

东亚小花蝽人工饲料微胶囊剂型的研制及 饲养效果评价

谭晓玲^{1,2}, 王 甦², 李修炼¹, 张 帆^{2,*}

(1. 西北农林科技大学植物保护学院, 陕西杨凌 712100; 2. 北京市农林科学院植物保护与环境保护研究所, 北京 100097)

摘要: 通过正交试验对东亚小花蝽 *Orius sauteri* 人工饲料微胶囊进行了配方优化研究, 明确了海藻酸钠及壳聚糖的填充比例和芯壁比例在微胶囊产率、包埋率和含水率等方面的影响。各配方因素对产率的影响程度依次为: 芯壁比 > 海藻酸钠填充比 > 壳聚糖填充比; 而各因素对包埋率的影响程度依次为: 壳聚糖填充比 > 海藻酸钠填充比 > 芯壁比; 含水率受海藻酸钠填充比影响最大, 而后依次为壳聚糖填充比和芯壁比; 在海藻酸钠填充比为 2.0%、壳聚糖填充比为 0.6% 及芯壁比为 1:3 时, 所得人工饲料微胶囊感官评定得分最高。以包埋率作为基准考量下, 取最佳配比为海藻酸钠填充比为 1.0%, 壳聚糖填充比为 0.8%, 芯壁比为 1:1 的配方, 制作人工饲料微胶囊饲喂东亚小花蝽, 与取食朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus* 组为对照, 进行了饲喂效果试验。结果表明: 与对照组相比, 取食人工饲料微胶囊后, 东亚小花蝽 1、2 龄若虫发育历期显著延长, 雌成虫寿命显著缩短; 羽化率和产卵前期差异不显著, 但产卵期、产卵量和卵孵化率显著降低。此外, 取食人工饲料微胶囊的东亚小花蝽成虫呼吸熵显著低于对照, 运动速率则显著高于对照。

关键词: 东亚小花蝽; 人工饲料; 微胶囊; 发育历期; 繁殖力

中图分类号: Q968.1 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2010)08-0891-10

Optimization and application of microencapsulated artificial diet for *Orius sauteri* (Hemiptera: Anthocoridae)

TAN Xiao-Ling^{1,2}, WANG Su², LI Xiu-Lian¹, ZHANG Fan^{2,*} (1. School of Plant Protection, North West A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Plant and Environment Protection, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China)

Abstract: *Orius sauteri* is an important biological control agent and the massive factory production breeding of this agent is the core point in application processing. Based on the original artificial diet prescription, our present experiments promoted the artificial diet model for *O. sauteri* by microencapsulation technology. We confirmed the influences of sodium alginate, chitosan and the proportion of core material to wall-forming material on the yield rate, embedding rate, moisture rate and sensory evaluation level of microencapsulated artificial diet by orthogonal experiments. The results indicated that the influential order of ingredients to the yield rate successively was the proportion of core material to wall-forming material > sodium alginate > chitosan. The influential order of ingredients to embedding rate, however, was chitosan > sodium alginate > proportion of core material to wall-forming material. Furthermore, the sodium alginate influenced the moisture rate most and then chitosan. We observed similar tendency in sensory evaluation, and the corresponding optimum prescription was sodium alginate 2.0%, chitosan 0.6% and the proportion of core material to wall-forming material 1:3. Based on the embedding rate, we set the optimum prescription of microencapsulation as sodium alginate 1.0%, chitosan 0.8% and the proportion of core material to wall-forming material 1:1, and a diet of this prescription was used to compare the development status between the *O. sauteri* fed on the optimum artificial microcapsulated diet and CK (fed on *Tetranychus cinnabarinus*). The results showed that there were significant differences in 1st and 2nd instar

基金项目: 国家“973”计划项目(2009CB119206); 国家科技支撑计划项目(2006BAD08A02, 2008BADA5B02); 北京市自然科学基金重点项目(6081002); 公益性行业(农业)科研专项(200803006)

作者简介: 谭晓玲, 女, 1983 年 1 月生, 山东省潍坊市人, 硕士研究生, 从事与东亚小花蝽大规模饲养相关的基础生物生理学研究, E-mail: tanxiaoling2010@163.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: zt6131@263.net

收稿日期 Received: 2010-01-27; 接受日期 Accepted: 2010-07-04

developmental duration. *O. sauteri* female adults showed significantly shorter life span on artificial diet than on CK. However, there was no significant difference in the emergence rate between two treatments. *O. sauteri* showed significantly lower oviposition duration, fecundity and hatch rate when feeding on artificial diet microcapsules although we did not observe any difference in pre-oviposition period at all. The intensive analysis of artificial diet effects showed that the respiratory quotient of *O. sauteri* fed on artificial diet was significantly lower than that on CK. However we observed a converse tendency in comparison of average creeping speed.

Key words: *Orius sauteri*; artificial diet; micro-capsulation; developmental duration; fecundity

昆虫人工饲料的研究自人工饲养黑颊丽蝇 *Calliphora vomitoria* (L.) 开始到现在整整经历了一百年的历史 (Vanderzant, 1974), 对人工饲料配方的筛选、剂型的研制及饲料添加物质等方面都进行了广泛而深入地研究 (Bruzzone *et al.*, 1990; 张丽莉等, 2007; Dworjanyan *et al.*, 2007; Trebicki *et al.*, 2009; Dimou *et al.*, 2010)。尽管昆虫人工饲料配方的筛选仍是此类研究的核心问题 (Iwai *et al.*, 2009), 但对于刺吸式的捕食性天敌来说, 人工饲料必须具备良好的软硬度和保水性才能较好地满足其生长发育的需要 (Scriber and Slansky, 1981)。饲料的剂型直接影响昆虫的取食行为, 从而影响昆虫的生长发育、繁殖及各种生理代谢活动 (Reeve *et al.*, 2003), 已成为制约人工饲料应用发展的瓶颈 (Thompson, 1999; Fekovich and Shapiro, 2004)。随着相关研究的不断深入, 很多应用于食品及医药等领域的新技术都陆续被应用到饲料工业的发展。因此根据昆虫的营养需求, 针对昆虫的不同口器类型与取食特点, 配制适合昆虫取食的人工饲料剂型是必然的发展趋势。

