

饲料氮素水平对亚洲玉米螟食物利用及营养指标的影响*

丁新华^{1**} 袁洁^{1,2**} 付开赞¹ 袁梓涵^{1,2} 王小武³
贾尊尊¹ 阿尔孜姑丽·肉孜¹ 吐尔逊·阿合买提¹ 郭文超^{1***}

(1. 新疆农业科学院植物保护研究所, 农业农村部西北荒漠绿洲作物有害生物综合治理重点实验室, 乌鲁木齐 830091;
2. 新疆农业大学农学院, 乌鲁木齐 830052; 3. 新疆农业科学院微生物应用研究所, 新疆特殊环境微生物重点实验室, 乌鲁木齐 830091)

摘要 【目的】研究不同氮素含量的人工饲料对亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* (Guenée) 食物利用及营养指标的具体影响, 以期揭示玉米螟种群激增的内在氮素营养驱动机制。【方法】实验室条件下, 设置 N1 (3.94%)、N2 (7.33%)、N3 (10.69%)、N4 (18.84%) 和 N5 (30.31%) 5 个氮素含量的人工饲料饲喂亚洲玉米螟 3 龄、4 龄和 5 龄幼虫, 比较分析幼虫的食物利用和营养指标的差异。【结果】亚洲玉米螟 3 龄幼虫取食中氮 N3 (10.69%) 饲料时, 食物利用率和食物转化率最高, 分别为 $16.28\% \pm 0.89\%$ 和 $41.05\% \pm 4.07\%$, 显著大于 N4 和 N5 两个高氮处理组, 且低氮处理组 N2 的食物利用率和食物转化率最低, 分别为 $3.32\% \pm 0.57\%$ 和 $2.36\% \pm 0.69\%$ 。4 龄幼虫取食高氮 N5 处理组饲料的食物利用率最高, 为 $22.13\% \pm 1.51\%$; 5 龄幼虫取食高氮 N5 和 N4 后的食物利用率和近似消化率最大, 分别为 $24.29\% \pm 7.01\%$ 和 $40.93\% \pm 2.94\%$, 而食物转化率和相对增长率均随氮素含量变化差异无显著 ($P>0.05$); 氮利用率方面, 3 龄、4 龄和 5 龄幼虫均随着食物氮素水平的增加而增大, 且取食 N5 高氮处理组的幼虫对氮利用率达到最大, 分别为 72.33%、86.09% 和 90.91%。【结论】饲料中不同氮素含量对亚洲玉米螟幼虫食物利用及自身营养指标的影响显著, 随食物氮素含量的增加显著提高 4 龄和 5 龄幼虫的食物利用率、相对取食率和氮利用率。

关键词 亚洲玉米螟; 氮素; 食物利用; 营养指标

Effects of nitrogen on food utilization by, and nutritional content of, the Asian corn borer

DING Xin-Hua^{1**} YUAN Jie^{1,2**} FU Kai-Yun¹ YUAN Zi-Han^{1,2} WANG Xiao-Wu³
JIA Zun-Zun¹ AERZIGULI·ROUZI¹ TURSUN·AHMAT¹ GUO Wen-Chao^{1***}

(1. Institute of Plant Protection, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Integrated Management of Crop Pests in Northwest Desert Oasis, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Urumqi 830091, China; 2. College of Agriculture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 3. Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Microbiology Application Research Institute, Xinjiang Key Laboratory of Microbiology for Special Environments, Urumqi 830091, China)

Abstract 【Objectives】To determine the role of nitrogen in the population explosion of the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Guenée), we compared the effects of artificial diets with different nitrogen contents on food utilization by, and nutritional content of, this species. 【Methods】Five artificial diets (N1, N2, N3, N4 and N5) with nitrogen contents of 3.94%, 7.33%, 10.69%, 18.84% and 30.31% were fed to 3rd, 4th and 5th-instar larvae, and differences in food utilization and larval nutritional indices between treatment groups were compared and analyzed. 【Results】The highest food utilization rate ($16.28\% \pm 0.89\%$) and food conversion rate ($41.05\% \pm 4.07\%$) was recorded in 3rd instar larvae in the N3 treatment group,

*资助项目 Supported projects: 新疆农业科学院稳定支持专项 (xjnkwydz-2022004); 自治区重点研发计划任务专项 (2021B02002-2); 国家自然科学基金 (31960538)

**共同第一作者 Co-first authors, E-mail: dingxinhua1984@163.com; yj960805@126.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: gwc1966@163.com

