

网络出版时间:2018-12-04 10:11

DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2019.06.007

网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20181204.1010.014.html

球囊线蚓对西洋参根的取食量及其世代繁殖力

赵利敏,马桂兰,郭素芬

(陕西理工大学 生物科学与工程学院/陕西省资源生物重点实验室,陕西 汉中 723001)

[摘要] 【目的】扩充球囊线蚓(*Enchytraeus bulbosus* Nielsen & Christensen)的生物学理论,并估算这种新害虫对西洋参的危害及损失程度。【方法】设计 9 阶培养温度与 3 级亲代新成蚓初始密度互作的二因素试验,对球囊线蚓实验种群培养、观测 1 代,提取 6 个属性或数组变量,经方差分析确定多项处理效应,研究培养温度和初始密度对其亲代成蚓存活率、繁殖力和子代取食量的影响。【结果】培养温度(T)对亲代成蚓存活率(SR)、培养期(RP)、 F_1 代成虫当量(AE)、亲代均殖数(PCR)和亲代日均殖数(DMR)造成显著或极显著影响。 SR 值在 12.0~30.1 °C 达 87.1%,但在 9.9 和 33.0 °C 显著下降。 RP 值在 9.9~30.1 °C 随 T 升高而迅速缩短。在 9.9~27.1 °C, AE 均值为 64.3, PCR 均值为 35.9,二者都在 30.1 °C 显著下降。 DMR 值随 T 升高而显著上升,在 27.1 °C 达到最高,然后骤降。 T 对 F_1 代新成蚓的取食量(FA)无显著影响, FA 均值为鲜参根粉 1.19 mg/AE。初始密度(N_0)对 RP 、 AE 、 PCR 、 DMR 和 FA 作用显著,但对 SR 不显著。 AE 随 N_0 升高而显著上升, PCR 或 DMR 都随 AE 升高而显著下降,此趋势揭示 F_1 代个体间存在拥挤效应。 FA 亦随 AE 升高而显著下降,说明 F_1 代混合群对食物强烈竞争,并构成球囊线蚓取食西洋参宿根的损失系数。【结论】 SR 、 AE 、 PCR 和 DMR 共同反映球囊线蚓亲代成蚓存活与繁殖特性,而 FA 则揭示子代新成蚓对西洋参宿根的取食量,这些属性都可用于估算球囊线蚓田间种群及其对西洋参的损害程度,以便测报并有效防治。

[关键词] 球囊线蚓;西洋参;繁殖力;存活率;取食量

[中图分类号] Q958.1

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2019)06-0047-07

Feeding amount of pot-worm (*Enchytraeus bulbosus*) on American ginseng root and its generational fertility

ZHAO Limin, MA Guilan, GUO Sufen

(College of Bioscience and Engineering/Shaanxi Key-Laboratory of Bioresources, Shaanxi University of Technology, Hanzhong, Shaanxi 723001, China)

Abstract: 【Objective】Impacts of both rearing temperature and initial density on survival rate and fecundity of parental adults and feeding amount of filial new-adults of the pot-worm, *Enchytraeus bulbosus* Nielsen & Christensen (Clitellata: Enchytraeida: Enchytraeidae) were studied to extend its biological theories and estimate the level of damages and losses of American ginseng, *Panax quinquefolium* L., caused by the new pest. 【Method】A two-factor experiment was designed in that nine gradients of constant temperature interacted with three levels of initial density of parental new-adult inoculations, and a full generation of the pot-worm was reared and observed. A total of six indexes were extracted, and an ANOVA was performed to determine effects of multiple treatments. 【Result】Rearing temperature (T) exerted significant impact on survival rate (SR) of parental adults, rearing period (RP), adult equivalent (AE) of the first filial offspring, per capita reproduction (PCR) by parental adults, and daily mean reproduction (DMR) by

[收稿日期] 2018-04-06

[基金项目] 陕西省自然科学基金重点项目(2009JZ006)

[作者简介] 赵利敏(1954—),男,陕西汉中人,教授,博士,主要从事昆虫学、植物保护学及有害生物综合治理(IPM)研究。
E-mail: zhaolm168@aliyun.com

parental adults. *SR* averaged at 87.1% in the range of 12.0–30.1 °C, but reduced significantly at 9.9 and 33.0 °C. *RP* shortened rapidly with *T* of 9.9–30.1 °C. The mean *AE* was 64.3, and mean *PCR* was 35.9 in 9.9–27.1 °C, and both lowered significantly at 30.1 °C. *DMR* increased with *T* significantly, reached the peak at 27.1 °C, and then declined sharply. *T* had little influence on feeding amount (*FA*) of the first filial new-adults on fresh ginseng tissues, and mean *FA* was fresh mass 1.19 mg ginseng root powders per *AE*. Initial density (N_0) exerted significant impact on *RP*, *AE*, *PCR*, *DMR* and *FA*, but showed little influence on *SR*. *AE* increased significantly with N_0 . As decreased with *AE* significantly, the trend of *PCR* or *DMR* revealed crowding effect among the first filial individuals. As declined with *AE* significantly, the trend of *FA* meant strong competition of food in the first filial progenies, and contributed to loss coefficients of American ginseng root. 【Conclusion】 *SR*, *AE*, *PCR* and *DMR* reflected the characteristics of pot-worm parental adults to survive and reproduce, whereas *FA* revealed feeding amount by filial new-adults on American ginseng root. These indexes can be used to estimate the pot-worm's populations and the damages to ginseng in the field so as to forecast and control the pest efficiently.

