

doi: 10.3969/j.issn.1674-0858.2016.05.9

变温和恒温对沙葱萤叶甲发育速率的影响

周晓榕¹, 韩凤阳¹, 昊翔¹, 庞保平^{1*}, 杨晓东², 张鹏²

(1. 内蒙古农业大学草原昆虫研究中心, 呼和浩特 010019; 2. 内蒙古草原工作站, 呼和浩特 010020)

摘要: 沙葱萤叶甲为近年来在内蒙古草原猖獗成灾的新害虫, 为明确温度对其发育速率的影响, 分别设置 5 个变温组合 (8/20℃, 11/23℃, 14/26℃, 17/29℃ 和 20/32℃) 和 6 个恒温 (13℃, 17℃, 21℃, 25℃, 29℃ 和 33℃), 比较了变温和恒温对沙葱萤叶甲幼虫和蛹发育速率的影响。结果表明, 不同变温组合和恒温对沙葱萤叶甲幼虫和蛹的发育速率有显著的影响。发育历期随温度的升高而缩短, 在变温条件下, 1 龄幼虫期、2 龄幼虫期、3 龄幼虫期、总幼虫期和蛹期分别从最低温度组合 (8/20℃, 平均 15℃) 的 11.00, 13.44, 23.18, 46.42 和 16.89 d, 缩短至最高温度组合 (20/32℃, 平均 27℃) 的 4.92, 4.63, 9.17, 17.83 和 5.83 d; 在恒温条件下, 13℃ 下幼虫不能发育和存活, 1 龄幼虫期、2 龄幼虫期、3 龄幼虫期、总幼虫期和蛹期分别从 17℃ 的 14.50, 10.75, 20.63, 45.50 和 11.00 d, 缩短至 33℃ 的 6.10, 5.47, 10.60, 22.17 和 5.33 d。在变温条件下, 幼虫和蛹的发育起点温度分别为 7.44℃ 和 8.48℃, 有效积温分别为 344.82 日度和 113.52 日度; 在恒温条件下, 幼虫和蛹的发育起点温度分别为 0.64℃ 和 5.11℃, 有效积温分别为 714.28 日度和 147.06 日度。变温促进了沙葱萤叶甲幼虫和蛹的发育, 本研究结果为沙葱萤叶甲的预测预报及综合防控提供了科学依据。

关键词: 沙葱萤叶甲; 变温; 恒温; 发育速率; 发育起点温度; 有效积温

中图分类号: Q968.1; S433.5

文献标志码: A

文章编号: 1674-0858 (2016) 05-0931-05

Effects of alternating and constant temperatures on the developmental rate of *Galeruca daurica* (Coleoptera: Chrysomelidae)

ZHOU Xiao-Rong¹, HAN Feng-Yang¹, HAO Xiang¹, PANG Bao-Ping^{1*}, YANG Xiao-Dong², ZHANG Peng² (1. Research Center for Grassland Entomology, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China; 2. Inner Mongolia Grassland Station, Hohhot 010020, China)

Abstract: *Galeruca daurica* (Joannis) is a new pest causing great damages in Inner Mongolia grasslands in recent years. This study aims to understand the effects of alternating and constant temperatures on the individual developmental rate. We compared the influence of five combinations of alternating temperatures (8/20℃, 11/23℃, 14/26℃, 17/29℃ and 20/32℃) and six constant temperatures (13℃, 17℃, 21℃, 25℃, 29℃ and 33℃) on the developmental rates of *G. daurica* larvae and pupae. The results showed that both alternating and constant temperatures affected significantly the developmental rates of *G. daurica* larvae and pupae. The developmental durations of various instar larvae and pupae shortened as the temperature increased. The developmental durations of 1st instar, 2nd instar, 3rd instar, larvae and pupae shortened from 11.00, 13.44, 23.18, 46.42 and 16.89 d at the lowest combination of alternating temperature (8/20℃, average at 15℃) to 4.92, 4.63, 9.17, 17.83 and 5.83 d at the highest combination (20/32℃, average at 27℃), respectively. The larvae could not develop and died in the 1st

基金项目: 国家自然科学基金 (31360441)

