应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2017, 54(5): 813–823. DOI: 10.7679/j.issn.2095–1353.2017.097

光期位点对茄二十八星瓢虫成虫取食和爬行行为节律的影响*

方 梅** 戴志颖 帅艳玲 梁龙阳 张超群 谢建坤 涂小云***

（江西师范大学生命科学学院，南昌 330022）

摘 要 **【目的】** 探明光期位点对茄二十八星瓢虫 *Henosepilachna vigintioctopunctata*（Fabricius）成虫的取食与爬行行为影响，为今后利用光干扰其节律行为提供科学依据。**【方法】** 在实验条件下（26 ± 0.5）℃，RH 75% ± 2%、不同光期位点（$L_{06:00-18:00}$, $L_{10:00-22:00}$, $L_{14:00-02:00}$, $L_{18:00-06:00}$, $L_{22:00-10:00}$ 和 $L_{02:00-14:00}$）下每 1 h 观察 1 次并记录各处理下取食和爬行发生情况，连续观察 5 d。**【结果】** （1）雌雄虫取食行为具有节律性，雌雄成虫取食行为相对集中发生在上午 10:00—12:00；各光期位点处理组白天取食百分率均高于夜间。（2）雌雄虫爬行行为亦具有节律性，雌雄成虫爬行行为虽可发生在白天不同时间段，但绝大部分发生在光期；各光期位点处理组光期爬行百分率均高于暗期。**【结论】** 不同光期位点对茄二十八星瓢虫成虫取食和爬行行为节律性影响不同，其中对取食行为节律影响甚微，对爬行行为节律影响较大。

关键词 光期位点，茄二十八星瓢虫，行为节律，取食，爬行

Effects of varying temporal exposure to light on the feeding and walking behavior of adult *Henosepilachna vigintioctopunctata* (Fabricius)

FANG Mei** DAI Zhi-Ying SHUAI Yan-Ling LIANG Long-Yang ZHANG Chao-Qun XIE Jian-Kun TU Xiao-Yun***

(College of Life Sciences, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China)

Abstract **[Objectives]** To provide a scientific basis and technical guidance for the integrated pest management of *Henosepilachna vigintioctopunctata* (Fabricius). **[Methods]** Feeding and walking were observed and recorded together with light period ($L_{06:00-18:00}$, $L_{10:00-22:00}$, $L_{14:00-02:00}$, $L_{18:00-06:00}$, $L_{22:00-10:00}$ and $L_{02:00-14:00}$) under experimental conditions of (26 ± 0.5)℃ and RH 75% ± 2% once an hour for 5 days. **[Results]** (1) The feeding behavior of both sexes had a circadian rhythm. Feeding behavior of both sexes occurred from 10:00 to 12:00 in the morning. The proportion of time spent feeding was higher during the day than at night in all treatments. (2) The walking behavior of adults also had a circadian rhythm. Walking by both sexes occurred at any time of the day, but mainly during the light period. The percentage of time spent walking in the light period was higher than in the dark period for all treatments. **[Conclusion]** Light period affected the timing of feeding and walking in *H. vigintioctopunctata* adults. Light period had little influence on the circadian rhythm of feeding behavior but a considerable influence on that of walking behavior.

Key words the position of light period, *Henosepilachna vigintioctopunctata*, behavior rhythm, feeding, walking

鞘翅目昆虫行为节律性被广泛关注，尤其是取食和移动（或爬行）。取食行为高峰期有的出现在白天的上午（马华博等，2016），有的出现在白天的下午（杨茂发等，2013），多数出现在夜间（唐艳龙等，2011；朱捷，2014；吕飞等，2015a，2015b）；与取食行为节律性类似，一些

*资助项目 Supported projects：江西师范大学大学生学术课题

**第一作者 First author，E-mail：fangmei92@163.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：txy1036@163.com

收稿日期 Received：2017-04-14，接受日期 Accepted：2017-07-10

鞘翅目昆虫的移动（或爬行）出现在白天的上午（吕飞等，2015c），有的出现在下午（杨茂发等，2013），较多的出现在夜间（唐艳龙等，2011；朱捷，2014；吕飞等，2015a，2015b）。且鞘翅目昆虫取食和移动（或爬行）行为节律性与性别（吕飞等，2015b）、饲养方式（朱捷，2014）和温度（匡先钜等，2010）等因素都有关，光照条件则是影响鞘翅目昆虫取食和移动（或爬行）的重要因素之一（冯国凤等，2015；吕飞等，2015c）。对昆虫节律行为的研究可为益虫的利用和害虫的防治提供基础资料和技术指导。

茄二十八星瓢虫 *Henosepilachna vigintioctopunctata* (Fabricius)在中国从南到北都有分布，南起海南三亚（北纬 18°15′）（许创和陈家悦，1993），北抵大兴安岭（北纬 51°55′）（齐连军，2006）。不同纬度地区光照开启和结束时间不同，这是否影响其节律行为则未见报道。本研究在实验室条件下测试了不同光期位点下茄二十八星瓢虫雌雄虫取食和爬行行为节律，探明光期位点对取食和爬行行为节律的影响，为今后利用光干扰其节律行为及综合治理提供理论依据和技术指导。

1 材料与方法

1.1 供试虫源与实验条件

自江西南昌（北纬 28°68′）采集龙葵 *Solanum nigrum* L. 上茄二十八星瓢虫幼虫，置于透明长方形塑料盒（长×宽×高=15 cm ×8 cm×6 cm）饲养至化蛹、羽化，幼虫和成虫每日均用新鲜龙葵叶饲养，叶柄用湿棉球包裹。将 8 日龄成虫置于透明塑料盒中，用毛笔挑出有明显交配行为的成虫置于培养皿（直径= 9 cm）内，每皿 1 对（雌虫明显大于雄虫），供实验用。成虫节律行为观察在光照培养箱进行，温度（26 ± 0.5）℃，RH 75% ± 2%，光源为白色日光灯，光照强度约为 500 lx，光期与暗期转换采用人工方法。白天和夜晚分别界定为 06:00—18:00 和 18:00—06:00，与江西南昌春秋季自然条件下光暗循环基本一致。

