环境昆虫学报 2017，39（6）：1306－1312 http：//hjkcxb. alljournals. net
Journal of Environmental Entomology doi：10. 3969/j. issn. 1674－0858. 2017. 06. 16

华登科，桂连友，Gilles BOITEAU，等. 茄二十八星瓢虫在茄子叶片上垂直方向的附着力[J]. 环境昆虫学报，2017，39（6）：1306－1312.

茄二十八星瓢虫在茄子叶片上垂直方向的附着力

华登科[1]，桂连友[1*]，Gilles BOITEAU[2]，罗 杰[1]

（1. 长江大学农学院昆虫研究所，湖北荆州 434025；
2. Agriculture and Agri-Food Canada，Potato Research Centre，Fredericton，New Brunswick，Canada）

摘 要：本文采用电子天平称重法对茄二十八星瓢虫的2龄幼虫、3龄幼虫、4龄幼虫、雌成虫和雄成虫在茄子叶片上垂直方向的附着力进行测定，为进一步研发和利用气流控制技术防治农业害虫提供技术参数。研究结果表明，2龄幼虫、3龄幼虫、4龄幼虫、雌成虫和雄成虫垂直方向的最大附着力分别为7.3±0.3 mN，8.6±0.6 mN，12.0±0.3 mN，15.8±1.3 mN和13.0±1.0 mN。茄二十八星瓢虫垂直方向的附着力从大到小的顺序均为：雌成虫＞雄成虫；4龄幼虫＞3龄幼虫＞2龄幼虫。幼虫的附着力/虫体体重系数由大到小的顺序为：2龄幼虫＞3龄幼虫＞4龄幼虫，所有处理的附着力与虫体体重的相关性均不显著。附着力/虫体重量的系数范围为47.8－90.8，身体重量占附着力1.1%－2.1%。结果进一步表明，在设计旋风式气流吸虫机的频率等参数时，要考虑茄二十八星瓢虫在茄子叶片上的附着力远大于其体重的情况。

关键词：茄二十八星瓢虫；茄子；旋风式吸虫机；附着力
中图分类号：Q968.1；S433.5 **文献标识码：**A **文章编号：**1674－0858（2017）06－1306－07

Vertical adhesive force of *Henosepilachna vigintioctopunctata* (Fabricius) to eggplant leaves

HUA Deng-Ke[1]，GUI Lian-You[1*]，Gilles BOITEAU[2]，LUO Jie[1]（1. Institute of Insect，College of Agriculture，Yangtze University，Jingzhou 434025，Hubei Province，China；2. Agriculture and Agri-Food Canada，Potato Research Centre，Fredericton，New Brunswick，Canada）

Abstract: Cyclone Insect Collector (CIC) has been developed to control pests in crops. Recent studies suggest that a significant number of *Henosepilachna vigintioctopunctata* (Fabricius) remain attached to the plant after a single pass of the machine. Adhesive force of *H. vigintioctopunctata* to eggplant leaves was determined with an electronic scale. Objective of our study is to provide references for pneumatic control technology to be developed and used in prevention and control of agricultural insect pests in China. The results showed that the maximum adhesive force for 2nd, 3rd instar, 4th instar, female and male adult were respectively 7.3±0.3 mN, 8.6±0.6 mN, 12.0±0.3 mN, 15.8±1.3 mN and 13.0±1.0 mN. The adhesive force of *H. vigintioctopunctata* among 2nd instar, 3rd instar, 4th instar, female adult and male adult, order from high to low were as follow: female adult > male adult, 4th instar > 3rd instar > 2nd instar. Adhesive force/weight ratios of *H. vigintioctopunctata* to eggplant leaves among 2nd instar, 3rd instar and 4th instar, order from high to low were as follow: 2nd instar > 3rd instar > 4th instar. Whether in upper or lower eggplant leaves, the adhesive force of *H. vigintioctopunctata* at various life stages and angles, in the upper or lower eggplant leaves, were independent of their mass. Range of mean adhesive force/weight ratio for 2nd, 3rd

基金项目：国家科技支撑计划（2012BAD19B06－09）
作者简介：华登科，男，1989**年生，湖北红安人，硕士研究生，研究方向为农业害虫综合治理，**E－mail：hderrick@yeah.net
* **通讯作者** Auther for correspondence，E－mail：guilianyou@126.com
收稿日期 Received：2016－12－29；**接受日期** Accepted：2017－05－10

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

larvae, 4th larvae, female and male adult was 47.8 – 90.8. The mass of the beetle accounted for 1.1% – 2.1% of adhesive force. Results further showed that the factor of the holding force of insect being far more than their weight would have to be considered to the development of the CIC.

