

マイクロバブルを用いたマダイ *Pagrus major* の黒色素胞 凝集による体色改善

丸山 司

マダイの海面養殖では、体色が黒化して商品価値を低下させる問題がある。体色の黒化は、紫外線、低水温、背景、雄性ホルモン、疾病、およびストレスとされている。現在では、養殖生簀の遮光ネットによる照度の低下(日焼け防止)、カロチノイドを含む飼料の供給による体色調整法が確立されている。また、マダイとチダイの交雑魚や沈下式による養殖などが行われているが、より効果的で短期間の体色調整法が望まれる。本校では、2011年度からマイクロバブルを用いた環境浄化および養殖への効果について研究をしている。マイクロバブルを用いたマダイ飼育では、体色が鮮やかになると報告されている(三浦,2012)。

そこで、本研究では、マダイのマイクロバブル飼育による体色改善のメカニズムについて検証した。今回は、マダイ鱗上の黒色素胞におけるメラニン色素の凝集および拡張を4段階に分類した黒色素胞数を指標に検討した。

材料および方法

Essential Invisible Bubble マイクロバブルとは、50 μ m以下の泡であり、長い遊泳時間や酸素を効率よく水中に溶解することができる。そのため、生物の生理活性効果が期待されている。今回は、一般的なマイクロバブルより気泡数が多く、低コスト、無音で供給できる(株)西研デバイズが開発した Essential Invisible Bubble (以下、EIBと略記)発生装置を用いた。EIBとは、同社が他のマイクロバブルと区別するために命名した商標名である。

EIB 発生装置 EIBは、円錐状の特殊複合セラミック内に気体を送気し、セラミックのマイクロ孔から出る気体を水流により切り取り発生させた。本研究で用いたEIB発生装置は、市販の水槽用小型ポンプ(エーハイム社コンパクトポンプ1000)に特殊複合セラミックを連結させたものを用いた。

供試魚 愛媛県立宇和島水産高等学校水産増殖専攻科にて種苗生産し、令和元年9月3日から屋外で飼育された黒色素胞が拡張した当歳魚のマダイを用いた。(平均体重89.9g)

飼育条件 飼育は、令和元年11月10日から12月7日までの28日間とし、本校専攻科教棟裏の屋外にて60cmガラス製水槽で行った。水槽は、底面に白色もしくは黒色のプラスチック製のシートを敷き(以下、白背地、黒背地と略記)、直射日光の当たる場所に設置した。照射時間は、8時から15時の約7時間であったが、短日であるため期間とともに照射時間は減少した。注水は、砂濾過海水を600ml/分、回転率は、13.2回転/日とした。飼料は、おとひめEP3(日清丸紅飼料株式会社)を1日1回飽食量給餌した。水槽表面の珪藻や残餌は、1週間に1度を目安に除去した。

試験区 試験区は、小型EIB発生装置でEIBを供給し、飼育水を白濁させ飼育したグループ(白背地+EIB区、黒背地+EIB区と略記)、水槽用エアーポンプから弱エアレーションで飼育したグループ(以下、白背地区、黒背地区と略記)の4試験区で行った。供試魚の収容尾数は各3尾とした。

測定 水質は、水銀棒状温度計により気温、水温を測定し、比重は赤沼式比重計により1日1回、溶存酸素量(以下、DOと略記)は1週間に1回測定した。DOは、ウインクラー法で測定した。

体色改善の判定 体色改善の判定は、鱗上の黒色素胞におけるメラニン色素の凝集および拡張を4段階に分類した黒色素胞数を指標とした。4段階の分類は、黒色素胞の凝集した状態を1、拡散する面積が大きくなるにつれ2、3、4の Melanophore Index とし、アラビア数字で表記した(以下、Index 1~4)。供試鱗は、各試験区全尾のマダイで行い、部位

を頭部右向きの背鰭開始基部(I)、背鰭8棘条下側線鱗付近(II)、臀鰭開始基部(III)の各2枚とした。採取後、直ちにプレパラートを作成し、光学顕微鏡(40倍)のデジタルカメラで撮影し、Indexの各段階における黒色素胞数を試験開始時、2週間後、4週間後に計数した。計数は、画像ソフト上で行い、Indexごとに色分けし、印をつけて測定した。また、各試験区全尾のマダイを頭部左向きの全体像を撮影した。供試鱗の表記は、部位Iの鱗でIndexが拡散段階で4の場合はI-4とした。したがって、各試験区3尾、供試魚1尾あたり部位ごとに2枚、3部位で合計72枚の鱗から判定した。

