

Anatomi och välfärd hos odlad fisk



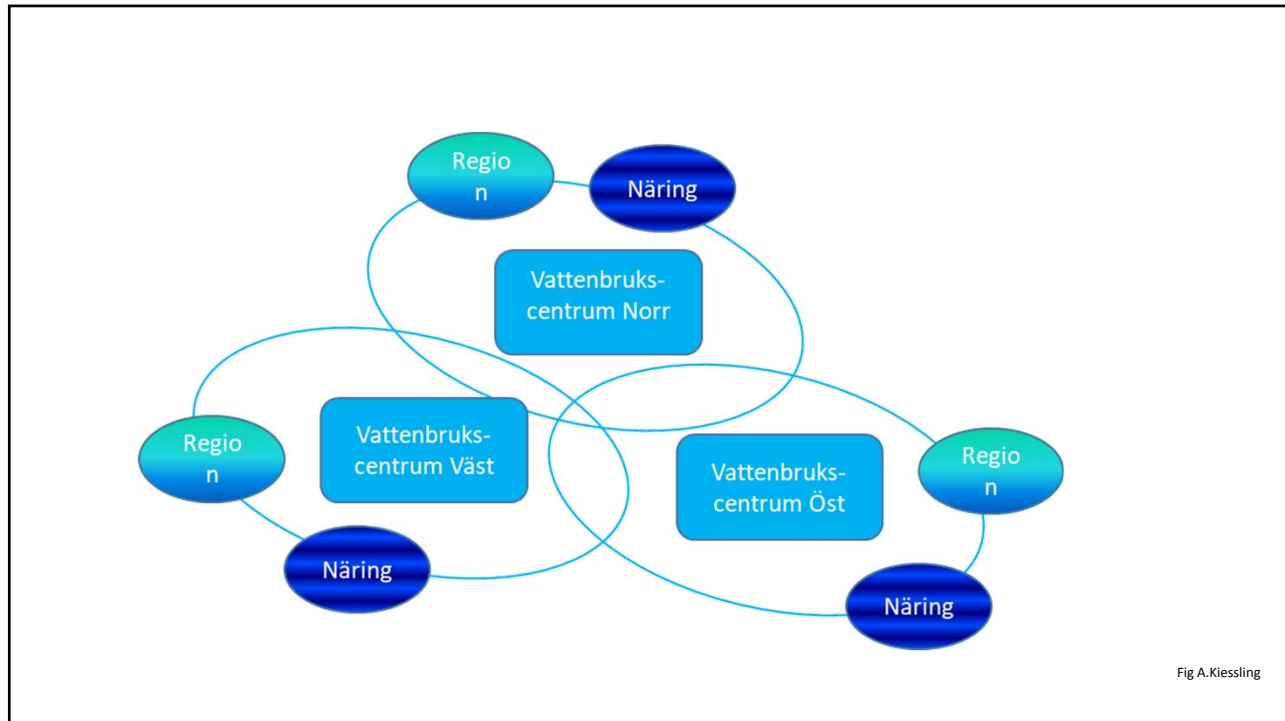
Anders Kiessling
anders.kiessling@slu.se

Foto A.Kiessling



Vilka slutsatser kan dras från experiment till odling ?
OCH
Hur får vi kunskap om vilka frågor forskaren bör besvara

Foto Matre Research Station, IMR



Hörsel

Ljudet fortplantar sig snabbare i vatten än i luft, och fiskar kan höra, men i mycket varierande grad. De flesta sötvattensfiskar har en utmärkt hörsel. Som andra ryggradsdjur har fiskarna ett inneröra, labyrinten, till vilket förutom hörseln även balanssinnet är knutet.

Bäggång
Ampull
Hörselstenar
Labyrintorganet

Labyrinten är försedd med tre bäggångar med tillhörande tre ampuller, vilka svarar för förmågan att uppfatta vridningar, roterande rörelser. Under bäggångarna finns tre säckar innehållande var sin hörselsten (otolit), som vilar på kuddar av sinnehår. Hörselstenarna är massiva kalkbildningar. De växer och bildar årsringar, som ofta kan användas för åldersbestämningar. De två nedre hörselstenarna reagerar på ljudvågor och vibrationerna registreras av sinnehåren. Den övre hörselstenen står i jämviktssinnet tjänst.

Sillfiskar, karpfiskar och malar hör till de fiskar som har god hörsel. Hos dessa grupper förstärks ljudet av simblåsan, som står i förbindelse med örat antingen genom att bilda ett par förlängningar som når fram till labyrinten (sillfiskar) eller genom ben (de weberska hörselbenen) som fortplantar ljudvågorna från simblåsan till hörselorganen (karpfiskar).

Labyrint
Weberska ben
Simblåsa

De toner som vanligen används i musik omfattar 40-700 hertz (1 hertz = 1 svängning per sekund). Von Frisch visade genom experiment med elritsa, att den uppfattade toner från 16 till 7000 hertz. Svängningar med lägre frekvens uppfattas med sidolinjesystemet. Förmågan att uppfatta svaga ljud (hörselstyrkan) var lika god hos elritsan som hos människan, och fisken kunde skilja på toner som låg så nära varandra som $\frac{2}{3}$ oktav.

De flesta karpfiskar har dock något sämre hörsel.

Fiskar har inga stämband, men somliga kan frambringa knorrande eller pipande ljud genom att låta simblåsans väggar vibrera eller genom att pressa ut luft genom luftgången. De flesta ljuden är dock ofrivilliga och uppstår vid simning, under ätning, grävning etc. Vi får föreställa oss att dessa ljud uppfattas och tolkas av andra fiskar.

Inget ytteröra

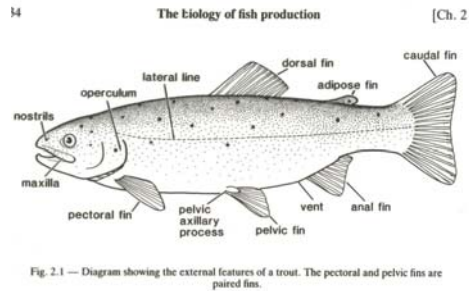
Kinocilium
Stereocilier
Nervfibrer

Fig. 3.1 Skiss av en hårcell, som är sensorcellstypen både i öret och i sidolinjesystemet. Cellen stimuleras när sanseshårbuntens avböjning i riktning mot eller från kinociliet.

Väskfylt membransekk
Otolit
Sanseshår
Hårceller
Hörselnerve

Fig. 3.3 Skiss som visar skematiskt hvordan de tunge otoliterna ligger i direkte kontakt med hårcellernas sanseshårbunter. Hårcellerna stimuleres når organet akselereres.

Sinnena



Mycket känslig för nedbrytna matrester
Såsom fria aminsyror, betain mm

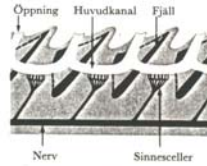
Även feromoner. Vissa fiskarter har
rädslo/varnings feromoner. Vissa kan
känna igen syskon.

Sidolinjeorganet, som balanscellerna,
reagerar på tryckvågor. Låg frekvens.

12

Sidolinjens funktion

Sidolinjen är en synlig rad av små sinnesorgan, bestående av små, öppna rör som genombrår fjällen och som är förbundna av en stamfylld kanal. Den löper längs kroppssidorna och bildar förgreningar på huvudet.



Vertikalt snitt genom sidolinjen

Experimentellt har man kunnat visa att fisken genom sidolinjen kan skaffa sig viktiga upplysningar om omgivningen. När fisken rör sig i vattnet är den omgiven av ett »mönster» av tryckvågor. Störs detta mönster av andra föremål (andra fiskar, fiender, sten etc.), påverkas sidolinjeorganen. De små tryckändringar som störningen framkallar i sidolinjens öppna rör registreras av nerverna, och budskapet dechiffreras i hjärnan, som automatiskt föranstaltar om riktning- och avståndsbemötning till föremålet. Man får föreställa sig att fisken konstant får en »bild» av sin närmaste omgivning genom sidolinjesystemet. Blinda fiskar – även ett rovdjur som gäddan – kan klara sig enbart med hjälp av sidolinjesinnet.



Luktsinne och smak

Fiskarna har gott luktsinne. Framför ögonen ligger näsborrarna, som leder in till var sin luktrop. Varje luktrop är hos de flesta fiskar delad av ett hudveck i en inströmningsöppning och en utströmningsöppning, genom vilka vattnet passerar antingen passivt under simningen eller genom aktiv pumpning. Älen luktar sig fram till sitt byte och har ett par mycket



välutvecklade luktropar, som kan uppfatta ner till några få molekyler av ett luktmäte. Gäddan är mer beroende av synen, och dess luktsinne är svagt utvecklat.

Fisk kan känna igen andra fiskar på lukten. Skadade fiskar avger i en del fall »skräckstoff», som utlöser flyktreaktioner hos andra fiskar.

Smaksinnet är lokaliserat till munnen, men är också knutet till sinnesceller som finns på skaggömmor på huvudets undersida eller spridda på kroppen. Dessa sinnesceller reagerar inte på riktigt samma ämnen som luktorganen.

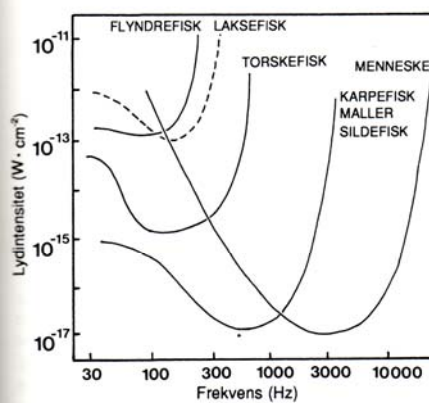


Fig. 3.8 Audiogrammer för olika fiskarter och människa. Legg merke til at alle fiskene hører bedre enn oss for de laveste frekvensene, mens vi kan høre langt høyere lyd frekvenser enn noen fisk.

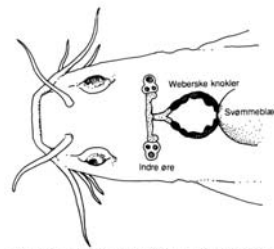


Fig. 3.9 Hos karpfisk og maller er svømmeblæren forbundet med det indre øret via de Weberske knoklene. Dette sikrer en effektiv overføring av de forsterkede vibrasjonene av svømmeblærens overflate til øret. Hos disse artene er de to ørene forbundet med et væskefylt kanalsystem.

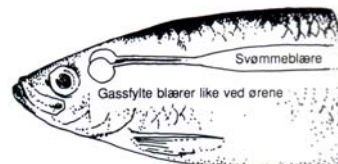




Fig. 3.10 Hos sildefisk går forreste del av svømmeblæren over i et par tynne rør som ender i gassfylte blærer i kontakt med øret. De forsterkede pulsingene av disse blærene blir derfor direkte overført til ørene.



Rund lins då ingen luft-vattenbrytning
Jmf när fisken "ser upp" på land.




Inga ögonlock.


Fiskarnas sinnen

Ljus och synförmåga

För de flesta fiskar spelar synsinnen en stor roll vid orienteringen. Fiskögat är stort och har en klotrund, hård lins. Hornhinnan medverkar inte vid ljusbrytningen som hos luftlevande ryggradsdjur; den har samma brytningsindex som vattnet. För att ge ett stort synfält är linsen i gengäld placerad så att den når utanför pupillen, varigenom ljus från många vinklar kan nå den. Synfältet är för varje öga 160-170° horisontellt och omkring 150° i lodplanet. Bägge ögonen täcker en vinkel på



Daggdjursöga:
linsen ändrar form

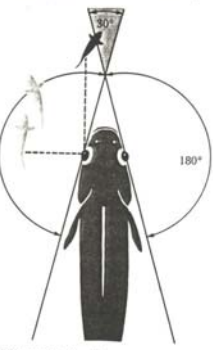


Fisköga:
linsen ändrar läge


20-30° framåt. Föremål på mindre än en meters avstånd framför fisken kan ses skarpt. Speciella muskler kan flytta linsen närmare närhinnan, när ögat ackommoderar till seende på större avstånd.

När fisken ser uppåt genom vattnet, har den ett runt "sfönster" på ca 98° rakt ovanför sig, genom vilket den kan se föremål på land eller i luften. Utanför detta område reflekteras ljuset i vattenytan och fisken ser en spegelbild av botten.

Fiskögat är byggt för att kunna utnyttja det jämförelsevis svaga ljuset som tränger ner i vattnet. Det gäller särskilt fisk med nattlig aktivitet.



