

五个不同抗病品种小麦对麦长管蚜生长发育的影响*

范鸣原** 刘 婕 段雪莹 张乃钊 高 峰***

(中国农业大学植物保护学院昆虫学系, 北京 100193)

摘 要 【目的】麦长管蚜 *Sitobion avenae* (Fabricius) 是我国麦区常发性的一种害虫, 其寄主范围广、繁殖力强, 适应机制多样, 每年都对我国的小麦产量造成重大损失。【方法】为选育优良抗性品种小麦, 比较不同品种小麦对麦长管蚜生长发育的影响, 本实验在室内选取了 5 种抗蚜性未知的不同小麦品种, 观察并统计麦长管蚜在不同品种小麦上的发育历期及成蚜体重和繁殖力。【结果】不同品种小麦对麦长管蚜若蚜的生长发育影响不同, 其中, 用绵阳 31 号饲养的麦长管蚜若蚜平均发育历期最长为 180.86 h, 用棉农 4 号饲养的若蚜平均发育历期最短 172.92 h, 且差异显著。川麦 55 号上的麦长管蚜的成虫平均发育历期最高为 20.93 d, 棉麦 1403 上的麦长管蚜的成虫平均发育历期最低为 15.57 d, 差异显著。棉农 4 号上的麦长管蚜成蚜平均体重最大为 0.70 mg, 荣麦 4 号上的成蚜平均体重最小为 0.50 mg, 其余 3 个处理间差异不显著。川麦 55 号上的麦长管蚜的平均产蚜量最高为 23.1 只, 显著高于其他 4 个处理, 而其余 4 个品种小麦上的麦长管蚜繁殖力差异不显著。【结论】麦长管蚜取食棉农 4 号后缩短了其若蚜的发育历期, 其种群增长速率可能加快从而加重对小麦的危害; 而取食绵阳 31 号的若蚜发育历期延长, 种群增长延缓, 为害减弱。就繁殖力和成虫发育历期来说, 麦长管蚜在川麦 55 的适合度更高, 为害更重。

关键词 麦长管蚜; 发育历期; 繁殖力; 抗蚜性

Effects of different wheat varieties on the development of *Sitobion avenae*

FAN Ming-Yuan** LIU Jie DUAN Xue-Ying ZHANG Nai-Zhao GAO Feng***

(College of Plant Protection, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract [Objectives] The wheat aphid *Sitobion avenae* is an important insect pest of wheat in China. Due to its wide host range, high fecundity and adaptability, this species greatly reduces China's annual wheat yield. [Methods] The growth and development of *S. avenae* raised on different wheat varieties were compared under laboratory conditions to inform the selection and breeding of aphid-resistant wheat varieties. [Results] The different wheat varieties had different effects on the growth and development of *S. avenae*. Nymphs fed on the Mianyang 4 wheat variety had the longest average developmental duration (180.86 h) whereas those fed on the Miannong 4 had the shortest (172.92 h). These two wheat varieties had significantly different effects on the duration of the 1st and 2nd instar nymph stages. Adults raised on the Miannong 4 wheat variety were the heaviest on average (0.70 mg) whereas those raised on the Rongmai 4 variety were the lightest (0.50 mg). There were no significant differences in the weights of adult aphids raised on the Mianyang 31, Mianmai 1403 or Chuanmai 55 wheat varieties. The average fecundity of females raised on Chuanmai 55 was 23.1, significantly higher than that of those raised on the other four wheat varieties. Adults raised on Chuanmai 55 also had the longest average lifespan (20.93 d), whereas those raised on Mianmai 1403 had the shortest (15.57 d). Both these values are significantly higher, and lower, respectively,

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划资助 (编号 2017YFD0200400、2018YFF0214905); 中央高校基本科研业务费专项资金资助 (编号 2018TC040); 国家自然科学基金 (编号 31770470)

**第一作者 First author, E-mail: 1370161925@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: zxb2@cau.edu.cn

收稿日期 Received: 2019-11-27; 接受日期 Accepted: 2019-12-25

than those of adults raised on the other three wheat varieties, which were not significantly different from each other.

[Conclusion] The growth and development of larva *S. avenae* raised on Miannong 4 were shortened, which might accelerate the population growth rate and lead to more damage to wheat. However, the larva *S. avenae* fed on mianyang 31 had a longer growth and development period, meaning the population growth rate was shortened and the damage might become weakened. According to the fecundity and adult developmental period, the adult *S. avenae* was more suitable to Chuanmai 55.

