早竹林拉步甲成虫种群动态和对金针虫的捕食作用*

耿显胜[1**] 石 坚[2] 吴燕芬[2] 陈奕洁[2] 张 威[1] 舒金平[1***]

（1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所，杭州 311400；2. 浙江省德清县森林病虫防治检疫站，德清 313200）

摘 要 **【目的】** 为了明确3种不同类型早竹 *Phyllostachys praecox* 林地拉步甲 *Carabus lafossei* 成虫的种群动态和对金针虫的捕食作用。**【方法】** 采用陷阱法诱捕步甲成虫，采用形态学结合DNA条码法进行物种鉴定；分析拉步甲数量与土壤化学性质和林下植被盖度之间的相关性；质量测定法计算拉步甲对竹林金针虫的捕食量。**【结果】** 3种类型早竹林中共捕捉到拉步甲成虫188头，其中撂荒地136头，中等强度经营样地34头，高强度经营样地18头。早竹林拉步甲成虫在4-10月份均有分布，其中以4-5月份种群数量最大。拉步甲个体数量与林下植被盖度极显著的正相关，与全磷和水解性氮极显著性的负相关，与有效磷显著的负相关。捕食量分析表明，单头的最大捕食量为0.734 g，最小捕食量为0.390 g，平均捕食量为0.540 g。**【结论】** 早竹林拉步甲成虫的种群数量大、存活时间长，其种群数量在不同经营方式样地之间存在极显著差异；拉步甲能够捕食竹林金针虫，是竹林金针虫的捕食性天敌昆虫。

关键词 拉步甲，金针虫，种群，陷阱法，土壤化学性质

The population dynamics of the carabid beetle *Carabus lafossei* and its role as a predator of wireworm in *Phyllostachys praecox* forest

GENG Xian-Sheng[1**] SHI Jian[2] WU Yan-Fen[2] CHEN Yi-Jie[2] ZHANG Wei[1] SHU Jin-Ping[1***]

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311400, China;
2. Station of Forest Disease and Pest Control and Quarantine of Deqing County, Deqing 313200, China)

Abstract **[Objectives]** To elucidate the population dynamics of the carabid beetle *Carabus lafossei* and its importance as a natural predator of wireworm in *Phyllostachys praecox* forest under three different cultivation regimes. **[Methods]** Pitfall traps was used to survey adult carabid beetles which were identified by morphology and DNA barcode. The correlation between the number of adult *C. lafossei*, soil chemical properties and vegetation cover (eg: weeds and shrubs) in *P. praecox* forest was determined. The level of predation of adult *C. lafossei* on wireworms was determined by the weighing method. **[Results]** A total of 188 adult *C. lafossei* were collected in *P. praecox* forest; 136 in unmanaged, 34 in managed, and 18 in intensively managed forests. Adult *C. lafossei* were present from April to October and were most numerous in April and May. The number of adult *C. lafossei* was positively correlated with vegetation cover, and negatively correlated with total phosphorus and hydrolysable nitrogen and available phosphorus. The average wireworm biomass consumed by a single *C. lafossei* was 0.540 g (range: 0.390-0.734 g). **[Conclusion]** The population of the adult *C. lafossei* in *P. praecox* forest was large and persisted over seven months of the year. Abundance differed significantly between forests with different intensities of forest management. *C. lafossei* is an important natural enemy of wireworm in *P. praecox* forests.

Key words *Carabus lafossei* , wireworm, population, pitfall traps, soil chemical properties

*资助项目 Supported projects：浙江省科技计划项目公益技术应用研究类（2017C32055）；国家十三五重点研发计划（2016YFD0600903）

**第一作者 First author，E-mail：gxsh2001@163.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：shu_jnping001@163.com

收稿日期 Received：2018-01-31，接受日期 Accepted：2018-06-06

步甲（Carabid beetle）是昆虫纲 Insecta、鞘翅目 Coleoptera、步甲科 Carabidae 物种的统称，是昆虫纲中研究最多和最著名的科之一，也是一个具有很高多样性的科，全世界已知步甲多达 1 859 属 32 561 种（Holland，2002；Kotze *et al.*，2011）。步甲因其具有较好的分类学基础、很高的物种多样性、分布广泛、容易捕捉、敏感于环境变化和捕食害虫等特点，广泛应用于种群生物学、指示生物、保护生物学和景观生态学等方面的研究（Kotze *et al.*，2011）。

