技术与方法

甜菜夜蛾人工饲料配方优化*

杜星星[1**] 肖华燕[1] 曹生凯[1] 杨长锦[2]
陈 功[1] 于 欢[1***] 曾爱平[1***]

（1. 湖南农业大学植物保护学院，长沙 410128；2. 新晃侗族自治县农业综合服务中心，怀化 418000）

摘 要 【**目的**】以甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua*（Hübner）为研究对象，优化饲料配方筛选，为室内饲养甜菜夜蛾提供参考。【**方法**】选取 6 组人工饲料（配方 1、2、3、4、5 和 6）饲喂甜菜夜蛾幼虫，分别记录不同饲料对其死亡率和产卵量的影响，以及甜菜夜蛾幼虫对不同配方的饲料利用率和营养指标等差异。【**结果**】以配方 3 饲喂的甜菜夜蛾幼虫死亡率最低、产卵量最高，且试虫对配方 3 的饲料利用率最高。【**结论**】通过本实验筛选获得以兔粮和小麦胚芽片为主要营养成分的甜菜夜蛾人工饲料配方一种，为后续室内高效、便捷和省时省料饲养甜菜夜蛾提供一定借鉴。

关键词 甜菜夜蛾；人工饲料；生长发育；饲料利用率；营养效应

Optimization of an artificial diet for *Spodoptera exigua*

DU Xing-Xing[1**] XIAO Hua-Yan[1] CAO Sheng-Kai[1] YANG Chang-Jin[2]
CHEN Gong[1] YU Huan[1***] ZENG Ai-Ping[1***]

(1. College of Plant Protection, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;
2. Xinhuang Dong Autonomous County Agricultural Comprehensive Service Center, Huaihua 418000, China)

Abstract **[Objectives]** To develop a better artificial diet for *Spodoptera exigua* (Hübner) and thereby improve the captive rearing of this pest. **[Methods]** Six different artificial diets (1, 2, 3, 4, 5 and 6) were fed to *S. exigua* larvae, and their effects on larval mortality and adult egg production, as well as differences their utilization rate and nutritional indicators, were compared. **[Results]** Larvae fed formula 3 had the lowest mortality, the highest utilization rate and adult egg production. **[Conclusion]** Formula 3, which was mainly comprised of rabbit pellets and wheat germ, can improve the cost-effectiveness of rearing *S exigua* in captivity.

Key words *Spodoptera exigua*; artificial diet; growth and development; efficiency of feed utilization; nutritional effects

甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua*（Hübner）隶属鳞翅目（Lepidoptera）夜蛾科（Noctuidae），又名贪夜蛾、白菜褐夜蛾，可取食玉米、大豆等多达 35 科 108 属的 138 种蔬菜和农作物（张彬等，2008；葛少彬等，2015），在我国多数省份常暴发为害（苏建亚，1996；朱树勋等，1996；刘万才等，1998；何玉仙等，1999；姜兴印等，1999）。其食源性广，繁殖力、抗逆能力和成虫迁飞能力很强，极难防治（Holme *et al.*，2002）。近年来，由于土地连作和化学农药不合理使用等因素，甜菜夜蛾发生较为严重，并产生了不同程度抗药性，成为较难防治的蔬菜害虫之一（席敦芹，2010）。研究表明，甜菜夜蛾核型多角体病毒（*Spodoptera exigua nucleopolyhedrovirus*，SeNPV）能有效防治甜菜夜蛾（Gelernter *et al.*，1986；Smits and Vlak，1988）。在大量进行工厂

*资助项目 Supported projects：棉花病虫草害绿色防控技术攻关棉花产业技术体系植保岗位（6701179）
**第一作者 First author，E-mail：xingtwodu@foxmail.com
***共同通讯作者 Co-Corresponding authors，E-mail：huanyu@hunau.edu.cn；apzengchina@163.com
收稿日期 Received：2022-12-24；接受日期 Accepted：2023-01-29

化生产之前，必须找到一个适宜于室内饲养的配方，因此甜菜夜蛾人工饲料的优化工作需要不断改进和完善。

人工饲料的研究迄今已历经 100 多年（王延年等，1984）。我国于 20 世纪 70 年代开始人工饲料的研究，并取得了一定的进展。其中，曾爱平等（2005）筛选出了以黄豆、玉米和麦麸等原料为主要营养成分并用于规模化饲养甜菜夜蛾的多种人工饲料。在甜菜夜蛾的人工饲养过程中，人工饲料的配制是最重要的环节。人工饲料可以打破寄主限制、降低昆虫饲养成本、有效控制实验标准试虫生长发育一致等（吕飞等，2007）。但是，人工饲料的饲养也存在一些问题。其中，Shorey 和 Hale（1965）报道了 9 种夜蛾科昆虫的人工饲料，但由于成分比较简单，饲养效率较低且连续饲养代数较少；赵国营等（2009）报道的人工饲料对甜菜夜蛾多代饲养后发现卵的孵化率呈现逐渐下降的趋势，到第 10 代时已下降到 35.43%；Wakamura（1988）报道的人工饲料饲养的甜菜夜蛾雌蛾产卵量高，但连续饲养代数少；李广宏等（1998）及徐金汉等（1998）以不同的人工饲料在室内续代饲养甜菜夜蛾后结果显示，幼虫存活率、化蛹率和雌蛾产卵量均有明显下降趋势，无法连续多代饲养。

