

【研究報告】

ヒトエグサ養殖における種網保存の試み

上原匡人*, 又吉直樹¹, 仲村英樹¹

Approach of the storage of culture nets with zoospore of green seaweed *Monostroma nitidum*

Masato UEHARA*, Naoki MATAYOSHI¹, Hideki NAKAMURA¹

沖縄県の重要な海藻養殖対象種であるヒトエグサは、現在でも天然採苗法により種付けが行われ、生産者が種付け後の育苗管理に多大な労力と時間を費やしている。このため、アマノリ類で用いられている種網保存技術の確立が強く望まれている。そこで、ヒトエグサの種網を冷蔵あるいは冷凍保存するための条件について調べた。その結果、光がない状態で冷蔵および冷凍保存すると、いずれの温度帯でも生存し、特に保存温度が低いほど、出庫後の成長が良いことが分かった。また、冷蔵保存では、アオノリ類が優占することから、実用面からは冷凍保存が優れていると判断された。

ヒトエグサ *Monostroma nitidum* は、モズク類（モズク *Nemacystus decipiens* とオキナワモズク *Cladosiphon okamuranus*）やクビレズタ *Caulerpa lentillifera* に次ぐ沖縄県の重要な海藻養殖対象種である。近年、その栄養価と効用が注目され（藤田ら, 1988; 中村ら, 2011; 上村ら, 2010）, 「海の緑黄色野菜」と呼ばれて全国的に需要が高まっている。

本県では、サンゴ礁池内の最も岸側で養殖が行われ、天然下で遊走子（種）付けを行う天然採苗に依存していることから、他の海藻養殖に比べて、種付け後の一連の工程において赤土等懸濁物質など陸域由来の負荷を強く受ける。養殖場となる礁池内へのこれら負荷の流入は、現在でも確認されていることから（上原ら, 2017; 上原・仲盛, 2018, 2019）, 生産者は、種網の洗浄など育苗管理に多大な労力と時間を費やしている状況にあり、過剰な洗浄回数による付着した遊走子の消失も確認されている（上原ら, 2017; 上原・又吉, 2018）。また、近年は、天然採苗後の育苗期に、水温が高く推移して県内各地で“ドタ腐れ”が発生し、生産者の育苗管理期における干出操作の頻度増大に加え、生産性の低下も顕著となっている（上原ら, 2024）。このような状況の中、育苗管理のコスト軽減だけでなく、環境変動による不安定なヒトエグサ養殖の対応策として、種付け後の保存技術開発が望まれている。

アマノリ類では、種付けを行った網（種網）を陸揚げし、乾燥・冷凍保存の工程を経て、再び漁場に展開する技術が確立しており、この技術の普及により、生産量が飛躍的に伸びたことが知られている（三浦, 1992; 大島, 1994）。スジアオノリ *Enteromorpha prolifera* でも、種網を冷蔵保存する技術が確立し（團ら, 2002, 2003; 團, 2008）,

養殖現場でその技術が利用されている。一方、ヒトエグサの保存技術に関する研究は、右田・潮田（1975）や松岡（1980）により報告されているが、潮間帯上部で干出を受け生育するヒトエグサは、アマノリ類同様に強い耐凍性を示すという（右田・潮田, 1975）。

これまで、本県では、収穫後の葉体を冷蔵・冷凍保存することに主眼をおいた試験が行われてきたが（大城, 2015, 2017）, 胞子体から放出された遊走子の保存方法に関する検討は、ほとんど行われていない。そこで、本研究では、現状の養殖方法から大きく逸脱せずに、育苗管理コストの軽減と安定性の向上を図ることを目指し、種網を冷蔵あるいは冷凍保存するための条件について調査を行った。

