

試験研究成果普及情報

部門	野菜	対象	普及
課題名：タンクモデルを利用した排水対策技術の評価と緑肥導入による排水性改善効果			
[要約] タンクモデルを用いることで、降雨後の土壌水分の推移を再現でき、圃場の排水性や排水対策技術の評価できる。土壌の排水性改善効果が高い緑肥は、春まきがエンバク、夏まきがソルガム及びギニアグラスである。			
キーワード 排水対策、タンクモデル、縦穴暗渠、緑肥、デジタル貫入式土壌硬度計			
実施機関名	主 査	農林総合研究センター 土壌環境研究室	
	協力機関	農林総合研究センター 最重点プロジェクト研究室、畑地利 用研究室、東総野菜研究室、担い手支援課、海匠農業事務所	
実施期間	2022年度～2024年度		

[目的及び背景]

近年、台風や豪雨による農業被害が深刻となっており、その対策の一つとして圃場の排水性の改善が挙げられる。排水性の指標として飽和透水係数やベーシックインタークレートが利用されるが、これらを測定するためには専用の器具と煩雑な工程を要するため、現場での利用は容易でない。今回、異なる土壌や降雨パターンに適応するため、タンクモデルの手法を利用して圃場の排水性を評価する。さらに、近年注目されている縦穴暗渠や緑肥の効果を評価する。

[成果内容]

- 圃場の排水性や排水対策技術の効果を評価するため、作土層、耕盤層及び下層の3段に分け、各段の土壌水分量の推移を再現するタンクモデルを作成した。タンクモデルは、各層の保水性をタンクになぞらえ、土壌水分量が浸透孔（太さや高さを変更できるタンク底の排水パイプ）の高さに達すると、下層のタンクへ流下する仮想モデルである。各段に浸透孔を2孔設けると、土壌水分量の推移をより高い精度で再現できるため、概念図及び計算式は図1のとおりである。浸透孔が太いほど排水性が良く、浸透孔が高いほど保水性が高いことを意味する。
- プラソイラ施工の有無によるタンクモデルの各係数は表1、カットブレイカー施工の有無によるタンクモデルの各係数は表2のとおりである。プラソイラ施工及びカットブレイカー施工ともに、1段目の第1浸透孔の係数が増加し、施工によって排水性が向上する。また、第2浸透孔の高さが増加し、施工によって保水性が増加する。図2及び図3で示すように、タンクモデルによって土壌水分量の推移が再現できる。
- 大雨時の土壌水分量の推移を再現する場合、タンクモデルの各段に第3浸透孔を追加することで、二乗平均平方根誤差（RMSE）が減少し、土壌水分量の推移をより高い精度で再現できる（図4）。

- 4 縦穴暗渠施工前後におけるタンクモデルの各浸透孔の高さと係数は表3のとおりであり、縦穴暗渠施工後（1穴/2m×2m）において、大雨時の排水性に関わる第3浸透孔の係数が増加する。湛水深を加味したタンクモデルを作成することで、湛水深の推移が再現できる（図5）。最も湛水した深さは、縦穴暗渠施工前が77mm、施工後が17mmであり、縦穴暗渠の施工によって排水性が向上する（図6）。
- 5 3種類の春まき緑肥すき込み8週間後の貫入抵抗値は、深さ25～40cmにおいてエンバクが無栽培と比べて小さい（図7）。また、圃場の排水性の評価指標であるベーシックインテークレート（土壌が水で飽和された後、水の侵入速度がほぼ一定となる時の侵入速度）は試験区間で有意な差がなかったが、エンバクが最も大きい。これらのことから、土壌の排水性改善効果が高い春まき緑肥はエンバクである（表4）。
- 6 3種類の夏まき緑肥すき込み4週間後の貫入抵抗値は、深さ25～60cmにおいてソルガムが最も小さい（図8）。また、シリンダーインテーク法を用いた調査結果をみると、ベーシックインテークレートは試験区間で有意な差がないが、平均値はギニアグラスが最も大きく、注水から5分後の浸透量は無栽培と比べてソルガム及びギニアグラスが有意に多い（表5）。これらのことから、土壌の排水性改善効果が高い夏まき緑肥はソルガム及びギニアグラスである。

