

Indici di struttura ed accrescimento standard per la trota fario Salmo (trutta) trutta L. in Italia centrale

Population size structure indices and growth standard for Salmo (trutta) trutta L. in central Italy

Giovanni Pedicillo^{1*}, Antonella Carosi², Lucia Ghetti³ & Massimo Lorenzoni¹

¹ Dipartimento di Biologia Cellulare e Ambientale, Università di Perugia, Via Elce di Sotto, 06123 Perugia

² Servizio Programmazione Ittico-Faunistica, Provincia di Terni, Via Plinio il Giovane 21, 05100 Terni

³ Servizio Programmazione Forestale, Faunistico-venatoria ed Economia Montana, Regione dell'Umbria
*pedicillog@yahoo.it

Abstract

Nello studio delle popolazioni ittiche una varietà di indici sono stati sviluppati per fornire indicazioni sullo stato di benessere dei pesci, sulla struttura delle popolazioni ittiche e sui loro tassi di accrescimento. Tuttavia lo sviluppo di indici che permettono di confrontare gli accrescimenti di diverse popolazioni ittiche è solo agli inizi.

È, quindi, necessario individuare per la maggior parte delle specie ittiche italiane dei valori di riferimento. Lo scopo di questa ricerca è fornire un modello standard di accrescimento in lunghezza che possa servire come riferimento per le popolazioni dell'Italia centrale di trota fario *Salmo (trutta) trutta* Linnaeus. I valori di riferimento, espressi come percentili della lunghezza all'età, sono stati elaborati utilizzando le equazioni per l'accrescimento teorico in lunghezza, sviluppate secondo il modello di von Bertalanffy, appartenenti a 122 popolazioni di trota fario del bacino del fiume Tevere.

L'RSD (*Relative Stock Density*) ed il PSD (*Proportional Stock Density*) sono dei descrittori numerici, basati sulle frequenze delle lunghezze, largamente applicati alle popolazioni ittiche nordamericane per definire la qualità della loro struttura per età. Per le popolazioni italiane di trota fario allo stato attuale non esistono in letteratura le soglie che definiscono le categorie di lunghezza che servono a calcolare questi indici. In questo studio sono state stimate tali soglie utilizzando due metodi differenti.

Introduzione

La valutazione delle caratteristiche di una popolazione ittica spesso include la necessità di effettuare dei confronti tra località diverse o rispetto a condizioni standard di riferimento; a questo scopo sono stati sviluppati una varietà di indici. Metodi standardizzati per confrontare le caratteristiche tra popolazioni ittiche differenti aumentano la comunicazione tra gli ittiologi, migliorano l'efficienza dell'analisi dei dati e forniscono indicazioni che aiutano le azioni gestionali. Uno dei primi tentativi per valutare la qualità della struttura delle popolazioni ittiche utilizzando i dati di frequenza delle lunghezze è stato proposto da Anderson (1976) che introdusse il concetto di *Proportional Stock Density* (PSD). Il PSD rappresenta la percentuale di esemplari di taglia *stock* che sono più lunghi della taglia *quality*, dove la prima rappresenta la taglia che ha poco valore dal punto di vista alieutico mentre la seconda indica la taglia minima che la maggior parte dei pescatori vorrebbero catturare. La principale critica a tale approccio è che esso comprime l'intera distribuzione delle lunghezze di una popolazione ittica in un singolo numero con una probabile perdita di informazioni (Gabelhouse, 1984). È stato quindi sviluppato un altro indice (*Relative Stock Density*) che si basa su cinque categorie di lunghezza e che permette di valutare la struttura di popolazione con maggiore dettaglio (Gabelhouse, 1984). Sebbene sia il PSD che l'RSD siano frequentemente usati in Nord America, in Europa essi sono utilizzati solo raramente.

