

平成 30 年 5 月 22 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K15013

研究課題名(和文) 収穫後の農産物に寄生する害虫の高電場による駆除

研究課題名(英文) Insect control for agricultural produces using high electric field

研究代表者

内野 敏剛 (Uchino, Toshitaka)

九州大学・農学研究院・教授

研究者番号：70134393

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：貯穀害虫のヒラタコクヌストモドキ(ヒラタ)、カキ等の害虫フジコナカイガラムシ(フジコナ)の電場による駆除試験を行った。ヒラタでは円柱高圧電極と同心円筒接地電極、フジコナでは平行平板電極を用い、電極間の供試虫に5～20kVの電圧を印加した。

ヒラタは矩形波、20kV、500Hzで、成虫は4日後、幼虫は5日後に死亡率100%に達した。4日間電場に曝露した玄米の発芽率・発芽勢は変化せず、高圧電極付近で水分は0.3%低下、脂肪酸度は0.4%増加した。フジコナ成虫に-20kV直流を4日間印加した時、死亡率96%を得た。また、8時間曝露ではカキの質量、色彩、硬さ、Brix値に変化はなかった。

研究成果の概要(英文)：Red flour beetle (*Tribolium castaneum*) and Japanese mealybug (*Planococcus kuraunhia*) were controlled by using high electric field. A device for red flour beetle consisted of a center bar and concentric cylinder electrodes, for Japanese mealybug parallel plate electrodes. A high voltage of 5 to 20 kV was applied to the electrodes.

A mortality rate of red flour beetle applied to 500 Hz pulsed voltage of 20 kV for 5 days reached 100%. Germination and vigor rate of brown rice set under the condition for 4 days was same to control, whereas moisture content decreased by 0.3% and fat acidity increased by 0.4% in the vicinity of center bar electrode.

The mortality rate of Japanese mealybug lied under sepal of persimmon placed on a plate electrode at -20 kV DC was 96% after 4 days voltage application. Weight, color, firmness and Brix value of persimmon fruit did not changed when it was exposed to the electric field for 8 h.

研究分野：ポストハーベスト工学

キーワード：害虫駆除 高電場 ヒラタコクヌストモドキ フジコナカイガラムシ 殺虫 忌避

1. 研究開始当初の背景

収穫後の農産物は貯穀害虫や果実に寄生し、すす病を引き起こすフジコナカイガラムシ等の害虫により品質の低下、異物の混入等の被害を受けている。カキ果実は近年タイ等の熱帯諸国に輸出が行われ、生産が全国3位の福岡県は輸出に力点を置いているが、フジコナカイガラムシの生息する果実が相手国の検疫で発見されると、そのロットの商品は全て入荷が差し止められ、返送が廃棄される。一方、貯穀害虫の駆除はモントリオール議定書で臭化メチルの使用が禁止されて以来、画期的な代替法はなく、現在は特定毒物であるリン化アルミニウム燻蒸剤(ホスフィン)が多く使用されており、人体や環境に対する毒性の影響が危惧されている。フジコナの防除法には栽培中は天敵、薬剤、性フェロモン等が用いられるものの、完全な防除は困難で、カキ果実に付着したまま農家から出荷されることが多い。JA等では、人海戦術により収穫後の果実全数をエアガンで処理し、ヘタ下に潜む害虫を高速空気流で除去しているのが現状である。一方で、傾斜電場中に置いた昆虫は低電場側へ移動するとの報告があり、この昆虫の忌避行動を利用できれば、収穫後の農産物に寄生するこれらの害虫を安全にまた廉価に、さらに労働負荷を減じ、駆除することが可能と思われる。

2. 研究の目的

収穫後の農産物に寄生する害虫を安全・安価に駆除することを目的とする。このため、対象を貯穀害虫とカキ果実に生息する害虫とし、害虫が潜伏する場に高電場を印加して、最も効果的な電場強度、電圧波形、周波数を明らかにする、実用性を検討するため、穀粒層中の貯穀害虫、カキヘタ下に潜在する害虫の死虫率を求め、電極間の電場分布を視覚化する。

