦长管蚜种群转到小麦、燕麦上后,其 R_0 有所上升,但差异不显著。当原始寄主和替代寄主相同时,大麦上麦长管蚜种群的世代周期(T)最长,小麦和燕麦上麦长管蚜种群的 T 较短。小麦上麦长管蚜种群转到大麦上后,其 T 延长;大麦上麦长管蚜种群转换寄主后,其 T 显著缩短;而燕麦上麦长管蚜种群转换寄主后,其 T 无显著变化。

表 2 不同寄主植物上麦长管蚜种群的生命表参数

Table 2 Life table parameters (mean±SE) of *Sitobion avenae* on different host plants

原始寄主 Original host plant	替代寄主 Alternative host plant	内禀增长率(r_m) Intrinsic rate of increase	净增殖率(R_0) Net reproductive rate	周限增长率(λ) Finite increase rate	种群倍增时间(DT) Population doubling time	世代周期(T) Mean generation time
小麦 Wheat	大麦 Barley	0.245±0.001 cd	42.69±0.59 b	1.28±0.002 cd	2.8±0.1 bc	15.3±0.1 b
小麦 Wheat	小麦 Wheat	0.270±0.001 abc	41.86±0.56 b	1.31±0.002 abc	2.6±0.1 bcd	13.8±0.1 bc
小麦 Wheat	燕麦 Oat	0.262±0.001 abc	31.39±0.46 c	1.30±0.002 bc	2.6±0.1 bcd	13.1±0.1 c
大麦 Barley	大麦 Barley	0.174±0.003 e	28.05±0.56 c	1.19±0.003 e	4.0±0.1 a	19.2±0.3 a
大麦 Barley	小麦 Wheat	0.255±0.001 bcd	34.86±0.28 bc	1.29±0.001 bcd	2.7±0.1 bcd	13.9±0.1 bc
大麦 Barley	燕麦 Oat	0.231±0.002 d	31.75±0.75 c	1.26±0.002 d	3.0±0.1 b	15.0±0.1 bc
燕麦 Oat	大麦 Barley	0.263±0.001 abc	40.75±0.41 b	1.30±0.002 bc	2.6±0.1 bcd	14.1±0.1 bc
燕麦 Oat	小麦 Wheat	0.275±0.001 ab	53.32±0.36 a	1.32±0.001 ab	2.5±0.1 cd	14.5±0.1 bc
燕麦 Oat	燕麦 Oat	0.288±0.001 a	57.00±0.26 a	1.33±0.001 a	2.4±0.1 d	14.0±0.1 bc