1.2 行为测试

光期位点（即一天中光期 L 出现的时间段）设 $L_{06:00\text{-}18:00}$，$L_{10:00\text{-}22:00}$，$L_{14:00\text{-}02:00}$，$L_{18:00\text{-}06:00}$，$L_{22:00\text{-}10:00}$ 和 $L_{02:00\text{-}14:00}$ 共 6 个处理，每处理观察 5 对成虫，并重复 4 次，每 1 h（整点）观察并记录 1 次各处理中取食和爬行虫数，每对观察 2 s，暗期观察在微弱红光灯（光照强度为 20 lx）下进行，连续观察 5 d。取食行为：成虫口器接触并咀嚼龙葵叶；爬行行为：成虫不举翅、仅靠足的运动而产生位移。

1.3 数据统计与分析

参照罗杰等（2015）的方法，将 1 d（24 h）分为白天（06:00—18:00）和夜间（18:00—06:00），对描述行为集中趋势的平均角和相关系数 r_c、描述行为离散程度的角标准差及其假设检验采用 Excel 2007 分析；其他采用 SPSS 20.0 数据处理系统进行分析：同一光期位点下取食（或爬行）百分率雌雄间、光期与暗期间、白天与夜晚间差异性分析均采用配对样本 *t*-检验（*t*-test）。

图中取食行为百分率 =（5 d 中每 1 h 取食虫数/5 d 总取食虫数）×100%；表中光期（或暗期，或白天，或夜间）取食行为百分率 = 5 d 中光期（或暗期，或白天，或夜间）取食虫数之和/5 d 总取食虫数）×100%。（爬行行为同）。

2 结果与分析

2.1 雌虫取食行为节律

5 d 中雌虫取食行为主要发生在白天，具有明显的节律性。然而，光期位点对其有一定影响，表现为光期落入夜间（即自然暗期）时数越多（如 $L_{18:00\text{-}06:00}$、$L_{22:00\text{-}10:00}$ 和 $L_{02:00\text{-}14:00}$ 处理组），则实验第 1 天取食行为发生明显减少（图 1）。

5 d 的数据合并为 1 d 并比较平均角、进行假设检验，结果表明取食行为具有节律性，各光期位点下雌虫取食行为主要集中在白天的（11:49±2:48）—（12:54±2:44）和夜间（01:16 ± 3:16）—（01:47±3:19）（即使白天有人工暗期），r_c 均大于 $r_{0.05}$ 取食行为发生较集中（表 1）。

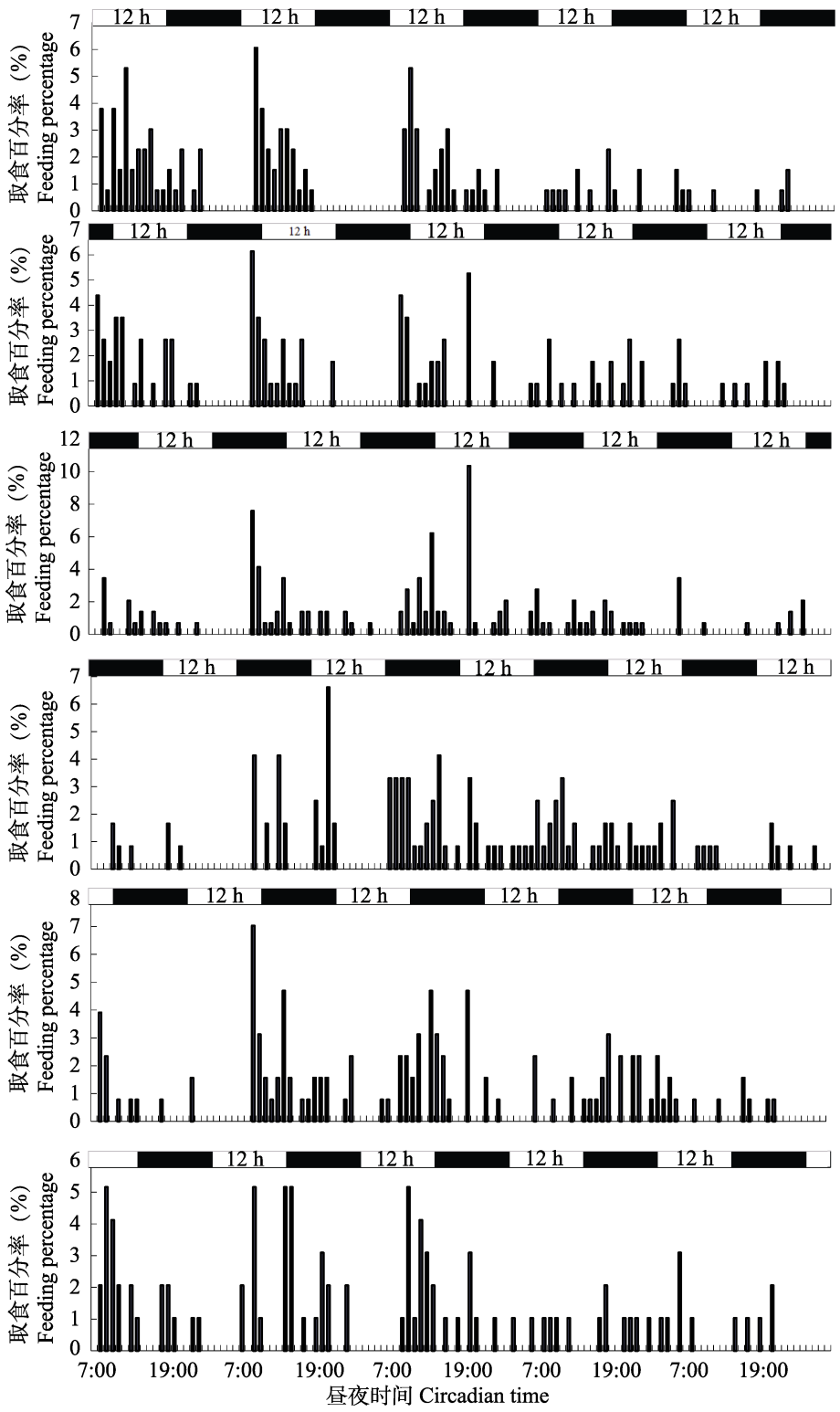

图 1　茄二十八星瓢虫雌虫取食行为节律

Fig. 1　Circadian rhythm of feeding in female of *Henosepilachna vigintioctopunctata*