Fisken ser bäst framåt



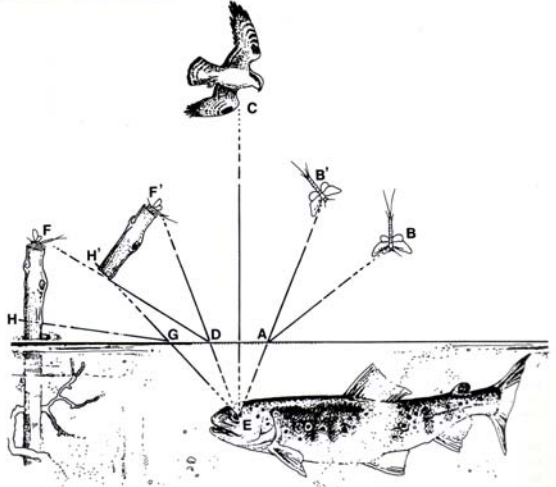


Fig. 3.24 Tegningen visar hurledes lysbrytningen förvränger bilden en fisk har av objekt över vattenytan. Objektet vill förflyttas från B och F till B' och F'. Åspringen i vinduet som fisken ser, Snells vindu, är 48.5° x 2.

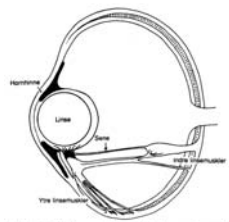
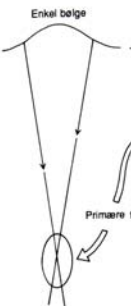
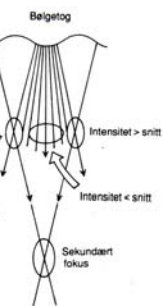


Fig. 3.29 Akkommodationsmuskler hos abborr sett från sidan. Linsmuskulaturen vill trekka linsen nedover och bakover.



Enkel bølge



Bølgepakke

Intensitet > snitt
Intensitet < snitt

Primært foki
Sekundært fokus

Fig. 3.22 Overflatebølgene bryter lyset som faller normalt på vannflaten og fokuserer det i ulike dyp med ulike amplituder og perioder.

Huden

Varför är det så viktigt att aldrig ta hårt i en fisk eller med torr hand?

Samma gäller håv med grov maska eller knutar.

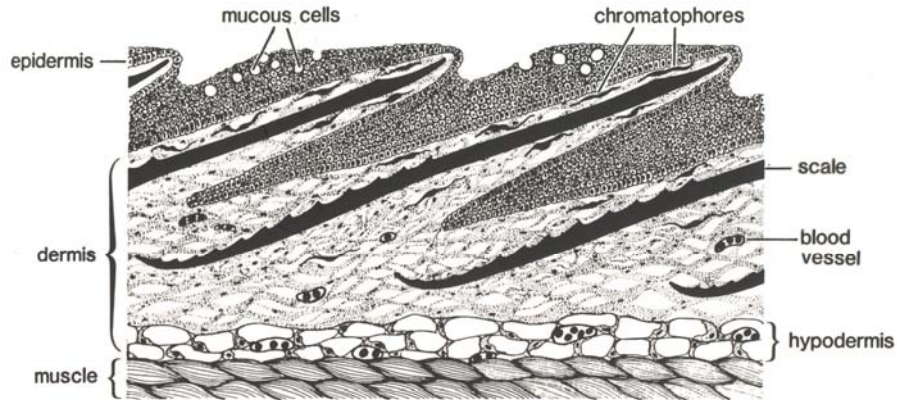
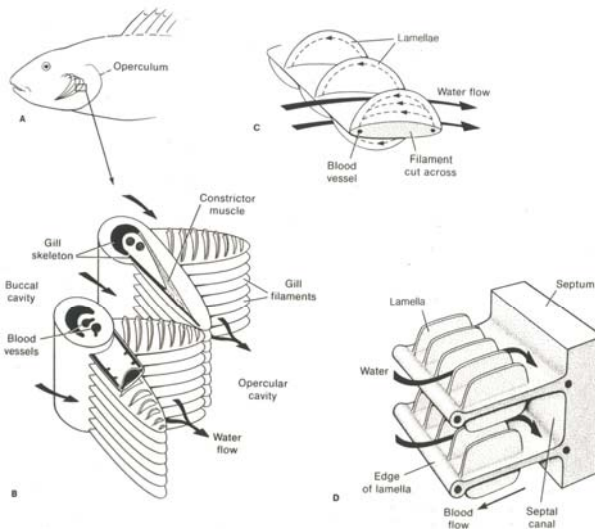


Fig. 2.2 — Diagram of a section through the skin. The scales lie beneath the epidermis in pockets in the dermis. Scales are therefore not superficial and loss of scales disrupts the integrity of the skin as a barrier against the external environment.

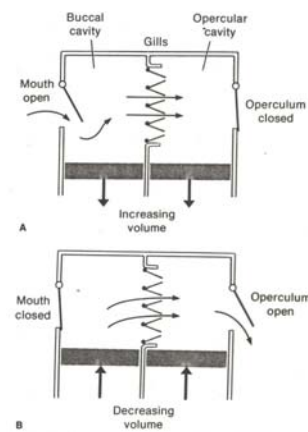
Andningsorganen (gälar)



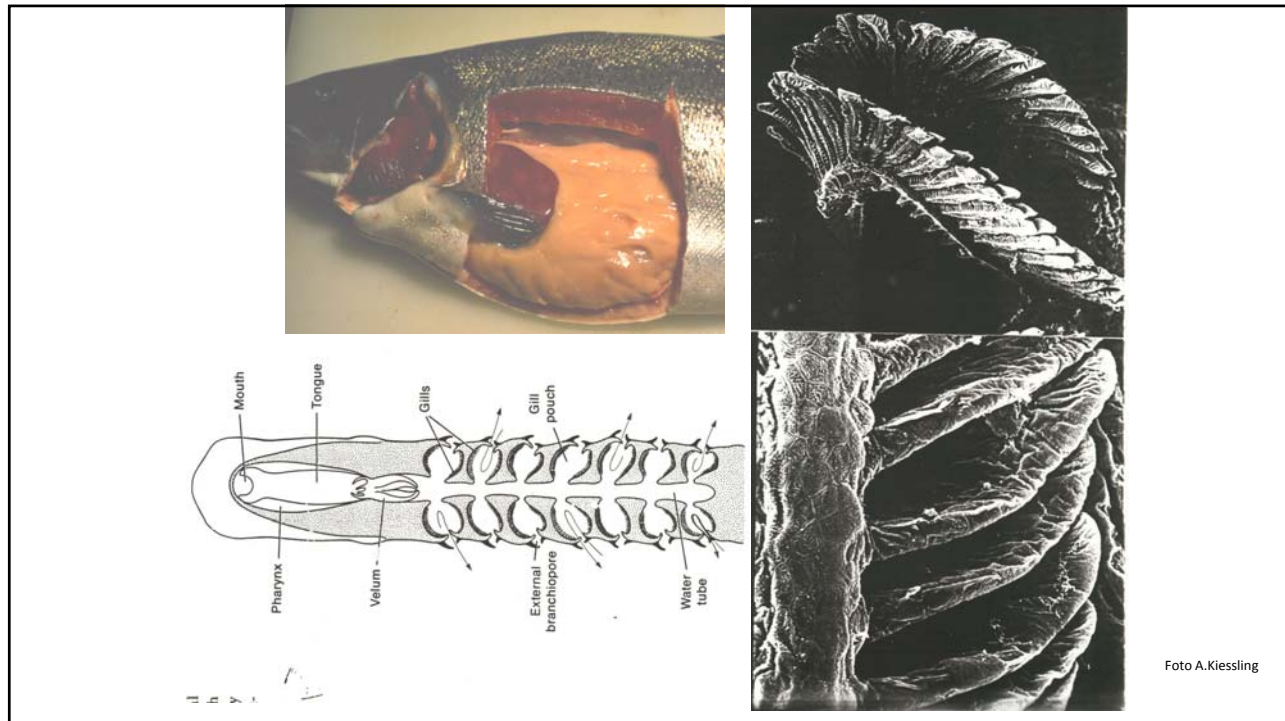
14-33 (A) Position of the four gill arches beneath the operculum on the left side of a fish. (B) Part of two of these gill arches shown with the filaments of adjacent rows touching at their tips. Also shown are the blood vessels that carry the blood before and after its passage over the gills. (C) Part of a single filament with three secondary folds on each side. The flow of blood is in the opposite direction to that of the water. (D) Part of the dogfish gill. As in teleost fish, the flow of blood is in the opposite direction to that of the water. [A–C after Hughes, 1964; D after Grigg, 1970.]

Aktiv och passiv (ramventilation) Andning.

Gaser, joner, vatten.



14-31 Schematic diagram of the process of ram ventilation in teleost fish.



Environment PO₂

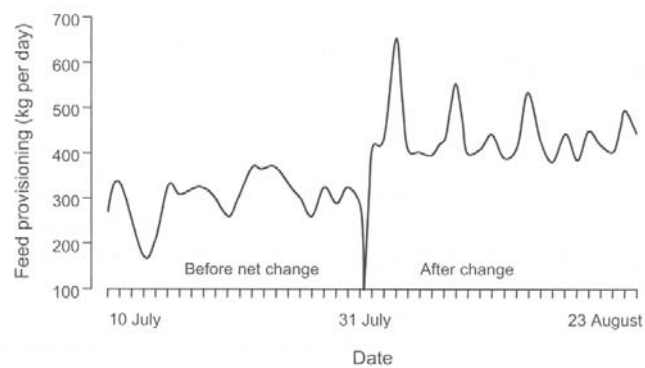


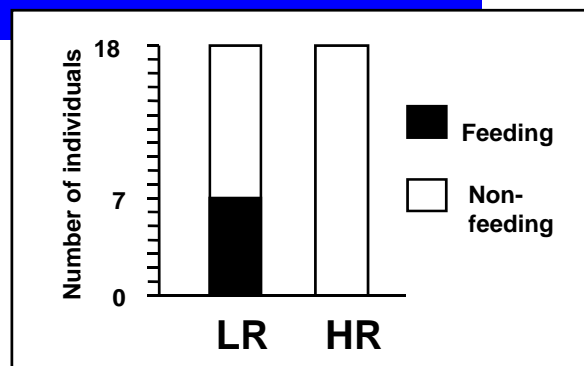
Fig. 14.2 Differences in feed provisioning to Atlantic salmon before and after changing a heavily fouled cage net. At the time of the net change, the cage contained about 14 000 fish with mean weight of about 2.8 kg. Water temperature was $12 \pm 1^\circ\text{C}$ during the week before and after net change. Feed intake was monitored using an Aquasmart AQ1 interactive feedback system (S. Kadri, unpublished data).

- Tänder för greppa även på tungan.
- Smakreceptorer i mun, på tungan och i ev. skäggötmmar.



Foto A.Kiessling

Feeding in a new environment (adult F1 generation)



A higher frequency of LR than HR fish had regained feed intake one week after transfer to rearing in isolation (40% vs 0%, $p=0.008$)

Øverli, Pottinger et al.

Figure 15-17 The monogastric stomach is a single chamber lined with a specialized epithelium. (a) Major parts of the mammalian stomach. (b) Detail of the gastric glands lining a single gastric pit. The inner layer of the stomach is lined with thousands of gastric pits, whose goblet cells secrete mucus. At the base of each gastric pit is a gastric gland. The epithelium of the gastric gland contains chief cells, which secrete pepsinogen, and parietal cells, which secrete HCl.

Figure 15-19 The anatomy of the small intestine is dominated by convolutions that increase its surface area. (a) Overall plan of the small intestine. (b) Folds of the intestinal mucosa are covered by (c) fingerlike villi. [From "The Lining of the Small Intestine," by F. Moog. Copyright 1981 by Scientific American, Inc. All rights reserved.]

