

## 電圧を負荷したアルミニウム箔テープによるナメクジ食害回避

池田和弘(埼玉県農総研)

**要旨**：食用キノコ栽培では害虫による食害回避が不可避である。このうちナメクジの食害を低減するため2種の金属箔テープの組み合わせによる忌避効果を室内実験で調査したところ、銅-亜鉛の組み合わせにおいて効果を確認できたが、完全ではなかった。次に2種の金属を連結し、ナメクジ体表を覆う粘液の電解質を利用して電位差を発生させたところ、平均0.71Vの起電力を生じたが、回避効果は認められなかった。そこで二本のアルミニウム箔テープで区画を作り、乾電池で電圧を負荷したところ、ナメクジのテープ内側から外側への移動率は電圧と負の関係にあることが判明し、9.39Vで移動を阻止できた。本手法がナメクジ食害回避の手段となることを示した。

**キーワード**：キノコ食害回避、ナメクジの食害回避、起電力、電圧、金属箔テープ

## I はじめに

食用キノコの栽培ではナメクジによる子実体への食害回避が必須である。綿引(2, 3)はナメクジ(*Meghimatium bilineatum*)の銅忌避効果について報告しているが、完全ではない。銅箔テープや薬品による忌避剤、誘殺剤が市販されているが、安全性や価格、効果の面から完全なものではない。今回2種類の金属の組み合わせによる生体電池を作り、その起電力による食餌回避実験および安全なアルミニウム箔テープに電圧を負荷して食餌回避実験を行ったので報告する。

## II 材料と方法

## 1. 生体電池による食餌回避効果の検証

供試体としてコウラナメクジ科の1種(*Limax* sp.)を用いた。まず金属の忌避効果を確認する目的で食餌回避実験を行った。金属箔テープとしてアルミニウム(厚さ0.05mm)、銅(厚さ0.03mm)、ステンレススチール(厚さ0.04mm)を利用し、亜鉛は箔テープが無い場合亜鉛板(厚さ0.3mm)を用いた。なお、金属名は以後元素記号を用い、ステンレススチールについてはSusと表記する。実験は10cm×20cm×高さ6cmの透明プラスチックケースの中で行った。外側の金属を5cm×5cm、幅1cmに、内側を2.8cm×2.8cm、幅1cmの「□」型に切り抜き、両者が接触しないように1mmの間隔を空けてケース底面に貼り付けた。金属の組み合わせはCu-Zn、Al-Zn、Sus-Al、Sus-Zn、Cu-Al、Sus-Cuの6通りになる。内側にできた1.4cm×1.4cmの部分には餌となるキュウリを設置した。また、反対側に隠れ場所として

プラスチックシャーレ(内径54mm)を貼り付け、水分を含ませた赤玉土を入れた上に園芸用プラスチックポット(黒色、直径56mm、高さ35mm)を被せたものを設置した(図-1)。対照区はキュウリと隠れ場所を設置した。それぞれのケースにナメクジを一匹入れた。

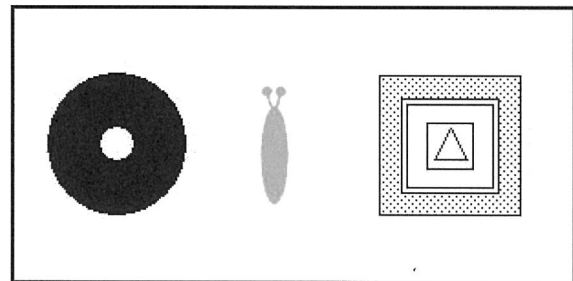


図-1. 食餌回避実験の模式図

注：左側の黒丸は隠れ場所、右側の「□」は2種の金属、「△」はキュウリを表わす

対照区は1ケース、他はそれぞれ3ケースとし、全部で19個作成した。一回の実験期間を5日間とし、三反復行った。ナメクジは一回の実験終了ごとに全て新しい個体と交換し、合計57匹を使用した。また、ケース類も一回の実験終了ごとに清掃した。食餌の評価は目視によるものとし、毎日キュウリを交換する際に食べた量を観察し、体積の約4割以上食べた場合を「よく食べた」として2点、4割未満を「少し食べた」として1点、「食べない」を0点と評価して、食餌指数とした。なお、食餌指数は

