环境昆虫学报 2023，45（1）：83－92
Journal of Environmental Entomology
http：//hjkcxb. alljournals. net
doi：10. 3969/j. issn. 1674－0858. 2023. 01. 8

刘雅，郑丽旧，陈俊谕，张方平，符悦冠. 橡胶干旱胁迫对东方真叶螨发育和繁殖的影响［J］. 环境昆虫学报，2023，45（1）：83－92.

橡胶干旱胁迫对东方真叶螨发育和繁殖的影响

刘 雅[1,2,3]，郑丽旧[1,2,3]，陈俊谕[3]，张方平[3]，符悦冠[3*]
（1. 海南大学植物保护学院，海口 570228；2. 海南大学热带农林生物灾害绿色防控教育部重点实验室，海口 570228；
3. 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/
海南省热带农业有害生物监测与控制重点实验室，海口 571101）

摘要：本研究通过明确寄主植物橡胶受干旱胁迫对重要害螨东方真叶螨 *Eotetranychus orientalis* 发育和繁殖的影响，为该螨成灾预警及有效防治提供科学依据。本试验在温度 30℃ ±1℃、相对湿度 75% ±5% 和光周期 14 L∶10 D 的人工气候室条件下，观察了寄主植物橡胶盆栽植株在重度干旱（30% ≤土壤含水量 W＜40%）、中度干旱（40% ≤W＜50%）和轻度干旱（50% ≤W＜60%）3 种干旱程度胁迫和对照处理（正常土壤墒情 60% ≤W＜80%）条件下东方真叶螨的个体发育历期、寿命、存活和繁殖情况，组建年龄－阶段两性生命表。结果显示，干旱胁迫处理植株的东方真叶螨卵期、幼螨期、前若螨期、后若螨期及成熟前期的发育历期均短于对照处理的，但成螨寿命长于对照处理的，雌螨产卵量大于对照，并且随着干旱程度的加重其发育历期随之缩短、成螨寿命随之延长和产卵量随之增加。该螨实验种群的内禀增长率 γ、周限增长率 λ 和净增值率 R_0 在重度干旱胁迫植株上的为最大，显著高于轻度干旱胁迫及对照处理植株的种群，东方真叶螨在重度、中度、轻度干旱胁迫和对照处理的内禀增长率 γ 分别为 0. 147、0. 125、0. 106 和 0. 075，周限增长率 λ 分别为 1. 158、1. 133、1. 112 和 1. 078，净增值率 R_0 分别为 9. 02、6. 17、4. 58 和 3. 23。采用 TIMING－MSChart 模拟预测东方真叶螨 40 d 的种群动态，结果显示重度干旱处理的种群增长速度最快，对照处理最慢。东方真叶螨的个体发育、繁殖和实验种群增长受寄主干旱胁迫的影响，重度干旱对东方真叶螨的个体发育、繁殖及实验种群增长最有利。

关键词：东方真叶螨；干旱；发育；繁殖；年龄－阶段两性生命表
中图分类号：Q968. 1；S433　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1674－0858（2023）01－0083－10

Effects of drought-stressed rubber plants on the development and reproduction of *Eotetranychus orientalis*

LIU Ya[1,2,3], ZHENG Li-Jiu[1,2,3], CHEN Jun-Yu[3], ZHANG Fang-Ping[3], FU Yue-Guan[3*] (1. College of Plant Protection, Hainan University, Haikou 570228, China; 2. Key Laboratory of Ministry of Education for Green Prevention and Control of Tropical Plant Diseases and Pests, Hainan University, Haikou 570228, China; 3. Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Science/Key Laboratory of Integrated Pest Management on Tropical Grops, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Hainan Key Laboratory for Monitoring and Control of Tropical Agricultural Pests, Haikou 571101, China)

Abstract: To clarify the development and reproduction of *Eotetranychus orientalis* on drought-stressed rubber plants, aiming at providing a scientific basis for pre-warning and effective control of *E. orientalis*

基金项目：国家重点研发专项（2020YFD1000600）；天然橡胶产业技术体系虫害防控岗位（CARS－33－BC2）；中央级公益性科研院所基本科研业务费专项（1630042017009）
作者简介：刘雅，女，1998 年生，云南宣威人，硕士研究生，研究方向为农业昆虫与害虫防治，E－mail：liuybin27@163. com
* 通讯作者 Author for correspondence：符悦冠，男，博士，研究员，主要研究方向为害虫综合防治，E－mail：fygcatas@163. com
收稿日期 Received：2021－10－09；接受日期 Accepted：2021－11－27

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

outbreak. In this study, the individual development period, life span, survival and reproduction of *E. orientalis on high drought stressed* (30% ≤ W < 40%), moderate drought stressed (40% ≤ W < 50%), mild drought stressed (50% ≤ W < 60%) and control treated plants (60% ≤ W < 80%) were observed under the conditions of 30°C ± 1°C, 75% ± 5% RH and 14 L∶10 D photoperiod in artificial climate chambers, and the age-stage, two-sex life table was established. The results showed that the developmental durations of egg, larvae, protonymph, deutonymph and pre-adult stages of *E. orientalis* on drought-stressed rubber plants was shorter than those on control plants, and the adult longevity was longer and fecundity of females were higher on drought-stressed plants than those on control treated plants. The intrinsic rate of increase (γ), finite rate of increase (λ) and net reproductive rate (R_0) of *E. orientalis* on drought-stressed plants increased along with the rise of drought-stress degree. The γ value on high drought stressed, moderate drought stressed, mild drought stressed and control treated plants were 0.147, 0.125, 0.106 and 0.075, and the λ and R_0 value were 1.158, 1.133, 1.112, 1.078, and 9.020, 6.170, 4.580, 3.230, respectively. The population characteristic parameters of *E. orientalis* on high drought-stressed plants were significantly higher than those on mild drought-stressed and control treated plants. The population dynamics of *E. orientalis* in 40 days was simulated with TIMING-MSChart software. The results showed that the population growth rate was the fastest on high drought-stressed plants and the slowest on control treated plants. The individual development, reproduction and population growth of *E. orientalis* were affected by drought-stressed rubber plants, and high drought stress were the most beneficial to the development, reproduction and the population growth of *E. orientalis*.