收稿日期 Received: 2021-12-20; 接受日期 Accepted: 2022-05-20

significantly higher than the corresponding values in the N4 and N5 treatment groups. The lowest food utilization and food conversion rate, $3.32\% \pm 0.57\%$ and $2.36\% \pm 0.69\%$, respectively, were recorded in the N2 treatment group. The highest food utilization rate in 4th instar larvae, $22.13\% \pm 1.51\%$, was recorded in the N5 treatment group. 5th instar larvae in the N5 and N4 treatment groups had the highest food utilization and approximate digestibility; $24.29\% \pm 7.01\%$ and $40.93\% \pm 2.94\%$, respectively, but dietary nitrogen had no significant effect on food conversion and relative growth rates ($P > 0.05$). The nitrogen use efficiency of 3rd, 4th and 5th-instar larvae all increased with dietary nitrogen content; the highest nitrogen use efficiencies for each instar (72.33%, 86.09% and 90.91%, respectively) were all recorded in the N5 treatment group. **[Conclusion]** Dietary nitrogen has a direct impact on food utilization by, and the nutritional indices of, Asian corn borer larvae, and dietary nitrogen significantly increased food use efficiency, relative feeding rate and nitrogen use efficiency of 4th-instar and 5th-instar larvae.

Key words Asian corn borer; nitrogen; food utilization; nutritional indicators

亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* (Guenée) 作为我国玉米和高粱等粮食作物上的主要害虫,严重影响农作物的产量和品质,一般可造成玉米减产 5%-10%, 而受害严重时可达 50% 以上 (陈斌等, 2015)。有研究表明,在取食为害过程中,昆虫对食物的消耗、利用和分配因具体种类不同而有差异 (Brues, 1946; Beck, 1972; Lee, 1985; Slansky and Rodriguez, 1987; Calow, 1997), 这些差异可以反映昆虫生存方式的变化。氮是影响昆虫营养利用、生长发育、寿命以及种群动态等的重要因素之一 (栗治等, 2014; 卢毅等, 2014; 朱敏等, 2015)。本研究在室内条件下,以亚洲玉米螟为研究对象,开展不同氮素含量人工饲料喂食亚洲玉米螟幼虫的食物利用率、食物转化率及近似消化率等营养指标及氮吸收利用研究,旨在明确食物中氮素含量对亚洲玉米螟不同虫龄幼虫食物利用及营养指标的具体影响,以期揭示新疆灌溉玉米产区亚洲玉米螟种群激增的内在氮素营养驱动机制。

植食性昆虫需要通过取食来获得氨基酸等自身生长发育和繁殖所必需的营养物质,但是不同植物所含营养物质的质和量有很大差别,这种差别对昆虫的生长发育和繁殖影响巨大 (王倩倩等, 2015)。昆虫对不同营养条件的食物利用可以通过计算幼虫相对取食量、食物利用率、食物转化率及近似消化率等指标加以分析 (刘晓霞等, 2020)。这些指标可以用来估算昆虫的营养效应,反映昆虫生长的优劣程度 (James, 2003)。昆虫对食物的利用率和消耗

率在一定范围内均随着食物氮含量的升高而升高。从营养角度来看,利用效率反映了所消费食物的质量,可以使人们深刻了解昆虫与寄主植物相互作用的行为和生理基础,消耗的测量是通过测量摄入量 and 生长量来实现的 (Augner, 1995; 吕仲贤等, 1996; Casey and Raupp, 1999; 阳会兵等, 2008)。植物含氮量的高低对于植食性昆虫生长发育和繁殖有很大的影响 (吕仲贤等, 1995)。吕仲贤等 (1995) 研究表明饲料中氮和糖含量的增加均有利于亚洲玉米螟幼虫的生长发育,昆虫在高氮植株上的取食和产卵的选择可以被提前施加的氮肥影响。近年来新疆绿洲灌溉玉米产区亚洲玉米螟暴发为害,其成灾机制尚不清楚。本文通过从营养生态学的角度研究亚洲玉米螟幼虫对不同氮含量饲料的营养消耗和食物利用情况,采用 5 个氮素含量的人工饲料饲养亚洲玉米螟幼虫,计算营养指标及氮吸收利用率,探究亚洲玉米螟对营养指标与食物中氮含量之间的关系的影响,为后续进一步研究植物的适应性和主动应对性策略提供理论研究。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

于 2021 年 3-4 月在乌鲁木齐市新市区安宁渠镇新疆农业科学院综合试验场 ($39^{\circ}20'51''\text{N}$, $76^{\circ}15'33''\text{E}$) 采集亚洲玉米螟越冬代老熟幼虫,转至室内使用亚洲玉米螟人工饲料饲养。

1.2 供试饲料

氮源主要来自于饲料中的粗蛋白（张露，2020），因此根据测定饲料组分内粗蛋白含量和调整玉米粉、大豆粉和酵母粉的含量，本研究设置 5 个不同氮素含量人工饲料，用粗蛋白含量表

