

An attempt to eradicate *Alternanthera philoxeroides* using electrical discharge and the effects of discharge parameters on plant tissue damage

Keisuke HIRANO^{*1}Hironobu MATSUO^{*2‡}

放電除草を用いたナガエツルノゲイトウ駆除への試みと 放電パラメータの植物組織損傷への影響

平野敬祐^{*1}松尾廣伸^{*2‡}

Abstract

In this study, electrical discharge weeding, a non-chemical control method, was applied to experimentally cultivated arugula (*Eruca vesicaria* subsp. *sativa*) and the invasive alien species *Alternanthera philoxeroides* (alligator weed). The effects of applied voltage, discharge duration, and soil water content were evaluated through visual damage assessment, analysis of variance, measurements of electrical resistance changes. In arugula, applied voltage was identified as the dominant factor, whereas the effect of discharge duration was relatively small. In addition, an optimal soil water condition that maximized tissue damage was determined. Tissue damage corresponded to reductions in electrical resistance, exhibiting a threshold-like response in which damage scores increased sharply once the resistance decrease exceeded a certain level. In *A. philoxeroides*, all individuals (10/10) were killed under the 15 kV–30 s condition; however, the effects on underground tissues were not clearly determined, indicating the difficulty of controlling underground organs using electrical discharge weeding.

Keywords: Discharge weeding, AC high voltage, Discharge time, Soil water content, Plant tissue damage

キーワード: 放電除草, 交流高電圧, 放電時間, 土壌含水率, 植物組織損傷

1. はじめに

ナガエツルノゲイトウ(*Alternanthera philoxeroides*)は、南米原産の多年生水草であり、日本を含む各地で急速に分布を拡大している侵略的特定外来生物である。本種は地下茎を伸ばして群生を形成し、水路やため池などの水域環境で在来植物の生育や水流の確保に悪影響を及ぼすことが報告されている。数 cm 程度の茎断片や根の断片からでも再生する¹⁾ため、その繁殖力と再生能力の高さから効果的な防除手段の確立が急務となっている。

ナガエツルノゲイトウの防除には、主に化学的除草や機械的除草が用いられてきた。しかし、化学的除草は除草剤の水中残留や対象外の植物への影響ならびに魚毒性が懸念され、水域・湿地環境では使用が制限される。一方で、機械的除草は一時的な除草効果は得られるが、再生や再発芽が容易であることから、労力やコストの面でも課題が残されている。このような背景から、環境負荷が小さく再発

抑制効果が高い新たな除草技術の開発が求められている²⁾。

その手法の一つとして、放電除草が挙げられる。放電除草は、植物に高電圧を印加して放電を生じさせることで、細胞壁や維管束を破壊し、植物を枯死させる手法である。近年では、静電界やアーク放電・パルス放電を用いた防除も提案されている³⁻⁴⁾。この方法での除草に成功すれば、先に挙げた水生動植物への影響を防ぐことができ、機械的除草における再発芽の問題が解決できる。加えて、太陽光発電と組み合わせ、繁茂エリアにおいて無人で断続的に放電を実施すれば、遮光による死滅には3年を要する⁵⁾とされる時間・労力・費用を大幅に削減できる可能性がある。現状、他の雑草に関する先行研究³⁻⁹⁾では放電条件（印加電圧、放電時間、周波数など）と植物の反応の関係については外観の変化がほとんどであり、植物体内部の損傷に関する知見は得られていない。外的及び内的損傷に関する体系的な知見が得られれば、効果的かつ効率的な放電条件の決定に寄与することができると考える。

そこで、本研究では先ずルッコラ: *arugula* (*Eruca*

*1 Graduate School of Engineering, Shizuoka University

*2 Associate Professor, Faculty of Engineering, Shizuoka University, 3-5-1 Johoku, Chuo-ku, Hamamatsu-shi, Shizuoka 432-8561, Japan
‡e-mail: matsuo.hironobu@shizuoka.ac.jp

Received: April 2 2026, Accepted: June 15 2026

*1 静岡大学大学院 総合科学技術研究科

*2 静岡大学工学部 准教授 (〒432-8561 浜松市中央区城北 3-5-1)
‡e-mail: matsuo.hironobu@shizuoka.ac.jp

