



河南师范大学

NENAN NORMAL UNIVERSITY

厚德博学·止于至善

鱼类肌肉质构变异的生物学基础

The biological basis of variability in the
texture of fish flesh

2019年3月31日

宋东莹





Mendeley

What is Mendeley?

Q Search Create a free account Sign In

BOOK CHAPTER

The biological basis of variability in the texture of fish flesh

6
Citations2
Readers

Johnston I

Elsevier Ltd., (2008), 465-489

DOI: 10.1533/9781845694586.5.465

- Johnston, I.A. (2008). The biological basis of variability in the texture of fish flesh. *In Improving Seafood Products for the Consumer*, (Elsevier Ltd.), pp. 465–489.



报告目录

01

Introduction

02

Muscle texture

03

Organisation, structure and biochemistry of fish myotomes

04

Cellular and molecular mechanisms of muscle growth

05

Relationship between muscle structural traits and texture

06

Proteolytic enzymes and post-mortem softening of the flesh

07

Environmental influences on muscle structural traits

08

Heritability of muscle structural traits

09

Future trends



报告目录

01

Introduction

02

Muscle texture

03

Organisation, structure and biochemistry of fish myotomes

04

Cellular and molecular mechanisms of muscle growth

05

Relationship between muscle structural traits and texture

06

Proteolytic enzymes and post-mortem softening of the flesh

07

Environmental influences on muscle structural traits

08

Heritability of muscle structural traits

09

Future trends



Introduction

- 生肉的**硬度 (Firmness)** 是鱼肉接受程度的关键因素，软肉 (Soft flesh) 减低了消费者的接受程度，同时在加工时会产生很多的问题。
- 据估计，在二次加工过程中，大西洋鲑的软肉和其引起的肌肉多孔现象，占品质降低原因的**40%**左右。
- 因此，**遗传选育**、**养殖条件**的控制和**屠宰方式**可能能够使鱼类肌肉质构得到优化。
- 本章节拟从**细胞**、**生化**和**遗传**等因素等方面探讨影响鱼类肌肉质构变化。



报告目录

01

Introduction

02

Muscle texture

03

Organisation, structure and biochemistry of fish myotomes

04

Cellular and molecular mechanisms of muscle growth

05

Relationship between muscle structural traits and texture

06

Proteolytic enzymes and post-mortem softening of the flesh

07

Environmental influences on muscle structural traits

08

Heritability of muscle structural traits

09

Future trends



Muscle texture

- 肌肉的质构可以通过经过培训的品尝团队和多种仪器测定。
- **感官品评** (Sensory evaluation) : Mouthfeel, Chewiness, Juiciness, Dryness, and Firmness.
- **仪器测定** (Instrumental techniques) : Puncture, Compression, Shear and Tensile techniques





Muscle texture

➤ 感官品评

- 优点：直接反应消费者的体验
- 缺点：复杂、劳动量大、昂贵

➤ 仪器测定

- 优点：精确、重复性、可比性
- 缺点：测定方法不统一

哪种仪器测定方法能够多大程度反应感官评价或者机械加工的行为，在很大程度上仍未可知。



Muscle texture

- 不同的胴体僵硬阶段（pre-rigor, rigor and post-rigor states）肌肉质构不同，因此测试时间必须要认真严格控制，特别是不同的测试方法尤为如此。
- 在冰上储藏几天后，死后的鱼肉会软化。 Post-mortem softening of fish flesh occurs after storage on ice for several days. ([Ando et al., 1991](#); [Hatae et al., 1985](#); [Sigurgisladottir et al., 2001](#)).
- 通常情况下，长期储存的鱼肉，甚至在冰点以下的温度，会导致硬度的增加，最终达到消费者无法接受的程度。



Muscle texture

- 鱼类肌肉的质构会随着屠宰的方法和死前挣扎的程度而改变，这些会导致肌肉内相关代谢的变化，包括pH的降低。
(Kiessling et al., 2004).





Muscle texture

- 控制影响鱼类肌肉质构外源的因素 (Extrinsic factors) , 包括, 养殖条件、屠宰方法、酮体僵硬和储存时间, 肌肉质构在不同的个体之间仍然出现显著的差异, 这是由于**肌肉内在生物学特性**的不同 (Fauconneau et al., 1995; Bugeon et al., 2003) 。





