

(14) トラウトサーモン共同研究事業

田中直幸・中嶋 登・谷保 文野

1 目的

福井県内では平成 27 年から大規模なトラウトサーモンの海面養殖が行われている。トラウトサーモンはニジマス *Oncorhynchus mykiss* を海面養殖した魚の別名である。福井県産のトラウトサーモンは「ふくいサーモン」と名付けて販売されており、海面生産量の目標を 400 トンに設定し、日本一の産地を目指している。また、ふくいサーモンの生産技術体系を確立するため、平成 28～30 年度に福井中央魚市株式会社、(国研) 水産研究・教育機構 日本海区水産研究所、福井県立大学および福井県水産試験場等が連携して「国際的養殖拠点の構築を目指した海面養殖トラウト一貫生産技術体系の確立」の共同研究を実施した(以下、「前事業」という)。

ふくいサーモンの養殖用種苗は内水面の養魚場で約 1 年かけて生産されるが、海面で養殖できる期間は冬から春の約 6 ヶ月間に限られる。ふくいサーモンの養殖において、淡水飼育から海水飼育に移行する海水馴致が最大の技術的課題となっている。海水馴致時のストレスは、その後の成長や生残に影響を与え生産量を大きく左右する。この課題を解決するため、福井中央魚市株式会社、国立大学法人東京大学、学校法人東洋大学、福井県立大学および福井県水産試験場等が連携して、(国研) 農業・食品産業技術総合研究機構生物系特定産業技術研究支援センター「イノベーション創出強化研究推進事業(開発研究ステージ)」「サケマス類の日本式海面養殖技術の研究開発」共同研究を令和 2 年度から実施している。当該共同研究では、課題①「海水馴致時のストレスマーカーの確立」、課題②「海面養殖の効率性に影響を与えるストレス要因の探索」、課題③「ストレス軽減につながる育成・馴致技術の開発」、の 3 課題に取り組み、ふくいサーモンの養殖の安定化と生産量の増大を目指している。本報告は、この共同研究において福井県水産試験場が担当した、課題②の内「海水馴致条件毎の摂餌行動の評価」、課題③の内「中間育成時の電照コントロールによる育成手法の検討」の結果の概要について記載した。

2 方法

1) 中間育成時の電照コントロールによる育成手法の検討

(1) 試験魚

試験には、大野市宝慶寺の養魚場(35° 54' N 136° 27' E)(以下、「宝慶寺養魚場」という。)でふ化した 0 歳魚のニジマス(Riverence 社産スチールヘッド)を使用した。海水経験区の試験魚は、稚魚期に 24 時間の 80%海水飼育を経験したニジマスを使用した。試験開始時(6 月 14 日)における試験魚の魚体重は、電照試験 6 区が 28.6 ± 7.9 g(平均値±標準偏差)(n=60)、海水経験 3 区が 17.6 ± 5.6 g(平均値±標準偏差)(n=61)であった。

(2) 飼育試験

試験には、前事業および昨年度と同様に宝慶寺養魚場の容量約 10 トンのコンクリート水槽 9 面(以下、「試験水槽」という。)を使用した¹⁾⁵⁾。宝慶寺養魚場では、養魚場に隣接する河川の水を飼育水として使用しており、本試験でもこの河川水を飼育水として用いた。

