



张艳, 李红梅, 刘路路, 王广君, 尚素琴. 不同土壤类型及其含水量对亚洲小车蝗卵孵化的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42 (3): 559 – 565.

不同土壤类型及其含水量对亚洲小车蝗卵孵化的影响

张艳^{1,2}, 李红梅^{2,3*}, 刘路路^{2,4}, 王广君⁵, 尚素琴^{1*}

(1. 甘肃农业大学植物保护学院, 兰州 730070; 2. 中国农业科学院植物保护研究所/农业农村部-CABI生物联合实验室, 北京 100193;
3. CABI东亚中心, 北京 100081; 4. 北京农学院生物与资源环境学院, 北京 102206;
5. 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)

摘要: 为明确不同土壤类型及其含水量对亚洲小车蝗 *Oedaleus decorus asiaticus* Bey – Bienko 卵孵化的影响, 本实验选取棕钙土、黑土和砂土等 3 种土壤, 在恒温 28℃ 条件下设置 5%、10%、15% 和 20% 等 4 个土壤含水量, 研究亚洲小车蝗卵的孵化前期、孵化历期、累积孵化率以及相对孵化率。结果表明, 土壤类型、土壤含水量以及土壤类型与土壤含水量的交互作用对亚洲小车蝗卵孵化率影响极显著, 而对卵孵化前期影响均不显著, 卵孵化历期只受到土壤类型的显著影响。亚洲小车蝗卵在棕钙土中孵化率最高 (42.5% ~ 61.4%), 其次为黑土, 最低为砂土; 孵化历期在棕钙土中 (3.6 ± 0.2 d) 显著短于黑土和砂土。在棕钙土中, 10% ~ 20% 含水量处理的卵孵化率 (60.3% ~ 61.4%) 显著高于 5% 处理 (42.5%); 在黑土中, 15% ~ 20% 处理的卵孵化率最高 (49.8% ~ 42.7%), 其次为 10% (28.4%), 最低为 5% 处理 (13.5%); 在砂土中, 5% 处理的卵孵化率 (38.7%) 显著高于其他处理 (12.9% ~ 19.8%)。在 3 种不同土壤处理下, 亚洲小车蝗卵的孵化均集中在前 3 d, 相对孵化率达到 73.1% ~ 98.0%; 砂土的相对孵化率在第 1 天达到高峰, 但与棕钙土和黑土的差异不显著; 棕钙土和黑土的相对孵化率在第 2 天达到高峰, 且显著高于砂土。因此, 10% ~ 20% 含水量的棕钙土最适合亚洲小车蝗卵的孵化, 孵化率高, 孵化历期短, 孵化时间更为整齐; 其次为黑土; 最次为砂土。

关键词: 亚洲小车蝗; 孵化率; 土壤含水量; 土壤类型

中图分类号: Q963; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2020) 03-559-07

Effects of different soil types and soil moisture content on egg hatching of *Oedaleus decorus asiaticus*

ZHANG Yan^{1,2}, LI Hong-Mei^{2,3*}, LIU Lu-Lu^{2,4}, WANG Guang-Jun⁵, SHANG Su-Qin^{1*} (1. College of Plant Protection, Gansu Agriculture University, Lanzhou 730070, China; 2. MARA-CABI Joint Laboratory for Bio-safety, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing 100193, China; 3. CABI East Asia, Beijing 100081, China; 4. College of Bioscience and Resource Environment, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206; 5. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing 100193, China)

Abstract: To clarify the effects of different soil types and soil moisture content on eggs hatching of

基金项目: 英国牛顿农业技术基金 (ST/N006712/1, ST/N006836/1, ST/N006852/1); 国家重点研发计划 (2017YFD0200402); 中国农业科学院植物保护研究所基本科研业务费专项 (S2019XM20)

作者简介: 张艳, 女, 硕士生, 主要研究方向为植物保护, E-mail: 1724840892@qq.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 李红梅, 博士, 研究员, 主要研究方向为害虫综合治理、生物入侵, E-mail: h.li@cabi.org; 尚素琴, 博士, 教授, 主要研究方向为昆虫系统学、资源昆虫, E-mail: shangsq@gsau.edu.cn

