Journal of FISH BIOLOGY

fsbi

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

:10.1111/jf .12824

- a f a f f a f a e e e , 1883 a f e e a e f a f a f e f e - e , *Canis lupus familiaris* a f e a f (R e , 1883). R e ' (1883) a f a f a e a f e a f e 2/3 , e a f a f e a f e a f a f f ee a f d , f a f e a f e e ' e S f & R a f (1837 1838) a f e e e a f f e e e a f a f a f e e a f a f e e a f a f a f e (B e , 1915; K , 1916). T e a f e 19 e a f 20 e e a f e a f a f a f e e e ; e e a f e a f e . I e 19 e a f e f e - e e a f e a f e a f *Sparus aurata* L. 1758 J e & R a f (1877) a f a f *Cyprinus carpio* L. 1758 K a f e (1898) e e e K (1916) e f f e e a f a f f a f e a f a f e . S a f , a f e M (1913) (a e K , 1916) ee f e e e f e f a f e e e a f e f e f 0.928 f e a f e a f e e *Mugil cephalus* L. 1758, 1.15 f e *Torpedo torpedo* (L. 1758) a f 0.663 f e a f a f e *Uranoscopus scaber* L. 1758. I e e e a f a f 100 e a f a f f e K (1916) e a f e e a f a f e f e a f e a f e : I e e e a f e e a f e e a f f a f a f a f e a f e e a f a f - e a f a f , e a f a f e a f a f f f e - e e e f e - e f e a f e e (K e *et al.*, 2007, 2010; & O a f , 2014).

F e a f f e e e a f e a f e f e a f e 19 a f e a f 20 e e , a f e e a f e a f . B (1894) e e a f f A a f *Gadus morhua* L. 1758 a f e a f e e a f e f B (1807) a f e e a f a f e e e - a f a f e e e e e f e a f a f e , B (1894) e a f e e a f f F ' a f f f f a f e e a f a f e e e e a f e . B a f e f e a f e e e e e a f e 19 e , B a f e (a f H f a f e) e e a f a f e e a f e a f a f a f e e a f e a f a f a f a f a f a f e e e a f . T e e e f e a f e e a f e B ' e , A K a f e f M f e K e a f e e f a f e , a f a f a f e a f e e a f e e e f f a f e (S - N e , 1984). A e e a f e e K e e a f a f a f a f - , K ' e a f e e e e E e a f e e *Anguilla anguilla* (L. 1758) (K , 1904) a f e f a f f e a f e e f a f f e e e e - e . K (1904) e a f a f e a f a f e a f e B a f e a f f e a f f e a f a f e a f a f a f a f e e e a f , e e e e e a f e a f *A. anguilla* e e e e a f - e e *via* a f e f f a (f e a f e). K (1904) a f a f e e a f e a f f *A. anguilla* a f a f e e a f a f CO_2 e e a f e e a f e a f. F e e , e e : T a f e a f e e a f - e e e e f f e e f e e e a f e a f e a f a f e e e a f f e , , e a f a f e (K , 1904).

I ... 19 ... (K..., 1916). A ...

... M ... (K..., 1916). L... (1914),

... E... & K... (1914) ...

Carassius auratus (L. 1758), ...

... T ... K... (1916) ...

... H...ff (A...) ... K... (1916) ...

... A ... (Q_{10}) ...

... I ... K... (1916) ...

... T ... (S...ff 3(...) 14.67.3225 ...

e e e . C e a e e e a e e a e , e e e e e a e e a e f e a a e e e (a *et al.*, 2013; a *et al.*, 2016; S e *et al.*, 2016). C a a f e a e e e a a a e e e e a e f a a e a e a a a a a . T e e e e e a e a e a a a a a f a e . a - e e e a e a e e e e e a e e - f e . a - e e e e a e e e , e e a a e a e e a e e a e e e a a a e e f e a e (M e e , 1964) a a f e a a e e . W e e e e f e W e a a pO_2 e e e a a e a e f a a a a a e a e e a e a a a e a a e e a e f a a e a a e e a a a e a a e a a e e a e a e . T e e e a a a f e e a e (e ; D a *et al.*, 1999) a e a e e e e e , a a a f a a e a a e a a e pO_2 e e (a *et al.*, 2013). T e e e e a a e a a e pO_2 a e f (C *et al.*, 2011) a e a e f f a e a e e f a a a .

