

令和元年5月30日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K07304

研究課題名(和文) 光照射が果樹の自発休眠に及ぼす影響の解明とその利用による発芽不良対策技術の確立

研究課題名(英文) Effects of light irradiation on the dormancy progression of deciduous fruit tree species, and development of a technique with light to alleviate flowering disorder

研究代表者

伊東 明子 (ITO, Akiko)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・果樹茶業研究部門・上級研究員

研究者番号：30355383

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：気候温暖化で発生が増加している落葉樹の発芽不良対策のため、光利用の可能性を検討した。ニホンナシを対象に、3カ年にわたり、秋の休眠導入期から開花期にかけて青色光、赤色光、遠赤色光をLED光源により夜間連続照射し、花芽の休眠や開花に及ぼす影響を検討したところ、露地栽培樹に対し自発休眠覚醒期まで1または5 $\mu\text{mol}/\text{s}/\text{m}^2$ で赤色光を照射すると葉原基を含む花芽の割合が増加する傾向を認めたが、検討の範囲ではそれ以上の効果は認められなかった。また光照射期間中の遺伝子発現解析の結果から、光処理により休眠の促進や開花の抑制などが起こるが、光の質や強度によりその機作が異なることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

低温で誘導されると考えられていたバラ科果樹のナシの休眠について、光照射の影響とその機構が明らかになれば、世界初の重要な研究成果となると考えられる。またバラ科果樹は世界の果樹産業において重要な位置を占めており、これらの開花が光照射により制御できれば、温暖化に直面する世界の果樹栽培に革新的な技術シーズを提供できる。さらにLED光源は、長寿命・省エネルギーの特性のため、世界的にその技術向上や利用方策が模索されている状況にある。LED光源を利用した農業技術のシーズが提供できれば、農業利用に適した特性を持つ光源の開発に拍車がかかり、幅広い農業分野に効果が波及することも期待できる。

研究成果の概要(英文)：Under a recent global warming condition, development of new techniques to improve flowering of deciduous fruit tree species is urgently required. For this reason, we tested the effects of different light quality (wavelength) on dormancy progression and flowering in Japanese pear (*Pyrus pyrifolia*). We treated potted Japanese pear trees with the red, far-red, and blue light with LEDs daily between sunset and sunrise for the successive three years. Resultantly, we found red light irradiation at 1 or 5  $\mu\text{mol}/\text{s}/\text{m}^2$  increased the ratio of flower bud that contains vegetative primordia, however, they it did not provide any other positive effects on flowering and dormancy. In addition, no other wavelength improved/accelerated flowering. Expression analyses of dormancy- and flowering- relating genes showed that these light treatments retard flower growth either by deepening dormancy or by inhibiting flowering ability, with the different mechanisms depending on each wavelength.

研究分野：園芸

キーワード：光 ニホンナシ 休眠 LED

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

落葉果樹においては、夏に形成された芽は、発育を停止し呼吸などの代謝活性を極端に抑えた「自発休眠」と呼ばれる状態で越冬する。休眠は永年性植物の冬季の生存をかけた重要な生理現象であり、植物は自発休眠の導入と軌を一にして、冬の寒さに耐え得るよう細胞膜脂質の組成や細胞質の内容成分を変化させ、環境耐性を高めてゆく。

近年落葉果樹の栽培現場では、気候温暖化やそれに伴う天候不順により、秋から冬の気温が比較的高温で推移することが多くなってきた。それに伴い、ニホンナシの栽培現場などでは、発芽後の芽の生育が不斉一となり、甚だしい場合は結実が確保できなくなるような春の萌芽不良の事例が増えている。

一般に木本植物の休眠は、短日により誘導され一定時間低温に遭遇すると覚醒する。日長感応にはフィトクロムが関与しており、暗黒/遠赤色光下では不活性な Pr 型で細胞質に局在しているフィトクロムが、赤色光を受容するとコンフォメーション変化を起こして活性のある Pfr 型となり、核へ移動して転写因子等と相互作用をすることにより光形態形成応答を示すと考えられている。一方、低温を感受するセンサーについてはまだ明らかになっておらず、世界各国で研究が進められているところである。

