

2015～2016年のクビレオゴノリ海面養殖試験 (太陽の恵み利用型養殖実用化事業)

井上 顕*

Aquaculture trial of *Gracilaria blodgettii* in 2015～2016

Ken INOUE*

クビレオゴノリの養殖実用化に向け、2015年に四分胞子を採種し、種付けした糸(以下、種糸)を用いて養殖試験を行った。その結果、水深2～5mの砂地に10～12月に沖出しした種糸から湿重量0.4～2.2kg/糸100mの藻体を収穫できたが、1～3月に沖出しした種糸からは収穫できなかった。藻体を摂餌する生物としてギンボ類、アミアイゴ、テングハギ類等を確認し、その食害強度は高いと考えられた。食害対策として、7mmの食害防止ネット設置区と未設置区を比較したところ、良好な生長を示した種糸の確率は、それぞれ60%と12.5%で、食害防止の効果が確認された。2013～2016年の試験においてクビレオゴノリは本県全域で生産できることを確認したが、海藻養殖として産業規模に普及させるためには、食害防止、大量の四分胞子を採種できる母藻培養および他藻類の繁茂を抑制する技術の開発が不可欠である。

クビレオゴノリ *Gracilaria blodgettii* は紅藻綱スギノ目オゴノリ科に属し、本州太平洋岸中部、九州西海岸、南西諸島から中国まで分布し、本県では沖縄島東岸の水深2m以浅の砂地に多く生え、屋我地、与那原沿岸においては2～4月の潮干狩り(浜下り)で採藻される。湯通した藻体は、サラダ・和え物の具材や刺身のつまなどとして食されるとともに、塩漬け・冷凍・乾燥させた藻体は長期保存することも可能である。市場では生の藻体と湯通した藻体で競り場に出され、それぞれの競り単価は400～500円/kgと800～1,000円/kgであるが、市場において本種は、ユミガタオゴノリ *G. arcuate*、イバラノリ *Hypnea charoides*、キリンサイ類 *Eucheuma* sp. など他海藻類と銘柄がまとめられるため、単一種の資源動向を把握することはできない。水産海洋技術センター漁獲統計データベースにおける本種を含む海藻類銘柄の2009～2014年の年間水揚げ量は、北部0.3～1.8トン、中南部0.01～0.03トンであることから、本種の沖縄島全域での漁獲量は2トン以下と推定される。瀬底(1985)は、1984年の豊見城海域における本種の年間水揚げ量を約21トンと報告しており、本種の資源量は大幅に減少したものと考えられる。

水産業を支える基幹産業のモズク養殖では、不作による生産量の年変動が激しく、生産安定化に向けた技術開発が進められている。一方、モズク養殖に不適な陸水流入域、赤土流入域、波当たりの強い水深2m前後の浅海域において、モズク養殖の経営安定化に貢献できる新たな海藻類の養殖技術開発も求められており、その適合種としてクビレオゴノリはモズクと異なる生態特性を備えた高単価な海藻に位置づけられ研究が進められてきた。

本種の藻体は有性生殖ステージと無性生殖ステージに分けられ、有性生殖のステージでは春先に雌の配偶体に嚢果ができ、そこから有性生殖でできた果胞子が放出される(当真, 1998)。1995年には採苗した果胞子を室内培養で3カ月間培養成熟させ、その母藻(四分胞子体)から四分胞子を得ることが可能となった。その後、継続して四分胞子を放出し、同年から周年採種が可能となった(山田と須藤, 2008)。その中で、2013～2015年に養殖実用化に向け、種付け及び芽出し技術の開発、養殖海域の選定、養殖開始時期の特定等に関する試験を実施した。

