

二斑叶螨及其寄主植物（芸豆）营养分析*

何永娟** 贾冰红 吕佳乐 王恩东 徐学农***

(中国农业科学院植物保护研究所, 农业部作物有害生物综合防治重点实验室, 北京 100193)

摘要 【目的】研究二斑叶螨 *Tetranychus urticae* 在生长发育和繁殖中对食物的营养需求, 为其人工饲料研发提供理论依据。【方法】针对正常取食的二斑叶螨与饥饿 24 h 的二斑叶螨、新鲜芸豆叶片与被害芸豆叶片、新鲜芸豆叶片与新鲜芸豆叶片汁液, 比较了其营养成分含量差异。【结果】饥饿 24 h 的二斑叶螨相比于正常取食的, 其体内总蛋白含量显著增加 (12.06%), 丙氨酸的含量显著减少 (9.82%), 而糖类和维生素类变化不显著。被害芸豆叶片相比于新鲜芸豆叶片, 其蛋白质 (49.74%)、脯氨酸 (42.26%)、维生素 B₁ (23.36%) 的含量显著减少, 而糖类的变化不显著。新鲜芸豆叶片汁液相比于新鲜芸豆叶片, 10 种必需氨基酸中有 8 种显著减少, 其中下降最多的为赖氨酸 (38.46%), 8 种非必需氨基酸中有 7 种显著减少, 其中下降最多的为半胱氨酸 (66.67%), 维生素 B₁ 在汁液中的含量低于定量限 0.10 mg/100 g, 未检出, 维生素 E (45.00%)、B₂ (27.78%)、B₆ (34.30%)、B₁₂ (56.79%) 及烟酸 (27.43%) 显著减少, 微量元素钾 (12.25%)、镁 (15.60%)、锰 (27.33%) 这 3 种均存在显著减少, 而蛋白质、脂肪和糖类含量变化均不显著。【结论】二斑叶螨在芸豆叶片中摄取的营养物质主要有蛋白质、丙氨酸、脯氨酸、维生素 B₁。汁液相比于叶片部分氨基酸类、维生素类、微量元素类的含量均存在显著性差异。

关键词 二斑叶螨; 芸豆; 叶片; 汁液; 营养成分

Analyses of the nutritional requirements of *Tetranychus urticae*

HE Yong-Juan** JIA Bing-Hong LÜ Jia-Le WANG En-Dong XU Xue-Nong***

(Key Laboratory of Integrated Pest Management in Crops, Ministry of Agriculture, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract [Objectives] To clarify the nutritional requirements of *Tetranychus urticae* during growth and reproduction in order to develop an artificial diet for this species. [Methods] We compared the main nutritional contents of *T. urticae* that had either been raised on natural foods, starved for 24 h, or fed on fresh bean leaves, damaged bean leaves or fresh bean leaves and fresh bean leaf juice. [Results] The protein content of *T. urticae* that had been starved for 24 h increased significantly (12.06%) whereas their alanine content decreased by 9.82%. There was no significant difference in the sugar and vitamin content of starved and fed individuals. The protein, proline and vitamin B₁ content of bean leaves was 49.74%, 42.26%, 23.36% less, respectively, in damaged than in fresh bean leaves. There was no significant difference in the leaf sugar content of damaged and undamaged leaves. Eight of 10 essential amino acids were significantly less abundant in leaf juice than in leaves. Of these, lysine decreased the most (38.46%). Seven of 8 non-essential amino acids were also significantly less abundant in leaf juice than in leaves. Of these, cysteine decreased the most (66.67%). Vitamin B₁ content was lower than the limit of quantification (0.10 mg/100 g) and was not detected in leaf juice. Vitamins E, B₂, B₆, B₁₂ and nicotinic acid were 45.00%, 27.78%, 34.30%, 56.79%, 27.43% less abundant, respectively, in leaf juice than in leaves, and K, Mg and Mn concentrations were respectively 12.25%, 15.60%, 27.33% lower in leaf juice than in leaves. [Conclusion] Protein, alanine, proline and vitamin B₁ are the main nutrients obtained by *T. urticae* from bean leaves. Significant differences among some

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划 (2017YFD0201000; 2017YFD0200400); 中国农业科学院和山东省农业科学院协同创新项目“区域农业绿色发展关键技术与集成示范”; 现代农业产业技术体系北京叶类蔬菜创新团队 (BAIC07-2019)

**第一作者 First author, E-mail: 1553590370@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: xuxuenong@caas.cn

收稿日期 Received: 2019-04-13; 接受日期 Accepted: 2019-6-20

amino acids, vitamins and trace elements were observed between bean leaves and leaf juice.

