

R3～R4 持続的生産強化対策事業のうち生産体制・技術確立支援
(新品種・新技術の確立支援事業)
「施設内環境制御によるユリ切り花の品質向上技術の確立」

オリエンタル系ユリ切り花施設栽培における LED 照明による光環境制御技術の導入



令和5年3月

新潟県農林水産部経営普及課
村上農業普及指導センター
新潟農業普及指導センター
魚沼農業普及指導センター
十日町農業普及指導センター

1. はじめに

ユリ切り花は新潟県を代表する花き品目であり、大規模な露地栽培の他、法人等を中心に施設を活用した周年栽培も拡大している。

しかし、日本海側の冬期作型では、低温・短日・寡日照下での栽培となり、品質的には軟弱徒長となりやすく、経営的には加温コストが増加する。さらに、近年は世界情勢等の影響により、エネルギーや資材等の価格高騰で生産コストが増大しており、**低コスト・省エネルギー生産を前提とした高品質栽培技術の確立**が求められている。

これまで、**LEDを用いた光環境制御（長日処理）**が、ユリ切り花の**品質を低下させずに栽培期間を短縮**できることを、2カ年の実証により明らかにしてきた。

そこで、LED利用により、**秋冬季作型のエネルギーコスト削減**を実現し、周年出荷経営に転換することで、生産規模の拡大や雇用労力の確保を目指す。さらに、保有労働力により作付規模が制限される中で、LED利用により**日出荷量の平準化**を実現し、同じ労働力で高収益品種等の作付規模拡大を目指す。

2. ユリ切り花生産におけるLED光照射の効果

- ・オリエンタル系ユリ切り花の栽培期間中に、LED照明により**長日処理（16時間日長）**すると、**生育・開花が3～10日程度早まり、栽培期間が短縮**された。



長日処理（手前）と無処理（奥）の生育差（品種：ヨーブ）

- 栽培期間短縮効果が得られる LED 光は、青色のほか白色（電球色など）でも有効で、光強度では PPFD $5 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 程度で十分な効果が認められた。



直管型 LED（白色・20W）による電照（長日処理）栽培の実証

光合成光量子束密度（Photosynthetic Photon Flux Density：PPFD） [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]

植物が光合成に利用する波長の光（植物の成長に必要なのは $400\sim 700\text{nm}$ ）で、一定時間内、一定面積内に受ける光の粒（光子）の量を示す値。照度（ルクス）や光束（ルーメン）は人の目で見たとときの明るさの単位。同じ光量子量で人の目には暗いと感じる青色（ $400\sim 500\text{nm}$ ）および赤色（ $600\sim 700\text{nm}$ ）の波長の光が、とくに植物の光合成には有効であり、光合成活性は明るさとは関係なく光量子量に左右される。このため、植物が光合成で利用する光は光量子束密度（PPFD）を用い、人が感じる明るさである照度などは用いない。

参考として、PPFD のめやすを示すと、

- 太陽の直射日光の PPFD は、約 $2,000\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$
- 曇りの日の PPFD は、約 $50\sim 100\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$
- 一般的な蛍光灯照明の室内デスク上の PPFD は、約 $10\sim 20\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ など。

- よって、長日処理では PPFD $5 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 以上となる日中に照射する必要はなく、午前 4 時から日の出までと、日没から午後 8 時までの日長延長で効果が得られた。
- 一方、この照射方法では、寡日照期において、補光として光合成促進効果は期待できないと考えられ、切り花品質は向上しない（ただし照射による品質低下もない）。
- なお、寡日照時（曇天 $50\sim 100\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ）に光合成を促進し切り花品質向上効果を得るためには、少なくとも 50 倍以上の照射量が必要と考えられる。



電球型 LED（白＋赤色・9W）による電照栽培の実証（日中は消灯）

3. オリエンタル系ユリ切り花の栽培期間短縮の有用性

- (1) 栽培期間が短縮することで、加温のためのエネルギーコスト削減が期待できる。
- (2) 施設内で部分的処理し、同一品種の収穫ピークを平準化することで、高収益品種等の同一作型での作付規模拡大が期待できる。

