

## New Zealand White 토끼의 생식세포 및 체세포 분열에 의한 염색체 분석

신선희 · 김희수 · 최영현<sup>1</sup> · 이원호\*

부산대학교 자연과학대학 생물학과  
<sup>1</sup>동의대학교 한의과대학 생화학교실

### Chromosomal Analysis of Meiosis and Mitosis in New Zealand White Rabbit

Sun-Heui Shin, Heui-Soo Kim, Yung-Hyun Choi<sup>1</sup> and Won-Ho Lee\*

*Department of Biology, College of Natural Sciences, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea*  
*<sup>1</sup>Department of Biochemistry, College of Oriental Medicine, Dong-Eui University, Pusan 614-052, Korea*

#### Abstract

Chromosomal characteristics of New Zealand White rabbit was studied at meiosis and mitosis. The meiotic chromosomal preparations were made with the modified air-drying method and karyotype analysis was performed with the G-banding technique, using isolated mitotic metaphase chromosomes of the New Zealand White rabbit. Chromosomes, sex vesicles and centromeres could be classified in the zygotene and the pachytene of the meiosis I. The hair-like processes projecting laterally from the axes of bivalent chromosomes at the mid-to-late pachytene were observed and made the appearance of the lampbrush chromosome structure. Chromosomes could be classified on the basis of the numbers and the locations of chiasma in the diakinesis. Twenty-one autosomal bivalents and a single unequal terminally associated X-Y bivalent were observed during the late prophase and the metaphase of the meiosis I. Most of the bivalent types observed in the New Zealand White rabbit spermatocytes were 1CH, 1TA, and 2TA bivalents. The mean chiasma frequency (CF) of the male New Zealand White rabbit was 30.2, and it was found that the CF value tended to decrease through the diakinesis and the metaphase I. The karyotype of the New Zealand White rabbit was a male chromosome number of 44 (2n=44), comprising 8 pairs of metacentric, 9 pairs of submetacentric, 4 pairs of acrocentric autosomes, metacentric X chromosome and acrocentric Y chromosome.

**Key words** – New Zealand White Rabbit, meiosis, mitosis, chiasma, karyotype

#### 서 론

자연은 집단에서 변이가 일어난 개체를 선택하여 그 유전자를 다음 세대로 전달시키며 이러한 지속적인 새로운

변이의 형성은 진화과정상 매우 중요한 계기가 된다. 이러한 유전적 다양성을 초래하는 원인 중의 하나로 교차를 들 수 있고 교차가 일어난 위치를 보여주는 가시적인 증거가 키아즈마이다. 키아즈마의 형성과 그 빈도 및 X와 Y염색체 간 결합의 특성 등은 감수분열 동안의 염색체 행동의 연구를 통하여 많은 부분이 알려져 있다.

유사분열의 중기에 관찰되는 핵형은 기본적으로 생물의

\*To whom all correspondence should be addressed  
Tel : +82-51-510-2257, Fax : +82-51-581-2962  
E-mail : whlee@hyowon.cc.pusan.ac.kr

각 종에 따라 핵형을 이루는 염색체의 수와 각 염색체의 길이, 동원체, 인형성체 등이 일정한 종 특이적인 성질을 가졌다. 따라서 염색체의 재배열, 그 절편의 양적변이, 염색체 수에 있어서 변이 및 염색체 쌍들의 검증 모두가 정상 상태에서 유전물질을 연구하는데 있어서 아주 중요하다고 할 수 있다. 그러므로 유사분열 중기의 염색체 관찰에 근거를 둔 핵형분석을 통하여 염색체의 다형현상, 생물체들 간의 유연관계, 진화 및 돌연변이 등을 규명할 수 있게 되었다[3,5,21,22]. 여러 가지 염색체 분염법의 발달로 다양한 염색체 영역의 종 특이적인 정확한 동정을 가능하게 함으로써 일반 염색법으로는 확인하기 어려운 염색체의 구조적인 변화는 물론 특정유전자의 위치 등 세포화학적 연구에 많은 도움을 주고 있다. 특히 여러 동, 식물들의 염색체를 연구하는데 여러 가지 분염법들 중에서도 G-, C-, Q- 및 R-banding 방법을 이용한 연구 결과가 많이 보고되어 있다[7,9,14,17,19].

한편, 토끼(domestic rabbit)는 토끼과, 집토끼속(*Oryctolagus*)의 집토끼(*cuniculus*)가 가축화된 것이다. 가축화된 집토끼는 오늘날까지 많은 품종이나 변종이 생겨났는데, 그 중 실험용으로는 New Zealand White rabbit, Japanese White, Dutch, Polish 등이 널리 사용되고 있다[11].

