

正交试验优化七星瓢虫成虫人工饲料*

程 英** 周宇航 冉海燕 金剑雪 李凤良***

(贵州省农业科学院植物保护研究所, 贵阳 550006)

摘 要 【目的】筛选七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* L. 成虫人工饲料的最优配比。【方法】采用正交试验法比较添加虾、花粉、猪油和蜂蜜的人工饲料对七星瓢虫成虫的体重、产卵前期、存活率、产卵量和孵化率的影响, 筛选并优化人工饲料配方。【结果】添加饲料含量 22.53% 的虾仁能增加成虫体重增长、提高存活率和产卵量, 3.76% 的油菜花粉能缩短成虫产卵前期、提高存活率和增加产卵量, 4.69% 猪油能提高成虫存活率、产卵量和孵化率, 6.89% 的蜂蜜能促进成虫产卵量增加和提高孵化率。优化饲料饲养七星瓢虫与基础饲料饲养相比存活率和孵化率均提高, 产卵前期缩短, 差异性不显著 ($P>0.05$), 雌成虫体重增长和产卵量均显著提高 ($P<0.05$), 分别是基础饲料饲养的 128.15% 和 122.15%。优化饲料饲养七星瓢虫与蚜虫饲养相比雌成虫体重增长, 产卵前期缩短, 差异性不显著 ($P>0.05$); 存活率、产卵量和孵化率降低, 分别是蚜虫饲养的 94.44%、63.97% 和 88.30%。【结论】通过正交试验优化的人工饲料适合七星瓢虫成虫饲养, 与基础饲料相比增加了体重, 缩短了产卵前期, 提高了存活率、产卵量和孵化率; 与蚜虫饲养相比降低了存活率、产卵量和孵化率, 该优化饲料还需要进一步的改良。

关键词 七星瓢虫; 成虫; 人工饲料; 配方优化

An orthogonal design to improve an artificial diet for adult of *Coccinella septempunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae)

CHENG Ying** ZHOU Yu-Hang RAN Hai-Yan
JIN Jian-Xue LI Feng-Liang***

(Institute of Plant Protection, Guizhou Provincial Academy of Agricultural Sciences, Guizhou, Guiyang 550006, China)

Abstract 【Objectives】To improve the optimal content ratio of artificial diet for adults of *Coccinella septempunctata*. 【Methods】An artificial diet for adult was optimized by using an orthogonal design. Shrimp, pollen, lard, and honey were selected as the key factors, and their effects on adult weight gain, preoviposition, survival, egg production and incubation were assessed. 【Results】The results showed that an increased shrimp content of 22.53% in the diet could increase weight gain, survival and egg production. Increased pollen content of 3.76% improved both survival and egg production, and shortened preoviposition. A lard content of 4.69% increased survival, and egg production and hatchability. A honey content of 6.89% could promote egg production and hatching rate of adult. The survival rate and hatchability of *C. septempunctata* fed the optimized diet were higher than that fed the basal diet ($P>0.05$), and the weight gain and fecundity of female adults were significantly increased ($P<0.05$), which were 128.15% and 122.15% higher than that fed the basal diet, respectively. The weight gain of female adults fed the optimized diet were higher than that fed the aphids ($P>0.05$); and the survival rate, fecundity and hatchability of female adults were reduced, which were 94.44%, 63.97% and 88.30% lower than that fed the aphids, respectively. 【Conclusion】Compared with the basic diet, the artificial diet optimized by orthogonal design was suitable for feeding ladybird adults, which increased body weight, shortened preoviposition, and improved survival rate, egg production and hatching rate. Compared with aphid feeding, the survival rate, egg production and hatchability were reduced, the optimized diet needs further improvement.

Key words *Coccinella septempunctata*; adult; artificial diet; optimization formula

*资助项目 Supported projects: 国家自然科学基金项目 (31960562); 黔农科院国基后补助项目 ([2021]45 号)

