

G-, C-Banding 및 NORs 분포 양상에 따른 한국산 단모고양이(*Felis catus*)의 핵형분석

조은정¹ · 공일근² · 손시환^{1,*}

¹경남과학기술대학교 동물생명과학과, ²경상대학교 축산학과

The G-, C-, and NOR-Banded Karyotypes of Korean Short-hair Cat(*Felis catus*)

Eun Jung Cho¹, Il Keun Kong² and Sea Hwan Sohn^{1,*}

¹Department of Animal Science & Biotechnology, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 660-758, Korea

²Department of Animal Science, Division of Applied Life Science (BK21), Graduate School of Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Republic of Korea

ABSTRACT

The karyotype of Korean short-hair cat was presented using the G-, C- and NOR-banding techniques. For chromosomes preparation, the fetus skin fibroblast cells were cultured and metaphases were obtained. In results, the Korean short-hair cat had 38 chromosomes with XX or XY, which consisted of 5 pairs of metacentric chromosomes(Group A and C), 3 pairs of submetacentric chromosomes (Group B), 6 pairs of medium metacentric chromosomes except for 1 pair of medium submetacentric D2 chromosomes (Group D, E), 2 pairs of acrocentric chromosomes(Group F) and metacentric X and Y sex chromosomes. In G-banding analysis, the Korean short-hair cat exhibited a typical and identical G-banding pattern in each homologous chromosome. Total number of bands and landmarks on the G-banded chromosomes of Korean short-hair cat well correspond to those of international standardization of karyotype of domestic cat. The heterochromatins of Korean short-hair cat chromosomes distributed at terminal and/or centromere regions on almost chromosomes by C-banding analysis. In addition, the C-banding pattern showed greatly heteromorphic in some chromosomes. Using the AgNOR-staining, we found the nucleolar organizer regions(NORs) of Korean short-hair cat located at chromosomes 1p12 site in E group. The quantity and number of NORs were constant among cells.

(Key words : G-banding, C-banding, NORs, Karyotype, Cat)

서 론

애완용 고양이(domestic cat)는 식육목, 고양이과에 속하는 동물로서, BC 5000년경 아프리카 북부 리비아산 야생고양이가 사육 순화되어 세계 각지에 퍼진 것으로 알려져 있다. 이들은 외모 형태에 따라 크게 장모종(long-hair)과 단모종(short-hair) 고양으로 분류하고, 이들 내 여러 품종과 내종이 소개되고 있다. 현재 국내 집 고양이의 대부분은 단모종으로 여러 품종이 교잡된 잡종

양이며, 품종에 따른 유전정보나 개체기록이 거의 없는 고양이들이다. 고양이는 개와 더불어 가장 이상적인 애완동물이며, 동시에 인간의 질병 관련 실험동물로서, 매우 중요한 질환모델 동물이다. 질환모델 동물로서 고양이는 크기가 적당하여 사양 관리가 용이하고, 인간의 순환기계, 신경계, 근육계 시험에 대체 동물로 적극 활용되고 있다. 더불어 인간의 유전질환이나 감염성 질환, 유전적 진화 연구에도 유용하게 이용되는 동물이다. 그러나 현재 이용되고 있는 국내 대부분의 실험용 고양이는 단모종 잡종 고양이로, 이에 대한 기본적 유전정보나 가계 정보

* 이 논문은 2013년도 경남과학기술대학교 연구비 및 동물생명산업센터 연구 지원에 의하여 수행되었음.

† Corresponding author : Phone: +82-55-751-3264 E-mail: shsohn@gntech.ac.kr

는 거의 없는 상태로 모델동물로 잘 육종된 마우스나 랫드와 크게 대별된다. 실제로 고양이는 유전적 소인으로 발생하는 질환이 많고, 백혈병이나 악성림프종은 흔하게 나타나는 질환이다. 또한, Feline leukemia virus(FeLV) 감염증, 고양이 유방암 및 조직구종 등 다양한 병리학적으로 요인으로 염색체 변이가 발생한다고 한다(Gulino, 1992; Mayr 등, 1995; Cho 등, 1997). 따라서 고양이를 질환 및 실험동물로 이용하기 위해서는 고양이의 기본적 유전 정보나 염색체 관련 세포 유전학적 기초 자료가 제공되어야 한다. 19세기 후반 인간이 고양이를 선별하여 품종을 만들어내기 위한 무분별한 번식이 현재 혈통을 알 수 없는 수백여 종의 고양이 아종을 낳게 하고, 이것이 현재 고양이 유전체 연구에 큰 걸림돌이 되고 있다. 따라서 고양이의 유전체 해독 및 유전자를 이용한 분자생물학적 연구에 염색체의 핵형 분석은 가장 필수적인 기초 자료라 할 수 있다.

