

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

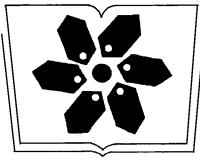
(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 21 期
Vol.30 No.21
2010



中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 30 卷 第 21 期 2010 年 11 月 (半月刊)

目 次

棉铃虫幼虫对人类呈味物质的取食反应·····	李为争,付国需,王英慧,等 (5709)
西藏拉萨机场周边风沙源空间分布及演变趋势·····	李海东,沈渭寿,邹长新,等 (5716)
新疆沙湾冷泉沉积物的细菌系统发育多样性·····	曾 军,杨红梅,徐建华,等 (5728)
应用鱼类完整性评价体系评价辽河流域健康·····	裴雪姣,牛翠娟,高 欣,等 (5736)
不同海拔天山云杉叶功能性状及其与土壤因子的关系·····	张慧文,马剑英,孙 伟,等 (5747)
滨河湿地不同植被对农业非点源氮污染的控制效果·····	徐华山,赵同谦,贺玉晓,等 (5759)
内蒙古温带荒漠草原能量平衡特征及其驱动因子·····	阳伏林,周广胜 (5769)
南北样带温带区栎属树种功能性状对气象因子的响应·····	冯秋红,史作民,董莉莉,等 (5781)
伏牛山自然保护区物种多样性分布格局·····	卢训令,胡 楠,丁圣彦,等 (5790)
减弱 UV-B 辐射对烟草形态、光合及生理生化特性的影响 ·····	陈宗瑜,钟 楚,王 毅,等 (5799)
川西亚高山针阔混交林乔木层生物量、生产力随海拔梯度的变化 ·····	刘彦春,张远东,刘世荣,等 (5810)
三峡库区消落带水淹初期地上植被与土壤种子库的关系·····	王晓荣,程瑞梅,肖文发,等 (5821)
洞庭湖西岸区防护林土壤和植物营养元素含量特征·····	柏方敏,田大伦,方 晰,等 (5832)
择伐对阔叶红松林主要树种径向与纵向生长的影响·····	蒋子涵,金光泽 (5843)
野鸭湖典型湿地植物光谱特征·····	刘 克,赵文吉,郭逍宇,等 (5853)
三种线性模型在杉木与马尾松地位指数相关关系研究中的比较·····	朱光玉,吕 勇,林 辉,等 (5862)
不同干扰类型下羊草种群的空间格局·····	陈宝瑞,杨桂霞,张宏斌,等 (5868)
基于 SWAT 模型的祁连山区最佳水源涵养植被模式研究——以石羊河上游杂木河流域为例 ·····	王军德,李元红,李赞堂,等 (5875)
2D 与 3D 景观指数测定山区植被景观格局变化对比分析 ·····	张志明,罗亲普,王文礼,等 (5886)
基于投影寻踪的珠江三角洲景观生态安全评价 ·····	高 杨,黄华梅,吴志峰 (5894)
海峡两岸 16 个沿海城市生态系统功能比较 ·····	张小飞,王如松,李 锋,等 (5904)
同安湾围(填)海生态系统服务损害的货币化预测评估 ·····	王 萱,陈伟琪,张璐平,等 (5914)
太阳辐射对玉米农田土壤呼吸作用的影响 ·····	孙敬松,周广胜,韩广轩 (5925)
水分胁迫下 AM 真菌对沙打旺生长和抗旱性的影响·····	郭辉娟,贺学礼 (5933)
宁夏南部旱区坡地不同粮草带比间作种植模式比较·····	路海东,贾志宽,杨宝平,等 (5941)
节节草生长对铜尾矿砂重金属形态转化和土壤酶活性的影响·····	李 影,陈明林 (5949)
自然植物群落形成过程中铜尾矿废弃地氮素组分的变化 ·····	安宗胜,詹 婧,孙庆业 (5958)
硅介导的水稻对二化螟幼虫钻蛀行为的影响 ·····	韩永强,刘 川,侯茂林 (5967)
饥饿对转基因鲤与野生鲤生长竞争和性腺发育的影响·····	刘春雷,常玉梅,梁利群,等 (5975)
专论与综述	
河流水质的景观组分阈值研究进展 ·····	刘珍环,李 猷,彭 建 (5983)
研究简报	
长期模拟增温对岷江冷杉幼苗生长与生物量分配的影响 ·····	杨 兵,王进闯,张远彬 (5994)
环境因素对长额斗蟋翅型分化的影响 ·····	曾 杨,朱道弘,赵吕权 (6001)

棉铃虫幼虫对人类呈味物质的取食反应

李为争,付国需,王英慧,原国辉*,张元臣,柴晓乐

(河南农业大学植物保护学院,郑州 450002)

摘要:利用叶碟法在室内测定了棉铃虫对人类酸、甜、苦、咸4种基本呈味物质和麻、辣味2种植物提取物的取食反应。正交试验结果表明,棉铃虫幼虫对用甜味、苦味和辣味物质(蔗糖、奎宁和辣椒提取物)处理过的烟叶取食选择率较高,对这3种呈味物质表现出有较好的适应性;而幼虫对咸味、酸味和麻味物质(氯化钠、柠檬酸和花椒提取物)处理过的烟叶取食量较少,这3种呈味物质表现出较强的拒食活性。在选择性条件下,幼虫的取食量与花椒提取物剂量显著相关;而在非选择性条件下,幼虫的取食量与氯化钠剂量显著相关。

