

共同研究・受託研究名：最適化空調システムの研究
 研究代表者（所属）：木下進一（大阪公大・工学）

発表タイトル：同化箱法に基づく植物生理モデルの構築とその精度向上の検討

○密原秀真¹，木下進一²，吉田篤正¹
 所属：1 大阪府大・工学 2 大阪公大・工学

キーワード：植物工場，同化箱法，生理応答，相互作用，環境履歴

要旨

本研究では，人工光型植物工場における栽培環境がレタスの生育に及ぼす影響を，各種環境因子を制御可能な同化箱を用いて評価し，レタスの生育ならびに栽培環境との相互作用の予測に必要な光合成モデルならびに蒸散モデルの構築を行っている。これまでに行った栽培環境実測の結果を構築した光合成モデルに適用し予測した生育量が，実際に生産されたレタスの生育状況に対して過小評価される傾向があり，モデル式の検討ならびにレタスの生理応答に対する複数の環境因子の相互作用の影響，環境履歴の影響について評価した。

研究背景・研究目的

- ・気候変動による収穫量の不安定
- ・農業従事者の減少

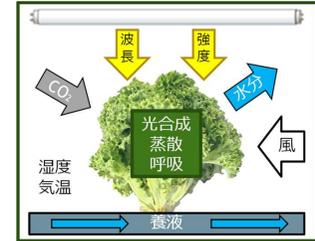
植物工場



植物工場での問題点

- ・チップバーン
- ・イニシャルコスト，ランニングコストが高い
- ・生育の不揃い

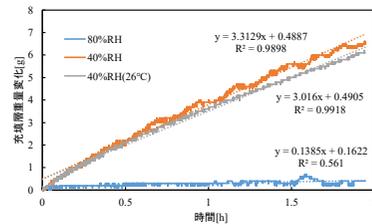
目的：植物モデルの高精度化
 同化箱法による生理応答測定



昨年度行った内容

①同化箱や同化箱での測定手順の改良

- ・同化箱にチラーの接続，水温調整を可能に
- ・養液面からの水分蒸発量の測定(正しい蒸散量の測定のため)



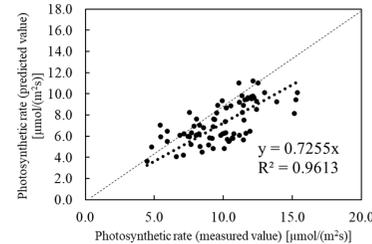
飽差の影響を受け相対湿度の違いで水面蒸発量が変化

②環境履歴の影響に関する生理応答測定

- 2年前に行った定植実験で風速を連続的に上昇させると気孔開度が上昇(風速上昇とともに気孔は閉じるのでは?)
- 苗が環境の履歴の影響を受けている可能性がある
- 苗を環境履歴の有無に分けて定植実験

③環境因子を複数変化させた生理応答測定

- 2年前に行った定植実験は変化させる環境条件が1条件のみ
- レタスに負荷をかける条件で環境条件を複数変化し定植実験
- モデルへの適用性や，気孔への影響を確認



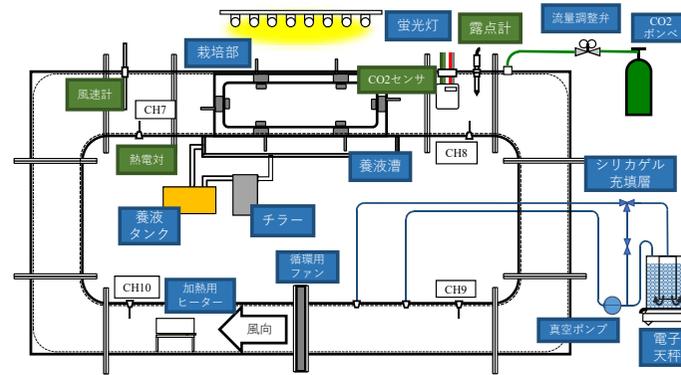
過去構築した光合成モデルの実測値と予測値の比較

④光合成モデルの改善

- 過去構築した光合成モデルは実測値を過小評価する傾向あり
- モデル式を再構築，適用性の確認

同化箱 概要

閉鎖型の同化箱を使用
 流路内のCO₂および水分収支から生理応答を測定



制御項目

温度・相対湿度・CO₂濃度・風速・水温(追加)

