

## 버들개와 버들치의 자연잡종에 관한 연구

민미숙 · 양서영

인하대학교 생물학과

버들치, 버들개의 공서지역에서 2종 사이의 종문제를 명확히 구명하기 위해 883개체를 채집하여 형태형질과 유전자분석을 실시하여 생식적 격리기작 여부를 조사한 결과는 다음과 같다. 2종 사이에 잡종개체가 약 12%(n = 104) 발견되었다. 형태분류형질인 측선상부린수(SAL)의 경우 버들개와 버들치가 각각 SAL = 24.25 ± 1.32, 16.93 ± 0.92로 뚜렷한 차이를 나타내었으나 잡종개체는 평균 SAL = 19.56 ± 1.80으로 중간값을 나타내었다. 잡종개체 중 F<sub>2</sub> 이상의 잡종개체 비율은 약 2.7%로 F<sub>1</sub>(9%)에 비해 현저히 낮고, 잡종개체의 출현률이 기대치보다 낮은 것으로 보아(P < 0.001) 2종간에 자유교배가 되지 않으며 따라서 Premating isolating mechanism이 작용한다고 보며 또한 잡종개체의 치사율이 높은 점으로 보아 이들사이에는 Postmating isolating mechanism도 동시에 작용한다고 사료되며 따라서 이들 2종은 비교적 최근에 분화된 별종임이 재확인 되었다.

**KEY WORDS:** *Moroco lagowskii*, *M. oxycephalus*, Sympatry, Hybrid, Electrophoresis

버들치속(*Moroco*)어류는 잉어목(Cypriniform)의 황어아과(Leuciscinae)에 속하며 유라시아에 분포하는 소형 담수어로서 특히 동북아시아의 북부에서 분화된 어종이다(Nishimura, 1974; Jeon, 1980).

버들치속 어류중 버들치(*M. oxycephalus*)와 버들개(*M. lagowskii*)는 형태적으로 매우 유사한 cryptic species로서 이들은 분류와 분포상 많은 논란의 대상이 되어온 종으로 Uchida(1939)는 한국산 버들치속 어류의 형태, 생태 등을 보고하면서 형태적 변이가 많아 면밀한 분류학적 조사를 요한다고 하였다. 또한 2종의 지리적 분포에 있어서도 태백산맥을 중심으로 동, 서 지역으로 버들개, 버들치가 각각 서식, 분포한다고 알려져 왔으나(Chyung, 1977; Jeon, 1980; Choi *et al.*, 1990) Min과 Yang(1986)은 이들 2종에 대한 유전적 변이 및 형태분석을 통하여 2종간의 뚜렷한 유전적 차이와 2종의 미세분포를 밝혀 동해안에도 버들치가 분포하는 것으로 보고하였다. Chung 등(1986)은 버들치, 버들개 2종은 유전적으로는 구별할 수 없으며 동일종 또는 아종으로 보고한 바 있다. Kang(1987)은 2종이 공서하는 지역(sym-

patric area)을 발견 보고하였으며 Yang과 Min(1988)은 이 공서지역에서의 isozyme을 이용한 유전자 분석과 측선상부린수(SAL)를 이용한 형태분석을 실시한 결과 버들개와 버들치는 완전한 별종으로 보고한 바 있다.

본 연구는 이들 2종의 종문제를 명확히 밝히기 위하여 이들의 공서지역에서 채집된 표본을 이용하여 유전자 분석과 형태형질 분석을 실시한 결과 이들 2종 사이에는 일부 자연잡종이 형성됨을 확인하였고 자연잡종의 원인을 구명한 결과 이들 사이에는 premating과 postmating isolating mechanism이 동시에 작용한다고 추정되었기에 보고하는 바 이다.