收稿日期 Received: 2019-06-25; 接受日期 Accepted: 2019-09-29

Oedaleus decorus asiaticus. The brown calcic soil, black soil and sandy soil from Xilinguole League of Inner Mongolia were selected to study egg hatching of *O. d. asiaticus* under 28°C with 4 different soil moisture contents (5%, 10%, 15% and 20%) in the laboratory. The results showed that soil type, soil moisture content and their interaction had a significant effect on the hatching rate of *O. d. asiaticus*, but no significant effect on the pre-hatching days, while the hatching duration was only significantly affected by the soil type. The hatching rate was the highest (42.5% ~ 61.4%) in brown calcareous soil, followed by black soil and sandy soil. The hatching duration in brown calcareous soil (3.6 ± 0.2 d) was significantly shorter than that in black soil and sandy soil. In brown calcareous soil, the hatching rate (60.3% ~ 61.4%) under soil moisture content with 10% ~ 20% was significantly higher than the rate (42.5%) under soil moisture content with 5%. In black soil, the hatching rate (49.8% ~ 42.7%) under soil moisture content with 15% ~ 20% was the highest, followed by the hatching rate with 28.4% and 13.5% under soil moisture content with 10% and 5% respectively. In sandy soil, the hatching rate (38.7%) under soil moisture content with 5% was the significantly higher than the hatching rate (12.9% ~ 19.8%) under other soil moisture contents (42.5% ~ 61.4%). The relative hatching rate accounted for 73.1% ~ 98.0% at first three days regardless of the different soil types. It reached a peak at 1 d under sandy soil, but there was no significantly different found comparing to the other two soil types. While the relative hatching rate reached a peak at 2 d in brown calcic soil and black soil, which were significantly higher than that of sandy soil. In short, the brown calcareous soil with 10% ~ 20% soil moisture content was most suitable for the egg hatching with the higher hatching rate, shorter hatching duration and more concentrated egg hatching, followed by black soil and sandy soil.

Key words: *Oedaleus decorus asiaticus*; hatching rate; soil moisture content; soil type

亚洲小车蝗 *Oedaleus decorus asiaticus* Bey-Bienko 隶属直翅目 Orthoptera 斑翅蝗科 Oedipodidae, 是我国北方草原以及相邻农牧交错区域的优势蝗虫之一 (许富祯等, 2005; 高书晶等, 2012); 占整个草原蝗虫种群的 50% ~ 60%, 严重发生地可达 90% 以上 (陈素华等, 2007)。该虫主要取食大针茅 *Stipa grandis* P. Smirn、羊草 *Leymus chinensis* (Trin.) Tzvel、糙隐子草 *Cleistogenes squarrosa* (Trin.) Keng 等禾本科牧草 (康乐和陈永林, 1994); 偏好放牧强度高且较为干旱的生境, 因此已成为草原退化的指示物种 (Kang and Chen, 1995)。自 2000 年以来, 内蒙古草原有不同程度的蝗灾发生, 2000 ~ 2004 年蝗灾发生面积达 7 亿 hm^2 以上 (刘玲和郭安红, 2004)。2014 年仅内蒙古阿旗草原蝗灾发生面积达 1 133 km^2 , 其中严重发生面积为 780 km^2 (孙川, 2018)。草原蝗灾可造成草场大面积枯黄 (潘建梅, 2002), 破坏了草原生态系统的平衡, 进而加剧了草场退化和沙化速度 (许富祯等, 2005); 还可导致牧草大量减产, 给当地农牧民生产生活和畜牧业可持续发展构成了严重威胁 (刘思博等, 2018)。因此, 草原蝗虫的发生期预测和防治成为

当前草原生态保护、农牧业可持续发展迫切需要解决的问题。

草原蝗虫通常将卵产在地表以下 2.5 ~ 3.5 cm 土壤中, 经休眠越冬后, 次年在一一定的环境温度及土壤含水量条件下孵化 (陈素华等, 2007), 其中土壤含水量是影响蝗虫卵孵化的最主要的因子, 其次为环境温度 (任金龙等, 2015)。狭翅雏蝗 *Chorthippus dubius* Zubovskiy 卵在 25 ~ 30°C、土壤含水量 10% 时, 孵化率最高, 达到 40.0% ~ 62.5% (王智翔等, 1988)。意大利蝗 *Calliptamus italicus* L. 卵在土壤相对含水量为 35% ~ 55% 时, 孵化率最高, 达到 75.5% ~ 82.7%; 发育历期在土壤相对含水量 5% 时为 7 d 左右, 显著低于土壤相对含水量 15% ~ 55% 时的孵化历期, 8 ~ 9 d (任金龙等, 2015)。竹蝗 *Choroedocus illustris* L. 卵在 35°C 时, 累积孵化率最高, 达到 76.4%; 温度低于 30°C 或高于 35°C, 其孵化率均会降低 (Ahmad and Nabi, 2008)。亚洲飞蝗 *Locusta migratoria migratoria* L. 卵在 27 ~ 28°C 时, 累积孵化率最高, 达到 75.0% 以上; 温度低于 25°C 或高于 28°C, 孵化速率降低 (乐章燕等, 2013)。亚洲小车蝗卵在 27.3°C 时, 孵化率最高, 达到 71.1%

