

四川小麦主栽品种对禾谷缢管蚜的抗性*

魏会廷^{1**} 李俊² 吴春² 向运佳¹ 李朝苏² 杨武云² 汤永禄^{2***}

(1. 四川省农业科学院植物保护研究所/农业部西南作物有害生物综合治理重点实验室, 成都 610066;

2. 四川省农业科学院作物研究所/农业部西南地区小麦生物学与遗传育种重点实验室, 成都 610066)

摘要 【目的】评价四川小麦主栽品种对禾谷缢管蚜 *Rhopalosiphum padi* Linnaeus 的抗性, 比较以蚜量比值为标准划分的抗性等级与千粒重损失率的一致性。【方法】选择 2000 年以来四川省审定的 34 个小麦主栽品种, 遮雨棚内盆栽种植, 在孕穗期进行罩网接蚜, 利用蚜量比值方法划分抗蚜等级, 在小麦成熟后测定千粒重损失率。【结果】34 个品种的抗性等级分布为中抗~高感, 没有抗或高抗品种, 中抗、低抗、低感、中感、感、高感等级的品种数分别为 2、6、11、5、6 和 4 个, 中抗品种为川麦 42 和绵麦 45。中抗至高感等级品种的平均千粒重损失率依次为 43.6%、58.1%、60.3%、68.1%、73.5% 和 77.1%, 川麦 42 (中抗) 和内麦 836 (高感) 的千粒重损失率分别为 41.8% 和 80.7%。蚜量比值与千粒重损失率之间呈极显著的正相关, 部分品种抗性等级与其千粒重损失率表现不一致, 低抗品种川农 16 千粒重损失率为 70.0%, 而低感品种川麦 107 的千粒重损失率为 52.8%。【结论】本试验条件下, 参试的四川小麦品种在中抗至高感禾谷缢管蚜等级内均有分布, 且主要集中在低感范围内, 具有外源遗传背景的川麦 42 比近源品种的整体抗性稍强。蚜量比值结合千粒重损失率进行小麦抗性等级划分的结果更加可靠。

关键词 小麦, 禾谷缢管蚜, 蚜量比值, 千粒重损失率

Resistance of major wheat varieties to *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus) in Sichuan Province

WEI Hui-Ting^{1**} LI Jun² WU Chun² XIANG Yun-Jia¹ LI Chao-Su²
YANG Wu-Yun² TANG Yong-Lu^{2***}

(1. Institute of Plant Protection, Sichuan Academy of Agricultural Science/Key Laboratory of Southwest Crop Integrated Pest Management, Ministry of Agriculture, Chengdu 610066, China; 2. Crop Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Science/Key Laboratory of Southwest Biology and Genetic Breeding in Wheat, Ministry of Agriculture, Chengdu 610066, China)

Abstract [Objectives] To evaluate resistance levels of major wheat varieties to *Rhopalosiphum padi* Linnaeus in Sichuan Province, and test the consistency of resistance levels determined by aphid ratio and 1000-grain weight loss rate. [Methods] 34 major wheat varieties released after 2000 were planted in pots under cover from rain and inoculated with aphids at the booting stage. Aphid ratio was used to identify resistance levels after infection for 28 d, and the 1000-grain weight loss rate was determined after harvest. [Results] Resistance levels of the 34 varieties varied from highly susceptible (HS) to highly resistant (HR). The number of moderately resistant (MR), low resistant (LR), low susceptible (LS), moderate susceptible (MS), susceptible (S) and highly susceptible (HS) strains were 2, 6, 11, 5, 6 and 4, respectively. The resistance levels of the Chuanmai 42 and Mianmai 45 strains were higher than those of the other varieties. The average 1000-grain weight loss rates from MR to HS were 43.6%, 58.1%, 60.3%, 68.1%, 73.5% and 77.1% respectively. The 1000-grain weight loss rate of the

* 资助项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金 (CARS-3); 国家重点基础研究发展计划“973”项目 (2011CB100100); 四川省农业科学院现代农业技术创新与示范专项 (2014CXSF-019)

**E-mail: weihuiting1980@126.com

***通讯作者, E-mail: ttycc88@163.com

收稿日期: 2014-09-03, 接受日期: 2014-11-03

highly resistant variety Chuanmai 42 was 41.8% compared to 80.7% for the low resistant Neimai 836 strain. There was a highly significant correlation between aphid ratio and the 1000-grain weight loss rate, but the resistance levels of some varieties, such as Chuannong16 and Chuanmai 107, were inconsistent with their 1000-grain weight loss rate. **[Conclusion]** Most major wheat varieties in Sichuan were categorized as LS with respect to resistance to *Rhopalosiphum padi*. Chuanmai 42 and related varieties that have exogenous genes displayed higher resistance levels than other strains. Aphid ratio with 1000-grain weight loss rate was a more accurate way of evaluating resistance.

