

# Life Cycle Ecophysiology of Small Pelagic Fish and Climate-driven Changes in Populations

Myron A. Peck<sup>1</sup>, Patricia Reglero<sup>2</sup>, Motomitsu Takahashi<sup>3</sup> & Ignacio A. Catalán<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Center for Marine and Climate Research  
University of Hamburg, Hamburg, Germany



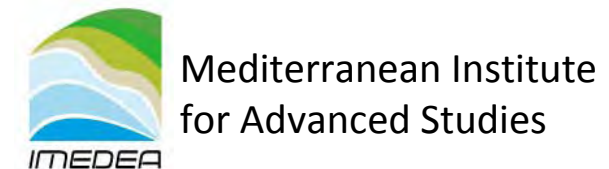
<sup>2</sup>Instituto Español de Oceanografía  
Centre Oceanogràfic de les Balears, Palma, Spain



<sup>3</sup>Seikai National Fisheries Research Institute  
Nagasaki, 851-2213, Japan



<sup>4</sup>Instituto Mediterraneo de Estudios Avanzados  
(IMEDEA, UIB/CSIC), Illes Balears, Spain



# Impetus for this study

- [ICES/PICES/GLOBEC-SPACC workshop](#) “Changes in distribution and abundance of clupeiform small pelagic fish in relation to climate variability and global change” (WKSPCLIM)
- Participants expertise was in Northeast Atlantic / Mediterranean & Northwest Pacific species ([sprat, European and Japanese anchovy & sardine](#))
- We reviewed knowledge on ecophysiology of each life stage to **1) help understand processes** behind patterns in time series, **2) identify gaps in knowledge**, **3) recommend future research** and aid in biophysical model development
- A total of **250 references** was reviewed in 1470 lines of text and 7 tables and I will tell you everything in **13 min..** (!)

## Stages x factors

Development of  
eggs & yolk sac  
larvae

first-feeding &  
growth of larvae

Growth physiology  
of post-larvae &  
juveniles

adult spawning

X

T., Sal., Light,  
prey quantity &  
composition/quality

# Impetus for this study

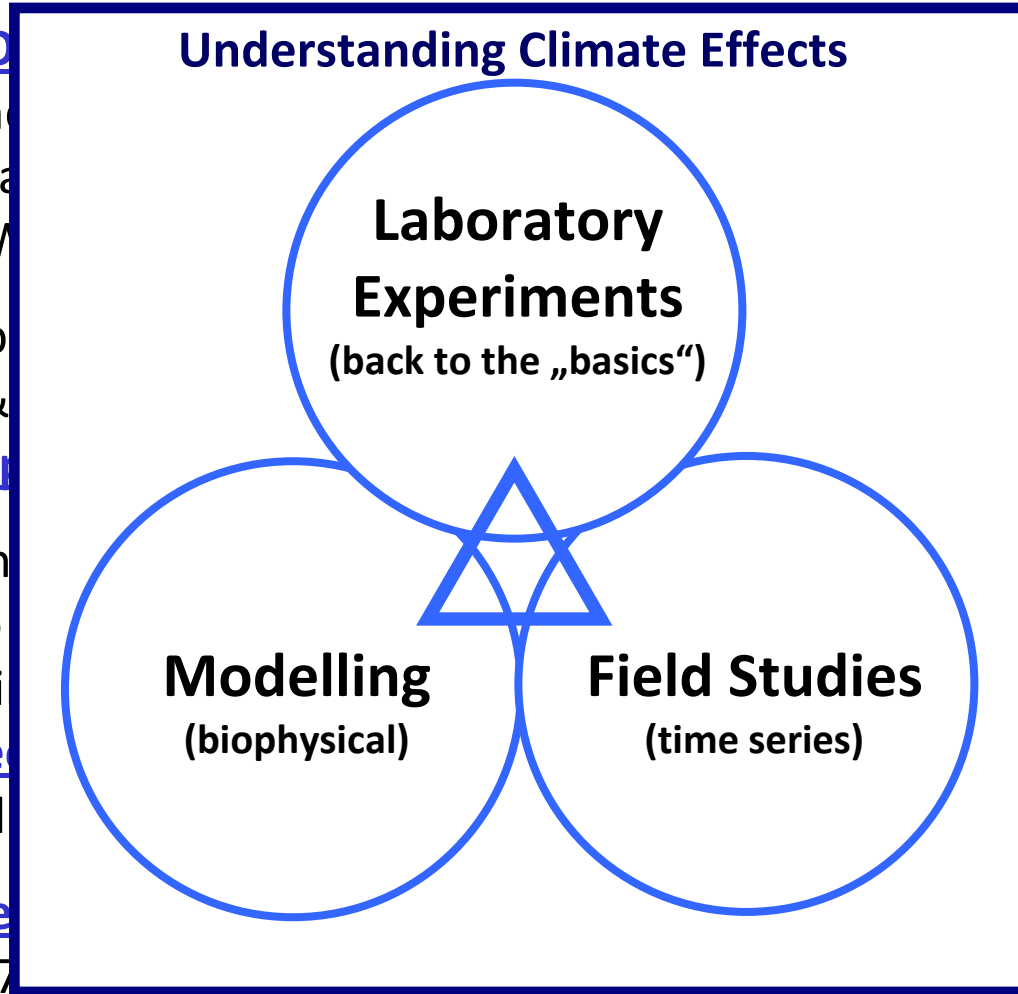
- [ICES/PICES/GLOB](#)

in distribution and  
pelagic fish in rela  
global change” (V

- Participants exp  
Mediterranean &  
[European and Jap](#)

- We reviewed kn  
each life stage to  
behind patterns i  
[knowledge, 3\) re](#)  
aid in biophysical

- A total of [250 re](#)  
lines of text and 7  
everything in [13 min...](#) (!)



s x factors

lopment of  
& yolk sac  
larvae

-feeding &  
th of larvae

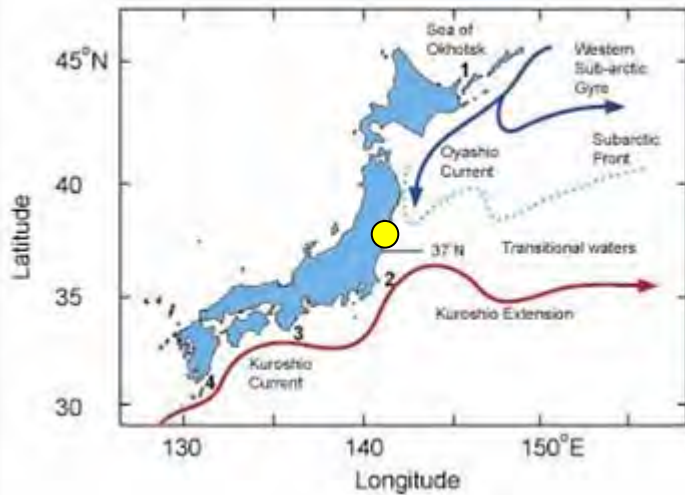
h physiology  
st-larvae &  
veniles

t spawning

X

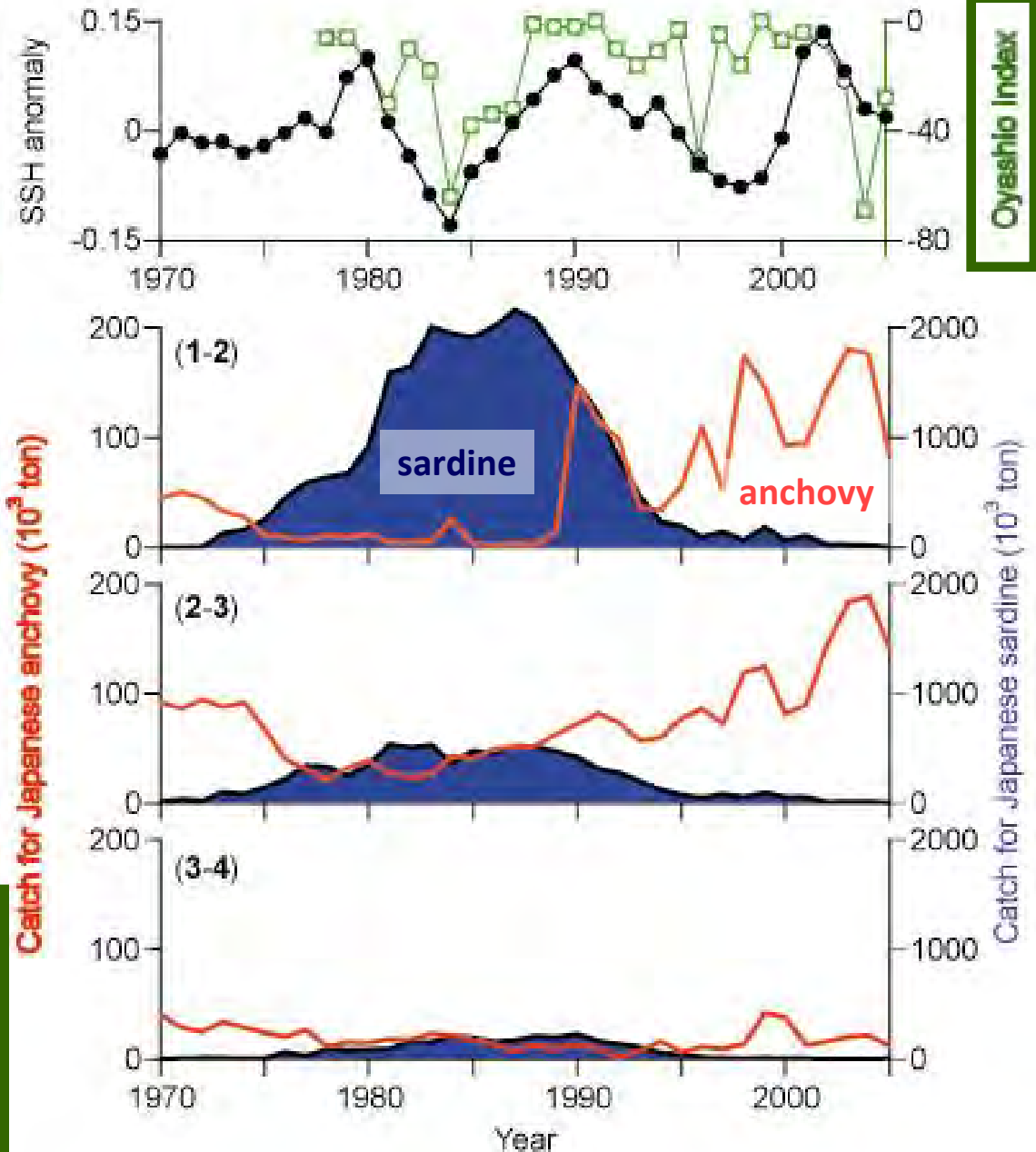
Sal., Light,  
prey quantity &  
composition/quality