**第一作者 First author, E-mail: chying2000@126.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: LFL0851@126.com

收稿日期 Received: 2022-05-18; 接受日期 Accepted: 2022-10-03

七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* L. 是蚜虫、粉虱、叶蝉和叶螨等重要害虫的优势天敌昆虫, 广泛分布在亚洲、欧洲和非洲北部, 具有食量大、产卵多、适应性强、年发生代数多等特点 (Deligeorgidis *et al.*, 2005; Mahyoub *et al.*, 2013; Skouras *et al.*, 2015; 郝亚楠和孙元星, 2020)。目前, 瓢虫的繁育主要采用蚜虫作为饲料, 这不仅经济成本高、周期长、发育不整齐, 而且蚜虫人工繁殖种群数量不易控制和保存 (李连枝, 2011; 周宇航等, 2017; 孙莉等, 2019)。有关瓢虫人工饲料配方的研究较多, 不同饲料的配比对瓢虫的体重、化蛹率和羽化率均有一定的影响, 特别是生殖力低下成为制约瓢虫人工饲料发展的瓶颈 (曾凡荣和陈红印, 2009)。

Cheng 等 (2018) 利用非昆虫源人工饲料饲养七星瓢虫成虫的体重增长和产卵量分别是豆蚜 *Aphis craccivora* 饲养七星瓢虫的 87.46% 和 62.70%。通过对非昆虫源人工饲料和豆蚜的营养成分测定, 发现人工饲料中脂肪和糖的含量低于豆蚜, 蛋白质氨基酸含量高于豆蚜 (程英, 2018), 但在取食人工饲料的七星瓢虫转录组测定分析中, 氨基酸代谢通路的差异表达基因大部分都下调, 这说明七星瓢虫对饲料中的纯化合物蛋白质氨基酸吸收利用较差 (Cheng *et al.*, 2020)。人工饲料与蚜虫相比, 即使某些营养成分含量充足, 七星瓢虫取食后也不一定能较好地吸收、利用并满足其生长发育的营养需求。因此, 在人工饲料成分筛选时, 还应考虑七星瓢虫的转化利用效果, 寻求营养丰富的天然化合物。通过在人工饲料中分别添加虾、鱼肉、鸡肉、猪油等天然营养成分作为单因素, 研究这些因素对七星瓢虫各生物指标的影响, 发现虾、花粉、猪油和蜂蜜对七星瓢虫体重、产卵量和孵化率等有促进作用 (Yu *et al.*, 2022)。为明确在人工饲料中添加虾、花粉、猪油和蜂蜜的最适配比, 本文采用正交试验法优选了七星瓢虫成虫的人工饲料配方, 为七星瓢虫人工饲养奠定基础, 也为其他瓢虫人工饲料的研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

七星瓢虫种群采自贵州省贵阳市花溪区小麦地。在室内用豆蚜扩繁 3 代后备用。

1.2 供试饲料

本试验选取猪肝 105 g、奶粉 15 g、蔗糖 45 g、橄榄油 2 g、鸡蛋 10 g、玉米油 2 g、酵母粉 7.5 g、胆固醇 0.5 g、干酪素 5 g、65% 保幼激素 III 3 μ L、蛋白粉 4.5 g、维生素 E 1 g 和维生素 C 1 g 作为基础饲料成份。虾仁 (A)、花粉 (B)、猪油 (C)、蜂蜜 (D) 作为正交试验的 4 个因子, 4 个因子均设为 3 个水平, 其中水平 2 设置为饲料的基础量, 水平 1 的量是水平 2 的 2/3, 水平 3 的量是水平 2 的 4/3 (表 1)。

表 1 七星瓢虫人工饲料正交试验因子水平表
Table 1 Factors and levels in an orthogonal design for optimizing an artificial diet for *Coccinella septempunctata*

水平 Levels	饲料成分 Diet ingredients			
	A (g)	B (g)	C (g)	D (g)
1	36	8	10	22
2	54	12	15	33
3	72	16	20	44

A: 虾仁; B: 花粉; C: 猪油; D: 蜂蜜。表 2, 表 4, 表 5 同。

A: Shrimp; B: Pollen; C: Lard; D: Honey. The same as table 2, table 4 and table 5.

1.3 试验方法

选择正交表 $L_n(t^q)$, 式中 L 为正交表符号, n 为试验次数 (处理), t 为因素的水平数, q 为安排的因素数。本试验设计 4 因素、3 水平、15 个处理, 即选择 $L_{15}(3^4)$ 正交表。对各因子的 3 个水平进行随机化处理, 确定出正交试验的方案 (表 2)。

1.4 饲料的配制

先将生猪肝和虾仁 (去掉虾壳、头、胸和尾

表 2 七星瓢虫人工饲料 4 因子 3 水平
正交试验设计方案
Table 2 Orthogonal design for three levels of four
factors used for artificial diet optimization

