

関東地域の地下水位制御システム (FOEAS) 現地圃場における不耕起と狭畦がダイズの生産性に及ぼす影響

前川富也¹⁾・島田信二¹⁾・浜口秀生¹⁾・加藤雅康²⁾・藤森新作³⁾

(¹⁾ 農研機構中央農業研究センター, (²⁾ 国際農林水産業研究センター, (³⁾ 元農業・食品産業技術総合研究機構)

要旨: 日本のダイズ作は約 80% が水田転換畑で栽培され, 土壌水分の乾湿がダイズ生産に大きな問題を生じさせている. 近年, 地下水位をコントロールするシステムが開発され, 栽培方法との組み合わせの効果についての情報が求められている. そこで, 地下水位制御システム (FOEAS) のメリットを生かした関東地域におけるダイズ栽培方法の確立を目的として, FOEAS 圃場において, 不耕起狭畦栽培, ロータリ狭畦栽培, 慣行ロータリ栽培の 3 つの栽培法による生育, 収量, 作業性等への影響を解析した. 不耕起狭畦栽培において FOEAS 圃場は対照圃場より, 2011, 2012 年平均で収量が 25%, 窒素固定量が 24% 増加しており, FOEAS 導入の効果が認められた. FOEAS 圃場における不耕起狭畦栽培では, 苗立率, 生育量, 莢数, 粒数, 百粒重の増加によって, ロータリ狭畦栽培よりも 12% の増収 (2010-2012 年平均), 慣行ロータリ栽培より 69% の増収 (2011, 2012 年平均) となった. また, 刈り損じなどを含む実際の収穫量であるコンバイン収量は, 倒伏指数が低いことにより, 2010, 2011 年平均で不耕起狭畦栽培はロータリ狭畦栽培に比べ 15%, 慣行ロータリ栽培に比べて 40% 増収した. 増収のほかに, 不耕起狭畦栽培は, ロータリ耕起の栽培方法と比べて, 地耐力が高く, 降雨後も速やかに作業ができること, 播種スピードが速いこと, 雑草発生量が少ないこと, 中耕培土を省略できることなど, 作業性や圃場管理の点で多くの利点を有する. よって, FOEAS 圃場と不耕起狭畦栽培の組み合わせは, ダイズの安定生産に大きく貢献できる栽培法であると考えられる.

キーワード: 狭畦, ダイズ, 地下水位, FOEAS, 不耕起.

日本ではダイズの約 80% 以上が水田転換畑にて栽培されている.

日本の最近 25 年間のダイズ平均単収は約 1.64 t ha^{-1} で, ダイズ主要生産国である北南米のアメリカ合衆国は 2.6 t ha^{-1} , ブラジルは 2.4 t ha^{-1} と比較すると約 1 t ha^{-1} も低い (FAOSTAT 1988-2013). また, アメリカ, ブラジル等のダイズ単収 (生産性) がここ数十年間で着実に増加しているのに対し, 日本のダイズ単収 (生産性) は, ほぼ横ばいまたは低下してきている (Wilcox 2004). さらにアメリカにおいては最近では 10 t ha^{-1} 以上の収量をあげた報告もある (島田ら 2012).

日本の水田転換畑でのダイズ生産は, 梅雨時期の湿害や夏季に起こる乾燥害による両方のダメージで生産性を高めることが難しい状況にある. しかし, 水田転換畑で 5 t ha^{-1} 以上の多収になった例も存在する (大沼ら 1981, 中世古ら 1984, 島田ら 1990). アメリカの多収事例のほとんどは畑作のトウモロコシとの輪作であり, 日本と状況が異なる. 日本の場合は, 前述のように水田転換畑での栽培であり, まだ大部分の転換畑での単収は, 低くて安定しておらず, 水田転換畑でのダイズ栽培の多収化, 安定化を図る栽培技術の開発が求められている.

以前の研究で, ダイズの成長や光合成速度は地下水位により影響を受けることや多収を得るためには最適な地下水

位深があることが報告されている (Shimada et al. 1995, Shimada et al. 1997). しかしながら, これらの報告は実験用のライシメーターで行われており, 農家圃場レベルでは精密な地下水位コントロールは困難であった. しかし, 近年開発された地下水位制御システム (FOEAS: farm-oriented enhancement for aquatic system) は, 農家圃場での地下水位コントロールを可能にした (藤森 2007). その後, FOEAS を敷設した実験圃場 (有底) において, 本システムを用いた地下水位の制御により, 光合成, 窒素固定能などが向上し, 結果としてダイズの収量を増加させると報告されている (Shimada et al. 2012).

関東地域ではムギ類とダイズの二年三作体系が過半を占め (農林水産省調べ), ムギ類の収穫とダイズの播種が梅雨時期にあたるために, 降雨によりダイズの播種作業が遅れやすい. また, 前作ムギとの作業の競合による播種作業遅延の回避技術として, 水田転換畑での不耕起栽培が検討され, 適期播種作業による安定生産の確保が試みられている (長野間 2000, 濱口ら 2004). しかし, 不耕起栽培は平らな田面に播種溝を作り播種するため, 排水対策が充分でない場合, 溝やゆがみに水が溜まり湿害が生じ易い. 不耕起栽培における湿害対策の基本は明渠と暗渠を組み合わせた徹底した排水である (濱口ら 2004). 加えて, 不耕起栽培にとってのもう 1 つの問題は除草である. 不耕起栽培の場合, 雑

草対策はダイズによる抑草効果と除草剤に依存する。そのため、ダイズの抑草効果をあげるために、栽植密度を高める必要があり、一般的にはより早く圃場表面を覆う狭畦栽培が実施される(濱口ら 2004, 国分 2010)。浜口らは中耕培土を省略した不耕起栽培、不耕起狭畦栽培で慣行耕起栽培と同等以上の収量を得ることができると報告している(浜口 2008)。排水性に優れた FOEAS を使用した場合、不耕起栽培での主要な課題である圃場の排水性が期待できるので、新たな排水作業を行わずに安定生産が行える可能性がある。また、不耕起栽培では雑草防除の観点から、畝幅 30 cm 程度の狭畦栽培が広く実施されるが、不耕起と畝幅によるそれぞれの効果は必ずしも明確とはなっていない。

そこで本報では、FOEAS 圃場のメリットを生かした関東地域における栽培方法の確立を目的として、不耕起と狭畦による効果を FOEAS 圃場において解析し、ダイズの生産性をより向上、安定させる栽培技術の可能性を検討した。

材料と方法

茨城県つくば市内の農家圃場に FOEAS (地下水位制御システム) を設置した。FOEAS は、地下から灌漑水を供給し、地下水位を地表 +20~−30 cm の範囲で制御できるシステムである(藤森 2007)。圃場の土壌は黒泥土(埴土)であった。使用した圃場は水稻-コムギ-ダイズ-コムギ-ダイズの 3 年 5 作の水田転換畑であった。2010、2012 年は輪作体系 2 年目のダイズ、2011 年は輪作体系 3 年目のダイズとなる。2010 と 2011 年は同じ圃場 (70a) を継続して用い、2012 年はローテーションを行い近接した圃場 (65a) を用いた。

対照圃場として FOEAS 圃場に隣接する圃場を用い、2010 年は本暗渠なしで明渠による排水対策を実施した圃場 (42a)、2011、2012 年は本暗渠施工圃場に額縁明渠と弾丸暗渠を 5 m 毎に施工した圃場 (42a, 34a) を用いた。

化成肥料 ($\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$: 5-20-20 %) を毎年 50 kg 10a^{-1} で施用した。また、ようりんは 2010 年は 60 kg 10a^{-1} 、2011、2012 年は、80 kg 10a^{-1} 施用した。供試品種としてタチナガハ (根粒着生種) を用いた。また、実験区の一部に、根粒窒素固定能の評価のために根粒非着生系統の En1282 (Francisco and Akao 1993) を手で播種した。En1282 はエンレイから派生した根粒非着生系統であるが、熟期がタチナガハに類似しているため今回の試験に用いた。種子にはチウラム水和剤 (商品名: キヒゲン R-2 フロアブル) を規定量の種子重の 2% 分を塗抹した。播種は、2010 年 7 月 5-6 日、2011 年 7 月 4-5 日、2012 年 7 月 10-11 日に行った。中耕培土は、2010 年 8 月 3 日、2011 年 8 月 3-4 日、2012 年 8 月 8 日に行った。開花日は、2010 年 8 月 11 日、2011 年 8 月 11 日、2012 年 8 月 15 日であった。子実肥大期 (R5) に生育調査を行った。R5 のサンプリングは、2010 年 9 月 7 日、2011 年 9 月 7 日、2012 年 9 月 12 日に行った。坪刈り収穫は、2010 年 11 月 15 日、2011 年 11 月 10 日、2012

