

评述与展望

Review and Progress

人工养殖鲟鱼生长与肌肉品质的研究进展

张润锋^{1,2*} 余翔¹ 万年春² 任华² 孙宏懋² 林亚秋³ 蓝泽桥²

1 湖北师范学院 生命科学学院, 湖北师范学院国家级生物学实验教学中心, 黄石, 435002; 2 湖北天峡鲟业有限公司, 宜昌, 443300; 3 西南民族大学 大学生命科学与技术学院, 成都, 610041

* 通讯作者, zrfeng163@126.com

摘要 鲟鱼肉和卵极具营养价值, 鲟鱼养殖规模稳定扩大, 中国已经成为世界上最大的鲟鱼养殖国家。尽管国内外在鲟鱼保护生物学和应用技术方面取得了一系列科研成果, 但对养殖鲟鱼的生长和肌肉品质的发育规律所知甚少。本文综述了国内外养殖鲟鱼异速生长模式和肌肉品质分析的研究现状, 发现现有鲟鱼生长于肌肉品质的研究主要集中于幼鱼或某一个生长期, 缺少系统性和完整性。因此, 建议针对主要养殖鲟鱼品种, 从幼鱼到成鱼系统开展养殖鲟鱼生长与肌肉品质变化规律的研究, 揭示鲟鱼肌肉品质的生长发育规律。

关键词 鲟鱼, 生长, 肌肉品质

Review on Growth and Muscle Quality of Cultured Sturgeons

Zhang Runfeng^{1,2*} Yu Xiang¹ Wan Nianchun² Ren Hua² Sun Hongmao² Lin Yaqui³ Lan Zeqiao²

1 College of Life Science, National Experiment Teaching Center of Biology, Hubei Normal University, Huangshi, 435002; 2 Hubei Tianxia Sturgeon (Group) Co. Ltd., Yichang, 443300; 3 College of Life Science and Technology, Southwest University for Nationalities, Chengdu, 610041

* Corresponding author, zrfeng163@126.com

DOI: 10.13417/j.gab.033.000215

Abstract Because meat and caviar eggs of sturgeon have high nutritional value, the sturgeon aquaculture has been developing at a steady speed in China. As a results, China has become the largest country of sturgeon aquaculture. Although a number of basic research findings in conservation biology and applied technology of sturgeon were achieved, little is known about growth pattern and development mechanism of muscle quality of farmed sturgeons. This paper reviewed the current status of research on allometric growth pattern and muscle quality of sturgeons, and found previos studies which focused on juvenile sturgeons or a special period is lack of integrity and systematicness and suggested that a mass studies to address development mechanism from juvenile to adult of muscle quality of the mainly farmed sturgeons should be encouraged.

Keywords Sturgeons, Growth, Muscle quality

鲟鱼属硬骨鱼纲(Osteichthyes)、辐鳍亚纲(Actinopterygii)、软骨硬鳞下目(Chondrostei)、鲟形目(Acipenseriformes) 现存 2 科(白鲟科(Polyodontidae), 鲟科(Acipenseridae)) 6 属, 共 27 个物种, 1997 年在津巴布韦召开的国际濒危动植物物种贸易公约(CTTES)大会将鲟形目所有的种类列入公约保护物种中(陈细华, 2007)。我国分布有 8 种, 主要分布在长江流域、黑龙江流域和新疆三个区域, 即栖息于长江流域的中华鲟(*Acipenser sinensis*)、白鲟(*Psephurus gladius*)和达氏鲟(*Acipenser dabryanus*) 栖息于黑龙江流域的

施氏鲟(*Acipenser schrenckii*)和达氏鳊(*Huso dauricus*), 以及分布于新疆伊犁河的裸腹鲟(*Acipenser nudiventris*)、额尔齐斯河的小体鲟(*Acipenser ruthenus*)和西伯利亚鲟(*Acipenser baerii*)。长江流域的三种鲟均被列为国家一级保护动物, 除人工增殖放流外, 禁止一切经营性捕捞活动。

鲟鱼具有个体大、生长快、适应性强、病害少等特点, 其肉厚骨软、味道鲜美, 肉和卵的蛋白质极高, 是高级营养品。鲟鱼籽酱(Caviar)由鲟鱼卵腌渍而成, 富含人体必需氨基酸和不饱和脂肪酸、无机盐、维生素

基金项目: 本研究由国家自然科学基金项目(No. 31201990)、湖北省教育厅科学技术研究计划 2014 重点项目、湖北师范学院创新团队(2008)和湖北省大学生实习实践基地项目共同资助

A、B 和 D,以及钙、铜、镁、铁和硒等微量元素,与鹅肝、松露并称为“世界三大美食”,素有“黑色黄金”之称,是国际上经久不衰的名贵高档食品,价格昂贵。

鲟鱼在国内外市场的供不应求与野生鲟鱼资源逐渐减少的矛盾,使得通过养殖获得鲟鱼产品成为必然的选择。20 世纪 80 年代,欧洲即开始发展鲟鱼养殖。中国的鲟鱼养殖开始于 20 世纪 90 年代,通过对鲟鱼全人工繁殖技术、苗种培育技术、不同模式成套养殖技术等系统研究,已经形成一套完整的鲟鱼养殖技术体系,工厂化养殖、网箱养殖、池塘养殖均能取得较好经济效益。近年来,鲟鱼养殖主要集中在意大利、法国、德国、美国、乌拉圭和中国(Bronzi et al., 2011)。至 2008 年,中国的鲟鱼养殖产量达到 2.14 万吨,占世界鲟鱼养殖总产量的 83.3%,成为世界最大的养鲟国家。尽管国内外在鲟鱼基础研究和应用技术方面取得了一系列科研成果,但对于鲟鱼的生长和肉质的发育规律缺少系统性研究,所知甚少。本文综述了国内外鲟鱼生长和肌肉品质的研究现状、发展趋势和面临的问题。