示。参考周大荣等（1980）的亚洲玉米螟人工饲料配方作为中氮 N3 对照处理（10.69%），分别设置 N4（18.84%）、N5（30.31%）2 个高氮处理和 N1（3.94%）、N2（7.33%）2 个低氮处理，各处理人工饲料配方如表 1 所示。

表 1 5 种不同氮素含量亚洲玉米螟的人工饲料配方
Table 1 Five artificial feed formulas for *Ostrinia fumacalis* with different nitrogen content

成分 (g/kg) Components (g/kg)	氮含量 N content				
	N1 (3.94%)	N2 (7.33%)	N3 (10.69%)	N4 (18.84%)	N5 (30.31%)
玉米糝 Maize granule	430.00	340.00	200.00	110.00	0.00
大豆糝 Soybean granule	0.00	50.00	150.00	150.00	100.00
酵母粉 Yeast powder	0.00	40.00	80.00	160.00	330.00
对羟基甲酸酯 Nipagin ester	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
山梨酸 Sorbic acid	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
葡萄糖 Glucose	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
维生素 C Vitamin C	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
琼脂 Agar-agar	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00

1.3 亚洲玉米螟幼虫营养指标测定

每处理选用亚洲玉米螟 3 龄、4 龄和 5 龄幼虫各 15 头，设 3 组重复，经饥饿 10 h 后称其鲜重，饲喂一定量的不同氮素含量的人工饲料，取食 48 h 后取出剩余食物，并将幼虫饥饿 6 h 排空粪便，称其鲜重，然后将幼虫、粪便以及剩余的食物在 80 °C 下烘干 48 h 至恒重，再分别称其干重，计算幼虫取食后的干湿比和干鲜比。将处理后的幼虫、粪便和剩余饲料分别在 50 °C 下烘 24 h，然后在 100 °C 下烘干，依据 WALDBAUER 的方法（郭文卿，2012；卢毅等，2014），测定试前饲料干重（A）、试后饲料干重（B）、试前幼虫干重（C）、试后幼虫干重（D）、粪便干重（E）、幼虫增加干质量（G）、幼虫平均体质量（B）、取食食物干质量（I）和发育历期（T），据此计算幼虫食物利用率（Efficiency of conversion of ingested food, ECI）、食物转化率（Efficiency of conversion of digested food, ECD）和近似消化率（Approximate digestibility, AD）等参数，计算公式如下：

食物利用率 (%) = $(D - C) / (A - B)$,
食物转化率 (%) = $(D - C) / (A - B - E)$,
近似消化率 (%) = $(A - B - E / A - B)$,
相对增长率 (%) $(\text{mg} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}) =$
幼虫增加干质量 / (发育历期 × 幼虫平均体质量),
相对取食率 (%) $(\text{mg} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}) =$
 $\frac{\text{取食食物干质量}}{\text{发育历期} \times \text{幼虫平均体质量}}$,
消耗食物量 $(\text{mg} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}) = A - B$,
消化食物量 $(\text{mg} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}) =$
消耗食物量 - 排出粪便量。

1.4 亚洲玉米螟幼虫对饲料氮的吸收利用测定

收集取食不同处理后的幼虫虫粪，将虫粪与幼虫分别在烘箱中烤干后妥善保存，用凯式定氮仪测定总氮含量，计算公式如下。

氮同化效率 (%) = $\frac{\text{摄入氮量} - \text{排出氮量}}{\text{摄入氮量}}$,
氮消耗速率 (%) $(\text{mg} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}) =$
摄入氮量 / (平均虫体重 × 测定时间),

氮排泄速率 (%) ($\text{mg} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) =
 排出氮量 / (平均虫体重 × 测定时间),
 氮生成速率 (%) ($\text{mg} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) =
 $\frac{\text{虫体增加氮量}}{\text{平均虫体重} \times \text{测定时间}}$,
 氮利用率 (%) = 氮生成速率 / 氮消耗速率。

1.5 数据处理

采用 Microsoft office Excel 2010 和 SPSS 23.0 统计分析软件对试验数据进行单因素 (One way ANOVA) 方差分析不同氮素含量水平人工饲料对亚洲玉米螟幼虫营养指标间的差异, 采用 Duncan's HSD 法进行多重比较, 显著性水平设定为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 氮含量水平对亚洲玉米螟 3 龄幼虫食物利用及营养指标的影响

亚洲玉米螟 3 龄幼虫取食不同氮素含量人工饲料后, 其食物利用率、食物转化率、近似消化率及相对取食率存在显著差异 ($P < 0.05$) (表 2)。其中, 取食中氮处理 N3 饲料的食物利用率、食物转化率最高, 分别为 $16.28\% \pm 0.89\%$ 和 $41.05\% \pm 4.07\%$, 其食物利用率和食物转化率均显著大于 N4 和 N5 两个高氮处理 ($P < 0.05$),