(原稿受付: 2026 年 4 月 2 日, 受理日: 2026 年 6 月 15 日)

vesicaria subsp. *sativa*) を対象に印加電圧、放電時間、土壌含水率をパラメータとして放電処理を行い、損傷の程度を目視によるスコア付けの結果から分散分析を行うことで各パラメータの依存性を統計的に評価するとともに、放電処理に起因する抵抗値変化の測定を行うことで総合的に両者の関係性を明らかにする。ついで、ルッコラでの実験を踏まえて磐田市の古川に自生するナガエツルノゲイトウに対して印加電圧をパラメータとした放電実験を行い、同様の評価を行う。

2. 対象植物および実験方法

2.1 対象植物

2.1.1 ルッコラ 短期間に多数回の実験を可能にするため、他の植物に比べて生育が早く、また、栽培管理が容易で、寒さに他指定も比較的強いルッコラ（品種：コルティヴァータ、（株）サカタのタネ）を供試植物として選定した。野菜用培養土を詰めた 6 号のポリ鉢に種子を 5 粒ずつ播種して、本葉が 2-3 枚に達したときに 1 鉢あたり 3-4 株になるように間引いた。成長段階を合わせるために夏は約 1 ヶ月、冬は約 1.5 ヶ月経ったタイミングで実験を行った。このときの草丈は約 12-16 cm ほどの大きさとなっている。

2.1.2 ナガエツルノゲイトウ ナガエツルノゲイトウは磐田市の古川に自生している個体を使用した。5 月上旬から再び成長し始めて 11 月中旬には地上部が枯れてしまうため、現地で 9 月上旬に放電処理し、9 月中旬に測定を行った。その際、主に地上茎の長さ 80-100cm のものを選定した。

2.2 実験装置の構成

Fig. 1 に本研究で用いた装置を示す。コンセントから AC100 V ボルトスライダ（Toshiba SD110）で適性値に変圧し、ネオントランス（Daihen TP-0239）で昇圧を行う。入力電圧 AC100 V 印加時に最大出力電圧 15 kV を発生させることができる。植物・土壌と並列に分圧回路（1500:1）と接地側に 5 Ω の抵抗を接続し、植物および土壌に掛かる電圧と流れる電流をオシロスコープで記録する。植物への放電時にはネオントランスの高圧側端子を対象植物の一部（ルッコラ：葉、ナガエツルノゲイトウ：茎）、接地側端子を地中に挿入した接地用電極に接続している。接地用電極は塩化ビニル製のパイプの先に M10 のボルトを取り付

けたものとなっており、他の株に影響が及ばない位置で植物体に沿わせるように約 15 cm の深さまで挿入した。これは生長したルッコラの根は約 10-20 cm の長さとなるためである。

2.3 実験方法および条件

2.3.1 印加電圧および放電時間 印加電圧および放電時間をパラメータとして変化させ、放電処理が萎凋の程度に及ぼす影響を評価した。(a) ルッコラでは、印加電圧を 0, 3, 9, 15 kV、放電時間を 30, 90, 180 秒として各条件で 10 株ずつ処理を行い、処理後 10 日目に萎凋の程度を評価した。(b) ナガエツルノゲイトウでは、放電時間を 30 秒に固定し、印加電圧と処理株数は同様として処理後 14 日目に萎凋の程度を評価した。加えて、放電による損傷を定量的に評価するために、両者ともに萎凋の評価と同じ処理を施した 3 株を対象に地上茎の抵抗値の測定を行った。また、全ての実験において放電前の土壌含水率を接地電極挿入位置で測定した。

2.3.2 土壌含水率 土壌含水率をパラメータとして放電処理を行い、前目と同様に萎凋の程度および地上茎の抵抗値の変化を評価した。印加電圧および放電時間は 15 kV-30 秒とし、土壌含水率は土の抵抗率と誘電率の変化から 5, 10, 20 %とした。実験は冬季に実施したため、観察期間は植物の代謝が低下することを考慮して 17 日とした。土壌含水率は以下のようにして調整した。ペン型の水分計 (PMS-714 SATO TECH) を使用し、初期測定値が目標値に近いポットを選び、10 および 20 %は、一旦、水を与えた状態から日射の当たる風通しの良い屋上で夕方もしくは夜まで乾燥させ、接地電極位置で数カ所測定して目標値とほぼ同様の値が得られた時点で調整完了とした。5 %については、初期値がそれを上回るものしかなかったため、それに近いポットを同様の場所に置いて土壌水分が低下するのを待った。