(Hao et al., 2004)。沙漠蝗 *Schistocerca gregaria* L. 卵在土壤含水量为 2.5% ~ 10% 时, 孵化率最高, 达到 75.0% ~ 78.0% (Hunter, 1964)。东亚飞蝗 *Locusta migratoria manilensis* Meyen 卵在 25 ~ 35℃, 土壤含水量 20% 左右时, 孵化率最高, 达到 66.4% ~ 69.0%; 土壤含水量对孵化历期影响较大, 15% ~ 25% 时, 为 4 ~ 6 d; 10% 时为 10 ~ 13 d (孙崑等, 2010)。除土壤温湿度以外, 土壤类型也会对蝗虫的生长发育产生一定的影响, 杜桂林等 (2018) 研究发现栗钙土、淡栗钙土、黑钙土、暗栗钙土和棕钙土等最适宜亚洲小车蝗生长发育。

本研究选取了内蒙古锡林郭勒盟的典型土壤棕钙土、黑土和砂土, 在实验室条件下研究土壤类型及不同土壤含水量对亚洲小车蝗卵孵化前期、孵化历期、累积孵化率以及相对孵化率的影响, 以期对亚洲小车蝗偏好的土壤和孵化整齐度等方面提供基本信息, 进而为发生期预测和防治提供一定的理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

2018 年 7 月, 在内蒙古自治区锡林郭勒盟西乌旗 (44°28'N, 116°48'E) 采用扫网的方式采集亚洲小车蝗成虫约 1 000 头, 饲养在农业农村部锡林郭勒草原有害生物防治重点观测实验站 (43°57'N, 115°59'E) 的铁丝养虫笼 (4 m × 2 m × 2 m)。每天饲喂足量的新鲜针茅、羊草和玉米叶。亚洲小车蝗雌成虫自 7 月中下旬开始产卵, 8 月下旬产卵结束。在出现冻土之前, 于 9 月底挖取亚洲小车蝗卵 4 000 ~ 5 000 粒, 将卵放于杯中, 上盖含水量约 10% 的土壤 (李娜等, 2014)。蝗卵放置 4℃ 冰箱保存 6 个月备用, 每隔两周检查一下土壤含水量, 备用。

1.2 试验方法

1.2.1 土壤采集与处理

参照胡奇 (2008)、孙崑 (2010) 和任金龙 (2015) 等的方法, 选用内蒙古锡林郭勒草原的典型土壤类型棕钙土、黑土和砂土作为实验土样。首先, 对采集回的 3 种土样进行处理, 在 120℃ 烘箱中烘干 2 h 至恒重。然后在室内利用土壤水分传感器 (美国 Spectrum Model 1400 SM100) 校准土壤的含水量, 最后根据土壤含水量测定公式, 配

制成含水量分别为 5%、10%、15% 和 20% 的土壤, 每种含水量重复 3 次, 共 36 个土样。考虑蒸发, 在制备时额外添加 0.5% 的水量以保证实验期间的最终含水量。

1.2.2 蝗卵的处理方法

用塑料杯作为孵化器 (H = 12 cm, D = 8 cm), 分别将不同含水量 5%、10%、15% 和 20% 的土壤填满塑料杯体积的 2/3, 再把备用亚洲小车蝗卵放入杯中, 每杯大约 100 粒卵, 盖上约 3 cm 左右相对应含水量的土样, 杯口用保鲜膜和橡皮筋密封固定, 以保持湿度。孵化器放置于人工气候箱中 (上海一恒科学仪器有限公司, MGC-350HP-2), 参照 Hao 等 (2004) 的方法, 设置培养条件温度 $28 \pm 1^\circ\text{C}$, 相对湿度 $60\% \pm 5\%$, 无光照。

每天观察孵化情况, 并记录孵化蝗蛹数量及日期。为了保证实验数据准确性, 连续 2 d 没有蝗蛹出现, 则结束试验。自孵化起共观测了 12 d。为减少对卵的干扰, 试验开始时并未精确卵粒数, 孵化结束后, 统计每处理的卵粒数。

1.3 数据统计与分析

孵化前期 (d) = 从处理日期开始至孵化出蝗蛹所经历的天数; 孵化历期 (d) = 卵孵化期持续天数, 即孵化第一天至最后出现若虫的日期所经历的天数; 卵孵化率 (%) = (孵化的卵数/卵处理总数) × 100; 相对孵化率 (%) = 单日孵化数/总孵化数 × 100。