Key words: *Enchytraeus bulbosus*; American ginseng; fertility; survival rate; feeding amount

作为中国新记录种,球囊线蚓(*Enchytraeus bulbosus* Nielsen & Christensen)^[1-2]近年来在陕西省留坝县西洋参(*Panax quinquefolium* L.)种植区内频繁发生。利用 Koch 规则^[3]进行检验,证实球囊线蚓兼营寄生与腐生生活^[4];它蛀食西洋参催芽籽和幼苗根部^[4-5],利用消化酶分解宿根组织、吸收养分,1~3 条成蚓即可取食、害死 1 株幼苗,已成为一种新害虫^[2,4-5]。同时发生于西洋参田间的新害虫还有似土维螨(*Schwiebea similis* Manson)^[6-12]、罗宾根螨(*Rhizoglyphus robini* Claparède)^[13]、刺足根螨(*R. echinopus* (Fumouze & Robin))^[13]、迟眼蕈蚊(*Bradysia* sp.)等。这些新害虫与留坝县早年记载的地下害虫(蛴螬、蛴螬、金针虫、地老虎等)^[14]混合危害,已对当地西洋参种植业造成严重威胁。相对而言,球囊线蚓以其数量多、分布广、蛀食参根、酶解寄生等原因而上升为主要害虫。

球囊线蚓隶属环带纲 Clitellata、线蚓目 Enchytraeida、线蚓科 Enchytraeidae^[1,15],种群分布于欧洲、亚洲近东地区和非洲北部^[1,16-18]。国内外关于线蚓类的研究报道,目前主要集中于形态分类学、地理分布、土壤动物群落组成等方面^[19]。结合西洋参病虫害综合治理研究实际,笔者深入田间调查,在当地发现了球囊线蚓,随后筛选了对此虫毒力较强的农药吡虫啉^[2],提出了针对苗期病虫害的播前化防技术^[4],揭示了此虫对西洋参的危害状^[5],测定了它的发育起点温度和有效积温^[20],并且根据留坝县参棚内土温模型和有效积温法测算这种新害虫在当地每年发生 7 代以上^[21]。但有关球囊线蚓繁殖潜势、种群增长趋势、个体食量等方面的研究尚未见报

道。

前期预试验结果显示,在室内温箱培养条件下,球囊线蚓会因箱温迅速降低而大量死亡,且温差越大死亡率越高。为使球囊线蚓克服这种速冷气候不适症,参考 Sánchez-Ramos 等^[22]提出的养虫法,以 21 °C 常规培养原种群为基础,另在 12 °C 增加培养原种群,使之提前适应低温条件,提高了供试新成蚓在相对低温区的存活率。本研究设计 9 阶培养温度与 3 级亲代新成蚓初始密度互作的二因素试验,旨在确定培养温度和初始密度对球囊线蚓世代的存活率、繁殖力和取食量的影响,进而为扩充其生物学研究理论、测报田间种群动态及其危害程度、遏制西洋参病虫害并挽回高额经济损失提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试球囊线蚓

从陕西省留坝县西洋参种植区采集遭受病虫害的西洋参残根,挑取球囊线蚓活体,置于含有湿润细沙土和西洋参根粉的培养皿中,分别在 21 °C 和 12 °C 分离、培养,建立室内球囊线蚓原种群。

1.2 试验设计与处理

参考预试结果,采纳二因素混合水平试验设计法^[23-24]。因素 A 为培养温度(rearing temperature, *T*),设 9 个水平(处理): 9.9, 12.0, 14.5, 18.0, 21.0, 24.2, 27.1, 30.1 和 33.0 °C,都为实测恒温均值。因素 B 为亲代球囊线蚓的初始密度(initial density, N_0),设 3 个水平(处理),即向每套养虫容器内接种 1, 2 或 3 条新成蚓(体内卵囊隐约可见,含 1~2 粒浅灰色卵,处于产卵前期的孕卵个体)。本