実験区ごとに合計し、平均値とした。

次に2種類の金属をワニ口クリップで連結し、同じ実験を行った。ナメクジ体表の粘液に含まれる電解質イオン、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ を利用した生体電池の起電力を計測し、食餌指数と起電力の関係を調べた。

また、個体重と起電力の間の関係を調べるため正極にCuテープ、負極にAlテープを用い、ナメクジに接触させて、50匹のナメクジについてそれぞれ10回ずつ電圧を計測した。電圧、電流は(株)カスタムのオシロスコープCTO-2020Dおよび三和電気計器(株)のデジタルマルチメータCD 770、同771で計測した。粘液のpHはMERCK社のRQflex 2による比色測定で行い、その試験紙はpH-Test (pH4.0～9.0)を使用した。

### 2. アルミニウム箔テープへの電圧負荷による移動阻止の検証

ナメクジの通過を乾電池による電圧で阻止する実験を行った(図-2)。内寸52cm×37cm×20.5cmの白半透明衣裳ケース底面に15mm幅のAlテープ2本を10mm間隔で「□」型に貼った。「□」型は外側が36cm×26cm、内側が32cm×22cmとした。それぞれを乾電池の正極と負極につなぎ、内側に5匹を放し、電圧とナメクジの移動率および死亡率の関係を調べた。実験は電圧なし、1.36V、2.69V、9.39Vの4試験区とし、5反復行った。

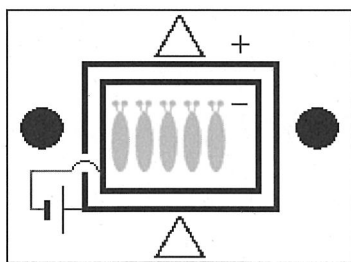


図-2 電圧負荷による移動阻止実験の概念図  
注：黒丸は隠れ場所、△はキュウリを表わす

### 3. テープ間隔の決定に関する検証

ナメクジが間隔を空けて貼られた2本のAlテープに触れると乾電池から電流が流れるが、電力消費量はテープ間隔に残る粘液量に比例すると考えられる。長期間効果を発揮するためには電力消費量が少ない方がよい。そこでAlテープの間隔と粘液を流れる電流の経時変化を調べるため、3cm×5cmのプラスチックシートに幅1cm、長さ3cmのAlテープを10mm、5mm、2.5mmの間隔で貼り付け、それぞれ

9枚ずつ作成し、実験に用いた。

テープ間をナメクジが通過した後に粘液が残るので、通過直後にAlテープに8.65Vの電圧をかけ、粘液を流れる電流を10秒間隔で1分間測定した。この実験をテープ間隔ごとに9反復行った。また、電圧と電流から粘液の抵抗値を求めた。

## III 結果と考察

### 1. 生体電池による食餌回避効果の検証

2種類の金属を独立させた場合と、ワニ口クリップで連結させた場合の食餌指数を図-3に示す。

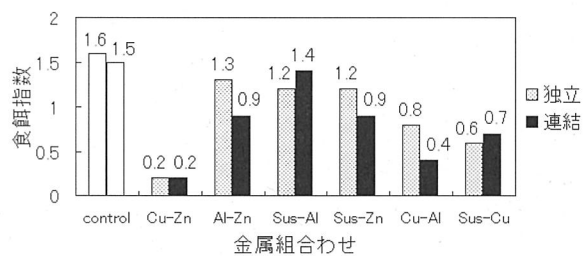


図-3 金属組合わせと食餌指数の関係

食餌指数の最大値は2であるが、対照区で1.5から1.6を示した。これは全く食べない日があったからである。また、独立の場合、Cuを含む組合わせでは食餌指数が下がる傾向が確認できたが、最低値はCu-Znで0.2を示し、Cuの忌避は完全ではなかった。2種類の金属を連結させても同じ結果であった。また、連結させることにより食餌指数は下がる傾向にあったが、Sus-Al、Sus-Cuでは0.1から0.2上昇した。その理由については分からなかった。次に、連結した際の食餌指数と起電力の関係を図-4に示す。

