

嗜卷书虱的实验生态研究*

王进军 赵志模 李隆术

(西南农业大学植保系农业部昆虫学及害虫控制工程重点实验室, 重庆 400716)

摘要 在8种温度(17.5~35℃)及5种相对湿度(50%、60%、70%、80%和90%)条件下, 以全麦粉、酵母粉、脱脂奶粉(10:1:1)为食料, 系统研究了嗜卷书虱 *Liposcelis bostrychophila* Badonnel 实验种群生态学特性。获得了该虫在不同温、湿度条件下生长发育、生存和繁殖的一系列特性和参数, 包括各虫态发育历期、存活率、发育起点温度、有效积温和平均繁殖力等, 并建立了发育速率、存活率及繁殖力的理论模型。

关键词 嗜卷书虱, 发育历期, 有效积温, 平均繁殖力, 存活率, 理论模型

嗜卷书虱 *Liposcelis bostrychophila* Badonnel 俗称书虱、啮虫, 隶属于啮虫目、书虱科、书虱属。广泛存在于多种储藏物中, 大量发生时可造成严重的经济损失^[1]。但长期以来一直被认为是储粮中的次要害虫而被忽略^[2]。随着气调储粮技术的广泛应用以及储粮环境发生变化, 其危害性才逐渐受到了人们的重视^[3~5]。过去关于嗜卷书虱实验生态的研究均集中在欧洲, 该虫主要为害居民家庭中的食品, 而在我国乃至整个亚洲主要分布于谷物粮仓中^[6~8], 况且 Turner (1994) 指出嗜卷书虱地理种群间存在着极大的变异性, 因而其生活习性、生态学特性与欧洲种群相比大相径庭。此外, 至今对嗜卷书虱种群的发育、存活及繁殖的有关参数或模型等尚无系统研究。据此特开展了这方面的研究, 旨在为今后嗜卷书虱种群系统管理模型的建立提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

嗜卷书虱虫源系采自西南农大仓虫生态室模拟“双低”储粮的实仓中, 并在实验室28℃, 75%~80%RH条件下以全麦粉、酵母粉、脱脂奶粉(10:1:1)为食料, 不予光照, 饲养多代获得的纯系。

1.2 温、湿度设置

试验共设置了8种温度: 17.5℃、20℃、22.5℃、25℃、27.5℃、30℃、32.5℃及35℃, 温度幅差均控制在±0.5℃以内。相对湿度以饱和食盐水在干燥器内调节至75%左右。

实验设置的5种相对湿度分别为50%、60%、70%、80%及90%。以KOH溶液在干燥

* 国家自然科学基金资助项目(39470113)的部分内容

1997-10-29 收稿, 1997-12-22 收修改稿

器内调节相对湿度,幅差控制在 $\pm 1\%$ 以内。温度在电热恒温箱中调节至 $(28 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 。

1.3 试验处理及记载

在直径为 30 mm 垫有黑色滤纸的培养盒中接入若干成虫,于 28°C 、75%RH 下产卵 24 h 后移去成虫,将粘附有卵的黑色滤纸剪成若干小片,每一小片上只保存 1 粒卵,单独分装于小培养盒中(20 mm $\times$ 7 mm)在不同的处理条件下培养;卵孵化后加入少量食料继续培养,直至成虫产卵完毕全部死亡为止。每一处理挑卵 50 粒,重复 3 次。从移卵次日起,逐日观察各处理的虫态变化日期、存活和死亡数、产卵量等。随时补充和更换食料。试验所得数据按项目进行加权平均,在计算机上用“STATGRAPHIC”软件进行方差分析、显著性测验及模型拟合等。

2 结果与分析

2.1 不同温、湿度条件下嗜卷书虱的生长发育

2.1.1 不同温、湿度条件下各虫态的发育历期:在 17.5°C 条件下嗜卷书虱不能完成世代发育。其余 7 种温度下的发育历期见表 1。方差分析表明温度对各期发育历期均有极显著的影响($P < 0.01$)。在 $20 \sim 35^\circ\text{C}$,卵期、若虫历期以及世代历期均随温度的升高而缩短。2 龄若虫及产卵前期在 27.5°C 时最短,温度继续升高后略有延长。

