

原著論文

不耕起栽培の夏季休閑期におけるカバークロップとしての ソルガムが耕土層の透水性に及ぼす効果

肥田 健*・久保田浩史**・米川智司**

*東京大学大学院農学生命科学研究科生圏システム学専攻

**東京大学大学院農学生命科学研究科附属農場

The Effects of Sorghum as a Summer Cover Crop in No-tillage Culture on Infiltration of Soil

Takeshi HIDA*, Hirofumi KUBOTA** and Satoshi YONEKAWA**

*Department of Ecosystem Studies, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

**Field Production Science Center, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

1. 緒言

不耕起栽培は傾斜地における土壌流亡防止効果 (Iijimaら 2003) や、省エネルギー効果 (Hernanzら 1995)、乾燥地における水分保持効果 (McConkeyら 1996) などの利点を持ち、従来から環境調和型農業技術として利用されてきた。その一方で、不耕起栽培では土壌硬度や三相組成などの土壌物理性が劣化して作物の根の分布が表土の浅い部分に集中し (坂井ら 1988)、作物収量は経時的に減少する (坂井ら 1987) などの問題点が指摘されている。CollaらやKrzicらは、不耕起栽培において冬季にカバークロップを利用した場合、気相率や透水性・保水力が大きくなることを報告しており (Collaら 2000, Krzicら 2000)、カバークロップの利用は上記の問題点の解決に役立つと考えられる。

ところでソルガム (*Sorghum bicolor* L.) は、初期成育段階での栄養吸収能力が高く (da Silvaら 2003)、春作物と秋作物の間の短い夏季休閑期においてもカバークロップとして利用することができる。またソルガムは密に詰まった土壌における根量の密度が大

きく (Rosolemら 2002)、不耕起栽培における土壌物理性の劣化を改善するのに適していると考えられる。

以上より本研究では、不耕起栽培において夏季休閑期にソルガムをカバークロップとして用いたときの耕土層に及ぼす透水性改善効果について、主に降水量と土壌水分量の関係から検証した。

2. 材料と方法

1) 供試作物

ソルガム (*Sorghum bicolor* L. 品種; ファーストソルゴー)

2) 供試圃場

東京大学大学院農学生命科学研究科附属農場 (東京都西東京市) 内にあり、土性は壤土 (L) で火山灰土壌 (立川ローム層) に属し、表層は黒ぼく土である。

3) 処理

図1に試験区の概要を、表1に試験区の履歴を示した。

(1) 2002年度

60aの圃場内に、2001年11月15日から不耕起栽培を開始した各10aの隣接した4区画 (図1, A・B・C・D) を用意し、A・B合わせた領域を横方向に3等分して左側2区画をカバークロップ区・無処理区とした。7月15日に両区に除草剤ラウンドアップを散布し、カバークロップ区では不耕起播種機 (1560 No-till Drill; JOHN DEERE) を用いて7月

平成16年 7月 6日受付

平成17年 5月 7日受理

Corresponding author

米川智司 Satoshi YONEKAWA

〒188-0002 東京都西東京市緑町1-1-1

1-1-1 Midori-cho, Nishitokyo, Tokyo 188-0002, Japan

E-mail: yonekawa@fm.a.u-tokyo.ac.jp

表1 試験区の履歴

年月日	A	B	C	D	E	F
00/11/08 ~ 01/05/25	レンゲ・クリムゾンクローバ					
01/08/27 ~ 01/11/07	ソバ					
01/11/15 ~ 02/04/24	レンゲ・クリムゾンクローバ					
02/04/25 ~ 02/07/03	ソバ					
02/07/24 ~ 02/09/25	ソルガム					
	カバークロープ区・無処理区					
02/09/27 ~ 02/11/22	ソバ・クリムゾンクローバ					
02/11/22 ~ 03/04/22	クリムゾンクローバ					
03/04/23 ~ 03/06/27	ソバ					
03/07/18 ~ 03/08/28	ソルガム					
	カバークロープ区・無処理区					
03/09/05 ~ 03/11/05	ソバ					
	不耕起区(カバークロープ・無処理)			耕起区		