处理 Treatments	饲料成分 (因子) Diet ingredients (factors)			
	A (g)	B (g)	C (g)	D (g)
ZS1	36	8	10	22
ZS2	36	12	15	33
ZS3	36	16	20	44
ZS4	36	8	15	33
ZS5	36	12	15	22
ZS6	54	12	20	33
ZS7	54	16	10	33
ZS8	54	16	15	44
ZS9	54	16	20	22
ZS10	54	8	10	44
ZS11	72	12	20	22
ZS12	72	12	20	33
ZS13	72	8	10	44
ZS14	72	16	10	22
ZS15	72	8	15	44

ZS1-ZS15 表示 15 个处理。表 3 同。
ZS1-ZS15 denotes 15 treatments of the orthogonal design.
The same as table 3.

部)用 JJ-2 组织捣碎机捣碎成泥状,然后按配方称取各种饲料成分,分别放入 1 000 mL 烧杯中混匀,再添加激素混匀。同时按配方总物质重(用 G 表示)的 3%称取琼脂,放入盛有 1.8 G 纯净水的烧瓶中,加热融解后再加入 0.5% G 的山梨酸(有效含量 99.0%),搅拌均匀并使温度下降到 40-50 ℃时,迅速倒入饲料烧杯中,快速搅拌均匀,分装至培养皿(d=9 cm, h=1.5 cm)待冷却至室温即可得到用以饲养七星瓢虫的半固体态人工饲料,放入 4 ℃冰箱保存备用。

1.5 饲养方法

将羽化 1 d 的七星瓢虫成虫配对,每个处理 50 对。每对七星瓢虫接入 500 mL(10 cm×10 cm)

塑料瓶中,瓶底放塑料小条,人工饲料切成小块(2 mm×5 mm×5 mm)放在塑料小条上供七星瓢虫取食,每天更换塑料小条和饲料一次,加湿润棉球供七星瓢虫吸水和保持湿度,瓶盖打孔透气。然后将饲养瓶置于温度为(25±1)℃,光周期为 16 L:8 D,相对湿度为 70%±5%的人工气候箱中,饲养 1 周后在饲养瓶内放置纸条或甘蓝叶供七星瓢虫产卵。收集的卵块放于培养皿(d=6 cm)内用蒸馏水喷湿的滤纸上,每天向滤纸喷施一次蒸馏水以保持湿度。雌虫羽化 1 d 未配对前和配对饲养 10 d 后分别用电子天平(Sartorius BSA124S)称量体重。饲养 50 d 记录雌虫成活数。每天早上、下午收集卵块,并记录每头雌虫的产卵数。孵化率按照孵化 1 d 后的 1 龄幼虫数量与卵总数的比例来计算。以采用豆蚜饲养七星瓢虫成虫为对照。

1.6 数据统计分析

采用 Microsoft Excel 进行数据统计。极差分析参照刘慧敏和张国安(2007)及 Lü 等(2014)的方法进行。优化饲料、基础饲料和蚜虫饲养对七星瓢虫的各生物参数采用 DPS 软件(17.10)进行单因素 LSD 法多重比较方差分析。

2 结果与分析

2.1 正交试验饲养结果

从表 3 可以看出,15 个处理中,每一个处理饲养七星瓢虫获得的生物参数都不相同。七星瓢虫饲养 10 d 后处理 ZS11 的雌虫体重增长最高为 16.20 mg/头,ZS15 的体重增长最少为 8.50 mg/头。15 个处理都能饲养产卵,其中 ZS12 的产卵前期最短,仅需 9.64 d 就可以产卵,ZS3 的产卵前期最长,需要 17.74 d。饲养 50 d 后 ZS13 的存活率最高为 74.00%,ZS1、ZS3 和 ZS7 的存活率最低均为 44.00%。ZS5 的产卵量最高,平均每头产卵 409.87 粒,ZS3 的产卵量最低,平均每头产卵 108.26 粒。ZS4 的孵化率最高,为 75.57%,ZS12 的孵化率最低,只有 37.57%。

表 3 七星瓢虫人工饲料正交设计试验结果

Table 3 Feeding results of *Coccinella septempunctata* using the orthogonal design