Key words wheat, *Rhopalosiphum padi*, aphid ratio, 1000-grain weight loss rate

麦长管蚜 *Metopolophium dirhodum* Fabricus、禾谷缢管蚜 *Rhopalosiphum padi* Linnaeus 和麦二叉蚜 *Schizaphis graminum* Rond 是我国小麦蚜虫的主要种类, 其中禾谷缢管蚜为长江流域及抽穗后北方部分麦区蚜虫的优势种群(黄荣汉等, 1996; 郭线茹等, 2008)。蚜虫吸食小麦汁液、排便蜜露, 影响小麦的呼吸作用和光合作用, 降低产量和品质(郭良珍等, 2000; 王美芳等, 2010)。生产上防治蚜虫长期依赖化学农药, 导致天敌减少(乔格侠等, 2011)、蚜虫抗药性增加和农药残留(彭丽年等, 2000; 来有鹏等, 2011)。提高品种资源的抗蚜性是进行麦蚜综合防控的经济有效措施(陈万权, 2013)。

四川是我国小麦主产省份之一, 年种植面积约 $130 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。长期以来, 早熟、高产、抗病、优质是四川小麦育种的主要目标, 抗虫性不作为品种审定的依据, 抗虫育种力量相对薄弱, 已审定品种对虫害抗性也不明确。近年来, 随着气候条件、耕作制度的变化, 麦蚜繁殖力和适应能力显著增强(Awmack and Harrington, 2000), 危害面积和危害程度逐年加大。

田间自然感蚜为现有麦蚜抗性鉴定的主要方法, 蚜虫数量为抗性鉴定的基础(蔡青年等, 2003; 李贤庆等, 2006)。蚜虫在田间非均匀分布并随机扩散, 加之品种(周海波等, 2009; 郭萧等, 2010)、气候(卢子华等, 2009; 王冰等, 2009)、天敌(戈峰等, 2011; 于汉龙等, 2014)、栽培措施(费晓东等, 2011; 沈君辉等, 2007)、生态(郭良珍等, 2000)等因素影响, 蚜虫着生量和繁殖速率田间也呈现不均匀分布和年际间差异, 致使同一材料田间鉴定结果抗性不稳定和

年际间存在差异(李贤庆等, 2006; 许兰杰等, 2014)。通过鉴定技术的改进, 可以减少环境对蚜虫种群数量的影响, 提高鉴定结果的准确性。本研究应用网罩接蚜专一取食的方法, 评价了四川省 2000 年后审定的小麦主栽品种对禾谷缢管蚜的抗性水平, 并比较以蚜量比值为标准划分的抗性等级与千粒重损失率的一致性。

1 材料与方法

1.1 试验材料及虫源

供试的小麦材料共 38 个, 其中 34 个为四川省 2000 年后审定的品种, 4 个为应用频率较高的亲本材料(川育 12、绵阳 26、川麦 30、川 6415), 均由四川省农业科学院作物研究所收集提供, 详见表 1。供试蚜虫为禾谷缢管蚜, 接蚜前于蚜虫养殖田内挑选个体一致的成蚜, 置 1.5 mL EP 管内饥饿 2 h 待用。

1.2 研究方法

试验于 2010/2011 小麦生长季在四川省广汉市连山镇锦花村(N31°0'22.09", E104°23'54.61)的遮雨棚内进行。11 月 13 日将种子播在盆钵中, 盆钵土内混有复合肥料, 盆钵内径 24 cm、高 20 cm, 每盆播 5 粒, 出苗后留 3 苗。每个品种播 6 盆, 其中 3 盆为接蚜处理, 3 盆为不接蚜对照。接蚜和不接蚜处理的盆钵隔离, 在接蚜和不接蚜处理内品种随机排列。

孕穗期用 80 目尼龙网罩整株小麦, 按每株 2 头进行接蚜, 次日观察 EP 管内残留蚜虫数并及时补足。接蚜 28 d 后待部分盆网罩上方出现有翅蚜时, 小心撤掉全部尼龙网。参考 NY/T

1443.7-2007 小麦蚜虫评价技术规范的方法, 每个品种在接种蚜虫的 3 盆中选择蚜量最高的一盆, 统计该盆内单茎最高蚜量, 蚜量高于 600 头则以 50 的倍数进行估算。参考蚜量比值法 (蔡青年等, 2003) 进行抗性分级, 分成高抗 (0.00~0.20)、抗 (0.21~0.40)、中抗 (0.41~0.60)、低抗 (0.61~0.80)、低感 (0.81~1.00)、中感 (1.01~1.20)、感 (1.21~1.40)、高感 (大于 1.40) 计 8 个抗性等级。其中高抗到低抗为抗蚜, 低感到高感为感蚜。蚜量比值=某材料单茎蚜量/所有材料单茎蚜量总平均。