Key words: *Henosepilachna vigintioctopunctata* (Fabricius); *Solanum melongena* L.; Cyclone Insect Collector; adhesive force

茄二十八星瓢虫 *Henosepilachna vigintioctopunctata* (Fabricius) 是茄科植物上的重要害虫 (Yoshiaki, 1980)。在长期使用药剂防治的地区, "3R" 问题的出现越来越受到人们的关注。非化学防控技术, 如吸虫机的使用被认为是替代药剂防治的方法之一, 其前景令人鼓舞 (Khelifi *et al.*, 1995; Panneton *et al.*, 2001)。吸虫机的使用可以有效地清除马铃薯、草莓和莴苣等植株上的害虫 (Inman, 1990; Boiteau *et al.*, 1992)。桂连友研究小组从 2011 年开始开展了有关旋风式气流捕虫机 (Cyclone Insect Collector) 防治蔬菜害虫的研究 (张善彪等, 2013; 华登科等, 2014), 第一次提出利用旋风 (龙卷风) 气流控制害虫的新原理 (顶部侧面斜下向吹气, 顶部中心吸气组合, 产生龙卷风), 制造出 3 台旋风式气流捕虫机样机。在应用吸虫机防治大田作物上的害虫时, Misener 和 Boiteau (1993a) 发现吸虫机通过后, 幼虫残留的比率大于成虫, 并认为吸虫机的清除率与害虫在植物上的附着力有关。不同虫态昆虫在植物叶片上附着力不同, 如马铃薯叶甲成虫的附着力为 40 mN, 3 – 4 龄幼虫的附着力为 30 mN, 2 龄幼虫的附着力为 10 mN。de Vries (1987) 发现当马铃薯叶甲在叶片边缘时, 它的体重与清除力之比约为 0.05。

在设计旋风式气流捕虫机的过程中, 依据空气动力学原理, 明确害虫在捕虫机内气流中的离心力与气压和气动冲量平衡关系、害虫在气旋作用下的生物学行为之前, 害虫在植物叶片上的附着力和虫体体重参数是必须提供的关键数据之一。

本文采用电子天平称重法对茄二十八星瓢虫的 2 龄幼虫、3 龄幼虫、4 龄幼虫、雌成虫和雄成在茄子叶片上垂直方向的附着力进行测定, 明确其垂直方向的最大附着力、附着力/虫体重量的系数以及附着力与虫体体重的相关性, 为进一步研发和利用气流控制技术防治农业害虫提供技术参数。

1　材料与方法

1.1　供试植物和虫源

试验在湖北省荆州市长江大学西校区进行。供试植物为荆州白茄 *Solanum melongena* L.。茄子在室外用盆 (直径 20 cm, 高度 11 cm) 常规种植与管理, 所用土为市场花用土壤 (泥炭∶砂∶煤渣∶蔗渣∶蛭石 = 3∶2∶2∶2∶1), 茄子生长期不施任何农药。供试茄子叶片均取从植株顶部开始往下计数的正常展开的第 3 – 4 叶。从湖北省荆州市长江大学西校区植物园 (30°21′17″N, 112°8′23″E) 的荆州白茄上采集的茄二十八星瓢虫成虫, 置于培养皿 (直径 9 cm, 高 1.8 cm), 培养皿底铺一张湿润的滤纸, 培养皿内放置一小团湿润的棉花, 培养皿中放入新鲜的番茄 *Solanum lycopersicum* 叶片, 最后将培养皿置入智能人工气候箱 (宁波江南仪器厂制造, RXZ 型 (多段编程)) 中 (温度为 25℃ ±1℃, 相对湿度为 80% ±5%, 光周期为 12 L∶12 D), 以所饲养的茄二十八星瓢虫的后代卵、幼虫、蛹、成虫 (羽化后 2 – 3 d) 作为供试虫源。茄二十八星瓢虫的体积、重量、重心和附着力的测定试验均在实验室进行, 室温为 22 – 27℃, 光源为自然光。

