

新疆棉花主栽品种的抗蚜性及其机制研究

芦屹, 王佩玲*, 刘冰, 张金, 周子扬

(新疆石河子大学农学院植物保护系, 石河子 832003)

摘要:对新疆棉区主栽的9个棉花品种进行了叶片形态特性、生化物质含量测定,结果表明,品种间抗蚜程度存在显著差异,新海21号抗蚜性最强,中棉所35和81-3感蚜。品种叶片的蜡质含量越高,对棉蚜的抗性越强,茸毛密度大,影响棉蚜的取食;游离棉酚和可溶性糖含量与抗蚜程度呈显著正相关;单宁含量与蚜害指数呈显著正相关;氨基酸中的谷氨酸含量越高,抗蚜性越强。逐步回归和相关分析发现,氮含量和氨基酸总量与抗蚜程度无明显相关性。品种的抗蚜性是多种特性综合作用的结果。

关键词:棉花;品种;棉蚜;外部形态;抗虫性

中图分类号:S435.622 文献标识码:A

文章编号:1002-7807(2009)01-0057-07

Resistance and Relevant Mechanism to *Aphis gossypii* Glover of Main Cotton Varieties in Xinjiang

LU Yi, WANG Pei-ling*, LIU Bing, ZHANG Jin, ZHOU Zi-yang

(Department of Plant Protection, College of Agriculture, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China)

Abstract: The cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae), is one of the major destructive pests on cotton in Xinjiang, China. In 1994, 1997, 2001 and 2003, *A. gossypii* happened in a large scale in cotton production area in Xinjiang. Insecticides are the only efficacious method of aphid controlling. Although the use of insecticides can be a quick and easy way, the ideal time to spray is not well defined. Insecticides also have many adverse effects such as killing beneficial insects, environmental contamination, and increased production costs. *A. gossypii* populations may resurge when applications of insecticides are poorly timed or applied. Screening cotton varieties resistant to the aphid is a long-term solution. There were no reports about cotton cultivars with resistance to aphid in Xinjiang, currently. This research deals with the relationship between some morphological characteristics and biochemical substances with the resistance to the cotton aphid in nine main cotton varieties in Xinjiang. The results showed that there were significant differences in resistance to *A. gossypii* among different varieties, with Xinhai 21 as the most resistant one, and CCRI 35 and 81-3 as susceptible ones. The wax content and hair density were positively correlated with the resistance to *A. gossypii*, by influencing aphid feeding behavior. Both free gossypol and soluble sugar were also in positive correlation with the resistance, while the content of tannin was in negative correlation ($R=0.984$). The high content of glutamic acid was an indicator of high resistance to *A. gossypii* ($R=0.884$). However, contents of total nitrogen and amino acids were not associated with the resistance to *A. gossypii* by stepwise regression analysis and correlation analysis, which indicated that many factors contributed to the resistance to *A. gossypii*.

Key words: cotton; variety; *Aphis gossypii*; morphological; insect resistance

收稿日期: 2008-01-28 作者简介: 芦屹(1982-), 男, 硕士, luyi5362@163.com; *通讯作者, wangpl69@126.com

基金项目: 国家“十一五”支撑项目(2006BAD21B02-3), 新疆兵团农八师科委重点项目(2005-01), 新疆兵团博士基金资助项目(05JJ01)

棉蚜 *Aphis gossypii* (Glover) 属同翅目蚜科,是我国棉区主要害虫之一,除西藏外,在全国各地广为分布^[1]。新疆是棉蚜的常发区。近15年来,棉蚜发生范围遍布南、北疆各棉区,1991,1994,1997,2001,2003年棉蚜大发生,平均每三年左右都有一次大的危害^[2-3]。长期以来,棉蚜的防治一直以化学防治为主,大量地、不合理地使用化学农药,结果导致其抗性发展速度快,抗性程度高,抗性背景复杂^[4]。在棉蚜综合治理中,选育和种植抗蚜棉花品种,是从根本上解决蚜害问题的基本途径之一。

