

DOI: 10.5846/stxb201306261780

贾沁贤, 刘沙沙, 吕光俊, 刘喜方, 张永生, 郑绵平. 不同营养模式下内蒙古沙漠小型盐湖卤虫种群特征与环境承载力. 生态学报, 2015, 35(10): 3364-3372.

Jia Q X, Liu S S, Lü G J, Liu X F, Zhang Y S, Zheng M P. *Artemia* population characteristics in different conditions, and environmental carrying capacity in small saline lakes in the Inner Mongolian desert. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(10): 3364-3372.

不同营养模式下内蒙古沙漠小型盐湖卤虫种群特征与环境承载力

贾沁贤^{1,*}, 刘沙沙¹, 吕光俊², 刘喜方¹, 张永生¹, 郑绵平¹

1 中国地质科学院矿产资源研究所, 国土资源部盐湖资源与环境重点实验室, 北京 100037

2 西南大学鱼类繁育与健康养殖研究中心, 重庆 402460

摘要:通过对桑根达莱淖尔卤虫的养殖实验与卵囊解剖,研究了内蒙古沙漠小型盐湖投饵、施肥与自然状态 3 种营养模式下卤虫的生境、种群动态、生殖特征,分析了环境对卤虫资源的承载力。结果表明:①在起始种群相同的情况下,不同营养模式对种群结构与密度有显著影响;②不同营养模式对个体生长速度影响存在差异,投饵对加快个体生长速度效果最明显,但在性成熟速度方面不同营养模式没有出现统计学显著差异;③不同营养模式对卤虫的怀卵量、卵生/卵胎生比例有显著影响;与空白组相比,投饵组平均怀卵量提高了 35.52%—72.71%,施肥组提高了 11.34%—26.15%;④卤虫资源的环境承载力为 0.3—0.4 kg/m³,加以补充肥料,可提高到 0.45 kg/m³,在投喂饲料的情况下可以达到 0.5 kg/m³;⑤卤虫蛋白可开发量按环境承载力的 1/3 估计,对照组、施肥组和投饵组的相应年开发量分别为 2.61—2.98 kg/m³、4.5—5.4 kg/m³和 7.51—8.67 kg/m³,滞育卵产量分别为 0.73、1.10 g/m³和 1.17 g/m³。

关键词: 卤虫; 环境承载力; 小型盐湖; 内蒙古沙漠

Artemia population characteristics in different conditions, and environmental carrying capacity in small saline lakes in the Inner Mongolian desert

JIA Qinxian^{1,*}, LIU Shasha¹, LÜ Guangjun², LIU Xifang¹, ZHANG Yongsheng¹, ZHENG Mianping¹

1 Ministry of Land and Resources Key Laboratory of Saline Lake Resources and Environments, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China

2 Fish Breeding and Healthy Culture Research Center, Southwest University, Chongqing 402460, China

Abstract: There are hundreds of saline lakes in the Inner Mongolian desert. To increase the income of herdsmen, and address the problem of supply and demand of *Artemia*, methods of farming brine shrimp in small saline lakes in the Inner Mongolian desert were examined between 2002 and 2010. The habitat, population dynamics and reproductive characteristics of *Artemia* were studied in six artificial ponds filled with water from a small salt lake nearby named Sanggendalainaoer in the Inner Mongolian desert. In two of the ponds the *Artemia* were fed 200—510 g of flour twice a day. In two other ponds the water was enriched with organic matter by adding 8—12.5 kg of dried cow-dung twice a week depending upon water color and transparency. The remaining two ponds had no additives and therefore served as natural state controls. For each of these, the environmental carrying capacity of *Artemia* resources was determined. The results revealed that in those ponds that had the same initial population density, different nutritional conditions had a significant effect on the population structure

基金项目:国家自然科学基金项目(40573056); 国家 973 项目(2011CB403003); 地质调查项目(1212010818056, DKD2101027-7)

收稿日期:2013-06-26; **网络出版日期:**2014-05-30

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jia-qinxian@sohu.com

and density at the end of the experiments. When compared with the control group, the population density of *Artemia* increased by 19.53% in the organically enriched ponds, and by 31.82% in the ponds where *Artemia* were fed. Furthermore, the conditions in each experimental pond had a different effect on individual growth rate, with feeding having the greatest effect, especially on the older larval stages. The time to reach sexual maturity was not statistically significantly different between the three treatments. Ambient temperature had a significant effect on the rate of sexual maturity and different treatments had a significant influence on the fecundity of *Artemia* and the oviparous: viviparous ratio. Compared with the control group, the average fecundity increased by 35.52%—72.71% in *Artemia* that were fed and 11.34%—26.15% in brine shrimp in the organically enriched pond water, and the oviparous: viviparous ratio was enhanced by both treatments. The main growing period of *Artemia* was May to September, and the environmental carrying capacity of *Artemia* resources was about 0.3—0.4 kg/m³. In the case of the organic enrichment and feeding treatments, the environmental carrying capacity was increased to 0.45 kg/m³ and 0.5 kg/m³, respectively. If the exploitable capacity of *Artemia* protein is estimated as 1/3 of the environmental carrying capacity, it will be 2.61—2.98 kg/m³, 4.5—5.4 kg/m³ and 7.51—8.67 kg/m³ every year in the control, organic enrichment and feeding treatments, respectively. In addition, diapause egg production will be 0.73 g/m³, 1.10 g/m³ and 1.17 g/m³, respectively. The results show that *Artemia* resources in small saline lakes in Inner Mongolia have great proliferative potential, and that productivity and environmental carrying capacity of this species can be increased within these lakes through manual intervention.

