

関東地域の現地水田転換畑ほ場におけるダイズへの 地下水位制御システム (FOEAS) と不耕起狭畦栽培の導入効果

島田信二*1・前川富也*1・浜口秀生*1・若杉晃介*2・藤森新作*3

目 次

I. はしがき	25	6. 成熟期の生育	31
II. 材料および方法	26	7. 収量および収量構成要素	32
III. 結 果	28	8. 成熟期の雑草量	33
1. 気象状況	28	9. 子実成分組成	33
2. 地下水位および土壌水分の推移	28	IV. 考 察	35
3. 播種の作業性と出芽苗立ち	28	V. 摘 要	37
4. 開花期の生育	30	引用文献	38
5. 光合成速度	31	Summary	40

I. はしがき

日本のダイズは、面積の8割以上(2014年現在)が水田転換畑で作付けされており、水田はダイズの主要な生産現場となっている。水田は、灌漑水の供給、畔の形成、代かきなどによる保水性の確保によって湛水が可能であり、水稲作の生産性の高さや安定性に大きく貢献している。一方、根系の酸化力が弱いダイズなどの畑作物では、土壌が湛水すると酸素欠乏が起こって湿害が発生し、収量や品質の低下を招く^(22,24)ので、ほ場の排水性を良好にして作土を好气的状態に保つ必要がある。また、関東地域では生育前半が梅雨に遭遇することが多いため、根の発達が貧弱になりやすい⁽¹⁰⁾。そのため、梅雨明け後、蒸発散要求が高い盛夏には水田転換畑でも干ばつがしばしば発生し⁽⁷⁾、ダイズでは光合成低下だけでなく落花、落莢を引き起こし⁽¹¹⁾、大きな減収要因となる。そのため、水田転換畑でのダイズの安定多収化には、排水だけでなく、盛夏の灌漑にも配慮する

ことが重要である。

そこで、水田における畑作物の生産性を改善し、水田輪作の高度化を図るため、排水機能と地下からの灌漑機能を有し、地下水位を地表+20cm~-30cmの範囲で制御可能な地下水位制御システム(FOEAS)が開発された^(2,3)。

排水不良土質地帯の水田では、今まで畑輪換作物の安定生産は困難であったが、FOEASによる湿害と干ばつの回避技術の確立により、これら圃場においても土地利用型作物生産の抜本的な改善が図られると想定される。地下水位の高低は光合成に影響し、収量を最も大きくする好適な地下水位が存在していることが知られている^(17,18)。FOEASによる地下水位の制御はダイズの物質生産を向上させ、増収に貢献することが期待される。

関東地域では梅雨期に播種適期を迎えるため、降雨により播種作業が遅延しやすいが、耕耘を省くこ

注) 本研究は、農林水産省委託プロジェクト「低コストで質の良い加工・業務用農産物の安定供給技術の開発 2系:大豆」および「水田の潜在能力発揮等による農地周年有効活用技術の開発-土壌養水分制御技術を活用した水田高度化技術の開発」からの経費により実施した。

平成27年12月22日受付 平成29年3月21日受理

*1 農研機構・中央農業研究センター

*2 農研機構・農村工学研究部門

*3 元農研機構

とにより、地耐力が高い条件で播種できる不耕起狭畦播種技術が開発されている^(6,7,26)。

不耕起栽培において安定的な生産を行うには、ほ場の良好な排水性が重要であるが⁽⁶⁾、1 m毎に補助孔（弾丸暗渠）が施工されているFOEASでは、高い排水性が期待されるため、不耕起栽培との連携は良好と想定される。

II. 材料および方法

本実験は、茨城県つくば市の農家の営農ほ場を利用して、2007年から2011年の5カ年にわたり実施した。2007～2009年は同一ほ場を用いたが、2010年にはほ場のローテーションを行い、2010～2011年は近隣の別のほ場を用いた。

ほ場は2006年までは冬作に小麦が栽培され、夏作は不作付けで雑草防除のために数回ロータリによるすき込みが行われていた。それ以前はダイズの栽培はしばらく行われていなかった。2006年12月にFOEASの施工工事を行った。

対照ほ場とFOEASほ場の2種類のほ場を用いた。なお、対象ほ場の排水対策は、2007～2010年は本暗渠がなく額縁明渠と中耕培土による畝間排水のみであり、2011年は、FOEASの幹線、支線および接続パイプを施工し、補助孔（弾丸暗渠）を設けないものを従来の本暗渠施工とみなして実験を行った。なお、この対照ほ場では、一般の本暗渠を施工した農家ほ場の慣行に準じて、弾丸暗渠を深さ約30cmで5m間隔で施工し、地下水水位制御は行わず排水閘を開放して排水を促した。

排水性が異なる各ほ場は、農家ほ場の1区画ベースとし、ほ場のローテーションを行った。各ほ場面積は30 a～70 aの範囲であった。FOEASほ場と対照ほ場は、2007～2009年は同じほ場を継続して利用し、その後、2010年にはほ場をローテーションして2010～2011年は同じほ場を用いた。

供試ほ場の土壌は褐色火山性の軽埴土（仮比重1.0、粘土：シルト：砂＝38：36：26%）で、表層約80cmは均質で粘質な土壌で覆われている。作土下の飽和透水係数は、 10^{-5} ～ 10^{-6} (cm/秒)レベルであり、FOEAS導入前は排水性が悪いほ場である。試験開始前（2007年6月21日採取）の深さ15 cm深の作土の土壌分析値はpH5.9、有効態リン酸

そこで、関東地域の水田輪換の主要な土地利用型畑作物であるダイズの省力的な安定多収技術を開発・実証するため、排水不良な農家圃場においてFOEASの導入効果を解析するとともに、省力的な不耕起狭畦栽培技術への適用性を明らかにすることを目的として本実験を行った。

17.8 mg/100 g, 交換性カリ 39.9 mg/100 g, 交換性石灰 706 mg/100 g, 熱水抽出性窒素 5.8 mg/100 g, CEC46.5 me/100 g, リン酸吸収係数 1092であった。土壌図では褐色火山性土となっているが、リン酸吸収係数をみると火山灰の影響はあまり強くないと考えられる。

試験区として、対照圃場の慣行ロータリ播種区（以下、対－慣口）、FOEASほ場の慣行ロータリ播種区（以下、F－慣口）、FOEASほ場の不耕起狭畦播種区（以下、F－不耕）の3つを設けた。いずれの年次も前作は小麦である。

肥培管理として、土壌改良材は、苦土石灰を2007、2008年に60 kg/10 a、熔成燐肥を2007、2008、2010年は60 kg/10 a、2011年は80 kg/10 aで播種の3～5日前に、また、化成肥料（くみあい化成高度500、N：P₂O₅：K₂O＝5：20：20%）を毎年50 kg/10 aで播種の2～4日前にブロードキャスターを用いてほ場全面に散布した。

前作は小麦であったが、施肥、播種作業の容易化のため、小麦のコンバイン収穫後にストローチョッパーによって刈り株跡、残程の粉碎を行った。いずれの播種方法においても事前の耕耘は行わなかった。

播種方法は、慣行のロータリ播種ではロータリシーダー（ニプロけん引型MDRシーダー、松山株式会社）を用いて、事前耕耘をせずに耕耘深約13 cmの深さで正転ロータリで耕耘しながら1工程で播種を行った。畝幅は2007年のみが68 cm、他年は70 cmで、株間は15 cmの2粒播（設定栽植密度19本m²）とした。種子にはチウラム水和剤（キヒゲンR-2フロアブル）を塗布した。供試品種は、関東地域の主力品種である「タチナガハ」を用いた。

不耕起播種では、汎用型不耕起播種機（NSV600、

松山株式会社)を用いて、畝幅 30 cm, 株間 14 cm の 1 粒播 (設定栽植密度 23.8 本 m^{-2})とした。

各年の播種日は、2007年7月6日、2008年は7月2日(対照区以外)と7月3日(対照区)、2009年7月14日、2010年は7月5日(大部分)と6日(反復の一部のみ)、2011年7月4日である。なお、FOEAS区は排水性が非常に良好なため、梅雨期においても各種作業が比較的容易であるが、FOEASほ場と対照ほ場の播種日を同じにするため、対照ほ場において播種が可能な状態には場が乾くまで播種作業を行わなかった。2008年は対照ほ場が乾くまで対照区の播種を一日遅らせた。また、降雨が続き、ほ場が乾きにくかった2009年は、ダイズの播種作業が7月中旬まで遅延した。

