21406 一様気流中におかれた個葉の振動解析

Dynamic Behavior of a Plant Leaf in a Uniform Airflow

細谷宏史・桐蔭横浜大院

内藤吉昭・桐蔭横浜大院

周防篤志・桐蔭横浜大院

大幅元吉・桐蔭横浜大

Hiroshi Hosoya, Toin University

Yoshiaki Naito, Toin University

Atsushi Suo, Toin University

Motoyoshi Ohaba, Toin University

Key Words: Plant leaf, Airflow, Phototropism, Oscillating Characteristics, Natural Frequency

Abstract

The oscillatory responses of a single leaf of sweet potato are examined under lighting by a fluorescent light in a uniform airflow. The leaf displacement is measured using a laser displacement detector, and the power spectrum of the data is calculated. The equilibrium position is changed as a function of time when the light is leaved on for one hour and after tuned off. The primary resonant frequency of the leaf has shifted to higher range, and its magnitude of the power spectrum has increased during the experiments. These dynamic characteristics are due to the deformation of the leaf shape by the phototropism. These responses also suggest the influence of the airflow, because the evaporation from the leaf is activated. Future study is directed to examine the various lighting effects on plant holophyte.

1. 緒言

葉面近傍の気流速度が低下する領域は境界層とよばれ、大気と葉面間における二酸化炭素や水蒸気の輸送に大きな抵抗となることが知られる⁽¹⁾。矢吹ら⁽²⁾は、キュウリの光合成に及ぼす風速の影響を、湿度・日射量をパラメータとして実験し、光合成が光強度のみならず、気流による二酸化炭素の拡散に依存することを明らかにした。また、サツマイモ個葉を用いた風洞実験⁽³⁾により、葉面に対する気流の速度・迎え角が境界層抵抗値に及ぼす影響を調べ、作物生産量を高める気流環境について検討している。気流中の葉面振動に関しては、葉面からの水蒸気量が静止時に比べ、最大で1.6倍程度増大すること⁽⁴⁾や、境界層の乱流化で葉面境界層抵抗が低減し、静止時に比べ物質交換量が増大すること⁽⁵⁾、および光合成速度が顕著に増大すること⁽⁶⁾などが報告されている。

このように、個葉の振動現象はガス交換に深く係わり、作物生産に影響する課題だが、詳細な研究は皆無のようである。筆者らは、微小振動する葉面回りの気流を渦法により解析した⁽⁷⁾。一方、最近の植物工場ではハイテク化により、強い人工光の照射の下で半導体工場なみのクリーンルーム環境⁽⁸⁾を実現している。そこで本報では、照明と気流条件を植物工場を想定して設定し、このような環境におけるサツマイモ個葉の振動現象およびその特性を明らかにする。

2. 気流実験装置および実験方法

本実験では、一節挿しのサツマイモ個葉を用いる。これは、プラスチック製ポットに栽培され、根が土中に十分に張っているものである。図1の写真は実験に用いたサツマイモ個葉であり、葉身長9.9cm、葉幅9.5cmの心形々状をなす。

気流実験にはエッフェル型風洞を用いる。この風洞の測定部は、縦横20cm×20cmであり、最大風速30m/sの一様流を発生できる。この気流吹出し口の測定部に、サツマイモ葉身の尖頭部が気流と水平面上で45°傾き、照明用の蛍光灯は、葉身の後方で水平面と45°をなす、高さ $h=15$ cmの位置に置かれている。葉面位置における照度は1000lxである。葉面変位はレーザ変位計により計測され、パワースペクトルはその値をFFT解析することで求める。葉身の固有振動数は、無風状態において、上下方向にわずかな回転変位を与え、その減衰振動から求める。屈光性⁽⁹⁾による変位は、同じ個葉を暗室環境に2時間以上置いた後、蛍光灯による照明を与えた状態で計測される。気流実験では屈光性を考慮し、実験開

Fig. 1 Single leaf of sweet potato for wind tunnel experimental.

Fig. 2 Power spectrum of damping oscillation of the leaf.

Fig. 3 Leaf displacement at $t = 80$ s for airflow $v = 0.5$ m/s.

