

## 短 報

ミズクラゲ *Aurelia coerulea* ポリプの  
急性低塩分ストレスに対する耐性柳下拳也<sup>1</sup>・中川至純<sup>1\*</sup>**Tolerance of moon jellyfish *Aurelia coerulea* polyps  
to acute hyposalinity stress****Kenya Yanagishita<sup>1</sup>, Yoshizumi Nakagawa<sup>1\*</sup>**

**Abstract:** We examined the tolerance of moon jellyfish *Aurelia coerulea* polyps to acute hyposalinity stress by observing survival and condition changes under salinity conditions ranging from 0 to 28 psu. Long-term cultured polyps were directly transferred to each salinity treatment and maintained at 25°C under dark conditions without feeding for 5 days. Polyp condition was assessed using a 5-grade scale (A–E) based on tentacle and body morphology. At 0–4 psu, tissue whitening and disintegration occurred within 1 hour after exposure, resulting in death. Mortality was observed after 2 hours at 6 psu and after 4 hours at 8–13 psu. In contrast, polyps survived throughout the 5-day observation period at 18–28 psu, maintaining good condition especially at 23–28 psu. These results suggest that the lower tolerance limit of *A. coerulea* polyps to acute hyposalinity stress lies between 13 and 18 psu. The tolerance limit appeared at higher salinities compared to previously reported values (6.2 ppt) obtained from gradual salinity reduction experiments, likely because polyps had insufficient time to activate osmoregulatory mechanisms. Our results provide species-level evidence that rapid salinity decreases caused by rainfall or river flooding in brackish waters may have lethal effects on polyp populations, indicating the necessity of distinguishing between acute and chronic stress when evaluating salinity tolerance.

**Key words:** moon jellyfish, polyp, hyposalinity stress, osmoconformer, salinity tolerance

---

<sup>1</sup> 東京農業大学生物産業学部海洋水産学科・Department of Ocean and Fisheries Sciences, Faculty of Bioindustry, Tokyo University of Agriculture

\* Corresponding Author

## はじめに

ミズクラゲ *Aurelia coerulea* は日本沿岸域に広く分布し、東京湾や瀬戸内海での大量発生が報告されている(上, 2005)。本種は内湾域のみならず、汽水域にも広く出現する。島根県の中海では本種メデューサの分布と成長が調査されており(檜山・宮本, 2009)、鈴木ほか(2017)は東京湾、三河湾、浦底湾および中海の4海域においてミズクラゲ集群の鉛直分布を比較している。また、オホーツク海沿岸域のサロマ湖や能取湖といった汽水性の海跡湖においてもメデューサが目撃されている(著者ら未発表)。これらの汽水域では、河川水流入や融雪水の影響により塩分が大きく変動する。このような塩分変動の大きい汽水域にミズクラゲが出現していることは、本種のポリプがどの程度の塩分ストレスに耐えうるのかという疑問を提起する。

ミズクラゲは底生固着性のポリプ世代と浮遊性のクラゲ世代を交互に繰り返す(Lucas et al., 2012)。ポリプは出芽による無性生殖で個体数を増加させ、ストロビレーションによりエフィラを放出する。ポリプによる無性生殖過程はクラゲの個体群動態を左右する重要な段階であり(Uye, 2011)、ポリプの生存に影響を及ぼす環境要因の解明は大量発生メカニズムを理解する上で不可欠である。特にポリプは基質に付着して生活するため、降雨や河川水流入による低塩分化を回避することができず、塩分変動の影響を直接受ける(Takao and Uye, 2018)。

ミズクラゲを含む多くの海産無脊椎動物は浸透圧順応生物(osmoconformer)であり、体液の浸透圧を外部環境と等しく保つ(Podbielski et al., 2022)。低塩分環境下では体内への過剰な水の流入が生じ、細胞膨張や代謝異常を引き起こす。Frolova and Miglietta (2020)は段階的な塩分低下(1 ppt/日)実験により *A. coerulea* の耐性下限が6.2 pptであることを報告した。しかし、この実験では塩分変化が緩やかであり、ポリプが馴化する時間が十分にあった。一方、Weiland-Bräuer et al. (2023)は急性ストレス実験により、急激な環境変化が *A. aurita* ポリプに深刻な影響を与えることを示した。しかし、急性的な低塩分ストレスに対するポリプの反応に関する知見は限られている。