处理 Treatments	雌成虫 10 d 体重增长 (mg) 10 d weight gain of female (mg)	产卵前期 (d) Preoviposition (d)	雌虫 50 d 存活率 (%) 50 d survival rate of female (%)	产卵量 (粒) Total fecundity (grain)	孵化率 (%) Hatching rate (%)
ZS1	10.26	10.12	44.00	211.23	48.70
ZS2	11.68	13.81	70.00	242.22	48.74
ZS3	10.06	17.74	44.00	108.26	50.38
ZS4	14.50	15.85	58.00	246.04	75.57
ZS5	11.22	10.23	66.00	409.87	69.75
ZS6	10.78	10.86	72.00	281.45	51.07
ZS7	13.50	12.81	44.00	317.81	50.51
ZS8	11.44	12.62	68.00	191.42	69.63
ZS9	13.78	14.63	62.00	218.66	51.03
ZS10	12.86	12.85	56.00	177.13	45.98
ZS11	16.20	10.89	46.00	347.25	62.59
ZS12	12.52	9.64	68.00	263.21	37.57
ZS13	15.80	12.17	74.00	329.43	60.64
ZS14	9.90	13.28	62.00	182.84	48.96
ZS15	8.50	14.84	72.00	208.86	47.04
ZS	12.20	12.82	60.40	249.05	54.54

2.2 筛选关键因子

极差分析是正交试验筛选关键因子的常用方法。极差 (R) 是三水平的平均值 (Y) 之差, 极差大说明该因子在不同水平间产生的差异大, 是关键因子。同时可根据各因子在三水平上的平均值来判断其变化趋势。由表 4 可以看出, 影响七星瓢虫体重增长的因子顺序是猪油 > 虾仁 > 蜂蜜 > 花粉; 影响七星瓢虫产卵前期的因子顺序是花粉 > 蜂蜜 > 虾仁 > 猪油; 影响七星瓢虫成虫 50 d 存活率的因子顺序是猪油 > 花粉 > 虾仁 > 蜂蜜; 影响七星瓢虫产卵量的因子顺序是花粉 > 蜂蜜 > 虾仁 > 猪油; 影响七星瓢虫孵化率的因子顺序是猪油 > 虾仁 > 蜂蜜 > 花粉。极差和趋势分析的结果表明, 在七星瓢虫的成虫阶段, 影响七星瓢虫体重增长的关键因子是猪油和虾, 产卵前期的关键因子是花粉和蜂蜜, 影响七星瓢虫成虫成活率的关键因子是猪油和花粉, 影响七星瓢虫产卵量的关键因子是花粉和蜂蜜, 影响七星瓢虫

孵化率的关键因子是猪油和虾。

2.3 饲料的优化配方

根据极差分析结果, 可以得到七星瓢虫体重增长较高的人工饲料优化配方: A3B2C3D2; 产卵前期较短的人工饲料优化配方: A3B2C1D1; 存活率较高的人工饲料优化配方: A3B2C2D3; 产卵量较高的人工饲料优化配方: A3B2C2D1 和孵化率较高的人工饲料优化配方: A1B1C2D1。综合各指标的情况, 考虑七星瓢虫成虫的整体生殖发育, 利用综合平衡法, 得到了七星瓢虫成活率较高、产卵前期较短、产卵量较高和孵化率较高的优化配方 A3B2C2D1 (表 5)。因此一种新的七星瓢虫人工饲料的初步配方为: 基础人工饲料 (猪肝 105 g、奶粉 15 g、蔗糖 45 g、橄榄油 2 g、鸡蛋黄 10 g、玉米油 2 g、酵母粉 7.5 g、胆固醇 0.5 g、干酪素 5 g、维生素粉 1 g、65%保幼激素Ⅲ 3 μL、蛋白粉 4.5 g、维生素 E 1 g) + A3 (虾仁 72 g: 饲料含量 22.53%) B2 (花粉 12 g:

表 4 七星瓢虫人工饲料正交试验极差分析

Table 4 Range analysis of artificial diet for *Coccinella septempunctata* tested in the orthogonal design experiment