且 N2 低氮处理最低, 分别仅为 $3.32\% \pm 0.57\%$ 及 $2.36\% \pm 0.69\%$ 。随着食物中氮含量的增加近似消化率显著递增 ($P < 0.05$), 至 N5 高氮处理时达到最大, 为 $96.69\% \pm 3.31\%$; 相对增长率则除低氮 N1 为 (1.89 ± 0.27) $\text{mg}/(\text{mg} \cdot \text{d})$ 外, 其余各处理间均无显著差异 ($P > 0.05$); 消耗食物量方面, 中氮 N3 处理最大, 为 (0.29 ± 0.041) $\text{mg}/(\text{mg} \cdot \text{d})$, 其次是 N2 和 N1 两个低氮处理, N4 和 N5 高氮处理较低, 依次仅为 (0.15 ± 0.016) $\text{mg}/(\text{mg} \cdot \text{d})$ 和 (0.11 ± 0.006) $\text{mg}/(\text{mg} \cdot \text{d})$ 。

2.2 氮含量水平对亚洲玉米螟 4 龄幼虫食物利用及营养指标的影响

亚洲玉米螟 4 龄幼虫取食不同氮素含量人工饲料后, 其食物利用率、食物转化率和相对取食率等营养指标也存在显著差异 (表 3)。具体表现为: 食物利用率方面, 随着食物中氮含量的增加呈显著递增趋势 ($P < 0.05$), 至高氮 N5 处理时达到最大, 为 $22.13\% \pm 1.51\%$; 食物转化率方面, 取食中氮 N3 饲料时最高, 为 $33.99\% \pm 5.81\%$, 其次是 N5 和 N4 两个高氮处理, 低氮 N2 处理最低, 为 $10.93\% \pm 2.68\%$, 仅是中氮 N3 处理的 32.16% 。此外, 随着食物中氮含量的增加相对取食率显著递增 ($P < 0.05$), 至 N5 高氮处理时达到最大, 为 (87.84 ± 4.44) $\text{mg}/(\text{mg} \cdot \text{d})$;

表 2 不同氮素含量水平人工饲料对亚洲玉米螟 3 龄幼虫营养指标的影响
 Table 2 Effects of artificial diets with different N content levels on nutritional indexes of 3rd instar larvae of Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis*

氮含量 N content	食物利用率 (%) Food utilization (%)	食物转化率 (%) Food conversion efficiency (%)	近似消化率 (%) Approximate digestibility (%)	相对增长率 [mg/(mg·d)] Relative growth rate [mg/(mg·d)]	相对取食率 [mg/(mg·d)] Relative feeding rate [mg/(mg·d)]	消耗食物量 [mg/(mg·d)] Food consumption [mg/(mg·d)]	消化食物量 [mg/(mg·d)] Digested food quantity [mg/(mg·d)]
N1 (3.94%)	3.55±0.68 c	4.18±0.88 c	18.74±2.94 c	1.89±0.27 b	60.94±5.92 ab	0.19±0.018 bc	0.17±0.02 a
N2 (7.33%)	3.32±0.57 c	2.36±0.69 c	22.58±1.28 c	3.11±0.42 a	64.39±7.27 a	0.24±0.016 ab	0.02±0.01 c
N3 (10.69%)	16.28±0.89 a	41.05±4.07 a	42.26±3.32 b	3.48±0.17 a	25.67±4.50 c	0.29±0.041 a	0.13±0.02 b
N4 (18.84%)	9.38±1.92 b	11.49±2.61 b	88.26±4.29 a	3.19±0.31 a	46.67±7.58 b	0.15±0.016 cd	0.13±0.01 b
N5 (30.31%)	15.28±1.37 a	16.19±1.82 b	96.69±3.31 a	3.65±0.14 a	25.15±1.64 c	0.11±0.006 d	0.10±0.01 b

表中数据为平均数±标准误, 同列数据后标有不同小写字母表示不同氮素含量的人工饲料对亚洲玉米螟 3 龄幼虫的营养指标差异显著 ($P < 0.05$, Duncan's HSD)。下表同。

Data are mean±SE, and followed by different lowercase letters within a column indicate significant differences between different N content levels on nutritional indexes of 3rd instar larvae of Asian corn borer ($P < 0.05$, Duncan's HSD). The same below.

