

补充营养及产卵底物颜色对粘虫生殖的影响*

赵玉婉** 成卫宁 仵均祥***

(旱区作物逆境生物学国家重点实验室, 西北农林科技大学植物保护学院, 杨凌 712100)

摘要 【目的】进一步探明补充营养和产卵底物颜色对粘虫 *Mythimna separata* (Walker) 的影响, 为粘虫的室内饲养条件提供参考。【方法】选取 5% 蜂蜜水、10% 蜂蜜水、10% 葡萄糖溶液、 $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 麦芽糖溶液、5% 葡萄糖+5% 蜂蜜混合液、5% 果糖+5% 蜂蜜混合液、5% 葡萄糖+5% 果糖混合液、糖醋酒液 (3 白糖: 1 白醋: 4 白酒: 2 水) 8 种补充营养, 红、黄、绿、蓝、紫、白 6 种颜色塑料包扎绳作为产卵底物, 研究粘虫蛾取食不同补充营养产卵前期、产卵期、寿命及在不同产卵底物上的产卵量。【结果】取食 5% 葡萄糖+5% 果糖混合液和 $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 麦芽糖溶液的雌蛾单雌产卵量最多, 取食糖醋酒液的雌蛾单雌产卵量最少, 极显著低于前者, 取食其余 5 种补充营养的雌蛾单雌产卵量无显著差异; 成虫对蓝色底物的选择性最大, 除 5% 蜂蜜水和 10% 葡萄糖溶液处理外, 其余处理蓝色包扎绳上的平均产卵量显著比其他 5 种颜色包扎绳上的高, 对红、白 2 种颜色底物的选择性最小, 对黄、绿、紫 3 种颜色底物的选择性介于上述两者之间。【结论】在粘虫室内饲养中, 选用 5% 葡萄糖+5% 果糖混合液和 $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 麦芽糖溶液作为补充营养及蓝色物质作为产卵底物, 更有利于粘虫的繁殖和种群增长。

关键词 补充营养, 颜色, 选择, 粘虫, 生殖

Effects of supplementary nutrients and the background color of oviposition sites on the reproduction of *Mythimna separata* (Walker)

ZHAO Yu-Wan** CHENG Wei-Ning WU Jun-Xiang***

(State Key Laboratory of Crop Stress Biology in Arid Areas (Northwest A&F University), Yangling 712100, China)

Abstract [Objectives] To explore the effect of supplementary nutrients, and the background color of oviposition sites, on the reproduction of adult *Mythimna separata* (Walker) in order to provide a guide for rearing this species in the laboratory. [Methods] Eight kinds of supplementary nutrients were chosen; 5% honey solution, 10% honey solution, 10% glucose solution, $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ maltose solution, 5% glucose+5% honey mixture, 5% fructose+5% honey mixture, 5% glucose+5% fructose mixture, and a mixture of sugar-acetic acid-ethanol (3 parts white sugar, 1 part white vinegar, 4 parts white wine and 2 parts water). Six colored, plastic ropes; red, yellow, green, blue, purple and white, were selected to test the color preferences of females during oviposition. The study included the pre-oviposition and oviposition periods, and measured adult longevity and fecundity under the different treatments. [Results] Adults fed on the 5% glucose + 5% fructose mixed solution and the $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ maltose solution, had the highest fecundity, whereas that of those fed on sweet and sour wine was significantly lower than all other treatments. No significant differences was found among the other five supplementary nutrient treatments. Of the six different colors tested, adults preferred blue, and the fecundity of adults was significant higher on blue than on other colors. Fecundity was lowest on red and white and intermediate on yellow, green and purple. [Conclusion] A solution of 5% glucose +5% fructose, or $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ maltose, and a blue background, are the optimal nutrient and color conditions for the reproduction and growth of *M. separata* under laboratory conditions.

