

六种鲟鱼消化酶活性的比较研究

叶继丹 卢彤岩 刘洪柏 赵吉伟 孙大江

(中国水产科学研究院黑龙江水产研究所, 哈尔滨 150070)

摘要: 测定了两个生长阶段 6 种鲟鱼幼鱼胃、肠道和肝脏中蛋白酶、脂肪酶、淀粉酶活性。幼鲟消化酶活性在两个生长阶段变化不明显。6 种鲟鱼不同消化器官蛋白酶活性以肠道为最高, 肝脏为最低, 肝脏中的蛋白酶活性明显低于胃、肠道($P < 0.01$)。不同消化器官脂肪酶活性, 以肠道为最高, 且肠道脂肪酶活性显著高于胃、肝脏($P < 0.01$), 胃中的脂肪酶活性与肝脏中的脂肪酶活性差异不明显($P > 0.05$)。不同消化器官淀粉酶活性, 以肠道为最高, 且明显高于胃、肝脏($P < 0.01$)。幼鲟在第一阶段, 肝脏中没有淀粉酶活性, 其活性出现在第二阶段, 且在此生长阶段, 肝脏中的淀粉酶活性达到胃中的水平($P > 0.05$)。对 6 种鲟鱼而言, 除个别存在较大差异外, 3 种消化酶活性大体上都没有明显差异。

关键词: 施氏鲟; 小体鲟; 西伯利亚鲟; 俄罗斯鲟; 杂交鲟; 中华鲟; 消化酶活性

中图分类号: S965.215 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3207(2003)06-0590-06

鱼类的食性虽然在一定程度上受遗传的支配, 但后天环境作用的影响也是相当大的, 人为改变某些条件使之适应新的生存环境可获得满意的结果, 这是鱼类驯化养殖成功的理论基础^[1]。鱼类对不同食物类型及其营养物质的适应性, 表明消化系统具有积极适应饲料性质的能力, 其消化酶活性会相应发生较大的改变^[2]。随着鲟鱼人工驯化养殖的发展, 如何科学合理投喂和配制鲟鱼人工配合饲料已成为鲟鱼养殖的重要制约因素。因此, 研究鱼类消化酶对了解其消化生理特点及研制既符合鱼类消化特点和生长发育要求, 又能提高饲料消化利用率并能发挥其最大生产潜力的人工饲料均具有重要的意义。

水产动物消化酶的研究, 国内外已有较多的报道^[2-9], 但鲟鱼消化酶的研究鲜见报道。本文比较研究了施氏鲟(*Acipenser schrenckii* Brandt)、小体鲟(*Acipenser ruthenus* Linnaeus)、西伯利亚鲟(*Acipenser baeri* Brandt)、俄罗斯鲟(*Acipenser guldenstadti* Brandt)、杂交鲟(Bester: *Huso huso* Linnaeus ♀ × *Acipenser ruthenus* ♂) 和中华鲟(*Acipenser sinensis* Gray) 六种鲟鱼胃、肠及肝脏

中蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活性。

1 材料与方法

1.1 试验鱼来源 施氏鲟、小体鲟、西伯利亚鲟、俄罗斯鲟、杂交鲟和中华鲟仔、幼鱼均系 2001 年 8 月 13 日采自中国水产科学研究院鲟鱼繁育工程技术研究中心。测试前, 这六种鲟仔、幼鲟鱼均是采用同一的仔、幼鱼专用人工颗粒饲料进行投喂。每种鱼分两个规格, (表 1)。

1.2 样品制备 试验鱼置于冰盘上活体解剖, 取出胃、肠(清除肠道内容物)及肝脏, 放入 -20℃ 冰箱中保存。每种鱼每个规格设 3 个重复。小规格幼鱼每重复 2—3 尾, 大规格幼鱼每重复 1—2 尾。测定酶活性前将胃、肠及肝脏等组织取出, 分别称重, 按样品重的 20 倍加入予冷的生理盐水, 用 FSH-II 高速组织匀浆机匀浆, 匀浆液用离心机以 3500r/min 离心 15min, 取上清液, 置于 4℃ 冰箱中保存待用, 8h 内测定完毕。测定胃、肠蛋白酶活性时再稀释 5 倍。

1.3 酶活性的测定 用岛津 UV-2401 型光度计测定蛋白酶^[10]、淀粉酶^[11]的活性。用聚乙烯醇橄榄油乳化液水解法测定脂肪酶活性^[10]。

蛋白酶活性定义: 1g 新鲜组织样品在 pH 7.6

收稿日期: 2002-03-20; 修订日期: 2002-06-30

基金项目: 国家“九五”攻关课题资助(96-008-01-01-06)

