

草型湖泊河蟹养殖容量初探

金 刚^{1,2} 李钟杰¹ 谢 平¹

(1. 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; 2. 深圳职业技术学院生物应用工程系, 深圳 518055)

摘要:在移栽有沉水植物的网箱和水泥池, 放养不同规格和密度的河蟹, 以定量研究河蟹对沉水植物的影响, 进而探讨草型湖泊河蟹的养殖容量。草型湖泊对河蟹的养殖容量(或负荷力)可以定义为对水生植被的生长没有显著影响时的最大的河蟹现存量。通过河蟹放养密度与沉水植物相对生长率的分析, 获得了不同规格河蟹的养殖容量。当年幼蟹规格较小(壳宽 $18.0 \pm 1.2\text{mm}$), 其养殖容量为 $23\text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$; 二龄幼蟹($35.0 \pm 3.6\text{mm CW}$)的养殖容量是 $0.9\text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$; 较大规格河蟹($60.0 \pm 5.7\text{mm CW}$)的养殖容量是 $0.083\text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$ 。进一步分析得知, 在草型湖泊中河蟹对沉水植物生长不构成显著影响的最大产量密度为 $29.25\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

关键词: 草型湖泊; 河蟹; 沉水植物; 养殖容量

中图分类号: S968.25 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2003)04-0345-007

湖泊养殖业(如大量放养草鱼)的盲目发展已经给许多湖泊生态系统的结构和功能造成严重的影响, 在生态效应上表现为生物多样性丧失(如水生植被消失)和水体富营养化加剧^[1-3], 并最终导致湖泊渔业的萎缩。为使河蟹(*Eriocheir sinensis*)养殖业持续稳步的发展下去, 同时使湖泊生态环境不致恶化, 极有必要研究河蟹对湖泊生态系统结构和功能的影响。由于沉水植物群落结构是草型湖泊生态系统结构与功能的决定因素, 即只要保持沉水植物群落结构基本稳定, 湖泊生态系统的结构与功能就处于稳定状态^[4]。

因此, 研究河蟹对湖泊沉水植物群落结构的影响进而探讨草型湖泊河蟹的容纳量(养殖容量), 既能为进一步研究河蟹养殖对湖泊生态系统结构与功能的影响提供必要的基础资料, 又能为河蟹养殖业的可持续发展提供指导性的建议。

1 材料与方法

由于在围拦或全湖条件下, 采样技术有限, 加上河蟹的种群数量衰减, 很难准确及时地得知河蟹的现存密度。所以作者采用有机玻璃箱、水泥池和网箱, 同时移栽四种沉水植物: 苦草 *Vallisneria spiralis*,

金鱼藻 *Ceratophyllum demersum*, 黄丝草 *Potamogeton maackianus* 和聚草 *Myriophyllum spicatum*, 因而能够进行定量研究。河蟹采自保安湖。实验设计见表 1。对早期幼蟹, 在蜕壳 2 次后, 结束实验, 以保证实验前后规格不致相差很大。对其他规格的河蟹, 在每次实验时, 当发现有一种沉水植物生物量降为 0 时, 即结束实验。用 t-test 对实验前后河蟹数量进行检验, 若出现显著差异, 则舍弃该实验数据。用游标卡尺测量河蟹壳宽(背甲最大宽度), 精确至 0.1mm, 用电子秤称河蟹体重及沉水植物重量, 精确至 0.1g。不考虑河蟹性别对沉水植物影响的差异。

在实验 1、3 和 5, 20cm 厚的湖泥直接铺在箱底, 在实验 2 和 4, 沉水植物移栽于盛湖泥的竹篮(50cm × 30cm × 30cm), 事先把大型底栖动物从泥中去除, 以防动物性饵料的存在干扰河蟹对沉水植物的影响。在沉水植物移栽 7d 后放入肢体健全的河蟹。用方差(Duncan's multiple range test, one-way ANOVA)检验每次实验(同一规格)不同河蟹密度下某种沉水植物生物量是否有显著性差异。沉水植物生物量的相对生长率(RGR)与河蟹的密度和规格之间用 3D surface plot 分析并获得三者之间的关系式。沉水植物生物量的相对生长率用公式计算 $RGR = (B_2 -$

