

印度谷螟幼虫在不同油酸含量花生品种中的发育期和头壳宽度比较研究*

黄依林^{1**} 王殿轩^{1***} 杨兴钧¹ 李 阳² 谷建中²
荆建国³ 李振华³ 唐培安⁴

(1. 河南工业大学粮食和物资储备学院, 国家粮食产业(仓储害虫防控)技术创新中心; 粮食储运国家工程研究中心, 郑州 450001; 2. 开封市农林科学研究院, 开封 475004; 3. 濮阳市农业科学研究院, 濮阳 457000;
4. 江苏省现代粮食流通与安全协同创新中心, 南京 210023)

摘 要 【目的】探明印度谷螟 *Plodia interpunctella* (Hübner) 幼虫取食不同油酸含量花生品种的发育特性, 为花生储藏中该虫的科学防治害虫提供参考依据。【方法】分别在高油酸花生品种开农 1715、开农 1760 和开农 301, 以及非高油酸花生品种豫花 47、开农 192、开农白 2 号和海花 1 号的花生仁中接种印度谷螟卵, 于 24、28 和 32 °C 温度下监测其中幼虫的发育历期、龄期和头壳宽度, 计算比较其发育始点温度和有效积温。【结果】所测定的 7 个品种花生中, 印度谷螟幼虫在 3 个温度下均经历了 5 个龄期化蛹。对应 24、28 和 32 °C 的温度, 高油酸品种开农 1715 中幼虫发育最慢, 至蛹期发育历期分别为 77、46 和 37 d; 非高油酸品种开农白 2 号中幼虫发育最快, 相应发育历期分别为 53、27 和 27 d。同一温度下, 幼虫的发育历期在高油酸品种开农 1715、开农 1760 和开农 301 中均显著大于非高油酸品种豫花 47、开农 192、开农白 2 和海花 1 号中。试验温度下, 温度升高, 幼虫发育至蛹的历期显著缩短。5 个虫龄的幼虫头壳宽度在不同品种花生中差异不显著 ($P>0.05$), 达到相同头壳宽度所经历时间则差异显著 ($P<0.05$)。高油酸品种开农 1715、开农 1760、开农 301 和非高油酸品种开农白 2 号中幼虫的发育起点温度分别为 16.4、15.2、17.3 和 17.7 °C。不同品种花生中幼虫期的有效积温差异显著, 高油酸品种开农 1760 中最高达 618.9 日·度, 非高油酸品种开农白 2 号中最低为 331.5 日·度。【结论】高油酸品种花生中印度谷螟幼虫的发育历期显著长于非高油酸品种中的幼虫 ($P<0.05$)。花生油酸含量不同的同龄期幼虫头壳宽度没有显著差异 ($P>0.05$)。不同品种花生中印度谷螟幼虫发育始点温度为 15.2–17.7 °C, 高油酸花生中幼虫发育有效积温均明显高于非高油酸品种。

关键词 花生; 油酸; 印度谷螟; 幼虫; 发育; 头壳宽度

Comparison on the developmental duration and head capsule width of *Plodia interpunctella* larvae among several variety of peanuts in different oleic content

HUANG Yi-Lin^{1**} WANG Dian-Xuan^{1***} YANG Xing-Jun¹ LI Yang²
GU Jian-Zhong² JING Jian-Guo³ LI Zhen-Hua³ TANG Pei-An⁴

(1. School of Food and Strategic Reserves, National Grain Industry (Storage Insect Pest Control) Technology Innovation Center, Grain Storage and Logistics National Engineering Research Center, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China;
2. Kaifeng Academy of Agriculture and Forestry, Kaifeng 475004, China; 3. Puyang Academy of Agricultural Sciences, Puyang 457000, China;
4. Collaborative Innovation Center of Modern Grain Circulation and Safety, Nanjing 210003, China)

Abstract [Objectives] Research on the occurrence characteristics of insect pests in different storage materials. Knowing the

*资助项目 Supported projects: 国家花生产业技术体系资助项目 (CARS-13)