3. 研究の方法

3.1 貯穀害虫の殺虫

3.1.1 供試虫

供試虫として住化テクノサービス(株)応用生物センターより購入したヒラタコクヌストモドキ(*Tribolium confusum*、以下ヒラタとする)を用いた。供試虫は25に設定したインキュベータ内の玄米または米粉を入れたガラス容器内で飼育した。成虫を供試するときは、虫齢を揃えるため、孵化した幼虫及び蛹を別容器に移し、ここで羽化したものを用いた。幼虫の場合は飼育用容器内から直接抽出して供試した。この際、供試虫の性別は区別しなかった。

3.1.2 実験装置

実験装置を図1に示す。成虫、幼虫の試験ともに同一の装置を用いた。電場処理部は、厚さ5mmの塩ビ板上に立てた直径6mm、高さ25mmの真ちゅう製中心高電圧電極と厚さ0.3mmのアルミ板製円筒状接地電極からなる。接

地電極の高さは40mm、半径は100mmで、高電圧電極と同心をなす。電源に高速高電圧アンプ(HEPOT-10B10、松定プレジジョン)を用い、ファンクションジェネレータ(eK-FGJ、松定プレジジョン)により出力電圧波形と周波数を制御した。印加電圧及び電圧波形は高電圧プローブ(P6015A、テクトロニクス)を介してオシロスコープ(TDS2024C、テクトロニクス)で観測した。

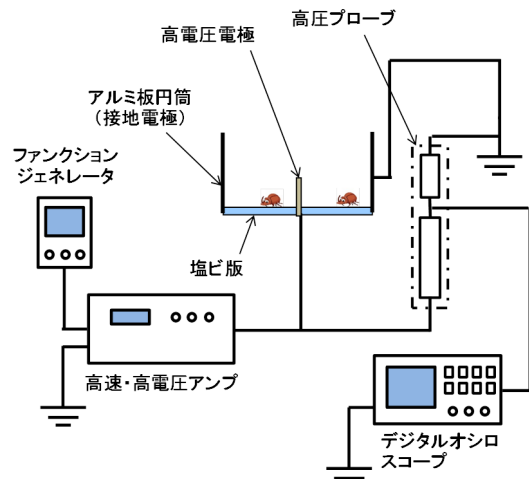


図1 ヒラタコクヌストモドキ殺虫装置

3.1.3 電場処理条件

成虫は以下の実験1~4の方法で電場に曝露し、死虫率を評価した。処理条件は表1に示す。矩形波は中心電圧0kV、デューティ比は1、三角波は中心電圧0kVである。

実験1:表1のように電圧波形、電圧、周波数、処理時間を変え、供試虫20匹を電場に曝露した。このとき、効率的に実験を行うため、オールペア法により電場処理条件を組み合わせ最小の組み合わせで、それぞれの因子の効果が明確になるように実験を組み立てた。得られた結果を分散分析し、各因子の死虫率に及ぼす影響を検討した。

実験2:実験1より得た結果を基に電場処理条件を減らし、供試虫20匹を電場に曝露した。実験2では表1に示す電圧と周波数の全水準を組み合わせ、計12回の実験を行い最も死虫率の高い電場処理条件を決定した。

実験3:長期間の電場処理がヒラタコクヌストモドキに与える影響を調べるため、実験2で得られた最も死虫率の高い電場処理条件下で供試虫100匹を10日間連続して曝露し、1日ごとに10匹抽出し、死虫数の推移を調査した。

実験4:実験3と同じ電場条件下で玄米中に生息する供試虫の曝露試験を行った。半径40mm、高さ25mmのステンレス網(線径0.2mm、目開き1.40mm、JIS #12)製円筒を作成し、中心高電圧電極と同心になるよう設置した。円筒中に供試虫20匹と玄米11gを入れ、中心電極に電圧を印加した。

幼虫では成虫の試験結果から、実験3の電場曝露条件下でのみで試験し、処理時間を2、4、8h、供試虫数を30匹とした短時間試験、135

匹を用いて4日間電場に暴露した長時間試験を行った。

表1 ヒラタ成虫の電場処理条件

	波形	電圧 (kV)	周波数 (Hz)	処理時間 (h)
実験1	矩形波	5	50	2
	正弦波交流	10	100	4
	三角波	20	500 1000	8
実験2	矩形波	5	50	4
		10	100	
		20	500 1000	
実験3	矩形波	20	500	24 ~ 240
実験4	矩形波	20	500	4

