草地贪夜蛾对小葱和洋葱的潜在为害风险*

汤 印[1, 2**] 郭井菲[1] 王勤英[2] 太红坤[3] 何康来[1] 王振营[1***]

（1. 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；
2. 河北农业大学植物保护学院，保定 071000；3. 云南省德宏州植保植检站，芒市 678400）

摘 要 **【目的】** 为明确草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith)对小葱和洋葱的潜在为害风险。**【方法】** 本研究比较 2 种寄主植物小葱和洋葱对草地贪夜蛾生长发育的影响，并测定草地贪夜蛾雌蛾对这 2 种寄主植物的产卵选择行为。**【结果】** 草地贪夜蛾在小葱和洋葱上能够顺利完成生活史实现种群繁衍，其中取食小葱的草地贪夜蛾幼虫的发育历期显著短于取食洋葱的。取食小葱的草地贪夜蛾成虫前期存活率为 77%，显著高于取食洋葱的 58%。取食小葱和洋葱的草地贪夜蛾成虫产卵前期差异不显著，但取食小葱的的总产卵前期显著长于取食洋葱的。此外，与取食洋葱相比，取食小葱的草地贪夜蛾成虫繁殖力和总的寿命虽有所增加，但差异不显著。种群生命表参数显示，取食小葱的草地贪夜蛾种群内禀增长率、净增殖率和周限增长率最高，平均世代周期最短。草地贪夜蛾雌蛾对小葱和洋葱不同部位具有明显的产卵选择性，草地贪夜蛾更偏好在洋葱上产卵，产卵部位以洋葱植株的中上部叶片为主。**【结论】** 小葱和洋葱均为草地贪夜蛾适合寄主植物，而相对于洋葱，小葱是草地贪夜蛾更适合的寄主植物。草地贪夜蛾对 2 种寄主植物的产卵选择性和取食 2 种寄主对其后代发育适合度并不一致。这一结论为评估草地贪夜蛾在小葱和洋葱上潜在为害风险提供科学依据。

关键词 草地贪夜蛾；小葱；洋葱；生长发育；产卵选择

Potential threat posed by the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* to shallot and onion crops

TANG Yin[1, 2**] GUO Jing-Fei[1] WANG Qin-Ying[2] TAI Hong-Kun[3]
HE Kang-Lai[1] WANG Zhen-Ying[1***]

(1. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. College of Plant Protection, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China; 3. Plant Protection and Quarantine Station, Dehong Prefecture, Yunnan Province, Mangshi 678400, China)

Abstract **[Objectives]** To clarify the potential threat posed by the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, to shallot and onion crops. **[Methods]** The effects of raising *S. frugiperda* larvae on either shallots or onions on larval growth and development, and the amount of oviposition time spent by adult females on these two host plants, were compared. **[Results]** *S. frugiperda* can successfully complete its life history on both shallots and onions but the larval period was significantly shorter on shallots. The preadult survival rate of *S. frugiperda* on shallots was significantly higher (0.77) than on onions (0.58). Although there was no significant difference in the adult preoviposition period (APOP) on either host plant the total preoviposition period (TPOP) was significantly longer on shallots than on onions. Although not significant, the fecundity and total longevity of *S. frugiperda* were higher on shallots than on onions. The intrinsic rate of increase, net reproductive rate and finite rate of increase of *S. frugiperda* raised on shallots were significantly higher, and the mean generation time shorter, compared to those raised on onions. There were significant differences in the oviposition preferences of *S. frugiperda* for

*资助项目 Supported projects：国家重点研发计划（2019YFD0300101）；中国农业科学院重大科研项目（CAAS-ZDRW202007）；国家现代农业（玉米）产业技术体系建设专项（CARS-02）

**第一作者 First author，E-mail：tangy2324@163.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：zywang@ippcaas.cn

收稿日期 Received：2020-07-07；接受日期 Accepted：2020-10-16

different parts of shallots and onion plants. Females preferred to lay eggs on onions, particularly on the middle and upper part of onion plants. **[Conclusion]** Although *S. frugiperda* had high reproductive fitness on both shallots and onions, shallots are the more suitable of these two host plants for this species. Despite this, females preferred to lay eggs on onions rather than shallots. The results of this study contribute to the theory of coevolution between insect pests and host plants, and provide a scientific basis for assessing the risk of *S. frugiperda* to shallot and onion crops.

Key words *Spodoptera frugiperda*; shallot; onion; development; oviposition preference

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith)源于美洲的热带和亚热带地区，是一种寄主范围广，迁飞能力强，防控难度大的重大农业害虫（Todd and Poole，1980；郭井菲等，2019；王磊等，2019）。自 2019 年 1 月首次发现草地贪夜蛾入侵我国云南省（姜玉英等，2019a），在短短半年时间入侵我国的 26 省（区、市）（姜玉英等，2019b），主要为害玉米、马铃薯、小麦、花生等多种农作物（孙小旭等，2019；徐丽娜等，2019；赵猛等，2019；何莉梅等 2020），对我国的农业生产和粮食安全构成了严重威胁。鉴于 2019 年草地贪夜蛾已完成在我国的入侵和定殖，且 2020 年虫源基数大以及北迁时间提早，专家预计 2020 年草地贪夜蛾呈重发态势（吴孔明，2020），各地区和多种农作物面临灾变的风险。

