

施設栽培でのLED電照技術の開発

(第2報) 緑色LED電照のトマト栽培への適用効果について

* 工藤 りか・山本 敬司

株式会社四国総合研究所 電子技術部 アグリバイオグループ

1. はじめに

近年、LED (Light Emitting Diode: 発光ダイオード) 光源の普及により単色光と植物の生理生態に関する研究が進み、単色光LEDを用いた生長促進、開花調節、病害防除など用途に応じた新しい光利用技術が開発されている。また、開花調節などで電照を利用する施設では、2012年の白熱電球の製造中止を背景に電照の代替光源として省電力・長寿命のLED利用が注目されている。

筆者らは、農業電化の一環として四国地域の主要な農作物へのLED利用技術の開発に取り組み、従来の電照作物であるイチゴ(工藤、2012)、ニラ(工藤ら、2015)やオオバを対象に、緑色LEDを用いたLED電照技術を開発し、産地への普及を進めている。最近では、イチゴ生産者施設や観光イチゴ園で導入され、イチゴ炭そ病などの病害防除に役立っている。

ここでは、これまで栽培において光利用が積極的に行われていなかった施設園芸の主要栽培品目のトマトに着目し、トマトへの電照効果について新たな知見が得られたので報告する。

2. 健康志向とトマトの機能性成分

近年、「医食同源」の重要性や、食を介しての健康志向から野菜の栄養価や機能性成分への関心が高まっている。トマト(*Solanum lycopersicum*)は代表的な緑黄色野菜である。最近ではトマトに

含まれるリコピンの抗酸化作用など栄養機能性も解明されつつあり、健康志向に適した野菜として注目されるようになった(横田、2003)。

また、トマトに含まれるアミノ酸の構成には特徴がある。トマト果実はグルタミン酸が40%程度を占め、またトマト特有の味はグルタミン酸、アスパラギン酸の組み合わせによるものといわれる。さらにトマトに含まれるこれらのアミノ酸はうま味として食欲を引き出し、小腸の消化吸収エネルギーとして利用される(高田、2012)。これらからトマトはリコピンやアミノ酸を多く含む機能的な野菜と考えられ、今後も健康食材としてさらに需要が伸びると思われる。

3. トマトへの緑色LED電照適用

筆者らはこれまでに植物に緑色光を照射することで、植物が本来有している病害抵抗性を向上させ、植物病害の感染と発病を予防できることを見出し、メカニズム解明に取り組んできた(工藤ら、2009、2010)。

昨今、食の安全や環境面への配慮から無農薬・減農薬栽培の指向が強まり、IPM防除(Integrated Pest Management: 総合的病害虫管理)として(梅川ら、2005)、緑色LEDを用いた「光防除」技術も注目され実用的に利用されるようになった。

また、長年の緑色光研究において、植物への緑色光照射には病害防除効果だけでなく、ハダニ抑制、生育促進、機能性成分、電照作用など多様な

効果を有することを明らかにするとともに特許化を進めてきた（工藤、2012）。

これらの多様な効果を活用し、国内で市場規模の拡大が期待できるトマトへの緑色LED電照技術の開発に取り組むこととした。これまでにトマトへの緑色光照射については、病害抵抗性に関わるトマト AOS 遺伝子の発現やトマト灰色かび病の抑制効果、生育促進や着果促進効果を見出している。筆者は、トマト生産販売においては、さらにトマト果実に含まれる機能性成分を高めることで、消費者の健康志向ニーズに見合う高付加価値化による差別化を図り収益性を向上させることが重要と考え、緑色LED照射がトマトの果実品質に及ぼす影響を中心に評価することとした。

3-1 トマトの果実品質に及ぼす緑色光照射の影響評価

トマトへの緑色LED照射効果を検証するため、(株)四電工のトマト植物工場（ヨンコーアグリファーム 吉野川トマト園）で実証栽培試験を行った。

(1) 試験方法

供試材料に、ミディ系トマト‘シンデイスイート’（サカタのタネ）を用いた。トマトの苗を平成27年8月1日に定植し、同施設の温室でロックウール養液栽培による慣行栽培を平成28年7月上旬まで行った。