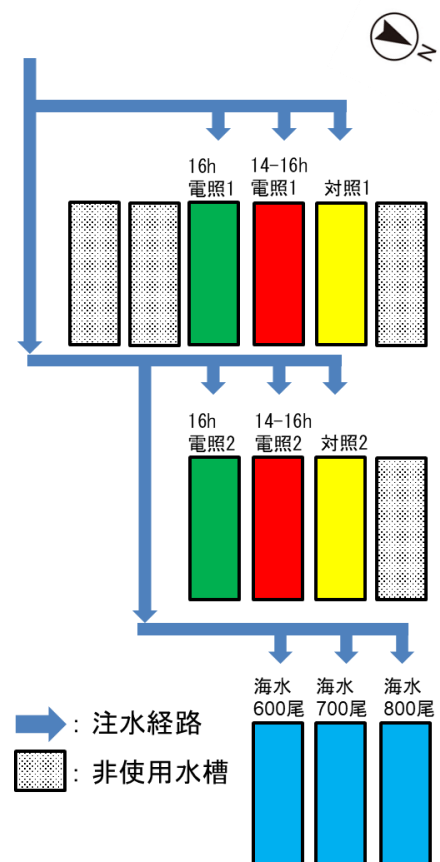


図1 試験水槽の配置

令和3年6月14日に各試験水槽に試験魚を収容して飼育を開始した。試験区は、16h 電照区を2面、14→16h 区（初め14h 時間電照とした後、試験終了1ヵ月前より16h 電照となるよう設定）を2面、自然日長の対照区を2面、海水経験区を3面（本水槽の最適な収容密度を検討するため600尾、700尾、800尾に設定）と設定した（図1）。電照区のLED 電照設備は、隣的水槽に光が漏れないよう架台下に設置することに変更した（図2）。電照区では、夏至の6月21日の夕方から電照設備を稼働させ、日没後の午後8時頃に照度を確認した。飼育餌料には、鱒パフクリーン（フィード・ワン(株)）を試験魚の大きさに合わせて用いた。試験魚への給餌には、前事業と同様に自動給餌器（PFX-60LS-SM, 福伸電機製）を使用し、給餌量は水槽底面に残餌が発生しないように配慮しながらライトリッツの給餌率の0.8から1.2倍量を目安とした。試験期間中に魚体重を可能な限り大きくするため、試験魚の様子を見ながら給餌量を1から2回/週の頻度で調整し、可能な限り多くの餌を与えられるように考慮した。電照区では、夜間の電照中にも給餌し、16h 電照区では2回、14・16h 電照区では1回給餌回数を増やし、可能な限り多くの餌を与えられるように考慮した。自動給餌器に投入した餌料の重量は試験水槽ごとに記録した。全ての試験水槽に自動式水温記録計（HOBO Pendant Temp/Light 64k data logger）を設置し、水温を30分毎に記録した。飼育試験は11月29日まで実施した。飼育試験期間中に確認された斃死魚の尾数と重量を試験水槽ごとに記録した。飼育試験後、12月2日に試験魚の一部を水産試験場へ移送して「海水馴致条件毎の摂餌行動の評価」の馴致試験を行った



図2 LED 電照器、自動給餌器の設置状況

（3）試験魚の測定、生残率およびFCR（増肉計数）

6月14日に121尾（電照試験魚60尾、海水経験魚61尾）、7月27日、8月23日、9月29日、10月26日および11月29日に各試験水槽から50尾以上の試験魚を無作為に採捕し、FA100（DS ファーマアニマルヘルス株式会社）を用いて麻酔処理を施した後、魚体重および体長（被鱗体長）の測定を行った。

7月27日、9月29日、および11月29日の試験終了時には、各試験水槽内の生残魚を計数した。さらに、試験終了時の生残率とFCR（Feed Conversion Ratio）を試験水槽ごとに算出した。FCRは下記の式により算出した。

$$\text{FCR} = (\text{総給餌量}) / (\text{生残魚の総重量} + \text{斃死魚総重量} - \text{尾数再設定時の総重量})$$

2）海水馴致条件毎の摂餌行動の評価

（1）宝慶寺養魚場の飼育試験魚を用いた飼育条件別の馴致試験

宝慶寺養魚場の飼育試験で用いたニジマスをも12月2日に水産試験場へ移送して、ラボスケールでの海水馴致と海水馴致後継続飼育試験（以下、「継続飼育試験」という。）を行った。

試験区は、16h 電照区、14・16h 電照区、対照区、海水経験区の4区を設定し、供使魚は中間育成試験の16h 電照区2、14・16h 電照区2、対照区2、海水経験600尾区の試験魚を用いた。馴致には、第1飼育棟の5t 角形コンクリート水槽4面を使用し、試験区別に各70尾程度を収容して生残・摂餌の試験を行った。

