

3 考 察

これまでに第1章で得られた知見に基づき、試作した切り花ギク用のLEDランプ(第1-30図)を、広島県北部の2箇所の露地ギク圃場において設置・点灯させ、異なる2つの点灯方式の下で、黄色パルス光の照射が切り花ギクの蕾径および草丈に及ぼす影響を調査した。その結果、複数個のLEDランプを連関させてパルス点灯させた同期においても、連関させずパルス点灯させた非同期においても、無処理およびパルス光区における蕾径の差は、‘精の波’および‘精の旗’の2品種で0.1~0.3 mm、草丈の差は2~3 cmとなった。しかしながら、これらの差は、営利栽培上の問題とされない範囲にあると考えられた。園主である農家からは、供試した両品種では、無処理区とパルス光区において、開花時期および切り花形質に大きな違いはなかったことを聴取した。このように、試作したLEDランプを一時的に連続点灯させたときの畝面からの高さが1 mの位置における放射照度を1.2~36.7 mW・m²の範囲に留めることで、蕾の発達および草丈に及ぼす黄色パルス光の照射による影響は、点灯方式に関わらず、許容範囲であると考えられ、厳密な開花制御を必要とする物日出荷などでは考慮すべき点も残されているが、営利栽培上の問題とされない程度に低減可能であると考えられた。

第3章 総括

多くの農作物を加害するオオタバコガおよびハスモンヨトウなどのヤガ類は、市販されている多くの化学合成農薬に対し、薬剤抵抗性を獲得しており(遠藤ら, 2000; 小野本ら, 1996; 染谷・清水, 1997)、難防除害虫として扱われている。キクやカーネーションなどでは、幼虫が一度花蕾に潜り込んでしまうと、散布した化学合成農薬は直接幼虫にかかりにくいいため、防除を一層難しくしていると考えられる。生産現場では化学合成農薬に替わる物理的防除法の確立が望まれており、産卵のため圃場へ飛来するヤガ類の成虫に対して、高い防除効果がある黄色蛍光灯による夜間照明技術が導入されている(八瀬ら, 1997)。しかし、短日植物である切り花ギクの栽培では、市販されている黄色蛍光灯を用いた夜間照明下において、著しい開花遅延を起こすことに加えて、切り花形質をも低下させてしまうため(石倉ら, 2000; 山中ら, 1997)、日長反応を示さない農作物、あるいは、照明に対し鈍感な農作物と同じように、黄色蛍光灯を利用することができなかった。

そこで、本研究では、近年、様々な用途で急速に利用拡大されつつあるLEDに着目し、「高い防除効果の発現」と「キクの開花遅延の回避」の2つを同時に満たす領域横断的な照明条件を探索することで、切り花ギクに利用可能な害虫防除技術を開発しようと試みた。なお、本研究における対象害虫は、切り花ギクを加害するヤガ類のうち、薬剤抵抗性の獲得などの理由により、難防除害虫とされているオオタバコガとハスモ

ンヨトウとした。

まず第1章では、第1節において、人工光源を用いた従来の連続光について、ヤガ類の防除で実績のある黄色光を中心に、その他数種の光の波長および放射照度が切り花ギクの発蕾、開花および切り花形質に及ぼす影響を検討し、光の波長が有する開花抑制作用の強弱を調査した。その結果、同一の放射照度で比較した場合、害虫防除、あるいは開花抑制の観点から重要と考えられる黄緑、黄および赤色光照射の発蕾所要日数には、放射照度を最も低く設定した $10 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ において有意な差が見られたものの、 50 および $100 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ では有意な差が見られなかった。また、切り花長、切り花重および切り花節数についても有意な差が見られなかった。このことから、黄緑色および黄色光の有する開花抑制作用は、最大の当該作用を有するとされる赤色光と同等であり、害虫防除用照明として、キク栽培へこれらの光を適用する場合は、これらの光が有する開花抑制作用を抑えるために、何らかの工夫が必要であることが示唆された。これまでに、赤色光を点滅させ、明期と暗期を繰り返した場合、暗期が長いほど、キクへの影響が小さいことを確認しており、黄色光による害虫防除用照明でも、明暗比率を表すデューティー比を調節することによって、開花への影響を制御できる可能性があると考えた。