注) A, B, C, D, E, F, は図1に対応している。

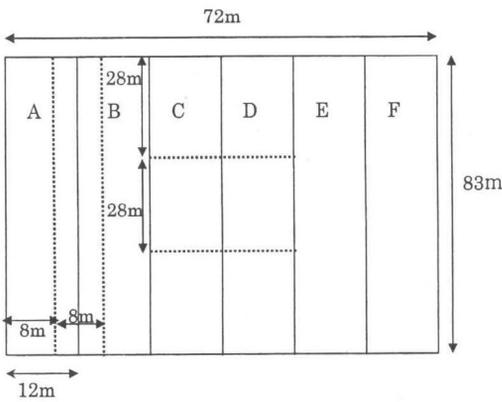


図1 試験区の概要

- 注1) A～Fは各10a
 注2) 2002年度はA・Bを3等分し左側二区画をカバークロープ区・無処理区とした
 注3) 2003年度はC・Dを3等分し上側二区画をカバークロープ区・無処理区とした



図2 不耕起播種機

注) 作業幅: 3.1 m, 条数: 16, 全長: 6.4 m, 重量: 3130kg

24日にソルガムを5kg/10a, 条間19cmで播種した。図2に不耕起播種機を示す。9月25日にソルガムの地上部を刈り取った。

(2) 2003年度

2002年度の試験に使用した圃場内の隣接した2区画(図1, C・D)を縦方向に3分割し, 上部2区画をカバークロープ区・無処理区とした。7月14日に両区に除草剤ラウンドアップを散布した後, カバークロープ区では不耕起播種機を用い7月18日にソルガムを5.8kg/10a, 条間19cmで播種した。2003年度においては, ソルガムの透水性改善効果が後作に及ぼす影響を調べるため, カバークロープ区・無処理区に加えて隣接した2区画(図1, E・F)を耕起区とし, 8月28日にカバークロープ区のソルガムを刈り取った後, 9月5日にソバ(*Fagopyrum esculentum* Moench 品種; 信濃1号)を不耕起播種機で6kg/10a播種した。耕起区においては, 播種前にプラウを用いて耕深25cmですき起こし, ディスクハローとカルチパッカーで整地した。カバークロープと耕起による透水性改善効果を調べるために, 耕起区の半分(図1, F)には基肥を与えなかった。

4) 調査項目

(1) 2002年度

地表面から地中20cmまでの土壌を耕土層とし, カバークロープ区・無処理区の中心においてTDR土壌水分センサ(CS616; Campbell Scientific 分解能: 0.1% d.b., 誤差: ± 2.5% d.b.)でその平均土壌水分量を測定した。各区の地表面の状態と土壌水分量測定の様子を図3, 4に示す。センサはデータロガー(CR10X; Campbell Scientific)に接続して30分毎に測定を行い, 1時間毎に平均値を記録した。土壌



図3 カバークロップ区



図4 無処理区

水分量の測定は、9月5日～23日までの18日間行った。カバークロープ区に隣接して、地上150cmに雨量計(TE525;Campbell Scientific)を設置し、同じデータロガーに接続して1時間毎・1日毎に積算値を記録した。9月8日・13日の両日に100mLのコアサンプラーで地中5～10cm・10～15cmの土壌を2ヶ所ずつ、各試験区で計4ヶ所採取し、気相率・含水比・固相重量・固相率を測定した。この含水比データを用いて、土壌水分センサによる土壌水分量データの較正及び体積含水率から含水比への変換を行った。

(2) 2003年度

土壌水分量・降水量の測定方法は2002年度と同様である。測定は7月21日～8月27日まで行った。ソルガムによる透水性改善効果を見るには、地中10～15cmの範囲の方が上層部分より重要であると考えたため、8月20日に100mLコアサンプラーを用いて気相率・含水比・固相重量・固相率を各試験区にお

いて地中10～15cmのみ3ヶ所測定した。さらにソルガムによる透水性改善効果の持続性を調べるため、ソバ播種直後の9月5日とソバ収穫直後の11月5日に、100mLのコアサンプラーで地中0～5cmと10～15cmの土壌をそれぞれ各試験区で3ヶ所ずつ採取し飽和透水係数を測定した。また、11月3日に各試験区において任意に1m×1mを3ヶ所選び出し、ソバの子実重を測定した。