作者简介: 叶继丹(1966—), 男, 湖北省新洲县人; 博士, 副研究员; 主要从事鱼类营养研究

(测定胃蛋白酶活性时 pH 为 2.2) 和 30℃条件下, (μg/g/min)。

1min 水解酪蛋白所产生的酪氨酸量(μg/g/min)。

脂肪酶活性定义: 1g 新鲜组织样品在 pH7.6 和 30℃条件下, 1min 水解脂肪所产生的脂肪酸量

淀粉酶活性定义: 1g 新鲜组织样品在 pH7.6 和 30℃条件下, 30min 水解淀粉的量(mg/g/30min)。

表 1 试验鱼规格

Tab 1 Weight of the fish studied

类别	施氏鲟	小体鲟	西伯利亚鲟	俄罗斯鲟	杂交鲟	中华鲟
Category	<i>A. schrencki</i>	<i>A. nutherus</i>	<i>A. baeri</i>	<i>A. guldenstadti</i>	Best er	<i>A. sinesis</i>
15g 以下	9.9±1.6	—	12.0±2.2	12.3±1.7	6.4±1.1	—
30g 以上	219.5±22.7	46.4±11.3	135.6±25.8	91.8±12.7	176.3±31.2	154.3±28.4

1.4 结果统计分析 所有数据用 SPSS 统计软件进行方差分析和多重比较。

2 结果

2.1 蛋白酶活性的比较

2.1.1 不同消化器官的蛋白酶活性 4 种小规格鲟鱼幼鱼不同组织蛋白酶活性均以肠中的最高, 肝脏中最低(表 2)。除西伯利亚鲟外, 其他鲟鱼胃中蛋白酶活性与肠中的差异不明显($P > 0.05$)。肝脏中蛋白酶活性都较低, 分别低于它们胃及肠道中蛋白

酶活性($P < 0.01$), 肠道中蛋白酶活性较高, 其活力大约是肝脏中的 13—28 倍。6 种大规格鲟鱼幼鱼不同器官中蛋白酶活性的变化趋势与小规格幼鲟的基本一致(表 3)。施氏鲟、小体鲟胃中蛋白酶活性极显著低于肠道($P < 0.01$), 俄罗斯鲟胃中蛋白酶活性显著低于肠道($P < 0.05$), 其余 3 种鲟鱼胃中蛋白酶活性与肠中的差异不明显($P > 0.05$)。三种消化器官的蛋白酶活性大小顺序是: 肠> 胃> 肝脏(大、小规格幼鲟)。

表 2 小规格(< 15g) 鲟鱼消化酶活性

Tab. 2 Digestive enzyme activities of sturgeon fingerling

种类	蛋白酶 Protease(μg/min/g)			脂肪酶 Lipase(μg/min/g)			淀粉酶 Amylase(mg/g/30min)	
	胃	肠	肝	胃	肠	肝	胃	肠
Species	Stomach	Gut	Liver	Stomach	Gut	Liver	Stomach	Gut
施氏鲟	638	916	70	437	768	323	35	68
<i>A. schrencki</i>	±184 ^b _a	±164 ^c _a	±6 ^a _c	±152 ^{ab} _{bc}	±185 ^d _a	±70 ^b _c	±5 ^a _c	±5 ^d _a
西伯利亚鲟	780	1172	42	687	1900	485	41	82
<i>A. baeri</i>	±205 ^{ab} _b	±178 ^c _a	±8 ^a _d	±140 ^a _c	±70 ^a _a	±49 ^a _c	±4 ^a _c	±3 ^c _a
俄罗斯鲟	981	1035	72	323	1698	267	34	106
<i>A. guldenstadti</i>	±207 ^a _a	±245 ^c _a	±39 ^a _c	±70 ^b _c	±243 ^{ab} _a	±128 ^b _c	±8 ^{ab} _c	±11 ^a _a
杂交鲟	1111	1798	68	340	1472	420	27	102
Best er	±254 ^c _a	±210 ^a _a	±8 ^a _c	±87 ^b _c	±98 ^b _a	±61 ^{ab} _c	±4 ^b _c	±8 ^a _a

注: 同一列数值上标相邻字母表示差异显著($P < 0.05$), 相间字母表示差异极显著($P < 0.01$); 同一行中蛋白酶、脂肪酶或淀粉酶活性不同器官的比较, 每组数值下标相邻字母表示差异显著($P < 0.05$), 相间字母表示差异极显著($P < 0.01$)。Notes: Values in the same column with adjacent superscripts are significantly different ($P < 0.05$), with intervallic superscripts are extremely significantly different ($P < 0.01$); Values within different organs for each digestive enzyme in a row with adjacent superscripts are significantly different ($P < 0.05$), with intervallic superscripts are extremely significantly different ($P < 0.01$).

