

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20201210001

http://www.ykxjz.cn/

赵斌, 胡炜, 李成林, 赵洪友, 吴鹏, 韩莎, 姚琳琳, 王琦. 低盐和高盐环境下刺参选育品系生长与摄食性能研究. 渔业科学进展, 2021, 42(3): 139-146

Zhao B, Hu W, Li CL, Zhao HY, Wu P, Han S, Yao LL, Wang Q. Growth and feeding performance of selected breeding sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) in low and high salt environments. Progress in Fishery Sciences, 2021, 42(3): 139-146

低盐和高盐环境下刺参选育品系 生长与摄食性能研究*

赵斌¹ 胡炜¹ 李成林^{1①} 赵洪友²
吴鹏³ 韩莎¹ 姚琳琳¹ 王琦¹

(1. 山东省海洋生物研究院 青岛 266104; 2. 莱阳市海洋渔业有限公司 烟台 265200;
3. 文登市渔业技术推广站 威海 264400)

摘要 为评价刺参(*Apostichopus japonicus*)耐盐品系选育效果,以 G4、G5 代刺参耐盐选育品系为研究对象,研究了其在低盐度和高盐度环境下的生长、摄食和消化生理的变化。结果显示,30 d 实验期间,G4 代和 G5 代 2 种规格选育刺参在不同盐度环境中的生长情况相似,在低盐环境中的末体重随着实验盐度的降低而下降,在高盐环境中的末体重均随着实验盐度升高而下降;G4 代盐度 35 实验组的特定增长率(SGR)为(0.82±0.06)%/d,摄食率(FR)为(3.54±0.26)%,均与盐度 31 对照组无显著差异($P>0.05$),G5 代实验组刺参呈现相似规律。在盐度为 18~31 时,G4 和 G5 代的不同规格选育刺参蛋白酶活力随着设置盐度的降低而下降,最低值为 G5 代盐度 18 小规格刺参实验组的 1.55 U/mg prot;在盐度 31~39 范围内,各实验组刺参蛋白酶活力随着设置盐度的升高呈降低趋势,但盐度 35、37 实验组的蛋白酶活力与盐度 31 对照组差异不显著($P>0.05$);G4 和 G5 代的不同规格选育刺参淀粉酶活力随着设置盐度的变化总体无太大差异;在盐度 18~31 范围内,G4 和 G5 代选育刺参脂肪酶活力随着设置盐度的降低而下降,其中,盐度 18 和盐度 22 实验组脂肪酶活力显著低于盐度 31 对照组($P<0.05$)。研究表明,选育刺参在适应生长、摄食及激活消化酶活力的盐度值范围与普通刺参具有显著差异;G4 和 G5 代选育刺参选育性状稳定性较强,历代定向选育对刺参群体抗逆性状的遗传改良起到了积极作用。

关键词 刺参;选育;盐度;生长;消化酶

中图分类号 S963.16 文献标识码 A 文章编号 2095-9869(2021)03-0139-08

刺参(*Apostichopus japonicus*)是目前国内沿海具重要经济价值的棘皮类养殖品种,近年来,养殖区

域不断拓展,取得了显著的经济、社会和生态效益(李成林等,2019)。随着刺参产业的蓬勃发展,部分

* 国家重点研发计划“蓝色粮仓科技创新”重点专项(2018YFD0901602)、山东省泰山产业领军人才工程(LJNY201613)和山东省农业重大应用技术创新项目共同资助 [This work was supported by National Key Research and Development Program of China (2018YFD0901602), Taishan Industrial Experts Programme (LJNY201613), and Major Agricultural Application Technology Innovation Project in Shandong Province]. 赵斌, E-mail: jm.zb@163.com

① 通讯作者:李成林,研究员, E-mail: lcl_xh@hotmail.com

收稿日期:2020-12-10, 收修改稿日期:2020-12-22

养殖业户长期累代自繁,造成苗种生长迟缓、成活率低等现象,养殖刺参种质退化日趋严重。同时,由于近年来极端天气等灾害频发,当前养殖刺参种质暴露出抗逆性差、应对环境气候突变风险能力薄弱等问题,业内亟待提升优良种质创新水平。鉴于此,国内刺参育种科研与生产单位历经多年,相继选育出具有生长速度快、疣足数量多、耐高温、抗病等优异生产性状的刺参新品种,为国内刺参产业进一步发展奠定了种质基础。

