

饲料氨基酸对褐飞虱及其蜜露游离氨基酸的影响

傅强^{1,2} 张志涛¹ 胡萃² 朱智伟¹ 赖凤香¹

(¹ 中国水稻研究所, 浙江 杭州 310006; ² 浙江大学 农业与生物技术学院, 浙江 杭州 310029)

Effects of Dietary Amino Acids on Free Amino Acid Pools in the Body and Honeydew of the Brown Planthopper, *Nilaparvata lugens*

FU Qiang^{1,2}, ZHANG Zhi-tao¹, HU Cui², ZHU Zhi-wei¹, LAI Feng-xiang¹

(¹ China National Rice Research Institute, Hangzhou 310006, China; ² College of Agriculture and Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Abstract: Effects of dietary amino acids on free amino acid pools of the brown planthopper (BPH), *Nilaparvata lugens* (Stal), were investigated by analyzing both body and honeydew of the insects reared on chemically defined diets with different amino acid profiles. The results were showed as follows: 1) Free amino acid pools in the body of BPH were influenced significantly by diets. Although Met increased, the total quantity of free amino acids in BPH ingesting none of amino acids (NEAA-BPH) declined to 63.2% of that in BPH ingesting both essential amino acids (EAAs) and nonessential ones (NEAAs) (EAANEAA-BPH). Furthermore, Val, Thr, Ile, Leu, Lys, and Cys decreased markedly. Whereas in BPH kept on diet with only NEAAs (NEAA-BPH), Thr and His were significantly higher than those in EAANEAA-BPH. And Ile, Phe and Arg also had the same concentration as those in the latter. The concentration of Val in NEAA-BPH was markedly lower than that in EAANEAA-BPH, but was similar to that in BPH ingesting only EAAs. Met, Lys and Leu in NEAA-BPH were as low as or even significantly lower than those in NEAA-BPH. 2) The composition of free amino acids in honeydew depended on diet on which BPH was reared. However, the relative concentration of amino acids in honeydew was different from those in diets, and some amino acids not existed in diet were detected in honeydew. It was suggested that six EAAs, i. e. Thr, His, Ile, Phe, Arg and Val, could be synthesized even if BPH could only ingested NEAAs.

Key words: *Nilaparvata lugens*; chemically defined diet; amino acid; honeydew

摘要: 利用氨基酸组成不同的全纯人工饲料对褐飞虱 (*Nilaparvata lugens*) 成虫进行饲养, 研究了饲料氨基酸对该虫及其蜜露中游离氨基酸的影响。结果表明: 1) 饲料对试虫体内游离氨基酸有明显影响。在不能摄入任何氨基酸的试虫体内, 游离氨基酸总量降至可以获得全部氨基酸的试虫的 63.2%, 其中缬氨酸、苏氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸和半胱氨酸下降明显, 但蛋氨酸增多。在仅能摄取到非必需氨基酸的试虫体内, 蛋氨酸、赖氨酸和亮氨酸的含量与不能摄取到任何氨基酸的试虫处在同一水平, 甚至明显低于后者; 苏氨酸和组氨酸则明显高于可以获得全部氨基酸的试虫, 异亮氨酸、苯丙氨酸和精氨酸亦达到了后种试虫的含量水平, 缬氨酸的含量虽然低于后者, 但与仅能摄取到必需氨基酸的试虫处在同一水平。2) 蜜露中的游离氨基酸组成基本与饲料内的相一致, 但相对含量有较大差别, 而且少数不存在于饲料中的氨基酸可以在蜜露中检测到。文中对必需氨基酸的补偿代谢进行了讨论, 初步认为褐飞虱体内至少可以合成苏氨酸、组氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、精氨酸和缬氨酸等 6 种必需氨基酸。