토끼가 가축자원 및 실험동물로 많이 이용되고 있음에도 불구하고 전자현미경적 방법을 이용한 Plöen [15]의 정자완성에 관한 연구와 Robinson 등[16]의 솜꼬리토끼속(genus *Sylvilagus*) 토끼 3종(*S. aquaticus*, *S. floridanus*와 *S. transitionalis*)에서의 염색체 변이의 진화에 관한 연구 등이 보고되어 있을 뿐, 감수분열이나 분염법을 이용한 핵형분석에 대한 보고는 거의 없으며, 염색체 수에 있어서도 다양성( $2n=44\sim48$ )이 있는 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 토끼 중에서 현재 실험재료로 가장 많이 사용되고 있는 New Zealand White rabbit에 대한 세포유전학적인 연구의 일환으로 세정관 내의 정모세포가 일련의 감수분열을 통하여 정자로 완성되는 각 단계의 특징과 키아즈마의 형태 분석을 통한 그 빈도 조사 등 생식세포분열 염색체의 특징을 조사하고자 하였다. 또한 유사분열 중기 상에서의 G-분염법에 의한 banding pattern을 분석함으로써 이들의 핵형상의 특징을 밝히고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 실험재료

본 실험에 사용된 재료는 현재 생리의학적 실험재료로 널리 사용되고 있는 New Zealand White rabbit으로서 한국생명과학연구소로부터 분양받은 것을 사용하였다. 감수분열상을 얻기 위하여는 생후 7-8개월된 수컷 4개체를 대상으로 하였고, 유사분열 관찰을 위해 생후 2-3개월된 3개체를 사용하였다.

### 감수분열 염색체 표본 작성

감수분열을 위한 염색체 표본의 작성은 Kim 등[8]과 Kwon 등[10]의 방법에 의한 공기건조법을 사용하였다. 우선 0.005% colchicine 액을 4ml 정도로 체중에 따라 다소 가감하여 복강 속에 주사, 3시간 후 마취시켜 복근을 절개, 적출한 정소를 메스로 이동분하여 저장액을 넣은 사리에 넣고 세정관을 해부침으로 해체한 다음 지방과 정소외피를 제거하여 상온에서 30분간 저장처리 하였다. Kim 등[8]의 실험과정에 따라 처리한 후 Carnoy 고정액을 0.3ml~0.5ml 정도 첨가하여 최종적인 세포부유액을 만들고 받침유리에 이 세포부유액을 3방울 정도 떨어뜨려 전면이 골고루 퍼지게 한 후, 거의 건조시 초산을 적하하고 실온에서 24시간 공기건조시킨 다음, 4% Giemsa 액(pH 7.0)에 실온에서 약 17분간 염색하였다.

### 유사분열 염색체 표본 작성

유사분열상을 위한 염색체 표본을 작성하기 위하여, 마취 후 적출해 낸 대퇴골의 양 말단 부위를 1mm 정도 절개하여 생기게 된 구멍에 1ml 주사기로 P.B.S-Col.(phosphate buffer solution- colchicine)액을 넣어 15ml 원심분리관에 골수세포를 씻어 내었다. 그 이후는 Kim 등[8]의 실험 순서에 따라 실시하여 최종적인 세포부유액을 만들었다. 세포부유액을 받침유리 중앙에 떨어뜨리고 마르기 바로 직전에 초산을 적하한 다음 24시간 공기건조시켜 트립신 처리에 의한 G-banding 염색을 실시하였다.

G-banding 염색을 위하여 먼저 프레파라트를 60℃에서 3시간 동안 건조시켜 세포 사이의 수분을 완전히 제거한 다음 0.025% 트립신 용액에 18초간 처리하였다. 그 후, P.B.S.(pH 6.8)에 10초간 처리하고 4% Giemsa 액에 17분

정도 염색하여 흐르는 물에 1초간 가볍게 수세한 다음 공기건조시켰다.

**염색체 분석**

염색된 프레파라트는 현미경 관찰하여 각 시기별 감수분열상과 유사분열의 중기상을 찾아 1,000배로 촬영하였다. 정모세포 감수분열 관찰용 표본으로 감수분열의 각 단계별 특징을 분석하였고, 복사기 세포, 이동기 세포 및 중기 I 세포를 대상으로 각 시기에 따른 키아즈마의 형태와 빈도를 조사하였다.

감수분열 중인 염색체에서는 키아즈마가 생긴 부위와 수에 따라 2가 염색체의 형태를 분석하는데, 생쥐에서의 Imai와 Moriwaki[4]의 기준을 적용하여 개재 키아즈마(CH)와 말단결합(TA)의 수에 따라 10유형으로 분류하였다. 각 2가염색체의 유형과 키아즈마 수는 Kim 등[8]의 분류표와 같다. 1TA 2가염색체 유형에서 말단결합이 단완측(S)일 경우는 1TAs로, 장완측(L)일 경우는 1TAI로서 구별하였다.