4. LED 光源による長日処理の方法

- (1) LED 光源の種類と選定
 - LED（発光ダイオード）は近年大きく発達してきた比較的新しい光源。
 - LED のメリットは、白熱電球や蛍光灯と比較して発光効率が高く（省電力）、定格寿命が長い（約 40,000 時間）。しかし、まだ高価である点がデメリット。
 - 光源のタイプ（電球型・直管型）、波長（青色・赤色・白色・混合色）、消費電力等により様々な種類が販売されている。LED の種類により、見かけの明るさ（照度）が同じでも、光強度（PPFD）や波長の分布、光の広がり異なる（図 1）。
 - 実証で用いた白＋赤 LED は、同じ消費電力の青色より開花促進効果が高かった。
 - 植物育成ランプや農業用として販売されているものは比較的価格が高い。汎用白色 LED は価格が安いものが多いが、性能とコストを加味して選定する。

電球型 青460nm 9W A社製	照度・PPFD	照度 (lx)		PPFD($\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$)	
	垂直\水平	0m(直下)	0.75m	0m(直下)	0.75m
	2.0m	20	15	1.4	1.0
	1.5m	36	22	2.4	1.5
	1.0m	78	27	5.0	2.0
0.5m	272	30	19.2	2.1	
直管型 白 20W N社製	照度・PPFD	照度 (lx)		PPFD($\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$)	
	垂直\水平	0m(直下)	0.75m	0m(直下)	0.75m
	2.0m	167	98	2.8	1.7
	1.5m	278	153	4.6	2.7
	1.0m	551	187	9.4	3.3
0.5m	1,542	242	26.2	4.3	
直管型 乳白 25W M社製	照度・PPFD	照度 (lx)		PPFD($\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$)	
	垂直\水平	0m(直下)	0.75m	0m(直下)	0.75m
	2.0m	143	97	2.4	1.7
	1.5m	232	148	3.9	2.6
	1.0m	488	217	8.3	3.8
0.5m	1,412	235	24.4	4.1	
直管型 赤：白 =1：1 19W G社製	照度・PPFD	照度 (lx)		PPFD($\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$)	
	垂直\水平	0m(直下)	0.75m	0m(直下)	0.75m
	2.0m	113	72	2.6	1.7
	1.5m	196	114	4.7	2.7
	1.0m	403	162	9.7	3.9
0.5m	1,177	164	28.6	3.9	
直管型 赤：青 =3：1 21W M社製	照度・PPFD	照度 (lx)		PPFD($\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$)	
	垂直\水平	0m(直下)	0.75m	0m(直下)	0.75m
	2.0m	9	7	0.5	0.4
	1.5m	15	11	0.8	0.6
	1.0m	27	15	1.4	0.9
0.5m	90	17	4.7	1.4	
電球型 青 1000W I社製	照度・PPFD	照度 (lx)		PPFD($\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$)	
	垂直\水平	0m(直下)	0.75m	0m(直下)	0.75m
	2.0m	40	28	4.9	3.3
	1.5m	68	37	7.8	4.4
	1.0m	155	53	17.7	6.3
0.5m	570	70	66.0	8.5	

図1 種類別 LED 光源からの距離・角度と照度・PPFD



消費電力が同じ9WのLED白+赤色(左)と青色(右)の比較

(2) 適応作型

- エネルギーコスト削減を目的とする場合は、加温が必要な8月中・下旬以降定植の抑制作型に適応する。
- 収穫ピークの平準化を目的とする場合は、短日期（抑制作型）だけでなく、長日期（半促成作型）における処理でもある程度の栽培期間短縮効果が認められた。



半促成作型（3月定植・6月収穫）でのLED電照の実証

(3) 照射期間

- 基本的には、定植直後（萌芽時）から収穫時まで栽培期間の毎日照射するが、生育前半のみや後半のみでも一定の効果が認められた。

(4) 照射時間

- 4:00-20:00の16時間日長（午前4時から日の出まで、日没から午後8時まで、タイマー制御により照射）とする日長延長処理で効果が認められている。
- 毎月15日頃を起点として、栽培時期で照射時間を変える1例を表1に示す。

表1 短日期における照射時間の例

栽培時期 (月/日)	日の出前（朝）照射		日没後（夕）照射	
	時刻	時間	時刻	時間
8/15～9/15	4:00～5:30	1.5 h	18:00～20:00	2.0 h
9/15～10/15	4:00～6:00	2.0 h	17:00～20:00	3.0 h
10/15～11/15	4:00～6:30	2.5 h	16:30～20:00	3.5 h
11/15～12/15	4:00～7:00	3.0 h	16:00～20:00	4.0 h
12/15～1/15 1/15～2/15	4:00～7:30	3.5 h	16:00～20:00	4.0 h