不同寄主植物上麦长管蚜种群成虫存活率和繁殖力的变化见图 1。

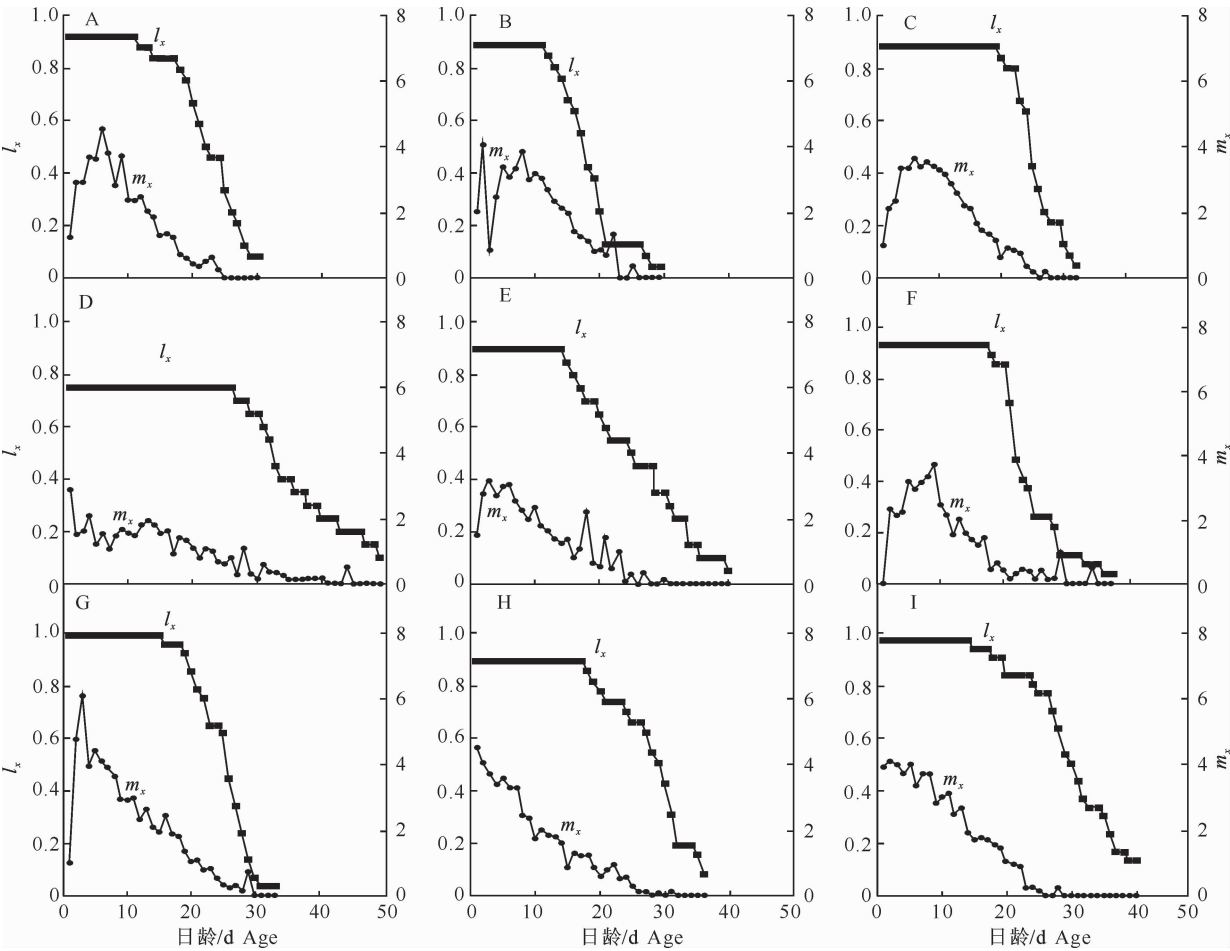


图 1 不同寄主植物上麦长管蚜各日龄成虫存活率和繁殖力的比较

A. 小麦上麦长管蚜种群转换到小麦上;B. 小麦上麦长管蚜种群转换到燕麦上;C. 小麦上麦长管蚜种群转换到大麦上;
D. 大麦上麦长管蚜种群转换到大麦上;E. 大麦上麦长管蚜种群转换到燕麦上;F. 大麦上麦长管蚜种群转换到小麦上;G. 燕麦上麦长管蚜
种群转换到燕麦上;H. 燕麦上麦长管蚜种群转换到大麦上;I. 燕麦上麦长管蚜种群转换到小麦上; l_x . 存活率; m_x . 繁殖力

Fig. 1 Age-specific survival rate and fecundity of adult *Sitobion avenae* on different host plants

A. From wheat to wheat;B. From wheat to oat;C. From wheat to barley;D. From barley to barley;E. From barley to oat;
F. From barley to wheat;G. From oat to oat;H. From oat to barley;I. From oat to wheat;

l_x . Age-specific survival rate; m_x . Age-specific fecundity

图 1 显示,当原始寄主和替代寄主相同时,燕麦 上的麦长管蚜种群前期成虫存活率最高(1,图 1G),

小麦上麦长管蚜种群居中(图 1A),大麦上麦长管蚜种群的存活率最低(0.75,图 1D)。各个寄主植物上麦长管蚜种群成虫开始出现死亡的时间也不同,其中小麦上麦长管蚜种群 12 d 时存活率已经开始下降,并且下降迅速;燕麦上麦长管蚜种群次之,16 d 时存活率开始下降;大麦上麦长管蚜种群 27 d 时才有成虫死亡,存活率下降幅度较小。当原始寄主和替代寄主相同时,麦长管蚜特定时间的繁殖力也存在很大差异,小麦和燕麦种群成虫的繁殖力总体呈先上升后下降的趋势,繁殖高峰分别出现在羽化后第 6 天和第 3 天(图 1A,图 1G);而大麦上麦长管蚜种群成虫的繁殖力较低(图 1D),且总体呈降低趋势,繁殖期较长。小麦上麦长管蚜种群转到大麦上之后,前期存活率变化不大(图 1C),但在燕麦上成虫存活率下降趋势比较明显(图 1B)。转换寄主后,大麦上麦长管蚜种群在燕麦(图 1E)和小麦(图 1F)上存活率明显升高,成虫出现死亡的时间也有所提前。燕麦上麦长管蚜种群转到小麦上后,前期存活率没有变化(图 1I);但转到大麦上之后,前期存活率明显下降(图 1H)。小麦上麦长管蚜种群转移到燕麦上后繁殖力高峰期提前,繁殖力略有提高;而转到大麦上之后繁殖力峰值有所降低。大麦上麦长管蚜种群转换寄主后,在替代寄主上繁殖力呈先升后降的趋势,而燕麦上麦长管蚜种群转换寄主后其繁殖力呈下降趋势。

