

金龟甲广谱引诱剂配方筛选及田间评价*

滕小慧^{1**} 高新国² 龚东风¹ 张鸿飞¹ 闫凤鸣¹
郭线茹¹ 李为争¹ 原国辉^{1***}

(1. 河南农业大学植物保护学院, 郑州 450002; 2. 驻马店市农科院, 驻马店 463000)

摘 要 【目的】为了探讨国内外已经报道的金龟甲性信息素或植物源引诱剂对河南花生产区金龟甲的诱捕效果, 以便实现“地下害虫地上治理”的目标。【方法】作者于 2016 年 6 月 2 日至 8 月 31 日, 在驻马店和许昌两个地区, 比较了 10 种候选引诱剂的诱捕效果。【结果】暗黑鳃金龟是两个地区占绝对优势的种类。暗黑鳃金龟性信息素二元成分 *R*-(-)-芳樟醇与 *L*-异亮氨酸甲酯组成的 3 个配方 (1:4、1:5、1:7), 平均累计诱捕量显著大于其他候选引诱剂及对照空白诱捕器, 但 3 种不同配比的捕获量之间没有显著性差异。【结论】在以暗黑鳃金龟为优势种的花生产区, 我们推荐采用 1:4 的 *R*-(-)-芳樟醇: *L*-异亮氨酸甲酯作为活性成分, 以 500 μ L 的总剂量混入 0.5% 的琼脂胶载体中, 于 6 月 13 日至 7 月 23 日之间即该金龟甲成虫的发生盛期实施大田诱捕。

关键词 暗黑鳃金龟, 铜绿丽金龟, 性信息素, 植物源引诱剂, 诱捕

Field screening and evaluation of broad spectrum attractants of scarab beetles

TENG Xiao-Hui^{1**} GAO Xin-Guo² GONG Dong-Feng¹ ZHANG Hong-Fei¹
YAN Feng-Ming¹ GUO Xian-Ru¹ LI Wei-Zheng¹ YUAN Guo-Hui^{1***}

(1. College of Plant Protection, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;

2. Zhumadian Academy of Agricultural Sciences, Zhumadian 463000, China)

Abstract 【Objectives】To achieve the goal of “managing underground pests above ground”, the authors investigated the effectiveness of previously reported scarab attractants on several dominant scarab species in peanut growing areas in Henan province. 【Methods】We compared the effectiveness of 10 candidate attractant blends in Xuchang and Zhumadian, from June 2, 2016 to August 31, 2016. 【Results】*Holotrichia parallela* was the dominant scarab beetle in two field sites. Trap catches of three blends comprised of *H. parallela* sex pheromone components [in which ratios of *R*-(-)-linalool to *L*-isoleucine methyl ester were 1:4, 1:5, and 1:7, respectively] were significantly higher than those of blank traps, as well as traps with other candidate lures, but there was no significant difference in the numbers of scarab beetles caught among the binary blends of *R*-(-)-linalool and *L*-isoleucine methyl ester mixed in different ratios. 【Conclusion】The optimal lure [500 μ L of *R*-(-)-linalool and *L*-isoleucine methyl ester blended at 1:4, then formulated in 0.5% agarosectin] is recommended for use in peanut growing areas where *H. parallela* is the dominant species and should be applied between 13 June and 23 July.

Key words *Holotrichia parallela*, *Anomala corpulenta*, plant-derived attractants, sex pheromone, trapping

地下害虫是幼虫期长期栖居土壤的一类特殊害虫, 严重威胁着农作物营养供给的主要组织——根系。其中, 在北方旱作区, 地下害虫又以

3 种金龟甲的幼虫 (统称“蛴螬”) 为害尤为严重, 即华北大黑鳃金龟 *Holotrichia obliqua* Faldermann、暗黑鳃金龟 *Holotrichia parallela*

*资助项目 Supported projects: 国家自然科学基金 (31471772) 和国家公益性行业 (农业) 专项项目 (201203036)