草地贪夜蛾寄主植物种类非常多，其幼虫可取食玉米、小麦、水稻、高粱、棉花和大豆等 76 科 353 种植物，主要为害禾本科植物（Montezano *et al.*，2018）。在美洲，根据食性草地贪夜蛾可为玉米型和水稻型两种品系，玉米型主要取食玉米、高粱等，而水稻型则主要取食水稻和禾本科牧草（Saldamando and Vélez-Arango，2010）。分子生物学检测表明入侵我国的草地贪夜蛾是玉米型（张磊等，2019），来自水稻型和玉米型杂交群体的后代（唐运林等，2019），可能兼有两种品型的生物学习性，这可能会导致其在入侵适应过程中的寄主范围会进一步拓宽进而造成更大范围的为害。因此，亟待研究我国境内适合草地贪夜蛾生长发育的寄主植物，建立完善的测报预测体系。

小葱 *Allium fistulosum* L.和洋葱 *Allium cepa* L.隶属石蒜科葱属的多年生草本植物，其资源丰富以及具有显著的食用和药用价值及保健作用，成为当前和未来蔬菜开发和利用的重点（蹇黎和朱利泉，2009）。国外已报道小葱和洋葱均是草地贪夜蛾的寄主植物（CABI，2016）。基于此，明确草地贪夜蛾在小葱和洋葱上的为害风险是目前需要关注的问题。本研究基于年龄-龄期两性生命表的理论，研究小葱和洋葱对草地贪夜蛾生长发育和繁殖的影响；从草地贪夜蛾成虫产卵选择性出发，探究草地贪夜蛾成虫产卵选择性和取食不同寄主其后代发育适合度的关系，为评估草地贪夜蛾在小葱和洋葱上的潜在为害风险提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试虫源采自云南省德宏州芒市风平镇芒波村（24°23′40″N，98°30′21″E）玉米田，室内人工饲料继代饲养。选用小葱品种为四季小香葱，洋葱为红皮洋葱。2 种植物于 2020 年 1 月下旬移栽，田间采用常规栽培和肥水管理，不施用农药。

室内环境条件：温度（30 ± 1）℃，湿度 70% ± 5%，光周期 L∶D=14∶10。

1.2 草地贪夜蛾实验种群两性生命表的数据收集

参照汤印等（2020）的方法构建室内种群生命表。分别用小葱和洋葱饲养 1 代后，收集 F_0 雌蛾在同一时间产的受精卵（共 120 粒），每天观察记录卵的孵化情况。将单头初孵幼虫接入玻璃管中（高 8 cm，直径 2 cm）喂养，饲养至 3 龄时转入 25 mL 蘸料杯中继续饲养，并逐一编号，每天同一时间更换新鲜叶片并清理虫粪，以幼虫脱下的头壳和皮作为虫龄增长（进入下一龄期）的依据，分别记录取食小葱和洋葱叶片的草

地贪夜蛾的生长发育与存活情况。在预蛹期将其放入蘸料杯（25 mL）中，在杯中放置湿润的纸巾保湿；成虫羽化后，将雌雄蛾配对放入养虫杯（高 9 cm，直径 10 cm）中交配，在杯上悬挂蘸有 15%蜂蜜水的棉球供成虫取食，用皮筋将无菌脱脂纱布固牢封口，每天更换产卵纸，记录每天单雌产卵量和成虫寿命，直至所有成虫死亡。

1.3　组建草地贪夜蛾年龄-龄期两性生命表

依据 Chi 和 Liu（1985）提出的年龄-龄期两性生命表理论和方法，组建草地贪夜蛾的两性生命表。其中，特定年龄-龄期存活率（s_{xj}），种群特定年龄存活率（l_x），特定年龄-龄期繁殖力（f_{xj}），种群特定年龄繁殖力（m_x），特定年龄-龄期期望寿命（e_{xj}）等参数用来评价取食小葱和洋葱后草地贪夜蛾生长发育与繁殖情况。此外，成虫产卵前期（Adult pre-oviposition period of female adult，APOP），总产卵前期（Total pre-oviposition period of female counted from birth，TPOP），周限增长率（λ），内禀增长率（r），净增殖率（R_0），平均世代周期（T）种群参数的计算方法参考 Huang 和 Chi（2012）。

1.4　田间草地贪夜蛾成虫对小葱和洋葱产卵选择性测定

试验地中央设置网罩（长、宽、高都为 70 cm，纱网 120 目），选其植株高度在 15 cm 左右的小葱和洋葱各 1 盆，对角线放置在网罩内，向网罩内接入 10 对新羽化的草地贪夜蛾成虫，罩笼中间放置浸有 10%蜂蜜水的棉球，每天记录草地贪夜蛾在小葱、洋葱不同部位的产卵量，连续记录 5 d。

1.5　数据分析

依照 Chi 和 Su（2006）提出的计算方法，利用生命表分析软件 TWOSEX-MSChart（Chi，2018）对各发育阶段，成虫寿命，繁殖力等参数进行计算和分析。其中，使用 Boostrap 方法（Boostrap 次数为 100 000 次）计算各种群参数的均值及标准误，并利用 paired bootstrap test 进行差异显著性比较。