我国的抗蚜性研究在20世纪80年代初已经开始。“七五”期间,四川省农科院棉花研究所、华中农业大学等相继培育出具有形态抗性的抗(耐)蚜品种(系)川抗77、川棉109、华棉101等。1986年,中国农科院棉花研究所、植物保护研究所等单位,依据已有的研究成果,制定了棉花种质资源抗蚜鉴定的统一方法^[5]。1994年马丽华等对棉花抗蚜性鉴定方法及分级标准进行了修订^[6]。近年来,国内外对不同品种棉花上棉蚜适生性及种群动态等方面做了一系列的研究^[7],这为分析棉花品种和棉蚜种群间相互关系,培育抗蚜棉花品种,研究抗性机制提供了新的方法。不同棉花品种对棉蚜的抗性程度不同,其机理是多方面的,主要涉及外部形态和内部生理生化特性。外部形态包括叶背面茸毛多少、蜡质含量、表皮厚度等;生化物质包括可溶性糖、棉酚、单宁、氨基酸等。目前,新疆植棉面积不断扩大,品种调引频繁,但报道新疆栽培品种的抗蚜性水平及其抗性机制的却比较少。本文针对目前新疆部分棉花主栽品种的抗蚜性状进行了研究,并对品种抗蚜机理作了探讨。

1 材料和方法

1.1 供试棉花品种及其抗蚜性鉴定

供试棉花品种9个:新陆早12号、新陆早24号、标杂A₁、新杂棉2号、新炮台1号(由新疆兵团种子公司提供)、中棉所35、新海21号(由塔里木大学植物保护教研室提供)、新陆早13号、81-3。抗性对照品种为非洲E-40(由石河子大学作物育种教研室提供)。

试验田选择在石河子大学农学院实验站2号、3号网室。网室东西走向,宽膜覆盖。品种随

机排列。每品种一个小区,每小区2行,行长3.8m,膜宽1.4m,行距为(30+50+30)cm,株距10cm,每品种3次重复,网室总面积96m²。2007年4月23日播种,棉种不作任何药剂处理,各品种水肥化控等栽培管理措施一致,与一般大田相同。利用田间自然虫源,通过调查被害分级,以蚜害指数与对照品种相比较,观察蕾期蚜害情况,评定不同品种对棉蚜的抗性程度^[8]。蚜害记载采用5级分级法^[5]。

1.2 棉花品种叶片形态特性的测定

1.2.1 蜡质含量的测定。参照Massaquoi的方法^[9],于棉花蕾期取每个品种上部倒三叶,用水洗净,吸水纸吸干、剪碎。称取4g,放入60mL氯仿中浸泡1min,将提取液过滤到已知重量的蒸发皿中,在通风柜中使氯仿挥发完后,再次称重,减去蒸发皿的重量,即为蜡质含量。以单位鲜叶重计算蜡质含量,每品种重复5次,取平均值。

1.2.2 叶片茸毛密度测定。选择各品种棉花倒三叶的相同部位(叶中脉基部2/5处),切取面积为0.25cm²的叶片,在解剖镜下计数叶背茸毛,每品种取10个不同叶片的测定值,得出每平方米平均茸毛数。

1.3 棉花品种叶片生化物质测试指标及方法

在棉花蕾期取未受蚜害的各品种上部倒三叶分析测试用。全氮含量(参考GB/T 17767.1-1999)用凯氏定氮法(FOSS2300瑞士全自动凯氏定氮仪)测定;氨基酸含量(参考SHHZ/C 054-2004)用高效液相色谱仪(Waters2695)测定。以上两项测试由农业部食品质量监督检验测试中心(石河子)完成。可溶性糖含量测定采用蒽酮比色法^[10];单宁含量测定采用钨钼酸比色法^[11];游离棉酚含量测定采用苯胺法^[12]。

实验结果用SPSS13.0、DPSv3.01专业版统计软件进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 供试棉花品种的抗蚜性及叶片蜡质含量、茸毛密度对抗蚜性的影响

根据表1抗蚜性鉴定结果可知,新海21号表现出高抗,蚜害指数最小,为32.17;新杂棉2号表现为抗;表现出感蚜的品种有中棉所35和81-3,蚜害指数分别达72.28、77.97,其余品种均表现为中抗。

表1 不同棉花品种叶片蜡质含量、茸毛密度和抗蚜性等级^[8]

Table 1 Wax content, hairiness density and resistance level of leaves in different cotton varieties