**第一作者 First author, E-mail: tengxh15206020@163.com

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

收稿日期 Received: 2017-01-12, 接受日期 Accepted: 2017-03-03

Motschulsky 和铜绿丽金龟 *Anomala corpulenta* Motschulsky (仵均祥等, 2011)。过去实行冬耕冬灌、残株处理等措施,对越冬种群有较大遏制作用。随着耕作栽培方式的变化,尤其是秸秆未经腐熟处理而直接还田,使得金龟甲的防治成为突出的难题。

当前,金龟甲的防治主要依赖土壤处理、药剂拌种等。因蛴螬为害方式隐蔽,分布不明,这些措施通常需要很大的施药量,造成农业生产的基础——土壤受到不同程度的永久性 or 半永久性污染,继而引发农产品质量安全问题。因此,探讨对地下害虫成虫的诱杀等行为调控措施,成为控制地下害虫为害与农药残留的关键(朱栋等, 2012)。

当前金龟甲成虫引诱剂可以分为植物源引诱剂和性信息素两大类。国外已经报道了许多金龟甲种类的植物源引诱剂配方,具有不同程度的种类和性别广谱性。肉桂醇和(E)-茴香脑等质量比组成的二元混剂可以大量诱捕匈牙利的一种金龟甲 *Epicometis hirta*。该配方的组分之一肉桂醇还能够引诱 *Pachnoda* spp., *Oxythyrea* spp., *A. transvaalensis* 和 *Adoretus tessulatus* 等种类;另一成分(E)-茴香脑还可以引诱 *A. marginata*, *Trigonopeltastes delta* 和 *Eupoecila australasiae* 等种类(Tóth et al., 2004)。肉桂醇的结构类似物肉桂醛还能引发华北大黑鳃金龟雌虫最强的触角电位反应(李为争等, 2013)。日本弧丽金龟 *Popillia japonica* 三元引诱剂(香叶醇:丁香酚:丙酸苯乙酯=3:7:3)也可以引诱花园金龟甲 *Phyllopertha horticola* (Ruther, 2004)。玫瑰花的主要气味成分 2-苯乙醇对黄绿单爪鳃金龟 *Hoplia communis* 两性成虫具有很强的引诱力(Imai et al., 1998),还能引发华北大黑鳃金龟雄虫较强的触角电位反应(李为争等, 2013)。Tolasch 等(2003)发现(R)-乙偶姻是欧洲广泛分布的一种金龟 *Amphimallon solstitiale* 的雌性信息素,对成群婚飞的雄虫有很强的引诱力。就性信息素的成分而言,暗黑鳃金龟性信息素为 L-异亮氨酸甲酯和 R-(-)-芳樟醇的混合物,但二者最佳配比有不同的报道(Leal et al., 1993 ; Zhou et al., 2009 ; 罗宗秀等, 2010)。而甘氨酸甲酯

和脯氨酸甲酯的混合物则对华北大黑鳃金龟具有较好的引诱活性(胡祖庆等, 2005)。上述引诱剂对华北旱作区关键金龟甲种类的引诱作用,及其诱杀效果与性引诱剂的相对强弱关系,尚未进行系统比较。

河南省驻马店市是我国夏花生主产区之一,素有“中州油库”之称,常年种植面积和总产量分别占全省的 1/6 和 1/5 左右(朱亚娟和王晓林, 2015)。由于京港澳高速公路横贯驻马店市和许昌市,焚烧秸秆会引发许多交通事故,而直接还田会造成金龟甲发生程度不断加重。为此,作者选择这两个地区,比较了 10 种已经报道的金龟甲引诱剂的大田诱捕效果。