试验共设 27 个组合,每个组合至少重复 14 次。

1.3 试验的实施

取 54 套玻璃培养皿(外径 95 mm×高 16 mm),向每个玻皿底部放入 7 个聚乙烯塑料小杯(内径 15 mm×高 8 mm,底座外径 29 mm);向每个小杯内加入 0.6 g 经干热灭菌的细沙土(过孔径 0.20 mm 筛),匀平;用微量移液器加入 0.25 mL 灭菌水湿化;再以精密电子天平(AL204 型,梅特勒-托利多仪器上海有限公司)分别称取并加入 10 mg 经干热灭菌的西洋参根粉(过孔径 0.36 mm 筛)。借助连续变倍体视显微镜和移虫针,从预先分置于 2 阶不同温度培养的原种群内挑取、接种新成蚓。拟置于 9.9,12.0,14.5 和 18.0 °C 培养者,从源自 12 °C 培养的原种群向养虫小杯接种,共接入 24 皿 168 小杯 336 条;拟置于 21.0,24.2,27.1,30.1 和 33.0 °C 培养者,从源自 21 °C 培养的原种群接种,共接入 30 皿 210 小杯 420 条。接种后立即向每个养虫小杯覆盖 1 枚透气的陶瓷片(外径 24 mm×厚 4 mm),向每个玻皿底部(小杯之外)加水 4 mL 保湿,覆皿盖,再将这些载虫玻皿分别置于不同的恒温箱内培养。另外,同法制作内含湿润细沙土和参根粉的小杯 28 个,向每小杯内接种新成蚓 1 条,等分为 2 组并分别置于 18 和 21 °C 箱内培养,用作“检测卵茧含卵数的平行试验”。

所用 9 台恒温箱都置于陕西理工大学南校区 #1 实验楼北侧室内,事先开启并预设箱温。载虫玻皿内的实际温湿度,以内含湿滤纸的三角瓶配合电子温湿度计(TES-1361C 型,中国台湾泰仕电子工业股份有限公司;已用国家二等标准水银温度表校验)模拟测量。箱内光照由室内漫反射的日光透过箱前玻璃窗供给,很弱且随昼夜自然变化。试验和培养期内,承载养虫小杯之玻皿内的温度标准差为 0.1~0.2 °C,说明培养温度相对稳定; $RH \approx 100\%$,说明供试线蚓处于高湿环境,与其自然生境中的相对湿度相仿。

在培养和试验期内,每 2 d 逐箱、逐皿、逐小杯观察 1 次虫情,记录亲代新成蚓或产卵成蚓(体内卵囊发达,含乳白色卵 4 粒以上,身体较长且粗壮)的存活状态、子 1 代(F_1 代)卵茧和幼蚓及其发育进度。待养虫小杯内食物耗去约 3/4 时添加灭菌参根粉,每次每小杯 5 mg;同时酌量加水,维持各小杯内细沙土湿润且适宜亲代成蚓和 F_1 代混合群滋生。在各小杯内首批 F_1 代新成蚓(体内卵囊发达,首批 2 粒卵呈乳白色、成熟待产或刚产出)出现日,分别

彻查相应小杯内所有个体虫态及其数目,即用约 3 mL 水反复涮洗小杯内含物 3 次,以表面皿收集涮洗液并立即置于体视显微镜下镜检,记载彻查日期、亲代成蚓数、 F_1 代新成蚓数、幼蚓数和实心卵茧数。同时,每 2 d 从上述平行试验中挑取 1 次卵茧,立即置于体视显微镜下逐一剖查,记载卵茧含卵数并计算均值。至 F_1 代期结束时共采集、镜检实心卵茧 375 枚。试验于 2015 年 12 月在陕西理工大学内完成。

1.4 数据统计分析

1.4.1 数组变量 以每个育活球囊线蚓 F_1 代混合群的小杯为基础,统计实验种群的数组变量。

1)培养期 RP (rearing period)= 首批 F_1 代新成蚓出现日—亲代新成蚓接种日。

2)成虫当量 AE (adult equivalent)= F_1 代新成蚓数+幼蚓数 $\times 3/4$ +实心卵茧数 $\times 8/4$ 。式中,3/4 和 1/4 分别为幼蚓和卵茧在 F_1 代混合群中的平均发育进度^[20],8 为 F_1 代中后期内卵茧含卵数均值,来自平行试验。

3)亲代成蚓均殖数 PCR (per capita reproduction)= $AE \div N_0$ 。式中 N_0 为亲代成蚓初始密度。

4) F_1 代新成蚓取食量 FA (feeding amount)= 投放参根粉总量 $\times 3.5 \div AE$ 。式中,3.5 是将“干粉”转为“鲜料”的系数^[25],取食量以计量单位 mg/AE 表示。

5)亲代成蚓存活率 SR (survival rate)= 各试验组合内存活至彻查日的亲代成蚓数 $\div$ 被接入其中的亲代成蚓数 $\times 100\%$ 。

6)日均殖数 DMR (daily mean reproduction)= $PCR \times SR \div FGT$ 。式中, FGT (full generation time)为全世代期,依据球囊线蚓的全世代期倒数模型 $N=238.4/(T-5.4)$ ^[20] 估算。