Key words: *Eotetranychus orientalis*; drought stress; development; reproduction; age-stage, two-sex life table

橡胶树是重要的热带作物，天然橡胶是我国重要的战略物资（郝慧华等，2020）。东方真叶螨 *Eotetranychus orientalis* 是近年来危害橡胶日趋严重的重要害螨（张方平等，2016）。据调查，东方真叶螨的爆发成灾常出现在高温干旱季节（高宏，2015），严重发生时会造成叶片脱落、影响植株的正常生长和造成严重产量损失。害螨的发生与高温、干旱等环境条件密切相关。现有的研究结果表明干旱可直接影响昆虫（螨）的生长发育，也可通过影响寄主植物营养物质和物理性状等间接对其产生影响（Mattson and Haack，1987）。甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* 在干旱胁迫的棉花 *Gossypium* spp. 上产卵量比未受胁迫的多（Showler and Moran，2003）；轻度干旱显著提高了小麦 *Triticum aestivum* 体内的氨基酸含量，从而加快麦长管蚜 *Sitobion avenae* 的种群增长速度（Cui *et al.*，2020）；干旱诱导番茄 *Lycopersicon esculentum* 氨基酸含量增加，有利于伊凡氏叶螨 *Tetranychus evansi* 的繁殖（Ximénez-Embún *et al.*，2018）。干旱还会影响植食性昆虫从而间接对天敌产生影响。小麦受干旱胁迫后会抑制黏虫 *Mythimna separata* 的生长发育，间接对其寄生性斑痣悬茧蜂 *Meteorus pulchricornis* 子代的生长发育产生不利影响（侯佳丽等，2018）。目前，虽有橡胶抗旱分子机制和抗旱育种等研究（林秀琴，2009；张凤良，2016），但橡胶干旱胁迫对东方真叶螨等橡胶害虫发生的影响未见报道。

鉴于东方真叶螨对橡胶树危害的日益严重及寄主干旱胁迫对东方真叶螨的具体影响缺乏了解，本试验以寄主植物橡胶的盆栽植株为供试寄主植物，采用两性生命表研究方法，进行寄主不同干旱程度胁迫条件下东方真叶螨的发育历期与繁殖特性研究，以期明确橡胶植株受干旱胁迫对东方真叶螨发育和种群增长的影响，为该螨爆发的监测预警及有效防治提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试叶螨和寄主植物

东方真叶螨采自海南省儋州市宝岛新村橡胶园，在实验室内用橡胶叶（热研-73397）进行扩繁饲养数代后进行试验。供试寄主植物为相同管理水平条件下的盆栽橡胶植株（保留一蓬叶），品种为热研-73397，种植基质为砖红壤土和草炭（砖

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

红壤土∶草炭＝3∶1）加适当的有机肥，待植株生长稳定后开始试验。

1.2　试验装置

采用两层长×宽为30 mm×20 mm的亚克力板制作个体饲养小室，上层厚度为2 mm，居中开有直径10 mm的圆孔，一面用双面胶固定防虫网（400目），粘有防虫网的一面朝上，将其置于叶面上方，下层板厚度为1 mm，置于叶背，用长尾夹将其固定在叶片上形成小室。

1.3　试验条件

本试验在温度30℃±1℃，相对湿度75%±5%和光周期14 L∶10 D的人工气候室内进行。

1.4　试验方法

1.4.1　橡胶干旱胁迫设置

干旱程度的划分参照国家标准《农业干旱等级》（GB/T 32136－2015）（中国气象局，2015），本试验共设置4个处理：正常供水（60%≤土壤含水量W＜80%，对照）；轻度干旱（50%≤W＜60%）；中度干旱（40%≤W＜50%）；重度干旱（30%≤W＜40%）；干旱调控参照何小三等（何小三等，2020），供试前充分浇水使橡胶苗土壤含水量达到饱和，然后置于人工气候室让水分自然蒸发，用土壤水分仪测量土壤含水量，达到各处理预定值范围后，称量此时的盆栽植株重量，之后每天下午17∶00对盆栽植株称重1次，给植株补充当天损失的水分，保证各处理的土壤含水量达到设定值范围，植株胁迫15 d后开始试验。

1.4.2　东方真叶螨生长发育和繁殖特性观察

挑取东方真叶螨雌成螨于各处理的活体橡胶叶片上的饲养小室内产卵，24 h后剔除雌成螨，每个饲养小室保留1粒卵，每处理重复100次，每天观察记录东方真叶螨发育和存活情况，待发育至成螨后，选取同天羽化、同一处理的雌雄成螨进行配对，记录产卵量及雌、雄螨存活情况，直至所有成螨死亡。

1.4.3　东方真叶螨两性生命表的建立和实验种群动态预测

利用1.4.2获得的数据，根据年龄－阶段两性生命表理论，用Chi以及Chi和Liu等的方法构建两性生命表（Chi and Liu，1985；Chi，1988）。分析并计算东方真叶螨发育繁殖的相关参数，包括：种群特定年龄存活率 l_x（个体从卵发育到年龄x的概率）、雌螨特定年龄－阶段繁殖力 f_{xj}（雌成螨在年龄x和阶段j时的平均产卵量）、特定年龄－阶段存活率 S_{xj}（个体从卵发育到年龄x和阶段j的概率）、种群特定年龄繁殖力 m_x（所有个体在年龄x时的平均产卵量）、种群特定年龄－阶段繁殖值 $l_x m_x$（种群在年龄x时的净增值率）、特定年龄－阶段生命期望 e_{xj}（个体在年龄x阶段j期望存活的时间）、特定年龄－阶段繁殖值 v_{xj}（个体在x年龄j龄期时对未来种群的平均贡献）、内禀增长率 γ、净增值率 R_0、周限增长率 λ 等参数（Chi and Su，2006；Tuan *et al.*，2014；蒋春先，2019）。以最初10粒东方真叶螨卵预测未来40 d的种群动态（Chi，1990）。

1.5　数据处理分析

采用计算机程序TWOSEX-MSChart软件对东方真叶螨发育繁殖指标进行处理分析，构建年龄－阶段两性生命表，生命表参数用bootstrap检验差异显著性（Chi，2021a）；采用TIMING-MSChart软件预测种群动态（Chi，2021b）；采用SigmaPlot 14.0作图。

2　结果与分析

2.1　橡胶干旱胁迫对东方真叶螨发育历期和寿命的影响

寄主植物干旱胁迫对东方真叶螨的发育及寿命有明显的影响（表1）。干旱处理寄主植物上的东方真叶螨的卵期、幼螨期、前若螨期、后若螨及成熟前期发育历期均短于对照，以重度干旱胁迫植株上的最短，各虫体历期分别为4.18、1.96、1.65、1.45和9.18 d，其中干旱处理的卵期、幼螨期、前若螨期和成熟前期与对照差异显著；中度干旱处理的卵期与重度干旱和轻度干旱处理间差异不显著，各干旱处理的幼螨期差异不显著，中度干旱胁迫处理的前若螨期、后若螨期和成熟前期与轻度干旱处理差异不显著；与对照的雌雄寿命相比（7.14 d、4.45 d），各干旱处理均延长了成螨寿命，其中重度干旱处理的雌、雄成螨寿命最长，分别为12.11 d和7 d，其次是中度干旱、轻度干旱，分别为9.24 d、5.50 d和8.43 d、5.15 d；此外，雌成螨寿命均长于雄成螨。

