

大通湖中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*) 自然生产潜力估算模型探讨*

杨品红^{1,2} 邹万生¹ 刘良国¹ 徐黎明¹ 王文彬¹ 陈红文²
唐琳¹ 曹苗² 黄春红¹ 罗玉双¹ 韩庆¹

(1. 环洞庭湖水产健康养殖与加工湖南省重点实验室 动物学湖南省高校重点实验室 湖南文理学院生命科学院 常德 415000; 2. 大通湖天泓渔业股份有限公司 益阳 413100)

摘要 人放天养的中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)质量好、个体大、耐运输、肉质鲜美,是优质高档蟹的代表,但产量严重不足。建立一套湖泊中华绒螯蟹自然生产潜力估算的模型来估算湖泊中华绒螯蟹自然生产潜力,确定放养量,以达到湖泊中华绒螯蟹稳产已迫在眉睫。本文根据近 20 年来作

者对湖泊中华绒螯蟹放养的经验,结合灰估理论,提出蟹自然生产潜力: $W = \left(\frac{B_1 K_1 C_1}{R_1} + \frac{B_2 K_2 C_2}{R_2} \right)$ 。

$\frac{(B_1+B_2)^2}{B_1^2+B_2^2}$ 和蟹种放养量: $W_0 = P_0 \cdot \left(\frac{B_1 K_1 C_1}{R_1} + \frac{B_2 K_2 C_2}{R_2} \right) \cdot U/P$ 估算模型,并与生产实践进行求证。其结果

与生产实践存在较好的一致性。其估算结果可作为指导湖泊中华绒螯蟹生产的依据。

关键词 大通湖; 中华绒螯蟹; 自然生产潜力; 模型

中图分类号 S932.5 doi: 10.11693/hyhz20150400130

自然生产潜力即自然条件下的最大可能产量,对自然生产潜力的研究主要集中在农业方面。早期研究有竺可桢(1964)的气候与粮食作物的关系,黄秉维(1985)的光合生产潜力估算公式,龙斯玉(1985)的气候生产潜力公式,中国科学院自然资源综合考察委员会开展的中国土地资源生产能力及人口承载力研究(陈百明, 1987),现在仍有不少学者针对不同土地(付海英等, 2007; 高文斌等, 2009; 吴浩浩等, 2013)及不同作物(张浩等, 2009; 马新明等, 2010; 李团胜等, 2012)进行自然生产潜力的研究,都取得了较好的效果。

中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)俗称河蟹、毛蟹、大闸蟹、清水蟹等,在我国各地广泛分布,是人们生活中不可或缺的淡水珍品,其味道鲜美、风味独特、

营养丰富。随着市场经济的发展与完善,人民生活水平日益提高,外销途径亦渐畅通,对中华绒螯蟹的消费需求量越来越大,极大地刺激了其养殖产业。据不完全统计,全国中华绒螯蟹养殖面积达到 90 万 hm^2 以上,产量超过 60 万 t,价值超过 400 亿元。但湖泊人放天养的中华绒螯蟹产量不足,究其原因,对湖泊中华绒螯蟹的研究主要集中在养殖(王振吉等, 2007; 侯长旺, 2008; 曾文涛等, 2012; 鲁斌, 2013)、捕捞(温周瑞等, 1998; 尹绍武等, 2002)方面,仅有金刚等(2003)做过养殖容量方面的探讨,杨品红等(2014a)进行了中华绒螯蟹的品质分析,迄今为止尚未见研究者对人放天养的大湖进行过蟹产潜力研究与估算,致使大湖养蟹产量不稳定,养蟹效益不明显,很多大湖放弃养蟹这一产业。人放天养的蟹质量好、个体大、

* “2011 计划”湖南省水产健康生产协同创新中心项目, 2014—2017; 湖南省湖南文理学院—大湖股份水产院士工作站项目, 2013; 国家淡水渔业工程技术湖南中心项目, 2013; 湖南省高校科技创新团队支持计划项目, 2011—2014; 湖南省高校产学研示范基地项目及省重点学科建设项目资助, 2011—2014。杨品红, 教授, E-mail: yph588@163.com