1.4.2 数组的方差分析 首先,检测培养温度(因素 A) $\times$ 初始密度(因素 B)间的交互作用:分别将 RP 、 AE 、 PCR 和 FA 在每个组合内的所有随机变量都纳入 F 检验^[23-24],结果表明,交互项的 F 检验值都很小且不显著($F=0.005 \sim 0.165$, $P>0.99$),所以忽略交互作用。然后,直接以这些数组在每个组合内的均值代替随机变量入算,通过降维分析法省略交互作用计算环节,简化分析步骤。

按步骤对这 6 个二维均值数组分别实施 Bartlett 方差齐性检验和 Tukey 可加性检验。其中,数组 SR 的组合均值经反正弦角度转换、数组 AE 的组合均值经对数转换后使数组通过了上述检验,而

其余 4 个均值数组则直接通过了这 2 项检验。接着实施 F 检验,再分别围绕因素 A 或 B 执行不同处理均值间的 Duncan's 多重比较(SSR 检验),酌情反转表达分析结果,标注差异显著性^[23-24]。

2 结果与分析

2.1 培养温度和初始密度对球囊线蚓实验种群的影响

由表 1 可见,在 33.0℃,SR 均值为 74.2%,RP 均值为 28.1 d。与相邻的 30.1℃处理相比,在 33.0℃处理 SR 均值降幅突然增大,RP 均值大幅

延长。以成虫当量 AE 计,在 33.0℃处理育活的 F_1 代个体数骤降至 8.7,约占 30.1℃处理育活数的 22%;PCR 骤降至 4.3,约占 30.1℃处理值的 19%;二者均远低于其他温度处理均值。受骤降的 AE 均值影响,日均殖数 DMR 在 33℃骤降至 0.11;取食量 FA 大幅升高(实况为首投 10 mg 参根粉未被耗尽,非真实升高),完全脱离实际而不可置信。除 SR 值外,在 33.0℃处理出现其他指标严重偏离现象,因此后续试验处理中予以删除,应用 9.9~30.1℃8 阶培养温度与 3 级初始密度进行后续方差分析。

表 1 培养温度和初始密度对球囊线蚓实验种群 6 个数组变量的影响

Table 1 Impacts of rearing temperature and initial density on the six array variables associated with populations of pot-worm

培养温度/℃ <i>T</i>	初始密度/条 N_0	存活率/% <i>SR</i>	培养期/d <i>RP</i>	成虫当量 <i>AE</i>	均殖数 <i>PCR</i>	日均殖数 <i>DMR</i>	取食量/(mg·AE ⁻¹) <i>FA</i>
9.9	1	57.1	70.8±0.6	54.0±2.2	54.0±2.2	0.44	1.31±0.05
	2	67.9	70.1±0.5	68.1±8.1	34.0±4.0	0.33	1.22±0.15
	3	71.4	68.7±0.5	99.6±9.1	33.2±3.0	0.35	0.97±0.10
12.0	1	100.0	52.6±0.6	49.3±2.0	49.3±2.0	0.94	1.45±0.06
	2	100.0	50.9±0.4	90.5±3.8	45.3±1.9	0.89	0.99±0.04
	3	84.4	47.7±1.3	101.1±9.0	33.7±3.0	0.60	1.00±0.14
14.5	1	85.7	34.4±0.7	41.6±2.5	41.6±2.5	1.04	1.32±0.09
	2	85.7	33.7±0.9	52.4±4.0	26.2±2.0	0.67	1.44±0.11
	3	95.2	31.8±0.7	81.6±6.1	27.2±2.0	0.81	0.93±0.08
18.0	1	82.1	25.0±0.5	46.0±1.6	46.0±1.6	1.51	1.31±0.05
	2	80.4	25.4±0.5	65.9±4.4	33.0±2.2	1.04	1.05±0.10
	3	88.1	26.8±0.5	96.4±4.5	32.1±1.5	1.06	0.78±0.05
21.0	1	81.0	20.4±0.7	38.5±2.0	38.5±2.0	1.53	1.75±0.13
	2	95.2	18.6±0.2	63.6±3.9	31.8±2.0	1.63	1.09±0.09
	3	88.9	19.7±0.4	86.3±5.8	28.8±1.9	1.30	0.82±0.06
24.2	1	81.0	20.5±1.1	38.4±3.2	38.4±3.2	1.52	1.50±0.10
	2	83.3	16.8±0.6	56.4±4.2	28.2±2.1	1.40	1.38±0.12
	3	93.7	17.1±0.7	84.1±5.9	28.0±2.0	1.54	0.94±0.08
27.1	1	78.6	16.6±0.8	39.1±2.0	39.1±2.0	1.86	1.39±0.09
	2	82.1	16.9±0.5	61.1±4.7	30.5±2.4	1.48	1.25±0.12
	3	85.7	15.6±0.2	103.8±5.8	34.6±1.9	1.90	0.82±0.06
30.1	1	71.4	17.1±0.6	29.3±0.8	29.3±0.8	1.22	1.21±0.03
	2	81.0	15.9±0.2	43.6±3.3	21.8±1.7	1.11	1.37±0.07
	3	88.9	14.6±0.5	46.2±3.8	15.4±1.3	0.94	1.32±0.07
33.0	1	57.1	29.7±2.0	3.8±0.9	3.8±0.9	0.07	—
	2	89.3	28.0±1.6	9.4±2.2	4.7±1.1	0.15	—
	3	76.2	26.6±0.3	12.9±1.5	4.3±0.5	0.12	—