2.2　橡胶干旱胁迫对东方真叶螨种群存活率的影响

不同干旱胁迫橡胶上的东方真叶螨种群特定年龄－阶段存活率均有差异（图1）。干旱处理植株上卵的孵化率达90%以上，而对照为82%。东

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 1 橡胶植株受干旱胁迫下东方真叶螨的发育历期及寿命

Table 1 Developmental duration and longevity of *Eutetranychus orientalis* on drought-stressed rubber plants

发育阶段 Developmental stage	重度干旱 High drought stress		中度干旱 Moderate drought stress		轻度干旱 Mild drought stress		对照 CK	
	个体数 Number	发育历期（d）Developmental duration	个体数 Number	发育历期（d）Developmental duration	个体数 Number	发育历期（d）Developmental duration	个体数 Number	发育历期（d）Developmental duration
卵期 Egg	96	4.18 ± 0.04 c	92	4.25 ± 0.05 bc	90	4.34 ± 0.05 b	82	4.85 ± 0.05 a
幼螨期 Larvae	85	1.96 ± 0.06 b	69	2.01 ± 0.07 b	65	1.97 ± 0.07 b	76	2.53 ± 0.06 a
前若螨期 Protonymph instar	66	1.65 ± 0.10 c	59	2.07 ± 0.07 b	57	2.04 ± 0.07 b	57	2.70 ± 0.07 a
后若螨期 Deutonymph instar	55	1.45 ± 0.10 c	49	2.04 ± 0.11 ab	48	1.79 ± 0.12 b	40	2.18 ± 0.10 a
成熟前期 Total pre-adult	55	9.18 ± 0.17 c	49	10.35 ± 0.19 b	48	10.13 ± 0.16 b	40	12.00 ± 0.22 a
产卵前期 Pre-oviposition period	45	1.93 ± 0.08 a	37	2.06 ± 0.09 a	35	1.29 ± 0.15 b	29	0.86 ± 0.18 b
雌成螨寿命 Female adult longevity	45	12.11 ± 0.54 a	37	9.24 ± 0.42 b	35	8.43 ± 0.43 b	29	7.14 ± 0.33 c
雄成螨寿命 Male adult longevity	10	7.00 ± 0.70 a	12	5.50 ± 0.56 ab	13	5.15 ± 0.76 ab	11	4.45 ± 0.41 b

注：表中数据为平均值 ± 标准误。同行不同小写字母表示经 paired bootstrap test 法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。下同。

Note: Data were mean ± SE. Different letters in the same row indicated significant difference at $P < 0.05$ level by paired bootstrap test. The same below.

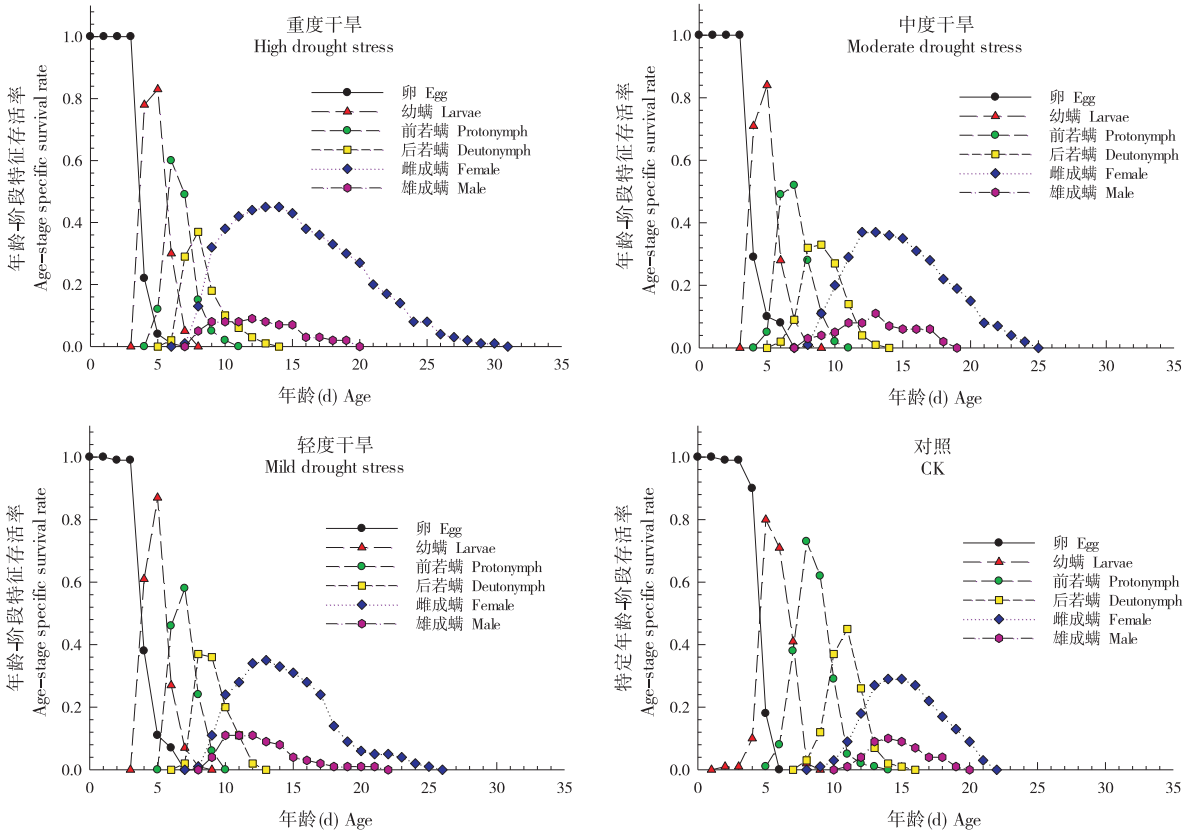

图 1 橡胶植株受干旱胁迫下东方真叶螨的特定年龄－阶段存活率（S_{xj}）

Fig. 1 Age-stage specific survival rate（S_{xj}）of *Eutetranychus orientalis* on drought-stressed rubber plants

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

方真叶螨从卵存活并发育到成螨的概率在重度干旱条件下最高，为 55%，对照最低，为 40%。在重度干旱条件下的东方真叶螨雌成螨和雄成螨存活的时间更长，分别为 31 d 和 20 d。各个处理的雌成螨存活率及存活时间均高于雄成螨。

2.3　橡胶干旱胁迫对东方真叶螨繁殖力的影响

干旱处理植株上东方真叶螨的总产卵前期均短于对照，以重度干旱的为最短，为 11.16 d，重度和轻度干旱处理的种群显著短于中度干旱和对照处理的；重度干旱处理的产卵期显著长于其他处理的，为 7.24 d，且单雌产卵量最高，为 20.04 粒，其次是中度干旱、轻度干旱和对照，分别为 16.68 粒、13.09 粒和 11.14 粒（表 2）。