なお、前報（上原ら, 2024; 上原・又吉, 2024）に従い、本県で養殖されているヒトエグサは *M. nitidum* として扱った。

材料及び方法

（1）種網の準備

調査は、恩納村屋嘉田のヒトエグサ養殖場で行い、2つの試験区を設けた（表1）。

表1 各試験区における諸条件の概要。冷蔵：平均0.7℃, 冷凍A：平均-5.8℃, 冷凍B：平均-26.1℃。

	試験区1	試験区2
種付け期間	14日間	9日
処 理	冷蔵	冷凍A
	冷凍A	冷凍B
	冷凍B	
沖出し開始日	12月1日	12月28日

*E-mail : ueharmst@pref.okinawa.lg.jp 沖縄県水産海洋技術センター普及班（現所属：恩納村漁業協同組合）

*¹ 恩納村漁業協同組合

試験区1は、2017年10月3日（旧暦の8月15日頃）から2週間張り出した種網15セット（1枚3セット）を、恩納村漁業協同組合（以下、恩納村漁協という）所有の冷蔵庫（5セット）並びに冷凍庫（A：5セット、B：5セット）に44日保管した後、再び、養殖場に張り出した（図1A）。このとき、HOBOペンダントロガー（Onset社製水中用温度計測ロガー）により庫内の温度変化と照度を調べた。また、保存時の乾燥による影響を調べるため、各5セットのうち、各2セットは種網をビニール袋で密封した（図1B）。

試験区2は、2017年11月4日から11月13日に張り出した種網10セット（1枚3セット）を、冷凍庫（A：5セット、B：5セット）に45日保管した後、再び、養殖場に張り出した。

なお、いずれの試験区においても、種網の回収時には、網を軽く洗浄して、1時間程度乾燥させた後、入庫した。また、養殖場に張り出すセット数は各4セットとしたが、天然下での遊走子着生の可能性もあるため種付けを行っていない網（空網）を1枚張り出した。残り1セットは、陸上水槽で養生して、芽出しの状況を観察した（図1C）。

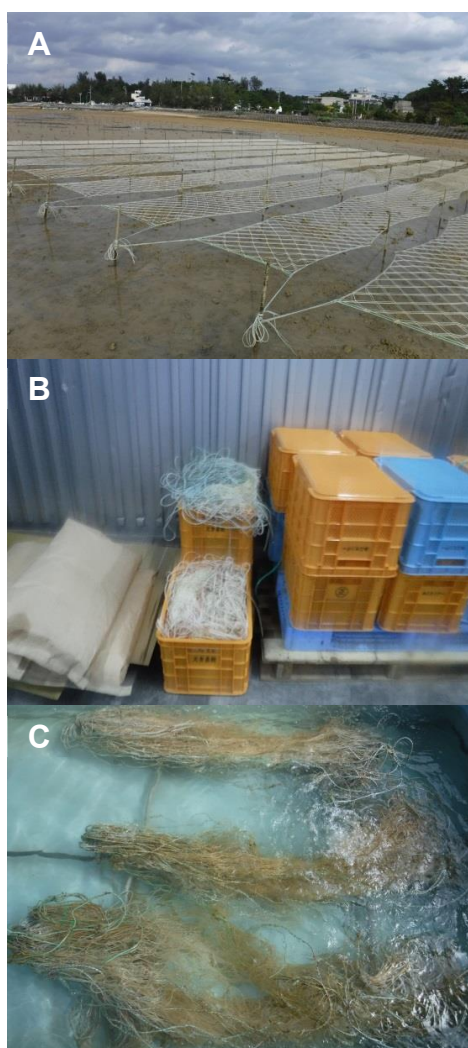


図1 A：冷蔵・冷凍した種網の張り出し状況（2017年12月1日）。B：冷蔵庫に入庫した種網（2017年10月17日）。C：各諸条件で処理した種網の陸上水槽での養生状況（2017年12月15日）。

（2）藻体長の測定

種網のうち、試験区1の冷蔵保管および試験区2は、ヒトエグサの着生も確認されたが、アオノリ類が優占していた（結果参照、図2）。このため、試験区1の冷凍網を対象に、藻体長を経日的に計測した。計測は、原則として4～7日間隔で行い、ノギス（ミットヨ社製）を使用した。藻体長の計測方法は、上原・又吉（2018）に従った。