### 재료 및 방법

실험재료는 2종이 공서하는 강원도 고성군 진부리(채추교) 집단에서 1989년 5월과 8월 2회에 걸쳐 883개체를 채집하여 형태형질분석과 유전자 분석을 실시하였다. 유전자 분석을 위한 재료는 채집즉시 dry ice에 급냉동하여 실험실로 운반한

후 Yang과 Min(1988)의 전기영동 조건에 따라 horizontal starch gel electrophoresis를 실시하여 2종의 genetic marker를 분석하였고 형태분석은 유전자 분석이 실시된 개체를 Min과 Yang(1986)의 방법에 따라 2종의 분류형질인 측선상부린수(SAL)를 해부현미경(KYOWA, SD-2AL)을 이용하여 계수하였다.

## 결 과

유전적 분석은 Yang과 Min(1988)이 보고한 2종간의 genetic marker인 *Aco*, *Est*, *E-X*, *Gp*, *Ipo*, *Me* 등 6개 유전자 중 *E-X*, *Gp*, *Me* 등 3개 유전자를 분석한 결과 *E-X*와 *Gp*는 버들치 유전자에 비해 버들개 유전자가, *Me*는 버들개 유전자에 비해 버들치 유전자가 +극쪽으로 빠르게 이동하였으며 상기 3개 유전자는 버들개, 버들치에서 모두 homozygote였으나 공서지역에서 이들 3개 유전자중 heterozygote상태의 유전자를 갖는 2종 사이의 잡종개체를 발견하였다(Fig. 1). Heterozygote상태의 유전자를 갖는 개체들 중 제 1대 잡종

은 3개의 genetic marker에서 모두 heterozygote 상태로 나타나는 개체로 구분하였고, 제 2대 이상의 잡종개체는 genetic marker 중 heterozygote와 homozygote가 섞여 나오는 개체로 분류하였다.

전체 채집된 개체 중( $n = 883$ ) 버들치는 662개체(75%), 버들개는 117개체(13%)였으며 이들 2종 사이의 잡종개체는 104개체로 약 12%였다(Table 1). 104개체의 잡종개체 중 제 1대 잡종으로 추정되는 개체는 80개체(77%)였고 제 2대 잡종으로 판단되는 개체는 24개체(23%)였다.

유전적으로 분류된 버들개, 버들치 및 잡종개체들에 대한 형태분류형질인 측선상부린수(SAL)를 계측한 결과 버들개와 버들치는 각각  $SAL = 24.25 \pm 1.32$  및  $16.93 \pm 0.92$ 로서 2종 사이에 뚜렷한 차이를 나타내었으며 잡종개체는 평균  $SAL = 19.56 \pm 1.80$ 으로 2종 사이의 중간값을 나타내었다(Table 2, Fig. 2).

또한 버들개와 버들치의 잡종개체들이 성장함에 따라 자연상태에서의 치사율을 알아보기 위해 이들의 출현률을 size class에 따라 50 mm 이상인 성체 group과 50 mm 미만인 치어 group으로 나눠

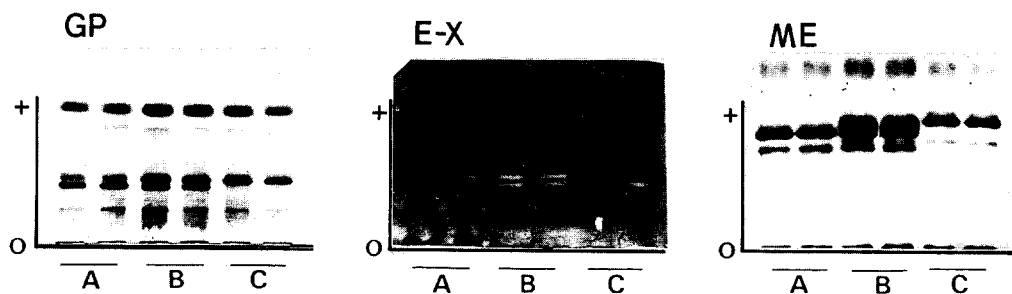


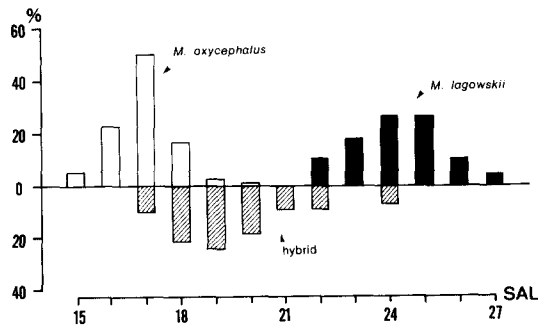
Fig. 1. Patterns of Zymogram. A: *M. oxycephalus*, B: Hybrid, C: *M. lagowskii*.

