温度对稻绿蝽生长发育和繁殖的影响*

胡夏雨** 陈 敏 施哲逸 周文武 祝增荣***

（浙江大学农业与生物技术学院，杭州 310058）

摘 要 【**目的**】研究不同温度对稻绿蝽 *Nezara viridula*（Linnaeus）生长发育和繁殖的影响，构建其在不同温度下的生命表，为稻绿蝽的监测和生态治理发展提供理论依据。【**方法**】将实验室饲养两代以上的稻绿蝽置于温度为 18、20、23、26、28 和 30 ℃的培养箱中，观察稻绿蝽每日存活状态、交配和产卵等行为，并计算不同温度下稻绿蝽各龄期存活率、发育历期、有效积温及繁殖力相关参数。【**结果**】卵期、1-5 龄期、产卵前期、若虫期和未成熟期的发育起始温度分别为 13.17、13.88、14.13、14.15、10.15、10.96、16.37、10.53、11.24 ℃。在一定温度范围内，温度的升高会缩短稻绿蝽各阶段的历期。在 28 ℃时，世代发育历期最短，为 68.25 d；在 20 ℃时，世代发育历期最长，为 141.00 d。稻绿蝽在不同的温度下均有成虫羽化，但在 18 ℃和 30 ℃的温度下成虫的羽化率分别为 1.18%和 1.43%，显著低于其他温度的羽化率。23 ℃和 26 ℃时，稻绿蝽分别有最高的交配频率和产卵频率。26 ℃时的内禀增长率最高为 0.078。稻绿蝽在 20 ℃发育到成虫的比例最高，在 26 ℃繁殖率最高。26 ℃时雌虫平均产卵量最多，为 172.3 粒；28 ℃时的雌虫平均产卵量最小，为 80 粒。不同温度条件下成虫体色也有区别，在 20 ℃时，全绿型体色占比最小，为 30.86%；在 28 ℃全绿型体色占比最大，为 82.98%。【**结论**】温度升高会加速稻绿蝽的发育并缩短世代发育历期；稻绿蝽更适应在低温下生长发育，较高温下繁殖。

关键词 稻绿蝽；温度；发育速率；龄期死亡率，生命表；有效积温

Effects of temperature on the development and fecundity of *Nezara viridula* (Hemiptera: Pentatomidae)

HU Xia-Yu** CHEN Min SHI Zhe-Yi ZHOU Wen-Wu ZHU Zeng-Rong***

(College of Agriculture and Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract **[Objectives]** To investigate the effects of different temperatures on the growth, development, and reproduction of the green stink bug *Nezara viridula* (Linnaeus) in order to provide a theoretical basis for the monitoring and ecological management of this pest. **[Methods]** Green stink bugs were reared for more than two generations before being placed in incubators set at different temperatures (18, 20, 23, 26, 28, 30 ℃) to observe their daily survival, mating and oviposition rates. The survival rates, development duration, effective accumulated temperature, and fecundity, of each temperature treatment group were measured and compared. **[Results]** The threshold temperatures of the egg, 1st instar, 2nd instar, 3rd instar, 4th instar, 5th instar, nymphs, pre-mature and pre-oviposition, stages were 13.17, 13.88, 14.13, 14.15, 10.15, 10.96, 16.37, 10.53 and 11.24 ℃, respectively. Within a certain temperature range, an increase in temperature shortened the duration of each developmental stage. The duration of a single generation was shortest (68.25 d) at 28 ℃. The longest duration of a generation, 141.00 d, was recorded at 20 ℃. Adults emerged at all temperatures, but emergence rates at 18 ℃ and 30 ℃ (1.18% and 1.43%, respectively) were significantly lower than at the other four temperatures. The highest mating and oviposition frequencies were recorded at 23 ℃ and 26 ℃, respectively. The highest innate capacity for increase (0.078) was recorded at 26 ℃. The proportion of emerged adults was highest at 20 ℃, and the highest reproductive rate was recorded at 26 ℃. The highest average number of eggs laid per female (172.3) was recorded at 26 ℃, whereas the lowest (80) was recorded at 28 ℃.

*资助项目 Supported projects：浙江省“三农六方”科技协作项目（CTZB-F190625LWZ-SNY1(1)）

**第一作者 First author，E-mail：hu1xia2yu3@outlook.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：zrzhu@zju.edu.cn

收稿日期 Received：2022-01-18；接受日期 Accepted：2022-04-14

Temperature affected adult body color. The proportion of the all-green phenotype was lowest (30.86%) at 20 ℃ and highest (82.98%) at 28 ℃. **[Conclusion]** Higher temperatures accelerate the development of the green stink bug and shorten its generation time. Low temperatures are more suitable for the growth of the green stink bug but higher temperatures are more suitable for its reproduction.

