

低質粗飼料의 飼料價値增進에 관한 研究

II. 放射線照射가 보리 및 油菜副産物의 *In Vitro* D. M. 消化率과 V.F.A. 生成에 미치는 影響

鄭昌朝, 鄭在峻

Improving the Nutritive Value of Low Quality Roughage II. Effects of Gamma Ray Irradiation on the *In Vitro* D. M. Digestibility and V.F.A. Production of Barley and Rape Byproducts

Chang-Cho Choung, Jai-Jun Choung

Summary

Effects of Gamma irradiation on low quality roughage, to enhance their potential nutritive value were examined. Barley straw, Barley husks and Rape hulls were irradiated with doses of 0, 2.5, 5, 10 and 25 Mrad using ^{60}Co source. Hemicellulose and Natural Detergent Fiber (NDF) content of tested materials were decreased by the higher irradiation dose, with 10 and 25 Mrad. Significant ($P < 0.01$) increases in *In Vitro* D.M. disappearance of barley husks were altered by 10 and 25 Mrad doses but to a less extent the digestibility with other doses. Mean total V.F.A. production at 48 hours fermentation was highest in Barley husks and Rape hulls. 25 Mrad dose increased the V.F.A. concentration in all materials tested. Higher doses also improved the acetic and propionic ratio (C_2/C_3) at 3-5 hours fermentation, this ratio gradually decreased thereafter.

序 論

보리짚, 보리가락 및 油菜깍지 등은 주로 Cellulose와 Hemicellulose로 構成되어 反芻家畜의 Energy源으로 利用될 수 있는 餘地가 많으나 蛋白質含量이 적으며 消化率이 떨어져 生産量의 一部分이 家畜 飼料로 利用되고 있는 實情이다.

이들 纖維素資源의 消化率이 낮은 原因은 Cellulose의 높은 結晶度, Lignin과의 複合性과 Silica에 의한 Coating(Guggolz等, 1971)에 의한 것으로 알려져 있으며 Ralston等(1966)은 높은 Hemicellulose含量과 쉽게 이들 物質이 變質 風化되기 때문에 기호성이 떨어져 消化率이 低下된다고 報告한 바 있다. 低質粗飼料의 消化率 및 飼料價値增進을 爲한 試圖은 多年間 遂行되어 왔으며 그중 High energy

*제주대학교 논문 제19집 (1984)에 게재.

cathod-ray(charlesby, 1955), Gamma-ray(Gilfillan과 Linda, 1955; Teszler等, 1958; Pigden 等, 1966; Pritchard等, 1962; McManus等, 1972a,b)와 Thermal neutron (Teszler, 1958)等, 放射線源의 Energy를 이용한 研究가 遂行되어 왔다.

放射線照射의 效果는 粗飼料의 纖維素結晶의 破壞로 인한 細胞內 可溶性物質의 生物學的 分解를 促進시키는 것으로 알려져 있다. (Pritchard等, 1962) 또한 放射線照射는 Cellulose medium의 Cross-linking에 영향을 주어 Polymer의 特性 增加, 또는 Long chain을 쉽게 破壞시킨다고 하였다. (Teszler와 Rutherford, 1965). Charlesbay(1955)는 Wood pulp와 Cotton linter에 High energy cathodray照射로 Cellulose polymer chain의 破壞와 Viscosity와 溶解度의 增加를 確認하였으며 Gilfillan과 Linda等(1955)는 γ -ray 照射로 Cotton의 縮含度의 減少를 報告한 바 있다. 한편 Ammerman等(1959)는 Cotton linter, Peanut hull, Corn cob, Sugar cane bagasse에 0, 10, 20, 40 Mega Roentgen을 照射하였을 때 線量이 增加함에 따라 Cellulose와 Fiber의 含量이 減少함을 報告한 바 있다.

放射線의 照射는 低質粗飼料의 消化率向上에 效果를 주며, Pigden等(1966)은 生育段階가 다른 牧草에 Gamma-ray를 照射하여 *In vitro* 消化率을 測定한 結果 어린 牧草에 비해 完熟한 牧草의 消化率이 더욱 增加됨을 報告하였다. 밀짚의 Gamma-ray照射에서 Pritchard등(1962)은 *In vitro* 消化率과 溶解度의 增加를 認定하였으며, VFA生成量은 2.5×10^8 rad의 水準에서만 增加되어 이 水準이 微生物의 最適 分解 線量임을 報告한 바 있다.

