

韓國產 청개구리屬 2種의 種分化에 關한 研究

梁瑞榮 · 朴炳相

仁荷大學校 生物學科

韓國產 청개구리屬 2種의 種分化를 구명하기 위하여 이들의 分布, 繁殖時期를 조사하고 7개 집단을 대상으로 형태 및 遺傳的 變異를 비교하여 다음의 결과를 얻었다.

*Hyla japonica*의 번식 시기는 4월 초에 시작되어 5월 초에 그 절정에 달하는 반면 *H. suweonensis*는 5월 하순에 mating call이 청취되고 번식 시기는 6월 중순에 절정에 달하여 이들 사이에는 약 45일간의 차이가 있었다.

*H. japonica*는 南韓의 전역에 넓게 분포하는 반면 *H. suweonensis*는 京畿道 일원의 평야 지대에 국한되어 분포하였다. 7개 형질을 이용하여 discriminant function analysis를 실시한 결과 두 種을 뚜렷이 구별할 수 있었다. 遺傳的 變異정도를 비교한 결과 *H. japonica*는 *H. suweonensis*에 비하여 약 2배 정도 變異가 컸다.

*H. japonica*의 집단 간 평균 유전적 근연치는 $\bar{S}=0.893$ 인 데 반하여 *H. suweonensis*의 집단 간 평균 유전적 근연치는 $\bar{S}=0.964$ 로 집단간의 차이가 매우 적었다. 반면 두 種의 평균 遺傳的 近緣値는 $\bar{S}=0.520$ 으로 이 값은 일반적으로 양서류의 종 간 근연치와 일치하였다.

繁殖時期, 分布, 種내 집단간 遺傳的 차이, 分化年代 및 分布經路 등을 종합검토한 결과 *H. japonica*에서 *H. suweonensis*가 分化되었다고 추정되며 分化時期는 플라이오세 말기에서 플라이스토세 초기 사이로 추측되었다.

KEY WORDS: Speciation, *Hyla japonica*, *Hyla suweonensis*

舊北區의 청개구리屬에는 10여種이 보고되어 있는데(Gorham, 1974; Schneider, 1974) 이들의 기원은 同一系統으로서 플라이오세 후기에 美大陸에서 Bering해협을 거쳐 舊北區에 분포되었다고 여긴다(Savage, 1973). 한국산 청개구리屬은 과거 *Hyla arborea japonica*와 *H. a. stepheni*의 2亞種로 기재되었으나(Boulenger, 1887; Okada, 1931), Shannon(1956) 및 梁(1962)의 재검토에 의하여 *Hyla arborea japonica*로 정리되었다. Kuramoto(1980)는 구북구의 *Hyla arborea*는 유럽產 *H. arborea*와는 別種으로 하여 *Hyla japonica*로 기재하는 한편 韓國產 청개구리屬에는 *H. japonica* 이외에 mating call이 뚜렷이 다른 *Hyla suweonensis*를 추가 기재하였다. 梁等(1981)은 이들 2種 遺傳的 近緣關係를 조사한 결과 유전적으로 독립적인 別個 種임을 확인하였고 이들의 分化年代를 추정한 바 있다.

本 研究은 이들 한국산 청개구리屬 2種의 분포를 밝히고 이들의 生殖的 隔離機作을 究明함으로써 進化經路를 추구하고자 하였다.

(발표에 앞서 본 연구 수행에 협력해준 李雙淑嬢과 전산처리에 도움을 준 梁基烈 博士에게 심심한 사의를 표한다.)

材料 및 方法

棲息地分布 및 繁殖時期

梁·柳(1978) 및 梁 등(1981)의 보고를 토대로 3월 하순부터 7월 중순까지 mating call을 기준으로 두 種의 繁殖時期 및 棲息地를 조사하였다.

採集 및 形態變異

南韓 7개 지역에서 총 149개체를 採集하였다(Table 1). 채집된 각 개체는 산채로 실험실까지 운반하여 電氣泳動用 組織은 별도로 적출하여, -70°C 로 냉동시키고 나머지 개체들은 10% formalin 용액에 고정하여 형태 측정용 표본으로 사용하였다.

Table 1. Collecting localities, date and number of specimens of *H. japonica* and *H. suweonensis*.

Locality	Collecting date	Number of specimens
<i>H. japonica</i>		
Inchon	May 29-July 2, 1981	25
Suwon	May 27, 1980	26
Yangsan	May 16, 1981	22
Komun Isl.	June 29, 1981	19
<i>H. suweonensis</i>		
Inchon	July 2, 1981	28
Suwon	June 12-June 24, 1980	13
Onyang	July 4, 1981	16

형태 측정은 體長, 前·後肢의 길이, 前·後指的 直徑, 頭長 및 頭幅을 해부현미경(Kyowa, SD-2AL)하에서 dial caliper를 사용하여 0.1mm 단위로 실시하였다. 각 측정치는 體長을 기준으로 삼아 前·後肢의 길이, 前·後指的 직경 그리고 頭幅의 배율로 환산하고 頭幅을 기준으로 한 頭長의 비율을 구하여 두 種間의 形態變異를 집단 별로 비교한 후, 상기 6개 형질 및 體長의 측정치를 종합하여 discriminant function analysis (Sneath and Sokal, 1973)를 SPSS program을

이용하여 전산처리하였다.