Key words *Tetranychus urticae*; *Phaseolus vulgaris*; leaves; bean leaf juice; nutrient contents

二斑叶螨 *Tetranychus urticae* Koch 是农林作物上的一种重要害螨,同时也是专食性捕食螨在室内规模化饲养的重要猎物之一。目前规模化饲养专食性捕食螨的模式只有植物-叶螨-捕食螨,应用这种模式进行规模化生产费时、费力、成本高,目前没有一种可替代猎物或人工饲料能够成功应用于专食性捕食螨的饲养上(McMurtry and Scriven, 1964; 徐学农和王恩东, 2007; 张宝鑫等, 2007)。相比之下,其猎物二斑叶螨的食性较广,如能研发出人工饲料,在一定程度上,也能够间接的实现降低专食性捕食螨的饲养成本。

然而,成功开发出二斑叶螨人工饲料也非常困难。以一些早期研究(Rodriguez and Hampton, 1966; Geest *et al.*, 1983)提出的配方配制人工饲料,二斑叶螨仅能完成一代左右的生命周期,不能连代饲养。近几年也有一些研究者进行了二斑叶螨人工饲料的研究(Jonckheere *et al.*, 2016; Suzuki *et al.*, 2017; Jonckheere *et al.*, 2018),但都是以实验为目的,只在室内维持其短暂的生活史。虽然叶螨能够在数千种植物物种上完成它们的生活史,但是即使添加叶子提取物也很难配制一种良好的人工饲料。总之,到目前为止,仍没有有效的人工饲料可以使二斑叶螨完成其生命周期并建立种群。

二斑叶螨作为一种食性复杂的有害生物,不同寄主植物所含的营养成分和质量不同,对二斑叶螨的生长发育和生殖能力有一定的影响。Greco 等(2006)测试了草莓、洋葱、韭葱和欧芹这些寄主植物在对二斑叶螨的繁殖力和存活率方面表现的适宜性,结果表明,二斑叶螨在草莓和欧芹上的产卵量最高,且雌螨更偏向于定居在这两种作物上,而在洋葱和韭葱上的产卵量较低。Elsadany(2018)研究发现,在二斑叶螨取食的甘薯叶、桑叶、蓖麻子 3 种寄主植物中,氮、磷、钾和总叶绿素的浓度存在显著性差异,其中在甘薯中,寿命与氮含量存在显著性的正相关。综上,食物中所含的营养物质种类及其含量的多

少都会影响二斑叶螨的发育和繁殖,因此,了解二斑叶螨嗜食的寄主植物(如大家常用的芸豆)的营养,有助于分析二斑叶螨生长发育和繁殖中所需的关键营养因子和含量。

本文测定了同等重量下,新鲜叶片和被害叶片与正常叶螨和饥饿叶螨中的营养成分差异,后期又详细测定了大量新鲜叶片和叶片汁液样品的营养成分含量差异。以此来推测二斑叶螨所摄取的营养成分,对配制理想的人工饲料奠定基础。

1 材料与方法

1.1 供试材料

二斑叶螨:起始种群由南京农业大学洪晓月教授提供,后在中国农业科学院植物保护研究所捕食螨组实验室内盆栽的芸豆苗上饲养多代。

芸豆叶片:来自于中国农业科学院植物保护研究所捕食螨组,种植于室内的盆栽芸豆苗 *Phaseolus vulgaris* L.

1.2 二斑叶螨和芸豆叶片含水量的测定

取正常取食和饥饿 24 h 的二斑叶螨雌成螨,采用微量天平(METTLER TOLEDO, XP2U)称取鲜重,然后放入烘干箱烘 10 h,最后取出称取干重,计算含水量。每个处理 10 头二斑叶螨雌成螨,各重复 55 次。

取同一批次种植生长一周左右的新鲜芸豆叶片和被叶螨为害一周左右的芸豆叶片,将叶片剪成 8 cm × 8 cm 的正方形,用天平称取鲜重,然后放入 50 ℃ 烘干箱(上海森信, DGG-9140A)烘 24 h 后,取出称取干重,计算含水量。各重复 20 次。

含水量计算公式:

$$\text{含水量} = \frac{\text{鲜重} - \text{干重}}{\text{鲜重}} \times 100\% \quad (1)$$

1.3 饱食与饥饿二斑叶螨的营养差异

饱食二斑叶螨样品准备:将种群在芸豆苗上

扩繁一周后开始收集,利用二斑叶螨的向上性和耐高温性,将带有二斑叶螨的芸豆叶片剪下放入顶端带有指形管的黑色纱布袋中收集。将收集到的二斑叶螨装在指形管中放入 - 80 的超低温冰箱 (Haier, DW-86L626) 中保存待用。

饥饿的二斑叶螨样品准备:将收集到的二斑叶螨装在指形管中放入人工气候箱(宁波江南仪器厂, RXZ 智能型人工气候箱)中饥饿 24 h 后再放入 - 80 的超低温冰箱中保存待用。

测定正常取食的二斑叶螨、饥饿二斑叶螨中的四大类营养成分(总蛋白、维生素类、糖类、18 种氨基酸)含量,由北京优博奥生物测定有限公司测定。测定的维生素类有维生素 C、维生素 B₁ (硫胺素)、维生素 B₂ (核黄素)、维生素 B₇ (维生素 H)、维生素 B₉ (叶酸)、维生素 B₁₂ (氰钴胺素);糖类有葡萄糖、果糖、蔗糖;氨基酸类有苏氨酸、缬氨酸、甲硫氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、组氨酸、精氨酸、色氨酸 10 种必需氨基酸和天门冬氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、酪氨酸、脯氨酸、半胱氨酸 8 种非必需氨基酸。每种样本测定总量 0.5 g,重复 3 次。总蛋白、维生素类、糖类、18 种氨基酸是通过高效液相色谱法测定,总蛋白含量采用 BCA 法测定。