盐度是海水养殖环境中的重要生态因子,其变化对水产动物的生长和消化生理活动有显著影响(李刚等, 2011),刺参的适宜盐度一般在 26~33(王吉桥等, 2009; 孙秀俊等, 2012)。在刺参产业带由传统的自然分布区域向山东省黄河三角洲沿海地区拓展过程中,刺参养殖受到海区盐度偏低或不稳定的影响,本研究课题组经多年选育,培育出耐盐范围广、生长快的刺参新品系,适宜在山东、辽宁、河北和福建等更广阔区域养殖。目前,关于不同盐度环境对刺参新品系生长、摄食影响的研究报道并不多见,本研究以刺参耐盐选育品系子四代(G4)和子五代(G5)群体为研究对象,研究了其在不同盐度环境下的生长、摄食和消化生理的变化,结果可为刺参新品种培育提供基础数据,为刺参耐盐新品种的创制和应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验用刺参为山东省海洋生物研究院种质资源研究中心培育的耐盐品系子四代(G4)和子五代(G5),2017年3月和2019年4月,分别选取各代选育刺参进行实验。苗种规格分别为[G4(30.1±2.2)g和(60.2±3.8)g],G5[(30.4±2.3)g和(60.8±3.6)g],分别暂养在整理箱中,使其适应实验室环境(pH为8.1~8.3,水温为16℃~18℃)。暂养期间,日投喂刺参专用配合饲料1次,投饵量为刺参总重的3%~5%,同时,按配合饲料与海泥重量比为1:3的比例搭配投喂海泥。选取表观正常、肉刺完整挺直、健康无病的个体作为实验对象。

1.2 实验设计与日常管理

设置18、20、22三个低盐处理组和35、37、39三个高盐处理组,以盐度31的自然海水为对照组。实验开始前,用经自然曝晒的自来水与自然海水混合的方式降低盐度,每天调整2~3个盐度单位,直至达到实验盐度,并在实验盐度条件下对刺参进行驯化养

殖5d。驯化结束后,禁食48h,分别将20头实验刺参放置于整理箱(80cm×60cm×48cm)中,每个处理设置3个平行组。实验期间连续充气,每天全量换水,投喂等管理同上节。实验周期为30d。

1.3 测定方法与数据计算

1.3.1 刺参生长及摄食的测定 实验开始前1d停止投喂,称量刺参初始体重 W_0 (g),实验结束后测其体重最终值 W_t (g)。称重时,先将刺参取出阴干,吸干体表水分后称量。 t 为实验持续的时间(d)。刺参特定生长率(Specific growth rate, SGR, %/d)采用以下公式计算:

$$SGR=100 \times (\ln W_t - \ln W_0) / t$$

通过测定摄食率(Feeding rate, FR, %)考察盐度对刺参摄食的影响,计算公式如下:

$$FR=2F/[t(W_t+W_0)] \times 100\%$$

W_0 为体重初始值(g), W_t 为测定值(g), t 为实验时间(d), F 为饲料总摄入量(g)。

1.3.2 刺参消化酶活力的测定 实验结束后,将实验刺参取出并排净体腔内海水,然后沿腹部剪开,取出消化道,剔除呼吸树,用超纯水冲洗干净,在-80℃超低温冰箱中保存。实验时,取肠组织置于玻璃匀浆器中,加入10倍体积预冷的超纯水,在冰浴条件下匀浆20min,在高速冷冻离心机中(0℃~4℃,1000r/min)离心30min,所得上清液于冰箱保存,待测。蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶的活力分别采用钼酸铵法、比浊法和黄嘌呤氧化酶法测定。

1.3.3 数据统计 实验数据利用SPSS 22.0软件进行单因素方差分析(One-way ANOVA)和多重比较,以 $P<0.05$ 作为差异显著水平。

2 结果

2.1 低盐和高盐环境对选育刺参生长、存活与摄食的影响

2.1.1 G4代选育刺参生长与摄食情况 耐盐品系G4代选育刺参在高盐环境和低盐环境中的生长摄食情况见表1。30d实验结束时,2种不同规格选育刺参在低盐环境中的末体重均随着盐度的降低而下降,盐度18实验组的选育刺参末体重均显著低于其他盐度组($P<0.05$),且低于初始值,体重呈现负增长,盐度20、22实验组与盐度31实验组差异不显著($P>0.05$)。体重SGR与FR最高的分别为盐度31实验组,分别为(0.83±0.07)%/d、(3.77±0.29)%/d,初始规格30g左右的其他低盐实验组随盐度降低出现显著下

降; 初始规格 60 g 左右的低盐实验组中, 盐度 22 与 31 实验组的 SGR 与 FR 差异不显著, 其他实验组随盐度降低出现显著下降($P<0.05$)。

在高盐实验条件下, 2 种不同规格选育刺参末体重随着实验盐度升高而下降, 其中, 盐度 35、37 实验组与盐度 31 实验组差异不显著($P>0.05$), 盐度 39 实验组 2 种规格刺参均出现负增长。初始规格 30 g

左右的高盐实验组 SGR 与 FR 随盐度升高出现显著下降($P<0.05$), 盐度 39 实验组的 SGR 为 $(-0.17\pm 0.02)\%/d$, FR 为 $(0.15\pm 0.02)\%$, 均为最低值; 规格 60 g 左右的高盐实验组 SGR 与 FR 呈现类似的规律。