鉴于此，本文在前人研究的基础上，选择了 4 组以玉米粉和大豆粉为主要营养物质的饲料配方，1 组以麦麸和白糖为主要营养物质的饲料配方和另外 1 组以兔粮和小麦胚芽为主要营养物质的饲料配方，通过检测在同一室内饲养条件下，甜菜夜蛾取食不同配方后幼虫期累计死亡率、雌蛾产卵量、3 龄健康幼虫对不同配方的营养效应和饲料利用率等指标，比较并筛选出一种更适宜在室内多代饲养甜菜夜蛾的人工饲料。

1 材料与方法

1.1 试虫及饲养条件

研究中所用的甜菜夜蛾试虫为实验室人工饲养种群。将甜菜夜蛾初孵幼虫转入装有 6 组配方的 24 孔养虫盒中，每孔体积为 2.0 cm×2.0 cm×2.5 cm（长×宽×高），置于昆虫培养箱内饲养，温度（27±1）℃，相对湿度 70%±5%，光周期 16L∶8D。将羽化成功的雌雄成虫转入养虫盒内，每盒体积为 23 cm×14 cm×8 cm（长×宽×高），便于其交配，盒壁和盒盖处均以厨房用纸包裹住，供雌蛾产卵，以 10%蜂蜜水饲喂以提供营养，每日更换厨房用纸，收集纸上的卵块，用于后续试验。

1.2 人工饲料配制

6 组配方如表 1 所示。组份 A 中成分主要提供营养物质，组份 B 中主要包括防腐剂和添加剂，以保证人工饲料的时效性。将称好的组份 A 成分放入饲料桶内，倒入 37 ℃温水搅拌均匀，在 37 ℃培养箱中发酵 15-20 min 后，转入高压灭菌锅 121 ℃高温灭菌 20 min 后拿出，冷却至 45 ℃左右加入组份 B 中的成分并搅拌均匀，放至常温后，于 4 ℃冰箱保存备用。所有饲料均在实验室内配制分装，为防止饲料中营养成分变质、潮解和发霉等，配制遵循少量多次的原则，使用期限不超过 15 d。

1.3 甜菜夜蛾累计死亡率、幼虫取食量和虫体增重量的测定

将同一时间收集的卵片放入装有 6 组配方的塑料养虫杯内（直径 8 cm，高 4 cm），每日观察卵的孵化情况，幼虫孵化出来后，将单头初孵幼虫转入 24 孔养虫盒内，分别饲以 6 组配方。24 头为一个处理，每个处理重复 3 次。每日 9:00 和 21:00 观察记录幼虫龄期及死亡数量，并计算幼虫期累计死亡率。甜菜夜蛾幼虫取食配方 6 后不能顺利完成世代，后期试验舍弃该配方。为了比较 5 组配方饲养后幼虫的生长发育情况，测定了 3 龄幼虫的日均取食量和日均增重量。选取蜕皮 12 h 内的 3 龄健康幼虫，单头置于 24 孔养虫盒中，以 5 组配方饲养，每日 14:00 进行称重，记录单头幼虫的日均取食量和日均增重量，每 48 h 更换新鲜饲料，直至幼虫死亡或预蛹。每头幼虫为一个处理，设置 30 个重复，并计算投喂新鲜饲料与残余饲料的重量差，记为每日取食量的毛重。同时，考虑到饲料有蒸发量，测定了每组配方的蒸发率。将饲料切成小方块，称重后置于 24 孔养虫盒中，放置于试验组的培养箱中，24 h 后再次称重。饲料的蒸发率（%）=（饲料间

表 1　甜菜夜蛾幼虫的人工饲料配方（1 L）

Table 1　Formula of artificial diet for *Spodoptera exigua* larvae (1 L)