Key words supplementary nutrient, color, selection, *Mythimna separata*, reproduction

*资助项目 Supported projects: 国家公益性行业 (农业) 科研专项 (201403031); 陕西省农业科技创新转化项目

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

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: junxw@nwsuaf.edu.cn

收稿日期 Received: 2016-11-16, 接受日期 Accepted: 2017-01-03

粘虫 *Mythimna separata* (Walker) 又称东方粘虫、五色虫、夜盗虫、剃枝虫等,具远距离迁飞的习性,是一种多食性、暴食性、猖獗灾害性害虫,也是我国粮食作物的主要害虫之一(仵均祥,2009;江幸福等,2014)。由于粘虫雌蛾羽化时卵子发育尚未完全成熟,必须取食补充营养后方能发育成熟(吴秋雁和郭郭,1963),故补充营养的数量和质量对其卵子发生及产卵量多少的影响至关重要。正因为如此,前人关于补充营养与粘虫生殖关系的研究报道很多。罗晨等(2000)研究发现,粘虫蛾取食补充营养,产卵量明显大于取食清水,尤以取食混合糖类作为补充营养时对产卵的促进作用更大。钦俊德等(1964)用7种不同的补充营养饲喂粘虫蛾,发现取食麦芽糖的雌蛾产卵量最大。郭郭和刘金龙(1964)研究发现,在单糖中以葡萄糖、果糖、半乳糖对粘虫的营养效应较大,双糖中以麦芽糖的营养效应较大,雌蛾产卵量较高;以混合糖类饲喂成虫,雌蛾产卵量皆比饲喂单一糖类的高。

与此同时,昆虫在产卵前往往需先确定适宜的产卵场所,其对产卵寄主及产卵方式的选择性是与寄主植物和环境条件长期适应、协同进化的结果(戴小枫等,1999)。在长期适应进化的过程中,粘虫形成了喜于在植物干枯叶鞘及缝隙中产卵的习性(尹娇等,2007)。研究表明,昆虫在选择产卵寄主的过程中,寄主的颜色与形状等起着重要作用(Prokopy and Owens,1983)。黄曲条跳甲 *Phyllotreta striolata* F.、桃蚜 *Myzus persicae*(Sulzer)和美洲斑潜蝇 *Liriomyza sativae* Blanchard 对不同颜色的趋向性存在差异(傅建炜等,2005)。西花蓟马在寄主选择过程中对寄主颜色的偏好性为黄色>白色>绿色>粉红色(曹宇等,2015)。基质颜色对梨小食心虫的产卵选择性及产卵量均有显著影响(杨小凡等,2014)。基于此,本试验采用室内饲养的粘虫蛾,初步探究了补充营养和产卵底物颜色对粘虫繁殖能力的影响,旨在为粘虫的准确预报,科学防治提供参考。

1 材料与方 法

1.1 供试虫源

供试粘虫于2014年7月采自陕西省兴平市玉米田,在室内饲养。饲养条件:幼虫饲喂绿色、新鲜的小麦叶或玉米叶,成虫饲喂5%蜂蜜水,室内温度25℃,相对湿度70%左右,光周期14L:10D,光强6000~8000 lx。试验前选取大小基本一致,生长健壮的蛹,待其羽化后选取当日羽化的健康成虫供试。

1.2 补充营养

选取蔗糖、葡萄糖、麦芽糖、果糖、蜂蜜、食用醋、白酒作为原料,将其配制成8种补充营养:5%蜂蜜水、10%蜂蜜水、10%葡萄糖溶液、0.2 mol·L⁻¹麦芽糖溶液、5%葡萄糖+5%蜂蜜混合液、5%果糖+5%蜂蜜混合液、5%葡萄糖+5%果糖混合液、糖醋酒液(3白糖:1白醋:4白酒:2水)。其中蔗糖、葡萄糖、麦芽糖、果糖均为分析纯,蜂蜜由市场购得,营养成分比不详,食用醋乙酸含量约5%,白酒乙醇含量45%。

