

温度和培养体积对大型溞种群动态和两性生殖影响的研究

孟 琼^{1,2} 邓道贵^{2,3} 杜 浩² 封妮莎² 杨 茜² 梁静静²

(1. 上海海洋大学生命科学与技术学院, 上海 201306; 2. 淮北煤炭师范学院生命科学学院, 淮北 235000;

3. 中国科学院水生生物研究所, 淡水生态与生物技术国家重点实验室, 武汉 430072)

摘要:研究了 5 个培养体积 (50、100、200、400、1000 mL) 和 2 个温度 (20、25℃) 下大型溞 (*Daphnia magna* Straus) 种群动态和两性生殖的变化, 结果表明: (1) 在相同培养体积下, 随温度升高, 大型溞首次抱卵时间缩短、首次产幼溞时间提前。在相同温度下, 大型溞首次抱卵体长随培养体积的增大而增大。20℃和 25℃下, 1000 mL 组大型溞首次抱卵体长分别是 (2.54 ± 0.02) mm 和 (2.71 ± 0.01) mm。(2) 在一定时间内, 大型溞种群数量快速增加。但在较小培养体积下大型溞种群增长明显受到抑制。20℃和 25℃下 1000 mL 培养体积组最大种群数量是 2152 ind./1000 mL 和 3085 ind./1000 mL, 分别约为 50 mL 组的 4 倍和 13 倍。培养体积与大型溞最大种群数量间存在显著相关性 ($P < 0.01$, $n = 15$)。 (3) 所有种群实验组均产生雄体, 且雄体数量随种群数量的增加而相应增加。20℃下 1000 mL 组产生的雄体数量明显高于其他培养体积组, 最大比例可达 36%, 且第一次产幼溞即出现雄性。雄体数量与大型溞最大种群数量之间呈显著的相关性 (20℃: $P < 0.01$, $n = 15$; 25℃: $P < 0.05$, $n = 15$)。 (4) 20℃和 25℃下, 1000 mL 组大型溞累计产生卵鞍分别为 814 和 359 个, 且均由母溞后代形成。而其他体积组仅产生少量卵鞍或不产卵鞍, 且所产卵鞍均由培养时的母溞形成。20℃和 25℃下 1000 mL 组所产卵鞍的空卵鞍率分别达 61.18% 和 99.16%。实验期间, 20℃、1000 mL 组所产生的卵鞍中, 含休眠卵的比例均在 20% 以上。

关键词:大型溞; 种群动态; 雄性; 卵鞍; 休眠卵

中图分类号: Q958.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2009)06-1160-08

大型溞 (*Daphnia magna* Straus) 属节肢动物门、甲壳纲、枝角类, 是常见的浮游甲壳动物, 是淡水食物链中不可缺少的组成成分^[1]。因其具有营养丰富、生殖量高、易培养等特点也是鱼类苗种培育中活饵料的理想对象。有关大型溞生长与生殖方面的研究已有较多的报道, 主要集中在温度、光照、食物条件及种群密度等环境条件的影响上^[2-6]。但关于该溞在人工培养条件下种群动态的生殖方式转变方面的资料尚不多见。

枝角类的生活史一般由两性生殖和孤雌生殖交替进行。如溞属种类在环境条件适宜时 (如适宜的种群密度、温度、光周期、充足的食物数量和质量) 行孤雌生殖, 后代均由孤雌生殖雌体组成, 而当环境条件不适宜时, 孤雌生殖转变为两性生殖, 产生雄体和两性生殖雌体 (Sexual female)^[7]。一旦交配完成, 两性生殖雌体受精, 两性生殖完成, 导致休眠卵

形成。休眠卵通常位于卵鞍 (Ephippium) 内。也有报道认为蚤状溞 (*Daphnia pulex* Leydig) 孤雌生殖雌体在没有受精的情况下可以直接产生休眠卵^[8]。

休眠卵质量的好坏是影响其孵化率的重要因素, 直接关系到能否快速形成高密度种群的基础, 对水产养殖中的活体饵料培育十分重要。有报道在自然水体底泥中获得的枝角类休眠卵孵化率较低, 不到 10%^[9], 其原因可能与空卵鞍的较高比例有关^[10]。本文报道了温度和培养体积对大型溞种群动态、雄体的产生以及休眠卵形成的影响, 探讨大型溞两性生殖机制及休眠卵形成的质量, 为水产养殖中持续快速大规模培养枝角类饵料提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料 大型溞种采自淮河水域。经分离鉴定后, 在实验室 20℃智能光照培养箱中暂养半

收稿日期: 2008-02-26; 修订日期: 2009-01-19

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30840025); 淡水生态与生物技术国家重点实验室开放基金 (2007PB02); 安徽省教育厅自然科学基金项目 (2006JK228B) 资助

