

温度对黄粉虫体重增加、食物转化率及消化酶活性的影响^{*}

王宏民^{1**} 李亚芳² 杨萌萌² 张仙红^{2***}

(1. 山西农业大学经济管理学院, 太谷 030801; 2. 山西农业大学农学院, 太谷 030801)

摘 要 【目的】明确黄粉虫幼虫 *Tenebrio molitor* 体重增加和食物转化率提高的最适温度条件及肠道消化酶的种类及活性。【方法】在实验室不同温度条件下, 测定了不同日龄黄粉虫幼虫的体重、食物的近似消化率与转化率及肠道蛋白酶、淀粉酶和纤维素酶的活性。【结果】温度对黄粉虫幼虫体重增加及食物的近似消化率 (AD) 和转化率 (ECD) 影响很大。在 24~28 ℃ 时, 3 种不同日龄的黄粉虫幼虫体重明显高于 20 ℃ 和 32 ℃ 时的体重, 28 ℃ 时 60 日龄和 90 日龄黄粉虫幼虫平均每天的体重增加量是同期 20 ℃ 的 1.26 倍和 1.35 倍, 且该虫对食物的近似消化率和转化率也表现出相同的规律。此外, 温度也影响着黄粉虫幼虫体内消化酶的活力, 当温度为 24~28 ℃ 时, 其肠道蛋白酶、淀粉酶、内切 β -1, 4-葡聚糖苷酶 (Cx) 和 β -葡萄糖苷酶的活力均高于 20 ℃ 和 32 ℃ 时的活力, 且不同龄期的黄粉虫幼虫体内 4 种消化酶的活力不同, 随虫龄的增加 4 种消化酶活力明显升高。【结论】黄粉虫幼虫在 24~28 ℃ 时对食物的转化率最高, 体重增加最快, 高龄黄粉虫幼虫肠道内 4 种消化酶活力均明显高于低龄幼虫。

关键词 黄粉虫, 温度, 虫龄, 体重, 转化率, 消化酶活性

Effects of temperature on weight gain, food conversion efficiency and digestive enzyme activities of *Tenebrio molitor* larvae

WANG Hong-Min^{1**} LI Ya-Fang² YANG Meng-Meng² ZHANG Xian-Hong^{2***}

(1. College of Economics and Management, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China;

2. College of Agriculture, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)

Abstract 【Objectives】To explore optimum temperature on weight gain, food conversion efficiency and digestive enzyme activities of *Tenebrio molitor* larvae. 【Methods】The rate of approximate digestibility, body weight, conversion efficiency, and digestive enzyme activities of different larval instars of *T. molitor* were investigated under different temperatures. 【Results】The results showed that temperature had great influence on weight gain, approximate digestibility, and conversion efficiency. The weight of larval raised at 24 ℃ and 28 ℃ were significantly higher than that of raised at 20 ℃ and 32 ℃. At 28 ℃, the average daily weight gain of 60-day-old and 90-day-old larvae were 1.26 and 1.35 times greater than those 20 ℃, respectively. The approximate digestibility and conversion efficiency showed similar patterns with changing temperature conditions. In addition, temperature influenced the digestive enzyme activities of the larvae. The activity of intestinal protease, amylase, endo β -1, 4- β -glucan glycosidase (Cx), and β -glucosidase at 24-28 ℃ were all higher than 20 ℃ or 32 ℃. The activities of these digestive enzymes also varied with larval age. 【Conclusion】The optimal temperature of conversion efficiency and weight gain of *T. molitor* larvae were 24 ℃ and 28 ℃. The activities of 4 digestive enzymes statistically increases as the larvae grew older.

