

定量评价天敌昆虫控害功能的铷元素标记技术*

蔡志平^{1,2**} 肖云丽³ 欧阳芳² 戈峰^{1,2} 张建萍^{1***}

(1. 石河子大学农学院, 石河子 832003; 2. 中国科学院动物研究所, 农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室, 北京 100101; 3. 山东省植物保护总站, 济南 250100)

摘要 【目的】 自然天敌对害虫种群起着重要的生态调控作用, 定量地阐明天敌昆虫的取食关系及转移扩散规律, 可为客观地评价天敌的控害功能提供依据。【方法】 本文以苹果树与蛇床草 *Cnidium monnieri* (L.) Cuss 组成的微景观系统为研究对象, 以蛇床草-胡萝卜微管蚜-异色瓢虫为研究主线, 对植物和昆虫体内的铷元素含量进行检测。【结果】 利用铷元素标记手段, 结合室内和大田取样两种途径, 通过测定天敌昆虫体内铷元素含量, 可定量地评价种植功能植物提高果园天敌控害的作用。【结论】 铷 (Rb) 元素标记技术是追溯天敌昆虫在农田生态系统中取食及转移扩散规律的重要手段。

关键词 天敌昆虫; 铷元素标记; 控害功能; 转移扩散

Quantitative evaluation of the biological control efficiency of predatory insects based on rubidium marking method

CAI Zhi-Ping^{1,2**} XIAO Yun-Li³ OUYANG Fang² GE Feng^{1,2} ZHANG Jian-Ping^{1***}

(1. Agricultural College of Shihezi University, Shihezi 832003, China; 2. State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 3. Station of Plant Protection, Agriculture Department of Shandong, Jinan 250100, China)

Abstract [Objectives] Natural enemies play an important role in regulating pest populations. Understanding and mastering the feeding relationship and transfer and diffusion of natural enemies can provide a basis for quantitative evaluation of the control functions of natural enemies. [Methods] In this study, the micro-landscape system composed of apple trees (*Malus pumila*) and *Cnidium monnieri* (L.) Cuss. is taken as the research object. The main line of the *C. monnieri* and Celery aphid (*Semiaphis heracleid* Takahashi) and lady beetle (*Harmonia axyridis* (Pallas)) were used, to measure the content of rubidium in plants and insects. [Results] Two approach of laboratory and field sampling are combined by using the rubidium marking method. By measuring the content of rubidium in natural enemies, the effect of planting functional plants on the control of natural enemies in orchards was quantitatively evaluated. [Conclusion] The rubidium marking technique is an important method to trace the feeding and transfer of natural enemies in agroecosystem.

Key words natural enemy insect; rubidium labeling; biological control; transfer and diffusion

在农田和果园生态系统中, 寄主植物-植食性昆虫-天敌昆虫之间相互作用、相互制约而形成一个有机的整体。自然天敌对害虫种群起着重要的生态调控作用, 因此, 充分发挥和利用自然天敌的控害作用就显得十分重要 (陈学新等, 2013; 戈峰等, 2014)。目前, 有关天敌控害作

用的研究, 大多集中在植物-害虫-天敌之间的营养关系及天敌对害虫的调控机制等方面 (边文波等, 2016)。这些研究, 虽可以定性地分析害虫与天敌种群的消长规律和跟随关系等, 但对天敌的控害作用无法做出定量分析, 也难以定量追踪天敌昆虫的取食关系及转移扩散规律, 为客观地

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划重点专项项目 (2017YFD0200400); 国家自然科学基金委项目 (31572059)