微胶囊包装技术 (microencapsulation technology) 是利用天然或合成高分子材料, 将分散的固体、液体, 甚至是气体物质包裹起来形成具有半透性或密封囊膜的微小粒子的技术 (Gharsallaoui *et al.*, 2007)。目前微胶囊技术已被成功应用于纺织、食品、医药、农药、食品和肥料等诸多领域。该技术对于改善被包裹物质的物理性质 (颜色、外观、表观密度、溶解性), 提高物质的稳定性, 根据需要控制物质的释放等方面具有很大优势 (Poncelet, 2006)。

本试验所用东亚小花蝽 *Orius sauteri* (Poppius), 属半翅目 (Hemiptera), 花蝽科 (Anthocoridae), 可以取食蚜虫、粉虱、飞虱、蜘蛛和叶螨等多种害虫, 是一种重要的农林生物防治捕食性天敌 (Lattin, 1999)。目前, 人们对于东亚小花蝽的研究已经从早期种质

资源的开发与利用, 逐渐发展到相关基础生物学、生态学 (于毅和严毓骅, 1999; 郭建英等, 2002b; 庄乾营等, 2009) 及人工大量繁殖替代饲料筛选等研究领域 (王方海和周伟儒, 1998; 郭建英等, 2002a), 但利用新剂型生产工艺, 特别是微胶囊技术结合东亚小花蝽人工饲料的应用研究却鲜有报道。本试验在室内环境条件下, 针对微胶囊产率、包埋率及感官评定等方面对微胶囊配方中壳聚糖和海藻酸钠比例以及芯壁比等方面进行研究, 并且比较了东亚小花蝽取食微胶囊人工饲料后在生长发育以及繁殖能力等方面与取食朱砂叶螨对照组的差异, 以为微胶囊技术在昆虫人工饲料中的应用研究提供相关理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

供试东亚小花蝽于 2008 年 7–9 月采自北京市昌平区流村镇王家园苹果园内 (40°14'N, 116°13'E)。每 2 周采集 1 次, 共采集成虫 1 024 头 (雄 551 头, 雌 473 头)。将采集所得东亚小花蝽移至昆虫饲养室内定殖 (以全自动环境控制系统控制室内环境条件为: 温度 $25 \pm 1^\circ\text{C}$, 光照周期 16L: 8D, 光照强度 3 000 lx, 相对湿度 $70\% \pm 5\%$)。以芸豆 *Phaseolus coccineus* L. 饲养的朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus* Boisduval 为食物对东亚小花蝽试验种群进行扩繁, 在自制养虫笼 (450 cm × 550 cm × 680 cm, 铝合金及 120 目塑料纤维纱网制) 内繁殖 3 代以上供试。

1.2 东亚小花蝽人工饲料微胶囊的配制

1.2.1 东亚小花蝽人工饲料微胶囊配方的正交试验设置: 首先通过单因素试验研究, 确定各项影响因素的条件范围, 在此基础上设计配方因素编码正交试验 (表 1, 2)。

表 1 微胶囊配方因素编码表

Table 1 Composition materials of microencapsulated formula

处理水平 Set-up level	海藻酸钠 填充比(%) ALG proportion	壳聚糖 填充比(%) CHI proportion	芯壁比* Proportion of core to shell
1	1.0	0.2	2:1
2	1.5	0.4	1:1
3	2.0	0.6	1:2
4	2.5	0.8	1:3
变化间距 Δ _j Difference between levels	0.5	0.2	-

ALG: 海藻酸钠 Sodium alginate; CHI: 壳聚糖 Chitosan. *: 体积比 The proportion was evaluated in volume scale here. 下同 The same below.

表 2 微胶囊配方正交试验设计

Table 2 Set-up of orthogonal experiments for microencapsulated formula

试验号 Experiment no.	海藻酸钠 填充比(%) ALG proportion	壳聚糖 填充比(%) CHI proportion	芯壁比 Proportion of core to shell
1	1.0	0.2	2:1
2	1.0	0.4	1:1
3	1.0	0.6	1:2
4	1.0	0.8	1:3
5	1.5	0.2	1:1
6	1.5	0.4	2:1
7	1.5	0.6	1:3
8	1.5	0.8	1:2
9	2.0	0.2	1:2
10	2.0	0.4	1:3
11	2.0	0.6	2:1
12	2.0	0.8	1:1
13	2.5	0.2	1:3
14	2.5	0.4	1:2
15	2.5	0.6	1:1
16	2.5	0.8	2:1

1.2.2 微胶囊人工饲料的配制及制品性状评定：采用复凝聚法制作微胶囊，基本工艺流程分为原料处理、杀菌、配料、乳化、造粒、漂洗、过滤、包装及储存 9 部分 (Silva *et al.*, 2005)。试验中所用人工饲料(芯材)配方为自主研发(另文发表)。

微胶囊人工饲料具体制作步骤如下：按表 2 所示处理进行。配制 2% 的氯化钙溶液→不同比例海藻酸钠溶液分别与调配好的人工饲料混合→再用 AJ5805 型便携式微量注射泵注入氯化钙溶液形成海藻酸钙人工饲料颗粒(图 1)→不同比例的壳聚糖溶液中震荡得到海藻酸钙-壳聚糖-海藻酸钙胶粒→悬浮于 0.15% 的海藻酸钠溶液中→置于 0.055 mol/L 柠檬酸钠溶液中浸泡→生理盐水中清洗→蒸馏水清洗→滤筛过滤且包装后冷藏。