**第一作者 First author, E-mail: huangyilin318@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: wangdianxuan62@126.com

收稿日期 Received: 2022-05-17; 接受日期 Accepted: 2023-04-09

development characteristics of *Plodia interpunctella* larvae infested on several variety of peanuts in different oleic content, can provide reference on their scientific management in stored peanut. **[Methods]** The developmental duration, instars, and larvae head capsule width of *Plodia interpunctella* (Hübner) were assayed in several varieties of high oleic acid peanut kernel that included in Kainong 1715, Kainong 1760 and Kainong 301, as well as some non-high oleic acid varieties that involved in Yuhua 47, Kainong 192, Kainongbai No. 2 and Haihua No.1, at temperature of 24, 28 and 32 °C. The zero developmental temperature and effective accumulated temperature of the larvae were also calculated according to the tested temperatures and development days. **[Results]** There were five instars of larvae in all seven assayed varieties of peanut at three temperatures. The developmental duration of *P. interpunctella* larvae cultured with high oleic acid variety of Kainong 1715 was 77, 46, and 37 d, respectively. The shortest developmental duration was 53, 27, and 27 d in non-high oleic acid variety of Kainongbai No.2, at 24, 28 and 32 °C, respectively. The developmental duration of the larvae in high oleic acid variety of Kainong 1715, Kainong 1760, and Kainong 301 was significantly longer than that in others. The developmental duration from larvae to pupae was shorten with temperature increasing. The head capsule width in each larvae instar was not significantly among of peanut varieties, the time reached the same width of head capsule was different significantly. The zero developmental temperature of the larvae in high oleic acid variety of Kainong 1715, Kainong 1760, Kainong 301, and non-high oleic acid variety of Kainongbai No.2 was 16.4, 15.2, 17.3 and 17.7 °C, respectively. The effective accumulated temperature in larval stage of the moth in high oleic acid variety of Kainong 1760 was highest up to 619 degree-days, and lowest (331.5 degree-days) in non-high oleic acid variety of Kainongbai No.2. **[Conclusion]** The development duration of the larvae in high oleic acid peanut was obviously longer than that in non-high oleic acid peanut. The head capsule width of larvae at each instar was not significantly affected by peanut in different oleic content. The developmental threshold temperature of the larvae in different peanut varieties was between 15.2 and 17.7°C. The effective accumulated temperature in larval stage in high oleic acid variety was significantly higher than that in non-high oleic acid variety.

Key words peanut; oleic acid; *Plodia interpunctella*; larvae; development; head capsule width

花生是世界上重要的经济作物,是世界五大油料作物之一(刘学忠, 2008)。全球花生产量仅次于大豆、油菜籽和葵花籽,排名第4(王瑞元, 2020)。近20年来,我国花生总产一直位居世界首位(廖伯寿, 2001)。当前我国花生产业发展迅速,花生是我国具有较强国际市场竞争力的大宗农产品(万书波等, 2003),花生储藏需求更加迫切(汤松等, 2010)。我国花生的品种繁多,目前已涉及7837份花生种质资源,包含300多份育成品种(姜慧芳等, 2011),截至2021年7月底,我国育成的高油酸花生品种达188个(王传堂等, 2021)。高油酸花生是指油酸含量占总脂肪酸含量75%及以上的花生,显著高于普通花生油酸含量(40%-50%)(王传堂等, 2021; 刘芳等, 2017),高油酸花生抗氧化能力强,有利于人体健康(赵志浩等, 2019),是花生产业发展的重要方向(王传堂等, 2018; 郭艳丽, 2020; 刘程宏和杨海棠, 2021),高油酸花生及其制品的耐储藏性也高于普通花生(张青云等, 2016)。

花生在适宜条件下可储存数年,但受霉菌和

害虫的为害,一个月后即不可食用(Ghaly, 1978)。因此,掌握不同花生对储藏害虫的耐受特性有利于指导花生安全储存和避免害虫损失。花生在储存过程中易受害虫感染危害,涉及储藏害虫可达100多种(张建成和李国荣, 1997),其中印度谷螟 *Plodia interpunctella* (Hübner) 感染发生最为普遍,且危害严重。印度谷螟是一种世界性分布的储藏物害虫,可导致花生仁虫蚀粒率和酸值显著增加,含油量显著降低(姜碧若等, 2019a),对多种储存食品造成巨大的经济损失(Na and Munil, 2000; Predojević *et al.*, 2017)。印度谷螟对花生的危害包括成虫极易感染、幼虫为害果仁、幼虫吐丝结网等。其环境感染还会影响设备清洁卫生,严重时堵塞机械和通风系统导致停机。印度谷螟的发生也为其他虫螨发生创造条件,造成食物污染,甚至影响人类健康(Silhacek *et al.*, 2003; Mohandass *et al.*, 2007)。

印度谷螟成虫在不同品种花生上的产卵偏好性差异显著(姜碧若等, 2019b),提示不同品种的花生在储藏中受害虫感染程度存在差异。印

度谷螟主要以幼虫取食危害储藏物 (Kaliyan *et al.*, 2018), 在不同种类的食物中生长发育有所不同。28 °C 和 50%RH 条件下印度谷螟在麸皮中从卵发育至成虫的时间为 23 d, 在杏仁、开心果和核桃中的时间分别为 31、31 和 38 d (Johnson *et al.*, 1992)。在 30 °C 和 76%RH 条件下, 印度谷螟在破碎高粱和小麦中从卵发育到成虫羽化分别需要 26 和 46 d (Allotey and Goswami, 1990)。28 °C 和 60%RH 条件下其幼虫在不同类型的葵花籽中发育历期最长相差 10 d, 营养物质含量不同的葵花籽对印度谷螟的生长发育影响显著 (Gvozdenac *et al.*, 2018)。在 28 °C 和 60%RH 条件下以不同品种玉米饲养的印度谷螟幼虫发育历期最长相差 5 d (Predojević *et al.*, 2017)。不同品种尤其是油酸含量不同的花生耐储藏性差异显著 (刘程宏和杨海棠, 2021), 目前缺少不同油酸含量的花生中储藏物害虫的生长发育等生物学报道。本文测定了不同温度下印度谷螟幼虫在不同油酸含量花生中的发育历期、龄期和头壳宽度, 比较了不同花生品种中其发育始点温度和有效积温, 以期了解印度谷螟对不同品种尤其是高油酸花生的感染差异特性, 为花生储藏中科学防治害虫提供参考。

