

常温および低温におけるイネ種子への γ 線照射が発芽後の根の活力に及ぼす影響

橋本 直也・堀口 毅

(食糧生産制御化学講座)

平成7年8月10日 受理

Effects of γ -Ray Irradiation Given to Rice Seeds at Room or Low Temperatures upon the Activities of the Rice Seedling-roots

Naoya CHISHAKI and Tsuyoshi HORIGUCHI

(Laboratory of Plant Nutrition and Fertilizer)

緒 言

植物の種子に放射線を照射すると、不発芽、不発根、葉の斑入りや変形などの奇形、芯止まり、地上部・地下部の生育不良などの現象が見られる。いろいろな植物の種子に対する放射線の照射が、発芽、芽立ち、地上部の生育、葉の奇形などに与える影響については一連の研究がある^{2-5, 9-12)}。しかし種子への放射線照射が、どのような機構で発芽後の植物の生育に影響を与えているのかという問題については、ほとんど検討されていない。

放射線照射による突然変異の誘発頻度は個体単位で見ると、特に頻度が高いといわれている葉緑素変異の最高値で約2%、短稈、早熟性、雄性不稔等の実用形質では 10^{-4} ~ 10^{-3} のオーダーと低く⁷⁾、不発芽、芽立ち不良、芯止まり等の発生頻度がパーセントのオーダーであることから、突然変異が不発芽、不発根、葉の奇形、芯止まり等の現象の主な原因とは考えられない。

放射線照射の細胞レベルでの影響として、DNAの損傷は普遍的なものである。DNAの損傷から染色体異常などが派生的に発生し、細胞が何度か分裂した後に死ぬ細胞の分裂死が起こる⁶⁾。この現象を植物の種子への放射線照射の場合で考えてみると、種子内ですでに分化していた器官の細胞が分裂死を起こすと、不発芽、不発根、葉の奇形、芯止まりといった現象が起こることが考えられる。

細胞膜の水、 Na^+ 、 K^+ の透過性の維持や隣接する細胞との間の物質を介しての情報交換などの機能に影響を与えるには、30 Gy以上の線量が必要と言

われている。また放射線の酵素の活性に与える影響は、線量が少なくとも若干の効果が現れるいわゆる確率的影響だといわれている⁶⁾。地上部・地下部の生育不良といった現象には、代謝や細胞膜の機能の異常が関連していることが考えられる。

そこで著者等は、種子への放射線照射が発芽後の植物の代謝へ与える影響を明らかにするための手がかりとして、発芽や芽立ちには影響を与えないような比較的少ない線量を照射したイネの種子から発芽した幼植物について、根の養分吸収力や呼吸量を測定した。なお放射線の照射効果について一般的に言われている温度効果が見られるかどうかについて検討するため、照射時の温度を変えて照射した。

材 料 と 方 法

1. 材料及び γ 線の照射

イネの品種は、コシヒカリを用いた。1994年12月7日、乾燥種子約50mlをポリエチレンの容器に入れ、日本原子力研究所⁶⁰Co照射室の線源を用いて γ 線を100・200・300・400 Gy照射した。線量率は97 Gy/hであり、室温は約15℃であった。低温照射は、細かく砕いた氷を詰めたジュワー瓶に容器を入れて照射した。なお吸収線量、照射位置、照射時間等は同研究所で発表された線量率表に基づいて決定した。照射した種子は容器に入れたまま持ち帰り、冷蔵庫の中で保管した。

2. 栽培

イネの栽培は、1995年4月から5月にかけて行った。照射したイネの種子を水道水に浸して2日間吸水させ、水道水を入れた直径15cmのポットの上に置

いた底面の直径10cmのざるの上に104粒ずつ並べた。ポットは種子が乾燥しないようにビニールのシートで覆い、30℃の恒温器に入れた。2日後、発芽していた種子を計数して発芽率を求めた。

ポットの中の水道水を Table 1 の濃度の培養液に変えて、室内の窓際で9日間栽培した。その後グロースボックスに移し、明16時間30℃・暗8時間20℃の条件で栽培した。この間、培養液は2日に1度交換した。

3. 生育調査及び測定

グロースボックスに移して5日後に各処理区から20個体ずつ採取し、葉数、草丈、根長を測定し、地上部と根に分けて乾物重を測定した。

グロースボックスに移して7日後に残りの個体を採取し、培養液中で根を基部から切断した。酸素吸収速度は、空気を通気して飽和させた蒸留水を満たした共栓三角フラスコに根試料を入れて気泡が残らないように密栓し、30℃恒温槽中で振とうしながら2時間培養し、蒸留水中の溶存酸素濃度を測定して、その変化から求めた。 α -ナフチルアミン酸化速度は、一定量の α -ナフチルアミンを入れた三角フラスコに根試料を入れて密栓し、30℃恒温槽中で振と

