

## 徳島県鳴門産ワカメ養殖品種と 椿町産暖海性天然ワカメの交雑種苗の高温下での生長特性

村瀬 昇<sup>1†</sup>, 棚田教生<sup>2</sup>, 多田篤司<sup>2</sup>,  
島袋寛盛<sup>3</sup>, 吉田吾郎<sup>3</sup>, 阿部真比古<sup>1</sup>, 野田幹雄<sup>1</sup>

### The Growth Characteristic under High Water Temperature of Young Sporophyte of Intraspecific Crossbreeding of *Undaria pinnatifida* (Laminariales, Phaeophyta) between Naruto Cultivar and Tsubaki Natural Strain, Tokushima Prefecture, Japan

Noboru Murase<sup>1†</sup>, Norio Tanada<sup>2</sup>, Atsushi Tada<sup>2</sup>,  
Hiromori Shimabukuro<sup>3</sup>, Goro Yoshida<sup>3</sup>, Mahiko Abe<sup>1</sup> and Mikio Noda<sup>1</sup>

**Abstract** : In order to clarify the growth characteristic under high water temperature of young sporophyte of intraspecific crossbreeding of *Undaria pinnatifida* (NT) between Naruto cultivar (NN) and Tsubaki natural strain (TT) from Tokushima prefecture in Japan, we carried out laboratory culture experiments at 5°C interval from 5°C to 30°C and 1°C interval from 25°C to 30°C under a light intensity of 100 μmol photons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> in 11 L: 13 D. The optimal temperature of three strains after 15 days in culture was the range of 15 - 20 °C . The upper critical temperatures in growth of NN and NT were 26°C , while that of TT was 27°C . NN and NT survived until 6 days and 12 days in culture at 27°C , respectively. The blade of NN withered like melting in medium at 27°C . On the other hand, the blade of NT had a bit curly unattached for substratum. Therefore, it was thought that the crossbreeding strain of NT had a middle level of the high water temperature tolerance between NN and TT.

**Key words** : *Undaria pinnatifida*, crossbreeding, growth, high-temperature tolerance

## 緒 言

褐藻のワカメ *Undaria pinnatifida* は日本の主要な養殖対象海藻である。ワカメの養殖生産量は、2011年の東日本大震災前の2006~2010年には約5.2~6.1万tであったが、2012年以降現在まで約4.5~5.1万tと、震災前より約1万t減少したまま推移している<sup>1)</sup>。国内では、消費者の「安全・安心」

志向により国産ワカメの人気の高まっている<sup>2)</sup>。しかし、ワカメの養殖現場では、漁業者の高齢化や後継者不足に加え、養殖海域の栄養塩濃度の低下による養殖ワカメの色落ちなどの品質低下<sup>3, 4)</sup>や高水温化に伴う生長不良が懸念されている<sup>5)</sup>。「鳴門わかめ」で知られる徳島県では、水温23°C以下で始める育苗の開始時期の遅れが<sup>4)</sup>、収穫量の減少要因の一つとされている<sup>5)</sup>。その対策として、高水温環

<sup>1</sup> 国立研究開発法人水産研究・教育機構水産大学校生物生産学科 (Department of Applied Aquabiology, National Fisheries University, Japan Fisheries Research and Education Agency)

<sup>2</sup> 徳島県立農林水産総合技術センター水産研究課 (Fisheries Research Division, Tokushima Agriculture, Forestry and Fisheries Technology Support Center)

<sup>3</sup> 国立研究開発法人水産研究・教育機構水産技術研究所廿日市拠点 (Hatsukaichi Field Station, Fisheries Technology Institute, Japan Fisheries Research and Education Agency)

<sup>†</sup> 別刷り請求先 (Corresponding author: murasen@fish-u.ac.jp)

境下でも生長する養殖品種の開発が進められている<sup>5, 6)</sup>。

ワカメ胞子体は雌性配偶体と雄性配偶体から発生するため、雌性および雄性配偶体を温度と光などの管理により培養下で保存することができる。前述した養殖品種の開発には、ワカメ1個体の胞子葉から放出された無数の遊走子から1遊走子起源の雌性配偶体もしくは雄性配偶体を分離し、それらのフリー配偶体を用いた採苗方法が用いられている<sup>6, 7)</sup>。この方法により生産された種苗は遺伝的に均一に近いと考えられ、生長や形態などの特性が異なる母藻から雌性あるいは雄性配偶体を任意に交配させることができるため、養殖品種の改良や新品種の開発が容易となる<sup>6, 7)</sup>。また、フリー配偶体による採苗では、生産効率を高める技術として「塗布法」が開発され、生産現場で普及しつつある<sup>5, 7)</sup>。このような方法を用いて鳴門産養殖ワカメ (NN) と徳島県南部の阿南市椿町産の暖海性天然ワカメ (TT) を交雑させたワカメ (NT) が開発された<sup>5)</sup>。このNTは、既に鳴門海域で養殖試験が行われ、NTの可食部葉重量が従来の養殖ワカメNNの1.2倍以上と報告され、養殖期間の前半に収量を確保できる新しい養殖品種であると評価されている<sup>5)</sup>。さらに、徳島県の太平洋に面した美波町由岐沿岸での養殖試験でも鳴門海域と同様の生長性と品質が認められ、交雑ワカメNTは水温が比較的高い海域で生育に適する株であることも報告されている<sup>8)</sup>。