1 养殖鲟鱼的生长模式

鱼类体重——体长关系是鱼类生长生物学研究的主要内容之一。以 $W=aL^b$ 描述体重——体长的相关关系,其中生长幂指数 b 表示鱼的重量增加系数与体长增加系数之比,表示鱼类发育的不均匀性。这种不均匀性是由于体重和体长的不均匀增长带来的,所以参数 b 可以用来判断鱼类是否处于异速生长。异速生长是指生物体的某一特征的相对生长速率不等于第二种特征的相对生长速率。庄平等(2002)对全人工繁殖的西伯利亚鲟仔稚鱼 0~53 日龄的异速生长及器官的优先发育进行研究。结果发现西伯利亚鲟仔稚鱼在 9、28、37 日龄分别出现全长生长拐点,将全长生长分为 4 个阶段,为异速生长,表现全长生长快于体重增加。在西伯利亚鲟仔稚鱼发育过程中,许多关键器官的大小存在异速生长。3~4 日龄时,眼径最先达到生长拐点,意味着眼部优先发育,使其在出膜后就能有效地躲避敌害。17~18 日龄时,口宽出现拐点,此时随着感觉器官和各鳍的不断完善,主动摄食能力不断加强。13~14、16~17、21~22 日龄时,背鳍、胸鳍、臀鳍的长度也分别出现生长拐点,标志着其游泳能力已比较完善,可以有效地躲避敌害和获得食物,为其早期的生存提供了保障。对施氏鲟仔鱼 0~38 日龄的异速生长的研究得到了类似的结果(马境等, 2007)。

鱼类早期个体发育从内源性营养转变为外源性营养是一个非常关键的时期,尤其是消化道的发育。不同于其它器官的逐次发育,消化道在这一时期将发生急剧变化,由直的管状的简单结构发育为具有功能分区的复杂结构。在匙吻鲟个体发育的早期,体长增长速度要快于体重增长速度,这是因为早期匙吻鲟处于卵黄期,依靠卵黄营养进行发育,没有摄入外源营养物质,故体重增加较慢。依据这一现象可以用来判断匙吻鲟在孵化后 6~9 d 从内源性营养物质转化为外源性营养(吉红等, 2012)。

研究者发现鲟鱼幼鱼普遍存在异速生长,但是不同物种的鲟鱼幼鱼,其异速生长模式存在差异。匙吻鲟(袁美云等, 2012)、西伯利亚鲟(庄平等, 2009)和施氏鲟仔稚鱼(庄平等, 2002;吉红等, 2012)及中华鲟野生幼鱼(26~108 g 之间)(吴建辉, 2007)表现为异速生长,生长幂指数 $b < 3$,体长增长快于体重增长。而达氏鳇幼鱼在 99.23~383.87 g (鲁宏申等, 2011)和 617.27~1 379.32 g 之间(何斌等, 2011),施氏鲟幼鱼在 53.70~247.13 g (王秋实等, 2011a)和 186.29~1 245.43g 之间(王秋实等, 2011b),西伯利亚鲟在 0~1+龄(Keszka et al., 2009)和 25~649 g 之间(黄宁宇等, 2005)、杂交幼鱼(达氏鳇 ♀ × 西伯利亚鲟 ♂)在 178.9~533.1 g 之间(刘建魁等, 2008)和纳氏鲟与西伯利亚鲟杂交幼鱼在 45.5~820.8 g 之间(Vaccaro et al., 2004)的生长均表现为异速生长,生长幂指数 $b > 3$,体重增长快于体长增长。仅有在人工养殖环境下达氏鳇杂交种(达氏鳇 ♂ × 天然杂交种(达氏鳇 ♀ × 施氏鲟 ♂))幼鱼在 145.83~437.36 g 之间表现为等速生长(石振广等, 2008)。

肥满度,又叫条件系数(condition factor, $K=100 \times W/L^3$),常用作衡量鱼体丰满程度、营养状况和环境条件。大多数研究发现鲟鱼早期发育不同阶段,其肥满度变化处于 0.300~0.500 之间(Koksal et al., 2000; Vaccaro et al., 2004; 刘建魁等, 2008; 石振广等, 2008; 鲁宏申等, 2011; Ta'ati et al., 2011; 王秋实等, 2011a; 2011b)。达氏鳇 1 龄幼鱼肥满度变化在 0.350~0.434 之间(鲁宏申等, 2011),与 1 龄(0.289 4~0.372 9)(王秋实等, 2011a)和 2 龄施氏鲟(0.283 4~0.392 7)(王秋实等, 2011b)、西伯利亚鲟幼鱼(0.350~0.358)(Koksal et al., 2000)、欧洲鲟(0.380~0.410)(Ta'ati et al., 2011)、杂交幼鱼(达氏鳇 ♀ × 西伯利亚鲟 ♂)(0.341~0.387)(刘建魁等, 2008)、达氏鳇杂交种(达氏鳇 ♂ × 天然杂交种(达氏鳇 ♀ × 施氏鲟 ♂))幼鱼(0.365 6~0.394 2)(石振广等, 2008)和纳氏鲟与西伯利亚鲟杂交幼鱼(0.32~0.54)(Vaccaro et al., 2004)的肥满度相近,而低于养殖环境