3. 結果および考察

1) 土壌含水比(体積含水率)と総降水量からみた透水性改善効果

(1) 2002年度

一般に土壌含水比が圃場容水量から毛管連絡切断点までの範囲にあるとき、作物が容易に水分を吸収でき、この範囲を易効水と呼ぶ。藤原らによればこれはpF値でおよそ1.7～2.7であり、(藤原ら1999)山崎らによると、本試験と同じ関東ローム層(立川ローム表土)において、その範囲は40% d.b.～70% d.b.に相当する(山崎ら1965)。また、多量の降雨またはかん水の24時間後の時点における水分量を圃場容水量と定義する場合があるが、本試験圃場ではそれが70% d.b.前後の場合が多かった。さらに、本試験圃場では、2002年8月に約2週間晴天日が続いたとき、土壌含水比が約40% d.b.だった。以上のことから、本試験圃場での易効水の範囲は、40% d.b.～70% d.b.であると考えた。

降水開始前の耕土層の土壌含水比が約50% d.b.であり、総降水量が90mm以上に達した9月6日3時～21時の間における土壌水分量と総降水量の関係を図5に示す。附属農場内の気象情報システムによると、2002年7月・8月の月平均気温(27.6℃・27.4℃)は平年値(25.1℃・26.6℃)より高かったためソルガムは旺盛な生育を示し、この時点での草丈は約180cmであった。図5より、土壌含水比が55% d.b.以下(総降水量9mm以下)のときカバークロープ区と無処理区の間には降水量に対する土壌含水比の増加率に差がないが、55% d.b.以上になるとカバークロープ区では無処理区に比べ土壌含水比の増加率が小さくなった。両試験区の広さと両試験区が隣接していることを考えると、地表面からの流出水分量と下層の状態には両区にほとんど差が無かったと考えられる。また、降雨中であることから、地表面からの蒸発散量や作物・雑草による水分吸収量はほとんど無かったと考えられる。よってこれより土壌含水

比が55%以下するとき、両区における降雨はすべて耕土層に保持されたが、土壌含水比が55%以上では、耕土層に蓄えられた水分が下層に移動し始めたと考えられる。またそのとき、カバークロープ区の方が無処理区よりも耕土層からの水分移動が速かったと考えられる。土壌含水比が80%d.b.に近づくと、カバークロープ区・無処理区両区において土壌含水比の降水量に対する増加率が小さくなった。以上のことからソルガムによって耕土層の透水性が高くなったと考えられる。これは、ソルガムを栽培

したことにより、飽和していない状態でも水が下層に流出したためと考えられる。また、総降水量がカバークロープ区で49.5mm以下、無処理区で17.0mm以下るとき、耕土層の土壌含水比は作物生育に有効な易効水の上限である70%d.b.を超えなかった。つまり、降雨前の土壌含水比が約50%d.b.のときは、総降水量にして約30mmの透水性改善効果がソルガム栽培によってもたらされたことになる。

2002年9月8日に測定した地中5~15cmの土壌における気相率・固相重量・固相率の平均を図6に示す。カバークロープ区では無処理区に比べて気相率は高く固相重量・固相率は低くなっていた。このことからソルガムにより耕土層は、亀裂の発生等を含む構造の発達によって通気性がよくなったと考えられ、このことからソルガムによって耕土層の透水性が高くなっていたと考えられる。

(2) 2003年度

降水開始前の耕土層の土壌含水比が約60%d.b.であり、総降水量が150mmに達する雨が降った8月13日24時~15日14時の土壌水分量と総降水量の関係を図7に示す。附属農場内の気象情報システムによると、2003年7月・8月は月降水量(187mm・346mm)が平年値(189mm・184mm)より多く、月平均気温(22.5℃・25.8℃)が平年値(25.1℃・26.6℃)より低かったためソルガムの生育は悪く、このとき草丈は約40cm程度であった。図7より、両区の降水量に