在 50%RH 条件下嗜卷书虱不能完成世代发育。如表 2 所示,在 28°C 下 4 种相对湿度间对卵期、若虫期及整个世代历期的影响也存在着明显的差异($P < 0.05$)。但对 1 龄若虫、4 龄若虫及产卵前期的发育历期影响不太明显。整个世代发育历期在 95%RH 条件下最短,60%RH 条件下最长。

2.1.2 嗜卷书虱各虫态及世代发育起点和有效积温:采用李典谟等(1986)^[9]提出的直接最优法计算各虫态发育起点温度(C)及有效积温(K)。

$$C = \left(\sum_{i=1}^n T_i D_i^2 - D \sum_{i=1}^n D_i T_i \right) / \left(\sum_{i=1}^n D_i^2 - n D^2 \right)$$

$$K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(T_i - C) D_i]$$

式中, D_i 为第 i 组下的发育历期; T_i 为第 i 组的温度; n 为温度处理组数; C 为发育起点温度; K 为有效积温。用上两式计算出的各虫态及世代发育起点温度及有效积温结果见表 3。

2.1.3 不同温度条件下嗜卷书虱的发育模型:采用王如松等(1982)^[10]提出的如下模型来讨论温度与发育速率间的关系:

$$V(T) = \frac{K}{1 + \exp[-\gamma(T - T_0)]} \left[1 - \exp\left(-\frac{T - T_L}{\delta}\right) \right] \left[1 - \exp\left(-\frac{T_H - T}{\delta}\right) \right]$$

其中, K 为高温下潜在的饱和发育速率,等于最适发育速率 $V(T_0)$ 的 2 倍; γ 为发育速率随温度变化的指数增长率; T_L 、 T_H 各为最低、最高临界发育温度, T_0 为最适发育温度; δ 为边界层的宽度,其相对大小反映昆虫对极端温度的不同忍耐程度。

根据表 1 转化成的不同温度下各虫态发育速率资料,采用麦夸特(Marquardt)阻尼最小二乘法迭代,求解出的发育速率与温度关系曲线的上述 6 个参数见表 4。表 4 同时列出了各模

型的 χ^2 值。统计测验表明所有拟合的曲线理论值与实际值显著符合 ($P>0.05$)，说明所有拟合出的模型很好地描述了嗜卷书虱各虫态及世代发育速率与温度的关系。另外用这个模型求出的各虫态及世代发育起点温度与前面用直接最优法求出的发育起点温度基本一致。

表 1 不同温度下嗜卷书虱各虫态及世代发育历期 (d, $x \pm sx$)*

Table 1 Development periods (d, $x \pm s$) of <i>Liposcelis bostrychophila</i> at 7 temperatures with 75%RH							
Stages	20℃	22.5℃	25℃	27.5℃	30℃	32.5℃	35℃
卵期 ^①	13.83 0.90	13.35 0.47	12.62 0.20	8.79 0.28	8.18 0.19	6.40 0.13	4.75 0.29
若虫期 ^②	28.06 0.94	24.70 0.28	22.09 0.07	15.59 0.36	12.77 0.71	11.58 0.29	10.05 0.24
1 龄若虫 ^③	7.95 0.95	7.42 0.06	7.08 0.69	5.94 0.31	3.25 0.30	2.71 0.19	2.08 0.07
2 龄若虫 ^④	6.88 0.24	5.31 0.14	4.98 0.38	3.58 0.35	3.65 0.12	3.84 0.09	4.30 0.24
3 龄若虫 ^⑤	6.20 0.21	5.73 0.29	4.68 0.40	3.95 0.45	3.00 0.08	2.77 0.06	2.29 0.15
4 龄若虫 ^⑥	7.12 0.28	6.23 0.08	5.35 0.81	2.48 0.55	2.87 0.25	2.26 0.21	1.38 0.30
产卵前期 ^⑦	17.90 3.20	10.30 1.09	4.87 0.34	3.34 0.57	3.50 0.32	4.02 0.05	4.32 0.56
全世代 ^⑧	59.80 2.57	46.69 1.53	39.65 0.33	27.73 0.48	24.46 0.23	21.98 0.33	19.12 0.98

