

DOI: 10.5846/stxb201412092435

马亚玲, 刘长仲. 光周期对两种色型豌豆蚜种群参数的影响. 生态学报, 2016, 36(14): - .

Ma Y L, Liu C Z. Effect of photoperiod on population parameters of two color morphs of the pea aphid *Acyrtosiphon pisum*. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(14): - .

光周期对两种色型豌豆蚜种群参数的影响

马亚玲^{1,2}, 刘长仲^{1,2,*}

1 甘肃农业大学资源与环境学院, 兰州 730070

2 甘肃农业大学草业学院, 兰州 730070

摘要:为探讨光周期对红绿两种色型豌豆蚜种群增长的影响,于室内模拟光周期 22L:2D、16L:8D、10L:14D 和 4L:20D 四个水平,研究了红绿两种色型豌豆蚜的发育、繁殖和生命表。结果表明:相对于其它光周期,在光周期 22L:2D 时,红绿两种色型豌豆蚜若蚜存活率最高,繁殖力最强;其红色型豌豆蚜种群增长内禀增长率($r_m = 0.3263$)高于绿色型豌豆($r_m = 0.2863$)。光周期 16L:8D 时,红色型豌豆蚜的若蚜存活率(72.22%)高于绿色型豌豆蚜(69.45%),而成蚜寿命(6.58d)较短;但绿色型豌豆蚜内禀增长率($r_m = 0.2648$)高于红色型豌豆蚜($r_m = 0.2249$),其种群繁殖力强。光周期 10L:14D 时,红色型豌豆蚜与绿色型豌豆蚜相比,若蚜存活率(80.55%)高,内禀增长率($r_m = 0.2490$)高,种群增长力强,而绿色型豌豆蚜成蚜寿命(12.71d)较长。光周期 4L:20D 时,两种色型豌豆蚜若蚜存活率最低,繁殖力最弱,成蚜寿命显著延长;红色型豌豆蚜若蚜存活率(64.67%)高于绿色型(35.50%),成蚜没有产生后代;绿色型豌豆蚜内禀增长率($r_m = -0.0366$),其种群为负增长。综上,短光照条件(4L:20D)延长了两种色型豌豆蚜的若蚜发育历期及成蚜寿命,降低了若蚜存活率、繁殖力及生命表各项参数;长光照条件(22L:2D)缩短了两种色型豌豆蚜的若蚜发育历期及成蚜寿命,若蚜存活率高、繁殖力强;红色型豌豆蚜更适宜光周期 10L:14D,而绿色型豌豆蚜更适宜光周期 16L:8D。

关键词:光周期;豌豆蚜;色型;种群;繁殖;生命表

Effect of photoperiod on population parameters of two color morphs of the pea aphid *Acyrtosiphon pisum*

MA Yaling^{1,2}, LIU Changzhong^{1,2,*}

1 College of Resource and Environmental, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China

2 College of Grassland Sciences, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China

Abstract: To investigate the effects of photoperiod on population growth of the red and green color morphs of the pea aphid *Acyrtosiphon pisum* (Harris), the development, reproduction, and life table parameters were examined for various photoperiods (22 L:2 D, 16 L:8 D, 10 L:14 D, and 4 L:20 D), controlling for light intensity ($103 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). For the 22 L:2 D photoperiod, the red and green color morphs of the pea aphid had the highest nymphal survival rates (90.28% and 88.89% respectively), the shortest duration of development (5.63 d and 6.26 d), the highest net reproductive rates (49.3472 and 47.8103), the highest average fecundity (54.56 and 55.16), the highest maximum fecundity (121 and 112 offspring per female aphid), and the highest intrinsic rate of increase ($r_m = 0.3263$ and 0.2863, respectively). Population growth was higher for the red color morph than the green color morph for the 22 L:2 D photoperiod. For the 16 L:8 D photoperiod, the red color morph of the pea aphid had a higher nymphal survival rate (72.22%) and shorter adult longevity (6.58 d) than those of the green color morph (69.45% and 7.08 d, respectively). However, the green color morph had a

基金项目:高等学校博士学科点专项科研基金博导类资助课题(20136202110007);国家自然科学基金项目(31260433)

收稿日期:2014-12-09; **网络出版日期:**2015-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liuchzh@gsau.edu.cn

