磁場中への周期的暴露がハツカダイコン種子の 発芽と生育に及ぼす影響

松尾昌樹・古谷穂積

千葉大学園芸学部

Effects of Cyclical Exposure to Magnetic Field on Germination and Growth of Radish Seed

Masaki MATSUO and Hozumi FURUYA

Faculty of Horticulture, Chiba University, Matsudo 271, Japan

Radish seeds were exposed to various cyclically fluctuating magnetic fields with a treatment apparatus of a rotary type disk. The germination percentage, the sprouting percentage and the plant growth were evaluated with the germination test and the solution culture test. The treatment conditions were as follows: the magnetic flux densities exposed to seeds in the germination test were 30, 60 and 120 mT but only 60 mT in the solution culture test; the magnetic polarities faced to seeds were N and S; the rotating and the fixing of seeds; the exposure times were 0, 5 and 15 min in the solution culture test but only 15 min in the germination test.

The germination percentage of seeds treated by the cyclic magnetic fields indicated no significant difference from that for the control. However, the root length of the plants significantly increased than that for the control in the germination test. Particularly, under the condition exposed to the S-pole and to the fluctuating magnetic field with the magnetic flux density of 60 mT, the root length was most effectively increased.

In the solution culture test, the sprouting percentage was considerably progressed in the cyclic magnetic fields. Especially, the exposure to the S-pole and to the fluctuating magnetic field of 120 mT indicated the best result in the sprouting percentage. However, the subsequent plant growth and harvests had no significant difference from those for the control.

In general, when radish seeds were exposed to a cyclically fluctuating magnetic field and to the most desirable magnetic flux density, the early root length was increased, consequently, the sprouting percentage of plant in the solution culture test was more processed than that for the control.

(Received July 20, 1993)

1993年7月20日受付

緒 言

種子産業分野では、種子の発芽率、発芽揃い、初期生育などが向上することを目指したブライミング処理やコーティング処理などの高性能化、高付加価値化技術が注目されている。従来のこの種の手法は大部分が薬剤を用いた化学的なもので、物理的なものは極めて稀である。

最近、電磁気的方法や超音波などの応用が試みられているが、本研究は磁気的処理法を取り上げ検討した。これらに関する研究例として、Pittman¹⁾の静磁場がコムギの発根を促進するとの報告、Moustafa²⁾の変動磁場がトウモロコシやダイズの収量を増すとの報告、また、磁石粉の散布がミカン樹木の生育を促進するとの報告^{3,4)}、トウモロコシ種子への回転磁場暴露が収量や栄養価を向上させるとの報告⁵⁾などがある。

本研究は変動磁場を簡単かつ安価に供試体に暴露しうる一つの装置と方法を用いて行った。ハツカダイコンの種子を回転円盤上に載せて低速回転させ、固定した永久磁石による静磁場内を間欠的・周期的に通過させることで生じる変動磁場（デューティ比がほぼ 1:1 で、磁束密度がパルス状に周期変動）に暴露し、そのときの発芽率、初期生育への影響、さらに水耕栽培時の出芽率や収穫までの生育に及ぼす影響につき検討した。

材料および方法

1. 発芽・初期生育試験

供試植物：ハツカダイコン種子 (*Raphanus sativus* L., 商品名：二十日大根・ラディカ 3 号、発芽率 85% 以上、キャプタン剤で殺菌処理) を 1 試験区当たり 2 g 供試した。

磁場処理：変動磁場処理装置としてレコードプレーヤのターンテーブルを回転円盤とし、Fig. 1 のように円盤中央上部に $\phi 115$ mm の円形厚紙を敷き、円盤中心からの半径が 45~50 mm (幅 5 mm) のリング状の溝内に種子を重ならないように並べた。磁石による装置の磁化を防ぐためターンテーブルはアルミ製で、磁石の接触部にはアクリル材を用いた。磁束密度の異なる 3 種類の方形フェライト磁石を用いたが、寸法はともに L 100 mm $\times$ W 100 mm、厚さは 19, 57, 76 mm の 3 種で、その中心部の磁束密度はそれぞれ 60, 120, 150 mT である。磁石は種子トレイ上の種子が移動する軌道上の半周を覆うよう、かつ、種子が磁石の中心部にきたときの種子位置での磁束密度が試験区ごとに 30, 60, 120 mT になるようアクリル平板の高さを調整し設置した。磁束密度の選定は、デービスの特許公報⁶⁾や当研究室での予備実験（未発表）などを参考に行った。種子を載せたテ-