2013～2014年は、養殖開始時期、海域、種付け網(以下、網)の素材に関する予備試験を行った(井上, 2016a)。網の沖出し時期は、2013年11～12月、2014年1～2月、2014年2～3月の3期間区を設定し、試験海域を久米島、大宜味、石垣島、宜野座の4区とした。網の素材は、11～12月を主にクレモナ糸、1～2月・2～3月をナイロン糸とした。その結果、久米島、大宜味、石垣島において11～12月に養殖を開始した網で47.5～73.2kg/網(9.5～14.6kg/糸100m)の藻体を収穫することができ、県内の全域で養殖の行える可能性が示された。しかし、収穫に成功した要因は明確ではなく、沖出し時期、種付け方法、網の素材など詳細に検討する必要性が生じた。

2014～2015年は、養殖開始時期、網の素材を検証する再試験を行った(井上, 2017)。試験海域は久米島、大宜味、石垣島、宜野座、知念の5区で、網の素材は、ナイロン糸のモズク網とクレモナ糸のアーサ(ヒトエグサ)網の2種類を用い、総数16枚の網を試験に供した。その結果、石垣島を除いた4区において2種類の網とも藻体は良好に

*E-mail : inoueken@pref.okinawa.lg.jp , 本所

生長したが、被食による食害、他藻類の繁茂のため藻体の収穫に至らなかった。また、2015年1～3月に冲出した2種類の網とも藻体の生長が確認できなかったことから、本種の養殖条件として、網素材の適否より養殖開始時期が重要であることが確かめられ、最適な開始時期は11～12月と考えられた。しかしながら、本試験において新たな問題として被食による食害、他藻類の繁茂が明らかとなり、安定的な養殖技術確立のためには、食害や他藻類繁茂を防ぐ新たな対策が必要となった。

そこで、2015～2016年度は、種付け糸(以下、種糸)を巻き付けた試験枠を作製し、トリカルネットを用いて食害防止と他藻類繁茂の抑制効果を検証しつつ、食害生物の特定調査、糸の素材が生残や生長に与える影響の再試験を行なった。

本稿では、2013～2015年に実施したクビレオゴノリ養殖試験の結果を踏まえた養殖条件を総括的に報告し、クビレオゴノリの養殖の産業化に不可欠な技術開発の方向性を示すことを目的とした。

材料及び方法

雌性配偶体は、金武・屋我地(2015年3月24日)、与那城(同年4月22日)海域より採取し、直ちに滅菌海水で洗浄した後、滅菌海水中に密封して研究室に持ち帰った。配偶体の培養は、蛍光灯を光源とした光量子量 $50\sim 60\mu\text{mol m}^{-2}\text{sec}^{-1}$ による12時間明暗、培養温度 23°C 、無施肥培養、通気培養、培養容量を滅菌海水4Lとし、1～2日毎に容器と液体培地の交換を行った。

果胞子を採取する配偶体には、雑物の付着量が少なく、多量の果胞子を放出する藻体12～15本を選別し、光学顕微鏡下で各藻体から5～10粒前後の果胞子を採取した。果胞子の培養環境について、滅菌海水への施肥量は、ホルフィランコンコ(第一製網社製)濃度 $50\mu\text{L/L}$ とし、それ以外は配偶体と同一条件とした。培養容器は、藻体の生長に応じて、12穴と6穴細胞培養プレート(FALCON社製、マルチウェルプレート)、300mLコニカルビーカー、1L三角フラスコ、4～5L梅酒瓶(東洋佐々木ガラス社製、果実酒びん)に移し換えた。培養管理について、プレート培養時は静置培養とし、培養容器と液体培地の交換は1カ月毎に行なった。ビーカー、三角フラスコ、梅酒瓶での培養時は通気培養とし、容器と液体培地の交換は3～4日毎に行なった。

四分胞子の大量放出後は、容器への胞子の付着を防ぐため、培養容器と液体培地の交換を1～2日毎に行なった。他の培養環境管理条件は果胞子と同一とした。四分胞子は、液体培地の上澄みを廃棄し、沈殿した胞子を金属メッシュ(開口寸法 $34\mu\text{m}$ 、 $63\mu\text{m}$)でろ過した後、血球計算盤で総数を計測した。計数した四分胞子は洗浄瓶に収容し、全容量200mL以上にした。