拉步甲 *Carabus lafossei* 是步甲科内的一种珍稀昆虫，在 1988 年被列为国家 II 级保护野生动物，分布于中国的江苏、浙江、福建、安徽、湖北等省份（李文博等，2016；Jing *et al.*，2017；Liu *et al.*，2018）。拉步甲生活于地表，成虫后翅退化，不能够飞翔，而依赖足在地面爬行运动，故拉步甲是一种土壤昆虫。拉步甲因其种群数量较小，对其研究有一定的困难，先前针对拉步甲的研究主要集中于形态特征方面，然而对其生活史、生境需求、食性等方面的研究相对较少（陈树椿，1999；袁勤，2006）。本研究采用陷阱法，研究了不同经营方式的早竹林内拉步甲种群的时序动态，比较了不同经营方式早竹林地拉步甲种群数量的差异性，分析了林下植被盖度和土壤化学性质与拉步甲种群数量的相关性，明确了拉步甲成虫对竹林金针虫的捕食作用和捕食量。研究结果对于拉步甲生活史特征、保护生物学和生物防治等方面具有重要的参考价值。

1 材料与方法

1.1 样地概况

浙江省德清县地处长江三角洲杭嘉湖平原西部（30°26′-30°42′ N，119°45′-120°21′ E），属亚热带湿润季风区，温暖湿润，四季分明，年平均气温 13-16 ℃，无霜期 220-236 d，年平均降水量 1 379 mm（翟勇等，2007）。

试验点位于浙江省德清县万亩早竹林内。试验选取撂荒林地、中等强度经营林地和高强度经营林地 3 种类型的样地，撂荒林地是废弃的早竹林，林地下长满杂草和树莓等小灌木；高强度经营林地采取挖笋、钩梢、翻耕、冬季施肥和砻糠覆盖等经营措施，样地内有极少量的杂草；中等强度经营林地的经营措施类似于高强度集约经营样地，但是其冬季未施肥和未进行砻糠覆盖，样地内有少量的杂草。每种类型的样地选择 3 块，共选取 9 块早竹样地开展试验。

1.2 步甲成虫和竹林金针虫的取样

采用陷阱法（Pitfall traps）定点诱捕步甲成虫（Obrtel，1971；Spence and Niemelä，1994）。在每块样地内，使用挖笋锹挖掘 5 个小坑，坑内埋设一次性塑料杯子（杯口直径 7 cm，深度 9 cm），用土壤填平杯身外围，保证埋设杯子的地面平整，并且杯口与地面齐平。在塑料杯子中倒入 40-60 mL 的引诱剂（蔗糖、食醋、乙醇和纯净水按照质量比为 1∶2∶1∶20 的比例混合均匀），从而完成诱捕陷阱的设置。每月 10 号、20 号、30 号各收集一次诱捕的昆虫，如遇大风、大雨天气，推迟或提前 1-2 d 收集虫子。收集时将同一样地的 5 个诱杯捕捉到的步甲合并一起，组成一份样品。样品收集完后，在原陷阱位置放置一个新的塑料杯子，并添加等量的引诱剂，进行下一次的诱捕。试验从 2016 年 4 月份开始，直到 10 月份结束。

2017 年 4 月份，早竹出笋高峰期，使用挖笋锹挖出竹笋，收集竹笋上和周围土壤中的金针虫，带回实验室饲养于无菌土中，用于后续的试验。2017 年 5 月份，采用陷阱法诱捕步甲成虫活体，方法参考前面描述，但略有调整。在捕捉步甲活虫时，使用大的一次性塑料杯子（杯口直径 11.5 cm，深度 14 cm），埋好杯子并添加引诱剂之后，在塑料杯中加一团医用脱脂棉纱布，吸收引诱剂，保证步甲成虫落入杯子后既不会从杯子中爬出来，又不至于被引诱剂淹没致死。捕捉的活虫带回实验室，用于后续的试验。