共制备 16 组微胶囊，每组 50 粒，5 次重复。
对所得各配方微胶囊按照表 3 所示内容进行感官评定，并按照下述公式进行性状比较。

微胶囊的产率：产率 $F(\%) = (\text{微胶囊颗粒总质量} / \text{总壁材及芯材质量}) \times 100$ ；

微胶囊的包埋率：包埋率 $(\%) = \text{微胶囊总被包埋人工饲料质量} / \text{投入人工饲料芯材总质量} \times 100$ ；

水分含量的测定：称取单粒微胶囊质量 W ，恒温箱中烘 2 h，后置于干燥皿中冷却至室温，称重为 W_1 。计算含水率 $(\%) = (W - W_1) / W \times 100$ 。

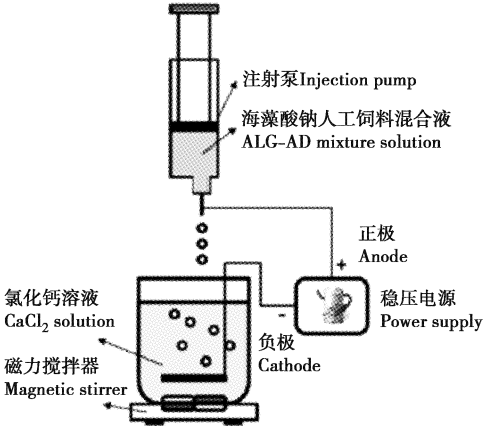


图 1 微胶囊制作装置

Fig. 1 Device of microencapsulation procedure

ALG-AD: 海藻酸钠人工饲料 Sodium alginate-artificial diet.

表 3 人工饲料微胶囊感官评分表

Table 3 The grades of sensory evaluation for microencapsulation artificial diet

指标 Index	评定标准 Evaluation standard	分数 Score
外形	颗粒完整，呈正圆形	20
色泽	呈白色或浅黄色，色泽均一	20
弹性	颗粒不分散，有弹性	20
组织	芯壁分离鲜明，组织紧密	20
表面光滑度	表面光滑，无凹凸	20

1.3 优选微胶囊人工饲料对东亚小花蝽生活力的影响

按照试验 1.2.2 所得最佳微胶囊配方制作人工饲料微胶囊若干,保存于 10℃ 冰箱中备用。

1.3.1 微胶囊人工饲料对东亚小花蝽生长发育的影响:取东亚小花蝽初孵若虫 1 头,置于塑料培养皿($D=4.5\text{ cm}$)中,然后放入微胶囊人工饲料 3 粒,每 12 h 更新一次。皿底放置湿润滤纸及新鲜芸豆叶片,皿口覆以封口膜,并用解剖针扎取通气孔若干,置入人工气候箱(SANYO-MLR-351H)中,在温度 $25\pm1^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $70\%\pm5\%$,光照强度 2000 lx,光周期 16:8(光:暗)条件下饲养(后简称 MA),另以朱砂叶螨饲养的东亚小花蝽作为对照,每日用体式显微镜(日本 Nikon 公司, SMZ-1500 型)观察记录各处理小花蝽若虫发育历期、羽化率及雌成虫寿命。每处理重复 5 次,每次观测 10 头。

1.3.2 微胶囊人工饲料对东亚小花蝽繁殖能力的影响:重复 1.3.1 中所述试验步骤,取所得初羽化东亚小花蝽雌雄成虫各 1 头,待其交配后将雌成虫置于塑料培养皿(规格同上)中,每皿放入微胶囊人工饲料 3 粒。皿中提供新鲜芸豆叶片做产卵基质,12 h 后更换饲料和产卵基质,并检查产卵量。将产在芸豆叶片中的卵培养至孵化,观察记载东亚小花蝽雌成虫产卵前期、产卵持续时间及卵孵化率。在同样条件下以朱砂叶螨饲养的东亚小花蝽作为对照。各处理重复 5 次,每次观测 10 头。

1.3.3 人工饲料微胶囊对东亚小花蝽雌成虫呼吸速率的影响:在温度为 $25\pm1^{\circ}\text{C}$ 的恒温条件下,分别取处理和对照组的初羽化东亚小花蝽雌成虫,利用动物呼吸测量系统(Sable System Co. Ltd.),调整空气流量为 0.1 L/min,进行呼吸速率及呼吸熵测量和计算。

东亚小花蝽的呼吸熵 $RQ = (\text{CO}_2\%_{\text{呼出}} - \text{CO}_2\%_{\text{吸入}}) / (\text{O}_2\%_{\text{吸入}} - \text{O}_2\%_{\text{呼出}})$

每次观测 10 头,5 次重复。

1.3.4 人工饲料微胶囊对东亚小花蝽雌成虫运动能力的影响:分别取处理和对照组的初羽化东亚小花蝽雌成虫,单头置于昆虫行为记录仪(Synthetic, LC-100)球体顶部,打开 Tracksphere 数据采集和分析程序,设置时间为 5 min。采集输出结果,计算东亚小花蝽的瞬间爬行速率和持续爬行距离等参数。各处理重复 5 次,每次观测 10 头。

1.4 数据处理与分析

以正交试验各组及各次重复所得的微胶囊配方

进行方差及极差分析,确定配方因素的主次顺序,并确定最优配方组合。利用独立样本的 t 检验,以不同食物类型为独立变量,对东亚小花蝽取食后在生长发育、繁殖能力、呼吸速率及运动能力上的差异进行统计分析。各统计分析结果均利用 SPSS 15.0 统计软件完成。

2 结果与分析

2.1 人工饲料微胶囊配方对制品性状的影响

2.1.1 产率:自表 4 可见,各配方处理所得微胶囊产率均在 60% 以上,其中处理 4 的产率超过 80%。基于正交试验结果的方差分析结果表明(表 5),不同微胶囊配方组合对微胶囊人工饲料的产率有显著影响。比较所得结果的平方和可知,各配方因素对产率影响程度依次为:芯壁比 > 海藻酸钠填充比 > 壳聚糖填充比。通过极差分析结果可知各因素水平中以 $A_1B_3C_4$ 组合为最佳组合(表 6),即以微胶囊产率为标准的情况下,最佳微胶囊配方为:海藻酸钠填充比为 1.0%、壳聚糖填充比为 0.6%、芯壁比为 1:3;在以此为最佳配方的验证试验中,得到 87.7% 的产率。

