

## Note

제주도와 동해 근해에 서식하는 자리돔(*Chromis notata*)의  
형태와 유전특성 비교신혜정<sup>1,2</sup> · 김선욱<sup>1</sup> · 최영웅<sup>1\*</sup><sup>1</sup>한국해양과학기술원 태평양해양연구센터  
(426-744) 경기도 안산시 상록구 해안로 787<sup>2</sup>과학기술연합대학원대학교 해양생물학과  
(305-350) 대전광역시 유성구 가정로 217**Morphological and Genetic Characteristics of Pearl-spot Damsel  
*Chromis notata* (Teleostei: Pomacentridae) in Coastal Waters of  
East Sea (Sea of Japan) and Jejuo**Hye Jeong Shin<sup>1,2</sup>, Sun Wook Kim<sup>1</sup>, and Young-Ung Choi<sup>1\*</sup><sup>1</sup>*Pacific Ocean Research Center, KIOST  
Ansan 426-744, Korea*<sup>2</sup>*Department of Marine Biology, Korea University of Science & Technology  
Daejeon 305-350, Korea*

**Abstract :** The pearl-spot damsel, *Chromis notata*, is one of the important fishery species in Korea. While *C. notata* has been commonly harvested in southern Korea, the increasing number of *C. notata* in higher latitudes has crucial ecological, economic and evolutionary implications under conditions where the climate is rapidly changing. Here we examined the morphological and genetic characteristics of *C. notata* to assess patterns of geographical variations among the groups from three different sites. The groups were clearly distinguishable in the analysis of morphological characteristics. On the other hand, the groups were genetically indistinguishable. All individuals fell within a single clade in the neighbor-joining tree but appeared scattered in the haplotype network. Several haplotypes are shared among the sampling sites (Jejuo-Ulleungdo; Hap 9, Wangdolcho-Ulleungdo; Hap 28, Hap 33, Hap 34). Although control region markers did not elucidate the spatial patterns in genetic characteristics, Wangdolcho and Ulleungdo groups appear to exhibit a more robust gene flow between the two groups than with Jejuo group. Integrative approaches such as those combining morphological and genetic analyses minimize potential errors caused by limited perspectives of each analysis and can provide useful information for discovering functional DNA regions attributable to morphological characteristics expressions.

**Key words :** geographical variation, *Chromis notata*, Morphology, mtDNA control region

\*Corresponding author. E-mail : yuchoi@kiost.ac

## 1. 서 론

기후변화에 기인한 해수온 상승은 생물 종의 지리적 분포 변화를 야기시키는 주요 요인 중 하나이다(Caselle et al. 2011). 이는 생물이 환경 변화에 적응하는 과정에서 나타나는 생활사 전략의 차이에 기인한 것으로서 다른 종의 지역적 차이를 유발하고 더 나아가 종분화(speciation)로 이어질 수도 있다고 보고되고 있다(Stearns 1992). 최근 우리나라 연근해에서는 수온이 매년 약 0.03°C씩 상승하여, 지난 40년 동안 동해안이 1.39°C, 남해안은 1.27°C 오른 것으로 조사되었다(Seong et al. 2010). 이러한 수온 상승으로 미역, 감태 등의 해조류 군락이 줄어들고, 갯녹음 현상이 확산되며, 생물 종 조성이 변화하고 있는 것으로 보고되었다(Oh et al. 2010; Choi et al. 2006; Kim et al. 2004; Kim and Kim 2000). 제주 및 남해 연안역에서는 아열대성 산호와 말미잘 군락의 가입지역이 늘어나고 있는 것으로 확인되어 한반도 해역의 환경이 변화하고 있음을 보여준다(Myoung 2002). 이러한 변화로 인해 해양생물의 분포상이 변화할 것으로 예상된다(Rahman et al. 2012). 생물군집변화에서의 두드러진 특징 중 하나는 어류상의 변화로서 1960-70년대 동해안의 주요 우점어종이었던 명태와 같은 한해성 어종이 1990년대 이후 거의 출현하지 않고, 대신 방어, 삼치, 정어리, 오징어 등과 같이 난류를 따라 회유하는 어종이 동해안의 강원도에서도 연중 어획되고 있다(Oh et al. 2011; Jeong et al. 2003). 이와 같이 과거에 제주도 인근 해역에서만 볼 수 있던 아열대성 어종들의 동해역 출현은 따뜻한 해류인 대마난류가 왕돌초를 포함한 울릉도, 독도까지 그 영향력이 확장되었기 때문으로 예상되고 있다(Park et al. 2009; Oh et al. 2011).

자리돔은 한국의 남해와 제주도 연안 및 일본 연안과 동중국해에 분포하는 대표적인 아열대성 어종으로 열대와 아열대 해역에 널리 분포하고 있다(Lee and Lee 1987; Kim and Kim 1996). 우리나라 해역에는 자리돔(*C. notata*), 노랑 자리돔(*C. analis*), 연무자리돔(*C. fumea*) 흰꼬리 노랑자리돔(*C. albicauda*)의 총 4종이 서식하고 있으며(Kim and Kim 1996; Song et al. 2013), 최근 연구에 따르면 해수온 상승과 함께 자리돔류의 서식분포가 한반도 이북으로 확장되고 있는 것으로 보고되고 있다(Myoung 2002; Lee and Myoung 2003). 그 중, 다도해 이남, 제주 및 동해에 우점적으로 서식하는 자리돔(*C. notata*)은 100개체 이상이 하나의 군락을 이루어 생활한다(Kingsford 1985; Wantiex and Thollot 2000). 그리고 암컷이 바위 위에 알을 낳아 부착시키면 수컷은 알이 부화하기까지 포식자로부터 알을 보호한다(Kingsford 1985). 이와 같은 특성으로 인해, 자리돔 군락은 해양환경변화에 민감하게 반응

할 것으로 예상되지만 자리돔(*C. notata*) 관련 기초연구는 형태적 특징 분류(Kim and Kim 1996), 자리돔과 어류의 분자계통학적 위치(Koh and Park 2007), 산란, 번식 시기(Ochi 1986) 등의 분류 및 생태특징에 대한 연구가 주로 이루어져 있다. 그러므로 향후 자리돔의 동태 변화를 이해하기 위해 개체군의 성장률, 크기 구조, 수명, 번식시기 등의 변화패턴에 대한 연구가 필요하다. 그리고 분자생물학적 기법을 이용한 생태 및 유전학적 특성을 규명하는 연구도 요구된다. 이 연구는 한반도 해역(제주, 왕돌초, 울릉도)에 서식하는 자리돔(*C. notata*) 집단 간의 형태 및 유전적 특성 확인을 위한 시험연구로 그 결과를 보고하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 시료채집

이 연구에 사용된 시료는 2012년 7-8월 사이에 제주 모슬포, 동해 왕돌초와 울릉도에서 수집하였다. 제주도와 울릉도 시료는 어선 어망을 이용하여 획득하였고 왕돌초 시료는 SCUBA를 통해 죽대를 이용하여 채집하였다. 획득한 시료는 냉장 보관하여 실험실로 운반한 후 계수 및 계측형질을 조사하였다. DNA 부표본은 지느러미를 절취하여 95% ethanol에 보관하였으며, 전체 표본은 70% ethanol에 고정하였다.