Key words *Sogatella furcifera*; migration dynamics; mesoscale source areas; trajectory analysis

麦长管蚜 *Sitobion avenae* (Fabricius) 隶属同翅目蚜总科, 是我国麦区常发性的一种小麦蚜虫, 初期主要活动于小麦叶片上, 在后期时转移到小麦穗部, 对小麦的产量与品质产生严重危害, 据统计每年我国由于麦蚜的发生, 使小麦产量下降 15% 以上, 而低降雨量或者干旱地区损失则更为严重可达 30% (王达, 2015)。近年来因小麦种植量提升, 田间密度加大, 蚜虫发生率变高, 2019 年我国麦蚜发生面积预计达 1 466 万 hm^2 (姜玉英等, 2019)。

小麦条锈病 (病原菌 *Puccinia striiformis* f.sp.*tritici*) 是为害我国小麦生产安全最主要的病害之一, 近几年, 每年发病面积均达数千万亩。它是典型的气传病害, 病原孢子可随气流进行传播, 反复侵染小麦造成为害。相较于化学防治带来的环境问题, 培育既抗病又防虫的优良小麦品种降低病虫害则更加安全有效。不同小麦品种根据特定比例组合混播可以带来良好的生产效益, 小麦品种混种在一定程度上可以阻挡条锈菌夏孢子的扩散, 降低条锈病发生的严重程度 (初炳瑶等, 2018)。初炳瑶等 (2018) 已选育出数个品种的小麦并研究了这几个品种小麦对条锈病的抗性, 但对其抗蚜性还未研究。在前人的研究中, 当植食性动物取食于感染病原微生物的植物时, 既有促进其生长的现象, 也有抑制生长现象, 同时也存在无影响的例子 (Kushner and Harvey, 1962; Mondy and Corio-Costet, 2004)。少数研究表明, 病原微生物的侵染对同寄主植食性动物是有利的 (Yarwood, 1943; Johnson *et al.*, 2003)。Reding 等 (2001) 发现, 在感染白粉病 *Podosphaera* spp. 的苹果和樱桃叶片上, 红蜘蛛 *Tetranychus urticae* 的密度、发生率和繁殖力均显著增高。相反的, 更多的研究表明, 病原微生物的侵染往往不利于同寄主植食性动物的生长。

另外, 有研究发现, 植食性动物在寻找寄主植物时很容易发现感染病原微生物的植株, 但在取食后会倾向于离开病原菌侵染的植物叶片 (Mann *et al.*, 2012)。不同的昆虫类群对于同种病原菌的侵染反应是不一样的 (Tack *et al.*, 2012)。除此之外, 病原菌的发病程度的差异也会导致植食性动物的不同反应。以上的研究表明, 病原菌的侵染可以对植食性动物产生多种多样的影响。

因此, 本实验选取对小麦条锈病抗性不同的品种小麦, 通过室内饲养, 观察不同抗病品种小麦对麦长管蚜发育历期、体重、繁殖力等生命表参数的影响, 以期明确这几种不同品种小麦对麦长管蚜的适生性, 并为生产上推广既能抗病又能防虫的小麦品种提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料

试供小麦: 试供小麦为 5 种不同抗条锈病品种小麦 (河南省开封市中国农业大学开封实验站提供), 分别为棉农 4 号 (高感)、绵阳 31 号 (中感)、棉麦 1403 (高抗)、川麦 55 (高抗)、荣麦 4 号 (高抗)。小麦种子先用清水浸泡 20 h 后播种于塑料花盆 (6.5 cm×6.5 cm×6.5 cm) 中, 后将花盆置于盛满水的底托, 保证将基质浸透, 所有实验小麦均放入人工气候箱 (16 L : 8 D, 白天 24 ℃, 晚上 22 ℃; 50%±5% RH) 培养, 待发芽后选取长势相近的健康小麦为试验材料。

试供虫源: 麦长管蚜试验种群采自中国农业大学开封实验站麦田 (34°46'02N, 114°16'04"E), 在 RXZ 型人工智能气候箱内 (16 L : 8 D, 白天 24 ℃, 晚上 22 ℃; 50%±5% RH) 繁殖 10 代以后用于试验。

仪器: 十万分之一 Explorer 准微量天平

(0.01 mg), 美国 Ohaus 公司; RXZ 型智能人工气候箱, 宁波江南仪器厂。

1.2 实验方法

1.2.1 不同小麦品种对麦长管蚜若蚜发育历期的影响 将供试小麦种子用清水浸泡 20 h 后播种于装有育苗基质的塑料花盆 (6.5 cm×6.5 cm×6.5 cm) 中, 并对每个花盆编号。每盆放置 3-4 粒小麦种子。轻撒一层基质将小麦种子覆盖后将花盆置于盛满水的底托, 保证将基质浸透, 待小麦发芽后保留长势相近的健康小麦苗。在保证不影响麦苗生长的前提下给土壤表面盖上一层白色滤纸以便于观察蚜虫蜕皮情况。待小麦出苗后即可接蚜, 每个花盆接种 1 只生长状态相似的健康麦长管蚜成虫, 待其产蚜后, 移除成蚜, 留下 1 只一龄若蚜进行后续观察。对每个花盆进行套袋, 选择透明扎孔的塑料袋 (280 mm×200 mm) 用作隔离处理。小麦全程在人工气候箱 (16 L: 8 D, 白天 24 ℃, 晚上 22 ℃; 50%±5% RH) 培养, 每隔 8 h 观察 1 次, 查看每盆小麦上麦长管蚜蜕皮情况, 若发生蜕皮, 及时记录每只麦蚜的蜕皮时间, 同时将其蜕皮移除。该实验共设 5 个处理, 即每个小麦品种为 1 个处理, 每个处理种植 10 盆小麦, 每盆接种 1 只麦长管蚜, 共 50 个花盆。实验 4 次重复, 即共观察了 200 只麦长管蚜在不同品种小麦上的若蚜发育历期。