試験区は対照区（無照射）、緑色LED照射区とした。照射光源には緑色LED電球（病害抵抗性誘導用緑色LED電球「みどりきくぞう[®]」：



図-1 (株)四電工 ヨンコーアグリファーム
吉野川トマト園

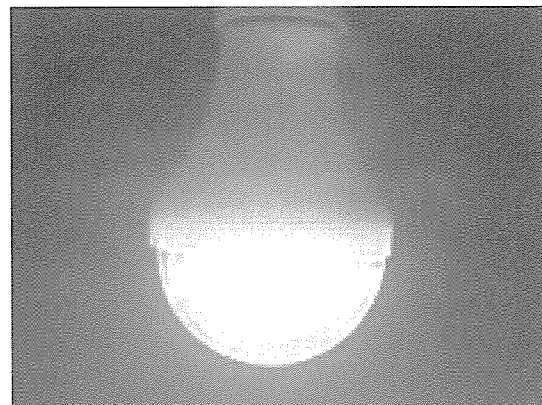


図-2 病害抵抗性誘導用緑色LED電球
「みどりきくぞう」



図-3 トマトへの緑色LED照射状況

(株)四国総合研究所製)を用い、光強度： $0.6 \sim 5.0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、照射時間：夜間2、3、5時間、光中断による毎日照射の条件で照射した。光照射は定植日から開始した（図-1～3）。

トマトの果実品質に及ぼす緑色光照射の影響を明らかにするため、平成27年11月から平成28年6月末までに収穫した果実について、5回（11月、1月、3月、5月、6月）の試料採取を行い、果実の品質調査を行った。これらの分析試料を、表-1に示した評価項目について調査した。

(2) 試験結果

照射開始から夜間、毎日2時間の緑色光照射を

表-1 トマト果実品質の評価項目

成分分析	リコピン*、遊離アミノ酸18種* 〔*（一財）日本食品分析センターでの実施〕 糖度、酸度、窒素含有量、リン酸含有量、 カリウム含有量
果実調査	果実重量、果実横径、果実縦径、果実着色 （分光測色計：CM-700d コニカミノルタ(株)製）、果実硬度（果実光度計 KM 型 藤原製作所製）

行った11月収穫の果実では、遊離アミノ酸含有量の増加、特にグルタミン酸（10%）及びアスパラギン酸（10%）の含有量の増加が認められた。これにより定植時からの継続した緑色光照射により、アミノ酸代謝が促進される可能性が明らかになった。

次に12月から照射時間を3時間に延長して1カ月間照射したところ、1月収穫時にグルタミン酸（20%）及びアスパラギン酸（30%）の含有量が増加した。さらに2月から照射時間を5時間に延長して栽培を継続したところ、3月収穫時にグルタミン酸（20%）及びアスパラギン酸（10%）の含有量が、5月収穫時にグルタミン酸（10%）及びアスパラギン酸（10%）の含有量が、6月収穫時にグルタミン酸（20%）の含有量が増加した（図-4）。

一方、リコピンについても照射により含有量が向上する傾向がみられ、市販される高リコピントマトの水準（6mg〜）を安定して上回っていた（図-5）。

また、果実の糖度については対照区に比べて緑色LED照射区が高い値を示し、照射時間が長いほど高くなる傾向となった（図-6）。

これらの結果から、栽培中の緑色LED照射に

よりトマトのアミノ酸含有量（グルタミン酸とアスパラギン酸）、リコピン及び糖度が増加することが明らかとなった。

通常トマトは11月～2月までの低温、低日照となる時期はアミノ酸含有量、リコピン、糖度が減少し、機能性成分の含有量や美味しさが低下する。本試験においても11月、1月の試料において同様の傾向がではあったが、緑色光照射によりこれらの含有量が対照区よりも増加し、品質が改善される可能性が示唆された。

3-2 トマトの果実鮮度保持に及ぼす緑色光照射の影響評価

トマト分析試料はフィルム包装・ダンボール箱に梱包されトマト植物工場から常温流通1日を経て当研究所に到着する。果実を箱から出し、フィルム包装から取り出したところ、対照区では果柄（ヘタ）の萎れが著しかったが、緑色LED照射区ではしおれが抑制されていた（図-7）。そこで、果実の鮮度保持に及ぼす栽培中の緑色光照射の影響について評価を行うこととした。

