

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*

徐杨洋^{1,2} 李霞² 陈法军¹ 翟保平¹ 侯茂林² 韩兰芝^{2**}

(1. 南京农业大学昆虫学系 南京 210095;

2. 中国农业科学院植物保护研究所/植物病虫害生物学国家重点实验室 北京 100193)

摘要 稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrosis medinalis* Guenée 是我国水稻上的一种重要迁飞性害虫,该虫在室内难以进行人工饲养,这是制约其生物学、生态学及防控技术研究的关键因素。为此,本文开展了稻纵卷叶螟抗、感水稻品种叶片的全营养成分分析及其比较研究,找出了影响稻纵卷叶螟生长、发育和繁殖的关键营养因子,并给出了关键营养成分在人工饲料中的合理配比。该研究可望为稻纵卷叶螟人工饲料的研制提供借鉴和参考。

关键词 稻纵卷叶螟,营养成分,关键营养因子,组成比例

Analysis of nutritional components of rice leaves and its application in the development of an artificial diet for *Cnaphalocrocis medinalis*

XU Yang-Yang^{1,2} LI Xia² CHEN Fa-Jun¹ ZHAI Bao-Ping¹ HOU Mao-Lin² HAN Lan-Zhi^{2**}

(1. Department of Entomology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

2. The State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract The rice leaf folder, *Cnaphalocrosis medinalis* Guenée, is an important migratory rice pest in the main rice-growing areas of China. However, it is a very difficult species to successfully rear in the lab, which is a major hindrance to research on its biology, ecology and the development of control strategies this species. We analyzed and compared nutritional components of the leaves of susceptible and resistant varieties of rice at different growing stages. The key nutritional factors that influence the development, survival and fecundity of *C. medinalis* were found and appropriate proportions of each nutritional ingredient in an artificial diet calculated. The results provide a scientific basis for the development of an artificial diet for *C. medinalis*.

Key words *Cnaphalocrocis medinalis*, nutritional components, key nutritional factors, constituent proportion

稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée 是我国水稻上的一种重要迁飞性害虫,在主要水稻产区多年暴发为害,给我国的水稻生产造成严重威胁。为深入研究稻纵卷叶螟的发生、发展及危害规律,制定适宜的测报和防控技术,从根本上控制其暴发和危害,亟待建立稻纵卷叶螟的长期、继代饲养技术。该技术的建立可望为害虫生物学、生态学观察、杀虫剂筛选和标准化测定、抗虫水稻的抗虫性鉴定等科学研究提供大批量、发育

一致的昆虫供试。目前,稻纵卷叶螟的人工饲养主要依靠水稻苗、玉米苗等天然饲料,由于天然饲料受生长季节限制且易腐烂变质,试虫容易感染病原菌,难以实现大规模、长期、继代饲养。因此,研制稻纵卷叶螟人工饲料及其关键饲养技术已成为其生物学、生态学及防控技术研究的重要内容。

国外关于稻纵卷叶螟人工饲养方法的报道较多。1979年 Waldbauer 和 Marciano 用盆栽水稻的新鲜叶片饲养稻纵卷叶螟;1980年日本的

* 资助项目:公益性行业(农业)科研专项(200903051)。

**通讯作者, E-mail: lzhan@ippcaas.cn

收稿日期:2013-03-24, 接受日期:2013-04-17

Fujiyoshi 等人用稻秧饲养;1987 年 Khan 用几种饲养鳞翅目昆虫的人工饲料来饲养稻纵卷叶螟幼虫;1988 年 Parasuraman 和 Kareem 研制了稻纵卷叶螟人工饲料的简易配方;1998 年日本学者 Furata 等用市售的人工饲料配以稻秧饲养稻纵卷叶螟;日本学者 Ohmura 等(2000), Tsuda 等(2005)用市售的人工饲料配以稻叶粉或玉米叶粉大量饲养稻纵卷叶螟,幼虫存活率为 80% 左右。虽然日本学者在稻纵卷叶螟的人工饲养方面获得一些突破,但仍存在一些问题:如幼虫存活率仍偏低,只能保持 80% 左右;没有进行继代饲养;且所用配方均为日本市售的人工饲料与稻秧粉或玉米粉混配的半合成饲料,配方保密;如进口其原材料,价格非常昂贵;这些均不利于稻纵卷叶螟饲养技术的发展,故其饲养方法难以被广泛采用。

近几年,稻纵卷叶螟的人工饲养也逐渐得到国内学者的关注和重视。雷研圆(2007)研制出了 3 龄幼虫在稻苗上饲养,3 龄后在以小麦粉为主的人工饲料上饲养的技术,用该方法饲养的稻纵卷叶螟第一代化蛹率为 79.2%,羽化率为 76.1%,卵孵化率为 92.5%,但单雌产卵量只有 40 余粒,且随饲养代次的增加,适合度指标严重下降。柯名娟(2007)采用 Parasuraman 和 Kareem (1988)研制的稻纵卷叶螟简易饲料配方,发现在该饲料上稻纵卷叶螟幼虫只能发育至 3 龄,在添加了玉米粉或稻叶粉的二化螟人工饲料上饲养稻纵卷叶螟,幼虫存活率只有 26% ~ 36%。李传明等(2012)用生命表的方法研究了稻纵卷叶螟在人工饲料上的生长发育和繁殖,虽然稻纵卷叶螟能在其研制的人工饲料上完成世代发育,但仍存在低龄幼虫存活率偏低(23%),幼虫发育延迟等现象。为克服幼虫存活率偏低的问题,廖怀建等(2012)采用玉米苗法饲养稻纵卷叶螟,用该法饲养的试虫世代存活率在 70% 以上,平均单雌产卵量在 150 粒左右,且继代饲养试虫的适合度参数下降不是特别明显。但该方法仍存在工作量偏大,试虫对药剂的标准化定量测试和筛选受限等问题。