作者简介: 孟琼 (1983—), 女, 汉族, 安徽淮北人; 硕士研究生; 主要研究方向为水域生态学。E-mail: joanmeng47@163.com

通讯作者: 邓道贵, E-mail: dengdg@263.net

年以上。取自同一母溞的新生幼溞作为实验溞。用煮沸的过滤池塘水做培养液。

食物为用水生 4 号培养基养成的斜生栅藻 (*Scenedesmus obliquus* Kütz),在 25 的人工气候箱中充气培养。

1.2 实验方法 实验分别在 20、25 的智能光照培养箱中进行,光照时间为 L D = 12 12,光照强度为 8000 lx。实验设立 5 个培养体积:50、100、200、400、1000 mL,每个培养体积设 3 个重复。食物密度为 5×10^5 cells/mL。每个烧杯中放入 30 只幼溞 (出生后不超过 12h)。每个温度和培养体积的实验幼溞均来自于同一母溞。另外设立单独培养组,50 mL 烧杯中 (培养液为 50 mL)放入 1 只幼溞,设 15 个重复。实验期间,每天更换培养液,记录大型溞种群数量、首次抱卵时间、首次产幼溞时间、首次抱卵体长以及大型溞的雄体个数和卵鞍数。在显微镜下鉴别大型溞的雌、雄体,体视显微镜下测量大型溞的体长 (即从头部顶端到壳刺基部的长度)以及检查卵鞍内是否含有休眠卵及休眠卵个数。

1.3 瞬时增长率 按照下列公式计算瞬时增长率^[11]。

$$r = (\ln N_2 - \ln N_1) / t, \quad t = t_2 - t_1$$

N_t 为第 t 天的种群数量,根据实验实际观察情况 $t=2$ 。依据两天之间观察的种群数量, r 值可能是负值,正值或 0。

2 结 果

2.1 培养体积和温度对大型溞生长发育和种群动态的影响

实验结果显示,大型溞种群数量呈现由小逐渐增大至最大而后逐渐减小的趋势 (图 1)。在 20、1000 mL 培养体积下,平均种群数量在第 25 天达到最大值 (1921.7 ind./1000 mL,即 1.92 ind./mL),第 27 天开始逐渐下降,至第 29 天下降至 1721 ind./1000 mL (1.72 ind./mL)。在 25 下,平均种群数量在各培养体积下基本在第 23 天达到最大值 (1000 mL 组第 25 天达到最大值),之后开始逐渐下降。

在相同温度下,除 50 mL 相对滞后外,其他培养体积下大型溞首次抱卵时间与首次产幼溞时间差异较小 (表 1)。在 25 下,50 mL 群体首次产幼溞时间较其他组推迟 1d,而较 50 mL 单个培养推迟 0.4d。在 20 下,50 mL 群体培养首次产幼溞时间为 12d,较其他组推迟 2.5d,其他各个培养体积下首次产幼溞的时间基本相同,为 9.5d。

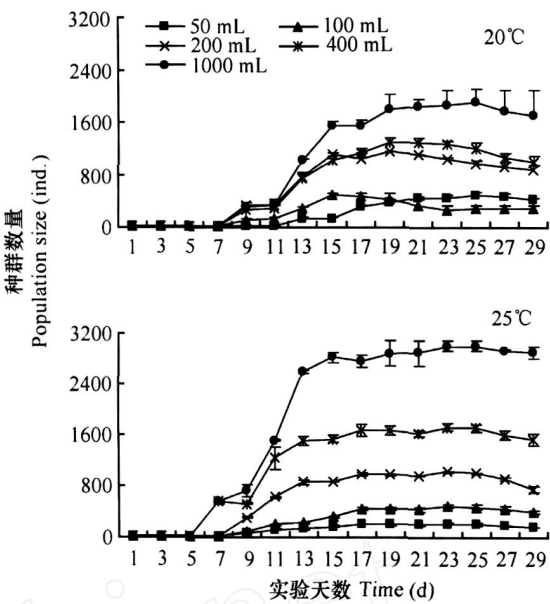


图 1 在 2 种温度下培养体积对大型溞种群动态的影响
Fig. 1 Effect of culture volumes on population dynamics of *Daphnia magna* under two temperatures (A vertical bar shows one standard deviation)

在两个温度下,大型溞最大种群数量均出现在 1000 mL 培养体积组,且随培养体积的减小而下降 (表 1)。25 下,50、100、200、400、1000 mL 下平均最大种群数量分别为 223.3 ind./50 mL、500.3 ind./100 mL、1027.7 ind./200 mL、1728.7 ind./400 mL、2997 ind./1000 mL。20 下,50、100、200、400、1000 mL 下平均最大种群数量分别为 509 ind./50 mL、501.7 ind./100 mL、1156.3 ind./200 mL、1297 ind./400 mL、1921.7 ind./1000 mL。在不同培养体积下,大型溞单位体积最大种群密度基本呈相反的趋势。如 20 下,50 mL 群体组单位体积最大种群密度为 10.18 ind./mL,而 1000 mL 组为 1.92 ind./mL (表 1)。统计分析显示,20 和 25 下大型溞最大种群数量与培养体积之间均呈极显著相关性 ($P < 0.01, n = 15$) (图 2)。