検定 順位変数、独立多試料のKruskal-Wallisの検定法を用いた。すなわち、各試験区におけるすべての供試鱗をIndexごとに黒色素胞数の順位付けにより検定した。さらに、独立多試料で有意な差がある場合は、試験区間をMann-WhitneyのU検定法により検定した。なお、試験開始時における各部位及び各Indexにおける黒色素胞数に有意な差はなかった。

結果

順位変数、独立多試料のKruskal-Wallisの検定法で2週間後のII-1、4週間後のI-4、II-3、II-4の黒色素胞数に試験区間で有意な差が認められた(すべて $P<0.05$) (表1)。部位IIIは、2週間後、4週間後において試験区間の差異は認められなかった。

各試験区の有意差($P<0.05$)を黒色素胞数が少ない区をA区<B区のように表現すると2週間後におけるII-1は、黒背地+EIB区<白背地区であった。4週間後は、I-4で白背地+EIB区<黒背地区、黒背地+EIB区<黒背地区、II-3は、白背地+EIB区<黒背地区、黒背地+EIB区<黒背地区、白背地区<黒背地区、II-4は、白背地+EIB区<黒背地区、黒背地+EIB区<黒背地区、白背地区<黒背地区であった(表2)。

表1. 試験区間における黒色素胞数の有意差

| | I-1 | I-2 | I-3 | I-4 | II-1 | II-2 | II-3 | II-4 |
|------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| 開始時 | | | | | | | | |
| 2週間後 | | | | | ● | | | |
| 4週間後 | | | | ● | | | ● | ● |

● $P<0.05$

表2. 各試験区における黒色素胞数の有意差

| | Index | 黒色素胞数の比較 |
|------|-----------|------------------------------|
| 2週間後 | II-1 | 黒背地+EIB区 [※] < 白背地区 |
| | I-4 | 白背地+EIB区 [※] < 黒背地区 |
| 4週間後 | II-3・II-4 | 黒背地+EIB区 [※] < 黒背地区 |
| | | 白背地+EIB区 [※] < 黒背地区 |
| | | 黒背地+EIB区 [※] < 黒背地区 |
| | | 白背地区 [※] < 黒背地区 |

※ $P<0.05$

考察

2週間後のII-1は、黒背地+EIB区<白背地区($P<0.05$)となり、黒色素胞数は白背地区のほうが多かった。これは、黒背地+EIB区のIndex1が2以上に変化したためと考えられるが、他のIndexにおいて試験区間に差異は認められないことから、さらに検証をしなければならない現象であった。

4週間後におけるII-3及びII-4の白背地区<黒背地区($P<0.05$)は、マダイの白背地への背地適応によるIndex3及び4の黒色素胞数の減少による差異であると考えられた。メダカの背地適応は、生理学的体色変化と形態学的体色変化に分類される。前者は、黒色素胞の拡張及び凝集をすみやかに行う体色変化であり、網膜から取り込まれた光によりメラニン凝集ホルモン、黒色素胞刺激ホルモン、ノルアドレナリンなどにより変化するとされている。後者は、長時間同じ背地環境で飼育すると黒色素胞の数、Indexが変化するとされている(岡村,2004)。4週間後にIndex3及び4に差異がみられたことから、長時間同じ背地環境で飼育することによるマダイの形態学的体色変化に起因していると考えられた。したがって、白背地+EIB区<黒背地区も白背地による背地適応の差異であると考えられた。これらのことから、4週間の飼育試験により白背地区、白背地+EIB区は、背

地適応の形態学的体色変化から黒背地区より拡張された黒色素胞が有意に少なくなることが確認された。

黒背地+EIB 区<黒背地区から EIB の白濁した飼育水による背地適応であると考えられた。また、白背地+EIB 区と黒背地+EIB 区に黒色素胞数に有意な差がないことから、EIB による形態学的な背地適応が起こると推察された。すなわち、EIB による長期間の飼育により拡張した黒色素胞が凝集すると推察された。無遮光のマダイは、遮光飼育した成魚マダイや天然マダイに比べて、形態学的体色変化により拡張した黒色素胞数が増加すると報告されている(足立・家戸, 2010)。また、室内飼育マダイは、屋外飼育マダイに比べて黒色素胞数が明らかに少ないことから、EIB(マイクロバブル)を用いた飼育により、マダイの黒色素胞凝集による体色改善の可能性が示唆された。しかし、本試験では、体色評価の指標である色彩色差測定を行っていない。また、マダイの体表及び鱗上には、黒色素胞以外の黒い物質が存在しており、体色改善は、黒色素胞数だけでは判定できない。したがって、これらも含めてさらに検証する必要がある。