RH=75%。①Egg, ②Nymph, ③1st stadium, ④2nd stadium, ⑤3rd stadium, ⑥4th stadium, ⑦Pre-oviposition, ⑧Whole generation, 表 2~表 6 同此 also for Table 2~Table 6

表 2 不同湿度下嗜卷书虱各虫态及世代发育历期 (d, $x \pm s$)*

Table 2 Development periods (d, $x \pm sx$) of <i>Liposcelis bostrychophila</i> at 4 humidities with 28℃				
Stages	60%	70%	80%	90%
卵期 ^①	12.59 2.88	10.67 1.67	8.78 0.73	8.62 0.89
若虫期 ^②	22.74 0.63	16.87 0.45	16.43 0.35	16.30 0.49
1 龄若虫 ^③	6.60 0.75	6.18 0.65	6.05 0.42	6.11 0.27
2 龄若虫 ^④	6.11 0.64	3.85 0.63	3.72 0.11	3.74 0.47
3 龄若虫 ^⑤	5.77 0.73	3.84 0.29	3.52 0.30	3.26 0.21
4 龄若虫 ^⑥	4.26 0.72	3.00 0.31	3.14 0.37	3.19 0.48
产卵前期 ^⑦	4.79 0.35	4.81 0.54	3.27 0.65	3.50 0.32
全世代 ^⑧	40.12 1.87	32.35 0.67	28.47 0.82	28.42 0.91

* $T = (28 \pm 0.5)^\circ\text{C}$

表 3 嗜卷书虱各虫态和全世代的发育起点温度及有效积温

Table 3 Developmental threshold and total effective temperature of <i>Liposcelis bostrychophila</i>								
	卵期 ^①	若虫期 ^②	1 龄若虫 ^③	2 龄若虫 ^④	3 龄若虫 ^⑤	4 龄若虫 ^⑥	产卵前期 ^⑦	全世代 ^⑧
C (℃)	13.59	13.03	17.10	7.04	12.24	17.10	17.27	13.44
K (日度) day-degree	118.65	226.15	43.09	90.82	54.69	31.28	51.00	414.05

2.2 不同温、湿度条件下嗜卷书虱的存活情况

2.2.1 不同温、湿度条件下嗜卷书虱各虫态及世代存活率：各虫态的比较而言，卵的孵化及 1 龄若虫的存活对温度的变化表现得尤为敏感，特别是对较低温度（20℃、22.5℃）表现出

的反映；高龄若虫及产卵前期的存活对温度的变化不太敏感。世代存活率以 27.5℃、30℃ 条件下最高（82.91% 及 81.14%， $P<0.05$ ），温度低于 27.5℃ 或高于 30℃ 世代存活率均显著下降（表 5）。另外在供试的最低温 17.5℃ 条件下有极少数的卵也能孵化，但孵化后的若虫均不能羽化为成虫。

表 4 嗜卷书虱发育速率与温度关系模型的 6 个参数

Table 4 Parameters of model describing temperature-dependent developmental rate of <i>L. bostrychophila</i>							
Stages	K	γ	T_0	T_L	δ	T_H	x^2
卵期 ^①	0.2930	0.1370	30.7458	13.5613	0.1591	39.6492	0.00132
若虫期 ^②	0.1485	0.1243	29.9441	13.8931	0.1864	39.5180	0.00008
1 龄若虫 ^③	0.6550	0.1291	30.3196	17.0242	0.1428	39.0904	0.00101
2 龄若虫 ^④	0.4523	0.0610	27.4938	7.1200	1.0222	38.9944	0.00625
3 龄若虫 ^⑤	0.6779	0.0981	31.3386	12.3488	0.1529	39.1622	0.00080
4 龄若虫 ^⑥	0.8799	0.1614	30.5758	17.3055	0.0911	39.1785	0.03755
产卵前期 ^⑦	0.5667	0.0837	27.6001	17.6977	4.9965	39.9139	0.00963
全世代 ^⑧	0.0684	0.1549	27.6044	11.7000	0.3900	39.9158	0.00001