收稿日期: 2015-04-26, 收修改稿日期: 2015-05-19

耐运输、肉质鲜美,是优质高档蟹的代表。其价格可高于池塘养殖的1倍以上。因此,很有必要建立一套湖泊中华绒螯蟹自然生产潜力估算的模型来估算其自然生产潜力(杨品红等,2010a, b),确定蟹放养量,以达到湖泊中华绒螯蟹稳产和获取最佳效益的目的,为我国中华绒螯蟹养殖业的可持续发展提供科学依据。

1 研究方法

1.1 中华绒螯蟹生长与饵料生物环境间的关系

中华绒螯蟹通常喜欢生活在饵料丰富、水面开阔、水质良好、水草丛生的水域里,水中溶解氧、pH值、光照及其它水生生物等环境因子对其生长都有很大影响(Rodríguez, 1987; Pinheiro *et al*, 2009),良好的水质可以使中华绒螯蟹处在最佳的生长环境中。养殖水质良好的重要指标有:水中溶解氧要求大于4mg/L, pH在6.8—9.5之间,透明度40—100cm。中华绒螯蟹适宜生长水温为15—30°C,最适生长水温为24—28°C。

试验研究表明:长江中下游地区无污染的湖泊,其水质状况和条件都十分适合于上述指标,都是养殖中华绒螯蟹的良好水体。虽然中华绒螯蟹为杂食性,但经过对其胃含物分析,发现其主要摄食水生植物(Halat *et al*, 1996)。在人放天养的情况下,中华绒螯蟹的产量主要取决于湖泊水草(主要指沉水植物)生物量(Crowder *et al*, 1991)和底栖动物(主要指螺、蚬)生物量(堵南山, 1993)的多少及敌害生物量的多少和捕获能力。

1.2 蟹产潜力估算

1.2.1 指标的选择与计算式 由于湖泊中的溶氧、pH值、透明度、水温、光照等条件都适宜于中华绒螯蟹生长,故蟹产量仅与湖泊中饵料生物量和敌害有关。但一般情况下,在中华绒螯蟹放养的水面,养殖户都对蟹的敌害生物做了一定的控制(比如消毒、诱捕、灭杀敌害生物等)。中华绒螯蟹作为杂食性动物,不仅食螺、蚬等底栖动物,也食水草等水生植物。尤其是水草在作为蟹类食物的同时,又是其栖息和脱壳的主要场所(杨品红等,2014b)。有谚语称“草多少,蟹多少”,说明水草资源与螺、蚬是影响中华绒螯蟹生长和成活的主要因素。因此,作者仅用水体中的中华绒螯蟹饵料生物量作为估算参数,来估算蟹自然生产潜力。运用灰色评估理论、结合多年放养经验和所得到的结果,用 W 表示蟹自然生产潜力、 W_0 表示蟹种放养量、 U 表示回捕率、 W_s 表示起捕量、 B 表示

水草生物量、 K 表示饵料系数、 C 表示蟹对饵料生物的利用率、 R 表示饵料系数、 P 表示蟹起捕率规格、 P_0 表示放养规格,则:

蟹自然生产潜力:

$$W = \left(\frac{B_1 K_1 C_1}{R_1} + \frac{B_2 K_2 C_2}{R_2} \right) \cdot \frac{(B_1 + B_2)^2}{B_1^2 + B_2^2} \quad (1)$$

蟹种放养量:

$$W_0 = P_0 \cdot \left(\frac{B_1 K_1 C_1}{R_1} + \frac{B_2 K_2 C_2}{R_2} \right) \cdot U/P \quad (2)$$

蟹回捕率: $U = W_s \cdot P_0 / W_0 \cdot P$ (3)

蟹起捕量: $W_s = \frac{W_0 P}{P_0} \cdot U$ (4)

以上式中: W - 蟹产潜力(t); W_s - 蟹起捕量(t); W_0 - 蟹种放养量(t); B_1 - 水草生物量(t); B_2 - 螺、蚬生物量(t); C_1 - 水草生物量的利用率(%); C_2 - 螺、蚬生物量的利用率(%); K_1 - 水草 P/B 系数; K_2 - 螺、蚬 P/B 系数; R_1 - 中华绒螯蟹食草饵料系数; R_2 - 中华绒螯蟹食螺、蚬饵料系数; P - 起捕规格(g/ind.); U - 回捕率(%); P_0 - 放养规格(g/ind.)。