# Japanese sardine & anchovy



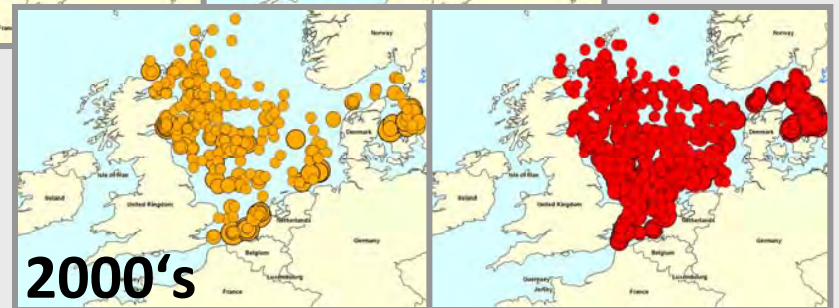
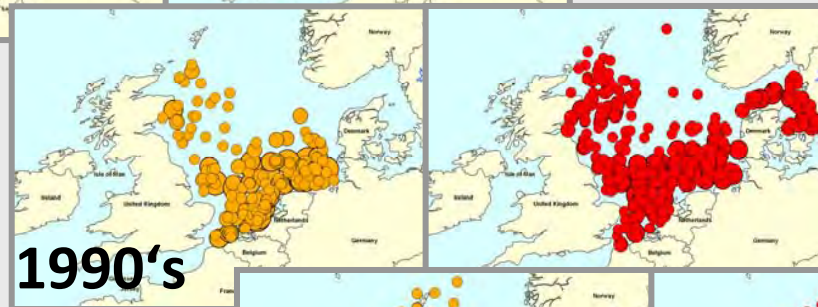
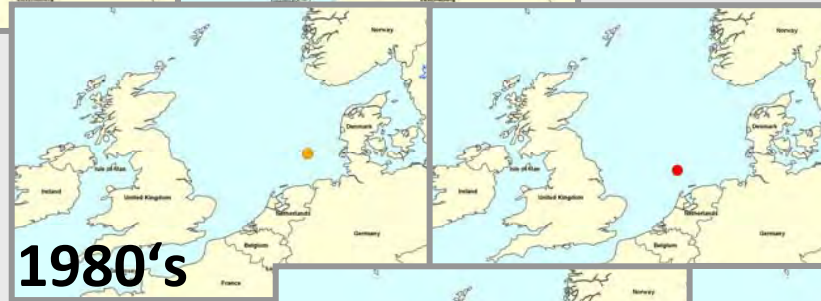
Sea surface height (SSH) anomaly in the Kuroshio Extension region indicates Kuroshio Extension axis location

southward intrusion of Oyashio waters indicated by area of water with  $< 10^\circ\text{C}$  south of  $37^\circ\text{N}$ .

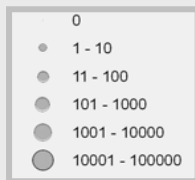




**European sardine & anchovy adults into the North Sea (again...)**

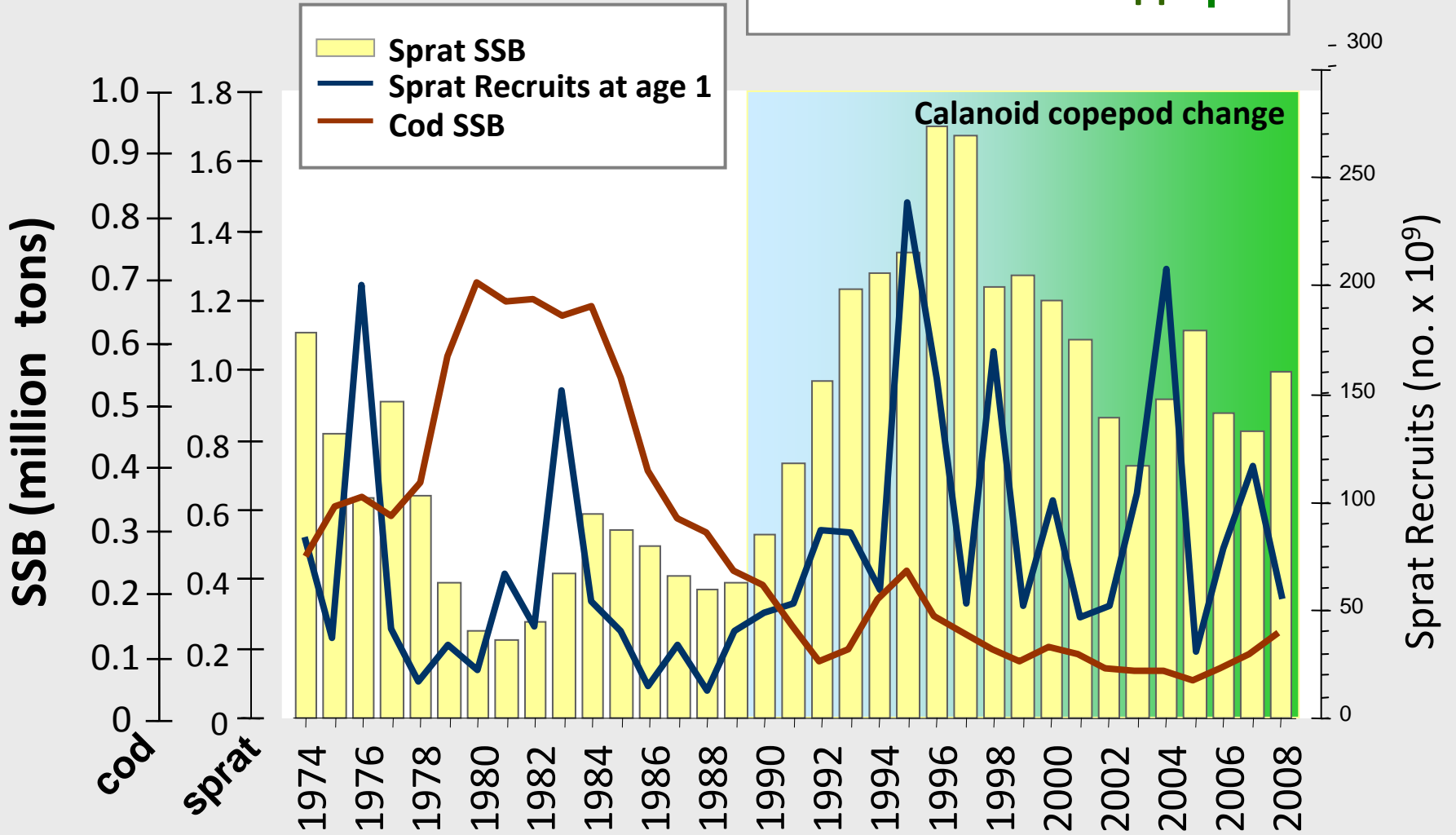


CPUE  
(# \*hr trawl<sup>-1</sup>)



International Council for the  
Exploration of the Seas Data, IBTS  
(all quarters)

# Changes in sprat in the Baltic Sea



Northern-most European population of sprat (prefers *Acartia & Temora*)

# El boquerón ya no es malagueño

El boquerón malagueño ya no es malagueño. El engraulis engrauloides, mucho más plateado, de carne más blanca que los boquerones del Atlántico, de menor talla, con más brillo y sin tonos rojizos en ojos y aletas, apenas si se encuentra en los mercados de Málaga.

Varios con las razones que han provocado la casi total desaparición del rey indiscutible del pescado frío malagueño, y en caso todos aparece la mano culpable del hombre.

La sobreexplotación del caladero malagueño viene de antiguo. Donde antes se extraían hasta 10.000 toneladas de boquerón al año ahora apenas si se llega a 500, a pesar de las paradas biológicas en primavera y de los controles para evitar malos artes de la flota pesquera.

Otra agravante de la situación es la subida de la temperatura de agua de Mediterráneo a causa de cambio climático. Si los últimos 50 años la temperatura de Mediterráneo ha subido entre los 0,3°C y los 0,5°C. A esto se suma el aumento de la

Y es que al boquerón le gusta moverse donde se mezcla el agua dulce y la salada. El incremento de la salinidad merma las especies que componen su dieta (plácton, larvas de moluscos y pequeños crustáceos), y por si fuera poco, propicia el desarrollo de sus depredadores, como el jurel y la caballa. Teoría o realidad, lo cierto es que casi ningún boquerón que llega a la mesa de los malagueños es autóctono. "A veces nos los hemos deseado para encontrar un boquerón malagueño en la lonja pero realizamos los muestreos", indica Grández.

"Esto no es novedad", asegura Miguel Ángel Segado, pescadero en el mercado de Albarazanas. "Hace ya años que escasea y la cosa va a peor. Los que entran vienen de Castellón, Tarragona, Grecia o de Italia; de Málaga pocos", cuenta.



Pero no sólo el boquerón ha perdido su...

# Sardellen aus Südeuropa in der Ostsee entdeckt



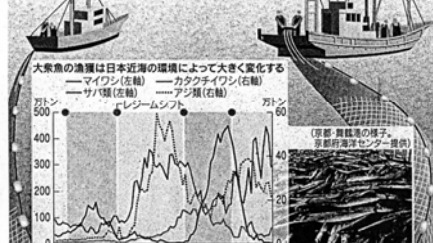
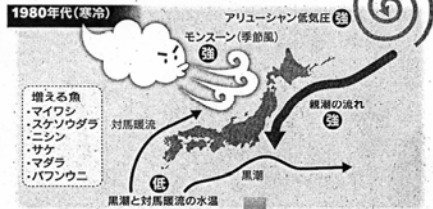
Die Sardelle hat die Ostsee als Lebensraum entdeckt. Grafik: Archiv

## One of the reasons we are all here...

berlebenschancen sind allerdings sagte Thiel. biologien bereits die vor der deutschen Ostseeküste verschwundene Finte wiederentdeckt. Die Rückkehr der Finten

## SUNDAY NIKKEI

### 低気圧と季節風がカギ



1980年代(寒冷) アリュウシヤン低気圧(強) モンスーン(季節風) 対馬暖流 黒潮の流れ 黒潮 対馬暖流の水温

# 豊饒の海を取り戻せ

fängen in der verg... che fünf ausgew... der „Engraulis“ en... die globale Klir... verschiebe sich de... für die Tiere imme... Norden, sagte de... Meeresbiologe Ra... den Einstrom von V... Nordsee seien die... Ostsee gelangt. ... biologien vermut... Sardellenschwärme... see. Bei den Funde... um geschlechtsre...

## 30 años de declive del bocarte

### Razones oceanográficas, más que el esfuerzo pesquero, explicarían según los biólogos la falta de anchoa



Los científicos estiman que en el Golfo de Vizcaya habitan 21 o 22 millones de kilos de este especie, la cuarta parte de la que se pescó en la costera de 1960

En opinión de Abouza, la situación es esta: «En una especie de vida corta como la anchoa, la abundancia o escasez depende mucho de los reclutamientos que haya en la mar. Si las condiciones oceanográficas son buenas, puede tener un éxito muy fuerte. Esto pudo pasar en aquella época. Sin embargo, en esas épocas puede haber condiciones oceanográficas desfavorables y no van bien a la anchoa. Puede haber reclutamientos muy bajos, y en eso hemos podido estar en esos años».

hace el pasado 1 de marzo. Si a primera vista aquellos escosos parecen aplicar la escasez actual se pescó mucho y se agotó el recurso, podría pensarse. Sin embargo, la realidad del mar es mucho más compleja, y parece seguro que, en la simulación actual de la anchoa, la neutralización influye más que el hombre. Lo casen muchas personas. Y lo creen dos autoridades en la materia como Oreste Candrezo y Pablo Abouza, directores, enonacos y ahora, del Centro Oceanográfico de Santander.