棉花品种	蜡质含量 ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	茸毛密度 ($\text{根} \cdot \text{cm}^{-2}$)	蚜害指数	蚜指减退率 /%	抗级
新海21号	1.6417 ± 0.1294 a	3398.8	32.17	27.97	HR
新杂棉2号	1.5000 ± 0.0382 ab	1755.2	40.60	9.08	R
新炮台1号	1.3917 ± 0.0464 bc	974.8	47.33	-5.98	MR
新陆早13号	1.3750 ± 0.0144 bc	1027.2	48.67	-8.99	MR
标杂A ₁	1.3667 ± 0.0546 bc	108.0	48.23	-8.00	MR
中棉所35	1.2833 ± 0.0583 c	814.4	72.28	-61.85	S
81-3	1.2750 ± 0.0144 c	321.2	77.97	-74.60	S
新陆早24号	1.2667 ± 0.0167 c	45.2	63.17	-41.46	MR
新陆早12号	1.2083 ± 0.0651 c	688.0	46.22	-3.49	MR
非洲E-40	—	—	44.66	CK	—

注:非洲E-40为抗性对照品种;高抗:HR;抗:R;中抗:MR;感:S。

由表1可以看出,高抗品种新海21号和抗性品种新杂棉2号的茸毛数明显较多,平均分别为3398.8根·cm²、1755.2根·cm²。多毛阻碍棉蚜口针到达筛管,延迟蚜虫开始取食的时间,对蚜虫的取食起了负反馈作用,从而降低取食周期和取食量^[13],对棉蚜有一定的抗性。棉花叶片蜡质含量的高低能影响棉蚜的取食,进而影响生长发育和繁殖。通过对供试棉花品种蜡质含量的测定表明,不同品种之间蜡质含量差异显著($F=5.134, F_{0.05(8,18)}=2.51$)。新海21号、新杂棉2号的蜡质含量与中棉所35、81-3、新陆早24号、新陆早12号存在显著差异,新海21号的蜡质含量高于其它棉花品种;中棉所35、81-3、新陆早24号、新陆早12号含量较低,有利于蚜虫的取食危害。

将各供试品种上的蚜害指数(y)与蜡质含量(x)进行直线回归分析,回归方程为 $y=160.82-78.868x$,相关系数 $R=0.706, F=6.940, P=0.034<0.05$,回归效果显著。所得回归方程表明蚜害指数与蜡质含量呈显著负相关,即品种叶片的蜡质含量越高,对棉蚜的抗性越强。从图1也可以看出,棉蚜对棉花品种的危害指数随蜡质含量的降低而升高。这说明蜡质含量作为一种形态特性的确在抗蚜性中发挥着重要的作用。

2.2 棉花品种叶片生物物质含量对抗蚜性的影响

2.2.1 棉花品种叶片氨基酸含量主成分分析及对抗蚜性的影响

由表2可见,不同棉花品种的氨基酸含量存在较大的差异。对品种叶片氨基酸含量进行主成分分析(表3)。棉花蕾期前3个主

成分的累计贡献率达94.545%,说明前3个主成分已负载了变异的大部分信息。前3个主成分对应的特征向量见表4,棉花蕾期叶片氨基酸中,天门冬氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、精氨酸、脯氨酸、酪氨酸和蛋氨酸对前3个主成分的贡献较大,这8种氨基酸基本上可以代表叶片中16种氨基酸的差异,可作为品种氨基酸的主成分。

取棉蚜在各供试品种上的蚜害指数(y)与氨基酸主成分天门冬氨酸(x_1)、丝氨酸(x_2)、谷氨酸(x_3)、甘氨酸(x_4)、精氨酸(x_5)、脯氨酸(x_6)、蛋氨酸(x_7)和酪氨酸(x_8)含量进行逐步回归分析得出: $y=134.701-68.238x_3+15.939x_5+48.749x_6$ 。

回归式经相关分析,相关系数 $R=0.884$,进行方差分析, $F=5.967(F_{0.05(3,5)}=5.41)$,回归效果显著。所得回归方程式表明,蚜害指数与棉花蕾期谷氨酸含量呈负相关。即谷氨酸含量越高,抗

