

令和元年5月21日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K07587

研究課題名(和文) 植物工場でのイチジク果実生産における光環境制御に関する基礎的研究

研究課題名(英文) Study on the regulation of light conditions for fruit production of fig in a plant factory

研究代表者

大川 克哉 (OHKAWA, Katsuya)

千葉大学・大学院園芸学研究科・講師

研究者番号：00312934

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)：植物工場でのイチジク果実生産を目的に、LED光照射がイチジク樹の新梢生育、果実品質および果実収量に及ぼす影響を明らかにした。新梢生育は青色LED光照射により促進される傾向にあった。果実の大きさおよび可溶性固形物含量は青、赤および緑色LED照射によって影響されなかった。果皮中のアントシアニン含量は赤色LED光照射によって最も高く、次いで青色LED光照射で高かった。これらのことから、密植条件下で赤色LED光を照射することにより、単位面積当りの果実収量を増加することが可能であると考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、波長の異なる光の照射がイチジクの新梢生育、果実肥大、果実の糖蓄積、果皮中のアントシアニン含量に及ぼす影響が明らかとなった。特に果皮中のアントシアニン含量に及ぼす赤色LED光照射の影響は顕著であることが明らかとなり、これらの知見を基に、太陽光利用型植物工場でのイチジク栽培における積極的な光環境制御技術およびこれらを用いた高品質果実の多収生産技術の確立につなげることが可能と考えられる。

研究成果の概要(英文)：For the production of fig fruit in plant factory, the effects of light emitting diode (LED) irradiation on shoot growth, fruit quality and fruit yield of fig trees grown in soilless culture were examined. The shoot growth of fig tree was promoted by blue light irradiation. Fruit size and soluble solid content were not different from those in no irradiation control. Anthocyanin concentrations were highest in red LED-treated skin, followed by blue LED treatment. These results suggest that red LED irradiation to fig trees grown in high density may increase a fruit yield per unit area.

研究分野：果樹園芸学

キーワード：イチジク 植物工場 養液栽培 LED 光環境 アントシアニン

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

### 1. 研究開始当初の背景

著者らは、太陽光利用型植物工場での栽培を前提に、これまで結果枝を 1~2 本しか持たない樹形が単純で移動が容易な小型のイチジク樹を容量 6L のポリポットに栽植して養液栽培し、それらを高密度で配置することにより早期成園化する栽培技術の開発を試みてきた。その結果、このような栽培法を行うと、樹の生育が極めて斉一で、挿し木した翌年には果実生産が可能であること、高品質果実の多収生産が可能であること、また二期作栽培も可能であり、収穫期の異なる二期作栽培の作型を組み合わせれば周年果実生産も可能であることを明らかにしてきた。一方別の栽培方法として、気温の低い冬季に挿し木および底熱処理を行うことによって、発根のみを促進し、萌芽時に十分発根した苗を育成することにより、挿し木当年に十分な果実収量 (5~6t/10a) が得られる新たな栽培技術を確認した。また、このような苗を周年的に生産することにより周年果実生産が可能であることを明らかにした。

しかし、寡日照となる冬季にイチジクを栽培する作型では果実生産性が低下するなど課題も多く残されていた。太陽光利用型植物工場では光環境が自然光に左右されるため、高品質果実を周年的に安定・多収生産するためには、人工光との併用による積極的な光環境の制御が必要であると考えられた。

そこで、人工光の光源として消費電力が少なく長寿命である発光ダイオード (LED) に着目した。LED は非常に狭い波長域の光を照射できるため、植物の生育に適した波長の光を効率的に与えることが可能である。また、波長の違いにより植物の反応が異なり、果樹では研究例は少ないものの、ブドウでは青色 LED 光照射により果皮中のアントシアニン含量が増加し (Kondo ら, 2014)、赤色 LED 照射により果粒肥大が促進される (齊藤ら, 2009) ことが報告されている。しかし、イチジクでは、人工光による補光や光質の違いが新梢生育や果実生産性、光合成特性に及ぼす影響に関する知見はない。特に寡日照条件となる冬季の作型では太陽光と人工光の併用による光環境の改善は果実生産性を高める効果が期待されると考えられた。