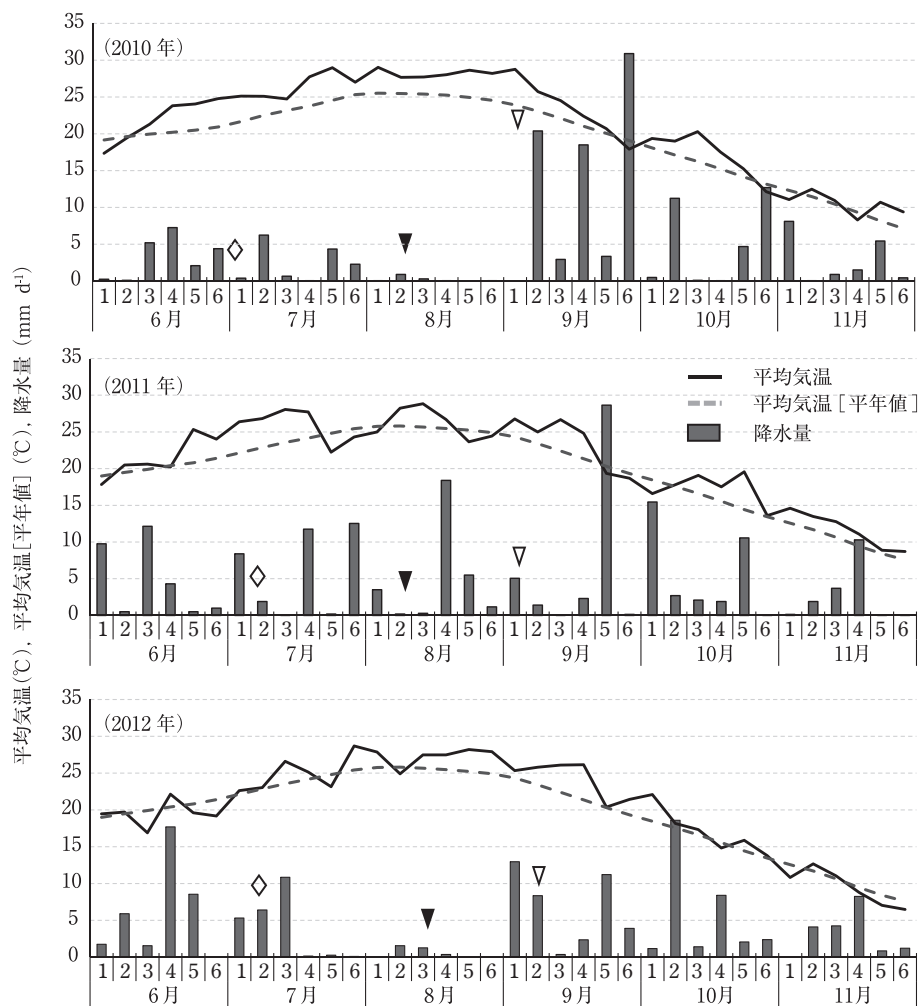
年 11 月 5 日に行った。なお、生育ステージは Fehr et al. (1971) に従って示した。

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

FOEAS 圃場は播種後、地下水位を地表下 −30 cm に設定した。現地の地域給水が 8 月 31 日までなので、その後は地下からの給水ができなかった。また、8 月 31 日以前にも一時的に給水が停止した期間があった。対照圃場 (2011、2012 年) は本暗渠管を生育期間中常に解放とした。

施肥、播種作業の容易化のため、前作のコムギのコンバイン収穫後にストローチョップによって刈り株跡、残茬の粉碎を行った。栽培方法は、慣行ロータリ栽培、ロータリ狭畦栽培、不耕起狭畦栽培の 3 処理設けた。処理区の組み合わせは年次によって異なり、2010 年は、対照圃場では慣行ロータリ栽培、FOEAS 圃場では慣行ロータリ栽培、ロータリ狭畦栽培、不耕起狭畦栽培を行い、2011、2012 年は、対照圃場では慣行ロータリ栽培と不耕起狭畦栽培、FOEAS 圃場では慣行ロータリ栽培、ロータリ狭畦栽培、不耕起狭畦栽培を行った。慣行ロータリ栽培は畝幅 0.7 m で株間 0.15 m の 2 粒播、栽植密度 19.1 本 m^{-2} をロータリーシード (播種幅 2.1 m, NIPL0, 松山株式会社, 上田) を用いて、事前耕起せずに耕起深約 13 cm の深さで正転ロータリで耕耘しながら 1 工程で播種した。ロータリ狭畦栽培は、畝幅 0.3 m で株間 0.14 m の 1 粒播、栽植密度 23.8 本 m^{-2} を同じロータリーシードを用い、播種幅 1.8 m で播いた。不耕起狭畦栽培は、畝幅 0.3 m で株間 0.14 m の 1 粒播、栽植密度 23.8 本 m^{-2} を不耕起播種機 (播種幅 1.8 m, NSV600, 松山株式会社, 上田) で播種した。2012 年の慣行ロータリ栽培は、播種機調整の失敗から栽植密度が設定値を大きく下回ったため、本実験の解析には用いなかった。根粒非着生系統 En1282 は、2011、2012 年を通して、慣行ロータリ栽培の実験区の一部に慣行ロータリ栽培と同じ栽培密度で手播きした。

2010 年は、対照圃場では慣行ロータリ栽培で 5 工程分 (10.5 m × 99 m) が 2 ブロック、FOEAS 圃場では慣行ロータリ栽培で 4 工程 (8.4 m × 99 m) が 3 ブロック、ロータリ狭畦栽培で 4 工程 (7.2 m × 99 m) が 3 ブロック、不耕起狭畦栽培で 5 工程 (9 m × 99 m) が 3 ブロックの試験区を設定した。2011 年は、対照圃場では慣行ロータリ栽培で 3 工程 (6.3 m × 99 m) を 2 ブロック、不耕起狭畦栽培で 2 工程 (3.6 m × 99 m) が 2 ブロック、FOEAS 圃場では慣行ロータリ栽培で 4 工程 (8.4 m × 99 m) が 2 ブロック、