L'accrescimento è una delle caratteristiche più studiate nei pesci poiché rappresenta un buon indicatore della salute sia dei singoli individui che delle intere popolazioni. L'analisi dell'accrescimento di una popolazione ittica risulta particolarmente importante poiché fornisce una valutazione integrata delle condizioni ambientali ed endogene che agiscono sui pesci (Kocovsky & Carline, 2001); pertanto, l'individuazione di criteri standard di riferimento permette di esprimere un giudizio obiettivo sulla qualità di un accrescimento e rappresenta un valido strumento per valutare la correttezza delle scelte intraprese da chi si occupa della gestione delle risorse ittiche. Nonostante siano numerose le popolazioni ittiche per le quali è stata descritta la relazione esistente tra la lunghezza e l'età degli esemplari, poche sono le metodiche che permettono di confrontare e giudicare gli accrescimenti di popolazioni differenti (Hubert, 1999). Uno dei primi tentativi di costruire delle curve di riferimento che descrivessero l'accrescimento è stato effettuato da Hickey & Dexter (1979) utilizzando i dati di lunghezza ed età: le curve fornivano le lunghezze di riferimento ad ogni età di alcune specie ittiche britanniche. Casselman & Crossman

(1986) usarono il modello di accrescimento di von Bertalanffy per stimare le lunghezze di riferimento all'età per *Esox masquinongy* Mitchill, mentre Hubert (1999) ha utilizzato per *Ictalurus punctatus* (Rafinesque) i valori percentili delle lunghezze medie all'età di 102 popolazioni nordamericane. Metodi analoghi sono stati usati da Quist et al. (2003) per sviluppare i percentili standard per *Sander vitreus* (Mitchill) e da Jackson & Hurley (2005) per *Pomoxis annularis* Rafinesque e *P. nigromaculatis* (Lesueur) in Nord America.

Lo scopo di questa ricerca è definire le categorie di lunghezza necessarie per il calcolo dell'RSD in *Salmo (trutta) trutta* in Italia centrale e fornire per tale specie un modello di riferimento per valutare la qualità dell'accrescimento di una popolazione.

Materiali e metodi

In questa ricerca sono stati utilizzati i dati delle catture di trota fario effettuate in periodo compreso tra il 1992 ed il 2008 in 32 corsi d'acqua del bacino del fiume Tevere (Fig. 1).

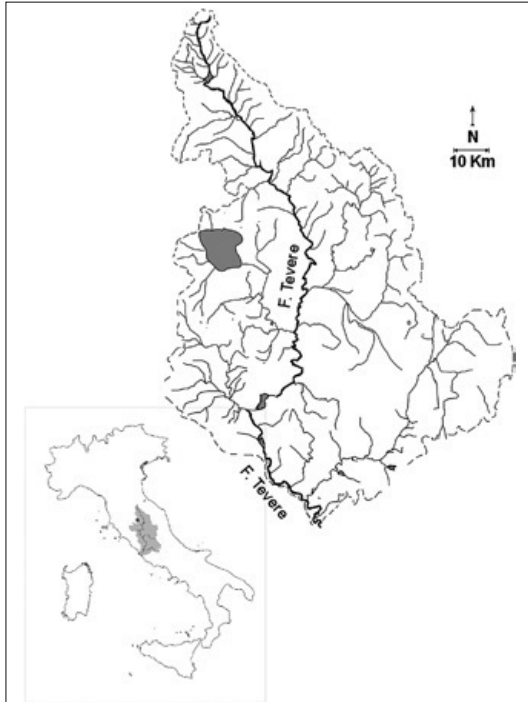


Figura 1: Area di studio.

Le catture sono state effettuate mediante elettrostorditori di diversa potenza, a seconda delle caratteristiche del settore fluviale indagato; ad ogni esemplare esaminato è stata rilevata la lunghezza totale (LT) ($\pm 0,1$ cm) (Anderson & Neumann, 1996), il peso (P) (± 1 g) e determinata l'età mediante scalimetria (Bagenal, 1978).

Per esaminare la relazione tra la lunghezza e l'età della trota fario è stato utilizzato il modello di accrescimento teorico di von Bertalanffy (1938), descritto dalla seguente equazione:

$$LT_t = L_\infty \{1 - \exp[-k(t - t_0)]\}$$

dove:

LT_t è la lunghezza totale teorica (cm) all'età t ;

L_∞ è l'asintoto della curva, cioè la lunghezza massima (cm) che il pesce potrebbe raggiungere se continuasse a vivere indefinitamente;

k è la velocità (anni⁻¹) alla quale la curva di accrescimento si avvicina all'asintoto;

t_0 è l'età teorica (anni) alla quale il pesce ha lunghezza pari a zero.