Key words *Tenebrio molitor*, temperature, instar, body weight, conversion efficiency, digestive enzyme

*资助项目 Supported projects: 生物农业科技创新重大项目专项 (201603D21107)

**第一作者 First author, E-mail: ndysc1@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: zxh6288@sina.com

收稿日期 Received: 2016-05-30, 接受日期 Accepted: 2017-03-27

黄粉虫 *Tenebrio molitor* L. 是一种高蛋白、高脂肪的昆虫, 并含有多种糖类、氨基酸、维生素、激素和多种矿物质, 营养价值非常高(谢保令, 1994; 陈彤和王克, 1997; 黄琼等, 2012), 同时由于其易于饲养, 因此黄粉虫养殖已成为近年来继家蚕 *Bombyx mori*、蜜蜂等传统昆虫产业之后的又一个重要的资源昆虫产业。目前, 有关黄粉虫的研究报道很多, 主要集中在黄粉虫的饲养条件(柴培春和张润杰, 2001; 华红霞等, 2001; 肖银波等, 2003; 高红莉等, 2006; 吴书侠, 2009)、黄粉虫抗菌肽(谢咸升, 2011; 阮华波, 2012)及黄粉虫基因研究(Huang *et al.*, 2013; 黄琼等, 2013)等方面。而如何提高黄粉虫幼虫的相对生长率和料虫转化比例是提高黄粉虫养殖效益的关键。

目前, 已知有多种因素影响昆虫对营养成分的利用效率及中间代谢产物的供应, 如温度、食料、消化酶活性(Ahmad *et al.*, 1986)、消化酶抑制剂(Bayes *et al.*, 2006)等。据古丽米热·阿布里克木和王世贵(2002)等报道, 红褐斑腿蝗 *Catantops pingui* 的取食量、近似消化率和身体增重等表现出极大的温度依赖性; 王世贵等(2008)的研究表明, 温度对红褐斑腿蝗的日均取食量、相对生长率及肠道消化酶活性影响显著, 总体表现为高温时大于低温; 陈乾锦等(2001)研究发现, 斜纹夜蛾 *Prodenia litura* 的取食量随温度升高取食量呈增加趋势, 并在最适温时达到最大。黄粉虫食性较杂, 其幼虫和成虫主要以纤维素含量较高的物质如麦麸、玉米粉、稻草、玉米秸等为食, 它所摄取的食物需经过体内一系列酶的消化分解才能被吸收利用, 因此黄粉虫肠道内消化酶的活力对其正常的生理代谢、生化过程和营养吸收有着非常重要的作用。目前, 有关黄粉虫生长发育及消化酶活力的研究报道很少, 仅见宋宜娟等(2011)进行了印楝素对黄粉虫生长发育、能量储存及相关消化酶影响的研究, 黄详财(2008)进行了黄粉虫纤维素酶种类、分布及不同金属离子对纤维素酶活影响的研究, 有关温度、虫龄对黄粉虫食物的近似消化率(Approximate digestibility, AD)、转化率

(Conversion efficiency, ECD)及肠道消化酶活性影响的研究目前还未见报道。为了解温度对黄粉虫幼虫体重增加及消化酶活性的影响, 明确黄粉虫幼虫对食物的近似消化率和转化率, 降低黄粉虫的饲养成本, 本试验以不同龄期的黄粉虫幼虫为材料, 进行了不同温度下黄粉虫幼虫体重变化和相关消化酶活性的研究, 旨在为提高黄粉虫养殖的经济效益提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

供试黄粉虫幼虫由山西农业大学昆虫实验室饲养。取 30 日龄的黄粉虫幼虫各 100 头, 置于直径为 90 mm 的培养皿中, 分别在 20、24、28、32℃, 相对湿度 60%±5% 的培养箱中用麦麸(含水量约 22%)进行饲养, 各处理均设 3 次重复。处理后每 10 d 用电子天平(精确度为 0.001 mg)称量黄粉虫幼虫的取食量、体重、排粪量, 饲养 30、60、90 d 后, 计算黄粉虫幼虫平均每天的体重增加量、体重增加的倍数、对食物的近似消化率和转化率(Mole and Zera, 1993; 王琛柱, 1997)。

近似消化率与食物转化率的计算公式如下:

$$\text{近似消化率} = \frac{\text{消耗的食物量} - \text{粪便量}}{\text{消耗的食物量}} \times 100\%,$$

$$\text{转化率} = \frac{\text{体重的增加量}}{\text{食物的消耗量}} \times 100\%。$$

1.2 供试药剂

羧甲基纤维素钠、微晶纤维素、酪氨酸、水杨苷、酪蛋白购自 Sigma 公司, 三氯乙酸、可溶性淀粉、葡萄糖、3, 5-二硝基水杨酸(DNS)显色剂、氨基磺胺偶氮酪蛋白均为分析纯。