利用 IBM SPSS Statistics 26 软件对草地贪夜蛾在小葱、洋葱的不同部位产卵选择性进行单因素方差分析，均值比较及差异显著性检验使用 Tukey's HSD 法计算。各参数制图使用 Origin 8 软件。

2　结果与分析

2.1　草地贪夜蛾的各阶段发育历期和种群参数

试验结果表明，取食这 2 种寄主植物对草地贪夜蛾的生长发育和繁殖有显著影响。由表 1 可知，取食小葱和洋葱对草地贪夜蛾卵期和不同龄幼虫的历期有不同程度的影响。其中，取食洋葱的蛹期（6.96 ± 7.70）d 显著长于取食小葱的（6.55 ± 6.94）d（$P < 0.05$），但成虫期在这 2 种寄主植物上差异不显著（$P = 0.37$）。取食这 2 种寄主植物的成虫产卵前期（APOP）差异不显著（$P = 0.10$），但取食小葱的总产卵前期（TPOP）显著长于取食洋葱的（$P < 0.05$）。此外，与取食洋葱相比，取食小葱的草地贪夜蛾的繁殖力和总的寿命虽有所增加，但差异不显著（P=0.26）。

种群的内禀增长率（r）与周限增长率（λ）是衡量种群数量的重要指标。由表 2 可知，草地贪夜蛾实验种群在小葱和洋葱这两种寄主植物上的内禀增长率均大于 0，周限增长率均大于 1，表明 2 种寄主植物均有利于草地贪夜蛾种群数量的增长。其中，取食小葱的内禀增长率和周限增长率（0.209 1 d^{-1}、1.232 5 d^{-1}）显著大于取食洋葱的（0.180 3 d^{-1}、1.197 6 d^{-1}）。净增殖率（R_0）表示经过一个世代种群大小增长（或减少）的倍率，本研究结果表明取食小葱的净增殖率（410.15，子代）显著高于取食洋葱的（250.32，子代）。同时取食小葱的平均世代周期（28.78 d）明显短于取食洋葱的（30.63 d）。

2.2　取食小葱和洋葱对草地贪夜蛾存活率和繁殖力的影响

通过构建草地贪夜蛾种群特定年龄-龄期存活率曲线（s_{xj}）可知（图 1），由于不同个体间的发育速率存在差异，导致取食小葱和洋葱的草地贪夜蛾不同龄期的存活曲线存在明显重叠。与取食小葱相比，取食洋葱的草地贪夜蛾从初产卵发育到成虫阶段的可能性显著降低，结合表 1，

表 1 取食小葱、洋葱的草地贪夜蛾的各阶段发育历期

Table 1 Developmental stages of *Spodoptera frugiperda* fed on shallot and onion

发育阶段 (d) Developmental stage	小葱 Shallot		洋葱 Onion		*P* 值 *P*-value
	n	Mean ± SE	*n*	Mean ± SE	
卵 Egg (d)	120	2.14 ± 5.47b	119	2.30 ± 5.71a	<0.05
1 龄 1st instar	116	3.79 ± 9.29b	109	4.32 ± 0.11a	<0.05
2 龄 2nd instar	116	2.32 ± 4.35a	107	2.35 ± 5.93a	0.72
3 龄 3rd instar	116	1.82 ± 6.40b	105	2.62 ± 0.15a	<0.05
4 龄 4th instar	116	1.37 ± 5.39b	105	2.17 ± 0.14a	<0.05
5 龄 5th instar	116	1.41 ± 5.84a	103	1.54 ± 8.01a	0.16
6 龄 6th instar	113	3.78 ± 8.09a	101	3.76 ± 9.63a	0.89
蛹期 Pupa stage	92	6.55 ± 6.94b	70	6.96 ± 7.70a	<0.05
成虫寿命 Adult longevity	92	9.82 ± 0.36a	70	9.29 ± 0.46a	0.37
成虫前期存活率 Preadult survival rate	120	0.77 ± 3.87a	120	0.58 ± 4.49b	<0.05
成虫产卵前期 APOP	45	3.07 ± 0.12a	28	2.71 ± 0.18a	0.10
总产卵前期 TPOP	45	28.75 ± 0.54a	28	26.13 ± 0.18b	<0.05
繁殖力 Fecundity (eggs/female)	45	1 093.73 ± 85.93a	32	938.69 ± 109.13a	0.26
总寿命 Total longevity (d)	120	30.44 ± 0.61a	120	28.96 ± 0.94a	0.19

表中数据为平均值 ± 标准误，同行数据后标有不同小写字母表示差异显著（$P < 0.05$，配对重复取样检定）。下表同。

Data are mean ± SE, and followed by different lowercase letters in the same row are significantly different at the level 0.05 by paired bootstrap test. The same below.