生物参数 Indicators	饲料成分 (因子) Diet ingredients (factors)					影响因子排列 Order of significance of factors
	平均值与极差	A (g)	B (g)	C (g)	D (g)	
10 d 体重增长 (mg) 10 d weight gain (mg)	Y1	11.56	12.40	12.50	12.30	C > A > D > B
	Y2	12.48	12.48	11.46	12.60	
	Y3	12.60	11.76	12.68	11.74	
	R	1.04	0.72	1.22	0.86	
产卵前期 (d) Preoviposition (d)	Y1	13.55	13.17	12.25	11.83	B > D > A > C
	Y2	12.75	11.09	13.47	12.59	
	Y3	12.16	14.22	12.75	14.04	
	R	1.39	3.13	1.22	2.21	
50 d 存活率 (%) 50 d survival rate (%)	Y1	56.40	60.80	56.00	56.00	C > B > A > D
	Y2	60.40	64.40	66.80	62.40	
	Y3	64.40	56.00	58.40	62.80	
	R	8.00	8.40	10.80	6.80	
产卵量 (粒) Total fecundity	Y1	243.52	234.54	243.69	273.97	B > D > A > C
	Y2	237.29	308.80	259.68	270.15	
	Y3	266.32	203.80	243.77	203.02	
	R	29.03	105.00	15.99	70.95	
孵化率 (%) Hatching rate (%)	Y1	58.63	55.59	50.96	56.21	C > A > D > B
	Y2	53.64	53.94	62.15	52.69	
	Y3	51.36	54.10	50.53	54.73	
	R	7.27	1.65	11.62	3.52	

Y1 表示水平 1 的平均值, Y2 表示水平 2 的平均值, Y3 表示水平 3 的平均值, R 表示极差。
Y1 is the average of the level 1, Y2 is the average of the level 2, Y3 is the average of the level 3, R means the range.

饲料含量 3.76%) C2 (猪油 15 g: 饲料含量 4.69%) D1 (蜂蜜 22 g: 饲料含量 6.89%)。

表 5 七星瓢虫人工饲料正交试验各因子的优水平组合

Table 5 Improved levels of diet components in the artificial diet for *Coccinella septempunctata*

生物参数 Indicators	饲料优水平组合 Improved levels of diets
体重增长 Weight gain	A3B2C3D2
产卵前期 Preoviposition period	A3B2C1D1
存活率 Survival rate	A3B2C2D3
产卵量 Egg production	A3B2C2D1
孵化率 Hatching rate	A1B1C2D1
整体生殖发育 Over development and reproduction	A3B2C2D1

2.4 优化配方的初步试验效果

将优化饲料配方 (A3B2C2D1) 对七星瓢虫成虫进行饲养验证, 试验结果如表 6 所示。优化饲料配方饲养的七星瓢虫雌虫 10 d 体重增长为 13.11 mg/头, 比基础饲料饲养的体重增长 (10.23 mg/头) 高, 差异性显著 ($P<0.05$); 比蚜虫饲养的体重增长 (12.89 mg/头) 高, 但差异性不显著 ($P>0.05$)。优化饲料饲养的成虫产卵前期为 9.80 d, 比基础饲料和蚜虫饲养的成虫产卵前期短, 但差异不显著 ($P>0.05$)。优化饲料配方饲养 50 d 雌虫存活率为 68.00%, 高于基础饲料饲养的雌虫存活率 (64.00%), 差异性不

显著 ($P>0.05$); 低于蚜虫饲养的存活率 (72%), 差异性不显著 ($P>0.05$)。优化饲料饲养雌虫平均产卵量为 502.38 粒/头, 高于基础饲料饲养的产卵量 (411.22 粒/头), 差异性显著 ($P<0.05$); 低于蚜虫饲养的产卵量 (785.38 粒/头), 差异性显著 ($P<0.05$)。优化饲料饲养的孵化率为 61.14%, 高于基础饲料饲养的孵化率 (58.70%), 没有差异显著性 ($P>0.05$); 低于蚜虫饲养的孵化率 (69.24%), 差异性显著 ($P<0.05$)。优化饲料配方饲养七星瓢虫与正交试验各处理结果 (表 3) 相比, 各生物参数都明显上升, 特别是产卵量比 15 个处理的平均值增加了 2 倍。

表 6 基础饲料、优化饲料和蚜虫饲养七星瓢虫结果比较
Table 6 Comparison of development and reproduction of *Coccinella septempunctata* fed with the basic, improved diet and aphid diet

处理 Treatments	10 d 雌成虫体重增长 (mg) 10 d weight gain of female (mg)	产卵前期 (d) Preoviposition (d)	50 d 雌成虫存活率 (%) 50 d survival rate of female (%)	产卵量 (粒) Total fecundity (grain)	孵化率 (%) Hatching rate (%)
基础饲料 Basic diet	10.23±0.790 2 b	10.60±0.788 8 a	64.00±2.666 7 a	411.22±21.512 4 c	58.70±1.696 1 b
优化饲料 Improved diet	13.11±0.492 7 a	9.80±0.980 9 a	68.00±2.108 2 a	502.38±23.353 2 b	61.14±2.290 9 b
蚜虫饲料 Aphid diet	12.89±0.679 3 a	10.40±0.654 9 a	72.00±2.666 7 a	785.30±17.085 7 a	69.24±1.158 1 a

数据为平均值±标准误, 同列数据后标有不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$, 单因素 LSD 多重比较法)。
Data are mean±SE, and followed by the same letters in the same column are not significantly different at $P < 0.05$ level by single factor LSD multiple comparison method test.

