

不同营养液对草地贪夜蛾成虫 生殖和寿命的影响^{*}

张俊逸^{1,2**} 田彩红^{2**} 付俊锋³ 刘晓光¹ 李国平²
黄建荣² 王根松² 封洪强^{2***} 尹新明^{1***}

(1. 河南农业大学植物保护学院, 河南省害虫绿色防控国际联合实验室, 郑州 450002; 2. 河南省农业科学院
植物保护研究所, 河南省农作物病虫害防治重点实验室, 农业农村部华北南部作物有害生物综合治理重点实验室,
河南省作物保护国际联合实验室, 河南省生物农药工程研究中心, 郑州 450002;

3. 禹州市植物保护植物检疫站, 禹州 461600)

摘要 【目的】明确不同营养液对草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 成虫生殖、寿命和卵巢发育的影响, 为规模化饲养、精准早期监测和靶向防控提供科学依据。【方法】使用自制的营养液 I 和 II 为草地贪夜蛾成虫补充营养, 比较不同营养液对其生殖和寿命及卵巢发育的影响。【结果】补充不同营养液对草地贪夜蛾成虫生殖和寿命均具有显著影响, 其中以红糖、米酒和食醋等为主要成分的自制营养液 I 效果最好, 雌成虫产卵量为 (1 370.2±269.5) 粒, 卵孵化率为 99.1%±0.9%、百粒卵重为 (8.2±1.7) mg、雌虫寿命为 (13.4±2.3) d、雄虫寿命为 (12.4±2.4) d、产卵期为 (6.8±1.7) d, 其中产卵量和雄虫寿命与其他各处理均差异显著 ($P<0.05$), 其次为自制营养液 II, 雌成虫产卵量为 (1 217.2±274.0) 粒、卵孵化率为 98.3%±1.3%、百粒卵重为 (7.7±1.1) mg、雌虫寿命为 (12.7±2.1) d; 雄虫寿命为 (10.4±1.8) d、产卵历期为 (6.2±1.5) d, 其中产卵量、孵化率、百粒卵重、产卵前期、雌成虫寿命和产卵历期均与对照差异显著 ($P<0.05$)。补充营养液 I 的产卵量和雄虫寿命显著高于营养液 II。卵巢解剖发现, 补充不同营养液对卵巢发育等级无显著影响, 羽化 3 d 后的卵巢发育等级均为三级, 不同营养液之间差异不显著, 4 种营养液均显著提高了腹腔及卵巢附着的脂肪体含量。营养液 I、营养液 II、5%蔗糖水和 10%蜂蜜水脂肪体重量分别为 (17.9±0.4)、(16.3±1.1)、(17.1±0.5) 和 (17.0±0.6) mg, 均显著高于灭菌蒸馏水处理 (11.4±1.2) mg ($P<0.05$)。【结论】以红糖、米酒和食醋等为主要成分的自制营养液 I 对草地贪夜蛾成虫生殖力和寿命具有显著促进作用, 且增加了卵巢脂肪体含量, 适合在规模化饲养中为草地贪夜蛾成虫补充营养。

关键词 草地贪夜蛾; 营养液; 生殖力; 寿命; 卵巢发育

Effects of different nutrient solutions on the reproduction and longevity of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae)

ZHANG Jun-Yi^{1,2**} TIAN Cai-Hong^{2**} FU Jun-Feng³ LIU Xiao-Guang¹ LI Guo-Ping²
HUANG Jian-Rong² WANG Gen-Song² FENG Hong-Qiang^{2***} YIN Xin-Ming^{1***}

(1. College of Plant Protection, Henan International Laboratory for Green Pest Control, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China; 2. Biological Pesticides Engineering Research Center of Henan Province, International Joint Research Laboratory for Crop Protection of Henan, Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in Southern Region of North China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, Henan Key Laboratory of Crop Pest Control, Institute of Plant Protection, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China;

3. Yuzhou Plant Protection & Plant Quarantine Station, Yuzhou 461600, China)

^{*}资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划 (2021YFD1400701); 河南省科技攻关项目 (232103810016; 222102240057); 河南省农业科学院科技创新团队 (2023TD13); 河南省农业科学院基础性科研工作 (2022JC14); 国家现代农业产业技术体系 (CARS-27); 中原科技创新领军人才 (224200510018)

^{**}共同第一作者 First author, E-mail: zjy2024153708@163.com; caihongtian@126.com

^{***}共同通讯作者 Corresponding author, E-mail: feng_hq@163.com; xinmingyin@hotmail.com