在相同温度下,大型溞首次抱卵体长基本随培养体积的增大而增大。在 20 和 25 下,1000 mL 组大型溞首次抱卵体长分别为 (2.54 ± 0.02) mm 和 (2.72 ± 0.01) mm (表 1)。观察发现,实验至第 29 天,各组母溞体长出现明显差异,培养体积越大,个体体长越长,如 25 下,50、100、200、400、1000 mL 组中母溞体长分别为 (2.66 ± 0.01) 、 (2.84 ± 0.01) 、 (3.11 ± 0.12) 、 (3.32 ± 0.04) 、 (3.54 ± 0.01) mm,而 50 mL 单个培养组母溞体长明显大于群体,为 (4.38 ± 0.14) mm (表 1)。

表 1 在 2 个温度与 5 个培养体积下大型溞种群参数的比较

Tab. 1 Comparison on population parameters of *Daphnia magna* in five culture volumes under two temperatures

	20						25					
	个体		群体				个体		群体			
培养体积 Culture volumes (mL)	50	50	100	200	400	1000	50	50	100	200	400	1000
首次抱卵时间 Mature time (d)	5.2	8.5	4.9	4.9	4.8	4.8	4.3	5.3	4.7	4.7	4.6	4.6
首次产幼溞时间 First brood time (d)	8.8	12	9.5	9.5	9.5	9.5	7.6	8.0	7.1	7.1	6.7	6.7
首次抱卵的体长 Mature body length (mm)	2.65 ± 0.21	2.49 ± 0.01	2.34 ± 0.09	2.43 ± 0.04	2.51 ± 0.03	2.54 ± 0.02	2.38 ± 0.32	2.11 ± 0.02	2.25 ± 0.00	2.45 ± 0.00	2.70 ± 0.06	2.72 ± 0.01
首次产幼溞数量 First brood size (ind.)	14.8 ± 7.1	96 ± 36.4	82.3 ± 25.1	328 ± 28.8	296.7 ± 36.7	290.3 ± 27.0	5.3 ± 10.3	44.3 ± 3.1	64.0 ± 11.4	283.7 ± 5.5	524.3 ± 18.7	525.7 ± 26.8
最大种群数量 Maximal population size (ind.)	-	537	538	1175	1371	2152	-	242	522	1036	1782	3085
个体累计产幼溞数量 No. cumulative offspring (ind.)	253.1 ± 35.1	-	-	-	-	-	317.4 ± 57.4	-	-	-	-	-
单位体积最大种群密度 Maximal population density at unit volume (ind./mL)	-	10.2 ± 1.0	5.02 ± 0.3	5.6 ± 0.2	3.2 ± 0.2	1.9 ± 0.2	-	4.5 ± 0.4	5.0 ± 0.2	5.1 ± 0.0	4.3 ± 0.1	3.0 ± 0.1
雄体首次出现时间 Male appeared time at first (d)	-	17	13	9	9	9	-	9	11	11	11	13
首次出现卵鞍时间 Ephippium appeared time at first (d)	-	-	22	-	-	19	-	15	15	-	-	17
卵鞍个数 No. ephippia (ind.)	0	0	1	0	0	814	0	3	5	0	0	359
实验结束时体长 Body length at the end of the experiment (mm)	4.34 ± 0.17	2.94 ± 0.03	3.01 ± 0.02	3.25 ± 0.00	3.32 ± 0.04	3.42 ± 0.03	4.38 ± 0.14	2.66 ± 0.01	2.84 ± 0.01	3.11 ± 0.12	3.32 ± 0.04	3.54 ± 0.01

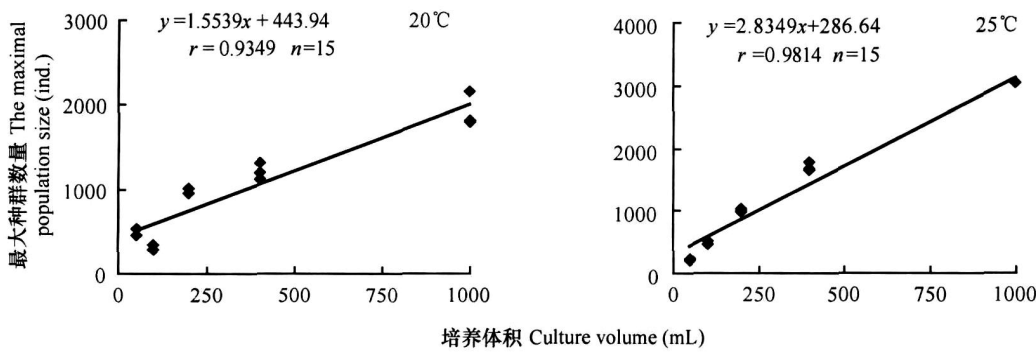


图 2 在两个温度下培养体积与大型溞最大种群数量的关系

Fig. 2 Relationship between culture volume and the maximal population size of *Daphnia magna* under two temperatures

20 大型溞首次产幼溞数量在各体积组出现一定的波动,但在 25 下呈现随培养体积增长而增大的趋势。25 下 400 mL 和 1000 mL 组的首次产幼溞数量明显高于 20 (表 1)。20 单独培养的大

