



ジビニルベンゼンの
チャイニーズ・ハムスター培養細胞を
用いる染色体異常試験

厚生省生活衛生局 委託

財団法人食品薬品安全センター

秦野研究所

【目 次】

	頁
要約 -----	1
緒言 -----	2
材料と方法 -----	3
1 細胞 -----	3
2 被験物質および陽性対照物質 -----	3
3 S9 反応液 -----	3
4 細胞増殖抑制試験 -----	4
5 染色体異常試験 -----	4
6 染色体分析 -----	6
結果 -----	7
特記事項 -----	7
参考文献 -----	7

Figs. 1 and 2

Tables 1 and 2

[要 約]

ジビニルベンゼン (DVB) は、CHL/IU 細胞 (チャイニーズ・ハムスター、肺) に染色体異常を誘発しなかった。

DVB の CHL/IU 細胞に対する 50%増殖抑制濃度は、連続処理 (新鮮培地中で 24時間処理) および短時間処理の S9 mix 存在下 (S9 反応液中で 6時間処理後 18時間の回復時間) では 0.06 mg/ml であった。また、短時間処理の S9 mix 非存在下 (S9 反応液の代わりに MEM 培地を使用) では、0.03 mg/ml であった。

このことから染色体異常試験では、連続処理 (24時間および 48時間処理) および短時間処理の S9 mix 存在下においては、50%増殖抑制濃度の 2倍濃度である 0.12 mg/ml、短時間処理の S9 mix 非存在下においては、0.060 mg/ml をそれぞれ最高処理濃度とし、公比 2 で計 5濃度を設定した。染色体分析が可能な最高濃度は、連続処理および短時間処理の S9 mix 存在下において 0.060 mg/ml、短時間処理の S9 mix 非存在下においては 0.030 mg/ml の濃度となったため、これらの濃度を含めて以下 3濃度を観察対象とした。

DVB はいずれの処理条件下においても、染色体の構造異常および倍数性細胞を誘発しなかった。

[緒 言]

化学物質の遺伝毒性を評価するための短期検索法の一つとして、哺乳動物培養細胞を用いる染色体異常試験がある。化学物質によって誘発される染色体異常には、大別して構造異常（ギャップ、切断、交換）と数的異常（倍数性細胞、異数性細胞）があり、前者はDNA傷害、後者は細胞の分裂機構の異常などを反映している。本試験で用いたCHL/IU細胞は、染色体数が少なく、一般的に化学物質に対して染色体異常の検出感度が高いため、染色体異常試験によく用いられる。

OECD 既存化学物質安全性点検に係る毒性調査事業の一環として、DVB の細胞遺伝学的影響を評価するため、CHL/IU 細胞を用いる染色体異常試験を実施した。なお本試験は、「新規化学物質に係る試験の方法について」（昭和 62 年 3 月 31 日、環保業第 237 号、薬発第 306 号、62 基局第 303 号）および「OECD 毒性試験ガイドライン：473」に準拠し、「化学物質 GLP 基準」（昭和 59 年 3 月 31 日、環保業第 39 号、薬発第 229 号、59 基局第 85 号、改訂昭和 63 年 11 月 18 日、環企研第 233 号、衛生第 38 号、63 基局第 823 号）に基づいて実施した。

[材料と方法]

1 細胞

CHL/IU 細胞 (JCRB 細胞バンクより入手) は、牛胎児血清 (Filtron、ロット番号: 55301) を 10% 含むイーグル MEM 培地 (日水製薬) を用い、CO₂ インキュベーター (5% CO₂, 37°C) 内で培養した。また、解凍後継代 10 代以内で試験に用いた (親株の継代数は、1988 年 2 月に入手した時点で 4 代、現在は 12 代)。

2 被験物質および陽性対照物質

被験物質である DVB (CAS No. 1321-74-0) の物理化学的性状等は Appendix 1 に示した。

DVB は から提供された後、冷蔵遮光保管し、使用のつどジメチルスルフォキシド (DMSO、和光純薬工業、ロット番号: DLJ5663) に溶解して希釈した。また、DVB は 1996 年 9 月 20 日～1998 年 8 月 4 日の間、純度の減少およびポリマーの増加は認められなかった (提供資料より) ことから、実験期間中 (1997 年 1 月 24 日～1997 年 2 月 23 日) は安定であったことが確認された。

