

초파리 集團의 遺傳學的 研究

2. X-線照射에 의한 相互 轉座 誘發 頻度에 關하여

姜 永 善·李 廷 珠

(서울大·文理大·動物學科)

The Genetic Studies of *Drosophila* Population 2, On the frequencies of reciprocal translocation in *D. melanogaster* irradiated with X-rays

KANG, Yung Sun and Chung Choo LEE
(Dept. of Zoology, Seoul National University).

(1965. 7. 15 接受)

SAMMARY

The frequency of reciprocal translocation damage in males of *D. melanogaster* irradiated with X-rays was observed in this study. The frequencies were checked at four periods with two days intervals and during spermatogenesis after irradiation.

(1) Modifications in the percentage of the reciprocal translocation damage were not obtained at intervals after irradiated with 500r and 1500r of X-rays respectively.

(2) In two experimental groups irradiated with 500r and 1500r of X-rays, the frequencies showing in the spermatogenesis were 0.50%(500r), 3.85%(1500r) in mature sperm, and 1.59%, 8.10% in the spermatocyte.

(3) The frequency of reciprocal translocation between the Y and 3rd chromosomes was the highest, but in accordance with dosage increase that of the 2nd and 3rd chromosomes relatively increased from 9.34% to 30.49% while decreased from 68.75% to 46.80% in the group of the Y and 3rd chromosomes.

(4) It was supposed that these modifications of the frequency were due to heavy damage of the 2nd chromosomes than other chromosomes in accordance with dosage increase.

(5) Spontaneous reciprocal translocations involving the Y, 2nd and 3rd chromosomes was 0.23%

緒 論

生體에 放射線을 照射했을때 染色體의 構造나 物質의 變化는 直接 또는 間接作用의 結果로 생긴다는 事實은 잘 알려져 있으며 특히 染色體의 切斷(breakage)은 主로 衝擊說(Target theory)로 설명하고 있으나 化學物質을 處理했을 경우도 染色體의 缺欠이 생기 이 問題는 放射線 遺傳學의 問題點으로 되어있다.

放射線 照射에 의한 突然變異는 照射當時 細胞分裂의 상태에 따라 현저한 差를 나타낸다.

Chandley (1961), Bates and Sobels (1961), Strangio (1961), Sobels and Bates (1961), Oster (1961), Savhagen (1961), Herskovitz (1963), Alexander and Bergen-

dahl (1962, 1964), Kang et al (1964)이 生殖細胞에 放射線을 照射한 研究에서 말한 結果로 보면, 精母細胞에서 精細胞期을 거치는 동안에 放射線에 대해 가장 민감하다고 할수있다.

Abrahamson(1960)은 초파리의 卵母細胞에 X-線을 照射해서 相互轉座(Reciprocal translocation)의 出現頻度를 調査報告 했으며, Chandley(1961)도 X-線을 精母細胞에 照射시켜 얻은 轉座는 X-線照射 후 6日경에 가장 높은 頻度를 보였고 8日째에는 급격히 주는데, 한편 X-染色體의 削除는 같은 條件아래서 8日째에 頻도가 높아짐을 報告했다. 한편 Raddi(1964)도 chloroethyl methane sulfanate 를 수컷에 處理해서 0.26%의 轉座, 0.50%의 染色體 削除率을 報告한 것으로 봐서 모든 染色體는 그 構

成成分에 差가 있고 또 細胞가 形成되는 단계에서는 동등한 상태가 아니므로 같은 線量이나 突然變異 誘發物質(源)에 대한 傷害의 差가 현저하다고 생각된다. Tates and Sobels(1961)는 X-線 1,200 r 과 2,000 r 을 초파리의 蛹에 照射하고 cyanide 를 後處理해서 Y 染色體 第2染色體, 第3染色體 사이에 일어나는 轉座 頻도를 관찰했는데 cyanide 의 後處理는 X-線만 照射받았을 때보다 그 頻도를 증가시켰는데 그 差는 有意하지 않았다.

Reddi and Mathew(1963)는 성숙한 초파리의 컷과 交配를 마친 암컷의 몸안에 있는 精子에 X-線을 照射하고 그 傷害作用의 恢復現象을 報告했다. 컷의 精子에 照射했을 때는 照射 후 1日과 2日째에 受精된 精子에서 나타나는 轉座나 伴性劣性致死 突然變異率이 다르고, 또한 照射 후 2日에 첫交配를 시켰을 때는 1日과 2日째에 얻은 頻도의 중간 값이었다. 그러나 한편 암컷의 貯精囊속에서 照射받은 精子에서 誘發된 突然變異는 照射 후 1日과 2日사이에서는 差가 없었고 컷에 照射했을 때 보다도 傷害는 심하였다. 이것은 Abrahamson and Telfer(1956)나 Oster(1961)의 報告와도 一致한다.