1.3 产卵底物

剪取长13~14 cm,宽4~5 cm的红(C0M89Y95K0)、黄(C6M0Y67K0)、绿(C57M89Y95K0)、蓝(C63M0Y10K0)、紫(C60M70Y5K10)、白(C4M3Y2K0)6种不同颜色的“谋福牌”塑料包扎绳作为产卵底物。

1.4 试验方法

选取长、宽、高分别为17.0 cm、11.5 cm、7.0 cm的透明塑料盒,将1.3所述6种颜色包扎绳依次固定于盒子四周作为产卵底物,每颜色包扎绳各3根,同时,分别在塑料盒中加入含1 mL 1.2所述8种补充营养的脱脂棉球。取当日羽化的健康粘虫蛾,按雌雄比1:1配对置于塑料盒中,设8个不同补充营养处理。各处理均置于温度(24±1)℃,相对湿度70%±10%,光周期14L:10D,光强16500 lx的人工气候箱中饲养,每天定时观察记录成虫的产卵、存活情况并及时

添加补充营养, 更换产卵底物, 直至成虫死亡。每处理 3 对成虫, 重复 5 次。

1.5 数据处理

试验所得数据采用 SPSS17.0 软件进行统计分析, 利用 Tukey 法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同补充营养对粘虫蛾生殖与寿命的影响

由表 1 可看出, 取食 10% 蜂蜜水的雌蛾产卵前期最短, 取食糖醋酒液的最长。取食糖醋酒液雌蛾的产卵前期极显著比取食 5% 蜂蜜、10% 蜂蜜、0.2 mol·L⁻¹ 麦芽糖溶液、5% 果糖+5% 蜂蜜混合液和 5% 果糖+5% 蜂蜜混合液的长。

取食 10% 蜂蜜水的雌蛾产卵期最短, 取食 5% 葡萄糖+5% 果糖混合液的雌蛾产卵期最长。各处理间雌蛾产卵期不存在显著差异。

取食 5% 葡萄糖+5% 果糖混合液的雌蛾单雌产卵量最高, 取食 0.2 mol·L⁻¹ 麦芽糖溶液的次

之, 二者之间无显著差异。取食糖醋酒液的雌蛾单雌产卵量最少, 极显著低于前者。其他处理雌蛾的单雌产卵量均介于上述二者之间, 相互间不存在显著差异。

取食 10% 蜂蜜水的雌、雄蛾寿命均最短, 取食糖醋酒液的雌蛾寿命最长, 取食 0.2 mol·L⁻¹ 麦芽糖的雄蛾寿命最长。取食 10% 葡萄糖溶液、0.2 mol·L⁻¹ 麦芽糖溶液、糖醋酒液的雌蛾寿命显著比取食 10% 蜂蜜水的长, 其余处理间雌蛾寿命差异不显著; 不同补充营养处理对雄蛾寿命影响不显著。

2.2 不同补充营养对粘虫蛾产卵趋势的影响

如图 1 所示, 取食不同补充营养的试虫产卵期间, 产卵量的变化趋势基本相似, 但产卵高峰出现的时间在取食不同补充营养的成虫间差异较大。取食 10% 蜂蜜水和 5% 果糖+5% 蜂蜜混合液的雌蛾产卵高峰出现最早, 均在开始产卵后的第 3 天达到高峰, 且前 5 d 的产卵量分别占到全

表 1 不同补充营养对粘虫蛾生殖与寿命的影响
Table 1 Effects of different nutrition on adult reproduction of *Mythimna separata*

