环境昆虫学报 2022，44（3）：523－529
Journal of Environmental Entomology
http：//hjkcxb. alljournals. net
doi：10. 3969/j. issn. 1674－0858. 2022. 03. 2

唐雪，吕宝乾，卢辉，唐继洪，刘彦龙，闫三强. 草地贪夜蛾幼虫自残捕食量分析[J]. 环境昆虫学报，2022，44（3）：523－529.

草地贪夜蛾幼虫自残捕食量分析

唐 雪[1,2]，吕宝乾[2*]，卢 辉[2]，唐继洪[2]，刘彦龙[2]，闫三强[2]
（1. 贵州大学昆虫研究所，贵州省山地农业病虫害重点实验室，贵阳 550025；
2. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所/农业农村部热带作物有害生物综合治理重点实验室/海南省南繁生物安全与分子育种重点实验室/海南省热带农业有害生物监测与控制重点实验室，海口 571101）

摘要： 为了明确草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 幼虫对同类低龄幼虫的捕食作用，在实验室条件下研究了草地贪夜蛾 3～6 龄幼虫对不同密度 2 龄幼虫和 4～6 龄幼虫对不同密度 3 龄幼虫的日捕食量，同时从捕食功能的角度解析了草地贪夜蛾高龄幼虫对低龄幼虫的捕食行为；并对不同龄期幼虫进行称重比较，用不同龄期幼虫间的重量关系来替换不同龄期幼虫间的捕食量，得到不同龄期幼虫间的捕食量方程。结果表明，草地贪夜蛾 3～6 龄幼虫对 2 龄幼虫和 4～6 龄幼虫对 3 龄幼虫的捕食功能反应均符合 Holling Ⅱ型功能反应类型。草地贪夜蛾 3～6 龄幼虫对 2 龄幼虫的最大捕食量分别为 76. 47 头、85. 70 头、117. 92 头、96. 05 头；4～6 龄幼虫对 3 龄幼虫的最大捕食量分别为 38. 83 头、59. 49 头、58. 87 头。高龄幼虫对低龄幼虫的捕食量随猎物密度的增加而增加。最大理论捕食质量方程 $y = 47.231x^{0.4591}$，捕食者的捕食量随着猎物虫态的增大而逐渐减小。研究结果为理解草地贪夜蛾幼虫的种间自残行为规律奠定了一定的理论基础。

关键词： 草地贪夜蛾；自相残杀；功能反应；幼虫密度；幼虫龄期
中图分类号： Q965；S433 **文献标识码：** A **文章编号：** 1674－0858（2022）03－0523－07

Analysis of cannibalism predation among larvae of *Spodoptera frugiperda*

TANG Xue[1,2]，LV Bao-Qian[2*]，LU Hui[2]，TANG Ji-Hong[2]，LIU Yan-Long[2]，YAN San-Qiang[2]
（1. Guizhou Provincial Key Laboratory for Agricultural Pest Management of the Mountainous Region，Institute of Entomology，Guizhou University，Guiyang 550025，China；2. Environment and Plant Protection Institute，Chinese Academy of Tropical Agriculture Sciences / Key Laboratory of Integrated Pest Management on Tropical Crops，Ministry of Agriculture and Rural Affairs / Hainan Key Laboratory for Biosafety Monitoring and Molecular Breeding in Off-Season Reproduction Regions / Hainan Key Laboratory of Tropical Agricultural Pest Monitoring and Control，Haikou 571101，China）

Abstract: In order to clarify the predation effect of *Spodoptera frugiperda* larvae on low instar larvae of the conspecific，the daily predation of the 3rd to 6th instar larvae on the 2nd larvae of different densities and the 4th to 6th instar larvae on the 3rd larvae of different densities were observed under laboratory conditions. At the same time，the predation behavior of the older larvae of *S. frugiperda* to the young larvae was analyzed from the point of view of functional response. Weighing the body weight of different instar larvae，the predation amount of different instar larvae was replaced by the weight relationship of different instar larvae，and the predatory function corresponding equations of different instar larvae was

基金项目： 国家重点研发计划（2021YFD1400702）；农业部财政项目“海南重大入侵生物—草地贪夜蛾与红火蚁监测与防控”（1630042020020）；海南省重大科技计划资助（ZDKJ2020002）
作者简介： 唐雪，女，1994 年生，贵州毕节人，硕士研究生，研究方向为农业昆虫与害虫防治，E－mail：Aneira1994@163. com
* **通讯作者** Author for correspondence：吕宝乾，男，博士，研究员，主要研究方向为害虫入侵与生物防治，E－mail：lvbaoqian@hotmail. com
收稿日期 Received：2021－05－22；**接受日期** Accepted：2021－08－07