한편, 유사분열 관찰용 표본으로는 분열상이 좋은 중기세포를 관찰, 촬영하여 염색체의 길이, 동원체의 위치, 띠(band)의 수와 위치, 염색정도 등을 기준으로 상동염색체를 찾아 그 순서를 결정하였고, G-분염법의 염색에 대한 반응에 의하여 핵형도를 작성하였다.

**결과 및 고찰**

New Zealand White rabbit의 감수분열 염색체의 특징

New Zealand White rabbit에서의 감수분열의 각 단계를 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1a는 감수분열 염색체 표본에서 얻은 시원생식세포에서의 유사분열 중기상으로서, 이를 통해 중부, 차중부 및 단부 염색체 등 여러 형태의 염색체를 관찰할 수 있었다.

전기 I의 초기 동안에 염색체는 응축이 시작되어 수많은 과립들을 가진 길고 가느다란 실같은 구조들의 망으로 보였으며, 그 중 특히 접합기(Fig. 1b)에서의 상동염색체의 접합은 염색체의 길이를 따라서 한 곳 혹은 여러 곳에서 무작위로 시작되고, 개개의 염색체를 식별하기는 어려웠으나 2가염색체가 진하게 염색되는 구슬같은 모양인 염색소립(chromomere : ①)과 이들의 연합으로 이루어짐을 관찰할 수 있었다. 이러한 염색소립은 염색체들이 응축을 시작

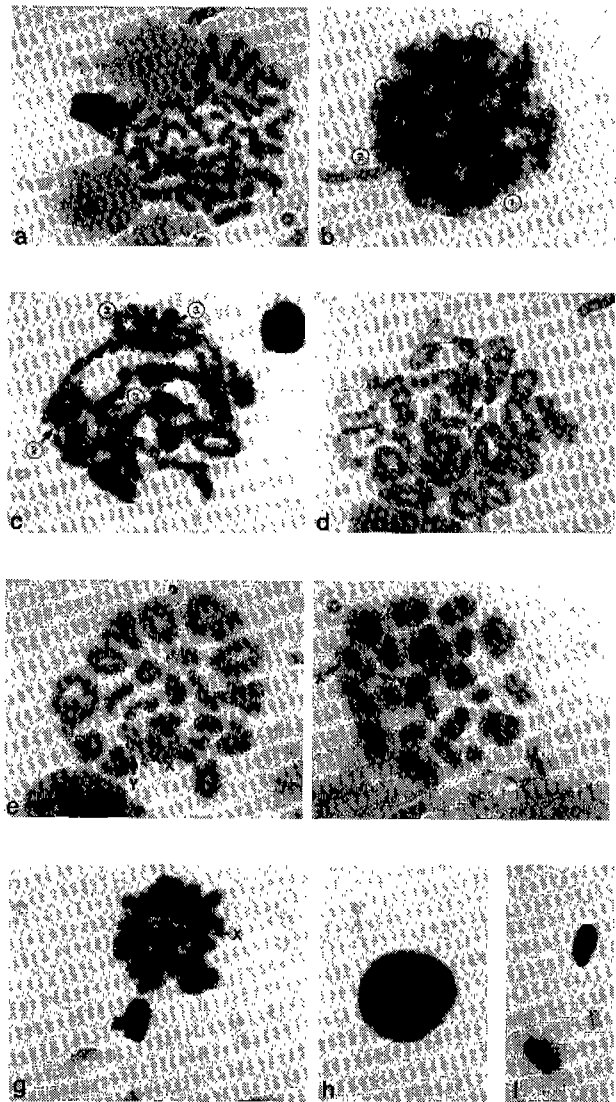


Fig. 1. Meiotic stages during spermatogenesis of New Zealand White rabbit.

a. mitotic metaphase stage of primordial germ cell; b, zygotene (①, chromomere; ②, sex vesicle); c, pachytene (③, centromere); d, diplotene (X, Y; sex chromosomes); e, diakinesis; f, metaphase I; g, metaphase II; h, spermatid; i, sperm(head).

하는 동안에 염색체 길이를 따라서 불규칙한 간격으로 발생하며, 염색체에 따라서 고유한 수와 크기 및 위치를 차지하고 있다. 전자현미경적 연구에 의하면 접합과정에는 단백질과 RNA로 구성된 특수한 접합과정 복합구조(SC)가 나타나며, 이것이 감수분열 전기에 두 상동염색체 간의 교량역할을 하는 것으로 알려져 있다[20]. 한편, 성염색체는

매우 응축되고 진하게 염색되는 sex vesicle(②)을 형성하고 있었다.

