

## 한국산 야생 생쥐(*Mus musculus* subspecies)에서 Chiasma, Univalent 및 X-Y 염색체 조기 분리에 관한 연구

최영현 · 권용원 · 이원호

부산대학교 자연과학대학 생물학과

한국산 야생 생쥐(*Mus musculus* subspecies)와 동계교배 계통인 BALB/c의 정모세포에서 감수분열에 따른 염색체의 chiasma 말단화 여부와 chiasma 빈도, X-Y 염색체의 조기 분리 빈도 등을 조사하였다. 한국산 야생 생쥐에서는 chiasma 말단화가 일어나지 않는 것으로 나타나 말단 chiasma는 말단 부위에 특이적으로 생긴 chiasma로 생각되며, chiasma 빈도의 감소와 univalent 빈도의 증가에 관한 ageing의 영향도 관찰되지 않았다. 불임개체에서 X-Y 염색체 조기 분리가 낮은 빈도로 나타나 동계교배 계통과는 다소 상반된 결과를 보였고, chiasma 빈도는 한국산 야생 생쥐가 동계교배 계통에 비해 다소 높게 나타났으며 복사기, 이동기 및 중기 I을 거치는 동안 거의 일정한 수준을 보여주었다. 또한 한국산 야생 생쥐에서 특징적으로 개재 chiasma 빈도 보다 말단 chiasma 빈도가 높게 나타났으며 이에 대해서는 부가적인 연구가 뒤따라야 할 것으로 사료된다.

**KEY WORDS: *Mus musculus* subspecies, chiasma, univalent, X-Y dissociation**

특정 생명체에 관한 감수분열의 연구는 chiasma 형성과 말단화 여부, X와 Y 및 상염색체간 결합의 특이성, chiasma 빈도의 결정 등과 같은 체세포 염색체 연구에서 얻을 수 없는 많은 정보를 얻을 수 있다. 제 1 감수분열 전기와 특히 중기 I에서 X와 Y 염색체는 종종 end-to-end 결합을 하는데, 이러한 말단 chiasma의 존재는 chiasma가 처음의 위치에서 말단부위로 이동한다는 증거로써 인정되어져 왔으며 (Sybenga, 1975), chiasma는 개재성 (interstitial)이기 때문에 중기 I에서 나타나는 말단 chiasma는 말단화의 기작을 요구한다고 주장된 바 있다 (White, 1973). Darlington (1932)은 개재 chiasma는 복사기와 이동기를 통해 염색체 완의 말단부를 향해 이동하며 중기 I에서는 말단화된 chiasma를 형성한다고 보고한 바 있으나, 최근 여러 연구자들에 의해 chiasma 말단화의 상기 개념에 반대되는 증거들도 보고 되어져 오고 있다 (Jones, 1978; Jones and Tease, 1979; Imai and

Moriwaki, 1982; John and King, 1985). 한편 인간을 포함한 포유동물에서 모체의 ageing 증가는 생식력의 감소와 연관성을 지니며 (Luthardt *et al.*, 1973), 표현형적으로 비정상적인 자손 빈도의 증가와 염색체의 수적, 구조적 비정상 등을 초래한다 (Synder *et al.*, 1987). 특히 염색체의 수적 비정상은 생쥐에서 ageing이 증가된 난모세포의 감수분열 동안 염색체 불분리 현상의 증가와 관계가 있으며, Henderson과 Edwards(1968)는 ageing이 증가된 암컷 생쥐의 난모세포에서 감수분열 염색체의 수적 비정상성이 증가되고, 아울러 chiasma 빈도의 감소, chiasma 위치의 변화 및 univalents의 빈도가 증가하였음을 보고하였다. Polani와 Jagiella(1976)은 CS1과 CFLP 계통에서 ageing이 증가됨에 따라 암컷의 중기 I에서는 chiasma의 빈도는 감소하고 univalents의 빈도는 증가되었지만, 전체 염색체의 수에 대한 유의적인 차이점을 발견하지 못하였으며, 수컷에서도 ageing에 따라 정모세포

에서 상염색체 univalents의 증가 혹은 chiasma의 감소는 없었다고 하였으며, Jagiello와 Fang(1979)도 복사기 정모세포에서 이와 유사한 결과를 보고한 바 있다.