Key words *Nezara viridula*, temperature, developmental rates, survival rates, lifetable, effective accumulated temperature

稻绿蝽 *Nezara vridula*（Linnaeus）是一种寄主范围极广的刺吸式害虫，目前在全球均有分布，主要寄主有水稻、柑橘、豆科植物、茄科植物和部分十字花科植物，在我国主要为害豆科植物的豆荚和灌浆期水稻的稻穗（Todd，1989；陈菊红等，2018）。为害稻穗时直接穿刺稻穗取食，形成的伤口使水稻更易感染病原菌；刺吸孔会造成谷粒上出现斑点；为害严重时导致空穗（齐会会等，2010）。稻绿蝽在湖北、广西、贵州、海南和江苏等我国中南部省份均有分布和为害，应当引起足够重视（周世春和印懋馨，1984；吴嗣勋和周斌，1992；龙胜锦，2000；齐会会等，2010；李雁宁，2019）。

昆虫作为变温动物，体内大多数的生理反应受到温度影响与调控（王艳敏等，2010）。随着全球气候变化，昆虫的生长发育、繁殖、地理分布和寄主植物的选择和适应性均发生着变化（杜尧等，2007）。Awasthi（1969）发现低温会显著降低稻绿蝽的神经分泌物质从而影响其神经活性；Musolin 和 Numata（2003）认为秋冬交际时的高温可能会使得稻绿蝽滞育困难；Yukawa 等（2007）发现从 1960 年开始，随着全球变暖，稻绿蝽在日本的分布范围不断向北扩张。

稻绿蝽种群生态学已在国外有一定研究。Portilla 等（2015）发现新鲜鸡蛋清配置的人工饲料比干鸡蛋清配置的饲料更利于稻绿蝽发育和繁殖；Kariya（1961）计算了稻绿蝽各个龄期的发育起始温度和有效积温，但没有研究温度对其繁殖的影响；Werdin González 和 Ferreo（2008）研究了菜豆饲养稻绿蝽的生长发育和繁殖情况，但仅设置了 28 ℃一个温度。为了明确温度对稻绿蝽生物学特性的影响，本文对稻绿蝽在 6 个温度下的生长、发育、繁殖、产卵、交配和成虫体色等进行研究。通过构建种群生命表，为稻绿蝽田间预测预报和生物防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

稻绿蝽由广西农业科学院植物保护研究所提供，采集于广西壮族自治区南宁市武鸣县（108°2′57″ E；23°14′23″ N），试验时将连续继代两代以上，选择生长发育基本一致的稻绿蝽作为供试虫源。

1.2 实验方法

将初产的卵块放置于垫有厨房用纸的塑料培养皿（内径 9 cm）中，上方开孔用 3 cm^2 纱布（60 目）封口；并将培养皿置于光温培养箱（宁波江南仪器厂生化培养箱 SPM-50）中，培养箱温度设置为 18、20、23、26、28 和 30 ℃，误差±0.5 ℃；光周期为 16L∶8D，相对湿度为 65%±5%。待孵化后，加入新鲜经去离子水洗净的四季豆（购自浙江明康汇农业公司）供食。3 龄期时，移入新饲养容器（直径：11 cm，高：6 cm，体积：300 mL）。挑选同一温度下羽化时间基本一致的雌成虫和雄成虫配对并放置在新配对盒内（4 cm×4 cm×5 cm）并在底部铺上与盒底大小相同的厨房用纸。以上处理均每 2-3 日更换一次四季豆；每个温度不少于 3 个卵块，且总卵数≥100 粒。每日观察不同温度下卵的孵化情况、各虫态的发育个数和死亡个数，并计算各虫态的发育历期、成虫每日存活率和每日产卵率等，直至其全部自然死亡。

1.3 数据分析

数据采用 DPS 8.04 进行统计分析，有效积温线性拟合和发育速率 Logistic 非线性拟合均使用该软件内置麦夸特法程序；使用 OriginLab 2021 绘图。使用传统生物学方法计算生命表（Li，1983）。

2　结果与分析

2.1　温度对稻绿蝽生长发育的影响

在不同温度下稻绿蝽各龄期、产卵前期和全世代的发育历期与发育速率见图 1。卵期、1-4 龄期、若虫期、未成熟期发育速率用逻辑斯蒂曲线拟合，5 龄期和产卵前期用一般线性拟合。结果表明，卵期、2 龄和 3 龄的发育速率随着温度增加而上升，发育历期分别为 4.00、4.02 和 4.94 d；当温度低于 28 ℃时，1 龄、4 龄、若虫期和未成熟期前的发育速率随着温度而上升，在 28 ℃时发育速率最高，发育历期分别为 2.83、6.70、31.32 和 37.20 d，30 ℃时发育速率开始下降；在 26 ℃时，5 龄期的发育速率最高，发育历期仅为 11.28 d，在 28 ℃时产卵前期的发育速率最快，发育历期为 28.75 d。

