

Journal of Fish Biology (2016) **88**, 10–25

doi:10.1111/jf.12824

Received 12 August 2015; accepted 12 August 2015; first published online 12 August 2015

- a f a f f a a f a e e e u., 1883
 a f e e u. a f e f a a f a f v. e e f e - e
 u. *Canis lupus familiaris* a f e a f u. (R e , 1883). R e '
 (1883) a f u. a e a e v. a f e 2/3 v. e a f u.
 a f e a f e a f u. a f f e e a f d , u. f a f
 e a f e ' e S t & R. a f (1837 1838) a f e e e
 e a f f e e e e u. a f a e u. a f e u. e a f e a f.
 T a f e e a f e e e a f a f u. f u. e
 e (B e , 1915; K , 1916). T e e a e 19 e a f 20 e e a e
 u. a f a f a f e u. a f u.
 u. e u.; e e e a f e a f e . u. e 19 e
 u. a f e u. f f e - e e a f a f a f u. *Sparus aurata* L. 1758 J e
 & R a f (1877) a f u. a f *Cyprinus carpio* L. 1758 K a f e (1898)
 v. e e e K (1916) e f f e a f a f f u.
 a f e u. a f a f e . S u. a f , u. a f e u.
 M (1913) (a f e e K , 1916) e e f e e e f e f
 a f e e e e a f e f e f 0.928 f e a f a f e u. e *Mugil*
cephalus L. 1758, 1.15 f u. e *Torpedo torpedo* (L. 1758) a f 0.663
 f e a f a e *Uranoscopus scaber* L. 1758. I e e e a f a f u.
 100 a f a f e K (1916) u. a f e e u. a f a f v. e f e a f
 v. a e u. : I e e e u. a f e e a f e e a f e a f
 f a f u. a f a f e a f u. e v. e a f a f - e
 a f a f , e a f u. a f e a f a f f f e - e e e f e - e
 f e a f u. e e (K e et al., 2007, 2010; a f & O a f , 2014).
 F e a f a f e e e a f e a f e f e a e 19 a f
 e a f 20 e e , a f u. e e e a f e a f . B (1894) e e a f
 u. f A a f *Gadus morhua* L. 1758 v. u. a f e a f u. e
 e a f e f B (1807) a f e e e a f a f e e e e -
 a f a f e e e e e e f e a f a f u. e v. e , B (1894)
 e a f e v. e a f f F ' a f v. f f a f e e a f a f e
 e e e u. a f u. e e a f e . B a f e u. f u. a f
 e e e v. e u. e e e a e 19 e , B a f e
 (u. a f u. a f e) e e a f a f e e u. a f e u.
 u. a f u. e e a f e a f u. a f v. a f a f e e e e a f .
 T e v. e e f e a f e e e a f e B ' v. e , A K a f
 v. e M f e K v. a f e e f a f e , a f u. a f a f e a f e
 e e a f e e e f f a f e (S u. - N e e , 1984). A e e
 a f e e K v. e e u. a f u. a f a f a f u. a f u. a f a f
 , K ' e a f e e e u. e E e a f e e *Anguilla anguilla* (L. 1758)
 (K , 1904) a f e f a f f e a e e f a f f e e e e -
 e . K (1904) e a f a f e a f u. a f e u. B
 a f e a f u. e a f f e a f a f e a f u. a f a f a f a f a f a f a f e e e
 a f , e e e e u. a e a f *A. anguilla* u. e e e a f -
 e e v. a f e f f a f v. e u. a f e). K (1904) a f u. a f e
 e a f e a f a f f *A. anguilla* a f a f e u. a f CO₂ e a f e e
 a f e a f a f . F u. e e e e : T a f e a f e e a f -
 e e e e e f e e f e e v. e a f e a f u. e e a f
 e e u. a f f e , , e a f a f e (K , 1904).

