

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：17201

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24656191

研究課題名(和文)パルス高電圧印加による温帯果樹の生育制御に関する基礎的研究

研究課題名(英文)Fundamental Research on Control of temperate fruit trees growth using Pulsed High Voltage Application

研究代表者

猪原 哲(Satoshi, Ihara)

佐賀大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：90260728

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円、(間接経費) 810,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、モモの枝に高電圧パルスを印加し、生育の効果を実験的に調べた。モモ枝の長さは70mm、電圧値は5～30kVまで変化させ、パルス電圧のパルス幅は500ns一定とした。7月から翌年1月までの期間でモモ枝に高電圧パルスを印加し、栽培の期間において発芽の様子を観察することによって電圧印加の効果を調べた。モモ枝への投入エネルギーは約5～10mJ程度であり、2Hzの周波数で印加した。その結果、休眠期間においては、印加により発芽率は下がる傾向にあることが分かった。

研究成果の概要(英文)：In this research the effects of high voltage applications on growth of peach was investigated experimentally. The length of peach branch was 70 mm, the peak value of applied voltage was range from 5 to 30 kV, and pulse width was 500 ns constant. At this condition deposited energy to branch was range from 5 to 10 mJ. Specimens of branch were cultivated on water vessel from July to January of next year. During the cultivation germination ratio was observed. From this experiments germination ratio with high voltage application was decreased rather than without application.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：パルス高電圧 パルスパワー 温帯果樹 生育制御 休眠打破 気候変動 発芽 モモ

1. 研究開始当初の背景

図1は、福岡、熊本および鹿児島各地方の気温の日平均の年ごとの変化を示している。このデータによると、3つのいずれの地域においても、1900年から2000年までの100年間で約2°C程の平均気温の上昇が観測されていることが分かる⁽¹⁾。また、「気候変動に関する政府間パネル (IPCC)」の報告書においても、地球規模での気温の上昇が報告されている。このような気温の上昇は農作物の生育に影響を与えている。

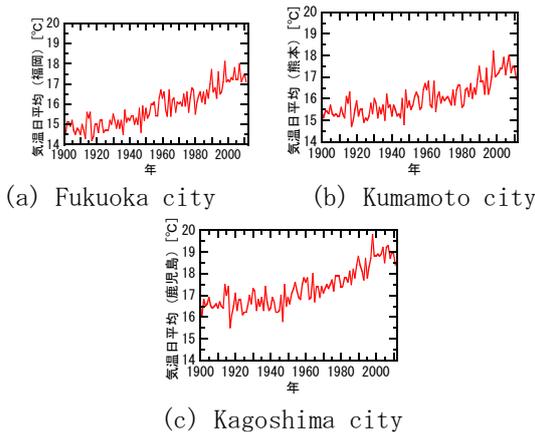


Fig. 1. Annual changes of mean daily air temperature at Fukuoka, Kumamoto and Kagoshima city.

農業は気象状況の影響を強く受ける産業であることは周知のとおりであるが、特に果樹はその影響を最も強く受ける作物の一つである。水稲や野菜などの一年生作物であれば、もし気温の上昇があったとしても、作期を調節するという対策をとることができる。一方、果樹は永年性作物であるため、このような対策をとることができず、一年中気温の変動を受け続けることになる⁽²⁾。特に休眠と覚醒は気温とその期間によって決まるため、開花や結実に直接影響を与える。表1は、各種果樹について、栽培に適する自然条件についてまとめたものである⁽³⁾。例えば、モモの場合は、年平均気温が9°C以上、4月1日～10月31日の間の平均気温が15°C以上という条件が栽培に適するとされている。

休眠とは、植物が冬の過酷な環境条件に安全に耐えていくための環境適応現象である。休眠期間中は、たとえ萌芽に適した条件が整っても萌芽しないか、萌芽するまでに長い日数を必要とする。このような休眠を「自発休眠」という。自発休眠を完了するためにはある一定の期間低温に遭遇する必要がある。これを低温要求という。図2は主な果樹の低温要求量を示している⁽³⁾。低温要求量とは、自発的休眠を完了させるのに必要な総時間数である。経験的に7.2°Cを基準としており、休眠を打破するために必要な7.2°C以下の時間数を積算して低温要求量としている。温帯果樹が休眠から覚醒するためには、気象条件がこの低温要求量を満たす必要がある。

