Korean J. Ichthyol. 2(2), 211~216, 1990. 韓魚誌, 2(2), 211~216, 1990.

은연어(*Oncorhynchus kisutch*)의 염색체 다형현상

김동수 · 박인석*
부산수산대학교 생물공학과 ; *한국해양연구소 생물공학실

연어과 어류에 있어 Robertsonian형의 염색체 전좌에 의한 염색체 다형현상은 유전진화학적 관점에서 매우 중요시 되고 있다. 저자들은 최근 미국 oregon주에서 도입된 은연어로 부터 Robertsonian 전좌에 의한 염색체 다형현상을 관찰하여 보고하는 바이다.

1. 분석된 32미 개체중 29미(암 14, 수 15)에서 2n=60 그리고 3미(암 1, 수 2)에서 2n=61개의 염색체수를 가진 개체가 확인되었다.
2. 핵형분석 결과 2n=60인 개체들은 metacentric 염색체가 19쌍, submetacentric 염색체가 4쌍 그리고 나머지는 7쌍의 acrocentric염색체로 구성되어 있었다. 그러나 2n=61인 개체는 19쌍의 metacentric 염색체 그리고 7개의 submetacentric 염색체 그리고 7쌍의 acrocentric 염색체와 heteromorphic한 1쌍의 염색체로 구성되어 2 type 모두 arm number는 106개 였다.
3. 2n=60개체 및 핵의 크기를 분석한 결과 2 type간의 세포 및 핵의 크기는 동일하게 나타났다.

서 론

동물 및 식물에서의 염색체 다형현상(Chromosomal polymorphism)은 염색체 재배열(Chromosomal rearrangement)의 결과로 이루어진것으로, 진화적으로 선택압(selection pressure)을 받으며 적응한 결과이다(Dobzhansky, 1951, 1970; Gold, 1979; White, 1973 a & b). 이런한 염색체 다형현상은 포유류에 비해 어류에서는 매우 낮은 출현빈도를 보이며 Catostomidae, 미꾸라지과(Cobitidae), 잉어과(Cyprinidae), Poeciliidae, 연어과(Salmonidae) 및 ancient fish등에서 발견되고 있다(Gold, 1979; Schultz, 1979).

연어과(Salmonidae) 어류에서의 염색체 다형현상은 염색체 arm의 숫적변이 없이 염색체수 만의 변화로서 Robertsonian fusion 이나 Robertsonian fission 에 기인된 것으로 보고되고 있다(Hartley and Horne, 1982; Thorgaard, 1976; Ueda, 1983). 이들중 연어속(Genus *Oncorhynchus*)어류에 있어서는 무지개송어(*O. mykiss*)와 곱사연어(*O. gorbuscha*)에서 Robertsonian 전좌에 의한 염색체 다형현상이 보고된 바 있다(Ohno *et al.*, 1965; Thorgaard, 1983; Simon, 1963). 은연어(*O. kitsuch*)는 전 세계적으로 각광받고 있는 냉수성 양식어종으로써 그의 modal 염색체수는 2n=60으로 밝혀져 있으나 집단간 또는 개체간 염색체 다형현상은 아직 보고된 바 없다(Hartley, 1987).

본 연구는 양식산 은연어의 염색체수 조사와 핵형분석을 실시한 후 염색체 상에서의 Robertsonian 다형화를 조사하였으며, 이들 다형화를 나타내는 개체들을 대상으로 세포 및 핵의 크기를 측정하였다.

재료 및 방법

미국 오레곤주에서 수입된 은연어 발안난을 부화사육하여 체중 약 300g에 달하는 개체 50마리를 실험에 사용하였다. 염색체 분석을 위하여 기존의 신장직접법을 약간 수정하여 실시하였으며 염색체

표본은 공기건조법으로 작성하였다. 제작된 염색체표본은 5% Giemsa 용액으로 염색하고 염색체 분석과 아울러 idiogram 을 작성하였다. 염색체의 분류는 Levan *et al.* (1964)의 기준에 의거하였다.

