



华中农业大学

HUAZHONG AGRICULTURAL UNIVERSITY

硕士学位论文

MASTER'S DEGREE DISSERTATION

不同投喂策略对1龄杂交鲟(施氏鲟♂×西伯利亚鲟♀)生长、消化酶活力及肉质的影响

Effects of different feeding strategies on growth,
digestive enzymes activities and meat quality of
hybrid sturgeon yearlings

研究生: 颀江

CANDIDATE: XIE JIANG

导师: 危起伟研究员

SUPERVISOR: PROF. WEI QIWEI

学位类型: 农业推广硕士

DEGREE TYPE: MASTER DEGREE IN
AGRICULTURAL EXTENSION

领域: 渔业

FIELD: FISHERY

中国 武汉

WUHAN, CHINA

二〇一六年六月

JUNE, 2016

学校名称：华中农业大学

单位代码：10504

分类号：

密级：

华中农业大学硕士学位论文

不同投喂策略对1龄杂交鲟(施氏鲟♂×西伯利亚鲟♀)生长、消化酶活力及肉质的影响

**Effects of different feeding strategies on growth,
digestive enzymes activities and meat quality of
hybrid sturgeon yearlings**

研 究 生： 颀江

学 号： 2014308120034

指导教师： 危起伟 研究员

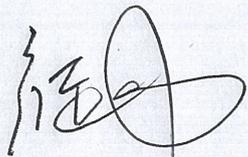
学位类型： 农业推广硕士

领 域： 渔业

华中农业大学水产学院
中国·武汉

**College of Fishery Huazhong Agricultural University
Wuhan, China**

华中农业大学学位论文独创性声明及使用授权书

学位论文是否保密	否	如需保密，解密时间	年 月 日
独创性声明			
<p>本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得华中农业大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料，指导教师对此进行了审定。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中做了明确的说明，并表示了谢意。</p>			
研究生签名： 敬江		时间： 2016 年 6 月 7 日	
学位论文使用授权书			
<p>本人完全了解华中农业大学关于保存、使用学位论文的规定，即学生必须按照学校要求提交学位论文的印刷本和电子版本；学校有权保留提交论文的印刷版和电子版，并提供目录检索和阅览服务，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。本人同意华中农业大学可以用不同方式在不同媒体上发表、传播学位论文的全部或部分内容，为存在馆际合作关系的兄弟高校用户提供文献传递和交换服务，同时本人保留在其他媒体发表论文的权力。</p> <p>注：保密学位论文（即涉及技术秘密、商业秘密或申请专利等潜在需要提交保密的论文）在解密后适用于本授权书。</p>			
学位论文作者签名： 敬江		导师签名： 	
签名日期： 2016 年 6 月 7 日		签名日期： 2016 年 6 月 7 日	

注：请将本表直接装订在学位论文的扉页和目录之间

摘要	i
Abstract.....	iii
缩略语表	vi
第一章 文献综述	1
1 鲟鱼的研究概况	1
1.1 鲟鱼简介	1
1.2 “西杂”的生物学特性.....	1
1.3 鲟鱼杂交种的人工养殖	1
1.4 鲟鱼的研究现状	2
2 投喂策略对鱼类的影响	2
2.1 投喂频率对鱼类的影响	3
2.2 投喂率对鱼类的影响	3
2.3 饥饿再投喂对鱼类的影响	4
第二章 不同投喂策略对 1 龄杂交鲟生长及体成分的影响	5
1 引言	5
2 材料与方法	6
2.1 实验鱼和实验管理	6
2.2 样品采集	6
2.3 样品分析与数据处理	6
3 结果	7
3.1 不同投喂频率对 1 龄杂交鲟生长指标及体成分的影响	7
3.2 不同投喂率对 1 龄杂交鲟生长指标及体成分的影响	9
3.3 饥饿不同周期再投喂对 1 龄杂交鲟生长指标及体成分的影响	10
4 讨论	12
第三章 不同投喂策略对 1 龄杂交鲟肝脏消化酶活力的影响	15
1 引言	15
2 材料方法	15
2.1 实验材料	15
2.2 分析方法	15
2.3 数据处理	16
3 结果	16
3.1 不同投喂频率对 1 龄杂交鲟肝脏消化酶活力影响	16
3.2 不同投喂率对 1 龄杂交鲟肝脏消化酶活力的影响	17
3.3 饥饿不同周期再投喂对 1 龄杂交鲟肝脏消化酶活力的影响	17

4 讨论	18
第四章 不同投喂策略对 1 龄杂交鲟肉质的影响	19
1 引言	19
2 材料与方法	20
2.1 实验材料	20
2.2 分析方法	20
2.3 数据处理	20
3 结果	21
3.1 不同投喂策略对 1 龄杂交鲟肌肉质构特性及贮藏损失率的影响	21
3.2 不同投喂策略对 1 龄杂交鲟肌纤维的影响	24
3.3 不同投喂策略对 1 龄杂交鲟脂肪酸的影响	25
3.4 不同投喂策略对 1 龄杂交鲟氨基酸的影响	28
4 讨论	31
5 结论	36
参考文献	37
附录	44
致谢	45

摘要

投喂策略是影响鱼类摄食生长的重要因素，许多学者研究了规格较小的鲟鱼投喂策略，较大规格鲟鱼的相关研究则相对较少。而本实验以规格相对较大的1龄杂交鲟（体重约1300g）：施氏鲟(*Acipenser schrenckii*)(♂)×西伯利亚鲟(*Acipenser baerii*)(♀)为研究对象，通过设置不同的投喂频率(0次/d、1次/d、2次/d、3次/d、4次/d)、投喂率(投喂率0%、投喂率40%、投喂率60%、投喂率80%、投喂率100%，100%为饱食)及饥饿不同周期再投喂：对照组(F60, S0)、饥饿1d天投喂1d(F1, S1)、饥饿3d投喂3d(F3, S3)、饥饿5d投喂5d(F5, S5)的投喂方式进行为期60d的养殖试验，测定不同养殖方式下的1龄杂交鲟生长指标、体成分等指标，以期找到适宜的投喂策略，达到降低养殖1龄杂交鲟饲料成本和人力投入的目的。同时有学者提出不同的投喂策略对鱼的肉质也有一定的影响，本文通过测定1龄杂交鲟的质构特性、贮藏损失率、肌纤维结构及脂肪酸、氨基酸等指标来初步探究不同的投喂策略对1龄杂交鲟肉质是否有影响，目的在于尝试是否可通过养殖方式来改善肉质，为后期的加工提供优质的肉源。主要研究结果及结论如下：

1. 不同投喂频率对1龄杂交鲟生长及体成分的影响

投喂频率及投喂率的实验中，随着投喂频率及投喂率的增加，体重增长率呈现先上升后下降的趋势，其中投喂频率实验中体重增长率最大的是3次/d组，其次为2次/d组，投喂率实验中体重增长率最大的是80%组，其次为100%组；不同投喂频率及不同投喂率的各组之间水分含量呈现下降的趋势，粗蛋白、粗脂肪、粗灰分含量呈现上升的趋势，但各组之间差异不显著($P>0.05$)。饥饿不同周期再投喂实验中，(F60, S0)组的体重增长率最大，(F1, S1)、(F3, S3)、(F5, S5)三组的体重增长率差异不大；随着饥饿时间的增加，肌肉水分含量呈现上升的趋势，粗蛋白、粗脂肪含量呈现下降的趋势，但各组之间差异不显著($P>0.05$)。根据生长指标及体成分的变化情况，从节约养殖的饲料成本和人力的投入出发，建议规格为1300g左右的1龄杂交鲟的适宜投喂频率为2次/d，投喂率为100%。

2. 不同投喂率对1龄杂交鲟肝脏消化酶活力的影响

随着投喂频率的增加，肝脏脂肪酶、淀粉酶活力呈现上升的趋势，投喂0次/d、1次/d两组与投喂2次/d、投喂3次/d、投喂4次/d三组酶活差异显著($P<0.05$)，投喂3次/d、4次/d组两种酶活差异不显著($P>0.05$)。投喂率组的脂肪酶和淀粉酶活力变化趋势与投喂频率组类似，40%组与80%、100%组的脂肪酶活力差异显著

($P < 0.05$), 60%组与 40%、80%、100%三组的脂肪酶活力差异不显著($P > 0.05$); 各组淀粉酶活力之间均存在显著性差异($P < 0.05$)。饥饿不同周期再投喂的(F60, S0)组脂肪酶活力与其余三组差异显著($P < 0.05$), (F1, S1)、(F3, S3)、(F5, S5)三组差异不显著($P > 0.05$); (F60, S0)组淀粉酶活力与(F1, S1)、(F3, S3)、(F5, S5)三组差异显著($P < 0.05$), (F1, S1)组与(F3, S3)、(F5, S5)组淀粉酶活力差异显著($P < 0.05$)。以上结果表明, 随着饲料投喂量的增加, 1 龄杂交鲟的肝脏脂肪酶、淀粉酶均呈现上升的趋势; 且一有食物时, 肝脏脂肪酶活力上升最快, 推测该规格杂交鲟在一有食物时, 首先利用食物中的脂类物质为生命活动功能。

3. 饥饿不同周期再投喂对 1 龄杂交鲟肉质的影响

不同投喂频率中, 投喂 1 次/d 组和投喂 4 次/d 组直径较粗, 两组无显著差异($P > 0.05$), 投喂 2 次/d 组直径较细, 为 0.068 mm; 不同投喂频率对肌纤维面积的影响各组间无显著差异($P > 0.05$); 投喂 2 次/d 的肌纤维密度最大, 为 284.772 个/mm², 投喂 1 次/d 和投喂 4 次/d 的密度较小, 分别为 182.136 个/mm²、176.096 个/mm²; 肌肉贮藏损失率较低的为投喂频率 3 次/d、4 次/d; 肌肉脂肪酸、氨基酸总含量最高的是投喂频率 3 次/d 组。不同投喂率中, 投喂率 40%组的肌纤维直径最细, 投喂率 0%、投喂率 60%、投喂率 80%、投喂率 100%四组的肌纤维直径无显著差异($P > 0.05$); 投喂率 40%组的肌纤维面积最小, 投喂率 0%、投喂率 60%、投喂率 80%、投喂率 100%四组的肌纤维的面积无显著差异($P > 0.05$); 投喂率 40%组的肌纤维密度最大, 为 248.396 个/mm², 投喂率 60%组的肌纤维的密度最小, 为 119.4 个/mm²; 肌肉贮藏损失率除投喂率 60%外, 其余均较低; 投喂率 40%、60%的肌肉脂肪酸、氨基酸总含量较高。饥饿不同周期再投喂的实验中, 不同的饥饿周期再投喂的处理方式对肌纤维的直径、面积、密度均无显著影响($P > 0.05$); 肌肉贮藏损失率除(F5, S5)组外, 其余组均较低; 脂肪酸含量最高的是(F1, S1)组, 其次是(F60, S0)组, 氨基酸含量最高的(F60, S0)组, 其次是(F1, S1)组。以上结果表明, 投喂方式对 1 龄杂交鲟的肉质会产生一定的影响, 同时也会影响 1 龄杂交鲟的肌肉脂肪酸和氨基酸的总量。

关键词: 1 龄杂交鲟; 投喂策略; 生长指标; 消化酶; 肌纤维; 质构特性; 营养成分

Abstract

Feeding strategy was one of the most important factors in affecting the fish growth. The feeding strategy of small size sturgeon had been studied by many scientists, the large size sturgeon's had been rarely studied. This study take 1 year old hybrid sturgeon (weight 1300 g) (*Acipenser schrenckii* ♂× *A. Baerii* ♀) as the object. The paper was to study the feeding frequency (0 time/d, 1 time/d, 2 times/d, 3 times/d, 4 times/d), feeding rate (0%, 40%, 60%, 80%, 100%) and starvation refeeding: (F60,S0), (F1,S1), (F3,S3), (F5,S5). In order to reduce the feed cost and man power investment of hybrid sturgeon. The purpose of this paper was to study the effects of feeding strategies on growth and meat quality of 1 year old hybrid sturgeon. The main results and conclusions are as follows:

1. Effect of different feeding frequency on growth and body composition of 1year old hybrid sturgeon yearlings

In the experiment of feeding frequency, with the increase of feeding frequency, the weight growth rate showed a trend of first increasing and then decreasing, the largest growth rate was the feeding frequency of 3 times/d; The moisture of each group showed a decline trend, the crude protein, crude fat, crude ash showed an upward trend, there was no significant difference between all groups($P>0.05$). In the experiment of feeding rate, with the increase of the feeding rate, the weight growth rate showed a trend of first increasing and then decreasing, the largest growth rate was the feeding rate of the 80%; The moisture of each group showed a downward trend, crude protein, crude fat, crude ash showed an upward trend, there was no significant difference between all groups ($P>0.05$). During the starvation period, the growth rate of body weightin of the control group (F60,S0) was the largest, while the other 3 groups had no significant difference in the rate of weight gain($P>0.05$); With the increase of starvation time, the muscle water showed an upward trend, crude protein, crude fat showed a downward trend, there was no significant difference between the groups ($P>0.05$). According to the growth index and body composition changed, starting from the view of feed cost and manpower investment, we suggested that the suitable feeding frequency was 2 times/d for the 1 year old hybrid sturgeon(weight 1300g) and the feed rate was 100%.

2. Effect of different feeding strategies on digestive enzyme activity in liver of hybrid sturgeon yearlings

With the feeding frequency increased, the hepatic lipase, amylase activity presented an upward trend, the group of feeding 0, 1 time and other three groups enzyme activity had significant difference ($P < 0.05$), there was no significant difference between 3 times/d and 4 times/d ($P > 0.05$). The trend of enzyme activity was similar between the feeding rate and the feeding frequency, there were a lot of differences between the 40%、80% and 100% of the lipase activity, and the difference was significant ($P < 0.05$), the difference of 60% and 80%, 40%, 100% were not significant ($P > 0.05$); There was a significant difference in the activities of amylase in each group ($P < 0.05$). During starvation refeeding experiment, the lipase activity, amylase activity were significant differences between the control group and the other three groups ($P < 0.05$); There were significant differences between (F1,S1) and (F3,S3), (F5,S5) ($P < 0.05$). The above results showed that with the increase of the feeding rate, hepatic lipase and amylase in hybrid sturgeon showed a rising trend.

3. Effect of different feeding strategies on meat quality of hybrid sturgeon yearlings

In the experiment of feeding frequency, the muscle fiber diameter were bigger in the group of 1 time/d and 4 times/d than other groups, there was no significant difference between the two groups ($P > 0.05$), the diameter in the group of 2 times/d was fine, was 0.068 mm; There were no significant differences in the area of muscle fiber ($P > 0.05$); The muscle fiber density of 2 times/d was the biggest, was 284.772 ind/mm², the density in the group of 1 times/d and 4 times/d were smaller, they were 182.136 ind/mm², 176.096 ind/mm²; The storage loss rate of 3 times/d and 4 times/d were low; Total fatty acid and total amino acid of 3 times/d were the highest. In the experiment of different feeding rates, the feeding rate was 0%, the feeding rate was 60%, the feeding rate was 80%, the feeding rate was 100%, the diameter of the above four groups were thicker, there was no significant difference between the four groups ($P > 0.05$). The diameter of muscle fiber was the smallest in the 40% groups; The feeding rate was 0%, the feeding rate was 60%, the feeding rate was 80%, the feeding rate was 100%, the area of muscle fiber of the above four groups were larger, there was no significant difference between the four groups ($P > 0.05$). The muscle fiber area of the 40% groups was the smallest; The muscle fiber density was the largest in the 40% groups, was 248.396 ind/mm², the density of

muscle fibers in the 60% groups was the lowest, was 119.4 ind/mm²; In addition to feeding rate of 60%, and the rest of muscle storage loss rate were lower; The feeding rate of 40%, 60%, the muscle fatty acids and amino acid were higher. The experiment of hunger in different periods refeeding, there were no significant differences between the groups of muscle fiber diameter, area and density ($P>0.05$); In addition to the group of (F5,S5), and the rest muscle storage loss rate were lower; The highest content of fatty acids was the (F1,S1)group, followed by (F60,S0) group, the highest content of amino acid was the (F60,S0) group, followed by (F1,S1) group. The above results suggest that there was a certain impact to hybrid sturgeon yearlings meat by feeding strategy, the feeding strategy also can affect on the total muscle fatty acid and the total amino acid of hybrid sturgeon.

Key words: Hybrid sturgeon yearlings; feeding strategy; growth index; digestive enzyme; muscle fiber; texture characteristics; nutritional components

缩略语表

缩略语	英文名称	中文名称
Abbreviation	English name	Chinese name
TPA	Texture Profile Analysis	质地多面剖析法
Asp	Aspartic acid	天冬氨酸
Ser	Serine	丝氨酸
Thr	Threonine	苏氨酸
Glu	Glutamic acid	谷氨酸
Gly	Glycine	甘氨酸
Ala	Alanine	丙氨酸
Cys	Cysteine	半胱氨酸
Val	Valine	缬氨酸
Met	Methionine	蛋氨酸
Ile	Isoleucine	异亮氨酸
Leu	Leucine	亮氨酸
Tyr	Tyrosine	酪氨酸
Phe	Phenylalanine	苯丙氨酸
His	Histidine	组氨酸
Lys	Lysine	赖氨酸
Arg	Arginine	精氨酸
EAA	Essential Amino Acid	必需氨基酸
DAA	Delicious Amino Acid	鲜味氨基酸
TAA	Total Amino Acid	氨基酸总量
EPA	Eicosapentaenoic Acid	二十碳五烯酸
DHA	Docosahexaenoic Acid	二十二碳六烯酸
SFA	Saturated Fatty Acid	饱和脂肪酸
MUFA	Mono-unsaturated Fatty Acid	单不饱和脂肪酸
PUFA	Poly-unsaturated Fatty Acid	多不饱和脂肪酸

第一章 文献综述

1 鲟鱼的研究概况

1.1 鲟鱼简介

鲟鱼是现存最原始的一目(李思忠 1987),其体形延长,尾一般为歪形尾,鲟科鱼类的躯干部披有5列大型骨板(四川长江水产资源调查组 1988)。现存鲟鱼类有2科6属27种,其中主要经济种类在鲟属的17个种中(危起伟,杨德国 2003)。由于人为的大量捕捞以及水利设施的建设,鲟鱼的自然资源量大幅减少,同时由于鲟鱼子酱的市场需求以及鲟鱼肉的高营养、无肌间刺等优点,市场对鲟鱼的需求量日益增加。因此,人工养殖就成为解决资源保护和市场需求间矛盾的有效途径。目前我国试养的鲟鱼种类有施氏鲟(*Acipenser schrenckii*)、西伯利亚鲟(*Acipenser baerii*)、匙吻鲟(*Polyodon spathula*)、中华鲟(*Acipenser sinensis*)、达氏鲟(*Acipenser dobryanus*)、俄罗斯鲟(*Acipenser gueldenstaedtii*)、达氏鳇(*Huso dauricus*)、小体鲟(*Acipenser ruthenus*)、欧洲鳇(*Huso huso*)、闪光鲟(*Acipenser stellatus*)、湖鲟(*Acipenser fulvescens*)(孙大江等 2011)。养殖的杂交鲟有施氏鲟(*A. schrenckii*)(♀)与鳇(*Huso dauricus*)(♂)杂交的大鳇鲟杂交种(田希文等 1999);施氏鲟(*A. schrenckii*)(♂)与西伯利亚鲟(*A. baerii*)(♀)杂交获得的杂交种,简称“西杂”;俄罗斯鲟(*A. gueldenstaedtii*)(♂)×小体鲟(*A. ruthenus*)(♀)的杂交种(苏云河和孙辉 2004);利用西伯利亚鲟(*A. baerii*)同俄罗斯鲟(*A. gueldenstaedtii*)及闪光鲟(*A. stellatus*)杂交获得的杂交鲟(王正凯等 2005)等。天然的鲟鱼杂交种在自然界的数量极少,人工繁育、养殖的杂交鲟具有生长速度快,抗病力强等优点,经人工驯化,是工厂化、池塘和水库网箱养殖的优良品种,因此近年来我国多地进行推广养殖,已经成为了重要的养殖品种。