小麦成熟后, 将测定蚜量的盆与对照盆的小麦分别收获, 脱粒晾晒后称重, 根据收获的籽粒数和粒重计算各自的千粒重, 并计算接蚜后的千粒重损失率, 千粒重损失率= (对照千粒重-接蚜千粒重)/对照千粒重 $\times$ 100%。

利用 Microsoft Excel 2007 和 SPSS 19.0 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 四川小麦主栽品种抗蚜水平

用蚜量比值法划分抗蚜等级, 参试的 34 个品种抗性分布为中抗~高感, 无抗及高抗禾谷缢管蚜品种。中抗、低抗、低感、中感、感、高感品种数量分别为 2、6、11、5、6、4 个, 分别占参试品种总数的 5.9%、17.6%、32.4%、14.7%、17.6%、11.8%; 抗蚜品种占 23.5%, 低感和中感品种占 47.1%, 极端感蚜品种 (感、高感) 占 29.4%。川麦 42 和绵麦 45 表现为中抗, 川麦 51、内麦 836、绵杂麦 168 和蜀麦 482 4 个品种表现为高感 (表 1)。

表 1 四川小麦主栽品种对禾谷缢管蚜的抗性
Table 1 Resistance of major wheat varieties to *Rhopalosiphum padi* in Sichuan Province

编号 No.	品种名* Variety*	系谱 Pedigree	审定 年份 Released year	蚜量 比值 Aphid ratio	抗性水平 Resistance level	千粒重 损失率 (%) Loss rate of 1000-grain weight (%)
1	川麦 42 Chuanmai 42	Syn-CD769/川麦 30//川 6415 Syn-CD769/Chuanmai30//Chuan6415	2004	0.46	中抗 MR	41.8
2	绵麦 45 Mianmai 45	07146-12-1/贵农 19-4 07146-12-1/Guinong19-4	2005	0.52	中抗 MR	45.3
3	川麦 39 Chuanmai 39	墨 444/90-7 Mo444/90-7	2004	0.68	低抗 LR	54.4
4	川农 16 Chuannong 16	川育 12/87-429 Chuanyu12/87-429	2003	0.68	低抗 LR	70.0
5	川麦 56 Chuanmai 56	川麦 30/川麦 42 Chuanmai30/Chuanmai42	2009	0.73	低抗 LR	63.1
6	绵麦 367 Mianmai 367	1275-1/川麦 43 1275-1/Chuanmai43	2010	0.73	低抗 LR	57.8
7	川麦 58 Chuanmai 58	川麦 42/03 间 3//川麦 42 Chuanmai42/03jian3//Chuanmai42	2010	0.78	低抗 LR	49.7
8	绵麦 41 Mianmai 41	绵阳 01821/90 中 165//贵农 19-4 Mianyang01821/90zhong165//Guinong19-4	2006	0.78	低抗 LR	53.4

续表 1 (Table 1 continued)