1.2　测定装置与方法

所有供试昆虫均在测试前剥夺食物 1 h (饥饿 1 h)。试验参照 Misener 和 Boiteau (1993b) 的方法进行。根据茄二十八星瓢虫在茄子叶片的正反面和拉力方向 (丝线对茄二十八星瓢虫的拉力) 的不同, 试验共分为 4 种处理 (图 1)。

茄二十八星瓢虫在茄子叶片上的附着力采用电子天平 (上海精密科学仪器有限公司, FA1204B) 测定。电子天平的分辨率为 0.1 mg, 采样速率为 8 cps, 采样间隔时间为 0.1 s。拉力方向为竖直向上 (Test A 和 Test B) 时 (图 2 A), 附着力测定装置图如图 2 A。剪一块新鲜的茄子叶片, 将叶片正面朝上 (或反面朝上) 用双面胶带

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

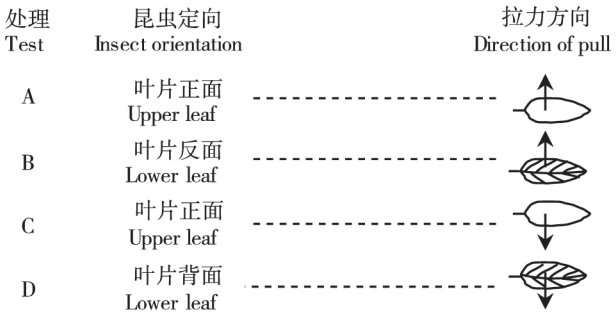

图 1 茄二十八星瓢虫在茄子叶片上的附着力试验的 4 种处理

Fig. 1 Four kinds of adhesive force test of *Henosepilachna vigintioctopunctata* to eggplant leaves

(广东省东莞市旭生包装材料有限公司) 平整粘贴于培养皿底(直径 90 mm,高 18 mm),将培养皿放置在天平的平台上。将丝线的一端(桑蚕丝,直径 0.1 mm,海盐金溢绢纺有限责任公司) 通过 502 瞬间强力胶(广州爱必达胶粘剂有限责任公司) 与茄二十八星瓢虫粘结,在粘结过程中保持丝线末端面与昆虫身体轴线平行,粘结点为两鞘翅接触的身体轴线且高度为成虫重心高度的点,丝线与幼虫的粘结点为幼虫腹部背面中心。将茄二十八星瓢虫放置在茄子叶片上,记录电子天平的读数,慢速拉动茄二十八星瓢虫,并用 Sony 摄像机(HXR - MC58C) 摄影并记录电子天平的读数变化,直至茄二十八星瓢虫与茄子叶片分离。每头茄二十八星瓢虫重复 3 次,记录 3 次重复里面电子天平读数的最大差值,各处理均取 16 头进行测试。

拉力方向为竖直向下(Test C 和 Test D) 时(图 2 B),附着力测定装置图如图 2 B。剪一块正方形的平整的塑料板,尺寸为 5 cm × 5 cm,将其四个角分别用丝线连结,并将四条分丝线连结并汇成一条主丝线,调整四条分丝线的长短,使得静止拉住主丝线时,塑料板能水平静置。剪一块新鲜的茄子叶片,尺寸与塑料板尺寸相同(5 cm × 5 cm),将叶片正面朝上(或反面朝上) 用双面胶带平整粘贴于塑料板下表面,将丝线的一端通过 502 瞬间强力胶与茄二十八星瓢虫粘结,丝线的另一端通过双面胶牢固粘贴于培养皿正中央。其余试验方法同 Test A 和 Test B,各处理均取 16 头进行测试。

1.3 体重测定

附着力测试试验完成后,将所用茄二十八星瓢虫的 2 龄幼虫、3 龄幼虫、4 龄幼虫、雌成虫和雄成虫一一对应后,分别置于离心管(5 mL),用乙醚麻醉致死,作为体重测定的供试昆虫。茄二十八星瓢虫的重量采用电子天平(上海精密科学仪器有限公司,FA1204B,精确度 0.1 mg) 称量测定。各虫态茄二十八星瓢虫每次取单头直接称重,分别重复 32 次。

1.4 数据处理

试验所有的数据均采用 SPSS (SPSS Inc.,Chicago,USA) 数据处理系统进行分析。Test A 和 Test B,茄二十八星瓢虫在茄子叶片上的附着力(mN) 等于电子天平的读数的最大差值(g) 乘以重力加速度。Test C 和 Test D,茄二十八星瓢虫在茄子叶片上的附着力(mN) 等于电子天平的读数的最大差值(g),加上昆虫的重量(g),后乘以