综合以上稻纵卷叶螟人工饲养的进展可知,目前的饲养方法和技术仍存在一些问题:(1)整个幼虫期难以在人工饲料上完成世代发育,即使完成世代发育,但仍存在幼虫存活率和成虫繁殖力偏低的问题;(2)幼虫发育延迟,幼虫或蛹个体变小;(3)难以继代饲养,即使能继代饲养,幼虫适合

度指标显著下降。环境和食料是影响昆虫生长、发育和繁殖的关键因素,在适宜的环境条件下,昆虫生长发育速率、存活和繁殖与它们摄入的营养物质的种类和数量密切相关,营养物质均衡、丰富,有利于昆虫存活和繁殖。因此,从营养生态学角度深入研究,探明各种营养成分含量对稻纵卷叶螟生物学指标的影响,对进一步改进稻纵卷叶螟人工饲料配方具有重要意义。基于此,本研究拟通过测定稻纵卷叶螟天然寄主水稻叶片的全营养成分,旨在找出影响稻纵卷生长、发育和繁殖的关键营养因子,以期对稻纵卷人工饲料的研制提供借鉴和参考。

1 材料与方法

1.1 供试水稻品种

选用甬优 9 号和宁粳 1 号水稻品种供试,通过室内抗虫性测定已明确甬优 9 号属感稻纵卷叶螟品种,宁粳 1 号属抗虫品种,且该品种水稻的分蘖拔节期为最适宜稻纵卷生长发育、存活和繁殖的生育期,而灌浆成熟期为不适宜稻纵卷叶螟生存的水稻生育期(李霞等,2013,生态学报已接受拟发表)。将水稻种子分别播种于土壤条件一致的苗圃中,待秧苗 15 ~ 20 d 后,将两个水稻品种的秧苗分别移栽到各自的试验田中(长 2.5 m × 宽 2.0 m),每品种约移栽 125 穴,两品种的水肥管理措施均保持一致,待秧苗分别到分蘖拔节期和灌浆成熟期时供试。采用 5 点取样法,每个生育期约取 50 个新鲜水稻叶片供试。叶片采集完并做好标记后,立即放入冰盒中,送到北京市营养源研究所检验检测中心进行分析测试。

1.2 水稻叶片全营养成分测定

1.2.1 维生素含量测定 将待测样品用匀浆机粉碎并均匀匀浆后,储存于 -20℃ 低温冰箱中备用,按中华人民共和国国家标准进行分析。硫胺素(VB₁)参照 GB/T5009. 84-2003、核黄素(VB₂)参照 GB/T5009. 85-2003、吡哆醇(VB₆)参照 GB/T5009. 154-2003、氰钴素(VB₁₂)参照 GB/T5413. 14-2010、烟酸参照 GB/T5009. 89 -2003、泛酸参照 GB/T5009. 210-2008、叶酸参照 GB/T5009. 211-2008、总抗坏血酸(Vc)参照 GB/T5009. 86-2003 中的荧光法、β-胡萝卜素参照 GB/T5009. 83-2003、游离生物素参照 GB5413. 19-2010、维生素 E

参照 GB/T 5009.82-2003 的方法分别进行测定。

1.2.2 脂肪酸含量测定 采用水解提取-气相色谱法对样品中的饱和和不饱和脂肪酸含量进行测定,具体分析方法参照国家标准 GB/T 22223-2008 进行。

1.2.3 无机盐含量测定 无机盐含量主要采用原子吸收光谱法进行测定。钾、钠主要参照 GB/T 5009.91-2003、镁、铁、锰参照 GB/T 5009.90-2003、钙参照 GB/T 5009.92-2003、锌参照 GB/T 5009.14-2003、磷参照 GB/T 5009.87-2003 的方法分别进行测定。

1.2.4 氨基酸含量测定 采用氨基酸自动分析仪测定水稻叶片中的氨基酸,具体分析方法参见国家标准 GB/T 5009.124-2003。

1.2.5 水分、灰分、粗纤维、蛋白质和糖含量测定 水分参照国家标准 GB 5009.3-2010、灰分参照 GB/T 5009.4-2010、粗纤维参照 GB/T 5009.10-2003、蛋白质参照 GB 5009.5-2010、糖类参照 GB/T 22221-2008 的方法分别进行测定。

以上所有水稻叶片的营养成分测定均由北京市营养源研究所检验测试中心完成。

1.3 数据处理与分析

采用 Excel 对数据进行初步分析,采用 SAS 软件对不同生育期抗、感水稻品种叶片中营养成分的差异进行显著性检验 (Student's *t*-test) (SAS Institute, 2000)。