また、1t パンライト水槽に試験区別に各30尾程度を収容して、12月2日、12月3日、12月7日および12月12日に「海水馴致時のストレスマーカーの確立」で解析するための解剖・サンプリングを行った。

馴致は、最初は淡水に収容し、6時間程度で1/3 海水になるよう、水温、塩分および溶存酸素を随時測定しながら淡水と海水の注水量を調整して行った。

12月7日に試験魚を全尾測定し、各試験区50尾に尾数調整し、継続飼育試験を開始したが、翌12月8日に16h 電照区で6尾斃死したので、16h 電照区は44尾で試験開始とした。

試験中は2回／日の頻度で自動給餌機を用いて残餌が発生しないように配慮しながら給餌した。斃死魚はその都度取り上げ体長（被鱗体長）と体重を測定した。

試験期間中は水槽上に蛍光灯を設置し、自然日長に合わせて昼間は照明を施した。

令和4年1月13日、2月17日および3月17日に全個体の体長（被鱗体長）および体重を測定し、3月17日に試験を終了した。

3 結果および考察

1) 中間育成時の電照コントロールによる育成手法の検討

(1) 中間育成試験飼育結果

表1 中間育成試験 各試験水槽の飼育結果

	16h電照区		14-16h電照区 (長日条件)		対照区 (自然日長)		海水経験区(密度試験)		
	1	2	1	2	1	2	600尾区	700尾区	800尾区
試験期間	令和3年6月14日～11月29日								
試験期間中水温	6.0℃(11月29日)～20.6℃(8月5日)								
試験開始尾数(尾)	600						700	800	
試験開始平均体重(g)	28.6						17.6		
サンプリング数(尾)	0	11	5	6	5	11	0	16	10
試験期間中斃死数(尾)	31	19	25	25	14	35	30	28	17
試験終了時生残数(尾)	577	520	568	639	415	542	579	699	743
試験終了時生残率(%)	96.2	88.3	95.5	107.6	69.7	92.0	96.5	102.2	94.1
不明魚数(尾)	-8	50	2	-70	166	12	-9	-43	30
試験終了時平均体重(g)	710.6	768.8	654.4	714.4	733.6	695.7	662.4	674.7	629.6
日間増重量(g/day)	4.06	4.41	3.73	4.08	4.20	3.97	3.84	3.91	3.64
飼育期間中体重増加率	24.8	26.9	22.9	25.0	25.7	24.3	37.6	38.3	35.8
生残魚総重量(kg)	410.0	399.8	371.7	456.5	304.4	377.1	383.5	471.6	467.8
総給餌量(kg)	501.2	468.8	426.8	487.8	327.8	372.8	392	429.3	429.8
増肉計数(FCR)	1.28	1.23	1.20	1.11	1.14	1.04	1.05	0.93	0.95

各試験水槽の飼育結果を表1に示した。

試験期間中の水温は、6.0℃から20.6℃の間で変動し、最高水温は令和3年8月5日の14:30に記録し、最低水温は、11月29日の3:30に記録した。

試験開始日の尾数から解剖尾数、斃死尾数および生残尾数を除いた尾数を不明尾数とした。生残率は69.7～100%であった。

試験終了時の平均体重は、16h電照区で710.6g、768.8g、14-16h電照区で654.4g、714.4g、対照区で733.6g、695.7gであった。飼育期間中体重増加率は、16h電照区で24.8、26.9、14-16h電照区で22.9、25.0、対照区で25.7、24.3gであった。同じ試験区間でも結果にばらつきが出た。

各水槽に与えた総給餌量は、16h電照区では501.2kg、468.8kg、14-16h電照区では426.8kg、487.8kg、対照区では327.8kg、372.8kgであった。FCRは16h電照区で1.28、1.23、14-16h電照区で1.20、1.11、対照区で1.14、1.04であり、16h電照区、14-16h電照区、対照区の順で高い傾向であった。