Key Words: *Artemia*; environmental carrying capacity; small saline lakes; Inner Mongolian desert

与我国西部其它省区盐湖相比,内蒙古的盐湖以小而多著称。星罗棋布的小盐湖不仅在内蒙古广垠无际的大沙漠中点缀出一片小绿洲,为牧民提供了栖息地,而且也是内蒙古未来经济发展的一项重要基础资源。特别是在我国沙尘暴主要源头的巴丹吉林、腾格里以及乌兰布和三大沙漠中有数百个小盐湖,这些小盐湖不仅面积小利于管理和人为调控,而且更重要的是可以通过卤虫资源开发,缓和内蒙古沙漠生态恢复治理过程中存在的退牧还草与地方经济发展、牧民生计之间的矛盾。

近几年由于生态环境破坏、卤虫资源无序开发等,卤虫资源受到严重影响。外加水产养殖业的飞速发展,卤虫需求量越来越大,天然卤虫满足不了市场需求,人工养殖已势在必行,因此对卤虫生态习性及所需生态环境的研究应该更深入透彻。我国对卤虫的研究起步较晚,任慕莲等对中国西北部盐湖卤虫生态及资源进行了较为详细的报道^[1],其它相当多的实验研究集中在生长、繁殖及养殖方式上^[2-5],而且对卤虫的养殖多偏重于室内培养^[6-7]和工厂化生产。然而缺少对在沙漠环境中的养殖研究,特别缺失对卤虫资源的环境承载力、卤虫生产潜力的了解,使得卤虫的资源增殖与开发管理无据可依。

为了便于资源保护及增殖,并引导从事盐湖产业的牧民实现从靠天吃饭、依赖自然、吃干喝净到人为干预、资源环境协调发展、增产丰收的转变,自 2000 年起,开始与内蒙古地方合作进行盐湖资源综合开发工作。2000—2002 年在吉兰泰、雅布莱、中泉子等盐湖盐田,依据盐湖水质类型差异,进行了一系列资源增殖探索。2001—2003 年以地质调查项目为依托,在锡林郭勒盟沙漠盐湖开展了野外相关实验;其中 2002 年在正兰旗桑根达莱淖尔盐湖西北岸边大约 10 hm² 的一片沙质滩地上开挖了 3 个小池塘进行了人工干预环境下的理化和生物群落结构观察实验^[8-11];2003—2004 年进行了资源增殖潜力、环境承载力和资源修复能力试验与样本采集;2005—2010 年在室内对野外样本进行了生物学特征测量、卵囊解剖与生殖特征统计观察,并进行了若干室内模拟实验验证。本文着重针对内蒙沙漠盐湖环境对卤虫资源承载力问题进行分析。

1 材料与方法

1.1 实验前期准备

实验从 7 月 10 日开始,10 月 25 日结束,试验周期 110d,2003—2004 年历时两年。试验池塘位于桑根达

莱淖尔盐湖西北岸边,距离盐湖湖水 25—40 m。试验池塘 6 个,池塘面积 10—15m×15—20 m,深度 60—80 cm,池塘间距 4—6 m。在 7 月 1 日以前对塘埂进行维修硬化加固以利于实验操作和卵的收集。7 月 6—8 日通过人力泵排出池塘原有水,灌入桑根达莱淖尔湖水(60 目尼龙筛绢过滤,盐度 76.05‰),以保证实验条件的一致。实验期间,池塘平均水深控制在(0.5±0.05)m,盐度控制在 60‰—70‰。

1.2 实验组的设置

饵料模式分为 3 组:投饵、施肥与对照(无人工干预)。1—2 号池为对照组,卤虫仅依赖池塘的天然饵料生长;3—4 号池为施肥培养组,肥料为干牛粪;5—6 号池为投饵组,饵料为面粉厂地角面粉。卤虫种群起始密度均设置为 180 ind/L,放养虫源来自室内孵化,品系为桑根达莱品系,放养虫态为 5 日龄幼虫,体长约 1.0 mm。

1.3 实验期间日常管理

日常管理包括:①观测卤虫的摄食、活动、池水水质、天气的变化以及根据天气和卤虫摄食情况随时调整投饵量;②监防捕食卤虫的水禽;③严格监控卤水浓度、卤水深度,防止桑根达莱淖尔卤水和周边淡水大量进入,造成因盐度较大波动卤虫死亡;④测定记录每日水温、盐度、透明度、pH、溶解氧(DO)等,并每周进行 1 次生物、水质化学测定,每两周 1 次初级生产力测定(施肥第 3 天)。各时段平均每池投饵量:7 月 10—20 日 210 g/d,7 月 21 日—9 月 15 日 510 g/d,9 月 16—30 日 430 g/d,10 月 1—20 日 200 g/d。

实验中的投饵量和施肥量主要依据以往室内实验经验确定。投饵方法是每日投喂量依 6:4 的比例按 2 次/日进行投喂,时间大约为 7:30,13:30,全池均匀泼撒(无风)或均匀泼撒在上风口。投饵量需依据天气状况和卤虫摄食状况随时调整。施肥次数为每周 2 次,每池施肥量为 8—12.5 kg/次,依水色及透明度确定。