2 结果与分析

2.1 不同生育期抗、感水稻品种叶片中各种营养组分的比较

2.1.1 维生素含量的比较 从表 1 中可知,在分蘖拔节期,甬优 9 号水稻叶片中硫胺素和泛酸的含量显著高于宁梗 1 号 ($P < 0.05$),而其他种类的维生素含量均显著低于宁梗 1 号,在灌浆成熟期,甬优 9 号水稻叶片中烟酸和维生素 V_{B12} 的含量却显著高于宁梗 1 号。然而甬优 9 号中核黄素、维生素 V_{B6} 和维生素 V_E 的含量在分蘖拔节期和灌浆成熟期时均显著低于宁梗 1 号。生物素含量在两品种的不同生育期中均差异不显著 ($P > 0.05$)。就水溶性和脂溶性维生素的总含量来说,

分蘖拔节期时宁梗 1 号的含量均显著高于甬优 9 号 ($P < 0.05$);但灌浆成熟期时,水溶性维生素的含量在两品种间无显著差异 ($P > 0.05$),脂溶性维生素在甬优 9 号叶片中的含量显著低于宁梗 1 号。

2.1.2 脂肪酸含量的比较 在分蘖拔节期,甬优 9 号水稻叶片中亚油酸含量为 $0.089 \text{ g}/100 \text{ g}$ 鲜重显著高于宁梗 1 号水稻叶片中的含量 $0.051 \text{ g}/100 \text{ g}$ 鲜重,其他脂肪酸含量二者无显著性差异 (表 2)。在灌浆成熟期,甬优 9 号水稻叶片中的亚油酸和 α -亚麻酸也均显著高于宁梗 1 号 ($P < 0.05$),但油酸、棕榈酸和硬脂酸含量在两品种中没有任何显著差异 ($P > 0.05$)。就亚油酸和 α -亚麻酸的总量来说,甬优 9 号在两生育期中的含量均显著高于宁梗 1 号。对油酸、棕榈酸和硬脂酸来说,三者的总含量在不同水稻品种和不同生育期之间均无显著差异 ($P > 0.05$) (表 2)。

2.1.3 无机盐含量的比较 在分蘖拔节期,甬优 9 号水稻叶片中钾、钠、铜和锌的含量均显著高于宁梗 1 号水稻叶片中的含量,而钙、镁、锰和磷的含量则显著低于宁梗 1 号中的含量 ($P < 0.05$)。而在灌浆成熟期,甬优 9 号水稻叶片中钾、镁和磷的含量显著高于宁梗 1 号,但其钠和锰的含量却显著低于宁梗 1 号,其他无机盐含量在两品种中差异不显著 ($P > 0.05$) (表 3)。就 9 种无机盐的总含量来说,两品种在分蘖拔节期时无显著差异,但到灌浆成熟期时两品种的无机盐含量均显著下降,但宁梗 1 号下降的更多 ($P < 0.05$) (表 3)。

2.1.4 氨基酸含量的比较 从表 4 可知,分蘖拔节期甬优 9 号水稻叶片中的苏氨酸、缬氨酸、亮氨酸、色氨酸、天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、精氨酸、脯氨酸和胱氨酸的含量均显著低于宁梗 1 号叶片中的含量 ($P < 0.05$),其他氨基酸含量在两品种中没有任何显著差异 ($P > 0.05$)。然而在灌浆成熟期,甬优 9 号和宁梗 1 号水稻叶片中的氨基酸含量无显著性差异 ($P > 0.05$)。就 8 类必须氨基酸的总量来说,两品种在不同生育期也没有显著差异 ($P > 0.05$);但分蘖拔节期甬优 9 号的非必须氨基酸含量却显著低于宁梗 1 号,灌浆成熟期时二者差异不显著 (表 4)。

表 1 不同生育期抗、感水稻品种叶片中维生素含量的比较 (mg/100 g)

Table 1 Comparison of vitamin contents in rice leaves between susceptible and resistant varieties at different growing stages (mg/100 g)

类型 Types	维生素 Vitamin	分蘖拔节期 Tilling and elongation stage		灌浆成熟期 Maturing stage	
		甬优 9 号 YY9	宁梗 1 号 NJ1	甬优 9 号 YY9	宁梗 1 号 NJ1
水溶性维生素 Water-soluble vitamin	硫胺素 (V _{B1}) Thiamine	0.096 ± 0.001 a	0.076 ± 0.002 b	0.072 ± 0.002 a	0.070 ± 0.003 a
	核黄素 (V _{B2}) Riboflavin	0.111 ± 0.007 b	0.158 ± 0.001 a	0.154 ± 0.001 b	0.183 ± 0.001 a
	维生素 (V _{B6}) Pyridoxine	0.086 ± 0.002 b	0.211 ± 0.003 a	0.147 ± 0.001 b	0.231 ± 0.002 a
	烟酸 (V _{PP}) Niacin	1.060 ± 0.010 b	1.579 ± 0.000 a	1.794 ± 0.018 a	1.301 ± 0.008 b
	泛酸 (V _{B5}) Pantothenic acid	0.300 ± 0.002 a	0.221 ± 0.004 b	0.446 ± 0.014 a	0.443 ± 0.009 a
	叶酸 (V _{B9}) Folic acid	(15.180 ± 0.250) × 10 ⁻³ b	(23.775 ± 0.605) × 10 ⁻³ a	(14.110 ± 0.310) × 10 ⁻³ a	(15.125 ± 0.735) × 10 ⁻³ a
	维生素 (V _{B12}) Cyanocobalamin	(0.110 ± 0.002) × 10 ⁻³ b	(0.129 ± 0.003) × 10 ⁻³ a	(0.234 ± 0.001) × 10 ⁻³ a	(0.119 ± 0.001) × 10 ⁻³ b
	游离生物素 (V _{B7}) Dissociative biotin	(4.450 ± 0.030) × 10 ⁻³ a	(5.065 ± 0.225) × 10 ⁻³ a	(8.050 ± 0.140) × 10 ⁻³ a	(7.585 ± 0.005) × 10 ⁻³ a
	总抗坏血酸 (V _C) Ascorbic acid	5.875 ± 0.105 b	23.945 ± 1.185 a	38.320 ± 1.020 a	43.280 ± 0.900 a
	总量 Total quantities	7.545 ± 0.105 b	26.220 ± 1.180 a	41.085 ± 1.005 a	45.745 ± 0.865 a
脂溶性维生素 Fat-soluble vitamin	β-胡萝卜素 (V _A) β-Carotene	10.163 ± 0.262 b	17.240 ± 0.500 a	4.887 ± 0.213 a	5.097 ± 0.178 a
	维生素 E (V _E) Tocopherol	1.082 ± 0.053 b	3.796 ± 0.146 a	8.670 ± 0.139 b	18.195 ± 0.825 a
	总量 Total quantities	11.245 ± 0.315 b	21.035 ± 0.645 a	13.557 ± 0.074 b	23.295 ± 0.649 a