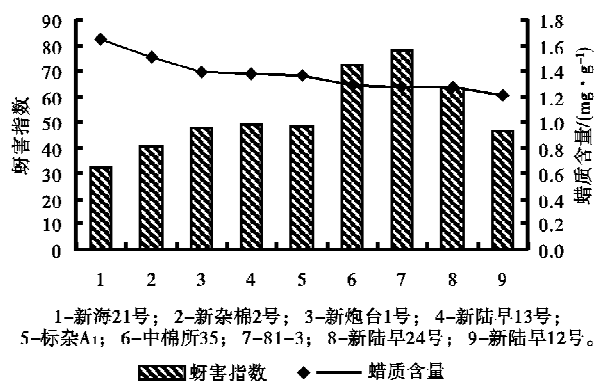


图1 不同棉花品种蚜害指数与蜡质含量的关系
Fig. 1 The relationship between damage index and wax content in different cotton varieties

表2 不同棉花品种蕾期叶片氨基酸含量

Table 2 Amino acids content of different cotton varieties in budding stage $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$

氨基酸种类	标杂 Δ_1	新陆早 24号	新陆早 13号	新陆早 12号	81-3	新杂棉 2号	中棉所 35	新炮台 1号	新海 21号
天门冬氨酸	2.82	2.58	3.32	2.99	2.70	3.38	2.71	2.90	3.73
丝氨酸	1.29	1.14	1.54	1.34	1.21	1.50	1.21	1.32	1.67
谷氨酸	2.67	2.59	3.20	2.84	2.66	3.18	2.48	2.88	3.47
甘氨酸	1.36	1.32	1.58	1.36	1.36	1.56	1.23	1.38	1.64
组氨酸	1.22	1.28	1.63	1.04	1.30	2.04	1.62	1.28	2.66
精氨酸	1.60	1.67	1.93	1.69	1.64	1.90	1.52	1.70	2.22
苏氨酸	1.64	1.42	1.84	1.64	1.42	1.87	1.54	1.67	2.26
丙氨酸	1.40	1.42	1.61	1.48	1.38	1.68	1.30	1.52	1.79
脯氨酸	1.28	2.06	2.07	2.04	2.06	2.02	1.67	1.70	1.59
酪氨酸	0.70	0.56	1.07	1.10	0.76	1.28	1.06	1.04	1.36
缬氨酸	1.44	1.50	1.62	1.50	1.52	1.60	1.34	1.56	1.76
蛋氨酸	0.80	0.77	0.50	0.46	0.65	0.54	0.44	0.56	0.82
赖氨酸	0.82	0.79	1.28	0.92	1.03	1.12	0.86	0.98	1.16
异亮氨酸	1.22	1.28	1.51	1.29	1.30	1.40	1.19	1.34	1.45
亮氨酸	2.20	2.22	2.64	2.26	2.29	2.39	2.08	2.32	2.66
苯丙氨酸	1.63	1.61	1.98	1.68	1.65	1.80	1.55	1.69	1.96
氨基酸总量	24.08	24.22	29.32	25.66	24.92	29.23	23.80	25.84	32.14

表3 棉花蕾期氨基酸特征根及其对应信息量和累计贡献率

Table 3 Eigenvalues and cumulative contribution of amino acids in budding stage

项目	矩阵特征根							
	12.0811	1.8109	1.2353	0.4276	0.2489	0.0866	0.0670	0.0425
信息量/%	75.507	11.318	7.721	2.673	1.556	0.541	0.419	0.266
累计贡献率/%	75.507	86.825	94.545	97.218	98.774	99.315	99.734	100.00

表4 棉花蕾期氨基酸主成分分析的特征向量

Table 4 Characteristic vector for principal components analysis of amino acids in budding stage

氨基酸种类	第1特征根特征向量	第2特征根特征向量	第3特征根特征向量
天门冬氨酸	0.973	-0.064	-0.187
丝氨酸	0.973	-0.047	-0.170
谷氨酸	0.993	-0.004	-0.009
甘氨酸	0.977	-0.007	0.130
组氨酸	0.803	-0.285	-0.212
精氨酸	0.974	-0.119	0.098
苏氨酸	0.929	-0.265	-0.241
丙氨酸	0.967	-0.060	0.027
脯氨酸	0.071	0.843	0.379
酪氨酸	0.750	0.158	-0.615
缬氨酸	0.926	-0.058	0.286
蛋氨酸	0.122	-0.816	0.551
赖氨酸	0.870	0.366	0.043
异亮氨酸	0.913	0.282	0.244
亮氨酸	0.948	0.070	0.236
苯丙氨酸	0.962	0.106	0.127