1.2.2 相关参数的取值 蟹种放养规格,湖泊蟹种的放养规格为3—5g/ind.; 中华绒螯蟹食草的饵料系数(R_1)取值为80—120,中华绒螯蟹食草的螺、蚬饵料系数(R_2)取值为80—100; 水草 P/B 系数(K_1)为0.5—0.9(水草密度大,取偏小值),螺、蚬 P/B 系数(K_2)为0.4—0.8(螺、蚬密度大,取偏小值); 水草生物量的利用率(C_1)为50—70%(水草越少其利用率取值越高),螺、蚬生物量的利用率(C_2)为50—80%(水草与螺、蚬不成比例,螺、蚬越多,其利用率取值越低); 湖泊中华绒螯蟹回捕率(U)一般为10—25%。

2 结果

2.1 中华绒螯蟹自然生产潜力公式的验证

湖泊放养的中华绒螯蟹的一般回捕率很低,主要是由蟹的生活习性造成的。回捕率是影响湖泊中华绒螯蟹产量的主要因子,因为即使养殖成功(蟹的成活率高、规格也大,防盗防逃措施也到位),但如果捕捞方法不得当,造成回捕率低,也会影响中华绒螯蟹的产量。因此,中华绒螯蟹的实际产量与其自然生产潜力相差较大,一般情况下,中华绒螯蟹的实际产量为其自然生产潜力的50%—90%(曾文涛等,2012)。

运用公式(1): $W = \left(\frac{B_1 K_1 C_1}{R_1} + \frac{B_2 K_2 C_2}{R_2} \right) \cdot \frac{(B_1 + B_2)^2}{B_1^2 + B_2^2}$

遵循取值原则,分别取 $R_1=90$, $R_2=100$; $K_1=0.5$,

$K_2=0.5$; $C_1=70\%$, $C_2=55\%$ 。计算出大通湖中华绒螯蟹的自然生产潜力见表 1。

从表 1 可以看出: 3 年来大通湖中华绒螯蟹自然生产潜力为 147.3—243.9t 之间, 实际起捕量占蟹自然生产潜力的 65%—84%。

$$\text{用 } W_0 = P_0 \cdot \left(\frac{B_1 K_1 C_1}{R_1} + \frac{B_2 K_2 C_2}{R_2} \right) \cdot U/P \text{ 取起水规格 } P$$

为 150g/只, 放养规格 P_0 为 4g/只, 水草量预计为 5000t, 螺、蚬量为 58000t, 起捕率 U 为 15%推算出 2013 年大通湖湖泊蟹种放养量为 28.1t, 约 589 万只。

如果大通湖水草面积达到 2000 hm^2 , 平均水草量为 4 kg/m^2 , 螺、蚬蕴藏量 60000t, 其中中华绒螯蟹的

自然生产潜力达 933.49t, 实际产量可达 653.44t。据大通湖渔场的历史捕捞数据显示: 2004 年, 螺、蚬丰富, 水草覆盖率达 25%, 当年起捕中华绒螯蟹达 652.8t。可见上述模型计算出的产量与实际捕获量相差仅为 0.1%。以上结果都可证实其生产潜力公式的正确性。

2.2 中华绒螯蟹自然生产潜力公式的应用

由此, 作者将公式应用到其它湖泊, 其参数同样分别取 $R_1=90$, $R_2=100$; $K_1=0.5$, $K_2=0.5$; $C_1=70\%$, $C_2=55\%$, $P=150\text{g}/\text{只}$, $P_0=4\text{g}/\text{只}$, $U=15\%$, 预计起捕量为生产潜力估值的 70%, 计算出的中华绒螯蟹自然生产潜力、蟹产量和放养量见表 2。

表 1 大通湖中华绒螯蟹自然生产潜力估算

Tab.1 The natural potential productivity estimated of *E. sinensis* in Datong Lake