收稿日期: 2001-12-20; 修订日期: 2002-07-05
基金项目: 973 课题“长江流域生物多样性变化、可持续利用与区域生态安全”子专题“生物多样性与水生生态系统的恢复机制”(专题编号: G2000046802)资助
作者简介: 金 刚(1965—), 男, 湖北省当阳市人; 博士, 副研究员; 主要从事渔业生态学研究。承蒙刘建康院士修改全文, 实验中得到王士达、倪乐意、戎克文、唐汇娟、龚志军等的大力支持, 在此表示衷心感谢

$B_1)/B_1/t$, B_1 、 B_2 分别表示实验前后沉水植物生物量 ($g \cdot m^{-2}$), t 实验时间(d)。

表 1 水草初始生物量($g \cdot m^{-2}$)及河蟹放养密度($ind \cdot m^{-2}$)
Tab. 1 Initial density($g \cdot m^{-2}$)of macrophytes and the stocking density($ind \cdot m^{-2}$)of the mitten crab in 5 experiments

实验 1:	在玻璃缸(面积 $0.28m^2$)进行。	河蟹规格:	$7.0 \pm 0.6mm$ (CW),	水温: $32.3 \pm 1.6^{\circ}C$
No. of tanks	1—3	4—6	7—9	10—12
<i>V. spiralis</i>	250—260	252—263	255—260	250—261
<i>C. demersum</i>	219—230	222—231	215—226	225—234
<i>P. maackianus</i>	228—240	226—236	230—240	225—235
<i>M. spicatum</i>	270—282	271—286	275—297	275—280
Crab density	0	50	150	200
实验 2:	在保安湖网箱(面积 $1m^2$)进行。	河蟹规格:	$18.0 \pm 1.2mm$ (CW),	水温: $30.4 \pm 1.7^{\circ}C$
No. of cages	1—3	4—6	7—9	10—12
<i>V. spiralis</i>	358—372	358—376	353—377	359—375
<i>C. demersum</i>	340—356	345—350	340—355	348—350
<i>P. maackianus</i>	340—350	335—347	337—352	334—350
<i>M. spicatum</i>	372—380	367—379	360—375	360—378
Crab density	0	20	40	60
实验 3:	在水泥池(面积 $2m^2$)进行。	河蟹规格:	$35.0 \pm 2.6mm$ (CW),	水温: $28.5 \pm 2.2^{\circ}C$
No. of tanks	1—3	4—6	7—9	10—12
<i>V. spiralis</i>	270—281	270—276	270—276	273—278
<i>C. demersum</i>	280—289	280—289	281—289	278—286
<i>P. maackianus</i>	250—253	250—257	250—256	250—256
<i>M. spicatum</i>	260—268	265—277	270—278	273—276
Crab density	0	1	3	5
实验 4:	在保安湖网箱(面积 $4m^2$)进行。	河蟹规格:	$60.0 \pm 4.7mm$ (CW),	水温: $33.0 \pm 2.1^{\circ}C$
No. of cages	1—3	4—6	7—9	10—12
<i>V. spiralis</i>	345—358	340—358	353—357	347—358
<i>C. demersum</i>	348—369	347—360	350—357	347—355
<i>P. maackianus</i>	348—352	355—360	348—355	348—362
<i>M. spicatum</i>	348—355	345—360	347—361	352—354
Crab density	0	0.25	0.5	1
实验 5:	在水泥池(面积 $1m^2$)进行。	河蟹规格:	$37.4 \pm 2.7mm$ (CW),	水温: $29.5 \pm 2.8^{\circ}C$
No. of tanks	1—2	3—4		
<i>V. spiralis</i>	800	800		
鱼肉投喂量	充足	0		
Crab density	3	3		

2 结果

2.1 不同放养密度和规格的河蟹对沉水植物生物量的影响

早期幼蟹(壳宽 CW: $7.0 \pm 0.6mm$)不管密度多大($50-200ind \cdot m^{-2}$),对四种沉水植物生物量均无显著影响(图 1)。实验箱内没有水草叶片浮起。早期幼蟹大多数时间停留在叶片上,摄食时用两螯足撕下叶片表面的小块组织。胃含物观察表明,植物性食物碎片大小多在 1—500 个细胞之间(作者未发表的数据)。