Table 1. The frequency of hybrids between *M. oxycephalus* and *M. lagowskii* at sympatric area.

	<i>M. oxycephalus</i>	Hybrids		<i>M. lagowskii</i>	Total
		F <sub>1</sub>	≥ F <sub>2</sub>		
	N (freq.)	N (freq.)	N (freq.)	N (freq.)	
May	202 (.79)	35 (.14)	8 (.03)	11 (.04)	256
Aug.	460 (.73)	45 (.07)	16 (.03)	106 (.17)	627
Total	662 (.75)	80 (.09)	24 (.03)	117 (.13)	883

**Table 2.** Comparison of scale counts (SAL) of *M. oxycephalus*, *M. lagowskii*, and their hybrids.

	N	SAL (M ± SD)
<i>M. oxycephalus</i>	312	16.93 ± 0.92
Hybrids	32	19.56 ± 1.80
<i>M. lagowskii</i>	55	24.25 ± 1.32



**Fig. 2.** Frequency distribution of scale counts of *M. lagowskii*, *M. oxycephalus* and their hybrids.

잡종비율을 조사한 결과 (Table 3) 5월에는 50 mm 이상인 개체들에서 약간 높은 비율로 잡종개체가 나타났으나 2 group 사이에 별 차이가 없었다. 그러나 8월에는 50 mm 미만인 size class에서 잡종출현률이 50 mm 이상인 개체들에서보다 약 3 배 정도 높게 나타났으며 전체 평균값에서도 치어 group이 성체 group보다 높은 비율로 나타나 성장하면서 잡종개체가 현저히 감소하는 현상을 나타내었다.

**고 찰**

생물학적 종의 개념은 공서지역에서 생식적 격리작이 형성된 자연집단을 말하며 (Mayr, 1963) allopatric taxa가 sympatry를 형성하였을 때 이들간에 isolating mechanism의 형성여부를 조사하면 종문제를 밝힐 수 있다. 일반적으로 어류는 생식방법과 생식장소 및 생태적 조건이 수중이기 때문에 잡종이 빈번히 발생한다고 보고된 바 있고 (Hubbs, 1955), 이러한 생태조건 때문에 잉어과 (Cyprinidae)에 있어 잡종은 일반적인 현상으로 나타난다고 하였다 (Dowling and Moore, 1984).

본 연구의 대상인 버들개, 버들치 2종의 공서지역에서의 유전자 분석 결과 (Table 1) 약 12%의 잡종개체를 확인하였으나 잡종개체 중 제 1세대 잡종에 비하여 제 2세대 이상의 잡종개체의 출현률이 현저히 낮았으며, size class에 따른 잡종개체들의 출현률에서도 치어에서 성체로 갈수록 치사율이 높게 나타나 이는 유전적으로 잡종개체가 inferior하며 낮은 적응치를 갖는 것으로 사료된다 (Barton, 1979, 1983; Shaw, 1981; Futuyma, 1986). 유전적으로 분류된 버들개, 버들치, 그리고 잡종에 대한 측선상부린수의 계수결과 (Table 2) 버들개, 버들치는 각각 SAL = 24.25 ± 0.32 및 16.93 ± 0.92로 allopatric 지역에서 2종 사이의 차이 (Yang and Min, 1988)보다 뚜렷한 형태적 차이를 나타내는 것은 생태적 요구조건이 유사한 종들이 공서지역에서 나타내는 character displacement 현상이라고 여겨지며 이 결과는 Yang과 Min (1988)의 보고와도 일치한다. 그러나 버들개와 버들치 사이의 잡종개체는 평균 SAL = 19.56 ± 1.80으로 중간값을 나타내었고, 제 2세대 이상의 잡종개체들은 (n = 8) 유전적으로 3개의 genetic marker 중 homozygote와 heterozygote 상태가