En hablar de los reclutamientos, los científicos se refieren al número de ejemplares que sobreviven a la puesta. El bocarte desova cada año en los meses de primavera y es su aproximación al litoral para reproducción lo que explica el fenómeno



Manuel Vinatas es el patrón mayor de la Cofradía de Pescadores de Santoña y presidente de la Federación

### 環境の変化で「漁」

スズメダイが減少した魚が中心だった。乱獲が主な原因は、1980年代後半から1990年代前半にかけての代わり、環境の変化で「漁」が中心だった。

### 環境の変化で「漁」

スズメダイが減少した魚が中心だった。乱獲が主な原因は、1980年代後半から1990年代前半にかけての代わり、環境の変化で「漁」が中心だった。

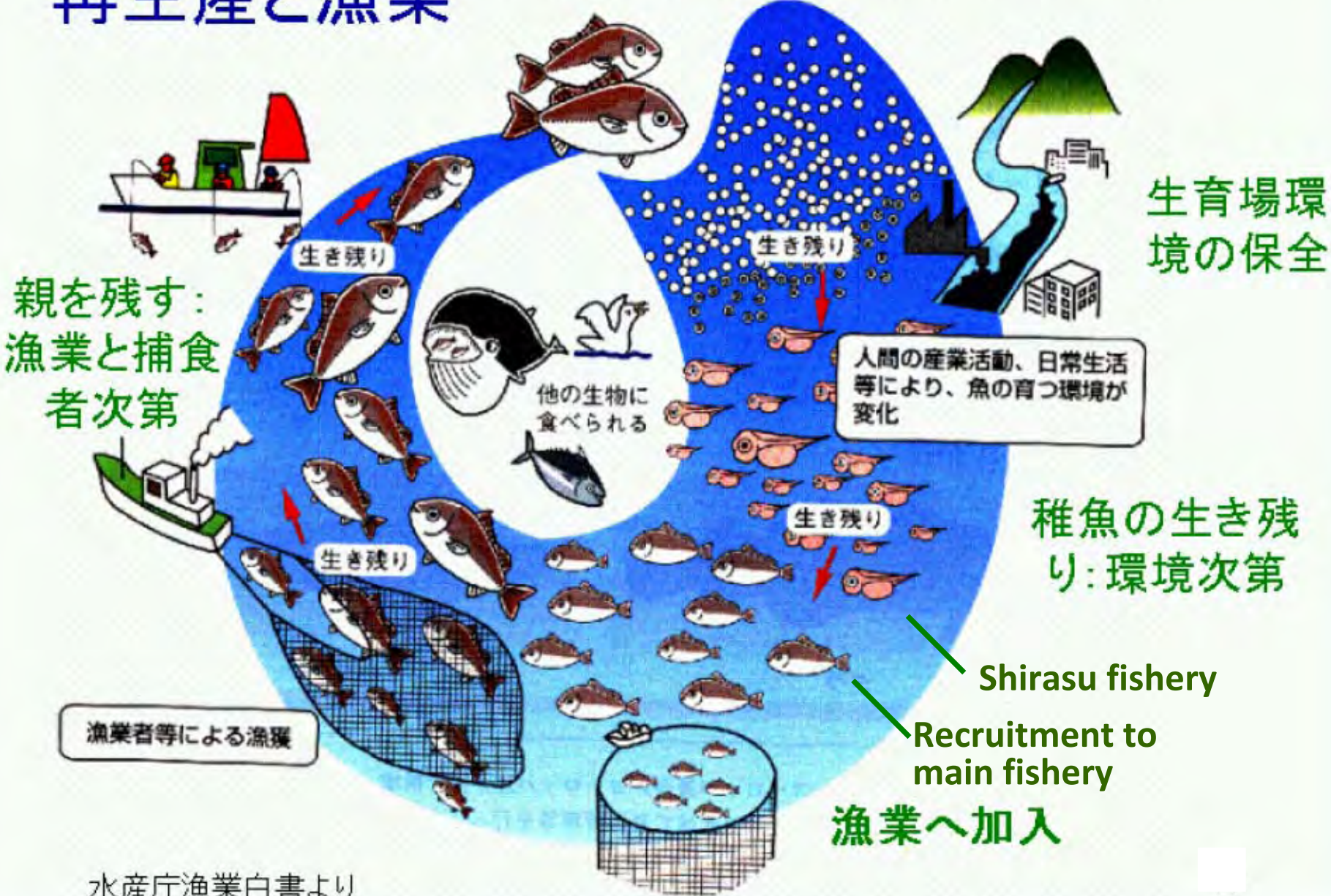
Corrientes, salinidad, disponibilidad de alimentos influyen en el éxito o el fracaso del desove (reproducción)

La pesca se aproxima cada primavera al litoral buscando condiciones para reproducirse, pero no siempre las encuentra

aprecio por las anchoas porque ha...