年份	螺、蚬现存量(t)	水草现存量(t)	蟹产潜力(t)	实际起捕量(t)	占蟹产潜力(%)
2009	38147	4200	147.3	104.0	70.60
2010	60878	2100	152.0	98.8	65.00
2011	52340	8900	237.5	194.9	82.06
2012	72320	4800	243.9	203.8	83.56

表 2 湖南省主要湖泊中华绒螯蟹自然生产潜力估算

Tab.2 The natural potential productivity estimated of *E. sinensis* in major lakes in Hunan Province

项目	面积(hm^2)	生物量(t)		生产潜力估值(t)	预计产量(t)	放养量	
		水草	螺、蚬			数量(10^4ind.)	重量(t)
安乡珊瑚湖	1460	3200	9800	45.14	31.60	189	7.57
津市西湖	4150	4100	12760	80.75	56.52	227	9.07
澧县北民湖	1533	4800	15400	95.69	67.68	271	10.85
华容东湖	2120	5100	16080	100.97	70.68	287	11.39
汉寿安乐湖	1200	3800	5150	56.72	39.69	129	5.14
汉寿青山湖	1000	4700	5100	64.52	45.16	143	5.74

从表 2 可见, 中华绒螯蟹产蟹量最大的为华容东湖, 实际上, 安乡珊瑚湖在水草丰茂、底栖生物量大时, 产蟹量曾经达 50t, 一般产蟹在 26—35t 之间。津市西湖最高产蟹量达 70t, 一般在 50—65t 之间, 2007 年曾经有养殖户放蟹种 25t, 预计可产蟹 120t 以上, 但到最后仅起水蟹 55t。澧县北民湖曾高产达 75t, 但一般在 55—70t 之间。华容东湖 1993 年水草面积曾占 34%, 底栖生物丰富时蟹最高产量达 98t, 但近年来一般在 60—80t 之间。汉寿安乐湖和青山湖, 近年来的蟹产量都在 35—55t 之间, 青山湖面积虽小, 但产量一直比安乐湖高, 其原因在于其水草量一直高于安乐湖。

另外, 如果大通湖原生态中华绒螯蟹的实际产量希望保持在 320t/y 左右, 那么螺、蚬的现存量保存

应在 55000t 左右, 中华绒螯蟹的放养量应为 45556kg, 1138.89 万只, 大通湖水草面积应保持在 900 hm^2 以上(覆盖率约为 11.25%), 水草密度应为 3.0 kg/m^2 以上。

3 讨论

3.1 中华绒螯蟹自然生产潜力的估算模型

对于如何估算中华绒螯蟹的自然生产潜力, 迄今为止未能有一种合理的、能用于指导生产的估算模式。作者通过近 20 年来的实践工作, 结合灰估理论, 提出了蟹自然生产潜力的估算模式, 估算结果与实际生产高度一致。可以作为湖泊蟹种放养的可靠依据。

根据该模型估算投放蟹种苗, 可以使湖泊生态环境不致遭到破坏, 中华绒螯蟹养殖业也可持续稳步的发展。对中华绒螯蟹自然生产潜力的探讨, 既

能为进一步研究中华绒螯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,又能为其养殖业的可持续发展提供指导性的建议(金刚等, 2003)。

3.2 提高中华绒螯蟹自然生产潜力的方法

水草作为水体生态系统的组成部分,也是湖泊的重要生物资源,并为水产经济动物提供生活和繁衍的场所。中华绒螯蟹在自然环境中以植物性食物为主,水草是其必需的生存、生长和繁殖环境,对提高蟹的存活率起着至关重要的作用。从蟹产潜力模式中可以看出,当水草生物量大于或等于螺、蚬生物量时,蟹产潜力易出现最大值,因此,培养和保护水草等水生植物的生长是提高蟹自然生产潜力的最有效方法。2004 年的数据显示,当水草面积达 25%左右时,最高蟹产量达 652.8t。因此,要想恢复大通湖中华绒螯蟹的高产量,对大通湖水草资源的重建显得非常重要。至于如何重建,在杨品红等(2014b)的《大通湖大湖水体水生植被重建技术研究》中有详细阐述。