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

obtained. The results showed that the functional response of the 3rd to 6th instar larvae to the 2nd larvae and the 4th to 6th instar larvae to the 3rd larvae fitted well with the Holling II mode. The maximum predation of the 3rd to 6th instar larvae on the 2nd instar larvae were 76.47, 85.70, 117.92 and 96.05 respectively, and the maximum predation of the 4th to 6th instar larvae on the 3rd instar larvae were 38.83, 59.49 and 58.87 respectively. The predation of the older larvae to the younger larvae increased with the increase of the density of the younger larvae. The maximum theoretical predation mass equation is $y = 47.231x^{0.4591}$, and the amount of predation decreases with the increase of the state of prey. The results of this experiment laid a theoretical foundation for understanding the interspecific cannibalistic behavior of *S. frugiperda* larvae.

Key words: *Spodoptera frugiperda*; cannibalism; functional response; larval density; larval instar

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 属鳞翅目 Lepidoptera 夜蛾科 Noctuidae 灰翅夜蛾属 *Spodoptera*，是一种原产于美洲热带和亚热带地区的重大迁飞性农业害虫（Hardke *et al.*，2015）。其拥有强大的迁飞扩散和繁殖能力，自 2016 年 1 月开始入侵非洲后，两年之内便快速扩散至非洲 44 个国家（王磊等，2019），年潜在玉米损失量最高可达 2 103 万吨（Roger *et al.*，2017）。2019 年 1 月在我国云南省江城县首次被发现，随后迅速席卷国内多个省市，截止 2019 年 10 月已在我国 26 个省（自治区、直辖市）1 538 个县（区）入侵为害，对我国的玉米、水稻、小麦等粮食作物的生产造成了严重威胁（张智等，2021）。作为一种多食性害虫，草地贪夜蛾可以取食 76 科 353 种植物，包括玉米、水稻、甘蔗、高粱、小麦、棉花、甜菜、卷心菜、甜椒、香蕉、番茄等多种作物（Montezano *et al.*，2018 年）。玉米作为最受其喜爱的寄主植物，幼虫通常躲藏在心叶中取食（Chang *et al.*，2000 年），为其提供了一些免受捕食的保护，而心叶中幼虫密度过高可能导致食物竞争，因此自相残杀率会增加。

自相残杀（Cannibalism）或种内自残（Intraspecific cannibalism），是指杀死和取食部分或全部同种其他个体的行为（Fox，2003），对种群动态有着重要的影响（Pierce，1995）。自相残杀在鳞翅目昆虫已有广泛报道，例如甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua*、棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 等（Horner and Dively，2003；王娟等，2008；Tang *et al.*，2016）。有研究表明昆虫的自相残杀行为可能会提高存活率、发育速度及繁殖力进而使其在种群竞争中获得直接优势，更有利于自身的生存繁殖，高龄幼虫通过捕食低龄幼虫，其发育速度相对提高，从而获得直接优势和间接优势（Ye *et al.*，2014）。虽然种群间的自相残杀可以给昆虫种群带来许多好处，但它可能会增加病原体和寄生虫在种群之间传播的风险，特别是受感染的个体更容易被同类捕食（Siva Jothy *et al.*，2001；Williams and Hernandez，2010）。种内自残作为影响昆虫种群消长和群落结构的重要因素，已被作为生态学和进化生物学重要组成部分而受到广泛研究（Yasuda *et al.*，2001）。而草地贪夜蛾幼虫不仅在高密度和食物资源缺少的情况下会发生自相残杀现象，在食物不受限制的情况下也会发生自残现象（Andow *et al.*，1999；Chapman *et al.*，1999）。此外，当不同龄期的幼虫被关在一起时，自相残杀的比率甚至会更高（Chapman *et al.*，1999）。种内的自相残杀行为通常是一个更大、更强壮的个体杀死并吃掉一个更小、更弱的同类（Rudolf and Antonovics，2007）。而在已有的相关研究中，多集中在不同密度下同一龄期间幼虫的自相残杀（Chapman *et al.*，1999）。例如王道通等（2020）通过设置 4 个密度（5、10、20 和 30 头/瓶）下相同龄期草地贪夜蛾的自相残杀率比较，得出不同密度下的自相残杀行为主要集中在 5 龄幼虫中，而没有针对高龄幼虫对低龄幼虫的捕食及捕食量进行深入研究，不能全面地反映草地贪夜蛾幼虫残杀的行为习性。因此，本研究设计了不同龄期的幼虫捕食 2 龄幼虫和 3 龄幼虫，通过拟合捕食功能反应 Holling Ⅱ模型对草地贪夜蛾高龄幼虫捕食低龄幼虫的能力进行初步研究，以分析不同龄期的草地贪夜蛾对低龄幼虫捕食量的差异，探讨龄期和密度对草地贪夜蛾幼虫自残行为的影响，为进一步阐明草地贪夜蛾自残行为规律背后的生态意义提供参考。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1　材料与方法