### 형태학적 분석

시료의 계수와 계측 형질은 Kim and Kim (1996)의 방법으로 측정 및 비교하였다. 계수 형질은 등지느러미의 기초 수(Dorsal fin ray), 뒷지느러미의 기초 수(Anal fin ray), 배지느러미의 기초 수(Pelvic fin ray), 측선상부비늘 수(Scale above lateral line), 측선하부비늘 수(Scale below lateral line)를 해부현미경(OLYMPUS SZX7,  $\times 0.8$ )을 사용하여 계수하였다. 계측 형질은 전장(TL, Total length), 체장(SL, Standard length), 체고(BD, Body depth), 두장(HL, Head length), 눈길이(ED, Eye diameter), 양안 간격(IW, Interorbital width), 주둥이 길이(SD, Snout distance), 꼬리자루높이(CPH, Caudal peduncle height), 가장 긴 등지느러미 길이(LDS, Longest dorsal spine length), 두 번째 뒷지느러미 길이(SAP, Second anal spine length), 배지느러미 길이(PFL, Pelvic fin length)를 Vernier calipers를 사용하여 직선거리를 기준으로 0.1 mm까지 측정하였다. 전장(TL)과 체장(SL)을 제외한 모든 형질은 지역에 따라 개체의 크기가 상이하기 때문에 오류를 최소화 하고자 표준체장(SL, standard length)을 기준으로 각 부위를 백분율로 변환하였다. 통계분석은 SPSS program ver. 12.0 (SPSS Inc, Chicago, IL)를 이용하여 ANOVA 분석, 판별

분석 그리고 상관분석을 실시하였다. ANOVA 분석은 각 형태형질의 유의성을 확인하기 위하여 실시하였으며 판별 분석은 각 개체들이 속하는 지역을 확인하고 형태형질에 따라 지역적으로 분류하기 위해 실시하였다. 마지막으로 상관분석은 판별분석 결과에서 얻은 개체들의 좌표와 각 형질간의 상관관계를 분석하여 판별분석과 함께 도식화하였다.

#### DNA 추출, 증합효소연쇄반응(PCR) 및 염기서열 결정

Genomic DNA는 부표본을 잘라 잘게 다진 후 Genomic DNA Extraction kit(Bioneer)의 제조사 표준 절차에 따라 추출하였다. 추출된 genomic DNA는 PCR 및 forward primer Cr-A(5'-TTC CAC CTC TAA CTC AAG CTA G-3')와 reverse primer Cr-E(5'-CCT GAA GTA GGA ACC AGA TG-3')(Lee et al. 1995)를 사용하여 미토콘드리아 genome 내 Control Region의 일부(430 bp)를 증폭시켰다.

PCR 반응액은 총 25  $\mu$ L의 양으로 약 50 ng의 DNA, 1X로 희석된 10x PCR buffer, 1 mM의  $MgCl_2$ , 1 mM의 dNTPs, 50 pM의 forward 및 reverse primer, 1 U의 Ex Tag, 증류수를 혼합하여 제조하였다. PCR의 조건은 94°C에서 10분간 최초 열변성 시킨 후 35 cycles 동안 94°C에서 30초 변성반응, 54°C에서 40초 결합반응, 그리고 72°C에서 40초 신장반응을 반복하였으며, 마지막 신장반응은 10분간 실시하였다. DNA의 증폭여부는 전기영동을 통해 확인하였다. 증폭이 확인된 PCR 산물은 제조사의 표준절차에 따라 QIAquick PCR purification kit(Qiagen)을 사용하여 정제하였으며 ABI PRISM 3730XL Analyzer(Applied Biosystems, USA)로 염기서열을 결정하였다.

#### 유전학적 특성 분석

시료의 염기서열은 BioEdit 7.1.3을 이용하여 편집하였고, MEGA 5.05에서 clustal W을 사용하여 정렬하였으며 동일한 지역 내의 유사도와 다른 지역 간의 유사도를 확인하였다. 염기서열의 AT 함유량(content)과 염기서열 길이는 DnaSP 5.10(Rozas et al. 2003)을 통해 확인하였다. 자리돔 개체들 간의 유연관계는 Genbank에 게재된 *C. limbata*(EF439267.1, EF439266.1, EF439193.1) 염기서열과의 비교를 통해 분석하였다. Neighbor Joining tree는 MEGA 5.05를 이용하여 Tamura et al. (2011)의 방법에 따라 1000번의 bootstrapping을 이용하여 실시하였다.

자리돔 개체들의 지역별 유전특성은 Arlequin Ver 3.1 (Exoffier 2005)에 포함된 유전자형 다양성(haplotype diversity)과 염기 다양성(nucleotide diversity) 평가를 통해 분석하였다. 유전자형 네트워크(haplotype network)는 Arlequin Ver. 3.1에서의 분석을 통해 얻은 유전자형 빈도

표와 minimum spanning tree를 기반으로 시각화하였다.

### 3. 결 과

#### 시료 채집지의 해양환경 특징

시료 채집지인 제주와 동해는 동중국해에서 쿠로시오로부터 분리된 대마난류에 영향을 받는다. 대마난류는 대해협을 통하여 동해남부로 유입되고 동해 북부는 러시아 연안과 북한연안을 따라 리만난류와 북한난류가 남하하면서, 대마난류와 마찬가지로 강한 계절 변화를 보여 해양환경에 큰 영향을 미친다(NRF 2006; Park et al. 2013). 그 영향으로 남해와 동해를 중심으로 해수온도의 상승은 과거에 비해 급격히 진행되어 제주해역의 경우 연평균 표층 수온이 19.8°C, 왕돌초 해역 16.3°C, 울릉도 해역은 15.3°C로 지역에 따라 1.0-4.5°C의 차이가 있다. 반면 염분은 제주해역의 경우 연평균 33.3 psu, 왕돌초 해역은 33.4 psu, 울릉도 해역은 33.5 psu로 지역 간의 차이가 거의 없다(MEIS 2012).