Fig. 1c는 태사기로서 이 시기 동안에 염색체는 계속 응축되어 짧고 굵은 실모양을 하고 있었으며, 2가염색체로 된 반수체의 수로 보인다. 각 2가염색체는 4개의 염색분체로 된 4분염색체로 이루어지고, 유전학적으로 중요한 현상인 교차가 일어나지만 광학현미경으로는 개개의 염색분체를 식별하기가 어렵기 때문에 교차현상을 직접 관찰할 수는 없었다. 분자 수준에서의 연구에 따르면 교차부위에 재조합 절(recombination nodule)이 생기며 이것은 SC와 관련이 있다고 보고 있다[20]. Sex vesicle(②)은 접합기에 비해 더욱 선명하게 관찰되었으며, 각 2가염색체에서 동원체(③)로 간주되는 한 개의 크고 진하게 염색되는 부위가 보인다[18]. 태사기의 후반부가 되면 2가염색체들은 더욱 응축되고 짧아지며 머리카락 모양의 돌기들이 염색체의 축으로부터 측면으로 돌출하여 brush 염색체 구조의 모습을 나타내게 되는데, 광학현미경으로 뚜렷하게 보였다. 태사기의 중반부에서 후반부에 2가염색체의 축으로부터 튀어나온 머리카락 모양의 측면 돌기물은 사람[13]과 다람쥐 원숭이[18]등에서도 보고되어진 바 있다. 따라서 초기 정자형성과정의 전기 I에서 보이는 이러한 날개털이 달린 것 같은 염색체의 모습은 난세포의 lampbrush loops와 유사한 것으로 보인다.

그리고 Fig. 1d와 같은 복사기가 되면 SC구조가 분해되어 접합된 염색체들이 분리되기 시작한다. 이 시기에는 자매 염색분체도 조금 틈이 벌어져서 결합되기 때문에 4분염색체를 구성하는 개개의 염색분체를 광학현미경으로도 관찰할 수 있었다. 그러나 상동염색체의 분리는 항상 완전하지는 않기 때문에, 1개 혹은 2개 이상의 비자매 염색분체간의 부분적인 결합이 보이는데, 이는 키아즈마가 형성되었음을 의미한다. 이 키아즈마로 인해 2가 염색체는 +자형, -자형, 0자형, 8자형 등으로 보이는데, 0자형과 8자형의 2가 염색체 크기가 +자형이나 -자형의 2가염색체에 비해 훨씬 큰 것을 관찰할 수 있었다. 이 시기의 2가염색체 당 키아즈마의 평균 수는 약 1.418이었다. 그리고 sex vesicle의 이질 염색질이 진정염색질 부분으로 복귀되면서 성염색체의 구별이 가능하였다.

제1감수분열 전기의 최종단계인 이동기(Fig. 1e)에 중심체가 이분되어 양극으로 이동되기 시작한다. 2가염색체는

최대로 응축되면서 4개의 분리된 염색분체가 명확히 보였고, 다른 시기에 비해 키아즈마가 가장 선명하게 보여 여러 형태의 2가염색체를 뚜렷하게 식별할 수 있었다. 2가염색체에서 상동염색체들은 한 개 혹은 두 개의 말단 키아즈마에 의해 연결된 채로 남아 있으며, 이것은 제1감수분열 후기까지 지속된다. 이 시기의 2가염색체 당 키아즈마의 평균 수는 약 1.391정도 였다. 이동기의 후반부에 방추체의 형성이 시작되고 핵막이 없어지면서 2가염색체들이 세포질에 퍼지게 된다. 복사기와 이동기는 연속된 변화이기 때문에 구별이 다소 어렵지만, 복사기는 염색체가 lampbrush 염색체 모양으로 날개털을 세우고 있는 것처럼 보이는 것에 반해, 이동기는 염색체의 표면이 부드럽게 되어 있는 것으로 구별이 가능하였다.

한편, 중기 I (Fig. 1f)에서의 2가염색체들은 방추체의 중간을 통과하여 평면상에 마주 보고 있는 두 상동염색체의 동원체를 가지고 적도면에 자리잡게 된다. 방추사의 양극과 관련하여 각 2가염색체에서 분열하지 않은 동원체의 상호 반대방향으로의 분리는 무작위로 일어나며, 동원체의 본격적인 극이동은 제1분열 후기에 시작하지만 중기 I에서도 부분적인 극이동을 볼 수 있었다. 2가염색체가 긴 경우에는 수직으로 평면에서 키아즈마 사이에 몇 개의 환상공을 만들고 2가염색체가 짧을 때는 하나의 환상 구멍을 형성하고 있었다. 이 시기의 2가염색체당 키아즈마의 평균 수는 약 1.372정도로 다소 감소하였다. 성염색체는 end-to-end 형태의 결합을 하고 있었으며 키아즈마를 형성하지 않는 것으로 보였다. 그리고 때때로 X와 Y 염색체가 분리하여 univalent를 형성한 것도 관찰할 수 있었다.