현재까지 고양이 핵형은 1965년 San Juan Conference에서 설정한 염색체의 크기와 동원체 위치에 따라 A~F 그룹으로 분류하는 band system을 기초로 하고 있다(Jones, 1965). 고양이 염색체는 총 38개로 상동염색체 18쌍을 A~F 그룹으로 나누고, 그룹 별로 순서에 따라 1, 2, 3, 4 숫자를 덧붙이고, 성 염색체는 X, Y로 분류하였다. Wurster-Hill와 Gray(1973)에 이어 1980년 domestic animal에 관한 표준 핵형 정립을 위한 국제협의회에서는 고양이 염색체 양상을 그룹별로 idiogram화하기보다는 'dark', 'light'의 band 농도와 band 수를 제시하고, 'adjacent to centromere', 'terminal' 등의 단어로 위치를 표시하였다(Ford 등, 1980). 이후 O'Brien와 Nash(1982)가 G-band 표지를 재 정립함과 동시에 Shibasaki 등(1987)과 RΦnne(1995a)이 RBG-bands 양상을 제시하면서 염색체 해상도를 500 bands 이상으로 높였다. 또한, RΦnne(1995b)은 고양이의 12개의 염색체에서 fragile site가 존재함을 밝힌 바 있다. 한편, 고양이의 heterochromatin 분석을 위한 C-banding 연구로는 Pathak와 Wurster-Hill(1977)이 고양이과 동물의 C-band 양상은 포유동물에서 나타나는 일반적인 형태와는 매우 다른 양상으로 heterochromatin이 전혀 없는 염색체도 다소 존재하며, 동원체가 아닌 염색체 말단부나 동원체 주변에도 heterochromatin이 분포되어 있다고 보고하였다. rRNA 합성에 관여하는 고양이의 Nucleolar Organizer Regions(NORs) 분포양상은 E1염색체 1쌍에서만 존재한다고 밝힌 바 있으나(Hsu와 Benirschke, 1967; Szczerbla와 Michalak, 2003), Pearson 등(1979)은 10여 종의 집 고양이 분석을 통하여 일부 몇 종에서 E1뿐만 아니라, E3염색체에도 이들의 존재를 확인한 바 있다. 이와 같이 집 고양이에 대한 다양한 핵형 정보가 소개되고 있으나, 고양이의 극심한 잡종화에 따라 기존 핵형 정보에 대한 검증이 필요하며, 더욱이 국내 한국산 단모고양이의 핵형 분석은 전혀 보고된 바가 없다.

따라서 본 연구에서는 한국산 단모고양이 염색체의 G-band 표지를 탐색하고, C-banding으로 heterochromatin의 발현 양상을 규명하며, AgNOR-staining에 의한 NORs의 위치 및 분포 양상을 확인함으로써 이의 표준 핵형을 제시하고자 한다.

재료 및 방법

공시동물 및 공시 재료

본 시험은 한국산 단모고양이의 핵형 분석을 위하여 국내에서 보편적으로 사육 중인 잡종 집 고양이 암수 5쌍을 대상으로 임신 후 이틀 태아의 fetus skin fibroblast cell을 채집하여 분석에 이용하였다.

고양이 체세포배양 및 염색체 표본 제작

고양이의 체세포 배양 후 염색체 분리에는 Jung과 Sohn(2003)이 시행한 소 체세포 배양을 이용한 염색체 분리법을 다소 변형하여 실시하였다. 이를 간략히 소개하면 고양이 태아 표피조직을 소량 떼어내어 PBS 용액으로 세척한 다음 무균 상태에서 세척하고, 0.25% trypsin-EDTA(Gibco, Invitrogen Corp. Grand Island, N.Y, USA)를 처리하였다. 처리된 세포들은 DMEM을 기본 배양액으로 하여 15% Fetal Bovine Serum과 1% penicillin-streptomycin(이상 Gibco)을 첨가하고, 37.5°C, 5% CO₂ 조건에서 배양하였다. 배양 세포들이 25 cm² 배양 플라스크 바닥 전면부에 부착되었을 때 0.25% trypsin-EDTA를 이용하여 단일세포로 분리하고, 수집 후 계대 배양하였다. 3~4회 계대 배양 후 세포가 용기 바닥의 90% 정도를 점유하였을 때, 중기상 유도를 위하여 0.2 µg/ml의 colcemid(Gibco)를 주입하고, 1시간 정도 추가 배양하였다. 배양 종료 후 scraper로 부착 세포를 긁어 회수하고, 200 µg로 원심분리하여 세포만을 순수 분리하였다. 분리된 세포는 0.06M KCl(Sigma Chem, St Louis, MO, USA) 용액을 이용하여 15분간 저장처리하고, methanol과 acetic acid를 3:1로 혼합한 Carnoy's 용액으로 고정된 다음 2~3회 반복 고정 후 슬라이드에 떨어뜨려 표본을 제작하였다.

