

畑地における風食防止を目的とした灌漑スケジュールリングの最適化

Optimization of irrigation regime for wind erosion control in agricultural fields

○弓削こずえ, 阿南光政

Kozue Yuge, Mitsumasa Anan

1. はじめに

畑地における風食は、肥沃な表土の損失、作物根の露出および種子や苗の飛散など、様々な被害をもたらす。風食防止手法の1つに畑地土壌面に灌漑を行い、土壌の飛散を抑えるものがある。過去の研究事例より、風食を防ぐには1回10mm程度の灌漑が必要であるとされている(農林水産省農村振興局, 2016)。しかし、風食防止に必要な灌水量は風速や土壌水分状態によって異なっているため、これらを考慮して風食防止に必要な灌水量やタイミングを決定する必要がある。本研究は、畑地において風食防止に要する用水量を定量的に求めるとともに灌漑の最適なタイミングを明らかにすることを目的とするものである。

2. シミュレーションモデルの構築

風食量を定量化するため、まず、式(1)~(3)を用いて土壌面上における気流解析を行った。

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_a \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_a \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_a \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_a \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (3)$$

ここで、 u, v : 風速の水平および鉛直成分(m s^{-1})、 ρ : 空気の密度(g m^{-3})、 p : 空気の圧力($\text{g m}^{-1} \text{s}^{-2}$)、 K_a : 乱流拡散係数($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$)である。

本研究ではMAC法を採用し、スタッガード格子系を用いて基礎方程式を解いた。境界条件は、土壌面の速度成分を0として土壌面上内の仮想点における圧力を設定した。

風食量は次のBagnoldの式によって求めた。

$$q = b \frac{\rho}{g} u_*^3 \quad (4)$$

ここで、 q : 風による土壌輸送量($\text{g m}^{-1} \text{s}^{-1}$)、 g : 重力加速度(m s^{-2})、 u_* : 摩擦速度(m s^{-1})、 b : 比例定数である。 b は土壌面の状態や粒径などの要因によって決定されるパラメータである。

3. 風洞を用いた風食の再現実験

3.1 実験の方法

本研究ではFig. 1に示した風洞を用いて風食の再現実験を行った。土壌水分量が一律な裸地状態の畑地を想定し、黒ボク土を風乾状態にして、小型の直方体の容器($0.15\text{m} \times 0.14\text{m} \times 0.09\text{m}$)に詰め、風洞内に敷いて実験した。供試土壌を採取した現地の表層土壌の乾燥密度は 0.99g cm^{-3} であり、これと同様の密度となるように詰めた。供試土壌の粘土、シルトおよび砂の割合はそれぞれ23.7%、3.5%および72.8%であった。風乾状態の体積含水率は2.6%であったが、これに順次加水して10.0%、17.0%および25.0%の4段階になるように調整し、一定速度の風を流して実験を行った。風洞内における風速は、土壌面から高度0.4mの風洞中央部で測定し、その地点における水平方向の風速が 2.0m s^{-1} 、 4.0m s^{-1} 、 6.0m s^{-1} 、 8.0m s^{-1} および 9.5m s^{-1} の5段階になるように変化させて、各1時間通風した。各土壌水分状態と風速を組み合わせ、20パターンの条件下で風食量を測定した。風食量は風洞末端部に設置した飛散土壌採取ネットを用いて測定した。飛散土壌採取ネットは土壌面から10cm、25cmおよび40cmに設置した。

3.2 結果と考察

Fig. 2は、風速の上昇につれて変化する風食量を、土壌水分状態ごとにまとめたものである。図中に示した風食量は風洞内の3高度に設置した飛散土壌採取ネットで測定した土壌飛散量を合計して質量で示したものである。この図より、風速 2.0m s^{-1} では、いずれの土壌水分状態におい

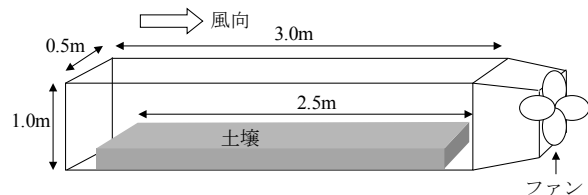


Fig. 1 風洞の模式図
Schematic view of wind tunnel

も土壌の飛散はほとんど観測されなかったことが示されている。風速 4.0 m s^{-1} から 6.0 m s^{-1} にかけては風食量の増加幅が顕著であった。また、体積含水率と風食量の関係に着目すると、体積含水率 2.6% では風食量が多い。土壌水分量の増加に伴って土壌の飛散は減少し、体積含水率が 17.0% を超えると、風食は大幅に抑えられることが明らかとなった。