1 材料与方法

1.1 试虫培养

印度谷螟种群采自中储粮郑州直属库有限公司, 在河南工业大学储藏物昆虫研究室以燕麦片和酵母粉 19:1 的质量比混合培养多代, 温度为 (28±2) °C, 相对湿度为 70%±5%。

1.2 试验样品

试验所用花生样品分别来自河南濮阳农业科学院和开封农林科学研究院的生产基地, 包括高油酸品种开农 1715、高油酸品种开农 1760、高油酸品种开农 301、非高油酸品种豫花 47、非高油酸品种开农 192、非高油酸品种海花 1 号及非高油酸品种开农白 2 号, 均为当年收获后晒干至水分含量 10%左右的花生荚果, 后存放于低温

(4 °C) 环境中 7 d, 实验前室温内平衡温度 24 h 后脱壳, 测定其花生仁水分含量为 6%-7%。根据国家花生数据中心 (<http://peanut.cropdb.cn/variety/>) 公开信息显示, 试验用 7 个我国主推花生品种的主要品质指标如下: 开农 1715 的油酸含量、亚油酸含量、含油量及蛋白质含量分别为 75.61%、7.55%、51.74%和 25.11%, 开农 1760 中的相应含量为 76.45%、6.61%、52.14%和 19.55%, 开农 301 中的相应含量为 76.45%、7.09%、52.30%和 21.00%, 豫花 47 的相应含量为 41.07%、36.91%、59.38%和 17.61%, 开农 192 的相应含量为 45.14%、32.65%、54.77%和 22.88%, 开农白 2 号的相应含量为 35.80%、38.20%、53.01%和 23.25%, 海花 1 号的相应含量为 43.54%、32.24%、54.62%和 28.80%。

1.3 实验方法

采用 Ø1.0 cm × H1.5 cm 的 PP 带盖塑料盒做容器, 放入去除红衣的花生仁 (分开的完整子叶) 1 g 和 1 日龄印度谷螟卵 1 粒, 将卵置于塑料盒底部紧挨花生仁处, 每 30 个塑料盒集中于一个搪瓷托盘 (30 cm × 20 cm) 上为 1 组, 每个塑料盒上均有编号, 按次序排列为 6 行 5 列, 每组设 3 个重复。分别置于温度 24、28 和 32 °C 及 (70%±5%) RH 环境中, 每日检查试虫发育情况, 直至幼虫化蛹结束。采用 VHX-5000 型号的超景深显微镜测量所有存活幼虫的头壳宽度 (选用超小型高性能变焦镜头 VH-Z20R/Z20T, 选择放大倍率 200 倍, 像素 20 000 (水平方向 Horizontal, H) × 20 000 (垂直方向 Vertical, V), 观测距离 25.5 mm), 每 5 d 测量一次, 直到存活个体全部化蛹。

1.4 数据处理

用 Microsoft Excel 2016 软件进行数据处理, 用 IBM SPSS Statistics 20 软件进行单因素方差分析, 用 Duncan's 法进行显著性分析 ($P < 0.05$)。在不同温度下得出印度谷螟幼虫发育速度 (V , 发育历期的倒数) 基础上, 用最小二乘法求系数公式求得有效积温 (K) 和发育始点温

度 (C), 公式如下:

$$C = \frac{\sum V^2 \sum T - \sum V \sum VT}{n \sum V^2 - (\sum V)^2},$$

$$K = \frac{n \sum VT - \sum V \sum T}{n \sum V^2 - (\sum V)^2}.$$

式中, C 为发育始点温度 (°C); K 为有效积温 (日·度); T 为试验温度 (°C); V 为发育速率; n 为试验温度个数。

2 结果与分析

2.1 不同温度下印度谷螟幼虫在不同油酸含量花生中的发育历期

结果表明, 同一花生品种中温度升高, 印度谷螟幼虫发育历期显著缩短 (表 1), 32 °C 下印

度谷螟幼虫在开农 1715^G (^G 表示该品种为高油酸型品种) 花生中发育至蛹的历期为 37 d, 在 28 和 24 °C 下分别为 46 和 77 d, 试验最高温度 32 °C 和最低温度 24 °C 下的幼虫发育历期相差达 40 d。温度高时, 害虫呼吸代谢旺盛, 生长发育加快。印度谷螟幼虫在同一温度下不同油酸含量花生中发育历期差异显著 ($P < 0.05$)。28 °C 时高油酸品种开农 1715^G、开农 1760^G 和开农 301^G 培养的幼虫化蛹时间分别为 46、45 和 40 d, 而在非高油酸品种开农 192^P、豫花 47^P、海花 1 号^P 和开农白 2 号^P (^P 表示该品种为非高油酸型品种) 中分别为 38、34、34 和 27 d。幼虫在高油酸品种花生中的发育历期均显著高于非高油酸品种 ($P < 0.05$), 24、28 和 32 °C 时不同品种间最多分别可相差 24、19 和 14 d, 整体表现为温度越高不同品种间发育历期差异越小, 花生中油酸含量显著影响印度谷螟幼虫的发育历期。

