

不同食料对二化螟生长和繁殖的影响*

杨 宙** 汤国平 韩瑞才 朱 珊 黄仁良***

(江西省农业科学院水稻研究所, 水稻国家工程研究中心, 南昌 330200)

摘 要 【目的】明确不同食料对二化螟 *Chilo suppressalis* 生长发育和繁殖的影响。【方法】用人工饲料、水稻和茭白分别饲养二化螟, 比较个体生长发育速度、整齐度和繁殖力。【结果】取食人工饲料、水稻和茭白的二化螟, 其幼虫历期分别为 32.3、26.0 和 22.5 d, 6 龄幼虫重量分别为 69.8、71.9 和 75.5 mg, 取食人工饲料与茭白的二化螟幼虫历期和 6 龄幼虫重量之间都有显著差异 ($P<0.05$)。取食茭白的幼虫重量和蛹重量频率分布较为集中, 具有更好的整齐度。人工饲料饲养二化螟的蛹历期为 8.3 d, 相比在水稻和茭白上显著延长 ($P<0.05$)。人工饲料、水稻和茭白饲养二化螟的幼虫存活率、化蛹数、蛹重和成虫数均依次递增, 茭白能够使更多的二化螟个体完成生活史, 并且具有更高的个体重量和产卵量。3 种食料中, 二化螟成虫产卵量和卵孵化率无显著差异 ($P>0.05$)。【结论】取食茭白的二化螟生长发育速度最快, 个体质量和整齐度也较好, 具有最高的繁殖力。

关键词 二化螟; 人工饲料; 水稻; 茭白; 幼虫历期; 繁殖力; 频率分布

Effects of different foods on the growth and reproduction of the rice stem borer *Chilo suppressalis*

YANG Zhou** TANG Guo-Ping HAN Rui-Cai ZHU Shan HUANG Ren-Liang***

(Rice Research Institute, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, National Research Center for Rice Engineering, Nanchang 330200, China)

Abstract [Aim] To assess the effects of different foods on the growth and reproduction of striped stem borer (*Chilo suppressalis*). [Methods] Striped stem borer larvae were reared on either an artificial diet, cultivated rice, or wild rice, and their growth, uniformity of development and reproductive capacity on each food type were measured and compared. [Results] Larvae survived on the artificial diet, rice and wild rice for 32.3, 26.0 and 22.5 d, respectively, and attained sixth-instar weights of 69.8, 71.9 and 75.5 mg, respectively. Significant differences were observed between larval periods and sixth-instar weights of larvae reared on the artificial diet and wild rice ($P<0.05$). The frequency distribution of the weight of larvae and pupae fed on wild rice was more normally distributed, and their development was more uniform. The pupal period of larvae fed the artificial diet reached 8.3 d; noticeably longer than that of those that fed cultivated or wild rice ($P<0.05$). The larval survival rate, pupation rate, pupal weight, and number of adults produced, were highest in larvae fed on wild rice and lowest in those fed the artificial diet. A greater proportion of the larvae that were fed wild rice completed their life cycle and these also attained higher pupal weights and adult fecundity. Food type had no significant effect the number of eggs laid or the hatching rate ($P>0.05$). [Conclusion] *C. suppressalis* larvae that feed on wild rice develop quicker, have higher pupal weight, more uniformity of development, and higher fecundity.

Key words *Chilo suppressalis*; artificial diet; cultivated rice; wild rice; larval period; reproductive capacity; frequency distribution

*资助项目 Supported projects: 江西省重点研发计划-重点项目 (20212BBF61005); 国家自然科学基金 (31460493); 江西现代农业科研协同创新专项项目 (JXXTCX202104)

**第一作者 First author, E-mail: yangzhou0822@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: huang_rls@126.com

收稿日期 Received: 2023-06-26; 接受日期 Accepted: 2024-08-01

二化螟 *Chilo suppressalis* 是我国水稻的主要害虫之一, 通过蛀食水稻茎部而造成枯鞘、枯心或白穗, 严重影响水稻产量 (Pathak, 2007)。二化螟食性较杂, 除水稻外, 还危害玉米、油菜、麦类和茭白等多种作物, 是农业的重要防治目标 (薛进等, 2005)。长期以来, 二化螟一直依靠化学杀虫剂防治, 在很多地区已经产生了抗性种群, 开发新型杀虫剂是解决该问题的有效方法 (韩招久等, 2002; Huang *et al.*, 2017)。害虫防治技术的开发以理论研究和毒性试验为基础, 需要大量生长状态一致的幼虫作为试验对象, 因此, 对大规模饲养方法提出了需求 (Nava and Parra, 2005; Masoud *et al.*, 2010; 李海东等, 2011)。理想的昆虫饲养方法除了能够快速获得大量幼虫个体外, 还要使个体的生长发育状态尽量一致, 并且保持较高的繁殖力。