1.2 “西杂”的生物学特性

本实验所用的1龄杂交鲟,父本为施氏鲟(*A. Schrenckii*),母本为西伯利亚鲟(*A. Baerii*),生物学特征偏向父本施氏鲟较多。主要特征表现为:全身披5列骨板,1列背骨板,2列侧骨板,2列腹骨板;吻须4根,呈圆形;吻较尖,吻端锥形,两侧边缘圆形;口呈水平位,开口朝下;体色为灰色。

1.3 鲟鱼杂交种的人工养殖

鲟鱼自然种群资源稀少,近年来世界年产量不足5000吨(危起伟,杨德国 2003)。但鲟鱼营养价值较高,无肌间刺且鲟鱼整体的可利用率极高等优点,特别适合老人、儿童及欧美人食用,因此鲟鱼在国内市场及国际市场的经济价值很大。上世纪50年代初前苏联首次成功获得欧洲鳇(*H. huso*)(♂)和小体鲟(*A. ruthenus*)(♀)的杂交种,取

名 *bester*, 其杂交种兼有欧洲鳊(*H. huso*)生长快和小体鲟(*A. ruthenus*)能在淡水中生活的优点, 可在池塘中养殖, 具有良好的养殖应用前景。据报道, 在网箱和池塘饲养的第 2 年到 6 年, 体重一直呈现快速上升的趋势, 4 年时间体重能从 0.25 kg 增至 8 kg(Steffens et al 1990)。陈光凤(陈光凤 1995)的研究结果表明, 四倍体鲟与二倍体鲟杂交可产生三倍体不育的 1 龄杂交鲟。四倍体俄罗斯鲟(*A. gueldenstaedti*)与二倍体小体鲟(*A. ruthenus*)的杂交种生长快且不育, 在 24-25 °C 下经 18 个月可增重 1 kg。鲟鱼生长的最适温度为 18-25 °C, 溶解氧的适宜浓度要求在 6 mg/L 以上(李伟杰 2015)。水中铵态氮含量一般不超过 0.5 mg/L, 适宜的 pH 值范围是 7-8.5(步艳 2013)。目前我国的鲟鱼养殖遍布全国各地。南方地区商品鲟鱼养殖以施氏鲟(*A. Schrenckii*)和黑龙江的鲟鳊杂交种为主, 北方地区以西伯利亚鲟(*A. Baerii*)及其杂交种为主(孙大江等 2011)。目前鲟鱼的养殖方式主要有工厂化流水养殖、池塘养殖、网箱养殖等。

1.4 鲟鱼的研究现状

我国最初从 50 年代开始对中华鲟(*A. sinensis*)开展研究, 目前已经对鲟鱼生物学进行了较全面的研究, 包括鲟鱼全人工繁殖技术(危起伟等 2013)、组织胚胎学(唐国盘 2005)、营养生理学(徐奇友 2014)等, 并在基础理论和应用技术研究方面取得了一系列的科研成果, 积累了较为丰富的基础数据, 为我国鲟鱼养殖的快速发展奠定了扎实的基础。杂交鲟的相关研究主要集中在养殖、疾病方面, 且研究对象大多为个体较小的仔稚鱼或幼鱼, 规格一般在 100 g 以下。1 龄的杂交鲟投喂策略的相关研究很少, 而 1 龄的鲟鱼正处于快速生长的阶段, 对其适宜摄食水平的研究不仅可以获得该规格的摄食量数据, 同时可以为该规格鲟鱼的养殖提供合理指导。因此本文的工作对 1 龄杂交鲟的养殖具有一定的指导意义。

2 投喂策略对鱼类的影响

投喂策略是指在养殖生产过程中使被养生物获得最大生长率所采取的一种投喂技术。投喂策略包括投喂率、投喂频率和投喂模式等。摄食量是决定鱼类能否快速生长的关键因素, 决定鱼类摄食量的内因是鱼体对能量的处理及转化能力, 外因是食物的可获得性。鱼类通过摄食使个体维持自身的生长和繁殖, 鱼类摄食受自身的因素和外界因素的影响, 自身因素有: 鱼类自身食性的不同; 胃(有胃鱼)及消化道的容积大小不同; 鱼类种群密度不同; 鱼类的生理状况不同(体质是否健康); 发育阶段不同(包括仔鱼期、稚鱼期、幼鱼期、成鱼期)、营养史、鱼类的适应能力不同及鱼类的群体效应(Wootton and Evans 1976; Jobling 1983; 郝玉江等 2003; 薛莹和金显仕 2003); 激素水平: 生长激素、甲状腺素等(肖东和林浩然 2000)。外界因素有: 环境因素, 如水温、光照、溶氧、盐度、pH 值、氨氮、透明度等; 食物因素,

包括食物类型和食物组成(Jeziarska 1974; Hofer et al 1985; 薛敏等 2003); 管理因素, 包括投喂率、投喂时间、投喂频率(崔奕波等 1995)。由上可知, 适宜的投喂策略对鱼类的摄食生长有十分重要的作用。鱼类的饱食程度不便于确定, 如果饲料投喂量不足, 对鱼类的生长会造成不良影响, 使鱼类生长缓慢甚至得病; 而投喂过量时, 剩余的残饵变成污染物, 不仅浪费饲料, 而且还会污染水质, 危害鱼类。一般情况下, 在不同的投喂频率和投喂率下进行养殖, 鱼类会表现出不同的摄食生长情况。所以有必要进行不同种、不同规格鱼类的投喂策略研究, 以便指导实际的养殖生产。

2.1 投喂频率对鱼类的影响

鱼类的生长受诸多因素的影响, 如投喂策略、饲料类型、水体环境等。在饲养实践中, 由于投喂频率是最耗人力、时间的劳动, 所以投喂频率是影响鱼类生长性能和饲料转化率最重要的因素(Küçük et al 2014)。因此, 适宜的投喂频率是成功养殖的前提。合适的投喂频率既能提高鱼类生长速度、成活率, 降低个体差异、饵料系数, 又可以减少饲料浪费, 降低养殖成本(Lovshinb 1999)。投喂频率的研究有两种投喂模式, 一种是饱食投喂, 另一种是等投喂率投喂。Wang 等研究了投喂频率对网箱养殖鮠状黄姑鱼(*Nibea miichthioides*)生长、饲料利用率、氮废物输出的影响, 结果发现投喂频率从 1 次/d 降低到 0.5 次/d 时, 摄食率、体增重和平均终重也降低, 而 1 次/d 和 2 次/d 没有显著差异(Wang et al 2007), 说明当投喂频率达到一定值后, 再增加投喂频率也不会对生长产生影响。较多的研究发现, 不同投喂频率对鱼体成分的影响结果均有不同, 有的研究发现投喂频率对鱼的体成分没有显著影响, 如纪文秀等(纪文秀等 2011)通过研究不同投喂频率对网箱养殖点带石斑鱼(*Epinephelus malabaricus*)体成分的影响时发现, 5 种投喂频率均未对鱼体成分造成影响。而有的研究发现投喂频率对鱼的体成分有显著影响, 如 Küçük 等对比目鱼(*Platichthys flesus luscus*)的研究发现粗蛋白含量随投喂频率的升高而降低, 粗脂肪随投喂频率的升高而升高(Küçük et al 2014)。不同的投喂频率也会对鱼类的消化酶活力产生一定的影响, 但因鱼的种类不同产生的影响也有所不同。如在俄罗斯鲟(*A. gueldenstaedti*)幼鱼中, 随着投喂频率的增加, 肝脏的蛋白酶活力没有显著的变化, 而脂肪酶、淀粉酶的活力却显著升高(崔超等 2014); 而在条石鲷(*Oplegnathus fasciatus*)中, 随着投喂次数的增加, 主要消化酶的活力却呈现下降的趋势(宋国等 2011)。同时 Peragón 等(Peragón et al 1992)在虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)中的研究发现, 投喂频率为 4 次/d 时白肌的转化速率显著快于投喂频率 2 次/d, 表明不同的饲喂频率能够对鱼类的肉质产生不同的程度的影响。

2.2 投喂率对鱼类的影响

投喂率是投入水体中的饲料重与鱼体重的百分比值, 投喂率是影响鱼体生长最

重要的因素之一(Brett 1979), 针对不同养殖种类、不同养殖规格采用不同的投喂率对于鱼类的成功养殖非常重要, 适宜的投喂率既能使生长率最大化, 也可以使个体生长差异和饲料浪费最小化(Oberg et al 2014)。一般而言, 投喂率随着鱼体重的增加、水温的降低和饲料蛋白的升高而降低(史会来等 2007)。国内外许多学者从生理、生化、营养代谢和生态学角度研究了不同投喂率对鱼类生长和体成分的影响, 为确定适宜的投喂率提供了理论依据(王吉桥等 1994)。目前测定生长的方法有两种: 耳石为直接方法; RNA/DNA 的比值为间接方法(Johnson et al 2002)。有学者发现, 鱼类的消化酶也会随着不同的投喂率发生一定的变化, 任晓伟(任晓伟 2008)在研究不同摄食水平对半滑舌鳎(*Cynoglossus semilaevis Gunther*)肠道消化酶影响的实验中, 在 50% 饱食和 75% 饱食的摄食水平下, 三种消化酶活力均随生长呈现出上升趋势。

2.3 饥饿再投喂对鱼类的影响

自然水体中大多数鱼类会因季节更替, 环境变化以及摄食竞争等原因遭遇食物的周期性短缺(Mehner and Wieser 1994)。许多鱼类针对这种饥饿环境会出现生理上的适应性, 在全部或部分食物匮乏之后恢复正常摄食的过程中表现出比连续正常摄食较快的体重增长率和特定生长率(Wilson and Osbourn 1960; Jobling et al 1994), 并且生理机能是有可能恢复的, 这种应答机制称为补偿生长 (Ali et al 2003)。最早关于补偿现象是对牛的研究, 1990 年最先在牛中证明了补偿生长的现象(Ryan et al 1993), 之后在山羊中也有类似的报道(Kamalzadeh et al 1998)。鱼类补偿生长的研究相对较晚, 但鱼类属于无限生长模式的变温动物(Ali et al 2003), 因此鱼类是研究补偿生长适宜对象。国内关于鲟鱼的补偿生长研究起步较晚, 最初是关于施氏鲟(*A. schrencki*)的研究(高露姣等 2004a), 李耕等(李耕等 2009)研究了西伯利亚鲟补偿生长(*A. Baerii*)的现象, 黄莹等(黄莹等 2010)研究了西伯利亚鲟(*A. Baerii*)幼鱼继饥饿后的补偿生长机制。高露姣等(高露姣等 2004b)同时对施氏鲟(*A. Schrencki*)幼鱼主要消化器官结构和酶活性进行了测定, 结果表明: 施氏鲟(*A. Schrencki*)幼鱼实现补偿生长是通过增加摄食率和食欲来达到的。

第二章 不同投喂策略对 1 龄杂交鲟生长及体成分的影响

1 引言

投喂策略是养殖过程中为节约成本,同时获得较高生长率的一种投喂技术,这种投喂技术包括投喂率、投喂频率和投喂模式等。有研究数据显示,饲料花费在网箱养殖总花费中的比重超过 60%,因此,养殖中确定最适的投喂策略就显得特别重要(Silva et al 2007; 杜海明 2007)。最佳的投喂策略要考虑许多因素,比如鱼的种类、鱼的规格以及饲养条件等(Biswas et al 2010)。在鱼类中,关于饥饿之后的恢复生长及补偿性生长的研究起步较晚,从上世纪 70 年代开始才逐渐受到研究者的重视,现在,鱼类补偿生长的研究已经成为水产动物的研究热点之一。由于水产动物种类及耐受饥饿程度的不同,对应的补偿生长程度也有所不同,根据补偿生长阶段鱼类的生长速度和补偿结束时鱼体体重的变化的差异将鱼类的补偿性生长进行分类。Ali 等(Ali et al 2003)将鱼类的补偿生长分为四类:超补偿生长、完全补偿生长、部分补偿生长以及无补偿生长。Dobson and Holmes(Dobson and Holmes 1984)的研究结果显示:虹鳟(*O. Mykiss*)在饥饿后恢复投喂的过程中生长出现了超补偿生长现象。Paul 等(Paul et al 1995)的研究结果显示,黄鳍鲷(*Pleuonectes asper*)出现了完全补偿生长现象。完全补偿生长较超补偿生长补偿程度稍低。部分补偿生长的现象在鱼类中是比较常见的,如大西洋鳕(*Gadus morhua*)(Paul et al 1995)、建鲤(*Cyprinus caipio var. Jian*)(乔秋实等 2011)都具有部分补偿生长的效应。无补偿生长是指鱼类在饥饿或限食后再恢复投喂一段时间,鱼类的体重增长赶不上持续投喂的鱼,而且生长速度也未及正常水平。

本实验采用不同的投喂频率、投喂率、饥饿不同周期再投喂的投喂策略来研究 1 龄杂交鲟的生长、体成分的变化。通过测定不同投喂策略的 1 龄杂交鲟体重增长率、体成分、脏体比、脂体比、肠体比、肥满度、饵料系数以期找到 1 龄杂交鲟的适宜投喂策略,达到降低养殖 1 龄杂交鲟的饲料成本和人力投入的目的。同时适宜的投喂策略在相同的时间内可以使 1 龄杂交鲟的生长达到最大化,以此引导消费者的正确消费观念,逐步替代以前喜爱消费小个体鲟鱼的习惯。

2 材料与amp;方法

2.1 实验鱼和实验管理

实验鱼为中国水产科学院长江水产研究所太湖中华鲟繁育基地 2015 年春季自行人工繁育的体重约 1300 g 的 1 龄杂交鲟幼鱼：施氏鲟(*A. schrenckii*)(♂)×西伯利亚鲟(*A. baerii*)(♀)。实验在中国水产科学院长江水产研究所太湖中华鲟繁育基地直径 3.0 m，池高 0.9 m 的圆形水池中进行。投喂率组实验设置：每池放鱼 38 尾，以饱食 100%为基准，分别设置 0%组、40%组、60%组、80%组、100%组 5 个投喂率组，每组设 2 个平行。每天上午 8:30、下午 14:30 和晚上 20:00 投喂 3 次。投喂频率组实验设置：分别设置每天投喂 0 次、投喂 1 次、投喂 2 次、投喂 3 次、投喂 4 次，每组设 2 个平行，投喂时间为每天上午 8:30、下午 14:30 和晚上 20:00、24:00；饥饿不同周期再投喂组实验设置：分别设置投喂 1 d 饥饿 1 d(F1, S1)组、投喂 3 d 饥饿 3 d(F3, S3)组、投喂 5 d 饥饿 5 d(F5, S5)组、全投喂组(F60, S0)组，每组设 2 个平行。每天上午 8:30、下午 2:30 和晚上 8:00 投喂 3 次。3 种投喂策略的饲料均采用升索牌鲟鱼 P5 饲料(营养成分见表 2-1)，投喂实验从 2015 年 9 月 13 日开始，实验驯化 2 周，正式实验持续进行 60 d。实验水体为淡水，期间水温为 16-20 °C，溶氧量 > 5 mg/L，pH: 7.6-8.2，氨氮含量<0.06 mg/L。

表 2-1 实验饲料主要成分 (%)

水分 (Moisture)	粗蛋白 (Crude protein)	粗脂肪 (Crude lipid)	粗灰分 (Crude ash)
≤12	≥42	≥8	≤18

2.2 样品采集

实验结束时停食 3 d，每组随机取 9 ind 鱼测量鱼全长、体长和体质量，数据用于生长指标的分析。实验鱼放血后解剖，内脏、肝脏、体脂精确称重，并取肌肉放于-80 °C冷冻保存用于体成分的分析。

2.3 样品分析与数据处理

肌肉样品的水分采用真空冷冻干燥法测定，粗蛋白采用凯氏定氮法，粗脂肪采用索氏抽提法(以石油醚作为溶剂)，灰分采用 550 °C 马福炉灼烧法测定。

生长指标计算公式如下：

$$\text{增重率(Weight gain rate, WGR, \%)}=100 \times (W_2 - W_1) / W_1$$

$$\text{特定生长率(Specific growth rate, SGR, \%)}=100 \times (\ln W_2 - \ln W_1) / t$$

$$\text{饵料系数(Feed conversion ratio, FCR)}=F / (W_2 - W_1)$$

$$\text{肥满度(Condition factor, CF, \%)}=100 \times W_2 / L t^3$$

脏体比(viscera somatic index, VSI, %) = $100 \times W_z / W_2$

肝体比(Hepatosomatic index, HSI, %) = $100 \times W_g / W_2$

肠脂体比(Intraperitoneal fat ratio, IFR, %) = $100 \times W_c / W_2$

式中, W_1 , W_2 分别为初始、结束的鱼体质量(g), W_z 表示内脏重(g), W_g 表示肝脏重(g), W_c 表示肠系膜脂肪重(g); F 为总投饵量(g); t 为实验天数(d); Lt 为实验结束时鱼的体长(cm)。

实验数据用平均值±标准差(Mean±SD)表示, 用 SPSS 17.0 进行统计分析。对各实验组数据进行单因素方差分析(One-WayANOVA)和 Duncan 多重比较分析, $P < 0.05$ 为差异性显著。

3 结果

3.1 不同投喂频率对 1 龄杂交鲟生长指标及体成分的影响

在试验期间, 不同投喂频率组没有出现死鱼的现象。不同投喂频率 1 龄杂交鲟幼鱼的体重增重率如图 2-1 所示, 随着投喂频率的增加, 1 龄杂交鲟的体重增长率呈现上升的趋势, 在投喂 3 次时 1 龄杂交鲟的体重增长率最大; 投喂次数由投喂 1 次变为 2 次时 1 龄杂交鲟的体重增长速度最快; 投喂次数由 3 次增加为 4 次时 1 龄杂交鲟的体重增长速度略微呈现下降的趋势。

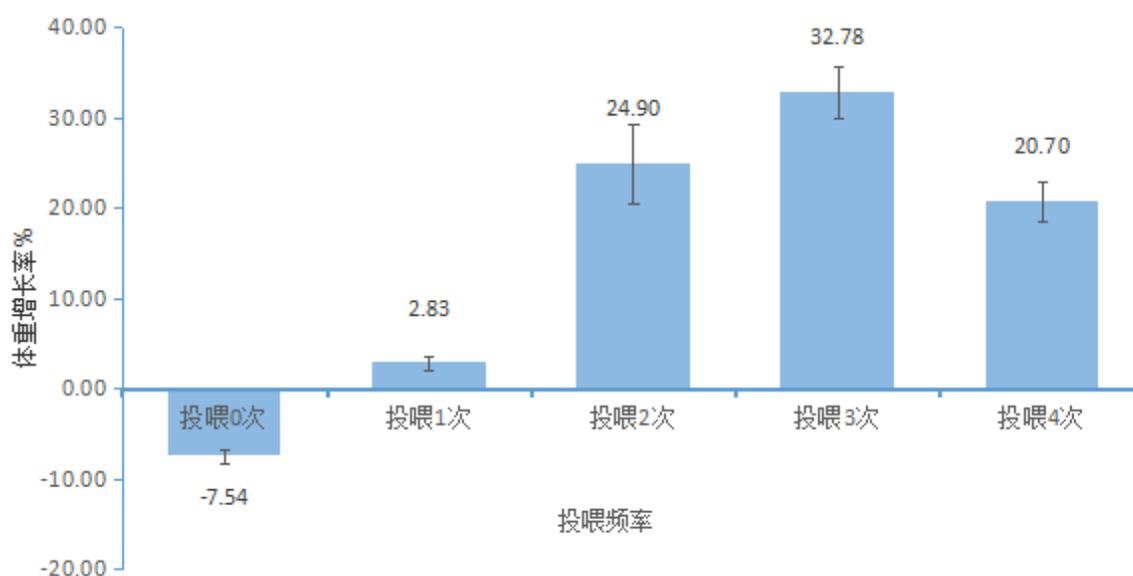


图 2-1 不同投喂频率的 1 龄杂交鲟体重增长率 n=9

不同投喂频率对 1 龄杂交鲟肌肉成分产生了一定的影响(如表 2-1), 投喂 0 次/d 组的肌肉水分含量明显高于投喂 3 次/d 组($P<0.05$), 其它各组的水分含量均无显著性差异($P>0.05$); 投喂 3 次/d 组的粗蛋白含量显著高于投喂 0 次/d 组($P<0.05$), 其它各组的粗蛋白含量均无显著性差异($P>0.05$); 投喂 4 次/d 组粗脂肪含量显著高于投喂 0 次/d 组($P<0.05$), 其它各组的粗脂肪含量均无显著性差异($P>0.05$); 投喂频率各组间的灰分均无显著性差异($P>0.05$)。