编号 No.	品种名* Variety*	系谱 Pedigree	审定 年份 Released year	蚜量 比值 Aphid ratio	抗性水平 Resistance level	千粒重 损失率 (%) Loss rate of 1000-grain weight (%)
9	川麦 38 Chuanmai 38	Syn-CD769/川麦 30//川 6415 Syn-CD769/Chuanmai30//Chuan6415	2003	0.83	低感 LS	62.1
10	川麦 48 Chuanmai 48	川麦 32/川麦 36 Chuanmai32/Chuanmai36	2006	0.83	低感 LS	60.5
11	川麦 50 Chuanmai 50	贵农 21/3295 Guinong21/3295	2008	0.83	低感 LS	63.7
12	内麦 9 号 Neimai 9	绵阳 26/92R178 Mianyang26/92R178	2006	0.83	低感 LS	64.9
13	川麦 107 Chuanmai 107	2469/80-28-7	2001	0.88	低感 LS	52.8
14	川麦 41 Chuanmai 41	91T4135/88 凡 8 91T4135/88fan8	2003	0.88	低感 LS	62.1
15	川麦 43 Chuanmai 43	Syn-CD769/川麦 30//川 6415 Syn-CD769/Chuanmai30//Chuan6415	2006	0.88	低感 LS	56.1
16	内麦 11 Neimai 11	绵阳 26/92R178 Mianyang26/92R178	2007	0.88	低感 LS	55.5
17	内麦 8 号 Neimai 8	绵阳 26/92R149 Mianyang26/92R149	2003	0.88	低感 LS	65.2
18	川麦 104 Chuanmai 104	川麦 42/川农 16 Chuanmai42/Chuannong16	2012	0.93	低感 LS	57.0
19	川麦 37 Chuanmai 37	88 繁/88-309 88fan/88-309	2003	0.93	低感 LS	64.0
20	川麦 44 Chuanmai 44	96 夏 440/贵农 21 96xia440/Guinong21	2004	1.02	中感 MS	70.3
21	川麦 47 Chuanmai 47	Syn786/绵阳 26//绵阳 26 Syn786/Mianyang26//Mianyang26	2005	1.02	中感 MS	68.6
22	川麦 52 Chuanmai 52	川麦 36/SW1862 Chuanmai36/SW1862	2008	1.02	中感 MS	72.3
23	川麦 49 Chuanmai 49	贵农 21/生核 3295 Guinong21/Shenghe3295	2006	1.07	中感 MS	58.6
24	川育 20 Chuanyu 20	川麦 30//35050/21530 Chuanmai30//35050/21530	2007	1.17	中感 MS	70.8
25	川麦 55 Chuanmai 55	川麦 30/川麦 36 Chuanmai30/Chuanmai36	2009	1.22	感 S	75.0
26	川农 25 Chuannong 25	96I-225/91S-5-4	2007	1.22	感 S	76.0

续表 1 (Table 1 continued)

编号 No.	品种名* Variety*	系谱 Pedigree	审定 年份 Released year	蚜量 比值 Aphid ratio	抗性水平 Resistance level	千粒重 损失率 (%) Loss rate of 1000-grain weight (%)
27	绵麦 37 Mianmai 37	96EW37/绵阳 90-100 96EW37/Mianyang90-100	2004	1.22	感 S	73.5
28	川麦 64 Chuanmai 64	川麦 42/川农 16 Chuanmai42/Chuannong 农 16	2013	1.27	感 S	62.4
29	绵麦 1403 Mianmai 1403	绵阳 04854/贵农 21-1 Mianyang04854/Guinong21-1	2007	1.27	感 S	71.7
30	川育 23 Chuanyu 23	R59//郑 9023/H435 R59//Zheng9023/H435	2008	1.31	感 S	82.1
31	川麦 51 Chuanmai 51	174/183//川麦 42 174/183//Chuanmai42	2008	1.41	高感 HS	75.9
32	绵杂麦 168 Mianzamai 168	C49S-87/贵农 21 C49S-87/ Guinong21	2007	1.41	高感 HS	76.8
33	内麦 836 Neimai 836	5680/92R133	2008	1.46	高感 HS	80.7
34	蜀麦 482 Shumai 482	绵阳 93-7/92R141//绵阳 96-324 Mianyang93-7/92R141//Mianyang96-324	2008	1.61	高感 HS	75.1
35	川育 12 Chuanyu 12	川育 8 号/83-4516 Chuanyu8/83-4516	1992	1.02	中感 MS	65.1
36	绵阳 26 Mianyang 26	绵阳 81-5/川育 81-24 Mianyang81-5/Chuanyu81-24	1995	1.41	高感 HS	76.0
37	川麦 30 Chuanmai 30	1426 /4 / I N68-77 /YAA //ALD-Sp/3 /YAZ //ST2022 /983	1998	0.97	低感 LS	77.7
38	川 6415 Chuan 6415	育种中间材料 breeding material	—	0.97	低感 LS	66.1

*国审品种用粗体表示, 其他为川审品种。

*Varieties in bold are national registered and other varieties are registered in Sichuan Province. MR: Moderate resistance; LR: Low resistance; LS: Low susceptible; MS: Moderate susceptible; S: Susceptible; HS: High susceptible. The same below.

中抗品种川麦 42 的两个亲本川麦 30 和川 6415 表现低感, 和川麦 42 有较近亲缘关系的 8 个品种中, 表现低抗的有 3 个(川麦 56、绵麦 367、川麦 58)、低感 3 个(川麦 38、川麦 43、川麦 104)、感 1 个(川麦 64)、高感 1 个(川麦 51)。

2.2 接种蚜虫后千粒重损失率

蚜虫危害小麦叶片和穗部, 影响光合物质的

合成、运输和积累, 会造成千粒重大幅下降, 降幅 41.8%~82.1% (表 1)。随着抗性等级的降低, 千粒重损失率呈上升趋势。千粒重损失率低于 60.0% 的 11 个品种, 以中抗、低抗、低感为主, 其中川麦 42、绵麦 45、川麦 58 均低于 50.0%。千粒重损失率超过 70.0% 的 12 个品种, 以中感、感、高感为主, 其中内麦 836 (高感) 和川育 23 (感) 均超过 80.0%。中抗品种的千粒重损失率