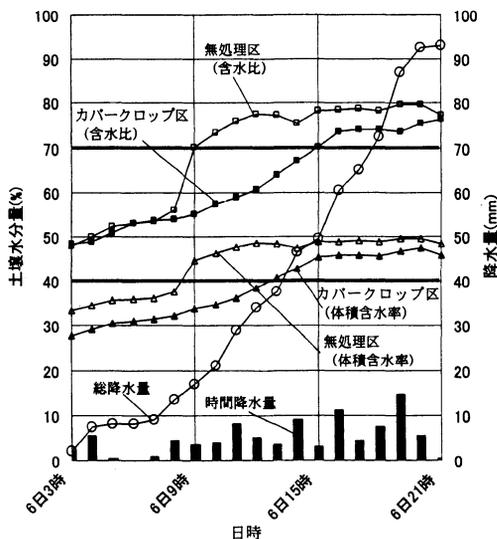


図5 2002年度試験時の土壌水分量と降水量の関係
注) 2002年9月測定

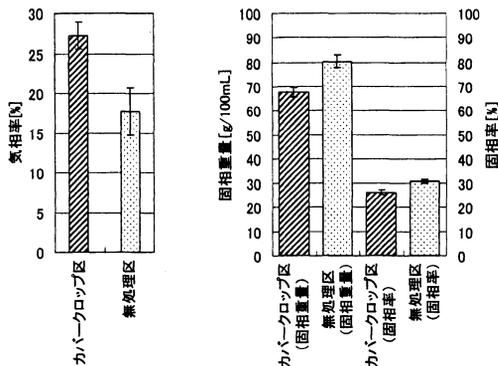


図6 2002年度試験時の気相率、固相重量と固相率

- 注1) ソルガムの草丈は約180cm
- 注2) 9月8日測定
- 注3) 図中の棒線は4反復の標準誤差を示す

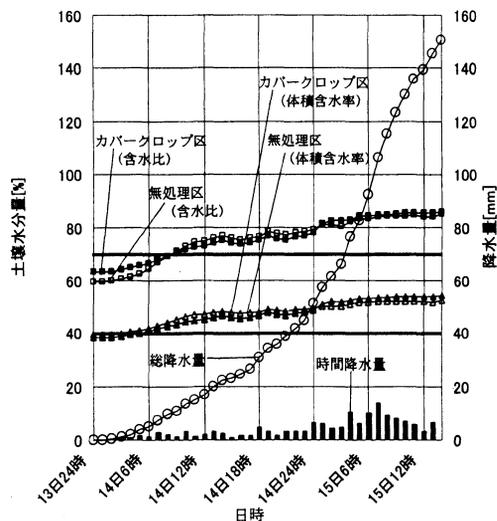


図7 2003年度試験時の土壌水分量と降水量の関係
注) 2003年8月測定

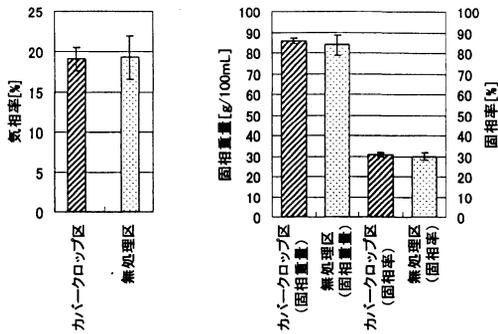


図8 2003年度試験時の気相率，固相重量と固相率

- 注1) ソルガムの草丈は約40cm
- 注2) 8月20日測定
- 注3) 図中の棒線は3反復の標準誤差を示す

対する土壌含水比の増加率に差はなかった。このことから、2002年度試験と同様の試験条件により、両区において耕土層から下層への水分移動には差がなかったと考えられる。よって草丈約40cm程度のソルガムは耕土層の透水性を改善しなかったと考えられる。

8月20日に100mLコアサンプラーを用いて測定した地中10～15cmの気相率・固相重量・固相率を図8に示す。気相率、固相重量と固相率はいずれもカバー作物区・無処理区の間で差が見られなかった。このことから、草丈約40cm程度のソルガムは耕土層の透水性を改善しなかったと考えられる。

2) 土壌含水比（体積含水率）と降雨強度からみた透水性改善効果

(1) 2002年度

降水開始前の耕土層の土壌含水比がほぼ同じ(60% db.)であるが降雨強度が異なる、9月13日16時～14日9時と16日8時～17日1時における土壌水分量と総降水量についてそれぞれ図9・図10に示す。気象観測時の降雨強度の判定には、弱雨(3.0mm/h未満)並雨(3.0～15.0mm/h)強雨(15.0mm/h以上)の分類が用いられ(日本農業気象学会新編農業気象学用語解説集委員会1997)、図9は並雨、図10は弱雨である。図9では総降水量8.5mmのときカバー作物区・無処理区の土壌含水比はそれぞれ64% db.・70% db.となりカバー作物区の土壌含水比が無処理区より小さかったが、図10では総降水量7mmでカバー作物区・無処理区の土壌含水比は69% db.・68% db.でありほぼ差が無かつ