除草対策として、播種後に、ジメテナミド・リニュロン(エコトップ乳剤)500 ml/10 a, とグリホサートカリウム塩液剤(ラウンドアップマックスロード)500 ml/10 aを10 a当たり100 Lの水で散布した。また、ダイズの2~4葉期頃にベンタゾン液剤(ダイズバサグラン液剤)150 ml/10 a, テプラロキシジム乳剤(ホーネスト乳剤)100 ml/10 aを10 a当たり100 Lの水で散布した。また、年次によっては一部でクサネムなどが多発したので、雑草調査区以外は手取り除草を行った。

播種後、数日たってからFOEASの水位制御器への給水を開始し、当該ほ場で給水が継続される8月31日まで継続した。設定地下水位は約-30 cmとした。当該地域は水源のポンプで加圧されパイプ給水が行われているが、この期間においてポンプ稼働が停止される時期が断続的にあり、その際は給水が停止するので、FOEASの地下水位は一時的に低下した。

畝幅が68~70cmのロータリ播種では、5~7葉期頃に乗用管理機によって初生葉節位まで中耕培土を行った。病虫害防除は、発生状況をみながら、適宜、実施した。

土壌中の体積含水率(表1)は、FieldScout TDR 300 Soil Moisture Meter (12 cm プローブ使用, Spectrum Technologies Inc., Plainfield, IL, USA), 土壌中の体積含水率の推移(図5)は、地表から15 cmの深さにおいてEC-5 (Decagon Devices Inc., Pullman, WA, USA)を用いて測定した。地下水位は、UIZ-WLR100(株式会社ウイジン, 東京)と

S&DL mini (応用地質株式会社, 東京)で測定した。土壌硬度は、土壌硬度計DIK-5553(大起理化学工業株式会社, 鴻巣市)を用い、土壌表層の植物残渣を取り除き、作土表層の値を測定した。葉色はミノルタSPAD-502(コニカミノルタ株式会社, 東京), みかけの光合成速度, 気孔コンダクタンスはLI-6400 (LI-COR, Lincoln, Nebraska, USA)を用い、主茎の活動中心葉について、飽和光下(光量子量1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)で導入空気中の二酸化炭素濃度を380 ppmに設定して測定した。

開花期の抜き取り調査は、1.2 m^2 のダイズを子葉節から切り取り、80°Cで48時間乾燥させた後に地上部乾物重を測定した。

成熟期のサンプリングは、試験区の長辺方向が約90 mあるため、長辺方向に沿って、3~5箇所を実施した。コンバイン収穫収量は三菱MCH380(刈り幅1.5 m, 三菱マヒンドラ農機株式会社, 松江)を用いて、試験区の長辺方向約90 mを一工程収穫した子実から算出した。

種子のタンパク含量, 脂質, 全糖含量は、近赤外線分析(Infratec 1241 Grain Analyzer, FOSS NIRSystems Inc., Laurel, MD, USA)を用いて測定した。

雑草の発生量は、坪刈り調査のサンプリング跡について、1 m^2 (2008) および0.25 m^2 (2009)の中に生えていた雑草の地上部を刈り取りして採取し、乾燥(80°C, 48時間)後に秤量した。

統計解析は、SPSS ver.19 (IBM, 東京)を用いた。成熟期の生育や収量および収量構成要素については、2007~2009年および2010~2011年はそれぞれ同一圃場で連続して栽培試験を実施したため、年次を反復測定因子(変量効果)とする反復測定分散分析法で各圃場での効果を解析した。この際、対照圃場では慣行ロータリ播種区のみ、FOEAS圃場では慣行ロータリ播種区と不耕起狭畦播種区の2つを設けているので、解析は慣行ロータリ播種区における対照圃場とFOEAS圃場の比較、およびFOEAS圃場における慣行ロータリ播種区と不耕起狭畦播種区の比較を行った。

気象観測データとして、最高気温, 降水量, 日射量は、試験地から南南西におよそ4.5 km離れているアメダス観測地点つくば(館野, 40336)のデータを用いた。また、ポテンシャル蒸散量は、モデル

結合型作物気象データベース (MeteoCrop DB, 国立研究開発法人 農業環境技術研究所) を利用して

算出した。

Ⅲ. 結 果

1. 気象状況

試験を実施した5カ年のうち、特に2010年は、8月の最高気温(図1)が高く、高日射(図3)で、降雨(図2)が少なく8月13日から9月7日まで26日間は、無降水であった。一日の降水量とポテンシャル蒸発量の差によって示される水収支を半月毎に平均した値を図4に示した。この5カ年では、特に2010年は8月の半月平均において降水よりもポテンシャル蒸散量が5mm程度上回り、乾燥が続くとともに、9月は一転して多雨となり降水量がポテンシャル蒸散量を大幅に上回る期間があった。このように2010年は8月の干ばつ、9月の多雨による湿害が著しい気象環境であった。

2. 地下水位および土壌水分の推移

地下水位や土壌水分の推移は、FOEASの有無による各処理において年次によらず類似の傾向が見られたので、ロータリ播種区の対照ほ場に本暗渠がない場合(図5上)と本暗渠がある場合(図5下)の地下水位と深さ15cmにおける土壌水分の推移を示した。

地下水位は、およそ10mmを超える降雨があると一時的に上昇し、気象条件に大きく影響された。FOEASほ場では、灌漑水の供給されている間は設定水位付近で安定的に維持されるが、灌漑水供給が停止されると地下水位が徐々に低下した。9月下旬、10月中旬および11月上旬でみられるように、降雨後の地下水位の低下は、本暗渠なし対照ほ場ではやや遅く、特に多量の降雨後はしばらく高い地下水位が継続した。

深さ15cmの土壌水分は、本暗渠なしの対照ほ場では、多量の降雨後は高い土壌水分のままで比較的長期間維持され、排水性の悪さが明瞭であった。本暗渠あり対照ほ場の場合は、本暗渠なしの対照ほ場と比べると、FOEASほ場との差は小さかった。

3. 播種の作業性と出芽苗立ち

2008年は、6月29日に45mm、6月30日に1mmの降雨があった。そのため、播種を計画した7月2日は対照ほ場の体積含水率は85%あり、対照圃場の慣行ロータリ播種区(以下、対-慣口)は、土壌水分過多のために当日は播種を実施できなかった。

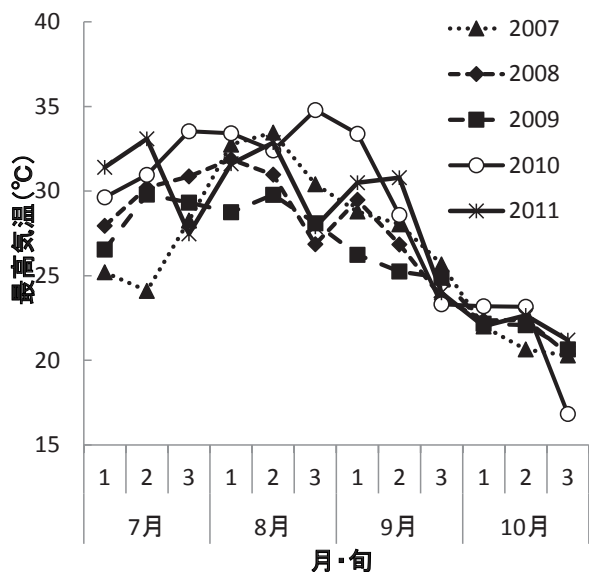


図1 旬平均最高気温の推移

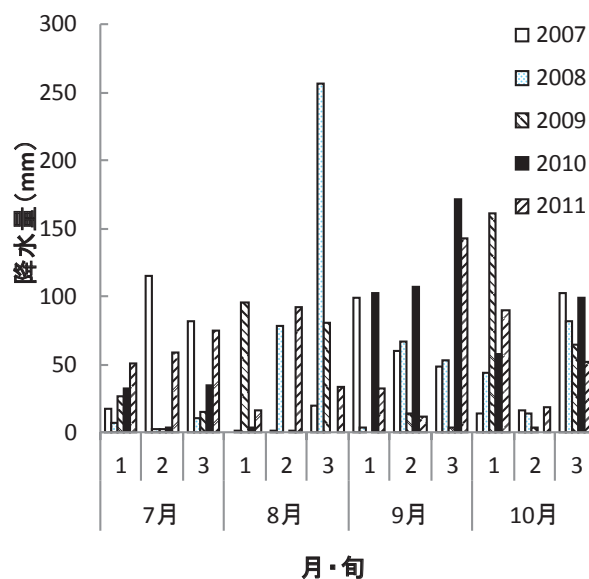


図2 旬別降水量の推移

た(表1)。一方、FOEASほ場の慣行ロータリ播種区(以下、F-慣口)は土壤体積含水率が40%まで低下し、事前耕耘なしに30 cm/sの速度で播種が可能であった。さらにFOEASほ場の不耕起狭畦播種区(以下、F-不耕)では99 cm/sの速度で播種できた。