种群特定年龄－阶段繁殖力曲线由 l_x、f_{xj}、m_x、l_xm_x组成（图 2）。各个处理的东方真叶螨 l_x 曲线前期趋于平缓，后期曲线较陡，说明东方真叶螨在卵期死亡率较低；在重度干旱条件下，东方真叶螨存活时间最长，达 32 d，其次为中度干

表 2　橡胶干旱胁迫对东方真叶螨繁殖的影响

Table 2　Effects on fecundity of *Eutetranychus orientalis* on drought-stressed rubber plants

参数 Parameters	重度干旱 High drought stress	中度干旱 Moderate drought stress	轻度干旱 Mild drought stress	对照 CK
总产卵前期（d） Total pre-oviposition period	11.16 ± 0.19 b	12.40 ± 0.25 a	11.49 ± 0.24 b	12.86 ± 0.29 a
产卵期（d） Oviposition period	7.24 ± 0.47 a	4.43 ± 0.37 b	4.54 ± 0.33 b	4.52 ± 0.22 b
单雌产卵量（粒） Fecundity per female adult	20.04 ± 1.60 a	16.68 ± 1.65 ab	13.09 ± 1.15 bc	11.14 ± 0.84 c

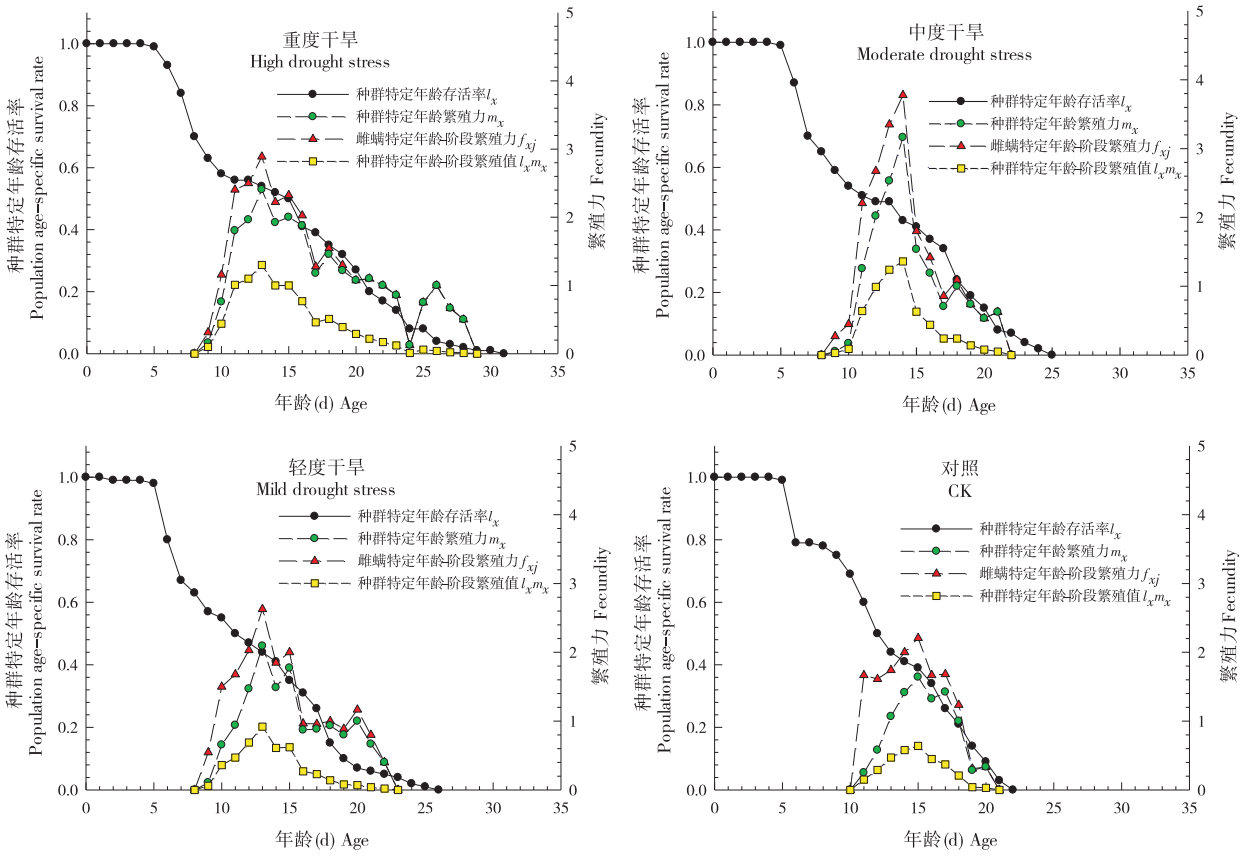

图 2　橡胶植株受干旱胁迫下东方真叶螨的种群特定年龄存活率（l_x）、和特定年龄－阶段繁殖力（f_{xj}）、特定年龄繁殖力（m_x）和特定年龄阶段繁殖值（l_xm_x）

Fig. 2　Population age-specific survival rate（l_x）, age-stage specific fecundity（f_{xj}）, age-specific population fecundity（m_x）and age-stage specific reproduction value（l_xm_x）of *Eutetranychus orientalis* on drought-stressed rubber plants

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

旱和轻度干旱，均为 26 d，对照的存活时间最短，为 23 d；对照的 f_{xj} 曲线出现的最晚，在第 11 天出现，各干旱处理的均在第 9 天出现；干旱处理的 f_{xj}、m_x 和 $l_x m_x$ 峰值均大于对照，表明干旱有利于东方真叶螨的繁殖，其中重度干旱最有利于其繁殖。

2.4 橡胶干旱胁迫对东方真叶螨特定年龄－阶段生命期望的影响

橡胶干旱胁迫对各螨态的生命期望均有影响，其中干旱处理的雌成螨生命期望高峰均大于对照，以重度干旱处理生命期望值最高，为 14.33 d，其次为中度干旱和轻度干旱处理，分别为 11.59 d 和 10.63 d，对照处理的生命期望值为 10.14 d（图 3）。

2.5 橡胶干旱胁迫对东方真叶螨特定年龄－阶段繁殖值的影响

对不同虫态个体，随年龄 x 增大，繁殖值开始呈上升趋势，到达最高峰后逐渐下降；不同干旱胁迫处理植株上的不同虫态的繁殖值相比较，均以雌成螨的为最大。重度干旱胁迫处理植株上的东方真叶螨对种群贡献持续时间最长，为 29 d，其他处理的持续时间均短于 25 d。重度和中度干旱胁迫的植株上东方真叶螨的最高繁殖值均在第 11 天出现，轻度干旱胁迫和对照处理的均在第 10 天出现，对应的最高繁殖值分别为 12.02、12.27、9.88 和 10.33，虽然对照处理的最高繁殖值高于轻度干旱，但对照处理的对种群贡献持续时间短于轻度干旱的。结果表明，东方真叶螨雌成螨对种群贡献最高，其中重度和中度干旱处理的雌成螨对种群的贡献更高（图 4）。