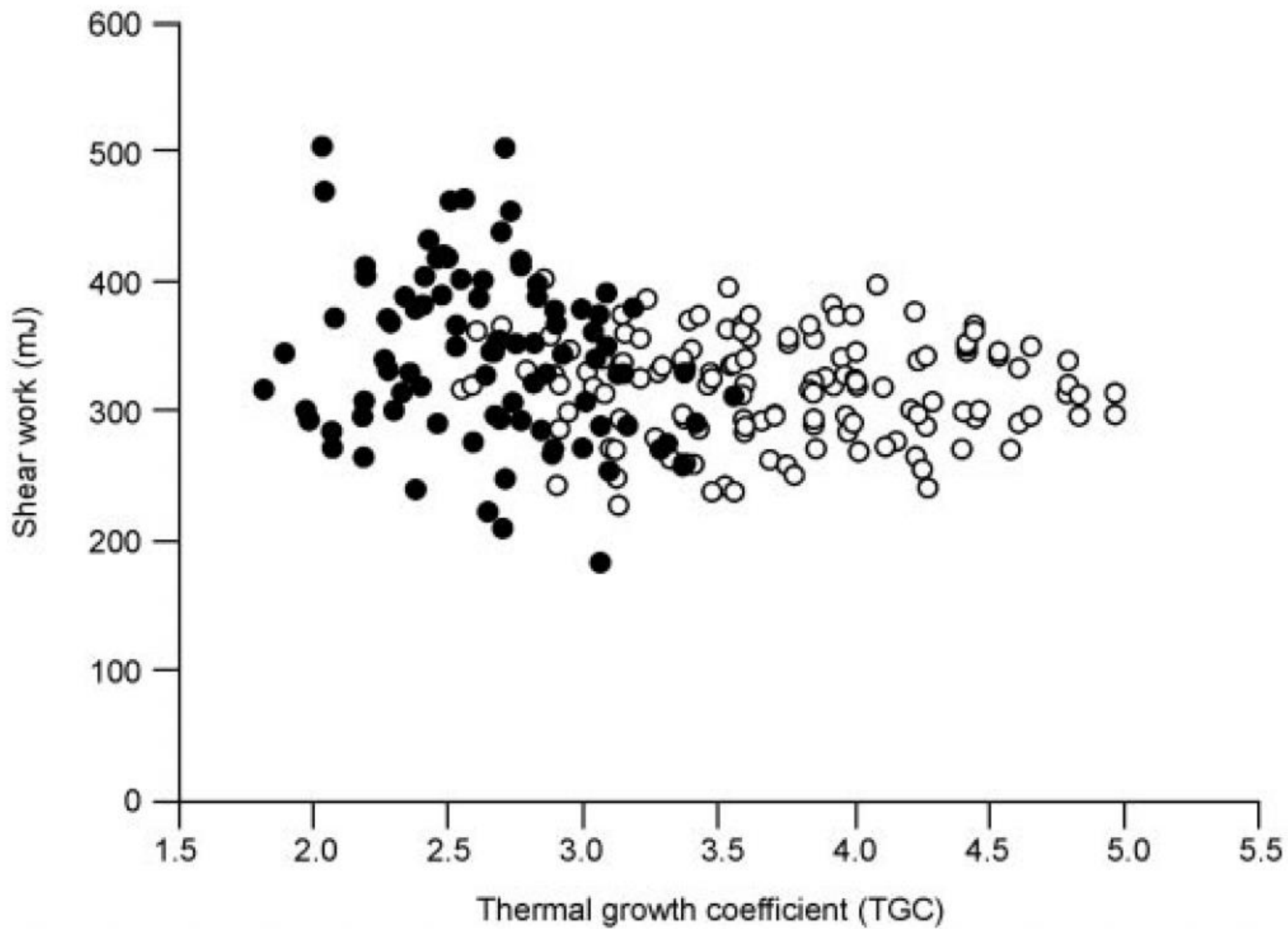
Muscle texture

- 生物学特性对生肉、烟熏和烹调的肌肉质构影响不一样。
- 生肉和烟熏肉制品中，肌肉纤维和相关蛋白、结缔组织、脂肪、pH和水含量都能影响肌肉质构，但是，鱼肉烹调后，**结缔组织不再有显著的作用**了，这与牛肉、羊肉和猪肉的情况形成了明显的对比。
- 宰后的软化也与肌肉蛋白水解酶和其抑制因子含量内在不同有关。



Muscle texture

- 大西洋鲑肌肉质构特性随着身体尺寸的增加而下降，沿着躯体从头至尾部方向而增加，两者均反应肌肉结构组成不同，导致肌肉质构特性不同。
- 质构因季节而异，常与性成熟有关。
- Johnston 等提出一个假说：**高的生长速率**提高对大西洋鲑软肉和多孔性的影响。





报告目录

01

Introduction

02

Muscle texture

03

**Organisation, structure and
biochemistry of fish myotomes**

04

Cellular and molecular
mechanisms of muscle growth

05

Relationship between muscle
structural traits and texture

06

Proteolytic enzymes and post-
mortem softening of the flesh

07

Environmental influences on
muscle structural traits

08

Heritability of muscle
structural traits

09

Future trends



Organisation, structure and biochemistry of fish myotomes

- **慢肌/红肌**：持续游泳，含有较高的肌红蛋白（Myoglobin）浓度而色泽较深，有与需氧组织相关的足量的血液供应。
- **快肌/白肌**：快速游泳，鱼片可食用部分的大部分（80-95%）。每条肌纤维（Muscle fibre）含有成百上千条肌原纤维（Myofibrils）。





Organisation, structure and biochemistry of fish myotomes

- 仅仅表面的快肌和慢肌纤维同鱼类纵轴平行外，每个肌纤维具有复杂的方向。
- 在相邻的肌节之间，大多数快肌呈现螺旋的样式（Helical pattern），并随着躯干的变化而变化。
- 肌纤维通过短腱（Short tendons）插入肌筋膜（Myocommatal sheets）胶原窝（Collagenous sockets）。
- 肌肉中的细胞外基质（ECM）结构复杂，由胶原蛋白、非胶原糖蛋白和蛋白聚糖组成。



Organisation, structure and biochemistry of fish myotomes

- 大多数胶原蛋白位于分离的单个肌节的肌群中。此外，一个复杂的胶原网络围绕着肌纤维束（肌膜周围）和单个肌纤维束（肌膜内）。
- 肌肉中的胶原主要为I型胶原，其中V型胶原含量较少。
- 胶原内高的羟脯氨酸含量通常作为测定其浓度的参考。
- 在虹鳟鱼中，发现宰后的迅速软化与V型胶原的溶解有关，而I型胶原没有改变(Sato et al., 1991)。