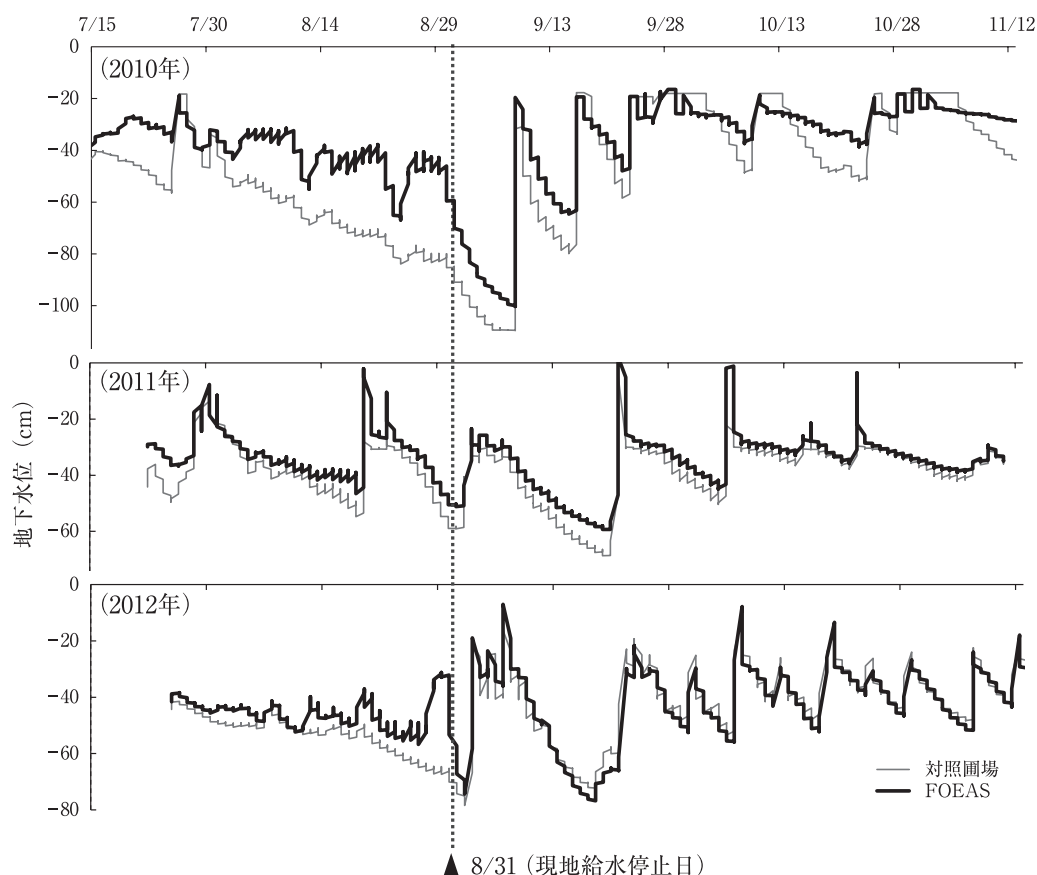
第1図 各年度の平均気温、平均気温の平年値、降水量を半月ごとに平均した気象データの推移。
◇：播種日、▼：開花日、▽：R5期を示す。

ロータリ狭畦栽培で4工程 (7.2 m × 99 m) が2ブロック、不耕起狭畦栽培で4工程 (7.2 m × 99 m) が2ブロックの試験区を設定した。2012年は、対照圃場では慣行ロータリ栽培で3工程 (6.3 m × 99 m) と4工程 (8.4 m × 99 m) の2ブロック、不耕起狭畦栽培では3工程 (5.4 m × 99 m) が2ブロック、FOEAS圃場では慣行ロータリ栽培で2工程 (4.2 m × 99 m) が2ブロック、ロータリ狭畦栽培で2工程 (3.6 m × 99 m) が2ブロック、不耕起狭畦栽培で2工程 (3.6 m × 99 m) が2ブロックを設置した。R5のサンプル面積は、約0.6–1.25 m²で行った。また、収量調査に関しては各ブロックとも無作為に3ヶ所の坪刈りを行い、その坪刈りは枝分かれデザインとして解析した。総坪刈り面積は、2010、2011年は慣行ロータリ栽培で13.23 m²、ロータリ狭畦・不耕起狭畦栽培で11.34 m²、2012年は慣行ロータリ栽培で9.45 m²、ロータリ狭畦・不耕起狭畦栽培で5.4 m²であった。

播種前に、土壌水分計 FIELD SCOUT TDR300 PROBE (Spectrum Technologies Inc., Aurora, IL, USA) を用いて、12 cm 深までの土壌水分を測定した。加えて、ダイズ栽培中

の土壌の容積含水率を地表から5、15 cm 深さで EC-5 (Decagon Devices Inc., Pullman, WA, USA) を用いて経時的に測定した。地下水位は、UIZ-WLR100 (Uizin Co., 東京) と D&L mini (OYO, 茨城) で測定した。播種作業をビデオ HDC-HS300 (パナソニック、大阪) で録画し、各栽培方法の作業時間を測定した。また、播種前と収穫後に土壌硬度計 (アナログ貫入式土壌硬度計, DIK-5521 あるいはデジタル貫入式土壌硬度計, DIK-5331) (大起理化工業株式会社, 埼玉) を用いて、地表から地下 60 cm までの土壌硬度を測定した。収穫時の倒伏程度 (注：東北農業試験場 1974) と青立ち程度は達観により判定した (古屋・梅崎 1993)。傾斜度は草高を草丈で除して求めた。FOEAS圃場における狭畦栽培期間の R5 期と収穫期の残存雑草量は、各区内 4 カ所から採取した。2011 年は、狭畦栽培 0.3 m × 1.5 m × 2 畝で 0.9 m²、2012 年は狭畦栽培 0.3 × 1 m で 0.3 m² の全雑草を採取し、種の数と乾物重を調査した。

2010–2012 年の 3 年間、生育調査、収穫調査を行った。乾物重は 80℃ で 48 時間以上乾燥させた後に測定した。コンバイン収量の調査は、2010、2011 年に行った。収穫は、



第2図 2010, 2011, 2012年度のFOEAS圃場, 対照圃場の地下水位の推移。
点線, ▲: 現地給水停止日を示す。

三菱汎用コンバイン MCH380 (刈り幅 1.5 m, 三菱マヒンドラ農機, 島根) を用い, 試験区の長辺方向の 1 工程約 90 m 分を刈り取り, 得られた種子重量を計量した. FOEAS 圃場における栽培法の違いに関しては, 2010–2012 年の 3 年間のデータで解析し, 不耕起狭畦栽培における FOEAS の効果については, 2011, 2012 年のデータを用いて解析した. 根粒窒素固定の推定は, タチナガハの窒素含量から En1282 の窒素含量を引いた差引法を用いた (Shiraiwa et al. 1994). 子実肥大期 (R5) の根粒由来の窒素含量は, 根粒非着生系統 En1282 の 2 年間 (2011, 2012) の平均値を用いて算出した. また, 収穫期の根粒由来窒素含量は, 同じ年度の根粒非着生系統 En1282 のデータを用いて算出した. 根粒由来の窒素含量 (g m^{-2}) は, $[\text{根粒由来の窒素含量, g m}^{-2}] = [\text{タチナガハの各栽培方法での窒素含量, g m}^{-2}] - [\text{慣行ロータリ栽培と同じ栽植密度で手播した En1282 の窒素含量, g m}^{-2}]$ で算出した. 種子の粗タンパク含量, 油分含量, 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.

統計解析は, JMP (SAS インスティテュート, 東京, Japan) を用いて分散分析と多重比較を行った. 統計処理は, 年度ごとに行い, 不耕起狭畦栽培における FOEAS の効果については, Student の t 検定, FOEAS 圃場における 3 種

類の播種方法の比較においては Tukey の多重検定を用いた. 但し, 2012 年は慣行ロータリ栽培のデータがないため, Student の t 検定を用いた.