收稿日期 Received: 2022-10-17; 接受日期 Accepted: 2023-03-26

Abstract [Objectives] To determine the effects of different nutrient solutions on the reproduction, life span and ovarian development of adult *Spodoptera frugiperda*. **[Methods]** Four different nutrient solutions were provided to captive raised adult *S. frugiperda* and the effects of each of these on reproduction, life span and ovarian development were compared. **[Results]** Two nutrient solutions significantly improved the reproduction and longevity. Adults provided with solution I had significantly higher egg production, hatching rate, weight per hundred eggs, female longevity, male longevity and egg laying period than the control [(1 370.2±269.5), (99.1%±0.9%), (8.2±1.7)mg, (13.4±2.3)d, (12.4±2.4)d and (6.8±1.7)d, respectively). The same parameters of adults that were provided with solution II were (1 163.7±304.7), (98.2%±2.1%), (7.4±1.0)mg, (11.9±2.1)d, (10.4±1.8)d, (6.1±1.7)d respectively. Of these, only egg production, hatching rate, weight per hundred eggs, preoviposition period, female longevity and oviposition period, were significantly higher than those of the control. Furthermore, adults fed on either solution I or solution II also differed significantly in the amount of eggs laid, weight per hundred eggs, female and male longevity. There was, however, no significant difference in ovarian development between females fed different nutrient solutions. All 4 nutrient solutions significantly increased the size of the fat body attached to the abdominal cavity and ovary. The fat body weights of adults fed either solution I, solution II, 5 % sucrose water or 10 % honey water, were (17.9±0.4) mg, (16.3±1.1) mg, (17.1±0.5) mg and (17.0±0.6) mg, respectively, all of which were significantly higher than the fat body weights of adults that were provided with sterilized distilled water [(11.4±1.2)mg]. **[Conclusion]** Nutrient solution I, the main components of which were brown sugar, rice wine and vinegar, significantly improved the fecundity and longevity of captive *S. frugiperda* adults, and increased the size of the ovarian fat body. This solution is a suitable nutritional supplement for captive *S. frugiperda* adults.

Key words *Spodoptera frugiperda*; nutrient solutions; fecundity; longevity; ovarian development

自然界中,鳞翅目昆虫在漫长的进化历程中和寄主植物形成了复杂的互作关系。成虫羽化后,通常汲取花蜜或蜜露补充营养,为其求偶、交配、产卵、定殖及飞行等生命活动提供能源。在棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (吴孔明和郭予元, 1997)、粘虫 *Mythimna separata* (曹雅忠等, 1995; 罗晨等, 2000) 和甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* (江幸福等, 2000) 等迁飞性昆虫的远距离迁飞过程中,成虫通过补充营养提供能量。因此,成虫期营养对昆虫发育、生殖及寿命等参数的影响密切相关。明确鳞翅目成虫羽化后的补充营养,对阐明地面和空中的种群动态、交换和成灾机制,对规模化饲养和实现精准预测及靶向防治具有重要意义。

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 属鳞翅目夜蛾科,是一种世界性重大迁飞性农作物害虫,原产于美洲热带及亚热带地区 (Todd and Poole, 1980)。2019 年 1 月经云南入侵我国 (Sun *et al.*, 2021), 其寄主广泛,幼虫可为害多种粮食作物。具有扩散速度快、影响范围大、为害程度重和繁殖能力强等特点,严重威胁我国粮食安全 (郭井菲等, 2019; 李强等, 2021)。现已被我国农业农

村部列为一类重大害虫。草地贪夜蛾作为新入侵并逐渐定殖在我国重大害虫,在精准预测和靶向防治、抗性监测、毒理测定和经济阈值等研究中,需要大量低成本繁育健壮、有活力和龄期一致的供试虫源。尽管草地贪夜蛾具有很强的繁殖能力,但室内饲养种群随着饲养代数的增加,种群会逐渐衰退,成虫寿命和生殖能力逐渐下降。为此,研发一种为草地贪夜蛾成虫补充营养的营养液,以提高其生殖能力,延缓种群衰退,进而满足科学研究规模化用虫需要。

鳞翅目昆虫成虫对蜜、糖、醋、酒具有特殊的嗜好,这些物质在田间具有强烈的吸引作用,利用鳞翅目昆虫补充营养的特性来诱控害虫,已在梨小食心虫 *Grapholitha molesta* (王杰和简路军, 2017)、苹小卷叶蛾 *Adorophyes orana* (吴秋芳等, 2004) 和香梨优斑螟 *Euzopher apyriella* (侯国辉等, 2022) 等多种鳞翅目害虫的预测预报和防治中得到广泛应用,且防控效果显著,但目前尚未见其对草地贪夜蛾成虫生殖和寿命影响的相关报道。

目前,国内对草地贪夜蛾补充营养的研究主要集中在 5%蜂蜜水、10%蜂蜜水、15%蜂蜜水、

5%蔗糖水、10%蔗糖水和 15%蔗糖水对其生殖的影响等(房敏等, 2020; 冯波等, 2021)。本研究在实验室条件下系统地研究了补充不同营养对草地贪夜蛾成虫寿命和生殖的影响, 通过比较与当前报道的营养液差异, 明确其对草地贪夜蛾雌雄成虫生殖、寿命及对雌成虫卵巢发育的影响, 旨在为其规模化人工饲养及其种群动态准确预测预报和精准防控提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

草地贪夜蛾原始虫源为 2019 年 6 月采自河南省信阳市明港镇春玉米田的 3-5 龄幼虫, 在温度为 $(27\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 、光周期为 14 L : 10 D, 相对湿度为 $75\%\pm 5\%$ 的人工气候箱(PQX-280A-3H 型, 宁波莱福科技有限公司)内使用人工饲料连续多代饲养至 31 代供试。

自制营养液 I 配料为纯正红糖(甘汁园京东自营旗舰店)、洋槐蜂蜜(上海冠生园蜂制品有限公司)、米酒(孝感市宏龙麻糖米酒有限公司)、食醋(江苏恒顺醋业股份有限公司)。自制营养液 II 配料为蔗糖、蜂蜜、山梨酸、抗坏血酸和蒸馏水。

