

γ - 射線照射應用於紙質文物滅菌之探討

夏滄琪¹ 張豐吉² 陳家杰³

【摘要】本試驗探討以鈷-60 γ - 射線照射對紙質文物滅菌及紙質劣化之影響。由試驗結果得知，對試驗菌株之有效滅菌劑量為 3~5 KGy。在此劑量之照射下，對紙張白度及紙力影響不明顯，然而對紙張之聚合度已呈現 10~20% 之下降現象。照射劑量提升至 30 KGy 時，紙張白度及引張強度雖仍無明顯下降，但紙張之聚合度及耐摺力均約降低 50%。500 KGy 以上之劑量導致變色、紙力下降、粘度損失及化學組成變化（羧基、羰基類降解產物增加）極為顯著。 γ - 射線照射前施以 50°C 加熱處理，有助於降低照射時之有效滅菌劑量。在低劑量照射下（30 KGy）之紙張白度雖然無明顯下降，但經加熱促進劣化後，白度則有明顯降低，由此可見，以 γ - 射線照射紙質文物有潛在的劣化作用。在 25 KGy 劑量下照射裱裝塑膠膜時，PVC、PE 及 PP 膜之變色甚少，而壓克力板則是呈現較多的變黃現象。在 20 KGy 劑量下照射國畫用顏料，其變色程度不明顯。

【關鍵詞】 γ - 射線照射、紙張生物劣化、真菌類、維護

The Application of Gamma Radiation to the Disinfection of Paper-based Materials

Tsang-Chyi Shiah¹ Feng-Jyi Chang² Chia-Chieh Chen³

【Abstract】The aim of this study is to investigate the feasibility of gamma radiation for the disinfection of paper-based artifacts. The gamma radiation load at 3~5 KGy gave the sufficient biocidal dosage to the fungi strains. There were not apparent brightness and tensile strength loss for the papers irradiated at the load of 3~5 KGy, whereas the decrease in fold occurred concomitantly. An irradiation less than 3 KGy resulted in 10~20% decrease in degree of polymerization (DP) of papers. Severe damage to fold and DP of papers are caused by 30 KGy irradiation (ca. 50% falling). Over 500 KGy irradiation decreased the paper strength, viscosity and changed color and chemical compositions such as carboxylic group, carbonyl group to a certain extents. Preheating the papers at 50°C prior to gamma irradiation reduced the amount of lethal dosage in disinfection. Accelerating tests results have shown that, even at

1 行政院農業委員會林業試驗所森林化學系助理

Research assistant, Division of Forest Chemistry, Taiwan Forestry Research Institute, Council of Agriculture, Nan-hai Rd., Taipei, 100, Taiwan R.O.C.

2 國立中興大學森林學研究所教授

Professor, Department of Forestry, NCHU, Taichung, 402, Taiwan R.O.C.

3 行政院原子能委員會核能研究所副研究員

Associate scientist, Institute of Nuclear Energy Research, Atomic Energy Council, 1000 Wenhua Rd., Long Tam Township, Taoyuan, 325, Taiwan R.O.C.

a low dosage of gamma radiation in which may lead to the deterioration of paper-based artifacts. Except acrylic board, slightly yellowing in PVC, PE, PP films can be found under 25 KGy irradiation. The color change in colored pigments of Chinese painting can be ignored by 20 KGy of gamma radiation.

[Key words] Gamma radiation, Biodegradation of papers, Fungi, Conservation.

一、前言

自1960年代初期Belyakova氏採用 γ -射線(Gamma ray)進行典藏藝術品之維修處理起，核能輻射之應用，已由軍事、農業、工業等用途拓展至文化領域。近來，以輻射進行藝術品或檔案文物之修護處理，日益受到文物維修專家們的重視與興趣。對於紙質文物而言，輻射處理對於畫作紙質材料上的蟲、菌係為間接破壞之方式(破壞蟲類之消化器官使無法進食而死亡，或破壞蟲、菌之基因使逐漸死亡)而滅除之，以達文物維護目的；然而過度的輻射處理卻可能造成紙張纖維變黃、脆化等直接破壞，故應謹慎、妥善地運用之(Tomazello, 1995)。