关键词:棉铃虫;呈味物质;取食反应;拒食活性;正交设计

Feeding responses of *Helicoverpa armigera* larvae to taste compounds of humans

LI Weizheng, FU Guoxu, WANG Yinghui, YUAN Guohui*, ZHANG Yuanchen, CHAI Xiaole

College of Plant Protection, Henan Agricultural University, Zhengzhou, Henan 450002, China

Abstract: Feeding responses of *Helicoverpa armigera* larvae to citric acid, sucrose, quinine and NaCl representing 4 basic human taste materials of sour, sweet, bitter and salty, and 2 plant extracts of numb, piquancy taste, were tested in the laboratory by leaf-disc method. Orthogonal experimental results showed that the selection percentages of bollworm feeding on tobacco leaves treated with sweet, bitter and piquancy taste compounds (sucrose, quinine and extract of *Capsicum annum*) were higher, indicating the larvae had the better adaptability to sweet, bitter, and piquancy taste compounds. In contrast, the feeding amount of bollworm larvae on tobacco leaves treated with salty, sour, and numb taste compounds (NaCl, citric acid, and extract of *Zanthoxylum bungeanum*) was less. The taste compounds of salty, sour, and numb had very strong antifeedant activity on bollworm larvae. The feeding amount of larvae was closely related to the doses of *Z. bungeanum* extract in the choice bioassay, whilst it was related to NaCl dosages in non-choice bioassay.

Key Words: *Helicoverpa armigera*; taste compound; feeding response; feeding deterrence; orthogonal design

人类有酸、甜、苦和咸4种基本味觉,引起这4种味觉反应的物质称为基本呈味物质。通常H⁺引起酸味感觉,糖类、多元醇类和部分氨基酸引起甜味感觉,生物碱、萜类和部分糖苷引起苦味感觉,无机盐类特别是氯化盐引起咸味感觉,这些基本呈味物质以不同的浓度和比例组合时就可形成千差万别的味道^[1]。近年来,随着分子生物学技术和电生理试验技术的发展,对包括昆虫在内的动物味觉机理研究成为新的研究热点,已经明确哺乳动物通过专一的感受细胞来分别检测不同的基本呈味物质^[2],而蜜蜂、果蝇等昆虫也有类似的味觉系统^[3-4]。对于植食性昆虫来说,与植物接触后主要通过味觉感受器来感知植物中的营养成分和次生代谢产物,从而做出“接受”或“拒绝”的选择^[5-7]。大量研究表明,寄主植物中往往含有取食刺激物质,而非寄主植物中往往含有取食抑制物质,这些物质是决定昆虫寄主选择的基本物质^[8],特别是在取食抑制物质方面,已经发现了大量拒食活性化合物^[9]。然而,由于研究对象几乎涉及到各种主要农林害虫,发现的活性化合物也多

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30800109);河南省重点科技攻关资助项目(082102150003)

收稿日期:2009-10-14; **修订日期:**2009-12-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hnnnygh@126.com

种多样,致使对昆虫寄主选择机理的解释各不相同^[10]。因此,借鉴哺乳动物味觉机理的研究方法,从基本呈味物质入手探讨昆虫的取食选择机理,有可能阐明其取食选择行为的本质,为害虫取食行为调控产品和技术的开发提供新的思路。

棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 是鳞翅目的重要农业害虫,幼虫可取食 30 余种 200 多种植物^[11]。研究表明,由于不同寄主植物含有不同的次生物质和不同配比的营养成分,棉铃虫幼虫的喜食程度存在明显差异^[12]。在人工饲料中添加棉酚、烟碱、番茄苷和辣椒素 4 种寄主植物次生物质,棉铃虫表现出普遍的适应性,而近缘种烟青虫 *H. assulta* 只对寄主植物所含的烟碱和辣椒素有较好的适应性^[13]。近年来,随着人们农产品质量安全意识的增强,植物源拒食剂的研究倍受关注,发现了许多非寄主植物提取物对棉铃虫幼虫具有拒食和抑制生长发育的活性^[14-16],但对这些提取物的拒食机理还知之甚少。已有研究表明,鳞翅目幼虫口器上存在 4 个栓锥形味觉感器,在每一个栓锥感器内有 4 个功能不同的化学感受细胞,它们的感受谱在种间各不相同,从而构成物种之间味觉和食性的特异性^[6,17]。棉铃虫幼虫的侧栓锥感器对蔗糖和具有苦味的印楝素敏感^[18];测定棉铃虫幼虫对 30 种氨基酸、10 种糖类和 4 种棉花次生物质的取食选择性,初孵幼虫对多种氨基酸、糖类和棉花次生物质表现出较强趋性,但 5 日龄幼虫仅对 *D*-海藻糖表现出高的取食选择性,这种趋向与取食选择的非一致可能与幼虫龄期等有关^[19],但也不能排除饲料“风味”和适口性的影响。根据“气味环渡理论”,人类嗅觉系统感受食品风味时存在着“相邻补强、对角补缺”的规律,通过若干种基本呈味物质的搭配即可实现食品的调香和调味^[20]。若昆虫也存在与人类相似的“风味”感受系统,筛选发现诱导或驱避昆虫取食的基本呈味物质,就有可能通过这些呈味物质的相互搭配来研制昆虫诱食剂或拒食剂,开辟益虫饲养和害虫控制的新领域。为此,本文采用正交试验,测定了酸、甜、苦、咸 4 种人类基本呈味物质和花椒、辣椒 2 种麻辣味植物提取物对棉铃虫取食选择的相对重要性,期望为深入研究棉铃虫取食行为机理和取食行为调控提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