M a e , e e a e e CO_2 e ? A e a e a e e a e e 20 e , a e e e a e a a a a e f CO_2 a a O_2 a a e e a e a a , , a e e a e f e a a e

W e a f a f f e f e a f a f f e e e . W e pCO_2 e a f a f a f e a f e e , a f e a f CO_2 e e e a f a f e . T a f e a f a f f e e a f e e a f e e HCO_3^- a f CO_3^{2-} e e a f a f f e e CO_2 a f . I e a f e e e a f a f e f , a f e e e CO_2 a f pCO_2 e e (S e a f , 1960; C , 1971), a f e (B e & S e , 1982), a f a f a f (B e *et al.*, 1985) f e e e (M K e & R f a f , 1990) a f *vi* e e a f - a f e a f f e e CO_3^{2-} (M f , 1968). N e f e e e e e a f e e a f a f e e a f a f a f a f e e e e e a f a f e a f a f a f e e a f a f f f e e e e a f a f a f a f e (H e , 1984). Q a f a f - f a f CO_2 e e a f e a f a f a f a f a f a f a f (L f f & W , 1996; M K e *et al.*, 2007), e e a f e a f a f e f e a f . T , e f a f e a f f a f CO_2 e a f a f e a f e a f a f f e a f a f e f a f a f e a f a f a f a f , e e a f f a f e (F , 1971). P a f e e e f a f e e f CO_2 e (W f e *et al.*, 1998) a f e e e e e (C *et al.*, 2011) e a f e f e e e a f f a f e a f CO_2 a f e e e a f e e a f a f a f .

A T TAB

T e a f e a f a f e e e a f e a f a f e e f e e a f e a f f . C e a f e e e a f a f f e a f e a f e a f a f e e , a f ATP, e e a f e a f e e a f e e - e e a f a f e f (NAD a f NADP). L e a f e f e f e e a f a f e , a f a f e ( ) a f - e e . J a f e e a f a f e a f e e , e

e e e e ; (2) e e e , e e ee f e e e e f f e ; (3) e e e e e e e - e ; e e e e e , e e e f f , e e e e ; (4) f f e e e , f f e . P (3) (4) e e f e . T e e e e e e e f e e - f . M e e f e e e f e e e e e e f (*i.e.*). D e e e e , e e e e e e e e f e (B e , 1973; B & K e , 1991). T e e e e e e e f e (SMR) (C *et al.*, 2016).

A f e e e e e e f f e e e e

$$C_6H_{12}O_6 + 36ADP + 36P + 36H^+ + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 36ATP + 42H_2O + \text{heat} \quad (1)$$

e f e) e e e e f ff e e a‡ e a‡
e f e f CO_2 e e a‡ e (H‡ u a‡ e , 1915) , a‡ e e a‡
e a‡ e , a‡ e e a‡ u. e e a‡ e f e e a‡
e e a‡ . Te u a‡ e u. f CO_2 e e a‡ e a‡ a‡ a‡ u a‡ e e
a‡ a‡ e a‡ u. a‡ e f e u. f e a‡ e
e a‡ a‡ e e (H‡ u a‡ e , 1915). T a‡ e e e f
e u a‡ a‡ e ff e e a‡ a‡ a‡ f e e . C‡ e
a‡ e e a‡ e e a‡ e e e (DLW), e e a‡ O_2 -
u. a‡ e e a‡ e f u e e e e a‡ a‡ e e a‡ e a‡
e u. e a‡ e u. e e a‡ a‡ (*e.g.*
a‡ a‡ a‡ a‡ e e a‡ , e a‡ a‡ e e e a‡ u. a‡ u a‡ a‡ e u. a‡ e a‡ ;
B & P , 1997; W e *et al.*, 2001; B e *et al.*, 2004; M e *et al.*, 2008;
G e *et al.*, 2011). Te DLW e e a‡ e e f e a‡ CO_2
a‡ e a‡ e e e e e e e e a‡ a‡ a‡ (N‡ , 2005), e a‡ e
e e e e a‡ e e f a‡ a‡ e e
u. a‡ a‡ e (L f & M C , 1966) a‡ a‡ a‡ a‡
e u a‡ e u. e - e a‡ e e u. e ,
e e a‡ a‡ e f e (B e *et al.*, 2004).

