

琉球大学学術リポジトリ

沖縄県における外来魚の侵入と生態系の攪乱に関する研究

メタデータ	言語: 出版者: 立原一憲 公開日: 2010-04-26 キーワード (Ja): ジルテラピア, 八重山諸島, 外来魚, 大東諸島, 年令, 年令査定, 成長, 沖縄, 沖縄県, 沖縄諸島, 琉球列島, 生態系, 耳石 キーワード (En): Okinawa, Ryukyu Islands, Tilapia zillii, age, alien fish, morphological development, otoliths 作成者: 立原, 一憲, Tachihara, Katsunori メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/16591

沖縄県における外来魚の侵入と生態系の攪乱に関する研究

課題番号 15580169

平成 15 年度～平成 17 年度科学研究費補助金

(基盤研究(C))研究成果報告書

平成 18 年 3 月

研究代表者 立原一憲

琉球大学 理学部 助教授

琉球大学附属図書館



0020064003376

はしがき

移入種とは、過去あるいは現在の自然分布域外に導入された種、亜種、あるいはそれ以下の、生存し繁殖することのできるあらゆる分類群を指す（村上・鷲谷，2002）。日本では戦前から内水面漁業の振興を目的に国内外を問わず様々な魚種が移植され、現在でも従来の地域漁業の支援に加え、遊漁資源、生物防除、慈善活動など多様な目的のために公的・私的な放流が続いている（中井，2002）。それら外来魚のうち、ブラックバス類やブルーギルによる在来種の捕食は、我が国の内水面漁業や、生態系に甚大な影響を与え、大きな問題となっている。これをうけて、2005年6月1日に外来生物法が施行され、生態系や在来種に影響を与えている移入種は、特定外来生物に指定され、被害に関する知見が不足している移入種は、要注意外来生物に指定された。沖縄県では22種の国外移入魚類が確認され（立原ら，2002）、そのうち、オオクチバス、ブルーギル、カダヤシは特定外来生物に、グッピー、マダラロリカリア、ナイルティラピア、カワスズメは、要注意外来生物に指定されている。これら移入魚の分布について、幸地（1997）が沖縄島を含む6島について報告し、沖縄島に最も多くの外来魚が生息しており、かつ中南部に多いことを明らかにした。また、立原ら（2002）は、沖縄島267河川の724か所において採集した27種の純淡水魚のうち20種が外来魚であったと報告している。しかし、琉球列島全域にわたる移入魚の分布に関する知見は、十分とはいえない。ここでは、沖縄県下の島嶼を中心に種子島から与那国島に至る琉球列島全域における移入魚の分布の現状を明らかにするとともに、ジルテラピアの生活史を解明し、外来魚が生態系に与える影響を考察した。

研究組織

研究代表者：立原一憲（琉球大学理学部助教授）

（研究協力者：琉球大学大学院博士後期課程 高田未来美，琉球大学理学部 石川哲郎）

交付決定額（配分額）

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
平成15年度	1,200,000	0	1,200,000
平成16年度	900,000	0	900,000
平成17年度	900,000	0	900,000
総計	3,000,000	0	3,000,000

研究発表

なし

研究成果による工業所得権の出願・取得状況

なし

目次

要約	5
緒言	6
第1章琉球列島における移入魚の分布	
材料と方法	8
結果	8
考察	15
第2章南風原ダムにおけるジルティラピアの生活史	
材料と方法	
1. 標本の採集, 処理	16
2. 一般形態の計測と計数	16
3. 成熟	16
1) 生殖腺指数の算出	
2) 卵径組成	
3) 孕卵数	
4) 生殖腺の組織学的観察	
4. 耳石解析	17
1) 年齢査定	
2) 成長解析	
5. 仔稚魚の形態変化	18
1) 産着卵の採集	
2) 仔稚魚の飼育と外部形態の観察	
結果	
1. 水温の経月変化と採集結果	19
1) 水温の経月変化	
2) 採集結果	
2. 一般形態	19
3. 成熟	19
1) 生殖腺指数の経月変化	
2) 体長と生殖腺指数の関係	
3) 卵径分布	
4) 孕卵数	
5) 卵巣の組織学的観察	
4. 年齢と成長	21
1) 年齢査定	

2) 成長解析

5. 仔稚魚の形態変化 22

1) 産着卵数の推定

3) 仔稚魚の形態変化

考察 24

謝辞 28

参考文献 29

要約

琉球列島の15島において移入魚の分布調査を行ったところ、計22種の移入魚が採集された。沖縄島では22種全てが確認され、このうち14種は沖縄島のみで採集された。沖縄島に次いで移入魚が多く採集されたのは、与那国島(3種)、石垣島(3種)、宮古島(3種)、座間味島(3種)、渡嘉敷島(3種)、久米島(3種)、伊是名島(3種)、沖永良部島(3種)であった。最も多くの島で採集されたのは、カダヤシで(11島)、次いでカワスズメ(10島)、グッピー(9島)、ジルティラピア(4島)、ナイルティラピア(3島)、ソードテール(2島)、ムーンフィッシュ(2島)、オオクチバス(2島)の順であった。また、沖縄県の88河川における採集された魚類の種数と採集個体数の中で移入種が占める割合の関係をみると、多種多様な魚類が生息する河川では移入魚の個体数の割合が減少する傾向がみられた。

琉球列島の4島で確認されたジルティラピアの生活史を沖縄島の南風原ダムで調査した。調査期間中に、雄749個体、雌950個体、性別不明943個体、計2,642個体のジルティラピアを採集した。

生殖腺指数の経月変化、卵巣組織の各成熟段階の経月変化と排卵痕を持つ個体数から、産卵期は、4月をピークとする4~8月であると推定された。生殖腺指数と体長の関係から、雄の成熟体長は、約30 mm SLであると考えられた。卵巣の組織学的観察から、雌は少なくとも約40 mm SLで成熟していると考えられた。

本種の体長49.0~115.0 mmの個体の孕卵数は、約470~2,300と推定され、平均1,112 ± 483個であった。

本種の耳石は、中心に核を有し、その周りに透明帯と不透明帯が交互に形成されていた。耳石の長径と短径は、それぞれ体長と強い相関を示し、耳石半径の増加とともに輪紋数も増加した。縁辺成長率と耳石縁辺が不透明な個体の月別出現頻度から、本種の耳石不透明帯は、2~6月に形成される年輪であると判断された。本種は、1歳以降雄の方が雌よりも早く、雄は1歳で約70 mm SLに、2歳で約92 mm SLに成長し、メスは1歳で約64 mm SLに、2歳で約82 mm SLに成長した。

本種の卵は、楕円球形で、オリーブ色を呈しており、産着卵数は1,791個だった。孵化仔魚は、体長3.4 mm NLで、約1.3 mmの卵黄を持っていた。日令20で稚魚期となり、日令25で背鰭に眼状斑が形成され、幼魚の特徴を呈してきた。

緒言

移入種とは、過去あるいは現在の自然分布域外に導入された種、亜種、あるいはそれ以下の、生存し繁殖することのできるあらゆる分類群を指す（村上・鷺谷，2002）。

日本では戦前から内水面漁業の振興を目的に、国内外を問わず様々な魚種が移植されてきた。現在でも従来の地域漁業の支援に加え、遊漁資源、生物防除、慈善活動など多様な目的のために公的・私的な放流が続いている（中井，2002）。特にブラックバス類やブルーギルによる在来種の捕食は、我が国の内水面漁業や、生態系に甚大な影響を与え、大きな問題となっている。

これら移入種の問題をうけて、2005年6月1日に外来生物法が施行された。外来生物法により、生態系や在来種に影響を与えている移入種は、特定外来生物に指定され、被害に関する知見が不足している移入種は、要注意外来生物に指定された。特定外来生物は、輸入や飼育が原則禁止されている。

沖縄県では22種の国外移入魚類が確認され（立原ら，2002）、そのうち、オオクチバス、ブルーギル、カダヤシは特定外来生物に、グッピー、マダラロリカリア、ナイルティラピア、カワスズメは、要注意外来生物に指定されている。

これら移入魚の分布について、幸地（1997）が沖縄島を含む6島について報告し、沖縄島に最も多くの外来魚が生息しており、かつ中南部に多いことを明らかにした。また、立原ら（2002）は、沖縄島267河川の724か所において採集した27種の純淡水魚のうち20種が外来魚であったと報告している。しかし、琉球列島全域にわたる移入魚の分布に関する知見は、十分とはいえない。ここでは、種子島から与那国島に至る琉球列島における移入魚の分布の現状を明らかにする。

移入魚が生態系や在来種に与える影響を明らかにするには、生活史に関する情報の集積が必須である。しかし、琉球列島の移入魚で生活史に関する情報があるのは、マダラロリカリア（地村，1996）、カワスズメ（Tachihara and Obara, 2003a, b）、グッピーとカダヤシ（幸地，1984）のみで、他の移入魚については、ほとんど情報が無く、その解明が急務となっている。

ジルティラピア *Tilapia zillii* (Gervais) は、カワスズメ科 Chichlidae ティラピア属に属し、アフリカ大陸赤道以北・パレスチナ原産の移入魚である。純淡水魚であるが、塩分耐性を持ち、スエズ湾にも分布する（山岡，1989）。本種は、1962年に日本に持ち込まれたが、沖縄への詳しい移入時期は不明である（幸地，1997）。沖縄では、同科カワスズメ属のカワスズメ *Oreochromis mossambicus* やナイルティラピア *O. niloticus* とともに野生化しており、止水域を中心に分布している。

海外における本種の生態学的研究は、成長解析（Hauser, 1975; Pauly *et al.*, 1988）、成熟（Dadzie and Wangila, 1979; Siddiqui, 1979）、食性（Spataru, 1978; Buddington, 1979）、産卵行動（Bruton M. N. and Gophen, M, 1992; El-Zarka, 1956）などが報告されている。しかし、沖縄における本種的生活史に関する研究は、全くない。本種の仔稚魚に関する知見は少なく、耳石を用いた正確な年齢査定や成長の解析も行われていない。

そこで、本研究では、第1章で琉球列島における移入魚の分布の現状を明らかにする。次いで、第2章では、沖縄島南風原ダムにおいてジルティラピアの生活史、特に年齢と成長、成熟、仔稚魚の形態変化について明らかにする。

材料と方法

2000年8月～2005年12月に、与那国島、西表島、石垣島、宮古島、南大東島、沖縄島、渡嘉敷島、久米島、座間味島、伊平屋島、伊是名島、沖永良部島、徳之島、奄美大島、種子島 (Fig. 1) で、投網 (21節, 26節), タモ網 (直径約 30 cm, 目合約 1 mm) で採集された移入魚の同定を主に中坊 (1993) に従い行った。新たに記録された国外起源の移入種の同定は、適宜該当する分類群の文献 (Herbert, 1996; Burgess, 1989 など) を利用した。

また、1996年～2004年に、沖縄県で移入魚の生息が確認されている 88 河川で投網 (21節, 26節) とタモ網 (直径約 30 cm, 目合い約 1 mm) を用い魚類の採集を行った (Fig. 2)。調査地点は基本的に“河口から遡上を妨げる最初の河川構造物が出現するまでの区間”とし、そこに出現する魚類を出来る限り定量的 (上述の目合いの投網 10 投とタモ網を合わせて各定点 1 時間) に採集した。採集した魚類の同定は、主に中坊 (1993) に従い、できる限り種まで査定した。その結果を用い、各定点で採集された魚類の種数と採集個体数の中で移入種が占める割合の関係を算出した。

結果

1. 採集結果

今回の調査で、カワスズメ科 6 種 (カワスズメ *Oreochromis mossambicus*, ナイルティラピア *O. niloticus*, ジルティラピア *Tilapia zillii*, *Hemichromis* sp., *Copadichromis* sp. コンヴィクトシクリッド *Archocentrus nigrofasciatum*), カダヤシ科 4 種 (カダヤシ *Gumbusia affinis*, グッピー *Pocilia reticulata*, ソードテール *Xiphophorus helleri*, ムーンフィッシュ (プラティ) *X. maculatus*), コイ科 3 種 (パールダニオ *Danio albolineatus*, ゼブラダニオ *D. rerio*, アカヒレ *Tanichtys albonubes*), ヒレナマズ科 2 種 (ヒレナマズ *Clarias fuscus*, *C. batrachus*), サンフィッシュ科 2 種 (オオクチバス *Micropterus salmoides*, ブルーギル *Lepomis machrichirus*), ロリカリア科 1 種 (マダラロリカリア *Liposarcus disjunctivus*), ニベ科 1 種 (レッドドラム *Sciaenopes ocellatus*), タカサゴイシモチ科 1 種 (グラスフィッシュ *Parambassis ranga*) ドジョウ科 1 種 (レッドフィンボーシャ *Botia modesta*), Osteoglossidae 科 1 種 (シルバーアロワナ *Osteoglossum bicirrosus*) の計 22 種の移入魚が採集された (Table. 1)。沖縄島では 22 種全てが確認され、このうち 14 種は沖縄島のみで採集された。沖縄島に次いで移入魚の種数が多かったのは、与那国島 (3 種), 石垣島 (3 種), 宮古島 (3 種), 座間味島 (3 種), 渡嘉敷島 (3 種), 久米島 (3 種), 伊是名島 (3 種), 沖永良部島 (3 種) であった。最も多くの島で採集されたのは、カダヤシで (11 島), 次いでカワスズメ (10 島), グッピー (9 島), ジルティラピア (4 島), ナイルティラ

ピア (3 島), ソードテール (2 島), ムーンフィッシュ (2 島), オオクチバス (2 島) の順であった。

2. 琉球列島で確認された移入魚

今回の研究期間中に琉球列島で確認された移入魚の原産地, 導入経路, 採集場所と生息環境, 再生産の有無を以下に詳述する。

1) シルバーアロワナ

原産地: 南アメリカ

導入経路: 鑑賞用に飼育していたものが人為的に放流されたと考えられる。

採集場所と生息環境: これまで比謝川などで単発的に目視確認されてきた (徳永, 2000)。また, 今回, 那覇のりゅうたん池で同所的に複数の個体が同時に確認され, そのうち 1 個体を採集した。

再生産: 那覇のりゅうたん池では, 体長約 30 cm の個体が同時に複数回にわたり確認されており, その親と考えられる 50 cm 以上の個体も確認されていることから, 本種が沖縄島で再生産している可能性が極めて高くなった。今後の動向が極めて憂慮される。

2) パールダニオ

原産地: タイ, スマトラ

導入経路: 2001 年に初めて確認された。観賞用に輸入されており, 人為的に放流された可能性がある。安波のため池では, ゼブラダニオとセットで放流されており, 繁殖を目的とした意図的な放流の可能性も強い。

採集場所と生息環境: 安波の農業用ため池, 安波ダム, 福地ダム, 辺土名川で採集された。ダム湖に定着したものは, 河川を遡上し, リュウキュウアユと同所的に分布している。水生昆虫や落下昆虫を捕食するため, それらに与えるインパクトが懸念される。安波のため池では, 根絶も計画されたが, 失敗に終わっている。

再生産: 仔魚から成魚にいたる様々な発育段階のものが採集され, 確実に再生産している。

3) ゼブラダニオ

原産地: インド, ミャンマー

導入経路: 2003 年に初めて確認された。観賞用に輸入されており, 人為的に放流された可能性がある。パールダニオ同様, 繁殖を目的とした意図的な放流の可能性もある。

採集場所と生息環境: 安波の農業用ため池, 安波ダム, 福地ダム, 辺土名川で採集された。止水域を好み, ダム湖に侵入しても河川を遡上する個体は少ない。

再生産: 仔魚から成魚にいたる様々な発育段階のものが採集され, 確実に再生産している。

4) アカヒレ

原産地: 中国

導入経路: 2003 年に初めて確認された。観賞用に輸入されており, 人為的に放流された可能性がある。

採集場所と生息環境：辺土名川で確認された。

再生産：再生産：仔魚から成魚にいたる様々な発育段階のものが採集され、確実に再生産している。

5) レッドフィンボーシャ

原産地：メコン・チャオプラヤ川水系

導入経路：2003年に初めて確認された。観賞用に輸入されており、人為的に放流された可能性がある。

採集場所と生息環境：国場川で採集された。

再生産：採集個体は1個体のみであり、一過性の侵入である可能性が高い。

6) ヒレナマズ

原産地：中国長江以南，台湾島，フィリピン

導入経路：1960年代に養殖業者によって台湾から石垣島に移入された（幸地，1997）。

採集場所と生息環境：石垣島名蔵川水系で確認された。

再生産：本種は，導入当初に比べ，除々に個体数が減少してきている。本種の個体数の推移に注目したい。

7) ウォーキングキャットフィッシュ

原産地：東南アジア，インド

導入経路：観賞用に輸入されており，人為的に放流された可能性がある。

採集場所と生息環境：千原池（宇治泊川水系），南風原ダム（国場川水系）で採集された。本種は，多少の湿気があれば陸上を介して分布域を広げるとされていること，強い肉食性を示すことから，今後の動向に充分注意を払う必要がある。

再生産：南風原ダムでは当歳魚と思われる仔稚魚が採集されており，再生産していると考えられる。

8) マダラロリカリア

原産地：アマゾン川支流マデイラ川

導入経路：1991年に初めて沖縄で確認された。観賞魚として輸入されたものが放流されたと考えられている（幸地，1997）。

採集場所と生息地：比謝川，屋部川，天願川，牧港川，国場川，千原池，南風原ダムで確認された。軟泥から砂底の河底を好み，時には，岩盤上にも出現する。デトリタスフィーダーであり，食性は極めて幅広い。雄親が土手に横穴を掘り，その中にイクラ大の卵を塊状に産出する（嶋津，未発表）。

再生産：確認されている全ての場所で繁殖している。

9) カダヤシ (Fig.3-A)

原産地：北アメリカ

導入経路：1919年にマラリアを媒介するハマダラカの駆除を目的で，台湾を経由して人為的に自然水域に放流された（幸地，1997）。

採集場所と生息環境：西表島では大原ため池と与那良川，石垣島では石垣水路と轟川，宮古島では島尻入江と崎田川，座間味島では座間味ダム，伊平屋島では田名池，伊是名島では武原ダムと勢理客水路，沖縄島では東海岸では汀間川から志喜屋川，西海岸では辺土名川から報徳川にいたる計 22 河川（徳永，2000），沖永良部島では途多川，奄美大島では浦川のマングローブ湿地，種子島では浜川と大浦川から確認された（Table. 2）。本種は海水がわずかに浸入するマングローブ湿地の上端から河川中下流部およびダムや農業用の貯水地など様々な環境に侵入している。

再生産：カダヤシは確認したすべての場所で小型個体から大型個体まで幅広いサイズのものが入集されてお入，各々の場所で再生産を行入，定着していることが確認された。本種の野外への定着により，本種と在来入メダカとの間で競争が生じ，後者の個体数が減少するとされている。さらに，後述するグッピーの侵入により，本種の分布域が減少しつつあるとされている（幸地，1997）。

10) グッピー (Fig.4-A)

原産地：アマゾン川北部，トリニダート島，バルバドス島などである

導入経路：1960 年代に入観賞用に飼っていたものが，人為的に野外に入放逐されたと考えられる（幸地，1997）。当初は沖縄島南部で確認されていたが，経年的に分布が北上しつつある（立原ほか，2002）。

採集場所と生息環境：石垣島では轟川，宮古島では島尻入江と崎田川，南大東島では大池，久米島では銭田川と儀間川，座間味島では水路，渡嘉敷島では渡嘉敷川，沖縄島では東海岸では宇出那覇川から白水川，西海岸では辺土名川からカータ川にいたる 58 河川（徳永，2000），沖永良部島では途多川から確認されている。で生息が確認されている。梅雨や台風の大入時に入は，稚魚の一部が海に入押し流されるが，カワスズメの場合と同様，これらの個体は流れ藻などに付随して近隣河川に入分布を広げていることが示唆されている（鎌田，2000；立原ほか，2002）。本種はカダヤシより汚染環境に入強いと考えられ，汚染が進行した河川やため池でも生息が確認されている。

再生産：確認されたすべての場所で再生産しているものと考えられる。カダヤシの入項でも述べたが，本種が入侵入するとカダヤシの個体数が減少する傾向があるという（幸地，1997）。

11) ソードテール (Fig.5-A)

原産地：メキシコ東部。

導入経路：沖縄島では 1960 年代に入確認されたという（幸地，1997）。観賞用に飼っていたものが，人為的に野外に入放逐されたと考えられる。

採集場所と生息環境：久米島入の銭田川，白瀬川，儀間川，沖縄島入の世富慶川（徳永，2000），源河川で確認された。沖縄島入における生息場所は，散発的であるが，久米島では河川やため池入のいたるところに入侵入してお入，各水域での優占種入のひとつとなっていた。

再生産：本種は胎生であり，性転換をする（幸地，1997）。沖縄島入での再生産は，確認されていないが，源河川では大型入の雌雄が複数確認されていること，世富慶川では複数年に入わたり

確認されていることから再生産している可能性が高い。久米島では、確認されたすべての水域で再生産していると推察された。

12) ムーンフィッシュ (プラティ)

原産地：中央アメリカ。

導入経路：沖縄島では 1960 年代に確認されたという (幸地, 1997)。観賞用に飼っていたものが、人為的に野外に放逐されたと考えられる。

採集場所と生息環境：沖縄島のジニンサ川と世富慶川 (徳永, 2000)、種子島の今熊野川で確認されている。

再生産：本種は単発で見つかることが多く、再生産の有無は確認されていない。

13) グラスフィッシュ

原産地：東南アジア

導入経路：2000 年にはじめて確認された。鑑賞用に輸入、飼育されていたものが人為的に放流されたと考えられる

採集場所と生息環境：現在、確認されているのは南風原ダムのみである。

再生産：南風原ダムでは再生産していると考えられる。

14) オオクチバス (Fig.7-A)

原産地：北アメリカ中部から東部。

導入経路：沖縄島では 1963 年に初めて確認されたという (幸地, 1997)。本種はゲームフィッシュの対象種として、1925 年に神奈川県芦ノ湖に放流された (淀, 2002)。その後、日本全土に釣の対象種として人為的に移入され、1970 年代に一気に分布域を拡大していった (淀, 2002)。本種は肉食性で生態系に与える影響も大きく (淀, 2002)、2005 年 6 月に外来生物法により、特定外来生物に指定された。

採集場所と生息環境：沖縄島では、比屋良川上流の千原池、雄樋川上流の大城ダム (徳永, 2000)、比謝川とその上流にある倉敷ダムで確認された。また、琉球列島内では沖縄島以外から初めて伊是名島の武原ダムで確認された。

再生産：現在確認されている場所では、再生産しているものと考えられる。

15) ブルーギル

原産地：アメリカ東部

導入経路：沖縄へは、1963 年に恩名ダムにはじめて移植された (幸地, 1997)。

採集場所と生息環境：金武ダム (億首川水系)、倉敷ダム (比謝川水系)、比謝川では流れがゆるやかな場所で多い (徳永, 2000)。

再生産：比謝川では再生産していると考えられる。

16) レッドドラム

原産地：北アメリカ

導入経路：2004 年に初めて確認された。本種は、海面養殖されていたものが逃げ出したと考えられる。

採集場所と生息環境：石川川の感潮域で採集された。

再生産：一時的に逃げ出したものが採集されたと考えられ、再生産は確認されていない。たぶん、台風の際養殖生簀から逸散しており、今後の動向には注意が必要である。

17) カワスズメ (Fig.8-A)

原産地：アフリカ大陸西部やイスラエル

導入経路：食用目的で1954年に台湾経由で移入された(幸地, 1997)。

採集場所と生息環境：与那国島では田原川, 石垣島では石垣水路と轟川, 宮古島では嘉手刈入江と崎田川, 南大東島では大池, 久米島ではちちち川と儀間川, 渡嘉敷島では渡嘉敷川と貯水ダム, 伊平屋島では田名湖周辺, 沖縄島では島のほぼ全域110河川(立原ら, 2002), 沖永良部島では途多川と耳付池, 徳之島ではわせ池から確認された。本種は, 那覇市外を流れる安里川のような水質の悪い環境下でも生存可能であり, 雌が口内保育を行い, 繁殖力が強い。塩分耐性も強く, 冬期の水温低下時には, 汽水域や海域に移動し, 越冬する。すなわち, 本種は海域を通じて近隣河川への分布拡大が容易に行われている。さらに梅雨や台風の大雨時には, 稚魚の一部が海に押し流されるが, これらの個体は流れ藻などに付随して近隣河川に分布を広げていることが示唆されている(鎌田, 2000; 立原ほか, 2002)。

再生産：確認された多くの場所では, 再生産可能である。ただし, 稚魚が海域を経由して分布を拡大する中で, 清冽な溪流のまま海に注ぐような河川に侵入した場合には, 一過性の侵入に終わる例(座津武川)も観察されている。

18) ジルティラピア (Fig.9-A)

原産地：アフリカ大陸赤道以北とパレスチナ地方など。

導入経路：1962年に沖縄島で確認されている。導入経路は不明であるが, ジルティラピアはカツオの一本釣りの代用餌として利用されたことがあり, 沖縄県でもティラピア類をカツオの餌として利用しようとしたことがあるという(Obara, 1998)。

採集場所と生息環境：沖縄島の千原池, りゅうたん池, 南風原ダム, 徳之島の秋利神川(目視のみ), 座間味島のため池, 奄美大島の戸口川, 浦川マングローブ湿地で確認された。沖縄島での分布は, 止水域に限られているが, 徳之島や奄美大島では, 比較的環境の良い河川にも定着していた。

再生産：基質産卵を行い, 塩分や水温に幅広い耐性を示す(Philippart and Ruwet, 1982)。本種の成熟や産卵に関しては, 章を改めて詳述する。

19) ナイルティラピア (Fig.10-A)

原産地：アフリカ大陸西部およびタンガニーカ湖以北のナイル川水系とイスラエルのヤルコン川など。

導入経路：沖縄島では1960年代に確認されたという(幸地, 1997)。導入目的は食用で, 養殖場から自然水域に逸散したものと推察されている。

採集場所と生息環境：与那国の田原川, 伊是名島の伊是名川と伊是名池, 沖縄島の16河川(徳永, 2000)から確認された。止水域と河川下流部での確認が多く, カワスズメと同所的に

生息する場合、特に環境が単調で狭いため池などの止水域では容易に交雑が起きるとされている(坂野・井口, 私信)

再生産: 雌が口内保育を行う。カワスズメやジルティラピアほどではないが、塩分耐性を持つ(Philippart and Ruwet, 1982; Payne and Collinson, 1983)。本種の分布河川は比較的限られており、カワスズメほど海域を経由して分布を広げていない可能性が示唆される。

20) ジュエルフイッシュ

原産地: アフリカ

導入経路: 2004 年にはじめて確認された。鑑賞用に輸入、飼育されていたものが人為的に放流されたと考えられる。

生息地と採集場所: 那覇市のりゅうたん池でのみ確認されている。

再生産: 1 個体のみの採集であり、再生産の有無は不明である

21) *Copadichromis* sp.