測定項目

温度・相対湿度・CO₂濃度・風速・水温・pH・EC

制御項目に水温を追加

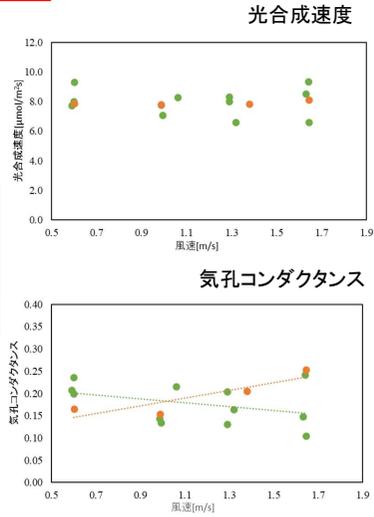
送り込まれる養液を冷やして養液槽に送り込む



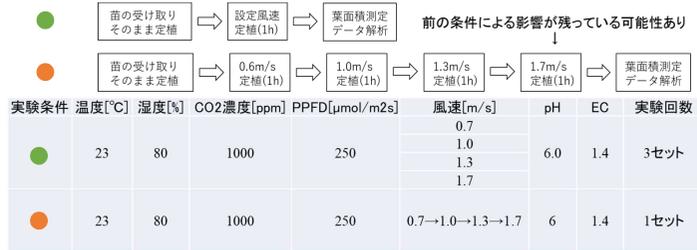
環境履歴の影響に関する生理応答測定

以前までは1度の実験で苗10株を3条件で生理応答測定
 →この場合、前条件の環境の履歴の影響を受ける可能性がある
 →環境履歴の有無に分けて実験

実験結果



実験条件



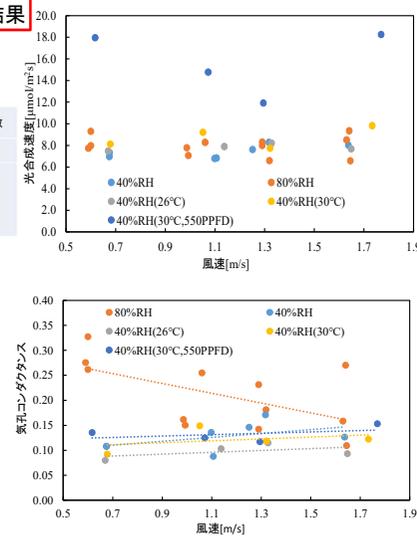
考察

- 履歴が存在しない場合、風速上昇とともに気孔は閉じる傾向あり
 - 履歴が存在することで気孔の状態が変化or変わらない
- ⇒ 連続的に測定する場合、条件間で一度暗期を設けて(気孔を閉じて)測定した場合に履歴の影響は解消されるか？

環境因子を複数変化させた生理応答測定

レタスにとってストレスのかかる環境条件で生理応答測定
 光合成速度、気孔コンダクタンスを評価

実験結果



実験条件

実験条件	温度[°C]	湿度[%]	CO2濃度[ppm]	PPFD[μmol/m²s]	風速[m/s]	pH	EC	実験回数
●	23	40	1000	250	0.7,1.0,1.3,1.7	6.0	1.4	2セット
●	26	40	1000	250	0.7,1.0,1.3,1.7	6.0	1.4	1セット
●	30	40	1000	250	0.7,1.0,1.3,1.7	6.0	1.4	1セット
●	30	40	1000	550	0.7,1.0,1.3,1.7	6.0	1.4	1セット

考察

- 光条件以外は変化させても光合成速度に大きく影響与えず
 →この範囲内ではほとんど光合成速度に影響を与えない
 - 気孔コンダクタンスは低湿度域では風速上昇してもほとんど変化なし
 →高湿度域では風速上昇によるストレスを受けやすい？
- ⇒ この環境条件の範囲内では明確な生理応答差が現れない植物にとってよりストレスのかかる範囲での生理応答測定が必要

以前の光合成モデル式について

非直角双曲線式

$$V_p = V_d + \frac{g_p \cdot I_R + V_{pmax}}{2\phi_p} - \frac{\sqrt{(g_p \cdot I_R + V_{pmax})^2 - 4g_p \cdot \phi_p \cdot V_{pmax} \cdot I_R}}{2\phi_p}$$

$$g_p(T, c, H, u) = g_{pstd} \cdot f_1(T) \cdot f_2(c) \cdot f_3(H) \cdot f_4(u)$$

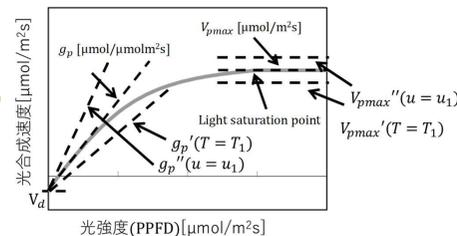
$$V_{pmax}(T, c, H, u) = V_{pmaxstd} \cdot f_5(T) \cdot f_6(c) \cdot f_7(H) \cdot f_8(u)$$

T:温度[°C], c:二酸化炭素濃度[ppm], H:相対湿度[%], u:風速[m/s]
 $g_{pstd} \cdot V_{pmaxstd}$: 基準条件における初期勾配, 最大光合成速度
 V_d (暗呼吸速度):0.45[μmol/(m²s)], ϕ_p (曲率):0.85

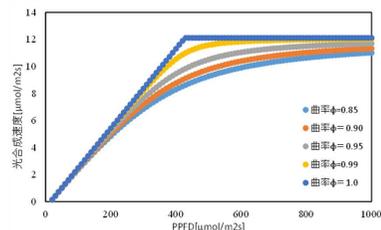
→ g_p, V_{pmax} を各環境因子同士の積の形で表現
 例)80%,1000ppm,30°C,1.0m/sの場合,
 $f_2(c) = f_3(H) = f_4(u) = 1, f_1(T) = g_p(30)/g_p(23)$

