应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2016, 53(2): 325−330. DOI: 10.7679/j.issn.2095−1353.2016.043

正交实验优化小菜蛾室内种群的繁殖条件*

李向永** 尹艳琼 赵雪晴 谌爱东***

（云南省农业科学院农业环境资源研究所，昆明 650205）

摘 要 **【目的】** 明确小菜蛾 *Plutella xylostella* 室内种群扩繁时的寄主植物、成虫密度等因子的影响作用。**【方法】** 采用=正交实验设计，分析了成虫接虫量、寄主植物和寄主叶龄等因素对小菜蛾子代扩繁倍数的影响。**【结果】** (1) 接虫量、寄主对小菜蛾的繁殖量有极显著的影响（P<0.01）。寄主叶龄对小菜蛾的繁殖量有显著的影响（P<0.05）。根据各因素的 F 值大小，可确定对扩繁量的影响作用顺序为接虫量（F=24.11，P=0.001）>寄主（F=14.21，P=0.004）>生育期（F=7.40，P=0.019）。(2) 各因素配对分析结果表明：1 对/株的繁殖倍数与 3 对/株、4 对/株的繁殖倍数存在极显著差异（P<0.01），与 2 对/株的繁殖倍数存在显著差异（P<0.05）。2 对/株的繁殖倍数与 3 对/株、4 对/株的繁殖倍数存在极显著差异（P<0.01）。甘蓝寄主上的繁殖倍数与白菜、菜心、花椰菜上的繁殖倍数均存在极显著差异（P<0.01），而白菜、菜心、花椰菜上的繁殖倍数三者间均无显著差异（P>0.05）。6 叶龄时繁殖倍数与 10 叶期的繁殖倍数存在极显著差异（P<0.01），与 4 叶期、8 叶期的繁殖倍数存在显著差异（P<0.05）。而 10 叶期、4 叶期、8 叶期的繁殖倍数 3 者间均无显著差异（P>0.05）。**【结论】** 室内种群的最适合扩繁条件是接虫量 1 对/株，寄主植物为甘蓝，生育期为 6 叶龄。

关键词 小菜蛾，正交实验，寄主植物，接虫量，生育期

An orthogonal analysis of factors affecting the reproduction of *Plutella xylostella* (L.)

LI Xiang-Yong** YIN Yan-Qiong ZHAO Xue-Qing CHEN Ai-Dong***

(Institute of Agricultural Resources and Environment, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, China)

Abstract **[Objectives]** To determine the effects of host plant species and adult density on the reproduction of the diamondback moth (*Plutella xylostella*). **[Methods]** We used an orthogonal experiment to analyze the effects of adult density, host plant, and plant developmental stage, on the F_1 generation proliferation rate of the *P. xylostella*. **[Results]** (ⅰ) Adult density and host plant had very significant effects on the proliferation rate of *P. xylostella* (P<0.01), whereas host-plant developmental stage had a less significant effect (P<0.05). These most important factors affecting diamondback moth productivity can be ranked in descending order of importance as follows; temperature (F=24.11，P=0.001) > host (F=14.21，P=0.004) > humidity (F=7.40，P=0.019). (ⅱ) A single factor paired comparison revealed an extremely significant difference in adult productivity between 1 pair/plant and 3 pair/plant or 4 pair/plant, and between 2 pair/plant, 3 pair/plant and 4 pair/plant (P<0.01), and a less significant difference between 1 pair/plant and 2 pair/plant (P<0.05). With respect to host plant species, there was also an extremely significant difference among cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*), chinese cabbage (*B. rapa pekinensis*), flowering chinese cabbage (*B. campestris* ssp. *chinensis* var. *utilis*) and cauliflower (*B. oleracea* var. *botrytis*) (P<0.01), but no significant difference among chinese cabbage, flowering chinese cabbage and cauliflower (P>0.05). With respect to plant development stage, there was an extremely significant difference between the 6-leaf stage and the 10-leaf stage (P<0.01), a less significant difference between the 6-leaf stage and the 4-leaf and 8-leaf stages (P<0.05); but no significant difference among the 4-leaf, 8-leaf, and 10-leaf stages (P>0.05). **[Conclusion]** Optimal conditions for diamondback moth