이밖에도 Alexander and Bergendahl(1964)은 放射線을 照射하고 알콘, 산소등을 處理한 研究, Herskovitz(1963)는 neutrons 을 照射해서 얻은 結果를, Alexander(1962)는 窒素處理 實驗結果를 각각 報告한 바 있다.

이상과 같이 초파리의 轉座에 관한 研究報告는 많으나 모든 染色體에서 생긴 것을 총괄해서 報告 했으며 相互轉座의 誘發頻도에 관한 報告는 많지 않다.

本 實驗은 X-線을 照射받은 精子에서 誘發되는 相互轉座의 頻度調査로 (1) 放射線 照射후 時間經過에 따라 나타나는 頻度 즉 恢復現象의 再確認, (2) 雄生殖細胞의 生成段階에 따르는 頻도의 變化, (3) Y 染色體, 第2染色體, 第3染色體의 相互間에 생기는 相互轉座의 頻度, (4) 어느 染色體에 심한 傷害를 주는가 하는 점을 밝히고자 실시되었으며 이제까지 알려진 結果를 여기 報告하는 바이다.

材料 및 方法

實驗材料는 *Drosophila melanogaster*, Seoul strain 의 컷과 第2染色體와 第3染色體 위에 劣性遺傳子인 vestigial(vg)과 sepia(se)를 각각 相同으로 지니고 있는 암컷(突然變異型: vg/vg; se/se)를 사용하였다.

研究方法은 우선 實驗材料인 초파리를 多量飼育하여 羽化후 12時間 이내의 컷을 모아 X-線을 照射시켜 그 후 즉시로 vestigial, sepia 인 처녀 암컷과 交配시켰는데 이때에 암컷은 羽化후 36時間 이상 지난것을 사용하였다. 交配方法은 X-線을 照射받은 컷 2個體와 암컷 6

個體를 單位로, 같은 飼育瓶에 넣어 交配시켰다.

컷의 生殖細胞가 成熟된 段階에 따르는 相互轉座의 頻도를 보려고 X-線照射가 끝난 후 부터 2日 간격으로 第10日까지 交配시켜서 5개의 交配期를 두었으며 이때 컷은 第1交配期에 사용했던 個體를 每 交配期마다 새로운 암컷 6個體와 再交配 시켰다. 그리고 동일한 상태에 있던 細胞가 같은 條件을 받았어도 그 精子가 交配한 뒤 암컷 몸안에 머물러 있는 동안 恢復現象이 생기는 것을 확인 하려고 每 交配日부터 2日간씩 產卵시켜 4產卵期를 두었는데 第1產卵期 이후는 암컷만을 새로운 飼育瓶에 옮기면서 8日間 產卵시켰다.

여기서 羽化하여 얻은 第1代個體(F₁)는 表現型은 암수 모두 정상인 個體와 같으나 因子型으로는 異型遺傳子(+vg;+se)를 가진다. 이 第1代個體에서 컷만을 각 交配期에 屬하는 產卵期別로 따로 모아 1쌍씩 逆交配(vg;se우×F₁♂)시켜 第2代個體(F₂)를 얻었는데 여기서는 遺傳因子의 再結合이 일어나 相互轉座를 일으킨 染色體는 동일한 個體안에 있지않는한 染色體의 缺失과 重複으로 致死케 되어 表現型으로 相互轉座의 誘發頻도를 調査하였다.

컷의 生殖細胞 成熟段階는 著者들의 前 論文(Kang et al, 1964)에 따랐다.

實驗에 사용된 線量은 500 r 과 1,500 r 이며, 240Kvp, 10ma, filter 없는 條件에서 照射했고 實驗室안의 溫度는 24±1°C 로 계속 유지하였다.

結果 및 考察

X-線을 照射당한 초파리의 生殖細胞에서 나타나는 相互轉座의 誘發頻도를 자연상태와 비교하기 위하여 對照實驗을 실시한 結果는 Table 1 과 같다.