下中华鲟野生幼鲟的 0.59 (吴建辉等, 2007)、孵出 10~22 d 的西伯利亚仔鲟的 0.44~0.603 (Gisbert et al., 1997) 和野生环境下中华鲟幼鱼的 0.72 (庄平等, 1998)。研究发现, 1 龄施氏鲟在有充足水域空间和食物的池塘养殖条件下, 生长离散会逐渐加剧 (王秋实等, 2011a); 而 2 龄施氏鲟生长离散的变化较小 (王秋实等, 2011b), 主要原因可能是 1 龄幼鱼对天气、温度、溶氧等昼夜变化比较敏感, 抗逆性较差, 而 2 龄施氏鲟的抗逆性较强, 所以环境因子对生长离散的影响较小。

鲟鱼的生长随其所处的生长阶段和环境因子的变化而变化。由于鲟鱼的寿命长, 性成熟晚, 成鱼体格大、养殖难度和成本高等原因, 现有研究则主要集中在对鲟鱼幼鱼的生长特性的研究上。研究证明不同鲟鱼所处的生长阶段、养殖方式、养殖密度、水温和饵料等因素不同, 其生长模式存在差异。相对于鲟鱼的生命周期, 大多数研究养殖试验时间短、研究对象各异、养殖环境不同, 所以鲟鱼生长阶段体现的并不明显, 结果不一致, 缺乏系统性和完整性。值得一提的是张颖等 (2013) 对养殖条件下对 1~7 龄杂交鲟 (施氏鲟 δ \times 达氏鳇 η) 的生长特征的研究。研究发现杂交鲟 (施氏鲟 η \times 达氏鳇 δ) 在 1~7 龄呈现“异速生长 - 等速生长 - 异速生长”的变化趋势。1~3 龄杂交鲟 (施氏鲟 η \times 达氏鳇 δ) 生长幂指数 $b > 3$, 呈强异速生长; 此后随年龄的增加, 异速生长减弱, 发育趋向均匀; 5 龄时生长幂指数 $b = 2.94$ 接近 3; 7 龄生长幂指数 b 为 $2.63 < 3$ 。杂交鲟 (施氏鲟 η \times 达氏鳇 δ) 肥满度随年龄增加而增大, 其与体重的相关性 ($R^2 = 0.94$) 高于与体长的相关性。Cubic 生长方程对不同年龄杂交鲟 (施氏鲟 η \times 达氏鳇 δ) 的生长具有最好的拟合效果, 拐点体重、体长和年龄分别为 28.53 kg、82.11 cm 和 4.22 龄。

2 养殖鲟鱼肌肉品质的分析

肌肉品质主要包括两个方面, 即肌肉质量和肌肉风味。肌肉质量主要包括肌肉中对人体有益的营养物质的性质、数量及其比例。肌肉质量性状主要有物理性状和化学性状。物理性状主要有肉色、大理石纹、白度、色差、亮度、失水率、系水率、滴水损失、剪切值、pH 值等; 化学性状主要有水分、粗蛋白、粗脂肪、干物质、灰分、胶原蛋白、铁、锰、钙等物质的含量。决定肌肉品质的主要是蛋白质、肌间脂肪、灰分和干物质的性质、含量和比例。肌肉风味是肌肉气味、味道及适口性的综合感觉, 取决于风味物质的性质、数量及各物质间相互影响的结果。肌肉的纹理,

嫩度和多汁性等物理特性对肉味的感知具有一定的辅助作用。肌肉本身存在的风味成分前体物质和加热时肉味前体物质间依一定途径所发生的化学变化决定了肌肉风味的形成 (刘旭, 2007)。

对于鱼类肌肉品质研究较多, 主要集中在常见养殖鱼类和一些特种养殖品种, 而对于鲟鱼肌肉品质研究偏少。已有的关于鲟鱼肌肉品质的研究则主要集中在匙吻鲟 (董宏伟等, 2007; 陈静等, 2008; 吉红等, 2011; 沈硕等, 2009; 杨华莲等, 2012)、施氏鲟 (胡国宏等, 2003; 胡国宏等, 2004; 户业丽等, 2006; 袁骥, 2006)、中华鲟 (宋超等, 2007; 柴毅等, 2010) 和欧洲鳇 (Ghomi et al., 2012a; Ghomi et al., 2012b; Ghomi et al., 2013) 等幼鱼肌肉营养成分的分析上。