作者简介: 周晓榕, 女, 副教授, 主要从事昆虫生态学研究, E-mail: rong62722@163.com

* **通讯作者** Author for correspondence, E-mail: pangbp@imau.edu.cn

收稿日期 Received: 2015-09-02; **接受日期** Accepted: 2015-10-07

instar at constant temperature of 13°C. The developmental durations of 1st instar, 2nd instar, 3rd instar, larvae and pupae shortened from 14.50, 10.75, 20.63, 45.50 and 11.00 d at constant temperature of 17°C to 6.10, 5.47, 10.60, 22.17 and 5.33 d at 33°C, respectively. At the alternating temperatures, the developmental threshold temperatures of larvae and pupae were 7.44°C and 8.48°C, respectively, and the effective accumulated temperatures were 344.82 and 113.52 degree-days, respectively. At the constant temperatures, the developmental threshold temperatures of larvae and pupae were 0.64°C and 5.11°C, respectively, and the effective accumulated temperatures were 714.28 and 147.06 degree-days, respectively. The alternating temperature can promote the development of *G. daurica* larvae and pupae. These results provide a scientific basis for the forecasting and integrated management of this pest.

Key words: *Galeruca daurica*; alternating temperature; constant temperature; developmental rate; developmental threshold temperature; effective accumulated temperature

昆虫是变温动物,环境温度对其活动、分布和多度的影响可能高过任何一种非生物因素 (Harrison *et al.*, 2012)。温度对昆虫生长发育、繁殖、存活及行为的影响一直以来受到人们的高度重视。然而,目前绝大多数研究都是在恒温条件下进行的,而昆虫总是生活在温度变化的环境条件下,因对变温环境更加适应。已有研究表明,在恒温 and 变温条件下,昆虫在发育速率 (刘树生, 1991; Niederegger *et al.*, 2010; Bahar *et al.*, 2012)、繁殖率和存活率 (Fantinou *et al.*, 2003; Fischer *et al.*, 2011; Carrington *et al.*, 2013; Htwe *et al.*, 2013) 以及生命表参数 (王海鸿等, 2014) 等方面存在显著差异。沙葱萤叶甲 *Galeruca daurica* (Joannis) 是一种近年来在内蒙古草原上猖獗成灾的新害虫,从 2009 年开始在内蒙古草原上突然大面积暴发成灾,呈现逐年加重的趋势。然而,目前有关沙葱萤叶甲的研究很少,只有马崇勇等 (2012) 对该虫在呼伦贝尔市的发生为害及生活史进行了初步调查,李浩等 (2014) 和昊翔等 (2014) 分别对其抗寒性和寄主植物对其生长发育及取食进行了研究。该虫发生区均处于高纬度、高海拔的草原地区,昼夜温差大,特别是幼虫发生为害的春季,昼夜温差通常在 12°C 以上。因此,作者根据沙葱萤叶甲主要发生危害区—锡林郭勒盟锡林浩特市和阿巴嘎旗草原的实际昼夜温度变化,设计了一系列变温组合,比较了变温和恒温对该虫发育速率的影响,以便为沙葱萤叶甲的预测预报提供可靠的信息。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

2014 年 4 月 15 日从阿巴嘎旗草原采回沙葱萤

叶甲越冬卵,将卵置于温度 25°C ± 1°C、RH 75% ± 10% 的 PRX-350C 智能型人工气候箱 (宁波海曙塞福实验仪器厂) 中培养,备用。

1.2 试验方法

将当天孵化的幼虫放于指形管 (3 龄后换入培养皿) 中,用湿棉球塞住管口,以保湿和防止幼虫逃逸。每日定时更换食物 (野韭),同时观察记载幼虫脱皮、死亡情况。使用 MGC-300B 光照培养箱 (上海一恒科学仪器有限公司) 控制温度,共设 5 个变温和 6 个恒温处理。变温: 8/20°C (平均 15)、11/23°C (18)、14/26°C (21)、17/29°C (24) 及 20/32°C (27) (每个变温组合中高温光照处理 14 h,低温黑暗处理 10 h); 恒温: 13°C、17°C、21°C、25°C、29°C 和 33°C。每个温度处理 50 头幼虫。