表 3 不同氮素含量水平人工饲料对亚洲玉米螟 4 龄幼虫营养指标的影响
Table 3 Effects of artificial diets with different N content levels on nutritional indexes of 4th instar larvae of Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis*

氮含量 N content	食物利用率 (%) Food utilization (%)	食物转化率 (%) Food conversion efficiency (%)	近似消化率 (%) Approximate digestibility (%)	相对增长率 [mg/(mg·d)] Relative growth rate[mg/(mg·d)]	相对取食率 [mg/(mg·d)] Relative feeding rate [mg/(mg·d)]	消耗食物量 [mg/(mg·d)] Food consumption [mg/(mg·d)]	消化食物量 [mg/(mg·d)] Digested food quantity [mg/(mg·d)]
N1 (3.94%)	7.55±0.69 c	15.99±2.05 cd	16.68±0.81 b	2.39±0.41 b	57.01±9.81 b	0.24±0.05 ab	0.10±0.01 b
N2 (7.33%)	11.13±2.59 bc	10.93±2.68 d	21.41±1.32 ab	2.68±0.75 ab	10.43±1.04 c	0.13±0.02 b	0.03±0.01 c
N3 (10.69%)	15.43±1.86 b	33.99±5.81 a	33.35±8.36 a	3.82±0.42 a	45.11±5.43 b	0.28±0.07 a	0.13±0.05 ab
N4 (18.84%)	16.06±1.26 b	22.29±2.71 bc	32.64±4.44 a	3.31±0.13 ab	76.19±5.59 a	0.26±0.04 ab	0.18±0.02 a
N5 (30.31%)	22.13±1.51 a	25.89±2.22 ab	23.26±2.33 ab	3.63±0.19 ab	87.84±4.44 a	0.16±0.02 ab	0.13±0.01 ab

近似消化率、相对增长率及消耗食物量则无显著差异 ($P>0.05$)；消化食物量方面，N4 高氮处理最大，为 (0.18±0.02) mg/(mg·d)，低氮 N2 处理最小，仅为 (0.03±0.01) mg/(mg·d)。

2.3 氮含量水平对亚洲玉米螟 5 龄幼虫食物利用及营养指标的影响

氮含量水平对亚洲玉米螟 5 龄幼虫食物利用及营养指标的影响低于 3 龄和 4 龄幼虫，且 5 龄幼虫的食物利用率、食物转化率、近似消化率及相对增长率等多个营养指标随食物中氮素含

量的增加差异不显著 ($P>0.05$) (表 4)，具体为，食物利用率和近似消化率分别在 N5 和 N4 高氮处理时达到最大，依次为 24.29%±7.01%、40.93%±2.94%，其余各氮含量处理间均无显著差异 ($P>0.05$)；食物转化率和相对增长率各处理间也均无显著差异 ($P>0.05$)；相对取食率方面，随着食物中氮含量的增加显著递增 ($P<0.05$)，在 N5 时达到最大，为 (98.12±2.01) mg/(mg·d)。消耗食物量方面，在 N1 低氮处理时达到最大，为 (0.69±0.08) mg/(mg·d)，而在 N5 高氮处理时最小，为 (0.08±0.01) mg/(mg·d)。

表 4 不同氮素含量水平人工饲料对亚洲玉米螟 5 龄幼虫营养指标的影响
Table 4 Effects of artificial diets with different N content levels on nutritional indexes of 5th instar larvae of Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis*

氮含量 N content	食物利用率 (%) Food utilization (%)	食物转化率 (%) Food conversion efficiency (%)	近似消化率 (%) Approximate digestibility (%)	相对增长率 [mg/(mg·d)] Relative growth rate [mg/(mg·d)]	相对取食率 [mg/(mg·d)] Relative feeding rate [mg/(mg·d)]	消耗食物量 [mg/(mg·d)] Food consumption [mg/(mg·d)]	消化食物量 [mg/(mg·d)] Digested food quantity [mg/(mg·d)]
N1 (3.94%)	4.96±0.46 b	18.56±2.51 ab	24.31±2.34 b	1.92±0.07 a	32.86±6.92 c	0.69±0.08 a	0.19±0.02 ab
N2 (7.33%)	8.44±1.13 b	11.38±2.87 b	25.46±2.15 b	2.07±0.29 a	22.42±2.84 c	0.38±0.05 b	0.16±0.04 bc
N3 (10.69%)	10.26±1.62 b	17.38±2.33 ab	24.73±4.18 b	2.44±0.37 a	52.74±5.49 b	0.52±0.05 b	0.28±0.05 a
N4 (18.84%)	12.67±1.65 b	22.31±2.91 ab	40.93±2.94 a	2.97±0.35 a	57.19±3.51 b	0.51±0.04 b	0.29±0.02 a
N5 (30.31%)	24.29±7.01 a	24.45±6.96 a	30.55±0.31 c	1.68±0.73 a	98.12±2.01 a	0.08±0.01 c	0.08±0.01 c

