

## 麻酔剤を用いた大型ニジマス種苗の高密度輸送の検討

松山 創<sup>\*1</sup>・鈴木邦弘<sup>\*2</sup>

大型ブランドニジマスの生産分業化のため、麻酔剤FA100を用いて、全雌三倍体大型ニジマス種苗の高密度輸送試験を実施した。適正な麻酔濃度は、短時間に鎮静状態にするには200ppm、120分間麻酔溶液に収容するには100～120ppmと考えられた。通常の2倍にあたる水槽容積の40%重量のニジマスを120分間収容したところ、麻酔剤を用いない場合は収容直後に酸素飽和度が60%を下回り、120分後にはアンモニア濃度が5mg/Lを超え酸素欠乏によるへい死が見られた。一方、200ppmの麻酔溶液で麻酔状態にした後100ppmの麻酔溶液を満たした水槽に収容したところ、溶存酸素量は低下せず、へい死も見られなかった。さらに、麻酔剤を用いて水槽容積の65%の重量の魚を収容したところ、収容中に異変は見られず、収容後も飼育に影響がなかった。これらのことから、麻酔剤を用いることにより、既存の輸送の3倍以上のニジマスを輸送できることが可能となった。

キーワード：ニジマス, *Oncorhynchus mykiss*, 麻酔, FA100, 高密度輸送

近年、生食用途として2～4kgの大型のニジマス *Oncorhynchus mykiss* の需要が国内で増加し、全国各地で「ご当地サーモン」と呼ばれる大型ブランドニジマスが生産されている。本県でも各養殖業者による個別ブランドニジマスの他、「富士山の湧水が育てた大々鱒 紅富士」が富士養鱒漁業協同組合ブランドとして生産されている<sup>1)</sup>。大型ニジマスは、通常、全雌三倍体ニジマスが多く用いられ、種苗から出荷サイズとなるまで同一業者が2～3年間かけて生産を行うが、効率的な池繰りが出来ず増産に限界があるため、静岡県水産・海洋技術研究所富士養鱒場では各業者が生産段階ごとに飼育分担をする「分業化」による増産を提案している。しかし、ニジマスの活魚は一般的に水槽容積の20%前後（1,000Lの水槽の場合200kg）しか輸送することができないため、分業化を実現するためには0.5～1kgサイズの大型ニジマス種苗を業者間で大量かつ健全に輸送する技術を開発して輸送効率を向上させる必要がある<sup>2)</sup>。活魚輸送を行う上で重要な項目として、収容及び輸送時に魚が激しく動くことによる酸素消費量の増加や魚体の損傷を抑えることがあげられる<sup>3)</sup>。また、魚体から排出される物質による水質の悪化は、毒性のあるアンモニア (NH<sub>4</sub>-N) を増加させるとともに、呼吸により生じた二酸化炭素

等によるpH低下との相互作用により魚の酸素消費に影響を与える<sup>3,4)</sup>。これらはその後の飼育における成長や生残にも影響し、生産不調の要因になりうる。輸送時の魚の運動を抑制するために麻酔の利用があげられ、二酸化炭素や低水温により麻酔状態で輸送する技術の開発<sup>5,6,7)</sup>や、麻酔剤がニジマスに与える影響について研究結果はあるが<sup>8, 9, 10, 11)</sup>、いずれも鮮度向上や生理的知見のみで、輸送後の飼育を想定したものではない。一方、養殖現場では採卵やワクチン処理の際に麻酔剤が用いられるが、動物用医薬品として製造承認を得ている麻酔剤は、食品添加物であるオイゲノールを含有するFA100 (DSファーマアニマルヘルス株式会社、オイゲノール10vol%) のみである。FA100は麻酔剤の毒としての作用が比較的速やかに消失すると推察されているが<sup>10)</sup>、「使用上の注意」に記載されている通り、水温、水質等の環境要因で麻酔効果が変わる。また、麻酔剤を輸送に用いる際、収容前に麻酔剤により鎮静化させたり（事前麻酔）、輸送水槽に麻酔溶液を満たしたり（輸送麻酔）する方法が考えられるが、事前麻酔では作業の効率化のため短時間で麻酔状態にする必要があり、また輸送麻酔では輸送後の回復や飼育に影響を与えない濃度を選択する必要がある。