세포 및 핵의 크기측정을 위하여 적혈구를 사용하였다. 즉 말초혈액을 채취하여 슬라이드에 도말한 후 May Grünbaldt Giemsa 혹은 Giemsa 용액으로 염색하였으며, 각 개체당 110개의 세포를 대상으로 장경 및 단경을 측정하여 세포 및 핵의 표면적과 부피를 계산하였다. 이때 표면적은 $ab\pi/4$(Sezaki and Kobayashi, 1978), 부피는 $4n/3(a/2)(b/2)^2$(Lemoine and Smith, 1980)의 공식으로 구하였다(a : 장경, b : 단경).

결 과

은연어의 염색체 분석결과 전체 조사 개체수에 대한 염색체 다형화를 나타내는 개체의 빈도 및 그 성비는 Table 1과 같다. Table 1에서 보듯이 염색체수 60개인 개체의 빈도는 90.6%, 염색체 61개

Table 1. Distribution of modal chromosome number in coho slamon

Fish number	Sex	Chromosome number						Total cell counts
		57	58	59	60	61	62	
1	F		1	1	46	1		49
2	F			1	3	37	1	42
3	F		1	1	51	2		55
4	F	1	1	2	45	1		50
5	F		1	2	30	2	1	36
6	F			1	35	2		38
7	F		1	2	43	3	1	50
8	F		1	1	51	1		54
9	F			1	55	2		58
10	F			2	53	1		56
11	F		1	3	42	2	1	49
12	F	1	1	1	47	1		51
13	F		1	2	49	2	1	55
14	F	1	1	1	48	1		52
15	F				54	1		55
16	M			1	53	1		55
17	M			2	46	2		50
18	M			4	36	2		42
19	M		1	2	39	1		43
20	M				1	42	3	46
21	M	1	2	1	46	1		51
22	M	1		2	48	1		52
23	M		2	1	49	2		54
24	M			3	41	2		46
25	M		2		38	4	2	46
26	M			1	47	1		49
27	M				2	39	1	42
28	M		1	1	41	1		44
29	M	1	2	3	47	1		54
30	M			1	53	2		56
31	M	1	1	1	49	1		53
32	M		1		50	1	1	53

인 개체의 빈도는 9.4%로 나타났다. 암수의 성비는 염색체수 60개인 개체들에서는 암컷 : 수컷의 비율이 48.3 : 51.7 이었으며 염색체수 61개인 개체들에서는 분석된 3마리중 1마리가 암컷, 2마리가 수컷이었다.

분석된 은연어 핵형은 Fig. 1과 같다. Fig. 1a는 은연어 암컷 그리고 Fig. 1b는 은연어 수컷의 idiogram 으로서 염색체수는 모두 2n=60으로, 46개의 중부염색체 혹은 차중부염색체, 14개의 단부염색체로 구성되었으며 heteromorphic 한 성염색체는 발견 할 수 없었다. Fig. 1c는 염색체수 61