在河南农业大学科教园区烟田采集棉铃虫老熟幼虫,用烟叶饲养至化蛹,成虫羽化后饲以体积分数 10% 蔗糖水,收集所产的卵,孵化后用人工饲料饲养幼虫。在 GB-250 GS II 型人工气候箱(广东医疗器械厂)中饲养,条件为光周期 15 L:9 D(暗期在 23:00—翌日 8:00)、二级变温(光期(30 ± 2)℃、暗期(28 ± 2)℃)、*R. H.* 70%。取健康活泼、发育整齐的 3 龄幼虫,饥饿 12 h 后用于测定。

1.2 供试材料

选取柠檬酸、蔗糖和氯化钠(天津市瑞金特化学品有限公司)分别作为酸、甜和咸味物质的代表,用蒸馏水分别将 3 种试剂配制成饱和溶液(柠檬酸溶解度 60.63%,蔗糖溶解度 67.11%,氯化钠溶解度 26.47%);选取奎宁(博尚生物科技有限公司)作为苦味物质的代表,用氯仿制备成饱和溶液。选取晋产红花椒 *Zanthoxylum bungeanum* 和线辣椒 *Capsicum annuum* var. *annuutri* 分别作为麻、辣味物质的代表,自然干燥后用 FW-100 型高速万能粉碎机在 1200 r/min 的转速下粉碎 10 s,过 40 目筛,分别称取 40 g 粉末,用 80 目不锈钢纱网包裹,放入索氏提取器,在 60℃ 条件下用无水乙醇萃取 6 h,然后用 Heidolph 4011 型旋转蒸发器减压浓缩,萃取液用无水硫酸钠干燥,再用无水乙醇定容到 10 mL,于 4℃ 冰箱内保存备用。

选取长势良好、无花叶、无害虫的烟草上部新鲜叶片作为测定幼虫取食反应的饲料。预试验表明 2 个 1.5 cm ID 的烟草叶碟可供 1 头饥饿 12 h 的棉铃虫 3 龄幼虫取食 4—6 h,每个叶碟表面最多可涂抹 40 μL 溶液。因此,测定前将烟草叶片用 1.5 cm ID 的打孔器制成叶碟,并根据试验设计用移液器在叶碟上分别定量涂抹呈味物质溶液。

1.3 试验设计

首先采用 $L_9(2^7)$ 正交设计进行取食选择活性测定,每种呈味物质视为一个因素,设两个极端化水平:“1”水平代表不涂抹呈味物质,“2”水平代表涂抹 10 μL 呈味物质(表 1),每个试验号重复 10 次。然后选取 3 种取食选择率较低的呈味物质,每种呈味物质设 3、6、9、12 μL 共 4 个剂量水平,采用 $L_{16}(4^5)$ 正交设计,分别进

行选择性和非选择性拒食活性测定,每个试验号重复 6 次(表 2 和表 3)。各试验号的对照涂抹等剂量的溶剂,其中柠檬酸、蔗糖和氯化钠 3 种呈味物质的对照涂抹蒸馏水,考虑到氯仿极易挥发,其他 3 种呈味物质的对照均涂抹无水乙醇。

表 1 棉铃虫幼虫对不同呈味物质的取食选择率

Table 1 Feeding selection percentage of *H. armigera* larvae to different taste compounds

试验号 Test No.	氯化钠 NaCl	柠檬酸 Citric acid	蔗糖 Sucrose	奎宁 Quinine	辣椒 <i>C. annuum</i>	花椒 <i>Z. bungeanum</i>	空白列 Blank	被食叶面积 ± SD/mm ² Leaf area consumed ± SD		取食选择率 FSP /%
								处理 Treatment	对照 CK	
1	1	1	1	1	1	1	1	114.00 ± 35.02	117.50 ± 29.22	98.49
2	1	1	1	2	2	2	2	49.00 ± 27.06	76.00 ± 29.73	78.40
3	1	2	2	1	1	2	2	17.00 ± 10.38	140.67 ± 31.61	21.56
4	1	2	2	2	2	1	1	48.50 ± 21.94	54.50 ± 21.24	94.17
5	2	1	2	1	2	1	2	38.67 ± 23.83	115.50 ± 31.17	50.16
6	2	1	2	2	1	2	1	2.83 ± 2.29	93.00 ± 21.32	5.91
7	2	2	1	1	2	2	1	1.17 ± 1.17	101.00 ± 27.52	2.28
8	2	2	1	2	1	1	2	25.00 ± 15.95	105.17 ± 21.53	38.41
<i>K</i> ₁	107.37	167.04	182.42	227.50	235.62	118.76	199.14			
<i>K</i> ₂	303.23	243.56	228.19	183.10	174.98	291.84	211.46			
<i>R</i>	195.86	76.53	45.77	44.40	60.64	173.08	12.32			

注:每个因素所在列的“*K_i*”值表示该因素第 *i* 水平的试验号所对应的取食选择率(FSP)值之和;“*R*”表示每个因素所在列的“*K_i*”值的极差,空白列(虚拟因素)视为实际因素计算 *K_i*和 *R* 值