2.2　雄虫取食行为节律

5 d 中雄虫取食行为亦主要发生在白天，具有明显的节律性。光期位点对节律性的影响与雌虫类似，即光期落入夜间（即自然暗期）时数越

多（如 $L_{18:00\text{-}06:00}$ 和 $L_{22:00\text{-}10:00}$ 处理组），实验第 1 天取食行为发生明显减少（图 2）。

各光期位点下雄虫取食行为主要发生在白天（11:18±2:44）—（12:40±2:50）和夜间（01:27±3:06）—（02:31±3:02），且 r_c 均大于 $r_{0.05}$，取食行为发生相对集中（表 1）。

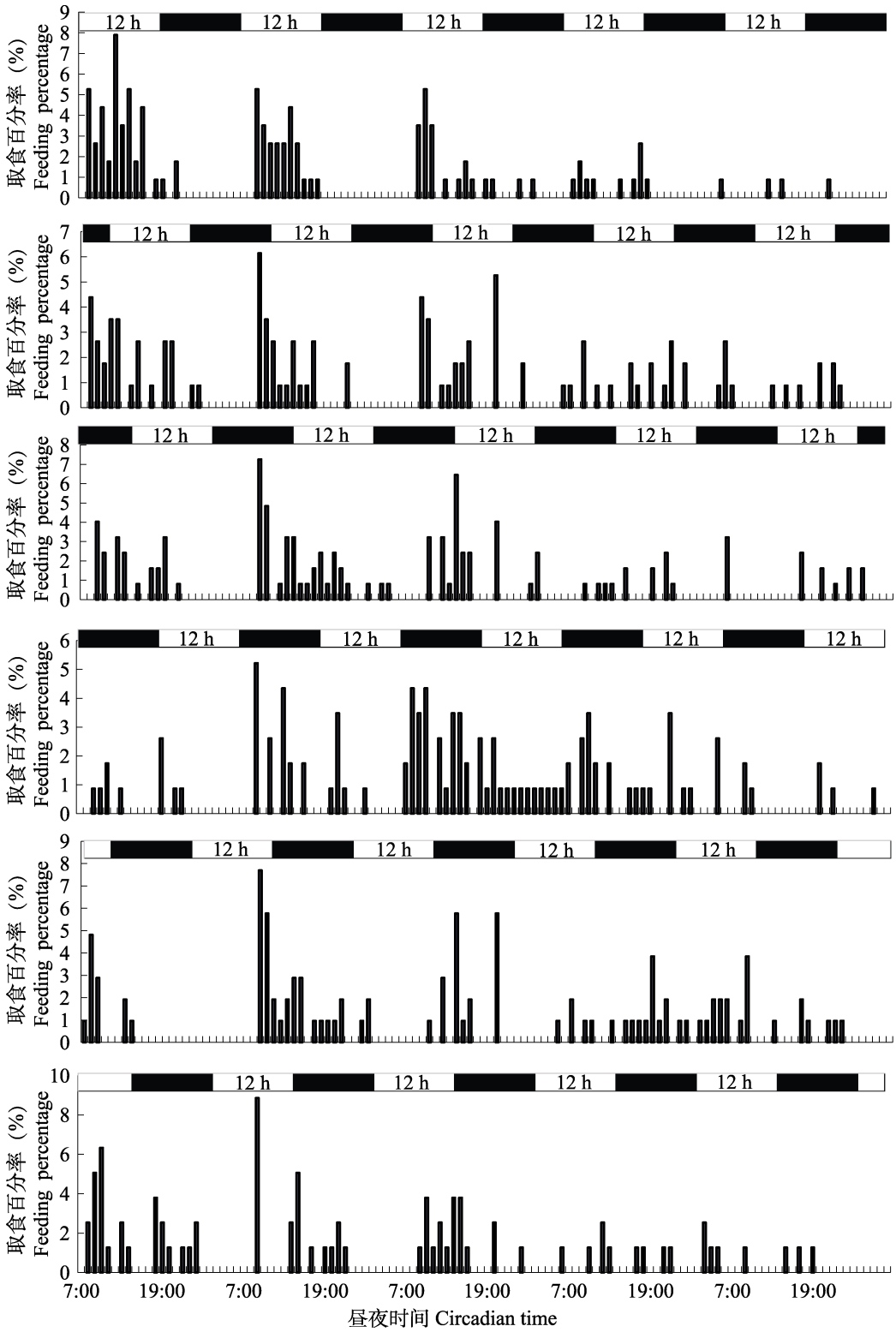

图 2　茄二十八星瓢虫雄虫取食行为节律

Fig. 2　Circadian rhythm of feeding in male of *Henosepilachna vigintioctopunctata*

表 1　茄二十八星瓢虫成虫取食日节律的平均角及其假设检验
Table 1　Mean angular deviation and its hypothesis testing of circadian rhythm of feeding in *Henosepilachna vigintioctopunctata* adult

性别 Sex	处理 Treatment	时间 Time	平均 Mean	标准差 SD	相关系数 r_c	$r_{0.05}$
♀	$L_{06:00-18:00}$	06:00-18:00	11:49	2:48	0.7316	0.1680
		18:00-06:00	01:43	2:41	0.7534	0.3379
	$L_{10:00-22:00}$	06:00-18:00	12:22	2:43	0.7459	0.1784
		18:00-06:00	01:47	3:19	0.6225	0.2633
	$L_{14:00-02:00}$	06:00-18:00	11:41	2:55	0.7078	0.1793
		18:00-06:00	01:16	3:16	0.6330	0.2395
	$L_{18:00-06:00}$	06:00-18:00	12:54	2:44	0.7422	0.2037
		18:00-06:00	01:42	3:02	0.6835	0.2467
	$L_{22:00-10:00}$	06:00-18:00	11:54	3:18	0.6858	0.1898
		18:00-06:00	01:21	3:00	0.6939	0.2574
	$L_{02:00-14:00}$	06:00-18:00	12:09	2:57	0.7037	0.2144
		18:00-06:00	01:40	3:15	0.6369	0.3049
♂	$L_{06:00-18:00}$	06:00-18:00	11:57	2:41	0.7527	0.1696
		18:00-06:00	02:31	3:02	0.6846	0.5402
	$L_{10:00-22:00}$	06:00-18:00	12:25	2:48	0.7310	0.1958
		18:00-06:00	02:17	2:58	0.6972	0.2876
	$L_{14:00-02:00}$	06:00-18:00	11:18	2:44	0.7433	0.1898
		18:00-06:00	01:54	3:14	0.6419	0.2696
	$L_{18:00-06:00}$	06:00-18:00	12:40	2:50	0.7257	0.1996
		18:00-06:00	01:27	3:06	0.6712	0.2729
	$L_{22:00-10:00}$	06:00-18:00	12:21	2:59	0.6953	0.2066
		18:00-06:00	01:31	3:24	0.6034	0.2958
	$L_{02:00-14:00}$	06:00-18:00	11:51	2:54	0.7132	0.2309
		18:00-06:00	01:47	3:05	0.6757	0.3590