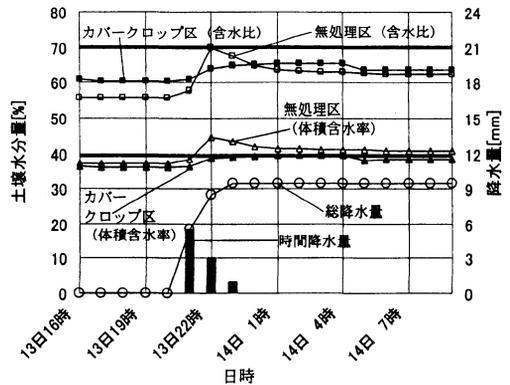


図9 2002年度試験時の土壌水分量と降水量の関係

- 注1) 降水強度は並雨
- 注2) 2002年9月測定

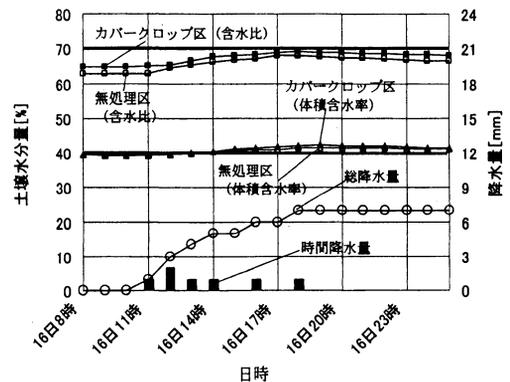


図10 2002年度試験時の土壌水分量と降水量の関係

- 注1) 降水強度は弱雨
- 注2) 2002年9月測定

た。これより、弱雨の場合はソルガムによる透水性改善効果がみられなかったが、並雨の場合はソルガムによる透水性改善効果があったと考えられる。

3) ソルガムによる透水性改善効果の持続性と後作への影響

(1) 2003年度

ソバ播種直後の9月5日における地中0～5cmと10～15cmの飽和透水係数を図11に示す。地中0～5cm、10～15cmどちらにおいても、飽和透水係数は耕起区と不耕起カバー作物区が同程度で、不耕起無処理区がそれらより小さかった。地上部を刈り取った8月28日におけるソルガムの草丈は約80cmであり、ソバ播種後において、ソルガムは耕土層の透水性を機械耕うんと同程度に改善したと考えられ