**Table 3.** Frequency of hybrids according to size class.

	< 50 mm			> 50 mm		
	N	No. of Hybrid	(%)	N	No. of Hybrid	(%)
May	195	32	(16.4)	61	11	(18.0)
Aug.	164	31	(18.9)	463	30	(6.5)
Total	359	63	(17.5)	524	41	(7.8)

동시에 나타나는 개체들로서 측선상부린수의 값은 역교배시 관여한 양친종 중 한쪽의 측선상부린수에 가까웠다. 즉 제 1 대 잡종개체들이 갖는 중간값 보다는 버들개 또는 버들치가 갖는 측선상부린수에 가깝게 나타났다. 이는 Green(1984)이 *Bufo*에서 보고한 제 1 대 잡종이 양친의 중간형태를 나타내는 결과와 Ross와 Cavender(1981)가 보고한 잡종에 있어 양친 중 한쪽의 형질발현인자가 우세하게 되면 다른 양친형의 gene expression은 은폐될 것이라고 한 결과와 일치한다고 본다. 또한 버들개, 버들치의 개체수에 따른 잡종개체의 기대치를 Cockerham(1973)의 방법에 따라 계산한 결과 잡종개체의 출현률이 기대치보다 현저히 낮아( $P < 0.001$ ) 2종간에는 자유교배가 되지 않는 것으로 나타났다. Isolating mechanism은 premating과 postmating isolating mechanism으로 나눌 수 있는데 버들개, 버들치 2종은 뚜렷히 구별되는 character displacement 현상이 나타나며 잡종개체의 출현률이 기대치보다 현저히 낮은 점으로 미루어 보아 일부 premating isolating mechanism이 작용한다고 보며 또한 동시에 잡종개체들은 치어에서 성체로 갈수록 치사율이 높고 양친종에 비하여 현저한 열세를 나타내는 것으로 보아 2종간에는 postmating isolating mechanism도 작용한다고 판단된다(Mayr, 1963; Johnson and Johnson, 1985). 이는 Sakai와 Hamada(1985)가 *Tribolodon* 속의 3종이 공서하는 지역에서 the isozyme 분석으로 잡종발생을 확인하였고 제 2 세대 이상의 잡종 발생률이 현저히 감소하는 점을 들어 이들 종을 독립된 별종으로 간주한 결과와 일치한다고 보며, 한국산 버들개, 버들치 2종은 Yang과 Min(1988)이 보고한 바와 같이 별종임이 재확인되었다.