由于所测的营养成分以重量为单位,而同等重量下饱食与饥饿二斑叶螨所含的个体数不同。因此,根据叶螨含水量的结果,将原始数据折合为单头叶螨所含的营养物质的量。数据折算公式如下:

$$\text{叶螨单头营养含量 (ng/头)} = \text{叶螨单位质量营养含量 (ng/mg)} \times 10^{-3} \times \text{叶螨单头鲜重 (\mu\text{g/头})} \times (1 - \text{叶螨含水量}) \quad (2)$$

1.4 二斑叶螨为害对叶片营养的影响

芸豆叶片样品准备:取同一批次种植、长势相同的两盆芸豆苗(生长一周左右),将其中一盆叶片上均匀地接种二斑叶螨种群,另一盆不接种作为对照。两盆芸豆苗放在生长环境相同的同一温室中,一周后分别收集芸豆叶片(不带任何二斑叶螨)并放入 4 冰箱(Haier, BCD-239SK

DE) 保存待用。

新鲜芸豆叶和被害芸豆叶的营养成分测定的方法同 1.3。

同理,所测的营养成分以重量为单位,而二斑叶螨为害对叶片质量的影响大,对面积的影响小,以单位质量比较营养成分差异与实际同等重量下比较不同,因此,根据叶片含水量的结果,将原始数据折合为单位面积所含的营养物质的量。数据折算公式如下:

$$\text{叶片单位面积营养含量 (ng/cm}^2\text{)} = \text{叶片单位质量营养含量 (ng/mg)} \times \text{叶片鲜重 (mg/cm}^2\text{)} \times (1 - \text{叶片含水量}) \quad (3)$$

1.5 叶片与汁液营养的差异

芸豆叶片制备:取同一批长势相同的新鲜芸豆叶片(生长一周左右)剪下待测。每个样品 300 g,重复 3 次。

芸豆叶片汁液制备:使用多功能榨汁机(Hurom, HU14WN3L)将同一批次的新鲜芸豆叶片(生长一周左右)榨汁,此过程中,一直是低温进行的。将提取物以 4 000 r/min 的离心机(低速台式离心机,DT5-6)离心 10 min,获得上清液,即为待测物,然后放入 4 冰箱待测。每个样品 300 g,重复 3 次。

本次芸豆叶片与芸豆叶片汁液间的营养成分含量是由北京市营养源研究所测定。总共测定了蛋白质、脂肪、糖、18 种氨基酸、维生素、微量元素 6 大类的含量,其中糖类有葡萄糖、果糖、乳糖、蔗糖、麦芽糖。检测氨基酸种类与二斑叶螨营养测定相同。维生素类有维生素 A、维生素 E、维生素 D、维生素 K₁、抗坏血酸、维生素 B₁、维生素 B₂、维生素 B₆、维生素 B₁₂、烟酸、泛酸、叶酸、生物素。微量元素类有钙、铜、铁、钾、镁、锰、钠、锌。检测方法如下表 1。

1.6 数据分析

试验数据用独立样本 *t*-检验比较饱食与饥饿二斑叶螨、新鲜叶片与被害叶片、芸豆叶片与芸豆叶片汁液间营养成分含量的差异 (SPSS21) (显著性水平为 $P < 0.05$)。

表 1 叶片和叶片汁液中营养物质的测定方法
Table 1 Methods used in nutrient content analyses of bean leaves and bean leaf juice

| 检测项目 Test items | 检测依据 Test method | 检测项目 Test items | 检测依据 Test method |
|---|------------------------|---|------------------------|
| 蛋白质 Protein | GB 5009.5-2016 (第一法) | 维生素 B ₁₂ Vitamin B ₁₂ | GB 5413.14-2010 |
| 脂肪 Lipid | GB 5009.6-2016 (第二法) | 烟酸 Niacin | GB 5009.89-2016 (第一法) |
| 葡萄糖 Glucose | GB 5009.8-2016 (第一法) | 泛酸 Pantothenic acid | GB 5009.210-2016 (第一法) |
| 果糖 Fructose | GB 5009.8-2016 (第一法) | 叶酸 Folic acid | GB 5009.211-2014 |
| 乳糖 Lactose | GB 5009.8-2016 (第一法) | 生物素 Biotin | GB 5009.259-2016 |
| 蔗糖 Sucrose | GB 5009.8-2016 (第一法) | 钙 Calcium | GB 5009.268-2016 (第二法) |
| 麦芽糖 Maltose | GB 5009.8-2016 (第一法) | 铜 Copper | GB 5009.268-2016 (第二法) |
| 维生素 A Vitamin A | GB 5009.82-2016 (第一法) | 铁 Iron | GB 5009.268-2016 (第二法) |
| 维生素 E Vitamin E | GB 5009.82-2016 (第一法) | 钾 Potassium | GB 5009.268-2016 (第二法) |
| 维生素 D Vitamin D | GB 5009.82-2016 (第四法) | 镁 Magnesium | GB 5009.268-2016 (第二法) |
| 维生素 K ₁ Vitamin K ₁ | GB 5009.158-2016 (第一法) | 锰 Manganese | GB 5009.268-2016 (第二法) |
| 抗坏血酸 Ascorbic acid | GB 5009.86-2016 (第二法) | 钠 Sodium | GB 5009.268-2016 (第二法) |
| 维生素 B ₁ Vitamin B ₁ | GB 5009.84-2016 (第一法) | 锌 Zinc | GB 5009.268-2016 (第二法) |
| 维生素 B ₂ Vitamin B ₂ | GB 5009.85-2016 (第一法) | 氨基酸 (18 种) Amino acid | GB 5009.124-2016 |
| 维生素 B ₆ Vitamin B ₆ | GB 5009.154-2016 (第二法) | | |

以上检测依据均是根据《食品安全国家标准 食品中各类营养物质含量的测定》。

The above test is based on the "Determination of the Content of Various Nutrients in Foods".