しかし、NTが実海域においてNNよりも良好な生長を示すものの、実際にNTがNNよりも高温耐性を持つかどうかは不明である。実海域での養殖試験においては、水温以外の環境要因を排除して生長や生残を検証することが不可能である。そのため、交雑ワカメのNTの温度に及ぼす生長への影響を精度高く評価するためには、詳細な温度条件を設定し、その他の条件を同一にして室内での培養実験を行う必要がある。そこで、本研究では、鳴門産ワカメ養殖品種 (NN) と椿町産暖海性天然ワカメ (TT) およびそれらの交雑ワカメ (NT) の幼胞子体を対象として、詳細な温度条件下で培養実験を行い生育特性として生育適温と生育上限温度を求め、高温下での生長や形態について3株間で比較検討した。

## 材料と方法

### 材 料

本研究では鳴門産ワカメ養殖品種 (NN)、徳島県南部に位置する阿南市椿町産天然ワカメ (TT) およびこれらを交雑させたワカメ (NT) の3株の幼胞子体を用いた。

NNは、鳴門海域で養殖されていた早生系統のワカメの養殖品種で、2004年5月にその胞子葉から放出させた遊走子を採集し、1遊走子起源の雌性配偶体および雄性配偶体をそれぞれ分離後<sup>9)</sup>、フリー配偶体の状態で保存培養された。それを室内ボトル方式により幼胞子体まで生長させたものである<sup>7)</sup>。TTは、2013年4月に阿南市椿町沿岸で採集された天然ワカメで、1遊走子起源のフリーの雌性および雄性配偶体を分離・保存培養を経て、前述と同様の方法で幼胞子体まで生長させたものである<sup>7)</sup>。NTは、フリー配偶体で保存培養中のNNの雌性配偶体とTTの雄性配偶体を交雑させて室内ボトル方式で幼胞子体まで生長させたものである。

本研究で用いたNN、TTおよびNTの3株の幼胞子体は、徳島県立農林水産総合技術支援センターで生産され、採苗から約1ヶ月後には糸上に全長3~5 mmの幼胞子体に生長した。それぞれの種糸を長さ10~15 cmに切り出し、滅菌海水で湿らせた厚手のワイパー (日本製紙クレシア キムタオル61001) に包んで密閉袋 (旭化成ホームプロダクツ ジップロックL) に入れた。その後、保冷剤を入れた発泡スチロール容器で水産大学校生物生産学科に搬送した。

### 予備培養

搬送された幼胞子体については、種糸の長さを1~2 cm当たり幼胞子体が1個体着生するように切り出し、株ごとに培養液を満たした1 L通気型培養ビンに入れた。培養液は、滅菌海水1 Lに対してPESI<sup>10)</sup>を10 mL添加して用いた。培養ビンを温度20℃の恒温培養庫 (Panasonic MIR-154-PJ) に設置し、照明装置には光源として三波長型昼白色蛍光灯 (National FL20SS・EX-N/18) を用いて、光量100  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、明期11時間・暗期13時間の日長条件で通気して培養した。

### 温度5~30℃の5℃間隔での培養実験

温度5~30℃の5℃間隔での培養実験は、予備培養後の葉長5~12 mmに伸長した各株の幼胞子体を5個体選出し、予備培養と同じ培養液を満たした1 L通気型培養ビンに入

れた。各培養ビンを温度5℃では小型冷却恒温装置 (TAITEC CL-150F) と接続した小型水槽内に、温度10, 15, 20, 25および30℃では流水式温度勾配培養装置<sup>11)</sup> にそれぞれ設置した。いずれの温度区とも光量 100  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、明期11時間・暗期13時間の日長条件で通気して培養した。3日ごとに培養液を交換した。

### 温度25～30℃の1℃間隔での培養実験

温度25～30℃の1℃間隔での培養実験は、予備培養後の葉長5～12 mmに伸長した各株の幼胞子体を5個体選出し、培養液を満たした1 L通気型培養ビンに入れた。各培養ビンに流水式温度勾配培養装置に設置し、温度条件を25, 26, 27, 28, 29および30℃の1℃間隔に設定し、前述と同様の光量、日長条件および培養液の交換を行った。

### 温度15℃および20℃での培養実験

予備培養後の葉長5～12 mmに伸長した各株の幼胞子体を10個体選出し、培養液を満たした1 L通気型培養ビンに5個体ずつ入れた。各培養ビンに温度15℃および20℃に設定した流水式温度勾配培養装置に設置し、前述と同様の条件で培養した。

