

学位論文全文に代わる要約

Extended Summary in Lieu of Dissertation

氏名： 白山 竜次

Name

学位論文題目： 光周性にもとづく効率的なキクの電照栽培技術に関する研究

Title of Dissertation

学位論文要約：

Dissertation Summary

キクは我が国の花き類における最も重要な品目である。キクの作付面積は 5,230 ha，出荷量は 1,595 百万本（農林水産省，2013）で，切り花作付面積の 3 割，切り花出荷量の 4 割を占める。ほぼ全国で生産が行われ，春，秋のお彼岸やお盆，正月にかかせない商材として利用されている。キクは短日植物で，電照による暗期中断や長日処理を行うことで，人為的に花芽分化を抑制し，開花時期の調整や草丈の確保を行っており，電照による開花調節は周年出荷体系を支える基盤技術となっている。

2012 年度に花き研究所と鹿児島県が中心となって実施したキク光源利用アンケート調査によると，キク栽培ほ場の 63% に当たる 3,464ha で電照栽培が行われており（郡山，2012），使用されている光源の数は，110 球/10a と仮定すると全国で概ね 240 万球程度と推定される。

キク電照栽培用の光源は，これまで白熱電球が中心であったが，省エネルギー対策による代替光源への移行推進の動きから，ここ数年で蛍光灯や発光ダイオード（LED）への移行が進みつつある。しかしながら現場では，光質と花芽分化抑制効果について十分な検討がなされないまま，昼光色や電球色，赤色などの光質の異なる蛍光灯や赤色光でも波長の異なる LED ランプが導入されているのが現状である。また近年，の販売単価が景気や輸入等の影響を受けて低迷しており，産地では更なる生産コスト削減が求められている。

本研究は，キクの生産性向上のための効率的な電照抑制技術開発をテーマとして，暗期中断における花芽分化抑制に効果的な波長（光質），花芽分化抑制に必要な暗期中断光量の植物の成長に伴う変化（光量），暗期中断の効果の高い時間帯（タイミング）の 3 項目について検証を行い，さらに現場で問題となる電照期間中の電照中断の影響を検討し，結果をとりまとめたものである。

1. キクの花芽分化抑制における暗期中断の波長の影響

近年，赤色などの単一波長の LED 電球が，キク電照用として導入されつつあるが，どの波長域が効果が高いかは不明な点が多かった。そこで秋輪ギク‘新神

(様式 5) (Style5)

第1表 暗期中断照明の波長が、秋ギク‘新神2’および夏秋ギク‘岩の白扇’の花芽分化抑制に及ぼす影響

ピーク波長 (γ P) (実測値 nm)	展開葉数 (枚)	
	‘新神2’	‘岩の白扇’
無電照	38.6 a ^z	31.2 a ^z
516	40.4 a	32.3 a
593	49.2 c	39.4 c
630	60.2 e	40.8 c
663	52.5 d	36.3 b
684	43.5 b	32.2 a
705	42.9 b	31.6 a

^z 異なる文字間については、Tukey-kramer法により5%水準で有意差あり

第2表 R光とR+FR光の照射が、秋ギク‘新神2’および夏秋ギク‘岩の白扇’の展開葉数に及ぼす影響

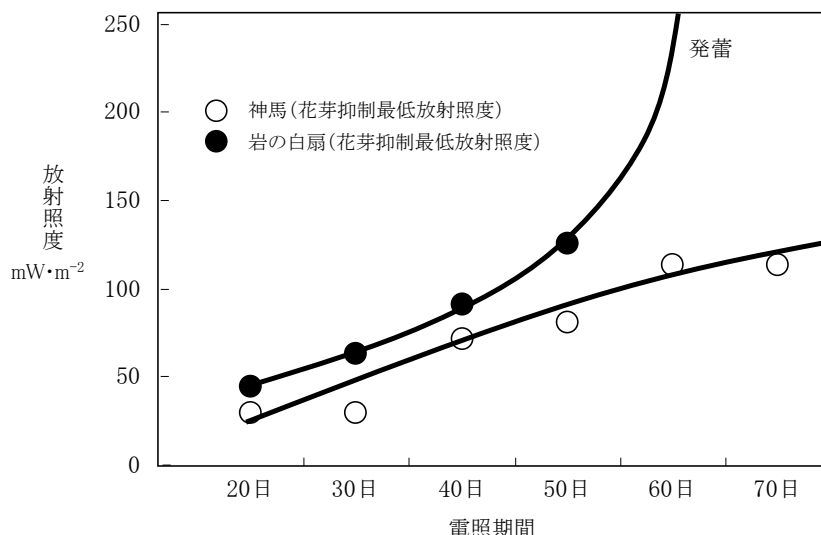
	葉数 (枚)			
	‘新神2’		‘岩の白扇’	
	消灯時	収穫時	消灯時	収穫時
R光照射区	45.7	67.6	29.7	37.4
R+FR光照射区	45.0	67.4	29.5	43.2
t検定 ^z	ns	ns	ns	*