2.4 評価方法

2.4.1 目視によるスコア付けと分散分析および η^2 値の算出 放電処理による萎凋効果を評価するために経過観察後に目視によるスコア付けを行った。評価は 11 段階（正常：0、軽い萎凋：1 または 2、中程度の萎凋：3 または 4、一部枯死：5 または 6、大部分に強い萎凋：7 または 8、枯死：9 または 10）とした¹⁰⁾。得られたスコアから、印加電圧および放電時間を要因とする二元配置分散分析を行った。ナガエツルノゲイトウでは放電時間を一定としたため、一元配置分散分析を適用した。各条件群の母平均の差を検定し、要因間の交互作用の有無を検討した。さらに各要因の効果量を明らかにするため、式(1)により η^2 を算出した。

$$\eta^2 = \frac{\text{要因の平方和}}{\text{全体の平方和}} \quad (1)$$

2.4.2 地上茎の抵抗値測定 抵抗値の測定には 4 端子法を用いた。ルッコラおよびナガエツルノゲイトウの地上茎に縫い針を 4 本刺し、外側 2 本を電流端子、内側 2 本を

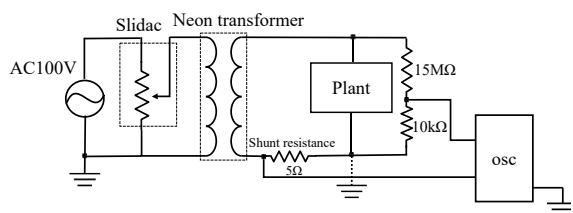


Fig. 1 Experimental equipment.

電圧端子とした。直流電源(KIKUSUI PAB 250 V-0.25 A)から 10 V を印加し、マルチメータ(Sanwa CD771)を用いて全体電圧および電流を測定した。測定後、電圧端子間の距離をノギスで測定し、得られた全体抵抗値をその距離で割ることで、1 m あたりの抵抗値を算出した。なお、ルッコラは草丈の中心付近の葉が生えていない茎の部分を対象とし、内側電極の間隔を約 3 cm とした。ナガエツルノゲイトウは節と節との間隔が狭く、節の部分の抵抗値が小さいため、それを含むか含まないかで抵抗値が大きく変わるため節を含む地上茎のほぼ全長を対象とした。両者とも対象の 3 株は、萎凋評価用とは別のものを用いた。

3. 放電除草のパラメータ依存性と植物体損傷への影響

3.1 印加電圧および放電時間

3.1.1 電圧・電流波形測定 Fig. 2 に各印加電圧における電圧および電流波形の計測例を示す。電圧は各印加電圧の代表的な波形、電流は平均電流が最も大きい 15 kV 印加時のそれである。これらは、放電開始時瞬間のものではなく、放電定常時の結果である。同図より、印加電圧の増加に伴って土壌+植物体に掛かる電圧が大きくなっていることが分かる。ネオントランスの内部インピーダンスは非常に高いため、通電状態になった後の植物体に掛かる電圧は非常に低い。電圧波高値は、印加電圧 3 kV の際に 35-40 V 程度、9 kV で 50 V 程度、15 kV で 70 V 程度であった。同図では電流のスパイクは 0.3 mA 程度であるが、数 mA のスパイク電流が確認されることもあった。

3.1.2 スコア付けおよび分散分析

(a) ルッコラ Table 1 に各条件における萎凋合計スコアと枯死した株数を示す。印加電圧と放電時間を大きくするにつれて合計スコアが増加した。3 kV の場合には枯死した株は見られず、9 kV-30 秒の条件で初めて枯死株が確認された。15 kV では全ての株で強い萎凋が認められ、特

