

버들개(*Moroco lagowskii*)와 버들치(*M. oxycephalus*)의 동서지역 분석 및 種 問題에 관하여

梁瑞榮 · 閔嫫淑

仁荷大學校 生物學科

한국산 담수어류로 形態적으로 유사한 *M. lagowskii*와 *M. oxycephalus* 2 種의 種의 위치를 규명하기 위하여 sympatric area인 강원도 고성군 간성읍 진부리 제추교 집단에서 遺傳子 分析과 形態 分析을 실시한 결과는 다음과 같다.

1. 2種에 대한 遺傳的 分析 결과 19개의 酵素 및 蛋白質에서 26개의 遺傳子를 檢出, 비교 분석한 결과 *Aco*, *Est-2*, *E-X*, *Gp-3*, *Ipo*, *Me* 등 6개 遺傳子는 2種 사이에 뚜렷한 차이가 있어 genetic marker로 확인되었다.

2. 2種의 외부형태 분류형질인 側線上部鱗數(SAL)의 값이 *M. lagowskii*는 평균 24개 이상 (24.93 ± 1.95), *M. oxycephalus*는 18개 이하 (17.33 ± 0.72)로 뚜렷히 분류되며 allopatric area에서 평균 값의 차이보다 큰 값을 나타내고 있으며 이는 sympatry지역에서의 character displacement 결과로 사료된다.

3. Sympatry지역에서 遺傳的으로나 形態적으로 2種 사이에 뚜렷한 차이가 있으며 hybrid 개체가 발생하지 않는 것으로 보아 *M. lagowskii*와 *M. oxycephalus*는 완전한 reproductive isolation mechanism이 형성된 別種이라 사료된다.

4. 이들 2種 사이에는 서식처에 차이를 보이고 있어 *M. lagowskii*는 주로 본류에 많이 분포하고 *M. oxycephalus*는 지류에 분포하고 있다.

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

한국산 잉어과(Cyprinidae)의 버들치屬(Genus *Moroco*) 어류는 *Moroco lagowskii* (버들개), *M. oxycephalus* (버들치), *M. semotilus* (버들가지), *M. sp.* (금강모치) 등 4種으로 分類되어 있다 (Chyung, 1977; Jeon, 1980; Choi *et al.*, 1984; Kim *et al.*, 1985). 그러나 *M. lagowskii*와 *M. oxycephalus*는 形態적으로 매우 유사하여 이들 2種의 分類에는 많은 난점이 있어 왔다.

Min과 Yang(1986)은 한국산 *M. lagowskii*와 *M. oxycephalus* 2種의 分類·分析 및 地理的 變異에 관하여 보고하면서 2種을 分類할 수 있는 genetic marker가 존재하여 형태적 형질로 側線上部鱗數(SAL)를 새로운 分類形質로 정한 바 있으며, 이들 2種은 독립된 別種이라 밝힌 바 있다. 그러나

Chung 등(1986)은 한국산 *M. lagowskii*와 *M. oxycephalus* 2種 사이에 genetic marker가 없으며 유전적인 種 구분이 불가능하다고 보고한 바 있다.

일본의 경우도 *Moroco*속 어류인 *M. jouyi*와 *M. steindachneri* 2種 사이의 分類學的 문제점이 야기되고 있는데 (內田, 1939; 松原, 1955; 青柳, 1957; Okada, 1959; 中村, 1969; 1979; 平井·引戶, 1976; 宮地, 1976) Itai (1977, 1978, 1980)는 일본산 2種의 sympatric area에서 2種間 형태적 차이와 생태적 조사 결과 斑紋의 차이 및 형태형질의 차이가 뚜렷하며 서식처의 완전 분리 등을 밝힌 바 있다.

생물학적 種의 개념은 sympatric area에서 reproductive isolation mechanism이 형성된 natural population을 말하므로 (Mayr, 1963) allopatric taxa가 sympatry를 형성했을 때 이들간의 reproductive isolation의 형성 여부, 즉 hybri-

본 연구는 한국과학재단 연구비 (1981-1983) 지원금에 의하여 수행된 것임

Table 1. Collecting locality, date, and number of specimens for morphology and electrophoretic analysis of *Moroco lagowskii* and *M. oxycephalus*.

