

# 野菜種子の発芽および初期生長に対する高圧電場処理の影響

誌名	園藝學會雜誌
ISSN	00137626
著者	橋永, 文男 張, はん
巻/号	66巻2号
掲載ページ	p. 347-352
発行年月	1997年9月

## 野菜種子の発芽および初期生長に対する高圧電場処理の影響

張 菡・橋永文男

鹿児島大学農学部 890 鹿児島市郡元1丁目

Effect of High Electric Fields on the Germination and Early Growth of Some Vegetable Seeds

Han Zhang and Fumio Hashinaga

Faculty of Agriculture, Kagoshima University, Korimoto 1, Kagoshima 890

### Summary

Seeds of 'Sunny' lettuce, Chinese cabbage, 'Tsumamina', Japanese radish, 'Tokinashi' and 'Kaiware' were exposed to positive- and negative-DC and AC fields with a frequency of 60 Hz. Six intensities of electrical fields, ranging from 18 to 105  $\text{kV}\cdot\text{m}^{-1}$ , were applied to seeds held in the dark at 25 °C and a relative humidity of 60%. The effect of the treatments on the percentage germination and the mean days to complete germination was recorded.

1. The AC electrical field in an experimental range from 18 to 105  $\text{kV}\cdot\text{m}^{-1}$  hastened germination rate and shortened the mean days of germination for 'Tsumamina', 'Tokinashi' and 'Kaiware' seeds. The seeds 'Kaiware' daikon were most responsive.

2. The germination rate of 'Sunny' lettuce seeds was stimulated by DC from 65 to 105  $\text{kV}\cdot\text{m}^{-1}$  and all AC electrical fields, but their mean days to complete seed germination was unaffected.

3. Under AC electrical fields of more than 50  $\text{kV}\cdot\text{m}^{-1}$ , early growth of the seedlings, especially those 'Tokinashi' and 'Kaiware' daikon, was significantly promoted compared with that of the control. On the other hand, DC positive and negative fields had promotive and inhibitory effects depending on the field strengths.

### 緒 言

種子発芽を向上させることは農作物を生産する上で極めて重要である。従来、塩類溶液や親水性高分子化合物など高浸透圧液および植物生長調節剤による物理的あるいは化学的処理方法が種子の発芽を向上させるために用いられてきた。しかし、これらの方法は長時間を要し、なかには複雑な毒性評価試験等を必要とするものもあるので、より安全で有効、しかも簡便な処理方法の開発が望まれている。

古くから、高電圧環境が植物に及ぼす影響、人為的な電気刺激が植物の生育や生理機能などに及ぼす影響あるいは植物の電気的特性に関する研究がある。そのほか、植物に対する電場処理という方法も考えられるが、これに関する報告は少ない。Sidaway・Asprey (1968) は直流電場の下で植物の呼吸が印加電場の極

性によって変化し、特に正よりも負の電場の方が呼吸をより刺激する傾向が見られると報告した。また Hart・Schottenfeld (1979) は電場処理中において植物先端からコロナが発生することや葉が枯れることを認め、過度な刺激は生育にマイナスであると報告した。さらに水耕温室でトマトへ電気刺激を与えると早く収穫でき、しかも収穫量が増すとの報告もある (Yamaguchi・Krueger, 1983)。

最近、種子の発芽に対する電場の影響に関する研究も見られる。Wheatonら (1971) はトウモロコシおよびダイズの種子を数秒間、直流正電場あるいは交流電場で処理した結果、これらの種子の50%発芽に到るまでの時間と電場強度との間に負の直線関係が存在することを指摘した。また近藤・桜内 (1983) はイネ種子の発芽率は印加電圧と付与回数に関係し、種子に与える単位時間のエネルギー総量の影響を受けると述べている。さらに松尾・坂田 (1994) はニンジン種

子を用いて各種電場処理が吸水種子の発芽と初期生育に及ぼす影響について検討した結果、電場の種類、強度および処理時間に関係なく、処理区は対照区に比べて高い発芽率と発芽勢を示したと述べている。これらの研究から、種子の発芽の向上に電場処理方法を利用できる可能性が十分あると考えられる。しかし、これまでの研究は、数種類の種子に限られ、また用いられた電場強度の範囲も少なかった。特に種子を長時間異なる電場強度下で暴露させながら、その発芽力を研究した報告はまだ見当たらない。