不同研究者 (董宏伟等, 2007; 陈静等, 2008; 沈硕等, 2009; 吉红等, 2011; 杨华莲等, 2012) 对规格为 50~1 500 g (50 g, 150 g, 300 g, 386.3~428.8 g, 456.4~585.4 g, 600 g, 722~989 g, 1 500 g)、最大为 2 龄的匙吻鲟进行了肌肉营养成分分析。肌肉常规营养分析结果表明, 随着年龄增长, 匙吻鲟肌肉中水分逐渐降低, 蛋白质和脂肪含量逐渐增加。蛋白质的营养价值取决于氨基酸的含量和组成, 而人体中 8 种必需氨基酸 (苏氨酸、缬氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、蛋氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、色氨酸) 的含量是决定蛋白质营养价值的重要因素。鱼肉味道的鲜美程度决定于 4 种鲜味氨基酸 (天门冬氨酸、甘氨酸、谷氨酸、丙氨酸) 的含量。对 50~1 500 g 匙吻鲟肌肉氨基酸含量分析结果表明, 匙吻鲟肌肉中氨基酸含量与蛋白质含量趋势相同, 都是随着体重的增加而增高; 必需氨基酸和呈味氨基酸含量的变化趋势与氨基酸总量变化趋势相同, 以谷氨酸的含量最高, 赖氨酸、亮氨酸、天冬氨酸及甘氨酸、丙氨酸的含量较高。2 龄匙吻鲟肌肉中必需氨基酸种类齐全, 特别是构成比较合适, 必需氨基酸中赖氨酸含量明显高于 FAO/WHO 模式 (杨华莲等, 2012)。中国人膳食以谷物食品为主, 匙吻鲟肌肉可弥补谷物食品中赖氨酸的不足, 从而提高人体对蛋白质的利用率。值得注意的是, 在规格为 50 g、150 g、300 g、386.3~428.8 g、456.4~585.4 g 和 600 g 的匙吻鲟肌肉中均未检测到色氨酸 (董宏伟等, 2007; 陈静等, 2008; 沈硕等, 2009; 吉红等, 2011), 而在规格为 722~989 g 和 1 500 g 的匙吻鲟肌肉中则检测到色氨酸, 其含量最低, 为第一限制性氨基酸 (沈硕等, 2009; 杨华莲等, 2012), 这种差异的原因推测为酸水解时色氨酸被分解。

对规格为 (122.95 \pm 24.69) g、630~770 g、(1.53 \pm 0.3) kg 和 50~65 kg 的施氏鲟肌肉营养成分分析 (胡国宏等,

2003, 2004; 袁骐, 2006; 户业丽等, 2006)发现其肌肉中水分、蛋白质和脂肪的变化与匙吻鲟类似;未发现氨基酸含量随年龄变化趋势,但在各项研究中以谷氨酸的含量最高,赖氨酸、亮氨酸、天冬氨酸及甘氨酸、丙氨酸的含量较高,色氨酸含量最低,与匙吻鲟研究结果一致。

宋超等(2007)对野生及人工养殖中华鲟幼鱼的肌肉营养成分和营养品质进行了分析比较。结果表明,野生中华鲟幼鱼肌肉中水分、粗蛋白和粗灰分含量均显著高于人工养殖中华鲟($p < 0.05$),而粗脂肪含量显著低于人工养殖中华鲟($p < 0.05$)。野生和人工养殖中华鲟幼鱼的氨基酸组成基本一致,均含有18种氨基酸,其中谷氨酸含量都是最高,其次为赖氨酸、天冬氨酸、亮氨酸,而半胱氨酸含量最低;根据氨基酸评分(AAS)和化学评分(CS),野生和人工养殖中华鲟幼鱼的第一限制性氨基酸均为蛋氨酸+半胱氨酸,第二限制性氨基酸均为色氨酸。野生中华鲟幼鱼肌肉中检测到6种饱和脂肪酸(SFA),6种单不饱和脂肪酸(MUFA)和9种多不饱和脂肪酸(PUFA);人工养殖中华鲟幼鱼肌肉中检测到9种SFA,5种MUFA和7种PUFA。除 $C_{14:0}$ 、 $C_{23:0}$ 和 $C_{20:3\omega6}$ 这三种脂肪酸在野生和人工养殖中华鲟幼鱼肌肉间差异不显著外($p > 0.05$),其它的脂肪酸均有显著差异($p < 0.05$);其中二十碳五烯酸(EPA)与二十二碳六烯酸(DHA)的含量野生中华鲟显著高于人工养殖中华鲟($p < 0.05$),分别为22.99%、7.15%。对1龄人工养殖的中华鲟肌肉成分分析同样检测到18种氨基酸,其中色氨酸和半胱氨酸含量最低(柴毅等, 2010)。

对欧洲鳊肌肉品质的研究则主要集中在肌肉中脂肪酸的组成与含量分析上(Ghomi et al., 2012a; 2012b; Ghomi et al., 2013)。n-6/n-3脂肪酸对于人体极其重要(Simopoulos, 2002),对规格为5 kg左右的养殖欧洲鳊肌肉的脂肪酸进行分析(Ghomi et al., 2012a),结果发现单不饱和脂肪酸(MUFA)是最主要的一类脂肪酸,接下来依次为多聚不饱和脂肪酸和饱和脂肪酸;养殖欧洲鳊肌肉中EPA和DHA的含量低于其它养殖鲟鱼(Paleari et al., 1997; Badiani et al., 1997; Jankowska et al., 2005; Vaccaro et al., 2005; Hedayatifard and Moeini, 2006),n-6脂肪酸的含量高于n-3脂肪酸,从而n-6/n-3比率脂肪酸的比率为3.00。Ghomi等(2012b)的另一项研究也证实了对规格为5 kg左右的人工养殖欧洲鳊肌肉脂肪酸的分析结果。值得一提的是Ghomi等(2013)首次较为系统地分析了1~89 kg人工养殖欧洲鳊活重与肌肉组成和脂肪酸含量的关

