

LED照明の近接照射が棚下の観葉植物の生育に及ぼす影響

新井 聡¹⁾・平野哲司¹⁾・大石一史²⁾

摘要：LED照明の近接照射が棚下の観葉植物（アンズリウム、ディフェンバキア、スパティフィラム、コーヒー）の生育に及ぼす影響について検討を行った。

- 1 午後5時から午前7時まで夜間14時間行うLED照明の近接照射は棚下のアンズリウムの生育を促進した。なかでも赤色LED照明（634 nm）と青色LED照明（453 nm）を2：1に混合したLED照明が赤色LED照明のみより効果が高く、棚上とほぼ同等の生育を示した。
- 2 赤色LED（637 nm）と青色LED（449 nm）を3：1に混合したLED照明で棚下のアンズリウムに対し近接照射を行ったところ、午後5時から午前7時までの夜間14時間よりも、午前7時から午後5時までの昼間8時間の照射が生育を促進した。
- 3 赤色LED（634 nm）と青色LED（453 nm）を3：1に混合したLED照明で午前7時から午後5時まで近接照射を行った結果、夏季および冬季における棚下の観葉植物の生育を促進し、棚上とほぼ同等の生育を示した。また太陽電池を利用したLED照明の近接照射はAC電源による近接照射よりも光合成有効光量子束密度は低くなるものの、効果は同等となった。

キーワード：LED、観葉植物、太陽電池

Effects of Short-distance Lighting by Light-Emitting Diodes on the Growth of Ornamental Foliage Plants Under Shelves

ARAI Satoshi, HIRANO Tetuji and OHISHI Kazushi

Abstract: We investigated short-distance lighting by light-emitting diodes (LEDs) on the growth of ornamental foliage plants grown under shelves. We used *Anthurium andraeanum*, *Dieffenbachia maculata*, *Spathiphyllum* spp., and *Coffea arabica*.

1. Fourteen hours of nighttime (1700-0700), short-distance lighting by LEDs on *Anthurium* under shelves induced equal growth to the controls above the shelves. Especially, red LEDs (wavelength 634 nm) with supplemental blue LEDs (wavelength 453 nm) were more effective than that by using only red LEDs.
2. Eight hours of daytime (0700-1500) lighting by red LEDs (wavelength 637 nm) with supplemental blue LEDs (wavelength 449 nm) on *Anthurium* under shelves were more effective on growth than 14 h of nighttime (1700-0700) lighting.
3. Short-distance lighting by red LEDs (wavelength 634 nm) with supplemental blue LEDs (wavelength 453 nm) for *Anthurium*, *Dieffenbachia*, *Spathiphyllum*, and *Coffea* under shelves induced growth equal to the controls on shelves in both the summer and winter. Short-distance lighting by LEDs using solar cells caused growth of ornamental foliage plants under shelves equal to that in the controls by using AC power, despite the photosynthetic photon flux density from the LEDs by using solar cells being lower than that for the controls.

Key Words: Light-emitting diode, Ornamental foliage plants, Solar cell

本研究の一部は、平成22年度園芸学会東海支部大会（2011年8月）、平成23年度園芸学会東海支部大会（2012年9月）、園芸学会平成25年度春季大会（2013年3月）において発表した。

本研究は、「農工連携研究促進事業」により行った。

¹⁾ 園芸研究部 ²⁾ 園芸研究部（現企画普及部）

(2013. 10. 2 受理)

緒言

愛知県は全国一の観葉植物の生産県であり、平成22年の産出額は37億円に達している¹⁾。

観葉植物は一般に遮光下の棚で栽培され、その光条件は棚上が最も適した光量となっている。棚下は棚上に比較し、光量が不足するため、通路に面した部分で親株養成や育苗時に短期間利用される程度で、ほとんど利用されていない。また、近年は販売価格の低迷に加え、原油価格の上昇により、冬季の暖房費の節減のため加温面積の効率化が求められている。

一方、新しい光源として注目されているLEDは長寿命で消費電力や熱発生が少なく、1990年代前半からアメリカNASAの研究グループにおいて宇宙空間における植物生産に関する研究が行われてきた²⁾。但し、当初は高価で、利用できる波長も限られ、出力も低かったため、花きの栽培光としての利用は、実験室内に限られてきた³⁻⁵⁾。2000年以降、LEDは価格が下がるとともに、より高出力のものが開発され、LEDを光源とした完全制御型植物工場が光要求量が比較的低い葉菜類の生産において事業化される等、技術の発達が進んでいる³⁾。栽培現場でも実用レベルでキクの暗期中断に利用可能なLEDランプが開発され、県内を始め、全国で普及が進むとともに、キク以外の花きについても様々な反応が明らかにされ、利用が試みられている^{6, 7)}。

そこで、このLED照明が観葉植物栽培において棚下の光環境を改善し、有効活用により生産効率向上に利用できないかを検討するため、棚下のLED照明の近接照射による補光が観葉植物の生育に及ぼす影響について検討した。

材料及び方法

試験1 LED照明の近接照射が棚下のアンズリウムの生育に及ぼす影響

供試植物として、アンズリウム「アラバマ」を用いた。試験区は棚下で634 nmの赤色LED照明と453 nmの青色LED照明（いずれのLED照明もDELTA 8.64 W、鍋清株式会社、名古屋）を2：1に混合し近接照射する区（以下棚下LEDa区とする）、赤色LED照明のみを近接照射する区（以下棚下LEDb区）、棚下でLEDを照射しない区（以下棚下区）および棚上でLEDを照射しない区（以下棚上区）の4区を設定した。栽培は、当场園芸研究部花き研究室のガラス室において寒冷しゃ被覆下（80%遮光）で行った。7月8日に水苔でセルトレイに鉢上げを行なった。各区9株を供試した。LED照明は植物体表面で $20 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ になるよう光合成有効光量子束密度測定器HD2102.1測定プローブLP471PAR（デルタオーム社、イタリア）を用いて設置位置を決定し、鉢上げ後、午後5時から午前7時に照射し栽培した。葉数、株高、株張り等の生育調査は鉢上げ3か月後に行った。