^z *はt検定による5%水準で有意差あり. nsは5%水準で有意差なし

2’ および夏秋輪ギク ‘岩の白扇’ を用いて、花芽分化抑制における光源の波長と抑制効果について検証を行った。光源は電球形 LED ランプを用いて、光源ピーク波長実測値 516, 593, 630, 663, 684 および 705 nm の 6 種類を供試した。その結果、‘新神 2’ および ‘岩の白扇’ とともにピーク波長 593, 630 および 663 nm が抑制効果が認められ、最も抑制効果が高かったのは ‘新神 2’ では 630 nm, ‘岩の白扇’ では、593 および 630 nm であった (第 1 表)。これまで暗期中断の効果が高い波長は 660nm の赤色光であるとされていたが、本試験の結果から、630nm 付近の赤色光にシフトしていることが判明した。630nm 付近の効果が高い要因として葉中に多量に存在するクロロフィルの影響が考えられた。また ‘新神 2’ および ‘岩の白扇’ を用いて、暗期中断光源を R 光単照射と R 光+ FR 光の混合光とで花芽分化抑制効果を比較したところ、‘新神 2’ では R 単色光と R 光+ FR 光の混合光に花芽分化抑制効果の差は認められなかったが、‘岩の白扇’ では R 単色光よりも R 光+ FR 光の混合光が抑制効果が高かった (第 2 表)。この結果から、従来言われていた遠赤色光は赤色光の効果を打ち消すという考えとは異なり、遠赤色光が赤色光の効果を増強する現象が品種によって確認されることを見いだした。

2. キクの暗期中断における電照期間が花芽分化抑制に必要な放射照度に及ぼす影響

電照期間を長くすると、電照による花芽分化抑制効果が低下し、柳葉の増加や



第1図 電照期間の違いが‘神馬’12月出しおよび‘岩の白扇’8月出しの花芽分化抑制最低放射照度に及ぼす影響

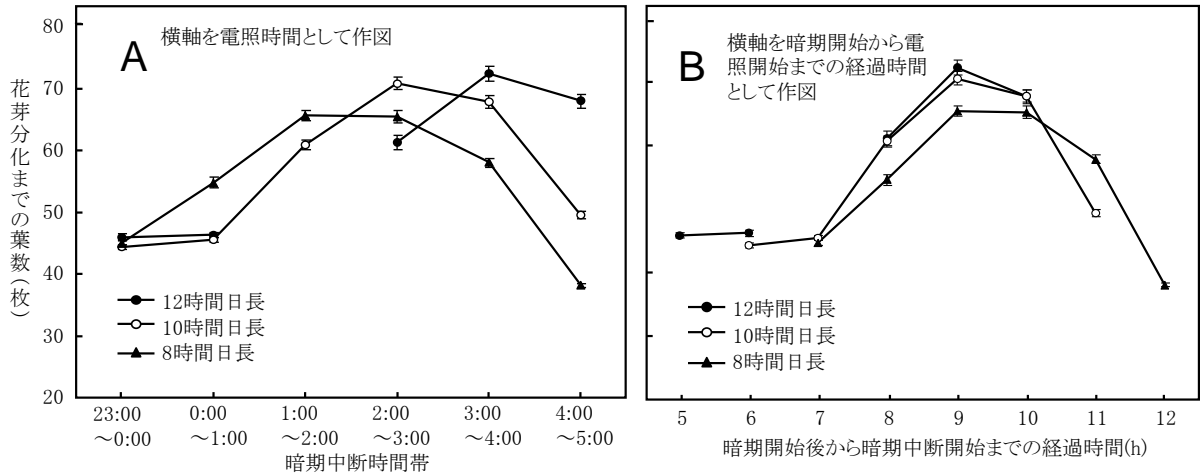
早期発蕾が発生することが知られているが、電照期間と電照の光量に関する詳細な解析は行われていなかった。そこで、夏秋ギク‘岩の白扇’および秋ギク‘神馬’を用いて、電照期間と花芽分化抑制に必要な放射照度との関係について試験を行った。電照期間は定植から20～60日までの5区（‘神馬’は70日までの6区）を設置し、各区における光源からの距離と光量減衰を利用して放射照度毎に展開葉数の調査を行った。展開葉数が増加から一定値へと変化する放射照度の閾値の推定は、2本の直線による折れ線回帰分析を用いた。‘岩の白扇’では、電照期間が長くなるにつれて、花芽分化抑制に必要な放射照度の閾値が高くなったが、電照期間50日以降は閾値が急激に高くなり、電照直下付近の放射照度180～261 $\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$ でも、電照中から花芽分化が開始された。一方、‘神馬’も電照期間が長くなるにつれて、花芽分化抑制に必要な放射照度の閾値が高くなったが、その程度は緩やかで、電照期間70日でも110 $\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$ 以上の放射照度で十分に花芽分化が抑制された（第1図）。以上のことから、キクでは電照期間が長くなると花芽分化抑制に必要な放射照度の閾値が高くなる、すなわち花芽分化抑制に必要な光量が増加すること、また‘神馬’に比較して‘岩の白扇’では花芽分化抑制に必要な放射照度の閾値の上昇が顕著なことから、電照期間と花芽分化抑制に必要な放射照度には品種間差があることが明らかとなった。