higher intrinsic rate of increase (0.2648 vs. 0.2249), indicating a higher population fecundity of the green color morph than the red color morph for the particular photoperiod. For the 10 L:14 D photoperiod, the red color morph had a higher nymphal survival rate (80.55%) and intrinsic rate of increase (0.2490) than those of the green color morph (79.17% and 0.2277, respectively). However, the green color morph had a longer duration of development (7.92 d) and adult longevity (12.71 d) than those of the red color morph (7.60 and 6.88 d, respectively). For the shortest photoperiod (4 L:20 D), the red and green color morphs of the pea aphid had the lowest nymphal survival rate (64.67% and 35.50%, respectively) and the longest duration of development (13.26 and 13.61 d). Moreover, the red color morph did not produce offspring and had a fecundity of zero. However, its intrinsic rate of increase, -0.0366 , indicated negative population growth of the green color morph. In conclusion, extremely short durations of light (4 L:20 D) can prolong development and adult longevity, but reduces nymphal survival rate and the intrinsic rate of increase of two pea aphid color morphs. However, extremely long durations of light (22 L:2 D photoperiod) resulted in shortened development and decreased adult longevity, but an increased nymphal survival rate and fecundity for the two pea aphid color morphs. Moreover, the 10 L:14 D photoperiod was a more suitable condition with respect to population growth for the red color morph, but for the green color morph a photoperiod of 16 L:8 D was better. Therefore, the results of this study may facilitate artificial breeding of pea aphids and the prevention and treatment of pea aphid attacks on field crops. Furthermore, the mechanism underlying the response to photoperiod differed between the red and green color morphs of pea aphids. Further studies are needed to examine these mechanisms.

Key Words: photoperiod; *Acyrtosiphon pisum* (Harris); color morph; population; fecundity; life table analysis

豌豆蚜 (*Acyrtosiphon pisum* Harris) 是一种重要的刺吸式昆虫, 属于半翅目蚜科, 具有复杂的生活周期^[1], 以孤雌生殖为主, 发育历期较短, 繁殖量大, 田间调查发现豌豆蚜具有红绿两种色型, 红色型豌豆蚜数量正在逐年上升, 但绿色型豌豆蚜种群仍处于优势地位。Valmalette 等人研究发现, 豌豆蚜可能具备吸收太阳光作为其代谢能量的特殊能力, 使其成为目前可知唯一一种具备光合作用能力的动物^[2-3]。豌豆蚜除直接危害豆科作物和牧草外, 其分泌的唾液还可传播病毒病, 对豆科作物和牧草生产及其品质造成严重影响。制定害虫防治措施的关键是要准确掌握种群的生物学特性, 目前有关蚜虫的研究主要集中于天敌作用^[4-6], 生物学特性^[7-8], 种群动态^[9-10]等方面。

光是生态系统中昆虫生长发育不可缺少的主要能量来源。蚜虫对光照比较敏感, 光照不仅影响蚜虫的时空分布、生长发育及取食行为, 而且对蚜虫的性别分化、翅型分化及体色分化等都能产生影响^[11-12]。Alkheldir^[13]等研究发现光照对麦长管蚜体色分化具有系统性的影响。Black man^[14]研究了世界不同区域的桃蚜体色变异指出温度和光周期是影响桃蚜体色分化的主要因素。Trionnaire^[15]等研究认为光周期的变化通过影响蚜虫头部的角质层结构和细胞与细胞之间的沟通, 造成蚜虫生殖模式的转换。赵吕权^[16]等研究发现丽斗蟋若虫发育明显受变化光周期的影响。张方平^[17]等研究表明温度和光周期对斑翅食蚜蚜小蜂对常光的刺激比较敏感, 随着光照时间的增长, 发育加快, 产卵量明显增加。蔡明飞^[18]等研究发现光周期变化对梨小食心虫的生长发育和生殖具有显著的影响。而在特定的光周期条件下, 有关豌豆蚜种群繁殖方面的研究尚鲜见报道。本文通过设置不同光周期梯度, 观测光周期对两种色型豌豆蚜的发育历期、若蚜存活率、成蚜寿命、繁殖力等方面的影响, 通过生命表种群参数, 内禀增长率、特定时间存活率和繁殖力来描述蚜虫种群动态, 为进一步探讨光周期对两种色型豌豆蚜种群增长的影响规律, 旨在改进豌豆蚜的人工饲养技术, 明确两种色型豌豆蚜种群生存的最适环境, 掌握其猖獗危害的光周期条件, 为该虫在人工饲养及综合治理方面提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

从甘肃农业大学试验基地(兰州)苜蓿田中采集红、绿色型豌豆蚜成蚜, 带回实验室饲养在盆栽蚕豆(临

蚕 9 号)上,在温度为 $20\pm 1^{\circ}\text{C}$,湿度为 $50\%\pm 10\%\text{RH}$ 的实验室条件下饲养 2—3 代后,取成蚜置于光周期 16L:8D,光照强度 $103\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$,温度 $20\pm 1^{\circ}\text{C}$,湿度 $50\%\pm 10\%\text{RH}$ 的光照培养箱中饲养,将 4h 以内的初产若蚜作为供试虫源。

1.2 试验方法

在直径为 9cm 的培养皿内放一块厚 1cm 的海绵,上铺一层滤纸,在其上放一片新鲜且完全展开的蚕豆叶片(叶片背面向上,每 3 天更换 1 次),另将叶片周围及叶柄用浸过水的脱脂棉包围,然后在培养皿内注入适量清水,从而确保叶片新鲜并防止蚜虫逃逸。每个饲养器皿中接 1 头初产若蚜,设定光照强度为 $103\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 时,四个光周期梯度分别为 22L:2D、16L:8D、10L:14D、4L:20D,每处理饲养红绿两种色型豌豆蚜各 72—80 头。饲养期间温度为 $(20\pm 1)^{\circ}\text{C}$,湿度 $50\%\pm 10\%\text{RH}$ 。每 12h 观察 1 次,记录红、绿两种色型豌豆蚜的若蚜存活情况,并记录其蜕皮时间和次数,成蚜期记录成蚜存活情况,产蚜数量并将所产若蚜移除,直到成蚜全部死亡为止。