规格稍大的当年幼蟹($18.0 \pm 1.2mm$ CW),在较大密度时($\geq 40ind \cdot m^{-2}$)对水草生物量的影响已经很明显(图 2)。在河蟹放入 10d 后,长的苦草叶片、金鱼藻和黄丝草的茎叶就不断浮至水面,而聚草较少受到影响。

当河蟹规格进一步增大($35.0 \pm 3.6mm$ CW),在较低密度时($\geq 3ind \cdot m^{-2}$)就大大降低水草生物量(图 3)。此时,不仅长的苦草叶片浮起,而且有完整的苦草植株浮起,其他三种水草也不断被咬断。在这个实验(实验 3)中,水泥池可被看作中型生态系统(Mesoecosystem),提供了一个观察河蟹对水生态

系统影响的机会,例如,透明度的变化。在对照组和密度为 $1\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ 的水泥池,透明度始终保持 80cm ,密度为 $3\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ 的水泥池,透明度仅在实验后期下降到 75cm ,而密度为 $5\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ 的水泥池,透明度在实验的第 8d 就下降到 70cm 。在泥上寻食和爬行易搅浑水,尤其当水草生物量很低时。类似的现象在鲤亦有,其底层活动增加了水的浊度^[5]。

规格最大的河蟹($60.0\pm5.7\text{mm CW}$)在密度 $\geq 0.25\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$,即对水草生物量产生严重影响(图 4),不过聚草生物量大幅度下降需在河蟹密度 $\geq 0.5\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ 时。

比较河蟹和草鱼对苦草的影响,可以看出,河蟹从下端夹断叶片,这导致长的叶片浮起,或者从根部夹断,导致整个植株漂起。而草鱼具有冠层取食的行为,从叶片上端开始摄食,漂起的常是很短的叶片,少有完整植株浮起^[6]。

至于规格效应,这一点很明确,河蟹规格越大,水草生物量所受影响越大。河蟹规格与水草相对生长率(RGR)之间有显著的负相关关系(表 2)。把河蟹规格和密度同时考虑来分析河蟹对水草的影响,可得出预测性模型(表 3)。在动物性饵料缺乏时,表 3 的方程可粗略预测河蟹对水草生物量的影响程

度。尽管如此,这种方程的适用性需得到湖泊数据的检验。

尽管河蟹喜食动物性饵料^[7],实验表明河蟹能够以水草为生(实验 1—4)。但是,在动物性饵料充足的条件下,河蟹对水草的影响甚微(表 4),在 10d 的实验期间,仅有 58g 苦草浮起,实验结束时苦草生物量为 999g 。而不投喂鱼肉的水泥池 10d 后苦草现存量平均为 36g 。这提示在河蟹放养密度较高的湖泊,补充投喂动物性饵料可以大大缓解河蟹对水草的破坏作用。

表 2 河蟹密度为 $1\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ 时,河蟹规格与水草相对生长率之间的相关分析

Tab.2 Comparison of pearson product-moment correlations values (r) of body size of mitten crab and relative growth rate(RGR) of different macrophytes (The stocking density of mitten crab is $1\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$)			
水草类型 Macrophytes	N	r	p
<i>V. spiralis</i>	12	-0.8998	0.000
<i>C. demersum</i>	12	-0.9182	0.000
<i>P. maackianus</i>	12	-0.8817	0.000
<i>M. spicatum</i>	12	-0.9072	0.000
Total	12	-0.9054	0.000

表 3 水草相对生长率与河蟹密度和规格之间的相关关系

Tab.3 The relationship of relative growth rate of different macrophyte and stocking density(y , $\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$) and body size(x , mm) of mitten crab	
Plant	Formula
<i>V. spiralis</i>	$z=0.026-6.8\times10^{-6}x^2-5.441\times10^{-5}xy-7.314\times10^{-7}y^2$
<i>C. demersum</i>	$z=0.017-0.001x+0.001y+3.298\times10^{-8}x^2-6.599\times10^{-5}xy-1.401\times10^{-6}y^2$
<i>P. maackianus</i>	$z=0.01-0.001x+5.4\times10^{-6}x^2-4.281\times10^{-5}xy-7.04\times10^{-7}y^2$
<i>M. spicatum</i>	$z=0.015-0.001x+0.001y+5.767\times10^{-6}x^2-3.961\times10^{-5}xy-1.134\times10^{-6}y^2$
Total	$z=0.014-0.001x+0.001y+5.295\times10^{-6}x^2-5.111\times10^{-5}xy-1.03\times10^{-6}y^2$