二化螟的人工饲养很早就引起了人们的重视, 经过探索和实践, 研究人员开发出了多种饲养方法 (尚雅珍等, 1979; 孟凤霞等, 2003; 胡阳等, 2013; 李波等, 2015)。环境是二化螟饲养的一个基本条件, 包括温度、湿度和光照等, 其中温度的影响最为明显, 相关的报导也较多 (叶艺林和王红秀, 2007; 杨宙等, 2020)。研究表明, 二化螟繁殖的最适温度为 27-29 °C, 适当提高温度可以加快生长发育进程, 但是温度过高也会带来不利影响。当日最高气温超过 33 °C 时, 二化螟的存活率和繁殖力下降; 超过 36 °C 时, 幼虫的发育历期明显延长 (罗举等, 2005)。二化螟具有群居特性, 种群密度对幼虫生长速度和繁殖力都有一定的影响, 在饲养过程中需要对幼虫密度进行控制 (戴长庚等, 2016)。

食料是二化螟饲养的另一个基本条件, 不同饲养方法的差别主要体现在食料上。对昆虫而言, 不同食料所包含的营养成分和次生代谢物质不同, 取食后的生长发育速度和繁殖力会出现差异, 因此食料的选择对建立昆虫高效饲养方法至关重要 (钦俊德和王琛柱, 2001; 范能能等, 2022; 张仁福等, 2022)。二化螟的食料包括人工饲料和天然食料, 其中人工饲料由人工配制, 具有固定的配方, 一年四季都可以

用于二化螟饲养。早在 20 世纪 70 年代, 日本学者 Kamano (1973) 就研制出二化螟的人工饲料, 成功实现了室内连续多代饲养。随后, 我国的尚雅珍和王银淑 (1984) 进一步在此基础上开展了人工饲料的实用化研究, 优化配方, 改良后的饲料能够累代大量饲养二化螟。近年来, 国内学者对二化螟人工饲料不断进行研制、优化和筛选, 使得饲养效率和规模大幅提高, 操作简便且成本降低, 形成了成熟的二化螟饲养体系 (刘慧敏等, 2005; 胡阳等, 2013; 李波等, 2015)。

天然食料是二化螟在自然界中取食的寄主植物, 虽然种类较多, 但是用于昆虫饲养的主要是水稻和茭白, 也有少数研究采用了荸荠 (尚雅珍等, 1979; 陈建明等, 2003; 孟凤霞等, 2003)。以水稻为食料的二化螟饲养方法起步较早, 一般采用稻苗和茎秆的形式, 取材方便, 但是需要频繁更换 (陈建明等, 2003; 陆玉荣等, 2003)。茭白以肉质茎作为二化螟的食料, 其营养丰富, 质地柔软, 有利于幼虫的生长。与水稻相比, 取食茭白的二化螟生长发育速度快, 个体质量也更高 (俞晓平等, 2002; 陈建明等, 2003; 孟凤霞等, 2003)。然而, 茭白被蛀食后容易腐烂变质, 也需要频繁更换, 限制了其在二化螟饲养中的应用。杨宙等 (2020) 报导了一种以茭白为食料大规模饲养二化螟的方法, 通过优化操作过程和环境条件, 获得了较高的饲养效率。

目前基于不同食料的二化螟饲养方法有多种, 都有各自的技术特点, 因此需要对这些方法的优缺点进行深入分析。本研究以人工饲料、水稻和茭白分别饲养二化螟, 比较个体的生长发育速度、整齐度和繁殖力, 分析 3 种食料对二化螟生长发育和繁殖的影响, 为在不同情况下选择最佳饲养方法提供依据。

1 材料与方 法

1.1 材料

供试虫源为 2021 年 7 月在南昌市进贤县未

喷洒杀虫剂的水稻田中采集的二化螟卵块。水稻植株为本实验室收集并保存的籼稻品种明恢 63, 大田种植, 不喷洒杀虫剂, 取拔节期的茎秆切成 10-12 cm 长作为二化螟食料, 取分蘖期的整个植株作为产卵场所。新鲜的茭白肉质茎从本地的生鲜超市购买, 切成片状使用。

人工饲料参照李波等 (2015) 方法配制, 切成片状使用。饲料成分中的大豆粉从本地超市购买, 复合维生素 B 为自行配制, 其它化学试剂为国产分析纯。培养盒和产卵箱参照杨宙等 (2020) 方法制作。