*资助项目 Supported projects：公益性行业（农业）科研专项（201103021）

**第一作者 First author，E-mail：lxybiocon@163.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：shenad68@163.com

收稿日期 Received：2016-01-19，接受日期 Accepted：2016-02-27

reproduction are a combination of an adult density of 1 pair/plant, and cabbage host-plants at the 6-leaf stage of development.

Key words diamondback moth, orthogonal experiment, host plant, population number, growth period

小菜蛾 *Plutella xylostella* (L.)种群的室内饲养过程中，大多采用萝卜苗、白菜苗、油菜及甘蓝等为寄主植物。已有研究结果表明白菜类（江丽辉等，2001；李欣，2002；李洪山等，2006；牟芳等，2015）和甘蓝类（吕利华等，2003；谭永安，2008；谢艳兰和李湛斌，2015）是小菜蛾的适宜寄主。由于供试的小菜蛾种群的差异性，对寄主的选择性有所差异，如李洪山等（2006）研究了小菜蛾幼虫的取食趋性，小菜蛾幼虫优先取食大白菜、萝卜或菜心幼苗，其次为油菜和甘蓝幼苗，白菜苗饲喂种群的净生殖率、产卵趋性和幼虫体重明显优于其他寄主植物。牟芳等（2105）研究结果与此类似，小菜蛾在白菜的取食量为 114.7 mg/头，高于萝卜苗上的 93.3 mg/头和油菜苗上的 105.0 mg/头。而在类似的寄主选择性研究结果中，甘蓝类是小菜蛾的适宜寄主，如谭永安（2008）的结果表明小菜蛾成虫在甘蓝、菜心、小白菜、芥菜 4 种寄主上的总产卵量分别为 285、274、271、244 粒；成虫在甘蓝上第 2 天就达到产卵高峰（谭永安，2008）；与白菜、菜心和芥菜相比较，芥蓝最适宜于小菜蛾种群生长、发育和繁殖（吕利华等，2003）。谢艳兰（2015）研究了大青萝卜、芥菜、花椰菜、油菜、大白菜、甘蓝、水萝卜等对小菜蛾生长发育和繁殖的影响。结果表明小菜蛾的最适寄主是芥菜、甘蓝和水萝卜（谢艳兰和李湛斌，2015）。

寄主植物除了影响小菜蛾的生物学特征外，还会影响小菜蛾对杀虫剂的敏感性。如取食花椰菜和萝卜的小菜蛾相比较，艾氏剂环氧化酶活性二者相差 2.8 倍，差异极显著（李云寿等，1996）。用甘蓝饲喂幼虫后，其体内的谷胱甘肽-*S*-转移酶和乙酰胆碱酯酶活力最高（李喆等，2011）。小菜蛾对氯虫苯甲酰胺的敏感性及解毒酶活力变化也与此类似，尹飞等（2103）以菜心 *Brassica parachinensis*、芥菜 *B.juncea*、白菜 *B.chinensis* 和芥蓝 *B.alboglabra* 连续饲养 5 代后，芥蓝饲喂种群的解毒酶活性最强，谷胱甘肽-*S*-转移酶（GSTs）、羧酸酯酶（CarE）比活力差异显著。

