Korean J. Ichthyol. 2(1), 88~94, 1990.　　韓魚誌, 2(1), 88~94, 1990.

가시고기(*Pungitius sinensis sinensis*)와 잔가시고기(*P. sinensis kaibarae*) 사이의 自然雜種

蔡秉洙·楊洪準
慶北大學校 師範大學 生物敎育科

가시고기(*Pungitius sinensis sinensis*)와 잔가시고기(*P. sinensis kaibarae*)의 공서지역인 강릉시 지변저수지 하류의 소하천에서 이들 어류를 채집하여 조사한 결과 두 유형의 중간형으로 생각되는 개체가 발견되었다.

전기영동 결과 *P. sinensis sineis*와 *P. sinensis kaibarae*는 종전에 보고된 바와 같이 뚜렷이 구분되는 전기영동상을 나타내고 있었으나, 그 외에 이들 사이의 잡종으로 여겨지는 개체가 약 10%정도 발견되었고 또 이들은 가시고기형 잡종과 잔가시고기형 잡종으로 구분되었다. 형태적인 면에서도 吻長과 尾柄高는 잡종의 특징을 잘 나타내고 있었으며 정소의 색깔에도 *P. sinensis sinensis*는 회색, *P. sinensis kaibarae*는 검은색이었지만 잡종개체는 그 중간의 색을 띄고 있었다.

이러한 잡종개체의 출현에 따른 이들 두 분류군의 생식적 격리문제에 대하여 논의하였다.

서　　론

가시고기屬(genus *Pungitius*) 어류는 鱗板의 배열상태 및 등지느러미 가시의 수 등의 형태적인 면에서 몇종 혹은 아종으로 나뉘어져 왔으나(池田, 1933; Berg, 1949a) 이들의 형태가 매우 유사할 뿐 아니라 생식적 격리가 모호한 경우가 많아서 아직 종 구분에 많은 문제점을 가지고 있다(宮地 등, 1976; Wootton, 1976; 高田, 1987).

*P. sinensis kaibarae*는 日本의 京都에서 처음 발견되어 신종(*Pygosteus kaibarae*)으로 보고 되었으나 (田中, 1915) 지금은 절멸되고 없으며(丹, 1977), 한반도의 원산, 청진, 웅기 등의 함경북도 동해안 지역에 서식하고 있다 하나(鄭, 1977) 현재로서는 확인할 수 없다. 최근 한반도 남부의 여러 지역에서, 그 서식처가 발견되었으며(崔 등, 1973; 楊·林, 1980; 田, 1987) 형태적인 면에 대해서도 일부 보고되어 있다(蔡, 1988; 채와 양, 1988; 김 등, 1989). 이 종에 대해서 田(1987), 蔡(1988) 등은 *P. sinensis sinensis*와 아종의 관계에 있다고 했다. 그러나 五十嵐(1969a)는 인판발생을 조사하여 *P. sinensis sinensis*와는 완전히 구별되는 별종이라고 한 바 있고, 윤과 김(1989)도 이 두 유형에 대해 형태 및 전기영동적인 면에서 뚜렷이 구별되므로 별종으로 취급함이 타당하다고 한 바 있다.

이들 두 유형에도 *Pungitius*속 내의 전체적인 문제와 마찬가지로 분류학적으로 문제점이 지적된 바 있어서(五十嵐, 1969a), 저자들은 이들의 동소적 서식체에서 채집된 개체들을 조사한 결과 중간형으로 생각되는 개체가 발견되었기에 형태적 특징과 생식적 격리에 대해 논의하고자 한다.

재료 및 방법

채집장소는 강릉시 지변저수지의 하류로서 Fig. 1과 같다. 채집에는 망목 5×5 mm의 반두를 사용하였으며, 1989년 11월 18일과 1990년 4월 5일의 2회에 걸쳐 채집한 141개체를 재료로 사용하였다. 채집된 개체들은 실험실에 운반한 즉시 -20℃로 냉동시킨 후, 오른쪽 체측의 근육을 적출하여 증류수를 1 : 2의 비율(v/v)로 넣고 마쇄하여 20,000G에서 원심분리하고 그 상등액을 전기영동 시료로 사용하였다. 전기영동은 Hames(1981)의 방법에 따라 7.5% separating gel에서 200V로 2.5시간 실시하였으며, Coomassie Blue R-250으로 염색하였다.