試験海域は、知念村志喜屋海域(以下、知念)、石垣

島南海域(以下、石垣島)、久米島町奥武島南海域(以下、久米島)、宜野座東海域(以下、宜野座)、大宜味村塩屋海域(以下、大宜味)の5区で行った。試験期間は2015年9月8日～2016年5月26日とした。

1) 種糸と養殖試験枠

糸の素材は、クレモナ5号54%、ナイロンマルチ46%で構成される混合糸(以下、混合糸、図1a)とナイロンモノ70%、ポリエチレン30%で構成される補修糸(以下、補修糸、図1b)の2種類を使用した。四分胞子を付ける種糸は、混合糸と補修糸をそのまま使用する原糸(図1A)、混合糸と補修糸をカルキ溶液浸漬後にタワシ洗浄した洗浄糸(図1B)の2タイプの糸を用いた。種糸2種類を $20\times 40\text{cm}$ の塩化ビニールパイプ四角枠に隙間なく約50mずつ上下に巻き付けた養殖試験枠(以下、試験枠、図1A、B)を作製した。試験枠に巻き付けた種糸への四分胞子の散布数は、片面6,000万粒を目安とした。

試験枠種糸の芽出しは、蛍光灯を光源とした光量子量 $40\sim 120\mu\text{mol m}^{-2}\text{sec}^{-1}$ による12時間明暗、培養温度 25°C 、静置培養、培養容量滅菌海水10L、施肥量ホルフィランコンコ $50\mu\text{L/L}$ とした。収容方法はプラスチック製容器(SHINWA社製、TAXBOX type06)で行った。培養期間は、種糸から1～3mmの芽ののびる1～2カ月間とし、その間、毎週容器と液体培地の交換を行った。

2) 食害防止ネット効果調査

食害防止ネットにはトリカルネット(ダイプラ社製)を使用し、試験枠をトリカルネットで円柱状に覆い、鉄筋杭とロープで固定した(図1C)。試験区は、ネット網目25mm白色(以下、白25区、N28)、網目7mm黒色(以下、黒7区、N481)、網目4.5mm黒色(以下、黒4区、N598)と未設置区を設定し、自然海域での食害防止効果について調べた。試験枠の設置方法は、海底と垂直に設置する縦置型、海底と平行に設置する横置型の2種類とした。

3) 食害生物の特定調査

藻体を食害する生物の特定は、潜水観察、養殖現場で採取した生物の胃内容物調査で行った。調査は養殖試験中すべての海域で行った。調査海域において食害生物と推察された巻き貝などは、採集して研究室に持ち帰り、クビレオゴノリを与え、その食痕により食害生物となるかを判断した。

また、久米島では写真による食害生物の判定を実施した。判定に使用した写真は、撮影間隔を1分に設定したカメラ(RICOH社製、WG-30)を用いて撮影し、調査期間は、2015年11月4日～12月17日に述べ日数11日、計4回の調査を行った。

4) 市場評価調査

大宜味で実施した養殖試験において2014年4月3日に収穫したクビレオゴノリ72kgを石灰水(数百g)処理した後、名護漁業協同組合において4月4・5日に仲買人の競りによる価格評価を受けた。

結果

1) 種糸と養殖試験枠

試験枠に巻き付けた種糸への四分胞子の散布数は両面で平均 $11,073 \pm 2,126$ 万粒だった。四分胞子の付着状況について、原糸をそのまま付着基質に用いた試験枠では、補修糸に比べ混合糸が明らかに低かった(図1Aab)。洗浄糸の試験枠は、混合糸、補修糸とも胞子付着状況は等しくなった(図1Bab)。沖出し後順調に生長した黒7区の洗浄糸の藻体を目視確認したところ、補修糸と混合糸において藻体の長さ・太さ・密度等に著しい差は観察されなかった。

2) 食害防止ネット効果調査

試験枠を設置した5海域において4R 行なった試験の沖出し日、食害防止ネットの種類、その後の相対的な生長評価を表1に示した。知念における1・2Rの結果では、①未設置区は雑藻の繁茂、食害、砂がかぶること(付図 C1)、②白25区では食害を防止できないこと(付図 C2)、③黒4区では目詰まりが早期に起こること(付図 C3)、④黒7区で食害を受けずに雑藻の繁茂が少なく安定的に生長することが明らかとなった(付図 C4)。