关键词: 褐飞虱; 全纯饲料; 氨基酸; 蜜露

中图分类号: Q965.8; S433.3

文献标识码: A

文章编号: 1001-7216(2001)04-0298-05

氨基酸是昆虫生命活动所需的最基本营养物质之一^[1]。昆虫对不同氨基酸的需求有所不同, 其中, 有些氨基酸可以由虫体自身转化和合成, 是非必需氨基酸 (nonessential amino acid, 简称 NEAA); 另一些氨基酸则必需从食物中摄取才能满足昆虫正常生命活动所需, 是必需氨基酸 (essential amino acid, EAA)。多数昆虫对氨基酸的需求与鼠类相同, 即必需精氨酸 (Arg)、组氨酸 (His)、赖氨酸 (Lys)、亮氨

酸 (Leu)、异亮氨酸 (Ile)、蛋氨酸 (Met)、苏氨酸 (Thr)、缬氨酸 (Val)、苯丙氨酸 (Phe) 和色氨酸 (Trp) 等 10 种氨基酸, 但同翅目昆虫对氨基酸的需

收稿日期: 2001-02-12; 修改稿收到日期: 2001-03-19。

基金项目: 国家攀登计划项目 (85-31); 国家自然科学基金资助项目 (39900092); 农业部水稻生物学重点实验室开放课题资助项目。

第一作者简介: 傅强 (1968-), 男, 博士, 副研究员。

求明显不同,其必需的氨基酸种类明显较少^[2]。如:桃蚜仅必需 Met、His 和 Ile^[3],棉蚜、灰飞虱亦只必需 Met 和 Cys^[4, 5]。

褐飞虱 (*Nilaparvata lugens*) 是我国稻作生产上的主要害虫,属同翅目飞虱科。研究该虫的氨基酸需求及其机制,对明确褐飞虱与水稻的相互关系,阐明水稻的抗虫机制,指导抗虫育种具有重要意义。业已明确,该虫对氨基酸的需求具有一般同翅目昆虫的特点,即所需的必需氨基酸种类较少。Koyama^[6]报道,包括前述 10 种必需氨基酸在内的各氨基酸均非该虫完成若虫期发育所必需。我们通过连续 2 个世代的系统观察进一步明确:10 种必需氨基酸中无一为褐飞虱完成 1 个完整世代(包括卵期、若虫期与成虫期)的发育所必需,完成连续 2 个世代的发育亦仅有 4 种(Met、Lys、Ile、Trp)为必需(待发表)。这表明褐飞虱体内应存在代谢生成必需氨基酸的能力,虽然前人认为这与共生酵母菌有关^[6, 7],并已证实共生酵母菌与褐飞虱对必需氨基酸的需求有关^[8],但是迄今尚无有关褐飞虱体内必需氨基酸补偿代谢的研究报道。

昆虫体内的游离氨基酸除了与从食物中的摄入量有关之外,主要取决于体内有关氨基酸的代谢生成(如由蛋白质降解或其他氨基酸转化合成)及消耗利用。基于此,本文拟通过对饲养于氨基酸组成不同的全纯人工饲料上的褐飞虱成虫进行研究,就不同营养条件下褐飞虱体内与蜜露中游离氨基酸进行分析,以期揭示出该虫体内必需氨基酸的补偿代谢情况。

1 材料与amp;方法

1.1 全纯人工饲料与试虫饲养

参照 D-97 饲料^[9]配制 5 种氨基酸组成成分不同(其余组分均与 D-97 相同)的全纯人工饲料(表 1)。取连续饲养于 TN1(常用水稻感虫对照品种)上的第 15 代褐飞虱初羽化雌虫(<24 h)作为供试昆虫,按下述方法饲养于上述 5 种饲料上,以控制试虫所能摄取的氨基酸营养。试虫先在长 15 cm、直径 2.5 cm 的双通玻璃管中预饲养 4 d。该玻璃管的一端为饲料室,由双层 Parafilm 夹持饲料液滴而成,需每天更换;另一端用 80 目的尼龙纱扎紧。每管接虫量为 10~12 头。4 d 之后,试虫移入直径 2.5 cm、高 3.0 cm 的玻璃杯中,饲料室(含与前 4 d 相同的

表 1 5 种褐飞虱全纯饲料的氨基酸含量¹⁾

Table 1. Contents of amino acids in five holidic diets for *N. lugens*¹⁾.

