温度和光周期对淡足侧沟茧蜂寄生和雌性比率的影响*

季香云[1,2**] 化丽丹[1,3] 蒋杰贤[1***] 万年峰[1] 杨建军[1]

(1.上海市农业科学院生态环境保护研究所 上海市设施园艺技术重点实验室 上海 201106;
(2.湖南农业大学生物安全科技学院 长沙 410128;3.扬州大学植保与园艺学院 扬州 225009)

摘 要 运用2因素2次回归正交旋转组合设计,研究了温度和光照周期对淡足侧沟茧蜂 *Microplitis pallidipes* Szepligeti 寄生率和性比的影响,并建立了回归模型,旨在为优化寄生蜂雌性比率、提高寄生率提供资料。主效分析表明,温度、光周期与寄生率呈抛物线关系,编码值为零水平取值时,寄生率达到最大;温度对雌性比率的影响大于光周期。交互作用表明,温度和光周期对斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* Fabricius 幼虫被寄生率有明显的负交互效应,而对侧沟茧蜂雌性比率的交互作用不明显。通过对模型进行模拟,温度为28℃、光周期L:D=12:12时,寄生率达到最大(71.89%);温度为33.7℃、光周期为L:D=12:12时,雌性比率达最高值(0.57)。

关键词 淡足侧沟茧蜂,温度,光周期,旋转回归设计,寄生率,雌性比率

The influence of temperature and photoperiod on parasitism and female ratio of *Microplitis pallidipes*

JI Xiang-Yun[1,2**] HUA Li-Dan[1,3] JIANG Jie-Xian[1***] WAN Nian-Feng[1] YANG Jian-Jun[1]

(1. Ecological Environment Protection Research Institute, Shanghai Academy of Agricultural Science; Shanghai Key Laboratory of Protected Horticultural Technique, Shanghai 201106, China; 2. College of Bio-safety Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 3. College of Horticulture and Plant Protection Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract The influence of temperature and photoperiod on the parasitism rate of the larvae of *Spodoptera litura* Fabricius and the female ratio of *Microplitis pallidipes* Szepligeti was evaluated by quadratic orthogonal rotation regression design with two factors, producing two models. These models can provide a basis for optimizing the breeding environment of *M. pallidipes*. Main effects analysis showed that the relationship between temperature, photoperiod and parasitic rate was parabolic. When the coding value was zero, the parasitic rate became maximal. Temperature was a more important influence on female ratio than photoperiod. Interaction effects analysis showed a significantly negative relationship between temperature and photoperiod on the parasitic rate of *S. litura* larvae, however, the influence of temperature and photoperiod on the female ratio of *M. pallidipes* was not clear. The parasitism rate of *S. litura* reached its maximum (71.89%) at a temperature of 28℃ and photoperiod of L:D=12:12 whereas the female ratio of *M. pallidipes* reached its maximum (0.57) at a temperature of 33.7℃ and a photoperiod of L:D=12:12.

Key words *Microplitis pallidipes*, temperature, photoperiod, the quadratic rotary combination design, parasitic rate, female ratio

---

* 资助项目:国家自然科学基金(30771450)、上海市自然科学基金(08ZR1417300)、公益性行业(农业)科研专项(200803007)、上海市重大科技攻关项目(08dz1900401、08dz1206000)。

** E-mail:hwfy2002@163.com 单位1和单位2为并列第一单位。

*** 通讯作者,E-mail:jiangjiexian@163.com

收稿日期:2010-11-15,接受日期:2011-01-17

淡足侧沟茧蜂 *Microplitis pallidipes* Szepligeti 属膜翅目 Hymenoptera、茧蜂科 Braconidae、小腹茧蜂亚科 Microgastrinae、侧沟茧蜂属 *Microplitis*(罗志良和戴开甲,1998),一种专性寄生鳞翅目夜蛾科害虫低龄幼虫的优势寄生蜂,能有效抑制斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* Fabricius 和甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* Hübner 的自然种群数量增长。有关侧沟茧蜂的寄主、形态及分布等有一些研究报道(蒋杰贤等,2003),但对淡足侧沟茧蜂的规模化繁殖研究较少。作者在大量饲养淡足侧沟茧蜂时发现,温度和光周期对寄生蜂寄生和性比影响较大,为此运用二因子五水平二次回归正交旋转组合设计,探讨了温度、光周期对淡足侧沟茧蜂寄生和性比的影响,旨在为优化寄生蜂雌性比率、提高寄生率提供资料,进而为该蜂的规模化繁殖提供依据。

