幼虫密度对二点委夜蛾生长发育及繁殖的影响*

李 艳[1,2**] 江幸福[2***] 张 蕾[2] 程云霞[2] 刘彦群[1] 罗礼智[2]

（1. 沈阳农业大学生物科学技术学院，沈阳 110866；2. 中国农业科学院植物保护研究所，北京 100193）

摘 要 **【目的】** 在不同幼虫密度饲养条件下，研究二点委夜蛾 *Athetis lepigone* 生长发育及繁殖的情况，明确幼虫密度对该害虫的室内种群增长的影响。**【方法】** 本实验设置 5 个幼虫饲养密度即 1，5，10，20 和 30 头/瓶（750 mL），分别观察 5 个饲养密度下该虫的各个龄期及整个幼虫发育历期及存活率、蛹重、蛹期以及成虫生殖情况。**【结果】** 幼虫密度对该虫幼虫各龄期及整个幼虫发育历期及存活率、蛹重、蛹期以及成虫生殖情况均有显著性影响。整个幼虫发育历期随着密度的增加而缩短，10 头/瓶达到最短（18.27 d），之后随着幼虫密度的增加而显著延长；幼虫至蛹的存活率随着密度增高而显著下降，30 头/瓶最低（39.37%）。蛹期随着密度的增加而延长（10 头/瓶除外）。蛹重和每雌产卵量均以 1 头/瓶最高，随着幼虫密度的增加而显著下降。雌雄蛾寿命均以 10 头/瓶最长，与 1 和 5 头/瓶没有显著性差异。生命表分析显示：二点委夜蛾的种群增长指数以 5 头/瓶最高，幼虫密度过低或者过高均不利于种群增长。**【结论】** 幼虫密度是影响二点委夜蛾种群增长的重要因子之一。

关键词 二点委夜蛾，幼虫密度，生长发育，繁殖

Effects of larval density on the development and reproduction of *Athetis lepigone*

LI Yan[1,2**] JIANG Xing-Fu[2***] ZHANG Lei[2] CHENG Yun-Xia[2] LIU Yan-Qun[1] LUO Li-Zhi[2]

(1. College of Bioscience and Biotechnology, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China;
2. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Beijing 100193, China)

Abstract **[Objectives]** To investigate the effects of larval density on the development, reproduction, and population growth of *Athetis lepigone*. **[Methods]** The growth, development, and reproduction of *A. lepigone* were examined by rearing larvae at densities of 1, 5, 10, 20, and 30 larvae/750 mL. **[Results]** The developmental duration of different instars, all larvae, pupae, survival rate from larvae to pupae, pupal weight and adult reproduction of *A. lepigone* were significantly affected by larval density. The duration of larval development was lowest at a density of 10 larvae/750 mL (18.27 d) but significantly increased with increasing larval density. The survival rate from larvae to pupae decreased with larval density and was only 39.37 % at a density of 30 larvae/750 mL. Pupal developmental duration was prolonged with increasing larval density, except at a density of 10 larvae/750 mL. Pupal weight and the number of eggs laid per female significantly reduced with increasing larval density. The longevity of both sexes was greatest at 10 larvae/750 mL, but less at either lower or higher density. Life table analysis suggested that larval density significantly affected the population growth index, being highest at a density of 5 larvae/750mL and significantly lower when the larval density was too high. **[Conclusion]** The results suggest that larval density is one of the major ecological factors influencing the population dynamics in *A. lepigone*.

Key words *Athetis lepigone*, larval density, growth and development, reproduction

二点委夜蛾（*Athetis lepigone*）属鳞翅目夜蛾科委夜蛾属，主要分布在瑞典、芬兰等欧洲地区及日本、朝鲜、西伯利亚等亚洲地区(姜京宇等，2008)。2005 年 7 月在我国河北省首次发现

* 资助项目：公益性农业行业科研专项（201303026）；国家自然科学基金（31371947，31000850，31301656）
**E-mail: muzili07@163.com
***通讯作者，E-mail: xfjiang@ippcaas.cn
收稿日期：2014-03-15，接受日期：2014-04-01