汽水域では、降雨や河川水増水、融雪水の流入により急激な低塩分化が生じうる。オホーツク海沿岸域のサロマ湖や能取湖では、春季の融雪水流入により表層塩分が低下することが報告されている(Shiomoto et al., 2012; Katsuki et al., 2012)。また、夏季の降雨時にはサロマ湖の河口付近において表層塩分が著しく低下する

ことも知られている(三上ほか, 2019)。急性の低塩分化がポリプに与える影響を種レベルで明らかにすることは、汽水域におけるミズクラゲの分布域や大量発生を予測する上で重要である。そこで本研究では、ミズクラゲポリプを0–28 psuの塩分条件下に直接移行させ、生存および状態変化を評価し、*A. coerulea*の急性低塩分ストレスに対する耐性下限を明らかにすることを目的とした。さらに、本研究の結果と既報の環境データを踏まえ、急激な低塩分化が汽水域に分布するミズクラゲポリプの個体群動態に与える影響を考察した。

## 試料と方法

### ポリプの入手と飼育

本研究では、クラゲ販売サイト「クラゲショップ My AQUA」より購入したミズクラゲ(産地不明)を使用した。入手したポリプを2022年10月より東京農業大学生物産業学部水圏生態学研究室にて25°Cに設定したインキュベーター内で、濾過海水(31–32.5 psu)で長期間継代培養を行った。濾過海水は東京農業大学オホーツク臨海研究センターの組み上げ海水を使用し、ガラス繊維フィルター(GF75, アドバンテック社製)で濾過した海水を使用した。餌は週1回、*Artemia* 幼生を与えた。乾燥卵(ソルトレイク産アルテミア, cocoon.fish)を濾過海水120 mLが入った300 mLメスシリンダーに入れ、エアポンプで空気を送り、攪拌させながら孵化させた。24–30時間後に、孵化した *Artemia* 幼生をスポイトを使用し、ポリプに与えた。給餌から1–5時間後に余った *Artemia* 幼生を取り除き、新たな濾過海水と交換した。

### 塩分の調製

本実験を行うにあたり、0, 2, 4, 6, 8, 10, 13, 18, 23, 28 psuの実験区の海水を調整した。濾過海水(31–32.5 psu)を蒸留水で希釈し、海水濃度屈折計(IS/Mill-E, AS ONE)で塩分を測定して目標濃度に調整した。0 psuについては、蒸留水のみを使用した。

### 実験デザイン

事前に培養を行っていたポリプの集団から、触手が9本以上ある個体を50個体選び、実験を行った。実験容器には6穴プレート(直径35.5 mm, 容量15 mL, AS ONE)を使用し、各ウェルに各塩分区の海水約10 mLを入れ、1ウェルに1個体ずつ入れ、各プレート5ウェルを使用した。