1.4 卤虫种群密度、种群结构和生殖特性测定

卤虫种群密度、种群结构和卵资源量变化测定,平均每周一一次。卤虫成虫和幼虫密度的测定时间选择 10:00—12:00,现场直接按体长等级分段计数每升个体数量(4 个等级:<2 mm,2—5 mm,5—8 mm,>8 mm)。虫体现存量采用网捕称重法测量,在 1、3、5 号池进行,网具为 40 目尼龙筛绢,每 2 周 1 次;每次捕捞整个池塘过网两次,尽量减少漏网个体;对所捕出的卤虫,在称重后卤虫立即放回原来池塘;为最大限度减少对卤虫的伤害,在捕捞过程速度要快。

虫卵(滞育卵)日产量的测定在 1、3、5 号池定期进行,在测定前一天将试验池周边卵清理干净以保证测定结果的准确性,在实验当天用浮游动物网收集虫卵。捞出的卵用卤水漂洗、滤干水分计量湿重,然后淡水脱盐、薄层风干 1 周后测干重。

生殖特性主要检测卤虫的怀卵量、卵生/卵胎生雌体比例、卵生/卵胎生子代比例。从 8 月份开始,在 2、4、6 号池中每周取样 1 次,样品用体积分数为 75%乙醇固定,带回实验室测定。在样品中随机取 50 只怀卵雌体进行卵囊解剖观测统计,每个样品解剖观察 3 组,取其平均值。

1.5 卤虫个体生长速度和性成熟速度测定

对个体生长速度和性成熟速度的检测实验按单个世代进行,采用 60 cm×60 cm×60 cm 的 60 目尼龙筛绢网箱分别固定在 2、4、6 号实验池塘中,水体体积 60 cm×60 cm×30 cm。共进行了 3 批实验(7 月 25 日—8 月 10 日,8 月 25 日—9 月 10 日,9 月 15 日—10 月 10 日),实验群体起始密度 180 个/L。在实验期间,在各个网箱中每 2 d 取样 1 次,现场随机测量 20 只个体生长速度;记录观测网箱中卤虫性成熟状况并将性成熟个体及时分离处理。

2 结果与分析

2.1 实验环境监测

2.1.1 起始环境

初期水质状况与桑根达莱淖尔相同。含盐量为 76.05 g/L;SO₄²⁻、Cl⁻、CO₃²⁻、HCO₃⁻、K⁺+Na⁺、Ca²⁺和 Mg²⁺分

别占总离子量的 4.05%、30.56%、16.08%、18.12%、31.08%、0.01% 和 0.08%。总磷 0.220 mg/L, 总氮 13.012 mg/L, 溶氧 7.16 mgO₂/L, 初级生产力 0.42 gO₂ m⁻² d⁻¹, 水温 23.1 °C。浮游植物按生物量排列, 优势种为席藻 (*Phorimidium*)、粘杆藻 (*Gloeotheca*)、粘球藻 (*Gloeocapsa*)。按密度排序, 小球藻 (*Chlorella*) 和色球藻 (*Chroococcus*) 合计超过 75%。

2.1.2 实验期间环境变化

2003 年日间平均水温变化可分为 4 个阶段: 9 月 5 日以前在 20 °C 以上波动, 波动幅度 7 °C; 9 月 6—19 日 13—19 °C, 9 月 19—26 日 9—12 °C (夜间气温下降到 0 °C), 9 月 27 日—10 月 10 日 3—8 °C (夜间池边水面出现结冰)。日间温差以 8 月底最大, 达到 12 °C。pH 值为 9.6—10.1。实验池塘溶氧相对较低, 10:00—10:30 的溶解氧在 2.70—3.90 mgO₂/L 波动, 一天中凌晨溶氧最低, 4:00 的溶氧为 1.56—2.77 mgO₂/L。而桑根达莱淖尔湖水基本稳定在 6.55—7.20 mgO₂/L。

水体总氮含量在对照池和投饵池都比较稳定, 分别为 11.56—12.44 mg/L 和 15.44—17.89 mg/L; 施肥池随施肥周期波动明显, 范围在 15.54—36.42 mg/L。9 月 19 日以前的总磷含量, 对照池维持在 0.124—0.150 mg/L, 投饵池稳定在 0.236—0.269 mg/L, 施肥池在 0.221—0.279 mg/L 范围内随施肥周期波动; 9 月 19 日以后, 投饵池和施肥池总磷含量略有上升, 实验期间最后一次测定 (9 月 28—29 日) 结果分别为 0.260 和 0.411 mg/L。

实验期间浮游植物常见种类与实验起始期基本相同。平均生物量 (mg/L) 依次是投饵池 (4.478) > 施肥池 (3.338) > 对照池 (1.356); 初级生产力 (gO₂ m⁻² d⁻¹) 平均值依次为 0.606, 0.958 和 0.406; P/B 系数排列次序相反, 平均值分别为 2.1732, 4.28 和 4.826, 结果详见表 1。

表 1 实验期间各池塘的生物量、初级生产力和 P/B 系数的变化

Table 1 Changes of phytoplankton biomass, primary productivity and P/B coefficient in every pond during the experiment