2.2 培养温度对球囊线蚓实验种群的影响

由表 2 可见, T 对 SR、RP、AE、PCR 和 DMR 的影响达显著($P<0.05$)至极显著水平($P<0.01$),但对 FA 的影响不显著($P>0.05$)。SR 均值在供试温度两端(9.9℃,33.0℃)较低,而在其中部(12.0~30.1℃)较高,均值达 87.1%,说明亲代成蚓存活率曲线呈拱形,表现正常。RP 均值在 9.9~30.1℃内随 T 升高而显著缩短。AE 均值在 9.9~27.1℃内分布于 56.3~76.7,平均 64.3,代表 2 条

亲代成蚓的均殖数(因 N_0 处理本身的均值等于 2),但在 30.1℃骤降,说明温度高于 27.1℃时会抑制球囊线蚓的繁殖量。PCR 均值在 9.9~12.0℃内较高,在 14.5~27.1℃内处于 31.6~37.0,在 9.9~27.1℃内平均 35.9,在 30.1℃骤降,说明其趋势与 AE 趋势相同。DMR 均值先随 T 升高而显著上升,在 27.1℃达到最高,但在 30.1℃骤降;在 9.9~14.5℃,DMR 均值≤1.13,而在 18.0~30.1℃,DMR 均值≥1.63,说明球囊线蚓种群数量会在

较高温区内迅速上升。FA 均值间在 9.9~30.1 ℃ mg/AE,均值为 1.19 mg/AE,说明新成蚓在其全代差异不显著($P>0.05$),分布于 1.05~1.30 发育期内的虫均食量较为稳定。

表 2 培养温度对球囊线蚓亲代成蚓存活率、繁殖力和子代新成蚓取食量的影响

Table 2 Impacts of rearing temperature on survival rate and fecundity of parental adults and feeding amount of filial new-adults of <i>Enchytraeus bulbosus</i>						
培养温度/℃ <i>T</i>	存活率/% <i>SR</i>	培养期/d <i>RP</i>	成虫当量 <i>AE</i>	均殖数 <i>PCR</i>	日均殖数 <i>DMR</i>	取食量/(mg·AE ⁻¹) <i>FA</i>
<i>F</i> 值 <i>F</i> value	4.12*	832.3**	11.5**	9.78**	39.9**	0.60
9.9	65.6 c	69.8 a	71.6 ab	40.4 ab	0.49 e	1.17 a
12.0	97.6 a	50.4 b	76.7 a	42.8 a	1.13 d	1.15 a
14.5	89.4 ab	33.3 c	56.3 c	31.7 c	1.07 d	1.23 a
18.0	83.7 bc	25.8 d	66.4 abc	37.0 abc	1.63 c	1.05 a
21.0	89.1 ab	19.6 e	59.7 bc	33.0 c	1.90 bc	1.22 a
24.2	86.6 b	18.1 ef	56.8 c	31.6 c	2.12 b	1.27 a
27.1	82.2 bc	16.4 fg	62.9 bc	34.7 bc	2.59 a	1.15 a
30.1	81.0 bc	15.9 g	39.0 d	22.2 d	1.81 bc	1.30 a

注:*,**表示差异显著或极显著($P<0.05$ 或 $P<0.01$, F 检验);同列数据后标不同小写字母表示均值间差异显著($P<0.05$,邓肯氏新复极差检验)。表 3 同。
Note: * and ** indicates significant at $P<0.05$ and $P<0.01$ (F -test), respectively. Different letters in cloumn indicate significant difference at $P<0.05$ (Duncan's multiple range test). The same for Table 3.

与 9.9~30.1 ℃ 内的 8 阶有效温度对应,经由倒数模型^[20]估算的 FGT 值分别为 53.0,36.1,26.2,18.9,15.3,12.7,11.0 和 9.7 d。表 2 中的实测 RP 均值较 FGT 值分别延长 16.8,14.3,7.1,6.8,4.3,5.4,5.4 和 6.2 d。将这段延长期(差值)称作供试亲代新成蚓的游荡完熟期(Wandering and fully maturing period,WFMP);此期随 T 升高而迅速缩短,在 21.0 ℃ 最短(4.3 d),随后有所延长。

2.3 初始密度对球囊线蚓实验种群的影响

由表 3 可见,数组 SR 的 F 检验值不显著($P>$

0.05),而数组 RP、AE、PCR、DMR 和 FA 的 F 检验值达显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)水平。SR 均值间差异不显著,说明初始密度 N_0 对亲代成蚓存活率仅引起少许随机影响。数组 RP、AE、PCR、DMR 和 FA 均值间差异显著或极显著,说明 N_0 对这些属性产生实质性影响。AE 均值随 N_0 升高而显著上升,但 RP、PCR、FA 和 DMR 的均值都随 N_0 升高而显著缩短或下降,显示了其间的正比或反比关系。