実験区は、0, 2, 4, 6, 8, 10, 13, 18, 23, 28 psuの10区とした。事前に培養していたポリプを

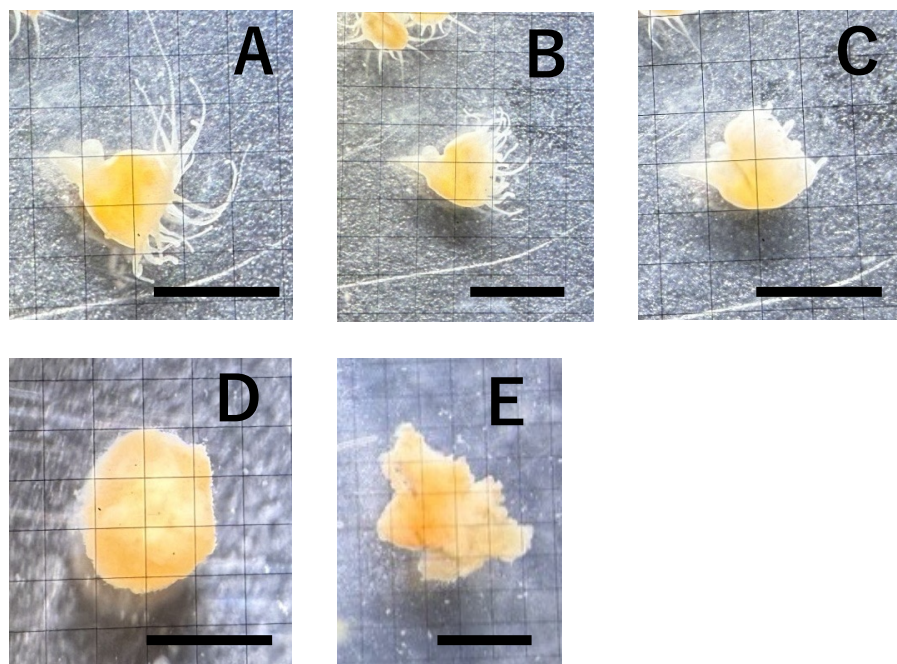


図1 ポリプの状態評価基準. A:触手完全伸展(スコア4), B:触手やや収縮(スコア3), C:触手完全収縮(スコア2), D:体部球状収縮(スコア1), E:体部崩壊(スコア0). スケールバー:2 mm.

Fig. 1 Criteria for polyp condition assessment. A: fully extended tentacles (score 4), B: slightly contracted tentacles (score 3), C: fully contracted tentacles (score 2), D: spherically contracted body (score 1), E: disintegrated body (score 0). Scale bars: 2 mm.

各実験区の海水に直接移動させ、移動直後にポリプの観察(状態評価)を行った。実験は25°Cのインキュベーターで12月2日から5日間、暗条件の無給餌で実施し、2日に1回換水を行った。また、12時間間隔で観察(状態評価および生存確認)を実体顕微鏡下で行った。

次に、短期間での影響評価を行うために、0, 2, 4, 6, 8, 10, 13 psuの実験区では、投入後から5時間まで1時間間隔での観察(状態評価および生存確認)を12月20日に行った。使用したポリプは、研究室で長期継代培養している集団から実験に使用する個体を選んだ。実験容器には6穴プレートを使用し、1ウェルに1個体ずつ入れ、各プレート5ウェルを使用した。実験は25°Cのインキュベーターで行った。

#### 観察・状態評価

実体顕微鏡を使用し、体部と触手の状態を観察して状態評価と生存確認を行った。状態評価にはFrolova and Miglietta (2020)の方法を改変して使用した。ポリプをA, B, C, D, Eの5段階で状態を

評価した(図1)。Aは触手を完全に伸展させた状態、Bは触手がやや収縮した状態、Cは触手が完全に収縮した状態、Dは体部が完全に収縮し球状となった状態、Eは体部が崩壊した状態(体の部分欠損や溶解を含む)。また、それぞれの状態をスコア化して記録した:A(スコア4)、B(スコア3)、C(スコア2)、D(スコア1)、E(スコア0)。

## 結果

#### 生存および状態の変化

全ての塩分区において、投入直後(0時間)の平均状態スコアは $4.0 \pm 0$ であり、全個体がA(触手完全伸展)の状態であった(図2および3)。

0-4 psuでは、投入後1時間で全個体の平均状態スコアが $0 \pm 0$ となり、体の白化と組織崩壊が生じてE(体部崩壊)の状態となった(図2)。6 psuでは、1時間後まで平均状態スコア $3.0 \pm 0$ (B状態:触手やや収縮)を維持したが、2時間後には $0 \pm 0$ となり、体の白化と組織崩壊により死亡した(図

