

稻纵卷叶螟幼虫对不同氮、糖含量人工饲料的营养消耗和利用^{*}

郭文卿^{1,2} 杨亚军^{1**} 徐健³ 徐红星¹ 郑许松¹ 吕仲贤^{1**}

(1. 浙江省农业科学院植物保护与微生物研究所 杭州 310021;

2. 农业部病虫害监测与治理重点实验室, 南京农业大学植物保护学院昆虫系 南京 210095;

3. 江苏里下河地区农业科学研究所 扬州 225007)

摘要 本文以不同氮、糖含量的系列人工饲料为材料,研究了稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée 幼虫的营养消耗和利用。结果表明,3龄幼虫对不同氮或糖含量饲料的营养指标之间无显著差异、其对氮的消耗与利用指标与试验中饲料的含氮量之间也无显著关系;对于5龄幼虫而言,相对生长速率(RGR)以氮含量1.53%和1.16%饲料时最高、糖含量为16.75%饲料时RGR最高,氮消耗速率(NCR)在氮含量1.46%饲料时最大,在氮含量1.33%和1.46%饲料上的氮利用率(NUR)值最低。5龄幼虫取食高氮饲料时的NUR及NCR高于低氮饲料。5龄幼虫的氮利用率和氮生成速率(NPR)均低于3龄幼虫,导致虫体含氮量的迅速下降。这些结果表明稻纵卷叶螟3龄幼虫对氮的需求与利用比5龄幼虫高。

关键词 稻纵卷叶螟, 人工饲料, 营养生态学, 氮

Nutritional consumption and utilization by *Cnaphalocrocis medinalis* larvae of artificial diets with different nitrogen or sugar contents

GUO Wen-Qing^{1,2} YANG Ya-Jun^{1**} XU Jian³ XU Hong-Xing¹
ZHENG Xu-Song¹ LV Zhong-Xian^{1**}

(1. Institute of Plant Protection and Microbiology, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China;

2. Department of Entomology, College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University,

Key Laboratory of Monitoring and Management of Plant Diseases and Pest Insects, Ministry of Agriculture, Nanjing 210095, China;

3. Jiangsu Lixiahe Institute of Agricultural Sciences, Yangzhou 225007, China)

Abstract This study focused on the nutritional composition and growth of *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée, an important rice insect pest in China, on artificial diets containing different nitrogen or sugar contents. Nutritional indices of 3rd instar larvae were not significantly affected by diets with different nitrogen or sugar content and nitrogen consumption and utilization by 3rd instar larvae were not significantly affected by different nitrogen content. However, the relative growth rate (RGR) of 5th instar larvae peaked when nitrogen content was 1.53% or 1.16%, and RGR was highest on the diet with 16.75% sugar content. Nitrogen consumption rate (NCR) of 5th instar larvae was highest on the diet with 1.46% nitrogen content, and nitrogen utilization rate (NUR) was lowest when nitrogen content was 1.33% or 1.46%. 5th instar larvae fed with a higher nitrogen content diet had higher NCR than those with lower nitrogen content in the diet. Lower NUR and nitrogen production rate (NPR) in 5th instar larvae compared with 3rd instar larvae resulted in reduced body nitrogen content. The results also indicate that 3rd instar larvae have higher requirements and utilization of nitrogen than 5th instar larvae.

Key words *Cnaphalocrocis medinalis*, nutritional ecology, artificial diet, nitrogen

^{*} 资助项目:公益性行业(农业)科研专项(200903051);国家自然科学基金(31071740);浙江省自然科学基金(LY12C14010)和江苏省农业科技自主创新基金(CX(11)4002)。