各都道府県の農業関連研究機関を対象に、いわゆる温暖化の影響およびその対策についてのアンケート調査が実施された⁽²⁾。その結果を参考文献(2)から引用したものが図2である。この結果によれば、果樹については、全47都道府県から何らかの影響が報告されている。その影響として発芽不良がある。これは、気温が高いために低温期間が不足し、休眠からの覚醒が遅れるために起こる。ハウスニホンナシは「眠り症」と呼ばれる開花不良が起きる。また、果実の着色不良も起きる。

表1. 栽培に適する自然条件に関する基準 (農水省, 1986)

※表の基準は一般に普及している品種及び栽培方法によるものである。

区分	平均気温		降水量
	年	4月1日～10月31日	
果樹の種類			
カンキツ類	15°C以上		
リンゴ	6°C以上 14°C以下	13°C以上 21°C以下	1300mm以下
ブドウ	7°C以上	14°C以上	1600mm以下 (ヨーロッパ種: 1200mm以下)
ナシ	7°C以上	13°C以上	二十一世紀については 1200mm以下
モモ	9°C以上	15°C以上	1300mm以下
オウトウ	7°C以上 14°C以下	14°C以上 21°C以下	1300mm以下
ビワ	15°C以上		
カキ	甘ガキ: 13°C以上 渋ガキ: 10°C以上	19°C以上 16°C以上	
クリ	7°C以上		
ウメ	7°C以上		
スモモ	7°C以上		
キウイフルーツ	13°C以上	19°C以上	
パイナップル	20°C以上		

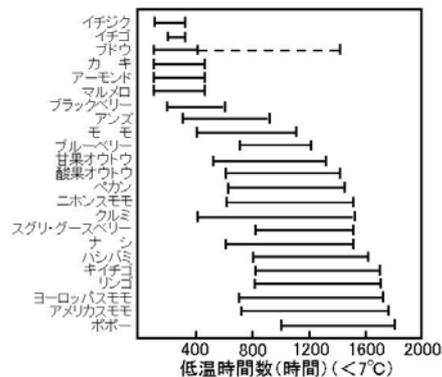


Fig. 2. Chilling requirement on various fruit trees.

温暖化の影響に対する対応策が取られている。加温施設における発芽・開花不良に対しては、温度観測によって低温要求量を満たしたことを確認した後に加温を開始するという方法が取られる⁽²⁾。果樹の着色不良に対し

では、着色のよい品種や系統、着色時期が早い品種の導入が取られている。

休眠は、永年性作物のライフサイクルの中でも重要な生理現象の一つである。気候変動によって気温の上昇が起きると、休眠の覚醒が正常に行われず、最終的には開花や結実に影響がでるのは先述のとおりである。このような状況を踏まえ、休眠の現象を遺伝子・分子レベルで解明することによって、気候変動に対応できる生産体系を構築しようとする試みがなされている。例えば、H. Yamane らは、モモの休眠を制御する遺伝子として、*PmDAM6* (*Prunus mume* DORMANCY ASSOCIATED MADS-box 6) の発現に着目し、自発的休眠の期間においては *PmDAM6* 発現が高く、覚醒するにしたがって発現が抑制されることを明らかにした⁽⁴⁾。また、我が国で発見された花芽誘導物質「KODA」を自発的休眠打破剤として利用する試みもなされている⁽⁵⁾。このような研究の成果は、休眠が浅い温帯果樹の育種の開発や、休眠打破の人為的制御による新しい生産技術の開発にとって重要なものになる。

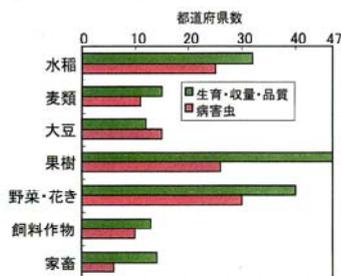


Fig. 2. Number of prefectures at which influence from the global warming to agricultural production was found.