表 2 取食小葱、洋葱的草地贪夜蛾的种群生命表参数

Table 2 Comparison of population parameters of *Spodoptera frugiperda* fed on shallot and onion

寄主 Host	内禀增长率（r） Intrinsic rate of Increase (d^{-1})	净增殖率（R_0） Net reproductive rate	周限增长率（λ） Finite rate of increase (d^{-1})	平均世代周期（T） Mean generation time (d)
小葱 Shallot	0.209 1 ± 5.293 8a	410.15 ± 57.97a	1.232 5 ± 6.517 0a	28.78 ± 0.20a
洋葱 Onion	0.180 3 ± 7.512 5b	250.32 ± 47.53b	1.197 6 ± 8.978 2b	30.63 ± 0.47b

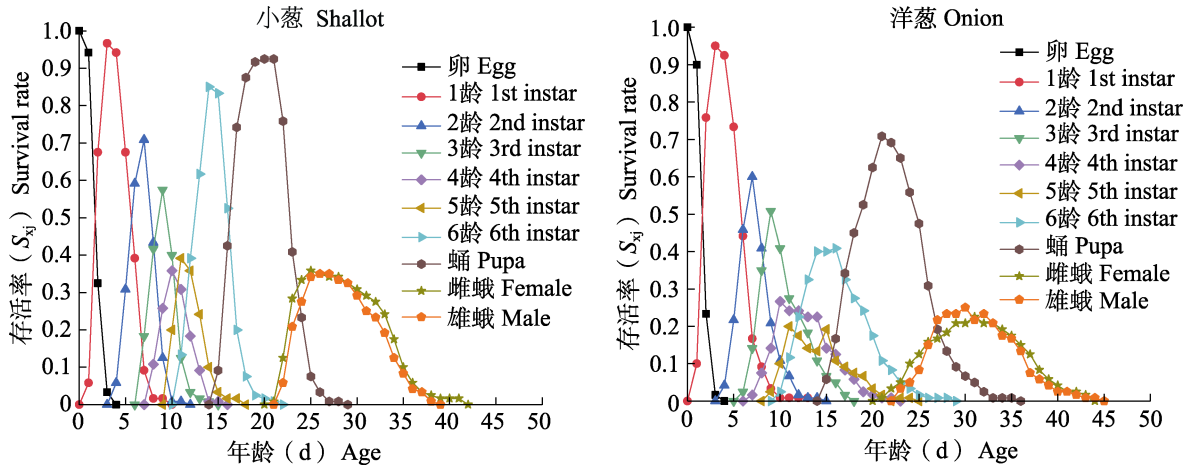

图 1 取食小葱、洋葱的草地贪夜蛾特定年龄-龄期存活率（s_{xj}）

Fig. 1 Age-stage specific survival rate (s_{xj}) of *Spodoptera frugiperda* fed on shallot and onion

取食小葱的成虫前期存活率（0.77）显著高于取食洋葱的（0.58，$P<0.05$），表明取食洋葱的草地贪夜蛾在幼虫期和蛹期存在不确定的高死亡风险。

种群特定年龄存活率（l_x）的结果显示（图 2），取食洋葱的草地贪夜蛾种群特定年龄存活率曲线在 15 d 内下降较快，表明取食洋葱的草地贪夜蛾幼虫期具有不稳定的死亡情况；取食小葱和洋葱的产卵高峰均处在产卵前期，随着成虫寿命延长，雌蛾特定年龄-龄期繁殖力（f_{x9}）和种群特定年龄繁殖力（m_x）曲线逐渐降低，从而使得后期雌蛾所产的卵对种群净繁殖力（l_xm_x）的贡献非常小。同时与取食洋葱相比，取食小葱的草地贪夜蛾 m_x、l_xm_x 和 f_{x9} 明显增高。综上，表明小葱更利于草地贪夜蛾生长发育和繁殖。

生殖价（v_{xj}）是用来描述某一年龄的个体平均能对未来种群增长所做的贡献。取食小葱的草地贪夜蛾各阶段的生殖价均高于取食洋葱的，其中，取食小葱的草地贪夜蛾最高繁殖价为 v_{26} = 673.29，高于取食洋葱的 v_{27} = 667.72（图 3）。

