

七星瓢虫和异色瓢虫四变种成虫对茶蚜蜜露的搜索行为和蜜露的组分分析

韩宝瑜^{1,2}, 陈宗懋¹

(1. 中国农业科学院茶叶研究所, 杭州 310008; 2. 安徽农业大学茶业系, 合肥 230036)

摘要: 采用培养皿, ①承接茶蚜自然分泌蜜露; ②收集蜜露浓缩后点于培养皿中心。逐头释放瓢虫于分别盛有这 2 类蜜露的培养皿中心进行生物测定, 两个试验均证明: ①蜜露强烈地吸引七星瓢虫和异色瓢虫, 随着蜜露浓度呈梯度地增大, 搜寻时间极显著地延长 ($P < 0.01$); ②蜜露可激发瓢虫的搜索行为由广域搜索型转换为地域集中搜索型。前 0~5s 局限在较小范围内不断地转向, 即搜索速度小, 转动角度大。七星瓢虫和异色瓢虫显明变种最敏感, 搜索和滞留时间也最长。用高效液相色谱定性定量地分析出蜜露中有茶氨酸等 13 种氨基酸和蔗糖等 7 种糖分。

关键词: 七星瓢虫; 异色瓢虫; 茶蚜蜜露; 搜索行为; 定性定量分析

Searching behaviour of *Coccinella septempunctata* and four varieties of *Leis axyridis* adults on tea aphid honeydew and analysis of honeydew component

HAN Bao-Yu^{1,2}, CHEN Zong-Mao¹ (1. Tea Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310008, China; 2. Tea Department of Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

Abstract: The bioassay of ladybeetles was carried out on the petri dishes, on which the honeydew of tea aphid was distributed. The ladybeetles were released at the centers of the dishes one by one. Results showed that 2 types of honeydew, i. e. honeydew naturally secreted by tea aphids and honeydew concentrated after secreting, strongly attracted *Coccinella septempunctata* and 4 varieties of *Leis axyridis*. The searching and staying time prolonged significantly ($P < 0.01$), with the increasing of the honeydew concentration. Honeydew could induce a switchover of the searching behaviour from area-dispersed type to area-concentrated type. The slowest searching speeds and the largest bending angles appeared at 0~5 seconds after being released, in which ladybeetles spun within a little area. *Coccinella septempunctata* and *Leis axyridis* (Pallas) var. *spectabilis* were most sensitive among the tested ladybeetles, both searching and staying time were the longest. A chemical analysis on honeydew of *Toxoptera aurantii* by HPLC showed there were 13 kinds of amino acids and 7 kinds of sugars contained, including sucrose and thea.

Key words: *Coccinella septempunctata* L.; *Leis axyridis* (Pallas); Tea aphid honeydew; searching behaviour; qualitative and quantitative analysis

文章编号: 1000-0933(2000)03-0495-07 中图分类号: Q968 文献标识码: A

茶蚜 *Toxoptera aurantii* 是广布于我国茶区主要刺吸危害 1 芽 3 叶嫩梢的重要害虫。茶树新梢在江浙、皖地区 1 年萌发 4 轮, 春茶即第 1 轮。田间调查发现, 茶蚜种群动态与每一轮嫩梢的生长动态相一致, 威胁著名名优茶的采摘和加工。异色瓢虫 *Leis axyridis* 对茶蚜的种群具有显著的跟随效能, 包括二斑变型

基金项目: 浙江省自然科学基金课题(批准号 397307)和浙江省分析测试基金课题(批准号 98092)内容之一。
承中国林业科学研究院亚热带林业研究所费学谦高级工程师协助分析茶蚜蜜露中的氨基酸和糖分, 谨致谢意。