多年生の実験植物であるポプラ等では、萌芽や枝の伸長停止、乾燥や低温に対する耐性の確立、休眠導入と覚醒といった年間の生育サイクルが、温度と光の相互作用により制御されていることが明らかとなり、これらの制御が日周リズムの同調経路により一部統合されているとの知見が得られている。すなわち、日長感応の役割を持つフィトクロムが、低温をシグナルとする生理現象の制御にも一定程度関与している可能性が示唆される。

### 2. 研究の目的

近年、気候の温暖化が地球規模で進展する中、野外で栽培される果樹においては、冬期の低温不足が春の開花を不順にする現象が散見され始めている。前述した日長と低温のクロストークを示す知見から、仮に光と低温が同じシグナル伝達経路で機能することにより、低温の効果を光が一部代替できる可能性があれば、光照射により低温を補うことができ、有用な開花制御技術となり得る。そこで本研究では、落葉果樹の休眠制御および休眠覚醒後の開花制御における光の役割を解明するとともに、それを利用した開花および萌芽制御技術確立の可能性を検討する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 冬期の光照射が「幸水」の開花に及ぼす影響

##### 1) 2015 - 16 年度

露地または無加温ガラス室で管理したニホンナシ「幸水」のポット植え 5 年生苗を供試し、(1) 青色光 (B 光 : 460nm)、(2) 赤色光 (R 光 : 660nm)、(3) 遠赤色光 (FR 光 : 730nm) を、日没から日の出にかけて照射し、(4) 無照射 (対照区) と比較した。光照射強度はいずれの処理区においてもポット植え付け面で  $0.5 \sim 1.0 \mu\text{mol/s/m}^2$  とした。光照射は 2015 年 10 月 8 日から開花まで実施したが、露地で管理したナシ樹については、10 月 8 日から 1 月 4 日まで(自発休眠覚醒期まで)、2 月 26 日から開花期まで(他発休眠期間のみ)の照射処理も行った。開花期には 90% 開花日、および腋花芽あたり小花数と花原基・葉原基の数を調査した。

##### 2) 2016 - 17 年度

露地のポット植え 4 年生「幸水」を対象に、休眠導入期から開花期 (2016 年 10 月 ~ 2017 年 4 月) および 休眠導入期から自発休眠覚醒期 (2016 年 10 月 ~ 2016 年 12 月末) に、(1) 青色光 (460nm) 約  $1 \mu\text{mol/s/m}^2$  (B)、(2) B 光 約  $5 \mu\text{mol/s/m}^2$  (B $\times$ 5)、(3) 赤色光 (660nm) 約  $1 \mu\text{mol/s/m}^2$  (R)、(4) R 光 約  $5 \mu\text{mol/s/m}^2$  (R $\times$ 5)、(5) 遠赤色光 (730nm) 約  $1 \mu\text{mol/s/m}^2$  (FR)、(6) FR 光 約  $5 \mu\text{mol/s/m}^2$  (FR $\times$ 5) を、日没から日の出にかけて照射し、(7) 無照射 (対照区) と比較した。開花期には 90% 開花日、および腋花芽あたり小花数と花原基・葉原基の数を調査した。

##### 3) 2017 - 18 年度

露地のポット植え 5 年生「幸水」を対象に、休眠導入期から開花期 (2017 年 10 月 ~ 2018 年 4 月) および 休眠導入期から自発休眠覚醒期 (2017 年 10 月 ~ 12 月末) に、(1) 赤色光 (660nm) 約  $1 \mu\text{mol/s/m}^2$  (R)、(2) R 光 約  $5 \mu\text{mol/s/m}^2$  (R $\times$ 5)、(3) 遠赤色光 (730nm) 約  $1 \mu\text{mol/s/m}^2$  (FR)、(4) FR 光 約  $5 \mu\text{mol/s/m}^2$  (FR $\times$ 5)、(5) 青色光 (460nm) 約  $1 \mu\text{mol/s/m}^2$  (B)、(6) B 光 約  $5 \mu\text{mol/s/m}^2$  (B $\times$ 5) を、日没から日の出にかけて照射し、(7) 無照射 (対照区) と比較した。開花期には 90% 腋花芽開花日、および腋花芽あたり小花数と花原基・葉原基の数を調査した。

