

植物の生育に悪影響を与えない照明灯の開発研究

阪部 俊也・笹岡 元信*・杉山 高世**・中野 智彦***

A development of the lighting system that have not a bad influence on plants

Toshiya SAKABE, Motonobu SASAOKA, Takatugu SUGIYAMA, Tomohiko NAKANO

Recently, as the progress of social life advance, a pollution of night lighting has been arisen that have a harmful influence the growth and yield of rice plant. Night lighting harm is pollution to growth such as plants and animals, and to confuse ecosystem by the lighting of night such as street lamps is more brightly lit up. In this study, we have examined the relation between the wavelength of night lighting and growth of the plants. As a result, it became evident that red ray of night lighting have harmful influence the yield of rice plant. And, We have realized that a white ray mixing by blue and yellow ray that human recognize a white ray, as well, have harmful influence of spinach growth.

1. 緒 言

近年社会が発展するにつれて光害（ひかりがい）という一種の公害が環境に悪影響を及ぼしている。環境省の光害対策ガイドライン⁽¹⁾では、光害とは「良好な照明環境の形成が、漏れ光によって阻害されている状況又はそれによる悪影響」と定義されている。具体的には街灯などの夜間照明等が、目的とされる対象以外に照されたり、必要以上に明るく照らされることにより、周辺的环境、人、動植物などの生育に影響を与え、生態系を混乱させる等という公害である。

農業の生産現場においても、夜間の照明により農作物の生育に影響が出る事例があり⁽²⁾、特に、都市近郊の農業地域では、農地に隣接する道路の照明灯や夜間営業の店舗の増加により被害が発生しやすい状況にある。このように光害が植物、農作物に与える影響は深刻で、近年になってようやく積極的に対策⁽³⁾が講じられるようになってきた。

本研究でこのような光害に対して何らかの対策と取る必要があると考え、このような事例を元に植物の生育と光害の影響との関係を検討する。

これまでの研究で、夜間照明のような光を稲に与えることによって、稔実障害また増葉現象が発生する事が報告されている。⁽²⁾そこで本研究では光の波長に焦点をあて、植

物の生育との関係を明らかにすることを目的とする。

本研究では特に稲の成長に悪影響を与える波長に注目し、その照明には特定波長の波長特性が良く、また各種の波長が存在しているLED（発光ダイオード）を用いる。各種の照明に対して、稲の稔実状態を調べ、悪影響を与える波長の特定をし、その波長を含まずに照明灯として使用可能な照明灯の開発研究を行う。さらに、光以外の条件が出来るだけ一定となった室内で、光に特に敏感であるハウレン草に夜間照明の光を当て、夜間照明を当てないで育てたハウレン草と生育状況を比較し、検討考察する。

2. 光害について

2.1 光害とは

光害は、高度に工業化され、人口が密集したアメリカ、ヨーロッパ、日本で特に深刻である。日本列島は、北海道も本州も九州もすべてが繋がりに飽和状態になっている。まさに日本は光の渦中。世界で最も夜が明るい国である。

2.2 光害への国、地方自治体の対策

光害への関心が高まり、環境庁により、「光害対策ガイドライン（平成10年3月）」が策定するとともに、地方公共団体が地域の特性等を考慮した形で、地域照明環

*三晃精機（株）

奈良県農業総合センター、*奈良県農業総合センター（高原農業振興センター）

境計画を策定するための「地域照明環境計画策定マニュアル」(平成12年7月)、「光害防止制度に係るガイドブック」(平成13年9月)を策定している。

しかしこれらの多くは、動植物に対しての有効な対策とは、いえないものである。

2.3 植物への光害

人工光が植物に与える影響の多くは、日長リズムが乱されたことによるものが多いが、その影響は、光放射量、温度や水分条件などが複合して起こる。光放射の影響を受け易い植物の例として、水稻やホウレン草がある。

水稻は、日長が短日になった時期を感知して、花芽形成が促進され、出穂する短日植物である。水稻への影響は、種まき後60日から刈り入れ前70日の間の「感光性期間」に、あるレベル以上の人工光があると出穂が遅延する点にある。出穂が遅延すると、その後の温度変化などの要因と複合して、寒冷地域などでは登熟に影響が生じ、収穫が減少するという問題が生じる⁽⁴⁾。