**第一作者 First author, E-mail: caizhiping-007@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: zhjp_agr@shzu.edu.cn

收稿日期 Received: 2018-11-08; 接受日期 Accepted: 2018-03-05

评价天敌的控害功能提供依据。

铷 (Rb) 元素标记方法被认为是追溯昆虫取食行为、转移扩散、生境选择和配偶竞争的重要手段 (宋国晶等, 2010)。由于 Rb 在自然界含量极低, 易被植物吸收且在植物体内传导, 且在植物-植食性昆虫-天敌昆虫这条食物链中传递, 因而可将其由生产者经初级消费者传递到次级消费者体内再到天敌昆虫得到标记 (Graham *et al.*, 1978a; Johnson and Marcel, 1995; Muratori *et al.*, 2005; Kobelt *et al.*, 2009; Madeira and Pons, 2016)。其中在昆虫转移扩散方面, 通过向寄主植物上喷施 RbCl 溶液, 使得植食性昆虫获得标记, 再通过回捕检测, 可以了解昆虫的迁飞和转移扩散情况 (Graham *et al.*, 1978b; Fleischer *et al.*, 1986; Thoeny *et al.*, 1992; Nowatzki *et al.*, 2003; Armes *et al.*, 2011)。与其他标记方法相比, Rb 标记方法具有以下特点: 1) Rb 在地壳中广泛存在, 但天然丰度极低; 2) Rb 是非放射性元素, 对环境安全; 3) 对昆虫的行为没有干扰; 4) 在昆虫体内存在时间较长; 5) 操作和分析过程简单易行, 因而近年来得以广泛应用。

山东烟台地区是中国苹果的优势产区, 绣线菊蚜 *Aphis spiraeicola* Patch 是苹果树 *Malus pumila* Mill 的主要害虫之一, 而异色瓢虫 *Harmonia axyridis* Pallas 是其主要捕食性天敌。蛇床草 *Cnidium monnieri* Cuss 作为一种功能植物, 能够吸引大量的天敌, 通过在苹果园种植蛇床草, 可利用蛇床草吸引的天敌对绣线菊蚜进行控制。本文以苹果树与蛇床草组成的微景观系统为研究对象, 以蛇床草-胡萝卜微管蚜 *Semiaphis heracleid* Takahashi-异色瓢虫为研究主线, 利用 Rb 标记手段, 结合室内和大田取样两种途径, 以测定蛇床草、胡萝卜微管蚜和异色瓢虫体内的 Rb 含量, 明确 Rb 标记后在植物和昆虫体内的含量和滞留期; 通过功能植物和苹果树上天敌昆虫 Rb 检出率之间的换算, 以此追溯异色瓢虫在苹果树与蛇床草组成的微景观中的转移扩散规律, 为定量地评价天敌昆虫的控害功能提供一个新方法。

1 铷元素标记测定过程

1.1 试验材料准备

1.1.1 植物 在室内用花盆种植蛇床草, 每盆中 3 株植株, 待植株长至 30 cm 左右时, 将植株及花盆用带拉链的纱网罩住, 每个纱网中 1 盆。

1.1.2 昆虫 胡萝卜微管蚜和异色瓢虫均采自中国科学院动物研究所农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室烟台工作站苹果试验基地蛇床草上, 采集后, 胡萝卜微管蚜饲养在养虫室纱网内蛇床草上; 异色瓢虫放入养虫盒内用胡萝卜微管蚜饲喂。

1.1.3 试剂 99.5%氯化铷 (Rubidium chloride, RbCl), 购自上海阿拉丁生化科技股份有限公司; 1 000 $\mu\text{g/mL}$ 铷标液 (Rubidium, Rb), 购自国家钢铁材料测试中心钢铁研究总院; 65%硝酸 (Nitric acid, HNO_3), 购自莱阳经济技术开发区精细化工厂; 30% 过氧化氢 (Hydrogen peroxide, H_2O_2), 购自烟台双双化工有限公司; 去离子水 (Deionized water, H_2O), 购自上海叠那生物科技有限公司。

1.1.4 主要仪器 DHG-9123A 型鼓风干燥箱 (上海捷呈实验仪器有限公司); BC/BD-318HD 型卧式冷藏冷冻柜 (青岛海尔特特种电冰柜有限公司); FA3204B 型分析天平 (上海精科实业有限公司); MDS-6G 型微波消解仪 (上海新仪微波化学科技有限公司); TAS-990 型原子吸收分光光度计 (北京普析通用仪器有限公司)。