氨基酸 ²⁾ Amino acid ²⁾	饲料 Diet ×10 ⁻² mmol/mL				
	D1	D2	D3	D4	D5
精氨酸 Arg	0.744	0	0	0	1.635
组氨酸 His	0.144	0	0	0	0.316
异亮氨酸 Ile	0.682	0	0	0	1.497
亮氨酸 Leu	1.363	0	0	0	2.995
赖氨酸 Lys	0.816	0	0	0	1.792
蛋氨酸 Met	0.349	0	0	0	0.743
苯丙氨酸 Phe	0.902	0	0	0	1.982
苏氨酸 Thr	1.001	0	0	0	2.198
色氨酸 Trp	0.383	0	0	0	0.841
缬氨酸 Val	1.908	0	0	0	4.191
丙氨酸 Ala	1.087	0	0	2.029	0
天冬酰胺 Asn	1.297	0	0	2.421	0
天冬氨酸 Asp	0.564	0	1.299	1.053	0
半胱氨酸 Cys	0.492	0	0	0.660	0
胱氨酸 Cyss	0.062	0	0	0.083	0
谷氨酸 Glu	1.275	0	2.701	2.380	0
谷氨酰胺 Gln	1.223	0	0	2.284	0
甘氨酸 Gly	0.298	0	0	0.556	0
脯氨酸 Pro	0.653	0	0	1.219	0
丝氨酸 Ser	2.836	0	0	5.294	0
酪氨酸 Tyr	0.041	0	0	0.077	0
γ-氨基丁酸 γ-GABA	0.072	0	0	0.135	0
总量 Total	18.191	0	4.000	18.191	18.191

¹⁾各饲料的其余组分同 D-97^[9],包括:维生素 0.24%、无机盐 0.71%、蔗糖 9.0%,pH 值为 6.8。

²⁾前 10 种氨基酸为多数昆虫的必需氨基酸。

¹⁾Other components in 5 diets are the same as those in D-97^[9], including 0.24% vitamins, 0.71% inorganic salts, 9.0% sucrose, pH 6.8.

²⁾The former 10 amino acids represented the essential ones for most insects. GABA—Amino butyric acid.

饲料)固着于杯口,每管接虫量为 7 头。24 h 后,取杯中活虫及蜜露用于游离氨基酸分析。

1.2 样品的制备与游离氨基酸分析

1.2.1 试虫样品的制备

将上述活试虫移入 1.5 mL 离心管,加 300 μL 2% 磺基水杨酸水溶液,用微型匀浆器将虫体研碎、匀浆,再取 600 μL 2% 磺基水杨酸液洗涤匀浆器,并同一离心管中。在 10000 r/min 下离心 10 min,小心吸取上清液供分析。

1.2.2 蜜露样品的制备

玻璃杯中的蜜露于 40℃ 吹干后,加 900 μL 2% 的磺基水杨酸水溶液溶解游离氨基酸,直接用于分析。

1.2.3 游离氨基酸的分析

委托农业部稻米及制品质量监督检验测试中心分析,采用日立 835-50 型氨基酸自动分析仪进行测试

定,每处理重复 3 次。

2 结果与分析

2.1 对虫体游离氨基酸的影响

饲料氨基酸组成对试虫体内的游离氨基酸有明显影响(表 2)。不同处理试虫之间,除游离氨基酸总量差异极显著($P < 0.01$)之外,所分析的 17 种氨基酸中,9 种必需氨基酸(全部)和 4 种非必需氨基酸(Pro、Cys、Glu 和 Ala)均受到显著影响($P < 0.05$),尤以 Glu、Pro、Thr 和 Val 的变化最为突出,前 3 种氨基酸在只能从食物中摄入非必需氨基酸(D4、D3)的试虫体内明显增高,Val 则在只能摄取到部分氨基酸(D3、D4、D5)或不能摄取到任何氨基酸(D2)的试虫体内明显较低。