2.1.2 G5 代选育刺参生长与摄食情况 耐盐品系 G5 代选育刺参在高盐环境和低盐环境中的生长摄食情况见表 2。由表 2 可知, 30 d 实验中, G5 代 2 种规

表 1 选育 G4 代刺参在低盐和高盐环境下摄食、生长情况

Tab.1 Growth and feeding of G4 breeding sea cucumber in low and high salinity environments

初体重 Initial body weight (g)	盐度 Salinity	末体重 Final body weight (g)	摄食率 FR (%)	特定生长率 SGR (%/d)	成活率 Survival rate (%)
30.1±2.2	18	30.0±2.9 ^{ab}	0.89±0.07 ^a	-0.01±0.006 ^a	99.3
	20	36.8±2.4 ^c	1.56±0.14 ^b	0.67±0.05 ^b	99.3
	22	37.7±3.6 ^c	2.76±0.30 ^c	0.75±0.06 ^c	100
	31	38.6±2.5 ^c	3.77±0.29 ^d	0.83±0.07 ^d	100
	35	38.5±2.5 ^c	3.54±0.26 ^d	0.82±0.06 ^d	100
	37	34.7±2.5 ^{bc}	1.06±0.14 ^a	0.47±0.03 ^e	100
	39	28.6±2.2 ^a	0.15±0.02 ^e	-0.17±0.02 ^f	98.7
	60.2±3.8	18	58.9±3.2 ^a	0.17±0.03 ^a	-0.07±0.02 ^a
20		69.3±3.3 ^b	1.33±0.19 ^b	0.47±0.03 ^b	99.3
22		74.6±3.7 ^b	2.86±0.18 ^c	0.71±0.05 ^c	100
31		75.7±3.7 ^b	2.46±0.26 ^c	0.76±0.05 ^c	100
35		76.4±4.0 ^b	2.96±0.27 ^c	0.79±0.05 ^c	100
37		68.4±4.2 ^b	1.76±0.21 ^d	0.43±0.05 ^b	100
39		57.4±3.8 ^a	0.11±0.03 ^a	-0.16±0.03 ^d	100

注: 同列中不同规格上的不同字母表示组间差异显著($P<0.05$), 下同

Note: The data with different letters in the same column are significantly different at the 0.05 probability level, the same as below

表 2 选育 G5 代刺参在低盐和高盐环境下摄食、生长情况

Tab.2 Growth and feeding of G5 breeding sea cucumber in low and high salinity environments

初体重 Initial body weight (g)	盐度 Salinity	末体重 Final body weight (g)	摄食率 FR (%)	特定生长率 SGR(%/d)	成活率 Survival rate (%)
30.4±2.3	18	28.2±2.4 ^a	0.24±0.03 ^a	-0.25±0.02 ^a	100
	20	34.8±3.1 ^{bc}	1.64±0.14 ^b	0.45±0.03 ^b	100
	22	37.3±2.8 ^{bc}	2.33±0.31 ^c	0.68±0.07 ^c	100
	31	38.3±3.1 ^{bc}	3.54±0.32 ^d	0.77±0.08 ^{cd}	100
	35	39.5±3.2 ^c	3.77±0.36 ^d	0.87±0.08 ^d	100
	37	32.2±3.0 ^{ab}	1.25±0.23 ^b	0.19±0.02 ^e	100
	39	29.9±2.6 ^a	0.26±0.03 ^a	-0.06±0.01 ^f	98.7
	60.8±3.6	18	58.1±3.4 ^a	0.20±0.03 ^a	-0.15±0.02 ^a
20		64.4±4.2 ^b	1.03±0.09 ^b	0.19±0.02 ^b	100
22		73.5±4.2 ^c	2.06±0.21 ^c	0.63±0.03 ^c	100
31		74.9±3.9 ^c	2.42±0.22 ^d	0.69±0.03 ^c	100
35		74.2±4.0 ^c	2.56±0.20 ^d	0.66±0.03 ^c	100
37		66.4±3.6 ^b	1.64±0.18 ^e	0.29±0.02 ^d	100
39		56.8±3.5 ^a	0.18±0.02 ^a	-0.22±0.03 ^e	100

格选育刺参在低盐环境中的生长情况与 G4 代相似, 末体重随着实验盐度的降低而下降, 但仅盐度 18 实验组显著低于其他实验组($P<0.05$)。2 种规格低盐实验组 SGR 与 FR 随盐度降低出现显著下降($P<0.05$), 但盐度 22 实验组中, 初始体重为 60 g 实验组刺参的 SGR 与盐度 31 组无显著差异($P>0.05$)。