以上の風食量の実測結果を用いて、式(4)の比例定数 b を土壌水分状態ごとに逆推定した。この結果を Table 1 に示す。Fig. 3 は Table 1 の値を用いて計算した土壌輸送量と実測値を比較したものである。ここでは、例として風速 9.5 m s^{-1} の結果を示している。風乾状態 (2.6%) においては若干の誤差があるが、実測値と計算値は概ね一致している。

4. 風食防止用水の定量評価

Fig. 2 に示したとおり、黒ボク土における風食は風速が 6.0 m s^{-1} を超えると顕著であり、土壌水分状態が 17.0% 以上になると抑制されることが明らかになった。そこで、体積含水率が 2.6% および 10.0% の時、17.0% に上昇するまでの灌水量を算定し、風速が 6.0 m s^{-1} 、 8.0 m s^{-1} および 9.5 m s^{-1} の 3 段階において風食量がどの程度抑制されるかを比較評価した。その結果を Table 2 に示す。この表に示したとおり、風乾状態 (2.6%) の場合、3mm 程度灌水すれば土壌水分状態が 10.0% になり、いずれの段階の風速でも風食量が半減することが明らかである。また、さらに約 3mm の灌水を行うと、体積含水率が 17.0% に到達し、風食量が著しく減少する。一方、体積含水率 17.0% と 25.0% の風食量の差は比較的小さい。以上の結果より、黒ボク土の畑地では体積含水率を 17.0% 以上にしても風食防止効果はほとんど増加しないといえる。

5. おわりに

本研究では、畑地における風食防止灌水量を定量的に求めるとともに灌漑スケジューリングを最適化することを目的とし、まず、裸地状態における畑地土壌面上の気流を解析するシミュレーションモデルを構築した。また、風洞を用いて裸地状態の畑地を再現し、土壌水分状態と風速を段階的に変化させて風食量を実測した。さらに、風洞実験で実測した風食量を用い、土壌面から剥離して輸送される土壌量を求めるための比例定数を逆推定した。以上の結果より、黒ボク土の畑地における風食が顕著になる風速および土壌水分状態を明らかとなり、風食量を予測する

ことが可能になった。また、風食防止を目的とした灌水量および土壌水分管理の目標値を定量的に求めることができた。

引用文献：農林水産省農村振興局 (2016)：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 計画「農業用水 (畑)」，農業農村工学会。

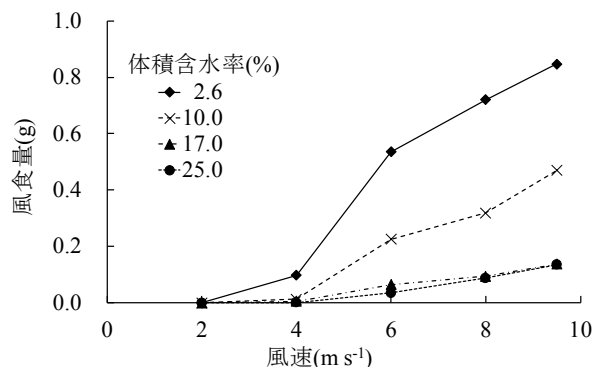


Fig. 2 風速および土壌水分状態と風食量の関係 Relationships between wind velocity, soil moisture content and wind erosion

Table 1 体積含水率ごとの比例定数の算定 Coefficient for evaluating wind erosion

体積含水率(%)	2.6	10.0	17.0	25.0
比例定数 b	0.0352	0.0140	0.0042	0.0030

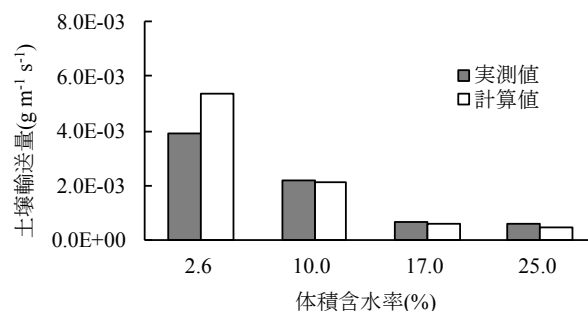


Fig. 3 風食量の実測値と計算値の比較 Comparison of measured and simulated wind erosions

Table 2 灌水量と風食量の関係 Relationship between irrigation and wind erosion

体積含水率 (%)	灌水量 (mm)	風食量 (g)		
		$u=6.0(\text{m s}^{-1})$	$u=8.0(\text{m s}^{-1})$	$u=9.5(\text{m s}^{-1})$
2.6		13.24	18.85	23.96
10.0	3.2	6.66	9.48	12.05
17.0	2.6	1.86	2.65	3.37
25.0	2.6	1.63	2.31	2.94