対照区2と比較して、16h電照区では1.34倍、1.26倍、14-16h電照区では1.14倍、1.31倍多く給餌することができたが、給餌量の分だけ平均体重の増加に反映させることができず、FCRを引き上げる（餌料効率を低下させる）結果となった。飼育期間全体のFCRは全試験区ともに1.04～1.28の範囲にあり、平成30年度のFCR（1.010～1.201）、令和元年度のFCR（1.056～1.181）、令和3年度のFCR（1.195～1.302）と類似した結果となった。

海水経験区は試験開始時の魚体が電照試験区より小さかったため、各区とも試験終了時の平均体重は、600尾

区で 662.4g、700 尾区で 674.7g、800 尾区で 629.6g と電照試験区を下回った（14-16h 電照区 1 を除く）。しかし、飼育期間中体重増加率は、600 尾区で 37.6 倍、700 尾区で 38.3 倍、800 尾区で 35.8 倍と電照試験 3 区を上回った。また、海水経験区の収容密度別の成長は 700 尾区が最も良く、800 尾区では成長が落ちることから、淡水飼育期間での種苗の大型化を図る際の最適な収容密度は昨年度同様 600 尾から 700 尾と考えられた。

体重、体長の測定の結果から得られた各試験区の平均体重と平均体長を表 2、3 に示した。また、そのグラフを図 3、4 として示した。電照区 2 区は 2 水槽のデーターを用いたが、対照区 1 は試験初期に個体数が大きく減耗し、想定より多い給餌量となったため、対照区 2 のみのデーターを使用し、海水経験区は飼育密度が同じ 600 尾区のデーターを使用した。

表 2 各試験区の平均体長 (mm)

測定日	16h電照区	14-16h電照区	対照区 (自然日長)	海水経験区
6/14	115	115	115	169
7/27	176	175	181	169
8/23	209	212	213	195
9/29	269	262	258	259
10/26	286	288	290	285
11/29	321	317	315	313

表 3 各試験区の平均体重 (g)

測定日	16h電照区	14-16h電照区	対照区 (自然日長)	海水経験区
6/14	29	29	29	90
7/27	109	105	109	90
8/23	194	192	184	146
9/29	416	370	348	336
10/26	530	505	502	467
11/29	740	683	696	656

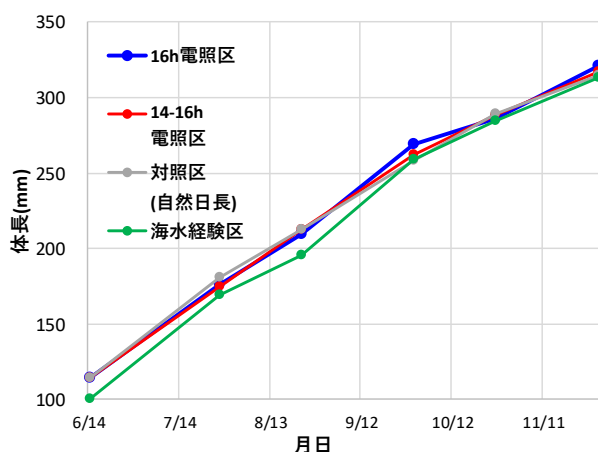


図 3 各試験区の平均体長の推移

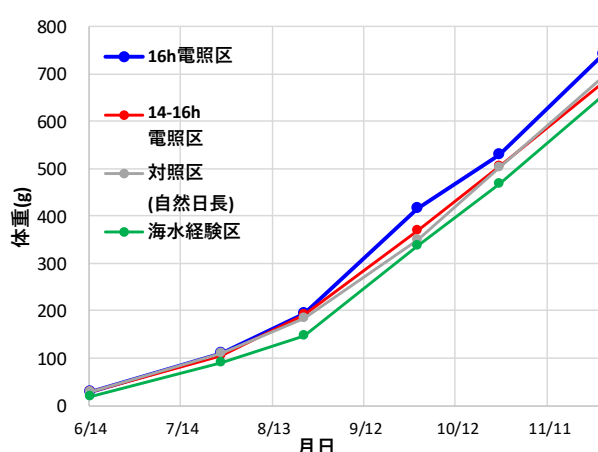


図 4 各試験区の平均体重の推移

体長は各試験区とも同様に増加していった。体重は 7 月から 8 月にかけて増加がやや鈍化したが、それ以外の時期は順調に増加した。本年度は 8 月上旬に長雨が続き、飼育水が濁り、計 10 日間給餌できなかったため、平均体重の増加が鈍化したと考えられた。