후기 I이 진행되는 동안에 분열되지 않았던 동원체에 붙어 있던 두 염색체는 각각 분리하여 방추체의 반대편 극으로 이동해 간다. 따라서 후기 I이 끝나면 각 딸세포의 염색체 수는 절반으로 줄어들게 된다. 말기 I 동안에는 핵이 재배열되고 염색체가 풀어지며 중심립이 복제되고, 뒤이어서 세포질 분열이 일어나는데, 실제 이 시기는 후기 I과 함께 감수분열 염색체 표본으로 식별할 수는 없었다.

Fig. 1g는 제2분열 중기로서 적도면상에 반수(n)의 상동염색체가 나열되어 있다. 제2분열 후기가 진행되는 동안에 각 염색체는 방추체의 반대극으로 이동하는데, 분리된 염색체는 교차에 의하여 거의 재배열되어 있다. 이어, 말기 II가 끝나면 정지기에 들어가 정세포(Fig. 1h)가 된다. 이

Table 1. Frequencies(%) of the ten bivalent types observed in spermatocytes of New Zealand White rabbit

Cell Stage	Types of bivalent									
	1CH	1CH · 1TAI	1TAI	2CH	2TA	1CH · 1TAs	0	1TAs	1CH · 2TAI	2CH · TAI
Diplotene	30.9	8.2	22.7	2.7	20.9	10.0	0	1.8	0	2.7
Diakinesis	34.9	6.5	24.2	0.2	25.2	6.0	0.6	1.5	0.2	0.6
Metaphase I	40.1	6.7	26.2	0.1	19.9	3.5	0	2.1	0.9	0.4
Mean±S.D	35.3±3.8	7.1±0.8	24.4±1.4	1.0±1.2	22.0±2.3	6.5±2.7	0.2±0.3	1.8±0.3	0.4±0.4	1.2±1.1

정세포는 처음에는 구형이지만 spermiogenesis의 형태변화를 거친 후, Fig. 1i와 같은 토끼만의 독특한 모양의 두부에 편모를 가진 정자로 변한다.

한편, 여러 포유동물에서 2가염색체의 형태 분류법이 아직 확립되어 있지 않으므로 생쥐에서의 Imai와 Moriwaki [4]의 기준에 의거하여 분류를 시도하였다(Table 1).

New Zealand White rabbit의 2가염색체 형태는 Imai와 Moriwaki[4]의 분류에 의한 1CH, 1TAI 및 2TA 2가염색체 유형이 대부분을 이루었는데(1CH, 35.3±3.8% ; 1TAI, 24.4±1.4% ; 2TA, 22.0±2.3%), 이는 Choi 등 [2]에 의한 한국산 야생 생쥐(*Mus musculus* subspecies)의 결과와 유사하였다(1CH, 32.8±0.5% ; 1TAI, 25.9±0.6% ; 2TA, 23.6±3.0%). 그러나, 1CH · 1TAI 2가염색체의 빈도가 New Zealand White rabbit가 다소 낮게 나타났으며, 1CH · 1TAs 경우에는 New Zealand White rabbit와 한국산 야생 생쥐에서 각각 6.5±2.7%와 0.5±0.4%로 나타나 New Zealand White rabbit가 한국산 야생 생쥐에 비해 약 10배 이상 높게 관찰되었다.

또한, New Zealand White rabbit에서의 키아즈마 빈도를 CH와 TA의 수에 따라 조사하였는데, 본 연구에서의 키아즈마 빈도 조사는 말단결합을 키아즈마에 포함시키는 중

래의 방법을 그대로 적용한 빈도로 계산하였다(Table 2).

Table 2에서 보는 바와 같이, 각 단계별 키아즈마 빈도가 복사에서 약 31.2, 이동기와 중기 I에서 각각 30.6과 29.2로 나타났는데, 이는 키아즈마 빈도가 복사에서 이동기 및 중기 I을 거치는 동안 일반적으로 다소 감소하는 경향이 있다는 Imai와 Moriwaki[4]의 결과(25.4→22.5)와 유사하였다. 그리고 New Zealand White rabbit에서의 평균 chiasma 빈도는 약 30.2였는데, 이는 한국산 야생 생쥐(28.1)와 비교해 볼 때 다소 높은 값이었으며[2], 각 단계별 2가염색체 당 키아즈마의 평균 수가 복사에서 약 1.418, 이동기와 중기 I에서 각각 1.391 및 1.372로 나타나 복사에서 이동기, 중기 I까지 평균 수가 다소 감소하는 경향성을 보여주었다. 또한, 1CH 2가염색체의 빈도가 약 35%로서, 한국산 야생 생쥐에서의 약 33%와 마찬가지로 개재 키아즈마의 빈도보다 말단 키아즈마의 빈도가 훨씬 높게 나타남을 알 수 있었다.

