

颜 涛, 龙治海, 赵凤麒, 等. 养殖密度对长江鲟幼鱼生长的影响[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(3): 152–155.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.03.027

养殖密度对长江鲟幼鱼生长的影响

颜 涛, 龙治海, 赵凤麒, 张俊林, 严俊刚, 何 斌

(四川省农业科学院水产研究所, 四川成都 611731)

摘要:本研究旨在揭示不同养殖密度对长江鲟幼鱼生长情况的影响, 为现阶段长江鲟幼鱼的人工饲养密度提供一定的技术指导。设置 2.45 (D_{20})、4.96 (D_{40})、7.08 (D_{60})、9.64 kg/m^3 (D_{80}) 等 4 个初始密度, 分析 14、28 d 后长江鲟幼鱼饵料转化率 (FCR)、特定生长率 (SGR_L 和 SGR_W)、日增质量率 (DWG)、肥满度 (K) 以及变异系数 (CV_L 和 CV_W) 等生长参数差异。 D_{20} 和 D_{40} 组饵料转化率、特定生长率、日增质量率均显著高于 D_{60} 和 D_{80} 组, 而 D_{20} 组的肥满度显著低于 D_{60} 和 D_{80} 组; 各密度组的特定生长率、饵料转化率随养殖时间延长而降低, 但各组间变异系数却随养殖时间的延长而变大。考虑到产量、收益以及种间均匀度, 本阶段长江鲟幼鱼适宜的养殖密度为 4.96 kg/m^3 。

关键词: 养殖密度; 长江鲟; 特定生长率; 变异系数; 饵料转化率

中图分类号: S965.215 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)03-0152-04

长江鲟 (*Acipenser dabryanus* Dumeril) 别称达氏鲟, 是长江上游一种特有的本土淡水鱼类, 也是 19 世纪 90 年代以前长江上游主要的经济捕捞鱼类之一^[1-2]。近几十年来, 由于过度的捕捞, 长江鲟的野外种群数量急剧下降^[3-4]。1996 年, 长江鲟被列入世界自然保护联盟 (IUCN) 红色名录, 并禁止捕捞其野外种群^[5]。然而, 由于环境的破坏以及污染, 其种群数量仍在进一步减少^[3,5]。为保护这一长江特有鱼类, 自 20 世纪 70 年代起, 水产科研工作者通过捕捞野外亲本, 在长江鲟的人工繁殖技术方面开展了大量的前期工作, 至 21 世纪初, 长江鲟人工繁殖已初步取得成功^[6]。养殖密度作为水产养殖重要的环境因子之一, 会直接影响养殖鱼类的生长。探索长江鲟幼鱼适宜的养殖密度可提高养殖产量和收益。以往的研究主要集中在长江鲟的疾病^[4]、遗传多样性^[7]以及基因组^[8]等方面, 而关于长江鲟的人工养殖方面探究甚少。本研究探索不同初始密度同一生长阶段以及同一初始密度不同生长阶段长江鲟幼鱼生长参数的差异, 探究现阶段长江鲟幼

鱼的适宜养殖密度, 以期为长江鲟的规模化养殖提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2019 年 6 月在四川省农业科学院水产研究所宜宾基地进行, 选用平均体长为 (12.04 ± 0.40) cm、平均体质量为 (7.09 ± 0.52) g 的健康试验鱼, 养殖在圆柱形的平底玻璃缸 (半径为 0.3 m, 高 1.0 m) 中, 水深 0.3 m, 每缸设置 1 个进水口和 1 个中心出水口, 进水口流量为 $3.5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ 。试验用水为曝气 24 h 以上的自来水, 24 h 不间断充氧, 溶氧量为 (7.19 ± 0.29) mg/L, 温度为 (23.68 ± 0.05) °C, pH 值为 8.07 ± 0.08。

1.2 试验方法

试验设计初始密度分别为 20 (D_{20}), 2.45 kg/m^3)、40 (D_{40} , 4.96 kg/m^3)、60 (D_{60} , 7.08 kg/m^3)、80 尾/缸 (D_{80} , 9.64 kg/m^3) 等 4 个密度组, 每个密度组设 3 次重复。每天投喂 2 次, 分别在 09:00 和 17:00 进行, 每次投喂约鱼总体质量 7.0% 的水蚯蚓, 并记录投喂量。每隔 14 d 测量 1 次各缸长江鲟的体质量和体长。

生长参数的测定如下:

体质量特定生长率 [SGR_W (%/d)] = $\ln(W_n/W) \times 100\% / t$;