处理 Treatments	产卵前期 Pre-oviposition period (d)	产卵期 Oviposition period (d)	单雌产卵量 (粒) Average number of eggs per female	寿命 Longevity (d)	
				♀	♂
A	4.2±0.37Bb	8.8±0.58Aa	778.3±116.53ABab	16.0±1.26Aab	14.2±2.22Aa
B	3.6±0.24Bb	6.2±0.49Aa	896.2±107.47 ABab	11.8±0.58Ab	12.0±1.38Aa
C	5.0±0.45 ABab	9.0±0.89Aa	728.0±173.55ABab	16.4±0.51Aa	13.2±1.77Aa
D	3.8±0.37Bb	11.0±1.58Aa	1 239.6±159.57Aa	17.2±2.25Aa	17.2±1.93Aa
E	6.4±0.24Aa	10.8±0.58Aa	430.0±73.41 Bb	17.4±0.68Aa	15.8±1.56Aa
F	4.0±0.32Bb	13.2±1.02Aa	763.4±121.27 ABab	14.4±1.21Aab	13.6±1.60Aa
G	4.0±0.45Bb	12.9±0.37Aa	926.5±166.36ABab	14.8±1.02Aab	14.4±1.69Aa
H	4.6±0.51ABb	15.8±1.84ABab	1 307.1±153.65Aa	15.2±1.98Aab	16.2±1.83Aa

A: 5% 蜂蜜水; B: 10% 蜂蜜水; C: 10% 葡萄糖溶液; D: 0.2 mol·L⁻¹ 麦芽糖溶液; E: 糖醋酒液; F: 5% 葡萄糖+5% 蜂蜜混合液; G: 5% 果糖+5% 蜂蜜混合液; H: 5% 葡萄糖+5% 果糖混合液。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 ($P<0.05$, Tukey 检测); 不同大写字母表示差异极显著 ($P<0.01$, Tukey 检测), 下表同。

A: 5% honey solution; B: 10% honey solution; C: 10% glucose solution; D: 0.2 mol·L⁻¹ maltose solution; E: Mixture of sugar-acetic acid-ethanol; F: 5% glucose +5% honey mixture; G: 5% fructose +5% honey mixture; H: 5% glucose +5% fructose mixture. Data in the table are mean ±SE, and followed by the different lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level, while followed by the captical letters indicate extremely significant difference at 0.01 level by Tukey-test. The same below.

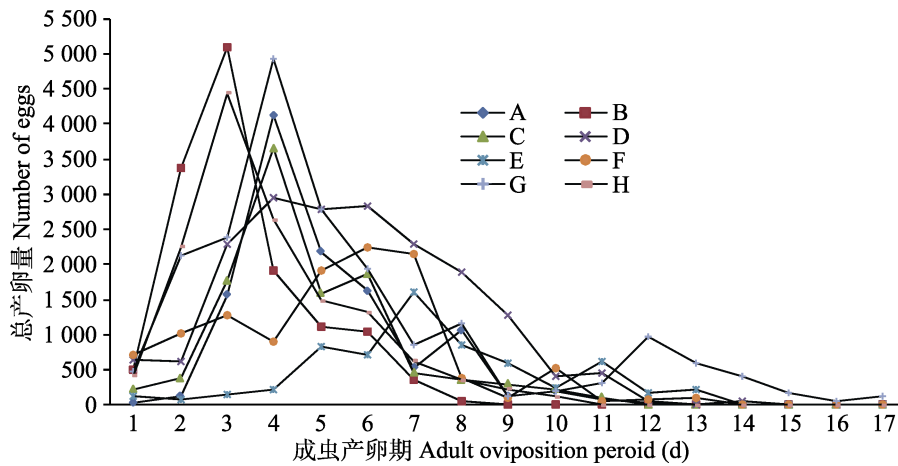


图 1 取食不同补充营养雌蛾的平均总产卵量

Fig. 1 Oviposition of *Mythimna separata* female adult fed on different supplementary nutrients

A : 5%蜂蜜水 ; B : 10%蜂蜜水 ; C : 10%葡萄糖溶液 ; D : 0.2 mol·L⁻¹ 麦芽糖溶液 ; E : 糖醋酒液 ; F : 5%葡萄糖+5%蜂蜜混合液 ; G : 5%果糖+5%蜂蜜混合液 ; H : 代表 5%葡萄糖+5%果糖混合液。

A: 5% honey solution; B: 10% honey solution; C: 10% glucose solution; D: 0.2 mol·L⁻¹ maltose solution; E: Mixture of sugar-acetic acid-ethanol; F: 5% glucose + 5% honey mixture; G: 5% fructose + 5% honey mixture; H: 5% glucose + 5% fructose mixture.

