技术与方法

七星瓢虫与多异瓢虫高密度饲养容器的设计与筛选*

郝亚楠** 孙元星

（甘肃农业大学植物保护学院，甘肃省农作物病虫害生物防治工程实验室，兰州 730070）

摘 要 【**目的**】七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* 与多异瓢虫 *Hippodamia variegate* 是重要的捕食性天敌，在生物防治中具有广泛的应用前景。开发高效饲养装置以减少幼虫自相残杀率是实现 2 种瓢虫规模化饲养的重要技术。【**方法**】在培养皿中增加不同设计的隔断，形成 3 种饲养盒（Con-A、Con-B 和 Con-C），以空培养皿作为对照。饲养 16 头 1 龄幼虫，通过一系列参数筛选最佳隔断设计。【**结果**】2 种瓢虫幼虫自相残杀主要发生在饲养 5 d 后，但 Con-C 中的七星瓢虫存活数下降缓慢；在 3 种饲养盒中，多异瓢虫存活数的下降趋势均弱于对照。从 Con-C 中获得的七星瓢虫成虫数最多，显著高于对照及其他饲养盒；从 3 种类型饲养盒中获得的多异瓢虫成虫数均高于对照，但差异不显著。2 种瓢虫幼虫主要选择在饲养盒的隔断上化蛹。从 Con-A 中获得的成虫个体相对较大，但雌雄具有不同变化。【**结论**】在培养皿中增加隔断有利于高密度饲养七星瓢虫与多异瓢虫幼虫，为进一步开发高效、操作简便的幼虫饲养盒奠定了理论基础。

关键词 饲养容器；捕食性瓢虫；自相残杀；生物防治

An improved container for rearing *Coccinella septempunctata* and *Hippodamia variegate* larvae at high densities

HAO Ya-Nan** SUN Yuan-Xing

(College of Plant Protection, Gansu Agricultural University, Biocontrol Engineering Laboratory of Crop Diseases and Pests of Gansu Province, Lanzhou 730070, China)

Abstract **[Objectives]** The lady beetles *Coccinella septempunctata* and *Hippodamia variegate* are important and widely used biocontrol agents. Cannibalism in captive colonies of these species significantly reduces the number of insects produced for biological control so developing a rearing container that reduces cannibalism would be a significant advance in the captive husbandry of these species. **[Methods]** Three different barriers (Con-A, Con-B and Con-C) were designed and placed inside plastic Petri dishes. Sixteen first instar larvae were reared in each container and the optimal design identified by comparing a series of parameters with empty Petri dishes as the control. **[Results]** Larval cannibalism was obvious by the 5th day but survival of *C. septempunctata* declined comparatively slowly in Con-C containers whereas survival of *H. variegate* was higher in all three types of experimental container compared to the control. More *C. septempunctata* adults were obtained from Con-C containers, which produced significantly more adult insects than the other two types of container and the control. More *H. variegate* adults were obtained from the three experimental containers than the control but this difference was not significant. Larvae of both species chose to pupate on the experimental barriers. Adults raised in Con-A containers were relatively large compared to those raised in the other containers, but size varied considerably between females and males. **[Conclusion]** Barriers within plastic Petri dishes were effective in reducing cannibalism among *C. septempunctata* and *H. variegate* larvae at

*资助项目 Supported projects：甘肃农业大学学科建设基金（GAU-XKJS-2018-157）；国家自然科学基金（31960561）；甘肃农业大学公招博士科研启动基金（2017RCZX-08）

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

收稿日期 Received：2020-02-16；接受日期 Accepted：2020-05-17

high density, a result that provides a foundation for developing effective and easy to use, rearing containers for these species.