3 结论与讨论

本研究结果表明,麦长管蚜种群在不同寄主上的生长发育和繁殖参数存在明显差异。当原始寄主和替代寄主相同时,与大麦上麦长管蚜种群相比,小麦和燕麦上麦长管蚜种群若虫发育历期较短,繁殖力和日均产蚜量较高,成虫寿命较短;小麦上麦长管蚜种群的成虫繁殖期缩短,但燕麦上麦长管蚜种群变化不大。当原始寄主和替代寄主相同时,燕麦上麦长管蚜种群的内禀增长率、净增殖率和周限增长率均最大,小麦上麦长管蚜种群居中,大麦上麦长管蚜种群最小;燕麦上麦长管蚜种群前期存活率最高,小麦上麦长管蚜种群居中,大麦上麦长管蚜种群最低;燕麦和小麦上麦长管蚜种群存活率均下降较早且快,大麦上麦长管蚜种群下降较晚且慢;小麦和燕麦上麦长管蚜种群成虫在前 10 d 的繁殖力均较高,而大麦上麦长管蚜种群则一直维持在较低的水平。总的来看,麦长管蚜对小麦和燕麦的适应性要高于大麦。笔者在多年的田间调查中也发现,在麦长管

蚜发生高峰期,小麦上蚜虫的虫口密度明显高于大麦。本研究结果显示,转换寄主后,麦长管蚜种群成虫存活率和繁殖力随日龄的增加而产生了明显的波动性变化。这些现象说明麦长管蚜在不同寄主植物上出现了一定的分化,其种群分化的一个关键原因在于寄主植物之间的次生代谢物质有明显区别,对蚜虫产生的自然选择压力也会不同^[13-15]。不同寄主上麦长管蚜的分化程度还有待于进一步验证。

蚜虫在不同寄主植物上发生分化的现象并不少见^[14]。例如,豌豆蚜已分化出适应不同寄主植物的专化型^[16-17]。也有研究表明,来自同一寄主不同克隆系的麦长管蚜(*S. avenae*)对小麦和鸭茅草(*Dactylis glomerata*)的选择性存在显著差异,这些蚜虫克隆系往往在原始寄主上比转换寄主上生活得要好,且寄主植物转换顺序对小麦上蚜虫克隆系的影响较其对鸭茅草上蚜虫克隆系的影响大,因此小麦上蚜虫克隆系比鸭茅草上蚜虫克隆系更具有专化性^[3]。本研究中,小麦上麦长管蚜种群转到大麦上后,其若虫发育历期和世代周期延长,但种群周限增长率下降;转到燕麦上后,其若虫发育历期延长,而且成虫寿命和繁殖期都缩短。燕麦上麦长管蚜种群转到大麦上后,成虫寿命延长,但繁殖力和种群周限增长率下降;转到小麦上后,若虫发育历期、成虫繁殖期及种群生命表参数均无显著变化。大麦上麦长管蚜种群转到小麦或燕麦后,其成虫寿命和成虫繁殖期及若虫发育历期缩短,种群周限增长率提高。可见,相对于燕麦或大麦种群,小麦上麦长管蚜种群似乎具有较高的寄主专化性。这与 Dean^[18]的研究结果“麦长管蚜对大麦的喜好性强于燕麦和小麦,在大麦上有较高的存活率和较短的世代周期”不同。原因可能在于 Dean 仅仅采用来自大麦的惟一麦长管蚜克隆系,并将它转接到大麦、小麦和燕麦上进行测试所致。另外也有研究表明,采自同一寄主植物和同一位置的麦长管蚜在对小麦和鸭茅草选择时,则更偏向选择小麦^[19]。由于本试验中所用的寄主植物种类有限,还不能对麦长管蚜是否具有寄主专化性下定论或对其普食和专化程度作出确切评估。因此,还需要利用更多的寄主特别是野生寄主来进行测试。

[参考文献]

- [1] 胡想顺,赵惠燕,Heimbach Udo,等. 3 个新引进小麦品种对麦长管蚜抗性的初步研究 [J]. 西北植物学报, 2004, 24(7): 1221-1226.