1.2.2 不同小麦品种对麦长管蚜成虫发育历期的影响 在观察麦长管蚜若蚜生长发育的试验条件下, 记录并比较每个处理的小麦上麦长管蚜成虫存活时间。该试验共设 5 个处理, 即每个小麦品种为 1 个处理, 每种小麦品种接种 10 只麦长管蚜, 共 50 只麦蚜。实验为 2 次重复, 共记录了 100 只麦长管蚜在不同品种小麦上的成虫发育历期。

1.2.3 不同小麦品种对麦长管蚜成蚜体重的影响 前期小麦种植、培育过程与麦长管蚜接种、饲养方法同 1.2.1, 在其第 4 次蜕皮后, 将成蚜取出, 用准微量天平对活体成蚜称重, 记录每只成蚜的体重值。该实验共设 5 个处理, 即每个小麦品种为 1 个处理, 每种小麦品种接种 10 只麦长管蚜, 共 50 只麦蚜。实验 4 次重复, 共测量

了 200 只麦长管蚜成蚜体重。

1.2.4 不同小麦品种对麦长管蚜繁殖力的影响

在麦长管蚜经历 4 次蜕皮成为成蚜后, 继续在之前的培养设备上饲养, 观察并记录每只麦长管蚜的产蚜数量。该试验共设 5 个处理, 即每个小麦品种为 1 个处理, 每种小麦品种接种 10 只麦长管蚜, 共 50 只麦蚜。实验为 2 次重复, 共记录了 100 只麦长管蚜在不同品种小麦上生长发育为成蚜后的繁殖能力。

1.3 数据统计与分析

实验用 Excel 软件统计各项数据的平均值与标准差, 并利用单因素方差分析方法比较各处理间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 不同小麦品种对麦长管蚜若蚜发育历期的影响

2.1.1 1 龄麦长管蚜若蚜 不同品种小麦对麦长管蚜 1 龄若蚜发育历期影响不同 (图 1)。在绵阳 31 号上的 1 龄若蚜平均发育历期最长, 为 46.18 h; 在棉农 4 号上的 1 龄若蚜平均发育历期最短, 为 43.08 h; 这 2 个处理差异显著 ($P<0.05$)。麦长管蚜 1 龄若蚜在棉麦 1403、川麦 55 和荣麦 4 号上的发育历期分别为 45.17、44.08 和 44.07 h, 且各个处理间差异不显著 ($P>0.05$) (图 1)。

2.1.2 2 龄麦长管蚜若蚜 2 龄麦长管蚜若蚜在不同小麦品种上的发育历期不同 (图 2)。其中, 绵阳 31 号与棉农 4 号对 2 龄若蚜发育历期差异显著。在绵阳 31 号上的 2 龄若蚜平均发育历期最长, 为 42.72 h; 在棉农 4 号上的 2 龄若蚜平均发育历期最短, 为 39.63 h。棉麦 1403、川麦 55、荣麦 4 号饲养的麦长管蚜 2 龄若蚜在发育历期为 41.06、41.13、41.31 h, 各处理间差异不显著 ($P>0.05$) (图 2)。

2.1.3 3 龄麦长管蚜若蚜 不同小麦品种对麦长管蚜 3 龄若蚜发育历期影响差异不显著 ($P>0.05$) (图 3)。绵阳 31 号上的 3 龄若蚜平均发育历期最长, 为 40.76 h; 在荣麦 4 号上的 3 龄若蚜平均发育历期最短, 为 39.24 h。棉麦 1403、

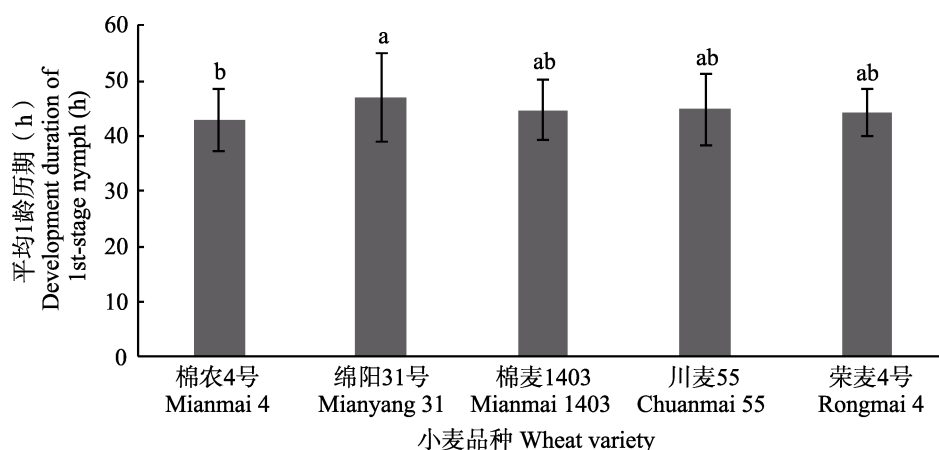


图1 不同小麦品种对1龄麦长管蚜若蚜发育历期的影响

Fig. 1 The effects of different wheat varieties on the development duration of 1st-stage *Sitobion avenae* nymph

图中数据为平均数±标准差。柱上标有不同字母表示经单因素方差分析方法检验在0.05水平差异显著。下图同。

Data in the figure are mean ± SD. Histograms with different letters indicate significant difference at the 0.05 level by single factor analysis of variance. The same below.