该虫为害玉米，近几年由于耕作制度的改变尤其是免耕和秸秆还田，导致其危害程度进一步加重，该虫的危害已经严重威胁到黄淮海夏玉米的安全生产（江幸福等，2011；王振营等，2012）。二点委夜蛾是新发现的害虫，目前对其相关的报道较少，主要集中在生物学特性、监测预报及防治技术等方面。许多学者已从外源因子温度、幼虫食物等方面进行了研究（曹美琳等，2011；李立涛等，2013），但是有关二点委夜蛾种群暴发的内源因子，如二点委夜蛾是否存在幼虫密度依赖的调节作用缺乏深入认识。

幼虫密度是影响昆虫生长发育及种群动态的重要因子之一。幼虫密度对非洲粘虫 *Spodoptera exempta*、粘虫 *Mythimna separata*、洋虫 *Palembus demestoides*、甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua*、马铃薯块茎蛾 *Phthorimaea operculella*、草地螟 *Loxostege sticticalis*、小菜蛾 *Plutella xylostella* 等昆虫的生长发育及繁殖能力均有显著影响（Gunn and Gatehouse，1987；罗礼智等，1993；Knorr *et al.*，2000；周蕊和陈力，2006；王娟等，2008；马艳粉等，2010；孔海龙等，2011，2013），并且幼虫密度对斜纹夜蛾 *Spodoptera litura*、草地螟抗病能力（孔海龙等，2012；杨志兰等，2013）以及对粘虫、草地螟成虫飞行能力均有显著的影响（李克斌和罗礼智，1995，1998；Kong *et al.*，2010)。因此幼虫密度是影响昆虫个体发育及种群增长的重要原因。但是幼虫密度对二点委夜蛾生长发育及繁殖的影响尚未报道，为了揭示幼虫密度对二点委夜蛾种群动态的调节作用，本实验系统观测了不同幼虫密度对二点委夜蛾生长发育及繁殖能力的影响，并估算了不同密度条件下二点委夜蛾种群增长指数，从而为分析其种群动态变化以及提高预测预报和综合治理水平提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　供试虫源及幼虫密度设置

供试虫源来自河北省馆陶县（115.4°E，36.5°N）玉米田中采集的二点委夜蛾幼虫，用实验室自制的人工饲料繁殖多代后，选择发育良好成虫待产卵后作为供试材料（江幸福等，2013）。实验共设 5 个幼虫密度，分别为 1，5，10，20，30 头/瓶（750 mL）。在实验室温度（26±1）℃，RH 为 50%~60%，光周期 14L∶10D 条件下，幼虫孵化当天开始进行实验。1~2 龄幼虫每 2 d 更换 1 次饲料，3~6 龄幼虫每天更换 1 次饲料（饲料充足），并及时清理粪便，保持瓶内干净无菌。整个幼虫期瓶内密度一直保持恒定。

每天早 8:00 和晚 20:00 分别观察 1 次。成虫羽化后，1♀和 1♂配对，置于 750 mL 玻璃瓶中，瓶底放入滤纸，每天更换 5%蜂蜜水。记录成虫的产卵情况，直至死亡。

1.2　生物学指标的测定

不同幼虫饲养密度下，记录二点委夜蛾各龄期幼虫的发育历期及存活率、蛹期、幼虫至蛹的存活率、蛹重、成虫羽化率及畸形率、产卵前期、产卵历期、每雌产卵量及雌雄虫寿命。化蛹第 3 天，用 1/10000 的电子天平称量蛹重。

幼虫至蛹的存活率=（化蛹数/总幼虫数）×100%，

成虫羽化率=（羽化数/总蛹数）×100%，

成虫畸形率=（畸形成虫数/总蛹数）×100%。

1.3　生命表组建

根据不同幼虫密度下二点委夜蛾各发育阶段的存活率、产卵量等生物学指标，按照吴坤君等（1978）的方法组建不同幼虫密度二点委夜蛾种群生命表，并计算增长指数。

种群增长指数=繁殖一代后的幼虫数/当代起始幼虫数。

1.4　数据处理及分析

采用单因素方差分析不同幼虫饲养密度下二点委夜蛾各生活史参数的差异显著水平，并用 Tukey's HSD 进行多重比较。所得数据均用平均值±标准误（SE）来表示。不同幼虫密度下幼虫各龄期及整个幼虫期存活率、成虫羽化率及畸形率等数据用卡方（χ^2）检验其差异显著水平。统计软件为 SPSS 16.0 版。