在 D2 试虫体内,虽然 Met 上升,但游离氨基酸总量下降到 D1 试虫的 63.2%,其中 Val、Thr、Ile、Leu、Lys 和 Cys 明显减少。

以 D1 试虫和 D2 试虫为参照,从只能摄取到部分氨基酸(D3、D4 和 D5)的试虫体内游离氨基酸的浓度水平(表 3)可以进一步看出:1)部分不能从饲料摄入的氨基酸仍能维持在 D1 试虫的含量水平,甚至明显高于该水平,包括:仅能摄取到非必需氨基酸的 D4 试虫体内的 Thr、His、Ile、Phe 和 Arg,仅能摄取 Asp 和 Glu 两种非必需氨基酸的 D3 试虫体内的 Pro、Thr、His 和 Ile,仅能摄取到必需氨基酸的 D5 试虫体内的 Tyr、Glu、Ala 和 Pro。显然,这些氨基酸是在褐飞虱体内通过代谢补偿生成的。2)部分可以从饲料中摄入的氨基酸的含量只能达到 D2 试虫的水平,甚至还低于 D2 试虫,较为典型的是 D4 试虫的 Cys 和 Tyr、D5 试虫的 Val,表明这些氨基

表 2 褐飞虱取食不同饲料时体内的游离氨基酸含量¹⁾

Table 2. Contents of free amino acids in *N. lugens* reared on the diets with different amino acid profile¹⁾. nmol/individual

氨基酸 Amino acid	饲料 Diet				
	D1	D2	D3	D4	D5
精氨酸 Arg	34.2 b	22.8 b	23.9 b	39.0 ab	51.1 a
组氨酸 His	14.6 c	11.4 c	16.8 bc	21.1 ab	23.5 a
异亮氨酸 Ile	3.5 a	2.1 b	3.4 a	3.5 a	3.5 a
亮氨酸 Leu	4.2 a	2.8 b	2.8 b	2.7 b	3.8 ab
赖氨酸 Lys	7.9 b	3.7 c	3.3 c	4.3 c	11.7 a
蛋氨酸 Met	T ²⁾ c	1.6 b	T ²⁾ c	T ²⁾ c	4.1 a
苯丙氨酸 Phe	1.6 a	1.1 a	T ²⁾ b	1.5 a	1.2 a
苏氨酸 Thr	26.9 b	13.7 c	26.5 b	74.1 a	28.5 b
缬氨酸 Val	51.9 a	27.4 b	15.8 c	33.3 b	34.0 b
丙氨酸 Ala	41.4 b	34.4 b	36.3 b	52.8 a	40.6 b
天冬氨酸 Asp	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
半胱氨酸 Cys	2.2 a	T ²⁾ b	T ²⁾ b	T ²⁾ b	T ²⁾ b
谷氨酸 Glu	25.9 bc	17.6 c	28.3 b	44.5 a	23.5 bc
甘氨酸 Gly	12.1	5.7	7.0	10.3	5.4
脯氨酸 Pro	34.2 bc	21.6 c	47.5 ab	58.7 a	36.2 bc
丝氨酸 Ser	11.1	4.7	5.1	11.7	5.5
酪氨酸 Tyr	7.6	6.2	5.6	4.9	7.5
氨 NH ₃	14.3 ab	7.2 b	8.8 b	21.8 a	10.2 b
总量 Total	293.7 b	183.9 c	231.4 bc	384.3 a	290.4 b

¹⁾同一行中相同英文字母表示在显著水平 0.05 下无显著差异(Duncan 氏多重比较);

²⁾微量,统计分析时计为零。

¹⁾Means within a row followed by a same letter showed no significant difference by DMRT at the 0.05 level.

²⁾Trace, regarding as zero in statistical analysis.