#### 자리돔 집단 간의 형태적 특징 결정

산란에 참여하는 자리돔(*C. notata*) 성체의 TL은 90.0 mm 이상이며 104.0 mm 이상인 개체는 7세어(자리돔의 최고 연령)에 해당된다고 보고되어 있다(Lee and Lee 1987; Yang 1988). 이에 따르면 이 연구에 이용된 모든 시료는 최고연령의 성체(제주도; 평균 107.7  $\pm$  5.6 mm, 왕돌초; 평균 146  $\pm$  10.3 mm, 울릉도; 평균 140.1  $\pm$  6.8 mm)로 판단된다. 동해 왕돌초에 서식하는 자리돔의 TL은 크기가 가장 작은 제주도에 서식하는 자리돔 개체보다 38.3 mm 크다.

자리돔의 형태분석에 사용된 5개의 계수 형질 모두 지역 간의 차이가 없었지만 9개의 계측 형질은 모두 지역 간의 유의한 차이를 보였다(Table 1). 하지만 측선하부비늘 수를 8-9개로 보고한 Kim and Kim (1996)과는 다르게 이번 연구에서는 측선하부비늘수가 10개로 확인되어 차이가 나타났다.

전장의 크기는 왕돌초, 울릉도, 제주도 순이었으며 형태 비율에 대한 차이는 제주 자리돔은 HL(28.5  $\pm$  1.6%), ED(9.3  $\pm$  0.5%), SD(6.1  $\pm$  1.0%), LDS(16.4  $\pm$  1.0%), SAP(17.2  $\pm$  1.5%), 그리고 PFL(29.7  $\pm$  1.7%)를 포함하는 총 6개의 계측 형질이 세 지역 중 가장 크게 나타났다. 왕돌초 자리돔은 BD(47.4  $\pm$  2.6%), IW(10.7  $\pm$  0.7%), CPH(14.5  $\pm$  0.4%)를 포함하는 총 3개의 계측 형질들이 세 지역 중 가장 크게 나타났다. 울릉도 자리돔은 세 지역 중 가장 크게 나타난 계측형질이 없었다(Table 1).

판별분석은 9가지의 계측형질을 모두 포함하여 분석한 결과, Function 1은 ED, SD, PFL, LSD, HL, 그리고 IW

**Table 1. Comparison of proportional meristic and morphometric characteristics of *Chromis notata* in each sampling site. Asterisks indicated  $p < 0.05$ . Each characteristic's values showed that outside of parenthesis is average value and inside of parenthesis are minimum and maximum values**

Location	Kim and Kim (1996)	Jejudo	Wangdolcho	Ulleungdo	
<b>Number of specimen</b>	<b>21</b>	<b>18</b>	<b>24</b>	<b>18</b>	
<b>Meristic characteristics</b>					
Dorsal fin rays	XII~XIV, 12~14	XIII, 13	XIII, 13	XIII, 13	
Anal fin rays	II, 10~12	II, 12	II, 12	II, 12	
Pectoral fin rays	18~20	19	19	19	
Scales above lateral line	3	3	3	3	
Scales below lateral line	8~9	10	10	10	
Morphometric characteristics	Kim and Kim (1996)	Jejudo	Wangdolcho	Ulleungdo	Probability (P)
<b>Total length (mm)</b>	-	107.7 ± 5.6 (94.3~117.6)	146 ± 10.3 (114.4~167.3)	140.1 ± 6.8 (127.1~152.8)	
<b>Standard length (mm)</b>	63.5~102.4	82.7 ± 4.0 (75.2~90.5)	113.1 ± 8.8 (88.8~130.2)	107.7 ± 5.9 (95.2~117.8)	
<b>As % of Standard length</b>					
Body depth	40.1~49.2	46.4 ± 2.1 (42.1-51.0)	47.4 ± 2.6 (42.7-52.6)	44.4 ± 1.4 (41.8-46.7)	*
Head length	26.4~31.1	28.5 ± 1.6 (26.2-31.0)	26.3 ± 1.6 (21.0-28.6)	26.4 ± 0.8 (24.6-27.6)	*
Eye diameter	9.2~10.8	9.3 ± 0.5 (8.6-10.1)	7.9 ± 0.6 (6.8-9.4)	8.4 ± 0.3 (7.8-8.8)	*
Interorbital width*	9.0~11.0	10.5 ± 0.5 (10.0-11.7)	10.7 ± 0.7 (9.4-11.9)	9.7 ± 0.3 (9.1-10.2)	*
Snout distance	5.6~7.8	6.1 ± 1.0 (3.8-7.3)	4.9 ± 1.0 (3.3-7.0)	4.3 ± 0.7 (3.0-5.2)	*
Caudal peduncle height	13.2~14.4	13.9 ± 0.6 (13.1-15.1)	14.5 ± 0.4 (13.6-15.6)	14.3 ± 0.4 (13.6-15.1)	*
Longest dorsal spine length	15.8~17.8	16.4 ± 1.0 (14.2-18.2)	14.8 ± 1.1 (12.9-16.9)	15.7 ± 0.8 (14.4-17.2)	*
Second anal spine length	17.0~19.9	17.2 ± 1.5 (14.5-20.0)	15.6 ± 1.2 (13.7-17.7)	16.5 ± 1.1 (14.6-18.6)	*
Pelvic fin length	25.7~31.0	29.7 ± 1.7 (26.0-32.8)	27.6 ± 2.0 (21.8-30.9)	27.5 ± 1.7 (24.2-31.3)	*
<b>As % of Head length</b>					
Eye diameter		32.7 ± 2.1 (27.4-28.3)	30.3 ± 2.9 (37.0-25.4)	31.7 ± 1.5 (34.1-29.4)	
Interorbital width		37.1 ± 2.2 (40.4-33.2)	40.4 ± 3.3 (47.9-33.9)	36.7 ± 2.0 (40.3-33.6)	
Snout distance		21.3 ± 3.5 (26.3-14.6)	18.3 ± 3.7 (26.6-12.7)	16.2 ± 2.4 (20.0-11.4)	