本研究では高圧電場による野菜種子の発芽率を向上させるため、周波数 60 Hz の高圧直流正負電場および高圧交流電場を使って、電場強度  $18 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$  から  $105 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$  までの 6 段階の電場強度を作り、断続的処理が数種類の野菜種子の発芽に与える影響を検討した。

### 材料および方法

#### 1. 実験材料

本実験には、市販レタス (*Lactuca sativa* L.) 'サニーレタス' ( $87 \text{ 粒} \cdot \text{g}^{-1}$ )、ハクサイ (*Brassica campestris* L.) 'つまみな' ( $38 \text{ 粒} \cdot \text{g}^{-1}$ )、ダイコン (*Raphanus sativus* L.) '時無' ( $12 \text{ 粒} \cdot \text{g}^{-1}$ )、および 'かいわれダイコン' ( $6 \text{ 粒} \cdot \text{g}^{-1}$ 、以上いずれもアタリヤ農園) の種子を用いた。実験前に不良品を除き、正常な種子だけを実験に供した。

#### 2. 実験装置

実験装置を第 1 図に示した。交流電場発生には、周波数 60 Hz の電源から、スライド式トランスを用いて、高圧トランスの電圧を上げ、所定の交流電場を発生させて平板電極 (300 mm×200 mm) に印加した。また直流正負電場発生には、同様に高圧トランスを用いて、目的とする交流電圧を発生させ、さらに整流回路を用

いて直流に変換したのち、同上の平板電極に印加した。

#### 3. 実験方法

直径 90 mm のシャーレにろ紙を敷いて、野菜の種子 30 粒を置床し、種子の 2/3 までの高さに蒸留水を入れて、シャーレを両平板電極から発生した電場の間に保持しながら種子の発芽を調べた。シャーレの水を数時間おきに補給し、温度  $25^\circ\text{C}$ 、相対湿度 60% の恒温実験室の暗所で実験した。置床日あるいは電場印加の開始の日を 0 日目とした。

第 1 図に示した装置 2 台を用いて、直流正、直流負および交流の 3 種類の電場で、 $18 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$  から  $105 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$  までの 6 段階の電場強度を設定した。4 種類の野菜種子を実験に供試し、72 処理区 (3 種類電場×6 種類電場強度×4 種類種子) に対照の 4 区を加えた合計 76 処理区として、3 回反復実験を行い、発芽と初期生長を調べた。幼根の長さが 2 mm 以上に伸長した種子を発芽したものとし、1 日目および 4 日目 (電場を除去した日) の発芽数から発芽勢と発芽率を算出した。また、種子の平均発芽日数  $N$  を松尾・坂田 (1994) の方法に従って、4 日目までの日々の発芽数から求めた。

$$N = \sum (n_i \cdot m_i) / M$$

ここで、 $n_i$  は各種子の置床から発芽までの日数、 $m_i$  は  $n$  日目の発芽数、 $M$  は全発芽数である。

また、電場を除去してから、3 日目までの幼芽の伸長を測定した。

### 結 果

#### 1. 発芽勢

各種子の発芽勢 (1 日目の発芽率) と電場の種類および強度との関係を第 2-1 図に示した。まず、直流正負電場処理の影響については、'サニーレタス' の発芽

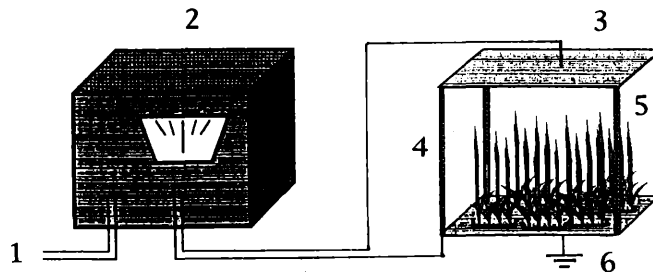


Fig. 1. Schematic diagram of circuit for electric field generation.