2.4 氮含量水平对亚洲玉米螟幼虫氮吸收利用的影响

相同虫龄亚洲玉米螟幼虫对不同氮含量水平饲料中氮的吸收利用情况存在一定差异 (表 5)，具体为，同一龄幼虫取食的氮消耗速率及

氮排泄速率随着食物氮含量水平的增加变化不大；氮生成速率在低氮 N1 和 N2 处理时显著大于中氮 N3、N4 和 N5 高氮处理 ($P<0.05$)；氮利用率均随着食物中氮素水平的增加而增大，至 N5 高氮处理时达到最大，3 龄、4 龄和 5 龄幼虫

分别为 72.33%、86.09%、90.91%。此外, 不同虫龄亚洲玉米螟幼虫对同一氮含量水平饲料中氮的吸收利用情况也存在一定差异, 具体为氮消耗速率、氮排泄速率及氮生成速率均随着虫龄的增加显著降低, 即 3 龄幼虫>4 龄幼虫>5 龄幼虫, 氮利用率则在 N2 和 N5 含量时随着虫龄的增大显著增加 ($P<0.05$), 均在 5 龄幼虫时达到最大, 分别为 30.41%、90.91%。

表 5 3 龄、4 龄和 5 龄亚洲玉米螟幼虫对饲料中氮的吸收利用
Table 5 Consumption and utilization of nitrogen in different nitrogen containing quantifiers by 3rd instar, 4th instar and 5th instar larvae, *Ostrinia furnacalis*

龄期 Age	N 素含量 Nitrogen conten	营养指标 Nutritional indicator				
		氮消耗速率 [mg/(mg·d)] Nitrogen consumption rate [mg/(mg·d)]	氮排泄速率 [mg/(mg·d)] Nitrogen excretion rate [mg/(mg·d)]	氮生成速率 [mg/(mg·d)] Nitrogen generation rate [mg/(mg·d)]	氮同化效率 (%) Nitrogen assimilation efficiency (%)	氮利用率 (%) Nitrogen utilization (%)
3 龄幼虫 3rd instar	N1 (3.94%)	0.071 6 a	0.017 4 b	0.054 2 a	75.69 b	24.31 d
	N2 (7.33%)	0.082 4 a	0.013 3 b	0.070 1 a	84.38 a	15.62 e
	N3 (10.69%)	0.015 9 b	0.015 3 b	0.010 7 b	67.06 c	32.94 c
	N4 (18.84%)	0.074 9 a	0.051 2 a	0.023 8 b	31.74 d	68.27 b
	N5 (30.31%)	0.053 8 a	0.038 9 a	0.014 9 b	27.67 d	72.33 a
4 龄幼虫 4th instar	N1 (3.94%)	0.027 9 b	0.004 2 c	0.023 2 a	84.44 a	15.56 e
	N2 (7.33%)	0.038 5 a	0.054 5 a	0.024 5 a	71.46 b	28.54 d
	N3 (10.69%)	0.012 8 d	0.005 8 c	0.007 1 b	55.76 c	44.24 c
	N4 (18.84%)	0.016 5 cd	0.047 6 a	0.006 9 b	42.34 d	57.66 b
	N5 (30.31%)	0.022 6 bc	0.019 4 b	0.003 1 b	13.90 e	86.09 a
5 龄幼虫 5th instar	N1 (3.94%)	0.013 2 ab	0.013 0 a	0.010 6 a	80.29 a	19.71 e
	N2 (7.33%)	0.015 5 a	0.004 7 b	0.010 8 a	69.59 b	30.41 d
	N3 (10.69%)	0.010 5 b	0.003 9 b	0.006 6 b	62.50 c	37.50 c
	N4 (18.84%)	0.009 6 b	0.004 9 b	0.004 7 b	48.65 d	51.35 b
	N5 (30.31%)	0.015 3 a	0.014 0 a	0.001 4 c	9.09 e	90.91 a

3 结论与讨论

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(吕仲贤等, 1996)。施氮可以通过植物影响植食性昆虫的营养指标、存活率和发育历期等参数(魏智娟, 2008; 庞淑婷和董元华, 2013)。本文研究了亚洲玉米螟取食不同氮含量的人工饲料后的营养消耗和食物利用情况, 结果表明, 亚洲玉米螟 3 龄、4 龄和 5 龄幼虫的食物利用率、食物转化率和近似消化率变化趋势一致, 均表现为随着饲料中氮素含量增加也随之升高。这说明亚洲玉米螟