1.2 样本采集

1.2.1 植物及昆虫体内 Rb 含量随时间的变化

通过室内检测确定异色瓢虫、胡萝卜微管蚜及蛇床草叶片被标记后体内 Rb 含量的变化。待花盆中蛇床草植株长至 30 cm 左右时, 在每盆植株上接入个体大小较为一致的胡萝卜微管蚜 300 头, 使其在蛇床草上自然繁殖, 并用带拉链的纱网将花盆和植株罩上。等蛇床草植株长至开花期, 用喷壶在每盆植株上均匀喷施 2 000 $\mu\text{g/mL}$ 的 RbCl 溶液 200 mL, 2 h 后在每个纱网中接入已饥饿 48 h 的异色瓢虫成虫 30 头, 使其取食纱

网中植株上的胡萝卜微管蚜，取食 2 d 后将异色瓢虫从纱网中植株上移出，在室内放入塑料瓶用未标记的胡萝卜微管蚜进行饲喂。重复 5 次。

取样：分别在喷施 RbCl 溶液后的第 0.5、3、6、9、12、15 天进行取样。蛇床草叶片取样，在每盆植株中随机选取叶 3 片，分别装入信封中并做好标记，再放入鼓风干燥箱中在 60 °C 条件下干燥 12 h，取出后放入编好号的自封袋保存；胡萝卜微管蚜取样，在每盆植株中随机挑选个体大小较为一致的胡萝卜微管蚜 150 头，并以 50 头为一组分别放入 1.5 mL 离心管中，编号并置于 -20 °C 冰箱中保存；异色瓢虫取样，在第 0.5 天时从每个纱网中随机取出 3 头，在第 3、6、9、12、15 天时从塑料瓶中随机取出 3 头，单头放入离心管中，编号并置于 -20 °C 冰箱中保存。

1.2.2 异色瓢虫在田间的标记及转移 在苹果园的行间种植蛇床草，形成苹果树-蛇床草微景观系统。在蛇床草开花期，用喷雾器将 2 000 µg/mL 的 RbCl 溶液均匀地喷洒在蛇床草植株上，在喷施前 1 d 和喷施后第 3 天进行取样，取样时分别在蛇床草植株上和苹果树上各采集异色瓢虫成虫 20 头左右，单头放入 1.5 mL 离心管中，编号并置于 -20 °C 冰箱中保存。重复 3 次。

1.3 Rb 含量检测

1.3.1 样品处理 在分析天平上称取烘干的植株叶片 0.01 g，放入研钵中磨碎，胡萝卜微管蚜 50 头和异色瓢虫成虫单头分别放入 20 mL 坩埚中在酒精喷灯上进行炭化；将磨碎的叶片和炭化的虫体分别放入消解罐，加入 HNO₃ 4 mL 和 H₂O₂ 0.5 mL，放入微波消解仪中进行消解，设置消解温度和时间分别为 130 °C 10 min、150 °C 5 min 和 180 °C 15 min，待消解罐内温度降至室温时，取出消解罐并打开，将罐内液体移至 5 mL 容量瓶，用去离子水定容至 5 mL 待测。每个重复 3 份。

1.3.2 Rb 含量测定 将处理好的样品利用原子吸收分光光度计进行 Rb 含量测定。首先打开电脑和原子吸收分光光度计，选择工作灯和预热

灯，设置元素测量参数，选择合适的特征谱线，进行寻峰；打开空气压缩机，使空气压力稳定在 0.24 MPa 后，打开乙炔钢瓶主阀，调节出口压力在 0.1 MPa，检查水封及隔板，将乙炔的流量设置在 1 000-3 000 mL/min 之间，点火，等燃烧器预热 15 min 后进行测量。将 1 000 µg/mL 的 RbCl 标准溶液用去离子水逐级稀释配制 1、2、3、4 µg/mL 的标准样品，用毛细管吸入标准空白溶液进行校零，再依次吸入不同浓度的标准样品制作标准曲线，查看曲线的相关系数，决定测量数据的可靠性（相关系数 $R > 0.995$ ）。将处理好的待测样品用一次性过滤器依次从容量瓶转移至 10 mL 小玻璃瓶，用毛细管再依次吸入空白样品和待测样品，等数据稳定后开始测量，每个样品重复读数 3 次。测完待测样品后，用毛细管吸喷去离子水 5 min，再依次关闭乙炔和空气压缩机，保存数据。

