

最終報告書

表 題： 2-ブロモ-2-ニトロプロパン-1,3-ジオールのほ乳類培養細胞を用いる
染色体異常試験

試験番号：SR05380

株式会社 化合物安全性研究所

目 次

	頁
表紙	1
目次	4
要約	8
緒言	9
材料および方法	9
成績	18
考察	20

Tables and Figures

Table 1	Effects of 2-bromo-2-nitro-1,3-propanediol on growth rate of CHL/IU with or without metabolic activation (preliminary test)	22
Figure 1	Effects of 2-bromo-2-nitro-1,3-propanediol on growth rate of CHL/IU with or without metabolic activation (preliminary test)	23
Table 2	Effects of 2-bromo-2-nitro-1,3-propanediol on growth rate of CHL/IU without metabolic activation (preliminary test, additional test)	24
Figure 2-1	Effects of 2-bromo-2-nitro-1,3-propanediol on growth rate of CHL/IU (preliminary test, additional test, 6 hours treatment without metabolic activation)	25
Figure 2-2	Effects of 2-bromo-2-nitro-1,3-propanediol on growth rate of CHL/IU (preliminary test, additional test, 24 hours treatment without metabolic activation)	26
Table 3-1	Effects of 2-bromo-2-nitro-1,3-propanediol on growth rate of CHL/IU without metabolic activation (chromosomal aberration test)	27

Table 3-2	Effects of 2-bromo-2-nitro-1,3-propanediol on growth rate of CHL/TU with metabolic activation (chromosomal aberration test) ······	28
Table 4-1	Results of the chromosomal aberration test of 2-bromo-2-nitro-1,3-propanediol (6 hours treatment without metabolic activation) ······	29
Table 4-2	Results of the chromosomal aberration test of 2-bromo-2-nitro-1,3-propanediol (6 hours treatment with metabolic activation) ······	30
Table 4-3	Results of the chromosomal aberration test of 2-bromo-2-nitro-1,3-propanediol (24 hours treatment without metabolic activation) ······	31

要 約

2-ブromo-2-ニトロプロパン-1,3-ジオールの *in vitro* における染色体異常誘発性の有無を、チャイニーズハムスター肺由来細胞 (CHL/IU) を用いて検討した。試験は、短時間処理法の代謝活性化によらない場合および代謝活性化による場合ならびに連続処理法の 24-0 h 処理による場合の 3 系列で実施した。

予備試験(細胞増殖抑制試験: 7.81~2000 µg/mL) およびその追加試験(0.469~30 µg/mL)の結果、被験物質の細胞増殖抑制作用の IC₅₀ 値は、短時間処理法の代謝活性化によらない場合が 7.71 µg/mL、短時間処理法の代謝活性化による場合が 45.4 µg/mL および連続処理法の 24-0 h 処理による場合が 4.93 µg/mL であった。被験物質の析出が、試験液処理終了時に短時間処理法の代謝活性化による場合の 62.5 µg/mL 以上の用量で観察された。被験物質による培養液 pH への影響は観察されなかった。

本試験(染色体異常試験)は、予備試験の結果に基づき、各試験系列とも IC₅₀ より高用量を最高用量とし、以下公比 2 で低下させた用量および IC₅₀ 値付近を細かく選択した用量の計 7 あるいは 8 用量を設定した。

本試験の結果、染色体の構造異常の出現率は、短時間処理法の代謝活性化によらない場合(評価用量: 0.938、1.88、3.75 および 7.5 µg/mL)の 7.5 µg/mL の用量で 12.5% (D₂₀ 値: 0.014 mg/mL)、短時間処理法の代謝活性化による場合(評価用量: 7.5、15、30、40 および 50 µg/mL)の 50 µg/mL の用量で 18.5% (D₂₀ 値: 0.092 mg/mL) ならびに連続処理法の 24-0 h 処理による場合(評価用量: 0.469、0.938、1.88、3.75 および 5.00 µg/mL)の 3.75 および 5.00 µg/mL の用量でそれぞれ 6.0 および 11.0% (D₂₀ 値: 0.0098 mg/mL) と 5 あるいは 10% 以上となり、結果は陽性であった。なお、いずれの試験系列においても、染色体の構造異常の出現率の増加は明確な細胞増殖抑制が示された濃度で認められた。染色体の数的異常の出現率は、いずれの試験系列においても 5% 未満であった。

陽性対照群における染色体の構造異常の出現率は各試験系列において明確な陽性値を示し、本試験系が適切な感受性を有していたことが確認された。

以上のことから、2-ブromo-2-ニトロプロパン-1,3-ジオールは、本試験条件において、ほ乳類の培養細胞に対し細胞増殖抑制を示す濃度で染色体異常誘発性を有すると判断した。

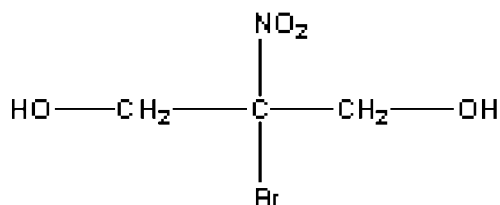
緒 言

2-ブロモ-2-ニトロプロパン-1,3-ジオールの *in vitro* における染色体異常誘発性の有無を検討する目的で、チャイニーズハムスター肺由来細胞(CHL/IU)を用いる染色体異常試験を実施した。

材料および方法

1. 被験物質

名称	: 2-ブロモ-2-ニトロプロパン-1,3-ジオール
英名	: 2-Bromo-2-nitro-1,3-propanediol
CAS No.	: 52-51-7
化学物質番号	: 化審法 ; 2-325
構造式	:



分子式	: C ₃ H ₆ BrNO ₄
分子量	: 199.99
物理化学的性質	: 外観 ; 白色結晶 臭い : 無臭 pH : 5~6 (1%水溶液) 沸点 : データなし 融点 : 130~133°C 引火点 ; データなし 発火点 ; データなし 爆発限界 ; データなし 蒸気圧 ; データなし 比重 ; データなし

溶解性；水、エタノール及びアセトンに溶けやすい。

水溶状；澄明

含量(HPLC) : 99.7%(Appendix 1)

水分 : 0.04%(Appendix 1)

不純物の名称およびその濃度：不明(データなし)

入手量 : 25 g(関連試験と共通)

安定性 : 実験終了後に、残余被験物質について純度に関する分析成績を製造者より入手した。その結果、被験物質は実験期間中安定であったことが確認された(Appendix 2)。

保存条件 : 密閉、遮光、冷所(実測範囲：1～10°C)

取扱上の注意 : 吸い込んだり、眼、皮膚及び衣類に触れないように、適切な保護具を着用して取扱った。

残余被験物質の処置 : 試験操作終了後、残余被験物質全てを純度分析のため製造者へ送付した。

2. 被験物質の調製

被験物質を精秤し、日本薬局方注射用水(ロット番号 5L88、株式会社大塚製薬工場)を用いて溶解および希釈し調製した。なお、被験物質は水に溶けやすいことから、日本薬局方注射用水を調製媒体として選択した。