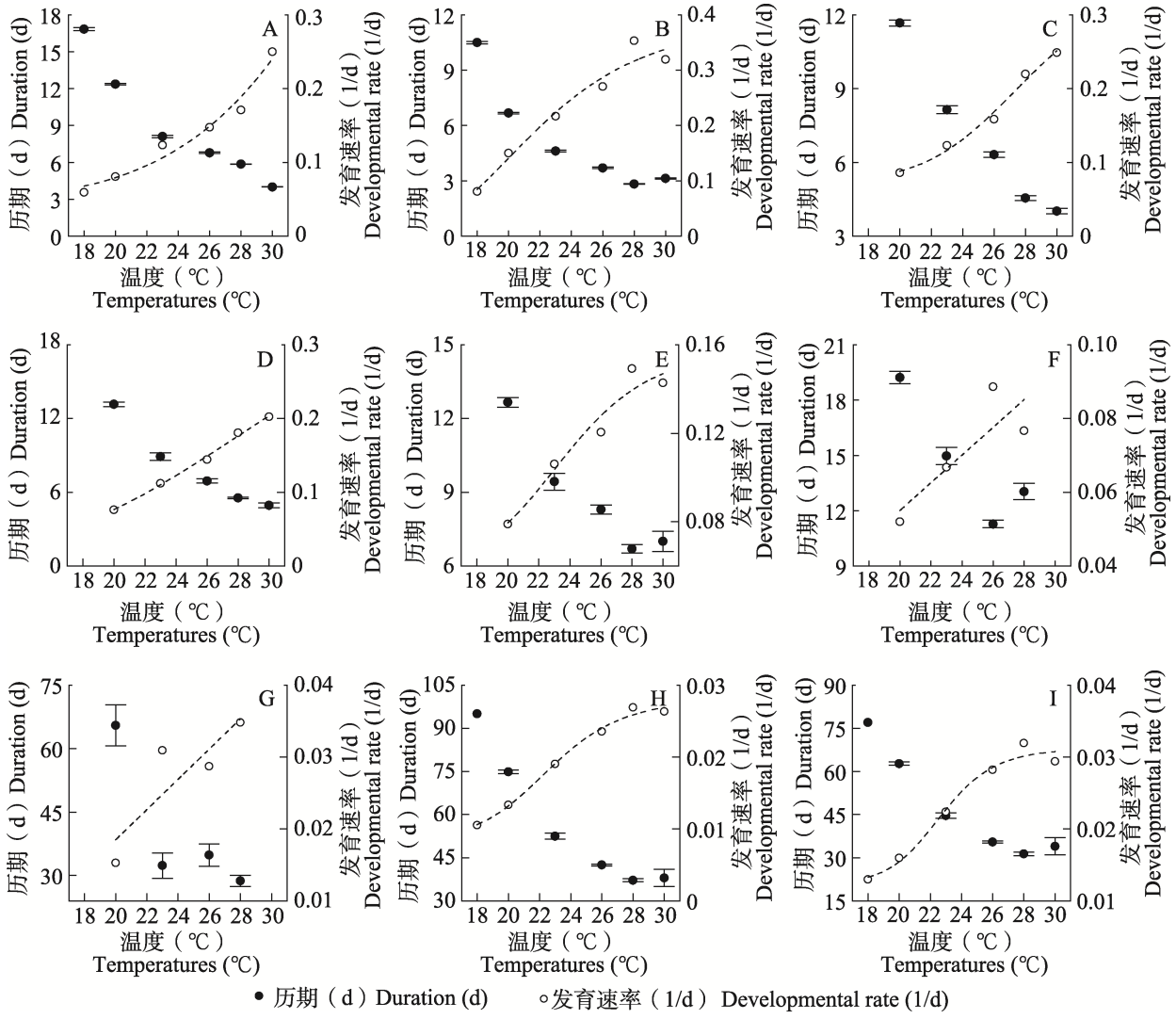


图 1　不同温度下各个龄期或阶段的发育历期和发育速率

Fig. 1　The duration and developmental rates of viral stages at different temperatures

A. 卵期；B. 1 龄期；C. 2 龄期；D. 3 龄期；E. 4 龄期；F. 5 龄期；G. 产卵前期；H. 若虫期；I. 未成熟期。
A. Egg; B. 1st instar; C. 2nd instar; D. 3rd instar; E. 4th instar; F. 5th instar; G. Preoviposition; H. Nymphs; I. Pre-mature.