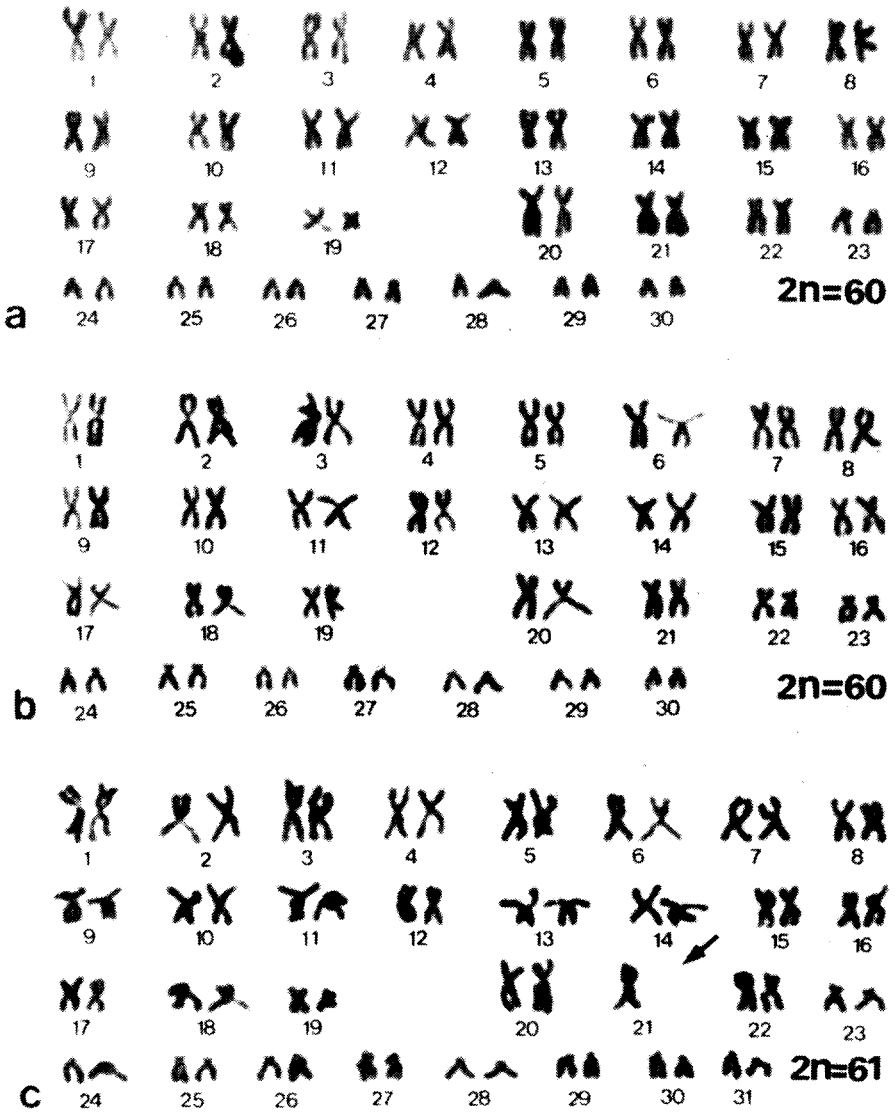

Fig. 1. Karyotypes from the individuals with 60 and 61 chromosomes. The arrows indicate Robertsonian translocated chromosomes. a: 2n=60 (female), b: 2n=60 (male), c: 2n=61 (male).

개인 은연어 수컷의 idiogram 으로서 45개의 중부염색체 혹은 차중부염색체 16개의 단부염색체로 구성되었다. 핵형분석 결과 염색체수 61개인 개체들의 arm의 수가 106개로 60개인 개체와 동일함은 Fig. 1c에서 보듯이 21번 차중부염색체 1개(화살표)가 2개의 단부염색체로의 fission된 결과에 기인한 것임을 알 수 있었다.

Table 2는 염색체수 60개 및 61개인 개체의 세포 및 핵의 크기를 비교한 것으로서 염색체수 60개인 개체의 세포장축은 15.2-16.2μm 그리고 단축은 9.0-9.3μm 이었으며, 표면적 및 부피는 106.5-118.6μm^2 와 635.4-736.7μm^3 으로 각각 나타났다. 염색체수 60개인 개체의 핵 크기는 장축은 7.7-8.1μm 그리고 단축은 3.9-4.4μm이었으며 표면적 및 부피는 23.8-27.8μm^2 그리고 62.6-81.0 μm^3였다. 염색체수 61개인 개체의 세포 크기는 염색체수 60개인 개체의 세포크기와 유사하였고 핵에 있어서도 표면적 및 부피는 23.5-27.2μm^3 및 61.3-77.7μm^3으로 나타나 염색체수 60개인 개체의 핵크기와 동일하였다.