蚜性越强;与脯氨酸和精氨酸含量呈正相关,即脯氨酸和精氨酸含量越高,感蚜性越强。

2.2.2 棉花品种叶片可溶性糖等物质含量与抗蚜性关系。9个不同品种的叶片可溶性糖、单宁、

游离棉酚、全氮含量、氨基酸总量均存在差异(表5)。取棉蚜在各供试品种上的蚜害指数(y)与可溶性糖(x_1)、单宁(x_2)、游离棉酚(x_3)、全氮(x_4)和氨基酸总量(x_5)进行逐步回归分析得出: $y =$

$109.886 - 545.048x_3 + 41.788x_2 - 99.373x_1$ 。

回归式经相关分析,相关系数 $R=0.984$ 。回归结果进行方差分析, $F=51.536 (F_{0.01(3,5)}=12.06)$, 回归效果极显著。所得回归方程式表明, 蚜害指数与棉花蕾期单宁含量呈正相关。即单宁含量越高, 感蚜性越强。与游离棉酚、可溶性糖含

量呈负相关, 其中, 游离棉酚含量对抗蚜性的影响最大, 含量越高, 抗蚜性强。全氮(x_4)和氨基酸总量(x_5)对方程贡献较小, 未进入回归方程。说明两者与蚜害指数无明显相关性。品种的抗蚜性是多种特性综合作用的结果。

表 5 不同棉花品种叶片可溶性糖等物质含量的测定结果

Table 5 The content of soluble sugar etc. in leaves of different cotton varieties

棉花品种	蚜害指数	可溶性糖/%	单宁/%	游离棉酚/%	全氮/%	氨基酸总量/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)
新海 21 号	32.17	0.2139 ± 0.0055	1.5399 ± 0.0092	0.2242 ± 0.0053	4.40	32.14
新杂棉 2 号	40.60	0.3757 ± 0.0104	1.9410 ± 0.0171	0.1994 ± 0.0151	4.08	29.23
新陆早 12 号	46.22	0.2899 ± 0.0167	1.7431 ± 0.0122	0.1902 ± 0.0133	3.88	25.66
新炮台 1 号	47.33	0.4305 ± 0.0074	1.7257 ± 0.0097	0.1733 ± 0.0001	3.94	25.84
标杂 A ₁	48.23	0.3428 ± 0.0172	1.9705 ± 0.0017	0.2024 ± 0.0027	3.68	24.08
新陆早 13 号	48.67	0.2916 ± 0.0144	1.7743 ± 0.0017	0.2009 ± 0.0160	3.91	29.32
新陆早 24 号	63.17	0.3365 ± 0.0269	1.6806 ± 0.0136	0.1517 ± 0.0115	4.08	24.22
中棉所 35	72.28	0.3356 ± 0.0151	2.1181 ± 0.0122	0.1709 ± 0.0102	4.36	23.80
81-3	77.97	0.3730 ± 0.0182	2.3281 ± 0.0080	0.1716 ± 0.0027	3.85	24.92

3 讨论

目前, 大多数学者认为棉花茸毛可以减轻蚜害, 其茸毛密度与棉蚜密度呈显著负相关^[14-15], 与棉花的抗蚜性呈显著正相关^[16]。在本研究中高抗品种新海 21 号和抗性品种新杂棉 2 号的茸毛数明显较多, 对棉蚜有一定的外在形态抗性, 这与他人研究结果较为一致。蜡质含量大, 蜡质层厚, 叶片受保护就好, 蚜虫口针刺破叶片表皮吸取汁液的难度就大, 因而表现出影响蚜虫的取食与繁殖^[17]。本研究中, 叶片的蜡质含量越高的品种, 棉蚜的危害就越轻, 这说明蜡质含量作为一种形态抗性在抗蚜性中的确发挥着明显的作用。