日期 Date	浮游植物生物量 (B) Phytoplankton biomass / (mg/L)			初级生产力 (P) Primary productivity / (gO ₂ m ⁻² d ⁻¹)			日 P/B 系数 P/B coefficient		
	对照池 Control group	投饵池 Feeding group	施肥池 Fertilization group	对照池 Control group	投饵池 Feeding group	施肥池 Fertilization group	对照池 Control group	投饵池 Feeding group	施肥池 Fertilization group
	07-10	1.468	2.158	1.439	0.420	0.420	0.420	4.578	3.114
07-16	1.229	5.625	4.230	0.234	0.807	1.116	3.046	2.296	4.222
07-30	1.383	5.526	3.781	0.639	1.149	1.650	7.392	3.326	6.982
08-13	1.524	5.412	4.106	0.258	0.342	0.984	2.708	1.012	3.834
08-27	1.478	5.454	3.392	0.450	0.495	0.879	4.872	1.452	4.146
09-10	1.364	4.95	3.564	0.489	0.495	0.759	5.736	1.6	3.408
09-24	1.273	5.37	3.987	0.375	0.564	0.954	4.714	1.68	3.828
10-08	1.313	3.953	3.313	0.414	0.579	0.869	5.044	2.344	4.196
10-22	1.168	2.458	2.228	0.390	0.420	0.450	5.342	2.734	3.232
平均 Average	1.356	4.478	3.338	0.406	0.606	0.958	4.826	2.1732	4.28

B: 实测生物量 (mg/L) × 体积转换系数 (1000) × 水深 (0.5 m) = 单位面积生物量 (湿重 g/m²); P: 实测初级生产力 (gO₂ m⁻² d⁻¹) × 转换系数 (1 g O₂ = 8 g 浮游植物湿重) = 以浮游植物湿重表示的初级生产力 (湿重 g m⁻² d⁻¹)

2.2 不同实验环境下卤虫种群密度和群体龄期组成

2.2.1 种群密度

从每周 1 次的实验池卤虫密度统计 (图 1) 可以看出, 7 月 31 日以后种群数量进入基本稳定阶段, 投饵和施肥对维持种群密度有显著作用 ($P < 0.05$), 施肥和投饵可将种群密度分别提高 19.53% 和 31.82%。统计检验表明, 投饵 ($P < 0.01$) 优于施肥 ($P < 0.05$)。

2.2.2 年龄组成

通过观测体长组成不仅可以推断卤虫群体的年龄组成, 而且可以提供资源增殖动态和可利用的资源等信

息。实验选择在卤虫卵主要生产季节中的8月8日、9月12日和10月10日3个时间对卤虫成虫样本进行体长测定(图2)。前两次结果基本相近,施肥组和投饵组群体结构基本相同,实验组中的大卤虫(成虫)在群体中所占比例均为22—24%,仅体长<2 mm的小卤虫所占比例对照组明显高于其他两组。第3次测定结果与前两次存在明显差异,首先是成虫比例显著增高,表明了生殖群体对种群的直接补充量(卵胎生后代和可立即进入孵化的卵生后代数量)减少,其次是对照组的小卤虫比例由生长季节的高变低。该结构表明两点:①投饵和施肥可以在一定程度上延长卤虫的生产周期,②在主要生产季节投饵和施肥可以加速卤虫生长(同一环境下同步培养中的小个体比例减少)。

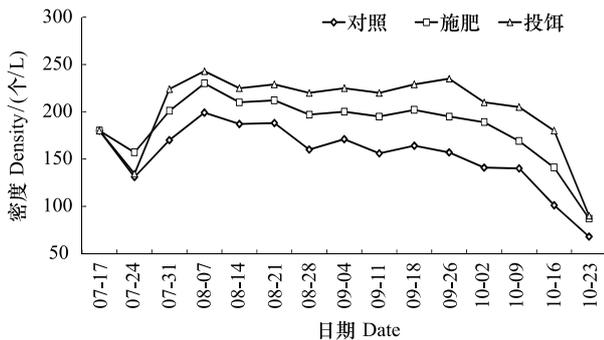


图1 卤虫种群密度比较

Fig.1 The comparison on *Artemia* population density

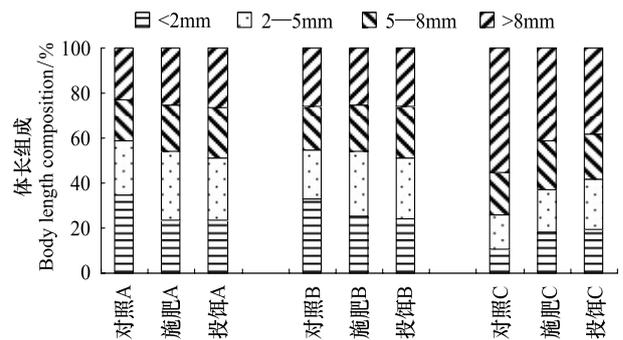


图2 卤虫种群体长组成

Fig.2 Body length composition of *Artemia* population

A:08-08; B:09-12日; C:10-10; 投饵池 Feeding group; 施肥池 Fertilization group

2.3 不同营养模式下的卤虫个体发育速度

个体发育速度体现在两个方面:一是体长的增长速度,二是性成熟时间。3次实验(7月25日—8月10日,8月25日—9月10日,9月15日—10月10日)体长增长速度曲线具有下列共同特征:每次实验中的不同营养模式对个体生长速度影响存在差异,投饵对加快个体生长速度效果最明显,特别是进入幼虫后期,体长差距愈加明显($P<0.05$)(图3),但在性成熟速度方面不同营养模式上没有出现统计学显著差异。