予備試験では 20 mg/mL 調製液を調製し、20 mg/mL 調製液から公比 2 の段階希釈により 10、5、2.5、1.25、0.625、0.313、0.156 および 0.0781 mg/mL 調製液を調製した。

予備試験の追加試験では 3 mg/mL 調製液を調製し、3 mg/mL 調製液から 0.3 mg/mL 調製液を、0.3 mg/mL 調製液から公比 2 の段階希釈により 0.15、0.075、0.0375、0.0188、0.00938 および 0.00469 mg/mL 調製液を調製した。

本試験では 6 mg/mL 調製液を調製し、6 mg/mL 調製液から 0.6 mg/mL 調製液を、0.6 mg/mL 調製液から公比 2 の段階希釈により 0.3、0.15、0.075、0.0375、0.0188、0.00938、0.00469 および 0.00234 mg/mL 調製液を、また、直接希釈により 0.5、0.4、0.125 および 0.1 mg/mL 調製液を調製した。さらに、0.125 mg/mL 調製液より 0.0625 mg/mL 調製液を、0.1 mg/mL 調製液より 0.05 mg/mL 調製液を調製した。

調製液の安定性では、予備試験、予備試験の追加試験および本試験ともに、被験物質調製時の目視確認において媒体との反応性(変色、発熱、発泡等)はみられなかった。

被験物質調製液は、予備試験では調製後 1.1 時間以内に、予備試験の追加試験では調製後 0.6 時間以内に、本試験では調製後 1.5 時間以内に使用した。

調製はクリーンベンチ内で行い、調製に際してはマスクおよび手袋を着用し、吸引または眼、皮膚および衣類に触れないようにして取扱った。残余調製液は、焼却処分するために、産業廃棄物として回収した。

3. 陰性対照物質

陰性対照物質として、被験物質の調製媒体である日本薬局方注射用水(ロット番号 5L88、株式会社大塚製薬工場)を原液のまま使用し、プレート内の液に対し 10 vol%の割合で添加した。

4. 陽性対照物質

代謝活性化によらない場合の陽性対照物質として、マイトマイシンC(ロット番号 448ADJ、使用期限 2008 年 10 月、協和醗酵工業株式会社)を使用した。マイトマイシンCは、購入後室温で保存し、日本薬局方注射用水(ロット番号 5L88、株式会社大塚製薬工場)を用いて 5 および 10 $\mu\text{g}/\text{mL}$ の濃度に調製した。購入したマイトマイシンCは、1 瓶中に日局マイトマイシンCを 2 mg(力価)含有しており、調製の際には 1 mg(力価)を 1 mg として換算した。

代謝活性化法による場合の陽性対照物質として、ベンゾ[a]ピレン[ロット番号 KLM1182、使用期限 2009 年 8 月(購入より 5 年)、和光純薬工業株式会社]を使用した。ベンゾ[a]ピレンは、購入後冷所(2~8°C)で保存し、ジメチルスルホキシド(ロット番号 SL045、株式会社同仁化学研究所)を用いて 1 mg/mL の濃度に調製した。なお、購入したベンゾ[a]ピレンの含量は 101.0%であった。

陽性対照物質の各調製液は-20°C以下で分注凍結保存し、調製後 7 ヶ月以内に試験に使用した(使用期限は調製後 1 年)。保存調製液は解凍後 0.8 時間以内に使用し、それぞれプレート内の液に対し 1 vol%の割合で添加した。

5. 試験系

試験系として、2005 年 5 月 17 日に大日本製薬株式会社より継代数 14 で入手した CHL/TU を使用した。CHL/TU は、雌性の新生チャイニーズハムスターの肺に由来し、染色体数(モード)は 25 本(2n=22)、倍加時間の測定値は 13.6 時間である。本細胞は、増殖速度、継代における染色体の安定性、染色体標本の観察の容易さおよび既知の変異原物質に対する感受性を考慮して選択した。また、供試細胞と同時に凍結保存した細胞を用いて蛍光染色法によりマイコプラズマチェックを行い、陰性であることを確認した。

細胞の保存に際しては、10 vol%ジメチルスルホキシドを含む培地を用いて 1×10^6 cells/mL細胞浮遊液を調製し、1 mL ずつアンプルに分注したものを漸次冷却して凍結させた後、液体窒素内に保存した。解凍後は、75 cm²培養フラスコを用いて5.0%CO₂、37.0°Cに設定したCO₂インキュベーター(MCO-175、三洋電機株式会社)内で培養し、3 または 4 日毎に継代を行った。試験では、継代数 17(予備試験)、19(予備試験の追加試験)あるいは25(本試験)の細胞を使用した。

6. 培地

イーグル MEM 培地を以下の割合で混合し調製した。

イーグル MEM 培地(Code 05902、ロット番号 539609、日本製薬株式会社)9.4 g を日本薬局方注射用水(ロット番号 6J92、株式会社大塚製薬工場)に溶解し、さらにフェノールレッド(ロット番号 PKF3307、和光純薬工業株式会社)6 mg を加え、全量を 1 L とした。オートクレーブ滅菌後、室温まで冷却し、滅菌済みの炭酸水素ナトリウム(試薬特級、ロット番号 609F1546、関東化学株式会社)溶液で pH7.2~7.4 に調整し、ろ過除菌した L-グルタミン溶液(試薬特級、L-グルタミン:ロット番号 SDJ5850、和光純薬工業株式会社)を 0.292 g/L となるように添加した。さらに牛胎児血清(ロット番号 1271847、GIBCO)を最終調製量の 10%になるように加えた。なお、牛胎児血清は 56°C で 30 分間非働化した後に使用した。

7. S9 mix

S9 mix はキッコーマン株式会社より購入し(ロット番号 CAM-552、2006 年 12 月 15 日製造)、-80°C以下で凍結保存したものを、製造日より 4 ヶ月以内(使用期限:製造後 6 ヶ月)に使用した。

S9 mix は、フェノバルビタールおよび 5,6-ベンゾフラボンの腹腔内投与で酵素誘導した Slc:SD 系ラット(雄、7 週齢)の肝ホモジネートより調製した S9 1.05 mL に、コファクターミックス 2.45 mL を加え、次表の組成に調製されたものである。

S9 mix 1 mL 中の組成		
S9	(キッコーマン株式会社製 RAA-552、S9 中蛋白 含量 25.96 mg/mL)	0.3 mL
MgCl ₂	(和光純薬工業株式会社 SDN0075)	5 μmol /0.1 mL
KCl	(和光純薬工業株式会社 SDQ5562)	33 μmol /0.1 mL
G-6-P	(オリエンタル酵母工業株式会社 115603)	5 μmol /0.1 mL
NADP	(オリエンタル酵母工業株式会社 045609)	4 μmol /0.1 mL
HEPES 緩衝液	(株式会社同仁化学研究所 PE026)	4 μmol /0.2 mL
蒸留水		0.1 mL