收稿日期: 2020-05-09

基金项目: 四川省财政创新能力提升专项青年基金 (编号: 2019QNJJ-013)。

作者简介: 颜 涛 (1991—), 男, 重庆人, 硕士, 助理研究员, 主要从事鱼类健康养殖研究。E-mail: yt199162@163.com。

通信作者: 何 斌, 硕士, 副研究员, 主要从事渔业资源与养殖技术方面研究。E-mail: 56745206@qq.com。

体长特定生长率 $[SGR_L(\%/d)] = \ln(L_n/L) \times 100\%/t$;

日增质量率 $[DWG(g/d)] = (W_n - W)/t$;

肥满度 $[K(\%, g/cm^3)] = W_n/L_n^3 \times 100$;

饵料转化率 $[FCR(\%)] = F_n/(W_n - W) \times 100\%$;

体质量变异系数 $[CV(\%)] = SD_n/W_n \times 100\%$;

体长变异系数 $[CV(\%)] = SD_n/L_n \times 100\%$ 。

式中: W_n 、 L_n 、 F_n 和 SD_n 分别表示第 n 天的体质量、体长、总投饵量、标准差, W 、 L 分别为初始体质量、初始体长, t 为试验时间。

1.3 数据分析

试验数据用平均值 \pm 标准误表示, 采用 Excel 2003 和 SPSS 22.0 统计软件进行处理和分析, 利用

方差分析(One-way ANOVA)进行显著性检验, 用 Duncan's 多重比较检验养殖密度对长江鲟生长性能的影响, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 养殖密度对长江鲟幼鱼的生长性能的影响

试验期间, 各密度组的长江鲟幼鱼未发现死亡现象, 对长江鲟幼鱼的存活未造成显著影响。开始阶段, 各密度组体质量、体长均无显著性差异。由表 1 可知, 14 d 后, D_{20} 组体长显著高于其余 3 组, D_{40} 组显著高于 D_{80} 组; D_{20} 组体质量显著高于 D_{80} 组。28 d 后, D_{20} 组和 D_{40} 组体长和体质量均显著高于 D_{60} 组和 D_{80} 组。

表 1 不同养殖密度下长江鲟幼鱼的体长、体质量

组别	14 d 后		28 d 后		体质量生长方程	体质量和体长关系
	体长(cm)	体质量(g)	体长(cm)	体质量(g)		
D_{20}	15.32 \pm 0.54c	15.73 \pm 0.10b	18.82 \pm 0.11b	27.98 \pm 0.36b	$y = 7.306 1e^{0.049t}, r^2 = 0.996$	$y = 0.003 4x^{3.0578}, r^2 = 0.994$
D_{40}	15.07 \pm 0.49b	15.35 \pm 0.03ab	18.83 \pm 0.21b	27.55 \pm 0.56b	$y = 7.338 4e^{0.0483t}, r^2 = 0.996$	$y = 0.003 3x^{3.0774}, r^2 = 0.999$
D_{60}	14.56 \pm 0.08ab	15.20 \pm 0.11ab	18.22 \pm 0.11a	24.76 \pm 0.24a	$y = 7.334 5e^{0.0448t}, r^2 = 0.994$	$y = 0.003 7x^{3.0441}, r^2 = 0.999$
D_{80}	14.13 \pm 0.62a	15.08 \pm 0.10a	18.10 \pm 0.10a	24.78 \pm 0.53a	$y = 7.325 9e^{0.0444t}, r^2 = 0.997$	$y = 0.003 5x^{3.0599}, r^2 = 0.998$

注: 同列数字后不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 下表同。方程中 y 表示体质量; x 表示体长。

由表 2 可知, 0 ~ 14、0 ~ 28 d 低密度组 (D_{20} 和 D_{40} 组) 长江鲟幼鱼的 SGR 、 DWG 、 FCR 等生长参数均优于高密度组 (D_{60} 和 D_{80} 组)。0 ~ 14 d, D_{20} 组的 SGR_L 均显著大于其余 3 组, 其 FCR 显著大于 D_{80} 组; D_{20} 和 D_{40} 组的 SGR_W 、 DWG 显著大于 D_{80} 组; 而 D_{20} 的肥满度显著低于其余 3 组。0 ~ 28 d, D_{20} 和 D_{40} 组的 SGR_W 、 SGR_L 、 DWG 和 FCR 均显著大于 D_{60} 和 D_{80} 组; 各组肥满度无显著性差异。0 ~ 28 d 各密度