2 结果与分析

2.1 二斑叶螨和芸豆叶片含水量的测定

正常取食与饥饿 24 h 之后的二斑叶螨, 鲜重之间存在显著性差异, 饥饿叶螨减轻的重量占

正常取食叶螨的 17.11%, 而两者之间的干重无明显差异 (图 1:A)。正常取食叶螨的相对含水量为 71.36%, 饥饿 24 h 叶螨的相对含水量为 65.52%, 饥饿 24 h 所丧失的水分占正常取食叶螨水分的 23.97%。

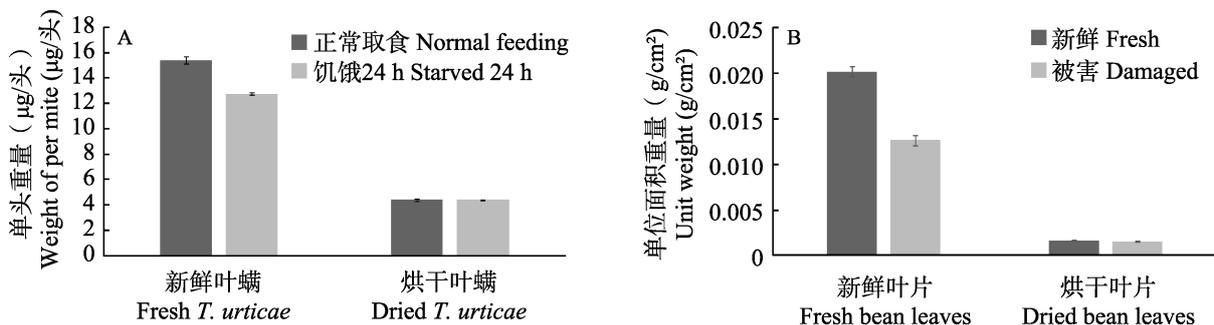


图 1 二斑叶螨和芸豆叶片含水量的测定

Fig.1 Water content in *Tetranychus urticae* and bean leaves

A. 正常取食和饥饿 24 h 的新鲜叶螨和烘干叶螨;

B. 未为害和为害的新鲜叶片与烘干叶片。

A. Fresh or dried *T. urticae* reared on bean plants or starved 24 h;

B. Fresh and dried bean leaves with or without spider mite damage.

新鲜叶片和被害叶片在鲜重之间存在显著性差异，而在干重之间无明显差异（图 1：B），其中新鲜叶片的含水量为 91.85%，被害叶片的含水量为 87.76%，被害叶片丧失的水分占新鲜叶片的 37.46%。

2.2 饱食与饥饿二斑叶螨的营养差异

表 2 为正常取食与饥饿 24 h 二斑叶螨的营养成分含量，其中单头正常取食的二斑叶螨与饥饿二斑叶螨体内的总蛋白的含量具有显著差异性，二斑叶螨饥饿 24 h 后，体内总蛋白的含量

反而增加了 12.06%。

单头饥饿的二斑叶螨与正常取食的二斑叶螨相比，丙氨酸减少了 9.82%，其它 17 种氨基酸的含量均没有显著性变化。

单头二斑叶螨饥饿 24 h 后葡萄糖、果糖、蔗糖的含量均有增加，葡萄糖和蔗糖的含量高，果糖的含量较少，但三者的含量变化均不显著。

单头饥饿二斑叶螨体内的维生素 B₁、B₂ 和 B₇ 的含量较单头正常取食的二斑叶螨均无显著性差异，但是维生素 B₁ 和 B₇ 含量均是增加的。其余维生素在所测样本中含量太低，没有峰值。

表 2 正常取食和饥饿 24 h 二斑叶螨中营养物质的含量 (ng/头)

Table 2 Nutrient contents (ng per mite) of *Tetranychus urticae* reared on bean leaves and starved for 24 h