È stato inoltre calcolato il parametro Φ' (Pauly & Munro, 1984) ($\Phi' = \log_{10}k + 2\log_{10}L_\infty$) che mette in relazione L_∞ e k ed individua differenze nelle caratteristiche degli accrescimenti in ambienti diversi (Abella et al., 1994), rendendo così possibile un confronto fra popolazioni di una stessa specie.

Per sviluppare lo standard di riferimento sono state analizzate 122 popolazioni per un totale di 29.519 esemplari; per ognuna sono stati calcolati i parametri dell'equazione di von Bertalanffy utilizzando le lunghezze medie raggiunte nelle varie classi di età. Dalle successive analisi sono state scartate tutte quelle popolazioni che presentavano valori di L_∞ superiori del 50% rispetto all'esemplare più grande catturato in ognuna di esse (Taylor, 1962). Utilizzando tali parametri, per ciascuna popolazione sono state calcolate le lunghezze relative ad ogni età t (LT_t per $1 \leq t \leq 10$). Sul data-set così ottenuto è stata effettuata un'analisi della distribuzione delle lunghezze: per ciascuna età considerata, il 10°, 30°, 50°, 70° e 90° percentile della lunghezza sono stati considerati come soglie per la costruzione delle curve di accrescimento teorico in lunghezza che rappresentano gli standard di riferimento (Britton, 2007). L'accrescimento di una popolazione è giudicato molto scarso se le lunghezze all'età dei suoi esemplari risultano inferiori alla curva del 10° percentile, scarso se comprese tra il 10° ed il 30°, normale se comprese tra il 30° ed il 70°, buono se comprese tra il 70° ed il 90° e ottimo se superiori al 90° percentile.

Per la valutazione della struttura di popolazione è stato utilizzato il *Relative Stock Density* (RSD) (Gabelhouse, 1984); tale indice prevede la presenza di cinque

specifiche categorie di taglia (*stock, quality, preferred, memorable, trophy*) ed il suo calcolo è definito dalla formula seguente:

$$RSD = (N^\circ \text{ di pesci} \geq \text{taglia specifica}) / (N^\circ \text{ di pesci} \geq \text{taglia stock})$$

Quando si utilizza come categoria specifica la taglia *quality* tale indice prende il nome di *Proportional Stock Density* (PSD) (Anderson, 1976). Sono considerate bilanciate le popolazioni ittiche che presentano valori di PSD compresi tra 35 e 65 (Gabelhouse, 1984): valori inferiori a 35 indicano una troppo scarsa presenza di adulti nella popolazione, mentre valori superiori a 65 sono indice di una eccessiva presenza di adulti, una riproduzione probabilmente insufficiente o una eccessiva mortalità che incide sugli stadi giovanili. Per stimare le soglie minime delle categorie di lunghezza che servono per il calcolo dell'RSD sono stati utilizzati due metodi differenti. Seguendo l'approccio tradizionale (Gabelhouse, 1984) (Metodo 1), la lunghezza corrispondente a ciascuna categoria di taglia è calcolata come percentuale rispetto alla taglia massima (LT_{max}) registrata su scala mondiale in *S. trutta* ($LT_{max} \approx 100$ cm) (Tab. III); tale valore risulta però sovradimensionato rispetto a quanto registrato nel bacino del fiume Tevere. In questa ricerca vengono pertanto proposti valori tarati sulle condizioni locali con LT_{max} che, sulla base delle osservazioni fatte, risulta pari a 60 cm.

La lunghezza media a cui un pesce di una data popolazione raggiunge per la prima volta la maturità sessuale è un importante parametro biologico per la gestione della popolazione stessa (Jennings et al., 1998). Froese & Binohlan (2000) hanno osservato che l'età di prima maturazione è soprattutto funzione della taglia. Seguendo tale criterio ed in accordo con Gassner et al. (2003) è stato proposto un ulteriore metodo (Metodo 2). Per il calcolo delle categorie di taglia dell'RSD sono state definite prima due soglie: L_∞ e la lunghezza alla maturità (L_m). La prima è stata espressa come media dei valori di L_∞ (L_∞ media) delle 122 popolazioni analizzate per definire il modello standard di accrescimento, mentre la seconda è stata calcolata da L_∞ media per mezzo dell'equazione $\log_{10} L_m = 0.8979 \log_{10} L_\infty - 0.0782$ (Froese & Binohlan, 2000); le lunghezze delle diverse categorie sono state, quindi, così calcolate (Gassner et al., 2003):

