食品照射, 8(1), 22~29 (1973).

<Original>

米麦照射装置の開発研究 (第1報)

日本原子力研究所・高崎研究所 星 龍夫, 田中 進, 佐藤友太郎

Development Research of the Grain Irradiator (Part I)

Tatuo HOSHI, Susumu TANAKA, and Tomotaro SATO

Japan Atomic Energy Research Institute

Takasaki Radiation Chemistry Research Establishment, JAERI

Summary

For the purpose of obtaining the knowledge of industrial grain irradiator design, the pilot plant of the new flow rate control type irradiator was made. This report presents the result of a study of the grain flow and the dose distribution in the irradiator.

Structure of irradiator

In this irradiator, grains are irradiated as they pass through annular cylinders and radiation source is located in the center tube. Grains are fed into each annulus by means of vacuum transfer system and reach to the bottom by gravity and pass through the slits of the annulus gate valves. The valves are used to control the flow rate and the dose is dependent on the flow rate in each annulus. The flow rate is controlled by the variation of shutting time of the valves and slit width. (See Fig. 1)

Experimental results

Fluidity:

1. Relative errors of vertical and horizontal components of flow velocity in each Irradiation Field were less than 1.9% and 2.9%, respectively.
2. The flow rate from the valve slits was independent on the curvature of the annular cylinders.
3. The flow rate was directly proportional to the slit width. (See (1))

4. There was a turbulence along the flow lane in the flow rate controller and the maximum staying time of rice in this turbulent region equals the time required rices travel a distance of about 20 cm in Irradiation Field. (See Fig. 2)

Dose distribution:

Relative errors of dose distribution in the irradiated rices were less than $\pm 6.0\%$. (See Table 1)

The values of dose rate in Irradiation Field calculated by the introduced approximate formula agreed well with the data measured by cavity chamber. (See Fig. 3)

Main merits of this irradiator

1. It is easy to irradiate large size of granules and to vary dosage.
2. The mechanical damage and the blocking troubles of grains at the slits are very little.
3. The dose uniformity in the irradiated grains is quite satisfactory, since the flow rate distribution is uniform in each Irradiation Field.

ま え が き

穀物放射線照射装置はこれまで欧米において実用化の検討がなされ、すでに製作されている。しかしながら従来の照射装置は被照射体の機械損傷が大きく、夾雑物の混入による閉塞や故障が生じやすく、あるいはまた照射ムラが出やすいという実用上無視しえない問題を多く有している。そこで筆者らは穀物の流動、機構装置、照射技術等の知見に立脚し、従来の照射装置の欠点がなく、さらに粒径の大きさや、穀物に当てる線量を容易に変えることができ、かつ利用効率の高い新しい照射方法を考案した。そしてこの照射方法による実用規模照射装置に関する知見を得るため中規模照射装置を設計製作し中規模実験をおこなった。本報告はこの結果を述べたものである。

1. 照射装置の構造

Fig 1は米麦照射装置の照射部の構造図である。照射装置の上部から投入された米麦は線量率の大きい照射領域を線源の中心軸に平行に移動しながら必要な線量だけ照射を受けて外に排出される。

線源導管、隔壁、照射筒は円筒形で、その中心軸は線源の中心軸と一致している。またこれらの半径は米麦のすべての粒子の挙動、米麦中の線量率分布ならびに米麦の照射の一様性の最大許容値より決定される。

流速制御機構は米麦の照射領域を通過するまでに受ける線量が米麦に必要な線量と一致するように照射領域内を流れる米麦の速度を制御する機構である。この機構は流路の断面積を縮小することによって米麦の流速の制御をおこなう方法に基づいたものである。それゆえに流路縮小によって生ずる米麦の乱流の影響が照射領域に及ぼさないようにするため流速制御機構は整流構造をもつ環状仕切弁で構成されている。この仕切弁による流速の制御は弁の開口面積ならびに断続的開閉によって閉塞のおそれのない新しい流速制御方法でおこなった。

2. 照射装置の主要諸元の値

線 源	^{60}Co	2,771ci	600mm ℓ $\times$ 10mm ϕ	
線源導管	外径	200mm ϕ	肉厚 2mm t	ステンレススチール
隔 壁	軸長	1200mm ℓ	肉厚 1.5mm t	ステンレススチール
	外径	332mm ϕ , 498mm ϕ , 684mm ϕ		

3. 実験と結果

3.1 流動試験

(a) 整流域の米の流動

同心多重円筒にかこまれた照射領域内は線量率が極めて大きいため、米が受ける線量は、この領域内の米の流速に大きく依存する。したがってこの領域内の米の流動状態を正確に知る必要があるので次の実験をおこなった。

(i) 流速の一様性

安定に流動する場合には流速の一様性はバルブ開放幅の値に対して大きく左右されないからバルブ開放幅を 2.5cm として照射領域内の流速を垂直成分と水平成分に分けてバルブ開放時単位時間当りの移動距離を測定した。その結果相対誤差は次の通りとなった。

才 1 照射領域	垂直成分 $\pm 1.9\%$	水平成分 $\pm 0.8\%$
才 2 照射領域	垂直成分 $\pm 1.9\%$	水平成分 $\pm 1.2\%$
才 3 照射領域	垂直成分 $\pm 1.8\%$	水平成分 $\pm 2.9\%$