注:表中数据均为平均数 ± 标准误,同一行中两个平均值后的不同小写字母表示两品种经 *t* 测验后在 0.05 水平差异显著 (*t*-test, *P* < 0.05),下表同。

Data are shown as mean ± SE, and followed by different letters in the same row are significantly different between the susceptible and resistant varieties at different growing stages, respectively (Student's *t*-test, *P* < 0.05). The same below.

2.1.5 水分、灰分、粗纤维、蛋白质和糖含量的比较

在分蘖拔节期和灌浆成熟期,甬优 9 号水稻叶片中的水分含量均显著高于宁梗 1 号,而粗纤维和灰分含量却显著低于宁梗 1 号(*P* < 0.05)。在灌浆

成熟期,甬优 9 号水稻叶片中的蛋白质含量显著低于宁梗 1 号,其它成分含量在两品种之间差异不显著(*P* > 0.05)(表 5)。不同生育期的每一水稻品种叶片中,其总糖含量均低于 1.6 g/100 g 鲜重。

表 2 不同生育期抗、感水稻品种叶片中脂肪酸含量的比较 (g/100 g)

脂肪酸 Fatty acid	分蘖拔节期 Tilling and elongation stage		灌浆成熟期 Maturing stage	
	甬优 9 号 YY9	宁梗 1 号 NJ1	甬优 9 号 YY9	宁梗 1 号 NJ1
亚油酸 Linoleic acid	0.089 ± 0.003 a	0.051 ± 0.003 b	0.065 ± 0.004 a	0.046 ± 0.003 b
α-亚麻酸 α-linolenic acid	0.330 ± 0.018 a	0.254 ± 0.011 a	0.256 ± 0.011 a	0.131 ± 0.006 b
总量 Total quantities	0.419 ± 0.021 a	0.304 ± 0.013 b	0.320 ± 0.013 a	0.177 ± 0.008 b
油酸 Oleic acid	0.011 ± 0.001 a	0.010 ± 0.000 a	0.015 ± 0.001 a	0.017 ± 0.001 a
棕榈酸 Palmitic acid	0.122 ± 0.007 a	0.088 ± 0.005 a	0.056 ± 0.002 a	0.062 ± 0.001 a
硬脂酸 Stearic acid	0.015 ± 0.001 a	0.013 ± 0.001 a	0.009 ± 0.000 a	0.010 ± 0.002 a
总量 Total quantities	0.147 ± 0.008 a	0.110 ± 0.005 a	0.080 ± 0.003 a	0.089 ± 0.003 a

表 3 不同生育期抗、感水稻品种叶片中无机盐含量的比较 (mg/100 g)

无机盐 Inorganic salt	分蘖拔节期 Tilling and elongation stage		灌浆成熟期 Maturing stage	
	甬优 9 号 YY9	宁梗 1 号 NJ1	甬优 9 号 YY9	宁梗 1 号 NJ1
钾 K	472.166 ± 9.496 a	229.001 ± 1.515 b	297.154 ± 8.201 a	186.220 ± 0.798 b
钠 Na	31.652 ± 0.476 a	13.229 ± 0.400 b	14.066 ± 0.030 b	19.197 ± 0.514 a
钙 Ca	190.281 ± 3.056 b	239.617 ± 0.925 a	157.945 ± 5.686 a	158.155 ± 5.231 a
镁 Mg	91.914 ± 3.026 b	205.287 ± 3.771 a	108.282 ± 1.756 a	80.976 ± 0.311 b
铜 Cu	2.680 ± 0.040 a	2.270 ± 0.040 b	1.425 ± 0.045 a	1.500 ± 0.000 a
铁 Fe	4.091 ± 0.072 a	3.908 ± 0.083 a	4.797 ± 0.214 a	4.654 ± 0.140 a
锰 Mn	17.310 ± 0.292 b	52.184 ± 1.776 a	5.798 ± 0.250 b	8.879 ± 0.393 a
锌 Zn	13.065 ± 0.275 a	9.940 ± 0.480 b	10.335 ± 0.105 a	10.270 ± 0.120 a
磷 P	78.750 ± 0.150 b	86.550 ± 0.050 a	66.400 ± 0.300 a	0.020 ± 0.000 b
总量 Total quantities	823.158 ± 16.011 a	755.406 ± 7.140 a	599.802 ± 15.773 a	469.849 ± 7.245 b