1.3 拉步甲成虫物种的鉴定

收集的样品带回实验室，进行物种鉴定和个体数量统计。物种鉴定时采用形态学鉴定结合分

子鉴定的方法。形态学鉴定时参考《中国珍稀昆虫图鉴》（陈树椿，1999）的形态特征描述。

分子鉴定采用 DNA 条码法（Wilson，2012）。具体方法是：陷阱法捕捉的步甲成虫，自来水冲洗干净，使用手术刀切取前胸部约 0.100 g 肌肉，在组织研磨仪（Tissuelyser-48，上海净信公司）中研磨成粉末。采用 Takara MiniBEST Universal Genomic DNA Extraction Kit Ver. 5.0 提取总 DNA，使用引物对 LCO1490-t1 TGTAAAACGACGGCCAGTGGTCAACAAATCATAAAGATATTGG / HCO2198-t1 CAGG AAACAGCTATGACTAAACTTCAGGGTGACCAAAAAATCA（Wilson，2012）扩增步甲 CO Ⅰ基因约 700 bp 的片段。扩增使用的反应体系同耿显胜等（2017），扩增使用的方法为 Touchdown PCR，其反应条件同 Yu 等（2012）。PCR 扩增产物送铂尚生物技术（上海）有限公司测序。测序结果于 NCBI 数据库在线比对，寻找与其具有很高同源性的序列，使用 DNAMAN 6.0 进行序列同源性比对，依据比对结果，对样品进行物种鉴定。

1.4　样地林下植被盖度调查和土壤化学性质测定

早竹林样地的林下植被为杂草和少量的小灌木，其盖度测定采用目估法。土壤化学性质测定的指标包括：有机质、全氮、全磷、全钾、水解性氮、有效磷、速效钾和 pH。有机质的测定采用重铬酸钾氧化-外加热法（LY/T 1237-1999），全氮测定采用凯氏定氮法（LY/T 1228-2015）、全磷测定采用酸溶-比色法（LY/T 1232-2015）、全钾的测定采用酸溶-原子吸收光谱法（LY/T 1256-1999）、水解性氮测定采用碱解扩散法（LY/T 1228-2015）、有效磷测定采用双酸提取-比色法（LY/T 1232-2015）、速效钾测定采用乙酸铵提取-原子吸收光谱法（LY/T 1234-2015）、pH 测定采用电位法（LY/T 1239-1999）。

1.5　拉步甲成虫对竹林金针虫的捕食量测定

采用质量测定法计算拉步甲成虫对竹林金针虫的捕食量（文礼章，2010）。陷阱法捕捉的拉步甲成虫活体，单头放置于塑料组培瓶中，每天投入竹林金针虫活虫，投入前使用电子天平称量投入金针虫的质量。次日，将组培瓶中剩余的金针虫取出，称量其重量。称量完成后，在塑料瓶中继续投入金针虫，进行下一次的捕食量测定，直到拉步甲死亡或不再取食为止。试验以不放入拉步甲成虫，仅投入金针虫的处理为对照。本研究共设 4 个重复试验处理和 3 个重复对照处理。

因每头金针虫大小不一，无法保证每个处理投入的金针虫的量相等，故本研究采用取食前后金针虫质量差与自然损失率相乘得到拉步甲成虫日捕食量，而自然损失率可以通过对照处理计算出来。单头拉步甲成虫日捕食量之和就是其总捕食量。拉步甲成虫日捕食量的计算公式为：

$$\text{拉步甲成虫日捕食量} = (\text{处理组投入金针虫量} - \text{处理组剩余金针虫量}) \times \frac{\text{对照组剩余金针虫量}}{\text{对照组投入金针虫量}}$$

1.6　数据处理

使用 SigmaPlot 10.0 进行统计图的绘制。使用 SPSS 23.0 对数据进行单因素方差分析和变量间的相关分析，分析时百分率数据先进行反正弦变换，然后再进行分析。