[留意事項]

- 1 縦穴暗渠は、地下水位が高い圃場（オーガで縦穴を掘削した時に湧水が見られる）や縦穴の下層が透水性の悪い土壌（粘質土など）の場合は効果が期待できない。縦穴の数は圃場の排水性を確認しながら調整する。
- 2 イネ科の緑肥を利用する際は、植物体が過剰に大きくなったり、出穂が進んだ緑肥をすき込むと、後作物で窒素飢餓が生じることがあるため、その前にすき込む。
- 3 各緑肥の播種時期や特性については、「緑肥作物の有効活用に向けた新情報」（千葉県農林水産技術推進会議技術指導資料、令和3年度）を参考にする。

[普及対象地域]

県内全域

[行政上の措置]

[普及状況]

[成果の概要]

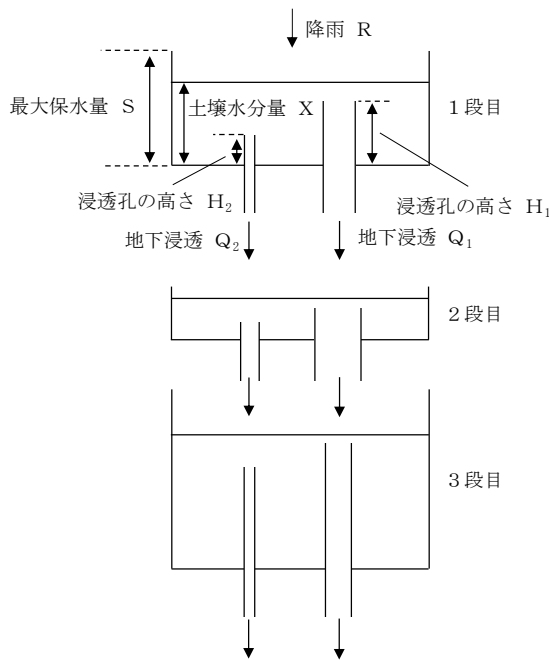


図1 各層の土壌水分量の推移を再現するタンクモデルの概念図

注1) モデルを簡略化するため、土壌水分量、降雨量及び地下浸透量のみを変化量として、タンクモデルを作成した

2) タンクモデルにおける1段目の計算式は以下のとおり

$$X(t + \Delta t) = X(t) + \{R(t) - Q_1(t) - Q_2(t)\} \Delta t$$

$$Q_1(t) = a_1 \{X(t) + R(t) - H_1\}$$

$$Q_2(t) = a_2 \{X(t) + R(t) - H_2\}$$

S > H₁ > H₂。ただし、X + R ≤ H₁ のとき

Q₁ = 0、X + R ≤ H₂ のとき Q₂ = 0

X : 土壌水分量 (mm)

R : 降雨量 (mm)

S : 最大保水量 (mm)

Q₁ : 第1 地下浸透量 (mm・h⁻¹)

Q₂ : 第2 地下浸透量 (mm・h⁻¹)

H₁ : 第1 浸透孔の高さ (mm)

H₂ : 第2 浸透孔の高さ (mm)

a₁ : 第1 浸透孔の係数 (h⁻¹)

a₂ : 第2 浸透孔の係数 (h⁻¹)

t は時間、Δt は時間間隔を示し、本試験での Δt は1時間とした。2段目以深は、上段からの地下浸透量を次段の流入量(1段目の降雨量に相当)として扱い、同様の計算式を適用した

表1 プラソイラ施工の有無におけるタンクモデルの最大保水量及び各浸透孔の高さと係数

処理区	1段目 (0~20cm)				2段目 (20~30cm)				3段目 (30~60cm)						
	最大保水量 (mm)	第1浸透孔高さ (mm)	係数	第2浸透孔高さ (mm)	係数	最大保水量 (mm)	第1浸透孔高さ (mm)	係数	第2浸透孔高さ (mm)	係数	最大保水量 (mm)	第1浸透孔高さ (mm)	係数	第2浸透孔高さ (mm)	係数
プラソイラ施工区	154	91	0.81	81	0.012	72	48	0.85	47	0.096	240	149	0.61	143	0.023
無施工区	157	87	0.61	69	0.010	72	45	0.94	42	0.037	242	174	0.52	146	0.008