2.3　光期位点对成虫白天与夜间取食行为发生的影响

进一步比较白天和夜间取食行为百分率，结果显示大多数光期位点处理下雌雄成虫白天取食行为百分率均在 60%以上，且大多数情况下显著高于夜间；$L_{06:00-18:00}$ 处理组雌雄白天取食百分率最高（分别为 80.97%和 90.98%），而相反的光周期 $L_{18:00-06:00}$ 处理组最低（分别为 59.41%和 66.26%），两组间雌或雄虫差异均极显著（♀: $\chi^2 = 11.524$，$df = 1$，$P < 0.01$；♂： $\chi^2 = 18.516$，$df = 1$，$P < 0.01$）（表 2）。

2.4　雌虫爬行行为节律

5 d 中各处理组雌虫爬行行为主要发生在各处理组的光期（图 3），有随光期安排推后而推后的趋势。平均角及假设检验证实，各光期位点下雌虫爬行行为可发生在白天和夜间不同时间段[（9:25±3:15）—（13:00±2:31）；（21:49±3:05）—（02:05±03:04）]（表 3）。各处理组 r_c 均大于 $r_{0.05}$，表明爬行行为发生相对集中。

2.5　雄虫爬行行为节律

5 d 中各处理组雄虫爬行行为与雌虫类似（图 4）。平均角及假设检验证实，6 个处理组白天和夜间平均角变异较大[♀：(9:25 ± 3:15) —（14:30 ± 2:55）；(21:49 ± 3:05) —（2:05 ± 3:04）；♂：（9:55 ± 3:15）—（14:40 ± 2:39）；(22:17 ± 3:07) —（2:03 ± 2:44）]，表明组间雄虫爬行行为发生的主要时间段差异较大，但组内爬行行为发生均较集中，而 $L_{22:00-10:00}$ 组雄虫爬行行为发生的主要时间段差异也很大（表 3）。

表 2 不同光期位点下白天与夜间取食行为百分率（*df* = 3）

Table 2 Feeding percentage in the daytime and at night under different position of light period

性别 Sex	光期位点 Position of light period	取食行为百分率 Feeding percentage		*t*-test
		白天 Day	夜间 Night	
♀	$L_{06:00-18:00}$	80.97±4.81	19.03±4.81	t = 12.891，P < 0.05
	$L_{10:00-22:00}$	69.83±16.78	30.17±16.78	t = 2.363，P > 0.05
	$L_{14:00-02:00}$	66.04±9.87	33.96±9.87	t = 3.252，P < 0.05
	$L_{18:00-06:00}$	59.41±5.46	40.59±5.46	t = 3.448，P < 0.05
	$L_{22:00-10:00}$	65.84±6.78	34.17±6.78	t = 4.672，P < 0.05
	$L_{02:00-14:00}$	66.17±9.34	33.83±9.34	t = 3.462，P < 0.05
♂	$L_{06:00-18:00}$	90.98±1.86	9.03±1.86	t = 44.087，P < 0.05
	$L_{10:00-22:00}$	67.54±14.04	32.46±14.04	t = 2.489，P > 0.05
	$L_{14:00-02:00}$	67.94±11.90	32.06±11.90	t = 3.016，P > 0.05
	$L_{18:00-06:00}$	66.26±7.80	33.74±7.80	t = 4.170，P < 0.05
	$L_{22:00-10:00}$	80.98±7.59	19.02±7.59	t = 8.167，P < 0.05
	$L_{02:00-14:00}$	71.92±7.97	28.09±7.97	t = 5.500，P < 0.05

表中白天和夜间的取食行为百分率为平均值±标准差，*t*-test 为配对样本 *t*–检验(P<0.05)。表 4 同。

Feeding percentage in the daytime and at night in the table are presented as mean ± SD. *t*-test is a paired-sample *t*-test (P<0.05). The same as Table 4.

表 3 茄二十八星瓢虫成虫爬行日节律的平均角及其假设检验

Table 3 Mean angular deviation and its hypothesis testing of circadian rhythm of walking in *Henosepilachna vigintioctopunctata* adult

性别 Sex	处理 Treatment	时间 Time	平均 Mean	标准差 SD	相关系数 r_c	$r_{0.05}$
♀	$L_{06:00-18:00}$	06:00-18:00	11:10	3:23	0.6072	0.1404
		18:00-06:00	00:51	2:58	0.6973	0.2729
	$L_{10:00-22:00}$	06:00-18:00	11:22	3:18	0.6267	0.1921
		18:00-06:00	02:05	3:04	0.6781	0.1921
	$L_{14:00-02:00}$	06:00-18:00	09:25	3:15	0.6389	0.1843
		18:00-06:00	00:55	2:56	0.7044	0.1566
	$L_{18:00-06:00}$	06:00-18:00	11:46	3:08	0.6632	0.2916
		18:00-06:00	23:33	3:35	0.5590	0.2081
	$L_{22:00-10:00}$	06:00-18:00	14:30	2:55	0.7097	0.2052
		18:00-06:00	21:49	3:05	0.6737	0.2081
	$L_{02:00-14:00}$	06:00-18:00	13:00	2:31	0.7821	0.1599
		18:00-06:00	22:40	3:10	0.6569	0.2160
♂	$L_{06:00-18:00}$	06:00-18:00	11:03	3:07	0.6683	0.2289
		18:00-06:00	02:03	2:44	0.7448	0.5886
	$L_{10:00-22:00}$	06:00-18:00	11:25	3:22	0.6110	0.2574
		18:00-06:00	01:16	3:14	0.6435	0.2269
	$L_{14:00-02:00}$	06:00-18:00	09:55	3:15	0.6379	0.2493
		18:00-06:00	00:19	3:04	0.6786	0.1909
	$L_{18:00-06:00}$	06:00-18:00	10:00	2:40	0.7572	0.4431
		18:00-06:00	01:38	3:10	0.6558	0.2696
	$L_{22:00-10:00}$	06:00-18:00	14:40	2:39	0.7603	0.2916
		18:00-06:00	22:17	3:07	0.6661	0.2799
	$L_{02:00-14:00}$	06:00-18:00	13:11	2:43	0.7460	0.2467
		18:00-06:00	22:55	3:23	0.6097	0.3257