表 4 投饵料对苦草现存量的影响

Tab.4 Effect of feeding with fresh fish meat on standing biomass of <i>V. spiralis</i>				
水泥池号 Tank	1	2	3	4
鱼肉投喂量(g)	560	560	0	0
苦草现存量($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)	940	1058	0	72

2.2 草型湖泊对河蟹的养殖容量

对不同规格的河蟹分析其密度与水草相对生长率之间的关系,确定回归方程,找出对水草相对生长率没有显著影响的河蟹密度。此处为简便起见,仅考虑四种水草总的情况,未对各个种类具体分析。由于早期幼蟹($\text{CW}:7.0\pm0.6\text{mm}$)在实验密度范围内

对水草的影响甚微: $y=0.015-2.133\times10^{-6}x$ ($n=12$, $r=-0.2852$, $P=0.3689$), y : 水草的相对生长率($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$), x : 密度($\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$), 对分析养殖容量没多大意义。

规格稍大的当年幼蟹($18.0\pm1.2\text{mm CW}$)其密度与水草相对生长率之间可用一元二次方程拟合(图 1)。用 t -test 比较两密度下的 RGR 显著性差异可知,在对照组(河蟹密度为 0)和密度水平 1 组(密度为 $20\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$), RGR 没有显著性差异,而在密度水平 1 组和 2 组($40\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$), RGR 有显著性差异,表明密度水平 2 组的河蟹密度太大,已经严重影响水草的生长。但是密度水平 1 组不一定是对水草生

长率没有影响的 最大密度 。这个 最大密度 就在 密度水平 1 组和 2 组之间 ,即在 20 和 $40\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ 之间,它将使河蟹现存量 最大 ,同时不影响水草的生长。如何找到这个值? 利用图 1 给出的方程,令 $x=21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30,$ 等等,再求出相应的 y 值,分别是 $0.00831, 0.00787, 0.00741, 0.00692, 0.00641, 0.00587, 0.00531, 0.00472, 0.00411, 0.00348$ 。最后用所得的 y 值(即预测值)分别与密度水平 1 组的 RGR 两两相比较(t -test),发现 $x=23$ 时的 0.00741 及其后面的 y 值均与密度水平 1 组的 RGR 有显著性差异。到此,就找到了当年幼蟹($18.0\pm 22\text{mm CW}$)的养殖容量为 $23\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

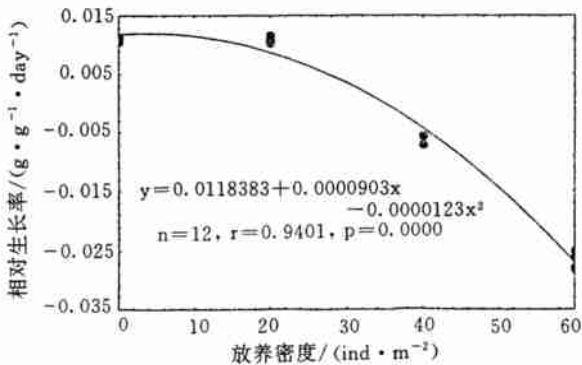


图 1 当年幼蟹不同密度($\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$)下,水草的相对生长率($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$)

Fig.1 The Relative growth rate ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$) of submerged macrophytes at different stocking densities ($\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$) of juvenile Chinese mitten crab