表 2-1 不同投喂频率对 1 龄杂交鲟肌肉成分的影响 (鲜样) n=9 (%)

组别 (Group)	水分 (Moisture)	粗蛋白 (Crude protein)	粗脂肪 (Crude lipid)	粗灰分 (Crude ash)
投喂 0 次	76.41±1.18 ^a	15.98±0.29 ^c	4.78±0.62 ^b	1.03±0.08 ^a
投喂 1 次	73.93±1.86 ^{ab}	16.25±0.28 ^{bc}	6.99±1.73 ^{ab}	0.95±0.06 ^a
投喂 2 次	72.87±2.54 ^{ab}	16.76±0.86 ^{abc}	7.79±2.45 ^{ab}	0.94±0.06 ^a
投喂 3 次	70.57±2.49 ^b	17.93±1.21 ^a	8.55±2.14 ^{ab}	1.03±0.12 ^a
投喂 4 次	73.25±0.63 ^{ab}	17.35±0.18 ^{ab}	9.38±2.88 ^a	1.02±0.03 ^a

注: 表中数据为平均值±标准差,同一列数值上标不同字母者表示差异显著($P<0.05$)。

不同的投喂频率的实验中, 各组 1 龄杂交鲟的饵料系数存在一定的差异(如表 2-2)。投喂 1 次/d 组的饵料系数最大, 投喂 2 次/d 组的饵料系数最小, 投喂 3 次/d 和投喂 4 次/d 的饵料系数无显著差异 ($P>0.05$)。

表 2-2 不同投喂频率组 1 龄杂交鲟幼鱼的脏体比、肝体比、肠脂体比、肥满度、饵料系数 n=9

组别 Group	脏体比/% VSI	肝体比/% HSI	肠脂体比/% IFR	肥满度/% CF	饵料系数 FCR
投喂 0 次	9.10±0.02 ^c	1.48±0.00 ^c	0.62±0.02 ^d	0.61±0.01 ^c	
投喂 1 次	9.87±0.03 ^a	1.91±0.01 ^d	0.43±0.01 ^e	0.73±0.01 ^b	4.89±0.12 ^a
投喂 2 次	9.48±0.06 ^b	2.31±0.01 ^a	0.88±0.03 ^b	0.73±0.02 ^b	1.08±0.01 ^c
投喂 3 次	9.04±0.04 ^c	2.18±0.01 ^b	1.93±0.01 ^a	0.85±0.03 ^a	1.42±0.01 ^b
投喂 4 次	9.06±0.03 ^c	2.07±0.01 ^c	0.81±0.06 ^c	0.87±0.01 ^a	1.52±0.01 ^b

注: 表中数据为平均值±标准差,同一列数值上标不同字母者表示差异显著($P<0.05$)。

3.2 不同投喂率对1龄杂交鲟生长指标及体成分的影响

实验期间,不同投喂率各组实验鱼的存活率为100%。不同投喂率1龄杂交鲟幼鱼的体重增重率如图2-2所示,随着投喂率的增加,1龄杂交鲟的体重增长率呈现上升的趋势,在投喂率为80%时1龄杂交鲟的体重增长率最大;投喂率由80%增加到100%时1龄杂交鲟的体重增长速度呈现下降的趋势。

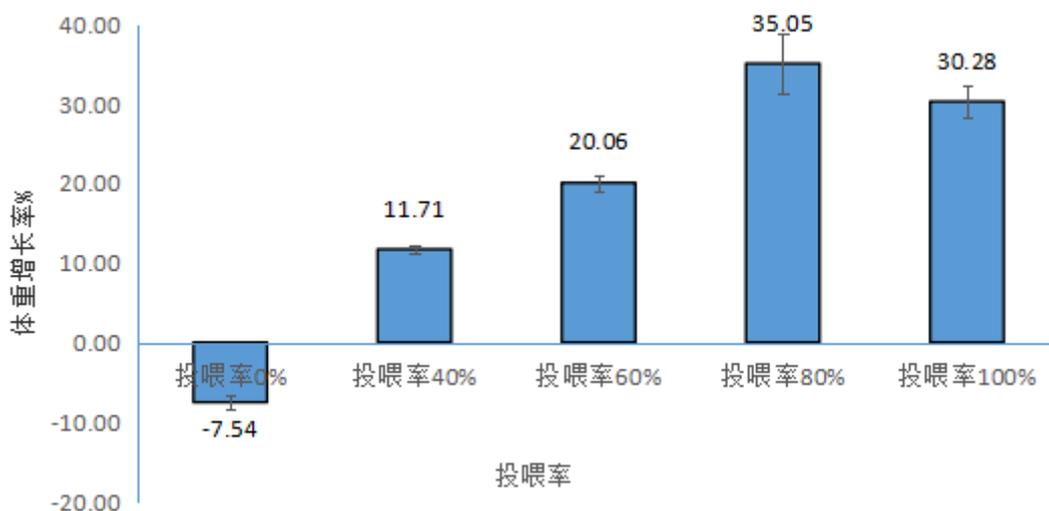


图2-2 不同投喂率的1龄杂交鲟体重增长率 n=9

不同投喂率对1龄杂交鲟幼鱼的肌肉成分产生了一定的影响(如表2-3)。投喂率100%组粗蛋白含量显著高于投喂率0%组($P<0.05$),其它各组均无显著性差异($P>0.05$)。各组肌肉水分、粗脂肪和粗灰分含量差异均不显著($P>0.05$)。

表2-3 不同投喂率对1龄杂交鲟肌肉成分的影响 (鲜样) n=9 (%)

组别 (Group)	水分 (Moisture)	粗蛋白 (Crude protein)	粗脂肪 (Crude lipid)	粗灰分 (Crude ash)
投喂率 0%	76.41±1.18 ^a	15.98±0.29 ^b	4.78±0.62 ^a	1.03±0.08 ^a
投喂率 40%	74.67±2.18 ^a	16.94±0.12 ^{ab}	5.79±2.41 ^a	1.11±0.12 ^a
投喂率 60%	75.56±1.44 ^a	16.75±1.01 ^{ab}	4.80±1.23 ^a	1.06±0.07 ^a
投喂率 80%	75.77±0.48 ^a	16.87±0.63 ^{ab}	4.80±0.60 ^a	1.10±0.06 ^a
投喂率 100%	74.67±1.46 ^a	17.73±0.57 ^a	4.72±1.32 ^a	0.96±0.11 ^a

注:表中数据为平均值±标准差,同一列数值上标不同字母者表示差异显著($P<0.05$)。

不同的投喂率对各组 1 龄杂交鲟的饵料系数不同程度的影响(如表 2-4)，各组投喂率的饵料系数均具有显著差异($P<0.05$)。其中投喂率 40%组的饵料系数最大，投喂率 80%组的饵料系数最小。

表 2-4 不同投喂率组 1 龄杂交鲟幼鱼的脏体比、肝体比、肠脂体比、肥满度、饵料系数 n=9

组别	脏体比/%	肝体比/%	肠脂体比/%	肥满度/%	饵料系数
Group	VSI	HSI	IFR	CF	FCR
投喂率 0%	9.10±0.02 ^b	1.48±0.00 ^d	0.62±0.02 ^c	0.61±0.01 ^c	
投喂率 40%	9.31±0.02 ^a	1.79±0.02 ^c	0.98±0.01 ^a	0.74±0.01 ^b	1.97±0.12 ^a
投喂率 60%	8.96±0.03 ^c	2.04±0.02 ^a	0.62±0.03 ^c	0.74±0.01 ^b	1.62±0.05 ^b
投喂率 80%	8.95±0.05 ^c	2.07±0.02 ^a	0.91±0.03 ^b	0.74±0.01 ^b	1.26±0.05 ^c
投喂率 100%	8.85±0.05 ^d	1.93±0.01 ^b	1.00±0.01 ^a	0.81±0.01 ^a	1.64±0.01 ^b

注：表中数据为平均值±标准差,同一列数值上标不同字母者表示差异显著($P<0.05$)。

3.3 饥饿不同周期再投喂对 1 龄杂交鲟生长指标及体成分的影响

饥饿不同周期再投喂组的实验鱼存活率均为 100%。各组投喂率 1 龄杂交鲟幼鱼的体重增重率如图 2-3 所示。从图中可以看出不同饥饿周期再投喂的处理方式对 1 龄杂交鲟幼鱼的体重增长率没有显著的影响，3 种处理方式的 1 龄杂交鲟体重增长率均在 20%左右。

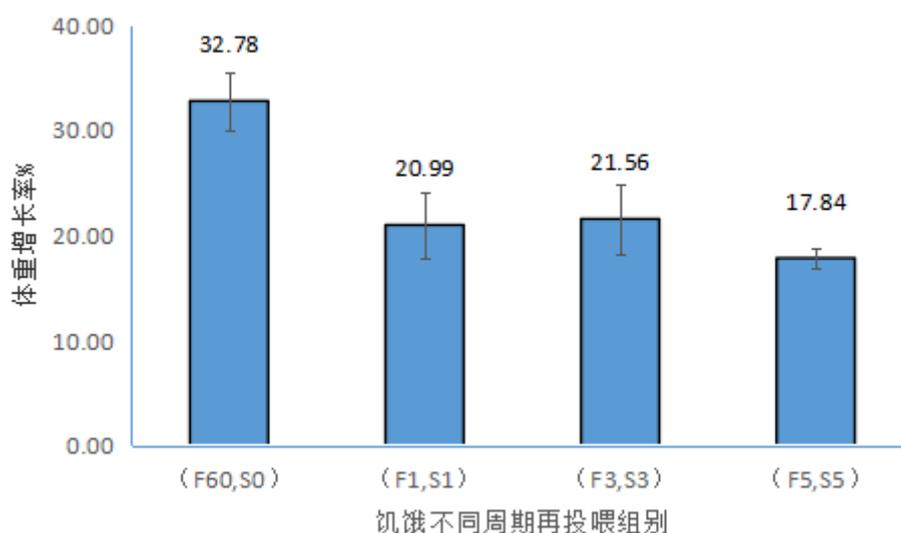


图 2-3 不同饥饿周期再投喂的 1 龄杂交鲟体重增长率 n=9

不同饥饿周期再投喂的处理方式对1龄杂交鲟幼鱼的肌肉成分没有产生的显著的影响(如表2-5)。但从表2-5中可以看出不同饥饿周期再投喂的处理方式与对照组相比,肌肉的水分含量略微提高,但差异不显著($P>0.05$),各组间粗蛋白、粗脂肪、粗灰分的含量差异不显著($P>0.05$)。

表2-5 不同饥饿周期再投喂对1龄杂交鲟肌肉成分的影响 (鲜样) n=9 (%)

组别 (Group)	水分 (Moisture)	粗蛋白 (Crude protein)	粗脂肪 (Crude lipid)	粗灰分 (Crude ash)
(F60,S0)	70.57±2.49 ^b	17.93±1.21 ^a	8.55±2.14 ^a	1.03±0.12 ^a
(F1,S1)	73.64±1.39 ^{ab}	17.59±0.53 ^a	5.78±0.84 ^a	0.99±0.16 ^a
(F3,S3)	73.90±1.35 ^a	15.74±2.00 ^a	6.26±1.28 ^a	1.13±0.12 ^a
(F5,S5)	75.08±0.97 ^a	16.65±0.69 ^a	5.27±2.02 ^a	1.07±0.04 ^a

注:表中数据为平均值±标准差,同一列数值上标不同字母者表示差异显著($P<0.05$)。

不同饥饿周期再投喂对1龄杂交鲟的饵料系数产生的影响不明显(表2-6),但与(F60, S0)组,即对照组相比,饵料系数均有所下降,对实际养殖过程有一定的参考意义。(F1, S1)组、(F3, S3)组、(F5, S5)3组的特定生长率与(F60, S0)组相比,均低于(F60, S0)组,且差异显著($P<0.05$)。

表2-6 饥饿不同周期再投喂1龄杂交鲟幼鱼的脏体比、肝体比、肠脂体比、肥满度、饵料系数 n=9

组别 Group	脏体比/% VSI	肝体比/% HSI	肠脂体比/% IFR	肥满度/% CF	饵料系数 FCR	特定生长率 SGR/%
(F60,S0)	9.04±0.04 ^c	2.18±0.01 ^a	1.93±0.01 ^a	0.85±0.03 ^a	1.42±0.01 ^a	0.44±0.07 ^a
(F1,S1)	9.73±0.11 ^a	2.15±0.01 ^b	1.09±0.01 ^c	0.80±0.04 ^b	1.17±0.01 ^b	0.35±0.02 ^b
(F3,S3)	9.02±0.02 ^c	1.97±0.00 ^c	0.85±0.02 ^d	0.72±0.01 ^c	1.01±0.01 ^d	0.33±0.02 ^b
(F5,S5)	9.32±0.06 ^b	1.93±0.01 ^d	1.34±0.17 ^b	0.78±0.01 ^b	1.13±0.00 ^c	0.28±0.05 ^b

注:表中数据为平均值±标准差,同一列数值上标不同字母者表示差异显著($P<0.05$)。

4 讨论

鱼类的最适投喂频率受鱼自身及外界条件等的影响, 一般情况下, 投喂频率随鱼体的长大而减少(孙晓锋等 2011; 郭文学等 2013; 宋国等 2011)。本实验中, 随着投喂频率的增加, 1 龄杂交鲟的体重增长率呈现上升的趋势, 其中投喂 3 次/d 时 1 龄杂交鲟的体重增长率最大。投喂频率由 1 次/d 增加为 2 次/d 时, 1 龄杂交鲟的体重增长速度最快; 投喂频率由 3 次/d 变为 4 次/d 时 1 龄杂交鲟的体重增长速度略呈现下降的趋势, 该实验结果与楼宝等(楼宝等 2006)的黑鲟(*Acanthopagrus schlegelii*) 成鱼, 李伟杰等(李伟杰等 2015)的俄罗斯鲟(*A. gueldenstaedti*)相对增重率的变化趋势类似, 而与崔超(崔超 2014)采用等量投饲法, 养殖俄罗斯鲟 *A. gueldenstaedti* 幼鱼的结果不同。崔超的俄罗斯鲟(*A. gueldenstaedti*)幼鱼体质量为 23.91 ± 0.13 g, 该规格的鲟鱼正处于快速生长的时期, 较高的投喂频率正好满足其生长所需求的营养物质和能量, 而本实验的用鱼规格约为 1300 g, 虽然处于幼鱼时期, 但其规格已经较大, 生长速度可能较崔超的实验用鱼慢, 因此所需的营养物质和能量相对较少, 因此中低投喂频率就能较好的满足该规格试验鱼的生长所需的营养物质。综上, 本次投喂频率的试验规格的 1 龄杂交鲟也符合在中低投喂频率下体重增长率最大的现象。本投喂频率研究的肌肉水分结果与黑鲟(*A. schlegelii*)成鱼的水分含量随饲喂频率的增高而增加的实验结果相反, 肌肉脂肪含量的结果与黑鲟成鱼脂肪含量随饲喂频率的增高而下降的实验结果相反, 但与黑鲟(*A. schlegelii*)鱼种脂肪含量随饲喂频率的增高而增加的实验结果一致(楼宝等 2006); 强俊等(强俊等 2009)的研究结果显示, 随饲喂频率的增加, 奥尼罗非鱼仔稚鱼的脂肪含量显著上升, 水分含量则明显下降, 与本次实验的水分和脂肪的变化趋势类似。骆季安等(骆季安等 2007)的研究结果显示, 随着投喂频率的增加, 肌肉的粗蛋白和粗灰分的含量呈现下降的趋势, 其实验结果与本研究结果一致。

本实验中, 投喂 1 次/d 的饵料系数最高, 投喂 2 次/d 的饵料系数最低, 投喂 3 次/d 和投喂 4 次/d 的饵料系数无显著差异 ($P > 0.05$)。任华等(任华等 2012)的研究结果显示, 投喂频率从 4 次/d 增加到 7 次/d 时, 饵料系数先下降后升高, 投喂 6 次/d 时, 饵料系数最低, 本试验的饵料系数也是随着投喂频率的增加呈现先下降后升高的趋势, 说明本实验中的 1 龄杂交鲟在低投喂频率的条件下饲料的利用率更高。

目前投喂频率的投饲量有两种常见的方法, 一是采取饱食投喂, 一是采取等投喂率的投饲量; 两种研究方法各有优劣, 饱食投喂能够保证每次摄入的营养物质足够, 特别是正处于快速生长期的幼鱼以及不具有补偿生长的鱼类, 但是采用饱食投

饲法, 其投饲量随投饲频率的增加而有不同程度的升高, 从而影响了相关消化酶的活力(Uys et al 1987); 在相同投饲量的条件下, 投喂总量是一致的, 因此可以较真实的反映投喂频率对鱼体生长的影响; 但投饲频率越高, 单次摄食量则越低, 而一部分鱼体在低摄食量的条件下食欲会增加(Amiya et al 2012), 进而可能通过促使消化酶的分泌和(或)提高其活力等方式, 来达到充分消化有限食物的目的, 因此不能准确的说明影响鱼体生长的原因是投喂频率还是消化酶的高活力。在以后的研究中, 可以设置 1 龄杂交鲟的等饲投喂法来研究不同投喂频率对其生长方面的影响, 同时与饱食条件下的生长速度及其他指标比较来确定 1 龄杂交鲟的最优投喂方式。本研究结合养殖的饲料成本、人力投入、饵料系数及体成分的综合因素分析, 建议该规格的杂交鲟 1 天投喂 2 次的频率是比较适宜的。

投喂率指固定投喂频率, 设置不同的单次投喂量的一种投喂方法, 针对不同的鱼类, 采用适宜的投喂率既可以减少养殖成本, 降低鱼体的差异, 又可以获得较快的生长速度(Oberg et al 2014)。饲料投喂量直接影响养殖成本, 同时还会影响水质及鱼体自身的健康状态(Deng et al 2003)。不同的投喂率对鱼体的特定生长率的结果影响不一样(Imsland and Gunnarsson 2011; Salasleiton et al 2010)。本研究中, 随着投喂率的增加, 1 龄杂交鲟的体重增长率呈现上升的趋势, 在投喂率为 80% 时 1 龄杂交鲟的体重增长率最大; 投喂率由 80% 增加到 100% 时 1 龄杂交鲟的体重增长速度呈现下降的趋势。徐革锋等(徐革锋等 2013)的研究结果显示, 细鳞鲑(*Brachymystax lenok*)幼鱼的投喂率从 1.0% 上升至 5.0% 时, 体重增长率在投喂率 4.0% 时最大, 而在 5.0% 时呈现下降的趋势, 与本投喂率的研究结果类似。鱼体蛋白质含量有的会随摄食水平的增加而增加, 脂肪含量一般随摄食水平的增加增加, 灰分含量随摄食水平的增加而减少, 有的研究则表明, 蛋白质含量, 灰分含量不随摄食水平的变化而变化(刘家寿 1998)。本实验中, 不同投喂率对 1 龄杂交鲟幼鱼的肌肉成分没有产生明显的影响, 投喂率 100% 组粗蛋白含量显著高于投喂率 0% 组($P < 0.05$), 其它各组均无显著性差异($P > 0.05$)。各组肌肉水分、粗脂肪和粗灰分含量差异均不显著($P > 0.05$)。不同的投喂率组之间的饵料系数差异显著($P < 0.05$)。其中投喂率 40% 组的饵料系数最大, 投喂率 80% 组的饵料系数最小, 4 种投喂频率组的饵料系数处于 1.26~1.97, 与吴文化等(吴文化等 1999)的杂交鲟饵料系数范围 1.32~1.7 相近。综上, 本规格的 1 龄杂交鲟投喂率设置在 80%~100% 较好。

饥饿不同周期再投喂的处理对 1 龄杂交鲟的体重增长率没有显著的影响, 3 种处理方式的 1 龄杂交鲟体重率均在 20% 左右, 与投喂率 60% 的体重增长率相近。通过计算, 3 种处理方式和投喂率 60% 的总的投喂量相同, 从节约人力来讲, 不同饥

