



李子园, 戴钊萱, 邝昭琅, 梁铭荣, 王磊, 陆永跃, 陈科伟. 3种人工饲料对草地贪夜蛾生长发育及繁殖力的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2019, 41 (6): 1147 - 1154.

3种人工饲料对草地贪夜蛾生长发育及繁殖力的影响

李子园¹, 戴钊萱³, 邝昭琅¹, 梁铭荣¹, 王磊¹, 陆永跃¹, 陈科伟^{1,2*}

(1. 华南农业大学农学院, 广州 501640; 2. 广东省生物农药创制与利用重点实验室, 广州 501640;

3. 湖南农业大学植物保护学院, 长沙 410000)

摘要: 草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) 是2019年入侵我国的重要农业害虫, 筛选出合适的人工饲料可为规模化繁育提供基础。本文通过组建实验种群生命表的方法, 研究了3种人工饲料对草地贪夜蛾生长发育、繁殖力以及种群增长潜能的影响, 以玉米叶饲养的作为对照。结果表明, 3种人工饲料对草地贪夜的饲养效果具有明显差异。其中, 以饲料Ⅱ饲养的结果最理想, 除幼虫-蛹发育历期(如雌性个体, 23.63 d)比对照(20.98 d)略有延长外, 幼期存活率(88.00%)、雌性蛹重(243.90 mg)、雄性蛹重(251.60 mg)、产卵量(845.90粒)等指标均优于对照, 生命表参数中的净生殖力 R_0 (346.29)、内禀增长率 r_m (0.1859)、周限增长率 λ (1.2043)也高于对照。用饲料Ⅰ饲养时, 草地贪夜蛾能够完成世代发育, 但存在幼虫-蛹的发育历期(41.56 d)明显延长、幼期存活率(36.00%)、产卵雌成虫比例低(25.00%)等问题, 难以达到室内大量繁育的要求。而以饲料Ⅲ饲养的草地贪夜蛾仅能生长发育至5龄幼虫, 不能完成世代发育。综合相关生物学指标来看, 饲料Ⅱ是饲养草地贪夜的适宜人工饲料。

关键词: 草地贪夜蛾; 人工饲料; 生长发育; 繁殖力; 实验种群生命表

中图分类号: Q968.1; S433.4

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858(2019)06-1147-08

Effects of three artificial diets on development and reproduction of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith)

LI Zi-Yuan¹, DAI Qian-Xuan³, KUANG Zhao-Lang¹, LIANG Ming-Rong¹, WANG Lei¹, LU Yong-Yue¹, CHEN Ke-Wei^{1,2*} (1. College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou 510640, China; 2. Key Laboratory of Bio-Pesticide Innovation and Application, Guangdong Province, Guangzhou 510640, China; 3. College of Plant Protection, Hunan Agricultural University, Changsha 410000, China)

Abstract: Fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) is an important agricultural pest invaded China in 2019, it is important to screen out the suitable artificial diets (AD) for its mass-rearing in laboratory. In this paper, the effects of three candidate artificial diets on the development, fecundity and population growth potential of *S. frugiperda* were studied by establishing the life table of experimental populations, and those reared on maize leaves were used as the control. The results showed that the three artificial diets had significant differences in the rearing effect of *S. frugiperda*. Among the three candidate

基金项目: 广东省基础与应用基础研究基金项目(2019A1515010588); 广东省甘蔗剑麻产业技术体系创新团队项目(2019KJ104-08); 广东省外来入侵物种风险评估和监测预警共性关键技术研发创新团队建设项目(2019KJ134); 广东省农村科技特派员项目(2018A0137); 省级农业科技创新及推广项目(2018LM2161)

作者简介: 李子园, 女, 1996年生, 广东饶平人, 硕士研究生, 主要研究方向为害虫生物防治, E-mail: 791046629@qq.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 陈科伟, 博士, 副教授, 主要研究方向为昆虫种群生态学和害虫生物防治, E-mail: chenkewei@scau.edu.cn

收稿日期 Received: 2018-08-06; 接受日期 Accepted: 2019-09-27

artificial diets, AD-II was the best one. Although the larva-pupa developmental time (23.63 d for female individuals) of AD-II population was slightly longer than the control (20.98 d), biological parameters such as the immature survival rate (88.00%), female pupa weight (243.90 mg), male pupa weight (251.60 mg), and fecundity (845.90 eggs/♀) of AD-II population were superior to the control. Life table parameters such as net reproductive rate (R_0 , 346.29), intrinsic rate of increase (r_m , 0.1859) and finite rate of increase (λ , 1.2043) of AD-II population were also higher than the control. Though *S. frugiperda* could complete its generation development when reared on AD-I, but the larva-pupa development time (41.56 d for female individuals) was prolonged significantly, the immature survival rate (36.00%) was quite low, and only 25.00% females could lay eggs, which made it difficult to meet the requirements for mass rearing of *S. frugiperda*. *S. frugiperda* those reared on AD-III could only grow to the 5th instar larvae, and could not complete its generation development. In conclusion, AD-II is a suitable artificial diet for mass-rearing of *S. frugiperda*.