酸在体内被较多地利用。

试虫体内还存在氨基酸代谢产物——游离态氨(NH₃),其含量在不同试虫间差异显著($P < 0.05$)(表 2),其中 D4 试虫含量最高,明显高于 D2、D3 和试虫,进一步反映出饲料对褐飞虱体内氨基酸代谢有明显影响。然而,从氮所占含氮化合物的比例来

表 3 褐飞虱在只提供部分氨基酸的 3 种饲料上体内游离氨基酸的浓度水平

Table 3. Amount of amino acids in *N. lugens* reared on the diets containing partial amino acids.

饲料 Diet	是否可从 饲料摄取 Ingested from diets or not	与 D1、D2 试虫相比的浓度水平 Comparison with <i>N. lugens</i> reared on D1 and D2			
		明显高于 D1 试虫 Significantly higher than D1 insects	与 D1 试虫持平 At the same level as D1 insects	与 D2 试虫持平 At the same level as D2 insects	明显低于 D2 试虫 Significantly lower than D2 insects
D3	是 Yes		Glu		
	否 No		Pro, Thr, His, Ile	Tyr, Ser, Gly, Ala, Cys, Leu, Lys, Arg	Val, Phe, Met
D4	是 Yes	Glu, Pro, Ala	Ser, Gly	Tyr, Cys	
	否 No	Thr, His	Ile, Phe, Arg	Leu, Lys, Val	Met
D5	是 Yes	Met, Lys, His, Arg	Thr, Ile, Leu, Phe	Val	
	否 No		Tyr, Glu, Ala, Pro	Ser, Gly, Cys	

D5 看, 各组试虫间差异不明显 ($P > 0.05$), D1、D2、D3、D4 和 D5 试虫分别为 4.8%、3.9%、3.9%、5.6% 和 3.5%, 表明褐飞虱体内游离态氮的相对含量较为稳定。

2.2 对蜜露游离氨基酸的影响

蜜露游离氨基酸的组成与相应饲料基本一致 (表 4)。例如, 在仅能摄取 Glu 和 Asp 的 D3 试虫的蜜露中, 仅有 Glu 和 Asp 两种氨基酸; 仅能摄取 10 种必需氨基酸的 D5 试虫的蜜露中, 必需氨基酸占 97.1%。

然而, 蜜露游离氨基酸与相应饲料也存在明显不同, 主要表现在两方面: 其一, 少数饲料中不存在的氨基酸可以在蜜露中检测到。值得注意的是, 仅能摄入非必需氨基酸的 D4 试虫可以泌出微量的必需氨基酸 (Thr 和 Val)。其二, 对存在于饲料的氨基酸而言, 其在蜜露中的含量与饲料存在较大的差别。如 D4 饲料的氨基酸在 D4 试虫蜜露中含量很低, 甚至检测不到; 又如 D1 试虫蜜露中 Pro、Lys、Ala、His、

Cys 和 Arg 等的相对含量明显较低, 有的甚至不能检测到。反映出褐飞虱对不同氨基酸的吸收似有所不同。

各类试虫均能排出游离氮, 其排出量因不同试虫而异。其中, D5 试虫排出最多, D4 试虫次之, 此后依次是 D1、D2 和 D3 试虫 (表 4), 这应与试虫体内氮素废物的多少有关, 其结果是虫体内游离氮的相对浓度能维持在一个较为稳定的水平。

3 讨论

研究饲料对昆虫及其蜜露中游离氨基酸的影响, 是阐明昆虫体内氨基酸代谢规律的一种有效方法, 前人曾作过一些探索^[10]。就同翅目昆虫而言, 桃蚜 *Myzus persicae* 取食不含氨基酸的蔗糖饲料 2 d 后, 体内游离氨基酸的总量降到了正常水平的 50%~70%, 但 Thr 维持不变, 而 Cys 升高 10 倍; 进一步饲养发现含氮产物大量聚集, 推测其可能来源于组织的降解^[11]。

表 4 取食不同饲料的褐飞虱蜜露中游离氨基酸的含量¹⁾

Table 4. Free amino acids in honeydew produced by *N. lugens* reared on the diets with various amino acid profile¹⁾. nmol/(individual · d)