McManus等(1972a)은 ^{60}Co - γ ray를 水準別로 하여(0~200Mrad) 벼짚, Cotton lint, Massella에 照射시켰으나 最適 線量은 25Mard이며, 10Mrad에서는

도리어 消化率의 減少가 일어남을 報告하였다. 또한 25, 50, 75Mrad 照射時 高水準은 Rumen retention time과 消化率을 減少시키며 VFA生成에 영향을 주어 C_2, C_3 比率의 현저한 變化를 報告한 바 있다. (McManus, 1972b)

放射線照射에 따른 被射物質內의 毒性物質의 生成에 關하여 Gilfillan과 Linda(1955)는 Polymer의 分解로 Cellulose內의 Hydroxyl group로부터 Cellulose peroxide의 形成과 酸化가 Toxic compound를 生成한다는 것을 報告하였고, Teszler等(1958)은 Gamma線照射로 Acid group의 生成을, Dilli(1966)은 Cellulose內의 Free radicle의 形成等을 報告한 바 있다.

本研究는 低質粗飼料源인 보리짚, 보리가락 및油菜각지의 飼料化의 方案으로 Gamma線照射가 *In vitro* 消化率 및 VFA生成에 미치는 效果를 究明하며 飼料資源開發에 寄與하기 위하여 試圖되었다.

材料 및 方法

1. 供試材料

濟州市 近郊 農家에서 蒐集한 보리짚, 보리가락 및 油菜각지를 供試하였다.

2. 放射線照射

蒐集된 試料는 길이 5cm 程度로 切斷後 Plastic bag에 넣어 韓國에너지研究所 ^{60}Co 線源(10,000 Ci)을 利用, 線源으로부터 試料의 距離를 計算하여 0, 5, 10 및 25Mrad를 照射하였다.

3. 試驗區의 配置

Table 1. Design of experiment.

Tested material	Irradiation level (Mrad)				
	0	2.5	5	10	25
Barley straw	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
Barley husk	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
Rape hulls	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄

試驗區의 配置는 Table 1과 같다.

4. 試料의 分析

供試試料의 一般分析은 A.O.A.C. (1975), NDF, ADF, Cellulose, Lignin은 Van Soest等(1966)의 方法에 依해 分析하였으며, Hemicellulose는 ADF와 NDF의 差異에 依해 計算하였다.

In vitro DM消化率은 Tilley와 Terry(1963) 方法에 依해 測定하였으며, Italian ryegrass를 給與한

綿羊으로 부터 Rumen liquor를 採取 利用하였다. Total VFA는 醱酵時間別(0, 1, 2, 3, 4, 5, 6時間)로 Steam distillation方法(Fenner와 Elliot, 1963)에 依해 分析하였고 Individual VFA는 GLC(Varian Model 3700)에 依하여 分析하였다. 處理間의 統計的 留意差는 Duncan 多重檢定法에 依해 檢定하였다.

結果 및 考察

供試試料의 一般組成分은 Table 2와 같으며 放射

Table 2. Chemical composition of samples.

(Unit: DM basis %)

Constituents	Barley straw	Barley hull	Rape hull
Dry matter	87.47	87.42	86.20
Crude protein	5.89	4.34	4.38
Crude fat	3.12	1.10	1.25
Crude fiber	29.32	21.83	34.01
Ash	7.88	11.76	9.17
NFE	44.38	49.49	38.64
NDF	66.19	70.48	65.89
ADF	43.72	38.00	52.89
Hemicellulose	22.47	32.48	13.00
Cellulose	51.34	34.90	51.65
Lignin	7.32	6.41	14.33

線照射後 組成分의 變化는 Table 3과 같다.

供試材料의 纖維素物質의 含量은 試料에 따라 많은 差異를 나타내고 있었으며 ADF, Cellulose 및 Lignin의 含量은 油菜깍지가 가장 높았으며 보리가 락이 낮은 含量을 나타내고 있었다. 한편 hemicellulose는 보리가락, 보리짚, 油菜대의 順으로 그 含量이 낮아지고 있었다. 一般組成分中 蛋白質含量은 3個 供試材料間에 큰 差異를 까타내지 않았으며, 纖維素物質의 含量에서 큰 差를 보이고 있었다.