Organisation, structure and biochemistry of fish myotomes

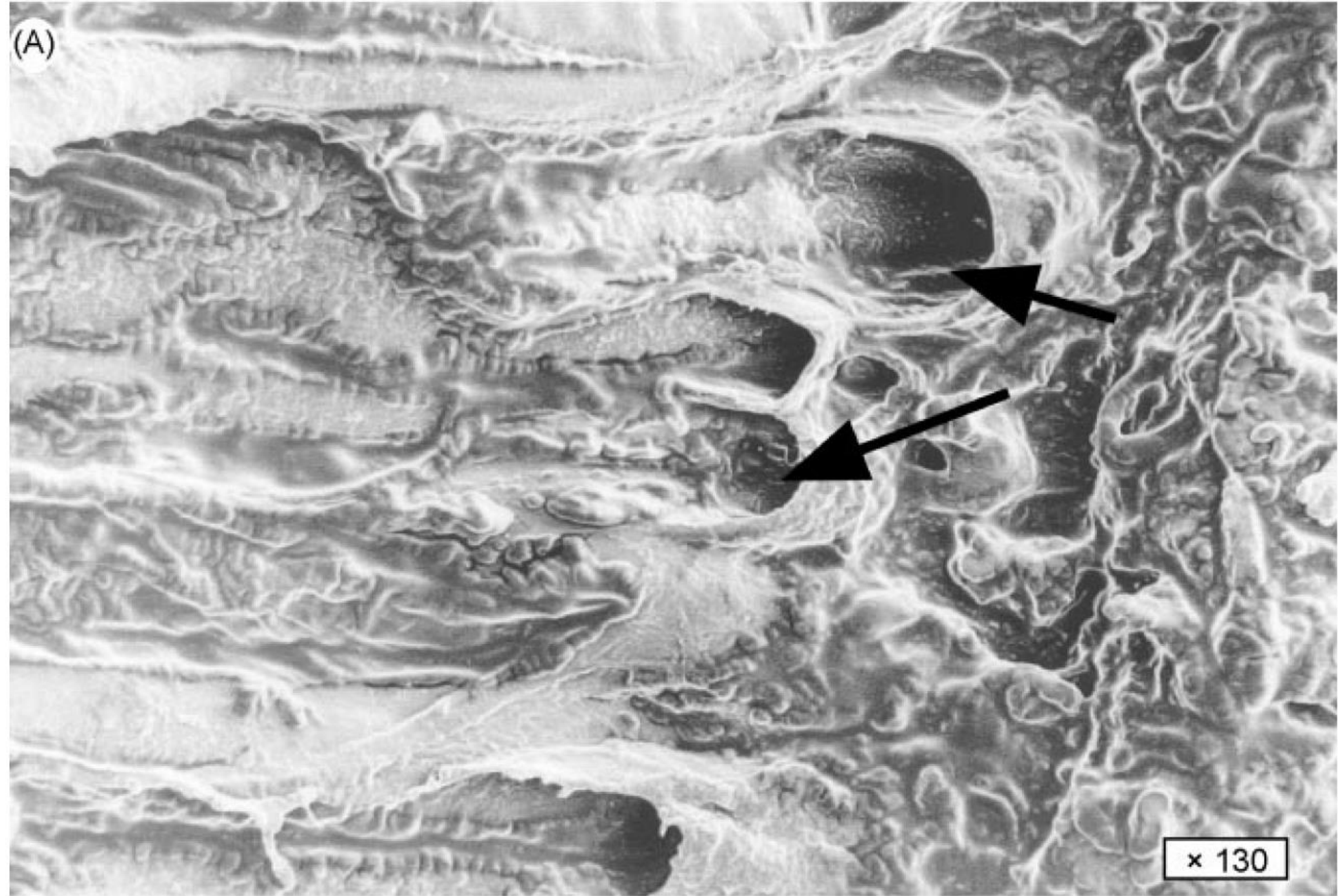
- 每一个胶原分子均有三个 α 多肽链构成，每个多肽链至少含有一个Gly-X-Y的重复序列区域，这三个多肽链在一起形成一个紧密的三螺旋。许多X、y的位置被相对不常见的氨基酸残基占据：Proline (X) 和Hydroxyproline (Y) ，这些氨基酸残基非常完美的位于螺旋里面。