2　结果与分析

2.1　幼虫密度对二点委夜蛾生长发育的影响

幼虫密度对二点委夜蛾生长发育有显著性影响（$P<0.05$）（表 1）。其中 1 龄龄期以 30 头/瓶最长，显著长于其它处理（$P<0.05$），1 头/瓶最短（3.66 d）；2 龄龄期以 5 头/瓶最长，显著长

于其它处理（30 头/瓶除外）（$P<0.05$），10 头/瓶最短；3 龄龄期以 20 头/瓶最长，显著长于其它处理（$P<0.05$），30 头/瓶最短；4 龄龄期以 30 头/瓶最长，显著长于其它处理（$P<0.05$），10 头/瓶最短；5~6 龄龄期以 30 头/瓶最长，5 头/瓶最短，不同处理间具有显著性差异（$P<0.05$）。幼虫各龄期的发育历期随着幼虫密度的变化趋势不成一定规律，但是整个幼虫发育历期随着密度的增加而缩短，10 头/瓶时最短，之后随幼虫密度的增加而延长，在一定幼虫密度范围内，整个幼虫发育速度加快，有利于幼虫生长发育。蛹的发育历期随密度的增加而延长（10 头/瓶除外）；蛹重随着密度的增加而显著变轻（$P<0.05$）。

表 1　幼虫密度对二点委夜蛾生长发育的影响

Table 1　Effect of larval density on growth, development of *Athetis lepigone*

发育历期（d）Development parameter (d)	幼虫密度（头/瓶）Larval density (larvae/jar)				
	1	5	10	20	30
1 龄 1st instar	3.66±0.05c（80）	3.98±0.06b（80）	3.99±0.07b（80）	3.76±0.10c（80）	4.38±0.05a（90）
2 龄 2nd instar	2.98±0.07bc（80）	3.20±0.07a（80）	2.76±0.06d（80）	2.84±0.05cd（80）	3.11±0.04ab（90）
3 龄 3rd instar	3.33±0.09b（80）	3.16±0.08b（80）	2.68±0.04c（80）	3.54±0.08a（80）	2.56±0.07c（90）
4 龄 4th instar	3.29±0.08bc（80）	3.06±0.08cd（80）	3.01±0.08d（80）	3.53±0.07b（80）	4.31±0.11a（90）
5-6 龄 5-6th instar	6.84±0.18b（80）	5.02±0.10e（80）	5.83±0.10d（80）	6.36±0.09c（80）	8.31±0.09a（90）
幼虫历期 Larval duration	20.09±0.16b（80）	18.41±0.17c（80）	18.27±0.17c（80）	20.01±0.19b（80）	22.67±0.15a（90）
蛹历期 Pupal duration	7.59±0.08c（80）	8.14±0.09a（80）	7.87±0.08b（80）	8.19±0.09a（80）	8.25±0.06a（90）

表中所列数据为平均数±标准误，同行数据后标有不同小写字母表示 Tukey's HSD 多重比较差异显著（$P<0.05$）。括号内为样本数。表 3 同。

Data are presented as mean±SE. Data in the same row followed by different letters are significantly different by Tukey's HSD test ($P<0.05$). Number in parentheses is the number of samples. The same with Table 3.

2.2　幼虫密度对二点委夜蛾存活的影响

不同幼虫密度饲养下，幼虫密度对二点委夜蛾 1，2 龄幼虫的存活率无显著影响（$\chi^2=2.303$，$P=0.688>0.05$；$\chi^2=5.886$，$P=0.198>0.05$），但对 3，4，5~6 龄幼虫的存活率有显著影响（$\chi^2=20.483$，$P<0.05$；$\chi^2=99.536$，$P<0.05$；$\chi^2=128.70$，$P<0.05$）（表 2）。这说明幼虫密度对低龄期幼虫存活率影响不显著，但对于 3 龄以上幼虫存活率有显著的负作用，5~6 龄幼虫受到的不利影响尤为明显。幼虫密度对二点委夜蛾幼虫至蛹的存活率有显著影响（$\chi^2=155.90$，$P<0.05$），以 5 头/瓶的存活率最高，幼虫至蛹的存活率随着密度的增加而逐渐降低。此外，成虫羽化率及畸形率均显著受到密度的影响（$\chi^2=14.554$，$P=0.006<0.05$；$\chi^2=10.598$，$P=0.031<0.05$），随着幼虫密度增加，