在高盐环境中, 2 种不同规格选育刺参末体重均随着实验盐度升高而下降, 其中, 初始体重 30 g 实验组刺参在盐度 35 时末体重最高, 增至(39.5±3.2) g, 但与盐度 31 对照组差异不显著($P>0.05$)。在 2 种不同规格选育刺参高盐环境下 SGR 与 FR 测定结果中, 盐度 35 实验组与盐度 31 对照组无显著差异($P>0.05$), 当盐度升至 37 和 39 时, 其 SGR 和 FR 均随盐度升高而显著降低($P<0.05$)。

2.2 低盐和高盐环境对选育刺参消化酶活力的影响

2.2.1 低盐和高盐环境中 G4 和 G5 代选育刺参蛋白酶活力

盐度对 G4 和 G5 代选育刺参蛋白酶活力的影响如图 1 所示, L 为初始体重 30 g 左右个体, B 为初始体重 60 g 左右个体。在盐度 18~31 范围内,

G4 和 G5 代的不同规格选育刺参消化道蛋白酶活力随着设置盐度的降低而下降, 最低值为 G5 代盐度 18 小规格刺参实验组的 1.55 U/mg prot; 其中, 盐度 18 和盐度 20 实验组蛋白酶活力显著低于盐度 22 实验组和盐度 31 对照组($P<0.05$), 而盐度 22 和盐度 31 对照组之间差异不显著($P>0.05$)。在盐度 31~39 范围内, 各实验组刺参蛋白酶活力随着设置盐度的升高呈降低趋势, 但盐度 35、37 实验组的蛋白酶活力与盐度 31 对照组差异不显著($P>0.05$), G5 代 2 种规格实验刺参在盐度 37 和 39 的蛋白酶活力差异亦不显著($P>0.05$)。

2.2.2 低盐和高盐环境中 G4 和 G5 代选育刺参淀粉酶活力

盐度对 G4 和 G5 代选育刺参淀粉酶活力的影响见图 2, L 为初始体重 30 g 左右个体, B 为初始体重 60 g 左右个体。在盐度 18~39 范围内, G4 和 G5 代的不同规格选育刺参消化道淀粉酶活力随着设置盐度的变化而起伏, 总体无太大差异。在 G4 代实验组中, 盐度 37 实验组小规格刺参淀粉酶活力为 0.36 U/mg prot, 显著高于其他实验组($P<0.05$), 盐度 22 与盐度 37 的小规格刺参淀粉酶活力显著超过大规

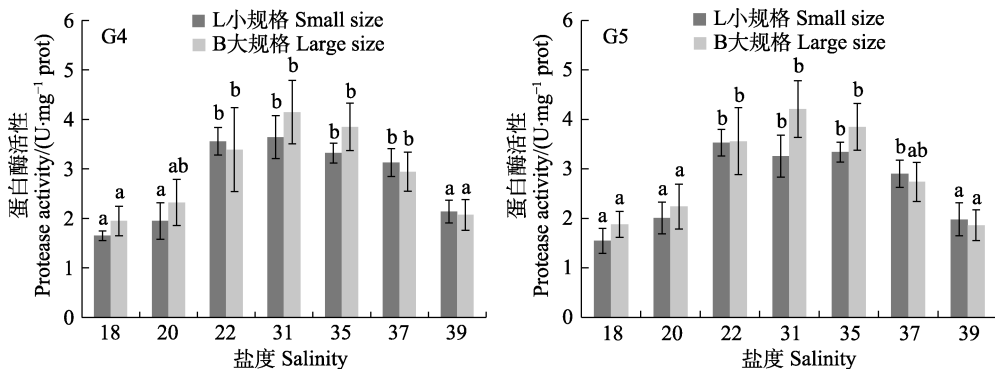


图 1 盐度环境对 G4 和 G5 代选育刺参蛋白酶活力的影响

Fig.1 The effects of different salinity on the protease activity of G4 and G5 breeding sea cucumber

图中标注不同字母表示组内差异显著($P<0.05$), 下同

Different letters on the graph mean significant difference in the same dietary group ($P<0.05$), the same as below

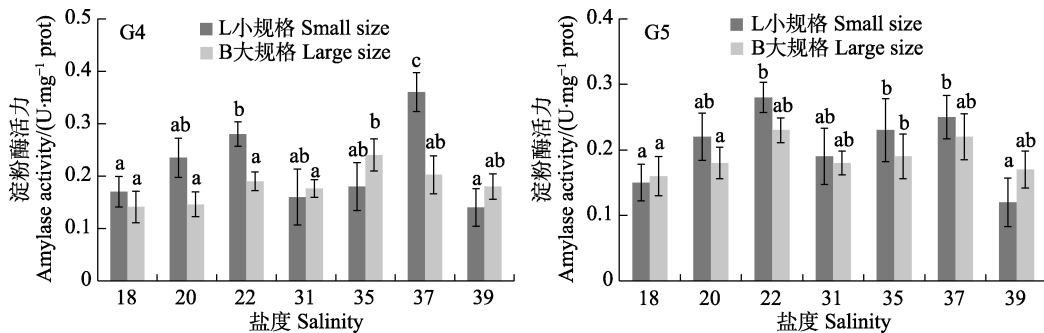


图 2 盐度环境对 G4 代和 G5 代选育刺参淀粉酶活力的影响

Fig.2 The effects of different salinity on the amylase activity of G4 and G5 breeding sea cucumber