部产卵量的 89.17%与 80.87%。取食 10%蜂蜜水的雌蛾产卵期只有 8 d ,表现为产卵期短而集中。取食糖醋酒液和 5%葡萄糖+5%蜂蜜混合液的雌蛾产卵高峰出现最晚且相对较低,均在开始产卵后的第 7 天;取食 0.2 mol·L⁻¹ 麦芽糖的雌蛾产卵高峰期则表现为圆弧状,从开始产卵后的第 2 天至第 8 天,乃至第 9 天均出现较高的产卵量,无明显峰值产卵日。

2.3 不同颜色产卵底物对粘虫产卵选择性的影响

由表 2 可知,供试的 6 种不同颜色塑料包扎

绳中,无论用哪一种补充营养饲喂成虫,产卵底物颜色对其产卵选择性的影响都基本一致,即所有补充营养处理中,雌蛾均更多地选择在蓝色包扎绳上产卵,除 5%蜂蜜水和 10%葡萄糖溶液处理外,其余处理蓝色包扎绳上的平均产卵量显著比其他 5 种颜色包扎绳上的高。对红、白 2 种颜色包扎绳的选择性最小。对黄、绿、紫 3 种颜色包扎绳的选择性介于上述两者之间。

3 结论与讨论

补充营养和产卵底物颜色对粘虫蛾产卵行

表 2 不同颜色产卵底物对雌蛾产卵选择性的影响

Table 2 Influence of colorful substrates on oviposition of *Mythimna separata* female adult

处理 Treatments	红 Red	黄 Yellow	绿 Green	蓝 Blue	紫 Purple	白 White
A	58.6±30.74 ABb	111.4±34.54ABab	168.3±67.49ABab	309.2±112.84 Aa	68.1±42.01ABab	60.1±16.08ABb
B	18.4±14.81 Bb	160.6±41.98 Bb	161.2±75.38 Bb	409.8±58.09Aa	86.2±18.40Bb	44.3±18.14 Bb
C	19.3±12.10 Bb	136.7±29.48ABab	85.2±240.14 ABb	257.0±44.96 Aa	138.6±53.17ABab	56.5±38.42Bb
D	3.2±2.70Bc	226.3±61.54 Bb	220.2±33.37 Bbc	577.5±91.76 Aa	112.9±46.67 Bbc	80.1±31.30Bbc
E	28.5±11.89 Bb	78.5±6.03 Bb	38.7±2.00 Bb	190.2±46.59 Aa	54.0±13.22Bb	23.7±8.93 Bb
F	15.8±10.15 Bb	116.7±19.91 Bb	121.1±37.58 Bb	365.8±63.58 Aa	47.5±21.19 Bb	73.6±52.61 Bb
G	13.1±12.43 Bb	114.7±43.15 Bb	138.5±40.63Bb	489.9±127.79Aa	99.3±21.16 Bb	67.1±518.97Bb
H	15.7±5.04Bb	237.0±66.83 Bb	208.3±63.65Bb	628.3±78.42 Aa	178.2±69.67Bb	39.5±15.09Bb