在室内饲养过程中，室内种群还存在逐代退化、扩繁效能降低的问题，有时甚至还存在在种群消亡的危险，为了能获得生长发育一致的实验种群，需对本实验室室内种群的饲养条件进行优化和筛选。根据前期的饲养实践和存在的问题，筛选了寄主种类、寄主植物叶龄和接虫量/株 3 个因素进行优化和筛选。如果要对多因素、多水平进行全面实验，存在着实验次数多，样本量大，且要耗费较多的人力物力等制约，而正交实验设计是从实验因素的全部水平组合中，挑选部分有代表性的水平组合进行实验，通过对这部分实验结果的分析了解全面实验的情况，分析明确关键影响因子及各因素的最佳配比。正交实验优化已应用于二化螟 *Chilo suppressalis*（刘慧敏和张国安，2007）、橘小实蝇幼虫 *Bactrocera dorsalis*（季清娥等，2009）和绿盲蝽 *Apolygus lucorum* 若虫的人工饲料配方研究（宋国晶等，2010）。以及烟粉虱 *Bemisia tabaci* 饲养条件优化（杨海林等，2014；李向永等，2015）。本研究采用正交实验设计，明确影响小菜蛾室内种群扩繁的关键因子及各因素的最佳组合，可指导室内种群的继代饲养，为小菜蛾生物学特征、抗药性测定等提供生长发育一致的虫源。

1 材料与方法

1.1 实验设计方法

选择影响小菜蛾种群繁殖的寄主植物品种、寄主叶龄及小菜蛾成虫密度（对/株）3 个因素，每个因素设置 4 个水平（表 1），根据各因素组合调查小菜蛾的子代扩繁量，计算种群扩繁倍数。寄主移栽于塑料花盆中（直径 20 cm、高 30 cm），按各因素组合后，花盆外罩 45 cm×45 cm×50 cm 的 80 目尼龙沙网养虫笼，并同时每天更换 20%的蜂蜜水为成虫提供营养，实验于 2015 年 5 月至 8 月在昆明市云南省农业科学院农业环境资源研究所的温室大棚进行。

1.2　调查及数据分析方法

接虫 2 周后至子代幼虫全部化蛹结束，每周调查寄主植物上的幼虫数量及蛹的数量，计算扩繁倍数。以子代种群最大值和初始接虫量的比值作为种群增殖率。用 SPSS 13.0（SPSS Inc.）软件中的 Analyze 模块对不同因素水平下的种群增殖率进行方差分析。

2　结果与分析

按表 2 所示的因素条件组合，在 45 cm×45 cm×50 cm 的养虫笼内接入小菜蛾成虫，同时饲喂 20%蜂蜜水补充营养。在室外自然条件下经 2~3 周后调查各实验条件下小菜蛾子代的幼虫量，以此计算小菜蛾的繁殖倍数。

繁殖量影响因素方差分析结果表明接虫量（F=21.114，P=0.001）和寄主（F=14.209，P=0.004）对小菜蛾的繁殖量有极显著的影响（P<0.01）。叶龄（F=7.400，P=0.019）对小菜蛾的繁殖量有显著的影响（P<0.05）。根据接虫量、寄主和叶龄的 F 值大小，可确定各因素对小菜蛾种群繁殖倍数的影响作用顺序为接虫量>寄主>生育期。

接虫量单因素方差分析结果表明，在接虫量为 1 对/株时，小菜蛾的繁殖倍数最大，与 2 对/株、

表 1　因素及水平
Table 1　Factors and factor levels design

因素及因素水平 Level of factors	接虫量 Density of *P. xylostella*	寄主植物 Host plant	生育期 Development period
1	1 对/株 1 pair/hill	白菜 *Brassica chinensis*	3 叶期 3 leaves period
2	2 对/株 2 pairs/hill	甘蓝 *Brassica oleracea* var.*capitata*	5 叶期 5 leaves period
3	3 对/株 3 pairs/hill	花椰菜 *Brassica oleracea* var.*botrytis*	8 叶期 8 leaves period
4	4 对/株 4 pairs/hill	菜心 *Brassica parachinensis*	10 叶期 10 leaves period

表 2　正交实验表
Table 2　Results of orthogonal experiment of *Plutella xylostella* population proliferation