表 1 印度谷螟幼虫在不同油酸含量花生中不同温度下的发育历期 (d)
Table 1 Developmental duration (d) of *Plodia interpunctella* larvae among several variety of peanuts in different oleic content at different temperature

花生品种 Variety of peanut	发育历期 (d) Developmental duration (d)		
	24 °C	28 °C	32 °C
开农 1715 ^G Kainong 1715 ^G	76.65±1.94 aA	45.67±2.83 aB	37.09±2.31 aC
开农 1760 ^G Kainong 1760 ^G	72.34±3.27 aA	44.86±1.21 aB	38.19±1.88 abC
开农 301 ^G Kainong 301 ^G	74.87±3.59 aA	39.95±1.48 bB	41.21±1.85 bB
开农 192 ^P Kainong 192 ^P	61.31±3.35 bcA	38.41±2.07 bB	32.20±2.69 cC
豫花 47 ^P Yuhua 47 ^P	64.38±5.56 bA	34.25±2.97 cB	30.84±1.57 cdC
海花 1 号 ^P Haihua No. 1 ^P	56.66±4.87 cdA	33.88±1.23 cB	27.53±1.95 deC
开农白 2 号 ^P Kainongbai No. 2 ^P	53.26±4.35 dA	27.14±2.23 dB	26.62±2.54 eB

表中结果为平均值±标准差, 同列数据后标有不同小写字母表示印度谷螟幼虫在不同油酸含量花生中的发育历期具有显著差异 ($P < 0.05$, Duncan's 检验), 同行大写字母不同表示印度谷螟幼虫在不同温度下的发育历期具有显著差异 ($P < 0.05$, Duncan's 检验)。对应品种名称的上标^G表示该品种为高油酸型品种, ^P表示该品种为非高油酸型品种。下表同。

Data in the table are presented as mean±SD, and followed by the different lowercase letters in the same column indicate significant differences by Duncan's test ($P < 0.05$), while followed by the different uppercase letters in the same row indicate significant differences by Duncan's test ($P < 0.05$). In order to show more clearly, ^G indicates that the variety of peanut is high oleic acid type, and ^P indicates that the variety is not high oleic acid type. The same below.

2.2 印度谷螟幼虫在不同油酸含量花生中发育的龄期和头壳宽度

相同温度下不同品种花生中印度谷螟幼虫发育至蛹经历的龄期数目相同, 但完成同一龄期

所需要时间差异显著 (表 2)。如 32 °C 时, 在开农 1715^G、开农 1760^G、开农 301^G、开农 192^P、豫花 47^P、海花 1 号^P 和开农白 2 号^P 花生中完成 1 龄的时间均为 5-10 d; 完成 2 龄的时间为 10-15 d; 在开农白 2 号^P 上完成 3 龄的时间为

续表 2 (Table 2 continued)

温度 (℃) Temperature	花生品种 Variety of peanut	头壳宽度 (μm) 和龄期 The head capsule width (μm) and instar										
		5 d	10 d	15 d	20 d	25 d	30 d	35 d	40 d	45 d	50 d	55 d
28	开农 192 ^P	160± 2 ab(I)	258± 2 bc(II)	530± 7 d(III)	627± 9 b(IV)	742± 17 ab(IV)	895±26 a(V)	1 144± 13 c(V)	—	—	—	—
	Kainong 192 ^P	158± 3 b(I)	254± 4 c(II)	451± 11 c(III)	722± 15 c(IV)	893± 19 c(V)	1 081±40 bc(V)	—	—	—	—	—
	豫花 47 ^P											
	Yuhua 47 ^P											
	海花 1 号 ^P	159± 1 ab(I)	233± 5 a(II)	526± 6 d(III)	831± 34 d(V)	993± 47 d(V)	1 127±26 c(V)	—	—	—	—	—
	Haihua No. 1 ^P											
	开农白 2 号 ^P	161± 2 ab(I)	263± 5 d(II)	630± 27 e(IV)	946± 16 e(V)	1 123± 68 e(V)	—	—	—	—	—	—
	Kainongbai No. 2 ^P											
	开农 1715 ^G	158± 4 a(I)	258± 5 a(II)	489± 28 a(III)	756± 26 a(IV)	912± 62 a(V)	1 086± 33 a(V)	1 132± 31 a(V)	—	—	—	—
	Kainong 1715 ^G											
32	开农 1760 ^G	160± 2 a(I)	250± 3 ab(II)	546± 48 b(III)	765± 27 a(IV)	889± 34 ab(V)	995± 33 b(V)	1 059± 18 b(V)	—	—	—	—
	Kainong 1760 ^G											
	开农 301 ^G	161± 3 a(I)	249± 7 ab(II)	457± 35 a(III)	730± 32 a(IV)	820± 18 b(V)	997± 52 b(V)	1 088± 25 b(V)	1 124± 19 (V)	—	—	—
	Kainong 301 ^G											
	开农 192 ^P	160± 2 a(I)	265± 2 ab(II)	570± 26 b(III)	827± 38 a(V)	942± 27 bc(V)	1 143± 26 a(V)	—	—	—	—	—
	Kainong 192 ^P											
	豫花 47 ^P	158± 4 a(I)	249± 6 ab(II)	526± 19 b(III)	791± 53 a(IV)	970± 49 bc(V)	1 120± 17 a(V)	—	—	—	—	—
	Yuhua 47 ^P											
	海花 1 号 ^P	159± 3 a(I)	248± 5 ab(II)	535± 16 b(III)	831± 34 a(IV)	993± 47 c(V)	—	—	—	—	—	—
	Haihua No. 1 ^P											
开农白 2 号 ^P	163± 1 a(I)	273± 8 b(II)	644± 42 c(IV)	980± 56 b(V)	1 109± 42 d(V)	—	—	—	—	—	—	—
	Kainongbai No. 2 ^P											