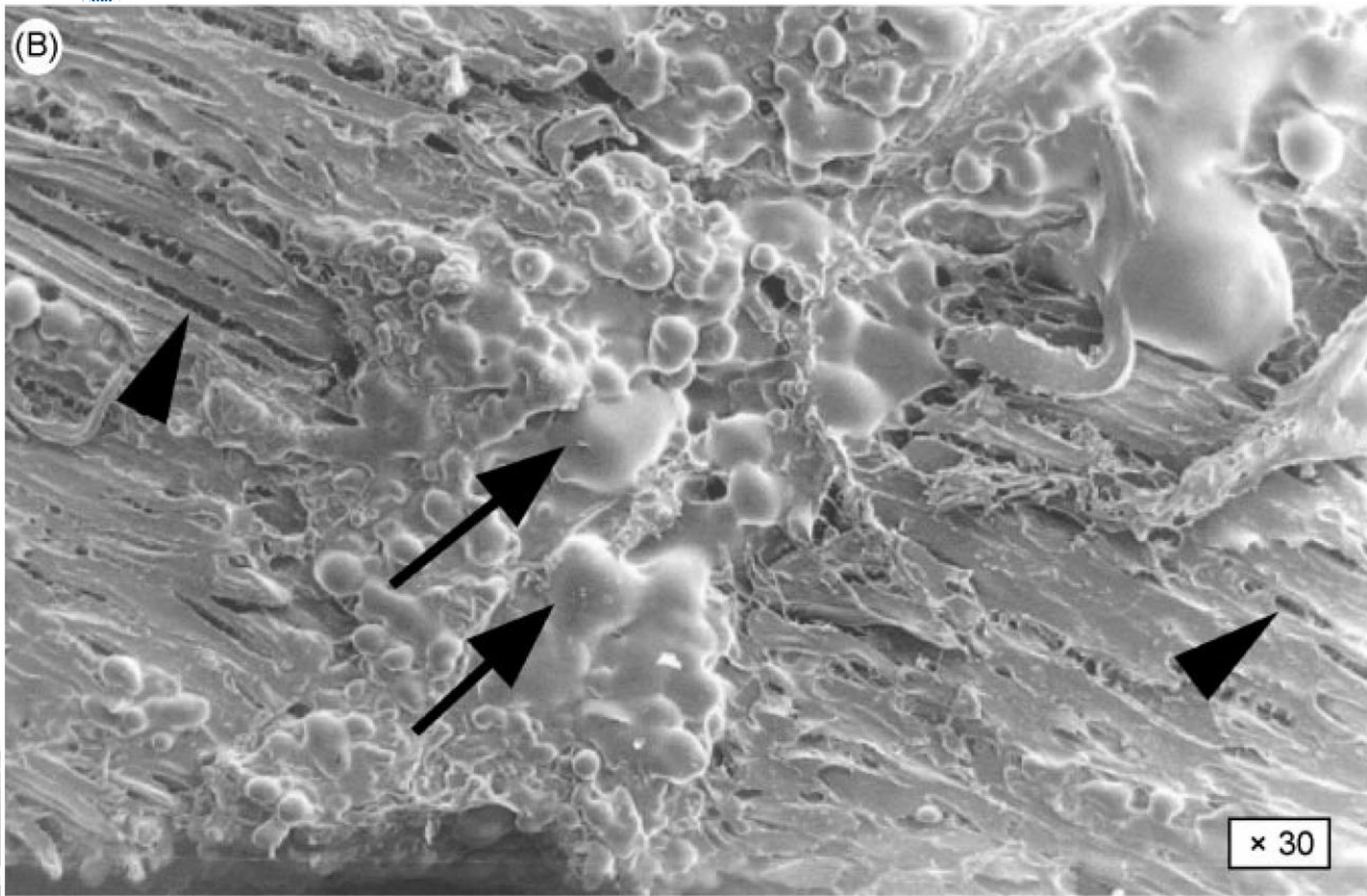




Organisation, structure and biochemistry of fish myotomes

- 赖氨酰氧化酶基因 (*LOX*) 是启动胶原蛋白**交联**形成所需的唯一蛋白质编码基因，涉及脱氨基残基的形成。
- 有两大类胶原蛋白的交联 (Crosslink)：不成熟可还原的与成熟不可还原的。用0.1M NaOH萃取可以得到三文鱼肌肉全部的碱溶性-不可溶解成熟不可还原胶原蛋白，碱溶性部分被认为是新形成的胶原多肽链和包含可还原交联的胶原蛋白分子。(Li et al., 2005)。







- Fig. 22.2 Scanning electron micrographs (**SEM**) of myotomes in Atlantic salmon. (A) A post-rigor sample. The arrows show two examples of the connective tissue sockets into which the muscle fibres tendons insert at the myosepta. (B) Structure of the cold-smoked salmon product. The arrowheads show spaces between the muscle fibres due to shrinkage during the salting and smoking process.
- Note the large accumulation of adipocytes containing fat at the position of the myosepta (arrows). From Li et al. (2005).



Organisation, structure and biochemistry of fish myotomes

- 在大西洋鲑肌肉中，少于1%的胶原蛋白分子是被成熟的交联连接。这与牛肉和猪肉骨骼肌形成了鲜明的对比，牛肉和猪肉中大部分是由的胶原蛋白分子是成熟的交联 (McCormick, 1999)。
- 在鱼类肌肉中，有更多的不成熟可还原交联可能是为了稳固胶原蛋白网络，以及可能随着年龄的增长会逐渐的转变成为成熟的交联。



Organisation, structure and biochemistry of fish myotomes

- 肌肉的脂质含量影响新鲜和熏制鲑鱼的颜色和味道。
- 脂质储存在特殊的脂肪细胞内 (Adipocytes) , 脂肪细胞零星的分布于肌肉纤维中间, 蛋大量存在于肌节处 (Myosepta) 。
- 肌节处过多的脂质沉积产生显著的白色条纹图案 (White banding pattern) , 使肉片呈现出难看的外观。而腹部腹壁过高的脂肪沉积可增加加工过程中的修整损失 (Dress-out losses) 。



报告目录

01

Introduction

02

Muscle texture

03

Organisation, structure and biochemistry of fish myotomes

04

Cellular and molecular mechanisms of muscle growth

05

Relationship between muscle structural traits and texture

06

Proteolytic enzymes and post-mortem softening of the flesh

07

Environmental influences on muscle structural traits

08

Heritability of muscle structural traits

09

Future trends



Cellular and molecular mechanisms of muscle growth

- 肌纤维本身是**多核合胞体** (multi-nucleated syncytium.) , 由于肌肉是一种分化组织, 其生长依赖于保持着分化能力的肌原性细胞 (Myogenic progenitor cells, MPCs) 群体。
- MPCs被认为来源于胚胎结构等价物到羊膜动物的生皮肌节, 它们存在各个生命发育阶段, 提供生长所需的增殖细胞。
- MPCs迁移至肌肉外层停留在肌肉肌节处, 一旦激活并致力于分化, 它们就会有**两种命运**之一: 要么融合形成多细胞的**肌管**, 或者被已形成的肌纤维所吸收, 用来增加肌纤维的直径。



Cellular and molecular mechanisms of muscle growth

- 在小鼠 (Seale and Rudnicki, 2000) 和斑马鱼 (Hollway et al., 2007) 肌肉细胞中, 配对盒转录因子7 (Pax7) 被认为是维持MPCs状态的重要的分子标记。
- 在大西洋鲑幼鱼和成鱼中, 分离到10个mRNA剪接体, 证据表明: *Pax7*基因有两个旁系同源 (Paralogues), 原位杂交确定*Pax7*在单核的MPCs中表达 (Gottenspare et al., 2006)。