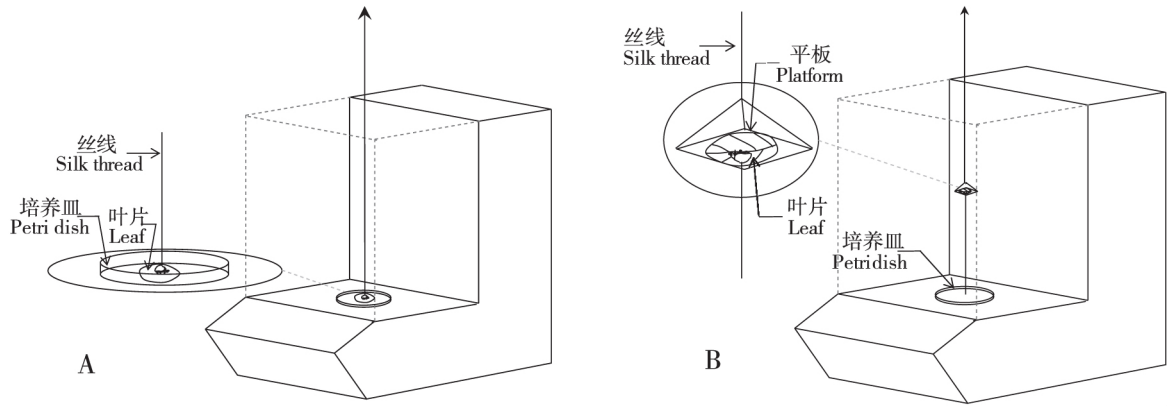

图 2 附着力测定装置

Fig. 2 Determination of adhesive force

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

重力加速度。荆州地区重力加速度为 9.7936 m/s^2。茄二十八星瓢虫不同虫态和不同处理方式的附着力之间的差异，及附着力/虫体体重系数的差异，进行单因子或双因子方差分析，平均数差异均采用 Tukey 法多重比较；各虫态的附着力与虫体体重的相关性 r 参数进行线性相关性分析。

2　结果与分析

2.1　附着力

2.1.1　不同虫态的茄二十八星瓢虫附着力差异

结果表明：2 龄幼虫、3 龄幼虫、4 龄幼虫、雌成虫和雄成虫的最大附着力分别是 7.3 ± 0.3 mN，8.6 ± 0.6 mN，12.0 ± 0.3 mN，15.8 ± 1.3 mN 和 13.0 ± 1.0 mN。

2 龄幼虫（6.2 ± 0.2 mN）、3 龄幼虫（8.2 ± 0.2 mN）、4 龄幼虫（11.5 ± 0.3 mN）和雌成虫（14.1 ± 0.5 mN）的附着力存在极显著差异；2 龄幼虫、3 龄幼虫、4 龄幼虫和雄成虫（11.9 ± 0.4 mN）的附着力存在极显著差异；4 龄幼虫与雄成虫的附着力无显著差异（见图 3）。

进一步研究结果表明：茄二十八星瓢虫在茄子叶片上的附着力由大到小的顺序为：雌成虫 > 雄成虫；4 龄幼虫 > 3 龄幼虫 > 2 龄幼虫。

2.1.2　不同处理的茄二十八星瓢虫附着力差异

2 龄幼虫的 Test A 与 Test C 之间（$F = 20.697$，$df = 1, 30$，$P = 0.0001$）和 Test B 与 Test D（$F = 23.397$，$df = 1, 30$，$P = 0.0001$）之间的附着力存在极显著差异。其余各虫态的各处理之间的附着力均无显著差异（图 4）。

