

令和 2 年 7 月 13 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06305

研究課題名(和文)パルス高電圧印加を利用した温帯果樹の休眠打破技術の構築

研究課題名(英文) Development of dormancy breaking technology for temperate fruit tree with pulsed high voltage application

研究代表者

猪原 哲 (Ihara, Satoshi)

佐賀大学・理工学部・准教授

研究者番号：90260728

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：気候変動による気温上昇は農作物に影響を与え、特に温帯果樹への影響が大きい。温帯果樹は生育サイクルの中で休眠を行うが、休眠覚醒は気温上昇に著しい影響を受ける。休眠覚醒が十分でないで開花・結実不良などにより収穫量の減少につながる。シアナミド剤が休眠打破剤として使われているが効果は十分でない。本研究は、温帯果樹の休眠打破技術開発のための基礎的研究である。モモを実験試料として選択し、パルスパワー印加による発芽率の変化と植物ホルモンの定量分析を行った。その結果、パルスパワー印加によってアブシジン酸濃度に変化が見られ、パルスパワー印加が休眠覚醒における生理的作用に寄与していることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

昨今の気温上昇は地球規模で農作物の生産に影響を与えており、その対策のための技術開発が求められている。本研究課題は、電気工学を基礎としたパルスパワー技術を温帯果樹の休眠打破に利用するための基礎的研究である。休眠打破に電気工学的手法を用いた例があるが、それが実際の生産に使われた例はなく基礎研究の域を脱しておらず、その打破効果のメカニズムは全く解明されていない。本研究は、モモに対して電気工学的手法を適用して休眠打破効果を実証し、生理的作用に寄与している可能性を示唆した初めての研究である。

研究成果の概要(英文)：The rise in temperature due to climate change has an effect on agricultural products, especially on temperate fruit trees. Temperate fruit trees dormant during the growth cycle, but dormancy awakening is significantly affected by temperature rise. If dormancy and awakening are not sufficient, the yield will be reduced due to flowering and poor fruiting. Cyanamide is used as a dormant breaker, but its effect is not sufficient. This study is a basic study for the development of a technique for breaking dormancy of temperate fruit trees. Peach was selected as an experimental sample, and changes in germination rate by applying pulse power and quantitative analysis of plant hormones were performed. As a result, it was found that the abscisic acid concentration was changed by the application of pulse power, and it was clarified that the application of pulse power contributed to the physiological action in dormancy and arousal.

研究分野：電気電子工学，高電圧パルスパワー工学

キーワード：温帯果樹 モモ 気候変動 休眠打破 パルスパワー パルス高電圧

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

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1つである。水稻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。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。例えば、モモの場合は、年平均気温が9℃以上、4月1日～10月31日の間の平均気温が15℃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1は主な果樹の低温要求量を示している。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℃を基準としており、休眠を打破するために必要な7.2℃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。

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

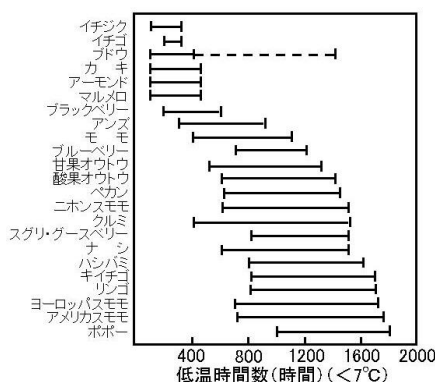


Fig. 1. Chilling requirement on various fruit trees.

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。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。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。

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℃の低温及び50℃の高温処理、エチレン浸漬処理、アブジジン酸 (ABA) 処理に

よって休眠打破可能である。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。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。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の実験に着手し、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。平成 29 年から開始された本課題では、それらの実験結果を踏まえて、休眠打破効果のメカニズムを検討するために、過去のデータの解析と植物ホルモンの定量分析を実験を行った。

## 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 2 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 7 cm の長さに切断して枝試料とした。

**〈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。図 3 は、実験装置の等価回路を示す。枝試料に電圧を印加するための電極構造を図 4 に示す。電極は直径 3 mm 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。この電極はスプリングによって枝試料の端面に圧着された。印加電圧のピーク値は 25 kV 一定とし、印加回数を変化させることによって枝試料への投入エネルギー密度 (J/kg) を変化させた。枝試料は、各印加回数ごとに 10 本用いた。



Fig. 2. Specimens for experiments.

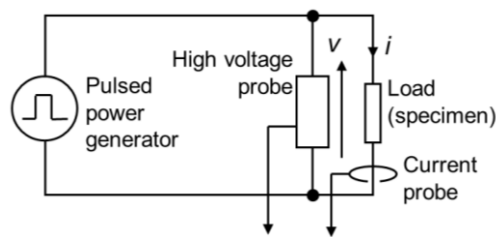


Fig. 3. Equivalent circuit of the pulsed-power generator.

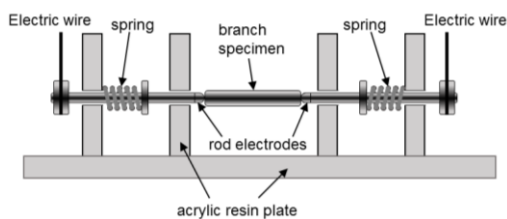


Fig. 4. Configuration of electrodes.

**〈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 5 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 6 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。

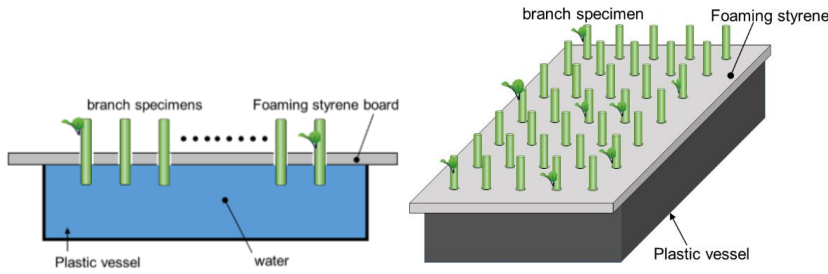


Fig. 5. Cultivation of specimens.

