

# CEEFにおけるシーケンス栽培と 空気処理設備等の適合性に関する ダイナミックモデルによる検討

宮嶋宏行 東京女学館大学  
新井竜司, 多胡靖宏, 新田慶治  
(財)環境科学技術研究所

## はじめに

- 食糧生産を行う閉鎖系システムの地上実験施設
  - NASA JSC - Integrated Life Support Systems Test Facility (ILSSTF) - 1990年代後半に居住実験の中心となった施設
  - NASA JSC - Bioregenerative Planetary Life Support Systems Test Complex (BIO-Plex) - 今後の居住実験の中心となる施設
  - 環境科学技術研究所 - 閉鎖型生態系実験施設 (CEEF) - 2005年以降に居住実験が予定されている
- CEEFでは
  - 居住実験に向けて、植物栽培モジュールを用いた複数種類の作物をシーケンス栽培する実験が行われている。
  - 植物のバイオマスの生産量、植物群落のガス収支並びに水収支に関する変動データが収集されている。

## シミュレーション研究の現状

- BIO-PlexやCEEFの研究における最近の事例
  - 装置処理能力やバッファサイズおよび貯蔵量の検討
    - 植物の栽培方法(一斉栽培, 分割栽培)の影響
    - 廃棄物処理装置の運用方法の影響
  - 実験方法の検討
    - 閉鎖のタイミング?
    - 居住開始のタイミング?
- 過去のシミュレーション結果
  - CEEFの閉鎖系植物実験施設と閉鎖系動物飼育・居住実験施設を結合運転して、人間1人が居住するという条件では
    - 植物の栽培方法は、シーケンス栽培する場合、廃棄物処理装置の運用方法は、一日分の廃棄物を毎日処理する場合にバッファサイズを一番小さくできる。
    - シーケンス栽培を行った場合、閉鎖のタイミングと居住開始のタイミングは、最も栽培量が多い作物の栽培期間に一致させるとバッファサイズを一番小さくできる。

## シミュレーションモデルの再検討

- 閉鎖系システムの物質循環のシミュレーション
  - 物質平衡式による物質収支解析
    - 生化学量論による物質収支モデル
  - 非線形微分方程式による物質循環解析
    - 植物・人間・装置のモデルが提案されている
    - 植物が一番重要なダイナミクスを持つ
- 現在行われている実験のデータを利用して、植物のシミュレーションモデルを物質収支モデルと物質循環モデルの2つの視点から見直しを行う

## 物質収支モデル

	栄養素	近似した物質	化学式
可食部	たんぱく質	アミノ酸	C <sub>4</sub> H <sub>5</sub> ON
	脂質	パルチミン酸	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>
	糖質	ブドウ糖	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>
	繊維	セルロース	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>
非可食部	粗たんぱく質	アミノ酸	C <sub>4</sub> H <sub>5</sub> ON
	粗脂質	パルチミン酸	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>
	可溶性無窒素物	ブドウ糖	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>
	粗繊維	セルロース	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>

$$a_1 \cdot CO_2 + a_2 \cdot H_2O + a_3 \cdot NH_3 + a_4 \cdot HNO_3$$

$$\rightarrow b_1 \cdot C_4H_5NO + b_2 \cdot C_{16}H_{32}O_2 + b_3 \cdot C_6H_{12}O_6 + b_4 \cdot C_6H_{10}O_5 + b_5 \cdot O_2$$

この式を正確に作ることがシミュレーションにとって重要

## 物質収支モデルの検証(RQによる検証)

燃焼の化学反応式によるRQ

	化学式によるRQ[-]	
	化学式によるRQ[-]	文献によるRQ[-]
たんぱく質	0.875	0.8 - 0.83
脂質	0.696	0.7 - 0.71
糖質	1.0	1.0
繊維	1.0	1.0