雄性卤虫出现交配行为、雌性卤虫出现交配行为或输卵管出现卵粒认为其已进入性成熟阶段。性成熟频率指测定时段内性成熟个体数占总个体数的比例。3次测定实验的性成熟速度对照表明(图4),饲料、肥料和管理条件都相同的条件下,3次实验性成熟高峰期存在时间差异,7月25日—8月10日的实验结果比8月25日—9月10日实验的性成熟速度平均快1.5 d,比9月15日—10月10日的实验快4.25 d;发育到13d时性成熟比例分别为53.06%、39.64和16.48,到16d时分别为91.84%、85.59%和64.84%。对照环境因子看,3个实验阶段主要是温度发生了变化,实验温度依次降低,导致发育速度依次减慢。

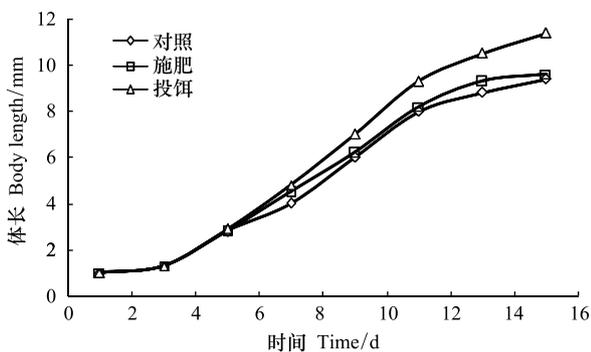


图3 不同营养模式下卤虫个体生长速度比较(07-25—08-10)

Fig.3 The comparison on growth rate of *Artemia* in different nutritional conditions (July 25—August 10)

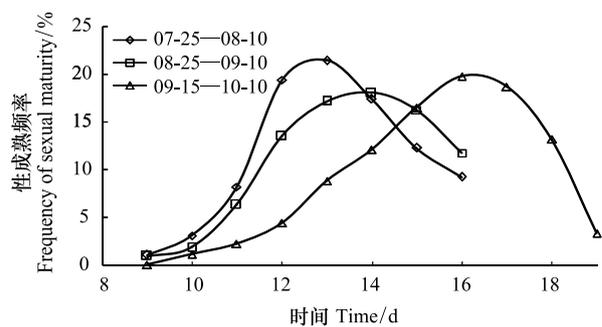


图4 3次实验卤虫性成熟速度比较

Fig.4 The comparison on sexual maturation rate of *Artemia* population in three experiments

2.4 桑根达莱淖尔卤虫的生殖特性

从理论上讲,每一个动物物种的每胎怀卵量都有一个特定的数值范围,在环境适宜时种群生殖量可以接近其上限,在环境不适时,生殖力下降。桑根达莱淖尔多数卤虫的每胎怀卵量为 8—15 个。在 8 月 14 日到 9 月 25 日实验中,对照组为 9.60—13.85 个,投饵组平均怀卵量测定结果为 16.58—18.77 个,显著高出对照组 35.52%—72.71% ($P < 0.05$),施肥组 12.11—15.42 个,高出对照组 11.34%—26.15% (图 5)。

在适宜生存的环境中,卤虫可以以两种方式进行:直接产出幼虫的卵胎生殖和产出滞育卵的卵生生殖。卵胎生可直接补充种群数量,卵生可使卤虫度过不良环境。对卤虫资源的开发而言,前者可以源源不断地为成虫蛋白的开发提供再生资源,后者可以提供高附加值水产动物开口饲料。

从对卤虫卵生/卵胎生雌体比例的统计(图 6)可以看出,在生殖群体中,卵胎生雌体的比例低于卵生雌体的比例,一般在生殖群体中所占比例低于 40%,尤其是进入 10 月份以后比例更低。同时可以看出,卵胎生雌体比例顺序为:投饵池塘>施肥池塘>对照池塘。对应统计包被在卵囊中的卵生/卵胎生子代的数量比例(图 7)可以看出,与卤虫卵生/卵胎生雌体比例有相同的变化规律,只是卵胎生子代所占全部子代的比例高于卵胎生雌体在生殖群体中所占的比例。造成这种差异的原因可以从卵生与卵胎生生殖方式的怀卵量差异来解答,从图 8 可以看出,卵胎生方式的雌体怀卵量高于卵生方式的个体。