饿周期再投喂的处理方式有助于节约人力，但从 1 龄杂交鲟的体重增长率来讲，投喂率 80% 是最适宜的投喂率，下一步也可试验在不同饥饿周期再投喂的处理条件下增加单次投喂量，使投喂总量与投喂率 80% 相同，然后计算体重增长率是否与投喂率 80% 是否相近。不同投喂饥饿周期再投喂的处理方式对 1 龄杂交鲟幼鱼的肌肉成分没有产生显著的影响，但饥饿不同周期再投喂的处理方式与对照组相比，肌肉的水分及粗灰分含量有略微提高，粗蛋白和粗脂肪含量有略微下降，与郭海军等(郭海军等 2009)的研究结果一致。研究补偿生长时，主要根据体质量的变化和特定生长率来判断鱼体是否发生了补偿生长(钱雪桥等 1998; Summer et al 1990)，本实验与对照组(F60, S0)的体重增长率相比，明显较低，特定生长率也较对照组低。综上，1 龄杂交鲟的生长速度不及持续投喂组的生长速度，因此本实验中的 1 龄杂交鲟不具有补偿生长效应，与鲁雪报等(鲁雪报等 2009)在中华鲟(*A. sinensis*)幼鱼中的研究结果一致。

本实验结果表明，不同投喂策略对 1 龄杂交鲟的生长、体成分均有一定影响。3 种投喂策略下，各组 1 龄杂交鲟的常规营养成分均更接近母本的西伯利亚鲟(*A. baerii*)的体成分，与王念民等(王念民等 2010)、石奇立和王锡昌(石奇立和王锡昌 2013)的研究结果一致。

第三章 不同投喂策略对 1 龄杂交鲟肝脏消化酶活力的影响

1 引言

鱼类消化酶是由胃肠等消化系统分泌的具有催化分解食物功能的一类蛋白质酶，包括淀粉酶、脂肪酶、蛋白酶及纤维素酶等。消化酶将鱼类摄入的食物消化分解成可被鱼类吸收的小分子物质，再通过循环系统运输作用，使鱼体获得用于生命活动的物质和能量。鱼类消化酶与诸多因素都有一定的关联，包括 1、鱼类食性：一般而言，蛋白酶活性、脂肪酶活性，肉食性鱼类>杂食性鱼类>草食性鱼类；而淀粉酶活性，草食性鱼类>杂食性鱼类>肉食性鱼类；2、环境因素：包括水温、水体中的金属离子等；3、投喂策略：不同的投喂水平会对鱼类的消化酶产生一定的影响(Uys et al 1987)。

本实验通过测定不同投喂策略的肝脏消化酶活力，找到不同投喂策略的消化酶活力变化情况，初步了解西杂的消化生理特点，为鲟鱼饲料的配制提供一定参考，同时丰富鲟鱼消化酶研究的基础数据。

2 材料方法

2.1 实验材料

实验所用的 1 龄杂交鲟肝脏均来自于第二章生长实验结束后的 1 龄杂交鲟。生长实验结束后每组随机取 3 尾 1 龄杂交鲟的肝脏作为酶活测定样品，放于-80℃冰箱中保存待测。

2.2 分析方法

酶液制备：蛋白测定的匀浆液和脂肪酶测定的匀浆液是准确称取待测组织的重量，按重量(g)：体积(ml)=1:9 的比例加入 9 倍体积的生理盐水，冰水浴条件机械匀浆，2500 转/min，离心 10 min，取上清液用生理盐水按 1:9 稀释成 1%的组织匀浆。脂肪酶是按重量(g)：体积(ml)=1:4 的比例加入 4 倍体积的生理盐水稀释成 20%的匀浆液。

酶活力测定：脂肪酶、淀粉酶的测定使用南京建成生物工程研究所购买的脂肪酶测试盒(货号：A054)，淀粉酶测试盒(货号：C016 碘-淀粉比色法)。测试方法参见对应说明书进行。每个样品测试 2 次。

样本蛋白含量测定：测试蛋白液的浓度为 1%，测试试剂盒采用南京建成生物工程研究所购买的蛋白定量测试盒(货号：A045-2 考马斯亮蓝法)。测试方法参见对应说明书进行。用到的实验仪器包括：低温离心机、分光光度计、恒温水浴锅、电子天平等。

2.3 数据处理

实验数据用平均值±标准差(Mean±SD)表示,用 SPSS 17.0 进行统计分析。对各实验组数据进行单因素方差分析(One-WayANOVA)和 Duncan 多重比较分析, $P < 0.05$ 为差异性显著。

3 结果

3.1 不同投喂频率对 1 龄杂交鲟肝脏消化酶活力影响

如表 3-1 所示,不同投喂频率组的 1 龄杂交鲟幼鱼淀粉酶活力方面,投喂 3 次/d 组最高,为 28.95 U/mgprot,其次是投喂 4 次/d,为 27.29 U/mgprot,投喂 0 次/d 组的淀粉酶活力最低,为 6.57 U/mgprot。统计结果显示,投喂 3 次/d、4 次/d 组的淀粉酶的活力与其余各组差异显著($P < 0.05$);投喂 2 次/d 和投喂 3 次/d 及 4 次/d 组的脂肪酶活力较高,其中投喂 3 次/d 的活力最高,为 251.02 U/gprot,投喂 0 次/d 的脂肪酶活力最低,为 84.57 U/gprot,统计结果显示,投喂 0 次/d、投喂 1 次/d 与投喂 2、3、4 次/d 组的脂肪酶活力差异显著($P < 0.05$),投喂 2 次/d、投喂 3 次/d、投喂 4 次/d 3 组脂肪酶活力差异不显著($P > 0.05$)。

表 3-1 不同投喂频率组 1 龄杂交鲟幼鱼肝脏淀粉酶、脂肪酶活力 n=3

组别 (Group)	淀粉酶/[U/mgprot] (Amylase)	脂肪酶/[U/gprot] (Lipase)
投喂 0 次	6.57±0.66 ^d	84.57±7.44 ^c
投喂 1 次	12.58±1.01 ^c	207.35±9.86 ^b
投喂 2 次	15.80±1.02 ^b	234.93±11.55 ^a
投喂 3 次	28.95±1.02 ^a	251.02±13.27 ^a
投喂 4 次	27.29±1.00 ^a	250.67±3.84 ^a

注:表中数据为平均值±标准差,同一列数值上标不同字母者表示差异显著($P < 0.05$)。

3.2 不同投喂率对1龄杂交鲟肝脏消化酶活力的影响

如表 3-2 所示, 各投喂率组的 1 龄杂交鲟幼鱼肝脏淀粉酶活力具有显著差异 ($P<0.05$), 其中投喂率 100% 组的活力最高, 为 27.91 U/mgprot, 投喂率 0% 组的活力最低, 为 6.57 U/mgprot; 统计结果表明脂肪酶活力的数据中, 投喂率 80%、投喂率 100% 组的活力较高, 分别为 234.15 U/gprot、235.48 U/gprot, 投喂率 0% 组的活力最低, 为 84.58 U/gprot。

表 3-2 不同投喂率组 1 龄杂交鲟幼鱼肝脏淀粉酶、脂肪酶活力 $n=3$

组别 (Group)	淀粉酶/[U/mgprot] (Amylase)	脂肪酶/[U/gprot] (Lipase)
投喂率 0%	6.57±0.66 ^c	84.57±7.44 ^c
投喂率 40%	11.39±0.57 ^d	209.02±3.22 ^b
投喂率 60%	13.10±0.58 ^c	219.52±15.39 ^{ab}
投喂率 80%	15.80±1.00 ^b	234.15±9.80 ^a
投喂率 100%	27.91±0.99 ^a	235.48±3.48 ^a

注: 表中数据为平均值±标准差, 同一列数值上标不同字母者表示差异显著 ($P<0.05$)。

3.3 饥饿不同周期再投喂对1龄杂交鲟肝脏消化酶活力的影响

如表 3-3 所示, 饥饿不同周期再投喂各组之间的淀粉酶活力具有显著差异 ($P<0.05$), 其中(F60, S0)组淀粉酶活力最高, 为 28.95 U/mgprot, 活力最低的是(F1, S1)组, 为 16.85 U/mgprot, (F3, S3)、(F5, S5)两组淀粉酶活力无显著差异 ($P>0.05$); 统计结果表明, 不同饥饿周期再投喂组的 1 龄杂交鲟幼鱼的肝脏脂肪酶活力(F60, S0)组最高, 为 251.02 U/gprot, 其余 3 组无显著差异 ($P>0.05$)。

表 3-3 不同饥饿周期再投喂组 1 龄杂交鲟幼鱼肝脏胰蛋白酶、淀粉酶及脂肪酶活力 $n=3$

组别 (Group)	淀粉酶/[U/mgprot] (Amylase)	脂肪酶/[U/gprot] (Lipase)
(F60,S0)	28.95±1.02 ^a	251.02±13.27 ^a
(F1,S1)	16.85±1.00 ^c	211.22±5.42 ^b
(F3,S3)	18.98±0.90 ^b	211.63±7.24 ^b
(F5,S5)	20.01±1.01 ^b	202.49±3.52 ^b

注: 表中数据为平均值±标准差, 同一列数值上标不同字母者表示差异显著 ($P<0.05$)。

4 讨论

本实验中, 不同投饲频率组的 1 龄杂交鲟幼鱼淀粉酶活力随着投喂频率的增加呈现上升的趋势, 投喂 3 次/d 组最高, 28.95 U/mgprot, 其次是投喂 4 次/d, 为 27.29 U/mgprot, 投喂 0 次/d 组的淀粉酶活力最低, 6.57 U/mgprot, 与崔超等(崔超等 2014)的研究结果相同; 随着投喂频率的增加脂肪酶活力的变化趋势与淀粉酶的活力变化趋势相同, 淀粉酶的研究结果与崔超等(崔超等 2014)的研究结果一致, 与强俊等(强俊等 2009)的研究结果相反。

不同投喂率组的 1 龄杂交鲟幼鱼淀粉酶活力方面, 各投喂率组之间具有显著差异($P<0.05$)。随着投喂率的增加, 淀粉酶、脂肪酶活力呈现上升的趋势。鱼体摄入食物后通过消化酶的消化作用使食物成为鱼体维持生命活动的物质和能量, 可能摄入的食物越多, 消化酶的酶量或活力增加, 以此来消化较多的食物。也有学者提出, 在低投喂率的条件下, 鱼体需要吸收更多的营养物质来满足其生长需求, 因而鱼体在低投喂率的条件下食欲会增加(Amiya et al 2012), 进而可能通过增加消化酶的量 and (或)提高其活力等方式, 来达到充分消化有限食物的目的。

不同饥饿周期再投喂组的 1 龄杂交鲟幼鱼, 其肝脏淀粉酶活力具有显著差异($P<0.05$)。统计结果表明, 肝脏脂肪酶活力随着饥饿周期的增加, 脂肪酶活力与(F60, S0)组相比呈现下降的趋势, 其中(F60, S0)组的脂肪酶活力最高, 为 251.02 U/gprot, 其余 3 组无显著差异($P>0.05$)。宋国等(宋国等 2011)的饥饿与再投喂实验结果显示, 条石鲷(*O. fasciatus*)幼鱼脂肪酶活力随着饥饿周期的延长均呈现明显的下降趋势, 与本实验的脂肪酶研究结果相似。而乔秋实等(乔秋实等 2011)的研究结果表明, 周期性饥饿再投喂组的肠道消化酶(蛋白酶、脂肪酶、淀粉酶)活力均高于饱食组, 与本研究结果相反。本研究中消化酶活性在饥饿过程中明显降低, 可能是其一种自我保护机制, 在外界没有事物来源的条件下, 机体需要通过减少自身代谢所需的能量支出来维持其生命活动, 较高的酶活反而会增加其自身的能量支出。

第四章 不同投喂策略对 1 龄杂交鲟肉质的影响

1 引言

经济地快速发展使得民众的物质生活日新月异, 各种肉类食品在人们三餐中所占的比重也日益增大, 民众也更加关注食物的品质。食品的质构特性是反映其结构的一组物理数据(Lawless and Heymann 1998), 同时也是消费者评价食品质量优劣的客观依据。随着质构仪的使用, 食品的质构评价已经由模糊的感官评定逐步过渡到使用仪器进行精准的量值化表达。大量的研究结果显示, 肉与肉制品质构特性的仪器测定值和感官评定得分有较强的关联性, 因此利用仪器测得的质构数据在一定程度上可以代替感官对质构特性的评价。目前已在肉制品(夏建新等 2010; 邱泽锋等 2011)、米面制品等其他制品中均有一些研究(周显青等 2013; 张浩和李雪琴 2013; 屠康等 2004; Bobe et al 2003; 高奇 2006; 吴修东等 2012; 周小理等 2008; Rolle et al 2012; Infante et al 2009)及应用(胡亚云 2013; Chen and Opara 2013)。质构仪检测尤其是质地多面剖析法(texture profile analysis, TPA)在肉与肉制品检测中已被广泛使用。系水力是肌肉组织保持水分的能力, 是评判肉品质的优劣的一项重要理化指标。吴信生等(吴信生等 1998)发现地方鸡种胸肌肌纤维密度与嫩度、失水率呈负相关。地方鸡种胸肌肌纤维直径与肉色、pH 值、系水力均为负相关, 地方鸡种胸肌都呈正相关, 且均不显著。同时肌纤维直径与嫩度、失水率的相关性可能受品种固有遗传特征的影响(孙玉民等 1993)。

肌纤维由细胞膜、肌浆、细胞核及大量的肌原纤维组成。肌原纤维内含参与肌肉收缩的肌球蛋白和肌动蛋白。鱼的肌纤维比其他脊椎动物的肌纤维更细(Kohn and Kritzinger 2005)。肌纤维微组织结构的变化会对肉的嫩度、保水性、多汁性、口感等质构指标产生重要影响(Maltin et al 1997), 肌肉的微观结构包括肌纤维的直径和密度等。研究表明, 大多数硬骨鱼中白肌占较大比例(Nag 1972; Greer and Pull 1975), 鱼的规格和白肌纤维的长度、直径等有较强的相关性(Kiessling et al 1991)。

研究表明, 碳链长度为 C12-C16 的饱和脂肪酸会引起血清总胆固醇的升高, 而血清总胆固醇水平与心血管疾病的发病率成正比。另有研究表明, 单不饱和脂肪酸具有保护心脏、降低血糖水平、调节血脂、降低胆固醇和防止记忆下降等诸多作用(张伟敏等 2005); 多不饱和脂肪酸则能调节人体的脂质代谢, 治疗和预防心脑血管疾病, 促进生长发育, 此外对抗癌、免疫调节、延缓衰老、减肥和美容等方面均具有重要的生理作用。另外, 目前世界公认 EPA、DHA 具有降低 LDL-胆固醇, 降低乳糜微粒残余物在血循环中堆积形成血栓, 降低心血管疾病的作用, 对婴儿大脑发育及成人心血管系统疾病有治疗和预防效果(马爱军等 2003; Harlioglu et al 2012; 朱昱哲等 2013)。

鱼肉是公认的优质蛋白质源，根 FAO/WHO 的理想模式，质量较好的蛋白质其组成氨基酸 EAA/TAA 为 40% 左右。动物蛋白质的鲜美在一定程度上取决于鲜味氨基酸的组成与含量(邴旭文等 2005)。目前，肉质优劣的评判没有统一的标准，但随着人们生活水平的提高，对肉质的要求也越发的多样化，人们对肉质主要的关注点包括，质构特性、营养成分以及安全卫生。本文结合 1 龄杂交鲟的质构特性、肌纤维的物理指标、脂肪酸、氨基酸等肉质的相关性指标，初步探究不同的投喂策略对 1 龄杂交鲟的肉质是否存在影响，旨在为后期的鲟鱼产品加工提供优质的肉源。

2 材料与amp;方法

2.1 实验材料

实验用鱼均来自本研究的不同投喂策略的养殖 1 龄杂交鲟。养殖试验结束后，每组随机取 9 尾鱼的背部肌肉，其中 3 尾用于质构特性及贮藏损失率的测定；另外 3 尾用于肌纤维切片及贮藏损失率的测定；最后 3 尾用于脂肪酸与氨基酸的分析。

2.2 分析方法

1. 质构特性采用质构仪测定，该项指标的测定必须将活鱼宰杀后 2h 内测试完成，利用质构仪对样品进行 TPA 测定。采用瑞典 Perten 公司制造的 TVT-300XP 型物性质构分析仪，使用平底柱形头 P—CY20S，对 1 龄杂交鲟肉鲜样进行 2 次压缩，测试条件如下：测试前速率 5 mm/s，测试速率 1 mm/s 测试后速率 5 mm/s，压缩程度 60%，停留隔时间 11 s，数据收集 200 pps，每次测 6 个样品，每个样品测定 3 次，取平均值，分析质构变化。2. 贮存损失测定：在鱼体死后 2h 内测定。取一块肌肉装袋，在 4℃ 冰箱中吊挂 24h 后计算贮藏过程中的损失百分率。计算公式为：贮存损失=(贮前重量-贮后重量)/贮前重量×100% 3. 肌纤维测定的鱼肉采用波恩试液固定，并在一个月之内完成切片，肌纤维采用石蜡切片的方法；4. 脂肪酸的测试方法参照 GB/T 17377-2008，使用仪器为安捷伦 7890A 气相色谱仪；5. 氨基酸的测试方法参照 GB 05009-124，使用仪器为日立氨基酸自动分析仪 L-8900。

2.3 数据处理

1. 质构特性的数据采用平均值±标准差(Mean±SD)表示，用 SPSS 17.0 进行统计分析。对各实验组数据进行单因素方差分析(One-WayANOVA)和 Duncan 多重比较分析， $P < 0.05$ 为差异性显著。2. 肌纤维数据处理采用单因素方差分析(One-WayANOVA)和 Duncan 多重比较分析， $P < 0.05$ 为差异性显著；肌纤维的直径、密度、硬度与肌肉脂肪含量的相关性分析采用 SPSS 17.0 中的双变量相关性分析， $P < 0.05$ 为相关性显著， $P < 0.01$ 为相关性极显著；贮藏损失率数据采用 WPSExcel2016 折线图表示。3. 脂肪酸、氨基酸数据采用平均值±标准差(Mean±SD)表示，用 SPSS 17.0 进行统计分析。对各实验组数据进行单因素方差分析(One-WayANOVA)和 Duncan 多重比较分析， $P < 0.05$ 为差异性显著。

3 结果

3.1 不同投喂策略对 1 龄杂交鲟肌肉质构特性及贮藏损失率的影响

不同投喂策略对 1 龄杂交鲟肌肉的质构特性有一定的影响, 包括不同投喂频率对 1 龄杂交鲟肌肉质构特性的影响, 见(表 4-1), 不同投喂率对 1 龄杂交鲟肌肉质构特性的影响, 见(表 4-2), 饥饿不同周期再投喂对 1 龄杂交鲟肌肉质构特性的影响, 见(表 4-3)。不同的投喂策略对 1 龄杂交鲟的肌肉贮藏损失率也有不同程度的影响。不同投喂频率对 1 龄杂交鲟肌肉贮藏损失率的影响, 见(图 4-1), 不同投喂率对 1 龄杂交鲟肌肉贮藏损失率的影响, 见(图 4-2), 不同饥饿周期再投喂对 1 龄杂交鲟肌肉贮藏损失率的影响, 见(图 4-3)。

由表 4-1 可知, 不同投喂频率对 1 龄杂交鲟肌肉质构特性影响的实验中, 硬度方面, 投喂 3 次/d 的硬度最大, 投喂 2 次/d 的硬度最低, 投喂 0 次/d 和 1 次/d 之间无显著差异($P>0.05$); 弹性方面, 投喂 2 次/d 的弹性最大, 投喂 4 次/d 的弹性最小, 各组之间有显著差异($P<0.05$); 胶粘性方面, 投喂 2 次/d 的胶粘性最好, 投喂 4 次/d 的胶粘性最差; 咀嚼性方面, 投喂 2 次/d 的咀嚼性最高, 投喂 4 次/d 的咀嚼性最低; 内聚性方面, 投喂 2 次/d 的内聚性最好, 投喂 4 次/d 的内聚性最差。