Key words: *Spodoptera frugiperda*; artificial diets; development; reproduction; life table of experimental population

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), 隶属鳞翅目 Lepidoptera 夜蛾科 Noctuidae, 具有繁殖力强、暴发性为害以及迁飞能力强等特点 (Rose, 1975), 是联合国粮农组织向全球预警的跨国界迁飞性农业重大害虫 (Todd and Poole, 1980), 幼虫能取食玉米、水稻、高粱、棉花、番茄、小麦、甘蔗、大豆等 350 多种植物 (Montezano *et al.*, 2018; Prasanna *et al.*, 2018)。草地贪夜蛾自 2019 年 1 月入侵我国云南省后, 呈快速扩散蔓延趋势, 至 7 月 5 日已扩散到 20 个省区 1 128 个县区, 危害面积约 830 万亩 (王磊等, 2019)。

如何有效地防控草地贪夜蛾是目前生产实践中亟待解决的问题, 已引起政府各部门以及科研人员的高度重视。为及时有效地控制草地贪夜蛾的传播和危害, 急需开展草地贪夜蛾生物学生态学特性、迁飞扩散规律、高效杀虫剂的研制、抗性监测与治理、优质天敌昆虫的控害效能评价等研究, 如何获得大量、健壮的试验虫源是开展相关科学研究的重要前提。人工饲料饲养昆虫是获取标准化虫源的一个重要途径。目前, 国内外已有学者开展草地贪夜蛾人工饲料方面的研究, 但存在幼虫成活率 (73% ~ 75%) (Greene, 1976; Garcia *et al.*, 1990; Silva, 2017)、产卵量 (452 粒/雌) (王世英等, 2019) 等生物学指标不甚理想的问题。

本研究通过组建实验种群生命表的方法, 试验比较了 3 种人工饲料对草地贪夜蛾生长发育与繁殖的影响, 筛选适合草地贪夜蛾大量饲养的人工饲料。选择相关人工饲料的依据主要有以下 3 个方面: 一是选择国际玉米与小麦改良中心

(International Maize and Wheat Improvement Center, CIMMYT) 报道用于饲养草地贪夜蛾的人工饲料配方 (Prasanna *et al.*, 2018); 二是在参考草地贪夜蛾近缘种斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* Fabricius 的人工饲料配方 (陈其津等, 2000) 的基础上, 进行适度改良的饲料配方; 三是考虑到目前入侵我国的草地贪夜蛾主要为害农作物为玉米, 因而选用同样偏嗜玉米的玉米螟 *Ostrinias* spp. 的人工饲料配方 (周大荣等, 1980)。

1 材料与方 法

1.1 供试虫源

草地贪夜蛾: 于 2019 年 4 月在广州市花都区花山镇红群村玉米地 (N 23.4829, E 113.2673) 采收草地贪夜蛾幼虫, 并带回室内。采用新鲜甜玉米叶 (广良甜 27 号 - 粤审玉 20170002) 单头单管 (3.2 cm × 10 cm) 饲养, 以 F₁ 代作为实验虫源。室内饲养环境条件: 光周期 16 L:8 D, 温度 26°C ± 1°C, 相对湿度 60% ~ 70%。

1.2 供试人工饲料

选择文献报道的 3 种人工饲料配方用于草地贪夜蛾的饲养 (表 1), 其中饲料 I 为国际玉米与小麦改良中心报道用于饲养草地贪夜蛾的人工饲料配方 (Prasanna *et al.*, 2018), 饲料 II 是在斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* Fabricius 的人工饲料配方 (陈其津等, 2000) 的基础上, 进行适度改良的饲料配方; 饲料 III 为玉米螟 *Ostrinias* spp. 人工饲料配方 (周大荣等, 1980)。以甜玉米叶 (广良甜

27 号 - 粤审玉 20170002) 作为对照饲料。待种植的玉米植株约有 8 片叶完全展开时, 选择上部第 5~8 叶作为饲养草地贪夜蛾幼虫的饲料, 投喂前将玉米叶剪切成长度为 5 cm 的碎片。