同温度的效应相类似，低湿及过高湿度均不利于嗜卷书虱的存活，而且卵孵化率及 1 龄若虫存活率对湿度的变化也表现得最为敏感。全世代存活率在 80% RH 条件下最高（表 6）。另外在 50% RH 条件下嗜卷书虱各虫态均不能够存活。

表 5 不同温度下嗜卷书虱各虫态及世代存活率(%)*

Table 5 Survivorship (%) of <i>Liposcelis bostrychophila</i> at 7 temperatures with 75% RH							
Stages	20℃	22.5℃	25℃	27.5℃	30℃	32.5℃	35℃
卵期 ^①	59.31	69.10	74.21	92.56	88.33	78.36	71.68
若虫期 ^②	62.98	76.15	81.72	89.58	91.86	82.31	69.83
1 龄若虫 ^③	76.66	87.32	90.93	92.54	93.51	89.15	80.00
2 龄若虫 ^④	91.67	92.18	93.33	96.80	98.24	96.23	94.67
3 龄若虫 ^⑤	96.30	96.30	96.30	100	100	95.94	95.38
4 龄若虫 ^⑥	93.06	98.24	100	100	100	100	96.67
产卵前期 ^⑦	91.07	93.50	96.30	100	100	96.78	94.74
全世代 ^⑧	34.02	49.20	58.40	82.92	81.14	60.35	48.03

* RH= 75%

表 6 不同湿度下嗜卷书虱各虫态及世代存活率(%)*

Table 6 Survivorship (%) of <i>Liposcelis bostrychophila</i> at 4 humidities with 28℃				
Stages	60%	70%	80%	90%
卵期 ^①	69.30	82.46	93.21	85.80
若虫期 ^②	47.38	72.20	90.95	87.35
1 龄若虫 ^③	64.78	78.95	96.52	92.30
2 龄若虫 ^④	87.23	96.67	94.23	96.42
3 龄若虫 ^⑤	88.89	96.30	100	98.15
4 龄若虫 ^⑥	94.32	98.24	100	100
产卵前期 ^⑦	92.40	98.74	100	97.32
全世代 ^⑧	27.97	58.79	84.77	72.94

* $T = (28 \pm 0.5)^\circ\text{C}$

2.2.2 世代存活率与温、湿度间的关系模拟：在试验温、湿度范围内，卵孵化率、若虫存活率及世代存活率随温、湿度均呈开口向下的抛物线变化趋势。世代存活率 Y 与温度 T 间的关系可用 Wack 等（1981）推荐的酶动力学方程模拟， Y 与相对湿度 x 间的关系可用二次抛物线方程拟合，其关系式分别为：

$$Y = \frac{0.0144\exp(293.949/T)}{1 + \exp(-11.5424 + 371.1520/T)} \quad (R^2 = 0.9454^{**}, P < 0.01)$$
$$Y = -645.9874 + 17.6026x - 0.1066x^2 \quad (R^2 = 0.9698^{**}, P < 0.01)$$

2.3 不同温、湿度条件下成虫的繁殖情况及寿命

在相对湿度为 75%，温度 20~35℃，老熟若虫羽化为成虫后经过 17.90~3.34 天开始产卵。每雌日均卵量一般在 0.2~2.5 粒。每雌总产卵量及产卵历期与温度的关系见表 7。嗜卷书虱成虫在 7 种温度下的每雌总产卵量 Y 与温度 t 间的关系可用二次抛物线方程描述：

$$Y = -152.6999 + 15.6349t - 0.2723t^2 \quad (R^2 = 0.8392^{**}, P < 0.01)$$

表 7 不同温度下嗜卷书虱的繁殖情况及成虫寿命 (x ± sx)*

Table 7 Oviposition (x ± sx) and longevity (x ± sx) of *Liposcelis bostrychophila* at 7 temperatures with 75% RH