陽性対照物質として用いたシクロホスファミド (CPA、Sigma Chemical、ロット番号: 73H0846) およびマイトマイシン C (MC、協和醗酵工業、ロット番号: 118AFG) は、注射用蒸留水 (大塚製薬工場、ロット番号: K6G92) に溶かし、用時調製して用いた。

3 S9 反応液

S9 (キッコーマン、ロット番号: RAA-355、1996 年 11 月製造) は、7 週齢の雄 Sprague-Dawley 系ラットにフェノバルビタールと 5, 6-ベンゾフラボンを投与して肝臓から調製したものを購入し、使用時まで -80°C に保管した。グルコース 6-リン酸 (G-6-P、Sigma Chemical)、β-ニコチンアミドアデニンジヌクレオチドリジン酸 (酸化型、β-NADP⁺、オリエンタル酵母) および KCl を蒸留水に溶かし、混合液として -80°C に保管し、使用時はこれに S9、MgCl₂ および HEPES を加え、S9 mix とした。S9 mix 存在下で短時間処理する場合、S9 mix、2 倍濃度 MEM 培地 (血清不含で S9 mix と等量) および MEM 培地 (血清不含) を混和して S9 反応液とした (5% S9、0.83 mM G-6-P、0.67 mM β-NADP⁺、0.83 mM MgCl₂、5.5 mM KCl、0.67 mM HEPES)。一方、S9 mix 非存在下で短時間処理する場合は、S9 反応液の代わりに MEM 培地を使用した。

4 細胞増殖抑制試験

染色体異常試験に用いる被験物質の処理濃度を決定するため、被験物質の細胞増殖によぼす影響を調べた。CHL/IU 細胞を 0.25%トリプシンを用いて単離した後、 4×10^3 個/ml の細胞懸濁液とし、その 5 ml (2×10^4 個) をガラスディッシュ (直径 6 cm、池本理化) に播種して 3日間培養した。

連続処理では、新鮮培地 5 ml と培地交換した後、被験物質調製液を 25 μ l ずつ添加し 24時間処理した。

S9 mix 存在下における短時間処理では、S9 反応液 3 ml と培地交換した後、被験物質調製液を 15 μ l ずつ添加し 6時間処理した。リン酸緩衝塩類溶液 (Ca^{2+} および Mg^{2+} を含む) で洗浄後、新鮮培地 5 ml に交換し、さらに 18時間培養した。一方、S9 mix 非存在下の処理群においては、S9 反応液の代わりに MEM 培地を用いた以外の操作は、S9 mix 存在下の処理群と同様に行った。

連続処理および短時間処理の S9 mix 存在下で、0.041 ~ 1.3 mg/ml (10 mM) 、短時間処理の S9 mix 非存在下で、0.0031 ~ 0.1 mg/ml の濃度範囲で処理した。本物質はプラスチックディッシュを溶かすためガラスディッシュを用いた。培養終了後、0.02% EDTA 含有リン酸緩衝塩類溶液 (Ca^{2+} および Mg^{2+} を含まない) により細胞をはがした。その細胞懸濁液 1 ml を等張性血球計算用希釈液 (アイソトン® II、(株)日科機) 9 ml に加え、コールターカウンター (Coulter Electronics Ltd. 製、Model D) を用いてディッシュ当たりの細胞数を計測した (1ディッシュ当たり 2回計測し、それらの平均値を細胞数とした)。そして処理群の溶媒対照群に対するディッシュ当たりの細胞数の比を求め、DVB による細胞増殖抑制作用の指標とした。1濃度あたり 2ディッシュを用いた。

5 染色体異常試験

DVB は CHL/IU 細胞の増殖を抑制した (Fig. 1 および 2) 。50%増殖抑制濃度は、24時間連続処理および短時間処理の S9 mix 存在下では 0.06 mg/ml、短時間処理の非存在下では 0.03 mg/ml となった。