1.3 数据处理

采用 SPSS 21.0 软件 One-way ANOVA 程序进行方差分析,对不同光周期下发育历期、成蚜寿命、繁殖力等的差异,利用 LSD 法进行多重比较,两种色型间参数采用 Independent sample Test 进行均值比较。其中平均繁殖力、最大繁殖力、内禀增长率(r_m)、净增殖率(R_0)、周限增长率(λ)、平均世代周期(T)和种群加倍时间(D_t)等种群生命表参数的计算,参考 Carey^[19]的方法。

2 结果与分析

2.1 光周期对两种色型豌豆蚜若蚜发育及存活率的影响

从表 1 可知,不同光周期对红色型豌豆蚜若蚜发育历期有极显著影响($F = 521.216$; $df = 3, 234$; $P < 0.001$);在两个极端光周期 22L:2D 和 4L:20D 时若蚜发育历期分别为:长光照 22L:2D 时最短 5.63d,短光照 4L:20D 时值最大 13.26d,光周期 4L:20D 比 10L:14D、16L:8D 和 22L:2D 时发育历期分别延长 5.66d、4.42d 和 7.63d。绿色豌豆蚜发育历期除在光周期 10L:14D 和 16L:8D 时差异不显著外,其它各光周期条件下均差异极显著($F = 195.905$; $df = 3, 225$; $P < 0.001$);短光照 4L:20D 时值最大 13.61d,长光照 22L:2D 时值最小 6.26d,光周期 4L:20D 比 10L:14D、16L:8D 和 22L:2D 时发育历期分别延长 5.69d、6.19d 和 7.35d。两种色型豌豆蚜发育历期在长光照 22L:2D 时最短,短光照 4L:20D 最长;光周期 10L:14D 和 4L:20D 时两种色型豌豆蚜发育历期均差异显著($F = 6.862$; $df = 107$; $P < 0.05$)和($F = 31.037$; $df = 133$; $P < 0.001$),绿色型豌豆蚜比

表 1 光周期对两种色型豌豆蚜发育、存活和繁殖的影响

Table 1 Effect of photoperiods on development, survival, longevity and fecundity of two color morphs of pea aphid (mean $\pm$ SD)

光照周期 Photoperiod	色型 Color morph	若蚜存活率 Nymphal survival rate/%	若蚜发育历期 Developmental duration /d	成蚜寿命 Adult longevity/d	平均繁殖力 Average fecundity	最高繁殖力 Maximum fecundity
22L:2D	RMP	90.28	5.63 $\pm$ 0.70d	7.70 $\pm$ 4.07b	54.56 $\pm$ 30.29a	121
	GMP	88.89	6.26 $\pm$ 0.69C	9.78 $\pm$ 4.81B	55.16 $\pm$ 26.26A	112
16L:8D	RMP	72.22	8.84 $\pm$ 1.11b	6.58 $\pm$ 2.42c *	29.42 $\pm$ 13.09b *	51
	GMP	69.45	7.42 $\pm$ 0.68B	7.08 $\pm$ 3.46C	38.25 $\pm$ 20.19B	71
10L:14D	RMP	80.55	7.60 $\pm$ 0.74c *	6.88 $\pm$ 2.87c *	31.48 $\pm$ 15.80b	60
	GMP	79.17	7.92 $\pm$ 0.99B	12.71 $\pm$ 4.62A	33.85 $\pm$ 18.47B	70
4L:20D	RMP	64.67	13.26 $\pm$ 1.68a *	12.38 $\pm$ 4.74a	—	—
	GMP	35.50	13.61 $\pm$ 3.25A	12.62 $\pm$ 3.99A	4.67 $\pm$ 2.38C	10

RMP:红色型豌豆蚜 red color morphs of pea aphid;GMP:绿色型豌豆蚜 green color morphs of pea aphid;同列不同小写和大写字母表示红绿两种色型豌豆蚜在不同光周期处理间差异显著($P < 0.05$);“—”表示红色型豌豆蚜没有产蚜;*表示红绿两种色型间在同一光周期下差异显著($P < 0.05$)

红色型发育历期分别延长 0.32d 和 0.45d。随着光周期有长到短的变化,两种色型豌豆蚜若蚜存活率也随之变化,光周期 22L:2D 时红绿两种色型豌豆蚜若蚜存活率为最大值分别是 90.28% 和 88.89%,光周期 4L:20D 时若蚜存活率为最小值分别是 64.69% 和 35.50%。