### 生長測定

生長測定については、温度5～30℃での5℃間隔および温度25～30℃での1℃間隔の培養実験では3日ごとの培養液の交換時に幼胞子体をデジタルカメラ (PENTAX WG-3) で撮影し、その画像をパーソナルコンピュータに取り込んだ。取り込んだ画像については、フリーの画像処理ソフト (Paint.net) により葉状部を黒く塗りつぶし、画像解析ソフト (Image J) により葉面積を求め、相対生長率と生長倍率を以下の式によって算出した。

$$\text{相対生長率 (\% day}^{-1}\text{)} = \left[ \frac{\ln(\text{培養15日目の葉面積}) - \ln(\text{培養開始時の葉面積})}{\text{培養日数}} \right] \times 100$$

$$\text{生長倍率 (\%)} = \frac{\text{測定日の葉面積}}{\text{培養開始時の葉面積}} \times 100$$

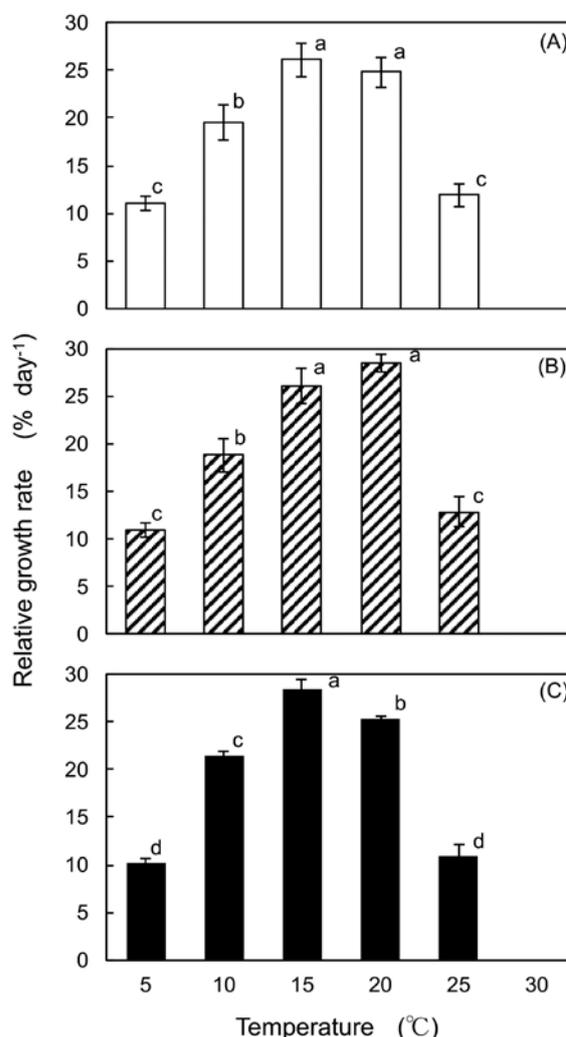
また、温度15℃および20℃での培養実験では、培養15日目に各株の幼胞子体の葉状部の長さ (葉長) と最大となる幅 (葉幅) を測定し、葉幅/葉長を求めた。

なお、NN, NTおよびTTにおける各温度区間の相対生長率および3株間の葉幅/葉長の統計解析については、データ解析ソフト (カイエンス KyPlot 5.0) を用いてTukey法による多重比較検定を行った。

## 結果

### 3株の幼胞子体における生育適温と生育上限温度の範囲

NN, NTおよびTTの温度5～30℃の5℃間隔における培養15日間の相対生長率をFig. 1に示す。3株の幼胞子体とも25℃まで生長が認められたが、30℃ではNNとNTは培養3日目までに、TTは5日目までに全ての個体が白化して枯死した。NNの相対生長率は、15℃が $26.2 \pm 1.7$  (平均 $\pm$ 標準



**Fig. 1** Relative growth rates of Naruto cultivar (NN), Tsubaki natural strain (TT) and NN  $\times$  TT crossbreeding strain (NT) of *Undaria pinnatifida* at 5 °C interval from 5 °C to 30 °C for 15 days. The culture experiments were carried out under a light intensity of 100  $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$  in 11 L: 13 D. A: young sporophytes of NN, B: young sporophytes of NT, C: young sporophytes of TT. Each value is the mean of five samples (mean  $\pm$  SD). Different letters on bars represent significantly differences among temperatures by Tukey's multiple comparison test ( $p < 0.05$ ).

偏差,  $n = 5$ , 以下同様) % day<sup>-1</sup>, 20°Cが $24.8 \pm 1.5$  % day<sup>-1</sup>で高い値を示した (Fig. 1A)。次いで10°Cが $19.6 \pm 1.8$  % day<sup>-1</sup>, 25°Cが $11.9 \pm 1.2$  % day<sup>-1</sup>, 5°Cが $11.0 \pm 0.8$  % day<sup>-1</sup>であった。相対生長率は, 15°Cおよび20°Cとその他の温度との間で有意な差が認められた ( $p < 0.05$ )。NTの相対生長率は, 20°Cが $28.5 \pm 0.9$  % day<sup>-1</sup>, 15°Cが $26.0 \pm 1.8$  % day<sup>-1</sup>で高い値を示した (Fig. 1B)。次いで10°Cが $18.8 \pm 1.8$  % day<sup>-1</sup>, 25°Cが $12.9 \pm 1.6$  % day<sup>-1</sup>, 5°Cが $10.9 \pm 0.8$  % day<sup>-1</sup>であった。相対生長率は, 15°Cおよび20°Cとその他の温度との間で有意な差が認められた。TTの相対生長率は, 15°Cが $28.4 \pm 1.1$  % day<sup>-1</sup>と高く, 次いで20°Cが $25.3 \pm 0.3$  % day<sup>-1</sup>, 10°Cが $21.4 \pm 0.4$  % day<sup>-1</sup>, 25°Cが $10.9 \pm 1.3$  % day<sup>-1</sup>および5°Cが $10.2 \pm 0.5$  % day<sup>-1</sup>の順であった (Fig. 1C)。相対生長率は,