2.1.2 包埋率:与产率相似,不同处理所得人工饲料微胶囊的包埋率均在 60% 以上(表 4)。其中处理 4 的包埋率达到 80% 以上。方差分析结果(表 5)说明,包埋率受微胶囊配方组合影响显著,以微胶囊包埋率为参评标准时的影响程度依次是:壳聚糖填充比 > 海藻酸钠填充比 > 芯壁比。极差分析结果表明在 $A_1B_4C_2$ 的配方组合下人工饲料微胶囊的包埋率最高(表 6),即以包埋率为标准时,最佳微胶囊配方为:海藻酸钠填充比为 1.0%、壳聚糖填充比为 0.8%、芯壁比为 1:1;此配方验证试验中,微胶囊人工饲料包埋率为 85.3%。

2.1.3 含水率:较高的含水率是人工饲料的重要品质评价指标之一。试验结果显示(表 4),除处理 5 外其它处理中的含水量均在 5.0% 以上,其中处理 12 的含水率接近 8.0%。方差分析结果表明,供试各配方因素对含水率的影响强度依次为:海藻酸钠填充比 > 壳聚糖填充比 > 芯壁比,且芯壁比对微胶囊含水率无显著影响(表 5)。极差分析结果显示各配方因素最佳组合试验处理为 $A_3B_3C_3$,即当微胶囊配方设置为:海藻酸钠填充比为 2.0%、壳聚糖填充比为 0.6% 及芯壁比为 1:2;此时所得人工饲料微胶囊含水率最高,可达 9.5%(表 6)。

表 4 微胶囊人工饲料性状指标正交试验结果
Table 4 Results of the orthogonal experiments for characteristics index of microencapsulated artificial diet

试验号 Experiment no.	产率(%) Yield rate	包埋率(%) Embedding rate	含水率(%) Moisture rate	感官评定 Sensory evaluation
1	66.5 ± 1.6	70.9 ± 0.7	5.5 ± 0.2	62.2 ± 1.2
2	64.5 ± 2.2	74.9 ± 0.5	5.7 ± 0.5	66.4 ± 3.2
3	74.3 ± 1.1	75.6 ± 1.2	6.5 ± 0.1	74.8 ± 2.0
4	80.7 ± 1.2	81.4 ± 0.5	6.8 ± 0.2	70.8 ± 3.9
5	62.2 ± 1.0	75.6 ± 0.8	4.7 ± 0.2	50.6 ± 2.1
6	62.3 ± 2.4	68.8 ± 2.3	5.4 ± 0.1	60.8 ± 0.9
7	75.9 ± 1.3	75.8 ± 1.4	6.3 ± 0.5	71.2 ± 2.2
8	69.2 ± 0.8	74.9 ± 2.1	6.5 ± 0.2	62.2 ± 1.4
9	67.7 ± 1.5	72.5 ± 0.9	7.2 ± 0.1	77.6 ± 1.9
10	67.4 ± 1.7	73.1 ± 1.2	6.8 ± 0.5	66.0 ± 2.0
11	60.2 ± 1.2	75.1 ± 1.4	7.1 ± 0.7	75.6 ± 3.2
12	63.0 ± 0.7	78.5 ± 1.4	7.9 ± 0.2	64.4 ± 2.7
13	72.6 ± 0.8	68.5 ± 1.4	5.9 ± 0.6	70.8 ± 1.7
14	64.8 ± 0.9	73.9 ± 2.5	6.0 ± 0.2	63.2 ± 2.1
15	75.6 ± 1.6	72.9 ± 1.6	7.7 ± 0.2	71.0 ± 3.0
16	61.0 ± 0.6	78.0 ± 4.4	7.4 ± 0.1	70.6 ± 1.0

表中各值均为平均值 ± 标准误。The values in the table are mean ± SE.

表 5 微胶囊人工饲料正交试验制品性状方差分析结果
Table 5 Variance analysis results of the orthogonal experiments for features of microencapsulated artificial diet

性状 Features	方差来源 Source	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	F	P
产率 Yield rate	A	520.855	3	173.618	12.192	<0.001
	B	491.657	3	163.886	11.508	<0.001
	C	1 273.155	3	424.385	29.800	<0.001
	Error	996.862	70	14.241		
包埋率 Embedding rate	A	66.333	3	22.111	1.214	0.311
	B	479.362	3	159.787	8.773	<0.001
	C	55.105	3	18.368	1.009	0.394
	Error	1 274.940	70	18.213		
含水率 Moisture rate	A	27.862	3	9.257	15.950	<0.001
	B	26.414	3	8.806	15.143	<0.001
	C	0.465	3	0.155	0.266	0.849
	Error	40.707	70	0.582		
感官评定 Sensory evaluation	A	1 085.238	3	361.746	9.779	<0.001
	B	970.437	3	323.479	8.744	<0.001
	C	559.838	3	186.612	5.045	0.003
	Error	2 589.475	70	36.993		

A: 海藻酸钠填充比 ALG proportion (%); B: 壳聚糖填充比 CHI proportion (%); C: 芯壁比 Proportion of core to shell. 表 6 同 The same for Table 6.