G-분염법에 의한 핵형분석

Burkholder[1]는 G- 및 C-banding상태의 염색체들의 미세구조를 밝혀, G-band는 염색질 섬유가 고도로 치밀하게 채워져 있는 전자밀도가 높은 영역이며, C-banding의 기작은 non C-band 염색질의 선택적인 소실을 포함한다고 설명하였다. 한편 Matsui와 Sasaki[12]는 G-banding의 기작에 대한 세포학적, 생화학적 및 생물물리학적 연구를 통하여 Giemsa-positive bands가 소형의 non-histone 단백질 분자들로 구성된 비교적 열에 안정한 염색질을 나타낸다고 보고하였다.

본 실험에 의한 New Zealand White rabbit의 염색체 수는 44개(2n=44)로서, 21쌍의 상염색체와 XX-XY형 성염색체로 구성되어 있었다. G-분염법 결과, Fig. 2의 유사분열

Table 2. Mean cell chiasma frequency with their standard deviation at diplotene, diakinesis and metaphase I of New Zealand White rabbit

Cell stage	Chiasma mean ±S.D	Total bivalents (cells) observed
Diplotene	31.2±2.23	330(15)
Diakinesis	30.6±2.42	814(37)
Metaphase I	29.2±2.02	748(34)
Mean±S.D	30.2±2.37	1,892(86)

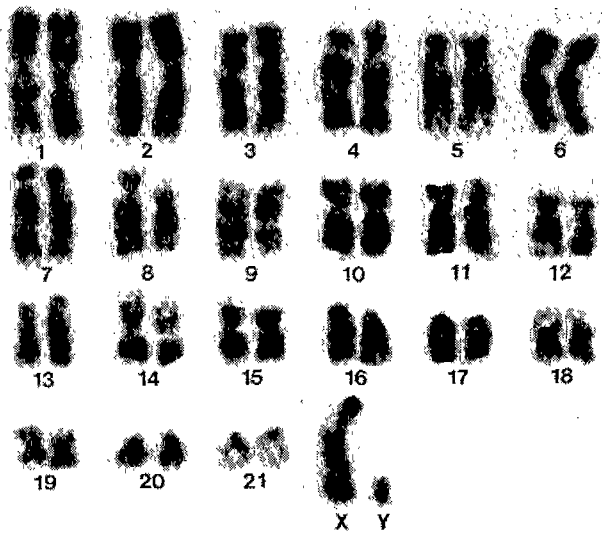


Fig. 2. Mitotic metaphase and the G-banded karyotype of New Zealand White rabbit.

증기상과 같은 결과를 얻었으며, 모든 염색체에서 기부, 말단부 및 동원체 부위에서 한 개 이상의 특이적인 띠(band)가 관찰되었다. 이러한 띠의 수, 위치, 염색정도 등을 기준으로 상동염색체를 짝지어 그 순위를 결정하였다. 염색체의 크기 및 동원체의 위치에 따라 형태를 분류하여 A에서 H의 8군으로 나누었으며, 이를 Table 3에 나타내었다. 이와 같은 핵형분석에 의하면 중부염색체는 상염색체 8쌍과 X 염색체, 차중부염색체는 상염색체 9쌍, 단부염색체는 상염색체 4쌍과 Y 염색체로 분류가 가능하였다. 따라서 New Zealand White rabbit의 염색체는 주로 중부와 차중부염색체로 구성되어 있음을 알 수 있었다.