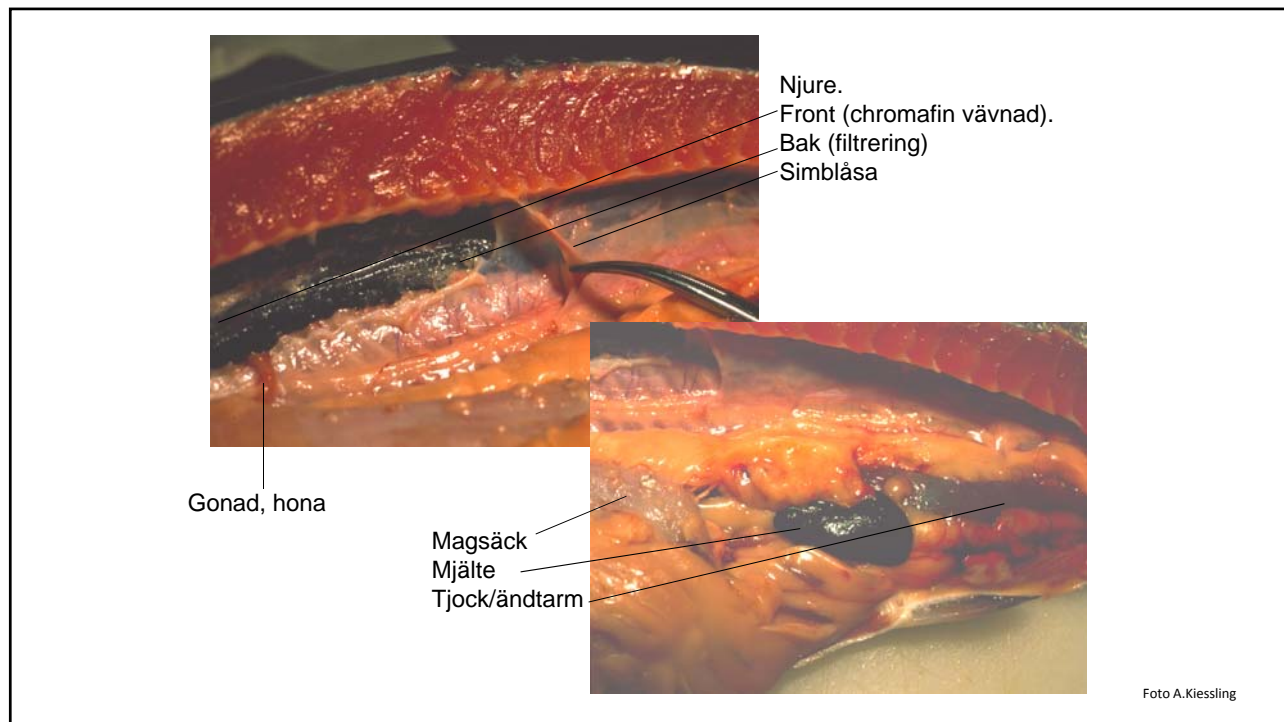
pH 3.5 HCl
Mucous
Bicarbonate pH 8.5

Magsäck med foderrester

Baktarm

Foto A.Kiessling





Simblåsa

Utv. från matstrupen
Sluten – öppen.
Som yngel sväljer luft
Hörsel (resonans)
Jämvikt
Sluten tar lång tid att ändra. Sker genom gaskörteln.
Öppen – släpper luft vid dyk snabbt,
även som förberedelse till flykt.
Snappar luft vid ytan för att fylla.
Ser när sover om adapterad till djupare eller ytligare.
Ytligare lutar neråt – djupare lutar uppåt.

Simblåsan

Simblåsan är ett luffyllt hydrostatiskt organ, som hos fostret anläggs som en utbuktning från tarmväggen. Hos laxfiskar och karpfiskar bibehålls



Enkel simblåsa med luftgång,
gädda, laxfiskar



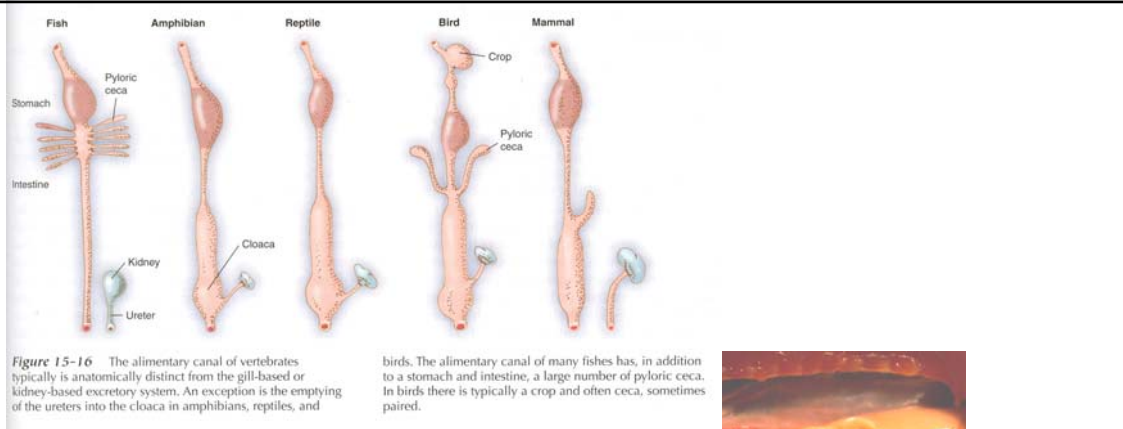
Tvådelad simblåsa med luftgång,
karpfiskar



Simblåsa utan luftgång men med
gaskörtel, abborrfiskar



Simblåsa med två luftgångar och
utskott till labyrinthen,
sillfiskar



Mag och maglösa fiskar.
T.ex. karpfiskarna maglösa.

Kort och rak matsmältningskanal.
Ffa rovfiskar

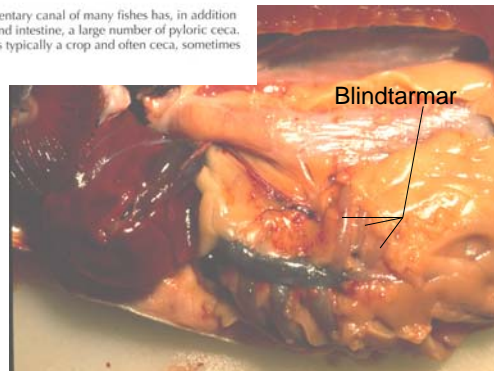
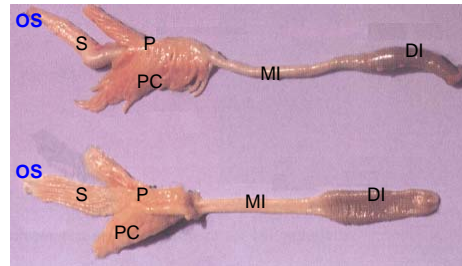
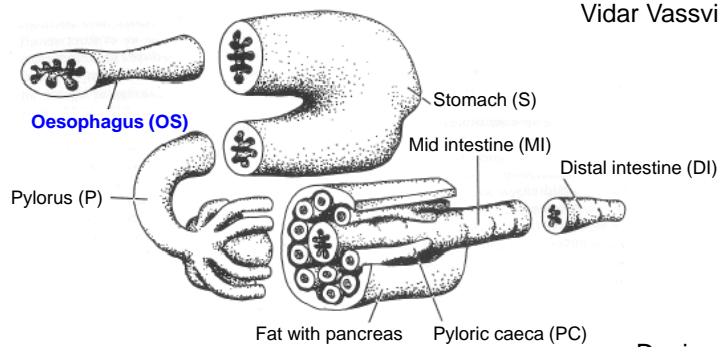


Foto A.Kiessling

The alimentary tract of salmonids



Atlantic salmon, Photo: Vidar Vassvik



Døving and Reimers,

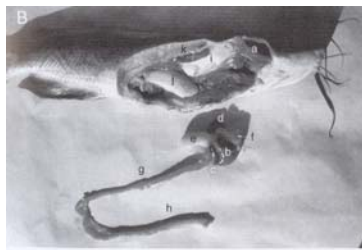


Fig. 7.6

(A) Dissection of a channel catfish showing the digestive tract. (a) Gills, (b) liver, (c) gallbladder, (d) swimbladder, (e) stomach, (f) esophagus, (g) upper or small intestine, (h) lower or large intestine, (i) adipose (fat) tissue, (j) ovary, and (k) kidney. (B) Channel catfish with digestive tract removed. (a) Gills, (b) liver, (c) gallbladder, (d) spleen, (e) stomach, (f) esophagus, (g) upper or small intestine, (h) lower or large intestine, (i) swimbladder, (j) ovary, and (k) kidney. Photographs by Michael Rust.

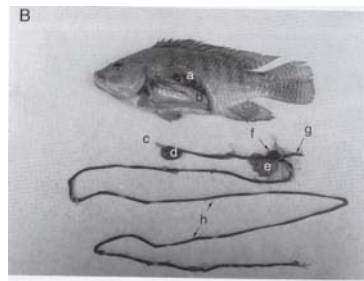


Fig. 7.7

(A) Dissection of a Nile tilapia with the intestinal tract in place. (a) Liver and (b) coiled gut. (B) Dissection of Nile tilapia with the intestinal tract removed. (a) Kidney, (b) ovary, (c) esophagus, (d) stomach, (e) liver, (f) gallbladder, (g) spleen, and (h) intestine. Photographs by Michael Rust.

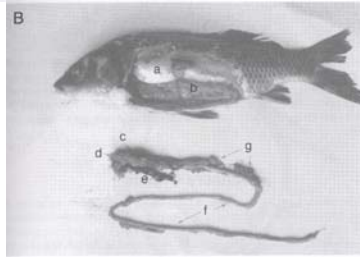


Fig. 7.8

(A) Dissection of the common carp. (a) Swimbladder, (b) liver, (c) spleen, (d) ovary, and (e) coiled gut. (B) Digestive tract removed. (a) Swimbladder, (b) ovary, (c) liver (under), (d) esophagus, (e) spleen, (f) intestine, and (g) pancreatic tissue (around the gut in several locations). Photographs by Michael Rust.

Table 6.1 The intestinal lengths of a range of fish species in relation to their feeding habits

| Species | Feeding habits* | Ratio IL:BL† |
|--|-----------------|--------------|
| Atlantic salmon, <i>Salmo salar</i> | C | 0.75–0.85 |
| Largemouth bass, <i>Micropterus salmoides</i> | C | 0.75–0.9 |
| Northern squawfish, <i>Ptychocheilus oregonensis</i> | C | 0.7–0.9 |
| Atlantic cod, <i>Gadus morhua</i> | C | 1.0–1.50 |
| Flagfish, <i>Jordanella floridae</i> | H | 2.5–3.0 |
| Silver carp, <i>Hypophthalmichthys molitrix</i> | H | 4.5–7.0 |
| Calbasu, <i>Labeo calbasu</i> | H/D | 4.5–10.0 |
| Mud carp, <i>Cirrhina molitorella</i> | H/D | 6.0–13.0 |

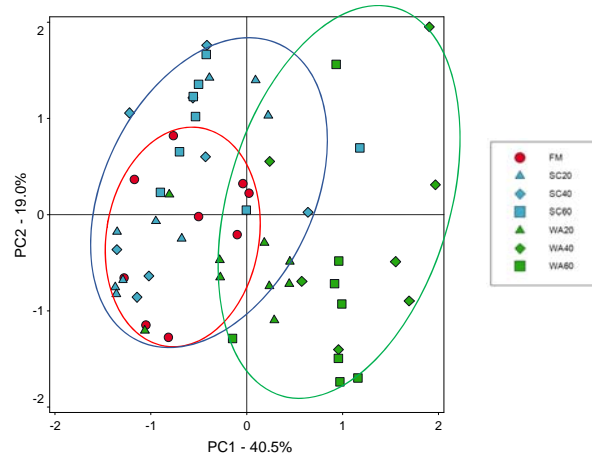
*Habits: C, carnivorous; D, Detritivorous; H, herbivorous.

†Ratio of intestinal length (IL) to body length (BL).

Jobling, 1995



Sequenced Bacteria - Intestine

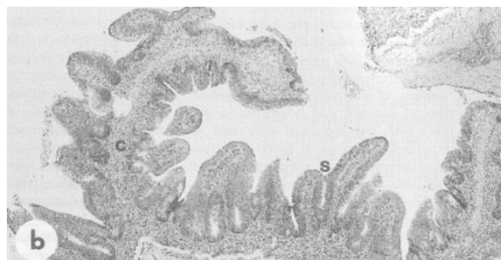


60 % replacement of fish meal with *Saccharomyces cerevisiae* (SC); or *Wickerhamomyces anomalus* (*Picia*) and *S. cerevisiae* mix (WA)

GH: Distal intestine of salmon fed fishmeal vs soybean meal

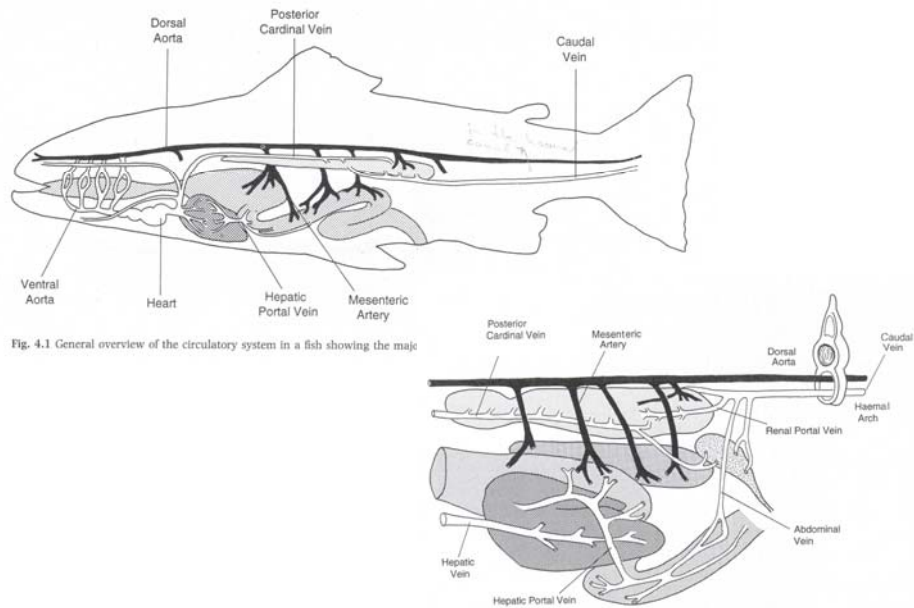
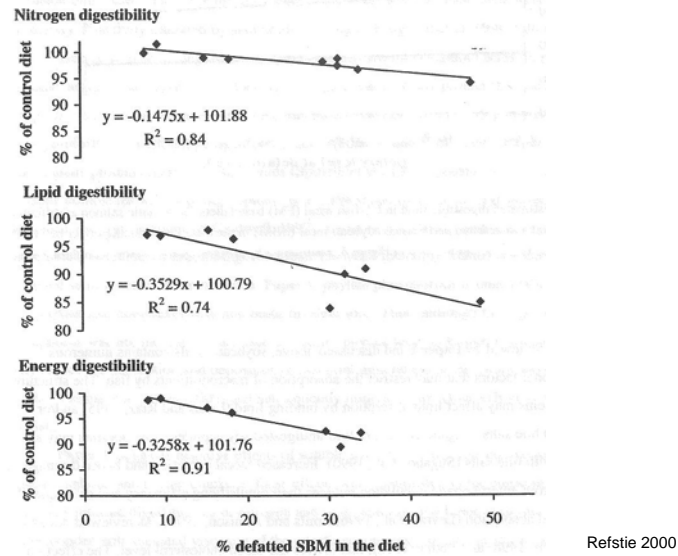


Normal intestine



Soy-feeding

Effect of soybean meal on nutrient digestibility in Atlantic salmon



14-35 Details of the vascular system of the gill arch and elements of a teleost fish. [Courtesy of B. J. Gammon.]