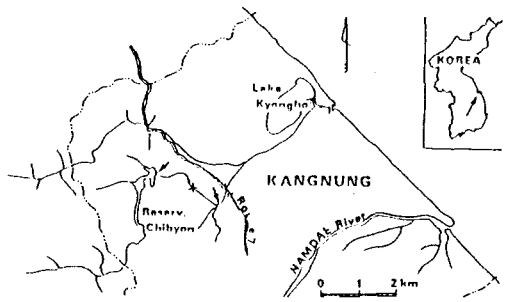

Fig. 1. Map showing the collection site. Specimens are collected at the streamlet below Chibyon Reservoir (about 2 km area between arrows).

근육을 떼어낸 어체는 형태측정을 위하여 즉시 10% formalin액에 고정하였다. 측정에는 1/20 mm vernier caliper 및 해부현미경 하에서 micrometer를 이용하였다. 측정한 외부형질은 體長(BL), 體高(BD), 肛門部 體高(BDA), 吻長(SnL), 眼徑(DE), 尾柄高(DCP), 頭高(DH) 및 등지느러미 가시의 수(Dorsal spines)로서, 계측형질은 모두 體長에 대한 백분율을 구하여 비교하였다. 내부형태로서는 정소를 적출하여 표면의 색깔과 멜라닌 색소포의 분포를 비교하였다.

결 과

*P. sinensis sinensis*와 *P. sinensis kaibarae*의 공서지역인 강릉 지변저수지 하류의 소하천에서 채집된 표본에 대해 전기영동한 결과는 Fig. 2와 같다. 특히, 두 유형간에 차이가 있는 부분은 모식도로서 표현하였다.

두 유형에서 대부분의 단백질 band들은 서로 유사 하였으나 A band는 *P. sinensis sinensis* (Fig. 2; pattern 1)에만 나타난 반면 B band는 *P. sinensis sinensis* (Fig. 2; pattern 1)에만 나타나 완전히 대조적이었다. 그 외에 C, D, E, 3개의 band 중 *P. sinensis kaibarae*는 3개가 모두 나타난 반면, *P. sinensis sinensis*는 C, D의 2 band만 있었다. 이 결과는 이소적 개체군간의 차이와 같았다.

이러한 두 유형의 전형적인 단백질 pattern 외에도 중간형으로 생각되는 영동상이 관찰되었다 (Fig. 2; pattern 2와 3). 여기서는 A와 B의 두 band가 동시에 나타났기 때문에 두 유형의 잡종인 것으로 추정하였다. 한편 이들 잡종형은 아래쪽의 3 band에 의하여 다시 두 종류로 나뉘어졌

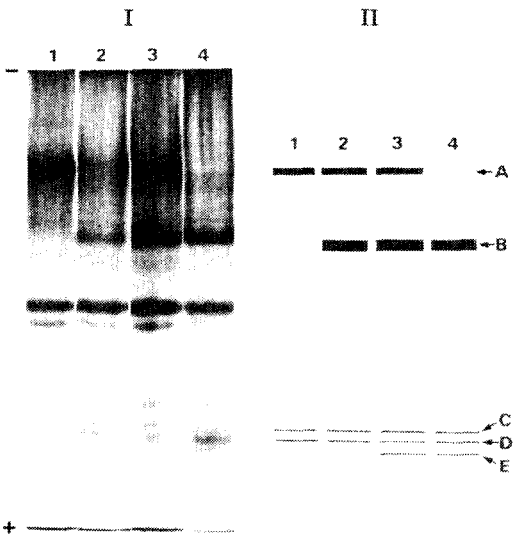

Fig. 2. (I) Electropherogram of the white muscle extract from *P. sinensis sinensis*(1), sinensis - type hybrid(2), kaibarae - type hybrid(3) and *P. sinensis kaibarae*(4). (II) Its schematic diagrams showing the characteristic banding pattern of each type.

다. 즉 *P. sinensis sinensis*와 같이 C, D 2개의 band를 가지는 것과 *P. sinensis kaibarae*와 같이 C, D, E 3개의 band를 모두 가지는 것이다. 이에 따라서 전자는 가시고기형 잡종(sinensis-type hybrid), 후자는 잔가시고기형 잡종(kaibarae-type hybrid)으로 구분하였다.