2R 以降5海域で実施した試験において、良好な生長を示した試験枠は、未設置区では8基中1基、黒7区では10基中6基となり、ある程度の食害防止効果を確認できた($p=0.056$, Fisher の正確確率検定)。知念(付図 C4)、石垣島(付図 I1)、久米島(付図 K2)の3区において、それぞれ合計2,800g, 230g, 450g の藻体を収穫し、知念、久米島の2区では2回収穫することができた(付図 C5, K3)。しかし、黒7区は、種付け糸中央に向かうほど、生長が遅れ、同一糸内で生残にもばらつきが観察された(付図, K8)。また黒7区は、試験枠の縦置型では好生長の藻体は上面に限られ(図2A)、試験枠の横置型では種糸表面が砂に覆われ生長不良の原因となった(図2B)。

3) 食害生物の特定調査

食害生物として、殻高20~30mm、殻幅8~10mm のフトコロガイ *Euplaca scripta* (図3A)、全長40~70mm のニジキンボ *Petroscirtes breviceps* (図3B)やハタタテギンボ *Petroscirtes mitratus* (図3C)、100mm 前後のアミアイゴ *Siganus spinus* (図3D)、150~250mm のテングハギ類 *Naso* sp. (図3E)、15~50mm のアメフラシ類 *Aplysiidae* sp. (図3F)を特定した。フトコロガイ、アメフラシ類およびハタタテギンボは全海域で確認され、フトコロガイは藻体が小さいとき、アメフラシ類は藻体が大きいときに観察され、ハタタテギンボは藻体のサイズに関係なく出現した。ニジキンボは、知念と宜野座で観察され、藻体のサイズに関係なく出現した。アミアイゴは、知念で9~10月に観察された。テングハギ類は、試験枠の種糸に生えた数 mm の藻体に口吻を押しつける摂餌状況が撮影された。

4) 市場評価調査

名護漁業協同組合における本種の競り評価は、雑物が少なく天然藻体と同質と判断され、同日に他の海藻類が

競りにかけられておらず、4月4日の単価は1,400円/kgだった。翌日の競りでは、本種に類似した天然海藻のユミガタオゴノリも競りにかけられ、海藻の水揚げが続いたことから単価は700円/kgとなった。

考察

2013~2015年の結果より本種の養殖は、石垣島、沖縄島から周辺離島を含めた全沿岸域で可能と考えられた(付表1)。本種の生長特性に関して、Yamadaら(2010)は20~30°C、 $144 \mu\text{mol m}^{-2} \text{sec}^{-1}$ で培養し適正な生長を示すと報告した。馬場(2015)は、本種の生長適温、上限温度および生長適光量は25°C、36°C、 $80 \sim 160 \mu\text{mol m}^{-2} \text{sec}^{-1}$ と報告した。同属ツルシラモ *Gracilaria chorda* の適正水温帯と光量子量帯は、それぞれ22~27°C、 $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{sec}^{-1}$ 以上と広い(Teradaら, 2013)。これらのことから、本種の養殖可能な海域は広く、水深帯は2~5mの深さに達すると考えられた。石垣島では水深5mの海域で養殖できたが、石垣島に比べ光強度、水温の低い沖縄島では、同水深帯において養殖可能であるかは不明である。井上(2016b)は、本種の初期四分胞子の生長について光量子量 $10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{sec}^{-1}$ という低い光環境でも、生長することを報告している。そのため、沖縄島でも、水深5mの海域でも養殖できると考えられ、天然藻体の生える水深2mより養殖可能水深はかなり深いと思われる。