일반적으로 생쥐에서 X와 Y 염색체는 제 1 감수분열의 이동기와 중기에서 end-to-end 형태의 결합을 하고 있으나(Kofman-Alfaro and Chandley, 1970; Solari, 1970), 때때로 분리하여 univalent를 형성하는데, 이러한 현상을 X-Y 조기 분리(X-Y dissociation or X-Y nonpairing)라고 부른다(Rapp *et al.*, 1977). 이 현상은 주로 불임의 수컷이나 계통간 잡종에서 대체로 높은 빈도로 관찰되어지고 있다(Chyi-Chyang *et al.*, 1971; Beechey, 1973; Rapp *et al.*, 1977; Matusuda *et al.*, 1992).

본 연구에서는 세포유전학적 연구가 거의 되어 있지 않은 한국산 야생 생쥐(*Mus musculus* subspecies)의 정모세포에서 chiasma의 분석을 통해 chiasma 말단화 가설을 재검토하고, ageing에 따른 수컷 생쥐의 chiasma 빈도와 univalent 빈도의 조사, 불임 개체와 정상 개체의 univalent 빈도의 비교 분석 및 불임과 univalent 빈도와 정소의 크기와의 연관성을 조사함을 목적으로 하였다.

## 재료 및 방법

### 생 쥐

본 실험에 사용된 한국산 야생 생쥐(*Mus musculus* subspecies)는 1989년 2월 부터 1991년 2월에 걸쳐 4개 지역(진영, 밀양, 김천, 포천)에서 채집후 계대사육된 계통들(F<sub>2</sub>~F<sub>3</sub>)이었으며, 결과 비교를 위해 동계교배 계통인 BALB/c를 사용하였다.

### 염색체 표본 작성

표본의 작성은 Imai 등(1981)의 방법을 다소 변형하였다. 즉, 적출한 정소를 30분간 저장 처리하고 Carnoy 용액에서 1시간 고정후, 세포부

유액을 2시간 동안 재고정하였다. 1,500 rpm으로 세포를 모아 slide glass 상에 적하하여 공기 건조시켰으며, 염색은 4% Giemsa 액을 사용하였다.

### 염색체 분석

Chiasma 빈도와 분포의 분석에는 168개의 복사기 세포, 189개의 이동기 세포, 180개의 중기 I 세포 등, 총 537개 세포와 X-Y 염색체 조기 분리 빈도를 구하기 위해 총 1,101개의 중기 I 세포를 대상으로 관찰하였다. 염색체의 분석은 Imai와 Moriwaki(1982)의 기준에 의거하였으며, ageing에 따른 영향을 조사하기 위해서는 I 군과 II군로 나누어 비교하였다(Table 3).

## 결 과

### 2가염색체에서 chiasma의 behaviour

한국산 야생 생쥐 제 1정모세포내의 2가염색체에서 chiasma 말단화 여부를 조사하기 위해, 복사기, 이동기 및 중기 I에서 2가염색체의 중앙부에 chiasma가 존재하는 개체성 chiasma의 가장 기본적인 형태인 1CH 2가염색체(Imai and Moriwaki, 1982)내 chiasma 분포를 비교하였다. 1CH 2가염색체에서 chiasma가 이동기와 중기 I 동안 단완 혹은 장완의 말단으로 실제로 이동한다면 Imai와 Moriwaki(1982)의 분류에 의한 1TA<sub>1</sub>와 1TA<sub>2</sub> 2가염색체의 빈도는 이동기와 특히 중기 I에서 크게 증가할 것이다. Table 1에서 보는 것과 같이 1CH, 1TA<sub>1</sub> 및 1TA<sub>2</sub> 2가염색체의 빈도는 야생 생쥐의 경우, 1CH가 32.7%에서 33.3%로, 1TA<sub>1</sub>은 25.2%에서 26.4%로, 그리고 1TA<sub>2</sub>는 0.2%에서 1.2%로 나타나 3가지 세포 단계 모두에서 거의 일정한 수준이었고, BALB/c에서도 48.4%에서 51.5% 정도였다. 야생 생쥐에서의 3단계 평균 D값은 0.812에서 0.807로서(Table 2) 통계적 차이를 보여주지 않았다. 이는 1CH 2가염색체에서 chiasma의 말단화가 나타나지 않았음을 시사하는 것이다.