	组份 A[1] Component group A[1]	组份 B[2] Component group B[2]
配方 1 Formula 1	玉米粉（75 g）、黄豆粉（75 g）、酵母粉（10 g）、蒸馏水（700 mL）、琼脂（20 g）	山梨酸（1 g）、尼泊金（2 g）、维生素 C（2 g）、胆固醇（0.1 g）
配方 2 Formula 2	玉米粉（75 g）、黄豆粉（75 g）、酵母粉（10 g）、蒸馏水（700 mL）、琼脂（20 g）	番茄酱（150 g）、山梨酸（1 g）、尼泊金（2 g）、维生素 C（2 g）、胆固醇（0.1 g）
配方 3 Formula 3	兔粮（160 g）、小麦胚芽片（150 g）、酵母粉（10 g）、蒸馏水（800 mL）、琼脂（30 g）	山梨酸（1 g）、尼泊金（3.8 g）、维生素 C（8 g）
配方 4 Formula 4	玉米粉（100 g）、黄豆粉（150 g）、麦麸（50 g）、酵母粉（10 g）、蒸馏水（1 000 mL）、琼脂（25 g）	白糖（10 g）、山梨酸（5 g）、维生素 C（5 g）、胆固醇（1 g）
配方 5 Formula 5	黄豆粉（60 g）、麦麸（180 g）、酵母粉（10 g）、蒸馏水（1 000 mL）、琼脂（25 g）	蔗糖（12 g）、山梨酸（4.8 g）、尼泊金（4.8 g）、维生素 C（4.8 g）、胆固醇（3 g）
配方 6 Formula 6	麦麸（180 g）、黄豆粉（10 g）、蒸馏水（1 000 mL）、琼脂（16.8 g）	山梨酸（1 g）、尼泊金（3.8 g）、维生素 C（8 g）

[1] 玉米粉购自新乡市航宇玉米加工有限公司；麦麸购自新希望有限公司；番茄酱购自李锦记食品有限公司；大豆粉购自嘉祥永胜食品有限公司；小麦胚芽片购自新晃恒泰源食品有限公司；兔粮购自购北京科希利饲料有限公司；酵母购自安琪酵母有限公司；琼脂粉购自广州赛国生物科技有限公司产品；

[2] 尼泊金、维生素、胆固醇和山梨酸购自上海麦克林生化有限公司产品；蔗糖购自江苏隆盛精细化工有限公司。

[1]Cornmeal was purchased from Xinxiang Hangyu Corn Processing Co., Ltd.Chn; Wheat bran was purchased from New Hope Co., Ltd.Chn; Ketchup was purchased from Lee Kum Kee Food Co., Ltd.Chn; Soybean powder was purchased from Jiaxiang Yongsheng Food Co., Ltd.Chn; Wheat germ slices was purchased from Xinhuang Hengtaiyuan Food Co., Ltd.Chn; Rabbit food was purchased from Beijing Kexili Feed Co., Ltd.Chn; Yeast was purchased from Angel Yeast Co., Ltd.Chn; Agar powder was purchased from Guangzhou Saiguo Biotechnology Co., Ltd.Chn;

[2]Nipagin, vitamin, cholesterol and sorbic acid were purchased from Shanghai Macklin Biochemical Co., Ltd.Chn; Sucrose was purchased from Jiangsu Longsheng Fine Chemical Co., Ltd.Chn.

的重量差÷初始重量）×100，饲料最终消耗量=取食量毛重×（1–饲料的蒸发率）。

1.4　甜菜夜蛾性比、蛹重和雌蛾产卵量的测定

当甜菜夜蛾化蛹后，参照赵晓峰等（2016）的方法使用体视显微镜（Motic SMZ-168）观察区分雌雄蛹后，用万分之一电子天平（Mettler Toledo）称重，分别统计各配方饲喂后雌雄蛹的个数，以计算性比，并计算雌雄蛹的平均蛹重。之后，将收集的蛹转入塑料杯内（直径 4 cm，高 2.5 cm）。将同一时间羽化的 3 对雌雄成虫一一配对，置于塑料养虫杯内（直径 8 cm，高 4 cm）中，饲以 10%的蜂蜜水，杯壁和杯盖处均以厨房用纸包裹住，供雌蛾产卵，每天更换厨房用纸，记录雌蛾产卵数量，直到雌蛾死亡，计算前 3 d 内的总产卵量。

1.5　饲料利用率和营养效应的测定

为了进一步确定幼虫对不同配方的利用差异，检测了 3 龄健康幼虫对 5 组配方的饲料利用率（Feed conversion ratio）。选取蜕皮 12 h 内的 3 龄健康幼虫，接入 5 组配方，每组配方设置 24 个重复，每天观察记录饲料减少量及虫体增重量，计算饲料利用率[饲料利用率（%）=（虫体增重量÷饲料减少量）×100）。实验于预蛹期终止。营养指标测定方法参照潘宗玉等（2020）的方法。选取 15 头蜕皮 12 h 内的 3 龄健康幼虫，饥饿 12 h 后，转入装有 5 组配方的 24 孔养虫盒中，5 头为一个处理，设置 3 次重复。幼虫取食前称取每个小方块饲料的重量，48 h 后取出剩余饲料，饥饿处理 12 h，收集幼虫排出的粪便后，称取取食后幼虫的鲜重。然后将幼虫、收集的粪便和剩余饲料分别放入烘箱中，80 ℃下反复烘