组的 SGR_L 、 SGR_W 和 FCR 等生长参数均较 0 ~ 14 d 有所下降, 而 DWG 有所增加。其中, SGR_L 分别降低了 0.316%/d、0.136%/d、0.153%/d 和 0.155%/d; SGR_W 分别降低了 0.866%/d、0.786%/d、0.932%/d、0.659%/d; FCR 分别降低了 13.160、11.479、13.418、10.348 百分点; DWG 分别增加了 2.130、2.173、1.214、1.712 g/d。结果表明, 长江鲟幼鱼的生长受到养殖密度和生长阶段的影响。

表 2 不同养殖密度下长江鲟幼鱼生长参数

组别	$SGR_L(\%/d)$		$SGR_W(\%/d)$		$DWG(g/d)$	
	0 ~ 14 d	0 ~ 28 d	0 ~ 14 d	0 ~ 28 d	0 ~ 14 d	0 ~ 28 d
D_{20}	1.911 \pm 0.043c	1.595 \pm 0.020b	6.039 \pm 0.270b	5.173 \pm 0.056b	9.502 \pm 0.630b	11.632 \pm 0.238b
D_{40}	1.733 \pm 0.015b	1.597 \pm 0.039b	5.884 \pm 0.254b	5.098 \pm 0.082b	9.143 \pm 0.580b	11.316 \pm 0.342b
D_{60}	1.633 \pm 0.052ab	1.480 \pm 0.021a	5.658 \pm 0.030ab	4.726 \pm 0.040a	8.629 \pm 0.067ab	9.843 \pm 0.150a
D_{80}	1.610 \pm 0.046a	1.455 \pm 0.020a	5.334 \pm 0.339a	4.675 \pm 0.087a	7.941 \pm 0.715a	9.653 \pm 0.323a

组别	$K(g/cm^3)$		$FCR(\%)$	
	0 ~ 14 d	0 ~ 28 d	0 ~ 14 d	0 ~ 28 d
D_{20}	0.392 \pm 0.006a	0.418 \pm 0.014a	54.114 \pm 3.388b	40.954 \pm 0.164b
D_{40}	0.420 \pm 0.012b	0.411 \pm 0.002a	52.087 \pm 3.363ab	40.608 \pm 0.287b
D_{60}	0.413 \pm 0.006b	0.408 \pm 0.008a	50.600 \pm 0.379ab	37.182 \pm 0.727a
D_{80}	0.410 \pm 0.010b	0.420 \pm 0.001a	46.686 \pm 3.961a	36.338 \pm 1.565a

2.2 养殖密度对长江鲟幼鱼生长离散的影响

由表 3 可知,养殖密度对长江鲟幼鱼的体长和体质量变异系数均有显著影响。0 ~ 14 d, D₂₀ 组的体长变异系数显著大于其余 3 组,体质量变异系数显著大于 D₄₀ 组。0 ~ 28 d, D₄₀ 组的体长变异系数显著小于 D₂₀ 和 D₆₀ 组, D₂₀ 组的体质量变异系数显著大

于 D₄₀ 和 D₈₀ 组。同时,随着养殖时间的延长,各组体长和体质量变异系数均有不同程度增加。其中,体长变异系数分别增加了 0. 912、0. 548、2. 359、1. 703 百分点;体质量变异系数分别增加了 4. 681、4. 439、3. 369、2. 46 百分点。结果表明,养殖密度显著改变了长江鲟幼鱼的均匀生长。

表 3 不同养殖密度下长江鲟幼鱼变异系数

组别	体长变异系数		体质量变异系数	
	0 ~ 14 d	0 ~ 28 d	0 ~ 14 d	0 ~ 28 d
D ₂₀	6. 240 ± 0. 691b	7. 152 ± 1. 598b	15. 736 ± 2. 262b	20. 417 ± 2. 176b
D ₄₀	5. 074 ± 0. 577a	5. 622 ± 0. 630a	12. 078 ± 0. 904a	16. 517 ± 1. 447a
D ₆₀	4. 903 ± 0. 252a	7. 262 ± 0. 844b	14. 589 ± 0. 784ab	17. 958 ± 1. 609ab
D ₈₀	5. 021 ± 0. 083a	6. 724 ± 0. 489ab	14. 318 ± 0. 633ab	16. 754 ± 0. 589a