試験2 LED照明の近接照射の時間帯が棚下のアンズリウムの生育に及ぼす影響

供試植物として、アンズリウム「ピンクチャンピオン」を用いた。試験区は棚下で637 nmの赤色LEDと449 nmの青色LEDを3：1に混合したLED照明DPLL-P-900 14 W（鍋清株式会社、名古屋）を午後5時から午前7時まで近接照射する区（以下17-7区とする）、同LED照明を午前7時から午後5時まで近接照射する区（以下7-17区）、棚下でLEDを照射しない区（以下棚下区）および棚上でLEDを照射しない区（以下棚上区）の4区を設定した。栽培は、当场園芸研究部花き研究室のガラス室において寒冷しゃ被覆下（80%遮光）で行った。6月10日に水苔でセルトレイに鉢上げを行なった。各区10株を供試した。LEDは植物体表面で $20 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ になるよう試験1と同様に設置し、鉢上げ後、試験区の時間帯に照射し栽培した。葉数、株高、株張り等の生育調査は3か月後に行った。

試験3 太陽電池を利用したLED照明の近接照射が棚下の観葉植物の生育に及ぼす影響

1 太陽電池とLED照明の設置について

LED照明をフィルム型アモルファス太陽電池Pmax：22 W（富士電機株式会社、東京）に接続した。太陽電池は温室南側に設置した。

2 夏季期間中のLED照明の近接照射が棚下の観葉植物の生育に及ぼす影響

供試植物は、アンズリウム「アラバマ」、ディフェンバキア「カミーラ」を用いた。栽培は、当场園芸研究部花き研究室のガラス室において寒冷遮被覆下（80%の遮光）で行なった。アンズリウムは、5月30日に水苔でセルトレイに鉢上げを行なった。ディフェンバキアは5月23日水挿し、6月29日にピートモスとパーライトを7：3で混合した鉢用土で3号ポットに鉢上げを行なった。試験区は、棚下で634 nmの赤色LEDと453 nmの青色LEDを3：1に混合したLED照明DSL-P-1200 18 W（鍋清株式会社、名古屋）を午前7時から午後5時に近接照射する区（以下棚下LED7-17区とする）、棚下で太陽光発電を利用して634 nmの赤色LEDと453 nmの青色LEDを3：1に混合したLED照明を近接照射する区（以下棚下LED SOLAR区）、棚下でLED照明を照射しない区（以下棚下区）、棚上でLED照明を照射しない区（以下棚上区）を設置した。LED照明は植物体表面で $20 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ （アンズリウムでは $40 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ）になるようアンズリウムでは5月31日から、ディフェンバキアでは6月29日から試験1同様に設置した。葉数、株高、株張り等の生育調査は3か月後に行った。アンズリウムは地表面と葉柄間の角度を測定した。ディフェンバキアの葉面積は基準とする10 cmの直線画像を目的の葉と同時にスキャンして画像を取り込み、フリーソフト「image J」を使用して面積を求めた。SPAD値は葉緑素計SPAD-502（コニカミノルタセンシング株式会社、大阪）を用いて測定した。

3 冬季期間中のLED照明の近接照射が棚下の観葉植物の生育に及ぼす影響

供試植物は、スパティフィラム「ショパン」、コーヒー「アラビカ」を用いた。栽培は、11月から3月まで最低夜温18℃を維持した当該園芸研究部花き研究室のガラス室において寒冷遮被覆下（80%の遮光）で行った。スパティフィラムは8月26日にセルトレイに調整ピートで鉢上げし、10月12日に当該慣行培土（容量比で基土（田土：2、牛フン：1）とピートモス、モミガラ、腐葉土を6：1：2：1とした混合土）とペーライトの7：3の混合土で3号ポットへ鉢上げを行った。コーヒーは9月3日に3号ポットへスパティフィラム同様の混合土で鉢上げを行った。試験区はLED照明を40 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ として、スパティフィラムでは11月1日から、コーヒーでは12月3日から夏季同様試験区を設定し、生育を調査した。

試験結果

試験1 LED照明の近接照射が棚下のアンズリウムの生育に及ぼす影響

生育期間中の試験区の温度推移を図1に示した。棚上区が最高29℃、最低21℃、平均25℃、棚下区が最高28℃、最低22℃、平均25℃であった。棚上区と棚下区の光合成有効光量子束密度の推移を図2に示した。棚上区は最高126 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、最低51 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、平均97 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、棚下区で最高28 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、最

低7 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、平均15 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ であった。生育調査結果を表1に、生育状況を図3に示した。葉数は、各区とも有意差はなかった。株張りは棚上区が最も大きかったが有意差はなかった。株高は棚下LEDa区が最も高くなり、次いで棚上区となり、棚下区、棚下LEDb区が同等に低くなった。最大葉長は棚上区が最も長くなり、次いで棚下LEDa区、棚下LEDb区、棚下区となった。最大葉幅は棚上区が最も長くなり、次いで棚下LEDa区、棚下LEDb区となり、棚下区が最も短くなった。新鮮重は棚上区、棚下LEDa区が同等に重くなり、棚下LEDb区、棚下区が同等に軽くなった。