T (℃)	20	22.5	25	27.5	30	32.5	35
每雌产卵量 (粒)①	51.88 ± 9.42	55.40 ± 8.04	64.63 ± 7.24	74.70 ± 3.25	74.64 ± 2.95	64.93 ± 4.38	60.98 ± 7.12
产卵历期 (天)②	59.87 ± 10.15	72.09 ± 6.61	76.16 ± 6.55	81.45 ± 2.05	84.36 ± 1.73	73.78 ± 3.23	64.02 ± 5.25
成虫寿命天③	80.43 ± 10.20	82.08 ± 5.67	85.16 ± 4.73	86.35 ± 4.02	89.36 ± 3.85	78.76 ± 4.05	60.12 ± 7.12

* RH=75%。①Mean no. of eggs per female, ②Oviposition periods (d), ③Mean longevity (d), 表 8 同此 same for Table 8

当温度为 28℃ 时，每雌产卵量及产卵历期均以 80% RH 条件下最大或最长，60% RH 条件下上述两个指标均为最小（表 8）。每雌总产卵量 Y 与相对湿度 x 间的关系可表达为：

$$Y = -498.2044 + 14.1672x - 0.0876x^2 \quad (R^2 = 0.9914^{**}, P < 0.01)$$

表 8 不同湿度条件下嗜卷书虱的繁殖情况及成虫寿命 (x ± sx)*

Table 8 Oviposition (x ± sx) and longevity (x ± sx) of *Liposcelis bostrychophila* at 4 humidities with 28℃

RH (%)	60	70	80	90
每雌总产卵量 (粒)①	35.78 ± 6.58	65.93 ± 5.74	72.58 ± 2.53	67.68 ± 6.98
产卵历期 (天)②	54.38 ± 9.54	78.36 ± 5.17	86.21 ± 2.77	81.01 ± 2.39
成虫寿命 (天)③	60.25 ± 3.50	84.32 ± 5.04	94.21 ± 2.87	87.02 ± 3.12

* T= (28 ± 0.5)℃

无论在何种条件下，嗜卷书虱成虫完成产卵后大多在 1 周内逐渐死亡，因此温、湿度对成虫寿命的影响同对产卵历期影响的变化趋势基本一致。

3 讨论

Turner 等（1988）的研究发现嗜卷书虱若虫和成虫能在 18℃ 以下的温度存活，但成虫不能产卵，或卵几乎不能孵化。Rees 等（1990）的研究表明，当仓内相对湿度低于 60% 时，各种书虱均很难存活。Turner（1994）综合比较了国外对嗜卷书虱的研究后得出，该虫生长发育的最适温度为 31℃，相对湿度在 80% 左右。Leong 等（1995）^[11]分析了国外对书虱科其它

害虫的研究, 结果发现书虱科害虫生长发育及繁殖均要求高湿环境, 且最适温度也在 31℃ 左右。从本研究结果看出, 嗜卷书虱中国种群对温度的要求略低于热带、亚热带种群, 是适于中温、高湿环境的种类。这在我国南方大部分地区气温均可满足其生长发育和繁殖的要求, 加之南方比较潮湿, 因此容易建立种群。该类害虫在中国发育和繁殖的最适宜条件为: 温度 27.5~30℃、相对湿度 80% 左右。

据作者调查发现, 嗜卷书虱及其近缘种嗜虫书虱 *Liposcelis entomophila* E. 不仅在普通粮仓中发生量大, 而且在目前广泛采用的气调“双低”储粮中同样发生普遍, 已上升为气调储粮中的优势种群; 许多研究发现常规药剂以及常规的防治方法很难彻底防除它们。这类害虫的为害对气调储粮技术造成了极大的威胁; 另外它们不但能传播病菌, 而且大量发生时往往造成储粮水分增高、温度上升乃至发热霉变。最近的研究还表明嗜卷书虱对人体具有致敏作用^[12], 直接威胁着人们的健康, 值得警惕。

致谢 承英国伦敦大学的 Bryan Turner 博士鉴定嗜卷书虱学名, 特致谢忱!