に 15 kV-180 秒では 1 株を除いて完全に枯死した。この結果を用いて二元配置分散分析を行った結果を Table 2 に示す。印加電圧と放電時間の両方で有意差($P<0.05$)が確認でき、双方の交互作用に対しても有意差($P<0.05$)があった。また、 η^2 の値から印加電圧による影響が大きく、放電時間と両者の交互作用については、有意な効果はあるが寄与率としては小さいことが分かった。その際、土壌含水率は 12~25%であった。

(b) ナガエツルノゲイトウ Table 3 に放電電圧の違いによる萎凋合計スコアと枯死した株数を示す。ルッコラ同様に印加電圧を大きくするとスコアが増加したが、0-9 kV までは多少の萎凋が見られるのみで大きな差異はなく、枯死した株は見られなかった。一方で 15 kV では全ての株が枯死した。Table 4 に得られたスコアから行った一元配置分散分析の結果を示す。これにより印加電圧による結果の違いに有意差($P<0.05$)が確認できた。その寄与率は、94%を超える非常に大きなものであった。この際、生息地は泥状であり、土壌含水率は 20-25%であった。

Table 1 Total score and number of dead plants for Arugula

Voltage (kV)	Time (s)	Total score	Number of dead plants
0	-	6	0
3	30	24	0
	90	31	0
	180	26	0
9	30	49	2
	90	58	4
	180	84	5
15	30	81	5
	90	94	7
	180	97	9

Table 2 Results of the two-way ANOVA for Arugula

Category	Sum of squares	Degree of freedom	F-Value	P-Value	η^2
Voltage	597.3	2	73.57	$P<0.05$	0.593
Time	46.8	2	5.77	$P<0.05$	0.046
Voltage×Time	43.6	4	2.69	$P<0.05$	0.043
Residual	328.9	81	—	—	—
Total	1016.7	89	—	—	—

Table 3 Total score and number of dead plants for *A. Philoxeroides*

Voltage [kV]	Total score	Number of dead plants
0	6	0
3	15	0
9	22	0
15	97	10

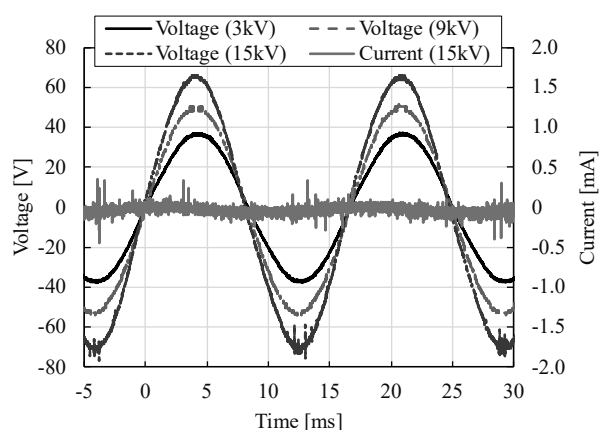


Fig. 2 Voltage and current waveforms of different applied voltage.

3.1.3 地上茎の抵抗値測定

(a) ルッコラ Table 5 に各条件における茎の抵抗値の平均値を示す。放電前の抵抗値は $4.77 \text{ M}\Omega/\text{m}$ であり、放電後の抵抗値は放電前の数%程度に大きく低下した。抵抗値は印加電圧および放電時間の両パラメータの増加と共に下がり幅が大きくなる傾向が見られ、放電前後で初期値と比較すると、サンプルの約半数が枯死した 9 kV - 90 秒の条件では約 3.4% にまで低下した。

(b) ナガエツルノゲイトウ Table 6 に印加電圧をパラメータとした地上茎節を含む抵抗値の平均値を示す。Table 5 で示したルッコラの場合と同様に印加電圧の増加により放電後の抵抗値は徐々に低下し、ほとんどが枯死した 15 kV - 30 秒の条件では放電前 $2.26 \text{ M}\Omega/\text{m}$ の約 57% となった。初期抵抗からの抵抗値低下はルッコラと比較すると小さいものであった。