Collection locality	Morphology	Electrophoresis	Collection date
<i>Moroco oxycephalus</i>			
Chinbu-ri(Chechu Br.), Kansong-up,	65	39	Aug. 14, 1987
Kosong-gun, Kangwon-do			Sep. 26, 1987
<i>Moroco lagowskii</i>			
Chinbu-ri(Chechu Br.), Kansong-up,	16	16	Aug. 14, 1987
Kosong-gun, Kangwon-do			Sep. 26, 1987

Table 2. Buffer systems and stains for electrophoresis.

Buffer system	Enzyme	Volt & Time
Continuous Tris citrate I (T.C. I), pH 6.3	Lactate dehydrogenase (<i>Ldh</i>)	170 V 1½ hrs
Continuous Tris citrate II (T.C. II), pH 8.0	αGlycerophosphate dehydrogenase (<i>αGpd</i>) Isocitrate dehydrogenase (<i>Idh</i>) Mannose phosphate isomerase (<i>Mpi</i>) Phosphoglucomutase (<i>Pgm</i>)	100 V 3 hrs
Discontinuous Tris citrate (Poulik), pH 8.2	Malate dehydrogenase (<i>Mdh</i>)	200 V 3 hrs
Lithium hydroxide (LiOH), pH 8.1	Esterase (<i>Est</i>) Peptidase (<i>Pept</i>) Phosphoglucose isomerase (<i>Pgi</i>)	250 V 3 hrs
Tris maleic EDTA (T.M.), pH 7.4	Fumerase (<i>Fum</i>) Glutamic oxaloacetate transaminase (<i>Got</i>) Glucose-6-phosphate dehydrogenase (<i>G6Pdh</i>) Malic enzyme (<i>Me</i>) 6-Phosphogluconate dehydrogenase (<i>6Pgd</i>)	100 V 5 hrs
Tris versene borate (T.V.B.), pH 8.0	Aconitase (<i>Aco</i>) Alcohol dehydrogenase (<i>Adh</i>) General protein (<i>Gp</i>) Indophenol oxidase (<i>Ipo</i>)	200 V 2 hrs

dization의 유무를 조사하면 이들 taxa간의 種 문제를 뚜렷이 밝힐 수 있다.

본 연구는 allopatric area에서 형태적으로 유사하여 種分類에 논란의 대상이 되어 있는 한국산 *M. lagowskii*와 *M. oxycephalus*에 있어 최근 2種의 sympatric area로 밝혀진 (Kang, 1987) 강원도 고성군 간성읍 진부리(제추교) 집단에서 대상으로 2種의 種 문제를 해결하기 위하여 電氣泳動法을 통한 遺傳子 分析과 形態分析을 실시하여 reproductive isolation mechanism 형성 여부를 조사한 결과 이들은 완전히 독립된 別種으로 확인 되었기에 보고하는 바 이다.

材料 및 方法

본 연구에 사용한 실험재료인 *M. lagowskii*와 *M. oxycephalus*는 sympatric area인 강원도 고성군 간성읍 진부리(제추교) 집단에서 채집하여 形態 分析으로 81개체, 遺傳子 分析으로 55개체를 사용하였다 (Table 1).

遺傳子 分析

遺傳子 分析을 위한 電氣泳動에 사용한 재료는 채집 즉시 dry ice (-80°C)에 급冷凍시켜 실

힘실로 운반한 후 체측에서 筋肉을 적출하여 4°C에서 筋肉과 증류수의 비율을 1:0.8 (V/V)로 하여 glass homogenizer (Braun Co.)로 磨碎한 후 Sorvall RC-5B 遠心分離機를 이용하여 49,000g (20,000 rpm)로 30분간 低溫遠心分離하여 상층액을 電氣泳動 시료로 사용하였다. 상기 筋肉을 적출한 나머지 표본은 10% formalin에 고정된 후 70% alcohol에 옮겨 보관하였다.

電氣泳動은 Selander 등(1971) 및 Min과 Yang (1986)의 방법에 따라 horizontal starch gel electrophoresis를 실시하였다. 이때 starch는 Sigma starch (S-4501), Connaught starch (Lot # 425-1)를 사용하여 T.M. gel에는 1% NADP 1 ml을 첨가하여 사용하였다. 電氣泳動방법 및 조건은 Table 2와 같다.

電氣泳動후 얻어진 각 酵素 및 蛋白質의 pattern을 이용하여 각 개체별로 genotype frequency를 구하여 種별로 BIOSYS program을 MV 10,000 computer를 이용하여 遺傳子 頻度 (allele frequency)를 산출하였고 Rogers (1972)의 genetic similarity coefficients(S)를 구하였다.