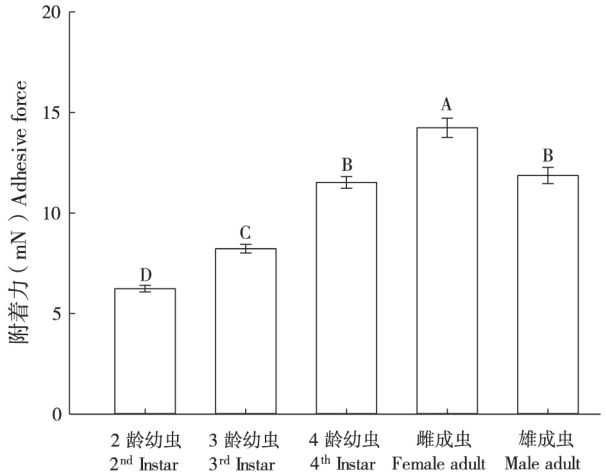

图 3　不同虫态的茄二十八星瓢虫附着力差异（Mean ± SE）

Fig. 3　Difference of adhesive force to *Henosepilachna igintioctopunctata* among the different life stage (Mean ± SE)

注：图中同一大写字母表示其平均值差异没有达到极显著水平（Tukey test，$P > 0.01$）。Note: Mean values followed by the same upper case letter are not statistically significant difference at 0.01 level (Tukey test).

2.2　附着力与虫体体重的相关性

茄二十八星瓢虫的各个虫态和各个处理的附着力与虫体体重的相关性均不显著（见表 1）。

表 1　附着力与虫体体重的相关系数

Table 1　Correlation coefficients of the mass of the beetle at various life stages to adhesive force

Test[n]	虫数 Number	虫态 Stages				
		2 龄幼虫 2nd Instar	3 龄幼虫 3rd Instar	4 龄幼虫 4th Instar	雌成虫 Female adult	雄成虫 Male adult
A	16	0.155	0.202	0.226	0.275	0.204
B	16	0.343	0.197	0.490	0.025	0.096
C	16	0.127	0.164	0.380	0.089	0.061
D	16	0.261	0.406	0.386	0.152	0.277

注：[n]处理 A、B、C 和 D 见图 1。Note: Test A、B、C and D See Fig. 1.

2.3　附着力/虫体系数

由表 2 结果研究表明，茄二十八星瓢虫各种虫态的附着力/虫体体重的平均倍数不同。Test A，2 龄幼虫、3 龄幼虫、4 龄幼虫、雌成虫和雄成虫的附着力/虫体体重的平均倍数分别为 90.2、66.9、53.3、63.3 和 58.2；Test B，2 龄幼虫、3 龄幼虫、4 龄幼虫、雌成虫和雄成虫的附着力/虫体体重的平均倍数分别为 83.8、59.6、47.8、56.6 和 55.6；Test C，2 龄幼虫、3 龄幼虫、4 龄幼虫、雌成虫和雄成虫的附着力/虫体体重的平均倍数分别为 71.8、58.0、53.0、61.0 和 52.8；Test D，2 龄幼虫、3 龄幼虫、4 龄幼虫、雌成虫和雄成虫的附着力/虫体体重的平均倍数分别为 63.4、61.3、49.5、60.3 和 48.5。