本研究に用いた(株)西研デバイズの EIB 発生装置は、海底まで容易にマイクロバブルを供給することができるため、養殖漁場の底質改善が可能であるとされている(白崎, 2015)(足立, 2017)。したがって、マイクロバブルを用いた養殖は、マダイの海面生簀での体色改善と漁場の底質改善が同時に行える新しい養殖法と期待される。

今後は、マダイにおけるマイクロバブルによる体色改善のメカニズムや色彩色差測定による体色評価の検証が望まれる。

謝辞

本研究では、株式会社西研デバイスとの共同研究で行い、資材提供を受け研究を行うことができた。ご助言、ご指導を賜った株式会社西研デバイズの西進氏並びに関係各位に深謝します。

参考文献

岡村直道 (2004) メダカの色素胞と体色変化—生物学実験：実験 6 について. 筑波医療科学 Tsukuba Journal of Medical Science, 1(13), 63-66.

足立亨介・家戸敬太郎 (2010) 稚魚, および成魚マダイ体表の黒色化に与える遮光飼育の影響. 水産増殖 58(2), 181-187.

三浦亨 (2012) マダイ稚魚 *Pagrus major* 稚魚における酸素 Bio Activating Bubble 飼育の効果. 水産増殖科紀要, 19, 61-65.

白崎智大 (2015) 魚類養殖場における Bio Activating Bubble の底質改善効果. 水産増殖専攻科紀要, 22, 60-65.

足立龍星 (2017) Bio Activating Bubble による養殖漁場の底質改善効果. 水産増殖専攻科紀要, 24, 54-57.

メダカの体色変化の教材化 — 生命現象を個体から細胞へと通じて理解する —
株式会社西研デバイスホームページ <http://nishikendevise.com/>