遺傳變異

組織(心臟, 肝臟 및 筋肉)은 개체별로 4°C에서 glass homogenizer (B. Braum Co.)로 磨碎한 후 Sorvall RC-5B (Rotor SS-34) 원심분리기로 약 30분간 49,000g로 저온 원심분리하여 상층액을 얻고 이 상층액에 함유된 각종 酵素 및 蛋白質을 전기영동 시료로 사용하였다. 전기영동은 Selander *et al.*, (1971) 및 梁 등(1981)의 방법을 일부 변형 실시하였다(Table 2).

전기영동 결과 얻어진 각 효소 및 단백질의 pattern을 BIOSYS program으로 분석하여 (Swofford and Selander, 1981)집단 별 遺傳子 빈도를 구하고 집단 별 平均對立因子數(A), 多型形頻度(P) 및 異型接合子頻度(H)를 구하여 두 種의 遺傳的 變異 정도를 비교하였으며 遺傳子 頻度を 이용하여 Rogers(1972)의 遺傳的 近緣值(S)와 Nei(1972)의 遺傳的 差異值(D)를 구하여 두 種의 遺傳的 近緣關係를 dendrogram으로 나타내었다.

두 種의 分化年代는 D값을 이용하여 Nei(1975)의 공식에 따라 추정하였다.

Table 2. Buffer systems and stains for electrophoresis.

Buffer	Isozyme & protein	Voltage & time
Continuous Tris citrate II (TC. II, pH 8.0)	Malate dehydrogenase(Mdh-1, 2) Sorbitol dehydrogenase(Sdh) Isocitrate dehydrogenase(Idh-1, 2) Glutamate dehydrogenase(Gdh) α -Glycerophosphate dehydrogenase(α Gpd)	100V, 3hrs
Discontinuous Tris citrate (Poulik, pH 8.2)	Aconitase(Aco-1, 2) Alcohol dehydrogenase(Adh-1, 2) Indophenol oxidase(Ipo) Lactate dehydrogenase(Ldh) Peptidase(Pept-1, 2) Fumerase(Fum)	200V, 3hrs
Lithium hydroxide (LiOH, pH 8.1)	Glutamate oxaloacetic transaminase(Got-1, 2) Esterase(Est-1, 2) General protein(Gp-1, 2)	300V, 3hrs
Tris maleic EDTA (TM, pH 7.4)	Xanthine dehydrogenase(Xdh) 6-Phosphogluconate dehydrogenase(6Pgd)	100V, 4hrs

結 果

繁殖時期

*H. japonica*는 4월 1일 慶尙北道 豊基에서 첫 mating call이 청취된 후 점차 증가하여 4월 말에서 5월 중순에 걸쳐 절정에 달하고 6월 중순에는 현저히 감소하였으며 한편 *H. suweonensis*는 5월 26일 京畿道 水原에서 첫 mating call이 청취된 후 점차 증가하고 7월 초부터 감소하여 7월 중순 이후에는 抱接된 개체가 발견되지 않는 점으로 보아 이들 두種 사이에는 繁殖時期的 현저한 차이가 있으며 *H. japonica*는 *H. suweonensis*보다 약 45일 정도 繁殖時期가 빠름을 알 수 있었다(Fig. 1).

棲息地分布

梁·柳(1978)의 보고와 본 조사 결과를 종합하여 보면 Fig. 2에서 보는 바와 같이 *H. japonica*는 島嶼地方을 포함한 南韓의 전역에 걸쳐 분포하고 *H. suweonensis*는 京畿道 일대의 낮

은 평야 지대(仁川, 水原, 江華, 溫陽 및 驢州)에 국한되어 분포하고 있었으며 *H. suweonensis*는 *H. japonica*와 同棲的이었으나 개체 수는 *H. japonica*에 비하여 현저히 적었다.

形態分析

총 6개의 형태 형질의 측정치를 토대로 하여 두種 간의 차이 유무를 비교한 결과 體長을 기준으로 한 前指直徑과 頭幅을 기준으로 한 頭長의 2개 형질은 두種 간에 전혀 차이가 없었으나

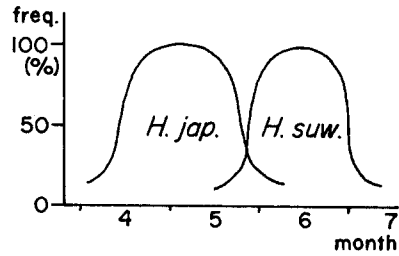


Fig. 1. Comparison of mating season between *H. japonica* and *H. suweonensis*.