表 2 几种呈味物质对棉铃虫幼虫的选择性拒食率

Table 2 Selective antifeedant percentage of some taste compounds to *H. armigera* larvae

试验号 Test No.	氯化钠/μL NaCl	柠檬酸/μL Citric acid	空白列 Blank	花椒/μL <i>Z. bungeanum</i>	空白列 Blank	被食叶面积 ± SD/mm ² Leaf area consumed ± SD		选择性拒食率 SAP /%
						处理 Treatment	对照 CK	
1	3	3	1	3	1	25.25 ± 18.76	148.75 ± 13.58	70.98
2	3	6	2	6	2	12.00 ± 9.80	122.75 ± 26.89	82.19
3	3	9	3	9	3	23.75 ± 19.39	201.25 ± 37.92	78.89
4	3	12	4	12	4	3.00 ± 1.41	106.50 ± 25.64	94.52
5	6	3	2	9	4	0.50 ± 0.41	99.25 ± 24.58	99.00
6	6	6	1	12	3	5.75 ± 2.29	144.50 ± 39.63	92.35
7	6	9	4	3	2	0.00 ± 0.00	118.00 ± 18.30	100.00
8	6	12	3	6	1	0.75 ± 0.61	143.75 ± 13.41	98.96
9	9	3	3	12	2	0.00 ± 0.00	130.25 ± 11.14	100.00
10	9	6	4	9	1	13.50 ± 9.96	151.75 ± 9.06	83.66
11	9	9	1	6	4	49.25 ± 23.22	141.00 ± 47.67	48.23
12	9	12	2	3	3	44.00 ± 34.31	113.50 ± 34.62	44.13
13	12	3	4	6	3	0.00 ± 0.00	145.25 ± 11.76	100.00
14	12	6	3	3	4	15.00 ± 12.25	98.75 ± 26.87	73.63
15	12	9	2	12	1	0.00 ± 0.00	123.50 ± 6.67	100.00
16	12	12	1	9	2	0.00 ± 0.00	136.50 ± 27.35	100.00
<i>K</i> ₁	326.58	369.97	311.55	288.73	353.60			
<i>K</i> ₂	390.31	331.82	325.31	329.38	382.19			
<i>K</i> ₃	276.01	327.11	351.48	361.55	315.36			
<i>K</i> ₄	373.63	337.61	378.18	386.87	315.37			
<i>R</i>	114.29	42.86	66.63	98.14	66.83			

注:每个因素所在列的“*K_i*”值表示该因素第 *i* 水平的试验号所对应的取食选择率(FSP)值之和;“*R*”表示每个因素所在列的“*K_i*”值的极差,空白列(虚拟因素)视为实际因素计算 *K_i*和 *R* 值

表 3 几种呈味物质对棉铃虫幼虫的非选择性拒食率

Table 3 Non-selective antifeedant percentage of some taste compounds to *H. armigera* larvae

试验号 Test No.	氯化钠/ μL NaCl	柠檬酸/ μL Citric acid	空白列 Blank	花椒/ μL <i>Z. bungeanum</i>	空白列 Blank	被食叶面积 \pm SD/ mm^2 Leaf area consumed \pm SD		非选择性拒食率 NAP /%
						处理 Treatment	对照 CK	
1	3	3	1	3	1	87.67 \pm 30.15	185.50 \pm 76.60	52.74
2	3	6	2	6	2	125.00 \pm 38.96	197.83 \pm 70.51	36.82
3	3	9	3	9	3	115.50 \pm 61.48	131.33 \pm 75.06	12.06
4	3	12	4	12	4	40.50 \pm 21.36	141.33 \pm 53.02	71.34
5	6	3	2	9	4	61.50 \pm 28.51	104.17 \pm 29.13	40.96
6	6	6	1	12	3	103.50 \pm 51.41	158.67 \pm 58.25	34.77
7	6	9	4	3	2	119.67 \pm 38.70	277.50 \pm 77.08	56.88
8	6	12	3	6	1	91.33 \pm 30.14	239.50 \pm 85.48	61.86
9	9	3	3	12	2	66.17 \pm 40.48	173.67 \pm 45.35	61.90
10	9	6	4	9	1	79.67 \pm 35.15	231.00 \pm 64.37	65.51
11	9	9	1	6	4	101.00 \pm 38.33	115.67 \pm 38.17	12.68
12	9	12	2	3	3	47.67 \pm 23.14	184.17 \pm 71.56	74.12
13	12	3	4	6	3	82.50 \pm 35.95	133.50 \pm 44.83	38.20
14	12	6	3	3	4	12.50 \pm 7.79	151.17 \pm 39.83	91.73
15	12	9	2	12	1	43.67 \pm 18.80	186.33 \pm 37.69	76.57
16	12	12	1	9	2	23.00 \pm 14.91	163.83 \pm 25.64	85.96
K_1	172.96	193.80	186.15	275.47	256.68			
K_2	194.47	228.83	228.46	149.56	241.55			
K_3	214.21	158.18	227.55	204.49	159.14			
K_4	292.46	293.29	231.94	244.58	216.72			
R	119.50	135.11	45.79	125.90	97.54			

注:每个因素所在列的“ K_i ”值表示该因素第*i*水平的试验号所对应的取食选择率(*FSP*)值之和;“ R ”表示每个因素所在列的“ K_i ”值的极差,空白列(虚拟因素)视为实际因素计算 K_i 和 R 值