各測定日における藻体長の比較は、TukeyのHSD検定を行った。保存時のビニール袋処理の有無における藻体長の比較は、Welchのt検定を行った。以上の統計解析にはR ver.3.0.2（R core Team, 2013）を用いた。



図2 アオノリ類が優占した試験区2の種網（冷凍）の養生状況。

結果

（1）冷蔵庫および冷凍庫の温度変化

試験区1における冷蔵庫と冷凍庫の温度変化を図3に示す。冷蔵庫は、保管期間中、概ね1℃未満で推移し、庫内の平均温度が0.7℃であった。冷凍庫については、保管期間中、Aが-5℃未満、Bが-23℃未満で推移した。庫内の平均温度は、Aが-5.8℃、Bが-26.1℃であった。庫内へ網を投入してから冷却速度は、冷蔵が1.5℃/分、冷凍Aが1.2℃/分、冷凍Bが2.0℃/分であった。

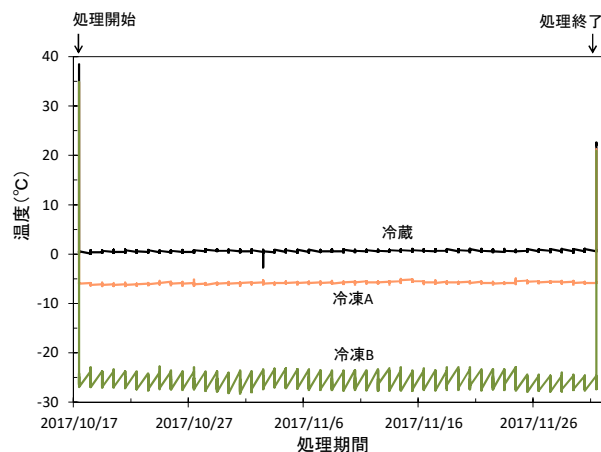


図3 恩納村漁業協同組合所有の冷蔵庫および冷凍庫（A・B）の庫内温度の変化（試験区1）。

（2）種網の芽出し

試験区1の冷蔵・冷凍網約4セットは、養殖場への張り出し、残りの各1セットは陸上水槽で養生を行った。養殖場に設置した冷凍保管後の種網は、張り出し後30日を越えた頃から、網の結び目など一部が緑色に色付き始め、