形態 分析

2種에 대한 형태관찰은 Min과 Yang (1986)의 보고에 따라 2種의 分類形質인 側線上部鱗數 (SAL)를 해부현미경(KYOWA, SD-2AL)을 이용하여 計測하였다.

結果 및 考察

遺傳子 分析

한국산 *Moroco lagowskii*와 *M. oxycephalus* 2種에 대한 種間 차이를 알아보려고 2種의 sympatric area인 강원도 고성군 간성읍 진부리(제추교) 집단에서 *M. lagowskii* 16개체, *M. oxycephalus* 49개체를 電氣泳動한 결과 19종류의 酵素 및 蛋白質에서 총 26개의 遺傳子를 檢出하였고 각 遺傳子에 대한 遺傳子 頻도를 구하였다 (Table 3).

26종류의 遺傳子중 *Adh*, *Fum*, *Got-1*, *Got-2*,

Table 3. Allele frequencies of *Moroco oxycephalus* (O) and *M. lagowskii* (L) in sympatric area.

Locus	O	L	Locus	O	L
<i>Aco</i>	a	1.00	<i>Pgi-1</i>	a	0.33 0.96
	b	1.00		b	0.67 0.04
<i>Est</i>	a	1.00	<i>Adh</i>	a	1.00 1.00
	b	1.00			
<i>E-X</i>	a	1.00	<i>Fum</i>	a	1.00 1.00
	b	1.00			
<i>Gp-3</i>	a	1.00	<i>Got-1</i>	a	1.00 1.00
	b	1.00		<i>Got-2</i>	a
<i>Ipo</i>	a	1.00	<i>Gp-1</i>		a
	b	1.00			
<i>Me</i>	a	1.00	<i>Gp-2</i>	a	1.00 1.00
	b	1.00			
<i>Idh</i>	a	0.25	<i>αGpd</i>	a	1.00 1.00
	b	0.75			
<i>Mpi</i>	a	0.75	<i>G6Pdh</i>	a	1.00 1.00
	b	0.25			
<i>Pgi-2</i>	a	1.00 0.18	<i>Ldh-1</i>	a	1.00 1.00
	b	0.82			
<i>Mdh-1</i>	a	0.19	<i>Ldh-2</i>	a	1.00 1.00
	b	0.81 1.00			
<i>Pgm</i>	a	1.00 1.00	<i>Mdh-2</i>	a	1.00 1.00
			<i>Pep-1</i>	a	1.00 1.00
			<i>Pep-2</i>	a	1.00 1.00
			<i>6Pgd</i>	a	1.00 1.00

Gp-1, *Gp-2*, *αGpd*, *G6pdh*, *Ldh-1*, *Ldh-2*, *Mdh-2*, *Pept-1*, *Pept-2*, *6Pgd* 및 *Pgm*의 15개 遺傳子 (58%)는 2種 사이에 차이가 없었으며 *Idh*, *Mpi*, *Pgi-2*의 경우 *M. oxycephalus*에서는 變異가 없었으나 *M. lagowskii*에서 變異가 나타났으며, *Mdh-1*은 *M. oxycephalus*에서 약간의 變異를 나타내고 있었다. *Pgi-1*, *Pgi-2*의 경우는 *M. lagowskii*와 *M. oxycephalus* 사이에 서로 다른 dominant allele로 頻度값에 차이가 크게 나타나고 있었다.

Aco, *Est-2*, *E-X*, *Gp-3*, *Ipo* 및 *Me*의 6개 遺傳子 (23%)는 *M. lagowskii*와 *M. oxycephalus* 2種 사이에 완전히 서로 다른 對立因子(allele)를 가지며 monomorphic하여 2種間 구별이 뚜렷하였다. *Est* 경우 3개의 遺傳子 (*Est-1*, *Est-2*, *Est-3*)는 공히 種間차이를 나타내었으나 *Est-1*,