始後の1時間は蛍光灯を点灯した後、消灯する場合を述べる。

3. 葉身の固有振動数および気流中の振動特性

3.1 個葉の固有振動数 図2はサツマイモ個葉の減衰振動のパワースペクトルを示す。本スペクトルは、葉身と葉柄の交点から25mm離れた地点における自由減衰振動変位のデータをFFT解析して求められたもので、固有振動数はほぼ5.0Hzである。葉身原点まわりの回転振動は、葉身の構造減衰と空気抵抗による粘性減衰により決まるものと思われる。

3.2 気流中の振動特性 葉柄-葉身系を風速 $u_0 = 0.50\text{m/s}$ の水平で様な風洞気流中に置いたときの振動挙動を調べる。本実験における気流速度は、通常の熱環境条件において、光合成が最も促進される状態の $0.5\text{m/s}^{(2)}$ に設定されている。

図3は実験開始から80s後における葉面変位の時間波形を示したものである。これから、葉身運動の波形は振動振幅が時間とともに不規則に変動するうなりを呈することが分る。

図4は、実験開始から80秒、1時間、2時間後における葉身振動のパワースペクトルを示す。時間の経過で振動特性がどう変化するか比較する。まず、図4(a)の $t = 80\text{s}$ では、第一ピーク値は(16.8Hz, 0.472dB)、第二ピーク値は(4.21Hz, 0.333dB)の各特性をもつ。図4(b)の $t = 1.0\text{h}$ では、第一ピーク値は(17.3Hz, 0.428dB)、第二ピーク値は(4.21Hz, 0.395dB)と変化する。これを振動数で比較すると、第一ピークでは16.8Hzから17.3Hzに増大し、第二ピークでは4.21Hzと不変である。第二ピークは、図2で求めた原点回りの固有振動数に近接し、葉身の上下振動によると言える。これに比べ、第一ピークの振動数は、原点回りの固有振動数に比べ4倍強高くなっており、流体抵抗の経時変化に伴う気流励振が要因と思われる。一方、パワースペクトルを比較すると、第一ピークでは0.472dBから0.428dBと減少し、第二ピークでは、0.333dBから0.395dBと増加しており、これから、第一ピークと第二ピークとの差が減少していることが分る。

図4(c)の $t = 2\text{h}$ では、第一ピーク値は(18.2Hz, 0.579dB)、第二ピーク値は(4.21Hz, 0.080dB)と読みとれる。固有振動数の整数倍振動を示すスペクトルも観察できる。これを実験開始後80sにおける第一ピーク(16.8Hz, 0.472dB)と第二ピーク(4.21Hz, 0.333dB)とを比較する。第一ピークでは、振動数は16.8Hzから18.2Hzへと増加し、パワースペクトルでは、同様に0.472dBから0.579dBへと増加する。また、第二ピークでは、振動数は4.21Hzの一定値であり、パワースペクトルは、0.333dBから0.080dBへと減少している。

3.3 屈光性と振動特性の相関性 このように、気流中における葉身の振動挙動は、屈光性による形態変形の影響を受けながら、気流中において固有振動数やパワースペクトルが時間とともに変化する特性を示すことが分かる。無風時での屈光性による葉面変位の経時変化を調べたところ、17時間の間単調に約8mmまで増加しており、葉身の水平面との傾き角が増大するよう変化する。このような屈光性の影響により、気流中の振動振幅の零点も一旦下降した後上昇することが観察された。これらから、第一ピークの振動特性の推移は、このような屈光性による葉身の形態変化によるものと考えられる。葉の裏面の気孔数は上面に比べ多く、気孔からの活発な蒸散作用による水ストレスの影響もその要因と思われる。

4. 結言

本報では、低風速の気流中に置かれたサツマイモ葉身の振動挙動について、蛍光灯の照明の有無による、屈光性に起因すると思われる新たな振動挙動を明らかにした。今後は、各種の光合成要因を考慮した植物環境を想定し、さらに葉身の振動特性の解明を進める予定である。

(a) $t = 80\text{ s}$.

(b) $t = 1.0\text{ h}$.

(c) $t = 2.0\text{ h}$

Fig. 4 Typical power spectra of the oscillating leaf in airflow $v = 0.5\text{ m/s}$ when lighting is leaved on for one hour and then tuned off.

参考文献

- (1) 古在・後藤・富士原, 最新施設園芸学, (2006), pp. 65-68, 朝倉書店.
- (2) 矢吹・宮川, 農業気象, 26-3 (1970), pp. 21-25.
- (3) 原園・矢吹, 農業気象, 37-2 (1981), pp. 103-110.
- (4) 長谷部, 農業気象, 31-3 (1975), pp. 135-143.
- (5) 矢吹, 農業気象, 34-2 (1978), pp. 87-94.
- (6) 原園・矢吹, 農業気象, 38-3 (1982), pp. 231-238.
- (7) 大幅・細谷, JSME 第17回バイオフロンティア講演会論文集, pp. 103-104.
- (8) 日本植物工場学会, ハイテク農業ハンドブック, (1992), pp. 37-75, 東海大学出版会.
- (9) Stiles and Cocking, 植物生理学入門, (1980), pp. 501-531, 東大出版会.