2021年3月12日受理

静岡県水産・海洋技術研究所富士養鱒場業績第53号

<sup>\*1</sup>静岡県水産・海洋技術研究所富士養鱒場

<sup>\*2</sup>静岡県水産・海洋技術研究所富士養鱒場、現水産振興課

そこで、本論文では大型ブランドニジマスの生産分業化を推進するため県内での輸送を想定し、ニジマスを短時間に鎮静させて、高密度で2時間輸送するための適正な麻酔剤濃度や、輸送時の溶存酸素(DO)やNH<sub>4</sub>-N等水質変化を把握するとともに、収容後の魚の状態や輸送後の飼育状況により、大型ニジマス種苗の大量運搬技術の実用化について検討した。

## 材料及び方法

### 供試魚

本研究には、富士養鱒漁業協同組合虹の里事業所において採卵・授精し、静岡県水産・海洋技術研究所富士養鱒場にて水温10℃で育成した全雌三倍体ニジマス2歳魚（平均魚体重0.4kg）及び3歳魚（平均魚体重0.8kg）を3日間餌止めた後に供試した。

### 麻酔溶液の調整

FA100は、魚類では1/20,000～1/5,000（50ppm～200ppm）に希釈し浸漬することが用法用量で定められていることから、麻酔溶液の濃度を0, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200ppmとなるよう飼育水で希釈して試験に用いた。

### 魚の麻酔段階

麻酔段階は竹田<sup>12)</sup>及び渡辺ら<sup>13)</sup>の評価方法を参考に、鰓蓋運動は正常であるが平衡が失われ横転している状態を麻酔期-I、鰓蓋運動が緩慢になり鰭の動きが停止している状態を麻酔期-II、鰓蓋運動が認められなくなる状態を麻痺期とした。また、一度麻酔期-I若しくは麻酔期-IIに達した後、魚体の平衡を保てる状態に戻った場合は覚醒とした。

### 麻酔濃度の検討

試験は、麻酔溶液の濃度を20ppm間隔で40～200ppmの9条件設定した。それぞれの麻酔溶液50Lを入れた75L容量(0.6φ×0.5m)のポリエチレン製円形容器に全雌三倍体ニジマス2歳魚を3尾（計1.2kg）収容し、10分間浸漬した。浸漬中に、各個体が麻酔期-I及び麻酔期-IIに達するまでの時間を計測した。

### 長時間麻酔の影響

試験は、麻酔溶液の濃度を80, 100, 120, 140, 160, 及び200ppmの6条件を設定した。それぞれの麻酔溶液50Lを入れた75L容量のポリエチレン製円形容器に全雌三倍体ニジマス2歳魚を12尾（計4.8kg）収容し、エアレーション（SA-3000W：コトブキ社製）を行いながら120分間浸漬した。試験終了時、麻酔溶液別に各麻酔段階の尾数を計数した。

### 麻酔溶液収容時の経時的水質変化と試験後の魚の状態

試験には200L容量(0.9m×0.7m×0.5m)のポリエチレン製水槽を使用し、供試魚には全雌三倍体ニジマス3歳魚を用いた。

表1 麻酔溶液の水質変化試験における試験区

	収容量	
	通常密度(20%)	高密度(40%)
無し(0ppm)	20%対照区	40%対照区
麻酔 低濃度(100ppm)	20%100ppm区	40%100ppm区
高濃度(140ppm)	20%140ppm区	40%140ppm区

供試魚の収容量は標準的な輸送密度である水槽容積の20%の30kg及び倍量の40%の60kgとし、収容時の麻酔溶液の濃度は、対照の0ppmと長時間麻酔の影響試験の結果から100ppm及び140ppmとした。収容量と麻酔濃度から計6試験区(20%対照区, 40%対照区, 20%100ppm区, 40%100ppm区, 20%140ppm区及び40%140ppm区)を設けた(表1)。100ppm区及び140ppm区の供試魚は事前に200ppmの麻酔溶液に3分間浸漬し、麻酔期-Iに達した魚を用いた。試験は水槽に麻酔溶液を150Lになるよう満たし、酸素を0.5L/minで通気しながら供試魚を120分間浸漬した。収容中の水温、DO及びpHは水質測定器(IWC-6SD：CUSTOM社製)で、試験開始15分後とそれ以降は30分ごとに測定し、NH<sub>4</sub>-N濃度はデジタルバックテスト(DPM2-NH<sub>4</sub>：共立理化学研究所社製)で30分ごとに測定した。また、得られたNH<sub>4</sub>-N濃度と水温、pHからThurston et al<sup>14)</sup>に従い水中で毒性の高い非解離アンモニア濃度(以下NH<sub>3</sub>濃度)を求めた。試験終了後、供試魚を容積2.2m<sup>3</sup>の屋内コンクリート製水槽に収容し、5分後及び60分後の遊泳状況を目視確認した。