| 营养物质 Nutrient contents | 正常取食 Normal feeding | 饥饿 24 h Starved 24 h | P 值 P value | 营养物质 Nutrient contents | 正常取食 Normal feeding | 饥饿 24 h Starved 24 h | P 值 P value |
|---------------------------|------------------------|-------------------------|----------------|---|------------------------|-------------------------|----------------|
| 总蛋白 Protein | 910.59±13.67 | 1 020.37±11.12 | < 0.001 | 甲硫氨酸 Met | 2.72±0.10 | 2.63±0.24 | 0.77 |
| 丝氨酸 Lipid | 5.08±0.25 | 5.10±0.11 | 0.97 | 缬氨酸 Val | 4.5±0.14 | 4.43±0.38 | 0.88 |
| 甘氨酸 Gly | 2.86±0.12 | 2.68±0.07 | 0.29 | 酪氨酸 Tyr | 5.74±0.25 | 5.24±0.45 | 0.40 |
| 组氨酸 His | 2.68±0.13 | 2.94±0.11 | 0.20 | 异亮氨酸 Ile | 2.36±0.13 | 2.32±0.28 | 0.91 |
| 苏氨酸 Thr | 3.19±0.12 | 2.93±0.21 | 0.35 | 亮氨酸 Leu | 6.62±0.22 | 6.51±0.50 | 0.86 |
| 谷氨酸 Glu | 10.38±0.24 | 10.45±0.09 | 0.80 | 苯丙氨酸 Phe | 5.36±0.29 | 5.34±0.50 | 0.97 |
| 天门冬氨酸 Asp | 2.25±0.13 | 2.20±0.19 | 0.84 | 色氨酸 Trp | 1.41±0.08 | 1.38±0.17 | 0.89 |
| 丙氨酸 Ala | 8.96±0.22 | 8.08±0.20 | 0.04 | 葡萄糖 Glucose | 0.88±0.13 | 0.93±0.04 | 0.71 |
| 精氨酸 Arg | 7.84±0.15 | 7.38±0.52 | 0.47 | 果糖 Fructose | 0.03±0.00 | 0.03±0.00 | 0.93 |
| 脯氨酸 Pro | 2.17±0.08 | 1.82±0.14 | 0.11 | 蔗糖 Sucrose | 0.40±0.07 | 0.45±0.01 | 0.51 |
| 半胱氨酸 Cys | 1.52±0.11 | 1.44±0.17 | 0.70 | 维生素 B ₁ Vitamin B ₁ | 0.07±0.01 | 0.11±0.02 | 0.19 |
| 赖氨酸 Lys | 8.18±0.37 | 7.81±0.69 | 0.66 | 维生素 B ₂ Vitamin B ₂ | 0.19±0.00 | 0.20±0.00 | 0.10 |

2.3 二斑叶螨为害对叶片营养的影响

表 3 为新鲜叶片与被害叶片的营养成分含量，其中单位面积里新鲜芸豆叶与被害芸豆叶中的总蛋白含量具有显著差异性，被害芸豆叶中总蛋白的含量下降了 49.74%。

被害芸豆叶中丙氨酸、酪氨酸、色氨酸含量显著增加，分别是新鲜芸豆叶中的 1.7 倍、2.1 倍、5.2 倍。脯氨酸含量是显著减少的，减少了 42.26%，其它 14 种氨基酸的含量均没有显著性变化。

单位芸豆叶中葡萄糖和果糖的含量高，蔗糖

含量极少，三者的含量变化均不显著。

单位芸豆叶中维生素 B₁ 的含量显著减少，减少了 23.36%，维生素 B₂ 和维生素 B₇ 的含量没有显著性差异。其余维生素的含量太低，没有峰值。

2.4 叶片与汁液营养的差异

表 4 为芸豆叶片与芸豆叶片汁液中营养成分的测定结果，所测的新鲜汁液与新鲜叶片之间蛋白质和脂肪的含量，均没有显著性差异，尽管有下降的趋势。

本次测定的糖类中，乳糖、蔗糖、麦芽糖在

表 3 新鲜叶片和被害叶片中营养物质的含量 (ng/cm²)
Table 3 Nutrient contents (ng/cm²) in fresh bean leaves and damaged bean leaves

| 营养物质 Nutrient contents | 新鲜叶片 Fresh leaves | 被害叶片 Damaged leaves | P 值 P value |
|---|----------------------|------------------------|----------------|
| 总蛋白 Protein | 50 004.85±2 682.98 | 25 132.19±1 871.51 | < 0.001 |
| 丝氨酸 Lipid | 215.65±15.54 | 197.25±9.63 | 0.38 |
| 甘氨酸 Gly | 35.22±4.64 | 31.53±2.46 | 0.53 |
| 组氨酸 His | 288.33±59.81 | 974.99±210.82 | 0.07 |
| 苏氨酸 Thr | 115.20±14.38 | 178.85±28.43 | 0.14 |
| 谷氨酸 Glu | 30.91±3.49 | 99.27±50.24 | 0.31 |
| 天门冬氨酸 Asp | 355.07±60.55 | 308.14±26.71 | 0.53 |
| 丙氨酸 Ala | 155.47±9.35 | 263.64±24.30 | 0.03 |
| 精氨酸 Arg | 238.85±65.11 | 340.32±55.92 | 0.30 |
| 脯氨酸 Pro | 145.56±15.59 | 84.04±14.14 | 0.04 |
| 半胱氨酸 Cys | 28.94±5.59 | 37.78±14.36 | 0.61 |
| 赖氨酸 Lys | 103.24±5.38 | 138.29±23.40 | 0.27 |
| 甲硫氨酸 Met | 12.52±2.31 | 10.26±1.38 | 0.45 |
| 缬氨酸 Val | 285.42±74.71 | 406.90±114.02 | 0.43 |
| 酪氨酸 Tyr | 92.51±10.18 | 193.35±12.47 | < 0.001 |
| 异亮氨酸 Ile | 216.92±57.06 | 326.37±41.61 | 0.20 |
| 亮氨酸 Leu | 190.01±18.09 | 240.32±23.44 | 0.17 |
| 苯丙氨酸 Phe | 156.87±17.70 | 344.04±62.31 | 0.09 |
| 色氨酸 Trp | 52.05±6.54 | 268.23±45.74 | 0.04 |
| 葡萄糖 Glucose | 797.00±139.10 | 462.27±85.67 | 0.11 |
| 果糖 Fructose | 802.62±103.55 | 519.34±91.76 | 0.11 |
| 蔗糖 Sucrose | 5.21±0.06 | 5.26±0.45 | 0.93 |
| 维生素 B ₁ Vitamin B ₁ | 4.58±0.14 | 3.51±0.27 | 0.04 |
| 维生素 B ₂ Vitamin B ₂ | 6.89±0.98 | 9.30±0.99 | 0.16 |
| 维生素 B ₇ Vitamin B ₇ | 0.69±0.06 | 0.80±0.07 | 0.32 |

