

温度对东亚飞蝗取食影响及其食物利用效率研究*

涂雄兵** 高松 牙森·沙力 农向群 王广君 张泽华***

(中国农业科学院植物保护研究所 农业部生物防治重点开放实验室 北京 100081;
农业部锡林浩特草原有害生物防治重点野外科学观测试验站 内蒙古锡林浩特 026000)

Effects on eating and food utilization efficiency of *Locusta migratoria manilensis* at different temperatures. TU Xiong-Bing**, GAO Song, YASEN·Shali, NONG Xiang-Qun, WANG Guang-Jun, ZHANG Ze-Hua*** (Key Laboratory for Biological Control of Ministry of Agriculture, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; Xilinhot Key Field Station for Grassland Pest Control of Ministry of Agriculture, Xilinhot, InnerMongolia 026000, China)

Abstract The relationship between temperature and eating, and the efficiency of food conversion in *Locusta migratoria manilensis* (Meyen), was investigated using the contrast weighing method. The results show that the accumulated developmental duration was 56.9, 34.0, 21.3, 17.2, 15.0 d and total food consumption of 3rd to 5th instar nymphs was 0.85, 0.88, 0.82, 0.99 and 0.99 g respectively at 18, 21, 24, 27 and 30°C. The longevity of male adults was 90.3, 62.8, 47.0 and 38.7 d, and total food consumption was 3.62, 4.67, 4.25 and 4.26 g respectively at 21, 24, 27 and 30°C. The longevity of female adults was 95.8, 63.0, 46.3 and 40.8 d and total food consumption was 6.97, 10.48, 10.41 and 11.90 g respectively at 21, 24, 27 and 30°C. Approximate digestibility reduced with increasing temperature. The efficiency of conversion of ingested food increased in nymphs from the 3rd to 5th instar. While the approximate digestibility was significantly different ($P < 0.05$) at 18 and 30°C, temperature had no effect on the efficiency of conversion of ingested food in adult ($P > 0.05$).

Key words *Locusta migratoria manilensis*, temperature, food consumption, approximate digestibility, efficiency of conversion of ingested food

摘 要 本文采用对比称重法研究温度对东亚飞蝗 *Locusta migratoria manilensis* (Meyen) 取食及食物利用率的影响。结果表明: 3~5 龄蝗蝻在 18、21、24、27、30°C 5 个温度梯度下发育历期为 56.9、34.0、21.3、17.2、15.0 d, 总取食量为 0.85、0.88、0.82、0.99、0.99 g。在 21、24、27、30°C 4 个温度梯度下, 雄成虫寿命为 90.3、62.8、47.0、38.7 d, 总取食量为 3.62、4.67、4.25、4.26 g; 雌成虫寿命为 95.8、63.0、46.3、40.8 d, 总取食量为 6.97、10.48、10.41、11.90 g。随温度升高 3~5 龄蝗蝻近似消化力减小, 食物利用率增加; 成虫期在 18、30°C 条件下近似消化力有显著差异 ($P < 0.05$), 但不同温度下食物利用率差异不显著 ($P > 0.05$)。

关键词 东亚飞蝗, 温度, 取食量, 近似消化力, 食物利用率

东亚飞蝗 *Locusta migratoria manilensis* (Meyen) 是我国的 3 个飞蝗亚种之一, 分布于北纬 42° 以南地区^[1]。飞蝗的取食活动、发育、繁殖与温度密切相关。20 世纪 50 年代我国学者对东亚飞蝗的发生动态^[2,3]、取食特性及取

* 资助项目: 现代农业产业技术体系建设项目 (nycytx-37)、国家科技支撑计划 (2006BAD16B04-1)。

** E-mail: txb1208@163.com

*** 通讯作者, E-mail: lgbcc@263.net

收稿日期: 2009-11-13, 修回日期: 2010-01-26

食量^[4]等做过研究,而温度对东亚飞蝗取食的影响未见报道。本文主要研究了东亚飞蝗不同温度下对食物的消耗及其利用,以明确东亚飞蝗不同发育阶段的食物消耗量及其与温度的关系。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

东亚飞蝗蝗卵,采集于河北沧州,在室内孵化饲养。

1.2 仪器设备

PRX-350B-30 智能型人工气候箱,BS221S 电子天平($d = 0.1\text{ mg}$),DHG-9140A 型电热恒温鼓风干燥箱,养虫笼($l = 21\text{ cm}$, $w = 16\text{ cm}$, $h = 6\text{ cm}$),养虫盒($d_{\text{上}} = 12\text{ cm}$, $d_{\text{下}} = 6.5\text{ cm}$, $h = 6\text{ cm}$)。