当河蟹规格进一步增大($35.0\pm 3.6\text{mm CW}$),其放养密度与 RGR 之间的关系同样可以用抛物线方程描述(图 2)。用 t -test 比较两密度下的 RGR 显著性差异可知,在对照组(河蟹密度为 0)和密度水平 1 组(密度为 $1\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$), RGR 就有显著性差异。可见,对壳宽为 35.0mm 的河蟹, $1\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ 太大,已经严重影响水草的生长。因此对这个规格的河蟹来说,其养殖容量在 $0-1\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ 之间。同样依据图 2 给出的方程,令 $x=0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9,$ y 值分别是 $0.01316, 0.01256, 0.01193, 0.01129, 0.01063, 0.00995, 0.00925, 0.00853, 0.00779$ 。用所得的 y 值分别与对照组的 RGR 两两相比较(t -test),发现 $x=0.9$ 时的 0.00779 与对照组的 RGR 有显著性差异,表明 $0.9\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ 是二龄幼蟹($35.0\pm 3.6\text{mm CW}$)的养殖容量。

同样,规格最大的河蟹($60.0\pm 5.7\text{mm CW}$)其密度与 RGR 之间的关系可以用抛物线方程很好地拟合(图 3)。因为在密度为 $0.25\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ 时,河蟹即对

水草生长产生显著性影响,故可推知这种大规格的河蟹养殖容量在 $0-0.25\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ 之间。令 $x=0.25/10, 0.25/9, 0.25/8, 0.25/7, 0.25/6, 0.25/5, 0.25/4, 0.25/3, 0.25/2,$ y 值分别是 $0.01174, 0.01172, 0.01169, 0.01165, 0.01159, 0.01150, 0.01135, 0.01106, 0.01035$ 。比较分析后发现, $0.25/3 = 0.083\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ 即为大规格河蟹的养殖容量。

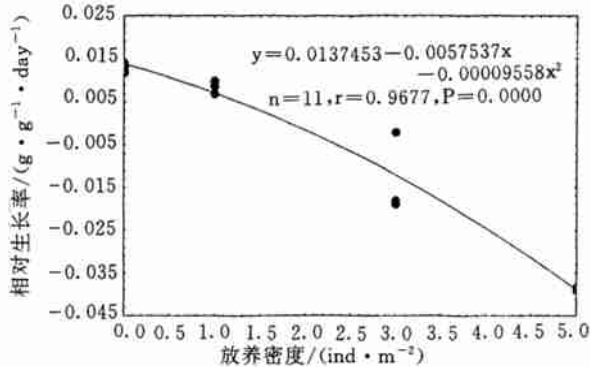


图 2 二龄幼蟹的放养密度($\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$)与水草的相对生长率($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$)之间的关系

Fig.2 The relative growth rate ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$) of submerged macrophytes at different stocking densities ($\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$) of 2-year-old Chinese mitten crab

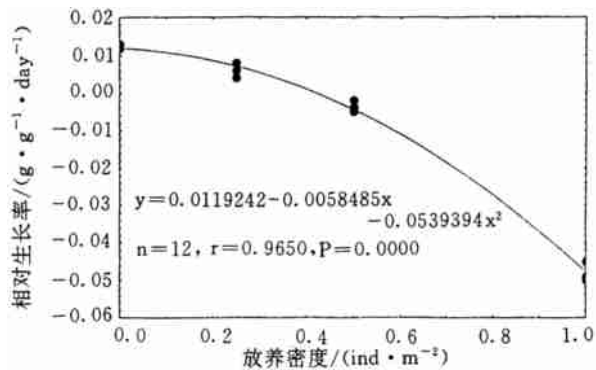


图 3 大规格河蟹的放养密度($\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$)与水草的相对生产率($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$)之间的关系

Fig.3 The relative growth rate ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$) of submerged macrophytes at different stocking densities ($\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$) of 2-year-old Chinese mitten crab

根据上述所得的数据,可以对河蟹规格与其相应的养殖容量之间的关系进行统计分析,指数方程有较好的拟合度(图 4)。可以用此指数方程来推测各种规格下河蟹对水草生长率没有影响的 最大密度 即养殖容量,如在 9 月份河蟹长成时规格为 70mm 左右,则相应的密度为 $0.017353\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ 。假如每千克河蟹有 6 只,折合为 $2.93\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 。这就是草型湖泊中河蟹对环境不构成显著影响的 最大产量密度 。