3.2 土壌含水率

3.2.1 電圧・電流波形測定 Fig. 3 に各土壌含水率における電圧・電流波形の計測例を示す。電圧はそれぞれのパラメータの代表的なものを、電流は土壌含水率 20% 時のそれとした。土壌含水率の増加に伴って植物+土壌に掛かる電圧が低下していく様子が見られる。電流の測定値は非常に小さく、含水率による違いは定かでなかったが、印加電圧が同じであり、ネオントランスの内部インピーダンスとで分圧した結果であるため、土壌含水率が大きい方が電流も流れていることになる。

3.2.2 スコア付けおよび分散分析 Table 7 に土壌含水率をパラメータとした萎凋合計スコアと枯死した株数を示す。土壌含水率 10% で行った場合が最も合計スコアおよび枯死株数が高く、 5% と 20% では枯死株数に違いがあるものの、ほぼ同等と言える結果となった。スコアを元に行った分散分析の結果 (Table 8) からは有意差が確認でき、含水率の影響も大きいことが分かった。有意差の確認後にパラメータ内での有意差を見るために Tukey 検定を行った結果、土壌含水率 5% と 10% のグループのみ有意差が

あり、 5% と 20% および 10% と 20% のグループには統計的な有意差は無かった。

3.2.3 地上茎の抵抗値測定 各土壌含水率条件で測定した平均抵抗値を Table 9 に示す。その結果、土壌含水率 10% が $0.112 \text{ M}\Omega/\text{m}$ と最も低い値を示し、 5% と 20% では同程度の結果となった。これは、Table 7 に示したスコア

Table 4 Results of the one-way ANOVA for *A. Philoxeroides*

Category	Sum of squares	Degree of freedom	F-Value	P-Value	η^2
Voltage	520.5	3	198.9	$P<0.05$	0.943
Residual	31.4	36	—	—	—
Total	551.9	39	—	—	—

Table 5 Stem resistance of Arugula after discharge

Voltage (kV)	Time (s)	Resistance ($\text{M}\Omega/\text{m}$)	Resistance ratio (%) After / Before
0	—	4.774	100.0
3	30	0.413	10.1
	180	0.309	6.6
9	30	0.193	3.7
	90	0.161	3.4
15	180	0.125	2.6
	30	0.116	2.4

(n=3-5)

Table 6 Stem resistance of *A. Philoxeroides* after discharge

Voltage (kV)	Resistance ($\text{M}\Omega/\text{m}$)	Resistance ratio (%) After / Before
0	2.26	100
3	1.99	88
9	1.63	72
15	1.30	57

(n=3)

Table 7 Total score and number of dead plants for Arugula

Voltage (kV)	Soil moisture content (%)	Total score	Number of dead plants
0	—	5	0
	5	49	0
15	10	70	2
	20	55	1

Table 8 Results of the one-way ANOVA for Arugula

Category	Sum of squares	Degree of freedom	F-Value	P-Value	η^2
Soil moisture content	23.4	2.0	3.79	$P<0.05$	0.22
Residual	83.4	27.0	—	—	—
Total	106.8	29.0	—	—	—

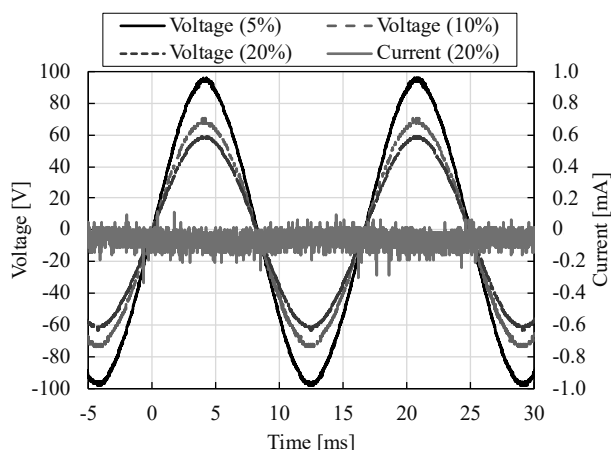


Fig. 3 Voltage and current waveforms at each soil water content

同様の結果であった。

4. 考察

4.1 印加電圧および放電時間の植物損傷への影響

(a) ルッコラ Table 1 と Table 2 の結果から印加電圧および放電時間の両パラメータの増加により萎凋合計スコアと枯死株数が増加し、 η^2 の値から印加電圧による影響が特に大きいことがわかった。これは、植物細胞の破壊には大きな電界が必要¹¹⁾であり、印加電圧が増加したことで、大きな初期電流と植物の内部に局所的に生じた高い電界によって植物組織の破壊が促進されたためである。一方で、時間に対しても比例的な変化の傾向が認められる。これは定常電流によるジュール発熱の効果であると考えられる。