1.3 蛹期和成虫期发育进度测定

将饱满的蝗卵于 27°C , L: D = 12: 12, RH = 60% 条件下孵化,以出苗后 5 ~ 7 d 的新鲜小麦叶片饲养。试验共设置 18、21、24、27、 30°C 5 个温度处理(L: D = 12: 12, RH = 60%),选择 3 龄、4 龄、5 龄、成虫各 15 头置于养虫笼中分别在不同温度条件下饲养,各 5 次重复,用加权平均法计算各龄蝗蛹发育历期和成虫寿命。

1.4 取食量测定

饲养方法同 1.3, 18、21、24、27、 30°C 5 个温度处理(L: D = 12: 12, RH = 60%),单头饲养,10 次重复,对比称重法^[4]测定日取食量,每

天测量 1 次,直至蜕皮或死亡。收集剩余小麦和蝗虫粪便, 80°C 烘干至恒重后取出称重^[5]。同龄等重对照法(即选择同一龄期蝗蛹或成虫称取鲜重后烘干至恒重,根据鲜重与干重比计算得到一个比值)得到虫体日增重干重。

1.5 近似消化力及食物利用率测定

近似消化力及食物利用率计算方法参考李鸿昌等^[6],近似消化力 $A. D. (\%) = [(\text{摄入的食物量干重} - \text{粪便量干重}) / \text{摄入的食物量干重}] \times 100$;摄入食物转换为体物质的效率(食物利用率) $E. C. I. (\%) = [\text{身体增重干重} / \text{摄入的食物量干重}] \times 100$ 。用 SAS 软件进行方差分析。由于成虫在 18°C 恒温条件下不能完成一个世代,故没有采用该温度下成虫数据。

2 结果与分析

2.1 蛹期和成虫期发育进度测定

东亚飞蝗不同温度下蝗蛹的发育历期和成虫寿命见表 1。随温度升高,东亚飞蝗蝗蛹发育历期和成虫寿命依次缩短(18°C 除外,在 18°C 恒温条件下东亚飞蝗不能完成一个世代, δ 最长寿命为 70 d, η 最长寿命为 80 d,不能完成一个完整的世代,故不采用该温度下成虫寿命数据)。3 ~ 5 龄蝗蛹在 5 个温度梯度下发育历期为 56.9、34.0、21.3、17.2、15.0 d,在 21、24、27、 30°C 下雄成虫寿命为 90.3、62.8、47.0、38.7 d,雌成虫为 95.8、63.0、46.3、40.8 d。

表 1 5 个温度下各龄蝗蛹发育历期和成虫寿命比较(d)

龄期	18°C	21°C	24°C	27°C	30°C
3 龄	12.5 ± 0.29	7.8 ± 0.20	6.0 ± 0.31	4.4 ± 0.24	3.8 ± 0.20
4 龄	14.3 ± 0.42	9.2 ± 0.31	6.3 ± 0.21	5.0 ± 0	4.2 ± 0.13
5 龄	30.1 ± 0.74	17.0 ± 0.21	9.0 ± 0.26	7.8 ± 0.25	7.0 ± 0.19
δ	—	90.3 ± 5.36	62.8 ± 2.85	47.0 ± 4.34	38.7 ± 3.35
η	—	95.8 ± 3.50	63.0 ± 2.10	46.3 ± 2.17	40.8 ± 3.97

注:表中值为平均值 $\pm$ 标准误。

2.2 东亚飞蝗取食量比较

东亚飞蝗不同龄期或成虫阶段的总取食量($F. C.$)变化规律见表 2,3 ~ 5 龄蝗蛹在上述 5 个温度下的总取食量为 0.85、0.88、0.82、

0.99、0.99 g,雄成虫在 21、24、27、 30°C 下总取食量为 3.62、4.67、4.25、4.26 g,雌成虫为 6.97、10.48、10.41、11.90 g。近似消化力($A. D.$)和利用率($E. C. I.$)不同温度下的变化规

律:在蛹期 18 ~ 27℃ 条件下随温度升高, *A. D.* 值逐渐降低; *E. C. I.* 值随温度升高而逐渐增大。成虫期 18 ~ 30℃ 之间 *A. D.* 值有显著差异 ($P < 0.05$), 但不同温度下 *E. C. I.* 值无显著差异 ($P > 0.05$)。