系。1~89 kg人工养殖欧洲鳊肌肉常规营养成分表现出明显变化,粗蛋白11.2%~18.63%、脂肪1.40%~6.0%、水分65.77%~80.4%和灰分0.54%~1.4%。MUFA(43.11%)是最主要的一类脂肪酸,接下来依次为多聚不饱和脂肪酸PUFA(28.02%)和饱和脂肪酸SFA(20.72%);蛋白质、SFA($C_{16:0}$, $C_{18:0}$, $C_{20:0}$)、PUFA($C_{18:2}$ n-6, $C_{18:3}$ n-3, EPA, DHA)和n-3/n-6比率与体重显著相关($p < 0.01$)。n-3、n-6、EPA和DHA含量及n-3/n-6比率随欧洲鳊体重增加而显著增加($p < 0.01$),MUFA和DHA/EPA比率与体重不相关。也有研究者对杂交鲟幼鱼肌肉品质进行了初步的分析,研究结果与前述对其它鲟鱼幼鱼研究的结果类似(胡国宏等, 2004; Vaccaro et al., 2005; Jankowska et al., 2005)。

3 展望

鲟鱼以其极具营养价值和经济价值日益受到人们的青睐。中国已经实现了食用鲟鱼和制作鱼子酱的鲟鱼全部来自人工养殖鲟鱼,中国人工鲟鱼养殖量占世界总量的80%以上,并且养殖规模每年还在稳定扩大,中国已经成为名符其实的鲟鱼养殖大国。然而,与养殖规模不断扩大的趋势极其不相称的是,现有的研究主要集中在鲟鱼物种的保护生物学上,对于养殖鲟鱼生长和肉质品质的研究极其落后,这成为制约鲟鱼养殖业和加工业发展的一个主要因素。即使已有的研究也大多集中在对幼鱼生长和肌肉品质分析上,各项研究仅局限在一个或有限几个年龄段。由于养殖鲟鱼其生长和肌肉品质受到物种、规格、年龄、饵料和养殖环境等多种因素影响,加之大多数研究养殖试验时间短、养殖环境不同及鲟鱼较长的生命周期,现有研究所得结果可比性不大,缺乏系统性和完整性,对生产实践的指导意义有限。因此,针对主要养殖鲟鱼品种,系统设计、完整开展从幼鱼到成鱼整个生长期养殖鲟鱼生长与肌肉品质变化规律的研究,揭示鲟鱼肌肉品质的生长发育规律,明确养殖鲟鱼肌肉品质最佳的时间,寻找鲟鱼养殖、进入加工环节和肌肉品质之间的最优点,为鲟鱼养殖和加工效益最大化提供理论依据,对鲟鱼产品深加工具有重要的实践意义;同时也为中国鲟鱼制种和种质标准的建立提供基础资料和科学依据,对鲟鱼配合饲料的研制也具有重要的指导作用。

作者贡献

本文的文字撰写主要由张润锋和余翔进行,在撰

写过程中,万年春、任华、孙宏懋给予了资料和技术咨询方面的帮助,最后由林亚秋和蓝泽桥修改定稿。

致谢

感谢国家自然科学基金项目(No. 31201990)、湖北省教育厅科学技术研究计划 2014 重点项目、湖北师范学院创新团队(2008)和湖北省大学生实习实践基地项目对本研究的资助。