Table 5 に示したように、放電後の抵抗値も両パラメータに同様の傾向で依存している。放電後抵抗値が放電前の数%程度に低下するのは、放電により細胞膜が破壊され細胞内の物質が流出した結果、茎の導電性が著しく増加したためである。特にルッコラは体内の水分量が多い植物であるため、上記の理由による影響が大きい。

放電後の平均抵抗値と萎凋合計スコアの関係を図 4 に示す。○印は夏季の実験、△印は冬季（含水率）の実験結果である。夏季の結果を見ると、9 kV-30 秒の条件からスコアおよび枯死個体が急激に増加しており、放電後の抵抗値には閾値が存在することがわかる。これは、放電処理によって植物体内部での損傷が進行し、不可逆的な萎凋・枯死が生じると抵抗値はある値以下になることを示している。この閾値を明らかにすることで、異なる印加電圧や放電時間で放電処理を与えた場合や別のパラメータを変化させた場合に枯死するかどうかの判断基準として用いることができると考える。また、同条件である 15 kV-30 秒の夏季と冬季の結果を比較すると、スコアには冬の低気温による代謝低下の影響が強く見られ、冬季の結果は大きく左にそしてやや上にシフトしていることがわかる。ここでは示さないが放電電圧および時間の増加とともに植物体の温度も上昇するため、その影響も考えられる。すなわち、季節（外気温）により、より高いエネルギーが必要となると考えられる。

実際に放電除草に適用するには、上述の結果から、放電開始時の高電圧・大電流を活用できるため、高電圧を短時間で繰り返す方が、すなわちパルス放電を用いる方が効果的であると考えられる。

(b) ナガエツルノゲイトウ Table 3 と Table 4 の結果から、印加電圧の増加に伴って合計スコアは増加し、9 kV までは枯死株が見られなかったものの 15 kV では全ての株が枯死した。結果に有意差が確認でき、 η^2 の値から効果量も大きかった。15 kV 印加時にはナガエツルノゲイトウの細胞膜および維管束を不可逆的に破壊し、最終的に枯死に至ったと考えられる。15 kV 条件で枯死株が見られた一

方で、放電後の地上茎の抵抗値は放電前 2.26 M Ω /m の約 57 %であり、ルッコラと比較して抵抗の変化量は小さいものであった。これは、ナガエツルノゲイトウの茎はルッコラとは異なり、内部が中空で表皮が厚い構造をしているため、電流が流れる領域も限定されることから抵抗値が極端に小さくならず生長点や維管束を局所的に破壊したと考える。

長期的な経過観察を行わなければ最終的な判断はできないが、放電処理によって地上部分は枯死させられたが地中部分までは枯死させることができていないと考える。損傷を与えられないのは、土壌含水率が 20-25 %と高く、水

Table 9 Stem resistance of Arugula after discharge

Voltage (kV)	Time (s)	Soil moisture content (%)	Resistance (M Ω /m)	Resistance ratio (%)
		5	0.148	3.1
15	30	10	0.112	2.3
		20	0.146	3.0

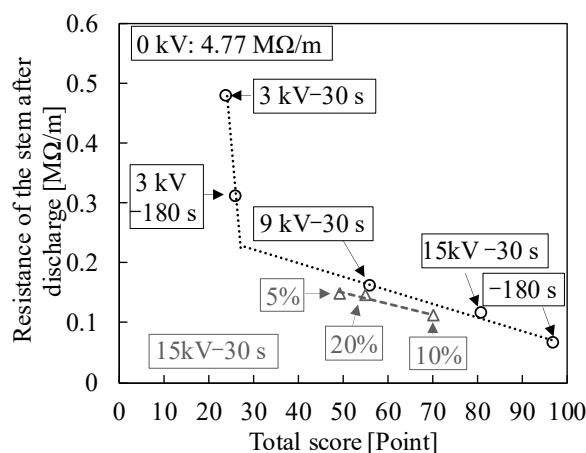


Fig. 4 Relationship between stem resistance and withering score after discharge (Arugula).