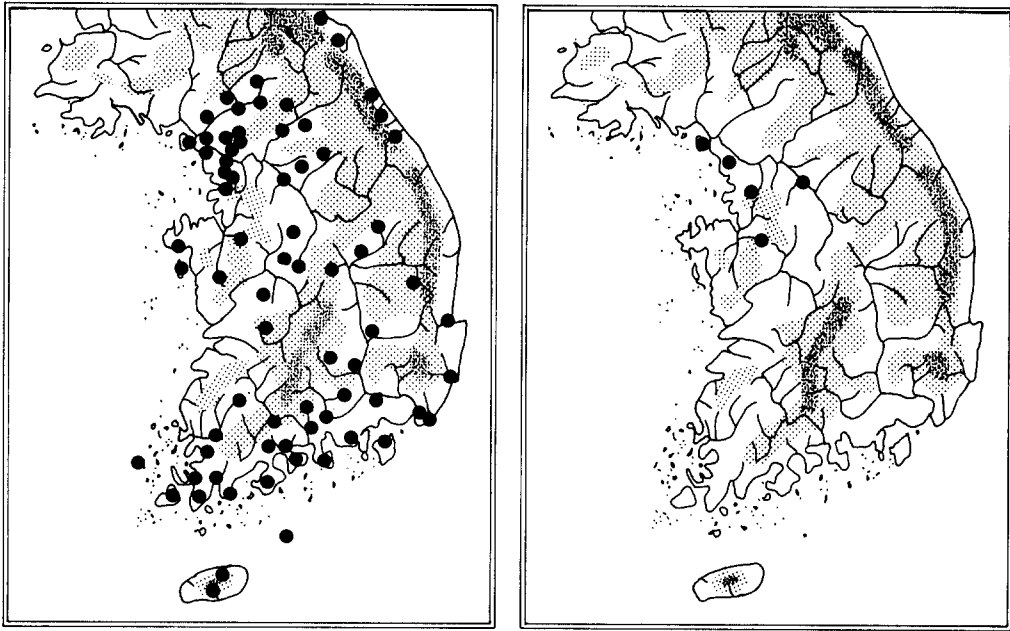


Fig. 2. Geographic distributions of *H. japonica* (left) and *H. suweonensis* (right).

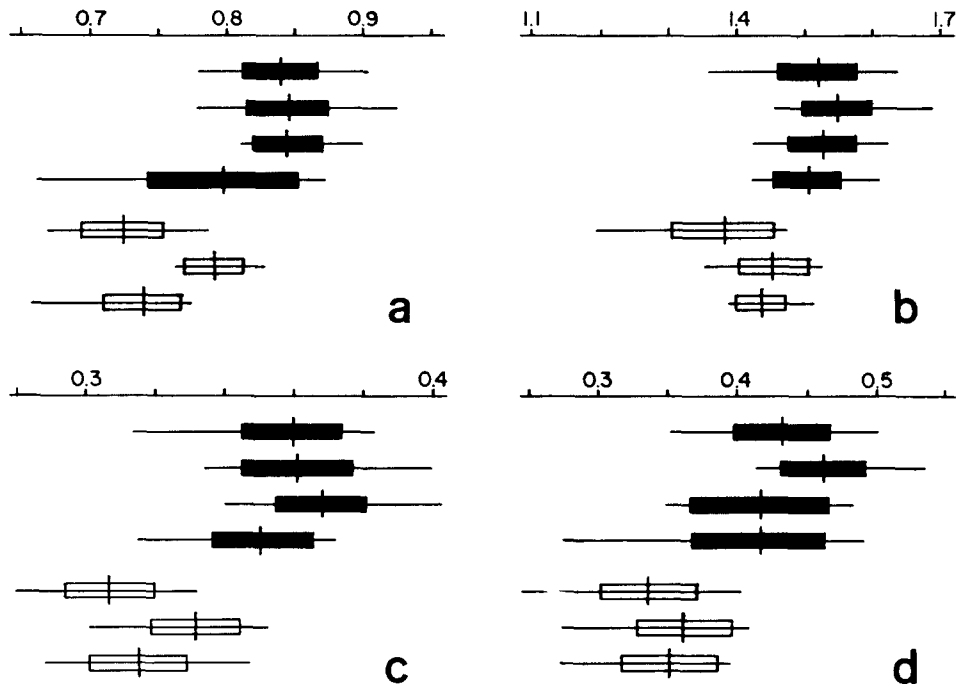


Fig. 3. Comparisons of the rate of 4 morphometric characters among 7 populations of *H. japonica* (solid rectangle) and *H. suweonensis* (open rectangle). a, rate of the fore limb length to SVL; b, rate of hind limb length to SVL; c, rate of the head width to SVL; d, rate of the toe discs diameter of fore limb to SVL; horizontal line, total variation of the sample; cross bar, the mean; rectangle, one standard deviation; from the top, Incheon, Suwon, Yangsan, Komun Island, Incheon, Suwon, and Onyang.