2.1.2 不同鲟鱼间的蛋白酶活性 小规格幼鲟组中(表 2), 四种鲟鱼的胃中胃蛋白酶活性差异不明显, 仅杂交鲟的胃蛋白酶活性高于施氏鲟的($P < 0.05$)。其活性大小顺序为: 杂交鲟> 俄罗斯

鲟> 西伯利亚鲟> 施氏鲟。不同鲟鱼肠中蛋白酶活性存在明显差异($P < 0.01$), 仍以杂交鲟的最高, 施氏鲟的最低, 前者是后者的 2.0 倍。其蛋白酶活性大小顺序为杂交鲟> 西伯利亚鲟> 俄罗斯鲟> 施氏

鲟。肝脏中蛋白酶活性差异较小($P > 0.05$), 除西伯利亚鲟较低外($P < 0.05$), 其余三种鲟鱼的差异不明显($P > 0.05$)。在大规格幼鲟组中(表 3), 胃、肠、肝脏中蛋白酶活性不同鲟鱼间的差异都不明显($P > 0.05$)。中华鲟、西伯利亚鲟的胃蛋白酶活性比小体鲟、施氏鲟的稍高($P < 0.05$)。具有最大胃蛋白酶活性的中华鲟是最低活性施氏鲟的 1.7 倍。其活性大小顺序为中华鲟> 西伯利亚鲟> 杂交鲟> 俄罗斯鲟> 小体鲟> 施氏鲟。肠中蛋白酶活性除小体鲟的较高外($P < 0.05$), 其他五种鲟鱼的蛋白酶活性差异较小($P > 0.05$), 其活性大小顺序为小体鲟> 中华鲟> 西伯利亚鲟> 施氏鲟> 俄罗斯鲟> 杂交鲟。六种鲟鱼肝脏中蛋白酶活性差异较小($P > 0.05$)。

2.1.3 不同生长阶段鲟鱼的蛋白酶活性 两个生长阶段不同鲟鱼的胃、肠、肝脏中蛋白酶活性差异除

杂交鲟肠中、西伯利亚鲟肝脏中的蛋白酶活性存在明显差异而外, 余下均表现得不明显。

2.2 脂肪酶活性的比较

2.2.1 不同消化器官的脂肪酶活性 表 2 可见四种小规格幼鲟肠中脂肪酶活性均明显高于胃及肝脏中的($P < 0.05$)。而胃中脂肪酶活性与肝脏中的差异均不明显($P > 0.05$)。除西伯利亚鲟肠中脂肪酶活性高于胃中的($P < 0.05$)、而与肝脏中的差异不明显($P > 0.05$)外, 六种大规格幼鲟肠中脂肪酶活性均极显著高于胃及肝脏中的($P < 0.01$)。比较胃、肝中脂肪酶活性, 只有小体鲟前低后高($P < 0.05$), 其他鲟鱼的胃、肝脏中脂肪酶活性差异不明显($P > 0.05$)。三种消化器官的脂肪酶活性大小顺序是: 肠> 胃> 肝脏(小规格幼鲟); 肠> 肝脏> 胃(大规格幼鲟)。

表3 大规格(> 30g) 鲟鱼消化酶活性
Tab. 3 Digestive enzyme activities of young sturgeon(> 30g)