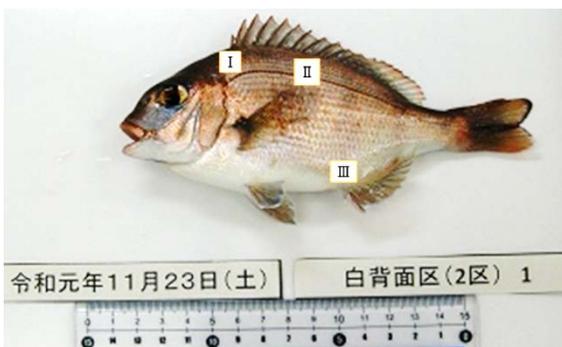


図 1. 供試鱗を採取したマダイの部位



図 2. 屋外に設置した試験区

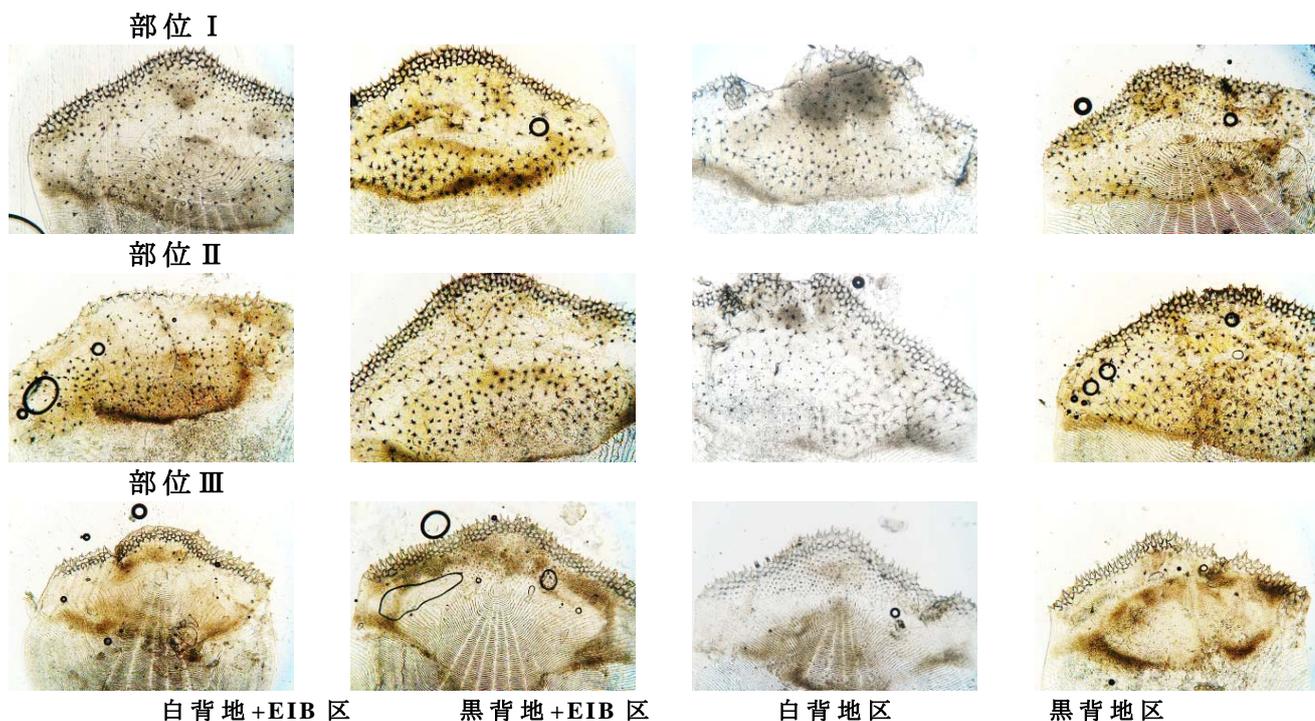


図 3. 試験開始時におけるマダイ各部位 I、II、III の供試鱗(4×10 倍)

表 3. 飼育試験開始時のマダイ鱗上における各部位および Index ごとの黒色素胞数

| 鱗番号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 計 | 鱗番号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 計 | 鱗番号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 計 |
|----------|-----|----|----|----|----|----|-----|----------|-----|----|-----|----|-----|-----|-----|----------|-----|---|---|---|---|---|----|
| I-1 | (個) | | | | | | | II-1 | (個) | | | | | | | III-1 | (個) | | | | | | |
| 白背地+EIB区 | 22 | 5 | 42 | 24 | 46 | 47 | 186 | 白背地+EIB区 | 128 | 86 | 84 | 58 | 81 | 130 | 567 | 白背地+EIB区 | 5 | 5 | 7 | 0 | 0 | 0 | 17 |
| 黒背地+EIB区 | 23 | 15 | 23 | 40 | 78 | 71 | 250 | 黒背地+EIB区 | 74 | 64 | 87 | 96 | 58 | 55 | 434 | 黒背地+EIB区 | 5 | 1 | 2 | 4 | 2 | 2 | 16 |
| 白背地区 | 14 | 47 | 13 | 35 | 14 | 7 | 130 | 白背地区 | 70 | 75 | 62 | 53 | 104 | 62 | 426 | 白背地区 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 | 3 | 11 |
| 黒背地区 | 40 | 36 | 60 | 26 | 53 | 58 | 273 | 黒背地区 | 69 | 54 | 85 | 76 | 82 | 77 | 443 | 黒背地区 | 4 | 0 | 5 | 4 | 4 | 3 | 20 |
| I-2 | (個) | | | | | | | II-2 | (個) | | | | | | | III-2 | (個) | | | | | | |
| 白背地+EIB区 | 20 | 34 | 54 | 42 | 18 | 56 | 224 | 白背地+EIB区 | 87 | 70 | 99 | 55 | 95 | 63 | 469 | 白背地+EIB区 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 黒背地+EIB区 | 29 | 30 | 62 | 90 | 45 | 61 | 317 | 黒背地+EIB区 | 54 | 75 | 100 | 64 | 17 | 49 | 359 | 黒背地+EIB区 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 6 |
| 白背地区 | 48 | 34 | 19 | 16 | 60 | 58 | 235 | 白背地区 | 54 | 43 | 55 | 87 | 45 | 35 | 319 | 白背地区 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| 黒背地区 | 54 | 59 | 43 | 55 | 77 | 73 | 361 | 黒背地区 | 67 | 83 | 43 | 50 | 78 | 57 | 378 | 黒背地区 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 3 |
| I-3 | (個) | | | | | | | II-3 | (個) | | | | | | | III-3 | (個) | | | | | | |
| 白背地+EIB区 | 42 | 58 | 53 | 64 | 10 | 55 | 282 | 白背地+EIB区 | 26 | 32 | 41 | 54 | 34 | 14 | 201 | 白背地+EIB区 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 黒背地+EIB区 | 81 | 77 | 48 | 33 | 21 | 22 | 282 | 黒背地+EIB区 | 68 | 93 | 81 | 36 | 57 | 33 | 368 | 黒背地+EIB区 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 白背地区 | 77 | 62 | 29 | 67 | 57 | 51 | 343 | 白背地区 | 56 | 81 | 33 | 68 | 20 | 13 | 271 | 白背地区 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 黒背地区 | 32 | 39 | 36 | 28 | 26 | 56 | 217 | 黒背地区 | 28 | 89 | 23 | 37 | 57 | 46 | 280 | 黒背地区 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| I-4 | (個) | | | | | | | II-4 | (個) | | | | | | | III-4 | (個) | | | | | | |
| 白背地+EIB区 | 68 | 53 | 67 | 63 | 19 | 44 | 314 | 白背地+EIB区 | 8 | 17 | 14 | 77 | 23 | 17 | 156 | 白背地+EIB区 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 黒背地+EIB区 | 55 | 32 | 62 | 35 | 21 | 26 | 231 | 黒背地+EIB区 | 42 | 66 | 26 | 7 | 40 | 21 | 202 | 黒背地+EIB区 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 白背地区 | 30 | 39 | 46 | 89 | 42 | 32 | 278 | 白背地区 | 40 | 83 | 27 | 40 | 13 | 13 | 216 | 白背地区 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 黒背地区 | 17 | 41 | 38 | 37 | 16 | 43 | 192 | 黒背地区 | 22 | 35 | 24 | 30 | 60 | 40 | 211 | 黒背地区 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