図6に2009年における播種前の土壤水分と地耐力の指標の一つである土壤硬度を示した。測定前の7月1~6日に23 mmの降水があり、測定日の間の7月8日に2 mm、7月9日に1 mmの降水があった。対照ほ場と比べて、FOEASほ場は明らかに土壤水分が低く、土壤硬度は高く推移した。

2008年の出芽率はF-慣口、F-不耕が、対-慣口よりも明らかに高かった(表2)。また、2008、2009年は、FOEASの方が対照ほ場よりも播種した

種子の半分以上が出芽に達した日が1~2日早かった(図表省略)。

このように、FOEASほ場では、排水性が良好のため降雨後の土壤水分の低下が速やかで地耐力の回復が早く、より早く播種が可能となった。

5カ年でF-慣口は70%以上、F-不耕は80%以上の出芽率を得たが、対-慣口は、2008年、2009年は55%程度の低い出芽率であった。対-慣口でも比較的高い出芽率を示した2010年以外では、対照ほ場よりもFOEASほ場において高い出芽率が得られたことから、対照ほ場では出芽不良が起こる条件でも、FOEASほ場では安定的に高い出芽率が得られることが示された。5カ年の平均では、出芽率はF-不耕、F-慣口、対-慣口の順で高く、FOEASと不耕起狭畦の組み合わせで特に出芽率が

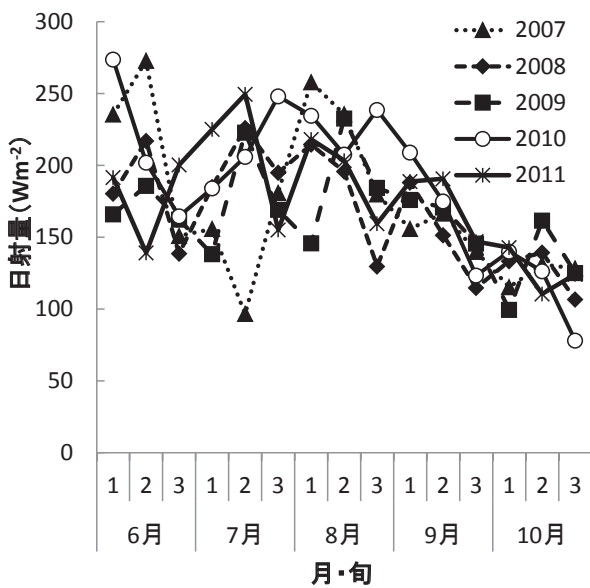


図3 日射量の推移

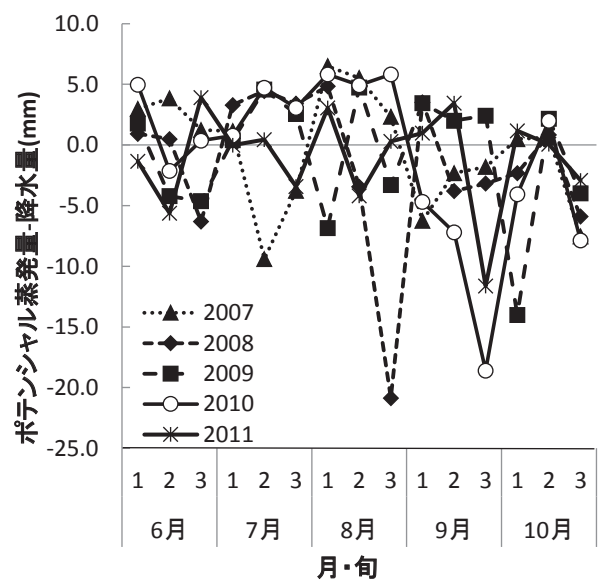


図4 気象環境の水収支(ポテンシャル蒸発量-降水量)の推移

表1 ほ場条件および播種法が播種速度と土壤体積含水率に及ぼす影響

処理/年次	播種速度 (cm/s)		土壤体積含水率 (%)
	2008	2009	2008
対-慣口	播種不可	25.7 ± 0.11	85
F-慣口	30.0 ± 0.37	33.8 ± 0.45	40
F-不狭	99.2 ± 0.52	78.5 ± 0.61	61

注) 2008年は7月2日播種で対照ほ場は多湿のため播種不可能。
 2009年は7月14日播種。
 耕起区の体積含水率は、耕耘後に測定。
 2008年は4反復、2009年は3反復の平均値±標準誤差。

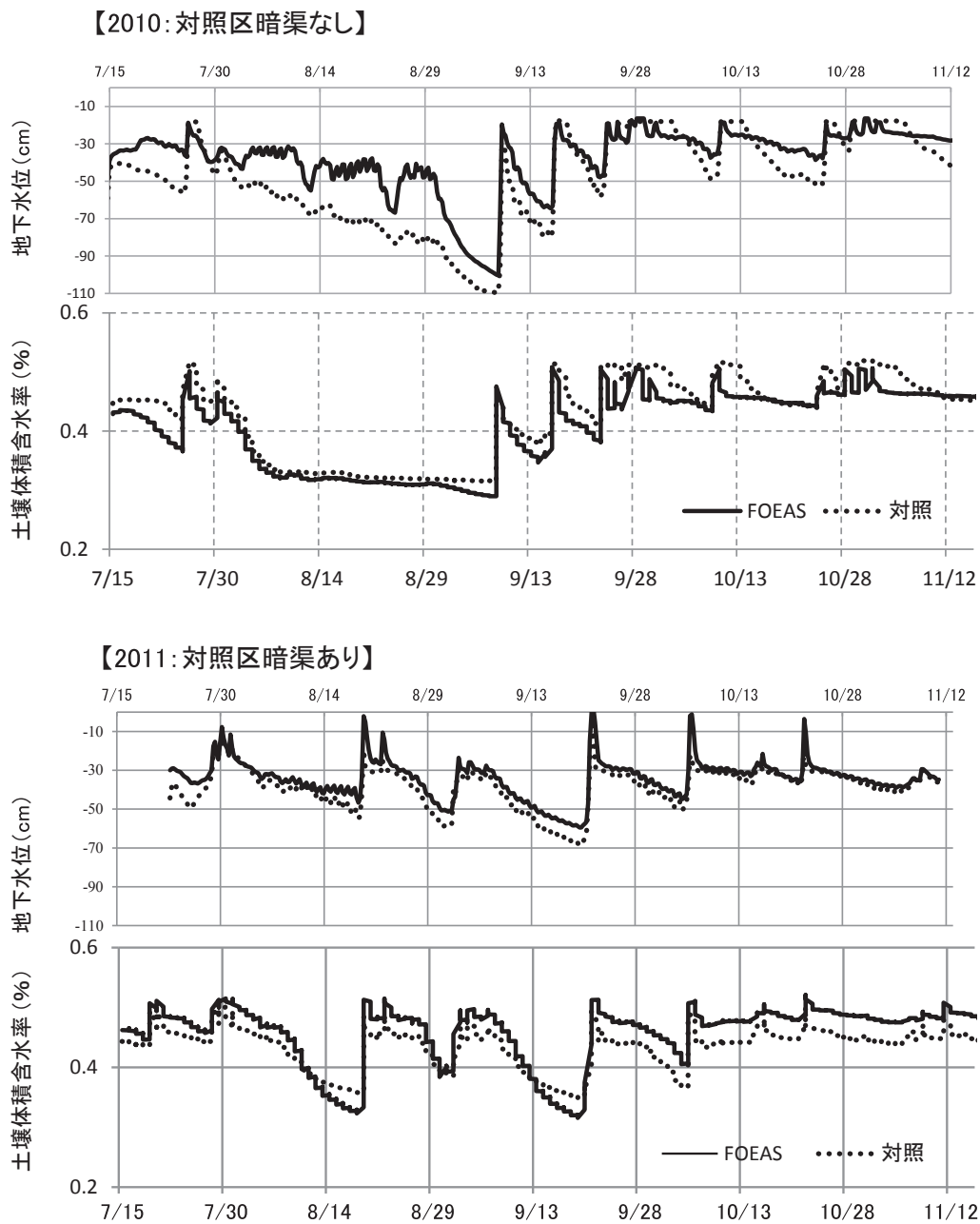


図5 FOEASの有無が地下水位および土壌体積含水率の推移に及ぼす影響

高いことが明らかになった。

なお、2009年は、播種後、やや乾燥気味であったため、出芽促進のために7月16日と19日に地下水位を-7 cm程度に上昇させた。その際、19日の処理時には給水バルブから用排水ボックスの地下給水孔に、直接水を供給したため、急速な給水となり圃場の一部が冠水した。冠水した時間は5時間以内であったが、冠水箇所のダイズは出芽後に病害（茎疫

