

熱中性子の種子照射における $^{10}\text{B}$ 添加再乾法の開発Application of  $^{10}\text{B}$ -enrichment method to thermal neutron exposure of barley seeds

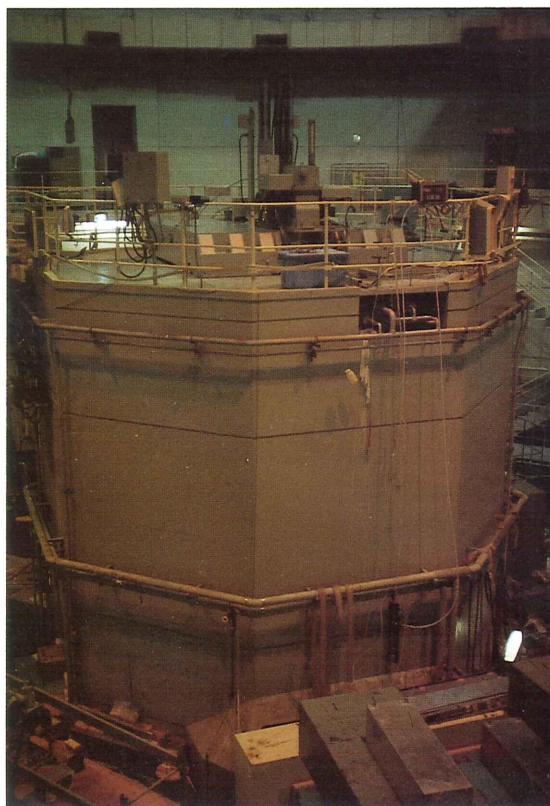
中性子照射はイオン化密度が高く、またガンマ線とは異なる生体内反応をもつため、誘発される突然変異の頻度が高く、その遺伝子座や生理的性質も特異的である。突然変異による遺伝資源の拡大を計るには、より多種類の誘発原の利用が望まれるが、中性子の育種の利用はまだ限られている。世界の育成品種779のうち中性子照射によるものは、海外における35品種のみで (IAEA 1986)、日本ではまだ1例もない。

中性子照射利用における難点は、中性子発生時にガンマ線が大量に混在するため、中性子固有の効果が得にくいことと、有効な照射野が小さくかつ照射時間にも制約があることである。前者は、京都大学原子炉実験所の重水設備の利用により解決でき、500 R/時以下のガンマ線の混在下で $1.5\text{--}2.0 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2/\text{時}$ の線束率の熱中性子が得られる。後者に対しては単位線量当りの生物効果を高める照射方法の開発が必要となる。

熱中性子を生体に照射したとき、その吸収エネルギーの大部分は、 $^{10}\text{B}$ 、 $^{14}\text{N}$ 、 $^1\text{H}$ の3原子に捕獲され、それぞれ $^{10}\text{B}(\text{n}, \alpha)^7\text{Li}$ 、 $^{14}\text{N}(\text{n}, \text{p})^{14}\text{C}$ 、 $^1\text{H}(\text{n}, \gamma)^2\text{H}$ 反応を通してアルファ線、陽子、ガンマ線が放出される。生物効果を高めるには、 $^{10}\text{B}$ または $^{14}\text{N}$ による反応を増せばよい。そのため $^{10}\text{B}$ 添加再乾法が開発された。この方法は、照射に先立ち種子を0.5%以下のホウ酸水溶液に浸して $^{10}\text{B}$ を取りこませる。ホウ酸中のホウ素には天然のホウ素でなく高純度の $^{10}\text{B}$  (本実験では、ホウ素中 $^{10}\text{B}$  91.746、 $^{11}\text{B}$  8.254 w/w%)を使う、浸漬処理後に種子を常湿状態まで急速に乾かす、の3点からなる。

この方法をオオムギ種子に適用した結果、通常の熱中性子照射にくらべ草丈に対する単位線量当り効果を最高62倍に高めることができた。この著しい増感作用は、発芽、草丈、稔性などへの当代効果だけでなく、次代の葉緑素変異や実用形質の突然変異の誘発にも同様に認められた。この方法は、一定の種子不稔に対する突然変異率を高めるには有効でないが、中性子照射の所要時間を著しく短縮でき、3時間で1万粒以上の種子の照射を可能にした。また、照射済種子の残留放射能が激減したため郵送上有利となり依頼照射における熱中性子照射利用の途が開けた。0.16%溶液への13時間20℃浸漬で、胚中の $^{10}\text{B}$ 含量は $200 \mu\text{g/g}$ 、元の100倍に達した。アルファ