型溞在 29d 内共产幼溞 7 次,累计产幼溞数量为 (253.1 ± 35.1) 个; 25 则产幼溞 10 次,累计产幼溞数量为 (317.4 ± 57.4) 个 (表 1)。

由图 3 可见,大型溞母溞第一次产幼溞时的种

群瞬时增长率最大,而后出现一个或两个小峰值后基本维持在一个较低的水平,变化不明显。20 下 50、100、200、400、1000 mL 各组种群最大瞬时增长率分别为 0.70、0.63、1.22、1.05、1.19/d。而 25 下 50、100、200、400、1000 mL 各组种群最大瞬时增长率分别为 0.45、0.57、1.17、1.46、1.46/d。

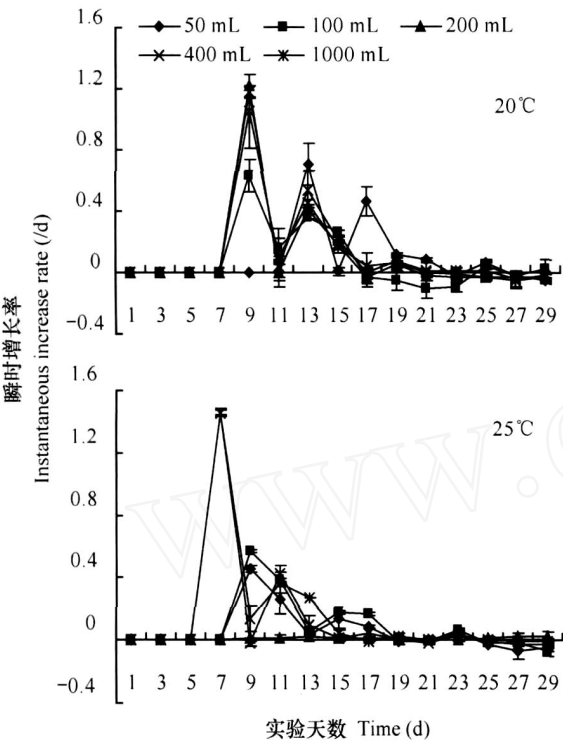
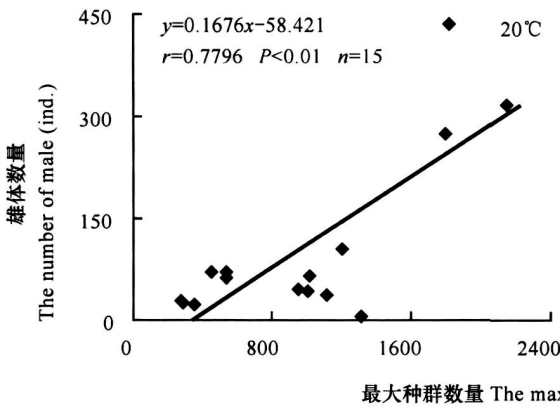


图 3 不同培养体积下大型溞种群的瞬时增长率
Fig. 3 The instantaneous increase rate of population in *Daphnia magna* in different culture volumes

2.2 培养体积和种群数量对大型溞雄体产生的影响
实验期间,所有大型溞种群实验组均出现雄体。20 、1000 mL 组中产生雄体的数量明显高于其他



组 (图 4)。除 50 mL、100 mL 组外,其他 3 组第一次产幼溞时均出现雄体,且 1000 mL 组中产生幼溞的雄体比例最高可达 36.1%。25 雄体出现的数量在不同培养体积下差异不明显,且只有 50 mL 组第一次产幼溞时出现了雄体 (图 4)。统计分析显示,20 下雄体数量与最大种群数量呈极显著相关性 ($P < 0.01$, $n = 15$),25 下呈显著相关性 ($P < 0.05$, $n = 15$) (图 5)。另外,20 单独培养的母溞累计产生雄体 114 个,而 25 下单独培养的母溞均未产生雄体。

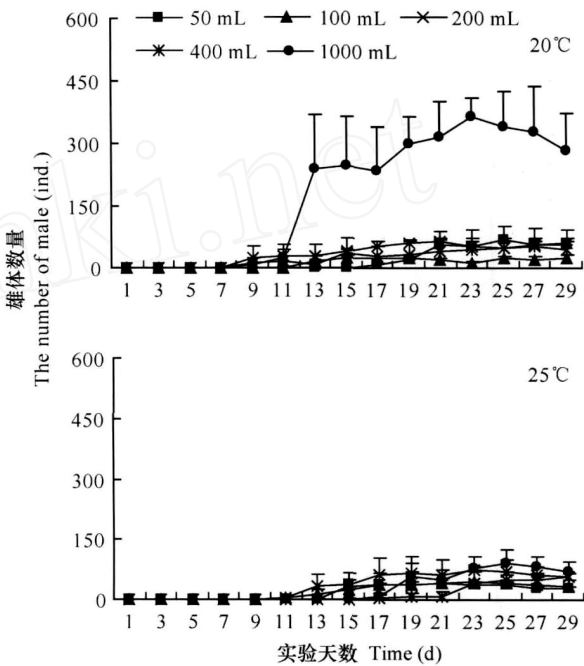


图 4 不同培养体积下大型溞雄体数量的变化
Fig. 4 Curves of the number of male of *Daphnia magna* in different culture volumes
A vertical bar shows one standard deviation