여기서 알수있는 것은 調査한 標本(精子數) 4282 중에서 Y 染色體, 第2染色體, 第3染色體 사이에 나타난 相互轉座의 數는 11로 약 0.25%를 나타내며 그중에서 Y:2 (Y 染色體와 第2染色體사이에서 생긴 相互轉座)가 2케이스, Y:3은 8케이스, 2:3은 1케이스로 Y 染色體와 第3染色體 사이에서 誘發된 相互轉座가 總頻度の 약 72.73%를 차지한다. 또한 羽化후 즉시 受精된 精子나, 5~6日 후에 受精된 精子사이에는 별 差가 없으며, 羽化후 成熟한 精子나 10日지난 뒤에 成熟한 精子 사이에도 相互轉座의 誘發頻도는 差가 없음을 알수 있다.

500r 을 컷에 照射한 경우에 誘發된 相互轉座의 頻도는 Table 2 에 表示하였다.

X-線 照射후 같은 時期에 交配된 精子는 受精되어서 產卵되는 期日이 다를 경우에도(즉 X-線 照射후에 精子

Table 1. Reciprocal translocation damage in *Drosophila melanogaster* in control group.

Period eggs were laid after mating (days)	Period mating was made after hatching (days)														
	1-2			3-4			5-6			7-8			9-10		
	No. of sample	No. of trans.	%	No. of sample	No. of trans.	%	No. of sample	No. of trans.	%	No. of sample	No. of trans.	%	No. of sample	No. of trans.	%
1-2	280	A 0 B 0 C 0 Tot. 0	0.00	270	A 0 B 0 C 0 Tot. 0	0.00	310	A 0 B 0 C 1 Tot. 1	0.32	255	A 0 B 0 C 1 Tot. 1	0.39	365	A 0 B 0 C 0 Tot. 0	0.00
3-4	200	A 0 B 1 C 0 Tot. 1	0.50	210	A 0 B 1 C 0 Tot. 1	0.48	290	A 0 B 0 C 0 Tot. 0	0.00	250	A 0 B 0 C 0 Tot. 0	0.00	338	A 0 B 2 C 0 Tot. 2	0.59
5-6	315	B 0 C 1 Tot. 1	0.31	180	A 0 B 1 C 0 Tot. 1	0.56	305	A 1 B 0 C 0 Tot. 1	0.29	304	A 0 B 1 C 0 Tot. 1	0.33	365	A 0 B 1 C 0 Tot. 1	0.28
Grand total	795		2 0.25	660		2 0.20	950		2 0.21	809		2 0.25	1068		3 0.28

A: Reciprocal translocation between the Y and 2nd chromosomes, B: Reciprocal translocation between the Y and 3rd chromosomes, C: Reciprocal translocation between the 2nd and 3rd chromosomes.

Table 2. Reciprocal translocation damage in *Drosophila melanogaster* at intervals and during spermatogenesis with 500r of X-rays.

Period eggs were laid after mating (days)	Period mating was made after irradiation (days)											
	No. of sample	1-2		No. of sample	3-4		No. of sample	5-6				
		No. of trans.	%		No. of trans.	%		No. of trans.	%			
1-2	570	A 0 B 2 C 1 Tot. 3	0.53	325	A 0 B 2 C 1 Tot. 3	0.92	347	A 2 B 4 C 0 Tot. 6	1.26			
3-4	228	A 0 B 1 C 0 Tot. 1	0.44	310	A 0 B 2 C 1 Tot. 3	0.97	250	A 2 B 5 C 0 Tot. 7	2.80			
5-6	196	A 0 B 1 C 0 Tot. 1	0.51	509	A 2 B 3 C 0 Tot. 5	1.00	285	A 1 B 2 C 0 Tot. 3	1.05			
Grand total	994		5 0.50	1144		11 0.96	1010		16 1.59			

A: Reciprocal translocation between the Y and 2nd chromosomes, B: Reciprocal translocation between the Y and 3rd chromosomes, C: Reciprocal translocation between the 2nd and 3rd chromosomes.

는 時間이 經過하드라도) 誘發된 相互轉座는 恢復이 되지 않음을 나타낸다. 이것은 Table 2의 각 交配期에 속하는 產卵期를 비교해서 알 수 있다.

한편 숫컷의 生殖細胞 成熟過程의 각 細胞가 X-線을 照射받아 나타내는 相互轉座의 頻度는 照射후 5~6日째인 第二精母細胞期에서 약 1.59%로 가장 높고 成熟한 精子가 照射받았을 경우는 약 0.50%로 가장 낮은 頻度였다.

Chandley(1961)의 報告에서도 1000r의 X-線을 초파리에 照射했을 때 照射후 5-6日째에 轉座의 頻도가 5.96%로 높았다.