一般に、なんらかの刺激を与えると休眠が打破されることが知られている。たとえば、ブドウに対しては、0°Cの低温及び50°Cの高温処理、エチレン浸漬処理、アブシジン酸 (ABA) 処理によって休眠打破可能である⁽⁶⁾。さらに、電気刺激によって、ブドウ“巨峰”の幼木の休眠打破を実証した報告例がある⁽⁷⁾。通常、休眠が破れて萌芽が始まるのに約40日程度かかるが、60Vの直流電圧を印加し、24時間通電しつづけた場合は、約10日前後で萌芽が始まるという結果が得られている⁽⁶⁾。電気刺激による休眠打破のメカニズムについては解明されていないが、推測として、植物の組織・器官内の植物ホルモンや酵素の移動及び活性化と、電気刺激による組織の障害に起因するエチレン生成が挙げられている。

2. 研究の目的

本研究では、気候変動に対応して人為的な休眠打破を含めて、温帯果樹の生育制御技術として、パルスパワー技術を適用することを検討している。本研究では、温帯果樹として桃を選択し、パルスパワーが休眠打破や生育

に与える効果を実験的に調べることを目的としている。モモを選択した理由は、全ゲノム情報が公開されているため、パルスパワー印加の効果が遺伝子レベルで検証できるという点と、果樹として市場性が高いことである。本研究は平成23年度に休眠打破の予備的実験に着手し、平成24年度には、モモが深い自発的休眠状態になる期間(10月~12月)を中心にして、パルスパワー印加効果を時期を変えて実験的に調べた。本発表では、その実験結果と今後の計画等について報告する。

3. 研究の方法

〈3・1〉 実験試料 本研究では、実験試料としてモモ (*Prunus Persica*, 品種: 清水白桃) を用いた。モモの原生地は、中国の黄河上流の高原地帯であるとされている。ここを起点にして伝搬する過程で、東洋系モモと欧州系モモに分化した。我が国では、明治以降に導入された上海水蜜桃系やヨーロッパ品種との交雑実生から、我が国独特の白肉種の品種が育成され、現在では多くの品種群がある。

図1は実験で用いたモモ枝の写真である。枝の葉を除去して枝のみの状態にした後、その枝を7cmの長さに切断して枝試料とした。



Fig. 1. Specimens for experiments.

〈3・2〉 電源、電極構造および印加条件 電源として、キャパシタとパルストランスを用いたパルスパワー電源を用いた。枝試料に電圧を印加するための電極構造を図2に示す。電極は直径3mmのステンレス製である。この電極の一端は円形になっている。この電極がアクリルパイプに挿入されている。さらに枝試料をアクリルパイプに挿入し、電極を枝試料の端面に接触させた。印加電圧は5, 10, 15, 20 kVの4条件とした。枝試料は、各印加電圧ごとに10本用いた。

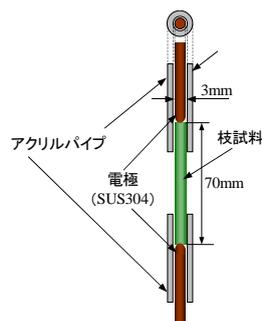


Fig. 2. Configuration of electrodes.

〈3・3〉 栽培方法および腋芽発芽率の評価方法 パルスパワー印加およびコントロール（パルスパワー印加なし）の枝試料を図3に示すような方法で栽培した。養液（パイル工業（株）製）が入ったプラスチック容器の上に、多数の穴をあけた発泡スチロール板を置く。枝試料をその穴に挿入し、枝の一端を養液に浸した。図4に枝試料の「腋芽」の萌芽の様子を示す。図中の円内が萌芽した腋芽を示している。このように、葉を取り除いた箇所から腋芽の伸長が数 mm 確認できた時点で「発芽」と判断した。

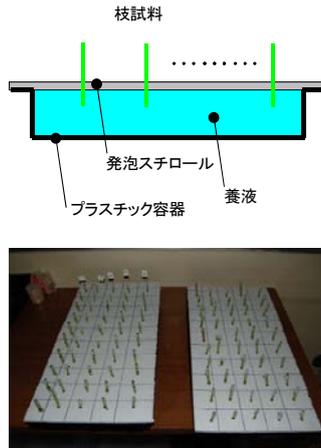


Fig. 3. Cultivation of specimens.