2　结果与分析

2.1　物种的鉴定

陷阱法捕捉的步甲进行形态学观察，参考《中国珍稀昆虫图鉴》的描述，初步鉴定为拉步甲（图 1）。PCR 扩增表明，试验样品在约 700 bp 处有一条特异性的条带，该条带的大小与预期结果一致（图 2）。扩增产物送测序公司进行序列分析，得到 CO Ⅰ基因 623 bp 的片段（GenBank: MH395869）。该基因片段与 NCBI 数据库的序列在线比对，发现其与已报道的拉步甲序列（GenBank: KY992943）同源性最高。下载已报到的拉步甲 CO Ⅰ基因序列，截取与本研究获得 CO Ⅰ基因片段相同的长度，使用 DNAMAN 6.0 软件比对。结果表明，两序列间有 4 个脱氧核糖核苷酸的差异，同源性为 99.36%。综合形态

学和分子生物学的结果，本研究捕捉的昆虫为拉步甲。

图 1 拉步甲成虫
Fig. 1 The adult *Carabus lafossei*

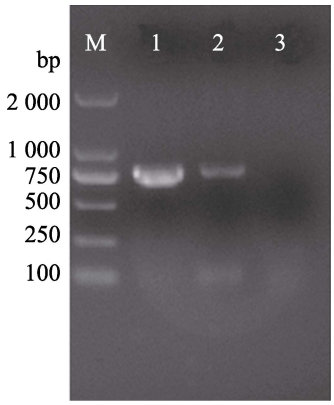

图 2 拉步甲成虫 CO Ⅰ基因 PCR 扩增产物电泳图
Fig. 2 PCR amplification of adult *Carabus lafossei* using CO Ⅰ gene specific primers

M: DL2000; 1-2: 拉步甲 *Carabus lafossei*；
3: 阴性对照 Negative control.

2.2 拉步甲成虫种群的时序动态

本试验共捕捉到拉步甲 188 头，其中 3 块撂荒林地 136 头，3 块中等强度经营样地 34 头，3 块高强度经营样地 18 头。从时序动态上来看，拉步甲成虫在早竹林地从 4 月份到 10 月份均有分布，尤以 4 月份和 5 月份的种群数量最大，在 4 月中旬和 5 月中旬各有一个种群数量的高峰。5 月份以后，拉步甲成虫的种群数量逐渐下降，在 8 月 10 日到 9 月 20 日之间，种群数量保持持续较低状态，9 月 30 日种群数量又有一个小高峰，其后种群数量下降，直到 10 月 30 日种群数量为 0（图 3：A）。拉步甲成虫种群数量的这种分布规律反映其生活史特征，在 4-5 月份拉步甲当年生幼虫陆续化蛹和羽化，变成成虫，故在这个时期拉步甲成虫数量最多；而在 5 月份以后，越冬代拉步甲成虫逐渐死亡，所以种群数量呈现下降趋势，到 8 月 10 日种群数量达到很低的水平；9 月 30 日出现种群数量的小高峰期；10 月 30 日，早竹林地所有拉步甲成虫都进入越冬期，故诱捕的拉步甲数量为 0。

3 种不同类型样地之间拉步甲种群数量进行比较分析，结果表明：在 7 月份以前，均是撂荒样地拉步甲成虫数量高于经营样地，而在 8 月至 10 月份，撂荒样地拉步甲成虫数量与经营样地的数量相差不大；在经营样地中，中等强度经营样地拉步甲成虫数量略高于高强度经营样地（图 3：B）。3 种类型样地的拉步甲成虫数量进行单因素方差分析，发现不同类型样地之间拉步甲数量存在极显著的差异（F=14.443, P=0.005<0.01），其中撂荒样地拉步甲数量极显著高于中等经营样地（P=0.005<0.01）和高强度经营样地（P=0.003<0.01）。

