

Winkler 法によって測定された溶存酸素を指標とした 淡水二枚貝シジミガイの呼吸

——水生動物の代謝過程の教材——

野 崎 健太郎*

Respiration Rate in a Freshwater Bivalve *Corbicula* sp. Using Dissolved Oxygen
by Winkler Method

—A Teaching Material for Metabolic Processes in Aquatic Animal—

Kentaro NOZAKI

要 旨

2021年3月1日に愛知県日進市の小川で採集した淡水二枚貝シジミガイの呼吸速度を測定した。呼吸の指標には溶存酸素を用い Winkler 法で分析した。湿重量 0.20～0.30 g, 殻幅（殻長）9.8～11.5 mm の4個体の呼吸速度は水温 18℃で 0.05～0.09 mgO₂L⁻¹ h⁻¹, 湿重量 0.73～1.15 g, 殻幅（殻長）14.1～16.8 mm の4個体の呼吸速度は水温 14℃で 0.10～0.20 mgO₂ L⁻¹ h⁻¹であった。単位湿重量あたりの呼吸速度は小さな個体が 0.18～0.44 mgO₂ g⁻¹ h⁻¹で、大きな個体の 0.09～0.20 mgO₂ g⁻¹ h⁻¹よりも高い値を示した。本研究の結果、シジミガイの呼吸速度は簡便な器具と手順で測定できることがわかった。

キーワード：シジミガイ, 呼吸, 溶存酸素, Winkler 法, 教材

Abstract

Respiration rates of freshwater bivalve *Corbicula* sp. were measured using samples collected at a stream in Nissin City, Aichi Prefecture, on 1 March 2021. Values of the dissolved oxygen concentration analyzed by the Winkler method were used as an index of respiration. The respiration rates of four individuals with wet weight from 0.20 to 0.30 g and a shell width (shell length) from 9.8 to 11.5 mm were ranged from 0.05 to 0.09 mgO₂ L⁻¹ h⁻¹ at water temperature of 18°C, and other four individuals with wet weight from 0.73 to 1.15 g and a shell width (shell length) from 14.1 to 16.8 mm were ranged from 0.10 to 0.20 mgO₂ L⁻¹ h⁻¹ at water temperature of 14°C. The respiration rates per unit wet weight ranged from 0.18 to 0.44 mgO₂ g⁻¹ h⁻¹ in small individuals, those were ranged from 0.09 to 0.20 mgO₂ g⁻¹ h⁻¹ in large individuals. As a result of this study, it was found that the respiration rate of *Corbicula* sp. could be measured with simple laboratory wares and procedures.

Key words: *Corbicula* sp., respiration, dissolved oxygen, Winkler method, teaching material

* 教育学部 子ども発達学科

背景と目的

生物は、①膜によって外界と仕切られた細胞から成り立つ、②細胞膜を通じて外界との物質のやり取りを行う、③環境に適応しながら同化と異化を含む代謝を行う、④自己の遺伝子を複製し次世代につなげる生殖を行う、といった4つの性質により非生物と区分することができる。したがって生物学の学習ではこれら4つの性質を、視覚的に確認できる、数値の変化として検出できる、あるいは数式を用いて論理的に説明できる教材を用いることが大切である。現在、小学校「理科」から高等学校「生物基礎」の教科書には、①は顕微鏡観察によって視覚的に、②は浸透膜を用いた物質の濃度変化の数値化から、③の同化はオオカナダモやアオミドロを材料とした光合成にともなう酸素気泡の発生数から、④は顕微鏡を用いた細胞分裂の時系列観察に加えメンデルの法則を基盤にした数式から理解を深める教材が掲載されている。

③の異化を視覚的あるいは数値化する教材は、呼吸による二酸化炭素の発生を指標とした石灰水の白濁化、BTB液の発色変化（例えば、森・森，1998）や気体検知管を用いた実験が中心である。ただし、発色変化は酸素の消費を明示できず、気体検知管は単価が高く使い捨てであるため経済的な制約が大きい。したがって、教材を考案する余地があるといえる。呼吸による酸素の消費を明示する教材は、運動に伴う拍動数の上昇（野崎，2016）、ウシガエルのオタマジャクシを用いた肺呼吸回数の変化（田中ほか，2006；原村ほか，2011）、キンギョの鰓蓋開閉回数（平間・北野，1997）といった行動面の数値化が用いられ、酸素濃度の変化を実測した事例は限られている（例えば、片山ほか，1982）。

大気中の酸素を数値として検出するためには、簡便な気体検知管以外には、煩雑な化学実験あるいは高価な機器が必要となる。加えて材料となる生物を外界と隔離することも困難である。一方、水中の酸素濃度はWinkler法によって簡便かつ正確に測定することが可能である。Winkler法で用いる試薬は小学校の理科室で調整可能であり、必要なガラス器具は酸素瓶（ふらん瓶）、ビューレット、フラスコ、ピーカー程度である。そして水生生物はガラス瓶等に水とともに入れ外界と隔離することは容易であり、光合成の実験でも水生の光合成生物を用いることが普通となっている。

本研究では材料として淡水二枚貝を用いた。その理由を述べる。まず一般的に淡水生物は海水生物に比べて身近であり、実験用の試水の入手も容易である。そして貝類は爬虫類、両生類、魚類、エビ・カニ類、昆虫類に比べて動きが少なく、作業が容易となる。そして二枚貝は海水性のアサリや汽水性のヤマトシジミが食用として食卓に上がることが多く巻貝に比べて生活に関連している。さらに、ろ過食者として水の浄化に寄与し（例えば、Yamamuro and Koike, 1994；前田ほか，2000；川瀬，2010）環境教育へのつながりも期待できる。これらを考慮し、研究を行った愛知県にも広く分布している淡水性のシジミガイ（川瀬ほか，2018）を材料として選択した。

本研究では、淡水二枚貝のシジミガイ *Corbicula* 属の1種を材料として、Winkler法を用いた溶存酸素の定量から呼吸速度を算出し教材化の可能性を検討した。