病、ピシウム病など）により枯死する個体があった。また、2009年はダイズ3年連作となったため生育期間中も立枯性病害の発生が多くみられたが、それでも出芽率は対照ほ場に比べFOEASほ場は良好であった（表2）。

4. 開花期の生育

開花期の地上部重は、3カ年平均では対-慣口に

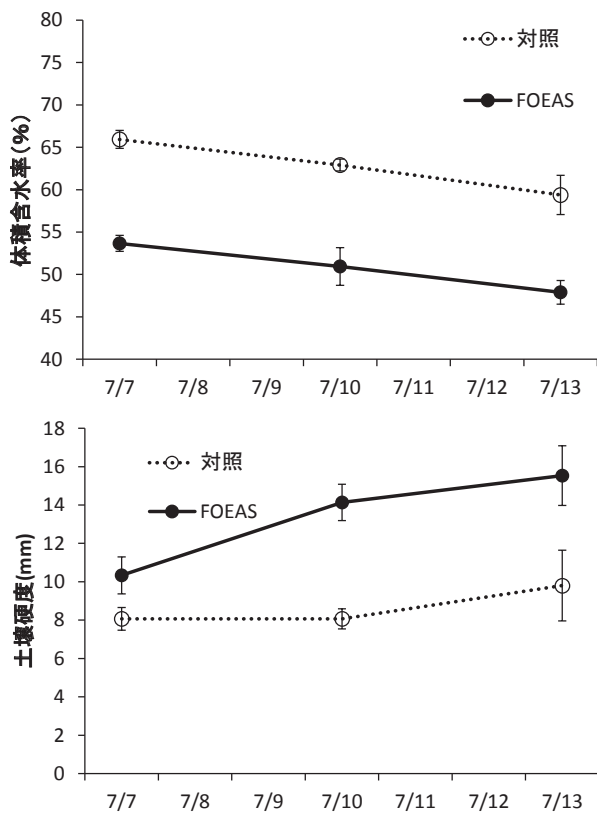


図6 播種前における土壌水分と土壌硬度の推移 (2009年)

注) 縦線は5反復の標準誤差を示す。
7月1～6日の間の降水は23mm, 7月8日は2mm, 7月9日には1mmの降水があった。

比べてF-慣口が6割大きく, さらにF-不耕は, 3倍近い生育量を示した(表3)。このことから, FOEASによる土壌水分の好適化は初期生育を増大させるとともに, 不耕起狭畦によっても単位面積当たりの乾物生産量が增大した。

5. 光合成速度

2008年の8月14日(R2期)および9月9日(R5期)に測定した葉色(SPAD値)は, 対照ほ場よりもFOEASほ場のダイズにおいて濃い傾向にあった(図7)。気孔コンダクタンスは, 7月14日は全般に比較的高い値を示す(図8)とともに, 処理間で明瞭な違いは見られなかった。9月9日は全処理とも8月14日より低い値を示すとともに, 特に対-慣口において低い値を示した。みかけの光合成速度は, 他区と比べて対-慣口は, 8月14日はやや小さく, 9月9日は大きく低下していた(図9)。

表2 FOEASの有無, 播種法が苗立ち数と出芽率に及ぼす影響

年次	処理	苗立ち数(本/m ²)	出芽率(%)
2007	対-慣口	13.3 ± 0.86	77.3 ± 4.99
	F-慣口	13.7 ± 0.35	84.4 ± 2.18
	F-不狭	20.6 ± 0.76	94.6 ± 3.52
2008	対-慣口	8.8 ± 0.65	54.7 ± 4.04
	F-慣口	13.4 ± 0.78	75.5 ± 4.40
	F-不狭	23.5 ± 1.78	98.7 ± 7.48
2009	対-慣口	9.6 ± 1.19	54.8 ± 6.82
	F-慣口	12.7 ± 0.33	71.8 ± 1.84
	F-不狭	17.2 ± 0.86	89.9 ± 4.52
2010	対-慣口	15.4 ± 1.10	81.6 ± 5.84
	F-慣口	15.3 ± 0.64	81.2 ± 3.39
	F-不狭	22.0 ± 0.92	80.1 ± 3.22
2011	対-慣口	14.5 ± 0.76	76.0 ± 3.97
	F-慣口	17.4 ± 0.33	91.4 ± 1.72
	F-不狭	22.0 ± 0.71	92.4 ± 3.00
2007-2011 平均	対-慣口	12.3 ± 1.32	68.9 ± 5.85
	F-慣口	14.5 ± 0.84	80.8 ± 3.44
	F-不狭	21.0 ± 1.07	91.1 ± 3.12

注) 1～5葉期に調査。
4～6反復あるいは5カ年の平均値±標準誤差。

表3 FOEASの有無と播種法が開花期の地上部乾物重に及ぼす影響

年次	処理	地上部乾物重(gm ⁻²)
2008	対-慣口	90.4 ± 9.2
	F-慣口	140.0 ± 13.1
	F-不狭	211.5 ± 18.0
2010	対-慣口	89.7 ± 11.2
	F-慣口	130.3 ± 15.9
	F-不狭	239.0 ± 37.4
2011	対-慣口	124.9 ± 29.6
	F-慣口	215.5 ± 22.8
	F-不狭	371.9 ± 40.7
3カ年平均	対-慣口	101.7 ± 11.6
	F-慣口	161.9 ± 26.9
	F-不狭	274.1 ± 49.5

注) 2008年8月12日, 2010年8月10日,
2011年8月12日抜き取り。
3反復あるいは3カ年の平均値±標準誤差。

6. 成熟期の生育

成熟期の生育量(表4)については, 年次を変量効果とする反復測定分散分析法を用い, 2007～

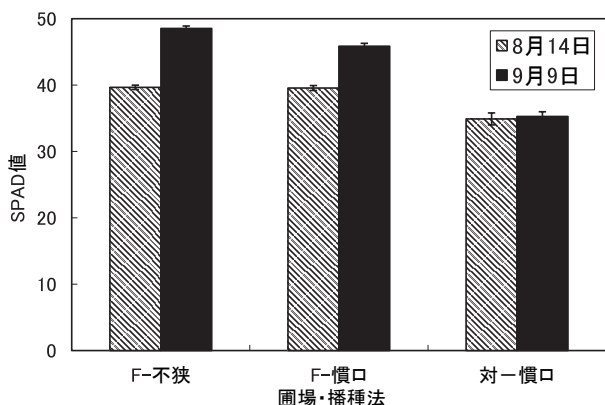


図7 FOEASの有無と播種法が葉色(SPAD値)に及ぼす影響.

2008年, 縦線は10個体の標準誤差.

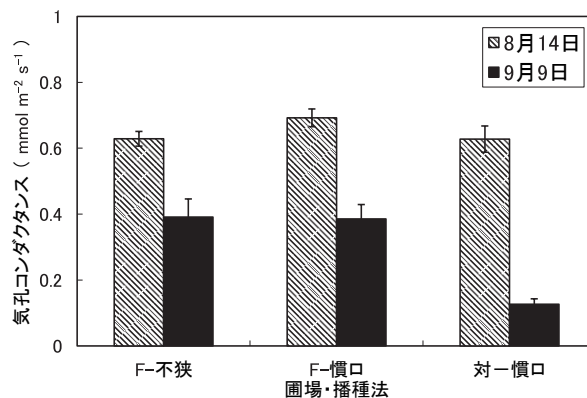


図8 FOEASの有無と播種法が主茎葉の気孔コンダクタンスに及ぼす影響.

2008年, 縦線は10個体の標準誤差.