- 令和4年7月12日、黒ボク土の露地畑(南北30m×東西24m)において、東側半分をプラソイラ(MPS2)で南北方向に施工。プラソイラの刃は2本、刃の間隔は75cm、施工間隔は150cm、施工深さは地表から40cmとした
- 9月9日、データロガー(ZL6 Basic)に接続した土壌水分センサ(EC-5)を各層の中心の深さ(第1層:深さ10cm、第2層:深さ25cm、第3層:深さ45cm)に設置し、1時間ごとの体積含水率を測定
- 9月10日から12月8日までの90日間の土壌水分量及び降雨量のデータを図1の計算式に代入し、Microsoft Excelのソルバー機能を用いて、土壌水分量の実測値とタンクモデルによる計算値の残差平方和が最小となるように各係数を求めた
- 最大保水量 (mm) = 層の厚さ (mm) × 全孔隙率 (%) / 100

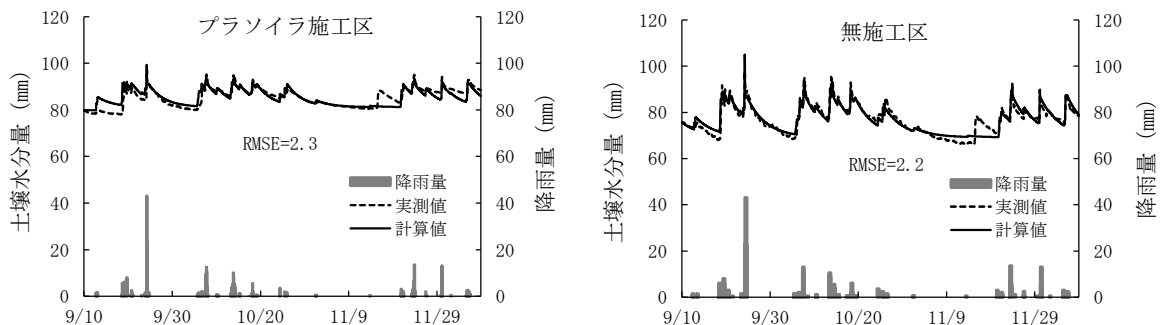


図2 プラソイラ施工区及び無施工区におけるタンクモデルによる作土層の土壌水分量の推移の再現

- プラソイラの施工及びタンクモデルの各係数は表1のとおり
- 土壌水分量 (mm) = 各層の厚さ (mm) × 体積含水率 (%) / 100

表2 カットブレイカー施工の有無におけるタンクモデルの最大保水量及び各浸透孔の高さと係数

処理区	1 段目 (0~20cm)					2 段目 (20~30cm)					3 段目 (30~60cm)				
	最大保水量 (mm)	第1 浸透孔		第2 浸透孔		最大保水量 (mm)	第1 浸透孔		第2 浸透孔		最大保水量 (mm)	第1 浸透孔		第2 浸透孔	
		高さ (mm)	係数	高さ (mm)	係数		高さ (mm)	係数	高さ (mm)	係数		高さ (mm)	係数	高さ (mm)	係数
カットブレイカー施工区	151	88	0.97	85	0.013	72	50	1.01	49	0.017	235	161	0.97	151	0.007
無施工区	151	88	0.93	78	0.015	74	44	0.84	43	0.217	244	196	1.45	189	0.014

- 注1) 令和5年5月2日、黒ボク土の露地畑(南北30m×東西24m)において、東側半分をカットブレイカーminiで南北方向に施工 施工間隔は75cm、施工深さは地表から60cmとした
 2) 9月7日、表1と同様に土壌水分センサを設置し、1時間ごとの体積含水率を測定
 3) 10月8日から12月16日までの70日間の土壌水分量及び降雨量のデータを用いて、表1と同様にタンクモデルの各係数を求めた また、表1と同様に最大保水量を求めた