1.3 数据统计与分析

1.3.1 发育起点温度和有效积温的估计

根据发育速率 (V) 与温度 (T) 的线性关系拟合直线回归方程 $V = a + bT$,然后根据公式 $C = -a/b$ 和 $K = 1/b$,求出沙葱萤叶甲各龄幼虫和蛹的发育起点温度 (C) 和有效积温 (K)。

1.3.2 数据分析

应用 DPS 9.5 统计软件,采用单因素方差分析和 LSD 多重比较测定不同变温和恒温下发育历期间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 变温和恒温条件下沙葱萤叶甲的发育历期

从表 1 和表 2 可知,不同变温和恒温条件下沙葱萤叶甲各龄幼虫和蛹的发育历期存在显著的差异 ($P < 0.05$),发育历期随着温度的升高而缩

短。在各变温和恒温条件下, 3 龄幼虫发育历期均显著长于 1 龄或 2 龄发育历期。在变温条件下, 幼虫期从最低温度 (平均 15℃) 的 43.42 d 缩短至最高温度 (平均 27℃) 的 17.83 d, 蛹期从 16.89 d 缩短至 5.83 d。在恒温条件下, 在 13℃ 的低温条件下幼虫只发育到 1 龄就全部死亡, 幼虫期从较低温度 (17℃) 的 45.50 d 缩短到最高温度

(33℃) 的 25.25 d。在相同的平均温度 (21℃) 下, 各龄幼虫和蛹在变温下的发育速率均快于恒温下的发育速率, 甚至在变温的平均温度低于恒温的情况下, 变温下的发育速率仍快于恒温下的发育速率。说明变温促进了沙葱萤叶甲幼虫和蛹的发育。

表 1 在不同变温条件下沙葱萤叶甲的发育历期 (d)
Table 1 Developmental durations of *Galeruca daurica* at different alternating temperatures

发育阶段 Developmental stage	8/20℃ (15)	11/23℃ (18)	14/26℃ (21)	17/29℃ (24)	20/32℃ (27)
1 龄幼虫 1 st instar	11.00 ± 0.77 a	8.00 ± 0.31 b	7.82 ± 0.32 b	5.89 ± 0.20 c	4.92 ± 0.24 c
2 龄幼虫 2 nd instar	13.44 ± 0.94 a	8.88 ± 0.29 b	7.11 ± 0.46 bc	5.13 ± 0.24 cd	4.63 ± 0.22 d
3 龄幼虫 3 rd instar	23.18 ± 1.57 a	16.17 ± 0.85 b	12.88 ± 0.67 bc	10.13 ± 0.55 c	9.17 ± 0.40 c
幼虫 Larva	46.42 ± 1.89 a	33.06 ± 0.96 b	26.50 ± 1.27 c	21.38 ± 0.86 cd	17.83 ± 0.60 d
蛹 Pupa	16.89 ± 0.31 a	12.00 ± 0.24 b	9.75 ± 0.53 c	7.29 ± 0.29 d	5.83 ± 0.40 d

注: 表中数据为平均数 ± 标准误, 同行数据后不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$, LSD 法)。下表同。Note: Data are mean ± SE, and different letters in the same row indicate significant difference ($P < 0.05$, LSD). As the same to tables below.

表 2 在不同恒温条件下沙葱萤叶甲的发育历期 (d)
Table 2 Developmental durations of *Galeruca daurica* at different constant temperatures

发育阶段 Developmental stage	17℃	21℃	25℃	29℃	33℃
1 龄幼虫 1 st instar	14.50 ± 1.24 a	8.90 ± 0.31 b	7.23 ± 0.14 c	6.80 ± 0.17 cd	6.10 ± 0.21 d
2 龄幼虫 2 nd instar	10.75 ± 0.45 a	9.59 ± 0.42 a	7.12 ± 0.26 b	6.76 ± 0.34 b	5.47 ± 0.27 c
3 龄幼虫 3 rd instar	20.63 ± 1.31 a	16.33 ± 0.40 b	14.47 ± 0.68 c	12.87 ± 0.66 c	10.60 ± 0.50 d
幼虫 Larva	45.50 ± 1.65 a	34.82 ± 0.85 b	28.82 ± 0.96 c	26.43 ± 0.85 c	22.17 ± 0.41 d
蛹 Pupa	11.00 ± 0.45 a	10.93 ± 0.33 a	7.33 ± 0.21 b	5.87 ± 0.19 c	5.33 ± 0.34 c