8. 試験方法

(1) 予備試験(細胞増殖抑制試験)およびその追加試験

1) 試験群

a 予備試験

短時間処理法の代謝活性化によらない場合および代謝活性化による場合ならびに連続処理法の24-0 h処理による場合の3系列について実施した。

被験物質の最高用量は、10 mM相当値(被験物質の分子量199.99)の2000 µg/mLとし、以下公比2で低下させた計9用量(2000、1000、500、250、125、62.5、31.3、15.6および7.81 µg/mL)の試験群を設定した。更に、試験系列毎に陰性対照群を設定した。

各群につき2枚のプレートを使用し、各プレートには識別番号を明記した。

b 予備試験(追加試験)

予備試験の結果、短時間処理法の代謝活性化によらない場合および連続処理法の24-0 h処理による場合において、検討した最低濃度まで細胞増殖抑制が認められたことから、これらの系列について試験用量を低下させた追加試験を実施した。

試験用量は、短時間処理法の代謝活性化によらない場合では、被験物質の最高用量を30 µg/mLとし、以下公比2で低下させた計6用量(30、15、7.5、3.75、1.88および0.938 µg/mL)の試験群を、連続処理法の24-0 h処理による場合では、被験物質の最高用量を15 µg/mLとし、以下公比2で低下させた計6用量(15、7.5、3.75、1.88、0.938および0.469 µg/mL)の試験群を設定した。更に、試験系列毎に陰性対照群を設定した。

各群につき2枚のプレートを使用し、各プレートには識別番号を明記した。

2) 細胞の播種

直径60 mmの培養プレートに、短時間処理法の代謝活性化によらない場合および連続処理法の24-0 h処理による場合では 0.4×10^4 cells/mL、短時間処理法の代謝活性化による場合では 0.6×10^4 cells/mLの細胞浮遊液をそれぞれ5 mLずつ播種し、5.0%CO₂、37.0°Cに設定したCO₂インキュベーター内で培養した。

3) 短時間処理法の代謝活性化によらない場合

細胞播種後3日目に、プレートの培養液を除去し、培養液2.7 mLに対して試験液を300 µLの割合で試験チューブ内で混合し、その混合液3 mLをプレートに添加し6時間培養した。6時間経過後に、プレート内の液を除去してCa²⁺およびMg²⁺フリーのDulbeccoのリン酸緩衝液で細胞を洗い、新鮮な培地5 mLを加えて更に18時間培養した。

4) 短時間処理法の代謝活性化による場合

細胞播種後3日目に、プレートの培養液を除去し、S9 mix 0.5 mLおよび培養液2.2 mLの混和液に対し試験液を300 µLの割合で試験チューブ内で混合し(S9の最終濃度約5 vol%)、

その混合液 3 mL をプレートに添加し 6 時間培養した。6 時間経過後に、プレート内の液を除去して Ca^{2+} および Mg^{2+} フリーの Dulbecco のリン酸緩衝液で細胞を洗い、新鮮な培地 5 mL を加えて更に 18 時間培養した。

5) 連続処理法の 24-0 h 処理による場合

細胞播種後 3 日目に、プレートの培養液を除去し、培養液 4.5 mL に対して試験液を 500 μL の割合で試験チューブ内で混合し、その混合液 5 mL をプレートに添加した。更に、24 時間培養した。

6) 被験物質の析出の有無の確認

試験液による処理の開始時と終了時に、被験物質の析出の有無を目視確認した。

7) 被験物質による培養液 pH への影響の有無の確認

試験液による処理の開始時と終了時に、培養液色の変化の有無を目視確認した。培養液色に変化が認められない場合には、被験物質による培養液 pH への影響は無いものと判断した。

8) 細胞増殖率の測定および 50% 細胞増殖抑制濃度 (IC_{50}) の算出

培養終了後、プレート内の液を除去して Ca^{2+} および Mg^{2+} フリーの Dulbecco のリン酸緩衝液で細胞を洗い、10%ホルマリンで約 10~15 分間固定した後、0.1 w/v% クリスタルバイオレットで約 10~15 分間の染色を行った。染色後、水道水を入れた水槽内でプレートを洗浄して風乾させた。対照群のプレートを 100% として、各プレートの細胞増殖率を単層培養細胞密度測定装置 (MONOCELLATER II、東洋測器株式会社) で測定した。細胞増殖率が 50% 以下まで低下した場合には、用量を対数化した回帰計算により 50% 細胞増殖抑制濃度 (IC_{50}) を算出した。

(2) 本試験

1) 試験群

予備試験およびその追加試験の結果、各試験系列で 50% 以上の細胞増殖抑制がみられたことから、各試験系列とも IC_{50} 値より高用量を最高用量とし、以下公比 2 で低下させた用量および IC_{50} 値付近を細かく選択した用量の計 7 あるいは 8 用量を設定した。

陽性対照群を除く各群には被験物質の細胞増殖への影響を確認するためのサテライト群 2 枚を加えた 4 枚のプレートを使用し、陽性対照群では 2 枚のプレートを使用した。各プレートには識別番号を明記した。

2) 細胞の播種

8. 試験方法、(1) 予備試験、(2) 細胞の播種と同様の方法で実施した。

3) 短時間処理法の代謝活性化によらない場合

8. 試験方法、(1) 予備試験、(3) 短時間処理法の代謝活性化によらない場合と同様の方法で実施した。

4) 短時間処理法の代謝活性化による場合

8. 試験方法、(1)予備試験、4)短時間処理法の代謝活性化による場合と同様の方法で実施した。

5) 連続処理法の24-0 h処理による場合

8. 試験方法、(1)予備試験、5)連続処理法の24-0 h処理による場合と同様の方法で実施した。

6) 被験物質の析出の有無の確認

8. 試験方法、(1)予備試験、6)被験物質の析出の有無の確認と同様の方法で実施した。

7) 被験物質による培養液pHへの影響の有無の確認

8. 試験方法、(1)予備試験、7)被験物質による培養液 pH への影響の有無の確認と同様の方法で実施した。

8) 細胞増殖率の測定

8. 試験方法、(1)予備試験、8)細胞増殖率の測定および50%細胞増殖抑制濃度(IC₅₀)の算出と同様の方法で実施した。IC₅₀は算出しなかった。

9) 染色体標本の作製

培養終了の2時間前に、各プレートに最終濃度0.2 µg/mLのコルセミド(ロット番号 1335046、GIBCO)を加えた。培養終了時間に、プレート内の液をそれぞれ遠沈管に回収し、各プレートを0.02% EDTA-0.25%トリプシン(0.5M EDTA:ロット番号 1118913、GIBCO、2.5%トリプシン:ロット番号 1301997、GIBCO)で処理して細胞を剥離させ、得られた細胞浮遊液を上上の遠沈管に回収して1000 rpmで5分間遠心分離した。上清を除去し、0.075 mol/L 塩化カリウム(ロット番号 403F1156、関東化学株式会社)を加え、穏やかにピペッティングを繰り返しながら常温で30分間放置し細胞を膨満化させた。氷冷したカルノア固定液(メタノール:酢酸=3:1、メタノール:ロット番号 801W1028、関東化学株式会社、酢酸:ロット番号 EWG7255、和光純薬工業株式会社)を加えて細胞を固定した後、1000 rpmで5分間遠心分離して上清を除去し、新しいカルノア固定液を加えた。細胞の固定操作を3回繰り返した後、細胞浮遊液をスライドグラス上に滴下し、一夜以上自然乾燥させた。各プレートより、2枚(細胞毒性により、得られた細胞が少ない用量については1枚)の染色体標本作製した。