※ 10月以降は、天文日長に対して秋冬季の天候や陽の傾き等を考慮した照射時刻

(5) 照射量 (LED 設置間隔・高さ、光強度等)

- ・実証で用いた電球型 LED (9W) の設置方法：
1.5m (うね幅) × 1.5m (間隔)、1.5~2.0m (高さ) を基本とし、
このとき LED 直下 100cm の PPFD 約 $5 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 以上を目安とした。
- ・ただし、次の 5 (2) に記載のように、実証ではより少ない照射量でも効果が認められたことから、設置間隔をより広げて設置数を削減できる可能性がある。

5. 実証結果からみた活用の留意点・課題

(1) 品種間や栽培条件による効果の差異

- ・栽培期間短縮効果は、0~14 日と品種間や栽培条件により差があった。品種間差では平均短縮日数で 7 日 ± 3 日程度であったが、発根不良条件下では差がみられなかったり、温度管理条件によっては 2 週間の差がみられたりした。
- ・実証事例を踏まえ、品種の選定や栽培管理に注意する。

(2) イニシャルコスト (設置資材費) 削減の可能性

- ・実証区に隣接する多くの品種で、PPFD 約 $2 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 以下程度 (光源から 1.5 m 以上離れた株) でも効果がみられた。
- ・このことから、LED の設置間隔を見直し、資材費を削減できる余地がある。
- ・さらに、汎用白色 LED の品質は高品質化と低価格化が進んでいる。
- ・また、施設内に複数の品種を作付けする場合、施設全体に LED 設置しなくとも、晩生で収穫の遅くなる品種だけを照射し収穫を早めることで、施設の加温期間が短縮できるので、より安価な設置コストでエネルギー削減効果が得られる。

(3) ランニングコスト (電気料金) 削減の可能性

- ・LED 設置数等の削減に加え、日長延長ではなく暗期中断など長日処理の方法を検討することで、LED 照射に係る電気料をさらに削減できる余地がある。

6. 導入経費試算

(1) 設置資材単価 (参考価格・消費税込)

ア 電球型 LED

- ① 白+赤色 9W (国内農業電照用 LED 販売 A 社・キク電照用)



@4,147 (実証時購入単価)

② 電球色 12.3W・1,520lm（国内メーカー I 社・5 年保証）



@990（2 個セットの 1 個当たり単価）

③ 電球色 7.3W・810lm（国内メーカー P 社）



@880（2 個セットの 1 個当たり単価）

④ 電球色 6.9W・810lm（国内メーカー I 社・5 年保証）



@450（2 個セットの 1 個当たり単価）

⑤ 電球色 9W・900lm（国内メーカー D 社）



@317（6 個セットの 1 個当たり単価）

イ 電球ソケット+連結コード

⑥ 3m間隔 8 連結ヒートン付ソケット（24m）



@13,090（実証時購入単価）

ウ 直管型 LED

- ⑦ 器具一体型直管昼光色 LED18W (120cm・連結アダプタ・電源コード)



@866 (50本セットの1本単価)

- ⑧ LEDチューブホルダー接続ケーブル (150cm)



@650 (2本セットの1本単価)

エ プログラムタイマー

- ⑨ ダイヤル式 24 時間タイマー (15 分単位で任意の時間設定可)



@1,400

(2) LED 設置資材費試算 (1 a 当たり) + タイマー1,400 円)

ア 電球型 LED を約 1.5m×1.5m 間隔で設置した場合

- ①×40 個 + ⑥×5 セット = 165,880 + 65,450 = 231,330 円
- ②×40 個 + ⑥×5 セット = 39,600 + 65,450 = 105,050 円
- ③×40 個 + ⑥×5 セット = 35,200 + 65,450 = 100,650 円
- ④×40 個 + ⑥×5 セット = 18,000 + 65,450 = 83,450 円
- ⑤×40 個 + ⑥×5 セット = 12,680 + 65,450 = 78,130 円