参 考 文 献 (References)

- McFarlane J A. Damage to milled rice by Psocids. Tropical Stored Products Information, 1982, 44: 3~10
- Turner B D. Forming a clear view of *L. bostrychophilus*. Environmental Health, 1987, 95 (5): 9~13
- Leong E C W, Ho S H. Effects of carbon dioxide on the mortality of *Liposcelis bostrychophila* Bad. and *Liposcelis entomophila* (End) (Psocoptera: Liposcelidae). J. Stored Prod. Res., 1995, 31: 185~190
- Rees D P, Walker A J. The effect of temperature and relative humidity on population growth of three *Liposcelis* species (Psocoptera: Liposcelidae) infesting stored products in tropical countries. Bull. Ent. Res., 1990, 80: 353~358
- Rees D. Tiny insects become big problem. Stored Grain Australia, 1994a, 1&5
- Mills J T, Sinha R N, Demianyk C J. Feeding and multiplication of a psocid *Liposcelis bostrychophilus* Badonnel (Psocoptera: Liposcelidae) on wheat, grain screenings and fungi. J. Econ. Ent., 1992, 85 (4): 1 453~1 462
- Shires S W. Observations on *Liposcelis bostrychophilus* Badonnel (Psocoptera). Tropical Stored Products Information, 1982, 44: 11~14
- Turner B D. *Liposcelis bostrychophila* (Psocoptera: Liposcelidae), a stored food pest in the UK. International Journal of Pest Management, 1994, 40 (2): 179~190
- 李典谟, 王莽莽. 快速估计发育起点及有效积温法的研究. 昆虫知识, 1986, 23 (4): 184~187
- 王如松, 兰仲雄, 丁岩钦. 昆虫发育速度与温度关系的数学模型研究. 生态学报, 1982, 2 (1): 47~57
- Leong E C W, HO S H. Life cycle of *Liposcelis entomophila* (Psocoptera: Liposcelidae) and a culturing regime for liposcelids. Bull Ento. Res., 1995, 85: 510~506
- Turner B D, Staines N, Brostoff J, et al. Allergy to psocids. (poster) International Conference on Insect Pests in the Urban Environment (Ed. K. B. Wildey). 1996, Edinburgh

AN ECOLOGICAL STUDY ON THE LABORATORY POPULATION OF PSOCID, *LIPOSCELIS BOSTRYCHOPHILA* BADONNEL (PSOCOPTERA: LIPOSCELIDIDAE)

Wang Jinjun Zhao Zhimo Li Lungshu

(Department of Plant Protection, Southwest Agricultural University, Chongqing 400716)

Abstract An ecological study on the laboratory population of psocid, *Liposcelis bostrychophila* B., was carried out on a diet composed of whole wheat flour, yeast and skimmed milk powder (10:1:1) at 8 levels of temperatures ranging from 17.5°C to 35°C, as well as 5 humidities ranging from 50 to 90% RH. The parameters for development, survival and fecundity of the psocid laboratory population were obtained by means of statistics analysis in various rearing experiments. The results showed that the temperature lower than 20°C and relative humidity less than 60% RH had adverse influence on survival. Within the range of 20~35°C, the mean development period of a generation was 59.8~19.1 days, the theoretical developmental threshold and the total effective temperature were 13.45°C and 414.05 day-degree. The average numbers of eggs laid per female was 51.9~74.7. The highest generation survival rate was recorded at 27.5°C, while the lowest at 20°C. Within the range of 60%~90% RH, the shortest developmental duration at different stages was at 90% RH, while the highest survival rate and fecundity were observed at 80% RH. Consequently, the optimum temperature and relative humidity for its growth and reproduction were 27.5~30°C and 80% RH. Finally, theoretical models for developmental speed, survival rate and fecundity were suggested.

Key words *Liposcelis bostrychophila* Badonnel, developmental duration, total effective temperature, fecundity, survival rate, theoretical models