2.2 研制稻纵卷叶螟人工饲料时,各种营养成分的合理配比

维生素:维生素是昆虫维持正常机体代谢所必须的微量物质,体内无法合成,必须由食物供给。它一般分为水溶性和脂溶性两种。水溶性维生素包括:B 族维生素、抗坏血酸、肌醇和胆碱等;

脂溶性维生素包括 β-胡萝卜素、维生素 D₃ 和维生素 E 等。由表 1 可知,抗、感水稻品种的单种维生素含量并没有表现出一定的规律性,单种维生素的含量变化对稻纵卷叶螟的生长、发育和繁殖并没有显著影响,关键要保证维生素总量在饲料中的比例。在本研究中还发现一个很有意思的现

表 4 不同生育期抗、感水稻品种叶片中氨基酸含量的比较 (g/100 g)

Table 4 Comparison of amino acids in rice leaves between susceptible and resistant varieties at different growing stages (g/100 g)

种类 Categories	氨基酸 Amino acid	分蘖拔节期 Tilling and elongation stage		灌浆成熟期 Maturing stage	
		甬优 9 号 YY9	宁梗 1 号 NJ1	甬优 9 号 YY9	宁梗 1 号 NJ1
必须氨基酸 Essential amino acid	苏氨酸 Thr	0.165 ± 0.005 b	0.250 ± 0.010 a	0.165 ± 0.005 a	0.165 ± 0.005 a
	缬氨酸 Val	0.185 ± 0.005 b	0.295 ± 0.015 a	0.190 ± 0.000 a	0.190 ± 0.010 a
	蛋氨酸 Met	0.055 ± 0.005 a	0.090 ± 0.020 a	0.060 ± 0.010 a	0.070 ± 0.000 a
	异亮氨酸 Ile	0.140 ± 0.010 a	0.210 ± 0.020 a	0.130 ± 0.000 a	0.130 ± 0.000 a
	亮氨酸 Leu	0.330 ± 0.020 b	0.505 ± 0.035 a	0.325 ± 0.005 a	0.335 ± 0.015 a
	苯丙氨酸 Phe	0.195 ± 0.015 a	0.300 ± 0.030 a	0.175 ± 0.005 a	0.185 ± 0.015 a
	赖氨酸 Lys	0.235 ± 0.025 a	0.355 ± 0.045 a	0.230 ± 0.010 a	0.235 ± 0.025 a
	色氨酸 Trp	0.010 ± 0.000 b	0.050 ± 0.000 a	0.020 ± 0.000 b	0.030 ± 0.000 a
	总量 Total quantities	1.315 ± 0.095 a	2.045 ± 0.175 a	1.290 ± 0.030 a	1.325 ± 0.065 a
非必须氨基酸 Non-essential amino acid	天冬氨酸 Asp	0.370 ± 0.010 b	0.515 ± 0.025 a	0.350 ± 0.000 a	0.365 ± 0.015 a
	丝氨酸 Ser	0.160 ± 0.000 a	0.230 ± 0.000 a	0.180 ± 0.000 a	0.180 ± 0.020 a
	谷氨酸 Glu	0.425 ± 0.025 b	0.655 ± 0.035 a	0.460 ± 0.010 a	0.480 ± 0.020 a
	甘氨酸 Gly	0.200 ± 0.010 b	0.310 ± 0.020 a	0.200 ± 0.000 a	0.205 ± 0.005 a
	丙氨酸 Ala	0.245 ± 0.015 b	0.390 ± 0.030 a	0.280 ± 0.000 a	0.265 ± 0.005 a
	酪氨酸 Tyr	0.135 ± 0.015 a	0.195 ± 0.015 a	0.140 ± 0.010 a	0.145 ± 0.005 a
	组氨酸 His	0.085 ± 0.005 a	0.120 ± 0.010 a	0.080 ± 0.000 a	0.075 ± 0.005 a
	精氨酸 Arg	0.215 ± 0.005 b	0.320 ± 0.010 a	0.215 ± 0.005 a	0.220 ± 0.010 a
	脯氨酸 Pro	0.145 ± 0.015 b	0.230 ± 0.000 a	0.145 ± 0.025 a	0.135 ± 0.015 a
	胱氨酸 Cys	0.060 ± 0.000 b	0.070 ± 0.000 a	0.090 ± 0.000 a	0.090 ± 0.000 a
	总量 Total quantities	2.040 ± 0.050 b	3.035 ± 0.115 a	2.130 ± 0.050 a	2.165 ± 0.045 a

表 5 不同生育期抗、感水稻品种叶片中水分、灰分、粗纤维及蛋白质含量的比较 (g/100 g)

Table 5 Comparison of water, ash, coarse fiber and protein in rice leaves between susceptible and resistant varieties at different growing stages (g/100 g)