- Hu X S, Zhao H Y, Heimbach Udo, et al. Study on cereal aphid resistance on three winter wheat cultivars introduced into China [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 2004, 24(7): 1221-1226. (in Chinese)
- [2] 作均祥. 农业昆虫学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.
Wu J X. Agricultural entomology [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2002. (in Chinese)
- [3] De Barro P J, Sherratt T N, David O, et al. An investigation of the differential performance of clones of the aphid *S. avenae* on two host species [J]. *Oecologia*, 1995, 104: 379-385.
- [4] Tsai J H, Wang J J. Effects of host plants on biology and life table parameters of *Aphis spiraeicola* (Homoptera: Aphididae) [J]. *Environ Entomol*, 2001, 30(1): 45-50.
- [5] 陈巨莲, 倪汉祥, 孙京瑞. 主要次生物质对麦蚜的抗性阈值及交互作用 [J]. *植物保护学报*, 2002, 29(1): 7-12.
Chen J L, Ni H X, Sun J R. The resistance threshold and interactions of several plant secondary metabolites to wheat aphids [J]. *Acta Phytophylacica Sinica*, 2002, 29(1): 7-12. (in Chinese)
- [6] Eleftherianos I, Vamvatsikos P, Ward P D, et al. Changes in the levels of plant total phenols and free amino acids induced by two cereal aphids and effects on aphid fecundity [J]. *Journal of Applied Entomology*, 2006, 130: 15-19.
- [7] Gianoli E, Papp M, Niemeyer H M. Costs and benefits of hydroxamic acids-related resistance in winter wheat against the bird cherry-oat aphid, *Rhopalosiphum padi* L. [J]. *Annals of Applied Biology*, 1996, 129(1): 83-90.
- [8] 郭 萧, 李克斌, 尹 姣, 等. 不同小麦品种(系)对麦长管蚜生命参数的影响 [J]. *中国农业科学*, 2010, 43(10): 2056-2063.
Guo X, Li K B, Yin J, et al. Effects of wheat varieties on population parameters of *Macrosiphum avenae* (Fabricius) [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(10): 2056-2063. (in Chinese)
- [9] Clement S L, Lester D G, Wilson A, et al. Behavior performance of *Diuraphis noxia* (Homoptera: Aphididae) on fungal endophyte-infected and uninfected perennial ryegrass [J]. *Econ Entomol*, 1992, 85(2): 583-588.
- [10] Schotzko D J, Smith C M. Effects of preconditioning host plants on population development of Russian wheat aphids (Homoptera: Aphididae) [J]. *Journal of Economic Entomology*, 1991, 84(3): 1083-1087.
- [11] 徐汝梅. 昆虫种群生态学 [M]. 北京: 北京师范大学出版社, 1987: 152-160.
Xu R M. Insect population ecology [M]. Beijing: Beijing Normal University Press, 1987: 152-160. (in Chinese)
- [12] Maia A H N, Luiz A J B, Campanhola C. Statistical inference on associated fertility life parameters using jackknife technique; Computational aspects [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2000, 93(2): 511-518.
- [13] Futuyma D J, Philippi T E. Genetics of the aphid *Crypomyzus*, with a preliminary analysis of the inheritance of host preference, reproductive performance and host-alternation [J]. *Entomol Exp Appl*, 1987, 57: 65-76.
- [14] Via S. Ecological genetics and host adaptation in herbivorous insects; The experimental study of evolution in natural and agricultural systems [J]. *Annu Rev Entomol*, 1990, 35: 421-446.
- [15] Bernays E A. Effects of experience on host-plant selection [M]// *Chemical ecology of insects 2*. Amherst, US: Springer, 1995: 47-64.
- [16] Frantz A, Plantegenest M, Simon J C. Host races of the pea aphid *Acyrtosiphon pisum* differ in male wing phenotypes [J]. *Bulletin of Entomological Research*, 2009, 100: 59-66.
- [17] McLean A H C, van Asch M, Ferrari J, et al. Effects of bacterial secondary symbionts on host plant use in pea aphids [J]. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2010, 278: 760-766.
- [18] Dean G J W. Bionomics of aphids reared on cereals and some Gramineae [J]. *Annals of Applied Biology*, 1973, 73: 127-135.
- [19] Lushai G, Sherratt T N, David O, et al. Host selection by winged summer females of the aphid *Sitobion avenae* [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1997, 85: 199-209.