种类 Species	蛋白酶 Protease($\mu\text{g}/\text{min}/\text{g}$)			脂肪酶 Lipase($\mu\text{g}/\text{min}/\text{g}$)			淀粉酶 Amylase($\text{mg}/\text{g}/30\text{min}$)		
	胃 Stomach	肠 Gut	肝 Liver	胃 Stomach	肠 Gut	肝 Liver	胃 Stomach	肠 Gut	肝 Liver
施氏鲟	629	1055	68	269	1078	307	39	68	6
<i>A. schrencki</i>	$\pm 97^{\text{b}}_{\text{c}}$	$\pm 219^{\text{b}}_{\text{a}}$	$\pm 14^{\text{a}}_{\text{c}}$	$\pm 88^{\text{abc}}_{\text{c}}$	$\pm 124^{\text{a}}_{\text{a}}$	$\pm 61^{\text{b}}_{\text{c}}$	$\pm 13^{\text{a}}_{\text{c}}$	$\pm 4^{\text{c}}_{\text{a}}$	$\pm 3^{\text{c}}_{\text{c}}$
西伯利亚鲟	1072	1134	65	346	999	531	33	87	34
<i>A. baeri</i>	$\pm 367^{\text{a}}_{\text{a}}$	$\pm 207^{\text{b}}_{\text{a}}$	$\pm 10^{\text{a}}_{\text{c}}$	$\pm 96^{\text{abc}}_{\text{b}}$	$\pm 355^{\text{a}}_{\text{a}}$	$\pm 179^{\text{a}}_{\text{ab}}$	$\pm 9^{\text{ab}}_{\text{c}}$	$\pm 14^{\text{ab}}_{\text{a}}$	$\pm 10^{\text{c}}_{\text{c}}$
俄罗斯鲟	689	1034	58	242	1172	356	24	92	29
<i>A. guldenstadti</i>	$\pm 34^{\text{ab}}_{\text{b}}$	$\pm 234^{\text{b}}_{\text{a}}$	$\pm 15^{\text{a}}_{\text{d}}$	$\pm 121^{\text{bc}}_{\text{c}}$	$\pm 253^{\text{a}}_{\text{a}}$	$\pm 61^{\text{b}}_{\text{c}}$	$\pm 12^{\text{ab}}_{\text{c}}$	$\pm 9^{\text{a}}_{\text{a}}$	$\pm 13^{\text{c}}_{\text{c}}$
杂交鲟	889	1031	77	371	1081	401	19	82	31
Bester	$\pm 278^{\text{ab}}_{\text{a}}$	$\pm 181^{\text{b}}_{\text{a}}$	$\pm 15^{\text{c}}_{\text{c}}$	$\pm 122^{\text{ab}}_{\text{c}}$	$\pm 298^{\text{a}}_{\text{a}}$	$\pm 50^{\text{ab}}_{\text{c}}$	$\pm 8^{\text{b}}_{\text{c}}$	$\pm 10^{\text{abc}}_{\text{a}}$	$\pm 3^{\text{c}}_{\text{c}}$
小体鲟	633	1559	71	186	1051	445	32	74	38
<i>A. ruthenus</i>	$\pm 110^{\text{b}}_{\text{c}}$	$\pm 136^{\text{a}}_{\text{a}}$	$\pm 13^{\text{a}}_{\text{c}}$	$\pm 61^{\text{a}}_{\text{d}}$	$\pm 185^{\text{a}}_{\text{a}}$	$\pm 70^{\text{ab}}_{\text{c}}$	$\pm 12^{\text{ab}}_{\text{c}}$	$\pm 7^{\text{bc}}_{\text{a}}$	$\pm 10^{\text{c}}_{\text{c}}$
中华鲟	1082	1363	67	420	1213	453	21	72	32
<i>A. sinensis</i>	$\pm 326^{\text{a}}_{\text{a}}$	$\pm 318^{\text{ab}}_{\text{a}}$	$\pm 16^{\text{a}}_{\text{c}}$	$\pm 61^{\text{a}}_{\text{c}}$	$\pm 121^{\text{a}}_{\text{a}}$	$\pm 56^{\text{ab}}_{\text{c}}$	$\pm 10^{\text{ab}}_{\text{c}}$	$\pm 3^{\text{bc}}_{\text{a}}$	$\pm 5^{\text{c}}_{\text{c}}$

注: 同表 2。See in Tab. 2。

2.2.2 不同鲟鱼间的脂肪酶活性 小规格幼鲟组中(表 2), 四种鲟鱼的胃脂肪酶活性差异较小($P > 0.05$), 仅俄罗斯鲟的胃脂肪酶活性明显低于西伯利亚鲟的($P < 0.05$)。其活性大小顺序为西伯利亚鲟> 施氏鲟> 杂交鲟> 俄罗斯鲟。但肠中脂肪酶活性不同鲟鱼的差异显著($P < 0.01$)。施氏鲟肠中脂肪酶活性明显比其他三种鲟鱼的低($P < 0.01$), 肠中脂肪酶活性以西伯利亚鲟的最高, 约是施氏鲟的 2.5 倍。不同鲟鱼肝脏中脂肪酶活性