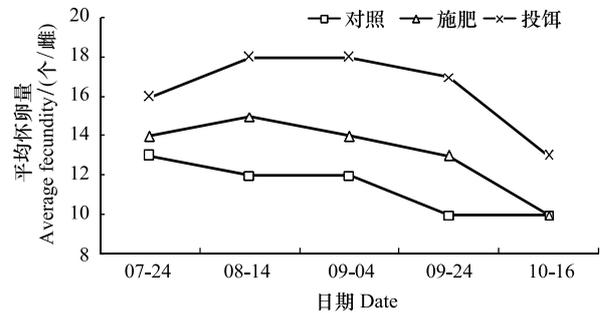


图 5 3 种营养模式下卤虫怀卵量的比较

Fig. 5 The comparison on fecundity in three nutritional conditions

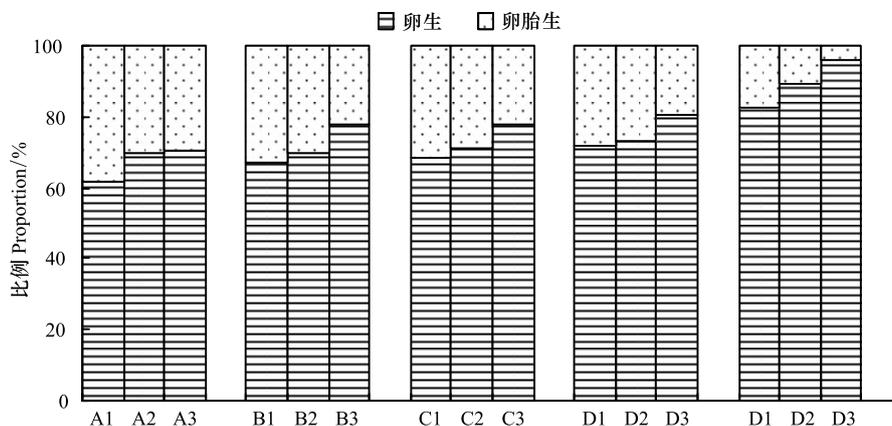


图 6 卵生/卵胎生雌体比例

Fig. 6 Oviparous / oviparous female proportion

A—E: 对应于图 5 中的 5 个日期; 1—3: 依次为投饵、施肥和对照池塘样本

2.5 环境对卤虫资源的承载力

在食物、空间、天敌等各种环境资源的限制下,每一个生存空间都对生活在这一空间的生物提供了一个数量上或质量上的限度,这一有限资源能稳定供养的特定生物的种群量即为环境对该生物的承载力。结果(表 2)表明,桑根达莱淖尔盐湖实验期间的自然资源承载力(对照组)最高 0.563 kg/m^3 ,最低 0.291 kg/m^3 ,平均 0.373 kg/m^3 ;施肥条件下的最高承载力 0.675 kg/m^3 ,最低 0.358 kg/m^3 ,平均 0.450 kg/m^3 ;投饵条件下的最高承载力 0.578 kg/m^3 ,最低 0.439 kg/m^3 ,平均 0.488 kg/m^3 。由于初始实验种群的生长发生在相对宽裕的资源环境中,往往具有爆发性增殖特性,故偏高于实际承载力,因此在资源分析中应予加权考虑。扣除实验初期的爆发性生长的影响(不考虑 7 月 24 日的测定值),即可得出在卤虫主要生长季节(5—9 月)该盐湖对卤虫资源

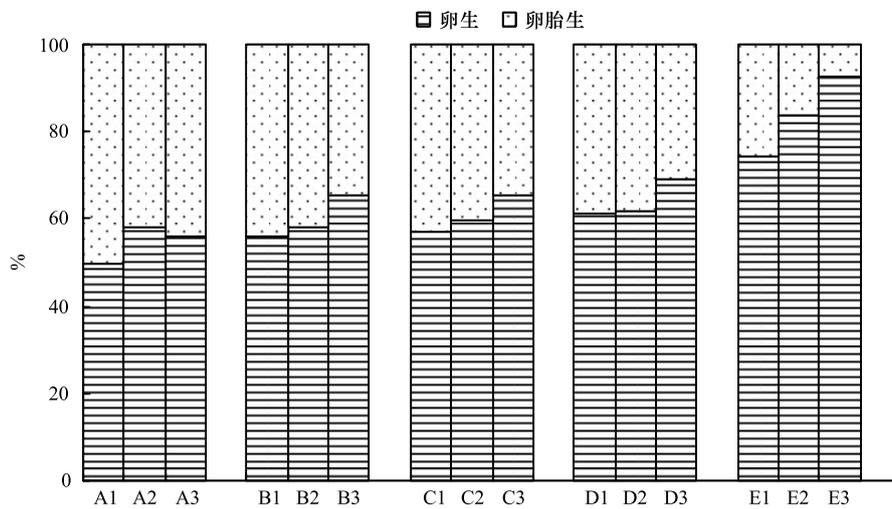


图7 卵生/卵胎生子代比例

Fig.7 Oviparous / ovoviparous offspring proportion

的负载力为 0.3—0.4 kg/m³。若以补充肥料,在卤虫主要生长季节负载力可以提高到 0.45 kg/m³;投喂饲料的情况下可以达到 0.5 kg/m³。

3 讨论

3.1 卤虫生长环境中非生物因素变化特点

养殖实验池理化因子变化规律主要表现在氮、磷和溶氧量上,其余环境因子在人为调控下变幅较小。①实验过程中施肥和投饵组的总磷、总氮都呈上升趋势,总磷分别增加了 46.5%、53.8%,总氮升高 43.1%、45.5%;但二者比例极不均衡, TN/TP 达到了 100—200,与吕光俊等研究结果基本吻合^[8]。这与淡水水域的情形吻合而不同于一般内陆高盐水体。因此,在内蒙古沙漠盐湖中应合理使用磷肥,有效利用肥料。②溶解氧(DO)低。实验池 DO 平均为 2.75 mgO₂/L,一天中最高值为 3.122 mgO₂/L(施肥组),最低值为 1.581 mgO₂/L(投饵组)。③水温昼夜差大。水温的昼夜差各池均为 12—13 ℃,这主要是由内蒙古沙漠气候造成的。