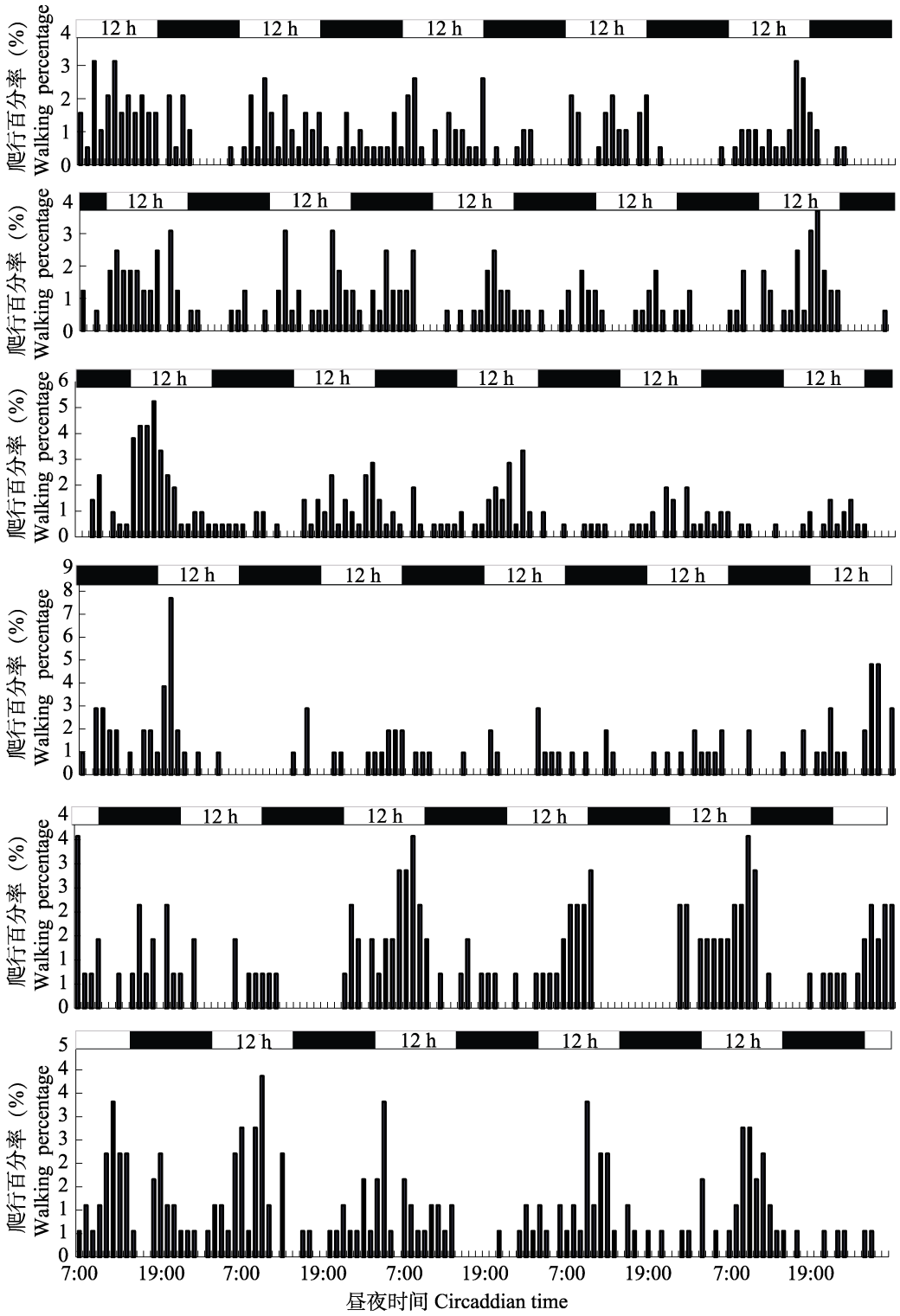

图 3　茄二十八星瓢虫雌虫爬行行为节律

Fig. 3　Circadian rhythm of walking in female of *Henosepilachna vigintioctopunctata*

2.6　光期位点对成虫光期与暗期爬行行为发生的影响

进一步比较光期和暗期爬行行为百分率，结果显示各光期位点处理下雌雄成虫光期爬行行为百分率均在 60%以上，且大多数情况下显著高于暗期（表 4）；雌虫最高的（81.09%）与最低