3.3 提高中华绒螯蟹产量的关键因素

浮游植物是湖泊生态系统中最重要初级生产者之一,也是食物链的第一个环节,其初级生产力是水体生物生产力的基础。浮游植物作为蟹的天然饵料,其量的高低直接反映蟹的生产潜力(彭刚等, 2007)。研究发现,在人放天养的湖泊中,由于浮游植物的量有限,即使是好点的草型湖泊,其自然生产潜力也难超过 150kg/hm²。因此,适当增加人工投喂是提高湖泊中华绒螯蟹产量的关键因素。江苏省阳澄湖每年可产 2000t 中华绒螯蟹(单产 187.5kg/hm²)(孙传敏, 2013),主要是依据人工投喂的结果(阳澄湖有精养围栏面积达 1/4)。

4 结论

本文根据近 20 年来作者对湖泊中华绒螯蟹放养的经验,结合灰估理论,提出:蟹自然生产潜力:

$$W = \left(\frac{B_1 K_1 C_1}{R_1} + \frac{B_2 K_2 C_2}{R_2} \right) \cdot \frac{(B_1 + B_2)^2}{B_1^2 + B_2^2} \text{ 和 蟹种放养量:}$$

$$W_0 = P_0 \cdot \left(\frac{B_1 K_1 C_1}{R_1} + \frac{B_2 K_2 C_2}{R_2} \right) \cdot U/P \text{ 估算模型, 并与生产}$$

实践进行求证,其结果与生产实践存在较好的一致性。其估算结果可作为指导湖泊中华绒螯蟹生产的依据。同时建议,想要提高湖泊中华绒螯蟹的产量,必须要恢复水草资源和进行人工投喂。

参 考 文 献

- 马新明, 张 浩, 熊淑萍等, 2010. 基于 GIS 技术的河南粮食核心区小麦玉米区域潜力研究. 农业工程学报, 26(增刊 1): 162—168
- 王振吉, 郑 泽, 2007. 青海可鲁克湖河蟹生态养殖初报. 水利渔业, 27(6): 30—31
- 尹绍武, 胡自强, 2002. 湖泊河蟹捕捞规律与方法的研究. 淡水渔业, 32(1): 58—60
- 龙斯玉, 1985. 江苏省农业气候资源生产潜力及区划的研究. 地理科学, 5(3): 218—226
- 付海英, 郝晋珉, 朱德举等, 2007. 耕地适宜性评价及其在新增其它用地配置中的应用. 农业工程学报, 23(1): 60—65
- 孙传敏, 2013. 阳澄湖大闸蟹: 2100 吨的局, 怎么破?. 海洋与渔业: 上半月, (10): 9
- 李团胜, 张 艳, 闫 颖等, 2012. 基于农用地分等成果的陕西周至县耕地粮食生产能力测算. 农业工程学报, 28(15): 193—198
- 杨品红, 王志陶, 徐黎明, 2010a. 能效渔业状态下津市西湖生态因子与浮游植物密度的灰关联模型 {GM(I, N)}. 海洋与湖沼, 41(3): 403—409
- 杨品红, 王志陶, 徐黎明, 2010b. 人工控制条件下津市西湖生态因子的灰关联分析. 水生态学杂志, 3(1): 7—13
- 杨品红, 李梦军, 黄春红等, 2014a. 大通湖中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 品质分析与评价. 海洋与湖沼, 45(3): 637—643
- 杨品红, 陈红文, 韩 庆等, 2014b. 大通湖大湖水体水生植被重建技术研究. 安徽农业科学, 42(16): 5048—5049
- 吴浩浩, 李团胜, 赵宏志等, 2013. 基于农用地分等成果的武功县耕地生产能力分析. 干旱地区农业研究, 31(3): 213—216
- 张 浩, 席 磊, 许 鑫等, 2009. 基于 GIS 的县域小麦自然生产潜力评价系统. 农业工程学报, 25(12): 198—205
- 陈百明, 1987. 中国土地资源生产能力及人口承载力研究工作会议在京召开. 资源科学, (1): 96
- 竺可桢, 1964. 论我国气候的几个特点及其与粮食作物生产的关系. 地理学报, 30(1): 1—13
- 金 刚, 李钟杰, 谢 平, 2003. 草型湖泊河蟹养殖容量初探. 水生生物学报, 27(4): 345—351
- 侯长旺, 2008. 湖泊河蟹暂养育肥技术要点. 渔业致富指南, (22): 47
- 高文斌, 江 东, 杨小唤, 2009. 遥感数据驱动的耕地生产潜力模型与应用. 地理科学进展, 28(4): 597—602
- 堵南山, 1993. 甲壳动物学(下册). 北京: 科学出版社, 74
- 黄秉维, 1985. 华北平原农业与水利问题及农业生产潜力研究. 地理集刊, (17): 1—14
- 彭 刚, 李潇轩, 郝 忱等, 2007. 溇湖夏季浮游植物初级生产力测定. 渔业经济研究, (1): 46—48
- 鲁 斌, 2013. 生态修复技术在小型湖泊养蟹中的应用. 安徽农学通报, 19(1—2): 106, 129