ブルを 45 rpm (0.75 rps) で回転させたので、どの種子も始めの 1/2 周は磁束密度がほぼゼロに近く、次の 1/2 周は磁束密度がほぼ台形分布をした磁場にさらされることになる。磁場の方向と重力の方向が同一の場合と対向する場合を比較するために、種子対向面の磁極が N の場合を N 極処理、S の場合を S 極処理とし、無磁場・回転処理では、磁石をはずして回転のみを与えた。無回転区では種子トレイを取り除き円盤を固定し、種子を磁石中心付近真下において磁場暴露を行った。処理時間は種子が磁場に理論上暴露されている時間を基準とし、15 分暴露するために回転処理区では 30 分（無回転区では 15 分）処理を行った。処理後、種子を蒸留水に 3 時間浸漬し、よく攪拌して水を 2 回交換し浮遊種子を除去した。種子を水切りし、ガーゼに包み、ポリ袋に入れ 3~5°C で 20 時間保管後、芽切り種子、皮むけ種子、黒・緑色種子、変形種子などを除いた。

試験区および試験法：Table 1 に各試験区の処理条件を示す。試験区は磁極性 2 種 (N と S)、磁束密度 4 種 (0, 30, 60, 120 mT)、回転の有無 (f: fixing, r: rotating) の 2 種の各要因を組み合わせた 12 処理区に、無処理 (Cont $\cdot$ f) および回転処理のみの対照区 (Cont $\cdot$ r) を加えた合計 14 試験区とした。直径 90 mm、高さ 20 mm のプラスチックシャーレ内に 3 枚のろ紙を敷き、蒸留水を 4.5 ml 含ませ発芽床とし、発芽試験用には 1 シャーレ当たり 56 粒、生育測定用には 20 粒の処理済み種子を播種し、播種日を試験開始 0 日目とした。播種したシャーレは蒸発を防いで遮光し、25°C、相対湿度 60% の培養室内に置いた。根長が 2 mm を超えたとき

Table 1 Experimental section and treatment condition at germination test of radish seed exposed to magnetic field.

Section sign	Magnetic flux density (mT)	Polarity	Rotating condition
30Nf	30	N	Fixing
30Nr	30	N	Rotating
30Sf	30	S	Fixing
30Sr	30	S	Rotating
60Nf	60	N	Fixing
60Nr	60	N	Rotating
60Sf	60	S	Fixing
60Sr	60	S	Rotating
120Nf	120	N	Fixing
120Nr	120	N	Rotating
120Sf	120	S	Fixing
120Sr	120	S	Rotating
Cont $\cdot$ f	0	—	Fixing
Cont $\cdot$ r	0	—	Rotating

Fig. 1 Rotary disk type magnetic field exposure apparatus.

を発芽とし、試験開始後4日目までの発芽数を調べ、4日目まで根長を測定した。

2. 水耕栽培試験

発芽試験で種子位置での磁束密度が60 mTの回転処理時に初期生育の促進効果がみられたので、この効果を圃場で確認するため水耕装置で同じハツカダイコンの栽培を行った。

磁場処理：装置は上記1と同じで、磁石中心の磁束密度が120 mT、L100×W100×D57 mmの磁石を用い、種子位置で60 mTに一定になるようアクリル平板の高さを調整した。処理時間は5分暴露（回転処理では10分、無回転暴露は5分）および15分暴露（回転処理では30分、無回転暴露は15分）を行った。

試験区および栽培法：水耕栽培時の各試験区の処理条件をTable 2に示す。磁束密度は一定（60 mT）、暴露時間2種、磁極性2種、回転の有無2種を組み合わせ計9試験区とした。養液で飽和したロックウール培地を敷いた水耕装置のトレイ（L520×W530×D80 mm）に120粒（15×8列）の処理済み種子を播種し、1トレイ当たり4 literの撥水性ロックウール微粒綿を培地上に敷き鎮圧した。出芽（地上に子葉が展開したとき）まではシルバーマルチで被覆し遮光した。ビニールハウス内にロックウール栽培装置（Kaneko Can do Ponics、給水布の毛管現象で養液を灌水、1時間運転・30分休止）を設置し、水耕栽培用養液（住化製のハイスピリット）の原液をA液：B液の混合割合が水希釈養液1 liter当たり1.8 ml：3.6 mlになるようにした。調製後の養液のEC値は約2.1 mS/cmであった。