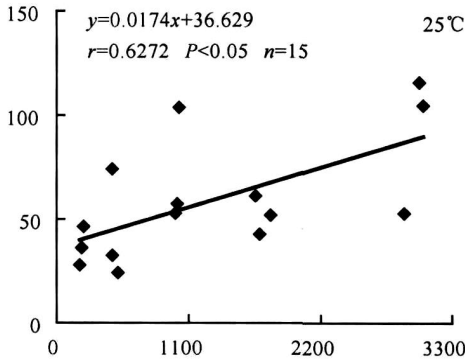


图 5 大型溞最大种群数量与雄体数量之间的关系
Fig. 5 Relationship between the number of male and the maximal population size in *Daphnia magna*

2.3 培养体积和种群数量对大型溞卵鞍(休眠卵)产生的影响

20 和 25 下 1000 mL 组累计产生卵鞍的数量分别是 814 个和 359 个,且均由母溞的后代形成。而其他体积组仅产生少量卵鞍或者不产卵鞍,且所产的卵鞍均由培养时的母溞形成。

体视显微镜下解剖发现,100、1000 mL 培养体积中所产生的卵鞍中空卵鞍率所占比例较大。其中 25 下,1000 mL 培养体积所产生的空卵鞍比例高达 99.16%;100 mL 的 4 枚卵鞍均为空卵鞍。20 下,1000 mL 培养体积所产生的卵鞍中,空卵鞍所占比例为 61.18%,且在实验期间含休眠卵的比例均在 20%以上(图 6)。

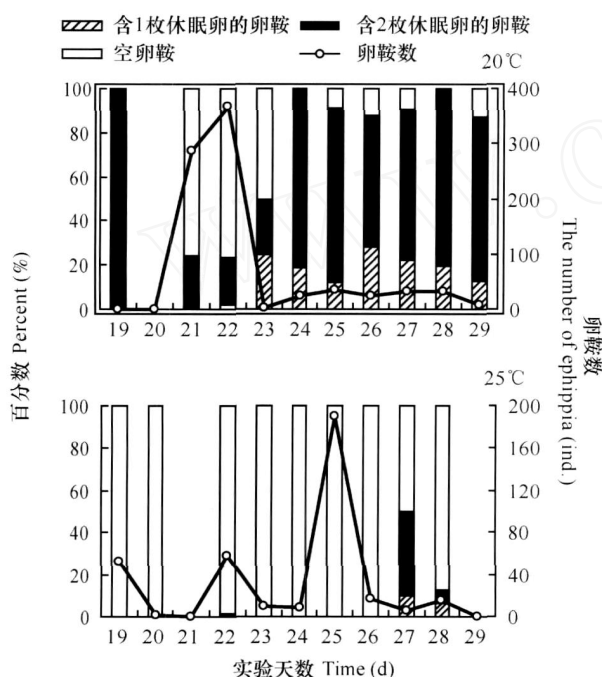


图 6 1000 mL 培养体积下大型溞卵鞍比例及卵鞍数量

Fig. 6 The percent and number of the ephippia of *Daphnia magna* in 1000 mL culture volume

3 讨论

3.1 培养体积和温度对大型溞生长发育与种群动态的影响

本实验投入母溞时的单位体积种群密度不同,除 50 mL (0.6 个/mL) 组外,随着培养体积的增大,大型溞首次抱卵的时间和首次产幼溞的时间均无明显差异。另外,1000 mL (0.03 个/mL) 组,大型溞首次抱卵时体长最大。

随着种群数量的增大,影响种群动态变化的生态因子增多。在培养体积和温度制约下,拥挤程度

增加、代谢物积累增多等因素影响着种群数量的变化。Bums 发现拥挤、食物不足导致了透明溞 (*Daphnia hyaline* Leydig) 生长率下降且首次抱卵量较小^[12]。在本实验中,大型溞首次产幼溞前的 50 mL (0.6 个/mL) 组抱卵量少,首次产幼溞数量明显低于其他培养体积组。另外,随着种群数量增大,拥挤程度相应增加,其他各组大型溞的抱卵量均呈下降趋势,瞬时增长率较低,种群数量趋于稳定。

环境温度对枝角类生长发育的影响显著。温度升高可加快枝角类性成熟,从而缩短首次产幼溞的时间,且产幼溞间隔期缩短,抱卵量减少^[13]。这一结论在老年低额溞 (*Simcephalus vetulus* O. F. M. Üller)^[14,15]、蒙古裸腹溞 (*Moina mongolica* Daday)^[16] 的实验中有类似报道。本实验中,与 20 相比,25 大型溞首次产幼溞时间明显缩短,而首次抱卵时间,除 50 mL 组外,其余各组差异不明显。另外,在较小的培养体积 (50、100 和 200 mL) 下,25 大型溞首次产幼溞数量小于 20;而在较大的体积 (400 和 1000 mL) 下,25 大型溞首次产幼溞数量明显高于 20。因此,我们认为在较大的培养体积下,25 更适合大型溞种群的快速增长。