Key words rearing container; predatory lady beetles; cannibalism; biological control

助增释放生物防治（Augmentative biological control）是一种广泛应用的害虫防治的方法，能有效替代化学防治，在减少农药使用量方面发挥着重要作用（van Lenteren and Bueno，2003）。该防治方法的主要技术要点是人工大量饲养并释放天敌，增加其田间种群密度，在害虫暴发关键期达到控制的目的（张黎华和冯玉龙，2007）。在有限的空间内实现集约化饲养是大规模获取天敌昆虫产品的重要技术支撑（Riddick and Wu，2015）。目前，针对不同天敌开发设计规模化饲养系统是生物防治领域的研究热点之一。

捕食性瓢虫能捕食多种蚜虫及其他害虫，是许多助增释放生物防治系统中的重要天敌（Dixon，2000）。但多数捕食性瓢虫存在自相残杀现象，特别是有些种类在食物充足条件下仍具有较高的自相残杀率（Aleosfoor *et al.*，2014），已成为其规模化饲养中的重要障碍（Obrycki and Kring，1998）。因此，控制或消除自残行为是实现瓢虫幼虫高密度饲养的关键环节（Allen and Riddick，2012；Riddick and Chen，2014）。前期已有研究表明，在饲养容器中加入某些庇护介质（比如隐蔽场所）能有效提高幼虫的饲养密度。例如，在饲养容器中加入瓦楞纸能大大提高锚纹瓢虫 *Lemnia biplagiata* 的存活率（余志儒和陈炳辉，2001）。但很少有针对饲养装置进行特殊设计以减少幼虫身体接触，从而提高存活率的研究报道。

七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* Linnaeus 可取食蔬菜、果树及作物蚜虫与粉虱等小型害虫，同时具有产卵量大、存活时间长等优良特性，广泛应用在国内外生物防治中（Hodek and Michaud，2008；Honěk，2010）。多异瓢虫 *Hippodamia variegate* (Goeze)，起源于古北区，现已广泛分布于全球（Franzmann，2002）。该瓢虫可取食多种作物上的至少 12 种蚜虫，也是一种重要捕食性天敌（范广华和赵建方，1988；Franzmann，2002；Kontodimas and Stathas，2005）。2 种瓢虫均具有一定的自相残杀习性，但七星瓢虫的自相残杀能力要高于多异瓢虫；同时，2 种瓢虫的自相残杀发生率还受食物密度的影响（Aleosfoor *et al.*，2014）。目前有关七星瓢虫与多异瓢虫的饲养容器研究仅有少量报道，如研究发现在饲养罐中加入木刨花能减少七星瓢虫幼虫的身体接触，从而提高存活率（Shands *et al.*，1966）。

本研究拟基于常用饲养容器（培养皿），在其中添加不同设计的隔断装置，探究不同设计对幼虫自相残杀率、化蛹位置及成虫体重的影响，以期为进一步开发高效、操作简便的高密度饲养容器奠定基础。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

试验所用七星瓢虫与多异瓢虫成虫采自甘肃农业大学校内苜蓿试验地，带回实验室后用豌豆蚜进行持续饲养。所用豌豆蚜来自长期饲养于蚕豆苗的实验室种群。所有供试昆虫均饲养于养虫室内，养虫室内条件设置为温度（24±1）℃，湿度 50%，光照 16 L∶8 D。

1.2 饲养装置设计

试验所用饲养装置隔断采用透明 PVC 塑料板（120 cm×91.5 cm×0.3 mm）制作而成。首先将塑料板裁剪成宽度为 1.5 cm 的塑料片，然后按照如图 1 所示的设计样式及尺寸进行裁剪、拼装和连接，连接处用热熔胶进行固定，分别称作饲养盒 A、B 和 C（简称 Con-A，Con-B 与和 Con-C）。此外，在各内部隔片中部用壁纸刀从间距 2 cm 的两端呈 45°角斜向划下，形成 1 个等腰三角形的昆虫通过孔。将制作完成的隔断放入新的培养皿内（直径 9 cm，高 1.5 cm），形成不同类型的饲养盒，以不添加隔断的空培养皿作对照（图 1）。