接虫量 Density of *P. xylostella*	寄主植物 Host plant	生育期 Development period	繁殖倍数 Proliferation rate
3 对/株 3 pairs/hill	甘蓝 *B. oleracea* var. *capitata*	3 叶期 3 leaves period	105.00
1 对/株 1 pair/hill	白菜 *B. chinensis*	3 叶期 3 leaves period	122.00
2 对/株 2 pairs/hill	菜心 *B. parachinensis*	3 叶期 3 leaves period	84.50
4 对/株 4 pairs/hill	花椰菜 *B. oleracea* var. *botrytis*	3 叶期 3 leaves period	76.75
2 对/株 2 pairs/hill	白菜 *B. chinensis*	5 叶期 5 leaves period	129.50
1 对/株 1 pair/hill	菜心 *B. parachinensis*	5 叶期 5 leaves period	150.00
4 对/株 4 pairs/hill	甘蓝 *B. oleracea* var. *capitata*	5 叶期 5 leaves period	149.25
3 对/株 3 pairs/hill	花椰菜 *B. oleracea* var. *botrytis*	5 叶期 5 leaves period	87.33
3 对/株 3 pairs/hill	白菜 *B. chinensis*	8 叶期 8 leaves period	38.67
1 对/株 1 pair/hill	甘蓝 *B. oleracea* var. *capitata*	8 叶期 8 leaves period	183.00
4 对/株 4 pairs/hill	菜心 *B. parachinensis*	8 叶期 8 leaves period	32.75
2 对/株 2 pairs/hill	花椰菜 *B. oleracea* var. *botrytis*	8 叶期 8 leaves period	114.00
2 对/株 2 pairs/hill	甘蓝 *B. oleracea* var. *capitata*	10 叶期 10 leaves period	124.50
4 对/株 4 pairs/hill	白菜 *B.chinensis*	10 叶期 10 leaves period	30.75
1 对/株 1 pair/hill	花椰菜 *B. oleracea* var.*botrytis*	10 叶期 10 leaves period	116.00
3 对/株 3 pairs/hill	菜心 *B. parachinensis*	10 叶期 10 leaves period	55.00

3 对/株、4 对/株的繁殖倍数均值差分别为 29.6、71.3、70.4，1 对/株的繁殖倍数与 3 对/株、4 对/株的繁殖倍数存在极显著差异（$P<0.01$），与 2 对/株的繁殖倍数存在显著差异（$P<0.05$）。2 对/株的繁殖倍数与 3 对/株、4 对/株的繁殖倍数存在极显著差异（$P<0.01$），而 3 对/株、4 对/株的繁殖倍数差异不显著（$P>0.05$）（表 3）。实验结果表明，在有限的空间（45 cm×45 cm×50 cm）和食物条件下，小菜蛾的子代繁殖数量存在着密度制约效应。

寄主植物单因素方差分析结果表明，小菜蛾在甘蓝寄主上的繁殖倍数最大，与白菜、菜心、花椰菜的繁殖倍数均值差分别为 60.2、59.9、41.9，甘蓝寄主上的繁殖倍数与白菜、菜心、花椰菜上的繁殖倍数均存在极显著差异（$P<0.01$），而白菜、菜心、花椰菜上的繁殖倍数三者间均无显著差异（$P>0.05$）（表 4）。

表 3 接虫量单因素方差分析结果

Table 3 ANOVA analysis result of density of *Plutella xylostella* single-factor

（I）接虫量 Density of *P. xylostella*	（J）接虫量 Density of *P. xylostella*	均值差值（I-J）Differences of mean	Sig.
1 对/株 1 pair/hill	2 对/株 2 pairs/hill	29.625*	0.032
	3 对/株 3 pairs/hill	71.250**	0.001
	4 对 /株 4 pairs/hill	70.375**	0.001
2 对/株 2 pairs/hill	1 对/株 1 pair/hill	-29.625*	0.032
	3 对/株 3 pairs/hill	41.625**	0.008
	4 对/株 4 pairs/hill	40.750**	0.009
3 对/株 3 pairs/hill	1 对/株 1 pair/hill	-71.250**	0.001
	2 对/株 2 pairs/hill	-41.625**	0.008
	4 对/株 4 pairs/hill	-0.875	0.937
4 对/株 4 pairs/hill	1 对/株 1 pair/hill	-70.375**	0.001
	2 对/株 2 pairs/hill	-40.750**	0.009
	3 对/株 3pair/hill	0.875	0.937