うしながら3時間培養し、前後の α -ナフチルアミン濃度を測定し、その差から求めた⁸⁾。カリウム吸収速度は、⁴²Kを含んだ塩化カリウム溶液を入れたビーカーに根試料を入れ30℃恒温槽中で培養し、30分後と2時間後にシンチレーションカウンタで⁴²Kの放射能を測定し、カリウムの吸収量を計算してその差から求めた¹⁾。

結 果

Table 2に常温で γ 線を照射した種子の発芽率とその種子から生育したイネ幼植物の生育調査の結果を示した。種子の発芽率には、 γ 線の照射による影響はなかった。葉数は照射線量の増加にともなって増加した。草丈、根長は照射線量の増加にともなって減少し、地上部、根の乾物重は照射線量300 Gy以上の区で減少した。

Table 3に低温で γ 線を照射した種子の発芽率とその種子から生育したイネ幼植物の生育調査の結果を示した。種子の発芽率には、 γ 線の照射による影響はなかった。放射線照射区では対照区に比べて葉数が増加した。草丈は300 Gy以上の区で、根長は400 Gy区で対照区に比べて減少した。地上部と根の乾物重は300 Gy以上の区で減少し、300 Gy以上の線量で、イネの生育は抑制された。

Table 4に常温で γ 線を照射した種子から生育したイネの根の酸素吸収速度、 α -ナフチルアミン酸化速度、カリウム吸収速度を示した。酸素吸収速度は線量の増加にともなって増加した。 α -ナフチルアミン酸化速度、カリウム吸収速度と照射線量との間には一定の関係は見られなかった。

Table 5に低温で γ 線を照射した種子から生育したイネの根の酸素吸収速度、 α -ナフチルアミン酸

Table 1. Nutrient concentrations of the nutrient solution for the hydroponic culture of rice

Nutrient	Concentration (mg/L)	Nutrient	Concentration (mg/L)
N	20	B	0.2
P	4.4	Cu	0.01
K	17	Zn	0.1
Ca	14	Mn	1.0
Mg	12	Mo	0.01
		Fe	3

Table 2. Germination percentage of the rice seeds irradiated by γ -rays at room temperature, and growth of the seedlings from the seeds

Dose (Gy)	Germination percentage (%)	Number of leaves (/plant)	Plant height (cm)	Root length (cm)	Dry weight of shoot (mg/plant)	Dry weight of root (mg/plant)
0 (control)	95.8	2.2 ^a	22.4 ^a	15.8 ^a	164	37.2
100	97.8	2.2 ^a	21.0 ^b	13.5 ^b	149	31.6
200	97.1	2.3 ^b	19.9 ^c	13.0 ^b	158	34.0
300	97.1	2.3 ^b	17.9 ^d	10.9 ^c	133	26.8
400	97.1	2.4 ^c	14.7 ^e	9.0 ^c	111	20.9

Values within a vertical column not sharing a common letter differed significantly when separated by LSD at P=0.05. Values without a letter did not differ. At the columns of dry weights the analysis of variance was not done.

Table 3. Germination percentage of the rice seeds irradiated by γ -rays at low temperature, and growth of the seedlings from the seeds

Dose (Gy)	Germination percentage (%)	Number of leaves (/plant)	Plant height (cm)	Root length (cm)	Dry weight of shoot (mg/plant)	Dry weight of root (mg/plant)
0 (control)	97.8	2.3 ^a	19.8 ^{ab}	9.5 ^b	132	26.6
100	95.8	2.4 ^b	19.2 ^b	10.5 ^a	136	28.1
200	96.8	2.5 ^b	20.9 ^a	10.6 ^a	148	28.6
300	97.4	2.4 ^b	16.6 ^c	8.8 ^b	114	21.1
400	95.5	2.4 ^b	13.8 ^d	7.3 ^c	88	17.0

Values within a vertical column not sharing a common letter differed significantly when separated by LSD at $P=0.05$. Values without a letter did not differ. At the columns of dry weights the analysis of variance was not done.