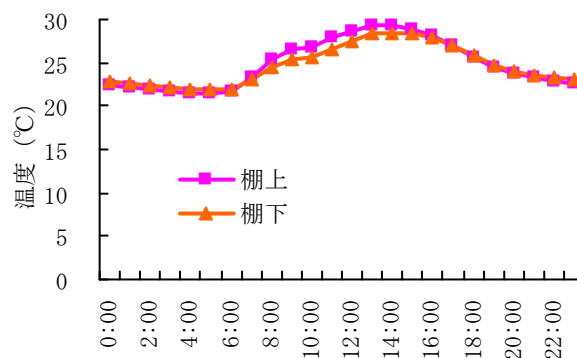


図1 試験区の温度推移
(7月15日～10月14日の平均値)

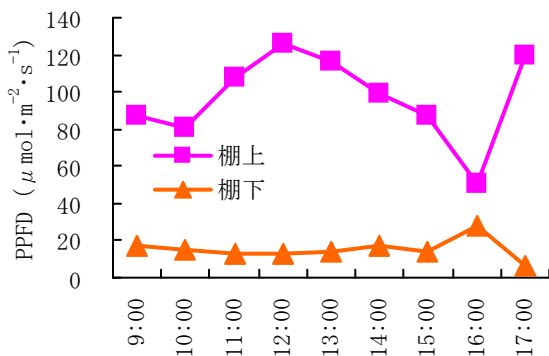


図2 光合成有効光量子束密度の推移（8月24日）



図3 アンズリウム「アラバマ」の生育状況（10月14日）

表1 アンズリウム「アラバマ」のLED照明の近接照射と生育

試験区	葉数 枚	株張り cm	株高 cm	最大葉長 cm	最大葉幅 cm	新鮮重 g
棚上	5.7 a ¹⁾	16.0 a	14.0 ab	9.0 c	5.4 b	9.6 b
棚下LEDa ²⁾	5.6 a	15.1 a	14.9 b	8.4 bc	5.1 ab	8.1 b
棚下LEDb ³⁾	5.7 a	14.3 a	11.6 a	7.9 ab	4.8 ab	6.1 a
棚下	5.3 a	14.0 a	11.8 a	7.4 a	4.6 a	5.9 a

1) Tukeyの多重検定により、異符号間に5%レベルで有意差あり。

2) 棚下LEDa区は634 nmの赤色LED照明と453 nmの青色LED照明を2：1に混合したLED照明を使用。

3) 棚下LEDb区は634 nmの赤色LED照明を使用。

試験2 LED照明の近接照射の時間帯が棚下のアンズリウムの生育に及ぼす影響

生育期間中の試験区の温度推移を図4に示した。棚上区が最高30℃、最低23℃、平均26℃、棚下区が最高29℃、最低23℃、平均25℃であった。棚上区と棚下区の光合成有効光量子束密度の推移を図5に示した。棚上区が最高180 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、最低33 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、平均115 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、棚下区で最高が最高16 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、最低5 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、平均9 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ であった。生育調査結果を表2に、生育状況を図6に示した。葉数は、各区とも有意差はなかった。株張りは17-7区が最も小さくなった。株高は棚上区および7-17区が同等に高くなり、次いで17-7区となり、棚下区が最も低くなった。最大葉長および最大葉幅は棚上区および7-17区が最も長くなり、次いで棚下区、17-7区が同等に短

くなった。新鮮重は棚上区が最も大きくなり、次いで7-17区、17-7区となり棚下区が最も軽くなった。

試験3 太陽電池を利用したLED照明の近接照射が棚下の観葉植物の生育に及ぼす影響

1 太陽電池とLED照明の設置について

太陽電池の電流と電圧の関係について図7に示した。太陽電池は90Vで最大となった。この太陽電池の最大電圧と等しい負荷となるよう調整したLED照明を4枚の太陽電池に並列に接続し、図8のとおり試験区を設定した。

2 夏季期間中のLED照明の近接照射が棚下の観葉植物の生育に及ぼす影響

生育期間中の試験区の温度推移を図9に示した。棚上区が最高30℃、最低21℃、平均25℃、棚下区が最高

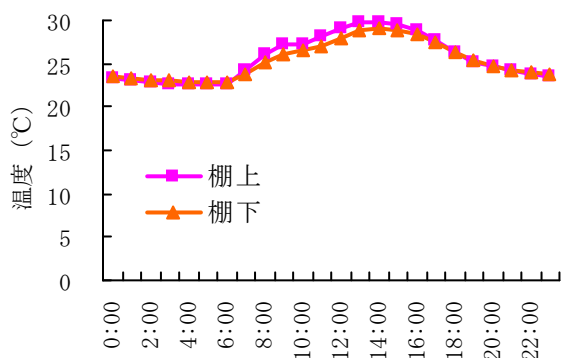


図4 試験区の温度推移 (7月1日~11月1日の平均値)

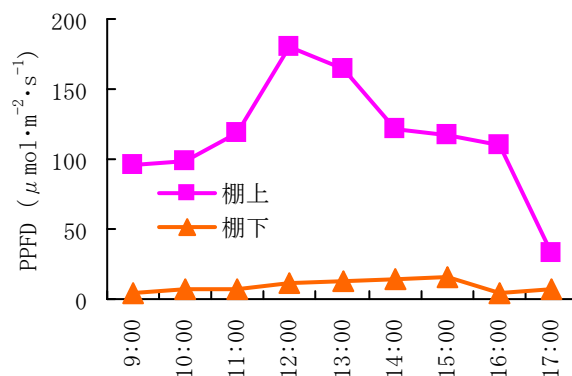


図5 光合成有効光量子束密度の推移 (8月1日)