棉花品种的生理生化抗性对棉蚜的营养代谢、生长繁殖和行为产生抑制作用^[14]。棉株体内的氨基酸既是棉虫的营养物质, 又是一种抗性物质^[18-19]。它能干扰棉蚜对寄主的选择, 影响其生长和发育, 在对棉蚜的作用中发挥着“双重”作用。吴振廷等发现酪氨酸对棉蚜有负营养效应, 在各氨基酸的组分中, 酪氨酸含量高, 能使棉蚜龄期缩短, 蜕皮增厚, 虫体变小, 甚至大量死亡, 表现出抗蚜性^[20]。姜永幸等认为高抗品种中脯氨酸与氨基酸总量比例要高于感蚜品种, 脯氨酸含量与其它种类氨基酸的比例失调可能是抗蚜的主要原因^[21]。本研究发现作为氨基酸主成分中的酪氨酸, 抗蚜品种的含量高于感蚜品种, 与前述研究结果一致; 脯氨酸含量与蚜害指数呈正相关, 这与李

庆^[22]的研究结果相同, 与姜永幸的结果相矛盾; 但高抗品种的氨基酸总量的确高于感蚜品种。由此说明, 抗蚜性受各种氨基酸综合效应的影响, 并非某一种单独起作用。

关于棉叶中可溶性糖含量高低与抗蚜程度的关系的研究结果历来不一致^[23-24], 本研究中抗蚜品种的可溶性糖含量高于感蚜品种。对于棉蚜生长发育来说, 棉株汁液中含有相对过量的糖就会造成棉蚜的过量取食和增大其排蜜能力, 从而增大了棉蚜的代谢压力, 不利于棉蚜的生存。

单宁的作用在于干扰棉蚜肠道内的消化, 抑制酶的活性, 从而影响对蛋白质等营养物质的消化与利用, 提高棉花的抗蚜性^[25]。棉酚是棉花体内非常重要的一类抗性物质^[26], 国内外一些报道认为游离棉酚可以降低棉蚜的生存力和繁殖力, 以及抑制棉蚜的取食^[14, 21]。本研究通过对供试品种单宁、棉酚含量测定与抗蚜性关系的研究得出抗蚜性与棉花蕾期单宁含量呈负相关, 与游离棉酚含量呈显著正相关。王琛柱认为棉株体内单宁的含量往往与棉酚的含量呈一定负相关, 低酚棉品种单宁含量较多, 有毒棉品种则含量较少, 从而形成了抗虫性的互补性^[27]。本研究结果与此观点基本一致。植物抗蚜性是由多种因素决定的, 因此棉花品种抗蚜机制是一个十分复杂的问题, 本文研究了新疆 9 个棉花主栽品种的形态指标和生化物质与棉蚜危害程度间的关系, 结合抗蚜性鉴定结果对抗蚜机制进行了初步探讨。某些

抗蚜特定性状的遗传机制尚未涉及,有待进一步深入研究。

本研究中测定材料为棉花蕾期叶片。在新疆,尤其是北疆棉区,7、8月是伏蚜发生期^[28],从棉蚜对温度的适应力来看,棉蚜具有在棉花蕾铃期猖獗为害的生物学潜在能力^[29]。因此研究新疆棉花品种蕾铃期的抗蚜性,对生产上更具有实际意义。

参考文献:

- [1] 任明勇,梁革梅,张永军,等.几种药剂对棉苗蚜、伏蚜的毒力测定和药效试验[J].棉花学报,2007,19(3):199-204.
REN Ming-yong, Liang Ge-mei, Zhang Yong-jun, et al. Toxicity mensurations and efficacy trials of several insecticides against cotton aphid *Aphis gossypii* (Glover)[J]. Cotton Science, 2007, 19(3):199-204.
- [2] 李进步,吕昭智,王登元,等.新疆棉区主要害虫的演替及其机理分析[J].生态学杂志,2005,24(3):261-264.
LI Jin-bu, Lü Zhao-zhi, Wang Deng-yuan, et al. Succession and its mechanism of cotton pests in Xinjiang [J]. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24(3):261-264.
- [3] 王佩玲.抗蚜棉在IPM体系中的作用及研究进展[J].中国棉花,2005,32(增刊):89-90.
WANG Pei-ling. The effect and research advance of aphid-resistant cotton in IPM [J]. China Cotton, 2005, 32(S1):89-90.
- [4] 陆宴辉,杨益众,印毅,等.棉花抗蚜性及抗性遗传机制研究进展[J].昆虫知识,2004,41(4):291-294.
LU Yan-hui, Yang Yi-zhong, Yin Yi, et al. Advances in the resistance and relevant genetic mechanism of cotton to *Aphis gossypii* [J]. Entomological Knowledge, 2004, 41(4):291-294.
- [5] 张宝红,丰嵘.棉花的抗虫性与抗虫棉[M].北京:中国农业科技出版社,2000:3-6,68-69.
ZHANG Bao-hong, Feng Rong. Cotton insect resistance and insect-resistant cotton [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000:3-6,68-69.
- [6] 马丽华,董双林,吴同礼,等.棉花抗蚜性鉴定方法及分级标准修订[J].棉花学报,1994,5(增刊):86.
MA Li-hua, Dong Shuang-lin, Wu Tong-li, et al. Identification of cotton resistance to *Aphis gossypii* and revision of classifying standard [J]. Acta Gossypii Sinica, 1994, 5(S1):86.
- [7] 李进步,方丽平,张亚楠,等.不同类型品种棉花上棉蚜适应性及种群动态[J].昆虫学报,2007,50(10):1027-1033.
LI Jin-bu, Fang Li-ping, Zhang Ya-nan, et al. Fitness and population dynamics of the cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae) on different cotton varieties [J]. Acta Entomologica Sinica, 2007, 50(10):1027-1033.
- [8] 芦屹,王佩玲,刘冰,等.新疆不同棉花品种蕾期抗蚜性初步鉴定[J].石河子大学学报,2007,25(4):412-415.
LU Yi, Wang Pei-ling, Liu Bing, et al. The preliminary identification of resistance to *Aphis gossypii* on various cotton varieties (lines) in budding stage in Xinjiang [J]. Journal of Shihezi University: Natural Science, 2007, 25(4):412-415.
- [9] MASSAQUOI R C, Rush M C. Relationship of quantity of epicuticular wax to resistance of rice to sheath blight [J]. Phytopathology, 1987, 77:1723.
- [10] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2001:195-197.
LI He-sheng. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment [M]. Beijing: Higher Education Press, 2001:195-197.
- [11] 严国光,王福钧.农业仪器分析方法[M].北京:农业出版社,1982:539-540.
YAN Guo-guang, Wang Fu-jun. Analysis method of agriculture instrument [M]. Beijing: Agricultural Press, 1982:539-540.
- [12] 黄伟坤,唐英章,黄焕昌.食品检验与分析[M].北京:轻工业出版社,1989:388-389.
HUANG Wei-kun, Tang Ying-zhang, Huang Huan-chang. Test and analysis in food [M]. Beijing: Light Industry Press, 1989:388-389.
- [13] 姜永幸,郭予元.棉蚜在不同棉花品种上的取食行为及相对取食量的研究[J].植物保护学报,1996,23(1):1-7.
JIANG Yong-xing, Guo Yu-yuan. The study of feeding behaviour of cotton aphid and relative feeding amount on different cotton varieties [J]. Acta Phytopylacica Sinica, 1996, 23(1):1-7.
- [14] 孟玲,李保平,王文全,等.新疆棉花栽培品种对棉蚜抗性及其机制的研究[J].中国棉花,1999,26(2):8-10.
MENG Ling, Li Bao-ping, Wang Wen-quan, et al. Studies on the resistance and relevant mechanism of cotton to *Aphis gossypii* Glover in Xinjiang [J]. China Cotton, 1999, 26(2):8-10.
- [15] 郭香墨,汪若海,李根源,等.棉花抗虫性状与抗虫效果分析[J].棉花学报,1993,5(2):69-74.
GUO Xiang-mo, Wang Ruo-hai, Li Gen-yuan, et al. Analysis of pest resistant characters and their effects in upland cotton (*G. hirsutum* L.) Strains