1.3 人工饲料配制步骤

配制上述人工饲料配方的步骤如下: ①将表 1 中各人工饲料组分分成 A、B、C 三组, 分别将 A

组与 C 组中各组分搅拌均匀; ②将 B 组中的琼脂与蒸馏水放入烧杯中煮至沸腾, 然后加入 C 组分, 继续煮至沸腾, 煮沸后冷却至 70~80℃, 将 A 组分加入其中, 并搅拌均匀; ③趁热将配制完成的饲料倒入饲料盒 (16.7 cm × 12.3 cm × 6 cm) 中。待饲料冷却至室温后, 用紫外光灯消毒 30 min, 然后移入 3~5℃ 冰箱, 备用。

表 1 3 种供试的草地贪夜蛾人工饲料配方

Table 1 Three formula of artificial diets used for rearing *Spodoptera frugiperda*

组别 Group	组分 Ingredients	配方组分数量 Ingredient amount		
		饲料 I Artificial diet I	饲料 II Artificial diet II	饲料 III Artificial diet III
A 组 Group A	黄豆粉 Bean powder	109.65 g	100 g	150 g
	麦麸 Wheat bran	-	80 g	-
	玉米叶粉 Maize leaf powder	31.26 g	-	-
	玉米粉 Maize powder	-	-	190 g
	酵母粉 Yeast powder	28.16 g	26 g	90 g
	多维葡萄糖 Multivita - glucose	-	-	75 g
	蔗糖 Sucrose	43.79 g	-	-
	干酪素 Casein	-	8 g	-
	抗坏血酸 Ascorbic acid	6.20 g	8 g	5 g
	维生素 E Vitamin E	3.15 g	-	-
	蒸馏水 Distilled water	500 mL	500 mL	300 mL
	B 组 Group B	琼脂 Agar	31.26 g	26 g
蒸馏水 Distilled water		500 mL	400 mL	700 mL
C 组 Group C	氯化胆碱 Choline chloride	-	1 g	-
	山梨酸 Sorbic acid	3.23 g	2 g	5 g
	肌醇 Inositol	-	0.2 g	-
	链霉素 Streptomycin	-	0.1 g	-
	青霉素钠 Penicillin sodium	-	0.1 g	-
	尼泊金甲酯 Methyl - phydroxy benzoate	4.96 g	-	-
	尼泊金丙酯 Propylparaben	-	2 g	-
	40% 甲醛 Formaldehyde 40%	4.96 mL	-	2 mL
蒸馏水 Distilled water	-	100 mL	200 mL	

1.4 试验方案

采用实验种群生命表的方法, 评价 3 种人工饲料对草地贪夜蛾生长发育与繁殖的影响, 筛选出适合配方。

具体操作步骤如下: 以 F₁ 代新产的卵块为供

试虫卵, 新鲜卵块用浓度为 5% 甲醛液浸泡 15 min (陈其津等, 2000), 然后用蒸馏水漂洗, 晾干; 待卵孵化后, 将初孵幼虫分别接入放有足量人工饲料 I、饲料 II、饲料 III 的玻璃管 (3.2 cm × 10 cm) 中。每管 20 头, 每个处理接 5 管, 即每

个处理共 100 头初孵幼虫。待初孵幼虫发育至 2 龄末期, 再将幼虫挑出, 单头单管饲料, 并编号, 然后饲养至羽化。记录 1~2 龄、3 龄、4 龄、5 龄和 6 龄幼虫的发育历期与存活率, 以及预蛹与蛹的发育时间、化蛹率和羽化率。根据蛹的腹部末端形态特征对供试虫体进行雌、雄区分, 并称量 1 日龄蛹的重量。

成虫羽化后, 每处理随机挑选 20 对健康成虫, 以 1:1 的雌雄比配对, 移入产卵笼 (直径 8.5 cm, 高 15 cm 圆柱形纸筒) 中, 添加 15% 蜂蜜水, 作为成虫的补充营养, 对编号的每对成虫进行产卵观察记录, 收集每日卵块, 至雌成虫死亡。记录统计产卵前期、产卵历期、雌雄成虫寿命、逐日产卵量和卵孵化率。对照组 (以玉米叶作为饲料) 每日更换新鲜玉米叶片, 处理步骤与数据记录均同上述试验操作。