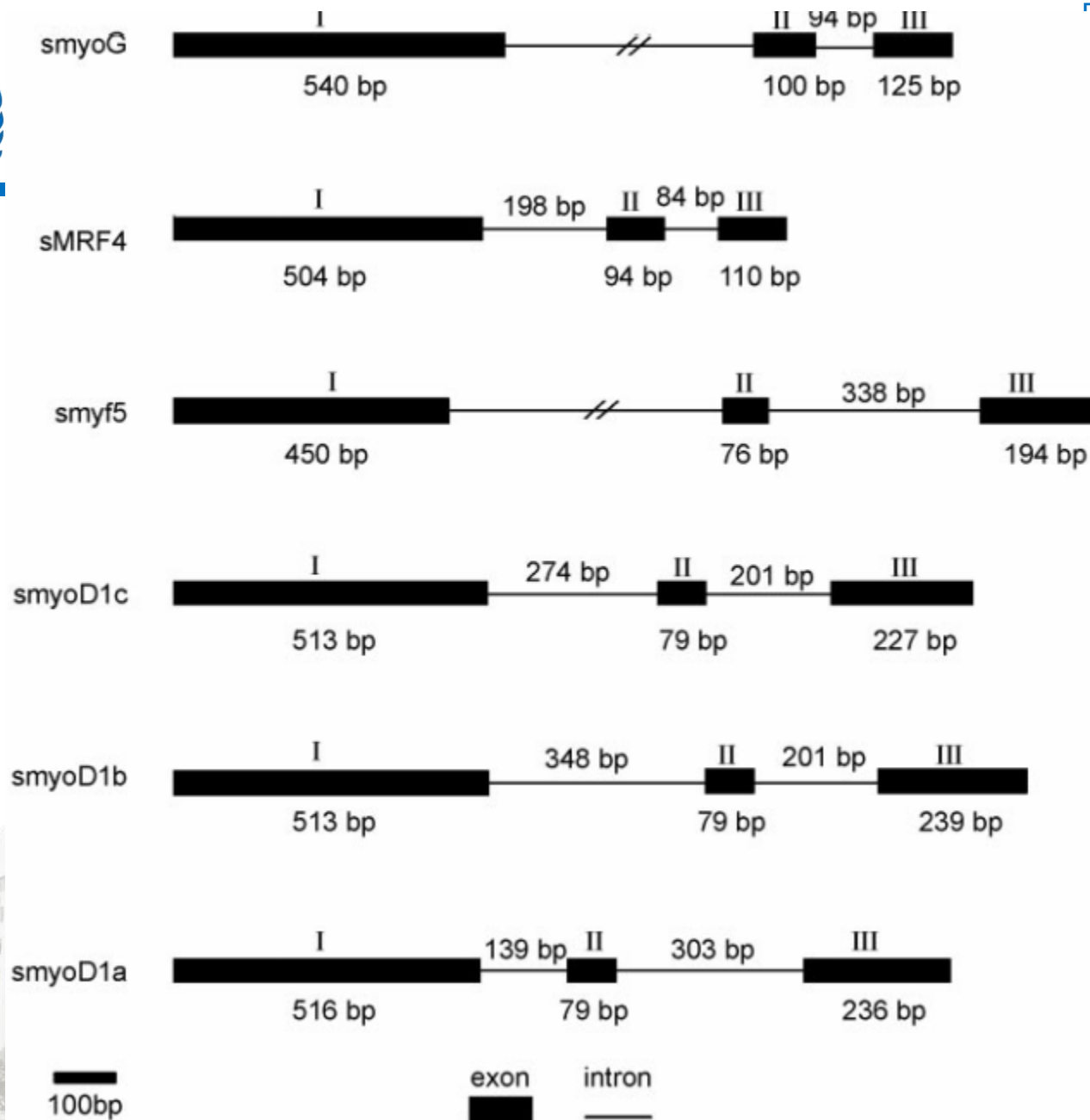
Cellular and molecular mechanisms of muscle growth

- 肌源性调控因子（MRFs）是一个由四种MyoD蛋白组成的保守家族（myf5, myoD, myogenin and MRF4），是肌源性谱系细胞规格和肌肉分化所必需的调控因子。
- MRFs是激活肌肉特异性基因的有效转录因子，每个家族成员都有两个保守的区域：基本区域和螺旋环-螺旋结构域。
- 基因“敲除”在小鼠身上的研究表明，MRF基因在体内显示出部分冗余，但在启动或维持肌生成方面已进化出一种独特的表达模式和特殊功能。



Cellular and molecular mechanisms of muscle growth

- 现代硬骨鱼类的谱系相对于四足动物的共同祖先经历了全基因组复制。大约50%的重复基因随后从基因组中丢失并由单个旁系同源物所代表。
- Myogenin和MRF4在基因组中表现为单一拷贝，而myoD的三个paralogues被鉴定出来(Macqueen and Johnston, 2006; Maqueen et al., 2007)。





Cellular and molecular mechanisms of muscle growth

The structure of all known myoD family member genes in Atlantic salmon: the master transcription factors controlling muscle development and growth. Each gene is represented by three exons (black boxes) and two introns (lines). The known sizes of exons and introns are shown. Introns with a double line are of unknown size (but in each case greater than 1 kb). All the intron-exon boundaries are experimentally supported. From Macqueen et al. (2007).



Cellular and molecular mechanisms of muscle growth

- 大西洋大马哈鱼通常是在成年后4到5公斤的体重，在达到最终纤维数量后的某个时候收获的。
- 收获大小的大马哈鱼躯干横截面显示出肌纤维直径的范围，仅仅最小的尺寸等级（0-15 μm ）不存在。
- 肌纤维**马赛克图案**（Mosaic pattern）反映了肌纤维表面肌管的连续形成。
- 单位横截面积的肌纤维数量是**肌纤维密度**，这是与肌肉质构相关的一个特别重要的参数（[Johnston et al., 2000a](#)）。



Cellular and molecular mechanisms of muscle growth

- 一旦肌肉纤维不再增生，大西洋鲑鱼的肌肉纤维密度就会显著下降。成年大西洋鲑，性成熟发生在快肌纤维增生结束之后，性别和成熟都不影响纤维数量。
- 相比之下，大西洋大比目鱼的性成熟发生在肌肉纤维增生停止之前，并与生长减缓有关，这降低了雄性鱼在养殖中的价值。
- 鉴于**肌肉纤维直径**的组成对海产品质地的重要性，Hagen等从一个商业养殖场对雄性和雌性大比目鱼的肌肉生长进行了为期**12个月**的研究 (Hagen et al., 2006)。



Cellular and molecular mechanisms of muscle growth

- Hagen等发现，雌性比雄性鱼在性成熟前，每个肌节横截面的纤维数量（at 0.55 FL）高24.5%。
- 单个鱼的最大纤维直径由**扩散限制性决定**，并受温度和质量特异性代谢率的强烈影响。当大西洋鲑鱼体重为2kg时， D_{max} 可达到约为 $200\mu m$ 。
- 硬骨鱼类，快肌中肌管的产生持续到最终体长的**40%**左右 (Weatherly et al., 1988)。
- 大西洋鲑鱼，第一背鳍的躯干横截面中的快肌纤维数量从卵黄囊中的约**7000**个增加到淡水生活史末期的 **$50 \pm 80\ 000$** 个，在转移到海水中6至12个月后，最终肌纤维数量达到 **$500 \pm 900\ 000$** 个。