可通过调整食物利用率和近似消化率之间的平衡来响应食物质量的变化, 且高氮 N4 (18.84%) 和 N5 (30.31%) 处理的同龄幼虫显著高于低氮 N1 (3.94%) 和 N2 (N7.33%) 处理的, 而低氮处理的食物消耗率显著升高, 推测原因是幼虫取食低氮处理的人工饲料使其对食物的消化和吸收能力减弱, 而为了维持正常的生长发育, 亚洲玉米螟幼虫需要通过提高消耗率对低转化率进行生理补偿(高海燕等, 2008), 许多学者对鳞翅目其他害虫的研究中也得出相似结论(唐庆峰等, 2020)。本研究中取食高氮 N5 (30.31%) 的人工饲料对 4 龄和 5 龄幼虫的相对增长率有明

显促进作用；亚洲玉米螟 3 龄、4 龄和 5 龄幼虫取食不同氮素含量的人工饲料的消耗食物量和消化食物量没有明显的差异 ($P>0.05$)，以此推断氮素含量可能对亚洲玉米螟幼虫消耗食物量和消化食物量没有显著影响；亚洲玉米螟幼虫取食低氮处理饲料后，其食物转化率和食物利用率均有不同程度地降低，而取食高氮 N5 (30.31%) 处理组的食物转化率和食物利用率高于低氮 N1 (3.94%) 处理组的，且显著高于中氮 N3 (10.69%) 对照 ($P<0.05$)。这与王沫 (2020) 研究发现昆虫能够通过调整其食物消耗率和转化率维持正常生长发育，且高氮处理对相对增长率有促进作用的结果基本一致，这一结果进一步表明高氮处理有利于亚洲玉米螟正常生长。

综上所述，不同氮素含量的人工饲料对亚洲玉米螟的营养效应及存活率有显著影响，通过本研究，不仅为阐明亚洲玉米螟对不同氮素含量饲料的取食选择性的生理机制奠定基础，而且为进一步分析亚洲玉米螟对为害植物的适应性和主动应对性及综合防治策略提供一定的理论依据。

参考文献 (References)

- Augner M, 1995. Low nutritive quality as a plant defence: Effects of herbivore-mediated interactions. *Evolutionary Ecology*, 9(6): 605–616.
- Beck SD, 1972. Insect and Mite Nutrition. North Holland: Amsterdam. 1–6.
- Brues CT, 1946. Insect Dietary. Cambridge: Harvard University Press. 122–126.
- Calow P, 1977. Ecology evolution and energetics: A study in metabolic adaptation. *Advances in Ecological Research*, 10(5): 1–62.
- Gao HY, Wang J, Zhu JS, Qiao XW, 2008. Effects of sublethal dose of emamectin benzoate on food utilization of silkworm, *Bombyx mori*. *Acta Pesticide Science*, 10(3): 297–302. [高海燕, 王静, 朱九生, 乔雄梧, 2008. 亚致死剂量甲氨基阿维菌素苯甲酸盐对家蚕食物利用的影响. 农药学报, 10(3): 297–302.]
- Casey CA, Raupp MJ, 1999. Supplemental nitrogen fertilization of containerized azalea does not affect performance of azalea lace bug (Heteroptera: Tingidae). *Environmental Entomology*, 28(6): 998–1003.
- Chen B, He SQ, Zhang LM, Yang JC, Yan NS, Li ZY, 2015. The control effect of sugarcane intercropping corn on the occurrence of Asian corn borer. *Acta Phytophylacica Sinica*, 42(4): 591–597.
- [陈斌, 和淑琪, 张立敏, 杨进成, 严乃胜, 李正跃, 2015. 甘蔗间作玉米对亚洲玉米螟发生为害的控制作用. 植物保护学报, 42(4): 591–597.]
- Guo WQ, 2012. Nutritional requirements of *Cnaphalocrocis medinalis* Guenee (Lepidoptera: Pyralidae) larvae for nitrogen and sugar in artificial diets. Nanjing: Nanjing Agricultural University. [郭文卿, 2012. 稻纵卷叶螟幼虫对氮和糖营养的需要. 硕士学位论文. 南京: 南京农业大学.]
- James C, 2003. Preview: Global status of commercialized transgenic crops. *Isaaa Briefs*, 30(2): 1–6.
- Lee KE, 1985. Earthworms: Their ecology and Relationship with Soil and Land Use. New York: Academic. 321–328.
- Li Z, Liu XX, Zhang QW, 2014. The effect of different nitrogen levels on the growth, development and reproduction of the wheat aphid. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(2): 353–359.
- [栗治, 刘小侠, 张青文, 2014. 不同氮水平对麦二叉蚜生长发育和繁殖的影响. 应用昆虫学报, 51(2): 353–359.]
- Liu XX, Jiang D, Meng ZJ, Yan SC, 2020. Effects of secondary substances on food utilization by *Hyphantria cunea* larvae. *Journal of Northeast Forestry University*, 48(5): 99–103. [刘晓霞, 姜墩, 孟昭军, 严善春, 2020. 植物次生物质对美国白蛾食物利用的影响. 东北林业大学学报, 48(5): 99–103.]
- Lu Y, Li BP, Meng L, 2014. The effect of nitrogen fertilizer on the food utilization and growth characteristics of *Spodoptera litura*. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 37(3): 72–76. [卢毅, 李保平, 孟玲, 2014. 氮肥对斜纹夜蛾食物利用及生长发育特征的影响. 南京农业大学学报, 37(3): 72–76.]
- Lü ZX, Hu C, Yang ZF, 1996. Effects of nitrogen and sugar on the growth and development of Asian corn borer larvae. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 8(4): 222–225. [吕仲贤, 胡萃, 杨樟法, 1996. 氮和糖对亚洲玉米螟幼虫生长发育的影响. 浙江农业学报, 8(4): 222–225.]
- Lü ZX, Hu C, Yang ZF, 1995. Effects of nitrogen and sugar content in feed on feeding of Asian corn borer larvae. *Journal of Zhejiang Agricultural University*, 21(6): 588–592. [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, 21(6): 588–592.]
- Pang ST, Dong YH, 2013. Effects of different leaf fertilizers on tomato plant physiology and biochemistry and *Bemisia tabaci* population ecology. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 21(4): 465–473. [庞淑婷, 董元华, 2013. 不同叶面肥对番茄植株生理生化及烟粉虱种群生态的影响. 中国生态农业学报, 21(4): 465–473.]
- Slansky FJ, Rodriguez JG, 1987. Nutritional Ecology of Insect,