G-분염법에 의한 New Zealand White rabbit의 유사분열 증기상을 핵형분석한 결과(Fig. 2) 제 1번 염색체의 장완에 2개의 띠와 단완에 3개의 띠 그리고 동원체 부위에서 1개의 띠가 나타났고, 제 2, 3, 10번 염색체에서는 장완에 3

개, 단완에 2개의 띠를 나타내었는데, 제 2번 염색체에서는 동원체 부위에서도 띠가 관찰되었다. 제 4, 7번 염색체에서는 장완에 4개, 단완에 1개의 띠를 나타내었고, 제 5번 염색체에서는 장완에 4개의 띠, 그리고 단완과 동원체에 각각 1개의 띠를 나타내었다. 제 6번 염색체에서는 장완에 4개, 단완에 2개의 띠가 관찰되었고 제 8, 12, 13번 염색체에서는 장완에 3개, 단완에 1개의 띠를 나타내었는데, 제 8, 12번 염색체에서는 동원체 부위에서도 1개의 띠가 관찰되었다. 제 9, 11번 염색체에서는 장완과 단완에 각각 2개의 띠를 나타내었고 제 14번 염색체에서는 장완의 말단부에 1개의 띠, 단완에 2개의 띠를 나타내었으며 제 15번 염색체에서는 장완에 2개, 단완에 1개의 띠가 관찰되었다. 제 16번 염색체에서는 동원체 부위와 2개의 띠가 관찰되었고 제 17번 염색체에서는 동원체 부위와 3개의 띠를 나타내었다. 제 18번 염색체에서는 동원체, 장완 및 단완에 각각 1개의 띠가 나타났으며 제 19번 염색체에서는 장완에 2개, 단완에 1개의 띠가 관찰되었다. 제 20번 염색체에서는 동원체 부위와 1개의 띠가 관찰되었고 제 21번 염색체에서는 동원체 부위와 2개의 호린 띠가 나타났다. X 염색체는 동원체 부위와 장완에 3개, 단완에 2개의 띠가 나타났으며, Y 염색체는 동원체 부위와 말단부에 1개의 띠가 나타났다.

토끼는 여러 가지 목적에 의해 오랜 세월을 거치는 동안 많은 품종들이 생겨났지만, 각 품종 사이의 차이점에 대한 세포유전학적인 기준이 설정되어 있지는 않다. 앞으로 New Zealand White rabbit를 비롯한 여러 품종들의 정확한 표준 핵형을 확립하기 위해서는 본 실험에서 조사된 것 이외에 C-, Q-, N-, T- 및 R-분염법을 통한 비교 분석이 바람직하다고 보아진다. 아울러, 분염법에 의해 차이가 발견되는 염색체들의 정확한 해석을 위해서는 품종 간의 잡종형성을 통한 비교 연구도 병행되어야 할 것으로 사료된다.

Table 3. Chromosomal distribution of New Zealand White rabbit

Group	A	B	C	D	E	F	G	H
Chromosome number	1,2	3-8	9,10,X	11-13	14,15	16,17	18,19	20,21,Y
Chromosome size*	L	L	M	M	M	S	S	S
Chromosome type**	M	SM	M	SM	M	A	M	A

\*L, Large; M, Medium; S, Short

\*\*M, Metacentric chromosome; SM, Submetacentric chromosome; A, Acrocentric chromosome

요 약

토끼(New Zealand White rabbit)의 감수분열 및 유사분열상을 통해 그 염색체적 특징을 조사하였다. 감수분열 염색체의 표본 작성은 공기건조법을 다소 변형하여 사용하였고, 유사분열 중기상의 핵형분석에는 G-분염법을 이용하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 제1감수분열의 접합기와 태사기의 염색소립과 sex vesicles 및 동원체가 뚜렷하게 구별되었다. 태사기의 중기에서부터 후기 과정이 진행되는 동안에 2가염색체에서 측면으로 돌출한 머리카락 모양의 돌기들이 관찰되어졌고, 이 돌기들은 염색체가 lampbrush 염색체 구조의 모양이 되도록 해주었다. 이동기의 염색체들은 키아즈마의 수와 위치에 따라 분류가 가능하였다. 제1 감수분열 전기의 후반부 과정과 중기 I 시기에는 2가염색체로 된 21개의 상염색체와 1개의 말단결합으로 연결된 X-Y 염색체를 관찰할 수 있었다.

2. New Zealand White rabbit의 생식세포에서 관찰된 2가염색체의 형태는 1CH, 1TAI 및 2TA 2가염색체 유형이 대부분을 이루었다. New Zealand White rabbit에서의 평균 키아즈마 빈도는 약 30.2로 나타났으며, 키아즈마 빈도가 복사기, 이동기 및 중기 I로 분열이 진행됨에 따라 다소 감소하는 경향이 있었다.

3. New Zealand White rabbit의 핵형분석에 의하면 염색체 수는 44개(2n=44)로서, 8쌍의 중부염색체, 9쌍의 차중부염색체, 4쌍의 단부염색체로 된 21쌍의 상염색체와 중부염색체인 1개의 X 염색체 및 단부염색체인 1개의 Y 염색체로 구성되어 있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Burkholder, G.D. 1975. The ultrastructure of G- and C-banded chromosome, *Exp. Cell Res.* **90**, 269-278.  
 2. Choi, Y.H., Y.W. Kwon and W.H. Lee. 1994. Analysis of chiasma, meiotic univalents and X-Y dissociation in Korea wild mice(*Mus musculus* subspecies), *Kor. J. Zoo.* **37**, 104-112.  
 3. Imai, H.T., R.H. Crozier and R.W. Taylor. 1977. Karyotype evolution in Australian ants, *Chromosoma.* **59**, 341-393.