^{**} 通讯作者, E-mail: luzxmh2004@yahoo.com.cn; yargiuneyon@163.com

收稿日期:2013-03-24, 接受日期:2013-04-02

食物是生物进行各项生理活动的重要能量来源,所有动物都需要从环境中获取食物,但不同的食物具有不同的营养成分,如何有效利用食物中的营养成分是各种生物都面临的重要问题(Behmer, 2009)。昆虫对食物的消耗、利用和分配会因不同类别和个体而有差异,目前这方面研究涉及的昆虫种类多达百余种,鳞翅目、半翅目、同翅目、鞘翅目等,初步形成较系统的营养生态学理论(Brues, 1946; Beck, 1972; Calow, 1977; Scriber and Slansky, 1981; Lee, 1985; Slansky and Scriber, 1985; Slansky and Rodriguez, 1987)。国内钦俊德等(1957)早期开展了东亚飞蝗对食物的利用研究,随后多位学者对棉铃虫、家蚕等鳞翅目害虫的营养生态学方面进行了系统的研究,为国内营养生态学的发展奠定了基础(钦俊德, 1962, 1980; 胡萃等, 1989)。

氮和糖是昆虫食物中最基本的营养物质(Genc, 2006)。氮素是蛋白质的重要组成元素,昆虫依赖所获得的氮源维持必要的生长发育和生殖,昆虫取食富含蛋白质的食料发育快、存活率高、繁殖力强。寄主植物中的氮含量对于昆虫的生长发育甚至发生都有一定的影响(曾益良等, 1982; 梁广文等, 1984; 吴坤君等, 1986; 但建国和陈常铭, 1990; 吴坤君和李明辉, 1993)。糖类可以为昆虫的生命活动提供能量需求,食物中的糖类还对多数昆虫具有助食作用,刺激昆虫的取食,对昆虫的生长发育及繁殖有重要的影响(吴坤君和李明辉, 1992; Romeis and Wäcckers 2002; Heimpel *et al.*, 2003)。昆虫对不同氮、糖含量食料的营养消耗和利用情况的研究对于了解昆虫的取食特点有重要的意义(吴坤君等, 1988; 吕仲贤等, 1995)。

稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée 是水稻上重要的害虫,主要通过纵卷水稻叶片取食为害,该虫广泛分布于中国、巴基斯坦、越南、马来西亚等亚洲国家水稻种植区(Shepard *et al.*, 1995; 程家安, 1996)。随着耕作制度、气候因素变化以及水稻新品种的种植等因素的影响,近年来该虫在我国发生频率和危害呈加剧趋势,给我国水稻生产造成严重的经济损失,其中 2007 年在我国南方稻区大面积发生,发生面积高达 2 000 万 hm^2 ,为近 20 年发生最为严重的一年(翟保平和程家安, 2006; 刘宇等, 2008; 唐洁渝等, 2009)。稻田高施氮量常常伴随着高种群数量的稻纵卷叶螟,

偏施氮肥,田间游离氨基酸增多,会导致稻纵卷叶螟的为害加重(梁广文等, 1984; 但建国和陈长铭, 1990)。为了有效控制稻纵卷叶螟的种群发展,本文从营养生态学的角度研究稻纵卷叶螟幼虫对不同氮、糖含量人工饲料的营养消耗和利用。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

稻纵卷叶螟蛹采自浙江省金华市,在人工气候培养室内(温度 $(26 \pm 1)^\circ\text{C}$, 光周期 L:D = 12:12, 湿度 $70\% \pm 10\%$) 孵化为成虫后,饲以 10% 蜂蜜水,采用郑许松等(2010)“烧杯 + 湿纱布”方法收集卵。实验所需 3 龄和 5 龄幼虫,采用离体的水稻叶片饲养至所需龄期,选取大小一致幼虫在电子天平上称重,待用。

1.2 供试饲料

将已称重的稻叶粉、干酪素、麦胚粉、大豆粉、纤维素、蔗糖、威氏盐、螺旋藻粉、酵母粉放入 500 mL 烧杯中,加入已量好的自来水,搅拌均匀,静置 10 ~ 15 min,锅中加入量好的自来水电炉上加热,煮沸后,加入琼脂粉,完全融化后,加入山梨酸和对羟基苯甲酸甲酯,搅拌均匀后,将烧杯中物质倒入锅中,继续搅拌,冷却至 60°C 时,加入维生素 C、维生素 E、胆固醇、肌醇、氯化胆碱、50% 蜂蜜水,搅拌均匀,冷至室温, 4°C 冰箱保存。本实验所用人工饲料为在已有较好配方基础上,通过纤维素与大豆粉和蔗糖的配比调节人工饲料中氮、糖的含量,最后采用凯氏定氮和蒽酮法分别测定各人工饲料中的氮、糖含量(干重百分率),制成不同含氮量(0.92%、1.16%、1.33%、1.46%、1.53%)及含糖量(16.75%、18.44%、21.33%、22.79%、27.22%)的人工饲料。