3.1.4 電場が玄米の品質に及ぼす影響

貯穀害虫を電場で駆除するためにはコメも電場に曝されることから、電場の玄米に及ぼす影響を検討した。実験装置の電場処理部に玄米 600g (約 0.75L) を充填し、矩形波、20 kV、500 Hz の電圧を中心電極に 96 h 印加した。その後、容積が等しくなるように中心電極から半径 70 mm 内とその外側の玄米 (それぞれ、玄米 A、玄米 B とする) に分け、発芽率・発芽勢、水分、アミロース・タンパク質含量及び脂肪酸度を測定し、電場処理を行わない対照区 (玄米 C) と比較した。

実験中の玄米温度は赤外放射温度計 (testo 830-T2、テストー)、室温は Thermo Recorder (TR-72U、ティアンドデイ) を用いて測定した。水分は 10g 粒 135 24hr 法で測定した。アミロース・タンパク質含量及び脂肪酸度は多機能成分食味計 (RCTA11A、サタケ) を用いて計測した。

3.1.3 死虫の定義

実験終了直後、柄付き針で刺激を与えても動かない供試虫の一部は気絶状態にあり、3 日以内に復活するものもあったため、実験終了後の供試虫をシャーレに移してインキュベータ内に 3 日間静置し、その後柄付き針で刺激を与え、反応がない場合を死虫と定義した。

3.2 収穫後果実の害虫の殺虫

3.2.1 供試虫

福岡県農林業総合試験場病害虫部で継代飼育されているフジコナカイガラムシ (*Planococcus kuraunhiae*、以下フジコナとする) を用いた。フジコナの卵塊は黒川カボチャ果実に接種し、24 日に設定したインキュベータ内で孵化、飼育した。フジコナが寄生するカボチャ果実片をカキ果実 (富有) のヘタの上に乗せ、三日間インキュベータ内に静置し、フジコナをカキ果実に寄生させ、実験に供試した。フジコナの場合、強制的にカキに寄生させることが困難で、自然にカボチャからカキへ移動するのを待って実験を行うため、供試虫数は一定せず、試験終了時

に全数を測定している。

3.2.2 実験装置

電場処理部は平行平板電極で構成し、カキ果実を電極間に静置しやすい構造とした。初期はステンレス製の 2 枚の平皿 (162 mm × 14 mm) を電極として用い、底を対面させて平行かつ水平に配置し、間げきに長さ 100mm の透明塩ビ管を置いて固定した (電極間距離は 86mm)。これを電極 A とする。フジコナを寄生させたカキ果実 1 個を下部電極上にヘタを下向きにして置き、電圧を印加した。また、研究の終期には一度に 6 個のカキを処理できるように、300 mm × 400 mm のアルミ板を同様に平行かつ水平に配置して実験を行った (電極間距離は 100mm)。これを電極 B とする。

電源には直流高電圧電源 (AKTB-020K2PN/S1、東和計測) を用い、下部電極を高電圧電源に接続し、上部の電極を接地した。印加電圧は ±5、±10、±20 kV、印加時間は 2、4、8 h とした。

死虫の定義はヒラタと同様である。

3.2.3 電場がカキの品質に及ぼす影響

カキ果実を赤道面に対して垂直に 2 分割し、一方は処理区として電場に暴露し、他方は無印加の対照区とした。カキ果実半球を電極 A 上に置き、電圧 ±20 kV、8 h 印加し、処理後のカキの品質評価を行った。評価項目は、質量、色彩、硬さ、Brix 値とした。

3.3 電場強度のシミュレーション

死虫率は電場強度に依存すると考えられるが、カキ果実が電場内にあるような複雑な条件下で電場強度を測定することは非常に困難なことから、フジコナ用電極 A を用いた場合の電場強度をシミュレーションによって予測した。計算には市販のソフトウェア COMSOL Multiphysics 5.2a を用いた。実際の電極はステンレスにより製作されているが、合金比率が不明なことから物性値が得られず、アルミの物性で代用した。