2회의 채집에서 얻어진 표본으로 각 유형의 빈도를 조사하여 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Frequency distribution of the number of individuals of *Pungitius sinensis sinensis* (PSS), sinensis-type hybrid (HS), kaibarae-type hybrid (Hk) and *P. sinensis raibarae* (*PSK*) revealed by electrophoresis

Collection date	N	Number of individuals			
		PSS	HS	HK	PSK
1989. Nov. 18	67	7	3	4	53
1990. Apr. 5	74	20	3	5	46

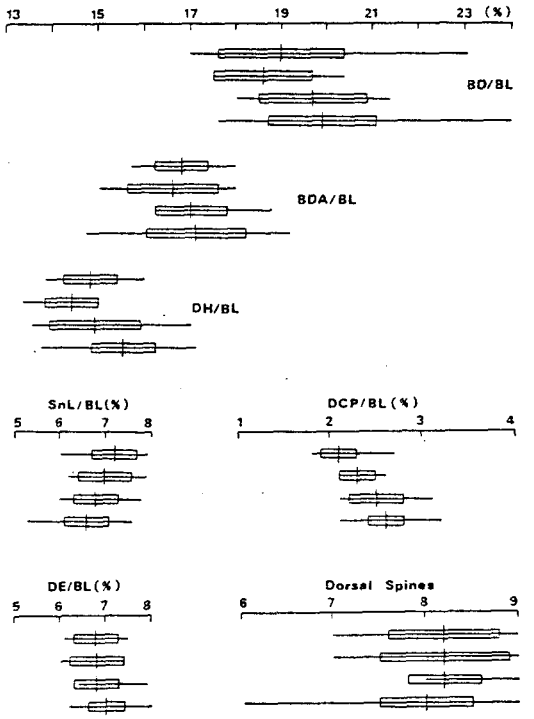

Fig. 3. Comparison of morphological characters among types of sticklebacks; *P. sinensis sinensis*, sinensis-type hybrid, kaibarae-type hybrid and *P. sinensis kaibarae*, (from up to low in each graph). Horizontal lines vertical lines and open bars indicate rarge, mean and standard deviation, respectively.

잡종형의 빈도는 전체 표본수의 약 10%에 지나지 않으나, 두 유형 중 개체수가 적은 *P. sinensis sinensis*에 대한 잡종의 비율을 보면 1회 채집에서는 100%, 2회 채집에서는 40%였고 1, 2회를 합쳐서 보면 56%여서 잡종의 빈도가 상당히 높다. 이들 표본에 대한 형태 측정 결과는 Fig. 3에 나타내었다.

전체적으로 범위가 크게 중복되어 유형간의 구별이 곤란하지만 몇가지 형질에서는 평균치가 점진적으로 변화하는 것이 관찰되었다. 體高의 비율은 가시고기형 잡종은 *P. sinensis sinensis*에, 잔가시고기형 잡종은 *P. sinensis kaibarae*에 가까운 경향이 있었으나 肛門部 體高, 頭高, 眼徑은 그러한 경향이 없었다. 특히 吻長과 尾柄高는 각각 *P. sinensis* sinensis-type hybrid, kaibarae- type hybrid, *P. sinensis kaibarae*의 순으로 평균치가 감소 그리고 증가하는 경향을 나타내고 있어 잡종의 특징을 명백히 보여주고 있다.

1990년 4월 5일에 채집된 개체 중 수컷 33개체의 정소의 색깔을 관찰한 결과는 Fig. 4 및 Table 2와 같다.

*P. sinensis sinensis*와 *P. sinensis kaibarae*는 대부분이 각각 회색과 검은색을 띄고 있었으나 잡종 개체들은 이들의 중간색이었다. 멜라닌색소포의 분포(Fig. 4)를 보면 *P. sinensis sinensis*는 비교적 드물게 분포하였으며 가시고기형 잡종, 잔가시고기형 잡종, *P. sinensis kaibarae*쪽으로 갈수록 색소포의 밀도가 높아져서 *P. sinensis kaibarae*에서는 색소포 사이의 경계가 불분명할 정도로 조밀해져 있었다. 정소의 색깔을 조사한 수컷 33개체에서 잡종형은 3개체였다(Table 2).

그 중 가시고기형 잡종은 1개체로서 중간색의 정소를 가지고 있었고 잔가시고기형 잡종은 2개체였는데 1개체는 중간색의 정소, 다른 1개체는 검은색의 정소를 가지고 있었다.