东亚飞蝗不同温度下日取食量随温度升高而增大, 结果见表 3。

2.3 东亚飞蝗体重变化比较

东亚飞蝗不同温度下日体重增重随温度升高而加快, 结果见表 4。

表 2 东亚飞蝗各发育阶段在 5 个温度下总取食量及消化力和利用率比较

龄期	温度	18℃	21℃	24℃	27℃	30℃
3 龄	<i>F. C.</i> (mg)	105.4 ± 10.1aA	70.8 ± 5.5cB	84.5 ± 6.2bcAB	74.3 ± 5.6cB	102.2 ± 6.9abA
	<i>A. D.</i> (%)	50.5 ± 1.6aA	39.3 ± 3.6bB	34.4 ± 1.4bcBC	29.5 ± 1.4cC	37.3 ± 0.5bBC
	<i>E. C. I.</i> (%)	243.4 ± 1.0cB	26.3 ± 3.1bcB	31.7 ± 4.7abAB	34.6 ± 1.3aA	31.8 ± 1.0abAB
4 龄	<i>F. C.</i> (mg)	157.8 ± 18.9bB	180.1 ± 16.5abAB	190.1 ± 11.5abAB	180.9 ± 12.1abAB	225.3 ± 16.9aA
	<i>A. D.</i> (%)	47.9 ± 0.5aA	37.8 ± 1.1bC	40.9 ± 2.3bABC	39.7 ± 1.9bBC	47.2 ± 0.3aAB
	<i>E. C. I.</i> (%)	24.2 ± 0.3bA	24.9 ± 1.2bA	27.5 ± 1.5aA	27.9 ± 1.0aA	27.5 ± 0.6aA
5 龄	<i>F. C.</i> (mg)	590.1 ± 72.5aA	624.1 ± 77.3aA	544.0 ± 50.9aA	734.8 ± 51.9aA	663.6 ± 75.4aA
	<i>A. D.</i> (%)	45.3 ± 1.7aA	38.2 ± 0.8cB	33.0 ± 1.2dC	33.5 ± 0.7dC	41.7 ± 0.7bAB
	<i>E. C. I.</i> (%)	15.8 ± 1.9cB	21.6 ± 0.2bA	22.1 ± 1.2bA	21.2 ± 0.6bA	25.6 ± 0.8aA
♂	<i>F. C.</i> (mg)	—	3 623.7 ± 445.7aA	4 673.8 ± 347.9aA	4 245.6 ± 267.4aA	4 260.2 ± 349.0aA
	<i>A. D.</i> (%)	—	37.2 ± 1.4aA	36.8 ± 1.1aAB	31.3 ± 1.0bB	32.5 ± 1.3bAB
	<i>E. C. I.</i> (%)	—	9.3 ± 1.2aA	7.6 ± 0.8aA	7.3 ± 0.8aA	6.4 ± 1.2aA
♀	<i>F. C.</i> (mg)	—	6 971.0 ± 1 088.2bA	10 482.2 ± 1 170.0abA	10 414.4 ± 1 096.0abA	11 897.7 ± 781.0aA
	<i>A. D.</i> (%)	—	39.9 ± 1.2aA	36.2 ± 1.4abA	36.7 ± 0.5abA	33.6 ± 2.9bA
	<i>E. C. I.</i> (%)	—	8.6 ± 1.6aA	7.6 ± 1.3aA	8.0 ± 1.7aA	8.6 ± 1.8aA

注:表中值为平均值 ± 标准误;成虫期寿命较长,由于受交配产卵的影响,本文在计算时保留了交配或产卵当天的数据,产卵时将卵干重计入体重,体重的变化以相邻两天为准,文中数据都是逐日累计后取平均值;每行数据小写字母表示 $\alpha = 0.05$ 水平,大写字母表示 $\alpha = 0.01$ 水平。(下表同)。

表 3 东亚飞蝗各发育阶段在 5 个温度下日取食量比较(干重,mg)

龄期	18℃	21℃	24℃	27℃	30℃
3 龄	8.4 ± 0.8cC	9.1 ± 0.7cC	14.1 ± 1.0bB	16.9 ± 1.3bB	26.9 ± 1.3aA
4 龄	11.0 ± 1.3dD	19.6 ± 1.8cCD	30.2 ± 1.8bBC	36.2 ± 2.4bB	53.6 ± 4.0aA
5 龄	19.6 ± 2.4cC	36.7 ± 4.5cBC	60.5 ± 5.6bB	92.3 ± 6.7aA	94.2 ± 10.1aA
♂	—	40.1 ± 4.9cC	74.4 ± 5.5bB	90.3 ± 5.7abAB	110.1 ± 9.0aA
♀	—	72.8 ± 13.9cC	166.4 ± 18.6bB	224.9 ± 23.7bAB	291.6 ± 19.2aA