### 実用化を想定した高密度輸送試験

試験区は、麻酔剤を用いない対照区、水槽収容前に200ppmの麻酔溶液に3分間浸漬する事前麻酔区、収容水槽に100ppmの麻酔溶液を満たした輸送麻酔区、事前麻酔及び輸送麻酔を行う事前・輸送麻酔区の4区とした。試験には100L容量(0.6m×0.5m×0.5m)のポリエチレン製活魚水槽に水槽容積の50%にあたる50kgの全雌三倍体ニジマス2歳魚を収容し、酸素を通気(0.5L/min)しながら120分間保持した。各区の輸送水にはスレ防止目的で食塩を1%濃度になるように添加し、酸素を均一に行き渡らせる目的で観賞魚用ポンプ(Rio+2500：神畑養魚株式会社製)により輸送水を34L/minで循環させた。120分経過後、供試魚を容積2.2m<sup>3</sup>の屋内コンクリート製水槽に収容し、収容直後及び15分後に水槽の底で横転している魚の数から横転率を求め、収容直後の各試験区の横転率をFisherの正確確率検定と比較した。なおp値はHolm法で補正をした。さらに、その後2週間飼育し、生残と魚の状態を確認した。事前・輸送麻酔区では水槽容積の65%にあたる65kgの供試魚を収容した、より高密度となる輸送試験も実施した。

結 果

麻酔濃度の検討

試験の結果を表2に示した。麻酔濃度40および60ppmでは麻酔期-Iに達しなかったが、80ppm以上では600秒以内で麻酔期-Iに達し、個体差はあるものの濃度が高くなるに従いその時間は短くなった。また、麻酔濃度160ppm以上では麻酔期-IIに達する個体が確認され、200ppmでは全ての個体が600秒以内に麻酔期-IIに達した。

長時間麻酔による麻酔状態への影響

試験の結果を表3に示した。全ての麻酔濃度で麻酔期-I以上に達し、140ppm以上では麻酔期-IIに達する個体を確認した。また、160ppm以上では麻痺期に達する個体が確認され、これらの個体は試験終了後飼育水に戻しても麻酔から覚めることなくへい死した。さらに120ppm以下では、麻酔期-Iに達しても試験終了までに覚醒する個体が見られ、濃度が低くなるにつれその個体数は増加した。

麻酔溶液收容時の経時的水質変化と試験後の魚の状態

各試験区の測定結果を表4に示した。120分間の水温変動はすべての区で0.5℃以内であった。DOは開始時すべての区で10mg/L前後であったが、20%対照区及び40%対照区では收容直後から低下し始め、30分以内に6.8及び6.2mg/Lとなり、その後増加したが開始時のDOまでは回復しなかった。一方麻酔剤を用いた4つの試験区では收容直後からDOが上昇し、收容密度20%の試験区では20mg/Lを超え、收容密度40%の試験区でも開始時以上の濃度を保った。酸素飽和度は20%対照区及び40%対照区で100%未満で推移した一方で、麻酔剤を用いた4つの試験区では100%以上で推移し、收容密度20%の試験区では200%以上となった。pHは全ての区で開始時の7.25～7.69から低下し、終了時に6.24～6.77となった。NH<sub>4</sub>-N濃度は開始時すべての区で検出限界以下(0.2 mg/L)であり、20%100ppm区が30分、20%140ppm区が60分まで検出限界以下であった。その後120分後では20%対照区と20%100ppm区では1.3mg/L、20%140ppm区では0.8mg/L、40%対照区では5.4 mg/L、40%100ppm区と40%140ppm区では4.1mg/Lに上昇した。NH<sub>3</sub>濃度はNH<sub>4</sub>-N濃度とともに上昇し、最大値は40%対照区の120分後で0.00509mg/Lであった。120分後の供試魚の状態を表5に示した。20%140ppm区及び40%140ppm区は麻酔期-Iの状態の魚が多く見られ、20%対照区、20%100ppm区及び40%100ppm区では水槽内を泳ぐ個体が多く見られた。これら5試験区は飼育水に戻したところ5分以内にすべての個体が通常通り遊泳した。一方、40%対照区では麻酔期-Iのように水槽内で横転している個体が多くみられ、飼育水に戻した後も横転状態からの回復が遅く、へい死も1尾確認された。