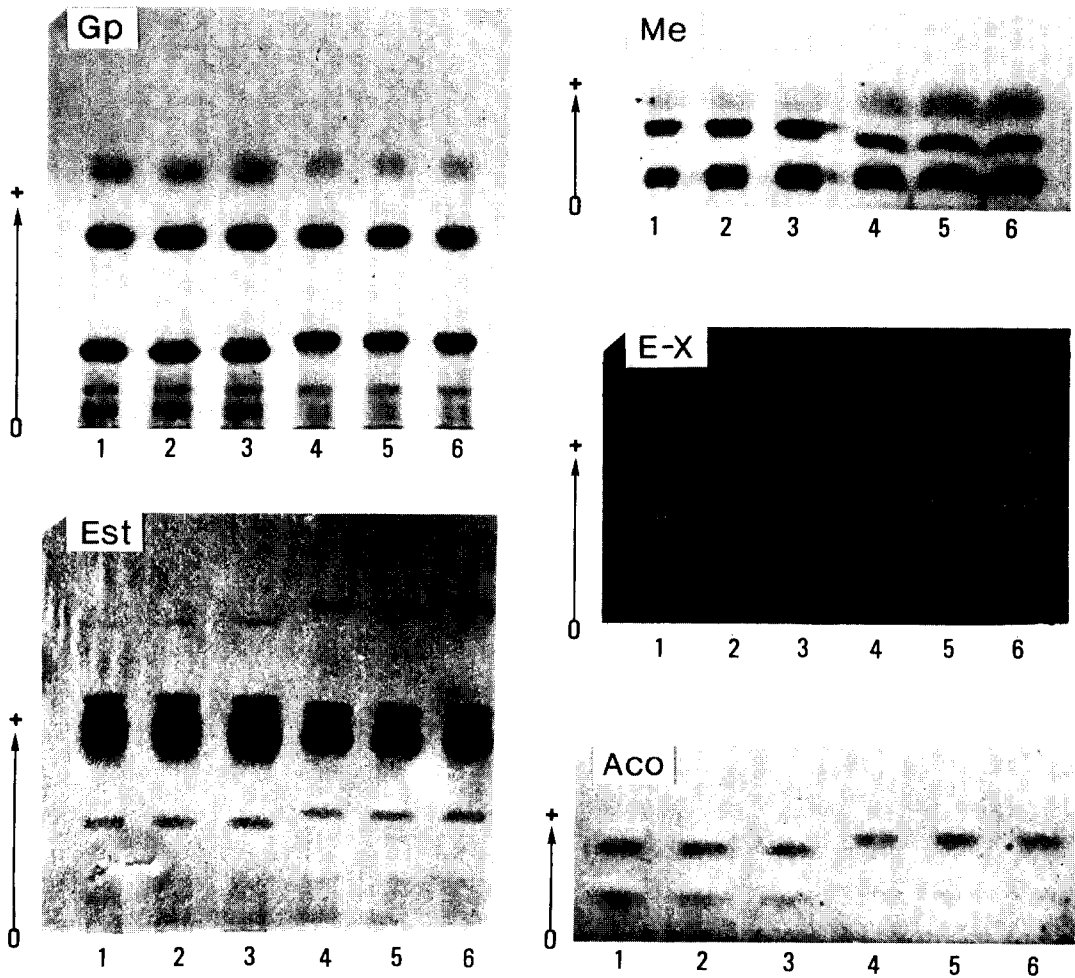


Fig. 1. Patterns of zymogram. 1,2,3: *Moroco oxycephalus* 4,5,6: *Moroco lagowskii*

*Est-3*의 경우는 activity가 약하여 전 개체를 대상으로 조사할 수 없었기에 본 분석에서는 제외하였다 (Table 3, Fig. 1). 즉 *Aco^a*, *Est-2^a*, *E-X^a*, *Gp-3^a*, *Ipo^b* 및 *Me^b* 因子는 *M. lagowskii*에서만 발견되었고 *Aco^b*, *Est-2^b*, *E-X^b*, *Gp-3^b*, *Ipo^a*, *Me^a* 因子는 *M. oxycephalus*에서만 나타나 상기 6개 遺傳子는 2種 사이에 hybrid type이 나타나지 않고 서로 다른 因子로서 2種을 분류할 수 있는 genetic marker임이 확인 되었다. 이는 allopatric area에서 2種에 대한 遺傳子 分析을 한 Min과 Yang (1986)의 결과와 일치한다. Chung 등 (1986)은 遺傳的으로 2種이 유사하여 2

種을 분류할 수 있는 genetic marker는 존재치 않으며 遺傳的으로는 2種을 분류할 수 없다고 보고한 바 있으나 이는 buffer의 선정 등 電氣泳動 조건에 문제점이 있었다고 여겨지며, 또한 isozyme 분석에서 *Pgi*, *Mdh* 등의 판독에 오류가 있었다고 여겨진다.