供試材料인 Gamma線照射의 效果는 試料의 種類와 組成分에 따라 各各 달라지고 있었으나 放射線照射 水準이 높아짐에 따라 組成分의 含量은 減少하고 있었다. 纖維素物質中 照射에 依해 成分變化가 컸던

것은 hemicellulose와 NDF였으며, ADF와 Lignin은 照射水準에 따라 큰 影響을 받고 있지 않았다. 特히 油菜깍지의 Hemicellulose는 25Mrad照射에서 約 91%의 減少가 있었으며, Lignin은 71%의 減少를 나타내어 油菜깍지의 纖維素物質의 特殊性을 보이고 있었다.

放射線照射水準은 大部分의 試料에서 10Mrad와 25Mrad水準에서 效果가 나타나고 있었으며 25Mrad에서는 도리어 纖維素成分의 增加現象을 나타내고 있었다.

1. Gamma線照射가 *In vitro* 消化率에 미치는 影響

Table 3. Effect of γ -ray irradiation on the fibrous material degradation

		(Unit: DM basis %)					
Sample	Treat.	NDF (%)	ADF (%)	Hemicellulose (%)	Cellulose (%)	Lignin (%)	ADF-N (mg/g DM)
Barley straw	T ₀	85.75	58.66	27.06	51.34	7.32	2.3579
	T ₁	86.71	60.77	25.94	49.31	11.12	1.9087
	T ₂	87.53	62.44	25.09	52.43	8.43	1.7376
	T ₃	81.29	61.25	20.04	52.41	8.53	1.6580
	T ₄	77.49	61.53	15.96	49.60	11.59	1.5690
Barley hull	T ₀	82.24	42.96	39.28	34.90	6.41	2.1208
	T ₁	83.97	42.89	41.08	33.99	6.23	2.2430
	T ₂	87.91	42.96	44.95	33.19	8.19	2.0160
	T ₃	81.57	43.89	37.28	35.71	5.93	1.9576
	T ₄	69.71	42.83	26.88	33.90	5.44	2.5504
Rape hull	T ₀	71.12	66.29	4.83	51.65	14.33	2.1965
	T ₁	68.70	66.97	1.73	55.76	12.56	2.2165
	T ₂	65.51	63.57	1.94	51.46	12.29	1.9417
	T ₃	65.45	64.13	1.32	50.88	13.40	2.0928
	T ₄	62.33	61.93	0.40	57.07	4.05	1.7623

供試試料에 對한 醱酵時間에 따른 *In vitro* 消化率의 變化는 Figur 1과 같다.

In vitro D. M. 消化率은 無照射區에서 보리가락이 가장 낮았으며 보리짚과 油菜각지의 順으로 各試料 모두가 醱酵時間이 길어질수록 消化率은 增加되고 있었다. 無照射區(T₀)에서 보리가락은 醱酵36時間까지, 油菜각지는 24時까지 消化率의 增加가 없었으나 그後 부터 增加現象을 보이고 있었다. 이와같은 試料에 다른 消化率의 差異는 纖維素物質의 構造的特性에 基因한 것으로 思料되며 Rice straw, Nassella, Cotton lint의 消化率 調査(McManus, 1972a)에서도 試料에 따른 差異가 報告되고 있다. T₀에서 醱酵時間에 따라 가장 큰 消化率의 增加를 보인 것은 보리가락이었으며, 보리짚과 油菜각지의 增加幅은 거의 같은 傾向을 나타내었다. 다만 油菜각지의 경우 醱酵 48時間의 消化率은 55%로 가장 優秀했던 것은 組成成分中 Hemicellulose가 적어진 原因으로 추정된다.

Gamma線照射에 따른 消化率의 增加效果는 各試料에서 나타나고 있었으나 照射水準에 따라 多少 다

른 現象을 보이고 있었다.

보리짚에서는 25Mrad(T₄)와 5Mrad(5₂)는 도리어 T₀에 비해 消化率(48時間)이 低下되고 있었으며 2.5Mrad(T₁)과 10Mrad(T₃)에서 多少의 效果가 認定되었다. 醱酵時間에 따른 消化率의 增加는 보리짚의 境遇 放射線照射의 影響보다는 도리어 胃內微生物에 依한 醱酵가 그 主된 原因으로 간주된다. 이에 反하여 보리가락에서는 Gamma線照射의 效果가 가장 현저하고, T₁을 除外한 그 밖의 水準에서 T₀에 비해 消化率의 增加를 나타내고 있었다. 특히 T₄와 T₃ 水準에서 현저한(P<0.01) 增加를 보였으며, 照射水準에 따른 消化率의 向上效果가 明白히 나타나고 있었다.