表2 アンズリウム「ピンクチャンピオン」のLED照明の近接照射と生育

試験区	葉数 枚	株張り cm	株高 cm	最大葉長 cm	最大葉幅 cm	新鮮重 g
棚上	6.1 a ¹⁾	17.6 b	17.0 b	9.1 b	4.8 b	9.0 c
7-17 ²⁾	5.7 a	16.1 b	16.2 b	9.0 b	4.9 b	7.5 bc
17-7 ³⁾	6.1 a	11.5 a	14.9 ab	6.9 a	3.8 a	6.5 ab
棚下	6.2 a	15.3 b	13.6 a	7.3 a	4.0 a	5.6 a

- 1) Tukeyの多重検定により、異符号間に5%レベルで有意差あり。
- 2) 7-17区は棚下で637 nmと449 nmのLEDを3:1に混合したLED照明を7時から17時まで近接照射。
- 3) 17-7区は棚下で637 nmと449 nmのLEDを3:1に混合したLED照明を17時から7時まで近接照射。

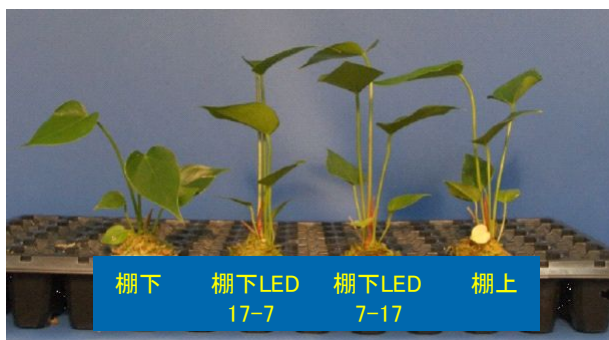


図6 アンズリウム「ピンクチャンピオン」の生育状況 (9月13日)

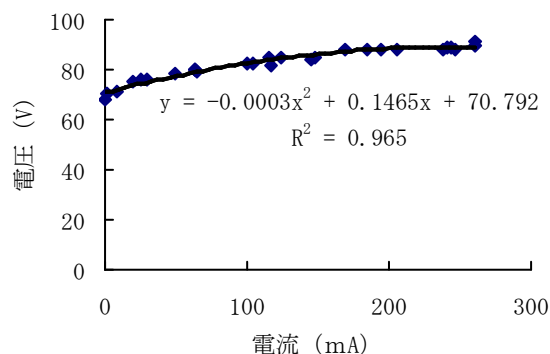


図7 太陽電池の電流と電圧の関係

28℃、最低21℃、平均24℃であった。棚上と棚下の光合成有効光量子束密度の推移を図10に示した。棚上区が最高70 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、平均40 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、棚下区で最高が25 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、平均8 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、棚下LED 7-17区が最高36 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、平均22 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、棚下LED SOLAR区が最大29 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、平均17 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ であった。棚下LED SOLAR区は、棚下LED 7-17区と同様、午前7時頃から点灯し、午後3、4時頃に棚

下区と同等となった。

アンズリウムの生育調査結果を表3に、生育状況を図11に示した。葉数および株張りは試験区間に有意な差はなかった。株高は棚下LED 7-17区が最も高くなり、次いで棚下LED SOLAR区、棚上区となり、棚下区が最も低くなった。最大葉長は棚下区が最も短くなった。最大葉幅は棚下7-17区が最も広くなり、次いで棚上区および棚下LED SOLAR区が同等に広くなり、棚下区の幅が