参考文献

- Badiani A., Stipa S., Nanni N., Gatta P.P., and Manfredini M., 1997, Physical indices, processing yields, compositional parameters and fatty acid profile of three species of cultured sturgeon (*Genus acipenser*), *J. Sci. Food Agric.*, 74(2): 257-264
- Bronzi P., Rosenthal H., and Gessner J., 2011, Global sturgeon aquaculture production: An overview, *J. Appl. Ichthyol.*, 27(2): 169-175
- Cai Y., Sun D.D., and Wei Q.W., 2010, Analysis on flesh rate and nutritive composition of muscle in 1-year old artificially bred *Acenser sinensis* gray, *Anhui Nongye Kexue (Journal of Anhui Agriculture Science)*, 38(18): 9549-9550 (柴毅, 孙丹丹, 危起伟, 2010, 1 龄人工养殖中华鲟含肉率及肌肉营养成分分析, *安徽农业科学*, 38(18): 9549-9550)
- Chen J., Liang Y.Q., Huang D.M., Hu X.J., Yang H.Y., Yu F.H., Fang Y.H., and Zhu B.K., 2008, Studies on the body composition of different growth development of *Potyodon spathula*, *Shuishengtaixue Zazhi (Chinese Journal of Hydroecology)*, 1: 65-70 (陈静, 梁银铨, 黄道明, 胡小建, 杨汉运, 俞伏虎, 方艳红, 朱邦科, 2008, 不同生长阶段匙吻鲟肌肉成分的研究, *水生态学杂志*, 1: 65-70)
- Chen X.H., 2007, *Biology and resource status of Acipenseriformes*, Ocean Press, Beijing, China, pp.12-13 (陈细华, 2007, 鲟形目鱼类生物学与资源现状, 海洋出版社, 中国, 北京, pp. 12-13)
- Choo C.K., and Liew H.C., 2006, Morphological development and allometric growth patterns in the juvenile seahorse *Hippocampus kuda* Bleeker, *Journal of Fish Biology*, 69: 426-445
- Dong H.W., Han Z.Z., Kang Z.P., Qu L., Guo W.S., Yang C.H., and Zou Z.Y., 2007, Analysis on the rate of flesh content and nutritional value of paddlefish (*Polyodon spathule*), *Dan-shui Yuye (Freshwater Fisheries)*, 37(4): 49-51 (董宏伟, 韩志忠, 康志平, 曲立, 郭维士, 杨成辉, 邹作宇, 2007, 匙吻鲟含肉率及肌肉营养成分分析, *淡水渔业*, 37(4): 49-51)
- Gisbert E., and Williot P., 1997, Larval behaviour and effect of the timing of initial feeding on growth and survival of Siberian sturgeon (*Acipenser heri*) larvae under small scale hatchery production, *Aquaculture*, 156: 63-76
- Ghomi M.R., Nikoo M., and Pourshamsian K., 2012a, Omega-6/omega-3 essential fatty acid ratio in cultured beluga sturgeon, *Comp. Clin. Pathol.*, 21(4): 479-483
- Ghomi M.R., Nikoo M., and Pourshamsian K., 2012b, Fatty acid composition in farmed great sturgeon *Huso huso*, *Comp. Clin. Pathol.*, 21(4): 111-114
- Ghomi M.R., Nikoo M., and Pourshamsian K., 2013, Effect of alive weight on body composition and fatty acid content of farmed beluga sturgeon (*Huso huso*), *International Aquatic Research*, 5: 6-13
- He B., Chen X.J., Du J., Liu G.X., Long Z.H., and Li Q., 2011, Study on growth characteristics of *Acipenser dabryanus* Dumeril under artificial culturing conditions, *Xinan Nongye Xuebao (Southwest China Journal of Agricultural Sciences)*, 24(1): 335-341 (何斌, 陈先均, 杜军, 刘光迅, 龙治海, 李强, 2011, 人工养殖条件下达氏鲟生长特性的研究, *西南农业学报*, 24(1): 335-341)
- Hedayatifard M., and Moeini S., 2006, Loss of omega-3 fatty acids of sturgeon (*Acipenser stellatus*) during cold storage, *Int. J. Agric. Biol.*, 9: 598-601
- Huang N.Y., Xia L.J., Yao Z.L., Zhou K., Gao L.J., and Zhuang P., 2005, Regression biology of *Acipenser baeri* to western China and its biology, *Shanghai Shuichan Daxue Xuebao (Journal of Shanghai Fisheries University)*, 14(4): 370-374 (黄宁宇, 夏连军, 么宗利, 用凯, 高露姣, 庄平, 2005, 西伯利亚鲤鱼回归生物学特性研究, *上海水产大学学报*, 14(4): 370-374)
- Hu G.H., Zhu S.C., Zhang J.H., Sun G.H., Gu Q., and Zhang K., 2003, Approximate composition in muscles and relative dressed weight in farmed sturgeon *Acipenser schrenckii* juvenile, *Dalian Shuichan Xueyuan Xuebao (Journal of Dalian Fisheries University)*, 18(1): 70-73 (胡国宏, 朱世成, 张俊辉, 孙广华, 顾权, 张凯, 2003, 养殖史氏鲟幼鱼的含肉率和鱼肉营养成分分析, *大连水产学院学报*, 18(1): 70-73)
- Hu G.H., Sun Z.W., Sun D.J., and Qiu L.Q., 2004, Comparison of nutritive compositions in muscles among six farmed sturgeon species, *Dalian Shuichan Xueyuan Xuebao (Journal of Dalian Fisheries University)*, 19(2): 92-96 (胡国宏, 孙中武, 孙大江, 邱岭泉, 2004, 6 种养殖鲟鲤鱼肌肉营养成分的比较分析, *大连水产学院学报*, 19(2): 92-96)
- Hu Y.L., Chen B., Yu D.L., Yuan Q., Wang C., Zhang Y., and Lan Z.Q., 2006, Evaluation on nutritive compositions of *Acipenser schrenckii* in muscle, *Shipin Yanjiu Yu Kaifa (Food Research and Development)*, 27(4): 168-170 (户业丽, 程波, 余东良, 袁强, 汪畅, 张翌, 蓝泽桥, 2006, 施氏鲟鱼肉营养成分的分析, *食品研究与开发*, 27(4): 168-170)
- Jankowska B., Kolman R., Szczepkowski M., and Zmijewski T., 2005, Production value, chemical composition and color of fillets of the reciprocal hybrid of Siberian sturgeon with green sturgeon (*Acipenser baerii* Br. x *Acipenser medirostris* Ayres), *Czech J. Anim. Sci.*, 50: 220-225
- Ji H., Sun H.T., and Shan S.T., 2011, Evaluation of nutrient components and nutritive quality of muscle between pond-and cage-reared paddlefish (*Polyodon spathula*), *Shuichan Xuebao (Journal of Fisheries of China)*, 35(2): 261-267 (吉红, 孙海涛, 单世涛, 2011, 池塘与网箱养殖匙吻鲟肌肉营养