本種の四分胞子は、塩化ビニールパイプの表面、水槽やプラスチックの壁面、釣り糸、ステンレス棒、セラミックス製エアーストーン、ビニールホースに付着し、基質に対する選択性は確認できなかった。また、種付け時に緑藻や藍藻の繁茂、細菌性の汚染があった場合、海域での養殖中に藻体の剥離や消失が起きるため、母藻や種付け水槽の管理では他の藻類などの混入防止は必須課題である。さらに、現在の母藻培養技術では、1体の藻体(藻体長150~200mm)当たりの四分胞子の放出期間は約1カ月で、放出数は平均37,121万粒(種付けの試験枠4枚相当)であった。今後、モズク網を用いた養殖の産業化に際しては、モズク網一枚に四分胞子約5億粒、母藻は2体(梅酒瓶2本)を使用するため、小スペースで大量の四分胞子を採種できる母藻培養技術が必要となる。

本事業の2013~2015年において、苗の沖出し日が10~12月と1~3月の2期間でモズク網と糸網(黒7区)を用いて養殖し、収穫に成功した確率は、それぞれ62.5%(10/16)と0%(0/26)であったことから、苗の沖だし日は年末までに行うことがよいと考えられた($p < 0.001$, Fisher の正確確率検定)。また、2015年には10月に海面に沖出した試験枠において、藻体を1月に収穫した後に、同じ試験枠から3月に藻体を収穫した事例を確認したことから、1~3月に養殖を開始する利点は少ないと判断できる。収穫量はモズク網で9.5~14.6kg/糸100m、試験枠で0.4~2.2kg/糸100mであった。目視確認であるが、モズク網に比べ試験枠の藻体密度は低く、藻体が細かった。同じ種付け密度のモズク網・試験枠において藻体の発生割合

が低い原因は、食害防止ネット設置による栄養塩や光量などの物理環境条件の劣化に起因する生長不良が原因と考えられた。今後、これら食害の影響を排除できる食害防止ネットの改良や食害防止ネットに替わる技術開発が不可欠である。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、本種の天然海域での採取方法、培養管理、果孢子採取等、本事業の全般にわたり懇切なるご指導を賜った水産課山田真之氏に、厚く御礼申し上げます。また多忙にも関わらず養殖試験中の網管理、漁業者との調整、現地調査などに時間を割いてくださった八重山農林水産振興センター赤嶺貴史氏、宮古農林水産振興センター吉田聡氏、元水産海洋技術センター本部駐在大城信弘普及員に深謝いたします。養殖試験海域ではさまざまな要望に応じてくださった宜野座村漁協の仲榮眞盛昌代表理事組合長、久米島漁協の漁業指導員仲与志勇氏、伊関ありさ氏、羽地漁協の宮城辰徳氏、八重山漁協の南活会徳嶺好洋氏、知念漁協の仲里真吾氏に大変お世話になりました。心より感謝の意を表します。

文 献

馬場将輔, 2015: オゴノリ類6種の成長と生残に及ぼす温度, 光量, 塩分の影響. 海洋生物環境研究所研究報告, 20, 41-56.

井上 顕, 2016a: 太陽の恵み利用型養殖実用化事業(クビレオゴノリの養殖技術開発). 平成25年度沖縄県水産海洋技術センター事業報告書, 75, 13.

井上 顕, 2016b: 培養環境がクビレオゴノリ四分孢子の初期生長に及ぼす影響について. 水産増殖学会, 64(4), 434.

井上 顕, 2017: 太陽の恵み利用型養殖実用化事業(クビレオゴノリの養殖技術開発). 平成26年度沖縄県水産海洋技術センター事業報告書, 76, 2.

瀬底正武, 1985: ”オゴノリ”の増殖について. 水産業改良普及活動実績報告書, 1-5.

Terada R., Inoue S., and Nishihara N. G., 2013: The effect of light and temperature on the growth and photosynthesis of *Gracilariopsis chorda* (Gracilariales, Rhodophyta) from geographically separated locations of Japan. *J Appl Phycol.*, 25, 1863-1872.