1.3 消化酶活性测定

1.3.1 黄粉虫幼虫中肠消化酶种类测定 取 24 条件下饲养的 7 龄黄粉虫幼虫 1 g, 饥饿处理 12 h 后, 将其用蒸馏水冲洗干净, 按虫重与缓冲液之比为 1:2 进行冰浴匀浆, 匀浆后在 4℃、12 000 r/min 条件下离心 10 min。取上清液作为粗酶液,

测定其体内总蛋白酶、淀粉酶、纤维素酶等消化酶的种类,方法同 1.3.2、1.3.3、1.3.4。

1.3.2 酶液制备 分别称取 20、24、28、32 4 种温度条件下饲养的 4 龄、7 龄、9 龄、13 龄黄粉虫幼虫各 1 g,饥饿处理 12 h 后,分别将其用蒸馏水冲洗干净,按虫重与缓冲液之比为 1:2 进行冰浴匀浆,匀浆后在 4、12 000 r/min 条件下离心 10 min。取上清液作为粗酶液,置于 -20℃ 冰箱中备用。磷酸缓冲溶液 pH 为 6.8。

1.3.3 中肠总蛋白酶活力测定 蛋白酶活力测定参考王琛柱和钦俊德(1996)等的方法。用氨苯磺胺偶氮酪蛋白作为底物。偶氮酪蛋白以 20 mg/mL 的浓度溶于 0.15 mol/L 的 NaCl 溶液,取 0.3 mL 该液加入 0.3 mL 含有中肠酶液的反应缓冲液(0.2 mol/L, pH10.50 的甘氨酸-氢氧化钠缓冲液)中,30℃ 反应 2 h,加入 0.6 mL 的 20% (重量/体积)三氯乙酸终止反应。反应混合物在 15 000 r/min、4℃ 离心 15 min,取上清液,于 366 nm 测紫外吸光值。

1.3.4 中肠淀粉酶活力测定 淀粉酶活力的测定参照李志刚(2005)等的方法。分别取 0.2 mL 2% 淀粉,0.8 mL PBS (pH 5.8),10 μ L 酶的 10 倍稀释液,室温下反应 10 min 后,置于 37℃ 水浴 60 min,加 1 mL 3,5-二硝基水杨酸终止反应,然后沸水浴 5 min,定容至 25 mL,于 550 nm 测吸光值。以 10 μ L PBS (pH 5.8) 代替酶液作为对照。

1.3.5 中肠纤维素酶活力测定 纤维素酶活力的测定参照黄祥财(2008)等略有改动。分别以 1%水杨苷、1%微晶纤维素(MC)、1%羧甲基纤维素(CMC)作底物于 40℃ 下测定 β -葡萄糖苷酶、外切 β -1,4-葡聚糖酶(C1 酶)、内切 β -1,4-葡聚糖酶(Cx 酶)的活性。3 种底物均用 pH5.8 的磷酸缓冲液配置。分别取上述底物 1 mL、粗酶液 10 倍稀释液 0.2 mL 室温下反应 10 min 后,40℃ 水浴保温 40 min,加入 DNS 显色剂 1 mL,迅速在沸水浴条件下显色 10 min 后取出用流水冷却,将冷却后的溶液稀释定容至 10 mL,于 490 nm 下测吸光值,每处理 3 次重复。空白组加入等量的缓冲液代替酶液。将与微晶纤维素反应后的溶液在 2 000 r/min 条件下离心 3 min,取

上清液于 490 nm 下测吸光度。

本试验规定以单位虫体质量(g)、单位时间(min)由底物经酶促反应生成 1 mg 还原糖或酪氨酸所需的酶量定义为一个酶活力单位(U)。

2 结果与分析

2.1 温度对黄粉虫幼虫体重增加的影响

黄粉虫幼虫在不同温度下的体重如表 1 所示。相同日龄的黄粉虫幼虫在不同温度下的平均体重存在明显差异。当温度为 24℃ 和 28℃ 时,30、60、90 日龄的黄粉虫幼虫体重均明显高于 20℃ 和 32℃,且 28℃ 时,60 日龄和 90 日龄黄粉虫幼虫平均每天的体重增加量是同期 20℃ 体重增加量的 1.26 倍和 1.35 倍,可见 24~28℃ 为其生长的最适温度。此外研究表明,黄粉虫幼虫在不同的发育时期,其体重增加量也存在明显差异,24℃ 和 28℃ 时,30~60 日龄黄粉虫幼虫平均每天的体重增加量分别为 0.95 mg/头和 1.01 mg/头,而 60~90 日龄的黄粉虫幼虫平均每天的体重增加量为 3.47 mg/头和 3.50 mg/头,可见生长发育的后期为黄粉虫幼虫体重的快速增加期。