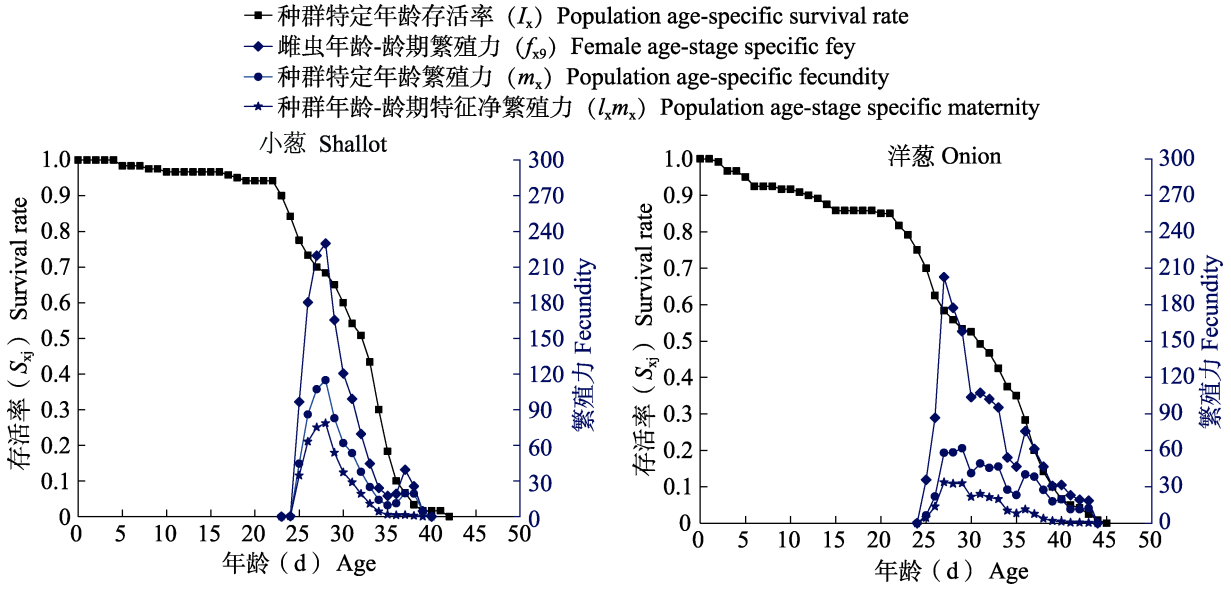

图 2　取食小葱、洋葱的草地贪夜蛾种群特定年龄-龄期存活率和繁殖力

Fig. 2　Population age-stage specific survival rate and maternity of *Spodoptera frugiperda* fed on shallot and onion

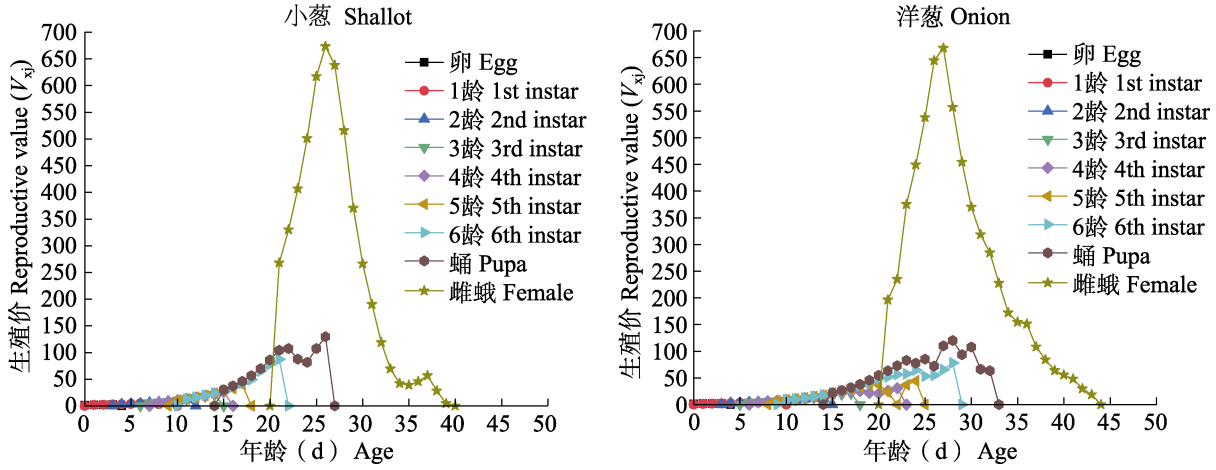

图 3　取食小葱、洋葱的草地贪夜蛾的特定年龄-龄期生殖价（v_{xj}）

Fig. 3　Age-stage specific reproductive value (v_{xj}) of *Spodoptera frugiperda* fed on shallot and onion

2.3 草地贪夜蛾成虫对小葱、洋葱产卵选择

在田间选择性测定中，草地贪夜蛾均可在小葱和洋葱上选择性产卵（图 4），然而草地贪夜蛾成虫对小葱、洋葱具有明显的产卵选择性差异（图 5）。草地贪夜蛾在洋葱上的平均产卵量显著高于小葱上的，且在洋葱植株中部的平均产卵量最多（629.8 粒），显著高于在洋葱下部（66.5 粒）；而草地贪夜蛾在小葱植株下部的平均产卵量最多（393.5 粒），显著高于在小葱植株上部（72.3 粒）。田间产卵选择性试验表明，草地贪夜蛾更偏好在洋葱上产卵，产卵部位以洋葱植株的中上部为主。

图 4 田间罩笼内草地贪夜蛾成虫在小葱、洋葱上产卵
Fig. 4 The adults of *Spodoptera frugiperda* lie their eggs on shallot and onion in the field cage

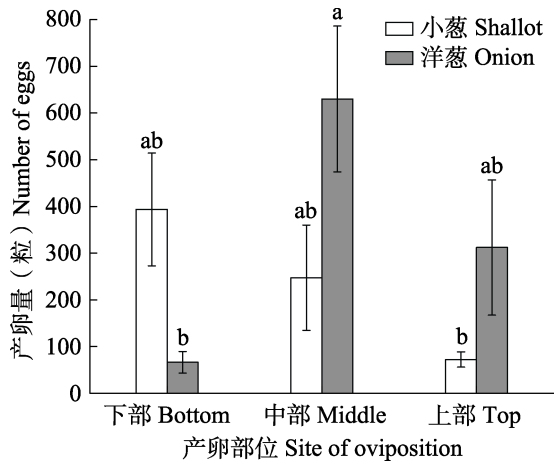

图 5 草地贪夜蛾在小葱、洋葱不同部位的产卵量
Fig. 5 Fecundity of *Spodoptera frugiperda* on different parts of shallot and onion

图中数据为平均值 ± 标准误，柱上标有不同小写字母表示经 Tukey's HSD 多重比较后差异显著（$P < 0.05$）。
Data are mean ± SE, histograms with different lowercase letters indicate significant difference at the 0.05 level by Tukey's HSD multiple range test.