各スライドは、2%ギムザ液(ギムザ液:ロット番号 LL130、和光純薬工業株式会社、インスタントリン酸緩衝液(pH7.2):ロット番号 A636、株式会社三菱化学ヤトロン)で20分間染色し、水洗および風乾の後、封入剤(マリノール、ロット番号 0501201、武藤化学薬品株式会社)で封入した。

10) 染色体標本の観察

標本観察の前に各用量の各プレートにつき1枚の標本を選択してブラインド化した。

観察用量として、各試験系列とも細胞増殖率が50%未満で標本の観察が可能な最高用量を高用量とする5あるいは7用量を選択した。すなわち、短時間処理法の代謝活性化によらない場合には0.938、1.88、3.75、7.5および10 $\mu\text{g/mL}$ の5用量を、短時間処理法の代謝活性化による場合には7.5、15、30、40および50 $\mu\text{g/mL}$ の5用量を、連続処理法の24-0 h処理による場合には0.469、0.938、1.88、3.75、5.00、6.25および7.5 $\mu\text{g/mL}$ の7用量を選択した。

総合倍率1000倍の顕微鏡(BX51TF、オリンパス株式会社)で、1枚あたり100個の分裂中期像を選択して観察し、以下の分類に従って染色体異常の判定を行った。構造異常については 25 ± 2 本の染色体をもつものを観察対象とした。

①構造異常(structural aberration)

- ・染色体分体切断(ctb: chromatid break)

染色体分体のはっきりした不連続部分(切断部分)で、不連続部分が染色体分体の幅以上である場合、あるいは切断片が染色体分体の長軸線上から外れている場合に染色体分体切断として判定した。

- ・染色体分体交換(cte: chromatid exchange)

染色体分体の2ヵ所以上の切断部位が相互に交換(結合反応)しているものを染色体分体交換として判定した。

- ・染色体切断(csb: chromosome break)

両方の染色体分体の同じ位置に切断が生じている場合に、染色体切断として判定した。切断の判定基準は、染色体分体切断に準じた。

- ・染色体交換(cse: chromosome exchange)

両方の染色体分体の同じ位置で同じ方向に交換が生じている場合に、染色体交換として判定した。

- ・その他(others)

その他の構造異常として、断片化(fragmentation)がある。一つの分裂中期像のほとんど全ての染色体に切断やギャップが現れ、交換型の異常が含まれていない場合に断片化として判定した。

②ギャップ(gap)

染色体分体あるいは染色体上に生じた非染色部分(染色性が全くみられない部分)で、非染色部分の幅が染色体分体の幅より狭い場合にギャップとして判定した。

③数的異常(numerical aberration)

・倍数体(poly: polyploid)

染色体数(25±2)が倍加し、三倍体、四倍体等になったものを倍数体として判定した。

・その他(others)

その他の数的異常として核内倍加がある。倍加した染色体が分離せずに平行に並んでいる場合に核内倍加(end: endoreduplication)と判定し、倍数体とは区別し計数した。

11) 観察結果の集計方法

プレート毎に以下の細胞出現数を求め、試験群毎にその合計値を算出した。更に、構造異常および数的異常の total については、それぞれ出現率(%)を求めた。出現率(%)は、観察した細胞数(分裂中期像の数)に対する出現数の百分率で算出した。

①構造異常について

- ・ctb: 染色分体切断をもつ細胞数
- ・cle: 染色分体交換をもつ細胞数
- ・csb: 染色体切断をもつ細胞数
- ・cse: 染色体交換をもつ細胞数
- ・others: その他の構造異常をもつ細胞数
- ・total: 何らかの構造異常をもつ細胞数

②ギャップについて

- ・gap: ギャップをもつ細胞数

③数的異常について

- ・poly: 倍数体の細胞数
- ・others: その他の数的異常をもつ細胞数
- ・total: 何らかの数的異常をもつ細胞数

9. 試験結果の評価

構造異常または数的異常の total の出現率(%)が10%以上増加し、その出現様式に用量依存性がみられる場合、あるいは5%以上増加する結果について確認試験により再現性がみられる場合を陽性、それ以外を陰性とし、統計学的手法は用いなかった。

D₂₀値(細胞の20%に異常が認められる濃度)を、各系列について算出した。

成績

1. 予備試験

細胞増殖率の結果を Table 1 および Figure 1 に、被験物質の析出および培養液 pH への影響の結果を Table 1 に示す。

各試験系列で 50% を越える細胞増殖抑制が認められた。短時間処理法の代謝活性化による場合の IC₅₀ 値は 45.4 µg/mL であった。短時間処理法の代謝活性化によらない場合および連続処理法の 24-0 h 処理による場合では、最低用量においても強い細胞増殖抑制がみられたため IC₅₀ 値は算出しなかった。

被験物質の析出が、試験液処理終了時において、短時間処理法の代謝活性化による場合の 62.5 µg/mL 以上の用量で観察された。

被験物質による培養液 pH への影響は観察されなかった。

2. 予備試験(追加試験)

細胞増殖率の結果を Table 2 ならびに Figure 2-1 および 2-2 に、被験物質の析出および培養液 pH への影響の結果を Table 2 に示す。

各試験系列で 50% を越える細胞増殖抑制が認められ、IC₅₀ 値は短時間処理法の代謝活性化によらない場合が 7.71 µg/mL および連続処理法の 24-0 h 処理による場合が 4.93 µg/mL であった。

被験物質の析出は観察されなかった。

被験物質による培養液 pH への影響は観察されなかった。

3. 本試験

細胞増殖率、被験物質の析出および培養液 pH への影響の結果を Table 3-1 および 3-2 に、染色体異常誘発性の評価結果を Table 4-1~4-3 に示す。

染色体異常誘発性と同時に評価したサテライト群における細胞増殖への影響の検討では、50% を越える細胞増殖抑制が、短時間処理法の代謝活性化によらない場合では 10 µg/mL 以上の用量、短時間処理法の代謝活性化による場合では 50 µg/mL 以上の用量および連続処理法の 24-0 h 処理による場合では 5.00 µg/mL 以上の用量で認められた。