Abrahamson and Telfer(1956)는 成熟한 精子에 4000r

의 X-線을 照射한 후 1日에서 11.4%, 2日에서는 6.3%의 轉座頻도를 第2染色體와 第3染色體 사이에서 얻었다.

또한 Reddi and Mathew(1963)는 Y染色體, 第2染色體, 第3染色體 사이에서 誘發된 轉座頻도를 3000r의 X-線 照射후 觀察했는데 숫컷에 照射후 1日과 2日째에 誘發된 轉座頻도는 각각 8.08%와 3.88%로 심한 差가 있으며 照射후 1日은 交配시키지 않고 2日에 첫 交配를 시킨 結果 4.50%를 나타내서 時間經過에 따라 恢復現象을 볼 수 있었다고 했다. 그러나 氏는 같은 實驗에서, 交配된 암컷에 같은 線量を 照射한 結果는 1日과 2日째에 각각 10.12%와 10.56%를 얻어 差를 볼 수 없었다.

Table 3. Reciprocal translocation damage in *Drosophila melanogaster* at intervals and during spermatogenesis with 1500r of X-rays.

Period eggs were laid after mating (days)	Period mating was made after irradiation (days)														
	No. of sample	1-2 No. of trans.	%	No. of sample	3-4 No. of trans.	%	No. of sample	5-6 No. of trans.	%	No. of sample	7-8 No. of trans.	%	No. of sample	9-10 No. of trans.	%
1-2	347	A 2 B 5 C 1 Tot. 14	4.03	425	A 5 B 13 C 3 Tot. 21	4.94	350	A 6 B 14 C 6 Tot. 26	7.42	280	A 2 B 3 C 3 Tot. 8	2.85	290	A 1 B 3 C 2 Tot. 6	2.07
3-4	350	A 3 B 6 C 6 Tot. 15	4.28	370	A 5 B 10 C 4 Tot. 19	5.13	360	A 6 B 13 C 14 Tot. 33	9.16	312	A 2 B 4 C 2 Tot. 8	2.56	200	A 1 B 2 C 1 Tot. 4	2.00
5-6	340	A 3 B 3 C 7 Tot. 13	3.82	315	A 4 B 7 B 6 Tot. 17	5.39	320	A 5 B 14 C 7 Tot. 26	8.12	250	A 2 B 4 C 1 Tot. 7	2.80	345	A 2 B 3 C 2 Tot. 7	2.02
7-8	365	A 3 B 5 C 4 Tot. 12	3.28	360	A 4 B 7 C 3 Tot. 14	3.88	228	A 4 B 10 C 4 Tot. 18	7.89	290	A 2 B 4 C 3 Tot. 9	3.10	310	A 1 B 2 C 2 Tot. 5	1.61
Grand total	1402	54	3.85	1470	71	4.83	1258	103	8.10	1132	32	2.82	1145	22	1.92

A: Reciprocal translocation between the Y and 2nd chromosomes, B: Reciprocal translocation between the Y and 3rd chromosomes, C: Reciprocal translocation between the 2nd and 3rd chromosomes.

1500r 을 照射한 實驗區에 나타난 相互轉座의 頻度는 Table 3 과 같다. 여기에서도 成熟한 精子는 약 3.85%, 第2 第母細胞에서 精細胞를 걸쳐 약 8.10%로 가장 높은 頻度였으며, 精原細胞期(9~10 日째)는 1.92%로 가장 낮은 頻度였다. 500r 과 1500r 을 照射한 實驗區에서 相互轉座의 相對的인 頻度變化는 비슷해서 照射후 時間의 經過에 따라서 頻度 差가 없었다.

이 問題에 대해서는 Alexander(1962)도, 900 rads 의 中性子를 숫기 초파리에 照射하여 Y, 第2, 第3 染色體 사이에서 일어나는 轉座頻度を 報告한바 있는데 照射후 1 日과 2 日째에 각각 6.2%와 6.5%를 얻어 서로 差가 없음을 밝혔고, 다시 4000r 의 X-線을 照射한 경우도 1 日과 2 日째에 9.85%와 7.51% 였으며, 여기에 窒素處理을 結했을 때는 大氣에서 보다 相互轉座의 頻도가 훨씬 감소되나 1, 2 日째에 각각 3.95%와 3.85%를 나타내서 時間經過에 따라 恢復現象은 인정 할 수 없었다. Kang et al(1964)도 초파리에 X-線을 照射하고 伴性劣性致死의 出現率을 調査한 結果 恢復現象은 찾아보지 못했다. 따라서 著者들은 X-線照射로 誘發된 相互轉座는 時間에 따라 恢復이 생기지 않는다고 본다.