Table 3. Standardized canonical discriminant function coefficients of 7 populations of *Hyla* species based on seven morphological variables.

Variable	Discriminant function					
	1	2	3	4	5	6
Snout ventral length(SVL)	-0.40397	-0.87533	0.27770	-0.04260	-0.02933	-0.04315
Fore limb length / SVL	-0.39585	0.37225	-0.19069	0.23809	0.17477	-0.82880
Hind limb length / SVL	0.00436	-0.04945	-0.45049	-0.55892	-0.77713	0.03858
Finger disc diameter / SVL	-0.39443	0.01578	-0.35856	0.45259	-0.46414	0.49338
Toe disc diameter / SVL	-0.11751	-0.45340	-0.23316	0.11328	0.63780	0.01827
Head width / SVL	-0.74769	0.14638	0.73057	0.22204	0.45645	0.39664
Head length / head width	-0.32792	0.17515	0.72144	0.43211	-0.29293	-0.05962
Eigenvalue	6.29386	1.54238	0.20049	0.08065	0.04134	0.01962
Percent of variable	76.96	18.86	2.45	0.99	0.51	0.24

長을 기준으로 한 前·後肢 길이, 後指直徑 및 頭幅의 4개 형질은 종 간에 차이가 있었다(Fig 3).

Fig. 3에서 보는 바와 같이 1차 표준 편차 값으로 볼 때, 4개 형질 모두 *H. japonica*의 측정치

가 *H. suweonensis*보다 큰 값으로 나타났으나 변이폭에서 두 종은 중복되었다. 두 종이 共棲하는 仁川과 水原집단은 타집단에 비하여 종 간 차이가 크게 나타났다.

상기 6개 형질과 體長の 측정치를 종합하여

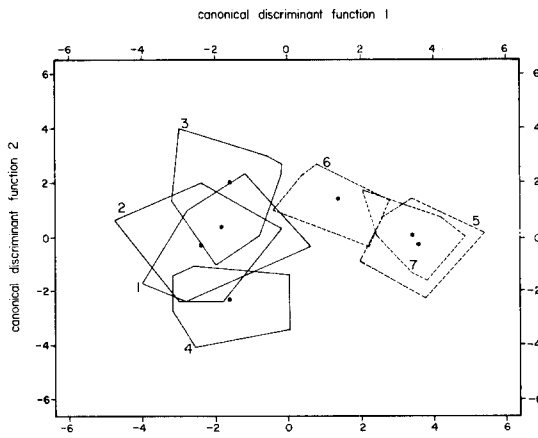


Fig. 4. Plot of the first and second discriminant functions for the 7 populations of *H. japonica* (1, 2, 3 and 4) and *H. suweonensis* (5, 6 and 7), 1 & 5, Inchön; 2 & 6, Suwon; 3, Yangsan; 4, Komun Isl.; 7, Onyang.

discriminant function analysis를 실시한 결과는 Table 3과 같다. 그 중 eigenvalue와 變異位가 가장 높은 function 1과 function 2를 이용하여 두 種 7개 집단을 평면좌표에 나타낸 결과는 Fig. 4와 같다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 7개 집단은 *H. japonica*와 *H. suweonensis* 두 種으로 뚜렷하게 구분되었다.

遺傳子 分析

16개의 효소 및 단백질에서 24개의 遺傳子를 검출하여 집단 별로 遺傳子頻度を 구한 결과는 Table 4와 같다. Table 4에서 보는 바와 같이 24개 유전자 중 *Mdh-2*, *Pept-1* 및 *Pept-2* 3개 遺傳子(13%)는 전혀 變異가 없이 7개 집단 공히 동일한 對立因子이나 나머지 21개 유전자 (87%)에서 변이가 있었다. 이들 중 *Aco-1*, *Gdh*, *Got-1*, *Gp-1*, *Gp-2*, *Idh-1*, *Idh-2* 및 *Xdh*의 8개 유전자 (33%)는 전 집단을 통해 90% 이상의 dominant allele을 공유하였고 *Got-2*는 巨文島 *Got-2^b* 對立因子의 빈도는 0.59였으나 나머지 집단은 0.90 이상이었다.

Aco-2, *Adh-1*, *Adh-2*, *Est-1*, *Ldh* 및 *Mdh-1*의 6개 遺傳子 (25%)는 두 種이 뚜렷하게 다른 對立因子였으며 *Est-2*, *Fum*, *Ipo*, *a Gpd*, *6Pgd* 및 *Sdh*의 6개 유전자 (25%)에서도 두 種간의 對立

因子 빈도의 현저한 차이가 있었다.