表 4-1 不同投喂频率对 1 龄杂交鲟肌肉质构特性的影响 $n=6$

组别	硬度/g	弹性	胶粘性/g	咀嚼性/g	内聚性
group	hardness	springiness	gumminess	chewiness	cohesiveness
喂 0 次	19.25±0.75 ^b	1.46±0.13 ^c	1.48±0.13 ^b	9.22±0.48 ^d	1.48±0.13 ^c
喂 1 次	19.67±0.58 ^b	1.93±0.24 ^b	1.93±0.24 ^a	23.10±1.76 ^b	1.93±0.24 ^b
喂 2 次	16.67±0.58 ^c	3.30±0.17 ^a	3.30±0.17 ^a	40.04±3.91 ^a	3.30±0.17 ^a
喂 3 次	21.50±0.50 ^a	1.28±0.28 ^{cd}	1.28±0.28 ^a	13.95±3.13 ^c	1.28±0.28 ^b
喂 4 次	21.00±0.00 ^a	1.02±0.11 ^d	1.02±0.11 ^b	6.12±0.77 ^d	1.02±0.11 ^c

注: 表中数据为平均值±标准差,同一列数值上标不同字母者表示差异显著($P<0.05$)。

如图 4-1, 随着投喂频率的增加, 1 龄杂交鲟的肌肉贮藏损失率呈现先上升后下降的趋势。从投喂 0 次/d(饥饿组)增加到投喂 1 次/d 时, 1 龄杂交鲟肌肉的贮藏损失率呈现增加的趋势, 在投喂 1 次/d 时贮藏损失率达到最大值, 为 18.75%。而当投喂次数从 1 次/d 增加到投喂 4 次/d 时, 1 龄杂交鲟的肌肉贮藏损失率呈现下降的趋势, 其中投喂 4 次/d 最低, 为 9.75%。

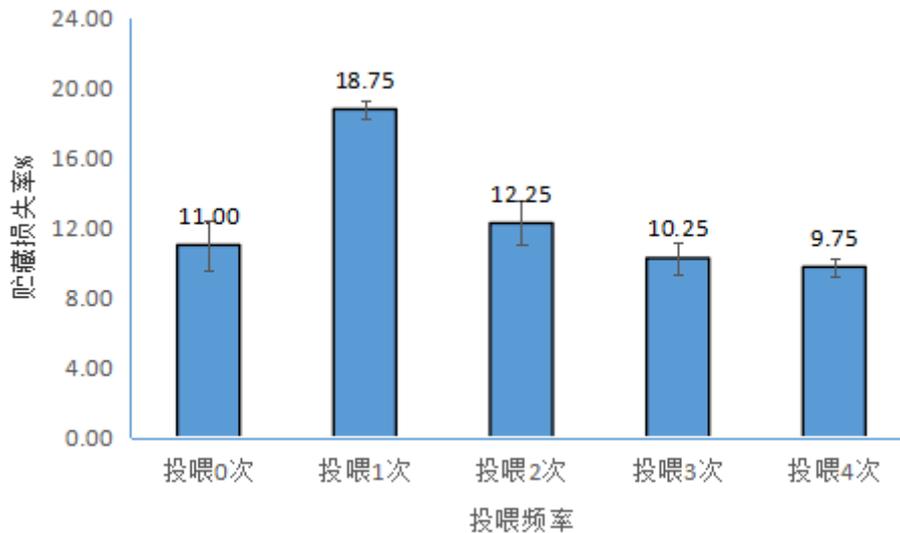


图 4-1 不同投喂频率的贮藏损失率 n=4

由表 4-2 可知，不同投喂率对 1 龄杂交鲟肌肉质构特性影响的实验中，硬度方面，投喂率 80% 组的硬度最大，投喂率 60% 组的硬度最小；弹性方面，投喂率 60% 组的弹性最大，投喂率 80% 组的弹性最小，其余各组之间无显著差异 ($P>0.05$)；胶粘性方面，投喂率 80% 组的胶粘性最好，投喂率 100% 组的胶粘性最差；咀嚼性方面，投喂率 80% 组的咀嚼性最高，投喂率 100% 组的咀嚼性最低；内聚性方面，投喂率 60% 组的内聚性最好，投喂率 100% 组的内聚性最差。

表 4-2 不同投喂率对 1 龄杂交鲟肌肉质构特性影响 n=6

组别	硬度/g	弹性	胶粘性/g	咀嚼性/g	内聚性
group	hardness	springiness	gumminess	chewiness	cohesiveness
投喂率 0%	19.25±0.75 ^b	1.46±0.13 ^a	6.50±0.12 ^d	9.22±0.48 ^b	0.34±0.01 ^d
投喂率 40%	20.33±1.04 ^{ab}	1.07±0.23 ^b	8.54±1.42 ^c	9.32±0.69 ^b	0.41±0.06 ^c
投喂率 60%	16.00±1.73 ^c	0.94±1.02 ^b	11.39±1.01 ^b	9.42±1.02 ^b	0.71±0.02 ^a
投喂率 80%	22.17±0.29 ^a	0.93±0.01 ^b	14.56±0.43 ^a	13.63±0.52 ^a	0.65±0.03 ^b
投喂率 100%	19.00±1.00 ^b	1.02±0.17 ^b	4.36±0.57 ^e	4.38±0.23 ^c	0.23±0.02 ^e

注：表中数据为平均值±标准差，同一列数值上标不同字母者表示差异显著 ($P<0.05$)。

如图 4-2，随着投喂率的增加，1 龄杂交鲟肌肉的贮藏损失率呈现与不同投喂频率组类似的趋势，即先增加，再下降。投喂率从 0% 增加至 60% 时，1 龄杂交鲟的肌肉贮藏损失率呈现上升的趋势，在投喂率 60% 时达到最大值，为 21.50%。而投喂率从 60% 增加至 100% 时，1 龄杂交鲟的肌肉贮藏损失率呈现下降的趋势。不同投喂率的实验中，贮藏损失率最低是投喂率 0% 组(饥饿组)，为 11.00%。

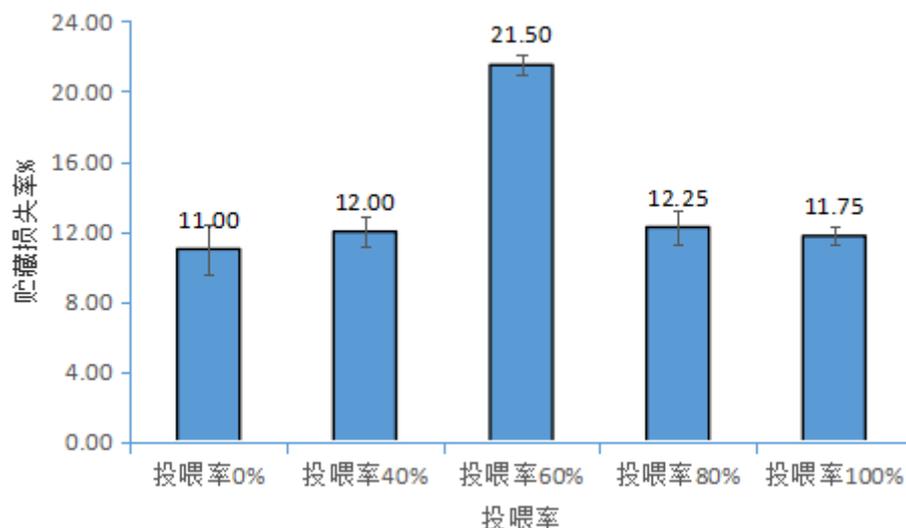


图 4-2 不同投喂率的贮藏损失率 n=4

由表 4-3 可知, 饥饿不同周期再投喂对 1 龄杂交鲟肌肉质构特性影响的实验中, 硬度方面, (F60, S0)组的硬度最大, (F1, S1)组的硬度最小, 单就饥饿不同时间再投喂的处理方式来说, (F5, S5)组的硬度最大; 弹性方面, (F5, S5)组的弹性最大, (F1, S1)组的弹性最小; 胶粘性方面, (F5, S5)组的胶粘性最好, (F1, S1)组的胶粘性最差; 咀嚼性方面, (F5, S5)组的咀嚼性最高, (F1, S1)组的咀嚼性最低; 内聚性方面, (F5, S5)组的内聚性最好, (F1, S1)组的内聚性最差。

表 4-3 饥饿不同周期再投喂对 1 龄杂交鲟肌肉质构特性影响 n=6

组别	硬度/g	弹性/g	胶粘性/g	咀嚼性/g	内聚性
group	hardness	springiness	gumminess	chewiness	cohesiveness
饥饿	19.25±0.75 ^b	1.48±0.13 ^{bc}	6.50±0.12 ^d	9.22±0.48 ^d	0.34±0.01 ^d
(F60,S0)	21.83±1.04 ^a	1.28±0.28 ^c	12.78±0.46 ^b	14.66±0.50 ^b	0.58±0.00 ^b
(F1,S1)	16.00±1.00 ^c	1.13±0.12 ^c	3.70±0.26 ^e	4.18±0.18 ^e	0.23±0.01 ^e
(F3,S3)	19.33±1.04 ^b	1.72±0.07 ^b	7.32±0.19 ^c	13.58±0.40 ^c	0.39±0.01 ^c
(F5,S5)	20.33±0.76 ^{ab}	2.25±0.25 ^a	19.97±0.49 ^a	44.18±0.98 ^a	1.00±0.02 ^a

注: 表中数据为平均值±标准差,同一列数值上标不同字母者表示差异显著($P<0.05$)。

如图 4-3, 不同饥饿周期再投喂的实验中, 各组 1 龄杂交鲟的肌肉贮藏损失率无显著差异($P>0.05$)。不同饥饿周期再投喂的处理方式中, 1 龄杂交鲟肌肉的贮藏损失率呈现“小锯齿状”的波动, 各组之间的贮藏损失率差异不明显。(F1, S1)组的贮藏损失率为 11.50%, (F3, S3)组的贮藏损失率为 10.50%, (F5, S5)组的贮藏损失率为 12.67%。最低的为(F1, S1)组。

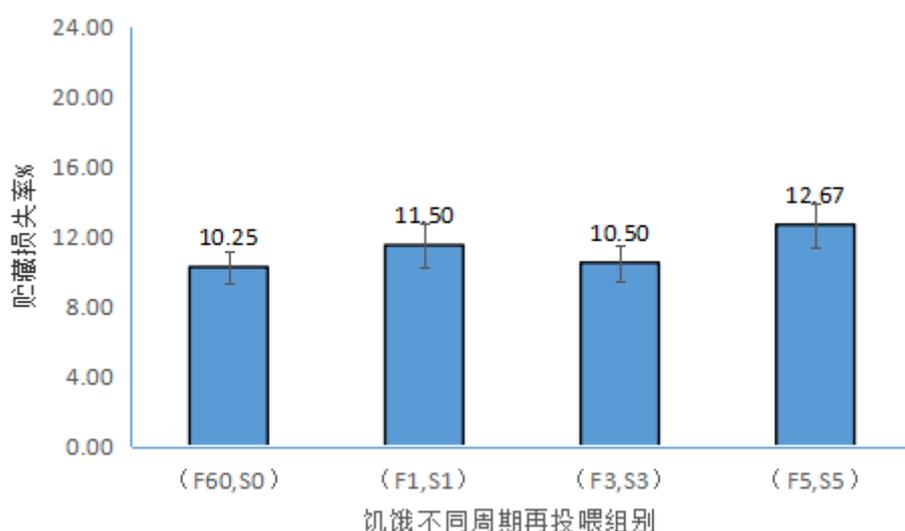


图 4-3 不同饥饿周期再投喂的贮藏损失率 n=4

3.2 不同投喂策略对 1 龄杂交鲟肌纤维的影响

不同投喂策略对 1 龄杂交鲟肌纤维有不同程度的影响，不同投喂频率对 1 龄杂交鲟肌纤维的影响(表 4-4)，不同投喂率对 1 龄杂交鲟肌纤维的影响(表 4-5)，饥饿不同周期再投喂对 1 龄杂交鲟肌纤维的影响(表 4-6)。

由表 4-4 可知，不同投喂频率中，投喂 1 次组和投喂 4 次组直径较粗，分别为 0.083 mm、0.081 mm，两组无显著差异($P>0.05$)，投喂 2 次组直径较细，为 0.068 mm；对肌纤维面积的影响各组间无显著差异($P>0.05$)；投喂 2 次的肌纤维密度最大，为 284.772 个/ mm^2 ，投喂 1 次和投喂 4 次的密度较小，分别为 182.136 个/ mm^2 、176.096 个/ mm^2 ，两组之间无显著差异($P>0.05$)。

表 4-4 不同投喂频率的 1 龄杂交鲟肌纤维组织学特性 n=3

组别	直径(mm)	面积(mm^2)	密度(个/ mm^2)
投喂 0 次	0.074±0.019 ^{ab}	0.005±0.003 ^a	218.527±66.378 ^{ab}
投喂 1 次	0.083±0.013 ^a	0.006±0.002 ^a	182.136±50.099 ^c
投喂 2 次	0.068±0.011 ^c	0.004±0.001 ^a	284.772±95.922 ^a
投喂 3 次	0.075±0.02 ^{ab}	0.005±0.003 ^a	221.889±44.406 ^{ab}
投喂 4 次	0.081±0.02 ^a	0.006±0.003 ^a	176.096±68.752 ^c

注：表中数据为平均值±标准差，同一列数值上标不同字母者表示差异显著($P<0.05$)。

由表 4-5 可知,不同投喂率中,投喂率 0%、投喂率 60%、投喂率 80%、投喂率 100%四组的肌纤维直径较粗,四组之间无显著差异($P>0.05$),投喂率 40%组的肌纤维直径最细;投喂率 0%、投喂率 60%、投喂率 80%、投喂率 100%四组的肌纤维的面积较大,四组之间无显著差异($P>0.05$),投喂率 40%组的肌纤维面积最小;投喂率 40%组的肌纤维密度最大,为 248.396 个/ mm^2 ,投喂率 60%组的肌纤维的密度最小,为 119.4 个/ mm^2 。

表 4-5 不同投喂率的 1 龄杂交鲟肌纤维组织学特性 $n=3$

组别	直径(mm)	面积(mm^2)	密度(个/ mm^2)
投喂率 0%	0.074 ± 0.019^a	0.005 ± 0.002^a	218.527 ± 66.378^{ab}
投喂率 40%	0.062 ± 0.016^b	0.003 ± 0.001^b	248.396 ± 154.833^a
投喂率 60%	0.080 ± 0.026^a	0.006 ± 0.004^a	119.400 ± 32.335^c
投喂率 80%	0.082 ± 0.018^a	0.006 ± 0.002^a	134.561 ± 45.361^{bc}
投喂率 100%	0.076 ± 0.015^a	0.005 ± 0.002^a	213.815 ± 85.111^{ab}

注:表中数据为平均值±标准差,同一列数值上标不同字母者表示差异显著($P<0.05$)。

由表 4-6 可知,饥饿不同周期再投喂的实验中,饥饿不同周期再投喂的处理方式对肌纤维的直径、面积、密度均无显著影响($P>0.05$)。

表 4-6 饥饿不同周期再投喂的 1 龄杂交鲟肌纤维组织学特性 $n=3$

组别	直径(mm)	面积(mm^2)	密度(个/ mm^2)
饥饿组	0.074 ± 0.019^a	0.005 ± 0.002^a	218.527 ± 66.378^a
(F1,S1)组	0.07 ± 0.015^a	0.004 ± 0.002^a	197.057 ± 33.658^a
(F3,S3)组	0.07 ± 0.011^a	0.004 ± 0.001^a	241.071 ± 43.249^a
(F5,S5)组	0.079 ± 0.014^a	0.005 ± 0.002^a	203.524 ± 63.135^a
(F60,S0)组	0.075 ± 0.02^a	0.005 ± 0.003^a	221.889 ± 44.406^a

注:表中数据为平均值±标准差,同一列数值上标不同字母者表示差异显著($P<0.05$)。

3.3 不同投喂策略对 1 龄杂交鲟脂肪酸的影响

由表 4-7 可知,不同投喂频率的实验中,随着投喂频率的增加,饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸的含量呈现出先上升再略微下降的趋势,含量最大的均为投喂 2 次组,三者的最大含量分别为 175.57 mg/100g, 177.04 mg/100g, 249.69 mg/100g,其中投喂 2 次、投喂 3 次、投喂 4 次 3 组之间的饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸的含量差异不显著($P>0.05$);EPA+DHA 的含量随着投喂次数的增加,呈现先上升后下降的趋势,其中投喂 2 次的含量最高,为 157.55 mg/100g。

表 4-7 不同投喂频率组 1 龄杂交鲟肌肉中脂肪酸的种类及含量 (鲜样) n=3 mg/100g

脂肪酸名称	投喂 0 次	投喂 1 次	投喂 2 次	投喂 3 次	投喂 4 次
C14:0	4.45±1.09 ^c	6.82±0.37 ^{bc}	10.95± 2.14 ^a	9.17±1.26 ^{ab}	11.50±3.16 ^a
C14:1	1.18±0.21 ^c	1.60±0.13 ^{bc}	2.21±0.15 ^a	1.95±0.24 ^{ab}	1.88±0.55 ^{ab}
C15:0	8.44±0.46 ^a	5.90±0.42 ^b	4.87±1.79 ^b	4.79±0.27 ^b	5.29±0.84 ^b
C16:0	80.50±9.54 ^b	94.55±3.93 ^b	125.34±4.78 ^a	118.06±5.51 ^a	125.85± 19.39 ^a
C16:1	8.27±0.25 ^c	13.03±0.91 ^b	19.99±3.49 ^a	16.11±2.38 ^{ab}	17.13±3.53 ^{ab}
C17:0	2.07±0.38 ^c	2.70±0.26 ^{bc}	3.74±0.39 ^a	2.86±0.16 ^b	3.02±0.49 ^b
C17:1	1.85±0.43 ^{bc}	1.18±0.10 ^c	2.25± 0.75 ^{ab}	2.18±0.14 ^{ab}	2.98±0.58 ^a
C18:0	22.72±3.27 ^b	24.39±0.36 ^b	30.67± 2.19 ^a	25.34±1.54 ^{ab}	27.85±5.24 ^{ab}
C18:1	80.20±15.61 ^c	100.65±8.52 ^{bc}	143.13±20.78 ^a	132.67±9.58 ^{ab}	141.24±29.92 ^a
C18:2	37.17±8.20 ^c	47.86±4.84 ^{bc}	64.62±4.35 ^a	55.20±3.60 ^{ab}	61.24± 11.04 ^a
C18:3	3.44±1.00 ^c	5.34±0.41 ^b	8.06±0.25 ^a	6.29±0.78 ^b	6.93±1.52 ^{ab}
C20:1	5.72±1.15 ^b	7.19±0.10 ^{ab}	9.46±1.39 ^a	7.30±0.71 ^{ab}	5.70±1.99 ^b
C20:2	4.20±0.36 ^a	4.28±0.40 ^a	4.98±1.07 ^a	4.31±0.32 ^a	5.23±0.59 ^a
C20:3	1.91±0.70 ^a	2.10±0.56 ^a	2.54±0.45 ^a	2.25±0.48 ^a	2.20±0.45 ^a
C20:4	9.09±1.60 ^a	10.01±0.94 ^a	11.94±2.02 ^a	10.41±1.27 ^a	11.05±1.74 ^a
C20:5	30.81±7.06 ^b	40.14±4.36 ^b	50.38±5.61 ^a	44.98±2.09 ^{ab}	49.26±5.48 ^{ab}
C22:6	78.96±12.37 ^b	89.78±6.68 ^{ab}	107.17±12.95 ^a	94.47±10.29 ^{ab}	83.34±4.93 ^b
SFA	118.19±14.48 ^c	134.36±4.29 ^{bc}	175.57±4.44 ^a	160.22±7.63 ^{ab}	173.51±28.60 ^a
MUFA	97.22±16.96 ^c	123.64±9.35 ^{bc}	177.04±25.56 ^a	160.21±12.69 ^{ab}	168.93±36.00 ^a
PUFA	165.58±30.74 ^c	199.51±12.44 ^{bc}	249.69±23.76 ^a	217.90±16.66 ^{ab}	219.23±25.29 ^{ab}
EPA+DHA	109.77±19.08 ^b	129.91±9.89 ^{ab}	157.55±18.47 ^a	139.45±12.33 ^a	132.60±10.39 ^{ab}