G-Banding과 C-Banding

G-banding은 Wang과 Federoff(1974) 및 Sohn 등(2003)이 제시한 방법과 동일하게 시행하였다. 12시간 이상 가온관에서 건조시킨 표본을 0.1% trypsin(Gibco)에 10초 정도 담근 후 Ca과 Mg 이온이 없는 D-PBS(Gibco)로 헹구고, 0.04% Leishman 용액(Sigma Chem)으로 7분간 염색 후 검경하였다. C-banding은 Arrighi와 Hsu(1974) 및 Sohn 등(2003)의 방법과 동일하게 실시하였다. 최소 2~3일간 건조된 표본 슬라이드를 0.2 N HCl에 50분간 정치한 후 초자수로 세척하였다. 이후 세척된 표본을 5% Ba(OH)₂(Sigma Chem)에 1분간 침적하고, 0.05 N HCl로 가볍게 헹군 후 초자수로 씻어 내었다. 처리된 슬라이드는 60°C의 2× SSC 용액에 1시간 정도 침적하고 씻은 후, 0.04% Leishman 용액으로 10분간 염색하였다.

AgNOR-Staining

AgNOR-staining은 Bloom과 Goodpasture(1976)가 보고한 방법을 다소 수정하여 시행하였다. 염색체 표본을 60°C 가온판에서 24시간 정도 건조시켰다. 건조된 슬라이드에 50% AgNO₃ 용액(Sigma Chem) 300 µl 정도를 떨어뜨린 후 coverglass로 덮고, 빛이 차단된 moist chamber

안에 넣은 후 37°C에서 24시간 배양하였다. 배양이 끝난 슬라이드는 초자수로 세척 후 검정하였는데, 염색이 부족한 경우 상기 방법으로 재 염색후 추가 배양하였다.

결과 및 고찰

고양이 염색체의 G-Banding과 핵형

염색체는 단백질과 DNA가 결합된 중합체로서 G-banding은 이들 내 단백질을 분해하고 염색하는 과정이며, 이러한 처리 결과로 나타나는 염색체 별 특징적 가로줄의 형태를 G-band라 한다(Comings 등, 1973; Comings 1978). G-banding은 기본적인 핵형 분석뿐만 아니라, 염색체상 유전자의 위치 표지나 염색체 지도 작성에 활용되고, 또한 염색체의 구조적 이상 탐지에도 필수적인 과정이다. 따라서 본 연구에서는 한국산 단모고양이의 핵형 분석을 위하여 G-banding을 수행하였으며, 이에 대한 결과는 다음과 같다.

한국산 단모고양이 암컷과 수컷의 중기 염색체 양상은 Fig. 1과 같고, 이들의 핵형 분석 결과를 Fig. 2에 제시하였다. 핵형 분석 결과, 한국산 단모고양이 암컷은 38, XX이고, 수컷은 38, XY로 지금까지 알려진 domestic cat(*Felis catus*)의 핵형과 거의 동일한 양상으로 나타났다. 한국산 단모고양이의 핵형을 구체적으로 제시하기 위하여 San Juan Conference에서 설정한 band system(Levan 등, 1964; Jones, 1965)을 바탕으로 염색체의 동원체 지수(centromeric index)와 상대적 길이(relative length)를 분석하고, 이에 따라 염색체의 분류와 개개 염색체를 명명하였다(Table 1). 분류 결과, 한국산 단모고양이의 핵형은 A~F까지 총 6개의 그룹으로 나누고 A, C, E그룹의 모든 염색체는 metacentric chromosome이고, B그룹은 4쌍의 submetacentric chromosome이며, F그룹 2쌍은 acrocentric chromosome인 반면, D 그룹은 1, 3, 4번은 metacentric chromosome이고, 2번은 submetacentric chromosome이었다. 또한, 성 염색체 X, Y는 모두 크기가 다른 metacentric chromosome이었다. 이는 Cho 등(1997)이 제시한 집 고양이의 핵형과 동일한 양상이나, Ledesma 등(2004)이 보고한 핵형과는 D그룹에서 약간의 차이가 있다. D그룹 2번의 경우, 본 연구에서는 submetacentric chromosome으로 분석하였으나, Ledesma 등(2004)은 metacentric chromosome으로 제시하고 있어 이는 연구자에 따른 측정 방법 및 측정 오차에 기인된 단지 명명법의 차이로 사료된다. 한편, 고양이과 동물의 염색체 분석에서 E와 F그룹의 염색체 분석은 매우 중요하다. 고양이과 동물의 염색체 수는 38개이나, 종에 따라 E와 F그룹의 염색체 형태에서 차이를 보이고 있기 때문이다(Wurster-Hill와 Gray, 1973). 본 연구 결과, G-banding에 의한 한국산 단모고양이의 핵형 양상은 San Juan Conference에서 설정한 고양이 핵형(Jones, 1965), 1차 국제 가축 표준 핵형 설정 회의에서 제시한 집 고양이의 핵형(Ford 등, 1980) 및 Cho 등(1997)이 제시한 집 고양이의 핵형과 거의 동일함을 확인함으로써 품종간 핵형의 변이는 없는 것으로 판단된다.