1 材料与方法

1.1 试剂来源

本试验供试试剂共 14 种。其中,甘氨酸甲酯(CAS: 5680-79-5, > 97.0%)、L-异亮氨酸甲酯(CAS: 18598-74-8, > 98.0%)、香叶醇(CAS: 106-24-1, > 96.0%)和肉桂醇(CAS: 104-54-1, > 97.0%)购买于东京化成工业株式会社; (E)-茴香脑(CAS: 4180-23-8, > 98.0%)、丙酸苯乙酯(CAS: 122-70-3, > 98.0%)和脯氨酸甲酯盐酸盐(CAS: 102195-79-9, > 97.0%)购买于梯希爱(上海)化成工业发展有限公司; R-(-)-芳樟醇(CAS: 78-70-6, =98.0%)、丁香酚(CAS: 97-50-0, =99.0%)和乙酸苯甲酯(CAS: 104-11-4, =99.0%)购买于 Aladdin 上海生化科技股份有限公司; 苯乙醛(CAS: 122-78-1, ≥ 90.0%)、水杨醛(CAS: 90-02-8, =98.0%)和(R)-乙偶姻(CAS: 513-80-6, ≥ 96.0%)购买于 Sigma-Aldrich; 2-苯乙醇(CAS: 60-12-8, ≥ 99.0%)购买于中国医药集团化学试剂有限公司。另外,用于引诱剂载体制备的琼脂糖(CAS: 9012-36-6)购买于 Sigma-Aldrich 公司。

1.2 供试引诱剂制备

本试验共 10 组配方和 1 组对照,其编号、成分、各成分的比例及每个诱芯活性成分的总剂量如表 1 所示。将各处理样品按表 1 用量添加到

10 mL 离心管中。将琼脂和水按 1 : 200 重量比混合, 在 85~90 ℃ 下煮沸, 直到琼脂完全溶解。然后, 将胶液分装到已添加供试样品的离心管中, 剧烈振荡, 直到试样均匀分散到琼脂胶中。

自然冷却到 40 ℃ 后, 停止振荡, 储存于 4 ℃ 备用。对照为不添加任何试剂的 2% 琼脂胶。这些配方的参考文献已经在表 1 中给出, 但配方 G 中二者的比例是本文作者主观选择的。

表 1 供试配方编号、成分、配比、每个诱芯活性成分总剂量及参考文献
Table 1 Blend code, components, blend ratio, total doses contained in each candidate lure and references

配方编号 Blend code	成分 Component	比例 Blend ratio	总剂量/诱芯 (μL) Total dose per lure	参考文献 Reference
A	R-(-)-芳樟醇:L-异亮氨酸甲酯	1 : 7	500	Zhou <i>et al.</i> , 2009
B	R-(-)-芳樟醇:L-异亮氨酸甲酯	1 : 4	500	罗宗秀等, 2010
C	R-(-)-芳樟醇:L-异亮氨酸甲酯	1 : 5	500	Leal <i>et al.</i> , 1993
D	(R)-乙偶姻	—	500	Tolasch <i>et al.</i> , 2003
E	肉桂醇:(E)-茴香脑	1 : 1	500	Tóth <i>et al.</i> , 2004
F	香叶醇:丁香酚:丙酸苯乙酯	3 : 7 : 3	500	Ruther , 2004
G	甘氨酸甲酯:脯氨酸甲酯盐酸盐	1 : 1	500	胡祖庆等, 2005
H	苯乙醛:乙酸苯甲酯	1 : 1	500	—
I	水杨醛	—	500	—
J	2-苯乙醇	—	500	Imai <i>et al.</i> , 1998
CK	—	—	—	—

1.3 大田诱捕

大田试验分别在驻马店市确山县留庄镇花生生产区和许昌市河南农业大学许昌校区内的试验田进行, 2016 年 6 月 2 日开始进行, 8 月 31 日结束, 其中 7 月 15 日更换 1 次诱芯。诱捕器为口径 20 cm 的不锈钢水盆, 用竹竿三脚架支撑到离地面 150 cm 高度。在盆中添加适量清水并加入少量洗衣粉。按照完全随机化区组设计, 将各诱芯悬挂于盆口中央, 使得盛装诱芯的离心管管口距水面 2~3 cm。共分为 4 个区组, 每个区组内诱捕器的间距大约为 20 m, 各区组之间的间距不小于 100 m。每天调查金龟甲诱捕种类和数量并清除捕获的个体。每隔 6 次调查, 诱捕器位置重新随机化 1 次。