表2 麻酔濃度と麻酔期までの時間

濃度(ppm)	麻酔期-I (秒)	麻酔期-II (秒)
40	NR	NR
60	NR	NR
80	352(166.3)	NR
100	258(23.6)	NR
120	218(53.9)	NR
140	188(48.6)	NR
160	183(51.3)	510(-) <sup>1</sup>
180	150(10.0)	540(-) <sup>2</sup>
200	125(22.9)	423(81.4)

N=3, 平均(標準偏差), \*1:1尾, \*2:2尾

表3 麻酔溶液に2時間浸潤した試験魚の麻酔状態

濃度(ppm)	覚醒(尾)	麻酔期-I(尾)	麻酔期-II(尾)	麻痺期(尾)
80	10	2	0	0
100	8	4	0	0
120	5	7	0	0
140	0	6	6	0
160	0	0	11	1
200	0	0	11	1

実用化を想定した高密度輸送試験

各試験区の横転率及び生残率を表6に示した。收容直後の横転率は対照区が41.5%であったのに対し、事前麻酔区及び輸送麻酔区では11.9%及び9.8%、事前・輸送麻酔区では4.8%と低く、対照区と3つの麻酔区の間それぞれ有意差が認められたが(p<0.05)、3つの麻酔区の間には差は認められなかった。また、15分後にはこれら3区は横転率が0%になったが、対照区では10.9%の個体が横転したままで、その後へい死も見られた。また65%收容した事前・輸送麻酔区では收容直後の横転率は18.9%と50%收容時よりは増加したが、15分後には回復し、その後の飼育においても摂餌不良やへい死等は確認されなかった。

表4 麻醉溶液収容時の水質の経時的変化

試験区	項目	経過時間(分)					
		収容前	15	30	60	90	120
20%対照区	水温(°C)	11.6	11.5	11.5	11.4	11.3	11.2
	DO(mg/l)	9.9	7.1	6.8	8.0	9.2	9.2
	飽和度(%)	94.0	67.3	64.5	75.7	86.8	86.6
	pH	7.69	6.96	6.8	6.68	6.64	6.59
	NH <sub>4</sub> -N(mg/l)	ND	—	0.56	1.03	1.19	1.30
	NH <sub>3</sub> (mg/l)	ND	—	0.00074	0.00102	0.00107	0.00103
20%100ppm区	水温(°C)	11.2	11.1	11.0	10.9	10.8	10.7
	DO(mg/l)	9.9	12.8	14.5	19.4	24.2	26.8
	飽和度(%)	93.2	121.3	135.9	181.3	225.7	249.3
	pH	7.64	7.35	7.1	6.87	6.74	6.74
	NH <sub>4</sub> -N(mg/l)	ND	—	ND	0.63	0.85	1.32
	NH <sub>3</sub> (mg/l)	ND	—	ND	0.00093	0.00093	0.00143
20%140ppm区	水温(°C)	12.2	12.2	12.3	12.5	12.5	12.5
	DO(mg/l)	10.2	12.9	16.9	22.9	23.3	23.2
	飽和度(%)	98.3	124.3	163.1	222.1	226.0	225.0
	pH	7.28	7.22	7.18	6.94	6.92	6.77
	NH <sub>4</sub> -N(mg/l)	ND	—	ND	ND	0.61	0.82
	NH <sub>3</sub> (mg/l)	ND	—	ND	ND	0.00114	0.00109
40%対照区	水温(°C)	12.3	12.3	12.4	12.4	12.4	12.4
	DO(mg/l)	10.0	6.2	8.7	8.6	8.4	8.8
	飽和度(%)	96.5	59.8	84.1	83.2	81.2	85.1
	pH	7.24	7.02	6.83	6.67	6.63	6.62
	NH <sub>4</sub> -N(mg/l)	ND	—	0.99	1.88	4.00	5.44
	NH <sub>3</sub> (mg/l)	ND	—	0.0015	0.00197	0.00383	0.00509
40%100ppm区	水温(°C)	11.4	11.4	11.5	11.5	11.6	11.6
	DO(mg/l)	10.5	11.4	14.7	11.2	11.8	11.8
	飽和度(%)	99.3	107.9	139.3	106.2	112.1	112.1
	pH	7.66	7.03	6.85	6.64	6.58	6.57
	NH <sub>4</sub> -N(mg/l)	ND	—	1.00	2.07	3.30	4.06
	NH <sub>3</sub> (mg/l)	ND	—	0.00148	0.00189	0.00265	0.00318
40%140ppm区	水温(°C)	12.5	12.5	12.5	12.6	12.6	12.5
	DO(mg/l)	10.1	12.5	13.7	12.3	12.6	12.7
	飽和度(%)	98.0	121.2	132.9	119.5	122.4	123.2
	pH	7.25	7.05	6.98	6.74	6.45	6.24
	NH <sub>4</sub> -N(mg/l)	ND	—	1.05	2.23	2.75	4.18
	NH <sub>3</sub> (mg/l)	ND	—	0.00226	0.00279	0.00177	0.00164