e u u e a f a f e . C e v a f a f e a f e e e a f
 e e a f u e a f , e e e e e e a f e a f e e a f a f e
 f e a f a f e u u u a f e u . (G f et al., 2013; C a f
 et al., 2016; S e e et al., 2016). C u u a f a f f e G f e e e e a f e
 a f a f a f e a f e e u e a f e f a f a f e e a f e e u a f e -
 u f v e p O 2 f e e f a f a f e e u u a f e a f a f
 a f u . T e e e e e v e e a f e a f a f a f a f e e e e -
 a f a f a f a f a f e f u f e a f e . G f - e e e e a f u u a f
 e a f e e u u a f e v e e e e e a f v a f e e u -
 u e - f v e . G f - e e e e a f u e e u -
 e u a f e e e e , u e u e e u a f -
 a f a f e a f u e . G f a f e - u e e
 v e a f e e e a f e e G f - e e e e a f a f e e e e a f
 a f a f e e e f e G f e (M f e e , 1964) a f a f e f u e
 a f a f e u . W e e e e u f e W e a f a f p O 2
 e e e e a f a f e e a f u u a f a f a f e a f e
 e u e f a f a f e e a f e a f a f e a f a f e a f a f -
 e u u a f e u e v a f . T e e e u a f u u a f a f
 f e e a f e e (e ; D a f et al., 1999) a f v e a f
 e e e e e e u , a f a f u f v e a f a f u -
 e a f a f a f e e p O 2 e e u e (G f et al., 2013). T e e u
 e a f a f a f e a f e p O 2 a f u e f u u u (C et al., 2011)
 u f e u f e f f u a f e a f e f e f u a f
 u u a f a f .
 M a f v e v e e a f e e CO 2 e u ? A e a f u
 a f u e e a f e a f e e e a f 20 e , a f e v e v a f v e a f
 a f a f u a f e f CO 2 a f v a f O 2 u u a f v e e e a f
 e e a f a f a f , v a f e a f e f e a f a f

e e a f a f e a f u e e ; (2) e a f u f u e e f , e e e a f
 ee a f f e e e e f a f f u e e a f a f e
 v ; (3) e a f a f a f a f a f e e a f e e a f a f -
 e ; e e e e e u a f e , e e a f e f f a f ,
 f e e e a f a f e a f v e a f e a f ; (4)
 f f e a f a f a f a f e e , a f a f
 f a f f e a f a f u a f . P (3) (4) a f u u .
 e e f e u u a f a f e u . T e e e e
 e e u a f a f e f e e a f - a f a f a f a f f
 u . M a f e u a f u f e e a f u e a f e f a f
 u a f u f e e e e a f f a f a f e e e a f
 (i.e. a f u a f a f a f e a f) . D e e e u a f ,
 e e a f e e v e e a f a f a f a f e e f e (B e ,
 1973; B & K e , 1991). T e e e e e a f e a f e f
 e a f a f a f u a f a f (SMR) (C a f e t a l . , 2016).

A a f a f f e e e e e e a f f a f f e e e a f e
 a f y s i o 4 4 8 (T h e) 3 4 . 6 (e n 0 3 e a t - n s n d 0 3 e a q u e a n n o t d y n a m . t 4 2 0 y s i o 4 4 5 (a n s 4 8 3) D .) i g n 5 2 . T i c

a f f u e e u e e a f a f a f - - e a f f a f a f
 a f a f . T , f e a f e a f e u f u a f u a f e f
 e e e a f , a f a f e e e . I e e , e u a f e e f
 u a f u . P e a f & e H u . (1808) e e . T e e a f ,
 e e a f a f e a f a f e f e e e a f e f e a f e u a f e -
 e f e (S u . e t a l . , 1978) . M e e e a f e f e e e e , e e a f
 a f e e a f a f e a f e u a f e e e e a f e a f a f
 (F , 1971; B e & G e , 1979) , e e a f e f e e e f u a f a f e
 e e u e e a f e f e (G , 1990) . D e a f e u e
 a f a f a f u e e 1980 , f e e a f a f e a f u -
 e e a f a f e a f e e e u a f e u a f
 a f a f a f u e (a f W i e e e t a l . , 1988; G a f e e t a l . , 1989) . T e e e e
 a f f e , a f a f u u e a f a f a f u a f e u a f u e
 a f e e (G a f e , 1983b; a f W i e e e t a l . , 1988; G a f e e t a l . , 1989) . P -
 e a f e f e e e e f e u a f e a f e a f e -
 u e a f e a f e u e , e a f e a f
 a f f e f a f e (R a f e t a l . , 2013) . D e a f e u a f ,
 e e e e e e f e a f a f u a f e (B e t a l . ,
 1993; M e t a l . , 1996) . D e a f e u a f a f f e a f u e e a f
 e e a f a f e e e (M e t a f e t a l . , 2004; M C u e t a l . , 2006) . P -
 a f a f a f u e a f e a f a f e a f e a f e e a f e e
 f e - e e e (K e e t a l . , 2010) , u e e a f e e e e
 u a f e a f f u a f u . J a f e u a f u . v i a e
 a f e (R a f e t a l . , 2013) . A e a f a f e , e e e e a f e a f
 e e e f e a f e e f e , u e e e e e
 a f e a f e a f e e a f e e u a f e e . F e u e , e e u e
 u a f u a f u a f a f a f a f , e a f u a f u e e
 e u , e e a f .
 I e a f e a f e a f a f a f e f e a f a f a f e a f e u e
 e e a f e a f e e a f e e f f f f a f a f e u a f
 e e a f e f f u e e , e e a f a f e e a f e :