油菜각지에 對한 照射效果는 各水準에 따라 나타나고 있었으나, 消化率增加는 統計적으로 留意差가 없었다. 다만 T₄의 消化率을 보리가락(T₄)의 消化率과 거의 同等한 數值를 나타내었다.

이와같은 結果는 Gamma-ray照射가 纖維素物質의 分解促進(Pigden, 1966; Pritchard, 1962)의 效果가 있다는 報告와 類似한 傾向을 보이고 있으나, 芻料

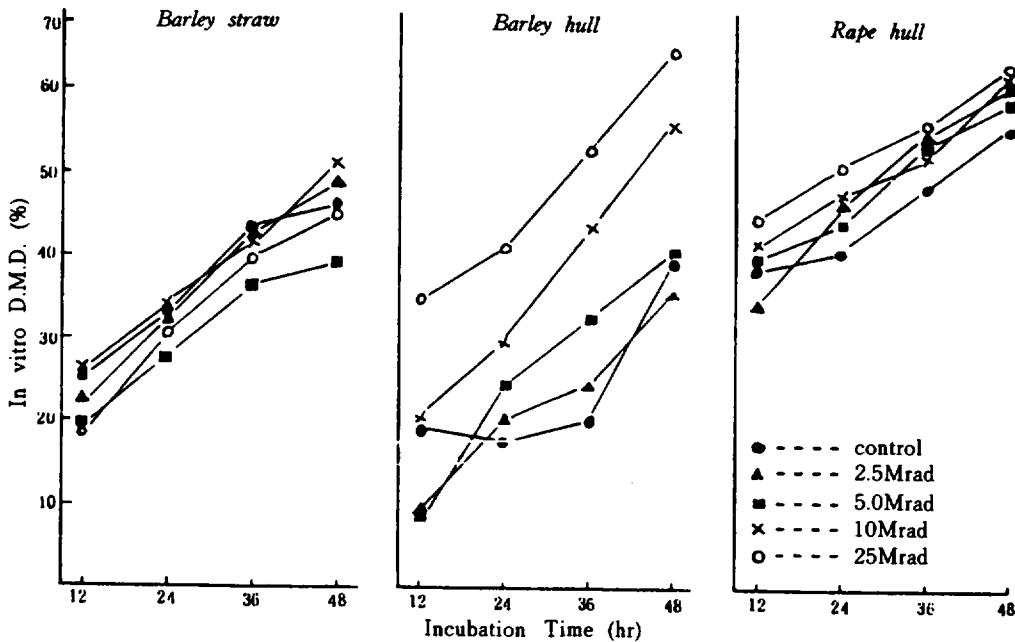


Fig. 1. Effect of γ -ray irradiation on the in vitro DM disappearance

의 소화률向上을 위해서는 25Mrad 以上을 요한다는 McManus等(1972a)의 결과와 比較할 때 보리짚에서의 照射水準은 보다 높은水準이 要求되는 것으로 推定된다. 各試料과 處理水準에서 T_0 에 比較 消化率의 減少現象(보리짚 T_2, T_4 ; 보리가락 T_1)은 Rice straw, Cotton lint (McManus, 1972a)를 照射한 境遇 5~25Mrad에서 消化率이 減少된 現象과 類似하였다. 이와같은 原因은 放射線照射에 따른 Toxic compound(Gilfillan과 Linda, 1955; Teszler, 1958)의 生成에 依한 胃內微生物 活動의 抑制에 基因되는 것인지 또는 Polymer의 特殊增加(Rutherford, 1956)의 原因인지에 對해서는 不明하다.

2. Total VFA 生成

Gamma-ray照射에 依한 各試料別 In vitro VFAs의 生成量은 Table 4와 같다.

醱酵時間에 따른 VFAs의 生成量은 各試料別로 共히 時間이 經過함에 따라 增加되었고 醱酵 48時間에서 보리가락과 油菜粕의 平均 VFA生成量은 보리짚에 比較 優秀하였다. 照射水準에 따른 VFA의 生成量은 各試料에서 2.5, 5, 10Mrad 處理區가 醱酵

12 및 24時間에서 對照區에 比較 떨어져지고 25Mrad 區에서 VFA의 生成量은 12時間부터 繼續 높은 量을 나타내고 있었다.