빈도는 낮지만 *H. japonica* 집단의 *Got-1^a*, *Got-2^a*, *Got-2^c*, *Gp-1^b*, *a Gpd^a*, *a Gpd^c*, *Idh-1^b* 및 *Idh-2^c* 그리고 *H. suweonensis* 집단의 *Aco-1^b*, *Est-2^b*, *Got-2^d*, *Gp-1^a*, *Gp-1^d*, *Gp-2^b*, *Idh-2^a*, *6Pgd^d* 및 *Xdh^a*는 種 및 집단 특유의 對立因子였다.

두 種의 遺傳的 變異 정도를 집단별로 조사하기 위하여 遺傳子 當 平均對立因子數(A), 多型形頻度(P) 및 異型接合子頻度(H)를 실측지(H_D)와 예측지(H_G)로 구한 결과는 Table 5와 같다.

Table 5에서 보는 바와 같이 *H. japonica*는 $\bar{A} = 1.55$, $\bar{P} = 44.8\%$, $\bar{H}_D = 0.101$, $\bar{H}_G = 0.109$ 로 $\bar{A} = 1.3$, $\bar{P} = 22.2\%$, $\bar{H}_D = 0.032$, $\bar{H}_G = 0.043$ 인 *H. suweonensis*에 비하여 그 값이 높았으며 특히 \bar{H} 값은 *H. japonica*가 *H. suweonensis*의 값 보다 2배 이상 높았다. 변이가 가장 낮은 집단은 *H. suweonensis*의 水原 집단 ($A = 1.1$, $P = 8.3\%$, $H_D = 0.022$, $H_G = 0.026$)이었고 변이가 가장 높은 집단은 *H. japonica*의 梁山 집단 ($A = 1.8$, $P = 58.3\%$, $H_D = 0.130$, $H_G = 0.140$)이었다.

2種의 遺傳的 近緣關係를 알아 보고자 Table 4의 遺傳子頻度を 이용하여 Rogers(1972)의 遺傳的 近緣直(S)와 Nei(1972)의 遺傳的 差異值(D)를 구한 결과를 Table 6과 같다.

Table 6에서 보는 바와 같이 S값에서 *H. japonica* 집단의 평균 근연치는 $\bar{S} = 0.894(0.834-0.923)$ 였고 *H. suweonensis*의 집단간 평균 근연치는 $\bar{S} = 0.964(0.950-0.971)$ 로 *H. suweonensis*의 집단 간 근연치가 *H. japonica*보다 컸으며 種간 S값은 $\bar{S} = 0.520(0.503-0.543)$ 으로 나타나 他 無尾類의 집단간 및 種間 近緣値와 대체로 일치하였다(Avise, 1976; Case, 1978; 梁 등, 1987). 2種간의 평균 유전적 차이치는 $\bar{D} = 0.643$ 였다.

Table 6의 S값을 이용하여 dendrogram을 작성한 결과는 Fig. 5와 같다. 두 種사이의 $\bar{S} = 0.520$ 에서 分岐되었으며 種內 集團간은 *H. japonica* 경우는 $\bar{S} = 0.874$ 에서, *H. suweonensis* 집단은 평균 $\bar{S} = 0.960$ 에서 각기 分岐되었다.

2 種간의 평균 D값을 이용하여 Nei(1975) 공식에 따라 분화 연대를 추산한 결과 이들은 약 320만년전에 分化한 것으로 추정되었다.

Table 5. Genetic variations among 7 populations of *H. japonica* and *H. suweonensis*.

Locality	Mean number of alleles per locus(A)	% polymorphism per population (P)	Heterozygosity per individual	
			(H _D)	(H _G)
<i>H. japonica</i>				
Inchon	1.4	37.5	0.075	0.078
Suwon	1.6	50.0	0.103	0.120
Yangsan	1.8	58.3	0.130	0.140
Komun Isl.	1.4	33.3	0.094	0.096
average	1.6	44.8	0.101	0.109
<i>H. suweonensis</i>				
Inchon	1.3	20.8	0.035	0.047
Suwon	1.1	8.3	0.022	0.026
Onyang	1.5	37.5	0.042	0.057
Average	1.3	22.2	0.033	0.043
Average	1.4	35.1	0.072	0.081

Table 6. Genetic relationships among 7 populations of *H. japonica* and *H. suweonensis*. Rogers' coefficients of genetic similarity(S) were given above diagonal and Nei's genetic distance(D) were given below.

Locality	<i>H. japonica</i>				<i>H. suweonensis</i>		
	Inchon	Suwon	Yangsan	Komun Isl.	Inchon	Suwon	Onyang
<i>H. japonica</i>							
Inchon		0.928	0.881	0.923	0.522	0.520	0.512
Suwon	0.015		0.906	0.885	0.539	0.543	0.527
Yangsan	0.048	0.029		0.834	0.521	0.519	0.512
Komun Isl.	0.023	0.045	0.097		0.513	0.509	0.503
<i>H. suweonensis</i>							
Inchon	0.635	0.594	0.632	0.647		0.971	0.968
Suwon	0.643	0.594	0.630	0.655	0.006		0.952
Onyang	0.652	0.613	0.650	0.663	0.004	0.014	

考 察

兩棲類 無尾類 중 청개구리屬(genus *Hyla*)는 中南美에서 기원하여 新生代後期에 이르러 舊北區에 분포되었다고 보며(Savage, 1973) 현재 舊北區 지역에는 동일 조상에서 분화되었다고 추측되는 약 10여 종이 알려져 있고(Gorham, 1974; Schneider, 1974) 韓國에는 姊妹種 *H. japonica*와 *H. suweonensis* 두 종이 분포하고 있다(Kuramoto, 1980; 梁 등, 1981).

