

土壌水分移動実験に使用する人工植生の設計について

東京工業大学 学生会員 ○ 林 倩
 東京工業大学 学生会員 山中 千賀子
 東京工業大学 正会員 赤穂 良輔
 東京工業大学 フェロー会員 石川 忠晴

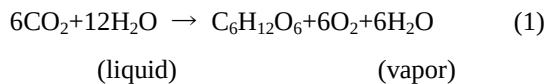
1 はじめに

土壌中の水分移動については多くの研究があるが、現実には植生が繁茂している土壌が多く、その条件での研究は十分行われていない。そのような状況で実験を行う場合、生きている植生を用いることも考えられるが、吸水能力を同定あるいは制御することが容易でない。そこで本研究では文献 1) を参考にして、植物と同様の機構で水を汲み上げる人工植生を設計する方法について検討した。

2 人工植生の構造

2.1 本物の植生の吸水機構

植物は次式に従って光合成を行う際に、根から液体の水を取り込み、葉の気孔から水蒸気を排出する。



水分の体液と上昇は浸透圧 π によっている。

$$\pi = C \cdot R \cdot T \quad (2)$$

ここに C は液体のモル濃度 [mol/L]、 R は気体定数 = $8.206 \times 10^{-2} [\text{atm} \cdot \text{L} / \text{K} \cdot \text{mol}]$ 、 T は絶対温度 [K] である。

体液を通さず水分だけ通す半透膜をはさんで体液濃度が異なる場合、次式により濃度差に比例する水分浸透速度 u が発生する。

$$u \propto \Delta\pi = \Delta C \cdot R \cdot T \quad (3)$$

2.2 人工植生の構造

本研究で作成する人工植生の構造を図-1 に示す。葉部と根部は、コイルで形を保持したセルロースチューブに砂糖液（スクロース）を満たしている。セルロースが半透膜、砂糖液が植物体液に相当する。両者を茎に相当するビニールチューブで接続し、葉との接合部は半透膜で仕切っている。なお、今回の実験では根部を水に漬けている。

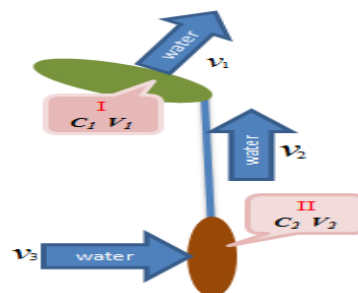


図-1 人工植生の構造

葉部の体積を V_1 、濃度を C_1 とすると、砂糖の含有量は $C_1 \cdot V_1$ となる。砂糖はセルロースチューブを透過しないので式(4)が成立する。一方、葉部から空中に蒸発する水分フラックスを v_1 、茎から葉部に浸透する水分フラックスを v_2 とし、葉部の水を非圧縮と仮定すると式(5)が成立する。同様に根部についても式(6), (7)が成立する。ここに v_3 は根部に浸透する水分フラックスである。

$$C_1 \cdot V_1 = \text{const} \quad (4) \quad \frac{dV_1}{dt} = v_2 - v_1 \quad (5)$$

$$C_2 \cdot V_2 = \text{const} \quad (6) \quad \frac{dV_2}{dt} = v_3 - v_2 \quad (7)$$

v_1 は葉部の濃度 C_1 、気温 T 、湿度 H 、風速 U の関数だが、これらを土壌実験において制御することを前提とすれば v_1 は C_1 の関数となる。一方 v_2 と v_3 は式(3)より濃度の関数となることが期待される。そこで式(8), (9)の関数形を実験によって求めることとした。

$$v_1 = f_1(C_1) \quad (8) \quad v_3 = f_2(C_2) \quad (9)$$

3 水分フラックスに関する実験

3.1 葉部からの蒸発速度

写真-1 に示す装置で実験した。葉部のみを取り出し、送風機で一定の風を送って蒸発を促進し、重量

キーワード 人工植生, 吸水機構, 蒸発, 浸透圧

連絡先 〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259 G5-3 TEL:045-924-5515 E-mail:lin.q.aa@m.titech.ac.jp

の変化を計測した (図-2)。なお室温 T は 20°C 、湿度 H は約 48% とした。重量の減少率から蒸発フラックス v_1 を求めた。また初期濃度と各時刻までの累積蒸発量から濃度の時間変化を求めた。セルロース膜の単位面積からの蒸発量と砂糖濃度の関係を 図-3 に示す。