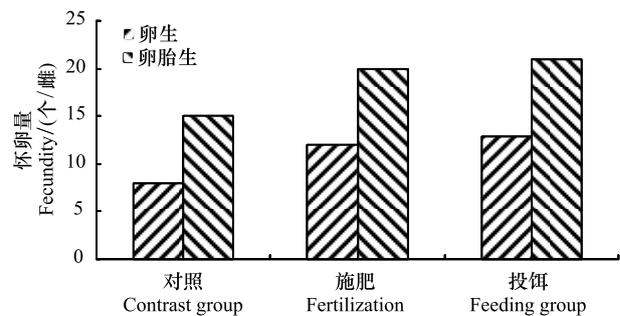


图8 卵生与卵胎生生殖方式平均怀卵量比较

Fig.8 The comparison on average fecundity between oviparous and ovoviparous reproductive mode

表2 实验池塘卤虫虫体生物现存量(kg/m³)

Table 2 The current biomass of *Artemia* in experimental ponds

日期 Date	07-24	08-07	08-21	09-04	09-18	10-02	10-16	平均值 Average
对照组 Contrast group	0.563	0.366	0.394	0.359	0.344	0.294	0.291	0.373
施肥组 Fertilization group	0.675	0.430	0.445	0.420	0.422	0.390	0.358	0.450
投饵组 Feeding group	0.578	0.481	0.492	0.484	0.490	0.452	0.439	0.488

3.2 卤虫生长环境浮游生物群落结构的特点

实验池浮游生物的特点是:①种类少,优势种突出。实验期间在 3 个实验池共发现浮游植物 17 个种属,但在同一水体有时镜检出的种类只有几种,与山西硝池盐湖的 42 种(属)^[12]有较大的差距;浮游动物仅有 13 个种(属),远低于其他盐水水域。②浮游植物量低。从表 1 可以看出,3 组实验池的浮游植物生物量中投饵组最高,平均为 4.478 mg/L,施肥组为 3.338 mg/L,空白组为 1.356 mg/L,吻合中国北方内陆盐水水体浮游植

物生物量(0.45—9.69 mg/L)的中下水平^[13]。限制性营养盐的缺乏,N/P 值过大可能浮游植物生物量低的重要原因。③浮游动物生物量与浮游植物生物量之比极高。本实验中对照组、施肥组和投饵组的浮游动物生物量与浮游植物生物量之比分别为 10.2、12.8、14.8。

3.3 卤虫培育过程与环境的关联作用

卤虫繁殖方式有卵生(产生休眠卵)和卵胎生(产出无节幼体)两种方式。本实验中,无论是从雌性产卵方式还是从后代的比例(图 6,图 7)看,均卵生为优势生殖方式;并且随着时间推移,季节由暖变冷,卵生比例逐渐增大。Sorgeloos 等指出,环境适合卤虫生存时多行卵胎生,不太合适时出现两种方式,环境变得非常恶劣时行卵生^[14]。Lenz^[15]和 Brown 等^[16]认为在环境条件突然变化时出现卵生方式,但生殖方式亦与母体的遗传杂合性相关^[17]。作者认为黄旭雄^[18]的观点更客观,即生殖方式应受遗传和环境共同作用,至于二者比例如何,那要看环境因素的具体情况,如本试验中,环境溶氧即是一种可能关联。

与何舒宁^[19]、Mohebbi^[20]等报道的卤虫在不同饵料培养介质中的生长规律相比,本研究结果卤虫生长较慢。这说明卤虫的生长、成活不仅与密度有关,而且与营养、水环境条件更密切相关。卤虫是一种对环境适应能力、特别是对盐度的适应能力很强的物种(在 10‰—100‰盐度范围都能正常孵化),但不适宜的环境、特别是低溶氧可以限制卤虫生长。

张闰生指出,无节幼体期和拟成体期,只要饵料供给量适宜,培养密度可以高达 500 个/L 以上,而不至于影响生长^[3]。Levens 和 Sorgeloos 指出,在较大的范围内卤虫的培养密度对生长的影响不显著^[21]。本实验主要目的在于自然环境生产力,所以卤虫的密度远没有其它资料报道的高^[22]。但从中可以发现,不仅饵料是一个关键因素,溶氧条件同样是一个不可忽略因素。

3.4 人工增殖干预对卤虫资源的承载力的影响

卤虫的种群数量、生长速度、发育速度、生殖能力都与卤虫的生物量密切相关,而环境对卤虫资源的承载力则体现在环境对卤虫生物量的最大持续容纳量上。从实验可以看出,通过投饵和施肥措施,可以使种群数量、生长速度、发育速度、生殖能力以及盐湖的资源承载力等得到有效改善。这种改善对提高卤虫产量、充分发挥卤虫生产潜力意义重大。特别是平均怀卵量,与对照组相比,投饵和施肥条件下都有大幅度提高,尤其是饲料组,最大提高幅度达到 72.71%。这是因为饵料不仅可以直接被卤虫食用,而且在分解过程中形成的其它微生物仍可被卤虫再次利用。