一方、いずれの時期の作型においても果実収量をさらに高める方法として、栽植密度 (結果枝密度) を高めることが考えられる。しかし、イチジク栽培では結果枝を上方に向けて立体的に配置するため、結果枝基部の葉に到達する光量は相対照度で 10~20% と低く、結果枝基部葉の光合成速度も極めて低いため、結果枝基部に着生した果実の着色や糖度が劣る要因となる (林田・森田, 1997) ことが報告されている。したがって、栽植あるいは結果枝密度を高めると葉の重なりがより大きくなり、結果枝基部の光環境はさらに悪化すると考えられ、高品質果実の生産は困難である。しかし、結果枝基部への局所的な人工光の照射を行うことが出来れば、光環境の改善とともに光合成速度の増加や果実品質の向上が可能かもしれない。特に緑色光は、赤色光や青色光に比べ、葉への透過率が高いため、植物下部の葉にまで光が届き成長を促進する (Kim, 2004) ことから、イチジク樹の栽植密度を高めた場合でも結果枝基部における光環境の改善に寄与することが期待される。しかし、昼間の人工光による補光や光質の違いが結果枝基部における葉の光合成特性や果実特性に及ぼす影響についてはまったく明らかではなく、栽植密度の増加による果実生産性の向上と合わせて明らかにする必要があった。また、本栽培法で周年果実生産を行う場合、果実の収穫終了後直ちに剪定を行い、次の作型に移行する。次作における新梢の初期成長は前作において樹体内に貯蔵された養分で行われるため、LED 光照射が貯蔵養分量に及ぼす影響についても評価が必要である。

挿し木当年から果実生産を開始する栽培法では、苗の形質や育苗条件、特に萌芽時あるいは定植時 (展葉 5~6 枚時) における根量が果実生産性を大きく左右する (西村ら, 2013) が、育苗時における光条件についてはこれまで検討を行っていない。より最適な育苗条件を明らかにするために、光条件、特に光質の違いが苗の形質や生理生態的特性、その後の果実生産性に及ぼす影響についても明らかにする必要があった。

### 2. 研究の目的

本研究では、太陽光利用型植物工場でのイチジク果実の高品質・多収生産技術確立のための基礎資料を得ることを目的に、異なる波長の LED 光の照射がイチジク果実の品質、果皮および果肉中のアントシアニン含量、ならびに収量、新梢内部成分に及ぼす影響を明らかにする。それとともに、高い果実収量を得ることができるイチジク苗の育苗条件を明らかにする。

### 3. 研究の方法

(1) 育苗時の環境条件の違いが育苗時の新梢および根の生育、ならびに定植後の着果、果実品質、果実収量に及ぼす影響

温室内で 1 月に挿し木し、底熱処理条件で発根させた苗を展葉 2~3 枚時から閉鎖型苗生産装置 (明期 14 時間、気温 21℃、炭酸ガス濃度 1200ppm) で育苗する高 CO<sub>2</sub>・人工光区とそのまま温室内で育苗する太陽光区を設け、育苗中の新梢長および葉枚数、ならびに葉、茎および根の乾物重を調査した。育苗終了後は苗を容量 6L のポットに定植し、養液栽培した。その後、新梢各節における着果率、果実品質および果実収量を調査した。

(2) 栽植密度の違いおよび異なる波長の LED による果実への補光が果実の品質および果実収量に及ぼす影響

春季から秋季において栽培する作型において、養液栽培したポット植え「柵井ドーフィン」 (結果枝数 2 本) を用い、株間は 33cm (疎植区) および 25cm (密植区) とした。また、株間 25cm とした一部の樹に対しては赤色 LED (波長 660nm)、青色 LED (波長 450nm) および緑色 LED (波長 524nm) による補光を行った。なお、LED 照射器具 (長さ 90cm) は新梢基部から 50cm の

位置に横向きに、また新梢表面における光合成有効光量子束密度 (PPFD) が  $50 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  (ただし、緑色 LED では  $30 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ) になるよう設置した。LED の照射は新梢伸長停止期 (6月28日) から9月24日までの午前1時から午後10時に行った。その後、果実品質および果皮中のアントシアニン含量を調査した。