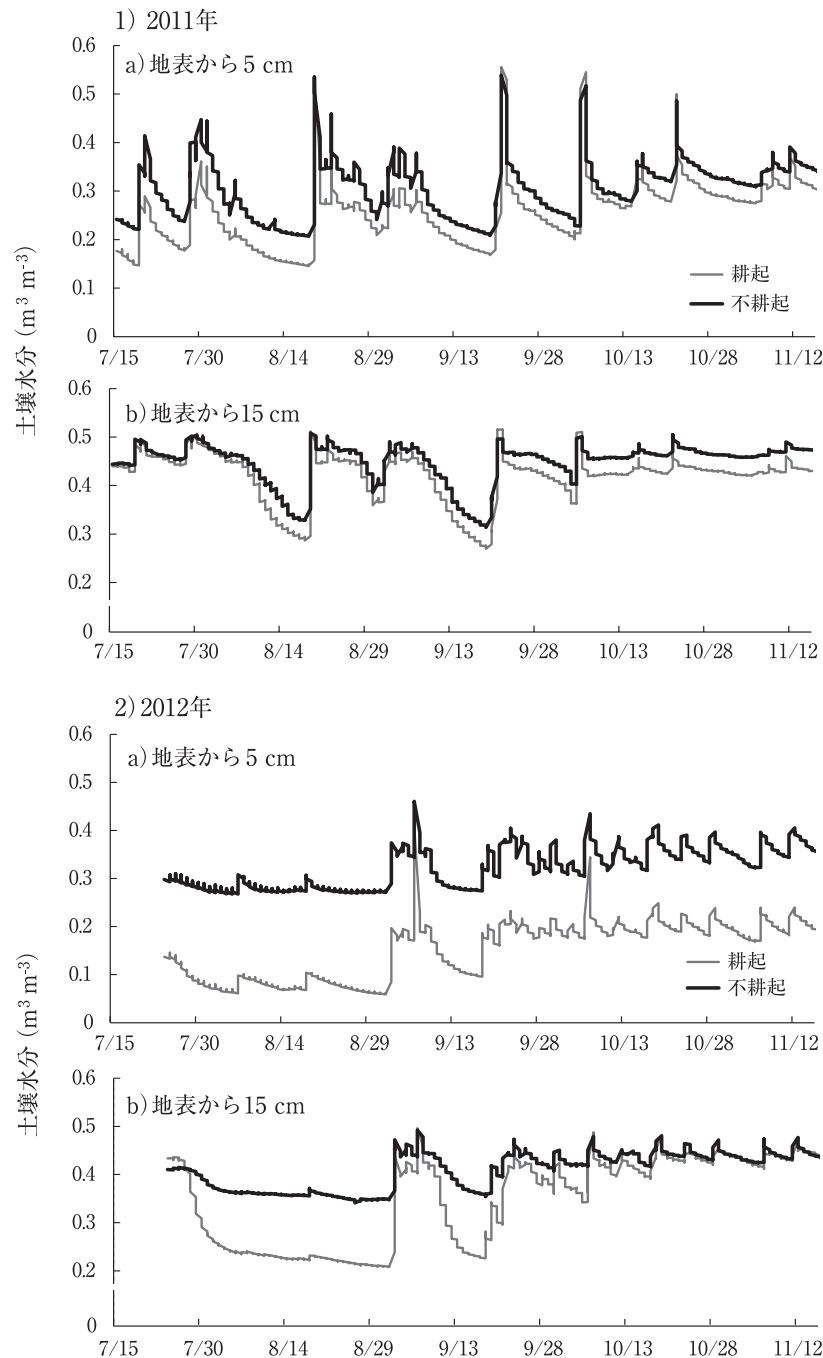
各年次内における平均値の比較ではその年次内のブロックを变量効果として考え統計解析を行った. また, コンバイン収量, 残存雑草, 不耕起狭畦栽培における FOEAS の効果, 土壌水分に関しては年次を变量効果として, 統計解析を行った. コンバイン収量は Tukey の事後検定, それ以外は Student の t 検定を用いた.

気象データは, 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) の平均気温, 平均気温の平年値, 降水量を用いた.

結 果

1. 気象条件と土壌水分

各年度の平均気温, 平均気温の平年値, 降水量を半旬ごとに平均した気象データを第1図に示した. 試験をおこなった3年間では2010年7月の第3–4半旬から9月の第1半旬, および2012年の7月第4半旬から8月第6半旬までが特に高温少雨の期間であった. また, 両年ともほぼ1ヶ月程度雨が降らない時期があった. それに対し, 2011年は6, 7, 8月の降水量が多く, 適度なタイミングで降る



第3図 2011, 2012年度のFOEAS圃場の地表から5 cm, 15 cmの土壌水分の推移.

比較的冷涼な夏であった。また、2010年は、6, 7, 8月に降雨が少なく、一転して9月に著しい降雨があった。どの年においても、台風などで短期間に著しい降雨があった場合は、一時的に圃場の地表面に水が滞ることもあったが、遅くとも2, 3日以内には水面は低下した。地下水位は -30 cmに設定したが、実際の圃場では -30 cmに一定とすることはできなかった。しかし、対照圃場と比較するとFOEAS圃場では各年とも灌漑水が供給されている間は、地下水位が対照圃場よりも高く維持されていた(第2図)。

2011年, 2012年のFOEAS圃場の地表から5 cm, 15 cm

の土壌水分の推移を第3図に示した。2010年の土壌水分のデータは、耕起区のみでしか測定していないので、本論文では省略した。比較的適度な雨があり冷涼な夏であった2011年は、地表から5 cmでも15 cmでもFOEAS圃場の耕起, 不耕起間には大きな差がなく、類似した水分変動がみられたが、全般的に耕起の方がより乾燥する傾向があった(第3図1a)。それに対して、高温小雨の年であった2012年は、地下灌漑の給水期間はほぼ一定で推移した。しかし、耕起と不耕起の間に大きな差があり、常に耕起区で乾燥していた。また、耕起・不耕起の間の水分変動は、似

第1表 FOEAS 圃場における栽培方法の違いが播種速度に及ぼす影響.

年度	栽培方法	速度 (km h^{-1})
2010	不耕起狭畦	3.59 ^a
	ロータリ狭畦	1.41 ^b
	慣行ロータリ	1.32 ^b
2011	不耕起狭畦	3.10 ^a
	ロータリ狭畦	1.35 ^b
	慣行ロータリ	1.25 ^b
2012	不耕起狭畦	3.47 ^a
	ロータリ狭畦	0.74 ^b
	慣行ロータリ	—

- 1) 2012 年の慣行ロータリ栽培は、播種機調整の失敗のためデータから削除.
- 2) 処理間の同じアルファベット間には5%水準で有意差はない. 事後検定は Tukey の多重検定を用いた. 但し, 2012 年は Student の t 検定を用いた.

第2表 FOEAS 圃場における栽培方法の違いが苗立ち数, 苗立率へ及ぼす影響.

年度	栽培方法	苗立ち数 (本 m^{-2})	苗立率 (%)
2010	不耕起狭畦	22.03 ^a	92.5 ^a
	ロータリ狭畦	19.91 ^b	83.6 ^b
	慣行ロータリ	15.28 ^c	80.2 ^b
2011	不耕起狭畦	21.99 ^a	92.4 ^a
	ロータリ狭畦	19.21 ^b	80.7 ^b
	慣行ロータリ	17.41 ^b	91.4 ^a
2012	不耕起狭畦	21.30 ^a	89.4 ^a
	ロータリ狭畦	17.28 ^b	72.6 ^b
	慣行ロータリ	—	—

- 1) 栽植密度の設定値は, 不耕起狭畦栽培, 不耕起ロータリ栽培: 23.8 本 m^{-2} , 慣行ロータリ栽培: 19.1 本 m^{-2} .
- 2) 処理間の同じアルファベット間には5%水準で有意差はない. 苗立ち率は逆正弦変換後に検定した. 事後検定は Tukey の多重検定を用いた. 但し, 2012 年は Student の t 検定を用いた.

第3表 FOEAS 圃場における栽培方法の違いが子実肥大始期 (R5) の生育量へ及ぼす影響.

年度	栽培方法	立毛数 (m^{-2})	LAI	全乾物重 (g m^{-2})	全窒素含量 (g m^{-2})	根粒由来の全窒素量 (g m^{-2})
2010	不耕起狭畦	25.6 ^a	6.28 ^a	826.5 ^a	26.3 ^a	—
	ロータリ狭畦	24.4 ^a	5.83 ^a	817.4 ^a	26.6 ^a	—
	慣行ロータリ	15.1 ^b	4.18 ^b	534.8 ^b	17.1 ^b	—
2011	不耕起狭畦	27.8	7.63	839.3	22.2	19.0
	ロータリ狭畦	23.9	6.89	882.7	21.8	18.6
	慣行ロータリ	19.5	5.92	708.5	16.3	13.2
2012	不耕起狭畦	18.0	5.19	582.3	14.3	10.8
	ロータリ狭畦	13.5	4.38	548.7	13.8	10.3
	慣行ロータリ	—	—	—	—	—

- 1) 処理間の同じアルファベット間には5%水準で有意差はない. 事後検定は Tukey の多重検定を用いた. 但し, 2012 年は Student の t 検定を用いた.
- 2) 根粒由来の窒素の算出に用いた En1282 の乾物重, 窒素含量のデータは, 2011 年と 2012 年の平均値から算出している. En1282 (2010 年) のデータはない.
- 3) FOEAS- 慣行ロータリ栽培の En1282 の窒素含量 (g m^{-2}) は, 2011 年 3.15, 2012 年 3.48, 2011-2012 年 3.31.

ていたが, その振れ幅は耕起区で大きかった (第3図2) b).

2. FOEAS 圃場における栽培方法の違いがダイズの生育・収量へ及ぼす影響

(1) 播種速度

第1表は, FOEAS 圃場における栽培法の違いが播種速度へ及ぼす影響を示したものである. 3年間を通して, 不耕起狭畦栽培は他の2つの栽培方法 (ロータリ狭畦栽培・慣行ロータリ栽培) より有意に早く播種できた (第1表).