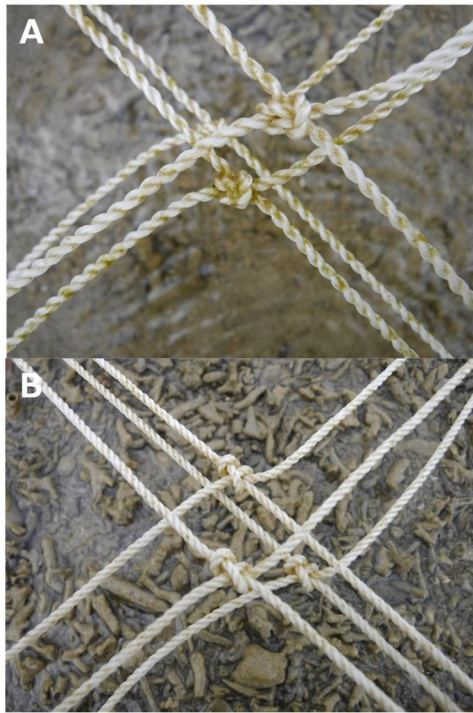


図4 張り出して50日目の冷凍網(A)と空網(B)。

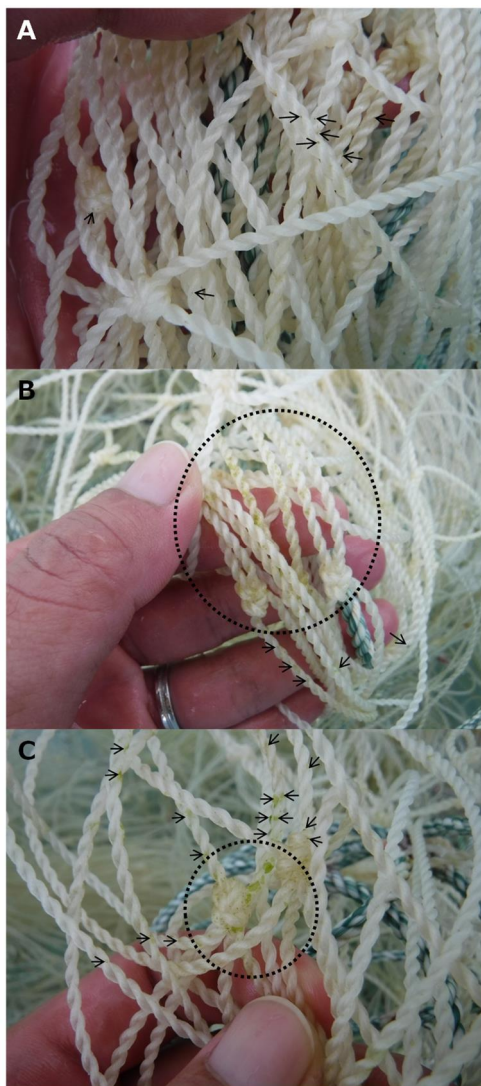


図5 養生を開始して15日目の様子(試験区1)。矢印や円は、肉眼で確認された遊走子を示す。A: 冷蔵, B: 冷凍A, C: 冷凍B。

40日を越える頃から、約0.3 cmの幼体を確認することができた。しかし、同時期に張り出した空網は、肉眼での遊走子着生や色付きは確認できなかった(図4)。一方、陸上水槽で養生していた種網は、冷蔵・冷凍いずれの保管方法においても、養生開始後2週間頃から、肉眼で網に付着した遊走子を確認することができた(図5)。

(3) 種網の成長

養殖場に設置した種網のうち、試験区1では、いずれもヒトエグサの着生が確認された。しかし、冷蔵保管の種網は、張り出し日数の経過に伴い、アオノリ類が優占した。試験区2では、試験区1に比べてヒトエグサの着生は少なく、網の一部にアオノリ類が繁茂していた(図2)。そこで、試験区1の冷凍保管の種網を対象に、藻体長の継日的な変化を調べた。

試験区1における冷凍保管後の種網の藻体長の推移を図6に示す。冷凍庫に保管中のビニール袋の有無による藻体長の差は、冷凍庫Bの張り出し後63日目を除いて、認められなかった(Welchの t 検定, $P > 0.05$)。このため、張り出し後63日のデータは用いず、残りのデータをすべてまとめて取り扱った。

異なる温度帯の冷凍庫に保管した種網は、いずれも70日を越えた頃から、急速に成長し始め(TukeyのHSD検定, 冷凍A: $p < 0.01$, 冷凍B: $p < 0.001$)。張り出しから106日後には、冷凍庫Aが9.1 cm, 冷凍庫Bが7.8 cmに達し(図6, 7), それぞれ117日と121日で収穫された。1枚あたりの収穫量は、冷凍庫Aが約50 kg, 冷凍庫Bが約25 kgであった(図8)。