3. キクにおける暗期中断の効果の高い時間帯

キクの暗期中断時間帯が花芽分化抑制に及ぼす影響

電照の時間帯は、連続暗期を短くするという論理から、暗期の中心が効果が高いとされていたが、過去に報告では当てはまらない事例もあった。そこで、電照の時間帯が花芽分化抑制に及ぼす影響を、限界日長の異なる夏秋ギクおよび秋ギクを用いて調査した。夏秋ギク‘岩の白扇’の電照効果が高い時間帯は暗期の中心ではなく、後夜半であった。そこでシェードを用いて‘岩の白扇’の暗期開始時刻を早めたところ、電照効果の高い時間帯が早くなった。次に秋ギク‘神馬’を用いて、暗期の中心を0:00に固定した日長12、10および8時間の3区で電照

(様式5) (Style5)



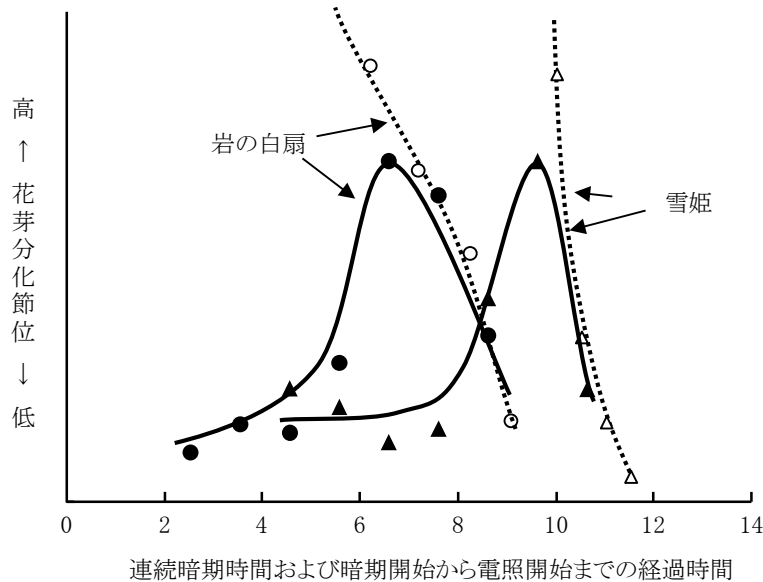
第2図 異なる日長と暗期中断時間帯が‘神馬’の花芽分化抑制に及ぼす影響

12時間日長区の1:00~2:00電照区は欠測

効果の高い時間帯を検討したところ、日長の長い区ほど電照効果の高い時間帯が後夜半にずれる傾向にあるが、暗期開始からの経過時間と電照効果の高い時間帯は3区ともに一致した(第2図)。このことから、電照効果の高い時間帯は暗期の中心ではなく、暗期開始からの経過時間が関与していることが明らかとなった。

キクの限界日長と花芽分化抑制に効果の高い暗期中断時間帯との関係

上述した電照時間帯の試験では‘岩の白扇’と‘神馬’の電照効果の高い時間帯が異なったため、その要因について検討を行った。限界日長の異なる夏秋ギク



第3図 夏秋ギク‘岩の白扇’, 秋ギク‘雪姫’における限界暗期とDusk-NBmaxとの関係を表した模式図

図中の△は雪姫の暗期時間と花芽分化節位, ▲は雪姫の暗期中断時間帯と花芽分化節位, ○は岩の白扇の暗期時間と花芽分化節位, ●は岩の白扇の暗期中断時間帯と花芽分化節位を示す

破線は連続暗期時間の変化による花芽分化節位の変化を, 実線は暗期開始から電照開始までの経過時間と花芽分化節位の変化について示す

(様式5) (Style5)