2.3 样地林下植被盖度和土壤化学性质与拉步甲成虫数量的相关性

分析样地土壤的化学性质和林下植被盖度，发现撂荒地的有机质、全氮和土壤 pH 与经营样地间的差异较小，全磷、水解性氮、有效磷、速效钾随着经营强度增大而呈现上升趋势，而林下植被盖度随着经营强度增大而呈现下降的趋势（表 1）。将样地土壤的全磷、水解性氮、有效磷、速效钾和林下植被盖度与样地拉步甲数量之间做多变量间的相关分析，结果表明，拉步甲数量与林下植被盖度（Pearson 相关系数 r=0.916, P=0.001< 0.05）间存在极显著的正相关；拉步甲数量与全磷（r= - 0.907, P=0.001< 0.01）和水解性氮（r= - 0.847, P=0.004< 0.01）间存在极显著性的负相关；拉步甲数量与有效磷（r = - 0.713, P=0.031< 0.05）间存在显著的负相关；而拉步甲数量与速效钾（r

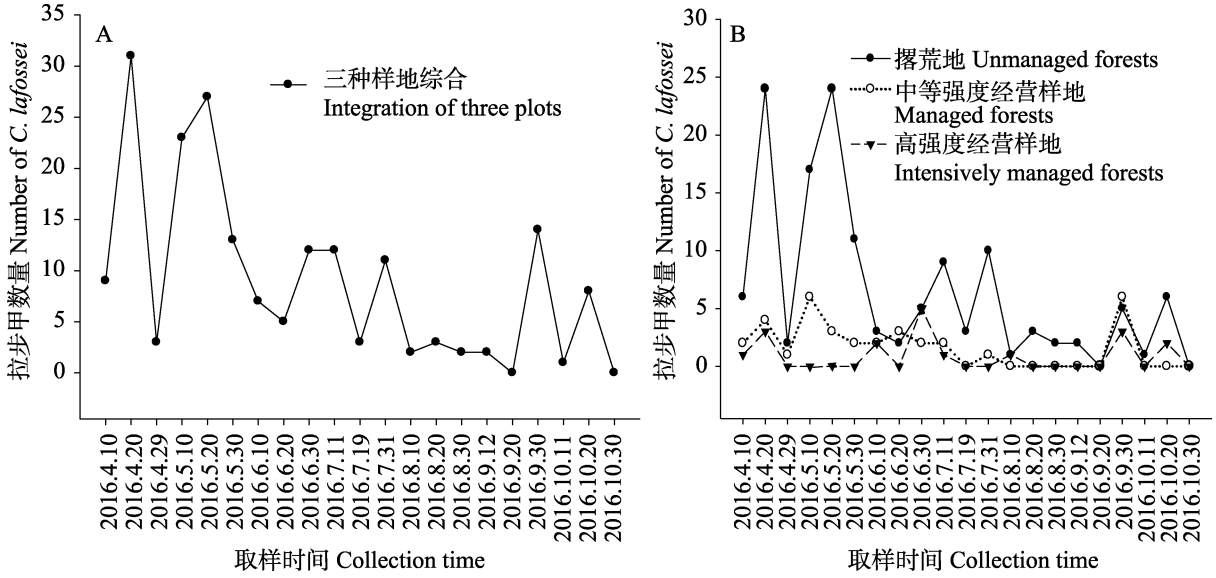

图 3　拉步甲成虫种群的时序动态图

Fig. 3　The dynamic temporal pattern of population of adult *Carabus lafossei*

A. 所有样地拉步甲种群时序动态；B. 3 种不同类型样地拉步甲种群时序动态的比较。

A. The dynamic temporal pattern of population of adult *C. lafossei* in all sample plots;
B. The comparison of the population dynamics of adult *C. lafossei* in three management patterns.

表 1　样地的土壤化学性质、林下植被盖度和拉步甲数量

Table 1　The soil chemical properties, vegetation coverage and the number of adult *Carabus lafossei* in *Phyllostachys praecox* forest