表 1 不同温度及日龄的黄粉虫幼虫体重
Table 1 The average weight of *Tenebrio molitor* larvae at different temperature and time

温度 (°C) Temperature	平均体重 (mg/头) Average weight per larva		
	30 日龄 30-day-old	60 日龄 60-day-old	90 日龄 90-day-old
20	7.11 $\pm$ 2.34c	30.73 $\pm$ 1.67c	106.69 $\pm$ 1.41c
24	8.54 $\pm$ 1.08a	37.16 $\pm$ 3.02a	141.26 $\pm$ 3.80a
28	8.63 $\pm$ 0.87a	38.79 $\pm$ 3.48a	143.67 $\pm$ 2.82a
32	7.86 $\pm$ 1.53b	32.64 $\pm$ 2.19b	128.50 $\pm$ 3.43b

表中数据为平均值 $\pm$ 标准误;同列数据后标有不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$) (Duncan's 多重比较法)下表同。

Data in the table are mean $\pm$ SE, and those followed by different small letters in the same column indicate significant difference at the 0.05 level by Duncan's multiple range test. The same below.

2.2 温度对黄粉虫幼虫食物消化率和利用率影响

试验表明,温度影响着黄粉虫幼虫对食物的

近似消化率和转化率(表 2)。在 20~32 ℃, 随温度升高, 黄粉虫幼虫对食物的近似消化率明显增高, 但对食物的转化率却不同, 24~28 ℃ 时对食物的转化率最高, 分别为 48.46%和 49.21%, 明显高于 20 ℃、32 ℃ 时黄粉虫幼虫的食物转化率。

表 2 不同温度下黄粉虫幼虫对食物的近似消化率和转化率
Table 2 The approximate digestibility (AD) and efficiency of conversion of *Tenebrio molitor* at different temperature

温度 (℃) Temperature	近似消化率 (%) Approximate digestibility	转化率 (%) Conversion efficiency
20	48.03 ± 0.12c	40.06 ± 1.87b
24	59.71 ± 0.93b	48.46 ± 0.69a
28	61.26 ± 1.30b	49.21 ± 0.84a
32	67.42 ± 0.71a	42.45 ± 0.26c

2.3 黄粉虫幼虫体内主要消化酶的种类

对 24 ℃ 饲养的黄粉虫 4 龄、7 龄、10 龄、13 龄幼虫体内酶活性的测定表明(表 3), 黄粉虫 4~13 龄幼虫消化道中均检测到淀粉酶、 β -葡萄糖苷酶、内切 β -1, 4-葡聚糖苷酶(Cx)、蛋白酶, 且不同龄期 4 种酶活力的大小依次为淀粉酶 > β -葡萄糖苷酶 > 内切 β -1, 4-葡聚糖苷酶(Cx) > 蛋白酶。

2.4 温度和虫龄对黄粉虫幼虫肠道蛋白酶、淀粉酶活力的影响

不同温度、不同龄期的黄粉虫幼虫体内蛋白酶和淀粉酶活力如图 1, 图 2 所示。由图 1, 图 2 可知, 20~24 ℃ 下, 黄粉虫幼虫体内蛋白酶和淀粉酶的活力均随环境温度的升高而提高, 且差异显著, 如 20 ℃ 时 10 龄幼虫体内蛋白酶和淀粉

酶活力分别为 0.03 U/g 和 45.46 U/g, 24 ℃ 时分别增加到 0.07 U/g 和 66.10 U/g; 但 24~32 ℃ 下, 随环境温度的升高, 幼虫体内蛋白酶和淀粉酶活力均没有明显提高。此外, 试验表明, 黄粉虫幼虫体内蛋白酶和淀粉酶活力均随虫龄增加而明显上升, 如 24 ℃ 时 7 龄幼虫体内蛋白酶和淀粉酶活力分别为 0.041 U/g 和 41.35 U/g, 发育为 13 龄时 2 种酶活力分别上升到 0.099 U/g 和 77.50 U/g, 且供试的其他各温度条件下均表现出相同的规律性。

