

[タイトル] 植物体の簡単な電氣的等価回路モデルVI

－パルス光下の正味光合成速度－

Simple electrical equivalent circuit model of plants VI

-Net photosynthetic rates under the pulsed lights-

[抄録(要旨)] 方形波パルス光, 全波整流パルス光, 連続光下の光合成速度を植物体の単純な電氣的等価回路でシミュレートした。その結果をコスレタスのパルス光下における正味光合成速度について報告された文献データと比較した。

[著者名] 奥島 里美 (Okushima Limi)

[所属機関] 農研機構九州沖縄農業研究センター研究推進部

(Department of Research Promotion, Kyushu Okinawa
Agricultural Research Center, NARO)

[責任著者と電子メールアドレス] 奥島里美, green@zy.sunnyday.jp

[キーワード] 電氣的等価回路モデル(electrical equivalent circuit model), 正味光合成速度(net photosynthesis rate), パルス光(pulsed light)

[利益相反] 示すべき利益相反関連事項はありません。

[著者の貢献] 全部

植物体の簡単な電氣的等価回路モデルVI

ーパルス光下の正味光合成速度ー

2024. 1. 23

奥島里美

[諸言]

非常に単純な植物体電氣的等価回路モデルを作り、光合成を植物体部位における電氣的な流れ込みとしてシミュレートした^{1, 2)}。これまでは明期と暗期を合わせて 24 時間とする日周期の光環境条件を想定していたが、この回路モデル自体は時間スケールを限定したものではない。そこで、本稿ではもっと時間スケールの小さい 100Hz のパルス光を光環境条件とした光合成のシミュレーションを行った。

人工光での栽培実験に LED 光源を用いることが多くなっている。LED は寿命が長い、消費電力が少ない、所望の分光放射照度を作り出しやすいなどの利点がある。また、点灯・消灯反応が早いことからパルス光に対する植物の応答反応についての試験研究も進展している。Fujiwara ら³⁾は精密な光合成計測システムを構築し、コスレタスのパルス光下における正味光合成速度 (NPR) を明らかにしている。NPR は光合成光子束密度 (PPFD) $100 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の白色 LED パネル下で測定された。照射光は方形波形 (SW) と全波整流波形 (FWR) の 100Hz パルス光および連続光 (CL) であった。本稿でも同様の 3 種類の光環境条件を与え、NPR として葉部における電氣的な流れ込みをシミュレートした。その結果を Fujiwara ら³⁾の実測値と比較した。

[方法]

植物体 (レタス) の電氣的等価回路モデルは根部と葉部で構成した (図 1)。

計算にあたって外部環境条件である温度と CO_2 濃度は常時一定で変化しない DC 電源 (5V) として設定した。光源は FWR, SW, CL の 3 種とした。FWR と SW

の周波数は100Hz、電圧はそれぞれ19V、20Vとした。CLはDC電源にすると図1のNPR部に電位差が生じなかったため、2MHz(0.5 μ s)のAC電源で代用した。電圧は20Vに設定した。0.5 μ sはフォトダイオードの立ち上がり時間にほぼ相当する。これはFWRとSWのパルス100Hzに比べて極めて短い。また、生体分子のようなマイクロサイズで起こる生命現象の時間スケール(1000分の1秒やそれ以下)に比べても短いので生体細胞にとっては(平均化された)連続的な刺激だろうと考えた。

なお、回路モデルにおける外部環境の入力値や抵抗、コンデンサ等のパラメータの設定値はすべて単なる仮想値であり、これまでの数値をほぼ踏襲した。

[結果]

CL, SW, FWRにおけるNPR部の電位差を表1にまとめた。またFujiwaraら³⁾のNPRの実測値も合わせて記した。

① 異なるパルス光(CL, SW, FWR)のNPR相対比

Fujiwaraら³⁾のNPRはFWRを基準(100%)にするとCLは102%、SWは97%であった。一方、シミュレーションではFWR100%に対しCLは100%、SWは94%であった。すなわち、NPRの相対比はFujiwaraら³⁾の実測と本シミュレーションで3%以内の違いで、際立った大きな差はない結果となった。