原産地: アフリカ Malawi 湖

導入経路: 1996 年にはじめて確認された。鑑賞用に輸入、飼育されていたものが人為的に放流されたと考えられる。

生息地と採集場所: 南風原ダムで採集された。

再生産: 南風原ダムでは、口内保育中の個体や仔稚魚が採集されており、定着しているものと考えられる。

22) コンヴィクトシクリッド

原産地: 中央アメリカ

導入経路: 沖縄では 2000 年に初めて確認された。鑑賞用に輸入、飼育されていたものが人為的に放流されたと考えられる。

生息地と採集場所: 千原池(宇治泊川水系)、南風原ダム(国場川水系)で採集された。

再生産: 南風原ダム、千原池では、当歳魚と思われる仔稚魚が採集され、定着していると考えられた。南風原ダムでは本種のアルビノ個体も採集されている。

3. 沖縄県下の河川における魚類群集の多様性と移入魚が占める個体数の割合

沖縄県下の 88 河川における河川ごとの魚種数と採集個体数中に占める移入魚の個体数の割合を Fig.11 に示す。これをみると、魚類の種数が 10 以下の河川では、移入魚の個体数が全採集個体の 50 % 以上を占める場合があったが、種数が増えるにつれ、移入魚が占める割合が減少し、30 種以上の魚類が生息している河川では、移入魚が占める割合はいずれも 10 % 以下となった。

考察

本研究では、沖縄島だけで 22 種の移入魚が確認された。幸地 (1997) は、沖縄島で 12 種の移入魚を確認しており、移入魚の種数が急速に増加していることが明らかとなった。

カダヤシは、与那国島から種子島まで生息が確認され、琉球列島の北から南に至るまで分布が広範で、琉球列島のほぼ全域に生息することが明らかとなった。今回は 15 島のうち 11 島で採集されたが、生息が確認されなかった離島でも、今後調査水域を広げることにより、採集される可能性がある。

オオクチバスは、沖縄島と伊是名島で確認された。本種は、肉食性を示し、在来種へ大きな影響を与えることが明らかになっている (中井, 2002)。離島の陸水域は規模が小さく、在来種への影響が相対的に大きくなる可能性があり、分布拡大に注意が必要である。さらに、2005 年に倉敷ダムに生息していた本種が、同 5 年 6 月の降雨により、下流の比謝川水系に流出したことが明らかとなった。沖縄島の河川で多数のオオクチバスが確認されたのは初めてのことであり、今後の動態が極めて憂慮される。

カワスズメは、与那国島から徳之島までの 10 島で生息が確認され、ティラピア類の中では、最も分布が広範であった。しかし、奄美大島以北では確認されず、温泉地などを除く自然河川における分布の北限は徳之島である可能性が示唆された。一方、ジルティラピアは、琉球列島での分布が 4 島に限られていた。本種は、鹿児島島の池田湖や天降川での定着が報告されており (山岡, 1989)、アフリカではカワスズメよりも北部に分布する (Thys, 1988)。以上より、ジルティラピアは、カワスズメより高緯度の水域でも生息可能であり、人為的に移入された場合、琉球列島全域に定着する可能性もある。

沖縄県下の 88 河川における河川ごとの魚種数と採集された魚類の個体数に占める移入魚の個体数の割合の関係 (Fig. 10) をみると、種数が少ない河川では、移入魚が最優占種 (全個体数の 50% 以上) となることがあったが、多種多様な魚類が生息する河川では移入魚の個体数の割合が減少する傾向があった。沖縄島南部では水質汚染が進み、在来種が少なくなり、水質汚染に強い移入種が増えているという (徳永, 2000)。水質が悪化した環境下では、在来種数が少なくなり、汚染に強いカワスズメやグッピーなどの移入種が空いたニッチを優先的に利用し、その結果、移入種の割合が増加したと考えられた。逆に多様な魚類が生息する環境下では、移入魚が持ち込まれても餌や空間をめぐる魚種間の相互作用などの要因により、爆発的な増殖が抑えられる可能性が示唆された。また琉球列島には沖縄島の汀間川のように 191 種もの魚類が出現する河川もある (前田・立原, 投稿中)。これら河川に侵入する魚類の多くは、いわゆる周縁性魚類であり、それらのうちギンガメアジ、ロウニンアジ、コトヒキ、ゴマフエダイなどは、強い肉食性を示す。これら肉食魚が移入魚の仔稚魚の被捕食圧を上昇させ、その結果、移入魚の増殖が抑えられている可能性も高い。以上より、周縁性魚類の遡上を妨げる要因 (河川構造物や水質汚染) を取り除けば、河川下流部における移入魚の増殖を抑えうる可能性が示唆された。

材料と方法

1. 標本の採集、処理

ジルティラピアの採集は、2004年10月～2005年10月に、毎月2回、南風原ダムの北部約250 mの区間で行った (Fig. 11). 採集には投網 (21節) とタモ網 (目合2 mm, 口径約30×30 cmの半楕円型) を用いた. また、適宜釣りによる採集も併用した. 採集個体は、冷蔵で研究室に持ち帰り、ノギスを用いて標準体長 (standard length: SL) を0.1 mm単位で計測後、電子天秤 (研精工業製, HR-120) を用いて体重を0.01 g単位で計量した. その後、左右の耳石と生殖腺を摘出し、10%海水ホルマリンで固定した. 摘出した生殖腺は、電子天秤を用いて0.01 g単位で計量後、10%中性ホルマリンで固定した. また、採集時にはアルコール式水温計を用いて、水温を0.1℃単位で測定した.

2. 一般形態の計測と計数

成魚の外部形態を観察し、成魚雌雄各5個体 (雄: 69.0～143.5 mm, 雌: 73.5～127.0 mm) について、標準体長に加え、全長 (total length: TL) 尾叉長 (fork length: FL) 肛門前長 (pre-anus length: PAL), 背鳍前長 (pre-dorsal fin length: PDL), 頭長 (head length: HL), 眼径 (eye diameter: ED), 吻長 (snout length: SNL), 上顎長 (upper jaw length: UJL), 体高 (body depth: BD), 尾柄高 (caudal peduncle depth: CPD) をノギスで0.1 mm単位で計測した. また、背鳍鳍条数 (number of dorsal fin rays: DF), 臀鳍鳍条数 (number of anal fin rays: AF), 胸鳍鳍条数 (number of pectoral fin rays: P1F), 腹鳍鳍条数 (number of pelvic fin rays: P2F), 側線有孔鳞数 (number of lateral line pore scales), 縦列鳞数 (number of lateral row scales), 鰓耙数 (number of gill rakers) を計数した.

3. 成熟

1) 生殖腺指数の算出

2004年10月～2005年10月に得られた雄395個体、雌506個体について、生殖腺重量を以下の式に代入し、生殖腺指数 (gonadosomatic index: GSI) を算出し、その経月変化を調べた.

$$GSI = \{ \text{生殖腺重量 (g)} / \text{体重 (g)} \} \times 100$$

2) 卵径組成

卵巣の部位により成熟段階に差があるかどうか調べるため、雌2個体 (68.2 mm SL, 81.5 mm SL) の卵巣の前部、中部、後部から卵を少量摘出し、万能投影機 (Nikon社製, Profile projector V-12B) で100倍に拡大し、デジタルノギス (Mitutoyo社製, ABS デジマチックキャリパ)

を用いて、卵巣卵の長径を 0.01 mm 単位で 200 個ずつ計測した。また、生殖腺指数の異なる 4 個体の卵巣の中部から卵を摘出し、各 200 個の卵の長径を計測した。

3) 孕卵数

まず、第 3 次卵黄球期の成熟段階の卵を持つ(後述)雌 24 個体の卵巣内卵を摘出し、0.01 mm 単位で卵径を計測した。その後、卵巣の 1 部を摘出し、重量を 0.01 mg 単位で計量後、そこに含まれる 0.9~1.6 mm の卵を計数した。それをもとに 1 個体の卵巣内の次回に生み出される卵数を推定し、孕卵数とした。

4) 生殖腺の組織学的観察

雌 252 個体の生殖腺の小片を切り出し、アルコール系列で脱水し、パラフィンに置換して、パラフィンに包埋した。その後、マイクロトームを用いて 7 μ m の連続切片を作製し、ヘマトキシレン・エオシンの二重染色を施したプレパラートを作製し、MGK で封入した。作製したプレパラートは光学顕微鏡下で 400~1,000 倍に観察した。

卵母細胞の成熟段階については、Ebisawa (1990)、Coward and Bromage (1998) を参考にし、周辺仁期、卵黄胞期、第 1 次卵黄球期、第 2 次卵黄球期、第 3 次卵黄球期に分けた。各個体の成熟段階は、卵巣内で最も成熟が進んだ卵母細胞の成熟ステージで表し、排卵痕の有無も確認した。

4. 耳石解析

2004 年 10 月~2005 年 10 月に採集した 723 個体(雄 322 個体、雌 401 個体)について、耳石(偏平石)を万能投影機で 10 倍に拡大し、デジタルノギスを用いて長径(otolith length : OL)、短径(otolith breath : OB)を 0.01 mm 単位で計測し、電子天秤を用いて 0.1 mg 単位で重量を計量した。その後、耳石を FRP 樹脂(日本特殊塗料株式会社製、FRP 手積用ポリエステル樹脂)に包埋し、ダイヤモンドカッター(Buehler 社製、Isomet Low-speed jewelley saw)を用いて耳石長軸に垂直な面で切断し、厚さ 0.250~0.275 mm の切片を作製した。切片は、透明マニキュアでスライドガラスに包埋し、プレパラートを作製した。

1) 年齢査定

耳石切片は、実体顕微鏡下(20~40 倍)で、不透明帯を輪紋として計数するとともに、縁辺が不透明帯か透明帯かを判別し、その割合を算出した。また、万能投影機を用いて耳石切片を 100 倍に拡大し、核から縁辺までの距離(otolith radius : OR)と、その計測線上の核から各輪紋までの距離(ring radius : r_n)をデジタルノギスで 0.01 mm 単位で計測した。また、次式より、縁辺成長率(marginal growth index : MGI)を算出した。

$$MGI = (OR - r_i) / (r_i - r_{i-1}) \times 100$$

r_i は、核と最外縁の輪紋との距離を示す。

また、耳石縁辺が不透明帯であった個体の割合と縁辺成長率の経月変化から、不透明帯の形成時期を明らかにし、不透明帯が年輪として妥当かを検討した。

2) 成長解析

年齢と標準体長の値を Macintosh 用ソフト, Kaleida Graph 3. 0. 5 (AblbeckSoftware 社製) を用いて, 以下に示す von Bertalanffy の成長式にあてはめ, 成長曲線を求めた.

$$L_t = L_\infty(1 - \exp[-K(t - t_0)])$$

ここで, L_t は t 歳時の標準体長 (mm), L_∞ は極限体長, K は成長係数, t_0 は始原成長指数を表す.

5. 仔稚魚の成長に伴う形態変化

1) 産着卵の採集

2005 年 6 月 11 日に釣獲した 130.0 mm SL の雄と 95.0 mm SL の雌の腹腔内に生殖腺刺激ホルモンゴナドトロピン (帝国臓器社製) を体重 1 g あたり 0.5 単位注射し, 水槽 (90×45×45 cm) に収容した. 水槽内には産卵床となる石を入れた. 産卵後, 産卵床となった石を取り出し, 産着卵を計数した.

2) 仔稚魚の飼育と外部形態の観察

2005 年 6 月 15 日に孵化した仔魚を, 4.5 L の円形水槽に移し, 飼育を行った. 孵化後 3 日目からアルテミア *Artemia salina* を 1 日 1 回与え, 孵化後 5 日目から市販の餌 (テトラフィン, テトラジャパン) を併用して与えた.

孵化仔魚, 日齢 1, 2, 3, 5, 10, 15, 20, 25 の個体を 10 個体ずつ水槽から取り出し, 5% 海水ホルマリンで固定した. その後, 実体顕微鏡で 10~100 倍に拡大し, 外部形態を観察, スケッチ後, 万能投影機で 10~100 倍に拡大し, 脊索長 (Notochord length: NL, 日齢 0~3), あるいは標準体長 (日齢 5 以降) を 0.01 mm 単位で計測した.

結果

1. 採集結果と水温の経月変化

1) 採集結果

今回の調査で雄 749 個体 (33.0~168.0 mm SL), 雌 950 個体 (30.1~138.0 mm SL), 性別不明 943 個体 (7.3 mm~53.5 mm SL), 計 2,642 個体を採集した (Fig. 13). 最大個体は, 雄 168.0 mm SL, 雌 138.0 mm SL で, それぞれ 2005 年 7 月と 3 月に採集された. 最小個体は, 7.3 mm SL で, 2005 年 5 月に採集された. 新規加入個体と思われる 30 mm 未満の個体は, 2005 年 5~7, 9 月に採集された.

2) 水温の経月変化

調査期間中の水温は, 2004 年 10 月 (24 °C) 以後, 経月的に減少し, 2005 年 1 月には 16 °C となった. その後, 3 月から上昇し, 7 月には最も高い 32.1 °C に達した後, 再びゆるやかに減少した (Fig. 14).

2. 一般形態

ジルティラピアの成魚は, 体形が側扁し, 尾鰭は鞍形であった. 胸部から腹部にかけて赤色を呈し, 体側には暗色の 8 横帯と 2 縦帯があった. 背鰭の後部に眼状斑があった (Fig. 9-A).

本種の雌 5 個体, 雄 5 個体の計数形質と各部位の計測結果を Table.3 に示す. 各計測形質の標準体長に対する割合は, 肛門前長 64.4~72.4 %, 背鰭前長 35.0~40.0 %, 頭長 31.7~35.8 %, 眼径 7.4~11.6 %, 吻長 10.3~13.9 %, 上顎長 8.7~13.0 %, 体高 37.4~44.4 %, 尾柄高 10.9~16.7 % であった. 計数形質は, 背鰭 14~16 棘 12~13 軟条, 臀鰭 3 棘 8~9 軟条, 胸鰭 12~13 軟条, 腹鰭 1 棘 5 軟条であった.

3. 成熟

1) 生殖腺指数の経月変化

本種の生殖腺指数の経月変化を Fig.15 に示す. 雌の生殖腺指数の平均値は, 2 月から上昇し (1.18 ± 0.35), 4 月に最も高い値 (2.85 ± 1.42) を示した後, 5~7 月にゆるやかに減少し, 8~10 月は 1 以下であった. 10 月に生殖腺指数 8.05 の個体が 1 個体出現した. 雄の生殖腺指数の平均値は, 3 月 (0.19 ± 0.06) から上昇し, 5 月 (0.97 ± 0.89) に最大値を示した後, 10 月までゆるやかに減少した.

2) 体長と生殖腺指数

標準体長と生殖腺指数の関係を雌雄別に Fig. 16 に示す. 雌は, 体長 41.1 mm で生殖腺指数 2 以上を示す個体が出現した. 雄は, 体長 33.0~76.0 mm SL で生殖腺指数 1 以上を示す個体が出現したが, 体長 76.0 mm SL 以上では, 1 以上の生殖腺指数を示す個体が

いなくなった。

3) 卵径分布

同一個体の異なる卵巣部位(前部, 中部, 後部)における卵径組成には差がなかった (Fig. 17).

異なる生殖腺指数 (0.82~9.99) の卵径組成を Fig.18 に示す. 生殖腺指数 0.82 の個体では, 0.06~0.52 mm の卵群が観察され, 単峰型を示した. 生殖腺指数が 1.75 以上になると, 0.54~0.88 の大型分離卵群が現れ, 2 峰型となった. 大型分離卵群は, 生殖腺指数の増加に伴い, 卵径が大きくなった.

4) 孕卵数

本種の体長 49.0~115.0 mm の個体の孕卵数 (fecundity : F) は, 約 470~2,300 と推定され, 平均 $1,112 \pm 483$ 個であった (Fig. 19). 体長と孕卵数の関係は次式で示された.

$$F=1.5615 \times SL^{1.4637} \quad (r=0.62, N=24)$$

5) 卵巣の組織学的観察

本種の卵巣卵の発達段階は, 以下の 5 つの成熟段階に分けられた (Fig. 20).

(1) 周辺仁期

卵母細胞の直径は, 約 100 μm で, 細胞質がヘマトキシレンに濃染され, 数個の仁が核内縁部に分布していた. 生殖腺指数は, 0.36~0.84 であった (Fig. 20-A).

(2) 卵黄胞期

卵径は約 150 μm で, 細胞内に卵黄胞が出現した. 卵黄胞は, 卵径が大きくなるにつれ, 数と大きさを増した. 生殖腺指数は, 0.53~1.53 であった (Fig. 20-B).

(3) 第 1 次卵黄球期

卵径は約 200 μm で, 細胞質外縁部にエオシンに好染性の卵黄球が出現した. 生殖腺指数は, 0.58~1.47 であった (Fig. 20-C).

(4) 第 2 次卵黄球期

卵の直径は, 約 300 μm に達した. 卵黄球は数, 大きさを増し, 核に向かって細胞質を占めていった. 生殖腺指数は, 0.92~2.60 であった (Fig. 20-D).

(5) 第 3 次卵黄球期

卵の直径は, 約 500~1500 μm になり, 大型になった卵黄球が細胞質の全域を占めた. 生殖腺指数は, 0.91~9.99 であった (Fig. 20-E).

組織学的観察を行った卵巣の各成熟段階の経月変化と排卵痕 (Fig. 20-F) を持った個体数を Fig. 21 に示す. 10 月に第 3 次卵黄球期の個体が 1 個体出現したが, 11~1 月には見られず, 卵黄胞期と周辺仁期の個体が 90 % 以上を占めた. 2 月に第 3 次卵黄球期の個体が出現し (14.3%), その割合は, 3 月には 75 %, 4 月には 90 % に達した. その後, 5~7 月には 50 % 以上の高い割合を示したが, 8 月には 18.7 % に減少し, 9, 10 月には全ての個体が卵黄胞期か周辺仁期となった. 排卵痕は, 4 月に 2 個体, 5 月に 1 個体認められた.

生殖腺指数と成熟段階の関係を Table 4 に示す. 第 3 次卵黄球期の個体は, 生殖腺指数 1

以上で出現し、生殖腺指数 2 以上では、98 % の個体が第 3 次卵黄球期であった。体長と成熟段階の関係を Table.5 に示す。これをみると、第 3 次卵黄球期の卵を持つ最小個体は、49.0 mm SL だった (2005 年 6 月, GSI: 2.56)。また、卵黄球期の卵を持つ最小個体は、42.0 mm SL だった。(2005 年 7 月, GSI: 1.44)。

4 年齢と成長

1) 年齢査定

体長と耳石長径、耳石短径の関係を Figs 22, 23 に示す。耳石長径、耳石短径は体長とともに増加し、雌雄ともに強い正の相関を示し、次式を得た。

$$\text{雌: OL} = 1.28 + 0.032\text{SL} \quad (r = 0.95) \quad \text{OB} = 0.97 + 0.023\text{SL} \quad (r = 0.94)$$

$$\text{雄: OL} = 1.26 + 0.032\text{SL} \quad (r = 0.98) \quad \text{OB} = 0.89 + 0.024\text{SL} \quad (r = 0.97)$$

本種の耳石切片は、中心に不透明な核を有し、その周りに透明帯と明瞭な不透明帯が交互に形成されていた (Fig. 24)。体長と耳石半径は、相関を示し、次式を得た (Fig. 25)。

$$\text{雌: OR} = 0.14 + 0.08\text{SL} \quad (r = 0.78) \quad \text{雄: OR} = 0.20 + 0.06\text{SL} \quad (r = 0.85)$$

また、耳石の輪紋数別に、耳石半径と輪紋径との関係をみると、直線的な関係が認められ、輪紋の相似性が明らかであった (Fig. 26)。耳石縁辺が不透明な個体の月別出現割合を Fig. 27 に示す。耳石縁辺が不透明な個体は、2 月から出現した。その割合は、経月的に増加し、5、6 月には 60 % 以上の高い値を示したが、7 月に 0 % と急激に減少し、10 月まで全ての個体の耳石縁辺が透明となった。

本種の縁辺成長率の経月変化を Fig. 28 に示す。本種の縁辺成長率の平均値は、雌雄ともに 10~4 月には 50 % 以上の高い値を示した。雌の縁辺成長率は、5~7 月には経月的に減少し (35.6 ~ 40.6 %), その後、8~10 月には経月的に上昇した。雄の縁辺成長率は、5 月に 32.7 % まで減少し、6 月に 28.2 % となった後、10 月まで経月的に上昇した。

輪紋数ごとの個体数と性比を Fig. 29 に示す。最多輪紋数は、雌雄ともに 6 で、それぞれの体長は、雌 97.5 mm SL, 雄 168.0 mm SL であった。輪紋数ごとの個体数は、1 輪群と 2 輪群ではそれぞれ 279 個体, 280 個体であったが、その後、輪紋数の増加に伴い減少した (Fig. 29-A)。また、輪紋数 2~4 では若干雌が多かった (Fig. 29-B)。

2) 成長解析

輪紋数ごとの耳石半径の平均値と、体長と耳石半径の関係から逆算した各輪紋形成時の体長を Table.5 に示す。これより、輪紋数 1~6 の逆算体長は、雌が 55.3 mm, 75.1 mm, 94.0 mm, 111.6 mm, 129.2 mm, 雄が、67.9 mm, 98.1 mm, 122.5 mm, 146.7 mm, 169.2 mm であった。また、これら逆算体長を用いて Wolford の定差図を作製し、次式を得た (Fig. 30)。

$$\text{雌: SL}_{t+1} = 0.807\text{SL}_t + 47.306 \quad \text{雄: SL}_{t+1} = 0.8737\text{SL}_t + 30.008$$

ここで、 SL_t は、 t 歳時の体長を、 SL_{t+1} は、 $t+1$ 歳時の体長を指す。

Wolford の定差図から、極限体長と成長係数を求めると、極限体長は、雌で 237.6 mm SL、雄で 245.1 mm SL であり、成長係数は、雌で 0.14、雄で 0.21 であった。これらを初期値とし、von Bertalanffy の成長式に代入して次式を得た。

$$\text{雌: } SL=97.5(1-\exp[-0.61(t+0.08)]) \quad (N=401, r=0.73)$$

$$\text{雄: } SL=214.4(1-\exp[-0.16(t+1.45)]) \quad (N=322, r=0.75)$$

輪紋数ごとの平均体長と von Bertalanffy の成長式から得られた推定体長を Table.6 に示す。輪紋数 0~6 までの平均体長は、雌で 44.1 ± 0.7 mm, 64.2 ± 0.8 mm, 82.4 ± 1.4 mm, 86.5 ± 1.2 mm, 92.0 ± 1.9 mm, 84.4 ± 1.0 mm, 97.5 mm で、雄が 46.8 ± 0.9 mm, 70.9 ± 1.1 mm, 92.0 ± 2.0 mm, 111.7 ± 2.4 mm, 130.4 ± 2.6 mm, 168.0 mm であった。0~6 歳の推定体長は、雌でそれぞれ 39.4 mm, 66.0 mm, 80.4 mm, 88.2 mm, 92.4 mm, 94.8 mm, 96.0 mm で、雄が 44.4 mm, 69.5 mm, 90.9 mm, 109.2 mm, 124.8 mm, 138.0 mm, 149.3 mm であった。推定体長では、0~1 歳は雌雄差が少なかったが、2 歳以上になると雄の成長が早くなった。極限体長は、Wolford の定差図では雌 237.6 mm, 雄 245.1 mm, von Bertalanffy の成長式では雌 95.9 mm, 雄 214.4 mm であり、雌で両者間に顕著な違いが見られた。von Bertalanffy の成長曲線を見ると、本種の成長は、0 歳では雌雄差がなかったが、1 歳以降になると性差が現れ、雄が雌に比べ大きくなった (Fig. 31)。

5. 仔稚魚の形態変化

1) 産着卵数の推定

産卵は、2005 年 6 月 13 日の午後 10 時~11 時に行われた。産着卵は、石の上面に単層に産み付けられていた (Fig. 32-A)。本種の卵は、オリーブ色を呈し、長径 1.58~1.60 mm、短径 1.03~1.12 mm (N=10) の楕円球形で (Fig. 32-B)、2 日後に孵化した。産着卵数は、1,791 個だった。

2) 仔稚魚の形態変化

仔稚魚の形態変化を Figs. 33, 34 に示す。

孵化仔魚 (3.4 mm NL) は、頭部に粘着器があり、約 1.3 mm の卵黄を持っていた。卵黄中央部に黒色素胞が密集していた。筋節数は 27 だった。黒色素胞は、耳胞の後部と第 2 筋節から第 5 筋節の腹側に分布していた (Fig. 33-A)。また、頭部の粘着器で小石などに付着し、絶え間なく体を左右に振る wriggling を行っていた。

日齢 1 (4.2 mm NL) では、眼の黒化が始まり、胸鰭が形成され始めた。黒色素胞が第 6 筋節~第 10 筋節の腹側に出現した (Fig. 33-B)。

日齢 2 (4.2 mm NL) では、脊索末端の上屈が始まり、下尾骨原基が出現した。また、眼が完全に黒化し、開口した。開鰓し、頭部に樹枝状の黒色素胞が出現した。黒色素胞が、第 10~第 12 筋節の腹側に出現し、第 13 筋節にも樹枝状の黒色素胞が出現した (Fig. 33-C)。

日齢 3 (4.3 mm NL) では、下尾骨が 8 個形成され、鰓条骨が 2 本出現した。第 13 筋節の腹側の黒色素胞が発達し、黒色素胞が第 1 筋節～第 11 筋節、第 13 筋節、第 16～21 筋節の背側と第 4 筋節の中央部に出現した (Fig. 33-D)。遊泳を開始した。

日齢 5 (4.5 mm NL) では、頭部の粘着器が消失し、胸鰭の鰭条原基が 6 本出現した。また、脊索末端の上屈が終了した (Fig. 33-E)。

日齢 10 (5.2 mm SL) では、背鰭と臀鰭の鰭条原基が出現し、尾鰭の鰭条が末端に達した (Fig. 34-A)。

日齢 12 (6.1 mm SL) では、背鰭の鰭条数が 12、臀鰭の鰭条数が 7 に達し、膜鰭が退縮した。黒色素胞が鰓蓋と第 13～16 筋節の中央部および尾柄に出現した。上顎先端に黒色素胞が出現した (Fig. 34-B)。

日齢 15 (6.2 mm SL) では、胸鰭が 12 軟条、臀鰭が 3 棘 8 軟条で定数に達し、卵黄が全て吸収された。背鰭は 11 棘 13 軟条となり、腹鰭が形成され始めた。鰓蓋の黒色素胞が数を増し、第 8～10 筋節中央部にも黒色素胞が出現した (Fig. 34-C)。

日齢 20 (6.73 mm SL) では、腹鰭が 1 棘 5 軟条、背鰭が 14 棘 12 軟条で定数に達し、稚魚期となった。体側の黒色素胞は数を増した (Fig. 34-D)。

日齢 25 (10.07 mm SL) では、体側の黒色素胞が不明瞭な 8 横帯を形成し、背鰭第 1 軟条から第 2 軟条にかけて眼状斑が形成された (Fig. 34-E)。

考察

1. 年齢と成長

1) 年齢査定

本種の耳石は、明瞭な透明帯と不透明帯を交互に持っていた。耳石の長径と短径は、いずれも標準体長と高い相関を示し、耳石半径が大きくなるに従い輪紋数が増加した。さらに、縁辺成長率と耳石縁辺が不透明な個体の出現頻度の経月変化から、不透明帯は、年に1回形成される年輪であることが示された。