2.5 温度和虫龄对黄粉虫幼虫肠道纤维素酶活力的影响

不同温度、不同龄期黄粉虫幼虫肠道纤维素酶活力如图 3, 图 4 所示。从图 3, 图 4 可知, 供试的 4、7、10、13 龄幼虫肠道内的内切 β -1, 4-葡聚糖苷酶(Cx)的活力, 在供试温度范围内均随温度升高而显著提高; 而供试的各龄幼虫 β -葡萄糖苷酶活力在 20~24 ℃ 下, 随温度升高酶活力明显提高, 在 24 ℃ 和 28 ℃ 下, 两者没有明显差异, 当温度达 32 ℃, β -葡萄糖苷酶的活力显著降低。此外, 研究表明, 供试各龄幼虫体内 2 种纤维素酶活力均随虫龄的增加明显上升, 如 24 ℃ 时, 13 龄黄粉虫幼虫体内内切 β -1, 4-葡聚糖苷酶(Cx)和 β -葡萄糖苷酶活力分别为 7 龄时的 3.00 倍和 1.64 倍, 且 4 种供试温度下均表现出同样的规律性。可见随黄粉虫幼虫龄期增加, 内切 β -1, 4-葡聚糖苷酶(Cx)和 β -葡萄糖苷酶活力明显上升。

3 讨论

体重增加是衡量黄粉虫养殖效益的重要指标。本试验表明, 不同日龄的黄粉虫幼虫在 24~

表 3 不同龄期黄粉虫幼虫体内消化酶的种类及活性
Table 3 Digestive enzyme activities of *Tenebrio molitor* at different instars

温度 (℃) Temperature	龄期 Instar	酶活力 (U · g ⁻¹) Digestive enzyme activities			
		内切 β -1, 4-葡聚糖苷酶 (Cx) Endo- β -1,4-gluconase	β -葡萄糖苷酶 β -glucosidase	淀粉酶 Amylase	蛋白酶 Protease
24	4	0.07 ± 0.0088c	0.25 ± 0.0291d	23.77 ± 0.1242d	0.01 ± 0.0033d
	7	0.11 ± 0.0067c	0.54 ± 0.0145c	41.34 ± 0.0348c	0.04 ± 0.0033c
	10	0.25 ± 0.0033b	0.74 ± 0.0233b	66.17 ± 0.0353b	0.07 ± 0.0058b
	13	0.31 ± 0.0265a	0.93 ± 0.0318a	77.55 ± 0.1405a	0.18 ± 0.0120a

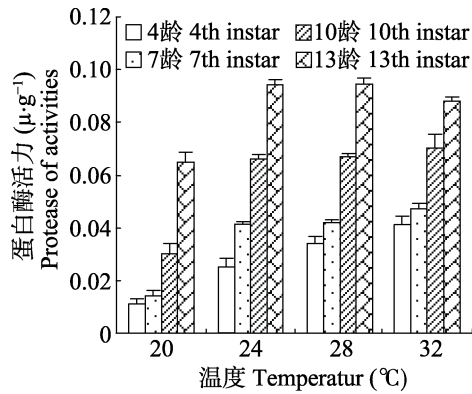


图 1 不同温度下黄粉虫幼虫蛋白酶活力
Fig. 1 Activities of protease of *Tenebrio molitor* larvae at different temperature

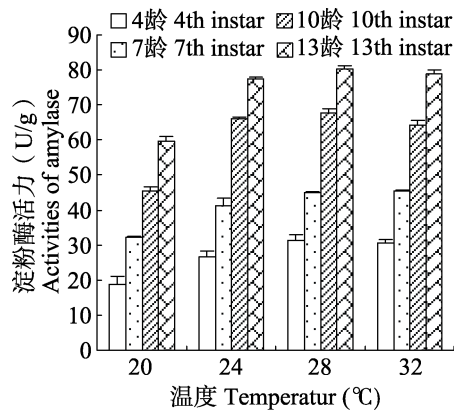


图 2 不同温度下黄粉虫幼虫淀粉酶活力
Fig. 2 Activities of amylase of *Tenebrio molitor* larvae at different temperature