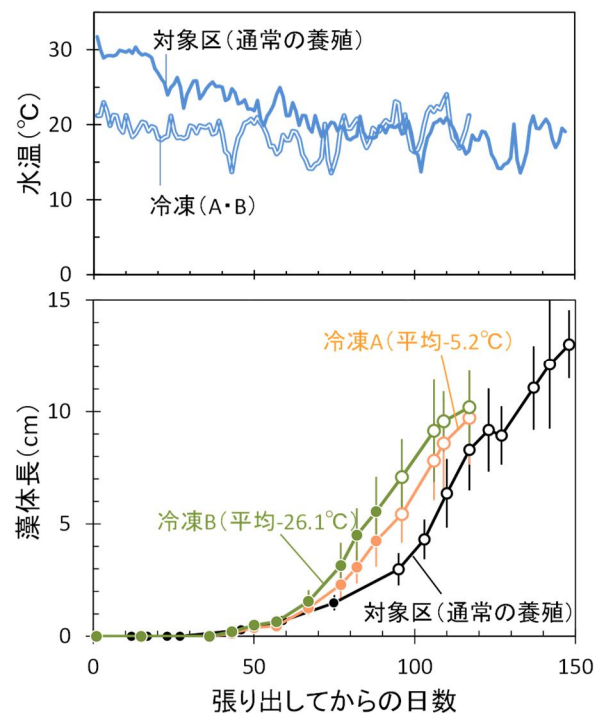


図6 上: 試験区1と通常の養殖方法(対象区)における養殖場の水温変化[水温データは、上原ら(2024)より引用]。下: 試験区1における異なる温度帯の冷凍庫で保管した種網の藻体長の推移。比較のため、対照区における藻体長の推移を図示した[データは、上原ら(2024)より引用]。中塗りの丸はセット張り、中抜き丸は本張りを示す。

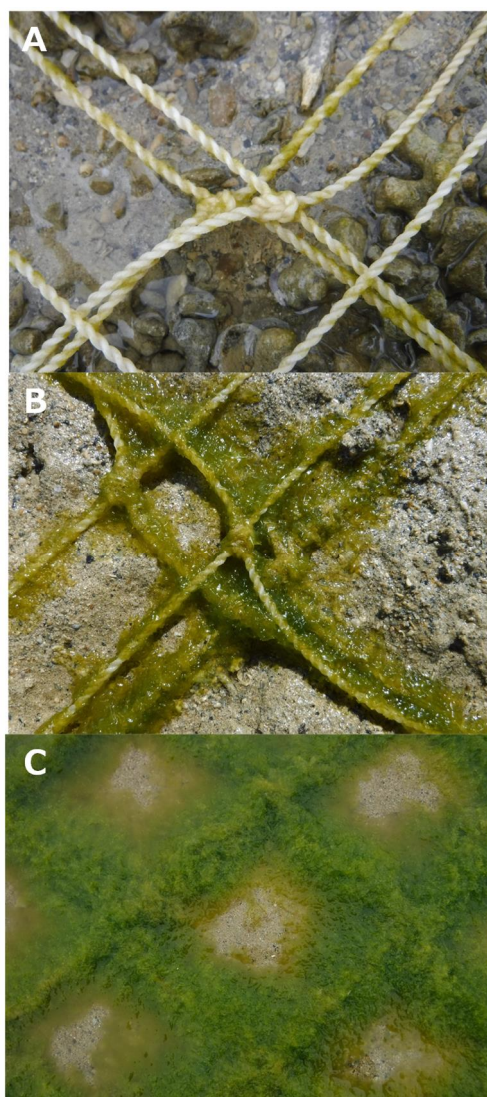


図7 試験区1における冷凍庫Bに保管した種網の張り出し後の様子。A：張り出し後57日の種網，B：張り出し後84日の種網，C：張り出し後106日の種網。



図8 試験区1における異なる温度帯の冷凍庫に保管した種網の収穫状況（2018年3月26日）。

考 察

本研究から、遊走子付けを行った種網は、一度回収し、冷蔵保管および冷凍保管しても、再び天然環境下で張り出すと正常に発芽・成長することが示された。アナアオサ *Ulva australis*、ヒトエグサ、マクサ *Gelidium elegans*、アラメ *Ecklonia bicyclis* など様々な海藻類の遊走細胞が、光のない条件でどのくらい生存するのかを調べた実験では（大野・新崎，1969），どの種類においても、低温にするほど生存率が高くなり、その生存能力は緑藻類が、褐藻類や紅藻類に比べて強いことが明らかにされている。一般に海藻類の凍結冷蔵は、葉体から水分が奪われるため、乾燥に強い海藻は凍結にも強く、潮間帯上部で干出の影響を受け生育するヒトエグサは、アマノリ類同様の強い耐凍性を示すという（團ら，2002）。このため、ヒトエグサ葉体を凍結保存する研究も行われており、これによれば、冷却速度は4℃/分が最も生残が良く、-20℃まで生存率が高いこと、半乾燥状態かつ-20℃の冷凍条件下では8カ月後でも60%が生残することが明らかにされている（右田・潮田，1975）。このように、光がなく、温度の低い冷蔵庫内あるいは冷凍庫内での種網保存は可能であり、ヒトエグサ遊走子が休眠していると考えられた。このような類似条件下（暗処理・冷蔵）で保存した場合、スジアオノリ *Enteromorpha prolifera* でも休眠することが知られている（團ら，2002）。