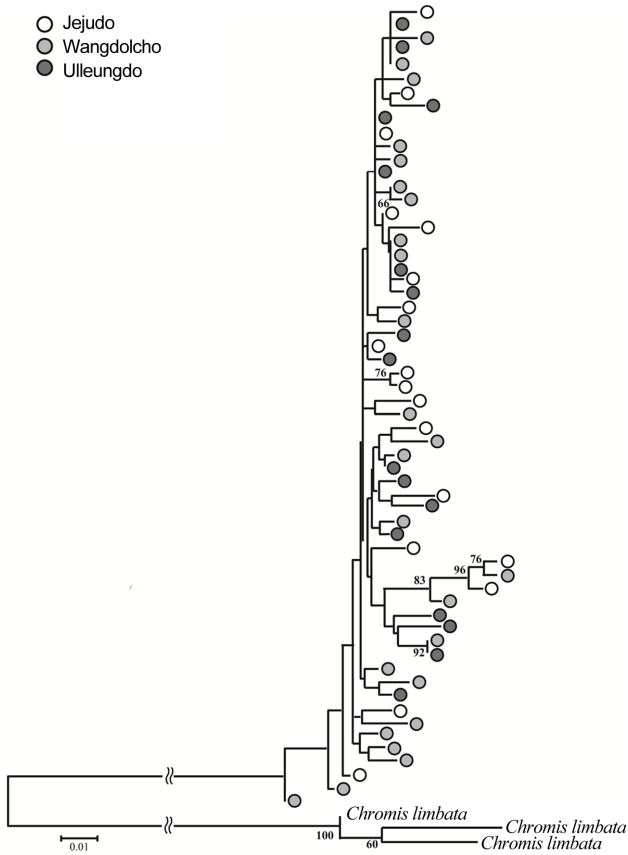
순으로 왕돌초-울릉도 자리돔과 제주 자리돔을 구분하는 주 요인으로 판별점수는 61.1%이었다. Function 2는 IW, SD, BD, PFL, CPH, 그리고 SAP 순으로 제주-왕돌초 자리돔과 울릉도 자리돔을 구분하는 주요인으로 판별점수는 33.0%이었다(Fig. 2). 판별 적중률은 제주 자리돔이 18개체 중 17개체(99.4%), 왕돌초 자리돔은 24개체 중 19개체(73.2%), 울릉도 자리돔은 18개체 중 17개체(99.4%)로 총 60개체 중 50개체(88.3%)가 올바르게 구분되었다. 판별분석 결과에서 나온 개체들과 각 형질 간의 상관분석을 분석한 결과, Table 1의 결과와 같은 결과를 보였으며 IW, BD, SD, HL, 그리고 ED은 세 지역의 자리돔을 구분하는 대표적인 형질인 것으로 나타났다(Fig. 2, Table 2).

#### 자리돔 집단 간의 유전학적 특징 결정

세 지역에서 채집한 자리돔(*C. notata*)으로부터 확보한 60개의 control region(CR) 염기서열은 GenBank에 등록

하였다(KM003884-KM003943). Control region 영역의 염기서열 길이 범위는 430-432 bp(제주도; 430 bp, 왕돌초; 432 bp, 울릉도; 432 bp)였고, 염기서열 간 유사도 범위는 97.3-97.8%(제주도; 97.3%, 왕돌초; 97.6%, 울릉도 97.8%)로 확인되었다. 지역 간 유사도 범위는 97.5-97.7%(제주도-왕돌초; 97.5%, 제주도-울릉도; 97.6%, 왕돌초-울릉도; 97.7%)로 높았으며 AT 함유량(content) 범위는 65.6-67.5%(제주도; 67.5%, 왕돌초; 65.6%, 울릉도; 65.8%)로 확인되었다. 그리고 자리돔(*C. notata*)과 근연관계에 있는 *C. limbata*과 함께 작성한 neighbor-joining 계통수를 살펴본 결과에 따르면 한국산 자리돔은 단계통군으로 확인하였다(Fig. 1).

세 지역에서 채집된 자리돔 control region의 유전자형(haplotype)수는 제주도 18개(다양도 지수;  $1.000 \pm 0.019$ ,  $0.064 \pm 0.033$ ), 왕돌초 23개(다양도 지수;  $0.996 \pm 0.013$ ,  $0.051 \pm 0.262$ ), 울릉도 18개(다양도 지수;  $0.987 \pm 0.023$ ,

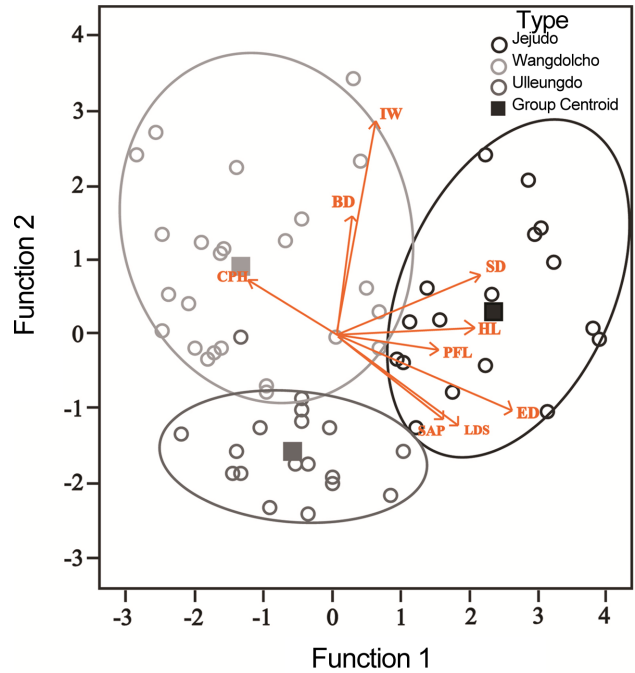


**Fig. 1.** Neighbor-Joining tree based on the partial control region of mtDNA from *Chromis notata* individuals with *Chromis limbata* (accession no. EF439267.1, EF439266.1, EF439193.1) as outgroup. Shading color circles indicate individuals from different sampling sites. Bootstrap values (>50%) are given above the nodes. Scale bar indicates substitution per nucleotide site

0.025 ± 0.014)로 나타났다. 유전자형은 산개 분포형 네트워크를 보여주었다(Fig. 3). 이는 control region이 자리돔 집단의 유전자풀(gene pool)을 분석하는데 유용하지 않은 부위임을 보여주는 결과이다. 하지만 일부 유전자형은 지역 간 공유하는 것으로 나타났다(제주-울릉도; Hap 9, 왕돌초-울릉도; Hap 28, Hap 33, Hap 34).