干至恒重后分别称取干重。此外，在相同条件下，另选取 15 头 3 龄健康幼虫和未被取食的饲料作为对照组，分别称取鲜重，相同条件下进行烘干，记作幼虫取食前饲料干重和取食前幼虫干重。根据饲料和幼虫的含水量推算幼虫取食前饲料干重和幼虫取食前干重。根据下列公式计算 5 个营养效应指标（Waldbauer，1968），即近似消化率（Approximate digestibility）、食物利用率（Efficiency of conversion of ingested）、食物转化率（Efficiency of conversion of digested）、相对生长速率（Relative growth rate）和相对取食量（Relative consumption rate）。公式如下：

近似消化率（*AD*）（%）=（*I*–*F*）/*I*×100；

食物利用率（*ECI*）（%）=*G*/*I*×100；

食物转化率（*ECD*）（%）=*G*/（*I*–*F*）×100；

相对生长速率（*RGR*）[g/（g·d）]=*G*/（*B*×*T*）×100%；

相对取食量（*RCR*）[g/（g·d）]=*I*/（*B*×*T*）。

式中：虫体增重（*G*）=取食后幼虫干重（G_2）- 取食前幼虫干重（G_1）；试验期间幼虫平均体重（*B*）=[（取食前幼虫干重（B_1）+取食后幼虫干重（B_2）]/2；取食量（*I*）=取食前饲料干重（I_1）- 取食后饲料干重（I_2）；*F*：粪便干重；*T*：试验天数。

1.6 数据分析

利用 Graphpad Prism 软件对试验数据分析处理并作图，采用单因素方差分析（One-way ANOVA）及差异显著性检验（*P*<0.05）并以 Duncan's 新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 甜菜夜蛾累计死亡率、幼虫取食量与体重增重量的测定

6 组配方饲养甜菜夜蛾的生长发育指标如图 1 所示。配方 6 饲喂后幼虫累计死亡率为 100%；配方 5 饲喂后幼虫的累计死亡率为 68.06%±8.45%；配方 4 饲喂后幼虫的累计死亡率为 38.89%±6.05%；配方 2 饲喂后幼虫的累计死亡率为 18.06%±3.67%；配方 1 饲喂后幼虫的累计死亡率为 1.39%±1.39%；配方 3 饲喂后幼虫的累

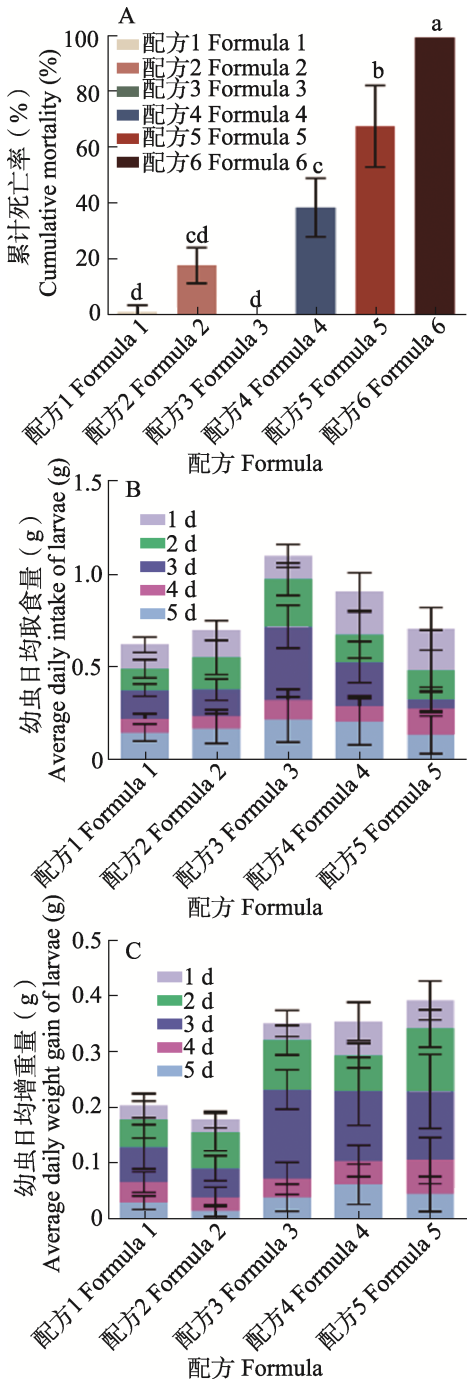

图 1 甜菜夜蛾的生长指标

Fig. 1 Growth and development indicators of *Spodoptera exigua*

A. 累计死亡率；B. 幼虫日均取食量；C. 幼虫日均增重量。

A. Cumulative mortality；B. Average daily intake of larvae；C. Average daily weight gain of larvae.

表中数据为平均值±标准误，柱上标有不同小写字母表示差异显著（*P*<0.05，单因素方差分析）。下图同。

Data are mean ± SE. Histograms with different lowcase letters indicate significant differences at 0.05 level by one-way ANOVA test. The same below.