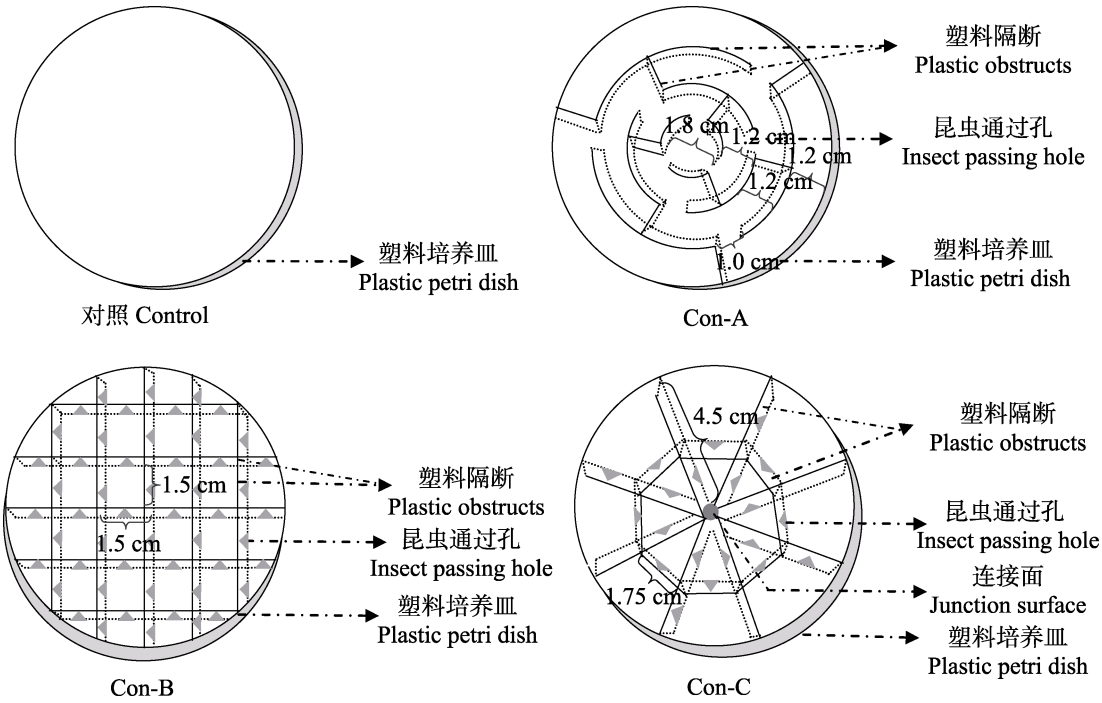


图 1　4 种类型饲养盒的示意图

Fig. 1　Schematic diagram of the four types of rearing container

1.3　幼虫饲养

分别将 2 对七星瓢虫与多异瓢虫成虫饲养在直径为 9 cm 的培养皿内，添加充足的豌豆蚜并提供 2 片蚕豆叶供其产卵。每天监测产卵情况，并将卵转移到另一培养皿内，并添加浸透水的棉球保湿，收集新孵化幼虫用于试验。

用勾线笔向每一个饲养盒内轻轻挑入 16 头七星瓢虫或多异瓢虫幼虫，然后均匀加入充足的豌豆蚜，盖上培养皿盖并将接缝处用封口膜封住以防昆虫逃逸。每天记载幼虫的存活数及龄期，并根据龄期增长增加蚜虫补充量（保证食物充足）直至化蛹，统计幼虫在饲养盒内的化蛹位置（皿底、隔断及皿壁），每一类型饲养盒 5 个重复。此外，每 2 d 清理一次饲养盒内的食物及粪便残渣。待成虫羽化后，统计成虫获得量，并从每一类型饲养盒中随机挑选 20 头雌虫与雄虫（羽化后 24-36 h），采用电子天平（AE224C，上海舜宇恒平）称量雌虫和雄虫体重。