このことから染色体異常試験においては、50%を越える細胞増殖抑制を確実に得るために、連続処理および短時間処理の S9 mix 存在下では 50%増殖抑制濃度の 2倍濃度である 0.12 mg/ml を最高処理濃度とし、公比 2 で 5濃度 (0.0075、0.015、0.030、0.060、0.12

mg/ml) を設定した。短時間処理の S9 mix 非存在下では 0.060 mg/ml を最高処理濃度とし、公比 2 で 5 濃度 (0.0038、0.0075、0.015、0.030、0.060 mg/ml) を設定した。また、染色体異常試験においては 1 濃度あたり 2 ディッシュを用い、コールターカウンターによる細胞増殖率測定と染色体標本の作製を行った。試験操作は、固定、標本作製の部分を除き細胞増殖抑制試験とほぼ同様に行った。連続処理では 24 時間と 48 時間の被験物質処理群を設け、短時間処理では、被験物質を S9 mix 存在下と非存在下で 6 時間処理した。また、被験物質処理群の他、溶媒対照群、陽性対照群および無処理対照群 (新鮮培地と交換) も設けた。なお、無処理対照群および陽性対照群についてはコールターカウンターによる細胞増殖率測定は行わなかった。

陽性対照群については、MC を新鮮培地 5 ml に最終濃度が 0.05 $\mu\text{g/ml}$ となるように添加し、また CPA を S9 反応液および MEM 培地 3 ml に最終濃度が 5 $\mu\text{g/ml}$ となるように添加した。

培養終了の 2 時間前に、コルセミドを最終濃度が 0.1 $\mu\text{g/ml}$ となるように添加した。培養終了後、培地を除き、0.02% EDTA 含有リン酸緩衝塩類溶液 (Ca^{2+} および Mg^{2+} を含まない) により細胞をはがし、15 ml の遠沈管に集めた。処理群と溶媒対照群については、その細胞懸濁液 0.5 ml を等張性血球計算用希釈液 9 ml に加え、コールターカウンターを用いて細胞増殖率の測定を行った。残りの細胞懸濁液は、染色体標本作製のために遠沈した (1000~1200 rpm、5 分)。上清を捨てた後、沈殿した細胞に 0.075 M KCl 水溶液 3 ml を加え、30 分間低張処理を行った。低張処理後、固定液 (メタノール : 氷酢酸 = 3 : 1 v/v) を 6 ml 加え遠沈した後、上清を除き、再び新鮮な固定液を加えて遠沈した。固定液の交換を数回行った後、少量の固定液で細胞を懸濁し、その少量をスライドグラス (あらかじめフロスト部分に試験系識別番号、コード番号およびスライド番号を記入) 上に滴下し、そのまま風乾した。1 ディッシュあたり 6 枚のスライド標本作製した。

3% ギムザ液 (pH 6.8 の 1/15 M リン酸緩衝液で希釈調製) でスライド標本を染色後、水ですすいで風乾した。試験計画番号および標本作製の日付を明示したスライドケースに、スライド標本をコード番号順に入れて保存した。

染色体分析に先立って、細胞増殖率測定の結果と分裂指数により、観察対象とする 3 濃度群を決定した。20% 以上の相対増殖率を示し、かつ 2 ディッシュともに 0.5% 以上の分裂指数を示した最も高い濃度を、観察対象の最高濃度群とした。

6 染色体分析

細胞増殖率の測定結果と分裂指数 (Tables 1 および 2) により、染色体分析が可能な最高濃度は、連続処理および短時間処理の S9 mix 存在下では 0.060 mg/ml、短時間処理の非存在下では 0.030 mg/ml の濃度となった。これらの濃度を観察対象の最高濃度群とし、以下 3 濃度を観察対象とした。

染色体分析は、日本環境変異原学会・哺乳動物試験研究会 (MMS)¹⁾ による分類法に基づいて行った。よく広がり、かつ染色体が散逸していない分裂中期像を観察した。各群ごとに、観察細胞数、染色体型および染色分体型の構造異常の種類と数、倍数性細胞の数を記録用紙に記入した。ディッシュ 1 個から得られたスライド標本 4 枚を、4 人の観察者がそれぞれ処理条件が分からない状態で分析した。構造異常は 1 群 200 個、倍数性細胞は 1 群 800 個の分裂中期細胞を分析した。

溶媒対照と被験物質処理群および陽性対照群間で、フィッシャーの直接確率法²⁾ により、有意差検定 ($p < 0.01$) を実施した。また、コ克蘭・アーミテッジの傾向性検定³⁾ ($p < 0.01$) により、用量依存性の有無を検討した。これらの検定結果を参考とし、生物学的な観点からの判断を加味して染色体異常誘発性の評価を行った。

[結 果]

連続処理および短時間処理において、DVB は染色体の構造異常を誘発しなかった (Tables 1 および 2)。倍数性細胞については、24時間連続処理の 0.030 mg/ml の濃度において、有意な増加 ($p < 0.01$) が認められたが、出現頻度は 1.88% と低く、濃度依存性もないことから陰性と判定した。