ホウレン草の伸長は長日条件下で始まる。したがって、あるレベル以上の人工光があると、長日条件が満たされ、その伸長が進むことによって、はやばやと「臺(とう)」がたってしまう、商品にならなくなってしまうという問題が生じる。この条件は、品種や温度によっても異なるが、弱いものでは長日期に5[lux]程度⁽²⁾でも影響を受けるとされる。

3. 実験装置・方法

3.1 稲の夜間照明の影響実験

水稻の品種としては、奈良県で多く栽培されているヒノヒカリとし、奈良県農業技術センターの農場(圃場)において実験を行った。光源の種類としては、波長が明確であるLEDを8種類、そして一般に街灯に使用されているハロゲンランプ、蛍光灯の10種類とした。お互いの光が干渉しないように配置をした。圃場(南北100m、東西100m)での照明灯配置(約20m間隔)を図1に示す。各照明の照射域には、10lux,20lux,30luxの照度の箇所にポールを設置した。

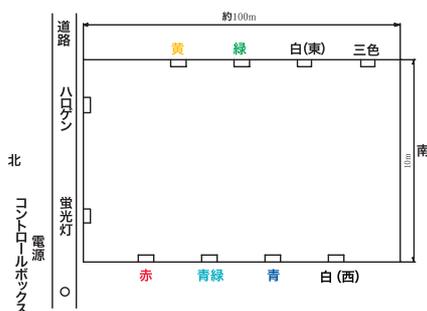


図1 圃場での照明灯の配置図

光源の波長は、LEDについては赤(中心波長 λ_s : 650nm),黄(λ_s : 580nm),緑(λ_s : 520nm),青緑(λ_s : 490nm),青(λ_s : 460nm)であり、 $\Delta\lambda = 20$ nm程度である。

白色光は(420nm~720nm)波長領域のものを使用した。三色混合光(3原色LED430nm+525nm+630nm)と蛍光灯の波長特性は広い領域にあり、図2、図3に示す。