2.2　稻绿蝽发育起始温度和有效积温

稻绿蝽各个龄期有效积温和发育起始温度如表 1 所示。稻绿蝽卵期、1-5 龄期、若虫期、未成熟期和产卵前期的发育起始温度分别为 13.17、13.88、14.13、14.15、10.15、10.96、10.53、

11.24 和 16.37 ℃;对应的有效积温分别为 81.99、42.75、69.31、77.07、124.25、174.86、577.92、643.65 和 232.47 日·度。

2.3 温度对稻绿蝽各个龄期存活率和体色的影响

稻绿蝽各个龄期存活率和全绿型所占比例如表 2 所示。在 20 ℃到 28 ℃均可达到 20%以上的成虫羽化率,其中 20 ℃成虫羽化率最高为 44.79%，18 ℃和 30 ℃成虫羽化率较低分别为 1.18%和 4.43%；随着温度的升高，全绿型成虫所占比例也在升高，28 ℃全绿型所占比例高达 82.98%，约为 20 ℃全绿型比例的 2.7 倍。

表 1 各个龄期有效积温和发育起始温度

Table 1 Developmental threshold temperature and effective accumulated temperature for different developmental stages of *Nezara viridula*

发育阶段 Development stages	发育起始温度（℃） Threshold temperature (℃)	有效积温（日·度） Accumulate temperature (degrss·days)	发育速率模型 Model of development rates	R^2
卵 Egg	13.17±0.43	81.99±5.84	V= 1.23/(1+$e^{5.23-0.13T}$)	0.96
1 龄 1st instar	13.88±0.35	42.75±2.95	V=0.37/(1+$e^{6.20-0.29T}$)	0.96
2 龄 2nd instar	14.13±0.68	69.31±6.46	V=0.74/(1+$e^{4.83-0.14T}$)	0.99
3 龄 3rd instar	14.15±0.23	77.07±2.42	V=0.25/(1+$e^{5.36-0.22T}$)	0.99
4 龄 4th instar	10.15±1.21	124.25±12.83	V=0.17/(1+$e^{4.44-0.22T}$)	0.94
5 龄 5th instar	10.96±1.20	174.89±20.06	V=-0.071+0.006 1T	0.98
若虫期 Nymph	10.53±0.76	577.92±46.90	V=0.033/(1+$e^{5.48-0.27T}$)	0.97
未成熟期 Pre-mature	11.24±0.47	643.65±36.11	V=0.030/(1+$e^{5.25-0.26T}$)	0.99
产卵前期 Preoviposition	16.37±0.81	232.47±45.40	V=-0.054+0.036T	0.94

表 2 各个龄期存活率和成虫全绿所占比例

Table 2 The survival rate and percentages of green-type

发育阶段 Development stages	进入各发育期的比例（%） Number of individuals at the beginning of different stages (%)					
	18 ℃	20 ℃	23 ℃	26 ℃	28 ℃	30 ℃
卵 Egg	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1 龄 1st instar	48.82	80.73	64.23	79.59	73.59	70.00
2 龄 2nd instar	10.59	75.00	53.66	73.98	72.73	69.29
3 龄 3rd instar	1.76	60.94	47.15	48.47	65.80	39.29
4 龄 4th instar	1.76	57.29	36.18	42.86	59.74	25.00
5 龄 5th instar	1.76	54.17	27.64	35.20	45.89	2.86
成虫羽化比例 Percentages of adults emerged	1.18	44.79	23.98	29.08	21.21	1.43
全绿所占比例 Percentages of green-type	–	30.86	67.80	68.42	82.98	–

2.4 温度对稻绿蝽交配繁殖的影响

稻绿蝽繁殖力相关参数见表 3。根据世代净增值率、内禀增长率、周限增长率及种群加倍时间等参数说明在 26 ℃时稻绿蝽的繁殖力最强，对应参数分别为 73.15、0.078、1.082 和 8.83 d；