收稿日期: 1998-05-18; 修订日期: 1998-12-27

作者简介: 韩宝瑜(1963~), 男, 博士, 副教授。

L. axyridis (Pallas) ab. *bimaculata* Hemmelmann, 显现变种 *L. axyridis* (Pallas) ab. *conspicua* Faldermaenn, 显明变种 *L. axyridis* (Pallas) var. *spectabilis* Faldermaenn 和十九斑变种 *L. axyridis* (Pallas) var. *novemdecimpunctata* Faldermaenn. 七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* L. 在茶园中的发生量和对茶蚜的捕食量也较大。瓢虫在捕获茶蚜之前要在茶丛上下进行长时间的搜索。Nakamura^[1]在 1983 年发现多数捕食性瓢虫摄食食饵的搜索行为在食物刺激下, 都可由广域型转换为地域集中型, 即在捕到猎物前穿越广阔场所做直线运动搜索(广域型), 一旦捕食了猎物, 则在捕食场所附近做减速、频繁转向的迂回搜索(地域集中型)以提高搜索效率。邹运鼎等在 1991 年^[2]也报道, 禁食 12h 的龟纹瓢虫 *Propylea japonica* 在捕食 1 头棉蚜 *Aphis gossypii* 之后, 其搜索行为由广域型转换为地域集中型。瓢虫的这种行为发生在取食猎物之后, 主要是受了味觉的刺激作用。而在寄主昆虫与天敌昆虫之间存在着复杂而又灵敏的化学通讯联系, 在捕食猎物以前, 天敌可以凭借着嗅觉感知害虫释放的化学信息物质(利它素)而朝害虫做定向搜索。寄主昆虫分泌物中的利它素是天敌搜索害虫的主要信息物质之一。蚜虫刺吸植物汁液时不断地分泌蜜露, 禾谷蚜 *Sitobion avenae* 的蜜露可提高七星瓢虫的捕蚜能力^[3]。茶蚜在取食幼嫩茶梢的过程中分泌大量蜜露, 该物质对这 5 种瓢虫是否有引诱作用, 如果有引诱作用、那么对搜索行为有何影响, 能否激发瓢虫的搜索行为由广域型转换为地域集中型而提高搜索效率, 茶蚜蜜露的化学组分如何等, 尚缺乏研究。为了弄清蜜露的引诱作用, 更好地利用其作为一种化学信息物质调控和强化瓢虫类群对茶蚜种群的控制作用, 遂进行了本研究。

1 材料与方法

1.1 茶梢上茶蚜自然分泌蜜露对瓢虫的引诱作用及对搜索轨迹长度、速度和转动角度的影响

1.1.1 4 个数量茶蚜蜜露之间以及 5 种瓢虫之间搜索和滞留时间的差异 试验前将瓢虫饱食之后禁食 24h, 同时在直径 9cm 的培养皿中放入干净滤纸, 分别承接 200、400、600 和 800 头茶蚜 24h 的蜜露, 让蜜露均匀地分布于培养皿中, 检出蛻皮。以培养皿中放置滤纸为对照。逐头将瓢虫引至圆心释放。用秒表计算瓢虫刚接触圆心的滤纸至刚爬到培养皿边缘上的时间。重复 15 次。分别对每种瓢虫在 4 个数量茶蚜蜜露和对照上、以及 5 种瓢虫在每个数量茶蚜蜜露和对照上的搜索和滞留时间的差异作方差分析。

1.1.2 5 种瓢虫之间搜索轨迹长度、速度和转动角度的异同性 在直径 9cm 的培养皿中放入干净滤纸, 分别承接 400 和 800 头茶蚜 24h 的蜜露, 使蜜露均匀地分布于培养皿中, 检出蛻皮。按图 1 所示把瓢虫逐一引至圆心释放。从培养皿上方朝下观察, 瓢虫被释放之后就会按顺时针或逆时针方向旋转。第 1、2、3 停点分别是释放之后第 10、20、30s 时瓢虫的瞬间位置。用铅笔标出这些点, 再绘出图 1 所示的图形。分别测出圆心与第 1 停点、第 1 停点与第 2 停点、第 2 停点与第 3 停点之间的直线距离 a、b、c; 测出瓢虫转动的角度 $\angle 1$ 和 $\angle 2$ (不分顺时针或逆时针方向)。算出平均爬行速度和平均转动角度。重复 10 次。

1.1.3 瓢虫以茶梢上蜜露为化学信息物质而定向搜索茶蚜的观察 从茶园剪取 5 支着生 500~700 头茶蚜的 40cm 长的茶枝水培 2 日, 以致茶枝上、下的枝叶上都落有蜜露。由于茶蚜着生于茶梢, 因而从基部至茶梢, 蜜露浓度逐渐加大。将饥饿 24h 的 5 种瓢虫, 每种 10 头, 逐头释放于基部的叶面上, 观察瓢虫的搜索行为, 记录最终寻到茶梢上蚜群的个数。

1.1.4 蜜露对茶蚜有效引诱距离的观察 用直径 7cm 的滤纸承接 400 头茶蚜 24h 的蜜露, 同时把瓢虫放在洁净、在 120℃ 烘了 2h 冷却至室温的罐头瓶中。实验时先把瓢虫引入指形管中, 把管口对准滤纸: ①管口放在滤纸边缘; ②距离边缘 2cm 和 4cm。每种测定 10 头, 记录搜寻到滤纸上的瓢虫数。