1.3 稻纵卷叶螟幼虫营养指标测定

在玻璃试管(0.1 cm $\times$ 2 cm $\times$ 7 cm)中放入已称重的人工饲料块,分别接入 1 头 3 龄或 5 龄幼虫,塞上已经消毒的棉塞后放入气候培养室中(温度 $(26 \pm 1)^\circ\text{C}$, 光周期 L:D = 12:12, 湿度 $70\% \pm 10\%$), 3 d 后取出幼虫,半小时后称幼虫、剩余饲料和虫粪的鲜重,之后将幼虫、剩余饲料和虫粪放进 75°C 烤箱内烘干后称干重。实验过程中对每个配方的人工饲料进行取食量的校正,作为对照。在试管中分别放入已称鲜重的人工饲料块作对

照,校正取食量。重复 5 次。

饲料消耗 = $W - aL/b$, 其中 W :测定组饲料初重, L :测定组饲料终重, a :对照组饲料初重, b :对照组饲料终重。3 龄和 5 龄幼虫干重参照 Montandon(1987)的方法测定。主要分析粗生长率(ECI)、净生长效率(ECD)、相对生长速率(RGR)、相对消耗速率(RCR)等营养指标,营养指标的计算参考 Scriber 和 Slansky(1981)的方法。

1.4 稻纵卷叶螟幼虫对饲料中氮的消耗和利用

收集试验中幼虫虫粪,将虫粪与幼虫分别在烘箱中烤干后,用凯氏定氮法测定虫体和虫粪含氮量。参考吴坤君等(1988)的方法计算出以下各指标:氮消耗速率(NCR)、氮生成速率(NPR)和氮利用率(NUR)。

1.5 数据分析

采用软件 SPSS18.0, Tukey 多重比较法测验

各参数不同处理间的差异显著性。百分率先进行反正弦平方根转换后再作方差分析。

2 结果与分析

2.1 稻纵卷叶螟幼虫取食不同人工饲料的营养指标

测定 3 龄幼虫干重和鲜重的关系为 $W_d = 0.3683 \times W_f^{0.8854}$, $r = 0.9795^{**}$, X^2 检验达到显著水平($P < 0.01$)。结果表明,取食不同含氮量饲料的 3 龄幼虫的粗生长效率(ECI)、净生长率(ECD)、相对生长速率(RGR)和相对消耗速率(RCR)均无显著差异(表 1)。稻纵卷叶螟 5 龄幼虫在氮含量为 1.53% 饲料上的 ECI 和 ECD 值显著高于在其它饲料上;RCR 值在氮含量 1.16% 和 1.53% 的饲料上较高(表 2)。

表 1 3 龄幼虫对不同氮含量饲料的消耗和利用

Table 1 Consumption and utilization by 3rd instar larvae of the diets with different nitrogen contents				
氮含量 Nitrogen content(%)	粗生长效率 ECI (%)	净生长效率 ECD (%)	相对生长速率 RGR(mg/mg·d)	相对消耗速率 RCR(mg/mg·d)
0.92	2.28 ± 1.35a	2.28 ± 1.35a	0.70 ± 0.42a	31.85 ± 4.48a
1.16	3.89 ± 0.43a	3.89 ± 0.43a	1.06 ± 0.01a	27.52 ± 2.81a
1.33	3.39 ± 1.93a	3.41 ± 1.94a	0.81 ± 0.45a	23.98 ± 1.79a
1.46	4.32 ± 2.15a	4.33 ± 2.16a	1.12 ± 0.46a	27.81 ± 6.62a
1.53	4.16 ± 1.07a	4.18 ± 1.07a	1.22 ± 0.35a	30.09 ± 7.49a

注:数据为平均数 ± 标准误。同列数据后标有不同字母表示经 Tukey 检验差异显著($P < 0.05$)。下表同。
Data are mean ± SE. Data in the same column followed by different lowercase letters indicate significantly different at 0.05 level by Tukey' test. The same below.