I、II、III、IV、V 分别表示幼虫 1、2、3、4、5 龄。

I、II、III、IV、V indicates the instar of larval stage of 1st, 2nd, 3rd, 4th, and 5th, respectively.

10-15 d, 其他均为 15-20 d; 在开农白 2 号^P和开农 192^P上完成 4 龄的时间为 15-20 d, 其他均为 20-25 d; 在开农白 2 号^P和海花 1 号^P完成 5 龄的时间为 25-30 d, 开农 192^P和豫花 47^P为 30-35 d, 开农 1760^G和开农 1715^G为 35-40 d, 开农 301^G为 40-45 d。高油酸品种花生中幼虫每龄期经历时间均较长, 开农 1715^G、开农 1760^G和开农 301^G花生中幼虫发育至蛹期经历 5 个龄期分别经 37、38 和 41 d 化蛹, 开农白 2 号^P和海花 1 号^P同样经历 5 个龄期, 但分别经 27 和 28 d 便可化蛹。不同温度及花生品种中, 印度谷螟幼虫各龄期在发育历期不同的情况下每个虫龄的头壳宽度差异不显著 ($P>0.05$), 但达到相同头壳宽度的时间不同, 如在 28 °C 下印度谷螟幼虫在开农 1715^G和开农 1760^G花生中 40 d 头壳宽度约为 1 100 μm, 而在开农白 2 号^P中 25 d 时头壳宽度为 1 123 μm。各花生品种和温度下 1 龄幼虫的头壳宽度为 157-163 μm, 2 龄的为 232-273 μm, 3 龄的为 347-570 μm, 4 龄的为 582-831 μm, 5 龄的为 820-1 166 μm。同龄内宽度增速最快者为 2 龄幼虫, 其次为 3 龄幼虫, 最慢者为 5 龄幼虫。

2.3 印度谷螟幼虫在不同油酸含量花生中的发育始点温度和有效积温值

基于不同温度下印度谷螟幼虫在不同品种花生中的发育历期, 计算得到相应发育始点温度和有效积温 (表 3)。各品种花生中印度谷螟幼虫期的发育始点温度在 15.2-17.7 °C, 其中开农白 2 号^P中发育始点温度(17.7 °C)比开农 1760^G(15.2 °C)高 2.5 °C。这与发育历期结果不一致, 可能原因为当温度超出了其生长发育的最适温区时, 试虫发育受到抑制, 导致试验温度下计算出的发育始点温度出现偏差。

不同品种花生培养的印度谷螟幼虫阶段有效积温具有明显差异, 使用高油酸品种开农 1715^G、开农 1760^G和开农 301^G培养印度谷螟幼虫的有效积温分别为 561.1、618.9 和 511.6 日·度, 其有效积温值接近使用开农白 2 号^P培养 (331.5 日·度) 的 2 倍, 前者培养的有效积温较

高, 说明其相比开农白 2 号^P不适合幼虫在其中发育, 这与在开农 1715^G、开农 1760^G和开农 301^G中的幼虫发育历期较长相一致。

表 3 印度谷螟幼虫在不同油酸含量花生中的发育始点温度和有效积温
Table 3 The developmental threshold temperature and effective accumulated temperature of *Plodia interpunctella* larvae among several variety of peanuts in different oleic content

花生品种 Variety of peanut	发育起点温度 (°C) Developmental threshold temperature (°C)	有效积温 (日·度) Effective accumulated temperature (degree·days)
开农 1715 ^G Kainong 1715 ^G	16.42	561.08
开农 1760 ^G Kainong 1760 ^G	15.15	618.93
开农 301 ^G Kainong 301 ^G	17.32	511.57
开农 192 ^P Kainong 192 ^P	15.16	524.75
豫花 47 ^P Yuhua 47 ^P	17.19	420.13
海花 1 号 ^P Haihua No. 1 ^P	16.36	418.16
开农白 2 号 ^P Kainongbai No. 2 ^P	17.70	331.53