3 讨论

所有的昆虫都需要碳水化合物、蛋白质、脂类、天然营养物质等必须营养成分来满足自身的生长、发育和繁殖, 昆虫人工饲料中一种或多种营养成分过低或者过高都不利于昆虫的生长发育 (曾凡荣和陈红印, 2009)。傅贻玲和陈志辉 (1982) 以猪肝为基础选用不同糖类、脂类和氨基酸对七星瓢虫饲养表明, 添加各种氨基酸均未能提高七星瓢虫的生殖能力。Ali 等 (2016) 用虾、牛肉、牛肝等配制的人工饲料饲养异色瓢虫表明, 成虫寿命延长, 且幼虫期取食人工饲料对成虫期产卵量影响较小, 但是在成虫期用人工饲料喂养, 雌虫产卵量只有蚜虫组的 5%。我们在人工饲料中添加虾的目的是增加天然蛋白质的含量, 人工饲料中以水平 3 (饲料含量 22.53%) 添加虾能增加成虫体重增长、提高存活率和产卵量, 证明虾在该水平下更能满足七星瓢虫对蛋白质的需求。

有研究表明, 当猎物资源缺乏时, 捕食性瓢虫经常会不同程度地取食花蜜、花粉等植物性食

物, 如瓢虫取食玉米花粉、油菜花粉等补充营养 (Lundgren *et al.*, 2005; Berkvens *et al.*, 2010)。伍兴隆等 (2020) 在人工饲料中添加玫瑰花粉显著降低了七星瓢虫幼虫和蛹的发育历期。Berkvens 等 (2008) 用地中海粉螟卵加花粉饲养异色瓢虫 *Harmonia axyridis*, 雌虫产卵前期比单独用地中海粉螟卵饲养的提前, 如果单独用花粉饲养幼虫, 成虫获得率为 35%-48%, 成虫体重减轻。本研究结果表明, 在人工饲料中油菜花粉以水平 2 (饲料含量 3.76%) 添加能缩短成虫产卵前期、提高存活率和增加产卵量, 体重增长和卵孵化率与水平 1 和水平 3 的差异较小。但是, 以水平 3 添加油菜花粉到人工饲料中, 七星瓢虫幼虫的存活率和化蛹率最高 (Cheng *et al.*, 2022), 证明七星瓢虫不同虫态对饲料中的同一营养需求量不同。

陈志辉等 (1984) 的研究表明, 人工饲料中加入橄榄油能刺激七星瓢虫成虫的取食, 在此基础上加入玉米油或豆油能使食物转化效率显著地提高。程英 (2018) 的研究发现, 增加橄榄油的含量使成虫体重增长、产卵前期缩短和产卵量

提高;对人工饲料和豆蚜进行营养成分测定表明,人工饲料中棕榈酸、棕榈油酸和硬脂酸远低于蚜虫的含量。本研究选用富含棕榈酸、硬脂酸和油酸的猪油添加到人工饲料中,以水平 2 的量(饲料含量 4.69%)添加能提高成虫存活率、产卵量和孵化率,但体重减轻和产卵前期延长;猪油以水平 1 的量添加到饲料中能缩短幼虫历期和提高存活率(Cheng *et al.*, 2022),证明七星瓢虫幼虫和成虫对猪油的需求量不同。

Singh 等(2014)以蜂蜜、蔗糖为基础的人工饲料饲养七星瓢虫成虫,其最长寿命分别为 296 d 和 207 d。在本研究中,蜂蜜以水平 1(饲料含量 6.89%)添加能促进成虫产卵量增加和提高孵化率,以水平 2 添加能增加体重和提高存活率。幼虫饲料以水平 2 添加蜂蜜,其各生物指标达到最佳水平(Cheng *et al.*, 2022)。