試験終了時の平均体重において、16h 電照区と 14-16h 電照区、16h 電照区と海水経験区、対照区と海水経験区で有意差があった。14-16h 電照区では 14-16h 電照区 1 の成長が悪かったため、結果的に対照区より平均体重が下回った。海水経験区は試験開始時の平均体重が電照試験 3 区より小さかったため、飼育期間中体重増加率が電照試験 3 区を上回ったが、平均体重は最も小さかった。

本年度の試験において、16h 電照区が最も成長した結果を得られたが、給餌量を増やした分の体重増加は見られず、電照による成長促進の効果は限定的であった。電照により飼育水温が低下した夜間に給餌器を使って餌を与えられる利点は大きい、経済的に見合う成長かどうかの検証を今後行う必要がある。次年度以降、コスト（電照に伴う電気代、飼料代等）を算出し、海水馴致後の飼育結果（生残率と成長）と合わせて採算性の検討を行う必要がある。

本年度も昨年度までと同様に試験魚で生殖腺の発達は確認されなかった。今年度は昨年度までの Troutlodge

社産ではなく、Riverence 社産の種苗であったが、従来までの試験同様、1 年間の淡水飼育では、成熟による成長の鈍化を考慮する必要はないと考えられた。

2) 海水馴致条件毎の摂餌行動の評価

(1) 海水馴致後継続飼育試験結果

表 4 海水馴致後継続飼育 各試験水槽の飼育結果

	16 h 電照区	14-16 h 電照区	対照区 (自然日長)	海水経験区
試験期間	令和3年12月7日～令和4年3月17日 (100日)			
試験期間中水温	8.6℃ (2月25日) ～ 16.7℃ (12月8日)			
試験開始尾数 (尾)	44	50	50	50
試験期間中斃死数 (尾)	7	0	2	3
試験終了時生残数 (尾)	37	50	48	47
試験終了時生残率 (%)	84.1	100.0	96.0	94.0
試験開始平均体重 (g)	810.0	729.2	655.1	649.2
試験終了時平均体重 (g)	2106.8	2105.3	2021.7	1859.2
日間増重量 (g/day)	13.0	13.8	13.7	12.1
飼育期間中体重増加率	2.60	2.89	3.09	2.86
生残魚総重量 (kg)	78.0	105.3	97.0	87.4
総給餌量 (kg)	65.5	85.0	81.6	72.8
増肉計数 (FCR)	1.55	1.24	1.27	1.33

継続飼育試験の各飼育水槽の飼育結果を表 4 に示した。

試験期間中の水温は、8.6℃から 16.7℃の間で変動し、最高水温は令和 3 年 12 月 8 日に記録し、最低水温は令和 4 年 2 月 25 日に記録した。

試験期間中の生残率は、16h 電照区で 84.1%、14-16h 電照区で 100%、対照区で 96%、海水経験区で 94%と、全般的に高い生残率であったが、16h 電照区で最も低かった。

試験終了時の平均体重は、16h 電照区で 2,106g、14-16h 電照区で 2,105.3g、対照区で 2,021.7g、海水経験区で 1,859.2g と、16h 電照区が最も大きく、海水経験区が最も小さかった。飼育期間中の体重増加率は、16h 電照区で 2.6 倍、14-16h 電照区で 2.89 倍、対照区で 3.09 倍、海水経験区で 2.86 倍となり、対照区が最も増重し、次に 14-16h 電照区、海水経験区、16h 電照区の順となった。

今年度の各試験区の成長を全体として評価するため、16h 電照区 2、14-16h 電照区 2、対照区 2、海水経験 600 尾区の間育成試験、継続飼育試験中の平均体重の推移を図 5 に示した。