1.2 方法

根据前期预实验的结果, 自制营养液 I 配方为纯正红糖、米酒、食醋、蒸馏水按照质量比 6 : 1.8 : 4.5 : 0.9 配制; 自制营养液 II 配方为蔗糖、蜂蜜、山梨酸、抗坏血酸和蒸馏水按照质量比 38 : 40 : 1 : 3 : 1 000 配制(田彩红等, 2020); 其他 2 个补充营养处理为 5%蔗糖水和 10%蜂蜜水, 对照为灭菌蒸馏水。其他试剂均为国产分析纯。幼虫化蛹后, 用分析天平(METTLER TOLEDO, ME204 型)称蛹重, 选取外形正常、大小及发育期一致, 蛹重较为一致的蛹 $[(220.62\pm 2.09)]\text{mg}$ 备用(孟令贺等, 2022)。按照董前进等(2019)的方法区分蛹的雌雄, 分别在养虫笼中羽化, 挑选同一天羽化的雌雄成虫配对于 500 mL 养虫盒内, 每盒配一对

成虫, 并用湿润的纱布覆盖盒口, 盒口用橡皮筋将纱布绷紧。分别将不同营养液添加在一次性蘸料盒内, 将灭菌脱脂棉卷成灯芯状浸入液面以下吸收营养液, 上面留出 1-3 cm 供成虫汲取营养液(田彩红等, 2020)。每个处理 15 对成虫和 10 头雌虫, 重复 3 次, 在温度 $(27\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 、光周期为 14 L : 10 D, 相对湿度为 $75\%\pm 5\%$ 的人工气候箱内饲养。每天更换营养液、产卵纱布, 记录成虫的产卵前期、产卵期、单雌日产卵量、单雌总产卵量及成虫存活时间, 直至成虫全部死亡。

1.2.1 卵重的测定 首次产卵后剪下卵块(显微镜下统计约 100 粒卵), 用分析天平准确称其重量, 称完后, 放进温度为 $(27\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 、光周期为 14 L : 10 D 的人工气候箱中使其继续发育, 每天上午 10:00 左右, 在每片卵布上喷布 500 μL 灭菌蒸馏水, 称重一次, 直至卵孵化为止, 按照差减法计算百粒卵重(田彩红等, 2013), 各处理重复 3 次。卵孵化率为各处理成虫首次产卵孵化的幼虫占总卵粒数的百分比(江幸福等, 2015)。以仅饲喂灭菌蒸馏水的草地贪夜蛾成虫为对照。

1.2.2 卵巢发育程度测定 按照上述方法挑选雌蛹, 羽化后分别使用不同处理营养液为草地贪夜蛾雌成虫补充营养, 羽化 3 d 后, 在上午 8:30 随机取雌虫 5 头进行解剖, 观察卵巢发育情况。解剖时先将雌蛾去翅及鳞片, 放入蜡盘中用昆虫针固定, 用镊子从尾部第 8 节间膜向前沿背部中线撕开, 并用昆虫针将体壁固定在虫体两侧, 用钩针挑出卵巢, 记录卵巢脂肪体重量和卵巢鲜重, 称重记为 M_0 , 之后转移至放有 5%戊二醛的蜡盘内利用超景深显微镜 Motic (Moticampro) 观察拍照(李立涛等, 2012)。在双目体视显微镜(Shimadzu Kalnew, 上海上光实业有限公司)下解剖拍照后利用 Image J 1.52a (Wayne Rasband National Institutes of Health, USA, <http://imagej.nih.gov/ij>)测量软件测量卵巢管长度。按照赵胜园等(2019)的方法分级。剥离脂肪体后放至新的培养皿中, 并用滤纸吸附多余水分及游离脂肪体后称重, 记为 M_1 , 差减法计算脂肪体重量=

M₀–M₁。每处理重复 3 次。

1.3 数据分析

试验数据使用 SPSS 22.0 进行统计分析, 分别应用单因素方差分析, 相同性别的差异性用 Tukey 法进行差异显著性检验, 雌雄不同性别之间应用 *t* 测验进行显著性分析, 孵化率数据进行反正弦转换。

2 结果与分析

2.1 不同营养液对成虫生殖力和寿命的影响

与对照灭菌蒸馏水相比, 成虫期补充不同配方的营养液对草地贪夜蛾的生殖和寿命有促进作用。通过营养液 I 处理后的草地贪夜蛾成虫的单雌产卵量为 (1 370.2±269.5) 粒, 显著高于营养液 II (1 217.2±374.0) 粒 (*P*<0.05)、5%蔗糖水 (1 163.7±304.7) 粒 (*P*<0.05)、10%蜂蜜水 (1 162.5±539.7) 粒 (*P*<0.05) 和灭菌蒸馏水

(719.8±285.6) 粒 (*P*<0.05); 雄成虫寿命为 (12.4±2.4) d, 显著高于营养液 II (10.4±1.8) d (*P*<0.05)、5%蔗糖水 (10.2±2.5) d (*P*<0.05)、10%蜂蜜水 (10.3±4.5) d (*P*<0.05) 和灭菌蒸馏水 (9.5±2.5) d (*P*<0.05) 卵孵化率为 (99.1%±0.9%), 显著高于 5%蔗糖水 (98.2%±2.1%) (*P*<0.05)、10%蜂蜜水 (98.0%±4.5%) (*P*<0.05) 和灭菌蒸馏水 (96.6%±3.2%) (*P*<0.05); 百粒卵重为 (8.2±1.7) mg, 显著高于 5%蔗糖水 (7.4±1.0) mg (*P*<0.05) 和灭菌蒸馏水 (6.8±1.5) mg (*P*<0.05)、产卵期为 (6.8 ±1.7) d, 显著长于 5%蔗糖水 (6.1±1.7) d (*P*<0.05)、10%蜂蜜水 (6.0±3.4) d (*P*<0.05) 和灭菌蒸馏水 (4.1±1.1) d (*P*<0.05); 雌成虫寿命为 (13.4±2.3) d, 显著长于 5%蔗糖水 (11.9±2.1) d (*P*<0.05)、10%蜂蜜水 (11.9±3.2) d (*P*<0.05) 和灭菌蒸馏水 (9.4±1.7) d (*P*<0.05) 处理, 与其他各处理间产卵前期差异均不显著 (*P*>0.05) (表 1)。