氨基酸 Amino acid	饲料 Diet				
	D1	D2	D3	D4	D5
精氨酸 Arg	1.9 a	0.0	0.0	0.0	15.1 a
组氨酸 His	0.3 a	0.0	0.0	0.0	0.7 a
异亮氨酸 Ile	7.6 a	0.0	0.0	0.0	27.8 a
亮氨酸 Leu	15.1 a	0.0	0.0	0.0	56.4 a
赖氨酸 Lys	0.0 a	0.0	0.0	0.0	10.3 a
蛋氨酸 Met	1.5 a	0.0	0.0	0.0	10.6 a
苯丙氨酸 Phe	14.0 a	0.0	0.0	0.0	16.2 a
苏氨酸 Thr	7.6 a	0.0	0.0	T ²⁾	35.8 a
缬氨酸 Val	16.4 b	0.0	0.0	T ²⁾	85.4 a
丙氨酸 Ala	0.5 a	0.0	0.0	0.0 a	T ²⁾
天冬氨酸 Asp	12.7 a	0.0	7.7	1.2 b	0.0
半胱氨酸 Cys	1.2 a	0.0	0.0	T ²⁾ a	0.0
谷氨酸 Glu	22.4 a	0.0	11.2	2.8 b	4.8
甘氨酸 Gly	2.8 a	0.0	0.0	T ²⁾ b	T ²⁾
脯氨酸 Pro	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
丝氨酸 Ser	13.6 a	0.0	0.0	T ²⁾ b	0.0
酪氨酸 Tyr	3.5 a	0.0	0.0	0.0 b	3.0
氨 NH ₃	12.4 c	4.3 c	5.2 c	28.0 b	67.6 a
总量 Total	133.3 b	4.3 b	24.1 b	32.0 b	333.6 a

¹⁾同一行中相同英文字母表示差异不显著 ($P > 0.05$), 其中, 非必需氨基酸仅在 D1 与 D4 试虫间对比 (t 测验), 必需氨基酸仅在 D1 与 D5 试虫间对比 (t 测验), NH₃ 与总量在全部 5 种试虫间对比 (Duncan 氏多重比较)。

²⁾微量, 统计分析时计为零。

¹⁾Means within a row followed by a same letter showed no significant difference at the level of 0.05 (difference between D1 and D4 for nonessential amino acids and between D1 and D5 for essential amino acids were compared by t -test; total nitrogenous compounds and NH₃ were compared among 5 diets by DMRT).

²⁾Trace, regarding as zero in statistical analysis.

本文利用全纯人工饲料对褐飞虱氨基酸补偿代谢进行了研究。一方面,在不能摄取到任何氨基酸的D2饲料上,褐飞虱体内游离氨基酸的总量下降,这与桃蚜相似,但未发现含氮产物大量积累的现象,而且排出的含氮产物亦很少,可推测其体内由组织降解产生的氨基酸应较少。另一方面,在仅提供非必需氨基酸的试虫体内(D4试虫),Thr、His、Ile、Phe和Arg等必需氨基酸的含量与能获得全部氨基酸的D1试虫处于同一水平,甚至明显高于后者,其中Thr还可以在蜜露中检测到;Val的含量虽然低于后者,但却达到了可以且只能获取到全部必需氨基酸的D5试虫的含量水平,同时也可以从蜜露中检测到。显然,褐飞虱体内利用非必需氨基酸补偿生成上述6种必需氨基酸的代谢作用较为明显。

然而,Lys和Leu这2种必需氨基酸只有当它们存在于饲料中时(D1、D5),试虫体内的含量才高出D2试虫,Met则只有在D5试虫体内才高出D2试虫,至少可以认为,在仅有非必需氨基酸的情况下,这3种必需氨基酸的补偿作用不明显。其中Met在D1试虫体内也仅微量存在,表现出明显的供不应求。