1.5 数据处理

采用 SAS 9.0 软件进行数据统计分析。采用 one-way ANOVA 对 3 种人工饲料饲养的草地贪夜蛾的卵、幼虫、蛹及成虫发育历期、存活率、蛹重及性比进行方差分析, 并用 Duncan's 新复极差法对上述相关指标进行多重比较; 采用成组 t 检验法对饲料 II 及对照组的产卵前期、产卵期、成虫寿命、单雌产卵量、后代卵孵化率等指标进行差异性检验。

净生殖力 (R_0)、世代平均周期 (T)、内禀增长率 (r_m)、周限增长率 (λ) 等生命表参数计算参考 Birch (1948) 方法。

2 结果与分析

2.1 3 种人工饲料对草地贪夜蛾各虫态发育历期的影响

供试的 3 种人工饲料对草地贪夜蛾各虫态的生长发育历期具有明显的影响。对于雌性个体而言, 以饲料 II 饲养的草地贪夜蛾各虫态的发育速度较快, 幼虫、蛹以及幼虫-蛹的发育历期分别为 13.58 d、8.10 d、23.63 d, 与对照组的 11.33 d、7.97 d、20.98 d 相接近, 且各虫态的发育进度较为整齐; 而以饲料 I 饲养的草地贪夜蛾幼虫、蛹以及幼虫-蛹的发育历期分别为 28.00 d、10.33 d、41.56 d, 与饲料 II 及对照组相比, 各虫态的生长发育出现明显的延缓, 且个体之间的发育整齐度较差 (表 2)。对于雄性个体而言, 用饲料 II 饲养的草地贪夜蛾幼虫、蛹以及幼虫-蛹的发育历

期分别为 13.43 d、9.73 d、25.16 d, 也与对照组的 11.90 d、8.91 d、22.67 d 较为接近。用饲料 II 及对照所饲养的雄性个体与雌性个体相比, 发育历期均出现了一定程度的延缓 (表 2)。

用饲料 III 饲养的草地贪夜蛾不能完成世代发育, 生长发育至 5 龄幼虫时所有个体全部死亡, 说明饲料 III 不是饲养草地贪夜蛾的适宜饲料。

2.2 3 种人工饲料对草地贪夜蛾各虫态存活率的影响

3 种人工饲料对草地贪夜蛾幼虫存活率、化蛹率及蛹重等具有明显的影响。其中, 用饲料 II 饲养的草地贪夜蛾幼虫存活率、化蛹率分别为 88.00%、100.00%, 与对照的幼虫存活率 (94.00%)、化蛹率 (98.00%) 无显著差异, 而前者的羽化率达 100.00%, 显著高于对照组的 71.00%, 整个幼期 (幼虫至成虫羽化) 的存活率为 88.00%, 也明显高于对照 66.00% (表 3)。当以蛹重来衡量, 以饲料 II 饲养的草地贪夜蛾雌蛹、雄蛹的重量分别为 243.90 mg、251.60 mg, 明显高于对照组雌蛹 (177.60 mg)、雄蛹 (202.50 mg) 的重量 (表 3)。而以饲料 I 的草地贪夜蛾各虫态的存活率较低, 其幼虫其存活率、化蛹率、羽化率分别为 36.00%、75.00%、38.00%, 整个幼期存活率仅为 13.00%, 均显著低于饲料 II 及对照的相关参数; 雌蛹、雄蛹的重量分别为 147.70 mg、170.20 mg, 也显著低于饲料 II 及对照的 (表 3)。在草地贪夜蛾种群中的雌性比率方面, 以饲料 I、饲料 II 和玉米叶 (对照) 饲养的 3 个处理的性比分别为 0.45、0.55 和 0.46, 相互间无显著性差异 (表 3)。

2.3 人工饲料对草地贪夜蛾成虫生物学参数的影响

从草地贪夜蛾成虫的生物学参数来看, 对照组的草地贪夜蛾的产卵前期、产卵历期、雌成虫寿命、雄成虫寿命分别为 4.63 d、5.00 d、11.79 d 和 12.24 d, 与饲料 II 的 4.10 d、4.95 d、11.39 d 和 13.35 d 相近, 两者间无显著性差异 (表 4); 以饲料 II 饲养的草地贪夜蛾的每雌产卵量为 845.90 粒, 明显高于对照组的 662.32 粒; 虽然后代卵的孵化率为 80.64%, 略低于对照组的 88.39%, 但两者间无显著性差异 (表 4)。用配方 I 饲养的草地贪夜蛾羽化率较低, 仅获得 8 头雌性成虫, 而且仅有 2 头产卵, 因试验样本量小, 其数据代表性不强, 因而未将相关参数纳入方差分析。