Table 2. Cell and nuclear size in chromosome number of 60 and 61 individuals

Specimen number	Sex	Cell				Nucleus			
		Major axis[a]	Minor axis[a]	Surface area[b]	Volume[c]	Major axis[a]	Minor axis[a]	Surface area[b]	Volume[c]
2n=60									
1	F	16.2±0.3	9.3±0.5	118.6	736.7	8.1±0.1	4.4±0.2	27.8	81.0
2	M	16.0±0.5	9.1±0.3	112.7	683.1	7.0±0.4	4.1±0.1	25.9	68.1
3	M	15.2±0.5	9.0±0.4	106.5	635.4	7.7±0.5	3.9±0.1	23.8	62.6
2n=61									
1	F	15.8±0.5	9.7±0.1	120.2	774.5	8.1±0.2	4.3±0.2	27.2	77.7
2	M	14.7±0.6	8.5±0.4	98.2	555.0	7.8±0.4	3.9±0.2	23.7	61.3
3	M	15.4±0.8	9.0±0.5	109.0	652.9	7.5±0.5	4.0±0.1	23.5	62.5

a : μm, b : μm^2, c : μm^3

고 찰

어류에서 염색체 다형현상이 포유류에 비해 낮게 나타남은 염색체 재배열이 빨리 핵형으로 고정됨에 기인 된다(Wilson *et al.*, 1975).

본 연구 결과 은연어에서 염색체수 2n=60인 개체의 빈도는 90.6%로서 그의 핵형은 46개의 중부염색체, 14개의 단부염색체로 분류되어 arm수는 106개 이었다. 염색체수 61개인 경우는 집단내 9.4%의 빈도를 보였으며, 핵형은 45개의 중부염색체, 16개의 단부염색체로 이루어져 중부염색체 1개의 Robertsonian fission으로 heteromorphic한 단부염색체 2개의 증가를 보였으나 arm 수는 역시 106개 이었다. 이러한 Robertsonian translocation은 pericentric inversion과 아울러 4배체 기원인 연어과 어류가 현재의 핵형으로 진화하는데 있어 주 기작이었던 것으로 알려지고 있다(Hartley, 1987). 연어속 어류에서는 이미 무지개송어 집단에서 Robertsonian 전좌에 기인된 계통간 또는 개체간 변이가 보고 되고 있으며 (Ohno *et al.*, 1965; Thorgaard, 1983), 곱사연어도 역시 Robertsonian 전좌에 기인된 개체간 염색체 다형현상이 보고되어 있다(Simon, 1963).

세포 및 핵의 크기는 DNA 함량과 밀접하게 연관되어 있어 DNA 함량의 증감은 핵의 크기 변화와 일치하는 양상을 보인다(Szarski, 1976). 그러나 본 연구에서 염색체 다형현상을 나타내는 개체

들에 대한 세포 및 핵의 측정 결과, 염색체수 2n=60 및 61개인 개체들의 세포 및 핵의 크기는 거의 유사하여 Robertsonian 전좌에서 기인된 염색체 다형화는 세포 및 핵의 크기에 영향을 미치지 않았음을 알 수 있었다. 앞으로 이 문제는 genome size의 측정이 수반된다면 더욱 명확한 결과를 얻을 수 있으리라 생각된다.

차후 은연어의 염색체 다형현상을 나타내는 개체들에 대해 banding방법에 의한 염색체의 미세분석 및 감수분열상의 관찰등 세포 유전학적 관점에서 더욱 많은 연구가 뒤 따라야 할 것이다. 또한 은연어는 크게 각광받는 양식 대상종임을 고려하여 염색체 다형화를 나타내는 개체를 대상으로 양식산업에서 중요한 요소인 생존 및 성장에 관한 연구가 필요 하리라 생각된다. 아울러 정상 2배체에 비해 3배체의 산업성이 높은 점을 고려할 때 (Kim *et al.*, 1990; Thorgaard, 1986) 3배체 유도시 야기될 수 있는 문제, 예컨데, 유도된 3배체 집단 내에서의 염색체 다형현상 및 그 출현빈도, 성비 및 생존율과 아울러 양식산업에 있어 매우 중요한 요소인 성장등에 관한 연구가 필요하리라 생각된다.