Högtryckssystem till gälarna.
Bulbus fungerar som stötdämpare för trycktoppen.

13-19 The trout heart. [Randall, 1968.]

13-18 The elasmobranch heart is contained in a noncompliant pericardium. Contractions of the ventricle create subatmospheric pressures in the pericardial cavity and assist atrial filling.

Fins

- Paired
- Un paired – median
- Fin
- Fin ray connect via a bone and Tendon.
- Adipose fin cartilage only salmonids.

All fins except adipose regenerate if not too severe

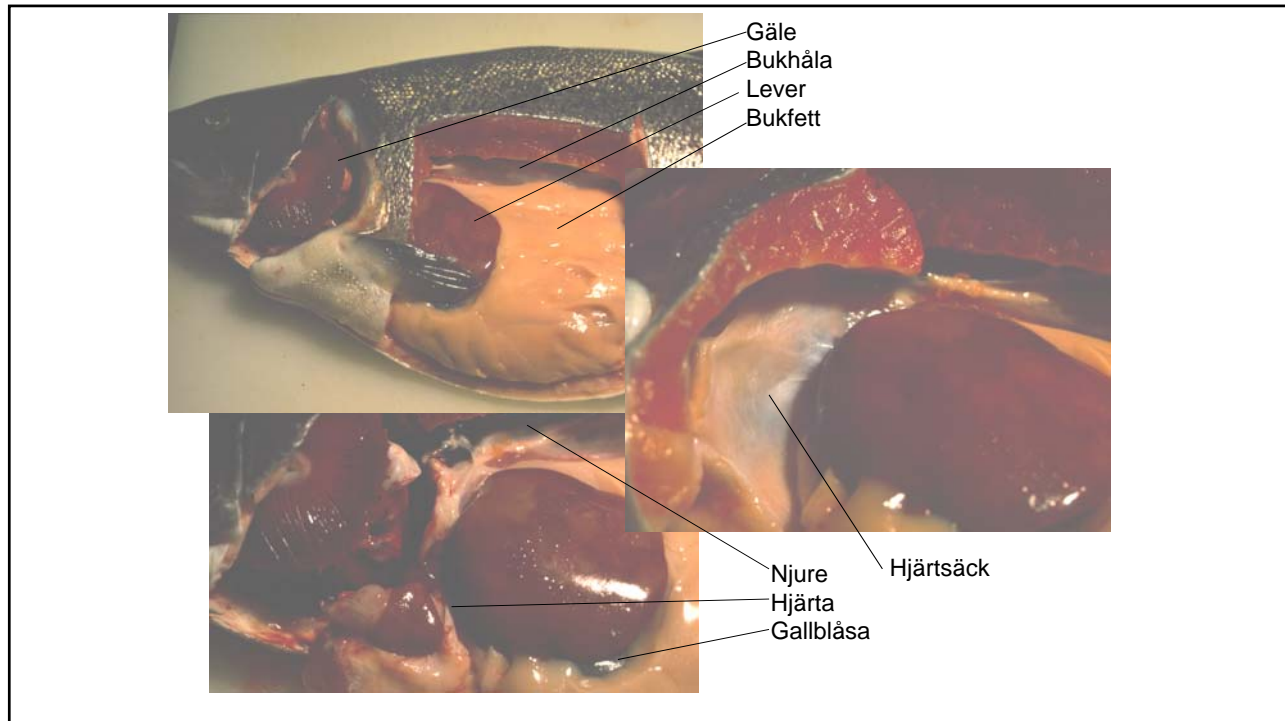
Laxfiskarnas fettfena

Taggstrålig fena
Spiny rays

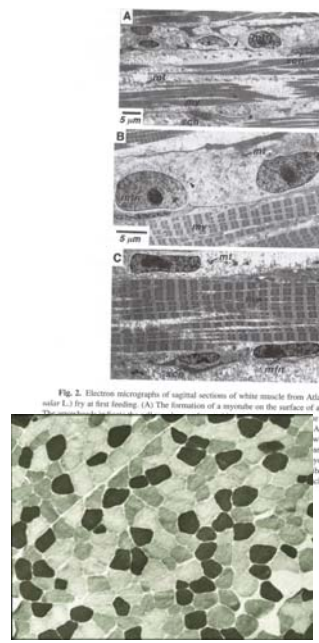
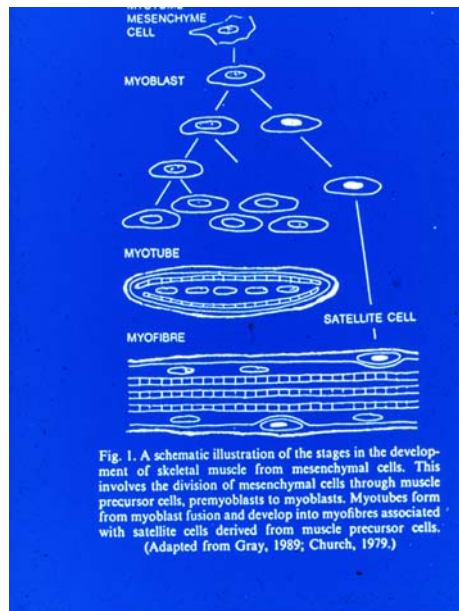
Mjukstrålig fena
Soft rays

Piggvar, vänsterådig
Hilleflundra, högerådig

Foto A. Kiessling



Muskel



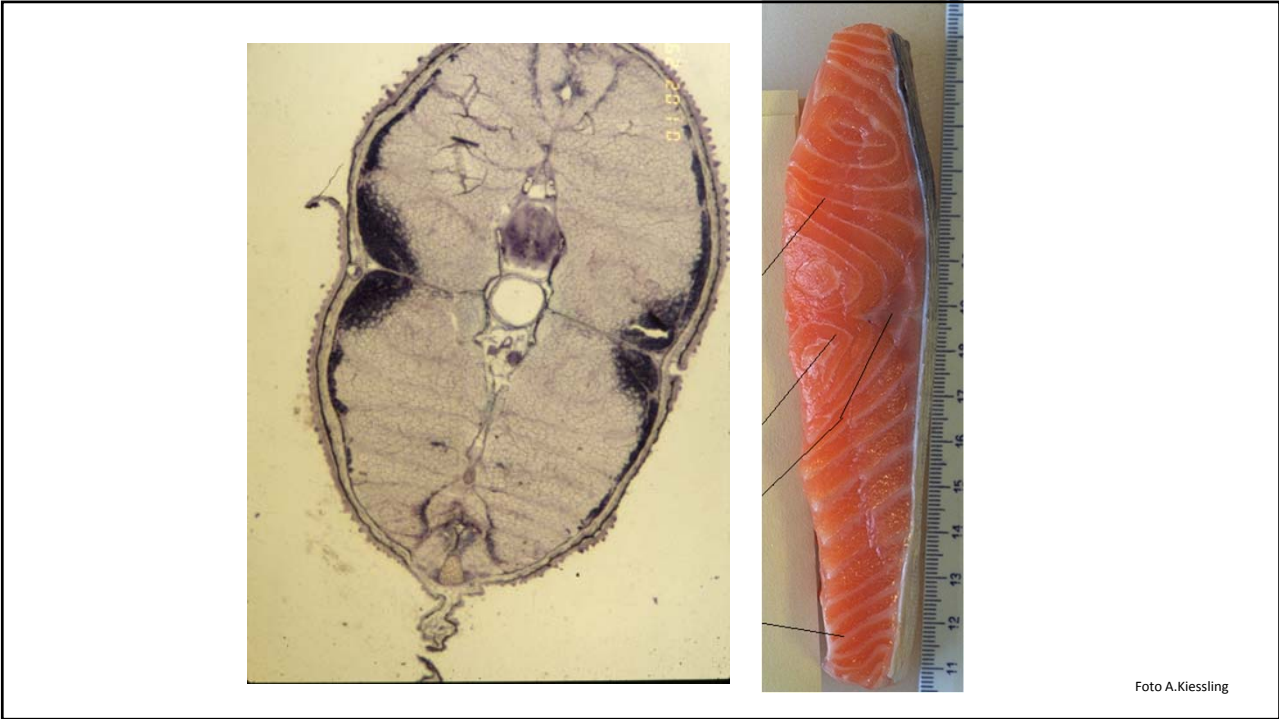
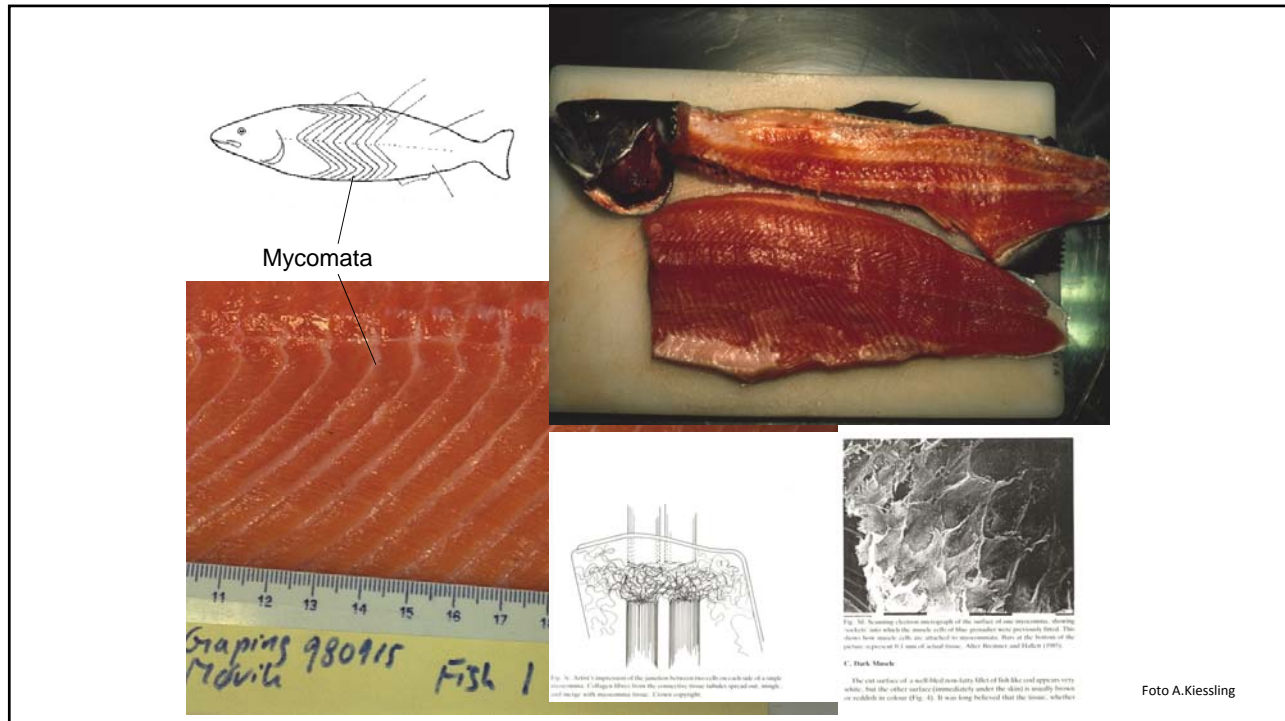