1.4 数据统计

本试验在两个地区进行, 分别分为前期和后期两个阶段。由于两个地区作物类型不同, 故分开进行统计分析。每个地区每个阶段的试验结束后, 将不同日期同一配方的 4 个诱捕器按照昆虫种类分别对其诱捕量进行加和, 称为该配方的“累计诱捕量”; 再除以该配方重复次

数 (N = 4), 称为“平均累计诱捕量”。用 SPSS 19.0 软件中的一般线性模型中的“单因素方差分析”判断各处理平均累计诱捕量的差异显著性; 针对整体统计学差异达到显著 (P < 0.05) 的诱捕对象, 再采用 Duncan’s 多重比较法判断组间差异。

暗黑鳃金龟季节性发生趋势的判断: 根据驻马店确山县留庄镇放置的 44 个诱捕器每天暗黑鳃金龟的总诱捕量, 计算每天累计捕获量 (即从诱捕器放置之日起到相应时间段的总诱捕量), 然后除以驻马店地区试验期间总的暗黑鳃金龟捕获量, 得到成虫发生期的判断指标。该指标达到总诱捕量 14% 时为始盛期, 50% 时为盛期, 86% 时为盛末期。

2 结果与分析

2.1 田间引诱效果总评价

近 3 个月内, 两个地区放置的 88 个诱捕器中, 共捕获各类金龟甲 6 608 头。其中, 暗黑鳃金龟数量占优势, 共 5 704 头, 其次为铜绿丽金龟 (898 头), 黄褐丽金龟只有零星的诱捕量 (6 头), 可能与供试配方中暗黑鳃金龟候选引诱剂放置

诱捕器数较多有关。地区之间比较表明,驻马店共捕获金龟甲 1 541 头,许昌地区共捕获金龟甲 5 067 头,尽管驻马店地区种植了大面积的花生。

从不同配方比较来看,配方 A、B、C 引诱活性最强(分别为 1 368 头、1 521 头和 1 202 头),其他配方合计为 2 517 头(表 2)。

表 2 驻马店和许昌候选金龟甲引诱剂的累计诱捕量比较

Table 2 Cumulative captures of scarab beetle species caught by candidate attractants in Zhumadian and Xuchang

配方编号 Blend code	暗黑鳃金龟 <i>H. parallela</i>		铜绿丽金龟 <i>A. corpulenta</i>		黄褐丽金龟 <i>A. exoleta</i>	
	驻马店 Zhumadian	许昌 Xuchang	驻马店 Zhumadian	许昌 Xuchang	驻马店 Zhumadian	许昌 Xuchang
A	296	1 012	30	29	1	0
B	340	1 081	14	86	0	0
C	276	858	8	59	1	0
D	137	173	19	81	0	0
E	58	197	8	155	0	0
F	79	195	11	86	0	0
G	47	170	22	16	0	0
H	35	129	7	56	1	0
I	57	71	3	8	1	0
J	25	265	6	153	1	0
CK	49	154	8	33	1	0

2.2 候选引诱剂对暗黑鳃金龟的单盆累计诱捕量比较

方差分析结果表明,两个地区不同配方对暗黑鳃金龟的单盆累计诱捕量均存在极显著差异($F_{\text{许昌}} = 6.82, P < 0.01$; $F_{\text{驻马店}} = 8.46, P < 0.01$),且不同处理诱捕量之间的横向比较呈现相同趋势(图 1)。仅与性信息素有关的 3 个配方(A、B、C)对暗黑鳃金龟的单盆平均累计诱捕量才与对照存在显著差异,且配方 A、B、C 诱捕量差异不显著(图 1)。