表 2 3 种人工饲料配方饲养的草地贪夜蛾各虫态的发育历期 (d)
Table 2 Development time of *Spodoptera frugiperda* reared on three artificial diets

雌/雄 Female/Male	处理 Treatment	幼虫龄期 Development stage of larvae						预蛹 Pre-pupa	蛹 Pupa	幼虫-蛹 Larva-pupa
		1~2 龄 1 st to 2 nd instar	3 龄 3 rd instar	4 龄 4 th instar	5 龄 5 th instar	6 龄 6 th instar	幼虫期 Larva period			
雌性 Female	饲料 I Artificial diet I	7.00 ± 0.37 a	3.25 ± 0.50 a	5.33 ± 0.58 a	5.83 ± 0.67 a	6.73 ± 0.34 a	28.00 ± 1.18 a	1.54 ± 0.16 b	10.33 ± 0.37 a	41.56 ± 1.94 a
	饲料 II Artificial diet II	5.25 ± 0.06 b	1.48 ± 0.09 b	1.35 ± 0.09 b	2.04 ± 0.11 b	3.53 ± 0.10 b	13.58 ± 0.17 b	1.95 ± 0.06 a	8.10 ± 0.09 b	23.63 ± 0.16 b
	玉米叶 Maize leaf	4.08 ± 0.04 c	1.44 ± 0.08 b	1.46 ± 0.09 b	2.31 ± 0.09 b	2.29 ± 0.14 c	11.33 ± 0.16 c	1.71 ± 0.09 ab	7.97 ± 0.15 b	20.98 ± 0.23 c
	<i>F</i>	130.72	27.64	90.73	80.24	132.66	537.87	4.80	70.75	361.82
	<i>df</i>	2, 97	2, 97	2, 97	2, 99	2, 91	2, 97	2, 97	2, 85	2, 85
	<i>P</i>	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0103	<0.0001	<0.0001
雄性 Male	饲料 I Artificial diet I	7.00 ± 0.21 a	3.21 ± 0.63 a	4.79 ± 0.69 a	6.43 ± 0.59 a	7.33 ± 0.31 a	27.71 ± 1.01 a	1.86 ± 0.14 ab	11.00 ± 0.21 a	39.00 ± 2.35 a
	饲料 II Artificial diet II	5.23 ± 0.07 b	1.43 ± 0.08 b	1.7 ± 0.11 b	1.89 ± 0.10 b	3.28 ± 0.10 b	13.43 ± 0.14 b	2.00 ± 0.09 a	9.73 ± 0.07 b	25.16 ± 0.14 b
	玉米叶 Maize leaf	4.13 ± 0.05 c	1.44 ± 0.07 b	1.46 ± 0.08 b	2.38 ± 0.09 b	2.49 ± 0.15 c	11.90 ± 0.13 c	1.58 ± 0.09 b	8.91 ± 0.11 c	22.67 ± 0.67 c
	<i>F</i>	218.97	19.59	51.86	114.21	13358	425.27	6.03	27.12	223.34
	<i>df</i>	2, 96	2, 96	2, 96	2, 96	2, 93	2, 96	2, 96	2, 76	2, 76
	<i>P</i>	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0034	<0.0001	<0.0001
雌性、雄性 Female or Male	饲料 III** Artificial diet III	7.18 ± 0.11	2.21 ± 0.17	8.11 ± 0.88	10.67 ± 2.60	-	-	-	-	-

注: *表中数据为平均值 ± 标准误, 不同性别的同列不同小写字母表示差异显著 (Duncan's 新复极差统计法, $P < 0.05$)。* * 用饲料 III 饲养的草地贪夜蛾未能正常发育至蛹, 相关数据不参与差异性检验。Note: * The data in the table are mean ± SE. For each sex, different letters in each column indicate significant difference (Duncan's multiple range tests, $P < 0.05$) . ** None of the fall armyworm larvae developed to pupae when feeding on artificial diet III, the results were not compared with other treatments.