3 讨论

草地贪夜蛾为多食性害虫，具有广泛的寄主适应性（杨普云等，2019）。然而，不同寄主植物对草地贪夜蛾的生长发育和繁殖有着不同的影响（黄芊等，2019；吴正伟等，2019；徐蓬军等，2019）。本研究表明，在室内 30 ℃条件下，草地贪夜蛾在小葱、洋葱上均可顺利完成生活史。与洋葱相比，取食小葱的草地贪夜蛾幼虫发育历期明显缩短，成虫前期存活率也显著增高，且取食小葱的草地贪夜蛾的繁殖力和总寿命有所增加。依据本研究获得的草地贪夜蛾种群生命表，以取食小葱的草地贪夜蛾种群内禀增长率（r）、净增殖率（R_0）和周限增长率（λ）为最高，平均世代周期（T）最短。因此，与取食洋葱相比，小葱是草地贪夜蛾更适宜的寄主植物。这一结论可能与这 2 种寄主植物所含营养成份不同有关。有研究证实小葱的蛋白质和维生素 C 的含量均高于洋葱（蹇黎和朱利泉，2009），而寄主植物体内较高的蛋白质、糖类等营养成份更有利于植食性昆虫的生长发育和繁殖（Chen *et al.*，2009）。有关这 2 种寄主植物的营养成份的含量以及幼虫体内消化酶活力需要进一步测定。

不同寄主植物对植食性昆虫生长发育有着不同程度的影响，适宜的寄主植物使昆虫具有较高存活率和较短的发育历期（Silva *et al.*，2017）。巴吐西等（2020）研究了玉米和小麦对草地贪夜蛾生长发育的影响，取食玉米（14.66 d）和小麦（14.66 d）的幼虫发育历期显著高于本研究中取食小葱和洋葱的，而与取食玉米的相比，取食小葱、洋葱的草地贪夜蛾各阶段的存活率均降低。这一差异可能与昆虫实验种群的类型、试验的温度和条件不同有关。有研究表明草地贪夜蛾各虫态发育历期随温度升高而显著缩短（谢殿杰等，2019）。

寄主选择是植食性昆虫生命活动中的重要行为，对昆虫的生长发育以及种群繁衍具有极为重要的意义（Mayhew，1997）。理论条件下植食性昆虫将卵产在偏好寄主上以利于其后代幼虫

生长发育，然而也出现昆虫对寄主植物产卵偏好性与其后代生长发育表现不一致的情况（Berdegue *et al.*，1998）。张娜等（2009）在研究甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* 对不同寄主植物上的产卵选择及其寄主植物对甜菜夜蛾的发育和繁殖影响时，发现甜菜夜蛾对寄主植物的产卵选择性和寄主适合度并不一致。本文研究结果表明，田间罩笼情况下草地贪夜蛾雌蛾均可在小葱、洋葱植株上产卵，但偏好在洋葱上产卵，产卵部位以洋葱植株的中上部为主，而室内研究结果显示，草地贪夜蛾对小葱的寄主适合度要优于洋葱，这一结果可能是昆虫处于不同的生态环境和面临的选择压力不同所致，具体的选择性机制需要进一步证实。

本研究在室内条件下分析草地贪夜蛾取食小葱和洋葱后的生命表参数，并比较草地贪夜蛾雌蛾对小葱和洋葱的产卵选择性，明确了草地贪夜蛾寄主选择行为与寄主适合度之间的关系，旨在为草地贪夜蛾在小葱和洋葱上的潜在为害风险提供科学依据。

参考文献 (References)

Ba TX, Zhang YH, Zhang Z, Guan DD, Li CC, Ji ZY, Yin XT, Zhang AH, Tang QB, Liu YH, Li XR, Zhu X, 2020. The host preference and population life tables of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) fed on maize and wheat. *Plant Prot.*, 46(1): 17–23. [巴吐西, 张云慧, 张智, 关豆豆, 李翠翠, 季昭云, 殷新田, 张爱环, 汤清波, 刘延辉, 李祥瑞, 朱勋, 2020. 草地贪夜蛾对小麦和玉米的产卵选择性及其种群生命表. 植物保护, 46(1): 17–23.]

Berdegue M, Reitz SR, Trumble JT, 1998. Host plant selection and development in *Spodoptera exigua*: Do mother and offspring know best? *Entom. Exp. Appl.*, 89(1): 57–64.

CABI, 2016. *Spodoptera frugiperda* (fall armyworm). Invasive species compendium. http://www.cabi.org/isc/datasheet/ 29810.

Chen YG, Ni XZ, Buntin GD, 2009. Physiological, nutritional, and biochemical bases of corn resistance to foliage-feeding fall armyworm. *J. Chem. Ecol.*, 35(3): 297–306.