报告目录

01

Introduction

02

Muscle texture

03

Organisation, structure and biochemistry of fish myotomes

04

Cellular and molecular mechanisms of muscle growth

05

Relationship between muscle structural traits and texture

06

Proteolytic enzymes and post-mortem softening of the flesh

07

Environmental influences on muscle structural traits

08

Heritability of muscle structural traits

09

Future trends



Relationship between muscle structural traits and texture

- 大西洋鲑的基因型和表现型对**肌纤维数量/直径**的决定及与**肉质质构**的关系，已经得到广泛的研究。
- 感官评测显示：大西洋鲑在3-4kg的规格时，肌纤维密度和肉片硬度呈正相关，而与肌纤维直径呈负相关。
- 相反，仪器评测显示：在相似的大小的鱼中，肌纤维密度和肌肉质构的关系不存在，或者仅仅在特定的季节（Hagen et al., 2007; Atlantic halibut）或在特定的群体（Periago et al., 2005; sea bass）和家系（Johnston et al., 2004a; Atlantic salmon）中存在。可能反映了这两种方法在检测本质上的差异。



Relationship between muscle structural traits and texture

- 细胞外结缔组织，特别是胶原蛋白是另一类对肌肉质构有重要影响的结构成分。
- 不同大西洋鲑，肌细胞 ($\mu\text{moles g}^{-1}$ 干物质) 中可溶性胶原蛋白的总含量在 6 ± 31 之间 (Li et al., 2005; Johnston et al., 2006)；在夏季，养殖的大西洋大比目鱼中约含有 $12 \mu\text{moles g}^{-1}$ 的可溶性胶原蛋白 (Hagen et al., 2007)。但是，用仪器剪切试验测量的这两个物种肌肉中**可溶性胶原含量**和**肌肉质构**之间并没有**显著**的关系。



Relationship between muscle structural traits and texture

- 近年来，发展了一种高效液相色谱法测定鱼类肌肉中低浓度的成熟吡啶啉(Pyridinoline, PYD)交联物。
- 大西洋鲑鱼中的PYD浓度与用仪器剪切试验测量的鱼片硬度之间存在正相关，分别解释了新鲜和熏肉制产品质构变化的25%和16%。
- **肌纤维密度、胶原交联**等及其他影响肌肉质构的结构性变量可以相互关联。



Relationship between muscle structural traits and texture

- 大西洋比目鱼：成熟的**胶原交联**是**主要**因素，而**肌肉纤维密度**是解释该物种肌肉质构变化的**次要**因素。**肌密度**对**雄鱼**的肌肉质构有显著影响，对于雌鱼影响不大。宰后胴体pH与肌肉质构关系不大。季节性影响显示，比目鱼的最佳收获季节是秋天和冬初，此时的营养和肌肉质构是比较好的。



Relationship between muscle structural traits and texture

- 因此，肌肉**纤维密度**和**胶原交联**都会影响生肉和烟熏制品的肌肉质构，但是它们的相对贡献因**鱼类品种**和**生长条件**而异，比如，与大比目鱼相比，大马哈鱼的肌肉纤维密度对肌肉质构的影响更大，而PYD交联影响较小。
- 另一个可能影响肌肉质构的结构成分是含有储存脂肪的**脂肪细胞**的数量。**遗传和环境因素**都可能影响肌肉脂质含量和肌肉质构之间的关系，因为这些变量之间的相关性并不**总是存在**（不同的检测方法结果不一）。



报告目录

01

Introduction

02

Muscle texture

03

Organisation, structure and biochemistry of fish myotomes

04

Cellular and molecular mechanisms of muscle growth

05

Relationship between muscle structural traits and texture

06

Proteolytic enzymes and post-mortem softening of the flesh

07

Environmental influences on muscle structural traits

08

Heritability of muscle structural traits

09

Future trends



Proteolytic enzymes and post-mortem softening of the flesh

- 生长过程中**净蛋白质** (Net protein) 的积累是蛋白质**合成与降解**的平衡。
- 肌肉中的蛋白质**降解**被认为涉及三个主要的蛋白质**水解系统**。(1) ATP依赖泛素-蛋白酶体复合物 (the ATP-dependent ubiquitin-proteasome complex) , (2)钙激活半胱氨酸蛋白酶复合物 (calpains) (3)溶酶体酶包括组织蛋白酶 (lysosomal enzymes) ([Mommensen, 2004](#))



Proteolytic enzymes and post-mortem softening of the flesh

- 与哺乳动物相比，硬骨鱼体内高度复杂的蛋白酶体途径对蛋白质降解的作用要小得多。
- 例如：在虹鳟鱼**产卵诱导**（spawing-induced）的肌肉蛋白水解过程中，**泛素-蛋白酶体**途径相关基因**没有上调**，而肌肉蛋白水解与**肌肉质量下降**有关





Proteolytic enzymes and post-mortem softening of the flesh

- 在哺乳动物中，有大量的文献报道了**钙蛋白酶 / 钙蛋白酶抑制蛋白系统**（calpain/calpastatin）在宰后贮藏过程中参与肌肉的**软化过程**（tenderisation）。
- 在骨骼肌中，calpain/ calpastatin系统具有**多种**生理功能，包括蛋白质的**转化和生长**、**细胞周期的连续**和**成肌细胞的融合**（Goll et al., 2003）。



Proteolytic enzymes and post-mortem softening of the flesh

- calpain3 (p94) 和calpain10 已被确定与**肌纤维类型特异性的**表达方式有关，也通过限制性的蛋白**水解**特定的**肌肉结构**蛋白(如肌联蛋白titin和伴肌动蛋白nebulin)参与了羊肉的**嫩化**过程。
- 鱼类钙蛋白酶体/钙蛋白酶体系统的研究在有些鱼类中已展开了研究。结果显示：**收获季节**和**屠宰前饥饿期**可能影响钙蛋白酶体/钙蛋白酶体系统，从而影响**肉质结构**和**贮藏特性**。