この種網保存技術を実用化させる場合、①天然下で適正かつ効率的にヒトエグサの遊走子を採苗可能であること（あるいは人工採苗が可能であること）、②可能な限り育苗管理の労力を削減するため、野外の海水温が適水温になるまで庫内で保管可能であることが理想である。①については、前報（上原・又吉，2024）で、恩納村屋嘉田干潟における遊走子放出量の日間変動が調べられており、旧暦の8月15日（十五夜）後の下弦付近に盛期をもつことが示されている。このため、本研究では、試験区1の天然採苗期間が十五夜後の下弦を含むことから、適正かつ効率的に種付けを行うことができたと判断された。一方、②に関連して、本研究では種付け直後に入庫したため、網に付着した遊走子を肉眼で確認することはできなかった。出庫後に野外で網を展開して収穫するまでの期間を短縮させることを考えると、可能な限り大きな芽で入庫するのが望ましい。また、大きな芽で入庫する方が、生産者自身にとっても種が付いていることを確認できるため、安心できるであろう。しかし、通常の養殖方法と冷凍保管後に展開する方法で、肉眼で芽を確認することが可能な数 mm の幼体に達するまでの期間に明瞭な差は認められず（図6）、約40日間、網を張り出しておくと、網の洗浄や張り出す高さの調節等の育苗管理に係る作業労力が生じることになる。上原ら（2024）は、養殖ヒトエグサの成長に及ぼす水温の影響を検討し、20℃以下の低水温で成長が促進されることを明らかにし、実際に、通常の養殖方法と冷凍保管後に展開した方法では、後者の成長が良いことが示されている（図6）。これらは、適正かつ効率的な種付け時期が特定されている

のであれば、種付け直後に入庫し、海水温が 20℃付近まで低下したタイミングで張り出すことで、労力の大幅な軽減を図れることを意味している。

本研究では、種網の保管について、異なる 3 つの温度帯で検証を行った。同時に 3 つの温度帯で検証を行った試験区 1 においては、いずれもヒトエグサの着生が確認されたものの、冷蔵保管の種網は、張り出し日数の経過に伴いアオノリ類が優占した。一方、本研究の試験区 2 では、冷凍処理でもアオノリ類の繁茂が一部確認された。アマノリ類の冷凍網では、アオノリ類の除去を意味する「アオ殺し」のため冷凍保管を行うが、実際にスジアオノリの種網を冷凍保管して出庫したところ、多くが死滅したという（團, 2015）。このように、アオノリ類を完全に死滅させることは困難であっても、アオノリ類の繁茂を抑えるという意味では、冷凍処理は有効であると考えられた。冷凍保管する温度帯については、野外への展開後の成長から、-25℃での保管が良いと判断された。この結果は、コンブ類で低温処理により一時生育を抑制したものは、その後、良好な成長を示すという結果とよく一致した（兵庫県立水産試験場, 1965）。

本研究で示したヒトエグサの種網保存の特徴は、アマノリ類の冷凍網の考え方と同じであり、任意の時期まで保管し、野外へ展開して養殖が可能であるということである。実際に、初めての試みで網 16 枚から 700 kg 以上の収穫に至ったことは、大きな進展である。しかし、入庫後、どのくらい保管可能なのか、保管した種網の張り出すタイミングはいつなのか、など解決すべき課題も残されており、ヒトエグサの種網保存技術の確立に向けて、更なる調査・研究が望まれる。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、恩納村漁業協同組合の比嘉義視参事、同組合アサ生産部会の登川朝夫氏、瀬良垣有夫氏には、有益な助言と激励を頂いた。記して謝意を表する。