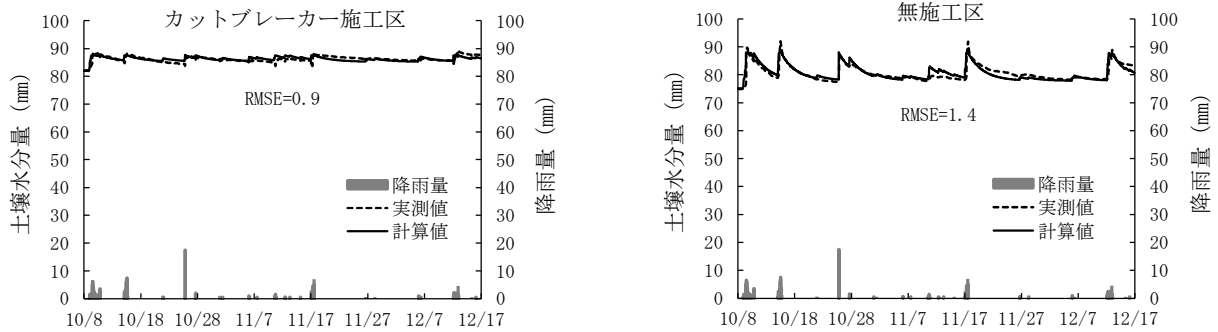


図3 カットブレイカー施工区及び無施工区におけるタンクモデルによる作土層の土壌水分量の推移の再現

- 注1) カットブレイカーの施工及びタンクモデルの各係数は表2のとおり
 2) 土壌水分量 (mm) = 各層の厚さ (mm) × 体積含水率 (%) / 100

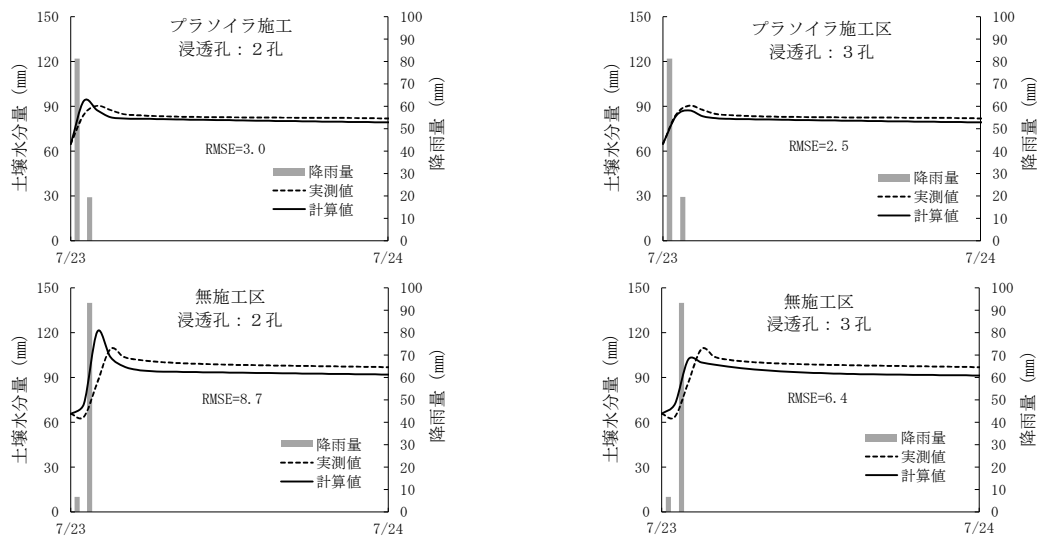


図4 プラソイラ施工区及び無施工区におけるタンクモデルの浸透孔数の違いによる作土層の土壌水分量の推移の再現

- 注1) 令和6年6月25日、黒ボク土の露地畑において、プラソイラ(MPS2)を施工 プラソイラの刃は2本、刃の間隔は75cm、施工間隔は150cm、施工深さは地表から45cmとした
 2) 7月23日、表1と同様に土壌水分センサを設置し、1時間ごとの体積含水率を測定 畦波板で2m四方の区を囲み、人工降雨用の塩ビ管(散水孔:径2mm、20cm間隔)を設置し、計100mm(100mm/h)を人工降雨
 3) 浸透孔が3孔のタンクモデルにおける1段目の計算式は以下のとおり