# Understanding Interacting Effects

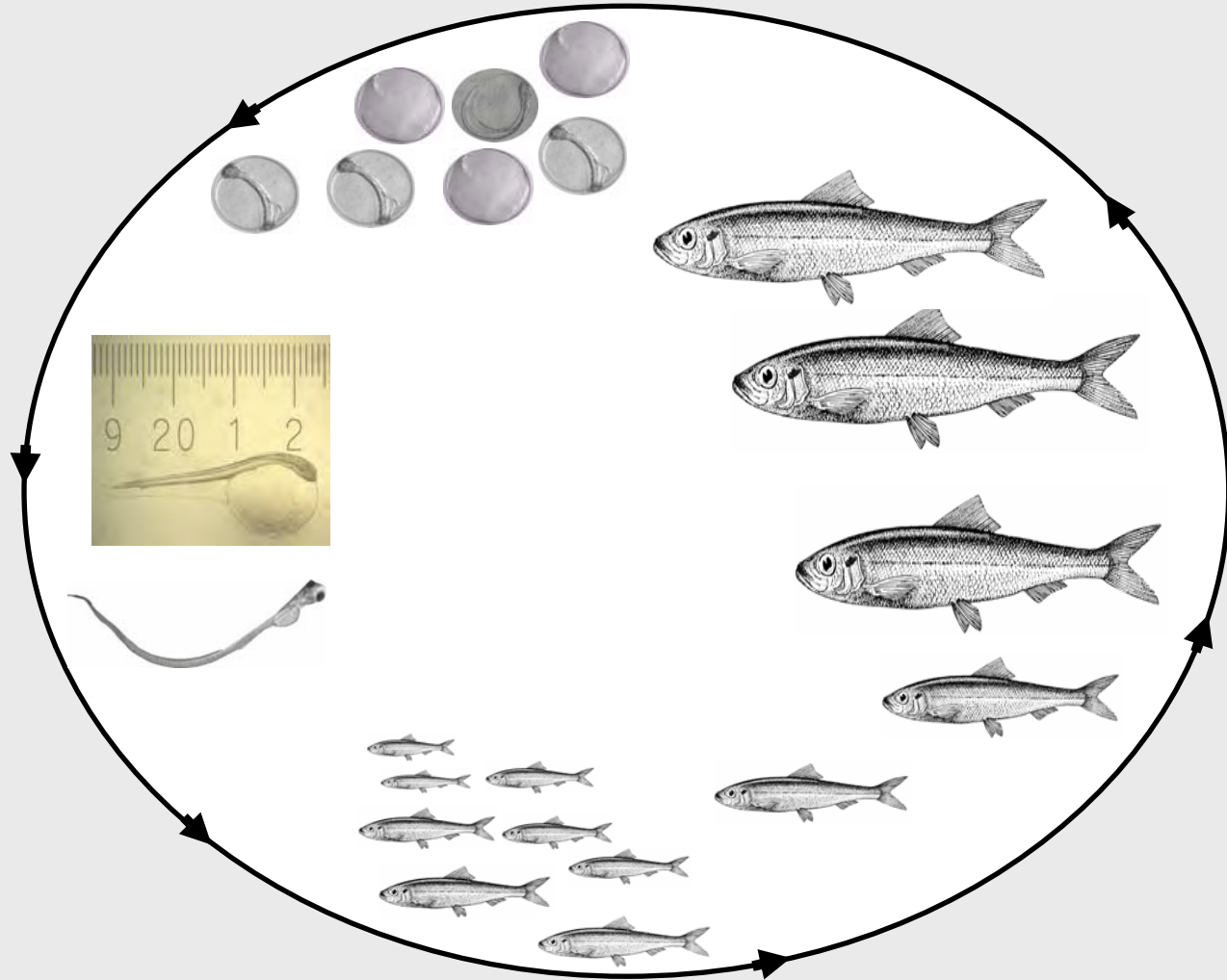
## 再生産と漁業



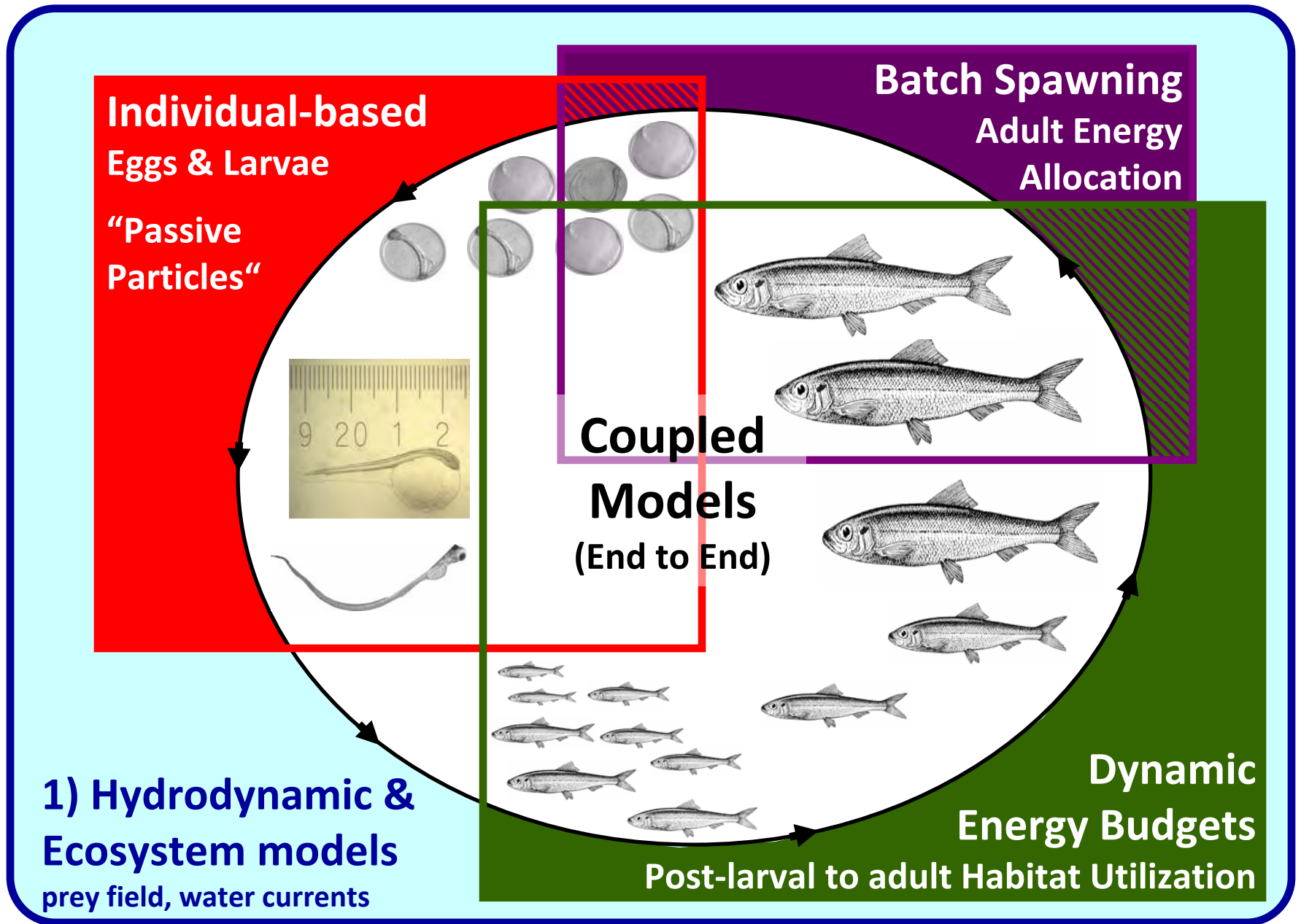
水産庁漁業白書より



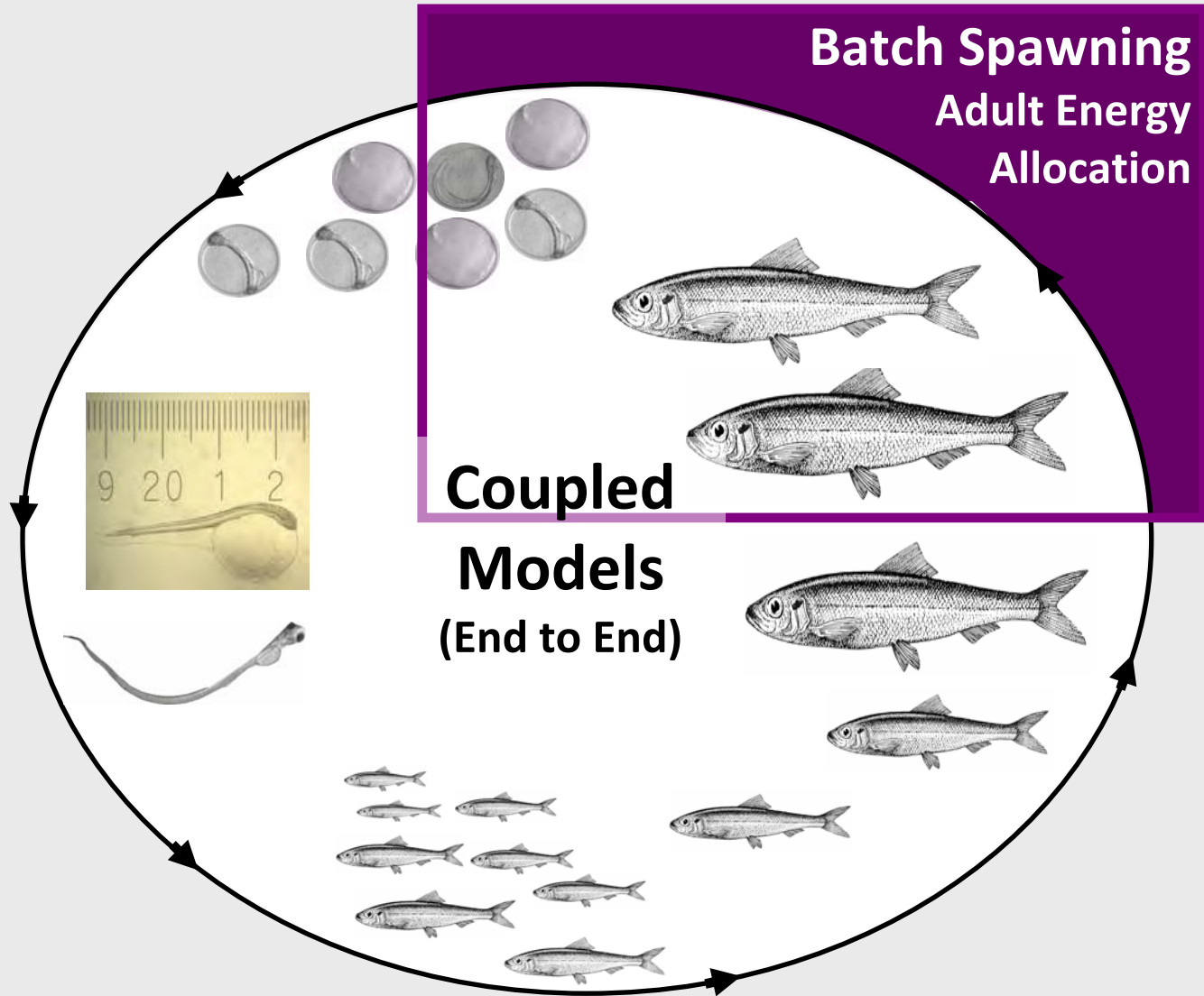
# Projecting Climate Impacts...



# Projecting Climate Impacts using Coupled Models



# Batch Spawning & Adult Energy Utilization



## Area of Study

- Bay of Biscay ●
- English Channel to Portugal ●
- North East Atlantic ●
- North West African Regions ●
- NW Mediterranean ●
- Iberian peninsula ●
- North Africa ●
- Gulf of Tunis ●

## European sardine

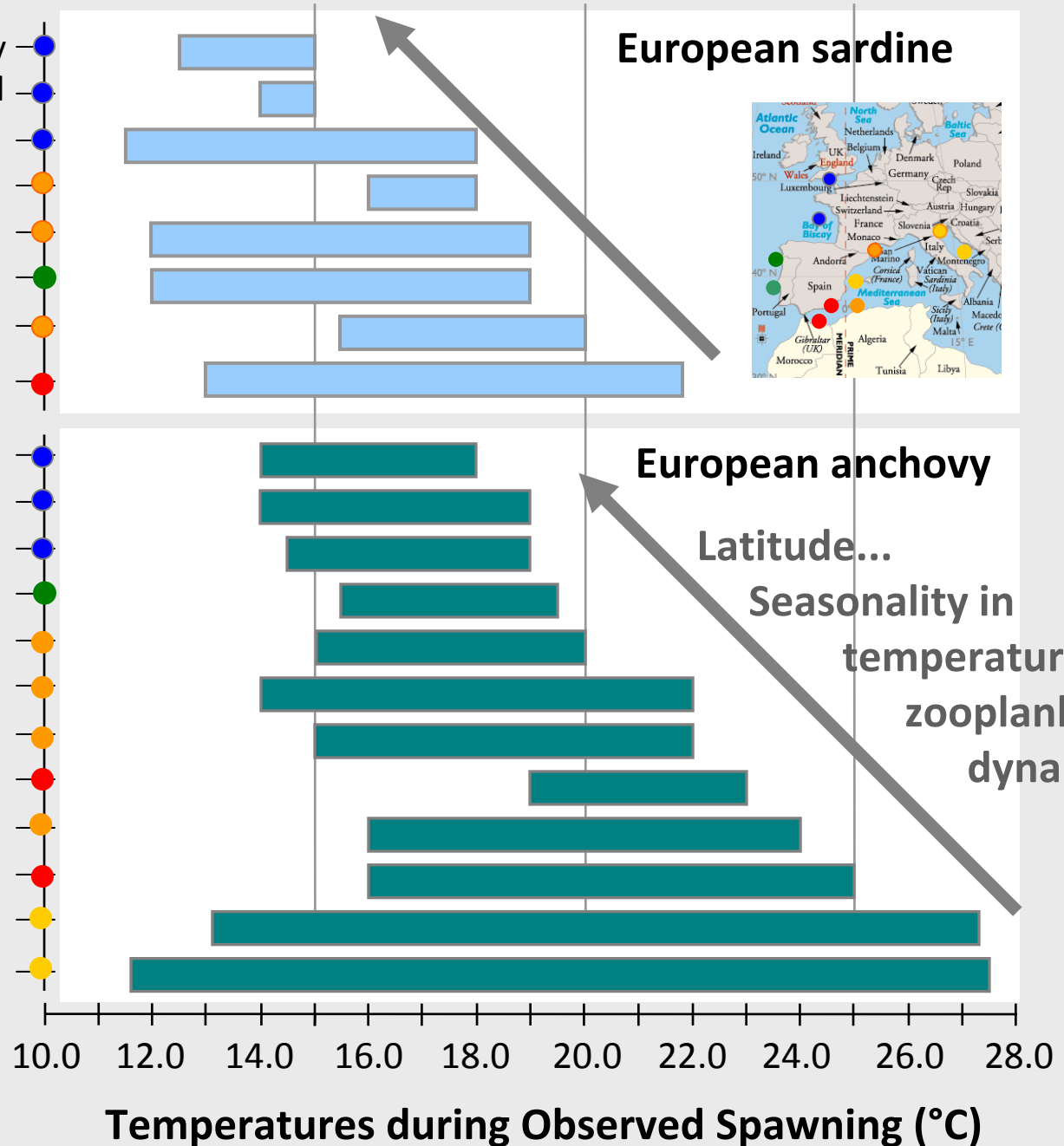


- Bay of Biscay ●
- North East Atlantic ●
- Bay of Biscay ●
- Mira Estuary (Portugal) ●
- NW Mediterranean ●
- Gulf of Cádiz ●
- NW Mediterranean ●
- Alboran Sea ●
- NW Mediterranean ●
- Gulf of Tunis ●
- Southern Adriatic ●
- Northern Adriatic ●

## European anchovy

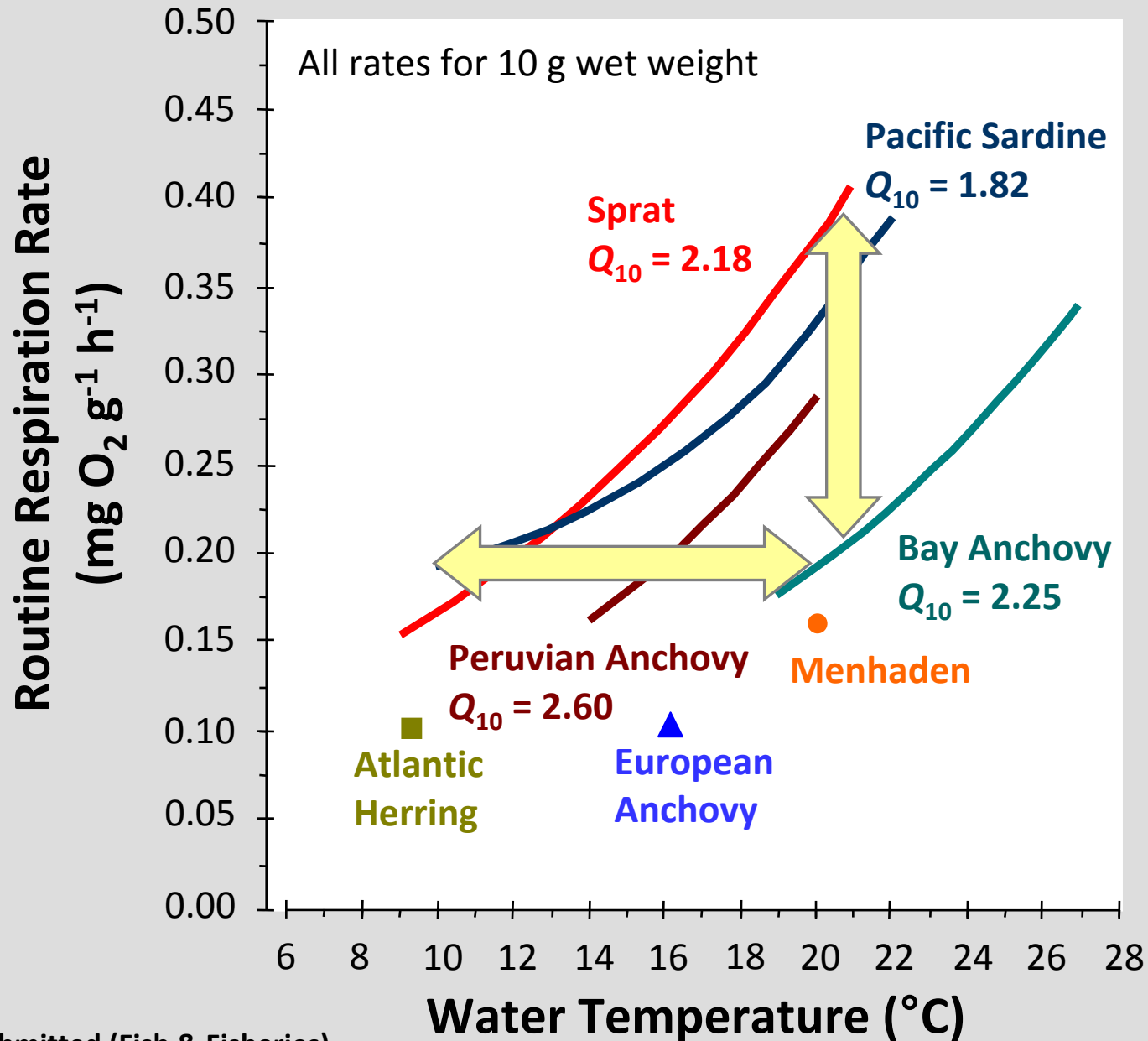
Latitude...