多くのティラピア類で鱗を用いた年齢査定が行われている (Jensen, 1957; Garrod, 1959; Arthington and Milton, 1986) が、鱗では高齢魚における年齢の過小評価が起きることが報告されている (Booth *et al.*, 1995; Booth and Merron, 1996; Boxrucker, 1986; 増田ほか, 2003; 増田・野呂, 2003)。本種の寿命は、イスラエルの Kinneret 湖とエジプトの Maryout 湖で7歳とされている (Jensen, 1957; Spataru, 1978) が、いずれも鱗を年齢形質として用いている。本研究では、雌雄ともに寿命は6歳であると考えられ、大きな差は無かった。しかし、両者の最大体長は、Kinneret 湖で 185.0 mm SL, Maryout 湖で 250 mm TL (201.5 mm SL) といずれも本研究 (168.0 mm SL) よりも大きく、鱗による年齢の過少評価が起きている可能性があり、南風原ダムにおけるジルティラピアの寿命は、他地域と比べ短いことも考えられる。耳石で年齢査定を行っているティラピア類の寿命は、*O. andersonii* が 13 歳 (Booth *et al.*, 1995), *O. macrochir* が 11 歳 (Booth and Merron, 1996), カワスズメが雌 14 歳, 雄 8.5 歳 (Tachihara and Obara, 2003a), *Sarotherodon melanotheron* が 7 歳 (Panfili *et al.*, 2004), *T. rendalli* が 16 歳 (Weyl and Hecht, 1998) とされている (Table 8)。本種の寿命は、ティラピア類の中では比較的短命であることが明らかとなった。

ティラピア類の年輪の形成要因としては、低水温や水位の低下、産卵の影響などが考えられている (Booth and Merron, 1996)。本種の年輪形成時期は、2~6月で、産卵期 (4~8月) の2か月前にずれており、卵黄蓄積などの成熟の過程で輪紋が形成されるものと考えられた。

2) 年齢と成長

Wolford の定差図で得られた極限体長(雌 237.6 mm SL, 雄 245.1 mm SL)と von Bertalanffy の式で得られた極限体長(雌 97.5 mm SL, 雄 214.4 mm SL)では、雌雄ともに後者で得られた値の方が小さく、特に雌で著しく小さかった。この理由として、雄では、5, 6歳の個体数が少なかったこと、雌では、4歳以降成長が停滞したにもかかわらず、耳石輪径の平均値が減少しなかったため、体長と耳石半径の相関が低くなり、4歳以降の逆算体長が過大評価されたことなどが考えられる。

多くのティラピア類は、成熟体長に達するまでは急速に成長し、その後成長が停滞するという (Tachihara and Obara, 2003a; Weyl and Hecht, 1998)。本種では、このよう

な成長様式は見られず、成熟後も成長を続けていた。本種の成長をティラピア類5種と比較すると、本種は雌雄ともに、最も成長が遅く、最大体長が小さいことが明らかとなった (Table 8)。

2. 成熟と産卵

1) 成熟

本種の雄では体長 33.0 mm SL 以上で生殖腺指数の高い個体 (GSI 値 : 3.3) が出現したことから、雄の最小成熟体長は、約 30 mm SL であると考えられた。一方、雌では、卵黄球期の卵母細胞を持つ最小個体が 42.0 mm SL であったことから、成熟体長は、約 40 mm SL であると考えられた。これらの値は、von Bertalanffy の成長式から算出した満年齢時の体長から年齢を検討すると、0歳に相当し、本種は、生後1年以内に成熟し、産卵に参加していると推察された。本種の成熟体長は、Manzalla 湖で雄 117.0 mm TL (93 mm SL)、雌 114.0 mm TL (92 mm SL) (Payne and Collinson, 1983)、Naivasha 湖で雄 90.0 mm TL (75 mm SL)、雌 110.0 mm TL (90 mm SL) (Siddiqui, 1979)、ケニアの養殖池において雄 51.0 mm SL、雌 66.0 mm SL (Dadzie and Wangila, 1980) である。これらの値と比較すると、南風原ダムにおける本種の成熟体長は、他水域と比べ著しく小さいことが明らかとなった。また、他地域と比べ寿命が短いことも示唆された。多くのティラピア類では、ため池などの小さな水域では、湖などの大きな水域と比べ、成熟体長が小さくなるという (Lowe-McConnell, 1982)。例えば、カワスズメの雄の成熟体長は、水域によって 110~265 mm SL と大きく異なる (James and Bruton, 1992)。この現象は以下のように説明されている。小さな水域は、湖などの大きな水域と比べ、水温などの変動が激しく、安定した環境ではない。このような環境下では、晩成性の生活史に移行するという (Noakes and Balon, 1982 ; James and Bruton, 1992)。一方、湖など大きな水域は、多くの場合安定した環境であり、早成性の生活史が適するという。晩成性の生活史は、成熟が早い、孕卵数が多い、寿命が短い、などの特徴で定義され、早成性の生活史は、成熟が遅い、孕卵数が少ない、寿命が長いなどの特徴で定義される (Noakes and Balon, 1982 ; James and Bruton, 1992)。南風原ダムは、面積約 30,000 m² と小さく、環境の変動も激しいと推察され、南風原ダムのジルティラピアは、晩成性の生活史に移行しているとも考えられる。

2) 産卵期

生殖腺指数の平均値の経月変化、卵巣組織の成熟段階の経月変化及び排卵痕を持った個体の出現月から、本種の産卵期は、4月を最盛期とする4~8月であると推定された。カリフォルニアでは、水温が上昇し始め、22.5~25℃に達すると最も盛んに産卵が行われるという (Hauser, 1977)。本研究では水温が 21.7℃に上昇した4月が産卵の最盛期だと考えられ、カリフォルニアの結果とほぼ一致した。本種は、水温が 20℃に達すると産卵を開始し (Fishelson, 1966 ; Hauser, 1977)、1年を通じて高水温が保たれると周年産

卵を行うという (Siddiqui, 1979). 南風原ダムでは 12~3 月に水温が 20 °C 以下に低下するため、その間は産卵が行われなかった。一方、9~11 月には水温が 20 °C 以上であったにもかかわらず、産卵していなかった。これは、南風原ダムでは 8 月から水温が下降し始めたことに起因すると考えられ、本種は水温が 20 °C 以上であっても、水温が下がり始めると産卵を行わないことが示唆された。

3. 卵と仔稚魚

ジルティラピアの卵は、長径 1.58~1.60 mm、短径 1.03~1.12 mm の楕円球形であり、孵化仔魚は、3.4 mm NL であった。Coleman and Gavani(1998)は、基質産卵を行うカワスズメ科魚類 26 種について effective diameter (卵の長径の立方根×短径×短径) と孵化仔魚の体長を求め、比較している。ジルティラピアの effective diameter は、約 1.4 mm となる。この値は、26 種のうちで、5 番目に小さく、孵化仔魚の体長は、26 種の中で 3 番目に小さかった。すなわち、本種の卵と孵化仔魚は、基質産卵を行うカワスズメ科魚類の中では、小さいと考えられた。

本種の孵化仔魚は、頭部に粘着基を有し、開口しておらず、眼が黒化していなかったこと、卵黄上に黒色素胞があったことなどが他の基質産卵を行うカワスズメ科魚類 *Chichlasoma dimeurus*, *C.bimaculatum*, *C.biocellum*, *Archocentrus nigrofasciatum*, *Hemichromis bimaculatus* の孵化仔魚 (Jones, 1972 ; Meijide and Guerrero, 2000) と類似していた。

本種の卵と仔稚魚の形態を、琉球列島における移入種である同科魚類のカワスズメ (Tachihara and Obara, 2003b) と比較すると、ジルティラピアの卵 (長径約 1.6 mm、短径約 1.1 mm) は、カワスズメ (長径約 2.7 mm、短径約 2.0 mm) より小さく、ジルティラピアの孵化仔魚 (3.4 mm NL) もカワスズメより小さかった (4.0 mm NL)。また、ジルティラピアは、5.2 mm SL で背鰭と臀鰭の鰭条原基が形成され、6.7 mm SL で稚魚期となったのに対し、カワスズメは、6.6 mm SL で背鰭と臀鰭の鰭条原基が形成され、9.4 mm SL で稚魚期となり、ジルティラピアの方が同じ発達段階での体長が小さいという結果となった。Noakes and Balon (1982) は、口内保育魚と基質産卵魚では、口内保育魚の方が大きい卵を持ち、孵化仔魚がより大型で、同じ発育段階での体長が大きいと述べている。ここで、ジルティラピアは基質産卵魚で、カワスズメは口内保育魚であることから、両種の違いは Noakes and Balon (1982) の説に合致し、ジルティラピアは、カワスズメより卵、孵化仔魚の体長および同じ発達段階における体長が小さいと考えられた。また、カワスズメとジルティラピアでは、ジルティラピアの方が卵数が多 (Table. 9)。これらのことから、カワスズメは、大卵少産の戦略を、ジルティラピアは小卵多産の戦略をとっていると考えられた。

4. 分布

琉球列島における移入魚の分布調査により、ジルティラピアとカワスズメでは、カワスズメの分布の方が広いことが明らかとなった（第1章）。また、沖縄島の分布を見ても、ジルティラピアは生息が止水域に限定されているにも関わらず、カワスズメは河川に広く分布している（徳永，2000）。このような分布の差は、両種の移入時期と移入経路に起因するものと考えられる。

カワスズメは、食用として1954年に沖縄に持ち込まれ、各地に放流され分布が拡大したという（幸地，1997）。また、カワスズメは、塩分耐性を持ち、海域を通じて分布を拡大したと考えられている（立原ら，2002）。

ジルティラピアは、ナイルティラピアとともに1970年代に持ち込まれたと考えられている（幸地，1997）。食用として持ち込まれたわけではないため、放流はほとんど行なわれず、分布が広がらなかった可能性がある。しかし、ジルティラピアも塩分耐性を持ち（Philippart and Ruwet, 1982; Payne and Collinson, 1983）、もし河川に定着すれば、カワスズメと同様に分布を拡大していく可能性がある。今後、ジルティラピアの分布拡大に注意が必要である。

謝辞

本研究を行うにあたり、文部省科学研究費・基盤研究（C）の補助を受けたことを心より感謝いたします。また、研究に協力いただいた琉球大学理工学研究科の石原大樹君、黒坂洋平君、下瀬環君、徳永桂史君、野田渉君、山崎望さんに深く感謝します。

参考文献

- Arthington, A. H and Milton D. A. 1986. Reproductive biology, growth and age composition of the introduced *Oreochromis mossambicus* (Cichlidae) in two reservoirs, Brisbane, Australia. *Environmental Biology of Fishes*, 16 (4) : 257–266.
- Booth, A. J., G. S. Merron & C. D. Buxton. 1995. The growth of *Oreochromis andersonii* (Pisces : Cichlidae) from the Okavango Delta, Botswana, and a comparison of the scale and otolith methods of aging. *Environmental Biology of Fishes*, 43 : 171–178.
- Booth, A. J. and Merron. G. S. 1996. The age and growth of the greenhead tilapia *Oreochromis macrochir* (Pisces : Cichlidae) from the Okavango Delta, Botswana. *Hydrobiologia*, 321 : 29–34.
- Boxrucker, J. 1986. A comparison of the otolith and scale methods for aging white crappies in Oklahoma. *North American Journal of Management*, 6:122-125.
- Bruton. M. N. and M. Gophen. 1992. The effect of environmental factors on the nesting and courtship behaviour of *Tilapia zillii* in Lake Kinneret (Israel). *Hydrobiologia*, 239 : 171–178.
- Buddington, R. K. 1979. Digestion of aquatic macrophyte by *Tilapia zillii* (Gervais). *Journal of Fish Biology*, 15 : 449–455.
- Coleman. R. M. and Galvani. A. P. 1998. Egg size determines offspring size in neotropical cichlid fishes (Teleostei : Chichlidae). *Copeia*, 1998 (1) : 209–213.
- Coward. K, Bromage. N. R. 1998. Histological classification and the dynamics of ovarian recrudescence in *Tilapia zillii* (Gervais). *Journal of Fish Biology*, 53:285–302.
- Dadzie. S and Wangila. B. C. C. 1980. Reproductive biology, length–weight relationship and relative condition of pond raised *Tilapia zillii* (Gervais). *Journal of Fish Biology*, 17 : 243–253.
- Ebisawa, A. 1990. Reproductive biology of *Lethrinus neblousus* (Pisces : Lethrinidae) around the Okinawan waters. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 56 : 1941–1954.
- El-Zarka, S. 1956. Breeding behaviour of the Egyptian chichlid fish, *Tilapia zillii*. *Copeia*, 2 : 112–113.
- Emi, O. 1998. Aspects of the early morphological development, growth, and reproductive biology of the Tilapia *Oreochromis mossambicus* (Peters, 1852) introduced to Okinawa island, Japan. M. Sc. Thesis, University of the Ryukyus, Japan.
- Fishelson, L. 1966. Chichlidae of the genus *Tilapia* in Israel. *Bamidger*, 18 (3–4) : 67–89.
- Garrod, D. J. 1959. The growth of *Tilapia esculenta* Graham in Lake Victoria.

- Hydrobiologia, 12 (4) : 268–298.
- Hauser, W. J. 1975. An unusually fast growth rate for *Tilapia zillii*. California Fish and Game. 61 (1) : 54–63.
- Hauser, W. J. Temperate requirements of *Tilapia zillii*. California Fish and Game. 63 (4) : 228–233.
- James. N. P. E and Bruton. M. N. 1992. Alternative life–history traits associated with reproduction in *Oreochromis mossambicus* (Pisces : Cichlidae) in small water bodies of eastern Cape, South Africa. Environmental Biology of Fishes. 34 : 379–392.
- Jensen, K. W. 1957. Determination of age and growth of *Tilapia nilotica* L., *T. galilaea* Art., *T. zillii* Gerv., and *Lates niloticus* C. et V. by means of their scales. Det Kongelige Norske Videnskabers Selskabs Forhandling. 30 (24) : 150–157.
- Jones. A. J. 1972. The early development of substrate–brooding cichlids (Teleostei : Chichlidae) with a discussion of a new system of staging. Journal of Morphology, 136 : 255–272.
- 鎌田真輔. 2000. 沖縄島の流れ藻におけるハナオコゼ *Histrio histrio* の成長, 成熟および産卵. 琉球大学理学部海洋自然科学科卒業論文, 56pp.
- 幸地良仁. 1984. 沖縄の淡水魚類. 「沖縄の生物」編集委員会, 127–138pp. 沖縄の生物. 沖縄生物教育研究会
- 幸地良仁. 1997. 淡水魚類. 沖縄の帰化動物. 68–121pp.
- Lowe–McConnell. R. H. 1982. Tilapias in fish communities, 83–113pp. In : R. S. V. Pullin and R. H. Lowe–McConnel (Eds). The biology and culture of tilapias. ICLARM Conference Proceedings 7, 432p. International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines.
- 増田育司, 酒匂貴文, 松下剛, 白石哲朗, 切通淳一郎, 神村祐司, 小澤貴和. 2003. 鹿児島湾産アカカマスの年齢, 成長および年級群組成. 日本水産学会誌, 69 (5) : 709–716.
- 増田育司, 野呂忠秀. 2003. 耳石横断薄層切片を用いた魚類の年齢査定への勧め. 鹿児島大学水産学部紀要, 第52巻 51–56pp.
- Meijide. F. J. and Guerrero. G. A. 2000. Embryonic and larval development of a substrate–brooding cichlid *Cichlasoma dimerus* (Heckel, 1840) under laboratory conditions. Journal of Zoology, 252 : 481–493.
- 村上興正・鷺谷いづみ. 2002. 外来種と外来種問題. 村上興正・鷺谷いづみ (編). 3p. 外来種ハンドブック. 地人書館, 東京.
- 中井克樹. 2002. 魚類. 村上興正・鷺谷いづみ (編). 109p. 外来種ハンドブック. 地人書館, 東京.

- 中坊徹次. 1993. 日本産魚類目録 全種の同定. 東海大学出版, 東京. Xxxiv+1477pp.
- Noakes, D. L. G. and E. K. Balon. 1982. Life history of tilapias: an evolutionary perspective, 61–82pp. In: R. S. V. Pullin and R. H. Lowe–McConnel (Eds). The biology and culture of tilapias. ICLARM Conference Proceedings 7, 432p. International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines.
- Panfili. J, Mbow. A, Durand. J–D, Diop. K, Diouf. K, Thioor, D, Ndiaye. P and Lae. R. 2004. Influence of salinity on the life–history traits of the West African black–chinned tilapia (*Sarotherodon melanotheron*) : Comparison between the Gabia and Saloum estuaries. Aquatic living resource, 17 : 65–74.
- Payne. A. I and Collinson. R. I. 1983. A comparison of the biological characteristics of *Sarotherodon niloticus* (L.) with those of *S.aureus* (Steindachner) and other Tilapia of the delta and lower Nile. Aquaculture, 30 : 335–351.
- Pauly, D., J. Moreau and M. Prein. 1988. A comparison of overall growth performance of Tilapia in open waters and aquaculture. I. C. L. A. R. M Conference Proceedings, 15 : 469–479.
- Philippart, J–Cl. and Ruwet, J–Cl. 1982. Ecology and distribution of Tilapias. 15–59pp. In: R. S. V. Pullin and R. H. Lowe–McConnel (Eds). The biology and culture of tilapias. ICLARM Conference Proceedings 7, 432p. International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines.
- Platt, S. and Hauser, W. J. 1978. Optimum temperature for feeding and growth of *Tilapia zillii*. The progressive Fish–Culturist, 40 (3) : 105–107.
- Spataru. P. 1978. Food and feeding habits *Tilapia zillii* in Lake Kinneret. Aquaculture, 14 : 327–338.
- Shmuel, R. 1979. Observation on the reproductive behaviour of *Tilapia zillii* and several *Sarotherodon* spp. under aquarium conditions. Bamidger.
- Siddiqui, A. Q. 1979. Reproductive biology of *Tilapia zillii* (Gervais) in Lake Naivasha, Kenya. Environmental Biology of Fishes, 4 (3) : 257–262.
- Tachihara, K and Obara, E. 2003a. Age and growth of the Mozambique tilapia, *Oreochromis mossambicus* introduced into the Genka river on Okinawa island. Suisanzosyoku, 51 (3) : 307–313.
- Tachihara, K and Obara, E. 2003b. Morphological development of embryos and juveniles in the Mozambique tilapia, *Oreochromis mossambicus* as a direct developmental fish under rearing conditions. Suisanzosyoku, 51 (3) : 295–306.
- Thys van den Audenaerde. 1988. Natural distribution of tilapias and its consequences for the possible protection of genetic resources. 1–12pp. In: R. S. V. Pullin (Eds). Tilapia genetic resource for aquaculture. ICLARM Conference Proceedings 16,

108p. International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines.

立原一憲・徳永桂史・地村佳純. 2002. 沖縄島の外来魚. 村上興正・鷺谷いづみ (編). 248-249pp. 外来種ハンドブック. 地人書館, 東京.

地村佳純. 1996. 比謝川に生息する南米産ナマズ *Liposarcus disjunctivus* の生活史. 琉球大学理工学研究科卒業論文. 65 p.

徳永桂史. 2000. 20 世紀末における沖縄島の淡水魚類相とその分布. 琉球大学海洋自然科学科卒業論文. 107pp.

Weyl. O. L. F. and Hecht. T. 1998. The biology of *Tilapia rendalli* and *Oreochromis mossabicus* (Pisces : Cichlidae) in a subtropical lake in Mozambique. *South African Journal of Zoology*, 33 (3) : 178-188.

山岡耕作. 1989. ジルティラピア. 川那部浩哉・水野信彦 (編). 540-541pp. 山溪カラー名鑑 日本の淡水魚. 山と溪谷社, 東京.

淀太我. 2002. オオクチバス. 村上興正・鷺谷いづみ (編). 117p. 外来種ハンドブック. 地人書館, 東京.

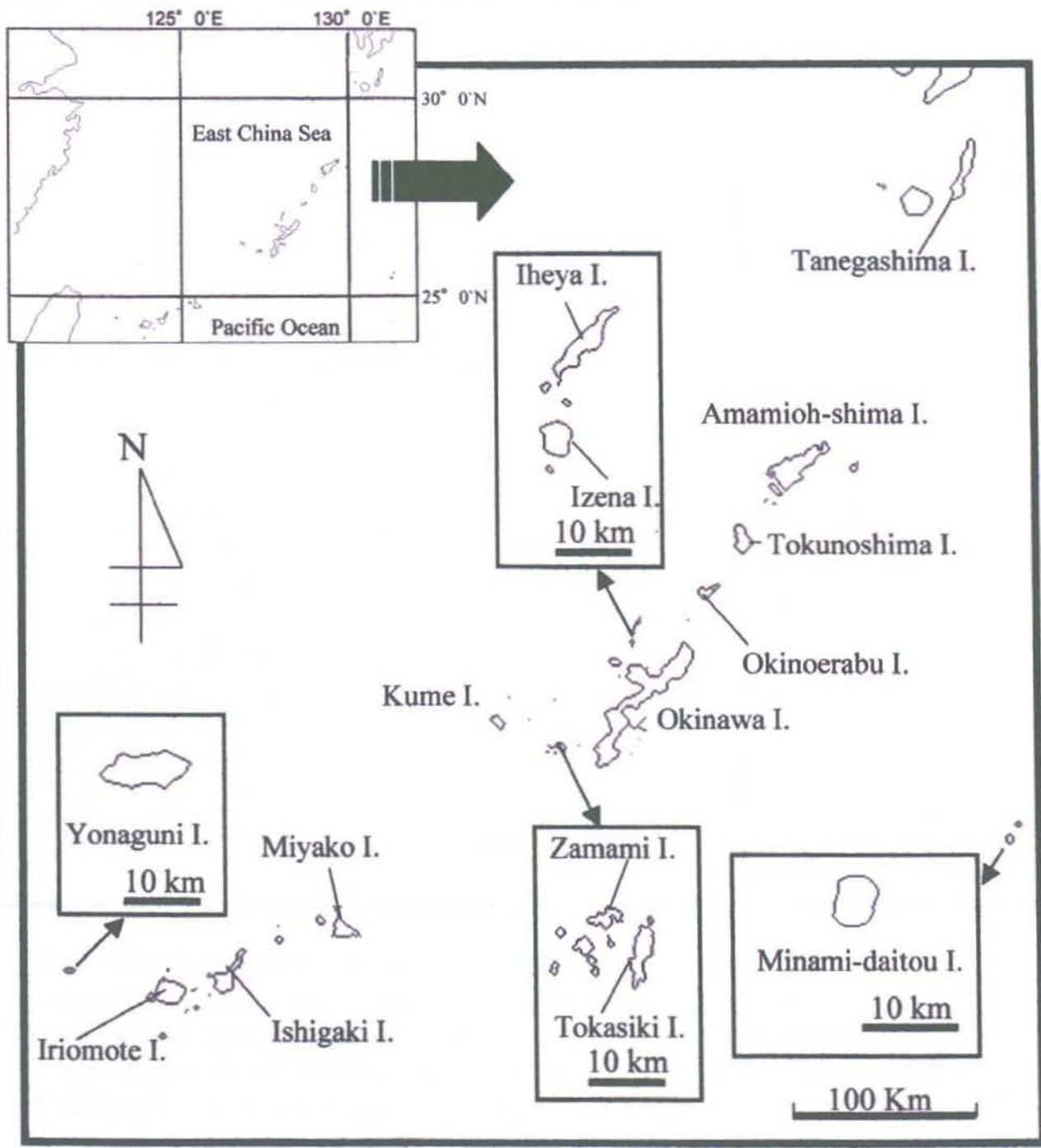


Fig.1. Map showing islands collected alien fishes in Ryukyu archipelago.

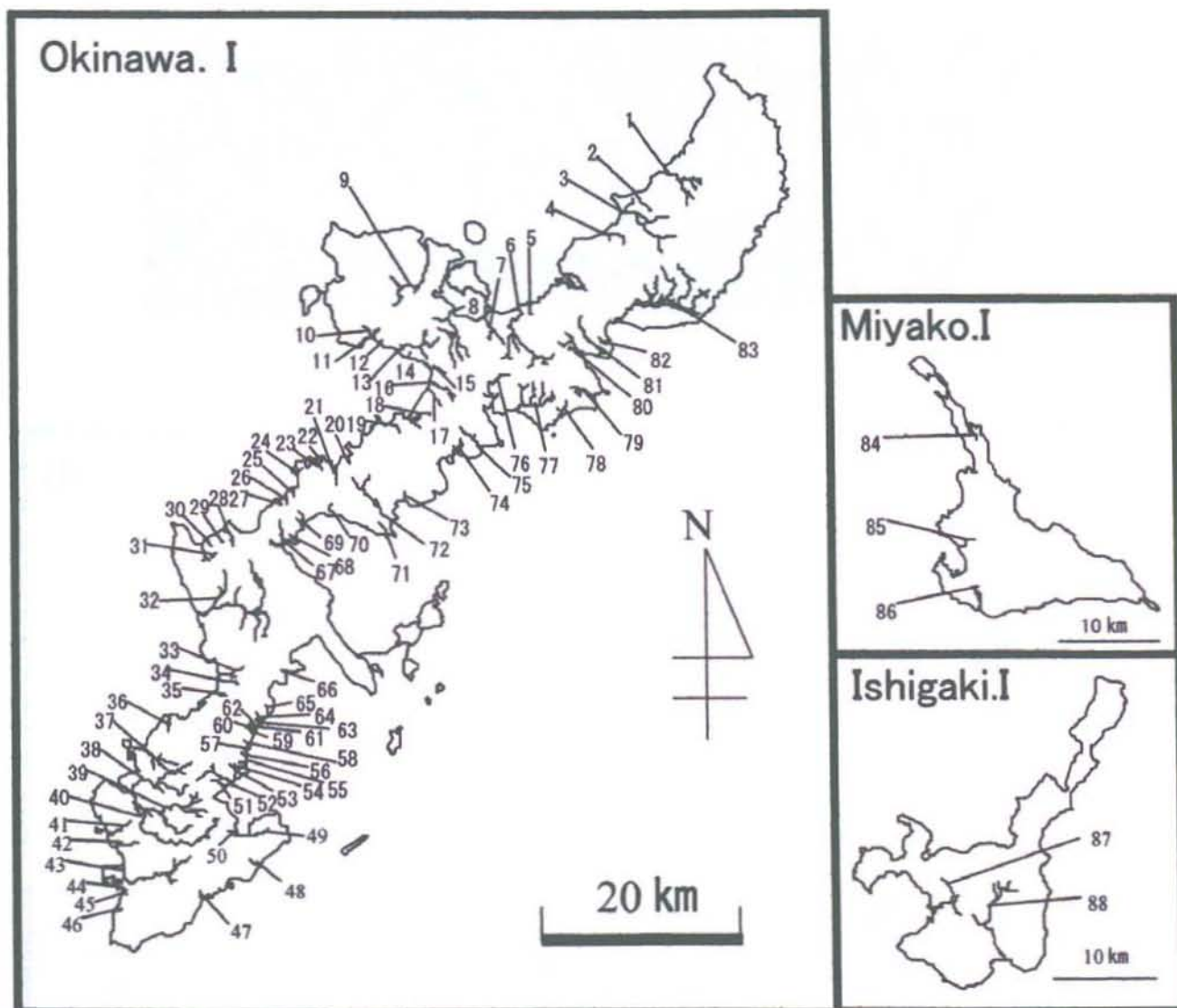


Fig. 2 Map showing 88 rivers collected alien fishes in Okinawa prefecture

1. Yona R. 2. Hentona R. 3. Hiji R. 4. Sotohota R. 5. Atohara R. 6. Genka R.
7. Haneji-oh R. 8. Gabusoga R. 9. Ohi R.a 10. Anakubo R. 11. Awayona R.
12. R.of Motobu A 13. Yabu R. 14. R.of MotobuB 15. Koti R. 16. Yohuke R.
17. Sukuta R. 18. Kyoda-hukuti R. 19. Koki R. 20. Kinryo-hukuti R. 21. Yahuso R.
22. Toda R. 23. Utta R. 24. R.of OnnaA 25. Jimunn R. 26. Shirin R. 27. Mae R.a
28. Taru R. 29. Biru R. 30. Ukaji R. 31. Nagahama R. 32. Hijya R. 33. Hakubi R.
34. R.of Tyatan A 35. Ishi R. 36. Minato R.C 37. Ajya R. 38. Asato R. 39. Kokuba R.
40. Nuha R. 41. Mae R.b 42. Hoemo R. 43. Houtoku R. 44. Hutatsubashi R. 45. R. of NanbuC
46. Kata R. 47. Hokusui R. 48. Shikiya R. 49. Hamasaki R. 50. Ohi R. b
51. Kankaku R. b 52. Kohatsu R. 53. R.of Nakagusuku A 54. R.of Nakagusuku B
55. R.of Nakagusuku D 56. R.of Nakagusuku F 57. R.of Nakagusuku H
58. R.of Nakagusuku I 59. R.of Nakagusuku L 60. R.of Nakagusuku M
61. R.of Nakagusuku N 62. R.of Nakagusuku O 63. R.of Nakagusuku Q
64. R.of Nakagusuku S 65. R.of Nakagusuku V 66. R.of Nakagusuku X 67. Ishikawa R.
68. R.of KinA 69. Maeda R. 70. Bitoku R. 71. R.of KinC 72. Okukubi R.
73. Kanna-nakaminato R. 74. Kushi R. 75. Henoko R. 76. Ohura R. 77. Teima R.
78. Kayo R. 79. Teniya R. 80. Arime R. 81. Gesashi R. 82. Izena R. 83. Hukuti R.
84. Shimajiri R. 85. Sakita R. 86. Kadegarur. 87. Nagura R. 88. Miyara R.