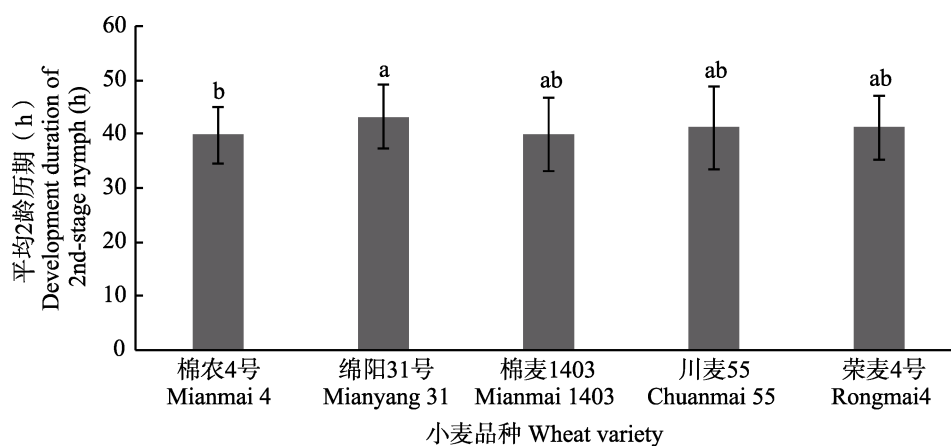


图2 不同小麦品种对2龄麦长管蚜若蚜发育历期的影响

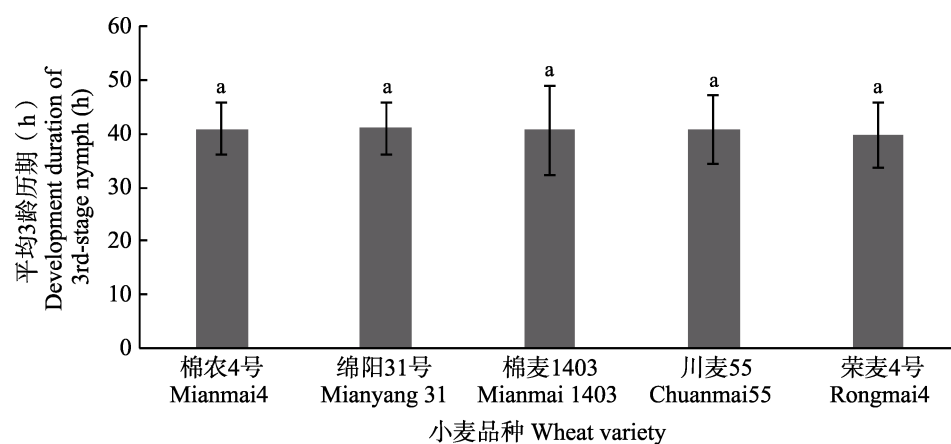
Fig. 2 The effects of different wheat varieties on the development duration of 2nd-stage *Sitobion avenae* nymph

图3 不同小麦品种对3龄麦长管蚜若蚜发育历期的影响

Fig. 3 The effects of different wheat varieties on the development duration of 3rd-stage *Sitobion avenae* nymph

川麦 55 和荣麦 4 号饲养的麦长管蚜 3 龄若蚜在发育历期分别为 40.74、40.11 和 40.41 h (图 3)。

2.1.4 4 龄麦长管蚜若蚜 不同小麦品种对 4 龄若蚜发育历期的影响差异不显著 ($P>0.05$) (图 4)。在绵阳 31 号上的 4 龄若蚜平均发育历期最长, 为 50.60 h; 在棉农 4 号上的 4 龄若蚜平均发育历期最短, 为 49.66 h。而棉麦 1403、川麦 55 和荣麦 4 号饲养得麦长管蚜 4 龄若蚜在发育历期分别为 50.36、50.00 和 50.00 h (图 4)。

2.1.5 麦长管蚜若蚜总发育历期 不同小麦品种对麦长管蚜若蚜总发育历期的影响不同, 其中, 绵阳 31 号和棉农 4 号对麦长管蚜若蚜的总发育历期差异显著 ($P<0.05$), 绵阳 31 号上的若蚜平均发育历期最长, 为 180.86 h; 棉农 4 号上

的若蚜平均发育历期最短, 为 172.92 h。而棉麦 1403、川麦 55、荣麦 4 号对麦长管蚜若蚜的影响差异不显著, 其发育历期分别为 176.42、176.47、174.42 h (图 5)。

2.2 不同小麦品种对麦长管蚜成虫发育历期的影响

5 个小麦品种对麦长管蚜成虫发育历期的影响不同: 其中川麦 55 号上的麦长管蚜的平均成虫发育历期最长, 为 20.93 d; 棉麦 1403 上的麦长管蚜的平均成虫发育历期最短, 为 15.57 d, 且这 2 个处理间差异显著 ($P<0.05$)。棉农 4 号、绵阳 31 号、荣麦 4 号上的麦长管蚜的成虫平均发育历期分别为 17.00、17.58 和 17.79 d, 且这 3 个处理间差异不显著 ($P>0.05$) (图 6)。