1.4　数据分析

采用 SPSS 19.0 软件进行数据分析。成虫获得量和成虫体重在不同类型饲养盒间的差异采用单因素方差分析进行比较，用 Tukey 法进行多重比较。

2　结果与分析

2.1　幼虫存活数的变化

七星瓢虫幼虫在饲养的前 1-4 d，3 个饲养盒和对照的存活数量均缓慢下降；第 5 天之后，对照、Con-A 和 Con-B 中的存活数量急剧下降直至化蛹，而 Con-C 中的存活数缓慢下降且高于其它 3 个处理（图 2：A）。对多异瓢虫来说，Con-A、Con-B 和对照在饲养过程中幼虫存活数缓慢下降直至化蛹，而对照在饲养 5 d 后的存活数下降趋势明显（图 2：B）。

2.2　化蛹位置分布

七星瓢虫幼虫在 Con-A 与 Con-C 的皿壁、皿底和隔断上均有化蛹，近 60%分布在隔断上，所占比率最大，而在皿壁上的比率最小；在 Con-B 中，93.0%的蛹分布在隔断上，而对照中 95.0%的蛹分布在皿底（图 3：A）。多异瓢虫幼

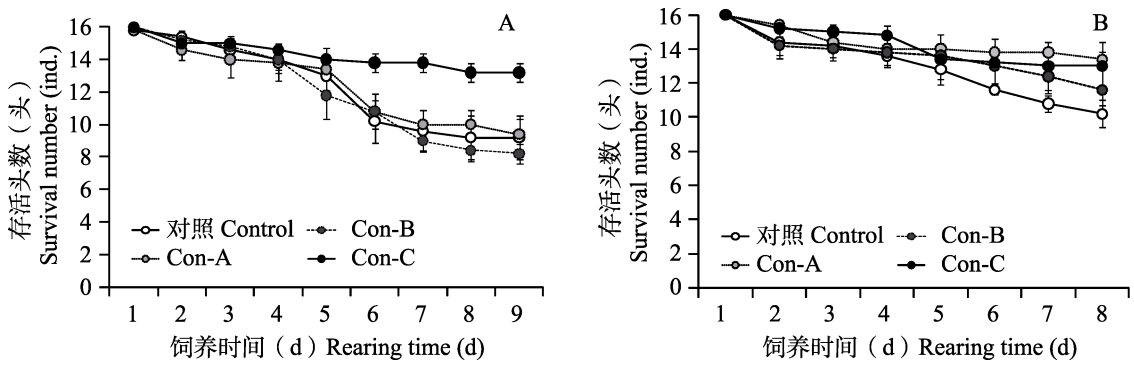


图 2　不同类型饲养盒饲养 2 种瓢虫的存活数动态变化

Fig. 2　Dynamic changes of the survial number in different types of rearing container