中間育成試験終了時の平均体重は、16h 電照区 2 で 768.8g、14-16h 電照区 2

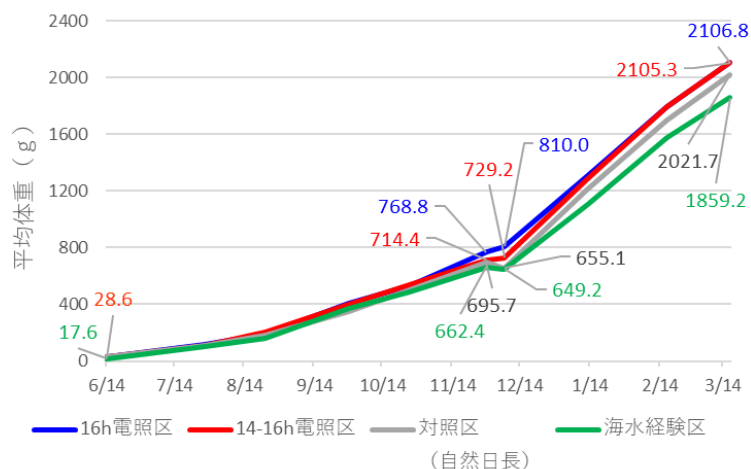


図 5 16h 電照区 2、14-16h 電照区 2、対照区 2、海水経験 600 尾区の平均体重の推移

で 714.4g、対照区 2 で 695.7g、海水経験

600 尾区で 662.4g と、16h 電照区 2 は対照区 2、海水経験 600 尾区より有意に大きかった。

海水馴致を行うにあたり、各試験区とも極端に小型の個体を省いたため、継続飼育試験開始時の各試験区の平均体重は、16h 電照区 2 で 810.0g、14-16h 電照区 2 で 729.2g、対照区 2 で 655.1g、海水経験 600 尾区で 649.2g となり、16h 電照区 2 は全ての区に対して有意に大きく、14-16h 電照区 2 も対照区 2、海水経験 600 尾区より有意に大きかった。

継続飼育試験終了時の平均体重は、16h 電照区 2 で 2,106.8g、14-16h 電照区 2 で 2,105.3g、対照区 2 で 2,021.7g、海水経験 600 尾区で 1,859.2g となり、海水経験 600 尾区は全ての区に対して有意に小さかった。それ以外の区では有意差はなかった。

14-16h 電照区 2 は、中間育成試験では 16h 電照区 2 に次いで成長が良く、継続飼育試験でも対照区に次いで成長が良かった。そのため、継続飼育開始時には 16h 電照区 2 とは有意に平均体重が小さかったが、継続飼育試験終了時には 16h 電照区 2 とほとんど変わらない平均体重となっており、この電照条件が中間育成時の高成長と海水馴致能が両立する電照条件である可能性が示唆された。

16h 電照区 2 は、中間育成試験では最も成長が良かったが、継続飼育試験では逆に最も成長が良くなかった。しかし、継続飼育試験終了時の平均体重はもっとも大きい結果となった。このことは、淡水飼育の中間育成時に可能な限り大きくすれば、海水馴致後の成長が多少悪くても、結果的に大型の出荷魚を作れる可能性が示唆された。

(2) 海水馴致時の生残率と摂餌率

昨年度の海水馴致試験との比較をするため、馴致後 15 日間の生残率と平均の摂餌率（体重当たりの給餌量の比率）を図 6 に示した。

また、昨年度の海水馴致試験の生残率と平均の摂餌率を図 7 に示した。

本年度の海水馴致後 15 日間の生残率は、16h 電照区で 93.2%、14-16h 電照区で 100%、対照区で 98%、海水経験区で 96%であり、14-16h 電照区が最も高く、16h 電照区が最も低かった。また、昨年度の生残率（57.5～92.7%）より、各区とも高かった。

馴致後 15 日間の平均の摂餌率は、16h 電照区で 1.34%、14-16h 電照区で 1.63%、対照区で 1.67%、海水経験区で 1.68%であり、海水経験区が最も高く、16h 電照区が最も低かった。昨年度の平均摂餌率（0.07～0.23%）より、各区とも大幅に向上した。