格刺参; 在 G5 代实验组中, 淀粉酶活力峰值出现在盐度 22 小规格实验组, 最低值出现在盐度 39 小规格实验组, 为 0.12 U/mg prot, 同一盐度下 2 种规格间的淀粉酶活力均无显著差异($P>0.05$)。

2.2.3 低盐和高盐环境中 G4 和 G5 代选育刺参脂肪酶活力 盐度对 G4 和 G5 代选育刺参脂肪酶活力的影响见图 3, L 为初始体重 30 g 左右个体, B 为初始体重 60 g 左右个体。在盐度 18~31 范围内, G4 和 G5 代的不同规格选育刺参消化道脂肪酶活力随着设

置盐度的降低而下降, 其中, 盐度 18 和盐度 22 实验组脂肪酶活力显著低于盐度 31 对照组($P<0.05$), 而盐度 22 和盐度 31 对照组之间差异不显著($P>0.05$)。在盐度 31~39 范围内, G4 和 G5 代不同规格的盐度 35 实验组的脂肪酶活力与盐度 31 对照组差异均不显著($P>0.05$), 盐度 37 实验组脂肪酶活力值有所下降, 但与对照组无显著差异($P>0.05$), 当盐度环境为 39 时, 各组实验刺参脂肪酶活力出现显著下降, 最低值为 G5 代盐度 39 大规格刺参实验组的 0.18 U/mg prot。

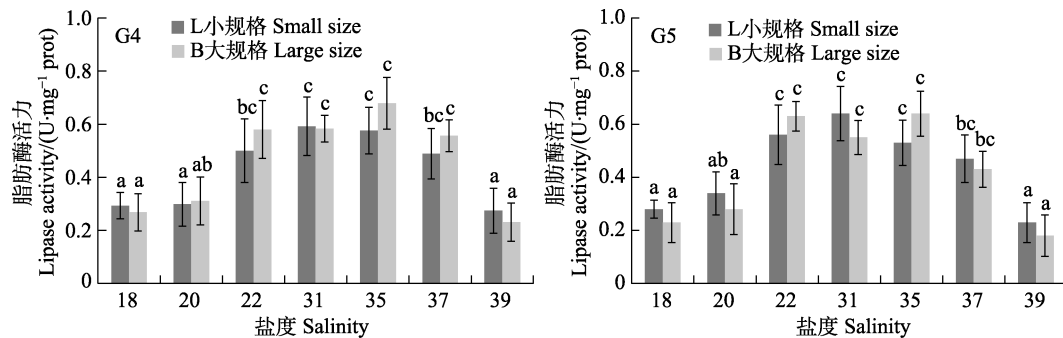


图3 盐度环境对 G4 代和 G5 代选育刺参脂肪酶活力的影响

Fig.3 The effects of different salinity on the lipase activity of G4 and G5 breeding sea cucumber

3 讨论

3.1 刺参选育品系在低盐和高盐环境下的生长与摄食情况

盐度是影响水产动物生理生态学的重要环境因子, 与其生长、发育关系密切(Talbot *et al.*, 2002; Dong *et al.*, 2008)。刺参属于典型的狭盐性棘皮动物, 盐度的变化对刺参的生长、存活和繁殖等一系列生理活动均有影响(陈勇等, 2007; 郑慧等, 2014; Li *et al.*, 2010; 胡炜等, 2012; 于姗姗等, 2012)。研究表明, 盐度变化存在影响刺参生长的拐点, 超过拐点数值刺参生长将大幅降低, 盐度低于 22 时, 刺参 3.5 g 左右幼参出现负增长(王吉桥等, 2009), 盐度 36 时, 规格为 37.5 g 的刺参特定生长率显著低于盐度 31 时(孟雷明等, 2013)。本研究通过 2 代不同规格刺参在低盐和高盐环境中的生长实验发现, 选育刺参品系同样存在生长拐点, 分别在盐度 20 和盐度 37 时, 此条件下的选育刺参虽仍可生长, 但体质量增长与特定生长率均与对照环境下出现显著差异, 当盐度差异继续加剧时, 便会出现负增长。在刺参人工选育品种和其他种内群体品种方面, 包杰等(2015)研究发现, 日本红刺参在盐度升高至 38 或降低至 23 时的能量代谢特征不利于其生长; 朱厚祥等(2013)发现, 白刺参与普通刺参幼虫阶段相同盐度耐受程度相近, 在高盐度 37 下成活率