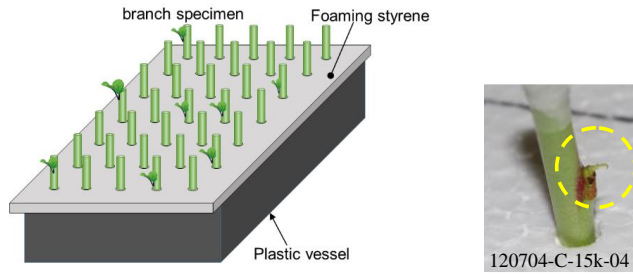


Fig. 6. Germination of specimen.

#### 4. 研究成果

本実験では、印加電圧のピーク値は  $25\text{kV}$  一定、パルス幅（半値全幅：FWHM）は約  $500\text{ ns}$  とした。図 7(a),(b)は、2015 年に実施した実験結果を解析した結果である。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、横軸は枝試料に投入されたエネルギー密度 ( $\text{J/kg}$ ) を示す。投入エネルギーも密度がゼロはコントロールを示している。同図(a)には 3つの印加日（2015年9月18日、10月8日、10月21日）の枝試料について、同図(b)は 4つの印加日（2015年11月13日、11月27日、12月17日、2016年1月15日）の枝試料について示されている。印加した後はその日のうちに栽培を開始した。

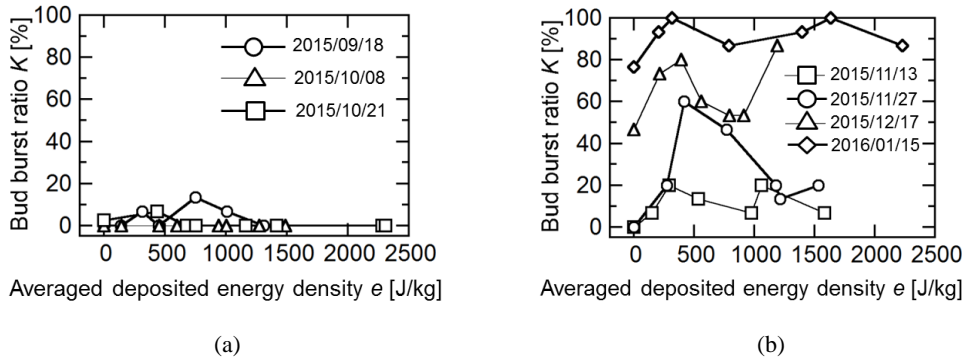


Fig. 7. Typical voltage, current and energy waveforms.

図 7 の結果から、9 月と 10 月はコントロールと印加ともに発芽率は非常に低く、パルスパワーの印加の効果は小さいと思われる。一方、11 月では印加効果が明確に表れており、特に 11 月 27 日のデータでは、投入エネルギー密度がゼロ（コントロール）のとき発芽率は  $0\%$  であるが、約  $400\text{ J/kg}$  で最大値  $60\%$  を示している。また、11 月 13 日、12 月 17 日、1 月 15 日のデータにおいても、ほぼ同じエネルギー密度で発芽率がピークを取っている傾向がみられていることから、このエネルギー密度は特徴的な値であることが分かった。

図 8 は、枝試料の葉芽から抽出されたアブシジン酸 (ABA) 濃度の変化を示している。横軸は印加日からの経過日数を示している。ABA は休眠において重要な物質であり、蓄積された ABA は休眠覚醒にしたがって減少することが分かっている。同図(a)は、2019 年 11 月 14 日に印加した枝試料、同図(b)は、2019 年 11 月 28 日に印加した枝試料についてのデータである。同図(a)をみると、印加とコントロールともに日数の経過に対して減少しているが、濃度に明らかな差異が現れており、印加の方が減少量が大きい。一方、同図(b)では印加とコントロールで ABA 濃度にほとんど差異がみられない。これらの結果から、パルスパワー印加はアブシジン酸の分泌作用に影響を与え、その効果は休眠期の終わりに近づくほど小さくなることを示唆していると考えられる。

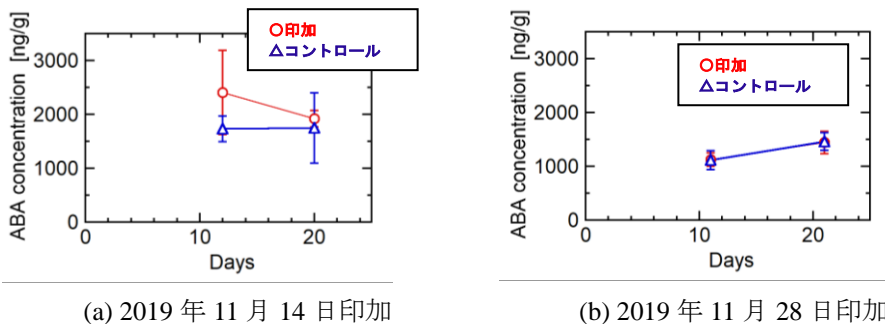


Fig. 8. Changes of ABA concentration.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	寺東 宏明  (TERATO HIROAKI)  (00243543)	岡山大学・自然生命科学研究支援センター・教授    (15301)	
研究分担者	山根 久代  (YAMANE HISAYO)  (80335306)	京都大学・農学研究科・准教授    (14301)	