2.3 暗黑鳃金龟季节性发生趋势分析

驻马店确山县留庄镇为大面积花生单作区,期望金龟甲发生期更为整齐一致。为了确定候选引诱剂的最佳使用时期,以该地区 44 个诱捕器单日暗黑鳃金龟总捕获量为指标,绘制其成虫季节性发生趋势图(图 2)。从图 2 可以看出,暗黑鳃金龟成虫大致有两个发生高峰,分别在 6 月 17 至 6 月 27 日以及 7 月 13 日至 7 月 19 日。7 月上旬则可能因雨量较大而捕获量较少,进入 8 月以后则仅有零星的发生。根据计算,暗黑鳃金龟成虫发生的始盛期为 6 月 13 日,发生盛期为

6 月 25 日前后,盛末期为 7 月 23 日。故在 6 月 13 日至 7 月 23 日之间的 40 d,采用上述配方 B 进行诱杀,期望会获得最大应用效益。

3 结论与讨论

本文研究发现,在 11 个配方中,仅此前鉴定的暗黑鳃金龟性信息素成分组成的 3 个配方和对照相比捕获量具有显著差异,但三者的捕获量之间没有显著差异。我们推荐在驻马店市花生产区,于 6 月 13 日至 7 月 23 日,采用 1:4 体积比的 *R*-(-)-芳樟醇:L-异亮氨酸甲酯混入琼脂胶载体中进行诱杀。其他时间段则因种群零星发生或降雨等因素,会导致引诱剂应用效益较低。

暗黑鳃金龟的性信息素主成分最初被鉴定为 *L*-异亮氨酸甲酯(Leal *et al.*, 1992)。大田试验证实,本身无引诱活性的次要成分(*R*)-(-)-芳樟醇以 1:5 的体积比混入,对主成分起着显著的增效作用(混剂:(29.4 ± 7.4)头/诱捕器/d;单剂:(6.5 ± 2.2)头/诱捕器/d)(Leal *et al.*, 1993)。后来国内学者对(*R*)-(-)-芳樟醇和 *L*-异亮氨酸甲酯的最佳比例进行了各种报道,例如 Zhou 等(2009)发现二者以 1:7 混合时触角电位反应

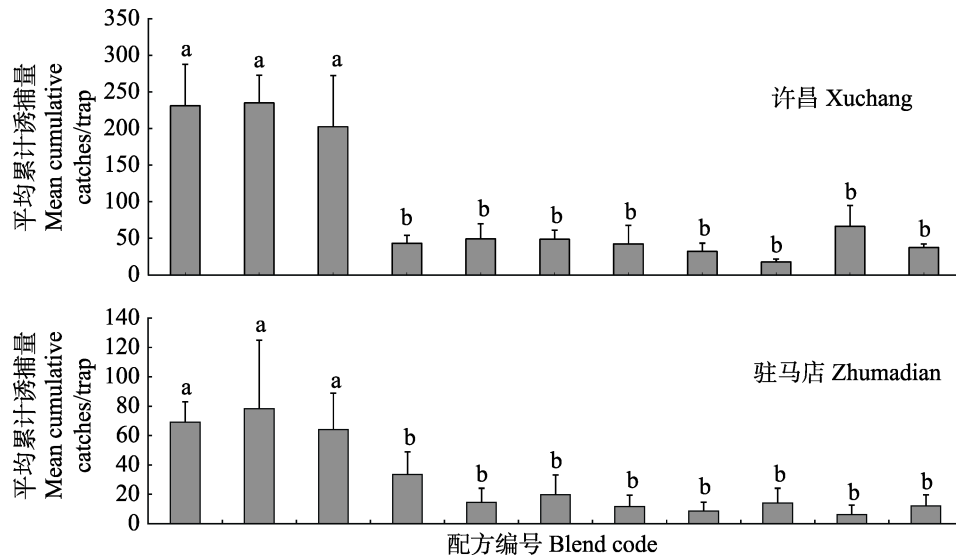


图 1 10 个候选引诱剂配方对暗黑鳃金龟的单盆累计诱捕量

Fig. 1 Mean cumulative catches of *Holotrichia parallela* adults trapped by 10 candidate attractants

柱上标有不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$), Duncan's 多重比较法。

Histograms with different letters indicate significant difference ($P < 0.05$) by Duncan's multiple range test.