和生长率均较低。因此, 在养殖盐度的适应性方面, 本研究耐盐选育品系刺参相对普通刺参及部分无耐盐性状的选育品种有优势。

良种是产业健康发展的基础, 连续多代选择可以有效纯化动植物优良性状, 大多可以获得积极的选择反应, 从而培育出良种(刘石林, 2015; 楼允东, 1999)。在良种缺乏和异常气候环境变化背景下, 开展刺参抗逆品种的选育工作是长期以来国内刺参领域研究的热点(李成林等, 2019), 特定性状的定向选育是改善刺参对恶劣环境抗逆能力的有效手段(隋凯港等, 2014)。水产动物选育新品种通过审定一般至少应经过 4 个世代以上, 本研究所采用的 G4、G5 代刺参耐盐选育品系在相同盐度环境下表现出的生长与摄食性能极为相似, 表明新品系的选育性状稳定性较强, 对刺参耐盐新品种的获得及其后的推广应用具有积极的意义。

3.2 刺参选育品系在低盐和高盐环境下的消化生理

消化酶活性与水产动物的营养吸收关联密切, 进而影响水产动物的生长(田宏杰等, 2006)。同时, 盐度对水产动物消化酶的影响已被广泛报道(黄凯等, 2007; 陈品健等, 1998; 庄平等, 2008), 且各类消化酶的最适盐度存在差异(孙双双等, 2009; 范超晶等, 2016)。刺参虽然没有消化腺, 但其消化道内具有多

种重要的消化酶(唐黎等, 2007; 冯丹等, 2014)。本研究表明, 低盐和高盐环境对选育刺参品系的消化酶均存在显著影响, 且蛋白酶与脂肪酶活力的消长规律与个体生长与摄食呈现相关性。3种酶活力中以蛋白酶活力最高, 结果与李刚等(2011)在研究普通刺参时的结论一致。在激活消化酶活力的盐度值方面本研究结果则与已往报道不同。本研究中, 蛋白酶活力最高时的盐度为 31, 而淀粉酶活力的 2 个峰值大致在盐度 22 和 37。孙双双等(2009)研究得出, 普通刺参淀粉酶与蛋白酶最适盐度为 30, 纤维素酶最适盐度为 26, 脂肪酶受盐度影响较小, 而李刚等(2011)在研究 8 g 左右的幼参得出的结果则是蛋白酶活力在盐度 29 时最高, 淀粉酶活力在盐度 32 时最高, 前肠脂肪酶活力在盐度 32 时最高, 中肠在盐度 29 时最高, 均与本研究有所不同, 分析原因主要是由于选育群体经历代几定向选育, 对在不同盐度的生活习性方面可能与普通刺参产生了遗传差异, 而这种差异在子代中保持着较高的稳定性, 虽然 G5 代耐盐刺参品系与 G4 代的遗传进展不明显, 但这种遗传稳定性表现出对更大范围盐度的适应性, 从遗传改良角度上考虑更具有生产应用潜力。