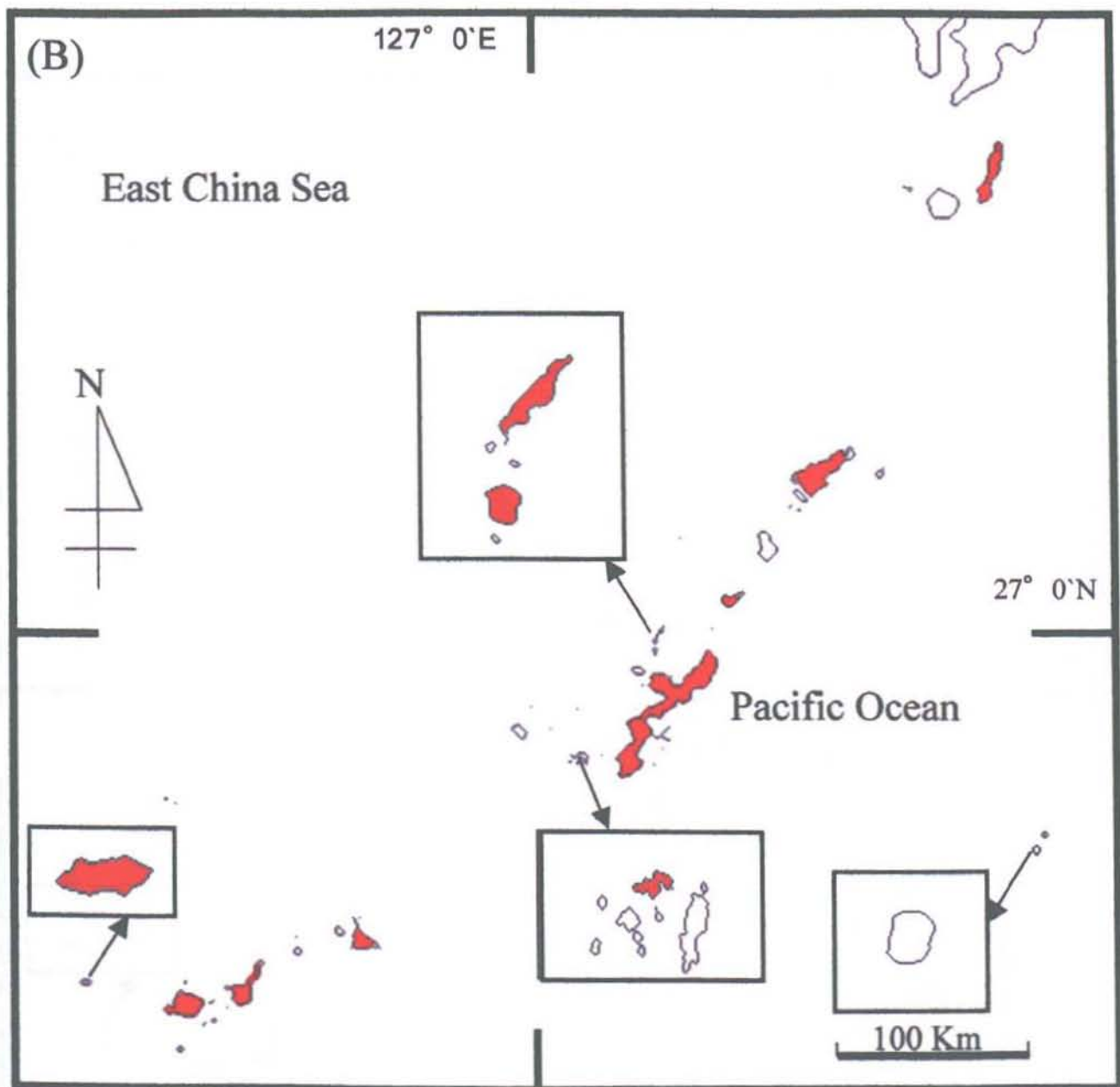
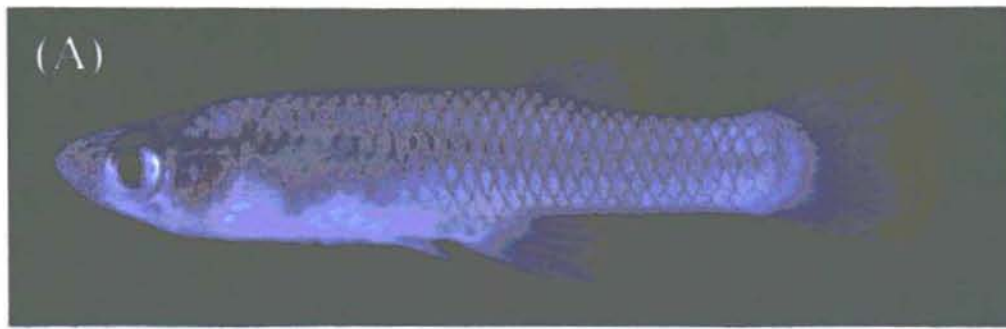


Fig.3. (A) Photograph of *Gumbusia affinis*. (B) Distribution of *Gumbusia affinis* in the Ryukyu archipelago.

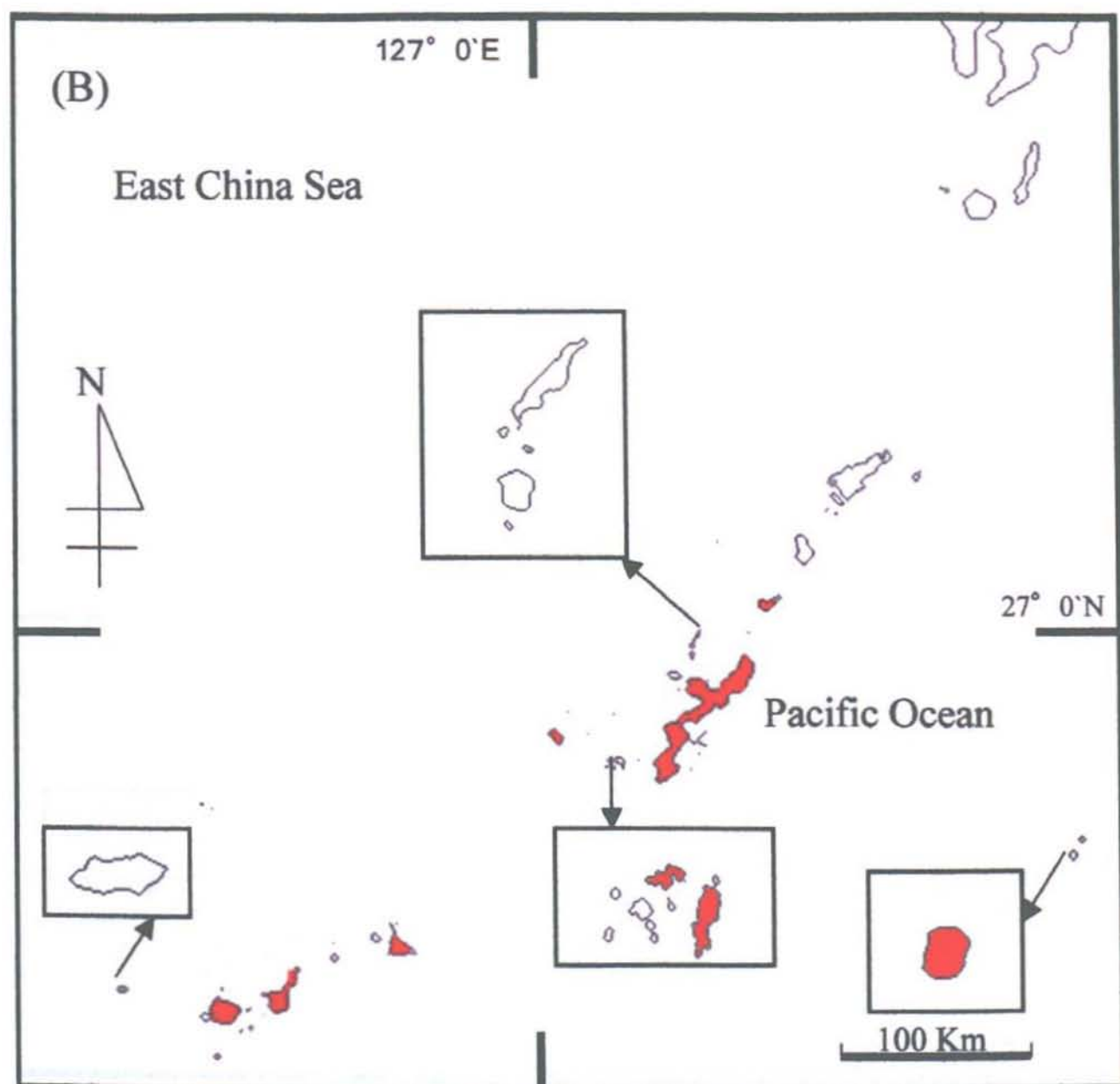


Fig.4. (A) Photograph of *Poecilia reticulata*. (B) Distribution of *Poecilia reticulata* in the Ryukyu archipelago.

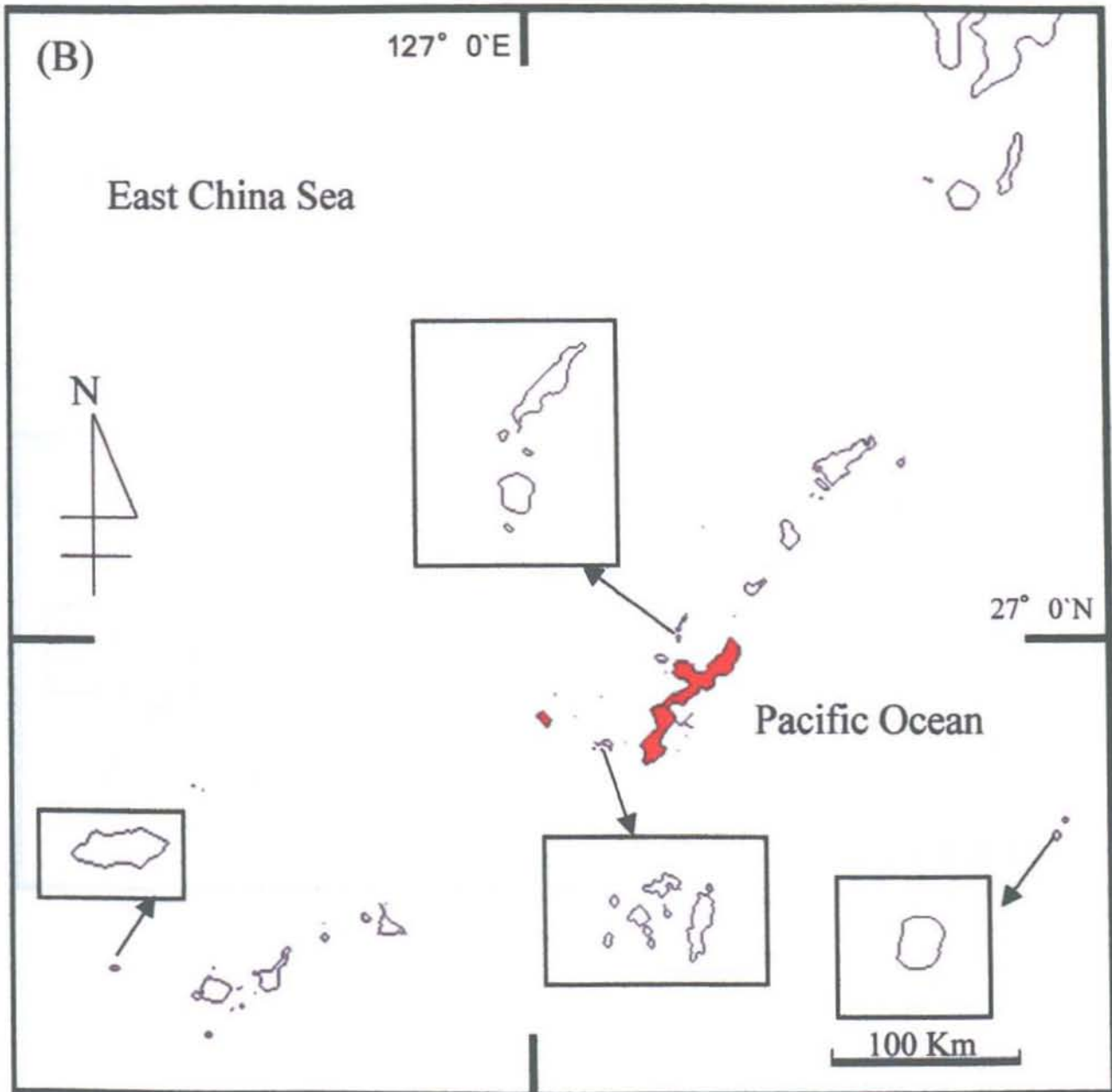
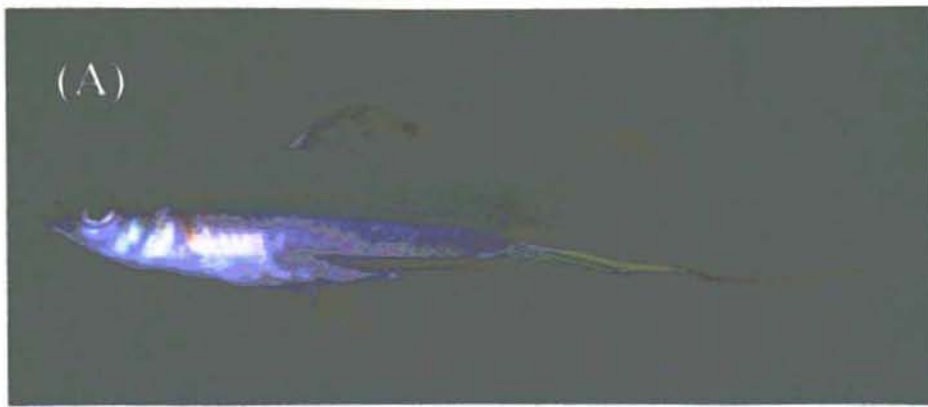


Fig.5. (A) Photograph of *Xiphophorus herelli* (B) Distribution of *Xiphophorus herelli* in the Ryukyu archipelago.

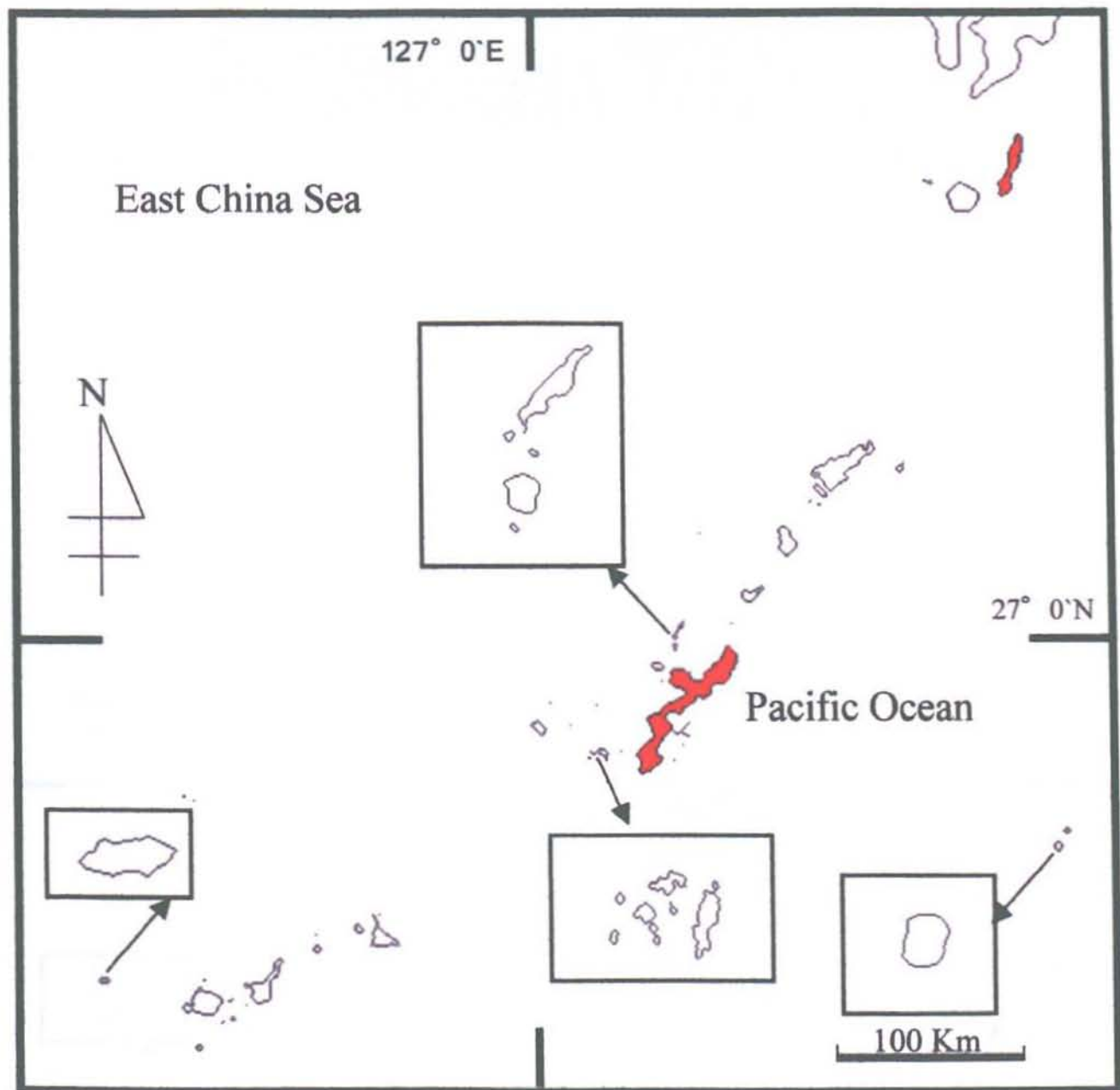


Fig.6. Distribution of *Xiphophorus maculatus* in the Ryukyu archipelago.

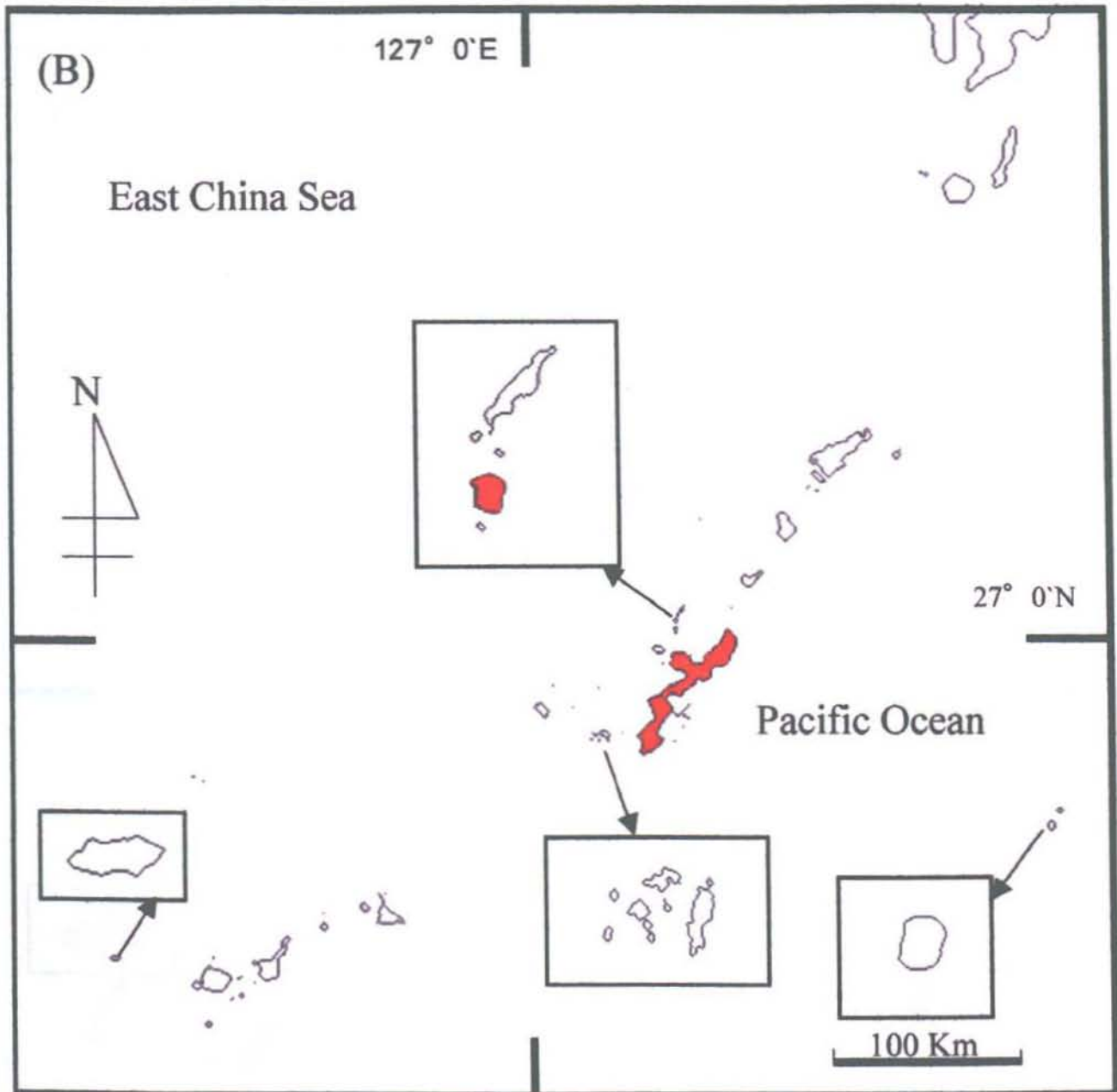
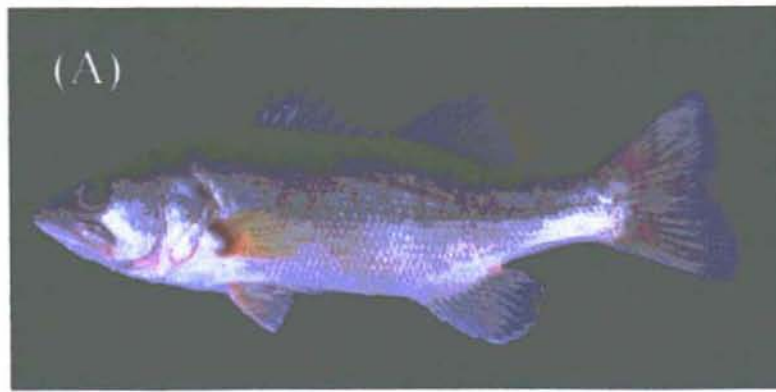


Fig.7. (A) Photograph of *Micropterus salmoides* (B) Distribution of *Micropterus salmoides* in the Ryukyu archipelago.

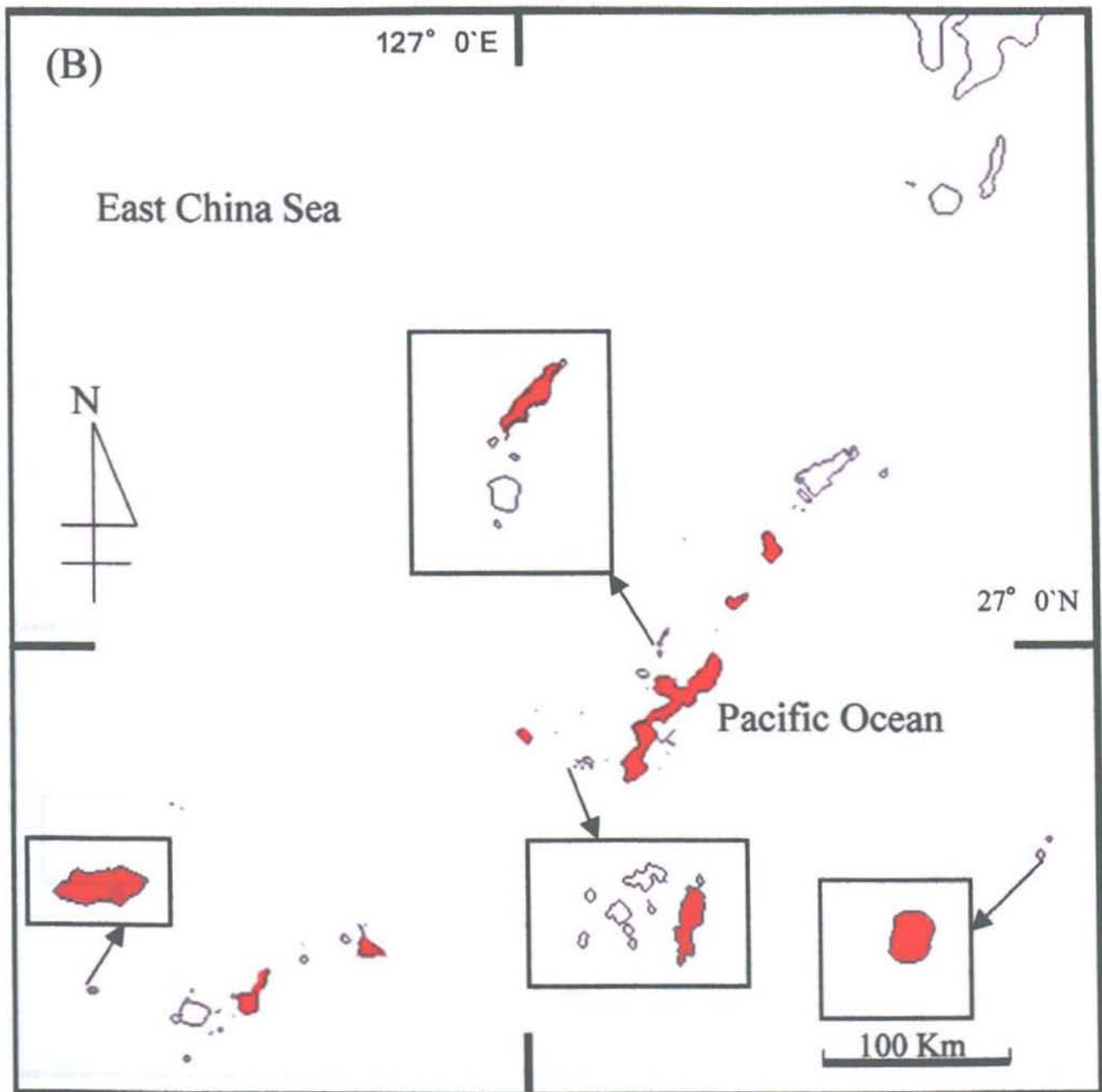
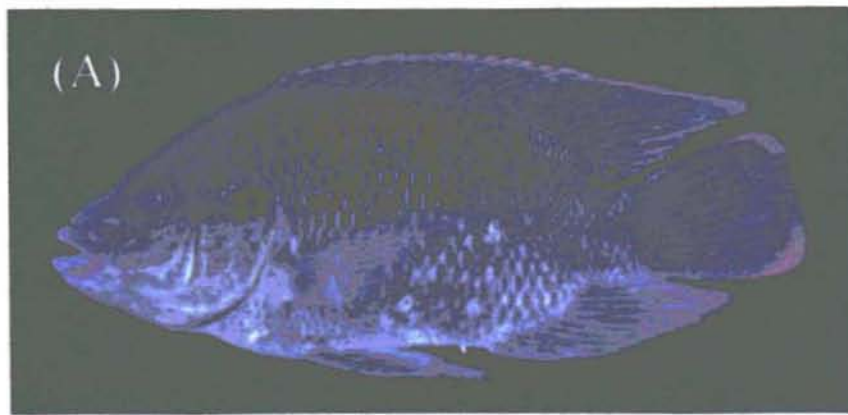


Fig.8. (A) Photograph of *Oreochromis mossambicus*.
(B) Distribution of *Oreochromis mossambicus* in the Ryukyu archipelago.