**Table 1.** Frequencies (%) of the ten bivalent types observed in spermatocytes of Korean wild mice (*Mus musculus* subspecies) and inbred strain (BALB/c)

Mice	Cell Stage	Types of bivalent*									
		1CH	1CH · 1TA <sub>1</sub>	1TA <sub>1</sub>	2CH	2TA	1CH · TAs	0	1TAs	1CH · 2TA	2CH · 1TA <sub>1</sub>
<i>Mus musculus</i> subspecies	Diplotene	32.7	20.1	25.2	0.8	20.3	0.9	0.3	1.2	0.1	0.0
	Diakinesis	32.4	16.0	26.1	0.2	24.3	0.3	0.4	0.4	0.1	0.0
	Metaphase I	33.3	13.5	26.4	0.1	26.1	0.2	0.3	0.2	0.1	0.0
	Mean ± SD	32.8 ± 0.5	16.5 ± 3.3	25.9 ± 0.6	0.5 ± 0.5	23.6 ± 3.0	0.5 ± 0.4	0.3 ± 0.2	0.6 ± 0.5	0.1 ± 0.0	0.0 ± 0.0
BALB/c	Diplotene	48.4	10.9	29.2	0.0	9.2	1.7	0.0	0.0	0.8	0.0
	Diakinesis	49.5	8.4	30.0	0.0	10.6	0.0	1.1	5.0	0.0	0.0
	Metaphase I	51.5	5.7	34.4	0.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Mean ± SD	49.8 ± 1.6	8.3 ± 2.6	31.2 ± 2.8	0.0 ± 0.0	9.3 ± 1.3	0.6 ± 1.0	0.4 ± 0.6	1.7 ± 2.9	0.3 ± 0.5	0.0 ± 0.0

\*Symbols see Imai and Moriwaki (1982).

**Table 2.** The Distribution of 1CH bivalent at diplotene, diakinesis and metaphase I in spermatocyte of Korean wild mice (*Mus musculus* subspecies)

Cell stage examined	Mean D* value ± S.D
Diplotene	0.812 ± 0.027
Diakinesis	0.812 ± 0.061
Metaphase I	0.807 ± 0.010

\*The relative distance from the end of short arm to the 1st end 2nd chiasma (D) represented as  $D = a/(a+b)$ : a is the distance between the end of short arm and the 1st chiasma in 1CH, 2CH, 1CH · 1TA and 1CH · 2TA type or the end of long arm in 1TA, 2TA, 0 types. b is the distance between the 1st and 2nd chiasma in the 2CH category or between the 1st chiasma and the end of long arm in 1CH, 1CH · 1TA<sub>1</sub> and 1CH · 2TA bivalents.

#### 2가염색체 유형의 형태적 변이

수컷 생쥐 제 1정모세포내에서의 성염색체는 보통 end-to-end 결합(1TA<sub>1</sub>)을 하고 있지만, 때로는 링 모양(2TA) 또는 U자 모양(1TA<sub>1</sub>(U))을 하기도 한다. 한국산 야생 생쥐 성염색체의 2TA, 1TA<sub>1</sub>(U)과 1TA<sub>1</sub> 빈도들은 복사에서 각각 7.8%, 70.7%, 21.5%이었으며,

이동기에서는 5.4%, 46.6%, 48.0%이었고, 중기 I에서는 0%, 18.4%, 81.6% 정도를 나타내었다(Fig. 1). 즉 야생 생쥐에서의 복사에서 1TA<sub>1</sub>(U)의 빈도가 우세하였고 중기 I에서는 1TA<sub>1</sub>이 우세하게 나타났다. 이는 초기 복사에서 성염색체가 end-to-end 결합 후 이동기가 되면서 말단이 분리(2TA → 1TA<sub>1</sub>(U) → 1TA<sub>1</sub>)됨을 의미한다.

#### Ageing의 영향

Table 3은 한국산 야생 생쥐의 수컷에서 ageing에 따른 chiasma의 빈도를 조사하기 위하여 I군(young group)과 II군(old group)로 나누어 분석한 결과로서, 두 비교 군들 사이에서의 통계적인 유의성을 보이지는 않았다( $P < 0.50$ ).

중기 I에서 X와 Y 염색체는 일반적으로 end-to-end 결합 즉 bivalent type을 하고 있으나, 때로는 조기 분리된 univalent type이 되기도 한다(Fig. 2). Ageing에 따른 수컷의 성염색체에 대한 univalents의 빈도는 Table 3에서처럼 I군과 II군에서 각각 약 6.86(± 2.48)% 및 6.14(± 1.35)%로서 ageing에 따라 약간의 감소를 보였으나, 통계적인 유의적 차이를 나타내지

는 낮았다( $P < 0.50$ ). 한편 실험에 사용된 두 군에서 상염색체의 univalents는 아주 낮은 빈도(0~1.25%)로 관찰되었다.