叶片和汁液中的含量均低于方法优化后的检出限 0.10 g/100 g, 未检出。葡萄糖和果糖的含量在这两者之间没有显著性差异。

与新鲜叶片中的氨基酸相比, 所测的新鲜芸豆叶片汁液中, 昆虫(螨)所必需的氨基酸中除了组氨酸和精氨酸外, 其余都是显著减少的, 总共减少了 33.83%。在 8 种非必需氨基酸中, 除天门冬氨酸外, 其余都是显著减少的, 总共减少了 34.27%。

在新鲜叶片与新鲜汁液中, 维生素 A 的含量低于检出限 10.00 μg/100 g, 维生素 D 的含量低于检出限 0.70 μg/100 g, 两者均未检出。维生素 B₁ 在汁液中的含量低于定量限 0.10 mg/100 g, 未检出, 但在叶片中的含量为 0.11 mg/100 g, 仅略高于最低可检出值。维生素 E、B₂、B₆、B₁₂ 和烟酸在汁液中是显著减少的, 分别减少 45.00%、27.78%、34.30%、56.79%、27.43%。

微量元素铜的含量在叶片和汁液中的含量

表 4 叶片和汁液中营养物质的含量
Table 4 Nutrient contents in bean and bean leaf juice

| 营养物质 Nutrient contents | 单位 Unit | 叶片 Leaves | 汁液 Juice | P 值 P value |
|---|------------|-----------------|----------------|----------------|
| 蛋白质 Protein | g/100 g | 5.12±0.37 | 4.35±0.06 | 0.17 |
| 脂肪 Lipid | g/100 g | 0.27±0.03 | 0.23±0.03 | 0.52 |
| 葡萄糖 Glucose | g/100 g | 0.14±0.01 | 0.14±0.01 | 0.55 |
| 果糖 Fructose | g/100 g | 0.08±0.04 | 0.07±0.04 | 0.95 |
| 天门冬氨酸 Asp | g/100 g | 0.66±0.54 | 0.53±0.003 | 0.12 |
| 苏氨酸 Thr | g/100 g | 0.18±0.01 | 0.12±0.003 | 0.03 |
| 丝氨酸 Ser | g/100 g | 0.18±0.01 | 0.12±0.002 | 0.03 |
| 谷氨酸 Glu | g/100 g | 0.43±0.03 | 0.27±0.01 | 0.03 |
| 甘氨酸 Gly | g/100 g | 0.21±0.01 | 0.13±0.002 | 0.03 |
| 丙氨酸 Ala | g/100 g | 0.23±0.02 | 0.14±0.003 | 0.03 |
| 缬氨酸 Val | g/100 g | 0.24±0.02 | 0.16±0.00 | 0.04 |
| 甲硫氨酸 Met | g/100 g | 0.08±0.01 | 0.06±0.003 | 0.03 |
| 异亮氨酸 Ile | g/100 g | 0.18±0.01 | 0.12±0.003 | 0.04 |
| 亮氨酸 Leu | g/100 g | 0.38±0.02 | 0.25±0.01 | 0.02 |
| 酪氨酸 Tyr | g/100 g | 0.17±0.01 | 0.15±0.003 | 0.02 |
| 苯丙氨酸 Phe | g/100 g | 0.23±0.02 | 0.15±0.003 | 0.03 |
| 赖氨酸 Lys | g/100 g | 0.26±0.02 | 0.16±0.003 | 0.03 |
| 组氨酸 His | g/100 g | 0.12±0.01 | 0.08±0.00 | 0.06 |
| 精氨酸 Arg | g/100 g | 0.28±0.03 | 0.19±0.00 | 0.07 |
| 脯氨酸 Pro | g/100 g | 0.18±0.01 | 0.12±0.00 | 0.04 |
| 色氨酸 Trp | g/100 g | 0.06±0.00 | 0.04±0.00 | 0.01 |
| 半胱氨酸 Cys | g/100 g | 0.03±0.00 | 0.01±0.00 | 0.01 |
| 维生素 E Vitamin E | mg/100 g | 0.60±0.06 | 0.33±0.03 | 0.02 |
| 维生素 K ₁ Vitamin K ₁ | mg/100 g | 0.14±0.01 | 0.17±0.00 | 0.12 |
| 抗坏血酸 Ascorbic acid | mg/100 g | 37.10±3.91 | 34.00±3.41 | 0.58 |
| 维生素 B ₁ Vitamin B ₁ | mg/100 g | 0.11±0.00 | < 0.10 | |
| 维生素 B ₂ Vitamin B ₂ | mg/100 g | 0.18±0.01 | 0.13±0.002 | 0.01 |
| 维生素 B ₆ Vitamin B ₆ | mg/100 g | 0.32±0.03 | 0.21±0.01 | 0.05 |
| 维生素 B ₁₂ Vitamin B ₁₂ | mg/100 g | 0.000 8±0.00 | 0.000 4±0.00 | < 0.001 |
| 烟酸 Niacin | mg/100 g | 1.13±0.03 | 0.82±0.02 | 0.01 |
| 泛酸 Pantothenic acid | mg/100 g | 0.23±0.02 | 0.24±0.01 | 0.42 |
| 叶酸 Folic acid | mg/100 g | 0.07±0.01 | 0.06±0.00 | 0.20 |
| 生物素 Biotin | mg/100 g | 0.006±0.00 | 0.006±0.00 | 0.86 |
| 钙 Calcium | mg/kg | 710.33±70.79 | 652.67±15.56 | 0.50 |
| 铁 Iron | mg/kg | 22.80±1.97 | 18.97±0.85 | 0.18 |
| 钾 Potassium | mg/kg | 3 510.00±110.60 | 3 076.67±43.33 | 0.045 |
| 镁 Magnesium | mg/kg | 327.00±9.54 | 276.00±1.00 | 0.03 |
| 锰 Manganese | mg/kg | 6.88±0.20 | 5.00±0.03 | 0.01 |
| 钠 Sodium | mg/kg | 17.83±6.02 | 7.96±0.92 | 0.24 |
| 锌 Zinc | mg/kg | 6.22±0.45 | 4.76±0.25 | 0.06 |