为具有显著影响。供试的 8 种补充营养中, 取食 5% 葡萄糖+5% 果糖混合液和 $0.2 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 麦芽糖溶液的雌蛾产卵量最多, 显著多于取食其他 6 种补充营养雌蛾的产卵量; 6 种不同颜色产卵底物中, 粘虫蛾更喜欢选择于蓝色底物上产卵, 蓝色底物上的卵量显著高于其他颜色底物上的卵量。据此认为, 在粘虫的室内饲养中, 选用 5% 葡萄糖+5% 果糖混合液和 $0.2 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 麦芽糖溶液作为补充营养和蓝色物质作为产卵底物, 更有利于粘虫的繁殖和种群增长。

自然界中许多昆虫的成虫都具有取食补充营养的习性, 植物的花粉、汁液, 花、叶等分泌的蜜汁及蚜虫等分泌的蜜露均可作为其补充营养的来源。昆虫取食补充营养不仅可延长其寿命(林长春等, 2003), 还可促进生殖系统特别是卵巢的发育(秦旦仁等, 1994), 从而使其最大程度的发挥生殖潜力以利于种群的生殖和繁衍。但补充营养的种类及质量对昆虫繁殖具有明显不同的影响。梨小食心虫取食 5% 蜂蜜水的成虫产卵前期最短, 单雌产卵量和所产卵的孵化率最高, 取食糖醋酒液的产卵期最长, 取食蒸馏水的寿命最长, 取食 5% 蜂蜜水、糖醋酒液和 5% 白糖水的高产卵高峰出现最早, 均发生于雌虫羽化后的第 6 天(鲍晓文等, 2010); 二点委夜蛾取食补充营养, 不仅成虫产卵量增加, 而且寿命延长(江幸福等, 2015); 非洲粘虫 *Spodoptera exempta* (Walker) 雌蛾食物中的蔗糖不仅能使其生殖力增强, 且能使其寿命延长(Hunn and Gate, 1987)。本研究结果表明, 不同补充营养对粘虫生殖行为的影响不同, 这与罗晨等(2000)的研究结果一致; 取食 $0.2 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 麦芽糖、5% 葡萄糖+5% 果糖混合液的雌蛾产卵量最高, 这与郭鄂(1964)、钦俊德等(1964)的研究结果一致。取食 5% 蜂蜜水、10% 蜂蜜水的雌蛾产卵量无显著差异, 但取食 10% 蜂蜜水的雌蛾产卵前期、产卵期均较短, 这一方面反映了蜂蜜水可能具有促进粘虫蛾产卵的作用, 另一方面可能与其产卵期提前, 初期产卵量很高有关。糖醋酒液虽也可作为粘虫蛾提供补充营养, 但以其作为补充营养的成虫产卵前期长, 产卵量低, 与其他几种补充营养相比, 糖

醋酒液对粘虫蛾产卵的营养效应明显较低, 并非粘虫蛾取食补充营养的最佳选择。但众所周知, 在生产中人们常用糖醋酒液一是作为粘虫种群发生动态的测报方法之一, 二是作为诱杀防治的有效措施之一, 其他补充营养是否在田间条件下对粘虫蛾有更强的引诱作用, 能否代替糖醋酒液则需进一步的田间试验。

有研究认为, 植食性昆虫在选择产卵场所的过程中利用了味觉、嗅觉、触觉、视觉等多重感觉信号的作用(Kot, 1993), 但发现寄主的主要决定因素是视觉作用(Finch and Collier, 2000)。在长期适应进化的过程中, 粘虫形成了主要选择在植物干枯及包裹紧密的叶鞘等部位产卵, 而很少在生长旺盛、叶片浓绿的寄主植物上产卵的习性, 表明粘虫在选择产卵场所时视觉和触觉可能起主要作用(尹娇等, 2007)。本研究结果表明, 粘虫蛾在蓝色底物上的产卵量最高, 其次是绿色和黄色, 这说明视觉在粘虫蛾的产卵选择中确实起着重要作用, 但与前人报道的干枯的苗叶和地下害虫危害的苦心苗是产卵的重要部位(西北农学院农业昆虫学教研组, 1977), 很少在生长旺盛、叶片浓绿的寄主植物上产卵(尹娇等, 2007)等观点明显不符。这可能是在田间条件下, 粘虫对产卵场所的定位不仅受产卵底物颜色的影响, 植物组织所散发的挥发物也可能对其有着重要的影响, 这一问题有待今后进一步研究。