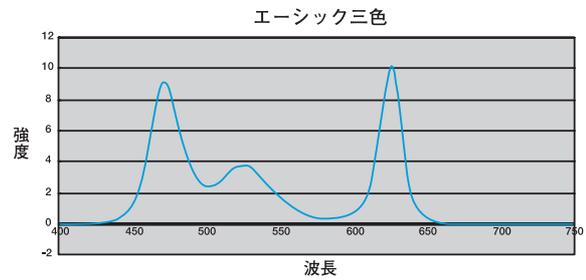


図2 三色混合光の波長特性

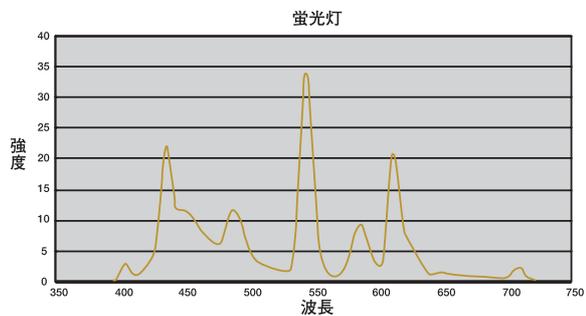


図3 蛍光灯の波長特性

実際の実験圃場での稲と照明灯の写真を図4に示す。



図4 畝傍山を背景にした実験圃場

夜の照明は、日没センサーにより点灯し、朝になると消灯するように設定した。

夜間照明の設置は6月より開始した。そして、自然光のみの稲が出穂し始める頃から、各夜間照明を行った箇

所の出穂状態を観察した。

夜間での照明状況の一例を図5に示す。

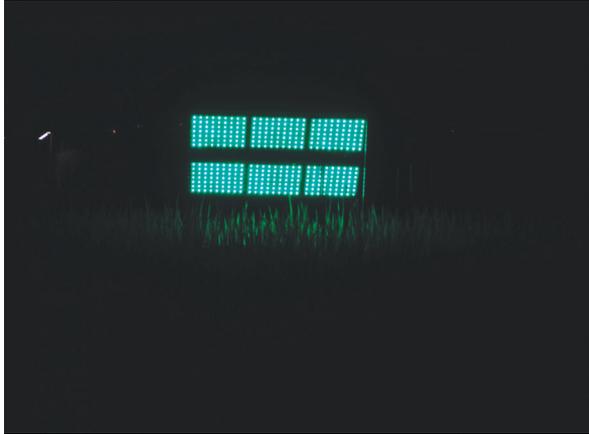


図5 夜間照明状況の一例

3.2 ほうれん草の夜間照明の影響実験

植物の生育には日射、温度、湿度、風量と様々な条件が影響を与えるが、本研究では光と植物の生育との関係を明確にすることを目的としているため光以外の条件を出来るだけ常に一定にする必要がある。まず温度、湿度の変化を出来るだけ一定にし、安定させるために実験は室内で行うものとする。また室内で行うことは外で実験を行うのと比べて手軽という利点もある。植物を育てるためには光合成をさせるために光を与えなければならないが、植物にはより自然の環境に近いように太陽光を光ファイバを通して与える。本研究では、2つのプランタを用意して育ち方を比較するのだが、もちろん両方のプランタに与える光の量、水量、土壌の種類も同じにしなければならない。

これらのように夜間照明以外の条件を常に同じにする事によって、植物の生育と夜間照明光との関係を明確にすることが出来ると考えられる。

3.2.1 実験装置

本研究で使用する実験装置の全体図を図6に示す。本研究室の屋上に設置されている太陽光集光機（ひまわりラフォーレエンジニアリング（株）図7）によって太陽光が集められ、光ファイバを通じ、実験室まで導かれる。太陽光の照射角度を広げるために照射器具（図8）が取り付けられており、この照射器具を通じて植物へ照射される。太陽が出ている限り植物へは常時太陽光が与え続けられる。

植物を育てるプランタと照射器具を2つ用意し、あいだに仕切りを取り付ける。プランタは500mm×350mmのものを使用する。また、照射器具はプランタの中心が照射器具の真下となるように設置されている。

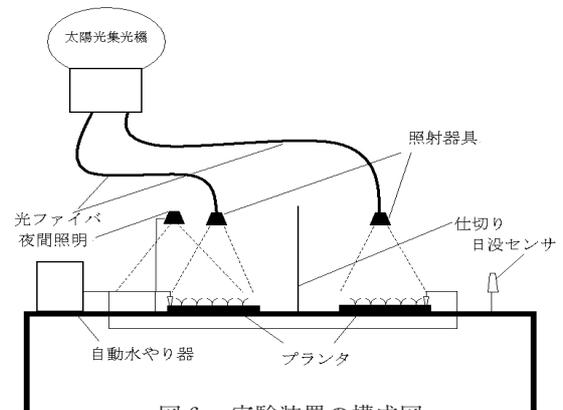


図6 実験装置の構成図



図7 太陽光集光機

片方のプランタにはさらに夜間照明（図8）も設置する。夜間照明としては蛍光灯（National FL 20SS・ECW-18 SC1522 パルッククール色）を使用し、外界の光がある照度（10[lux]程度以下）になると反応する日没センサによって点燈する仕組みになっている。また1日1回決まった時間に水を与えられるように自動水やり器を設置する。



図8 太陽光照射器具と夜間照明

3.2.2 実験方法

本研究では実験体の植物としてほうれん草を使用す

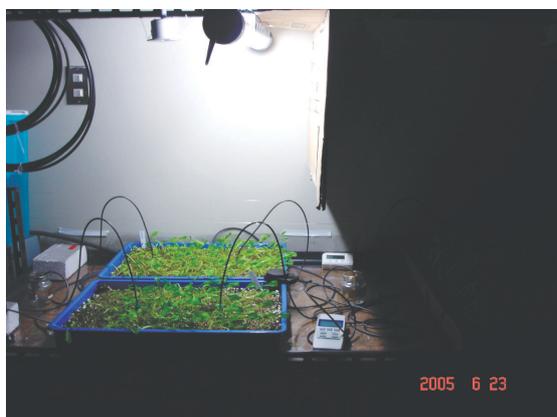
る。ハウレン草は育ちが比較的早く、結果が早く出るのである。また光にも他の植物と比べて敏感であるという特徴も持っている。