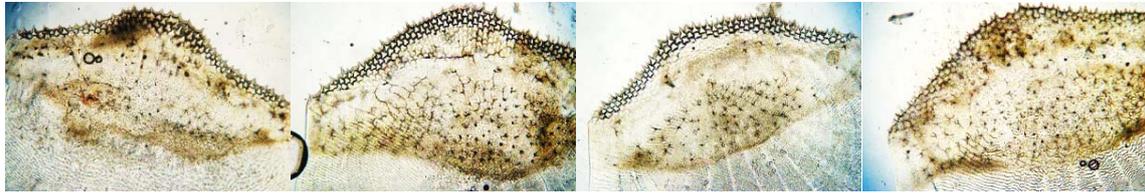


図 4. 試験開始時における供試マダイ

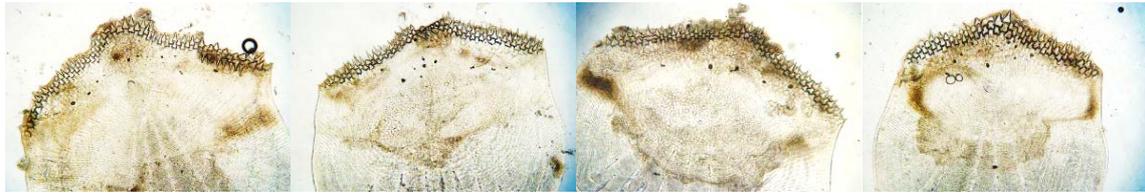
部位 I



部位 II



部位 III



白背地+EIB区 黒背地+EIB区 白背地区 黒背地区

図 5.2 週間後におけるマダイ各部位 I、II、III の供試鱗(4×10 倍)