1.4 生物测定

采用汤清波等改进的叶碟法进行测定^[21]。取 14.0 cm ID 的培养皿,底部铺垫相同直径的圆形滤纸并加少量蒸馏水保湿,每皿放入 4 个叶碟。其中进行选择测定时处理和对照叶碟各 2 个,呈十字交叉排列放在 1 个培养皿中;进行非选择性测定时取 2 个培养皿,分别放置处理和对照叶碟各 4 个。然后在培养皿中间接入 1 头棉铃虫幼虫,用带有 30—50 个针孔的保鲜膜覆盖培养皿后,放入洁净无味的暗箱中。幼虫取食 4 h 后将叶碟取出,放在规格 1mm \times 1 mm 的透明坐标纸上测量被取食叶面积。

1.5 数据分析

按下列公式分别计算取食选择率(feeding selection percentage, *FSP*)、选择性拒食率(selective antifeedant percentage, *SAP*)和非选择性拒食率(non-selective antifeedant percentage, *NAP*):

$$FSP = 1 - \frac{CK - Tr}{CK + Tr} \times 100 \quad SAP = 1 - \frac{CK - Tr}{CK + Tr} \times 100 \quad NAP = 1 - \frac{CK - Tr}{CK} \times 100$$

式中, CK 表示对照叶碟被取食面积, Tr 表示处理叶碟被取食面积。

采用正交试验的极差分析结合方差分析,比较棉铃虫幼虫对不同呈味物质的取食反应。进行极差分析时,分别计算各因素、各水平对应的试验指标之和(K_i),然后计算各因素引起的 K_i 值的极差(R),小于空白列极差的因素视为对取食行为无影响,根据试验指标的望大或望小特性判断各因素的拒食或诱食活性。进行方差分析时,首先计算各因素及空白列的均方,将均方小于空白列的因素合并入随机误差,将各因素的均方除以合并误差的均方,得到 F 值,与 $F_{0.05}$ 临界值比较,判断各因素对棉铃虫幼虫取食量影响的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 棉铃虫幼虫对不同呈味物质的取食选择反应

棉铃虫幼虫对涂渍不同组合呈味物质的烟草叶碟取食面积测定结果见表 1。极差分析表明,氯化钠和花椒提取物对棉铃虫幼虫的取食量影响最大($R_{\text{氯化钠}} = 195.86, R_{\text{花椒提取物}} = 173.08, R_{\text{空白}} = 12.32$),6 种呈味物质的拒食效应顺序为:氯化钠 > 花椒提取物 > 柠檬酸 > 辣椒提取物 > 蔗糖 > 奎宁。其中,辣椒提取物和奎宁均为 1 水平数值较大,说明这两种物质对棉铃虫幼虫取食没有明显影响。从表 1 还可以看出,棉铃虫幼虫对第 6 和第 7 号呈味物质组合的取食选择率最低,二者的共性为均含氯化钠和花椒提取物;而对第 1 和第 4 号呈味物质组合取食选择率最高,二者的共性是均不含氯化钠和花椒提取物。可见氯化钠和花椒提取物对棉铃虫的取食存在显著的交互影响作用,二者共存时对棉铃虫幼虫取食具有抑制作用,而缺乏任何一种时抑制作用会有所下降。方差分析结果表明,花椒提取物和氯化钠溶液对棉铃虫幼虫取食量的影响均达到显著性差异($F_{\text{花椒}} = 197.33^*, F_{\text{氯化钠}} = 252.69^*, F_{0.05} = 161.45$)。

2.2 几种呈味物质对棉铃虫幼虫的选择性拒食活性

测定氯化钠、柠檬酸和花椒提取物对棉铃虫幼虫的选择性拒食活性,结果见表 2。从表 2 可以看出,2 个空白列的极差分别为 66.63 和 66.83,极差最大的为氯化钠(114.29),其次为花椒提取物(98.14),均表现出明显的拒食活性。而柠檬酸的极差小于空白列,没有拒食活性。将柠檬酸的效应并入试验误差进行方差分析,结果表明,不同剂量的氯化钠和花椒提取物对棉铃虫幼虫取食量的影响均未达到显著性差异($F_{\text{氯化钠}} = 3.45, F_{\text{花椒提取物}} = 2.34, F_{0.05} = 3.86$)。从表 2 还可以看出,在 16 个试验组合中拒食率达 90% 以上的共有 9 个,其中第 7、9、13、15 和 16 试验组合的拒食率均达到 100%,说明在设定的 3—12 μL 的剂量范围内,不同剂量的氯化钠和花椒提取物组合均有较强的、但相互之间差异不显著的拒食活性,这可能是造成方差分析差异不显著的原因。进一步分析不同剂量与拒食率的关系可以发现,在选择性试验条件下,拒食率与氯化钠剂量的关系不明显,但与花椒提取物的剂量呈显著正相关(图 1)。

2.3 几种呈味物质对棉铃虫幼虫的非选择性拒食活性

测定氯化钠、柠檬酸和花椒提取物对棉铃虫幼虫的非选择性拒食活性,结果见表 3。从表 3 可以看出,2 个空白列的极差分别为 45.79 和 97.54,极差最大的为柠檬酸(135.11),其次是花椒提取物(125.9)和氯化钠(119.5),均表现出明显的拒食活性。方差分析结果表明,在设定的剂量水平下,这 3 种呈味物质对棉铃虫幼虫取食量的影响均未达到显著性差异($F_{\text{氯化钠}} = 2.35, F_{\text{柠檬酸}} = 2.87, F_{\text{花椒提取物}} = 2.56, F_{0.05} = 4.76$)。进一步分析不同剂量与拒食率的关系可以发现,在非选择性试验条件下,拒食率与氯化钠的剂量显著相关(图 2),但与柠檬酸和花椒提取物的剂量关系不明显。