1.2 方法

1.2.1 幼虫孵化和饲养 二化螟卵块放在 2 mL 离心管中, 离心管底部加少量水保持湿度, 孵化后将 1 龄幼虫转移到食料中饲养。幼虫孵化和整个饲养过程都在光照培养箱 (GHP-300E 型, 上海三发科学仪器有限公司) 中进行, 设置温度 28 °C, 相对湿度 75%±5%, 光照周期 16 L : 8 D。所用的 3 种食料为人工饲料、水稻和茭白, 每种食料分别饲养 4 盒幼虫, 作为 4 个重复。每个培养盒放置 30 g 食料, 然后接入 100 头 1 龄幼虫。随着幼虫龄期的增长和食料消耗, 定期更换食料, 同时逐渐增加投放量以满足幼虫生长所需。人工饲料、水稻和茭白的更换周期分别为 8、7 和 4 d, 操作方法为: 向原培养盒中放入新鲜食料, 吸引大部分幼虫自动转移取食; 然后将新鲜食料连同幼虫转移到新培养盒中, 并找出原培养盒中残留的幼虫也转移至新培养盒。重复上述步骤直至幼虫化蛹, 记录幼虫历期和存活率。

1.2.2 幼虫生长发育速度和整齐度测定 幼虫孵化后的第 8 天开始, 从每个培养盒中随机选择 50 头幼虫称量虫体总重量, 计算单头幼虫的重量。每 2 d 称量 1 次, 直至幼虫化蛹, 记录幼虫的生长发育速度。二化螟幼虫在刚发育至 4 龄时活动能力强, 取食量和生长速度快速增加, 个体重量之间会出现较大差异。因此, 在这个时期从每种食料的 4 个培养盒中各随机选择 15 头幼虫, 总共 60 头幼虫作为 1 个样本, 称量单头幼虫的重量, 获得幼虫重量的频率分布。

1.2.3 幼虫诱导化蛹和繁殖力测定 幼虫的化蛹、羽化和产卵等参照杨宙等 (2020) 方法操作, 幼虫在完成化蛹后记录化蛹数量。称量每个培养盒中所有蛹的总重, 计算蛹重。从每种食料的 4 个培养盒中各随机选择 15 头蛹, 总共 60 个蛹作为 1 个样本, 称量单头蛹的重量, 获得虫蛹重量的频率分布。在后续过程中记录蛹历期和成虫数, 成虫产卵后记录产卵量和卵孵化率。

1.3 数据分析

应用 SPSS16.0 软件对试验数据进行统计分析, 采用 Tukey's HSD 多重比较检验 3 种食料间的差异, 采用 *F* 检验法进行整齐度比较。

2 结果与分析

2.1 食料对二化螟幼虫生长速度的影响

随着饲养时间延长, 3 种食料中幼虫重量逐渐增加, 但是增加的幅度不同。在相同时间点称量的幼虫重量, 从小到大对应的食料依次为人工饲料、水稻和茭白, 相互之间都具有显著性差异 ($P < 0.05$)。取食人工饲料的二化螟幼虫发育最慢, 水稻其次, 茭白最快, 幼虫历期分别为 (32.3 ± 1.0)、(26.0 ± 0.9) 和 (22.5 ± 0.7) d。幼虫发育至最后停止生长, 处于 6 龄阶段, 人工饲料、水稻和茭白中的幼虫重量分别达到 (69.8 ± 2.2)、(71.9 ± 3.2) 和 (75.5 ± 2.5) mg, 人工饲料[(69.8 ± 2.2) mg] 与茭白[(75.5 ± 2.5) mg] 中的幼虫重量之间具有显著性差异 ($P < 0.05$) (图 1)。因此, 茭白中的二化螟幼虫生长发育速度最快, 其同期重量和最终重量都不同程度地大于另外 2 种食料。水稻中的幼虫生长发育速度相比茭白中的幼虫较慢, 人工饲料中的幼虫生长发育速度最慢。

2.2 食料对二化螟幼虫和蛹整齐度的影响

人工饲料中的幼虫进入 4 龄时重量为 (27.2 ± 0.8) mg, 主要集中在 17.5-37.5 mg 之间; 水稻中的幼虫重量为 (27.8 ± 0.8) mg, 主要集中在 20.0-40.0 mg 之间; 茭白中的幼虫重量为 (29.0 ± 0.6) mg, 主要集中在 20.0-35.0 mg 之间 (图 2: A)。分析