A. 七星瓢虫；B. 多异瓢虫。

A. *Coccinella septempunctata*; B. *Hippodamia variegate.*

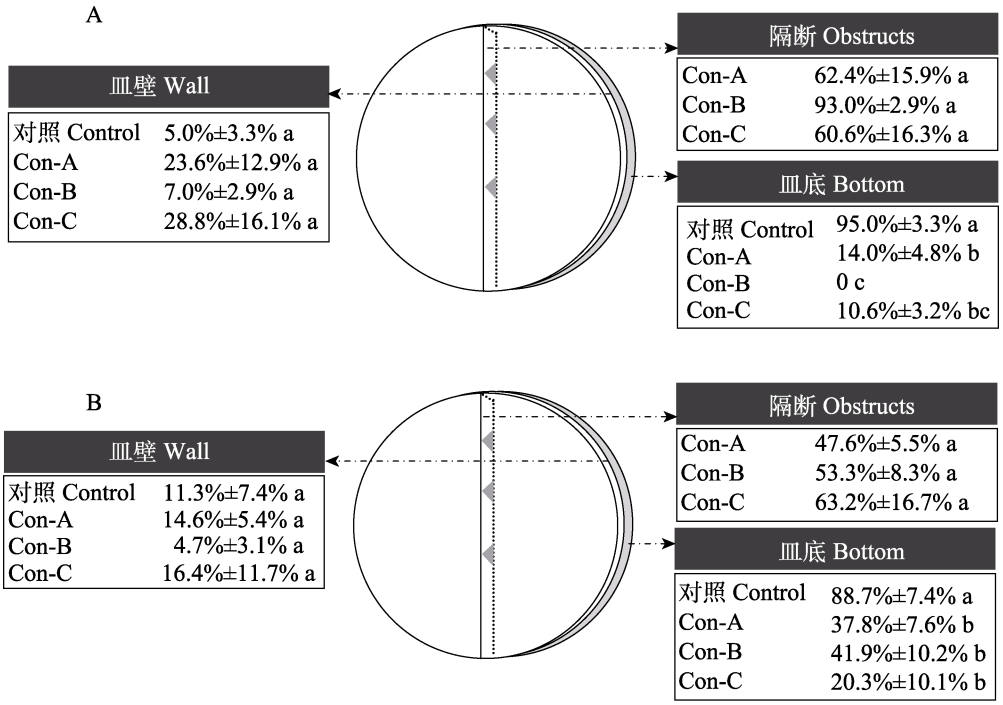


图 3　不同类型饲养盒饲养两种瓢虫的化蛹位置分布百分比

Fig. 3　Proportion of the distribution of pupae in different types of rearing container

A. 七星瓢虫；B. 多异瓢虫。

A. *Coccinella septempunctata*; B. *Hippodamia variegate.*

图中数据为平均值±标准误，数据后标有不同小写字母表示不同饲养盒在某一位置的化蛹百分比有显著差异（$P < 0.05$）。

Data in figure are mean±SE, and followed by different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level of pupation percentage in a certain postion among different rearing containers.

虫在 3 个饲养盒的皿壁、皿底和隔断上均有化蛹，但近 50%的蛹分布在隔断上，所占比率最大，而在皿壁上的比率最小；幼虫在对照空培养皿中，88.7%的化蛹分布在皿底（图 3：B）。

2.3　成虫获得量

在 3 种类型饲养盒中饲养的七星瓢虫 1 龄幼虫，Con-C 获得的成虫数为 13.2 头，显著高于

对照（9.2 头）；Con-A 与 Con-B 获得的成虫数分别为 9.4 头和 8.0 头，与对照差异不显著，但显著低于 Con-C（$F_{3, 19}$ = 6.080，P = 0.006）（图 4：A）。饲养多异瓢虫 1 龄幼虫，Con-A、Con-B 和 Con-C 获得的成虫数分别为 13.4 头、11.6 头和 13 头，均稍高于对照（10.2 头），但差异不显著，3 个饲养盒之间差异不显著（$F_{3, 19}$ = 2.313，P = 0.115）（图 4：B）。

2.4　新羽化成虫的体重

从 Con-A 获得的七星瓢虫新羽化雌虫体重最大，且显著高于 Con-B 与 Con-C，但三者均与对照差异不显著（$F_{3, 79}$ = 5.925，P = 0.001）；从 3 个饲养盒获得的七星瓢虫新羽化雄虫的个体大小差别不明显，其体重均与对照差异不显著（$F_{3, 79}$ = 2.650，P = 0.055）（表 1）。