1　材料与方法

1.1　供试材料

淡足侧沟茧蜂和斜纹夜蛾采自上海郊区甘蓝菜地,经室内繁殖 5 代后供试验用。斜纹夜蛾用人工饲料(主要成份为麦胚、黄豆粉、抗坏血酸、酵母、干酪素等)喂养,淡足侧沟茧蜂用 2 龄初斜纹夜蛾幼虫寄生饲养,成蜂用蜂蜜水喂养。试验中所有昆虫都在人工气候培养箱中喂养,设定条件为:温度(27 ±0.5)℃,RH 85% ±10%,光周期 L∶D =14∶10。

1.2　试验设计与方法

应用二因子二次回归正交旋转组合设计进行试验(方改霞等,2008;弓建国,2010),以试验温度℃(X_1)、光周期(白天∶黑夜)(X_2)为自变量,以斜纹夜蛾幼虫被寄生率和淡足侧沟茧蜂雌性比率为目标函数。根据试验设计要求,设置 13 个试验组合。除零水平组合试验点外,其余试验组合均重复 2 次。各因子水平及编码值见表 1。

对于每个试验设计组合,选用羽化后 1 ~2 d 的淡足侧沟茧蜂,在长试管中交配 24 h,交配时饲喂 10% 的蜂蜜水;选取大小一致的斜纹夜蛾 2 龄幼虫 50 头,放入罐头瓶中,每瓶接入交配好的寄生蜂 1 对,寄生 12 h 后,将幼虫放入洁净试管中用人工饲料饲养,每管 2 头幼虫,分别放置于不同温度、光周期处理组合的培养箱中饲养,观察记录寄生蜂寄生、出茧、羽化情况;每处理设 15 对寄生蜂。

表 1　因子水平及编码值

Table 1　Coding table for factors and levels

自变量 Independent variable	试验因子 Experimental factors	试验水平(−1.414≤γ≤1.414)(Experiment levels)					变化间距 Varying interval
		−1.414	−1	0	1	1.414	
X_1	环境温度(℃)Temperature	22.3	24	28	32	33.7	4
X_2	光周期(h)Photoperiod	4.93	7	12	17	19.07	5

1.3　数据统计与分析

在计算机上利用 DPS 软件,组建回归方程和显著性检验,统计淡足侧沟茧蜂对斜纹夜蛾的寄生率和雌性比率(唐启义和冯明光,2006)。

2　结果与分析

2.1　不同温度和光周期组合下模型的组建

不同温度和光周期组合处理下,斜纹夜蛾幼虫寄生率和寄生蜂雌性比率见表 2。

根据试验结果(表 2)分别建立以斜纹夜蛾幼虫被寄生率(Y_1)、淡足侧沟茧蜂雌性比率(Y_2)为目标函数的回归模型:

$$Y_1 = 71.889 - 2.139X_1 + 3.176X_2 - 5.470X_1^2 - 9.788X_2^2 - 2.290X_1X_2 \quad (1)$$

$$Y_2 = 0.5160 + 0.05676X_1 + 0.0058X_2 - 0.01083X_1^2 - 0.02934X_2^2 - 0.00752X_1X_2 \quad (2)$$

回归方程的失拟性检验结果表明,模型 1、2 的 F_1 值分别为 53.375、39.60,均大于 $F_{0.05}(3,7)=4.35$,F_1 没有达到 5% 的显著水平,表明有失拟因素存在,还有其他不可忽略的因素影响寄生率和雌性比率,温度和光周期不是决定雌性比率的唯一因素。回归性显著性检验表明,模型 1 的 F_2 = 2.074,在 0.2 水平上显著,表明模型基本能够反应温度、光周期对淡足侧沟茧蜂寄生的影响。模型2