姊妹種의 연구는 단순한 外部形態만으로는 種 구분 불확실하여 형태 조사뿐만 아니라 生態學的, 生理生化學的, 遺傳學的 등의 종합적 연구가 요구된다(Lynch *et al.*, 1977, 1983; 梁 등, 1981).

梁 등(1981)은 형태를 비롯하여 mating call 및 遺傳變異 등으로 韓國產 *Hyla*屬 2 種을 비교한 결과 형태적으로는 전혀 구별할 수 없었으나 mating call과 유전적으로 차이가 있는 別種임을 확인하고 두 種은 水原지방에 共棲의으로 분포하나 繁殖時期에 차이가 있음을 밝힌 바 있다.

Lynch 등(1977, 1983)은 다양한 형태 측정치를 종합하여 Sneath와 Sokal(1973)에 의한 discriminant function analysis를 실시하고 電氣泳動을 통한 遺傳變異 조사로 Mexico產 도롱뇽 *Pseudoeurycea*屬의 姉妹種간의 형태 및 유전적 차이를 究明한 바 있다.

Kuramoto(1980)는 울음주머니의 색깔과 後肢 물갈퀴의 차이를 들어 *H. japonica*와 *H. suweonensis*를 구별하였으나 梁 등(1981)은 상기 형질의 차이를 확인하지 못하였고 4개 형태 형질의 측정 결과 뚜렷한 차이가 없다고 보고하였다.

본 實驗에서 Boulenger(1887)가 亞種으로 분류한 바 있던 *H. japonica*의 巨文島 집단은 discriminant function analysis 결과 他 *H. japonica* 집단과 차이가 없었으며(Fig. 4) Mayr(1969)의 CD값도 有意하지 않은 반면 *H. japonica* 4개 집단은 *H. suweonensis* 3개 집단과 discriminant function analysis 결과 뚜렷한 차이를 볼 수 있었다.

電氣泳動을 통한 遺傳子 분석으로 양서류의 姉妹種에 대한 연구가 활발하게 수행되고 있다 (Case *et al.*, 1975; Case, 1978; Lynch *et al.*, 1977, 1983; Wake *et al.*, 1980; 梁 등, 1981, 1987; Hillis *et al.*, 1983). 본 實驗에서 *Hyla* 두 종의 7개 집단을 대상으로 유전자 분석을 실시

한 결과 遺傳的 近緣値는 $\bar{S}=0.520$, 유전적 차이는 $\bar{D}=0.634$ 로 두 종 사이에는 유전적으로 뚜렷한 차이가 있었으며 이 값은 他 兩棲類의 種間 近緣値와 대체로 일치하였다(Avise, 1976).

Kuramoto(1980)는 상기 2種에 대한 染色體 비교 결과 차이점을 발견할 수 없었으나 李 등(미발표)의 연구에 의하면 6번 染色體에 뚜렷한 차이가 있음을 확인하고 種分化는 pericentric inversion의 결과라고 추정한 바 있다.

Kuramoto(1984)는 人工交配 實驗으로 日本產 *H. japonica* 암컷 개체와 韓國產 *H. suweonensis* 수컷 개체를 교배시킨 결과 雜種個體는 성숙기 이전에 모두 죽었고, *H. suweonensis* 암컷 개체와 韓國產 *H. japonica* 수컷 개체를 교배시킨 결과는 모두 수컷 뿐인 점으로 미루어 보아 이들 사이에는 postmating isolating mechanism이 어느 정도 형성되었다고 보이나 자연 상태에서 잡종 개체가 발견되지 않는 점으로 보아 premating isolating mechanism이 더 크게 작용할 수 있을 가능성을 배제할 수 없다. 실제로 본 조사 결과 *H. japonica*와 *H. suweonensis*의 繁殖時期는 약 45일 차이가 있으며 mating call도 뚜렷하게 다른 점을 감안하면(Kuramoto, 1980; 梁 등, 1981) 이들 2種 사이에는 premating isolating mechanism이 크게 관여된다고 할 수 있다.