2.2 光周期对两种色型豌豆蚜成蚜寿命及繁殖力的影响

不同光周期对两种色型豌豆蚜成蚜寿命具有显著影响。红色型豌豆蚜在各光周期期间成蚜寿命的长短顺序为 4L:20D>22L:2D>10L:14D>16L:8D;光周期 4L:20D 比 22L:2D、16L:8D 和 10L:14D 成蚜寿命分别延长 4.68d、5.80d 和 5.50d;光周期 22L:2D、16L:8D 和 10L:14D 之间差异不显著($P>0.05$),光周期 4L:20D 与其它光周期期间均差异极显著($F=32.892$; $df=3,231$; $P<0.001$)。绿色型豌豆蚜在各光周期期间成蚜寿命长短顺序为 10L:14D>4L:20D>22L:2D>16L:8D;光周期 10L:14D 比 22L:2D、16L:8D 和 4L:20D 成蚜寿命分别延长 2.93d、5.63d 和 0.09d;光周期 10L:14D 和 4L:20D 之间成蚜寿命差异不显著($P>0.05$),其它光周期期间差异极显著($F=18.604$; $df=3,202$; $P<0.001$)。两种色型豌豆蚜在光周期 16L:8D 和 10L:14D 时,绿色型豌豆蚜比红色型豌豆蚜成蚜寿命延长 0.50d 和 5.83d,均差异显著($F=14.437$; $df=94$; $P=0.001$)和($F=9.160$; $df=107$; $P<0.05$)(表 1)。

不同光周期条件下两种色型豌豆蚜成蚜日龄表现均不相同(图 1)。其中,光周期 22L:2D 时,红色型豌豆蚜成蚜日龄最长约 22d,光周期 16L:8D、10L:14D 和 4L:20D 时成蚜日龄分别约 12d、15d 和 16d;绿色型豌豆蚜成蚜日龄约 23d,光周期 16L:8D、10L:14D 和 4L:20D 时成蚜日龄分别约 13d、19d 和 15d;即而表明光周期对两种色型豌豆蚜成蚜的死亡时间均有显著影响。产蚜高峰期随光照时间的延长而提前(图 1),光周期对两种色型豌豆蚜平均繁殖力均有显著影响,红色型豌豆蚜在光周期 22L:2D 时平均繁殖力值最高 54.56 头,其次是 10L:14D 为 31.48 头,4L:20D 时没有产蚜量;光周期 16L:8D 和 10L:14D 之间平均繁殖力差异不显著($P>0.05$),其它光周期期间差异极显著($F=23.633$; $df=2,163$; $P<0.001$);绿色型豌豆蚜在光周期 22L:2D 时平均繁殖力最高 55.16 头,其次是 16L:8D 时 38.25 头,随着光照时间的缩短,平均繁殖力逐渐下降,4L:20D 时为最低值 4.67 头,各个光周期期间差异极显著($F=29.000$; $df=3,177$; $P<0.001$);两种色型豌豆蚜在光周期 16L:8D 时平均繁殖力差异极显著($F=22.101$; $df=94$; $P<0.001$)(表 1)。红色型豌豆蚜单头最高繁殖力在光周期 22L:2D 时值最高为 121 头,16L:8D 时 51 头,10L:14D 时 60 头,在 4L:20D 时一生没有生育;绿色型豌豆蚜单头最高繁殖力随光照时间的变化与平均繁殖力相同;光周期在 22L:2D 时最高值为 112 头,16L:8D 时 71 头,10L:14D 时 70 头,4L:20D 时为最低值 10 头(表 1)。

2.3 光周期对两种色型豌豆蚜种群生命表参数的影响

根据所得实验数据,求出不同光周期对两种色型豌豆蚜的生命表参数(表 2)。从反应种群动态较为敏感的参数内禀增长率(r_m)值来看,光周期在 22L:2D、10L:14 和 4L:20D 时红色型豌豆蚜内禀增长率均高于绿色型;光周期 16L:8D 时绿色型豌豆蚜内禀增长率高于红色型,上述结果表明不同光周期对两种色型豌豆蚜种群生殖力有明显的影 响,光周期对两种色型豌豆蚜种群增长速率产生明显抑制作用。

红色型豌豆蚜在光周期 4L:20D 时没有产生后代,故没有生命表参数;红色型豌豆蚜内禀增长率(r_m)和净增殖率(R_0)在不同光周期影响下变化顺序均为 22L:2D>10L:14D>16L:8D;光周期在 22L:2D 时值最大($r_m=0.3263$)和($R_0=49.3472$);绿色型豌豆蚜内禀增长率(r_m)和净增殖率(R_0)随着光照时间的加长而逐渐上升,光周期 4L:20D 时值为($r_m=-0.0366$)和($R_0=0.5270$),10L:14D 时值为($r_m=0.2277$)和($R_0=23.0139$),16L:8D 时值为($r_m=0.2648$)和($R_0=23.5278$),22L:2D 时达到最大值($r_m=0.2863$)和($R_0=47.8103$);两种色型豌豆蚜在光周期 22L:2D 时内禀增长率(r_m)和净增殖率(R_0)为最大值,长光照提高了种群的繁殖力,有利于种群增长,相反,光周期 4L:20D 时值最小,即短光照降低种群繁殖力,抑制了种群增长的速率。不同光周期对红色型豌豆蚜周限增长率(λ)的影响顺序为 22L:2D>10L:14D>16L:8D;绿色型豌豆蚜周限增长率(λ)表现为光照时间越长,周限增长率(λ)值越大。不同光周期对红色型豌豆蚜平均世代周期(T)和种群加倍时间(D_t)的影响顺序为 10L:14D>16L:8D>22L:2D;不同光周期对绿色型豌豆蚜平均世代周期