表 6 微胶囊人工饲料正交试验制品性状极差分析结果

Table 6 Range analysis results of the orthogonal experiments for features of microencapsulated artificial diet

性状 Features			配方因素 Factors of formula		
			A	B	C
产率 Yield rate	均值 Means	k_1	71.555	67.300	63.295
		k_2	67.435	64.765	66.325
		k_3	64.575	71.505	69.025
		k_4	69.230	69.225	74.150
		R	6.980	6.745	10.855
包埋率 Embedding rate	均值 Means	k_1	75.680	71.885	73.185
		k_2	73.775	72.675	75.480
		k_3	74.805	74.835	74.240
		k_4	73.340	78.205	74.695
		R	2.340	6.320	2.295
含水率 Moisture rate	均值 Means	k_1	6.130	5.835	6.345
		k_2	5.720	5.965	6.505
		k_3	7.265	6.925	6.550
		k_4	6.755	7.145	6.470
		R	1.545	1.310	0.205
感官评定 Sensory evaluation	均值 Means	k_1	65.550	65.300	67.300
		k_2	61.200	64.100	63.100
		k_3	70.900	73.150	69.450
		k_4	68.900	67.000	69.700
		R	9.700	9.000	6.600

2.1.4 感官评定: 各项感官评定结果见表4。供试各处理所得微胶囊感官评定得分除处理5外均在60分以上。方差分析结果(表5)表明各因素的影响的强度依次为: 海藻酸钠填充比>壳聚糖填充比>芯壁比; 相关极差分析结果显示最佳配方组合为A₃B₃C₄, 即海藻酸钠填充比为2.0%、壳聚糖填充比为0.6%及芯壁比为1:3时, 所得人工饲料微胶囊感官评定得分最高, 为87分。

2.2 优选微胶囊人工饲料对东亚小花蝽生活力的影响

本部分试验依照前述人工饲料微胶囊配方试验结果, 综合包埋率、含水率及感官评定指标, 以包埋率为基准设定优选最佳人工饲料微胶囊配方, 制作微胶囊人工饲料饲喂东亚小花蝽。

2.2.1 微胶囊人工饲料对东亚小花蝽生长发育的影响: 试验在室内条件下进行, 以朱砂叶螨为对照, 结果见图2。东亚小花蝽取食供试饲料后其1和2龄若虫发育历期显著长于取食朱砂叶螨处理($t_1 = 11.309$, $P_{1, (2-tailed)} < 0.001$; $t_2 = 3.429$, $P_{2, (2-tailed)} = 0.003$); 而3, 4及5龄若虫历期与对照

没有差异($t_3 = 1.735$, $P_{3, (2-tailed)} = 0.100$; $t_4 = 0.664$, $P_{4, (2-tailed)} = 0.516$; $t_5 = 0.476$, $P_{5, (2-tailed)} = 0.640$); 取食微胶囊人工饲料后, 东亚小花蝽雌成虫寿命(15 d)显著短于取食朱砂叶螨处理($t = 11.309$, $P_{(2-tailed)} = 0.004$); 成虫羽化率在两处理间无显著差异($t = 0.481$, $P_{(2-tailed)} = 0.637$), 分别为 $80.8\% \pm 1.3\%$ 及 $79.8\% \pm 1.6\%$ 。

2.2.2 微胶囊人工饲料对东亚小花蝽繁殖能力的影响: 东亚小花蝽的产卵前期在两种处理间没有显著差异(图3, $t = 1.403$, $P_{(2-tailed)} = 0.177$), 均在3 d以上; 但微胶囊人工饲料处理的雌成虫, 其产卵持续时间显著低于取食朱砂叶螨处理(图3, $t = -6.120$, $P_{(2-tailed)} < 0.001$)后者的产卵持续时间接近8 d(7.98 ± 0.17 d), 是取食微胶囊人工饲料的(6.38 ± 0.20 d)的1.25倍; 东亚小花蝽取食人工饲料微胶囊后, 其产卵量显著小于对照(表7), 仅为后者的80.3%($t = -5.889$, $P_{(2-tailed)} < 0.001$)但卵的孵化率在二者间无显著差异($t = 11.309$, $P_{(2-tailed)} = 0.655$)。

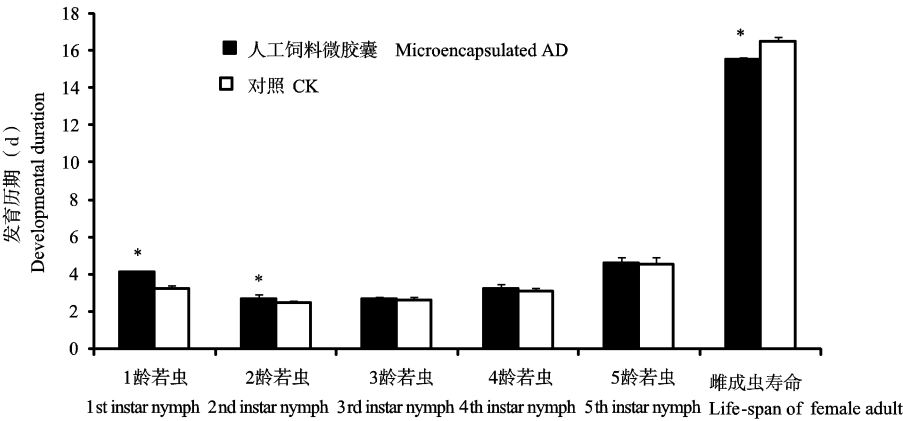


图 2 取食人工饲料微胶囊及朱砂叶螨的东亚小花蝽各龄历期比较

Fig. 2 Comparison of developmental duration of different instars of *Orius sauteri* fed on microencapsulated artificial diet and *Tetranychus cinnabarinus* (CK)

图中柱形上有“*”表示处理间有显著差异。The mark “*” on the top of columns indicates significant difference between treatments. AD: 人工饲料 Artificial diet. 下同 The same below.