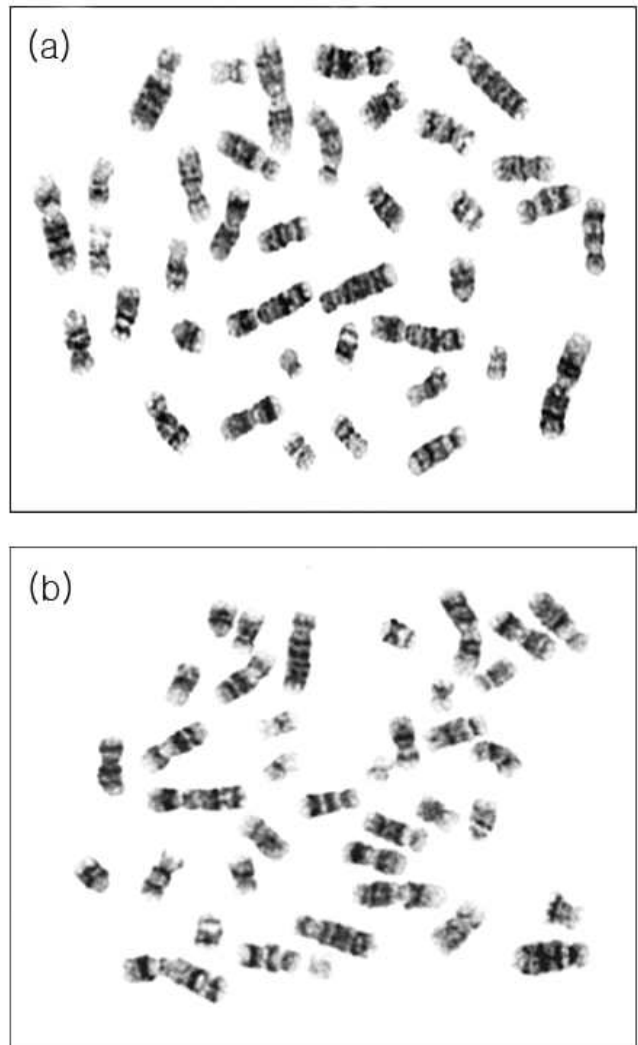


Fig. 1. G-banded metaphase spreads of Korean short-hair cat. (a) male, 2n=38, XY, (b) female, 2n=38, XX.

고양이 염색체의 Heterochromatins

C-banding은 염색체 내 이질염색질(constitutive heterochromatin)을 간접적으로 나타내는 banding 기법이다. Heterochromatin은 세포분열과정 중 염색체 내 지속적으로 응축된 부위로서, 이 영역의 DNA는 거의 대부분 유전자로서 발현 기능이 없는 것으로 알려져 있으며, 고도의 반복 염기서열로 구성되어 있다(Comings 등, 1973; Holmquist, 1979). 본 연구에서는 한국산 단모고양이의 염색체 상 heterochromatin 분포 양상을 분석하여 제시하고자 한다.

한국산 단모고양이의 C-banding 양상은 Fig. 3과 같고, 이의 핵형 분석을 Fig. 4에 제시하였다. 한국산 단모고양이의 C-bands는 다른 포유동물에 비해 염색체간 발현의 다형성이 심하고 심지어 전혀 C-band가 나타나지 않는 염색체도 존재하였다. 고양이의 C-band의 발현은 그룹

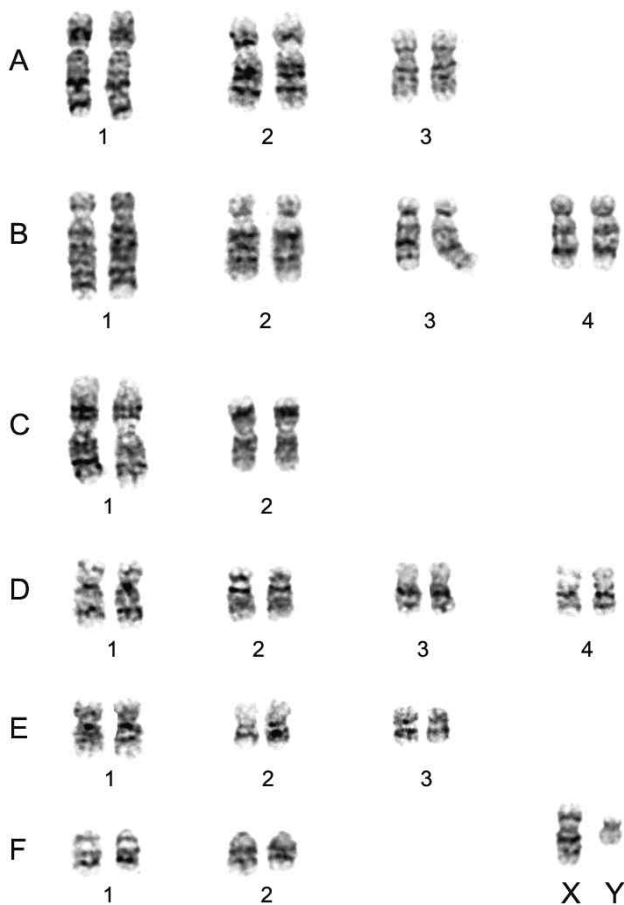


Fig. 2. G-banded karyotype of Korean short-hair cat male, $2n=38$, XY.