**Table 1** Rates of blade width to blade length of Naruto cultivar (NN), Tsubaki natural strain (TT) and NN × TT crossbreeding strain (NT) of *Undaria pinnatifida* at 15°C and 20°C under a light intensity of 100 μmol photons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> in 11 L: 13 D after 15 days in culture.

Seedling	W / L
NN	$0.50 \pm 0.07^b$ (n = 10)
NT	$0.52 \pm 0.06^b$ (n = 10)
TT	$0.60 \pm 0.05^a$ (n = 10)

W: blade width, L: blade length. Data are given as average values ± SD (n=10). Different superscript letters represent significant differences among strains by Tukey's multiple comparison test ( $p < 0.05$ ).

15°Cとその他の温度との間で有意な差が認められた。これらのことから, 幼胞子体の生育適温はNNとNTが15~20°Cの範囲, TTが15°Cであった。また, 3株の幼胞子体とも生育上限温度は25~30°Cの範囲であった。

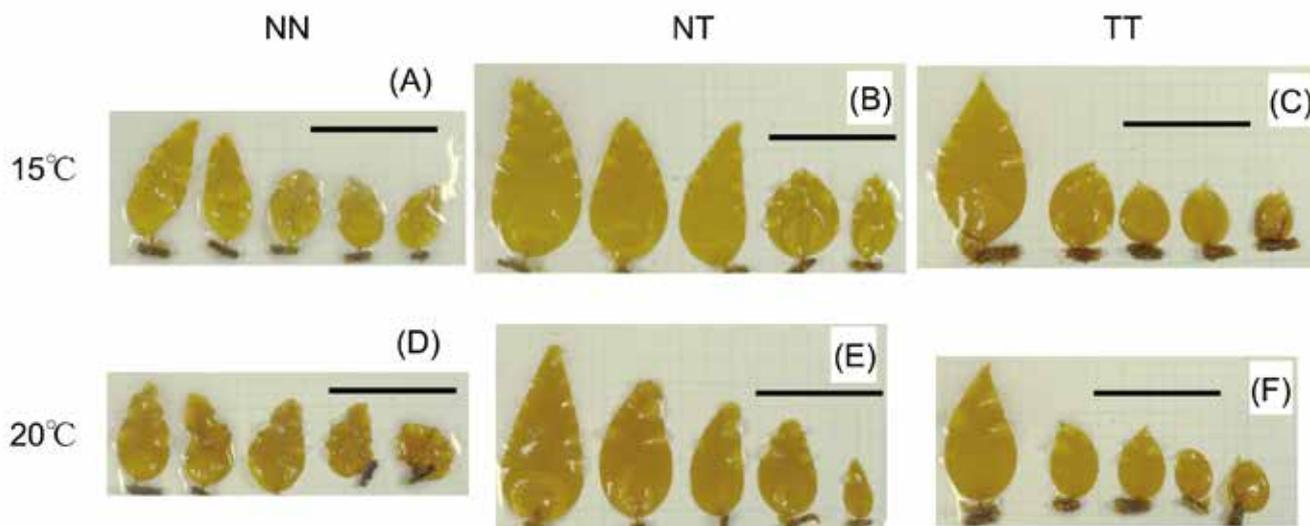
### 3株の幼胞子体の形態

温度15°Cおよび20°Cにおける培養15日目の3株の幼胞子体の葉幅/葉長をTable 1に示す。葉幅/葉長は, NNが $0.50 \pm 0.07$  ( $n = 10$ ), NTが $0.52 \pm 0.06$ およびTTが $0.60 \pm 0.05$ であった。葉幅/葉長は, NNおよびNTとTTとの間で有意な差が認められた。したがって, NNおよびNTはほぼ同様の形態を示し, TT (Fig. 2C, F) に比べてやや細長く伸長すると言える。