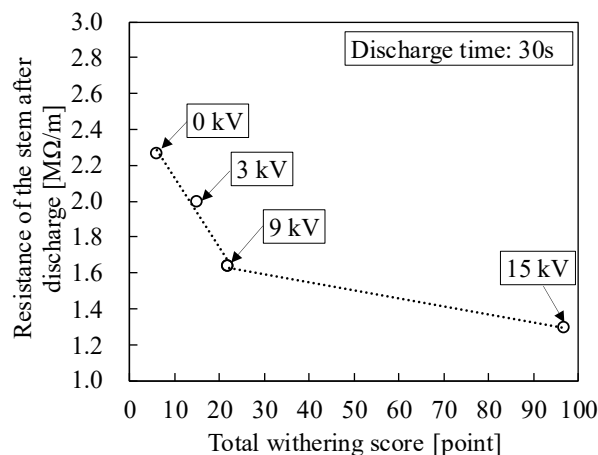


Fig. 5 Relationship between stem resistance and withering score after discharge (*A. philoxeroides*).

辺の土壌の抵抗値は植物よりも低くなるため電流が植物体内ではなく地中を多く流れることになることが要因である。

同様に放電後の抵抗値とスコアの関係を図 5 に示す。屈曲位置は異なるものの 図 4 と同様にある点で折れ曲がっており、同様に抵抗値における閾値が存在し、その値は植物によって異なると考えられる。

4.2 土壌含水率の植物損傷への影響

Table 7 の結果から土壌含水率 10 % が最もスコアと枯死株数が多かった。この結果は Table 9 に示す放電後の地上茎の抵抗と 図 4 に示すように一致している。一方で、図 3 から電圧の大きさは土壌水分の小さい順に大きいことがわかる。このことは定常電流の大きさは土壌水分の大きい順に大きいことを意味している。したがって、特定の土壌含水率において、効率的に放電除草が機能する可能性があると考えられる。

4.3 放電除草のナガエツルノゲイトウへの適用

図 5 から 0~9 kV の近似線を延長し、15 kV 印加時と同じ抵抗値になる電圧を求めると 12 kV と推定され、ネオントランスを用いた本手法では、30 秒の処理において少なくともこの程度の電圧が必要であると考えられる。一方で、前述のように放電除草にはパルス放電の方が適している。パルス放電を用いて、短時間に大電流を流すことができれば電圧はより低い値で枯死させられる可能性もある。太陽電池と蓄電池を組み合わせることによって、系統電源に依存しないでパルス放電できる装置を作成すれば、無人で任意の場所で継続的にナガエツルノゲイトウを駆除することができる可能性もある。既往研究³⁻⁴⁾の方法では、上部電極として電気柵や金属メッシュがある程度地面から離して設置されており、繁茂の抑制は可能だが、死滅に至らすことは難しいと考えられる。地面側を絶縁物として、空側に電極を設置することで地面との距離を短くするなど絶縁性を保ちつつも電極と地面との距離をできるだけ狭く設置する必要があると考える。当該植物は水上へも広がることから、水上に浮かせた電極を水面のまだ広がっていない場所から陸地に向かって徐々に寄せながら枯らしていく方法も考えられる。また、使用に当たっては当然に電気安全上の配慮やジュール加熱による発火防止が必要になる。

5. まとめ

本研究ではルッコラおよびナガエツルノゲイトウに対して印加電圧・放電時間・土壌含水率の 3 パラメータについて放電実験および地上茎の抵抗値測定を行った。その結果、以下の知見を得た。

- 1) 印加電圧と放電時間の増加により植物体の損傷は不可逆的になり、特に印加電圧による影響が大きかった。
- 2) 土壌含水率の違いによって植物体内の水分布が変化する