**4. 토 의**

한반도 해역에서는 기후변화와 산업활동 등에 의해 해양환경이 급속도로 진행되고 있다(Kim 2010). 해양 환경의 변화가 생물에게 어떠한 영향을 미치는지에 대한 연구는 생물의 지리적 분포 및 종 변이 측면에서 중요하기 때문에 수온, 염분, 해류, 먹이에 따른 생물의 생리변화(번식, 표현형, 돌연변이 등)에 대한 연구가 다수 이루어져



**Fig. 2.** Discriminant function analysis and correlation analysis based on morphometric characteristics measured from *Chromis notata* individuals. Orange arrows show the direction vectors of morphometric characteristics (IW; Interorbital width, BD; Body depth, CPH; Caudal peduncle height, SD; Snout distance, HL; Head length, PFL; Pelvic fin length, ED; Eye diameter, LDS; Longest dorsal spine length, SAP; Second anal spine length). Shading color circles indicate individuals from different sampling sites. Different color squares mark the centroid of each group. (Discriminant scores in function 1; 61.1%, function 2; 33.0%. Refer to Table 2 for correlation analysis value)

있다(Law 2000; Frederish et al. 2012; Hamilton et al. 2007). 그중 섭이방법에 따른 Pomacentridae 어류의 형태 변화를 연구한 결과, 복족류나 갑각류를 섭이하는 점농어속(*Zalembius rosaceus*)은 수중에 있는 동물플랑크톤을 먹이로 하는 아주린속(*Azurina hirundo*)과 자리돔속(*Chromis atrilobata*)보다 주둥이의 모양이 아래로 쳐져 있다(Aguilar-Medrano et al. 2011). 또한 서식환경에 따라 체색이 다른 어류에 대한 연구도 많이 보고되어지고 있다(Schultz et al. 2006; Rocha 2004; Maan and Sefc 2013). 이러한 연구들은 환경적 요인과 생물 반응 연구가 함께 진행되어야 한다는 것을 보여주는 선행연구라 할 수 있다. 그러므로 이번 연구는 해양 생태계 변화와 생물 반응을 추적하기 위한 방법론 탐색에 대한 시험 연구로써, 향후 다양한 수산생물에 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

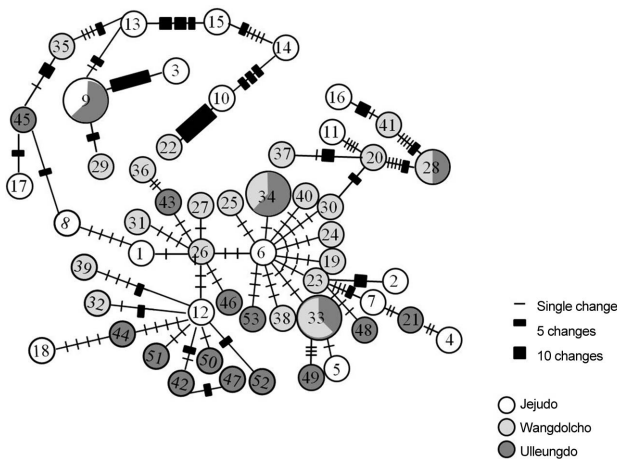
세 지역에 서식하는 자리돔의 계수와 계측형질을 분석

**Table 2. Coefficient of discriminant and correlation analysis in all morphometric characteristics (r is Pearson correlation coefficient, r<sup>2</sup> is determination coefficient, X and Y are function of discriminant analysis)**

Characteristic		BD	HL	ED	IW	SD	CPH	PFL	LDS	SAP	SD	X	Y
BD	r	-	0.940	-0.360	0.496	0.191	0.252	0.027	-0.118	0.188	0.058	0.062	0.500
	p-value	-	0.475	0.786	0.000	0.144	0.052	0.839	0.371	0.149	0.661	0.639	0.000
	r <sup>2</sup>	-	0.884	0.130	0.246	0.036	0.064	0.001	0.014	0.035	0.003	0.004	0.250
HL	r	0.940	1.000	0.523	0.141	0.561	-0.328	0.332	0.234	0.247	-0.562	0.637	0.043
	p-value	0.475	-	0.000	0.284	0.000	0.011	0.010	0.072	0.057	0.000	0.000	0.745
	r <sup>2</sup>	0.884	-	0.274	0.020	0.315	0.108	0.110	0.055	0.061	0.316	0.406	0.002
ED	r	-0.360	0.523	1.000	0.053	0.374	-0.457	0.471	0.506	0.458	-0.720	0.785	-0.304
	p-value	0.786	0.000	-	0.685	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.018
	r <sup>2</sup>	0.130	0.274	-	0.003	0.140	0.209	0.222	0.256	0.210	0.518	0.616	0.092
IW	r	0.496	0.141	0.053	1.000	0.193	0.137	-0.283	-0.215	0.143	0.008	0.188	0.902
	p-value	0.000	0.284	0.685	-	0.139	0.297	0.028	0.099	0.275	0.951	0.151	0.000
	r <sup>2</sup>	0.246	0.020	0.003	-	0.037	0.019	0.080	0.046	0.020	0.000	0.035	0.814
SD	r	0.191	0.561	0.374	0.193	1.000	-0.371	0.276	0.250	0.062	-0.493	0.656	0.273
	p-value	0.144	0.000	0.003	0.139	-	0.003	0.033	0.054	0.636	0.000	0.000	0.035
	r <sup>2</sup>	0.036	0.315	0.140	0.037	-	0.138	0.076	0.063	0.004	0.243	0.430	0.075
CPH	r	0.252	-0.328	-0.457	0.137	-0.371	1.000	-0.172	-0.247	-0.063	0.365	-0.402	0.226
	p-value	0.052	0.011	0.000	0.297	0.003	-	0.190	0.057	0.634	0.004	0.001	0.083
	r <sup>2</sup>	0.064	0.108	0.209	0.019	0.138	-	0.030	0.061	0.004	0.133	0.162	0.051
PFL	r	0.027	0.332	0.471	-0.283	0.276	-0.172	1.000	0.623	0.399	-0.607	0.542	-0.377
	p-value	0.839	0.010	0.000	0.028	0.033	0.190	-	0.000	0.002	0.000	0.000	0.003
	r <sup>2</sup>	0.001	0.110	0.222	0.080	0.076	0.030	-	0.388	0.159	0.368	0.294	0.142
LDS	r	-0.118	0.234	0.506	-0.215	0.250	-0.247	0.623	1.000	0.323	-0.508	0.480	-0.345
	p-value	0.371	0.072	0.000	0.099	0.054	0.057	0.000	-	0.012	0.000	0.000	0.007
	r <sup>2</sup>	0.014	0.055	0.256	0.046	0.063	0.061	0.388	-	0.104	0.258	0.230	0.119
SAP	r	0.188	0.247	0.458	0.143	0.062	-0.063	0.399	0.323	1.000	-0.487	0.471	-0.057
	p-value	0.149	0.057	0.000	0.275	0.636	0.634	0.002	0.012	-	0.000	0.000	0.663
	r <sup>2</sup>	0.035	0.061	0.210	0.020	0.004	0.004	0.159	0.104	-	0.237	0.222	0.003
SD	r	0.058	-0.562	-0.720	0.008	-0.493	0.365	-0.607	-0.508	-0.487	1.000	-0.958	0.182
	p-value	0.661	0.000	0.000	0.951	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.164
	r <sup>2</sup>	0.003	0.316	0.518	0.000	0.243	0.133	0.368	0.258	0.237	-	0.918	0.033
X	r	0.062	0.637	0.785	0.188	0.656	-0.402	0.542	0.480	0.471	-0.958	1.000	-
	p-value	0.639	0.000	0.000	0.151	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-
	r <sup>2</sup>	0.004	0.406	0.616	0.035	0.430	0.162	0.294	0.230	0.222	0.918	-	-
Y	r	0.500	0.043	-0.304	0.902	0.273	0.226	-0.377	-0.345	-0.057	0.182	-	1.000
	p-value	0.000	0.745	0.018	0.000	0.035	0.083	0.003	0.007	0.663	0.164	-	-
	r <sup>2</sup>	0.250	0.002	0.092	0.814	0.075	0.051	0.142	0.119	0.003	0.033	-	-