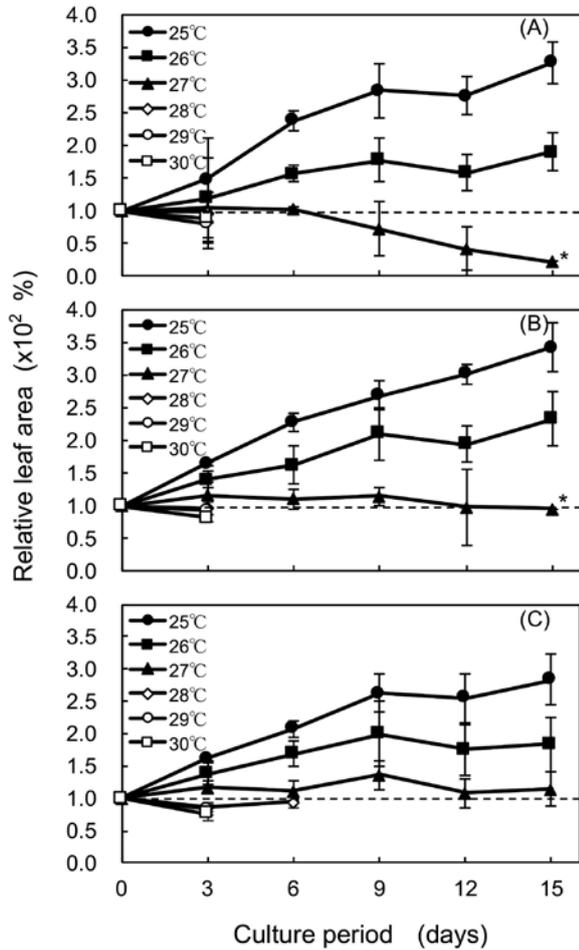
また, NNの葉状部は15°Cと比較して20°Cで縁辺の皺が目立っていた (Fig. 2A, D)。一方, NTとTTでは15°Cおよび20°Cともに縁辺部の皺がほとんどなく伸長した (Fig. 2B, C, E, F)。

### 3株の幼胞子体における生育上限温度

3株の幼胞子体の温度25~30°Cの1°C間隔における培養15日間の生長倍率の変化をFig. 3に示す。NNの生長倍率は, 25°Cおよび26°Cでは9日目まで順調に増加し, 12日目にわずかに減少したが, 15日目に再び増加し, それぞれ $327 \pm 32$  ( $n = 5$ ) %および $190 \pm 29$  %であった (Fig. 3A)。この2つの温度区でのNNの葉状部は皺が顕著でねじれた状態であった (Fig. 4A, D)。27°Cでは6日目まで生長倍率が



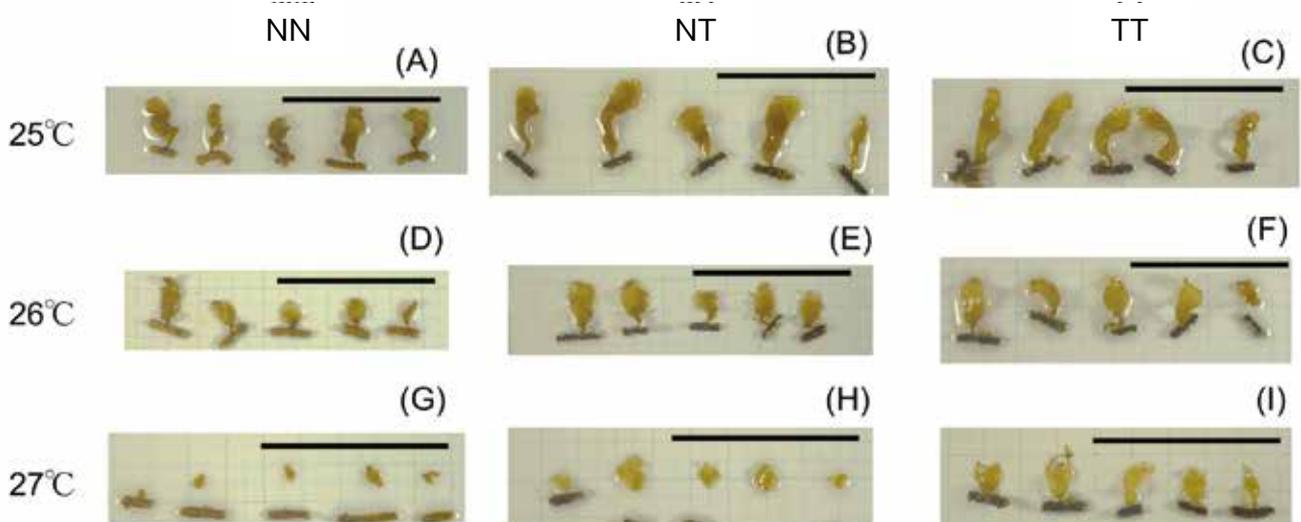
**Fig. 2** Photographs showing Naruto cultivar (NN), Tsubaki natural strain (TT) and NN × TT crossbreeding strain (NT) of *Undaria pinnatifida* at 15°C and 20°C after 15 days in culture. The culture experiments were carried out under a light intensity of 100 μmol photons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> in 11 L: 13 D. Scale bar = 5 cm.