1.4 数据统计与分析

$$\text{检出率 (\%)} = \frac{\text{检测出 Rb 的虫体数}}{\text{样本总虫体数}} \times 100,$$

$$\text{转移率 (\%)} =$$

$$\frac{\text{果树上虫体的 Rb 检出率}}{\text{功能植物上虫体的 Rb 检出率}} \times 100。$$

所有数据利用 Excel2010 和 SPSS20 软件处理。

2 结果与分析

2.1 不同时期植株和昆虫体内 Rb 含量的变化

通过对蛇床草叶片、胡萝卜微管蚜和异色瓢虫体内 Rb 含量随时间的变化的测定结果可知（图 1），蛇床草和胡萝卜微管蚜在被标记之后，植株叶片和虫体内的 Rb 含量随着时间的推移在不断下降。在 RbCl 溶液喷施当天的 12 h 所取的样本中，叶片和蚜虫体内的 Rb 含量均为最高，之后随着时间的推移，Rb 含量逐渐下降，而在第 9 天之后植株叶片内 Rb 含量较为稳定，下降趋势缓慢；但捕食性天敌异色瓢虫由于只取食了 2 d 被标记的蚜虫后被移出，用未标记的蚜虫继续饲喂，因此在取食当天 12 h 所取的样本中，

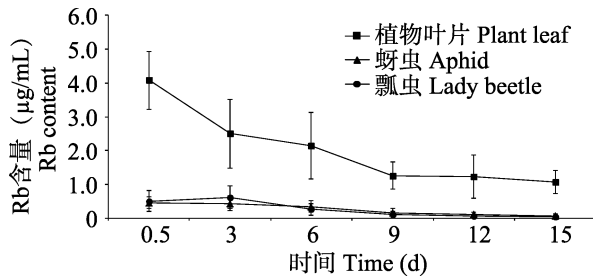


图 1 植物叶片、蚜虫和瓢虫体内 Rb 含量随时间的变化

Fig. 1 Changes of Rb content in plant leaf and aphid and lady beetle over time

异色瓢虫体内 Rb 含量较第 3 天低, 从第 3 天开始, 随着时间的增加, 瓢虫体内的 Rb 含量也逐渐降低。

此外, 图 1 的数据还表明, RbCl 溶液喷到蛇床草上, 被植物吸收传导, 使得植株获得 Rb 标记, 胡萝卜微管蚜由于取食蛇床草, 也可以获得 Rb 标记, 而捕食性天敌异色瓢虫同样通过捕食蚜虫而获得 Rb 标记, Rb 能够在蛇床草-胡萝卜微管蚜-异色瓢虫这条食物链中传递。从标记效果来看, 叶片、蚜虫和瓢虫体内 Rb 含量在喷施后 9 天内处于较高水平。

2.2 Rb 在蛇床草和苹果树上的检出率和转移率

通过在苹果园蛇床草上喷施 RbCl 溶液后, 分别在喷施前 1 d 和喷施后第 3 天对蛇床草和苹果树上的异色瓢虫取样, 在室内经过样本处理, 用原子吸收分光光度计检测虫体内 Rb 含量。喷施前 1 d 在蛇床草和苹果树上所采集的异色瓢虫中, 其体内均未检测出 Rb 含量, 即在此试验区域, 植物及昆虫体内的背景 Rb 含量为零。蛇床草上异色瓢虫在喷施后第 3 天的检出率分别为 56.81%, 即喷施后第 3 天在蛇床草上被标记的异色瓢虫占 56.81%; 苹果树上异色瓢虫在喷施后第 3 天的检出率分别是 24.16%。由于苹果树没有喷施 RbCl 溶液, 因此苹果树采集的样本中含有 Rb 的天敌则是来自于蛇床草。苹果树上天敌的检出率除以蛇床草上天敌的检出率则为苹果树上天敌的转移率, 因此, 苹果树上异色瓢虫在喷施后第 3 天的转移率为 44.04%。换言之, 即喷施后第 3 天苹果树上的异色瓢虫中有