表 3 初始密度对球囊线蚓亲代成蚓存活率、繁殖力和子代新成蚓取食量的影响

Table 3 Impacts of initial density on survival rate and fecundity of parental adults and feeding amount of filial new-adults of <i>Enchytraeus bulbosus</i>						
初始密度/条 <i>N</i> ₀	存活率/% <i>SR</i>	培养期/d <i>RP</i>	成虫当量 <i>AE</i>	均殖数 <i>PCR</i>	日均殖数 <i>DMR</i>	取食量/(mg·AE ⁻¹) <i>FA</i>
<i>F</i> 值 <i>F</i> value	1.15	5.64*	94.0**	31.0**	11.4**	13.1**
1	81.9 a	32.2 a	41.4 c	42.0 a	1.84 a	1.40 a
2	86.5 a	31.0 ab	61.5 b	31.4 b	1.49 b	1.22 a
3	87.7 a	30.2 b	85.2 a	29.1 b	1.45 b	0.95 b

3 讨论与结论

3.1 试验方法的选择

用于研究害虫繁殖潜能的方法,通常包括编制生命表法^[26]。球囊线蚓具有重叠世代,成蚓寿命长达数代并陆续生产卵茧,致使卵茧及由此孵化的幼蚓日益增多;成蚓惯于掩饰卵茧,幼蚓潜藏于食物和细沙土中觅食或栖息。如要精确计数,只能以涮洗法彻查养虫容器内的成蚓、卵茧和幼蚓,但此法具有破坏性、会中止培养,不可用于试验期间。由此可

见,对球囊线蚓实验种群既不可编制同龄群生命表(cohort life table),又不宜编制特定时间生命表(time-specific life table),因此笔者结合实际,设计、实施了 9 阶培养温度与 3 级亲代新成蚓初始密度互作的二因素混合水平试验。

3.2 利用源自 2 阶温度培养原种群接种的效果

本试验从源自 12 ℃ 培养的原种群向 9.9~18.0 ℃ 培养的小杯内接种亲代新成蚓,明显提高了它们在这一较低温区的存活率;同时从源自 21 ℃ 培养的原种群向 21.0~33.0 ℃ 培养的小杯内接种亲

代新成蚓,维持它们在 $21.0 \sim 30.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的存活率较高,但在 $33.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 例外。利用这 2 阶不同温度准备原种群,促使供试线蚓在 $12.0 \sim 30.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的存活率整体上升,证明它们都处于相对舒适的滋生环境,都有机会发挥其固有的取食与繁殖本能。

3.3 培养温度的作用 and 影响

本研究中,亲代成蚓存活率 SR 在供试温区内的分布呈两端低、中部高的拱形曲线,说明试验所设温度比较周全。 $33.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 处理引起 RP 、 AE 、 PCR 、 DMR 和 FA 的组合均值严重偏离数据趋势,证明此温度位于球囊线蚓的非适宜温区,接近其热致死温度,也证明这一供试温度对球囊线蚓的相应属性影响极大。

球囊线蚓为雌雄同体、异体受精,营孤雌生殖,并随取食过程陆续产卵茧,其世代繁殖力由 AE 、 PCR 和 DMR 从 3 个方面表达。 AE 的变化趋势证明, $9.9 \sim 30.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 适宜球囊线蚓完成世代发育; $12.0 \sim 27.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 引发较大的繁殖潜势,更低或更高的温度则抑制其繁殖效率。 PCR 的变化趋势与 AE 相似,证明二者对供试温度的响应趋于一致。 DMR 则证明 $27.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为最佳繁殖温度,且 $21.0 \sim 27.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为优良繁殖温区。 DMR 是虫均世代繁殖力(PCR 与 SR 的乘积)除以全世代期 FGT 后所得商值,即每日虫均繁殖效率。 PCR 、 SR 和 FGT 都随 T 而变化,导致 DMR 亦随 T 变化,因此 DMR 值能定量区别不同温度在球囊线蚓繁殖过程中所起作用的大小。与利用指数函数或 Logistic 函数建模、描述的方法^[26]相比, DMR 算法既能确定有利于目标害虫大量繁殖的温度范围,还能估算其种群在不同温度下每日新增的可立即进行繁殖的新成蚓数,直接给出目标害虫的每日虫均繁殖效率,简便实用。

本研究中,虽然亲代成蚓同食参根粉,但其取食量已转化为 F_1 代卵或卵茧的原始积累,由 F_1 代卵数代替。在 $9.9 \sim 30.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, FA 均值为 1.19 mg/AE ,在各阶温度波动但无显著差异,说明球囊线蚓 F_1 代个体自卵或卵茧孵化为幼蚓,并直接取食、生长、发育至新成蚓时消耗的西洋参宿根是相对恒定的。此值还可作为虫均损失系数用于估算球囊线蚓的经济阈值。