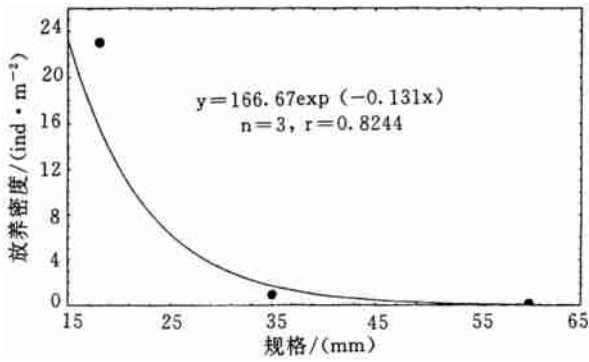


图4 水草生长率不受影响时河蟹密度($\text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$)与规格(mm)之间的关系

Fig. 4 The relationship between the density ($\text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$) and size (mm) of Chinese mitten crab in the case that RGR was not affected

3 讨论

养殖容量即负荷力(Carrying capacity),有多种定义。如 Frechette 认为养殖容量是某一种群在生产量接近于零时的丰度或现存量^[8]; Hephher and Pruginin 把瞬时生长率为零时单位水体的最高现存量定义为养殖容量^[9]; 李德尚把水库对投饵网箱养鱼的负荷力定义为不至于破坏相应水质标准的最大负荷量^[10]。Carver and mallet 认为不影响养殖对象增长速度而能取得最大产量的放养密度即为养殖容量^[11]; 杨红生把养殖海区对贝类的负荷力定义为在充分利用该海区的供饵力和自净能力的基础上,养殖群体所能维持的最大现存量^[12]。

草型湖泊对河蟹养殖容量的研究在国内外文献中均无资料可以借鉴。作者认为维持草型湖泊生态系统结构和功能的关键因子是水生植被,尤其是沉水植物。因此,草型湖泊对河蟹的养殖容量可以定义为对水生植被的生长没有显著影响时的最大的河蟹现存量。由于草型湖泊中有众多的草食性动物如多种鱼类、腹足类等,所以,定义中不说对水生植被的现存量是否有影响,而强调其生长。目的是使水生植被有较大的冗余现存量,以维持其他动物的生存。在安徽女山湖围栏养蟹试验中,河蟹放养密度不超过 $30 \text{ ind} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,沉水植物资源得到了保护^[17]。必须指出,女山湖试验未考虑其他草食性动物对沉水植物的影响,而且沉水植物生物量较低,在8月份小于 $900 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ (湿重)。在池塘试验中,河蟹放养密度为 $0.23 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 、产量为 $3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 时,沉水植物受到较大影响^[18],可能与放养规格($14.6 \text{ g} \cdot \text{ind}^{-1}$)较大有关。

结果表明,河蟹在不同规格具有不同的养殖容量,最感兴趣的是成蟹的养殖容量,这是一个湖泊在其结构和功能未发生显著变化时的最高产量密度。根据最高产量密度,可以依照成活率来确定河蟹的合理放养密度。规格较小的幼蟹养殖容量是不是不破坏环境的合理放养密度,还需进行进一步研究。扁担塘养殖实践提示,在人工投饵的条件下河蟹产量密度能够突破其养殖容量,但是从水质的角度来看,各种水化学指标是否发生显著性变化,这是一个新的研究课题。此外,水草的生长受到许多因子的调控,如丝状藻类的影响^[13],在小面积的箱内实验中,常常滋生大量的丝状藻类,这将影响实验结果。但目前尚无方法排除其影响。由于水草的相对生长率受其初始密度的影响^[14],因此有必要研究在水草不同初始密度下河蟹的养殖容量。

河蟹胃含物中有植物、小杂鱼、虾类、贝类、水生昆虫和蠕虫^[15],还有数 10 种藻类。无疑,河蟹为杂食性甲壳动物。最近在室内对河蟹的选食性及消化率进行过初步研究,表明河蟹更喜食动物性饵料^[7]。在美国旧金山湾对河蟹胃含物的分析表明,尽管河蟹为杂食性的,但是主要摄食水生植物^[16],这与保安湖的观察结果一致。此研究结果是在动物性饵料缺乏的条件下得出的,这在河蟹放养密度较高的水体中,尤其是初秋,河蟹的动物性饵料出现短缺有可能常常发生。显然,作者提出的养殖容量可能不是精确的,但研究方法值得深入发展。总之,河蟹、水草、动物性饵料资源和水质四者之间的数量关系是全面衡量一个湖泊河蟹养殖容量的必要基础。