(ii) 流路の曲率と流速

照射領域によって流路の曲率半径、流路面積、流路面積縮小率が異なるが、これによってバルブ開放時に流出する米の流量速度が異なるかどうか明らかにするため、バルブ開放面積 (25mm $\times$ 3.0mm) を一定にし各バルブ一個当たり単位時間内に排出される米の体積を求めたところ流路の曲率、流路面積、流路縮小率に係りなく 87.35 (1 $\pm$ 0.03) cm³/sec となった。

(iii) 流速とバルブ開放幅

前項の結果から排出口から単位時間内で排出される米の体積は流路の形状に無関係であるから才 1 照射領域内の流速バルブ開放幅を変えて測定した結果 $\pm 2\%$ の誤差内で次の実験式がえられた。

$$V_1 = 1.308 W_{Op} - 1.2739 (\text{cm}^3/\text{sec}) \quad (W_{Op}: 2.0 \sim 4.0 \text{cm}) \quad (1)$$

V_1 : 才 1 照射領域内の流速

W_{Op} : バルブ開放幅 (cm) 開放面積 (3.0 W_{Op} cm²)

(i)(ii)の結果と流路断面積、バルブの数からすべての照射領域のバルブ開放時の流速を容易に求めることができることが明らかとなった。

(b) 乱流域の米の流動

流速制御部の米は乱流状態で流れるため、たとえこの部分の線量率が小さくても長時間この部分に停滞する米が一粒でもある場合には線量一様性がそのために著しく悪くなるので乱流域に入

った米が排出される状態を知るために次の実験をおこなった。

照射領域の隔壁上端部に着色した米を一様の厚さに積み重ねた後着色米を投入しながらバルブ開閉動作を繰り返して米を排出させた。着色米が排出され始めてからすべての着色米が排出されるまでの照射領域内の米の移動距離に対応して着色米の平均混合比を測定した。その結果を Fig 2 に示す。また乱流域の範囲は着色米の層の変形を調べることによって流速制御部の入口から排出口までの範囲内に乱流が生じていることが明らかとなった。

3.2 照射実験

(a) 照射領域内の線量率測定

キャピテーチェンバで照射領域内の米の中の吸収線量率を測定した結果を Fig 3 に示す。この結果から理論値と測定値は測定精度 $\pm 10\%$ 以内で良く一致することが明らかとなった。

(b) 照射領域内の線量測定

また米が照射によって受ける線量を測定するため米とほぼ同じ大きさで同じように流動する LiF 結晶 ($1mm\phi \times 6mm\ell$) を米の中に入れて照射運転をおこなった。米と一緒に照射され照射サイロから排出された LiF の結晶の吸収線量をサーモルミネッセンス線量計で測定し米の吸収線量を求めた結果を Table 1 に示す。これによると測定値は理論値に対して $\pm 6\%$ 以下の誤差が認められたが、サーモルミネッセンス線量計の測定誤差は $\pm 10\%$ であるので測定値は理論値と測定精度内で十分に良く一致することが明らかとなった。

結 論

本照射装置によって照射された米の吸収線量の測定値は理論値と測定精度内で良く一致した。したがって本照射装置の設計の際に用いた設計式ならびに諸データは実用照射装置設計の際に使用しうることが明らかとなった。さらにまた実用照射装置を設計するに必要なかつ十分な知見を得ることができた。その主な知見は次の通りである。

- (a) 排出口の構造が同一であれば排出口から排出される単位時間当りの米の排出量は流路の曲率に無関係である。
- (b) バルブ開放幅 $2\text{ cm} \sim 4\text{ cm}$ の範囲内では排出口からの排出速度はバルブ開放幅に比例する。
- (c) 乱流域に同時に入った米の 99.9% が排出される時間は、照射領域内の米が 20 cm 移動するまでに要する時間に等しい。
- (d) 安定な流速を得るための最小バルブ開放幅は 2.0 cm である。

Fig. 1. Structure of the irradiator

Fig. 2. Exhaust ratio of colored rices from the turbulent region

Fig. 3. Dose Rate Distribution in Irradiation Field

Table 1. Dose Distribution in the Irradiated Rices

Irradiation Field	Horizontal distance from the source to the flow lane	Control valve		Dose (rad)		Relative error %
		Opening time	Shutting time	Theoretical value	measurement value by T.L.D. (LiF)	
	10.00 cm	sec	(sec)			
1	13.16	6.463	130.17	2.01×10^4	2.04×10^4	-1.5%
	16.31			1.00×10^4	1.40×10^4	
	16.46			1.00×10^4	9.99×10^3	-0.1%
2	20.47	5.381	195.20	2.04×10^4	2.14×10^4	4.9%
	24.47			1.40×10^4	1.40×10^4	
	24.62			1.00×10^4	1.06×10^4	6.0%
3	29.13	4.459	279.85	1.98×10^4	2.04×10^4	3.0%
	33.63			1.51×10^4	1.51×10^4	
				1.00×10^4	1.01×10^4	1.0%