#### (2) 冬期の光照射が「幸水」腋花芽の開花および休眠関連遺伝子の発現に及ぼす影響

2015 - 16 は記録的なエルニーニョにより、また 2017 - 18 は冬期の気温が平年より低い一方 3 月中旬以降急激に気温が上昇するという異常気象年であったことから、比較的平年に近い気温推移を示した 2016 - 17 の植物サンプル (腋花芽) を対象に、開花および休眠関連遺伝子の

発現解析を行った。

#### 4. 研究成果

(1) 休眠導入期から自発休眠期・開花までの光照射が「幸水」の開花に及ぼす影響

##### 1) 2015 - 16 年度

当該年度は、昨年度の予備実験の結果と異なり、いずれの処理においても90%開花日、および腋花芽あたり小花数と花原基・葉原基の数に一定の傾向が認められなかった(データ略)。エルニーニョ現象による記録的な暖冬の影響である可能性が考えられた。

##### 2) 2016 - 17 年度

1 μmol/s/m<sup>2</sup> の光強度で自発休眠覚醒期まで光照射を行った場合は、赤色光および青色光で開花小花数の増加傾向が認められる一方、遠赤色光照射で原基数が減少する効果が認められた(図1)。5 μmol/s/m<sup>2</sup> の光強度で照射した場合は、1 μmol/s/m<sup>2</sup> の光強度の照射と同様の傾向であったが、遠赤色光における原基数減少効果は認められなくなった。また、いずれの光強度・光質においても、無照射より開花が促進される傾向であった。原基の構成割合にも光照射の影響が認められた。光照射を開花期まで延長した場合でも開花日や花の形質に差は認められたが、その効果は光処理を自発休眠覚醒期までで終了した場合より小さかった(データ略)。

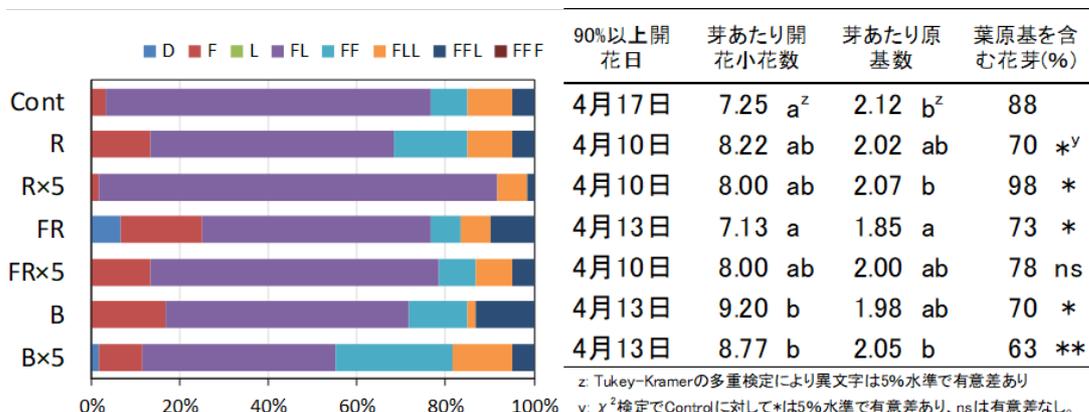


図1 自発休眠覚醒期までの光照射がニホンナシ「幸水」腋花芽の開花に及ぼす影響(2016 - 17年度) (左図) D:不開花、F:花原基1個、L:葉原基1個、FL:花原基1+葉原基1、FF:花原基2、FLL:花原基1+葉原基2、FFL:花原基2+葉原基1、FFF:花原基3