ハウレン草は、種子からの発芽は奈良県農業技術センター、高原農業支援センターで行い、実験は奈良高専で行った。まず2つのプランタの間に仕切りを設け、昼間は両方のプランタに太陽光を、夜は片方のプランタに夜間照明を与え、もう片方は暗くしておく。その様子を図9に示す。ここで、夜間照明ありのプランタをプランタ(夜)、夜間照明なしのプランタをプランタ(昼)と定義しておく。

室内の温度は植物が育つのに適当な温度である25～26℃、湿度60%程度に常時空調によって調整し、さらに温湿度ロガーで1時間ごとの温度、湿度を記録する。また午後5時に自動水やり機が作動し、適量の水を与える。



(a) 昼間の照射の様子



(b) 夜間の照射の様子

図9 ハウレン草への照射の様子

3. 2. 3 実験の環境の検証

まず、太陽光の照度の測定を行った。照射器具から照射される太陽光の照度分布と高さとの関係を測定した結果、照射器具からの距離0.7mにおいて、中心での照

度は、6000lux,半径0.7m内で2000lux以上の照度があり、十分な太陽光を与えることができる。ただし、雨天時には、照度はかなり落ちることから、補助照明を蛍光灯により、与えた

次に夜間のプランタ(夜)とプランタ(昼)の照度分布を測定した結果、夜間照明から照射される光の照度は最大で450[lux]程度となっている。これは植物に影響をたたえるには十分な照度であるといえる。また、プランタ(昼)の夜間の照度分布であるが、最大で約1[lux]程度の照度がある。

夜間照明の波長分布を図10に示す。この図より夜間照明の波長分布は550nm付近が最大となっており、広い範囲の波長が含まれることが判る

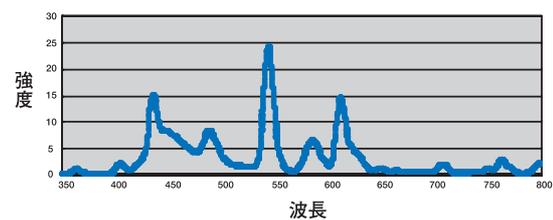


図10 夜間照明の波長分布

4. 実験結果

4. 1 稲の夜間照明による出穂遅延実験結果

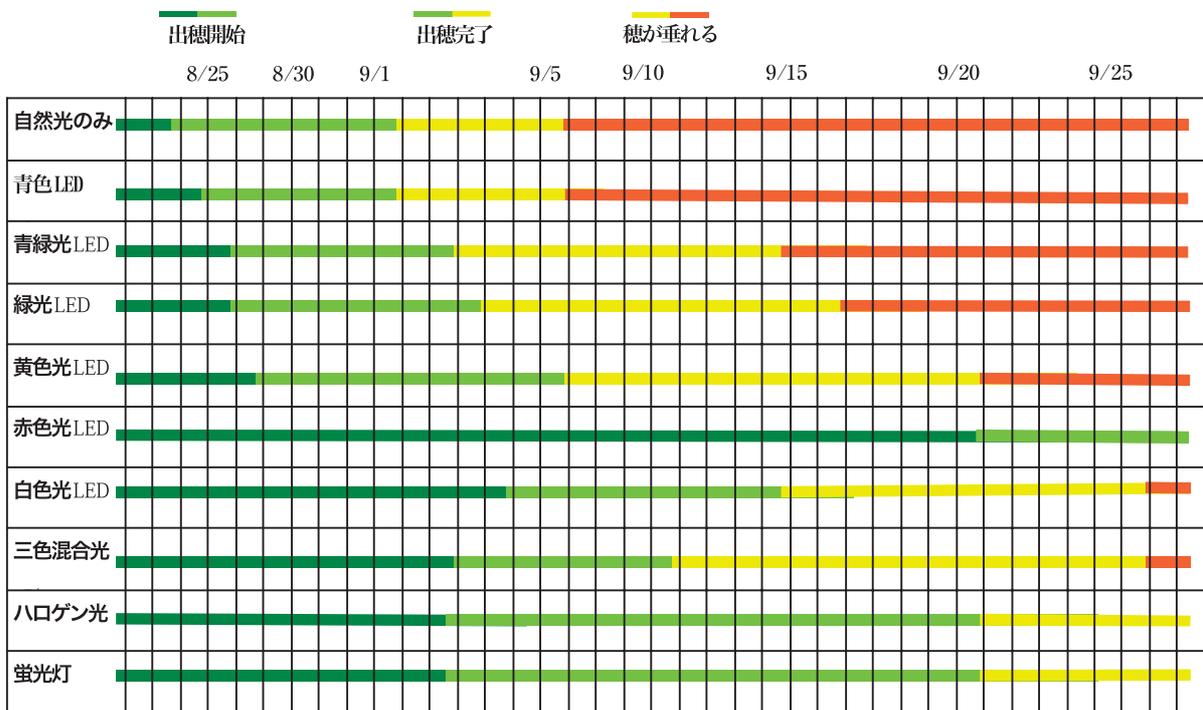
自然光のみである、自然状態の稲は、8月23日から出穂が始まりました。一日遅れの8月24日には青色光、さらに一日遅れで青緑色光、8月26日には黄色光が出穂し始めた。