写真-1 葉部の蒸発実験

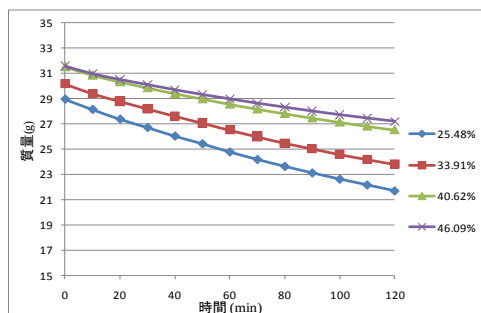


図-2 重量の変化

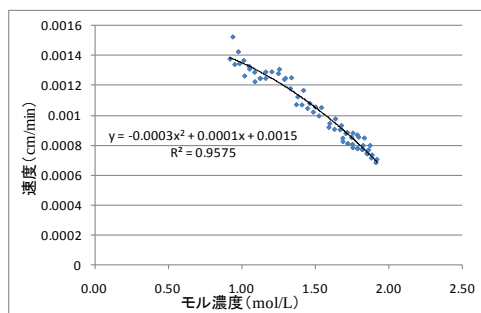


図-3 単位面積の蒸発量と濃度の関係

3.2 浸透速度の実験

ビニールパイプを接続した根部を水に浸し、パイプ内を上昇する水面の高さを計測した。結果を 図-4 に示す。ほぼ一定の速度で上昇することがわかる。そこで勾配からセルロース膜の単位面積当たり浸透量を求め、濃度との関係を求めると 図-5 となる。

3.3 平衡濃度

式(4)~(9)を連立すれば、人工植生の状態と水分フラックスの時間変化を求めることができる。ただし

初期濃度と最終濃度が著しく異なる場合には水分フラックスが時間的大きく変動するので実験に使用しにくい。そこで最終状態における濃度 (平衡濃度) を予め推定し、それを初期濃度とするように設計する。

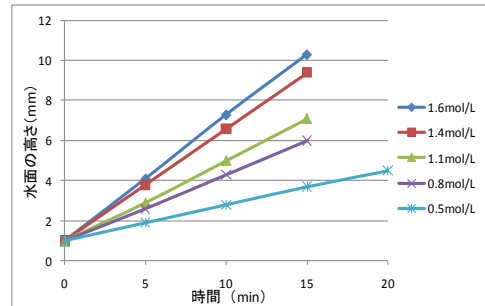


図-4 水面の高さの変化

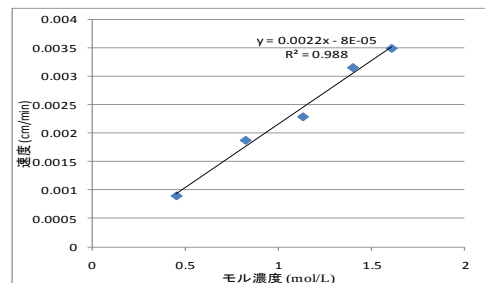


図-5 単位面積の浸透量と濃度の関係

平衡状態では、水分フラックスが全て等しいので次式が成立する。

$$f_1(C_1) \cdot A_1 = f_2(C_1 - C_2) \cdot A_2 \quad (10)$$

$$f_2(C_1 - C_2) \cdot A_2 = f_2(C_2) \cdot A_3 \quad (11)$$

ここに、 A_1, A_2, A_3 は葉部、接合部、根部の表面積である。図-5 から $f_2(\Delta C)$ は原点を通る直線で近似できるので式(11)から次式が成立する。

$$C_1 - C_2 = \frac{A_3}{A_2 + A_3} \cdot C_1 \quad (12)$$

以上より、次式を満たすように C_1, C_2, A_1, A_2, A_3 を決定すればよいことになる。

$$f_1(C_1) \cdot A_1 = f_2 \left(\frac{A_3}{A_2 + A_3} \cdot C_1 \right) \cdot A_2 \quad (13)$$

参考文献

- 1) 及川研: 高等学校生物 I における植物の水分の吸収と移動の仕組みの理解を深める教材の開発に関する研究, 岩手県立総合教育センター研究集録, No.14_16, 2002.