供试线蚓的培养期 RP 随培养温度升高而迅速缩短,这种趋势与球囊线蚓生理学时期研究结果呈现的规律性吻合^[20]。试验期间发现,初入养虫小杯的新成蚓常在小杯内壁游荡,减缓觅食,且较晚产出首枚卵茧。这种现象说明,新成蚓需要时间来适应

养虫小杯环境,之后才能恢复取食、孕卵、繁殖等行为。由于亲代成蚓常将其卵茧隐藏于湿润的细沙土中,很易错记首枚卵茧被产出的真实日期。为了避免错记,就需要尝试从 RP 均值减去 FGT 值而获得供试新成蚓的游荡完熟期 $WFMP$ 。 $WFMP$ 是供试新成蚓在室内特制的养虫小杯中延长其产卵前期的结果,总趋势仍为随 T 上升而迅速缩短,证明培养温度亦对新成蚓的游荡和孕卵行为产生重要影响。

3.4 初始密度的作用 and 影响

本研究中, AE 随 N_0 升高而显著上升,证明 N_0 升高会促进 F_1 代混合群迅速扩大。但当 N_0 升高时, RP 均值显著缩短,证明 N_0 升高会促进 F_1 代个体加速发育、提前成熟; PCR 和 DMR 均值显著下降,证明由 N_0 升高导致的 AE 上升会增强 F_1 代个体拥挤效应、进而抑制亲代成蚓的个体繁殖效率,这与似土维螨实验种群增长时面临的状况类似^[9]。 FA 均值随 N_0 和 AE 升高而显著下降,证明二者升高还会引起 F_1 代个体竞争食物,从而导致虫均食量变小。镜检时发现 F_1 代个体在 $N_0=1$ 时较肥壮,而在 $N_0=3$ 时较瘦弱,凸显并证实了食物竞争现象及其后果。 SR 均值间无显著差异,证明在供试范围内 N_0 不对亲代成蚓存活率产生实质性影响。上述 6 个属性或数组变量及其分析结果集中反映本研究结果,揭示球囊线蚓实验种群取食西洋参宿根、扩大 F_1 代群数量的参数及其变化趋势,有助于专业人员测报其田间种群动态,预警新害虫,为实现苗期病虫害综合治理、促进西洋参种植业持续发展做出贡献。

[参考文献]

- [1] Nielsen C O, Christensen B. The Enchytraeidae, critical revision and taxonomy of European species [J]. Natura Jutlandica, 1963, 10(S2): 1-19.
- [2] 赵利敏, 马桂兰. 7 种农药对球囊线蚓(近孔目: 线蚓科)的毒力测定 [J]. 农药, 2014, 53(12): 927-928, 936.
Zhao L M, Ma G L. Evaluation of toxicity of seven pesticides on *Enchytraeus bulbosus* (Plesiopora: Enchytraeidae) [J]. Agrochemicals, 2014, 53(12): 927-928, 936.
- [3] Agrios G N. Plant pathology [M]. 3rd ed. California: Academic Press, Inc, 1988: 34-35.
- [4] 赵利敏, 王启明, 张东东, 等. 吡虫啉、咯菌腈和辛硫磷对西洋参幼苗的协同保护 [J]. 中药材, 2015, 38(7): 1349-1354.
Zhao L M, Wang Q M, Zhang D D, et al. Cooperative protection of American ginseng seedlings by applying imidacloprid, fludioxonil and phoxim [J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2015, 38(7): 1349-1354.
- [5] 赵利敏, 陈荣信, 张 斌, 等. 种植西洋参的经济效益及相应的保护措施 [J]. 人参研究, 2017, 29(5): 27-32.