显著低于其他抗性等级的品种, 低抗与低感、中感与感、感与高感的千粒重损失率差异不显著(表 2)。

与川麦 42 具有较近亲缘关系的 9 个品种(含川麦 42)的蚜量比值均值(0.89)与低感品种均值(0.87)接近, 而千粒重损失率均值(58.4%)与低抗品种均值(58.06%)接近, 这些品种的千粒重损失率都低于同等级千粒重损失率的平均值。

统计结果表明, 蚜量比值与千粒重损失率的相关性达极显著水平($R=0.82$)。中抗、低感、感、高感等级品种的千粒重损失率变幅相对较小, 而低抗品种千粒重损失率变幅较大, 最低值(川麦 58, 49.7%)与中抗品种接近, 而最高值(川麦 107, 70.0%)与中感品种接近, 单纯以蚜量比值分级难以反映这些品种的蚜害损失(表 1)。

3 讨论

非选择性 (Non-preference)、抗生性 (Anti-biosis) 和耐害性 (Tolerance) 是小麦对蚜虫的三大抗性机制, 其中抗生性为主要的抗性机制, 蚜虫种群数量是进行抗生性评价的基础(蔡青年等, 2003; 陆子云等, 2014)。已有的

小麦抗蚜性鉴定研究多在田间进行, 因品种类型、气候条件、蚜虫种类、管理措施的不同, 鉴定结果的准确性和重现性相对较差(李贤庆等, 2006; 刘新伦等, 2014)。本研究采用单个材料整株罩网方式接蚜, 使蚜虫专一取食, 并限制其迁移, 可减少其他因素的干扰, 提高鉴定结果的准确性。本研究鉴定出的抗蚜品种比例为 23.5%, 多为低抗品种, 中抗品种比例仅有 5.9%, 这说明四川小麦品种抗蚜水平整体偏弱。段灿星等(2006)认为挖掘抗蚜基因资源、拓宽小麦遗传背景, 是推动我国小麦抗蚜育种的有效方法。中抗品种川麦 42 是硬粒小麦-节节麦人工合成种的衍生后代(廖杰等, 2007), 遗传背景相对丰富, 与川麦 42 亲缘关系较近的 8 个品种中, 达到低抗和低感水平的有 6 个, 可见川麦 42 近缘品种抗蚜性整体水平较高, 而川麦 42 的亲本之一川麦 30、川 6415 均为低感品种, 推测其抗性可能来源于另一亲本人工合成小麦 Syn769, 并可遗传给后代。

小麦受蚜虫危害胁迫后, 形成自身的防御体系, 以保证个体生存和种群的繁衍(邹灵平等, 2011), 千粒重损失率主要反映小麦的耐害性(史忠良等, 1999; 欧行奇等, 2005)。本试验结束时高感品种网罩内有翅蚜近百头, 中抗品种蚜虫

表 2 不同抗蚜等级品种千粒重损失率方差分析
Table 2 Variance analysis of loss rate of 1000-grain weight of different aphid resistance level

抗性等级 Resistant level	千粒重损失率 (%) Loss rate of 1000-grain weight (%)	差异显著性 Significant difference	
		$\alpha=0.05$	$\alpha=0.01$
MR	43.6	d	C
LR	58.1	c	B
LS	60.4	c	B
MS	68.1	b	AB
S	73.5	ab	A
HS	77.1	a	A

注: 表中小写或大写字母不同表示千粒重损失率在抗性等级间差异达到显著 ($\alpha=0.05$) 或极显著水平 ($\alpha=0.01$)。Lowercase or capital letters mean the difference of loss rate of 1000-grain weight is significant ($\alpha=0.05$) or extremely significant ($\alpha=0.01$) between different resistance level.