表 1 不同营养液对草地贪夜蛾成虫生殖和寿命的影响
Table 1 Effects of different nutrient solutions on adult fecundity and longevity of *Spodoptera frugiperda*

处理 Treatment	单雌产卵量 (粒) Number of eggs laid per female adult (grain)	孵化率 (%) Hatching rate (%)	百粒卵重 (mg) Weight of one hundred eggs (mg)	产卵前期 (d) Preoviposition period (d)	产卵期 (d) Oviposition period (d)	成虫寿命 (d) Adult longevity (d)	
						雌 Female	雄 Male
自制营养液 I Self-made solution I	1 370.2±269.5 a	99.1±0.9 a	8.2±1.7 a	5.5±1.7 a	6.8±1.7 a	13.4±2.3 a	12.4±2.4 a
自制营养液 II Self-made solution II	1 217.2±374.0 b	98.3±1.3 ab	7.8±1.2 ab	5.5±1.7 a	6.2±1.5 ab	12.7±2.1 ab	10.4±1.8 b
5%蔗糖水 5% Sucrose water	1 163.7±304.7 b	98.2±2.1 b	7.4±1.0 b	5.1±1.4 ab	6.1±1.7 b	11.9±2.1 b	10.2±2.5 b
10%蜂蜜水 10% Honey water	1 162.5±539.7 b	98.0±4.5 b	7.7±1.6 ab	5.2±3.1 ab	6.0±3.4 b	11.9±3.2 b	10.3±4.5 b
灭菌蒸馏水 Sterilized distilled water	719.8±285.6 c	96.6±3.2 c	6.8±1.5 c	4.8±1.3 b	4.1±1.1 c	9.4±1.7 c	9.5±2.5 b

表中数据为平均值±标准误, 同列数据后标有不同小写字母表示经 Tukey 法检验在 *P*<0.05 水平差异显著。表 2 同。
Data are mean±SE, and followed by the different lowercase letters in the same column indicate significant differences at *P*<0.05 by Tukey test. The same as table 2.

雌成虫取食 4 种营养液后其日产卵量的变化趋势相似, 均为产卵前 3 d 产卵量较大, 随后逐渐减少, 补充营养液 I 的雌成虫产卵量第 2

天后的产卵量显著高于灭菌蒸馏水处理 (*P*<0.05), 第 5 天产卵量显著高于其他处理 (*P*<0.05) (图 1)。

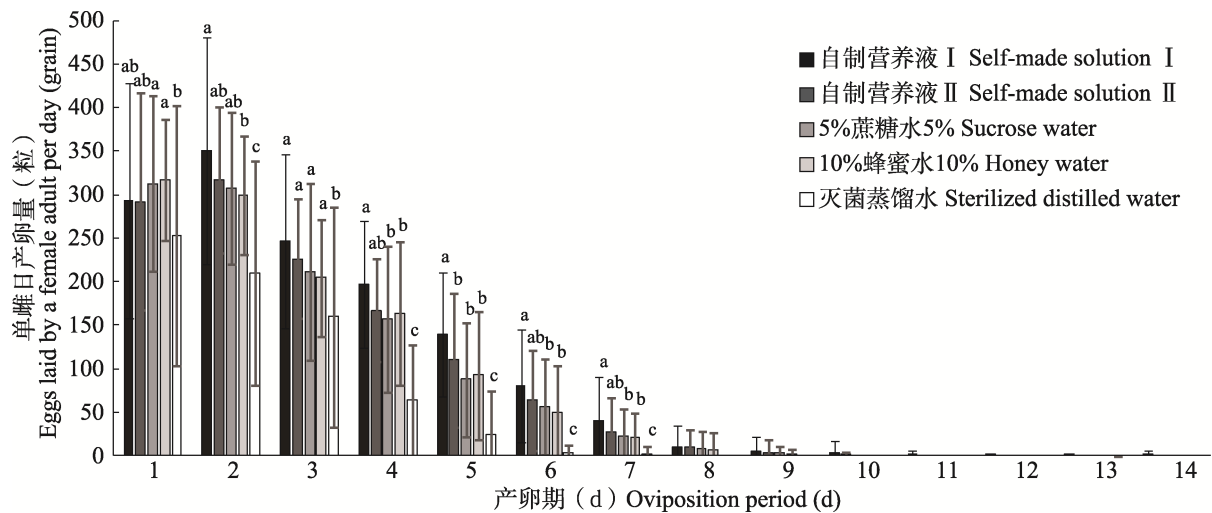


图 1 不同营养液对草地贪夜蛾单雌日产卵量的影响

Fig. 1 Effects of different nutrition solutions on daily oviposition of single female of *Spodoptera frugiperda*

数据为平均值±标准误，柱上标有不同小写字母代表不同处理间差异显著 ($P < 0.05$, Tukey 法检验)。

Data are mean±SE, and histograms with different lowercases letters indicate significant differences between different treatments ($P < 0.05$, Tukey test).