参 考 文 献

- Bao J, Jiang HB, Tian XL, *et al.* Effects of temperature and salinity on oxygen consumption rate and ammonia-N excretion rate of red *Apostichopus japonicus* (Selenka). *Progress in Fishery Sciences*, 2015, 36(4): 116–121 [包杰, 姜宏波, 田相利, 等. 温度和盐度对红刺参(*Apostichopus japonicus*)耗氧率与排氨率的影响. *渔业科学进展*, 2015, 36(4): 116–121]
- Chen PJ, Wang CG, Zheng SL. Effects of salinity on digestive enzyme activity of *Pagrosomus major* young fish. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 1998, 37(5): 754–755 [陈品健, 王重刚, 郑森林. 盐度影响真鲷幼鱼消化酶活力的研究. *厦门大学学报自然科学版(自然科学版)*, 1998, 37(5): 754–755]
- Chen Y, Gao F, Liu GS, *et al.* Effects of temperature, salinity and photoperiod on growth and behavior of sea cucumber (*Apostichopus japonicus*). *Journal of Fisheries of China*, 2007, 31(5): 687–691 [陈勇, 高峰, 刘国山, 等. 温度、盐度和光照周期对刺参生长及行为的影响. *水产学报*, 2007, 31(5): 687–691]
- Dong YW, Dong SL, Meng XL. Effects of thermal and osmotic stress on growth, osmoregulation and Hsp70 in sea cucumber (*Apostichopus japonicus* Selenka). *Aquaculture*, 2008, 276(1–4): 179–186
- Fan CJ, Chen AH, Tan J, *et al.* A comparative study on high temperature and salinity tolerance of hybrids between Chinese and Korean populations of sea cucumber *Apostichopus japonicus*. *Progress in Fishery Sciences*, 2016, 37(2): 146–152 [范超晶, 陈爱华, 谭杰, 等. 中韩刺参(*Apostichopus japonicus*)杂交子一代高温与盐度耐受性比较. *渔业科学进展*, 2016, 37(2): 146–152]
- Feng D, Gao QF, Dong SL. Effect of feeds with different protein contents on the growth of sea cucumbers (*Apostichopus japonicus*) and activity of their digestive enzymes. *Periodical of Ocean University of China*, 2014, 44(2): 35–40 [冯丹, 高勤峰, 董双林. 不同蛋白水平饲料对刺参生长和消化酶活性的影响. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2014, 44(2): 35–40]
- Hu W, Li CL, Zhao B, *et al.* Effects of low salinity stress on survival, feeding and growth of sea cucumber *Apostichopus japonicus*. *Progress in Fishery Sciences*, 2012, 33(2): 92–96 [胡炜, 李成林, 赵斌, 等. 低盐胁迫对刺参存活、摄食和生长的影响. *渔业科学进展*, 2012, 33(2): 92–96]
- Huang K, Yang HK, Zhan G, *et al.* Effect of salinities on digestive enzyme activities of juvenile *Litopenaeus vannamei* Boone. *Marine Sciences*, 2007, 31(3): 37–40 [黄凯, 杨鸿昆, 战歌, 等. 盐度对凡纳滨对虾幼虾消化酶活性的影响. *海洋科学*, 2007, 31(3): 37–40]
- Li CL, Zhao B. Strategic thoughts on promotion and development of sea cucumber industry in Shandong Province. *Marine Economy in China*, 2019(2): 1–15 [李成林, 赵斌. 山东省刺参产业提升发展的战略思考. *中国海洋经济*, 2019(2): 1–15]
- Li G, Tang XX, Dou Y, *et al.* Effects of salinity on digestive enzyme activities of *Apostichopus japonicus*. *Marine Environmental Science*, 2011, 30(1): 61–63 [李刚, 唐学玺, 窦勇, 等. 盐度对刺参(*Apostichopus japonicus*)消化酶活力的影响. *海洋环境科学*, 2011, 30(1): 61–63]
- Li L, Li Q. Effects of stocking density, temperature, and salinity on larval survival and growth of the red race of the sea cucumber (*Apostichopus japonicus*). *Aquaculture International*, 2010, 18(3): 447–460
- Liu SL. Selective breeding and performance appraisal in thermotolerant strain of *Apostichopus japonicus*. *Doctoral Dissertation of Ocean University of China*, 2015 [刘石林. 刺参耐高温品系选育及性状评价的基础研究. *中国海洋大学博士研究生学位论文*, 2015]
- Lou YD. *Fish breeding*. Beijing: China Agriculture Press, 1999, 10–19 [楼允东. *鱼类育种学*. 北京: 中国农业出版社, 1999, 10–19]
- Meng LM, Wang LL, Lei Y, *et al.* Effects of salinity on carbon and nitrogen budgets in sea cucumber *Apostichopus japonicus*. *Journal of Dalian Ocean University*, 2013, 28(1): 34–38 [孟雷明, 王丽丽, 雷艳, 等. 盐度对刺参碳、氮收支影响的初步研究. *大连海洋大学学报*, 2013, 28(1): 34–38]
- Sui KG, Zuo M, Liu ZG, *et al.* Salinity tolerance of juvenile sea