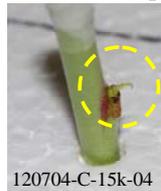
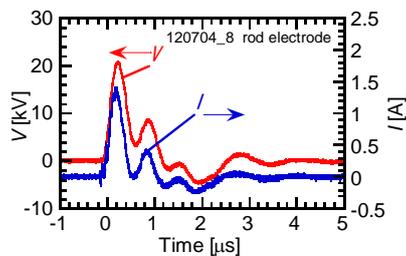


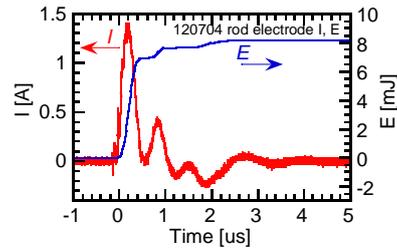
Fig. 4. Germination of specimen.

4. 研究成果

図5(a)は、ピーク電圧が20kVの場合の典型的な印加電圧と放電電流の波形を示している。電圧波形は、振動が見られるが、パルス幅（半値全幅：FWHM）は約500 nsである。一方、電流の最大値は約1.3 Aである。電圧と電流の波形の形と位相関係をみると、若干進み電流が流れているがほぼ同形で同位相である。このことから、枝試料は回路的には抵抗成分が支配的であると言える。



(a) Typical voltage and current waveforms



(b) Typical current and deposited energy waveform

Fig. 5. Typical voltage, current and energy waveforms.

同図(b)には、印加電圧波形（同図(a)と同一波形）と、枝試料への投入エネルギー波形を示している。このショットでは、約8 mJのエネルギーが投入されたことが分かる。

図6に、印加電圧のピーク値に対する枝試料への投入エネルギーの特性を示す。印加電圧のピーク値の増加によって投入エネルギーは増加し、20 kVのときに約10 mJのエネルギーが枝試料に投入された。

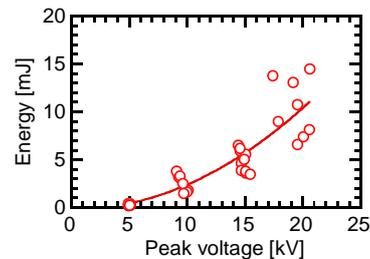


Fig. 6. Characteristics of energy on peak voltage.

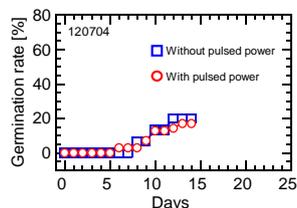
図7(a)~(h)に、パルスパワーを印加した場合としない場合（コントロール）の枝試料の発芽率の変化を示す。縦軸は発芽率であり、横軸はパルスパワー印加後からの経過日数（栽培日数）である。実験では、4条件の印加電圧で実験を行ったが、すべての条件をまとめてパルスパワー印加のデータとして処理した。同図(a)~(h)は、パルスパワーを印加した時期が違い、2012年7月4日から翌年1月10日までの間に8回の印加実験を行った。印加した後はその日のうちに栽培を開始した。(a)~(d)は休眠前、(e)~(h)は最も深い休眠を経て覚醒が始まった時期に該当する。

図7(a)~(d)については、コントロールについては、栽培開始後5~10日後から発芽が始まり、10日後ぐらいから急速に発芽率が高くなった。この傾向は一般的な腋芽の傾向に沿っている。一方、パルスパワー印加の場合については、(a)では、コントロールとほぼ等しい発芽率で推移しているが、印加時期が7月下旬、8月上旬になるにしたがって発芽率が相対的に減少していくことが分かった。