成虫羽化率下降，而畸形率升高。

2.3　幼虫密度对二点委夜蛾成虫产卵及寿命的影响

二点委夜蛾成虫产卵及寿命均受到幼虫密度的显著影响（表 3）。其中成虫产卵前期以 5 头/瓶的最短，随着密度的增加呈现延长趋势，即幼虫密度的增加不利于成虫产卵的发生；产卵历期以 10 头/瓶的最长，显著长于 30 头/瓶（$P<0.05$），随着密度的增加，产卵历期呈现先延长后缩短的趋势；每雌产卵量随着幼虫密度的增加而减少；雌雄虫寿命均以 10 头/瓶的最长，密度过低或过高，雌雄蛾寿命均缩短。

2.4　不同幼虫密度下二点委夜蛾种群实验生命表

幼虫密度对二点委夜蛾生长发育和存活率及繁殖均有显著性影响。根据不同幼虫密度下各个发育阶段的存活率和成虫繁殖能力组建二点委夜蛾实验种群生命表（表 4）。表中起始幼虫数为假定数，各个发育阶段的存活率为实际观测值。雌雄性比假定为 1∶1。

幼虫密度对二点委夜蛾幼虫至蛹的存活率有显著的影响。在较低和中等幼虫密度下，幼虫至蛹存活率较高，但密度高于 10 头/瓶时，随着密度的增加，幼虫至蛹的存活率逐渐降低，当密度高达 30 头/瓶时，存活率仅为 39.37%。幼虫密度对成虫产卵量也有显著影响，在较低和中等幼虫密度下羽化的成虫产卵量较高，密度过高对成虫的产卵造成不利的影响，产卵量减少。种群增长指数以 5 头/瓶较高，繁殖一代后种群数量约增加 87 倍，密度过高使种群增长趋缓，密度为 30 头/瓶时，繁殖一代后种群数量仅增加约 18 倍，不利于该种群后代的增长。

表 2　幼虫密度对二点委夜蛾存活的影响
Table 2　Effect of larval density on survival of *Athetis lepigone*

存活率 Survial rate（%）	幼虫密度（头/瓶）Larval density (larvae/jar)				
	1	5	10	20	30
1 龄 1st instar	95.24a	98.43a	96.15a	95.89a	96.77a
2 龄 2nd instar	96.39a	97.66a	94.34a	91.50a	93.17a
3 龄 3rd instar	97.56ab	97.66ab	94.94a	85.89c	91.46b
4 龄 4th instar	98.77a	96.90ab	91.46b	82.84c	64.10d
5~6 龄 5-6th instar	96.39a	95.42ab	90.36a	78.21b	56.18c
整个幼虫期 Whole larval duration	86.02a	87.41a	73.89b	59.32c	39.37d
成虫羽化率 Adult eclosion rarte	93.75a	96.25a	91.25ab	83.75ab	81.11b
成虫畸形率 Adultabnormality rarte	5.00b	3.75b	6.25ab	11.25ab	15.56a

同一行数据后标有不同字母表示经卡方χ^2检验后，在 $P<0.05$ 水平有显著性差异。
Data in the same row followed by different letters are significantly different by Chi-square test ($P<0.05$).

表 3　幼虫密度对二点委夜蛾成虫产卵及寿命的影响
Table 3　Effects of larval density on fecundity and longevity of *Athetis lepigone*

生殖参数 Reproduction parameters	幼虫密度（头/瓶）Larval density (larvae/jar)				
	1	5	10	20	30
产卵前期（d） Pre-oviposition period（d）	3.33±0.34ab（30）	2.77±0.17b（30）	3.53±0.22ab（30）	3.43±0.23ab（30）	3.90±0.33a（30）
产卵历期（d） Oviposition duration（d）	7.83±0.34b（30）	7.90±0.25ab（30）	8.67±0.23a（30）	7.90±0.24ab（30）	7.37±0.22b（30）

每雌产卵量（粒）Eggs laid per female	232.17±4.79a（30）	229.63±8.05a（30）	214.63±8.25a（30）	173.77±4.79b（30）	160.43±4.39b（30）
雌蛾寿命（d）Longevity of female（d）	12.73±0.67a（30）	12.47±0.53ab（30）	13.23±0.43a（30）	11.27±0.37bc（30）	10.93±0.31c（30）
雄蛾寿命（d）Longevity of male（d）	13.00±0.53a（30）	11.80±0.46ab（30）	13.07±0.55a（30）	11.67±0.32b（30）	11.17±0.32b（30）