放射線의 照射로 생기는 轉座는 單純轉座(simple translocation)와 相互轉座(reciprocal translocation)로 크게 나뉘는데 相互轉座에 관한 研究報告는 거의 없으며 특히 放射線 照射로 어느 染色體에서 심한 切斷이 생기고, 끊어진 부분의 染色體들은 어느 染色體와 잘 結合 되는

지에 대하여는 밝혀지지 못한 상태에 있다. Zimmering and Wu(1964)는 초파리 숫기에 1000r 의 X-線을 照射하고 X-Y 染色體間의 相互轉座頻度を 報告했는데 對照區에서 0.03%로 本 研究의 結果중 對照區의 2:3 사이의 頻度 0.03%(1/3418)와 일치하며, 한편 X-線 照射區에서 Y:3 사이의 頻度は 0.23%인데 對照區의 Y:3 사이의 0.25%(8/3148)와 비슷하다.

Tates and Sobels(1961)는 X-線을 초파리의 精細胞에 照射하고 cyanide 를 後處理 했을때 cyanide 는 轉座頻度を 增加시켰으며 X-線만 1200r 照射한 경우에 第2 染色體와 第3 染色體間의 轉座頻度は 10.6%를 보여 本 研究의 1500r照射에서 얻은 第2, 第3 染色體間의 頻度 2.46%(31/1258)와 큰 差가 있다. 卍氏의 報告에서는 2:3 사이에서 가장 높은 轉座率을 나타내고 있으나 本 研究의 結果는 Y:3 사이에서 가장 높은 頻도가 나타나고 있다.

Table 4는 對照區를 포함한 X-線照射區들에서 誘發된 相互轉座의 出現頻度を 染色體 群(Y:2, Y:3, 2:3)別로 調査한 것이다. 여기에서 보면 Y 染色體와 第3 染色體 사이의 頻度は 對照區에서 72.73%, 500 r 處理區에서 68.75%, 1500r 에서 46.80%로 다른 群보다 항상 높다. 그러나 X-線의 線量이 增加하면 第2 染色體와 第3 染色體 사이의 頻도가 增加되고 반대로 Y:3 群의 頻도가 감소하며 Y:2 群에서는 약 20%로 계속 유지되었다.

Table 4 를 分析하면 (1) X-線照射로 어느 染色體가 가장 심한 傷害를 받으며 (2) 線量이 增加하면 染色體에 따라

Table 4. Comparison of the reciprocal translocation frequencies involving the Y, 2nd and 3rd chromosomes in the control and irradiated groups.

Chrom.	Control		500 r		1500 r	
	No. of trans.	%	No. of trans.	%	No. of trans.	%
Y:2	2	18.18	7	21.86	63	22.34
Y:3	8	72.73	22	68.75	132	46.80
2:3	1	9.09	3	9.34	87	30.49

感受성이 다르며 (3) 染色體의 切斷 부분의 교환부착은 染色體들의 親和性에 의존되지 않나 추측할 수 있다.

對照區와 500r 照射區에서 Y:3 群에서 가장 높은 頻도가 나타난 것을 보면 Y 染色體와 第3 染色體가 第2 染色體보다 sensitive 하다고 볼수 있겠다. 그런데 1500r 照射에서 보면 역시 Y:3 에서 46.80%의 頻도를 나타내서 가장 심한 傷害를 받았다고 보겠으나 低線量에서는 sensitive 하지않던 第2 染色體가 1500r 으로 線量이 增加하면 Y, 第3 染色體와 비교해서 相對적으로 많은 切斷을 일으켰다고 생각 할 수 있다. 그러면 1500r 을 照射 받은 Y:2 群에서 나타난 頻도 22.34%는 Y:3 과 2:3 에 비해 低率인데 그 理由로 Y 染色體는 線量增加에 따라 相對인 比率로 傷害의 增加가 없었다고 해석 할 수 있으며 1500r 을 받은 第2 染色體에서 생긴 切斷된 部分의 染色體는 Y 染色體보다 第3 染色體와 附着力이 강해서 500r 照射區와는 달리 Y:2 에서 22.34%, 2:3 에서 30.49%의 頻도가 나타난 것으로 추측된다. 그러나 切斷된 染色體가 서로 附着되는 問題는 附着될 染色體의 거리, 生體의 복잡한 條件 등이 關여 되리라 믿어 단순하게 附着力 또는 親和力 만으로 생각 할 수는 없으며 앞으로 더 追求할 課題라 하겠다.