采用 SPSS Statistics 19.0 和 Excel 2010 软件进行数据处理及绘图。先采用双因素方差 (Univariate) 分析不同土壤类型及其含水量对卵孵化的交互作用, 再对孵化前期和孵化历期以及孵化率进行单因素方差分析 (One-Way ANOVA); 数据采用平均值 ± 标准误表示。

2 结果与分析

2.1 不同土壤类型及其含水量对亚洲小车蝗卵孵化的影响

双因素方差分析表明 (表 1), 土壤类型、土壤含水量以及土壤类型与土壤含水量的交互作用对亚洲小车蝗卵孵化率影响极显著, 而对卵孵化前期影响均不显著, 卵孵化历期只受到土壤类型的显著影响。这说明在相同条件下保存的亚洲小车蝗卵, 当孵化条件改变时, 其孵化前期不受土壤类型及其含水量的影响。

表 1 不同土壤类型及其含水量对亚洲小车蝗卵孵化的影响

Table 1 Effects of different soil type and soil moisture content on the eggs hatching of *Oedaleus decorus asiaticus*

	来源 Source	Ⅲ型平方和 Type III sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	F 值 F-value	P 值 P-value
孵化前期 Pre-hatching days	土壤类型 Soil type	0.389	2	0.194	1.750	0.195
	土壤含水量 Soil moisture content	0.000	3	0.000	0.000	1.000
	土壤类型 × 土壤含水量 Soil type × Soil moisture content	0.500	6	0.083	0.750	0.615
孵化历期 Hatching duration	土壤类型 Soil type	134.000	2	67.000	46.385 **	0.000
	土壤含水量 Soil moisture content	4.972	3	1.657	1.147	0.350
	土壤类型 × 土壤含水量 Soil type × Soil moisture content	21.111	6	3.519	2.436	0.056
孵化率 Hatching rate	土壤类型 Soil type	0.739	2	0.369	109.147 **	0.000
	土壤含水量 Soil moisture content	0.052	3	0.017	5.083 *	0.007
	土壤类型 × 土壤含水量 Soil type × Soil moisture content	0.380	6	0.063	18.710 **	0.000

注：表中**表示差异极显著 ($P < 0.001$), *表示差异显著 ($P < 0.05$)。Note: ** extremely significant difference ($P < 0.001$), * significant difference ($P < 0.05$).

2.2 不同土壤类型对亚洲小车蝗卵孵化历期的影响

双因素方差分析表明 (表 1), 土壤含水量对亚洲小车蝗卵孵化历期影响不显著, 因此将不同含水量处理数据按土壤类型合并后进行单因素方差分析。结果表明, 不同土壤类型对亚洲小车蝗卵孵化历期的影响极显著 (图 1)。亚洲小车蝗卵平均孵化历期在棕钙土处理下最短, 为 3.6 ± 0.2 d, 显著短于砂土和黑土处理下的孵化历期 ($P < 0.05$)。黑土处理下的孵化历期最长, 为 8.1 ± 0.5 d, 但与砂土处理下的孵化历期 7.1 ± 0.4 d 差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.3 不同土壤类型及其含水量对亚洲小车蝗卵孵化率的影响

不同土壤类型及其含水量处理下的亚洲小车蝗卵孵化率有显著差异 (表 2)。在所供试的 4 个

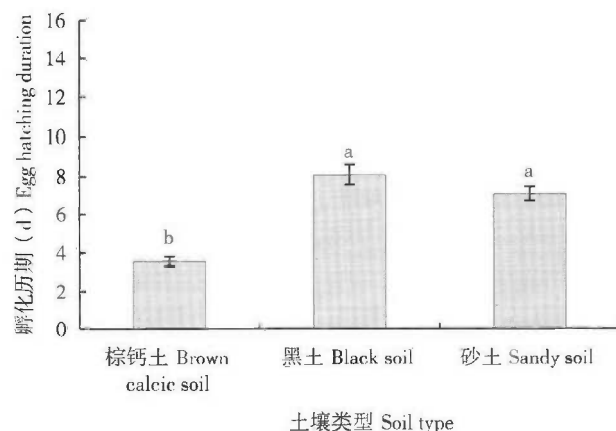


图 1 不同土壤类型对亚洲小车蝗卵孵化历期的影响

Fig. 1 Influence on eggs hatching duration of *Oedaleus decorus asiaticus* at different soil type

注：图中小写字母表示不同处理的显著性差异, 不同处理间显著水平 $P < 0.05$ 。下图同。Note: The lowercase letters represent significant differences in different temperature at the same time $P < 0.05$. The same below.