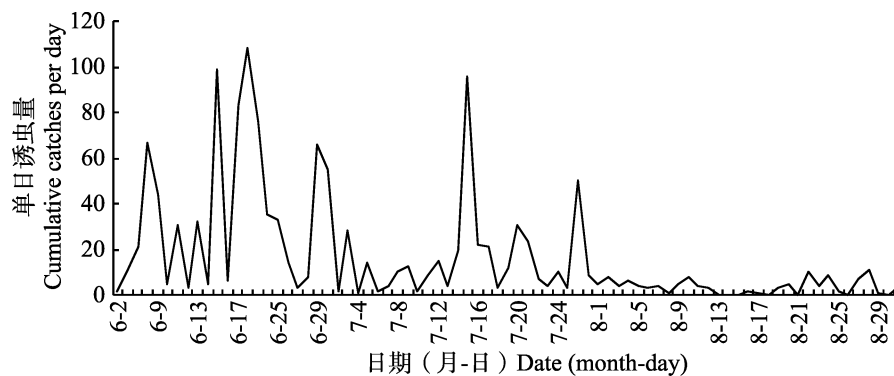


图 2 驻马店放置的 44 个诱捕器总诱捕量的日变化

Fig. 2 Daily *Holotrichia parallela* beetle captures of 44 traps in Zhumadian

最强,该配比在大田诱捕中也是非常有效的(李晓等,2012;鞠倩等,2014),但 *L*-异亮氨酸甲酯的用量较大,成本较高。罗宗秀等(2010)报道二者的最优配比是 1:4,与本研究的测试结果一致。实际应用中,可根据 *L*-异亮氨酸甲酯和 *R*-(-)-芳樟醇的相对合成成本,确定性价比最高的配方。此外,*L*-异亮氨酸甲酯也是 *Phyllophaga arvcia* (Zhang et al., 1997) *P. lanceolata*、*P. squamipilosa* (Nojima et al., 2003) 性信息素的主成分。与暗黑鳃金龟同属的 *H. reynaudi* 和 *H. consanguinea* 也利用 *E*-茴香脑性信息素成分 (Ward et al., 2002),但本文发现茴香脑对于暗黑鳃金龟可能没有引诱作用,尽管测试的是肉桂

醇和茴香脑的二元混剂。

因 *L*-异亮氨酸甲酯挥发性很强,此前使用的滤纸、脱脂棉、天然橡胶等性诱剂载体只能维持很短的持效期(罗宗秀等,2010)。王爱霞(2014)在室内研究中发现, β -环糊精和药用淀粉对暗黑鳃金龟性信息素具有较好的缓释性能,李晓等(2015)在大田试验中发现二者的持效期分别可以达到 30 d 和 19 d。李为争等(2014)前期野外夜蛾诱捕试验研究中发现,琼脂胶是挥发性较强的花香引诱剂合适的缓释载体。本文以琼脂胶为缓释载体,发现其持效期可以达到 45 d。若仅在暗黑鳃金龟成虫发生的始盛期至盛末期之间应用,则一次放置于大田无需更换,且和 β -环

糊精和药用淀粉等载体相比,可以更方便地根据琼脂胶干缩情况,判断活性成分是否挥发完毕。

胡祖庆等(2005)通过随机合成筛选的方法,测试了几种氨基酸甲酯类在室内对华北大黑鳃金龟的引诱活性,发现甘氨酸甲酯和脯氨酸甲酯活性较强,推测是该种类的性诱剂,但未进一步在大田试验中进行验证。然而,由甘氨酸甲酯和脯氨酸甲酯盐酸盐两种成分组成的配方G,在本试验中却未收到良好效果,推测与我们试验区暗黑鳃金龟占优势有关,或者华北大黑鳃金龟的性信息素活性成分需要重新进行化学鉴定。