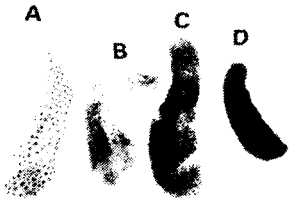

Fig. 4. Testis of the sticklebacks; *P. sinensis sinensis*(A) sinensis-type hybrid(B), kaibarae-type hybrid(C) and *P. sinensis kaibarae*(D). Note the distribution of melanophores on the surface of each testis.

Table 2. Frequency distribution of the number of male sticklebacks on the color of testis. See Table 1 for abbreviations

Color of testis	Number of individuals			
	PSS	HS	HK	PSK
Grey	10			
Medium		1	1	
Black	1		1	19

고 찰

*Pungitius*속 내의 종간 잡종에 대해서는 池田(1933), 小林(1959), 田中(1982) 등이 이미 보고한 바 있다. 그러나 이러한 잡종의 출현에 따른 생식적 격리의 해석도 상당한 문제가 있다. 小林(1959)는 *Pungitius*속 어류 3종의 인위교배에 의해 얻어진 F_1의 형태가 자연중간형과 유사하므로 자연중간형은 이들 종간의 교잡에 의하여 형성되었을 가능성을 지적하면서, 성체까지 자란 F_1의 정소 관찰로 잡종에 생식력이 있을 가능성을 배제하지 않았다. 또 丹羽(1983)는 북해도의 *P. pungitius*와 *P. sinensis*가 수조 내에서 자유로이 교잡함을 보고한 바 있다. 한편 田中(1982)는 日本 東北지방에 있는 *P. pungitius*와 *P. sinensis*의 혼서지역에서 자연교잡에 의해 잡종이 소수 형성되기는 하나 그 빈도가 매우 낮으므로 이들 두 종은 별종으로 구분될 정도로 충분히 분화되어 있다고 하였다. Takata *et al.*(1987)도 역시 isozyme분석에 의해 田中(1982)의 결과를 확인하였다. 그러나 高田 등(1984)과 Niwa(1987)는 북해도에 있는 *P. pungitius*와 *P. sinensis*가 별종으로 취급할 정도로 분화되어 있지는 않다고 하였다. 이와 같이 *Pungitius*속 내의 종 구분은 생식적 격리의 정도가 불분명하므로 앞으로 세밀한 조사가 필요한 실정이다.

본 조사에서도 *P. sinensis sinensis*와 *P. sinensis kaibarae*의 공서지역인 강릉시 지변저수지 하류의 소하천에서 채집된 이들 어류에 대하여 전기영동을 한 결과 이들 두 유형의 중간형으로 생각되는 개체들이 발견되었다. 윤과 김(1989)은 본 연구의 채집지역과 같은 장소에서 채집하여 전기영동상을 조사하였으나 중간형을 발견하지 못하였고, 이를 근거로 *P. sinensis sinensis*와 *P. sinensis kaibarae*를 별종으로 취급함이 타당하다고 한 바 있다. 본 조사의 경우 전기영동상이나 형태분석의 결과를 보면 양 극단의 유형 외에 중간형이 명확히 구분되므로 *P. sinensis sinensis*와 *P. sinensis kaibarae*는 생식적으로 격리되어 있는 것 같이 보인다. 이렇게 중간형이 유지될 수 있는 이유로는 이들이 생식적으로 격리되어 있어 대부분의 개체는 교잡하지 않으나 일부 개체에서 교잡이 일어나 중간형이 생겼고, 이 중간형의 개체는 불임성이어서 더 이상 형질의 혼합이 일어나지 않기 때문이라고 생각된다. 그러나 잡종개체의 출현빈도를 보면 이와는 상황이 다르다. 실제로는 *P. sinensis sinensis*와 *P. sinensis kaibarae*의 개체수 비율에 상당한 차이가 있으므로 이 두 유형이 무작위로 교잡할 수 있다고 생각할 때 잡종의 출현빈도는 개체수가 적은 쪽, 즉 *P. sinensis sinensis*의 개체수에 의하여 결정될 것이다. 따라서 전체 개체수에 대한 잡종 개체수의 비율은 10%에 불과하지만, *P. sinensis sinensis*에 대한 잡종개체수의 비율은 1회 채집에서는 100%, 2회 채집에서는 40%였다.