γ -射線係波長界於 $10^{-11} \sim 10^{-14}$ M之電磁波，得自於放射性元素之原子核分裂，諸如鈷-60(工業上最常被採用者)或是銫-137。由於其高能量，使得 γ -射線具有很強的穿透力，意味著此種射線可誘發被照射材質內部之改變，會使生物體引起生物效應(biological effect)而受傷害或致死。如果劑量應用適當，則當 γ -射線與活細胞接觸時，將促使DNA分子受損及細胞的死亡。由於具有殺蟲、殺菌之特性， γ -射線常被應用於醫療消毒用途、製藥及食品工業上(林安秋, 1989; 陳家杰等, 1997; Flieder *et al.*, 1995)。

以相當低的劑量(0.5~1 KGy; Gy: 放射線吸收量之單位, 1Gy = 1 J/Kg = 100 rad)即可達到滅蟲效果，然而微生物，特別是真菌類對於 γ -射線具有相當的抵抗力；甚至於在同屬內，不同種之黴菌對於輻射之敏感度亦有所差異。微環境中之溫度、相對濕度、氧氣含量及初始之孢子濃度皆會影響殺菌之成效。回顧過去三十多年

以來，研究人員針對典藏藝術品進行了 γ -射線處理之成效評估及相關試驗，最早係由前蘇聯的Belyakova氏於1960年代初期，採用 γ -射線針對菌類污染檔案、文物進行滅菌處理。經研究證實，在4.5~5 KGy之照射劑量下，可使真菌孢子全部破壞；學者同時發現，溫度與 γ -射線之間具有增效作用(synergy)，當溫度提升至50°C時，將可減少殺菌劑量至2 KGy，而在此種處理下對於紙張並未造成顯著的影響(Justa, 1995; Flieder *et al.*, 1995)。

輻射消毒亦稱之為冷殺菌或冷消毒(cold sterilization)，主要是由於 γ -射線處理古文物幾乎不會有任何可感知的溫度提升，因此不會導致溫度的破壞效應。並且鈷-60 γ -射線不會像毒氣消毒有毒性殘存的問題，加以此法操作簡單而沒有破壞環境的顧慮，故而可取代毒氣消毒法(林安秋, 1989; 陳家杰等, 1997)。早年，博物館典藏藝術品多採用液態或氣態殺蟲劑進行除蟲、殺菌處理，然而此類處理法不但費時更須要通過嚴厲的衛生規範；因此專家們研究以放射線進行受蟲害侵襲的家具、油畫及各種材質的博物館典藏品的維護處理，並且研究可抑制黴菌、真菌及細菌在紙張、檔案及書籍上滋長之適當輻射劑量。在生物學上，黴菌屬於較昆蟲低等的微生物，細胞對於 γ -射線的殺菌效應較不敏感，殺菌所用劑量較滅蟲之用量高20倍左右，而不同菌株對相異的輻射強度敏感性各不相同，因此，輻射照射處理必須根據試驗所得菌株之最大抵抗強度而施行，才能達到預期效益。輻射處理應用於滅菌之研究，其主要理念在於較低而有效劑量之施用將不會對紙質造成損害。符合此需求之最可行方法，係在緩和速度下提升溫度至50°C，以

激發黴菌的敏化性 (sensitization)，於輻射處理前施以加溫處理，可降低輻射劑量同時亦可有效地達於驅除害蟲之目的。即是對古老的紙質文物亦不致受損，可達到減少劑量又降低危害紙質之相乘效果 (Justa, 1992)。

除了殺蟲、滅菌以外，文物維修專家亦採用 γ -射線照射處理進行仿古材料之研究，利用輻射線促進纖維老化之特性，以製備性質相近之紙、絹，藉以為文物維修、裱貼材料之用 (稻葉政滿，1991；半田達二，1997)。

鈷-60 的穿透力及殺蟲、菌效果業經證實，但運用於古文物是否得宜仍有待進一步試驗確認，而此類之物理方法對紙質文物及滅菌之效應如何？目前在國內相關之文獻報告尚不多見，陳家杰等人發表古物保存與修補照射一文，開此領域之濫觴 (陳家杰等，1997)。又蘇裕昌等人曾對 γ -射線照射後之文化用紙光學性質及 γ -射線照射後之紙張物理化學性質進行研究，發現 γ -射線劑量在 25K Gy 以上時紙質已呈現明顯的劣化 (蘇裕昌等，1999a；1999b)，荊淑華之碩士論文則針對鈷-60 γ 射線照射後之蠶絲織品黃變及特性進行探討 (荊淑華，1997)。基於維護文物、延續文化是吾人責無旁貸之任務，此類處理法將有相當的實用價值！