2.6 橡胶干旱胁迫对东方真叶螨种群生命表参数的影响

东方真叶螨种群的内禀增长率、周限增长率和净增值率随橡胶干旱胁迫程度的增加而增大，重度干旱胁迫寄主上的内禀增长率、周限增长率和净增值率为 0.147、1.158 和 9.02，显著大于轻度和对照处理植株上的种群，中度干旱与重度干旱和轻度干旱处理的种群差异不显著，轻度干旱与对照的种群差异不显著；对照的种群世代平均时间最长，为15.59 d，显著长于中度和轻度干旱处理植株上的种群；种群倍增时间随干旱程度的

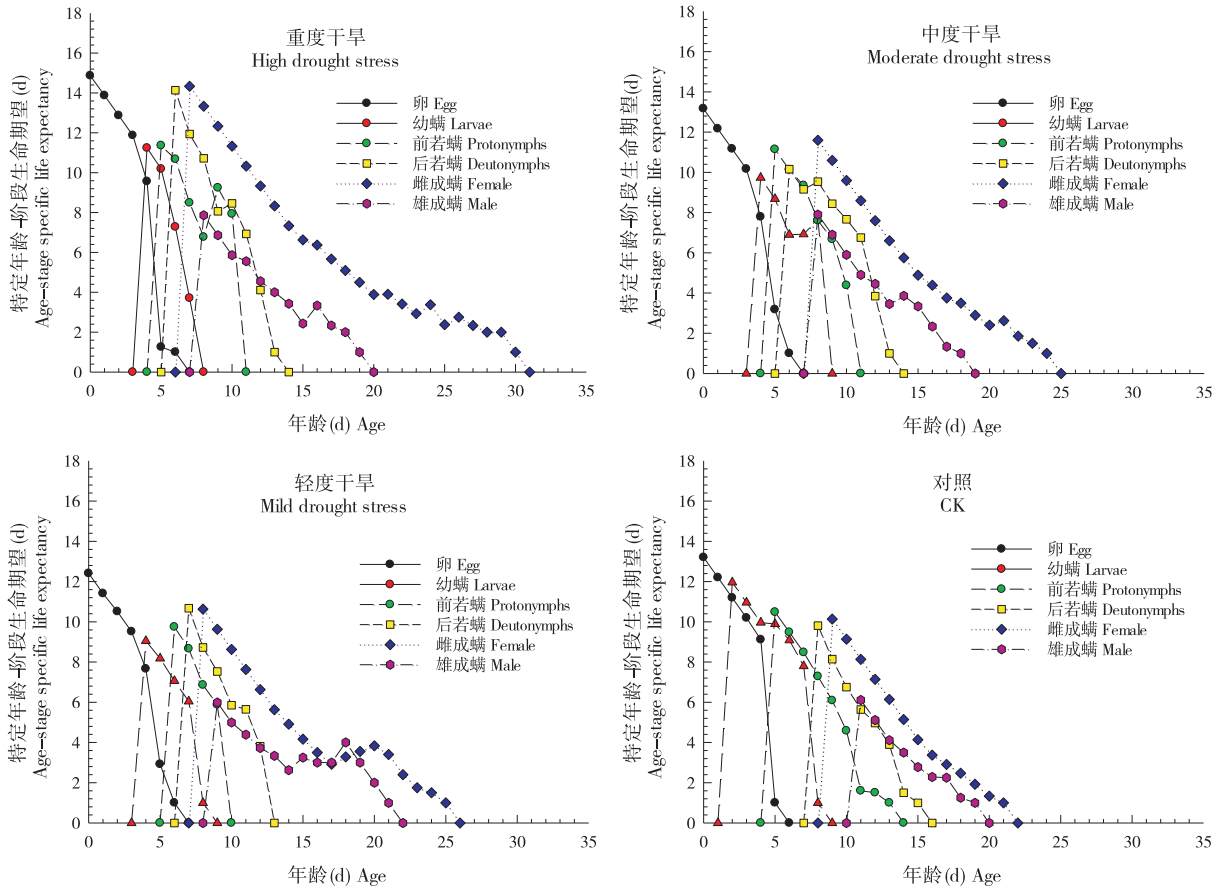

图 3 橡胶植株受干旱胁迫下东方真叶螨的特定年龄－阶段生命期望（e_{xj}）

Fig. 3 Population age-stage specific life expectancy（e_{xj}）of *Eutetranychus orientalis* on drought-stressed rubber plants