보리짚의 境遇 36時間에 있어서 VFA의 生成量은 T_1, T_4, T_0, T_2, T_3 의 順으로 높았으나, 48時間에는 T_4, T_0, T_1, T_3, T_2 의 順으로 25Mrad가 가장 優秀하였고 그밖의 水準은 對照區에 比較 떨어져지고 있었다. 보리가락은 供試時料中 VFA의 生成量이 가장 높았으나, 그 順位는 T_4, T_0, T_1, T_2, T_3 로서 보리짚과 거의 같은 傾向을 보이고 있었다. 한편, 油菜粕에서는 36時間에서 T_2 를 除外한 모든 處理區에서 T_0 에 比較 VFA 生成量이 높아 放射線照射水準에 따라 VFA生成效果가 잘 나타나고 있었다.

處理에 따른 Total VFA의 減少는 成熟도가 다른 線稜(Pigden等, 1966)와 Wheat straw(pritchard等, 1962)에 ^{60}Co 를 照射시켰을 때 VFA의 減少와 같은 結果를 나타내고 있었으며 照射水準이 $2.5 \times 10^6 \text{rad}$ 때 VFA의 增加가 認定되었다는 報告와 一致하고 있다. VFA와 D.M. 消化率(Fig.1 參照)과는 密接한 關係를 가지며 消化率의 向上에 따라 VFA의 生成도 增加됨을 뒷받침하고 있다.

Table 4. Effect of γ -ray irradiation on the *In vitro* total VFA production (nM/1)

Sample	Treatment	Incubation time (hour)			
		12	24	36	48
Barley straw	T ₀	16.86	22.13	27.70	33.11
	T ₁	16.56	22.92	29.61	31.52
	T ₂	16.55	21.01	26.43	28.97
	T ₃	15.28	19.74	26.01	30.56
	T ₄	18.46	21.65	28.33	34.76
Barley hull	T ₀	19.10	25.28	29.29	36.29
	T ₁	17.19	23.56	27.38	33.74
	T ₂	17.83	24.83	29.29	33.11
	T ₃	19.10	25.47	29.61	31.52
	T ₄	22.28	28.34	31.86	40.11
Rape hull	T ₀	20.01	26.43	29.93	34.07
	T ₁	18.47	26.74	32.70	33.11
	T ₂	19.47	23.14	21.33	29.92
	T ₃	21.97	24.51	31.23	35.69
	T ₄	23.88	29.96	32.52	36.28

Irradiation dose: T₀(0Mrad), T₁(2.5Mrad), T₂(5Mrad), T₃(10Mrad), T₄(25Mrad).

3. Individual VFAs

各試料의 處理別 Individual VFA의 比率은 Table 5, 6 및 7과 같다.

In vitro 醱酵 1時間부터 6時間까지 時間別 Acetic, Propionic acid의 比率(C₂/C₃ Ratio)는 試料의 種類, 醱酵水準 및 照射水準에 따라 差異가 있었다. 全般的으로 高線量區인 T₃, T₄의 C₂/C₃ Ratio는 醱酵 3~5時間에서 크게 增加하여 보리가락은 4時間(T₃: 2.32, T₄: 1.15), 보리짚은 3時間(T₃: 2.88, T₄: 2.59), 油菜자지는 4~5時間(T₃: 2.31, T₄: 2.34)을 基點으로 하여 最大로 되었다가 그後 漸次 減少하고 있었으나, 低線量區인 T₁, T₂는 모든 試料에서 C₂/C₃ Ratio의 變化幅은 不規則하게 나타나고 있었다.

모든 試料에서 2.5Mrad 水準은 安定된 C₂/C₃ Ratio를 維持되고 있는 것을 볼 때 Gamma-ray 照射는 Total VFA와 C₂/C₃ Ratio에 影響을 미친 것으로 推定된다.

以上の 얻어진 結果를 基礎로 보리짚, 보리가락

및 油菜자지의 飼料作用을 위한 放射線 適正照射水準은 最低 25Mrad以上の 경우 效果를 얻을 것으로 思料된다.