성염색체의 조기 분리와 불임과의 관계

불임개체의 정소는 정상개체에 비해 다소 작았으며 그 무게는 정상개체의 평균 0.09(± 0.04)

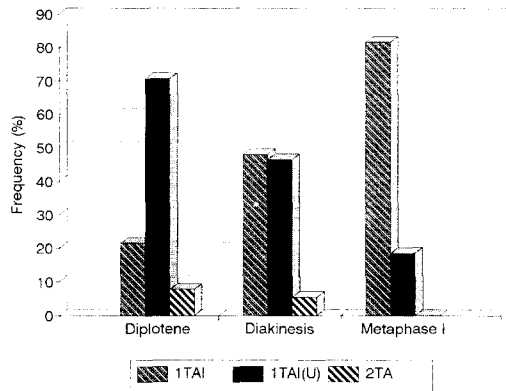


Fig. 1. Frequency of morphological alterations of sex bivalent types in Korean wild mice (*Mus musculus* subspecies).

g에 비해 0.06(± 0.01) g 정도였고, 정소의 감소된 크기를 제외하고 외관상 차이는 없어 Purnell(1973)의 결과와 일치되었다. 정상개체의 중기 I에서 관찰된 성염색체의 조기 분리 빈도는 평균 6.50(± 1.92)% 정도(Table 3)로 Chyi-Chyang 등(1971)의 결과(6.17 ± 0.45)와 유사하게 나타났으며, BALB/c의 경우도 7.33(± 0.65)% 정도였다(Table 3). 그러나 불임개체에서는 이보다 약 3배가 증가된 17.60(± 0.31)%로 나타났으나(Fig. 3), 상염색체의 조기 분리 빈도는 1.25% 이하였다.

분열단계에 따른 chiasma의 빈도

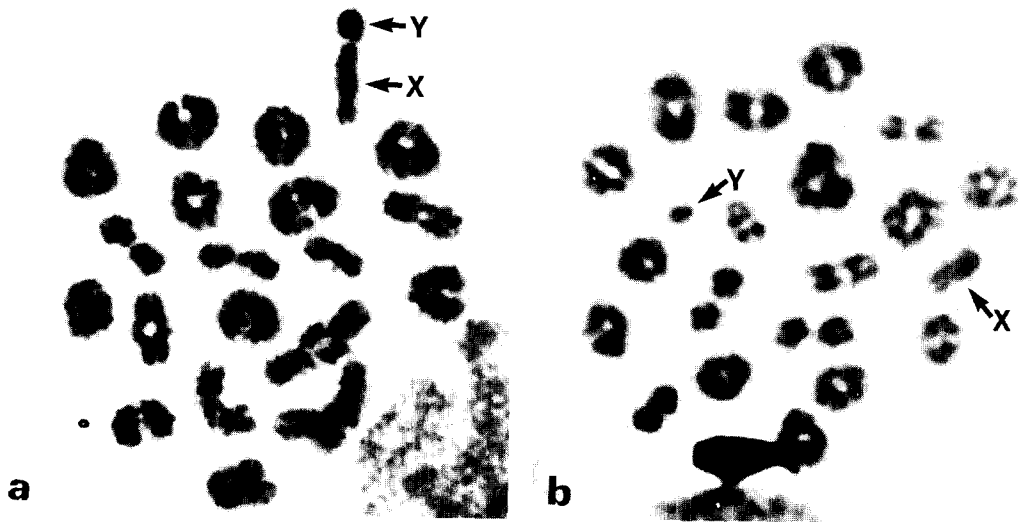
전기 I의 복사기, 이동기 및 중기 I의 2가 염색체를 개체성 chiasma와 말단 chiasma의 수에 따라 분류하여 chiasma의 빈도를 한국산 야생 생쥐와 BALB/c에서 비교 하였다(Table 4). 그중에서 chiasma가 가장 뚜렷하게 보이는 시기는 이동기였으며, 한국산 야생 생쥐의 chisma 빈도는 평균 28.1이었고, BALB/c는 약 23.6 정도였다. 각 단계 세포내의 2가 염색체당 chiasma의 평균수는 복사기에서는 약 1.

Table 3. Numbers of cells scored with resulting chiasma and univalents frequency per age group in Korean wild mice (*Mus musculus* subspecies)