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

增加而缩短，其中重度干旱处理的种群倍增时间最短，仅为 4.72 d，对照的最长，为 9.22 d（表3），与重度和中度干旱处理植株上的种群差异显著。

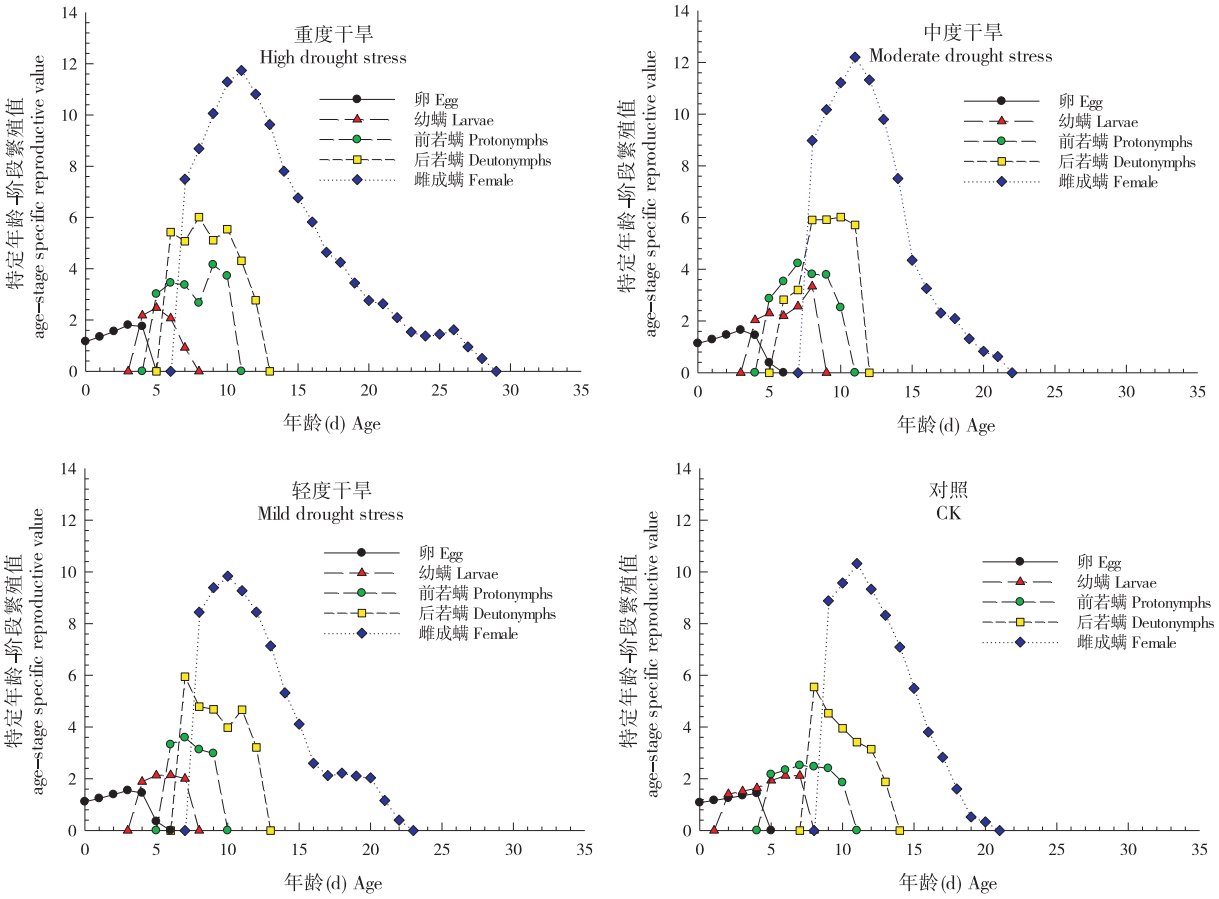

图4　橡胶植株受干旱胁迫下东方真叶螨的特定年龄－阶段繁殖值（v_{xj}）

Fig. 4　Population age-stage specific life reproductive value（v_{xj}）of *Eutetranychus orientalis* on drought-stressed rubber plants

表 3　橡胶植株受干旱胁迫下东方真叶螨的种群生命表参数

Table 3　Population parameters of *Eutetranychus orientalis* on drought-stressed rubber plants

干旱处理 Drought treatment	内禀增长率 r（d^{-1}）Intrinsic rate of increase	周限增长率 λ（d^{-1}）Finite rate of increase	净增值率 R_0（offspring/individual）Net reproductive rate	世代平均时间 T（d）Mean generation time	种群倍增时间 DT（d）Doubling time
重度干旱 High drought stress	0.147 ± 0.009 a	1.158 ± 0.011 a	9.02 ± 1.23 a	14.97 ± 0.32 ab	4.72 ± 0.32 c
中度干旱 Moderate drought stress	0.125 ± 0.011 ab	1.133 ± 0.013 ab	6.17 ± 1.01 ab	14.57 ± 0.27 b	5.55 ± 0.57 bc
轻度干旱 Mild drought stress	0.106 ± 0.011 bc	1.112 ± 0.013 bc	4.58 ± 0.74 bc	14.30 ± 0.36 b	6.52 ± 0.78 ab
对照 CK	0.075 ± 0.011 c	1.078 ± 0.012 c	3.23 ± 0.56 c	15.59 ± 0.30 a	9.22 ± 1.80 a

注：表中数据为平均值 ± 标准误。同列不同小写字母表示经 paired bootstrap test 法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。Note: Data were mean ± SE. Different letters in the same column indicated significant difference at $P < 0.05$ level by paired bootstrap test.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2.7 橡胶受干旱胁迫下东方真叶螨的种群动态预测

本试验模拟预测了未来 40 d 10 粒东方真叶螨卵在无限制条件下的种群动态（图 5），重度干旱处理植株上的 10 粒东方真叶螨卵在第 40 天可发育繁殖为 240 头成螨（雌成螨 202 头、雄成螨 38 头），中度干旱处理的为 106 头（雌成螨 84 头、雄成螨 22 头），轻度干旱处理的为 60 头（雌成螨 46 头、雄成螨 14 头），对照处理的为 8 头（雌成螨 6 头、雄成螨 2 头），重度干旱处理的东方真叶螨种群增长速度最快，其次是中度干旱、轻度干旱，对照处理的种群增长最慢。

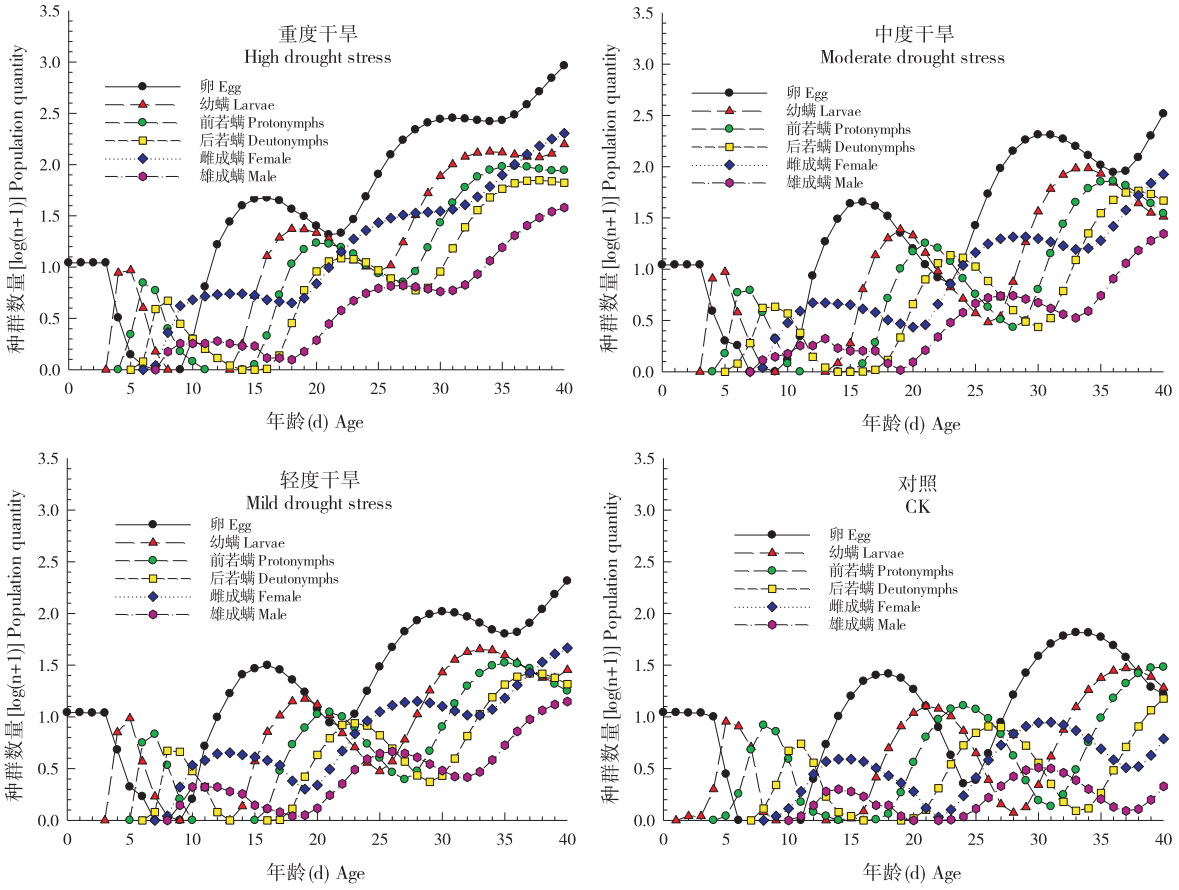

图 5 橡胶植株受干旱胁迫下东方真叶螨未来 40 d 内的种群动态预测

Fig. 5 Predicted population dynamics of *Eutetranychus orientalis* over the next 40 days as affected by drought-stressed rubber plants