1.2 浓缩蜜露对瓢虫的引诱作用以及对搜索轨迹长度、速度和转动角度的影响

用洁净培养皿收集水培茶梢上 10000 头茶蚜 24h 的蜜露, 用 50% 乙醇(分析纯无水乙醇和超纯水配制)浸泡, 反复冲洗, 用旋转蒸发仪在 60℃ 减压浓缩为 2ml。设 80 μ l 和 160 μ l 两种处理(各相当于 400 和 800 头茶蚜的分泌量)。选用直径 12cm 培养皿进行“1.1.1”和“1.1.2”的各项实验。只是第 1、2、3 停点分别是 5、10、15s 时的位置。

温度 21~24℃; 湿度 75%~83%; 时间 9:00~14:00; 光照 32000~36000lx; 茶树品种龙井 43。

1.3 蜜露组分的分析

1.3.1 样品制备 将水培茶梢上 30000 头茶蚜 24h 的蜜露, 用 50% 乙醇(分析纯无水乙醇和超纯水配制)浸泡, 反复冲洗, 用旋转蒸发仪在 60℃ 减压浓缩为 20ml。吸 10 μ l 测儿茶素。剩余的再浓缩为 5ml 浓缩

样,进浓缩样 20 μ l 测氨基酸。吸浓缩样 500 μ l,又浓缩为 100 μ l,进样 20 μ l 测糖分。

1.3.2 检测 ①儿茶素测定系统为 Waters Millennium 2010 色谱工作站,510 泵,二极管阵列检测器。色谱条件为柱 5 μ Hypersil BDS (4.6 $\times$ 250mm);柱温 30 $^{\circ}$ C。

②氨基酸测定系统为 Waters Millennium 2010 色谱工作站,2 台 510 泵,M420 荧光检测器和柱后反应系统。色谱条件为柱 Amino analysis (2.0 $\times$ 250mm);柱温 62 $^{\circ}$ C。流动相 A $\sim$ 0.1M 柠檬酸钠,pH3.10;B $\sim$ 0.1 M 硼酸钠,pH9.60。流速 0.4ml/min。梯度 0 $\sim$ 48min,0 $\sim$ 100%B;48 $\sim$ 75min,100%B;75 $\sim$ 76min,100 $\sim$ 0%B;76 $\sim$ 110min,100%A;线性。柱后衍生剂 OPA。流速 0.4ml/min。检测器 M420 荧光检测器,Ex338nm,Em425nm。

③糖分测定系统为 Waters Millennium 2010 色谱工作站,510 泵和 401 示差折光检测器。色谱条件为柱 Sugar Park I。柱温 90 $^{\circ}$ C。流动相为水。流速为 0.5ml/min。检测器 RI401 16 $\times$ 。

核对标准样品,进行定性定量。

2 结果与分析

2.1 自然分泌蜜露对瓢虫的引诱作用及对搜索轨迹长度、速度和转动角度的影响

2.1.1 自然分泌蜜露对 5 种瓢虫有显著的引诱作用 5 种瓢虫在对照培养皿里嗅不到利它素的气味,很快就会逃出培养皿,在对照处理的搜索和滞留时间都很短。但在盛有蜜露的培养皿中则长时间地转向、搜索,下唇须不断地抖动,触角也会摆动。随着蜜露数量的增加,每种瓢虫在几种蜜露上的停留时间都极显著地延长(表 1, $P<0.01$)。滤纸不具有引诱作用,5 种瓢虫在 CK 上停留时间的差异不显著 400、600 和 800 头茶蚜蜜露引诱力较强,瓢虫之间停留时间的差异不显著。200 头茶蚜蜜露引诱力较弱,由于瓢虫之间的敏感性存在差异,则在它们的停留时间上表现出差别。七星瓢虫的搜索和滞留时间最长,显明变种的次之,十九斑变种的最短。因此,蜜露数量间及瓢虫种间的停留时间差异都说明蜜露对瓢虫有强烈的引诱作用。

2.1.2 自然分泌蜜露对瓢虫搜索轨迹长度、速度和转动角度的影响 无论在 400 头还是在 800 头茶蚜的蜜露上,瓢虫被释放之后,先在圆心周围小区域内作顺时针或逆时针方向的较缓慢的转向搜索。前 10s 的轨迹长度最短,平均速度最小。当瓢虫在这个小区域内未发现猎物时,就会逐渐扩大搜索范围,在 3 个连续的时间间隔内,轨迹的长度逐渐增大,有 $a<b<c$;平均速度相应增大(表 2,表 3)。由于搜索范围扩大了,则轨迹的直线性就增加了。亦即转动角度缩小了,在前 30s 内就有 $\angle 2<\angle 1$ (表 2),平均转动角度也变小了(表 3)。