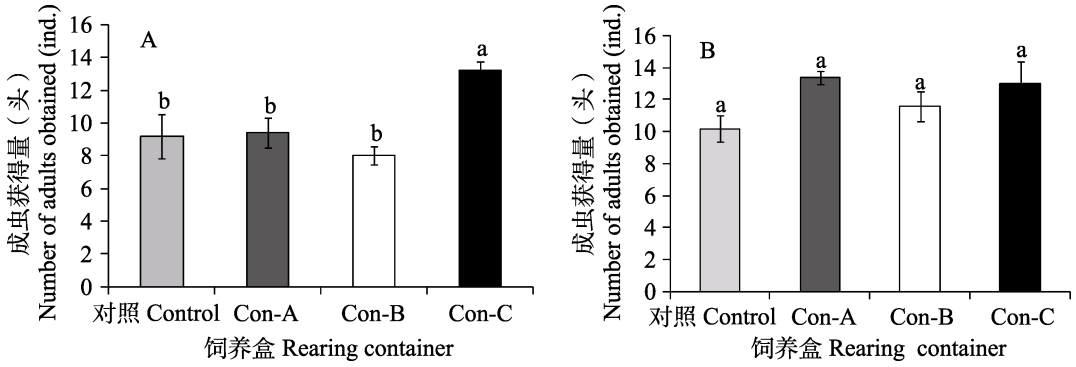


图 4　不同类型饲养盒饲养两种瓢虫的成虫获得量

Fig. 4　Number of adults obtained from different types of rearing container

A. 七星瓢虫；B. 多异瓢虫。

A. *Coccinella septempunctata*; B. *Hippodamia variegate.*

图中数据为平均值±标准误，柱上标有不同字母表示在各饲养盒中的成虫获得量具有显著差异。

Data in figure are mean±SE. Histograms with different letters indicate significant difference of number of adults obtained from different rearing containers.

表 1　从不同类型饲养盒中获得的新羽化成虫体重

Table 1　Weight of newly emerged adults from different types of rearing container

饲养盒 Rearing container	七星瓢虫 *Coccinella septempunctata*		多异瓢虫 *Hippodamia variegata*	
	雌虫 Female	雄虫 Male	雌虫 Female	雄虫 Male
对照 Control	30.35±0.60 ab	20.58±0.42 a	7.36±1.32 a	5.19±0.09 b
Con-A	32.11±0.37 a	21.57±0.51 a	7.30±0.42 a	6.11±0.08 a
Con-B	29.35±0.63 b	21.17±0.60 a	6.97±0.61 a	5.37±0.07 b
Con-C	29.32±0.51 b	19.71±0.44 a	6.79±0.79 a	5.12±0.14 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差异显著（P< 0.05）。

Data in table are average ± SE, and followed by different letters in the same column are significantly different (P< 0.05).

从 3 个饲养盒获得的多异瓢虫新羽化雌虫的个体大小相近，其体重均与对照差异不显著（$F_{3, 79}$ = 2.015，P = 0.119）；从 Con-A 获得的新羽化雄虫个体重量最大，显著高于对照、Con-B 和 Con-C（$F_{3, 79}$ = 20.849，P < 0.001）（表 1）。

3　结论与讨论

天敌规模化饲养是实施生物防治的重要技术支撑。本研究设计不同隔断并进行了高密度的幼虫饲养实验。结果表明不同隔断设计对减少幼

虫自相残杀率和昆虫生物学特性具有一定影响。

在对照、Con-A 及 Con-B 饲养盒中饲养 5 d 之后，七星瓢虫幼虫存活数急剧下降，这是因为在幼虫已发育至 4 龄时，多数瓢虫的 4 龄幼虫是自相残杀最严重的阶段（Agarwala and Dixon，1992）。但饲养盒 Con-C 中的存活数下降趋势缓慢，表明该盒的隔断设计能有效减少幼虫自相残杀。对多异瓢虫来说，饲养盒中增加的 3 种隔断均能在一定程度上减少幼虫的自相残杀。此外，在饲养盒中增加隔断后，幼虫化蛹的介质面积增加，大部分幼虫选择在隔断上化蛹，而皿盖上无蛹；同时，饲养盒所占空间小且成本低廉，内部隔断还可取出重复使用。基于上述特征，在实际应用中可直接将无盖的饲养盒或隔断放置到田间或保护地用于释放成虫进行生物防治。此外，2 种瓢虫的蛹期均为 3 d 左右（马野萍等，1999；Lanzoni *et al.*，2004），这为一定距离的调运提供了时间保障。