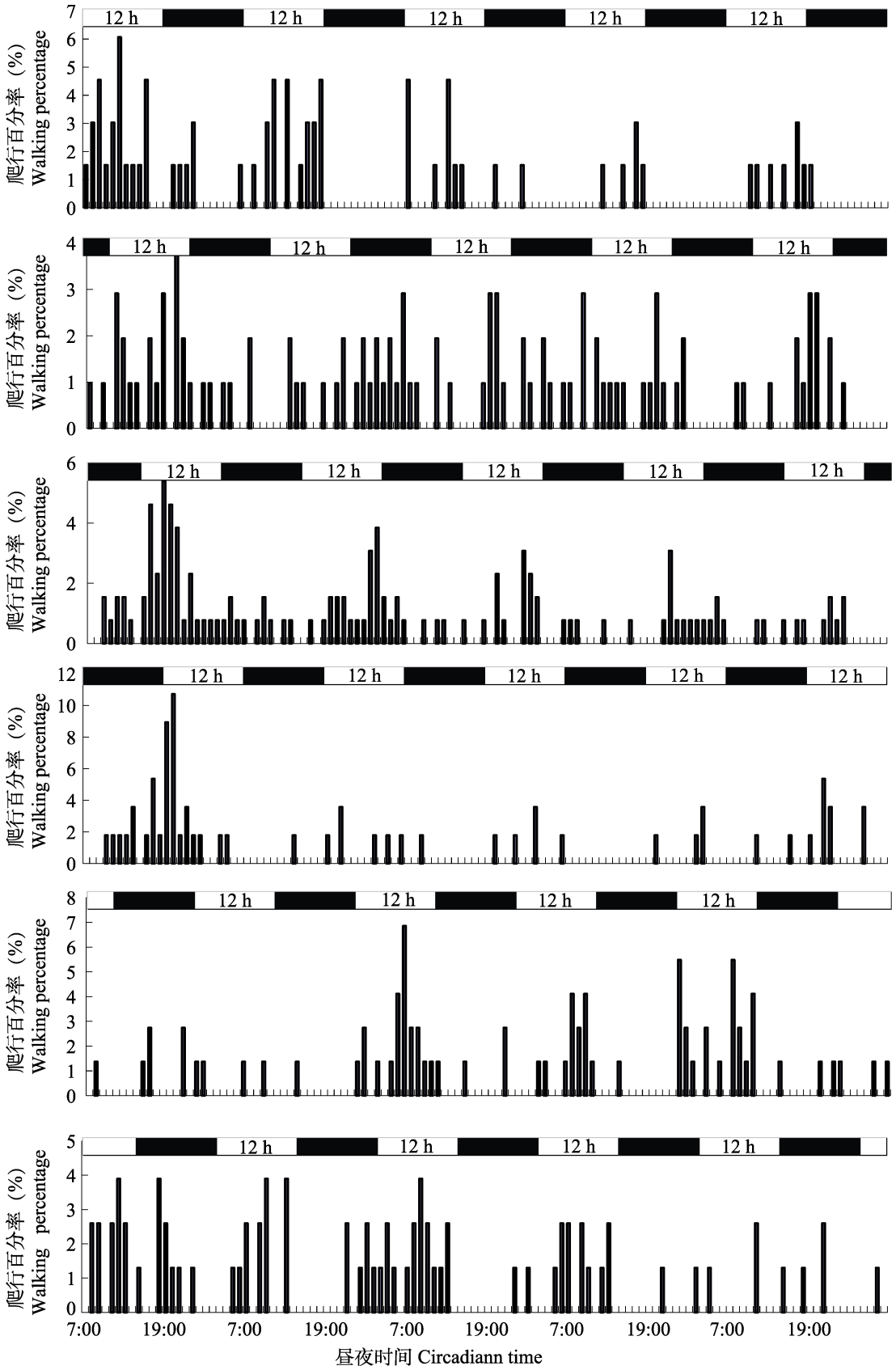

图 4　茄二十八星瓢虫雄虫爬行行为节律

Fig. 4　Circadian rhythm of walking in male of *Henosepilachna vigintioctopunctata*

表 4　不同光期位点下光期与暗期爬行行为百分率（*df* = 3）
Table 4　Walking percentage in light and dark period under different position of light period

性别 Sex	光期位点 Position of light period	爬行行为百分率 Walking percentage		*t*-test
		光期 Light period	暗期 Dark period	
♀	$L_{06:00-18:00}$	78.42±8.51	21.58±8.51	t=6.683，$P < 0.05$
	$L_{10:00-22:00}$	68.68±9.76	31.33±9.76	t=3.828，$P < 0.05$
	$L_{14:00-02:00}$	76.01±12.27	23.99±12.27	t=4.239，$P < 0.05$
	$L_{18:00-06:00}$	69.33±11.59	30.68±11.59	t=3.335，$P < 0.05$
	$L_{22:00-10:00}$	81.09±5.95	18.92±5.95	t=10.440，$P < 0.05$
	$L_{02:00-14:00}$	73.61±17.95	26.40±17.95	t=2.631，$P > 0.05$
♂	$L_{06:00-18:00}$	75.46±5.85	24.55±5.85	t= 8.707，$P < 0.05$
	$L_{10:00-22:00}$	64.12±18.34	35.88±18.34	t=1.540，$P > 0.05$
	$L_{14:00-02:00}$	69.71±12.42	30.29±12.42	t=3.174，$P > 0.05$
	$L_{18:00-06:00}$	74.57±8.02	25.43±8.02	t=6.125，$P < 0.05$
	$L_{22:00-10:00}$	80.98±7.59	19.02±7.59	t=8.167，$P < 0.05$
	$L_{02:00-14:00}$	69.95±17.82	30.05±17.82	t=2.239，$P > 0.05$

的（68.68%）差异不显著（$\chi^2 = 3.840$，$P > 0.05$）；雄虫最高的（80.98%）与最低的（64.12%）差异显著（（$\chi^2 = 7.2480$，$P < 0.05$））。

3　结论与讨论

生活在地球上的所有生命，都具有昼夜交替的活动节律，它们的许多行为活动也都表现出相应的节律性（孙儒泳，2001；涂小云和陈元生，2013；涂小云等，2015）。资料显示，鞘翅目昆虫行为多数具有明显节律性，且受多种因素的影响，如所处空间（杨茂发等，2013）、性别（朱捷等，2014；吕飞等，2015b）以及光颜色（冯国凤等，2015）等，暗期位点还影响蛾类昆虫交配和产卵节律（邱小芳等，2016）。本研究首次报道了光期位点对茄二十八星瓢虫取食和爬行行为节律性的影响。

3.1　光期位点对成虫取食行为的影响

昆虫行为是否具有节律性主要依据其行为发生的主要时间段和发生高峰期是否重复出现（杨茂发等，2013；朱捷等，2014；冯国凤等，2015；吕飞等，2015b），本研究证实各光期位点下茄二十八星瓢虫取食行为具有节律性（图 1，图 2，表 1）。（1）各光期位点下雌雄成虫取食行为主要集中在白天的 11:18—12:54 和夜间的 01:16—02:31，这与已有报道上午 10:00 时前和下午 4:00 时后活动最盛（郑振涛，2008）时间点有所不同，因后者活动包括取食等多种活动；（2）当光期落入夜间（即自然暗期）时数越多，则第 1 天取食行为明显减少，出现了时差反应，尤其是 $L_{18:00-06:00}$ 处理组（即光暗倒置处理），但实验第 2 天即恢复原有的节律性，这与棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 交配和产卵行为的光暗倒置现象（吴坤君和龚佩瑜，2001）明显不同；（3）将 5 d 数据合并分析，结果表明各处理组雌（或雄）虫白天取食百分率均高于夜间（表 2）。表明除光照影响取食行为外，其他因素等亦影响取食行为，如嗅觉对中华通草蛉 *Chrysoperla sinica* 成虫取食影响明显大于视觉（魏玮等，2009）。此外，动物机体能量负平衡（即饥饿、血糖浓度下降）时，体内神经肽 Y 分泌增加，促进取食（郭秀兰等，2005），茄二十八星瓢虫体内血糖浓度是否具有昼夜节律性及与取食行为节律性是否一致，则有待于进一步研究。