Table 4. Rates of O_2 uptake, α -naphthylamine oxidation and potassium absorption of the rice roots from the seeds irradiated by γ -rays at room temperature

Dose (Gy)	O_2 uptake (mg/g·h)	α -Naphthylamine oxidation (mg/g·h)	Potassium absorption (μ mol/g·h)
0 (control)	8.87 ^a	0.51	23.5
100	9.18 ^a	0.41	14.2
200	9.82 ^b	0.35	22.7
300	9.98 ^b	0.30	25.4
400	10.74 ^c	0.57	21.4

Values within a vertical column not sharing a common letter differed significantly when separated by LSD at $P=0.05$. Values without a letter did not differ.

Table 5. Rates of O_2 uptake, α -naphthylamine oxidation and potassium absorption of the rice roots from the seeds irradiated by γ -rays at low temperature

Dose (Gy)	O_2 uptake (mg/g·h)	α -Naphthylamine oxidation (mg/g·h)	Potassium absorption (μ mol/g·h)
0 (control)	7.96	0.46 ^{ab}	28.2 ^a
100	7.40	0.54 ^a	17.5 ^b
200	7.77	0.60 ^a	18.3 ^b
300	7.79	0.58 ^a	19.5 ^b
400	8.25	0.19 ^b	12.3 ^b

Values within a vertical column not sharing a common letter differed significantly when separated by LSD at $P=0.05$. Values without a letter did not differ.

化速度, カリウム吸収速度を示した。酸素吸収速度には, 照射線量による違いは見られなかった。 α -ナフチルアミン酸化速度は, 照射線量400 Gy 区で他の区よりも低かった。カリウム吸収速度は, γ 線を照射した区では対照区に比べて低かった。

考 察

植物の種子に放射線を照射すると, 不発芽, 不発根, 葉の奇形, 芯止まり, 地上部・地下部の生育阻害などが見られる。種子への照射線量とそのような障害の程度との関係は, 植物の種や品種によって異

なることが明らかにされてきた^{2-5, 9-12)}。γ線を照射したイネ(コシヒカリ)の種子を圃場条件で栽培すると、移植後30日後から照射線量200 Gy以上で草丈の生育が悪くなり、葉数や分けつ数の増加は遅速はあるが出穂期までには対照区と差がなくなるが、収量は登熟歩合の低下で1株穂重が低下し減少したと報告されている²⁾。今回の実験ではより早い生育段階の幼植物で、γ線の照射効果を見たが、草丈・根長が低下し、地上部・根とも乾物重が減少し生育が抑制された。生育の抑制は、照射線量300 Gy以上の区で顕著だった。常温と低温照射の間で、照射線量と生育抑制の程度との関係に違いは見られず、照射時の温度効果は見られなかった。

生育阻害の原因を明らかにする手がかりの一つとして、根の機能や代謝の変化を見る目的で、根の酸素吸収量、α-ナフチルアミン酸化力、カリウム吸収力を測定した。根の酸素吸収量は、常温照射で線量の増加に伴い増加し、何らかの代謝異常が生じたことを示唆したが、低温照射では変化しなかった。またカリウム吸収力は、低温照射区では対照区に比べて低下したが、常温ではバラツキが大きく明確な結果が得られなかった。α-ナフチルアミン酸化力は照射線量400 Gy区で他の区より低く、種子への照射によって根の代謝や機能が影響を受けているらしいことは示唆された。

α-ナフチルアミン酸化力の測定は、イネの根の重要な機能である酸化力の指標としてしばしば測定されるものであるが¹³⁾、今回の実験ではデータのバラツキが大きく、測定法の検討が必要だと考えられる。根の代謝や機能を調べる目的で根を試料として行う実験では、根の不均一性等にともなうデータのバラツキが問題となることが多い。根の代謝や機能に関する測定法を改良し精度を高めていけば、種子への放射線照射が根に与える影響も明らかになっていくであろう。

要 約

イネの種子へのγ線照射が、発芽後の幼植物の生育を阻害する原因を解明するための手がかりとして、幼植物の根の代謝や機能に関連した測定を行った。種子に常温と低温で400 Gyまでのγ線を照射し、その種子を水耕栽培して幼植物の生育を調査し、幼植物の根について酸素吸収速度、α-ナフチルアミン酸化速度、カリウム吸収速度を測定した。

幼植物の草丈、根長、地上部・根の乾物重は照射

線量300 Gy以上の区で減少し、種子へのγ線照射による幼植物の生育阻害がみられた。常温と低温照射の間で線量と生育阻害の程度との関係に違いはなく、照射時の温度効果はみられなかった。

酸素吸収速度は常温照射で照射線量の増加にともなって増加し何らかの代謝異常の生じたことを示唆したが、低温照射では変化しなかった。α-ナフチルアミン酸化速度は低温照射で400 Gy区で低下し、カリウム吸収速度は照射した区で対照区に比べて低下した。以上のことから、種子へのγ線の照射は幼植物の根の機能や代謝に影響を与えていることが示唆された。