$$\text{Stock (S)} = Q - ((T - Q)/3)$$

$$\text{Quality (Q)} = L_m$$

$$\text{Preferred (P)} = Q + ((T - Q)/3)$$

$$\text{Memorable (M)} = Q + (((T - Q)/3) \cdot 2)$$

$$\text{Trophy (T)} = 80\% \text{ del valore medio di } L_\infty$$

Per valutare l'efficacia dei due metodi proposti, le soglie così computate sono state utilizzate per calcolare il PSD in 263 popolazioni di trota fario nel bacino del fiume Tevere ed i risultati confrontati tra di loro.

Risultati e discussioni

Nella tabella I è riportata la statistica descrittiva dei parametri dell'equazione di von Bertalanffy calcolati per le 122 popolazioni analizzate, mentre nella tabella II viene illustrata la statistica descrittiva delle lunghezze raggiunte alle varie età ed utilizzate per la costruzione delle curve di riferimento per l'accrescimento teorico in lunghezza (Fig. 2).

Tabella I: Statistica descrittiva dei parametri dell'equazione di von Bertalanffy.

	Media	Mediana	Minimo	Massimo	Dev. Std.	Err. Std.
k (anni ⁻¹)	0,23	0,20	0,07	0,63	0,11	0,01
L _∞ (cm)	44,72	42,71	23,02	89,47	12,98	1,18
t ₀ (anni)	-0,53	-0,57	-1,56	0,67	0,37	0,03

Tabella II: Statistica descrittiva delle lunghezze raggiunte alle varie età utilizzate per la costruzione delle curve standard.

	Età (anni)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10° perc.	9,02	14,14	18,45	21,50	23,48	25,57	26,55	27,34	27,96	28,34
30° perc.	10,54	15,91	20,62	23,99	26,77	28,83	30,56	32,05	33,14	34,17
50° perc.	11,53	17,00	21,64	25,62	28,71	31,16	33,05	34,54	35,82	36,41
70° perc.	12,19	18,10	22,94	26,91	30,09	33,07	35,40	37,25	38,77	40,00
90° perc.	13,48	19,42	24,61	28,30	31,34	34,57	37,54	40,43	42,98	45,28
Media	11,20	16,97	21,56	25,25	28,25	30,71	32,75	34,44	35,86	37,05
Minimo	3,84	12,20	16,21	19,36	21,10	21,87	22,34	22,61	22,78	22,87
Massimo	14,43	20,70	26,66	32,79	37,90	42,17	45,74	48,71	51,19	53,27
Err. Std.	0,17	0,18	0,21	0,24	0,29	0,34	0,39	0,45	0,51	0,56

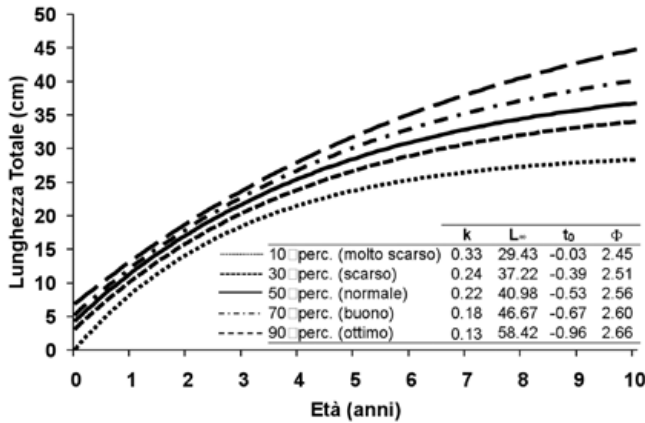


Figura 2: Curve di riferimento per l'accrescimento teorico in lunghezza con i relativi parametri dell'equazione di von Bertalanffy.

I valori del parametro Φ forniti nella figura 2 possono costituire un ulteriore strumento per poter valutare in modo sintetico la qualità dell'accrescimento di una popolazione di trota fario rispetto agli standard tipici della specie nell'area di studio.