计死亡率为 0，幼虫期没有出现死亡情况（图 1：A）。并进一步比较了 5 组配方饲养下幼虫的生长发育情况。结果显示，在第 3 天时，幼虫对配方 3 的取食量达到最高（图 1：B），且体重增长量也达到最高（图 1：C）。

2.2　甜菜夜蛾性比、蛹重及雌蛾产卵量的测定

6 组配方饲养甜菜夜蛾的繁殖指标如图 2 所示。配方 1、配方 2 和配方 3 饲喂后甜菜夜蛾的性比显著高于配方 4 和配方 5（图 2：A），后两者不存在显著性差异（$P > 0.05$）。甜菜夜蛾取食配方 2、配方 3 和配方 4 后的雌蛹重分别为[(0.163 7±0.006 4）g]、[（0.161 5±0.003 6）g]和[（0.164 1±0.006 0）g]，三者不存在显著性差异（$P > 0.05$），显著高于配方 1[（0.122 0±0.004 0）g]和配方 5[（0.135 6± 0.007 2）g]饲喂的甜菜夜蛾的雌蛹重。甜菜夜蛾取食配方 2、配方 3 和配方 4 后的雄蛹重分别为[（0.153 6±0.004 6）g]、[（0.143 6±0.003 0）g]和[（0.147 3±0.003 3）g]，三者不存在显著性差异（$P > 0.05$），但显著高于配方 1[(0.121 7±0.008 5)g]和配方 5[(0.124 5± 0.002 5）g]饲喂的甜菜夜蛾的雄蛹重（$P < 0.05$，图 2：B）。在测定 3 d 内，配方 3 饲喂的雌蛾产卵量最高，为[（937.3±62.93）粒]，与其它 4 组配方饲喂的雌蛾产卵量之间存在显著性差异（$P < 0.05$，图 2：C）。

2.3　饲料利用率和营养效应的测定

选取蜕皮 12 h 内的 3 龄健康幼虫，幼虫对 5 组配方的饲料利用率和营养效应结果如表 2 所示。结果显示，幼虫取食 5 组配方后的近似消化率没有显著差异（$P>0.05$）。幼虫取食配方 4 后的食物转化率和食物利用率最高，与其他 4 组配方饲喂幼虫的食物转化率和食物利用率存在显著性差异（$P<0.05$）；幼虫取食 5 组配方后的相对生长速率存在显著性差异（$P<0.05$），其中，幼虫取食配方 3 和配方 1 后的相对生长速率分别是最高和最低的，为 65.42%±0.69%和 8.43%±1.74%；幼虫取食 5 组配方后相对取食量存在显著性差异（$P<0.05$），其中，幼虫对配方 2 和配方 3 的相对取食量分别是最高和最低的，