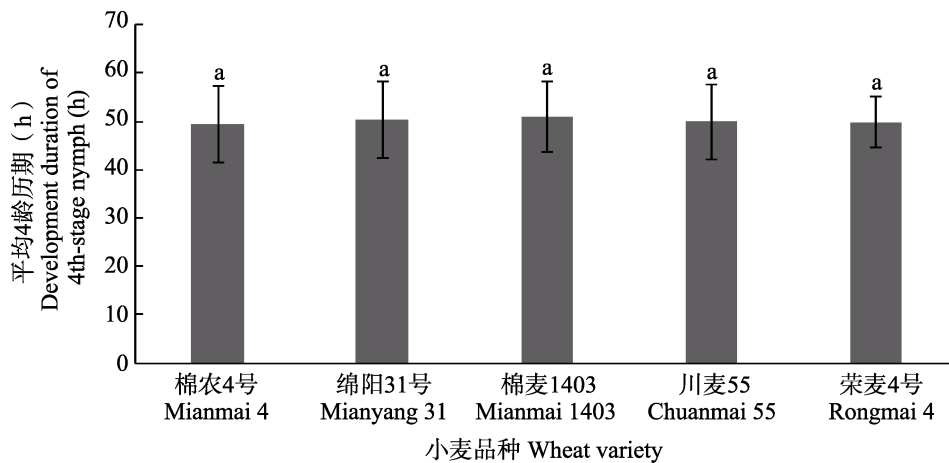


图 4 不同小麦品种对 4 龄麦长管蚜若蚜发育历期的影响

Fig. 4 The effects of different wheat varieties on the development duration of 4th-stage *Sitobion avenae* nymph

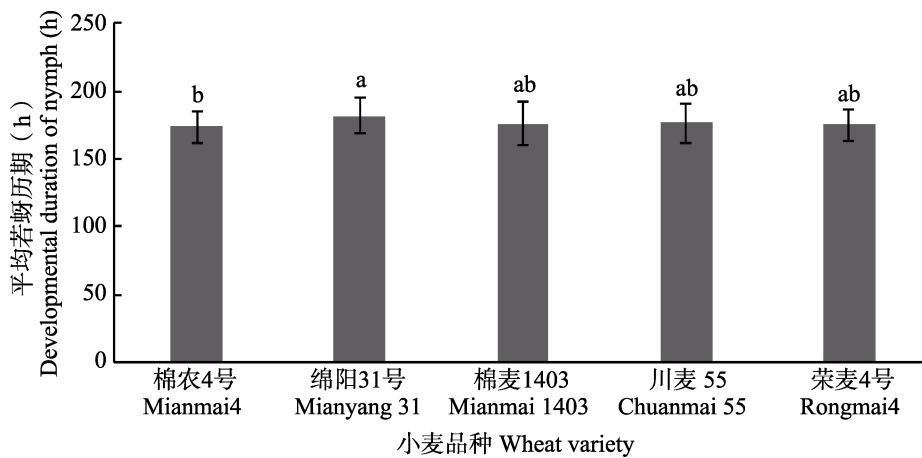


图 5 不同小麦品种对麦长管蚜若蚜发育历期的影响

Fig. 5 The effects of different wheat varieties on the developmental duration of *Sitobion avenae* nymph

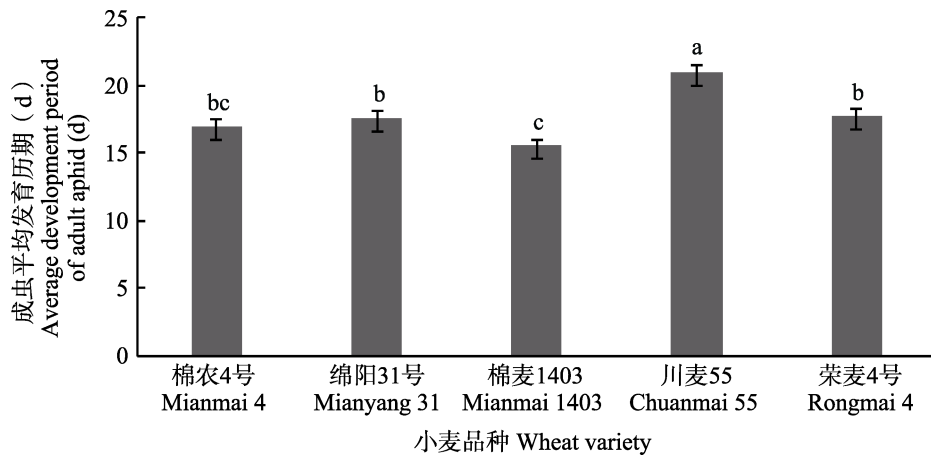


图6 不同小麦品种对麦长管蚜成虫发育历期的影响

Fig. 6 The effects of different wheat varieties on the developmental duration of adult *Sitobion avenae*