Fig. 3. Metaphase spread of C-banded chromosomes of the Korean short-hair cat male.

Table 1. The centromeric index and relative length of Korean short-hair cat chromosomes

Chromosome number	Relative length	Centromeric index	Chromosome nomenclature
A1	8.68±0.64	37.57±3.53	metacentric
A2	6.42±0.78	46.39±3.05	metacentric
A3	6.34±0.43	39.32±3.38	metacentric
B1	7.78±0.81	25.92±3.08	submetacentric
B2	6.12±0.49	26.24±2.49	submetacentric
B3	5.76±0.49	26.51±2.88	submetacentric
B4	5.57±0.41	28.18±2.43	submetacentric
C1	7.93±0.95	48.20±2.95	metacentric
C2	5.47±0.42	39.80±2.17	metacentric
D1	4.87±0.41	39.17±1.97	metacentric
D2	3.94±0.31	31.18±5.15	submetacentric
D3	3.77±0.64	39.48±4.72	metacentric
D4	3.32±0.47	39.37±5.15	metacentric
E1	4.00±0.30	41.84±3.61	metacentric
E2	3.33±0.48	41.97±5.62	metacentric
E3	2.50±0.37	42.05±3.75	metacentric
F1	3.31±0.33	7.29±1.44	acrocentric
F2	3.21±0.28	7.56±1.86	acrocentric
X	5.31±0.55	42.28±2.74	metacentric
Y	2.37±0.37	39.20±5.72	metacentric

The values are means ± SD from 20 metaphase spreads.

간뿐만 아니라 그룹 내 염색체 간에도 많은 차이를 보였는데 일반적으로 염색체의 양 말단부나 동원체 인접 부위에 나타났다. C-band positive 부위를 heterochromatin 분포 영역으로 보았을 때 염색체 B4, D4, E1, F2 및 X 성 염색체에는 heterochromatin이 분포하지 않음을 확인하였다. 특히 한국산 단모고양이는 일반적으로 알려진 동원체 부위의 heterochromatin이 많은 염색체에서 나타나지 않는 것으로 분석되었다. 한국산 단모고양이의 염색체 별 heterochromatin 양적 다형성과 분포 위치를 Table 2에 정리하였다. A그룹의 경우, 상동염색체 별 양적 다형양상이 명확하게 나타나는데, A1염색체는 단완 말단부, A2와 A3염색체는 염색체 양 말단과 동원체에 존재하였고, 상동염색체 중 한쪽 염색체에서만 heterochromatin이 분포한 빈도가 높았다. B그룹에서 B1염색체는 동원체 부위에만 heterochromatin이 분포되어 있었고, B2와 B3염색체는 동원체 부위뿐만 아니라, 단완 말단에도 heterochromatin이 분포하였다. C그룹 염색체는 모두 동원체 인접 부위에서 강한 heterochromatin의 발현이 나타났고, 양 말단부위에도 약한 발현이 나타났다. D~F 그룹의 경우, 염색체 D1은 단완 말단과 동원체, D2는 단완 말단, D3, E2 및 E3 염색체는 양 말단에 heterochromatin이 분포되어 있었다. 더불어 F1염색체의 동원체 부위에 아주 강한 heterochromatin 분포가 확인되었고, 성 염색체 Y에서도

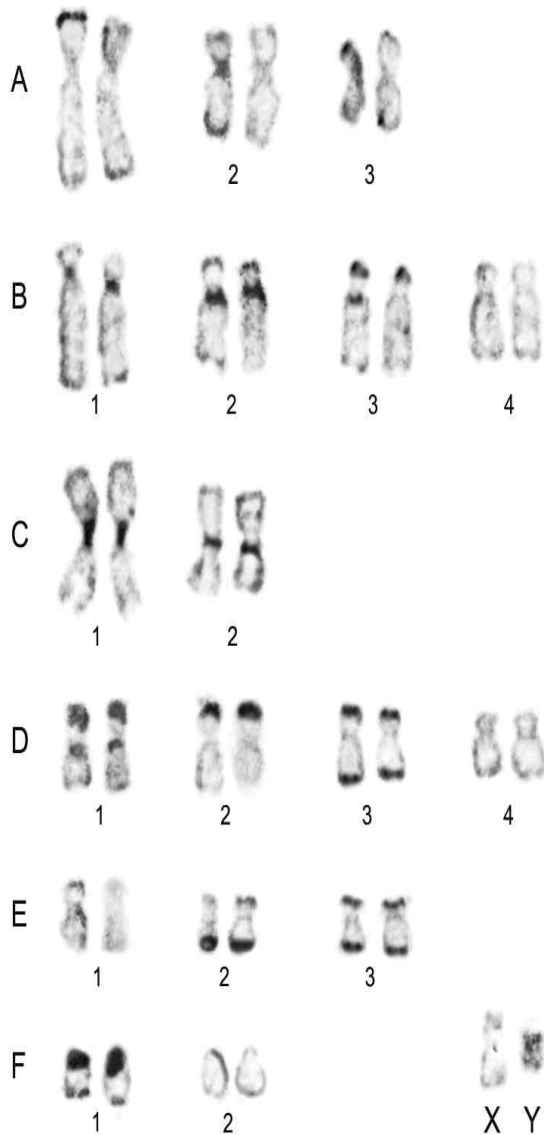


Fig. 4. The C-banded karyotype of the Korean short-hair cat male.