参考文献 (References)

- Hu ZQ, Kang JX, Zhao HY, Shi WD, 2005. Preliminary bioassay on the attractants of *Holotrichia obliqua*. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 4(4): 46–48. [胡祖庆, 亢菊侠, 赵惠燕, 时卫东, 2005. 华北大黑鳃金龟引诱剂生物测定初探. 陕西农业科学, 4(4): 46–48.]
- Imai T, Maekawa M, Tsuchiya S, Fujimori T, 1998. Field attraction of *Hoplia communis* to 2-phenylethanol, a major volatile component from host flowers, *Rosa* spp. *Journal of Chemical Ecology*, 24(9): 1491–1497.
- Ju Q, Li X, Jiang XJ, Zhao ZQ, Jiang XG, Ni WL, Qu MJ, 2014. Characterization of female sex-pheromone in *Holotrichia parallela* (Coleoptera: Scarabaeidae, Melolonthinae) of Qingdao population and their application in the field. *Journal of Plant Protection*, 41(2): 197–202. [鞠倩, 李晓, 姜晓静, 赵志强, 蒋相国, 倪皖莉, 曲明静, 2014. 青岛地区暗黑鳃金龟性信息素鉴定及田间应用技术. 植物保护学报, 41(2): 197–202.]
- Leal WS, Matsuyama S, Kuwahara Y, Wakamura S, Hasegawa M, 1992. An amino acid derivative as the sex pheromone of a scarab beetle. *Naturwissenschaften*, 79 (4): 184–185.
- Leal WS, Sawada M, Matsuyama S, Kuwahara Y, Hasegawa M, 1993. Unusual periodicity of sex pheromone production in the large black chafer *Holotrichia parallela*. *Journal of Chemical Ecology*, 19(7): 1381–1391.
- Li WZ, Fan YY, An JJ, Wang Q, Guo XR, Luo MH, Yuan GH, 2014. Screening of plant-derived repellents against tobacco beetle, *Lasioderma serricornis* (Fabricius). *Acta Tabacaria Sinica*, 20(5): 93–97. [李为争, 范荫荫, 安靖靖, 王琼, 郭线茹, 罗梅浩, 原国辉, 2014. 烟草甲植物源驱避剂的筛选. 中国烟草学报, 20(5): 93–97.]
- Li WZ, Yang L, Shen XW, Yuan YH, Yuan GH, Luo MH, Guo XR, 2013. Prescription screening and field evaluation of broad spectrum attractants of scarab beetles from *Ricinus communis*. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 21(4): 480–486. [李为争, 杨雷, 申小卫, 袁莹华, 原国辉, 罗梅浩, 郭线茹, 2013. 金龟甲蓖麻源引诱剂的配方筛选及田间效果评价. 中国生态农业学报, 21(4): 1–7.]
- Li X, Ju Q, Jiang XJ, Zhao ZQ, Chen QS, Qu MJ, Jiang XG, Lv JJ, Ni WL, Gu JZ, Chen ZD, Liu LF, Kang SL, 2012. Controlling *Holotrichia parallela* in peanut fields by sex pheromone. *Plant Protection*, 38(3): 176–179. [李晓, 鞠倩, 姜晓静, 赵志强, 陈全森, 曲明静, 蒋相国, 吕敬军, 倪皖莉, 谷建中, 陈志德, 刘立峰, 康树立, 2012. 利用性诱剂防治花生田暗黑鳃金龟的研究. 植物保护, 38(3): 176–179.]
- Li X, Ju Q, Jin Q, Jiang XJ, Su WH, Zhang GL, Xie MH, Qu MJ, 2015. Field trapping efficacy of different lures and traps on *Holotrichia parallela* (Coleoptera: Scarabaeidae, Melolonthinae). *Journal of Peanut Science*, 44 (3): 41–46. [李晓, 鞠倩, 金青, 姜晓静, 苏卫华, 张光玲, 谢明惠, 曲明静, 2015. 不同种类诱芯及诱捕器对暗黑鳃金龟的田间诱捕效果. 花生学报, 44(3): 41–46.]