- [J]. *Acta Gossypii Sinica*, 1993, 5(2): 69-74.
- [16] 郭香墨, 李根源, 汪若海, 等. 陆地棉茸毛与抗蚜性关系的研究[J]. 华中农业大学学报, 1992, 11(1): 36-40.
GUO Xiang-mo, Li Gen-yuan, Wang Ruo-hai, et al. Research on the relationship between hairiness and aphid resistance in *Gossypium hirsutum* L. [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 1992, 11(1): 36-40.
- [17] 杜利锋, 赵惠燕, 袁锋, 等. 小麦抗蚜品种(系)或材料的抗性遗传测定及筛选[J]. 西北植物学报, 1999, 19(6): 68-73.
DU Li-feng, Zhao Hui-yan, Yuan Feng, et al. Resistance to aphid determining and screening in wheat species (lines) or sources[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 1999, 19(6): 68-73.
- [18] ALLAN T S. *Spodoptera exigua* oviposition and larval feeding preferences for pigweed, *Amaranthus hybridus*, over squaring cotton, *Gossypium hirsutum*, and a comparison of free amino acids in each host plant[J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2001, 27(10): 2013-2028.
- [19] BI J L, Toscano N C, Madore M A. Effect of urea fertilizer application on soluble protein and free amino acid content of cotton petioles in relation to silverleaf whitefly (*Bemisia argentifolii*) populations [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2003, 29(3): 747-761.
- [20] 吴振延, 赵慧丽, 吴成方. 棉花苗期植株营养物质变化对棉蚜生存的影响[J]. 植物保护学报, 1990, 17(1): 95-96.
WU Zhen-yan, Zhao Hui-li, Wu Cheng-fang. Effect of nutritional changes in cotton seedlings on the survival of *Aphis Gossypii* (Glover) [J]. *Acta Phytolacica Sinica*, 1990, 17(1): 95-96.
- [21] 姜永幸. 棉蚜的取食行为及棉花抗蚜的生理生化机制[D]. 北京: 中国农业科学院, 1994.
JIANG Yong-xing. The feeding behaviour of cotton aphid and the physiological and biochemical resistance mechanism of cotton to cotton aphid [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 1994.
- [22] 李庆. 小麦族种质资源对禾谷缢管蚜的抗性评价及生化抗性机制研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2002.
LI Qing. Evaluation of wheat germplasm resources for resistance to *Rhopalosiphum padi* L. and biochemical mechanism of aphid resistance [D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2002.
- [23] 刘旭明, 杨奇华. 棉花抗蚜的生理生化机制及其与棉蚜种群数量消长关系的研究[J]. 植物保护学报, 1993, 20(1): 25-29.
LIU Xu-ming, Yang Qi-hua. The relationships between the physiological and biochemical mechanisms of aphid resistance of cotton and the population dynamics of cotton aphid [J]. *Acta Phytolacica Sinica*, 1993, 20(1): 25-29.
- [24] 张广学, 钟铁森. 中国经济昆虫志: 第二十五册 同翅目蚜虫类(一) [M]. 北京: 科学出版社, 1983: 18-19.
ZHANG Guang-xue, Zhong Tie-sen. Economic insect fauna of China; Fasc. 25, *Homoptera: Aphidinea*, Part I [M]. Beijing: Science Press, 1983: 18-19.
- [25] 王朝生, 董顺文, 辜明芳, 等. 几组棉花抗虫品系单宁含量分析[J]. 中国棉花, 1987, 14(2): 22-24.
WANG Chao-sheng, Dong Shun-wen, Gu Ming-fang, et al. The tannin analysis of several insect-resistant cotton varieties (lines) [J]. *China Cotton*, 1987, 14(2): 22-24.
- [26] BOTTGER G T, Shrrhan T T, Lukefahr M J. Relation of gossypol content of cotton plant to insect resistance [J]. *Econ Entomol*, 1964, 57(2): 283-285.
- [27] 王琛柱. 棉酚和单宁酸对棉铃虫幼虫生长和消化生理的影响[J]. 植物保护学报, 1997, 24(1): 13-18.
WANG Chen-zhu. Effects of gossypol and tannic acid on the growth and digestion physiology of cotton bollworm larvae [J]. *Acta Phytolacica Sinica*, 1997, 24(1): 13-18.
- [28] 罗亮, 马德英, 苗伟, 等. 北疆气温与棉蚜发生量之间关系的探讨[J]. 新疆农业科学, 2007, 44(4): 423-428.
LUO Liang, Ma De-ying, Miao Wei, et al. Preliminary discussion on relationship between air temperature and occurrence of cotton *Aphis gossypii* Glover in the North of Xinjiang [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2007, 44(4): 423-428.
- [29] 吴孔明, 刘芹轩. 温度对棉蚜生命参数影响的研究[J]. 棉花学报, 1992, 4(1): 61-68.
WU Kong-ming, Liu Qin-xuan. Influence of temperatures on population increase of cotton aphid, *Aphis Gossypii* [J]. *Acta Gossypii Sinica*, 1992, 4(1): 61-68. ●