問題点

- 環境因子による影響が積の形になっている
 - 環境因子の相互作用に対応していない
 - 曲率の影響を受けている(過小評価の原因)
- 曲率を与えた場合、初期勾配も曲率の影響を受けるため



環境因子の違いによって g_p, V_{pmax} は変化



光合成モデル式の改善案

g_p および V_{pmax} を以下の推定式で表現

$$g_p = E_1 T'^2 + E_2 T' + E_3 H' + E_4 c'^2 + E_5 c' + E_6 u'^2 + E_7 u' + E_8 T'c' + E_9 T'u' + E_{10} T'H' + E_{11} c'u' + E_{12} c'H' + E_{13} u'H' + E_{14}$$

$$V_{pmax} = E_{15} T'^2 + E_{16} T' + E_{17} H' + E_{18} c'^2 + E_{19} c' + E_{20} u'^2 + E_{21} u' + E_{22} T'c' + E_{23} T'u' + E_{24} T'H' + E_{25} c'u' + E_{26} c'H' + E_{27} u'H' + E_{28}$$

— 実測値

□ : 環境因子の独立した影響に関する項
 □ : 環境因子の交互作用に関する項
 □ : 誤差項

$T' = T/23, c' = c/1000, H' = H/80, u' = u/1.0$
 各環境因子を無次元化
 →係数比較により影響度の把握

これらの二乗誤差が最小になるように反復計算 → $E_1 \sim E_{28}$ を同定!

改善点

環境因子による影響を和の形で表現 & 環境因子の相互作用の影響についても対応

同定結果

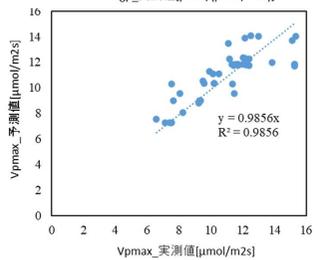
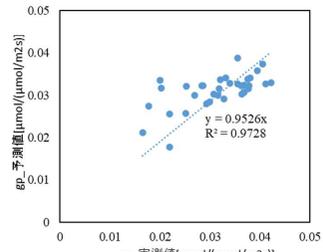
$$g_p = -0.149T'^2 + 0.207T' + 0.049H' - 0.002c'^2 - 0.118c' + 0.004u'^2 + 0.018u' + 0.160T'c' + 0.006T'u' - 0.042T'H' - 0.029c'u' + 0.002c'H' - 0.003u'H' - 0.070$$

$$V_{pmax} = -16.2T'^2 + 12.3T' - 0.49H' - 4.94c'^2 + 0.20c' + 2.14u'^2 - 4.21u' + 12.5T'c' + 8.05T'u' + 11.8T'H' - 4.13c'u' - 0.41c'H' - 4.82u'H' + 0.12$$

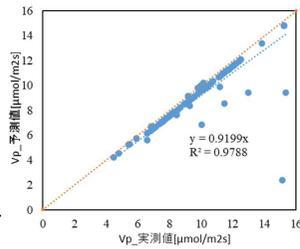
g_p, V_{pmax} ともに温度や湿度との相互作用の影響を強く受けている

光合成速度の予測値・実測値比較

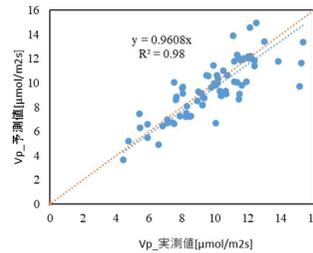
g_p, V_{pmax} の予測値・実測値の比較



非直角双曲線式に代入・実測値と予測値の比較
(曲率 $\phi_p=1.0$ を代入)



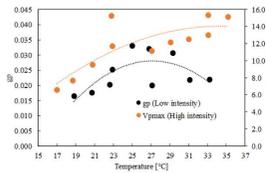
昨年度のモデルに $\phi_p=1.0$ を代入したもの



全体的なばらつきが抑えられ、より $y = 1$ の直線上にデータが近づいた

課題

- ・光合成曲線の曲線変化部分是非対応
→ その部分だけのモデルを、正しい曲率を用いて構築
- ・極端に予測が外れているデータの存在
→ 弱光条件と強光条件での V_p の傾向の違いが原因か



まとめ・今後の予定

・従来の光合成モデルの過小評価を改善するため、新たに相互作用項も取り入れたモデルの構築を行った。

・環境履歴の影響を解消するために、暗期を設けた測定や環境に順化させる実験を行い、生理応答測定を早くかつ正しい測定を目指す。

・水温が長期での生育に影響を与えていることは知られているが、生理応答に与える影響は知られていないため、今後は水温が生理応答に与える影響の解明やモデルへの組み込みについても検討したい。