Proteolytic enzymes and post-mortem softening of the flesh

- 在红肉中，**嫩度**是一个值得肯定的特性，而在鱼类中，**柔软度**代表着**质量的损失**，因此也就失去了经济价值。
- 研究表明，在体外试验条件下，Calpain2 降解肌原纤维后释放 **α -辅肌动蛋白**和**肌间线蛋白 (desmin)**
- Calpains 能降解海鲈体内的**肌钙蛋白T (troponin T)**和 **α -辅肌动蛋白**。
- **肌营养不良蛋白 (dystrophin)**：一种细胞骨架肌动蛋白结合蛋白) 的羧基端区域的降解对Calpain2高度**敏感**。



Proteolytic enzymes and post-mortem softening of the flesh

- 很多研究表明，在胴体僵硬前期，**细胞骨架蛋白**受到第一次蛋白水解的影响。这些分裂破坏了**肌原纤维**和**细胞外基质**之间的**连接**，诱导了**肌原纤维核的分割**，并改变了肌肉组织的流变特性，可能会降低肌肉的硬度（firmness）。





报告目录

01

Introduction

02

Muscle texture

03

Organisation, structure and biochemistry of fish myotomes

04

Cellular and molecular mechanisms of muscle growth

05

Relationship between muscle structural traits and texture

06

Proteolytic enzymes and post-mortem softening of the flesh

07

Environmental influences on muscle structural traits

08

Heritability of muscle structural traits

09

Future trends



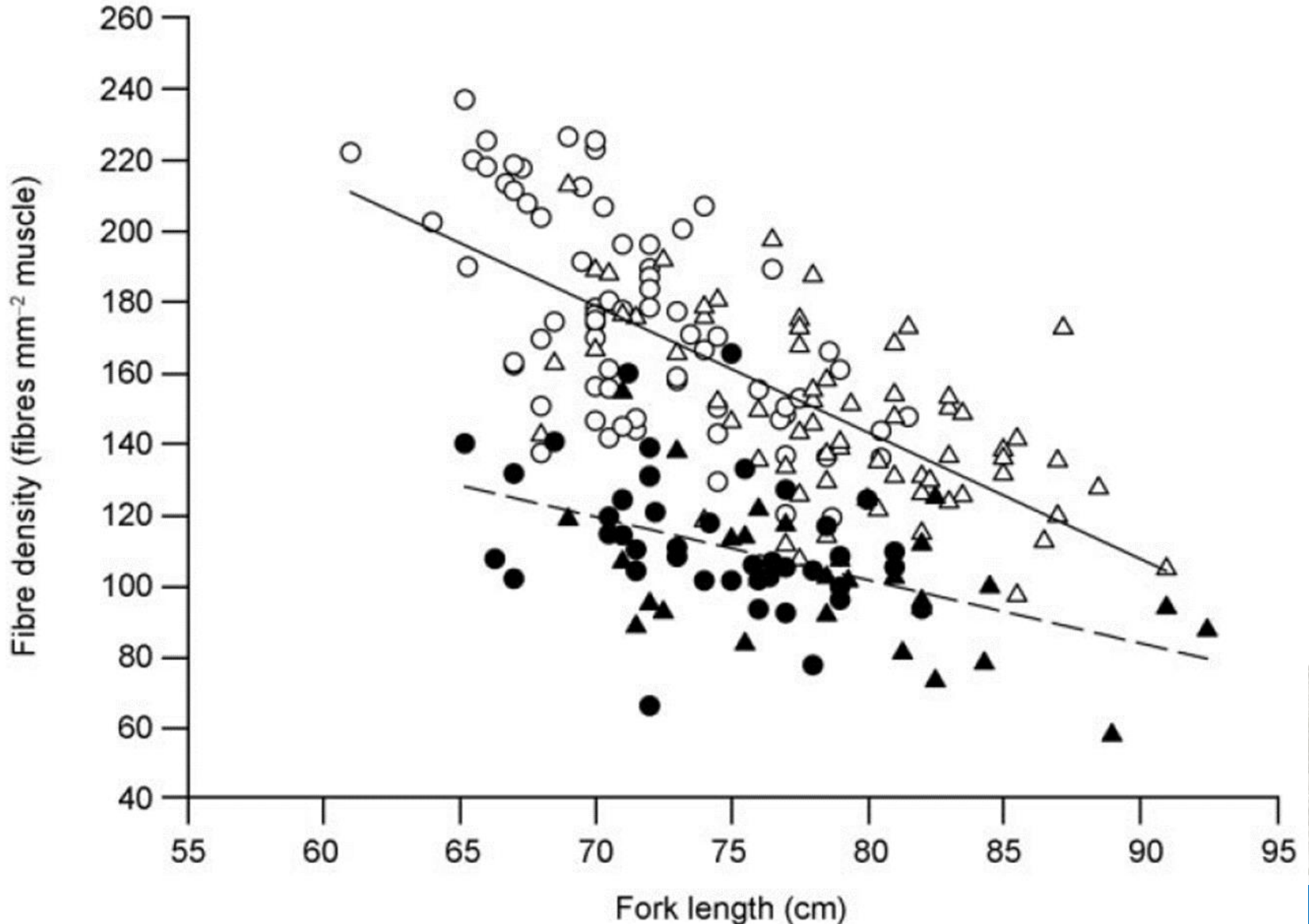
Environmental influences on muscle structural traits

- 在相同的养殖场，遗传背景相同的三文鱼由于不可控的环境因素，也可以呈现出不同的肌纤维密度，可能是不同模式的增粗生长（hypertrophic growth）。





Environmental influences on muscle structural traits





Environmental influences on muscle structural traits

- 受精卵的孵化温度可使最终的肌纤维的数量有大约**20%**的变化幅度，孵化温度对纤维密度的影响**足以影响**肌肉结构，结果显示，获得最好的肌纤维密度和数量，大西洋鲑的最适孵化温度为**5°C**。
- 通过在孵化场将受精卵冷处理一段**比较关键**的时间段，可能会优化成年三文鱼的**最终肌纤维数量**，该时间段可能在**胚胎外部细胞层形成**的阶段。