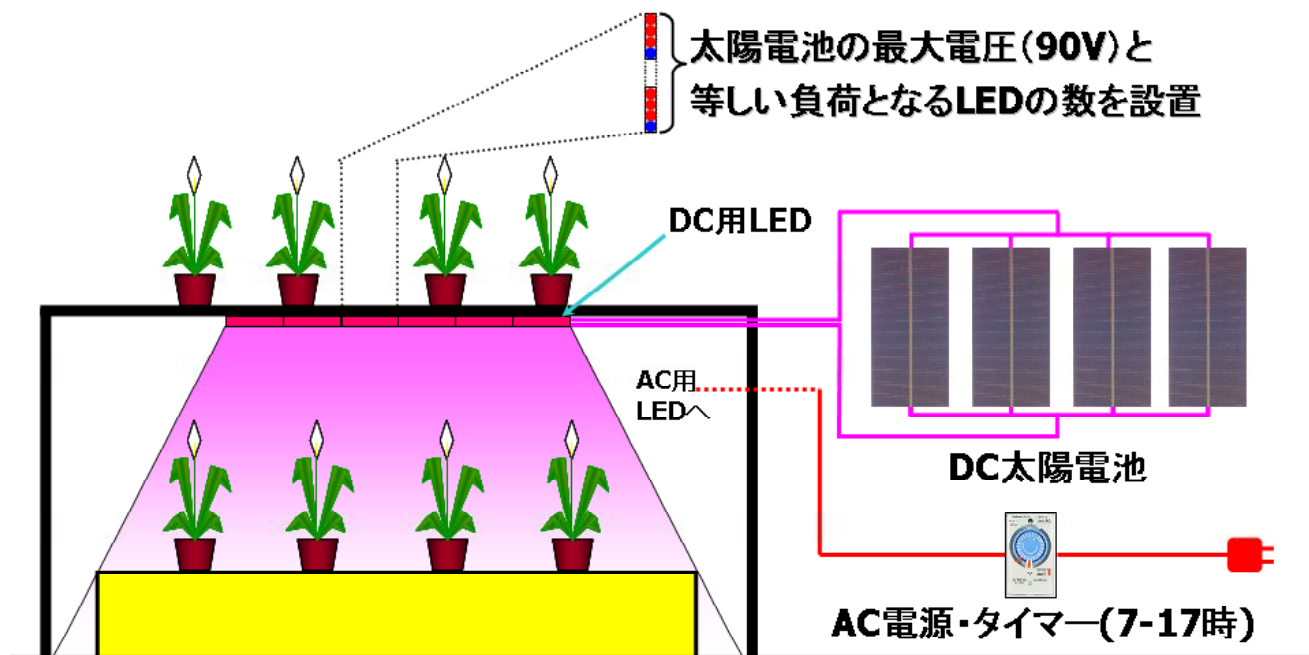


図8 試験装置の模式図

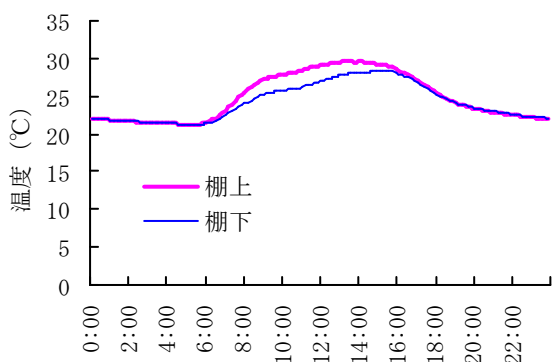


図9 試験区の温度推移 (7月8日~11月7日の平均値)

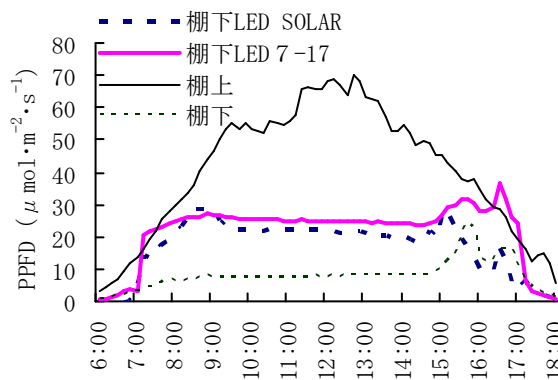


図10 光合成有効光量子束密度の推移 (7月8日~11月7日までの平均値)

表3 アンズリウム「アラバマ」のLED照明の近接照射と生育

試験区	葉数 枚	株張り cm	株高 cm	最大葉長 cm	最大葉幅 cm	角度 °	SPAD
棚上	5.9 a ¹⁾	15.5 a	13.8 ab	9.3 b	5.6 ab	148.5 b	57.4 a
棚下LED7-17 ²⁾	5.9 a	14.5 a	15.6 b	9.7 b	5.9 b	148.5 b	59.6 a
棚下LED SOLAR ³⁾	5.7 a	16.3 a	14.6 ab	9.0 b	5.4 ab	147.6 b	58.2 a
棚下	5.8 a	15.7 a	13.2 a	8.0 a	5.2 a	133.5 a	57.9 a

1) Tukeyの多重検定により、異符号間に5%レベルで有意差あり。

2) 棚下LED 7-17区は棚下で634 nmと453 nmのLEDを3:1に混合したLED照明を7時から17時まで近接照射。

3) 棚下LED SOLAR区は棚下で太陽電池を利用して634 nmと453 nmのLED照明を3:1に混合したLED照明を近接照射。

最も狭くなった。角度は棚下区が最も小さくなった。SPADは試験区間に有意な差はなかった。

ディフェンバキアの生育調査結果を表4に、生育状況を図12に示した。葉数は棚上区が最も多くなり、次いで棚下LED 7-17区、棚下LED SOLAR区となり、棚下区が最も少なくなった。株張りおよび株高は棚上区が最も大きかったが試験区間に有意な差がなかった。最終展開葉の長さは棚上区、棚下LED 7-17区、棚下LED SOLAR区が同等に長くなり、棚下区が最も短くなった。最終展開葉の幅は棚上区が最も広くなり、ついで棚下LED 7-17区、棚下LED SOLAR区となり、棚下区が最も狭くなった。最終展開葉の面積は棚上区、棚下LED 7-17区が同等に大きくなり、次いで、棚下LED SOLAR区となり、棚下区が最も小さくなった。白斑割合は有意差がなかつた。

SPADは棚上区、棚下LED 7-17区、棚下LED SOLAR区が同等に大きくなり、棚下区が最も小さくなった。新鮮重は棚上区が最も重く、次いで棚下LED 7-17区、棚下LED SOLAR区となり、棚下区が最も軽くなった。

3 冬季期間中のLED照明の近接照射が棚下の観葉植物の生育に及ぼす影響

生育期間中の試験区の温度推移を図13に示した。棚上区が最高23°C、最低19°C、平均20°C、棚下区が最高21°C、最低17°C、平均18°Cであった。棚上と棚下の光合成有効光量子束密度の推移を図14に示した。棚上区が最高61 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、平均32 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、棚下区が最高が9 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、平均4 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、棚下LED 7-17区が最高53 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、平均37 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、棚