Table 3의 allele frequency를 이용하여 2種間의 Rosers (1972)의 genetic similarity coefficients(s)를 산출한 결과 $S = .687$ 로서 이는 Min과 Yang (1986)에 의해 얻어진 $\bar{S} = .692$ 와 거의 일치한다.

Sympatric area에서 2種 사이의 fixed diffe-

Table 4. Comparison of scale counts(SAL) among 23 populations of *Moroco lagowskii* and *M. oxycephalus*.

<i>M. lagowskii</i>	SAL(M ± ISD)	<i>M. oxycephalus</i>	SAL(M ± ISD)
1. Kansong Budong Br.	25.46 ± 1.39*	11. Samchog	19.31 ± 1.29*
2. Kansong Changshin-ri	25.12 ± 1.51*	12. Kongnae	18.89 ± 1.09*
3. Kangneung	24.28 ± 1.29*	13. Sokwang-ri	20.30 ± 1.11*
4. Wangsan	24.14 ± 1.40*	14. Paegam	20.50 ± 1.20*
5. Oggye	22.51 ± 1.33*	15. Yongdog	19.60 - 2.00*
6. Yangyang	23.00 ± 1.26	16. Kampo	19.80 - 1.30*
7. Songsan	23.50 ± 0.81	17. Whangryong	20.10 ± 1.70*
8. Kansong Changshin-ri	24.16 ± 2.01	18. Masog	9.30 - 1.30*
9. Kansong Kyodong-ri	24.56 ± 1.12	19. Yongin	20.20 ± 1.30*
		20. Suanbo	19.30 ± 1.00*
		21. Muju	19.40 ± 0.90*
		22. Cheju-do	19.50 ± 1.00
Average	24.08 ± 0.90		19.69 ± 0.47
10. Kansong Chinbu-ri (Chechu Br.)	24.93 ± 1.95	23. Kansong Chinbu-ri (Chechu Br.)	17.33 ± 0.72

*From Min and Yang (1986)

rent allele (*Aco*, *Est*, *E-X*, *Gp-3*, *Ipo*, *Me*)이 존재하며, 이들 사이에 hybrid 개체는 전혀 발견되지 않는 점으로 보아 *M. lagowskii*와 *M. oxycephalus* 2種 사이에는 reproductive isolation mechanism이 완전히 형성된 別種이라 사료된다.

形態 分析

*M. lagowskii*와 *M. oxycephalus*의 形態分析을 위하여 Min과 Yang (1986)이 보고한 2種의 분류형질인 側線上部鱗數(SAL)를 計測한 결과는 Table 4와 같다.

Table 4에서와 같이 *M. lagowskii*의 평균 SAL의 값은 24.08(22.51~25.46)인데 반하여 *M. oxycephalus*의 평균 SAL의 값은 19.69(18.89~20.50)로 allopatric area에서 2種間에 차이가 나타나고 있으며 (Min and Yang, 1986), sympatric area인 강원도 고성군 간성읍 진부리 제추교 지역에서는 *M. lagowskii*의 側線上部鱗數는 24.93±1.95였고 *M. oxycephalus*는 17.33±0.72로서 이들 2種 사이에 뚜렷한 차이를 보였으며 遺傳的 分析 결과와도 잘 일치한다. Allopatric area에서 2種의 形態적 차이 보다 sympatric area에서의 側線上部鱗數의 차이가 보다 크게 나

타나는 것은 character displacement의 결과라고 추측된다.

일본의 경우 Itai (1977, 1978, 1980)는 일본산 *Moroco* 2種의 혼서지역에서 形態적·차이와 서식처의 완전분리를 밝힌 바 있는데, 본조사 지역에서도 *M. lagowskii*와 *M. oxycephalus* 사이에 microhabitat에 차이가 있다고 추측되는바 *M. lagowskii*는 주로 본류에서 채집이 되는 반면 *M. oxycephalus*는 지류에서 많이 채집되었다. 이들 2種에 대한 microhabitat 차이 유무, 번식시기, 산란장소 등 면밀한 生態的 조사는 앞으로 수행해야 할 과제로 사료된다.