表 2 不同温度和光周期组合下的寄生率和雌性比率

Table 2 The parasitic rate and female ratio of *Microplitis pallidipes* under different temperature and photoperiod conditions

试验号 Number	编码值 Coding value		实际值 Actual value		寄生率 Parasitic ratio(%)	雌性比率 Female ratio
	X_1	X_2	温度(℃) Temperture	光周期(h) Photoperiod		
1	-1	-1	24	7	66.68 ± 17.12	0.5650 ± 0.1165
2	-1	1	24	17	64.36 ± 18.52	0.5210 ± 0.2031
3	1	-1	32	7	58.92 ± 23.57	0.5290 ± 0.1722
4	1	1	32	17	57.64 ± 15.41	0.4050 ± 0.1543
5	-1.414	0	22.3	12	78.64 ± 18.02	0.4430 ± 0.3023
6	1.414	0	33.7	12	43.46 ± 17.14	0.5260 ± 0.3235
7	0	-1.414	28	4.9	49.31 ± 19.91	0.4630 ± 0.2255
8	0	1.414	28	19	55.42 ± 15.11	0.4730 ± 0.2192
9	0	0	28	12	70.87 ± 13.61	0.5090 ± 0.2084
10	0	0	28	12	69.88 ± 12.06	0.5600 ± 0.3008
11	0	0	28	12	71.01 ± 14.55	0.5540 ± 0.2689
12	0	0	28	12	74.79 ± 14.11	0.5710 ± 0.2968
13	0	0	28	12	72.89 ± 19.90	0.5150 ± 0.19260

的 $F_2 = 12.831 > F_{0.01}(5,7) = 7.46$，表明在回归区域内部，回归模型拟合性好，模型能够反应温度、光周期对淡足侧沟茧蜂雌性比率的影响。模型 1 和 2 中达到 1% 显著水平的有 b_1，b_2，b_1^2 和 b_2^2（$P < 0.01$），达到 5% 显著水平是 b_{12}（$P < 0.05$）。

2.2 模型的解析

2.2.1 主因子效应分析 根据模型中偏回归系数绝对值的大小可判断各因子的重要程度，系数的正负表示因子效应的方向。从 2 个模型的线性项看，光周期对寄生率的影响大于温度，而温度对雌性比率的影响大于光照周期。从二次项看，光周期对雌性比率的影响大于温度。

利用“降维法”即固定 1 个自变量的水平取值，导出另一个自变量的偏回归解析子模型，可导出 2 种生态因子对寄生率的偏回归解析子模式：

$$Y_{J1} = 71.889 - 2.139X_1 - 5.470X_1^2$$

$$Y_{J2} = 71.889 + 3.176X_2 - 9.788X_2^2$$

$$Y_{C1} = 0.5160 + 0.05676X_1 - 0.01083X_1^2$$

$$Y_{C2} = 0.5160 + 0.0058X_2 - 0.02934X_2^2$$

上式中，X_1、X_2 分别为温度和光周期的编码值。上述关系的二维坐标如图 1 和图 2。由图 1 可见，温度、光周期与寄生率呈抛物线关系，即在 2 因子编码值取值在零水平以下时，斜纹夜蛾幼虫被寄生率随温度和光照时间的增加而增加，但编码值为零水平时，寄生率达到最大。