2009年および2010~2011年の両圃場試験を別々に解析した. その結果, 慣行ロータリ栽培におけるFOEASほ場と対照ほ場の比較では, 主茎長, 地上部風乾全重は対照ほ場(対-慣口)よりもFOEASほ場(F-慣口)において明らかに高かった. また, FOEASほ場における不耕起狭畦栽培と慣行ロータリ栽培の比較では, 総節数, 分枝数, 地上部全重は, 不耕起狭畦栽培(F-不耕)が慣行ロータリ栽培(F-慣口)よりも有意に大きかった. このことから, 地上部風乾全重はFOEASほ場において対照ほ場よりも大きくなり, さらに不耕起狭畦で大きくなった. 青立ち程度は, 2007~2009年では, 対照ほ場(対-慣口)よりもFOEASほ場(F-慣口)において有意に低く, さらに有意とはならなかったものの2010~2011年においてもFOEASほ場の方が青立ち程度がやや低い傾向が認められた. 倒伏程度は, 年次による違いはあったが, 処理間における明瞭な影響はみられなかった.

7. 収量および収量構成要素

収量および収量構成要素も成熟期の生育量と同様に統計解析を行った(表5). 慣行ロータリ栽培において, 粗子実重は対照ほ場(対-慣口)よりもFOEASほ場(F-慣口)において明らかに高かった. また, FOEASほ場において, 粗子実重は慣行ロータリ栽培(F-慣口)よりも不耕起狭畦栽培(F-不耕)において有意に高かった. 5か年平均の粗子実重は, 対-慣口, F-慣口, F-不耕がそれぞ

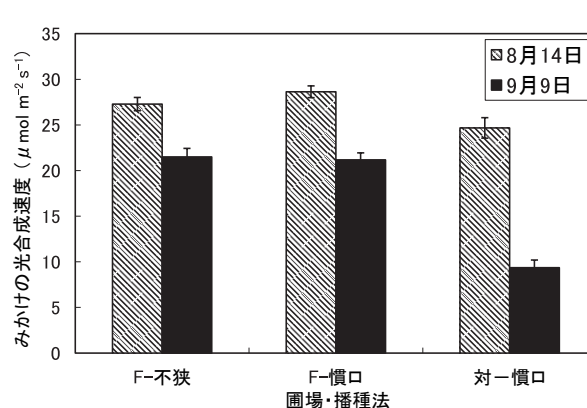


図9 FOEASの有無と播種法が主茎葉のみかけの光合成速度に及ぼす影響.

2008年, 縦線は10個体の標準誤差.

れ, 162.9 (100), 261.1 (対-慣口対比160), 333.5 (同左205) 各kg/10aであった. また, コンバイン収穫収量についても, 2007~2009年の有意確率は10%水準では有意であり, 基本的に坪刈りによる粗子実重の結果と同様の傾向で, 収量はFOEASほ場で高く, さらに不耕起狭畦栽培において一層増収した. 分散分析結果から, FOEASほ場における増収には稔実莢数の増加, 不耕起狭畦栽培による増収には, 稔実莢数と収穫指数の双方の増加がそれぞれ主として関係していると考えられる.

対-慣口に比べてF-慣口の粗子実重は, 2007~2009年平均で約1.5倍, 2010~2011年で約1.9

倍であり、明らかにFOEAS導入で増収した。5カ年のうち、特に2010年は対-慣口に比べてF-慣口が粗子実重とコンバイン収穫収量で3倍以上の開きがあり、その較差が大きい年であった。また、対照ほ場に本暗渠が整備された2011年においても、対-慣口に比べF-慣口では粗子実重が38%、コンバイン収穫収量が75%増収し、FOEASの有義性は明らかであった。

8. 成熟期の雑草量

成熟期の雑草残存量は、2008年、2009年ともにFOEAS区が少なく、特に2009年は対照区の雑草量が多かった(表6)。2か年平均で、F-不耕、F-慣口よりも対-慣口で雑草乾物重が大きい傾向が認められた。

9. 子実成分組成

粗タンパク質含量は年次間差でやや振れが認めら

表4 FOEASの有無と播種法が成熟期の生育に及ぼす影響

年次	処理	成熟期	主茎長 (cm)	総節数 (m ²)	分枝数 (m ²)	地上部 風乾全重 (g m ²)	青立ち 程度	倒伏 程度
2007	対-慣口	11/1	41.8	489.8	64.3	561.3	1.0	2.0
	F-慣口	10/31	48.1	580.0	73.7	616.1	0.0	2.2
	F-不狭	11/1	45.3	640.0	86.0	578.6	1.4	2.0
2008	対-慣口	11/7	43.5	289.1	36.5	323.2	4.0	1.7
	F-慣口	11/6	52.2	430.5	49.6	571.5	3.3	1.3
	F-不狭	11/4	55.5	534.8	58.5	701.8	2.9	1.2
2009	対-慣口	11/3	33.9	246.2	33.5	251.0	1.2	2.2
	F-慣口	11/3	48.1	369.0	49.2	505.0	1.0	2.8
	F-不狭	11/2	52.8	467.7	57.4	559.5	1.0	2.8
2010	対-慣口	11/26	46.7	363.4	42.9	301.3	3.8	2.0
	F-慣口	11/21	57.6	402.4	44.8	487.7	3.4	1.8
	F-不狭	11/16	62.5	546.9	57.4	613.0	2.8	1.6
2011	対-慣口	11/26	56.6	401.6	39.7	402.3	4.3	3.1
	F-慣口	11/26	68.4	397.2	38.1	499.0	4.2	3.3
	F-不狭	11/26	73.4	561.9	53.6	646.2	3.7	4.2
2007-2009 平均	対-慣口		39.7	341.7	44.7	378.5	2.1	1.9
	F-慣口		49.5	459.9	57.5	564.2	1.4	2.1
	F-不狭		51.2	547.5	67.3	613.3	1.8	2.0
2010-2011 平均	対-慣口		51.6	382.5	41.3	351.8	4.1	2.5
	F-慣口		63.0	399.8	41.5	493.4	3.8	2.6
	F-不狭		67.9	554.4	55.5	629.6	3.2	2.9
分散分析			有意確率					
対-慣口と F-慣口 の比較	2007-2009	処理	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.283
		年次	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	2010-2011	処理	<0.001	0.444	0.839	0.001	0.379	0.741
		年次	<0.001	0.239	0.039	0.103	0.048	<0.001
F-慣口と F-不狭 の比較	2007-2009	処理	0.078	<0.001	0.003	0.011	0.109	0.393
		年次	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001
	2010-2011	処理	0.016	<0.001	<0.001	<0.001	0.074	0.106
		年次	<0.001	0.814	0.097	0.505	0.018	<0.001

注) 青立ちおよび倒伏程度は、0:無, 1:微, 2:少, 3:中, 4:多, 5:甚。
反復数は3~6。

表5 FOEASの有無と播種法が収量および収量構成要素に及ぼす影響

年次	処理	稔実莢数 (m ⁻²)	一莢内 粒数	百粒重 (g)	粗子実重 (g m ⁻²)	収穫指数	コンバイン 収穫収量 (g m ⁻²)	
2007	対-慣口	469.6	1.87	37.1	325.0	0.58	221.1	
	F-慣口	487.7	1.94	35.0	330.4	0.54	229.4	
	F-不狭	523.6	1.85	36.0	348.7	0.60	245.8	
2008	対-慣口	236.1	1.57	39.1	146.6	0.45	104.9	
	F-慣口	404.2	1.80	42.4	306.3	0.54	236.8	
	F-不狭	525.9	1.82	42.9	409.9	0.58	342.9	
2009	対-慣口	220.6	1.56	38.3	133.5	0.54	-	
	F-慣口	394.2	1.79	39.5	279.7	0.55	-	
	F-不狭	423.0	1.82	39.5	303.9	0.54	-	
2010	対-慣口	195.9	1.31	23.1	60.3	0.20	38.9	
	F-慣口	349.8	1.54	32.1	183.7	0.36	133.4	
	F-不狭	467.0	1.88	34.7	301.7	0.49	205.6	
2011	対-慣口	307.6	1.39	34.9	149.1	0.37	107.9	
	F-慣口	416.1	1.43	35.1	205.3	0.40	188.7	
	F-不狭	490.3	1.74	35.4	303.1	0.47	244.6	
2007-2009 平均*	対-慣口	308.8	1.67	38.1	201.7	0.52	163.0	
	F-慣口	428.7	1.84	38.9	305.4	0.54	233.1	
	F-不狭	490.8	1.83	39.5	354.2	0.58	294.4	
2010-2011 平均	対-慣口	251.7	1.35	29.0	104.7	0.28	73.4	
	F-慣口	382.9	1.48	33.6	194.5	0.38	161.1	
	F-不狭	478.6	1.81	35.1	302.4	0.48	225.1	
分散分析		有意確率						
対-慣口と F-慣口 の比較	2007-2009*	処理	<0.001	<0.001	0.091	<0.001	0.140	0.088
		年次	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	0.252
	2010-2011	処理	0.004	0.328	0.022	0.009	0.045	<0.001
		年次	0.038	0.836	<0.001	0.067	0.009	0.001
F-慣口と F-不狭 の比較	2007-2009*	処理	<0.001	0.786	0.219	<0.001	0.001	0.048
		年次	<0.001	0.025	<0.001	<0.001	0.177	0.071
	2010-2011	処理	0.027	0.015	0.165	0.001	0.019	<0.001
		年次	0.261	0.286	0.029	0.688	0.689	0.001