② シンク回路の有無によるNPRの違い

本モデルにて葉部のシンク回路部分を除去した場合(図2)、NPRの相対比はFWR100%に対しCLは93%、SWは112%となった。

レタスなどの葉菜類は生長点や展開中の幼葉がシンクとして機能している⁴⁾。シンク能、ソース能は独立ではなく互いに影響を及ぼし合う関係にあり、一般的にシンク除去などでシンク能を相対的に小さくすると葉の光合成が抑制される傾向があるとされる⁵⁾。本シミュレーションのCLではシンク回路部分を除去するとNPRが減少して、葉の光合成が抑制される傾向が見られた。これは上記

の一般的な傾向に合致する。FWR の場合、シンク回路部分があってもなくても NPR にほとんど違いがなかった。SW ではシンク回路部分を除去した方が NPR が増加して、葉の光合成が逆に促進されるような結果となった。シンク-ソース相互作用のメカニズムはまだ不明なことが多く⁵⁾、本稿ではシミュレーション結果を報告するにとどめる。

③ 温度条件による NPR の違い

計算にあたって外部環境条件である温度は常時一定で変化しない DC 電源 (5V) として設定したが、これを (10V) に上げた場合、NPR の相対比は FWR の 100% に対し CL は 104%、SW は 96% となった。Fujiwara ら³⁾による実測との差は 2% 以内で、ほんのわずかであるが、DC 電源 (5V) の場合よりも実測値に近づく結果となった。Fujiwara ら³⁾が試験したレタスは弱光の $100 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ で栽培され、気温は 25°C だったので、比較的温度の影響が強かったのかもしれない。

シミュレーションによる NPR はパルス光波形のほか、シンク能や温度の影響も受けることが示された。しかし、本モデルの設定値はすべて単なる仮想値であるため、実測との比較を行うには今後、定量的な裏付けが必要である。

表 1. CL, SW, FWR における NPR 部の電位差
(Fujiwara ら³⁾ の NPR の実測値も併記)

実測値		CL	SW	FWR
		周波数	100Hz	100Hz
		連続光 PPFD	$100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	$190 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
Fujiwara ら ³⁾	NPR 相対比 [%]*	102	97	100
	NPR [$\mu\text{mol h}^{-1}/\text{plant}$]	551	524	540
シミュレーション				
		CL	SW	FWR
		周波数	100Hz	100Hz
		電源電圧	20V	19V
シンク回路あり, 温度DC5V	NPR 相対比 [%]*	100	94	100
	NPR [V]	3.526	3.326	3.528
シンク回路なし, 温度DC5V	NPR 相対比 [%]*	93	112	100
	NPR [V]	3.272	3.92	3.5
シンク回路あり, 温度DC10V	NPR 相対比 [%]*	104	96	100
	NPR [V]	3.479	3.199	3.337
*FWR を基準の100%とする。				

引用文献：

- 1) 奥島里美 (2022) 植物体の簡単な電氣的等価回路モデル I,
<https://doi.org/10.51094/jxiv.128>
- 2) 奥島里美 (2022) 植物体の簡単な電氣的等価回路モデル II -非常に単純なモデルフレームによる光合成の振る舞い-,
<https://doi.org/10.51094/jxiv.141>
- 3) Kazuhiro FUJIWARA, Tomohiro JISHI, Kyohei NISHINO and Akira YANO (2023) Net photosynthetic rate of cos lettuce under pulsed light generated with full-wave rectification of 50 Hz sine-wave alternating-current power., J. of Agricultural Meteorology 79(3), 104-108.
- 4) 福井博一(2000~)植物生理学の講義内容, <https://www1.gifu-u.ac.jp/~fukui/04-8-1.htm>
- 5) 日本光合成学会 (2020) シンク-ソース相互作用,
<https://photosyn.jp/pwiki/?シンク-ソース相互作用#:~:text=シンク%2Dソース相互作用%5Bsink,シンク%2Dソース相互作用という%EF%BC%8E>