イ 電球型 LED を約 3m×3m 間隔で設置した場合

- ①×10 個 + ⑥×1.25 セット = 41,470 + 16,363 = 57,833 円
- ④×10 個 + ⑥×1.25 セット = 4,500 + 16,363 = 20,863 円

ウ 直管型 LED を約 1.2m×3m 間隔でケーブル連結して設置した場合

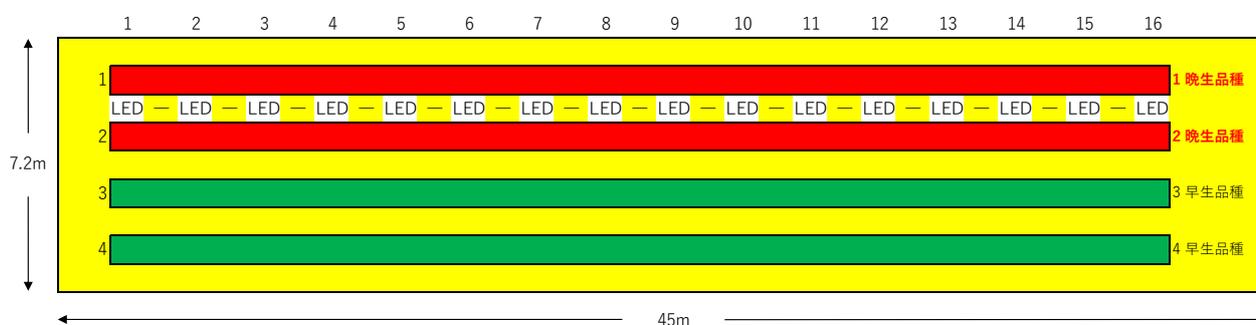
- ⑦×22 セット = 19,052 円

エ 直管型 LED を約 2.7m×3m 間隔でケーブル連結して設置した場合

- ⑦×10 セット + ⑧×9 本 = 8,660 + 5,850 = 14,510 円

7. ユリ切り花施設における LED の設置例

- 施設面積の 1/2 (2うね分を想定) の晩生品種に処理する設置例



(1) 想定する切り花施設

- 間口4間 (7.2m) ×長さ25間 (45m) の100坪 (330㎡) ハウス

(2) LED の設置

- 18W 直管型 LED (1.2m) をケーブル (1.5m) で16本連結し、晩生品種を定植するうね2本の通路上、高さ2mの位置で番線等に固定して設置
- LED への給電ケーブルにプログラムタイマーを接続し照射時間を設定

(3) LED 設置費用

資材	単価 (円)	数量	小計 (円)
直管型LED	866	16	13,856
連結ケーブル	650	15	9,750
タイマー	1,400	1	1,400
合計			25,006

(4) LED に係る電力量及び電気料金

- 1日あたり使用電力量：18W×16本×5h/日 = 1.44kWh/日 (43.2kWh/月)
- 1日あたり電気料金 (電気代計算ツール)：36.48 円/日 (1,094.4 円/月)

(5) エネルギー削減効果試算

- 重油温風加温器を使用した魚沼市 11 月収穫作型での実証事例から試算
100 坪ハウス 1 日当たり平均暖房経費：約 2,000 円/100 坪/日
- 加温 7 日間短縮の場合の暖房経費削減：約 14,000 円

8. 実証事例

- 表 2～6 に令和 4 年度に実施した 5 産地の実証事例を示した。
- LED 照射方法は「4. LED 光源による長日処理の方法」に示した方法に準ずる。
- 表中の「白 LED」(直管型除く) は、6(1)ア①に示した「白+赤電球型 LED」

表 2 南魚沼地域における半促成および抑制作型の実証事例

実証地域 (産地)	作型 定植日	実証品種	実証内容 (処理区)	収穫日	無処理比 短縮日数	収穫時 草丈(cm)
南魚沼 (大和)	半促成 3/17	アイシャ	青LED照射	6/8	4	97
			青+赤LED照射	6/8	4	101
			無処理	6/12	-	98
		サマンサ	青LED照射	6/22	3	94
			青+赤LED照射	6/18	7	95
			無処理	6/25	-	95
	抑制 8/17	ディアンサ	生育前半照射(白)	10/10	7	86
			生育後半照射(白)	10/11	6	82
			生育全期照射(白)	10/9	8	85
			無処理	10/17	-	83
		アミスタッド	生育前半照射(白)	10/21	4	123
			生育後半照射(白)	10/21	4	120
			生育全期照射(白)	10/20	5	124
			無処理	10/25	-	121
抑制 8/25	メガ	青LED3m間隔	11/6	-2	81	
		青LED1.5m間隔	11/6	-2	83	
		直管型白LED	10/30	5	83	
		無処理 ¹⁾	11/4	-	82	
	ボールオブ ビューティー	青LED3m間隔	11/13	2	113	
		青LED1.5m間隔	11/13	2	115	
		直管型白LED	11/9	6	116	
		無処理	11/15	-	115	