摘 要

D. melanogaster, Seoul strain 의 숫컷에 500r 과 1500 r 의 X-線을 照射하고 X-線에 의한 相互轉座의 誘發頻도를 調査하였다.

- (1) X-線 500r 과 1500r 을 照射한 후 時間의 經過에 따라서는 相互轉座의 出現頻도에 差가 없었다.
- (2) 숫컷의 生殖細胞 成熟段階에 500r 과 1500r 을 照射했을때 成熟한 精子는 0.50%와 3.85%를 각각 나타냈으며 第2 精母細胞에서 精細胞를 결친 時期는 1.59%와 8.10%로 양 實驗區에서 모두 가장 높은 頻도를 보였다.
- (3) 精原細胞(照射後 第9~10日)는 1500r 을 照射 받았을때 1.92%로 가장 낮은 頻도였다.
- (4) 相互轉座의 出現頻도는 Y 染色體와 第3 染色體 사

이에서 가장 높다. 그러나 線量이 增加함에 따라 相互轉座의 頻도는 第2 染色體와 第3 染色體 사이에서 相對적으로 增加되고 Y 染色體와 第3 染色體 사이의 頻도는 감소함을 보였다.

(5) 이 現象은 線量의 增加에 따라 第2 染色體의 傷害를 相對적으로 비교할때 다른 染色體 보다 심함을 추측케 한다.

(6) 對照區에서 얻은 相互轉座의 頻도는 약 0.24%였다.

文 獻

Abrahamson, S., 1960. Reciprocal translocations induced in *Drosophila* oocyte. *DIS* 34, 70.

— J.D. Telfer, 1956. The relative constance of the X-ray induced mutation frequency of *Drosophila melanogaster* sperm in inseminated females. *Genetics* 41, 677—684.

Alexander, M.L., 1962. The role of recovery mechanisms and oxygen effects upon changes in radiation sensitivity in sperm treated in mature males and fertilized females of *Drosophila*. *Genetics* 47, 1505-1518.

Alexander, M. L. and J. Bergendahl, 1962. Biological damage in the mature sperm of *Drosophila virilis* in oxygen and nitrogen with different dose intensities of gamma rays. *Genetics* 47, 71-84.

— · — 1964. Dose rate effects in the developing germ cells of male *Drosophila*. *Genetics* 49, 1-16.

Chandley, A.C., 1961. Mutations induced in presumed spermatocytes. *DIS* 35, 76-77.

Herskowitz, I.H., 1963. An influence of maternal neutrition upon the gross chromosomal mutation frequency recovered from X-rayed sperm of *Drosophila melanogaster*. *Genetics* 48, 703-710.

Kang, Y.S., Y.J. Kim, C.C. Lee and C.C. Choi, 1964. The genetic studies of *Drosophila* population. 1. On the frequencies of sex-linked recessive lethal mutation in *D. melanogaster* irradiated with X-rays. *Zoologica* 3, 1-6.

Oster, I.I., 1961. On recovery in X-irradiated germ cells. *J. Cell & Comp. Physiol.* 58, 203-207.

Reddi, O.S., 1964. Interaction of large deletions in the spermatogonia of *Drosophila melanogaster* with chloroethyl methane sulfanate. *DIS* 39, 88.

Reddi, O.S. and C. Mathew., 1963. Genetic recovery in

- males and inseminated females irradiated with X-ray and fast neutrons. *DIS* 37, 119-120.
- Sävthagen, R., 1961. The relation between X-ray sensitivity and stages of development of treated cells in spermatogenesis and spermiogenesis of *Drosophila melanogaster*. *Hereditas* 47, 43-68.
- Sobels, F.H. and A.D. Bates, 1961. Recovery from pre-mutational damage of X-irradiation in *Drosophila* spermatogenesis. *J. Cell. & Comp. Physiol.* 58, 189-196.
- Strangio, V.A., 1962. Radiosensitive stages in spermatogenesis of *D. melanogaster*. *Nature* 192, 781-782.
- Tates, A.D. and F.H. Sobels, 1961. The genetic effects of postradiation treatment with cyanide in pupal spermatids. *DIS* 35, 98-99.
- Zimmering, Z. and C. K. Wu, 1964. Meiotic X-Y exchange and nondisjunction induced by irradiation in the *Drosophila* males. *Genetics* 50, 633-638.