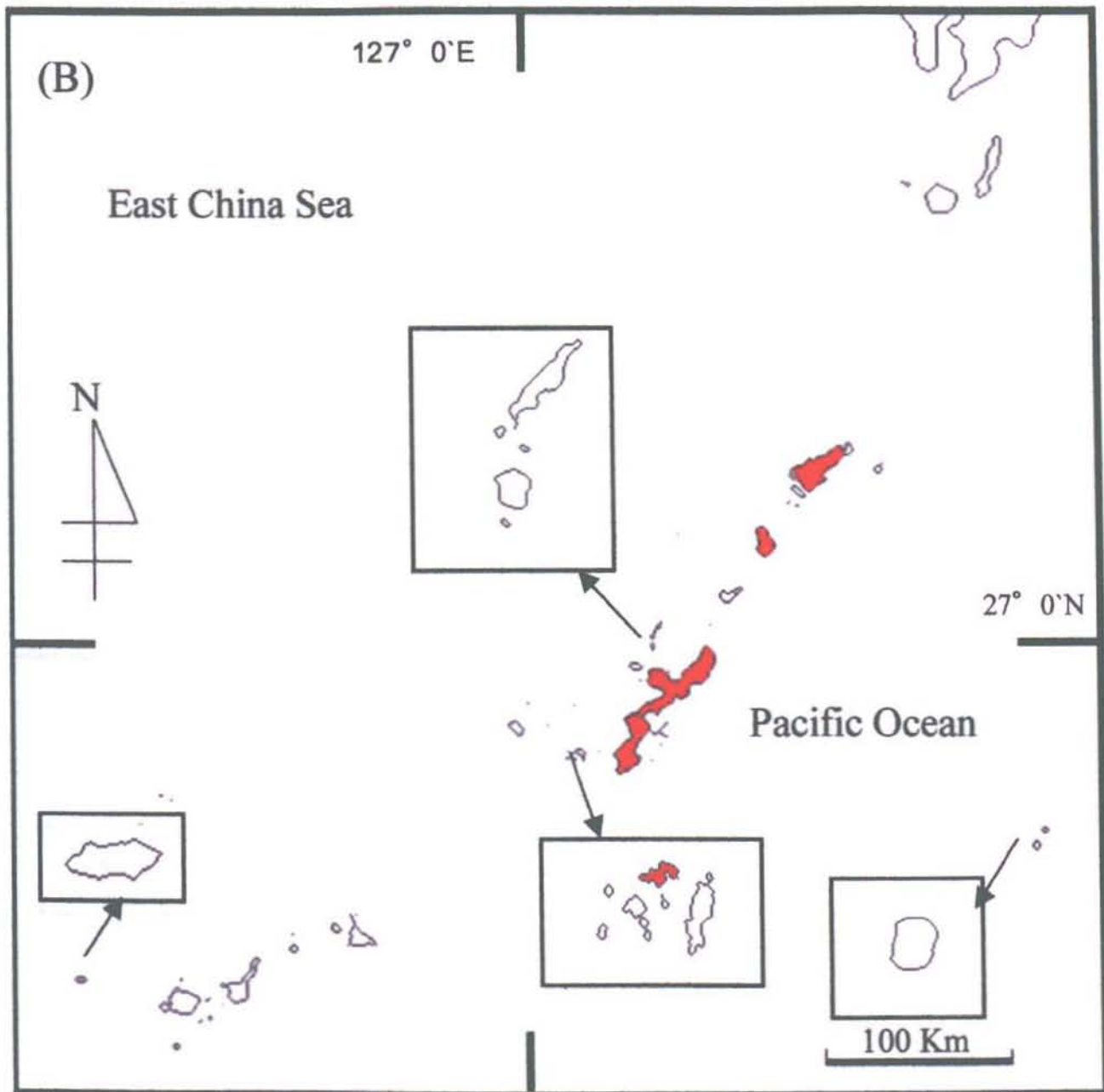
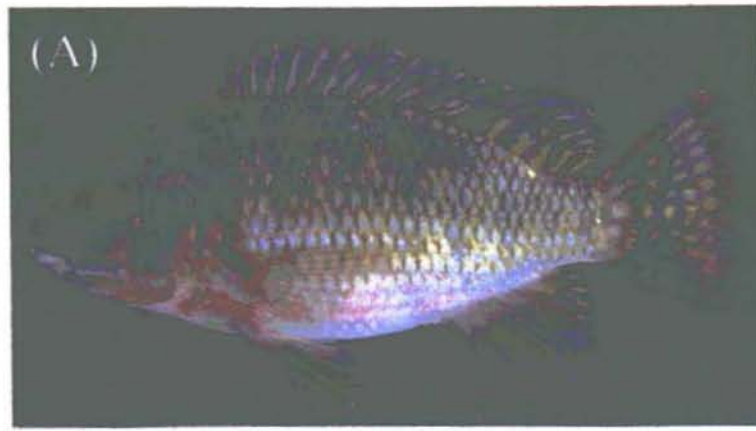


Fig.9. (A) Photograph of *Tilapia zillii*. (B) Distribution of *Tilapia zillii* in the Ryukyu archipelago.

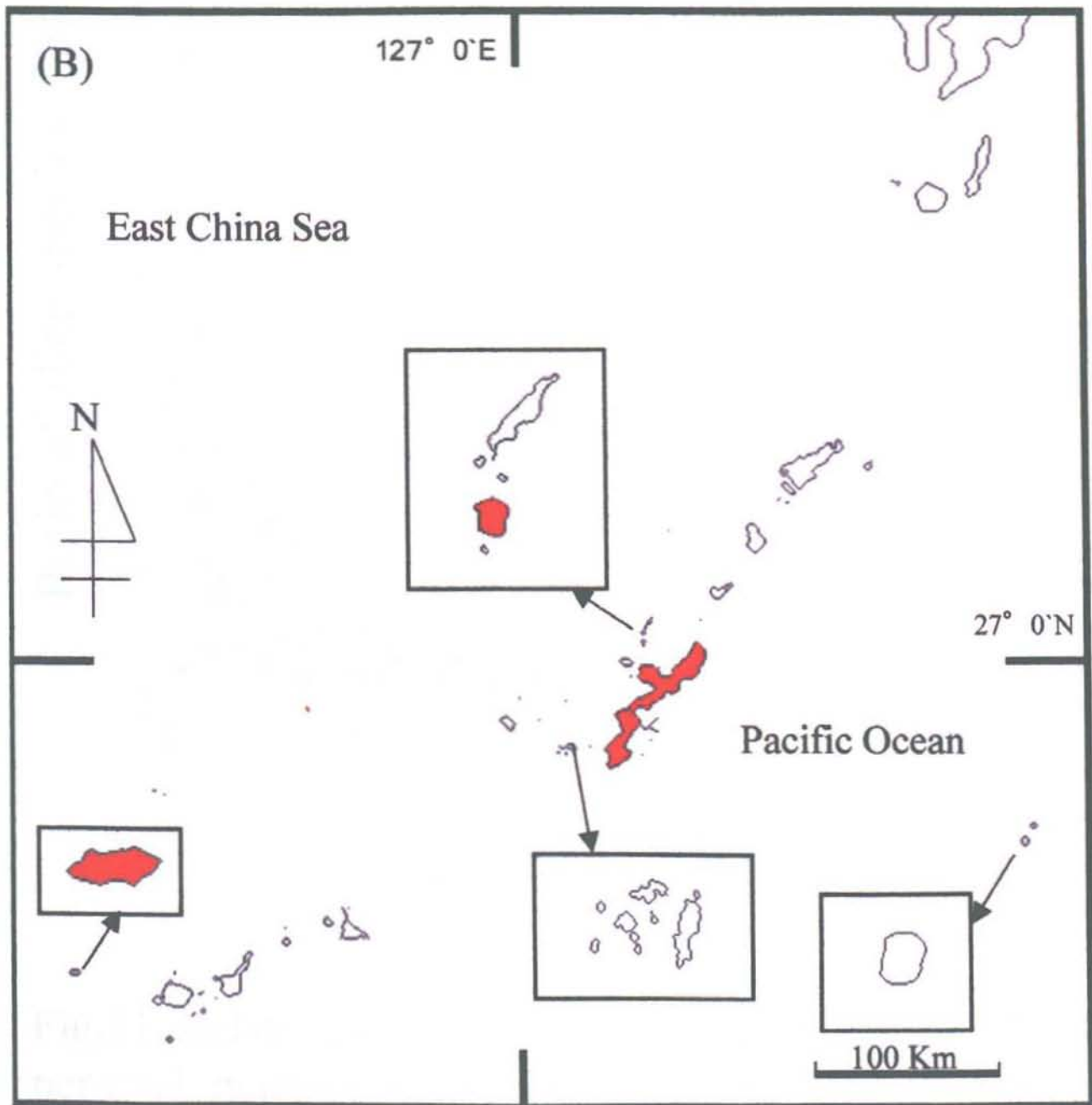
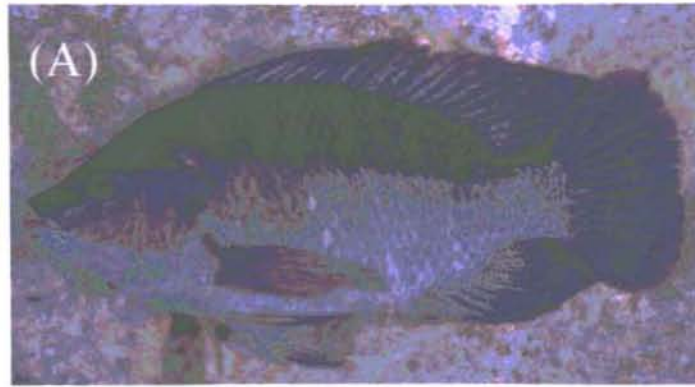


Fig.10. (A) Photograph of *Oreochromis niloticus*.
(B) Distribution of *Oreochromis niloticus* in the Ryukyu archipelago.

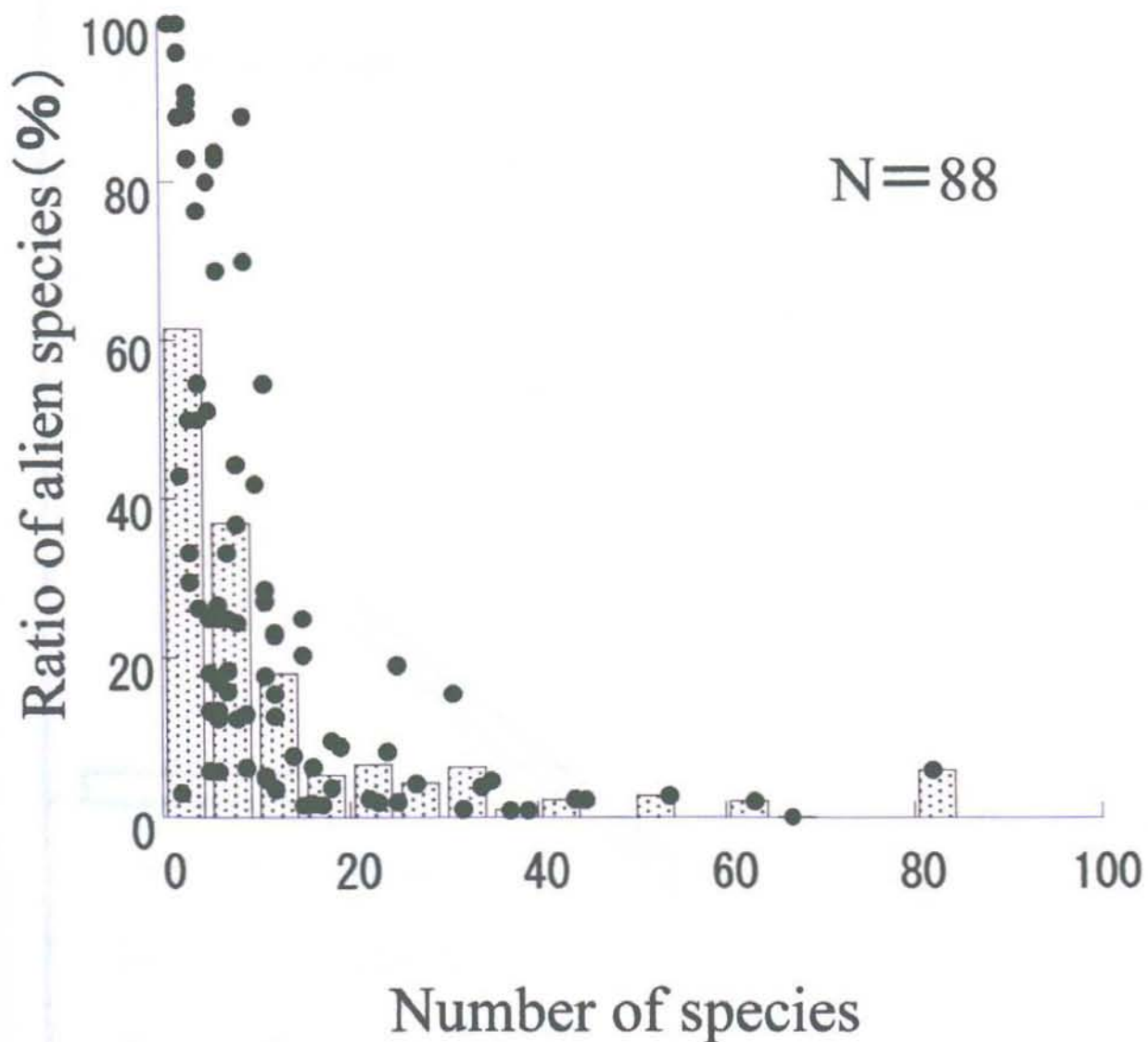


Fig.11. Relationship between the number in alien fishes per total number of fishes in each rivers of Okinawa Prefecture. Vertical bar indicate mean of ratio in number of fishes for each 5 species.

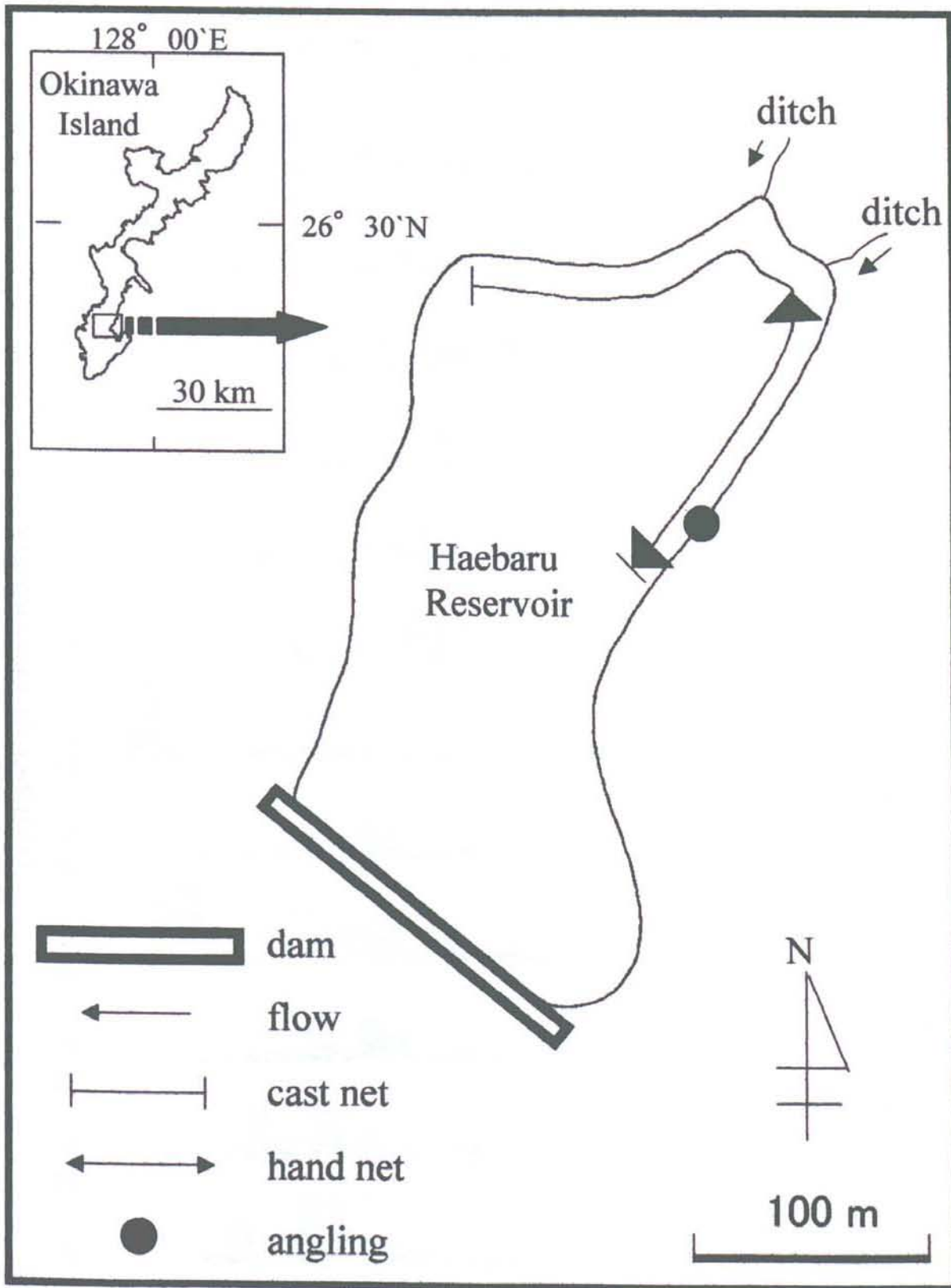


Fig.12. Map showing sampling station in Haebaru Reservoir.

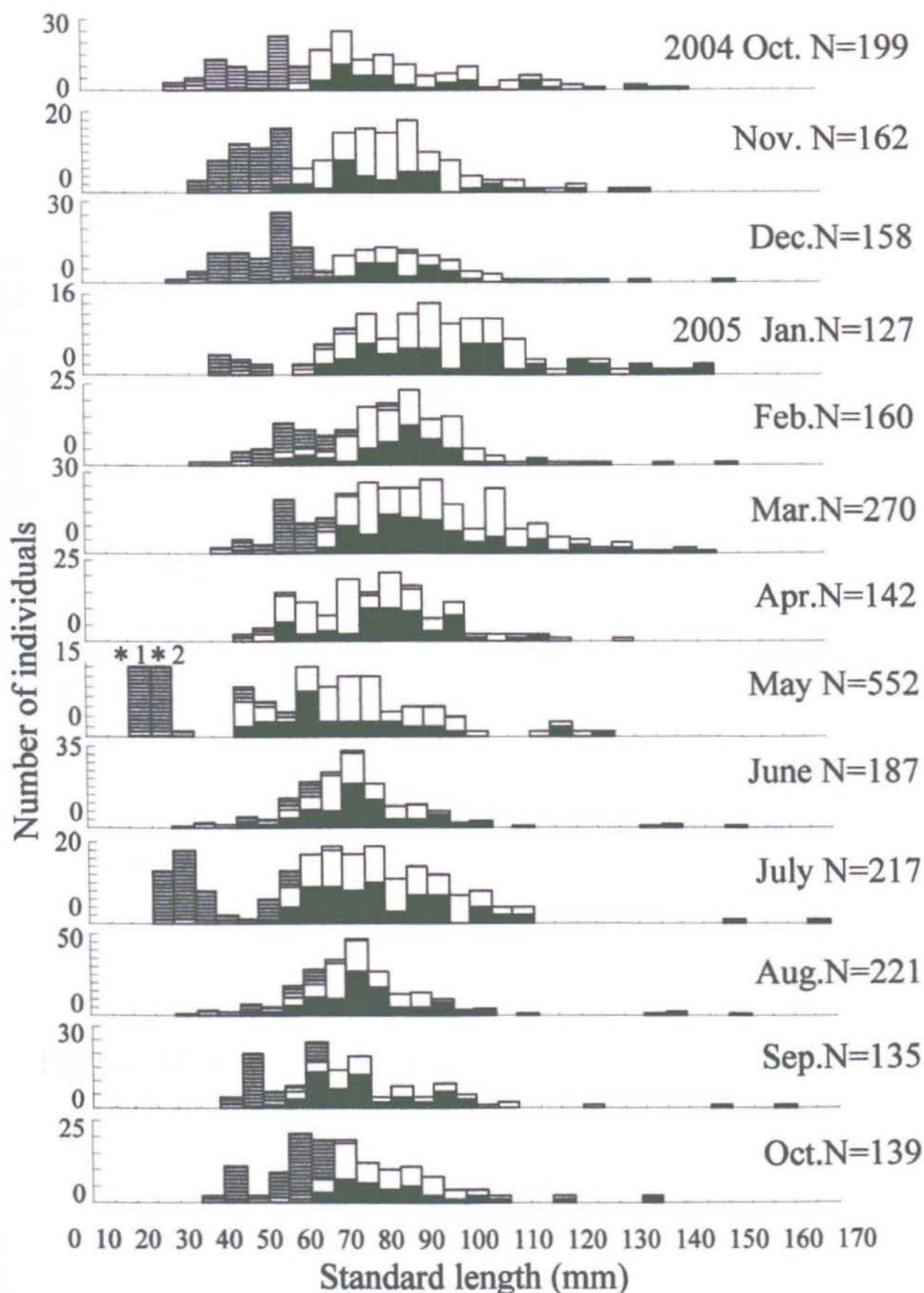


Fig.13. Monthly changes in the size frequency of *Tilapia zillii* collected in the Haebaru reservoir from October,2004 to October 2005. ■:male, □:female, ▨:unidentified. * 1:N=38, * 2 :N=415

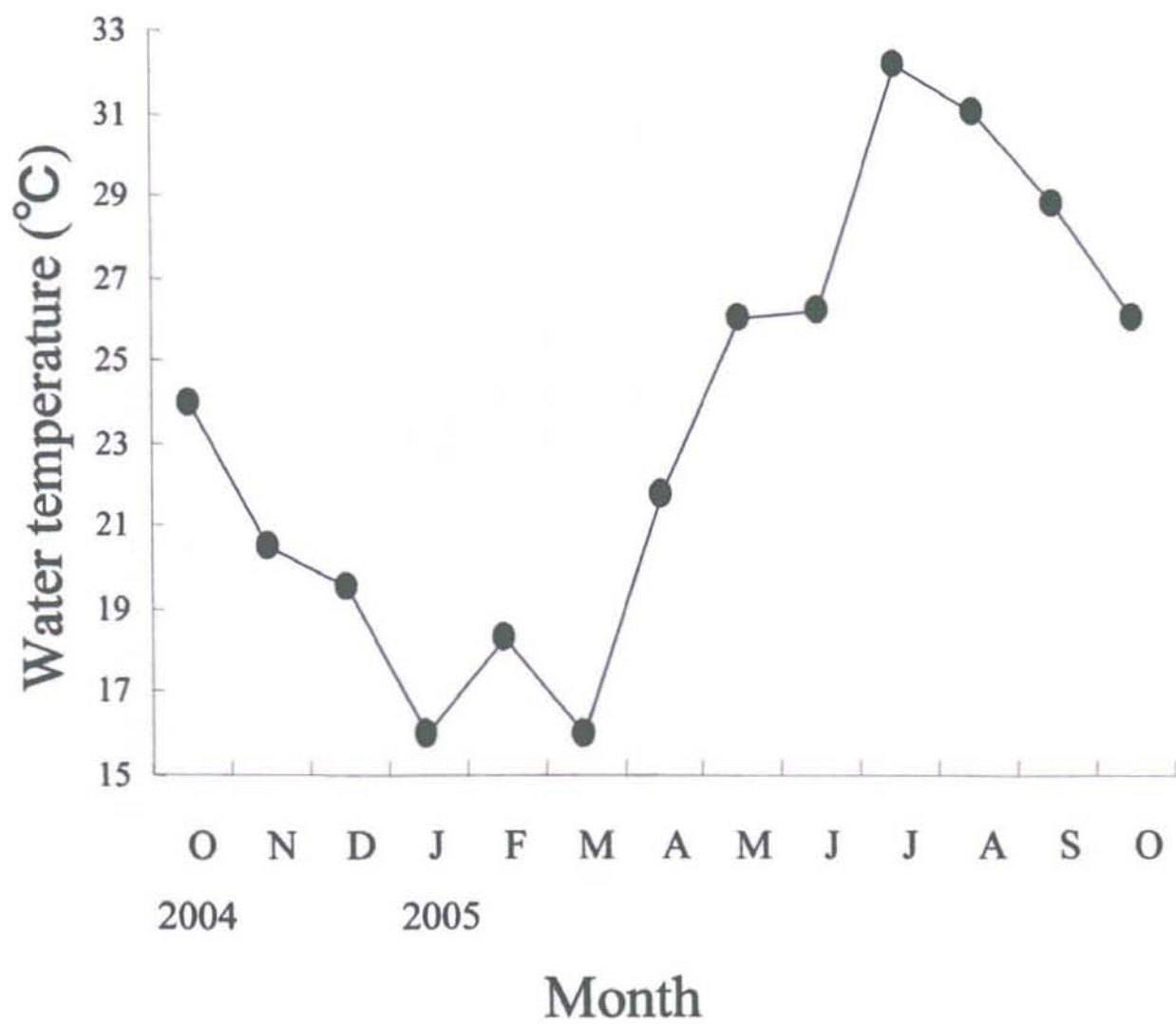


Fig.14. Monthly changes in average water temperature in the Haeburu reservoir.