一方、陽性対照物質として用いた MC は、連続処理において染色体の構造異常を誘発し (Table 1)、CPA は短時間処理の S9 mix 存在下において染色体の構造異常を誘発した (Table 2)。これらの陽性対照物質の結果より、本実験系の成立が確認された。

[特記事項]

本試験の実施にあたり、試験の信頼性に悪影響を及ぼす疑いのある予期し得なかった事態および試験計画書からの逸脱は無かった。

[参考文献]

- 1) 日本環境変異原学会・哺乳動物試験分科会編:「化学物質による染色体異常アトラス」, 朝倉書店, 東京 (1988)
- 2) 吉村 功編:「毒性・薬効データの統計解析、事例研究によるアプローチ」, サイエンティスト社, 東京 (1987)
- 3) 吉村 功, 大橋靖夫編集:「毒性試験講座 14、毒性試験データの統計解析」, 地人書館, 東京 (1992)

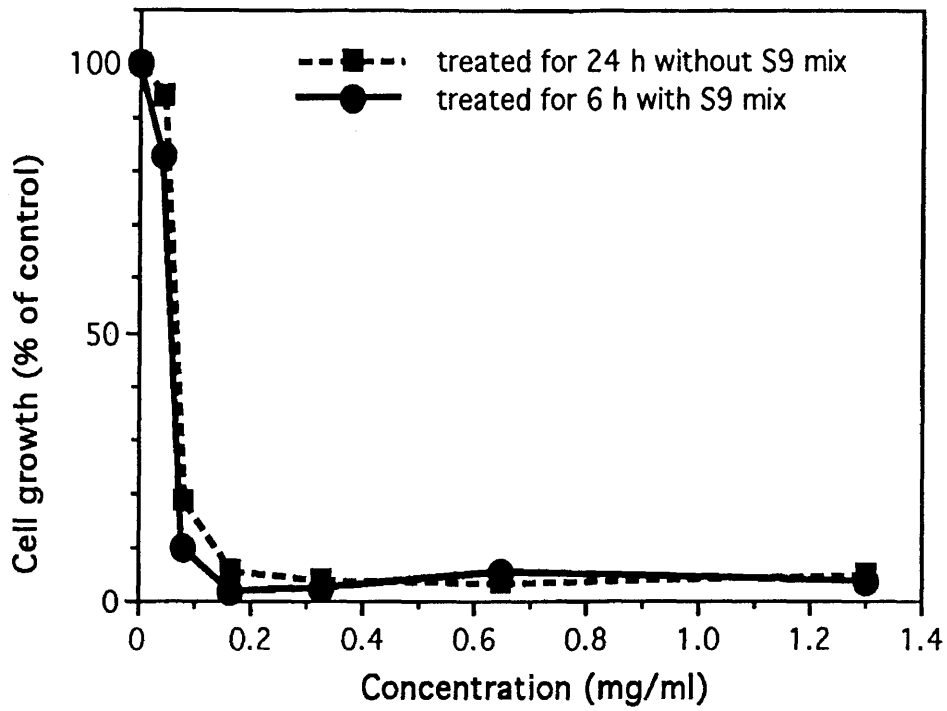


Fig. 1 Growth inhibition of CHL/IU cells treated with divinylbenzene

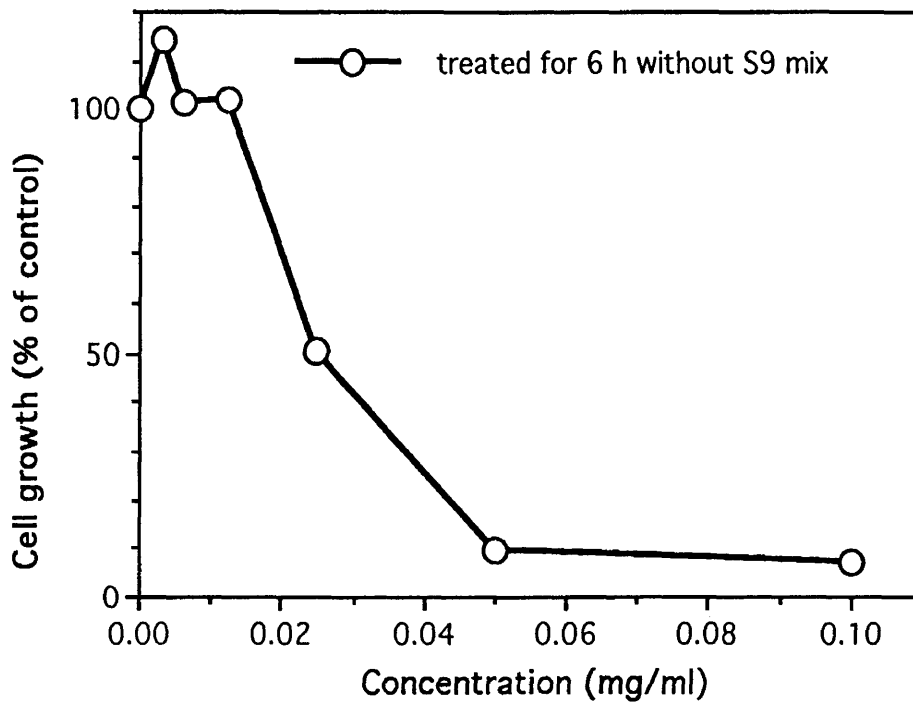


Fig. 2 Growth inhibition of CHL/IU cells treated with divinylbenzene

Table 1 Chromosome analysis of Chinese hamster cells (CHL/IU) continuously treated with divinylbenzene (DVB)** without S9 mix

Group	Concentration (mg/ml)	Time of exposure (h)	No. of structural aberrations										Others ³⁾		No. of cells with aberrations		Polyploid ⁴⁾ (%)	Trend test ⁵⁾		Concurrent cytotoxicity (%)	Mitotic ⁷⁾ index (%)
			analysed	gap	ctb	cte	csb	cse	mul ²⁾	total	TAG (%)	TA (%)	SA	NA							
Control ¹⁾			200	1	1	2	3	0	0	7	2	5	(2.5)	4	(2.0)	0.25					
Solvent	0	24	200	1	0	0	0	0	1	0	0	1	(0.5)	0	(0.0)	0.38			100.0		
DVB	0.015	24	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	(0.0)	0	(0.0)	0.38			100.2		
DVB	0.030	24	200	0	1	0	0	0	1	0	1	1	(0.5)	1	(0.5)	1.88*			92.8		
DVB	0.060	24	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	(0.0)	0	(0.0)	0.38			50.8	3.3	
DVB	0.12***	24	200	1	24	54	4	1	0	84	2	62*	(31.0)	62*	(31.0)	2.00*			25.0	Tox	
MC	0.00005	24	200	2	2	0	3	0	0	7	0	4	(2.0)	3	(1.5)	0.88			100.0		
Solvent ¹⁾	0	48	200	1	0	1	2	0	0	4	1	3	(1.5)	2	(1.0)	0.88			106.0		
DVB	0.015	48	200	4	0	0	1	0	0	5	0	5	(2.5)	1	(0.5)	0.00			99.6		