Yamada, S., Sudo Y., and Notoya M., 2010: INFLUENCE OF NUTRIENT AND TEMPERATURE ON THE GROWTH OF GRACILARIA BLODGETTII HERVEY (RHODOPHYTA) FROM OKINAWA PREFECTURE, JAPAN. 第20回国際海藻シンポジウムポスター発表

山田真之, 須藤裕介, 2008: クビレオゴノリ養殖技術開発. 平成19年度沖縄県水産海洋研究センター事業報告書, 69, 50-53.

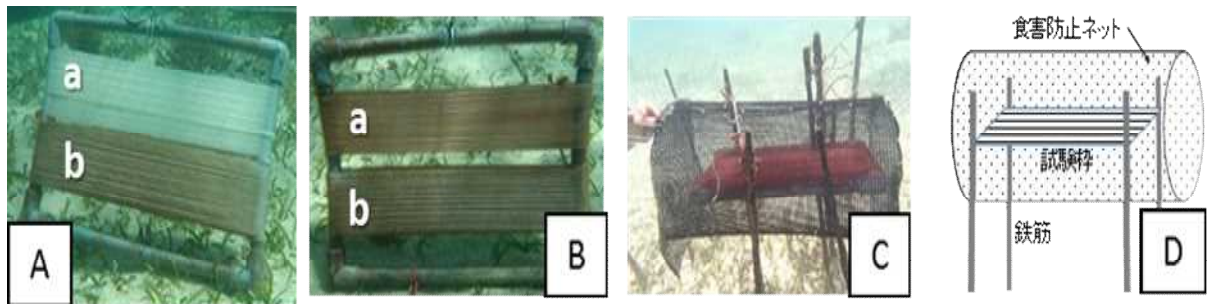


図1 2種類の養殖試験枠と食害防止ネットの設置状況
 A: 原糸の試験枠, B: 洗浄糸の試験枠, C: 食害防止ネット黒7区, D: 食害防止ネット模式図
 a: 混合糸 (クレモナ5号54%・ナイロンマルチ46%)
 b: 補修糸 (ナイロンモノ70%・ポリエチレン30%)

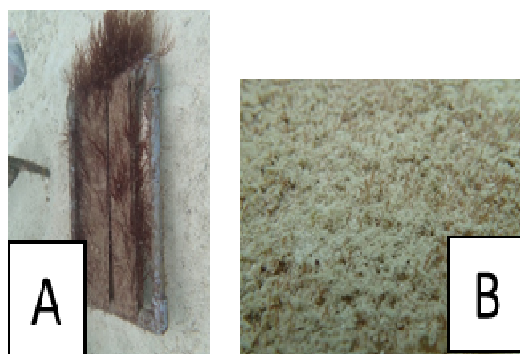


図2 縦置型試験枠 (A) と横置型試験枠 (B)

表1 各海域における養殖試験回次毎の相対的生長評価

◎は収穫，○は生長良好，△は生長不良，×は生育せず枯死あるいは消失．評価確定日を知念5/26，石垣島3/16，久米島5/14，宜野座5/24，大宜味4/22とした．写真番号は付図の番号である，

回次	1R(9-10月)					2R(11-12月上旬)					3R(12月下旬~1月)					4R(2-3月)						
	場所	沖出	食害防止ネット	相対的評価	備考	写真	沖出	食害防止ネット	相対的評価	備考	写真	沖出	食害防止ネット	相対的評価	備考	写真	沖出	食害防止ネット	相対的評価	備考	写真	
知念	2015/9/8	なし		××		C1	2015/11/2	なし	×		C3	2016/1/26	黒7	○→×	ネットに魚	C6						
	2015/10/12	白25 黒7		×× ◎	2016/1/13 1.5kg 3/11 650g	C4 C5																
石垣島	2015/9/18	黒7		◎	2/26 230g	I1											2016/2/8	黒7 なし	○ ○		生長早	I2 I3
																		2/26	黒7	×		
久米島							2015/11/15	なし	×	縦型設置	K1	2016/1/7	黒7 なし	○ ×		K4 K5	2016/2/3	黒7 なし	○ ×			K6 K7
									◎	2016 2/3 150g 5/14 300g	K2 K3						2/22	黒7 なし	○ ×			K8 K9
宜野座							2015/12/1	黒7 なし	△ △	縦型設置 生長遅く局所的	G1 G2	2015/12/28	黒7 なし	×		G3 G4						
大宜味																	2016/2/4	黒7 なし	×	ND	破損	S1 S2
																	3/3	黒7 なし	○ ×			S3 S4