表中同列数据后的**表示 0.01 水平差异显著，*表示 0.05 水平差异显著，下表同。

Data with ** in the same column indicate significant difference at the level of $P= 0.01$, while * indicate significant difference at the level of $P= 0.05$. The same below.

表 4 寄主植物单因素方差分析结果

Table 4 ANOVA analysis result of host plant single-factor

（I）寄主 Host plant	（J）寄主 Host plant	均值差值（I-J）Differences of mean	Sig.
白菜 *B. chinensis*	菜心 *B. parachinensis*	-0.333	0.976
	甘蓝 *B. oleracea* var. *capitata*	-60.208**	0.001
	花椰菜 *B. oleracea* var. *botrytis*	-18.292	0.136
菜心 *B. parachinensis*	白菜 *B. chinensis*	0.333	0.976
	甘蓝 *B. oleracea* var. *capitata*	-59.875**	0.001
	花椰菜 *B. oleracea* var. *botrytis*	-17.958	0.142
甘蓝 *B. oleracea* var. *capitata*	白菜 *B.chinensis*	60.208**	0.001
	菜心 *B. parachinensis*	59.875**	0.001
	花椰菜 *B. oleracea* var. *botrytis*	41.917**	0.008
花椰菜 *B. oleracea* var. *botrytis*	白菜 *B. chinensis*	18.292	0.136
	菜心 *B. parachinensis*	17.958	0.142
	甘蓝 *B. oleracea* var. *capitata*	-41.917**	0.008

寄主叶龄单因素方差分析结果表明，小菜蛾在寄主植物 6 叶期时的繁殖倍数最大，6 叶期与 10 叶期、4 叶期、8 叶期的繁殖倍数均值差分别为 47.5、31.9、36.9，6 叶龄时繁殖倍数与 10 叶期的繁殖倍数存在极显著差异（P<0.01），与 4 叶期、8 叶期的繁殖倍数存在显著差异（P<0.05）。而 10 叶期、4 叶期、8 叶期的繁殖倍数三者间均无显著差异（P>0.05）（表 5）。

表 5　寄主叶龄单因素方差分析结果

Table 5　ANOVA analysis result of host plant development period single-factor

(I)生育期 Development period	(J) 生育期 Development period	均值差值（I-J）Differences of mean	Sig.
10 叶期 10 leaves period	4 叶 4 leaves period	-15.500	0.195
	6 叶 6 leaves period	-47.458**	0.004
	8 叶 8 leaves period	-10.542	0.359
4 叶期 4 leaves period	10 叶 10 leaves period	15.500	0.195
	6 叶 6 leaves period	-31.958*	0.024
	8 叶 8 leaves period	4.958	0.657
6 叶期 6 leaves period	10 叶 10 leaves period	47.458**	0.004
	4 叶 4 leaves period	31.958*	0.024
	8 叶 8 leaves period	36.917*	0.013
8 叶期 8 leaves period	10 叶 10 leaves period	10.542	0.359
	4 叶 4 leaves period	-4.958	0.657
	6 叶 6 leaves period	-36.917*	0.013