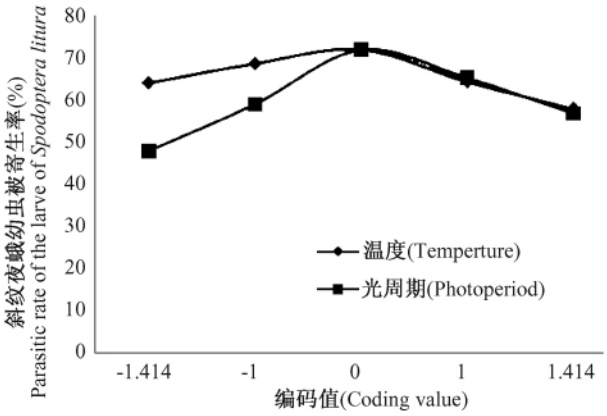

图 1 斜纹夜蛾幼虫的被寄生率与温度、光周期编码值的主效关系

Fig. 1 Relationship between temperature code, photoperiod code and the parasitic rate of the larve of *Spodoptera litura*

图 2 表明，温度对淡足侧沟茧蜂的雌性比率影响较大，在试验的温度范围内，随温度增加，雌性比率增加。而光周期 L: D = 12: 12 时，雌性比率达到最大值。

2.2.2 交互效应分析 温度与光周期交互作用下的斜纹夜蛾幼虫被寄生率和侧沟茧蜂雌性比率反应面如图 3 和图 4 所示。

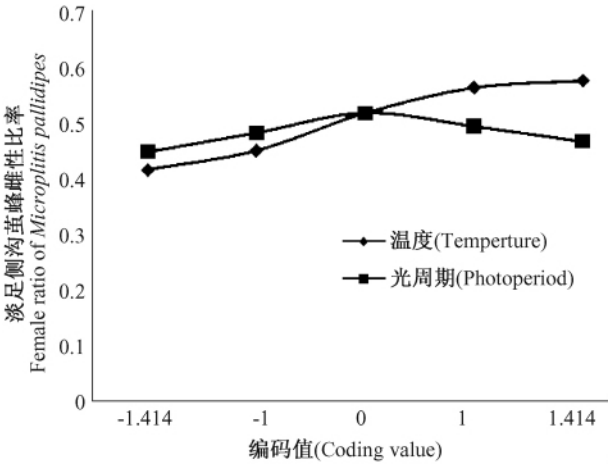

图 2　淡足侧沟茧蜂的雌性比率与温度、光周期编码值的关系

Fig. 2　Relationship between the temperature code, photoperiod code and the female ratio of *Microplitis pallidipes*

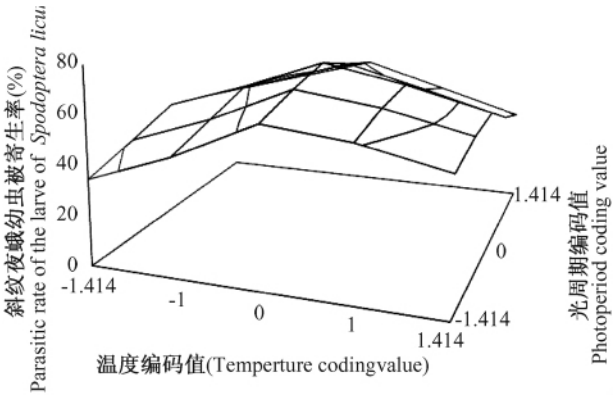

图 3　温度和光周期编码值对斜纹夜蛾幼虫被寄生率的交互作用曲面图

Fig. 3　Curve picture of interaction of the temperture code and photoperiod code on the parasitic rate of the larve of *Spodoptera litura*

从图 3 的反应面看,温度与光周期在坐标 $X_1 = -1$, $X_2 = 1$ 时,寄生率最大,表明二者之间的负交互作用较明显。从图 4 可见,温度与光周期对寄生蜂的雌雌性比率的交互作用不明显,反应面较平直。