- 1, electric source of alternating current (100 V);  
2, regulator; 3, electrode plate (300 mm×200 mm);  
4, plastic support; 5, sample; 6, ground.

勢は電場強度が  $18 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$  の場合、対照区に比べて低くなったが、 $50 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$  を超える電場強度の場合、対照区よりも勝り、電場強度が増加するに伴い高くなる傾向を示した。

また、 $35 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$  の直流正負電場および  $50 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$  の直流負電場処理は、'つまみな' の発芽勢を高めた。'時無' の発芽勢は  $35 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$  の負電場の場合に高くなったが、そのほかの電場強度の範囲では低くなった。'かいわれダイコン' の発芽勢は直流正負電場の強度の全範囲で対照区と差がなかった。

一方、交流電場処理においては、各種子の発芽勢は対照区に比べて明らかに高くなり、特に、'つまみな'、'時無' および 'かいわれダイコン' で著しく高く、種子発芽に対して促進効果が顕著であることが分かった。

## 2. 発芽率

各種子の発芽率（4日目の発芽率）と電場の種類および強度との関係を第2-2図に示した。'サニーレタス' の発芽率は直流正負電場強度の変化に応じた影響

が少なかったが、 $18 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$  の直流負電場および  $105 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$  の直流正電場のときだけは対照区よりやや高かった。交流電場の場合、 $50 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$  までの電場強度では、発芽率は対照区との差が小さかったが、 $50 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$  を超えると対照区に比べて明らかに低くなった。

ほかの3種の種子の発芽率は電場の種類によって異なった。'つまみな' 種子は  $18 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$  と  $35 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$  の直流正電場、 $18 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$  と  $65 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$  の直流負電場および  $50 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$  と  $85 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$  の交流電場の場合、対照区より発芽率が高くなった。'時無' の種子は電場強度が  $18 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$  と  $85 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$  および  $105 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$  の交流電場の場合、対照区より高い発芽率になったが、他の電場強度では対照区との発芽率の差がなかった。また、無処理で発芽率の低い 'かいわれダイコン' 種子は、 $18 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$ 、 $50 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$  および  $65 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$  の直流正電場、 $85 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$  および  $105 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$  の直流負電場以外では、対照区に比べて高い発芽率を示した。特に、交流電場による 'かいわれダイコン' 種子の発芽率の改善

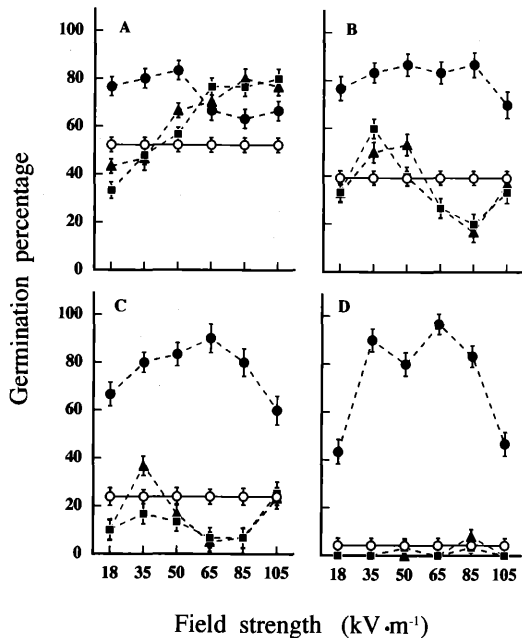


Fig. 2-1. Germination percentage of seeds at  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  in different electric fields 1 day after sowing.

A: Lettuce 'Sunnylettuce', B: Chinese cabbage 'Tsumamina', C: Japanese radish 'Tokinashi', D: Japanese radish 'Kaiwaredaikon'.

Vertical bars indicate SE.

—○— Control, —●— AC,  
—■— DC(+), —▲— DC(-).