이와 같이 비율에서 큰 차이가 나는 것은 sampling error에 기인하는 것이라고 하더라도 잡종개체의 출현빈도가 매우 높음을 알수 있다. 양과 민(1989)은 *Moroco*속 어류의 두 종에 대하여 공서지역에서 잡종개체의 출현빈도가 11.8%였으나 기대치보다 현저히 낮아 교배 후 생식적 격리(*postmating reproductive isolation*)가 작용하므로 별종임을 재확인하였다고 한 바 있다. 본 조사의 경우도 전체적으로는 10% 정도 밖에 되지 않으나 *P. sinensis sinensis*에 대한 비율은 56% 정도여서 *Moroco*속의 경우와는 다른 것으로 생각된다. 따라서 잡종개체의 출현빈도에 의하면 *P. sinensis sinensis*와 *P. sinensis kaibarae* 사이에는 형태적으로 유의한 차이가 있는 형질이 많고 전기영동상에서도 뚜렷이 구분되므로 (蔡, 1988 ; 김 등, 1989 ; 윤과 김, 1989) 상당히 분화되어 있거나 ecotype일 가능성이 크다. 그러나 공서지역에서는 *P. sinensis sinensis*와 *P. sinensis kaibarae* 사이에 유의한 형태적 차이가 없었다. 이러한 현상은 근연종에서 동소적인 종은 차이가 커지고 이소적인 경우에는 수렴이 일어나 형태가 비슷해진다는 형질치환(Odum, 1971)과 상반된다.

또한 공서지역에서 채집된 암컷 3마리(이들중 1개체는 가시고기형 잡종, 나머지 2개체는 *P. sinensis sinensis*임이 전기영동에 의해 확인되었음)를 수조 내에서 이미 巢를 만들고 산란하여 부화를 거의 끝낸 영천 개체군의 *P. sinensis sinensis* 수컷 1개체와 함께 두었을 때 오래지 않아 3마리 모두 수컷에 차례로 유인되어 巢 내에 산란하였다. 발생이 진행된 며칠 후 기존 巢의 붕괴로 수컷은 새로운 巢을 짓고 알을 옮기려고 하였으나 실패하여 알을 모두 먹어버렸기 때문에 더 이상의 발생과정은 관찰할 수 없었다(미발표 자료). 수컷이 새로운 巢을 만들어 알을 옮기는 과정에서 실패하여 알을 포식하는 행동은 Wootton(1976)에 의해 이미 보고된 바 있어 정상적인 행동이라 생각된다. 그러므로 생식행동에 아무런 문제점이 없으며 발생이 잘 진행되고 있었다는 것과, 잡종개체의 정소와 난소가 잘 발달 되어 있다는 것은 잡종의 출현빈도와 아울러 생식적 격리가 일어나지 않았음을 강하게 시사하고 있다.

따라서 중간형의 존재는 생식적 격리가 있음을 나타내는 것으로 보이지만 잡종개체의 출현빈도, 형질치환과의 상반성, 생식행동 및 생식소의 발달상태 등으로 볼 때 아직 생식적 격리가 일어나지 않은 것으로 보인다. 이와 같은 중간형의 생성은 하나의 가능한 설명으로 우연한 기회에 2차 접촉이 일어났기 때문이라고 생각할 수도 있지만 현재로서는 증명할 수가 없다. 이들 종에 있어서 생식적 격리의 문제를 해결하기 위해서는 더 많은 공서지역에서 잡종생성의 유무를 관찰하여야 하고 또 교배실험을 통한 F_1, F_2의 생성가능성 등을 조사하여야 할 것이다.

인 용 문 헌

Berg, L. S., 1949. Freshwater fishes of the U.S.S.R. and adjacent countries. Vol. 3. Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem (1965), PP. 510.

蔡秉洙, 1988. 韓國産 가시고기(*Pungitius sinensis*: Gasterosteidae)의 形質分析에 의한 分類. 慶北大學校 理學博士學位論文, pp. 82.

채병수・양홍준, 1988. 잔가시고기, *Pungitius sinensis kaibarae*(Tanaka), 두 개체군에 대한 형태 비교. 한국육수학회지 21(2) : 79-91

崔基哲, 金益秀, 崔銀熙, 1973. 江陵 南大川의 魚類相에 관하여, 한국육수학회지 6(3-4) : 21-28.

鄭文基, 1977. 韓國魚圖譜. 一志社, 서울, pp. 727.