当然,昆虫本身一般不存在合成必需氨基酸的能力,褐飞虱体内对必需氨基酸的合成可能归因于其体内的共生菌。业已证明,上述6种有明显补偿作用的必需氨基酸中,除Arg外均与共生酵母菌有关^[8]。Arg虽与共生酵母菌无关,但可能与其他类共生菌有关^[8]。与共生酵母菌有关的Lys和Leu^[8]并无明显的补偿作用,则可能是因为本文结果是在仅提供非必需氨基酸的营养条件下得到的,可用于氨基酸合成的“原料”较少。

研究中还发现,虽然Asp在取食含有该氨基酸的饲料的试虫蜜露中均能检测到,但均未能能在所有试虫体内检测到,是否与其在体内的大量利用或存在形式(如与其他氨基酸形成肽)有关,需作进一步研究。

本文结果还与褐飞虱对氨基酸的需求特征(待发表)基本一致。Met和Lys的补偿作用最不明显,它们同时也是对褐飞虱生长发育影响最大的两种氨基酸;而其他明显可以在体内合成的必需氨基酸对生长发育的影响相对较小,其中,合成作用相对明显

的Thr和His对生长发育的影响程度相应地小于合成能力相对较弱的Ile和Arg。然而,虽然Thr和His在褐飞虱体内可由非必需氨基酸合成,其含量甚至还高于取食全组分饲料的试虫,但有关营养需求的研究表明,其缺少仍显著抑制褐飞虱的生长发育,这可能与其补偿生成需要付出一定的代价(如能量损耗)有关。有明显合成作用的Ile仍为连续2个世代的发育所必需,其原因也可能在于此。

参考文献:

- 1 Blum M B. Fundamentals of Insect Physiology[M]. New York: John Wiley & Sons, 1985
- 2 Dadd R H. Nutrition: organisms[A]. In: Kerkut G A, Gilbert L I. Comprehensive Insect Physiology, Biochemistry and Pharmacology. Vol. 4. Regulation: Digestion, Nutrition, Excretion [C]. Oxford: Pergamon Press, 1985. 313~390
- 3 Dadd R H, Kreiger D L. Dietary amino acid requirements of the aphid, *Myzus persicae* [J]. *J Insect Physiol*, 1968, 14: 741~764
- 4 Turner R B. Dietary amino acid requirements of the cotton aphid, *Aphis gossypii*; the sulphur-containing amino acids[J]. *J Insect Physiol*, 1971, 17: 2451~2456
- 5 Koyama K, Mitsuhashi J. Essential amino acids for growth of the smaller brown planthopper, *Laodelphax striatellus* Fallen (Hemiptera: Delphacidae)[J]. *Jap J Appl Entomol Zool*, 1975, 10: 208~215
- 6 Koyama K. Nutritional physiology of the brown rice planthopper, *Nilaparvata lugens* Stal (Hemiptera: Delphacidae). II. Essential amino acids for nymphal development[J]. *Appl Entomol Zool*, 1985, 20: 424~430
- 7 Koyama K. Artificial Rearing and nutritional physiology of the planthoppers and leafhoppers on a holidic diet[J]. *JARQ*, 1988, 22: 20~27
- 8 傅强,张志涛,胡萃,等. 褐飞虱的氨基酸需求与体内共生酵母菌的关系[J]. 昆虫学报, 2001(待发表)
- 9 Fu Qiang, Zhang Zhitao, Hu Cui, et al. A chemically defined diet enables the continuous rearing of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stal) (Homoptera: Delphacidae)[J]. *Appl Entomol Zool*, 2001, 36 (in press)
- 10 Chen P S. Amino acid and protein metabolism[A]. In: Kerkut G A, Gilbert L I. Comprehensive Insect Physiology, Biochemistry and Pharmacology. Vol. 10. Biochemistry [C]. Oxford: Pergamon Press, 1985. 177~217
- 11 Strong F E. The effects of nitrogen starvation on the concentration of free amino acids in *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphidae)[J]. *J Insect Physiol*, 1964, 10: 519~523