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

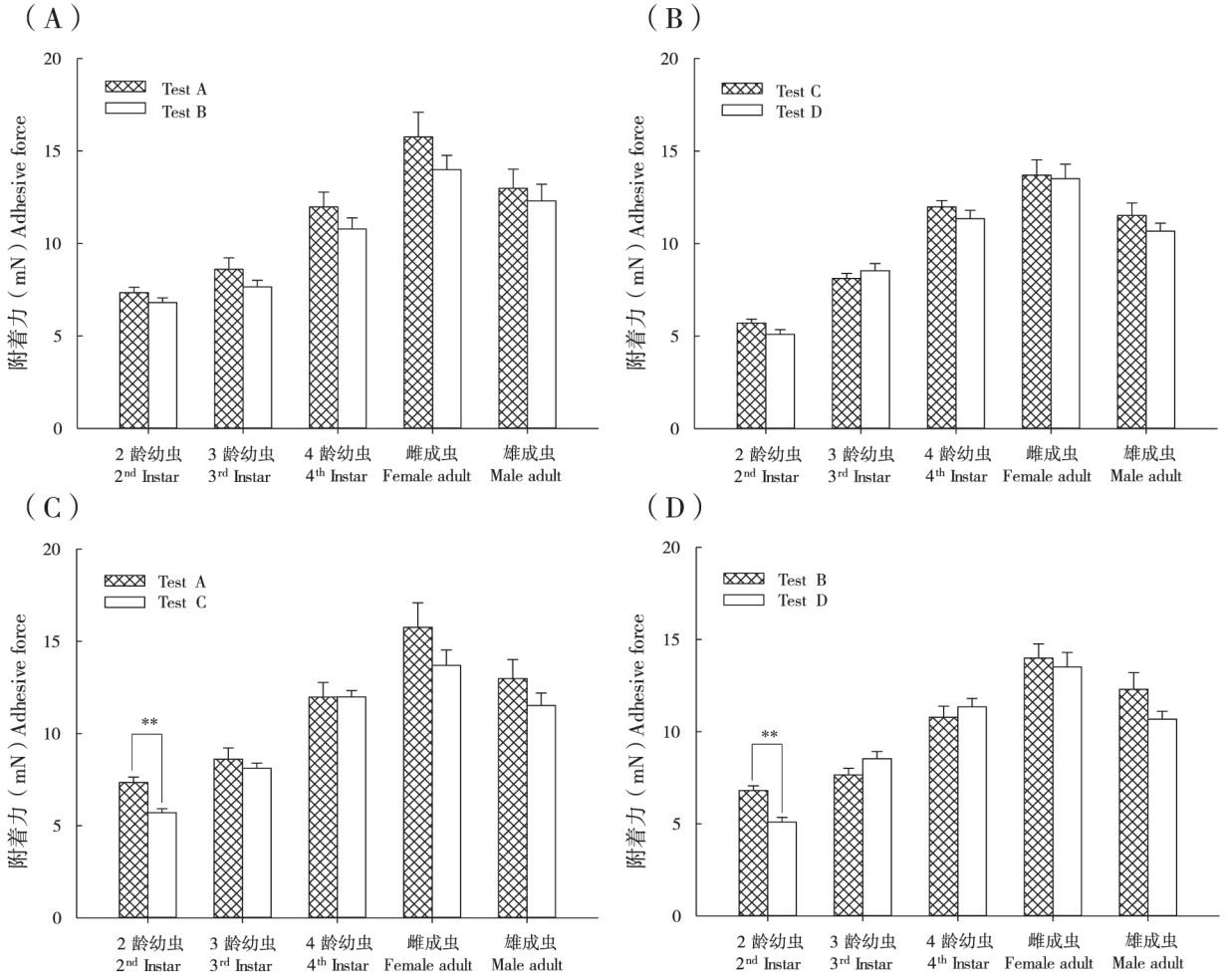

图 4 不同处理的茄二十八星瓢虫附着力差异(Mean ± SE)

Fig. 4 Difference of adhesive force to *Henosepilachna vigintioctopunctata* among the different test

注:(A) Test A vs Test B,(B) Test C vs Test D,(C) Test A vs Test C,(D) Test B vs Test D

** **在 0.01 极显著水平**。Note: Significant at the 0.01 probability level.

表 2 茄二十八星瓢虫各种虫态的附着力/虫体体重的平均倍数[m]

Table 2 Mean adhesive force/weight ratio to *Henosepilachna vigintioctopunctata* among the different life stage

Test[n]	虫数 Number	虫态 Stages				
		2 龄幼虫 2nd Instar	3 龄幼虫 3rd Instar	4 龄幼虫 4th Instar	雌成虫 Female adult	雄成虫 Male adult
A	16	90.2	66.9	53.3	63.3	58.2
B	16	83.8	59.6	47.8	56.6	55.6
C	16	71.8	58.0	53.0	61.0	52.8
D	16	63.4	61.3	49.5	60.3	48.5

注:[n]**处理** A、B、C **和** D **见图** 1。[m]**茄二十八星瓢虫各种虫态的附着力/虫体体重的平均倍数为每个样本的附着力/体重的总和的平均数**($\sum$Wt/F)/n,**Wt 为虫态的重量,F 为虫态的附着力,n 为样本重复数**。Note: Test A、B、C and D See Fig. 1. Mean ratio as determined by: ($\sum$Wt/F)/n, where Wt = weight of beetle, F = adhesive force, and n = number of replication.