(3) 密植条件下での異なる波長の LED 光照射が新梢生育および果実品質および果実収量に及ぼす影響

材料には養液栽培したポット植え‘榊井ドーフィン’(結果枝数2本)を用い、株間は25cmとした。二期作栽培を行い、一期作目を11月から8月にかけて行った後、切返し剪定を行い9月に二期作目を開始した。試験区には赤(波長658nm)、青(波長447nm)、緑(波長521nm)色LED光を照射する区と無照射区の計4区を設けた。LED光の照射は、一期作目では新梢生育初期の1月20日から果実収穫終了時の8月17日までの主に夜間(午後4時から午前8時まで)に、二期作目では9月11日から12月2日までの午前4時から午前6時および午後4時から午後10時に行った。LED照射器具(長さ約90cm)はイチジク樹全体に光が照射されるよう樹の両側から縦に約50cm間隔で配置した。また、LEDの光強度は一期作目では着果位置でのPPFDが $50 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、二期作目では葉の群落外側でPPFDが $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ とした。実験開始後、一期作目では新梢生育、果実品質、果皮および果肉中のアントシアニン含量、ならびに新梢内部成分を調査した。また、二期作目では新梢に着生した花芽数を調査した。

(4) 赤色 LED 光の照射時間帯の違いが果実品質、果皮および果肉中のアントシアニン含量に及ぼす影響

材料には養液栽培したポット植え‘榊井ドーフィン’(結果枝数2本)を用い、栽培は4月から開始した。株間は33cm(疎植区)および25cm(密植区)とした。また、株間を25cmとした一部の樹に対しては赤色LED(波長658nm)光を昼間(午前6時から午後6時)(昼間照射区)、夜間(午後6時から午前6時)(夜間照射区)および24時間(24時間照射区)照射した。なお、LED光の光強度およびLED照射器具の設置方法は上記実験(3)の一期作目と同様とした。またLED光の照射は新梢基部第1果の着色開始期であった7月17日に開始した。その後、適熟となった果実を順次収穫し、果実品質、果皮中のアントシアニン含量を調査した。

#### 4. 研究成果

(1) 育苗時の環境条件の違いが育苗時の新梢および根の生育、ならびに定植後の着果、果実品質、果実収量に及ぼす影響

実験開始21日後までの育苗期間において、葉枚数および葉乾物重は21日後に高CO<sub>2</sub>・人工光区で有意に値が高くなったが、新梢長、茎乾物重および根乾物重には実験期間中を通して両区間に有意な差はなかった。定植後の着果節位ごとの着果率について見ると、高CO<sub>2</sub>・人工光区では太陽光区と比べて新梢第11節までの着果率が高い傾向にあり、結果枝の着果率は高CO<sub>2</sub>・人工光区では約61%と太陽光区の約52%と高い傾向にあった。収穫時の果実品質について見ると果実重、果実径および糖度には有意な差はなかったものの、樹当りの果実収量は着果率が高い傾向にあった高CO<sub>2</sub>・人工光区で有意に高くなった。

(2) 栽植密度の違いおよび異なる波長の LED による果実への補光が果実の品質および果実収量に及ぼす影響

まず、疎植区と密植区における果実品質、果皮中のアントシアニン含量および樹当たりの果実収量について見ると、果実重、果実径、可溶性固形物含量および果実収量には両区間で有意な差は見られなかった。しかし、果皮中のアントシアニン含量は密植区で有意に低かった。これらのことから、密植による光環境の悪化はイチジクにおいては果皮中のアントシアニン生成に、すなわち果皮色に強く影響することが明らかとなった。そこで、密植条件下で、特に光環境が悪い新梢の低位節から中位節(第2~13節)にLED光の照射を行ったところ、果実重、果実径および可溶性固形物含量には、いずれのLED照射区と疎植区および密植区との間に有意な差は認められなかった。しかし、果皮中のアントシアニン含量は赤、青、緑色LED区ともに密植区よりも高くなり、疎植区と同程度になった。LED光の波長の違いによるアントシアニン生成への影響には大きな違いが見られなかった。これらのことから、株間を25cmと狭めて栽植密度を高め、LEDによる補光を行うことにより、株間33cmの場合と比べて、それと同等の果実を単位面積当たりで約30%増収させることが可能であることが明らかとなった。