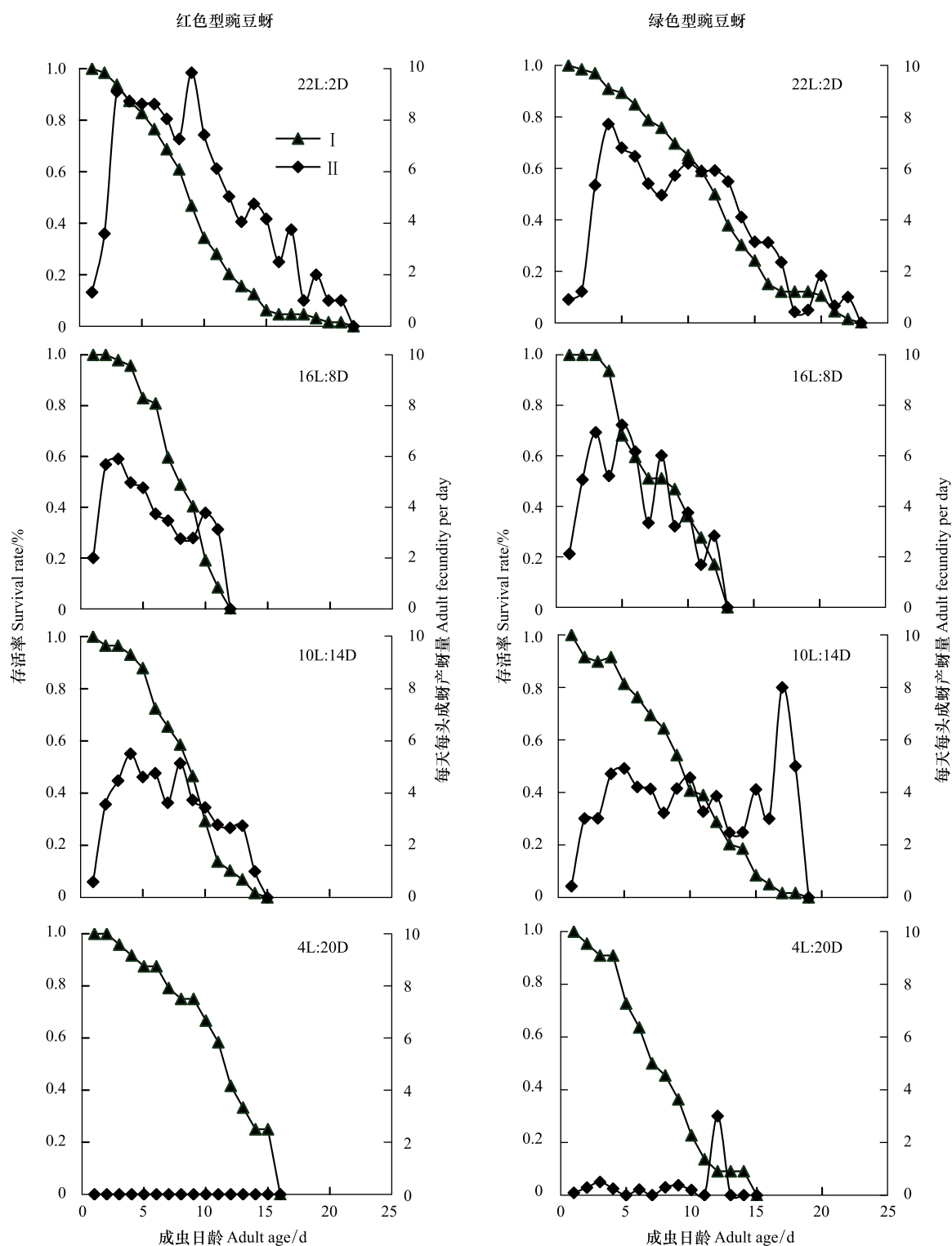


图1 不同光周期下两种色型豌豆蚜成蚜的特定年龄存活率 (I) 和特定年龄繁殖力 (II)

Fig.1 Age specific survivorship (I) and age specific daily fecundity (II) of two color morphs of pea aphid at different photoperiods (mean $\pm$ SD)

(T, d) 的影响顺序为 $10L:14D > 22L:2D > 16L:8D > 4L:20D$, 其中光周期 $4L:20D$ 时值最大 ($T = 17.5128d$); 种群加倍时间 (D_t) 的影响顺序为 $10L:14D > 16L:8D > 22L:2D > 4L:20D$, 其中光周期 $4L:20D$ 时为最小值 ($D_t = -18.9522d$)。