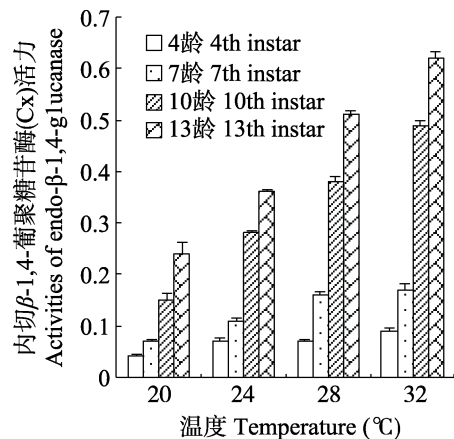


图 3 不同温度下黄粉虫幼虫体内内切 β-1,4-葡聚糖苷酶的活力

Fig. 3 Activities of endo-β-1,4-g1ucanase of *Tenebrio molitor* larvae at different temperature

28 环境条件下时体重增加约为 20 和 32 的 1.2 倍,可见 24~28 为黄粉虫养殖的最适温度,若环境温度高于 32 (实际虫体温度约 35~

38 ,由于饲养过程中虫口密度较大时虫体间相互磨擦会产生较多热量,使黄粉虫实际体温较环境温度高 3~5) 不利于黄粉虫幼虫生长。

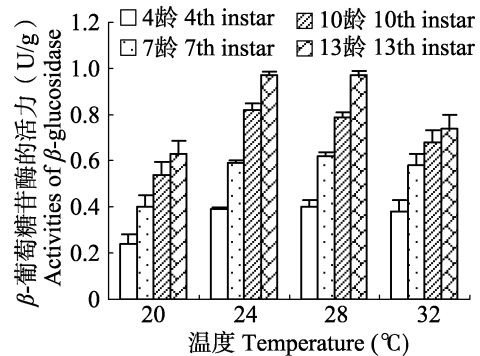


图 4 不同温度下黄粉虫幼虫体内 β-葡萄糖苷酶的活力
Fig. 4 Activities of β-glucosidase of *Tenebrio molitor* larvae at different temperature

近似消化率 (AD) 和转化率 (ECD) 是昆虫对食物利用的重要指标,即被转化为身体组成和能量的比例越高,昆虫生长发育越快。因此有效提高黄粉虫的料虫转化率对提高黄粉虫的养殖效益具有重要作用。本试验中,黄粉虫幼虫在 24~32 下近似消化率没有明显差异,这与王世贵 (2008) 报道的温度对红褐斑腿蝗近似消化率的研究结果基本一致,但 32 时黄粉虫的食物转化率却明显降低,体重增加量也明显低于 24~28 ,这可能是由于高温使黄粉虫消耗的能量加大,从而在一定程度上影响了黄粉虫对物质的积累。

温度对消化酶活性影响显著,基本趋势是高温时大于低温 (王世贵等, 2008)。本试验表明,随温度升高,黄粉虫 4 种消化酶活力呈现先上升后下降的趋势,这与王世贵 (2008) 发现的随处理温度升高,红褐斑腿蝗 *C. pingui* 各种蛋白酶的变化趋势相似,但与黄祥财 (2008) 所报道的黄粉虫在 65 日龄时,其体内内切 β-1,4-葡聚糖苷酶 (Cx) 和 β-葡萄糖苷酶活力有所下降的报道不同,表明不同的黄粉虫品种其体内消化酶活力变化规律存在一定的差异。

综上所述,明确黄粉虫食物转化率、消化酶与其温度和虫龄的关系,将有利于进一步认识黄粉虫幼虫的消化、发育机制,并为黄粉虫的合理饲养提供理论依据。

参考文献 (References)