3 讨论

比较印度谷螟幼虫在干苹果片、梅干、酸樱桃干、杏干、覆盆子干、黑莓干、草莓干、野樱莓干、蔓越莓干、越橘干、蓝莓干、枸杞干、深琥珀色的葡萄干、浅琥珀色的葡萄干、无花果干、干香蕉片、核桃、榛子、杏仁和椰子肉片等干果和坚果中的发育期发现, 该幼虫于 28 °C 和 60%RH 条件在核桃中的发育期最短为 27 d, 在梅干中的发育最长达 80 d (Vukajlović *et al.*, 2019)。刚孵化的印度谷螟幼虫在 28 °C 和 60%-70%RH 时在杏干和大豆中经过 30 d 可羽化, 在梅干和大麦中则分别需 80 和 49 d 才羽化 (Sambaraju and Phillips, 2008)。在麸皮、杏仁、开心果和核桃中 28 °C 和 50%RH 时印度谷螟从

卵发育至成虫的历期分别为 23、31、31 和 38 d (Johnson *et al.*, 1992)。印度谷螟幼虫在含油量和含蛋白质量不同的葵花籽中 28 °C 和 60%RH 时的发育历期相变化范围达 29-39 d (Gvozdenac *et al.*, 2018), 同样条件下在马齿型、硬质型和半硬质型 3 个类型杂交玉米中, 其幼虫的发育历期也出现 37-42 d 的差异 (Predojević *et al.*, 2017)。本研究中印度谷螟幼虫在高油酸花生中的发育历期均较其在非高油酸花生中的发育历期显著增加, 如在 28 °C 和 70%RH 条件下不同品种间其幼虫发育历期变化范围可达 27-46 d。开农 1715^G、开农 1760^G 和开农 301^G 高油酸花生中印度谷螟幼虫发育历期普遍较长, 非高油酸花生开农白 2 号^P 中印度谷螟幼虫发育历期均较短, 印度谷螟在这些花生品种中的发育差异不仅直接与其油酸含量有关, 还可能与其他相关营养物质如蛋白质含量和质量有关, 值得进一步关注。总体上从不同品种花生中害虫发育历期的比较结果可知, 花生油酸含量低时, 相应品种的花生更有利于幼虫的生长发育。

储藏物甲虫玉米象 *Sitophilus zeamais* 的幼虫在不同龄期时头壳宽度差异显著, 在同龄期内头壳宽度则相对稳定 (Ji *et al.*, 2018)。本研究中印度谷螟不同龄期幼虫的头壳宽度同样差异显著, 即使在不同温度和不同花生品种显著影响其发育历期的情况下, 其同龄期内幼虫头壳宽度仍差异不明显, 但同样情况下不同油酸含量的花生品种中幼虫达到同样头壳宽度的经历时间差异显著。因此, 可通过幼虫头壳宽度来判断幼虫的龄期。

发育始点温度和有效积温是昆虫生态学表现的重要参数, 明确印度谷螟在不同油酸含量花生上的发育始点温度和有效积温, 计算出一定条件下其可能发生的时间或世代数, 有助于预测该虫的发生时间和数量, 有利于预警和避免其危害与损失。印度谷螟幼虫在枸杞中的发育始点温度为 8.8 °C (刘浩等, 2018), 在麦麸、杏仁、开心果和核桃上的发育始点温度分别为 16.6、17.5、17.1 和 18.0 °C (Johnson *et al.*, 1995)。本

研究中印度谷螟幼虫在测定花生品种上的发育始点温度为 15.2-17.7 °C, 数值接近但仍存差异, 这也说明同样温度条件下花生品种不同时, 害虫发育历期差异显著, 进而影响到计算出的发育始点温度数值。类似地, 储粮害虫米象在 13.5% 水分含量的小麦中采用 25、27.5 和 30 °C 的温度组合, 及 22.5、25、27.5 和 30 °C 的温度组合, 得出的发育始点温度分别为 22.1 和 10.3 °C (王殿轩等, 2016)。印度谷螟幼虫在麦麸和核桃中生长的有效积温分别为 345 和 613 日·度 (Johnson *et al.*, 1995), 在枸杞中生长的有效积温为 481.5 日·度 (刘浩等, 2018), 其在不同食料中生长的有效积温也是差异显著。本研究中油酸含量差异明显的花生品种中, 印度谷螟的发育有效积温也差异显著, 如在开农 1760^G (618.9 日·度) 品种中生长的有效积温约为在开农白 2 号^P (331.5 日·度) 中的 2 倍。总体上, 印度谷螟在花生品种中发育所需有效积温值大者, 其相应的发育历期也较长。

4 结论

在试验温度下, 印度谷螟幼虫在高油酸花生中的发育历期均较在非高油酸花生中的显著增加, 最多可相差 24 d。不同油酸含量花生中同一龄期幼虫的头壳宽度差异不显著 ($P>0.05$), 达到相同头壳宽度的所需时间差异显著 ($P<0.05$)。印度谷螟幼虫在不同品种花生上的发育始点温度数值接近但仍存在差异, 其在高油酸品种花生中的有效积温也明显大于非高油酸品种中的, 最多相差近 1 倍。相比较非高油酸品种花生, 高油酸品种花生中害虫发育较慢。对于不同品种的花生储藏, 低温度环境可显著降低害虫发育速率。

参考文献 (References)

- Allotey J, Goswami L, 1990. Comparative biology of two phycitid moths, *Plodia interpunctella* and *Ephestia cautella* on some selected food media. *International Journal of Tropical Insect Science*, 11(2): 209-215.