- Luo ZX, Li KB, Cao YZ, Yin J, Liu CQ, Wang QL, Mi CH, Yang X, Wang ML, 2010. A pilot study on *Holotrichia parallela* for field applications. *Plant Protection*, 36(5): 157–161. [罗宗秀, 李克斌, 曹雅忠, 尹姣, 刘春琴, 王庆雷, 米存海, 杨晓, 王木林, 2010. 暗黑鳃金龟性信息素田间应用的初步研究. 植物保护, 36(5): 157–161.]
- Nojima S, Robbins PS, Salsbury GA, Morris BD, Roelofs WL, Villani MG, 2003. L-leucine methyl ester: the female-produced sex pheromone of the scarab beetle, *Phyllophaga lanceolata*. *Journal of Chemical Ecology*, 29(11): 2439–2446.
- Ruther J, 2004. Male-biased response of garden chafer, *Phyllopertha horticola* L., to leaf alcohol and attraction of both sexes to floral plant volatiles. *Chemoecology*, 14(3/4): 187–192.
- Tolasch T, Sölter S, Tóth M, Ruther J, Francke W, 2003. (R)-acetoin-female sex pheromone of the summer chafer *Amphimallon solstitialis* (L.). *Journal of Chemical Ecology*, 29(4): 1045–1050.
- Tóth M, Schmera D, Imrei Z, 2004. Optimization of a chemical attractant for *Epicometis (Tropinota) hirta* Poda. *Zeitschrift für Naturforschung C. Journal of Biosciences*, 59(3/4): 288–292.
- Wang AX, 2014. The preparation of diablo gill beetle sex pheromone sustained-release materials. Master dissertation. Qingdao: Qingdao University of Science & Technology. [王爱霞, 2014. 暗黑鳃金龟性信息素缓释制剂的研制. 硕士学位论文. 青岛: 青岛科技大学.]
- Ward A, Moore C, Anitha V, Wightman J, Rogers DJ, 2002. Identification of the sex pheromone of *Holotrichia reynaudi*. *Journal of Chemical Ecology*, 28(3): 515–522.
- Wu JX, Li ZH, Yuan GH, 2011. *Agricultural Entomology* (2nd Edition). Beijing: China Agriculture Press. 52–57. [仵均祥, 李照会, 原国辉, 2011. 农业昆虫学 (第二版). 北京: 中国农业出版社. 52–57.]
- Zhang AJ, Robbins PS, Leal WS, Linn FE, JR, Villani MG, Roelofs WL, 1997. Essential amino acid methyl esters: major sex pheromone components of the cranberry white grub, *Phyllophaga arctica* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Journal of Chemical Ecology*, 23(1): 231–245.
- Zhou LM, Ju Q, Qu MJ, Zhao ZQ, Dong SL, Han ZJ, Yu SL, 2009. EAG and behavioral responses of the large black chafer, *Holotrichia parallela* (Coleoptera: Scarabaeidae) to its sex pheromone. *Acta Entomologica Sinica*, 52(2): 121–125.
- Zhu D, Qin YC, Zhu PX, Shi YJ, Zhang DW, 2012. Control effect of different trap and kill methods on peanut scarab beetles. *China Plant Protection*, 32(1): 38–41. [朱栋, 秦玉川, 朱培祥, 时玉娟, 张佃文, 2012. 不同诱杀方法对花生金龟子的防治效果研究. 中国植保导刊, 32(1): 38–41.]
- Zhu YJ, Wang XL, 2015. Effectiveness of development and existing problems and strategy of peanut industry in Zhumadian. *Hunan Agricultural Sciences*, (3): 136–138. [朱亚娟, 王晓林, 2015. 驻马店花生产业发展的成效和问题及对策. 湖南农业科学, (3): 136–138.]