表 2 不同光周期对两种色型豌豆蚜种群的生命表参数

Table 2 Population life table parameters of two color morphs of pea aphid exposed to different photoperiods						
光照周期 Photoperiod	色型 Color morph	内禀增长率 Intrinsic rate of increase (r_m)	净增殖率 Net reproduction rate (R_0)	周限增长率 Finite rate of increase (λ)	平均世代周期 Mean generation time (T, d)	种群加倍时间 Doubling time (D_t, d)
22L:2D	RMP	0.3263	49.3472	1.3862	11.8904	2.1350
	GMP	0.2863	47.8103	1.3318	13.3465	2.4357
16L:8D	RMP	0.2249	20.2778	1.2523	13.3339	3.0914
	GMP	0.2648	23.5278	1.3035	11.7376	2.6424
10L:14D	RMP	0.2490	24.4583	1.2843	12.1822	2.9974
	GMP	0.2277	23.0139	1.2563	13.5958	3.0985
4L:20D	RMP	—	—	—	—	—
	GMP	-0.0366	0.5270	0.9641	17.5128	-18.9522

3 讨论

白天与黑夜的交替和四季变化是温带地区大多数生物检测时常用的预测环境变化的一个可靠信号。植物和动物,通过自身生长发育的变化来响应这些光周期的变化^[20-21]。光周期随着季节的变化而变化,春季至夏季光周期逐渐递增,相反,夏季至秋季则逐渐递减。许多昆虫物种种群,特别是生活周期长的昆虫种类,往往以光周期的变化作为其参照季节的变化信号^[22-23]。陈夜江^[24]等研究发现光照时间越长,越有利于烟粉虱的发育,且发育速率、存活率、成虫寿命及产卵量、种群增长指数都随之增大。陈广平^[25]等研究表明不同光周期对毛足棒角蝗和亚洲小车蝗高龄若虫的发育、羽化、产卵影响不大,但是对其存活率有极显著的影响。王超^[26]等研究结果表明,在不同光周期条件下较短光照处理棉花粉蚜若虫发育历期最长,发育速率最慢,且雌成虫产仔前期较长,产仔量最小;较长光照处理若虫发育历期最短,发育速率最快,且雌成虫产仔前期较短产仔量最大。研究光周期梯度对两种色型豌豆蚜种群参数的影响,目前国内外尚少见其他报道。本研究结果表明,不同光周期对两种色型豌豆蚜若蚜发育历期、存活率、成蚜日龄、寿命、繁殖力等均有显著影响。

光周期 22L:2D 与其他光周期相比,两种色型豌豆蚜若蚜存活率、平均繁殖力、最高繁殖力、内禀增长率、净增殖率和周限增长率均为最大值;若蚜发育历期最短,成蚜日龄最长;平均世代周期则与光周期 10L:14D 时基本相似;种群加倍时间与其它各周期间(D_t, d)相比均为值最小;这与陈夜江和王超等研究结果基本相似,表明两种色型豌豆蚜适宜在此环境条件下生长繁殖,且种群增长速度快。红色型与绿色型豌豆蚜相比若蚜存活率高,发育历期和成蚜寿命短,平均繁殖力、平均世代周期和种群加倍时间均低,最高繁殖力、内禀增长率、净增殖率和周限增长率均高,故红色型豌豆蚜相对更适合此环境。

光周期 16L:8D 和 10L:14D 时两种色型豌豆蚜各项指标均差异不显著;两周期均比光周期 22L:2D 时若蚜存活率、成蚜寿命、成蚜日龄、平均繁殖力、最高繁殖力、内禀增长率、净增殖率和周限增长率低,但比光周期 4L:20D 时高;若蚜发育历期长于光周期 22L:2D,但比光周期 4L:20D 时短;光周期 16L:8D 时绿色型豌豆蚜平均世代周期为最小值($T = 11.7376$),即有利于其种群繁殖;光周期 10L:14D 时红色型豌豆蚜,平均世代周期值最小($T = 12.1822$),即此环境更有利于红色型豌豆蚜世代繁殖。

许永玉^[27]等研究发现中华通草蛉在短光照处理后,产卵期延长,产卵量增大。Dolezal^[28]等研究报道在短光照处理下,马铃薯甲虫幼虫发育速率加快,食物消耗减少,但成虫不产卵。张伟^[29]研究表明在短光周期下异色瓢虫成虫绝大多数不产卵,长光周期下均产卵。本研究发现两种色型豌豆蚜若蚜在光周期 4L:20D 时,若蚜存活率最低,随着光照时间的缩短,若蚜发育历期、成蚜寿命逐渐延长,且值最大,与其它光周期相比均差异显著;红色型豌豆蚜在光周期 4L:20D 时,没有产生后代,表明在此环境下红色型豌豆蚜种群将灭亡;绿色型豌豆蚜内禀增长率为负值($r_m = -0.0366$),表明绿色型豌豆蚜在该环境中不利于其种群增长与繁殖,种群为负增长。