表 2 5 龄幼虫对不同氮含量饲料的消耗和利用

Table 2 Consumption and utilization by 5th instar larvae of the diets with different nitrogen contents				
氮含量 Nitrogen content(%)	粗生长效率 ECI (%)	净生长效率 ECD (%)	相对生长速率 RGR(mg/mg·d)	相对消耗速率 RCR(mg/mg·d)
0.92	0.15 ± 0.00c	0.15 ± 0.01b	0.03 ± 0.01b	17.59 ± 5.46b
1.16	0.16 ± 0.00b	0.16 ± 0.01d	0.06 ± 0.01a	34.11 ± 4.58a
1.33	0.11 ± 0.10d	0.11 ± 0.01c	0.03 ± 0.00b	23.09 ± 1.35b
1.53	0.19 ± 0.01a	0.19 ± 0.01a	0.06 ± 0.01a	32.45 ± 2.89a

对于不同含糖量饲料,稻纵卷叶螟 3 龄幼虫取食后其粗生长效率(ECI)、净生长率(ECD)、相对生长速率(RGR)和相对消耗速率(RCR)在不同含糖量饲料间无显著差异(表 3)。在不同含糖量

的人工饲料上,5 龄幼虫的 ECI 和 ECD 值随饲料中糖含量的升高先降低后上升,在糖含量 18.44% 的饲料上最低;RGR 值在最低糖含量饲料上显著高于其它饲料上的;低糖水平 16.75% 饲料上 RCR

值显著高于其他饲料(表4)。

2.2 稻纵卷叶螟幼虫对饲料中氮的消耗和利用

虽然取食不同含氮量人工饲料的3龄幼虫氮消耗速率(NCR)随饲料含氮量的增加有所提高,但氮消耗速率(NCR)、氮生成速率(NPR)和氮利用率(NUR)值在不同含氮量人工饲料间均无显著

差异(表5)。5龄幼虫在氮含量1.46%和1.53%两种饲料上的NCR达到最高,而在氮含量1.33%和1.46%上的NUR值显著低于其它饲料上的(表5)。比较取食不同含氮量的人工饲料的3龄和5龄幼虫,3龄幼虫的NPR和NUR值均比5龄幼虫的大,而NCR则差异不大。

表3 3龄幼虫对不同糖含量饲料的消耗和利用
Table 3 Consumption and utilization by 3rd instar larvae of the diets with different sugar contents

糖含量 Sugar content(%)	粗生长效率 ECI (%)	净生长效率 ECD (%)	相对生长速率 RGR(mg/mg·d)	相对消耗速率 RCR(mg/mg·d)
16.75	5.82 ± 1.61a	5.84 ± 1.61a	1.55 ± 0.59a	26.55 ± 5.08a
18.44	2.44 ± 1.96a	2.45 ± 1.98a	0.71 ± 0.57a	29.08 ± 0.10a
21.33	4.18 ± 0.89a	4.19 ± 0.89a	1.23 ± 0.18a	29.83 ± 2.45a
23.79	2.86 ± 1.82a	2.88 ± 1.83a	0.72 ± 0.33a	27.78 ± 6.46a
27.22	4.87 ± 2.16a	4.87 ± 2.16a	1.28 ± 0.47a	27.54 ± 7.33a

表4 5龄幼虫对不同糖含量饲料的消耗和利用
Table 4 Consumption and utilization by 5th instar larvae of the diets with different sugar contents

糖含量 Sugar content(%)	粗生长效率 ECI (%)	净生长效率 ECD (%)	相对生长速率 RGR(mg/mg·d)	相对消耗速率 RCR(mg/mg·d)
16.75	0.12 ± 0.00a	0.12 ± 0.00a	0.06 ± 0.01a	53.92 ± 7.67a
18.44	0.05 ± 0.00d	0.05 ± 0.00d	0.01 ± 0.00cd	22.94 ± 5.80b
23.79	0.06 ± 0.00c	0.06 ± 0.00c	0.02 ± 0.01bc	35.60 ± 9.13b
27.22	0.09 ± 0.00b	0.10 ± 0.00b	0.03 ± 0.01b	33.45 ± 9.75b