在 Con-C 中饲养 16 头七星瓢虫幼虫，最终获得 13.2 头成虫，成虫获得率最高（82.5%）且显著高于其他 2 种装置及对照。本实验基于培养皿（直径 9 cm，高 1.5 cm）的饲养盒体积仅为 95 mL，而王小强等（2019）的研究表明在无隔断的 750 mL 饲养盒中，七星瓢虫的最优幼虫密度为 25-45 头，成虫获得率约为 50%。上述结果表明在饲养盒中增加有效隔断可实现捕食性瓢虫集约化饲养的重要技术改进。多异瓢虫幼虫饲养在 3 种隔断设计的饲养盒中，最终获得的成虫量高于对照，这主要是由于多异瓢虫幼虫的自相残杀趋势较七星瓢虫弱（Aleosfoor *et al.*，2014）。此外，研究发现从不同饲养盒获得的成虫体重具有一定差异。这种体重差异可能是由不同饲养盒中幼虫间相互作用引起的血淋巴损耗不同而引起的（Sato *et al.*，2008），但具体原因有待进一步研究。

选择适合的饲养密度是实现捕食性瓢虫大量饲养的关键技术（孙莉等，2019）。为了充分挖掘饲养盒的饲养潜能，今后还需加大幼虫数以筛选最佳饲养密度。同时还需进一步优化饲养装置设计，以适应高效、便捷的工厂化生产需要。此外，选用合适食物替代天然猎物是实现瓢虫低成本大规模饲养的重要技术进步（Sun *et al.*，2017），如甜菜夜蛾 2-3 龄幼虫是适于高密度饲养异色瓢虫幼虫的理想食物（王红托等，2012）。

综上，本研究结果表明在饲养盒中增加隔断能有效降低瓢虫幼虫的自相残杀率，适于在有限的空间内高密度饲养七星瓢虫与多异瓢虫幼虫，研究结果将为设计、开发高效的捕食性瓢虫幼虫饲养盒奠定基础。

参考文献 (References)

Agarwala BK, Dixon AFG, 1992. Laboratory study of cannibalism and interspecific predation in ladybirds. *Ecological Entomology*, 17(4): 303–309.

Allen ML, Riddick EW, 2012. A system for harvesting eggs from the pink-spotted lady beetle. *Psyche*, 2012: 1–6.

Aleosfoor M, Mortazavi N, Poorkashkooli M, 2014. Comparison cannibalistic behavior between two ladybirds, *Coccinella septempunctata* and *Hippodamia variegata* under laboratory experiments. *Munis Entomology & Zoology*, 9(2): 645–650.

Dixon AFG, 2000. Insect Predator-prey Dynamics Ladybird Beetles and Biological Control. Cambridge: Cambridge University Press. 89–96.

Fan GH, Zhao JF, 1988. Functional response of *Adonia variegate* (Goeze) to cotton aphids (Col. : Coccinellidae). *Natural Enemies of Insects*, 10(4): 187–190. [范广华, 赵建方, 1988. 多异瓢虫对棉蚜密度的反应. 昆虫天敌, 10(4): 187–189.]

Franzmann BA, 2002. *Hippodamia variegata* (Goeze) (Coleoptera: Coccinellidae), a predacious ladybird new in Australia. *Australian Journal of Entomology*, 41(4): 375–377.

Hodek I, Michaud JP, 2008. Why is *Coccinella septempunctata* so successful? (A point-of-view). *European Journal of Entomology*, 105(1): 1–12.

Honěk A, 2010. The distribution of overwintered *Coccinella septempunctata* L. (Col. , Coccinellidae) adults in agricultural crops. *Journal of Applied Entomology*, 94(1/5): 311–319.

Kontodimas DC, Stathas GJ, 2005. Phenology, fecundity and life table parameters of the predator *Hippodamia variegata* reared on *Dysaphis crataegi*. *BioControl*, 50(2): 223–233.

Lanzoni A, Accinelli G, Bazzocchi GG, Burgio G, 2004. Biological traits and life table of the exotic *Harmonia axyridis* compared with *Hippodamia variegata*, and *Adalia bipunctata* (Col. Coccinellidae). *Journal of Applied Entomology*, 128(4): 298–306.