3.2 培养体积和温度对大型溞两性生殖的影响

本实验中,大型溞孤雌生殖的雌溞能产生多代雄溞。雄溞在每个实验组中均有出现,雄体比例最高值 36.1% 出现在 20、1000 mL 组,且雄体数量与最大种群数量呈显著相关性。可以推测,大型溞雄体的产生可能与温度、种群数量和培养体积等条件有关。有研究表明,枝角类雄体的产生通常与低温、食物不足、拥挤、光照周期和培养体积等有关^[17-19]。但 Innes 观察到蚤状溞在生殖早期就产生雄体,不受种群密度的影响,且首次窝卵数中雄体所占比例可达 40%,并认为雄体的出现刺激两性生殖雌体 (Sexual female) 的产生^[20]。Barker 和 Hebert 也发现大型溞雄体产生不受种群密度的影响^[3]。另外,在 Oreida 湖泊中, Cáceres 观察到溞属种类在种群出现的早期,即第一窝 (5 ind./L) 就出现两性生殖现象,并认为雄体的出现不可能是由于种群密度大而引起的拥挤导致的^[21]。本实验中,200、400、1000 mL 组第一次幼溞即出现雄体,所占比例平均约为 2.88%—8.39%。而相对于单位体积种群密度较大的 50、100 mL 组首次产幼溞并未出现雄体,且此时各实验组的大型溞种群数量均处于相对较低的水平,这暗示大型溞雄体的产生也不受种群数量的独立影响,而受遗传和环境因素的共同作用。

Hobaek和 Larsson发现不同溞属的拥挤水可以诱导 43%的大型溞雄体产生,且单独培养的母亲溞也产生雄体,并认为雄体的产生和休眠卵的形成是受不同的环境因素独立控制的^[5]。通过同种或者同类的拥挤水试验也发现,拥挤水对僧帽溞 (*Daphnia cucullata* Sars)和蚤状溞的生长发育和休眠卵的产生都存在一定的影响^[22]。本实验中,在 20 和 25 下,由于每天更换培养液,大型溞代谢物的积累较少;20 下单独培养的大型溞个体亦产生雄体。因此,代谢物的积累对大型溞种群动态和两性生殖的影响较小。另外,随着种群数量的增加,大型溞雄体数量相应增加,且雄体数量与大型溞种群数量呈显著相关性。Carvalho和 Hughes观察到大型溞随着种群密度的增加,其碰撞率 (Encounter rate)增大,休眠卵个数也明显增多,且种群密度增加导致碰撞率增大与产生的休眠卵个数呈显著相关性^[4]。因此,可以推测个体碰撞是导致本实验中大型溞休眠卵形成的重要因素。

根据施心路等的研究,微齿喜马拉雅低额溞 (*Simocephalus himalayensis minorodus*)两性生殖主要是由低温 (15)造成的^[17]。蒙古裸腹溞在 16—18 下出现休眠卵^[24],当温度下降至 13 时低脊锥唇溞 (*Wlassicisia pannonica* Daday)可诱发产生雄体和休眠卵^[25]。本实验中,20 大型溞种群培养实验中出现雄体数量明显大于 25 ,且产生的卵鞍数量和休眠卵数也明显高于 25 ;在单独培养的条件下,20 出现了雄体,而 25 并没有出现雄体,因此,较低的温度可能是大型溞两性生殖和形成休眠卵的主要诱因之一。

在正常情况下,溞属雄体与两性生殖雌体交配后,进行受精作用,两性生殖雌体排出 1个或 2个受精卵进入卵鞍内,即形成休眠卵^[23]。而尚未交配受精的两性生殖雌体蜕皮后产下的即为空卵鞍。本实验中,在 1000 mL的培养体积下,20 和 25 所产生的空卵鞍数占卵鞍数的比例均较高,分别为 61.18%和 99.16%,亦即大型溞两性生殖雌体与雄体的交配受精的成功率较低。Keller和 Spaak在 Greifensee湖中检查到近 80%的卵鞍为空卵鞍,认为这可能是雄体与两性生殖雌体没有交配受精,或者是受精不成功或胚胎退化^[10]。Winsor和 Innes发现雄体和两性生殖雌体 (Sexual female)的交配通常是通过随机的接触实现的,也可以通过化学信号避免与同克隆雌体交配,即近亲交配 (Inbreeding)^[23]。本实验中使用的实验溞及产生的后代均为来自同一

母溞的同克隆群,这可能是本实验产生较多空卵鞍的原因之一,其机理有待于进一步的研究。

另外,在本实验中,1000 mL组产生的卵鞍均由母溞后代形成,且 20 下形成的休眠卵数明显高于 25 。这可能与 20 下雄体数量较多,雄体与两性生殖雌体碰撞机率增多,受精完成可能性增大有关。Innes和 Singleton发现生活在临时性小池塘里溞属种类,由于水浅体积小,它们获得与雄体交配的几率大,更容易产生较多的休眠卵^[7]。Maia-Barbosa, et al. 在巴西富营养化水库中收集的休眠卵孵化发现,轮虫的孵化率高达 60%—80%,而枝角类仅仅为 10%^[9]。因此,我们认为两性生殖雌体未交配受精而产下的空卵鞍可能是导致“休眠卵 孵化率较低的重要因素之一。