远未达到饱和,以低蚜量比值反映的高抗生性品种与以低千粒重损失率反映的高耐害性品种部分不重叠,部分具有相同粒重损失率的品种对应抗蚜等级差异较大,其可能原因有三:第一,是不同小麦品种蚜量消长曲线不同,其抗性反应也不一致,波浪型小麦品种抗生性较强,而后峰型品种耐害性较强(原国辉等,1997)。蚜虫停止危害时,不同品种蚜量在各自消长曲线上的位置将影响到蚜量比值和千粒重损失率的高低。第二,具有不同补偿效应的小麦品种对麦蚜的耐害能力不同(陈建明等,2005),虫害水平是否超过小麦自身补偿能力及超越点蚜量多寡也会导致千粒重损失率与蚜量比结果不一致。参试品种川农16具有较高抗生性(较低蚜量比),但千粒重损失率高,说明少量的蚜虫危害即可超越品种的自身补偿能力而影响籽粒灌浆;而川麦107在高蚜量危害下仍保持较高的千粒重,说明其耐害补偿点较高。第三,具有不同遗传背景的小麦品种,在其生长代谢中产生的营养物质或次生代谢物质对麦蚜种群控制不同,蚜虫对小麦的防御行为具有不同的反防御表现(邹灵平等,2011),与外界隔离的微环境内麦蚜互作进一步扩大了麦蚜数量的小范围变化和小麦的生长代谢变化,从而影响蚜量比与千粒重损失率的抗性差异水平。因此,仅以蚜量比值分级难以反映品种的蚜害损失,以蚜量比兼顾品种的千粒重损失率等综合评价抗性水平更加准确。

参考文献 (References)

- Awmack CS, Harrington R, 2000. Elevated CO₂ affects the interactions between aphid pests and host plant flowering. *Agricultural and Forest Entomology*, 2(1): 57–61.
- 蔡青年, 张青文, 王宇, 周明群, 2003. 小麦体内生化物质在抗蚜中的作用. *昆虫知识*, 40(5): 391–395. [Cai QN, Zhang QW, Zhou MX, 2003. Effect of biochemicals in wheat plants on wheat resistance in aphids. *Chinese Bulletin of Entomology*, 40(5): 391–395.]
- 陈建明, 俞晓平, 程家安, 郑许松, 徐红星, 吕仲贤, 张珏锋, 陈列忠, 2005. 植物耐虫性研究进展. *昆虫学报*, 48(2): 262–272. [Chen JM, Yu XP, Cheng JA, Zheng XS, Xu HX, Lv ZX, Zhang JF, Chen LZ, 2005. Plant tolerance against insect pests and its mechanisms. *Acta Entomologica Sinica*, 48(2): 262–272.]
- 陈万权, 2013. 小麦重大病虫害综合防治技术体系. 植物保护, 39(5): 16–24. [Chen WQ, 2013. Integrated management of diseases and insect pests on wheat. *Plant Protection*, 39(5): 16–24.]
- 段灿星, 王晓鸣, 朱振东, 2006. 小麦种质对麦长管蚜的抗性鉴定与评价. 植物遗传资源学报, 7(3): 297–300. [Duan CX, Wang XM, Zhu ZD, 2006. Screening and evaluation of wheat germplasm for resistance to the aphid (*Sitobion avenae*). *Journal of Plant Genetic Resources*, 7(3): 297–300.]
- 费晓东, 李川, 张青文, 赵章武, 2011. 油菜-小麦邻作模式对麦蚜种群动态的影响. 植物保护学报, 38(4): 339–343. [Fei XD, Li C, Zhang QW, Zhao ZW, 2011. The effects of wheat aphids planted adjacent to rape on wheat population dynamic. *Acta Phytophylacica Sinica*, 38(4): 339–343.]
- 戈峰, 吴孔明, 陈学新, 2011. 植物-害虫-天敌互作机制研究前沿. 应用昆虫学报, 48(1): 1–6. [Ge F, Wu KM, Chen XX, 2011. Major advance on the interaction mechanism among plants, pest insects and natural enemies in China. *Chinese Bulletin of Entomology*, 48(1): 1–6.]
- 郭良珍, 刘绍友, 苏丽, 2000. 小麦禾谷缢管蚜的危害损失和防治指标研究. 植物保护, 26(6): 12–14. [Guo LZ, Liu SY, Su L, 2000. Studies on the damage loss and the economic threshold of *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus) in wheat. *Plant Protection*, 26(6): 12–14.]
- 郭线茹, 付晓伟, 罗梅浩, 原国辉, 张玉, 2008. 小麦生长中后期麦蚜及其天敌生态位的研究. 河南农业大学学报, 42(4): 430–433. [Guo XR, Fu XW, Luo MH, Yuan GH, Zhang Y, 2008. Studies on the niche of two species of wheat aphids and their natural enemies in the middle and late growing stage of wheat. *Journal of Henan Agricultural University*, 42(4): 430–433.]
- 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. [Guo X, Li KB, Yin J, Wang B, Cao YZ, 2010. Effects of wheat

* 资助项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金 (CARS-3); 国家重点基础研究发展计划“973”项目 (2011CB100100); 四川省农业科学院现代农业技术创新与示范专项 (2014CXSF-019)