在桑根达莱淖尔,卤虫蛋白可开发量按环境承载力的 1/3 估计,每个周期的可开发量自然条件下为 0.373 kg/m³,施肥条件下 0.450 kg/m³,投饵条件下 0.578 kg/m³;依据资源恢复周期实验结果,空白组为 14 d 左右,施肥组为 10 d 左右,投饵组为 8 d 左右;计算出的相应年开发量分别为 2.61—2.98 kg/m³、4.5—5.4 kg/m³和 7.51—8.67 kg/m³。

滞育卵产量上的差异更为明显。从实验结果看,投饵组、施肥组和对照组的平均产量分别为:1.17、1.10 和 0.73 g/m³,比例分别为:1.6:1.5:1。但是,若加以考虑在卤虫卵的开发当中存在一个经济许可的开发基数问题,假设这一开发基数为 0.25 g/m³,则可开发的产量比值变化为:1.92:1.77:1。

内蒙古小型盐湖卤虫资源有较大增殖潜力,通过人工干预提高环境承载力是将这种潜力转化为生产力的重要方法。

致谢:袁鹤然副研究员协助野外采样,宋健铁及其同事帮助野外实验,特此致谢。

参考文献(References):

- [1] 任慕莲. 中国西北部盐湖卤虫生态及资源. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1996: 1-260.
- [2] 蔡亚能. 孤雌生殖与两性生殖卤虫的观察——卤虫种类的初探. 山东海洋学院学报, 1986, 16(3): 52-59.
- [3] 张闰生, 王睿, 徐振康. 培养密度对卤虫生长与繁殖的影响. 南开大学学报: 自然科学, 1994, (4): 83-93.
- [4] 马志珍, 武振彬, 陈汇远. 中国西北地区盐湖卤虫资源的评估. 现代渔业信息, 1994, 9(3): 15-18.

- [5] 孙存祯, 李青, 刘修业, 王良辰. 几种藻类对卤虫养殖效果的比较研究. 南开大学学报: 自然科学版, 1995, 28(1): 102-103.
- [6] 孙世春, 孙建华, 潘震球, 姚家伟, 李明仁, 卞伯仲, 孙锡恩, 王仁熙. 利用盐田卤水池塘养殖卤虫的研究. 海洋湖沼通报, 1991, (2): 70-77.
- [7] 吕隋芬, 卞伯仲. 数种农副产品和味精废液对卤虫 *Artemia* 饵料效果的初步研究. 海洋湖沼通报, 1989(1): 76-80.
- [8] 吕光俊, 赵文, 贾沁贤. 卤虫培育池水质变化规律研究. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2004, 30(5): 420-423.
- [9] 吕光俊, 赵文, 贾沁贤. 不同的卤虫放养密度对其生长的影响. 河南科技大学学报: 农学版, 2004, 24(1): 26-29.
- [10] 吕光俊, 赵文, 贾沁贤. 卤虫培育池的初级生产力. 河南科技大学学报: 自然科学版, 2005, 26(1): 68-71.
- [11] 吕光俊, 赵文, 贾沁贤. 卤虫培育池浮游生物生态学. 生态学报, 2005, 25(9): 2243-2248.
- [12] 何志辉, 秦克静, 王岩, 赵文. 晋南盐水水域生物资源调查 (一, 硝池). 大连水产学院学报, 1993, 8(4): 1-15.
- [13] 赵文. 内陆盐水水体枝角类研究述评. 大连水产学院学报, 1992, 6(2): 31-41.
- [14] Sorgeloos P, Roels O, Jaspers E. The brine shrimp *Artemia*. Wetteren, Belgium; Universal Press, 1980: 456-456.
- [15] Lenz P. Ecology of an alkali adapted variety of *Anemia* from Mono lake, California, USA. // Persoone G, Sorgeloos P, Rode D, Jaspers E, eds. The Brine Shrimp. *Artemia*, Vol.3. Ecology, Culturing, Use in Aquaculture. Wetteren, Belgium; Universal Press, 1980: 79-96.
- [16] Browne R A, Sallee S E, Grosch D S, Segreti W O, Purser S M. Partitioning genetic and environmental components of reproduction and lifespan in *Artemia*. *Ecology*, 1984, 65(3): 949-960.
- [17] Amat F. Diferenciación Y distribución de las poblaciones de *Artemia* de España III. oviparismo Y ovoviviparismo, estudio cualitativo Y cuantitativo. *Investigación pesquera*, 1982, 46(1): 3-13.
- [18] 黄旭雄, 陈马康, 刘波. 光周期对卤虫繁殖的影响. 水生生物学报, 2001, 25(3): 297-300.
- [19] 何舒宁, 刘鑫, 曾令珂, 黄成, 吴岷. 卤虫在不同饵料培养介质中的生长规律. 水产养殖, 2001, (6): 20-22, 14.
- [20] Mohebbi F. The Brine Shrimp *Artemia* and hypersaline environments microalgal composition; a mutual interaction. *International Journal of Aquatic Science*, 2010, 1(1): 19-27.
- [21] Lavens P, Sorgeloos P. *Artemia* Biology. Florida, USA; CRC Press, 1991: 317-350.
- [22] 孙世春, 孙建华, 潘震球, 姚家伟, 李明仁, 卞伯仲, 孙锡恩, 王仁熙. 利用盐田卤水池塘养殖卤虫的研究. 海洋与湖沼通报, 1991, (2): 70-77.