測定法：生長量は試験開始後20、35、40日目に測定した。地上部と根部の各生体重と乾物重（60℃で7日間乾燥）、および出芽率、本葉の枚数、最大葉長（地上部長さ）、最大根径、各部乾物重、T/R比（Top-root ratio）

Table 2 Experimental section and treatment condition at solution culture test of radish seed exposed to magnetic field.

Section sign	Polarity	Exposed time (min)	Rotating condition
N 5f	N	5	Fixing
N 5r	N	5	Rotating
S 5f	S	5	Fixing
S 5r	S	5	Rotating
N15f	N	15	Fixing
N15r	N	15	Rotating
S15f	S	15	Fixing
S15r	S	15	Rotating
Cont	—	0	Fixing

などを測定・算出した。

結 果

1. 発芽・初期生育試験

各試験区の発芽率をFig. 2に示す。発芽率は無処理

Fig. 2 Percentage of germination of radish seed depend on treatment condition of magnetic field.

Each bar graph indicates lapsed days from seeding day.

Fig. 3 Root lengths of radish under the magnetic exposure conditions as following: upper is magnetic flux density, middle is polarity and lower is rotating condition.

(Cont・f)と無磁場・回転処理(Cont・r)の間には大差がないので、両者をともに対照区(Cont)とすると、1日目の発芽率は全処理区で対照区を上回った。しかし、その後の発芽率の上昇は処理区によりばらつきがあり、対照区が2日目に80%を上回ったのに対し、全処理区が80%を上回ったのは4日目、80%を上回るのに要した平均日数は2.6日であった。比較的良好な発芽率を示した60Nf区および120Sf区は3日目で90%を上回った。概して磁束密度、極性、回転の有無による差異はあまりみられなかった。

Fig. 3の上, 中, 下図はそれぞれ各処理区の根長の平均値を同じ磁束密度, 同じ極性および回転の有無ごとにまとめたものである。無処理(Cont・f)と無磁場・回転(Cont・r)の2区間にはほとんど差がないので、両者の平均値を対照区(Cont)とした。根長はほとんど全処理区で対照区を上回り、とくに1日目の60Nr区, 2日目の60Sr区, 3日目の60Sf区および120Sr区, 4日目の60Sf区では5%水準で、また、3日目および4日目の60Sr区では1%水準でともに対照区より有意に大きかった。磁束密度により根長はほぼ対照区<30mT区<120mT区<60mT区の順となったが、4日目の30mT区では対照区を下回った。磁極性の影響では、概してS極処理がN極を上回り、回転の有無では回転時が静止時を上回った。

2. 水耕栽培試験

出芽率をFig. 4に示す(5, 7日目の図は省略)。試験開始後3日目から出芽がみられ、そのときの出芽率は全処理区で対照区を上回った。以後の出芽率の上昇は処理区によりばらついたが、概して対照区を上回った。暴露時間による差はあまりみられず、回転の有無ではほぼ回転区が静止区を上回った。対照区が出芽率80%に達したのは10日目で、全処理区が80%を超えるのに要した平均出芽日数は5.9日、回転区では4.5日であっ

Fig. 4 Percentage of sprouting of radish seed under the various treatment conditions of magnetic field.

Each bar graph indicates lapsed days from seeding day.

Table 3 Growth values of radish on 20 and 40 days lapsed from seeding day.