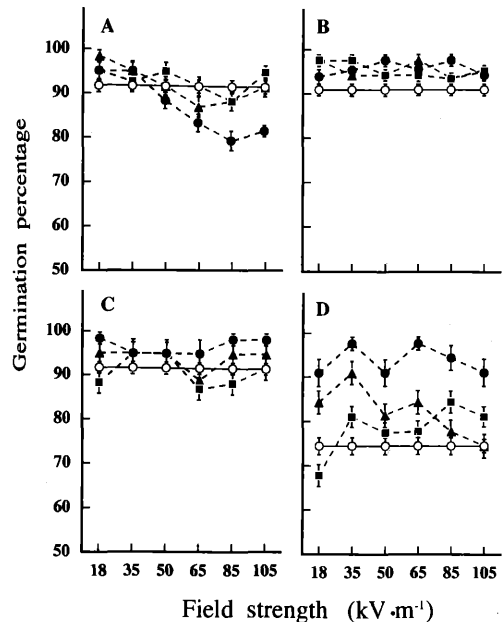


Fig. 2-2. Germination percentage of seeds at  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  in different electric fields 4 days after sowing.

A: Lettuce 'Sunnylettuce', B: Chinese cabbage 'Tsumamina', C: Japanese radish 'Tokinashi', D: Japanese radish 'Kaiwaredaikon'.

Vertical bars indicate SE.

—○— Control, —●— AC,  
—■— DC(+), —▲— DC(-).

効果は著しく、その発芽率は平均して約 21% も向上した。

### 3. 平均発芽日数

種子の平均発芽日数と電場の種類および強度との関係を第 3 図に示した。直流正負電場における 'サニーレタス' の平均発芽日数は  $35 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$  以上では電場強度の増加につれて短縮する傾向を示したが、大部分の電場強度の範囲において対照区より長かった。'つまみな'、'時無' および 'かいわれダイコン' の平均発芽日数は電場強度に依存して変化した。直流の正負の電場強度が  $65 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$  および  $85 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$  の場合、一部を除いて対照区に比べ、発芽日数が長くなったが、 $18 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$  および  $105 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$  の場合、対照区に比べてやや短いか、あるいはほぼ同じであった。

一方、交流電場における 'サニーレタス' の平均発芽日数は電場強度の影響を受けず、対照区とほぼ同じであった。'つまみな' の平均発芽日数は試験した電場強度の全範囲において対照区と比べて少なくなり、'時

無' および 'かいわれダイコン' の平均発芽日数は電場強度の増加につれて  $35$  から  $85 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$  の間で最も短い曲線となり、顕著な発芽促進がみられた。特に 'かいわれダイコン' の場合、その効果が著しかった。

### 4. 幼芽の伸長

7 日目までの各野菜の幼芽の伸長と電場の種類および強度との関係を第 4 図に示した。直流正電場の場合、4 種類とも幼芽長は試験した電場強度の全範囲において対照区と比べて短く ('時無' 幼芽の伸長は  $85 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$  以上では差がなくなる)。芽生えの初期生長に対して抑制効果が認められた。また、直流負電場の場合、'サニーレタス' の幼芽長は電場強度の増加に伴い対照区より短くなる傾向にあった。'つまみな' および '時無' の幼芽長は対照区と比べて短いかあるいはほぼ同じであった。'かいわれダイコン' の幼芽長は  $18 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$  で抑制されたが、電場強度が増加するにつれて抑制が回復した。

一方、交流電場の場合、'サニーレタス' の幼芽長は試験した電場強度の全範囲において対照区と比べて長く、'つまみな' および '時無' の幼芽長は  $50 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$  以

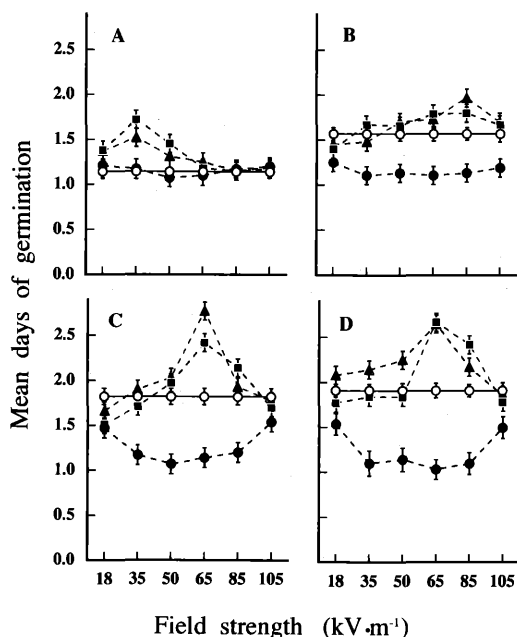


Fig. 3. Effect of different electric fields on the mean days for germination of seeds at  $25^{\circ}\text{C}$  until 4 days after sowing.