Foto A.Kiessling



Foto A.Kiessling



Lipid and adipose depots



Size – Growth - Ration



Extra (inter) muscular fat

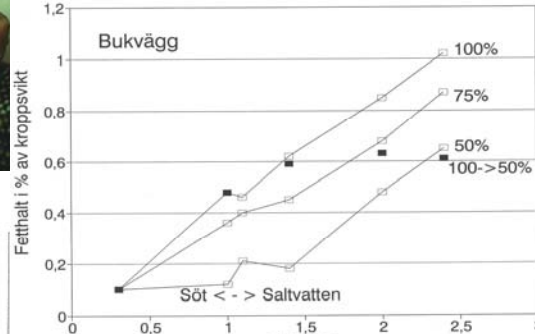
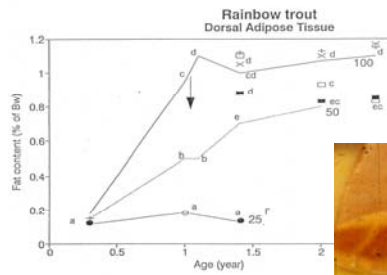


Foto A. Kiessling

3D-NMR

Adipose tissue in farmed salmon

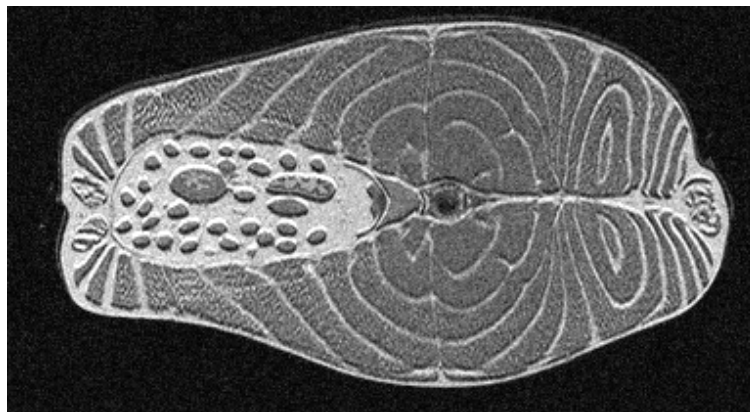


Foto A. Kiessling

Inter fibrilar: Fatty : non fatty fish

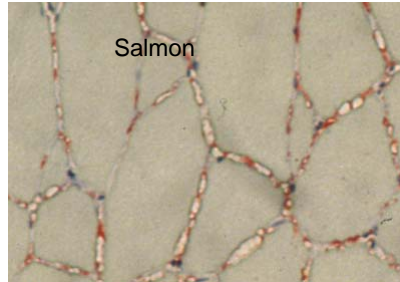
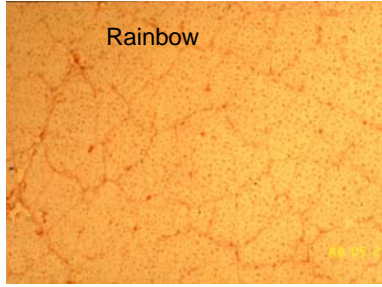
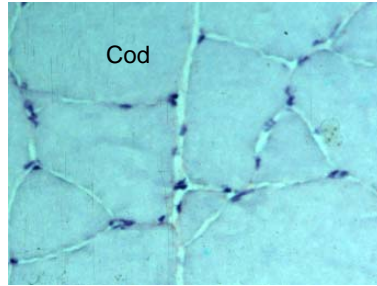
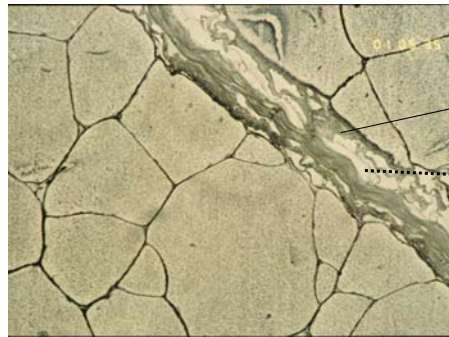


Foto A.Kiessling



Mycomata (connective tissue)
(intra muscular but
Inter/extra fibrilar).

Adipose tissue



Foto A.Kiessling

Subcutaneous

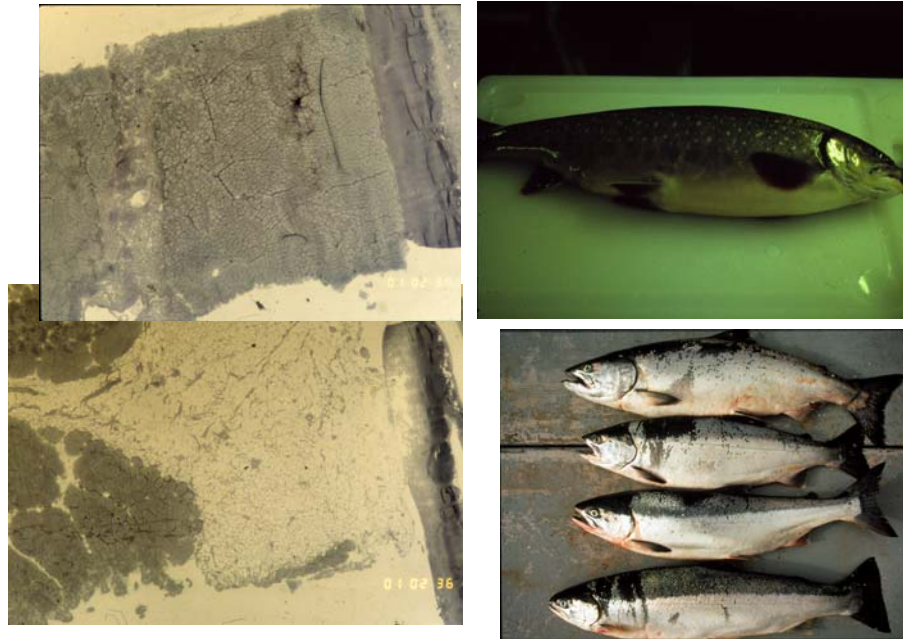


Foto A.Kiessling

Nervsystemet

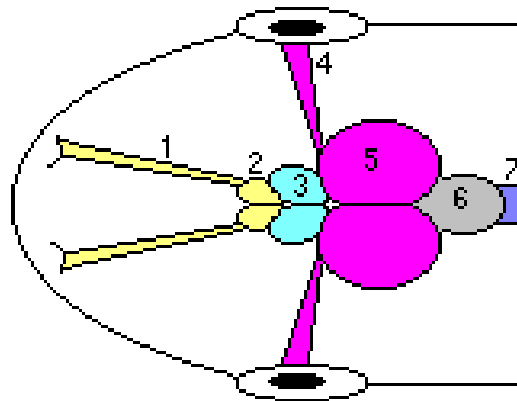
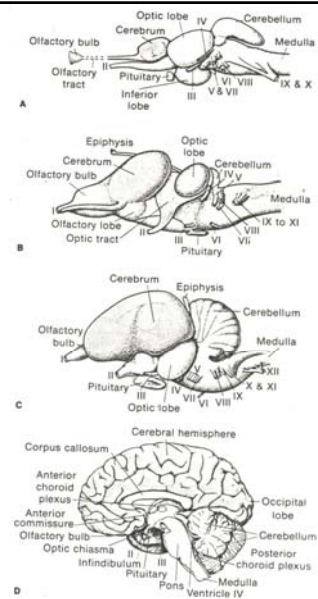


Fig. 1: Principskiss över fiskens hjärna. 1.luktnerv, 2. luktbulberna, 3. Cerebrum (storchjärnan inkl. limbic and neocortex (not in fish and most other higher vertebrates)), 4. syn- nerv, 5. optiska loberna, 6. cerebellum (lillhjärnan), 7. förlängda märgen.

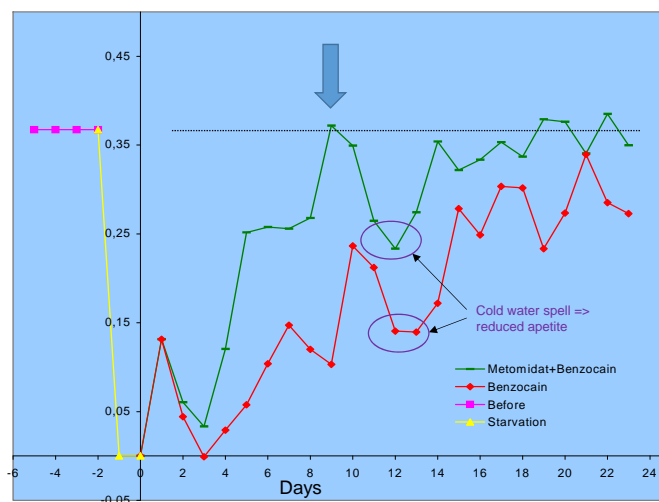


8-11 Representative vertebrate brains. (A) Fish. (B) Frog. (C) Bird. (D) Human. Note the gradual increase in the size of the cerebrum with evolutionary development. The cerebellum, which has an important function in the coordination of movement, is highly developed in birds and mammals. The Roman numerals refer to the cranial nerves. [Romer, 1955.]

Can fish suffer ? Vaccination an Example



Feed intake after vaccination



Difference in Recovery after vaccination in fish given pre-sedation before anesthesia or anesthesia direct.
 => With pre sedation recovered after 8 days, without pre sedation not even recovered after three weeks. I.e. stress before anesthesia affect recovery

=> This difference result in a significant difference in final slaughter weight of the fish

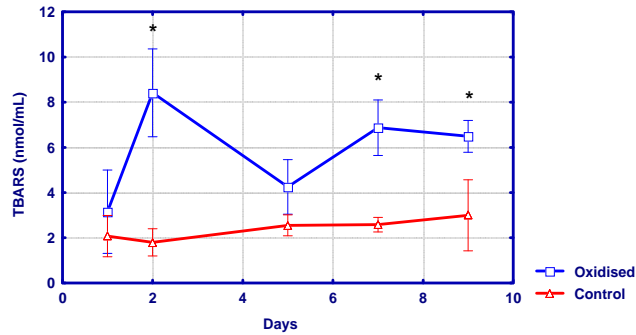
Oppedal, Johansson & Kiessling-Norsk Fiskoppdrett-2000

Changes in
plasma Cortisol
after stress
with and without
sedation

| Stress/anaesthesia | Benzocain | Aqui-S | No Anaesthesia |
|--------------------|-----------|-----------|----------------|
| - 15 min. | | | 5 ±4 |
| 15 min. | 263 ±21 a | 337 ±20 b | 431 ±20 c |
| 60 min. | 396 ±24 a | 404 ±23 a | 276 ±24 b |
| 360 min | 131 ±24 a | 128 ±21 a | 139 ±22 a |

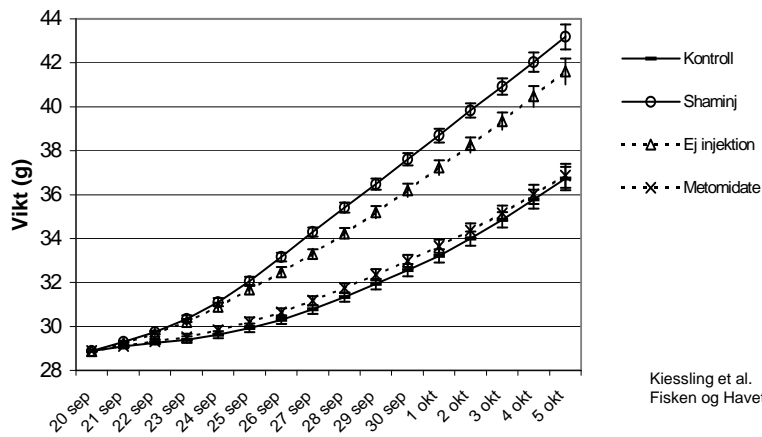
A Kiessling, C Axen, D Johansson

Changes in
plasma TBARS
given feed
Containing
Oxidized fish oils



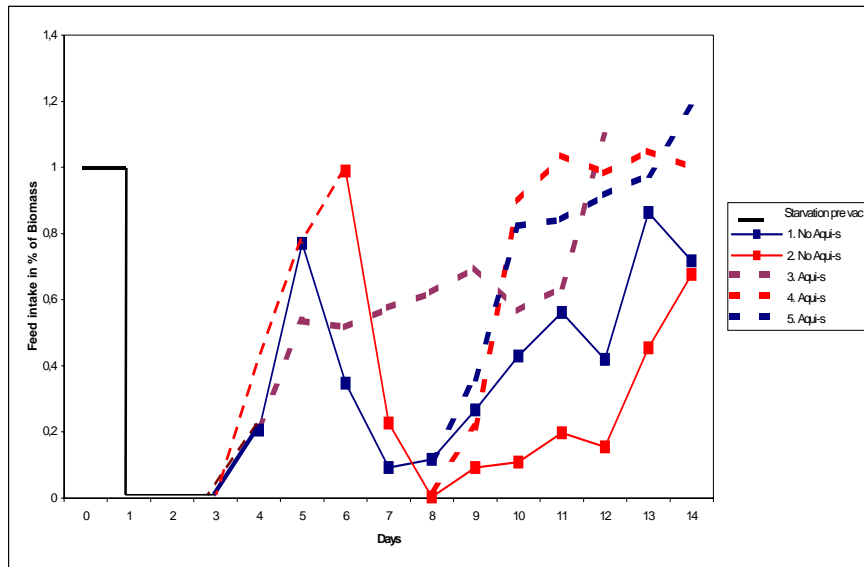
K Hamre, K Kolås, K Sandnes, K Julshamm, A Kiessling.
2003 J. Fish Physiol. Biochem.