B e (O₂) a f e (CO₂) e a f e a f e f e u e a f e
 a f e e e e e e a f a f e e u e a f e e a f e f a f . R a f
 (O₂) e e a f e (CO₂) a f e u e a f e e a f e f a f . R a f
 a f e a f e a f e a f e f f e e a f a f u ; a f -
 a f e a f f u e e u a f e CO₂ a f , e e u e e e
 u a f - e a f a f u . u a f e e f e e e
 u . B a f e e a f a f f f (e , a f a f a f e) e f f -

e f e) e e e e e e f f e e a f e a f
 e f e f CO₂ e e a f e (H f u u f e , 1915) v , a f e e a f
 e a f e , u f e e a f u e e a f e f e e a f
 e e a f . T e u a f e u f CO₂ e e a f e a f u a f e e
 a f a f e a f e a f f e u f e a f e e
 e a f u f e e v (H f u u f e , 1915). T a f e e e f
 e u a f a f f e e a f v a f u f f e e . a f e e
 a f e e u f e v e a f e e v e e (DLW), v e a f O₂ -
 u a f v e e u f e e e e e a f e e a f a f
 e u a f e e e a f a f e a f a f (e.g.
 a f a f a f e e a f , a f a f e e u a f u a f a f e a f e a f ;
 B & P , 1997; W e et al., 2001; B e et al., 2004; M e et al., 2008;
 G e et al., 2011). T e DLW e e a f e e e f e a f CO₂
 a f e a f e e e e e e e a f a f u f (M f , 2005), e a f e
 e e e e a f e e f a f a f a f e e v
 u a f a f e v e v e (L f & M C , 1966) a f a f a f u f
 v e u a f v v e v e - a f e e u e ,
 e e a f v a f f e (B e et al., 2004).
 B e e f e 19 e , e e v a f a f a f e e e
 u a f e a f a f u a f a f a f a f e f f a f e e e -
 u a f e f e f f e e (K , 1916). I f e a f e
 a f CO₂ a f e a f e u a f u e e u e f u e e e -
 e e e a f a f e e e e , e e a f f u
 a f e a f e a f a f e e u e (G a f e , 1983a). T e e f e e -
 u a f e e e a f a f a f e f a f e f e f e u f
 f a f e e a f 1900 (H f u u f e , 1915; K , 1916). T e e u -
 a f a f u a f a f e a f e e a f e a f e f -
 e f e a f e a f a f a f u f e a f a f a f a f
 e u a f u f e a f a f u f (K , 1916). T e e f e a f u a f
 a f u e v e f e e e a f e a f e a f u a f -
 e e u a f v e a f a f a f a f u e a f -
 a f u a f e a f e a f a f . T , f u e e a f 20 e v ,
 u a f e u f e u a f e u a f e f u a f u e -
 a f f e . M f f e e a f a f e f e v e a f a f f u
 u a f u a f a f f e a f e f , a f -
 a f e e (G a f e , 1983a). A e a f a f a f e e
 a f e f e f a f f e u a f e a f e a f u a f
 e u a f e u e a f e e e a f e (B e , 1973; G a f e ,
 1983a), a f e e . M e a f e a f e f e a f e e
 f u e e a f e a f a f u a f a f e e u a f u e f e -
 e e . T e u f u e e e e f 10% f e e u
 e (G a f e et al., 1989). I f e a f u f a f u e f f f f , e
 . 198 TD v 3 TD v (6) - 3251.4 (3 v 18.3583 .1 (e) - 38 6 8.100 a f e) - 302 (31.

- B , C. T. & P , J. R. (1997). *In situ* μ CT of the eye of the mosquitofish (*Oncorhynchus mykiss*)¹. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **54**, 859–866.
- B , L. T., H , P. W., S , A. & G , E. (1993). Morphology of the eye of the mosquitofish (*Oncorhynchus mykiss*)². *American Journal of Physiology* **265**, R1014–R1019.
- B , C. M. L. & G , J. L. (2013). Development of the eye in the mosquitofish (*Oncorhynchus mykiss*)³. *American Journal of Physiology* **305**, E916–E924.