3 讨论与结论

养殖密度是影响水产动物生长、存活和产量的一个关键因子,已有众多关于养殖密度与经济鱼类生长的研究报道^[9-11]。本研究发现,低密度组(D₂₀和 D₄₀组)的 SGR、DWG、K 和 FCR 等生长参数均优于高密度组(D₆₀和 D₈₀组),这与 Tolussi 等的研究结果^[12-15]是一致的。高密度养殖能够增加水体利用率,但会导致种内对空间和食物的竞争,同时,增加的密度会改变鱼类代谢和行为相关的免疫应答和生理进程^[16-19]。Ardiansyah 等发现,盲曹鱼(*Lates calcarifer*)血清中皮质醇、葡萄糖和乳酸含量随着养殖密度增加而明显升高^[20];同时,相关研究也发现高密度组盲曹鱼血清中升高的皮质醇、葡萄糖和乳酸含量也与缓慢的生长、升高的食物转换率有关^[21-22]。另外,0 ~ 28 d 所有密度组的 SGR、FCR 均小于 0 ~ 14 d。相似的,厚唇灰鲋(*Chelon labrosus*)幼鱼出膜 0 ~ 75 d 阶段的 FCR 显著低于出膜 0 ~ 45 d 阶段^[23]。因此,根据本研究结果可以得出,养殖密度和生长阶段 2 个因素均可直接影响长江鲟幼鱼的生长。

以往研究表明,种内的个体变异系数受到养殖密度的影响^[24-25]。本研究发现,整个试验期间长江鲟个体体长和体质量变异系数均受到养殖密度的显著影响,表明养殖密度会引起种内个体均匀度的差异,这主要是由于种内不同等级水平的建立^[26]。然而,一些种类在不同密度时却能均匀地生长,例如尖齿胡鲶(*Calarios gariepinus*)^[27]、欧洲舌齿鲈(*Dicentrarchus labrax*)^[28]、北美牙鲈(*Paralichthys*

californicus)^[29]等。大多数学者认为个体变异系数取决于多种因素,其中物种的行为和养殖密度是主要的影响因素。因此,本研究结果表明,设置的养殖密度梯度足以改变长江鲟幼鱼的行为,同时很大程度上导致了种间不均匀的食物获得。

养殖密度能够显著改变平均体质量为(7. 09 ± 0. 52) g 的长江鲟幼鱼的生长以及种间个体的均匀度,考虑产量、收益以及种内均匀生长等因素,建议体质量为(7. 09 ± 0. 52) g 的长江鲟幼鱼适宜的养殖密度为 4. 96 kg/m³,同时,在养殖过程中,应不断分级饲养,使长江鲟的生长状态达到最优。

参考文献:

[1] Zhang H, Wei Q W, Du H, et al. Present status and risk for extinction of the Dabry's sturgeon (*Acipenser dabryanus*) in the Yangtze River watershed; a concern for intensified rehabilitation needs[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2011, 27(2): 181-185.

[2] Zhang S H, Luo H, Du H, et al. Isolation and characterization of twenty-six microsatellite loci for the tetraploid fish Dabry's sturgeon (*Acipenser dabryanus*) [J]. Conservation Genetics Resources, 2012, 5(2): 409-412.

[3] 鲁雪报,倪勇,饶军,等. 达氏鲟的资源现状及研究进展[J]. 水产科技情报, 2012, 39(5): 251-253, 257.

[4] Yang R, Liu Y, Wang Y, et al. Pathogenesis and pathological analysis of *Edwardsiella tarda*, from Dabry's sturgeon (*Acipenser dabryanus*) in China [J]. Aquaculture, 2018, 495: 637-642.

[5] Zhang S, Xu Q, Boscari E, et al. Characterization and expression analysis of g- and c- type lysozymes in Dabry's sturgeon (*Acipenser dabryanus*) [J]. Fish & Shellfish Immunology, 2018, 76: 260-265.

[6] 龚全,刘亚,杜军,等. 达氏鲟全人工繁殖技术研究[J]. 西南农业学报, 2013, 26(4): 1710-1714.