44.04%是从蛇床草转移过来。

3 讨论

目前, 在天敌控害过程中, 利用蜜源植物 (Honey plant)、银行植物 (Bank plant)、诱集植物 (Trap plant)、栖境植物 (Habitat plant) 及护卫植物 (Guardian plant) 等对生态系统中的天敌资源进行主动调节, 并提供适宜的生存空间和营养补充以利于天敌资源的繁殖与扩散, 从而大大提高天敌控害的功效 (Landis *et al.*, 2000; Shelton and Badenesperez, 2006; Cook *et al.*, 2007; Lee and Heimpel, 2008; Xiao *et al.*, 2011; 陈学新等, 2013)。前期研究也表明, 蛇床草能够吸引大量的天敌在其上定殖、增殖, 增加了苹果树-蛇床草微景观中天敌的种类和数量, 降低了果园害虫的发生与危害, 但这只是定性地评价果园种植功能植物提高天敌的控害功能, 而还无法定量评价天敌的控害功能。

自 1972 年 Berry 等首次利用微量元素铷 (Rb) 对昆虫进行标记 (Berry *et al.*, 1972), 微量元素越来越多地被用于标记节肢动物在农业生态系统中的迁移扩散、生境选择、取食行为和配偶竞争等生态学研究。如 Graham 等 (1978a, 1978b) 利用 RbCl 溶液喷施棉花 *Gossypium* spp.、高粱 *Sorghum bicolor* (L.) Moench 及扁豆 *Lablab purpureus* (Linn.) Sweet, 通过食物链传递使寄主植物上的植食性昆虫和捕食性天敌获得标记, 并对玉米田标记的美洲棉铃虫 *Heliothis zea* (Boddie) 进行回捕, 发现美洲棉铃虫可以从玉米田扩散到周围 0.5-2.8 km 的棉花田; 除了叶面喷施, 通过对玉米田土壤浇灌 RbCl 溶液, 使植株获得 Rb 标记, 从而使玉米上的害虫玉米根萤甲 *Diabrotica drgifera* 得到标记, 并且玉米根萤甲在被标记 5 周后仍能与未标记个体区分开 (Johnson and Marcel, 1995); 还有向香脂冷杉 *Abies balsamea* Miller 树干注射 RbCl 溶液, Rb 在树体中快速吸收和分布, 使得树体上植食性害虫云杉卷叶蛾 *Choristoneura fumiferana* Clemens 获得标记, 并且 RbCl 对树体和虫体的生长和发育没有

负面影响(Mackinnon *et al.*, 2016);再有将不同浓度的 RbCl 添加到人工饲料中喂养棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner) 幼虫, 结果显示, 含有 1 000-4 000 mg/L 的 RbCl 的人工饲料可有效标记棉铃虫, 且对棉铃虫的生命活动无影响, Rb 在虫体内可以滞留 10 d 以上, 还可以通过交配进行传递(李国平等, 2016)。在转移扩散方面, 通过 Rb 标记测定拟水狼蛛 *Pirata subpiraticus* 在水稻 *Oryza sativa* 和茭白 *Zizania latifolia* (Griseb.) Stapf 田之间的转移, 结果显示其转移的最大距离可达 40 m 以上(俞晓平等, 2002);通过对绿盲蝽 *Apolygus lucorum* (Meyer-Dür) 和中黑盲蝽 *Adelphocoris suturalis* Jakovlev 春季迁移的回捕测定, 绿盲蝽 2 d 内可迁移 2 560 m, 中黑盲蝽 6 d 内可迁移 5 120 m(宋国晶等, 2012);还有利用 Rb 标记法测定了紫花苜蓿 *Medicago sativa* L. 收割后 4 种甲虫 (*Calathus fuscipes*, *Poecilus cupreus*, *Bembidion lampros* 和 *Pseudoophonus rufipes*) 在相邻的玉米与紫花苜蓿田块间的转移规律(Madeira and Pons, 2016)。正由于 Rb 能够在食物链中传递, 使得昆虫很容易获得标记, 为此本文通过在苹果树-蛇床草微景观中的蛇床草上喷施 RbCl 溶液, 使得蛇床草上的天敌昆虫获得标记, 再从苹果树上采集天敌样本, 检测虫体内是否含有 Rb, 结果表明苹果树上异色瓢虫在 RbCl 溶液喷施后的第 3 天转移率为 44.04%。从而可以明确从蛇床草上转移过去的天敌占果树上天敌的比例, 定量地评价了种植功能植物提高果园天敌控害的作用。