(2) 苗立ち

FOEAS 圃場における栽培方法の違いが苗立ち数, 苗立率に及ぼす影響を第2表に示した. 苗立ち数は, 不耕起狭畦栽培, ロータリ狭畦栽培, 慣行ロータリ栽培の順で高い

傾向があった. また, 苗立率は, 不耕起狭畦栽培が他の2方法よりも高い傾向があった.

各年度の内訳をみると, 2010 年の苗立ち数は不耕起狭畦栽培が有意に高く, 慣行ロータリ栽培で有意に低かった. 加えて, 2010 年の苗立率は不耕起狭畦栽培が他の2方法よりも有意に高かった. 2011 年, 2012 年はロータリ狭畦栽培の苗立率が有意に低く, また, 苗立ち数は, 不耕起狭畦栽培で有意に高かった.

以上のことから, FOEAS 圃場においては, 不耕起狭畦栽培が他の2方法よりも苗立ち数, 苗立率が高いことがわかった.

(3) 生育量と窒素含量

第3表は, FOEAS 圃場における栽培法の違いがダイズ

第4表 FOEAS 圃場における栽培方法の違いが収量・収量構成要素に及ぼす影響.

年度	栽培方法	収量 (g m^{-2})	百粒重 (g)	莢数 (m^{-2})	粒数 (m^{-2})	1 莢内 粒数	収穫 指数	株数 (m^{-2})	全乾物重 (g m^{-2})	青立指数
2010	不耕起狭畦	301.7 ^a	34.7 ^a	467.0 ^a	869.8 ^a	1.88 ^a	0.49 ^a	19.1 ^a	613.0 ^a	2.78
	ロータリ狭畦	294.3 ^a	34.8 ^a	460.7 ^a	844.6 ^a	1.86 ^a	0.46 ^a	17.1 ^b	635.7 ^a	2.89
	慣行ロータリ	183.7 ^b	32.1 ^b	349.8 ^b	556.8 ^b	1.54 ^b	0.36 ^b	13.1 ^b	487.7 ^b	3.44
2011	不耕起狭畦	303.1 ^a	35.4	490.3 ^a	856.4 ^a	1.74 ^{ab}	0.47 ^a	20.5 ^a	646.2 ^a	3.67
	ロータリ狭畦	263.3 ^{ab}	35.3	393.4 ^b	746.2 ^{ab}	1.90 ^a	0.48 ^a	16.4 ^b	550.2 ^{ab}	4.17
	慣行ロータリ	205.3 ^b	35.1	416.1 ^{ab}	585.3 ^b	1.43 ^b	0.40 ^b	14.6 ^b	499.0 ^b	4.17
2012	不耕起狭畦	387.0 ^a	37.8	747.1	1024.0 ^a	1.49	0.57	18.3	681.1 ^a	3.00
	ロータリ狭畦	312.0 ^b	37.9	494.2	824.1 ^b	1.65	0.52	15.9	588.4 ^b	4.00
	慣行ロータリ	—	—	—	—	—	—	—	—	—

1) 処理間の同じアルファベット間には5%で有意差はない. 事後検定は Tukey の多重検定を用いた. 但し, 2012 年は Student の t 検定を用いた.

2) 収量, 百粒重は水分を 15% で換算した. 用いた品種は, タチナガハ.

3) 青立指数は, 0: 無, 1: 微, 2: 少, 3: 中, 4: 多, 5: 甚 を示す.

4) 収穫指数 = 収量 (g m^{-2}) / 全乾物重 (g m^{-2}).

の子実肥大始期の生育量に及ぼす影響を示したものである. 子実肥大始期 (R5 期) の生育量は, 2010 年のみに有意差があり, 不耕起狭畦栽培・ロータリ狭畦栽培が慣行ロータリ栽培より高かった. 立毛数と LAI は, 不耕起狭畦栽培, ロータリ狭畦栽培, 慣行ロータリ栽培の順で高い傾向を示した. 全乾物重は不耕起狭畦栽培・ロータリ狭畦栽培が慣行ロータリ栽培よりも大きい傾向だった.

全窒素含量は慣行ロータリ栽培で低い傾向があり, 2010 年は有意差が認められた. 根粒由来の全窒素量は不耕起狭畦栽培が最も多い傾向にあった.

(4) 収量および収量構成要素

FOEAS 圃場における栽培方法の違いが収量・収量構成要素に及ぼす影響を第4表に示した.

各年度の収量・収量構成要素をみると, 2010, 2011 年度の不耕起狭畦は, 収量, 粒数, 1 莢内粒数, 収穫指数, 全乾物重で慣行ロータリ栽培より有意に高かった. 2012 年は, 慣行ロータリ栽培のデータがないが, 不耕起狭畦栽培が, 収量, 粒数, 全乾物重でロータリ狭畦栽培より有意に高かった. また, 青立指数には3年間のどの年にも各年内では有意な差がなかったが, 不耕起狭畦栽培が3カ年ともに最も低かった. 百粒重は2010年に慣行ロータリ栽培で有意に小さかったが, それ以外の年は有意差がなかった. 収穫時の最終的な株数は, 2012年以外の年に関しては, 不耕起狭畦栽培が有意に最も高く, 続いてロータリ狭畦栽培, 慣行ロータリ栽培の順であった.

以上のことから, FOEAS 圃場においては, 慣行ロータリ栽培より, 狭畦栽培により単位面積あたりの乾物重 (バイオマス) の増加があり, それを通じて, 収量・収量構成要素が増加することで有意な増収効果がみられる結果となった.

(5) 倒伏指数

FOEAS 圃場における栽培方法の違いが主茎長, 傾斜度

第5表 FOEAS 圃場における栽培方法の違いが主茎長, 傾斜度, 倒伏指数に及ぼす影響.

年度	栽培方法	主茎長 (cm)	傾斜度	倒伏 指数
2010	不耕起狭畦	64.9 ^a	0.97 ^a	0.89 ^b
	ロータリ狭畦	65.0 ^a	0.51 ^b	3.73 ^a
	慣行ロータリ	45.0 ^b	0.98 ^a	0.44 ^b
2011	不耕起狭畦	71.2	0.80 ^a	2.46 ^b
	ロータリ狭畦	67.0	0.72 ^b	3.21 ^a
	慣行ロータリ	67.4	0.87 ^a	2.36 ^b
2012	不耕起狭畦	47.2	0.99	0.17
	ロータリ狭畦	49.0	0.96	1.08
	慣行ロータリ	—	—	—

1) 傾斜度 = 草高 / 草丈 で算出.

2) 処理間の同じアルファベット間には5%水準で有意差はない. 事後検定は Tukey の多重検定を用いた. 但し, 2012 年は Student の t 検定を用いた.

3) 倒伏指数は, 0: 無, 1: 微, 2: 少, 3: 中, 4: 多, 5: 甚 を示す.

と倒伏指数に及ぼす影響を第5表に示した.

主茎長は, 2010 年は狭畦栽培と比較して有意に慣行ロータリ栽培が低くかったが, 2011 年は有意差が無かった. 2010, 2011 年の両方において, ロータリ狭畦栽培のみが, 傾斜度が有意に低く, 倒伏指数は有意に高かった. 2012 年のデータには有意差がなかった.

(6) コンバイン収量

営農現場ではダイズの収穫に主にコンバインが利用されるが, コンバイン収穫では倒伏による刈り損じや裂莢による脱粒等の損出が発生するため, 坪刈り収量とは異なる値を取ることが多い. そこで, FOEAS 圃場における栽培方法の違いが, コンバイン収量に及ぼす影響を第6表に示した. コンバイン収量でも, 栽培方法の違いが明瞭であり, 不耕起狭畦栽培, ロータリ狭畦栽培, 慣行ロータリ栽培の順番

第6表 FOEAS 圃場における栽培法の違いが実際のコンバイン収量に及ぼす影響.