$$X(t+\Delta t) = X(t) + \{R(t) - Q_1(t) - Q_2(t) - Q_3(t)\} \Delta t$$

$$Q_1(t) = a_1 \{X(t) + R(t) - H_1\}$$

$$Q_2(t) = a_2 \{X(t) + R(t) - H_2\}$$

$$Q_3(t) = a_3 \{X(t) + R(t) - H_3\}$$
 ただし、 $X + R \leq H_1$ のとき $Q_1 = 0$ 、 $X + R \leq H_2$ のとき $Q_2 = 0$ 、 $X + R \leq H_3$ のとき $Q_3 = 0$ X : 土壌水分量 (mm)、 R : 降雨量 (mm)、 S : 最大保水量 (mm)、 Q_1 : 第1 地下浸透量 ($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$)、 Q_2 : 第2 地下浸透量 ($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$)、 Q_3 : 第3 地下浸透量 ($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$)、 H_1 : 第1 浸透孔の高さ (mm)、 H_2 : 第2 浸透孔の高さ (mm)、 H_3 : 第3 浸透孔の高さ (mm)、 a_1 : 第1 浸透孔の係数 (h^{-1})、 a_2 : 第2 浸透孔の係数 (h^{-1})、 a_3 : 第3 浸透孔の係数 (h^{-1}) t は時間、 Δt は時間間隔を示し、本試験での Δt は1時間とした 2段目以深は、上段からの地下浸透量を次段の流入量(1段目の降雨量に相当)として扱い、同様の計算式を適用した
 4) 人工降雨開始から24時間におけるタンクモデルの各係数を表1と同様に求めた
 5) 土壌水分量 (mm) = 層の厚さ (mm) × 体積含水率 (%) / 100

表3 縦穴暗渠施工前後におけるタンクモデルの1段目の最大保水量及び各浸透孔の高さと係数

処理	1段目 (0~15cm)						
	最大保水量 (mm)	第1浸透孔		第2浸透孔		第3浸透孔	
		高さ(mm)	係数	高さ(mm)	係数	高さ(mm)	係数
縦穴暗渠施工前	111	79	0.05	69	0.014	90	0.413
縦穴暗渠施工後	111	79	0.05	69	0.014	95	0.769

- 注1) 令和6年7月3日、黒ボク土の露地畑において、データロガー (ZL6 Basic) に接続した土壌水分センサ (EC-5) を各層の中心の深さ (第1層: 深さ7.5cm、第2層: 深さ22.5cm、第3層: 深さ45cm) に設置し、1時間ごとの体積含水率を測定
- 2) 7月4日、畦波板で2m四方の区を囲み、人工降雨用の塩ビ管 (散水孔: 径2mm、20cm間隔) を設置し、11月14日に計250mm (100mm/h) を人工降雨 11月26日、縦穴暗渠として、充電式アースオーガ (DG460DZ) を用いて、縦穴 (深さ60cm、直径10cm) を1箇所掘削し、もみ殻を充填した その後、計250mm (89mm/h) を人工降雨
- 3) 令和6年7月4日から令和7年1月22日までの203日間の土壌水分量及び降雨量のデータと図3の計算式を用いて、表1と同様にタンクモデルの各係数を求めた また、表1と同様に最大保水量を求めた
- 4) 第1浸透孔及び第2浸透孔の高さと係数は施工前後で差がなかったため、全期間のデータから算出し、共通とした