表 3　稻绿蝽在不同温度下的繁殖力参数

Table 3　The population parameters of *Nezara viridula* at different temperatures

种群参数 Population parameters	温度（℃） Temperatures (℃)			
	20	23	26	28
世代净增值率（R_0）Net reproductive rate (R_0)	49.41	58.34	73.15	6.68
世代平均周期（T/d）Mean generation period (T/d)	84.25	63.56	54.71	32.91
内禀增长率（r_m）Innate capacity for increase (r_m)	0.046	0.064	0.078	0.058
周限增长率（λ）Finite rate of increase (λ)	1.047	1.067	1.082	1.059
种群加倍时间（t, d）Population doubling time (t, d)	14.97	10.84	8.83	12.01
雌成虫比例（%）Female proportion (%)	51.85	55.93	50.88	46.81
交配次数 Mating times	6.33±1.02	8.92±1.34	7.95±1.07	3.00±0.60
平均产卵次数 Number of oviposition	3.08±0.38	2.81±0.41	3.67±0.39	2.00±0.58
产卵量 Number of eggs laid per female	128.70±15.77	145.00±22.92	172.33±20.80	80.00±17.49
卵块大小 Number of eggs per mass	42.00±3.67	47.47±4.78	48.80±3.76	45.00±8.09

在 20 ℃时内禀增长率和周限增长率最低分别为 0.046 和 1.047，种群加倍时间最长为 14.97 d；在 28 ℃时世代净增值率和世代平均周期最低分别为 6.68 d 和 32.91 d；雌成虫比例在各个温度下都接近 50%，相差不大。

不同温度下稻绿蝽种群年龄-特征存活曲线（l_x）和种群年龄-特征繁殖曲线（m_x）如图 2 所示。20 ℃处理下种群特征存活率曲线（l_x）在 0-90 d 都较平缓，90 d 以后从 60%迅速下降；23 ℃处理下种群特征存活率曲线（l_x）随时间平缓下降；26 ℃处理下种群特征存活率曲线（l_x）在 0-40 d 都较平缓，40 d 以后从 80%迅速下降；28 ℃处理的种群特征存活率曲线（l_x）下降较其他温度更迅速。所有温度种群年龄-特征繁殖曲线（m_x）的峰值均出现曲线后期，且 28 ℃的高峰值最大，20 ℃的高峰最小。

3　讨论

温度是昆虫生长发育过程中重要的非生物因素之一。在极低温时，昆虫会停止发育（王艳敏等，2010）；过高的温度不能提高昆虫发育速率，可能还会抑制昆虫的发育速率（Bai *et al.*，2021）。本研究结果表明，一定温度范围内稻绿蝽的发育速率随着温度的升高而加快，但是雌虫寿命和世代历期会缩短，且部分发育阶段在高温时会出现发育速率减低的现象。这一结果与温度对其它半翅目昆虫的生长发育的影响结果一致。如对微小花蝽 *Orius minutus*（丁尧等，2016）、牧场盲蝽 *Lygus pratensis*（李燕等，2015）、巨膜长蝽 *Jakowleffia setulosa*（何嘉等，2014）及悬铃木方翅网蝽 *Corythucha ciliata*（纪锐等，2011）等的研究。

有效积温和发育起始温度在生产中有广泛应用，如预测害虫迁飞和昆虫发育代数估算等（李馥葆等，1985；纪锐等，2011）。本研究计算了稻绿蝽各个龄期的发育起始温度和有效积温，与 Kariya（1961）计算得到数据相比，卵期和低龄期若虫相差不大，但高龄期和全若虫期有一定差别。出现差异可能原因为种群差异和实验条件不同。在浙江一带，稻绿蝽在 4-5 月越冬代发育成熟并交配，6 月产卵，7-11 月羽化，然后进入冬天滞育。考虑高温会减缓发育速率的因素，结合本地气象资料和本试验得到的有效积温和发育起始温度推算，稻绿蝽在杭州发生 1-2 代，与实际情况相吻合。

昆虫在不同温度下羽化率各不相同，且在极高和极低温时羽化率和繁殖力都会下降（冯宏祖等，2007）。本试验发现，18 ℃和 30 ℃时稻绿蝽的羽化率低于 1.50%，20 ℃羽化率最高为 44.79%；通过综合比较繁殖力参数发现，稻绿蝽