##### 3) 2017 - 18 年度

1 μmol/s/m<sup>2</sup> の光強度で自発休眠覚醒期まで光照射を行うと、赤色光で芽当たり原基数および葉原基を含む花芽の割合が増加した一方、遠赤色光で芽当たり小花数が増加し、葉原基を含む花芽の割合が減少した(図2)。青色光照射や、5 μmol/s/m<sup>2</sup> の照射の影響は認められなかった。またこの年は、冬季が低温で推移した一方、春には気温が急激に上昇したため、いずれの処理区でも開花が一気に進み、処理区間で開花期に差はなかった。

一方開花期まで光照射を行うことにより、今年度は2~38%の花芽の不開花(枯死)が発生した(データ略)。枯死花芽率が低かった遠赤色光5 μmol/s/m<sup>2</sup> (枯死芽率5%) および青色光1 μmol/s/m<sup>2</sup> (同2%)を除き、すべての光処理区で芽当たり小花数および芽当たり原基数が減少した。開花期以降、枯死は側枝や樹全体に広がり、最終的に無照射区では供試4樹中に枯死樹は0であったのに対し、光照射区では遠赤色光5 μmol/s/m<sup>2</sup>を除くすべての光処理区で枯死樹が発生し、遠赤色光1 μmol/s/m<sup>2</sup>では供試樹が全て枯死した。

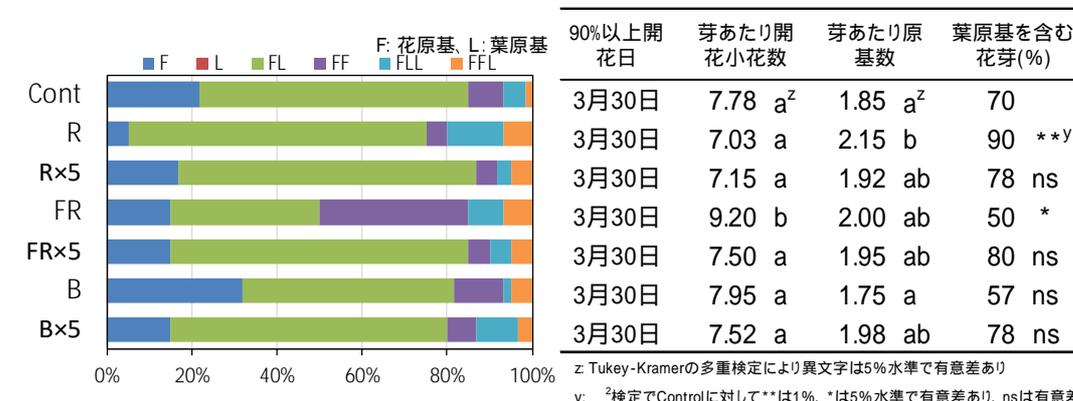


図2 自発休眠覚醒期までの光照射がニホンナシ「幸水」腋花芽の開花に及ぼす影響(2017 - 18年度) 左図の説明は図1の通り

(2) 冬期の光照射が「幸水」腋花芽の開花および休眠関連遺伝子の発現に及ぼす影響

赤色光 (1 および 5  $\mu\text{mol/s/m}^2$ ) 照射により花芽の分化・発達を誘導する *PpFT1a* の発現が低下した。また青色光 (5  $\mu\text{mol/s/m}^2$ ) 照射により開花を誘導する *PpFT2a* が抑制される一方、および花成抑制に働く *PpTFL1-1a* および *PpTFL1-2a* の発現が高くなった。さらに遠赤色光 (1  $\mu\text{mol/s/m}^2$ ) 照射により休眠 (低温による成長抑制) を誘導する *PpMADS13-1* の発現が高くなることが明らかとなった (図 3)。