線のRBE (ガンマ線に対する相対的生物効果比) が49.2と著しく高かったことと相まって、 $^{10}\text{B}$ からのアルファ線の効果は全中性子効果の98%以上に達し、熱中性子照射は事実上アルファ線の内部照射に変換された。本法では種子の再乾が必要条件で、高水分の種子ではアルファ線のRBEは10.8に過ぎなかった。なお、 $^{14}\text{N}$ については、種子の発芽を損なわずにその含量を著しく高めることはできなかった。 (鶴飼保雄、山下淳)



京都大学原子炉実験所の原子炉  
Research Reactor of Kyoto University

表1. オオムギ種子の熱中性子照射におけるM<sub>1</sub>代形質およびM<sub>2</sub>代葉緑素変異に対する<sup>10</sup>B添加効果

Table 1. Boron addition effect ( BAE ) on M<sub>1</sub> characters and M<sub>2</sub> chlorophyll mutation frequency in thermal neutron exposure of barley seeds.

	照射時間 (分)	発芽率	草丈	穂数	花粉稔性	種子稔性	葉緑素変異体頻度 (個体当り %)
	Exposure ( min )	Germination rate	Seedling growth	No. spikes	Pollen fertility	Seed fertility	Chlorophyll mutants per M <sub>2</sub> plant
対照区 control	0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.00
<sup>10</sup> B無添加 Without <sup>10</sup> B	27	100.5	89.1	101.2	71.8	61.4	1.41
	54	101.5	62.4	77.6	70.4	36.3	2.46
	81	102.5	51.8	73.4	54.5	24.9	3.54
<sup>10</sup> B添加 With <sup>10</sup> B	0.5	100.0	94.3	95.4*	85.6	52.2*	1.22
	1.0	99.6	80.0	69.9	73.8	45.4	1.64
	2.0	80.3	54.7	33.8	46.5	25.0	3.56
<sup>10</sup> B無添加 Without <sup>10</sup> B		261	160	209	170	74	79 <sup>b</sup>
<sup>10</sup> B添加 With <sup>10</sup> B		8.88	4.16	3.75	4.50	1.93	2.07
(×10 <sup>11</sup> ) n/cm <sup>2</sup>							
添加効果 BAE		29.3	38.5	55.7	37.7	38.3	38.2

中性子線束密度は $\phi = 1.89 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2/\text{分}$ , 但し (a)  $\phi = 2.42 \times 10^{11}$

Neutron flux :  $\phi = 1.89 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2/\text{min}$  except for (a) where  $\phi = 2.42 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2/\text{min}$ , (b) at the level of 2.0 %.

(b) 2 %点で比較

(c) M<sub>1</sub>代形質 (発芽率～種子稔性) に対する効果は, 対照区に対する%で示す。

M<sub>1</sub> criteria are expressed as percentage of control.

#### Application of <sup>10</sup>B-enrichment method to thermal neutron exposure of barley seeds.

Boron-enrichment of seeds prior to thermal neutron irradiation is known to be effective for increasing the biological effects of neutrons. We applied this method to barley seeds and found boron addition effect (BAE) higher than previously reported.

Seeds were immersed in <sup>10</sup>B rich boric acid (<sup>10</sup>B 91.746 and <sup>11</sup>B 8.254 w/w%), solution with different concentrations (0.01-48%) quickly re-dried upto the original moisture content (10.2%), and then exposed to thermal neutrons in a deuteron facility of the Research Reactor of Kyoto University. A striking enhancement, as much as 62-fold at maximum, of the effect on seedling growth was recognized. This high BAE was obtained in the frequency of chlorophyll and morphological mutations in M<sub>2</sub> as well as in several M<sub>1</sub> characters (Table 1). Although the

boron-enrichment did not make the ratio of mutation 1 frequency to sterility higher, but it was highly effective for shortening the exposure time required and made it possible to exposure of more than 10,000 seeds within 3 hours. The amount of <sup>10</sup>B in embryo of seeds treated with 0.16% <sup>10</sup>B enriched boric acid for 13 hour at 20°C was increased to 200  $\mu\text{g/g}$ , 100 times of the original. This marked increase in <sup>10</sup>B amount, coupled with high RBE (49.2) obtained, made the effect due to alpha-rays emitted from <sup>10</sup>B reaction occupy more than 98% of the total neutron effect. Re-drying of seeds was essential in this method. Without re-drying, RBE was only 10.8 with the other conditions unchanged.

(Yasuo. Ukai and Atushi. Yamashita)