梁 등(1981)은 Sarich(1977)의 공식을 이용하

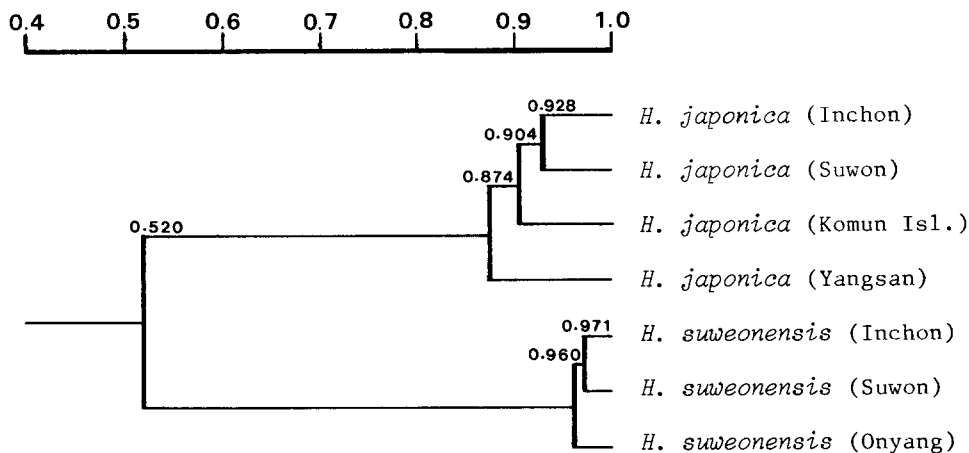


Fig. 5. Dendrogram among 7 populations of two species of *Hyla* based on Rogers' (1972) genetic similarity coefficients.

여 이들 2種의 분화연대를 약 200만년전으로 추산한 바 있으나 본 연구의 경우 Nei(1975)의 공식을 이용 D값으로 분화연대를 산출한 결과는 약 320만년전으로 추정되었다. 이 연대는 말기 플라이오세에서 초기 플라이토세 사이이며 이 점은 *Rana nigromaculata*와 *R. plancyi*의 種分化年代와 일치한다(梁 등, 1987). 梁 등(1987)은 이 시기에 환경의 급격한 변화를 논하고 이같은 환경의 급변이 種分化를 유도하였을 것으로 추측하는 바 韓國産 *Hyla*의 경우는 과거 北美에서 Bering해협을 거쳐 舊北區에 분포하였다고 한다면(Savage, 1973) 번식 시기가 4월 초인 *H. japonica*에서 이 보다 40여일 늦게 번식을 시작하는 *H. suweonensis*가 高溫適應 결과로 분화되었을 것이라 추측된다. 이같은 추측을 뒷받침할 수 있는 근거로는 첫째, 이들 두 種의 분포를 볼 때 *H. suweonensis*가 京畿道 일원의 극히 한정된 저지대에만 국한하여 분포된 점(Fig. 2), 둘째로, 遺傳的 變異 정도를 비교했을 때 *H. suweonensis*의 변이 정도가 *H. japonica*에 비하여 매우 낮으며(Table 5), 셋째로 同一種 내에서 집단 간의 遺傳的 近緣值를 비교할 때(Table 6, Fig. 5) *H. japonica*의 집단 간 평균 근연치는 $\bar{S} = 0.893$ 으로서 집단 간의 차이가 비교적 큰 반면 *H. suweonensis*의 집단 간 평균 근연치는 $\bar{S} = 0.964$ 로 집단 간 차이가 거의 없는 점 등을 들 수 있다.