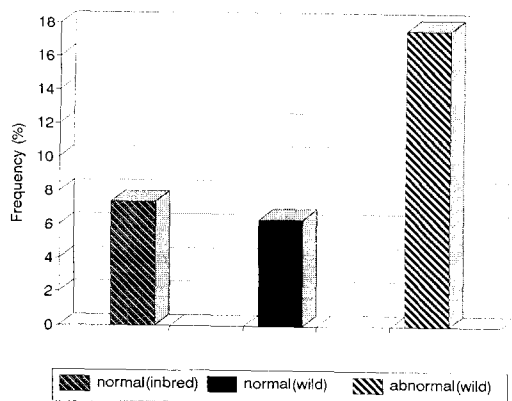
Age group	Age in months	Number of cells scored	Chiasma frequency per cell ± S.D	Frequency (%) of univalents
Group I	1.2	99	27.2 ± 0.611	5.1( 5)*
	1.9	116	28.3 ± 0.500	9.5(11)
	2.6	143	28.0 ± 0.416	5.5( 8)
	5.0	131	28.1 ± 0.458	4.6( 6)
	5.6	104	27.7 ± 0.100	9.6(10)
			Mean 27.9 ± 0.35	6.86 ± 2.48(40)
Group II	11.0	120	28.5 ± 0.252	7.5( 9)
	12.0	90	28.4 ± 0.503	5.6( 5)
	13.0	109	27.8 ± 0.200	7.3( 8)
	21.0	49	27.9 ± 0.651	6.1( 3)
	24.0	120	28.9 ± 0.173	4.2( 5)
			Mean 28.3 ± 0.453**	6.14 ± 1.35(30)**
Total Mean			28.1 ± 0.476	6.50 ± 1.92(70)

\*Number of univalents with dissociated X and Y chromosomes.

\*\*P<0.50, when compared with group I by Student's t-test.



**Fig. 2.** Spermatocyte at metaphase I in Korean wild mice (*Mus musculus* subspecies). a. A cell with paired X and Y chromosomes(bivalent type). b. A cell with dissociated X and Y chromosomes (univalents type).



**Fig. 3.** Frequency of spermatocytes with univalents in normal and abnormal Korean wild mice (*Mus musculus* subspecies).

415. 이동기와 중기 I에서는 각각 1.405, 1.395로 거의 일정한 수준이었다.

### 고찰

Chiasma가 2가염색체의 끝부분에 존재하는 말단 chiasma 빈도가 복사기보다 이동기와 중기 I에서 높다는 결과로부터 추론된 chiasma

말단화 개념에 의하면, 말단 chiasma는 염색체의 중간부에 형성된 개재성 chiasma가 복사기에서 중기 I으로 지남에 따라 말단부로 이동한 결과 생기는 것으로 설명하고 있다(Darlington, 1932). 그러나, Jones(1978)는 Giemsa-C-banding법을 이용하여 중기 I에서 나타나는 말단화 현상을 위말단화(pseudoterminisation)로 설명하였으며, Kanda와 Kato(1980)는 감수분열 2가염색체의 딸염색체를 차별적으로 염색하는 BrdU labelling technique를 이용하여 chiasma는 상동염색체의 비자매염색분체들 사이의 X-type exchange에 의해 생기며 교차 부위와 정확히 일치하기 때문에 chiasma는 형성 부위로 부터 이동하지 않는다고 하였고, John과 King(1985)은 말단 결합은 chiasma가 아니며, 말단화 및 위말단화 현상으로 설명될 수 없다고 한 바 있다. 만약 chiasma 말단화 개념이 옳다면, 말단 chiasma는 말단화에 의해 개재 chiasma에서 유래한 것이라고 추측할 수 있다. 즉 Imai와 Moriwaki(1982)에 의해 분류된 1CH 2가염색체의 빈도가 복사기에서 이동기와 중기 I로 되면 크게 감소하고, 1TA 2가염색체의 빈도도 크게 증가한다고 추측할 수 있다. 그러나, 본 연구에서 조사된

**Table 4.** Mean cell chiasma frequency with their standard deviation at diplotene, diakinesis and metaphase I of Korean wild mice (*Mus musculus* subspecies) and inbred strain (BALB/c)

Cell stage	<i>Mus musculus</i> subspecies		BALB/c	
	Chiasma mean ± S.D	Total bivalents (cells) observed	Chiasma mean ± S.D	Total bivalents (cells) observed
Diplotene	28.3 ± 0.447	3,360(168)	24.3 ± 0.516	120( 6)
Diakinesis	28.1 ± 0.482	3,780(189)	23.5 ± 0.774	180( 9)
Metaphase I	27.9 ± 0.643	3,600(180)	22.9 ± 0.640	300(15)
Mean ± S.D	28.1 ± 0.598	10,740(537)	23.6 ± 0.702	600(30)