동원체 부위에 약한 heterochromatin이 존재함을 확인하였다. 이상의 결과를 종합해 보면 Pathak와 Wurster-Hill (1979)이 분석한 15종의 육식동물 중 검은발 고양이(*Felis nigripes*)의 heterochromatin 분포 결과와 거의 유사한 양상을 나타내고 있으나, 본 연구에서는 이와 더불어 A그룹 염색체에도 heterochromatin이 다형적으로 분포하고 있음을 밝혔다. 이러한 차이는 domestic cat이라 정의하는 종이 워낙 다양하여 품종 간 또는 개체 간 유전적 차이에 기인된 결과로 사료된다. Heterochromatin의 양적 다형 현상은 종에 따라 많은 차이가 있기는 하나, 사람 (Craig-Holmes와 Shaw, 1971; Craig-Holmes 등, 1975)을 비롯한 돼지(Hansen, 1982; Di Meo 등, 1998), 말(Buckland 등, 1976), 마우스(Forej, 1973), 닭(Pollock과 Fech-

Table 2. The types and frequencies of C-band heteromorphism and heterochromatin sites on the Korean short-hair cat chromosomes

Chromosome number	Heterochromatin site	Number of cells		
		+/+	+/-	-/-
A1	p24	1	21	8
A2	p26	0	28	2
A3	p24	1	26	3
	p11q11	2	23	5
	p15	0	27	3
	p10	0	18	12
B1	q26	0	11	19
	p11q11	24	5	1
	p15	26	3	1
B2	q11	29	1	0
	p13	25	4	1
B3	q11	0	9	21
	-	-	-	-
B4	-	-	-	-
C1	p11p12	21	8	1
C2	q13	27	2	1
D1	p13p14	29	1	0
	q11	22	7	1
D2	p15	28	1	1
D3	p15	24	4	2
	q23	23	5	2
D4	-	-	-	-
E1	-	-	-	-
E2	p13	8	19	3
	q14	27	2	1
E3	p13	28	2	0
	q14	27	2	1
F1	q12q13	29	1	0
F2	-	-	-	-
X	-	-	-	-
Y	p12q14	30	0	0

+/- : Increase (+) and decrease (-) in length of the heterochromatin.

heimer, 1981; Ohh 등, 1990), 메추리(Sasaki와 Nishida, 1980; Sohn, 1990. Sohn *et al.*, 1995) 등에서도 보고된 바 있다. 이와 같이 한국산 단모고양이의 염색체 상 heterochromatin 부위를 밝히는 것은 고양이 유전자 지도 작성이나 분자생물학적 연구에 필수적인 유전 정보이며, 더불어 이들의 heterochromatin 다형성 규명은 C-band 표지가 고양이의 종 간 및 개체 간 유전적 표지로 유용하게 이용될 수 있음을 시사한다.

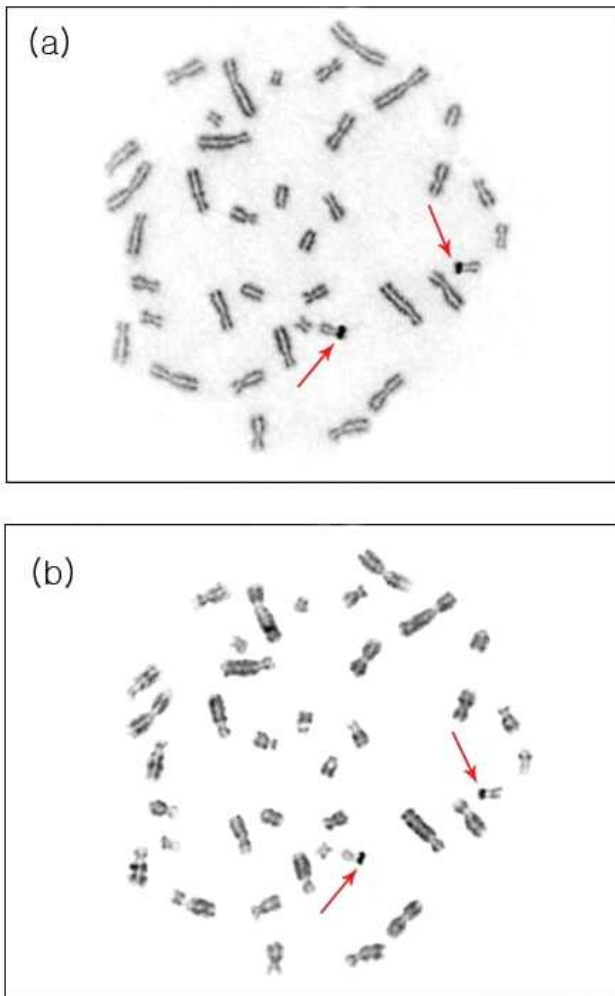


Fig. 5. Sequentially AgNOR stained (a) and GTG-banded (b) metaphase of Korean short-hair cat. The arrows indicate NORs on chromosomes E1.