均低于定量限 0.50 mg/kg, 未检出。而钾、镁、锰这 3 种微量元素, 相比于叶片在汁液中是显著减少的, 分别减少了 12.25%、15.60%、27.33%。

3 讨论

本研究通过测定正常取食二斑叶螨与饥饿 24 h 二斑叶螨、新鲜芸豆叶片与被害芸豆叶片、新鲜芸豆叶片与新鲜芸豆叶片汁液中的营养成分含量, 推测二斑叶螨在新鲜芸豆叶中摄取的主要营养成分有蛋白质、丙氨酸、脯氨酸和维生素 B₁, 在芸豆叶片汁液中缺少的主要有 6 种维生素(维生素 E、B₁、B₂、B₆、B₁₂、烟酸)、15 种氨基酸(苏氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、缬氨酸、甲硫氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、脯氨酸、色氨酸、半胱氨酸) 3 种微量元素(钾、镁、锰)。通过测定寄主植物的营养成分及比例, 来了解昆虫所摄取的营养, 有助于确定人工饲料的配方及比例。徐杨洋等(2013)对水稻叶片进行了全营养成分的分析与比较, 找出了稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée 所需的关键营养因子, 并为人工饲料的配制给出了合理的营养配比(水溶性复合维生素: 0.02%-0.05%, 脂溶性维生素 β-胡萝卜素和维生素 E: 0.01%-0.015%, 不饱和脂肪酸亚油酸和亚麻酸: 0.30%-0.45%, 无机盐: 0.50%-0.90%, 蛋白质: 4.00%-6.00%, 糖类: 1.00%-2.00%, 粗纤维: 5.00%-8.00%, 水分: 70.00%-80.00%)。Dindo 等(2006)发现参照寄主的营养成分和比例配制的人工饲料, 饲养出寄生性天敌蛹的产量和体重显著提高。Beck(1950)成功研制出玉米螟的人工饲料, 主要也是参照寄主植物的营养组分及比例配制的。本研究结果将对二斑叶螨人工饲料的配制有一定的借鉴作用。

前期营养成分的测定是在同等重量下测得的, 而同等重量下包含不同等的个体, 为明确以个体为单位, 不同状况下的营养差异, 比较各种营养成分占个体总重量或干物质含量的比例, 我们测定了二斑叶螨和芸豆叶片的含水量, 结果发

现饱食与饥饿的二斑叶螨、新鲜叶片与被害叶片的鲜重之间均有显著性差异, 干重之间均无显著性差异。饥饿时, 脱水可能是二斑叶螨致死的最主要原因, 但以人工饲料饲养时, 叶螨不能良好发育的主要原因是拒食导致的脱水还是营养不足还有待进一步分析。

试验中发现新鲜芸豆叶片被二斑叶螨为害一周后, 单位面积内总蛋白的含量减少了 49.74%。单位面积内游离氨基酸的总量反而增加了 48.20%, 糖类的含量变化不大, 单位面积内维生素 B₁ 的含量减少了 23.36%。在本研究中, 我们发现了这些差异, 但对造成差异的机理缺乏解释。Santamaría 等(2015)提出二斑叶螨体内主要的消化酶类是天冬酰胺蛋白酶和半胱氨酸蛋白酶。由此推测被害芸豆叶片中的组氨酸等氨基酸含量显著增加的原因可能是二斑叶螨刺吸过程中分泌的唾液造成的。叶螨的唾液成分与其消化、解毒能力密切相关。Jonckheere 等(2016)分析了二斑叶螨唾液的蛋白组学组成, 共鉴定了约 90 种二斑叶螨唾液蛋白, 但是其中大部分的功能未知。深入研究相关唾液蛋白功能, 并将其与食物的营养成分相关联, 会有助于更好地分析叶螨的营养需求与相关代谢通路, 为人工饲料研发提供理论依据。