3 讨论

味觉有助于植食性昆虫选择寄主植物及产卵场所、辨识与食物相关的化学刺激和避免取食有毒有害物质^[22]。棉铃虫作为一种多食性害虫,明确其对不同呈味物质的取食选择反应,可以为植食性昆虫味觉偏好的探讨提供更多的启示。本研究在室内测定了棉铃虫对人类基本呈味物质的取食选择反应,结果表明幼虫对用甜味和苦味物质处理的烟草叶片取食选择率较高,表现出有较好的适应性,估计与营养联系相关。通常甜味由糖类产生,经常出现在有营养价值的物质上,是很多昆虫的取食刺激物^[23],而绝大多数的鳞翅目昆虫幼虫也具有单独的糖类味觉细胞^[24]。苦味多来源于植物中的生物碱,一般认为它是一种有害或有毒物质的代表

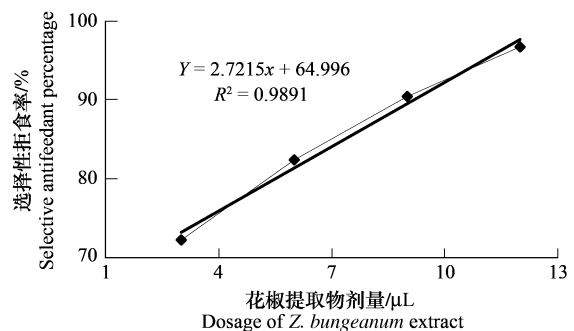


图 1 不同剂量花椒提取物对棉铃虫幼虫的选择性拒食率
Fig. 1 Selective antifeedant percentage of different dosage extracts of *Z. bungeanum* to *H. armigera* larvae

性信号,但在本试验中棉铃虫对苦味物质奎宁也有较好的适应性,估计与其寄主范围较广有关,因为多食性的昆虫为了获得营养物质已经形成了对生物碱的适应机制,可忍受范围较广的植物次生物质^[18]。本研究结果还表明,供试的咸味物质表现出较强的拒食活性,酸味物质在非选择性试验条件下拒食活性也较强,一般认为咸味和酸味常常与环境或食物的安全性相关,除了腐食性生物如蝇类等对低浓度的氯化钠有食欲反应外^[25],多数生物把咸味和酸味作为首要的警戒味道,因为高浓度的盐分摄入是有害的,而酸味可能代表腐烂、污染、腐蚀性,且取食后有使昆虫中肠 pH 值降低的风险^[26],这可能也是棉铃虫不选择咸味和酸味物质的原因。本研究还测定了棉铃虫对花椒和辣椒提取物的取食选择反应,其中麻味的花椒提取物表现出较强的拒食活性,已有研究表明酰胺类物质是花椒中的主要麻味成分,也是花椒所具有的镇痛、抗炎、抑菌、驱虫等药理活性的常见功能成分^[27],估计棉铃虫拒食与此麻味成分有关,有待进一步研究证实;辣椒呈辣的主要成分为辣椒素^[28],本研究表明棉铃虫幼虫对其有一定的适应性,与在饲料中添加辣椒素的试验结果一致^[13]。

昆虫拒食剂的研究开发近年来受到普遍关注^[29]。特别是植物源昆虫拒食剂在自然界中易于降解,对靶标生物具较好的选择性,且不伤害天敌,具有很好的生态效应而成为新农药研制的热点^[14]。但在自然状态下,具有拒食活性的物质不会被昆虫大量摄入体内,也就不会发生胃毒作用,因此,立足于“杀虫”目标的拒食剂很难应用于生产。而若从调控取食选择行为来避免害虫取食为害,则可能是一个值得开拓的领域。有人指出,通过调控植物表面水溶性物质的浓度或含量,有可能改变已定着昆虫的取食选择行为^[30],而基本呈味物质均是水溶性的。本研究明确了氯化钠、柠檬酸 2 种基本呈味物质和呈麻味物质花椒提取物对棉铃虫幼虫的拒食活性,将这些呈味物质喷洒于田间,是否可以调控棉铃虫的取食选择行为,避免目标作物受到为害,有待进一步研究。

References:

- [1] Ding N K, Li Y B. Food Flavor Chemistry. Beijing: China Light Industry Press, 2006: 12-101.
- [2] Chandrashekar J, Hoon M A, Ryba N J P, Zuker C S. The receptors and cells for mammalian taste. Nature, 2006, 444: 288-294.
- [3] De Brito-Sanchez M G, Giurfa M, de Paula R, Gauthier M. Electrophysiological and behavioural characterization of gustatory responses to antennal 'bitter' taste in honeybees. The European Journal of Neuroscience, 2005, 22 (12) : 3 161-3 170.
- [4] Fischler W, Kong P, Marella S, Scott K. The detection of carbonation by the *Drosophila* gustatory system. Nature, 2007, 448: 1 054-1 057.
- [5] Chapman R F. Contact chemoreception in feeding by phytophagous insect. Annual Review of Entomology, 2003, 48: 455-484.
- [6] Schoonhoven L M, van Loon J J A, Dicke M. Insect-Plant Biology 2nd edition. New York: Oxford University Press, 2005: 169-199.
- [7] Yin J, Cao Y Z, Luo L Z, Hu Y. Oviposition preference of the meadow moth, *Loxostege sticticalis* L., on different host plants and its chemical mechanism. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25 (8) : 1 844-1 852.
- [8] Wei H, Hou Y M, Yang G, You M S. Repellent and antifeedant effect of secondary metabolites of non-host plants on *Plutella xylostella*. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15 (3) : 473-476.
- [9] Murray B I. Botanical insecticides, deterrents and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. Annual Review of Entomology, 2006, 51: 45-66.
- [10] Lu Y H, Zhang Y J, Wu K M. Host-plant selection mechanisms and behavioral manipulation strategies of phytophagous insects. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28 (10) : 5 113-5 122.
- [11] Wu J X, Yuan G H, Shi S S, Bei N X. Agricultural Entomology. Beijing: China Agriculture Press, 2002: 257-259.

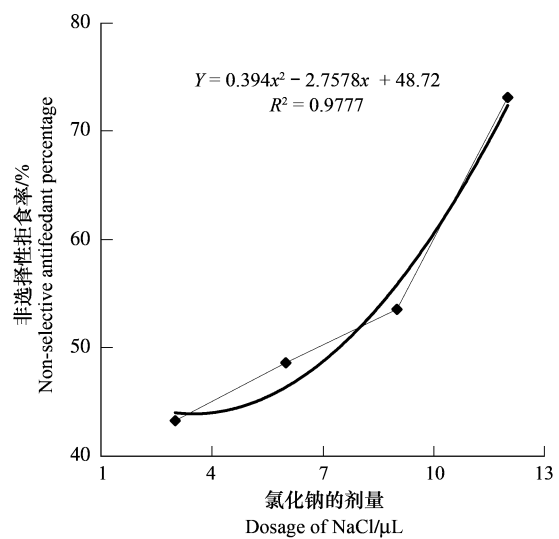


图2 不同剂量氯化钠对棉铃虫幼虫的非选择性拒食率
Fig. 2 Non-selective antifeedant percentage of different dosage of NaCl to *H. armigera* larvae

- [12] Zhang Y, Xin H J, Wang K Y, Ma H, Gu C B. Effects of different host plants on the biological characteristics and pesticide resistance of *Helicoverpa armigera*. *China Cotton*, 2005, 32(7):10-11.
- [13] Dong J F, Zhang J H, Wang C Z. Effects of plant allelochemicals on nutritional utilization and detoxication enzyme activities in two *Helicoverpa* species. *Acta Entomologica Sinica*, 2002, 45(3):296-300.
- [14] Li S Q, Fang Y L, Zhang Z N. Studies and applications of botanical insect antifeedants. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2005, 42(5):491-496.
- [15] Cheng L K, Liu X X, Zhang Q W, Ma X M, Sun Y Y, Zhong Y. Effect of ethanol extract of *Eupatorium adenophorum* Spreng on growth, development and reproduction of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner). *Acta Entomologica Sinica*, 2007, 50(3):304-308.
- [16] Sun W Y, Qin Q J, Kang Z H, Liu S, Li L, He Y Z. Studies on insecticidal activity of 23 plant powders against *Helicoverpa armigera*. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2008, 31(5):66-70.
- [17] Yang H, Yan S C, Peng L. Chemosensilla and chemical sensory mechanisms in Lepidoptera. *Acta Entomologica Sinica*, 2008, 51(2):204-215.
- [18] Tang D L, Wang C Z, Luo L E, Qin J D. Comparative study on the responses of maxillary sensilla styloconica of cotton bollworm *Helicoverpa armigera* and *H. assulta* on phytochemicals. *Science in China (Series C)*, 2000, 30(5):511-516.
- [19] Zhang J H, Wang C Z. Feeding selectivity of larvae on amino acids, sugars and secondary substance of cotton. *Plant Protection*, 2001, 27(1):3-5.
- [20] Lin X Y. *Aromatic Flavoring Technology*. Beijing: Chemical Industry Press, 2008:16-20.
- [21] Tang Q B, Wang C Z. Leaf disk test used in caterpillar feeding preference study. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2007, 44(6):912-915.
- [22] Glendinning J I. How do herbivorous insects cope with noxious secondary plant compounds in their diet? *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2002, 104(1):15-25.
- [23] Wang Z, Singhvi A, Kong P, Scott K. Taste representations in the *Drosophila* brain. *Cell*, 2004, 117(7):981-991.
- [24] Schoonhoven L M, van Loon J J A. An inventory of taste in caterpillars: each species is its own key. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 2002, 48(z1):215-263.
- [25] Hiroi M, Meunier N, Marion-Poll F, Tanimura T. Two antagonistic gustatory receptor neurons responding to sweet-salty and bitter taste in *Drosophila*. *Journal of Neurobiology*, 2004, 61(3):333-342.
- [26] Schultz J C, Lechowicz M J. Host-plant, larval age, and feeding behavior influence midgut pH in the gypsy moth (*Lymantria dispar*). *Oecologia*, 1986, 71(1):133-137.
- [27] Guo J. Studies on the inspection methods and antioxidative, antimicrobial, insecticidal function of numb-taste components from *Zanthoxylum* L. *China Condiment*, 2008, (5):73-76.
- [28] Feng J N, Fu J, Han M L. Research summarization on capsaicin. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2005, 14(1):84-87.
- [29] Isman M B. Insect antifeedants. *Pesticide Outlook*, 2002, 13(4):152-157.
- [30] Mullin C A, Chyb S, Eichenseer H, Hollister B, Frazier J L. Neuro receptor mechanisms in insect gestation: a pharmacological approach. *Journal of Insect Physiology*, 1994, 40(11):913-931.