生命表是研究昆虫种群数量变动机制的重要方法^[21],内禀增长率(r_m)和净增值率(R_0)是表征昆虫种群动态的重要参数,其中内禀增长率是统计种群生物学特性的综合计量,它随着种群的发育历期、存活率、成虫寿命以及繁殖力等参数的变化而不断变化,也反映物种种群增长的能力,同时也是对不同物种间以及不同种群间进行比较的最理想参数。在本研究中,不同光周期对两种色型豌豆蚜种群内禀增长率和净增值率具有显著影响。虽然光周期 4L:20D 时红色型豌豆蚜没有产生后代,各个生命表参数为 0,但由于光周期 22L:2D 时红色型豌豆蚜的平均世代周期短($T=11.8904$),净增值率($R_0=49.3472$)是光周期 16L:8D 时($R_0=20.2778$)和 10L:14D 时($R_0=24.4583$)的 2.43 倍和 2.02 倍,其中,光周期 16L:8D 时内禀增长率($r_m=0.2249$)和 10L:14D 时内禀增长率($r_m=0.2490$)是光周期 22L:2D 时($r_m=0.3263$)的 68.92%和 76.31%;绿色型豌豆蚜光周期 4L:20D 时的平均世代周期显著延长($T=17.5128$),光周期 22L:2D 时的净增值率($R_0=47.8103$)是 4L:20D 时($R_0=0.5270$)的 90.72 倍,是光周期 16L:8D 时($R_0=23.5278$)和 10L:14D 时($R_0=23.0139$)的 2.03 倍和 2.08 倍,其中光周期 16L:8D 和 10L:14D 时内禀增长率($r_m=0.2648$)和($r_m=0.2277$)是 22L:2D 时内禀增长率($r_m=0.2863$)的 92.49%和 79.53%,光周期 4L:20D 时的内禀增长率($r_m=-0.0366$)为负值,其内禀增长率($r_m=-0.0366$)是 22L:2D 时($r_m=0.2863$)的-12.78%;两种色型豌豆蚜在长光照 22L:2D 时内禀增长率(r_m)和净增值率(R_0)值最大,说明长光照有利于两种色型豌豆蚜种群增长,且繁殖力强;相反,短光照 4L:20D 时,红色型豌豆蚜没有产蚜,种群将灭亡,绿色型豌豆蚜内禀增长率(r_m)为负值,种群为负增长,故两种色型豌豆蚜适生区域的光周期变化范围约为 4L:20D—22L:2D。因此,在研究两种色型豌豆蚜种群爆发规律时除了温度、湿度、降水、寄主、天敌等因素外,还需考虑光照时间,这样会更全面准确。

4 结论

光周期在 22L:2D 时,光照时间长,两种色型豌豆蚜若蚜存活率高,死亡率低,且其繁殖力强,红色型豌豆蚜相对更适应此环境。

光周期在 16L:8D 和 10L:14D 时均适合两种色型豌豆蚜生长与繁殖,且红色型豌豆蚜相对更适合在光周期 10L:14D 时繁殖种群,绿色型豌豆蚜相比更适合光周期 16L:8D 时种群增长,这可为人工饲养设定光周期提供参考。

光周期 4L:20D 时,光照时间短,两种色型豌豆蚜若蚜存活率低,成蚜寿命长,繁殖力弱。红色型豌豆蚜与绿色型豌豆蚜相比若蚜存活率高,成蚜寿命长,但没有产生后代,种群将灭亡;绿色型豌豆蚜种群为负增长,此环境不适合两种色型豌豆蚜种群繁殖。

参考文献 (References):

- [1] Braendle C, Davis G K, Brisson J A, Stern D L. Wing dimorphism in aphids. *Heredity*, 2006, 97: 192-199.
- [2] Valmalette J C, Dombrovsky A, Brat P, Mertz C, Capovilla M, Robichon A. Light-induced electron transfer and ATP synthesis in a carotene synthesizing insect. *Scientific Reports*, 2012, 2: 579-586.
- [3] 马亚玲, 刘长仲. 蚜虫的生态学特性及其防治. *草业科学*, 2014, 31(3): 519-525.
- [4] Libbrecht R, Gwynn D M, Fellowes M D E. *Aphidius ervi* preferentially attacks the green morph of the pea aphid, *Acyrtosiphon pisum*. *Journal of Insect Behavior*, 2007, 20(1): 25-32.
- [5] Langley S A, Tilmon K J, Cardinale B J, Lves A R. Learning by the parasitoid wasp, *Aphidius ervi* (Hymenoptera: Braconidae), alters individual fixed preferences for pea aphid color morphs. *Oecologia*, 2006, 150(1): 172-179.
- [6] 刘爱萍, 黄海广, 徐林波, 高书晶, 张玉慧, 康爱国. 茶足柄瘤蚜茧蜂对苜蓿蚜的寄生功能反应. *环境昆虫学报*, 2012, 34(1): 69-74.
- [7] 马亚玲, 刘长仲. 光周期对两种色型豌豆蚜生长发育的影响. *中国生态农业学报*, 2014, (12): 1476-1483.
- [8] 胡祖庆, 亢菊侠, 赵惠燕, 汤兴春, 胡想顺. 不同紫外 (UV-B) 辐射时间对两种体色型麦长管蚜后代生物学特征的影响. *生态学报*, 2010, 30(7): 1812-1816.
- [9] 王小强, 韩秀楠, 曹馨月, 张廷伟, 刘长仲. 豌豆品种对绿色型豌豆蚜种群参数的影响. *中国生态农业学报*, 2013, 21(8): 1004-1008.
- [10] 刘长仲, 杜军利, 张廷伟, 钱秀娟, 陈应武. 温度对三叶草彩斑蚜种群参数的影响. *应用生态学报*, 2012, 23(7): 1927-1932.