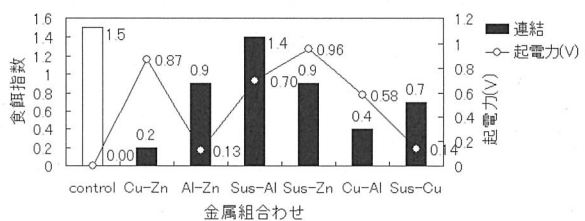


図-4 金属組合わせと食餌指数および起電力の関係

対照区では起電力無しで食餌指数が1.5、Cu-Znでは起電力は0.87Vで、食餌指数が0.2、Al-Znでは0.13Vで食餌指数が0.9であり、食餌指数と起電力の間には逆の関係があるように思われたが、Sus-Al、Sus-Zn、Cu-Alではその傾向は無く、起電力と食餌指数の間に明瞭な関係が認められなかった。

体表を覆う粘液はムチンと総称される物質で、糖タンパク、糖類、無機塩類、水から構成されている

が、粘液の水素イオン濃度は  $\text{pH}=5.7 \pm 0.3$  であった。イオン化傾向が大きい Al, Zn は弱酸性下でイオンとなり、発生した電子は電気的中性条件に従い正極側の金属に移動し、負極では酸化反応、正極では還元反応が起こる (1)。その結果電流が発生し、電池になったと考えられた。

次に個体重と起電力の間の関係を調べた結果を図-5に示す。

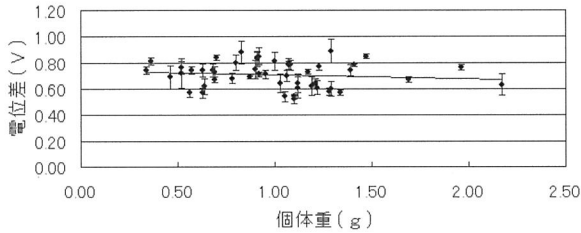


図-5 個体重と電位差(Cu-Al)の関係(n=50)  
注：縦棒は標準偏差

500 個のデータから、電位差±標準偏差は  $0.71 \pm 0.11\text{V}$ 、最大値は  $1.05\text{V}$ 、最小値は  $0.44\text{V}$  であった。重相関係数=0.015 であり、個体重と起電力は相関関係がなかった。

以上より、Cu-Al テープと粘液を電解質とした「ナメクジ電池」では起電力が  $0.7\text{V}$  前後と弱く、また粘液の電気抵抗が大きいため、食餌指数を下げるほどの刺激を感じないと考えられた。すなわち食害の回避はできないことが判明した。

### 2.アルミニウム箔テープへの電圧負荷による移動阻止の検証

電圧とナメクジの移動率および死亡率の関係を図-6に示す。

電圧なしおよび  $1.36\text{V}$  では  $100\%$  の通過率であり、阻止効果はなかった。 $2.69\text{V}$  では  $72\%$  の通過率であった。通過を完全に防ぐためには  $9.39\text{V}$  以上必要であることが判明した。 $9.39\text{V}$  では両極の Al テープに接触するとナメクジはすぐに回避する行動をとるが、電氣的刺激を受けながらも前進を続けるとテープに張り付いたように硬直し、全て感電死した。なお、極性による走行性の差はなかった。また、 $9.39\text{V}$  の負荷でテープ間隔を  $10\text{mm}$  で実験したところ、ナメクジがテープ間に斜めに侵入すると体の左右が両極に接触しない場合があり、電氣的な刺激を受けることなく外部へ移動できることが判明した。このため、テープ間隔は  $10\text{mm}$  以下にするべきであると考えられた。

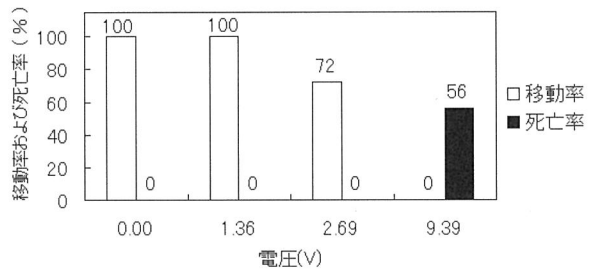


図-6 負荷電圧と移動率および死亡率の関係(n=100)