1.1　供试虫源

草地贪夜蛾幼虫于 2020 年 5 月采自海南省儋州市宝岛新村六坡队玉米田（30°29′N，114°18′E），在实验室以新鲜玉米叶饲养 3 代后供试。实验室温度 25 ±1℃、相对湿度 70% ±5%、光周期 12 L∶12 D。

1.2　主要仪器设备

智能人工气候箱，圆形塑料盒（D = 10 cm，H = 5 cm），小毛笔，标签纸，镊子，电子天平等。

1.3　试验方法

1.3.1　不同龄期幼虫对 2 龄和 3 龄幼虫的捕食作用

分别选取草地贪夜蛾 3、4、5、6 龄幼虫各 1 头置于不同塑料盒（D = 10 cm，H = 5 cm）中，饥饿处理 24 h，对 2 龄幼虫的捕食作用，设置 2 龄幼虫密度为 20、40、60、80、100、120 头/盒，共 6 个梯度水平，并放入玉米叶片，叶面积约为 24 cm^2。对于 3 龄幼虫的捕食作用，选取 4、5、6 龄幼虫各 1 头置于塑料盒中后，设置 3 龄幼虫密度为 20、40、60、80、100 头/盒共，5 个梯度水平，并放入玉米叶片，叶面积同上。每个处理重复 5 次。试验虫均放在温度 25 ±1℃、相对湿度 70% ±5%、光周期 12 L∶12 D 的恒温培养箱内培养。24 h 后记录 2 龄幼虫和 3 龄幼虫的死亡数量，盒中消失的虫和仅剩一半的虫体均视为被捕食。由于低龄幼虫极少出现自相残杀现象，所以本实验不考虑低龄幼虫之间的自相残杀。

1.3.2　不同龄期幼虫间的理论最大捕食量

对不同龄期的幼虫进行称重比较，记草地贪夜蛾 2 龄幼虫体重为 1，以此计算不同龄期的幼虫相对于 2 龄幼虫的比值。利用 Holling Ⅱ型圆盘方程进行模拟后得出 3、4、5、6 龄幼虫对 2 龄幼虫和 4、5、6 龄幼虫对 3 龄幼虫的最大理论捕食量，利用捕食量和体重的关系计算出每个龄期幼虫的最大理论捕食质量，根据各龄期的体重则可以换算出相应的捕食量。

1.4　分析方法

采用 Holling Ⅱ（Holling，1959）型圆盘方程进行拟合:

$$Na = \frac{ANTr}{1 + AThN} \quad (1)$$

式中: Na—被捕食的猎物数量; A—捕食者的瞬时攻击率; N—猎物密度; Tr—总的试验时间（本实验以天为单位，故 $Tr = 1$）; Th—处理 1 头猎物所需要的时间。

其中 A 和 Th 为待估参数。由于（1）式为非线性方程，将（1）式转化为以下线性方程:

$$\frac{N}{Na} = \frac{1}{A} + Th \cdot N \quad (2)$$

将实验数据代入（2）式，用最小二乘法即可求得 A 和 Th。将 A 和 Th 代入（1）式，即为拟合的草地贪夜蛾捕食 2 龄幼虫或 3 龄幼虫的功能反应模型。

要计算草地贪夜蛾理论最大捕食量时，将（1）变形为（$T = 1$）:

$$Na = \frac{A}{\frac{1}{N} + A \cdot Th} \quad (3)$$

当 $N \to \infty$ 时，Na 有最大值即为 $1/Th$，即为草地贪夜蛾的每日理论最大捕食量。用 Excel 2010 处理数据，Graphpad Prism 8.02 分析并作图。

2　结果与分析

2.1　草地贪夜蛾不同龄期幼虫对 2 龄幼虫的捕食功能反应

草地贪夜蛾 3、4、5、6 龄幼虫对 2 龄幼虫的日捕食量随 2 龄幼虫密度的升高而逐渐增加，当猎物密度增加一定水平时，草地贪夜蛾幼虫的日捕食量趋于平稳，捕食功能反应符合 Holling Ⅱ型圆盘方程（图 1）。草地贪夜蛾各高龄幼虫对 2 龄幼虫的捕食功能反应方程与 Holling Ⅱ型圆盘方程模型拟合度较高，R^2 均在 0.9 以上（表 1）。草地贪夜蛾 3、4、5、6 龄幼虫对 2 龄幼虫的瞬时攻击率依次为 0.580、1.016、1.111、1.081; 对 2 龄幼虫的处理时间依次为 0.013、0.012、0.008、0.010 d。草地贪夜蛾 3、4、5、6 龄幼虫对 2 龄幼虫的日捕食量随着龄期的增加而增加，其中 5 龄幼虫对 2 龄幼虫的日最大捕食量最高，为 117.92 头，3 龄幼虫的捕食量最小，为 76.47 头。而 6 龄幼虫的捕食量为 96.05 头，低于 5 龄幼虫，这可能与草地贪夜蛾 6 龄幼虫即将进入化蛹阶段有关，同时能说明草地贪夜蛾 5 龄幼虫的自残现象最为明显。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