2.2 变温和恒温条件下沙葱萤叶甲的发育速率、发育起点温度和有效积温

根据表 1 和表 2 分析结果, 将发育历期转换成发育速率, 建立发育速率与温度的关系 (图 1 和图 2)。结果表明, 在恒温 17℃ - 33℃ 和变温 15℃ - 27℃ 范围内, 沙葱萤叶甲发育速率与温度呈显著的直线关系。随着温度的升高, 沙葱萤叶甲各龄幼虫和蛹的发育速率逐渐加快。

根据发育速率与温度的线性关系, 求出沙葱萤叶甲各龄幼虫和蛹的发育起点和有效积温 (表 3)。从表 3 可知, 不论是在变温还是恒温条件下, 各龄幼虫和蛹的发育起点温度和有效积温均

不相同。在变温条件下, 1 龄幼虫的发育起点温度最低为 5.15℃, 2 龄幼虫最高为 8.84℃; 2 龄幼虫所需的有效积温最低为 81.71 日度, 3 龄幼虫最高为 173.06 日度; 整个幼虫期的发育起点温度为 7.34℃, 所需有效积温为 363.30 日度。在 17℃ - 33℃ 的恒温范围内, 3 龄幼虫发育起点温度最低为 -0.93℃, 蛹最高为 5.11℃; 蛹所需的有效积温最低为 147.06 日度, 3 龄幼虫最高为 370.37 日度; 整个幼虫期的发育起点温度为 0.64℃, 所需有效积温为 714.28 日度。上述结果表明, 变温下得出的发育起点温度高于恒温, 而有效积温是变温下远小于恒温。

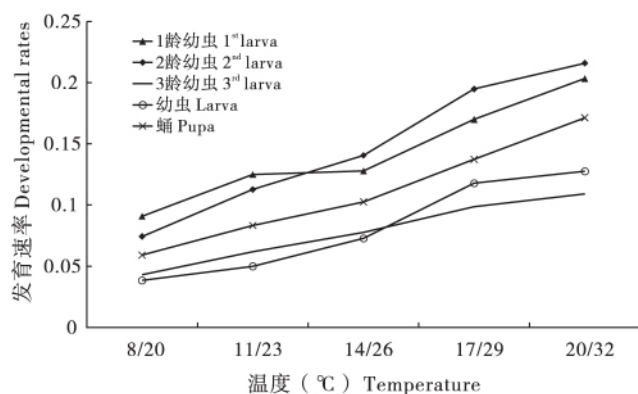


图1 在不同变温条件下沙葱萤叶甲的发育速率

Fig. 1 Developmental rates of *Galeruca daurica* at different fluctuating temperatures

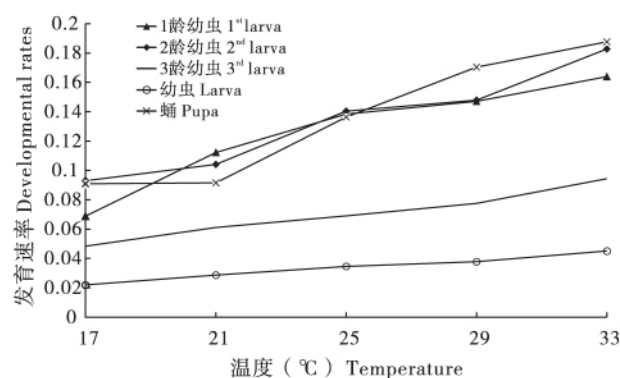


图2 在不同恒温条件下沙葱萤叶甲的发育速率

Fig. 2 Developmental rates of *Galeruca daurica* at different constant temperatures

表3 恒温和变温下沙葱萤叶甲的发育起点温度和有效积温

Table 3 Developmental threshold and effective accumulated temperature of *Galeruca daurica* at constant and fluctuating temperatures