3 结论与讨论

本研究针对橡胶寄主设置了不同程度的干旱胁迫处理，采用年龄－阶段两性生命表评价寄主在不同干旱程度条件下对东方真叶螨的发育与繁殖的影响。结果显示：橡胶干旱胁迫对东方真叶螨的发育与繁殖有利。在重度干旱（30% ≤土壤含水量 W < 40%）、中度干旱（40% ≤ W < 50%）和轻度干旱（50% ≤ W < 60%）条件下，东方真叶螨发育历期随干旱胁迫程度的提高而缩短，成螨寿命随之延长，产卵量随之增加，实验种群的内禀增长率 γ、周限增长率 λ 和净增值率 R_0 随之增大，重度干旱胁迫处理与轻度干旱胁迫及空白对照处理之间有显著差异。结果说明，干旱是东方真叶螨在高温干旱季节的爆发的重要环境影响因素之一。

寄主干旱胁迫对害虫（螨）的发生的影响可能是有利的，也可能是不利的。本研究揭示橡胶干旱胁迫对东方真叶螨发生有刺激作用，与 Ximénez-Embún 等报道的伊凡氏叶螨和二斑叶螨 *Tetranychus urticae* 在干旱胁迫的番茄叶片上的产卵量显著增加、番茄刺皮瘿螨 *Aculops lycopersici* 和桃蚜 *Myzus persicae* 在寄主植物干旱胁迫下的种群增

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

长速度加快的研究结果一致（*Inga et al.*，2012；Ximénez-Embún *et al.*，2016；Ximénez-Embún *et al.*，2017a；Ximénez-Embún *et al.*，2017b）。但有研究报道褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 雌成虫取食受干旱胁迫的水稻后产卵量和种群数量降低（罗定，2012）；甘蓝 *Brassica oleracea* 受干旱胁迫导致叶温升高，桃蚜数量减少（Simpson，2012）；因此干旱对昆虫（螨）的影响与寄主植物和昆虫种类有关。

寄主植物受干旱胁迫对昆虫（螨）的影响往往通过干旱影响寄主植物营养物质和生理生化代谢物质的改变，从而影响昆虫（螨）的生长发育和繁殖（Larsson，1989；谭椰等，2014）。有研究报道水分胁迫导致番茄植株氨基酸和游离糖浓度增加，提高了干旱胁迫下番茄植株对二斑叶螨的营养价值（Ximénez-Embún *et al.*，2017a）；干旱胁迫诱导拟南芥氨基酸浓度的增加和 4-甲氧基吲哚-3-甲基硫代葡萄糖苷浓度的降低从而促进了桃蚜种群的增长（Inga *et al.*，2012）；干旱胁迫诱导甘蓝体内氮含量和游离氨基酸含量的增加，有利于斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* 的生长发育和种群增长（杨海燕，2008）；另有研究表明，罗宾蛾 *Hyalophora cecropia* 幼虫取食含水量低的樱桃 *Cerasus* spp. 叶片导致生长速度减慢（Scriber，1977）；黄瓜 *Cucumis sativus* 幼苗受干旱胁迫下葫芦素 C 含量的增加导致其对二斑叶螨的抗性增加（Gould，1978）；Showler 和 Moran 研究发现，受干旱胁迫的棉花叶片含水量降低，导致甜菜夜蛾幼虫存活率降低（Showler and Moran，2003）。推测本研究橡胶受干旱胁迫导致东方真叶螨种群的增长可能与植物体内营养物质和生理生化代谢物质含量的改变有关，对寄主受干旱胁迫后其生理生化代谢物质的变化及对靶标害螨发育及繁殖的影响有待于进一步研究。

本研究表明干旱对东方真叶螨的种群增长是有利的，且不同干旱程度种群增长速度不同，对东方真叶螨爆发的监测预警及防治有一定的指导意义。当然，本研究仅从东方真叶螨的个体发育、繁殖及实验种群特性等对寄主植物干旱胁迫的影响进行了探讨，在实际中，东方真叶螨的爆发往往出现在高温干旱季节，高温及高温与干旱的双因子组合是如何影响东方真叶螨的发生的，还有待于下一步研究。高温干旱条件下，还会影响到东方真叶螨的天敌的存活及种群变动从而影响到该螨的发生，这也有待于将来继续探讨。

参考文献（References）

Chi H, Liu H. Two new methods for the study of insect population ecology [J]. *Bulletin of the Institute of Zoollogy Academia Sinica*, 1985, 24 (2): 225 – 240.

Chi H, Su HY. 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 [J]. *Environmental Entomology*, 2006, 35 (1): 10 – 21.

Chi H. Timing of control based on the stage structure of pest populations: A simulation approach [J]. *Journal of Economic Entomology*, 1990, 83 (4): 1143 – 1150.

Chi H. Computer program for the age-stage, two-sex life table analysis [CP]. (2021 – 06 – 21). http://140.120.197.173/Ecology/prod02.htm.

Chi H. Computer program for the timing of pest management [CP]. (2021 – 05 – 08). http://140.120.197.173/Ecology/prod02.htm.

Chi H. Life – table analysis incorporating both sexes and variable development rate among individuals [J]. *Environmental Entomology*, 1988, 17 (1): 26 – 34.

China Meteorological Administration. Grade of agricultural drought: GB/T 32136 – 2015 [S]. Beijing: China Standards Press, 2015. [中国气象局. 农业干旱等级: GB/T 32136 – 2015 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2015]

Cui H, Wang L, Reddy G, *et al.* Mild drought facilitates the increase in wheat aphid abundance by changing host metabolism [J]. *Annals of the Entomological Society of America*, 2020, 114 (1): 79 – 83.