被験物質の析出が、試験液処理終了時において、短時間処理法の代謝活性化による場合の 40 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 以上の用量で観察された。

被験物質による培養液 pH への影響は観察されなかった。

染色体の構造異常の出現率は、短時間処理法の代謝活性化によらない場合(観察用量：0.938、1.88、3.75、7.5 および 10 $\mu\text{g}/\text{mL}$)の 7.5 および 10 $\mu\text{g}/\text{mL}$ の用量でそれぞれ 12.5 および 26.5%、短時間処理法の代謝活性化による場合(観察用量：7.5、15、30、40 および 50 $\mu\text{g}/\text{mL}$)の 50 $\mu\text{g}/\text{mL}$ の用量で 18.5%ならびに連続処理法の 24-0 h 処理による場合(観察用量：0.469、0.938、1.88、3.75、5.00、6.25 および 7.5 $\mu\text{g}/\text{mL}$)の 3.75、5.00、6.25 および 7.5 $\mu\text{g}/\text{mL}$ の用量でそれぞれ 6.0、11.0、17.5 および 7.0%と 5 あるいは 10%以上となった。なお、強い細胞毒性がみられた短時間処理法の代謝活性化によらない場合の 10 $\mu\text{g}/\text{mL}$ の用量(細胞増殖率：31.0%)ならびに連続処理法の 24-0 h 処理による場合の 6.25 および 7.5 $\mu\text{g}/\text{mL}$ の用量(細胞増殖率：それぞれ 31.5 および 18.5%)の結果は、染色体異常誘発性の評価対象外とした。D₂₀ 値は、短時間処理法の代謝活性化によらない場合が 0.014 mg/mL、短時間処理法の代謝活性化による場合が 0.092 mg/mL および連続処理法の 24-0 h 処理による場合が 0.0098 mg/mL であった。数的異常の出現率は、いずれの試験系列においても 5%未満であった。

陽性対照群の染色体の構造異常の出現率は、短時間処理法の代謝活性化によらない場合が 46.5%、短時間処理法の代謝活性化による場合が 45.5%および連続処理法の 24-0 h 処理による場合が 48.5%であった。

考 察

2-ブロモ-2-ニトロプロパン-1,3-ジオールの *in vitro* における染色体異常誘発性の有無を、チャイニーズハムスター肺由来細胞(CHL/IU)を用いて検討した。

予備試験(細胞増殖抑制試験)の結果に基づき、本試験(染色体異常試験)用量として、各試験系列とも IC₅₀ より高用量を最高用量とし、以下公比 2 で低下させた用量および IC₅₀ 値付近を細かく選択した用量の計 7 あるいは 8 用量を設定した。

本試験の結果、染色体の構造異常の出現率は、各試験系列とも評価対象用量の高用量で 10%以上となった。連続処理法の 24-0 h 処理による場合では出現率に用量の増加に伴う増加が認められ、結果は陽性であった。短時間処理法の代謝活性化によらない場合では評価対象用量の最高用量でのみ構造異常の増加がみられたが、強い細胞毒性がみられた評価対象外の高用量では構造異常の出現率がさらに高値となることから用量との関連性があると考えられ、結果は陽性であった。また、短時間処理法の代謝活性化による場合においても評価対象用量の最高用量でのみ染色体の構造異常の増加がみられた。当試験系列では出現率の増加と用量との関連性は確認されなかったものの、連続する低用量との間の用量比は 1.25 と小さなもので狭い用量間隔で構造異常が出現しており、出現率の増加が明確なものであることから、結果は陽性と判断した。なお、いずれの試験系列においても、構造異常は明確な細胞増殖抑制(細胞増殖率が 60%未満)がみられた用量で増加しており、当該被験物質は細胞増殖抑制を示す濃度で構造異常を出現させるものと考えられた。被験物質による、数的異常の出現率への影響はみられなかった。

陽性対照群における染色体の構造異常の出現率は各試験系列において明確な陽性値を示し、本試験系が適切な感受性を有していたことが確認された。

以上のことから、2-ブロモ-2-ニトロプロパン-1,3-ジオールは、本試験条件において、ほ乳類の培養細胞に対し細胞増殖抑制を示す濃度において染色体異常誘発性を有すると判断した。

Table 1 Effects of 2-bromo-2-nitro-1,3-propanediol on growth rate of CHL/IU with or without metabolic activation (preliminary test)

Growth rate (% to the control)				
Group	Concentration ($\mu\text{g/mL}$)	S9-	S9+	S9-
		6-18 hr (Mean)	6-18 hr (Mean)	24-0 hr (Mean)
Control ^a	–	100 , 100 (100.0)	100 , 100 (100.0)	100 , 100 (100.0)
2-Bromo-2-nitro-1,3-propanediol	7.81	60 , 58 (59.0)	92 , 97 (94.5)	29 , 32 (30.5)
	15.6	16 , 14 (15.0)	91 , 95 (93.0)	15 , 13 (14.0)
	31.3	14 , 14 (14.0)	75 , 76 (75.5)	14 , 13 (13.5)
	62.5	16 , 16 (16.0)	29 [#] , 27 [#] (28.0)	16 , 15 (15.5)
	125	20 , 19 (19.5)	24 [#] , 29 [#] (26.5)	21 , 23 (22.0)
	250	22 , 22 (22.0)	31 [#] , 27 [#] (29.0)	25 , 24 (24.5)
	500	23 , 24 (23.5)	33 [#] , 37 [#] (35.0)	26 , 27 (26.5)
	1000	25 , 26 (25.5)	35 [#] , 41 [#] (38.0)	27 , 29 (28.0)
	2000	28 , 27 (27.5)	37 [#] , 36 [#] (36.5)	30 , 29 (29.5)
IC ₅₀ ($\mu\text{g/mL}$)		-	45.4	-

a : Water for injection (Japanese pharmacopoeia)

[#] : Precipitation at the end of treatment

Change of pH in culture medium was not observed.