Chi H, 2018. TWOSEX-MSChart: A computer program for the age-stage, two-sex life table analysis. Taichung: Taiwan Chung Hsing University.

Chi H, Liu H, 1985. Two new methods for the study of insect population ecology. *Bull. Inst. Zool. Acad. Sin.*, 24(2): 225–240.

Chi H, Su HY, 2006. Age-stage, two-sex life tables of *Aphidius gifuensis* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) and its host *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) with mathematical proof of the relationship between female fecundity and the net reproductive rate. *Environ. Entomol.*, 35: 10-21.

Guo JF, He KL, Wang ZY, 2019. Biological characteristics, trend of fall armyworm *Spodoptera frugiperda*, and the strategy for management of the pest. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(3): 361–369. [郭井菲, 何康来, 王振营, 2019. 草地贪夜蛾的生物学特性、发展趋势及防控对策. 应用昆虫学报, 56(3): 361–369.]

He LM, Zhao SY, Wu KM, 2020. Study on the damage of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* to peanut. *Plant Prot.*, 46(2): 1–5. [何莉梅, 赵胜园, 吴孔明, 2020. 草地贪夜蛾取食为害花生的研究. 植物保护, 46(1): 28–33.]

Huang Q, Ling Y, Jiang T, Pang GQ, Jiang XB, Fu CQ, Wu BQ, Huang SS, Li C, Huang FK, Zhong Y, Long LP, 2019. Feeding preference and adaptability of *Spodoptera frugiperda* on three host plant. *Journal of Environmental Entomology*, 41(6): 1141–1146. [黄芊, 凌炎, 蒋婷, 庞国群, 蒋显斌, 符诚强, 吴碧球, 黄所生, 李成, 黄凤宽, 钟勇, 龙丽萍, 2019. 草地贪夜蛾对三种寄主植物的取食选择性及其适应性研究. 环境昆虫学报, 41(6): 1141–1146.]

Huang YB, Chi H, 2012. Age-stage, two-sex life tables of *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett) (Diptera: Tephritidae) with a discussion on the problem of applying female age-specific life tables to insect populations. *Insect Sci.*, 19 (2): 263–273.

Jian L, Zhu LQ, 2009. Comparative analysis of the nutritional components of several *Allium* crops in Guizhou province. *Journal of Changjiang Vegetables*, (2): 30–32. [蹇黎, 朱利泉, 2009. 贵州几种葱属植物的营养成分比较分析. 长江蔬菜, (2): 30–32.]

Jiang YY, Liu J, Xie MC, Li YH, Yang JJ, Zhang ML, Qiu K, 2019b. Observation on law of diffusion damage of *Spodoptera frugiperda* in China in 2019. *Plant Prot.*, 45(6): 10–19. [姜玉英, 刘杰, 谢茂昌, 李亚红, 杨俊杰, 张曼丽, 邱坤, 2019b. 2019 年我国草地贪夜蛾扩散为害规律观测. 植物保护, 45(6): 10–19.]

Jiang YY, Liu J, Zhu XM, 2019a. Occurrence and trend of *Spodoptera frugiperda* invasion in China. *China Plant Prot.*, 39(2): 33–35. [姜玉英, 刘杰, 朱晓明, 2019a. 草地贪夜蛾侵入我国的发生动态和未来趋势分析. 中国植保导刊，39(2): 33–35.]

Mayhew PJ, 1997. Adaptive patterns of host-plant selection by phytophagous insects. *Oikos*, 79(3): 417–428.

Montezano DG, Specht A, Sosa-Gómez DR Roque-Specht VF, Sousa-Silva JC, Paula-Moraes SV, Peterson JA, Hunt TE, 2018. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. *African Entomology*, 26(2): 286–300.

Saldamando CI, Vélez-Arango AM, 2010. Host plant association and genetic differentiation of corn and rice strains of *Spodoptera frugiperda* Smith (Lepidoptera: Noctuidae) in Colombia. *Neotrop. Entomol.*, 39(6): 921–929.

Silva DMD, Bueno ADF, Andrade K, Stecca CDS, Neves PMOJ, Oliveira MCD, 2017. Biology and nutrition of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) fed on different food sources. *Sci. Agr.*, 74(1): 18–31.

Sun XX, Zhao SY, Jin MH, Zhao HY, Li GP, Zhang HW, Jiang YY, Yang XM, Wu KM, 2019. Larval spatial distribution pattern and sampling technique of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in maize fields. *Plant Prot.*, 45(2): 13–18. [孙小旭, 赵胜园, 靳明辉, 赵慧媛, 李国平, 张浩文, 姜玉英, 杨现明, 吴孔明, 2019. 玉米田草地贪夜蛾幼虫的空间分布型与抽样技术. 植物保护, 45(2): 13–18.]

Tang Y, Guo JF, Tai HK, He KL, Wang QY, Wang ZY, 2020. Fitness of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, reared on three triticeae crops. *Plant Prot.*, https://doi.org/10.16688/j.zwbh.2020173. [汤印, 郭井菲, 太红坤, 何康来, 王勤英, 王振营, 2020. 草地贪夜蛾在 3 种麦类作物上的适生性. 植物保护, https: //doi. org/10. 16688/j. zwbh. 2020173.]