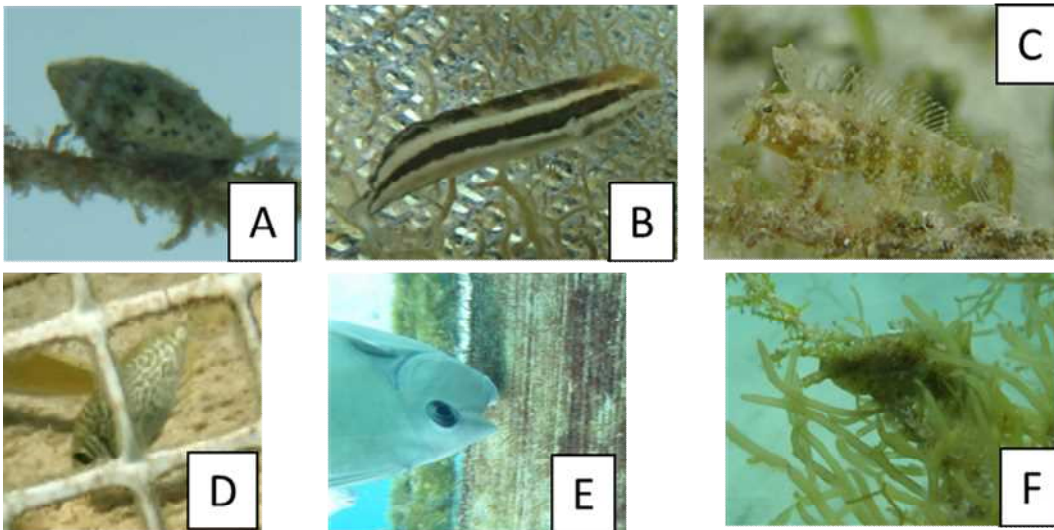


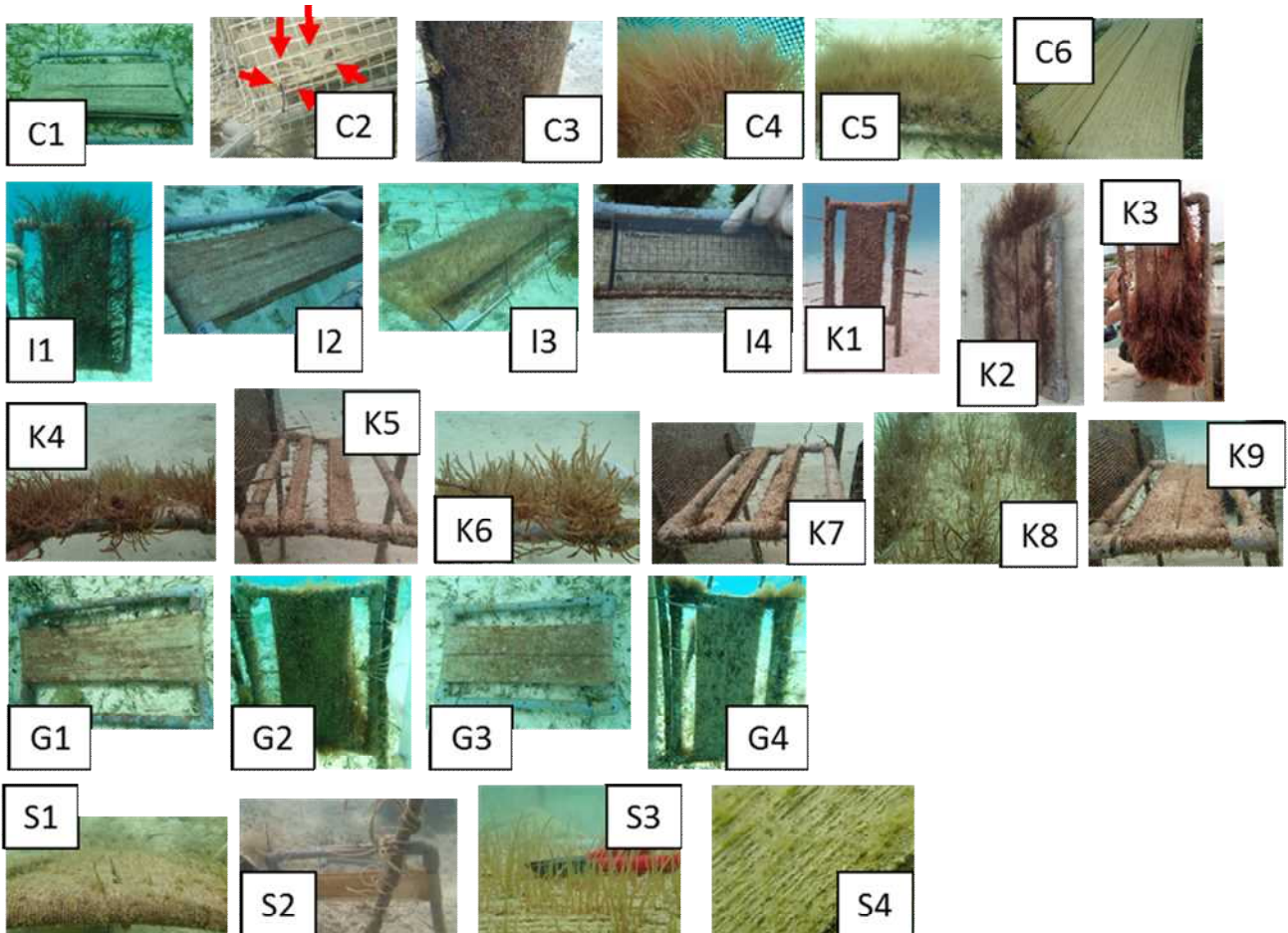
図3 養殖クビレオゴノリの食害生物

A: フトコロガイ *Euplicia scripta* , B: ニジキンボ *Petrosirtes breviceps* , C: ハタタテギンボ *Petrosirtes mitratus* ,
D: アマイゴ *Siganus spinus* , E: テングハギ類 *Naso* sp. , F: アメフラシ類 *Aplysiidae* sp.

クビレオゴノリ海面養殖試験

付表 2013～2015年、モズク網を用いたクビレオゴノリ海面養殖試験の評価
 評価について、△は生長したが食害を受けた、▲は生長したが食害を受け雑藻が繁茂した、×は芽だしが確認できなかった。

場所	年	11～12月			1～2月中旬			2月下旬～3月		
		沖出し	終了	評価	沖出し	終了	評価	沖出し	終了	評価
知念	2014～2015	11/27	4/6	5kg	1/15	3/13	× ×	3/9	4/6	×
石垣島	2013～2014	11/11	4/11	73.2kg	2/6	4/11	×	3/10	4/11	×
	2014～2015	12/24	3/20	× ×	-	-	-	-	-	-
久米島	2013～2014	12/26	3/25	47.6kg	1/30	4/25	×	2/27	4/25	×
	2014～2015	12/26	4/10	▲ ▲	1/29	3/16	× ×	-	-	-
宜野座	2013～2014	11/5	4/22	×	2/19	4/22	×	3/20	4/22	×
	2014～2015	-	-	-	1/9	4/14	× ×	3/4	4/14	▲
大宜味	2013～2014	12/18	4/3	72kg	2/18	6/6	×	3/3	6/6	×
	2014～2015	11/21	4/13	△ △	2/3	4/13	× ×	-	-	-



付図 各海域のクビレオゴノリの生育状況
 (アルファベットは表1に対応、C:知念、I:石垣島、K:久米島、G:宜野座、S:大宜味を示す。)