2.2 不同处理对成虫卵巢发育的影响

取食不同营养液和蒸馏水对草地贪夜蛾的卵巢发育级别无显著影响 ($P > 0.05$)，各处理卵巢发育程度在羽化后第 3 天均为Ⅲ级，但是自制

营养液 I 显著增加了卵巢上附着的卵粒数和脂肪体数量 (图 2)。

补充自制营养液 I 雌蛾卵巢长度为 (51.2 ± 0.7) mm，显著长于自制营养液 II (45.4 ± 1.3) mm ($P < 0.05$)、5%蔗糖水 (42.0 ± 1.1) mm ($P < 0.05$)、

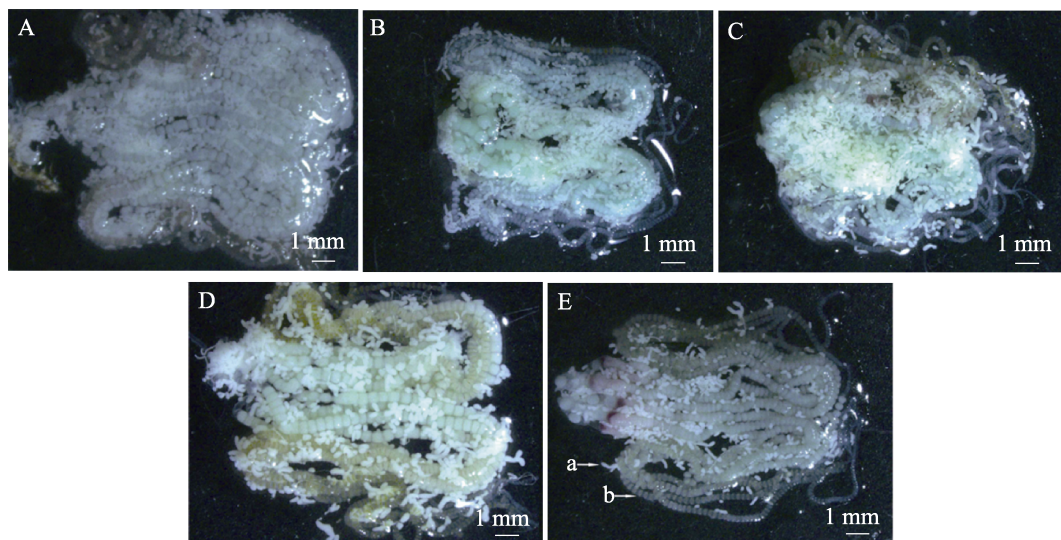


图 2 不同营养液处理的草地贪夜蛾卵巢

Fig. 2 Ovaries of *Spodoptera frugiperda* treated with different nutrient solutions

A. 自制营养液 I 处理; B. 自制营养液 II 处理; C. 5%蔗糖水处理; D. 10%蜂蜜水处理;

E. 灭菌蒸馏水处理 (20×)。a: 脂肪体; b: 卵粒。

A. Self-made nutrient solution I treatment; B. Self-made nutrient solution II treatment; C. 5% Sucrose water treatment;

D. 10% Honey water treatment; E. Sterilized distilled water treatment (20×). a: Fat body; b: Eggs.

10%蜂蜜水 (41.3±1.1) mm ($P<0.05$) 和灭菌蒸馏水 (37.7±1.2) mm ($P<0.05$); 补充自制营养液 I 雌蛾卵巢重量为 (38.6±1.5) mg, 显著重于自制营养液 II (33.6±0.9) mg ($P<0.05$), 5%蔗糖水 (28.8±0.8) mg ($P<0.05$), 10%蜂蜜水 (30.3±1.1) mg ($P<0.05$) 和灭菌蒸馏水 (23.7±2.0) mg ($P<0.05$); 营养液 I、营养液 II、5%蔗糖水和 10%蜂蜜水脂肪体重量分别为 (17.9±0.4)、(16.3±1.1)、(17.1±0.5) 和 (17.0±0.6) mg, 各营养液处理间脂肪体重量差异不显著, 均显著高于灭菌蒸馏水处理 (11.4±1.2) mg ($P<0.05$) (表 2)。

表 2 不同营养液对草地贪夜蛾成虫卵巢发育的影响
Table 2 Effects of different nutrient solutions on ovaries development of *Spodoptera frugiperda*

处理 Treatment	卵巢长度 (mm) Ovarian length (mm)	卵巢重量 (mg) Ovarian weight (mg)	脂肪体重量 (mg) Fat body weight (mg)
自制营养液 I Self-made solution I	51.2±0.7 a	38.6±1.5 a	17.9±0.4 a
自制营养液 II Self-made solution II	45.4±1.3 b	33.6±0.9 b	16.3±1.1 a
5%蔗糖水 5% Sucrose water	42.0±1.1 c	28.8±0.8 c	17.1±0.5 a
10%蜂蜜水 10% Honey water	41.3±1.1 c	30.3±1.1 bc	17.0±0.6 a
灭菌蒸馏水 Sterilized distilled water	37.7±1.2 d	23.7±2.0 d	11.4±1.2 b

3 讨论

多数鳞翅目昆虫成虫期补充营养对其生殖和寿命具有显著的促进作用, 如井上蛀果斑螟 *Assara inouei* (何超等, 2020)、黄野螟 *Heortia vitessoides* (严珍和岳建军, 2019) 和茶银尺蠖 *Scopula subpunctaria* (耿书宝等, 2020) 等昆虫通过补充一定量的营养能够延长其成虫寿命, 提高总产卵量。本研究表明, 利用自制的 2 种营养液分别补充营养后, 单雌总产卵量和雌虫寿命均显著高于仅以蒸馏水补充营养的雌虫, 这与房敏等 (2020) 和冯波等 (2021) 的结论一致。进一步分析结果表明, 营养液 I 效果最优, 产卵量、卵孵化率、百粒卵重、雌雄成虫寿命和产卵期均显著优于 5%蔗糖水、10%蜂蜜水, 同时产卵量和雄成虫寿命也显著优于营养液 II。补充营养液 I 和营养液 II 的卵孵化率显著高于其他处理, 说明成虫期充足的营养为卵提供了充足的能量物质, 更有利于其孵化, 有利于后代的存活和种族的蔓延。本研究营养液 I 处理产卵量、雌虫寿命和雄虫寿命均高于房敏等 (2020) 和冯波等 (2021) 对草地贪夜蛾补充营养效果最好的处理。说明, 自制营养液 I 是目前效果最好的成虫