1) メガ実証区球根サイズ18/20cmに対し、無処理区は16/18cmであった(無処理区の球根サイズが小さかったことで、収穫日の差の正確な比較は困難)。



LED 照射区（左上から前期・右上は後期・左下は全期・右下は無処理）のとなりのうね
8/17 定植ハウスでの、白色 LED 実証区のとなりうねの“ホワイトトルネード”への影響（南魚沼）



青色 LED 3 m 間隔

青色 LED 1.5 m 間隔

直管型白色 LED

無処理

8/25 定植 “ポールオブビューティ”の収穫状況（南魚沼）



青色 LED 3 m 隣り

青色 LED 1.5 m 隣り

直管型白色 LED 隣り

無処理隣りうね

8/25 定植 メガのとなりうねの八重ユリ“エレナ”の収穫状況（南魚沼）

表3 十日町地域における抑制作型の実証事例

実証地域 (産地)	作型 定植日	実証品種 ¹⁾	実証内容 (処理区)	収穫 終了日	無処理比 短縮日数	収穫時 草丈(cm)
十日町 (津南)	抑制 8/22	エマニー	青LED照射	11/5	0	96
			白LED照射	11/4	1	98
			赤+青LED照射	11/4	1	99
			無処理	11/5	-	94
		カサブランカ	青LED照射	11/11	1	124
			白LED照射	11/10	2	125
			赤+青LED照射	11/9	3	122
			無処理	11/12	-	123

1) エマニー、カサブランカともに発根不良で、全体に生育が悪かった。



8/22 定植 カサブランカ (左)、エマニー (右) の実証状況 (十日町)

表4 魚沼地域における抑制作型の実証事例

実証地域 (産地)	作型 定植日	実証品種	実証内容 (処理区)	収穫日	無処理比 短縮日数	収穫時 草丈(cm)
魚沼 (堀之内)	抑制 8/29	オバダ	白LED照射	11/7	4	108
			無処理	11/11	-	108
		ヨープ	白LED照射	11/15	14	123
			無処理	11/29	-	124



8/29 定植 オバダの実証状況（魚沼、11/8 LED 照射区収穫時）



8/29 定植 ヨープの実証状況（魚沼、11/21）※光源から水平2mまで効果みられる

表5 新潟地域における抑制作型の実証事例

実証地域 (産地)	作型 定植日	実証品種	実証内容 (処理区)	収穫日	無処理比 短縮日数	収穫時 草丈(cm)
新潟 (白根)	抑制 9/16	プレミアム ブロンド	青LED照射	12/6	4	112
			白LED照射	12/4	6	115
			無処理	12/10	-	111



9/16 定植 プレミアムブロンドの白（左）と青（右）の比較実証の状況（新潟）



9/16 定植 プレミアムブロンド（白 LED 実証区）のとなりうね品種の収穫状況（新潟）

表6 村上地域における抑制作型の実証事例

実証地域 (産地)	作型 定植日	実証品種	実証内容 (処理区)	90%収穫 終了日	無処理比 短縮日数	収穫時 草丈(cm)
村上 (荒川)	抑制 10/11	オバダ	青LED照射	1/12	0	127
			白LED照射	1/7	5	128
			無処理	1/12	-	125
		ベンドーム	青LED照射	1/19	1	123
			白LED照射	1/13	7	124
			無処理	1/20	-	120
		シベリア	青LED照射	1/27	5	114
			白LED照射	1/23	9	114
			無処理	2/1	-	114



10/11 定植 シベリアの青色 LED 実証の状況 (村上)

※ 青色光源を通路に設置、外側のうねのみ光源に向かって茎の傾きがみられた。

(短日期の長時間照射で影響がより大きい？ 青色光源の屈光性への影響は白色に比べて大きい？)