3　讨论

本研究采用正交实验方法分析了寄主植物、寄主叶龄和成虫密度对小菜蛾室内种群扩繁的影响作用，方差分析结果表明接虫量、寄主对小菜蛾的扩繁倍数有极显著的影响（P<0.01）。而寄主叶龄对小菜蛾的繁殖量有显著的影响（P<0.05）。各因素的影响作用顺序为接虫量（F=24.11，P=0.001）>寄主（F=14.21，P=0.004）>生育期（F=7.40，P=0.019）。小菜蛾成虫在 1 对/株的接虫密度条件下，扩繁倍数要高于 2 对/株、3 对/株和 4 对/株。在有限的空间(45 cm×45 cm×50 cm)和食物条件下，小菜蛾的子代繁殖数量存在着密度制约效应，这可能是由于食物资源竞争激烈及空间有限等原因造成了这种现象。具体的抑制作用大小还有待研究。寄主植物体内氨基酸等主要营养物质是昆虫种群扩繁的物质基础，与小白菜、菜心和芥菜相比，芥蓝最适宜于小菜蛾种群生长、发育和繁殖，是最佳的寄主（吕利华等，2003），本研究结果与此类似。通过对小菜蛾室内种群的室内种群的影响因子分析，初步明确了室内种群的最适合扩繁条件是接虫量 1 对/株，寄主植物为甘蓝，生育期为 6 叶龄。在此条件下，小菜蛾子代的蛹重、羽化率及性比等指标还有待进一步研究。

由于本研究只是初步明确了寄主植物、寄主生育期、小菜蛾成虫密度对作者实验室的室内饲养种群扩繁倍数的影响，对云南省主要菜区不同的小菜蛾地理种群成虫对寄主植物的产卵趋性、产卵量、幼虫存活率等对扩繁倍数影响较大的因素还需进一步研究。常用寄主植物在不同生育期的营养物质组份及含量变化是决定小菜蛾种群增殖的内在因素，这还需在以后的工作中进行深入探讨和研究。

参考文献(References)

Ji QE, Ren ZZ, Huang JC, Chen JH, 2009. The orthogonal optimization of artificial liquid larval diet for *Bactrocera dorsalis* (Hendel). *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University,* 38(6): 567–572. [季清娥, 任真真, 黄居昌, 陈家骅,

2009. 橘小实蝇幼虫液体人工饲料正交设计优化. 福建农林大学学报, H38(6): 567–572.]

Jiang LH, Wang D, Liu SS, 2001. Effects of host plant on the oviposition preference of *Plutella xylostella* (L.) and host-selection behavior of *Cotesia plutellae* (K). *Journal of Zhejiang University* (*Agric & Life Sci.*), 27(3): 39–42. [江丽辉, 王栋, 刘树生, 2001. 寄主植物对小菜蛾产卵选择性及菜蛾绒茧蜂寄主选择行为的影响. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 27(3): 273–276.]

Li HS, Wang J, Wei H, Dai HG, Wang JH, 2006. Feeding preference of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: *Plutellidae*) larva to its hosts. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 17(6): 1065–1069. [李洪山, 王娟, 魏辉, 戴华国, 王俊华, 2006. 小菜蛾幼虫对不同寄主的取食嗜好性及其适宜性. 应用生态学报, 17(6): 1065–1069.]

Li X, 2002. Fuctions of infochemicals in the host selection of *Plutella xylostella*, and its parasitoid, *Diadegma semiclausum*. Doctor thesis. Hangzhou: Zhejiang University. [李欣, 2002. 信息化合物在小菜蛾和半闭弯尾姬蜂寄主选择中的作用. 博士学位论文. 杭州: 浙江大学.]

Li YS, Luo WC, Mu LY, 1996. Effects of food plants on the aldrin epoxidationase and acetylcholinesterase of the diamondback moth. *Acta Phytophylacica Sinica,* 23(2): 181–184. [李云寿, 罗万春, 慕立义, 赵善欢, 1996. 不同寄主植物对小菜蛾艾氏剂环氧化酶和乙酰胆碱酯酶活性的影响. 植物保护学报, 23(2): 181–184.]