表5 3龄和5龄幼虫对不同含氮量饲料中氮的消耗和利用
Table 5 Nitrogen consumption and utilization by 3rd and 5th instar larvae of the diets with different nitrogen contents

氮含量 Nitrogen content (%)	氮消耗速率 NCR(mg/mg·d)		氮生成速率 NPR(mg/mg·d)		氮利用率 NUR (%)	
	3龄幼虫 3rd instar	5龄幼虫 5th instar	3龄幼虫 3rd instar	5龄幼虫 5th instar	3龄幼虫 3rd instar	5龄幼虫 5th instar
0.92	29.31 ± 4.12a	16.18 ± 5.02d	0.45 ± 0.27a	0.02 ± 0.01b	1.59 ± 0.94a	0.10 ± 0.00b
1.16	31.92 ± 3.26a	39.56 ± 5.31bc	1.02 ± 0.01a	0.05 ± 0.01a	3.23 ± 0.35a	0.14 ± 0.00a
1.33	31.90 ± 2.376a	30.71 ± 1.79c	0.82 ± 0.45a	0.03 ± 0.00b	2.58 ± 1.47a	0.08 ± 0.01c
1.46	40.61 ± 9.66a	55.57 ± 8.60a	1.09 ± 0.45a	0.02 ± 0.00b	2.86 ± 1.43a	0.02 ± 0.00d
1.53	46.04 ± 11.46a	49.64 ± 4.42b	1.30 ± 0.37a	0.06 ± 0.01a	2.88 ± 0.74a	0.13 ± 0.00a

3 讨论

氮是昆虫生长发育和繁殖过程中必需的元素

之一,是组成各类蛋白质的重要成分。食料中氮含量或寄主植物氮肥施用量都会对昆虫的生长发育或产卵产生影响(吴坤君和李明辉,1993;吕仲

贤等,1995)。氮肥的使用可以增加幼虫存活率、取食量、蛹重、成虫寿命和生殖力,从而增加稻纵卷叶螟在田间的发生量和危害率(吕仲贤等,2006)。有研究表明,鳞翅目害虫幼虫食物消耗和利用指数随寄主植物体内的氮含量的增加而显著提高(Slansky and Scriber,1985)。但也有一些害虫的表现与之不同,比如大豆夜蛾 *Pseudoplusia includens* 在低氮的情况下取食更快、氮利用率更高(Wier and Boethel,1995)。亚洲玉米螟 5 龄幼虫对氮的消耗随饲料含氮量的增加而增加,对氮的利用率则随着饲料含氮量的增加而下降(吕仲贤等,1997)。

本文研究了稻纵卷叶螟对不同氮、糖含量人工饲料的营养消耗和利用。稻纵卷叶螟 3 龄幼虫取食氮含量为 0.92% ~ 1.53% 人工饲料和糖含量为 16.75% ~ 27.22% 人工饲料时,其 ECD、ECI、RGR 和 RCR 值随氮含量或糖含量的升高无显著变化,说明实验的含氮量或含糖量饲料范围对稻纵卷叶螟 3 龄幼虫的生长速率影响不大。5 龄幼虫在不同氮含量的人工饲料处理下,在氮含量 0.92% ~ 1.16% 范围内,ECD 值随氮含量增多有增加的趋势,在氮含量 1.33% ~ 1.53% 范围内,大体上也随饲料中氮含量的增加而增高,其中在最高氮含量 1.53% 饲料上两指标均显著高于其他饲料,ECD 值随饲料中糖含量的增加先降低再增加的趋势,在中糖水平 21.33% 饲料上有最低值;而 RGR 值在氮含量 1.53% 饲料上显著高于其它饲料,在最低糖含量 16.75% 饲料上显著高于其它饲料;RCR 值在氮含量 1.46% 饲料上显著高于其它饲料,在最低糖含量饲料 16.75% 上显著高于 18.44% 饲料。3 龄幼虫的 RGR 值高于 5 龄幼虫,5 龄幼虫的组织结构、消化能力等比 3 龄幼虫的更加趋于成熟化,5 龄幼虫体内累积脂肪的能力强于 3 龄幼虫。