由于前期测定的营养成分的种类偏少, 以及我们配制人工饲料是以芸豆叶片汁液为基础成分的, 汁液同叶螨为害一样, 也是对叶片的一种破坏, 因此后期我们对新鲜叶片和新鲜汁液中营养成分的种类和含量做了大量样品的测定。通过分析及比较发现, 新鲜芸豆叶片汁液相比于新鲜芸豆叶片, 部分氨基酸类、维生素类、微量元素类的含量均存在显著性差异, 且几乎所有的营养成分都是减少的, 维生素 B₁ 的含量低于定量限 0.10 mg/100 g, 未检出, 但在叶片中维生素 B₁ 的含量为 0.11 mg/100 g; 其余下降幅度最多的为维生素 B₁₂, 高达 56.79%; 紧接着是维生素 E, 减少了 45.00%; 再者是必需氨基酸和非必需氨基酸分别显著减少了 33.83% 和 34.27%; 其余显著下降的含量均在 30.00% 以下。在这两次的新

鲜叶片营养含量的测定中, 虽然方法有些差异, 但是总体趋势一致。故二斑叶螨及其寄主植物芸豆营养成分的分析及比较, 对人工饲料的研发具有一定的重要意义。

参考文献 (References)

- Beck SD, 1950. Nutrition of the European corn borer, *Pyrausta nubilalis* (HBN.): III. An unidentified dietary factor required for larval growth. *Physiological Zoology*, 23(4): 353–361.
- Dindo ML, Grenier S, Sighinolfi L, Baronio P, 2006. Biological and biochemical differences between in vitro and in vivo-reared *Exorista larvarum*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 120(3): 167–174.
- Elsadany MFI, 2018. Influence of host plants and some leaf contents on biological aspects of *Tetranychus urticae*, Koch (Arachnida: Acari: Tetranychidae). *Journal of Basic & Applied Zoology*, 79(1): 20–27.
- Geest LPSVD, Bosse THC, Veerman A, 1983. Development of a meridic diet for the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 33(3): 297–302.
- Greco NM, Pereyra PC, Guillade A, 2006. Host-plant acceptance and performance of *Tetranychus urticae* (Acari, Tetranychidae). *Journal of Applied Entomology*, 130(1): 32–36.
- Jonckheere W, Dermauw W, Khalighi M, Pavlidi N, Reubens W, Baggerman G, Tirry L, Menschaert G, Kant MR, Vanholme B, Van Leeuwen T, 2018. A gene family coding for salivary proteins (SHOT) of the polyphagous spider mite *Tetranychus urticae* exhibits fast host-dependent transcriptional plasticity. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 31(1): 112–124.
- Jonckheere W, Dermauw W, Zhurov V, Wybouw N, Van den Bulcke J, Villarroel CA, Greenhalgh R, Grbić M, Schuurink RC, Tirry L, Baggerman G, Clark RM, Kant MR, Vanholme B, Menschaert G, Van Leeuwen T, 2016. The salivary protein repertoire of the polyphagous spider mite *Tetranychus urticae*: a quest for effectors. *Molecular & Cellular Proteomics*, 15(12): 3594–3613.
- McMurtry JA, Scriven GT, 1964. Studies on the feeding, reproduction, and development of *Amblyseius hibisci* (Acarina: Phytoseiidae) on various food substances. *Annals of the Entomological Society of America*, 57(5): 649–655.
- Rodriguez JG, Hampton RE, 1966. Essential amino acids determined in the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acarina: Tetranychidae) with glucose-U-C¹⁴. *Journal of Insect Physiology*, 12(10): 1209–1216.
- Santamaría ME, González-Cabrera J, Martínez M, Grbic V, Castañera P, Díaz I, Ortego F, 2015. Digestive proteases in bodies and faeces of the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae*. *Journal of Insect Physiology*, 78: 69–77.
- Suzuki T, Nunes MA, España MU, Namin HH, Jin P, Bensoussan N, Zhurov V, Rahman T, De Clercq R, Hison P, Grbic V, Grbic M, 2017. RNAi-based reverse genetics in the chelicerate model *Tetranychus urticae*: a comparative analysis of five methods for gene silencing. *PLoS ONE*, 12(7): e0180654.
- Xu XN, Wang ED, 2007. State and analysis of overseas natural enemies merchandise. *Chinese Journal of Biological Control*, 23(4): 373–382. [徐学农, 王恩东, 2007. 国外昆虫天敌商品化现状及分析. *中国生物防治学报*, 23(4): 373–382.]
- Xu YY, Li X, Chen FJ, Zhai BP, Hou ML, Han LZ, 2013. Analysis of nutritional components of rice leaves and its application in the development of an artificial diet for *Cnaphalocrocis medinalis*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(3): 641–650. [徐杨洋, 李霞, 陈法军, 翟保平, 侯茂林, 韩兰芝, 2013. 水稻叶片全营养成分分析及在稻纵卷叶螟人工饲料研制中的应用. *应用昆虫学报*, 50(3): 641–650.]
- Zhang BX, Li DS, Feng L, Huang SH, 2007. Research progress of mass production and release technologies of predatory mites. *Chinese Journal of Biological Control*, 23(3): 279–273. [张宝鑫, 李敦松, 冯莉, 黄少华, 2007. 捕食螨的大量繁殖及其应用技术的研究进展. *中国生物防治*, 23(3): 279–273.]