营养液。
糖醋液作为引诱剂在田间广泛应用, 对梨小食心虫 *Grapholitha molesta* (王杰和简路军, 2017)、香梨优斑螟 (侯国辉等, 2022) 等昆虫有良好的诱集效果, 其主要成分红糖除了主要组分蔗糖外, 还含有矿物质、维生素、有机酸和氨基酸等成分 (车夏宁等, 2020)。因此, 经以上综合评估, 营养液 I 含有大量红糖, 营养更全面, 更有利于草地贪夜蛾繁殖, 房敏等 (2020) 也认为一定浓度蜂蜜水有利于草地贪夜蛾繁殖是因为其包含的多种营养物质。花蜜中除了糖类之外还有多种挥发性物质, 包括多种酸和醇 (Schanzmann *et al.*, 2022), 而本研究的营养液 I 配方中包含陈醋和米酒, 二者在自然发酵过程中也可能产生一些与花蜜成分相似的物质 (De Lange *et al.*, 2020), 因此可能更有利于草地贪夜蛾成虫的生长和繁殖, 对草地贪夜蛾的实验室内规模化饲养具有良好的效果。目前, 室内饲养多用 10%的蜂蜜水或者 10%蔗糖水, 二者对成虫生殖和寿命并没有显著的区别 (房敏等, 2020), 而利用本研究中营养液 I 配方, 产卵效果和幼虫孵化率都强于两者, 是室内理想的草地贪夜蛾成虫营养液。研究结果证明,

自制营养液 I 能够更好地促进室内饲养的草地贪夜蛾成虫生殖, 在野外环境下, 草地贪夜蛾由于种群繁衍的需要, 也会更倾向于选择取食有促进其种群繁衍的物质, 在田间对草地贪夜蛾的诱集效果如何? 需要将来进一步研究。

通过不同营养液处理草地贪夜蛾雌虫, 3 天后对其进行解剖, 观察不同营养液对草地贪夜蛾卵巢发育的影响, 结果表明不同营养液处理对草地贪夜蛾卵巢发育无显著影响, 与冯波等 (2021) 的结论相同。但会影响卵巢长度及重量, 其中营养液 I 处理的长度及重量显著大于其他处理, 营养液 II 次之, 4 种营养液均与灭菌蒸馏水处理差异显著。同时各营养液处理后的草地贪夜蛾腹腔内壁及卵巢上附着的脂肪体明显多于灭菌蒸馏水处理, 4 种营养液间脂肪体重量差异不显著, 均与灭菌蒸馏水处理差异显著。王竑晟等 (2004) 研究表明, 甜菜夜蛾在成虫期补充营养后体内脂肪含量显著高于清水处理, 与本研究结果相吻合。因此, 我们推测草地贪夜蛾成虫补充营养能提高生殖能力主要是因为营养物质能够提高卵巢发育的长度和重量, 同时能促进脂肪体的合成或延缓其消耗, 脂肪体的增多能够为成虫的生命活动以及卵的发育提供更多的能量, 从而延长成虫寿命和产卵期。

在大多数昆虫中, 脂肪体是卵黄蛋白原合成的主要场所。卵黄蛋白在脂肪体中合成, 分泌到血淋巴后特异性吸入到成熟的卵泡中, 作为胚胎发育的营养来源 (Fallon, 2022)。草地贪夜蛾成虫初羽化后, 体内便存在一定量的脂肪体, 可用于生殖及维持生命, 因此, 成虫期补充营养影响雌蛾将潜在繁殖力转化为实际繁殖力的效率 (Jiang *et al.*, 2011)。本研究发现营养 I 显著增加了在草地贪夜蛾脂肪体的含量, 具体功能如何, 需要将来进一步研究。

本文研究结果表明草地贪夜蛾第 2 至第 7 天单雌日产卵量均与灭菌蒸馏水处理具有显著性差异。结合不同营养液处理对卵巢发育的影响, 我们认为草地贪夜蛾成虫取食营养液后能够促进脂肪体合成或者减缓体内脂肪体的消耗, 因此羽化后一定时间内取食营养液的草地贪夜蛾雌

虫体内脂肪体含量较高, 而这些脂肪体在雌成虫产卵后期的卵子发育和维持生命中发挥重要作用, 因此成虫寿命长。另一方面, 取食灭菌蒸馏水的草地贪夜蛾雌虫羽化后体内的脂肪体用于卵巢发育及维持生命, 当脂肪体大量消耗后日产卵量便迅速降低, 同时没有足够能量维持生命活动, 成虫寿命较营养液处理短。

参考文献 (References)