表 4. 飼育試験 2 週間後のマダイ鱗上における各部位および Index ごとの黑色素胞数

| 鱗番号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 計 | 鱗番号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 計 | 鱗番号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 計 | |
|----------|-----|----|----|----|----|----|-----|----------|-------|-----|----|----|----|----|-----|----------|---|-------|-----|---|----|---|----|--|
| I-1 | (個) | | | | | | | | II-1※ | (個) | | | | | | | | III-1 | (個) | | | | | |
| 白背地+EIB区 | 20 | 45 | 14 | 27 | 17 | 33 | 156 | 白背地+EIB区 | 8 | 9 | 17 | 18 | 4 | 19 | 75 | 白背地+EIB区 | 6 | 4 | 2 | 3 | 5 | 2 | 22 | |
| 黒背地+EIB区 | 20 | 10 | 31 | 24 | 9 | 13 | 107 | 黒背地+EIB区 | 12 | 8 | 32 | 46 | 17 | 24 | 139 | 黒背地+EIB区 | 3 | 4 | 8 | 4 | 5 | 4 | 28 | |
| 白背地区 | 22 | 15 | 7 | 12 | 4 | 20 | 80 | 白背地区 | 20 | 36 | 12 | 18 | 20 | 12 | 118 | 白背地区 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 1 | 5 | |
| 黒背地区 | 11 | 8 | 8 | 12 | 97 | 34 | 170 | 黒背地区 | 7 | 6 | 5 | 10 | 8 | 17 | 53 | 黒背地区 | 1 | 3 | 4 | 0 | 6 | 2 | 16 | |
| I-2 | (個) | | | | | | | | II-2 | (個) | | | | | | | | III-2 | (個) | | | | | |
| 白背地+EIB区 | 36 | 29 | 21 | 30 | 23 | 22 | 161 | 白背地+EIB区 | 38 | 25 | 39 | 20 | 29 | 29 | 180 | 白背地+EIB区 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 5 | |
| 黒背地+EIB区 | 21 | 27 | 36 | 53 | 25 | 31 | 193 | 黒背地+EIB区 | 15 | 29 | 54 | 31 | 48 | 52 | 229 | 黒背地+EIB区 | 1 | 3 | 0 | 0 | 10 | 2 | 16 | |
| 白背地区 | 40 | 19 | 13 | 13 | 11 | 29 | 125 | 白背地区 | 24 | 35 | 35 | 31 | 27 | 23 | 175 | 白背地区 | 1 | 3 | 3 | 0 | 4 | 4 | 15 | |
| 黒背地区 | 10 | 11 | 20 | 32 | 66 | 37 | 176 | 黒背地区 | 26 | 26 | 39 | 15 | 32 | 30 | 168 | 黒背地区 | 0 | 1 | 5 | 3 | 2 | 4 | 15 | |
| I-3 | (個) | | | | | | | | II-3 | (個) | | | | | | | | III-3 | (個) | | | | | |
| 白背地+EIB区 | 48 | 14 | 47 | 31 | 21 | 26 | 187 | 白背地+EIB区 | 43 | 29 | 38 | 37 | 58 | 12 | 217 | 白背地+EIB区 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 黒背地+EIB区 | 20 | 27 | 18 | 57 | 38 | 38 | 198 | 黒背地+EIB区 | 19 | 34 | 53 | 39 | 56 | 76 | 277 | 黒背地+EIB区 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 白背地区 | 36 | 11 | 50 | 19 | 28 | 30 | 174 | 白背地区 | 12 | 33 | 40 | 40 | 42 | 39 | 206 | 白背地区 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 黒背地区 | 1 | 32 | 43 | 24 | 37 | 37 | 174 | 黒背地区 | 48 | 28 | 53 | 28 | 34 | 60 | 251 | 黒背地区 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| I-4 | (個) | | | | | | | | II-4 | (個) | | | | | | | | III-4 | (個) | | | | | |
| 白背地+EIB区 | 22 | 7 | 31 | 28 | 21 | 11 | 120 | 白背地+EIB区 | 24 | 6 | 23 | 31 | 48 | 24 | 156 | 白背地+EIB区 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 黒背地+EIB区 | 22 | 18 | 10 | 46 | 60 | 30 | 186 | 黒背地+EIB区 | 10 | 15 | 22 | 40 | 46 | 50 | 183 | 黒背地+EIB区 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 白背地区 | 26 | 10 | 59 | 23 | 24 | 21 | 163 | 白背地区 | 11 | 41 | 29 | 19 | 36 | 32 | 168 | 白背地区 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 黒背地区 | 22 | 34 | 55 | 28 | 9 | 19 | 167 | 黒背地区 | 37 | 37 | 47 | 17 | 34 | 25 | 197 | 黒背地区 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