한 결과, 측선하부비늘 수가 Kim and Kim (1996)의 결과와 차이가 있었기 때문에 측선하부비늘 수에 대한 검토가 필요할 것으로 생각된다. 계측형질은 왕돌초의 CPH의 길이 가장 길었으며 이 형질은 해류의 속도에 영향을 받는다(Costa et al. 2003; Imre et al. 2002). 왕돌초 해역을 지나는 동한난류의 속도는 겨울에  $17 \text{ cm s}^{-1}$ , 여름엔  $50 \text{ cm s}^{-1}$ 이며 이 동한난류는 북위  $37.5^\circ$  부근에서 연안으

로부터 떨어진 후 동쪽으로 방향을 바꾼다(Chang et al. 2004). 이때 동한난류의 일부는 울릉도 남부에 난수성 소용돌이를 형성하면서 해류의 속도가 감소한다(MOF 2005; Jang 2011). 제주도 남서해역에서 북동쪽으로 흐르는 해류의 속도는  $20 \text{ cm s}^{-1}$  이상이며 동쪽으로 이동하면서 점차 속도가 증가한다(KIOST 1998). 왕돌초와 울릉도 해역 간의 해류 속도 차이를 명확하게 설명하기는 어렵지만, 왕돌



**Fig. 3. Haplotype network based on the partial control region on mtDNA from *C. notata* individuals. Circles indicate all individuals's haplotype and the size of circles is number of individuals with the haplotype. Lines indicate nucleotide difference. Shading color circles indicate individuals from different sampling sites**

초 해역은 연중 높은 파도와 강한 조류가 형성되며 해황이 거칠기 때문에(Park et al. 2009; Lee and Myoung 2003) 다른 해역에 서식하는 자리돔과 비교하여 CPH가 잘 발달된 것으로 생각되며 CPH 외에 SL의 길이가 가장 길었다. 일반적으로, 대부분 어류의 형태 크기는 수온에 따라 차이를 보이지만(Chen 1971; Martin 1949) 이번 연구결과에서는 수온과 형태 크기와의 연관성이 적었다. 이는 수온의 직접적인 영향보다 해양물리적인 요소에 따른 먹이환경조건 차이라고 생각된다. 자리돔과 어류는 먹이 환경조건과 같은 서식 지역의 생태적 환경에 따라 지역적 차이를 보인다(Dulcic and Kraljevic 1995; Dulcic 2005). 자리돔은 SL의 크기에 따라 주요 먹이원이 조금씩 차이가 있는데, SL이 20-40 mm인 개체는 주로 *oncaea*와 *Paracalamus*를 섭이하며, 50-79 mm인 개체는 *Oncaea*와 *Euchaeta*, 80 mm 이상인 개체는 *Euchaeta*와 *Calanus*를 섭이한다(Go and Jeon 1983). SL이 가장 컸던 왕돌초 해역은 용승과 와류가 형성되어 동해의 다른 해역에 비해 영양염이 풍부하고 기초생산력이 높다. 또한 환류 및 난류가 교차하며 수중 압초가 응기되어있는 용승어장으로 동해 회유성 어종들의 산란처이자 수많은 식물군과 어종들이 서식하고 있기 때문에 다른 해역에 비해 건강한 생태계를 유지한다(Lee and Myoung 2003; NFRDI 2005; Park et al. 2009). 이번 연구 결과에서도 왕돌초 해역의 경우, 자리돔의 주요 먹이인 *Oncaea*, *Paracalamus*, *Euchaeta*, *Calanus*가 우점하기 때문에 자리돔의 성장환경에 큰 영향을 주어(Park and Choi 1997) 자리돔의 크기가 가장 큰

것으로 생각된다.

세 지역 자리돔의 유전자형을 분석한 결과, 60개체 중 53개의 유전자형을 확인하였으며 산개분포형 네트워크를 보여주었다. 하지만 일반적으로 타 연구에서는 적은 수의 유전자형을 확인하였다. 우리나라 연안에 서식하는 쥐치(*Stephanolepis cirrhifer*)의 연구 결과, 113개체 중 16개의 유전자형을 확인하였으며 중심이 되는 하나의 유전자형이 존재하였다(Yoon et al. 2011). 이번 연구에서 사용된 control region 마커는 서식처에 따른 자리돔의 유전자풀을 명확하게 설명할 수 없다. 하지만 제주에 서식하는 자리돔보다 지리적으로 가까운 왕돌초와 울릉도에 서식하는 자리돔 간의 유전자 흐름(gene flow)이 더 활발히 일어난고 있는 것으로 추정해볼 수 있으며 추가적으로 control region의 전체 영역 마커 혹은 모계유전을 하는 미토콘드리아 DNA 외의 다른 다양한 마커를 사용한 추가 실험을 통해 유용한 분자마커를 탐색해 볼 필요성이 있다.