4. 研究成果

4.1 貯穀害虫の殺虫

4.1.1 成虫の殺虫

実験 1 で波形、電圧、周波数を変化させてヒラタ成虫の電場暴露試験を行った結果、図 2 に示すように、矩形波を印加したときの死虫率が他の波形に比べ、5 %水準で有意に高くなった。これらの波形の実効値は矩形波 1、正弦波 0.71、三角波 0.58 の比率になるため、エネルギーの大きさの違いが一因と思われる電圧は 20 kV、周波数は 1000 Hz、印加時間は 8 h が死虫率は最大となったが、有意差はないため、実験 2 では波形を矩形波、印加時間を 4 h に固定して、電圧と周波数の影響を詳細に調査した。

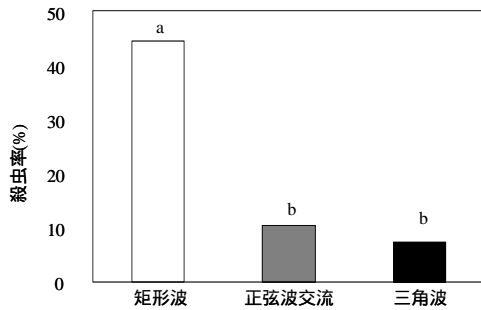


図2 電圧波形によるヒラタ成虫の死虫率の相違(実験1) 異なる英字を付した平均値間に5%水準で有意差有り

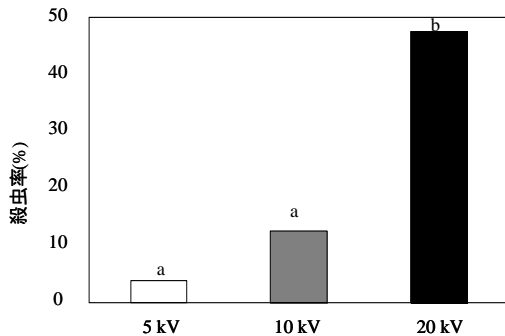


図3 印加電圧によるヒラタ成虫の死虫率の相違(実験2) 異なる英字を付した平均値間に5%水準で有意差有り

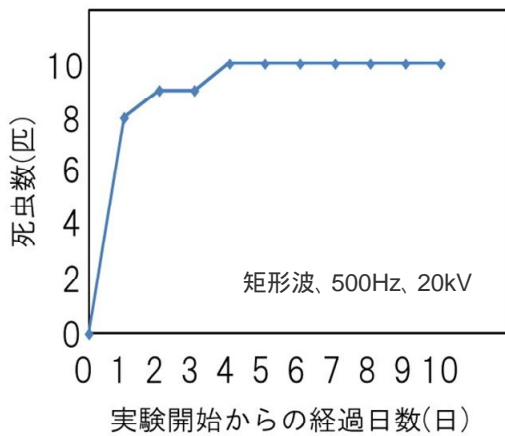


図4 長時間電場に暴露した時の暴露した時のヒラタ成虫の死虫数の変化(実験3)

実験2において印加電圧を変化させたときの死虫率は図3に示すように20 kVで高く、他の電圧印加時と比べ5%水準で有意であった。周波数は、有意差はないものの500 Hzの時が最大となるため、実験3、4では矩形波、20 kV、500 Hzの電場処理条件で試験を行った。

図4に上記条件でヒラタを長時間電場に暴露した結果(実験3)を示す。実験開始から1日経過後、100匹の供試虫から無作為に抽出した10匹のうち8匹は死亡した。2日及び3日経過後の死虫数は9匹で、4日目以降は全ての供試虫は死亡した。これにより、矩形波、20 kV、500 Hzの印加電圧では、供試虫

100匹を全て殺虫するのに4日間(96 h)が必要である。玄米は長期貯蔵を行うため、長時間電場に暴露する事は容易であり、処理時間をさらに長くすることで、低電圧においても十分な殺虫が可能と思われ、消費エネルギーを低減するとともに、電場処理の安全性が高まることが期待できる。