样地 Plots	有机质 (g/kg) Organic matter	全氮 (g/kg) Total nitrogen	全磷 (g/kg) Total phosphorus	全钾 (g/kg) Total potassium	水解性氮 (mg/kg) Hydrolysable nitrogen	有效磷 (mg/kg) Available phosphorus	速效钾 (mg/kg) Available potassium	盖度 (%) Cove-rage	pH pH	拉步甲数量 *C. lafossei*
W1	26.347	1.350	0.451	12.992	81.318	11.535	43.824	99	3.59	56
W2	24.366	1.086	0.428	11.253	71.935	18.017	52.398	99	3.61	45
W3	26.164	1.131	0.417	11.970	88.198	17.182	39.293	99	3.71	32
Z1	29.635	1.420	1.188	10.186	118.849	216.559	56.740	5	3.93	3
Z2	42.496	1.862	1.271	13.168	132.610	144.741	61.981	10	3.34	8
Z3	22.411	1.094	0.963	11.784	100.083	161.928	90.821	8	3.62	23
G1	29.731	1.393	1.153	6.203	141.993	220.855	149.270	1	3.36	10
G2	26.887	1.376	1.331	7.815	128.232	192.619	276.640	0	3.66	2
G3	48.055	1.970	1.593	9.417	164.512	510.582	374.015	1	3.60	6

W、Z 和 G 分别代表撂荒林地、中等强度经营林地和高强度经营林地。

W, Z and G represent the unmanaged forests, the managed forests and the intensively managed forests, respectively.

= - 0.551, P=0.124>0.05) 间的相关关系不显著。

2.4　拉步甲成虫对竹林金针虫的捕食作用

本研究发现拉步甲成虫能够捕食竹林金针虫，故拉步甲是竹林金针虫的天敌昆虫。投入金针虫到塑料组培瓶后不久，拉步甲用强大的上颚咬破金针虫体壁，并用上颚夹住金针虫，将虫体举起，然后开始吸食金针虫的内容物，所有内容物吸食完后，留下残存的金针虫体壁。捕食量分析表明，在 5 月 13 日首次投入竹林金针虫后，所有处理组的拉步甲均取食，并且取食量均最大。其后，拉步甲取食量下降，

表 2 拉步甲对竹林金针虫的捕食量

Table 2 The efficacy of predatory function of adult *Carabus lafossei* to wireworm in *Phyllostachys praecox* forest

试验组 The trial groups	日捕食量 (g) Predatory amount per day								总捕食量 (g) Total redatory amount
	5.13	5.14	5.15	5.16	5.17	5.18	5.19	5.20	5.13-5.20
1	0.292	0.098	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.389 7
2	0.270	0.000	0.000	0.140	0.113	0.099	0.111	0.000	0.733 5
3	0.254	0.145	0.076	0.121	0.000	0.000	0.000	0.000	0.595 7
4	0.269	0.087	0.000	0.083	0.000	–	–	–	0.440 0

– 代表测试的拉步甲死亡，未统计。

– represents the test of *C. lafossei* death, uncounted.

直到 5 月 20 日，所有拉步甲都不再取食。5 月 13 日到 5 月 20 日期间，单头的最大捕食量为 0.734 g，最小捕食量为 0.390 g，平均捕食量为 0.540 g。一头中等体型的竹林金针虫体重约为 0.100 g，因此在 5 月 13 日到 5 月 20 日期间，一头拉步甲成虫平均捕食 5.400 头竹林金针虫。另外，研究还发现，投入的金针虫有些被拉步甲咬死，但并没有被取食。

3 讨论

本研究采用陷阱法在早竹林中捕捉到 188 头拉步甲成虫，其数量远远超过浙江省千岛湖天然林的数量（周文婕，2017），表明早竹林地的生态环境适宜拉步甲生存。另外，在撂荒早竹林地中，拉步甲数量远多于其它的步甲，因此拉步甲是撂荒早竹林地的优势步甲物种。

步甲对环境因素如温度、湿度、植被、土壤性质、森林斑块的大小及隔离程度等十分敏感，对栖息地破碎化、放牧、施肥、刈割、除草、耕作等能够作出快速响应，因此可以作为环境指示生物，监测生境和生物多样性的变化（Kromp，1999；高光彩和付必谦，2009）。本研究通过比较 3 种不同类型的样地，发现拉步甲数量随着林地经营强度增加而下降，撂荒林地拉步甲数量显著的高于中等强度经营地块和高强度经营的地块，研究结果与 Kromp（1999）的观点一致。通过调查不同类型样地的林下植被盖度和土壤化学性质，发现拉步甲数量与林下植被盖度间存在极显著的正相关，即拉步甲的数量随着林下植被盖度增加而增加，研究结果与 Holland（2002）和 Kromp 等（1990，1999）一致。故在经营早竹林时，提高林缘或非竹林生境的植被盖度，保证步甲有较好的栖息地和迁移地，充分发挥拉步甲捕食害虫的功能，从而保障竹子健康生长。另外，研究还发现土壤中的全磷、水解性氮和有效磷与拉步甲数量之间存在显著的负相关。