表 3 人工饲料饲养的草地贪夜蛾幼虫存活率、蛹重及性比

Table 3 Survival rate, pupal weight and sex ratio of *Spodoptera frugiperda* reared on artificial diets

处理 Treatment	幼虫存活率 (%) Survival rate of larvae	化蛹率 (%) Pupation rate	羽化率 (%) Eclosion rate	幼期存活率 (%) Immature survival rate	雌虫蛹重 (mg) Female pupa weight	雄虫蛹重 (mg) Male pupa weight	性比 (♀/♂) (♀ + ♂) Sex ratio
饲料 I Artificial diet I	36.00 ± 0.07 b*	75.00 ± 0.06 b	38.00 ± 0.09 c	13.00 ± 0.06 c	147.70 ± 0.01 c	170.20 ± 0.01 c	0.45 ± 0.06 a
饲料 II Artificial diet II	88.00 ± 4.63 a	100.00 ± 0.00 a	100.00 ± 0.00 a	88.00 ± 4.63 a	243.90 ± 0.004 a	251.60 ± 0.003 a	0.55 ± 0.04 a
玉米叶 Maize leaf	94.00 ± 3.16 a	98.00 ± 1.20 a	71.00 ± 6.08 b	66.00 ± 8.15 b	177.60 ± 3.00 b	202.50 ± 0.004 b	0.46 ± 0.03 a
<i>F</i> value, df	15.76, 6	3.59, 6	12.24	17.54	88.98, 2	52.10, 2	0.37, 6
df	6, 8	6, 8	6, 8	6, 8	6, 97	6, 96	6, 8
<i>P</i>	0.0005	0.0497	0.0012	0.0003	<0.0001	<0.0001	0.8790

注: *表中数据为平均值 ± 标准误, 同列不同小写字母表示差异显著 (Duncan's 新复极差统计法, $P < 0.05$)。Note: *The data in the table are mean ± SE. Different letters in each column indicate significant difference (Duncan's multiple range tests, $P < 0.05$).

表 4 人工饲料 II 与玉米叶饲养的草地贪夜蛾的产卵前期、产卵历期、单雌产卵量、卵孵化率及寿命

Table 4 Pre-oviposition period, oviposition period, fecundity and longevity of *Spodoptera frugiperda* reared on the artificial diet II and maize leaves

处理 Condition	产卵前期 (d) Pre-oviposition period	产卵历期 (d) Oviposition period	产卵量 (粒/雌) Fecundity	雌成虫寿命 (d) Female adult longevity	雄成虫寿命 (d) Male adult longevity	卵孵化率 (%) Hatching rate
饲料 II Artificial diet II	4.10 ± 0.46 a	4.95 ± 0.38 a	845.90 ± 95.32 a	11.39 ± 0.72 a	13.35 ± 0.79 a	80.64 ± 3.34 a
玉米叶 Maize leaf	4.63 ± 0.82 a*	5.00 ± 0.66 a	662.32 ± 78.44 a	11.79 ± 0.85 a	12.24 ± 1.07 a	88.39 ± 2.56 a
<i>t</i>	0.56	0.07	-1.45	0.36	-0.85	-1.78
df	28.5	29.3	37	35	35	29
<i>P</i>	0.5785	0.9482	0.1542	0.4335	0.4005	0.086

注: *表中数据为平均值 ± 标准误, 同列不同小写字母表示差异显著 (*t* 检验, $P < 0.05$)。* Note: The data in the table are mean ± SE. Different letters in each column indicate significant difference (*t*-test, $P < 0.05$).

以饲料 II 及玉米叶 (对照) 饲养的草地贪夜蛾雌成虫的逐日存活率和产卵量见图 1。这两种处理饲养的草地贪夜蛾, 在羽化后第 5 天雌成虫开始死亡, 至羽化后第 20 天全部死亡 (图 1); 两种处理中的供试草地贪夜蛾均有明显的产卵前期及产卵高峰期, 其中饲料 II 的产卵前期 4.10 d (表 4), 产卵高峰期在羽化后的第 5~8 天, 高峰期平均产

卵量为 140 粒/d, 第 6 天达到最高, 178 粒/d (图 1 A); 以玉米叶饲养的草地贪夜蛾的产卵前期为 4.63 d, 产卵高峰期为羽化后第 5~7 天, 平均产卵量为 130 粒/d, 第 6 天达最高, 181 粒/d (图 1 B)。结果表明, 饲料 II 与对照间主要的生物学参数指标无显著差异, 说明利用饲料 II 可饲养出合格的供试虫体。