- Ahmad S, Brattsten LB, Mullin CA, YU SJ, 1986. Enzymes involved in the Metabolism of Plant Allelochemicals. Molecular Aspects of Insect Plant Associations. NewYork: Plenum Press. 73–151.
- Bayes A, Vega MRDL, Vendrell J, Aviles FX, Jongsma MA, Beekwilder J, 2006. Response of the digestive system of *Helicoverpa zea* to ingestion of potato carboxypeptidase inhibitor and characterization of an uninhibited carboxypeptidase B. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 36(8): 654–664.
- Chai PC, Zhang RJ, 2001. Effects of rearing density on growth and development of larvae of *Tenebrio molitor*. *Entomological Knowledge*, (38)6: 452–455. [柴培春, 张润杰, 2001. 饲养密度对黄粉虫生长发育的影响. *昆虫知识*, 38(6): 452–455.]
- Chen QJ, Lin ZH, Yang JQ, Chen JH, Zhang YZ, 2001. Effect of temperature and humidity on the development duration, leaf consumption and survival of *Spodoptera litura* Fabricius. *Acta Tabacaria Sinica*, 7(3): 27–30. [陈乾锦, 林智慧, 杨建全, 陈家骅, 张玉珍, 2001. 温湿度对斜纹夜蛾发育历期、取食量与生存率的影响. *中国烟草学报*, 7(3): 27–30.]
- Chen T, Wang K, 1997. Research on the nutritional value of *Tenebrio molitor* L. and other five edible insects. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry*, 25(4): 78–82. [陈彤, 王克, 1997. 黄粉虫等昆虫的营养价值与食用性研究. *西北农业大学学报*, 25(4): 78–82.]
- Gao HL, Zhou WZ, Zhang G, Li H, 2006. Effect of different fodders and breeding densities on the larva growth and development of *Tenebrio molitor* L. *Acta Ecologica Sinica*, 26(10): 3259–3264. [高红莉, 周文宗, 张磊, 李洪, 2006. 饲料种类和饲养密度对黄粉虫生长发育的影响. *生态学报*, 26(10): 3259–3264.]
- Gulmire A, Wang SG, 2002. Food consumption and utilization of *Catantops pinguis* (Stal) under different temperatures. *Chinese Journal of Ecology*, 21(2): 24–26. [古丽米热·阿布里克木, 王世贵, 2002. 红褐斑腿蝗的食物消耗与利用及其对温度的依赖性. *生态学杂志*, 21(2): 24–26.]
- Hua HX, Yang CJ, YU C, Hu JF, 2001. The effects of different ecological factors on rearing efficiency of *Tenebrio molitor* L. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 20(4): 337–339. [华红霞, 杨长举, 余纯, 胡建芳, 2001. 饲养条件对黄粉虫生长的影响. *华中农业大学学报*, 20(4): 337–339.]
- Huang Q, Hu J, Zhou DG, Wang Q, 2012. The comparative study on the nutrients components of two color varieties of *Tenebrio molitor* L. *Acta Nutrimenta Sinica*, 34(3): 292–294. [黄琼, 胡杰, 周定刚, 王勤, 2012. 两种色型黄粉虫的营养成分比较. *营养学报*, 34(3): 292–294.]
- Huang Q, Hu J, Sun L, Wang Q, 2013. Cloning, sequence analysis and expression profiling of a heat shock protein 70 gene in *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Acta Entomologica Sinica*, 56(5): 475–485.
- Huang Q, Hu J, Wang Q, 2013. Cloning, bioinformatic analysis and expression profiling of the prophenoloxidase cDNA from two color varieties of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Acta Entomologica Sinica*, 56(6): 594–604. [黄琼, 胡杰, 王勤, 2013. 两种色型黄粉虫酚氧化酶原的 cDNA 克隆、生物信息学分析及表达水平检测. *昆虫学报*, 56(6): 594–604.]
- Huang XC, 2008. Study on the character of cellulose in *Tenebrio molitor* L. Master thesis. Fuzhou: Fujian Normal University. [黄详财, 2008. 黄粉虫(*Tenebrio molitor* L.)纤维素酶的研究. 硕士学位论文. 福州: 福建师范大学.]