- Ghaly TF, 1978. An aeration trial of bulk stored peanuts for the control of insect infestation and quality loss. *Journal of Stored Products Research*, 14(1): 45–51.
- Guo YL, 2020. Characteristics of high oleic peanuts and key points of cultivation techniques. *Modern Rural Science and Technology*, 2020(2): 21–22. [郭艳丽, 2020. 高油酸花生特征特性及栽培技术要点. 现代农村科技, 2020(2): 21–22.]
- Gvozdenac SM, Prvulović DM, Radovanović MN, Ovuka JS, Miklič VJ, Ačanski JM, Tanasković ST, Vukajlović FN, 2018. Life history of *Plodia interpunctella* Hübner on sunflower seeds: Effects of seed qualitative traits and the initial seed damage. *Journal of Stored Products Research*, 79(1): 89–97.
- Ji L, Wang DX, Zhao C, Zhang RJ, Zeng FF, 2018. The sizes of *Sitophilus zeamais* in different life stage. *Grain & Oil Science and Technology*, 1(4): 17–24.
- Jiang BR, Wang DX, He MC, Chen L, Jing JG, Li ZH, Tang PA, 2019a. The change of insect damaged kernels, acid value and oil content of peanut seeds infested by *Plodia interpunctella* (Hübner). *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 40(5): 89–95. [姜碧若, 王殿轩, 何明聪, 陈亮, 荆建国, 李振华, 唐培安, 2019a. 印度谷螟对花生仁虫蚀粒率、酸值和含油量的影响. 河南工业大学学报(自然科学版), 40(5): 89–95.]
- Jiang BR, Wang DX, Zhang LK, Chen L, Jing JG, Li ZH, Tang PA, 2019b. Comparison on oviposition preference of *Plodia interpunctella* (Hübner) on grain and peanut kernels. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 40(6): 86–93. [姜碧若, 王殿轩, 张留奎, 陈亮, 荆建国, 李振华, 唐培安, 2019b. 印度谷螟对谷物和花生卵偏好性的比较. 河南工业大学学报(自然科学版), 40(6): 86–93.]
- Jiang HF, Ren XP, Chen YN, Zhang XJ, Huang JQ, Liao BS, 2011. Comparison of genetic diversity between landraces and breeding varieties in Chinese peanut mini core collection by SSR markers. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 31(8): 1551–1559. [姜慧芳, 任小平, 陈玉宁, 张晓杰, 黄家权, 廖伯寿, 2011. 中国花生地方品种与育成品种的遗传多样性. 西北植物学报, 31(8): 1551–1559.]
- Johnson JA, Wofford PL, Gill RF, 1995. Developmental thresholds and degree-day accumulations of Indian meal moth (Lepidoptera: Pyralidae) on dried fruits and nuts. *Journal of Economic Entomology*, 88(3): 734–741.
- Johnson JA, Wofford PL, Whitehand LC, 1992. Effect of diet and temperature on development rates, survival, and reproduction of the Indian meal moth (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Economic Entomology*, 85(2): 561–566.
- Kaliyan N, Carrillo MA, Morey RV, Wilcke WF, Cannon CA, 2018. Indian meal moth survivability in stored corn with different levels of broken kernels. *The Great Lakes Entomologist*, 38(3): 177–185.
- Liao BS, 2001. Economic aspects of groundnut in food security and agricultural development in China. *Grains and Oils*, 2001(10): 28–29. [廖伯寿, 2001. 花生在中国食物安全和农业发展中作用的经济学分析. 粮食与油脂, 2001(10): 28–29.]
- Liu CH, Yang HT, 2021. Research progress of high oleic acid peanuts in China. *Journal of Food Safety and Quality*, 12(16): 6573–6578. [刘程宏, 杨海棠, 2021. 我国高油酸花生研究进展. 食品安全质量检测学报, 12(16): 6573–6578.]
- Liu F, Wang JJ, Tang S, 2017. Breeding, promotion and application of high oleic peanut varieties in my country. *China Agricultural Technology Extension*, 33(1): 14–15. [刘芳, 王积军, 汤松, 2017. 我国高油酸花生品种选育与推广应用. 中国农技推广, 33(1): 14–15.]
- Liu H, Wang XJ, Ma JH, Zhang R, 2008. Preliminary study of biological and ecological characteristics of medlar storage pest *Plodia interpunctella*. *Journal of Ningxia University (Natural Science Edition)*, 29(1): 71–73. [刘浩, 王晓静, 马建华, 张蓉, 2008. 枸杞储藏害虫印度谷螟生物学生态学特性研究初报. 宁夏大学学报(自然版), 29(1): 71–73.]
- Liu XZ, 2008. Comparison of international competitiveness of peanut industry in major peanut exporting countries. *World Agriculture*, 345 (1): 35–38. [刘学忠, 2008. 世界主要花生出口国花生产业国际竞争力比较. 世界农业, 345 (1): 35–38.]
- Mohandass S, Arthur FH, Zhu KY, Throne JE, 2007. Biology and management of *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae) in stored products. *Journal of Stored Products Research*, 43(3): 302–311.
- Na JH, Munil R, 2000. The influence of temperature on development of *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae) on dried vegetable commodities. *Journal of Stored Products Research*, 36(2): 125–129.
- Predojević DZ, Vukajlović FN, Tanasković ST, Gvozdenac SM, Pešića SB, 2017. Influence of maize kernel state and type on life history of *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Stored Products Research*, 72: 121–127.