한국산 야생 생쥐 (*Mus musculus* subspecies)에서의 1CH 2가염색체 빈도가 복사기와 이동기 및 중기 I에서 거의 일정하게 유지되었고, 1TA 2가염색체의 빈도도 유의적인 차이를 나타내지는 않았다(Table 1). 또한 1CH 2가염색체에서 개재성 chiasma의 분포(D)는 복사기와 중기 I에서 유의적 차이가 없게 나타났다(Table 3). 그리고 복사기와 중기 I에서 세포당 1TA<sub>1</sub>와 1CH 2가염색체의 평균 빈도는 1TA<sub>1</sub>은 5.044, 5.317이고, 1CH는 6.479, 6.442로 거의 차이가 없다는 사실은 chiasma 말단화에 반대되는 증거로서, Kanda와 Kato(1980), Imai와 Moriwaki(1982), John과 King(1985) 등의 여러 연구자에 의한 말단화가 일어나지 않는다는 주장을 지지해 준다고 할 수 있다. 따라서 말단 결합은 개재성 chiasma의 말단화에 의해 생긴 것이 아니라 양쪽 말단부위에 특이적으로 생긴 chiasma로 사료된다.

한편, Henderson과 Edwards(1968)는 ageing에 관련된 감수분열 염색체의 비정상인 chiasma 빈도의 감소와 univalent의 증가라고 보고하였으나, 한국산 야생 생쥐의 수컷에서는 ageing과 chiasma 빈도 사이에서 유의적인 상관성을 볼 수는 없었다. 단지 복사기에서만 유의적인 차이를 보였는데( $P < 0.05$ ), I군 보다 II군에서 약간 증가된 것으로 나타났다. 이동기와 중기 I, 그리고 전체 평균에서 I군과 II군 사이에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 이와 같은 결과는 Henderson과 Edwards(1968) 및 Speed(1977)의 결과와 매우 일치된 것이다. Jagiello와 Fang(1979)은 생쥐에서 ageing에

따라 복사기 chiasma 빈도는 차이를 보이지 않는다고 보고하였는데, 본 실험의 결과는 이와는 다르게 복사기에서만 차이를 나타내었다. 따라서 복사기에서의 약간의 불일치는 ageing에 의한 영향이라고 생각하기는 어려운 것으로 사료된다. 2가 염색체가 분리된 univalents 빈도 또한 ageing에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았으므로, 야생 생쥐 수컷의 ageing은 감수분열 염색체에는 큰 영향을 미치지 않았음을 시사해주었다. 또한 본 연구에서 상염색체의 univalent는 거의 발견되지 않았으며, 주로 X-Y 염색체의 univalents가 발견되었다. 그러나 암컷에서의 univalent 빈도는 ageing에 따라 일반적으로 증가한다고 보고되어져 오고 있다(Henderson and Edwards, 1968; Luthardt et al., 1973; Jagiello and Fang, 1979; Sugawara and Mikamo, 1983).

본 실험에서 조사된 야생 생쥐의 X-Y 조기 분리 빈도는 Chy-Chyang 등(1971)의 결과 및 BALB/c와 유사하여 정상 수컷 생쥐의 자연발생적인 X-Y 조기 분리 빈도는 계통간의 큰 차이를 보여주지 않았으며, 불임 수컷의 경우는 자연발생적 빈도보다 다소 증가된 17.6%이었으나 Beechey(1973)는 불임 동계교배 계통(C3H/HeH and 101/H)의 빈도를 100%로 보고하여 큰 차이를 보였는데 이에 대해서는 부가적인 연구가 요구되어진다. 또한 Beechey(1973)는 불임의 경우 양쪽 정소 무계가 모두 감소한다고 보고하였으며, Matsuda 등(1983)은 불임은 정소 무계의 감소와 연관성이 없다고 하였으나 조사된 야생 생쥐의 불임개체에서 한쪽

정소의 무계만 감소되어 다소 상반된 결과를 보여주었다.