- LI ZG, Han SC, Guo M, Li LY, Peng TX, Liu WH, Luo LF, 2005. Effects of feeding on different food plants on nutritional utilization and midgut enzyme activities in *Actinote antea* (Lepidoptera: Nymphalidae). *Acta Entomologica Sinica*, 48(5): 674–678. [李志刚, 韩诗晴, 郭明, 李丽英, 彭统序, 刘文惠, 罗莉芬, 2005. 取食不同食料植物对安婀珍蝶的营养利用及中肠四种酶活力的影响. *昆虫学报*, 48(5): 674–678.]
- Mole S, Zera AJ, 1993. Differential allocation of resources underlies the dispersal-reproduction trade-off in the wing-dimorphic cricket, *Gryllus rubens*. *Oecologia*, 93(1): 121–127.
- Ruan HB, 2012. Induction, antibacterial activity, separation and purification of antimicrobial peptides of *Tenebrio molitor*. Master thesis. Yaan: Sichuan Agricultural University. [阮华波, 2012. 黄粉虫抗菌肽的诱导、抑菌作用及其分离纯化. 硕士学位论文. 雅安: 四川农业大学.]
- Song YJ, Han HY, Xu WA, 2011. Effects of azadirachtin on development, energy reserves and relevant digestive enzymes of *Tenebrio molitor*. *Agrochemicals*, 50(6): 414–416. [宋宜娟, 韩红岩, 许维岸, 2011. 印楝素对黄粉虫生长发育、能量储存及相关消化酶影响. *农药*, 50(6): 414–416.]
- Wu SX, 2009. Studies on optimization of rearing technique and nutriment content *Tenebrio molitor* L's of larvae. Master thesis. Hefei: Anhui Agricultural University. [吴书侠, 2009. 黄粉虫饲养条件优化和营养物质含量研究. 硕士学位论文. 合肥: 安徽农业大学.]
- Wang CZ, 1997. Effects of gossypol and tannic acid on the growth and digestion physiology of cotton bollworm larvae. *Acta Phytophylacica Sinica*, 24(1): 13–18. [王琛柱, 1997. 棉酚和单宁酸对棉铃虫幼虫生长和消化生理的影响. *植物保护学报*, 24(1): 13–18.]
- Wang CZ, Qin JD, 1996. Partial characterization of protease activity in the midgut of *Helicoverpa armigera* larvae. *Acta Entomologica Sinica*, 39(1): 7–13. [王琛柱, 钦俊德, 1996. 棉铃虫中肠主要蛋白酶活性的鉴定. *昆虫学报*, 39(1): 7–13.]
- Wang SG, Zhou Y, Feng LP, 2008. Food consumption, growth and activity of digestive enzymes of *Catantops pinguis* (Stal) fed on different diets under three temperatures. *Acta Phytophylacica Sinica*, 35(1): 1–6. [王世贵, 周莹, 冯利苹, 2008. 温度和食物种类对红褐斑腿蝗取食、生长及肠道消化酶活性的影响. *植物保护学报*, 35(1): 1–6.]
- Wu SX, Lin HF, Li MY, Tang XK, 2009. Determination of some important technique parameters in the courses of breeding *Tenebrio molitor*. *Journal of Economic Animal*, 13(1): 28–31. [吴书侠, 林华峰, 李茂业, 唐小康, 2009. 黄粉虫饲养中几个重要技术参数的测定. *经济动物学报*, 13(1): 28–31.]
- Xiao YP, Zhou ZJ, Yang W, Du KS, 2003. The effects of different ecological factors on rearing efficiency of *Tenebrio molitor* L. *Acta ecologica Sinica*, 23(4): 673–680. [肖银波, 周祖基, 杨伟, 杜开书, 2003. 饲养条件对黄粉虫生长及存活的影响. *生态学报*, 23(4): 673–680.]
- Xie BL, 1994. Study on nutrients components of *Tenebrio molitor*. *Entomological Knowledge*, 31(3): 175–176. [谢保令, 1994. 黄粉虫营养成分的分析研究. *昆虫知识*, 31(3): 175–176.]
- Xie XS, 2011. The analyses of antimicrobial activity and Tricine-SDS-PAGE about antimicrobial peptides from immune *Tenebrio molitor* induced by different microbial treatments. Master thesis. Baoding: Hebei Agricultural University. [谢咸升, 2011. 不同菌源诱导免疫的黄粉虫抗菌肽抑菌活性及其 Tricine-SDS-PAGE 分析. 硕士学位论文. 保定: 河北农业大学.]