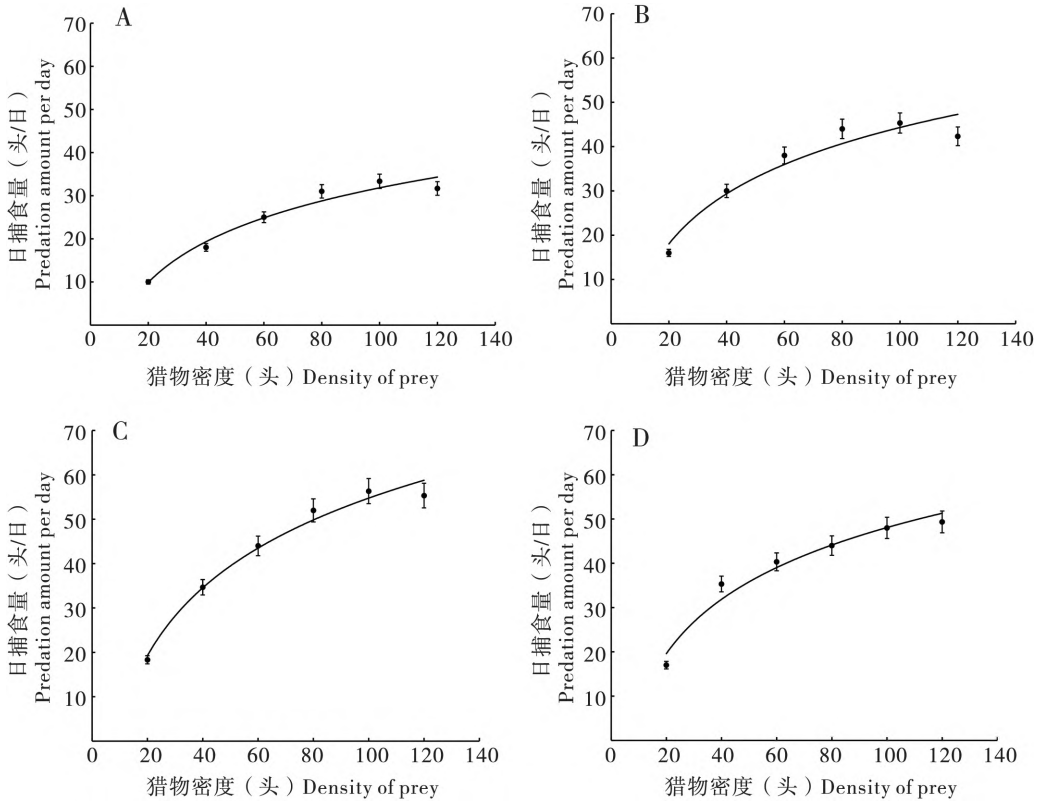

图 1 草地贪夜蛾不同龄期幼虫对 2 龄幼虫的捕食功能反应

Fig. 1 Functional responses of *Spodoptera frugiperda* at different stages to the second instar larvae

注： A、B、C、D **分别代表草地贪夜蛾 3 龄、4 龄、5 龄、6 龄幼虫对 2 龄幼虫的捕食功能反应，图中数值为平均值 ± 标准误。** Note: A, B, C and D showed the functional responses of the 3rd, 4th, 5th and 6th instar larvae of *S. frugiperda a* to the 2nd instar larvae respectively, data were means ± SE.

表 1 草地贪夜蛾不同龄期幼虫对 2 龄幼虫的捕食功能反应

Table 1 Functional responses of *Spodoptera frugiperda* at different stages to the second instar larvae

龄期 Instars	R^2	**捕食功能方程** Functional response equation	**瞬时攻击率（*a*）** Attacking efficiency	**处理时间（天）（*Th*）** Handling time	**日最大捕食量（头）（1/*Th*）** Maximum prey consumed daily
3 **龄幼虫** 3rd instar	0.9913	$Na = 0.580N/(1 + 0.013N)$	0.580	0.013	76.47
4 **龄幼虫** 4th instar	0.9815	$Na = 1.016N/(1 + 0.012N)$	1.016	0.012	85.70
5 **龄幼虫** 5th instar	0.9815	$Na = 1.111N/(1 + 0.008N)$	1.111	0.008	117.92
6 **龄幼虫** 6th instar	0.9658	$Na = 1.081N/(1 + 0.010N)$	1.081	0.010	96.05