注: 表中数据为平均值±标准差,同一行数值上标不同字母者表示差异显著($P<0.05$)。

由表 4-8 可知, 不同投喂率的实验中, 随着投喂率的增加, 饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸、EPA+DHA 的含量呈现出先上升再下降再上升的趋势, 含量最大的均为投喂率 40% 组, 其中投喂率 40%、投喂率 60%、投喂率 100% 组之间的差异不显著($P>0.05$)。

表 4-8 不同投喂率组 1 龄杂交鲟肌肉中脂肪酸的种类及含量 (鲜样) n=3 mg/100g

脂肪酸名称	投喂率 0%	投喂率 40%	投喂率 60%	投喂率 80%	投喂率 100%
C14:0	4.45±1.09 ^{bc}	8.85±1.53 ^a	7.53±1.31 ^{ab}	2.99±2.61 ^c	7.35±1.10 ^{ab}
C14:1	1.18±0.21 ^a	1.74±0.26 ^a	1.32±0.62 ^a	0.94±0.62 ^a	1.63±0.20 ^a
C15:0	8.44±0.46 ^a	5.33±0.40 ^b	3.27±0.64 ^c	3.31±0.61 ^c	5.64±0.19 ^b
C16:0	80.50±9.54 ^{ab}	114.50±14.64 ^a	114.42±17.14 ^a	53.49±34.78 ^b	105.47±5.62 ^a
C16:1	8.27±0.25 ^b	15.00±1.72 ^a	15.39±1.36 ^a	6.20±0.20 ^c	14.38±0.14 ^a
C17:0	2.07±0.38 ^{ab}	2.95±0.50 ^a	2.90±0.17 ^a	1.29±0.80 ^b	2.68±0.21 ^a
C17:1	1.85±0.43 ^{ab}	1.43±0.18 ^{ab}	2.28±0.94 ^a	1.01±0.34 ^b	1.80±0.29 ^{ab}
C18:0	22.72±3.27 ^{ab}	28.60±4.94 ^a	27.74±4.14 ^a	16.42±7.55 ^b	24.56±0.85 ^{ab}
C18:1	80.20±15.61 ^b	124.28±11.14 ^a	124.96±23.14 ^a	59.57±7.55 ^b	111.76±5.13 ^a
C18:2	37.17±8.20 ^b	56.31±11.00 ^a	55.25±5.49 ^a	23.64±6.76 ^c	49.31±2.10 ^{ab}
C18:3	3.44±1.00 ^b	5.85±0.52 ^a	6.00±0.62 ^a	2.52±0.55 ^b	5.38±0.17 ^a
C20:1	5.72±1.15 ^{ab}	7.41±1.64 ^a	6.69±1.00 ^a	3.60±1.93 ^b	5.79±0.54 ^{ab}
C20:2	4.20±0.36 ^a	4.81±0.38 ^a	4.47±0.27 ^a	2.97±0.73 ^b	4.46±0.21 ^a
C20:3	1.91±0.70 ^{ab}	1.96±0.27 ^{ab}	2.50±0.48 ^a	1.06±0.50 ^b	2.16±0.31 ^a
C20:4	9.09±1.60 ^b	11.83±1.56 ^a	11.29±1.22 ^{ab}	5.37±0.48 ^c	10.80±1.18 ^{ab}
C20:5	30.81±7.06 ^{bc}	46.12±4.90 ^a	42.31±3.35 ^{ab}	21.41±13.73 ^c	43.20±3.62 ^{ab}
C22:6	78.96±12.37 ^{ab}	110.31±12.58 ^a	101.48±11.06 ^a	49.54±34.10 ^b	95.61±7.52 ^a
∑SFA	118.19±14.48 ^{ab}	160.24±21.03 ^a	155.85±21.77 ^a	77.51±48.22 ^b	145.70±6.42 ^a
∑MUFA	97.22±16.96 ^{bc}	149.87±13.82 ^a	150.63±24.96 ^a	73.31±47.77 ^c	135.36±5.30 ^{ab}
∑PUFA	165.58±30.74 ^{ab}	237.19±30.70 ^a	223.30±21.26 ^a	106.50±71.15 ^b	210.92±12.27 ^a
EPA+DHA	109.77±19.08 ^{ab}	156.43±17.39 ^a	143.79±14.38 ^a	70.95±47.75 ^b	138.81±10.13 ^a

注: 表中数据为平均值±标准差,同一行数值上标不同字母者表示差异显著($P<0.05$)。

由表 4-9 可知, 饥饿不同周期再投喂的实验中, 随着饥饿周期的增加, 饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸、EPA+DHA 的含量呈现出先上升再下降的趋势, 4 者含量最大的均是(F1, S1)组, 分别为 165.69 mg/100g, 168.99 mg/100g, 236.99 mg/100g, 153.53 mg/100g, 其中(F60, S0)组与(F1, S1)组差异不显著($P>0.05$)。

表 4-9 饥饿不同周期再投喂组 1 龄杂交鲟肌肉中脂肪酸的种类及含量 (鲜样) n=3 mg/100g

脂肪酸种类	(F60,S0)	(F1,S1)	(F3,S3)	(F5,S5)
C14:0	9.17±1.26 ^{ab}	9.91±3.41 ^a	6.00±0.26 ^{bc}	5.41±0.85 ^c
C14:1	1.95±0.24 ^a	1.76±0.28 ^{ab}	1.45±0.28 ^{ab}	1.27±0.21 ^b
C15:0	4.79±0.27 ^{ab}	5.48±0.56 ^a	4.50±1.01 ^{ab}	4.01±0.79 ^c
C16:0	118.06±5.51 ^a	120.04±15.99 ^a	91.68±7.65 ^b	79.64±1.65 ^b
C16:1	16.11±2.38 ^{ab}	17.60±3.52 ^a	11.94±1.86 ^{bc}	9.89±0.87 ^c
C17:0	2.86±0.16 ^a	3.00±0.31 ^a	2.24±0.07 ^b	1.84±0.06 ^c
C17:1	2.18±0.14 ^a	2.55±0.12 ^a	2.24±0.34 ^a	1.49±0.21 ^b
C18:0	25.34±1.54 ^{ab}	27.26±4.69 ^a	21.72±1.30 ^{bc}	18.77±2.37 ^c
C18:1	132.67±9.58 ^a	139.62±23.44 ^a	95.45±12.35 ^b	78.45±4.85 ^b
C18:2	55.20±3.60 ^a	58.48±3.13 ^a	40.48±2.93 ^b	35.47±2.21 ^b
C18:3	6.29±0.78 ^{ab}	6.65±1.47 ^a	4.68±0.06 ^{bc}	3.96±0.57 ^c
C20:1	7.30±0.71 ^a	7.46±0.82 ^a	4.77±0.54 ^b	4.45±0.44 ^b
C20:2	4.31±0.32 ^a	4.50±0.22 ^a	3.11±0.24 ^b	2.59±0.49 ^b
C20:3	2.25±0.48 ^{ab}	2.37±0.17 ^a	1.77±0.23 ^{bc}	1.60±0.23 ^c
C20:4	10.41±1.27 ^a	11.46±1.08 ^a	9.37±1.52 ^{ab}	7.56±0.29 ^b
C20:5	44.98±2.09 ^a	45.98±3.20 ^a	39.54±5.57 ^a	32.84±1.19 ^{ab}
C22:6	94.47±10.29 ^{ab}	107.54±5.69 ^a	87.14±11.65 ^{bc}	76.80±3.72 ^c
SFA	160.22±7.63 ^a	165.69±23.65 ^a	126.14±10.08 ^b	109.67±4.72 ^b
MUFA	160.21±12.69 ^a	168.99±27.96 ^a	115.85±14.28 ^b	95.54±6.23 ^b
PUFA	217.90±16.66 ^{ab}	236.99±21.42 ^a	186.09±21.16 ^{bc}	160.82±1.01 ^c
EPA+DHA	139.45±12.33 ^{ab}	153.53±6.73 ^a	126.68±17.20 ^{bc}	109.64±3.44 ^c

注: 表中数据为平均值±标准差,同一行数值上标不同字母者表示差异显著($P<0.05$)。

3.4 不同投喂策略对 1 龄杂交鲟氨基酸的影响

由表 4-10 可知, 不同投喂频率的实验中, 随着投喂频率的增加, 氨基酸总量、必需氨基酸总量、鲜味氨基酸总量均呈现出现先上升后下降的趋势, 其中氨基酸总量(TAA)在投喂 3 次时最高, 为 17.10 g/100g, 必需氨基酸(EAA)总量在投喂 2 次时最高, 为 6.81 g/100g, 鲜味氨基酸(DAA)总量在投喂 3 次时最高, 为 6.76 g/100g, 其中投喂 2 次与投喂 3 次的三者总量差异不显著($P>0.05$); 必需氨基酸与氨基酸总量的比值随着投喂次数的增加, 表现为先下降后略微上升的趋势。其中投喂 0 次的比值最大, 为 43.76%。

表 4-10 不同投喂频率组 1 龄杂交鲟肌肉中氨基酸的种类及含量 (鲜样) n=3 g/100g

氨基酸名称	投喂 0 次	投喂 1 次	投喂 2 次	投喂 3 次	投喂 4 次
天门冬氨酸 Asp	1.07±0.20 ^c	1.16±0.12 ^{bc}	1.59±0.18 ^b	2.21±0.28 ^a	1.53±0.35 ^b
苏氨酸 Thr	0.56±0.05 ^{bc}	0.51±0.09 ^c	0.81±0.04 ^a	0.87±0.10 ^a	0.71±0.13 ^{ab}
丝氨酸 Ser	0.53±0.03 ^{bc}	0.50±0.06 ^c	0.71±0.08 ^{ab}	0.80±0.16 ^a	0.68±0.10 ^{abc}
谷氨酸 Glu	1.89±0.26 ^b	2.02±0.21 ^b	2.22±0.45 ^{ab}	2.61±0.29 ^a	2.24±0.27 ^{ab}
甘氨酸 Gly	0.67±0.05 ^b	0.79±0.11 ^{ab}	0.90±0.14 ^{ab}	1.06±0.36 ^a	0.82±0.07 ^{ab}
丙氨酸 Ala	0.80±0.06 ^b	0.90±0.13 ^{ab}	0.96±0.16 ^{ab}	1.04±0.15 ^a	0.93±0.01 ^{ab}
胱氨酸 Cys	0.10±0.01 ^b	0.10±0.01 ^b	0.12±0.01 ^{ab}	0.12±0.01 ^{ab}	0.13±0.02 ^a
缬氨酸 Val	0.74±0.03 ^c	0.75±0.05 ^{bc}	0.86±0.04 ^a	0.84±0.05 ^a	0.83±0.05 ^{ab}
蛋氨酸 Met	0.24±0.01 ^b	0.25±0.03 ^b	0.30±0.07 ^{ab}	0.22±0.04 ^b	0.35±0.05 ^a
异亮氨酸 Iso	0.78±0.02 ^b	0.77±0.06 ^b	0.89±0.04 ^a	0.85±0.07 ^{ab}	0.83±0.06 ^{ab}
亮氨酸 Leu	1.30±0.04 ^{ab}	1.28±0.10 ^b	1.47±0.07 ^a	1.41±0.12 ^{ab}	1.34±0.10 ^{ab}
酪氨酸 Tyr	0.51±0.01 ^b	0.50±0.04 ^b	0.59±0.04 ^a	0.54±0.05 ^{ab}	0.54±0.04 ^{ab}
苯丙氨酸 Phe	0.68±0.02 ^b	0.69±0.05 ^b	0.78±0.03 ^a	0.76±0.05 ^{ab}	0.75±0.06 ^{ab}
赖氨酸 Lys	1.50±0.04 ^b	1.49±0.11 ^b	1.70±0.07 ^a	1.61±0.14 ^{ab}	1.65±0.10 ^{ab}
组氨酸 His	0.51±0.01 ^b	0.52±0.03 ^b	0.60±0.01 ^a	0.57±0.04 ^{ab}	0.59±0.06 ^a
精氨酸 Arg	0.99±0.01 ^a	1.02±0.08 ^a	1.11±0.08 ^a	1.10±0.03 ^a	1.04±0.10 ^a
脯氨酸 Pro	0.41±0.03 ^a	0.56±0.18 ^a	0.59±0.09 ^a	0.65±0.20 ^a	0.57±0.01 ^a
TAA	13.29±0.75 ^c	13.69±0.79 ^c	16.32±1.09 ^{ab}	17.10±0.76 ^a	15.52±0.37 ^b
EAA	5.81±0.19 ^b	5.74±0.44 ^b	6.81±0.40 ^a	6.56±0.41 ^a	6.46±0.27 ^a
DAA	4.43±0.55 ^c	4.73±0.36 ^{bc}	5.80±0.97 ^{ab}	6.76±0.75 ^a	5.52±0.53 ^{abc}
EAA/TAA(%)	43.76	41.97	41.84	38.44	41.63

注: 表中数据为平均值±标准差,同一行数值上标不同字母者表示差异显著($P<0.05$)。

由表 4-11 可知,不同投喂率的实验中,随着投喂率的增加,氨基酸(TAA)总量、必需氨基酸(EAA)总量、鲜味氨基酸(DAA)总量均呈现出现先上升后下降的趋势,三者总量在投喂率为 60%时最高,分别为 16.56 g/100g, 6.81 g/100g, 6.05 g/100g,除投喂率 0%组,其余不同投喂率组之间的三者差异不显著($P>0.05$);必需氨基酸与氨基酸总量的比值随着投喂率的增加,表现为先下降后上升的趋势,其中投喂率为 0%时比值最大,为 43.76%。

表 4-11 不同投喂率组 1 龄杂交鲟肌肉中氨基酸的种类及含量 (鲜样) n=3 g/100g

氨基酸名称	投喂率 0%	投喂率 40%	投喂率 60%	投喂率 80%	投喂率 100%
天门冬氨酸 Asp	1.07±0.20 ^c	1.78±0.28 ^a	1.65 ±0.14 ^{ab}	1.42 ±0.17 ^{abc}	1.33±0.19 ^{bc}
苏氨酸 Thr	0.56±0.05 ^b	0.77±0.14 ^a	0.76±0.07 ^a	0.69±0.10 ^{ab}	0.62±0.07 ^{ab}
丝氨酸 Ser	0.53±0.03 ^c	0.73±0.12 ^a	0.72±0.05 ^{ab}	0.61±0.06 ^{abc}	0.59±0.06 ^{bc}
谷氨酸 Glu	1.89±0.26 ^a	2.21±0.52 ^a	2.51±0.14 ^a	1.91±0.39 ^a	2.16±0.25 ^a
甘氨酸 Gly	0.67±0.05 ^a	0.75±0.09 ^a	0.88±0.12 ^a	0.91±0.22 ^a	0.73±0.07 ^a
丙氨酸 Ala	0.80±0.06 ^b	0.87±0.09 ^{ab}	1.00±0.11 ^a	0.89±0.12 ^{ab}	0.89±0.06 ^{ab}
胱氨酸 Cys	0.10±0.01 ^b	0.12±0.01 ^{ab}	0.12±0.01 ^{ab}	0.11±0.01 ^{ab}	0.14±0.03 ^a
缬氨酸 Val	0.74±0.03 ^c	0.74±0.04 ^c	0.87±0.03 ^a	0.77±0.02 ^{bc}	0.82±0.04 ^{ab}
蛋氨酸 Met	0.24±0.01 ^b	0.27±0.05 ^b	0.28±0.02 ^b	0.26±0.03 ^b	0.37±0.04 ^a
异亮氨酸 Iso	0.78±0.02 ^b	0.81±0.06 ^b	0.89±0.01 ^a	0.78±0.03 ^b	0.82±0.03 ^{ab}
亮氨酸 Leu	1.30±0.04 ^b	1.35±0.10 ^{ab}	1.46±0.02 ^a	1.29±0.06 ^b	1.37±0.06 ^{ab}
酪氨酸 Tyr	0.51±0.01 ^a	0.55±0.03 ^a	0.55±0.05 ^a	0.49±0.02 ^a	0.56±0.06 ^a
苯丙氨酸 Phe	0.68±0.02 ^c	0.72±0.01 ^{bc}	0.79±0.02 ^a	0.72±0.03 ^{bc}	0.74±0.02 ^b
赖氨酸 Lys	1.50±0.04 ^c	1.55±0.05 ^{bc}	1.76±0.06 ^a	1.56±0.08 ^{bc}	1.65±0.06 ^b
组氨酸 His	0.51±0.01 ^c	0.54±0.01 ^{bc}	0.60±0.01 ^a	0.54±0.02 ^b	0.56±0.02 ^b
精氨酸 Arg	0.99±0.01 ^c	0.99±0.01 ^c	1.11±0.03 ^a	1.05±0.02 ^b	1.02±0.05 ^{bc}
脯氨酸 Pro	0.41±0.03 ^c	0.66±0.03 ^a	0.59±0.05 ^{ab}	0.57±0.13 ^{ab}	0.50±0.04 ^{bc}
TAA	13.29±0.75 ^b	15.37±1.03 ^a	16.56±1.59 ^a	14.57±0.59 ^{ab}	14.86±1.00 ^{ab}
EAA	5.81±0.19 ^b	6.20±0.55 ^{ab}	6.81±0.85 ^a	6.06±0.21 ^{ab}	6.39±0.34 ^{ab}
DAA	4.43±0.55 ^b	5.61±0.95 ^{ab}	6.05±0.37 ^a	5.14±0.65 ^{ab}	5.10±0.54 ^{ab}
EAA/TAA(%)	43.76	40.45	41.04	41.66	43.04

注: 表中数据为平均值±标准差,同一行数值上标不同字母者表示差异显著($P<0.05$)。

由表 4-12 可知, 饥饿不同周期再投喂的实验中, 随着饥饿周期的增加, 氨基酸(TAA)总量、必需氨基酸(EAA)总量、鲜味氨基酸(DAA)总量均呈现出现先下降后上升的趋势, 三者总量均在(F60, S0)组是最大, 分别为 17.10 g/100g, 6.56 g/100g, 6.76 g/100g, 其中(F60, S0)组与(F1, S1)组三者的差异不显著($P>0.05$); 必需氨基酸与氨基酸总量的比值随着饥饿周期的增加, 表现为先上升后下降的趋势, 其中(F3, S3)组的比值最大, 为 44.10%。

表 4-12 饥饿不同周期再投喂组 1 龄杂交鲟肌肉中氨基酸的种类及含量 (鲜样) n=3 g/100g

氨基酸名称	(F60,S0)	(F1,S1)	(F3,S3)	(F5,S5)
天门冬氨酸 Asp	2.21±0.28 ^a	1.72±0.18 ^b	1.12±0.23 ^c	1.24±0.15 ^c
苏氨酸 Thr	0.87±0.10 ^a	0.81±0.03 ^a	0.55±0.12 ^b	0.59±0.07 ^b
丝氨酸 Ser	0.80±0.16 ^a	0.70±0.01 ^{ab}	0.47±0.02 ^c	0.56±0.01 ^{bc}
谷氨酸 Glu	2.45±0.56 ^a	2.43±0.21 ^a	1.52±0.33 ^c	2.01±0.16 ^{ab}
甘氨酸 Gly	1.06±0.36 ^a	0.77±0.21 ^a	0.67±0.29 ^a	0.78±0.13 ^a
丙氨酸 Ala	1.04±0.15 ^a	0.87±0.17 ^{ab}	0.73±0.13 ^b	0.87±0.02 ^{ab}
胱氨酸 Cys	0.12±0.01 ^a	0.13±0.02 ^a	0.11±0.03 ^a	0.12±0.01 ^a
缬氨酸 Val	0.84±0.05 ^a	0.81±0.02 ^{ab}	0.71±0.10 ^b	0.78±0.03 ^{ab}
蛋氨酸 Met	0.22±0.04 ^b	0.36±0.05 ^a	0.20±0.02 ^b	0.37±0.04 ^a
异亮氨酸 Iso	0.85±0.07 ^a	0.82±0.03 ^a	0.73±0.11 ^a	0.79±0.04 ^a
亮氨酸 Leu	1.41±0.12 ^a	1.35±0.05 ^a	1.22±0.19 ^a	1.29±0.07 ^a
酪氨酸 Tyr	0.54±0.05 ^{ab}	0.55±0.03 ^a	0.46±0.06 ^b	0.52±0.02 ^{ab}
苯丙氨酸 Phe	0.76±0.05 ^a	0.74±0.03 ^a	0.68±0.09 ^a	0.71±0.03 ^a
赖氨酸 Lys	1.61±0.14 ^a	1.64±0.06 ^a	1.48±0.22 ^a	1.56±0.08 ^a
组氨酸 His	0.57±0.04 ^a	0.55±0.03 ^a	0.50±0.06 ^a	0.54±0.03 ^a
精氨酸 Arg	1.10±0.03 ^a	1.02±0.04 ^b	0.96±0.03 ^b	1.00±0.02 ^b
脯氨酸 Pro	0.65±0.20 ^a	0.56±0.09 ^a	0.49±0.08 ^a	0.57±0.13 ^a
TAA	17.10±0.76 ^a	15.84±0.78 ^a	12.62±0.79 ^c	14.31±0.26 ^b
EAA	6.56±0.41 ^a	6.54±0.16 ^a	5.58±0.76 ^b	6.08±0.27 ^{ab}
DAA	6.76±0.75 ^a	5.78±0.72 ^{ab}	4.04±0.42 ^c	4.90±0.27 ^{bc}
EAA/TAA(%)	38.44	41.41	44.10	42.49