由茶蚜的电子学穿刺记录技术(Electrical penetration graph)(另文发表)发现,当茶蚜口针处于吸取韧皮部汁液的阶段时,每 30 $\sim$ 50min 排泄 1 滴蜜露,所以几百头茶蚜 24h 将分泌大量的蜜露,这些蜜露比较均匀地覆盖于培养皿中的滤纸上。800 头茶蚜蜜露的量比 400 头的多 1 倍。800 头的引诱力大,瓢虫勿须过快地爬动、过大地转向就可嗅到蜜露的气味。所以,与 400 头的相比,5 种瓢虫在 800 头茶蚜蜜露上轨迹总长度 $a+b+c$ 和总角度 $\angle 2+\angle 1$ (表 2)、平均速度和平均转动角度都变小了(表 3)。因此,5 种瓢虫在 800 头茶蚜蜜露上的搜索范围明显缩小,即蜜露浓度加大,可激发瓢虫搜索行为由广域型转换为地域集中型。

实验中发现,在 400 或 800 头茶蚜蜜露上搜索时,七星瓢虫不断地转向,其转动的角度比异色瓢虫 4 个变种的稍大(表 2),平均转动角度也就稍大些(表 3)。异色瓢虫的 4 个变种之间搜索行为存在着差异,显明变种的搜索范围和转动角度稍小,因而轨迹总长度 $a+b+c$ 和总角度 $\angle 2+\angle 1$ (表 2)以及平均速度和平均转动角度都稍小。

2.1.3 瓢虫沿着蜜露痕迹向茶梢上搜索茶蚜的行为 饥饿的瓢虫大多能从茶梢基部沿着蜜露痕迹而最

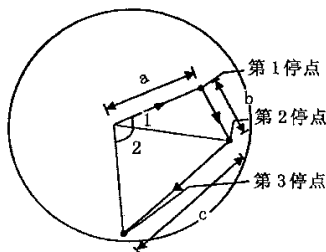


图 1 搜索行为的测定示意图

Fig. 1 Determination for searching behaviour

a 圆心距第 1 停点距离, b 第 1 停点距第 2 停点距离, c 第 2 停点与第 3 停点的间距离, 1、2 为瓢虫转动的角度 $\angle 1$ 和 $\angle 2$ 。

终找到蚜虫。最后能够找到茶蚜的瓢虫数,七星瓢虫是 10 头,显明变种是 9 头,其它 3 个变种都是 8 头。

2. 1. 4 蜜露对茶蚜有效引诱距离的观察 当管口在滤纸边缘上时,每种瓢虫的 10 头都爬上滤纸搜索。距离 2cm 时,爬上滤纸的个体数,七星瓢虫 9 头,其它的是 8 头。距离 4cm 时,七星瓢虫 6 头,其它的是 5 头。说明蜜露的挥发性很弱,是一种接触性的化学信息物。

表 1 5 种瓢虫在不同数量茶蚜蜜露上的搜索和滞留时间及其差异

Table 1 Difference on searching and stapping time of 5 kinds of ladybeetles on honeydew of tea aphids in various amounts

种类 Species	茶蚜数量(头)Tea aphid number(heads)					蜜露数量间差异 Difference
	CK	200	400	600	800	
二斑变型 <i>L. axyridis</i> (Pallas)ab.	a	ab	a	a	a	$F=25.88^{**}$ $>F=3.6$
<i>bimaculata</i>	c	b	b	a	a	
显现变种 <i>L. axyridis</i> (Pallas)	a	ab	a	a	a	$F=17.45^{**}$ $>F=3.6$
ab. <i>conspicua</i>	c	b	b	a	a	
显明变种 <i>L. axyridis</i> (Pallas)	a	a	a	a	a	$F=24.08^{**}$ $>F=3.6$
var. <i>spectabilis</i>	c	b	b	a	a	
十九斑变种 <i>L. axyridis</i> (Pallas)	a	b	a	a	a	$F=38.96^{**}$ $>F=3.6$
var. <i>novemdecimpunctata</i>	d	c	c	b	a	
七星瓢虫 <i>Coccinella septempunctata</i>	a	a	a	a	a	$F=21.05^{**}$ $>F=3.6$
	c	b	b	a	a	
种间差异 Difference among species	$F=2.5$ $<F=3.6$	$F=3.8^{*}$ $>F=3.6$	$F=0.52$ $<F=3.6$	$F=0.98$ $<F=3.6$	$F=1.94$ ≤ 3.6	

时间单位 s;重复次数 15; ** 表示差异达极显著水平($p<0.01$);本表使用了 Duncan's 新复极差测验,显著水平是 0.05 ($p<0.05$),数值上面的字母代表同一列数值间的差异性,数值下面的字母代表同一行数值间的差异性。 Time unit is second. Replicate times is 15. ** means difference level is 0.01. Duncan's test is used, and difference level is 0.05. Letters above numerals stands for defference among numerals in same column, and letters blow numerals for difference among numerals in same row.