次に第2節では、オオタバコガおよびハスモンヨトウ成虫の複眼に、放射照度 $1 \sim 1000 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ の黄色パルス光を照射し、ERG 信号計測システムにより、防蛾の観点から、照射光の有する刺激力を解析した。ヤガ類成虫の複眼に光を照射すると、複眼内部で微弱な電圧が誘発する。ERG 信号計測システムでは、誘発した電圧を増幅して解析することによって、ヤガ類成虫に対する照射光の刺激力を推定することができる。本実験では、事前の取り組み結果を踏まえて、デューティー比 20% に相当する明期 20 ms / 暗期 80 ms の時間構造を有する黄色パルス光を採用した。なお、照射光をヤガ類成虫に「点滅している光」として視認させると、照明に対する慣れ現象を防止でき、連続光と比較して、持続性の高い防除効果が得られるとされている（平間ら、2002；2007；平間・松井、2007）。当該2種のヤガ類は、設定したすべての放射照度で、光点滅に追従した網膜電位信号の振幅変化を示したことから、 $1 \sim 1000 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ の放射照度域においては、デューティー比 20% の照射光を点滅光として視認していると推察された。しかしながら、ヤガ類は、放射照度が大きいほど速い点滅を視認しにくいとされていること、さらに、当該2種のヤガ類の視認性は、 $100 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 付近を境界として変化がはじまり、 $300 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上で変化が大きくなる結果が得られたことから、少なくとも $1 \sim 100 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ であれば、デューティー比 20% の照射光を、点滅光として常時安定的、かつ持続的に視認させることができると考えられた。

続く第3節では、まず異なるデューティー比の黄色パルス光の照射が秋ギクの発蕾に及ぼす影響を明らかにすることで、夜間照明による影響を軽減する上で重要となるパルス化の有効性を検証した。その結果、黄色光をパルス化して照射した場合、デューティー比が小さいほど、生育への影響も小さくなった。照明時の

キク茎頂付近の放射照度を $40 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ とした場合、デューティー比が 9.1 および 16.7% であれば、秋ギク‘神馬’の発蕾、開花および切り花形質に有意な影響を及ぼすことなく適用できることが明らかとなった。また、放射照度が $40 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ の場合、秋ギク‘神馬’に有意な影響を及ぼすことなく適用できるデューティー比の上限値は 16.7~50% に存在することが示唆され、キクに対する黄色光照射の影響を軽減するためには、少なくとも 50% より小さいデューティー比によるパルス化の有効性が検証できた。

そこで、第 2 節の結果も踏まえ、デューティー比 20% の黄色パルス光を、切り花の形状が異なる合計 19 品種の輪ギク、小ギクおよびスプレーギクに対し、異なる放射照度で照射した場合の発蕾、開花および切り花形質に及ぼす影響を調査した。その結果、切り花ギクについて、営利栽培上の問題となるような大きな影響を及ぼすことなく適用できる放射照度の範囲が存在することが明らかとなった。また、黄色パルス光が適用できる放射照度の上限値は、黄色の連続光と比較して、大きいことが明らかとなった。黄色光をパルス化することで、適用可能な放射照度の範囲が拡大できることは、開発した防蛾照明技術を具現化する LED ランプの配光性を決定する上で重要であり、加えて、キク圃場における照明設計を行う上でも重要な知見を得ることができた。