A: Lettuce 'Sunnylettuce', B: Chinese cabbage 'Tsumamina', C: Japanese radish 'Tokinashi', D: Japanese radish 'Kaiwaredaikon'.

Vertical bars indicate SE.

—○— Control, ...●... AC,  
---■--- DC(+), ---▲--- DC(-).

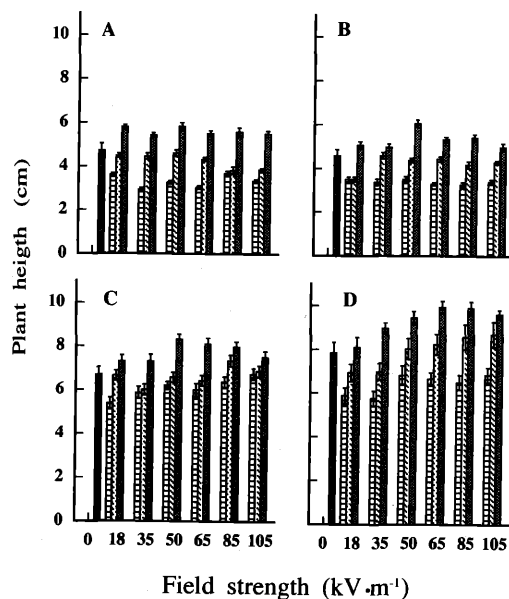


Fig. 4. Effect of different electric fields on the plant height at  $25^{\circ}\text{C}$  7 days after sowing.

A: Lettuce 'Sunnylettuce', B: Chinese cabbage 'Tsumamina', C: Japanese radish 'Tokinashi', D: Japanese radish 'Kaiwaredaikon'.

Vertical bars indicate SE.

▨ DC (+), ▩ DC (-),  
▤ AC, ■ Control ( $0 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$ ).

上の電場強度の範囲において長くなった。'かいわれダイコン'の場合は  $35 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$  以上の電場強度で顕著に幼芽が伸長した。このように幼芽の初期生長に対して高圧交流電場は促進効果を示した。

### 考 察

種子の発芽は多くの内外条件の影響を受け、非常に複雑である。本実験では、'サニーレタス' 種子を除いて、交流電場処理は顕著な発芽の促進効果があった。しかし、直流正負電場処理は電場強度によって異なった結果が得られ、顕著な発芽の促進効果はないと考えられる。

これまで報告された電場処理に関しては、松尾・坂田 (1994) がニンジンの吸水種子に対して5分および1時間の交流電場処理を行った結果、平均発芽日数の短縮効果を認め、本実験の交流電場処理の結果と一致していた。しかし、直流正負電場処理の場合は、本実験結果と異なり、発芽勢および発芽率は常に高くなっていた。一方、近藤・桜内 (1983) はパルス状高圧電場処理がイネの発芽を抑制したと報告している。これらの結果から交流、直流正負電場およびパルス電場等の違いによって、種子発芽に対する効果が異なるものと考えられる。

また、'時無' および 'かいわれダイコン' の種子に対する実験結果から、交流電場による種子の発芽促進程度も種子の種類で異なっていた。第2-1図および第3図の交流電場の場合、'時無' の発芽勢は対照区より最大66%向上し、平均発芽時間は18時間短縮したのに対して、'かいわれダイコン' の発芽勢は対照区より90%向上し、平均発芽時間は21時間短縮した。ダイコン種子の大きさは'時無'、'かいわれダイコン' の順に大きかったので、同じ電場環境でも、種子の発芽勢および平均発芽日数に対する効果は種子の大きさの影響を受けるかもしれない。