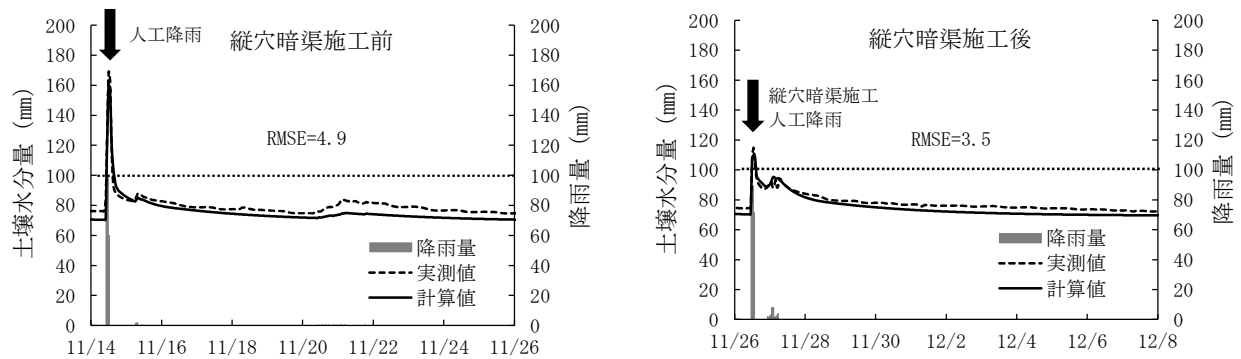


図5 縦穴暗渠施工前後におけるタンクモデルによる作土層の土壌水分量の推移の再現

- 注1) 人工降雨及び縦穴暗渠の施工、タンクモデルの各係数は表3のとおり
- 2) 土壌水分量 (mm) = 層の厚さ (mm) × 体積含水率 (%) / 100
- 3) 湛水時における作土層の土壌水分量 (mm) = 湛水開始時における作土層の土壌水分量 (mm) + 湛水深 (mm)
- 4) 土壌水分量が100mmより多い場合は湛水を示す
- 5) RMSEは、縦穴暗渠施工前が2024年11月14日から11月25日まで、縦穴暗渠施工後が11月26日から12月7日までの実測値及びタンクモデルによる計算値から計算