**E-mail: weihuiting1980@126.com

***通讯作者, E-mail: ttyycc88@163.com

收稿日期: 2014-09-03, 接受日期: 2014-11-03

- varieties on population parameters of *Macrosiphum avenae* (Fabricius). *Scientia Agricultura Sinica*, 43(10): 2056-2063.]
- 黄荣汉, 谢新民, 曾伟, 贺兵, 宗勇, 1996. 四川小麦蚜虫优势种群演替的研究. *西南农业大学学报*, 18 (6): 554-556. [Huang RH, Xie XM, Zeng W, He B, Zong Y, 1996. Succession of predominant species of wheat aphids in Sichuan. *Journal of Southwest Agricultural University*, 18 (6): 554-556]
- 来有鹏, 张登峰, 尹娇, 武予清, 段云, 蒋月丽, 曹雅忠, 2011. 五种类型农药不同剂量与施药时期对麦蚜防治效果及麦粒农药残留的影响. *应用昆虫学报*, 48(6): 1688-1698. [Lai YP, Zhang DF, Yin J, Wu YQ, Duan Y, Jiang YL, Cao YZ, 2011. Evaluation of the toxicity of five types of pesticides to wheat aphids and pesticide residue on seeds. *Chinese Bulletin of Entomology*, 48(6): 1688-1698.]
- 李贤庆, 郭线茹, 李克斌, 尹娇, 曹雅忠, 2006. 不同小麦品种(系)对麦长管蚜的抗性. *昆虫学报*, 49(6): 963-968. [Li XQ, Guo XR, Li KB, Yin J, Cao YZ, 2006. Resistance of wheat varieties (lines) to *Sitobion miscanthi* (Takahashi) (Aphidoidea: Aphididae). *Acta Entomologica Sinica*, 49(6): 963-968.]
- 廖杰, 魏会廷, 李俊, 杨玉敏, 曾云超, 彭正松, 杨武云, 2007. 川麦 42 遗传背景中人工合成小麦导入位点的 SSR 标记检测. *作物学报*, 33(5): 703-707. [Liao J, Wei HT, Li J, Yang YM, Zeng YC, Peng ZS, Yang WY, 2007. Detection of the introgression loci of synthetic hexaploid wheat in wheat cultivar chuanmai 42 by SSR markers. *Acta Agronomica Sinica*, 33(5): 703-707.]
- 刘新伦, 王长有, 王亚娟, 张宏, 吉万全, 2014. 不同小麦品种资源苗期和成株期麦长管蚜抗性鉴定和分析. *植物保护学报*, 41(2): 216-224. [Liu XL, Wang CY, Wang YJ, Zhang H, Ji WQ, 2014. Screening and evaluation of different wheat varieties for resistance to English grain aphid *Sitobion avenae* at seedling and adult-plant stages. *Acta Phytomycol Sinica*, 41(2): 216-224.]
- 卢子华, 印毅, 杨益众, 2009. 雨水冲刷对麦蚜与捕食性天敌的影响. *安徽农业科学*, 37(35): 17547-17548. [Lu ZH, Yin Y, Yang YZ, 2009. The effects of rain wash on cereal aphids and predators. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 37(35): 17547-17548.]
- 陆子云, 高占林, 党志红, 李耀发, 李建成, 刘文旭, 冉红凡, 屈振刚, 2014. 小麦品种(系)对麦蚜的抗性鉴定及评价. *河北农业科学*, 18(3): 24-26. [Lu ZY, Gao ZL, Dang ZH, Li YF, Li JC, Liu WX, Ran HF, Qu ZG, 2014. Identify and evaluation of resistance of wheat varieties to aphids. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 18(3): 24-26.]
- 欧行奇, 茹振钢, 胡铁柱, 石明旺, 2005. 河南省主要小麦品种耐蚜性研究. *麦类作物学报*, 25(2): 125-127. [Ou XQ, Ru ZG, Hu TZ, Shi MW, 2005. Tolerance of the main wheat cultivars in Henan province to wheat aphids. *Journal of Triticeae Crops*, 25(2): 125-127.]
- 彭丽年, 张小平, 叶建生, 左燕, 2000. 四川省麦长管蚜 (*Macrosiphum avenae* F.) 的抗药性研究. *农药学学报*, 17(3): 13-18. [Peng LN, Zhang XP, Ye JS, Zuo Y, 2000. Study of Resistance to Insecticides in *Macrosiphum avenae* F. in Sichuan Province. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 17(3): 13-18]
- 乔格侠, 秦启联, 梁红斌, 曹雅忠, 许国庆, 高占林, 徐伟钧, 武予清, 李学军, 赵章武, 成新跃, 2011. 蚜虫新型预警网络的构建及其绿色防控技术研究. *应用昆虫学报*, 48(6): 1596-1601. [Qiao GX, Qin QL, Liang HB, Cao YZ, Xu GQ, Gao ZL, Xu WJ, Wu YQ, Li XJ, Zhao ZW, Cheng ZY, 2011. A new aphid-monitoring network system based on suction trapping and development of "green techniques" for aphid management. *Chinese Bulletin of Entomology*, 48(6): 1596-1601.]
- 沈君辉, 聂勤, 黄德润, 刘光杰, 陶龙兴, 2007. 作物混植和间作控制病虫害研究的新进展. *植物保护学报*, 34(2): 209-215. [Shen JH, Nie Q, Huang DR, Liu GJ, Tao LX, 2007. Recent advances in controlling plant diseases and insect pests by mixture planting and inter-planting of crops. *Acta Phytomycol Sinica*, 34(2): 209-215.]
- 史忠良, 郑王义, 尹青云, 马爱萍, 许刚垣, 1999. 冬小麦抗蚜品种田间筛选技术研究. *华北农学报*, 14(1): 98-101. [Shi YL, Zheng WY, Yi QY, Ma AP, Xu GH, 1999. A Study on field selecting technique of wheat varieties for resistance to wheat aphid. *Acta Agriculturae Boreall-Sinica*, 14(1): 98-101]
- 王冰, 李克斌, 尹娇, 杜桂林, 郭萧, 王玉卿, 曹雅忠, 2009. 风雨对麦长管蚜自然种群发展的干扰作用. *生态学报*, 29(8): 4317-4324. [Wang B, Li KB, Yin J, Du GL, Guo X, Wang YQ, Cao YZ, 2009. Effects of simulated wind and rain on the natural population dynamics of *Macrosiphum avenae*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 29(8): 4317-4324.]
- 王美芳, 杨会民, 刘进前, 雷振生, 吴政卿, 原国辉, 陈巨莲, 2010. 黄淮冬麦区小麦品种抗蚜性鉴定及蚜虫对小麦产量和品质的影响. *河南农业科学*, (4): 16-20. [Wang MF, Yang HM, Liu JQ, Lei ZS, Wu ZQ, Yuan GH, Chen JL, 2010. Effect of aphid damage on wheat yield and quality in Yellow and Huai Va lleys winter wheat region. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, (4): 16-20.]
- 许兰杰, 吕延华, 段晓亮, 张小华, 梁荣奇, 2014. 孕穗期和灌浆期小麦品种(系)的抗蚜性评价. *中国农业大学学报*, 19(1): 21-28. [Xu LJ, Lv YH, Duan XL, Zhang XH, Liang RQ, 2014. Evaluation of wheat cultivars/lines for resistance to aphid at boot