The figure in parentheses represents mean value of two plates

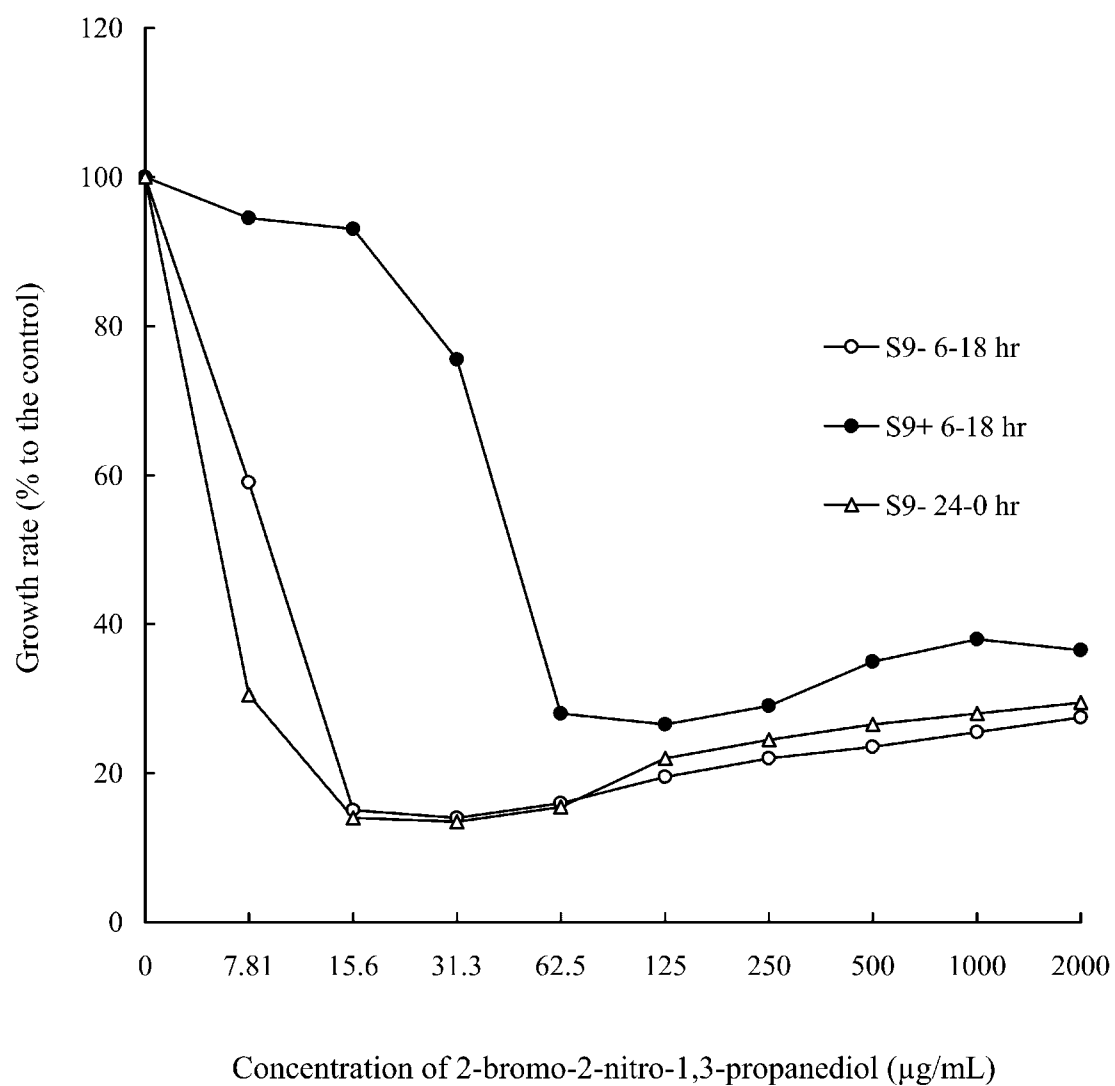


Figure 1 Effects of 2-bromo-2-nitro-1,3-propanediol on growth rate of CHL/IU with or without metabolic activation (preliminary test)

Each point represents mean value (n=2).

Table 2 Effects of 2-bromo-2-nitro-1,3-propanediol on growth rate of CHL/IU without metabolic activation (preliminary test, additional test)

Growth rate (% to the control)			
Group	Concentration ($\mu\text{g/mL}$)	S9-	S9-
		6-18 hr (Mean)	24-0 hr (Mean)
Control ^a	–	100 , 100 (100.0)	100 , 100 (100.0)
2-Bromo-2-nitro-1,3-propanediol	0.469	-	102 , 99 (100.5)
	0.938	99 , 100 (99.5)	98 , 97 (97.5)
	1.88	93 , 96 (94.5)	88 , 87 (87.5)
	3.75	80 , 76 (78.0)	67 , 65 (66.0)
	7.5	52 , 51 (51.5)	27 , 24 (25.5)
	15	13 , 13 (13.0)	14 , 12 (13.0)
	30	12 , 13 (12.5)	-
IC ₅₀ ($\mu\text{g/mL}$)		7.71	4.93

a : Water for injection (Japanese pharmacopoeia)

Precipitation or changes of pH in culture medium was not observed.