研究方法

シジミガイの採集

シジミガイの採集は、北緯35°08'58"，東経137°02'25"に位置する，愛知県日進市岩崎町竹の山の菊水の滝直下の小川で2021年3月1日13時38分～13時58分に行った（図1）。シジミガイは河床の砂礫ごと採取し白い容器上で拾い上げた。4人で20分採集し62固体を得た。シジミガイは1時間以内に実験室に運び込み水槽に移し，貝殻が浸る程度に現場の水を入れ実験まで飼育した。たくさんの水を入れ水深が増すと，大気からの酸素供給が制限されるため水を入れすぎないように注意した。水は3月2日9時，18時，3月3日9時に交換した。シジミガイは実験が終了した3月3日18時に採集地点に戻した。

採集地では，水温を棒状のアルコール水温計，透視度を100 cm 透視度計（野崎，2014a），電気伝導度（Electric conductivity）を電気伝導時計（TOA DKK CM-21P），pH を比色（共立理化学研究所 WAK-pH），化学的酸素要求量（COD：Chemical Oxygen Demand）を比色（共立理化学研究所 WAK-COD（D））で測定した。溶存酸素濃度は，Winkler アジ化ナトリウム変法により現地で固定し，直射光を避け冷やしながら実験室に持ち帰り，滴定によって定量した（松本・野崎，2014）。呼吸の実験と水質分析に用いる試水は，菊水の滝の直下でポリタンクに5Lを採取した。流量は川幅，水深，1/2水深の流速から加藤（2014a）の手順で算出した。流速は，プロペラ式の流速計（コスモ理研，CR-7）で測定した。なお，この手法で算出した流量の値と国土交通省が測定している値との相関として $r^2 = 0.987$ が報告されており実用に耐えうると判断できる（野崎，2014b）。



図1 採集地点の地図と写真

Fig. 1 Map and photos of sampling station

シジミガイの計測

採集したシジミガイは、川瀬（2014）を参照して殻幅（Shell width）と殻高（Shell height）を、それらに加えて殻の厚さ（Shell thickness）をデジタルノギスで測定した（図2）。湿重量（Wet weight）は殻の表面の水分を良く拭き取り、電子天秤で測定した。電子天秤は小数点2位まで表示される製品を用いればよい。貝の重量は通常、殻の重さを除外し身の部分のみを表すが、本研究では殻を含んだ重量である。



図2 淡水二枚貝のシジミガイの写真

Fig. 2 Photos of freshwater bivalve *Corbicula* sp.

呼吸速度の測定

実験はシジミガイの培養と溶存酸素濃度の分析に大別される。必要な実験器具は表1と図3に、試薬は表2に示した。まずシジミガイの培養手順を加藤（2014b）に従い次の(1)～(5)に述べる。培養実験の1回目は2021年3月2日16時42分から3月3日9時40分（17時間）、2回目は2021年3月3日9時55分から14時10分（4.25時間）に行った。

- (1) 酸素瓶（ふらん瓶）300 mLを4本、100 mLを6本用意する。なお、酸素瓶300 mLは密閉可能でシジミガイが入る口の大きさを持つ瓶で代用することができる。瓶の容量（mL）が不明な場合は、水を詰めた瓶の重さ（g）－よく乾燥させた空の瓶の重さ（g）を求め1 g = 1 mLで換算する。
- (2) 300 mLの酸素瓶4本と100 mLの酸素瓶2本にサイフォンを用いて現場で採取した試水を少し溢れるように詰める。この時に試水の水温と電気伝導度を測定する。試水はろ過せず、懸濁物質を含んだ状態で用いた。
- (3) 300 mLの酸素瓶にあらかじめ計測を終えたシジミガイを1個体ずつ入れふたをする。4本の酸素瓶は空気の混入を防ぎ水温の変動を緩和するために、立てた酸素瓶が水没する

Winkler 法によって測定された溶存酸素を指標とした淡水二枚貝シジミガイの呼吸

表 1 実験に必要な器具

Table 1 Laboratory wares required for experiments

Tool (器具)	Number (個数)
Glass burette (ビュレット) 25 mL	1
Iron stand (鉄製スタンド)	1
Clamp (クランプ)	1
Conical beaker (コニカルビーカー) 300 mL	1
Grass beaker (ガラスビーカー) 100 mL	2
Grass bottle (酸素びん) 300 mL	4
Grass bottle (酸素びん) 100 mL	6
Vinyl tube, inner diameter 4 mm (ビニール管, 内径 4 mm)	1
Grass pipette (駒込ピペット) 2 mL	2
Silicone nipple (シリコン製ニップル) 2 mL	2

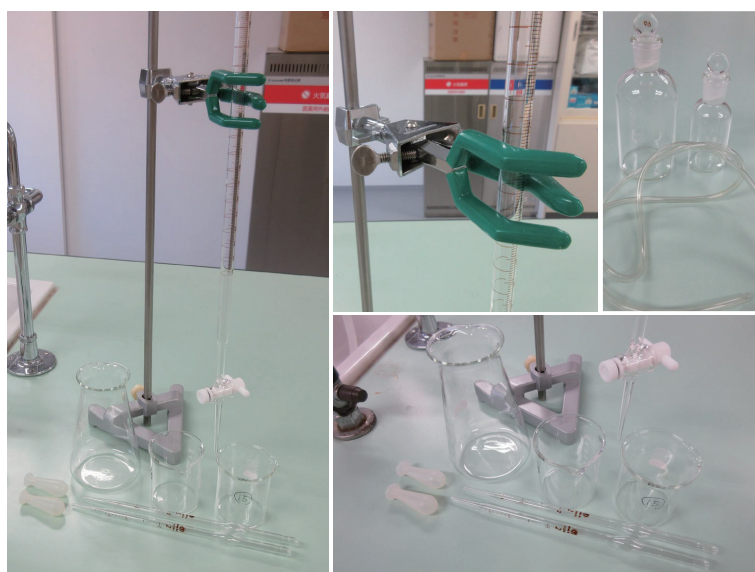


図 3 実験器具の写真

Fig. 3 Photos of laboratory wares

程度の水を入れた水槽に入れる。水槽に入れる水は水温をなるべく試水に近づける。水槽は、実験室の室温、光環境で培養する。

(4) 100 mL の酸素瓶 2 本には塩化マンガン (I 液) 0.5 mL, 続いてアルカリ性ヨウ化カリウム-アジ化ナトリウム溶液 (II 液) 0.5 mL を静かに加える。II 液を加えると瓶の底に茶色の沈殿が生じる。酸素瓶にふたをし, 瓶を反転させながら I 液と II 液が混合するように攪拌する。全体が茶色になったことを確認し, 立てた酸素瓶が水没する程度の水を入れた水槽に入れる。