参考文献:

- [1] Liu, J.-K. Studies on Ecology of East Lake [M]. Beijing: Science Press, 1990, 287—394. [刘建康. 东湖生态学研究(一). 北京: 科学出版社, 1990, 287—394]
- [2] Xie P, Cui Y. Biodiversity in the lakes along the Middle Reaches of the Yangtze River and fishery development [J]. Acta Hydrobiologica Sinica. 1996, 20(Suppl.): 1—5. [谢平, 崔奕波. 长江中下游湖泊生物多样性与渔业发展. 水生生物学报, 1996, 20 卷(增刊): 1—5]
- [3] Zhang G, Cao W, Chen Y. Effects of fish stocking on lake ecosystems in China [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1997, 21(3): 271—280. [张国华, 曹文宣, 陈宜瑜. 湖泊放养渔业对我国湖泊生态系统的影响[J]. 水生生物学报, 1997, 21(3): 271—280]
- [4] Crowder A, Painter D S. Submerged macrophytes in lake ontario: current knowledge, importance, threats to stability, and needed studies [J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1991, 48(8): 1539—1545

- [5] Loughheed V L, Crosbie B, Chow-Fraser P. Predictions on the effect of common carp (*Cyprinus carpio*) exclusion on water quality, zoo-plankton, and submergent macrophytes in a Great Lakes wetland [J]. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1998, **55**(5): 1189—1197
- [6] Liang Y, Liu H. Resources, environment and fishery ecological management of macrophytic lakes [M]. Beijing: Science Press, 1995, 227—235. [梁彦龄, 刘伏泉. 草型湖泊资源、环境与渔业生态学管理. 北京: 科学出版社, 1995, 227—235]
- [7] Zhu X, Cui Y, Guang S. Food selection and digestibility of three natural diets for the Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*). *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1997, **21**(1): 94—96. [朱晓鸣, 崔奕波, 光寿红. 河蟹对三种天然饵料的选食性及消化率. 水生生物学报, 1997, **21**(1): 94—96]
- [8] Frechette M M. Carrying capacity and density dependence [J]. *ICES Mar Sci Symp*, 1991, **192**: 78
- [9] Hephner B, Pruginin Y. Commercial fish farming [M]. N. Y New York: Wiley & Sons, 1981, 261
- [10] Li D, Xiong B, Li Q, et al. Carrying capacity of reservoirs for feeding cage-culture of fish [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1994, **18**(3): 223—229. [李德尚, 熊邦喜, 李琪, 等. 水库对投饵网箱养鱼的负荷力. 水生生物学报, 1994, **18**(3): 223—229]
- [11] Carver C E, Mallet A L. Assessing the carrying capacity of a coastal inlet in terms of mussel culture [J]. *Aquaculture*, 1990, **88**: 39—53
- [12] Yang H. Foundational studies on carrying capacity and optimisation of farming technique for raft-culture ecosystem in shallow sea [R]. Post-doctoral paper, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, China, 1998, 1—153. [杨红生. 浅海筏式养殖系统养殖容量与优化技术的基础研究 [R]. 中国科学院海洋研究所博士后研究报告, 1998, 1—153]
- [13] Ozimek T, Pieczynska E, Hankiewicz A. Effects of filamentous algae on submerged macrophyte growth: a laboratory experiment [J]. *Aquatic Botany*, 1991, **41**(4): 309—315
- [14] Jin G, Cui Y. The relationship between the relative growth rate of *Potamogeton maackianus* biomass and its initial biomass in Banan Lake [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1996, **20**(Suppl.): 186—190. [金刚, 崔奕波. 黄丝草生物量相对增长率与初始生物量关系的季节变化. 水生生物学报, 1996, **20**(增刊): 186—190]
- [15] Chen B, Du N, Ye H. Analysis on the feeding habit of the mitten crab *Eriocheir sinensis* [J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 1989, **16**(1): 2—5. [陈炳良, 堵南山, 叶鸿发. 河蟹的食性分析. 水产科技情报, 1989, **16**(1): 2—5]
- [16] Halat K M, Resh V H. The Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*): Implications for the freshwater habitats of the San Francisco Bay and Delta Ecosystem [R]. Abstract from the sixth international zebra mussel and other aquatic nuisance species conference, 1996. Dearborn, Michigan
- [17] Zu G. Utilization and protection of submerged plant resources by pen-crab culturing in Nushan Lake [J]. *Journal of Lake Sciences*, 1999, **11**(1): 91—96. [祖国掌. 围栏养蟹利用与女山湖沉水植物资源保护. 湖泊科学, 1999, **11**(1): 91—96]
- [18] Zhang Z C, Wu S J. Studies on stocking Chinese mitten crab and utilisation of macrophytic resource in Lake Gucheng [J]. *Freshwater Fisheries*, 1994, **24**(Suppl.): 21—25. [章宗涉, 吴斯锦. 固城湖河蟹放养和水草资源利用探讨 [J]. 淡水渔业, 1994, **24**(特刊): 21—25]