含水量处理下, 亚洲小车蝗卵在棕钙土中孵化率均最高, 其次为黑土, 最低为砂土。棕钙土处理下, 土壤含水量为 20% 时孵化率达到最高为 $61.4\% \pm 7.6\%$, 显著高于土壤含水量为 5% 时的孵化率 $42.5\% \pm 2.3\%$ ($P < 0.05$), 但与 10% 和 15% 土壤含水量条件下的孵化率差异不显著 ($P > 0.05$)。黑土处理下, 土壤含水量为 15% 时孵化率最高为 $49.8\% \pm 2.6\%$, 显著高于 5% 和 10% 土壤含水量条件下的孵化率, 分别为 $13.5\% \pm 2.9\%$ 和 $28.4\% \pm 0.5\%$ ($P < 0.05$), 但与 20% 土壤含水量条件下的孵化率 $42.7\% \pm 2.1\%$ 差异不显著 ($P >$

0.05)。砂土处理下, 土壤含水量为 5% 时孵化率最高为 $38.7\% \pm 5.1\%$, 显著高于其他 3 个含水量条件下的孵化率 ($P < 0.05$)。

土壤含水量为 5% 时, 棕钙土和砂土处理下的孵化率 $42.5\% \pm 2.3\%$ 和 $38.7\% \pm 5.1\%$ 显著高于黑土处理下的孵化率 $13.5\% \pm 2.9\%$ ($P < 0.05$), 土壤含水量为 10% ~ 20% 时, 棕钙土处理下的孵化率显著高于黑土和砂土处理下的孵化率 ($P < 0.05$), 黑土处理下的孵化率显著高于砂土处理下的孵化率 ($P < 0.05$)。

表 2 不同土壤类型及其含水量对亚洲小车蝗卵孵化率的影响

Table 2 Effects of different soil type and soil moisture content on the hatching rate of *Oedaleus decorus asiaticus*

土壤类型 Soil type	土壤含水量 (%) Soil moisture content			
	5	10	15	20
棕钙土 Brown calcic soil	42.5 ± 2.3 bA	60.3 ± 2.5 aA	60.6 ± 2.5 aA	61.4 ± 7.6 aA
黑土 Black soil	13.5 ± 2.9 cB	28.4 ± 0.5 bB	49.8 ± 2.6 aB	42.7 ± 2.1 aB
砂土 Sandy soil	38.7 ± 5.1 aA	19.8 ± 1.6 bC	15.1 ± 2.1 bC	12.9 ± 2.7 bC

注: 表中数据为平均值 \pm 标准误, 不同小写字母表示相同土壤不同土壤含水量处理间差异显著 ($P < 0.05$), 不同大写字母表示相同土壤含水量不同土壤处理间差异显著 ($P < 0.05$)。Note: Data in the table are means \pm SE. Different lower-case letters showed significant differences among treatments with different soil moisture content in the same soil type ($P < 0.05$), and different upper-case letters showed significant differences among treatments with different soil type in the same soil moisture content ($P < 0.05$).

进一步分析不同土壤含水量条件下不同日期的孵化率发现, 亚洲小车蝗卵孵化率均在第 2 天急剧上升, 之后趋于平缓。其中, 第 2 天的单日孵化率最高, 第 1 天和第 2 天的累积孵化率达到 $21.2\% \sim 30.5\%$, 占总孵化率的 $67.1\% \sim 77.9\%$ 。土壤含水量 10% ~ 20% 时, 第 1 天和第 2 天的累积孵化率达到 $28.3\% \sim 30.5\%$, 占总孵化率的 $72.8\% \sim 77.9\%$; 土壤含水量 5% 时, 第 1 天和第 2 天的累积孵化率较低, 为 $21.2\% \pm 3.2\%$, 占总孵化率的 $67.1\% \pm 2.3\%$ (图 2)。

2.4 不同土壤类型对亚洲小车蝗卵相对孵化率的影响

在棕钙土、黑土和砂土处理下, 亚洲小车蝗卵孵化集中在前 3 d, 其中棕钙土处理下相对孵化率最高, 为 98.0% ; 砂土处理下相对孵化率最低, 为 73.1% 。第 2 天, 棕钙土和黑土处理下相对孵化率分别为 $57.3\% \pm 6.4\%$ 和 $42.9\% \pm 5.7\%$, 显著高于砂土 $23.7\% \pm 3.6\%$ ($P < 0.05$); 第 1 天、第 3 ~ 10 天, 不同土壤类型之间差异不显著 ($P >$