差异明显($P < 0.05$), 仍以西伯利亚鲟的最高, 其次为杂交鲟, 二者的酶活性均显著高于施氏鲟、俄罗斯鲟的($P < 0.05$)。在大规格幼鲟组中, 胃中脂肪酶活性差异不明显($P > 0.05$), 中华鲟、杂交鲟的较高, 俄罗斯鲟、杂交鲟的较低。不同鲟鱼肠中脂肪酶活性差异不明显($P > 0.05$), 仅西伯利亚鲟稍高于施氏鲟、俄罗斯鲟($P < 0.05$)。

2.2.3 不同生长阶段鲟鱼的脂肪酶活性 由表 2、表 3 可以看出, 仅西伯利亚鲟肠中脂肪酶活性两阶

段差异较大($P < 0.01$)。

2.3 淀粉酶活性的比较

2.3.1 不同消化器官的淀粉酶活性 由表2可知, 4种幼鲟的肠中淀粉酶活性分别极显著高于它们胃中的($P < 0.01$), 淀粉酶活性肠中大约是胃中的2—4倍。肝脏中淀粉酶活性则没有被检出。大规格幼鲟的胃、肠中淀粉酶活性变化与小规格幼鲟的情况基本相似(表3), 所不同的是肝脏中淀粉酶活性达到胃中的水平(除施氏鲟外), 二者间差异不明显($P > 0.05$)。

2.3.2 不同鲟鱼间的淀粉酶活性 小规格幼鲟组中, 不同鲟鱼胃中淀粉酶活性没有明显差异($P > 0.05$)。肠中淀粉酶活性则存在明显差异($P < 0.01$), 俄罗斯鲟、杂交鲟的显著高于西伯利亚鲟、施氏鲟。各种鲟鱼肝脏中均不存在淀粉酶活性。不同鲟鱼胃中淀粉酶活性差异在大规格幼鲟中同样表现不明显($P > 0.05$)。六种鲟鱼肠中淀粉酶活性的差异明显($P < 0.05$), 其中俄罗斯鲟肠中淀粉酶活性显著高于中华鲟、杂交鲟($P < 0.05$)、极显著高于施氏鲟($P < 0.01$)。其活性大小顺序为俄罗斯鲟 > 西伯利亚鲟 > 杂交鲟 > 小体鲟 > 中华鲟 > 施氏鲟。

2.3.3 不同生长阶段鲟鱼的淀粉酶活性 两生长阶段不同鲟鱼的胃、肠中淀粉酶活性均没有明显差异($P > 0.05$)。在所有四种鲟鱼中肝脏中淀粉酶活性在第一阶段不具有酶活性, 在第二阶段才出现酶活性(表2、表3)。

3 讨论

鱼类消化酶活性强度与其食性有一定的关系^[4], 就是食性相同的鱼类, 其消化酶活性大小也不相同^[12]。比较分析施氏鲟、西伯利亚鲟、俄罗斯鲟、杂交鲟、小体鲟和中华鲟的胃、肠、肝脏消化酶活性, 可见有一定的规律性。六种鲟鱼的蛋白消化酶活性都是肠道中的大于胃中、胃中的大于肝脏中的。脂肪酶活性都是肠中的高于胃、肝脏中的, 而在胃、肝脏中的活性差异没有明显的规律性。淀粉酶在胃、肠的活性变化与脂肪酶的模式类似。这些结果表明, 肠道是鲟鱼蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶消化营养物质的主要消化场所。从测定的消化酶活性结果看, 鲟鱼胃、肝脏仍然存在一定的消化酶活性, 尤其是胃蛋白酶活性较高, 可见胃是除肠道之外消化蛋白质的又一个重要部位。

鲟鱼胃、肠道结构上的不同, 可能引起胃、肠道

消化酶活性上的差异。从鲟鱼消化管的结构看, 其胃有较厚的肌层, 其肠道虽短, 但具有特殊的螺旋瓣状结构, 这种结构无形中增加了肠道的长度, 大大延长了食物在肠道中停留的时间, 有利于营养物质的消化吸收。虹鳟、罗非鱼、鲈鱼的胃与之类似, 鳊、乌鳢、黄颡鱼等鱼的胃^[12]则较它们发达, 但肠道却比它们短得多。虽然肝脏、胰脏均能分泌一定的消化酶, 不过是随消化液下行进入肠道, 并不进入胃中。可见像鳊鱼、乌鳢、黄颡鱼等胃发达的鱼类其胃消化酶活性较高, 是食物消化的主要场所, 胃欠发达的鱼类, 胃消化酶活性比较弱, 胃的作用主要是磨碎食物, 食物的消化则主要集中在肠道中进行。由此可知, 消化器官的结构是与其消化机能相适应的, 消化器官的部位不同, 其消化机能不同, 消化酶活性也会存在明显的差异。