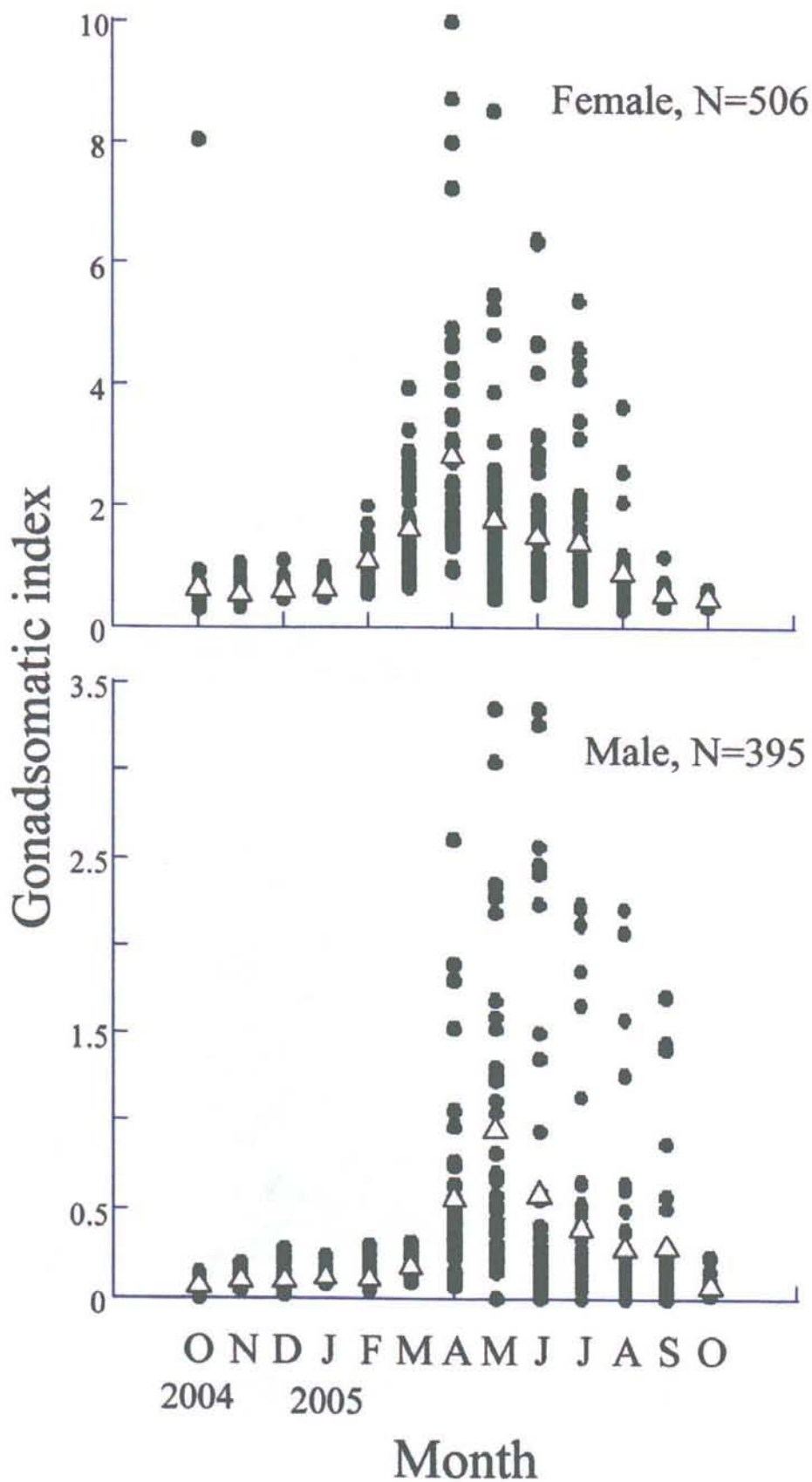


Fig.15. Monthly changes of gonad somatic index for male and female *Tilapia zillii* collected in the Haebaru reservoir from October,2004 to October,2005.

△ :mean

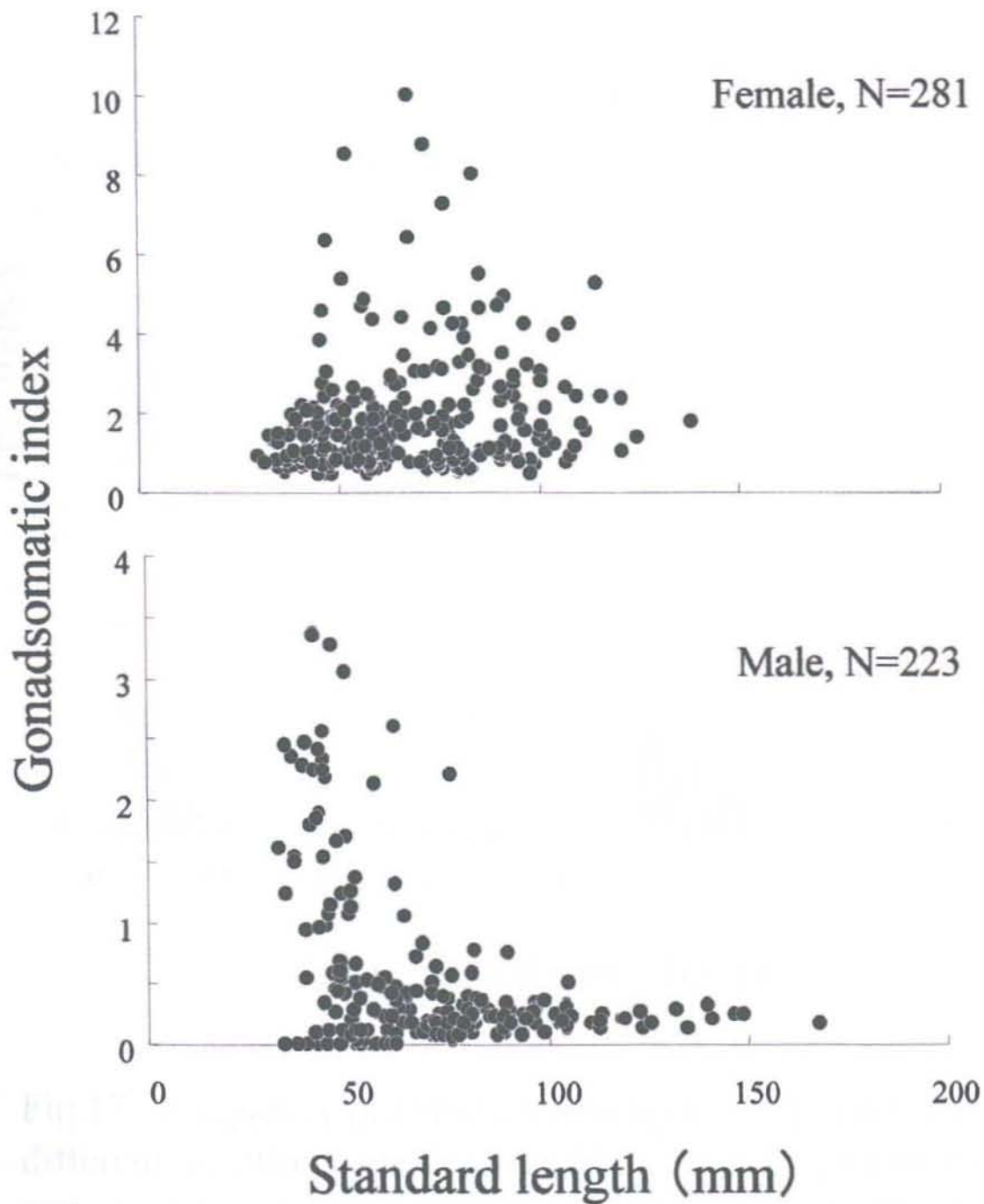


Fig.16. Relationships between standard length and gonadosomatic index for male and female of *Tilapia zillii* during spawning period from March to June.

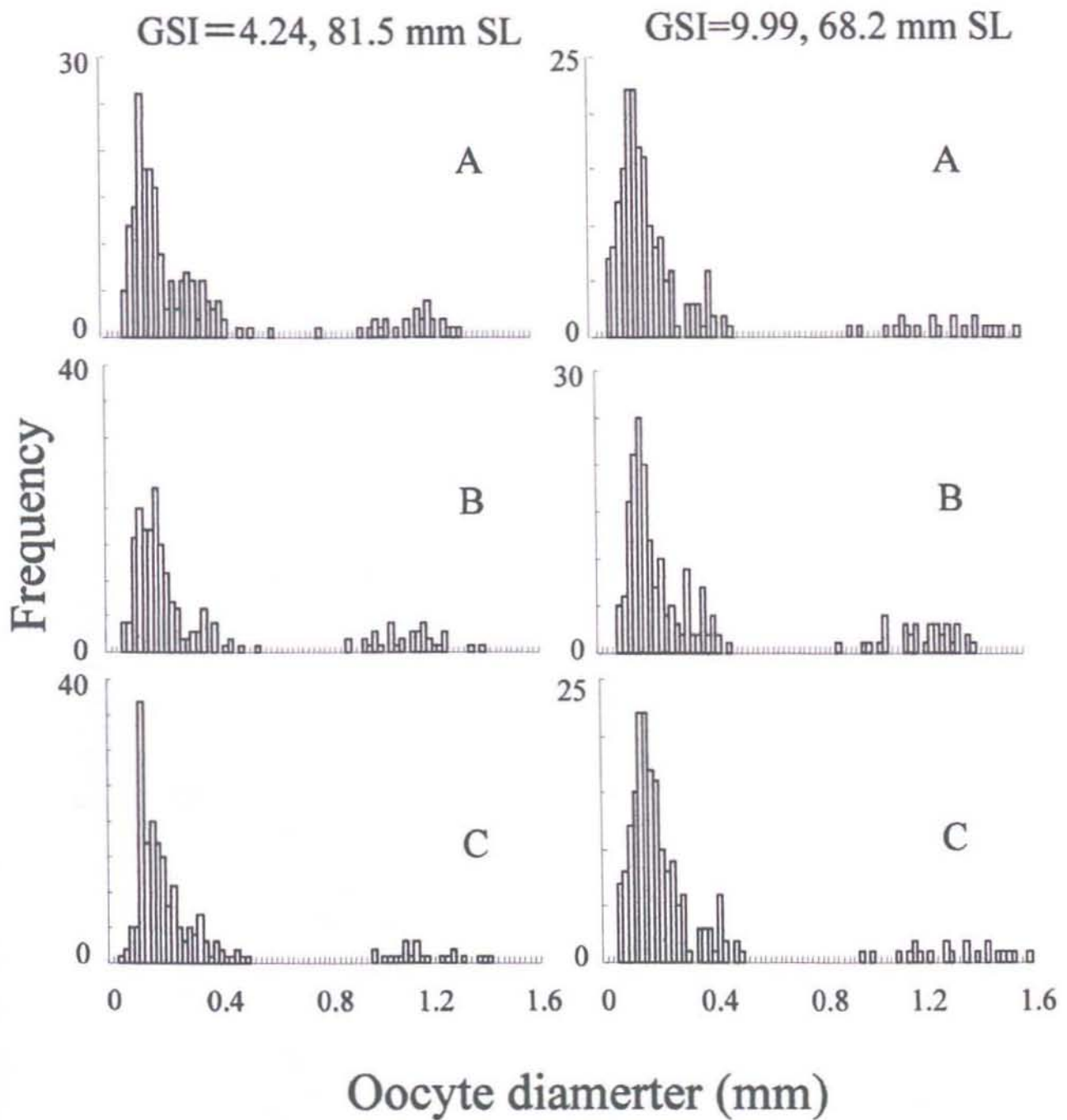


Fig.17. Frequency distribution of oocyte diameter(N=200) in different positions (A: anterior, B: middle, C: posterior) of gonads at two different values of gonadosomatic index of *Tilapia zillii*.

Fig.18. Frequency distribution of oocyte diameter in four different positions of gonads at two different values of gonadosomatic index of *Tilapia zillii*.

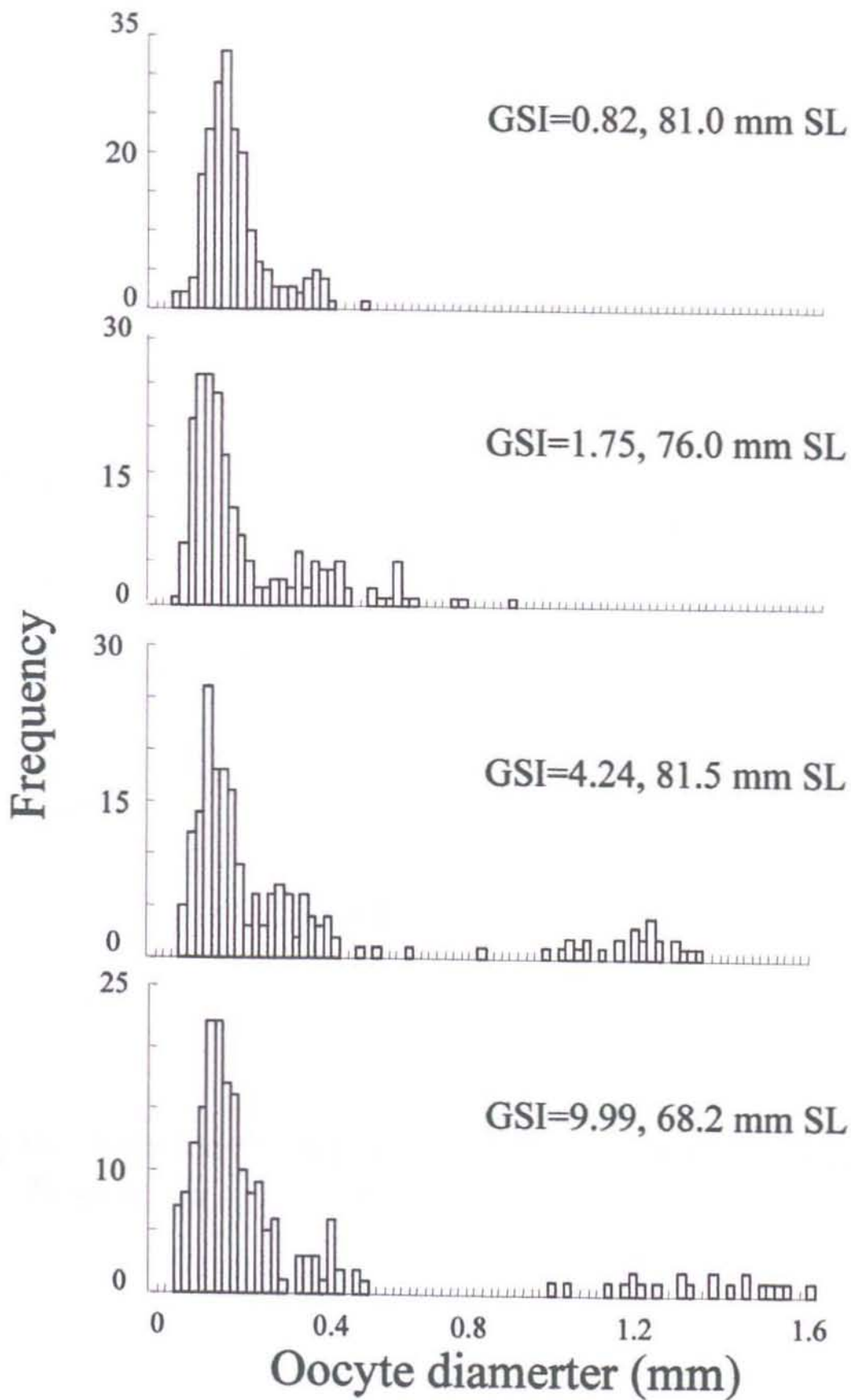


Fig.18. Histogram showing the composition of diameter of oocyte in four different values of GSI.

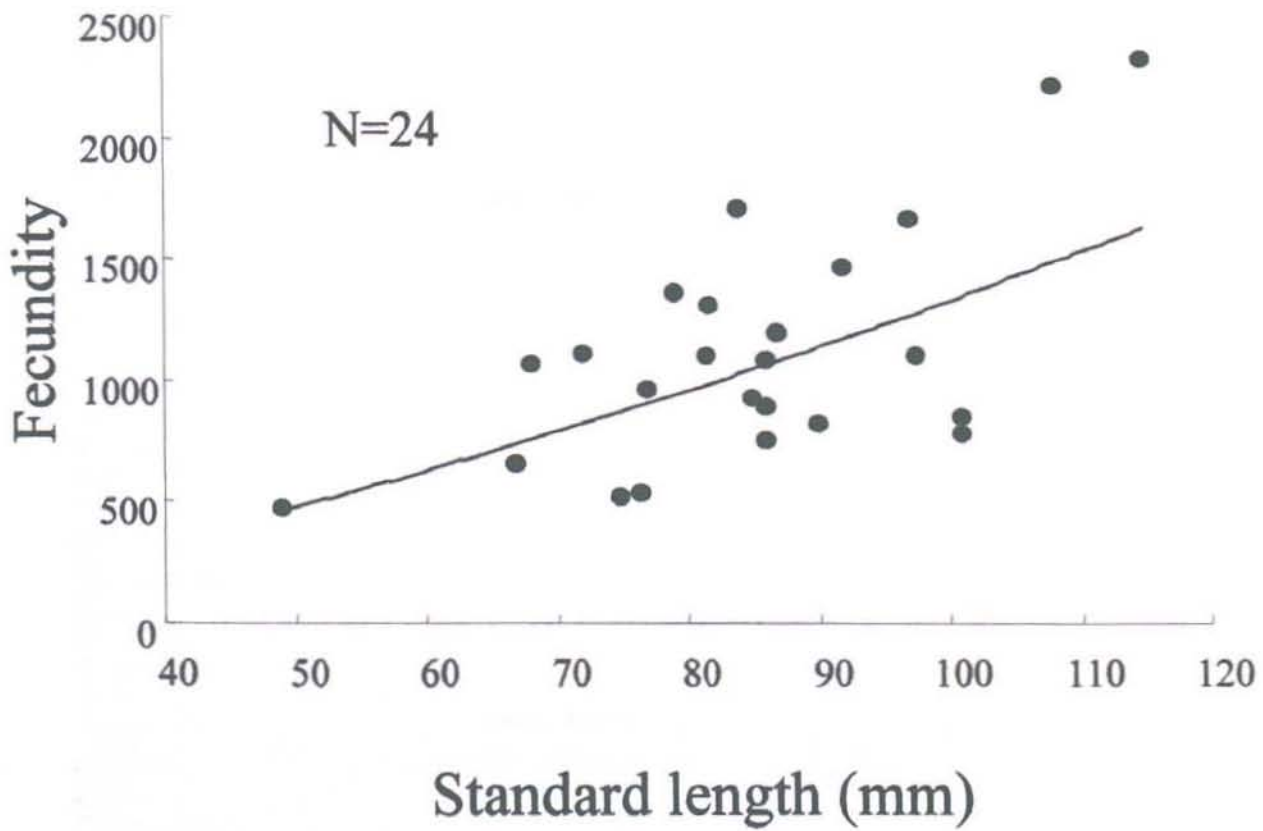


Fig.19. Relationship between standard length and fecundity of *Tilapia zilli*.

$$\text{Fecundity} = 1.5615 \times \text{SL}^{1.4637}$$

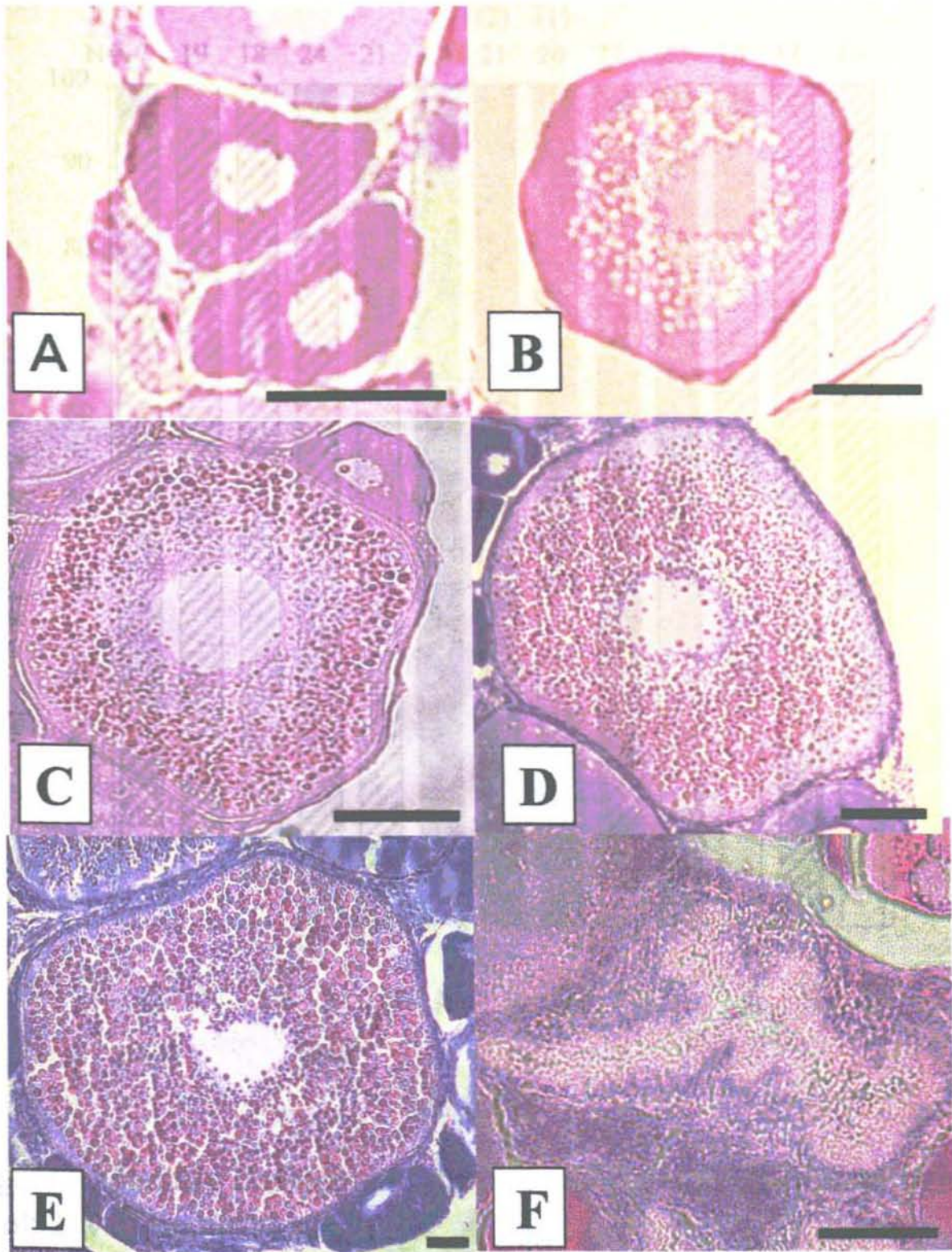


Fig.20.Hystological observations oocytes.A:Peri-nucleus stage, B:Yolk vesicle stage,C,Primary yolk globule stage,D:Second-ary yolk globule stage,E:Tertiary yolk globule stage,F:Post ovulatory follicles.Scale bars indicate 50 μ m.

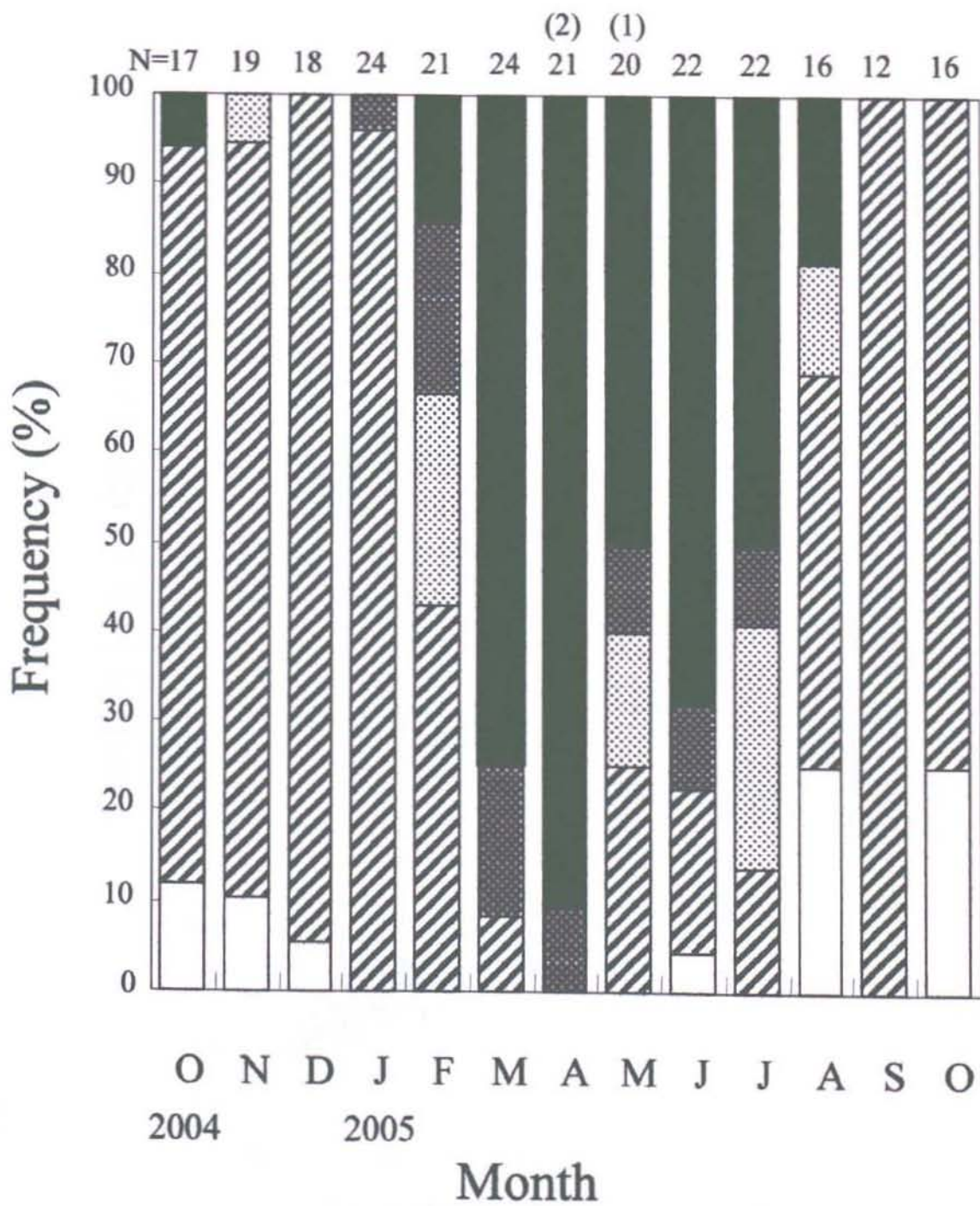


Fig.21. Monthly changes in frequency of the fish with histologically observed maturity stages for female of *Tilapia zillii*.
 □: Peri-nucleous stage, ▨: Yolk vesicle stage, ▤: Primary yolk globule stage, ▥: Secondary yolk globule stage, ▦: Tertiary yolk globule stage. Number on bars indicate sample size. Number in parentheses shows the fish with post ovulatory follicles.