对于稻纵卷叶螟 3 龄幼虫,其对氮消耗速率、排泄速率、生成速率以及氮利用率随着饲料中氮含量的增加保持相对稳定。随着饲料中氮含量的增加,3 龄幼虫的 NUR 相对稳定;而 5 龄幼虫 1.33% 和 1.46% 饲料上的 NUR 值最低。氮利用率(NUR)3 龄幼虫高于 5 龄幼虫,这可能与 3 龄幼虫正处于生长的关键时期对营养的需求量高于 5 龄幼虫有关。稻纵卷叶螟幼虫对人工饲料中的氮含量有一定的要求,需要一定水平的量,在高于或

低于一定的水平,对幼虫的生长发育均有不利的影响。昆虫对营养的吸收利用还与食物中的其他组分有关,比如糖类。一种枯叶蛾 *Malacosoma disstria* 在取食高氮低糖食物时生长发育快,但当其获取高糖低氮食物时其对食物的消化速率与前者相似,而发育缓慢;在另一个极端高氮情况下(蛋白质:糖 = 35:7)其对食物的消化速率以及生长发育速率都显著降低(Despland and Noseworthy,2006;Colasurdo *et al.*,2007)。食物中营养物质的合理配比对于昆虫对食物的营养消耗与利用十分重要,另外昆虫在取食食物后还需要经过在其体内的再平衡以使获得有效的营养(Behmer *et al.*,2009;Clissold *et al.*,2010)。幼虫对氮的消耗与利用还受到饲料中其他营养物质的影响,合理平衡各种营养物质对于幼虫的生长发育有着重要的意义。

参考文献 (References)

- Beck SD, 1972. Insect and Mite Nutrition. North Holland: Amsterdam. 1-6.
- Behmer ST, 2009. Insect herbivore nutrient regulation. *Annu. Rev. Entomol.*, 54:165-187.
- Brues CT, 1946. Insect Dietary. Cambridge: Harvard University Press. 122-126.
- Calow P, 1977. Ecology evolution and energetics: A study in metabolic adaptation. *Adv. Ecol. Res.*, 10(5):1-62.
- Clissold FJ, Tedder BJ, Conigrave AD, Simpson SJ, 2010. The gastrointestinal tract as a nutrient-balancing organ. *Proc. R. Soc. B*, 277:1751-1759.
- Colasurdo N, Dussutour A, Despland E, 2007. Do food protein and carbohydrate content influence the pattern of feeding and the tendency to explore of forest tent caterpillars? *J. Insect Physiol.*, 53:1160-1168.
- Despland E, Noseworthy M, 2006. How well do specialist feeders regulate nutrient intake? Evidence from a gregarious tree-feeding caterpillar. *J. Exp. Biol.*, 209:1301-1309.
- Genc B, 2006. General principles of insect nutritional ecology. *Trakya Univ. J. Sci.*, 7(1):53-57.
- Heimpel GE, Lee JC, Wu Z, 2003. Field oviposition rates in sugar-fed and sugar-starved parasitoids. *J. Insect Sci.*, 3(33):11.
- Lee KE, 1985. Earthworms: Their Ecology and Relationship with Soil and Land Use. New York: Academic. 321-328.
- Montandon R, 1987. Nutritional indices and excretion of