Li Z, Hou Y, Tian J, Hao C, 2011. Changes of sensitivities of *Plutella xylostella* (L.) feeding on different host plant to Beta-cypermethrin. *Journal of Shanxi Agricultural University* (*Natural Science Edition*), 31(2): 130–133. [李喆, 侯毅, 田晶, 郝赤, 2011. 取食不同寄主植物的小菜蛾对高效氯氰菊酯敏感性的变化. 山西农业大学学报(自然科学版), 31(2): 130–133.]

Liu 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.]

Lv LH, He YR, Pang XF, 2003. Effects of cruciferous vegetables on experimental population of diamondback moth *Plutella xylostella. Chinese Journal of Appllied Ecology*, 14(10): 1732–1734. [吕利华, 何余容, 庞雄飞, 2003. 十字花科蔬菜对小菜蛾实验种群的影响. 应用生态学报, 14(10): 1732–1734.]

Mu F, Sun LJ, Duan FM, Shen CP, Wan FH, 2015. Influences of three host plants on the traits of experimental population of diamondback moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Putellidae). *Journal of Plant Protection,* 42 (3): 289–296. [牟芳, 孙丽娟, 段方猛, 沈长朋, 万方浩, 2015. 三种寄主植物对小菜蛾实验种群特征的影响. 植物保护学报, 42(3): 289–296.]

Song GJ, Li GP, Feng HQ, Li HP, Qiu F, 2010. Optimization of artificial diet composition for *Apolygus lucorum* nymphs by orthogonal design. *Plant Protection,* 36(6): 96–99. [宋国晶, 李国平, 封洪强, 李海平, 邱峰, 2010. 用正交试验法优选绿盲蝽若虫人工饲料配方. 植物保护, 36(6): 96–99.]

Tan YA, 2008. Effect of population for *Plutella xylostella* (L.) on different host plants and the research of mating behavior. Master thesis. Yangzhou: Yangzhou University.[谭永安, 2008. 不同寄主植物对小菜蛾种群影响及交配行为的研究.硕士学位论文. 扬州: 扬州大学.]

Xie YL, Li ZB, 2015. Effect of cruciferous plant on the growth, development and fecundity of *Plutella xylostella* (L.). *Heilongjiang Agricultural Sciences,* (8): 61–64. [谢艳兰, 李湛斌, 2015. 十字花科植物对小菜蛾生长发育和繁殖的影响. 黑龙江农业科学, (8): 61–64.]

Yin F, Chen HY, Li ZY, Lin QS, Hu ZD, Zhang DY, Feng X, 2013. Changes in susceptibility to chlorantraniliprole and detoxification enzymes of *Plutella xylostella* feeding on different host plants. *Chinese Journal of Applied Entomology,* 50(5): 1335–1340. [尹飞, 陈焕瑜, 李振宇, 林庆胜, 胡珍娣, 张德雍, 冯夏, 2013. 取食不同寄主植物小菜蛾对氯虫苯甲酰胺敏感性及体内解毒酶活性的变化. 应用昆虫学报, 50(5): 1335– 1340.]

Li XY, Chen AD, Yin YQ, Zhao XQ, Yang HL, 2015. The impact of environmental factors on development period of sweet potato whitefly, *Bemisia tabaci* (Gennadius) F_1 generation. *Journal of Environmental Entomology,* 37(2): 242–249. [李向永, 谌爱东, 尹艳琼, 赵雪晴, 杨海林, 2015. 环境因子对烟粉虱子代发育历期的影响. 环境昆虫学报, 37(2): 242–249.]

Yang HL, Li XY, Zhang LM, Yin YQ, Zhao XQ, Chen AD, 2014. Optimization for *Bemisia tabaci* egg development conditions using orthogonal design. *Journal of Southern Agriculture*, 45(11): 1970–1975. [杨海林, 李向永, 张立猛, 尹艳琼, 赵雪晴, 谌爱东. 2014. 烟粉虱卵发育条件的正交优化筛选. 南方农业学报, 45(11): 1970–1975.]