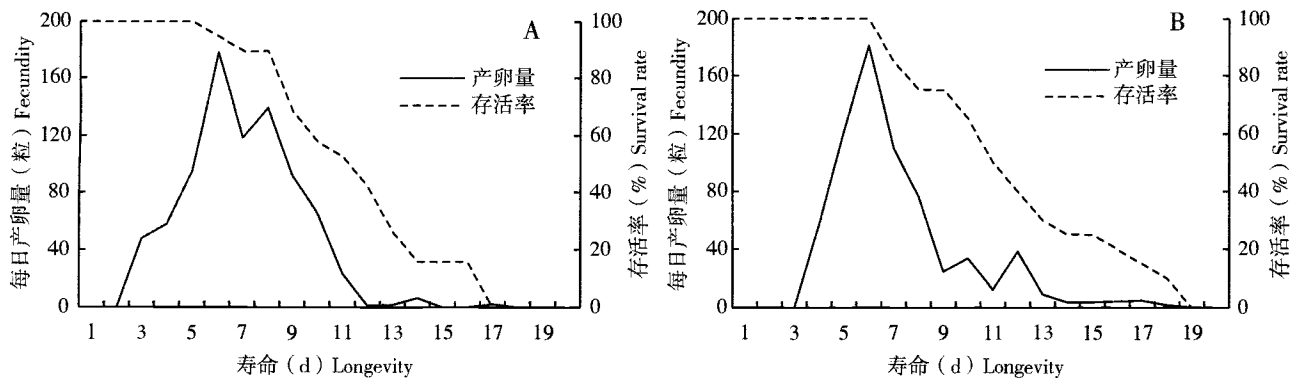


图1 饲料Ⅱ (A) 和玉米叶 (B) 饲养的草地贪夜蛾的雌成虫逐日存活率和产卵量

Fig. 1 The daily survival rate and reproduction of *Spodoptera frugiperda* reared on the artificial diet II (A) and maize leaves (B)

2.4 人工饲料Ⅱ饲养的草地贪夜蛾的实验种群生命表参数

用饲料Ⅱ饲养的草地贪夜蛾的实验种群生命表参数中的净生殖率为346.29, 高于对照处理的

201.99, 但前者的内禀增长率、周限增长率和世代后期分别为0.1859、1.2043与31.45 d, 对照处理的为0.1768、1.1934和30.02 d, 两者间无明显区别(表5)。

表5 人工饲料Ⅱ与玉米叶饲养的草地贪夜蛾实验种群生命表参数

Table 5 Life table parameters of *Spodoptera frugiperda* reared on the artificial diet II and maize leaves

处理 Treatment	净生殖力 (R_0) Net reproductive rate	内禀增长率 (r_m) Intrinsic rate of increase	周限增长率 (λ) Finite rate of increase	世代平均历期 (T) (d) Generation time
饲料Ⅱ Artificial diet II	346.29	0.1859	1.2043	31.45
玉米叶 Maize leaf	201.99	0.1768	1.1934	30.02

3 结论与讨论

本试验中选用的已报道的3种鳞翅目害虫的人工饲料配方, 并用其对草地贪夜蛾开展室内饲养, 筛选出饲养效果较好的配方。研究表明, 饲料Ⅱ饲养的草地贪夜蛾幼虫存活率、雌蛹和雄蛹的重量、产卵量等单项指标均优于对照, 且前者的净生殖力、内禀增长率等生命表参数也高于对照, 说明该配方是饲养草地贪夜蛾的适宜人工饲料配方。当用饲料Ⅲ和饲料Ⅰ饲养的草地贪夜蛾时, 前者不能让该害虫完成世代发育, 不适合用于草地贪夜蛾的人工饲养, 虽然后者可使草地贪夜蛾完成世代发育, 但其各虫态的发育历期明显延长、个体发育整齐度差、幼虫存活率、产卵雌成虫数量少等, 因此该配方难以满足室内大量饲养的要求。

本研究的饲料Ⅱ是基于5种夜蛾科昆虫的一种简易人工饲料(陈其津等, 2000)改进而成的, 本试验饲养的供试对象草地贪夜蛾与斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* Fabricius、甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* Hübner、银纹夜蛾 *Argyogramma agnata* Staudinger、粉纹夜蛾 *Trichoplusia ni* Hübner、棉铃虫 *Helicoverpa armigera* Hübner 均为夜蛾科的杂食性昆虫, 因此是比较合适的配方。本试验中的饲料Ⅱ仅在原有配方基础上, 添加了干酪素、氯化胆碱、肌醇、链霉素和青霉素钠, 对各成分用量也进行了调整。试验研究表明, 改进的饲料Ⅱ确实适用于草地贪夜蛾的饲养。王世英等(2019)开展了适用于草地贪夜蛾饲养的人工饲料筛选, 用其最优配方饲养的草地贪夜蛾的幼虫-蛹的发育历期、存活率分别为27.8 d、83.3%, 雌成虫产卵量为452粒, 本研究的最佳配方饲养的草地贪夜蛾幼虫-蛹发育历期、个体的发育速率、幼虫-蛹