摘 要

低質粗飼料의 飼料價値 增進을 위해 放射線照射의 效果를 試驗하였다. 보리짚, 보리가락 및 油菜자지를 供試하여 ⁶⁰Co線源을 利用 0, 2.5, 5, 10 및 25 Mrad를 照射하였다. 放射線照射水準은 Hemicellulose와 NDF의 組成成分에 影響을 주어 高水準에서 그 含量이 減少되고 있었다. 放射線照射의 效果는 보리가락에서 *In vitro* 消化率을 높였으며, 10, 25Mrad 水準에서는 현저한 (P<0.01) 消化率의 增加를 나타내었다. 다만, 2.5, 5Mrad照射는 減少現象을 보이고 있었다. 醱酵 48時間에서 平均 Total VFA의 生成量은 보리가락과 油菜자지가 가장 優秀하였으며, 25Mrad水準은 모든 飼料의 VFA 生成量을 增加시키고 있었다. C₂/C₃ Ratio는 高線量水準에서 3~5時間에 가장 크게 나타났으며 그後부터는 漸次 減少되고 있었다.

Table 5. Effect of γ -irradiation on *In vitro* individual VFA of barley straw.

Incubation time(hr)	Irradiation dose																			
	0 Mrad				2.5 Mrad				5 Mrad				10 Mrad				25 Mrad			
	C ₂	C ₃	C ₄		C ₂	C ₃	C ₄		C ₂	C ₃	C ₄		C ₂	C ₃	C ₄		C ₂	C ₃	C ₄	
0	71.28	21.92	5.33		71.28	21.92	5.33		71.28	21.92	5.33		71.28	21.92	5.33		71.28	21.92	5.33	
1	52.08	40.45	6.15		58.52	33.94	6.82		58.85	33.16	6.73		49.90	43.04	6.28		53.08	39.63	6.15	
2	66.48	25.68	6.44		55.03	36.87	6.86		61.28	30.14	7.15		45.42	47.41	6.54		61.95	29.65	7.11	
3	65.05	25.52	7.19		56.05	35.39	7.09		59.03	33.02	6.52		67.47	23.40	7.42		66.02	25.49	7.70	
4	67.84	25.54	5.13		56.65	35.11	6.69		53.29	39.52	6.02		54.05	37.95	7.50		61.92	29.64	7.32	
5	68.64	20.04	9.76		50.90	41.68	6.46		68.05	23.19	7.69		63.98	27.16	7.43		63.65	27.90	7.58	
6	52.20	39.87	6.72		62.53	28.44	7.46		55.03	37.74	6.78		60.88	30.58	7.17		57.93	33.53	7.39	

Table 6. Effect of γ -irradiation on *In vitro* individual VFA of barley hulls.

Incubation time(hr)	Irradiation dose																			
	0 Mrad				2.5 Mrad				5 Mrad				10 Mrad				25 Mrad			
	C ₂	C ₃	C ₄		C ₂	C ₃	C ₄		C ₂	C ₃	C ₄		C ₂	C ₃	C ₄		C ₂	C ₃	C ₄	
0	72.56	19.65	6.90		72.56	19.65	6.90		72.56	19.65	6.90		42.53	55.79	7.00		42.53	55.79	7	
1	60.00	26.41	6.86		57.38	35.77	6.08		68.10	23.59	7.04		44.37	54.91	0.11		58.41	40.78	7	
2	56.63	36.50	6.13		51.39	42.21	5.77		63.79	28.75	6.38		48.69	50.83	7.00		51.17	48.30	7	
3	64.27	27.69	6.66		30.32	35.70	5.90		61.13	31.17	6.45		54.55	43.83	0.93		—	—	7	
4	62.94	24.62	6.48		58.82	39.03	6.17		60.99	32.32	6.28		67.48	29.00	2.47		52.45	45.57	1.30	
5	64.47	27.41	6.78		60.03	32.75	6.19		45.36	45.47	7.63		63.33	30.76	4.24		53.70	43.07	2.57	
6	60.72	31.92	6.29		55.82	35.85	6.14		57.99	34.18	6.70		60.62	33.02	5.10		61.11	34.41	3.70	

—: Not measured.

Table 8. Effect of γ -irradiation on *In vitro* individual VFA of rape hulls.