B e e f e 19 e , e e a‡ a‡ a‡ e e e
u. a‡ e a‡ a‡ u a‡ a‡ e a‡ a‡ a‡ e ff a‡ e e e -
u. a‡ e f e f ff e e (K , 1916). If e a‡ e
a‡ CO_2 a‡ e u a‡ e a‡ e u. e e u. f u. e e e -
e e a‡ a‡ u. e e u. , e e a‡ f u.
a‡ e a‡ e a‡ a‡ e e e u. (G a‡ e , 1983*a*). Te e e f e e -
u. a‡ e e e a‡ a‡ a‡ e f a‡ e f e f e a‡ j
f e e a‡ 1900 (H‡ u a‡ e , 1915; K , 1916). Te e u.
a‡ a‡ u. e a‡ a‡ e a‡ e e a‡ e a‡ e f -
e f e a‡ e a‡ a‡ a‡ a‡ e a‡ a‡ a‡ a‡ a‡ a‡ a‡ a‡ a‡ a‡ a‡
e u a‡ u. f e a‡ a‡ a‡ (K , 1916). Te e f e , a‡ u. e a‡
a‡ u. e e e f e e e a‡ a‡ e a‡ e a‡ u a‡ -
e e u. a‡ e a‡ e a‡ e a‡ a‡ u. e e a‡ -
a‡ u. e a‡ e a‡ a‡ . T , f u. e e a‡ 20 e ,
u a‡ e u. f e u. a‡ e u. a‡ e e f u. a‡ u. e e -
a‡ f e . M‡ f e e e a‡ a‡ e f e e a‡ a‡ e f u.
u. a‡ u. a‡ a‡ f e a‡ e f , a‡ -
a‡ e e (G a‡ e , 1983*a*). A e a‡ a‡ a‡ a‡ e e
a‡ e f e f a‡ f e u. a‡ e a‡ e a‡ u. a‡
e u. u a‡ e u. e a‡ e e e a‡ e (B e , 1973; G a‡ e ,
1983*a*), a‡ e e . M e a‡ e a‡ e f e a‡ e e
f u. e e a‡ e a‡ a‡ u. a‡ a‡ e a‡ e e u. a‡ u. e f e -
e e . Te a‡ u. u e e e f 10% f e e u.
e (G a‡ e *et al.*, 1989). If e a‡ a‡ a‡ u. e f f ff , e
. 198 TD e 3 TD (6)-3251.4(3 18.3583 .1(e)-38 6 8.1()0(e)-302((31.

[illegible]

[illegible] $\dot{M}O_2$ [illegible] K[illegible] (1916) [illegible] $\dot{M}O_2$ [illegible] $\dot{M}O_2$ [illegible] (G[illegible], 1983*b*). [illegible] $\dot{M}O_2$ [illegible] *e.g.* [illegible] (EPOC). [illegible] *i.e.* [illegible] ATP [illegible]

[illegible] 20% [illegible] (H[illegible], 1985). [illegible] 100 [illegible] R[illegible] (1894) [illegible] 20 [illegible] (B[illegible] & M[illegible], 1907), [illegible] (K[illegible], 1916). K[illegible] (1916) [illegible] 1989 [illegible] (W[illegible]

B , C. T. & P , J. R. (1997). *In sit* f (*Oncorhynchus mykiss*) . *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **54,** 859 866.