고양이 염색체의 NORs

Nucleolar Organizer Regions(NORs)는 핵인 형성부위로 rRNA 합성에 관여하는 유전자를 함유하는 곳으로 종에 따라 염색체의 특정 부위에 위치한다. 이러한 18s+28s rRNA DNA coding site는 주로 염색체의 이차 협착부위(secondary constriction site)에 존재한다고 알려져 있다(Hsu와 Benirschke, 1967; Elsevier와 Ruddle, 1975; Wurster-Hill 등, 1987). 염색체 상에 AgNOR 염색은 간기 상태에서 단백질의 전사가 활성화된 NORs의 위치를 나타낼 뿐만 아니라, NORs의 활성도를 간접적으로 나타내기도 한다. 따라서 본 연구에서는 한국산 단모고양이 염색체의 NORs 분포 양상을 살펴보고자 한다.

AgNOR 염색에 의한 한국산 단모고양이의 NORs 분포 양상은 Fig. 5와 같다. AgNOR 염색 후 GTG-banding한 결과, 고양이의 NORs는 E1 염색체에 공히 존재하는 것으로 확인되었고, 이들의 분포 위치는 염색체의 단완

말단 부위인 것으로 확인되었다. 개체당 증기상 200개를 분석한 결과, 염색체 상 NORs 출현 빈도는 E1염색체에서 100% 나타났고, 발현 양상 또한 매우 강하게 나타남을 확인하였다. 사람이나 일반 포유동물의 NORs 양상은 종별, 세포 간 다형 양상이 나타나나, 고양이의 경우 동일 양상을 보이고 있다. Pearson 등(1979)이 domestic cat 10종을 분석하여 일부 개체에서 E1뿐만 아니라, E3염색체에서도 NORs가 존재한다고 보고하였지만 많은 연구자들은 본 연구 결과에서와 같이 E1 염색체에만, 유일하게 존재한다고 하였다(Hsu와 Benirschke, 1967; Szczerbla와 Michalak, 2003; Ledesma 등, 2004). 이러한 양상은 Szczerbla와 Michalak(2003)이 고양이 염색체 상 NORs 위치를 FISH 분석을 통해 이차협착 부위인 E1염색체 p12 site에만 존재한다고 밝힘으로 고양이의 NORs는 양적, 수적 다형성이 존재하지 않는 단일 좌위임을 확인하였다. 종별 NORs 수, 발현도 및 분포 양상은 유전적 변이 분석의 중요한 부분이며, 이러한 원인은 개체간 rRNA 함량의 차이나 이들 유전자의 발현도의 차이에 기인된 변이로 해석된다. 이상의 결과에 따라 한국산 단모고양이의 NORs는 E1 상동염색체에만 공히 발현되고, 분포위치는 단완(p-arm) 말단부인 것으로 확인되었다.

인용문헌

1. Arrighi FE, Hsu TC (1974): Comparative chromosome studies in Cetacea. *Hereditas* 77:1-36.
2. Bloom SE, Goodpasture C (1976): An improved technique for selective silver staining of nucleolar organizer regions in human chromosomes. *Human-genetik* 34:1999-2006.
3. Buckland RA, Fletcher JM, Chandley AC (1976): Characterization of the domestic horse(*Equus caballus*) karyotype using C and C-banding techniques. *Experientia* 32:1146-1149.
4. Cho KW, Youn HY, Watari T, Tsujimoto H, Hasegawa A, Satoh H (1997): A proposed nomenclature of the domestic cat karyotype. *Cytogenet Cell Genet* 79:71-78.
5. Comings DE, Avelino E, Okada TA, Wyandt HE (1973): The mechanism of C- and G-banding of chromosomes. *Exp. Cell Res.* 77:469-483.
6. Comings DE (1978): Mechanisms of chromosome banding and implications for chromosome structure. *Ann Rev Genet* 12:25-46.
7. Craig-Holmes AP, Moore FB, Shaw MW (1975): Polymorphism of human C-band heterochromatin. II. Family studies with suggestive evidence for somatic crossing over. *Amer J Genet.* 27:178-789.
8. Craig-Holmes AP, Shaw MW (1971): Polymorphism of human constitutive heterochromatin. *Science* 174: 702-704.
9. Di Meo GP, Perucatti A, Ferrara L, Palazzo M, Ma-