参考文献:

- [1] Jiang X Z, Du N S. Fauna Sinica: Crustacean, freshwater cladocera [M]. Beijing: Science Press 1979, 24—54 (in Chinese) [蒋燮治,堵南山. 中国动物志:淡水枝角类. 北京:科学出版社. 1979, 24—54]
- [2] Huang X Q, Wang W. The effects of temperature and salinity on growth and reproduction of *Daphnia magna* [J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2000, 9(1): 15—20 [黄显清,王武. 温度和盐度对大型溞生长和生殖的影响. 上海水产大学学报, 2000, 9(1): 15—20]
- [3] Barker D M, Hebert P D N. The role of density in sex determination in *Daphnia magna* (Crustacean, Cladocera) [J]. Freshwater Biology, 1990, 23: 373—377
- [4] Carvalho G R, Hughes R N. The effect of food availability, female culture-density and photoperiod on ephippia production in *Daphnia magna* Staus (Crustacea, Cladocera) [J]. Freshwater Biology, 1983, 13: 37—46
- [5] Hobaek A, Larsson P. Sex determination in *Daphnia magna* [J]. Ecology, 1990, 71(6): 2255—2268
- [6] Kopelainen H. The effects of temperature and photoperiod on life history parameters of *Daphnia magna* (Crustacea, Cladocera) [J]. Freshwater Biology, 1986, 16: 615—620
- [7] Innes D J, Singleton D R. Variation in allocation to sexual and asexual reproduction among clones of cyclically parthenogenetic *Daphnia pulex* (Crustacea: Cladocera) [J]. Biological Journal of the Linnean Society, 2000, 71: 771—787
- [8] Hebert P D N, Beaton M J, Schwartz S S, et al. Polyphyletic origins of asexuality in *Daphnia pulex*. 1. Breeding-system variation and levels of clonal diversity [J]. Evolution, 1989, 43: 1004—1015
- [9] Maia-Barbosa P M, Eskinazi-Sant 'Anna E M, Valadares C F, et al. The resting eggs of zooplankton from tropical, eutrophic reservoir (Pampulha Reservoir, south-east Brazil) [J]. Lakes & Reservoirs: Research and Management, 2003, 8: 269—275

- [10] Keller B, Spaak P. Nonrandom sexual reproduction and diapausing egg production in a *Daphnia* hybrid species complex [J]. *Limnology Oceanography*, 2004, **49** (4): 1393—1400
- [11] Marazzo A, Valentin J L. Population parameters of *Pleopis polyphemoides* (Crustacea, Cladocera) in a tropical bay [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2003, **57**: 1015—1021
- [12] Bums C W. Effects of crowding and different food levels on growth and reproductive investment of *Daphnia* [J]. *Oecologia*, 1995, **101**: 234—244
- [13] Schwartz S S. Life history strategies in *Daphnia*: a review and predictions [J]. *Oikos*, 1984, **42**: 114—122
- [14] Qian Y X, Lu K H, Zhang X Q. Effects of Food and temperature on the population dynamics of *Simocephalus vetulus* [J]. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science)*, 2001, **20** (3): 209—212 [钱云霞, 陆开宏, 张晓琴. 温度与食物对老年低额蚤种群动态的影响. 浙江海洋学院 (自然科学版), 2001, **20** (3): 209—212]
- [15] Deng D G, Jin Y, Liu M, et al. Effect of temperature and food concentration on the growth and reproduction of *Simocephalus vetulus* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, **30** (3): 298—303 [邓道贵, 靳英, 柳明, 等. 温度和食物浓度对老年低额蚤生长与生殖的影响. 水生生物学报, 2006, **30** (3): 298—303]
- [16] Wang Y, He Z H. Effect of temperature and salinity on intrinsic increasing rate of *Moina mongolica* Daddy (Cladocera: Moinidae) population [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, **12** (1): 91—94 [王岩, 何志辉. 温度和盐度对蒙古裸腹蚤种群内禀增长率的影响. 应用生态学报, 2001, **12** (1): 91—94]
- [17] Shi X L, Shi X B. Reproduction and development of *Simocephalus himalayensis* Microdus (Crustacea: Cladocera) [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 1996, **42** (3): 287—296 [施心路, 史新柏. 微齿喜马拉雅低额蚤的生殖与发育. 动物学报, 1996, **42** (3): 287—296]
- [18] Nandini S, Sama S S. Population growth of some genera of cladocerans (Cladocera) in relation to algal food (*Chlorella vulgaris*) levels [J]. *Hydrobiologia*, 2003, **491**: 211—219
- [19] Martínez-Jerónimo F, Rodríguez-Estrada J. Effect of culture density and volume on *Moina micrura* (Kurz, 1874) reproduction, and sex ratio in the progeny [J]. *Hydrobiologia*, 2004, **594**: 69—73
- [20] Innes D J. Sexual reproduction of *Daphnia pulex* in a temporary habitat [J]. *Oecologia*, 1997, **111**: 53—60
- [21] Cáceres C E. Interspecific variation in the abundance, production and emergence of *Daphnia* diapausing eggs [J]. *Ecology*, 1998, **79** (5): 1699—1710
- [22] Lüring M, Roozen F. Response of *Daphnia* to substances released from crowded congeners and conspecifics [J]. *Journal of Plankton Research*, 2003, **23** (8): 967—978
- [23] Winsor G L, Innes D J. Sexual reproduction in *Daphnia pulex* (Crustacea: Cladocera): observations on male mating behavior and avoidance of inbreeding [J]. *Freshwater Biology*, 2002, **47**: 441—450
- [24] Cao W Q, Lin Y S, Guo D H. Effect studies of some environmental conditions on reproductive conversion of *Moina mongolica*, a salt water cladocera [J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2001, **20** (suppl): 190—195 [曹文清, 林元烧, 郭东晖. 若干生态因子对蒙古裸腹蚤生殖方式转变效应的实验. 台湾海峡, 2001, **20** (增刊): 190—195]
- [25] Zhang H X, Shi X L. The primary researches on the ephippial eggs inducing budding and morphology of ephippium of *Wassissia pannonica* [J]. *Natural Sciences Journal of Harbin Normal University*, 2004, **42** (5): 71—82 [张会新, 施心路. 低脊锥盾蚤休眠卵诱发、萌发及卵鞍形态学的初步研究. 哈尔滨师范大学自然科学学报, 2004, **42** (5): 71—82]
- [26] Spaak P. Sexual reproduction in *Daphnia*: interspecific differences in a hybrid species complex [J]. *Oecologia*, 1995, **104**: 501—507