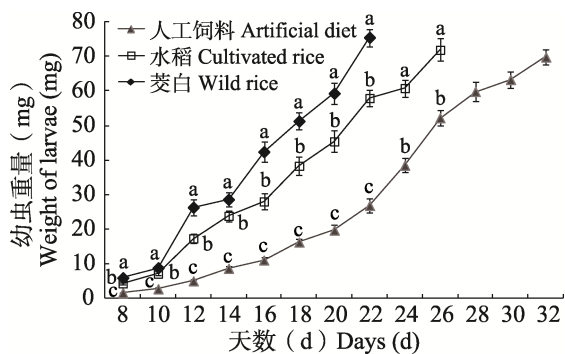


图 1 取食不同食料的二化螟幼虫重量

Fig. 1 Weight of *Chilo suppressalis* larvae fed on different diets

图中数据为平均数±标准误。同一天数据上标注不同小写字母表示经 Tukey's HSD 多重比较在 $P < 0.05$ 水平差异显著。

Data in the figure are mean±SE. Data with different lowercase letters in the same number of days indicate significant difference at $P < 0.05$ level by Tukey's HSD test.

结果表明, 与人工饲料和水稻相比, 茭白中幼虫重量的频率分布较为集中, 整齐度更好, 具有显著差异 ($P < 0.05$)。人工饲料中的幼虫与水稻中的相比, 整齐度没有显著差异 ($P > 0.05$)。

人工饲料中的蛹重量为 (55.4 ± 1.3) mg, 主要集中在 35.0-75.0 mg 之间; 水稻中的蛹重量为 (57.2 ± 1.5) mg, 主要集中在 40.0-80.0 mg 之间; 茭白中的蛹重量为 (60.8 ± 1.2) mg, 主要集中在 50.0-80.0 mg 之间 (图 2: B)。分析结果表明, 与水稻相比, 茭白中蛹重量的频率分布较为集中, 整齐度更好, 具有显著差异 ($P < 0.05$)。人工饲料中的蛹与其它 2 种相比没有出现显著差异 ($P > 0.05$)。因此, 3 种食料中, 取食茭白的二化螟个体生长发育最为整齐。

2.3 食料对二化螟发育速度和繁殖力的影响

人工饲料中的二化螟幼虫历期和蛹历期分

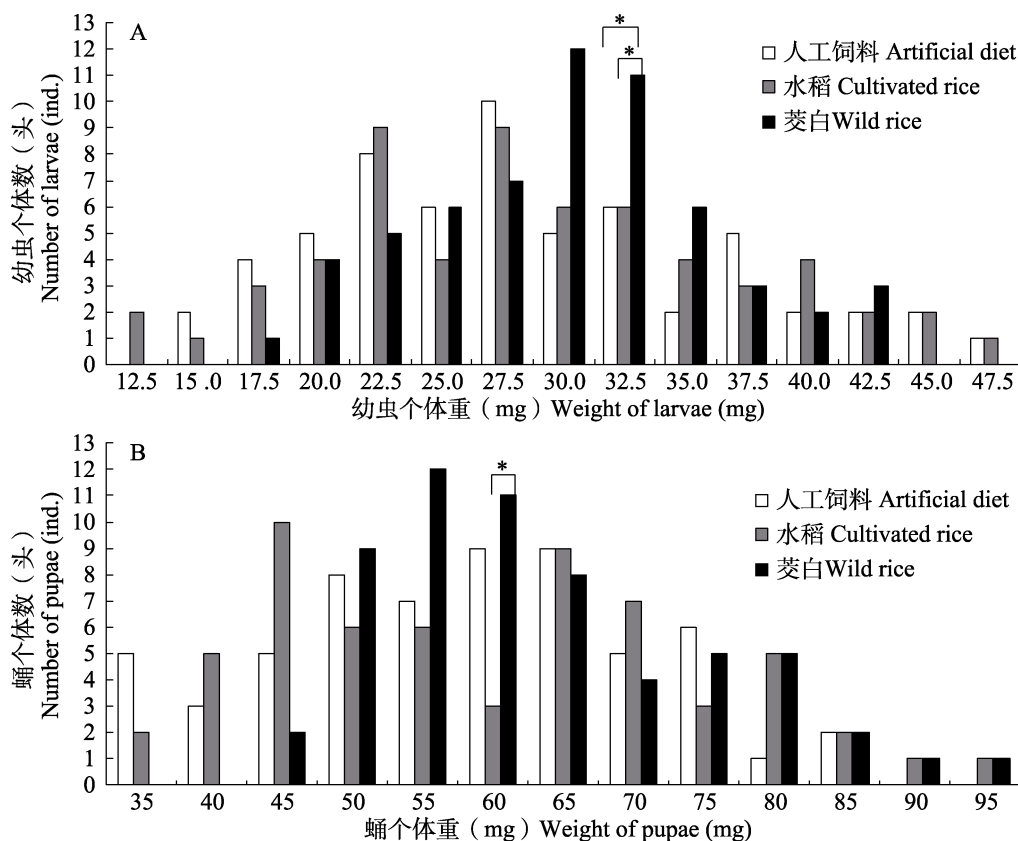


图 2 取食不同食料的二化螟幼虫 (A) 和蛹 (B) 重量频率分布

Fig. 2 Frequency distributions of weight of *Chilo suppressalis* larvae (A) and pupae (B) fed on different diets

*表示两个系列中的个体在 $P < 0.05$ 水平整齐度差异显著 (F 检验法)。

* indicates significant difference between uniformities of individual on these two series at $P < 0.05$ level by F -test.