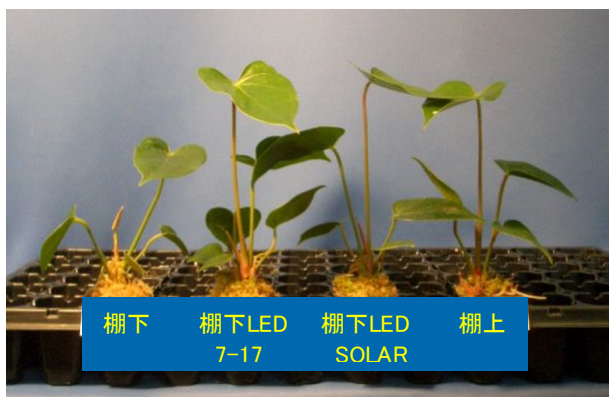


図11 アンスリウム「アラバマ」の生育状況（8月31日）



図12 ディフェンバキア「カミーラ」の生育状況（10月7日）

表4 ディフェンバキア「カミーラ」のLED照明の近接照射と生育

試験区	葉数 枚	株張り cm	株高 cm	最終展開葉				SPAD	新鮮重 g
				長さ cm	幅 cm	面積 cm ²	白斑割合 %		
棚上	9.3 b ¹⁾	32.4 a	24.8 a	16.7 b	7.4 b	78.8 b	31.6 a	46.4 b	50.8 c
棚下LED7-17 ²⁾	9.0 ab	30.1 a	19.3 a	15.5 b	6.8 ab	73.7 b	27.0 a	51.0 b	32.1 b
棚下LED SOLAR ³⁾	8.9 ab	30.3 a	21.9 a	14.9 b	6.7 ab	68.0 ab	22.4 a	44.9 b	29.8 ab
棚下	8.2 a	28.6 a	18.1 a	12.4 a	5.8 a	49.4 a	18.7 a	37.3 a	23.0 a

1) Tukeyの多重検定により、異符号間に5%レベルで有意差あり。

2) 棚下LED 7-17区は棚下で634 nmと453 nmのLEDを3：1に混合したLED照明を7時から17時まで近接照射。

3) 棚下LED SOLAR区は棚下で太陽電池を利用して634 nmと453 nmのLEDを3：1に混合したLED照明を近接照射。

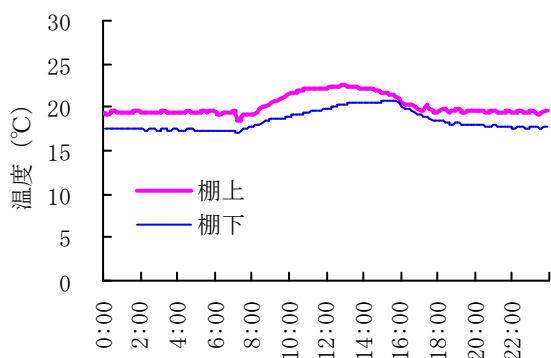


図13 試験区の温度推移
(12月1日～3月31日の平均値)

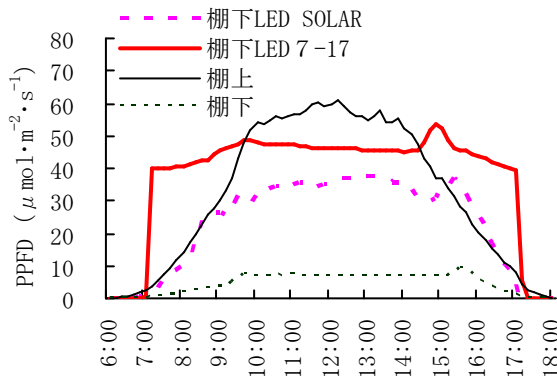


図14 光合成有効光量子束密度の推移
(12月1日～3月31日までの平均値)

下LED SOLAR区が最大38 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、平均23 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ であった。棚上と比較した有効光合成光量子束密度の割合は棚下LED 7-17区が116.7%、棚下LED SOLAR区が70.5%、棚下が14.1%となり、近接照射区間では棚下LED SOLAR区は棚下LED 7-17区と比較し約40%低くなった。

スパティフィラムの生育調査結果を表5に、生育状況を図15に示した。葉数は棚上区およびLEDを照射した2区が最も多くなり、棚下区が最も少なくなった。側芽数は棚上区が最も多く、次いで棚下LED 7-17区、棚下LED SOLAR区となり、棚下区は側芽の発生がなかった。株張りは棚下LED 7-17区が最も大きくなり、次いで棚上区、棚下LED SOLAR区となり、棚下区が最も小さくなった。株高は棚上区およびLEDを照射した2区が最も高くなり、棚下区が最も小さくなった。最終展開葉の角度は棚下LED 7-17区および棚下LED SOLAR区が同等に最も大きくなり、次いで棚上区となり、棚下区が最も小

さくなった。SPADは試験区間に有意な差はなかった。花茎発生株率は棚上区が最も大きくなり、次いで棚下LED 7-17区、棚下LED SOLAR区となり、棚下区では花茎の発生がなかった。開花は棚上区が最も早くなり、棚下区が最も遅くなった。

コーヒーの生育調査結果を表6に、生育状況を図16に示した。節数は棚上区が最も多くなり、次いで棚下LED SOLAR区および棚下LED 7-17区となり、棚下区が最も少なくなった。株張りおよび茎長は棚上区が最も大きくなり、次いで棚下LED 7-17区および棚下LED SOLAR区が同等に大きくなり、棚下区が最も小さくなった。SPADは棚下LED 7-17区が最も大きくなり、次いで棚下LED SOLAR区となり、他の区は同等に小さくなった。新鮮重は棚上区が最も重くなり、次いで棚下LED 7-17区および棚下LED SOLAR区が同等に重くなり棚下区が最も軽くなった。

表5 スパティフィラム「ショパン」のLED照明の近接照射と生育

試験区	葉数 枚	側芽数 芽	株張り cm	株高 cm	最終展開葉		花茎発生株率 %	到花日数 ⁴⁾ 日
					角度 °	SPAD		
棚上	10.3 b ¹⁾	3.1 c	32.8 bc	20.9 b	117.0 ab	50.6 a	100	166 a
棚下LED7-17 ²⁾	10.2 b	1.6 b	34.7 c	21.8 b	124.5 b	53.3 a	80	201 b
棚下LED SOLAR ³⁾	10.0 b	1.0 ab	29.1 b	21.8 b	132.0 b	49.9 a	70	204 b
棚下	8.9 a	0.0 a	21.6 a	13.4 a	99.0 a	49.9 a	0	222 c