表 4 东亚飞蝗各发育阶段在 5 个温度下日增重比较(干重,mg)

龄期	18℃	21℃	24℃	27℃	30℃
3 龄	2.0 ± 0.2cC	2.5 ± 0.2cC	4.7 ± 0.3bB	5.6 ± 0.5bB	8.0 ± 0.6aA
4 龄	3.1 ± 0.5cD	4.8 ± 0.4cCD	7.7 ± 0.5bBC	9.8 ± 0.6bB	14.6 ± 1.2aA
5 龄	3.1 ± 0.6dD	8.1 ± 1.0cCD	13.3 ± 1.3bBC	19.2 ± 1.5aAB	23.2 ± 2.7aA
♂	—	4.0 ± 1.4bA	5.2 ± 0.8abA	7.4 ± 0.8aA	7.4 ± 1.0aA
♀	—	6.9 ± 1.6bcB	12.7 ± 3.1bcAB	17.5 ± 4.1abAB	24.3 ± 3.9aA

3 讨论

分析温度与蝗虫取食的关系对其生长发育^[7~10]及种群动态^[11,12]有重要的作用,本文研究表明东亚飞蝗日取食量与温度呈正相关,与 Kaufmann^[13]结果一致; Muthukrishnan 和 Delvi^[14]推测低温时蝗虫的消化力强,随温度升高而减弱,近似消化力与温度呈负相关。本文结果表明蛹期与 Muthukrishnan 和 Delvi^[14]的推测一致,成虫期不同温度梯度消化力、食物利用率变化无显著差异。

18℃ 恒温条件下成虫寿命为 70 ~ 80 d,不能完成交配、产卵,文中没有采纳该部分数据;自然条件下,变温环境(18℃ 均温)能否完成一个世代有待于进一步的试验验证。

参 考 文 献

- 1 朱恩林. 中国东亚飞蝗发生与治理. 北京: 中国农业出版社, 1999. 5 ~ 6.
- 2 陈永林. 中国主要蝗虫及蝗灾的生态学治理. 北京: 科学出版社, 2007. 82 ~ 88.
- 3 马世骏. 东亚飞蝗在中国的发生动态. 昆虫学报, 1958, **8** (1): 1 ~ 40.
- 4 钦俊德, 郭郢, 郑竺英. 东亚飞蝗的食性和食物利用以及不同食料植物对其生长和生殖的影响. 昆虫学报, 1957, **7** (2): 143 ~ 166.
- 5 王仁忠, 祖元刚. 羊草种群生物量和能量生殖分配的研究. 植物研究, 2001, **21** (2): 299 ~ 303.
- 6 李鸿昌, 王征, 陈永林. 典型草原三种蝗虫成虫期的食物消耗量及其利用的初步研究. 生态学报, 1987, **7** (4): 331 ~ 337.
- 7 Davey P. M. Quantities of food eaten by the desert locust, *Schistocerca gregaria* (Forsk.), in relation to growth. *Bull. Ent. Res.*, 1954, **45**: 539 ~ 551.
- 8 Rodell C. F. A grasshopper model for a grassland ecosystem. *Ecology*, 1977, **58** (2): 228 ~ 245.
- 9 Wahla M. A., Khan M. R. A comparative consumption of *Sorghum foliage* by the hoppers of *Acrotylus humbertianus* Saussure (Acrid.: Orthoptera). *Pakistan J. Zool.*, 1980, **12** (1): 145 ~ 148.
- 10 David R. H., Richard A. R. Further comments on analysis of covariance in insect dietary studies. *Entomol. Exp. Appl.*, 1993, **69**: 263 ~ 275.
- 11 Clissold F. J., Sanson G. D., Read J. The paradoxical effects of nutrient ratios and supply rates on an outbreaking insect herbivore, the Australian plague locust. *J. Anim. Ecol.*, 2006, **75**: 1 000 ~ 1 013.
- 12 Stige L. C., Chan K. S., Zhang Z. B., et al. Thousang-year-long Chinese time series reveals climatic forcing of decadal locust dynamics. *PNAS*, 2007, **104** (41): 16 188 ~ 16 193.
- 13 Kaufmann T. Biological studies of some Bavarian Acridoidea (Orthoptera), with special reference to their feeding habits. *Ann. Ent. Soc. Am.*, 1965, **58**: 791 ~ 800.
- 14 Muthukrishnan J., Delvi M. R. Effects of ratio levels on food utilization in the grasshopper *Poecilacerus pictus*. *Oecologica (Berl.)*, 1974, **16**: 227 ~ 236.