通过正交试验设计优化的人工饲料,其饲养七星瓢虫的产卵前期比基础饲料饲养的短($P>0.05$),存活率和孵化率比基础饲料饲养高($P>0.05$),雌成虫体重增长和产卵量均显著提高($P<0.05$),分别是基础饲料饲养的 128.15% 和 122.15%。与其他瓢虫非昆虫源人工饲料相比,本研究优化的人工饲料配方饲养七星瓢虫的产卵前期(9.8 d)和 50 d 产卵量(502.38 粒)都优于其他饲料。Sarwar 和 Saqib(2010)用人工饲料饲养七星瓢虫,成虫一生产卵 18 粒。Sighinolfi 等(2008)以猪肝为基础的人工饲料饲养异色瓢虫,产卵前期为 13.5 d,但成虫 10 d 仅仅产卵 47 粒。本试验通过正交试验优化的人工饲料是适合七星瓢虫成虫饲养的,但在产卵量和孵化率上仍不及蚜虫饲养。因此,建议在后续的研究中还将继续开展七星瓢虫成虫饲料的优化。

参考文献 (References)

- Ali I, Zhang S, Luo JY, Wang CY, Lv LM, Cui JJ, 2016. Artificial diet development and its effect on the reproductive performances of *Propylea japonica* and *Harmonia axyridis*. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 19 (2): 289–293.
- Berkvens N, Bonte J, Berkvens D, Deforce K, Tirry L, Clercq DP, 2008. Pollen as an alternative food for *Harmonia axyridis*. *BioControl*, 53 (1): 201–210.
- Berkvens N, Landuyt C, Deforce K, Berkvens D, Tirry L, Clercq PD, 2010. Alternative foods for the multicoloured Asian lady beetle *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). *European Journal Entomology*, 107(2): 189–195.
- Chen ZH, Qin JD, Fan XM, Li XL, 1984. Effects of adding lipids and juvenoid into the artificial diet on feeding and reproduction of *Coccinella septempunctata* L. *Acta Entomologica Sinica*, 27(2): 136–146. [陈志辉, 钦俊德, 范学民, 李献玲, 1984. 人工饲料中添加脂类和昆虫保幼激素类似物对七星瓢虫取食和生殖的影响. 昆虫学报, 27(2): 136–146.]
- Cheng Y, Zhi JR, Li FL, Li WH, Zhou YH, 2018. Improving the artificial diet for adult of seven spotted ladybird beetle *Coccinella septempunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae) with orthogonal design. *Bulletin of Entomological Research*, 108(3): 337–343.
- Cheng Y, 2018. Optimization and evaluation of the artificial diet of *Coccinella septempunctata* L. Doctor dissertation. Guiyang: Guizhou university. [程英, 2018. 七星瓢虫人工饲料的优化和评价. 博士学位论文. 贵阳: 贵州大学.]
- Cheng Y, Zhi JR, Li FL, Wang H, Zhou YH, Jing JX, 2020. Transcriptome sequencing of *Coccinella septempunctata* adults (Coleoptera: Coccinellidae) feeding on artificial diet and *Aphis craccivora*. *PLoS ONE*, 15(8): e0236249.
- Cheng Y, Yu Y, Zhou YH, Li FL, 2022. An improved artificial diet for larvae of the seven-spotted ladybird beetle *Coccinella septempunctata* L. *Biological Control*, Doi:org/10.1016/j.biocontrol.2022.104949.
- Deligeorgidis PN, Ipsilandis CG, Vaipoulou M, Kaltsoudas G, Sidiropoulos G, 2005. Predatory effect of *Coccinella septempunctata* on *Thrips tabaci* and *Trialeurodes vaporariorum*. *Journal of Applied Entomology*, 129 (5): 246–249.
- Fu YL, Chen ZH, 1982. Influences of different components of artificial diets on the reproduction of the lady beetle *Coccinella septempunctata* L. *Acta Entomologica Sinica*, 25 (3): 335–338. [傅贻玲, 陈志辉, 1982. 人工饲料某些成分对七星瓢虫产卵的影响. 昆虫学报, 25 (3): 335–338.]
- Hao YN, Sun YX, 2020. An improved container for rearing *Coccinella septempunctata* and *Hippodamia variegata* larvae at high densities. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(5): 1213–1219. [郝亚楠, 孙元星, 2020. 七星瓢虫与多异瓢虫高密度饲养容器的设计与筛选. 应用昆虫学报, 57(5): 1213–1219.]
- Li HM, Zhang GA, 2007. Optimizing the artificial diet composition for the rice stem borer, *Chilo suppressalis*, by orthogonal design. *Chinese Bulletin of Entomology*, 44 (5): 754–757. [刘慧敏, 张国安, 2007. 用正交试验法优选二化螟人工饲料配方. 昆虫知识, 44 (5): 754–757.]