注: 表中数据为平均值±标准差,同一行数值上标不同字母者表示差异显著($P<0.05$)。

4 讨论

本文采用 TPA 法测定了 3 种投喂策略的 1 龄杂交鲟肌肉质构特性, 结果表明, 不同的投喂策略对 1 龄杂交鲟的肌肉质构特性有不同程度的影响。不同投喂频率、投喂率的实验中, 随着投喂频率的增加, 硬度呈现先下降后上升的趋势, 而弹性、胶粘性、咀嚼性、内聚性这些指标呈现与硬度相反的趋势, 即先上升后下降的趋势。饥饿不同周期再投喂的实验中, 硬度方面, 3 种不同饥饿周期再投喂的处理方式与 (F60, S0) 即对照组相比均有所下降; 而弹性、胶粘性、咀嚼性、内聚性 4 个质构特性指标均是呈现先下降再上升的变化趋势。3 种投喂策略下的质构特性的整体变化呈现了一定程度的相似性, 可能原因是: 3 种投喂策略的本质均是限制 1 龄杂交

鲟的摄食量，即 3 种投喂方式的本质均是对 1 龄杂交鲟的生长起限食作用，并且不同的投喂策略梯度对应的投饵量差异不大。本研究中测定的质构特性均是采用的鲜鱼肉测定，而在实际的食用过程中，更多的食用熟鱼肉，因此再后面的研究中应设计测定熟鱼片的质构特性，以便为鲟鱼的加工提供更多的基础资料。硬度由结缔组织和肌原纤维共同决定，其中结缔组织主要由胶原蛋白构成(戴瑞彤等 2000)。有研究表明，结缔组织对硬度的影响高于肌原纤维对其的影响，如 Hagen 等(Hagen et al 2007)在大西洋庸鲽 (*Hippoglossus hippoglossus* L.)鱼片硬度的影响因素的研究中发现，胶原蛋白的交联度及其含量对硬度的影响显著高于肌纤维的密度对其硬度影响。Moreno 等(Moreno et al 2012)在大西洋鲑(*Salmo salar*)鱼片硬度的研究中发现，胶原蛋白的结构特性对硬度的影响高于胶原蛋白总量对硬度的影响。此外，大量研究表明鱼片的硬度与胶原蛋白的含量呈正相关性，胶原蛋白含量越高其硬度越大(McCormick 1999; Johnston 1999)。因此在以后的实验测定中，还应测定肌肉中的胶原蛋白的含量，综合肌纤维的密度、直径两者来综合分析 1 龄杂交鲟的肌肉的硬度决定因素。

本研究中，不同投喂策略对 1 龄杂交鲟的肌肉贮藏损失率有不同的程度的影响。不同投喂频率的实验中，随着投喂频率的增加，1 龄杂交鲟的肌肉贮藏损失率呈现先上升后下降的趋势，投喂频率为 4 次/d 时贮藏损失率最低，为 9.75%；不同投喂率的实验中，随着投喂率的增加，1 龄杂交鲟肌肉的贮藏损失率也呈现出先上升后下降的趋势，其中投喂率为 0% 和 100% 的贮藏损失率较低，分别为 11.00%、11.75%。饥饿不同周期再投喂的实验中，各组的贮藏损失率相对(F60, S0)组的变化不大，其中(F3, S3)组与(F60, S0)组的贮藏损失率相对较低，分别为 10.50%、10.25%。肌肉的贮藏损失率越低，表明肌肉的鲜活程度对水分的依赖性较低。不同投喂频率、不同投喂率、饥饿不同周期的肌肉贮藏损失率与肌纤维的密度呈现负相关性，但相关性不显著($P>0.05$)，其中不同投喂率的肌肉贮藏损失率与肌纤维的密度呈现极显著的负相关性($P<0.01$)；不同投喂频率、不同投喂率、饥饿不同周期的肌肉贮藏损失率与肌纤维的直径呈现正相关性，相关性也不显著($P>0.05$)，本研究结果与吴信生等(吴信生等 1998)、孙玉民和罗明(孙玉民和罗明 1993)的研究结果结果类似。

一般情况下肌纤维密度与肌纤维直径呈负相关。本研究中，不同投喂频率也呈现极显著的负相关(表 4-10)($P<0.01$)。而不同投喂率、饥饿不同周期再投喂的实验中，1 龄杂交鲟的肌纤维的密度和直径没有显著的相关性($P>0.05$)。李同树等(李同树等 2004)的研究结果表明，用肌纤维直径评定嫩度精确性高于肌纤维密度。研究表明，骨骼肌肌纤维越细，肌束内肌纤维越密，肉质也越嫩。Johnston 等(Johnston et al 2000)

对大西洋鲑的 2 个品系研究中发现,肌纤维密度越大肌肉硬度越大。前人已经在很多鱼类的试验中发现,肌纤维直径和鱼肉的硬度存在负相关性。本研究中,肌纤维的直径、密度和硬度也具有不同程度的相关性。不同投喂频率中,肌纤维的密度与硬度具有极显著的负相关性($P<0.01$),但肌纤维直径与硬度之间不具有显著的相关性($P>0.05$)。不同投喂率及饥饿不同周期再投喂的两个实验组中,肌纤维的直径和密度均与硬度之间不具有显著的相关性($P>0.05$)。肌纤维越细,密度越大的品种,其肌内脂肪的沉积量要多于肌纤维粗而密度低的品种,口感也越好(Rivero et al 1998)。本研究中,肌肉脂肪含量与肌纤维直径、密度、硬度的相关性(表 4-13、表 4-14、表 4-15),由表中可以看出,肌肉的脂肪含量与肌纤维的直径、密度、硬度 3 者均不具有显著的相关性($P>0.05$)。该实验结果可能与实验的周期较短有关,且该实验鱼在较低的投喂量下就能达到较好的生长效果,各种投喂策略间的脂肪含量差异不显著。肌纤维特征与肌肉品质有较大相关性,影响 1 龄杂交鲟肌纤维特征的具体因素对鲟鱼的养殖和食品加工的整个环节均有重要意义。肌纤维特征的变化是由多方面的因素引起的,结构的改变是为了适应功能的改变,肌纤维的变化也是为了适应功能的改变。肌肉纤维的特征,包括肌细胞的结构、营养成分以及影响肌纤维形成和生长的酶的种类和活力等方面,这些特征均受养殖品种、年龄、性别、肌肉部位以及营养水平、环境因素、运动方式等因素影响。因此,不同投喂策略的条件下 1 龄杂交鲟肌纤维的变化特征与与肌肉品质的关系还需做进一步的研究。

表 4-13 不同投喂频率肌肉品质各指标的相关性

相关系数	密度	硬度	直径
硬度	-0.741**		
直径	-0.675**	0.504	
脂肪	-0.145	0.293	0.124

注: **表示 $P<0.01$, 表示相关性极显著。

表 4-14 不同投喂率肌肉品质各指标的相关性

相关系数	密度	硬度	直径
硬度	0.229		
直径	-0.449	-0.088	
脂肪	0.262	0.062	-0.217

注: **表示 $P<0.01$, 表示相关性极显著。

表 4-15 饥饿不同周期再投喂肌肉品质各指标的相关性

相关系数	密度	硬度	直径
硬度	0.439		
直径	-0.200	0.445	
脂肪	0.231	0.388	0.219

注: **表示 $P < 0.01$, 表示相关性极显著

从表 4-7、表 4-8、表 4-9 中可见, 各组均从杂交鲟肌肉中检测出 17 种脂肪酸, 其中饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸均为 5 种, 多不饱和脂肪酸 7 种, 含量较高的有 16:0、18:1、20:5、22:6。杂交鲟肌肉中含有较高的 EPA 和 DHA 等多不饱和脂肪酸, 具有较高的营养价值, 可以作为人类饮食中多不饱和脂肪酸的重要来源。不同投喂策略的条件下, 饱和脂肪酸较不饱和脂肪酸的含量较少, 单不饱和脂肪酸较多不饱和脂肪酸的含量较少, 因此在杂交鲟肌肉中, 不饱和脂肪酸占有绝对的优势。当然, 不饱和脂肪酸的含量也不是越高越好(吴时敏 2001)。1 龄杂交鲟肌肉中较高含量的不饱和脂肪酸刚好可以对人们目前饮食中过量的饱和脂肪酸起到一定的平衡作用, 从而使整个膳食脂肪酸结构趋向合理。3 种投喂策略对 1 龄杂交鲟脂肪酸种类组成没有显著的影响, 但是不同的投喂策略对 1 龄杂交鲟脂肪酸的含量有不同程度的影响。不同投喂频率的实验中, 1 龄杂交鲟体内脂肪酸含量随着投喂频率的增加, 多不饱和脂肪酸及 EPA+DHA 的含量呈现先上升后下降的趋势, 但随着投喂频率的增加, 1 龄杂交鲟的脂肪酸总量及饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸的含量没有呈现出一直增加的趋势, 因此适宜的投喂次数不仅可以使 1 龄杂交鲟的生长速度达到最大化, 节约成本, 而且有利于鱼体营养成分的积累。适宜的投喂频率使 1 龄杂交鲟的脂肪酸含量较高的机理有待研究。不同投喂率的实验中, 饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸的变化规律和不同投喂频率类似, 投喂 1 次/d 与投喂率 40% 的投喂量相同, 说明投喂量相同时, 少量多次更有利于脂肪酸的积累。饥饿不同周期再投喂的实验中, (F1, S1) 组的饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸含量最高, 说明短暂饥饿再投喂的投喂方式可能更有利于脂肪酸的积累, 同时饥饿 1 d 投喂 1 d 的投喂方式也节约了人力, 饲料等成本, 是一种可以倡导的短时间养殖模式。

由表 4-10、表 4-11、表 4-12 可知, 1 龄杂交鲟肌肉中共测出 17 种常见的氨基酸(酸解处理, 色氨酸未测出)。从氨基酸的含量排序上看, 含量最高的氨基酸为谷氨酸, 含量一般在 1.52-2.61 g/100g, 其次含量较多的还有天冬氨酸、赖氨酸和亮氨

酸, 而胱氨酸含量最低, 这与鲮鱼(*Mugil cephalus*)(李来好等 2001)、鳊鱼(*Siniperca chuatsi*)(梁银铨等 1998)和黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)(黄峰等 1999)是相同的。动物蛋白质的鲜美在一定程度上取决于鲜味氨基酸的组成与含量(邴旭文等 2005), 而 1 龄杂交鲟肌肉中的鲜味氨基酸的含量为 32.60%-39.53%, 高于草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)(28.07%)、鲢鱼(*Hypophthalmichthys molitrix*)(26.54%)和鳙鱼(*Aristichthys nobilis*)(27.47%) (梁银铨等 1998)、圆斑星鲃(*Verasper variegatus*)(31.26%)(王远红等 2006), 低于黄鳍鲷(*Sparus latus*)(42.56%)(苏天凤等 2002)、大菱鲆(*Psetta maxima*)(40.04%)(雷霖霖等 2008), 说明 1 龄杂交鲟味道相对较为鲜美。不同投喂策略条件下, 1 龄杂交鲟肌肉中必需氨基酸占总氨基酸的比值(EAA/TAA)为 38.44%-43.76%。根据 FAO/WHO 的理想模式, 质量较好的蛋白质其组成氨基酸 WEAA/WTAA 为 40%左右。1 龄杂交鲟的肌肉氨基酸组成符合上述指标要求, 因此是一种质量较好的蛋白质来源。3 种投喂策略对 1 龄杂交鲟氨基酸种类组成没有显著的影响, 但是不同的投喂策略对 1 龄杂交鲟氨基酸的总量有一定的影响。随着投喂频率和投喂率的增加, 1 龄杂交鲟的氨基酸总量呈现出先上升后下降的趋势, 说明不同的投喂策略能够影响 1 龄杂交鲟体内氨基酸的储存量, 与李海燕等(李海燕等 2014) 不同的投喂率对异育银鲫的脂肪酸总量、必需氨基酸含量均无显著的影响的研究结果不同。饥饿不同周期再投喂的实验中, (F1, S1)组的氨基酸总量、必需氨基酸总量、鲜味氨基酸总量与(F60, S0)组之间无显著差异($P>0.05$), 因此在上市前的短时间内, 可以考虑采用饥饿 1 d 投喂 1 d 的养殖方法。

5 结论

1. 不同投喂频率对 1 龄杂交鲟生长, 肝脏消化酶, 肌肉质构特性、肌纤维结构、脂肪酸、氨基酸的影响: 投喂频率 3 次/d 的体重增长率最大, 其次为 2 次/d; 肝脏脂肪酶、淀粉酶活力较高为投喂频率 3 次/d、4 次/d。不同投喂投喂频率的肌肉质构特性中, 2 次/d 的硬度最低; 不同投喂频率肌纤维的密度与硬度具有极显著的负相关性($P < 0.01$); 肌肉贮藏损失率较低的为投喂频率 3 次/d、4 次/d; 投喂频率 3 次/d 的肌肉脂肪酸、氨基酸总含量最高。

2. 不同投喂率对 1 龄杂交鲟生长, 肝脏消化酶, 肌肉质构特性、肌纤维结构、脂肪酸、氨基酸的影响: 投喂率 100% 的体重增长率最大, 肝脏脂肪酶、淀粉酶活力较高为投喂频率 3 次/d、4 次/d; 不同投喂率肌纤维的密度与硬度之间呈不显著的正相关性($P > 0.05$); 肌肉贮藏损失率除投喂率 60% 外, 其余均较低; 投喂率 40%、60% 的肌肉脂肪酸、氨基酸总含量较高。

3. 饥饿不同周期再投喂对 1 龄杂交鲟生长, 肝脏消化酶, 肌肉质构特性、肌纤维结构、脂肪酸、氨基酸的影响: 饱食组(F60, S0)的体重增长率最大, 其余 3 个组的体重增长率差异不大; 饱食组(F60, S0)的脂肪酶、淀粉酶的活力最高; 肌纤维的密度与硬度之间具有不显著的正相关性($P > 0.05$); 肌肉贮藏损失率除(F5, S5)组外, 其余均较低; 脂肪酸含量最高的是(F1, S1)组, 其次是(F60, S0)组, 氨基酸含量最高的(F60, S0)组, 其次是(F1, S1)组。

本研究一共采用了 3 种投喂方式养殖, 记录、检测了生长指标, 肝脏消化酶指标, 肌肉质构特性指标、肌纤维相关指标、氨基酸、脂肪酸共 6 项指标, 摸索 1 龄杂交鲟的最佳投喂方式, 探究养殖方式是否可以影响 1 龄杂交鲟的肉质。综合上述指标得出, 养殖方式会影响 1 龄杂交鲟的肉质, 其中 2 次/d、投喂率 60%、(F1,S1) 3 组的肌肉硬度较小, 可以加工成肉糜、鱼丸等适合老人、儿童的食品; 3 次/d、投喂率 80% 2 组的肌肉硬度较大, 可以加工成一些适合成人食用的食品。结合养殖效益, 营养成分等相关因素, 建议规格为 1300 g 左右的 1 龄杂交鲟采用每天投喂 2 次, 每次投喂率为 100% 的投喂方式; 上市前的短时间内可采用饥饿 1 d 投喂 1 d 的投喂方式。

参考文献

1. 邴旭文,王进波. 池养南美蓝对虾和南美白对虾肌肉营养品质的比较. 水生生物学报, 2005, 30(4): 453-458.
2. 陈光凤. 欧洲鲟鱼养殖与开发现状概述. 淡水渔业, 1995, 25(3): 29-31.
3. 陈进树. 鱼类消化酶研究进展. 生物学教学, 2009, 12: 4-5.
4. 崔超, 禹娜, 龙丽娜, 曹阳, 黎明, 李二超, 陈立侨. 投饲频率对俄罗斯鲟幼鱼生长、消化酶活力和氨氮排泄的影响. 海洋渔业, 2014, 01: 35-43.
5. 崔超. 光照、饲料糖水平和投饲策略对俄罗斯鲟生长影响的研究[博士学位论文]. 上海: 华东师范大学, 2014.
6. 崔弈波, 陈少莲, 王少梅. 温度对草鱼能量收支的影响. 海洋与湖沼, 1995, 26(2): 169-174.
7. 戴瑞彤, 杨龙江, 吴国强. 肉类质量的研究进展. 肉类研究, 2000, 02: 11-13.
8. 杜海明. 投喂策略对鳃幼鱼摄食、生长及体成分的影响[博士学位论文]. 武汉: 华中农业大学, 2007.
9. 高露姣, 陈立侨, 宋兵. 饥饿和补偿生长对施氏鲟幼鱼摄食、生长和体成分的影响. 水产学报, 2004a, 28(3): 279-284.
10. 高露姣, 陈立侨, 赵晓勤, 庄平. 施氏鲟幼鱼的饥饿和补偿生长研究——对消化器官结构和酶活性的影响. 中国水产科学, 2004b, 05: 413-419.
11. 高奇. 凝胶型酸乳的制备及其质构流变特性研究[博士学位论文]. 无锡: 江南大学, 2006.
12. 郭海军, 滕利平, 李耕. 饥饿和再投喂对西伯利亚鲟生化组成的影响. 大连水产学院学报, 2009, 24(增刊): 125-126.
13. 郭文学, 尹家胜, 张永泉, 佟广香, 白庆利. 哲罗鱼稚鱼最佳投喂策略. 应用生态学报, 2013, 11: 3265-3272.
14. 郝玉江, 张国红, 贾艳菊, 杨振才. 种群密度对鱼类影响的研究概述. 河北师范大学学报(自然科学版), 2003, 24(4): 397-40.
15. 胡亚云. 质构仪在食品研究中的应用现状. 食品研究与开发, 2013, 34(11): 101-104.
16. 黄峰, 严安生, 熊传喜. 黄颡鱼的含肉率及鱼肉营养价值. 淡水渔业, 1999, 29(10): 3-6.
17. 黄莹, 朱晓鸣, 解绶启, 雷武, 杨云霞, 韩冬. 西伯利亚鲟在高温下饥饿后的补偿生长. 水生生物学报, 2010, 34(6): 1113-1121.
18. 纪文秀, 王岩, 厉珀余. 不同投喂频率对网箱养殖点带石斑鱼生长、食物利用及氮磷排放的影响. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2011, 37(4): 432-438.
19. 雷霖霖, 梁萌青, 刘新富, 孟振. 大菱鲆营养成分与食用价值研究概述. 海洋水产研究, 2008, 29(4): 112-115.