发育阶段 Developmental stage	变温 Fluctuating temperature			恒温 Constant temperature		
	发育起点温度 <i>C</i> Developmental threshold temperature	有效积温 <i>K</i> Effective accumulated temperature	决定系数 R^2 Determination coefficient	发育起点温度 <i>C</i> Developmental threshold temperature	有效积温 <i>K</i> Effective accumulated temperature	决定系数 R^2 Determination coefficient
1 龄幼虫 1 st instar	5.04	111.11	0.9539**	2.57	178.57	0.9219**
2 龄幼虫 2 nd instar	8.84	81.97	0.9861**	1.05	178.57	0.9618**
3 龄幼虫 3 rd instar	7.16	178.57	0.9915**	-0.93	370.37	0.9819**
幼虫 Larva	7.44	344.82	0.9986**	0.64	714.28	0.9875**
蛹 Pupa	8.48	113.52	0.9890**	5.11	147.06	0.9437**

3 结论与讨论

昆虫自然种群长期生活于昼夜温度波动的环境下,经过长期的进化,昆虫适应了温度变动的环境条件,适温范围内的变温可能更有利于昆虫的生长发育。本文结果表明,变温促进了沙葱萤叶甲幼虫和蛹的发育,发育速率加快。其他研究者也获得了相同的结果,如:波动的温度促进了小菜蛾 *Plutella xylostella* 及其天敌—弯尾姬蜂 *Diadegma insulare* 的生长发育 (Bahar *et al.*, 2012),波动温度使麻蝇 *Sarcophaga argyrostoma* 和亮绿蝇 *Lucillia illustris* 的发育加快 (Niederegger *et al.*, 2010),变温使西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* 卵—蛹的历期缩短 (王海鸿等, 2014)。但也有研究表明,与恒温 (13℃) 相比,变温

(5–29℃, 平均 13℃) 使红头丽蝇 *Calliphora vicina* 和黑颊丽蝇 *C. vomitoria* 的发育延长 1 d (Niederegger *et al.*, 2010)。造成研究结果不同的原因可能与昆虫种类以及变温设置范围有关,变温范围超出了该种昆虫的适宜范围就会对其生长发育造成不利的影响 (Carrington *et al.*, 2013)。本文设置变温的最低温度为 8℃, 最高为 32℃, 变温处理的平均温度为 15℃–27℃, 上述温度范围。均为昆虫生长发育的适宜温度范围,也未超出沙葱萤叶甲幼虫和蛹发生时的实际温度范围 (Niederegger 等 (2010) 设置的最低温度过低 (5℃) 不适合红头丽蝇和黑颊丽蝇的发育,可能是造成变温使两种丽蝇发育延长 1 d 的主要原因。另外,作者没有进行差异显著性分析,仅相差 1 d 是否有显著差异? 值得商榷。

温度与昆虫生长发育模型可用于研究温度对

昆虫发育速率的影响(时培建等, 2011)。本文根据有效积温法则计算了沙葱萤叶甲幼虫和蛹的发育起点温度和有效积温。在变温条件下, 沙葱萤叶甲幼虫和蛹的发育起点温度分别为 7.34℃ 和 8.48℃; 而在恒温条件下, 分别为 0.64℃ 和 5.11℃。作者实时记录了 2014 年锡林浩特的气温, 沙葱萤叶甲幼虫孵化高峰期 4 月下旬至 5 月上旬的日平均温度为 7.7℃, 与变温下估计的发育起点温度较为吻合, 而与恒温下估计的发育起点温度相差较大。在恒温条件下, 幼虫在 13℃ 下只发育到 1 龄就全部死亡。这说明恒温条件下的实验并不能真实地反映昆虫发育与温度的关系, 根据有效积温法则计算的发育起点温度和有效积温也不适合用于定量预测(Wu *et al.*, 2014)。

本文比较了变温和恒温对沙葱萤叶甲幼虫和蛹发育速率的影响。结果表明, 变温促进了幼虫和蛹的生长发育, 根据发生地实际温度波动情况设置的变温实验获得的发育历期、发育起点温度和有效积温等信息更符合实际情况, 为沙葱萤叶甲的预测预报提供了更可靠的信息。但是, 由于该虫 1 年发生 1 代, 冬季以卵滞育越冬, 成虫夏季羽化后即进入滞育越冬, 给研究工作带来很大的困难, 有关温度对卵和成虫生长发育的影响有待于今后进一步研究。