金针虫是竹林中重要的笋期害虫，近年来在浙江省的笋用林有较高的发生率。金针虫以幼虫钻蛀竹子地下部分取食，危害竹笋、竹芽、竹鞭及竹根等组织器官，造成大量的虫笋和退笋，不仅影响竹笋的产量和商品价值，也会影响竹林的更新，造成竹林衰退（舒金平等，2012）。已报道金针虫的寄生性天敌有绿僵菌 *Metarhiziu anisopliae* var. *anisopliae*，捕食性天敌有杜鹃 *Cuculus canorus*、双齿多刺蚁 *Polyrhachis dives* 和日本黑褐蚁 *Formica japonica*（徐天森和王浩杰，2004；王鹏等，2010）。本研究通过室内捕食量分析，发现拉步甲不仅能够直接捕食金针虫，也能够咬死金针虫，因此拉步甲也是竹林金针虫的天敌昆虫。在试验周期内，平均一头拉步甲能够捕食 5.400 头金针虫，捕食量较大。通过早竹林地连续 7 个月的诱捕试验，发现拉步甲成虫从 4 月份到 10 月份均有分布，其中尤以 4-5 月份种群数量最大，而 4-5 月份也是早竹出笋最多、竹林金针虫最为活跃危害的时期，因此两者活动时间吻合，故拉步甲可望成为主要的竹林金针虫的捕食性天敌加以保护和利用。

参考文献 (References)

Chen SC, 1999. Rare and Precious Insects in China. Beijing: China Forestry Publishing House. 117. [陈树椿, 1999. 中国珍稀昆虫图鉴. 北京: 中国林业出版社. 117.]

Gao GC, Fu BQ, 2009. Advances of researches on carabid beetles as bioindicators. *Chinese Bulletin of Entomology*, 46(2): 216–222. [高光彩, 付必谦, 2009. 步甲作为指示生物的研究进展. 昆虫知识, 46(2): 216–222.]

Geng XS, Zhang W, Zhong JP, Zhang SK, Shu JP, 2017. Disease severity assessing and molecular identification of pathogen associated with witches' broom disease of *Phyllostachys praecox*. *Forest Research*, 30(5): 805–811. [耿显胜, 张威, 仲建平, 张守科, 舒金平, 2017. 早竹丛枝病的调查及病原菌的分子鉴定. 林业科学研究, 30(5): 805–811.]

Holland JM, 2002. The Agroecology of Carabid Beetles. Andover, UK: Intercept. 1–40.

Jing SL, Huang XY, Liu MY, Zhang K, Wang LM, Yang Z, Liao ZL, Xiang NY, Zheng XJ, Huang B, 2017. Development and characterization of 23 microsatellite markers for the endangered beetle *Carabus lafossei* (Coleoptera, Carabidae). *Conservation Genetics Resources*, 9(2): 249–251.

Kotze DJ, Brandmayr P, Casale A, Dauffy-Richard E, Dekoninck W, Koivula MJ, LÖvei GL, Mossakowski D, Noordijk J, Paarmann W, Pizzolotto R, Saska P, Schwerk A, Serrano J, Szyszko J, Taboada A, Turin H, Venn S, Vermeulen R, Zetto T, 2011. Forty years of carabid beetle research in Europe-from taxonomy, biology, ecology and population studies to bioindication, habitat assessment and conservation. *ZooKeys*, 100: 55–148.

Kromp B, 1990. Carabid beetles (Coleoptera, Carabidae) as bioindicators in biological and conventional farming in Austrian potato fields. *Biology and Fertility of Soils*, 9(2): 182–187.