注) 粗子実重, 百粒重は, 15%水分換算値。
 *コンバイン収量のみ, 2007-2008年の平均値から算出。
 反復数は, コンバイン収量が1~2, その他は3~6。

表6 FOEASの有無と播種法が成熟期の雑草残存量に及ぼす影響

処理/年次	雑草地上部乾物重 (g/m ²)		
	2008	2009	2か年平均
対-慣口	9.4 ± 2.89	120.9 ± 34.07	65.1 ± 55.77
F-慣口	1.5 ± 0.58	12.7 ± 10.60	7.1 ± 5.60
F-不狭	1.3 ± 1.17	2.2 ± 0.94	1.7 ± 0.45

注) 3反復あるいは2カ年の平均値±標準誤差。

れたが, 処理間差はみられなかった(表7)。粗脂肪含量はF-不耕, F-慣口, 対-慣口の順, 全糖

はその逆の順で高い傾向が認められたが, その違いはわずかであり, 年次間変動も大きかった。

表7 FOEASの有無と播種法が成熟期の子実成分組成に及ぼす影響

年次	処理	粗タンパク質 (%)	粗脂肪 (%)	全糖 (%)
2007	対-慣口	42.9 ± 0.17	20.4 ± 0.09	21.5 ± 0.10
	F-慣口	41.5 ± 0.19	21.0 ± 0.11	21.7 ± 0.08
	F-不狭	42.3 ± 0.15	20.7 ± 0.09	21.7 ± 0.11
2008	対-慣口	42.2 ± 0.30	20.0 ± 0.19	23.1 ± 0.21
	F-慣口	44.5 ± 0.15	19.6 ± 0.07	21.8 ± 0.08
	F-不狭	44.5 ± 0.07	19.8 ± 0.08	21.5 ± 0.08
2010	対-慣口	43.9 ± 0.29	18.0 ± 0.27	22.8 ± 0.34
	F-慣口	43.7 ± 0.25	19.2 ± 0.39	21.8 ± 0.52
	F-不狭	42.9 ± 0.39	20.4 ± 0.22	20.9 ± 0.13
2011	対-慣口	44.4 ± 0.15	18.5 ± 0.15	21.7 ± 0.15
	F-慣口	43.5 ± 0.14	18.8 ± 0.20	22.2 ± 0.26
	F-不狭	43.5 ± 0.18	19.5 ± 0.15	21.1 ± 0.19
4カ年平均	対-慣口	43.4 ± 0.51	19.2 ± 0.58	22.3 ± 0.40
	F-慣口	43.4 ± 0.64	19.7 ± 0.49	21.9 ± 0.10
	F-不狭	43.4 ± 0.46	20.1 ± 0.28	21.3 ± 0.17

注) 各数値は子実水分が0%時の値。
 2009年は測定していない。
 3~6反復あるいは4カ年の平均値±標準誤差。

IV. 考 察

FOEASは、地下水位を制御することにより、作物に適した土壤水分環境を作出することにより、作物の生産性や品質の向上を図ることを目的としたシステムである。図5のように、現地ほ場においてFOEASによる地下水位の制御は、地下水位と土壤水分の安定化をもたらすことが可能である。盛夏で降雨が少ないときにもおよそ-50 cmよりも高い地下水位を維持して干ばつを軽減するとともに、多量の降雨後も速やかに地下水位を低下させ、作土中の余剰水を排水する効果が認められた。この実験は、比較的粘質な軽埴土が深さ0.8 m程度まで表層と類似の土壤が連続するほ場で実施しているが、このような環境下ではFOEASを用いて-30~-50 cm程度の地下水位を維持することは比較的容易であったと考えられる。

関東地域のダイズの播種適期は梅雨期と重なるため、降雨後に速やかにほ場の余剰水が排水され、播種作業が開始できることが重要である。本実験においてFOEASほ場ではほ場の排水促進により、降雨

後もより速やかに地耐力が確保された(図6)。不耕起狭畦栽培は、降雨後早期に播種作業が行えるため、梅雨時期の播種においても適期を逃すことが減少するが⁽²⁶⁾、FOEASとの組み合わせにより、さらなる播種の安定化が期待できる。不耕起播種とFOEASの組み合わせでは、FOEASにより排水性が良好に保たれ、土壤を攪拌しないので降雨後にも速やかに播種ができ、播種作業速度も99 cm/sで、慣行ロータリの3倍以上の速度で播種が可能であった。不耕起狭畦栽培における良好な出芽苗立ちにはほ場の排水性の確保が重要で⁽⁶⁾、特に播種後5日間における冠水害の回避が重要とされる⁽⁵⁾。出芽率は、対照ほ場の慣行ロータリが55%程度の年もあったが、FOEASほ場では、全ての年次の慣行ロータリ区において、70%以上の出芽率が得られた(表2)。また、FOEASと不耕起播種の組み合わせでも、全年次で80%以上の高い出芽率を得ており、出芽苗立ちが不安定な不耕起播種においても、安定して高い出芽苗立ちが得られることは特筆できよう。

中国地域の不耕起狭畦栽培においても FOEAS ほ場において出芽苗立ちの向上が認められており⁽²⁵⁾, FOEAS ほ場におけるこの高い出芽苗立ち, ダイズの安定多収化や雑草繁茂の抑制に貢献できると考えられる。

排水性に優れ, 地下水位制御により好適な土壤水分に管理された FOEAS 区で初期生育は良好であった (表 3)。出芽率の高さが, この面積当たりの生育量増大に影響していると考えられる。さらにこの現地試験ほ場は初期生育が比較的緩慢であるため, 狭畦の方が日射利用効率が高く, このことがロータリ播種と比べて不耕起狭畦の方が初期生育は優れた一因と考えられる。

みかけの光合成速度は, F-慣口は対-慣口よりも高い傾向が認められたが, それは対-慣口において両調査日の葉色がやや低いこと, 9月9日は気孔コンダクタンスが大きく低いことが関係していると考えられる⁽¹⁸⁾。このように, 対-慣口と比べて F-慣口は, 湿害緩和によって葉色が濃くなるとともに, 干ばつも回避されて気孔コンダクタンスが高くなり, その結果, みかけの光合成速度は高くなり, 乾物生産も高くなったものと考えられる。

単位面積当たりの地上部乾物重は, 開花期において対-慣口と比べて F-慣口が高く, さらに F-不耕で大きくなっている (表 3)。成熟期の地上部風乾全重も FOEAS 導入により 5 か年平均で約 1.5 倍に増大しており, さらに F-不耕で増大している (表 4)。FOEAS による乾湿害の軽減により, みかけの光合成速度が増大し, そのことが乾物生産の増大に寄与したのと考えられる。また, FOEAS ほ場では, 不耕起狭畦栽培によって慣行ロータリよりも地上部風乾全重が増大しているが, 狭畦によって生育の早い段階から光が有効利用されて乾物生産に寄与し⁽¹⁶⁾, 増収に貢献した^(4,9)ものと考えられる。このように FOEAS と省力的な不耕起狭畦栽培の組み合わせは, 乾物生産をより大きく増大させる生産技術だと考えられる。

地上部風乾全重, 稔実莢数, 粗子実重は F-不耕, F-慣口, 対-慣口の順で大きく, FOEAS と不耕起狭畦は茎葉の生育, 着莢数の増大と増収をもたらしている。一方, 生育が増大し, 稔実莢数が増えても, 一莢内粒数, 百粒重などの収量構成要素に大きな低下が起こらなかったため, 収穫指数も低下せず,

増収につながったものと考えられる。

2010 年までは, 対照区には本暗渠が無かったが, 対照区に本暗渠パイプが施工されている 2011 年においても, F-慣口は対-慣口よりも粗子実重が 38% 増収している。5 m 毎に弾丸暗渠が施工された対照ほ場に比べて, 1 m 毎に弾丸暗渠が施工され排水性が良く, さらに地下灌漑により干ばつを抑制できる FOEAS は, 本暗渠排水のみよりも高い生産性を確保できると考えられる。