- 1) Tukeyの多重検定により、異符号間に5%レベルで有意差あり。
- 2) 棚下LED 7-17区は棚下で634 nmと453 nmのLEDを3:1に混合したLED照明を7時から17時まで近接照射。
- 3) 棚下LED SOLAR区は棚下で太陽電池を利用して634 nmと453 nmのLEDを3:1に混合したLED照明を近接照射。
- 4) 鉢上げ日(10/12)より開花日までの日数。



図15 スパティフィラム「ショパン」の生育状況 (4月2日)



図16 コーヒー「アラビカ」の生育状況 (5月31日)

表6 コーヒー「アラビカ」のLED照明の近接照射と生育

試験区	節数 節	株張り cm	茎長 cm	SPAD	新鮮重 g
棚下LED7-17 ²⁾	8.0 b	21.4 b	10.5 b	54.7 b	8.9 b
棚下LED SOLAR ³⁾	8.2 b	22.9 b	10.5 b	52.5 ab	9.1 b
棚下	6.4 a	15.5 a	6.8 a	50.1 a	4.0 a

- 1) Tukeyの多重検定により、異符号間に5%レベルで有意差あり。
- 2) 棚下LED 7-17区は棚下で634 nmと453 nmのLEDを3:1に混合したLED照明を7時から17時まで近接照射。
- 3) 棚下LED SOLAR区は棚下で太陽電池を利用して634 nmと453 nmのLEDを3:1に混合したLED照明を近接照射。

表7 棚下LED照明の近接照射による暖房費の節減効果 (10 aあたり)

試験区		重油	重油	電気	電気	重油代+ 電気代	生産量 ⁵⁾ 千鉢	千鉢あたり 光熱費	コスト 削減率
		消費量 ¹⁾ kL	料金 ²⁾ 千円	使用量 ³⁾ kW	料金 ⁴⁾ 千円				
棚下LED照明 近接照射	AC電源利用	25.5	2040	13140	263	2303	135.0	17	43.6
棚下LED照明 近接照射	太陽電池利用	25.5	2040	0	0	2040	135.0	15	50.0
20℃管理		25.5	2040	0	0	2040	67.5	30	0.0

1) 平成16年の県内の平均的な観葉植物生産者の重油使用量 (25 kL/年・10 a) から推定した。

2) 重油料金を80千円/kLとした。

3) 18 WLEDを10時間・365日近接照射とし、試験区を10 a換算。

4) 20円/kWとした。

5) 20℃管理は 県内の平均的な観葉植物生産者の生産量。

考 察

光は植物の光合成や光形態形成に関与する重要な外的要素である。光合成については、葉緑素 (クロロフィル) の吸収スペクトルから青色光 (450 nm付近) と赤色光 (660 nm付近) が有効な光とされている³⁾。本試験で補光として用いたLEDは少ない電力で発光でき、光合成に有効な波長を集中的に照射することが可能である。LED補光により、棚下の有効活用が図られ、観葉植物栽培の生産効率の向上につながる可能性が高い。

試験1のアンズリウムは、634 nmの赤色LED照明を単独で照射した棚下LEDb区よりも634 nmの赤色LED照明に453 nmの青色LED照明を加えた混合光を照射した棚下LEDa区で生育を促進し、棚上区と類似した結果が得られた。こうした現象は、トウガラシ、コムギ等、多くの野菜や作物で報告があり^{8)・9)}、本試験のアンズリウムにおいても同様な効果により、棚下LEDa区の生育が最も促進されたと考えられる。棚下LEDb区は株高が低くなる等、形態が棚下区に類似していた。しかし、LEDの光質は様々な形態形成に及ぼし、赤色光の単色の波長が伸長の抑制に働くことが示唆されており⁷⁾、アンズリウムの場合も同様に赤色光の作用を受け株高が低くなったと推察される。また、光強度については、棚上に比較するとLEDの $20 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の補光は、わずかな光環境の改善ではあるものの光合成に最適な光質であり適温下のアンズリウムの光補償点を超える光強度が確保されたこと¹⁰⁾が、棚下LEDa区の成長につながったと考えられる。

また、試験2のアンズリウムは、棚下でのLED照明の近接照射は昼間の午前7時から午後5時まで照射した区が夜間の午後5時から午前7時まで照射した区よりも生育を促進するとともに棚上区の形態と最も類似した。森岡ら¹⁰⁾によれば、アンズリウムの20℃の光補償点は $6 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ であるものの、30℃では $126 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ に上昇する。昼間の温度は最高で30℃となり、昼

間に棚下の日射に加えてLED照明の照射により、昼間の温度上昇により上昇した光補償点を超える光合成に有効な光強度に長く保たれたためと推察される。形態については同様な理由で、夜間照射の個体よりも光強度の強い光にあたっていたことが、棚上に近い形態を示したと考えられる。そのため、午後5時から午前7時までLED照明を照射した区は、午前7時から午後5時までの昼間照射した区よりも照射は4時間長いものの、昼間の照射と比較し生育促進の効果が小さく、株張り、最大葉長・葉幅が小さくなった考えられる。

試験3では、試験1および2のアンズリウムで得られた結果をもとに、アンズリウムに加え様々な観葉植物において、夏季および冬季の棚下での混合光のLED照明による昼間を中心とする補光を行った。また、LED照明の電源については通常AC電源に加え、太陽電池のDC電流を直接LED照明に流す二つの方式で行った。