- 成分及品质评价, 水产学报, 35(2): 261-267)
- Ji H., Sun H.T., Tian J.J., and Qiu L.J., 2012, Digestive enzyme activity during early larval development of the paddlefish *Polyodon spathula*, Shuisheng Shengwu Xuebao (Acta Hydrobiologica Sinica), 36(3): 1-9 (吉红, 孙海涛, 田晶晶, 邱立疆, 2012, 匙吻鲟仔稚鱼消化酶发育的研究, 水生生物学报, 36(3): 1-9)
- Koksal G., Rad F., and Kindir M., 2000, Growth performance and feed conversion efficiency of Siberian sturgeon Juveniles (*Acipenser baeri*) reared in concrete raceways, Turk. J. Vet. Anim. Sci., 24: 435-442
- Keszka S., Krzykowski S., and Wiececzek B., 2009, Variability of biometric characters of *Acipenser baerii* Brandt, 1869 in the heated water, Electronic Journal of Polish Agricultural Universities (EJPAU), 12(4): 23
- Liu J.K., Li W.L., Shi Z.G., Wang Y.S., and Chen C.S., 2008, A preliminary study on growth performance of juvenile hybrid kaluga (*Huso dauricus*) Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) under artificial farming conditions, Danshui Yuye (Freshwater Fisheries), 38(6): 63-67 (刘建魁, 李文龙, 石振广, 王云山, 陈春山, 2008, 达氏鳇♀×西伯利亚鲟♂杂交幼鱼生长特性初步研究, 淡水渔业, 38(6): 63-67)
- Liu X., 2007, Comprehensive study on muscle quality of fishes, Thesis for M.S., Xiamen University, Supervisor: Wang J., pp.1-13 (刘旭, 2007, 鱼类肌肉品质综合研究, 硕士毕业论文, 厦门大学, 导师: 王军, pp.1-13)
- Lu H.S., Liu J.K., Wang Y.S., Shi Z.G., Li W.L., and Han J., 2011, The growth characters of 1 year old *Huso dauricus* juvenile, Shuishengtaixue Zazhi (Journal of Hydroecology), 32(5): 78-82 (鲁宏申, 刘建魁, 王云山, 石振广, 李文龙, 韩骥, 2011, 达氏鳇 1 龄幼鱼生长特性的初步研究, 水生态学杂志, 32(5): 78-82)
- Ma J., Zhang L.Z., Zhuang P., Zhang T., Feng G.P., and Zhao F., 2007, Development and allometric growth patterns of larval *Acipenser schrenckii*, Yingyong Shengtai Xuebao (Chinese Journal of Applied Ecology), 18(12): 2875-2882 (马境, 章龙珍, 庄平, 张涛, 冯广鹏, 赵峰, 2007, 施氏鲟仔鱼发育及异速生长模型, 应用生态学报, 18(12): 2875-2882)
- Paleari A., Beretta G., Grimaldi P., and Vaini F., 1997, Composition of muscle tissue of farmed sturgeon with particular reference to lipidic content, J. Appl. Ichthyol., 13(2): 63-66
- Song C., Zhuang P., Zhang L.Z., Liu J., and Luo G., 2007, Comparison of nutritive components in muscles between wild and farmed juveniles of Chinese sturgeon *Acipenser sinensis*, Dongwu Xuebao (Acta Zoologica Sinica), 53(3): 502-510 (宋超, 庄平, 章龙珍, 刘健, 罗刚, 2007, 野生及人工养殖中华鲟幼鱼肌肉营养成分的比较, 动物学报, 53(3): 502-510)
- Shen S., Zhou J.C., Zhao S.M., and Xiong S.B., 2009, The nutritional composition and evaluation of muscle of *Polyodon spathula*, Yingyang Xuebao (Acta Nutrimenta Sinica), 31(3): 295-297 (沈硕, 周继成, 赵思明, 熊善柏, 2009, 匙吻鲟的营养成分及肌肉营养评价, 营养学报, 31(3): 295-297)
- Shi Z.G., Dong S.L., Lu H.S., Wang Y.S., and Li W.L., 2008, A preliminary study on juvenile growth performance of Kaluga (*Huso dauricus*) hybrid under artificial farming conditions, Zhongguo Haiyang Daxue Xuebao (Periodical of Ocean University of China), 38(1): 33-38 (石振广, 董双林, 鲁宏申, 王云山, 李文龙, 2008, 人工养殖条件下达氏鳇杂交种幼鱼生长特性的初步研究, 中国海洋大学学报, 38(1): 33-38)
- Simopoulos A.P., 2002, The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids, Biomed. Pharmacother, 56(8): 365-379
- Ta'ati R., Soltani M., Bahmani M., and Zamini A.A., 2011, Growth performance, carcass composition, and immunophysiological indices in juvenile great sturgeon (*Huso huso*) fed on commercial prebiotic, immunoster, Iranian Journal of Fisheries Sciences, 10(2): 324-335
- Vaccaro A.M., Buffa G., Mirto S., Sara G., and Mazzola A., 2004, Comparison of growth performance and biometric relationships in two reciprocal sturgeon hybrids reared in net cages (Sicily, Mediterranean), Aquatic Research, 35(6): 552-558
- Vaccaro A.M., Buffa G., Messina C.M., Santulli A., and Mazzola A., 2005, Fatty acid composition of a cultured sturgeon hybrid (*Acipenser naccarix*A. *baerii*), Food Chem., 93(4): 627-631
- Wang Q.S., Zhao C.G., Ma G.J., and Chen J., 2011a, Growth characteristics of *Acipenser schrenckii* in pond-culture, Heilongjiang Nongye Kexue (Heilongjiang Agricultural Sciences), 1: 70-73 (王秋实, 赵春刚, 马国军, 陈军, 2011a, 施氏鲟在静水池塘养殖的生长特性研究, 黑龙江农业科学, 1: 70-73)
- Wang Q.S., Zhao C.G., Sun D.J., Ma G.J., and Chen J., 2011b, The growth characteristics of 2-year-old commercial *Acipenser schrenckii* in pond-culture, Shuichanxue Zazhi (Chinese Journal of Fisheries), 24(4): 21-24 (王秋实, 赵春刚, 孙大江, 马国军, 陈军, 2011b, 静水池塘养殖施氏鲟商品鱼的生长特性, 水产学杂志, 24(4): 21-24)
- Wu J.H., Liu J., and Chen J.H., 2007, Growth of wild juvenile Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) farmed in the artificial environment, Yuye Xiandaihua (Fishery Modernization), 34(6): 31-35 (吴建辉, 刘健, 陈锦辉, 2007, 人工养殖环境下中华鲟野生幼鲟的生长特征, 渔业现代化, 34(6): 31-35)
- Yang H.L., He C., Ma L.M., Xuan Y.X., Pan J., and Gu Z.M., 2012, Analysis on flesh rate and nutritive composition of muscle in 2-year-old *Polyodon spathula*, Yangzhi Yu Siliao (Animals Breeding and Feed), 1: 6-9 (杨华莲, 何川, 马立鸣, 宣廷孝, 潘镜, 顾泽茂, 2012, 2 龄匙吻鲟肌肉组成营养成分分析, 养殖与饲料, 1: 6-9)
- Yuan M.Y., Zou Z.Y., Liu S.F., Li D.P., Wang Z.C., Lv Y.L., and Dong H.W., 2012, Effects of stocking density on growth of juvenile *Polyodon spathula* reared in net cage, Yuye Xiandaihua (Fishery Modernization), 39(4): 33-37 (袁美云, 邹作宇, 刘双凤, 李德鹏, 王祖晨, 吕廷玲, 董宏伟, 2012, 养殖