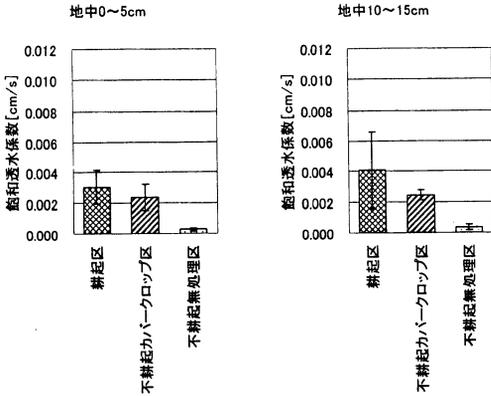


図 11 2003 年度ソバ播種直後の飽和透水係数

注) 図中の棒線は 3 反復の標準誤差を示す

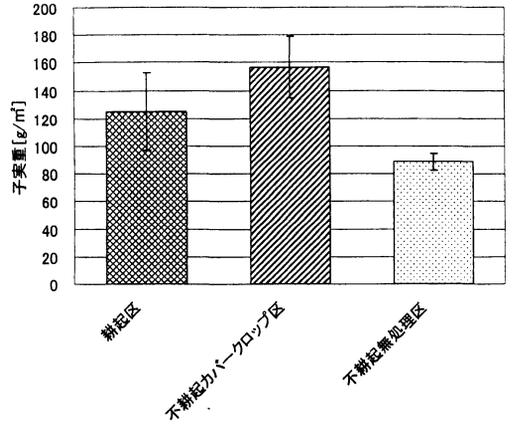


図 13 2003 年度ソバの収量

注) 図中の棒線は 3 反復の標準誤差を示す

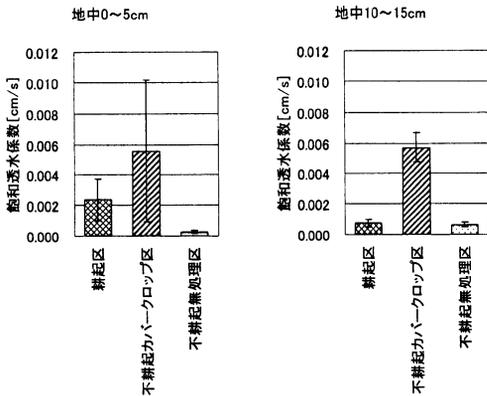


図 12 2003 年度ソバ収穫直後の飽和透水係数

注) 図中の棒線は 3 反復の標準誤差を示す

る。ソバ収穫直後の 11 月 5 日における地中 0 ~ 5cm と 10 ~ 15cm の飽和透水係数を図 12 に示す。地中 0 ~ 5cm では耕起区と不耕起カバークロップ区が同程度で、不耕起無処理区がそれらより小さかった。不耕起カバークロップ区は値のばらつきが大きかったが、その最小値は不耕起無処理区の最大値より大きかった。地中 10 ~ 15cm では耕起区が不耕起カバークロップ区より小さく、不耕起無処理区と同程度であった。不耕起カバークロップ区は、ソバ収穫直後の値がソバ播種直後の値に比べ大きくなっていった。これらにより、機械耕うんによる透水性改善効果は地中 10cm 以下では消滅した一方で、ソルガムによる透水性改善効果は地中 10cm 以下において大きくなったと考えられる。不耕起カバークロップ区

において地中 10 ~ 15cm の飽和透水係数が大きくなった原因の一つとして、ソルガムの根系が分解され始め亀裂が発生し、土壌構造が発達したことが考えられる。以上により、ソルガムによる透水性改善効果は機械耕うんによるものよりも大きく、長く持続したと考えられる。

11 月 3 日に収穫されたソバの収量を図 13 に示す。収量は耕起区と不耕起カバークロップ区が同程度で、不耕起無処理区の値はそれらより小さかった。ソバは湿害に弱く(杉本ら 2000)、附属農場内の気象情報システムによると 2003 年 9 月・10 月は月降水量(142mm・121mm)が平年値(239mm・134mm)より若干少なかったものの降雨頻度に偏りがなかったため、土壌水分量は平年値に近かったと考えられる。以上のことから、秋ソバ栽培ではソルガムの透水性改善効果が収量減少を防ぐ一要因になると考えられる。

以上、本論文では、春作物・秋作物を不耕起栽培した場合を想定し、夏季の短期休閑期にソルガムをカバークロップとして用いた場合、耕土層の透水性が改善されることを検証した。また、それが後作物の収量減少防止に貢献している可能性についても検証した。ソルガムは初期成育が早く短期間での利用が可能ため、多量の作物と多様な輪作体系を組めると考えられる。本論文のようにソルガムを不耕起栽培の耕土層改善のために用いる場合、鋤き込んで緑肥にはできないが、地上部を飼料として用いることはできる。そして、その飼料を与えた家畜の糞尿を堆肥化して圃場に還元することにより、循環型の

持続的農業システムの一手法と成り得ると考えられる。

4. 摘要

本研究では、不耕起栽培においてソルガム (*Sorghum bicolor* L.) を夏季休閑期にカバークロープとして用いたとき、耕土層の透水性改善効果について主に土壌含水比と降水量の関係を解析することにより検証を行った。その結果、ソルガムが草丈180cm程度に生育している場合耕土層の透水性が改善され、初期土壌含水比が約50% d.b. のとき総降水量が約50mmに達するまでカバークロープ区では土壌含水比が易効水の範囲に保たれた。しかし、ソルガムが草丈約40cm程度の場合耕土層の透水性は改善されなかった。ソルガムによる透水性改善効果は、機械耕うんによるものより大きくそして長く持続した。また、秋ソバ (*Fagopyrum esculentum* Moench) 栽培では、ソルガム栽培が収量減少防止の一要因であると考えられる。