- tassino D, Iannuzzi L (1998): Constitutive heterochromatin distribution in pig (*Sus scrofa*) chromosomes. *Caryologia* 51:65-72.
10. Elsevier SM, Ruddle FH (1975): Location of genes coding for 18S and 28S ribosomal RNA within the genome of *Mus musculus*. *Chromosoma* 53: 37-50.
 11. Ford CE, Pollock DL, Gustavsson I (1980): Proceedings of the first international conference for the standardisation of banded karyotypes of domestic animals. University of Reading, England. *Hereditas* 92:145-162.
 12. Forejt J (1973): Centromeric heterochromatin polymorphism in the house mouse; evidence from inbred strains and natural populations. *Chromosoma* 43:187-201.
 13. Gulino SE (1992): Chromosome abnormalities and oncogenesis in cat leukemias. *Cancer Genet Cytogenet* 64:149-157.
 14. Hansen KM (1982): Sequential Q- and C-band staining of pig chromosomes, and some comments on C-band polymorphism and C-band technique. *Hereditas* 96:183-189.
 15. Holmquist G (1979): The mechanism of C-banding: depurination and beta-elimination. *Chromosoma* 72: 203-224.
 16. Hsu TC, Benirschke K (1967): Order Carnivora, Family Felidae, *Felis catus*. In: An Atlas of Mammalian Chromosomes. Vol. 1, Folio 31.
 17. Jones TC (1965): San Juan Conference on karyotype of Felidae: Special report. *Mammalian Chromosomal Newsletter* 15:121-122.
 18. Jung W, Sohn SH (2003): Identification of nucleolus organizer regions of Korean cattle chromosomes by AgNOR staining. *J Anim Sci & Technol* 45:695-702.
 19. Ledesma MA, Ledesma CO, Schiaffino K, Rinas MA, Gunski RJ (2004): Análisis citogenético de *Panthera Onca* (Felidae: Pantetherinae) de la provincia de Misiones, Argentina. *Journal of Neotropical Mammalogy* 11:85-90.
 20. Levan A, Fredga K, Sandberg AA (1964): Nomenclature for centromeric position on chromosome. *Hereditas* 52:201-220.
 21. Mayr B, Ortner W, Reifinger M, Loupal G (1995): Loss of chromosome B2-material in three cases of feline mammary tumours. *Research in Veterinary Science* 59:61-63.
 22. O'Brien SJ, Nash WG (1982): Genetic mapping in mammals: chromosome map of domestic cat. *Science* 216:257-265.
 23. Ohh BK, Sohn SH, Yeo JS (1990): Heterochromatin polymorphism in chicken by the C-banding techniques. *Korean J Anim. Sci.* 32:1-8.
 24. Pathak S, Wurster-Hill DH (1977): Distribution of constitutive heterochromatin in carnivores. *Cytogenet Cell Genet* 18:245-254.
 25. Pearson MD, Seabright M, Maclean N (1979): Silver staining of nucleolar regions in the domestic cat, *Felis catus*. *Cytogenet Cell Genet* 24:245-247.
 26. Pollock BJ, Fechheimer NS (1981): Variable C-banding patterns and a proposed C-band karyotype in *Gallus domesticus*. *Genetica* 54:273-279.
 27. Rønne M (1995a): Localization of landmarks and bands in the karyotype of *Felis catus*. *Cytobios* 81: 213-222.
 28. Rønne M (1995b): Localization of fragile sites in the karyotype of *Felis catus*. *Hereditas* 122:279-283.
 29. Shibasaki Y, Flou S, Rønne M (1987): The R-banded karyotype of *Felis catus*. *Cytobios* 51:35-47.
 30. Sohn SH (1990): Chromosomal polymorphism of Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*). *Korean J. Poultry Sci.* 17(4):275-280
 31. Sohn SH, Kweon OS, Baik KH, Jung W, Cho EJ, Kang MY (2003): G, C, and NOR-banding of Korean native pig chromosomes. *J Anim Sci & Technol* 45: 901-910.
 32. Sohn SH, Fechheimer NS, Nestor KE (1995): Transmission of C-band variants in Japanese quail. *Asian-Aust J Anim Sci* 8:171-174.
 33. Szczerbla I, Michalak E (2003): FISH-localization of the nucleolar organizer region on the feline E1p12 chromosome. *Animal Genetics* 34:384-397.
 34. Wang HC, Federoff S (1974): Trypsin technique to reveal G-bands. In: *Tissue Culture Methods and Applications*. New York Academic Press.
 35. Wurster-Hill DH, Gray CW (1973): Giemsa banding patterns in the chromosomes of twelve species of cats (Felidae). *Cytogenet Cell Genet* 12:377-397.
 36. Wurster-Hill DH, Doi T, Izawa M, Ono Y (1987): Banded chromosomes study of the Iriomote cat. *Journal of Heredity* 78:105-107.

(Received: 23 September 2013/ Accepted: 27 September 2013)