Lapsed time (days)	Experiment section sign	Leaf number/stock	Max. top length (mm)	Top fresh weight (g)	Root fresh weight (g)	Top dry weight T (mg)	Root dry weight R (mg)	T/R of dry weight
20	N 5f	4.1	144	2.15	0.20	138	17	8.35
20	N 5r	4.1	129	1.92	0.19	133	15	8.71
20	S 5f	3.8	139	2.21	0.23	144	16	8.89
20	S 5r	4.0	136	1.96	0.26	138	11*	12.98*
20	N15f	4.0	144	2.37	0.21	153	18	8.43
20	N15r	4.0	134	1.80*	0.21	123	17	7.28
20	S15f	3.9	135	1.97	0.17	124	14	8.74
20	S15r	4.3	132	1.79*	0.20	126	17	7.49
20	Cont	4.1	139	2.25	0.20	148	17	8.81
40	N 5f	5.2	248	6.79	2.47	408	163	0.96
40	N 5r	5.2	222	6.31	2.79	379	170	0.95
40	S 5f	5.7	232	7.18	3.88	400	215	0.99
40	S 5r	5.9	230	7.16	3.47	419	196	0.95
40	N15f	5.3	238	6.92	1.79	411	121	0.84
40	N15r	5.1	232	6.54	4.33	396	242	1.07*
40	S15f	5.1	247	7.30	3.80	470	224	1.06*
40	S15r	5.3	233	6.65	3.69	403	207	1.04
40	Cont	5.0	235	6.65	3.06	391	180	0.94

* indicates significant difference to control at 5% level by Duncan's test.

た。とくに S5r 区は 5 日目に 90% を超え、S15r 区は 7 日目に 98.5% に達した。結局、水耕栽培では出芽率が向上し、とくに 120 mT 時は S 極対向・回転処理が有効であった。

生育量については 20, 40 日目の葉数、最大葉長、莖葉部と根部の各生体重と乾物重、乾物重 T/R 比を Table 3 に示す。葉数、最大葉長、根部生体重では各試験区間に大差はなかった。莖葉重、根径、全生体重、T/R 比では、いくつかの試験区で 5% 水準で対照区より有意な抑制効果がみられたが、測定日により一定ではなく、ほとんど差はみられなかった。

考 察

ハツカダイコンの発芽試験では、種子の変動磁場処理による発芽率の向上はみられないが、以後の根の生長を促進した。逆に水耕栽培では、出芽率は向上したが、以後の生育に差がなかった。本実験のような方法で磁場暴露した種子は発芽にはあまり影響しないが、初期生育が促進されるため圃場での出芽率が向上したと思われる。水耕試験で生育に差がみられないのは、播種前の磁場処理では効果の持続期間が短いためと思われる。しかし、試験中のハウス内環境条件は厳密に制御しておらず、今後さらに厳密で詳細かつ広範囲な実験が望まれ、また、静磁場連続暴露の場合のほか、変動磁場でも交番磁場、パルス磁場の各周期、周波数、波形など条件を変えての研究も必要であろう。

設備上の経済性や実用面からは、苗や生長植物への磁

場処理法よりも種子段階での処理が容易であり、また、電磁石よりも永久磁石のほうが費用も安く発熱の恐れもない。しかし、制御の点からは電磁石が優れている。いずれにしても、わずかな設備費と微小なエネルギーで有効な成果が得られるなら注目してよい技術となりえよう。

磁場の植物とくに種子に対するプラス効果や阻害効果についての明確な理論づけはまだなされていない。磁場の微弱な変動、または磁場内での生物内水分などの移動が、生物内に微弱な電流を生じ、これらが生物の活性化を促進するなどが考えられるが、それ以上の明確な理由の解明が急がれる。

文 献

- 1) PITTMAN, U. J. 1963. Effects of magnetism on seedling growth of cereal plants. Biomed. Sci. Instrum. 1: 117-122.
- 2) MOUSTAFA, M. A. 1973. Effect of exposure to magnetic field on plant physical properties and yield. ASAE-Paper 73-316.
- 3) OKAMOTO, S. and E. YUDA. 1966. The effect of magnetic fields on *Poncirus trifoliata* seedlings and young Satuma orange trees (*Citrus unshiu*) budded on them. Bull. Fac. Agric. Shizuoka Univ. 16: 1-6.
- 4) OKAMOTO, S. and E. YUDA. 1967. The effect of magnetic fields on young Satuma orange trees (*Citrus unshiu* Marc). Bull. Fac. Agric. Shizuoka Univ. 17: 97-101.
- 5) 金子忠男. 1984. 「野菜工場の技術と経済性」207-210, (株)CMC, 東京.
- 6) アルバート・ロイ・デービス. 1981. 種子類の磁気的処理方法及び装置. 特許公報, 昭 51-51721.