Seasonality in  
temperature &  
zooplankton  
dynamics



# Routine O<sub>2</sub> Consumption by Small Pelagics

(easily converted to energy loss)



# Summary of spawning adults

- Explore feedbacks between **reduced juvenile growth rates** on **maturation process and spawning condition** of small pelagic fishes (laboratory studies -- DEB modelling).
- Understand how changes in **food quality / prey species** control spawning windows of small pelagic fish species (either the onset or their extension).
- Examine how food quantity and quality affect the phenology and magnitude of reproduction in order to capture how **climate-driven changes in zooplankton species composition** might act as a “bottom-up” regulator of productivity

Japanese Sardine



European Anchovy



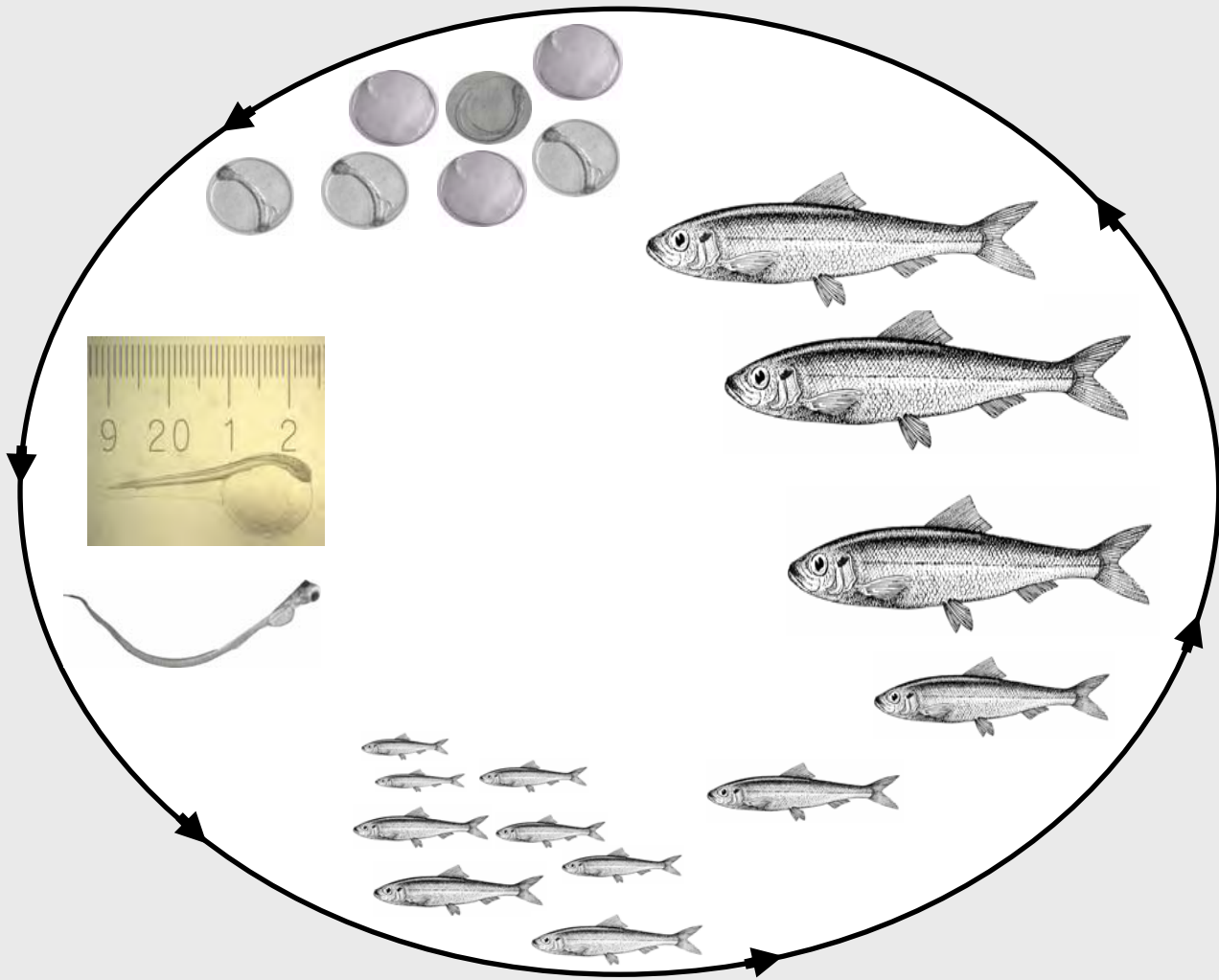
Sprat



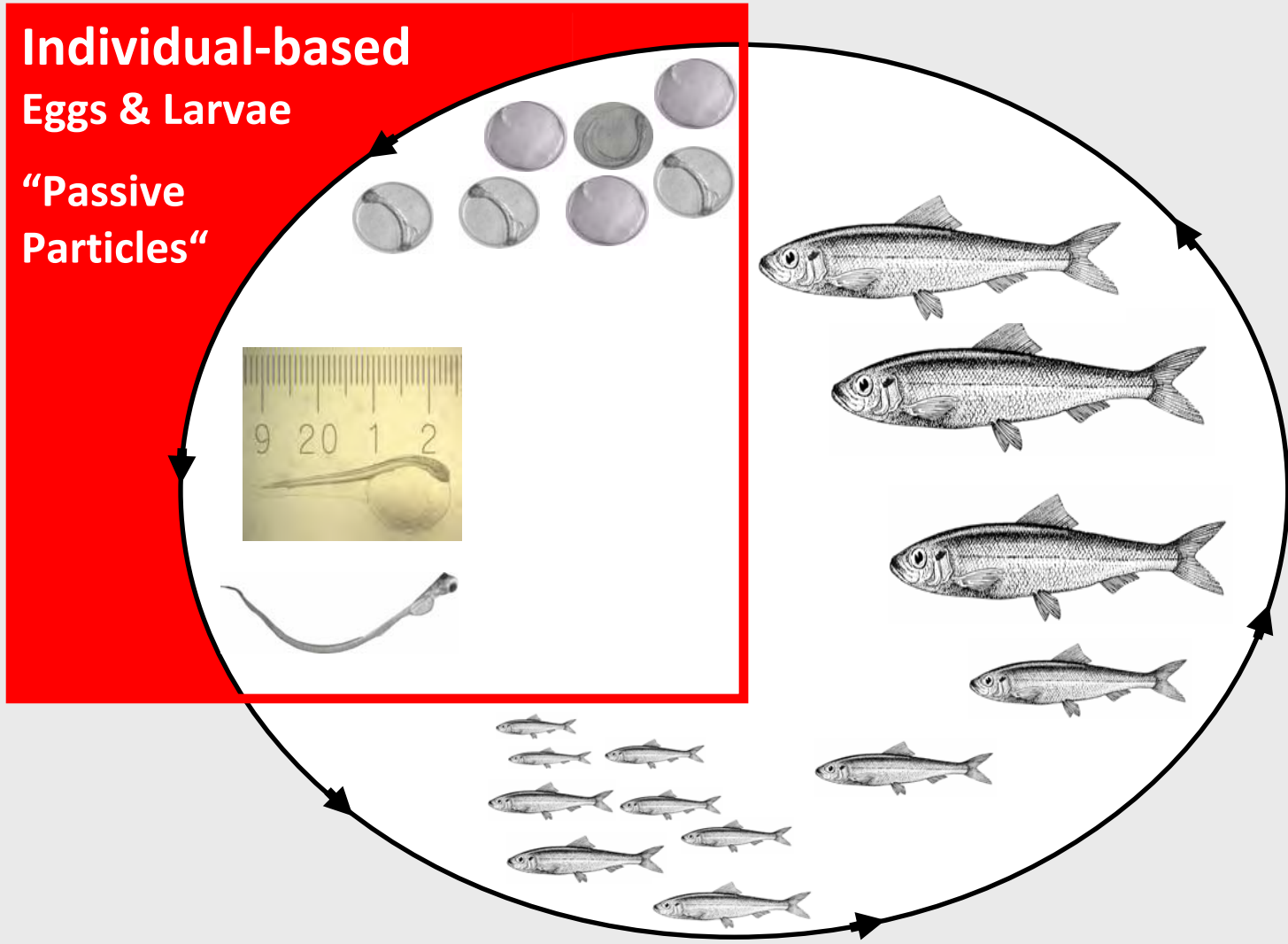
European Sardine



Japanese Anchovy

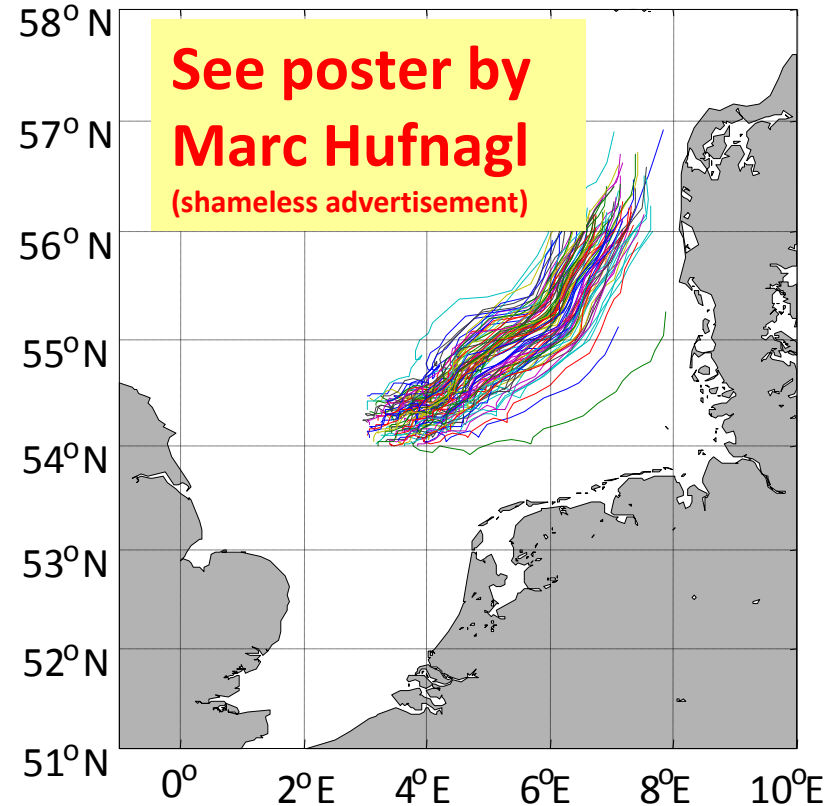
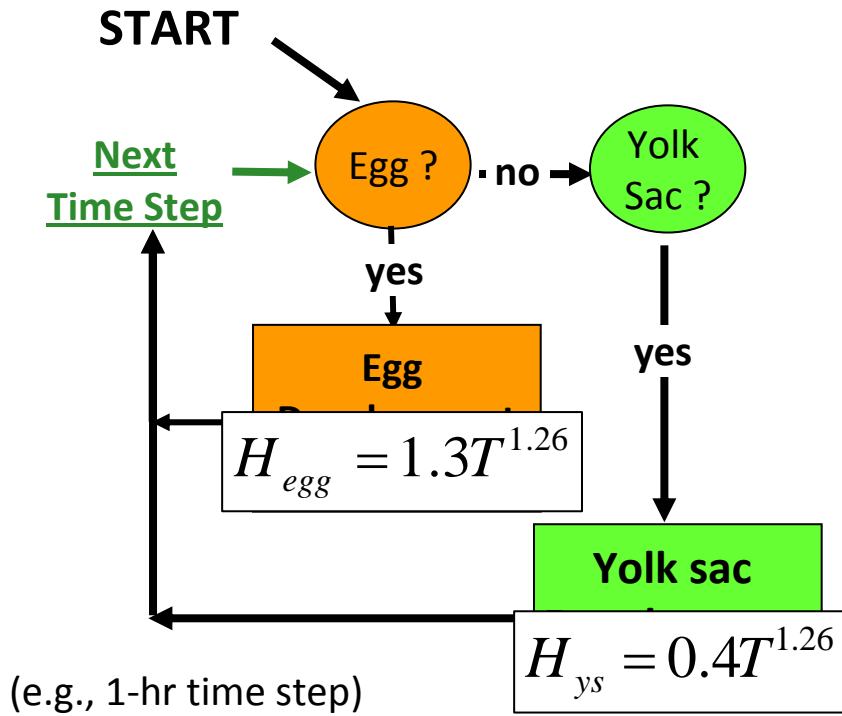