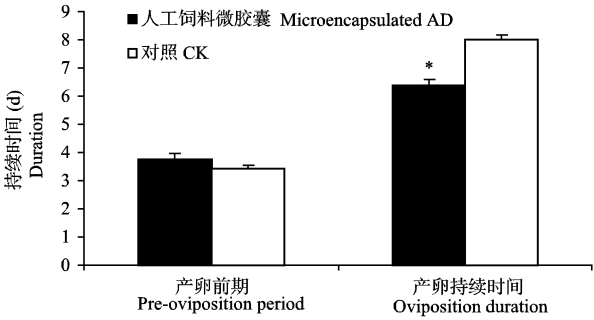


图 3 东亚小花蝽取食人工饲料微胶囊及朱砂叶螨后产卵前期和产卵持续时间的比较

Fig. 3 Comparison of pre-oviposition period and oviposition duration of *Orius sauteri* fed on microencapsulated artificial diet and *Tetranychus cinnabarinus* (CK)

表 7 东亚小花蝽取食人工饲料微胶囊及朱砂叶螨后产卵量及孵化率比较

Table 7 Comparison of fecundity and hatch rate of *Orius sauteri* fed on microencapsulated artificial diet and *Tetranychus cinnabarinus*

饲料 Diet	产卵量 Fecundity	孵化率(%) Hatch rate
人工饲料微胶囊 Microencapsulated AD	55.4 ± 1.6 *	80.4 ± 0.8
朱砂叶螨 <i>T. cinnabarinus</i>	69.0 ± 1.7	79.6 ± 1.6

表中各值为平均值 ± 标准误, 后跟“*”表示同列数据在 $P=0.05$ 水平下差异显著。The values in the table are mean ± SE, and the asterisk indicates significant difference between values in the same column.

2.2.3 微胶囊人工饲料对东亚小花蝽雌成虫呼吸速率的影响: 利用呼吸仪分别测定了东亚小花蝽取

食人工饲料微胶囊和朱砂叶螨后的呼吸速率和呼吸熵, 结果如图 4 所示。东亚小花蝽取食微胶囊人工饲料后, 其呼吸速率显著大于取食朱砂叶螨处理 ($t=4.861$, $P_{(2-tailed)} < 0.001$), 为后者的 1.2 倍; 而呼吸熵的变化趋势则与之相反。微胶囊人工饲料处理的呼吸熵显著小于取食朱砂叶螨的对照 ($t=-3.639$, $P_{(2-tailed)} < 0.001$), 分别为 0.0134 ± 0.0031 及 0.0189 ± 0.0012 。

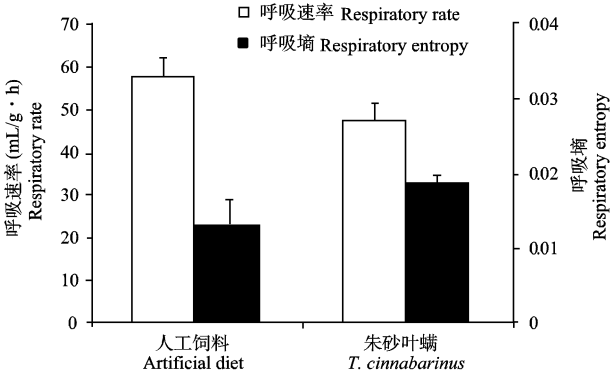


图 4 东亚小花蝽取食人工饲料微胶囊及朱砂叶螨后呼吸速率和呼吸熵的比较

Fig. 4 Comparison of respiratory rate and respiratory entropy of *Orius sauteri* fed on microencapsulated artificial diet and *Tetranychus cinnabarinus* (CK)

2.2.4 微胶囊人工饲料对东亚小花蝽雌成虫运动能力的影响: 利用行为轨迹仪测定了东亚小花蝽的运动能力, 结果见表 8。不同饲料处理对东亚小花蝽的总平均爬行速度影响显著 ($t=-3.639$, $P_{(2-tailed)} < 0.001$), 微胶囊人工饲料处理是取食朱

砂叶螨的 1.3 倍; 东亚小花蝽取食微胶囊人工饲料后, 在 1~5 min 内的平均爬行速度显著高于取食朱砂叶螨处理 ($t_1 = 6.711$, $P_{1,(2\text{-tailed})} < 0.001$; $t_2 = 10.863$, $P_{2,(2\text{-tailed})} = 0.003$; $t_3 = 10.863$, $P_{3,(2\text{-tailed})} <$

0.001 ; $t_4 = 11.886$, $P_{4,(2\text{-tailed})} < 0.001$; $t_5 = 15.256$, $P_{5,(2\text{-tailed})} < 0.001$), 且其差异程度随时间延长逐渐增加。

表 8 东亚小花蝽取食人工饲料微胶囊及朱砂叶螨后平均运动速率比较

Table 8 Comparison of average creeping speed of *Orius sauteri* fed on microencapsulated artificial diet and *Tetranychus cinnabarinus*

饲料 Diet	总平均爬行速度 Total ACP (mm/s)	5 min 内平均爬行速度 ACP in 5 min (mm/s)				
		1st min	2nd min	3rd min	4th min	5th min
人工饲料微胶囊 Microencapsulated AD	7.98 ± 0.25	9.04 ± 0.31	8.87 ± 0.09	9.17 ± 0.10	8.79 ± 0.13	8.62 ± 0.12
朱砂叶螨 <i>T. cinnabarinus</i>	6.38 ± 0.13	6.63 ± 0.17	6.66 ± 0.18	6.82 ± 0.18	6.31 ± 0.16	6.16 ± 0.11

ACP: 平均爬行速度 Average creeping speed.