(1) 試験方法

平成28年6月採取のトマト果実を用いて温度：10℃、20℃、30℃、湿度：50% RH（乾燥を加速

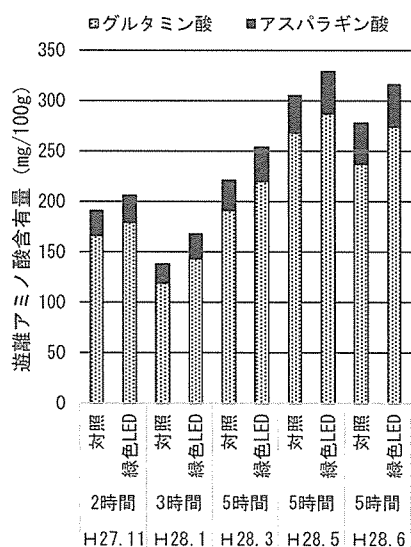


図-4 トマト果実の遊離アミノ酸含有量（グルタミン酸、アスパラギン酸）に及ぼす緑色光照射の影響（n = 15 ~ 20）

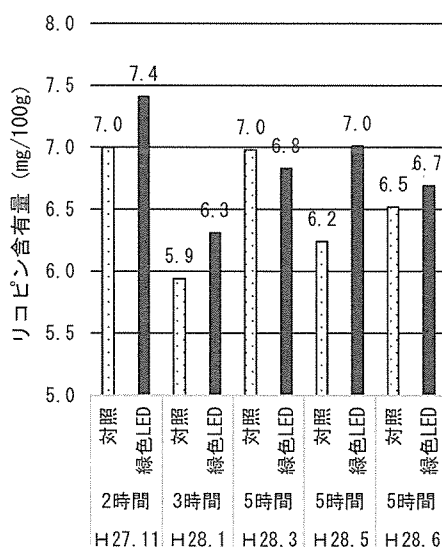


図-5 トマト果実のリコピン含有量に及ぼす緑色光照射の影響（n = 15 ~ 20）

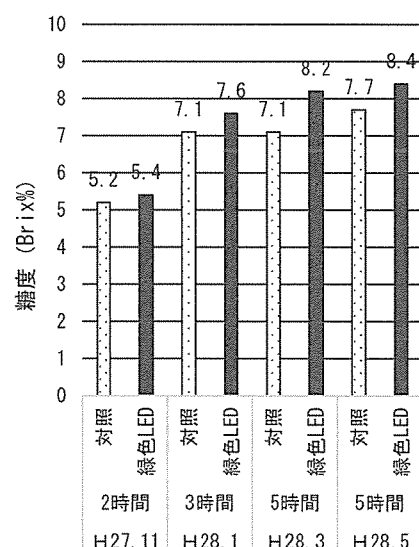
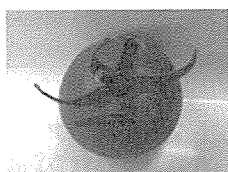


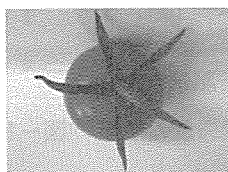
図-6 トマト果実の糖度に及ぼす緑色光照射の影響（n = 15）



〔フィルム包装の状態〕



〔萎れた果柄〕



〔鮮度の高い果柄〕



対照（無照射）
果柄の萎れ：100%

緑色LED照射
果柄の萎れ：25%

図－7 緑色LED照射栽培トマトの鮮度保持効果
（収穫・常温流通1日後）

させるため）に設定したインキュベーターを用いてトマト果実の貯蔵試験を行い、貯蔵果実の品質に及ぼす緑色LED照射の影響を評価した。

調査項目として、果実重量、果実着色（分光測色計：CM-700d コニカミノルタ(株)製）、果実硬度（果実光度計KM型 藤原製作所製）を調査した。

(2) 試験結果

①貯蔵後の果実外観

トマト果実を10℃区、20℃区では14日間、30℃区では6日間貯蔵を行った。その結果、20℃区及び30℃区では外観について顕著な差が認められた。すなわち対照区のトマトは乾燥による果

実全体の萎縮、果皮のしわ、果肉の軟化が著しかった。一方、緑色LED照射区では果実の乾燥が抑制され、光沢とみずみずしさのある外観と果実硬度を保っていた（図－8）。



図－8 緑色LED照射栽培トマトの鮮度保持効果
（貯蔵14日後20℃）

②蒸散による水分損失量

貯蔵中の蒸散による水分損失量を調査した結果、貯蔵温度が高くなるほど水分損失量は多くなる傾向を示した。無照射区と比較して緑色LED照射区では蒸散による水分損失量が概ね半減していた。

特に30℃区では乾燥が著しく、10℃区、20℃区では、14日後においても水分損失量は、10℃区で43%、20℃区で66%抑制されていた（図－9、10）。

本結果から、緑色LED栽培のトマト果実は蒸散による水分損失が抑制されることが明らかとなった。前述のアミノ酸分析結果から耐乾性や保水性にかかわるプロリン含有量について着目し解析した。その結果、緑色LED照射による顕著なプロリン含有量の向上が見られており、これらの鮮度保持効果との関連が示唆された（図－11）。