# Eggs & Yolksac Larvae: Biophysical drift modelling





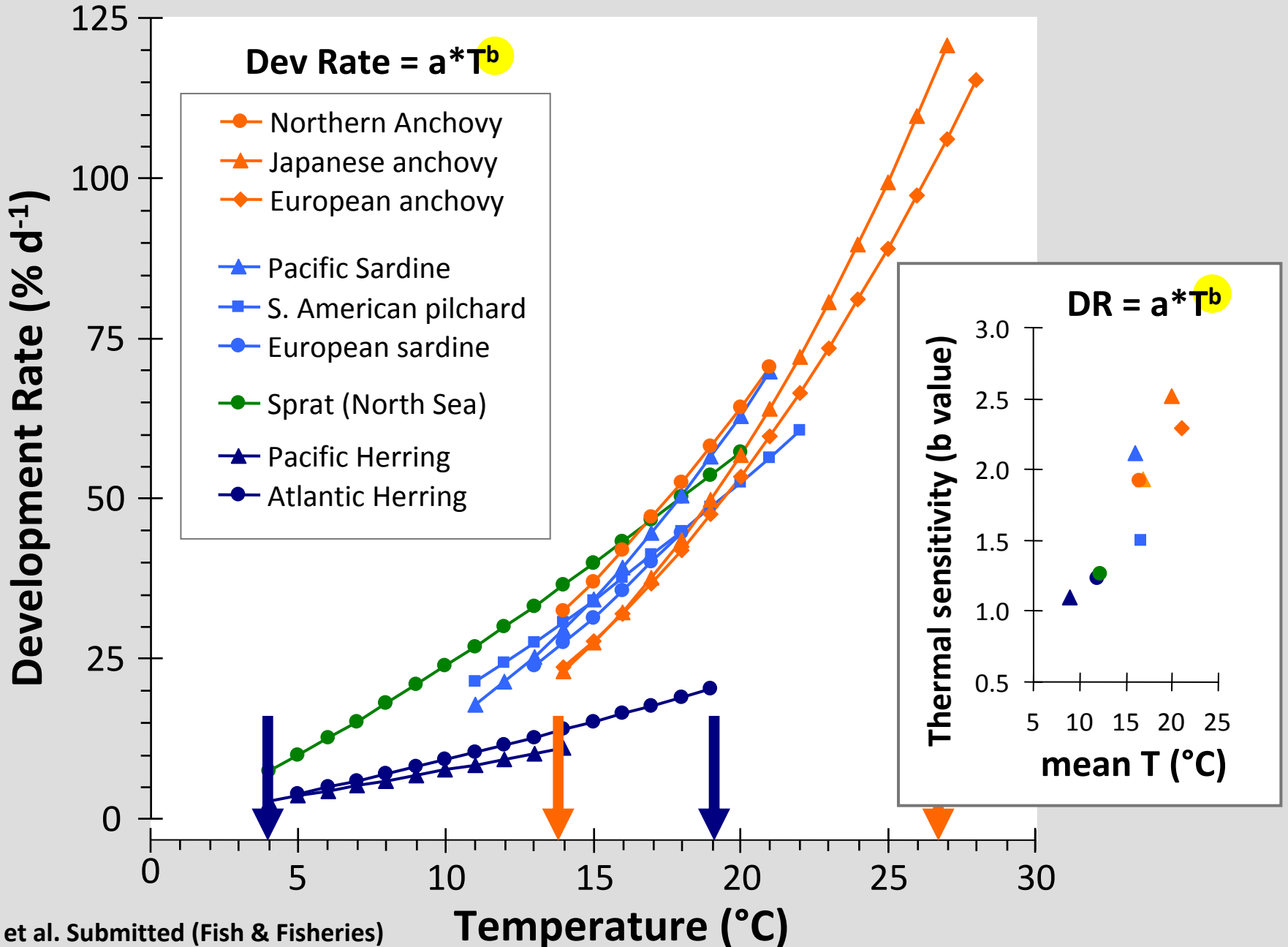
# Temperature-dependent development rates



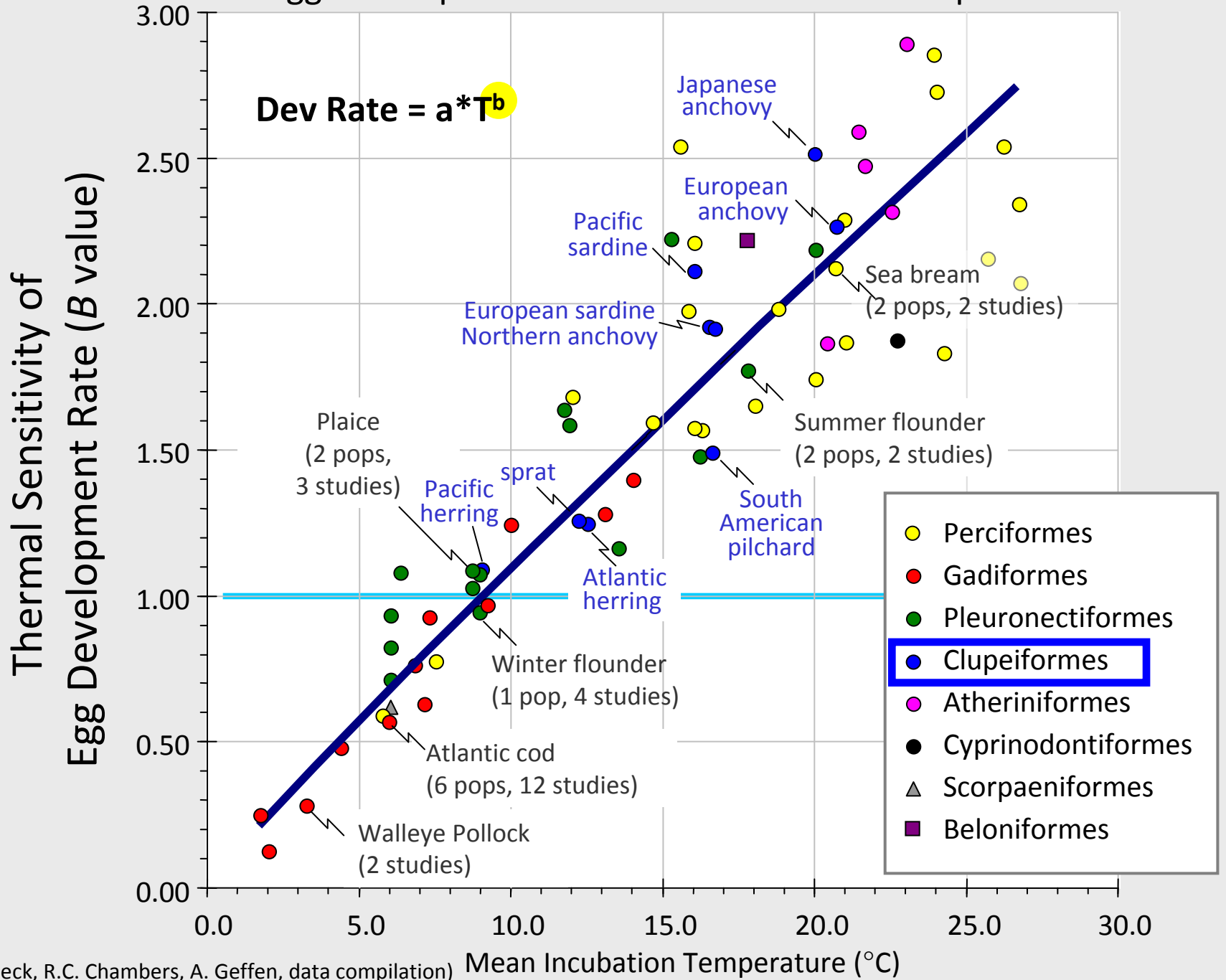
**Drift simulations commonly used to examine  
climate impacts on:**