2 **龄幼虫、**3 **龄幼虫、**4 **龄幼虫、雌成虫和雄成虫的附着力/虫体体重系数存在极显著差异**($F = 25.331$, $P = 0.0001$),**附着力/虫体体重系数由大到小的顺序为:** 4 **龄幼虫** > 3 **龄幼虫** > 2 **龄幼**

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

虫，雌成虫和雄成虫附着力/虫体体重系数无显著差异（见表 3）。

表 3　各虫态附着力/虫体体重系数差异

Table 3　ANOVA of adhesive force/weight ratios for 2nd instar, 3rd instar, 4th instar, female and male adult

虫态 Stages	附着力/虫体体重系数 Force/weight ratios (Mean ± SD)
2 龄幼虫 2nd Instar	77.3 ± 22.5 A
3 龄幼虫 3rd Instar	61.4 ± 15.2 B
4 龄幼虫 4th Instar	50.9 ± 11.8 C
雌成虫 Female adult	60.3 ± 17.7 B
雄成虫 Male adult	53.7 ± 15.2BC

注：表中同一大写字母表示其平均值差异没有达到极显著水平（Tukey test，$P > 0.01$）。Note: Mean values followed by the same upper case letter are not statistically significant difference at 0.01 level (Tukey test).

3　结论与讨论

研究结果表明：茄二十八星瓢虫在茄子叶片上的附着力由大到小的顺序为：雌成虫 > 雄成虫；4 龄幼虫 > 3 龄幼虫 > 2 龄幼虫。昆虫成虫实现在壁面上附着的器官主要有 3 种：爪子、光滑型足垫和刚毛型足垫，在粗糙表面上昆虫使用爪子附着，爪子的附着能力与表面粗糙度、爪子尖端几何形状和尺寸及附着表面的摩擦系数有关（Dai *et al.*，2002）。

幼虫没有复杂的光滑型或刚毛型足垫，2 龄幼虫主要依靠爪，3 龄幼虫和 4 龄幼虫在取食时，可用上颚咬住叶片，形成附着力（Misener and Boiteau，1993b）。这种成虫和幼虫的附着系统的差异可能是造成茄二十八星瓢虫成虫和幼虫在叶片上的附着力不同的原因。

TestA 与 Test B，Test C 与 Test D 之间的附着力均无显著差异（图 4），表明对于叶片正面和叶片反面而言，各虫态的茄二十八星瓢虫附着力均无显著差异。Gorb 等（1996）提出一个假说，认为昆虫腿节的肌肉通过肌腱控制掣爪片，使爪与接触面形成内锁合（claw interlocking）。Simmermacher（1884）提出微观锁合（microsuckers）理论，认为附着的形成是靠刚毛与接触面的微观锁合。Dai 等（2002）提出机械锁合方式是几乎所有动物均具有的基本结构。Autumn 等（2000，2002）提出附着机制本质上都是基于分子间的作用力即范德华力的假说，并建立了相应的理论模型。无论如何，机械锁合的前提条件是接触面必须是粗糙的（Dai *et al.*，2002）。荆州白茄的叶片正面和反面的绒毛密度和长度均无显著差异（桂连友等，2007）。茄二十八星瓢虫在茄子叶片上的附着力是否与叶片绒毛密度和长度有关？微观锁合是不是茄二十八星瓢虫在茄子叶片正面和反面的附着力均无显著差异的原因，还有待进一步研究。

茄二十八星瓢虫 2 龄幼虫、3 龄幼虫、4 龄幼虫、雌成虫和雄成虫的体重分别为 8.4 ± 1.1 mg、13.9 ± 1.6 mg、23.2 ± 3.2 mg、24.3 ± 3.3 mg 和 22.6 ± 2.7 mg。所有试验处理的茄二十八星瓢虫附着力与虫体体重相关性都不显著。这一研究结果与 Misener 和 Boiteau（1993b）对马铃薯叶片研究结果相反。原因可能是附着力远大于其体重。

附着力/虫体体重系数由大到小的顺序为：4 龄幼虫 > 3 龄幼虫 > 2 龄幼虫，雌成虫和雄成虫附着力/虫体体重系数无显著差异。Bioteu 和 Misener（1992，1993a，1993b）认为马铃薯叶甲幼虫的抓附力/虫体体重系数大于成虫，印证了吸虫机在田间应用清除马铃薯叶甲时，幼虫比成虫更难清除。Bioteu 和 Misener（1992）使用的吸虫机的原理，底部两侧斜向上吹气，顶部中心吸气组合，与我们的吸虫机原理不一样。我们应用吸虫机防治茄二十八星瓢虫时，是否成虫比幼虫更难清除，还有待进一步研究。