3　讨论

Flanders(1939)报道环境因子能影响寄生蜂的性比。Rechav(1978)报道,当降低发育温度或

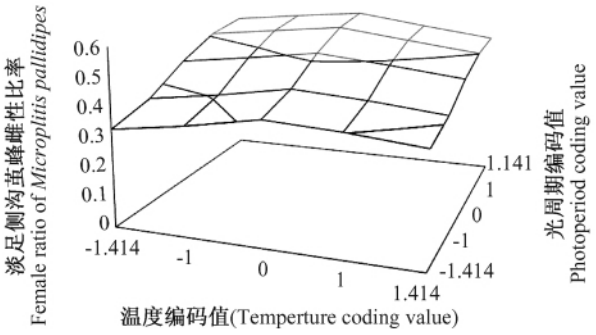

图 4　温度和光周期编码值对淡足侧沟茧蜂雌性比率的交互作用曲面图

Fig. 4　Curve picture of interaction of the temperture code and photoperiod code on the female ratio of *Microplitis pallidipes*

减少光照周期时,棉大卷蛾甲腹茧蜂 *Chelonus inanitus* L. 的雌蜂比例增高(何丽芬等,1990)。本研究运用二因素二次回归正交旋转组合设计,建立了温度和光周期对淡足侧沟茧蜂寄生率和雌性比率的综合效应模型。根据回归模型,得到规模化繁殖中最佳繁殖条件为温度为 28℃、光周期 L:D = 12:12。

本试验所得回归方程的失拟性检验结果表明,模型 1、2 的 F_1 值分别为 53.375、39.60,均大于 $F_{0.01}(3,7) = 48.45$, F_1 达到 1% 的显著水平,表明有失拟因素存在,还有其他不可忽略的因素影响寄生率和雌性比率,温度和光照不是决定雌性比率的唯一因素。寄生蜂的性别决定机制和性别控制因素是一系列相当复杂的问题,膜翅目昆虫属单一双倍体(haplodiploidy)的性别决定机制,即受精的双倍体卵发育成雌蜂,未受精的单倍体卵发育成雄蜂。然而实际的情况决非如此简单,至少还有两类性别决定机制对某些寄生蜂的性别发生影响。一类是互补的性别决定机制(complementary sex determination, CSD),另一类是一系列非 CSD 系统(non-CSD systems)(Quicke, 1997)。在单—双倍体性别决定机制的寄生蜂中,雌蜂可以通过自身的控制或受一些外界因子影响,调节产出卵的倍性,因而还有许多非遗传因素影响雌蜂产出不同性别的后代(King, 1996)。

本论文仅从外界环境因子温度和光周期对影响淡足侧沟茧蜂后代雌性比率的因素进行了探讨,其他影响雌性比率的因素如寄生蜂性别决定

机制有待进一步研究。

参考文献(References)

方改霞,郭玉莲,廖春丽,余晓斌,2008. 正交旋转回归法优化-胡萝卜素发酵培养基. 河南工业大学学报(自然科学版),29(2):71—73.

Flanders SE, 1939. Environmental control of sex in hymenopterous insect. *Ann. Ent. Amer.*,33:11—26.

弓建国,2010. 利用正交旋转组合法优化平菇培养基研究. 北方园艺,(3):168—170.

何丽芬,邱洪贵,符文俊,沈伯钧,1990. 影响松毛虫赤眼蜂性比的因素. 昆虫天敌,12(2):66—70.

蒋杰贤,王奎武,蒋祝瑞,2003. 斜纹夜蛾侧沟茧蜂生态学特性及寄生对寄主发育和取食的影响. 上海交通大学学报(农业科学版),21(2):125—130.

King BH, 1996. Fitness effects of,sex ratio response to host quality and size in the parasitoid wasp *Spalangia cameroni*. *Behav. Ecol.*, 7:35—42.

罗志良,戴开甲,1998. 侧沟茧蜂应用研究的新进展. 昆虫知识,35(5):293—296.

Quicke DLJ, 1997. Introduction to the parasitic Hymenoptera. Parasitic Wasps. Chapman & Hall Press. 1—18.

Rechav Y, 1978. Biological and ecological studies of the parasitoid *Chelonus inanitus* (Hym.: Braconidae) in Israel IV Oviposition, host preference and sex ratio. *Entomophaga*,23(1):95—102.

唐启义,冯明光,2006. DPS 数据处理系统. 北京:科学出版社. 159—170.