- G a f , N. (1886). N e a f a f e e e a f e a f e a f e e e e a f a f e . *Comptes Rendus des Séances et Mémoires de la Société de Biologie* **38**, 421.
- G e e , H. (2011). M a a f e u e a f e . I *Encyclopedia of Fish Physiology: From Genome to Environment*, V . 3 (F f e , A. P. e .), . 1709 1716. S f D e , CA: A a f e u . P e .
- H f u u f e , O. (1915). *A Text-Book of Physiological Chemistry*, 7 e . N Y Y , NY: J W e & .
- H e , N. (1984). A a f e e a f e . I *Fish Physiology*, V . X, P f A (H a f , W. S. & R f a f , D. J. e .), . 315 401. O a f , FL: A a f e u . P e .
- H e , M. (1910). e e E e S f e f f a f f e G f e e e e M e e e . *Biochemische Zeitschrift* **26**, 255 278.
- H e , F. L. (1985). *Lavoisier and the Chemistry of Life*. M f , WI: U e f W - P e .
- J e , F. & R a f , P. (1877). R e e e a f e a f e a f a f a f a f e . *Archives de Physiologie. Series II* **44-62**, 584 633.
- M a a f , K. J. (2014). W a f e e a f e a f e ? *Molecular Metabolism* **3**, 340 341.
- M a a f , K. J. & R f a a f , D. S. (2011). D e a f a f a f e , e e e a f - a f f a f f e e f f . *Comparative Biochemistry and Physiology A* **158**, 252 264.
- K e , R. F., K e , A. & G e , N. (2010). O e a f e e a f a f u u . v . *Annual Review of Marine Science* **2**, 199 229.
- K e , S. S., C a f , I., B e , J. A. & G f e , A. K. (2007). L e e f e a f : u a f a f e e e a f u a f f a f e . *Proceedings of the Royal Society B* **274**, 431 438.
- K e , S. S., A , D. & G f e , D. S. (2010). T e a f f u a f a f e e e e e e e e e e a f e u e a f e . *Ecology Letters* **13**, 184 193.
- K a f e , K. (1898). K e S f e e e F e . *Archiv für die gesammte Physiologie des Menschen und der Thiere* **73**, 490 500.
- K , A. (1904). S e e e e a f e e a f f e e a f e a f . *Skandinavisches Archiv für Physiologie* **16**, 348 357.
- K , A. (1916). *The Respiratory Exchange of Animals and Man*. L : L a f , C e e a f C .

M K e , D. J. & R f a f , D. J. (1990). De *Amia calva*

- Wise, D. D. & Nelson, J. M. (1924). The effect of temperature on the rate of oxygen consumption of the rainbow trout, *Salmo gairdneri*. I. *Journal of Biological Chemistry* **61**, 523–543.
- Wise, G. E. & Hoffmann, T. C. M. (2005). Developmental changes in the metabolic rate of rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Journal of Experimental Biology* **208**, 1035–1043.
- Wise, G. E. & Hoffmann, T. C. M. (2006). Understanding the metabolic rate of rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Physiological and Biochemical Zoology* **79**, 830–835.
- Wise, O. (1908). Über die Oxygenaufnahme von *Salmo gairdneri*. *Hoppe-Seyler's Zeitschrift für Physiologische Chemie* **59**, 112.
- Witte, J., Auer, A., Tack, G. & Schulz, H. (1988). Developmental changes in the metabolic rate of rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Journal of Thermal Analysis* **33**, 1019–1026.
- Witte, J., Auer, A., Tack, G. & Schulz, H. (1989). Heat production and oxygen consumption in rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Comparative Biochemistry and Physiology A* **92**, 159–162.
- Witte, D. M., Breen, R. G., Korman, S. R. & Schmitt, M. J. (2001). Effect of temperature on the metabolic rate of rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Journal of Experimental Biology* **204**, 3561–3570.
- Wolfe, J. B. (2013). Temperature effects on metabolic rate and mitochondrial function in rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *American Journal of Physiology. Lung Cellular and Molecular Physiology* **305**, L775–L785.
- Wolfe, L. (1888). Die Bedeutung der Wärme für die Stoffe. *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft* **21**, 2843–2855. doi:10.1002/bc.188802102122
- Wolfe, H. (1908). Beiträge zur Kenntnis der Stoffe. *Archiv für die gesammte Physiologie des Menschen und der Thiere* **125**, 73–98.
- Wolfe, O. S., Korman, B., Gorman, K. & Korman, S. M. (1998). Effect of temperature on the metabolic rate of rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Mikrochimica Acta* **129**, 181–188.
- Wu, M. & Olfelt, S. (2014). Oxygen consumption of rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Paralichthys olivaceus*. *Scientific Reports* **4**, 7135. doi:10.1038/s41598-014-07135-4