実験4で玄米中にヒラタが混在した状態で玄米ごとヒラタを電場(矩形波、20 kV、500 Hz、4 h)に暴露した結果、死虫率は供試虫単独での暴露時の76%に比べ、23%に低下した。

4.1.2 幼虫の殺虫

図5にヒラタ幼虫の短時間暴露時の死虫率を示す。20 kV、1000 Hzの矩形波に暴露したとき、幼虫の死虫率は4 hで56%、8 hで67%程度となり、成虫では同じ電場条件の4 h暴露で75%になることから、幼虫の殺虫の方が困難であるものと思われる。また、8 h後の幼虫の電場内での存在位置と死亡率を中心電極から半径30 mm以内、30~60 mm、60~100 mmに分けて調査すると、存在割合はそれぞれ、62.7、12.0、25.3%、死亡率はそれぞれ、96.3、0、23.1%であった。電場内では物体は分極し、不平等電場中では電場強度の大きい方に大きなクーロン力が働く(グレーディエント力)ことから、ヒラタも徐々に中心電極側へ引き寄せられているのではないかとと思われる。

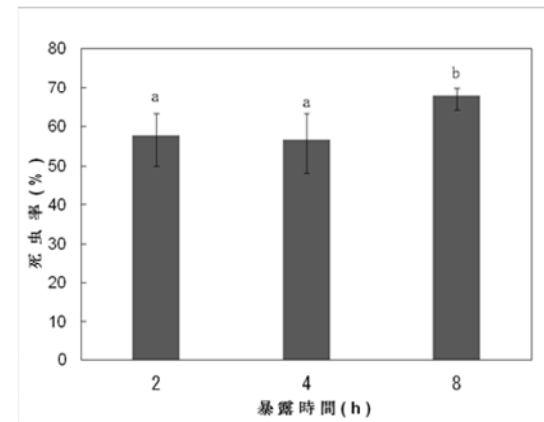


図5 電場暴露時間によるヒラタ幼虫の死虫率の相違 異なる英字を付した平均値間に5%水準で有意差有り

また、成虫でもみられたが、中心電極に接した虫が数珠状につながるパールチェーン現象が見られ、電極に接した虫が電撃で死亡していることが推察される。また、接地電極側では電極付近の底面(塩化ビニル)に引き寄せられる現象が見られた。これから、電場内のヒラタは分極するだけでなく、帯電している可能性があり、接地電極に接触する際に放電して死亡していることが考えられる。

幼虫の長時間暴露では成虫と同様に暴露時間の増加に伴い、死虫数が増え、135匹全数が死亡するのに5日(120 h)を要した。この試験でも同様に成虫に比べ、幼虫の殺虫には長時間を要することが、明確となった。

4.1.3 電場が玄米の品質に及ぼす影響

中心高電圧電極から離れた位置の玄米 B と電場処理を行わない玄米 C は 48 h の間、ほぼ室温の 13 で変化はないが、高電圧電極付近の玄米 A は 2 h 後に 25 に上昇し、その後漸減して 48 h 後には 18 程度になった。

玄米 A、B、C の品質の違いを表 2 に示す。発芽率、発芽勢は玄米 A、B、C とほとんど変わらず、水分は玄米 A がわずかに下回った。玄米 A の水分の低下は温度の上昇によるものと思われるが、96 h 程度の電場暴露では大きな差はなく、発芽率にも影響はないことが明らかとなった。

また、アミロース、タンパク質の値は電場の暴露の有無、電場暴露位置にかかわらず、全く変わらなかった。脂肪酸度は水分と同様に玄米 A が若干高かった。これも水分の減少と同様に、中心付近の温度上昇によるものと考えられるが、その差は小さく、電場処理を行った玄米は、電場暴露を行っていない玄米と比べて品質はほとんど低下しないと言えるが、殺虫のためにさらに長時間の暴露が必要な場合は注意を要する。