表 4　不同幼虫密度下二点委夜蛾种群实验生命表

Table 4　Population life table of different larval densities of *Athetis lepigone*

参数 Parameters	幼虫密度（头/瓶）Larval density (larvae/jar)				
	1	5	10	20	30
起始幼虫数 Number of newly hatched larvae	100	100	100	100	100
幼虫至蛹存活率（%）Survival rate from larvae to pupaee	86.02	87.41	73.89	59.32	39.37
蛹数 Number of pupaee	86.02	87.41	73.89	59.32	39.37
成虫羽化率（%）Eclosion rate of adults	93.75	96.25	91.25	83.75	81.11
成虫畸形率（%）Abnormality rate of adults	5.00	3.75	6.25	11.25	15.56
正常成虫数 Number of normal of adults	76.34	80.85	62.81	43.01	25.81
估计雌蛾数（性比 1∶1）Estimated number of females (sex ratio 1∶1)	38.17	40.43	31.41	21.55	12.91
单雌产卵量 Average number of eggs laid per female	232.17	229.63	214.63	173.77	160.43
卵孵化率（%）Egg hatching rate	92.79	94.18	88.59	84.77	83.46
种群增长指数 Population growth index	82.23	87.44	59.72	31.74	17.86

3　讨论

本研究结果表明，二点委夜蛾各个发育阶段的发育历期、存活率、蛹重、成虫繁殖能力及寿命均受到幼虫密度的影响。在 5~10 头/瓶密度幼虫密度范围内，二点委夜蛾的幼虫发育速度较快，以 5 头/瓶幼虫至蛹的存活率最高。幼虫密度过高的处理（20~30 头/瓶），其幼虫的发育速度变得迟缓、幼虫存活率也大大下降。尽管在高密度（20 头/瓶）条件下二点委夜蛾幼虫在 1~2 龄速度明显快于低密度，但是高龄幼虫发育速度明显降低，有部分幼虫发育成 6 龄，可能是导致整个幼虫期延长的原因。这些结果表明二点委夜蛾低龄幼虫是可能具有群居的特性，但是龄期较高时，该幼虫以低密度条件下生存。本研究与现有的对粘虫（罗礼智等，1993）、甜菜夜蛾（王娟等，2008）、草地螟（孔海龙等，2011）、小菜蛾（孔海龙等，2013）等相关报道的结果一致。但马艳粉等（2010）对马铃薯块茎蛾的研究显示，其发育速度随着密度的增加减慢、存活率下降。

幼虫密度对幼虫存活率有显著性影响，二点委夜蛾幼虫至蛹的存活率与 4~6 龄的存活率基本保持一致，说明二点委夜蛾的幼虫至蛹的存活率主要取决于 4~6 龄的幼虫的存活率。而 4~6 龄的幼虫的存活率随密度的增加而下降，可能是由于幼虫密度过高及个体体积增大、虫体间食物竞争激烈、摩擦机会增大、排泄物增多，使得虫体生存环境恶化、虫体免疫力下降而造成的，这需要对不同幼虫密度下二点委夜蛾的抗病能力进行进一步的研究才能证实。

幼虫密度对二点委夜蛾的蛹重、产卵量均有显著影响，随着密度的增加，蛹重明显变轻、产卵量减少，蛹重和产卵量变化趋势基本一致。本实验的研究结果同粘虫、甜菜夜蛾、草地螟、小菜蛾等有关文献的结果一致（罗礼智等，1995；王娟等，2008；孔海龙等，2011，2013）。罗礼智等（1993）研究表明，粘虫产卵量下降由蛹重下降造成的，则推测二点委夜蛾产卵量可能也与蛹重有一定的关系。然而对稠李巢蛾 *Yponomeuta evonymellus* 研究表明该虫的产卵量与幼虫密度无明显的差异（Javois *et al*.，2005）。可能是由于昆虫种类的差异，导致密度所引起的产卵量变化也有所差异。本实验的研究结果发现，二点委夜蛾雌雄蛾的寿命缩短（10 头/瓶除外），可能是由于密度过高不利于成虫的发育，成虫寿命缩短，这与稠李巢蛾（Javois *et al*.，2005）、粘虫（罗礼智等，1993）、草地螟（孔海龙等，2011）的研究结果基本一致。