理论上, 胰腺分泌的胰蛋白酶原并无活性^[9], 下行至肠道中被肠致活酶所激活而且鱼类肠壁也能分泌消化酶^[13], 据此推测, 肠道蛋白酶活性应较高, 肝胰脏蛋白酶活性应较低。鲟鱼肝脏蛋白酶活性很低, 与理论吻合, 因为鲟鱼肝脏和胰脏是各自独立的, 其肝脏作为一种消化腺, 主要起分泌胆汁的作用, 而不像胰脏那样分泌大量蛋白酶。这一结果与Hidalgo等^[3]测定鲤、金鱼、丁鲈、海鲷、虹鳟及鳊鱼的结果, 吴婷婷等^[5]测定鳊、青鱼、草鱼、鲤、鲫、鲢的结果及倪寿文等^[6]测定鲢、鳙的结果一致, 但倪寿文等^[6]测定草鱼、尼罗罗非鱼、鲤鱼结果, 黄峰等^[7]测定鲢、鳙的结果及Das等^[2]测定草鱼的结果与此不同, 都是胰脏高于肠道, 出现这种矛盾的结果令人费解。草鱼、尼罗罗非鱼、鲤、鲢、鳙等许多鱼类的胰脏与肝脏是混在一起的, 其结构属弥散型或散在型。黄峰^[7]的研究表明, 鲢、鳙肝胰脏中胰脏是分泌蛋白酶的主要器官, 据此结果, 肝胰脏蛋白酶活性并不完全反应肝脏的蛋白酶活性, 其蛋白酶活性主要为胰蛋白酶活性。问题是, 如果肝脏分泌蛋白酶的量少且活性弱, 为何肝胰脏中仍然存在较高的蛋白酶活性, 难道说肝胰脏中也存在类似肠激酶的物质或存在别的机制? Omishi等^[14]观察到摄食后在鱼类消化酶活性与消化过程之间存在时间延搁。赵万鹏等^[15]推测, 鱼类摄食后数小时内肝胰脏中的消化酶活性很低, 肠内的消化酶活性升高, 在消化后期肝胰脏不断分泌的消化酶重新积累, 为下一次消化作准备。上述不一致的测定结果是否可能与试验鱼当时所处的消化生理状况不同有关。这个问题还有待进一步研究。

肝脏、胰脏并不是消化营养物质的场所,而是分泌一些消化液沿消化腺管进入消化腔。其酶消化活性的高低可作为消化腺分泌消化酶能力大小的指标。本实验测定的鲟鱼肝脏脂肪酶活性低于肠道脂肪活性,与倪寿文^[16]等报道的鲢、鳙的一致,而与草鱼、鲤、罗非鱼的相反,这些结果说明脂肪酶在不同消化组织的分泌及活性因鱼而异,某些鱼类在消化脂肪时脂肪酶主要由肝胰脏供给,而另外一些鱼类主要由肠道或肠道与肝胰脏同时供给,显然鲟鱼脂肪酶的分泌应属后一种形式。

试验结果表明,鲟鱼肝脏在早期不具有分泌淀粉酶而只在稍晚些的时期才具有分泌淀粉酶的特性。这是幼鲟对人工饲料的一种适应性反应,还是受食性遗传的影响尚不清楚。研究表明,鱼类消化酶对食物类型和饲料组成有着明显的适应性^[2,5],推测饲料诱导幼鲟肝脏分泌淀粉酶的机制的可能性较大。鲟鱼是在不久前才实现人工驯化养殖的野生品种,还没有经过世代选育,在遗传结构上并不象家鲤或鲢鳙鱼类那样稳定,鲟鱼的人工饲料驯化率较低。人工配合饲料作为其食物唯一来源是一种很强的应激,这可能导致了一种鱼相同消化酶活性呈现较大的个体差异。

六种鲟鱼消化器官消化酶活性差异不大,而且不同消化器官消化酶活性呈现相同的变化模式,说明其消化酶活性强度高低没有种的差异。

参考文献:

[1] Wu Z O. Acclimatization of aquatic animals[J]. *Fujian Fisheries*, 1989. (2): 75—79. [吴仲庆. 水产生物的驯化, 福建水产, 1989, (2): 75—79]

[2] Das K M, Tripathi S D. Studies on the digestive enzymes of grass carp, *Ctenopharyngodon idella* (Val.) [J]. *Aquaculture*, 1991, **92**: 21—32

[3] Hidalgo M C, Urea E, Sanz A. Comparative study of digestive enzymes in fish with different nutritional habits. Proteolytic and amylase activities [J]. *Aquaculture*, 1999, **170**: 267—283

[4] Ni S W, Gui Y M, Liu H L. Investigation on the protease activities in grass carp, common carp, silver carp, big head carp and tilapia nilotica [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 1993, **39**(2): 160—167 倪寿文, 桂明远, 刘焕亮. 草鱼、鲤、鲢、鳙和尼罗罗非鱼肝胰脏和肠道蛋白酶活性的初步探讨. 动物学报, 1993, **39**(2): 160—167]

[5] Wu T T, Zhu X M. Studies on the activity of digestive enzymes in mandarin fish, black carp, grass carp, common carp, crucian carp and silver carp[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1994, **1**(2): 11—17 吴婷婷, 朱晓鸣. 鳊鱼、青鱼、草鱼、鲤、鲫、鲢消

化酶活性的研究. 中国水产科学, 1994, **1**(2): 11—17]

[6] Qiao X T, Zhang M. T, Song X J, *et al.* Study on proteinase activity of *Ophiocephalus argus* [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Nankaiensis*, 1999, **32**(2): 103—106 乔秀亭, 张美婷, 宋学军, 王茜, 等. 乌鳢蛋白消化酶活性的研究. 南开大学学报(自然科学版), 1999, **32**(2): 103—106]

[7] Huang F, Yan A S, Mu S, *et al.* The protease and amylase of *Hypophthalmichthys molitrix* and *Aristichthys nobilis* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1999, **6**(2): 14—17 黄峰, 严安生, 牟松, 等. 鲢、鳙蛋白酶、淀粉酶的研究. 中国水产科学, 1999, **6**(2): 14—17]

[8] Pan L Q, Wang, K X. The experimental studies on activities of digestive enzyme in the larvae *Penaeus chinensis* [J]. *Journal of fisheries of China*, 1997, **21**(1): 26—31 潘鲁青, 王克行. 中国对虾幼体消化酶活力的实验研究[J]. 水产学报, 1997, **21**(1): 26—31]

[9] Digestive physiology of fishes[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technological Press, 1985 尾崎久雄. 鱼类消化生理(上、册). 上海: 上海科学技术出版社, 1985]

[10] Biochemical and microbiological teaching and research department of biology faculty in Sun Yat-sen University. Guide for biochemical technology[M]. Beijing: People's Education Press, 1979 [中山大学生物学系生化微生物学教研室. 生化技术导论. 北京: 人民教育出版社, 1978]

[11] Shanghai chemical examination station for medical science. Clinical biochemical examination[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1979 [上海市医学化验所. 临床生化检验. 上海: 上海科学技术出版社, 1979]

[12] Tan B P. Studies on protease activity of some predatory fishes in coastal area of Taihu Lake[J]. *Journal of Hubei Agricultural College*, 1995, **15**(2): 96—98 [谭北平. 太湖沿岸区几种肉食性鱼类蛋白酶活性的研究. 湖北农学院学报, 1995, **15**(2): 96—98]

[13] Jany K D. Studies on the digestive enzymes of the stomachless bony fish *Carassius auratus* Gibelio (Bloch): endopeptidases[J]. *Comp. Biochem. Physiol*, 1976, **53**: 31—38

[14] Omishi T, Murayama S, Yakeuchi M. Changes in digestive enzyme levels in carp after feeding III response of protease and amylase to twice a day feeding [J]. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 1976, **42**(8): 921—929

[15] Zhao W P, Liu Y J, Pan Q, *et al.* Study on utilization of dietary carbohydrate by grass carp[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 1999, **38**(4): 92—96 赵万鹏, 刘永坚, 潘庆等. 草鱼对饲料中碳水化合物利用的研究. 中山大学学报, 1999, **38**(4): 92—96]