芽生えの初期生長に対しても交流電場処理は'サニーレタス' では全範囲で、ほかの3種類では一定の電場強度範囲で、促進効果が顕著であり、発芽の促進と発芽後の初期生長の促進の両方に有効であるものと考えられる。

一般的に交流電場が細胞に与える作用として、重光 (1992) は膜構造の変化、細胞内外物質の泳動などがあると述べ、また、Levengood (1985) は含水種子を電場処理すると種皮のセルロースの微小繊維の構造が変化し、種子のイオン電導度が高まると報告している。交流電場で極性を変えることにより、種子内部に水分

がより速く浸透し、その結果発芽および初期生長が促進されるものと考えられる。今後は実験を重ねて、発芽および芽生えの初期生長に及ぼす各種の電場および電場強度の影響を種子の内部組織および大きさとの関係から明らかにする必要があると考えられる。

### 摘 要

高圧電場による野菜種子の発芽を向上させるため、温度  $25^{\circ}\text{C}$  暗所、相対湿度 60% の恒温実験室内で、周波数 60 Hz の高圧直流正負電場および高圧交流電場の強度を  $18 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$  から  $105 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$  までの6段階に変え、数種類の野菜種子 ('サニーレタス'、'つまみな'、'時無'、'かいわれダイコン') に対して断続的に電場処理して、種子の発芽に与える影響を検討した。

1. 'つまみな'、'時無' および 'かいわれダイコン' 種子は、電場強度にかかわらず、交流電場の処理によって発芽勢、平均発芽日数とも対照区より非常に向上し、その傾向は特に 'かいわれダイコン' で著しかった。一方、直流正負電場処理によっては、それらの種子の発芽勢は一部の電場強度で高くなったが、平均発芽日数は短縮されなかった。

2. 'サニーレタス' 種子は、電場強度が  $65 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$  から  $105 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$  までの直流正負電場、および全範囲の交流電場処理によって、発芽勢が対照区より高くなったが、平均発芽日数は対照区とほとんど同じであり、著しい発芽促進を示さなかった。

3. 交流電場処理はすべての芽生えの初期生長を促進し、特に 'かいわれダイコン' では  $35 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$  以上で著しい促進効果を示した。直流正電場の処理は  $50 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$  以上で処理した '時無' を除いて、4種類の芽生えの初期生長を抑制した。直流負電場処理は、4種類の芽生えの初期生長を抑制する場合とそれに影響を及ぼさない場合があった。

**謝 辞** 本研究の装置について御支援いただきました関西学院大学理学部新谷隆一教授に感謝の意を表します。

### 引用文献

- Hart, F. X. and R. S. Schottenfeld. 1979. Evaporation and plant damage in electric fields. *Int. J. Biometeor.* 23 : 63-68.
- 近藤栄昭・桜内雄二郎. 1983. 植物種子の発芽に及ぼす高圧電場の影響. *農化.* 57 : 1199-1202.
- 松尾昌樹・坂田智子. 1994. 電場処理が吸水種子の発芽と初期生育に及ぼす影響. *生環調.* 32(2) : 107-111.
- 重光 司. 1992. 生物への応用. p. 355-362. 大森豊

- 明監修. バイオ電磁工学とその応用. フジ・テクノシステム. 東京.
- Levengood, W. C. 1985. Ion transport in the testa of germinating seeds. *J. Exp. Bot.* 36 : 1053-1063.
- Sidaway, G. H. and G. F. Asprey. 1968. Influence of electrostatic fields on plant respiration. *Int. J. Biometeor.* 12 : 321-329.
- Wheaton, F. W., W. G. Lovely and C. W. Bockhop. 1971. Effects of static and 60-Hertz electric fields on germination rate of corn and soybeans. *Transactions of the ASAE.* 14 : 339-343.
- Yamaguchi, F. W. and A. P. Krueger. 1983. Electroculture of tomato plants in a commercial hydroponics greenhouse. *J. Biol. Physics.* 11 : 5-10.