Incubation time(hr)	Irradiation dose												(Molar %)							
	0 Mrad				2.5 Mrad				5 Mrad				10 Mrad				25 Mrad			
	C ₂	C ₃	C ₄		C ₂	C ₃	C ₄		C ₂	C ₃	C ₄		C ₂	C ₃	C ₄		C ₂	C ₃	C ₄	
0	42.53	55.79	7		42.53	55.79	7	24.94	73.51	0.69		24.94	73.51	0.69		24.94	73.51	0.69		
1	64.61	34.55	7		--	--	7	48.16	47.51	2.90		70.32	25.56	2.95		53.42	41.25	4.40		
2	58.39	40.33	0.05		62.99	37.01	7	55.14	40.62	0.30		57.15	37.88	4.50		60.93	33.30	4.70		
3	41.38	58.25	0.04		64.58	33.26	1.10	54.08	42.05	3.20		58.56	35.74	4.60		64.73	29.11	4.76		
4	61.68	36.94	0.05		62.62	36.26	0.63	46.58	49.07	3.30		60.68	33.71	4.42		67.60	28.88	2.40		
5	64.84	32.94	1.50		52.63	46.26	0.70	50.36	44.91	3.90		65.64	28.41	4.89		53.90	41.22	4.40		
6	45.91	52.63	1.01		62.91	33.61	2.80	47.87	47.36	3.60		54.91	36.29	4.04		58.90	35.88	4.71		

-- Not measured.

参 考 文 献

- Ammerman, C.B., J.K. Evans., D.G. Tomlin., L.R. Arrington. and G.K. Davis. 1959. Gamma irradiation and subsequent digestion in the rumen of cellulose and various roughages. *J. Anim. Sci.* 18, 1518 (Abstr).
- A.O.A.C.,1975. Official Method of Analysis(12th, ed.) association of official analytical chemist. Washington, D.C.
- Charles B. A. 1955. Degradation of cellulose by ionizing radiation. *J. Polymer. Sci.* 15, 263.
- Dili, S., I. T. Ernst. and J. L. Garnett. 1967. Radiation-induced reactions with cellulose. IV. Electron paramagnetic resonance studies of radical formation. *Aust. J. Chem.* 20, 911.
- Fenner, H. and J. H. Elliot, 1963. Quantitative method for determining the steam volatile fatty acids in rumen fluid by gas chromatograph. *J. Anim. Sci.* 22, 624.
- Gilfillan, E. S. and L. Linden. 1955. Effect of nuclear radiation on the strength of yarns. *Text. Res. J.* 25, 773.
- Geggolz, J., R.M. Saunders., G.O. Kohler, and T.J. Klopfenstein. 1971. Enzymatic evaluation of processed for improving agricultural wastes for ruminant feeds. *J. Anim. Sci.* 33, 167.
- McManus, W. R., L. Manta., J. D. McFarlane. and A. C. Gray. 1972^a. The effects of diet supplements and gamma irradiation on dissimilation of low quality roughages by ruminants. II. Effects of gamma irradiation and urea supplementation on dissimilation in the rumen. *J. Agric. Sci. Camb.* 79, 41.
- McManus, W. R., L. Manta., J. D. McFarlane. and A. C. Gray. 1972^b. The effects of diet supplements and gamma irradiation on dissimilation of low quality roughages by ruminants. III. Effects of feeding gamma-irradiated base diets of wheaten straw and rice straw to sheep. *J. Agric. Sci. Camb.* 79, 55.
- Pigden, W.J., G.I. Pritchard. and D. P. Heany. 1966. Physical and chemical methods for increasing the available energy content of forages. *Proc. Xth Int. Grassl. Congr.* pp.397.
- Pritchard, G.I., W. J. Pigden. and D. J. Minson. 1962. Effect of gamma radiation on the utilization of wheat straw by rumen micro-organisms. *Can. J. Anim. Sci.* 42, 215.
- Balston, a. T., W. H. Kennick, T. P. Davidson. and K. E. Rowe. 1966. Effect of prefinishing treatment upon finishing performance and carcass characteristics of beef cattle. *J. Anim. Sci.* 25, 29.
- Teszler, O. and H. A. Rutherford. 1956. The effect of nuclear radiation on fibrous materials. I. Dacron polyester fibre. *Text. Res. J.* 26, 796.
- Teszler, O., L. F. Kiser., H. A. Campbell. and H. A. Rutherford. 1958. Effect of nuclear radiation on fibrous material. III. Relative order of stability of cellulosic fibres. *Text. Res. J.* 28, 456.
- Tilley, J. M. A. and R. A. Terry. 1963. A two stage technique for in vitro digestion of forage crops. *J. Br. Grassland Soc.* 18, 104.
- Van Soest, P. J. 1970. Forage fiber analysis. *Agriculture handbook No. 79. U.S.D.A.*