3 讨论

如何通过工厂化集中饲养天敌昆虫以满足日益增长的生物防治应用需求, 已经成为国内外众多相关研究人员关注的热点 (Beirne, 1962; Mukhopadhyay and Sannigrahi, 1993; 孙兴全和陈志兵, 1996)。在这之中, 通过开发全纯或半纯人工饲料解决大规模工厂化饲养中, 次级营养饲料稳定供应的问题更是相关研究的焦点 (张士超等, 2008)。作者在研究中已筛选出成熟人工饲料配方, 只因直接饲养时存在失水干硬、腐败污染等问题而无法应用。通过调整人工饲料的剂型, 可以有效地提高人工饲料的效能 (Thompson, 1999; Reeve et al., 2003; Fekovich and Shapiro, 2004)。本试验中结合微胶囊生产工艺, 对人工饲料微胶囊配方进行了优选试验。结果发现海藻酸钠填充比、壳聚糖填充比及芯壁比等因素对微胶囊各性状特征均有显著影响, 但所发挥作用的权重各不相同。由于所用人工饲料为液状, 在一次注滴量相同的情况下, 生成的人工饲料微胶囊所流失成分直接与壁材对其保护程度有关。当芯壁比越小时, 微胶囊成型速率越快, 人工饲料流失度越低。当海藻酸钠浓度较高时, 微胶囊内人工饲料含水率保持度相对较高, 其微胶囊成型效果较好。而感官评定同样受海藻酸钠比例影响最为显著, 在外观均一度、机械强度、表面色泽、组织致密性及表面光滑色泽等方面均有上佳表现。本研究初步掌握了人工饲料微胶囊化的基本工艺流程, 确定了不同形状与微胶囊壁材配方比例

的关系, 将进一步实现人工饲料微胶囊大规模生产提供了重要试验依据。

相比凝胶状及固态人工饲料, 微胶囊人工饲料外固内液更适于东亚小花蝽等刺吸式口器的捕食性昆虫取食。在本研究中, 微胶囊人工饲料便于储存和运输, 适于批量生产, 并且可以提高饲料的稳定性、降低物质毒性和屏蔽特殊气味等, 同时能够根据需要控制营养成分的释放, 增强其长效性和缓释性。本试验中所得优选人工饲料微胶囊表面弹性好, 囊壁组织均一, 非常适于小花蝽刺吸取食。东亚小花蝽取食人工饲料微胶囊后, 在低龄若虫 (1~2 龄) 发育阶段表现出显著的历期延长。但随着个体生长, 东亚小花蝽若虫对人工饲料微胶囊适应性不断增加, 高龄若虫 (3~5 龄) 期的发育历期与取食自然猎物处理已没有显著差异, 羽化率也未受影响, 成虫获得率与自然猎物对照相似。但取食微胶囊人工饲料的东亚小花蝽完成胚后发育后, 雌成虫寿命显著低于自然猎物对照处理, 这可能是人工饲料在一些微量而必需的营养成分上的缺失造成的滞后作用, 这也将是今后人工饲料营养配方改良的重要研究方向。

微胶囊人工饲料对东亚小花蝽的繁殖行为及能力具有一定的影响。东亚小花蝽取食人工饲料微胶囊后, 其产卵前期与对照无显著差异, 可以推断人工饲料微胶囊并未对东亚小花蝽成虫的性成熟产生消极作用; 而相对较低的产卵量和产卵持续时间可能受雌成虫寿命缩短的影响。

人工饲料微胶囊持续饲养的东亚小花蝽雌成虫, 其呼吸速率显著大于取食朱砂叶螨处理。通常

情况下, 在外界环境一致的情况下(特别是温度恒定的条件下), 生物体代谢速率与其体重呈反比, 即体重较轻时, 代谢速率较高(Dunlap, 1969; Leffler, 1973; Howell and Voshell, 1982; Singer *et al.*, 2004; Pirozzi and Booth, 2009)。但本试验中供试的东亚小花蝽体重基本一致, 原因可能是人工饲料的营养成分单一, 体内同化速率较快, 因此表现出较高的代谢速率, 但具体生理代谢机理还有待进一步研究。东亚小花蝽成虫取食人工饲料微胶囊后其运动能力较取食自然猎物有显著提高, 并且随持续运动时间的延长并无明显衰减情况发生。推断可能是人工饲料的营养不够充足, 激发其扩大搜索范围去寻找其他猎物。在实际应用中, 可以利用此特性提高东亚小花蝽搜索能力、扩大搜索范围, 从而更好地发挥其生物防治效能。

本试验仅在室内环境下针对特定人工饲料配方进行微胶囊优选配方及性状评估, 且微胶囊制作方法相对简单。改良基本生产工艺, 确定配方组分将是下一步研究的重点。并且仅对一代东亚小花蝽进行了生长发育以及生理机能的评估, 未能深入研究微胶囊人工饲料对种群整体的后效作用, 这也将是今后需要进一步研究的内容。

参 考 文 献 (References)