인 용 문 헌

Dobzhansky, T., 1951. Genetics and the Origin of Species. Columbia Univ. Press, New York.

Dobzhansky, T., 1970. Genetics of the Evolutionary Process. Columbia Univ. Press, New York.

Gold, J. R., 1979. Cytogenetics. In: Fish Physiology (Hoar, W. S., D. J. Randall, and J. R. Brett, eds), pp. 353-405. Academic Press, New York.

Hartley, S. E. 1987. The chromosomes of salmonid fishes. Biol. Rev. 62: 197-214.

Hartley, S. E. and M. T. Horne, 1982. Chromosome polymorphism in the rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson). Chromosoma 87: 461-468.

Kim, D. S., G. C. Choi and J, Y. Jo, 1990. Induced triploid channel catfish, *Ictalurus punctatus*. Kor. J. Genet. 12: 229-235.

Lemoine, L. H. and T. L. Smith, 1980. Polyploidy induced in brook trout by cold shock. Trans. Am. Fish. Soc. 109: 626-631.

Levan, A., K. Fredga, and A. A. Sandberg, 1964. Nomenclature for centromeric position on chromosomes. Hereditas 52: 201-220.

Ohno, S., C. Stenius, E. Faisst, and M. T. Zenzes, 1965. Post-zygotic chromosomal rearrangments in trout (*Salmo irideus* Gibbins). Cytogenetics 4: 117-129.

Schultz, R. J., 1979. Role of polyploidy in the evolution of fishes. In: Polyploidy (Lewis, W. H., eds.), pp. 313-340. Menum Press, New York.

Szarski, H., 1976. Cell size and nuclear DNA content in vertebrates. Inter. Rev. Cytol. 44: 93-112.

Sezaki, K., H. Kobayasi, 1978. Comparison of erythrocytic size between diploid and tetraploid in spinous loach, *Cobitis biwae*. Jap. Soc. Sci. Fish. 44(8): 851-854.

Simon, R. C., 1963. Chromosome morphology and species evolution in the five North American species of pacific salmon(Oncorhynchus). J. of Morph. 112: 77-95.

Thorgaard G. H., 1976. Robertsonian polymorphism and constitutive heterochromatin distribution in chromosomes of the rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Cytogent. Cell Genet. 17: 174-184.

Thorgaard, G. H., 1983. Chromosomal differences among rainbow trout populations. Copeia 3: 650-662.

Thorgaard, G. H., 1986. Ploidy manipulation and performance. Aquaculture 57: 57-64.
Ueda, T., 1983. Cytogenetrical characters of 4 species in the salmonid fishes. Bull. Fac. Edu. Utsunomiya University 34: 53-61.
White, M. J. D., 1973a. Animal Cytology and Evolution. Cambridge Univ. Press, London.
White, M. J. D., 1973b. Chromosomal rearrangements in mammalian population polymorphism and speciation. In Cytotaxonomy and Vertebrate Evolution(Chiarelli A. B. and E. Capanna, eds.), pp. 95-128. Academic Press, New York.
Wilson, A. C., G. L. Bush, S. M. Case and M. C. King, 1975. Social structuring of mammalian populations and rate of chromsomal evolution. Proc. Natl. Acad. Sci. 72: 5061-5065.

Chromosomal Polymorphism of Coho Salmon, *Oncornynchus kisutch*

Dong Soo Kim and In-Seok Park*
Department of Biological Science and Technology,
National Fishereries University of Pusan,
Pusan 608-737, Korea ;
*Marine Bioengineerung Lab., KORDI, Ansan
425-600, Korea

Mitotic analyses of the coho salmon (*Oncorhynchus kitsuch*) revealed a mode of 2n=60 whit 46 meta or submetacentric and 14 acrocentric chromosomes (NF=106). Individuals with 2n=61 were also found in both sexes in the same population; the karyotype is composed of 45 meta or submetacentric and 16 acrocentric chromosomes (NF=106). This result may indicate that Robertsonian chromosomal polymorphism occurred in the population of the coho salmon.