2.2 草地贪夜蛾不同龄期幼虫对 3 龄幼虫的捕食功能反应

草地贪夜蛾 4、5、6 龄幼虫对 3 龄幼虫的捕食量随着 3 龄幼虫密度的增加而增加，当 3 龄幼虫的密度增加到一定限度时，草地贪夜蛾各高龄幼虫捕食量增加的速度逐渐变缓（图 2）；同一猎物密度，草地贪夜蛾 5 龄幼虫对 3 龄幼虫的捕食量均高于 4 龄和 6 龄幼虫对 3 龄幼虫的捕食量。由 Hollling Ⅱ型公式拟合草地贪夜蛾各龄期的捕食量计算出草地贪夜蛾高龄幼虫对 3 龄幼虫捕食的功能反应方程及其参数如表 2 所示：4 龄幼虫对 3 龄幼虫的捕食功能反应方程为 $Na = 0.740N/(1 + 0.026N)$，对猎物的瞬时攻击率 a 为 0.740，处理单头猎物所需要花费的时间 Th 为 0.026 d，最大

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

捕食量为38.83 头/d；5 龄幼虫对 3 龄幼虫的捕食功能反应方程为 $Na = 1.345N/(1 + 0.017N)$，对猎物的瞬时攻击率 a 为 1.345，处理单头猎物所需要花费的时间 Th 为 0.017 d，捕食上限 59.49 头/d；6 龄幼虫对 3 龄幼虫的捕食功能反应方程为 $Na = 1.111N/(1 + 0.017N)$，对猎物的瞬时攻击率 a 为 1.111，处理单头猎物所需要花费的时间 Th 与 5 龄幼虫相同，为 0.017 d，捕食上限为 58.87 头/d。

2.3　不同龄期幼虫间最大理论捕食量

不同龄期幼虫体重如表 3 所示，通过利用 Holling Ⅱ型圆盘方程进行模拟，得出 3、4、5、6 龄幼虫对 2 龄幼虫和 4、5、6 龄幼虫对 3 龄幼虫的最大理论捕食量，利用捕食量和体重的关系计算出每个龄期幼虫的最大理论捕食质量，并做出散点图（图 3），拟合方程为 $y = 47.231x^{0.4591}$。各个龄期间的最大理论捕食质量如图 3 所示，根据各龄期的体重换算出相应的捕食量。

根据拟合方程 $y = 47.231x^{0.4591}$ 及龄期与体重关系，计算出各龄期对应的捕食量如表 4 所示，6 龄幼虫对低于其龄期的幼虫的捕食量依次为 1 龄（494.42 头）＞2 龄（107.52 头）＞3 龄（34.81 头）＞4 龄（6.63 头）＞5 龄（2.81 头）；5 龄幼虫对低于其龄期的幼虫的捕食量依次为 1 龄（446.28 头）＞2 龄（98.88 头）＞3 龄（32.01 头）＞4 龄（6.10 头）；4 龄幼虫对低于其龄期的幼虫的捕食量依次为 1 龄（391.06 头）＞2 龄（89.26 头）＞3 龄（28.90 头）；3 龄幼虫对低于其龄期的幼虫的捕食量依次为 1 龄（324.64 头）＞2 龄（78.21 头）。由于没有直接观察到 3 龄以下幼虫存在自相残杀现象，所以 3 龄以下幼虫对同类的捕食不作考虑。