**Egg & larval transport, habitat connectivity, life cycle closure**

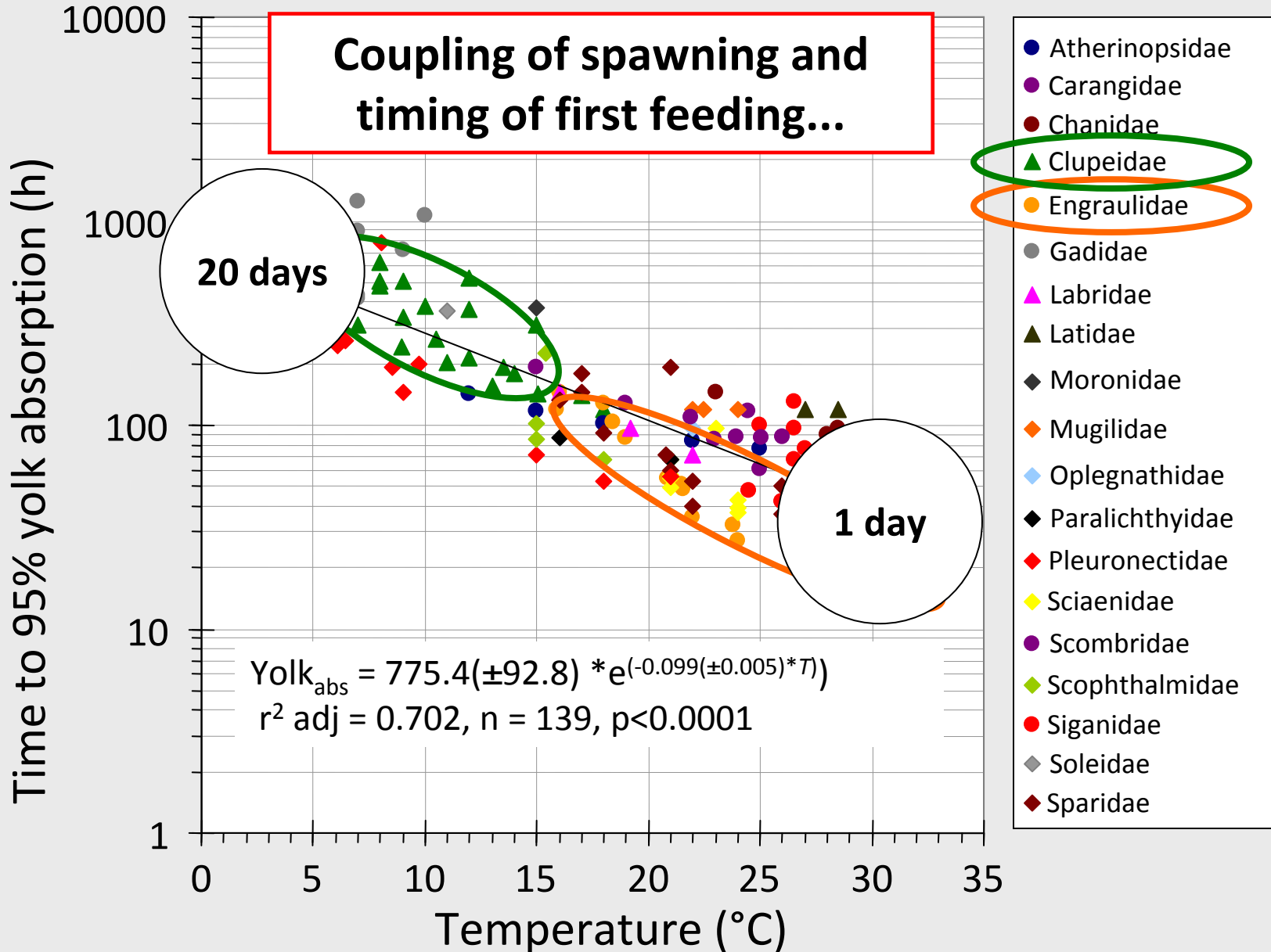
# Egg Development Rates vs. Temperature



# Egg Development Rates for 64 Marine Fish Species



# Post-Hatch: Time until Larval Yolk Exhaustion (19 families, 44 species)



# Summary of eggs & yolksac larvae

- Quite **a lot of laboratory & field work** accomplished on these stages compared to later ones. Temperature effects & buoyancy well measured. However, collecting more data is never a bad thing...
- Require better links between spawner demographics (female size, age, nutritional condition) & the attributes of eggs and yolk sac larvae are needed to **clarify practical implications of maternal effects** (e.g., Riveiro *et al.* 2004; Castrol *et al.* 2009) for the survival, development & transport dynamics.
- Importance of **microalgae & larger components of microbial loop** (e.g., heterotrophic protists) to first-feeding has been overlooked – despite seminal recruitment work with northern anchovy in California Current (Lasker 1975).



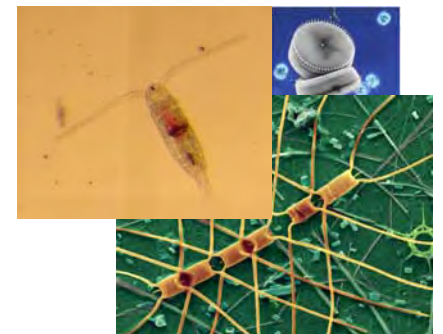
European Sardine



European Anchovy



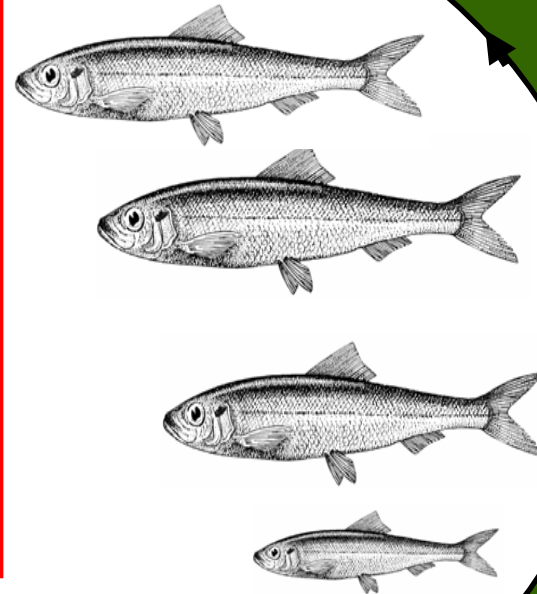
Sprat



# Feeding Larvae, Post-larvae & Juveniles

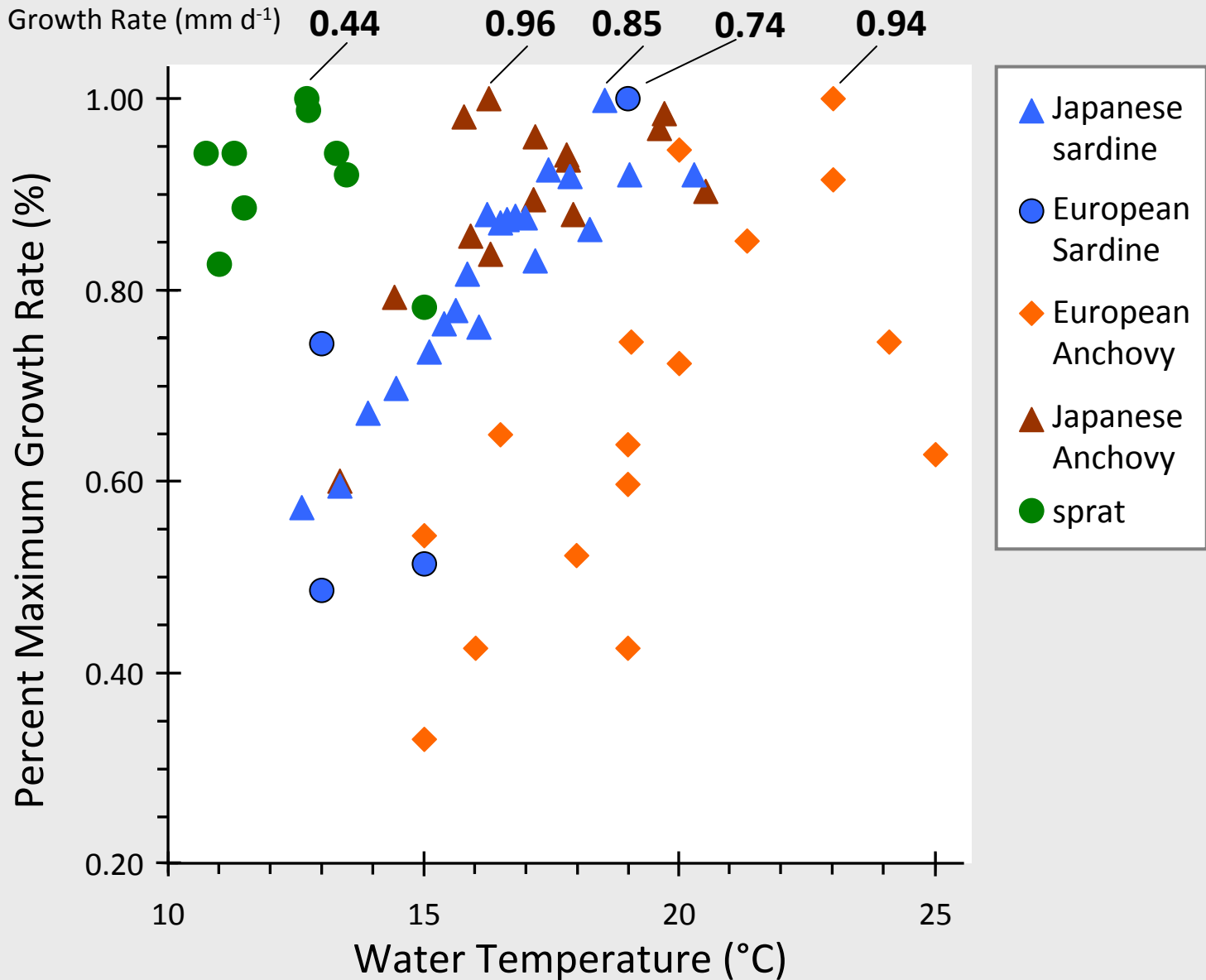
**Individual-based  
Eggs & Larvae**

**“Passive  
Particles”**

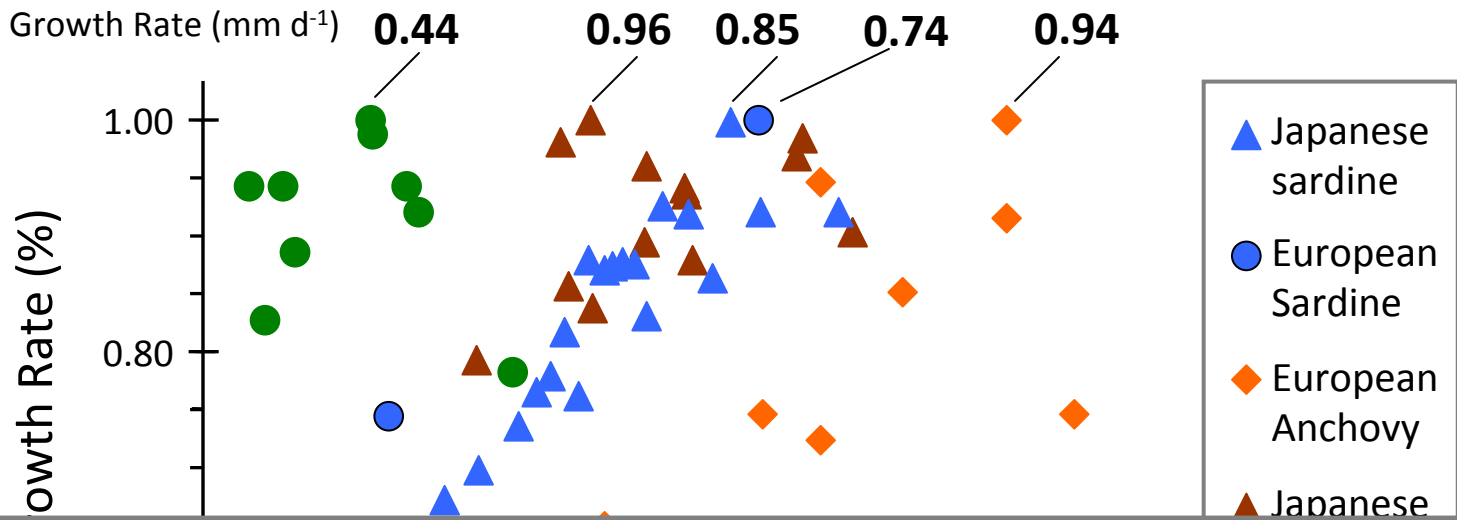


**Dynamic  
Energy Budgets  
Post-larval to adult Habitat Utilization**

# Larval & post-larval growth dynamics



# Larval & post-larval growth dynamics



1) Selection for fast-growth is species-, system-specific and does not occur every year – careful regarding mortality functions in models