物质 Substance	分蘖拔节期 Tilling and elongation stage		灌浆成熟期 Maturing stage	
	甬优 9 号 YY9	宁梗 1 号 NJ1	甬优 9 号 YY9	宁梗 1 号 NJ1
水分 Water	76.565 ± 0.875 a	65.715 ± 0.025 b	61.570 ± 0.300 a	58.840 ± 0.180 b
灰分 Ash	3.700 ± 0.000 b	3.765 ± 0.005 a	2.835 ± 0.015 a	2.955 ± 0.045 a
粗纤维 Coarse fiber	5.835 ± 0.075 b	9.330 ± 0.190 a	12.655 ± 0.135 a	11.965 ± 0.105 a
蛋白质 Protein	5.056 ± 0.134 a	6.260 ± 0.284 a	3.944 ± 0.017 a	4.358 ± 0.056 a
糖类 Sugar	< 1.6	< 1.6	< 1.6	< 1.6

象,即水稻叶片中含有大量的 β -胡萝卜素,特别是在分蘖拔节期的水稻叶片中,它的含量远远超过与昆虫生长发育密切相关的抗坏血酸(Vc)的含量。分蘖拔节期水稻叶片中含量最高的维生素为 β -胡萝卜素,其次为抗坏血酸、维生素E、烟酸等。叶酸、维生素 B_{12} 和生物素的含量是非常低的。而在大多数已报道的人工饲料配方中,均没有 β -胡萝卜素,且维生素E也很少见,这可能是稻纵卷人工饲料研制中特别需要注意的地方。因此,建议稻纵卷人工饲料中必须添加 β -胡萝卜素;添加的维生素复合物在饲料中所占的百分含量应为0.02%~0.05%(水溶性)和0.01%~0.015%(脂溶性)(表6)。由于技术或样品本身的问题,本研究并未检测出水稻叶片中胆碱和肌醇的含量,根据本人经验,建议在脂溶性维生素复合物配方中,应适量添加胆碱和肌醇。

脂肪酸:从表2可知,不论是分蘖拔节期还是灌浆成熟期,甬优9号叶片中不饱和脂肪酸亚油酸和 α -亚麻酸的含量均显著高于抗虫品种宁粳1号,但油酸和饱和脂肪酸棕榈酸和硬脂酸在两品种间没有任何显著差异。所以在稻纵卷叶螟人工饲料研制时,必须添加亚油酸和亚麻酸,一般以植物油的方式添加到人工饲料中,其在饲料中的百分含量约为0.30%~0.45%(表6)。

无机盐:无机盐在昆虫的生理活动和组织构成上起着重要作用,但它们无法在体内合成,必须从食物中获取。由本研究可知,稻纵卷叶螟对钾盐的需求量最高,其次为钙、镁和磷,对铜和铁盐的需求量较小;且单种无机盐的作用不是太大,但要保障无机盐在人工饲料中的总量。为了保证昆虫的正常生长、发育和繁殖,本研究建议稻纵卷人工饲料中添加的无机盐混合物的百分含量为0.50%~0.90%(表6)。

蛋白质及氨基酸含量:蛋白质是构成昆虫虫体的主要物质,也是昆虫进行生命活动的物质基础之一;此外蛋白质还可与糖类等物质组合起来作为一种取食刺激物来刺激昆虫取食。本研究的测定结果表明,最适宜稻纵卷生长、发育的水稻叶片中蛋白质的百分含量为5.1%,其他文献中报道的稻纵卷叶螟人工饲料中蛋白质的百分含量一般在4.0%~6.0%,与本研究相符(表6)。由于昆虫从食物中摄取蛋白质,并通过消化将大分子蛋

白质分解成小分子的氨基酸,吸收后在体内组成适合生命活动所需要的各种蛋白质。所以从本质上讲,昆虫对蛋白质的需要就是对氨基酸的需要。根据表4的测定结果,可知检测出来的18种氨基酸在抗、感虫品种中均存在,且最适合稻纵卷叶螟生长和存活的水稻叶片中必须氨基酸的含量为1.315 g/100 g鲜重,非必须氨基酸含量为2.040 g/100 g鲜重。而实际在配制人工饲料时,氨基酸通常是通过添加蛋白质而获得的,饲料中最常用的蛋白质原料为干酪素和酵母粉,其他的干物质如大豆粉、麦胚粉中也含有丰富的蛋白质。但有些昆虫对某些氨基酸具有较大的用量,为防止饲料中的氨基酸不足,通常再额外添加少量的氨基酸复合物,特别是必须氨基酸复合物。由于本研究中适合稻纵卷生长、发育的水稻叶片中总氨基酸的百分含量为3.21%,含量还是非常高的,为防止饲料中氨基酸缺乏,建议稻纵卷饲料中最好额外添加氨基酸复合物,添加的量应根据饲料中已有的蛋白质源(干酪素、酵母粉、大豆粉等)的含量来确定。

其他组分:由表5可知,分蘖拔节期甬优9号的含水量最高,所占比例约76.6%,根据作者的经验,建议稻纵卷人工饲料的含水量也应在70.0%~80.0%之间(表6),因为含水量的多少决定了饲料的物理性质,直接影响昆虫取食的喜好,如果饲料的含水量低于68%,一般昆虫则难以取食。人工饲料中,纤维素主要是调节饲料的物理性状,虽不能为昆虫所消化,但能增加饲料的粗糙结构,使其顺利通过昆虫肠道。本研究中最适宜昆虫生长的水稻叶片粗纤维含量为5.8 g/100 g鲜重(表5)。因此,建议稻纵卷人工饲料中纤维素的含量约为5.0%~8.0%(表6)。糖类不仅是一种主要的能源物质,在人工饲料中它更多的是作为一种取食刺激剂。在本研究中,由于技术或样品等原因,仅检测到每种水稻叶片中总糖含量<1.6%。根据笔者的经验,建议稻纵卷叶螟人工饲料中糖类所占的比例约为1.0%~2.0%(表6)。另根据目前稻纵卷叶螟人工饲料营养组分的报道、本研究结果及笔者在人工饲料研究方面的经验综合分析,提出人工饲料实际配制时常用的营养成分及各组分所占百分含量(表6)。