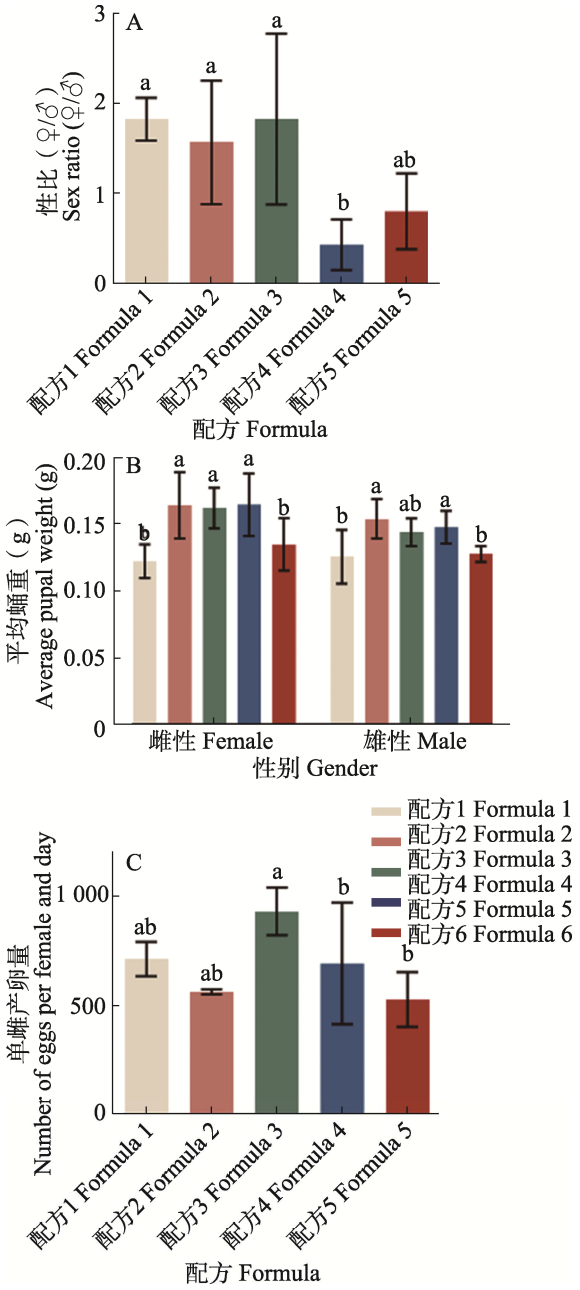

图 2　甜菜夜蛾的繁殖指标

Fig. 2　Reproductive indicators of *Spodoptera exigrua*

A. 性比；B. 雌雄蛹平均蛹重；C. 雌蛾产卵量。

A. Sex ratio; B. Average pupal weight of male and female pupae; C. Oviposition of female adult.

为（6.372 0±1.281 0）g/（g·d）和（0.006 9± 0.000 5）g/（g·d）；幼虫取食配方 1、配方 2 和配方 5 后的饲料利用率不存在显著性差异（$P>0.05$），但幼虫取食配方 3 和配方 4 后的饲料利用率分别为最高和最低的，为 27.80%±0.32%和 11.39%±0.62%，两者存在显著性差异（$P<0.05$）。

表 2 取食 5 组人工饲料 48 h 后甜菜夜蛾 3 龄幼虫的营养利用指标

Table 2 Nutrient utilization index of 3rd instar larvae of *Spodoptera exigua* after feeding on 5 groups of artificial diets for 48 h

人工饲料 Artificial diet	近似消化率（%） Approximate digestibility (%)	食物转化率（%） Efficiency of conversion of digested (%)	食物利用率（%） Efficiency of conversion of ingested (%)	相对生长速率 [g/(g·d)] Relative growth rate [g/(g·d)]	相对取食量 [g/(g·d)] Relative consumption rate [g/(g·d)]	饲料利用率（%） Feed conversion ratio (%)
配方 1 Formula 1	0.987 3±0.001 9 a	0.033 5±0.005 7 b	0.033 0±0.005 6 b	0.084 3±0.017 4 c	2.741 0±0.228 6 b	0.203 1±0.003 6 b
配方 2 Formula 2	0.981 9±0.005 6 a	0.157 4±0.035 7 a	0.153 7±0.035 0 a	0.444 6±0.067 5 b	6.372 0±1.381 0 a	0.212 6±0.008 4 b
配方 3 Formula 3	0.990 0±0.005 0 a	0.179 1±0.017 5 a	0.175 9±0.017 2 a	0.654 2±0.006 9 a	0.006 9±0.000 5 b	0.278 0±0.003 2 a
配方 4 Formula 4	0.984 5±0.003 0 a	0.189 0±0.002 4 a	0.211 3±0.027 0 a	0.545 3±0.006 2 ab	3.839 0±0.341 0 ab	0.113 9±0.006 2 c
配方 5 Formula 5	0.988 0±0.002 5 a	0.047 3±0.005 3 b	0.060 7±0.020 4 b	0.506 7±0.031 6 b	5.309 0±0.561 3 ab	0.215 5±0.003 7 b

表中数据为平均值±标准误，同列数据后标有不同字母表示在 $P<0.05$ 水平差异显著（Duncan's 新复极差法检验）。

Data are mean±SE, and followed by different letters within the same column are significantly different at $P<0.05$ level by Duncan's multiple range test.

3 讨论

昆虫人工饲养技术是昆虫学研究的技术之一，人工饲料的优化工作在不断进行，衡量人工饲料合格与否的一个重要标准为幼虫存活率。在本试验中，6 组配方饲喂后幼虫的累计死亡率差异显著，其中，配方 6 饲喂的甜菜夜蛾幼虫期累计死亡率达 100%；配方 3 饲喂的甜菜夜蛾幼虫期没有出现死亡的情况；配方 4 和配方 5 饲喂的甜菜夜蛾幼虫期累计死亡率分别为 36.89%±6.05%和 68.06%±8.45%；配方 2 和配方 1 饲喂的甜菜夜蛾幼虫期累计死亡率分别为 18.06%±3.67%和 1.39%±1.39%。李广宏等（2002）报道中两个配方饲喂后幼虫死亡率分别是 9.9%和 6.1%，本试验中配方 3 饲喂后甜菜夜蛾幼虫期没有出现死亡的情况，饲养效果较好。李腾武等（2001）报道低龄幼虫对湿度很敏感，饲料湿度不能过大，否则会导致死亡率偏高，试验中的 6 组配方经测定后湿度差异不明显。此外，Eger 等（1983）和 Rummel 等（1986）指出，造成棉铃虫越冬死亡率的众多环境因子中湿度和温度的综合作用最大，且在冷湿土壤中比在干冷土壤中蛹的死亡率要大很多。徐金汉等（1999）指出，饲喂甜菜夜蛾的温湿度为 26 ℃和 80%及温湿度为 26 ℃和 94%这 2 个组合比较适宜甜菜夜蛾的饲养。本试验中的饲养条件是温度（27±1）℃，相对湿度 70%±5%，贴近第 1 个组合，适宜饲养甜菜夜蛾。