- 密度对网箱养殖匙吻鲟稚鱼生长的影响, 渔业现代化, 39 (4): 33-37)
- Yuan Q., 2006, Amino acid composition in different parts of farmed sturgeon *Acipenser schrenckii*, Anjisuian He Shengwu Ziyuan (Amino Acids & Biotic Resources), 28(1): 25-28 (袁骥, 2006, 养殖史氏鲟不同部位氨基酸组成, 氨基酸和生物资源, 28(1): 25-28)
- Zhang Y., Liu X.Y., Qu Q.Z., and Sun D.J., 2013, The growth characteristics of *Acipenser schrenckii* (♂)×*Huso dauricus* (♀) hybrid under artificial farming conditions, Shuichanxue Zazhi (Chinese Journal of Fisheries), 26(2): 1-9 (张颖, 刘晓勇, 曲秋芝, 孙大江, 2013, 养殖条件下施氏鲟(♂)×达氏鳇(♀)杂交后代的生长特性, 水产学杂志, 26(2): 1-9)
- Zhuang P., Li D.P., Wang M.X., Zhang Z., Zhang L.Z., and Zhang T., 2002, Effect of stocking density on growth of juvenile *Acipenser schrenckii*, Yingyong Shengtai Xuebao (Chinese Journal of Applied Ecology), 13(6): 735-738 (庄平, 李大鹏, 王明学, 张征, 章龙珍, 张涛, 2002, 养殖密度对史氏鲟稚鱼生长的影响, 应用生态学报, 13(6): 735-738)
- Zhuang P., Song C., Zhang L.Z., Zhang T., Huang X.R., and Wang B., 2009, Allometric growth of artificial bred Siberian sturgeon *Acipenser baeri* larvae and juveniles, Shengtaixue Zaizhi (Chinese Journal of Ecology), 28(4): 681-687 (庄平, 宋超, 章龙珍, 张涛, 黄晓荣, 王斌, 2009, 全人工繁殖西伯利亚鲟仔稚鱼发育的异速生长, 生态学杂志, 28(4): 681-687)
- Zhuang P., Zhang L.Z., Zhang T., Zhang Z., Liu L., Zhang J.M., Guo F., Yi J.F., and Liu W.C., 1998, Domestication of amur sturgeon (*Acipenser schrencki*) in central China and its biology: I. growth characteristics of young-of-the-year, Danshui Yuye (Freshwater Fisheries), 28(4): 6-9 (庄平, 章龙珍, 张涛, 张征, 柳凌, 张洁明, 郭峰, 易继舫, 刘文成, 1998, 史氏鲟南移驯养及生物学的研究 I. 1 龄鱼的生长特性, 淡水渔业, 28(4): 6-9)