

完全人工光型植物工場の省エネルギー性能評価に関する研究
自然環境下におけるエネルギー削減効果

T 1 2 K 6 8 6 C 佐藤 好美
指導教員 赤林 伸一 教授

1 研究目的

近年、完全密閉下で光・温熱空気環境を制御し、無農薬・無菌で植物を周年計画生産する完全人工光型植物工場が注目されている。しかし完全人工光型植物工場は、露地栽培では必要ない照明・空調用エネルギーが必要となるため、植物工場に特化した省エネ技術の開発が課題となっている。

本研究ではまず、超高効率光反射材で植物周囲を覆い赤色と青色の LED を用いた省エネ型栽培設備^{*1} (栽培設備①) における赤青 LED の点灯個数制御実験 (実験①) を行う。次に栽培設備①と光源に蛍光灯 (FLR40W) を用いた従来型栽培設備 (栽培設備②) による栽培実験 (実験②) を模擬された自然環境下で行い、空調エネルギーも含めた植物工場全体でのエネルギー削減効果の検討を行う。

2 栽培実験概要

2.1 各栽培設備の概要：図 1 に栽培設備①の内部を、図 2 に栽培設備②の外観を示す。本研究ではコンテナ式^{*2}植物工場を対象としてリーフレタスの栽培を行う。コンテナは内法幅 2.0[m] × 長さ 4.0[m] × 高さ 2.2[m] とし、熱損失係数は 1.9[W/m²・K] である。コンテナ内には栽培設備①と栽培設備②を栽培棚を 3 段として設置し、明期^{*3}と暗期を設ける。

光環境の測定には分光放射照度計^{*4}を用い、光強度は光合成有効光子束密度を指標とする。温熱空気環境^{*5}の制御には家庭用エアコン、除湿器、CO₂ ボンベを用いる。

2.2 省エネ型栽培設備における赤青 LED 点灯個数制御実験 (実験①)：実験①では栽培設備①のみを使用する。表 1 に実験①の赤青 LED 点灯個数を示す。赤色・青色 LED の点灯個数はそれぞれ 20 個・4 個 (caseA)、



図 1 栽培設備①の内部

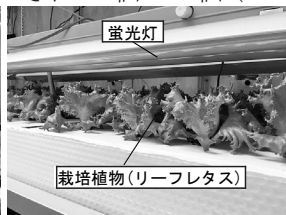


図 2 栽培設備②の外観

15 個・5 個 (caseB)、10 個・5 個 (caseC)、10 個・1 個 (caseD)、5 個・5 個 (caseE)、5 個・1 個 (caseF) とする。各条件で 28 日間の栽培実験を行い、リーフレタスを最も効率良く栽培することが可能な赤青 LED 点灯個数を検討する。

2.3 従来型栽培設備と省エネ型栽培設備による栽培実験 (実験②)：実験②では栽培設備①と栽培設備②を使用する。栽培期間は 1 年間^{*6}とし、栽培設備①、②を用いてそれぞれ 28 日間の栽培実験を交互に行う。栽培棚の温度は 20 ~ 24[°C] に、CO₂ 濃度は 1500 ~ 2100[ppm] に制御する。表 2 に実験②の照明用定格電力消費量及び光子束密度を示す。栽培設備②のみ各栽培パネル^{*7}における照明の高さを植物の成長に合わせて栽培パネル面から 150[mm]、300[mm] と 2 段階に調整する。

3 栽培実験結果

3.1 省エネ型栽培設備における赤青 LED 点灯個数制御実験 (実験①) 結果：図 3 に実験①のレタス収穫重量を示す。平均重量は caseA (赤 20 個・青 4 個) は 135.1[g]、caseF (赤 5 個・青 1 個) は 48.0[g] となり、収穫重量は照明用電力消費量にほぼ比例して増加する。

図 4 に実験①の照明用電力消費量及びレタス収穫重量を示す。単位照明用電力消費量当たりの収穫重量では caseD (赤 10 個・青 1 個) が 97.5[g/kWh] と最も多い。これは照明用電力消費量が caseD の約 2 倍である caseA と比較して 21.4[g/kWh] 多く、caseD の単位照明用電力消費量当たりの収穫重量は caseA の約 1.3 倍となる。