- cucumbers *Apostichopus japonicus* in Yellow River delta. Heibei Fisheries, 2014(5): 4–6 [隋凯港, 左明, 刘志国, 等. 黄河口刺参苗种的盐度适宜性研究. 河北渔业, 2014(5): 4–6]
- Sun SS, Zhang Y. Effects of salinity on digestive enzyme activities of sea cucumber *Apostichopus japonicus*. China Feed, 2009(24): 28–31 [孙双双, 张云. 盐度对刺参消化酶活力的影响. 中国饲料, 2009(24): 28–31]
- Sun XJ, Li Q. Effects of salinity and stocking density on growth and development of the hybrid larvae of sea cucumber. Periodical of Ocean University of China, 2012, 42(S1): 54–59 [孙秀俊, 李琪. 不同盐度和培育密度对杂交刺参幼体生长发育的影响. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2012, 42(S1): 54–59]
- Talbot TD, Lawrence JM. The effect of salinity on respiration, excretion, regeneration and production in *Ophiophragmus filigraneus* (Echinodermata: Ophiuroidea). Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2002, 275(1): 1–14
- Tang L, Wang JQ, Xu C, *et al.* Activities of four digestive enzymes in various developmental larvae and in alimentary canals at various sizes of *Apostichopus japonicus*. Fisheries Science, 2007, 26(5): 275–277 [唐黎, 王吉桥, 许重, 等. 不同发育期的幼体和不同规格刺参消化道中四种消化酶的活性. 水产科学, 2007, 26(5): 275–277]
- Tian HJ, Zhuang P, Gao LJ. Advances on the studies of the effect of ecological factors on activities of digestive enzymes of fish. Marine Fisheries, 2006, 28(2): 158–162 [田宏杰, 庄平, 高露姣. 生态因子对鱼类消化酶活力影响的研究进展. 海洋渔业, 2006, 28(2): 158–162]
- Wang JQ, Zhang XC, Jiang YS, *et al.* Effects of sudden salinity drop on survival and growth of sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) at different developmental stages. Journal of Dalian Fisheries University, 2009, 24(S1): 139–146 [王吉桥, 张筱擗, 姜玉声, 等. 盐度骤降对不同发育阶段仿刺参存活和生长的影响. 大连水产学院学报, 2009, 24(S1): 139–146]
- Yu SS, Wang QL, Meng XL, *et al.* Effects of salinity fluctuation on the expression of hsp70 and hsp90s genes in sea cucumber, *Apostichopus japonicus* Selenka. Periodical of Ocean University of China, 2012, 42(9): 22–27 [于姗姗, 王青林, 孟宪亮, 等. 盐度骤变对仿刺参 hsp70 及 hsp90 基因表达的影响. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2012, 42(9): 22–27]
- Zheng H, Li B, Rong XJ, *et al.* Effects of salinity and dissolved oxygen on non-specific immune enzyme activity in sea cucumber (*Apostichopus japonicus*). Progress in Fishery Sciences, 2014, 35(1): 118–124 [郑慧, 李彬, 荣小军, 等. 盐度和溶解氧对刺参非特异性免疫酶活性的影响. 渔业科学进展, 2014, 35(1): 118–124]
- Zhu HX, Kong LF, Li Q, *et al.* Effects of salinity, temperature and stocking density on the growth and survival of white race sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) larvae. Periodical of Ocean University of China, 2013, 43(7): 34–39 [朱厚祥, 孔令锋, 李琪, 等. 盐度、温度和培育密度对白刺参幼虫生长及存活的影响. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2013, 43(7): 34–39]
- Zhuang P, Zhang LZ, Tian HJ, *et al.* Effects of salinity on digestive enzyme activities of juvenile *Acipenser schrenckii*. Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15(2): 198–203 [庄平, 章龙珍, 田宏杰, 等. 盐度对施氏鲟幼鱼消化酶活力的影响. 中国水产科学, 2008, 15(2): 198–203]

(编辑 陈 辉)

Growth and Feeding Performance of Selected Breeding Sea Cucumber (*Apostichopus japonicus*) in Low and High Salt Environments

ZHAO Bin¹, HU Wei¹, LI Chenglin¹①, ZHAO Hongyou², WU Peng³, HAN Sha¹, YAO Linlin¹, WANG Qi¹

(1. Marine Biology Institute of Shandong Province, Qingdao 266104; 2. Laiyang Marine Fishery Co., LTD., Yantai 265200; 3. Fishery Technology Extension Station of Wendeng City, Weihai 264400)

Abstract To evaluate the breeding effect of sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) salt tolerant strains, the growth, feeding and digestive physiological changes of the fourth generation (G4) and the fifth generation (G5) sea cucumber strains under low and high salinity environments were studied. The results showed that the growth of G4 and G5 were similar in low salt environment during a 30-day experiment. The final body weight in low salt environment decreased with the decrease in experimental salinity, and the final body weight in high salinity environment decreased with the increase in experimental salinity. The specific growth rate (SGR) and feeding rate (FR) of salinity 22 and salinity 35 were not significantly different from those of the control group at salinity 31 ($P>0.05$). In the salinity range of 18~31, the protease activity of G4 and G5 decreased with the decrease in salinity, and the lowest value was 1.55 U/mgprot observed in the G5. In the salinity range of 31~39, the protease activity of each experimental group decreased with the increase in salinity, but there was no significant difference between salinity 35, 37, and control group ($P>0.05$). There was no significant difference in amylase activity between G4 and G5 with the change in salinity; in the range of salinity 18~31, the protease activity of the G4 and G5 was not significantly different. The lipase activity of sea cucumber decreased with the decrease in salinity, and the lipase activity of salinity 18 and salinity 22 was significantly lower than that of salinity 31 ($P<0.05$). The results showed that there were significant differences between selected sea cucumbers and common sea cucumbers in adapting to growth, feeding, and activating digestive enzyme activities under different salinity treatments. The stability of breeding traits was strong in G4 and G5, and the directional breeding played an active role in genetic improvement of stress resistance in sea cucumbers.

Key words *Apostichopus japonicus*; Selective breeding; Salinity; Growth; Digestive enzymes

① Corresponding author: LI Chenglin, E-mail: lcl_xh@hotmail.com