- [11] Dixon A F G. Aphid Ecology. London United Kingdom: Chapman and Hall, 1998.
- [12] Markkula M, Rautapää J. The effect of light and temperature on the colour of the English grain aphid, *Macrosiphum avenae* (F.) (Hom., Aphididae). *Annales Entomologicae Fennici*, 1967, 33: 1-13.
- [13] Alkheldir H, Karlovsky P, Vidal S. Effect of light intensity on colour morph formation and performance of the grain aphid *Sitobion avenae* F. (Homoptera: Aphididae). *Journal of Insect Physiology*, 2010, 56(12): 1999-2005.
- [14] Blackman R L. Life-cycle variation of *Myzus persicae* (Sulz.) (Hom., Aphididae) in different parts of the world, in relation to genotype and environment. *Bulletin of Entomological Research*, 1974, 63(4): 595-607.
- [15] Trionnaire G L, Jaubert S, Sabater-Muñoz B, Benedetto A, Bonhomme J, Prunier-Leterme N, Martinez-Torres D, Simon J C, Tagu D. Seasonal photoperiodism regulates the expression of cuticular and signalling protein genes in the pea aphid. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 2007, 37(10): 1094-1102.
- [16] 赵吕权, 朱道弘, 贺一原, 阳艳萍. 变化光周期对丽斗蟋(*Velarifictonus ornatus*)若虫发育的影响. *生态学报*, 2008, 28(1): 253-259.
- [17] 张方平, 符悦冠, 彭正强, 王帮, 张敬宝, 金启安. 温度和光周期对斑翅食蚜蚜小蜂发育与繁殖的影响. *生态学报*, 2010, 30(5): 1280-1286.
- [18] 蔡明飞, 刘彦飞, 王艳蓉, 仵均祥. 光周期变化对梨小食心虫的生长发育和生殖具有显著的影响. *西北农业学报*, 2010, 19(11): 169-172.
- [19] Carey J R. *Applied Demography for Biologists: with Special Emphasis on Insects*. Oxford: Oxford University Press, 1993.
- [20] Gwinner E. Circannual rhythms in birds. *Current Opinion in Neurobiology*, 2003, 13(6): 770-778.
- [21] Searle I, Coupland G. Induction of flowering by seasonal changes in photoperiod. *The EMBO Journal*, 2004, 23(6): 1217-1222.
- [22] Tauber M J, Tauber C A. Photoperiodic induction and termination of diapause in an insect: response to changing day lengths. *Science*, 1970, 167(3915): 170-170.
- [23] Tanaka S. Seasonal control of nymphal diapause in the spring ground cricket, *Pteronemobius nitidus* (Orthoptera: Gryllidae) // Borwn V K, Borwn V K. *Diapause and Life Cycle Strategies in Insects*. Hague: The Junk, 1983: 35-53.
- [24] 陈夜江, 罗宏伟, 黄建, 洪清竹, 谢依弟. 光周期对烟粉虱实验种群的影响. *华东昆虫学报*, 2003, 12(1): 38-41.
- [25] 陈广平, 郝树广, 庞保平, 康乐. 光周期对内蒙古三种草原蝗虫高龄若虫发育、存活、羽化、生殖的影响. *昆虫知识*, 2009, 46(1): 51-56.
- [26] 王超, 陈芳, 陆永跃. 不同光周期条件下棉花粉蚜的生长发育和种群增长能力. *昆虫学报*, 2014, 57(4): 428-434.
- [27] 许永玉, 牟吉元, 胡萃, 席敦芹. 光周期和温度对中华通草蛉成虫生殖的影响. *华东昆虫学报*, 2002, 11(1): 39-43.
- [28] Doležal P, Habuštová O, Sehnal F. Effects of photoperiod and temperature on the rate of larval development, food conversion efficiency, and imaginal diapause in *Leptinotarsa decemlineata*. *Journal of Insect Physiology*, 2007, 53(8): 849-857.
- [29] 张伟. 光周期和食物对异色瓢虫生长发育和生殖滞育的影响[D]. 保定: 河北农业大学, 2012.