- 曾文涛, 刘家寿, 张堂林等, 2012. 长江中游三个湖泊中华绒螯蟹生长变化研究. 淡水渔业, 42(2): 47—54
- 温周瑞, 陈洪达, 1998. 湖泊河蟹捕捞规律探讨. 水利渔业, (5): 32—35
- Crowder A, Painter D S, 1991. Submerged macrophytes in lake ontario: current knowledge, importance, threats to stability, and needed studies. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 48(8): 1539—1545
- Halat K M, Resh V H, 1996. The Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*): Implications for the freshwater habitats of the San Francisco Bay and Delta Ecosystem. In: Abstract from the Sixth International Zebra Mussel and Other Aquatic Nuisance Species Conference. Dearborn, Michigan
- Pinheiro M A A, Fiscarelli A G, 2009. Length-weight relationship and condition factor of the mangrove crab *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Crustacea, Brachyura, Ucidae). Brazilian Archives of Biology and Technology, 52(2): 397—406
- Rodríguez A, 1987. Biología del langostino *Penaeus kerathurus* (Forskål, 1775) del golfo de Cádiz. III. Biometría, edad y crecimiento. Investigación Pesquera, 51(1): 23—38

THE STUDY OF NATURAL POTENTIAL PRODUCTIVITY ESTIMATE MODEL OF CHINESE MITTEN CRAB *ERIOCHEIR SINENSIS* IN DATONG LAKE

YANG Pin-Hong^{1,2}, ZOU Wan-Sheng¹, LIU Liang-Guo¹, XU Li-Ming¹, WANG Wen-Bin¹,
CHEN Hong-Wen², TANG Lin¹, CAO Miao², HUANG Chun-Hong¹, LUO Yu-Shuang¹, HAN Qing¹

(1. Dongting Lake Aquatic Healthy Farming and Processing Hunan Provincial Key Laboratory, Zoology Key Laboratory in University of Hunan Province, College of Life Science, Hunan University of Arts and Science, Changde 415000, China;
2. The Datonghu Tianhong Fishery Co., Ltd., Yiyang 413100, China)

Abstract Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* belongs to the high-grade crab varieties, which is of good quality, big size, convenient transport, and good taste, but a serious shortage of production. It is very important to establish a model for estimating the natural production potential of *E. sinensis* in lake, confirming the stocking rate, and stabilizing *E. sinensis* production. This paper based on author's experiment about stocking *E. sinensis* in Datong Lake, Hunan Province for twenty years. Combining grey forecast theory, we presents two estimate model: the crab's natural potential productivity: $W = \left(\frac{B_1 K_1 C_1}{R_1} + \frac{B_2 K_2 C_2}{R_2} \right) \cdot \frac{(B_1 + B_2)^2}{B_1^2 + B_2^2}$, and

crab species volume: $W_0 = P_0 \cdot \left(\frac{B_1 K_1 C_1}{R_1} + \frac{B_2 K_2 C_2}{R_2} \right) \cdot U/P$. Then seek confirmation in the production practice. The result is in

accordance with the practice. The estimated results can be taken as the direction for guiding *E. sinensis* production.

Key words Datong Lake; Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis*; natural potential productivity; model