表 2 5 种瓢虫在 400 和 800 头茶蚜自然分泌蜜露上搜索轨迹的长度和角度

Table 2 Lengths and angles of searching track of 5 kinds of ladybeetles on the honeydew secreted by 400 and 800 tea aphids

种类 Species	400 头							800 头						
	Honeydew secreted from 400 tea aphids							Honeydew secreted from 800 tea aphids						
	长度 Length(mm)				角度 Angle(°)			长度 Length(mm)				角度 Angle(°)		
	a	b	c	合计	∠1	∠2	合计	a	b	c	合计	∠1	∠2	合计
				Total			Total				Total			Total
①二斑变型	38.1±5.0	56.5±20.3	63.0±10.3	157.6±20.5	112.5±50.2	107.5±33.7	220.0±51.9	25.0±9.0	32.0±18.7	34.7±15.8	89.7±41.2	55.5±30.2	52.7±40.0	108.2±49.4
②显现变种	38.1±2.3	50.0±26.5	52.0±21.3	140.1±42.1	105.5±48.2	91.5±54.9	197.0±83.7	32.4±11.6	43.8±20.8	42.9±23.9	118.9±40.9	82.5±32.8	78.0±33.2	160.5±43.5
③显明变种	34.8±5.10	36.5±16.8	39.3±13.1	110.6±24.1	56.0±22.6	40.0±25.3	106.3±37.8	25.6±9.0	30.1±14.0	36.3±13.1	97.0±25.2	59.4±23.9	40.6±20.3	100.0±31.9
④十九斑变种	32.0±10.6	35.5±25.3	42.5±14.5	116.0±17.2	72.5±30.1	65.5±41.9	144.0±60.9	30.0±15.0	37.0±12.4	29.4±10.4	96.4±35.9	68.5±21.6	59.5±20.1	128.0±40.2
⑤七星瓢虫	35.0±9.8	51.3±14.3	53.6±16.3	139.9±34.9	121.0±10.3	98.5±21.3	219.5±36.8	25.0±10.5	35.5±9.3	37.0±8.6	97.5±12.9	96.4±15.6	94.8±17.7	191.2±36.3

① *L. axyridis* (Pallas) ab. *bimaculata* ② *L. axyridis* (Pallas) ab. *conspicua* ③ *L. axyridis* (Pallas) var. *spectabilis* ④ *L. axyridis* (Pallas) var. *novemdecimpunctata* ⑤ *Coccinella septempunctata*

表 3 5 种瓢虫在 400 和 800 头茶蚜自然分泌蜜露上平均的搜索速度和角度

Table 3 Average searching speed and angle of 5 kinds of ladybeetles on honeydew secreted by 400 and 800 tea aphids

种类 Species	停留时间(s) Stapping time	平均速度 Average speed(mm/s)		平均角度 Average angle(°/s)	
		400 头	800 头	400 头	800 头
		Honeydew from 400 tea aphids	Honeydew from 800 tea aphids	Honeydew from 400 tea aphids	Honeydew from 800 tea aphids
二斑变型 <i>L. axyrides</i> (Pallas)	0~10	3.8±0.5	3.5±0.9		
<i>ab. bimaculata</i>	10~20	5.7±2.0	2.7±1.9	11.3±5.5	5.5±2.0
	20~30	6.3±1.0	2.8±1.6	10.8±3.4	5.3±2.1
显型变种 <i>L. axyridis</i> (Pallas)	0~10	3.8±0.2	3.2±1.2		
<i>ab. conspiciua</i>	10~20	5.0±2.6	4.4±2.1	10.6±4.8	8.3±2.2
	20~30	5.2±2.8	4.3±1.4	9.2±6.5	7.8±1.3
显明变种 <i>L. axyridis</i> (Pallas)	0~10	3.5±0.5	3.6±0.9		
<i>var. spectabilis</i>	10~20	3.7±1.7	2.5±1.4	5.6±3.3	5.9±1.4
	20~30	3.9±1.3	3.6±1.3	4.0±1.5	4.1±0.6
十九斑变种 <i>L. axyridis</i> (Pallas)	0~10	3.2±1.1	3.0±1.5		
<i>var. novemdecimpunctata</i>	10~20	3.6±1.5	3.7±2.2	7.2±3.7	6.9±1.6
	20~30	4.9±1.4	2.9±1.7	7.3±3.0	6.0±2.7
七星瓢虫 <i>Coccinella</i>	0~10	3.5±1.0	2.5±1.1		
<i>septempunctata</i>	10~20	5.1±2.4	2.6±0.9	9.9±2.0	9.5±2.0
	20~30	5.4±2.6	3.7±0.9	12.1±3.2	9.6±2.7