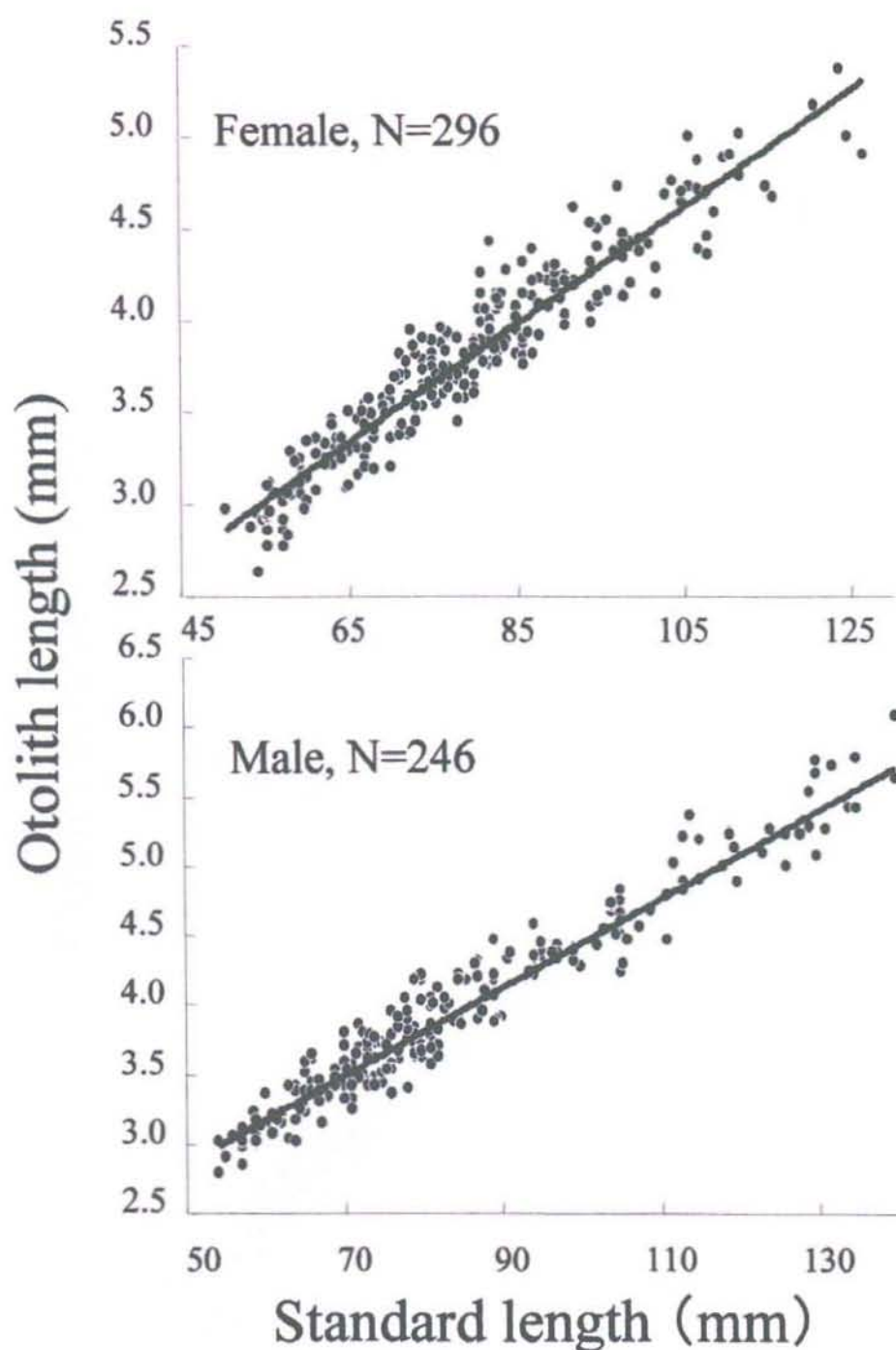


Fig.22. Relationships between otolith length and standard length for male of *Tilapia zillii* collected from Haebaru Dam.

$$OL=1.28+0.032SL \text{ (Female, } r=0.95)$$

$$OL=1.26+0.032SL \text{ (Male, } r=0.98)$$

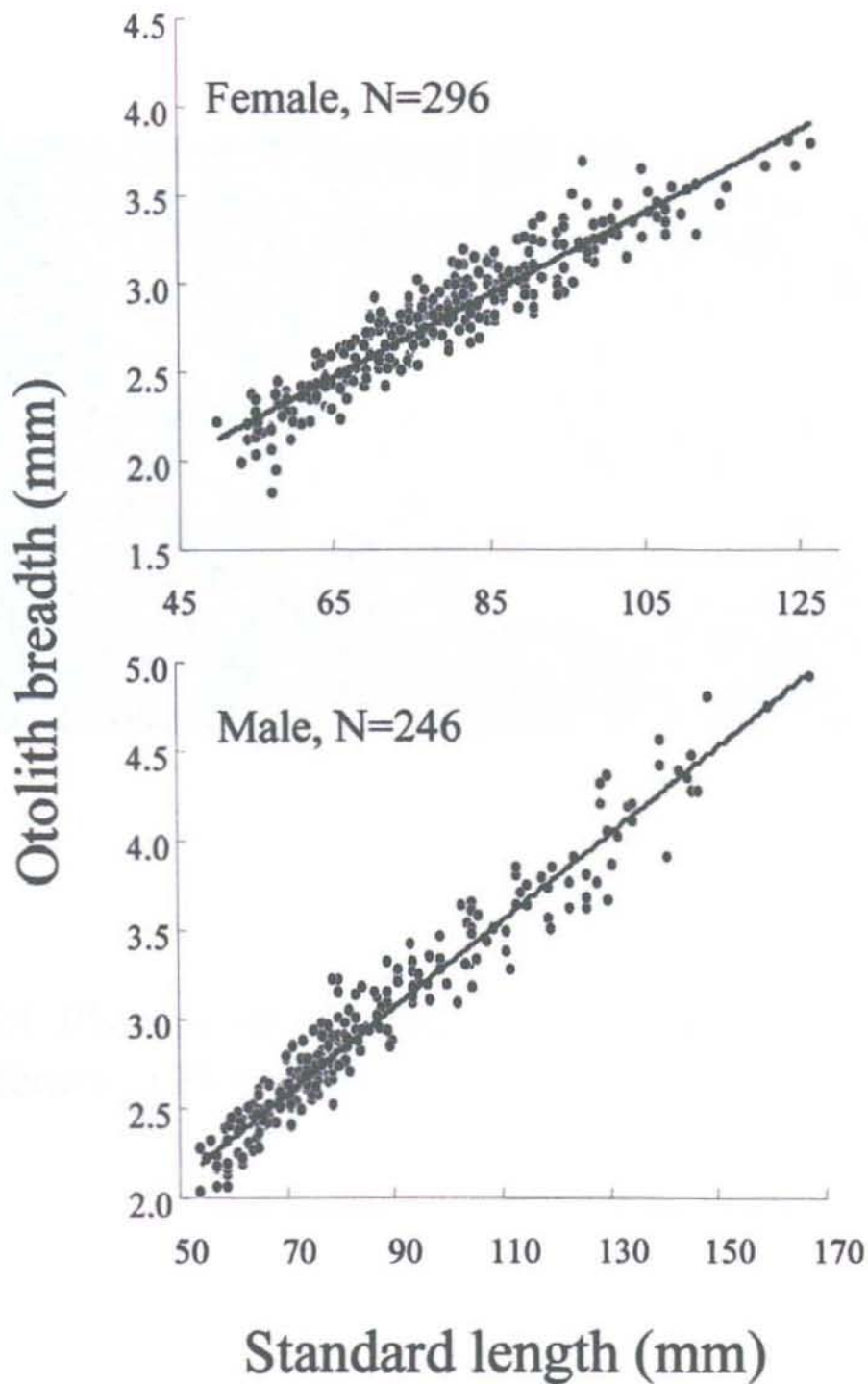


Fig.23. Relationships between otolith breadth and standard length for male and female of *Tilapia zillii* collected from Haebaru Dam.

$$OB=0.97+0.023SL \text{ (Female, } r=0.94)$$

$$OB=0.89+0.024SL \text{ (Male, } r=0.97)$$

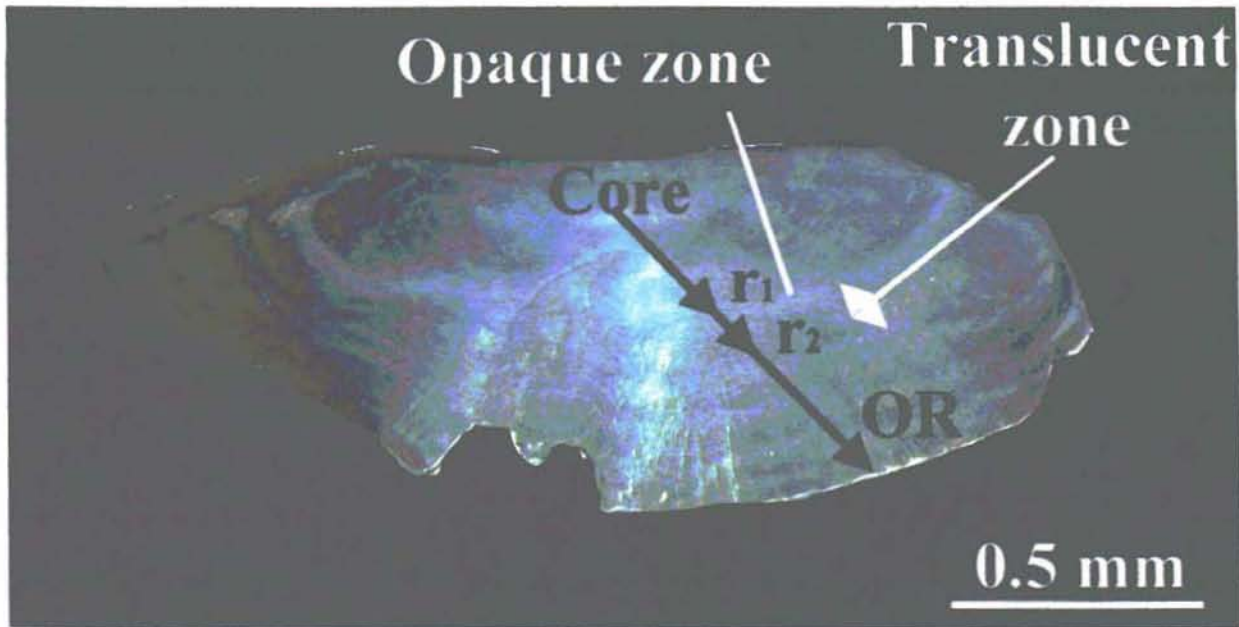


Fig.24. Photograph of sectioned right saggita of 5 years old female (95.0 mm SL) of *Tilapia zillii*.

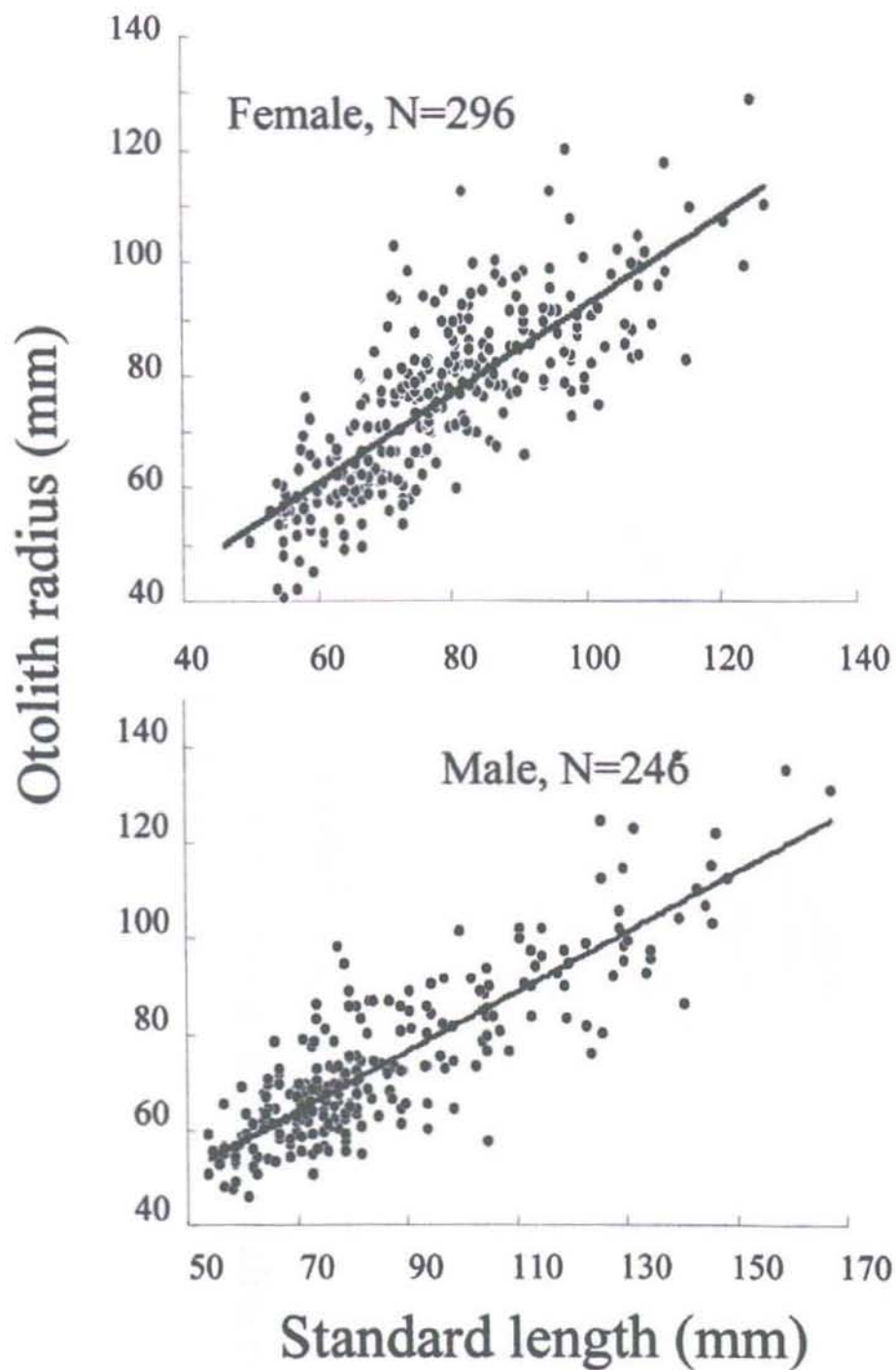
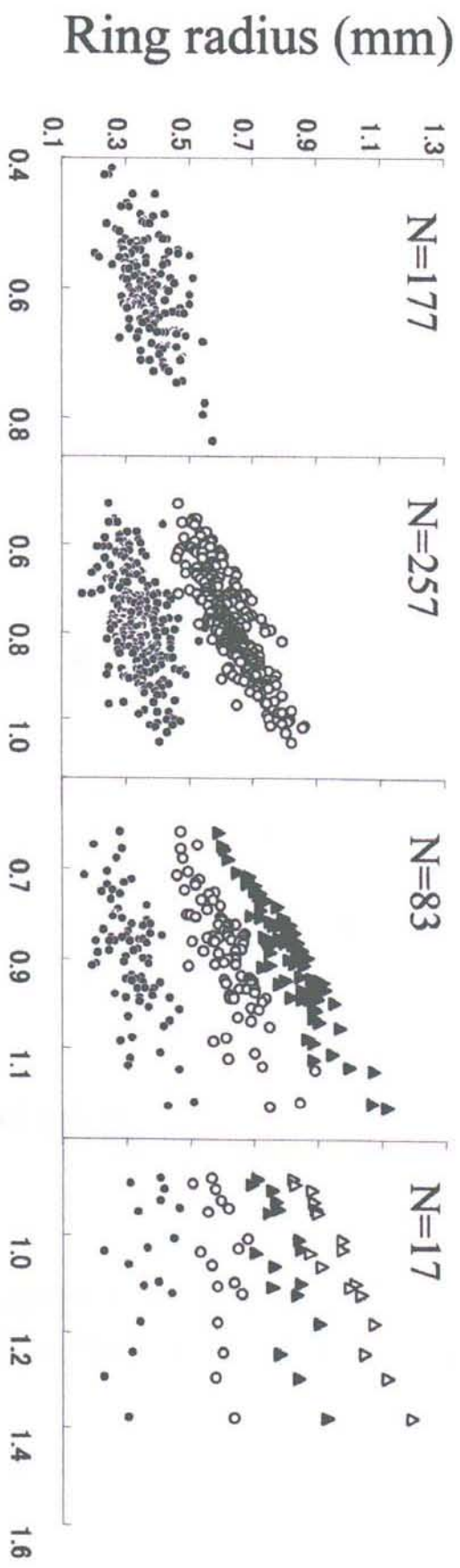


Fig.25. Relationships between otolith radius and standard length for male and female of *Tilapia zillii* collected from Haeburu Dam.

$$OR=0.14+0.08SL \text{ (Female, } r=0.78)$$

$$OR=0.20+0.06SL \text{ (Male, } r=0.85)$$



Otolith radius (mm)

Fig.26. Relationship between otolith radius and ring radius of *Tilapia zillii*. ●:r1, ○:r2, ▲:r3, △:r4.

(%) Kuzunboru

Fig. 27. Mean
 20% of the
 100% of the

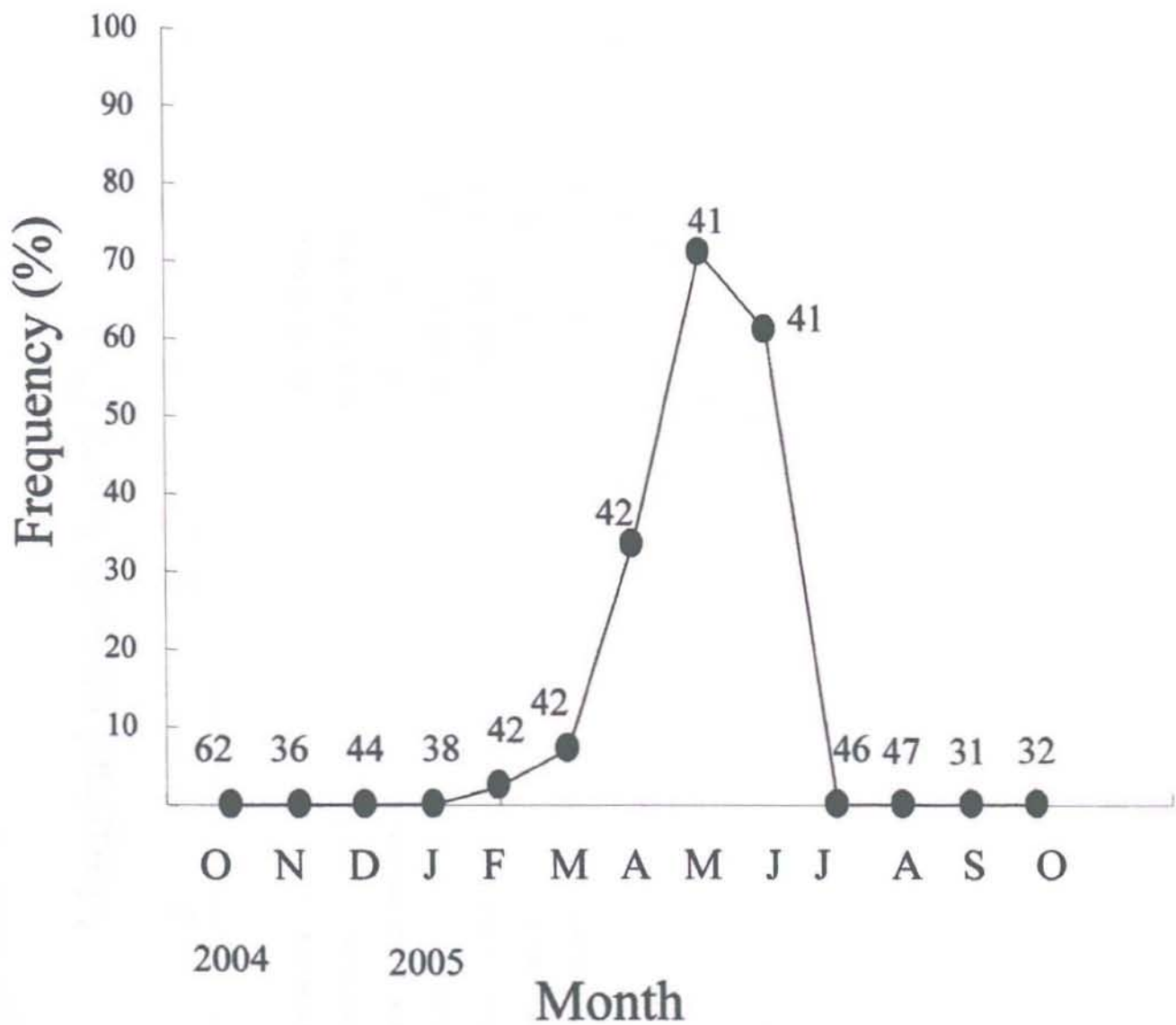


Fig.27. Monthly changes of frequency of individuals have opaque zone on the outer margin of otolith. Numbers on plots indicate sample size.

Fig.28. Monthly changes of frequency of individuals have opaque zone on the outer margin of otolith. Numbers on plots indicate sample size.

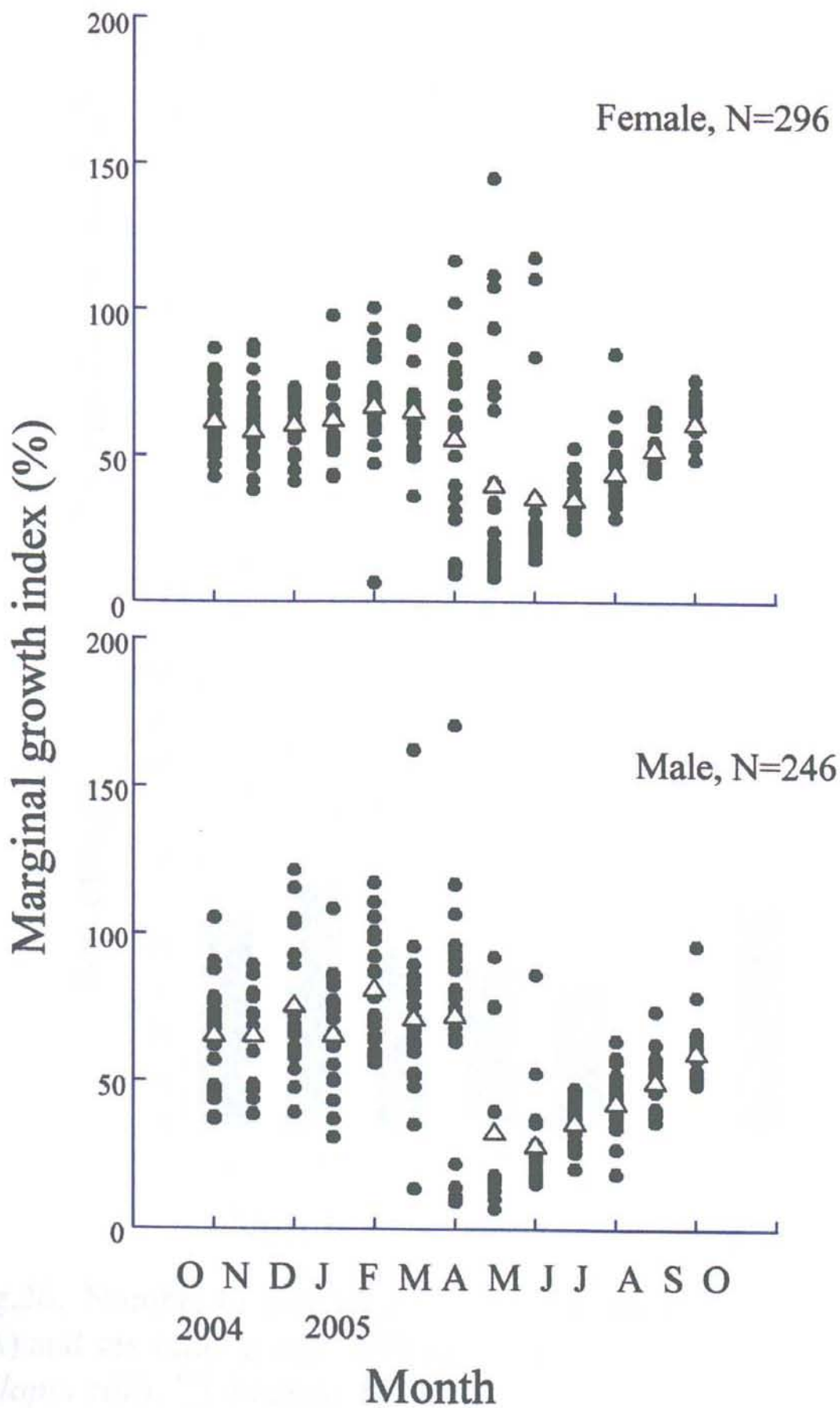


Fig. 28. Monthly changes of marginal growth index of *Tilapia zillii* for male and female from October, 2004 to October, 2005. Δ : mean

Fig.28. Monthly changes of marginal growth index of *Tilapia zillii* for male and female from October,2004 to October,2005. Δ :mean

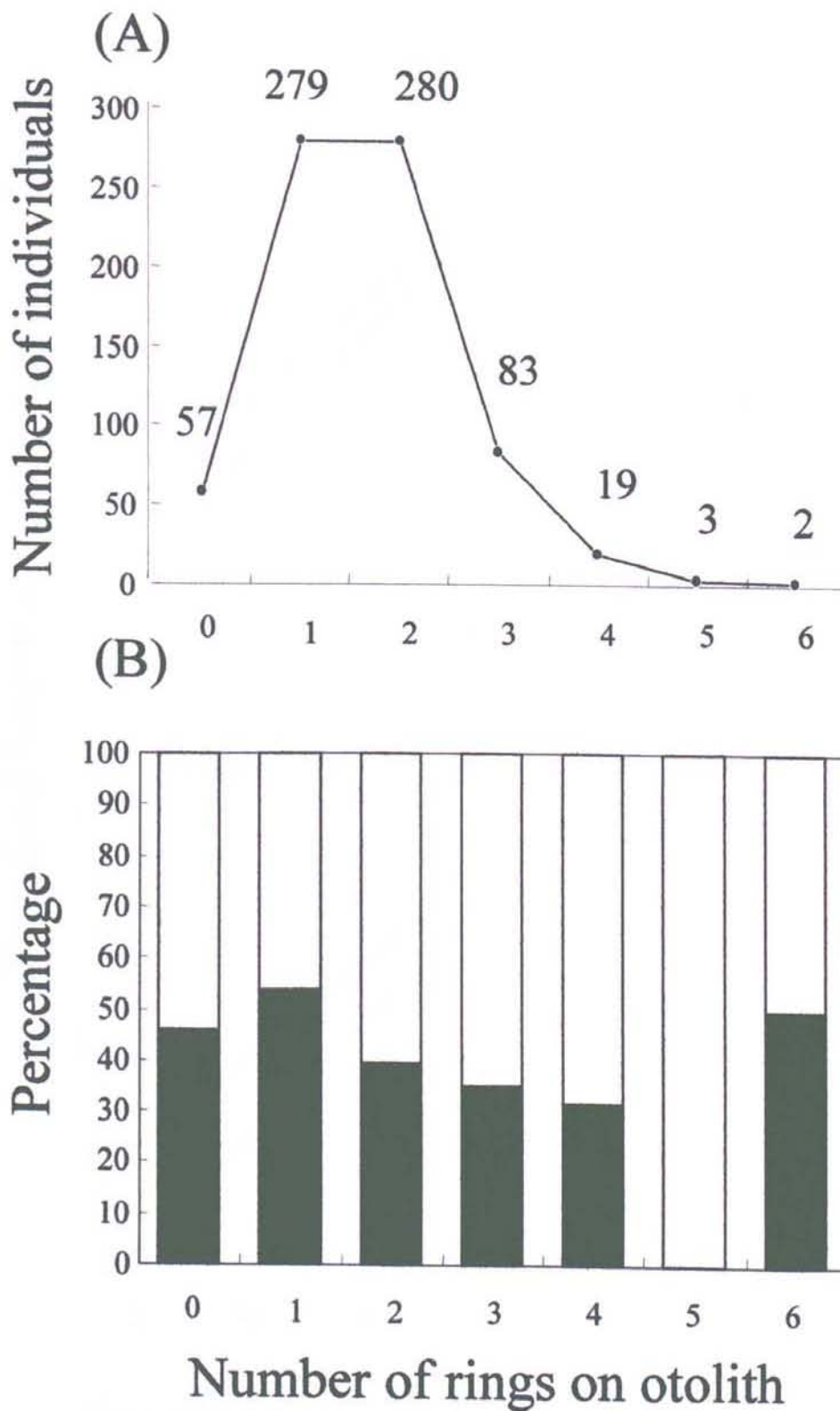


Fig.26. Number of individuals in each different ring number group (A) and sex ratio in each different ring number group (B) of *Tilapia zillii*. □ :Female ■ :male.