的存活率、雌成虫产卵量均优于前者。

虽然饲料 I 是国际玉米与小麦改良中心报道草地贪夜蛾的饲料配方 (Prasanna *et al.*, 2018), 其配方源于饲养玉米蛀茎夜蛾 *Busseola fusca* Fuller 的饲料配方 (Onyango, 1994), 但未提供相应的草地贪夜蛾饲养效果的具体指标。本试验结果表明, 该配方不适宜用于草地贪夜蛾的饲养。饲养 III 是于玉米螟的人工饲料配方, 虽然目前入侵我国的草地贪夜蛾偏嗜玉米, 并造成严重危害 (王磊等, 2019), 但研究表明该配方不适合饲养草地贪夜蛾。究其原因, 可能是因为草地贪夜蛾幼虫以取食叶片为主, 虽然也蛀茎为害, 但主要是钻食生长点, 玉米螟幼虫以蛀茎、蛀穗为害为主, 是否与取食不同部位的营养差异有关, 尚需进一步探究。

参考文献 (References)

- Birch LC. The intrinsic rate of natural increase of an insect population [J]. *Journal of Animal Ecology*, 1948, 17 (1): 15–26.
- Chen QJ, Li GH, Pang Y. A simple artificial diet for mass rearing of some noctuid species [J]. *Entomological Knowledge*, 2000, 37 (6): 325–327. [陈其津, 李广宏, 庞义. 饲养五种夜蛾科昆虫的一种简易人工饲料 [J]. 昆虫知识, 2000, 37 (6): 325–327]
- Garcia JLA, Sifontes JLA. Methodology for the continuous rearing of *Spodoptera frugiperda* (J. E Smith) on artificial diet [J]. *Centro Agrícola*, 1990: 78–85.
- Greene GL, Leppla NC, Dickerson WA. Velvetbean caterpillar: A rearing procedure and artificial medium [J]. *Journal of Economic Entomology*, 1976, 69: 487–488.
- Montezano DG, Specht A, Sosa – Gómez DR, *et al.* Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas [J]. *African Entomology*, 2018, 26 (2): 286–300.
- Onyango FO, Ochieng – Odero JP. Continuous rearing of the maize stem borer *Busseola fusca* on an artificial diet [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1994, 73: 139–144.
- Prasanna BM, Huesing JE, Eddy R, *et al.* Fall armyworm in Africa: A Guide for Integrated Pest Management (First Edition) [M]. Mexico, CDMX: International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), 2018: 51–54.
- Rose AH, Silversides RH, Lindquist OH. Migration flight by an aphid, *Rhopalosiphum maidis* (Hemiptera: Aphididae) and a noctuid, *Spodoptera frugiperda* (Lep: Noctuidae) [J]. *Canadian Entomologist*, 1975, 107: 567–576.
- Silva DM, Bueno ADF, Andrade K, *et al.* Biology and nutrition of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) fed on different food sources [J]. *Scientia Agricola*, 2017, 74 (1): 18–31.
- Todd EL, Poole RW. Keys and illustrations for the armyworm moths of the noctuid genus *Spodoptera* Guenee from the Western Hemisphere [J]. *Annals of the Entomological Society of America*, 1980, 73 (6): 722–738.
- Wang L, Chen KW, Lu YY. Long – distance spreading speed and trend prediction of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in China [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2019, 41 (4): 683–694. [王磊, 陈科伟, 陆永跃. 我国草地贪夜蛾入侵扩张动态与发生趋势预测 [J]. 环境昆虫学报, 2019, 41 (4): 683–694]
- Wang SY, Zhu QZ, Tan YT, *et al.* Artificial diets and rearing technique of *Spodoptera frugiperda* (J. E Smith) in laboratory [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2019, 41 (4): 742–747. [王世英, 朱启旋, 谭煜婷, 等. 草地贪夜蛾室内人工饲料群体饲养技术 [J]. 环境昆虫学报, 2019, 41 (4): 742–747]
- Zhou DR, Wang YY, Liu BL, *et al.* Studies on the mass rearing of corn borer I. Development of a satisfactory artificial diet for larval growth [J]. *Plant Protection*, 1980, 7 (2): 113–122. [周大荣, 王玉英, 刘宝兰, 等. 玉米螟人工大量繁殖研究: I. 一种半人工饲料及其改进 [J]. 植物保护学报, 1980, 7 (2): 113–122]