参考文献:

- [1] 丁耐克, 李亦兵. 食品风味化学. 北京: 中国轻工业出版社, 2006:12-101.
- [7] 尹姣, 曹雅忠, 罗礼智, 胡毅. 草地螟对寄主植物的选择性及其化学生态机制. *生态学报*, 2005, 25(8):1 844-1 852.
- [8] 魏辉, 侯有明, 杨广, 尤民生. 非嗜食植物次生物质对小菜蛾产卵驱避和拒食作用的研究. *应用生态学报*, 2004, 15(3):473-476.
- [10] 陆宴辉, 张永军, 吴孔明. 植食性昆虫的寄主选择机理及行为调控策略. *生态学报*, 2008, 28(10):5 113-5 122.
- [11] 仵均祥, 原国辉, 史树森, 贝纳新. 农业昆虫学. 北京: 中国农业出版社, 2002:257-259.
- [12] 张勇, 辛海军, 王开运, 马惠, 顾春波. 不同寄主植物对棉铃虫生物学特性和抗药性的影响. *中国棉花*, 2005, 32(7):10-11.
- [13] 董钧锋, 张继红, 王琛柱. 植物次生物质对烟青虫和棉铃虫食物利用及中肠解毒酶活性的影响. *昆虫学报*, 2002, 45(3):296-300.
- [14] 李水清, 方宇凌, 张钟宁. 植物源昆虫拒食活性物质的研究和应用. *昆虫知识*, 2005, 42(5):491-496.
- [15] 程丽坤, 刘小侠, 张青文, 马晓牧, 孙艳艳, 钟勇. 紫茎泽兰乙醇提取物对棉铃虫生长发育和繁殖力的影响. *昆虫学报*, 2007, 50(3):304-308.
- [16] 孙文琰, 秦秋菊, 康占海, 刘顺, 李乐, 何运转. 茜草等 23 种植物对棉铃虫生物活性的研究. *河北农业大学学报*, 2008, 31(5):66-70.
- [17] 杨慧, 严善春, 彭璐. 鳞翅目昆虫化学感受器及其感受机理新进展. *昆虫学报*, 2008, 51(2):204-215.
- [18] 汤德良, 王琛柱, 罗林儿, 钦俊德. 棉铃虫和烟青虫幼虫下颚锥感器对某些化合物反应特性的比较. *中国科学(C 辑)*, 2000, 30(5):511-516.
- [19] 张继红, 王琛柱. 棉铃虫幼虫对氨基酸、糖类和棉花次生物质的取食选择性. *植物保护*, 2001, 27(1):3-5.
- [20] 林祥云. 调香术. 北京: 化学工业出版社, 2008:16-20.
- [21] 汤清波, 王琛柱. 一种测定鳞翅目幼虫取食选择的方法——叶碟法及其改进和注意事项. *昆虫知识*, 2007, 44(6):912-915.
- [27] 郭静. 花椒麻味物质的分析测定方法和功能作用研究. *中国调味品*, 2008, (5):73-76.
- [28] 冯纪年, 付健, 韩明理. 辣椒碱的研究概述. *西北农业学报*, 2005, 14(1):84-87.

2008 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2009 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	8956	1	生态学报	1.669
2	应用生态学报	7979	2	植物生态学报	1.656
3	植物生态学报	3742	3	应用生态学报	1.632
4	西北植物学报	3584	4	生物多样性	1.474
5	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3460	5	生态学杂志	1.276
6	植物生理学通讯	3187	6	植物学通报	1.058
7	生态学杂志	3148	7	西北植物学报	1.046
8	遗传学报	2142	8	植物生理与分子生物学 学报	1.034
9	植物生理与分子生物学学报	1855	9	遗传学报	0.887
10	昆虫学报	1580	10	遗传	0.835

★《生态学报》2008 年在核心版的 1868 种科技期刊排序中总被引频次 8956 次,全国排名第 2;影响因子 1.669,全国排名第 14;第 1~8 届连续 8 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任: 孔红梅

执行编辑: 刘天星 段 靖

生态学报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 30 卷 第 21 期 (2010 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 21 2010

编 辑 《生态学报》编辑部
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085
电话:(010)62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

主 编 冯宗炜
主 管 中国科学技术协会
主 办 中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂
发 行 科 学 出 版 社
地址:东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717
电话:(010)64034563
E-mail:journal@cspg.net

订 购 全国各地邮局
国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址:北京 399 信箱
邮政编码:100044

广告经营 京海工商广字第 8013 号
许 可 证

Edited by Editorial board of
ACTA ECOLOGICA SINICA
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Tel:(010)62941099
www.ecologica.cn
Shengtaixuebao@rcees.ac.cn

Editor-in-chief FENG Zong-Wei
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel:(010)64034563
E-mail:journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元