夏季のアンズリウムおよびディフェンバキアにおいては、棚下でのLED照明の補光は、AC電源でも太陽電池でも生育促進効果がみられた。アンズリウムの棚下でのLED照明の補光は、特に株高、最大展開葉の大きさで棚上区と同等の生育を示し、角度は同等の形態を示した。また、ディフェンバキアでは特に葉数、最終展開葉の面積および葉色について棚上区とほぼ同等であった。

冬季のスパティフィラムおよびコーヒーにおいては、棚下でのLED照明の補光は、AC電源でも太陽電池でも無補光の棚下区に比較し生育促進効果がみられた。スパティフィラムにおいては特に葉数、株高、最終展開葉の角度が棚上区と同等の生育、形態を示し、開花は棚上区に次いで早くなった。なお、冬季の寡日照による太陽電池の発電量の減少を考慮し、LED照明の光強度を夏季と比較し、倍の $40 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ に設定した結果、コーヒーの新鮮重においてLED照明の照射区は棚下区の2倍以上になったものの、棚上区の半分程の生育量であった。新井ら¹¹⁾によればスパティフィラムを始め、冬季の観葉植物の多くは20℃が最適暖房温度とされて

いる。棚上と比較したスパティフィラムの開花の遅れやコーヒーの生育が同等でなかったのは、棚下の温度環境が棚上と比較し2℃低く、最適暖房温度の20℃を下回ったためと考えられる。そのため、特に冬季においては補光に加え、循環扇等による温室内の温度格差を小さくすることで、棚下でも棚上とほぼ同等の生育を示すと思われる。

なお、棚上と棚下の両方で栽培を行う場合、暖房費からみた節減効果を重油価格を80円/Lとし、電気使用量を加味して生産鉢数あたりのコスト削減率を試算した結果(表7)、AC電源を利用した場合43.6%、太陽電池利用の場合50%となった。一定の条件でLED照明を棚下に照射することで単位面積当たりの生育量が倍増し、重油節減効果が高くなることが明確となった。

以上のことから、棚下でのLED照明による近接照射は夏季においても、冬季においても供試した観葉植物の生育を促進し、棚下で、棚上とほぼ同等な観葉植物の栽培が十分可能であることが明らかとなった。また、その補光の方法はAC電源で午前7時から午後5時までタイマーで制御した補光方法よりも光合成有効光量子束密度は低くなるものの、太陽電池から供給されるDC電流を直接利用したLED照明の照射も同等の効果となった。太陽電池を用いることで棚下照明に係わる電気代を削減でき一層節減効果が高くなる。なお、現状では農業生産だけで、太陽電池のイニシャルコストを短期間に回収するのは難しく、電源として利用できる可能性は低い。但し、太陽電池の技術開発は日進月歩でさらなる発電効率のアップや大幅なコストダウンにより、今後導入のメリットが高まる可能性がある。既に、園芸先進国のオランダにおいては太陽光パネルを温室屋根面に設置し、発電に加え、直射日光を和らげる遮光に用いる温室が試作されている^{1,2)}。省電力のLEDの特性と太陽電池を組み合わせ、様々な設置方法によりさらなる生産効率の向上や暖房費節減に有効であると考えられる。

引用文献

1. 愛知県. 農業の動き. p.98(2013)
2. Bula, R. W., Morrow, R. C., Tibbets, T. W., Barata, D. J., Ignatius, R. W. and Martin, T. S. Light-emitting diodes as a radiation source for plants. Hort. Science. 26, 203-205(1991)
3. 後藤英司. 農林水産業におけるLEDの利用と展望 農林水産技術研究ジャーナル. 32(10), 5-9(2009)
4. 宮坂祐司, 雨木若慶, 佐藤幸治, 渡邊博之. ペチュニアの成長と形態形成に対するGA₃処理と各種LED光照射の影響. 園学雑. 74(別1), 150(2005)
5. 平井正良, 雨木若慶, 渡邊博之. 発光ダイオード(LED)による単色光照射がナス、リーフレタス、ヒマワリの節間伸長に及ぼす影響. 植物環境工学. 18(2), 160-166(2006)
6. Hamamoto, H., Shimaji, H. and Higashide, T. Budding and bolting responses of horticultural plants to night-break treatments with LEDs of various colors. J. Agric. Meteorol. 59(2), 103-110(2003)
7. 新井聡, 大石一史. 夜間の各種単波長のLED照明が数種の鉢物の生育に及ぼす影響. 愛知農総試研報. 43, 41-53(2011)
8. Brown, C. S., Schuerger, A. C. and Sager, J. C. Growth and photomorphogenesis of pepper plants under red light-emitting diodes with supplemental blue or far-red lighting. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 120, 808-813(1995)
9. Goins, G. D., Yorlino, N. C., Sanwo, M. M. and Brown, C. S. Photomorphogenesis, photosynthesis, and seed yield of wheat plants grown under red light-emitting diodes(LEDs) with and without supplemental blue lighting. J. Exp. Bot. 48, 1407-1413(1997)
10. 森岡公一, 米村浩次, 山本幸男, 太田弘. 観葉植物12種の光合成特性. 園学要旨63秋. 490(1988)
11. 新井聡, 和田朋幸, 大石一史. 観葉植物の暖房方法と暖房費節減効果. 愛知農総試研報. 41, 85-92(2009)
12. Sonneveld, P. J., Swinkels, G. L. A. M., Tuijl, B. A. J. van, Janssen, H. J. J., Campen, J. and Bot, G. P. A. Performance of a concentrated photovoltaic energy system with static linear Fresnel lenses. Solar Energy. 85(3), 432-442(2011)