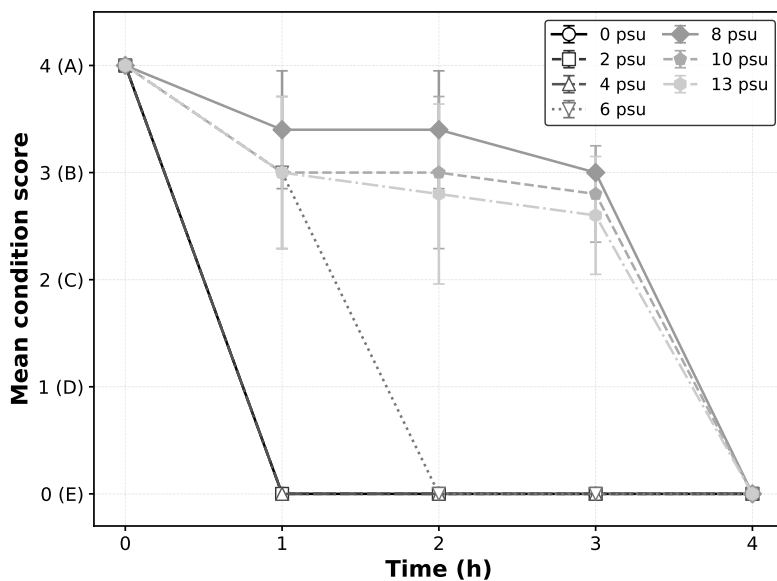


図2 急性低塩分ストレス下(0-13 psu)におけるミズクラゲポリプの平均状態スコアの経時変化(0-4時間)。各塩分区 n=5。

Fig. 2 Temporal changes in mean condition scores of *Aurelia coerulea* polyps under acute hyposalinity stress (0-13 psu) over 0-4 hours. n=5 for each salinity treatment.

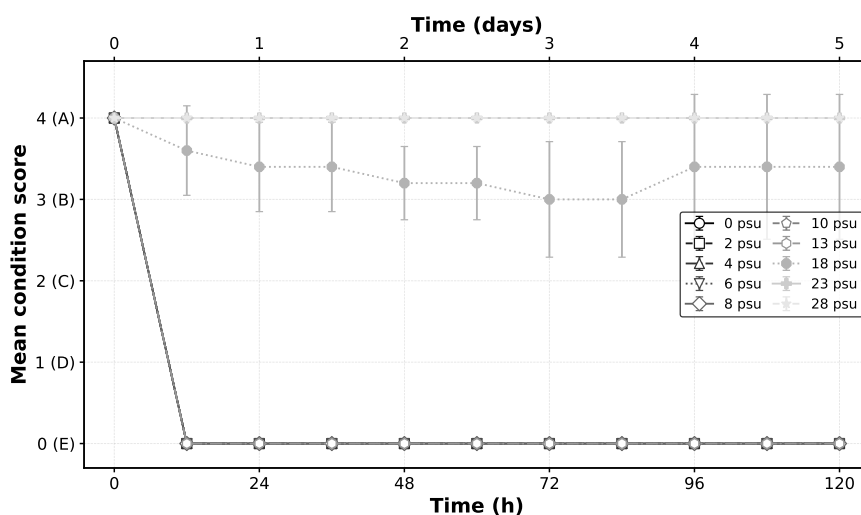


図3 異なる塩分条件(0-28 psu)におけるミズクラゲポリプの5日間の平均状態スコアの変化。各塩分区 n=5。0-13 psuでは12時間以内に全個体が死亡した。

Fig. 3 Changes in mean condition scores of *Aurelia coerulea* polyps over 5 days under different salinity conditions (0-28 psu). n=5 for each salinity treatment. All individuals died within 12 hours at 0-13 psu.

2). 8 psu では、1 時間後および 2 時間後の平均状態スコアはいずれも  $3.4 \pm 0.55$  であり、3 時間後には  $3.0 \pm 0$  に低下した (図 2). 10 psu では、1 時間後に  $3.0 \pm 0.71$ , 2 時間後に  $3.0 \pm 0.71$ , 3 時間後に  $2.8 \pm 0.45$  と時間経過とともに低下した. 13 psu では、1 時間後に  $3.0 \pm 0.71$ , 2 時間後に  $2.8 \pm 0.84$ , 3 時間後に  $2.6 \pm 0.55$  と状態の悪化が顕著であった. これら 8–13 psu の全個体は 4 時間後に平均状態スコア  $0 \pm 0$  となり、触手の劣化により死亡と判断した.

一方、18–28 psu では 5 日間 (120 時間) の観察期間を通じて全個体が生存した. 18 psu では、12 時間後に  $3.6 \pm 0.55$ , 24 時間後に  $3.4 \pm 0.55$ , 48 時間後に  $3.2 \pm 0.45$ , 72 時間後に  $3.0 \pm 0.71$  と状態スコアの低下傾向が見られたが、120 時間後においても  $3.4 \pm 0.89$  を維持し、D (体部球状収縮) や E (体部崩壊) の状態を示す個体は確認されなかった (図 3). 23 psu および 28 psu では、投入直後から 120 時間後まで全ての観察時点において平均状態スコア  $4.0 \pm 0$  を維持し、全個体が常に A (触手完全伸展) の状態を示した.