引用文獻

- Avise, J. C., 1976. Genetic differentiation during speciation. In: Molecular Evolution (Ayala, F. J. ed.). Sinauer Assoc. Inc. vol. 1, p. 115.
- Boulenger, G. A. 1887. On a new species of *Hyla* from port Hamilton, Corea. Based on an example living in the society's gardens. *Proc. Zool. Soc. London* **1887**:578-579.
- Case, S. M., P. G. Haneline, and M. S. Smith, 1975. Protein variation in several species of *Hyla*. *Syst. Zool.* **24**:281-295.
- Case, S. M., 1978. Electrophoretic variation in two species of ranid frogs, *Rana boylei* and *R. muscosa*. *Copeia* **1978**:311-320.
- Gorham, S. W., 1974. Checklist of World Amphibian up to January 1, 1970. New Brunswick Mus., Saint John, Canada.
- Guenther, A., 1858. *Hyla viridis* var. *japonica* Guenther. *Cat. Batr. Cal. Brit. Mus.* p. 81.
- Hills, D. M., J. S. Frost, and D. A. Wrigt, 1983. Phylogeny and biogeography of the *Rana pipiens* complex: a biochemical evaluation. *Syst. Zool.* **32**:132-143.
- Kuramoto, M., 1980. Mating calls of treefrogs (genus *Hyla*) in the far east, with description of a new species from Korea. *Copeia* **1980**:100-108.
- Kuramoto, M., 1984. Systematic implications of hybridization experiments with some Eurasian treefrogs (genus *Hyla*). *Copeia* **1984**:609-616.
- Lynch, J. F., S. Y., Yang, and T. J. Papenfuss, 1977. Studies of neotropical salamanders of the genus *Pseudoeurycea*. I. Systematic status of *Pseudoeurycea unguidentis*. *Herpetologica* **33**:46-52.
- Lynch, J. F., D. B. Wake, and S. Y. Yang, 1983. Genic and morphological differentiation in Mexican *Pseudoeurycea* (Caudata: Plethodontidae), with a description of a new species. *Copeia* **1983**:884-894.
- Mayr, E., 1969. Principles of Systematic Zoology. McGraw-Hill Publ. Co.
- Nei, M., 1972. Genetic distance between population. *Amer. Nat.* **160**:283-292.
- Nei, M., 1975. Molecular Population Genetics and Evolution. North-Holland, Amsterdam.
- Okada, Y., 1931. The Tailless Batrachians of the Japanese Empire. Imp. Ag. Exp. Station. Nishigahara, Tokyo, pp. 1-215.
- Rogers, J. S., 1972. Measure of genetic similarity and genetic distance. *Studies in genetics VII*, Univ Texas Publ. **7213**:145-153.
- Sarich, V. M., 1977. Rates, sample sizes, and the neutrality hypothesis for electrophoresis in evolutionary studies. *Nature* **265**:24-28.
- Savage, J. M., 1973. The geographic distribution of frogs: patterns and prediction. In: Evolutionary Biology of the Anurans (Vial, J. L. ed.). Univ. Missouri press, Columbia, Missouri, pp. 351-445.
- Schneider, H., 1974. Structure of the mating calls and relationships of the European treefrogs (Hylidae, Anura). *Oecologia* **14**:99-110.
- Selander, R. K., M. H. Smith, S. Y. Yang, W. E. Johnson, and B. Gentry, 1971. Biochemical polymorphism and systematics in the genus *Peromyscus*, I: Variation in the old-field mouse (*Peromyscus polionotus*). *Studies in Genetics VI*, Univ. Texas Publ. **7103**:49-90.
- Shannon, F. A., 1956. The Reptiles and Amphibians of Korea. *Herpetologica* **12**:31-33.
- Sneath, P. H. A. and R. R. Sokal, 1973. Numerical Taxonomy. W. H. Freeman and Co., San Francisco.
- Swofford, D. L. and R. B. Selander, 1981. Biosys-1: a fortran program for the comprehensive analysis of

- electrophoretic data in population genetics and systematics. *J. Heredity* **72**:281-283.
- Wake, D. B., S. Y. Yang, and T. J. papenfuss, 1980. Natural hybridization and its evolutionary implications in Guatemalan plethodontid salamanders of the genus *Bolitoglossa*. *Herpetologica* **36**:335-345.
- 梁瑞榮, 1962. 韓國產 청개구리科(family Hylidae)分類의 再檢討. 韓國動物學會誌. 5:35-38.
- 梁瑞榮, 1983. 韓國產 참개구리(*Rana nigromaculata*)의 遺傳的 變異에 關하여. 仁荷大學校 基礎科學研究所 論文集 4:61-67.,
- 梁瑞榮·朴炳相·孫洪鍾, 1981. 韓國產 청개구리屬(genus *Hyla*) 種間比較. 仁荷大學校 基礎科學研究所 論文集 2:75-83.
- 梁瑞榮·柳在赫, 1978. 한국산 양서류의 분포목록. 仁荷大學校 産業科學技術研究所 論文集 5:81-90.
- 梁瑞榮·柳在赫·朴炳相, 1987. *Rana nigromaculata*와 *Rana plancyi* 2種 自然雜種 및 生殖的 隔離機作에 關하여. 韓國動物學會誌, 31:1-10.

(Accepted November 20, 1987).

Speciation of the Two Species of the Genus *Hyla* (Anura) in Korea

Suh-Yung Yang and Byung-Sang Park (Dept. of Biology, Inha University, Inchön, 160-751, Korea)

A comparison between two species of *Hyla japonica* and *H. suweonensis* in Korea was carried out to clarify their morphological, genetic and ecological differences, to estimate presumed divergent time between them, and to elucidate their probable process and mechanism of speciation.

The results are as follows;

1. The breeding season of *H. japonica* was earlier than that of *H. suweonensis* about one and half months.
2. *H. japonica* was distributed all over the country, while *H. suweonensis* was restricted in Kyonggi plains.
3. On the external morphometric characters, differences were hardly seen between two species. But on the discriminant function analysis, there was apparent differences between them.
4. Genic variation based on 24 loci showed that *H. japonica* populations were about two fold more variable than that of *H. suweonensis* populations.
5. Genetic relatedness between two species was rather remote ($\bar{S}=0.520$, $\bar{D}=0.634$)
6. Their presumed divergent time was estimated to be about three and a quarter million years. It is presumed that *H. suweonensis* was originated from *H. japonica* during the period of late pleocene and early pleistocene.
7. Premating isolating mechanisms (breeding season, mating call, and microhabitat segregation) may be operating to prevent gene flow between them.