### 3.テープ間隔の決定に関する検証

Al テープ間隔が  $10\text{mm}$  の時にテープ間に残る粘液に  $8.65\text{V}$  の電圧をかけた直後の電流を計測したところ  $86.9 \mu\text{A}$  であった。オームの法則から逆算すると粘液の抵抗値は  $100\text{k}\Omega$  となり、高抵抗であることが判明した。間隔が  $1\text{cm}$  であることから電気伝導度に換算すると  $10 \mu\text{S}/\text{cm}$  であった。

Al テープ間隔を  $10\text{mm}$ 、 $5\text{mm}$ 、 $2.5\text{mm}$  にした場合の電流の経時変化の平均値を図-7に示す。

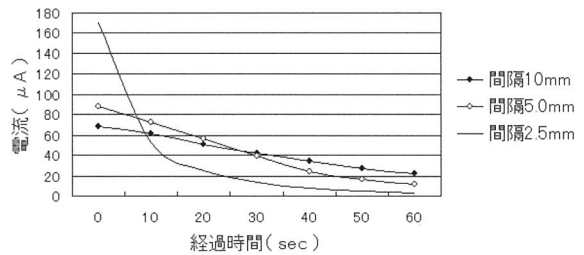


図-7 各間隔ごとの電流の経時変化

間隔が狭くなるほど粘液を流れる初期電流が大きいこと、時間の経過とともに減少することが判明した。特に  $2.5\text{mm}$  の間隔では初期電流が  $169.9 \mu\text{A}$  を示したが、 $10$  秒後には  $52.5 \mu\text{A}$  となり他のグラフと同程度の値を示した。その後も最も低い電流値を示した。これは粘液自体が時間と距離に反比例する電氣的抵抗であると解釈でき、間隔が狭いほど電流をよく通し、粘液自体も電気分解されやすく、電解質イオンが早く消失することが理由として考えられた。

なお、電圧  $V$  および電流  $I$  を  $t$  秒間流したときの消費電力量  $W$  は(式-1)で表わされるが、電池を長

$$W = I \cdot V \cdot t \quad (\text{J}) \quad (\text{式-1})$$

持ちさせるには時間  $t$  が小さいほど良く、抵抗に該当する粘液の電気分解速度が早いほうが有利である。これはテープ間隔が狭いほど良いことを示唆するが、2.の結果や施工性を考慮すると、 $5\text{mm}$  が適当であると考えられた。

#### IV おわりに

従来よりナメクジは Cu を忌避することが知られていたが、その効果は完全ではない。また、Cu は重金属に分類され有害である。そこで安全な Al 箔テープ 2 本を 5 mm 間隔で貼り、9.39V の負荷をかけることで食餌を完全に回避できた。

今後は 1.5V の乾電池とトランス、コンデンサーの組み合わせにより 9.39V 以上に昇圧させ、高電圧、低電流のパルスによる食害回避技術を開発する。

また、ナメクジ以外のヤスデ類や昆虫の幼虫にも効果があると考えられ、キノコ類よりも嗜好性の強い餌を設置した容器内に誘引し、電氣的刺激により出ることのできない捕虫器の開発に応用できると考えられる。

今回は室内実験の結果であるため、捕虫器の作製と合わせて露地での現地実証試験を行う必要がある。

本研究は平成 20 年度新たな農林水産施策を推進する実用技術開発事業委託事業「関東・中部の中山間地域を活性化する特用林産物の生産技術の開発」(課題番号 18021) で得られた成果の一部である。

#### 引用文献

(1) 杉晴夫(2006)生体電気信号とはなにか. 283pp. 講談社, 東京.

(2) 綿引健夫(2008)ナメクジの侵入阻止を目的とした銅線の設置方法の検討. 林業普及情報第 28 号: 11-13

(3) 綿引健夫(2008)飼育実験下における銅線のナメクジに対する忌避効果. 茨城県病害虫研究会会報 47: 6-8