尽管本文证明 Rb 标记技术可作为研究昆虫转移扩散规律的一种非常有效的方法, 但在实际操作过程中还应该注意以下方面: 1) Rb 含量在植物和昆虫体内会随着新陈代谢而不断降低, 因此要明确 Rb 在植物和昆虫体内的滞留期, 田间取样要在滞留期内, 结果才会更加准确; 2) 实验前要对实验区域的背景 Rb 含量进行检测, 明确此区域的植物和昆虫体内 Rb 含量, 以便与标记的植物和昆虫区别; 3) RbCl 溶液的浓度要适中, 避免浓度过高影响植物和昆虫的生命活动, 浓度过低则无法检测出; 4) 同种昆虫个体及捕

食量的不同会导致虫体内 Rb 含量的差异, 因此在实验过程中尽量选择大小相对一致的昆虫作为检测对象。

综上所述, 在苹果园中功能植物蛇床草上的异色瓢虫可以对苹果树上的害虫有一定的控制作用, 且通过 Rb 的定量分析可以得出天敌昆虫从植物向果树转移的控害比例。在此基础上, 再结合生态能学天敌控害评估方法和田间调查结果, 可以进一步定量评价天敌昆虫对害虫的调控作用大小。随着 Rb 标记技术的不断完善, 此技术将会应用于更多的昆虫行为研究中, 将有利于系统了解和掌握害虫与天敌的活动规律, 进一步研究天敌昆虫控害作用的评价方法, 更为准确、合理地了解天敌昆虫对害虫的控害程度, 为今后发展生态调控提供有力的技术支持。

参考文献 (References)

- Armes NJ, Abs K, Carlaw PM, Gadsden H, 2011. Evaluation of strontium as a trace-element marker for dispersal studies on *Heliothis armigera*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 51(1): 5–10.
- Berry WL, Stimmann MW, Wolf WW, 1972. Marking of native phytophagous insects with rubidium: a proposed technique. *Annals of the Entomological Society of America*, 65(1): 236–238.
- Bian WB, Liu X, Geng J, 2016. Research progress on pests controlling mechanism by natural enemies and its evaluation methods. *China Plant Protection*, 36(12): 17–23. [边文波, 刘晓, 耿军, 2016. 天敌昆虫控害作用机制和评价方法研究进展. 中国植保导刊, 36(12): 17–23.]
- Chen XX, Ren SX, Zhang F, Cai WZ, Zeng FR, Zhang WQ, 2013. Mechanism of pest management by natural enemies and their sustainable utilization. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(1): 9–18. [陈学新, 任顺祥, 张帆, 彩万志, 曾凡荣, 张文庆, 2013. 天敌昆虫控害机制与可持续利用. 应用昆虫学报, 50(1): 9–18.]
- Cook SM, Khan ZR, Pickett JA, 2007. The use of push-pull strategies in integrated pest management. *Annual Review of Entomology*, 52(1): 375–400.
- Fleischer SJ, Gaylor MJ, Hue NV, Graham LC, 1986. Uptake and elimination of rubidium, a physiological marker, in adult *Lygus lineolaris* (Hemiptera: Miridae). *Annals of the Entomological Society of America*, 79(1): 19–25.