2.3 不同小麦品种对麦长管蚜成蚜体重的影响

不同小麦品种对麦长管蚜成蚜体重的影响结果如图7所示, 棉农4号、绵阳31号、棉麦1403、川麦55、荣麦4号饲养的麦长管蚜成蚜的平均体重分别为0.70、0.58、0.58、0.56、0.50 mg。其中, 棉农4号饲养的麦长管蚜成蚜体重最高, 显著高于其余4个处理, 而荣麦4号饲养的麦蚜体重最低, 显著低于其余3个处理(与川麦55差异不显著), 而绵阳31号、棉麦1403、川麦55品种上的麦蚜体重接近, 且3个处理之间差异不显著($P>0.05$)。

2.4 不同小麦品种对麦长管蚜繁殖力的影响

棉农4号、绵阳31号、棉麦1403、川麦55、荣麦4号这5个小麦品种上的麦长管蚜每雌平均

产蚜量分别为18.07、18.03、16.43、23.1、17.96只, 其中川麦55号上的麦长管蚜的平均产蚜量最高, 且与其他4种小麦上的麦长管蚜繁殖力有显著差异($P<0.05$), 其余4个处理的麦长管蚜繁殖力差异不显著($P>0.05$)(图8)。

3 结论与讨论

通过生物学参数评定小麦抗性的方法在国际上应用广泛(Chambers *et al.*, 1985; 胡想顺和赵惠燕, 2004)。郭萧等(2010)采用田间网罩实验发现麦长管蚜若虫发育历期随着小麦品种抗性的增强而延长, 王素华(2013)发现抗生性较差的苗期小麦饲养的麦长管蚜发育历期短。而李川等(2011)采用室内水培小麦法研究发现用感虫品种饲养的禾谷缢管蚜, 在1-3龄若蚜期

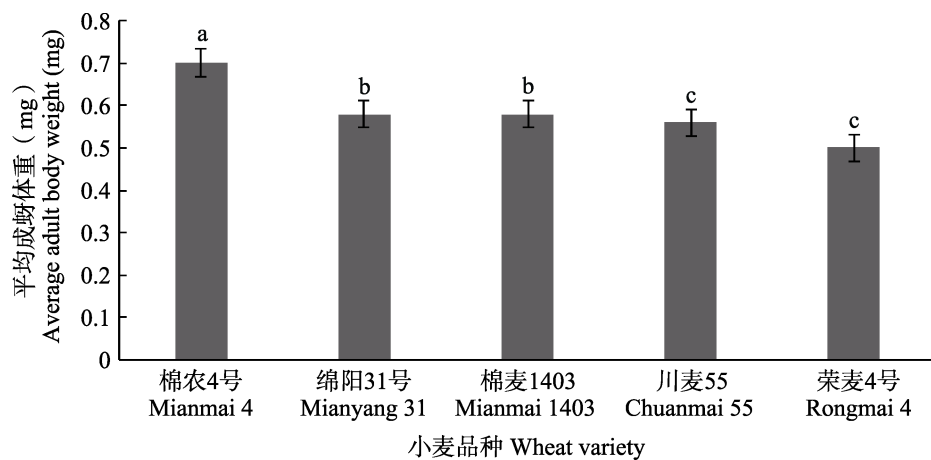


图7 不同小麦品种对麦长管蚜成蚜体重的影响

Fig. 7 The effects of different wheat varieties on adult body weight of *Sitobion avenae*

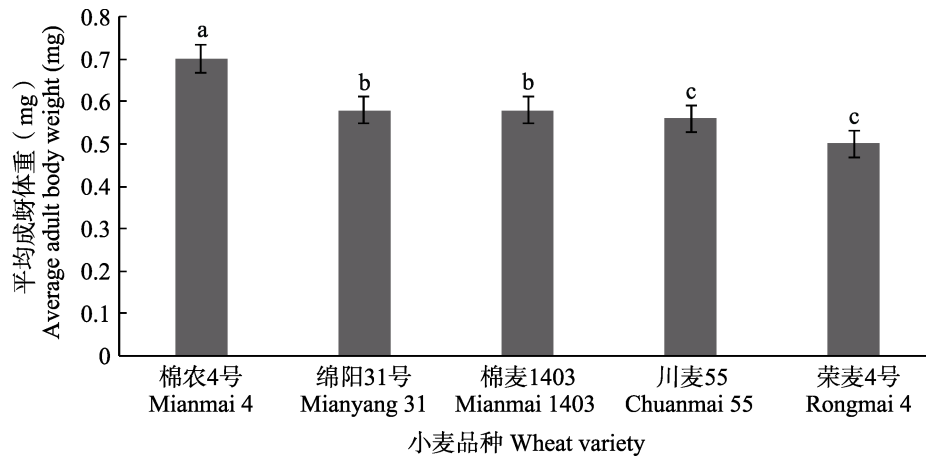


图8 不同小麦品种对麦长管蚜繁殖力的影响

Fig. 8 The effects of different wheat varieties on the fecundity of *Sitobion avenae*