- gossypol by *Alabama agilacea* and *Heliothis virescens* fed glanded and glandless cotyledonary cotton leaves. *J. Econ. Entomol.*, 80(1):32–36.
- Romeis J, Wäckers FL, 2002. Nutritional suitability of individual carbohydrates and amino acids for adult *Pieris brassicae*. *Physiol. Entomol.*, 27(2):148–156.
- Scriber JM, Slansky FL, 1981. The nutritional ecology of immature insects. *Annu. Rev. Entomol.*, 26(2):183–211.
- Shepard BM, Barrion AT, Litsinger JA, 1995. Rice feeding insects of tropical Asia. IRRI, Philippines. 70–90.
- Slansky FJ, Rodriguez JG, 1987. Nutritional Ecology of Insect, Mites, Spiders, and Related Invertebrates. New York: John Wiley and Sons. 351–359.
- Slansky FJ, Scriber JM, 1985. Food consumption and utilization//Kerkut GA, Gilbert L (eds.). *Comprehensive Insect Physiology, Biochemistry and Pharmacology*. the United Kingdom: Pergamon Press. 87–163.
- Wier AT, Boethel DJ, 1995. Feeding, growth, and survival of soybean looper (Lepidoptera: Noctuidae) in response to nitrogen fertilization of nonnodulating soybean. *Environ. Entomol.*, 24(2):326–331.
- 程家安, 1996. 水稻害虫. 北京: 中国农业出版社. 1–213.
- 但建国, 陈常铭, 1990. 食料条件对稻纵卷叶螟生长发育和繁殖的影响. 植物保护学报, 28(3):191–199.
- 胡萃, 吴晓晶, 何占演, 周渭泉, 石淑丽, 1989. 天蚕营养指标的研究. 蚕业科学, 15(4):50–53.
- 梁广文, 罗国辉, 李畅方, 1984. 氮肥对稻纵卷叶螟成虫和卵密度的影响. 广东农业科学, 14:34–35.
- 刘宁, 王建强, 冯晓东, 蒋学辉, 2008. 2007 年全国稻纵卷叶螟发生实况分析与 2008 年发生趋势预测. 中国植保导刊, 28:33–35.
- 吕仲贤, 胡萃, 杨樟法, 1995. 饲料中氮和糖含量对亚洲玉米螟幼虫取食的影响. 浙江农业大学学报, 2:588–592.
- 吕仲贤, 杨樟法, 胡萃, 1997. 亚洲玉米螟幼虫对氮、糖的吸收和利用. 昆虫学报, 40(2):151–157.
- 吕仲贤, 俞晓平, Heong KL, 胡萃, 2006. 氮肥对植食性昆虫的影响及其对水稻主要害虫种群的诱导. 中国水稻科学, 20(6):649–656.
- 钦俊德, 1962. 植食性昆虫的食性和营养. 昆虫学报, 11(2):169–185.
- 钦俊德, 1980. 植食性昆虫食性的生理基础. 昆虫学报, 30(1):106–122.
- 钦俊德, 郭鄂, 郑竺英, 1957. 东亚飞蝗的食性和食物利用以及不同食料植物对其生长和生殖的影响. 昆虫学报, 7(2):143–166.
- 唐洁渝, 王华生, 刘建文, 2009. 2008 年广西第三代稻纵卷叶螟大发生特点及原因简析. 中国农学通报, 25:192–195.
- 吴坤君, 龚佩瑜, 李秀珍, 1986. 棉铃虫的能量收支. 昆虫学报, 29(2):149–158.
- 吴坤君, 龚佩瑜, 李秀珍, 1988. 棉铃虫对氮的消耗和利用. 昆虫学报, 38(1):1–7.
- 吴坤君, 李明辉, 1992. 棉铃虫营养生态学的研究: 食物中糖含量的影响. 昆虫学报, 35(1):47–52.
- 吴坤君, 李明辉, 1993. 棉铃虫营养生态学的研究: 取食不同蛋白质含量饲料时的种群生命表. 昆虫学报, 36(1):21–28.
- 翟保平, 程家安, 2006. 2006 年水稻两迁害虫研讨会纪要. 昆虫知识, 43(4):585–588.
- 曾益良, 龚佩瑜, 姜立荣, 张梅林, 1982. 施氮量对棉株和棉铃虫的影响. 昆虫学报, 25(1):16–23.
- 郑许松, 陆婷, 郭文卿, 高广春, 吕仲贤, 2010. 一种采集稻纵卷叶螟卵的高效简便新方法. 昆虫知识, 47(6):1253–1256.