- ing and filling stages. *Journal of China Agricultural University*, 19(1): 21-28.]
- 于汉龙, 李林懋, 张思聪, 于毅, 张安盛, 李丽莉, 周仙红, 庄乾营, 门兴元, 叶保华, 2014. 应用罩笼法定量评价天敌对麦蚜的控害作用. *应用昆虫学报*, 51(1): 107-113. [Yu HL, Li LM, Zhang SC, Yu Y, Zhang AS, Li LL, Zhou XH, Zhuang QY, Men XY, Ye BH, 2014. Effect of suppression of natural enemies on wheat aphids using enclosures in wheat fields. *Chinese Bulletin of Entomology*, 51(1): 107-113.]
- 原国辉, 韩桂仲, 刘顺通, 1997. 小麦品种(系) 对小麦蚜虫自然种群消长的影响. *河南农业大学学报*, 31(增刊): 87-91. [Yuan GH, Han GZ, Liu ST, 1997. Effects of wheat varieties on population dynamics of wheat aphids. *Journal of Henan Agricultural University*, 31(supplement): 87-91]
- 周海波, 陈巨莲, 刘勇, 程登发, 陈林, 孙京瑞, 2009. 小麦品种多样性对麦长管蚜的生态调控作用. *植物保护学报*, 36(2): 151-156. [Zhou HB, Chen JL, Liu Y, Cheng DF, Chen L, Sun JR, 2009. Using genetic diversity of wheat varieties for ecological regulation on sitobion avenae. *Acta Phytopylacica Sinica*, 36(2): 151-156.]
- 邹灵平, 方婷婷, 蒲桂林, 蔡青年, 2011. 麦类作物与蚜虫互作生化机制研究进展. *应用昆虫学报*, 48(6): 1816-1822. [Zhou LP, Fang TT, Pu GL, Cai QN, 2011. Advances in research on the biochemical mechanism of triticeae and aphid interaction. *Chinese Bulletin of Entomology*, 48(6): 1816-1822.]