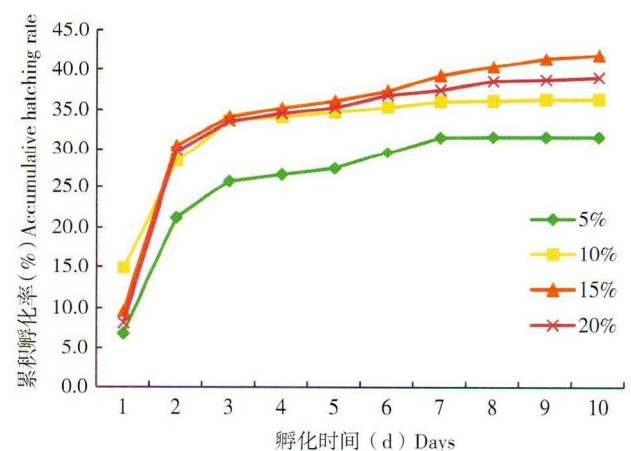


图 2 不同土壤含水量下的亚洲小车蝗卵的累积孵化率

Fig. 2 Accumulative hatching rate of *Oedaleus decorus asiaticus* at different soil moisture content

0.05)。棕钙土处理下亚洲小车蝗卵孵化历期为 5 d, 黑土和砂土处下组孵化持续天数均为 10 d (图 3)。

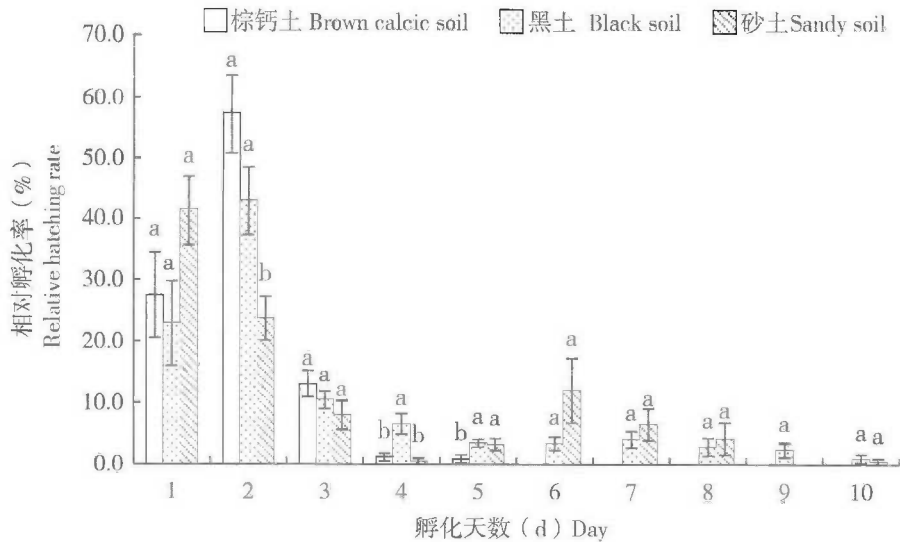


图3 不同土壤类型对亚洲小车蝗卵相对孵化率的影响

Fig. 3 Effects of different soil types on relative hatching rate of *Oedaleus decorus asiaticus*

3 结论与讨论

蝗虫卵的发育受多种环境因素的影响, 本文研究表明: 在恒温 28℃, 土壤含水量 5% ~ 20% 范围内, 亚洲小车蝗卵平均孵化前期随土壤含水量增加而缩短, 为 14 d 左右, 但差异不显著。这一结果与 Hao 等 (2004) 研究结果相类似, 亚洲小车蝗卵在 25 ~ 30℃ 时, 孵化前期为 10 ~ 15 d 左右。本文研究结果表明亚洲小车蝗平均孵化历期随土壤含水量增加而延长, 多为 6 ~ 7 d, 但差异不显著。这一研究结果与东亚飞蝗卵的孵化历期的变化趋势基本一致。东亚飞蝗在 10% ~ 20% 土壤含水量时, 孵化历期为 5 ~ 6 d; 当土壤含水量为 25% ~ 26.5% 时, 孵化历期为 7 ~ 10 d (胡奇等, 2008)。本研究结果表明, 亚洲小车蝗卵孵化历期在棕钙土处理下最短, 显著短于砂土和黑土处理下的孵化历期; 孵化率最高, 显著高于砂土和黑土处理下的孵化率, 这表明棕钙土更适合亚洲小车蝗的孵化。

土壤含水量不仅影响蝗虫卵的孵化前期和孵化历期, 而且还影响孵化率。本文研究表明, 在 5% ~ 20% 土壤含水量范围内, 亚洲小车蝗卵孵化的适宜土壤含水量为 10% ~ 20%, 其中 15% 土壤含水量最为适宜, 累积孵化率最高, 达到 41.8%。这一研究结果与狭翅雏蝗和东亚飞蝗卵孵化的适宜土壤含水量基本一致。狭翅雏蝗卵孵化的适宜