謝辞 本研究の遂行にあたってご助言とご協力をいただいた農業システム工学講座の石黒悦爾先生、園芸生産学講座の坂田祐介先生、松添直隆先生、作物生産学講座の佐藤宗治先生、食糧生産制御化学講座の稲永醇二先生、共同利用 RI 実験室の西山安夫氏に感謝いたします。また種子の照射にご協力いただいた日本原子力研究所東海研究所⁶⁰Co 照射室の長山尚氏、大久保隆氏に謝意を表します。

文 献

- 1) 樗木直也、堀口 毅: ⁴²Ar-⁴²K ジェネレータの植物養分吸収実験への利用. 日本土壌肥科学雑誌, 65 (1), 56-58 (1994)
- 2) 団野皓文・植木健至・小倉弘司・宮里 満・石黒悦爾: 水稻種子に対する放射線効果の研究. 鹿大農学術報告, 29, 1-10 (1979)
- 3) 団野皓文・小倉弘司・植木健至・宮里 満・石黒悦爾: 2・3のウリ科植物に対する放射線効果の研究. 鹿大農学術報告, 30, 23-33 (1980)
- 4) 団野皓文・宮里 満・松尾英輔・石黒悦爾: 小麦およびハダカ麦に対する放射線効果の研究. 鹿大農学術報告, 33, 165-169 (1983)
- 5) 団野皓文・松尾英輔・石黒悦爾・宮里 満: 有用植物に対する放射線効果—ソバ, ブラック・マッペ, エンドウ, カブ, ペニバナについて—. 鹿大農学術報告, 35, 205-214 (1985)
- 6) 江上信雄: 真核細胞に対する放射線の作用, 放射線生物学, p. 81-109, 岩波書店, 東京 (1985)
- 7) 藤巻 宏・編飼保雄・山元皓二・藤本文弘: 突然変異の誘発頻度, 植物育種学 上—基礎編—, p. 80-82, 培風館, 東京 (1992)
- 8) 二見敬三: 根活性測定法, 植物栄養実験法編集委員会編, 植物栄養実験法, p. 50-52, 博友社, 東京 (1990)
- 9) 西山安夫・松尾英輔・石黒悦爾・稲永醇二・宮里 満: 有用植物に対する放射線効果—ヒマワリ, オクラ, マメ類について—. 鹿大農学術報告, 39, 233-242 (1989)
- 10) 西山安夫・松尾英輔・石黒悦爾・稲永醇二・宮里 満: 有用植物に対する放射線効果—ツルムラサキ, トウゴマ, ダイズ, ソラマメについて—. 鹿大農学術報告, 40, 251-258 (1990)
- 11) 西山安夫・松尾英輔・石黒悦爾・稲永醇二・宮里 満: 有用植物に対する放射線効果—インゲンマメ, ムラサキハナナ, キバナルピナス, ハリアサガオについて—. 鹿

大農学術報告, 41, 105-111 (1991)

- 12) 西山安夫・松尾英輔・石黒悦爾・稲永醇二・宮里 満・
陳 介余：有用植物に対する放射線効果—ダイコン，ト
ロロアオイ，ワタ，キンレンカについて—。鹿大農学

術報告, 42, 11-18 (1992)

- 13) 巽 二郎：根の酸化力，森田茂紀・阿部 淳編。根ハ
ンドブック, 171-172, 根研究会，東京 (1994)

Summary

In case of the seedlings germinating from the γ -rays irradiated rice seeds, the cause of the growth-inhibition was studied as in the following.

Both at the room and the low temperatures the rice seeds were irradiated with 100-400 Gy of γ -rays of ^{60}Co .

In the germination-percentages no affection was brought about by the γ -rays irradiations. At the both temperatures, some reductions were brought forth by the workings of the γ -rays of 300-400 Gy upon the plant heights, root lengths and dry weights of the seedlings. The O_2 -uptaking rates of the roots of the seedlings were noted to be dependent upon the dose of the irradiation given to the seeds at the room temperature. The α -naphthylamine oxidation rates of the roots germinating from the seeds irradiated with 400 Gy were lower than those of the ones irradiated otherwise. The roots from the irradiated seeds showed lower rates of potassium absorption than those of the ones not-irradiated.

Hence the suggestion that the γ -ray irradiation given to the seeds was in possession of some effects on the metabolic functions of the roots germinating from the seeds.