## 考 察

### 急性低塩分ストレスに対する耐性下限

本研究の結果から、ミズクラゲポリプを安定した塩分環境から低塩分環境へ直接移行させた場合、急性低塩分ストレスに対する耐性下限は 13–18 psu の間に存在することが示された. 塩分区間により異なる応答パターンが観察され、この差異は、浸透圧差の程度によりストレス応答の時間経過が異なることを示唆している. 極度の低塩分 (0–6 psu) では浸透圧調節機構が機能する前に不可逆的な損傷が生じる一方、中程度の低塩分 (8–13 psu) では一時的に調節機構が働くものの、持続的な浸透圧ストレスにより最終的に死亡に至ったと考えられる.

既報研究では、段階的な塩分低下 (1 ppt/日) 実験において *A. coerulea* の耐性下限が 6.2 ppt であることが報告されている (Frolova and Miglietta, 2020). 本研究で耐性下限が高塩分側 (13–18 psu) に現れたのは、急激な塩分変化に対してポリプが浸透圧調節機構を十分に発動する時間がなかったためと考えられる. クラゲ類は浸透圧順応生物であり、体液の浸透圧を環境と等張に保つ (Podbielski et al., 2022). 低塩分環境への対応には細胞容積調節や有機浸透圧調節物質の蓄積が必要であるが、これらの機構には時間とエネルギーを要する (Podbielski et al., 2022). 本研究のように直接移行させた場合には、これらの調節機構が十分に機能する前に浸透圧ストレス

が発生したと考えられる. この結果は、ミズクラゲポリプの塩分耐性を評価する際に、急性ストレスと段階的ストレスを区別して考慮する必要性を示している.

### 汽水域におけるポリプ個体群への示唆

本研究で用いたポリプは産地不明の系統であるが、得られた結果は *A. coerulea* が種として持つ急性低塩分ストレスへの生理的応答の一端を示していると考えられる. 汽水域では、降雨や河川増水、融雪水の流入により急激な低塩分分化が生じうるため、本研究の結果は、汽水域に分布するミズクラゲポリプの個体群動態を考える上で重要な基礎情報を提供する.

オホーツク沿岸域のサロマ湖を例にとると、湖中央部では春季の融雪期においても表層塩分は 30 psu 前後を維持しており (Shiomoto et al., 2012), 本研究の結果からポリプへの致死的影響は考えにくい. 一方、佐呂間別川河口付近では、夏季の降雨時に表層塩分が 5 psu 未満まで低下することが報告されている (三上ほか, 2019). 本研究では 0–4 psu で投入後 1 時間以内にポリプが死亡したことから、このような急激な低塩分分化は河口域に生息するポリプに致死的影響を与えると考えられる. また、8–13 psu では 4 時間後に死亡に至ったが、海水交換が頻繁な環境では一時的な低塩分分化による個体群崩壊は回避される可能性もある. 18 psu では 5 日間の観察期間を通じて全個体が生存したことから、軽度の低塩分分化であればポリプは耐えうることが示された. これらのことから、ミズクラゲポリプの生息適地は、淡水流入の影響が小さく塩分が比較的安定した場所に限られる可能性がある.

なお、本研究ではポリプの基質への定着を待たずに塩分を変化させている. 自然環境ではポリプは基質に付着して生活しており、定着個体は未定着個体と比較して物理的な安定性が高いため、低塩分ストレスへの応答が異なる可能性がある. しかし、浸透圧ストレスは体液と外部環境との浸透圧差に起因する生理的負荷であり、定着の有無がこの生理的応答に与える影響は小さいと推察される. ただし、この点については今後の検証が必要である.

クラゲ類の大量発生は漁業や発電所の取水施設に深刻な被害をもたらすことが知られており (Purcell et al., 2007; Dong, 2019), その発生源となるポリプ個体群の動態を理解することは重要である. 本研究の結果から、汽水域におけるポリプの生息適地として淡水流入の影響が小さく付着基盤のある環境を重点的に調査することが、大量発生の予測や対策に