FOEAS 導入の効果が最も強く現れたのは 2010 年であり, 対照ほ場のロータリ播種 (対-慣口) は低収 (60.3 gm^{-2}) であったのに対し, FOEAS ほ場はその約 3 倍 (F-慣口, 183.7 gm^{-2}) となった。2010 年は 7 月下旬から 9 月中旬にかけて高温で (図 1), 8 月中の降水が非常に少なく, 9 月は一転して降水量が非常に多かった (図 2)。そのため, 図 4 で示される水収支 (ポテンシャル蒸発量 - 降水量) は, 8 月は +5.5 mm, 9 月は -9 mm であった。2010 年はこのように 8 月は高温乾燥による干ばつと 9 月は多雨による湿害の双方が発生しやすい環境であったため, FOEAS の地下水位制御により, 乾湿害が緩和されて増収効果が顕著に表れたものと考えられる。

ダイズ作では雑草発生が大きな問題となることがあり, 雑草害の回避が大きな課題の一つとなっている。本実験において, 成熟期の雑草残存量 (表 6) は, 2 か年平均で F-不耕, F-慣口は対-慣口よりも少なかった。FOEAS による出芽苗立ちと地上部生育の良好化が雑草繁茂を抑制したと考えられ, 雑草防除の観点からも FOEAS 導入は利点があると考えられる。

ダイズの子実成分に対して, 各処理が粗タンパク質含量に及ぼす明瞭な効果は認められず, 粗脂肪と全糖への影響もわずかであった。FOEAS 試験で年次によっては子実成分に有意な差が認められた例⁽²¹⁾と明瞭な効果が認められなかった⁽¹²⁾例もあり, 実験によってやや結果が異なっている。今までにも粗タンパク質, 粗脂肪, 全糖に関して栽培条件の影響がみられなかった報告⁽²³⁾もあり。本実験では, 4 か年平均で粗タンパク質への影響は認められず, 粗脂肪と全糖への影響もわずかであった。そのため, FOEAS の有無が食品の加工適性に大きく影響するレベルの子実成分組成の違いを生じさせるとは考えにくいであろう。

今までに、FOEASを導入してダイズに増収効果が得られた報告として、Shimadaら（試験場内有底ほ場）⁽²¹⁾、Matsuoら（試験場内ほ場）の品種サチユタカの晩播⁽¹²⁾、および蓮川ら（現地ほ場）⁽⁸⁾の例がある。一方、必ずしも明瞭な効果がみられなかった事例⁽²⁵⁾もあるが、その要因として、対照区の地下水位の動向や気象や土壌条件の関与、品種間差などが想定される。

本来、ダイズの好適地下水位は-40～-50 cmを最適とする報告が多いが^(14, 15, 19)、Matsuoら⁽¹²⁾は、九州北部での試験において、対照区の地下水位も-60 cm程度で推移していた場合、フクユタカではFOEAS区での明瞭な増収効果が認められなかったとしている。そのため、FOEASを用いていなくても地下水位が-50 cm程度で安定的に存在しているほ場であれば、FOEASを導入しても増収があまり期待できない可能性がある。関東地域のタチナガハを用いた本実験では、顕著な増収効果が認められているが、九州北部においてFOEASによる増収効果は品種や播種時期によって変動すること、それには根系の発達に関与⁽¹³⁾を示唆しており、今後、技術の導入にあたっては異なる品種や播種時期における検証が必要であろう。

本実験の5カ年のデータから、気象条件もFOEAS導入効果に大きく影響していることがうかがわれ、2010年のように干ばつおよび湿害が顕著となる気象環境下でFOEASの導入効果が高くなると考えられる。日本各地ではダイズ生育期間中の水収支が異なるため⁽²⁰⁾、各地域の気象特性に応じてFOEAS導入の適否を判断することが大切と思われる。

好適な地下水位は気象条件により影響され、降雨が少ない年は-40 cmが最多収で、一方降雨が多い年は、-70 cmで収量が大きくなることが示されている⁽¹⁷⁾、また、在原ら⁽¹⁾は、浅層暗渠の高密度敷設試験において、地下水位が生産性に及ぼす効果は降

雨により影響されると推察している。FOEASで地下灌漑によりほ場全面の地下水位を一定に制御するには、施工時に幹線パイプに直交して形成される補助孔（弾丸暗渠）が灌漑水の通り道として機能する深さとなる地表下約-30 cmよりも浅いところに地下水位を設定する必要がある。そのため、降雨が多い年は、この地下水位設定ではやや高過ぎになる可能性がある。このことから、気象条件に応じて地下水位制御の設定を変えること、例えば降雨が多い場合は排水を優先するなどの対応が必要になると考えられ、今後の研究の進展が期待される。

現地における当該ほ場への灌漑水の供給は、移植水稲作の要求に合わせ、8月末までとなっており、さらに8月中においてもしばしば灌漑水の供給が停止し、その際は地下水位が一時的に低下している。また、9月以降、灌漑水の供給が停止されると、設定地下水位の維持は降雨のみに依存することとなり、降雨がしばらくしない場合は、地下水位の低下がみられた。9月は年次により水収支（ポテンシャル蒸発量、降雨）が大きく変動したが、2009年（図4）のように9月中も比較的乾燥した気象の年次もあり、このような年は9月も灌漑水の供給があった方が望ましいと考えられる。今後、FOEASを導入した地域の作付け動向によっては、灌漑水の供給期間についても改善が必要であろう。

以上から、関東地域の排水性が不良な粘質なほ場においては、FOEASの導入はダイズ栽培において、播種作業性と出芽苗立ちの向上、栄養生長の増大をもたらして増収に大きく貢献すること、さらにその栽培方法としては省力的な不耕起狭畦栽培が適すると考えられる。FOEASは、全国各地で導入が進められており、本実験を含めたこれまでの試験結果を参考として、各地の気象条件、耕種条件等を考慮し、それぞれに適したダイズの栽培技術が構築されることが期待される。

V. 摘 要

営農規模のほ場において、地下水位制御システム (FOEAS) がダイズの生産性に及ぼす影響を明らかにするため、FOEASを施工した茨城県つくば市の現地ほ場において、地下水位制御の有無と異なる栽

培法が、ダイズ栽培における播種作業性、生育、収量、子実成分組成等に及ぼす影響を解析した。処理区として、対照ほ場・慣行ロータリ播種栽培区（対-慣口）、FOEASほ場・慣行ロータリ播種栽培区（F

－慣口), FOEASほ場・不耕起狭畦栽培区 (F－不耕) の3処理を設け, 2007～2011年の5か年試験を行った。FOEASによりほ場の排水性は改善され, 降雨後の速やかな土壌水分の低下, 地耐力の向上による播種作業性の向上が図られた。出芽苗立ちは, 対照ほ場よりもFOEASほ場において, 安定的に明らかに高かった。開花期の地上部乾物重はF－不耕, F－慣口, 対－慣口の順で大きかった。FOEASほ場の方が個葉の葉色 (SPAD値) が濃く, みかけの光合成速度も高い傾向にあった。成熟期の地上部風乾全重と収量はFOEASほ場において, 対照ほ場よりも大きくなり, さらに不耕起狭畦で大きくなった。5か年平均の粗子実重は, 対－慣口に対して, F－慣口が約1.6倍, F－不耕が約2倍であった。FOEASほ場における増収効果は稔実莢数の増

加, 不耕起狭畦栽培による増収効果は, 稔実莢数と収穫指数の双方の増加がそれぞれ主として関係していた。また, FOEASによる増収効果は, 干ばつや多雨など, 蒸発散量と降水量で示される水収支が大きく変動する年で大きい傾向があった。成熟期に残存した雑草乾物重は, FOEASほ場において少なかった。FOEASほ場では青立ち程度が抑制する傾向がみられた。子実粗タンパク質含量には, 明瞭な処理間差が認められなかった。

以上から, FOEASの導入は関東地域のダイズ栽培において, 播種作業性と出芽苗立ちの向上, 栄養生長の増大をもたらして増収に大きく貢献すること, さらにその栽培方法としては省力的な不耕起狭畦栽培が適すると考えられる。