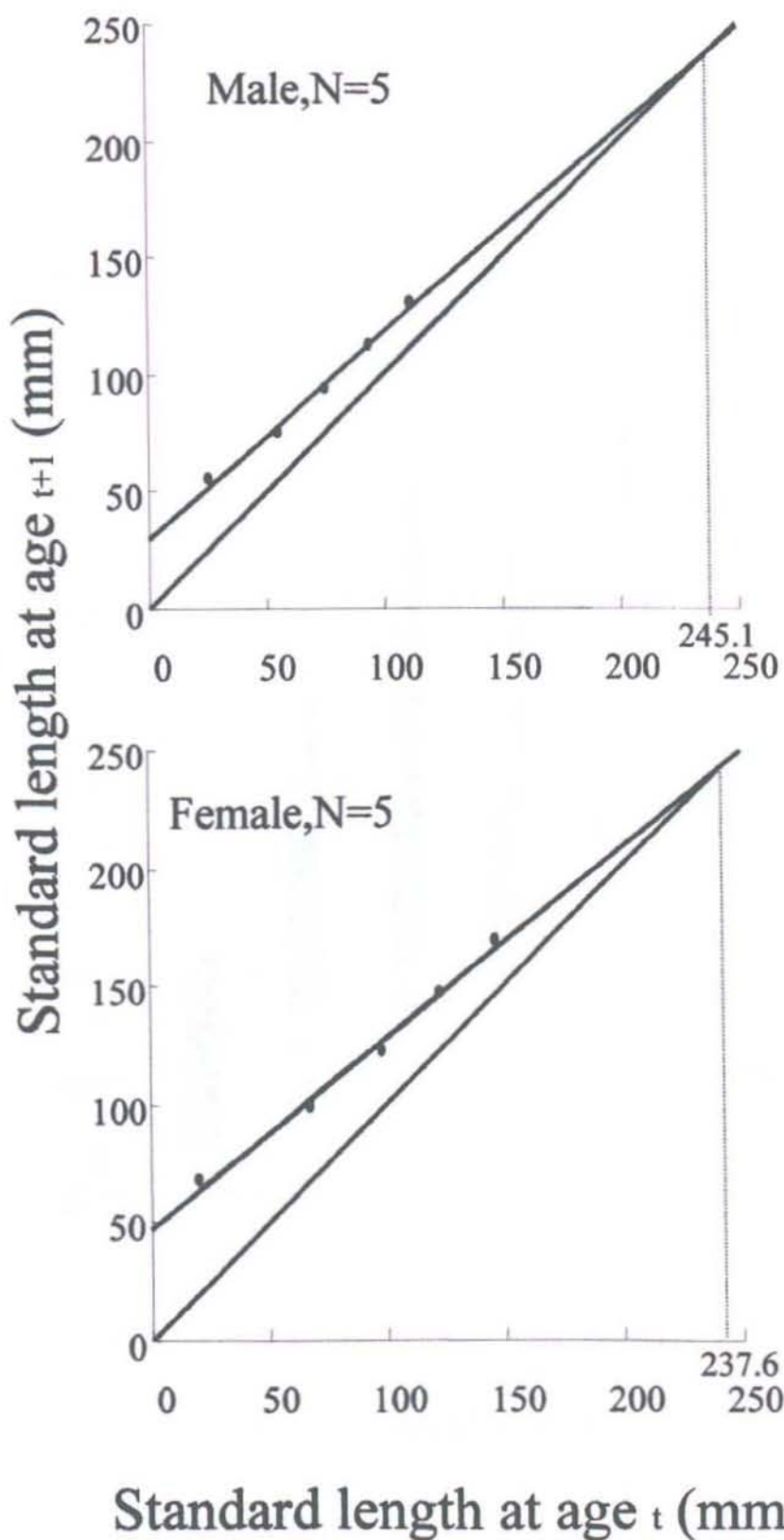


Fig.30. Wolfords growth transformation of standard length for males (upper) and females (lower) of *Tilapia zillii*.

Male: $SL_{t+1} = 0.8737SL_t + 30.008$

Female: $SL_{t+1} = 0.807SL_t + 47.306$

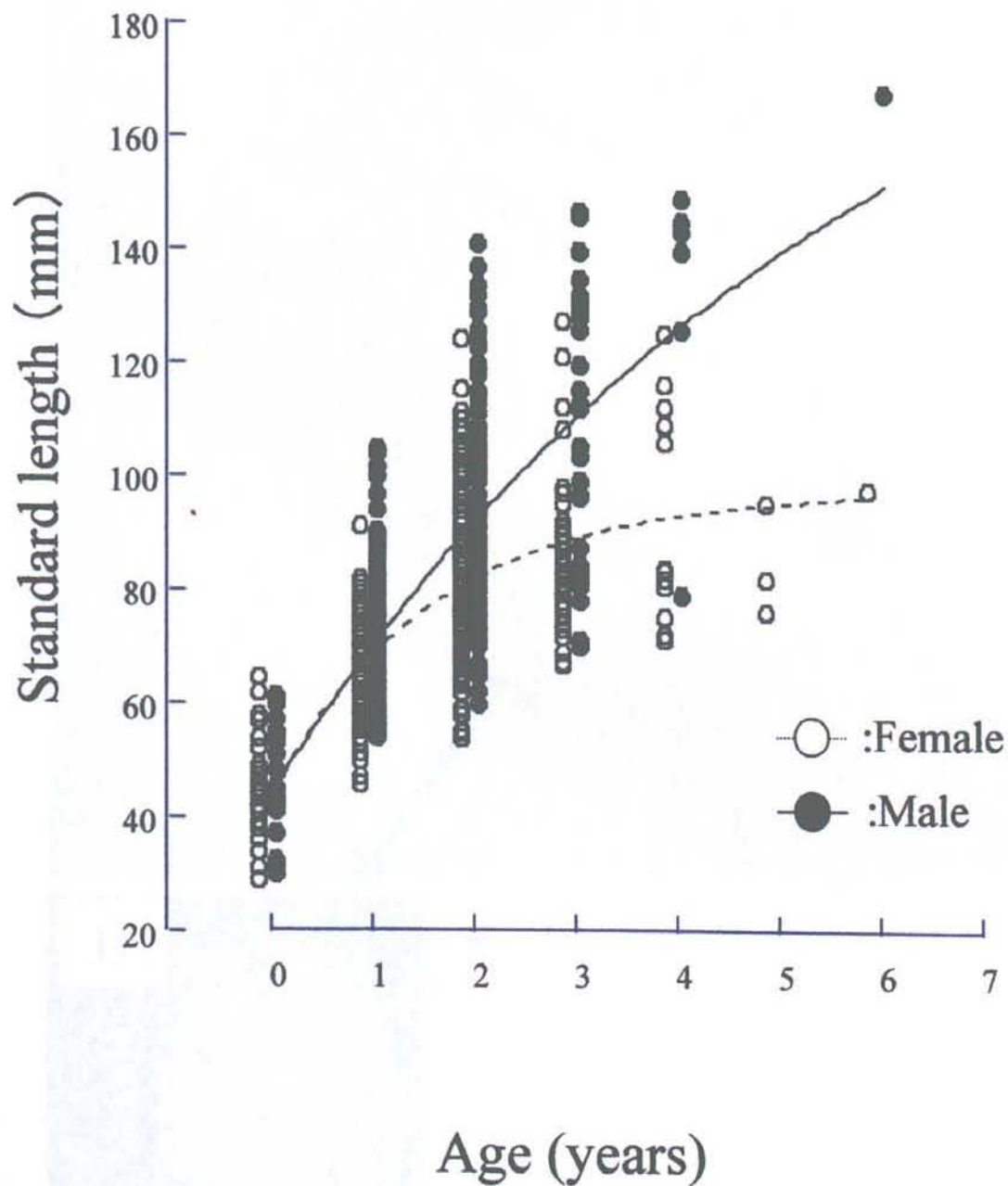


Fig.31. von Bertalanffy growth curves and standard length at age of *Tilapia zillii*.

Female: $SL=97.5(1-\exp[-0.61(t+0.85)])$ (N=401,r=0.73)

Male: $SL=214.4(1-\exp[-0.16(t+1.45)])$ (N=322,r=0.75)

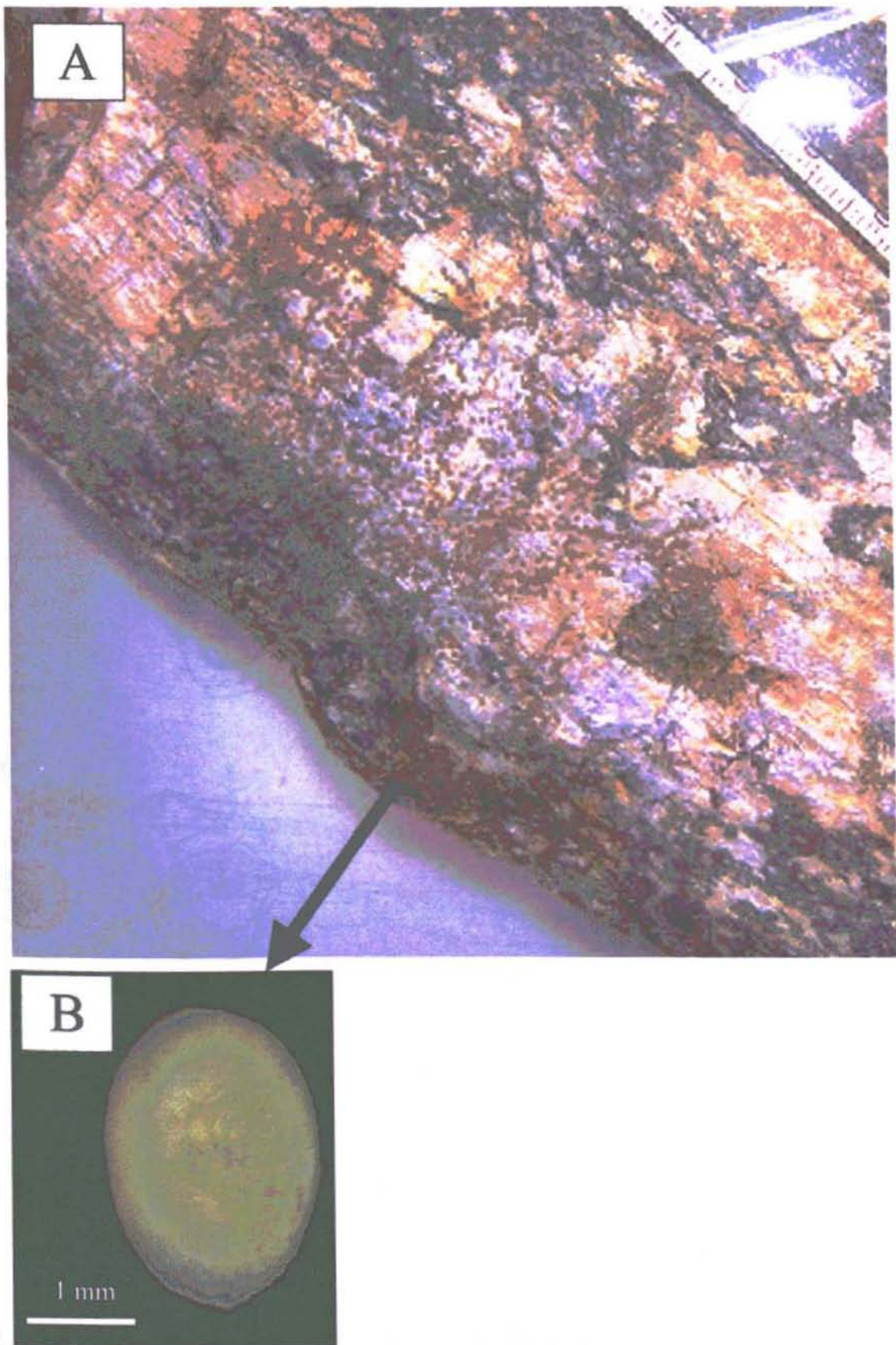


Fig.32. Photograph of egg mass and an egg of *Tilapia zillii*.
A,egg mass(number of eggs were 1,791) deposited
upperside of a stone.B,An egg 1 hour after spawning.

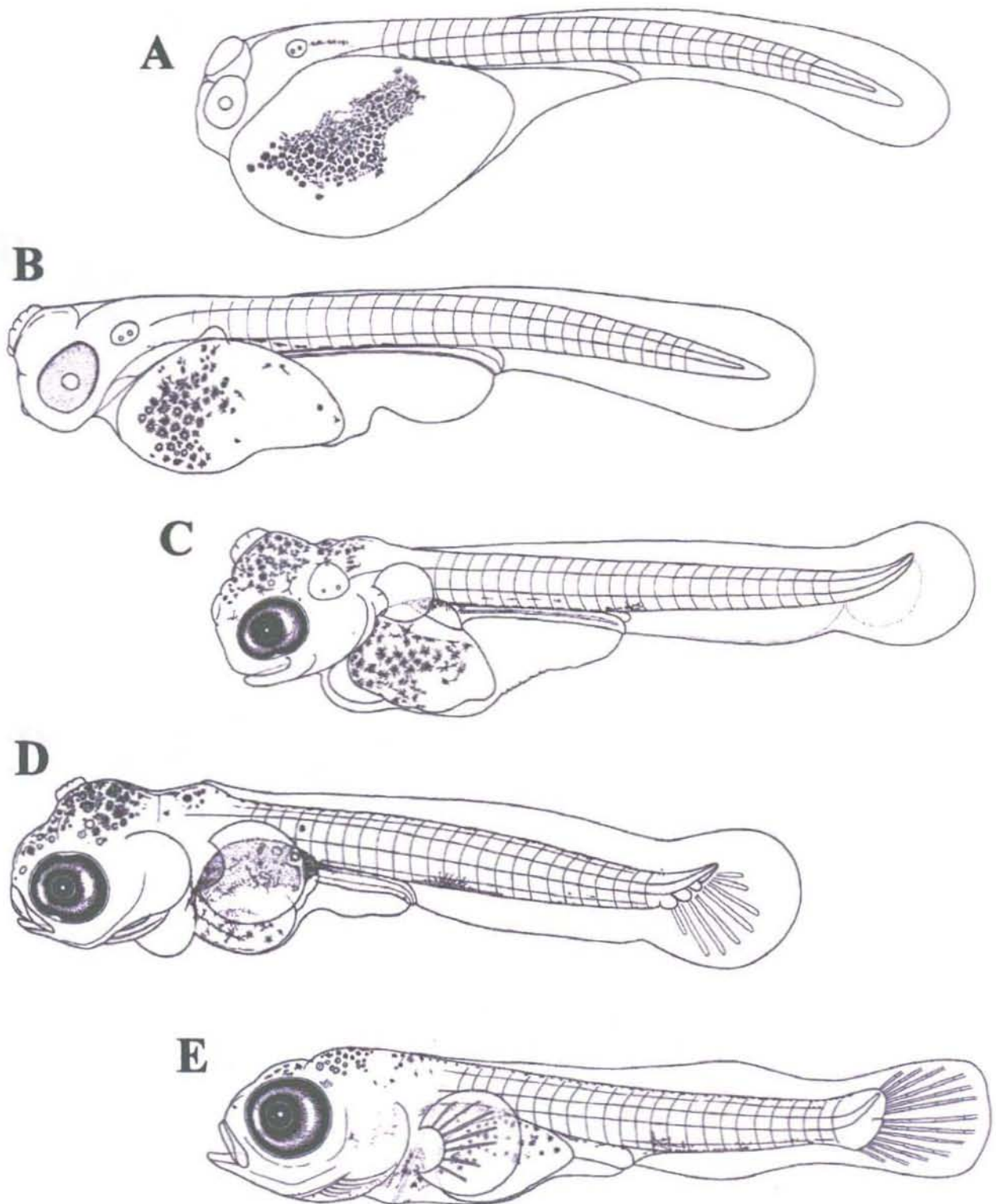


Fig.33. Morphological changes of reared larvae of *Tilapia zillii*.
 (A) Just hatched larva (3.4 mm NL), (B) 1days old (4.0 mm NL), (C) 2days old (4.2 mm NL), (D) 3days old (4.3 mm NL), (E) 5days old (4.5 mm SL).

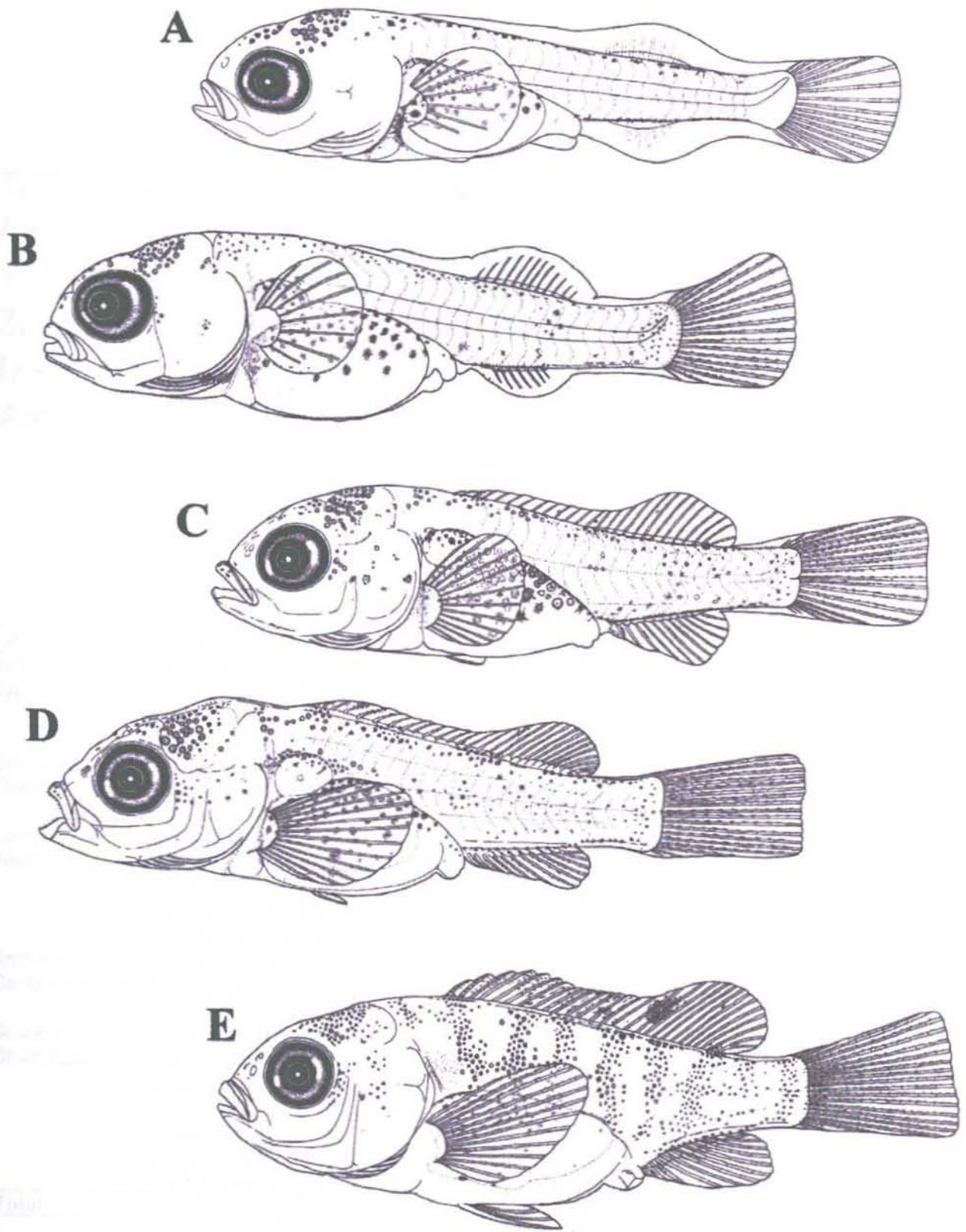


Fig.34. Morphological changes of reared larvae and juveniles of *Tilapia zillii*. (A) 10days old (5.2 mm NL), (B) 12days old (6.0 mm NL), (C) 15days old (6.2 mm NL), (D) 20days old (6.7 mm NL), (E) 25days old (10.1 mm SL).

Table 1. Alien fishes collected from islands in the Ryukyu Archipelago.

Yo: Yonaguni, Ir: Iriomote, Is: Ishigaki, My: Miyako, Za: Zamami, Tk: Tokashiki, Ku: Kume, On: Okinawa, Ih: Iheya, Iz: Izena, Mn: Minami-daitou, Oe: Okinoerabu, Tn: Tokunoshima, Am: Amamiok-shima, Ta: Tanegashima.

Family	Species	Yo	Ir	Is	My	On	Za	Tk	Ku	Ih	Iz	Mn	Oe	Tn	Am	Ta	Total
Osteoglossidae	<i>Osteoglossum bicirrosom</i>					○											1
Cyprinidae	<i>Danio albolineatus</i>					○											1
	<i>Danio bolineatus</i>					○											1
	<i>Tanichthys albonubes</i>					○											1
Cobitidae	<i>Botia modesta</i>					○											2
Claridae	<i>Clarias fuscus</i>			○		○											1
	<i>Clarias batrachus</i>					○											1
Loricariidae	<i>Liposarcus disjunctivus</i>					○											1
Poeciliidae	<i>Poecilia reticulata</i>		○	○	○	○	○	○	○			○	○				9
	<i>Gambusia affinis</i>	○	○	○	○	○	○			○	○		○		○	○	11
	<i>Xiphophorus helleri</i>					○			○								2
	<i>Xiphophorus maculatus</i>					○										○	2
Ambassidae	<i>Parambassis ranga</i>					○											1
Centrarchidae	<i>Micropterus salmoides</i>					○					○						2
	<i>Lepomis machrichirus</i>					○											1
Sciaenidae	<i>Sciaenops ocellatus</i>					○											1
Chichlidae	<i>Oreochromis mossambicus</i>	○		○	○	○		○	○	○		○	○	○			10
	<i>Oreochromis niloticus</i>	○				○					○						3
	<i>Tilapia zillii</i>					○	○							○	○		4
	<i>Hemichromis</i> sp.					○											1
	<i>Copadichromis</i> sp.					○											1
	<i>Archocentrus nigrofaschiatum</i>					○											1
Total		3	2	3	3	22	3	2	3	2	3	2	3	2	2	2	22

Table 2. Relationship between gonadosomatic index and histological stage.

GSI	PN	YV	PYG	SYG	TYG
0.500~0.749	6	24			
0.750~0.999	6	68	3		
1.000~1.249	1	29	9	4	3
1.250~1.499		3	2	4	5
1.500~1.749		2	3	6	5
1.750~1.999		1		2	8
2.000~2.249					9
2.250~2.499					7
2.500~2.749					7
2.750~2.999				1	4
3.000~					31

Table.5 Relationship between standard length (40~60 mm) and each maturity stage. Abbreviation is same as Table.2.

SL (mm)	PN	YV	PYG	SYG	TYG
40					
41	1				
42			1		
43					
44					
45		1			
46	1				
47	1				
48		2			
49				1	3
50			1		
51					1
52					1
53					
54				1	1
55		1		1	
56		1		1	1
57	1				
58	1				
59		1			1
60					1

Table.6 Ring radius at each age and back calculated standard length for male and female of *Tilapia zillii*.

Sex	Age	n	r ₁	r ₂	r ₃	r ₄	r ₅	r ₆
♂	1	150	0.37					
	2	110	0.33	0.63				
	3	29	0.32	0.63	0.85			
	4	6	0.37	0.62	0.82	1.01		
	5	0						
	6	1	0.26	0.59	0.77	0.91	1.11	1.25
mean			0.33	0.62	0.81	0.96	1.11	1.25
* Bcd SL			20.7	67.9	98.1	122.5	146.7	169.2
Sex	Age	n	r ₁	r ₂	r ₃	r ₄	r ₅	r ₆
♀	1	129	0.37					
	2	170	0.34	0.63				
	3	54	0.31	0.60	0.79			
	4	13	0.34	0.58	0.77	0.94		
	5	3	0.41	0.60	0.75	0.90	1.01	
	6	1	0.31	0.50	0.63	0.82	1.03	1.17
mean			0.35	0.58	0.74	0.89	1.02	1.17
Bcd SL			25.6	55.3	75.1	94.0	111.6	129.9

* Bcd:back calculated

Table.7 Mean standard length(\pm SD) ,sample size and estimated standard length by von Bertalanffy growth equation at each age class.

Age	Male			Female		
	Mean SL	N=	* Estd.SL	Mean SL	N=	Estd.SL
0	46.8 \pm 0.9	26	44.4	44.1 \pm 0.7	31	39.4
1	70.9 \pm 1.1	150	69.5	64.2 \pm 0.8	129	66.0
2	92.0 \pm 2.0	110	90.9	82.4 \pm 1.4	170	80.4
3	111.7 \pm 2.4	29	109.2	86.5 \pm 1.2	54	88.2
4	130.4 \pm 2.6	6	124.8	92.0 \pm 1.9	13	92.4
5		0	138.0	84.4 \pm 1.0	3	94.8
6	168.0	1	149.3	97.5	1	96.0

* Estd:estimated

Table 8 Growth parameters, longevity and maximum length of 5 tilapiine species. All references used otolith method.

Species	Sex	L _∞	K	Max age	Max length	Area	References
<i>Oreochromis andersonii</i>	male&female	267.5 mm SL	0.25	13	322.0 mm SL	Okavango Delta,Botswana	Booth et al.,1995
<i>O. macrochir</i>	male&female	215.2 mm SL	0.42	11	235.0 mm SL	Okavango Delta,Botswana	Booth and Merron,1996
<i>O. mossambicus</i>	female	237.6 mm SL	0.26	14	237.8 mm SL	Genka river,Okinawa	Obara,1998
	male	276.9 mm SL	0.63	8.5	283.6 mm SL		
<i>Sarotherodon melanotheron</i>	male&female	244.0 mm FL	0.22	7	198.0 mm FL	Saloum estuaries,Senegal	Panfili et al.,2004
<i>Tilapia rendalli</i>	male&female	188.0 mm SL	0.63	16	245.3 mm SL	Lake Chicamba,Mozambique	Weyl and Hecht,1998
<i>Tilapia zillii</i>	female	97.5 mm SL	0.61	6	138.0 mm SL	Haebaru reservoir,Okinawa	Present study
	male	214.4 mm SL	0.16	6	168.0 mm SL		