実験①より栽培期間を 28 日間とした場合、省エネ型

表 1 実験①の赤青 LED 点灯個数

栽培用照明条件	caseA	caseB	caseC	caseD	caseE	caseF	
	(赤20・青4)	(赤15・青5)	(赤10・青5)	(赤10・青1)	(赤5・青5)	(赤5・青1)	
照明個数[個]							
赤色LED	20	15	10	10	5	5	
青色LED	4	5	5	1	5	1	
定格電力消費量[W]	55.6	46.1	35.7	26.5	28.9	16.2	
光子束密度 [μmol/(m ² ・s)]	鉛直上面方向		464	378	281	207	181
	5方向合計		1993	1705	1266	884	848
赤・青色光の比率(R/B比)		6:1	4:1	3:1	14:1	1:1	5:1

表 2 実験②の照明用定格電力消費量及び光子束密度

栽培用照明条件	赤青LED (赤10個・青1個) ×12セット		蛍光灯 (FLR40W) × 24灯
	定格電力消費量[W]	光子束密度 [μmol/(m ² ・s)]	
鉛直上面方向	318	207	1088
光源の高さ	150[mm]	207	230
	300[mm]	207	150
5方向合計		884	-

栽培設備では赤青LEDをそれぞれ10個・1個点灯させることで、リーフレタスを最も効率良く栽培することが可能であると考えられる。

3.2 従来型栽培設備と省エネ型栽培設備による栽培実験（実験②）結果：栽培設備①における赤青LED点光源の点灯個数は実験①の結果から赤10個・青1個とする。

図5に実験②のレタス収穫重量を示す。最大・最小・平均重量ともに栽培設備①と比較して栽培設備②の方が大きい。各季節の平均では栽培設備②の平均重量は栽培設備①に対して約1.2倍となる。

図6に実験②の総電力消費量と照明・エアコン・除湿器・循環用ファンの電力消費量を示す。各季節において栽培設備①の照明用電力消費量は栽培設備②に比較して少なく、栽培設備①の照明用電力消費量は栽培設備②に対して平均で約70[%]減少する。エアコンの電力消費量はどの季節でも栽培設備①の方が少ないが、除湿器の電力消費量を含めた空調用電力消費量では春季、夏季、秋季においては栽培設備①の方が大きい。これは室内発熱が相対的に少ない栽培設備①ではエアコンの冷房運転する時間が短くなるため、除湿器の処理する潜熱量が相対的に増加すること、更にエアコンより除湿器のCOPが低いとためと考えられる。生育期間の総電力消費量は栽培設備①では栽培設備②に対して約半分となる。

図7に実験②の各单位電力消費量当たりのレタス収穫重量を示す。どの季節においても栽培設備①の単位電力消費量当たりの収穫重量は栽培設備②と比較して大きい。冬季において栽培設備①の単位電力消費量当たりの