- Beirne BP, 1962. Trends in applied biological control of insects. *Annual Review of Entomology*, 7: 81–102.
- Bruzzzone ND, Economopoulos AP, Wang HS, 1990. Mass rearing *Ceratitis capitata*: reuse of the finisher larval diet. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 56(1): 103–106.
- Dimou I, Rempoulakis P, Economopoulos AP, 2010. Olive fruit fly [*Bactrocera (Dacus) oleae* (Rossi) (Diptera: Tephritidae)] adult rearing diet without antibiotic. *Journal of Applied Entomology*, 134(1): 72–79.
- Dunlap DG, 1969. Influence of temperature and duration of acclimation, time of day, sex and body weight on metabolic rate in the hylid frog, *Acris crepitans*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A*, 31(4): 555–570.
- Dworjanyn SA, Pirozzi I, Liu WS, 2007. The effect of the addition of algae feeding stimulants to artificial diets for the sea urchin *Tripneustes gratilla*. *Agriculture*, 273(20): 624–633.
- Fekovich SM, Shapiro JP, 2004. Comparison of prey-derived and non-insect supplements on egg-laying of *Orius insidiosus* maintained on artificial diet as adults. *Biological Control*, 31(1): 57–64.
- Gharsallaoui A, Roudaut G, Chambin O, Voilley A, Saurel R, 2007. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: an overview. *Food Research International*, 40(9): 1107–1121.
- Guo JY, Wan FH, Wu M, 2002a. Comparison of successive rearing of *Orius sauteri* with aphids and *Trichogramma* pupae reared in artificial host eggs. *Chinese Journal of Biological Control*, 18(2): 58–61. [郭建英, 万方浩, 吴岷, 2002a. 利用桃蚜和人工卵赤眼蜂蛹连代饲养东亚小花蝽的比较研究. *中国生物防治*, 18(2): 58–61]
- Guo JY, Wu M, Wan FH, 2002b. Effects of cold storage on the adults and egg of *Orius sauteri*. *Chinese Journal of Biological Control*, 18(1): 10–12. [郭建英, 吴岷, 万方浩, 2002b. 东亚小花蝽成虫和卵的耐冷藏性. *中国生物防治*, 18(2): 10–12]
- Howell DA, Voshell JR Jr, 1982. The effects of body weight and temperature on the metabolic rate of *Hydropsyche venularis* Banks (Trichoptera: Hydropsychidae). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A*, 71(3): 401–405.
- Iwai H, Nijima K, Matsuka M, 2009. Improvement of artificial diet for aphidophagous syrphids, *Episyrphus balteatus* (de Geer) and *Eupeodes bucculatus* (Rondani) (Diptera: Syrphidae): additional effects of fatty acids and preservatives. *Applied Entomology and Zoology*, 44(3): 439–446.
- Lattin JD, 1999. Bionomics of the anthocoridae. *Annual Review of Entomology*, 44: 207–231.
- Leffler CW, 1973. Metabolic rate in relation to body size and environmental oxygen concentration in two species of xanthid crabs. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A*, 44(4): 1047–1052.
- Mukhopadhyay A, Sannigrahi S, 1993. Rearing success of a polyphagous predator *Geocoris ochropterus* (Hem.: Lygaeidae) on preserved ant pupae of *Oecophylla smaragdina*. *Entomophaga*, 38(2): 219–224.
- Pirozzi I, Booth MA, 2009. The effect of temperature and body weight on the routine metabolic rate and postprandial metabolic response in mulloway, *Argyrosomus japonicus*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A*, 154: 110–118.
- Poncelet D, 2006. Microencapsulation: fundamentals, methods and applications. In: Jonathan PB, Vladimir MG eds. *Surface Chemistry in Biomedical and Environmental Science*. Springer Netherlands, Netherlands. 23–34.
- Reeve JD, Rojas MG, Morales-Ramos JA, 2003. Artificial diet and rearing methods for *Thanasimus dubius* (Coleoptera: Cleridae), a predator of bark beetles (Coleoptera: Scolytidae). *Biological Control*, 27(3): 315–322.
- Scriber JM, Slansky F, 1981. The nutritional ecology of immature insects. *Annual Review of Entomology*, 26: 183–121.
- Silva CM, Riberio AJ, Figueiredo M, Ferreira D, Veiga F, 2005. Microencapsulation of hemoglobin in chitosan-coated alginate microspheres prepared by emulsification/internal gelation. *The AAPS Journal*, 7(4): 903–913.
- Singer D, Engelhardt N, Ince A, Hallmann E, 2004. Body size effects on tissue metabolic rate and ischemia tolerance in neonatal rat and mouse hearts. *Thermochimica*, 422(1–2): 19–23.
- Sun XQ, Chen ZB, 1996. Massive rearing method of *Harmonia axyridis*. *Journal of Shanghai Agricultural College*, 14(2): 154. [孙兴全, 陈志兵, 1996. 异色瓢虫的大量饲养方法. *上海农学院学报*, 14(2): 154]

- Thompson SN, 1999. Nutrition and culture of entomophagous insects. *Annual Review of Entomology*, 44: 561 – 592.
- Trebicki P, Harding RM, Powell KS, 2009. Anti-metabolic effects of *Galanthus nivalis* agglutinin and wheat germ agglutinin on nymphal stages of the common brown leafhopper using a novel artificial diet system. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 131(1): 99 – 105.
- Vanderzant ES. 1974. Development, significance, and application of artificial diets for insects. *Annual Review of Entomology*, 19: 139 – 160.
- Wang FH, Zhou WR, 1998. The biological observation and the rearing method of *Orius sauteri* (Hemiptera: Anthocoridae). *Natural Enemies of Insects*, 20(1): 42 – 44. [王方海, 周伟儒, 1998. 东亚小花蝽的生物学及其人工繁殖. 昆虫天敌, 20(1): 42 – 44]
- Yu Y, Yan YH, 1999. Effects of nutrition and environmental factors on reproduction of *Orius sauteri*. *Natural Enemies of Insects*, 21(4): 145 – 149. [于毅, 严毓骅, 1999. 营养和环境因子对东亚小花蝽生殖的影响. 昆虫天敌, 21(4): 145 – 149]
- Zhang LL, Li K, Zhang TS, Wang B, 2007. The effects of the artificial diets on *Propylea japonica* growth and fecundity. *Chinese Bulletin of Entomology*, 44(6): 871 – 876. [张丽莉, 李恺, 张天澍, 王斌, 2007. 人工饲料对龟纹瓢虫生长和繁殖的影响. 昆虫知识, 44(6): 871 – 876]
- Zhang SC, Zhou XM, Pan Y, Lei CL, 2008. Evaluation of an artificial liquid diet of *Orius similis* Zheng (Hemiptera: Anthocoridae). *Acta Entomologica Sinica*, 51(9): 997 – 1001. [张士昶, 周兴苗, 潘悦, 雷朝亮, 2008. 南方小花蝽液体人工饲料的饲养效果评价. 昆虫学报, 9: 997 – 1001]
- Zhuang QY, Zhang AS, Yu Y, Li LL, Men XY, 2009. Predation and searching effect of *Orius sauteri* adult on *Frankliniella occidentalis*. *Shandong Agricultural Sciences*, 5: 70 – 72. [庄乾营, 张安盛, 于毅, 李丽莉, 门兴元, 2009. 东亚小花蝽成虫对西花蓟马的捕食功能反应与搜寻效应. 山东农业科学, 5: 70 – 72]

(责任编辑: 袁德成)