※ P<0.05



白背地+EIB区 黒背地+EIB区 白背地区 黒背地区

図 6.2 週間後における供試マダイ

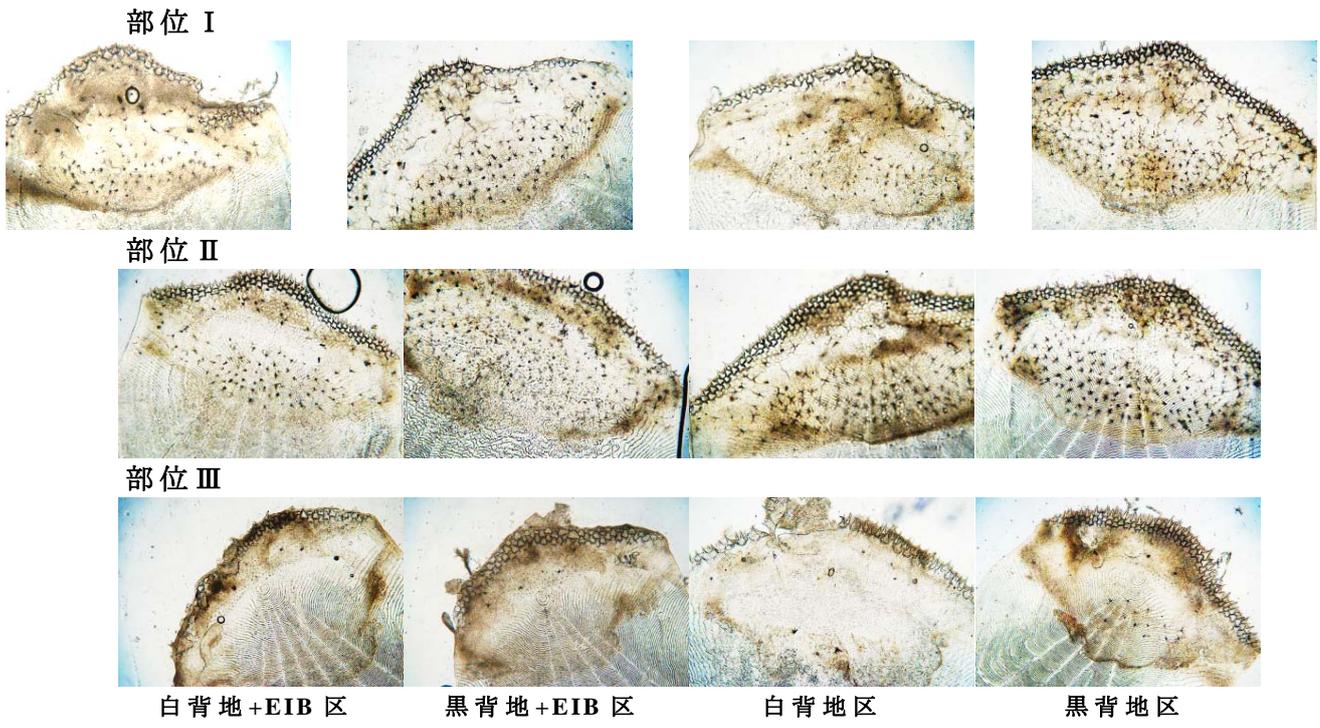


図 7.4 週間後におけるマダイ各部位 I、II、III の供試鱗(4×10 倍)