3.2　光期位点对成虫爬行行为的影响

爬行行为是取食和交配等行为的基础，已有较为详细的报道（华登科等，2016），本研究证

实茄二十八星瓢虫成虫爬行行为具有明显的节律性（图 3，图 4），但与取食行为节律不同，光期位点对茄二十八星瓢虫爬行行为节律有较大影响。表现为：（1）6 个处理组平均角变异较大，白天从 9:25—14:40，夜间从 21:49—02:05（表 3），表明雌或雄虫爬行行为发生的主要时间段组间差异较大；（2）各光期位点下爬行行为主要发生在光期，雌雄虫在光期爬行行为发生率均高于暗期，多数情况下差异显著（表 4）。这与黄斑星天牛 *Anoplophora nobilis* 不同，后者在全暗条件下亦表现出与自然光照条件下相似的节律特点（周嘉熹等，1984）。

田喜梅等（2005）研究发现，异色瓢虫视觉神经系统中存在 5-羟色胺（5-HT）能神经元，且 5-羟色胺（5-HT）的含量与其对明暗适应的生理调节方式具有相关性，鉴于 5-羟色胺在生物中存在的普遍性，茄二十八星瓢虫视觉神经系统中的 5-羟色胺能神经元有何特点，是否与异色瓢虫一样，5-HT 的含量也影响其对明暗适应的调节？这一问题有待进一步研究。此外，在对果蝇及仓鼠等哺乳动物的研究中已发现存在一个调节正常昼夜行为节律的基因（Clock 基因），并且证明 Clock 基因明显受到光周期的影响（蒋志刚，2004），而茄二十八星瓢虫取食行为和爬行行为对相同的光期位点做出了不同的响应，这是否意味着这两种行为受不同 Clock 基因调控，目前还不清楚。

致谢：2013 级余宏昌和陈东明同学参与了部分实验，在此表示特别感谢！

参考文献 (References)

Feng GF, Feng XH, Deng QW, Gou LC, Kang HR, Zhu YL, Fu L, Xia F, Li XN, Tu XY, 2015. Effects of LED sources on the behavior of adult *Plagiodera versicolora*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 52(4): 983–992. [冯国凤, 冯兴海, 邓倩文, 苟璐琛, 康浩然, 朱云龙, 付莉, 夏飞, 李晓娜, 涂小云, 2015. LED 光源对柳圆叶甲成虫行为的影响. 应用昆虫学报, 52(4): 983–992.]

Guo XL, Wang KL, Tang RY, 2005. Effects of neuro-peptideon Y on promoting feeding and its regulation. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 32(4): 6–9. [郭秀兰, 王康宁, 唐仁勇, 2005. 神经肽 Y 的促摄食作用及其调控. 中国畜牧兽医, 32(4): 6–9.]

Hua DK, Gui LY, Gilles B, Luo J, 2016. Locomotive behavior of *Henosepilachna vigintioctopunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) adults moving on ceiling substrata. *Acta Entomologica Sinica*, 59(10): 1115–1122. [华登科, 桂连友, Gilles B, 罗杰, 2016. 茄二十八星瓢虫成虫天花板爬行行为研究. 昆虫学报, 59(10): 1115–1122.]

Jiang ZG, 2004. Theories in Animal Behavioral Study and Conservation Methods. Beijing: Science Press. 57–59. [蒋志刚, 2004. 动物行为原理与物种保护方法. 北京: 科学出版社. 57–59.]

Kuang XJ, Xu J, Sun XH, Huang F, Xue FS, 2010. Effect of temperature on mating behavior of the *Colaphellus bowringi* Baly. *Journal of Environmental Entomology*, 32(3): 307–311. [匡先钜, 徐婧, 孙兴华, 黄芳, 薛芳森, 2010. 温度对大猿叶虫 *Colaphellus bowringi* Baly 交配行为的影响. 环境昆虫学报, 32(3): 307–311.]

Luo J, Gui LY, Wang FL, 2015. Daily rhythm of flight takeoff by early emerged adult Chinese citrus fly and their landing locations. *Journal of Environmental Entomology*, 37(1): 36–43. [罗杰, 桂连友, 王福莲, 2015. 初羽化的柑橘大实蝇成虫起飞日节律和降落位置. 环境昆虫学报, 37(1): 36–43.]

Lv F, Hai XX, Wang ZG, Yan AH, Bi YG, Liu BX, 2015a. Diurnal rhythm of adult behavior of *Dastarcus helophoroides* Fairmaire, the parasitic natural enemy of *Apriona germari*. *Science of Sericulture*, 41(2): 239–246. [吕飞, 海小霞, 王志刚, 阎爱华, 毕拥国, 刘炳响, 2015a. 桑天牛寄生性天敌花绒寄甲成虫的日活动节律. 蚕业科学, 41(2): 239–246.]

Lv F, Hai XX, Wang ZG, Yan AH, Bi YG, Liu BX, 2015b. Diurnal rhythm of four types of adult behaviors of *Anoplophora glabripennis*. *Journal of Northeast Forestry University*, 43(9): 90–95. [吕飞, 海小霞, 王志刚, 阎爱华, 毕拥国, 刘炳响, 2015b. 光肩星天牛成虫 4 种活动行为日节律. 东北林业大学学报, 43(9): 90–95.]

Lv F, Hai XX, Wang ZG, Liu BX, Yan AH, Bi YG, 2015c. Circadian behaviors of the parasitic beetles, *Dastarcus helophoroides* (Fairmaire) (Coleoptera: Bothrideridae) under artificial light/ dark conditions. *Acta Entomologica Sinica*, 58(6): 658–664. [吕飞, 海小霞, 王志刚, 刘炳响, 阎爱华, 毕拥国, 2015c. 人工光暗条件下花绒寄甲成虫活动行为节律. 昆虫学报, 58(6): 658–664.]