本試驗之目的主要在探求以鈷-60 γ -射線照射進行紙質文物滅菌之可行性，藉由改變照射劑量進行紙質之滅菌處理，嘗試尋求有效滅菌，且對紙質傷害最小之最低照射劑量，以提供文物維護相關單位之參考。試驗除評估 γ -射線之滅菌效果外，並且針對前處理之效應、加熱劣化之效應，及照射處理對國畫用色料、裱裝用塑膠膜之效應一併進行探討，以瞭解 γ -射線照射對紙質文物微生物劣化防除之適當條件，做為古文物保存之依據。

二、材料與方法

(一) 試驗材料

1. 菌種：

Aspergillus niger, *Penicillium citrinum*,

Chaetomium globosum, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus* sp., *Trichoderma* sp., *Fusarium solani*。

2. 滅菌紙樣 (120°C 乾熱滅菌處理 17 小時)：

雁皮宣 (基重：14.15 g/m²)、楮皮宣 (基重：36.11 g/m²)、分析用濾紙 (Advantec, No. 1；基重：92.89 g/m²)、影印紙 (Xerox paper；基重：81.75 g/m²)。另外選取無滅菌宣紙 A：(基重：38.3 g/m²，由楮皮及闊葉材纖維等組成)、宣紙 B：(基重：26.1 g/m²，由楮皮、闊葉材纖維及稻草纖維等組成)。

3. 黴斑紙樣：

代號 G, I, P 之手工宣紙三種 (經 90 % 相對溼度下存放 2.5 年，紙面明顯著生黴斑者)。

4. 國畫色料：

吳竹墨汁 (黑；Ink)、鉛粉 (白；Lead white)、藤黃 (黃；Camboge)、洋紅 (紅；Carmine)、赭石 (咖啡；Ocher)、青石 (藍；Mountain blue)、石綠 (綠；Verdigris)。

5. 塑膠膜：

(1) 裱畫用 PVC (polyvinyl chloride) 膜, (2) PE (polyethylene) 膜, (3) PP (polypropylene) 膜, (4) 壓克力板 (acrylic board)。

(二) 試驗方法

1. γ -射線照射之滅菌效果評估：

各取 100 μ L 真菌孢子懸浮液 ($1 \times 10^{4-5}$ 個孢子/mL)，塗佈於滅菌後之分析用濾紙上，分別對各接菌濾紙施以 0, 0.5, 1, 2, 3, 5, 10, 20, 25, 30 KGy (10KGy = 1Mrad) 之 γ -射線照射，後移入馬鈴薯葡萄糖瓊脂 (potato-dextrose agar, PDA) 培養基。

將培養基置入 24°C 之培養箱培養，以觀察不同照射劑量之滅菌效果。另外取 *Aspergillus niger*, *Penicillium citrinum*, *Chaetomium globosum*, *Aspergillus flavus* 等孢子懸浮液，施以 0 ~ 30 KGy 之 γ -射線照射，將照射後之懸浮液 (20 μ L 懸浮液) 以 PDA 培養基進行接菌處理，並以 24°C 之培養箱進行培養，以與接菌濾紙滅菌效果比較之。

2. γ -射線照射對文化用紙之影響：

紙樣經0~30 KGy之 γ -射線照射後，分別測定下列性質：

- (1)將滅菌紙樣移入PDA培養基，後置入24°C之培養箱進行培養，以觀察不同照射劑量之滅菌效果。
- (2)測定紙樣之白度(CNS 1466)、CIE L*a*b*顏色值、及紙樣色差值【 $\Delta E^* = (\Delta L^*^2 + \Delta a^*^2 + \Delta b^*^2)^{1/2}$ 】變化，並測定紙樣之引張強度(CNS 1354)、耐摺力(CNS 1358)、粘度(ASTM 1795)及進行FTIR(Bio-Rad FTS-40型)光譜分析，刮取經5~30 KGy劑量 γ -射線照射紙樣之表面紙粉5mg，與195 mg KBr粉末相混合，壓製成透明片後以FTIR進行分析，波數範圍為4,000~600 cm^{-1} 間。
- (3)測定紙樣之白度安定性(經 γ -射線照射處理紙樣再分別施以85°C,85% RH、105°C之加速劣化試驗，經3,6,9,18小時後，測定紙樣之白度、CIE L*a*b*顏色值、及紙樣色差值之變化)。