表 2 玄米の品質

	玄米 A	玄米 B	玄米 C
発芽勢 (%)	5.5	5.1	5.7
発芽率 (%)	8.5	8.3	8.4
水分 (%)	13.1	13.5	13.4
アミロース (%)	19.2	19.2	19.2
タンパク質 (%)	6.1	6.1	6.1
脂肪酸度 (mg / 100g)	15.6	15.3	15.2

4.2 収穫後果実害虫の殺虫

4.2.1 フジコナの死虫率

電極 A を用い、 ± 5 、 ± 10 、 ± 20 kV の直流電圧を印加したときのフジコナの死虫率 (2016 年度の研究) を図 6 に示す。電圧の正負に関しては明確な傾向が見られず、印加時間を長くすれば、また、電圧を高くすれば死虫率は増加する傾向がみられた。ここでは -20 kV、8 h の処理により死虫率は 100 % に達したが、2017 年度の確認試験 (電極 B) では同様の条件で死虫率が 33 % にしかならず、96 h 処理でも死虫率は 90 % であった。フジコナの試験では直接供試虫を電場に暴露せず、カキのヘタに潜んだフジコナをカキごと処理していること、また、虫齢を揃えることができないことなどが、結果のばらつきの原因となっているものと考えられる。

4.2.2 電場がカキの品質に及ぼす影響

電極 A に ± 20 kV の直流電圧を 8 h 印加し、カキ果実を電場に暴露し、品質変化を調査した結果、質量変化、色彩、硬さ、Brix 値に大きな変化はみられなかった。

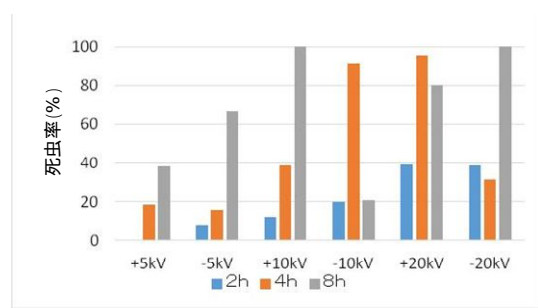


図 6 フジコナの死虫率

4.3 電場強度のシミュレーション

電極 A の間にカキ果実を置き、電圧を +10 kV 印加したときの z 軸方向の電場強度分布の計算値を図 7 に示す。電場は高電圧電極 (下側) の縁部で非常に高く、それ以外はカキ果実上部が高い結果となった。このことから、フジコナがヘタ内に潜むことを考えれば、ヘタを上向きに置く方がフジコナは強い電場に暴露されると思われるが、電極 B を用い交互にヘタを上下にして配置した試験を行ったが、死虫率に明確な差は見られなかった。

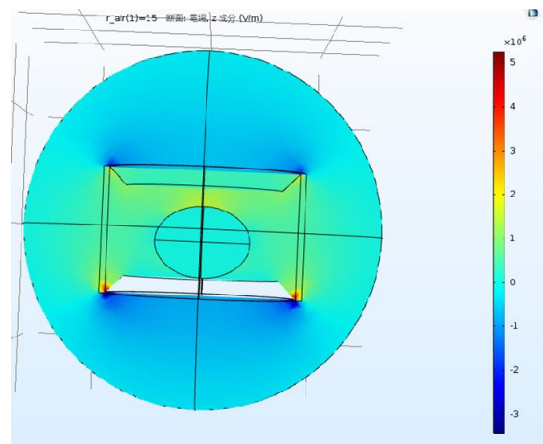


図 7 カキ果実を電極間に置いた場合の Z 軸方向電場強度の分布

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 2 件)

内野敏剛、農業における高電圧・プラズマ利用のこれまで、第 78 回応用物理学会秋季講演会、2017.

中島卓哉、木村大、田中史彦、内野敏剛、貯穀害虫の電場殺虫と形成電場シミュレーション、農業食料工学会第 76 回年次大会、2017.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等
なし

6．研究組織

(1)研究代表者

内野 敏剛 (UCHINO, Toshitaka)
九州大学・大学院農学研究院・教授
研究者番号：70134393

(2)研究分担者

田中 史彦 (TANAKA, Fumihiko)
九州大学・大学院農学研究院・准教授
研究者番号：30284912

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

塚崎守啓 (TSUKAZAKI, Morihiro)