Growth after vaccination



Kiessling et al.
Fisken og Havet 3-2001

Feed intake after vaccination



Kiessling et al.
Fisken og Havet 3-2001

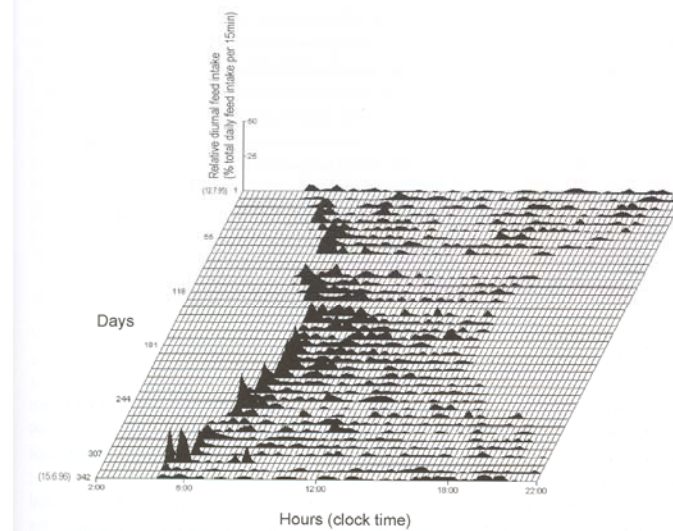


Fig. 14.4 Daily feeding patterns of Atlantic salmon in cages throughout a full production cycle. Data are presented as proportions of the daily ration provided through the day. Data were collected using the Aquasmart AQ1 interactive feedback system. (After Blyth *et al.* 1999.)

Accept feed

1) The fish must discover feed



2) The fish must be attracted by the feed

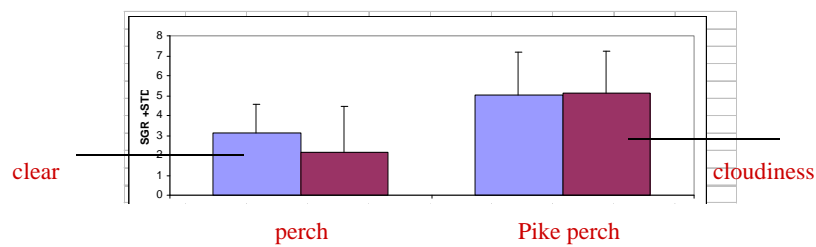
4) The fish needs to be motivated

3) The fish must be able to swallow the feed (size throat/prey size)

Taste is that of importance ?
Species differences ?
Is this a factor in practical feed formulation ?

By E.Brännäs, SLU

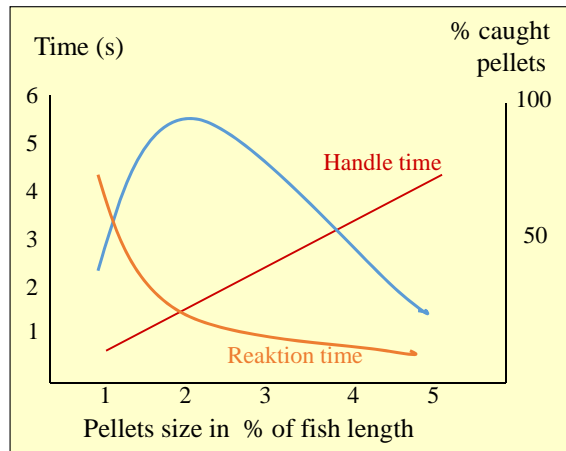
Effect of cloudiness



Contrast between background and feed particles are important for species depending on eye sight for foraging.

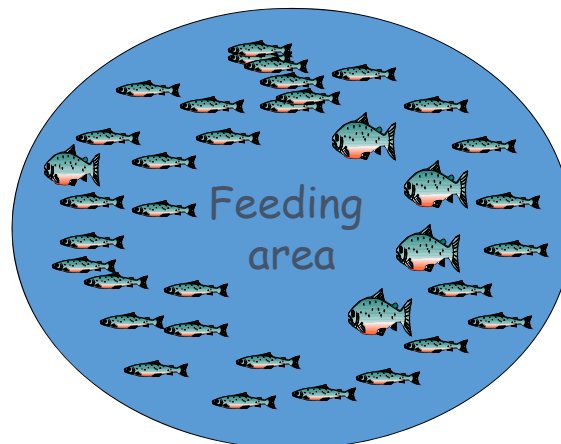
By E.Brännäs, SLU

Effect of pellet size (dry feed)



By E.Brännäs, SLU

How do we feed the fish in cages or tanks ?



By E.Brännäs, SLU



Foto A.Kiessling



Foto A.Kiessling



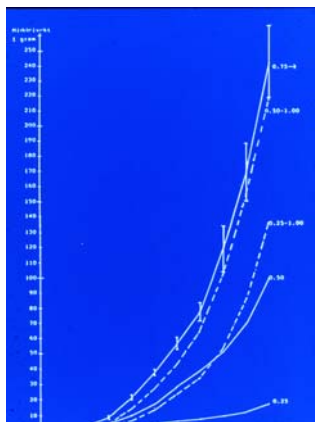
Three siblings



by Eva Brännäs



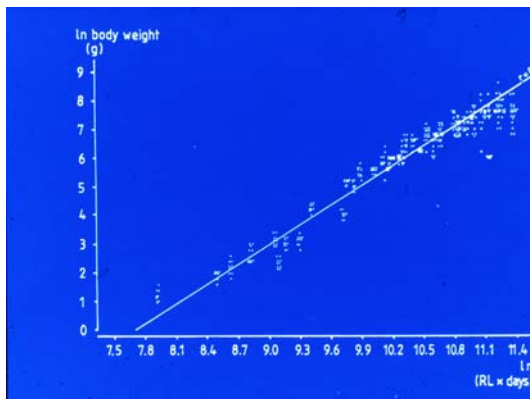
Foto A.Kiessling



Specific Growth Rate

$$\text{SGR} = (\ln \text{FBW} - \ln \text{IBW}) \times 100 / D$$

Compensatory growth:

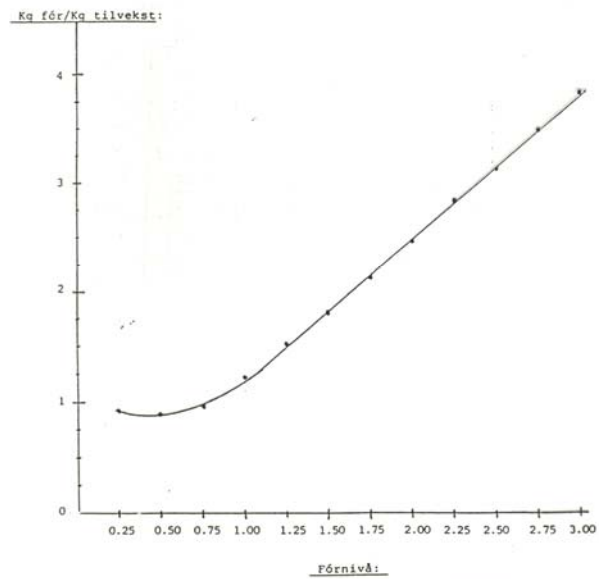


Final Body Weight

$$\text{FBW} = \text{IBW} \times \exp(\text{SGR} \times D / 100)$$

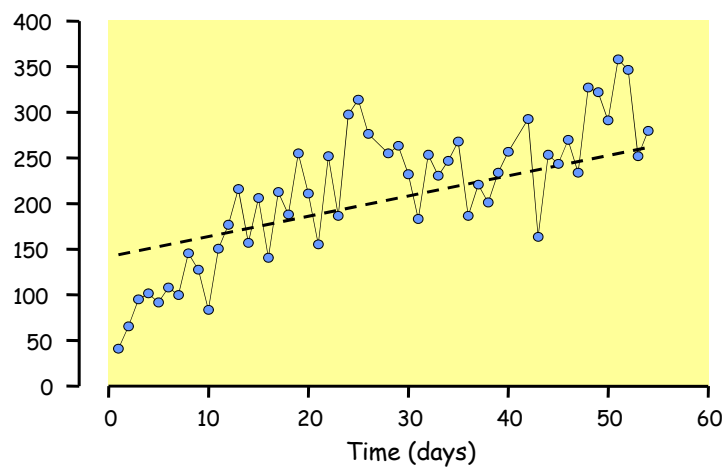
From Kiessling et al, 1990

FIGUR 9



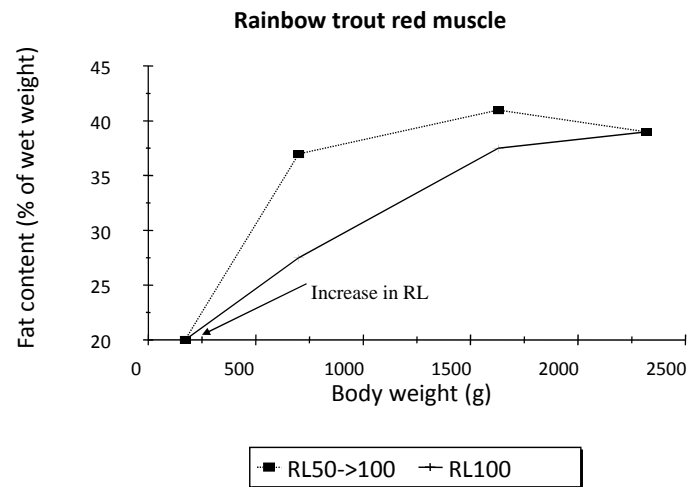
From Rap. Akvaforsk, Sunndalsøra 1987

Demanded amount of feed to rainbow trout (g)



Alanärä (1994)