3. γ -線照射對黴斑紙樣滅菌效果之評估：

先以5號鑄子於代號G,I,P三種手工宣紙之斑點部位(經90% RH環境下存放2.5年，紙面產生顯著黴斑者)取樣，進行PDA培養及菌株鑑別，以為對照組。分別將黴斑部位切割成小片紙樣，施以0~25 KGy γ -射線照射，並將紙樣移入PDA培養基上，於24°C之培養箱培養，以觀察、比較不同劑量之滅菌效果。

4. 前處理對 γ -線照射之滅菌效應：

- (1)前處理條件： γ -射線照射前，分別將接菌紙樣以①室溫(對照組)，②50°C乾熱，③50°C,95% RH濕熱等處理24小時。
- (2)經加熱處理之*Aspergillus niger*, *Penicillium citrinum*, *Chaetomium globosum*, *Aspergillus flavus* 接菌濾紙以0~25 KGy γ -射線照射，移入PDA培養基上，以24°C之培養箱培養後，再評估各種劑量及處理方式之滅菌效果。

5. γ -射線照射對國畫用色料安定性之測試：

以市售吳竹墨汁濃度為基準，調整各種色料之濃度為13%，用Braive B-4000半自動塗佈機將色料塗佈於濾紙(尺寸：6×6 cm)上，待氣乾後測定紙面之CIE L*a*b*顏色值。經0~30 KGy之 γ -射線照射後，測定紙樣之CIE L*a*b*顏色值、及色差值變化，以評估 γ -射線照射對於國畫用色料安定性之影響。

6. γ -射線照射處理對裝用塑膠膜之影響：

經0~30 KGy之 γ -射線照射後，分別觀察三種塑膠膜及壓克力板之變黃程度，以做為文物、畫作包裝滅菌處理之參考依據。

三、結果與討論

(一) γ -射線照射之滅菌效果評估

1. 接菌濾紙之滅菌效果

γ -射線照射之滅菌效果如表1所示，分析濾紙接菌後，以不同劑量之 γ -射線照射處理；經PDA培養基培養7日後，*Aspergillus niger*, *Penicillium citrinum*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus* sp. 等接菌處理濾紙在3 KGy劑量即可有效地滅菌，*Fusarium solani*, *Trichoderma* sp 等接菌濾紙在5 KGy劑量具滅菌效果，而*Chaetomium globosum* 接菌濾紙在5 KGy劑量下，尚有菌絲生長之情形，而必需更高的照射劑量才能完全滅菌。對照組在相同時間內，皆已長滿菌絲，此意味3~10 KGy之 γ -射線劑量對一般紙質著生之菌類可有效滅菌。

2. 孢子懸浮液之滅菌劑量觀察

試驗菌株之孢子懸浮液經3~25 KGy劑量之 γ -射線照射後，以PDA培養基培養一週，試驗菌株之對照組，菌絲組織已長滿培養基。在5 KGy之照射劑量照射下，*Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus*, *Penicillium citrinum* 等菌株之PDA培養，即已無生長之跡象，而*Chaetomium globosum*則需在5 KGy以上劑量時才具有滅菌效果。此結果與Belyakova及Bors等氏所提：「4.5~5 Kgy之照射劑量，可使真菌孢子全部破壞」之結果類似(Justa,1992)。

(二) γ -線照射對發黴斑紙樣之滅菌效果

表 1. γ - 射線照射對接菌濾紙滅菌之效應

Table 1. The disinfecting effect of gamma radiation on the fungi inoculated filter papers.

Fungal strains	Fungal growth & color						
	Dosage (KGy)	0	1	2	3	5	25
<i>Aspergillus flavus</i>	5 +	5 + (Greenish)	2 +	-----	-----	-----	-----
<i>Aspergillus niger</i>	5 +	5 + (Black)	4 +	-----	-----	-----	-----
<i>Aspergillus sp.</i>	5 +	5 + (Black)	4 +	-----	-----	-----	-----
<i>Penicillium citrinum</i>	5 +	4 + (Dark green)	2 +	-----	-----	-----	-----
<i>Chaetomium globosum</i>	5 +	5 + (Yellowish)	5 +	5 + (Light yellowish)	4 +	-----	-----
<i>Trichoderma sp.</i>	5 + (Light greenish)	5 +	5 + (White)	2 +	-----	-----	-----
<i>Fusarin solani</i>	5 +	5 + (Reddish)	5 +	4 + (Pink)	-----	-----	-----