(5) 培養が終わった 300 mL の酸素瓶は、シジミガイが入った状態で静かに反転させ、瓶内の溶存酸素濃度を均一にする。続いてサイフォンを用いて 300 mL の酸素瓶から 100 mL の酸素瓶に静かに水を移し、少し溢れるように詰める。水を詰め終えた酸素瓶には I 液 0.5 mL、II 液 0.5 mL を静かに加える。酸素瓶にふたをし、瓶を反転させながら I 液と II 液が混合するように攪拌する。全体が茶色になったことを確認し、立てた酸素瓶が水没する程度の水を入れた水槽に入れる。

表 2 Winkler 法の分析に必要な試薬
Table 2 Reagents required for Winkler method analysis

Reagents for Winkler method Winkler 法の試薬	Amount 分量
Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O solution (3.1 g L ⁻¹) チオ硫酸ナトリウム五水和物溶液	1000 mL
MnCl ₂ ·4H ₂ O 40 g + HCl 0.5 mL + Distilled water 100 mL 塩化マンガン溶液 (I 液)	100 mL
NaOH 36 g + KI 10 g + NaN ₃ 2 g + Distilled water 100 mL アルカリ性ヨウ化カリウム－アジ化ナトリウム溶液 (II 液)	100 mL
HCl 50 mL + Distilled water 50 mL 6 mol L ⁻¹ 塩酸溶液	100 mL
Soluble starch solution (1 g 100 mL ⁻¹) 可溶性でんぷん溶液	100 mL

続いて溶存酸素濃度の分析手順を次の(1)～(8)に述べる。詳細は松本・野崎 (2014) を参照すること。

- (1) 水槽内の 100 mL 酸素瓶 6 本を観察し、茶色の沈殿物が瓶の底に堆積し上澄みが透明であることを確認する。
- (2) 鉄製スタンドにクランプを組み込み 25 mL ガラスビュレットを設置する (図 3 参照)。
- (3) 100 mL ガラスビーカーにチオ硫酸ナトリウム五水和物溶液を 60 mL 程度入れ、25 mL ガラスビュレットに溶液 25 mL を静かに入れる。少し多めに入れて 25 mL に目盛りを合わせる。ビーカーから直接注ぐのが難しい場合はロートを使うとよい。
- (4) 100 mL 酸素瓶 6 本を静かに水槽から出しふたを開け、6 mol L⁻¹ 塩酸 1.5 mL を 2 mL 駒込ピペットで静かに添加する。添加後、ただちにふたをし、瓶を反転させながら塩酸と沈殿物が混合するように攪拌する。沈殿物が溶け透明な茶色の液体になる。
- (5) 100 mL ガラスビーカーに可溶性でんぷん溶液を入れ、2 mL 駒込ピペットを用意する。
- (6) 100 mL 酸素瓶のふたを開け中の溶液を 300 mL コニカルビーカーに入れる。酸素瓶とふたは少量の水 (蒸留水や水道水) で洗い、その洗浄水もコニカルビーカーに入れる。
- (7) ビュレットの下にコニカルビーカーを置き、利き手でコニカルビーカーを静かに振りながら、反対の手でビュレットを操作しチオ硫酸ナトリウム五水和物溶液を滴下する。茶色の液体が黄色になってきたら滴下をやめ可溶性でんぷん溶液 2 mL をコニカルビーカー

Winkler 法によって測定された溶存酸素を指標とした淡水二枚貝シジミガイの呼吸

に加える。コニカルピーカーの溶液はヨウ素-でんぷん反応により青紫色に変化する。再びビュレットからチオ硫酸ナトリウム五水和物溶液をゆっくりと（ぼたぼたと）滴下する。青紫が透明に変化したところで滴下をやめ、ビュレットの目盛りを小数点2位まで読み取る。以下、この手順を繰り返す。

(8) 溶存酸素濃度は次の式で算出する。

$$\text{溶存酸素 (mgO}_2\text{ L}^{-1}) = a \times f \times \{1000 \div (100 - 1)\} \times 0.2$$

a はチオ硫酸ナトリウム五水和物溶液の滴下量 (mL)

f はチオ硫酸ナトリウム五水和物溶液の濃度の補正係数 (ファクター)

100 は酸素瓶の容量 (mL)

1 は I 液 0.5 mL と II 液 0.5 mL の添加合計量 (mL)

1000 は mL から L への換算係数

0.2 は酸素濃度への換算係数

f の値は標定と呼ばれる別の分析で測定するが (松本・野崎, 2014), 本実験で用いているチオ硫酸ナトリウム五水和物溶液の濃度は通常の半分であるため, f を 0.5 と仮定して計算してもよい。

1 時間あたりの呼吸速度は次の式で算出する。

呼吸速度 (mgO₂ L⁻¹ h⁻¹) =

$$\frac{\{\text{培養していない試水の溶存酸素 (mgO}_2\text{ L}^{-1}) - \text{培養した試水の溶存酸素 (mgO}_2\text{ L}^{-1})\}}{\text{培養時間 (hours)}}$$

水質分析

試水を 100 mL とり、濁度を濁色度計 (日本電色, WA 1) で測定した後、紙ろ紙 (ADVANTEC, No. 6) でろ過し、モリブデン黄色法による珪酸 (SiO₂) の比色分析 (松本・野崎, 2014) に用いた。続いて別の試水 100 mL を、ガラス繊維ろ紙 (ADVANTEC, GF-75) でろ過し、色度を濁色度計 (日本電色, WA 1) で測定した後、サリチル酸ナトリウム法による硝酸態窒素 (NO₃⁻-N) の比色分析 (松本・野崎, 2014) に用いた。珪酸と硝酸態窒素の比色分析は、分光光度計 (島津製作所, UV-1280) で行った。クロロフィル a 量は試水 1000 mL をガラス繊維ろ紙 (ADVANTEC, GF-75) でろ過し、ろ紙上の捕集物を 90% アセトンを用いた野崎 (2014c) の手順で分析し UNESCO 法で算出した。吸光度の測定は分光光度計 (島津製作所, UV-1280) で行った。

結果と考察

採集地である小川の地理情報、物理および化学情報は表 3 にまとめた。地理情報は地理院地図 (GSI-Map) web site から取得した。透視度と濁度からは濁り成分が少なく透明であることが示され、その一方で色度が高いことから落葉等を起源とする溶存有機物質が含まれ着色していることが示唆された。pH は中性、溶存酸素はほぼ 100% の飽和度、低い COD 値から、二枚貝や他の水生生物の生息に問題がないことがわかった。硝酸態窒素お

表3 シジミガイを採集した小川の地理、物理学および化学情報

Table 3 Geographical, physical and chemical information of a stream collecting *Corbicula* sp.