謝辞

本研究の遂行に当たり栽培管理の全般において東京大学大学院農学生命科学研究科附属農場の秦野茂技術専門職員にご協力を頂きました。また、飽和透水係数の測定において東京大学大学院農学生命科学研究科生物・環境工学専攻環境地水学研究室の井本博美技術専門職員に測定方法の指導を頂きました。ここに記して厚く御礼申し上げます。

キーワード

不耕起栽培 カバークロープ ソルガム ソバ 透水性 降水量 土壌含水比 飽和透水係数

引用文献

- Colla, G., Mitchell, J. P., Joyce, B. A., Huyck, L. M., Wallender, W. W., Temple, S. R., Hsiao, T. C. and Poudel, D. D. (2000): Soil physical properties and tomato yield and quality in alternative cropping systems, *Agronomy Journal*, 92(5); 924-932.
- Da Silva, R. H. and Rosolem, C. A. (2003): Early development and nutrition of cover crop species as affected by soil compaction, *Journal of Plant Nutrition*, 26(8); 1635-1648.
- 藤原俊六郎・安西徹郎・加藤哲郎 (1999): 土壌診断の方法と活用, 農文協, 東京, pp. 73-74.

- Hernanz, J. L., Giron, V. S. and Cerisola, C. (1995): Long-term energy use and economic evaluation of three tillage systems for cereal and legume production in central Spain, *Soil & Tillage Research*, 35(4); 183-198.
- Iijima, M., Izumi, Y., Yuliadi, E., Sunyoto, Afandi. and Utomo, M. (2003): Erosion control on a steep sloped coffee field in Indonesia with alley cropping, intercropped vegetables, and no-tillage, *Plant Production Science*, 6(3); 224-229.
- Krzic, M., Fortin, M. C. and Bomke, A. A. (2000): Short-term responses of soil physical properties to corn tillage-planting systems in a humid maritime climate, *Soil & Tillage Research*, 54(3-4); 171-178.
- McConkey, B. G., Campbell, C. A., Zenter, R. P., Dyck, F. B. and Selles, F. (1996): Long-term tillage effect on spring wheat production on three soil textures in the Brown soil zone, *Canadian Journal of Plant Science*, 76; 747-756.
- 日本農業気象学会新編農業気象学用語解説集委員会 (1997): 新編農業気象学用語解説集 - 生物生産と環境の科学 -, 日本農業気象学会, 東京, pp. 1.
- Rosolem, C. A., Foloni, J. S. S. and Tiritan, C. S. (2002): Root growth and nutrient accumulation in cover crops as affected by soil compaction, *Soil & Tillage Research*, 65(1); 109-115.
- 坂井直樹・春原亘・米川智司・角田公正 (1987): 不耕起栽培の評価 (第3報) 作物収量と投入エネルギー, *農作業研究*, 22(3); 229-235.
- 坂井直樹・春原亘・米川智司・角田公正 (1988): 不耕起栽培の評価 (第4報) 土壌の変化と作物根系, *農作業研究*, 23(1); 25-32.
- 杉本秀樹・佐藤亨 (2000): 生育時期別過湿処理の差異が夏ソバの子実収量に及ぼす影響, *日本作物学会紀事*, 69(2); 189-193.
- 山崎不二夫・須藤清次 (1965): 土の工学的挙動一関東ロームを中心として一, *農業土木学会論文集*, 14; 1-10.

Summary

No-tillage culture is useful to reduce energy consumption, but it is often associated with degradation of soil physical properties leading to yield loss.

The effects of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) as a summer cover crop on infiltration of soil were investigated by analysis of the relationship between precipitation and soil water content. When the sorghum grew well, reaching a height of about 180 cm, soil infiltration was improved because soil water content was favorable, while total precipitation became about 50 mm at an initial soil water content of 50%db. In contrast, when the sorghum showed insufficient growth with a height of about 40 cm, soil infiltration was not improved. The effects of sorghum on soil

infiltration are bigger and lasted longer than the effects of mechanical tilling. The improvement of soil infiltration by sorghum contributes to prevent yield decrease in subsequent buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) culture.

Key word

no-tillage culture, cover crop, sorghum, buckwheat, infiltration, precipitation, soil water content, saturated hydraulic conductivity