本年度は、海水馴致時の生残率と平均摂餌率が昨年度の試験より大きく向上しているが、原因の一つとして、馴致時の収容密度を下げたこと（R2：40 尾／トン→R3：14 尾／トン）が考えられた。ニジマスの海水馴致において、輸送する種苗の取り揚げ、ハンドリング、畜養等の方法に充分注意を払えば、海水での馴致・飼育後の致死率を低く抑えることが可能と報告されており⁶⁾、今回の結果はこのことを裏付ける結果となった。

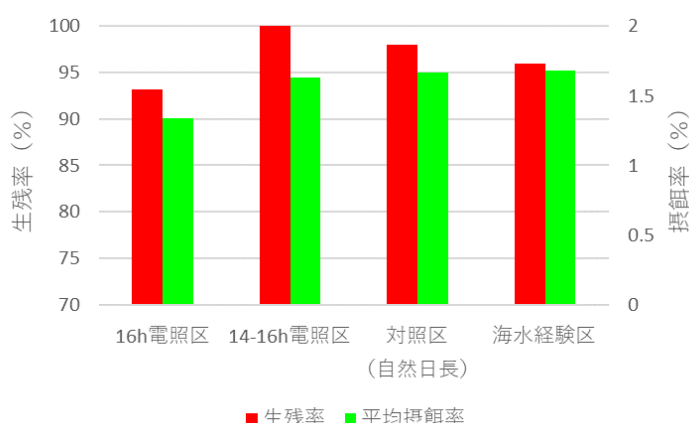


図 6 令和 3 年度 海水馴致後 15 日間の生残率と平均摂餌率

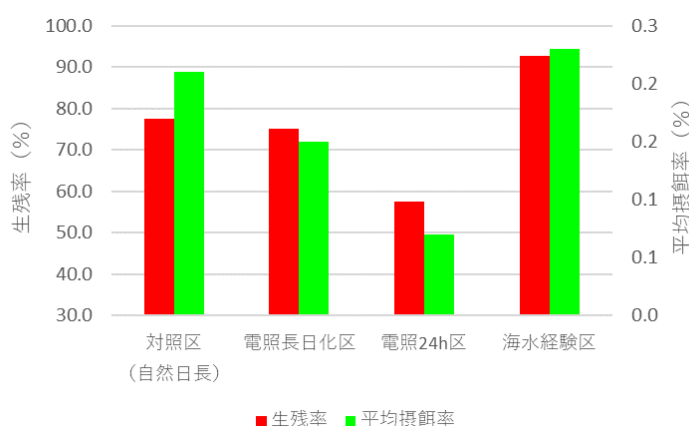


図 7 令和 2 年度 海水馴致試験の生残率と平均摂餌率

4 文献

- 1) 仲野 大地・若山 賀将・藤野 数恵 (2017): トラウトサーモン共同研究事業. 平成 28 年度福井県水産試験場事業報告: 163-166
- 2) 仲野 大地・森山 充・若山 賀将 (2018): トラウトサーモン共同研究事業 ア 淡水飼育時の電照・飼料条件の最適化. 平成 29 年度福井県水産試験場事業報告: 140-144
- 3) 仲野 大地・中嶋 登・水嶋 亨 (2019): トラウトサーモン共同研究事業 ア 淡水飼育時の電照・飼料条件の最適化. 平成 30 年度福井県水産試験場事業報告: 173-176
- 4) 家接 直人・仲野 大地・中嶋 登 (2020): ふくいサーモン養殖安定化技術開発. 令和元年度福井県水産試験場事業報告: 151-156
- 5) 家接 直人・中嶋 登・谷保 文野 (2021): トラウトサーモン共同研究事業. 令和 2 年度福井県水産試験場事業報告: 181-187
- 6) 家接 直人・中嶋 登・谷保 文野 (2021): ふくいサーモン養殖安定化技術開発. 令和 2 年度福井県水産試験場事業報告: 160-164