DVB	0.030	48	200	0	1	0	0	0	0	1	0	1	(0.5)	1	(0.5)	0.75			87.7	5.9	
DVB	0.060	48	200	4	40	71	7	0	0	122	19	69*	(34.5)	67*	(33.5)	0.88			17.3		
DVB	0.12****	48	200	2	2	0	3	0	0	7	0	4	(2.0)	3	(1.5)	0.88			100.0		
MC	0.00005	48	200	2	2	0	1	2	0	4	1	3	(1.5)	2	(1.0)	0.88			106.0		

Abbreviations, gap : chromatid gap and chromosome gap, ctb : chromatid break, ctc : chromatid exchange, csb : chromosome break, cse : chromosome exchange (dicentric and ring), mul : multiple aberrations, TAG : total no. of cells with aberrations, TA : total no. of cells with aberrations except gap, SA : structural aberration, NA : numerical aberration, MC : mitomycin C, Tox : cytotoxic.

1) Dimethyl sulfoxide was used as solvent. 2) More than nine aberrations in a cell were scored as 10. 3) Others, such as attenuation and premature chromosome condensation, were excluded from the no. of structural aberrations. 4) Eight hundred cells were analysed in each group. 5) Cochran - Armitage's trend test was done at $p < 0.01$. 6) Cell number, representing cytotoxicity, was measured with a Coulter Counter®. 7) Number of metaphases per 500 cells was scored in each dish in order to select the highest dose enable to analyse chromosomes. * : Significantly different from solvent control data at $p < 0.01$ by Fisher's exact test. ** : Purity was 96.2 wt% (mix of isomers). Ethylvinylbenzene (3.2 wt%), *p-tert*-butylecatechol (1010 ppm) and others (0.6 wt%) were contained as impurities. *** : Chromosome analysis was not performed because there was small number of metaphase due to cytotoxicity. **** : Chromosome analysis was not performed because of severe cytotoxicity.