参考文献 (References)

- Agricultural Entomology Research Group of Northwestern Agricultural College, 1977. Agricultural Entomology (Vol. 2). Beijing: People's Education Press. 69. [西北农学院农业昆虫学教研组, 1977. 农业昆虫学(下册). 北京: 人民教育出版社. 69.]
- Bao XW, Zheng F, Cai MF, Wu JX, 2010. Effects of complementary nutrients on adult's reproduction and longevity of oriental fruit moth, *Grapholita molesta* Busck. *Journal of Northwest A & F University (Nat. Sci. Ed.)*, 38(8): 120-123. [鲍晓文, 郑峰, 蔡明飞, 仵均祥, 2010. 补充营养对梨小食心虫成虫生殖及寿命的影响. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 38(8): 120-123.]
- Cao Y, Liu Y, Wang C, Xiong ZL, Li C, 2015. The selectivity of *Frankliniella occidentalis* for the color and volatiles of four host

- plants. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 52(2): 446–453. [曹宇, 刘燕, 王春, 熊正利, 李灿, 2015. 西花蓟马对花卉寄主颜色和挥发物的选择性. *应用昆虫学报*, 52(2): 446–453.]
- Dai XF, Ye ZH, Cao YZ, Guo YY, 1999. Disaster causing characters and disaster-reducing strategies of crop pests in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 10(1): 119–122. [戴小枫, 叶志华, 曹雅忠, 郭予元, 1999. 浅析我国农作物病虫害鼠害成灾特点与减灾对策. *应用昆虫学报*, 10(1): 119–122.]
- Fu JW, Xu DM, Wu W, You MS, 2005. Preference of different vegetable insect pests to color. *Chinese Bulletin of Entomology*, 42(5): 532–533. [傅建伟, 徐敦明, 吴玮, 尤民生, 2005. 不同蔬菜害虫对色彩的趋性差异. *昆虫知识*, 42(5): 532–533.]
- Finch S, Collier RH, 2000. Host-plant selection by insects—a theory based on appropriate/inappropriate landings by pest insects of cruciferous plants. *Ent. Exp. & Appl.*, 96(2): 91–102.
- Guo F, Liu JL, 1964. Study on reproduction of armyworm, *Mythimna separata* (Walker) II. Effect of supplementary nutrition on reproduction. *Acta Entomologica Sinica*, 13(6): 785–794. [郭郭, 刘金龙, 1964. 粘虫生殖的研究 II. 补充营养对生殖的效应. *昆虫学报*, 13(6): 785–794.]
- Gunn A, Gatehouse AG, 1987. The influence of larval phrase on metabolic reserves, fecundity and lifespan of the African armyworm moth, *Spodoptera exempta* (Walker) (Lipidoptera: Noctuidae). *Bull. Ent. Res.*, 77(4): 651–660.
- Jiang XF, Yao R, Zhang L, Cheng YX, Liu YQ, Luo LZ, 2015. Effects of supplementary nutrition on adult reproduction and longevity of *Athetis lepigone* (Möschler). *Journal of Plant Protection*, 42(6): 1004–1008. [江幸福, 姚瑞, 张蕾, 程云霞, 刘彦群, 罗礼智, 2015. 补充营养对二点委夜蛾成虫生殖与寿命的影响. *植物保护学报*, 42(6): 1004–1008.]
- Jiang XF, Zhang L, Cheng YX, Luo LZ, 2014. Current status and trends in research on the oriental armyworm, *Mythimna separata* (Walker) in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(4): 881–889. [江幸福, 张蕾, 程云霞, 罗礼智, 2014. 我国粘虫研究现状及发展趋势. *应用昆虫学报*, 51(4): 881–889.]