- Zhao L M, Chen R X, Zhang B, et al. Economic benefits of growing American ginseng (*Panax quinquefolium*) and corresponding protective measures [J]. Ginseng Research, 2017, 29 (5): 27-32.
- [6] Manson D C M. Three new species, and a redescription of mites of the genus *Schwiebea* (Acarina: Tyroglyphidae) [J]. Acarologia, 1972, 14(1): 71-75.
- [7] Karg W. Zur kenntnis der gattung *Schwiebea* Oudemans, 1916 (Acarina, Sarcoptiformes) [J]. Deutsche Entomologische Zeitschrift; Neue Folge, 1987, 34(1/2/3): 141-148.
- [8] 江镇涛. 中国粉螨一新记录属三新记录种及一新种记述(真螨目: 粉螨总科) [J]. 江西科学, 1991, 9(4): 240-244.
- Jiang Z T. Descriptions of one new record genus, three new record species and one new species of the family Acaridae from China (Acariforms: Acaroidea) [J]. Jiangxi Science, 1991, 9 (4): 240-244.
- [9] 赵利敏, 陈浩. 似土维螨对西洋参根的取食量及其繁殖潜势 [J]. 昆虫学报, 2016, 59(2): 219-226.
- Zhao L M, Chen H. Feeding amount of American ginseng root by *Schwiebea similis* (Acari: Acaridae) and its reproductive potential [J]. Acta Entomologica Sinica, 2016, 59(2): 219-226.
- [10] 郭素芬, 赵利敏, 兰阿峰. 似土维螨(*Schwiebea similis*)在9种作物上的取食与繁殖选择 [J]. 农学学报, 2016, 6(8): 23-28.
- Guo S F, Zhao L M, Lan A F. Feeding and reproductive choices of *Schwiebea similis* (Acari: Acaridae) on nine crops [J]. Journal of Agriculture, 2016, 6(8): 23-28.
- [11] 赵利敏. 似土维螨对西洋参的经济危害水平和经济阈值 [J]. 西北农业学报, 2018, 27(1): 108-113.
- Zhao L M. Economic-injury level and economic threshold of *Schwiebea similis* (Acari: Acaridae) on American ginseng [J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2018, 27 (1): 108-113.
- [12] 赵利敏. 似土维螨形态分类学特征的显微观测 [J]. 西北农业学报, 2018, 27(5): 757-762.
- Zhao L M. Microscopic observation on morphotaxonomic characteristics of *Schwiebea similis* (Acari: Acaridae) [J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2018, 27 (5): 757-762.
- [13] Fan Q H, Zhang Z Q. *Rhizoglyphus echinopus* and *Rhizoglyphus robini* (Acari: Acaridae) from Australia and New Zealand; identification, host plants and geographical distribution [J]. Systematic & Applied Acarology Special Publications, 2003, 16: 1-16.
- [14] 张天宇, 钱学聪. 秦巴山区西洋参病虫害综合防治技术要点 [J]. 陕西农业科学, 1989(2): 45.
- Zhang T Y, Qian X C. Key points of integrated control techniques of pests on American ginseng grown in Qin-Ba mountainous areas [J]. Shaanxi Agrosociences, 1989(2): 45.
- [15] WoRMS. *Enchytraeus* Henle, 1837 [EB/OL]. [2018-03-26]. <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=137347>.
- [16] Rota E. Italian Enchytraeidae (Oligochaeta). I [J]. Bolletino di Zoologia, 1995, 62(2): 183-231.
- [17] Rota E, Healy B. A taxonomic study of some Swedish Enchytraeidae (Oligochaeta), with descriptions of four new species and notes on the genus *Fridericia* [J]. Journal of Natural History, 1999, 33(1): 29-64.
- [18] Rota E. *Enchytraeus bulbosus* Nielsen & Christensen, 1963 [EB/OL]. [2018-03-26]. <http://www.eu-nomen.eu/portal/taxon.php?GUID=urn:lsid:faunaeur.org:taxname:96366>.
- [19] 陈静, 蒋万祥, 沈琦, 等. 线蚓科分类学研究进展 [J]. 生态学报, 2015, 35(8): 2461-2472.
- Chen J, Jiang W X, Shen Q, et al. Systematics of the Enchytraeidae (Annelida, Clitellata): past, present and future [J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(8): 2461-2472.
- [20] 马桂兰, 赵利敏. 球囊线蚓的发育起点温度和有效积温(环带纲: 近孔目: 线蚓科) [J]. 西北农业学报, 2015, 24(2): 151-155.
- Ma G L, Zhao L M. Threshold temperature and thermal constant for development of *Enchytraeus bulbosus* (Clitellata: Plesiopora: Enchytraeidae) [J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2015, 24(2): 151-155.
- [21] 赵利敏, 张斌. 陕西留坝西洋参种植棚内的温度特征 [J]. 中国农业气象, 2015, 36(5): 544-552.
- Zhao L M, Zhang B. Temperature properties within plastic greenhouses for American ginseng growth in Liuba County, Shaanxi, China [J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2015, 36(5): 544-552.
- [22] Sánchez-Ramos I, Álvarez-Alfageme F, Castañera P. Development and survival of the cheese mites, *Acarus farris* and *Tyrophagus neiswanderi* (Acari: Acaridae), at constant temperatures and 90% relative humidity [J]. Journal of Stored Products Research, 2007, 43: 64-72.
- [23] Little T M, Hills F J. Agricultural experimentation: design and analysis [M]. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1978.
- [24] 李春喜, 邵云, 姜丽娜. 生物统计学 [M]. 4版. 北京: 科学出版社, 2008.
- Li C X, Shao Y, Jiang L N. Biostatistics [M]. 4th ed. Beijing: Science Press, 2008.
- [25] 辛金生, 王东红, 辛彪, 等. 西洋参引种栽培试验报告 [J]. 山西林业科技, 1992(2): 34-39.
- Xin J S, Wang D H, Xin B, et al. Experimental report for introduction and cultivation of American ginseng [J]. Shanxi Forest Science and Technology, 1992(2): 34-39.
- [26] Elkinton J S. Insect population ecology: an African perspective [M]. Nairobi: The International Center of Insect Physiology and Ecology Science Press, 1993: 77-84.