[7] Wang X D, Jing H F, Li J X, et al. Development of 26 SNP markers

- in Dabry's sturgeon (*Acipenser dabryanus*) based on high - throughput sequencing[J]. Conservation Genetics Resources, 2016, 9(2): 205 - 207.
- [8] Liu J J, Tan C, Xiao K, et al. The complete mitochondrial genome of Dabry's sturgeon (*Acipenser dabryanus*) [J]. Mitochondrial Dna Part B, 2017, 2(1): 54 - 55.
- [9] M'Balaka M, Kassam D, Rusuwa B. The effect of stocking density on the growth and survival of improved and unimproved strains of *Oreochromis shiranus* [J]. The Egyptian Journal of Aquatic Research, 2012, 38(3): 205 - 211.
- [10] Görelşahin S, Yanar M, Kumlu M. The effects of stocking density, Tubifex feeding and monosex culture on growth performance of guppy (*Poecilia reticulata*) in a closed indoor recirculation system [J]. Aquaculture, 2018, 493: 153 - 157.
- [11] Refaey M M, Li D, Tian X, et al. High stocking density alters growth performance, blood biochemistry, intestinal histology, and muscle quality of channel catfish, *Ictalurus punctatus* [J]. Aquaculture, 2018, 492: 73 - 81.
- [12] Tolussi C E, Hilsdorf A S, Caneppele D, et al. The effects of stocking density in physiological parameters and growth of the endangered teleost species piabanha, *Brycon insignis* (Steindachner, 1877) [J]. Aquaculture, 2010, 310(1/2): 221 - 228.
- [13] Hwang H K, Son M H, Myeong J I, et al. Effects of stocking density on the cage culture of Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*) [J]. Aquaculture, 2014, 434: 303 - 306.
- [14] 宋志飞, 温海深, 李吉方, 等. 养殖密度对流水养殖系统中俄罗斯鲟幼鱼生长的影响[J]. 水产学报, 2014, 38(6): 835 - 842.
- [15] 庄平, 李大鹏, 王明学, 等. 养殖密度对史氏鲟稚鱼生长的影响[J]. 应用生态学报, 2002, 13(6): 735 - 738.
- [16] Costas B, Araújo C, Mancera J M, et al. High stocking density induces crowding stress and affects amino acid metabolism in Senegalese sole *Solea senegalensis* (Kaup 1858) juveniles [J]. Aquaculture Research, 2010, 39(1): 1 - 9.
- [17] Laizcarrión R, Viana I R, Cejas J R, et al. Influence of food deprivation and high stocking density on energetic metabolism and stress response in red porgy, *Pagrus pagrus* L [J]. Aquaculture International, 2012, 20(3): 585 - 599.
- [18] Heras V D L, Martos - Sitcha J A, Yúfera M, et al. Influence of stocking density on growth, metabolism and stress of thick - lipped grey mullet (*Chelon labrosus*) juveniles [J]. Aquaculture, 2015, 448: 29 - 37.
- [19] Schram E, Heul J D, Kamstra A, et al. Stocking density - dependent growth of Dover sole (*Solea solea*) [J]. Aquaculture, 2006, 252(2/3/4): 339 - 347.
- [20] Ali A, Fotedar R. Water quality, growth and stress responses of juvenile barramundi (*Lates calcarifer* Bloch), reared at four different densities in integrated recirculating aquaculture systems [J]. Aquaculture, 2016, 458: 113 - 120.
- [21] Lupatsch I, Santos G A, Schrama J W, et al. Effect of stocking density and feeding level on energy expenditure and stress responsiveness in European sea bass *Dicentrarchus labrax* [J]. Aquaculture, 2010, 298(3/4): 245 - 250.
- [22] Teles M, Pacheco M, Santos M A. Endocrine and metabolic responses of *Anguilla anguilla* L. caged in a freshwater - wetland (Pateira de Fermentelos—Portugal) [J]. The Science of the Total Environment, 2007, 372(2/3): 562 - 570.
- [23] De las Heras V, Martos - Sitcha J A, Yúfera M, et al. Influence of stocking density on growth, metabolism and stress of thick - lipped grey mullet (*Chelon labrosus*) juveniles [J]. Aquaculture, 2015, 448: 29 - 37.
- [24] Dong S L, Liang M, Gao Q F, et al. Intra - specific effects of sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) with reference to stocking density and body size [J]. Aquaculture Research, 2010, 41(8): 1170 - 1178.
- [25] Liang M, Dong S L, Gao Q F, et al. Individual variation in growth in sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenck) housed individually [J]. Journal of Ocean University of China, 2010, 9(3): 291 - 296.
- [26] Lambert Y, Dutil J D. Food intake and growth of adult Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) reared under different conditions of stocking density, feeding frequency and size - grading [J]. Aquaculture, 2001, 192(2): 233 - 247.
- [27] Toko I, Fiogbe E D, Koukpode B, et al. Rearing of African catfish (*Clarias gariepinus*) and vundu catfish (*Heterobranchus longifilis*) in traditional fish ponds (whedos): effect of stocking density on growth, production and body composition [J]. Aquaculture, 2007, 262(1): 65 - 72.
- [28] Marco P D, Priori A, Finoia M G, et al. Physiological responses of European sea bass *Dicentrarchus labrax* to different stocking densities and acute stress challenge [J]. Aquaculture, 2008, 275(1/2/3/4): 319 - 328.
- [29] Merino G E, Piedrahita R H, Conklin D E. The effect of fish stocking density on the growth of California halibut (*Paralichthys californicus*) juveniles [J]. Aquaculture, 2007, 265(1/2/3/4): 176 - 186.