るために、損傷を最大化する最適土壌含水率の存在が示唆された。

- 3) 一定の損傷閾値（抵抗値として観測）を超えると枯死率が急激に増加する可能性が示唆された。
- 4) ルッコラおよびナガエツルノゲイトウで地上茎の構造の違いによる放電後の抵抗値低下に違いが見られた。
- 5) ナガエツルノゲイトウの地上部は高電圧ほど強く損傷を受けた。

以上の結果は、先行研究では体系的に示されていなかった放電パラメータと植物組織の損傷との関係の一部を明らかにしたものであり、初めてナガエツルノゲイトウに対して放電除草を適用した事例である。本研究の結果からルッコラの場合には印加電圧 15 kV、放電時間 30 秒以上、土壌含水率 10 % 条件であれば季節問わず枯死株が存在することが確認された。この結果とナガエツルノゲイトウの結果とを併せて考えると、ナガエツルノゲイトウに対する放電除草においては、その生息土壌の高含水率を考慮すれば、15 kV 以上の高電圧かつ 30 秒以上の放電時間で地上部を十分に駆除可能と考えられる。地下茎に関しては現時点ではその影響は定かではなく、再発芽の可能性もあるものの、太陽光発電および蓄電池を用いた高電圧パルス放電等によって無人化と場所の制約をなくして効率化を図ることができれば、刈り取りにおける切れ端の拡散のリスクを考えると十分な選択肢となると考える。

参考文献

- 1) 農林水産省、ナガエツルノゲイトウの駆除対策について (accessed Nov. 27 2025), https://www.maff.go.jp/j/nousin/kankyo/kankyo_hozen/nagae.html.
- 2) 農林水産省、環境省、農業・食品産業技術総合研究機構、ナガエツルノゲイトウ防除マニュアル (accessed Nov. 27 2025), https://www.maff.go.jp/j/nousin/kankyo/kankyo_hozen/attach/pdf/nagae-33.pdf
- 3) Y. Matsuda, Y. Takikawa, K. Kakutani, T. Nonomura, K. Okada, S. Kusakari and H. Toyoda, "Use of Pulsed Arc Discharge Exposure to Impede Expansion of the Invasive Vine *Pueraria montana*", *Agriculture* 10(12), 600(2020), (DOI: 10.3390/agriculture 10120600).
- 4) Y. Matsuda, K. Kakutani and H. Toyoda, A Simple Electrostatic Apparatus for Controlling Weeds on Slopes without Causing Soil Erosion, *American Journal of Civil Engineering and Architecture*, 12(1), 1-7 (2024). (DOI: 10.12691/ajcea-12-1-1).
- 5) 水野 彰, 高電圧放電による雑草除去, *プラズマ・核融合学会誌*, 75(6), 666-671(1999). (DOI: 10.1585/jspf.75.666)
- 6) D. J. Bloomer, K. C. Harrington, H. Ghanizadeh, and T. K. James, Pots to Plots: Microshock Weed Control Is an Effective and Energy Efficient Option in the Field. *Sustainability*, 16(11), 4324 (2024) (DOI: 10.3390/su16114324).
- 7) T. Kotnik, L. Rems, M. Tarek, and D. Miklavcic, Membrane Electroporation and Electroporabilization: Mechanisms and

- Models, Annu. Rev. Biophys, 48, 63–91(2019) (DOI:10.1146/annurev-biophys-052118-115451).
- 8) D. Autovino, A. Coppola, R.D. Mascellis, M. Farzamian, and A. Basile, An in-situ methodology to separate the contribution of soil water content and salinity to EMI-based soil electrical conductivity, SOIL, 12, 37–54(2025)(DOI: 10.5194/egusphere-2025-2696).
- 9) M. J. Slaven, M. Koch, and C. P. D. Borger, Exploring the potential of electric weed control: a review, Weed Sci., 71, 403-421(2023) (DOI: 10.1017/wsc.2023.38).
- 10) 内野 敏剛, 松尾昌樹, 高電圧パルス放電による雑草防除, 農業機械学会誌, 55(4), 137-147(1993).
- 11) I. V. Yudaev and Yu.V. Dausa, Characteristics of Changes in the Electrical Conductivity Properties of Weed Plant Tissues under Electropulse Damage, Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 59(3), 329–336, (2023) (DOI: 10.3103/S1068375523030171).