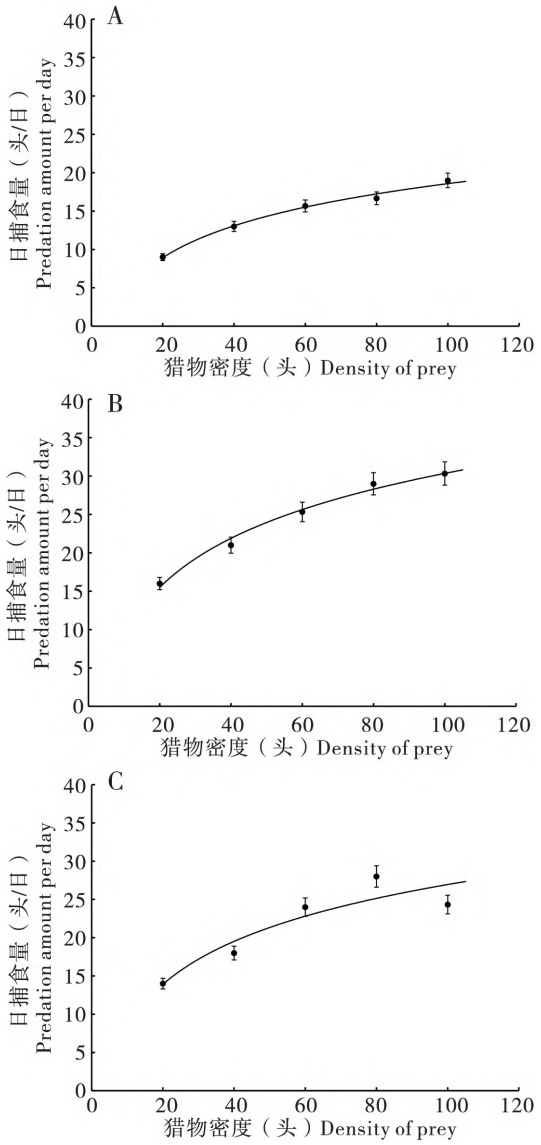

图 2　草地贪夜蛾不同龄期幼虫对 3 龄幼虫的捕食功能反应

Fig. 2　Functional responses of *Spodoptera frugiperda* at different stages to the third instar larvae

注： A、B、C 分别代表草地贪夜蛾 4 龄、5 龄、6 龄幼虫对 2 龄幼虫的捕食功能反应，图中数值为平均值 ± 标准误。

Note: A, B and C showed the functional responses of *S. frugiperda* at the fourth instar, the fifth and the sixth instar to the second instar larvae respectively, data were means ± SE.

表 2　草地贪夜蛾不同龄期幼虫对 3 龄幼虫的捕食功能反应

Table 2　Functional responses of *Spodoptera frugiperda* at different stages to the third instar larvae

龄期 Instars	R^2	捕食功能方程 Functional response equation	瞬时攻击率（a） Attacking efficiency	处理时间（天）（Th） Handling time	日最大捕食量（头）（$1/Th$） Maximum prey consumed daily
4 龄幼虫 4th instar	0.9908	$Na = 0.740N/(1 + 0.026N)$	0.740	0.026	38.83
5 龄幼虫 5th instar	0.9882	$Na = 1.345N/(1 + 0.017N)$	1.345	0.017	59.49
6 龄幼虫 6th instar	0.9047	$Na = 1.111N/(1 + 0.017N)$	1.111	0.017	58.87

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 3 草地贪夜蛾不同龄期幼虫体重

Table 3 Larvae body weight of *Spodoptera frugiperda* at different stages

龄期 Instars	体重（mg） Bodyweight	相对比值 Relative ratio
1 龄 1st instar	0.9000 ± 4.08E − 09	0.2000
2 龄 2nd instar	4.5000 ± 4.54E − 08	1.0000
3 龄 3rd instar	13.9000 ± 4.54E − 07	3.0889
4 龄 4th instar	72.9600 ± 1.81E − 05	16.2133
5 龄 5th instar	172.2000 ± 2.60E − 05	38.2667
6 龄 6th instar	410.3900 ± 6.98E − 05	91.1978

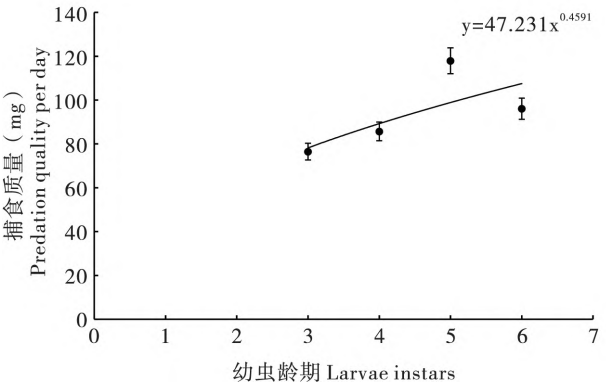

图 3 草地贪夜蛾不同龄期幼虫的最大捕食质量

Fig. 3 The maximum predation quality of larvae at different instars of *Spodoptera frugiperda*

表 4 草地贪夜蛾不同龄期幼虫间最大理论捕食量

Table 4 The maximum theoretical predation between different instar larvae of *Spodoptera frugiperda*

猎物虫龄 Prey age	捕食量（头） Predation			
	3 龄幼虫 3rd instar	4 龄幼虫 4th instar	5 龄幼虫 5th instar	6 龄幼虫 6th instar
1 龄幼虫 1st instar	324.64	391.06	446.28	494.42
2 龄幼虫 2nd instar	78.21	89.26	98.88	107.52
3 龄幼虫 3rd instar	–	28.90	32.01	34.81
4 龄幼虫 4th instar	–	–	6.10	6.63
5 龄幼虫 5th instar	–	–	–	2.81
6 龄幼虫 6th instar	–	–	–	–