이전까지 말단 chiasma는 2가염색체의 끝부위가 단순히 결합된 achiasmate형말단 결합이라는 연구도 보고된 바 있다(Kanda and Kato, 1980; Imai and Moriwaki, 1982; John and King, 1985). 한국산 야생 생쥐와 BALB/c의 chiasma 빈도를 개재성 chiasma와 말단 chiasma의 수에 따라 조사하였는데, 본 연구에서의 chiasma 빈도조사는 Syrian hamster 정모세포에서 염색분체를 차별적으로 표지하는 5-bromo-2'-deoxyuridine antibody technique(BAT)을 이용하여 감수분열 염색체의 말단 결합은 실제로 chiasma를 나타낸다는 Latos-Bielenska와 Vogel(1990)의 보고를 지지하여 말단 결합을 chiasma에 포함시키는 종래의 방법을 그대로 적용한 chiasma 빈도로서 계산하였다. 복사기와 이동기 및 중기 I에서 한국산 야생 수컷 생쥐의 chiasma 빈도는 Table 4에 나타난 것처럼 복사기에서 28.3, 이동기와 중기 I에서는 각각 28.1과 27.9로서 Polani(1972)에 의한 CELP 계통 암컷의 경우 ( $27.53 \pm 0.225$ ) 및 Maudlin과 Evans(1980)에 의한 Rb(5.15)3Bnr 계통 암컷의 결과( $27.79 \pm 2.72$ )와 다소 유사하게 나타났으며, BALB/c의 chiasma 빈도는 중기 I에서  $22.9(\pm 0.640)$ 로 나타나(Table 4). Polani(1972)의 CELP 수컷 생쥐의 결과( $22.58 \pm 0.166$ ) 및 Imai와 Moriwaki(1982)에 의한 BALB/c에서( $22.5 \pm 1.7$ )와도 유사하였다. Chiasma 빈도는 다른 동계교배 계통들사이와 큰 차이가 없는 것으로 나타났으나( $22.9-24.1$ ), 조사된 한국산 야생 생쥐의 경우는 이들보다 다소 높은 빈도였음을 알 수 있었다. 그리고 염색체 길이와 chiasma 빈도 사이의 관계를 2가염색체의 길이와 2가염색체의 chiasma 빈도와의 상관관계에 의해 조사한 결과는 서로 무관하였다( $r = -0.6$ ). Imai와 Moriwaki(1982)는 chiasma 빈도가 복사기에서 이동기 및 중기 I을 거치는 동안 일반적으로 다소 감소하는 경향성이 있다고 보고하였으나( $25.4 \rightarrow$

22.5). 본 연구에서는 chiasma 빈도가 3단계에 걸쳐 거의 일정한 수준이었다. 1CH 2가염색체의 빈도에 있어서는 야생 생쥐와 BALB/c 사이에서 큰 차이를 보이는데, 한국산 야생 생쥐는 약 33%였고 BALB/c는 약 50%로서 야생 생쥐에서 개재 chiasma의 빈도가 다소 낮게 나타났다(Table 1). Imai와 Moriwaki(1982)의 결과는 BALB/c에서 개재 chiasma의 빈도가 63.7%로 말단 chiasma 보다 개재 chiasma가 훨씬 높게 나타났지만, 한국산 야생 생쥐에서는 이와 상반되게 개재 chiasma보다 말단 chiasma 빈도가 훨씬 높은 결과를 보였는데, 이러한 특징적인 결과에 대해서는 부가적인 연구가 요구되어진다.

## 인용문헌

- Beechey, C.V., 1973. X-Y chromosome dissociation and sterility in the mouse. *Cytogenet. Cell Genet.* **12**: 60-67.
- Chyi-Chyang, L., W.S. Tsuchida, and S.A. Morris, 1971. Spontaneous meiotic chromosome abnormalities in male mice (*Mus Musculus*). *Can. J. Genet. Cytol.* **13**: 95-100.
- Darlington, C.D., 1932. Recent advances in Cytology. J. and A. Churechill, London, pp.309-334.
- Henderson, S.A., and R.G. Edwards, 1968. Chiasma frequency and maternal age in mammals. *Nature* **218**: 22-28.
- Imai, H.T., Y. Matsuda, T. Shiroishi, and K. Moriwaki, 1981. High frequency of X-Y chromosome dissociation in primary spermatocytes of F1 hybrids between Japanese wild mice (*Mus musculus molossinus*) and inbred laboratory mice. *Cytogenet. Cell Genet.* **29**: 166-175.
- Imai, H.T., and K. Moriwaki, 1982. A re-examination of chiasma terminalization and chiasma frequency in male mice. *Chromosoma* **85**: 439-452.
- Jagiello, G., and J.S. Fang, 1979. Analysis of diplotene chiasma frequencies in mouse oocytes and spermatocytes in relation to ageing and sexual dimorphism. *Cytogenet. Cell Genet.* **23**: 53-60.
- John, B., and M. King, 1985. Pseudoterminalisation, terminalisation, and nonchiasmate modes of terminal association. *Chromosoma* **92**: 89-99.
- Jones, G.H., 1978. Giemsa C-banding of rye meiotic chromosomes and the nature of "terminal" chiasmata.

