卒業研究梗概

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

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・無菌で植物を通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 $1.9[W/m^2 \cdot K]$ 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 光合成有効光量子東密度を指標とする。温熱空気環境^{※5} の制御には家庭用エアコン、除湿器、CO。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)、





栽培設備①の内部

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[℃]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 消費量及び光量子東密度を示す。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

衣し、美殿しのか月にひ思り回教											
	caseA	caseB	caseC	caseD	caseE	caseF					
栽培用!	(赤20・	(赤15・	(赤10・	(赤10・	(赤5・	(赤5・					
		青4)	青5)	青5)	青1)	青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				
光量子束密度	鉛直上面方向	464	378	281	207	181	124				
$[\mu \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})]$	5 方向合計	1993	1705	1266	884	848	521				
赤・青色光の比率(R/B比)		6:1	4:1	3 : 1	14 : 1	1:1	5 : 1				
*											

実験(2)の照明用定格電力消費量及び光量子東密度

Z Z Z Z Z Z Z Z Z Z Z Z Z Z Z Z Z Z Z									
栽	培用照明绵	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	318	1088						
光量子束密度	鉛直上面	光源の	150 [mm]	207	230				
[μmol/(m [*] ·s)]	方向	高さ	300 [mm]	207	150				
	5方向合計			884	-				

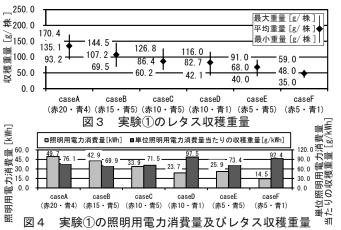
栽培設備では赤青 LED をそれぞれ 10 個・1 個点灯させ ることで、リーフレタスを最も効率良く栽培することが 可能であると考えられる。

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の方が多い。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の各単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



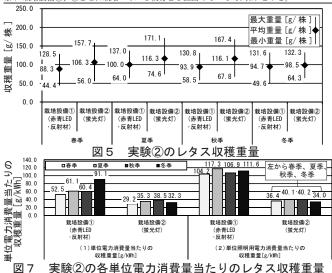
レタス収穫重量が比較的大きいが、これは当該実験では 除湿器を使用しなかったことで電力消費量が少ないため である。各季の平均では栽培設備①の単位電力消費量当 たりの収穫重量は栽培設備②の約2.0倍となる。

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

- 飛塔棚の上・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H社及びD社製超高効率拡散反射材(全反射率 栽培棚の上・ 光源として赤青 LED 点光源を用いる で覆い、
- 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 栽培実験期間中の外気と実験室の温度差は1.5[℃]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) その他の時間を暗期とする
- 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
- ※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 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 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
- 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 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)、 日~9月9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 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
- ※7 栽培設備①、



実験②の各単位電力消費量当たりのレタス収穫重量