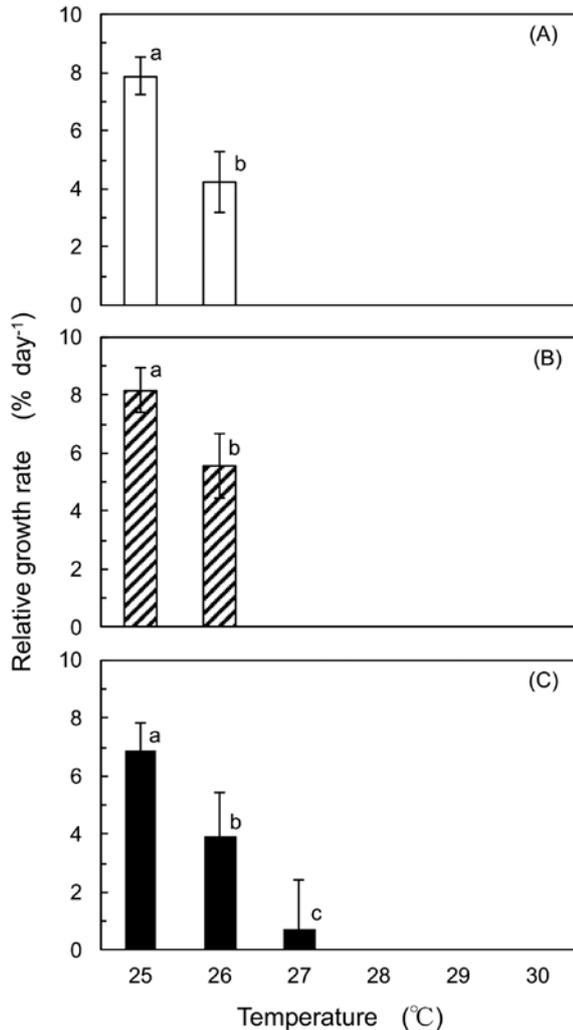
**Fig. 3** Changes in growth of Naruto cultivar (NN), Tsubaki natural strain (TT) and NN × TT crossbreeding strain (NT) of *Undaria pinnatifida* at 1°C interval from 25°C to 30°C for 15 days. The culture experiments were carried out under a light intensity of 100 μmol photons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> in 11L:13D. A: young sporophytes of NN, B: young sporophytes of NT, C: young sporophytes of TT. Each value is the mean of five samples (mean ± SD). An asterisk indicates n = 1.

103 ± 4 %とほとんど生長せず、その後、全ての個体で葉が崩壊し始めた。培養15日目には種糸上に茎と葉状部の一部が残った個体が1個体だけ認められた (Fig. 4G)。28~30°Cでは培養3日目までに葉状部が白化して枯死した。NTの生長倍率は、25°Cでは15日目まで順調に増加し342 ± 37%であった (Fig. 3B)。26°Cの生長倍率は、培養期間中に増減し15日目には233 ± 40%であった。NTの25°Cおよび26°Cでは葉状部に皺がみられ、ゆるく湾曲していた (Fig. 4B, E)。27°Cでは、生長倍率が9日目に114 ± 14%とわずかに生長したが、葉状部の縮れが目立ち12日目には生長倍率が99 ± 58%であった。その後、種糸から脱落する幼胞子体が認められ15日目には種糸上に1個体だけが生残した (Fig. 4H)。28~30°Cでは培養3日目までに葉状部が白化して枯死した。TTの生長倍率は、25°Cおよび26°Cで増減し、15日目にそれぞれ283 ± 40%および183 ± 42%であった (Fig. 3C)。この2温度区でのTTの葉状部はNTと同様に皺がみられ、ゆるく湾曲していた (Fig. 4C, F)。27°Cでは、培養期間中に生長倍率が増減して15日目に114 ± 26%とわずかな生長が認められた。また、葉状部は湾曲していたが、5個体とも種糸から脱落せずに生残した (Fig. 4I)。28°Cでは生長倍率が100%以下で、6日目に葉状部が白化して枯死した。29°Cおよび30°Cでは培養3日目までに葉状部が白化して枯死した。

3株の幼胞子体の温度25~30°Cの1°C間隔での培養15日間の相対生長率をFig. 5に示す。相対生長率は、5個体全て生残した温度区のものを出した。NNの相対生長率は、25°Cが7.9 ± 0.7 % day<sup>-1</sup>および26°Cが4.2 ± 1.0 % day<sup>-1</sup>であった (Fig. 5A)。相対生長率は25°Cと26°Cとの間で有意な差



**Fig. 4** Photographs showing Naruto cultivar (NN), Tsubaki natural strain (TT) and NN × TT crossbreeding strain (NT) of *Undaria pinnatifida* at 25°C, 26°C and 27°C after 15 days in culture. The culture experiments were carried out under 100 μmol photons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> in 11 L:13 D. Scale bar = 5 cm.



**Fig. 5** Relative growth rates of Naruto cultivar (NN), Tsubaki natural strain (TT) and NN × TT crossbreeding strain (NT) of *Undaria pinnatifida* at 1°C interval from 25°C to 30°C for 15 days. The culture experiments were carried out under a light intensity of 100 μmol photons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> in 11 L: 13 D. A: young sporophytes of NN, B: young sporophytes of NT, C: young sporophytes of TT. Each value is the mean of five samples (mean ± SD). Different letters on bars represent significant differences among temperatures by Tukey's multiple comparison test ( $p < 0.05$ ).