유전적인 특징뿐만 아니라, 생물은 서식지의 환경 차이에 따라 종 변이가 일어난다(Stearns 1992). 이는 먹이 환경조건이 다른 제주와 동해에 서식하는 자리돔에서도 확인할 수 있었다. 하지만 형태분석과는 달리 유전적인 차이는 확인하지 못하였다. 이처럼 서식지역에 따라 형태형질의 차이와 유전적인 차이가 상이한 연구가 많이 보고되고 있다. 서식환경에 따라 체색의 차이를 보이는 양놀래기과(*Halichoeres garnoti*)와 계수형질의 차이를 보이는 얼룩수배기과(*Malacocottus sp.*), 그리고 집단번식으로 인해 형태적 차이를 보이는 조피볼락과(*Sebastes inermis*) 모두 형태형질 결과와는 다르게 유전적인 차이는 없었다(Rocha 2004; Adachi et al. 2009; Kai and Nakabo 2002). 그러므로 형태분석과 유전분석을 병행함으로써 형태분석 연구와 유전분석연구 하나만을 실시했을 때 발생하는 문제점을 최소화시킬 수 있으며 더 나아가 형태형질발현에 작용하는 유전자를 발견하는데 유용하다.

앞으로, 국내에 서식하는 자리돔의 더 많은 유전자풀을 분석하고 형태형질 변화에 따른 유전형질 변이를 확인하기 위해 다양한 마커를 사용한 추가적인 분석이 필요하다. 또한, 서식지와 생태특성이 각 지역별 자리돔에 미치는 영향을 종합적으로 연구해볼 필요가 있다고 판단된다. 마지막으로 기후변화와 같은 서식지 환경 차이에 의해 생물의 지리적 분포 및 종 변이가 발생됨에 따라 수산자원의 변화에 영향을 미칠 가능성이 있기 때문에 이에 대응하는 기초 연구가 필요하며 본 연구는 추후 자리돔 연구에 대한 기초자료를 제공한다.

## 사 사

이 연구는 한국해양과학기술원의 연구과제 “열대 태평

양 기지 자원생물 생산 및 기본연구활동 지원(PE99234)의 지원으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

- Adachi T, Hagihara S, Itoh M, Shinohara G, Hayashi I, Kojima S (2009) Genetic population structure and morphological characters of Japanese phychrolutids of genus *Malacocottus* (Scorpaeniformes: Psychrolutidae). *Ichthyol Res* **56**:323-329
- Aguilar-Medrano R, Frederich B, Luna ED, Balart EF (2011) Patterns of morphological evolution of the cephalic region in damselfishes (Perciformes: Pomacentridae) of the Eastern Pacific. *Biol J Linn Soc* **102**:593-613
- Caselle JE, Hamilton SL, Schroeder DM, Love MS, Standish JD, Rosales-Casian JA, Nishizaki OS (2011) Geographic variation in density, demography, and life history traits of a harvested, sex-changing, temperate reef fish. *Can J Fish Aquat Sci* **68**:288-303
- Chang KI, Teague WJ, Lyu SJ, Perkins HT, Lee DK, Watts DR, Kim YB, Mitchell DA, Lee CM, Kim K (2004) Circulation and currents in the southwestern East/Japan sea: overview and review. *Progr Oceanogr* **61**:105-156
- Chen LC (1971) Systematics, variation, distribution and biology of rockfishes of the subgenus *Sebastomus*. *Bull Scripps Inst Oceanogr* **18**:1-107
- Choi CG, Kwak SN, Sohn CH (2006) Community Structure of Subtidal Marine Algae at Uljin on the East Coast of Korea. *Algae* **21**(4):463-470 (in Korean)
- Costa J, Almeida PRE, Costa MJ (2003) A morphometric and meristic investigation of lusitanian toadfish *Halobatrachus didactylus* (Bloch and Schneider, 1801): evidence of population fragmentation on Portuguese coast. *Sci Mar* **67**(2):219-231
- Dulcic J, Kraljevic M (1995) Age, growth and mortality of damselfish (*Chromis chromis* L.) in the eastern middle Adriatic. *Fish Res* **22**:255-264
- Dulcic J (2005) Biometric properties of damselfish, *Chromis chromis* (Osteichthyes: Pomacentridae) from the middle Adriatic. *Acta Adriat* **46**(1):91-98
- Excoffier L, Laval G, Schneider S (2005) Arlequin ver. 3.0: An integrated software package for population genetics data analysis. *Evol Bioinform* **1**:47-50
- Frederich B, Liu SYV, Dai CF (2012) Morphological and genetic divergences in a coral reef damselfish, *Pomacentrus coelestis*. *Evol Biol* **39**:359-370
- Go YB, Jeon DS (1983) Fisheries biology for fishing improvement and optimum catch of a damselfish, *Chromis notatus* (Pisces, Pomacentridae) in Seogwipo, Jeju Island-2. *Bull Mar Resour Res Inst Jeju Nat Univ* **7**:15-21 (in Korean)
- Hamilton SL, Caselle JE, Standish JD, Schroeder DM, Love MS, Rosales-Casian JA, Sosa-Nishizaki O (2007) Size selective harvesting alters life histories of a temperate sex change fish. *Ecol Appl* **17**(8):2268-2280
- Imre I, McLaughlin RL, Noakes DLG (2002) Phenotypic plasticity in brook charr: changes in caudal fin induced by water flow. *J Fish Biol* **61**:1171-1181
- Jang JH (2011) Spatial and temporal structure of low-frequency currents off Uljin in the East sea. Master's thesis, Seoul National University 99 p (in Korean)
- Kai Y, Nakabo T (2002) Morphological differences among three color morphotypes of *Sebastes inermis* (Scorpaenidae). *Ichthyol Res* **49**:260-266
- Kim DH (2010) Global warming effect on marine environments and measure practices against global warming. *J Korean Soc Mar Environ Saf* **16**(4):421-425 (in Korean)
- Kim YU, Kim JK (1996) Morphological study of the genus *Chromis* from Korea. *J Korean Fish Soc* **30**(4):562-273 (in Korean)
- Kim MK, Kim KT (2000) Studies on the seaweeds in the islands of Ulleungdo and Dokdo I. Decrease of algae species compositions and changes of marine algal flora. *Algae* **15**(2):119-124 (in Korean)
- Kim MK, Shin JK, Cha JH (2004) Variation of species composition of benthic algae and whitening in the coast of Dokdo Island during summer. *Algae* **19**(1):69-78 (in Korean)
- Kingsford NJ (1985) The demersal eggs and planktonic larvae of *Chromis dispilus* (Teleostei: Pomacentridae) in north-eastern New Zealand coastal waters. *New Zeal J Mar Freshwat Res* **19**:429-438
- KIOST (1998) Ocean circulation in the western and middle part of East china sea (First year). Korea Institute of Ocean Science & Technology, BSPE 97603-00-1042-1, 278 p (in Korean)
- Koh JR, Park YC (2007) Species identification and molecular phylogenetic position of Korean damselfishes (Pomacentridae: Chrominae) based on DNA bioinformation. *Korean J Ichthyol* **19**(4):274-285
- Law R (2000) Fishing, selection, and phenotypic evolution. *ICES J Mar Sci* **57**:659-668
- Lee KN, Myoung JG (2003) Sustainable utilization and management scheme in Wandolcho surrounding sea area. *Ocean and Polar Res* **25**(3):331-345 (in Korean)
- Lee YD, Lee TY (1987) Studies on the reproductive cycle of damselfish, *Chromis notatus* (Temminck et Schlegel). *Korean J Fish Aquat Sci* **20**(6):509-519 (in Korean)