Ma HB, Chen JY, Hu ZH, Zhang FP, Han DY, Fu YG, 2016. Predatory behavior of *Stethorus parapauperculus* adult on *Tetranychus cinnabarinus*. *Journal of Environmental Entomology*,

38(2): 293–298. [马华博, 陈俊谕, 胡志慧, 张方平, 韩栋银, 符悦冠, 2016. 拟小食螨瓢虫成虫对朱砂叶螨的觅食行为. 环境昆虫学报, 38(2): 293–298.]

Qiu XF, Xie JK, Wu LP, Yu Q, Zhang MM, Wang GY, Xu SH, Tu XY, 2016. Effects of varied photoperiods on the mating and oviposition of *Brithys crini* (Lepidoptera: Noctuidae) adults. *Acta Entomologica Sinica*, 59(10): 1103–1114. [邱小芳, 谢建坤, 吴丽萍, 喻琴, 张萌萌, 王光耀, 徐韶晖, 涂小云, 2016. 光周期变化对毛健夜蛾交配和产卵的影响. 昆虫学报, 59(10): 1103–1114.]

Qi LJ, 2006. Occurrence and control techniques of diseases and insect pests of potato in the Great Xing'an Mountains. *Journal of Modern Agriculture*, (4): 12–13. [齐连军, 2006. 大兴安岭地区常发生的马铃薯病虫害及防治技术. 现代化农业, (4): 12–13.]

Sun RY, 2001. Principles of Animal Ecology (3rd Press). Beijing: Beijing Normal University Press. 95–99. [孙儒泳, 2001. 动物生态学原理(第 3 版).北京:北京师范大学出版社. 95–99.]

Tang TL, Jiang J, Yang ZQ, Wang XY, Lv J, Suo M, 2011. Activity rhythm of *Massicus raddei* adult (Coleoptera: Cerambycidae). *Journal of Environmental Entomology*, 33(1): 17–24. [唐艳龙, 姜静, 杨忠岐, 王小艺, 吕军, 索默, 2011. 栗山天牛成虫的活动节律. 环境昆虫学报, 33(1): 17–24.]

Tian XM, Hu XH, Zhao ZF, Qu YT, Bao XX, 2005. Distribution of serotonin immunoreactive neurons in the visual system of the beetle *Harmonia axyridis*. *Acta Zoologica Sinica*, 51(5): 912–918. [田喜梅, 胡西昆, 赵志富, 瞿玉堂, 暴学祥, 2005. 异色瓢虫视觉系统中 5-HT 阳性神经元的分布. 动物学报, 51(5): 912–918. (In English)]

Tu XY, Chen YS, 2013. Circadian rhythmic behavior of *Brithys crini*. *Plant Protection*, 39(1): 85–88. [涂小云, 陈元生, 2013. 毛健夜蛾昼夜节律行为. 植物保护, 39(1): 85–88.]

Tu XY, Zhi Y, Liu K, Xing X, Wu L, Qiang WJ, Zhou YH, Xie JK, 2015. Effects of temperature and LED light on the behavior of *Daphnis nerii* larvae (Lepidoptera: Sphingidae). *Acta Ecologica Sinica*, 35(20): 6750–6758. [涂小云, 支忆, 刘可, 邢旭, 吴梁, 强文静, 周云红, 谢建坤, 2015. 温度和 LED 光源对夹竹桃天蛾幼虫行为的影响. 生态学报, 35(20): 6750–6758.]

Wei W, Chen XX, An H, Dong YL, Wei GS, 2009. Influence of light and dark on the feeding amount of *Chrysoperla sinica* Tjeder adult with removed antenna. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 32(5): 77–79. [魏玮, 陈晓霞, 安海, 董玉兰, 魏国树, 2009. 光暗条件与触角去除对中华通草蛉成虫取食的影响. 河北农业大学学报, 32(5): 77–79.]

Wu KJ, Gong PY, 2001. Circadian rhythms of pupation and emergence in the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) // Li DM (ed.). Insect and Environment. Beijing: China Agriculture Press. 157–159. [吴坤君, 龚佩瑜, 2001. 棉铃虫化蛹和羽化的昼夜节律. 见:李典谟 主编. 昆虫与环境. 北京: 中国农业出版社. 157–159.]

Xu C, Chen JY, 1993. An investigation on the vegetable pests' species and its occurring survey in Hainan. *Natural Science Journal of Hainan University*, 11(4): 22–28. [许创, 陈家悦, 1993. 海南蔬菜害虫种类及其发生概况的调查研究. 海南大学学报自然科学版, 11(4): 22–28.]

Yang MF, Yang DX, Xu J, Liu JF, Wu CX, 2013. Diurnal rhythm of adult behavior of the rice water weevil, *Lissorhoptrus oryzophilus* (Coleoptera: Curculionidae). *Acta Entomologica Sinica*, 56(8): 952–959. [杨茂发, 杨大星, 徐进, 刘健锋, 武承旭, 2013. 稻水象甲成虫活动行为的日节律. 昆虫学报, 56(8): 952–959.]

Zhu J, Ma L, Chen Q, Xia XJ, Chen XY, Zhang YX, Huang GH, 2014. Diurnal rhythm of adult behavior of aquatic leaf beetle *Donacia provostii* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Acta Entomologica Sinica*, 57(10): 1227–1237. [朱捷, 马力, 陈琪, 夏西聚, 陈旭阳, 张云宣, 黄国华, 2014. 莲藕食根金花虫成虫活动行为的日节律. 昆虫学报, 57(10): 1227–1237.]

Zhou JX, Zhang KB, Lu YZ, 1984. Researches on behavior of the adult *Anoplophora nobilis* Ganglbauer. *Journal of Northwestern College of Forestry*, (1): 119–129. [周嘉熹, 张克斌, 逯玉中, 1984. 黄斑星天牛成虫行为及其对树种的选择性. 西北林学院学报, (1): 119–129.]

Zheng ZT, 2008. Biological characteristics and control techniques of *Henosepilachna vigintioctopunctata*. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 14(5): 154. [郑振涛, 2008. 茄二十八星瓢虫的生物学特性及防治方法. 安徽农学通报, 14(5): 154.]