- : No fungi colony growth

+ : covered with 20 % of fungi colonies

2 + : covered with 40 % of fungi colonies

3 + : covered with 60 % of fungi colonies

4 + : covered with 80 % of fungi colonies

5 + : covered with 100 % of fungi colonies

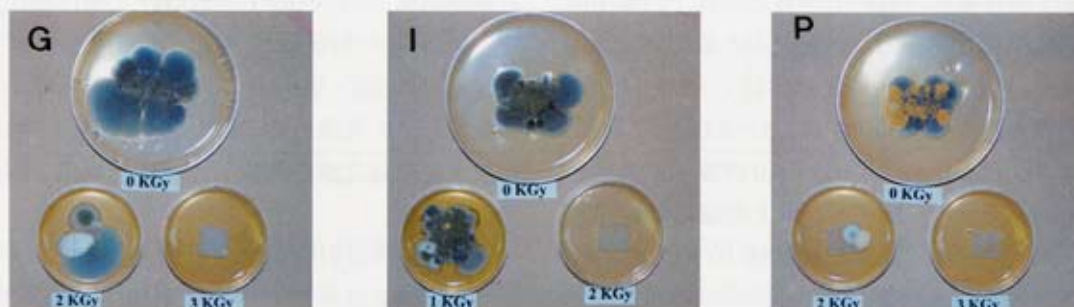
經取樣自90% RH培養之紙樣黴斑部位進行純化培養，篩分出之菌株分別為：*Aspergillus niger var niger* (黑色)，*Aspergillus ochraceus* (黃褐色)，*Aspergillus ustus* (青綠色)，*Penicillium chrysogenum* (藍綠、白色)等四種菌株(夏滄琪、張豐吉，1997)。各黴斑紙樣經0~25 KGy之 γ -射線照射後，移入PDA培養基，於24°C培養箱培養10日，手工紙I在2 KGy之劑量，能有

效滅菌，而未有任何菌類之滋長；手工紙G及P在3 KGy之劑量下，可達到完全滅菌之效果。照射結果如照片1所示。

(三) γ - 射線照射對文化用紙之影響

1. 經PDA培養發現，未施以接菌處理之濾紙、影印紙、雁皮紙及楮皮紙，經5 KGy劑量之 γ -射線照射皆可達到滅菌效果。

2. 紙樣之顏色變化



照片 1. 黴斑紙樣經 γ - 射線照射滅菌處理後之培養試驗

Photo.1. PDA cultivated moldy hand-made papers after gamma ray irradiation treatment.

(G : hand-made paper G、I : hand-made paper I、P : hand-made paper P on PDA)

表 2. γ - 射線照射對紙張白度及色差值之影響

Table 2. Effect of gamma radiation on the brightness and color difference of papers.

Dosage (KGy)	Brightness (% GE)	L*	a*	b*	ΔE^*	Remark	
Gampi xuan (雁皮宣)	0	68.8	92.10	-5.22	17.37	-----	
	3	68.5	92.09	-5.35	17.44	0.15	
	5	67.0	92.17	-5.18	17.22	0.17	
	10	66.9	91.90	-5.08	17.35	0.24	
	30	66.2	91.70	-5.30	17.55	0.45	
Kozo xuan (楮皮宣)	0	71.2	93.84	-7.28	19.16	-----	
	3	70.9	94.1	-7.22	19.35	0.33	
	5	70.5	93.45	-7.51	19.13	0.45	
	10	70.4	93.89	-7.20	19.69	0.54	
	30	70.7	93.74	-6.96	19.80	0.72	
Copy paper (影印紙)	0	86.5	95.69	-5.44	9.32	-----	Xerox paper
	3	86.2	95.72	-5.45	9.55	0.23	
	5	86.1	95.33	-5.58	9.18	0.41	
	10	85.5	95.38	-5.49	9.65	0.45	
	30	84.6	95.45	-5.49	9.72	0.47	
Filter paper (濾紙)	0	94.4	97.08	-5.31	6.32	-----	Advantec # 1
	3	93.5	97.87	-5.31	7.08	1.09	
	5	92.6	97.70	-5.31	7.30	1.16	
	10	91.9	97.45	-5.30	7.71	1.44	
	30	88.5	97.10	-5.05	8.15	1.85	
A xuan (宣紙 A)	0	80.1	94.89	-0.09	6.06	-----	Kozo fiber + Hardwood fiber
	100	76.1	93.65	-0.03	7.12	1.63	
	500	66.1	91.25	0.07	11.69	6.71	
	1000	57.3	89.00	0.27	16.22	11.75	
B xuan (宣紙 B)	0	80.6	94.41	-0.15	4.75	-----	Kozo fiber + Hardwood fiber + Rice fiber
	100	76.1	93.59	-0.06	7.04	2.43	
	500	68.1	91.91	0.05	11.06	6.79	
	1000	59.9	89.96	0.51	15.27	11.44	