别达到 (32.3±1.0) 和 (8.3±0.5) d, 相比自然寄主水稻和茭白中相应的历期显著延长 ($P<0.05$), 具有较慢的发育速度。自然寄主中, 取食茭白的二化螟与取食水稻的相比幼虫历期显著缩短 ($P<0.05$), 蛹历期没有出现显著差异 ($P>0.05$), 发育速度最快。幼虫存活率、化蛹数、蛹重和成虫数在人工饲料、水稻和茭白中都是依次递增, 茭白中的幼虫存活率和化蛹数显著高于人工饲料和水稻 ($P<0.05$), 茭白中的蛹重显著大于人工饲料 ($P<0.05$), 水

稻和茭白中的成虫数与人工饲料之间出现显著差异 ($P<0.05$), 表明茭白能够使更多的二化螟个体完成生活史, 并且具有更高的个体质量。取食 3 种食料的二化螟成虫产卵量和卵孵化率都没有显著差异 ($P>0.05$), 繁殖力基本相同 (表 1)。综合分析结果表明, 取食人工饲料的二化螟发育速度较慢, 繁殖力较低; 取食茭白的二化螟发育速度最快, 繁殖力最高; 取食水稻的二化螟发育速度和繁殖力介于前面两者之间。

表 1 取食不同食料的二化螟发育速度和繁殖力
Table 1 The growing speeds and reproductive efficiencies of *Chilo suppressalis* fed on different diets

食料 Food	幼虫历期 (d) Larval period (d)	存活率 (%) Survival rate (%)	化蛹数 Number of pupation	蛹重 (mg) Weight of pupae (mg)	蛹历期 (d) Pupal period (d)	成虫数 Number of adults	产卵量 (粒) Number of eggs (grain)	卵孵化率 (%) Egg hatching rate (%)
人工饲料 Artificial diet	32.3±0.1 a	75.5±3.5 a	57.8±3.3 a	55.4±1.9 a	8.3±0.5 a	49.0±2.2 a	90.7±12.9 a	94.5±0.9 a
水稻 Cultivated rice	26.0±0.9 b	80.3±3.0 a	68.0±2.2 b	57.2±2.4 ab	7.3±0.3 b	59.8±2.5 b	97.8±16.2 a	92.8±1.2 a
茭白 Wild rice	22.5±0.7 c	89.8±2.1 b	74.5±2.6 c	61.0±1.8 b	7.5±0.4 b	63.5±2.4 b	102.1±15.3 a	93.4±1.0 a

表中数据为平均数±标准误, 同列数据后标注不同小写字母表示经 Tukey's HSD 多重比较在 $P<0.05$ 水平差异显著。
Data in the table are mean±SE, and followed by different lowercase letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Tukey's HSD test.

3 讨论

植食性昆虫饲养所用的食料一直以来都是以人工饲料为主, 天然寄主植物受天气条件限制和农药残留影响, 大部分情况下难以满足实际需求 (Chaudhury and Skoda, 2013; 曾凡荣, 2018)。目前二化螟的饲养方法有多种, 通过对不同食料进行分析比较, 有利于选择适应不同需求的最佳饲养方法。本研究分析了人工饲料、水稻和茭白分别作为食料时对二化螟生长和繁殖的影响, 发现取食茭白的二化螟生长发育速度最快, 个体质量和整齐度最好。3 种食料中单头成虫的繁殖力没有差异, 但是茭白饲养获得的成虫数量多, 具有最高的繁殖力。

人工饲料在二化螟饲养中的应用历史很

长, 相关的研究也较多, 其成分的不断改良是二化螟饲养技术进步的重要体现。本研究的结果表明, 取食人工饲料的二化螟发育较慢, 个体质量、整齐度和繁殖力与自然寄主相比并不理想。但是, 人工饲料的优点在于稳定性好, 不容易腐烂变质, 因此饲养过程中更换频率低, 减少了工作量和幼虫的非正常死亡 (Jha et al., 2012)。同时, 人工饲料配制好后易于储存, 可以不受季节限制, 实现二化螟的周年饲养。另外, 取食人工饲料的二化螟发育较慢, 在周年饲养中世代数少, 延缓了种群的退化速度。因此, 人工饲料适合用于二化螟在缺乏新鲜天然食料的季节饲养繁殖, 以及特定品系的周年饲养保存。