- Kot IV, 1993. Physical and chemical factors influencing landing and oviposition by the cabbage root fly on the host-plants models. *Ent. Exp. & Appl.*, 66: 109–118.
- Lin CC, Lai MH, Lu G, Cai DY, Zhou CM, Zhao JN, 2003. Effect of supplementary nutrition materials on *Monochamus alternatus* (Hope) female adult fecundity. *Forest Research*, 16(4): 398–403. [林长春, 赖明惠, 陆高, 蔡道尧, 周成枚, 赵锦年, 2003. 补充营养材料对松褐天牛雌成虫繁殖力的影响. *林业科学研究*, 16(4): 398–403.]
- Luo C, Cao YZ, Li KB, 2000. Effect of supplementary nutrition on *Mythimna separata* (Walker) moth energy substance content. *Acta Entomologica Sinica*, S(1): 207–210. [罗晨, 曹雅忠, 李克斌, 2000. 补充营养对粘虫成虫能源物质含量的影响. *昆虫学报*, S(1): 207–210.]
- Prokopy RJ, Owens ED, 1983. Visual detection of plants by hebivious insects. *Annu. Rev. Entomol.*, 28: 337–364.
- Qin DR, Guo TB, Jiang FR, Zhou Y, Zhao HZ, Wang KF, 1994. Studies on the relationship between *Apriona germari* (Hope) ovary development and nutritional supplement. *Journal of Nanjing Forestry University*, 18(3): 46–50. [秦旦仁, 郭同斌, 蒋富荣, 周勇, 赵惠忠, 王克服, 1994. 桑天牛卵巢发育与补充营养关系的研究. *南京林业大学学报*, 18(3): 46–50.]
- Qin JD, Wei DY, Wang ZS, 1964. Study on the nutrition of *Mythimna separata* (Walker)-feeding and utilization of carbohydrate by adults. *Acta Entomologica Sinica*, 13(6): 773–782. [钦俊德, 魏定义, 王宗舜, 1964. 粘虫营养的研究—成虫对于糖类的取食和利用. *昆虫学报*, 13(6): 773–782.]
- Wu JX, 2009. *Agricultural Entomology (northern book · plant protection professional · 2nd edition)*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Publishing House Press. 131–132. [仵均祥, 2009. *农业昆虫学(北方本 · 植保专业用 · 第二版)*. 北京: 中国农业出版社. 131–132.]
- Wu QY, Guo F, 1963. Effect of lateral pharyngeal on armyworm ovarian development and maturation. *Acta Entomologica Sinica*, 12(4): 402–489. [吴秋雁, 郭郭, 1963. 粘虫咽侧体对卵巢发育与成熟的作用. *昆虫学报*, 12(4): 402–489.]
- Yin J, Xue YG, Qiao HB, Li KB, Hu Y, Cao YZ, 2007. The significance of oviposition site selection and effect of color in orientation by oriental armyworm *Mythimna separata* Walker. *Acta Ecologica Sinica*, 27(6): 2483–2488. [尹娇, 薛银根, 乔红波, 李克斌, 胡毅, 曹雅忠, 2007. 粘虫(*Mythimna separata* Walker)选择产卵场所的意义及颜色在定位中的作用. *生态学报*, 27(6): 2483–2488.]
- Yang XF, Ma CS, Fan F, Liu YF, Feng N, Li Q, Wei GS, 2014. Effect of colours on oviposition preference of the oriental fruit moth, *Grapholita molesta* Busck. *Acta Ecologica Sinica*, 34(11): 2971–2977. [杨小凡, 马春森, 范凡, 刘玉峰, 冯娜, 李倩, 魏国树, 2014. 颜色对梨小食心虫产卵选择性的影响. *生态学报*, 34(11): 2971–2977.]