- Cao YZ, Luo LZ, Li GB, Hu Y, 1995. The relationship between utilization of energy materials and sustained flight in the moth of oriental armyworm, *Mythimna separata* (Walker). *Acta Entomologica Sinica*, 38(3): 290–295. [曹雅忠, 罗礼智, 李光博, 胡毅, 1995. 粘虫飞翔能源物质及其消耗. 昆虫学报, 38(3): 290–295.]
- Che XN, Chen HJ, Wang B, Li Y, Lu WY, Xu GH, Liang YF, Deng GQ, Huang ZH, Zhao SN, 2020. Research progress of nutritional assessment and health functions of brown sugar. *China Condiment*, 45(9): 194–200. [车夏宁, 陈海军, 王宝, 李一, 陆婉瑶, 徐光辉, 梁幼飞, 邓国强, 黄振红, 赵抒娜, 2020. 红糖营养成分评估与健康功效研究进展. 中国调味品, 45(9): 194–200.]
- De Lange ES, Laplanche D, Guo H, Xu W, Vlimant M, Erb M, Ton J, Turlings TCJ, 2020. *Spodoptera frugiperda* caterpillars suppress herbivore-induced volatile emissions in maize. *Journal of Chemical Ecology*, 46(3): 344–360.
- Dong QJ, Zhou JC, Zhu KH, Zhang ZT, Dong H, 2019. A simple method for identifying sexuality of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) pupae and adults. *Plant Protection*, 45(5): 96–98, 105. [董前进, 周金成, 朱凯辉, 张柱亭, 董辉, 2019. 一种快速鉴别草地贪夜蛾蛹及成虫雌雄的简易方法. 植物保护, 45(5): 96–98, 105.]
- Fallon AM, 2022. From mosquito ovaries to ecdysone; from ecdysone to *Wolbachia*: One woman's career in insect biology. *Insects*, 13(8): 756.
- Fang M, Yao L, Li XM, Tang QF, 2020. Influence of different nutrition supplement in adult stage on reproductive capacity of *Spodoptera frugiperda*. *Plant Protection*, 46(2): 193–195, 215. [房敏, 姚领, 李晓萌, 唐庆峰, 2020. 成虫期补充不同营养对草地贪夜蛾繁殖力的影响. 植物保护, 46(2): 193–195, 215.]
- Feng B, Zhu XM, Zhong L, Wang X, Liang SP, Liu WC, Guo QS, Du YJ, 2021. Effects of supplemental nutrition on the survival

- and reproduction of *Spodoptera frugiperda* (Smith). *Chinese Journal of Biological Control*, 37(6): 1172–1178. [冯波, 朱晓明, 钟玲, 王希, 梁淑平, 刘万才, 郭前爽, 杜永均, 2021. 补充营养对草地贪夜蛾成虫存活和繁殖的影响. 中国生物防治学报, 37(6): 1172–1178.]
- Geng SB, Hou HL, He YQ, Qiao L, Pan PL, Yin J, Jin YL, 2020. Effects of nutrition supplementation on longevity and fecundity of *Scopula subpunctaria*. *Journal of Tea Science*, 40(4): 501–509. [耿书宝, 侯贺丽, 贺雨婧, 乔利, 潘鹏亮, 尹健, 金银利, 2020. 补充营养对茶银尺蠖成虫寿命和产卵量的影响. 茶叶科学, 40(4): 501–509.]
- Guo JF, He KL, Wang ZY, 2019. Biological characteristics, trend of fall armyworm *Spodoptera frugiperda*, and the strategy for management of the pest. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(3): 361–369. [郭井菲, 何康来, 王振营, 2019. 草地贪夜蛾的生物学特性、发展趋势及防控对策. 应用昆虫学报, 56(3): 361–369.]
- He C, Shen DR, Zhang R, Yin LH, Yuan SY, Tian XJ, 2020. Effects of supplementary nutrition on adult longevity and reproduction of *Assara inouei* Yamanaka. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 29(1): 135–142. [何超, 沈登荣, 张睿, 尹立红, 袁盛勇, 田学军, 2020. 补充营养对井上蛀果斑螟成虫寿命与生殖的影响. 西北农业学报, 29(1): 135–142.]
- Hou GH, Han Y, An Y, Yang SJ, Yao YS, 2022. Dynamic investigation of *Euzopherapyriella* Yang genesis and screening of entice collection methods. *Xinjiang Farm Research of Science and Technology*, 45(2): 40–42. [侯国辉, 韩英, 安亚, 杨生俊, 姚永生, 2022. 香梨优斑螟发生动态调查及诱集方法筛选. 新疆农垦科技, 45(2): 40–42.]
- Jiang XF, Luo LZ, Hu Y, 2000. The effect of compensatory nutrition condition on flight of beet armyworm *Spodoptera exigua* (Hübner). *Journal of Plant Protection*, 27(4): 327–332. [江幸福, 罗礼智, 胡毅, 2000. 成虫期营养对甜菜夜蛾生殖和飞行的影响. 植物保护学报, 27(4): 327–332.]
- Jiang XF, Luo LZ, Zhang L, Sappington TW, Hu Y, 2011. Regulation of migration in *Mythimna separata* (Walker) in China: A review integrating environmental, physiological, hormonal, genetic, and molecular factors. *Environmental Entomology*, 40(3): 516–533.
- Jiang XF, Yao R, Zhang L, Cheng YX, Liu YQ, Luo LZ, 2015. Effects of supplementary nutrition on adult reproduction and longevity of *Aethis lepigone* (Möschler). *Journal of Plant Protection*, 42(6): 1004–1008. [江幸福, 姚瑞, 张蕾, 程云霞, 刘彦群, 罗礼智, 2015. 补充营养对二点委夜蛾成虫生殖与寿命的影响. 植物保护学报, 42(6): 1004–1008.]
- Li LT, Wang YQ, Liu L, Gan YJ, Dong ZP, Ma JF, 2012. Grading criteria for assessing the ovarian development of *Aethis lepigone* and its use in forecasting. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(4): 1043–1047. [李立涛, 王玉强, 刘磊, 甘耀进, 董志平, 马继芳, 2012. 二点委夜蛾卵巢发育分级及在预测预报中的应用. 应用昆虫学报, 49(4): 1043–1047.]
- Li Q, Men XY, Jing C, Yu Y, Zhou XH, Dai XY, Lv SH, Li LL, 2021. Research progress in emergency prevention and control of *Spodoptera frugiperda* in China. *Plant Protection*, 47(6): 21–27. [李强, 门兴元, 景春, 于毅, 周仙红, 代晓彦, 吕素洪, 李丽莉, 2021. 我国草地贪夜蛾应急防控研究进展. 植物保护, 47(6): 21–27.]
- Luo C, Cao YZ, Li KB, 2000. Effect of supplementary nutrition on energy substance content of adult *Mythimna separata* (Walker). *Acta Entomologica Sinica*, 43(S1): 207–210. [罗晨, 曹雅忠, 李克斌, 2000. 补充营养对粘虫成虫能源物质含量的影响. 昆虫学报, 43(S1): 207–210.]
- Meng LH, Jiang XF, Li P, Xia JX, Zhang TQ, Cheng YX, Zhang L, 2022. Comparison of bisexual life tables of *Spodoptera frugiperda* in different photoperiods. *Plant Protection*, 48(3): 63–73. [孟令贺, 江幸福, 李平, 夏吉星, 张同强, 程云霞, 张蕾, 2022. 不同光周期下草地贪夜蛾两性生命表的比较. 植物保护, 48(3): 63–73.]
- Schanzmann H, Augustini ALRM, Sanders D, Dahlheimer M, Wigger M, Zech PM, Sielemann S, 2022. Differentiation of monofloral honey using volatile organic compounds by HS-GC×IMS. *Molecules*, 27(21): 7554.
- Sun XX, Hu CX, Jia HR, Wu QL, Shen XJ, Zhao SY, Jiang YY, Wu KM, 2021. Case study on the first immigration of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* invading into China. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(3): 664–672.
- Tian CH, He F, Feng HQ, Li GP, Qiu F, 2013. Morphological observation of embryonic development of *Apolygus lucorum* with microscope and paraffin section. *Plant Protection*, 39(1): 56–60. [田彩红, 何璠, 封洪强, 李国平, 邱峰, 2013. 绿盲蝽胚胎发育的显微及切片观察. 植物保护, 39(1): 56–60.]
- Tian CH, Huang JR, Li GP, Zhang JJ, Feng HY, Feng HQ, 2020. Effects of different nutrient solutions on adult reproduction and longevity of *Aethis dissimilis*. *Journal of Plant Protection*,