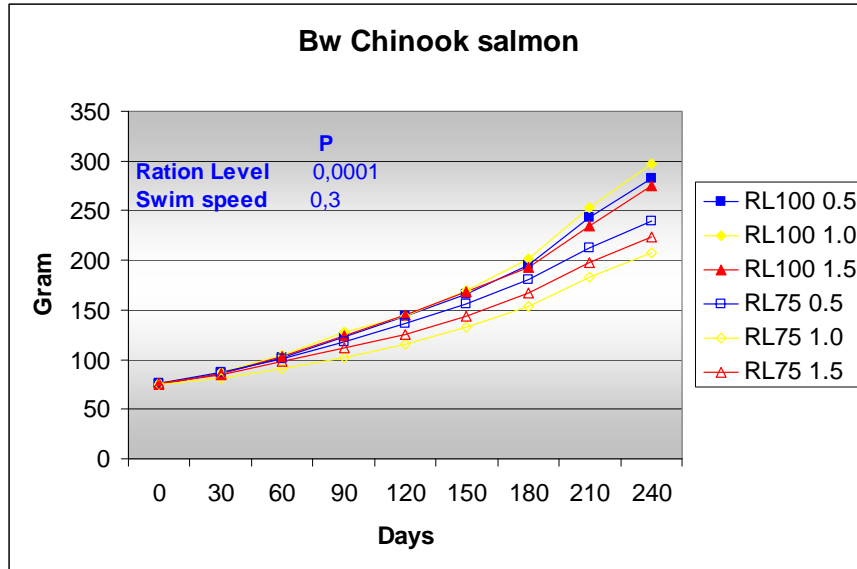
Lipid Deposition



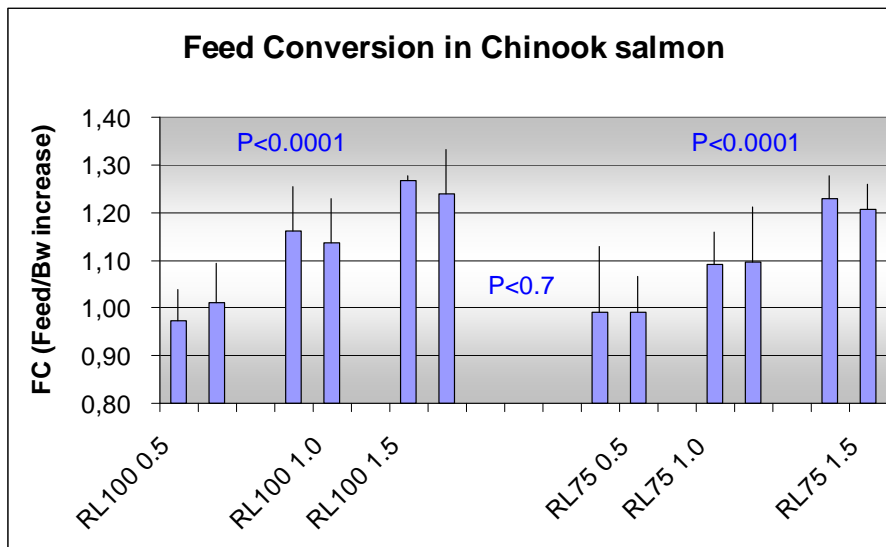
From A.Kiessling, 1990



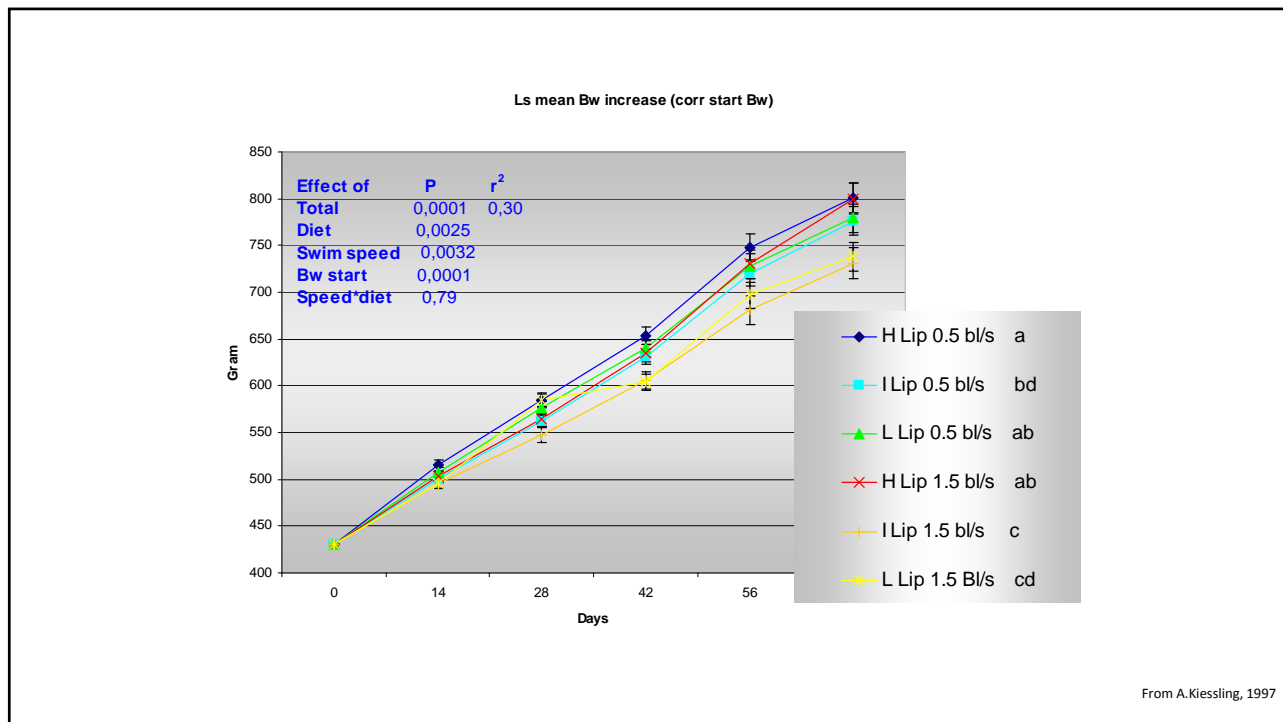
Foto A.Kiessling



From: Kiessling, A., Higgs, D.A., Eales, J.G. and Dosanjh, B.S. 1994. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 51:1975-1984.



From: Kiessling, A., Higgs, D.A., Eales, J.G. and Dosanjh, B.S. 1994. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 51:1975-1984.



Feeding for quality



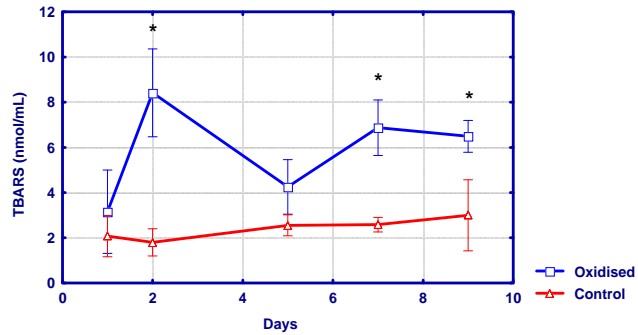
Foto A.Kiessling

Changes in
plasma Cortisol
after stress
with and without
sedation

| Stress/anaesthesia | Benzocain | Aqui-S | No Anaesthesia |
|--------------------|-----------|-----------|----------------|
| - 15 min. | | | 5 ±4 |
| 15 min. | 263 ±21 a | 337 ±20 b | 431 ±20 c |
| 60 min. | 396 ±24 a | 404 ±23 a | 276 ±24 b |
| 360 min | 131 ±24 a | 128 ±21 a | 139 ±22 a |

A Kiessling, C Axen, D Johansson

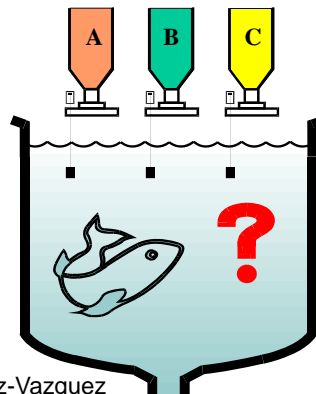
Changes in
plasma TBARS
given feed
Containing
Oxidized fish oils



K Hamre, K Kolås, K Sandnes, K Julshamm, A Kiessling.
2003 J. Fish Physiol. Biochem.

DIETARY SELF-SELECTION

MULTIPLE CHOICE EXPERIMENTS.



By F.J. Sanchez-Vazquez

Protein & Fat

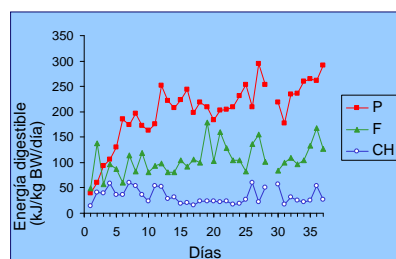
but not carbohydrate

| Species | | Energy source [%] | | |
|---------|-------|-------------------|-------|---------|
| | | Carbohydr. | Fat | Protein |
| Mammals | | 55-60 | ~30 | 10-15 |
| Fishes | Carn. | 5-10 | 45-65 | 30-50 |
| | Omn. | 30 | 40 | 30 |

By Olav Krauakerud

DIETARY SELF-SELECTION

Evolution of macronutrient self-selection

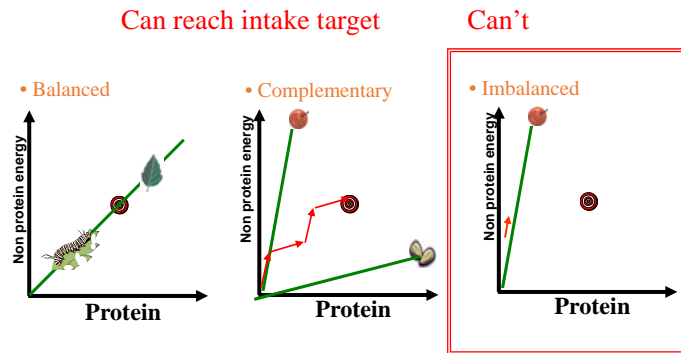


A self
composed
dinner by a
Trout

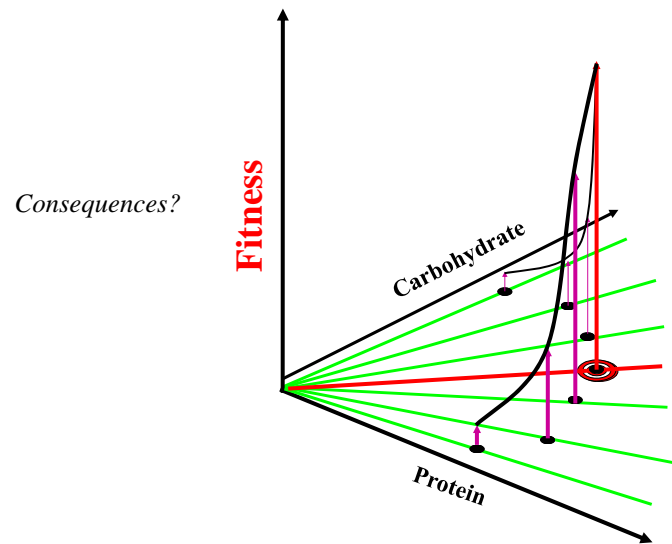
By F.J. Sanchez-Vazquez

(Physiol. Behav. 66: 45-51; 1999)