参考文献 (References)

- Bahar MDH, Soroka JJ, Dosdall LM. Constant versus fluctuating temperatures in the interactions between *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) and its larval parasitoid *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae) [J]. *Environmental Entomology*, 2012, 41 (6): 1653–1661.
- Carrington LB, Seifert SN, Willits NH, *et al.* Large diurnal temperature fluctuations negatively influence *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) life history traits [J]. *Journal of Medical Entomology*, 2013, 50 (1): 43–51.
- Fantinou AA, Perdakis DC, Chatzoglou CS. Development of immature stages of *Sesamia nonagrioides* (Lepidoptera: Noctuidae) under alternating and constant temperatures [J]. *Environmental Entomology*, 2003, 32 (6): 1337–1342.
- Fischer K, Kolzow N, Holtje H, *et al.* Assay conditions in laboratory experiments: Is the use of constant rather than fluctuating temperatures justified when investigating temperature – induced plasticity? [J]. *Oecologia*, 2011, 166: 23–33.

- Hao X, Zhou XR, Pang BP, *et al.* Effects of host plants on feeding amount, growth and development of *Galeruca daurica* Joannis larvae (Coleoptera: Chrysomelidae) [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2014, 22 (4): 854–858. 昊翔, 周晓榕, 庞保平, 等. 寄主植物对沙葱萤叶甲幼虫生长发育及取食的影响 [J]. *草地学报*, 2014, 22 (4): 854–858.
- Harrison JF, Woods HA, Roberts SP. Ecological and Environmental Physiology of Insects [M]. Oxford: Oxford University Press, 2012, 64–101.
- Htwe AN, Murata M, Takano S, *et al.* Effects of constant and fluctuating temperatures on development of the coconut hispine beetle, *Brontispa longissima* (Coleoptera: Chrysomelidae) and two species of parasitoid [J]. *Biocontrol Science and Technology*, 2013, 23 (5): 574–583.
- Li H, Zhou XR, Pang BP, *et al.* Supercooling capacity and cold hardiness of *Galeruca daurica* (Coleoptera: Chrysomelidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2014, 57 (2): 212–217. 李浩, 周晓榕, 庞保平, 等. 沙葱萤叶甲的过冷能力与抗寒性 [J]. *昆虫学报*, 2014, 57 (2): 212–217.
- Liu SS. Analysis on the impact of variable temperature on insect growth rate [J]. *Entomological Knowledge*, 1991, 28 (5): 295–298. 刘树生. 变温对昆虫发育速率影响的分析方法研究 [J]. *昆虫知识*, 1991, 28 (5): 295–298.
- Ma CY, Wei J, Li HS, *et al.* Preliminary studies on leaf beetle, *Galeruca daurica* on grassland [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2012, 49 (3): 766–769. 马崇勇, 伟军, 李海山, 等. 草原新害虫沙葱萤叶甲的初步研究 [J]. *应用昆虫学报*, 2012, 49 (3): 766–769.
- Niederegger S, Pastuschek J, Mall G. Preliminary studies of the influence of fluctuating temperatures on the development of various forensically relevant flies [J]. *Forensic Science International*, 2010, 199: 72–78.
- Shi PJ, Ikemoto T, Ge F. Development and application of models for describing the effects of temperature on insects growth and development [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2011, 48 (5): 1149–1160. 时培建, 池本孝哉, 戈峰. 温度与昆虫生长发育关系模型的发展与应用 [J]. *应用昆虫学报*, 2011, 48 (5): 1149–1160.
- Wang HH, Xue Y, Lei ZR. Life tables for experimental populations of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) under constant and fluctuating temperature [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47 (1): 61–68. 王海鸿, 薛瑶, 雷仲仁. 恒温和波动温度下西花蓟马的实验种群生命表 [J]. *中国农业科学*, 2014, 47 (1): 61–68.
- Wu TH, Shiao SF, Okuyama T. Development of insects under fluctuating temperature: A review and case study [J]. *Journal of Applied Entomology*, 2015, 139 (8): 592–599.