20. 李耕, 姜志强, 韩毅颖, 张力, 潘玉洲. 饥饿和再投喂对西伯利亚鲟摄食和生长的影响. 大连水产学院学报, 2009, 24(增刊): 121-124.
21. 李海燕, 朱晓鸣, 韩冬, 杨云霞, 金俊琰, 解绶启. 上市前限喂对池塘养殖异育银鲫生长及品质的影响. 水生生物学报, 2014, 03: 525-532.
22. 李来好, 陈培基, 杨贤庆, 李刘冬, 吴燕燕, 刁石强. 鲮鱼营养成分的研究. 营养学报, 2001, 23(1): 91-93.
23. 李思忠. 中国鲟形目鱼类地理分布的研究. 动物学杂志, 1987, 22(4): 35-40.
24. 李同树, 刘凤民, 尹逊河, 廉爱玲, 唐辉, 曲江鹏. 鸡肉嫩度评定方法及其指标间的相关分析. 畜牧兽医学报, 2004, 02: 171-177.
25. 李伟杰. 俄罗斯鲟投喂策略及性成熟规律研究[博士论文]. 上海: 上海海洋大学, 2015.
26. 梁银铨, 崔希群, 刘友亮. 鳊肌肉生化成分分析和营养品质评价. 水生生物学报, 1998, 22(4): 386-388.
27. 刘家寿. 鳊和乌鳢幼鱼生长及能量收支的比较研究[博士论文]. 北京: 中国科学院大学, 1998.
28. 楼宝, 毛国民, 骆季安, 辛俭, 陈雪昌, 史海东. 饲喂频率对黑鲟生长及体生化成分的影响. 海洋水产研究, 2006, 06: 19-24.
29. 鲁雪报, 肖慧, 张德志, 朱欣, 饶军, 胡亚平. 中华鲟幼鱼循环饥饿后的补偿生长和体成分变化. 淡水渔业, 2009, 03: 64-67+63.
30. 骆季安, 楼宝, 史会来, 毛国民, 辛俭, 郑代明. 饲喂频率对日本黄姑鱼生长及鱼体生化成分的影响. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2007, 01: 37-40.
31. 马爱军, 陈四清, 雷霖霖, 刘新富, 王印庚. 大菱鲆鱼体生化组成及营养价值的初步探讨. 海洋水产研究, 2003, 24(1): 11-14.
32. 钱雪桥, 崔奕波, 熊邦喜. 摄食水平和营养史对鱼类生长和活动的影响. 上海水产大学学报, 1998, 7(增刊): 240-245.
33. 强俊, 王辉, 李瑞伟, 彭俊. 饲喂频率对奥尼罗非鱼仔稚鱼生长、体成分和消化酶活力的影响. 广东海洋大学学报, 2009, 04: 79-83.
34. 乔秋实, 蒋广震, 刘文斌, 夏薇, 刘兆普. 周期性饥饿再投喂对建鲤(*Cyprinus carpio* var. Jian) 生长、体组成、消化酶的影响. 海洋与湖沼, 2011, 42 (3): 367-373.
35. 邱泽锋, 张良, 曾伟才, 简卓英, 高加龙, 刘书成. 冷冻贮藏对凡纳滨对虾肌肉质构特性的影响. 南方水产科学, 2011, 05: 63-67.
36. 任华, 蓝泽桥, 孙宏懋, 答和庆. 投喂次数对 1 龄杂交鲟幼鱼摄食率及生长的影响. 粮食与饲料工业, 2012, 09, 50-52.
37. 石奇立, 王锡昌. 1 龄杂交鲟肌肉与软骨的营养成分分析及品质评价. 食品工业科技, 2013, 16: 338-341.

38. 史会来, 楼宝, 骆季安, 郑代明, 毛国民, 辛俭. 不同投饲率对日本黄姑鱼幼鱼生长及鱼体生化成分的影响. 海洋渔业, 2007, 01: 53-56.
39. 四川长江水产资源调查组. 长江鲟鱼类生物学及人工繁殖研究. 成都: 四川科技出版社, 1988, 1-284.
40. 宋国, 彭士明, 孙鹏, 王建钢, 尹飞, 施兆鸿. 饥饿与再投喂及投喂频率对条石鲷幼鱼生长和消化酶活力的影响. 中国水产科学, 2011, 06: 1269-1277.
41. 苏天凤, 吕俊霖, 江世贵. 黄鳍鲷肌肉生化成分分析和营养品质评价. 湛江海洋大学学报, 2002, 22(6): 10-14.
42. 苏云河, 孙辉. 俄罗斯鲟(母本)与小体鲟(父本)杂交实验. 养殖技术顾问, 2004, 08: 40.
43. 孙大江, 曲秋芝, 张颖, 马国军, 王念民. 中国的鲟鱼养殖. 水产学杂志, 2011, 04: 67-70.
44. 孙晓锋, 冯健, 陈江虹, 罗波, 赵海祥, 赵华林. 投喂频率对尼罗系吉富罗非鱼幼鱼胃排空、生长性能和体组成的影响. 水产学报, 2011, 11: 1677-1683.
45. 孙玉民, 罗明. 畜禽肉品学. 济南: 山东科学技术出版社, 1993.
46. 唐国盘. 中华鲟胚胎发育和早期生活史阶段耗氧率的研究[博士论文]. 武汉: 华中农业大学, 2005.
47. 田希文, 于信勇, 苗毓琴, 符先飞, 曹德福, 周长海, 曲兴才, 代红心, 李国芳. 黑龙江鳊及黑龙江鲤(♀)×黑龙江鲟(♂)的人工繁殖. 淡水渔业, 1999, 12: 18-20.
48. 王吉桥, 蒲红宇, 赵德树, 张景全. 网箱养鲤中适宜投饲率的研究. 水产科学, 1994, 02: 20-23.
49. 王念民, 杨贵强, 彭涛, 孙大江, 王常安. 三种鲟鱼及其杂交种肌肉营养成分分析. 吉林农业大学学报, 2010, S1: 53-56.
50. 王武, 周锡勋, 马旭洲, 李伟纯. 投喂频率对瓦氏黄颡鱼幼鱼生长及蛋白酶活力的影响. 上海水产大学学报, 2007, 03: 224-229.
51. 王远红, 陈四清, 吕志华, 高天祥. 圆斑星鲃的营养成分分析. 营养学报, 2006, 28(3): 271-272.
52. 王正凯, 刘海洋, 陈波. 鲟鱼的杂交与生长对比试验. 渔业现代化, 2005, 1: 10-11.
53. 危起伟, 李罗新, 杜浩, 张晓雁, 熊伟, 张辉, 沈丽, 吴金明, 张书环, 王成友, 李创举, 柴毅, 李奕慰, 乔新美, 刘志刚, 高宇鹏, 甘芳. 中华鲟全人工繁殖技术研究, 中国水产科学, 2013, 01: 1-11.
54. 危起伟, 杨德国. 中国鲟鱼的保护、管理与产业化. 淡水渔业, 2003, 03: 3-7.
55. 吴时敏. 脂肪酸的膳食平衡研究进展. 山东食品科技, 2001, 1: 33-34.
56. 吴文化, 曲秋芝, 邱岭泉, 马国军, 孙大江, 王斌, 孙慧武, 夏永涛. 施氏鲟与1龄杂交鲟幼鱼生长对比试验. 水产学杂志, 1999, 01: 34-38.

57. 吴信生, 陈国宏, 陈宽维, 王克华, 常洪, 童海兵, 吴兆林, 李碧春, 张学余. 中国部分地方鸡种肌肉组织学特点及其肉品质的比较研究. 江苏农学院学报, 1998, 04: 52-58.
58. 吴修东, 赵谋明, 赵强忠, 马浩. 明胶冻力和添加量对明胶软糖品质影响的研究. 现代食品科技, 2012, 04: 420-423.
59. 夏建新, 王海滨, 徐群英. 肌肉嫩度仪与质构仪对燕麦复合火腿肠测定的比较研究. 食品科学, 2010, (3): 145-149.
60. 肖东, 林浩然. 鱼类摄食和生长的神经内分泌调控途径研究进展. 中国水产学, 2000,7(3): 102-106.
61. 徐革锋, 刘洋, 李永发, 牟振波. 不同投喂率对细鳞鲑(*Brachymystax lenok*)幼鱼生长及体成分的影响. 海洋与湖沼, 2013, 02: 433-437.
62. 徐奇友. 鲟鱼营养与饲料研究进展. 饲料工业, 2014, 24: 1-6.
63. 薛敏, 解缓启, 崔奕波, 钱雪桥. 鱼类促摄食物物质研究进展. 水生生物学报, 2003, 27(6): 639-643.
64. 薛莹, 金显仕. 鱼类食性和食物网研究评述. 海洋水产研究, 2003, 24(2): 76-87.
65. 张浩, 李雪琴. 质构仪测定小麦面筋的硬度与弹性. 现代食品科技, 2013, 29(4): 903-906.
66. 张伟敏, 钟耕, 王炜. 单不饱和脂肪酸营养及其生理功能研究概况. 粮食与油脂, 2005, 3: 13-15.
67. 周显青, 王云光, 王学锋, 张玉荣. 质构仪对米饭适口性的评价研究. 粮油食品科技, 2013, 05: 47-51.
68. 周小理, 周一鸣, 赵琳. 奶糖质构性能评价方法的研究. 食品工业 2008, 6: 45-46.
69. 朱昱哲, 王静凤, 毛磊, 石迪, 王玉明, 薛长湖. 高含量 DHA/EPA 甘油三酯鱼油改善脂肪肝大鼠脂质代谢作用的研究. 营养学报, 2013, 04: 332-337.
70. Ali M, Nicieza A, Wootton RJ. Compensatory growth in fishes: a response to growth depression. *Fish*, 2003, 4(2): 147-190.
71. Amiya N, Mizusawa K, Kobayashi Y, Yamanome T, Amano M, Takahashi A. Food Deprivation Increases the Expression of the Prepro-Orexin Gene in the Hypothalamus of the Barlin Flounder *Verasper moser*. *Zool Sci*, 2012, 29(1): 43-48.
72. Biswas G, Thirunavukkarasu AR, Sundaray JK, Kailasam M. Optimization of feeding frequency of Asian seabass (*Lates calcarifer*) fry reared in net cages under brackishwater environment. *Aquaculture*, 2010, 305(1-4): 26-31.
73. Bobe G, Hammond EG, Freeman AE, Lindberg GL, Beitz DC. Texture of butter from cows with different milk fatty acid compositions. *J Dairy Sci*, 2003, 86(10): 3122-3127.
74. Brett JR. Environmental factors and growth. New York: Academic Press, 1979: 599-675.

75. Chen L, Opara UL. Texture measurement approaches in fresh and processed foods a review. *Food Res Int*, 2013, 51(2): 823-835.
76. Deng DF, Koshio S, Yokoyama S, Bai SC, Shao QJ, Cui Y, Hung SSO. Effects of feeding rate on growth performance of white sturgeon(*Acipenser transmontanus*)larvae. *Aquaculture*, 2003, 217(1/4): 589-598.
77. Dobson S, Holmes R. Compensatory growth in the rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *J Fish Biol*, 1984, 25(6): 649-656.
78. Greer WM, Pull GA. A survey of red and white muscle in marine fish. *J Fish Biol*, 1975 (7): 295-300.
79. Hagen Ø, Solberg C, Sirnes E, Johnston IA. Biochemical and structural factors contributing to seasonal variation in the texture of farmed Atlantic halibut(*Hippoglossus hippoglossus L*)flesh. *J Agr Food Chem*, 2007, 55 (14): 1803-1808.
80. Harlioglu AG, Aydin S, Yilmaz Ö. Fatty acid, cholesterol and fat-soluble vitamin composition of wild and captive freshwater crayfish (*Astacus leptodactylus*). *Food Sci & Tech Int*, 2012, 18(1): 93-100.
81. Hofer R, Krewedl G, Koch F. An energy budget for an omnivorous cyprinid: Rutilus. *Hydrobiologia*, 1985, 122:53-59.
82. Imsland AK, Gunnarsson S. Growth and maturation in Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) in response to different feed rations. *Aquaculture*, 2011, 318(3-4): 407-411.
83. Infante R, Meneses C, Crisosto CH. Preconditioning treatment maintains taste characteristic perception of ripe September Sun' peach following cold storage. *Int J Food Sci Tech*, 2009, 44: 1011-1016.
84. Jezierska B. The effect of various type of food on the growth and chemical composition of the body of perch in laboratory conditions. *Pol Arch Hydrobiol*, 1974, 21: 467-479.
85. Jobling M, Meloy O, Dos SJ, Christiansen B. The compensatory growth response of the Atlantic cod: effects of nutritional history. *Aquaculture Int*, 1994, 2(2): 75-90.
86. Jobling M. Effect of feeding frequency on food in take and growth of Arctic charr, *Salvelinus alpinus L*. *J Fish Biol*, 1983, 23: 177-185.
87. Johnson MW, Rooker JR, Gatlin DM, Holt GJ. Effects of variable ration levels on direct and indirect measures of growth in juvenile red drum (*Sciaenops ocellatus*). *J Exp Mar Bio & Eco*, 2002, 274(2): 141-157.
88. Johnston IA, Alderson R, Sandham C, Dingwall A, Mitchell D, Selkirk C, Nickell D, Baker R, Robertson B, Whyte D, Springate J. Muscle fibre density in relation to the colour and texture of smoked Atlantic salmon (*Salmo salar L.*) . *Aquaculture*, 2000 (189): 335-349.

89. Johnston IA. Muscle development and growth: potential implications for flesh quality in fish. *Aquaculture*, 1999, 177: 99-115.
90. Kamalzadeh A, Koops W, Van Bruchem J, Bangma G. Effect of duration of feed quality restriction on body dimensions in lambs. *J Anim Sci*, 1998, 76(3): 735-742.
91. Kiessling A, Storebakken T, Asgard T, Johansson L, Kiessling K H. Changes In the structure and function of the epaxial muscle of Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in relation to ration and age. I growth dynamics. *Aquaculture*, 1991 (93): 335-356.
92. Kohn TA, Kritzinger B. Characteristics of impala (*Aepyceros melampus*) skeletal muscles. *Meat Science*, 2005(69): 277-282.
93. Küçük E, Aydın İ, Polat H, Eroldoğan OT, Şahin T. Effect of feeding frequency on growth, feed efficiency and nutrient utilization of juvenile flounder. *Aquaculture International*, 2014(No.2): 723-732.
94. Lawless HT, Heymann HH. Sensory evaluation of food: Principles and practices. New York: Chapman and Hall, 1998.
95. Lovshinb FKAL. Formulated Diets, Feeding Strategies, and Cannibalism Control during Intensive Culture of Juvenile Carnivorous Fishes. *Rev Fish Sci*, 1999(No.1): 1-22.
96. Maltin CA, Warkup CC, Matthews KR, Grant CM, Porter AD, Delday MI. Pig muscle fibre characteristics as a source of variation in eating quality. *Meat Science*, 1997 (47): 237-248.
97. McCormick RJ. Extracellular modification to muscle collagen: implication for meat quality. *Poultry Science*, 1999, 78: 785-791.
98. Mehner T, Wieser W. Energetics and metabolic correlates of starvation in juvenile perch (*Perca fluviatilis*). *J Fish Biol*, 1994, 45(2): 325-333.
99. Moreno HM, Montero MP, Gómez-Guillén MC, Fernández-Martín F, Mørkøre T, Borderías J. Collagen characteristics of farmed Atlantic salmon with firm and soft fillet texture. *Food Chemistry*, 2012, 134: 678-685.
100. Nag AC. Ultrastructure and adenosine triphosphatase activity of red and white muscle fibers of the caudal region of a fish, *Salmo gairdneri*. *Cell Biol*, 1972(55): 42-57.
101. Oberg EW, Faulk CK, Fuiman LA. Optimal dietary ration for juvenile pigfish, *Orthopristis chrysoptera*, grow-out. *Aquaculture*, 2014, 433: 335-339.
102. Paul A, Paul J, Smith R. Compensatory growth in Alaska yellowfin sole, *Pleuronectes asper*, following food deprivation. *J Fish Biol*, 1995, 46(3): 442-448.
103. Peragón J, Ortega - García F, Barroso JB, Delaahiguera M, Lupiáñez JA. Alterations in the fractional protein turnover rates in rainbow trout liver and white muscle caused by an amino acid based diet and changes in the feeding frequency 1. *Toxicol Environ Chem*, 1992, 36(3-4): 217-224.

104. Rivero JL, Talmadge RJ, Edgerton VR. Fibre size and metabolic properties of myosin heavy chain-based fibre types in rat skeletal muscle. *J Muscle Res Cell M*, 1998(19): 733-742.
105. Rolle L, Siret R, Segade SR, Maury C, Gerbi V, Jourjon F. Instrumental texture analysis parameters as markers of table grape and wine grape quality: A review. *Am J Enol Viticult*, 2012, 63(1): 11-28.
106. Ryan W, Williams I, Moir R. Compensatory growth in sheep and cattle. 1. growth pattern and feed intake. *Crop Pas Sci*, 1993, 44(7): 1609-1621.
107. Salas-Leiton E, Anguis V, Martín-Antonio B, Crespo D, Planas JV, Infante C, Cañavate JP, Manchado M. Effects of stocking density and feed ration on growth and gene expression in the Senegalese sole (*Solea senegalensis*): Potential effects on the immune response. *Fish Shellfish Immun*, 2010, 28(2): 296-302.
108. Silva CR, Gomes LC, Brandão FR. Effect of feeding rate and frequency on tambaqui (*Colossoma macropomum*) growth, production and feeding costs during the first growth phase in cages. *Aquaculture*, 2007, 264(1-4): 135-139.
109. Steffens W, Jahnichen H, Fredrich F. Possibilities of sturgeon culture in Central Europe. *Aquaculture*, 1990, 89: 101-122.
110. Summer JD, Spratt D, Atkinson JZ. Restricted feeding and compensatory growth for broilers. *Poultry Science*, 1990, 69: 1855-1861.
111. Uys W, Hecht T, Walters M. Changes in digestive enzyme activities of *Clarias gariepinus* (Pisces: Clariidae) after feeding. *Aquaculture*, 1987, 63(1-4): 243-250.
112. Wang Y, Kong LJ, Li K, Bureau DP. Effects of feeding frequency and ration level on growth, feed utilization and nitrogen waste output of cuneate drum (*Nibeia miichthioides*) reared in net pens. *Aquaculture*, 2007, 271(1-4): 350-356.
113. Wbotton RJ, Evans GW. Cost of egg Production in the shreepined stikelebaek. *J Fish Biol*, 2000, 8: 385-395.
114. Wilson P, Osbourn D. Compensatory growth after undernutrition in mammals and birds. *Biol Rev* 1960, 35(3): 324-361.

附录 攻读学位期间参加的科学实践

- (1)2014.11 宜昌中华鲟自然产卵调查
- (2)2015.3-6 全国大鲵资源调查
- (3)2015.7 长江中游渔业资源调查
- (4)2015.5-2016.5 长江上游渔业资源监测
- (5)2015.11 八种珍贵现生鲟鱼图谱及介绍
- (6)2015.11-12 洪湖中华鲟自然产卵调查

致谢

时间匆匆而过，研究生的学习生活悄然结束，两年的学习工作虽然与我当时进入研究生学习时的初衷不同，但也正是这样让我感受到了另一番生活，有快乐也有痛苦，有收获也有失去。

大学刚毕业我就来到了快节奏的武汉，刚来到这个陌生的城市，危起伟老师就给予了我很大的关心，生活、科研均得到了危老师的关怀。论文开题、实验工作的开展及最后论文的书写，危老师总是在百忙之中抽出时间帮我修改文字上的错误，指点我思想上的一些误区。感谢敬爱的危老师！

实验工作的顺利进行，首先要感谢濒危鱼类保护组给我提供的实验平台，感谢公益性行业(农业)科研专项 201203086 提供的资金支持。同时需要感谢许多人的帮助，包括课题组的刘志刚老师、周琼老师、张书环老师、吴金明老师，师兄张磊，同门邸军等；太湖养殖场的乔新美老师、罗江师兄、吴金平师兄等；本科老师邹远超老师、覃川杰老师等；特别感谢同门褚志鹏、黄君，营养组武文一师兄，质检中心喻亚丽老师！最后感谢课题组师兄：叶欢师兄、邵俭师兄、谢晓师兄、霍来江师兄、李君轶师兄、郭威师兄、杨焕超师兄；师姐：杨晓鸽师姐、蔺丹青师姐、汪珂师姐、辛苗苗师姐、席萌丹师姐、宋明月师姐、颀璇师姐；同门：邸军、翟晴；师弟：向昊、杨俊林你们的2年陪伴，是你们让我收获了青春。

最后特别感谢我的父母，爸妈对我的学习是无比坚定的支持！谢谢爸爸妈妈！

颀江

2016年4月20日于长江水产研究所