が認められた。NTの相対生長率は、25°Cが $8.2 \pm 0.8$  % day<sup>-1</sup>および26°Cが $5.6 \pm 1.1$  % day<sup>-1</sup>であった (Fig. 5B)。相対生長率は25°Cと26°Cとの間で有意な差が認められた。TTの相対生長率は、25°Cが $6.9 \pm 0.9$  % day<sup>-1</sup>、26°Cが $3.9 \pm 1.5$  % day<sup>-1</sup>であった (Fig. 5C)。また、27°Cでは相対生長率が $0.7 \pm 1.7$  % day<sup>-1</sup>であり、わずかに生長した。相対生長率は25~27°Cの間でそれぞれ有意な差が認められた。これらの

ことから、生育上限温度はNN およびNTが26°C、TTが27°Cであった。

## 考 察

本研究では、徳島県鳴門産ワカメ養殖品種NNと椿町産暖海性天然ワカメTTおよびそれらを交雑させたNTの幼胞子体を対象として詳細な温度条件下で培養実験を行い、生育適温、生育上限温度および形態を含めた高温下での生長特性を明らかにした。

温度5~30°Cの5°C間隔での培養実験において、相対生長率は、NNおよびNTでは15~20°C、TTでは15°Cで他の温度区より高い値を示したことから、3株の幼胞子体とも15~20°Cが生育適温の範囲にあると確認できた (Fig. 1)。他の地域での培養によるワカメ幼胞子体の生育適温については、新潟県産が15°C<sup>12)</sup> および三重県産が20°Cと報告されている<sup>13)</sup>。このように本研究で用いた徳島県産の3株の幼胞子体の生育適温は他の地域のそれとほぼ同じ範囲にあった。

温度15°Cおよび20°Cの生育適温範囲での3株の幼胞子体の形態については、葉長と葉幅を測定して葉幅/葉長を求めた (Table 1)。葉幅/葉長は、NNおよびNTがTTよりも低い値であった。すなわち、NNおよびNTの葉状部は、TTよりもやや細長い形態であると示唆された (Fig. 2)。鳴門産養殖ワカメ (NN) と鹿児島県産天然ワカメ (KK) を交雑させたワカメ (NK) の養殖試験において、生長したNKの形態は、雌性配偶体側の親、すなわちNNの影響を強く受けると示唆されている<sup>6)</sup>。本研究では、交雑させたNTの雌性配偶体側の親としてNNを用いていることから、幼胞子体からの初期の生長においても形態面では前述の報告と同様にNNの影響を受けていると考えられる。

徳島県でワカメ養殖が盛んな鳴門市沿岸の2006~2015年の海水温は、1970~1980年代と比較して、10月中旬~11月上旬の育苗期と2月~3月の収穫盛期に高い傾向がみられた<sup>5)</sup>。そこで、本研究では育苗が始まる23°Cより高温域での3株の幼胞子体の生長や形態について詳細な培養実験により検証した。温度5~30°Cの5°C間隔での実験結果から、25°Cでは3株の幼胞子体とも生長したが、30°Cでは培養3日目までに全て葉状部が白化して枯死したため、25~30°Cが生育上限温度の範囲であった (Fig. 1)。さらに、温度25~30°Cの1°C間隔での詳細な培養実験から、各温度区で幼胞子体が全て生残した場合の生育上限温度はNNおよびNTが26°C、

TTが27℃であると確認できた (Fig. 5)。ここで、NNとNTの27℃での生長の変化を詳しくみると、NNは培養6日目まで生長を維持したが、NTはそれより長い12日目まで生長を維持した (Fig. 3)。20℃以上の高温による形態や生残への影響については、NNは20℃で葉状部の縁辺部に皺が認められ (Fig. 3A)、25℃以上ではNTおよびTTよりも縮れが顕著であった (Fig. 4)。このように、生育上限温度だけをみるとNNとNTとの間には違いが認められないが、生残や形態面からはNNの方が高水温の影響を受けやすく、NTの方が高水温に適した種苗であると推察される。NTの実海域での養殖試験では、水温の高い養殖期間初期ほど生長が良好で、12月中旬にはNNと比べて葉長が1.9倍、葉重が3.1倍であると報告されている<sup>5)</sup>。また、前述したNNと鹿児島県産天然ワカメKKの交雑ワカメNKの養殖試験においては、生長したNKの生長は、雄性配偶体側の親、すなわちKKの影響を強く受けると示唆されている<sup>6)</sup>。したがって、本研究での幼孢子体においても交雑ワカメNTの高温下での生長や生残は、徳島県南部に位置する椿町産の暖海性ワカメTTの影響を受けていると考えられる。

培養によるワカメ幼孢子体の生育上限温度については、新潟県産が26℃と報告され<sup>12)</sup>、本研究で用いた鳴門産養殖品種NNおよび交雑ワカメNTと同じ値であった。また、三重県産では27℃と報告され<sup>13)</sup>、本研究で用いた暖海性天然ワカメTTと同じ値であった。なお、培養期間は三重県産では8日間であり、本研究において27℃で培養12日目まで生残したNTおよび培養15日目まで生長したTTは、三重県産と同等以上の高温耐性を有すると推察される。さらに、徳島県鳴門産の養殖ワカメの幼孢子体は27℃で12日間生長することが報告されている<sup>14)</sup>。このようにワカメ幼孢子体の生育上限温度は、生育地の違いだけでなく、光量、日長、培養期間や培養液などの培養条件が異なるにもかかわらず、26~27℃であることが示唆された。