— : 未測定

表5 麻醉溶液収容試験後の魚の状態

試験区	収容試験終了時	飼育水槽収容後	
		5分後	60分後
20%対照区	遊泳個体を多く確認	全個体通常通り遊泳	全個体通常通り遊泳
20%100ppm区	覚醒し遊泳個体を多く確認	全個体通常通り遊泳	全個体通常通り遊泳
20%140ppm区	麻醉期- I の個体を多く確認	全個体通常通り遊泳	全個体通常通り遊泳
40%対照区	横転個体を多く確認	横転個体を多く確認	1尾へい死を確認
40%100ppm区	覚醒し遊泳個体を多く確認	全個体通常通り遊泳	全個体通常通り遊泳
40%140ppm区	麻醉期- I の個体を多く確認	全個体通常通り遊泳	全個体通常通り遊泳



表6 麻酔条件を変えた高密度輸送試験後の魚の状態

		50%試験区			65%試験区	
		対照区	事前麻酔区	輸送麻酔区	事前・輸送麻酔区	事前・輸送麻酔区
収容直後	横転率(%)	41.5 <sup>a</sup>	11.9 <sup>b</sup>	9.8 <sup>b</sup>	4.8 <sup>b</sup>	18.9
	(横転尾数/収容尾数)	(42/101)	(12/101)	(10/102)	(5/104)	(25/132)
15分後	横転率(%)	10.9	0	0	0	0
	(横転尾数/収容尾数)	(11/101)	(0/101)	(0/102)	(0/104)	(0/132)
2週間後生残率(%)		98	100	100	100	100

事前麻酔：200ppm・3分間、輸送麻酔：100ppm  
 a,bは異なる符号間で有意差あり  
 (Fisherの正確確率検定, p<0.05, Holm法により調整)

考 察

適正麻酔濃度の検討

遠藤ら<sup>8)</sup>は、ニジマス稚魚ではオイゲノール換算濃度25ppmにおいて150秒で横転し、また成魚では50～150ppmでの麻酔所要時間は120～90秒と報告している。本研究においても200ppm（オイゲノール換算濃度20ppm）では125秒で麻酔期-Iに達しており、ほぼ同様の結果となった。さらに隆島<sup>9)</sup>はニジマスが1時間鎮静を保つことができるオイゲノールの最低濃度は12ppmとしている。本研究においては120ppm（オイゲノール換算濃度12ppm）以下では2時間後に覚醒すなわち鎮静を保つことが出来なかった個体が確認され、140ppm（オイゲノール換算濃度14ppm）以上で麻酔期-I以上の麻酔段階となった。一方、オイゲノール濃度12ppmにおいて24時間浸漬では死亡魚が確認された報告があり<sup>9)</sup>、今回の試験においても160ppm以上ではへい死が見られたことから、麻酔溶液の適正濃度としては、短時間に麻酔状態にするにはFA100濃度200ppm、2時間程度の麻酔には100～120ppm程度が安全に目的に達する濃度と考えられた。