また、第 3 節第 3 項においては、実際の栽培での利用を想定した点灯方式である同期および非同期点灯下における切り花ギクへの影響を検討するとともに、近い将来、性能がさらに向上した LED が、より安価に入手可能となることを想定し、一般照明用の LED シーリングライトなどではすでに実用化されている PWM 点灯下における切り花ギクへの影響について検討した。その結果、畝面からの高さが 1 m の位置の放射照度が $9\sim 16 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ の場合、いずれの点灯方式においても、秋ギク‘神馬’の到花日数および切り花形質について、営利栽培上の問題は発生しないことが明らかとなった。また、連続光による終夜照明と同様に、デューティー比 50% の PWM 周波数 1 kHz による終夜照明は、一定以上の放射照度を確保することで、電照抑制栽培への適用が可能であることが示され、キクの成長に合わせた調光管理実現の可能性を示すことができた。なお、PWM 点灯制御によって、キクの成長に合わせた調光管理が実現できた場合、一層の節電照明が可能となることに加えて、栄養成長期と生殖成長期に適用する放射照度を自在に制御することで、積極的な開花抑制と、害虫に対する行動制御との使い分けが可能となると考えられる。

第 2 章では、これまでに第 1 章で得られた知見に基づき、切り花ギク用の LED ランプを試作し、露地ギク栽培へ導入して、害虫防除効果と開花への影響の両面から検討した。その結果、黄色パルス光を照射すると、無照明と比較して、オオタバコガ幼虫、あるいはハスモンヨトウ幼虫によると見られる食害茎率を約 4 分の 1 に軽減でき（第 2-2 および 2-4 図）、開花および切り花形質についても、営利栽培上の問題となる影響は見られない（第 2-7 および 2-8 図）ことを検証できた。

以上のことから、本研究で開発した黄色 LED パルス光を用いた害虫防除技術は、切り花ギク栽培において

高い実用性を有することを示すことができた。

今後は、関連企業と連携しつつ、圃場での利用を想定した紫外線対策、防雨防湿性能の付与などの耐候性強化を含む、製品化に向けた諸課題の解決に積極的に取り組むことで、本研究の開発技術を具現化する LED ランプの早期商品化を目指したいと考えている。

謝 辞

本論文をまとめるにあたり、岡山大学大学院環境生命科学研究科教授の後藤丹十郎博士には、常に懇切丁寧、かつ熱意のこもったご指導を賜った。本研究の一部は、農林水産省 新たな農林水産政策を実現する実用技術開発事業を活用し、研究課題名「キクのエコ生産を実現する LED を用いた防蛾照明栽培技術の開発」の一環として実施したが、後藤博士には、当該研究の実施および取りまとめにあたり、外部有識者として、研究全体を俯瞰した的確なご高見を賜った。ここに記し、深く感謝の意を表す。岡山大学大学院環境生命科学研究科教授の吉田裕一博士には、キクの開花制御の観点から、ご指導とご鞭撻を賜った。岡山大学大学院環境生命科学研究科教授の宮竹貴久博士には、昆虫の行動制御の観点から、ご指導とご鞭撻を賜った。ここに記し、厚く感謝の意を表す。岡山大学大学院自然科学研究科名誉教授の榊田正治博士、元 岡山大学環境生命科学研究科准教授の村上賢治博士（現 石川県立大学教授）、岡山大学大学院環境生命科学研究科助教の田中義行博士には、多くの有益な示唆と暖かい激励を賜った。ここに記し、深謝する。

本研究の一部は、筆者が広島県立総合技術研究所農業技術センターに勤務しつつ、岡山大学大学院自然科学研究科に在籍して実施した。社会人としての大学在籍にあたって、特に寛大なご配慮をいただいた広島県立総合技術研究所農業技術センター長の新田浩通氏、栽培技術研究部 部長の前田光裕氏および栽培技術研究部 副部長の梶原真二博士には、厚く感謝の意を表す。