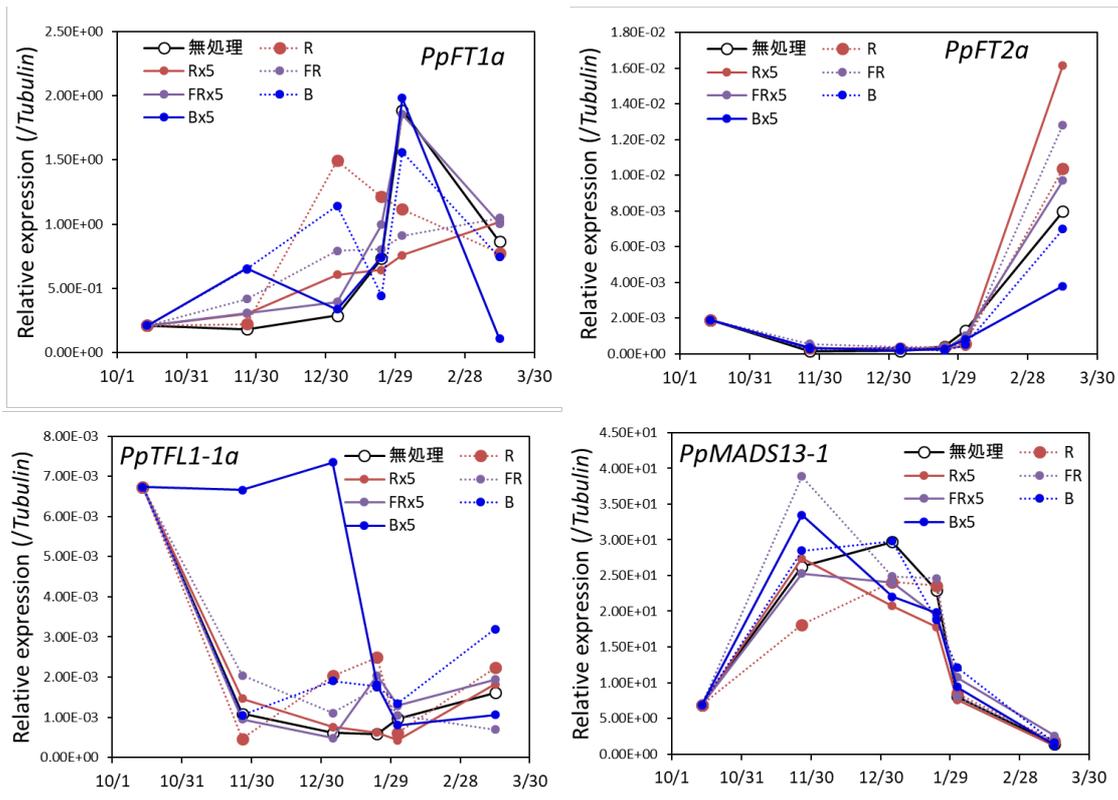


図 3 冬期の光照射がニホンナシ「幸水」腋花芽における開花および休眠関連遺伝子の発現に及ぼす影響 (2016 - 17 年度)

以上より、処理期間や処理中の気温 (露地またはガラス室) 照射強度を変えて休眠期の光照射を 4 力年間 (予備実験年を含む) 実施した結果、露地栽培樹に対し自発休眠覚醒期まで 1 または 5  $\mu\text{mol/s/m}^2$  で赤色光を照射すると葉原基を含む花芽の割合が増加する傾向を認めたが、検討の範囲ではそれ以上の効果は認められなかった。またそれ以外の光処理では一定した開花への影響は認められず、光処理の効果は限定的と考えられた。加えて最終年度には、開花までの光処理により多くの枯死が発生したことから、光照射による開花の安定化は困難と考えられた。また遺伝子発現解析の結果から、光処理により発生した多数の枯死は、それぞれ異なる機作で開花や芽の成長が抑制されているためである可能性が示された。

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〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕 なし

6. 研究組織 該当無し

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。