土壤含水量为 10% ~ 14.3%, 其中 10% 土壤含水量最为适宜, 累积孵化率最高, 达到 62.5% (王智翔等, 1988); 东亚飞蝗卵孵化的适宜土壤含水量为 10% ~ 20%, 累积孵化率均在 93.7% 以上 (胡奇等, 2008)。当室内环境温度达到 35℃ 时, 东亚飞蝗卵孵化的适宜土壤含水量为 20%, 累积孵化率最高, 达到 69.0% (孙崑等, 2010)。本文的研究结果与沙漠蝗和意大利蝗的卵孵化适宜土壤含水量差别较大。Hunter (1964) 研究结果显示沙漠蝗卵孵化的适宜土壤含水量为 2.5% ~ 10%; 任金龙等 (2015) 研究表明意大利蝗卵孵化的适宜土壤相对含水量为 35% ~ 55%。不同种类的蝗虫其卵孵化所需的适宜土壤含水量也会有所差异, 主要与栖息生境有关, 例如沙漠蝗所处的高热区域, 土壤含水量维持在一个较低的水平。

本研究进一步探讨了棕钙土、黑土和砂土对亚洲小车蝗孵化的影响, 结果表明棕钙土最有利于亚洲小车蝗卵的孵化, 其次是黑土, 而砂土不利于亚洲小车蝗卵的孵化。开始孵化后的第 2 天, 亚洲小车蝗卵在棕钙土和黑土的相对孵化率均显著高于砂土的相对孵化率。土壤类型对孵化历期也有一定的影响, 孵化历期在棕钙土最短为 3.58 d, 而砂土和黑土均达到 10 d。其原因主要是在棕钙土条件下, 亚洲小车蝗前 3 d 的孵化达到总孵化率的 98%, 孵化更为集中, 小车蝗出土更为整齐; 而在砂土和黑土条件下, 小车蝗出土相对分散。本实验的结果表明, 除传统的认知土壤湿

度影响卵的孵化外, 土壤类型对卵的孵化也至关重要; 在实际监测和调查时, 应根据不同的土壤类型调整调查的时间范围; 亚洲小车蝗更偏好在棕钙土中产卵, 因此在今后小车蝗的防治过程中需要更加关注棕钙土的生境。

参考文献 (References)