The figure in parentheses represents mean value of two plates

- : Blank

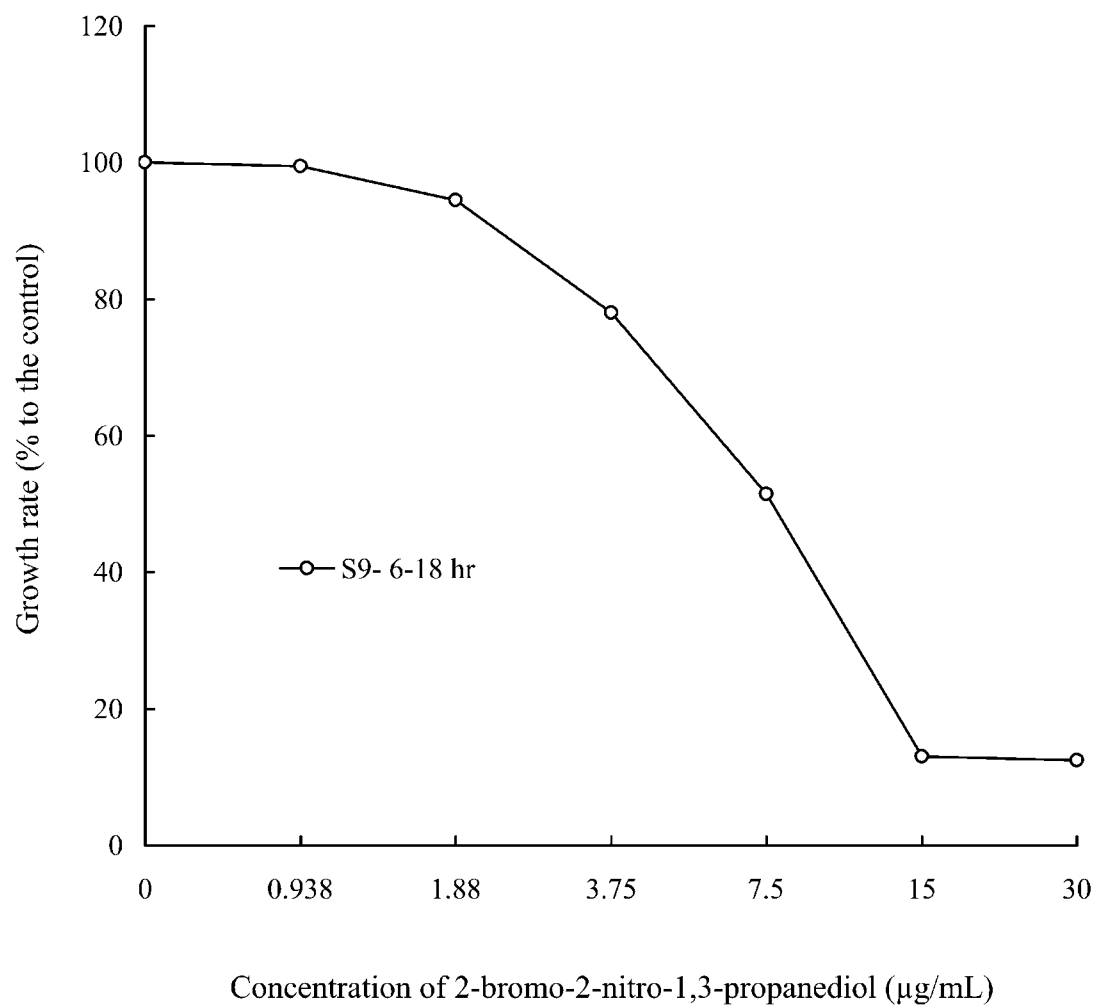


Figure 2-1 Effects of 2-bromo-2-nitro-1,3-propanediol on growth rate of CHL/IU without metabolic activation (preliminary test, additional test)

Each point represents mean value (n=2).

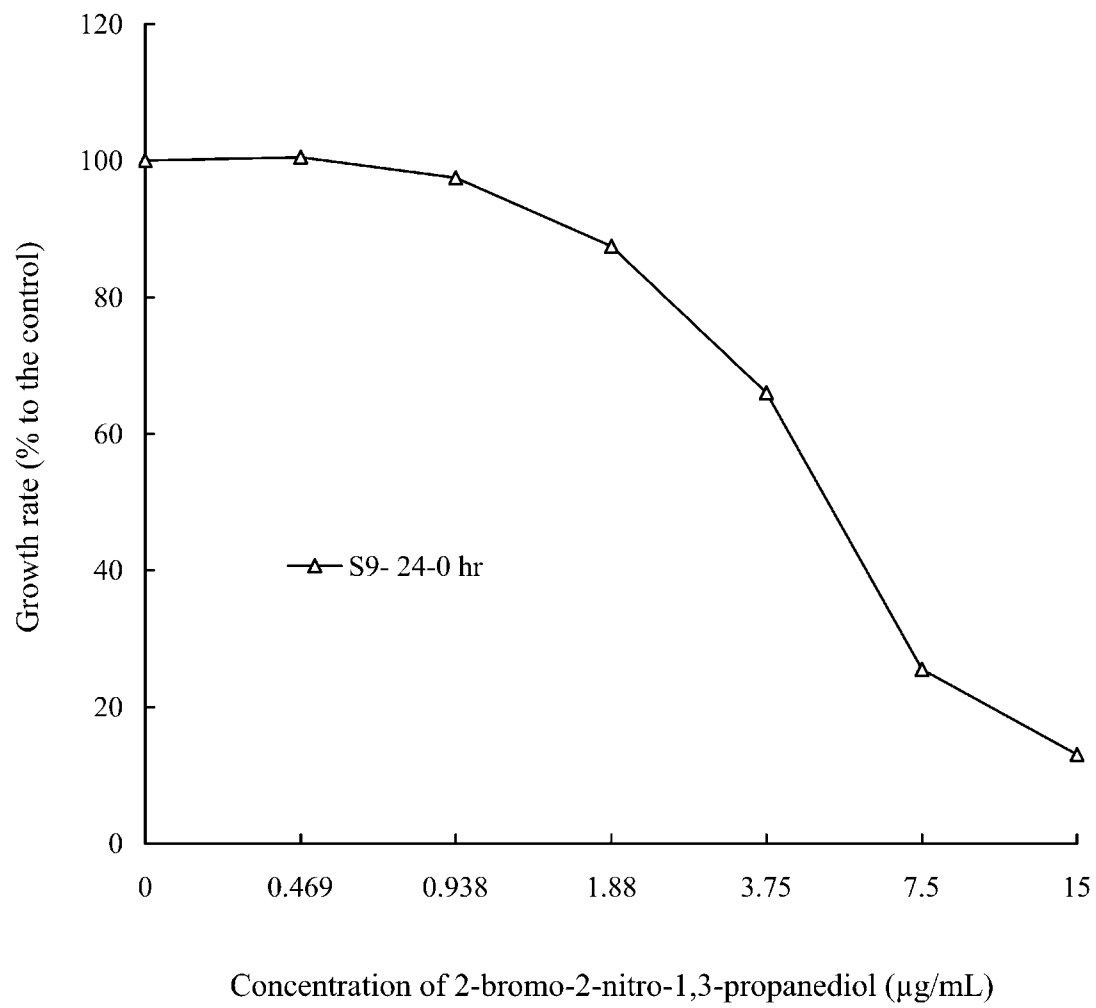


Figure 2-2 Effects of 2-bromo-2-nitro-1,3-propanediol on growth rate of CHL/IU without metabolic activation (preliminary test, additional test)

Each point represents mean value (n=2).

Table 3-1 Effects of 2-bromo-2-nitro-1,3-propanediol on growth rate of CHL/IU without metabolic activation (chromosomal aberration test)

Growth rate (% to the control)

Group	Concentration ($\mu\text{g/mL}$)	S9-	S9-
		6-18 hr (Mean)	24-0 hr (Mean)
Control ^a	-	100 , 100 (100.0)	100 , 100 (100.0)
2-Bromo-2-nitro-1,3-propanediol	0.234	-	99 , 101 (100.0)
	0.469	-	99 , 96 (97.5)
	0.938	96 , 98 (97.0)	92 , 88 (90.0)
	1.88	91 , 92 (91.5)	80 , 81 (80.5)
	3.75	79 , 83 (81.0)	59 , 59 (59.0)
	5.00	-	46 , 44 (45.0)
	6.25	-	33 , 30 (31.5)
	7.5	53 , 54 (53.5)	19 , 18 (18.5)
	10	35 , 33 (34.0)	-
	12.5	17 , 13 (15.0)	-
15	13 , 12 (12.5)	-	

a : Water for injection (Japanese pharmacopoeia)

Precipitation or changes of pH in culture medium was not observed.

The figure in parentheses represents mean value of two plates

- : Blank

Table 3-2 Effects of 2-bromo-2-nitro-1,3-propanediol on growth rate of CHL/IU with metabolic activation (chromosomal aberration test)

Growth rate (% to the control)

Group	Concentration ($\mu\text{g/mL}$)	S9+
		6-18 hr (Mean)
Control ^a	–	100 , 100 (100.0)
2-Bromo-2-nitro-1,3-propanediol	3.75	97 , 99 (98.0)
	7.5	94 , 95 (94.5)
	15	88 , 93 (90.5)
	30	79 , 79 (79.0)
	40	64 [#] , 64 [#] (64.0)
	50	31 [#] , 31 [#] (31.0)
	60	21 [#] , 19 [#] (20.0)

a : Water for injection (Japanese pharmacopoeia)

[#] : Precipitation at the end of treatment

Change of pH in culture medium was not observed.