- Sambaraju KR, Phillips TW, 2008. Ovipositional preferences and larval performances of two populations of Indian meal moth, *Plodia interpunctella*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 128(2): 283–293.
- Silhacek D, Murphy C, Arbogast RT, 2003. Behavior and movements of Indian meal moths (*Plodia interpunctella*) during commodity infestation. *Journal of Stored Products Research*, 39(2): 171–184.
- Tang S, Yu SL, Liao BS, Zhang XY, Sun HY, 2010. Industry status, existing problems and development strategy of peanut in China. *Journal of Peanut Science*, 39(3): 35–38. [汤松, 禹山林, 廖伯寿, 张新友, 孙海艳, 2010. 我国花生产业现状、存在问题及发展对策. 花生学报, 39(3): 35–38.]
- Vukajlović FN, Predojević DZ, Miljković KO, Tanasković S, Gvozdenac S, Perišić V, Grbović FJ, Pešić S, 2019. Life history of *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae) on dried fruits and nuts: Effects of macronutrients and secondary metabolites on immature stages. *Journal of Stored Products Research*, 83(1): 243–253.
- Wan SB, Feng HS, Zhang JC, 2003. To build a strong peanut industry and participate in international competition. *Journal of Peanut Science*, 32(Suppl.): 5–10. [万书波, 封海胜, 张建成, 2003. 打造强势花生产业, 参与国际竞争. 花生学报, 32(增刊): 5–10.]
- Wang CT, Yu ST, Zhu LG, 2021. High Oleic Acid Peanuts in China. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press. 164–166. [王传堂, 于树涛, 朱立贵, 2021. 中国高油酸花生. 上海: 上海科学技术出版社. 164–166.]
- Wang CT, Zhang JC, Tang YY, Yu ST, Wang Q, Liu F, Li Q, 2018. Current situation and future directions of high oleic peanut breeding in China. *Shandong Agricultural Sciences*, 50(6): 171–176. [王传堂, 张建成, 唐月昇, 于树涛, 王强, 刘峰, 李秋, 2018. 中国高油酸花生育种现状与展望. 山东农业科学, 50(6): 171–176.]
- Wang DX, Zheng Z, Yuan YK, Liu KX, Lu Q, 2016. Detection and calculation on developmental zero temperatures of *Sitophilus oryzae* (Linnaeus) and *Sitophilus zeamais* Motschulsky. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 37(2): 11–15. [王殿轩, 郑祯, 袁玉珂, 刘凯霞, 陆群, 2016. 米象和玉米象发育始点温度的测定与计算. 河南工业大学学报(自然科学版), 37(2): 11–15.]
- Wang RY, 2020. Production, processing and development of peanut in China. *China Oils and Fats*, 45(4): 8–10. [王瑞元, 2020. 我国花生生产、加工及发展情况. 中国油脂, 45(4): 8–10.]
- Zhang JC, Li GR, 1997. Main pests in peanut warehouse. *Plant Doctor*, 10(2): 37–38. [张建成, 李国荣, 1997. 花生仓库的主要害虫. 植物医生, 10(2): 37–38.]
- Zhang QY, Wang CT, Tang YY, Wang XZ, Wu Q, Sun QX, Zhang JC, Hu DQ, Yu ST, Chen A, 2016. Effect of natural ageing on seed quality of high-oleic peanut. *Journal of Peanut Science*, 45(2): 21–26. [张青云, 王传堂, 唐月昇, 王秀贞, 吴琪, 孙全喜, 张建成, 胡东青, 于树涛, 陈傲, 2016. 自然老化对高油酸花生种用品质的影响. 花生学报, 45(2): 21–26.]
- Zhao ZH, Shi AM, Wang Q, 2019. Research progress and development trend of high-oleic peanuts. *Journal of Cereals & Oils*, 32(9): 1–4. [赵志浩, 石爱民, 王强, 2019. 高油酸花生的研究进展与发展趋势. 粮食与油脂, 32(9): 1–4.]