藉由紙樣白度及 CIE L*a*b* 顏色值之測定顯示，四種紙樣皆隨照射劑量之提升，白度下降及紙張顏色往黃色方向改變 (+b* 值增高)。由色差值 ΔE^* 之大小，可知紙樣經 γ - 射線照射之顏色差異程度。當 ΔE^* 值在 1.5~3.0 時屬於可感色差 (noticeable)，3.0~6.0 時屬於明顯色差 (appreciable)，而在 6.0 以上則屬於明顯色差 (much) 之程度。試驗紙樣經過 30 KGy 照射劑量照射後，四種紙樣之色差值均有些微增高，其中以濾紙之色差值較為顯著 (ΔE^* 值為 1.85)。

以宣紙 A 及 B 而言，當照射劑量增大至 500 KGy 時，紙樣呈現顯著的白度下降、變黃及色差

值增高之趨勢。結果如表 2 所示。由 CIE L*a*b* 值觀察紙樣回色 (color reversion) 之顏色變化可知， γ - 射線照射後紙樣之顏色朝向黃色 (+b* 方向) 移動最明顯，而明度 (L* 方向) 之差異較小，紅色 (+a*) 及綠色 (-a*) 之差異最小。整體而言，在有效之滅菌劑量下，所造成紙張之顏色變化不大。

3. γ - 射線照射對紙張物理性質之影響

試驗結果如表 3 所示，在低劑量 (5~10 KGy) 時，四種紙樣之裂斷長有些許增加趨勢，而在 100 KGy 之較大照射劑量處理後則紙張拉力有顯著降低，Keeny 之報告亦有類似的結果 (Keeny *et al.*,

表 3. γ - 射線照射對紙張裂斷長之影響

Table 3. Effect of gamma radiation on the breaking length of papers.

Dosage (KGy)		0	3	5	10	20	30
Sample		Breaking length (Km)					
Gampi xuan (雁皮宣)	M.D.	5.53	5.33	5.62	4.95	4.90	5.05
	C.D.	2.50	2.88	3.46	2.50	2.02	1.63
Kozo xuan (楮皮宣)	M.D.	2.99	3.58	3.95	3.94	3.65	3.54
	C.D.	1.99	2.75	2.77	2.72	2.43	2.40
Copy paper (影印紙)	M.D.	6.42	6.48	6.51	6.49	6.31	6.24
	C.D.	3.20	3.24	3.21	3.21	3.01	2.95
Filter paper (濾紙)	M.D.	1.85	1.97	1.96	1.96	1.96	1.87
	C.D.	1.42	1.43	1.46	1.44	1.44	1.43
Dosage (KGy)		0	100	300	500	Remark	
Sample		Breaking length (Km)					
A xuan (宣紙 A)	M.D.	2.33	1.53	0.99	0.19	Kozo fiber +	
	C.D.	1.36	1.10	0.33	-----	Hardwood fiber	
B xuan (宣紙 B)	M.D.	2.02	0.92	0.49	0.33	Kozo fiber +	
	C.D.	1.35	0.51	0.41	0.08	Hardwood fiber + Rice fiber	

* M.D. : Machine direction, C.D. : Cross direction.

表 4. γ - 射線照射對紙張耐摺強度之影響

Table 4. Effect of gamma radiation on the folding endurance of papers.