- 47(5): 1159–1160. [田彩红, 黄建荣, 李国平, 张佳佳, 封洪云, 封洪强, 2020. 不同营养液对双委夜蛾成虫生殖及寿命的影响. 植物保护学报, 47(5): 1159–1160.]
- Todd EL, Poole RW, 1980. Keys and illustrations for the armyworm moths of the noctuid genus *Spodoptera* guenée from the Western Hemisphere. *Annals of the Entomological Society of America*, 73(6): 722–738.
- Wang HS, Xu HF, Cui F, 2004. Effect of adult foods on fecundity and ovary development of beet armyworm *Spodoptera exigua* (Hübner). *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 17(1): 34–37. [王竑晟, 徐洪富, 崔峰, 2004. 成虫期营养对甜菜夜蛾生殖力及卵巢发育的影响. 西南农业学报, 17(1): 34–37.]
- Wang J, Jian LJ, 2017. Study on formula optimization of sugar-acetic-acid liquid to trap and kill *Grapholitha molesta* in peach orchard. *China Fruit & Vegetable*, 37(4): 34–36, 39. [王杰, 简路军, 2017. 糖醋液诱杀桃园梨小食心虫配方优化试验研究. 中国果菜, 37(4): 34–36, 39.]
- Wu KM, Guo YY, 1997. Effects of food quality and larval density on flight capacity of cotton bollworm. *Acta Entomologica Sinica*, 40(1): 51–57. [吴孔明, 郭予元, 1997. 营养和幼期密度对棉铃虫飞翔能力的影响. 昆虫学报, 40(1): 51–57.]
- Wu QF, Zhang AQ, Fu L, 2004. Prediction and prevention of *Adorophyes orana* in Anyang area. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2004(5): 61–63. [吴秋芳, 张爱芹, 付亮, 2004. 安阳地区苹小卷叶蛾的预测预报及防治. 河南农业科学, 2004(5): 61–63.]
- Yan Z, Yue JJ, 2019. Effects of temperature and supplementary foods on the development and fecundity of *Heortia vitessoides*. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 40(9): 1789–1795. [严珍, 岳建军, 2019. 温度及补充营养对黄野螟生长发育和繁殖的影响. 热带作物学报, 40(9): 1789–1795.]
- Zhao SY, Yang XM, He W, Zhang HW, Jiang YY, Wu KM, 2019. Ovarian development gradation and reproduction potential prediction in *Spodoptera frugiperda*. *Plant Protection*, 45(6): 28–34. [赵胜园, 杨现明, 和伟, 张浩文, 姜玉英, 吴孔明, 2019. 草地贪夜蛾卵巢发育分级与繁殖潜力预测方法. 植物保护, 45(6): 28–34.]