4. Imai, H.T. and K. Moriwaki. 1982. A re-examination of chiasma terminalization and chiasma frequency in male mice, *Chromosoma.* **85**, 439-452.  
 5. Imai, H.T., R.W. Taylor, W.J. Croslan and R.H. Crozier. 1988. Modes of spontaneous chromosomal mutation and karyotype evolution in ants with reference to the minimum interaction hypothesis, *Jpn. J. Genet.* **63**, 159-185.  
 6. Kim, J.B. and H.Y. Lee. 1990. A comparative karyotype study on Korean squirrels, II. Karyotype analysis of *Sciurus vulgaris coreae* and *Tamias sibiricus asiaticus* by G-banding method, *Kor. J. Zoo.* **33**, 255-259.  
 7. Kim, H.S. and W.H. Lee. 1992. A study on the karyotype analysis of Korean wild mouse, *Kor. J. Lab. Ani. Sci.* **8**, 175-188.  
 8. Kim, Y.H., H.S. Kim, Y.H. Choi and W.H. Lee. 2001. Chromosomal analysis of mitosis and meiosis in Korean striped field mouse(*Apodemus agrarius*), *Kor. J. Lab. Ani. Sci.* **17**, 17-26.  
 9. Koh, H.S. 1982. G- and C-banding pattern analysis of Korean rodents, I. Chromosome banding patterns of striped field mice(*Apodemus agrarius coreae*) and black rats(*R. rattus rufescens*), *Kor. J. Zoo.* **25**, 81-92.  
 10. Kwon, Y.W., Y.H. Choi and W.H. Lee. 1993. Characterizations of meiotic stages in Korean wild mice (*Mus musculus* subspecies), *Kor. J. Lab. Ani. Sci.* **9**, 141-147.  
 11. 이영순. 1987. 실험동물학. pp. 192-195, 서울대학교출판부.  
 12. Matsui, S.I. and M. Sasaki. 1975. The mechanism of Giemsa-banding of mammalian chromosomes with special attention to the role of non-histone proteins, *Jpn. J. Genet.* **50**, 189-204.  
 13. McDermott. A. 1971. Human male meiosis: Chromosome behavior at premeiotic and meiotic stages of spermatogenesis, *Can. J. Genet. Cytol.* **13**, 536-549.  
 14. Miller, D.A., I.L. Firschein, V.G. Dev, R. Tantravahi and O.J. Miller. 1974. The gorilla karyotype: chromosome lengths and polymorphisms, *Cytogenet. Cell Genet.* **13**, 536-550.  
 15. Plöen, L. 1971. A scheme of rabbit spermateleosis based upon electron microscopical observations, *Z. Zellforsch.* **115**, 553-564.  
 16. Robinson, T.J., F.F.B. Elder and J.A. Chapman. 1983. Evolution of chromosomal variation cottontails, genus *Sylvilagus*(Mammalia, Lagomorpha): *S. aquaticus*, *S. floridanus* and *S. transitionalis*, *Cytogenet. Cell Genet.* **35**,

- 216-222.
17. Seto, T., Y. Utsunomiya and T. Utsunomiya. 1982. Karyotypes and banding patterns of *Tylototriton andersoni* Boulenger, a newt endemic to the Ryukyu islands, *Jpn. J. Genet.* **57**, 527-534.
  18. Singh, D.N. and N.L. Garlick. 1972. Chromosomal studies in the squirrel monkey, *J. Hered.* **63**, 379-381.
  19. Steiniger, G.E. and A.B. Murkherjee. 1975. Insect chromosome banding : Technique for G- and Q-banding pattern in the mosquito *Aedes albopictus*, *Can. J. Genet. Cytol.* **17**, 241-244.
  20. Wallace, R.A., G.P. Sanders and R.J. Ferl. 1991. *Biology-The science of life*, pp. 216-220, Harper Collins Publishers.
  21. Yosida, T.H. 1980. Studies on the karyotype differentiation of the Norway Rat, *Jpn. J. Genet.* **55**, 397-403.
  22. Yosida, T.H. 1981. Chromosome polymorphism of the large naked-soled gerbil *Tatera indica*(Rodentia, Muridae), *Jpn. J. Genet.* **56**, 241-248.

(Received May 26, 2001; Accepted July 20, 2001)