本实验的研究结果表明：幼虫密度对种群增长的作用主要体现在对幼虫存活率以及成虫产卵量的影响。一定密度下，幼虫存活率及产卵量较高，种群增长较快。在一定幼虫密度范围内，有利于幼虫的生长发育速度及存活率较高，成虫的繁殖能力也较强，这可能是田间二点委夜蛾种群暴发成灾的原因之一。而密度过高不利于种群增长，这是否是导致该害虫进行短距离扩散或者迁飞的原因有待于进一步进行探究。目前田间二点委夜蛾幼虫实际发育历期、蛹重、成活率、成虫产卵量等各项指标的研究缺乏，本实验仅从幼虫密度对室内二点委夜蛾种群生长发育及繁殖进行了研究，为了解二点委夜蛾的种群动态及提高预测预报和综合治理水平提供一定的理论依据。

参考文献 (References)

Gunn A, Gatehouse AG, 1987. The influence of larval phase on metabolic reserves, fecundity and lifespan of the African armyworm moth, *Spodoptera exempta* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae). *Bull. Entomol Res*., 77(44): 651–656.

Javois J, Tammaru T, Kaar M, 2005. Oviposition in an eruptive moth species, *Yponomeuta evonymellus*, is insensitive to the population density experienced during the larval period. *Entomol. Exp. Appl*., 115(3): 379–386.

Knor IB, Bashev AN, Alekseev AA, Naumova EN, 2000. Effect of population density on ecological characteristics of the grass moth *Loxostege sticticalis* L. (Lepidoptera: Pyralidae) in the gradation cycle. *Biol. Bull. Russ. Acad. Sci*., 27(1): 63–70.

Kong HL, Luo LZ, Jiang XF, Zhang L, 2010. Effects of larval density on flight potential of the beet webworm, *Loxostege sticticalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Environ. Entomol.*, 39(5): 1579–1585.

曹美琳, 陶晡, 刘顺, 董金皋, 何运转, 2012. 温度对二点委夜蛾实验种群的影响. 植物保护学报, 39(6): 531–535. [CAO ML, TAO B, LIU S, DONG JG, HE YZ, 2012. Influence of temperature on experimental population of *Athetis lepigone*. *Acta Phytophylacica Sinica*, 39(6): 531–535.]

姜京宇, 李秀芹, 许佑辉, 李智慧, 张志英, 许昊, 2008. 二点委夜蛾研究初报. 植物保护, 34(3): 123–126. [JIANG JY, LI XQ, XU YH, LI ZH, ZHANG ZY, XU H, 2008. Preliminary studies on *Athetis* (*Proxenus*) *lepigone*. *Plant Protection*, 34(3): 123–126.]

江幸福, 罗礼智, 张蕾, 2013. 一种二点委夜蛾(*Athetis lepigone*)的人工饲料其制备方法与应用. 中国,专利号：201110404232. [JIANG XF, LUO LZ, ZHANG L, 2013. One kind of *Athetis lepigone* larvae artificial feed and preparation method and application, China, patent No: 201110404232.]

江幸福, 姚瑞, 林珠凤, 张蕾, 罗礼智, 2011. 二点委夜蛾形态特征及生物学特性. 植物保护, 37(6): 134–137. [JIANG XF, YAO R, LIN ZF, ZHANG L, LUO LZ, 2011. Morphological and biological characteristics of *Athetis lepigone*. *Plant Protection*, 37(6): 134–137.]

孔海龙, 罗礼智, 江幸福, 张蕾, 胡毅, 2011. 幼虫密度对草地螟生长发育及繁殖的影响. 昆虫学报, 54(12): 1384–1390. [KONG HL, LUO LZ, JIANG XF, ZHANG L, HU Y, 2011. Effects of larval density on growth, development and reproduction of the beet webworm, *Loxostege sticticalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Acta Entomologica Sinica*, 54(12): 1384–1390.]

孔海龙, 吕敏, 祝树德, 2012. 幼虫密度对斜纹夜蛾抗病能力的影响. 应用昆虫学报, 49(6): 1572–1576. [KONG HL, LV M, ZHU SD, 2012. Effects of larval density on disease resistance in the common cutworm, *Spodoptera litura*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(6): 1572–1576.]