The figure in parentheses represents mean value of two plates

Table 4-1 Results of the chromosomal aberration test of 2-bromo-2-nitro-1,3-propanediol (6 hours treatment without metabolic activation)

Time schedule ^a (hours)	S9	Group	Concentration (µg/mL)	Growth rate (%)	Number of metaphase observed	Structural aberrations						Gap	Numerical aberrations			Judgment ^c	
						ctb	cte	csb	cse	others	total (%)		poly	others	total (%)		
6-18	-	Control ^b	—	100.0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
					100	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	
					200	1	0	0	0	0	0	1 (0.5)	0	1	0	1 (0.5)	
		2-Bromo-2-nitro- 1,3-propanediol	0.938	97.0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+
					100	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	
					200	1	0	0	0	0	0	1 (0.5)	0	1	0	1 (0.5)	
			1.88	91.5	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
					100	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	
					200	0	0	0	0	0	0	0 (0.0)	0	1	0	1 (0.5)	
			3.75	81.0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
					100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
					200	0	0	0	0	0	0	0 (0.0)	0	0	0	0 (0.0)	
			7.5	53.5	100	4	6	1	1	0	11	0	0	0	0	0	
					100	6	11	0	0	0	14	0	0	0	0	0	
					200	10	17	1	1	0	25 (12.5)	0	0	0	0 (0.0)		
		10	34.0	100	4	19	1	0	0	21	0	3	0	3			
				100	6	27	1	1	0	32	0	2	0	2			
				200	10	46	2	1	0	53 (26.5)	0	5	0	5 (2.5)			
		12.5	15.0	Toxic	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
		15	12.5	Toxic	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Mitomycin C	0.1	100	16	38	1	1	0	52	0	0	0	0					
		100	3	39	0	1	0	41	0	0	0	0					
		200	19	77	1	2	0	93 (46.5)	0	0	0	0 (0.0)					

ctb, chromatid break cte, chromatid exchange csb, chromosome break cse, chromosome exchange poly, polyploid

a : Time schedule ; treatment time-recovery time

b : Water for injection (Japanese pharmacopoeia)

c : Judgment was made according to the total (%) of structural aberrations and numerical aberrations ; -, negative +, positive

- : Blank

Table 4-2 Results of the chromosomal aberration test of 2-bromo-2-nitro-1,3-propanediol (6 hours treatment with metabolic activation)

Time schedule ^a (hours)	S9	Group	Concentration (µg/mL)	Growth rate (%)	Number of metaphase observed	Structural aberrations						Gap	Numerical aberrations			Judgment ^c				
						ctb	cte	csb	cse	others	total (%)		poly	others	total (%)					
6-18	+	Control ^b	—	100.0	100	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	-			
					100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
					200	2	0	0	0	0	2 (1.0)	0	0	0	0 (0.0)					
		2-Bromo-2-nitro- 1,3-propanediol	3.75	98.0	Not observed	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+		
						7.5	94.5	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0
								100	0	1	0	0	0	1	0	0	0		0	
								200	0	1	0	0	0	1 (0.5)	0	0	0 (0.0)			
						15	90.5	100	3	0	0	0	0	3	0	1	0		1	0
								100	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	
								200	3	0	0	0	0	3 (1.5)	0	1	0 (0.5)			
						30	79.0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0
								100	0	1	0	0	0	1	0	0	0		0	
		200	0	1	0			0	0	1 (0.5)	0	0	0 (0.0)							
		40	64.0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
				100	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0						
				200	0	1	0	0	0	1 (0.5)	0	0	0 (0.0)							
		50	31.0	100	7	20	0	0	0	26	0	3	0	3	0					
				100	0	11	0	0	0	11	0	1	0	1						
200	7			31	0	0	0	37 (18.5)	0	4	0 (2.0)									
60	20.0	Toxic	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
Benzo[a]pyrene	10	100	9	43	0	1	0	49	0	0	0	0	0							
		100	5	39	0	0	0	42	0	0	0	0								
		200	14	82	0	1	0	91 (45.5)	0	0	0 (0.0)									

ctb, chromatid break cte, chromatid exchange csb, chromosome break cse, chromosome exchange poly, polyploid

a : Time schedule ; treatment time-recovery time

b : Water for injection (Japanese pharmacopoeia)

c : Judgment was made according to the total (%) of structural aberrations and numerical aberrations ; -, negative +, positive

- : Blank

Table 4-3 Results of the chromosomal aberration test of 2-bromo-2-nitro-1,3-propanediol (24 hours treatment without metabolic activation)

Time schedule ^a (hours)	S9	Group	Concentration (µg/mL)	Growth rate (%)	Number of metaphase observed	Structural aberrations						Gap	Numerical aberrations			Judgment ^c		
						ctb	cte	csb	cse	others	total (%)		poly	others	total (%)			
24-0	-	Control ^b	—	100.0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-		
					100	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
					200	0	0	0	0	0	0 (0.0)	0	0	0 (0.0)				
		2-Bromo-2-nitro- 1,3-propanediol	-				Not observed	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
							100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
							100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
							200	0	0	0	0	0	0 (0.0)	0	0	0 (0.0)		
							100	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
							100	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	
							200	1	0	0	0	0	1 (0.5)	0	1	0	1 (0.5)	
							100	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
							100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
							200	1	0	0	0	0	1 (0.5)	0	0	0	0 (0.0)	
							100	2	6	1	0	0	8	0	0	0	0	
							100	1	3	0	0	0	4	0	1	0	1	
							200	3	9	1	0	0	12 (6.0)	0	1	0	1 (0.5)	
							100	4	14	1	0	0	14	0	0	0	0	
							100	0	8	0	1	0	8	0	1	0	1	
							200	4	22	1	1	0	22 (11.0)	0	1	0	1 (0.5)	
							100	6	20	0	0	0	24	0	0	0	0	
100	2						10	0	0	0	11	0	2	0	2			
200	8	30	0	0	0	35 (17.5)	0	2	0	2 (1.0)								
100	1	7	0	0	0	7	0	0	0	0								
100	2	6	0	0	0	7	0	0	0	0								
200	3	13	0	0	0	14 (7.0)	0	0	0	0 (0.0)								
Mitomycin C	-	0.05			100	9	40	1	1	0	47	0	0	0	0	+		
					100	10	43	0	0	0	50	0	0	0				
					200	19	83	1	1	0	97 (48.5)	0	0	0	0 (0.0)			

ctb, chromatid break cte, chromatid exchange csb, chromosome break cse, chromosome exchange poly, polyploid
a : Time schedule ; treatment time-recovery time
b : Water for injection (Japanese pharmacopoeia)
c : Judgment was made according to the total (%) of structural aberrations and numerical aberrations ; -, negative +, positive
- : Blank