时发育历期长于抗虫品种小麦,而4龄到产蚜期的时长短于抗虫品种,由于延长了若蚜期,使4龄到产蚜期的时长缩短以此延长成蚜期来加重对小麦的危害。本实验通过饲喂棉农4号、绵阳31号、棉麦1403、川麦55、荣麦4号这5个品种小麦对麦长管蚜的发育历期进行了研究,发现不同品种小麦对1龄、2龄若蚜的发育历期有显著影响。用棉农4号饲养的麦长管蚜若蚜1-2龄发育历期及若蚜总发育历期缩短,用绵阳31号饲养的麦长管蚜若蚜1-2龄发育历期及若蚜总发育历期延长,其他3个小麦品种对麦长管蚜若蚜各个龄期的发育历期影响差异不显著。麦长管蚜取食棉农4号后缩短了其若蚜的发育历期,其种群增长速率可能加快从而加重对小麦的危害;而取食绵阳31号的若蚜发育历期延长,种群增长延缓,为害减弱。

孙蕾(2016)研究了10个小麦品种对麦长管蚜生长发育的影响,其中成蚜期的差异比若蚜总发育历期的差异更为显著。李川等(2011)发现不同抗性小麦对禾谷缢管蚜4龄到产蚜的时间有显著性影响。本试验结果表明,川麦55上的麦长管蚜成虫发育历期显著长于其他小麦品种上的蚜虫,而棉麦1403上的麦长管蚜成虫发育历期明显较其他品种上的小麦更短,这使得麦长管蚜在棉麦1403上的为害时间更短。另外,本试验结果还表明,取食川麦55的麦长管蚜繁殖力显著高于取食其他品种小麦的麦长管蚜,综合繁殖力和成虫发育历期这两个因素来说,麦长

管蚜在川麦55的适合度更高,为害更重。郭萧等(2010)、李川等(2011)均研究发现取食感蚜品种的成蚜体重要高于抗性品种上的体重。成蚜体重增大,表明了麦长管蚜的取食量更高,对小麦的适应性也更强,有利于麦长管蚜的生长发育,对小麦的为害也就越大。本实验中棉农4号上的麦长管蚜成蚜体重最大,显著高于其他处理,对麦长管蚜表现易感,这与之前对其若蚜发育历期影响保持一致,提高了成蚜体重,缩短了若蚜发育历期,棉农4号较其他4个品种更容易受麦长管蚜的为害。用荣麦4号饲养的麦长管蚜在体重显著性减少,取食量降低,但荣麦4号对麦长管蚜若蚜的生长发育无显著影响。

小麦在面对病原微生物侵染时会产生防御信号分子、营养物质、生物碱、酶、植保素等次级代谢物质以抵抗病原微生物的入侵,不同品种小麦面对病原微生物产生抗性物质的能力并不相同,因此侵染病原微生物后的发病情况也不相同(刘芳华,2016)。参照中华人民共和国农业行业标准 NY/T 1443.1-2007、NY/T 1443.2-2007、NY/T 613-2002 小麦在抗病性上可分为高抗、中抗、高感、中感等抗病级别,本实验所用5种小麦抗病性不同,分别为高感(棉农4号)、中感(绵阳31号)、高抗(棉麦1403、川麦55、荣麦4号)(初炳瑶等,2018),但小麦品种的抗病性和抗虫性有没有直接的关联目前并没有定论,本文在若蚜和成蚜的发育历期及成蚜体重和繁殖力等因素上来看并没有特别明确的佐证以证

明抗病性不同的小麦品种有其相对应的不同抗虫性。一般来说,植物的抗病性与植物在受到病原微生物侵染时作出的各种反应机制与植物的抗虫机制是存在交互性的,植物在遭受病原微生物侵染时会产生例如植保素等各种次生代谢产物以抵抗病害,植物的抗病能力与此相关;同样植物在遭受植食性昆虫取食后,通过信号识别、信号传导途径、防御基因表达导致植物代谢和生理变化,诱导产生直接防御和间接防御反应来减轻、抵抗害虫的为害或为天敌提供可靠的信息(胡想顺和赵惠燕, 2014)。抗病性和抗虫性在其抗性机制上是否存在相似或相同的机理或者次生代谢物质等因素,抑或是两者根本毫无关系,目前并没有实质性的结论,还需要进一步研究。

小麦品种的混播可以降低麦蚜的发生量(潘鹏亮, 2016),但董金琢和曾士迈(1989)观察小麦条锈病与田间复合蚜虫的发生情况发现二者之间无相互关系。抗条锈病品种与抗蚜小麦间也可能无相互关系,因此这 5 个小麦品种的混播是否对麦长管蚜有显著性影响,仍需进行后续实验。由于苗期小麦和成株期的小麦对麦长管蚜的影响存在一定差异,室内实验也会与田间实际情况一定偏差,可以在田间实际结合小麦发育期研究不同小麦品种对麦长管蚜试验种群适生性的影响,进而为田间推广不同品种小麦提供数据支撑。

参考文献 (References)