- Ahmad ST, Nabi S. Effect of different temperatures on the incubation period and hatching of eggs of bamboo locust, *Choroedocus illustris* Walker (Orthoptera: Acrididae) [J]. *New York Science Journal*, 2008, 8 (2): 70–73.
- Chen SH, Wulanbater, Wu XD. Response of grasshoppers' subsistence and breeding to climatic change in Inner Mongolia [J]. *Journal of Natural Disasters*, 2007, 16 (3): 66–69. [陈素华, 乌兰巴特尔, 吴向东. 内蒙古草地蝗虫生存与繁殖对气候变化的响应 [J]. 自然灾害学报, 2007, 16 (3): 66–69]
- Du GL, Zhao HL, Tu XB, et al. Division of the inhabitable areas for *Oedaleus decorus asiaticus* in Inner Mongolia [J]. *Plant Protection*, 2018, 44 (6): 24–31. [杜桂林, 赵海龙, 涂雄兵, 等. 亚洲小车蝗在内蒙古草原宜生区划分研究 [J]. 植物保护, 2018, 44 (6): 24–31]
- Gao SJ, Wei YS, Te ME, et al. The flight ability of *Oedaleus asiaticus* and its relationship to population density [J]. *Pratacultural Science*, 2012, 29 (12): 1915–1919. [高书晶, 魏云山, 特木儿, 等. 亚洲小车蝗飞行能力及其与种群密度的关系 [J]. 草业科学, 2012, 29 (12): 1915–1919]
- Hao SG, Kang L. Postdiapause development and hatching rate of three grasshopper species (Orthoptera: Acrididae) in Inner Mongolia [J]. *Environmental Entomology*, 2004, 33 (6): 1528–1534.
- Hu Q, Wang Q, Wang HJ, et al. Primary study on hatching situation of locust (*Locusta migratoria manilensis*) eggs under different water contents of soil [J]. *Journal of Tianjin Agricultural University*, 2008, 15 (4): 1–4. [胡奇, 王琪, 王海静, 等. 土壤含水量对飞蝗越冬卵孵化影响初探 [J]. 天津农学院学报, 2008, 15 (4): 1–4]
- Hunter JP. Egg development in the desert locust (*Schistocerca gregaria* Forsk.) in relation to the availability of water [J]. *Proceedings of the Royal Society of London*, 1964, 39 (1–3): 25–33.
- Kang L, Chen YL. Trophic niche of grasshoppers within steppe ecosystem in Inner Mongolia [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 1994, 37 (2): 178–189. [康乐, 陈永林. 草原蝗虫营养生态位的研究 [J]. 昆虫学报, 1994, 37 (2): 178–189]
- Kang L, Chen YL. Dynamics of grasshopper communities under different grazing intensities in Inner Mongolia steppes [J]. *Entomologia Sinica*, 1995, 2 (3): 265–281.
- Le ZY, Bai YM, Liu L, et al. The effect of temperature on hatching of Asiatic migratory locust in the grassland of northeast China [J]. *Journal of Meteorology and Environment*, 2013, 29 (5): 144–147. [乐章燕, 白月明, 刘玲, 等. 温度对东北草原区亚洲飞蝗孵化的影响 [J]. 气象与环境学报, 2013, 29 (5): 144–147]
- Li N, Zhou XR, Pang BP. Relationship between supercooling capacity and low molecular sugars and polyols, and amino acids in eggs of *Oedaleus asiaticus* [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47 (24): 4830–4839. [李娜, 周晓榕, 庞保平. 亚洲小车蝗卵过冷却能力与小分子糖醇及氨基酸的关系 [J]. 中国农业科学, 2014, 47 (24): 4830–4839]
- Liu L, Guo AH. Analysis of meteorological and ecological conditions of grasshopper infestation in Inner Mongolia in 2004 [J]. *Meteorology*, 2004, 30 (11): 55–57. [刘玲, 郭安红. 2004 年内蒙古草原蝗虫大发生的气象生态条件分析 [J]. 气象, 2004, 30 (11): 55–57]
- Liu SB, Yin GM, Gao B, et al. Grassland pests control strategies and benefit study in the Inner Mongolia [J]. *Animal Husbandry and Feed Science*, 2018, 38 (12): 55–56. [刘思博, 殷国梅, 高博, 等. 内蒙古草原虫害防治对策及效益研究 [J]. 畜牧与饲料科学, 2018, 38 (12): 55–56]
- Pan JM. Rangeland grasshoppers and their control strategies in Inner Mongolia [J]. *Grassland of China*, 2002, 24 (6): 67–70. [潘建梅. 内蒙古草原蝗虫发生原因及防治对策 [J]. 中国草地, 2002, 24 (6): 67–70]
- Ren JL, Zhao L, Gong A. Effects of the temperature and soil moisture on postdiapause development and survival of *Calliptamus italicus* L. eggs [J]. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2015, 38 (5): 398–401. [任金龙, 赵莉, 宫安. 温度和土壤含水量对意大利蝗卵滞育后期发育和存活的影响 [J]. 新疆农业大学学报, 2015, 38 (5): 398–401]
- Sun C. Study on Plague of Grassland Locust Data Reconfiguration Modeling in Ar Horqin Banner Based in History Record [D]. Hohhot: Inner Mongolia University of Technology Master Thesis, 2018. [孙川. 基于历史记录的阿鲁科尔沁旗草原蝗灾数据重构建模研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古工业大学硕士学位论文, 2018]
- Sun W, Cui J, Zang DS, et al. Effects of temperature and soil water content on egg hatching of *Locusta migratoria manilensis* (Meyen) [J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2010, 42 (3): 67–69. [孙崑, 崔娟, 臧冬初, 等. 温度和土壤含水量对东亚飞蝗卵孵化的影响 [J]. 山东农业科学, 2010, 42 (3): 67–69]
- Wang ZX, Chen YL, Ma SJ. The influence of temperature and humidity on the experimental population of *Chorthippus dubius* (Zub) [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1988, 8 (2): 125–132. [王智翔, 陈永林, 马世骏. 温、湿度对狭翅雏蝗 *Chorthippus dubius* (Zub.) 实验种群的影响 [J]. 生态学报, 1988, 8 (2): 125–132]
- Xu FZ, Meng ZP, Guo YH, et al. Occurrence and control of *Oedaleus asiaticus* in the farming and pasturing transitional ecotone of Wulanchabu City [J]. *Inner Mongolia Agricultural Science and Technology*, 2005, 26 (5): 384–387. [许富祯, 孟正平, 郭永华, 等. 乌兰察布市农牧交错区亚洲小车蝗发生与防治 [J]. 内蒙古农业科技, 2005, 26 (5): 384–387]