- Chromosoma* **66**: 45-57.
- Jones, G.H., and C. Tease, 1979. Analysis of exchanges in differentially stained meiotic chromosomes of *Locusta migratoria* after BrdU-substitution and FPG staining. *Chromosoma* **73**: 85-91.
- Kanda, N., and H. Kato, 1980. Analysis of crossing over in mouse meiotic cells by BrdU labelling technique. *Chromosoma* **78**: 113-121.
- Kofman-Alfaro, S., and A.C. Chanley, 1970. Meiosis in the male mouse. An autoradiographic investigation. *Chromosoma* **31**: 404-420.
- Latos-Bielenska, A., and W. Vogel, 1990. Frequency and distribution of chiasmata in Syrian hamster spermatocytes studied by the BrdU antibody technique. *Chromosoma* **99**: 267-272.
- Luthardt, F.W., C.G. Palmer, and P.-L. Yu, 1973. Chiasma and univalent frequencies in aging female mice. *Cytogenet. Cell Genet.* **12**: 68-79.
- Matsuda, Y., H.T. Imai, K. Moriwaki, and K. Kondo, 1983. Modes of inheritance of X-Y dissociation in inter-species hybrids between BALB/c mice and *Mus musculus molossinus*. *Cytogenet. Cell Genet.* **35**: 209-215.
- Matsuda, Y., P.B. Moens, and V.M. Chapman, 1992. Deficiency of X and Y chromosomal pairing at meiotic prophase in the spermatocytes of sterile interspecific hybrids between laboratory mice (*Mus domesticus*) and *Mus spretus*. *Chromosoma* **191**: 483-492.
- Maudlin, I., and E.P. Evans, 1980. Chiasma distribution in mouse oocytes during diakinesis. *Chromosoma* **80**: 49-56.
- Polani, P.E., 1972. Centromere localization at meiosis and the position of chiasmata in the male and female mouse. *Chromosoma* **36**: 343-374.
- Polani, P.E., and G.M. Jagiello, 1976. Chiasmata, meiotic univalents and age in relation to aneuploid imbalance in mice. *Cytogenet. Cell Genet.* **16**: 505-529.
- Purnell, D.J., 1973. Spontaneous univalence at male meiosis in the mouse. *Cytogenet. Cell Genet.* **12**: 327-335.
- Rapp, M., E. Therman, and C. Denniston, 1977. Nonpairing of the X and Y chromosomes in the spermatocytes of BDF1 mice. *Cytogenet. Cell Genet.* **19**: 85-93.
- Solari, A.J., 1970. The spatial relationship of X and Y chromosomes during meiotic prophase in mouse spermatocytes. *Chromosoma* **29**: 217-236.
- Speed, R.M., 1977. The effects of ageing on the meiotic chromosomes of male and female mice. *Chromosoma* **64**: 241-254.
- Sugawara, S., and K. Mikamo, 1983. Absence of correlation between univalent formation and meiotic nondisjunction in aged female Chinese hamster. *Cytogenet. Cell Genet.* **35**: 34-40.
- Sybenga, J., 1975. Meiotic configurations. In: Monographs on Theoretical and Applied Genetics, Vol. I (Frankel, R. ed.), Springer, Berlin-Heidelberg, New York, pp.10-19.
- Synder, L.A., D. Freifflder, and D.L. Hartl, 1987. General Genetics, Jones and Bartlett Publishers Inc., Boston, pp.200-201.
- White, M.J.D., 1973. Animal cytology and evolution, 3rd ed., Cambridge University Press, London, pp. 491.

(Accepted November 30, 1993)



---

**Analysis of Chiasma, Meiotic Univalents and X-Y Dissociation in Korean Wild Mice  
(*Mus musculus* subspecies)**

Yung-Hyun Choi, Yong-Won Kwon and Won-Ho Lee (Department of Biology, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea)

Meiotic chromosomal behaviours of Korean wild mice (*Mus musculus* subspecies) were investigated by using an air-drying method. The analysis of meiotic bivalents revealed that no evidence was obtained in support of chiasma terminalization, which implied that a terminal association (TA) specifically formed in the end of the chromosome arm. Morphological alterations of sex chromosomes were observed in male wild mice; X-Y chromosomes were associated end-to-end in early diplotene, and hence presumably pachytene, but that TA then dissociated during late diplotene and diakinesis. Male wild mice showed a slight but non significant rise in chiasma frequency, and there was no significant increase in meiotic univalent frequency with aging. The frequency of X-Y dissociation was 6.33% in fertile wild mice but 17.6% in sterile. It was also observed that there was the reduction of testis weight in sterile mouse. The mean chiasma frequency (CF) of male wild mice was slightly higher than that of BALB/c, but did not show a tendency for the CF value to decrease through diakinesis and metaphase I. The TA frequency in Korean wild mice was remarkably higher than interstitial chiasma frequency.