Tang YL, Guo RC, Wu YY, Zou XM, Zhang Z, Niu XH, Wang ZL, Chen J, Li T, Li CF, Wei JH, Pan GQ, Zhou ZY, 2019. Biotype identification of the population of *Spodoptera frugiperda* that migrated to Chongqing area. *Journal of Southwest University* (*Natural Science Edition*), 41(7): 1–7. [唐运林, 顾偌铖, 吴燕燕, 邹祥明, 张祯, 牛小慧, 王泽乐, 陈洁, 李田, 李春峰, 韦俊宏, 潘国庆, 周泽扬, 2019. 入侵重庆地区的草地贪夜蛾种群生物型鉴定. 西南大学学报(自然科学版), 41(7): 1–7.]

Todd EL, Poole RW, 1980. Keys and illustrations for the armyworm moths of the noctuid genus *Spodoptera* Guenée from the Western Hemisphere. *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 73(6): 722–738.

Wang L, Chen KW, Zhong GH, Xian JD, He XF, Lu YY, 2019. Progress for occurrence and management and the strategy of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Smith). *Journal of Environmental Entomology*, 41(3): 479–487. [王磊, 陈科伟, 钟国华, 洗继东, 何晓芳, 陆永跃, 2019. 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. 环境昆虫学报，41(3): 479–487.]

Wu KM, 2020. Management strategies of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in China. *Plant Prot.*, 46(2): 1–5. [吴孔明, 2020. 中国草地贪夜蛾的防控策略. 植物保护, 46(2): 1–5.]

Wu ZW, Shi PQ, Zeng YH, Huang WF, Huang QZ, Ma XH, Guo LZ, 2019. Population life tables of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) fed on three host plants. *Plant Prot.*, 45(6): 59–64. [吴正伟, 师沛琼, 曾永辉, 黄炜锋, 黄勤知, 马新华, 郭良珍, 2019. 3 种寄主植物饲养的草地贪夜蛾种群生命表. 植物保护, 45(6): 59–64.]

Xie DJ, Zhang L, Cheng YX, Jiang XF, 2019. Age-stage two-sex life table for laboratory populations of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* at different temperatures. *Plant Prot.*, 45(6): 20–27. [谢殿杰, 张蕾, 程云霞, 江幸福, 2019. 不同温度下草地贪夜蛾年龄-阶段实验种群两性生命表的构建. 植物保护, 45(6): 20–27.]

Xu LN, Hu BJ, Su WH, Qi RD, Qiu K, Zheng ZY, Zhang QY, Zhou ZY, Qi SS, Hu F, Wang ZY, 2019. Fall armyworm damaging early sowing wheat in Anhui province. *Plant Prot.*, 45(6): 87–89. [徐丽娜, 胡本进, 苏卫华, 戚仁德, 邱坤, 郑兆阳, 张启勇, 周子燕, 戚士胜, 胡飞, 王振营, 2019. 安徽发现草地贪夜蛾为害早播小麦. 植物保护, 45(6): 87–89.]

Xu PJ, Zhang DD, Wang J, Wu KM, Wang XW, Wang XF, Ren GW, 2019. The host preference of *Spodoptera frugiperda* on maize and tobacco. *Plant Prot.*, 45(4): 61–64. [徐蓬军, 张丹丹, 王杰, 吴孔明, 王新伟, 王秀芳, 任广伟, 2019. 草地贪夜蛾对玉米和烟草的偏好性研究. 植物保护, 45(4): 61–64.]

Yang PY, Zhu XM, Guo JF, Wang ZY, 2019. Strategy and advice for managing the fall armyworm in China. *Plant Prot.*, 45(4): 1–6. [杨普云, 朱晓明, 郭井菲, 王振营, 2019. 我国草地贪夜蛾的防控对策与建议. 植物保护, 45(4): 1–6.]

Zhang L, Jin MH, Zhang DD, Jiang YY, Liu J, 2019. Molecular identification of invasive fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in Yunnan Province. *Plant Prot.*, 45(2): 19–24. [张磊, 靳明辉, 张丹丹, 姜玉英, 刘杰, 2019. 入侵云南草地贪夜蛾的分子鉴定. 植物保护, 45(2): 19–24.]

Zhang N, Guo JY, Wan FH, Wu G, 2009. Oviposition and feeding preferences of *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) to different host plants. *Acta Entomologica Sinica*, 52(11): 1229–1235. [张娜, 郭建英, 万方浩, 吴刚, 2009. 甜菜夜蛾对不同寄主植物的产卵和取食选择. 昆虫学报, 52(11): 1229–1235.]

Zhao M, Yang JG, Wang ZY, Zhu JS, Jiang YY, Xu ZC, Zhu P, Wang ZH, Yu Y, Men XY, Li LL, 2019. *Spodoptera frugiperda* were found damaging potato in Shandong province. *Plant Prot.*, 45(6): 84–86. [赵猛, 杨建国, 王振营, 朱军生, 姜玉英, 徐兆春, 朱萍, 王振华, 于毅, 门兴元, 李丽莉, 2019. 山东发现草地贪夜蛾为害马铃薯. 植物保护, 45(6): 84–86.]