RQの理論値と実験値の比較

	理論(生化学量論)			実験		
	CO <sub>2</sub> [mol]	O <sub>2</sub> [mol]	RQ [-]	CO <sub>2</sub> [N I]	O <sub>2</sub> [N I]	RQ [-]
イネ	38.66 *1	40.36 *1	0.958	800.4	827.0	0.968
ダイズ	17.42 *2	19.79 *2	0.880	391.3	494.1	0.792

## 物質収支モデルの評価

- 従来の生化学量論では、たんぱく質を多く含む作物の二酸化炭素/酸素の収支を正確に計算できないことがわかった。
- **たんぱく質の成分が多い作物については、個別に元素組成を分析する必要がある。**

7

## 植物のダイナミックモデル

様々な条件において空気処理設備等の性能を検証するためには、植物の年齢や光・温度・CO<sub>2</sub>濃度の環境変動の影響が考慮されたモデルが必要となる

Energy Cascade Model

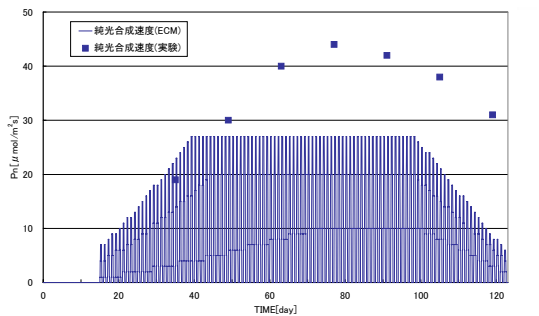
$$\text{炭素増加率 } DCG = k \cdot C_{24} \cdot H \cdot P_g = k \cdot C_{24} \cdot H \cdot A \cdot Q \cdot PPF$$

植物が光を吸収する  
光合成により炭素がショ糖に変わる  
呼吸によりショ糖がバイオマスに変わる

光合成有効量子光束  
吸収されたPPFの比率  
群落量子収量

8

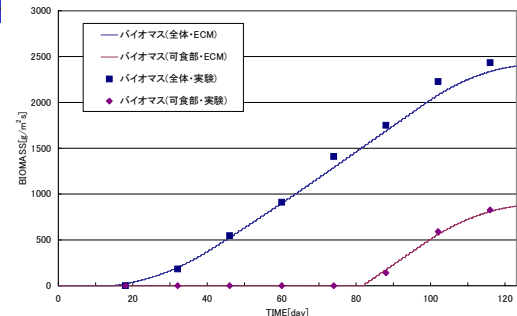
## ダイナミックモデルの検証(1) イネ群落の純光合成速度の変化



光強度: 1400 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (75%), 2h(25%), 2h(50%), 6h(75%), 2h(50%), 2h(25%)  
二酸化炭素濃度: 700 μmol, 温度: 明期 21°C, 暗期 28°C

9

## ダイナミックモデルの検証(2) イネ群落のバイオマスの変化



光強度: 1400 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (75%), 2h(25%), 2h(50%), 6h(75%), 2h(50%), 2h(25%)  
二酸化炭素濃度: 700 μmol, 温度: 明期 21°C, 暗期 28°C

10

## 植物のダイナミックモデルの評価

- 純光合成速度の変化が、成長の中期と後期で計算値と実験値の間で大きく異なる。その結果、成長の後期でバイオマスの計算値と実験値の間でずれが発生している。
- **成長中期以降での純光合成速度の変化については見直しが必要である。**

11

## まとめ

- 従来の生化学量論では、たんぱく質の元素組成が正確でないため、たんぱく質の多い作物の酸素と二酸化炭素の収支を正確に計算できないことがわかった。**たんぱく質の成分が多い作物については、個別に元素組成を分析する必要がある。**
- 植物の年齢や環境(光・温度・CO<sub>2</sub>濃度)変動の影響が考慮されたダイナミックモデルの1つとしてEnergy Cascade Model(ECM)について検討を行い、(ある栽培環境では)バイオマスの計算と実験の結果がほぼ一致した。ただし、**成長中期以降での純光合成速度の変化については見直しが必要である。**今後、さらに環境が変動した場合の植物の反応特性についても検討する必要がある。

12