- Li LZ, 2011. Study on factorization breeding technology of *Leis axyridis* (Pallas). *Shanxi Forestry Science and Technology*, 40(1): 28–30. [李连枝, 2011. 异色瓢虫工厂化繁殖技术研究. 山西林业科技, 40(1): 28–30.]
- Lundgren JG, Huber A, Wiedenmann RN, 2005. Quantification of consumption of corn pollen by the predator *Coleomegilla maculata* (Coleoptera: Coccinellidae) during anthesis in an Illinois cornfield. *Agricultural and Forest Entomology*, 7(1): 53–60.
- Lü X, Han SH, Clercq PD, Dai JQ, Li LY, 2014. Orthogonal array design for optimization of an artificial medium for in vitro rearing of *Trichogramma dendrolimi*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 152(1): 52–60.
- Mahyoub JA, Mangoud AH, Ghamdi KM, Ghramh HA, 2013. Method for mass production the seven spotted lady beetle, *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) and suitable manipulation of egg picking technique. *Academy Journal Biological Science*, 6(3): 31–38.
- Sarwar M, Saqib SM, 2010. Rearing of predatory seven spotted ladybird beetle *Coccinella septempunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae) on natural and artificial diets under laboratory conditions. *Pakistan Journal of Zoology*, 42(1): 47–51.
- Skouras PJ, Margaritopoulos JT, Zarpas KD, Tsitsipis JA, 2015. Development, growth, feeding and reproduction of *Ceratomegilla undecimnotata*, *Hippodamia variegata* and *Coccinella septempunctata* fed on the tobacco aphid, *Myzus persicae* nicotianae. *Phytoparasitica*, 43(2): 159–169.
- Sighinolfi L, Febvay G, Dindo ML, Rey M, Pageaux J, Baronio P, Grenier S, 2008. Biological and biochemical characteristics for quality control of *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleopter, Coccinellidae) reared on a liver-based diet. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 68(1): 26–39.
- Singh SP, Singh YP, Kumar S, Tomar BS, 2014. Development of artificial diets for rearing of adult lady bird beetle *Coccinella septempunctata* in laboratory. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 84 (11): 1358–1362.
- Sun L, Chen X, Zhang YX, Zhao LL, Lin JZ, 2019. Effectiveness of *Harmonia axyridis* Pallas reared on *Ephesia kuehniella* Zeller eggs as a biological control for *Aphis craccivora* Koch. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(1): 72–78. [孙莉, 陈霞, 张艳璇, 赵玲玲, 林坚贞, 2019. 地中海粉斑螟卵饲喂的异色瓢虫对豆蚜捕食作用评价. 应用昆虫学报, 56(1): 72–78.]
- Wu XL, Liu DY, Wang Y, Guo SP, Guan Y, Liu C, Xu X, Pu DQ, 2020. Effects of different types of pollen on larval development of *Coccinella septempunctata*. *China Plant Protection*, 40(12): 10–15. [伍兴隆, 刘东阳, 王勇, 郭仕平, 官宇, 刘超, 徐翔, 蒲德强, 2020. 不同种类花粉对七星瓢虫幼虫发育的影响. 中国植保导刊, 40(12): 10–15.]
- Yu Y, Cheng Y, Zhou YH, Li FL, 2022. Effects of various components of artificial diets on survival, development and reproduction of *Coccinella septempunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae). *Biocontrol Science and Technology*, Doi: org/10.1080/09583157.2022.2100876.
- Zeng FR, Chen HY, 2009. The System Engineering for Rearing Insect Natural Enemies. Beijing: China Agricultural Science and Technology Publishing House Press. 21, 148. [曾凡荣, 陈红印, 2009. 天敌昆虫饲养系统工程. 北京: 中国农业科学技术出版社. 21, 148.]
- Zhou YH, Cheng Y, Jin JX, Li WH, Li FL, 2017. Large scale production and release application of *Coccinella septempunctata*. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 30(3): 602–604. [周宇航, 程英, 金剑雪, 李文红, 李凤良, 2017. 七星瓢虫规模化生产与释放应用效果. 西南农业学报, 30(3): 602–604.]