[16] Ni S W, Gui M Y, Liu H L. A comparative study on activity of lipase in grass carp, common carp, silver carp, big head carp and Tilapia[J]. *Journal of Dalian Fisheries College*, 1990, **5**(3, 4): 19—24 倪寿文, 桂明远, 刘焕亮. 草鱼、鲤、鲢、鳙和尼罗罗非鲫脂肪酶活性的比较研究 大连水产学院学报, 1990, **5**(3, 4): 19—24]

COMPARATIVE STUDY ON ACTIVITIES OF DIGESTIVE ENZYME IN *A. SCHRENCKI*,
A. RUTHENUS, *A. BAERI*, *A. GULDENSTADTI*, *HYBRID STURGEON* AND *A. SINENSIS*

YE Ji-Dan, LU Tong-Yan, LIU Hong-Bai, ZHAO Ji-Wei and SUN Da-Jiang
(Hailongjiang River Fishery Science Research Institute, Harbin, 150070)

Abstract: Adaptabilities of fish to different kinds of food and nutrient composition show that fish digestive system has the ability to adapte to food, and corresponding to these alterations the activities of digestive enzymes of fish would change greatly. Sturgeon culture has been progressing in late decade years. Some researchers have investigated the nutrition requirements and feeding regimes for different sturgeon. But literature on the digestive enzymes in sturgeon is still few The objective of the present study was to determine protease, lipase and amylase activities in six different sturgeon species: *A. schrencki*, *A. ruthenus*, *A. baeri*, *A. guldenstadti*, Hybrid sturgeon(*Huso huso* L. ♀ × *A. ruthenus* ♂) and *A. Sinensis*.

Six species of sturgeon were reared with artificial diets special for sturgeon in the Centre of Sturgeon Breeding of Chinese Academy of Fishery Sciences. Fish of similar age were selected. They wave devided in to two size groups: fingerlings (5—15g) and goung (48—250g) except for bester which had lower weight (mean of 46g).

After starvation for 24 h, fish were sampled randomly and *killed* for the enzyme activities assays. The fish were dissected on ice and the alimentary canal and liver cleaned, washed with chilly distilled water. The alimentary canal was cut as stomach and gut portions. The stomach, liver and intestine were then minced and homogenized separately with 20 volumes of cold 0.75% sodium chloride solution to one part by weight of the minced tissue. Each homogenized sample was then centrifuged at 3500r/min for 10 min and the supernatant collected and prepared for enzyme assay at 4℃. The supernatant need be diluted with five folds before determining the protease activities in stomach or intestine.

Total proteolytic activity was measured using the casein hydrolysis method. Proteolytic enzyme activity was defined as the amount of enzyme needed to catalyze the formation of μg of tyrosine per 1 min using 1g of fresh tissue at 30℃ and under pH 7.6(pH 2.2 for stomach). Amylase activity was determined by the starch hydrolysis method(BSZU, 1978). Amylase activity was expressed as ng of starch hydrolyzed using 1g of fresh tissue per 30 min at 30℃ and under pH7.6. Lipase activity was estimated in accordance with the method described in BSZU (1978). Its activity was expressed as the amount of enzyme needed to hydrolyze the lipid in 1g of fresh tissue μg of fatty acid per min at 30℃and under pH7.6. All spectrometric analyses were carried out using a Shimadzu UV-visible spectrophotometer(UV-2401 PC). All samples were assayed in triplicate with 2—3 fry fish or 1—2 fingerling fish each. The results were expressed as mean ±s.d.

The activities of protease, lipase and amylase in digestive organs (stomach, intestine and liver) of six species of juvenile sturgeon were determined at two growth stages. Among the three digestive organs of the six species, protease activity in intestine was the highest, but lowest in liver. Protease activity in intestine was significantly higher than those in the other two tissues ($P < 0.01$); Lipase activity was the highest in intestine and higher than that in the other two organs. Lipase activity in stomach was not different from that in liver($P > 0.05$); Amylase activity in intestine was the highest, and significantly higher than that of stomach or liver($P < 0.01$). Amylase activity in liver was not found at the first stage, however, appeared and came to the level in stomach at the second stage($P > 0.05$). Except for individual differences, the activities of the three kinds of digestive enzymes were roughly the same among the six species. The results show that the intestine of tested sturgeons is the main digestive spot in digestion of food, the stomach ranks the second.

Key words: *A. schrenckii*; *A. ruthenus*; *A. baeri*; *A. guldenstadti*; Hybrid sturgeon; *A. sinensis*; Digestive enzymes; Enzyme activity