そして、9月2日には、三色混合光、ハロゲン灯、蛍光灯、9月4日に白色光が出穂し、最後に9月20日ようやく赤色光が出穂し始めた。白色光の夜間照明をした出穂遅延の一例の写真を図11に示す。明らかに、周りの状態と異なり、稲自身はより成長しているが、出穂が始まっていないことがわかる。また、照射エリア内での出穂の完了は、自然光、青色光は8月31日、青緑光は9月2日、緑光は9月3日、黄色光は9月6日、三色混合光は9月10日、白色光9月14日、ハロゲン灯、蛍光灯は9月20



図11 白色光の夜間照明をした圃場の出穂状況

表1 各種波長の夜間照明の影響による出穂遅延



日であった。赤色光のみは、10月になっても出穂の完了は見られなかった。これらの結果を表1にまとめる。

この結果から、青色光は、夜間照明が無い状態とほぼ同じ日程で出穂開始、出穂完了であることから、稲（ヒノヒカリ）の出穂には、悪影響を与えないことが判る。次に青緑光、緑色光は、2～3日程度の遅れであったが、黄色光が4～6日、白色光は1週間から10日の遅れとなり、ハロゲン灯、蛍光灯は3週間と遅れがひどくなることが判る。さらに、赤色光は1ヶ月以上の遅れとなり、穂が出ない稲も多く見られ、光害により、米が出来ないことが明白となった。このことから、光の波長により、影響の度合いが変わり、黄色（波長580nm）以下の波長の光であれば、影響はほとんど無く、赤色（波長650nm）の波長領域の光は悪影響を与えることが判明した。

4. 2 ホウレン草の夜間照明の影響結果

ホウレン草の苗をプランタに縦に8本、横に5列植える事にした。

夜間照明が設置されているプランタ（夜）のホウレン草はプランタ（昼）のホウレン草と比較して花芽が早く出、プランタ（昼）のホウレン草の花芽の数を下回することは無かった。

プランタ（夜）、プランタ（昼）それぞれの花芽が出始めたホウレン草の本数の変化を図12に示す。図12より、プランタ（夜）のほうが先に花芽が出始め、プランタ（昼）の花芽が出るまで約三週間の差が出た。やはり

夜間照明がホウレン草に影響を与え、早く「とう」が立ってしまうことが明らかになった。

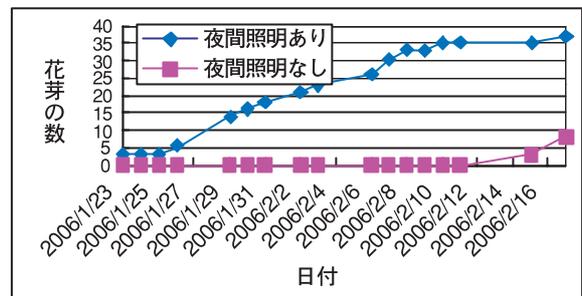


図12 花芽が出始めたホウレン草の本数の推移

5. 悪影響を与えない照明灯の検討

5. 1 試作したLED照明

本研究ではLED（発光ダイオード）を使用し、稲に悪影響を与えると考えられている赤色波長を含んでおらず、かつ一般的な街灯のような人間の目に白く見える照明を製作し、ホウレン草に照射する事によって花芽の開花状況がどのように変化するかを検証した。