水稻和茭白作为天然食料, 其营养成分保持新鲜状态, 并且含有二化螟完成整个生活史

必需的所有微量养分(俞晓平等, 2002; 陈建明等, 2003; 孟凤霞等, 2003)。本研究首次比较了人工饲料和天然食料对二化螟生长和繁殖的影响, 发现利用天然食料能够获得更好的饲养效果。目前以天然寄主为食料的二化螟饲养方法大多在室内进行, 采用离体的水稻茎秆和茭白肉质茎。相比之下, 在田间利用活体寄主饲养二化螟的报道则很少, 原因在于二化螟幼虫钻蛀取食, 饲养过程中难以观察和收集, 还存在逃逸的可能。同时, 田间饲养的二化螟不仅面临不利环境条件和自然天敌的威胁, 还会受到寄主植物被取食时产生的次生代谢物的负面影响(刘旭等, 2023)。

国内外学者对其它鳞翅目昆虫的研究表明, 取食人工饲料的昆虫相比取食天然食料具有更高的存活率、个体质量和繁殖力(严珍等, 2013; Teimouri *et al.*, 2015)。本研究的结果与上述报道不一致, 可能与昆虫种类及其对天然食料的适应性有关。昆虫取食不同食料时会形成具有不同种类、相对丰度和功能的肠道微生物群落, 以适应食料中营养成分和次生代谢物含量的变化(张雨等, 2022; Mugo-Kamiri *et al.*, 2024)。将水稻与茭白进行比较, 茭白的饲养效果更好, 主要表现在幼虫发育速度快, 存活率和个体质量高, 与俞晓平等(2002)、陈建明等(2003)及孟凤霞等(2003)报道的结果一致。3种食料中, 取食茭白的二化螟幼虫和蛹重频率分布集中, 具有最好的整齐度, 其生长发育保持同步有利于简化饲养操作。幼虫的整齐度好可以保证理论研究和药物筛选对象状态一致, 从而提高试验结果的准确性; 蛹的整齐度好可以使更多成虫集中羽化, 通过充分的交配来获得更多卵块。因此, 茭白适合在新鲜上市季节用于二化螟的快速繁殖。综上所述, 人工饲料、水稻和茭白都能用于二化螟的大规模饲养, 在不同情况下可以根据实际条件和需求进行选择。

参考文献 (References)

- Chaudhury MF, Skoda SR, 2013. An artificial diet for rearing *Cochliomyia macellaria* (Diptera: Calliphoridae). *Journal of Economic Entomology*, 106(4): 1927–1931.

- Chen JM, Yu XP, Zheng XS, Xu HX, Lü ZX, Zhang JF, 2003. Biological performances of the striped stem borer, *Chilo suppressalis* Walker fed on Jiaobai, *Zizania caduciflora*, and rice plants. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 15(3): 139–143. [陈建明, 俞晓平, 郑许松, 徐红星, 吕仲贤, 张珏锋, 2003. 二化螟取食茭白和水稻后生物学特征表现的比较. *浙江农业学报*, 15(3): 139–143.]
- Dai CG, Li HB, Zhang CR, Xue Y, Ni Y, Hu Y, 2016. Effects of high larval density stress on growth and development of *Chilo suppressalis* Walker (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Plant Protection*, 43(5): 731–737. [戴长庚, 李鸿波, 张昌荣, 薛原, 倪源, 胡阳, 2016. 高幼虫密度胁迫对二化螟生长发育的影响. *植物保护学报*, 43(5): 731–737.]
- Fan NN, Wang JY, Wan NF, Jiang JX, 2022. Effects of plant secondary metabolites on the growth, development and detoxification enzyme activity, of *Spodoptera exigua*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 59(1): 165–171. [范能能, 王金彦, 万年峰, 蒋杰贤, 2022. 植物次生代谢物对甜菜夜蛾生长发育及解毒酶的影响. *应用昆虫学报*, 59(1): 165–171.]
- Han ZJ, Han ZJ, Chen CK, Wang YC, Hu SM, 2002. Monitoring of rice stem borer, *Chilo suppressalis*, resistance to monosultap and methamidophos, and dynamics. *Journal of Plant Protection*, 29(1): 93–94. [韩招久, 韩召军, 陈长琨, 王荫长, 胡仕孟, 2002. 二化螟对杀虫单和甲胺磷抗性监测及田间抗性动态. *植物保护学报*, 29(1): 93–94.]
- Hu Y, Zheng YL, Cao GL, Fu Q, 2013. A technique for rearing *Chilo suppressalis* in the large scale with an oligidic diet in laboratory. *Chinese Journal of Rice Science*, 27(5): 535–538. [胡阳, 郑永利, 曹国连, 傅强, 2013. 利用半人工饲料大规模简化饲养二化螟. *中国水稻科学*, 27(5): 535–538.]
- Huang SJ, Chen Q, Qin WJ, Sun Y, Qin HG, 2017. Resistance monitoring of four insecticides and a description of an artificial diet incorporation method for *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Crambidae). *Journal of Economic Entomology*, 110(6): 2554–2561.
- Jha RK, Chi H, Tang LC, 2012. A comparison of artificial diet and hybrid sweet corn for the rearing of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) based on life table characteristics. *Environmental Entomology*, 41(1): 30–39.
- Kamano S, 1973. Studies on artificial diets and laboratory rearing methods suitable for successive generations of the rice stem borer, *Chilo suppressalis* Walker. *Bulletin of the National Institute of Agricultural Sciences Series C*, 27(1): 1–51.
- Li B, Han LZ, Peng YF, 2015. Development of a standardized artificial diet and rearing technique for the striped stem borer, *Chilo suppressalis* Walker (Lepidoptera: Crambidae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 52(2): 498–503. [李波, 韩兰芝, 彭于发, 2015. 二化螟人工饲养技术. *应用昆虫学报*, 52(2): 498–503.]
- Li HD, Wu M, Han ZJ, 2011. Selection of persistent insecticides for control of *Chilo suppressalis* in rice seedling stage.