文 献

- 團 昭紀, 2008 : スジアオノリの生理生態学的研究とその養殖技術への応用. 徳島県立農林水産総合技術支援センター水産研究所研究報告 6, 1-78.
- 團 昭紀, 2015 : アオノリ類の生理, 生態から見た養殖技術の検証. 徳島県立農林水産総合技術支援センター水産研究所研究報告 10, 15-24.
- 團 昭紀, 広澤 晃, 牧野賢治, 2002 : スジアオノリ養殖における種網保存についての研究. 徳島県立農林水産総合技術支援センター水産研究所研究報告 1, 19-27.
- 團 昭紀, 広澤 晃, 牧野賢治, 大野正夫, 能登谷正浩,

- 2003 : 緑藻スジアオノリの冷蔵保存. 水産増殖 51, 7-14.
- 藤田修三, 中井晴美, 藤田静子, 広川 清, 曾根良昭, 中谷延二, 1988 : ヒトエグサ (*Monostroma latissimum* Wittrock) の抗酸化性と Sarcoma180 移植マウスに対する抗腫瘍性効果について. 日本栄養・食糧学会誌 41, 411-414.
- 兵庫県立水産試験場, 1965 : 兵庫県立水産試験場報告.
- 三浦昭雄, 1992 : ノリ, 食用藻類の栽培. 恒星社厚生閣, 東京.
- 中村昌宏, 山城陽一, 小西照子, 花城 勲, 田幸正邦, 2011 : 養殖ヒトエグサから分離したラムナン硫酸の構造特性. 日本食品科学工学会誌 58, 245-251.
- 大島泰雄, 1994 : 水産増・養殖発達史. 緑書房, 東京.
- 大城信弘, 2015 : 藻体付き保存網の再生試験 (ヒトエグサ養殖指導). 平成 26 年度水産業改良普及活動実績報告書, 82-83.
- 大城信弘, 2017 : 藻体付き保存網の再生試験 (ヒトエグサ養殖指導). 平成 28 年度水産業改良普及活動実績報告書, 122-123.
- R Core Team, 2013: R: a language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing, Vienna, Austria.
- 右田清治, 潮田卓三, 1975 : ヒトエグサの生体凍結冷蔵. 長崎大学水産学部研究報告. 40, 23-28.
- 上原匡人, 又吉直樹, 2018 : 養殖ヒトエグサの成長 (漁業公害対策指導事業). 平成 28 年度水産業改良普及活動実績報告書, 102-105.
- 上原匡人, 又吉直樹, 2024 : ヒトエグサの遊走子放出の日間変動. 平成 29 年度沖縄県水産海洋技術センター事業報告書 79, 51-53.
- 上原匡人, 又吉直樹, 仲村英樹, 2024 : 養殖ヒトエグサの生産と成長に及ぼす水温の影響. 平成 29 年度沖縄県水産海洋技術センター事業報告書 79, 47-50.
- 上原匡人, 仲盛 淳, 2018 : 沖縄島北部における養殖漁場の赤土等流出状況調査 (漁業公害対策指導事業). 平成 28 年度水産業改良普及活動実績報告書, 29-35.
- 上原匡人, 仲盛 淳, 2019 : 沖縄島北部における養殖漁場の赤土等流出状況調査 (漁業公害対策指導事業). 平成 29 年度水産業改良普及活動実績報告書.
- 上原匡人, 仲盛 淳, 太田 格, 2017 : 海の環境はだれが守る?—海人と始めた赤土調査と啓蒙活動—平成 29 年度赤土等流出防止交流集会発表要旨.
- 上村佑也, 橋口健司, 長田裕子, 坂 智秀, 吉田睦子, 牧野陽介, 天野秀臣, 2010 : 緑藻ヒトエグサの血糖値上昇抑制作用. 日本食品科学工学会誌 57, 441-445.