引用文獻

- 靑柳兵司, 1957. 日本列島産淡水魚類總會. 大修館. 東京.
 Choi, K. C., S. R. Jeon, and I. S. Kim, 1984. The atlas of Korean fresh-water fishes. Kor. Inst. Fresh-water Biol.
 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. *Kor. J. Limno.* 19:71-81.
 Chyung, M. K., 1977. The fishes of Korea. II-Ji Sa,

- Seoul, pp. 181-184.
- 平井賢一, 弘戸武, 1976. 北陸地方のマラハヤ 属魚類の形態と生態. 生理生態, 17:365-372.
- 板井隆彦, 1977. 奈良県高見川のマづラハヤ属 (*Phoxinus*) 魚類の2型—その形態的 生態的 特徴について—静岡女子大学研究紀要, 10:201-220.
- 板井隆彦, 1978. 奈良県高見川のマづラハヤ属 (*Phoxinus*) 魚類の2型—型内の 変異 について—静岡女子大学研究紀要 11:263-274.
- 板井隆彦, 1980. 静岡県瀬戸川水系におけるマづラハヤ属 (*Phoxinus*) 魚類の2型 I. 流れに合った分布について. 静岡女子大学研究紀要, 13:153-175.
- Jeon, S. R., 1980. Studies on the distribution of freshwater fishes from Korea. Ph. D. Thesis. Joong Ang Univ., 1:7-90.
- Kang, Y. H., 1987. Taxonomical studies on the four species of Genus *Moroco* (Cyprinidae) from Korea and Japan. M. S. Thesis, Sangmyung Women's University. 1-49.
- Kim, I. S., G. Y. Lee, and S. Y. Yang, 1985. Systematic study of the subfamily Leuciscinae (Cyprinidae) from Korea. *Bull. Kor. Fish. Soc.*, 18:381-400.
- 松原喜代松, 1955. 魚類の型態と検索. 石崎書店.
- Mayr, E., 1963. Animal species and evolution. Harvard Univ. Press.
- Min, M. S. and S. Y. Yang, 1986. Classification, distribution and geographic variation of two species of the Genus *Moroco* in Korea. *Kor. J. Syst. Zool.* 2:63-78.
- 宮地傳三郎, 川邦部浩哉, 水野信彦, 1976. 原色日本淡水魚類圖鑑. 保育社, 130-134.
- 中村守純, 1969. 日本のコイ科魚類. 資源科学研究所, pp. 1-455.
- 中村守純, 1979. 原色淡水魚類検索圖鑑. 北陸館, pp. 131.
- Okada, Y., 1959. Studies on the freshwater fishes of Japan. *J. Fac. Pref. Univ. Mie.* 4:1-862.
- Rogers, J. S., 1972. Measure of genetic similarity and genetic distance. *Studies in Genetics VII.* Univ. Texas Publ., 7213:145-153.
- Selander, R. K., M. H. Smith, S. Y. Yang, W. E. Johnson, and J. B. Gentry, 1971. Biochemical polymorphism and systematics in the genus *Peromyscus*. I. Variation in the old-field mouse (*Peromyscus polionotus*). *Studies in Genetics VII.* Univ. Texas Publ., 7103:49-90.
- 内田恵太郎, 1939. 朝鮮魚類誌第1巻系類類, 内顎類. 朝鮮總督府水産試験場報告, 6:268-350.

(Accepted December 20, 1987)

Sympatry and Species Status of *Moroco lagowskii* and *M. oxycephalus* (Cyprinidae)

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

The taxonomic status of *Moroco lagowskii* and *M. oxycephalus*, a pair of sibling species inhabiting in Korean fresh waters, has been unclear up to date. Recently a sympatric area of these species was found (Kang, 1987).

The purpose of this study was to clarify their specific status by analysing specimens collected from the sympatric area of these species. Isozyme analysis and morphometric comparison were performed.

Among 26 loci screened 6 loci (*Aco*, *Est-2*, *E-X*, *Gp-3*, *Ipo*, *Me*) showed fixed allelic difference between them and these loci could be used as genetic markers to distinguish them. Isozyme analysis indicates that no hybridization occurs and therefore it is assumed that isolating mechanism is completed and they are distinct species.

The mean number of scales above lateral line (SAL) of *M. lagowskii* and *M. oxycephalus* at sympatric area was 24.93 ± 1.95 and 17.33 ± 0.72 respectively, and it seems as the result of character displacement.

A finer microhabitat segregation between them is noticed. *M. oxycephalus* is found along the effluent streams whereas *M. lagowskii* is distributed mostly in the main stream at sympatric area.