STUDIES ON THE CARRYING CAPACITY OF CHINESE MITTEN CRAB IN MACROPHYTIC LAKES

JIN Gang^{1,2} LI Zhong-Jie¹ and XIE Ping¹

(1. State key Laboratory of Fresh Water Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, The Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072;

2. Shenzhen Polytechnic, Shenzhen 518055)

Abstract: The experiments on Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) stocked in cages and tanks with the transplanted submersed macrophytes were conducted to study effects of the crab sizes and densities on the biomass of different macrophytes, and to investigate the carrying capacity of the crab in macrophytic lakes. The small juvenile mitten crab (CW: 7.0 ± 0.6 mm) had little effect on biomass of the four submersed macrophyte species, at the stocking density of 50 to 200 ind $\cdot m^{-2}$. There were no floating, fragmented leaves or whole macrophytes found during the experiment for small crabs. It was observed that while feeding, these small crabs used their very small and weak claws to grip and tear foods, usually the surface parts of leaves or stems of submersed macrophytes or periphyton on them. The larger mitten crabs (18.0 ± 22 mm CW) had noticeable effects on submersed macrophyte biomass, and the effects were significant at the higher crab stocking densities (≥ 40 ind $\cdot m^{-2}$). When the size of the crab became larger (35.0 ± 3.6 mm CW), it had a much stronger effect on macrophyte biomass, in which, with stocking densities not less than 3 ind $\cdot m^{-2}$, whole *V. spiralis* with or without roots and its long leaves and the long stems of *C. demersum*, *P. maackianus* and *M. spicatum* were all found floating. Except for *M. spicatum*, plant biomass decreased sharply due to the largest crabs (60.0 ± 5.7 mm CW) at stocking densities not less than 0.25 ind $\cdot m^{-2}$, and biomass of *M. spicatum* decreased significantly at stocking densities not less than 0.5 ind $\cdot m^{-2}$. While feeding, or searching for food, the largest crabs cut the leaves of *V. spiralis* from the lower end, and it resulted in floating long leaves or whole macrophyte. In the present paper, the carrying capacity is defined as the maximal standing biomass of the crab in the case that the macrophyte growth is not significantly affected by the crab. The different carrying capacities for the crabs of different sizes were estimated by analyzing the relationship between the crab density and the relative growth rate of the macrophyte. For the small juvenile crab (Carapace width = CW: 18.0 ± 1.2 mm), the carrying capacity is 23 ind $\cdot m^{-2}$; for the larger crab (35.0 ± 3.6 mm CW), the carrying capacity is 0.9 ind $\cdot m^{-2}$; for the largest crab (60.0 ± 5.7 mm CW) in the experiments, the carrying capacity is about 0.083 ind $\cdot m^{-2}$. The carrying capacity of the mature crab in macrophytic lakes was calculated as 29.25 kg $\cdot hm^{-2}$ according to the relationship of carrying capacity-crab size.

Key words: Macrophytic lakes; Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*); Submersed macrophytes; Carrying capacity