EFFECT OF TEMPERATURE AND CULTURE VOLUME ON POPULATION DYNAMIC AND SEXUAL REPRODUCTION OF *DAPHNIA MAGNA* STRAUS

MENG Qiong^{1,2}, DENG Dao-Gui^{2,3}, DU Hao², FENG Ni-Sha², YANG Xi² and LIANG Jing-Jing²

(1. College of Aqua-life Science and Technology, Shanghai Fisheries University, Shanghai 201306;

2. School of Life Science, Huaibei Coal Industry Teachers College, Huaibei 235000; 3. State Key Laboratory

for Freshwater Ecology and Biotechnology of China, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072)

Abstract: Under two temperatures (20 and 25 °C) and five culture volumes (50, 100, 200, 400 and 1000 mL), population dynamic and sexual reproduction of *Daphnia magna* which came from Huaihe river were studied in this paper. The results showed that: (1) At same culture volume, the mature time and the first brood time of *D. magna* shortened with the increase of temperature. The mature body length of *D. magna* increased with the increase of culture volume at same temperature. The mature body length of *D. magna* in the 1000 mL group was (2.54 ± 0.02) mm at 20 °C and (2.71 ± 0.01) mm at 25 °C. (2) At the initial stage, the population size could increase rapidly through parthenogenesis. However, population growth of *D. magna* was evidently limited at lower culture volumes. The maximal population size of *D. magna* in the 1000 mL group were 4 times at 20 °C (2152 ind./1000 mL) and 13 times at 25 °C (3085 ind./1000 mL) higher than that in the 50 mL group. It had significant relationship between the maximal population sizes of *D. magna* and culture volumes ($P < 0.01$, $n = 15$). The first brood size of *D. magna* were (96.0 ± 36.4) ind./50 mL, (82.3 ± 25.1) ind./100 mL, (328.0 ± 28.8) ind./200 mL, (296.7 ± 36.7) ind./400 mL and (290.3 ± 27.0) ind./1000 mL at 20 °C, and was (44.3 ± 3.1) ind./50 mL, (64.0 ± 11.4) ind./100 mL, (283.7 ± 5.5) ind./200 mL, (524.3 ± 18.7) ind./400 mL and (525.7 ± 26.8) ind./1000 mL at 25 °C, respectively. (3) During the experiment, the males occurred in all the groups. The number of male of *D. magna* increased with the increase of population size. The number of male of *D. magna* in the 1000 mL group was obviously higher than that in other culture volumes at 20 °C, and the highest male percent reached 36%, and the males was induced in the first broods. The number of male was positively correlated with the maximal population size of *D. magna* (20 °C: $P < 0.01$, $n = 15$; 25 °C: $P < 0.05$, $n = 15$). (4) It was totally produced 814 ephippia at 20 °C and 359 ephippia at 25 °C in the 1000 mL group, which produced by the offspring of the mother, while a few ephippia were produced by the mother or no ephippia appeared in the other groups. The percent of empty ephippia among ephippia was 61.18% at 20 °C and 99.16% at 25 °C in the 1000 mL group. During the experiment, the percent of ephippia containing the resting eggs in the 1000 mL group was up to 20% at 20 °C. It was likely that lower temperature and population size might be two important factors that caused sexual reproduction and produced the resting eggs in *D. magna*.

Key words: *Daphnia magna*; Population dynamics; Male; Ephippium; Resting eggs