表 6 稻纵卷叶螟人工饲料中各种营养成分的合理配比

Table 6 Appropriate percentages of various nutritional ingredients in artificial diet of *Cnaphalocrocis medinalis*

营养成分 Nutritional ingredients		主要组分含量 Percentage of main ingredients (%)	饲料实际配制时常用组分 Common components in artificial diet	常用组分含量 Percentage of common components (%)
维生素 Vitamins	水溶性维生素 Water-soluble vitamins	0.02 – 0.05	B 族维生素 Vitamin B	0.02 – 0.05
	脂溶性维生素 Fatty-soluble vitamins	0.010 – 0.015	β-胡萝卜素、维生素 E、 肌醇和胆碱等 β-carotene, Vitamin E, myoinositol and Choline etc.	0.01 – 0.02
	维生素总量 Total quantity	0.030 – 0.065		
脂肪酸 Fatty acids	不饱和脂肪酸 Unsaturated fatty acids	0.30 – 0.45	稻米油 Rice oil	0.20 – 0.30
	饱和脂肪酸 + 油酸 Saturated fatty acids plus oleic acid	0.12 – 0.15		
	脂肪酸总量 Total quantity	0.40 – 0.60		
无机盐 Inorganic salt		0.50 – 0.90	威氏盐 Wesson's salt	0.50 – 0.60
氨基酸 Amino acids	必须氨基酸 Essential amino acids	1.30 – 1.60	叶因子 + 少量氨基酸复合物 Leaf factors + a small amount of amino acid compounds	2.0 – 4.0
	非必须氨基酸 Non-essential amino acids	2.10 – 2.40		
	氨基酸总量 Total quantity	3.30 – 4.00		
蛋白质 Protein		4.0 – 6.0	干酪素、酵母粉、麦胚粉等 Casein, yeast powder and wheat germ powder etc.	6.0 – 12.0
糖类 Sugar		1.0 – 2.0	蔗糖、葡萄糖 Sucrose, glucose	1.0 – 3.0
粗纤维 Coarse fiber		5.0 – 8.0	纤维素粉 Fiber powder	4.0 – 6.0
水分 Water		70.0 – 80.0	水 Water	70.0 – 75.0
其他物质 Other materials		—	琼脂粉 Agar powder	2.0 – 3.0
			防腐剂 Preservatives	0.2 – 0.3

3 讨论

本研究通过比较不同生育期抗、感水稻品种叶片中的氨基酸、脂肪酸、无机盐、维生素、蛋白质、粗纤维、糖类、灰分和水分含量的差异,明确了最适宜稻纵卷叶螟生长、发育和生殖所需要的关键营养因子,并提出了关键营养因子在饲料中的比例范围,为成功研制稻纵卷叶螟人工饲料奠定了基础,为进一步获得大批量、稳定和发育一致的标准试虫提供了可能,该研究可望进一步推动稻纵卷叶螟生物学、生态学及其防控技术的研究,为更好的控制害虫提供了技术支持。

根据本研究测定结果及笔者在人工饲料研制方面的经验,提出了配制稻纵卷人工饲料各营养成分的大致比例,认为水溶性维生素复合物在饲料中的比例约为 0.02% ~ 0.05%,脂溶性维生素 β -胡萝卜素和维生素 E 所占比例为 0.01% ~ 0.015%;不饱和脂肪酸亚油酸和亚麻酸的比例约为 0.30% ~ 0.45%;无机盐所占比例约为 0.50% ~ 0.90%;蛋白质含量约为 4.0% ~ 6.0%,如果饲料中的蛋白质源无法满足昆虫对氨基酸的需求,建议酌情添加氨基酸复合物;糖类、粗纤维和水分在饲料中所占的比例范围分别为 1.0% ~ 2.0%、5.0% ~ 8.0% 和 70.0% ~ 80.0% (表 6)。将该营养成分分配比与已报道的稻纵卷人工饲料相比,大多数成分基本相符,但有些比例相差较大。Parasuraman 和 Kareem (1998) 报道的稻纵卷人工饲料中,干酪素和酵母粉(蛋白质源)含量(约 4.81%)及色氨酸含量(0.0321%)基本与本研究相符,但其抗坏血酸和氯化胆碱的含量(0.74%)远远超过本研究。该饲料配方能将 2 龄幼虫饲养至化蛹,至于 2 龄以下幼虫能否在该饲料上存活未有报道。其他国外报道的人工饲料配方均未给出具体营养成分,只仅仅给出了所有干物质混合物的含量(Khan, 1987; Furuta *et al.*, 1998; Ohmura *et al.*, 2000; Tsuda *et al.*, 2005),所以无法对该数据进行一一验证。国内雷研圆(2007)报道的人工饲料配方为:干酪素和酵母粉含量为 5.98%、糖类为 2.1%、水溶性维生素为 0.2%、脂溶性维生素为 0.01% (但无 β -胡萝卜素)、不饱和脂肪酸为 0.1%、无机盐为 0.3%。该配方中的水溶性维生素含量明显高于本研究界定的范围,不饱和脂肪酸和无机盐含量略低于本研究界定的数值。1 ~ 3