- Mites, Spiders, and Related Invertebrates. New York: John Wiley and Sons. 351–359.
- Tang QF, Fang M, Yao L, Qiu K, Zheng ZY, Jin T, Li GT, 2020. Effects of different feeding tissues on growth, development and nutritional parameters of *Spodoptera exigua*. *Plant Protection*, 46(1): 24–27, 33. [唐庆峰, 房敏, 姚领, 邱坤, 郑兆阳, 金涛, 李桂亭, 2020. 取食玉米不同组织对草地贪夜蛾生长发育及营养指标的影响. 植物保护, 46(1): 24–27, 33.]
- Wang M, 2020. Adaptability of *Hyphantria cunea* to plant secondary metabolites. Master dissertation. Harbin: Northeast Forestry University. [王沫, 2020. 美国白蛾对植物次生代谢物质的适应性. 硕士学位论文. 哈尔滨: 东北林业大学.]
- Wang QQ, Wang L, Li KB, Cao YZ, Ying J, Xiao C, 2015. Nutritional effects and digestive enzymes of different host plants on grass borer. *Plant Protection*, 41(4): 46–51. [王倩倩, 王蕾, 李克斌, 曹雅忠, 尹姣, 肖春, 2015. 不同寄主植物对草地螟的营养作用及消化酶的影响. 植物保护, 41(4): 46–51.]
- Wei ZJ, 2008. Effects of nitrogen fertilizer on tea trees and main pests and natural enemies. Master dissertation. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University. [魏智娟, 2008. 氮肥对茶树及主要害虫和天敌的影响. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学.]
- Yang HB, Zhou QM, Yang HQ, Gao ZQ, Zhou JH, 2008. The effect of rain washing on the surface sucrose esters and related chemical components of flue-cured tobacco leaves. *Hunan Agricultural Sciences*, 272(5): 33–36. [阳会兵, 周清明, 杨虹琦, 高志强, 周冀衡, 2008. 雨水冲刷对烤烟叶表面蔗糖酯及相关化学成分的影响. 湖南农业科学, 272(5): 33–36.]
- Zhang L, 2020. Effects of different nitrogen application levels and varieties on sugarcane tail silage quality and microbial diversity. Master dissertation. Nanning: Guangxi University. [张露, 2020. 不同施氮水平和品种对甘蔗尾青贮品质以及微生物多样性的影响. 硕士学位论文. 南宁: 广西大学.]
- Zhou DR, Wang YY, Liu BL, Ju ZL, 1980. Study on artificial mass reproduction of corn borer: I. A semi artificial feed and its improvement. *Journal of Plant Protection*, 7(2): 113–122. [周大荣, 王玉英, 刘宝兰, 剧正理, 1980. 玉米螟人工大量繁殖研究: I. 一种半人工饲料及其改进. 植物保护学报, 7(2): 113–122.]
- Zhu M, Meng L, Li BP, 2015. The effect of high CO₂ concentration and nitrogen-fixing bacteria on the food use efficiency of *Spodoptera litura* larvae. *Acta Ecologica Sinica*, 35(2): 333–339. [朱敏, 孟玲, 李保平, 2015. 高 CO₂ 浓度和固氮菌对斜纹夜蛾幼虫食物利用效率的影响. 生态学报, 35(2): 333–339.]