- Ge F, Ouyang F, Zhao ZH, 2014. Ecological management of insects based on ecological services at a landscape scale. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(3): 597–605. [戈峰, 欧阳芳, 赵紫华, 2014. 基于服务功能的昆虫生态调控理论. 应用昆虫学报, 51(3): 597–605.]
- Graham HM, Wolfenbarger DA, Nosky JB, 1978a. Labeling plants and their insect fauna with rubidium. *Environmental Entomology*, 7(3): 379–383.
- Graham HM, Wolfenbarger DA, Nosky JR, Hernandezjr NS, Llanes JR, Tamayo JA, 1978b. Use of rubidium to label corn earworm and fall armyworm for dispersal studies. *Environmental Entomology*, 7(3): 435–438.
- Johnson PC, Marcel R, 1995. Incorporation of the biological marker rubidium in gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) and its transfer to the predator *Carabus nemoralis* (Coleoptera: Carabidae). *Environmental Entomology*, 24(1): 46–51.
- Kobelt AJ, Yen AL, Kitching M, 2009. Laboratory validation of rubidium marking of herbivorous insects and their predators. *Australian Journal of Entomology*, 48(3): 204–209.
- Landis DA, Gurr GM, Wratten SD, 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology*, 45(1): 175–201.
- Lee JC, Heimpel GE, 2008. Floral resources impact longevity and oviposition rate of a parasitoid in the field. *Journal of Animal Ecology*, 77(3): 565–572.
- Li GP, Cui JX, Huang JR, Tian CH, Feng HQ, Zhong J, Huang B, Song GJ, 2016. Effect of the feeding RbCl with different dosages on *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) and marking efficiency. *Chinese Journal of Ecology*, 35(10): 2768–2773. [李国平, 崔建新, 黄建荣, 田彩虹, 封洪强, 钟景, 黄博, 宋国晶, 2016. 饲喂不同剂量 RbCl 对棉铃虫的影响以及标记效果. 生态学杂志, 35(10): 2768–2773.]
- Mackinnon W, Eveleigh E, Silk P, Forbes G, 2016. Labeling feral spruce budworm (Lepidoptera: Tortricidae) populations with Rubidium. *Environmental Entomology*, 45(2): 427–435.
- Madeira F, Pons X, 2016. Rubidium marking reveals different patterns of movement in four ground beetle species (Col., Carabidae) between adjacent alfalfa and maize. *Agricultural and Forest Entomology*, 18(2): 99–107.
- Muratori F, Perremans D, Hance T, 2005. Rubidium marking of *Aphidius rhopalosiphi* (Hymenoptera: Braconidae) on *Sitobion avenae* (Hemiptera: Aphididae) reared on a diet supplemented with RbCl. *European Journal of Entomology*, 102(3): 489–494.
- Nowatzki TM, Niimi B, Warren KJ, Putnam S, Meinke LJ, 2003. In-field labeling of western corn rootworm adults (Coleoptera: Chrysomelidae) with Rubidium. *Journal of Economic Entomology*, 96(6): 1750–1759.
- Shelton AM, Badenesperez FR, 2006. Concepts and applications of trap cropping in pest management. *Annual Review of Entomology*, 51(1): 285–308.
- Song GJ, Feng HQ, Li GP, Zhang LX, Qiu F, Li HP, 2012. Using the Rb marking technique to track the spring migration of *Apolygus lucorum* and *Adelphocoris suturalis* in Henan. *Entomological Journal of East China*, 49(3): 620–625. [宋国晶, 封洪强, 李国平, 张丽霞, 邱峰, 李海平, 2012. 河南省绿盲蝽和中黑盲蝽春季迁移能力的铷标记研究. 应用昆虫学报, 49(3): 620–625.]
- Song GJ, Li GP, Feng HQ, Li HP, Qiu F, 2010. Marking technique with microelements and its applications in insect ecology. *Entomological Journal of East China*, 19(4): 315–320. [宋国晶, 李国平, 封洪强, 李海平, 邱峰, 2010. 微量元素标记技术及其在昆虫生态学中的应用. 华东昆虫学报, 19(4): 315–320.]
- Thoeny WT, Tiarks AE, Lesliehayes J, Robertbridges J, 1992. Marking the southern pine beetle (Coleoptera: Scolytidae) with Rubidium within loblolly pine for dispersal studies. *Environmental Entomology*, 21(6): 1377–1385.
- Xiao YF, Chen JJ, Cantliffe D, Mckenzie C, 2011. Establishment of papaya banker plant system for parasitoid, *Encarsia sophia* (Hymenoptera: Aphilidae) against *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) in greenhouse tomato production. *Biological Control*, 58(3): 239–247.
- Yu XP, Zheng XS, Xu HX, Lv ZX, Chen JM, Tao LY, 2002. A study on the dispersal of lycosid spider, *pirate subpiraticus* between rice and *Zizania* fields. *Acta Entomologica Sinica*, 45(5): 636–640. [俞晓平, 郑许松, 徐红星, 吕仲贤, 陈建明, 陶林勇, 2002. 拟水狼蛛在水稻与茭白田之间的转移. 昆虫学报, 45(5): 636–640.]