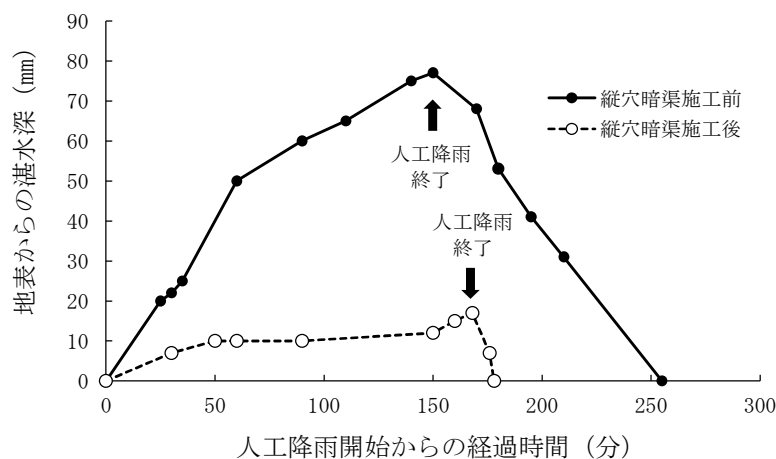


図6 縦穴暗渠施工前後における人工降雨時の湛水深の推移

注) 人工降雨及び縦穴暗渠の施工は表3のとおり

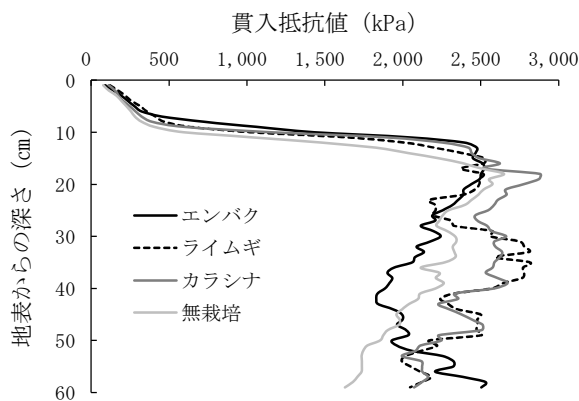


図7 春まき緑肥すき込み8週間後における深さ60cmまでの貫入抵抗値

- 注1) 令和5年3月14日、黒ボク土の露地畑にエンバク「ヘイオーツ」(雪印種苗株) 10kg/10a、ライムギ「ウィーラー」(商品名: R-007、雪印種苗株) 10kg/10a、カラシナ「辛神」(雪印種苗株) 1kg/10aを播種、5月25日、フレールモアで細断後、ロータリーですき込み、6月8日、6月28日に耕うん
- 2) 7月19日、デジタル貫入式土壌硬度計(DIK-5532)を用いて、各区の深さ60cmまでの貫入抵抗値を3連で測定

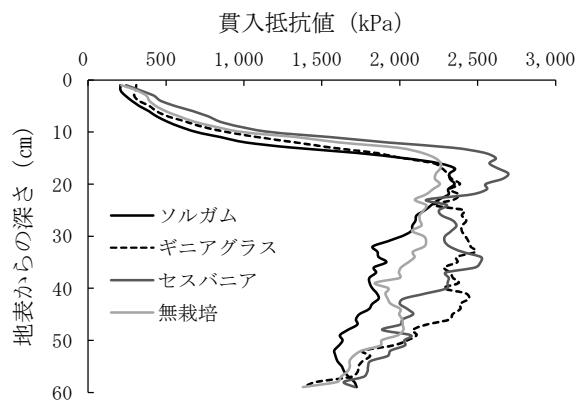


図8 夏まき緑肥すき込み4週間後における深さ60cmまでの貫入抵抗値

- 注1) 令和4年6月21日、黒ボク土の露地畑にソルガム「ジャンボ」(商品名: つちたろう、雪印種苗株) 5kg/10a、ギニアグラス「ソイルクリーン」(雪印種苗株) 0.4kg/10a、セスバニア「田助」(雪印種苗株) 4kg/10aを播種、9月5日、フレールモアで細断後、ロータリーですき込み、9月20日に耕うん
- 2) 10月3日、デジタル貫入式土壌硬度計(DIK-5532)を用いて、各区の深さ60cmまでの貫入抵抗値を3連で測定

表4 春まき緑肥すき込み8週間後のシリンダーインテーク法を用いた調査結果

緑肥	ベーシック インテークレート (mm/h)	注水から5分後の 浸透量 (mm)	注水から30分後の 浸透量 (mm)
エンバク	110 a	75 a	236 a
ライムギ	25 a	53 a	127 a
カラシナ	57 a	42 a	130 a
無栽培	27 a	45 a	118 a

- 注1) 耕種概要は図7のとおり
- 2) 令和5年7月19日、シリンダーインテーク測定器(径300mm×高さ350mm)を用いて、各区のベーシックインテークレート及び浸透量を測定
- 3) 同列の異なるアルファベット間には多重検定(Tukey法)により5%水準で有意差があることを示す(n=3)

表5 夏まき緑肥すき込み4週間後のシリンダーインテーク法を用いた調査結果

緑肥	ベーシック インテークレート (mm/h)	注水から5分後の 浸透量 (mm)	注水から30分後の 浸透量 (mm)
ソルガム	17 a	28 a	66 a
ギニアグラス	30 a	24 ab	65 a
セスバニア	22 a	13 bc	40 a
無栽培	14 a	9 c	31 a

- 注1) 耕種概要は図8のとおり
- 2) 令和4年10月3日、シリンダーインテーク測定器(径300mm×高さ350mm)を用いて、各区のベーシックインテークレート及び浸透量を測定
- 3) 同列の異なるアルファベット間には多重検定(Tukey法)により5%水準で有意差があることを示す(n=3)

[発表及び関連文献]

令和7年度試験研究成果発表会(野菜部門)

[その他]

本課題は、県単プロジェクト「露地野菜における夏秋期の気候変動への対策技術の確立(気候変動プロ)」の一環として行った。