謝 辞

本試験の遂行にあたっては, 現地ほ場の利用, 管理, 調査等について故豊島治郎氏, 豊島純氏に多大なご協力を賜った。また, 中央農業総合研究センターの業務第1科からは土田一氏, 横塚清氏, 山崎公彦氏を始め, 多くの職員からダイズの栽培管理, 試験研究の遂行に当たり多大なご尽力をいただいた。

統計解析については, 中央農業総合研究センターの光永貴之博士から懇切な指導をいただいた。中央農業総合研究センター研究補助員の井上つや子氏, 堀越敬子氏には, サンプルの調製や調査にご協力いただいた。関係各位に深く感謝申し上げます。

引用文献

1. 在原克之・小柴伸夫・奥山泰河 (2007) 浅層暗渠の高密度敷設による地下水位制御が大豆の生育と収量に及ぼす影響。千葉県農業総合研究センター研究報告, 6, 103-110.
2. 藤森新作 (2007) 転換作物の安定多収をめざす地下水位調節システム。農業および園芸, 82, 570-576.
3. 藤森新作・小野寺恒雄編 (2012) 水田農業自由自在 地下水位制御システムFOEAS—導入と活用のポイント。農山漁村文化協会, 東京, 116p.
4. 古畑昌巳・森田弘彦・山下浩 (2008) 暖地での狭畦密植栽培におけるダイズ品種サチユタカの乾物と子実 生産の特徴。日本作物学会紀事, 77, 409-417.
5. 濱田千裕・釋一郎・澤田恭彦・小島元 (2007) ダイズ不耕起播種栽培の出芽期における冠水害の発生要因。日本作物学会紀事, 76, 212-218.
6. 浜口秀生・中山壮一・梅本雅 (2004) 汎用型不耕起播種機による大豆不耕起狭畦栽培マニュアル。中央農業総合研究センター研究資料, 5, 1-21.
7. 浜口秀生 (2011) “第1章 ダイズ 1.3 栽培 C 関東・東海”。豆類の栽培と利用。朝倉書店, 東京, 71-76.
8. 蓮川博之・高橋有紀・鳥塚智・河村久紀・山田善彦 (2014) 地下水位制御システム施工直後のダイズ圃場における環境影響評価と窒素収支の解明。日本土壌肥科学雑誌, 85, 509-514.
9. Heatherly, L. G. (1988). Planting Date, Row Spacing, and Irrigation Effects on Soybean

- Grown on Clay Soil. *Agron J*, 80, 227-231.
10. Hirasawa, T., K. Tanaka, D. Miyamoto, M. Takei and K. Ishihara (1994) Effects of Pre-Flowering Soil Moisture Deficits on Dry Matter Production and Ecophysiological Characteristics in Soybean Plants under Drought Conditions during Grain Filling. *Jpn J crop sci*, 63, 721-730.
 11. 昆野昭晨・福井重郎・小島睦男 (1964) 土壤水分が大豆の体内成分並びに結莢におよぼす影響. 農業技術研究所報告, D11, 111-149.
 12. Matsuo, N., M. Takahashi, H. Nakano, K. Fukami, S. Tsuchiya, S. Morita, H. Kitagawa, K. Nakano, H. Nakamoto and K. Tasaka (2013) Growth and Yield Responses of Two Soybean Cultivars Grown under Controlled Groundwater Level in Southwestern Japan. *Plant Produc Sci*, 16, 84-94.
 13. Matsuo, N., M. Takahashi, K. Fukami, S. Tsuchiya and K. Tasaka (2013) Root Growth of Two Soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] Cultivars Grown under Different Groundwater Level Conditions. *Plant Produc Sci*, 16, 374-382.
 14. 世古晴美・佐村董・加護谷栄章 (1987) 排水改良転換畑における大豆栽培の多収安定化-3-地下水位の高低と灌水の影響. 兵庫県農業総合センター-研究報告, 35, 21-24.
 15. 柴田悖次・遠藤武男 (1976) 転換畑における地下水位の相違によるダイズの生育反応. 東北農業研究, 18, 104-107.
 16. Shibles, R.M. and C.R. Weber (1966). Interception of Solar Radiation and Dry Matter Production by Various Soybean Planting Patterns. *Crop Sci*, 6, 55-59.
 17. Shimada, S., M. Kokubun and S. Matsui (1995) Effects of Water Table on Physiological Traits and Yield of Soybean: I. Effects of water table and rainfall on leaf chlorophyll content, root growth and yield. *Jpn J crop sci*, 64, 294-303.
 18. Shimada, S., M. Kokubun and S. Matsui (1997) Effects of Water Table on Physiological Traits and Yield of Soybean: II. Effects of water table and rainfall on leaf water potential and photosynthesis. *Jpn J crop sci*, 66, 108-117.
 19. 島田信二 (2002) “第2章 生理生態. 3.環境ストレス. (2) 干害.”. 大豆 自給率向上に向けた技術開発 農林水産研究文献解題. 農林統計協会, 東京, 184-193.
 20. 島田信二 (2011) ダイズの高位安定生産を可能とする地下水位制御技術, 農林水産技術研究ジャーナル, 34, 34-39.
 21. Shimada, S., H. Hamaguchi, Y. Kim, K. Matsuura, M. Kato, T. Kokuryu, J. Tazawa and S. Fujimori (2012) Effects of Water Table Control by Farm-Oriented Enhancing Aquatic System on Photosynthesis, Nodule Nitrogen Fixation, and Yield of Soybeans. *Plant Produc Sci*, 15, 132-143.
 22. 杉本秀樹 (1994) 水田転換畑におけるダイズの湿害に関する生理・生態学的研究. 愛媛大学農学部紀要, 39, 75-134.
 23. 平春枝・平宏和・小沢栄二・佐々木邦年 (1977) 水田転換畑栽培による大豆種子の化学成分組成. 日本作物学会紀事, 46, 103-110.
 24. 高橋智紀 (2015) 粘土質転換畑のダイズ増収を目的とした土壌特性および耕うんに対する生育反応の解明. 中央農業総合研究センター研究報告, 23, 23-84.
 25. 竹田博之・佐々木良治 (2013) 転換畑ダイズ不耕起栽培における地下水位制御システムを利用した梅雨期および梅雨明け後播種栽培. 日本作物学会紀事, 82, 233-241.
 26. 梅本雅 (2006) 稲-麦-大豆不耕起栽培を基軸とする高生産性水田輪作体系の経営的評価. 農業機械学会誌, 68, 4-8.

Effects of Water Table Control by Farm-Oriented Enhancement for Aquatic System and Non-tillage Narrow Row Cultivation of Soybeans (*Glycine max*) at a Farmer's Field in Kanto Region

Shinji Shimada*¹, Tomiya Maekawa*¹, Hideo Hamaguchi*¹,
Kosuke Wakasugi*² and Shinsaku Fujimori*³

Summary

We attempted to clarify the effects of water table control by farm-oriented enhancement for aquatic system (FOEAS) and non-tillage cultivation on seeding efficiency, growth, yield, and seed component of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) grown on farmer's fields in Tsukuba, Ibaraki.

The experiment was performed for five years (2007-2011) by using three cultivation methods: control field using conventional rotary seeding (CC), FOEAS field with conventional rotary seeding (FC), and FOEAS field with non-tillage narrow row cultivation (FN).

The results showed that drainage improved in the FOEAS field, resulting in rapid lowering of soil moisture with higher soil bearing capacity after rainfall than that in the CC, and seeding efficiency was improved in the FOEAS field. Emergence was obviously higher and stabler in the FOEAS field than in the CC. Shoot dry weight at flowering was higher in the order of FN > FC > CC. The leaflet color (SPAD value) was darker and apparent photosynthetic rate

was higher in plants grown in the FOEAS field. The shoot dry weight at maturity and seed yield were higher in the order of FN > FC > CC. Average seed yields of 5 years by FC and FN were 1.6 and 2 times higher, respectively, than that by CC. The high seed yield by FC was because of ripened pod number, and that by FN was because of ripened pod number and harvest index. It seems that yield increase by FC compared to CC was high in the year with large disturbances in water balance, such as severe drought, and excess moisture injury occurred.

In addition, the dry weight of weeds was less in FOEAS fields. Further, green stem syndrome seemed to be lesser in the FOEAS fields than in the CC. No obvious effect of the cultivation methods was noted on the seed crude protein content.

Our results suggest that FOEAS improves seeding efficiency, emergence, growth, and yield of soybeans, and non-tillage narrow row cultivation with FOEAS is suitable for Kanto region.

*1 Central Region Agricultural Research Center, NARO

*2 Institute for Rural Engineering, NARO

*3 former National Agriculture and Food Research Organization