Environmental influences on muscle structural traits

- 在大西洋鲑鱼中, Macqueen *et al.*已经证明了在调节肌肉发育不同的阶段, 只是部分肌源性调节因子基因(myf5 和 MRF4)的表达, 而不是所有均因子同时表达(myoD, myogenin)。
- 通过对斑马鱼myoD和myf5基因的敲除实验, 发现在体侧外层细胞的Pax3/7表达量增加 (Hammond *et al.*, 2007)。



Environmental influences on muscle structural traits

- 因此，在大西洋鲑鱼中观察到MRF表达的**异时性**，可以解释随着发育温度的升高而发生的肌肉表型的一些变化，包括最终肌纤维数量的改变，可能为海洋鱼类实验提供一种潜在的机制 (Johnston, 2006)。





Environmental influences on muscle structural traits

- 在大西洋鲑鱼的生活史中，**光周期**是影响肌肉纤维密度和最终肌纤维数量的另一个重要因素。
- Johnston *et al.*发现，在1海冬龄的鲑鱼中，在自然光周期正在迅速减少时，采用人工光照时，导致肌纤维补充水平比自然环境条件下高得多。在该生活史阶段，进行光照处理，最终的肌纤维数量比在环境光周期下饲养的鲑鱼多**20%**，而屠宰时相应的肌肉纤维密度更高。
- 相比之下，控制光周期处理由河入海的小鲑鱼，对成年鲑鱼的肌肉纤维数量或密度没有持久的影响(Vieira *et al.*, 2005)。



Environmental influences on muscle structural traits

- Hagen *et al.*发现与冬季有关的**短日照**和**低温**($<6\text{ }^{\circ}\text{C}$)导致养殖的大比目鱼停止采食活动，导致**快肌蛋白的分解**和**肌肉水分含量**增加。
- 干物质的分析发现，**碱溶性胶原蛋白的显著降低**，**碱不溶性胶原蛋白的降低程度较小**，但**PYD浓度**没有显著变化。
- 因此，随着水分的增加，PYD中**碱性不溶性胶原蛋白的含量相对增加**，从而使肌肉的质地**更加坚实 (firmer)**。



报告目录

01

Introduction

02

Muscle texture

03

Organisation, structure and biochemistry of fish myotomes

04

Cellular and molecular mechanisms of muscle growth

05

Relationship between muscle structural traits and texture

06

Proteolytic enzymes and post-mortem softening of the flesh

07

Environmental influences on muscle structural traits

08

Heritability of muscle structural traits

09

Future trends



Heritability of muscle structural traits

- 大西洋鲑中，关于胴体特性 (carcass traits) (Gjerde and Gjerdrem, 1984) 、以及包括腹部脂肪沉淀和肌肉脂肪含量相关的身体组成特性 (Rye and Gjerde, 1996; Quillet et al., 2007) 的可遗传性已经得到评估。
- Johnston等发现，鱼类肌肉纤维数量和密度 (fd) 在品种内和品种间以及不同种群或品系之间存在差异。



Heritability of muscle structural traits

- 大西洋鲑中，肌纤维数量和密度呈现出0.33的中等的遗传力，而在哺乳动物中，遗传力的范围在0.2-0.5。
- 脂肪含量和肌纤维数量及密度之间呈现出强有力的负相关，分别为-0.85和-0.76，这暗示着不选育肌肉脂肪含量高的品种可以使肌纤维密度增加。这两种特性强有力的遗传相关性同样暗示着受一些相同基因的影响。
- 肌源性细胞和脂肪细胞被认为来源于普通多能性干细胞系 (Wada *et al.*, 2002)。



Heritability of muscle structural traits

- 肌纤维密度与肌肉脂肪含量之间的表型相关性较弱，说明环境对这些性状的影响不尽相同。
- 在选择育种过程中，通过形态学测量技术对肌纤维数目的评估，往往工作量太大 (laborious) 而导致难以实施，通过探索肌源性前体细胞 (MPCs) 密度 (通过Pax7的特异性抗体鉴别) 和肌纤维密度的关系可以一定程度上支持肌纤维数目的评估。
- 相反，脂肪含量可以通过无创和高通量的红外技术 (NIR) 测量，并且选择低脂肪含量的品系可能会得到较高的肌纤维密度。



报告目录

01

Introduction

02

Muscle texture

03

Organisation, structure and biochemistry of fish myotomes

04

Cellular and molecular mechanisms of muscle growth

05

Relationship between muscle structural traits and texture

06

Proteolytic enzymes and post-mortem softening of the flesh

07

Environmental influences on muscle structural traits

08

Heritability of muscle structural traits

09

Future trends



Future trends

- 许多**单基因**已被确定对肌肉质构具有潜在的**巨大表型效应**，包括赖氨酰氧化酶(LOX)、钙蛋白酶抑制剂 (CAST) 和肌纤维增生的**负调节因子**：肌生成抑制蛋白 (myostatin)。
- 海洋动物中，**Cee蛋白**的表达伴随着Pax7和MyoD的表达，Cee蛋白功能可能与肌纤维数目和密度的控制有关。
- 多个**旁系同源** (paralogues) 的存在和**大量剪接突变体**的存在，使得识别影响硬骨鱼肌肉结构的**基因多态性**的任务变得更为**复杂**。



Future trends

- 在大西洋鲑中，可能参与胶原蛋白交联的形成的**LOX基因**，每个个体最多表达**四个等位基因**，表明所有重复的旁系同源基因**都被保留**了下来。
- LOX基因是**高度多态性**的，并且发现**养殖种群**的**LOX等位基因**比**野生溯河产卵种群**和**内陆种群**要少。



Future trends

- 研究LOX和CAST特定**等位基因**对肌肉结构组成和结构的影响是非常重要的，识别鉴定相关**候选基因**，可能被用于**分子标记辅助选择育种**以生产优质的养殖**食用鱼类**和**加工性能**。





河南师范大学

NENAN NORMAL UNIVERSITY

厚德博学·止于至善

谢谢!