Dosage (KGy)		0	3	5	10	20	30
Sample		Double folds (times, MIT)					
Gampi xuan (雁皮宣)	M.D.	192	181	112	110	88	61
	C.D.	21	19	18	18	18	13
Kozo xuan (楮皮宣)	M.D.	84	85	86	47	50	39
	C.D.	40	43	44	45	26	19
Copy paper (影印紙)	M.D.	1675	1569	1432	1387	1166	869
	C.D.	424	335	332	348	308	212
Filter paper (濾紙)	M.D.	74	70	52	51	50	49
	C.D.	30	34	30	28	29	29
Dosage (KGy)		0	100	300	500	Remark	
Sample		Double folds (times, MIT)					
A xuan (宣紙 A)	M.D.	32	4	0	0	Kozo fiber +	
	C.D.	7	3	0	0	Hardwood fiber	
B xuan (宣紙 B)	M.D.	8	0	0	0	Kozo fiber +	
	C.D.	4	0	0	0	Hardwood fiber + Rice fiber	

* M.D. : Machine direction, C.D. : Cross direction, 0.5 Kg load

1968)。紙樣之耐摺強度則隨照射劑量之增高而有下降之趨勢，即使在5 KGy之劑量下，亦可觀測出耐摺力下降之現象，結果如表4所示。

4. γ - 射線照射對紙張粘度之影響

為評估 γ - 射線照射對於紙張纖維分子量的

影響，試驗採用王研氏粘度計測定照射前後紙樣之相對粘度及聚合度。測定結果如表5所示，隨 γ - 射線照射劑量增加，紙樣相對粘度有明顯下降之趨勢，以平均聚合度表示時益形顯著，當照射劑量為3 KGy時各紙樣之平均聚合度約降低

表 5. γ - 射線照射對紙張相對粘度之影響

Table 5. Effect of gamma radiation on the relative viscosity of papers.

Dosage (KGy)		0	3	5	10	30	Remark
Relative viscosity							
Gampi xuan (雁皮宣)	η r DP*	4.39 1049.4	2.74 686.3	2.41 624.2	1.94 587.2	1.85 421.5	
Kozo xuan (楮皮宣)	η r DP*	2.99 680.8	2.72 628.1	2.48 585.3	2.26 522.1	1.60 308.7	
Copy paper (影印紙)	η r DP*	2.97 696.8	2.47 549.4	2.19 521.6	2.02 458.9	1.70 305.6	Xerox paper
Filter paper (濾紙)	η r DP*	4.36 1019.8	3.59 837.5	3.26 745.2	3.01 704.9	2.20 505.6	Adventec #1
Relative viscosity							
A xuan (宣紙 A)	η r DP*	2.76 636.8	1.32 158.6	1.09 48.0	1.07 47.5		Kozo fiber + Hardwood fiber
B xuan (宣紙 B)	η r DP*	3.18 855.0	1.36 166.5	1.16 72.2	1.14 63.3		Kozo fiber + Hardwood fiber + Rice fiber

* DP : Degree of polymerization

* DP = $190 \times [\eta]$ (ASTM 1795-62)

表 6. γ - 射線照射紙張經加速劣化處理 18 小時後之白度及色差值

Table 6. The brightness and color difference of gamma ray irradiated papers after aging treatment for 18 hrs.

Sample Dosage (KGy) Aging test	Gampi xuan (雁皮宣)		Kozo xuan (楮皮宣)		Copy paper (影印紙)		Filter paper (濾紙)	
	%GE	ΔE^*	%GE	ΔE^*	%GE	ΔE^*	%GE	ΔE^*
Control	68.8	----	71.2	----	86.5	----	94.4	----
0 KGy 105°C 85°C,85% RH	63.6 57.3	2.29 5.72	69.5 66.3	1.01 3.47	83.4 81.6	1.61 1.96	92.0 91.7	0.75 0.79
5 KGy 105°C 85°C,85% RH	62.8 57.3	2.93 5.74	69.1 66.1	1.15 3.13	81.4 79.6	2.74 3.09	84.8 88.2	3.23 1.25
10 KGy 105°C 85°C,85% RH	62.2 55.8	2.82 6.20	68.3 64.8	1.34 3.55	79.9 78.4	2.87 3.16	80.6 85.0	4.89 3.50
20 KGy 105°C 85°C,85% RH	60.6 55.4	3.53 6.35	66.9 63.3	2.03 4.57	78.1 75.8	3.56 3.80	75.1 80.3	6.98 4.27
25 KGy 105°C 85°C,85% RH	59.9 54.1	3.59 6.84	66.2 61.7	2.38 5.21	76.9 73.9	4.32 4.67	71.1 77.3	8.70 5.29
30 KGy 105°C 85°C,85% RH	59.8 53.5	3.99 7.30	66.2 60.3	2.45 6.06	76.7 72.7	4.48 5.21	70.0 74.9	9.12 6.19