年度	栽培方法	コンバイン 収量 (g m^{-2})
平均	不耕起狭畦	225.1 ^a
	ロータリ狭畦	196.1 ^b
	慣行ロータリ	161.1 ^c
2010	不耕起狭畦	205.6 ^a
	ロータリ狭畦	171.4 ^{ab}
	慣行ロータリ	133.4 ^b
2011	不耕起狭畦	244.6 ^a
	ロータリ狭畦	220.8 ^{ab}
	慣行ロータリ	188.7 ^b

- 1) 処理間の同じアルファベット間には5%水準で有意差はない. 事後検定は Tukey の多重検定を用いた.
 2) コンバイン収量は, 2012 年度は測定していない.

第7表 FOEAS 圃場における栽培方法の違いが収穫種子の粗タンパク質含量, 油分含量, 全糖含量に及ぼす影響.

年度	栽培方法	粗タンパク質 含量 (%)	油分含量 (%)	全糖含量 (%)
2010	不耕起狭畦	43.0 ^b	20.4 ^a	20.9 ^b
	ロータリ狭畦	43.2 ^b	20.3 ^a	20.9 ^b
	慣行ロータリ	43.7 ^a	19.2 ^b	21.8 ^a
2011	不耕起狭畦	43.9 ^a	19.4 ^a	21.1 ^b
	ロータリ狭畦	43.6 ^{ab}	19.4 ^a	21.4 ^{ab}
	慣行ロータリ	43.5 ^b	19.0 ^b	21.8 ^a
2012	不耕起狭畦	44.3	19.8	21.0 ^b
	ロータリ狭畦	44.1	19.7	21.8 ^a
	慣行ロータリ	—	—	—

処理間の同じアルファベット間には5%水準で有意差はない. 事後検定は Tukey の多重検定を用いた. 但し, 2012 年は Student の t 検定を用いた.

第8表 FOEAS 圃場の狭畦栽培条件下での耕起方法の違いが子実肥大始期 (R5 期), 収穫時に残存した雑草量に及ぼす影響.

栽培方法	R5 期の残存雑草量			収穫時期の残存雑草量		
	本数	種の数	乾物重 (g m^{-2})	本数	種の数	乾物重 (g m^{-2})
不耕起狭畦	27.9*	2.0	2.5*	42.0*	2.1	3.5*
ロータリ狭畦	82.9	1.5	20.8	86.4	3.5	15.7

- 1) データは, 不耕起狭畦, ロータリ狭畦は 2011, 2012 年の2カ年の平均値.
 2) * は5%水準で有意差があることを示す. 事後検定は Student の t 検定を用いた.
 3) 子実肥大始期 (R5 期): 播種後 58 日 (11/8/31), 57 日 (12/9/5), 収穫時期: 播種後 114 日 (11/10/26, 12/11/1).

で有意に高かった. 2010 年, 2011 年のどちらにおいても不耕起狭畦栽培が有意に高く, 慣行ロータリ栽培は有意に低かった.

(7) 近赤外線分析による子実成分組成

FOEAS 圃場における栽培法の違いが収穫種子の粗タンパク質含量, 油分含量, 全糖含量に及ぼす影響を第7表に示した. 2010 年の粗タンパク質含量は慣行ロータリ栽培でロータリ狭畦栽培や不耕起狭畦栽培より有意に高く, 油分含量は慣行ロータリ栽培が他の2つの栽培法 (不耕起狭畦栽培・ロータリ狭畦栽培) より有意に低く, 全糖含量は有意に高かった. しかし, 2011 年は慣行ロータリ栽培で有意に油分含量が低く, 全糖含量は高く, 粗タンパク質含量は低い傾向を示した. また, 2012 年は全糖含量のみに有意差があった.

以上のことから, 狭畦栽培すると油分含量が高まり, 全糖含量は低下する傾向がみられたが, 粗タンパク質含量には明確な傾向がみられなかった.

(8) 残存雑草量

FOEAS 圃場の狭畦栽培条件下での耕起方法の違いが子実肥大初期 (R5 期) と収穫期の雑草量に及ぼす影響を第8表に示した.

R5 期の雑草種数には有意差がなく, 雑草の本数は不耕起狭畦栽培がロータリ狭畦栽培よりも有意に低かった. 雑草の乾物重は, 不耕起狭畦栽培とロータリ狭畦栽培の間に有意差があった. 収穫期の雑草種数には有意差が無かった. 雑草本数はロータリ狭畦栽培で多く, 不耕起狭畦栽培では有意に少なかった. 雑草の乾物重は, 不耕起狭畦栽培で常に低く, ロータリ狭畦栽培との間には有意差があった.

3. 不耕起狭畦栽培条件下での FOEAS の効果

(1) 不耕起狭畦栽培での FOEAS の効果が収量, 収量構成要素に及ぼす影響

対照圃場に本暗渠が施工されている条件下 (2011, 2012 年) において, 不耕起栽培における FOEAS 施工の有無が収量, 収量構成要素に及ぼす影響を第9表に示した. 同じ不耕起狭畦栽培を用いた場合でも収量, 莢数, 粒数, 収穫指数 (粒重/全乾物重), 主茎長には, 有意な FOEAS の効果が認められた. 百粒重, 1 莢内粒数, 株数, 全乾物重には有意差がみられなかったが, 1 莢内粒数, 株数は, FOEAS 圃場で高くなる傾向があった. また, 有意差 10% では全乾物重には有意差がみられた. 倒伏指数は FOEAS で有意に高く, 青立ちは逆に対照圃場で有意に高かった.

第9表 不耕起狭畦栽培における FOEAS の効果が収量、収量構成要素、収穫期の植物体の地上部の窒素含量および地上部の窒素含量における根粒の寄与率に及ぼす影響。

	収量 (g m^{-2})	百粒重 (g)	莢数 (m^{-2})	粒数 (m^{-2})	1 莢内粒数	収穫指数 [†]	主茎長 (cm)
FOEAS 圃場	345.0*	36.6	618.7*	940.2*	1.62	0.52*	60.0*
対照圃場	274.5	36.9	477.7	745.0	1.54	0.45	55.6
P 値	0.015	0.464	0.044	0.016	0.398	0.004	0.043
	株数 (m^{-2})	全乾物重 (g m^{-2})	倒伏指数	青立指数	地上部の窒素含量 (g m^{-2})	根粒由来の窒素含量 (g m^{-2})	寄与率 (%)
FOEAS 圃場	19.4	663.7	2.1*	3.3	19.7*	16.6*	84.1
対照圃場	18.7	595.1	1.5	4.3*	15.9	13.3	82.4
P 値	0.337	0.082	0.016	0.009	0.019	0.036	0.373

1) データは、2011、2012 年の 2 カ年の平均値。* は、5%水準で有意差があることを示す。事後検定は Student の t 検定を用いた。

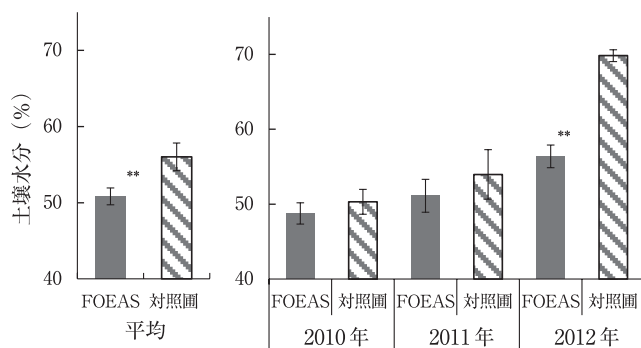
[†]：収穫指数 = 粒重 / 全乾物重を示す。

2) 収量、百粒重は水分を 15% で換算した。用いた品種は、タチナガハ。

3) 基準の指標として、En1282 (根粒非着生種) の慣行ロータリ栽培の収量 (水分含量 15%) は、対照圃場 (2011、2012 年) : 53.2 (g m^{-2})、FOEAS 圃場 (2011、2012 年) : 67.9 (g m^{-2})。

4) 倒伏指数及び青立指数は、0 : 無、1 : 微、2 : 少、3 : 中、4 : 多、5 : 甚を示す。

5) 根粒由来の窒素含量、寄与率は、不耕起狭畦栽培と慣行ロータリ栽培の間の窒素含量の差から算出した。式は、[根粒由来の窒素含量, g m^{-2}] = [タチナガハの各栽培方法での窒素含量, g m^{-2}] - [慣行ロータリ栽培と同じ栽植密度で手播した En1282 の窒素含量, g m^{-2}]。