5. まとめと今後の進め方

トマト栽培期間中の緑色光照射により以下の結果が明らかとなった。

(1) 緑色LED栽培トマトの機能性成分向上（アミノ酸、リコピン）

・果実の遊離アミノ酸含有量（グルタミン酸、ア

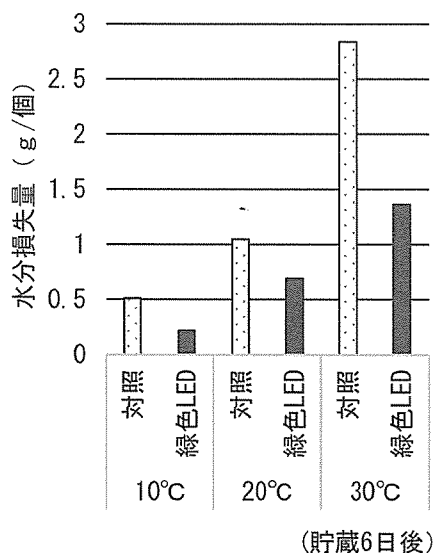


図-9 トマト果実の水分損失量 (貯蔵6日後)

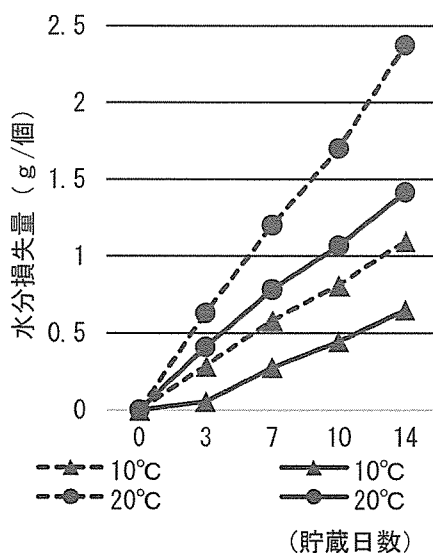


図-10 トマト果実の水分損失量の推移

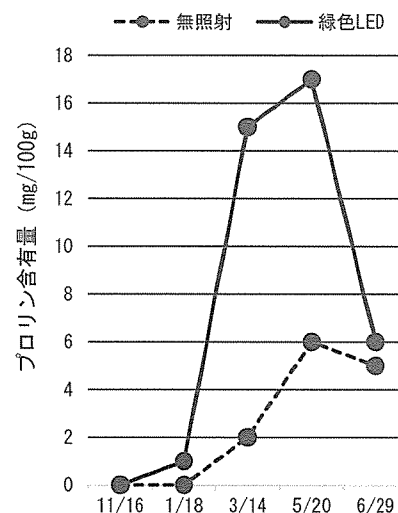


図-11 トマト果実のアミノ酸含有量 (プロリン) の推移

スパラギン酸)が増加し、トマトの食味向上が示唆された。

- ・果実の遊離アミノ酸含有量 (プロリン) が顕著に増加した。
- ・果実の機能性成分 (リコピン) が安定して増加する傾向がみられた。

上記の結果から、特に低温、低日射で品質低下となる時期の品質改善に緑色LED照射は有効であると考えた。

(2) 収穫後の鮮度保持

- ・栽培中に緑色光を照射することで、果実収穫後の鮮度保持効果 (水分減少の抑制、果実硬度の維持、果実光沢の維持) を見出した。
- ・鮮度保持効果には、耐乾性、保水性に関与するアミノ酸 (プロリン) 含有量の向上が関与すると思われ、緑色照射へのストレス応答による防御反応に起因するものと推察している。

本研究において、トマト栽培時の緑色光照射による果実の品質向上 (美味しさ、機能性成分) 効果、収穫後の鮮度保持効果が見出された。

現在、我々は緑色LED光源を商品化 (商品名: みどりきくぞう®) するとともに、これらの緑色光照射技術を核としてIPM防除資材の天敵、微生物農薬と有機資材等を組み合わせ環境への負荷を軽減した農業生産技術の構築と普及を進めている。

る。

今後は、本研究結果をさらに発展させ植物工場や施設園芸での高付加価値トマトの生産に役立つ緑色LED利用技術として、実用性の検証と普及を進めたいと考えている

〈謝辞〉

現地実証試験においては(株)四電工 ヨンコーアグリファーム 吉野川トマト園の皆様の協力を頂き実施することができた。ここに御礼を申し上げる。

注) 本報告の一部は、日本生物環境工学会 2017 年松山大会において発表した。

〈引用文献〉

- 工藤りか: 植物防疫 66 (11): 20-23 (2012)
- 工藤りか: 農業電化 68 (6): 40-44 (2015)
- 横田正ら: 天然有機化合物討論会講演要旨集 45: 449-454 (2003)
- 高田式久: 日本家政学会誌 63 (11): 745-749 (2012)
- 梅川学他編: IPM マニュアル—総合的病害虫管理技術—, 養賢堂 (2005)
- 工藤りか: 四国電力, 四国総合研究所 研究期報 93: 31-35 (2009)
- 工藤りか: 四国電力, 四国総合研究所 研究期報 94: 33-39 (2010)