において有効であることを示唆している。

## 今後の課題

本研究では *A. coerulea* の急性低塩分ストレスに対する種レベルの耐性を評価したが、使用したポリプは産地が不明であり、長期間の継代培養を経た系統である。ミズクラゲは遺伝的に多様な種複合体であり (Dawson and Jacobs, 2001)、地域個体群間で塩分耐性が異なる可能性がある。長期継代培養の過程で野生個体群とは異なる環境に馴化している可能性も否定できない。したがって、本研究の結果を特定の汽水域の野生個体群にそのまま適用する際には慎重さが求められる。さらに、オホーツク海沿岸域のような低水温環境では、低水温と低塩分の複合ストレスにより耐性下限がさらに高塩分側に移行する可能性がある (Xing et al., 2020)。今後、現地採集個体を用いた実験や、段階的馴化・回復能力の評価、実際の環境に近い低水温条件での検証が必要である。

## 謝辞

本研究に関して有益かつ建設的なご助言を賜りました東北大学名誉教授・東京農業大学元教授の谷口旭博士および国立研究開発法人水産研究・教育機構水産資源研究所佐藤智希博士に、心より感謝申し上げます。

## 引用文献

Dawson, M.N. and Jacobs, D.K. (2001) Molecular evidence for cryptic species of *Aurelia aurita* (Cnidaria, Scyphozoa). *Biological Bulletin*, 200:92–96.

Dong, Z. (2019) Blooms of the moon jellyfish *Aurelia*: causes, consequences and controls. In: Sheppard, C. (ed.) *World Seas: An Environmental Evaluation*, 2nd edn. Academic Press, London, pp.163–171.

Frolova, A. and Miglietta, M.P. (2020) Insights on salinity tolerance of polyps of the genus *Aurelia* (Cnidaria: Scyphozoa) from the northern Gulf of Mexico. *Frontiers in Marine Science*, 7:93.

檜山盛生・宮本 康 (2009) 中海におけるミズクラゲの分布と成長 (予報). *Laguna (汽水域研究)*, 16:1–6.

Katsuki, K., Seto, K., Nomura, R., Maekawa, K. and Khim, B.K. (2012) Effect of human activity on Lake Saroma (Japan) during the past 150 years: Evidence

by variation of diatom assemblages. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 106:20–26.

Lucas, C.H., Graham, W.M. and Widmer, C. (2012) Jellyfish life histories: role of polyps in forming and maintaining scyphomedusa populations. *Advances in Marine Biology*, 63:133–196.

三上英敏・五十嵐聖貴・阪口耕一 (2019) サロマ湖における流域と湖底からの栄養塩供給について. *環境科学研究センター所報*, 8:33–54.

Podbielski, I., Schmitz, A., Schmich, J. and Gimenez, L. (2022) Osmoregulation and osmoconformity in Cnidaria: current understanding and future directions. *Frontiers in Marine Science*, 9:898364.

Purcell, J.E., Uye, S. and Lo, W.T. (2007) Anthropogenic causes of jellyfish blooms and their direct consequences for humans: a review. *Marine Ecology Progress Series*, 350:153–174.

Shiomoto, A., Asakuma, K., Hoon, H.D., Sakaguchi, K. and Maekawa, K. (2012) An early spring bloom of large diatoms in the ice-covered Saroma-ko Lagoon, Hokkaido, Japan. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 92:29–37.

鈴木健太郎・熊倉恵美・遠藤紀之・石井晴人・野方靖行 (2017) 日本沿岸 4 海域におけるミズクラゲ集群の鉛直分布に及ぼす水塊構造の影響. *日本プランクトン学会報*, 64:114–123.

Takao, M. and Uye, S. (2018) Effects of low salinity on the physiological ecology of planulae and polyps of scyphozoans in the East Asian Marginal Seas: potential impacts of monsoon rainfall. *Plankton and Benthos Research*, 13:166–175.

上 真一 (2005) 近年の東アジア沿岸域におけるクラゲ類の大量出現：その原因と結果. *沿岸海洋研究*, 42:121–130.

Uye, S. (2011) Human forcing of the copepod-fish-jellyfish triangular trophic relationship. *Hydrobiologia*, 666:71–83.

Weiland-Bräuer, N., Fischer, M.A., Gimenez, L. and Schmitz, R.A. (2023) Tipping points in the *Aurelia aurita* (moon jellyfish) holobiont ecosystem under combined temperature and salinity stress. *Frontiers in Marine Science*, 10:1191480.

Xing, B., Cao, L., Liu, M. and Dong, Z. (2020) Effects of temperature and salinity on survival, growth and asexual reproduction of *Aurelia coerulea* polyps. *Journal of Oceanology and Limnology*, 38:133–142.