North latitude (北緯)	35°08'58"
East longitude (東経)	137°02'25"
Elevation (標高)	52 m
Sampling date (調査日)	1 March 2019
Sampling time (調査時刻)	13:38
Weather (天候)	Cloudy
Water temperature (水温)	9.9°C
Electric conductivity (電気伝導度)	10.46 mS m ⁻¹
pH (水素イオン強度)	7.0
COD (化学的酸素要求量)	2.0 mgO ₂ L ⁻¹
Transparency (透視度)	>100 cm
Flow rate (流量)	1300 mL s ⁻¹
Turbidity (濁度)	1.02 mg L ⁻¹
Colour (色度)	8.14 mg L ⁻¹
Dissolved oxygen (溶存酸素)	10.35 mgO ₂ L ⁻¹
D.O. saturation (溶存酸素飽和度)	94.5 %
Chlorophyll <i>a</i> (クロロフィル <i>a</i>)	2.5 mgChl. <i>a</i> m ⁻³
NO ₃ ⁻ -N (硝酸態窒素)	477.5 µgN L ⁻¹
SiO ₂ (珪酸)	9.0 mgSiO ₂ L ⁻¹

および珪酸濃度は、野崎ほか (2021) で報告されている2014年～2015年の値と同程度であり変化はみられなかった。シジミガイはろ過食を行うため水中の有機懸濁物質、特に植物プランクトンの供給量が重要である。調査地では、植物プランクトン量の指標となるクロロフィル *a* 量は2.5 mgChl.*a* m⁻³の貧～中栄養湖程度の値で、これが毎秒1.3Lの水量で供給されていた。本研究では、この供給量の妥当性を検討できないが、今後の興味深い課題である。採集したシジミガイは、図2に示した。当初は殻の色が黒味を帯び、殻表面に浮き出るように形成された筋と筋の間にあたる肋間がやや不規則に配列する形態 (川瀬ほか, 2018) からマシジミ (*Corbicula leana*) と同定していたが、近縁種とされるタイワンシジミ (*Corbicula fluminae*) とは殻表面の形態では区分が不可能であるため (横山, 2019; 川瀬ほか, 2022)、淡水シジミガイ (*Corbicula* sp.) とした。

シジミガイの湿重量、殻幅、殻高、厚みの測定値は文末の附表1にまとめた。ここでは図示しながら結果を説明する。図4に湿重量と殻幅の関係を示す。3つに区分され、出生時期が異なるA～Cの3集団の生息が明らかになった。A集団 (14個体) の傾きは直線的で大きい、B集団 (46個体) の傾きはC集団 (2個体) に向かって緩やかに低下する傾向がみられた。平野・藤原 (1987) はマシジミを自然状態に近い環境でふ化から8年間飼育し、殻長 (殻幅) を指標とした成長曲線を得ている。成長速度は横軸を日数、縦軸を殻長とした一回帰式の傾きから推定され、ふ化から6か月後の殻長13 mm未満は

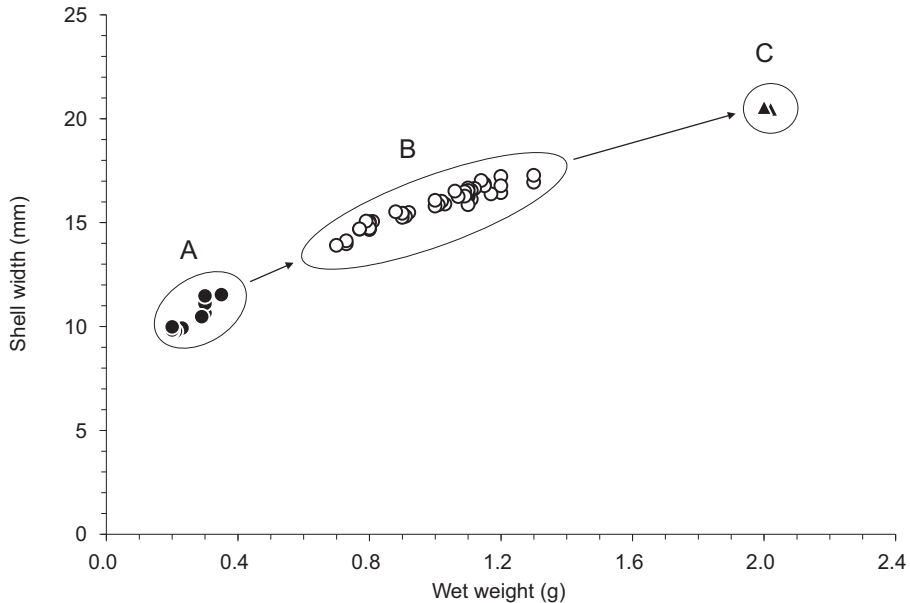


図4 シジミガイの湿重量と殻幅との関係

Fig. 4 Relationships between wet weight and shell width of *Corbicula* sp.

0.0731 mm d⁻¹ ($r = 0.99$) で最も大きく、6 か月後から14 か月後の13 mm 以上21 mm 未満の0.0230 mm d⁻¹ ($r = 0.99$) の3.2倍の速さであった。本研究のA 集団の殻幅は10.0～11.5 mm で平野・藤原 (1987) の13 mm 未満、B～C 集団の殻幅は13.9～20.6 mm で13 mm 以上21 mm 未満に相当する。A 集団の一次回帰式の傾きは12.06 mm g⁻¹ ($r = 0.94$)、B 集団～C 集団は4.85 mm g⁻¹ ($r = 0.96$) でその差は2.5倍であり、本研究で用いたシジミガイの成長過程はマシジミと同様の傾向を持つことがわかった。