(3) 密植条件下での異なる波長の LED 光照射が新梢生育および果実品質および果実収量に及ぼす影響

一期作目について見ると、新梢長は青色LED区で赤色LED区に比べ有意に高い値を示したが、それ以外の処理区間では有意な差は見られなかった。葉枚数はすべてのLED処理区において無照射区よりも、実験期間中を通して多く推移する傾向にあった。果実の収穫時期はすべてのLED処理区で無照射区よりも早まる傾向にあり、赤色LED区で最も早く果実収穫が終了した。果皮中のアントシアニン含量は、赤色LED区で最も高い傾向にあり、無照射区および緑色LED区よりも有意に高かった。また、赤色LED光によるアントシアニン生成促進効果は第1~10節の果実でより顕著であった。アントシアニン促進効果の高かった赤色LEDを照射した果実とLED無照射のすべての果実について、果肉中のアントシアニン含量を調査したところ、両区間に有意な差は認められず、果皮と果肉のアントシアニン含量に相関は見られなかった。一方、果実重、果実径および可溶性固形物含量には処理区間で有意な差は認められなかった。一期作目終了時における新梢内部成分について見ると、無照射区と比べて、スクロースおよびデンプン含量は

すべてのLED区で増加する傾向にあり、デンプン含量は赤色LED区で有意に高かった。二期作目について見ると、花芽着生率は緑色LED区で他区よりも高い傾向にあった。これらのことから、赤色LED光照射は、イチジク果皮中のアントシアニン生成を促進する効果が高いことが明らかとなった。またイチジクにおける果肉中のアントシアニン含量は果皮のアントシアニン含量に影響されず、光とは別の要因で制御されているものと思われた。一方、新梢中の糖およびデンプン含量が高くなったことから、葉の光合成速度を高めていることも考えられるが、赤色LED区では果実収穫が早期に終了していることが関連していることも考えられ、この点についてはさらに検討が必要である。

(4)赤色LED光の照射時間帯の違いが果実品質、果皮および果肉中のアントシアニン含量に及ぼす影響

上記(3)の実験からイチジク果皮中のアントシアニン生成の促進には赤色LED光の照射が有効であることが明らかとなった。そこで、1日における赤色LED光の照射時間帯の違いが可否中のアントシアニン生成および果実品質に及ぼす影響について明らかにすることを試みた。その結果、果実の収穫時期は24時間照射区および夜間照射区で早まる傾向にあった。収穫した果実の果実重、果実径および可溶性固形物含量には処理区間で有意な差はなかった。果皮中のアントシアニン含量は、密植区と比べ、すべての赤色LED区で有意に高くなり、その値は疎植区と同程度となった。しかし、赤色LEDを照射した時間帯の異なる3区間で比較すると、処理区間に有意な差は認められなかった。新梢各着果節位における赤色LEDによる果皮中のアントシアニン生成効果に着目すると、その効果は第1から5節の新梢基部の果実では低く、高位節の果実ほど高い傾向にあった。この要因として、この実験では新梢基部に着生する第1果の着色開始直前から赤色LED光の照射を開始したため、高位節の果実ほど赤色LEDに照射されている期間が長かったことが考えられる。すなわち、イチジクの着色促進のためには、着色期における光環境の改善だけでは不十分であり、それ以前の光環境も関連しているものと思われた

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0件)

〔学会発表〕(計 1件)

川村望真・大川克哉・中野純・斎藤隆徳・小原均・近藤悟、養液栽培法によるイチジクの超密植栽培に関する研究(第7報)LEDによる補光が果皮色および花芽形成に及ぼす影響、園芸学会、2018年

〔図書〕(計 1件)

大川克哉 他、誠文堂新光社、養液栽培ハンドブック、2018年、189

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年:

国内外の別:

取得状況(計 0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年:

国内外の別:

〔その他〕

日本農業新聞掲載記事、2018年9月12日、イチジク養液栽培 挿し木の年に収穫可能 千葉大開発

## 6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

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。