龄的低龄幼虫在该饲料上的存活率低于 50%, 3 龄后幼虫的存活率明显增加;虽然用该配方能连续饲养 3 代,但幼虫的适合度指标严重下降。因此,该配方有待改进。柯名娟(2007)所用配方中蛋白质含量约 6.2%、抗坏血酸含量为 0.62% (高于本研究界定范围),该配方所饲养幼虫的存活率仅为 26% ~ 36%,也未达到预期效果。刘琴等(2009)和李传明等(2011)采用相同饲料配方研究了稻纵卷种群在该饲料上的种群增长情况,其所用配方中的糖和抗坏血酸含量略高于本研究界定范围,但没有添加不饱和脂肪酸、无机盐、 β -胡萝卜素和氨基酸复合物,该配方饲养的幼虫存活率只有 23%,故该配方仍需改进。有研究报道,无机盐对昆虫的组织结构和生理活动起着重要作用,但昆虫对其剂量并不是很敏感(忻介六和苏德明, 1979),所以笔者认为:人工饲料中必须添加无机盐,但无机盐含量的高低并不是影响幼虫适合度的关键指标。不饱和脂肪酸对幼虫化蛹、成虫展翅和羽化至关重要,如饲料中缺乏不饱和脂肪酸,那么幼虫无法化蛹、成虫的羽化和展翅均会受到影响(忻介六和苏德明, 1979; 王延年等, 1984)。因此,饲料配方中也必须含有不饱和脂肪酸含量较高的植物油等成分。虽然本研究提出了稻纵卷关键营养因子的主要含量及饲料实际配制时各种营养成分的含量(表 6),至于该配比能否达到我们的预期效果,本研究还未有数据支持,这也是我们下一步拟进行的研究工作。

为了便于寻找影响稻纵卷生长发育、存活和生殖的关键营养因子,本研究只测定了抗、感两个水稻品种在分蘖拔节期和灌浆成熟期的全营养成分。由于前期研究已证实稻纵卷在分蘖拔节期的感虫品种甬优 9 号水稻叶片上的各种适合度指标均显著高于同一生育期的抗虫品种宁粳 1 号,故本研究在营养因子范围界定时主要参考甬优 9 号分蘖拔节期的测定数据,这可能使我们界定的营养因子阈值范围偏窄。因此,本研究结果有待通过进一步的昆虫饲养试验去验证。

参考文献 (References)

- Fujiyoshi N, Noda M, Sakai H, 1980. Simple mass-rearing method of the grass leaf roller, *Cnaphalocrosis medinalis* (Guenée), on young rice seedlings. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.*, 24:194 - 196.

- Furuta T, Kamiwada H, Kusigemati K, 1998. Rearing of the rice leaffolder, *Cnaphalocrosis medinalis* (Guenée), on an artificial diet. *Proc. Assoc. Pl. Prot. Kyushu*, 44:41–44.
- Khan ZR, 1987. Artificial diet for leaf folder. *Int. Rice Res. News.*, 12 (6):30–31.
- Ohmura H, Tsuda K, Kamiwasa H, Kusigemati K, 2000. Rearing of rice leaffolder, *Cnaphalocrosis medinalis* (Guenée), on artificial diets. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.*, 44:119–123.
- Parasuraman S, Kareem AA, 1998. A synthetic diet for rice leaf folder. *Int. Rice Res. News.*, 13 (4):42.
- SAS Institute. 2000. JMP® Statistics and Graphics Guide. Version 4. Cary, NC, USA. 60.
- Tsuda K, Ohmura H, Sakamaki Y, Kamiwada H, Kusigemati K, 2005. Mass rearing of the rice leaffolder, *Cnaphalocrosis medinalis* (Guenée), on an artificial diet. *Jan. J. Appl. Entomol. Zool.*, 49:215–221.
- Waldbauer GP, Marciano AP, 1979. Massing rearing of the rice leaf folder, *Cnaphalocrosis medinalis* (Guenée) under green-house conditions. *J. Ent. Res.*, 3(1):1–8.
- 柯明娟, 2007. 稻纵卷叶螟人工饲养和防治方法研究. 硕士学位论文. 广州:中山大学.
- 雷妍圆, 2007. 稻纵卷叶螟及二化螟人工饲养技术的研究. 硕士学位论文. 南宁:广西大学.
- 李传明, 徐健, 杨亚军, 祁建杭, 郑许松, 王艳, 刘琴, 吕仲贤, 2011. 人工饲料饲养稻纵卷叶螟的生长发育与繁殖. *中国水稻科学*, 25(3):321–325.
- 廖怀建, 黄建荣, 刘向东, 2012. 利用玉米苗饲养稻纵卷叶螟的方法. *应用昆虫学报*, 49(4):1078–1082.
- 刘琴, 徐健, 祁建杭, 朱锦磊, 蔡扬生, 施建德. 2009. 水稻纵卷叶螟人工饲料及制备和应用用于水稻纵卷叶螟的人工饲养方法. 中华人民共和国国家知识产权局, CN200910025180.8.2009.
- 王延年, 郑永庆, 周永生, 1984. 昆虫人工饲料手册. 上海:上海科学技术出版社. 1–297.
- 忻介六, 苏德明, 1979. 昆虫、螨类、蜘蛛人工饲料. 北京:科技技术出版社. 1–211.