呼吸速度の測定値は附表2 にまとめた。A 集団からの湿重量0.20～0.30 g、殻幅（殻長）9.8～11.5 mm の4 個体の呼吸速度は水温18℃で0.05～0.09 mgO₂ L⁻¹ h⁻¹、B 集団からの湿重量0.73～1.15 g、殻幅（殻長）14.1～16.8 mm の4 個体の呼吸速度は水温14℃で0.10～0.20 mgO₂ L⁻¹ h⁻¹であった。ここからは図示しながら結果を説明する。図5 は個体の大きさと呼吸速度との関係である。5A は横軸が湿重量で相関係数 $r = 0.790$ 、5B は横軸が殻幅（殻長）で相関係数 $r = 0.806$ 、5C は横軸が殻高で相関係数 $r = 0.758$ 、5D は横軸が厚さで相関係数 $r = 0.882$ であった。これらの結果から、個体の大きさの指標としては殻幅と厚さが湿重量と殻高より適していることが明らかになった。

東 (1964) は循環式の溶存酸素測定装置 (山中, 2014を参照) を用いてセタシジミ (*Corbicula sandai*) の呼吸速度を測定し、殻幅（殻長）24～25 mm の個体が15℃で0.738 mgO₂ 個体⁻¹ h⁻¹、20℃で1.542 mgO₂ 個体⁻¹ h⁻¹であったことを報告している。東 (1964) の酸素の値は mL 表記であったが半谷 (1964) から1.42を乗じ mg に換算した。図5B の一次回帰式から本研究で用いたシジミガイの殻幅25 mm の呼吸速度を推定すると0.425 mgO₂ L⁻¹ h⁻¹になる。この値は単位体積 (L) あたりであるが、1 個体で測定してい

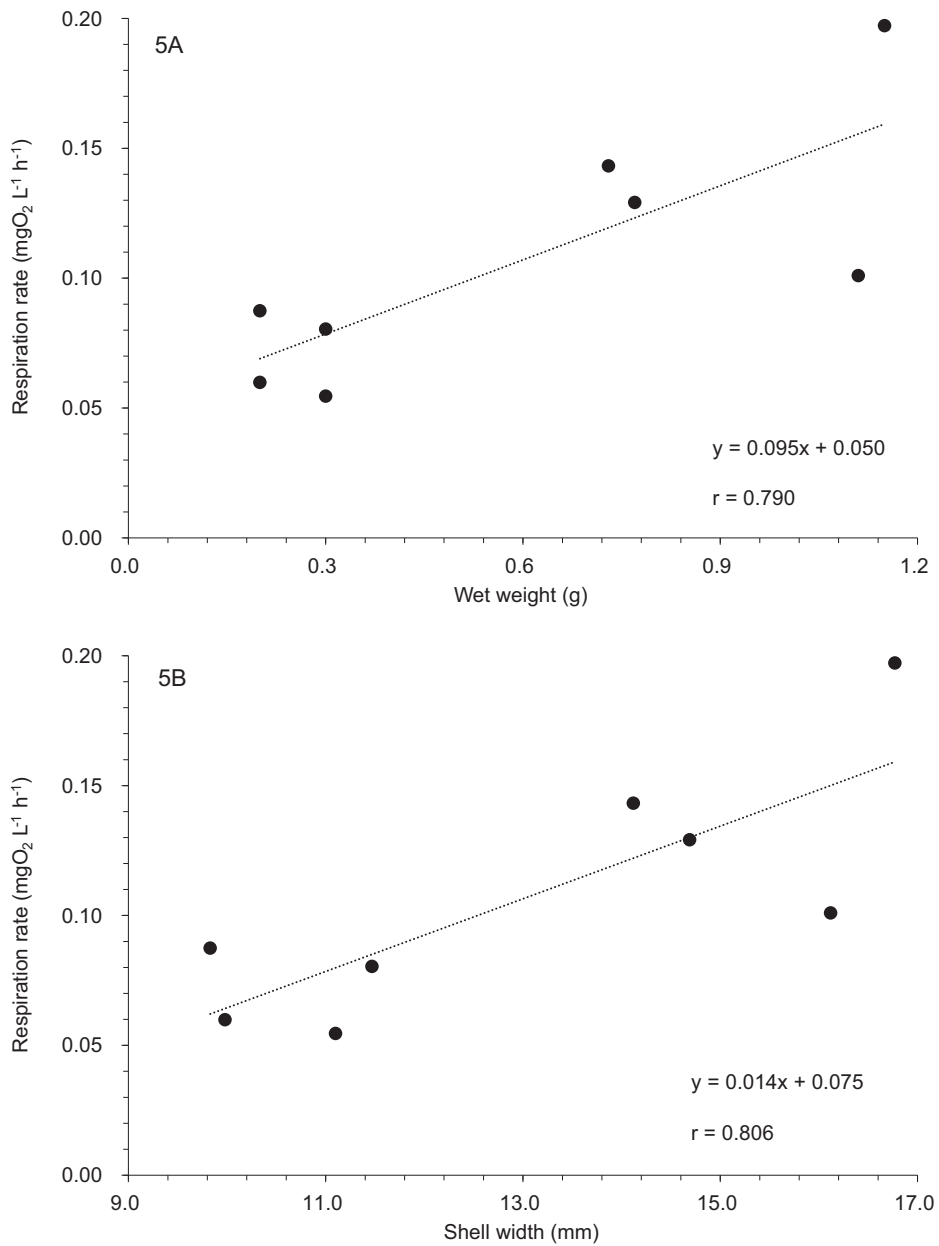


図5 シジミガイの大きさと呼吸速度との関係 3A: 湿重量, 3B: 殻幅, 3C: 殻高, 3D: 殻の厚さ
Fig. 5 Relationships between size and respiration rates of *Corbicula* sp. 3A: Wet weight, 3B: Shell width, 3C: Shell height, 3D: Shell thickness