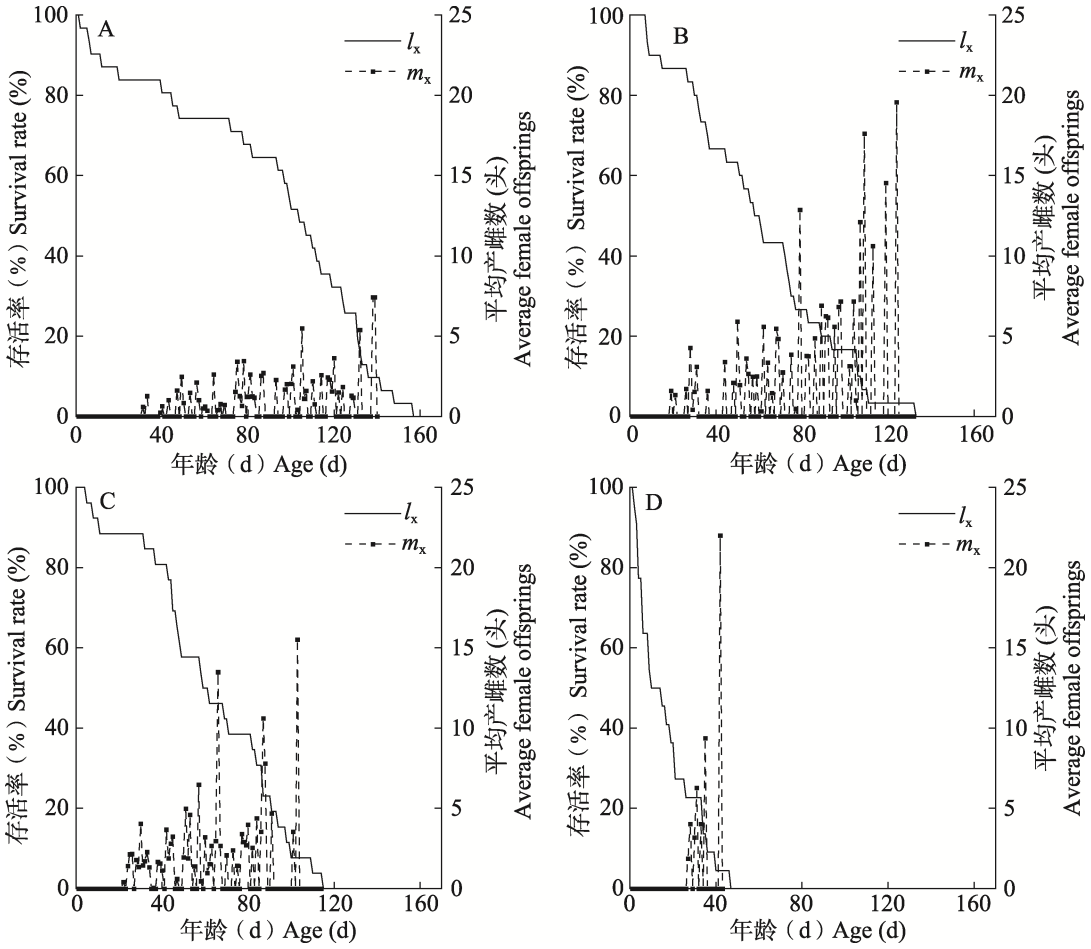


图 2　不同温度下种群年龄-特征存活曲线（l_x）和种群年龄-特征繁殖曲线（m_x）

Fig. 2　Age-specific survival rate (l_x) and age-specific fecundity of total population (m_x)

A. 20 ℃; B. 23 ℃; C. 26 ℃; D. 28 ℃.

在 26 ℃繁殖力最高，30 ℃时繁殖力最低。这与悬铃木方翅网蝽在 15 ℃和 33 ℃这两种极端温度羽化率和繁殖力均较低的情况一致（纪锐等，2011）。韭菜迟眼蕈蚊 *Bradysia odoriphaga* 和番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* 羽化和繁殖最适温度均为同一温度（梅增霞等，2004；李栋等，2019）。但本试验结果表明，稻绿蝽分别在 20 ℃和 26 ℃有最高的羽化率和繁殖力，这与异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 羽化和繁殖最适温度不同相类似（陈洁等，2008）。“温度分离”的现象可以在未来针对不同昆虫的发育阶段和行为学展开进一步研究。

稻绿蝽有 4 种体色，即全绿型、黄肩型、点斑型和橘黄色型（周世春和印懋馨，1984）。本研究发现随着温度升高，全绿型比例上升。烟蚜茧蜂随着温度升高，下腹板和前胸也会由褐色变成黄色（季正端和毕章宝，1995）。章士美和胡梅操（1982）发现越冬代稻绿蝽一般为全绿型，认为全绿型稻绿蝽个体更加耐寒。这一结果与本研究观察到的结果不一致，可能是因为体色除了受到温度影响外还受光照、地理环境和种群特异性等因素影响，未来可以对稻绿蝽体色变化进行深入研究。

了解稻绿蝽生命周期有助于结合稻绿蝽生长发育和繁殖特点推断关键的防治节点。此外，研究有效积温和发育起始温度为稻绿蝽种群动态预测预报、种群动态模型的建立等究提供了重要的生物学基础。本文相邻温度间隔较大，稻绿蝽生长发育和繁殖的最适温度和临界温度没有精确找到；雄虫的发育情况对雌虫产卵的影响

也亟待研究，在未来的研究中可以进一步深入探讨。

参考文献 (References)

Awasthi VB, 1969. Effect of temperature on the neurosecretory activity in *Nezara viridula* Linn. (Heteroptera; pentatomidae). *Experientia*, 25(11): 1164–1166.