孔海龙, 张云霞, 祝树德, 孔勇, 吴琳, 胡荣利, 2013. 幼虫密度对小菜蛾生长发育及繁殖的影响. 中国生态农业学报, 21(4): 474－479. [KONG HL, ZHANG YX, ZHU SD, KONG Y, WU L, HU RL, 2013. Effects of larval density on growth, development and reproduction of diamondback moth (DBM), *Plutella xylostella* (L.). *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 21(4): 474–479.]

李立涛, 马继芳, 张安邦, 董立, 刘磊, 甘耀进, 董志平, 2013. 不同食物对二点委夜蛾生长发育和繁殖的影响. 植物保护导刊, 33(8): 42－45. [LI LT, MA JF, ZHANG AB, DONG L, LIU L, GAN YJ, CAO ZP, 2013. Effects of different foods on growth, development and reproduction of *Athetis lepigone*. *China Plant protection*, 33(8): 42–45.]

李克斌, 罗礼智, 1998. 粘虫幼虫密度对成虫能源物质含量的影响. 昆虫学报, 41(3): 250–256. [LI KB, LUO LZ, 1998. Effects of larval rearing density on energetic reserves in the adult of oriental armyworm, *Mythimna separate* (Walker). *Acta Entomologica Sinica*, 41(3): 250–256.]

罗礼智, 李光博, 曹雅忠, 胡毅, 1995. 粘虫幼虫密度对成虫飞行与生殖的影响. 昆虫学报, 38(1): 38–45. [LUO LZ, LI GB, CAO YZ, HU Y, 1995. The influence of larval rearing density on flight capacity and fecundity of adult oriental armyworm, *Mythimna separate* (Walker). *Acta Entomologica Sinica*, 38(1): 38–45.]

罗礼智, 李光博, 胡毅, 1993. 粘虫幼虫密度对其生长、发育及变型的影响. 农业科学集刊, 1: 239–244. [LUO LZ, LI GB, HU Y, 1993. Effects of larval rearing density on some biological characteristics in oriental armyworm, *Mythimna separate*. *Agricultural Science*, 1: 239–244.]

马艳粉, 胥勇, 李娜, 李正跃, 何月秋, 肖春, 2010. 幼虫密度对马铃薯块茎蛾生长发育及繁殖的影响. 昆虫知识, 47(4): 694－696. [MA YF, XU Y, LI N, LI ZY, HE YQ, XIAO C, 2010. Effects of larval density on growth, development and reproduction of potato tuber moth, *Phthorimaea operculella*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 47(4): 694–696.]

王娟, 江幸福, 吴德龙, 罗礼智, 2008. 幼虫密度对甜菜夜蛾生长发育与繁殖的影响. 昆虫学报, 51(8): 889－894. [WANG J, JIANG XF, WU DL, LUO LZ, 2008. Effects of larval rearing density on development and fecundity of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). *Acta Entomologica Sinica*, 51(8): 889–894.]

王振营, 石洁, 董金皋, 2012. 2011 年黄淮海夏玉米区二点委夜蛾暴发危害的原因与防治对策. 玉米科学, 20(1): 132－134. [WANG ZY, SHI J, DONG JG, 2012. Reason analysis on *Proxenus lepigone* outbreak of summer corn region in the Yellow River, Huai and Hai Rivers Plain and the countermeasures suggested. *Journal of Maize Science*, 20(1): 132–134.]

吴坤君, 陈玉平, 李明辉, 1978. 不同温度下的棉铃虫实验种群生命表. 昆虫学报, 21(4): 385–391. [WU KJ, CHEN YP, LI MH, 1978. Life tables for experimental population of the cotton bollworm, *Heliothis armigera* (Hubner) at different temperatures. *Acta Entomologica Sinica*, 21(4): 385–391.]

杨志兰, 程云霞, 罗礼智, 孔海龙, 张蕾, 雷朝亮, 2013. 幼虫密度对草地螟血细胞数量和组成的影响. 昆虫学报, 56(6): 630–637. [YANG ZL, CHENG YX, LUO LZ, KONG HL, ZHANG L, LEI CL, 2013. Effects of larval density on the number and compositon of hemocytes in the beet webworm, *Loxostege sticticalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Acta Entomologica Sinica*, 56(6): 630–637.]

周蕊, 陈力, 2006. 饲养密度对洋虫生长发育的影响. 昆虫知识, 43(3): 389－391. [ZHOU R, CHEN L, 2006. The effect of rearing densities on growth and development of larvae of *Palembus dermestoides*. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 43(3): 389–391.]