Hames, B. D., 1981. An introduction to polyacrylamide gel electrophoresis (In "Gel Electrophoresis of proteins-a practical approach" edited by B.D.Hames and D.Rickwood). IRL Press, Oxford, pp. 1-

91.

五十嵐 清, 1969a. 日本産トゲウオ科魚類の鱗板の研究-IV. ミナミトミヨ*Pungitius kaibarae*の陵鱗の發達について. 魚類學雜誌 16(1): 10-16.

田祥麟, 1987. 韓國産 둑중개科 및 큰가시고기科 周緣性 淡水魚의 檢索과 分布. 祥明女大論文集 19: 549-576.

池田嘉平, 1933. トケウオの分布と其の變異. 動物學雜誌 45(534): 141-173.

김익수·윤창호·이지현, 1989. 한국산 큰가시고기과 어류의 형태변이와 핵형. 한국동물분류학회지 5(2): 107-119.

小林弘, 1959. 3種トミヨの交雜實驗. 北海道學藝大學紀要(第二部) 10(2): 363-384.

宮地博三郎, 川那部浩哉, 水野信彦, 1976. 原色日本淡水魚類圖監, 保育社, 大阪, pp. 466.

丹羽貞郎, 1983. 北海道産トミヨ屬魚類の生殖的隔離. 日本魚類學會講演要旨, 16.

Niwa, T., 1987. Comparison of the gene frequency between sympatric populations of ninespine sticklebacks, genus *Pungitius*, in Hokkaido, Japan. Jap, J. Ichthyol. 34(2):184-190.

Odum, E. P., 1971. Fundamentals of ecology(3rd ed.). Saunders Company, Philadelphia, pp. 574.

高田啓介, 1987. トミヨ屬魚類の遺傳的分化 ("日本の淡水魚類-その分布, 變異, 種分化おめぐって." 水野信彦·後藤晃 編). 東海大學出版會, 東京, pp. 134-143.

高田啓介, 後藤晃, 濱田啓吉, 1984. 北海道におけるトミヨ屬魚類3種の地理的分布と形態變異. 魚類學雜誌 31(3): 312-326.

Takata, K., A. Goto and F. Yamazaki, 1987. Genetic differences of *Pungitius pungitius* and *P. sinensis* in a small pond of the Omono River System, Japan. Jap. J. Ichthyol. 34(3): 384-386.

丹信實, 1977. ミナミトミヨ(サバツヤユ) 項. 淡水魚 3: 153-140.

田中茂穗, 1915. 日本産魚類の10新種. 動物學雜誌 27: 565-568.

田中晋, 1982. 東北 北陸地方におけるイバラトミヨの形態の變異. 魚類學雜誌 29(2): 203-212.

Wootton, R. J.,1976. The biology of the sticklebacks. Academic Press, London, pp. 387.

양서영·민미숙, 1989. 버들치속 2 종의 종간 잡종에 관하여. 韓國生物科學協會 第44回 學術發表大會 論文要旨錄: 17.

楊洪準, 林完澤, 1980. 兄山江의 魚類相에 관하여. 慶北大科教研誌 4: 79-88.

윤창호, 김익수, 1989. 강릉 남대천 가시고기속 어류 2 종의 형태와 근단백 전기영동상. 韓國魚類學會 秋季研究發表會 發表論文要旨: 8.

Natural Hybrids between *Pungitius sinensis sinensis* and *P. sinensis kaibarae*

Byung-Soo Chae and Hong-Jun Yang
Department of Biology, Teacher's College, Kyungpook University,
Buk-gu, Taegu 702-701, Korea

Natural hybrids between *Pungitius sisensis sinensis* and *P. sinensis kaibarae* were found in their sympatric area, a streamlet below Chibyon Reservoir in Kangnung city, Kangwondo, Korea. *P. sinensis sinensis* and *P. sinensis kaibarae* showed the same electropherograms as reported previously. However, about 10% of the specimens had peculiar banding patterns and they seemed to be hybrid between the two subspecies. They are divided further into two groups: sinensis-type and kaibarae-type hybrid. Two morphometric characters, snout length and depth of caudal peduncle, indicated the hybrid's property well. The color of testis of *P. sinensis sinensis* and *P. sinensis kaibarae* was grey and black, respectively, but that of hybrid was intermediate

The problem of reproductive isolation between the two groups raised by the finding of their hybrids was discussed.