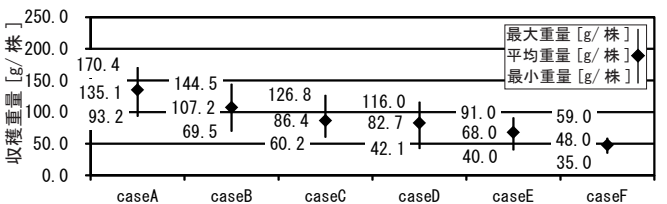


図3 実験①のレタス収穫重量

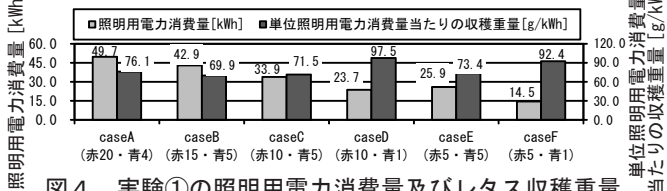


図4 実験①の照明用電力消費量及びレタス収穫重量

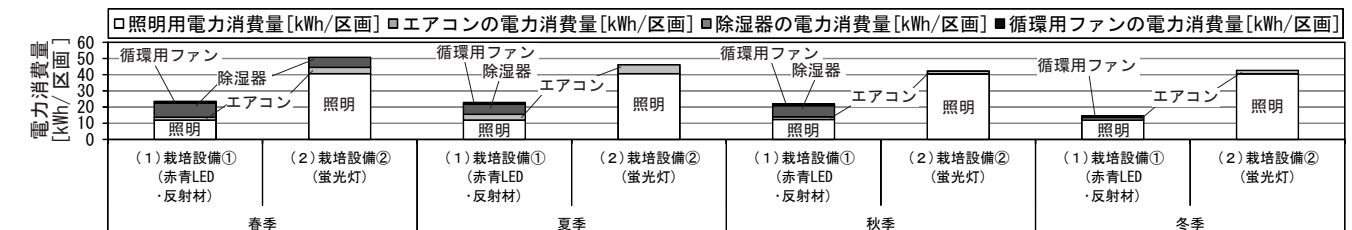


図6 実験②の総電力消費量と照明・エアコン・除湿器・循環用ファンの電力消費量

レタス収穫重量が比較的大きいが、これは当該実験では除湿器を使用しなかったことで電力消費量が少ないためである。各季の平均では栽培設備①の単位電力消費量当たりの収穫重量は栽培設備②の約2.0倍となる。

実験②より省エネ型栽培設備を用いることにより、年間を通して従来の栽培設備と比較して少ない電力消費量で同量以上の植物生産を行うことが可能であると考えられる。

4 まとめ

①実験①では、単位照明用電力消費量当たりの収穫重量はcaseD(赤10個、青1個)が97.5[g/kWh]と最も多い。
②実験②ではどの季節においても、栽培設備①の単位電力消費量当たりの収穫重量が栽培設備②と比較して約2.0倍となる。省エネ型栽培設備を用いることにより、年間を通して従来の栽培設備と比較して少ない電力消費量で同量以上の植物生産を行うことが可能であると考えられる。

- ※1 栽培棚の上・中・下段に4セットずつ計12セットの栽培BOXを設置し、1セットずつ内壁面の給気口と排気口を除く全てを日社及びD社製超高効率拡散反射材(全反射率99[%])で覆い、光源として赤青LED点光源を用いる。
- ※2 コンテナは海上輸送用を想定し、内部には栽培棚と温熱空気環境の実測機器を設置する。コンテナを設置した実験室内には有圧換気扇により外気を給気し自然環境を再現する。栽培実験期間中の外気と実験室の温度差は1.5[°C]以下である。
- ※3 明期：植物に光を照射する時間(照明点灯時)とする。午後5時～午前9時(16時間)とし、その他の時間を暗期とする。
- ※4 K社製分光放射照度計(品番:CL500A)。測定範囲は10°とし、測定点は栽培パネルの中心付近とする。
- ※5 栽培設備①の温度は排気口の中心付近で測定する。栽培設備②の温度は各栽培パネル中心上の照明からの距離100[mm]付近、CO₂濃度はエアコン吸込口付近において測定する。
- ※6 リーフレタス栽培実験期間は、栽培設備①では5月1日～5月29日(春季)、8月12日～9月9日(夏季)、9月14日～10月13日(秋季)、11月16日～12月14日(冬季)である。栽培設備②では6月4日～7月2日(春季)、7月10日～8月7日(夏季)、10月14日～11月11日(秋季)、12月16日～1月13日(冬季)である。
- ※7 栽培設備①、②ともに栽培パネル1枚分を1区画(4×4=16株)とする。

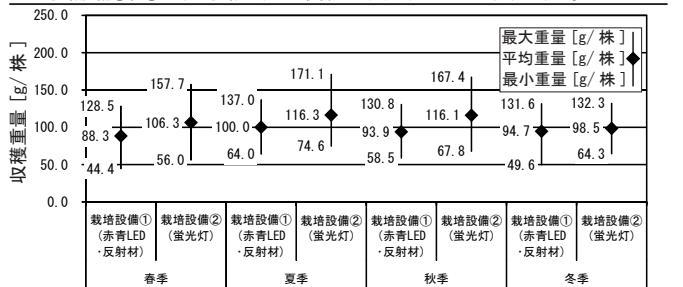


図5 実験②のレタス収穫重量

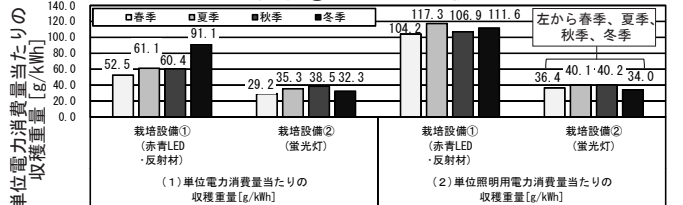


図7 実験②の各单位電力消費量当たりのレタス収穫重量