I valori di riferimento riportati in questo studio evidenziano una considerevole plasticità nell'accrescimento tra le diverse popolazioni. I fattori causali, biologici ed ambientali, della plasticità fenotipica nell'accrescimento sono numerosi e molto spesso correlati ed includono, oltre a fattori genetici, anche temperatura, competizione intra- ed interspecifica, habitat, disponibilità di cibo, stato trofico e tipo di gestione (Cowx, 2000). Anche se individui diversi in una stessa popolazione possono presentare considerevoli variazioni nella lunghezza raggiunta ad una età (Pilling et al., 2002), l'uso dei parametri dell'accrescimento medio è molto spesso adeguato a descrivere le caratteristiche di una popolazione ittica (Sainsbury, 1980). Strumenti comparativi che permettono di valutare tali parametri, grazie alla loro facilità di interpretazione ed al loro ruolo nel chiarire i fattori causali delle differenze dei tassi di accrescimento tra popolazioni, risultano preziosi nel fornire indicazioni sui fattori ambientali e sulle attività gestionali che influenzano l'accrescimento.

L'analisi della struttura per età viene ampiamente utilizzata nella valutazione dell'integrità biotica di una popolazione ittica e costituisce, in accordo con la "Water Framework Directive" (CE-WFD) (EU, 2000), uno dei fondamentali parametri da considerare nell'uso dei pesci come indicatori biologici.

Le soglie delle categorie di taglia utilizzate per il calcolo dell'RSD stimate sulla percentuale della lunghezza massima osservata per *S. trutta* non su scala mondiale ($LT_{max} \approx 100$ cm), come proposto da Gabelhouse (1984), ma su scala locale

($LT_{max} = 60$ cm) (Metodo 1) risultano molto simili a quelli riportate da Milewski & Brown (1994) per la forma di torrente di *S. trutta* ($LT_{max} = 55,4$ cm) (Tab. III).

Tabella III: Soglie minime delle categorie di taglia per il calcolo dell'RSD.

Categoria	Metodo 1 (Gabelhouse, 1984)			Metodo 2 (Gassner et al., 2003)
	% LT_{max}	Classi LT (cm) corrispondenti a % LT_{max}	Soglia minima (cm)	Soglia minima (cm)
stock	20 – 26	12,0 – 15,6	14	22
quality	26 – 41	21,6 – 24,6	23	25
preferred	45 – 55	27,0 – 33,0	30	29
memorable	59 – 64	35,4 – 38,4	37	32
trophy	74 – 80	44,4 – 48,0	46	36

Il metodo 2 utilizza per la determinazione delle categorie di taglia (Tab. III) la lunghezza alla maturità (L_m) e L_{∞} media ed i valori di tali parametri nel bacino del fiume Tevere sono risultati pari a 25 cm e 44,72 cm, rispettivamente.

L'analisi dei risultati ottenuti applicando l'indice PSD alle popolazioni del bacino del fiume Tevere rivela che la scelta del metodo utilizzato nell'individuazione dei valori soglia condiziona in modo significativo il giudizio sulla qualità della struttura di popolazione: su un totale di 263 popolazioni e 34.645 individui, il valore medio (\pm ES) del PSD calcolato con il metodo 1 ($20,28 \pm 1,18$) risulta nettamente minore di quello calcolato con il metodo 2 ($37,84 \pm 1,68$), con differenze che appaiono altamente significative al t -test ($t = -8,693$; $p = 0,000$). Il metodo 1 restituisce valori di PSD sempre inferiori sopravvalutando, quindi, la presenza degli esemplari di più piccole dimensioni: tale metodo giudica bilanciate ($35 \leq PSD \leq 65$) il 16,0 % delle popolazioni analizzate, mentre tale percentuale sale al 37,7 % con il metodo 2 (Tab. IV).

Tabella IV: Frequenze dei valori di PSD nelle popolazioni di trota fario del bacino del fiume Tevere.

	Metodo 1		Metodo 2	
	N° popolazioni	%	N° popolazioni	%
PSD < 35	215	81,7	118	48,4
$35 \leq PSD \leq 65$	42	16,0	92	37,7
PSD > 65	6	2,3	34	13,9

Oltre a definire la misura ottimale del campione e correlare PSD ed RSD ad altri parametri come, ad esempio, la condizione corporea, un importante compito per il futuro sarà quello di testare questo indice sul maggior numero possibile di popolazioni di *S. trutta*, in modo da stabilire quale dei due metodi risulti più efficace nel descrivere la struttura di popolazione di tale specie.