3 结论与讨论

自相残杀行为是种群内捕食者和被捕食者相互作用的结果，在种群动态和种群结构中扮演着重要的角色（He *et al.*，2021）。自相残杀通常是对食物短缺、高密度、同种个体之间的大小差异（Porretta *et al.*，2018）、环境温度（Start *et al.*，2018）甚至是饲养盒材料差异的反应（Okano *et al.*，2018）。本研究明确了草地贪夜蛾在食物充足时仍会对同类幼虫进行捕食，采用 Holling Ⅱ型圆盘方程进行拟合，确定了 3、4、5、6 龄幼虫对 2 龄幼虫和 4、5、6 龄幼虫对 3 龄幼虫的最大理论捕食量。结果表明，草地贪夜蛾 3、4、5、6 龄幼虫对 2 龄幼虫的捕食量大小依次为 5 龄 > 6 龄 > 4 龄 > 3 龄；4、5、6 龄幼虫对 3 龄幼虫的最大理论捕食量大小依次为 5 龄 > 6 龄 > 4 龄。草地贪夜蛾幼虫对同类低龄幼虫的捕食量先随着龄期的增加而增加，后又显现出下降趋势，6 龄幼虫的捕食量低于 5 龄幼虫，这可能和 6 龄幼虫其本身活性不高准备化蛹有密切关系，这一现象和已知研究的甜菜夜蛾的种内捕食基本一致（Sonia *et al.*，2010）。通过分析得知，草地贪夜蛾在 4 龄以前，捕食量随着猎物密度的增加而呈现缓慢增长，4 龄之后，捕食量随着猎物密度的增加而快速增加，表明草地贪夜蛾种内捕食与龄期有着极大关系。邓盼等（2015）在对棉铃虫自相残杀习性与其龄期和食物营养关系的研究中表明棉铃虫自相残杀主要发生在 4 龄和 5 龄幼虫之间，而非 3 龄和 6 龄幼虫。同样，Elvira 等（2010）通过比较低密度和高密度下 5 龄和 6 龄甜菜夜蛾的自相残杀率，发现 5 龄幼虫自相残杀率高于 6 龄幼虫。而本研究则是通过 Holling Ⅱ型圆盘方程模拟在密度无限增大的情况下，可得出理论最大捕食量，其 R^2 值均为 0.9 以上，但是现实情况下密度是有限的，其最大值可能远远小于理论值。此外，本研究只是确定草地贪夜蛾对不同密度下低龄同类幼虫的最大捕食量，但喂食不同玉米叶部位、寄主种类和温度等因素是否会影响其对低龄幼虫的捕食量还需进行深入研究。

本试验利用各龄期幼虫之间体重的比值，结合 3、4、5、6 龄幼虫对 2 龄幼虫的捕食量，计算出不同龄期幼虫的最大捕食质量，从而得出草地

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

贪夜蛾任意两个不同龄期之间高龄幼虫对低龄幼虫的捕食量。通过对高龄幼虫对低龄幼虫的捕食行为进行解析，试探明草地贪夜蛾幼虫的种内自残行为规律，其中龄期和低龄幼虫的密度是影响其自残行为的两大重要因素。同时还要进一步的设计实验，详细的探究出草地贪夜蛾幼虫的种间自残行为规律，为更好地理解种内自残现象背后的生态意义和生理机制，可能有助于开发新的策略来控制害虫。

参考文献（References）

Andow D，Farias JR，Horikoshi RJ，*et al*. Dynamics of cannibalism in equal-aged cohorts of *Spodoptera frugiperda* [J]. *Ecological Entomology*，2015，40（3）：229－236.

Chang YM，Luthe DS，Davis FM，*et al*. Influence of whorl region from resistant and susceptible corn genotypes on fall armyworm（Lepidoptera：Noctuidae）growth and development [J]. *Journal of Economic Entomology*，2000，93（2）：477－483.

Chapman JW，Williams T，Caballero P. *et al*. Fitness consequences of cannibalism in the fall armyworm，*Spodoptera frugiperda* [J]. *Behavioral Ecology*，1999，3：298－303.

Deng P，Ma WH，Li GQ. Age-and nutrition-related cannibalism in larvae of the cotton bollworm，*Helicoverpa armigera*（Lepidoptera：Noctuidae）[J]. *Acta Entomologica Sinica*，2015，58（2）：175－180. [邓盼，马伟华，李国清. 棉铃虫幼虫自相残杀习性与其龄期和食物营养的相关性 [J]. 昆虫学报，2015，58（2）：175－180]

Elvira S，Williams T，Caballero P. Juvenile hormone analog technology：Effects on larval cannibalism and the production of *Spodoptera exigua*（Lepidoptera：Noctuidae）nucleopolyhedrovirus [J]. *Journal of Economic Entomology*，2010，103（3）：577－582.

Fox RL. Cannibalism in natural populations [J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*，2003，6（1）：87－106.

Hardke JT，Lorenz GM，Leonard BR. Fall armyworm（Lepidoptera：Noctuidae）ecology in southeastern cotton [J]. *Journal of Integrated Pest Management*，2015，6（1）：10.