フリー配偶体を用いたワカメの高温耐性株の現場での養殖試験は徳島県や兵庫県で行われている<sup>48, 15)</sup>。本研究で用いた交雑ワカメNTでは既に養殖試験が行われ、葉長と葉重がともに従来の養殖ワカメNNを上回り、水温の高い養殖期間の初期ほど良好な生長と品質を示すと報告されている<sup>5)</sup>。特に、徳島県南部の太平洋に面し、水温が鳴門市沖よりも4℃前後高い美波町由岐地先では、NTの良好な生長が養殖試験で確認できている<sup>8)</sup>。これらは、本研究の培養実験により明らかにした交雑ワカメNTにおいて高温下でも生残や形態が維持され、15~20℃での高い生長性に起

因すると推察される。

以上のように、徳島県鳴門産ワカメ養殖品種NNと暖海性天然ワカメTTとを交雑させたNTの幼孢子体は、育苗期に海水温23℃からの低下が遅かったり、一時的に超えたりするなどの不安定な温度環境下においても安定して生長する株であることが確認できた。また、既報<sup>5)</sup>で示唆されているように交雑させたNTは、形態面では雌側のNN、生長面では雄側のTTの形質を引き継いでいることが幼孢子体においても確認することができた。今後は、高温耐性だけでなくその他の環境変化に適応できる新たな品種を作成するためには、詳細な培養実験とともに、交雑により雌雄の親が持つ優良形質の遺伝メカニズムなどを解析する必要がある。

## 謝 辞

本研究に協力いただいた平成29年度および平成30年度の水産大学校生物生産学科藻場生態系保全研究室の学生諸氏に感謝申し上げます。本研究は農研機構生研支援センター「イノベーション創出強化研究推進事業」の支援を受けて行った。関係者各位に謝意を表する。

## 文 献

- 1) 水産庁:海面漁業生産統計調査, 確報, 平成30年漁業・養殖業生産統計. [http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kaimen\\_gyosei/](http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kaimen_gyosei/) (閲覧日2020年11月17日) (2020)
- 2) 佐藤純一:改訂3版わかめ入門, 日本食糧新聞社, 東京 (2015)
- 3) 遠藤光, 高橋大介, 佐藤陽一, 奥村裕, 永田俊, 吾妻行雄:ワカメ養殖業では問題が山積み~原因解明と対策技術開発に関する研究. 日水誌, **82**, 152 (2016)
- 4) 團昭紀, 大野正夫, 松岡正義:徳島県のワカメとコンブ資源の開発研究の変遷(総説). 徳島水研報, 第10号, 25-48 (2015)
- 5) 棚田教生:フリー配偶体を用いたワカメの実用規模種苗生産法および高水温耐性品種の開発. 海洋と生物, **38**, 464-471 (2016)
- 6) 棚田教生, 團昭紀, 加藤慎治, 岡直宏, 浜野龍夫:鹿児島県産天然ワカメと鳴門産養殖品種の雌雄フリー配偶体正逆交雑による品種改良の効果. *Algal*

- Resources*, **8**, 103-112 (2015)
- 7) 棚田教生, 團昭紀, 日下啓作, 岡直宏, 浜野龍夫: 1 遊走子起源のフリー配偶体を用いたワカメの大規模種苗生産法および養殖への実用化の実証. *Algal Resources*, **8**, 23-36 (2015)
  - 8) 棚田教生, 岡直宏, 浜野龍夫: 徳島県太平洋沿岸由岐地先に適したワカメ養殖種苗の検討. 徳島水研報, 第11号, 25-30 (2017)
  - 9) 徳島県水産試験場: 新しいワカメの種苗生産マニュアル-フリー配偶体を使った種苗生産-. 徳島県水産試験場, 1-42 (2000)
  - 10) Tatewaki M: Formation of a crustaceous sporophyte with unilocular sporangia in *Scytosiphon lomentaria*. *Phycologia*, **6**, 62-66 (1966)
  - 11) 村瀬昇: 水温-高水温の影響の現れ方, 磯焼け対策シリーズ③藻場を見守り育てる知恵と技術. 藤田大介, 村瀬昇, 桑原久実 (編著), 成山堂書店, 東京, 33-38 (2010)
  - 12) 馬場将輔: 新潟県産ワカメの生長に及ぼす温度, 光量, 塩分の影響. 海生研報, 第11号, 7-15 (2008)
  - 13) Morita T, Kurashima A, Maegawa M: Temperature requirements for the growth of young sporophytes of *Undaria pinnaftifida* and *Undaria undarioides* (Laminariales, Phaeophyceae). *Phycological Research*, **51**, 266-270 (2003)
  - 14) Gao X, Endo H, Taniguchi K, Agatsuma Y: Combined effects of seawater temperature and nutrient condition on growth and survival of juvenile sporophytes of the kelp *Undaria pinnatifida* (Laminariales; Phaeophyta) cultivated in northern Honshu, Japan. *Journal of Applied Phycology*, **25**, 269-275 (2013)
  - 15) Niwa K, Kobiyama A: Development of a new cultivar with high yield and high-temperature tolerance by crossbreeding of *Undaria pinnatifida* (Laminariales, Phaeophyta). *Aquaculture*, **506**, 30-34 (2019)