Gao H. Focus on the prevention of *Eutetranychus orientali* in North China [N]. *China Flower & Gardening News*, 2015 – 07 – 02 (A05). [高宏. 华北地区应重防东方真叶螨 [N]. 中国花卉报, 2015 – 07 – 02 (A05)]

Gould F. Resistance of cucumber varieties to *Tetranychus urticae*: Genetic and environmental determinants [J]. *Journal of Economic Entomology*, 1978, 71 (4): 680 – 683.

Hao HH, Li GY, Cui ZF, *et al.* Investigation on predatory mites in rubber trees and evaluation of dominant species of predatory mites in Hainan [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2020, 41 (1): 141 – 147. [郝慧华, 李国寅, 崔志富, 等. 海南橡胶园捕食螨种类调查及优势种评价 [J]. 热带作物学报, 2020, 41 (1): 141 – 147]

He XS, Wang YJ, Xu LC, *et al.* Effects of drought stress on leaf anatomical structure of different *Camellia oleifera* cultivars [J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2020, 40 (10): 1 – 17. [何小三, 王玉娟, 徐林初, 等. 干旱胁迫对不同油茶品种叶片解剖结构的影响 [J]. 中南林业科技大学学报, 2020, 40 (10): 1 – 17]

Hou JL, Li BP, Meng L. Effects of drought stress on developmental performances of *Mythimna separata* and its parasitoid *Meteorus*

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

pulchricornis [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2018, 41 (2): 302 – 307. [侯佳丽, 李保平, 孟玲. 取食干旱胁迫小麦对黏虫及其寄生性斑痣悬茧蜂生长发育的影响 [J]. 南京农业大学学报, 2018, 41 (2): 302 – 307]

Inga M, Khan M, Erich G, *et al.* Water stress and aphid feeding differentially influence metabolite composition in *Arabidopsis thaliana* L. [J]. *PLoS ONE*, 2012, 7 (11): e48661.

Jiang CX, Shui L, Pu P, *et al.* Population growth development, fecundity and predation rate of *Neoseiulus californicus* McGregor (Acari: Phytoseiidae) Sichuan strain fed on *Tetranychus cinnabarinus* Boisduval (Acari: Tetranychidae) based on two-sex life table [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2019, 35 (3): 364 – 373. [蒋春先, 税玲, 蒲颇, 等. 基于两性生命表的以朱砂叶螨为猎物的加州新小绥螨四川种群生长发育、繁殖及捕食率 [J]. 中国生物防治学报, 2019, 35 (3): 364 – 373]

Larsson S. Stressful times for the plant stress: Insect performance hypothesis [J]. *Oikos*, 1989, 56 (2): 277 – 283.

Lin XQ, Yuan Q, Wang ZH, *et al.* Identification and functional analysis of differentially expressed proteins in rubber tree leaves under drought stress [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2009, 30 (12): 1782 – 1788. [林秀琴, 袁坤, 王真辉, 等. 干旱胁迫下橡胶树叶片差异表达蛋白的鉴定与功能解析 [J]. 热带作物学报, 2009, 30 (12): 1782 – 1788]

Luo D, Xu HX, Yang YJ, *et al.* Feeding behavior and oviposition preference of brown planthoppers, *Nilaparvata Lugens*, on different rice varieties under drought stress stimulated by polyethylene glycol (PEG6000) [J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2012, 26 (6): 731 – 736. [罗定, 徐红星, 杨亚军, 等. 利用 PEG6000 模拟研究干旱胁迫对褐飞虱取食和产卵的影响 [J]. 中国水稻科学, 2012, 26 (6): 731 – 736]

Mattson WJ, Haack RA. The role of drought in outbreaks of plant – eating insects [J]. *Bioscience*, 1987 (2): 110 – 118.

Scriber JM. Limiting effects of low leaf – water content on the nitrogen utilization, energy budget, and larval growth of *Hyalophora cecropia* (Lepidoptera: Saturniidae) [J]. *Oecologia*, 1977, 28 (3): 269 – 287.

Showler AT, Moran PJ. Effects of drought stressed cotton, *Gossypium hirsutum* L., on beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner) oviposition, and larval feeding preferences and growth [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2003, 29 (9): 1997.

Simpson K, Jackson GE, Grace J. The response of aphids to plant water stress-the case of *Myzus persicae* and *Brassica oleracea* var. *capitata* [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2012, 142 (3): 191 – 202.

Tan Y, Xu WY, Shang HW, *et al.* The influence of water stress on the plant-herbivore interactions [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2014, 51 (4): 871 – 880. [谭椰, 徐文彦, 商晗武, 等. 水分胁迫对植物与植食性昆虫互作的影响 [J]. 应用昆虫学报, 2014, 51 (4): 871 – 880]

Tuan SJ, Lee CC, Chi H. Population and damage projection of *Spodoptera litura* F. on peanuts *Arachis hypogaea* L. under different conditions using the age-stage, two-sex life table [J]. *Pest Management Science*, 2014, 70 (12): 1936 – 1936.

Ximénez-Embún MG, Castañera P, Ortego F. Drought stress in tomato increases the performance of adapted and non-adapted strains of *Tetranychus urticae* [J]. *Journal of Insect Physiology*, 2017a, 96: 73 – 81.

Ximénez-Embún MG, Glas JJ, Ortego F, *et al.* Drought stress promotes the colonization success of a herbivorous mite that manipulates plant defenses [J]. *Experimental and Applied Acarology*, 2017b, 73 (3 – 4): 297 – 315.

Ximénez-Embún MG, González-Guzmán M, Arbona V, *et al.* Plant-mediated effects of water deficit on the performance of *Tetranychus evansi* on tomato drought-adapted accessions [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2018, 9: 1490.

Ximénez-Embún MG, Ortego F, Castaera P. Drought stressed tomato plants triggers bottom-up effects on the invasive *Tetranychus evansi* [J]. *PLoS ONE*. 2016, 11 (1): e0145275.

Yang HY. Studies on the Effect of Water Stress and Fertilization on *Spodoptera litura* (Fabricius) and Its Potential Mechanism [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2008. [杨海燕. 水分胁迫和营养对斜纹夜蛾的影响及其机制初探 [D]. 扬州: 扬州大学, 2008]

Zhang FL, Mao CL, Li XQ, *et al.* Physiological responses of *Hevea brasiliensis* plus tree clones to drought stress [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2016, 31 (4): 67 – 72. [张凤良, 毛常丽, 李小琴, 等. 橡胶树优树无性系对干旱胁迫的生理响应 [J]. 西北林学院学报, 2016, 31 (4): 67 – 72]

Zhang FP, Zhu JH, Li L, *et al.* Effects of rubber varieties on the development and reproduction of *Eutetranychus orientali* [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2016, 37 (6): 1155 – 1160. [张方平, 朱俊洪, 李磊, 等. 橡胶品种对东方真叶螨实验种群发育及繁殖的影响 [J]. 热带作物学报, 2016, 37 (6): 1155 – 1160]

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net