Bai YL, Quais MK, Zhou WW, Zhu ZR, 2021. Consequences of elevated temperature on the biology, predation and competitiveness of two mirid predators in the rice ecosystem. *Journal of Pest Science*, 95(2): 901–916.

Chen J, Qin QJ, Sun WY, He YZ, 2008. Influence of temperature on experimental population of *Harmonia axyridis* (Pallas). *Journal of Plant Protection*, 35(5): 5. [陈洁, 秦秋菊, 孙文琰, 何运转, 2008. 温度对异色瓢虫实验种群的影响. 植物保护学报, 35(5): 405–409.]

Chen JH, Bi R, Huang JM, Cui J, Shi SS, 2018. Analysis on the different effects of different stink bugs infestations on growth and yield of soybean. *Soybean Science*, 37(4): 585–589. [陈菊红, 毕锐, 黄佳敏, 崔娟, 史树森, 2018. 不同蝽类为害对大豆生长发育及产量影响的差异性分析. 大豆科学, 37(4): 585–589.]

Ding Y, Yang QF, Li Q, Jiang CX, Wang HJ, 2016. Effects of temperature on the development and reproduction of *Orius minutus* (Hemiptera: Anthocoridae). *Acta Entomologica Sinica*, 59(6): 647–653. [丁尧, 杨群芳, 李庆, 蒋春先, 王海建, 2016. 温度对微小花蝽生长发育和繁殖的影响. 昆虫学报, 59(6): 647–653.]

Du Y, Ma CS, Zhao QH, Ma G, Yang HP, 2007. Effects of heat stress on physiological and biochemical mechanisms of insects: A literature review. *Acta Ecological Sinica*, 27(4): 1565–1572. [杜尧, 马春森, 赵清华, 马罡, 杨和平, 2007. 高温对昆虫影响的生理生化作用机理研究进展. 生态学报, 27(4): 1565–1572.]

Feng HZ, Wang L, Dong HQ, 2007. Life tables of the laboratory population of *Coccinella undecimpunctata* L. at different temperatures. *Acta Entomologica Sinica*, 50(3): 259–263. [冯宏祖, 王兰, 董红强, 2007. 十一星瓢虫在不同温度下的实验种群生命表. 昆虫学报, 50(3): 259–263.]

He J, Gao LY, Zhang R, Chen L, Zhu MM, 2014. Effects of temperature on the growth, development and reproduction of *Jakowleffia setulosa* (Hemiptera: Lygaeidae). *Acta Entomologica Sinica*, 57(8): 935–942. [何嘉, 高立原, 张蓉, 陈林, 朱猛蒙, 2014. 温度对巨膜长蝽生长发育与繁殖的影响. 昆虫学报, 57(8): 935–942.]

Ji R, Xin ZJ, Lou YG, 2011. Effects of temperature on growth, development, survival and reproduction of *Corythucha ciliate* (Say) (Hemiptera: Tingidae). *Journal of Plant Protection*, 38(2): 153–158. [纪锐, 辛肇军, 娄永根, 2011. 温度对悬铃木方翅网蝽生长发育、存活和繁殖的影响. 植物保护学报, 38(2): 153–158.]

Ji ZD, Bi ZB, 1995. Studies on biology of *Aphidius gifuensis* III──Effects of temperature on body color of adult wasp and variation of some morphological characteristics. *Journal of Agricultural Univerity of Hebei*, 18(2): 1–5. [季正端, 毕章宝, 1995. 烟蚜茧蜂生物学研究III──温度对成蜂体色的影响及某些形态特征的变异. 河北农业大学学报, 18(2): 1–5.]

Kariya H, 1961. Effect of temperature on the development and the mortality of the southern green stink bug, *Nezara viridula* and the oriental green stink bug, *N. antennata*. *Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology*, 5(3): 191–196.

Li D, Li XW, Ma L, Fu KY, Ding XH, Guo WC, Lü YB, 2019. Effects of temperature on the growth, development and reproduction of the tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Acta Entomologica Sinica*, 62(12): 1417–1426. [李栋, 李晓维, 马琳, 付开赟,丁新华, 郭文超, 吕要斌, 2019. 温度对番茄潜叶蛾生长发育和繁殖的影响. 昆虫学报, 62(12): 1417–1426.]