麻酔溶液収容時の水質変化と魚への影響

1.DO及び溶存酸素飽和度

ニジマスが健全に育成するのに必要な最小限の溶存酸素飽和度は63%との報告<sup>15)</sup>があるが、本研究では40%対照区の15分では溶存酸素飽和度が60%でこれを下回っており、20%対照区の30分でも64.5%で限界値に近かった。40%100ppm区及び40%140ppm区では、事前の麻酔処理によって収容直後のニジマスの興奮を抑えたことにより溶存酸素の低下を防いだと考えられた。三倍体ニジマスは二倍体ニジマスより敏感に低酸素状態に反応するため<sup>16)</sup>、DOの低下が40%対照区においてへい死が発生した要因の1つと考えられた。一方、20%100ppm区及び20%140ppm区のDOは最大で26.8及び23.3mg/Lを示し、飽和度は249%及び226%であった。酸素過剰の条件下では微細な気泡が鰓に付着して生理的障害を示す場合が指摘されて

おり、コアユではDOが27～32mL/L（38～46mg/L）の水に入れると約30分で狂奔がみられ、6時間後では飼育水に戻してもへい死がみられるとの報告がある<sup>9)</sup>。今回の試験では30mg/Lを超えるDOには達しなかったが、過飽和溶存酸素濃度の生理的な影響も考えられることから収容量20%程度で麻酔剤を用いた輸送を行う際には酸素通気量を減らす等の対応が必要と考えられた。

2.アンモニア類

ニジマスからの排出物に由来するNH<sub>4</sub>-N濃度は時間の経過とともに飼育水中に蓄積されることが知られており<sup>9)</sup>、一般に0.3ppm以上になると血液中の酸素が減じ、炭酸ガスが増加するとされ、さらに10ppm近くになればへい死さえ現れるとされている<sup>3)</sup>。また、ニジマスではNH<sub>4</sub>-Nの蓄積に伴うHt値の上昇から呼吸障害が起きている可能性が示唆されている<sup>9)</sup>。今回の試験では40%100ppm区及び40%140ppm区でNH<sub>4</sub>-N濃度が120分後に最大4mg/Lを超えたが、試験後にへい死等が認められなかったのは、高濃度での経過時間が30分以内と短く、溶存酸素飽和度も高く推移したため、呼吸障害が起ころなかったと考えられた。一方40%対照区でへい死が見られたのはNH<sub>4</sub>-N濃度が5mg/Lを超え溶存酸素飽和度も85%程度であったために呼吸障害による酸素欠乏が起きた可能性が考えられた。NH<sub>3</sub>の安全濃度は0.0125ppmと報告されており<sup>17)</sup>、水中のアンモニア中に占めるNH<sub>3</sub>の割合は、pHと水温が高いほど大きくなる<sup>14)</sup>。高密度輸送においては、収容した魚の呼吸により生じた二酸化炭素が溶解しpH値が低下するため、輸送時NH<sub>3</sub>による魚への影響は少ないと考えられた。今回の試験においても120分後にはNH<sub>4</sub>-N濃度が最大5.44mg/Lと高かったものの、pH値が6.2～6.8まで低下し、NH<sub>3</sub>濃度の最大値は0.00509mg/Lと低い値で経過した。ただし、夏季に輸送する際は水温の上昇が考えられるため、NH<sub>3</sub>濃度についても注意する必要がある。

麻酔剤を用いた高密度輸送技術の検討

今回の実用化を想定した高密度輸送試験では、対照区では15分経過後でも横転した個体が見られ、さらにその後へい

死も確認された。水質の測定は行っていないが、へい死魚はいずれも酸素欠乏時に見られる鰓蓋及び口を開く症状が見られ、麻酔溶液収容時の経時の水質変化の結果を踏まえると、収容直後の急激なDOの低下やNH<sub>4</sub>-N濃度の上昇、さらに二酸化炭素の溶解によるpH値の低下から、呼吸障害による酸素欠乏になったと考えられる。収容直後の横転率は事前・輸送麻酔区がもっとも低いものの、事前麻酔区と輸送麻酔区も対照区より明らかに低い結果となったことから、麻酔剤を事前もしくは輸送時いずれか用いるだけでも高密度収容における影響を抑えることができ、さらに輸送後の飼育においても影響がないと考えられる。

今回、麻酔剤を用いることにより、既存の輸送の3倍以上に当たる水槽容積の65%のニジマスを収容し輸送できることが判明した。近年、内水面だけでなく海面でのニジマス養殖の生産量も増加しており、大型ニジマス種苗を効率良く運搬する必要が出ている。今回検討した麻酔剤を用いた高密度輸送技術により、安全かつ健全に輸送が可能となり、さらに輸送回数を減らすことにより輸送経費の削減にも寄与することが期待される。