茄二十八星瓢虫的附着力/虫体重量的平均倍数范围为 47.8 – 90.8。身体重量占附着力的 1.1% – 2.1%。de Vries（1987）发现马铃薯叶甲在叶片边缘附着时，其体重/虫体体重系数为 5%，这一结果与我们的试验结果类似。在设计旋风式气流吸虫机的频率等参数时，要考虑茄二十八星瓢虫在茄子叶片上的附着力远大于其体重的情况。害虫在叶片上的附着力大小与吸虫机清除效率之间存在一定的相关性，但吸虫机清除效率除了与它相关外，更重要是害虫在吸虫机内部压力场和风场中姿态，上下面积差；在田间可能出现附着力小的幼虫可能更难清除（Misener and Boiteau，1993b）；一些鞘翅目昆虫可能有假死习性，或受侵扰后运动，在运动过程中易被吸虫机清除。

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

参考文献 (References)

Autumn K, Liang YA, Hsieh ST, *et al*. Adhesive force of a single gecko foot – hair [J]. *Nature*, 2000, 405 (6): 681 – 685.

Autumn K, Sitti M, Liang YC, *et al*. Evidence for van der Waals adhesion in gecko setae [J]. *PNAS*, 2002, 99 (19): 12252 – 12256.

Boiteau G, Misener GC, Singh RP, *et al*. Evaluation of a vacuum collector for insect pest control in potato [J]. *American Potato Journal*, 1992, 69 (3): 157 – 166.

Dai Z, Gorb SN, Schwarz U. Roughness – dependent friction force of the tarsal claw system in the beetle *Pachnoda marginata* (Coleoptera, Scarabaeidae) [J]. *Journal of Experimental Biology*, 2002, 205 (Pt 16): 2479 – 2488.

de Vries RH. AnInvestigation into A Non – chemical Method for Controlling the Colorado Potato Beetle [D]. Ithaca NY: Cornell University, 1987.

Gorb SN. Design of insect unguitractor apparatus [J]. *Journal of Morphology*, 1996, 230 (2): 219 – 230.

Gui LY, Gong XW, Meng GL. Relationships between eggplant leaf pubescent and its resistance to *Polyphagotarsonemus latus* [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18 (1): 229 – 232. [桂连友, 龚信文, 孟国玲. 茄子叶片绒毛与侧多食跗线螨抗性的关系 [J]. 应用生态学报, 2007, 18 (1): 229 – 232]

Hua DK, Zhang SB, Gui LY, *et al*. The development and the use of pneumatic control for agricultural pests [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2014, 36 (4): 605 – 611. [华登科, 桂连友, 张善彪, 等. 气流控制农业害虫的发展与利用 [J]. 环境昆虫学报, 2014, 36 (4): 605 – 611]

Inman JW. Western perspective: Mechanical methods of pest management [J]. *American Vegetable Grower*, 1990, 38 (4): 54 – 55.

Khelifi M, Lague C, LacasseB. Resistance of adultcolorado potato beetles to removal under different airflow velocities and configurations [J]. *Canadian Agricultural Engineering*, 1995, 37 (2): 85 – 89.

Misener GC, Boiteau G. Holding capability of the colorado potato beetle to potato leaves and plastic surfaces [J]. *Canadian Agricultural Engineering*, 1993b, 35 (1): 27 – 31.

Misener GC, Boiteau G. Suspension velocity of the colorado potato beetlein free fall [J]. *American Potato Journal*, 1993a, 70 (4): 309 – 316.

Panneton B, Vincent C, Fleurat LF. Current status and prospects for the use of physical control in crop protection. In: Vincent C, Panneton B, Fleurat LF, eds. Physical Control Methods in Plant Protection [M]. Paris: Springer Verlag Berlin Heidelberg, INRA Paris, 2001: 261 – 269.

Simmermacher G. Haftapparate bei wirbeltieren [J]. *Zool. Gart.*, 1884, 25 (10): 289 – 301.

Yoshiaki K. Endocrine activities and photoperiodic sensitibity during prediapause period in the phytophagous lady beetle, *Epilachna vigintioctopunctata* [J]. *Applied Entomology and Zoology*, 1980, 15 (1): 73 – 80.

Zhang SB, Gui LY, Zhang ML, *et al*. A Cyclone insect collector [P]. China patent: 20131036655, 2014 – 12 – 20. [张善彪, 桂连友, 张曼来, 等. 一种旋风式负压气流捕虫机 [P]. 中国专利: 20131036655, 2014 – 12 – 20]

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net