Li FB, Lei ZR, Wang YL, 1985. Application of effective accumulated temperature rule to migratory insects. *China Plant Protection*, 6(1): 53–55. [李馥葆, 雷仲仁, 王燕琳, 1985. 有效积温法则对迁飞性昆虫的应用. 中国植保导刊: 6(1): 53–55.]

Li SS, 1983. An investigation of ecological relationships: Experimental studies of the interactions between the sowthistle aphid, *Hyperomyzus lactucae* and its parasite, *Aphidius sonchi*. Doctoral dissertation. Canberra: The Australian National University.

Li Y, Yang A, Feng LK, Wang PL, 2015. Effects of different temperatures on the development and reproduction of *Lygus pratensis*. *Plant Protection*, 41(1): 59–62. [李燕, 杨奥, 冯丽凯, 王佩玲, 2015. 不同温度对牧草盲蝽种群生长发育和繁殖的影响. 植物保护, 41(1): 59–62.]

Li YN, 2019. Lianyungang first intercepted nystag moth and the green stink bug. *China Quarantine Inspection*, 35(6): 13. [李雁宁, 2019.连云港首次截获安纽夜蛾和稻绿蝽. 中国检验检疫, 35(6): 13.]

Long SJ, 2000. Damage of the green stink bug in hybrid rice seed production field and its control countermeasures. *Seed*, 20(1): 72. [龙胜锦, 2000. 稻绿蝽在杂稻制种田中发生为害及防治对策. 种子, 20(1): 72.]

Mei ZX, Wu QJ, Zhang YJ, Hua L, 2004. Life tables of the laboratory population of *Bradysia odoriphaga* (Diptera:

Mycetophilidae) at different temperatures. *Acta Entomologica Sinica*, 47(2): 219–222. [梅增霞, 吴青君, 张友军, 花蕾, 2004. 韭菜迟眼蕈蚊在不同温度下的实验种群生命表. 昆虫学报, 47(2): 219–222.]

Musolin DL, Numata H, 2003. Timing of diapause induction and its life-history consequences in *Nezara viridula*: Is it costly to expand the distribution range? *Ecological Entomology*, 28(6): 694–703.

Portilla M, Snodgrass G, Streett D, Luttrell R, 2015. Demographic parameters of *Nezara viridula* (Heteroptera: Pentatomidae) reared on two diets developed for *Lygus* spp. *Journal of Insect Science*, 15(1): 165.

Qi HH, Zhang YH, Han EB, Chen QF, 2010. A preliminary study on the fluctuation of the green stink bug under light. China Society of Plant Protection. Hebi, Henan: 805. [齐会会, 张云慧, 韩二宾, 程登发, 2010. 稻绿蝽的灯下消长动态研究初报. 中国植物保护学会学术年会. 鹤壁: 805.]

Todd JW, 1989. Ecology and behavior of *Nezara viridula*. *Annual Review of Entomology*, 34: 273–292.

Wang YM, Wu JX, Wan FH, 2010. Response of insects to extreme high and low temperature stresses. *Journal of Enviromeantal Entomology*, 32(2): 6. [王艳敏, 仵均祥, 万方浩, 2010. 昆虫对极端高低温胁迫的响应研究. 环境昆虫学报, 32(2): 6.]

Werdin González JO, Ferrero AA, 2008. Tabla de vida y fecundidad de *Nezara viridula* var. *Smaragdula* (Hemiptera: Pentatomidae) alimentada sobre frutos de *Phaseolus vulgaris* L. (Fabaceae). *Idesia* (*Arica*), 26(1): 9–13.

Wu SX, Zhou B, 1992. Prediction and integrated control of the green stink bug. *Hubei Agricultural Sciences*, 3(9): 21–24. [吴嗣勋, 周斌, 1992. 昆虫对极端高低温胁迫的响应研究. 湖北农业科学, 3(9): 21–24.]

Yukawa J, Kiritani K, Gyoutoku N, Uechi N, Yamaguchi D, Kamitani S, 2007. Distribution range shift of two allied species, *Nezara viridula* and N. *antennata* (Hemiptera: Pentatomidae), in Japan, possibly due to global warming. *Applied Entomology and Zoology*, 42(2): 205–215.

Zhang SM, Hu MC, 1982. The variation of the green stink bug (*Nezara viridula*). *Entomological Knowledge*, 19(4): 47–48. [章士美, 胡梅操, 1982. 关于稻绿蝽的变型问题. 昆虫知识, 19(4): 47–48.]

Zhou SC, Yin MX, 1984. Studies on the green stink bug (*Nezara viridula*). *Journal of Plant Protection*, 2(11): 133–136. [周世春, 印懋馨, 1984. 稻绿蝽的研究. 植物保护学报, 2(11): 133–136.]