幼虫对配方 3 的取食量最高（图 1：B），取食该配方后体重增加也最快（图 1：C）。另外，甜菜夜蛾幼虫对配方 3 的饲料利用率（27.80%±0.32%）和相对生长速率均最高[0.654 2±0.006 9 (g/g·d)]。因此，在相同饲养条件下，选择配方 3 饲养将获得更多健康幼虫。

Shorey 和 Hale（1965）以人工饲料饲养了 1 代，其连续饲养效果未得到证明。Wakamura（1988）报道的饲料饲养到第 7 代后开始出现种群衰退的现象。本试验以配方 3 连续饲养多代后，室内种群没有出现雌蛾产卵量下降的现象，延缓了种群衰退现象。结果显示，以配方 3 饲喂雌蛾的前 3 d 内的总产卵量最高，为[(937.3±62.93) 粒]。李广宏（1998）报道，随着饲料中麦麸含量增加，甜菜夜蛾幼虫期将延长。本试验中的配方 5 麦麸含量较多，幼虫期最长，与前期报道结果一致。另外，甜菜夜蛾幼虫取食配方 6 后（以麦麸和白糖为主要营养物质）不能顺利完成世代，提示麦麸可能不是甜菜夜蛾最适合的营养来源。结果表明，配方 3 具有成分简单、配制简便和不易霉变等特点，且幼虫取食后长势快、虫体健康、存活率高和雌蛾产卵量高，同时显著延缓室内种群衰退现象，对实验室相关试验的标准化试验用虫提供了技术支持。

综上所述，本试验筛选出一种以兔粮和小

麦胚芽片为主要营养物质的配方，该配方制作简便，饲养效果较好，本实验获得的结果对制定和完善甜菜夜蛾的实验室饲养具有一定的指导作用。

参考文献 (References)

Eger JE, Sterling WL, Hartstack AW, Hartstack JR, 1983. Winter survival of *Heliothis virescens* and *Heliothis zea* (Lepidoptera: Noctividae) in college station, Texas. *Environmental Entomology*, 1983(12): 970–975.

Gelernter WD, Oscano NC, Federici BA, 1986. Comparison of nuclear polyhedrosis virus and chemical insecticides for control of the beet armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) on head lettuce. *Journal of Economic Entomology*, 79(3): 714–717.

Holme RH, Kiernan BW, Brown SD, 2002. Elongation of hair cell stereocilia is defective in the mouse mutant whirler. *The Journal of Comparative Neurology*, 450(1): 94–102.

Rummel DR, Neece KC, Arnold MD, 1986. Overwintering survival and spring emergence of *Heliothis zea* in the Texas southern high plain. *Southwestern Entomologist*, 1986(11): 1–9.

Shorey HH, Hale RL, 1965. Mass-rearing of the larvae of nine noctuid species on a simple artificial medium. *Journal of Economic Entomology*, 58(3): 522–524.

Smits PH, Vlak JM, 1988. Biological activity of *Spodoptera exigua* nuclear polyhedrosis virus against *S. exigua* larvae. *Journal of Invertebrate Pathology*, 51(2): 107–114.

Wakamura S, 1988. Rearing of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) on an artificial diet in the laboratory. *Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology*, 32(4): 329–331.

Waldbauer GP, 1968. The consumption and utilization of food by insects. *Advances in Insect Physiology*, 1968(5): 229–288.

Ge SB, Liang Q, Zheng CG, Xu SL, Tang L, 2015. Research progresses on *Spodoptera exigua* nucleopolyhedrovirus. *China Plant Protection*, 35(9): 16–20. [葛少彬, 梁卿, 郑常格, 徐树兰, 汤历, 2015. 甜菜夜蛾核型多角体病毒研究进展. 中国植保导刊, 35(9): 16–20.]

He YX, Yang XJ, Weng QY, You Y, 1999. Study on the resistance of *Spodoptera exigua* and its control. *World Agriculture*, 1999(6): 41–43. [何玉仙, 杨秀娟, 翁启勇, 游泳, 1999. 甜菜夜蛾的抗药性研究及其治理. 世界农业, 1999(6): 41–43.]

Jiang XY, Wang KY, Yi MQ, Yu WZ, Liu HF, 1999. Effect of pyrethroid insecticide on four species of vegetable pests. *Chinese Vegetables*, 1999(2): 6–9. [姜兴印, 王开运, 仪美芹, 于万震, 柳宏方, 1999. 新型杀虫剂夜蛾必杀对甜菜夜蛾等 4 种害虫的药效. 中国蔬菜, 1999(2): 6–9.]

Li GH, Pang Y, Chen QJ, Su ZJ, Wen XZ, 2002. Studies on the artificial diet for beet armyworm, *Spodoptera exigua*. *Chinese Journal of Biological Control*, 18(3): 132–134. [李广宏, 庞义, 陈其津, 苏志坚, 温小昭, 2002. 一种饲养效果更佳的甜菜夜蛾人工饲料. 中国生物防治, 18(3): 132–134.]