- Maan ME, Sefc KM (2013) Colour variation in cichlid fish: Developmental mechanisms, selective pressures and evolutionary consequences. *Semin Cell Dev Biol* **24**:516-528
- Martin WR (1949) The mechanics of environmental control of body form in fishes. *Univ Toronto Stud Biol Ser* **58**
- MEIS (2012) Marine environmental monitoring system <https://www.meis.go.kr/meis/rest/env/ALL/null/14/1> Accessed 16 Jun 2014 (in Korean)
- MOF (2005) Study on marine ecosystem of Dokdo, KORDI, BSPM 30400-1722-7. 436 p (in Korean)
- Myoung JG (2002) The Fish Fauna around Dokdo in the East Sea. *Ocean and Polar Res* **24**(4):449-455 (in Korean)
- NFRDI (2005) A study on synthetic utilization of Wangdolcho area in the East sea of Korea. NFRDI, GOVP12006284, 153 p (in Korean)
- NRF (2006) Sea water and nutrient flux along the boundary between Kuroshio and East China Sea. NRF, R01-2003-000-10842-0, 77 p (in Korean)
- Oh SY, Jang SW, Park JM, Yoon HJ (2010) Variations of catch of Anchovy and Saury due to oceanic climate change in the Korean seas. *JKIICE* **15**(3):740-746 (in Korean)
- Ochi H (1986) Breeding synchrony and spawning intervals in the temperate damselfish *Chromis notata*. *Environ Biol Fish* **17**(2):117-123
- Park C, Choi JK (1997) Zooplankton community in the front zone of the east sea of Korea (the sea of Japan): I. species list, distribution of dominant taxa, and species association. *J Korean Fish Soc* **30**(2):225-238 (in Korean)
- Park KA, Park JE, Choi BJ, Byun DS, Lee EI (2013) An oceanic current map of the East sea for science textbooks based on scientific knowledge acquired from oceanic measurements. *J Korean Soc Oceanogr* **18**(4):234-265 (in Korean)
- Park HS, Paik SG, Pae SJ, Kim ES (2009) Marine ecosystem of Korea 1. Wangdolcho, hidden plain in East Sea. KIOST, 16 p (in Korean)
- Rahman SM, LEE CI (2012) Long term change pattern in marine ecosystem of Korean waters. *J Korean Soc Mar Environ Saf* **18**(3):193-198
- Rocha LA (2004) Mitochondrial DNA and color pattern variation in three western Atlantic *Halichoeres* (Labridae), with the revalidation of two species. *Copeia* **4**:770-782
- Rozas J, Delbarrio JCS, Messeguer X, Rozas R (2003) DnaSP, DNA polymorphism analyses by the coalescent and other methods. *Bioinformatics* **19**(18):2496-2497
- Schultz JK, Pyle RL, Demartini E, Bowen BW (2006) Genetic connectivity among color morphs and Pacific archipelagos for the flame angelfish, *Centropyge loriculus*. *Mar Biol* **151**(1):167-175
- Seong, KT, Hwang JD, Han IS, Go WJ, Suh YS, Lee JY (2010) Characteristic for long-term trends in the Korean Waters. *J Korean Soc Mar Environ Saf* **16**(4):353-360 (in Korean)
- Song YS, Kim JK, Kim BJ (2013) First occurrence of *Chromis albicauda* (Pomacentridae, Perciformes) from Jeju Island, and re-assignment of yellow *Chromis* specimens from Korea. *Anim Syst Evol Divers* **29**(3):253-258
- Stearns SC (1992) The evolution of life histories. Oxford University Press, Oxford, UK, 262 p
- Tamura K, Peterson D, Peterson N, Stecher G, Nei M, Kumar S (2011) MEGA5: Molecular evolutionary genetics analysis using likelihood, distance, and parsimony methods. *Mol Biol Evol* **28**(10):2731-2739
- Yang SH (1988) Study on the stock discrimination by isozyme electrophoresis of *Chromis* in, coastal waters of Cheju island. Master's Thesis, Cheju National University, 24 p (in Korean)
- Yoon MG, Jung JY, Nam YK, Kim DS (2011) Genetic diversity of Thread-sail Filefish *Stephanolepis cirrhifer* populations in Korean coastal waters inferred from mitochondrial DNA sequence analysis. *Fish Aquat Sci* **14**(1):16-21
- Wantiex L, Thollot P (2000) Settlement, post-settlement mortality and growth of the damselfish *Chromis fumea* (Pisces: Pomacentridae) on two artificial reefs in New Caledonia (south-west pacific ocean). *J Mar Biol Ass UK* **80**:1111-1118

---

Received May 1, 2014

Revised May 28, 2014

Accepted Jun. 11, 2014