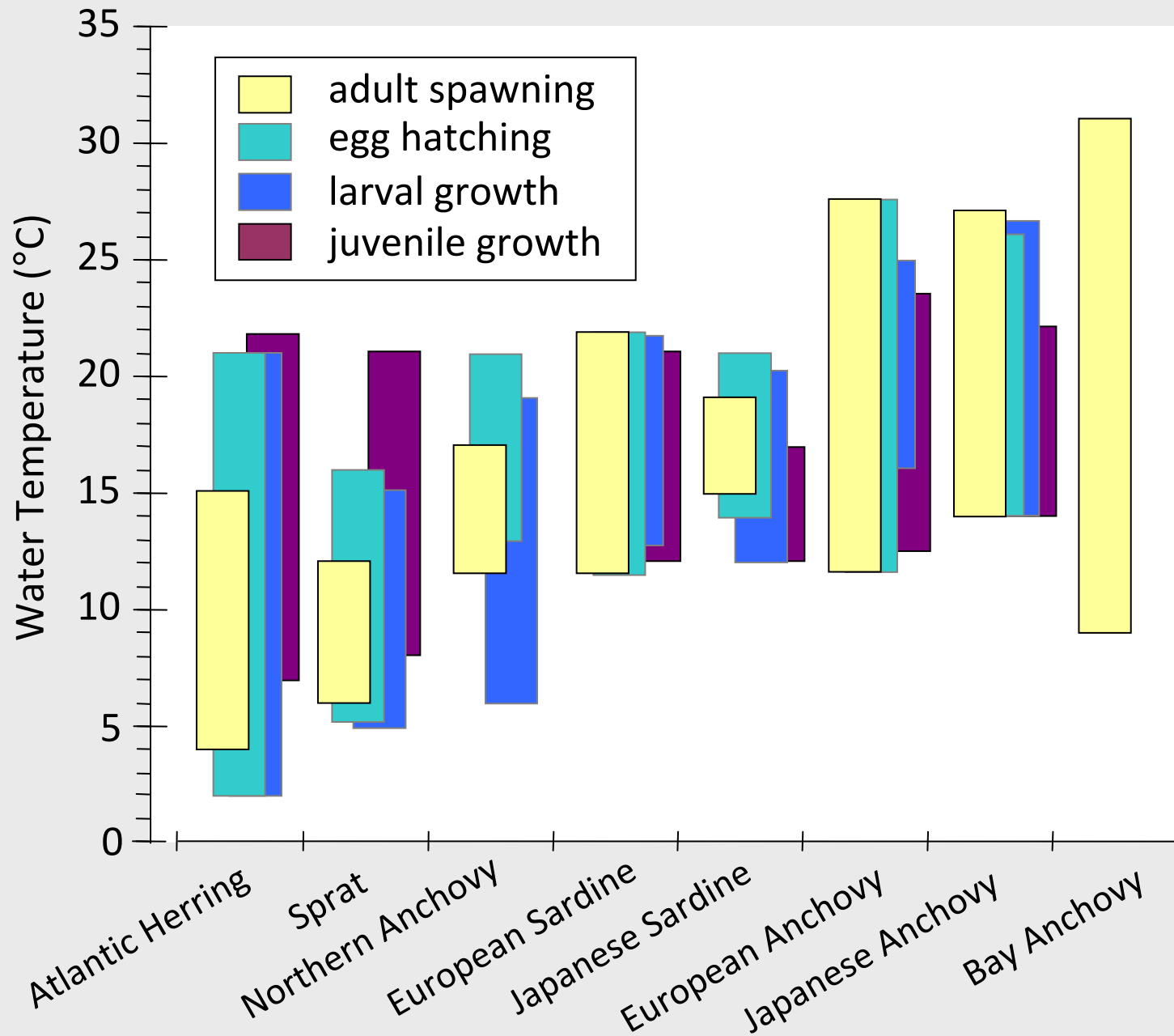
2) Density-dependent top-down control of zooplankton resources (all species)

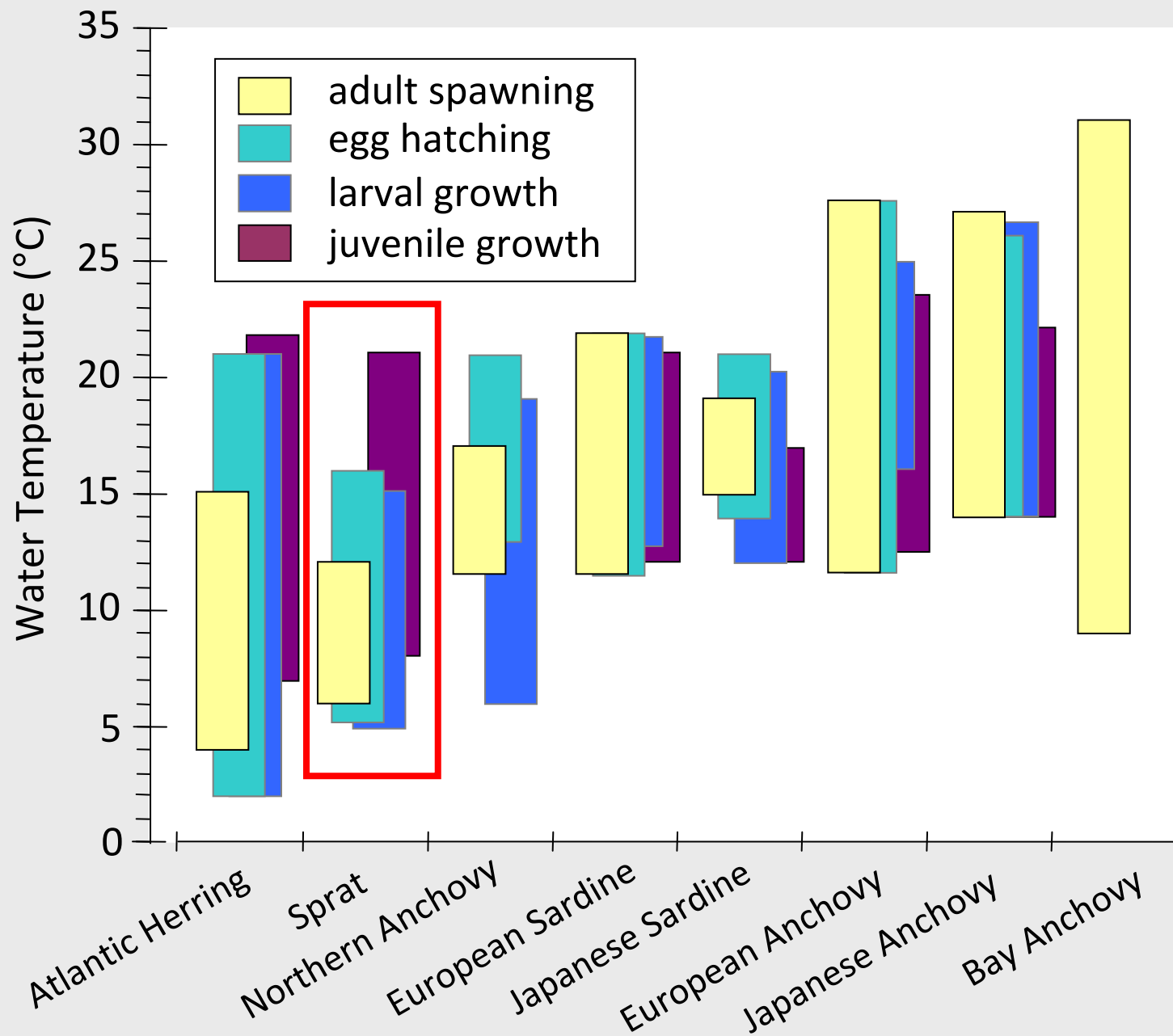
3) Laboratory growth studies largely lacking in these five species (otoliths, growth efficiency, etc.)

4) Optimal temperatures are species- and stage-specific

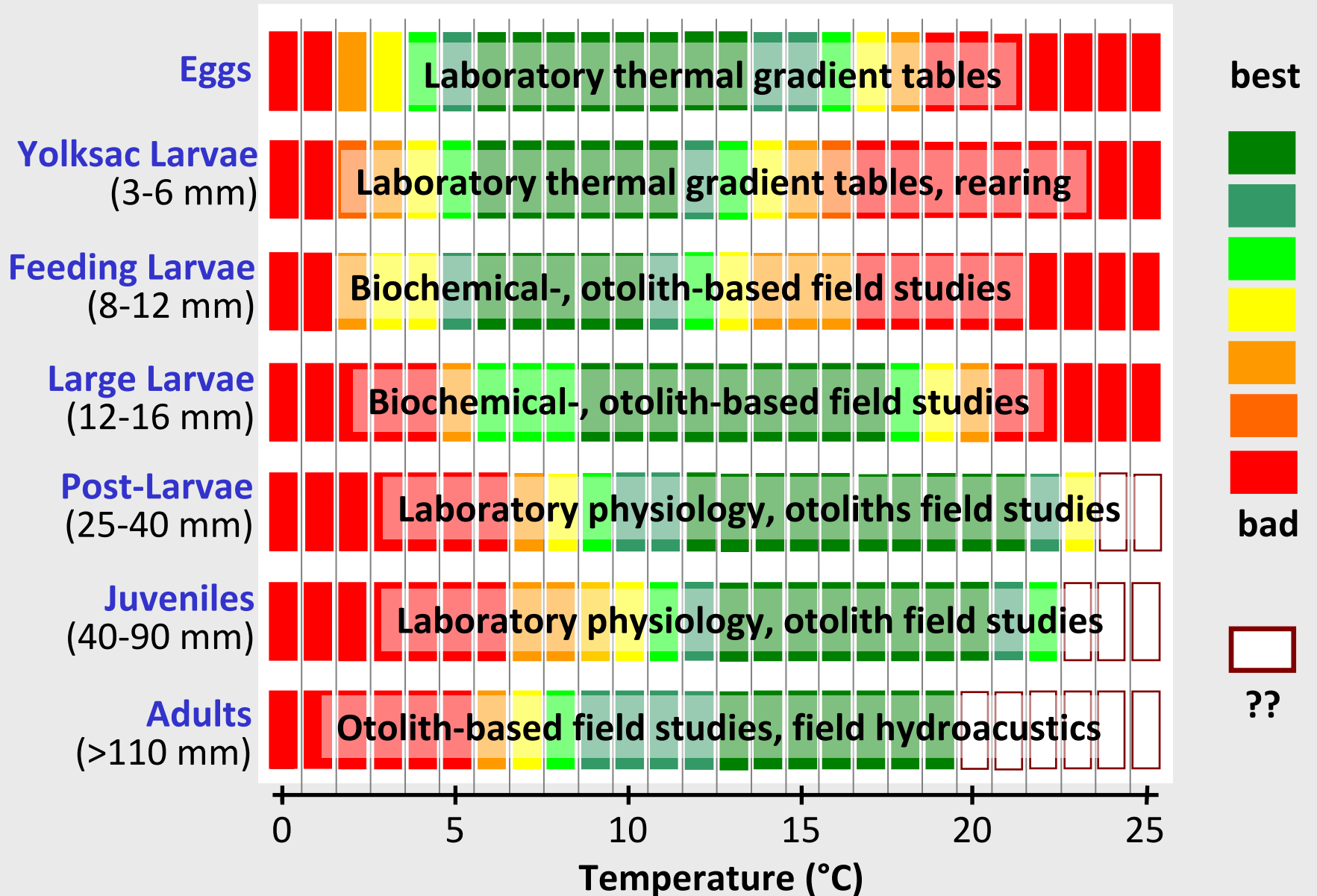








# Sprat lifestage growth potential vs temperature (Baltic Sea)



# Summary: Review of Ecophysiology & Climate-driven Shifts in Small Pelagics

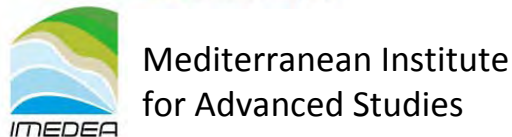
- Climate change is expected to produce shifts in species dominance and pole-ward migrations and establishment of species in new habitats having physiologically, trophodynamic and physical / hydrodynamic conditions allowing life cycle closure (Rijnsdorp et al. - Gijon conference - RECLAIM).
- Direct causative effect of temperature on these shifts is a long-lasting research topic recently receiving renewed attention in anchovy-sardine shifts (e.g. Takasuka *et al.* 2008b). These and other authors suggest species-specific “optimal growth temperature” are key.
- However, there are multiple, synergistic / interacting factors having indirect effects based on trophodynamics (e.g., bottom-up (Ware and Thomson 2005), top-down (Frank *et al.* 2005), wasp-waist (Bakun 2006)), physics (Twatwa *et al.* 2005) and/or fishing „Botop“ effects (Ruiz *et al.* 2009) to produce shifts (e.g., remember the Baltic sprat example...).
- Future climate situations may / will produce novel combinations of factors – thus ecosystem- and full life cycle modelling will be required to make the best possible projections (single factor analyses break down). For each life stage, we highlighted knowledge gaps & recommended ecophysiological research that will aid in the development of these tools.
- **Lots of examples, little time...**

**Special thanks to my co-authors**

**Patricia Reglero  
Motomitsu Takahashi  
Ignacio Catalán**

**Thanks for your attention – questions?**

(ask me later... let's go have lunch)



**Drivers of Change in the North Sea**

Financial support for conference travel