本研究のテーマから、製作する照明は赤色付近の波長（610～750nm）が混ざっておらず、かつ白色に近い色にすることを目的としている。

人間の目には同じような色に見えていてもその色の波長分布が異なっているということがよくある。このことは白色光に関してもしかりであり適当な光を混合して人間の目に白色感を与える光を作る事も可能である。

いくつかの白色光を作りだす光の分光分布があるが、本研究では

$$\text{青 (480nm)} : \text{黄 (570nm)} = 1 : 0.780^{(5)}$$

という光の波長を使用する。ここで右辺は光の強度比を表しており、それぞれの波長がこの比を取り、混合することで白色光を得られることが知られている。この強度比をとる事によって赤色の波長が混ざっておらずかつ白色光を作り出す事ができる。

本研究ではこのような波長に近いLED（発光ダイオード）を選びLEDに流れる電流値を変化させる事によって光の強度をかえ、それぞれの強度比で光を混合する事によって白色光を作り出すことを考える。

試作したLED照明の配置図を図13に示す。

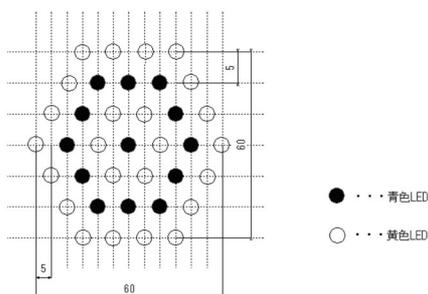


図13 製作したLED照明の配置図

照明に使用するLEDの配置は青色と黄色の光がうまく交わるようにする必要がある。何パターンかの配置を製作し、照射させ、検討した結果図13のように配置すると照射した範囲全体が白色に近く見える事が分かった。

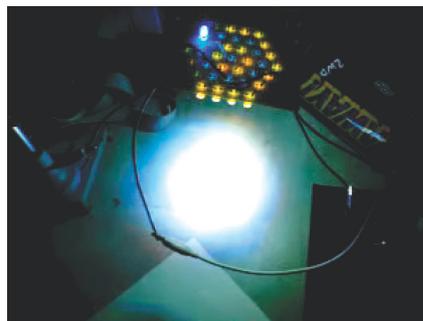
5. 2 試作LED混合照明での実験結果

LED照射の様子を図14に示す。また図15にそれぞれの色でLEDを照射した様子を示す。



図14 照射の様子

夜間照明として、試作LED混合を用いた結果、プランタ（昼）のハウレンソウの花芽が開始した時点では、すでに、プランタ（夜）は21本の花芽が出ており、2週間程早く「とう」が立ち、商品価値を失ってしまうことが判った。これより青または黄のLED波長がほうれん



製作した照明の様子

図15 LED照明を照射した図

草になんらかの影響を与えていると考えられる。

6. まとめ

以上の結果を要約すると

1. 夜間照明による稲の出穂遅延の悪影響を与える光の波長域は、赤色光の波長650nm付近であることが判った。
2. 青色光から黄色光波長(450～550nm)の夜間照明は、稲の出穂遅延には、さほど影響ないことが判った。
3. ホウレンソウへの夜間照明がある場合の影響は、稲に悪影響を与えない波長にかかわらず、早く「とう」が立つという結果となった。

このことから、照明灯として使用でき、しかも植物に悪影響を与えない波長特定は、非常に困難であるが、さらに検討する必要がある。

本研究は、農林水産省「民間結集型アグリビジネス創出技術開発事業」の援助により行われた。

参考文献

- (1) “光害対策ガイドライン～良好な照明環境のために～”，環境庁，1998年3月
- (2) 川村 和史：“水銀灯による夜間照明が水稲の生育、収量に及ぼす影響”，和歌山県農林水産総合技術センター研究報告書 第1号，pp103-pp109，2000年
- (3) 魚住 拓司：“設備講座 環境と省エネルギー（17）「視環境」光害と対策技術”，建設設備 Vol.55 No.11，pp65-pp68，2004年
- (4) 川上 幸二：“公害問題と光放射による作用効果”，IWASAKI技報 第12号，2005年
- (5) 鶴田 匡夫：“光の鉛筆—光技術者のための応用光学—”，新技術コミュニケーションズ，pp49-pp51，1989年