Bibliografia

- Abella, A., Auteri, R., Serena, F., Silvestri, R. & Voliani, A. (1994) Studio sulla variabilità di accrescimento a diverse altitudini della trota fario nel torrente Lima. *Atti del 5° Convegno Nazionale A.I.I.A.D.*, 307-312.
- Anderson, R. O. (1976) Management of small warm water impoundments. *Fisheries*, 1 (5-7), 26-28.
- Anderson, R. O. & Neumann, R. M. (1996) Length, weight, and associated structural indices. In: *Fisheries techniques* Murphy, B. R. & Willis, D. W. (eds). American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.
- Bagenal, T. B. (1978) *Methods for assessment of fish production in freshwaters*. Ed. Blackwell Scientific Publication Ltd.
- Britton, J. R. (2007) Reference data for evaluating the growth of common riverine fishes in the UK. *Journal of Applied Ichthyology*, 23, 555-560.
- Casselman, J. M. & Crossman, E. J. (1986) Size, age and growth of trophy muskellunge and muskellunge-northern pike hybrids—The Cleithrum Project, 1979–1983, 93–110. In: *Managing muskies—a treatise on the biology and propagation of muskellunge in North America* Hall, G. E. (Ed.). American Fisheries Society Special Publication 15.
- Cowx, I. G. (2000) *Factors influencing coarse fish populations in rivers*. Environment Agency Research and Development Publication, Bristol.
- EU (2000) *Directive 2000/60/EC of the European Parliament and the Council of 23 October 2000 establishing a framework for community action in the field of water policy*. The European Parliament and the Council of the European Union.
- Froese, R. & Binohlan, C. (2000) Empirical equations for estimating maximum length from length at first maturity. *Journal of Applied Ichthyology*, 25, 611-613.
- Gabelhouse, D. W. Jr. (1984) A length-categorization system to assess fish stocks. *North American Journal of Fisheries Management*, 4, 273-285.
- Gassner, H., Tischler, G. & Wanzenböck, J. (2003) Ecological integrity assessment of lakes using fish communities—suggestion of new metrics developed in two Austrian prealpine lakes. *International Review of Hydrobiology*, 88, 635–652.
- Hickley, P. & Dexter, K. F. (1979) A comparative index for quantifying growth in length of fish. *Fisheries Management*, 10, 147–151.
- Hubert, W. A. (1999) Standards for assessment of age and growth data for channel catfish. *Journal of Freshwater Ecology*, 14, 313-326.
- Jackson, J. J. & Hurley, K. L. (2005) Relative growth of white crappie and black crappie in the United States. *Journal of Freshwater Ecology*, 20, 461-467.
- Jennings, S., Reynolds, J. D. & Mills, S. C. (1998) Life history correlates of response to fisheries exploitation. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B*, 265, 333–339.
- Kocovsky, P. M. & Carline, R. F. (2001) A comparison of methods for estimating ages of unexploited walleyes. *North American Journal of Fisheries Management*, 20, 1044–1048.
- Milewski, C. I. & Brown, M. I. (1994) Proposed standard weight (Ws) equation and length-categorization standards for stream-dwelling brown trout (*Salmo trutta*). *Journal of Freshwater Ecology*, 9 (2), 111-117.

- Pauly, D. & Munro, J. L. (1984) Once more on comparison of growth in fish and invertebrates. *ICLARM Fishbyte*, **1** (2), 21-22.
- Pilling, G. M., Kirkwood, G. P. & Walker, S. G. (2002) An improved method for estimating individual growth variability in fish, and the correlation between von Bertalanffy growth parameters. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, **37**, 424–432.
- Quist, M. C., Guy, C. S., Schultz R. D. & Stephen, J. L. (2003) Latitudinal comparison of walleye growth in North America and factors influencing growth of walleyes in Kansas reservoirs. *North American Journal of Fisheries Management*, **23**, 677-692.
- Sainsbury, K. J. (1980) The effect of individual variability on the von Bertalanffy growth equation. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, **27**, 241–247.
- Taylor, C. C. (1962) Growth equation with metabolic parameters. *J. Cons. Inter. Explor. Mer.*, **27**, 270–286.
- von Bertalanffy, L. (1938) A quantitative theory of organic growth. *Human Biology*, **10**, 181-213.