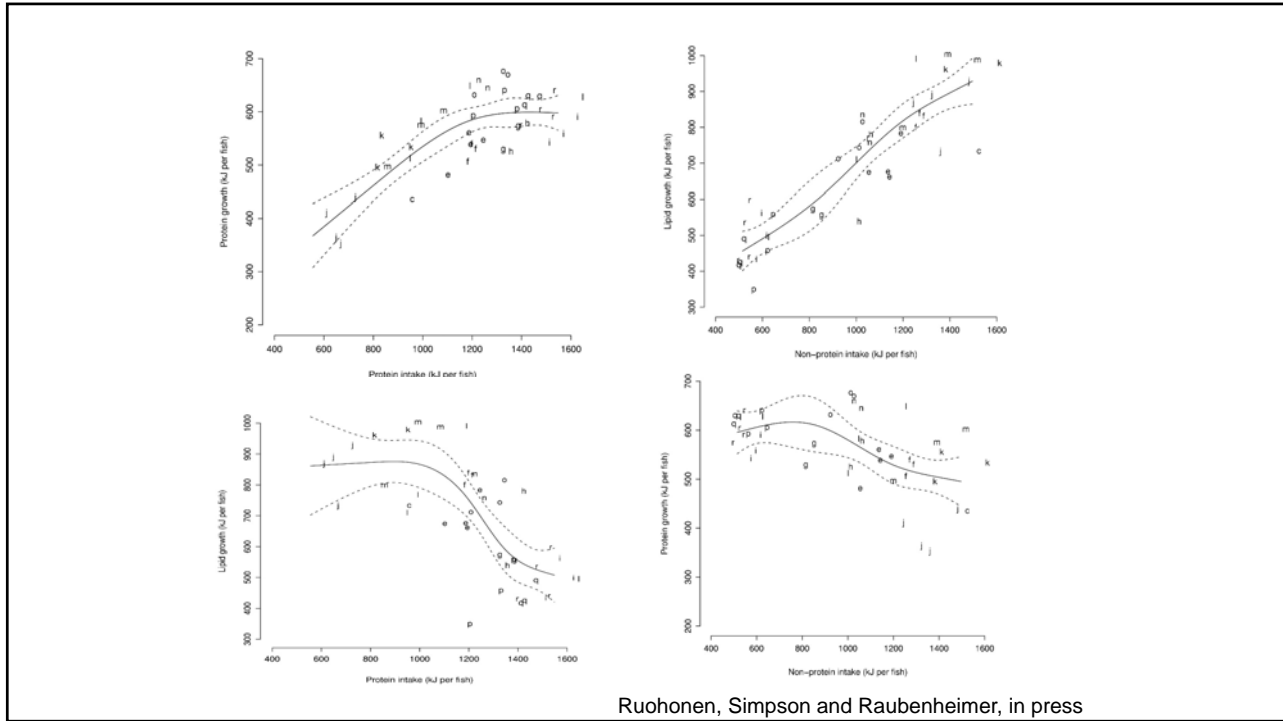
Nutritional compromises



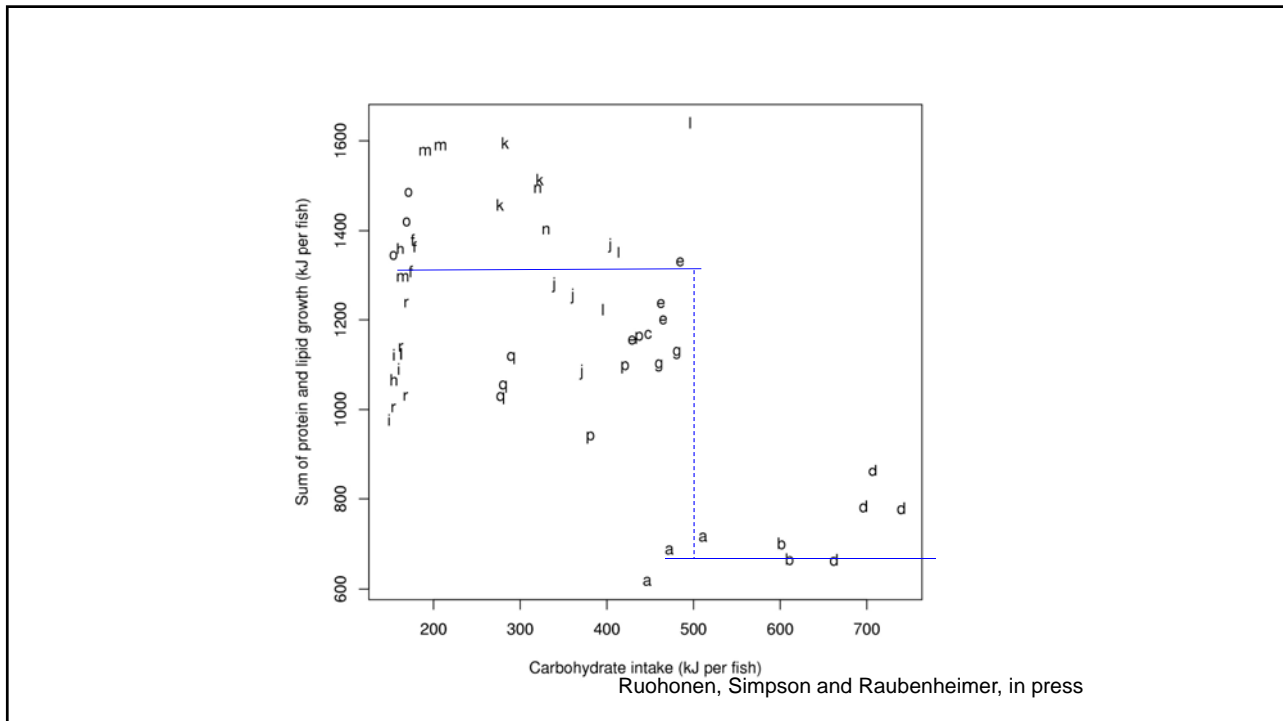
From Simpson & Raubenheimer



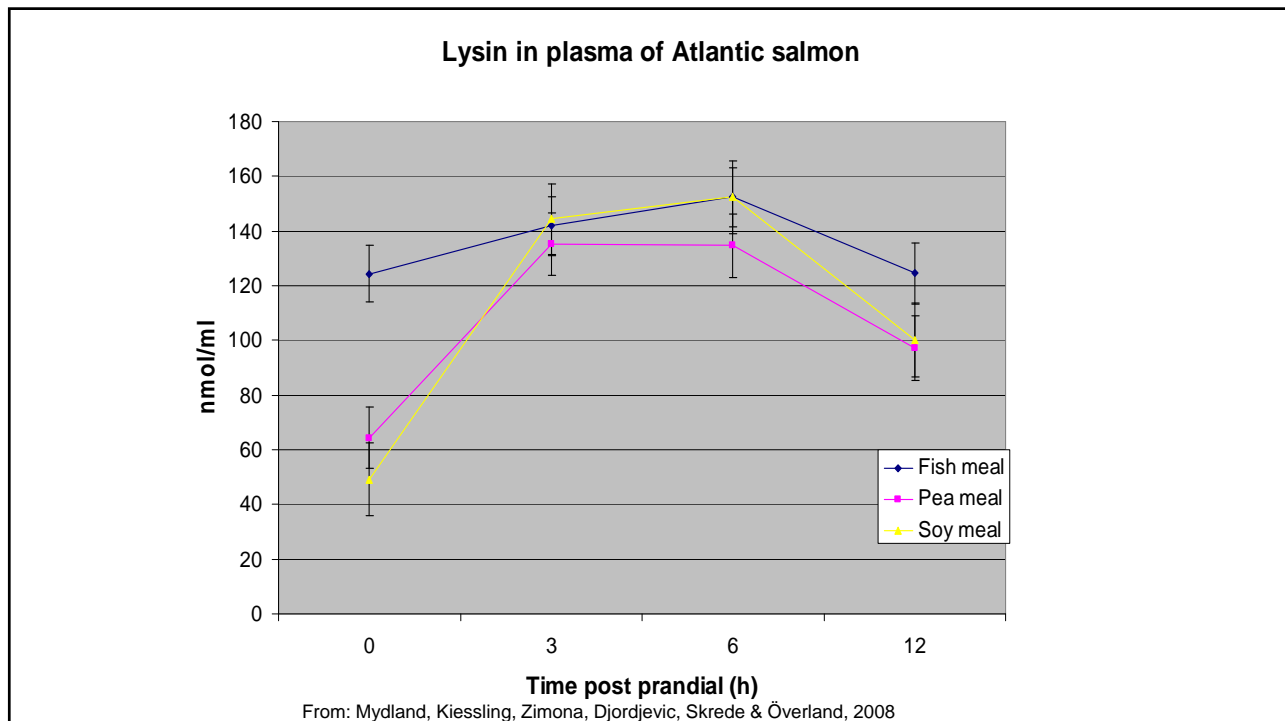
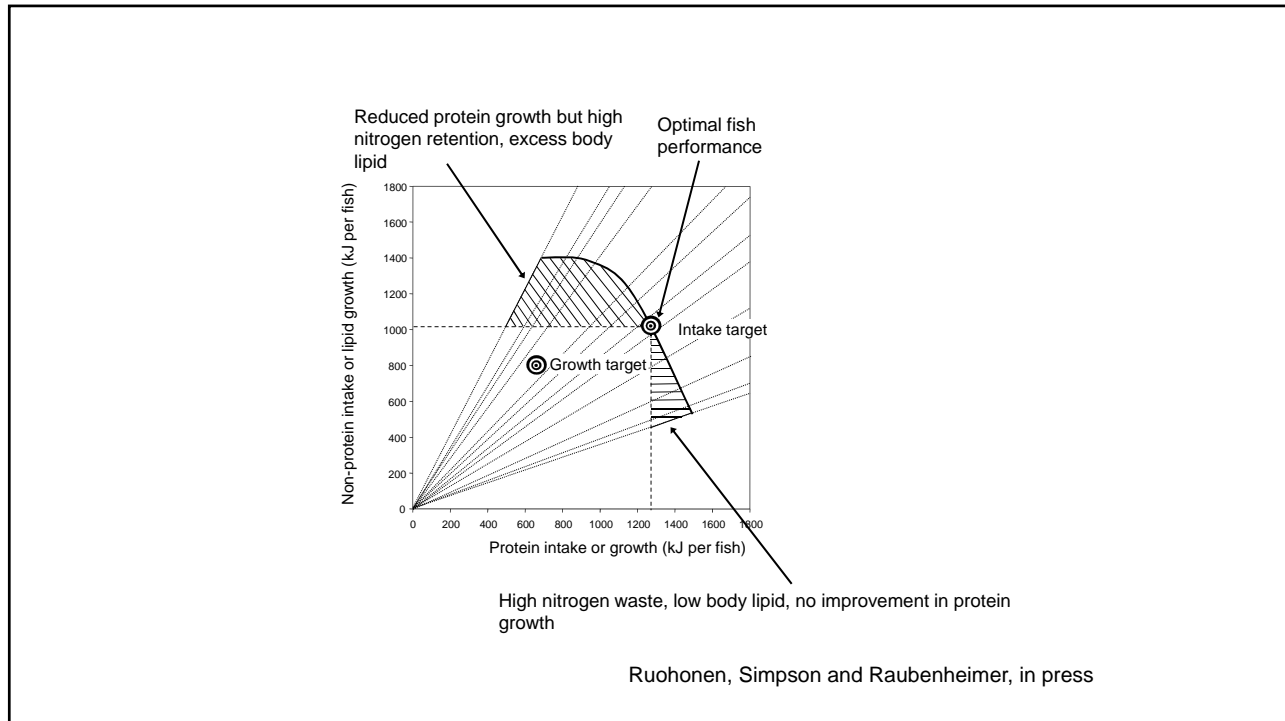
From Simpson & Raubenheimer

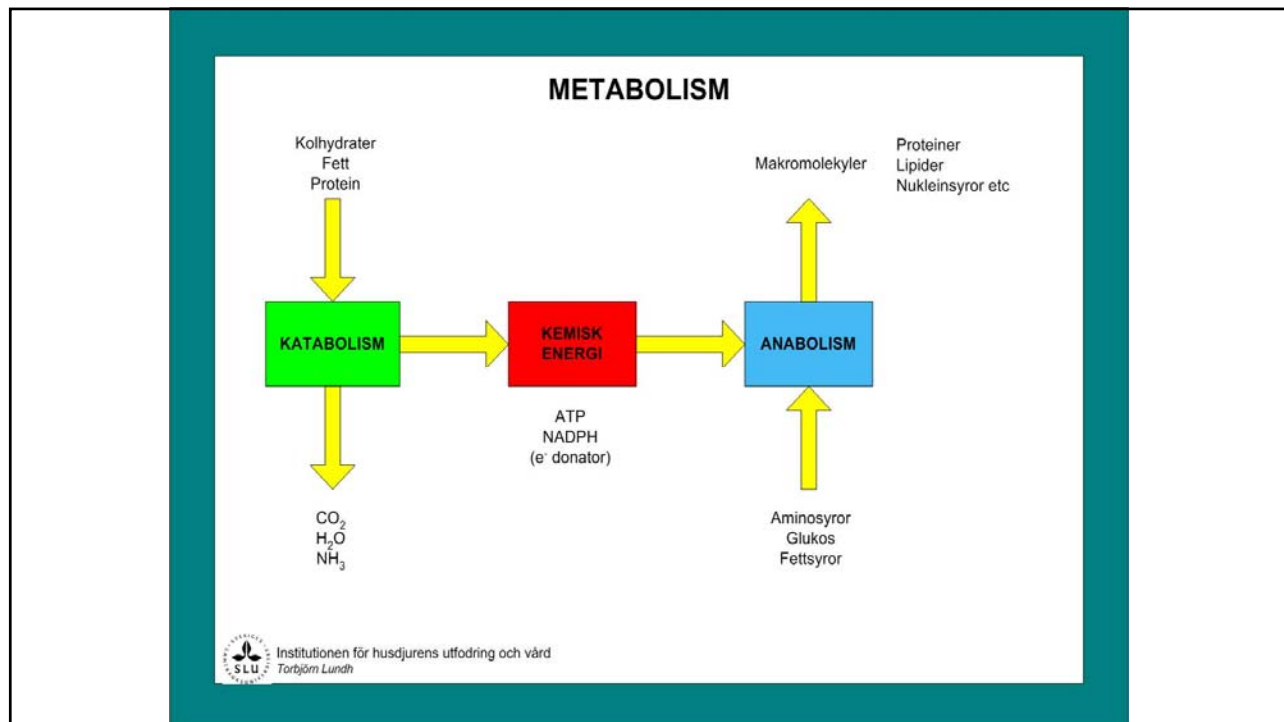


Ruohonen, Simpson and Raubenheimer, in press



Ruohonen, Simpson and Raubenheimer, in press





Energy yield depending on substrate and metabolic pathway

Table 5.3. Yield of ATP from various fuels under aerobic and anaerobic conditions. It is assumed that fuels are utilized by pathways described in Chapters 4, 5, and 6

| Fuel | Conditions | ATP yield (mol) per mol of fuel utilized |
|--------------|----------------------------------|--|
| Glucose | aerobic, complete oxidation | 38 |
| Glucose | anaerobic, conversion to lactate | 2 |
| Glycogen | aerobic, complete oxidation | 39 |
| Glycogen | anaerobic, conversion to lactate | 3 |
| Palmitate | aerobic, complete oxidation | 129 |
| Acetoacetate | aerobic, complete oxidation | 24 |

Hence the complete oxidation of one molecule of glucose produces 38 molecules



An increase in temperature from 8.6 to 13.7 °C doubled the growth rate in salmon smolt.

BY B.Fyhn Terjesen, Nofima

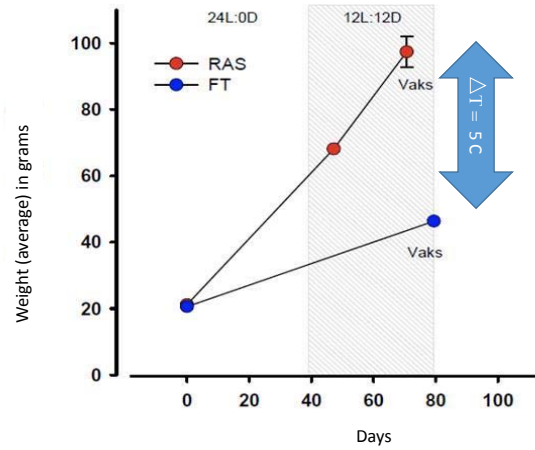


Photo A.Kiessling

Foto A.Kiessling