2.2 浓缩蜜露对 5 种瓢虫引诱作用和搜索轨迹长度、速度和转动角度的影响

80μl 和 160μl 浓缩蜜露的处理各相当于 400 和 800 头茶蚜 24h 的分泌量。将 2 种处理分别点于圆心,发现瓢虫开始时局限在圆心附近迂回搜索,逐渐扩大搜索范围,其搜索行为与在自然排泄蜜露上的相似。说明浓缩蜜露也具有强烈的引诱作用。

瓢虫开始时局限于圆心周围搜索,未找到猎物就扩大搜索范围,有 $a<b<c$ (表 4),而且在连续的 3 个 5s 内,前 5s 内的轨迹最短、速度最小(表 4、表 5)。这些与“2.1.2”中的结论一致。

但本试验的蜜露是点于圆心的,蜜露区域的直径<15mm。瓢虫被引至圆心,几秒钟之后就爬出具有蜜露的区域。当其离开蜜露区域时还保留着对蜜露的“记忆”,圆心的蜜露气味还在向四周散发,引诱瓢虫不断转向而寻找蜜露气味源,而致 $\angle 2>\angle 1$ (表 4),该结果与“2.1.2”中的“ $\angle 2<\angle 1$ ”的结论相反。而且,在前 15s 内平均转动角度也变大了(表 5),这与“2.1.2”中“平均转动角度变小”的结论相反。原因是自然分泌蜜露,在培养皿中的分布是均匀的,虫体四周的蜜露对瓢虫的刺激强度也较均匀,瓢虫勿须过大地转向就能感受到气味的刺激,转动角度就较小,所以 $\angle 2$ 是小于 $\angle 1$ 的。蜜露在培养皿中分布的位置不同、分布区域的大小影响着瓢虫搜索过程中的旋转角度。

80μl 和 160μl 浓缩蜜露相比,160μl 蜜露的量大、引诱力强,在 160μl 处理上瓢虫轨迹的总长度 $a+b+c$ 变小(表 4),平均角度较大(表 5),而限于小范围内搜索。亦即当蜜露浓度加大时,瓢虫搜索行为也由广域型转换为地域集中型。对于自然蜜露,使用的培养皿直径是 9cm,停点间间隔 10s,得到结论 $a<b<c$ 。对于浓缩蜜露,所用的培养皿直径是 12cm,停点间间隔 5s,也得到结论 $a<b<c$ 。因此,尽管生物测定时采用的空间大小不等,时间长短不同,但蜜露的强烈引诱作用、对轨迹长度的作用效应是一致的,未有空间上、时间上的异质性。

在 5 种瓢虫中,七星瓢虫的转动角度较大(在 160μl 的处理上最大)(表 4、表 5)。实验中发现其在培养皿中转向最频繁。显明变种还是局限在较小的范围搜索,其轨迹长度和旋转角度都是最小,搜寻得仔细,这两种最敏感。

2.3 茶蚜蜜露组分的分析结果

蚜虫摄食寄主植物营养,未消化的部分随代谢物排出,其蜜露组成成分与寄主植物汁液的化学组分相

关。茶氨酸在茶树体内的含量大,葡萄糖、果糖和蔗糖存在于茶树的嫩梢^[4]中,本实验在茶蚜蜜露中测得茶氨酸的含量也较大,也测出了这几种糖分(表 6)。由于缺乏标准样品,未能对未知成分 1 和 2 定性,估计是四聚糖以上的成分。茶蚜 24h 分泌的蜜露中仅 77ng 的氨基酸。儿茶素类(EGCG、EGC、ECG、EC、D、L-C、GCG)在茶树体内含量大,本研究中测了 3 次,都没有检测到。可能是因为儿茶素类主要生成于叶脉的维管束内,茶蚜主要在叶背非叶脉处取食,摄取的儿茶素类的量少,在蜜露中的则更小,难以检出。