Kromp B, 1999. Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74(1/3): 187–228.

Li WB, Qi Q, Wu YH, Han DM, Fang J, 2016. Scanning electron microscopy on antennal sensilla of adult of *Carabus lafossei* (Coleoptera: Carabidae). *Journal of Environmental Entomology*, 38(1): 215–220. [李文博, 齐钦, 吴云鹤, 韩德民, 方杰, 2016. 拉步甲成虫触角感器的扫描电镜观察. 环境昆虫学报, 38(1): 215–220.]

Liu NY, Wang SY, Yang XJ, Song J, Wu J, Fang J, 2018. The complete mitochondrial genome of *Carabus* (Damaster) *lafossei* (Coleoptera: Carabidae). *Conservation Genetics Resources*, 10(2): 157–160.

Obrtel R, 1971. Number of pitfall traps in relation to the structure of the catch of soil surface Coleoptera. *Acta Entomologica Bohemoslovaca*, 68: 300–309.

Shu JP, Teng Y, Chen WQ, Shi J, Liu J, Xu TS, Wang HJ, 2012. Control techniques of *Melanotus cribricollis* (Coleoptera: Elateridae). *Forest Research*, 25(5): 620–625. [舒金平, 滕莹, 陈文强, 石坚, 刘剑, 徐天森, 王浩杰, 2012. 筛胸梳爪叩甲的防治技术研究. 林业科学研究, 25(5): 620–625.]

Spence JR, Niemelä JK, 1994. Sampling carabid assemblages with pitfall traps: the madness and method. *The Canadian Entomologist*, 126(3): 881–894.

Wang P, Zhang YB, Shu JP, Deng S, Wang HJ, 2010. Virulence of *Metarhiziu anisopliae* var. *anisopliae* to the larvae of *Melanotus cribricollis* (Coleoptera: Elateridae). *Chinese Journal of Biological Control*, 26(3): 274–279. [王鹏, 张亚波, 舒金平, 邓顺, 王浩杰, 2010. 金龟子绿僵菌小孢变种对筛胸梳爪叩甲幼虫致病力的生物测定. 中国生物防治, 26(3): 274–279.]

Wen LZ, 2010. Introduction to Entomology Research Methods and Techniques. Beijing: Science Press. 254–255. [文礼章, 2010. 昆虫学研究方法与技术导论. 北京: 科学出版社. 254–255.]

Wilson JJ, 2012. DNA barcodes for insects//Kress WJ, Erikson DL (eds.). DNA Barcodes: Methods and Protocols. New York: Humana Press. 17–45.

Xu TS, Wang HJ, 2004. Main Pest of Bamboo in China. Beijing: China Forestry Publishing House. 27–28. [徐天森, 王浩杰, 2004. 中国竹子主要害虫. 北京: 中国林业出版社. 27–28.]

Yu DW, Ji YQ, Emerson BC, Wang XY, Ye CX, Yang CY, Ding ZL, 2012. Biodiversity soup: metabarcoding of arthropods for rapid biodiversity assessment and biomonitoring. *Methods in Ecology and Evolution*, 3(4): 613–623.

Yuan Q, 2006. The rare insect of China-*Carabus lafossei*. *Bulletin of Biology*, 41(11): 59. [袁勤, 2006, 我国的珍稀昆虫-拉步甲. 生物学通报, 41(11): 59.]

Zhai Y, Yang SQ, Han QF, Jia ZK, 2007. Assessing theory of a agroecosystem at county scale and its case study. *Journal of Northwest A&F University* (*Natural Science Edition*), 35(1): 68–72. [翟勇, 杨世琦, 韩清芳, 贾志宽, 2007. 县域生态农业系统评价理论及案例研究. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 35(1): 68–72.]

Zhou WJ, Luo YY, Zhong L, Pan L, 2017. Effects of habitat fragmentation on species diversity of ground dwelling beetles in the thousand-island lake region, Zhejiang, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 28(2): 509–518. [周文婕, 罗媛媛, 仲磊, 潘林, 2017. 生境片段化对千岛湖地表甲虫物种多样性的影响. 应用生态学报, 28(2): 509–518.]