- Chambers RJ, Wellings PW, Dixon AFG, 1985. Sycamore aphid numbers and population density: II. Some processes. *Journal of Animal Ecology*, 54(2): 425–442.
- Chu BY, Gu YL, Wang CC, Wang SH, Wang SW, Ma ZH, 2018. Resistance evaluation of 100 wheat cultivars (lines) in Sichuan province to *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, *Puccinia triticina* and *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*. *Journal of Plant Protection*, 45(1): 183–184. [初炳瑶, 谷医林, 王翠翠, 王树和, 王世维, 马占鸿, 2018. 四川省 100 个小麦品种(系)抗条锈病、叶锈病、白粉病鉴定. 植物保护学报, 45(1): 183–184.]
- Dong JZ, Zeng SM, 1989. A preliminary report on the field population of wheat stripe rust and wheat aphid. *Plant Protection*, 15(1): 36. [董金琢, 曾士迈, 1989. 小麦条锈病与麦蚜田间复合种群观察初报. 植物保护, 15(1): 36.]
- Guo X, Li KB, Yin J, Wang B, Cao YZ, 2010. Effects of wheat varieties on population parameters of *Macrosiphum avenae* (Fabricius). *Scientia Agricultura Sinica*, 43(10): 2056–2063. [郭萧, 李克斌, 尹姣, 王冰, 曹雅忠, 2010. 不同小麦品种(系)对麦长管蚜生命参数的影响. 中国农业科学, 43(10): 2056–2063.]
- Hu XS, Zhao HY, 2014. The reviews of wheat resistant mechanism to cereal aphid in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(6): 1459–1469. [胡想顺, 赵惠燕, 2014. 我国小麦抗蚜机理研究进展. 应用昆虫学报, 51(6): 1459–1469.]
- Jiang YY, Liu WC, Huang C, Lu MH, Liu J, 2019. Forecast of occurrence trend of major crop diseases and insect pests in 2019. *China Plant Protection*, 39(2): 36–39. [姜玉英, 刘万才, 黄冲, 陆明红, 刘杰, 2019. 全国农作物重大病虫害发生趋势预报. 中国植保导刊, 39(2): 36–39.]
- Johnson SN, Douglas AE, Woodward S, Hartley SE, 2003. Microbial impacts on plant-herbivore interactions: The indirect effects of a birch pathogen on a birch aphid. *Oecologia*, 134(3): 388–396.
- Kushner DJ, Harvey GT, 1962. Antibacterial substances in leaves: Their possible role in insect resistance to disease. *Journal of Insect Pathology*, 4(2): 155–184.
- Li C, Zhu L, Gong H, Zhang QW, Liu XX, 2011. Effects of different wheat varieties on development and reproduction of winged and wingless morph of *Rhopalosiphum padi*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(4): 941–947. [李川, 朱亮, 龚豪, 张青文, 刘小侠, 2011. 不同小麦品种对有翅与无翅型禾谷缢管蚜生长发育与繁殖的影响. 应用昆虫学报, 48(4): 941–947.]
- Liu FH, 2016. Effects of wheat infected with powdery mildew (*Blumeria graminis*) on winter wheat, aphid (*Sitobion Avenae*) and parasitoid (*Aphidius gifuensis*). Master dissertation. Yangling: North West Agriculture and Forestry University. [刘芳华, 2016. 白粉病侵染小麦对小麦-麦长管蚜-烟蚜茧蜂三级营养系统的影响. 硕士学位论文. 杨凌: 西北农林科技大学.]
- Mann RS, Ali JR, Hermann SL, Stelinski LL, 2012. Induced release of a plant-defense volatile ‘Deceptively’ attracts insect vectors to plants infected with a bacterial pathogen. *PLoS Pathogens*, 8(3): 1–13.
- Mondy N, Corio-costet MF, 2004. Feeding insects with a phytopathogenic fungus influences their diapause and population dynamics. *Ecological Entomology*, 29(6): 711–717.
- Pan PL, 2016. Effects of raising crop diversity on the occurrence of plant diseases, insect pests and their natural enemies. Doctoral dissertation. Beijing: China Agricultural University. [潘鹏亮, 2016. 增加作物多样性对病虫害和天敌发生的影响. 博士学位论文. 北京: 中国农业大学.]
- Reding ME, Alston DG, Thomson SV, Stark AV, 2001. Association of powdery mildew and spider mite populations in apple and cherry orchards. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 84(2): 177–186.
- Sun L, 2016. Effects of different wheat varieties on growth, development and reproduction of *Sitobion avenae* (Fabricius). Master dissertation. Tai'an: Shandong Agricultural University. [孙蕾, 2016. 不同小麦品种(系)对麦长管蚜生长发育和繁殖的影响. 硕士学位论文. 泰安: 山东农业大学.]
- Tack AJM, Gripenberg S, Roslin T, 2012. Cross-kingdom interactions matter: Fungal-mediated interactions structure an insect community on oak. *Ecology Letters*, 15(3): 177–185.
- Wang D, 2015. Adaptability of different *Sitobion avenae* genotypes on multiple host plants and its mechanism. Master dissertation. Yangling: North West Agriculture and Forestry University. [王达, 2015. 不同基因型麦长管蚜对寄主植物的适应性及其机制. 硕士学位论文. 杨凌: 西北农林科技大学.]
- Wang SH, 2013. Resistance of different wheat varieties to *Sitobion avenae*. Master dissertation. Yangling: North West Agriculture and Forestry University. [王素华, 2013. 不同小麦品种对麦长管蚜的抗性研究. 硕士学位论文. 杨凌: 西北农林科技大学.]
- Yarwood CE, 1943. Association of thrips with powdery mildews. *Mycologia*, 35(2): 189–191.