Winkler 法によって測定された溶存酸素を指標とした淡水二枚貝シジミガイの呼吸

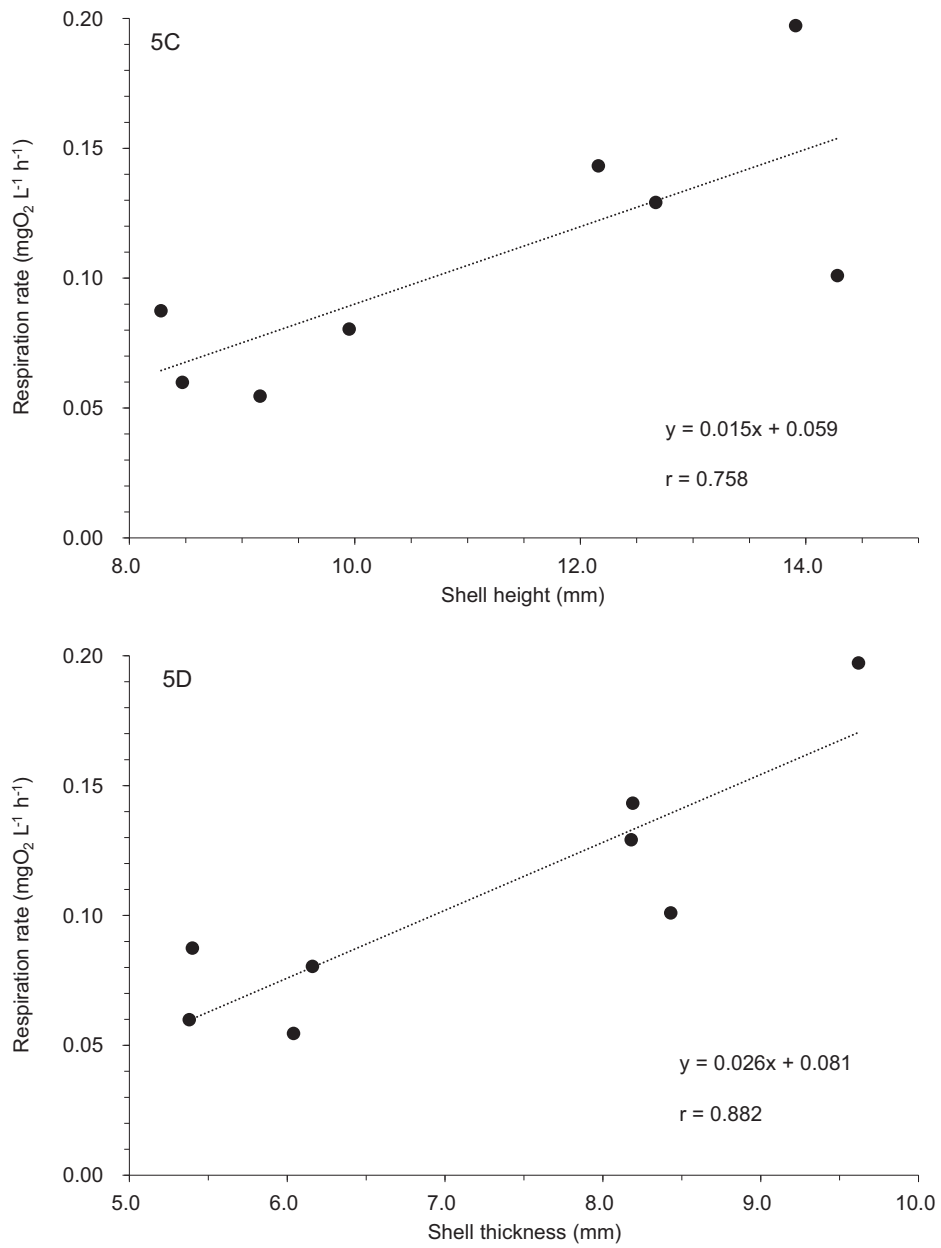


図5 続き

Fig. 5 Continued

るため個体あたりと見なせる。この推定値は東（1964）に比べて低い値となっているが、本研究では常に水が循環する測定装置ではなく、酸素瓶に閉じ込めて実験を行ったため排泄物等の影響でシジミガイの活性が低下した可能性が考えられる。

藤林ほか（2019）は、秋田県八郎湖において11月に採取したヤマトシジミ（*Corbicula japonica*）とセタシジミの呼吸速度を測定し、ヤマトシジミで $0.044 \text{ mgO}_2 \text{ 個体}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 、セタシジミで $0.66 \text{ mgO}_2 \text{ 個体}^{-1} \text{ h}^{-1}$ の値を得ている。両種の違いはセタシジミの1個体の大きさがヤマトシジミよりも大きいためであると説明されている。

図6は殻幅と単位湿重量あたりの呼吸速度との関係である。A集団からの小さい個体は $0.18 \sim 0.44 \text{ mgO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ で、B集団の個体から得られた $0.09 \sim 0.20 \text{ mgO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ よりも高い値を示した。これは図4の考察でA集団の成長速度がB～C集団よりも速いと推定した結果と整合性がある。そして東（1964）のセタシジミでも同じ傾向が得られている。

本研究の結果、シジミガイの呼吸速度は簡便な器具と手順で測定できることがわかった。小さな個体であれば17時間の培養が可能であり、前の授業で培養を開始し、翌日の授業で結果を出すことができる。難関はビュレットを用いた溶存酸素の滴定作業であるが、本研究では初めてビュレットに触る大学3年生3名を指導して分析を行っている。事前に水道水を用いての練習を2回体験させ本実験に進んだ。チオ硫酸ナトリウム・四水和物溶液の濃度を通常の半分にしていることで分析技術の個人差を軽減することも達成できた。今後は、シジミガイの生物量をより正確に表すために殻と軟体部（身）を分けて重量を測定し、殻幅と軟体部の湿重量・乾燥重量との換算式を作成すること、水温と呼吸速度との関係を詳細に調べることを課題としたい。