- Journal of Nanjing Agricultural University*, 34(4): 43–47. [李海东, 吴敏, 韩召军, 2011. 防治水稻秧田二化螟持效性药剂的筛选. 南京农业大学学报, 34(4): 43–47.]
- Liu HM, Li SH, Wang MQ, Wang XF, Zhang GA, 2005. Artificial diets for the rice stem borer, *Chilo suppressalis*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 42(6): 714–716. [刘慧敏, 李闪红, 王满囤, 王雪峰, 张国安, 2005. 二化螟人工饲料研究初报. 昆虫知识, 42(6): 714–716.]
- Liu X, Lü J, Wang MQ, 2023. Effects of the volatiles of rice plants fed by *Nilaparvata lugens* and *Chilo suppressalis*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 60(2): 595–601. [刘旭, 吕静, 王满囤, 2023. 褐飞虱和二化螟取食对水稻植株挥发物的影响. 应用昆虫学报, 60(2): 595–601.]
- Lu YR, Su JK, Ji CM, Liu Q, Zhang CM, Liu HA, 2003. Preliminary research on the method of rice stem borer culture in room. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 31(2): 270–271. [陆玉荣, 苏建坤, 吉春明, 刘琴, 张春梅, 刘怀阿, 2003. 水稻二化螟的室内饲养方法初探. 安徽农业科学, 31(2): 270–271.]
- Luo J, Zhang XX, Wang ZX, Zhai BP, Guo YR, Zhu JH, 2005. Effect of high temperature on the growth, survival and reproduction of a laboratory population of the rice stem borer *Chilo suppressalis* Walker. *Acta Ecologica Sinica*, 25(4): 931–936. [罗举, 张孝羲, 翟保平, 郭玉人, 朱建华, 2005. 高温对二化螟实验种群生长、存活和繁殖的影响. 生态学报, 25(4): 931–936.]
- Masoud MA, Saad ASS, Mourad AK, Ghorab MAS, 2010. Mass rearing of the pink corn borer, *Sesamia cretica* Led. (Lepidoptera: Noctuidae) larvae, on semi-artificial diets. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*, 75(3): 295–304.
- Meng FX, Wu KM, Gao XW, 2003. Evaluation of few-flower wildrice, chufa and rice as foods for rearing the striped stem borer, *Chilo suppressalis*. *Entomological Knowledge*, 40(5): 469–472. [孟凤霞, 吴孔明, 高希武, 2003. 利用茭白、荸荠及水稻饲养二化螟的技术研究. 昆虫知识, 40(5): 469–472.]
- Mugo-Kamiri L, Querejeta M, Raymond B, Herniou EA, 2024. The effect of diet composition on the diversity of active gut bacteria and on the growth of *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Insect Science*, 24(2): 13.
- Nava DE, Parra JRP, 2005. Biologia de *Stenoma catenifer* Walsingham (Lepidoptera: Elachistidae) em dieta natural e artificial e estabelecimento de um sistema de criação. *Neotropical Entomology*, 34(5): 751–759.
- Pathak MD, 2007. Ecology of common insect pests of rice. *Annual Review of Entomology*, 13: 257–294.
- Qin JD, Wang CZ, 2001. The relation of interaction between insects and plants to evolution. *Acta Entomologica Sinica*, 44(3): 360–365. [钦俊德, 王琛柱, 2001. 论昆虫与植物的相互作用和进化的关系. 昆虫学报, 44(3): 360–365.]
- Shang YZ, Wang YS, Zou YH, 1979. Studies on successive mass rearing of the rice stem borer *Chilo suppressalis* Walker. *Acta Entomologica Sinica*, 22(2): 164–168. [尚雅珍, 王银淑, 邹永华, 1979. 二化螟饲养方法的研究. 昆虫学报, 22(2): 164–168.]