表 4 5 种瓢虫在 2 种体积的浓缩蜜露上搜索轨迹的长度和角度

种类 Species	80μl								160μl							
	长度 Length(mm)				角度 Angle(°)				长度 Length(mm)				角度 Angle(°)			
	a	b	c	合计	∠1	∠2	合计		a	b	c	合计	∠1	∠2	合计	
	Total				Total				Total				Total			
二斑变型 ^①	15.8±7.0	33.8±14.3	53.1±16.5	102.63±22.4	65.63±21.4	97.5±21.5	163.1±24.7		16.7±8.9	30.6±18.3	40.0±15.0	92.8±28.9	69.3±16.4	102.8±18.0	171.7±24.3	
显现变种 ^②	21.3±4.3	28.3±6.0	47.3±15.7	96.6±10.7	56.7±18.0	98.9±26.4	155.6±41.6		19.4±7.8	28.8±7.9	42.5±21.9	90.6±15.9	62.5±24.9	118.9±35.9	181.5±36.1	
显明变种 ^③	10.6±4.2	16.9±8.4	31.4±15.3	57.4±17.4	60.0±15.2	85.7±27.8	144.3±35.0		12.6±3.9	16.8±10.9	23.0±15.5	52.4±16.4	55.0±25.8	101.3±22.3	156.3±22.1	
十 九 斑 变 种 ^④	12.0±5.7	25.0±10.4	26.9±10.3	62.9±19.3	48.8±17.0	102.5±22.0	151.3±35.2		17.3±7.8	21.6±10.6	26.1±10.4	58.8±14.5	71.3±23.1	100.0±15.1	171.3±24.4	
七星瓢虫 ^⑤	21.3±6.6	38.1±10.3	41.3±10.5	94.4±10.2	56.3±10.0	103.8±34.2	160.0±29.3		18.3±9.6	31.0±17.4	38.6±15.8	87.9±15.6	63.8±17.1	124.4±24.6	188.1±21.8	

① *L. axyridis* (Pallas) ab. *bimaculata*, ② *L. axyridis* (Pallas) ab. *conspicua*, ③ *L. axyridis* (Pallas) var. *spectabilis*, ④ *L. axyridis* (Pallas) var. *novemdecim-punctata*, ⑤ *Coccinella septempunctata*.

3 结论与讨论

本研究测出茶蚜蜜露中的主要成分是茶氨酸等 13 种氨基酸和蔗糖等 7 种糖分。它们有着较弱的挥发性,近距离的瓢虫能够接收到气味的刺激。蜜露可刺激瓢虫的搜索行为由广域型转换为地域集中型而提高搜索效率。田间调查时,发现茶蚜集中于茶丛上层的嫩梢上,排泄的蜜露落于茶丛中、下层。在茶丛下层觅食的瓢虫遇到蜜露时就会向中、上层搜寻。在朝上搜寻的过程中蜜露浓度逐渐变大,瓢虫搜索范围逐渐变小(由广域型转换为地域集中型),最后找到蚜群。还发现有 2 种蚂蚁嗜食蜜露,强烈地排斥蚜茧蜂 *Aphidius* sp. 和捕食螨,而保护了茶蚜。可以认为蜜露是联系数种昆虫的重要化学信息物质。自然分泌的蜜露经减压浓缩后,仍具有强烈地引诱瓢虫的作用,表明了文中的收集方法也是可信的。

表 5 5 种瓢虫在 2 种体积的浓缩蜜露上平均搜索速度和平均角度

Table 5 Average searching speeds and angles of 5 kinds of ladybeetles on 2 types of volumes of concentrated honeydew

种类 Species	停留时间(s) Stapping tiime	平均速度(mm/s)		平均角度(°/s)	
		Average speed		Average angle	
		80μl	160μl	80μl	160μl
二斑变型 <i>L. axyridis</i> (Pallas)	0~5	3.2±1.4	4.4±2.7		
ab. <i>bimaculata</i>	5~10	6.8±2.9	61.±2.7	13.1±5.1	13.8±4.5
	10~15	10.6±3.3	8.0±2.6	19.5±5.3	20.6±4.6
显现变种 <i>L. axyridis</i> (Pallas)	0~5	4.3±0.9	3.9±1.6		
ab. <i>conspicua</i>	5~10	5.6±1.2	5.8±1.6	11.3±5.8	12.5±4.0
	10~15	9.5±4.3	8.5±2.4	19.8±8.3	23.8±10.2
显明变种 <i>L. axyridis</i> (Pallas)	0~5	21.0±1.0	2.5±0.8		
var. <i>spectabilis</i>	5~10	3.4±1.3	3.1±1.2	12.0±5.0	11.1±4.0
	10~15	6.3±3.1	4.6±2.2	17.1±6.6	23.8±2.4
十九斑变种 <i>L. axyridis</i> (Pallas)	0~5	2.4±1.1	3.5±2.5		
var. <i>novemdecimpunctata</i>	5~10	5.0±2.8	4.3±2.3	9.8±3.4	14.4±3.8
	10~15	5.4±1.8	5.2±2.1	20.5±3.0	21.0±2.7
七星瓢虫 <i>Coccinella septempunctata</i>	0~5	4.5±1.2	4.0±1.3		
万方数据	5~10	6.6±2.1	6.0±2.1	11.3±5.0	12.8±3.4
	10~15	9.0±2.7	8.7±2.0	20.8±7.2	24.9±5.7