元 広島県立総合技術研究所農業技術センター技術支援部長の那波邦彦博士、今井俊治博士、林 英明氏（現 出光興産株式会社 アグリバイオ事業部）および元 広島県立総合技術研究所農業技術センター技術支援部担当部長の勝谷範敏博士には、研究者としての心構えに加え、情熱をもって研究に取り組むことの大切さをご教示いただいた。また、前述した研究課題名「キクのエコ生産を実現する LED を用いた防蛾照明栽培技術の開発」に関し、その研究企画段階では、害虫防除、開花生理および生態情報の活用など、高い見識と豊富な経験に基づき適切にご指導いただいた。

金沢工業大学工学部教授の平間淳司博士、千葉大学大学院園芸学研究科准教授の野村昌史博士および尹 丁梵博士（現 大韓民国 農村振興庁 国立農業科学院）、元 兵庫県立農林水産技術総合センター主任研究員の岩井豊通氏、兵庫県立農林水産技術総合センター主任研究員の二井清友氏、主任研究員の東浦 優氏およ

び主席研究員の山中正仁博士，シャープ株式会社電子デバイス事業本部参事の小西勝之氏，副参事の渡辺昌規氏，主任の細野幸治氏，元 シャープ株式会社電子デバイス事業本部係長の吉村文敏氏（現 高槻電器工業株式会社 営業部営業課 課長），広島県立総合技術研究所農業技術センター生産環境研究部副主任研究員の山下真一氏（現 広島県立総合技術研究所東部工業技術センター 技術支援部主任研究員）には，共同研究者として本研究を支えて頂いた。

本研究を実施するにあたり，独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構花き研究所主任研究員の道園美弦博士，和歌山県農林水産総合技術センター農業試験場暖地園芸センター主査研究員の島 浩二博士（現和歌山県日高振興局 地域振興部 農業振興課），奈良県農業総合センター花き栽培チーム総括研究員の仲 照史氏および岡山県農林水産総合センター農業研究所野菜・花研究室専門研究員の森 義雄氏には，電照に対する既存の小ギク品種の反応特性に関する知見や，花房型の評価方法に関する知見など，多くの関連情報をご提供頂いた。また，沖縄県農業研究センターからは，同県の育成品種である‘沖の乙女’および‘沖ピンク’をご分譲いただいた。ここに記し，感謝の意を表す。

広島県立総合技術研究所農業技術センター栽培技術研究部副主任研究員の原田秀人氏および福島啓吾氏，広島県立総合技術研究所農業技術センター技術支援部副主任研究員の大川浩史氏（現 広島県立総合技術研究所食品工業技術センター技術支援部担当部長）および水主川桂宮氏には，本研究の実施にあたり多大なご協力を頂いた。また，広島県立総合技術研究所農業技術センター管理課の齋藤廣司氏および山元行成氏，元 管理課職員の山口正昭氏，故 平河日登志氏，宮本芳則氏および山田 勉氏には，日々の栽培管理の支援や実験装置の製作において多大なご協力を頂いた。岡山大学農学部作物開花制御学研究室の皆様には，本研究の取りまとめにあたり多くのご協力を頂いた。そして，広島県庄原市西城町の竹森義教氏および同市東城町の高柴順紀氏には，現地実証実験の実施と取りまとめにあたり多大なご協力を頂いた。ここに記し，深く感謝の意を表す。

引用文献

- 赤松幸佳・Hennayake・金地通生・宇野雄一・稲垣 昇. 2004. 色変わりバラの開花に伴う紫外線受光の差異がアントシアニン生合成に及ぼす影響. 園学雑 73 (別2) : 226.
- 審良昌紀・三木良太・平間淳司・松井良雄・得永嘉昭・會澤康治・石倉 聡. 2009. 黄色 LED を用いたパルス光による害虫防除装置の開発 — 切り花菊の開花阻害と防除効果との関係 —. 日本生物環境工学会 2009 年福岡大会講演要旨. 10-11.
- Cathey, H.M. and H.A. Borthwick. 1957. Photoreversibility of floral initiation in chrysanthemum. Bot. Gaz. 119: 71-76.