Li TW, Yang CZ, He JX, Yang HF, Wang XL, 2001. The artificial diet and the mass rearing method of *Spodoptera exigua*. *Entomological Knowledge*, 38(5): 383–386. [李腾武, 杨崇珍, 何将绪, 杨红峰, 王兴林, 2001. 甜菜夜蛾人工饲料及饲养技术研究. 昆虫知识, 38(5): 383–386.]

Liu WC, Jiang YY, Tang JY, Jiang JY, Wang RW, 1998. The current situation of beet armyworm in China and its control countermeasures. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 14(3): 41–42. [刘万才, 姜玉英 汤金仪, 姜京宇, 王睿文, 1998. 我国甜菜夜蛾的发生现状治理对策. 中国农学通报, 14(3): 41–42.]

Lu F, Liu YS, Zhang XB, Zhu YH, 2007. Present research condition of artificial feed to Lepidoptera. *Entomological Journal of East China*, 16(2): 149–155. [吕飞, 刘玉升, 张秀波, 朱永红, 2007. 鳞翅目昆虫人工饲料的研究现状. 华东昆虫学报, 16(2): 149–155.]

Pan ZY, Mo XN, Meng X, Chen M, 2020. Effects of chlorogenic acid on the growth and development and detoxification-related protein activities in *Hyphantria cunea* （Lepidoptera: Arctiidae）larvae. *Acta Entomologica Sinica*, 63(9): 1081–1090. [潘宗玉, 莫夏娜, 孟香, 陈敏, 2020. 绿原酸对美国白蛾幼虫生长发育和解毒相关蛋白活性的影响. 昆虫学报, 63(9): 1081–1090.]

Su JY, 1996. Resistance of *Spodoptera exigua* and its control. *Plant Protection Technology and Extension*, 16(6): 37–38. [苏建亚, 1996. 甜菜夜蛾的抗药性及其抗性治理. 植保技术与推广, 16(6): 37–38.]

Wang YN, Zheng ZQ, Zhou YS, 1984. Handbook of Insect Artificial Feed. Shanghai: Shanghai Scientific &Technical Publishers. 1. [王延年, 郑忠庆, 周永生, 1984. 昆虫人工饲料手册. 上海:上海科学技术出版社. 1.]

Xi DQ, 2010. Effect of chemical control on *Spodoptera exigua* in Weixian. *China Vegetables*, 2010(5): 28. [席敦芹, 2010. 潍县青萝卜甜菜夜蛾的药剂防治效果. 中国蔬菜, 2010(5): 28.]

Xu JH, Guan X, Huang ZP, 1998. Studies on the artificial diet for beet armyworm. *Acta Phytophylacica Sinica*, 25(2): 133–136. [徐金汉, 关雄, 黄志鹏, 1998. 甜菜夜蛾人工饲料研究. 植物保护学报, 25(2): 133–136.]

Xu JH, Guan X, Huang ZP, Yu ZQ, 1999. Effect of different combinations of temperature and humidity on the development and fecundity of *Spodoptera exigua*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 10(3): 335–337. [徐金汉, 关雄, 黄志鹏, 余朝勤, 1999. 不同温湿度组合对甜菜夜蛾生长发育及繁殖的影响. 应用生态学报, 10(3): 335–337.]

Zeng AP, Ji XY, Jiang JX, Wang KW, You LS, 2005. Screening of optimum values for the components of artificial diet for the beet armyworm, *Spodoptera exigua*. *Journal of Hunan Agricultural University* (*Natural Sciences*), 31(6): 656–659. [曾爱平, 季香云, 蒋杰贤, 王奎武, 游兰韶, 2005. 甜菜夜蛾人工饲料优化配方筛选. 湖南农业大学学报(自然科学版), 31(6): 656–659.]

Zhang B, Liu H, Wang JJ, Zhou X, 2008. Advance in the research on *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 24(10): 427–433. [张彬, 刘怀, 王进军, 周旭, 2008. 甜菜夜蛾研究进展. 中国农学通报, 24(10): 427–433.]

Zhao GY, Gu XS, Liu Q, 2009. Study on improvement of artificial diet for *Spodoptera exigua*. *Shandong Agricultural Sciences*, 2009(5): 74–76. [赵国营, 谷希树, 刘强, 2009. 甜菜夜蛾人工饲料配方的改进研究. 山东农业科学, 2009(5): 74–76.]

Zhao XF, Yang AD, Zhang MX, 2016. A method for the rapid sex-determination of *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) pupae and adults. *Journal of Environmental Entomology*, 38(5): 1066–1070. [赵晓峰, 杨安峨, 张茂新, 2016. 一种快速鉴别甜菜夜蛾蛹及成虫雌雄的简易方法. 环境昆虫学报, 38(5): 1066–1070.]