表 5. 飼育試験 4 週間後のマダイ鱗上における各部位および Index ごとの黒色素胞数

| 鱗番号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 計 | 鱗番号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 計 | 鱗番号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 計 | |
|----------|-----|----|----|----|----|----|-----|----------|-------|-----|----|----|----|----|-----|----------|----|-------|-----|---|---|---|----|--|
| I-1 | (個) | | | | | | | | II-1 | (個) | | | | | | | | III-1 | (個) | | | | | |
| 白背地+EIB区 | 28 | 19 | 58 | 58 | 15 | 9 | 187 | 白背地+EIB区 | 39 | 50 | 18 | 45 | 63 | 31 | 246 | 白背地+EIB区 | 7 | 9 | 6 | 3 | 2 | 4 | 31 | |
| 黒背地+EIB区 | 28 | 27 | 28 | 42 | 37 | 71 | 233 | 黒背地+EIB区 | 20 | 38 | 59 | 34 | 63 | 67 | 281 | 黒背地+EIB区 | 5 | 5 | 9 | 8 | 4 | 3 | 34 | |
| 白背地区 | 18 | 34 | 18 | 30 | 18 | 24 | 142 | 白背地区 | 17 | 36 | 23 | 37 | 37 | 35 | 185 | 白背地区 | 16 | 3 | 5 | 3 | 5 | 4 | 36 | |
| 黒背地区 | 25 | 14 | 30 | 31 | 24 | 54 | 178 | 黒背地区 | 18 | 14 | 22 | 19 | 40 | 24 | 137 | 黒背地区 | 5 | 10 | 2 | 4 | 2 | 3 | 26 | |
| I-2 | (個) | | | | | | | | II-2 | (個) | | | | | | | | III-2 | (個) | | | | | |
| 白背地+EIB区 | 46 | 18 | 40 | 32 | 19 | 16 | 171 | 白背地+EIB区 | 28 | 48 | 33 | 18 | 34 | 41 | 202 | 白背地+EIB区 | 3 | 4 | 2 | 4 | 2 | 3 | 18 | |
| 黒背地+EIB区 | 52 | 40 | 36 | 43 | 40 | 47 | 258 | 黒背地+EIB区 | 28 | 50 | 73 | 54 | 32 | 57 | 294 | 黒背地+EIB区 | 1 | 6 | 7 | 6 | 3 | 6 | 29 | |
| 白背地区 | 21 | 29 | 24 | 32 | 34 | 18 | 158 | 白背地区 | 46 | 33 | 24 | 37 | 55 | 67 | 262 | 白背地区 | 9 | 1 | 3 | 0 | 1 | 5 | 19 | |
| 黒背地区 | 54 | 15 | 33 | 48 | 73 | 62 | 285 | 黒背地区 | 26 | 24 | 34 | 43 | 63 | 31 | 221 | 黒背地区 | 2 | 4 | 8 | 3 | 3 | 1 | 21 | |
| I-3 | (個) | | | | | | | | II-3※ | (個) | | | | | | | | III-3 | (個) | | | | | |
| 白背地+EIB区 | 38 | 28 | 12 | 16 | 40 | 45 | 179 | 白背地+EIB区 | 20 | 28 | 25 | 23 | 26 | 44 | 166 | 白背地+EIB区 | 2 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 6 | |
| 黒背地+EIB区 | 46 | 37 | 53 | 42 | 31 | 44 | 253 | 黒背地+EIB区 | 33 | 34 | 47 | 66 | 24 | 34 | 238 | 黒背地+EIB区 | 0 | 0 | 4 | 5 | 3 | 3 | 15 | |
| 白背地区 | 61 | 59 | 40 | 38 | 32 | 47 | 277 | 白背地区 | 47 | 31 | 26 | 16 | 41 | 29 | 190 | 白背地区 | 4 | 3 | 0 | 0 | 2 | 0 | 9 | |
| 黒背地区 | 60 | 49 | 56 | 66 | 37 | 30 | 298 | 黒背地区 | 61 | 84 | 63 | 57 | 87 | 98 | 450 | 黒背地区 | 5 | 4 | 2 | 0 | 2 | 0 | 13 | |
| I-4※ | (個) | | | | | | | | II-4※ | (個) | | | | | | | | III-4 | (個) | | | | | |
| 白背地+EIB区 | 17 | 17 | 21 | 8 | 49 | 30 | 142 | 白背地+EIB区 | 8 | 7 | 41 | 25 | 13 | 33 | 127 | 白背地+EIB区 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 黒背地+EIB区 | 22 | 31 | 44 | 35 | 17 | 36 | 185 | 黒背地+EIB区 | 28 | 30 | 42 | 40 | 16 | 25 | 181 | 黒背地+EIB区 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 白背地区 | 51 | 45 | 31 | 17 | 28 | 46 | 218 | 白背地区 | 52 | 26 | 33 | 17 | 22 | 17 | 167 | 白背地区 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 黒背地区 | 65 | 47 | 75 | 68 | 39 | 35 | 329 | 黒背地区 | 77 | 74 | 62 | 84 | 51 | 85 | 433 | 黒背地区 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

※ P<0.05



白背地+EIB区 黒背地+EIB区 白背地区 黒背地区

図 8.4 週間後における供試マダイ