表 6 茶蚜蜜露的 HPLC 分析结果
Table 6 HPLC analysis of tea aphid honeydew components

氨基酸 Amino acid				糖分 Sugar			
种类 Kind	含量(ng) Content	%	1 头茶蚜日分泌量 Amount secreted by 1 aphid in 24h(ng)	种类 Kind	含量(ng) Content	%	1 头茶蚜日分泌量 Amount secreted by 1 aphid in 24h(ng)
1 天冬氨酸 asp	2247.62	24.34	18.73	1 三聚糖 trisaccharide	67.65	32.53	0.11
2 苏氨酸 thr	2428.39	26.30	20.24	2 蔗糖 sucrose	68.94	33.15	0.11
3 丝氨酸 ser	853.21	9.24	7.11	3 葡萄糖 glucose	19.96	9.60	0.03
4 茶氨酸 thea	1652.84	17.90	13.77	4 果糖 fructose	43.70	21.01	0.07
5 谷氨酸 glu	1305.45	14.14	10.88	5 甘露糖 mannose	7.72	3.71	0.01
6 甘氨酸 gly	139.03	1.51	1.16	6 未知糖分 1 unknown component 1			
7 丙氨酸 ala	155.23	1.68	1.29	7 未知糖分 2 unknown component 2			
8 缬氨酸 val	211.29	2.29	1.76				
9 蛋氨酸 met	4.97	0.05	0.04				
10 异亮氨酸 ile	120.74	1.31	1.01				
11 亮氨酸 leu	38.17	0.41	0.32				
12 酪氨酸 tyr	38.33	0.42	0.32				
13 苯丙氨酸 phe	38.20	0.41	0.32				
合计 Total	9233.47	100.00	76.94	合计 Total	207.97	100.00	0.35

表中“含量”是“材料与方法 1.3”中吸取量的直接测量值 The“content”in this table is the direct determined values from volumes in “Material and Method 1.3”.

李正西等在 1993 年^[5]以氨基酸自动分析仪测出茶黑刺粉虱 *Aleurocanthus spiniferus* 蜜露中有甘氨酸等 12 种氨基酸,纤维素粉薄层层析定性地确定了水苏糖等 6 种糖分。以各个组分的比例配成“蜜露”喷于茶园中,发现处理区长角广腹细蜂 *Amithus longiconis* 的寄生率比对照区的高 10%~20%。本研究发 现蜜露浓度增大时,引诱作用增强。当把浓缩蜜露以点状置于培养皿圆心或自然地全面地分布于培养皿中,它们对瓢虫某些行为的作用效果不同(如文中论述过的旋转角度等),表明蜜露可有效地调节瓢虫的行为。如何将蜜露作为化学信息物质用于茶园调控瓢虫对茶蚜的控制效能,值得深入研究。

七星瓢虫的滞留时间长,转动频繁,最敏感。异色瓢虫 4 个变种外形相似,大小相当,但变种间搜索行为的差异明显。很可能在 5 种瓢虫化感器的结构和功能上存在着差异,为此,对它们的触角进行了扫描电镜观察(另文发表)。

参考文献

[1] Nakamuta K. Sequence of predatory behavior of the ladybeetle, *Coccinella septempunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae) caused by prey consumption. *Appl. Ent. Zool.*, 1983, **17**: 501~506.
[2] 邹运鼎,徐光财,王 勇,等. 龟纹瓢虫的幼虫食饵搜索行为. *昆虫学报*, 1991, **34**(4): 391~398.
[3] Carter M C and Dixon A F G. Honeydew, an arrestant stimulus for cocconellids. *Ecological Entomology*, 1984, **9**: 383~387.
[4] 中国农业百科全书茶业卷编辑委员会. 中国农业百科全书. 茶业卷. 北京: 农业出版社, 1988. 138~139.
[5] 李正西,陈常铭,唐明远. 长角广腹细蜂的搜索利它素. *昆虫学报*, 1993, **36**(1): 45~50.