He H，Zhou A，He L，*et al*. The frequency of cannibalism by *Spodoptera frugiperda* larvae determines their probability of surviving food deprivation [J]. *Journal of Pest Science*，2021：1－13.

Holling CS. Some characteristics of simple types of predation and parasitism [J]. *Canadian Entomologist*，1959，91（7）：385－398.

Horner TA，Dively GP. Effect of MON810Bt field corn on *Helicoverpazea*（Lepidoptera：Noctuidae）cannibalism and its implications to resistance development [J]. *Journal of Economic Entomology*，2003，3：931－934.

Montezano DG，Specht A，Sosa－Gómez DR，*et al*. Host plants of *Spodoptera frugiperda*（Lepidoptera：Noctuidae）in the Americas [J]. *African Entomology*，2018，26（2）：286－300.

Okano JI，Okuda N. Effects of resource－dependent cannibalism on population size distribution and individual life history in a case－bearing caddisfly [J]. *PLoS ONE*，2018，13（2）：e0191925.

Pierce NE. Predatory and parasitic Lepidoptera：Carnivores living on plants [J]. *Journal of the Lepidopterists Society*，1995，49：412－453.

Porretta D，Mastrantonio V，Crasta G，*et al*. Intra－instar larval cannibalism in Anopheles gambiae（s. s.）and Anopheles stephensi（Diptera：Culicidae）[J]. *Parasites & Vectors*，2016，9：566.

Roger D，Phil A，Melanie B，*et al*. Fall armyworm：Impacts and implications for Africa [J]. *Outlooks on Pest Management*，2017，28（5）：196－201.

Rudolf VHW，Antonovics J. Disease transmission by cannibalism：Rare event or common occurrence? [J]. *Proceedings of the Royal Society B Biological Sciences*，2007，274（1614）：1205－1210.

Siva-Jothy JA，Monteith KM，Vale PF. Navigating infection risk during oviposition and cannibalistic foraging in a holometabolous insect [J]. *Behavioral Ecology*，2018，29（6）：1426－1435.

Start D，Kirk D，Shea D，*et al*. Cannibalism by damselflies increases with rising temperature [J]. *Biology Letters*，2017，13（5）：20170175.

Tang T，Zhao CQ，Li X，*et al*. Factors affecting larval cannibalism in the cotton bollworm，*Helicoverpa armigera*（Hübner）（Lepidoptera：Noctuidae）[J]. *Oriental Insects*，2016，50（1）：23－33

Wang DT，Zhang L，Cheng YX，*et al*. Larval stage related cannibalism in the fall armyworm，*Spodoptera frugiperda* [J]. *Plant Protection*，2020，46（3）：94－98. [王道通，张蕾，程云霞，等. 草地贪夜蛾幼虫龄期对自相残杀行为的影响 [J]. 植物保护，2020，46（3）：94－98]

Wang J，Jiang XF，Wu DL，*et al*. Effect of larval rearing density on development and fecundity of the beet armyworm，*Spodoptera exigua*（Lepidoptera：Noctuidae）[J]. *Acta Entomologica Sinica*，2008，51（8）：889－894. [王娟，江幸福，吴德龙，等. 幼虫密度对甜菜夜蛾生长发育与繁殖的影响 [J]. 昆虫学报，2008，51（8）：889－894]

Wang L，Chen KW，Zhong GH，*et al*. Progress for occurrence and management and the strategy of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda*（Smith）[J]. *Journal of Environmental Entomology*，2019，41（3）：479－487. [王磊，陈科伟，钟国华，等. 重大入侵害虫草地贪夜蛾发生危害、防控研究进展及防控策略探讨 [J]. 环境昆虫学报，2019，41（3）：479－487]

Williams T，Hernandez O. Costs of cannibalism in the presence of an iridovirus pathogen of *Spodoptera frugiperda* [J]. *Ecological Entomology*，2010，31（2）：106－113.

Yasuda H，Kikuchi T，Kindlmann P，*et al*. Relationships between attack and escape rates，cannibalism，and intraguild predation in larvae of two predatory ladybirds [J]. *Journal of Insect Behavior*，2001，14（3）：373－384.

Ye JW，Xu QY，Li ZG，*et al*. Effect of cannibalism on the growth and development of *Mallada basalis*（Neuroptera：Chrysopidae）[J]. *Fla Entomol*，2014，97（3）：1075－1080.

Zhang Z，Lin PJ，Chen ZY，*et al*. Observation on the damage characteristics of *Spodoptera frugiperda* to wheat in middle and late stage [J]. *Plant Protection*，2021，47（5）：297－301 [张智，林培炯，陈智勇，等. 小麦中后期草地贪夜蛾为害特征观察 [J]. 植物保护，2021，47（5）：297－301]

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net