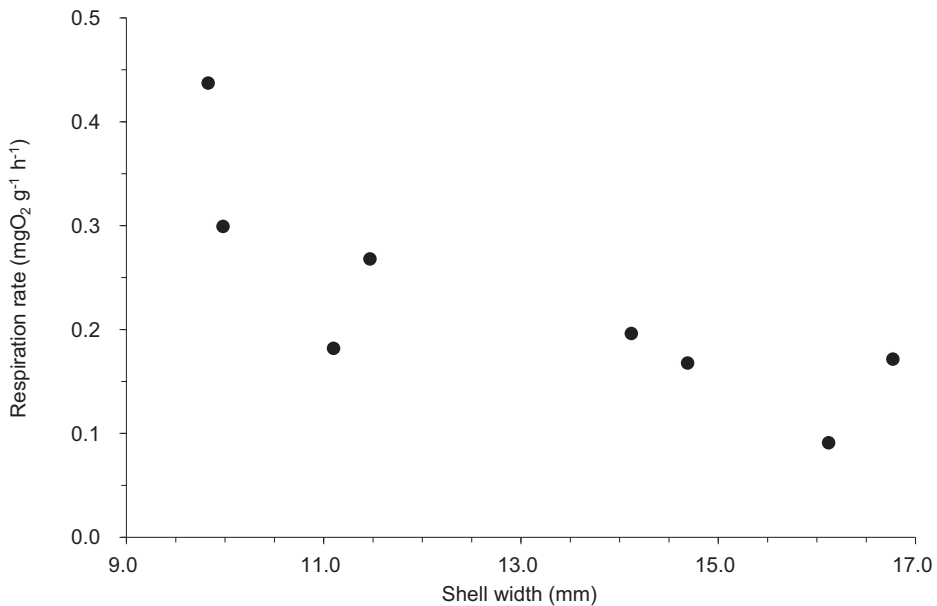


図6 殻幅と単位湿重量あたりの呼吸速度との関係

Fig. 6 Relationships between shell width and respiration rates per wet weight

謝辞

本研究に参加して下さった早見日晴（愛知県半田市公立小学校教諭）、石黒真菜（愛知県岡崎市公立小学校教諭）、神谷友香（愛知県豊田市公立小学校教諭）の各氏（当時、椋山女学園大学教育学部3年生）に深く感謝いたします。本研究のとりまとめには、科学研究費補助金基盤研究C（21K02911、研究代表者：野崎健太郎）の支援を受けた。

引用文献

- 地理院地図 web site <https://www.gsi.go.jp/>（2021年3月31日閲覧）。
- 藤林恵・珍田尚俊・宮田直幸（2019）八郎湖に生息するシジミ類の秋季におけるろ過速度と酸素消費速度. 日本水処理生物学会誌, **55**(3) : 59–65.
- 半谷高久（1964）溶存酸素ガス測定法——総論（主として飽和溶解量について）. 分析化学, **13**(6) : 567–572.
- 原村隆司・田畑諒一・宝田一輝（2011）オタマジャクシを使った呼吸行動の観察——鰓呼吸から肺呼吸への変化. 生物教育, **51**(3) : 25–31.
- 東怜（1964）琵琶湖産主要貝類の呼吸について. 貝類学雑誌 (Venus), **23**(4) : 229–237.
- 平間（村山）幸子・北野日出男（1997）キンギョ *Carassius auratus* の呼吸運動（鰓蓋開閉）に与える水温および水中溶存酸素量の影響. 生物教育, **37**(1–2) : 2–8.
- 平野克己・藤原次男（1987）マシジミの成長と寿命. 水産増殖, **35**(3) : 183–189.
- 片山舒康・富岡京子・古谷庫造・横浜康継（1982）高校生物教育における呼吸と光合成の定量実験：1. 種子の発芽と芽生えの生長時の呼吸量およびRQの測定. 科学教育研究, **6**(3) : 120–125.
- 加藤元海（2014a）2.3 流速と流量. 身近な水の環境科学 実習・測定編（日本陸水学会東海支部会編集）, 35–38, 朝倉書店, 東京.
- 加藤元海（2014b）4.5 水生昆虫. 身近な水の環境科学 実習・測定編（日本陸水学会東海支部会編集）, 148–152, 朝倉書店, 東京.
- 川瀬基弘（2010）日本産イシガイ類による炭素・窒素除去. 陸の水, **43** : 71–81.
- 川瀬基弘（2014）4.4 貝類. 身近な水の環境科学 実習・測定編（日本陸水学会東海支部会編集）, 144–147, 朝倉書店, 東京.
- 川瀬基弘・市原俊・寺本匡寛・鵜飼晋（2018）名古屋市の淡水産貝類. なごやの生物多様性, **5** : 33–45.
- 川瀬基弘・市原俊・横井敦史（2022）文献と野外調査により名古屋市で確認された貝類の外来種. なごやの生物多様性, **9** : 1–19.
- 前田伊佐武・相崎守弘・山口啓子・藤田直樹（2000）汽水湖水を連続供給した屋外水槽でのヤマトシジミの水質浄化能に関する研究. 水環境学会誌, **23**(11) : 716–720.
- 松本嘉孝・野崎健太郎（2014）3. 水の化学分析. 身近な水の環境科学 実習・測定編（日本陸水学会東海支部会編集）, 81–124, 朝倉書店, 東京.
- 森隆・森奈保美（1998）6年生理科の『呼吸』の実験観察における無脊椎動物の利用. 生物教育, **39**(1) : 21–28.
- 野崎健太郎（2014a）2.5.1 透視度. 身近な水の環境科学 実習・測定編（日本陸水学会東海支部会編集）, 43–44, 朝倉書店, 東京.
- 野崎健太郎（2014b）自分で測定した流量を公式な値と比較してみる——豊川上流での検証. 身近な水の環境科学 実習・測定編（日本陸水学会東海支部会編集）, **39**, 朝倉書店, 東京.
- 野崎健太郎（2014c）4.2.3 クロロフィル. 身近な水の環境科学 実習・測定編（日本陸水学会東

- 海支部会編集), 134-136, 朝倉書店, 東京.
- 野崎健太郎 (2016) 理科教材としての運動に伴う脈拍数の変化. 梶山女学園大学研究論集 (自然科学篇), **47**: 23-27.
- 野崎健太郎・渡邊明香里・松本嘉孝 (2021) 尾張丘陵南部の変成岩体における湧水の湧出量, 水温および水質の季節変化——愛知県日進市の岩崎御岳山における事例研究. 湿地研究, **11**: 59-73.
- 田中邦明・飯田勇次・中西太郎 (2006) 脊椎動物の呼吸器官の進化を教えるための実験・観察教材——キンギョとウシガエル幼生の呼吸に関する比較解剖および生理実験. 生物教育, **46**(4): 184-198.
- 山中裕樹 (2014) 4.6 魚類. 身近な水の環境科学 実習・測定編 (日本陸水学会東海支部会編集), 152-156, 朝倉書店, 東京.
- Yamamuro, M. and Koike, I. (1993) Nitrogen metabolism of the filter-feeding bivalve *Corbicula japonica* and its significance in primary production at a brackish lake in Japan, *Limnology and Oceanography*, **38**(5), 997-1007.
- 横山寿 (2019) 外来シジミ類の分類と生態——I 日本と世界における侵入・拡散. 陸水学雑誌, **80**: 125-144.

Winkler 法によって測定された溶存酸素を指標とした淡水二枚貝シジミガイの呼吸

附表 1 シジミガイの湿重量, 殻幅, 殻高, 殻の厚さおよび殻高/殻幅

Appendix 1 Wet weight, shell width, shell height, shell thickness and ratio of shell height/shell width of *Corbicula* sp.