Table 2 Chromosome analysis of Chinese hamster cells (CHL/IU) treated with divinylbenzene (DVB)** with and without S9 mix

Group	Concentration (mg/ml)	S9 mix	Time of exposure (h)	No. of cells analysed	No. of structural aberrations					Total	Others ³⁾	No. of cells with aberrations		Polyploid ⁴⁾ (%)	Trend test ⁵⁾		Concurrent ⁶⁾ cytotoxicity (%)	Mitotic ⁷⁾ index (%)
					gap	ctb	cte	csb	cse			mul ²⁾	TAG (%)		TA (%)	SA		
Control ¹⁾	0	-	6-(18)	200	0	0	0	0	0	0	0	0 (0.0)	0 (0.0)	0.13	-	-	-	-
Solvent	0	-	6-(18)	200	0	1	0	0	0	1	0	1 (0.5)	1 (0.5)	2.00	-	-	100.0	-
DVB	0.0075	-	6-(18)	200	2	1	0	0	0	3	2	3 (1.5)	1 (0.5)	0.00	-	-	110.5	-
DVB	0.015	-	6-(18)	200	0	1	0	0	0	1	0	1 (0.5)	1 (0.5)	0.38	-	-	107.9	-
DVB	0.030	-	6-(18)	200	0	1	0	0	0	1	0	1 (0.5)	1 (0.5)	0.38	-	-	62.3	6.8
DVB	0.060 ***	-	6-(18)	200	0	0	0	0	0	0	0	1 (0.5)	1 (0.5)	0.38	-	-	16.9	-
CPA	0.005	-	6-(18)	200	0	0	0	0	0	0	0	0 (0.0)	0 (0.0)	0.38	-	-	-	-
Solvent ¹⁾	0	+	6-(18)	200	1	8	1	1	0	0	11	7 (3.5)	6 (3.0)	0.13	-	-	100.0	-
DVB	0.015	+	6-(18)	200	1	0	0	0	0	1	0	1 (0.5)	0 (0.0)	0.38	-	-	97.9	-
DVB	0.030	+	6-(18)	200	2	2	0	0	0	4	0	3 (1.5)	2 (1.0)	0.75	-	-	95.7	-
DVB	0.060	+	6-(18)	200	1	3	1	0	0	5	2	5 (2.5)	4 (2.0)	0.38	-	-	78.5	6.6
DVB	0.12 ****	+	6-(18)	200	1	14	27	6	0	48	0	36 *(18.0)	35 *(17.5)	0.88	-	-	22.2	Tox
CPA	0.005	+	6-(18)	200	1	14	27	6	0	48	0	36 *(18.0)	35 *(17.5)	0.88	-	-	22.2	Tox

Abbreviations, gap : chromatid gap and chromosome gap, ctb : chromatid break, cte : chromatid exchange, csb : chromosome break, cse : chromosome exchange (dicentric and ring), mul : multiple aberrations, TAG : total no. of cells with aberrations, TA : total no. of cells with aberrations except gap, SA : structural aberration, NA : numerical aberration, CPA : cyclophosphamide, Tox : cytotoxic.

1) Dimethyl sulfoxide was used as solvent. 2) More than nine aberrations in a cell were scored as 10. 3) Others, such as attenuation and premature chromosome condensation, were excluded from the no. of structural aberrations. 4) Eight hundred cells were analysed in each group. 5) Cochran - Armitage's trend test was done at $p < 0.01$. 6) Cell number, representing cytotoxicity, was measured with a Coulter Counter®. 7) Number of metaphases per 500 cells was scored in each dish in order to select the highest dose enable to analyse chromosomes. * : Significantly different from solvent control data at $p < 0.01$ by Fisher's exact test. ** : Purity was 96.2 wt% (mix of isomers). Ethylvinylbenzene (3.2 wt%), *p-tert*-butylcatechol (1010 ppm) and others (0.6 wt%) were contained as impurities. *** : Chromosome analysis was not performed because of severe cytotoxicity. **** : Chromosome analysis was not performed because there was small number of metaphase due to cytotoxicity.