第4図 播種前の FOEAS 圃場と対照圃場の土壌水分の差異。

1) ** は有意水準 1% で有意であることを示す。

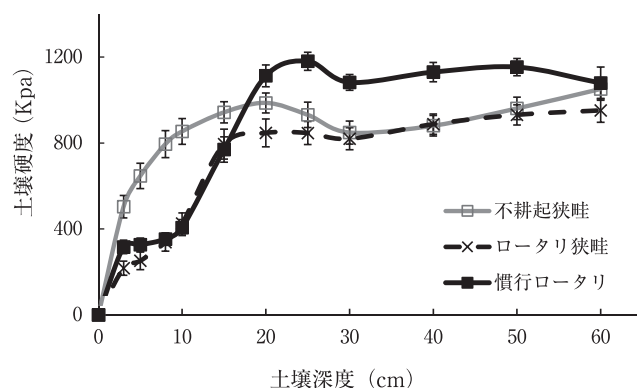
2) 水稲-コムギ-ダイズ-コムギ-ダイズの 3 年 5 作の水田輪作。2010、2012 年は転換畑 2 年目のダイズ栽培、2011 年は転換畑 3 年目のダイズ栽培。2010、2011 年は同じ圃場、2012 年は近接した圃場を用いた。

窒素固定能に関しては、FOEAS 有無の効果は、全窒素量、根粒由来の窒素量には有意な増加があった。しかし、根粒の寄与率には有意な差がみられなかった。

(2) 播種前の土壌水分と収穫時の土壌硬度

播種前の FOEAS 圃場と対照圃場の土壌水分の差異を第 4 図に示した。対照圃場と比べて、FOEAS 圃場で有意に土壌水分が低かった。

第 5 図に FOEAS 圃場での栽培法の違いが収穫時の土壌硬度に及ぼす影響を示した。不耕起狭畦栽培は、慣行ロータリ栽培、ロータリ狭畦栽培よりも深さ 5-15 cm 辺りで土壌が硬かった。



第5図 FOEAS 圃場での栽培方法の違いが収穫時の土壌硬度に及ぼす影響。

1) FOEAS 不耕起狭畦、FOEAS ロータリ狭畦のデータ数 ($n=3$, 2010-2012)、FOEAS 慣行ロータリのデータ数 ($n=2$, 2011-2012)。

2) 水稲-コムギ-ダイズ-コムギ-ダイズの 3 年 5 作の水田輪作。2010、2012 年は転換畑 2 年目のダイズ栽培、2011 年は転換畑 3 年目のダイズ栽培。2010、2011 年は同じ圃場、2012 年は近接した圃場を用いた。

考 察

日本では過湿、過乾の水ストレスがダイズの収量を制限している 1 つの要因であるが、近年開発された FOEAS は地下水位を制御してこれらの水ストレスを回避できると考えられる (藤森 2007)。本試験においても、FOEAS の効果は、2011-2012 年の不耕起狭畦栽培において有意な増収効果がみられた (第 9 表)。

FOEAS の効果は、生育期の乾物重の増加、FOEAS によ

る根粒窒素固定能の向上と全窒素含量の増加、収穫期の乾物重の増加、莢数・粒数の増加により、最終的に FOEAS による収量の増加につながっていると考えられる。FOEAS 圃場と対照圃場を比べた場合、収穫期の乾物重が 11.5% 向上したが、根粒窒素固定（根粒由来の窒素含量）が 24.8% 向上し、乾物重以上に FOEAS の効果は根粒活性を向上させた。それに対して、根粒の寄与率には有意な変化がみられず、根粒の依存度には差がなかった。最終的に、不耕起狭畦栽培における 2011–2012 年のデータからは、FOEAS 圃場は対照圃場（本暗渠あり）より収量が 25% 増加しており、FOEAS の効果が認められた。

同様の報告として、FOEAS 圃場で株数確保、苗立ち数の安定確保が可能であること（注：独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 2009、竹田・佐々木 2013）、窒素固定能の向上と窒素含量の増加がみられること（Shimada et al. 2012）、地下水位の制御は生育期の乾物重、莢数、粒数、収量を増加させること（Mejia et al. 2000, Shimada et al. 2012, Matsuo et al. 2013）がある。また、基本的に地下水位制御圃場で百粒重が高いという報告も存在する（Shimada et al. 1995, Mejia et al. 2000, Shimada et al. 2012, Matsuo et al. 2013）。以上のように、不耕起狭畦栽培でも、いくつかの点で FOEAS の効果がみられた（第 9 表）。

このように水ストレスを回避できる FOEAS 圃場において慣行の栽培方法とロータリ耕耘による狭畦栽培および不耕起狭畦栽培の効果を検証した結果、不耕起狭畦栽培において苗立率の増加（第 2 表）、不耕起狭畦栽培およびロータリ狭畦栽培における子実肥大初期（R5）の生育量の増加（第 3 表）、不耕起狭畦栽培における全窒素含量の増加と根粒窒素固定能の向上（第 3 表）、成熟期地上部乾物重、収穫指数・莢数・粒数・1 莢内粒数・百粒重の増加（第 4 表）が認められた。一方、不耕起狭畦栽培はロータリ狭畦栽培と比べて乾物重が高いわりに倒伏指数が低く（第 5 表）、増収につながったと考えられた。ゆえに、不耕起狭畦栽培が増収したと考えられる（第 4 表、第 6 表）。

日本の不耕起栽培は、播種前の耕耘作業の省力化と播種速度が速いことによる前作ムギ類の収穫作業との作業競合・播種作業遅延の回避技術として検討・開発されてきたが（長野間 2000、濱口ら 2004）、今回の試験でも、不耕起狭畦栽培の利点の 1 つである栽培方法による播種速度にも有意差があり、不耕起狭畦栽培で有意に高いことがわかった（第 1 表）。

加えて、FOEAS による排水が良好である場合は不耕起栽培の利点が活用される結果となった。不耕起栽培における収量性は、浜口ら（2008）により中耕培土を省略した不耕起栽培、不耕起狭畦栽培で慣行耕起栽培と同等以上の収量を得ることができるとされる。また、海外の報告（Heatherly and Elmore 2004）では、耕起には根の伸長阻害の防止、土壤水分の保持、地温上昇などの効果があるが、栽培地域の気候・土壌条件によっては、排水性のよい圃場において耕

起の違いによる収量差が無いこともあると報告している。また、地域・環境条件にもよるが収量向上の点において、狭畦化が効果的であるとも述べられている（Heatherly and Elmore 2004）。このような報告と比較しても本試験の結果は妥当であると考えられる。

コンバイン収穫による実際の収量は、FOEAS 圃場での不耕起狭畦栽培で有意に収量が高かった（第 6 表）。不耕起狭畦栽培は、倒伏指数がロータリ狭畦栽培より低く、また、試験区全面の生育のそろいが良いことなどが、コンバイン収量でロータリ狭畦栽培よりも不耕起狭畦栽培で有意に高かった要因であると考えられる（第 4 表、第 5 表、第 6 表）。また、不耕起栽培は、慣行ロータリ栽培の中耕培土有と比較して、収穫作業時に土による汚れが少ないことも不耕起狭畦栽培の利点があったと考えられる。

今回の実験の結果からは、FOEAS 圃場と不耕起狭畦栽培の組合せが他の栽培方法と比べて、苗立率が有意に高く（第 2 表）、高い遮光率を介して残存雑草量も不耕起狭畦栽培で低くなるものと考えられる（第 8 表）。

以上のことから、FOEAS 圃場のダイズ栽培時の雑草抑制として不耕起狭畦栽培が有効であることがわかった。但し、FOEAS 圃場と不耕起栽培の組み合わせは、苗立ち数が充分確保できれば大豆による遮蔽効果が期待できるが、株数が確保出来なかった場合又は連続した欠株がある場合には、条間が狭いことによる生育期の機械防除（中耕培土、中耕除草等）ができないために、雑草が繁茂する可能性があることには留意が必要である。