Sample	Wet weight g	Shell width mm	Shell height mm	Shell thickness mm	H/W
1	2.02	20.48	16.93	11.46	0.83
2	2.00	20.56	17.36	11.15	0.84
3	1.30	16.94	14.89	9.66	0.88
4	1.30	17.27	14.73	9.75	0.85
5	1.20	17.22	14.70	8.65	0.85
6	1.20	16.44	14.26	9.02	0.87
7	1.20	16.77	13.88	9.35	0.83
8	1.17	16.38	14.19	9.04	0.87
9	1.15	16.86	13.73	9.79	0.81
10	1.15	16.77	13.91	9.62	0.83
11	1.14	17.02	14.74	9.31	0.87
12	1.12	16.64	14.61	9.09	0.88
13	1.11	16.55	14.50	8.45	0.88
14	1.11	16.12	14.28	8.43	0.89
15	1.10	16.23	13.95	9.14	0.86
16	1.10	16.27	13.70	9.04	0.84
17	1.10	16.66	14.65	8.87	0.88
18	1.10	16.40	14.69	8.42	0.90
19	1.10	16.48	14.33	8.82	0.87
20	1.10	16.54	13.98	9.08	0.85
21	1.10	15.86	13.54	8.94	0.85
22	1.09	16.48	13.92	8.85	0.84
23	1.09	16.27	13.63	9.21	0.84
24	1.07	16.25	13.63	9.18	0.84
25	1.06	16.51	14.17	9.26	0.86
26	1.03	15.89	13.34	9.18	0.84
27	1.02	16.02	13.73	9.20	0.86
28	1.01	15.86	13.51	8.88	0.85
29	1.00	15.79	13.57	8.74	0.86
30	1.00	16.07	13.45	8.98	0.84
31	0.92	15.48	13.44	8.40	0.87
32	0.91	15.30	12.70	8.44	0.83
33	0.90	15.44	13.08	8.66	0.85
34	0.90	15.25	13.13	8.57	0.86

附表1 続き
Appendix 1 Continued

Sample	Wet weight g	Shell width mm	Shell height mm	Shell thickness mm	H/W
35	0.90	15.44	13.38	8.40	0.87
36	0.88	15.52	13.26	8.70	0.85
37	0.81	15.05	12.36	8.47	0.82
38	0.80	15.04	12.71	8.07	0.85
39	0.80	14.70	12.52	8.20	0.85
40	0.80	14.66	12.52	8.19	0.85
41	0.80	14.97	12.58	8.29	0.84
42	0.80	14.73	12.47	8.26	0.85
43	0.79	15.07	12.52	8.18	0.83
44	0.77	14.68	12.38	8.23	0.84
45	0.77	14.69	12.67	8.18	0.86
46	0.73	13.98	12.31	8.20	0.88
47	0.73	14.12	12.16	8.19	0.86
48	0.70	13.90	12.30	8.19	0.88
49	0.35	11.53	9.95	6.16	0.86
50	0.30	11.12	9.18	6.04	0.83
51	0.30	10.65	9.22	5.84	0.87
52	0.30	11.19	9.96	6.17	0.89
53	0.30	11.13	9.17	6.08	0.82
54	0.30	11.10	9.16	6.04	0.83
55	0.30	11.47	9.95	6.16	0.87
56	0.29	10.47	9.25	5.76	0.88
57	0.23	9.92	8.52	5.43	0.86
58	0.21	9.76	8.48	5.39	0.87
59	0.20	9.97	8.45	5.44	0.85
60	0.20	9.76	8.33	5.39	0.85
61	0.20	9.83	8.28	5.40	0.84
62	0.20	9.98	8.47	5.38	0.85
Average	0.87	14.80	12.63	8.18	0.85
SD	0.40	2.59	2.20	1.46	0.02
Median	0.92	15.50	13.36	8.46	0.85

附表 2 シジミガイの呼吸速度
Appendix 2 Respiration rates of *Corbicula* sp.

Experiment 1. 16:42, 2 March 2019 – 9:40, 3 March 2019

Electric conductivity = 11.96 mS m⁻¹, Water temperature = 17.9°C, pH = 7.5

Sample	Bottle No.	Bottle No.	Wet weight	Shell width	Shell height	Shell thickness	Titre	Factor	D.O.	Incubation	Respiration	Respiration
	300 mL	100 mL	g	mm	mm	mm	mL		mgO ₂ L ⁻¹	hours	mgO ₂ L ⁻¹ h ⁻¹	mgO ₂ g ⁻¹ h ⁻¹
Initial 1		48					9.11	0.494	9.09	17		
Initial 2		3					10.04	0.494	10.02	17		
1	20	5	0.30	11.10	9.16	6.04	8.65	0.494	8.63	17	0.05	0.18
2	2	36	0.20	9.83	8.28	5.40	8.09	0.494	8.07	17	0.09	0.44
3	69	40	0.30	11.47	9.95	6.16	8.21	0.494	8.19	17	0.08	0.27
4	38	50	0.20	9.98	8.47	5.38	8.56	0.494	8.54	17	0.06	0.30

Experiment 2. 9:55 – 14:10, 3 March 2019

Electric conductivity = 12.10 mS m⁻¹, Water temperature = 13.8°C, pH = 7.5

Sample	Bottle No.	Bottle No.	Wet weight	Shell width	Shell height	Shell thickness	Titre	Factor	D.O.	Incubation	Respiration	Respiration
	300 mL	100 mL	g	mm	mm	mm	mL		mgO ₂ L ⁻¹	hours	mgO ₂ L ⁻¹ h ⁻¹	mgO ₂ g ⁻¹ h ⁻¹
Initial 1		6					9.89	0.494	9.87	4.25		
Initial 2		25					9.76	0.494	9.74	4.25		
1	2	13	1.15	16.77	13.91	9.62	8.99	0.494	8.97	4.25	0.20	0.17
2	38	17	1.11	16.12	14.28	8.43	9.40	0.494	9.38	4.25	0.10	0.09
3	20	28	0.77	14.69	12.67	8.18	9.28	0.494	9.26	4.25	0.13	0.17
4	69	49	0.73	14.12	12.16	8.19	9.22	0.494	9.20	4.25	0.14	0.20