## 文 献

- 1) 長田隆志(2018)：「ご当地サーモン」の急増と差別化の課題. 養殖ビジネス, 緑書房, 東京, 55(5), 4-7.
- 2) 小堀彰彦(2018)：海面サーモン用種苗供給増産の課題と解決策. 養殖ビジネス, 緑書房, 東京, 55(5), 21-25.
- 3) 山崎隆義(1967)：淡水魚の活魚輸送. 水産研究叢書, 日本水産資源保護協会, 東京, 56pp.
- 4) 伊沢敏穂・今田和史(1984)：高密度飼育ニジマスの止水条件下における血液性状と環境水の変化. 北海道立水産孵化場研究報告, 39, 75-82.
- 5) 竹田達右・板沢靖男(1983)：二酸化炭素麻酔の活魚輸送への応用可能性の検討. 日本水産学会誌, 49(5), 725-731.
- 6) 満田久輝・吉川弘正(1991)：寒冷炭酸ガス麻酔の活魚輸送への応用. 凍結及び乾燥研究会会誌, 37, 54-60.
- 7) 太田健吾(2012)：トラフグ稚魚の寒冷麻酔効果. 水産技術, 4(2), 73-75.
- 8) 遠藤俊夫・荻島健次・田中久・大島慧(1972)：数種の淡水魚に対するオイゲノールの麻酔作用に関する研究. 日本水産学会誌, 38(7), 761-767.
- 9) 隆島史夫(1989)：魚の麻酔 II.麻酔の実際①. 水産の研究, 緑書房, 東京, 8(4), 50-53.
- 10) 梅原光夫・酒井清・隆島史夫(1986)：魚類における長時間麻酔の影響に関する組織学的, 血液学的研究. 水産増殖, 34(3), 185-191.
- 11) 隆島史夫・王昭明・河西晴之・浅川治(1983)：2-フェノキシエタノールによるニジマス長時間麻酔の可能性. 東京水産大学研究報告, 69(2), 93-96.
- 12) 竹田達右(2002)：魚の麻酔に関する研究. アクアネット, 湊文社, 東京, 5(4), 36-40.
- 13) 渡辺研一・高橋誠・中川雅弘・太田健吾・佐藤純・堀田卓朗(2006)：主要海産養殖魚に対する2-フェノキシエタノールの麻酔効果. 水産増殖, 54(3),255-263.
- 14) Thurton RV., Russo RC., Emerson K.(1979)：Aqueous Ammonia Equilibrium-Tabulation of Percent Un-Ionized Ammonia. *United States Environmental Protection Agency*, 428pp.
- 15) Itazawa Y(1971)：An Estimation of the Minimum Level of Dissolved Oxygen in Water Required for Normal Life of Fish. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 37(4), 273-276.
- 16) 山本淳・飯田貴次(1994)：三倍体ニジマスの酸素消費量と低酸素濃度耐性. 魚病研究, 29(4), 245-251.
- 17) Smith CE.,Piper RG.(1975)：Lesions associated with chronic exposure to ammonia. In “The pathology of fishes” (W.E. Ribelin and H. Gigaki eds), *Univ.Wis. Press, Madison*, 497-514.

## Examination of high-density transport of large rainbow trout seedlings using anesthetics

Hajime Matsuyama and Kunihiro Suzuki

**Abstract** For production division of labor of large brand rainbow trout, a high-density transport test of all female triploid large rainbow trout seedlings was conducted using the anesthetic FA100. The appropriate anesthetic concentration was considered to be 200 ppm for sedation in a short time and 100 ~ 120 ppm for accommodation in anesthetic solution for 120 minutes. When rainbow trout weighing 40% of the tank volume, which is twice the normal volume, was housed for 120 minutes, the oxygen saturation fell below 60% immediately after storage without an anesthetic, and ammonia concentration exceeded 5 mg/L after 120 minutes, indicating that the fish died from oxygen deprivation. On the other hand, when anesthetized with a 200 ppm anesthetic solution and then housed in a water tank filled with a 100 ppm anesthetic solution, the amount of dissolved oxygen did not decrease and the death was not observed either. Furthermore, when fish weighing 65% of the tank volume was housed using an anesthetic, no abnormalities were observed during the housing and there was no effect on breeding after the housing. These results, it became possible to transport more than three times the amount of rainbow trout existing transport by using an anesthetic.

**Key words:** rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, anesthesia, FA100, high-density transport