Ma YP, Sun HB, Wang RX, Guo TF, Wei J, 1999. Study on biological characters and artificial raising of *Coccinella Septempunctata*. *Journal of Xinjiang Agricultural University*,

22(4): 331–335. [马野萍, 孙洪波, 王瑞霞, 郭天凤, 魏娟, 1999. 七星瓢虫生物学特性及人工饲养的初步研究. 新疆农业大学学报, 22(4): 331–335.]

Obrycki JJ, Kring TJ, 1998. Predaceous Coccinellidae in biological control. *Annual Review of Entomology*, 43(1): 295–321.

Riddick EW, Chen H, 2014. Production of Coleopteran predators, Chapter 2//Morales-Ramos JA, Rojas MG, Shapiro-Ilan DI, (eds.). Mass Production of Beneficial Organisms: Invertebrates and Entomopathogens. London, UK: Academic Press. 17–55.

Riddick EW, Wu ZX, 2015. Effects of rearing density on survival, growth, and development of the ladybird *Coleomegilla maculata* in culture. *Insects*, 6(4): 858–868.

Sato S, Jimbo R, Yasuda H, Dixon AFG, 2008. Cost of being an intraguild predator in predatory ladybirds. *Applied Entomology and Zoology*, 43(1): 143–147.

Shands WA, Shands MK, Simpson GW, 1966. Techniques for mass-producing *Coccinella septempunctata*. *Journal of Economic Entomology*, 59(4): 1022–1023.

Sun L, Chen X, Zhang YX, Zhao LL, Lin JZ, 2019. Effect of breeding density on adult harvest and fecundity of *Harmonia axyridis* Pallas. *Chinese Journal of Biological Control*, 35(1): 15–19. [孙莉, 陈霞, 张艳璇, 赵玲玲, 林坚贞, 2019. 异色瓢虫饲养密度对成虫获得率及繁殖的影响. 中国生物防治学报, 35(1): 15–19.]

Sun YX, Hao YN, Riddick EW, Liu TX, 2017. Factitious prey and artificial diets for predatory lady beetles: Current situation, obstacles, and approaches for improvement: A review. *Biocontrol Science and Technology*, 27(5): 601–619.

van Lenteren JC, Bueno VHP, 2003. Augmentative biological control of arthropods in Latin America. *BioControl*, 48(2): 123–139.

Wang HT, Zhang WD, Chen XZ, Zheng JF, Miao L, Chen QL, 2012. Mass rearing the multicolored Asian lady beetle on beet armyworm larvae. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(6): 1726–1731. [王红托, 张伟东, 陈新中, 郑建峰, 苗麟, 秦启联, 2012. 异色瓢虫规模化生产技术及瓢虫工厂的建立. 应用昆虫学报, 49(6): 1726–1731.]

Wang XQ, Cao XY, Zheng ZL, Pu DQ, Li YJ, Fang C, Cai P, 2019. Densities affect the survival of *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) at diverse stages. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 35(32): 121–125. [王小强, 曹馨月, 郑珍蕾, 蒲德强, 李跃建, 房超, 蔡鹏, 2019. 密度对七星瓢虫不同虫态生存的影响. 中国农学通报, 35(32): 121–125.]

Yu ZR, Chen BH, 2001. Effect of concealment and rearing density on the development and survival of *Lemnia biplagiata* (Coleoptera: Coccinellidae). *Journal of Agricultural Research in China*, 50(1): 68–74. [余志儒, 陈炳辉, 2001. 隐蔽物与饲育密度对锚纹瓢虫(鞘翅目：瓢虫科)发育与存活之影响. 中华农业研究, 50(1): 68–74.]

Zhang LH, Feng YL, 2007. Biological control of alien invasive weeds and the effects of biocontrol agents on nontarget native species. *Acta Ecologica Sinica*, 27(2): 802–809. [张黎华, 冯玉龙, 2007. 外来入侵杂草的生物防治及生防因子对本地非目标种的影响. 生态学报, 27(2): 802–809.]