5品種および秋ギク5品種を用いて、それぞれの品種の限界日長と効果の高い暗期中断時間帯の関係について調査した。夏秋ギク5品種の8月開花における限界日長(暗期長)は、15(9)~16(8)時間で、暗期開始(Dusk)から花芽分化抑制効果の高い時間(NBmax)までの時間(Dusk-NBmax)は、6.5~8.5時間であった。一方、秋ギク5品種の12月開花における限界日長(暗期長)は、5品種ともに13(11)時間で、秋ギク5品種のDusk-NBmaxは、概ね9~10.5時間であった。秋ギクに比較して限界暗期長の短い夏秋ギクはDusk-NBmaxも秋ギクに比較して短かった。これらの結果は、各品種のDusk-NBmaxはそれぞれの限界暗期の長さと同動しており、限界暗期長付近の暗期中断が最も花芽分化に影響を及ぼしていることを示し(第3図)、個々の品種の限界日長が確認できれば、効果の高い電照時間帯を推定できる可能性を示唆した。

4. 暗期中断期間中における電照中断がキクの花芽形成に及ぼす影響

生産現場では電照期間中の意図しない電照中断により、キクが花芽分化を開始するトラブルがしばしば発生する。一般に電照中断は「1~2日なら大丈夫だが、3日目になると影響が出る」と言われているが、詳細に検討した報告は見当たらない。そこで、電照中断が花芽形成にどのような影響を及ぼすかを検討した。秋ギク‘新神2’の12月開花における定植22日後からの電照中断処理では、電照中断3日間以上で展開葉数が有意に減少し、花芽形成に影響が現れたが、定植36日後からの電照中断では4日間以上の処理で花芽形成への影響が生じた。‘新神2’の3月開花栽培では電照中断5日間以内の処理は、花芽形成に影響が認められなかった。夏秋ギク‘岩の白扇’の7月開花では、電照中断4日間以上、8月開花では3日間、9月開花では2日間以上で花芽形成に明確な影響が認められた。この電照中断日数の変動の要因については処理前後の気温などの環境要因や品種の持つ幼若性が影響している可能性が考えられた。秋ギク3品種、夏秋ギク2品種を供試して、中断日数および中断時期が花芽形成に及ぼす影響を調査した結果、中断日数がわずか1日で影響を受ける品種から3日間まで影響を受けない品種に分かれた(第3表)。これまで電照中断日数は概ね1~2日は問題ないとされてきたが、本試験の結果から電照中断日数と花芽形成の関係は品種や作型、気象要因、中断時期などにより変化することが示された。

第3表 キク5品種の11月開花作型における各種電照中断処理が消灯後展開葉数に及ぼす影響

処理区	神馬	雪姫	秀芳の力	サザン グレープ	サザン チェルシー	
無処理	23.4 abcd z	22.9 a	18.3 ab	15.2 a	24.5 ab	
中断日数 (定植31日後開始)	1日	22.8 abcd	22.3 ab	18.1 ab	10.3 b	25.8 a
	2日	22.4 d	21.7 b	17.3 bc	8.2 c	25.3 a
	3日	23.2 bcd	15.0 c	15.6 c	8.2 c	20.1 b
中断時期 (中断日数3日)	7日後	22.9 cd	22.6 ab	18.6 a	13.2 ab	25.4 a
	14日後	23.9 ab	22.7 ab	17.7 a	10.5 bc	25.3 a
	21日後	23.5 abc	21.7 ab	17.8 ab	11.8 b	25.7 a
	28日後	23.7 abc	19.1 bc	14.9 abc	6.0 d	22.6 a

z 異なる文字間については、Steel-Dwassの多重比較法により有意差がある(5%)

(様式5) (Style5)

キクの日長制御による開花調節は、キク周年生産の基幹をなすものであり、効果的な電照に関する知見は、今後のキク産地振興のために欠かせない情報である。

産地では長寿命・省エネを目的として LED の導入が進みつつある。花芽分化抑制に最適な波長が 630nm 付近であることが解ったため、この知見を元に製造メーカーも同波長のチップを搭載したキク電照用赤色 LED の販売を開始した。赤色 LED は他の光源に比較して昆虫誘引が少ないことも明らかにされており、今後の普及が期待される。

効果の高い時間帯へ電照する時間を変えることは、タイマースイッチを変更するだけでコストもかからないため、全国のキク産地への普及が期待される。

南西諸島のキク産地では、毎年のように襲来する台風により大きな被害を受けている。なかでも停電による電照中断の影響は大きく、安定出荷の制限要因になっている。本試験の結果から影響のない中断日数を想定し、停電が長引く場合は消費電力の低い LED と小型発電機を組み合わせ、さらに花芽分化抑制に効率のよい時間帯に電照を行うことで、停電の影響を阻止するしくみの構築が期待できる。

以上のことから本研究で明らかにしたキクの光周性に基づいた電照栽培に関する知見は、今後のキク栽培の発展に寄与すると考えられる。