- Shang YZ, Wang YS, 1984. Studies on the application of artificial diets for the rice stem borer *Chilo suppressalis* Walker. *Entomological Knowledge*, 21(1): 5–9. [尚雅珍, 王银淑, 1984. 二化螟人工饲料实用化的研究. 昆虫知识, 21(1): 5–9.]
- Teimouri N, Sendi JJ, Zibae A, Khosravi R, 2015. Feeding indices and enzymatic activities of carob moth *Ectomyelois ceratoniae* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) on two commercial pistachio cultivars and an artificial diet. *Journal of Saudi Society of Agricultural Sciences*, 14(1): 76–82.
- Xue J, Ge F, Li JW, Su JW, 2005. The interrelation between *Chilo suppressalis* and crops and its influencing factors. *Chinese Bulletin of Entomology*, 42(3): 259–263. [薛进, 戈峰, 黎家文, 苏建伟, 2005. 二化螟与作物的相互关系及其影响因素. 昆虫知识, 42(3): 259–263.]
- Yan Z, Lü BQ, Peng ZQ, Zhang CH, Jin QA, Wen HB, 2013. Effect of tomato, pepper and artificial diet on the growth, development and fecundity of *Spodoptera litura* Fabricius. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 34(7): 1335–1339. [严珍, 吕宝乾, 彭正强, 章程辉, 金启安, 温海波, 2013. 取食番茄、辣椒和人工饲料对斜纹夜蛾生长发育和繁殖力的影响. 热带作物学报, 34(7): 1335–1339.]
- Yang Z, He H, Huang RL, 2020. An efficient mass rearing method for striped stem borer *Chilo suppressalis* using few-flower wildrice as food. *Journal of Plant Protection*, 47(5): 1157–1158. [杨宙, 何虎, 黄仁良, 2020. 以茭白为食料大规模高效饲养二化螟的方法. 植物保护学报, 47(5): 1157–1158.]
- Ye YL, Wang HX, 2007. Regressive parabola model of effects of temperature and humidity on survival rate and fecundity in *Chilo suppressalis* (Walker). *Acta Agriculturae Jiangxi*, 19(11): 31–32. [叶艺林, 王红秀, 2007. 温度和湿度对二化螟存活率与繁殖力影响的回归模型. 江西农业学报, 19(11): 31–32.]
- Yu XP, Xu HX, Lü ZX, Chen JM, Zheng XS, Tao LY, 2002. Differentiation of striped stem borer (SSB), *Chilo suppressalis* Walker from rice and *Zizania caduciflora* habitats. *Acta Ecologica Sinica*, 22(3): 341–345. [俞晓平, 徐红星, 吕仲贤, 陈建明, 郑许松, 陶林勇, 2002. 水稻田和茭白田二化螟的比较研究. 生态学报, 22(3): 341–345.]
- Zeng FR, 2018. Research of insect artificial diet. *Chinese Journal of Biological Control*, 34(2): 184–197. [曾凡荣, 2018. 昆虫人工饲料研究. 中国生物防治学报, 34(2): 184–197.]
- Zhang RF, Wang W, Liu HY, Yao J, 2022. Effects of different summer host plants on the developmental duration and adult longevity of *Lygus pratensis* Linnaeus (Heteroptera: Miridae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 59(1): 124–133. [张仁福, 王伟, 刘海洋, 姚举, 2022. 取食不同夏季寄主对牧草盲蝽若虫生长发育和成虫寿命的影响. 应用昆虫学报, 59(1): 124–133.]
- Zhang Y, Zheng RW, Yao L, Li QQ, Lu SH, Li GT, Tang QF, 2022. Analysis of the diversity of intestinal microbiomes in fall armyworm *Spodoptera frugiperda* fed on different host plants. *Journal of Plant Protection*, 49(6): 1712–1723. [张雨, 郑人文, 姚领, 李倩倩, 陆思含, 李桂亭, 唐庆峰, 2022. 取食不同寄主的草地贪夜蛾肠道微生物多样性分析. 植物保护学报, 49(6): 1712–1723.]