B , L. T., H , P. W., S , A. & G , E. (1993). M . *American Journal of Physiology* **265,** R1014 R1019.

B , C. M. L. & G , J. L. (2013). D C57B /6 FVB . *American Journal of Physiology* **305,** E916 E924.

G , N. (1886). N e é e e e e e .
Comptes Rendus des Séances et Mémoires de la Société de Biologie **38,** 421.
G e , H. (2011). M e . I *Encyclopedia of Fish Physiology: From Genome to Environment*, V . 3 (, A. P. .), . 1709 1716. D , CA: A e P .
H , O. (1915). *A Text-Book of Physiological Chemistry*, 7 e . N Y , NY: J W e & .
H e , N. (1984). A e e . I *Fish Physiology*, V . X, P A (H , W. S. & R , D. J.), . 315 401. O , FL: A e P .
H e , M. (1910). e e E e S e ff f e G e e e M e - e e e . *Biochemische Zeitschrift* **26,** 255 278.
H , F. L. (1985). *Lavoisier and the Chemistry of Life*. M , WI: U e f W - P .
J e , F. & R , P. (1877). R e e e e e - e . *Archives de Physiolgie. Series II* **4 62**, 584 633.
K , K. J. (2014). W e e e ? *Molecular Metabolism* **3,** 340 341.
K , K. J. & R , D. S. (2011). D e , e e e - f f f e f . *Comparative Biochemistry and Physiology A* **158,** 252 264.
K e , R. F., K e , A. & G e , N. (2010). O e e . *Annual Review of Marine Science* **2,** 199 229.
K e , S. S., C , I., B , J. A. & G e , A. K. (2007). L e f e : e e e e . *Proceedings of the Royal Society B* **274,** 431 438.
K e , S. S., A , D. & G e , D. S. (2010). T f e f e e e . *Ecology Letters* **13,** 184 193.
K e , K. (1898). K e S ff 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 f e e . *Skandinavisches Archiv fur Physiologie* **16,** 348 357.
K , A. (1916). *The Respiratory Exchange of Animals and Man*. L : L , G e C .

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

W S , D. D. & N , J. M. (1924). T e e a f a e a a a e . I. *Journal of Biological Chemistry* **61,** 523 543.

W e , G. E. & H ff a , T. C. M. (2005). D e a e a a e e e e e e f e e e e . *Journal of Experimental Biology* **208,** 1035 1043.

W e , G. E. & H ff a , T. C. M. (2006). U e a e a a f e a e a e . *Physiological and Biochemical Zoology* **79,** 830 835.

W , O. (1908). e e O a e e e e e a V e a e e . *Hoppe-Seyler's Zeitschrift für Physiologische Chemie* **59,** 112.

a W e , J., A , A., a e T a , G. & S , H. (1988). D e a f e f ee a a e e . *Journal of Thermal Analysis* **33,** 1019 1026.

a W e , J., A , A., a e T a , G. & S , H. (1989). H a f : a e a e e e . *Comparative Biochemistry and Physiology A* **92,** 159 162.

W e , D. M., B e , R. G., K , S. R. & S a e , M. J. (2001). C a e a f e - e a a e f ee f (*Gadus morhua*). *Journal of Experimental Biology* **204,** 3561 3570.

W , J. B. (2013). T e a a f A e a M e -A e a e a e f a e . *American Journal of Physiology. Lung Cellular and Molecular Physiology* **305,** L775 L785.

W e , L. (1888). D e B e W e G e S e ff . *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft* **21,** 2843 2855. : 10.1002/ e .188802102122

W e , H. (1908). B e K e F a . *Archiv für die gesammte Physiologie des Menschen und der Thiere* **125,** 73 98.

W f e , O. S., K , B., G , K. & K e , S. M. (1998). F e - e e e a e f e a . *Mikrochimica Acta* **129,** 181 188.

, M. & O a , S. (2014). O e a e f a a e *Paralichthys olivaceus*. *Scientific Reports* **4,** 7135. : 10.1038/ e 07135