### 인용문헌

- Barton, N. H., 1979. Gene flow past a clines. *Heredity* **43**: 333-339.
- Barton, N. H., 1983. Multilocus clines. *Evolution* **37**: 454-471.
- Choi, K. C., S. R. Jeon, I. S. Kim, and Y. M. Son, 1990. Coloured Illustrations of Freshwater Fishes of Korea. Hyang-Moon Sa, Seoul, pp. 89-91.
- Chung, P. R., Y. H. Kang, S. R. Jeon, and N. Mizuno, 1986. Allozyme variations in local populations of four species of genus *Moroco* (Cyprinidae) in Korea and Japan. *Korean J. Limno.* **19**: 71-81.
- Chyung, M. K., 1977. The Fishes of Korea. Il-Ji Sa, Seoul, pp. 181-184.
- Cockerham, C. C., 1973. Analysis of gene frequencies. *Genetics* **74**: 679-700.
- Dowling, T. E. and W. S. Moore, 1984. Level of reproductive isolation between two cyprinid fishes *Notropis cornutus* and *N. chrysocephalus*. *Copeia* **1984**: 617-628.
- Futuyma, D. J., 1986. Evolutionary Biology. Sinauer Assoc. Inc., Sunderland, Massachusetts, pp. 81-118.
- Green, D. M., 1984. Sympatric hybridization and allozyme variation in the toads *Bufo americanus* and *B. fowleri* in southern Ontario. *Copeia* **1984**: 1826.
- Hubbs, C. L., 1955. Hybridization between fishes species in nature. *Syst. Zool.* **4**: 1-20.
- Jeon, S. R., 1980. Studies on the distribution of fresh water fishes from Korea. Ph.D. Thesis. Joong Ang Univ. pp. 7-90.
- Johnson, N. K. and C. B. Johnson, 1985. Speciation in sapsuckers (*Sphyrapicus*): II. Sympatry hybridization and mate preference in *S. ruber daggetti* and *S. nuchalis*. *Auk* **102**: 1-15.
- Kang, Y. H., 1987. Taxonomical studies on the four species of genus *Moroco* (Cyprinidae) from Korea and Japan. M. S. Thesis, Sangmyung Women's Univ. pp. 1-49.
- Mayr, E., 1963. Animal species and evolution. The Belknap Press of Harvard Univ. Press. pp. 110-135.
- Min, M. S., and S. Y. Yang, 1986. Classification, distribution and geographic variation of two species of the genus *Moroco* in Korea. *Korean J. Syst. Zool.* **2**: 63-78.
- Miyadi, D., H. Kawanabe, and N. Mizuno, 1976. Colored Illustration of the Freshwater Fishes of Japan. Hoikusha Pub. Co., Osaka, pp. 128-134.
- Nakamura, M., 1979. Cyprinid Fishes of Japan. Res. Inst. Nat. Res., Tokyo, pp. 209-223.
- Nishimura, S., 1974. Origin of the Japan Sea. Tsukiji-shokan, Tokyo, pp. 209-223.
- Ross, M. R. and T. M. Cavender, 1981. Morphological analysis of four experimental intergeneric Cyprinid hybrid crosses. *Copeia* **1981**: 337-387.
- Sakai, H. and K. Hamada, 1985. Electrophoretic discrimination of *Tribolodon* species (Cyprinidae) and the occurrence of their hybrids. *Japanese J. of Ichthyology* **32**: 216-224.
- Shaw, D. D., 1981. Chromosomal hybrid zones in orthopteroid insects. In: Evolution and speciation:

- essays in honor of M. J. D. White (W. R. Atchley and D. S. Woodruff, eds.). Cambridge Univ. Press, pp. 146-170.
- Sneath, P. H. A. and R. R. Sokal, 1973. Numerical Taxonomy. San Francisco, W. H. Freeman Co.
- Uchida, K., 1939. The fishes of Korea. *Bull. Fish. Exp. Sta. Gov. Gener, Korea* 6: 458.
- Yang, S. Y. and M. S. Min, 1988. Sympatry and species status of *Moroco lagowskii* and *M. oxycephalus* (Cyprinidae). *Korean J. Zool.* 31: 56-61.
- (Accepted May 30, 1992)

---

**A Study on the Natural Hybridization between *M. lagowskii* and *M. oxycephalus***

Mi Sook Min and Suh Yung Yang (Department of Biology, Inha University, Incheon 402-751, Korea)

The purpose of the study was to clarify the specific status of *Moroco oxycephalus* and *M. lagowskii* by analysing 883 specimens collected from a sympatric area of these species. Isozyme and morphometric analyses were performed to identify parental species and possible hybrids. About 12% (N = 104) natural hybrids were found. The rate of F<sub>1</sub> hybrids was higher (9%) than that of F<sub>2</sub> (2.7%) and decreasing frequency of hybrids according to size class suggests the hybrid inferiority. The scale counts (number of scales above lateral line) of *M. oxycephalus* and *M. lagowskii* were  $16.93 \pm 0.92$  and  $24.25 \pm 1.32$  respectively and strong character displacement between them was noticed. The scale number of hybrids were intermediate between parental species. Strong character displacement, fewer hybrids than expected and high mortality rate of hybrids indicate that speciation is completed and premating and postmating isolating mechanisms are both operating.