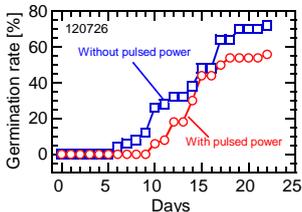
図7(e)~(h)Iに見てみると、(e)においてほとんど発芽が観測されなかったのは、最も深

い休眠に入ったためであると考えられる。(f)ではコントロールでほぼ70%の発芽率が得られており、休眠からの覚醒が確認できる。パルスパワー印加のデータを見てみると、(f)においてはコントロールよりも低い発芽率になっているが、(g)、(h)になるとほぼコントロールと同程度の発芽率になっている。

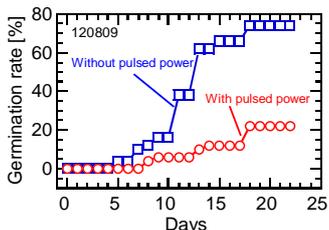
上記の結果を総合的に見てみると、休眠が深くなっていくと((a)→(d)), パルスパワー印加とコントロールとの間の差は大きくなり、逆に休眠から覚醒していくと((e)→(h)), パルスパワー印加とコントロールとの間の差は小さくなっていく傾向がある。このような結果になった原因については検討が必要であるが、一因として、パルスパワー印加によって、遺伝子レベルで発芽に適さない条件下にあると判断されたために発芽が抑制された可能性が考えられる。ただし、パルスパワー印加が自発的休眠を深めたのか、あるいは単に刺激を与えただけなのか、ということについては検討が必要である。



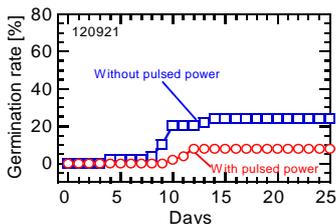
(a) 2012年7月4日栽培開始



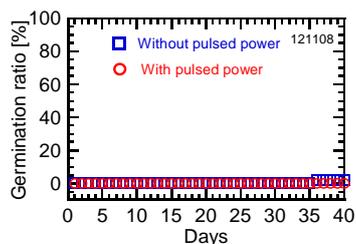
(b) 2012年7月26日栽培開始



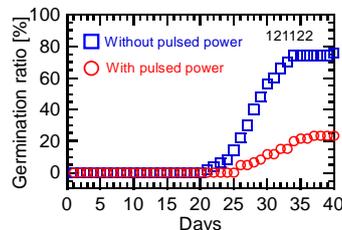
(c) 2012年8月9日栽培開始



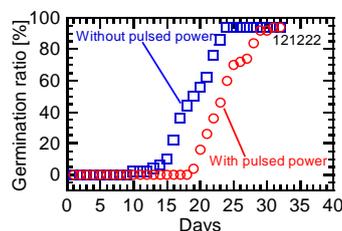
(d) 2012年9月21日栽培開始



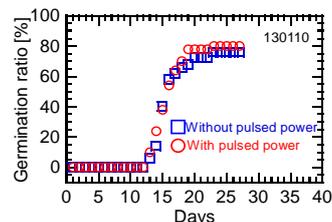
(e) 2012年11月8日栽培開始



(f) 2012年11月22日栽培開始



(g) 2012年12月22日栽培開始



(h) 2013年1月10日栽培開始

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計1件)

猪原哲, 大江和也:「温帯果樹の生育におけるパルスパワー印加効果」, 電気学会パルスパワー研究会資料, PPT-13-62, pp.15-20 (2013年8月8日計算科学振興財団にて発表)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

猪原 哲 (IHARA SATOSHI)
佐賀大学・工学系研究科・准教授
研究者番号: 90260728

(2) 研究分担者

寺東 宏明 (TERATO HIROAKI)
佐賀大学・総合分析実験センター・准教授
研究者番号: 00243543

山根 久代 (YAMANE HISAYO)
京都大学・農学研究科・講師

研究者番号：80335306