その他の FOEAS 圃場の特徴としては、播種時の土壤水分が対照圃場よりも有意に低く、排水性に優れていることである（第 4 図）。2012 年は有意差があり、それ以外の年では有意ではないが、全体として、FOEAS 圃場で土壤水分が低い傾向があった。また、2011 年や 2012 年のように播種前に降水があった場合でも FOEAS 圃場の土壤水分が低かったことから FOEAS の排水性の良さと播種のし易さが示された。

若杉・藤森（2009）によると、雨上がりの圃場にコンバインやトラクターが入る場合には、土壤硬度が 0.3–0.4 Mpa 以上必要であるとしている。収穫時の土壤硬度を測定した結果によると、不耕起栽培では、耕耘を伴うロータリ播種体系よりも表層から 15 cm までの土壤硬度が維持されているため、コンバインの作業性を確保できると考えられる（第 5 図）。

FOEAS 圃場における不耕起狭畦栽培では、苗立率、生育量、莢数、粒数、百粒重の増加によって、慣行ロータリ栽培よりも 2010, 2011 年の 2 か年平均で 69% の増収となった。加えて、不耕起狭畦栽培は、ロータリ狭畦栽培と比べて、地耐力が高いので降雨後も速やかに作業ができ、播種速度が速く、苗立率も高いこと、さらに倒伏指数が低いこと、雑草発生量も少ないことなど多くの利点が認められた。さらに慣行ロータリ栽培との比較では、不耕起狭畦栽培は

ロータリ狭畦栽培に対する利点に加え、中耕培土を省略できること、増収が可能なことなどの利点を有する。よって、FOEAS 圃場と不耕起狭畦栽培の組み合わせは、ダイズの安定生産に大きく貢献できる栽培法であると考えられる。

謝辞：本研究の遂行に当たり、現地農家圃場の使用を承諾して頂き、農業機械、圃場管理、栽培管理に協力して頂いた、故豊島治郎氏、豊島純氏に深く感謝申し上げる。また本研究の統計処理については、中央農業研究センター情報処理研究領域 光永貴之博士に貴重なご意見と指導を頂いた。加えて、中央農業研究センター業務科の土田一氏、横塚清氏、我妻敏光氏、桑原秀則氏、中島慎二氏、山崎公彦氏には圃場管理、作業にご尽力頂いた。部屋の非常勤職員の井上つや子氏、堀越敬子氏、杉山俊子氏には生育調査等をご協力頂いた。ここに記して謝意を表する。

引用文献

- FAOSTAT. 1988-2013. Productions. Crops. [Online]. <http://foostat.fao.org/> (accessed 5 Oct. 2015). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fehr, W.R., Caviness, C.E., Burmood, D.T. and Pennington, J.S. 1971. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) merrill. Crop Sci. 11: 929-931.
- Francisco, P.B.J. and Akao, S. 1993. Autoregulation and nitrate inhibition of nodule formation in soybean cv. Enrei and its nodulation mutants. J. Exp. Bot. 44: 547-553.
- 藤森新作 2007. 転作作物の安定多収をめざす地下水位調節システム - 水田リフォーム技術の開発-. 農及園 82: 570-576.
- 古屋忠彦・梅崎輝尚 1993. ダイズ個体における成熟整合性の簡易判定法. 日作紀 62: 126-127.
- 濱口秀生・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. 中央農研研究資料 5: 1-21.
- 浜口秀生 2008. カオリン系土壌に適した方式 不耕起栽培 (関東). 2008年版 農業技術 作物. 農文協, 東京. 23-28.
- Heatherly, L.G. and Elmore, R.W. 2004. Managing inputs for peak production. In Boerma, H.R. and Specht, J.E. eds., Soybeans: Improvement, Production, and Uses, 3rd ed., ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI. 451-536.
- 国分牧衛 2010. 世界のダイズ生産技術の現状と展望. 喜多村啓介他編. 大豆のすべて. サイエンスフォーラム, 東京. 75-92.
- Matsuo, N., Takahashi, M., Nakano, H., Fukami, K., Tsuchiya, S., Morita, S., Kitagawa, H., Nakano, K., Nakamoto, H. and Tasaka, K. 2013. Growth and yield responses of two soybean cultivars grown under controlled groundwater level in southwestern Japan. Plant Prod. Sci. 16: 84-94.
- Mejia, M.N., Madramootoo, C.A. and Broughton, R.S. 2000. Influence of water table management on corn and soybean yields. Agric. Water Manage. 46: 73-89.
- 長野間宏 2000. 不耕起播種機および栽培技術体系の開発と問題点. 日作紀 69(別 2): 364-368.
- 中世古公男・野村文雄・後藤寛治・大沼彪・阿部吉克・今野周 1984. 水田転換畑多収ダイズの乾物生産特性. 日作紀 53: 510-518.
- 大沼彪・阿部吉克・今野周・桃谷英・吉田昭・藤井弘志 1981. 水田転換畑大豆の多収実証. 山形農試研報 15: 27-38.
- 島田信二・広川文彦・宮川敏男 1990. 山陽地域の水田転換畑高収量ダイズに対する播種期および栽植密度の効果. 日作紀 59: 257-264.
- Shimada, S., Kokubun, M. and Matsui, S. 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.
- Shimada, S., Kokubun, M. and Matsui, S. 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.
- Shimada, S., Hamaguchi, H., Kim, Y. H., Matsuura, K., Kato, M., Kokuryu, T., Tazawa, J. and Fujimori, S. 2012. Effects of water table control by Farm-Oriented Enhancing Aquatic System on photosynthesis, nodule nitrogen fixation, and yield of soybeans. Plant Prod. Sci. 15: 132-143.
- 島田信二・島村聡・住田弘一・堀江武 2012. 大豆単収世界記録 1081 kg/10a の衝撃 - アメリカ合衆国の収量コンテストより -. 農及園 87: 414-420.
- Shiraiwa, T., Sinclair, T.R. and Hashikawa, U. 1994. Variability in nitrogen fixation activity among soybean cultivars grown under field conditions. Jpn. J. Crop Sci. 63: 111-117.
- 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. 日作紀 82: 233-241.
- 若杉晃介・藤森新作 2009. 水田高度利用を可能とする地下水位制御システム FOEAS. 農業農村工学会誌 77 (9): 7-10.
- Wilcox, J.R. 2004. World distribution and trade of soybean. In Boerma, H.R. and Specht, J.E. eds., Soybeans: Improvement, Production, and Uses, 3rd ed., ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI. 1-14.

Effects of Non-tillage and Narrow Row Cultivation on Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) Productivity in Fields with Farm-Oriented Enhancement for Aquatic System (FOEAS) in Kanto District : Tomiya MAEKAWA¹⁾, Shinji SHIMADA¹⁾, Hideo HAMAGUCHI¹⁾, Masayasu KATO²⁾ and Shinsaku FUJIMORI³⁾ (¹⁾NARO, Central Region Agricultural Research Center, Tsukuba 305-8666, Japan; ²⁾Japan International Research Center for Agricultural Sciences; ³⁾Former NARO Natl. Agri. Res. Cent.)

Abstract : In Japan, approximately 80% of soybean is cultivated in upland converted paddy fields. A major problem in soybean production in such fields is the damage due to inadequate water content of soil which depresses the growth and yield of soybean. Recently, a water table control system, called the Farm-Oriented Enhancement for Aquatic System (FOEAS), was developed, and it is important to understand the combined effect of FOEAS and non-tillage cultivation on the growth and yield of soybean plants in farming scale fields. The objective of this study was to clarify the effects of three different cultivation methods (non-tillage narrow cultivation (NN), conventional rotary tillage narrow cultivation (CN), and conventional rotary tillage cultivation (CC)) on soybean growth, yield, and work efficiency in fields with FOEAS. In NN, the yield and nitrogen fixation of soybeans in FOEAS fields were increased by 25% and 24%, respectively, than those in the control field. In NN with FOEAS, due to increased emergence, shoot dry weight at maturity, ripened pod number, seed number, and hundred-seed-weight, the yield was increased by 12% and 69%, compared with that in CN and CC, respectively. The combined yield of NN was increased by 15% and 40%, compared with that in CN and CC, respectively. The combination of NN and FOEAS has some advantages, which include rapid seeding after rainfall, rapid sowing speed, low lodge-index at harvesting period, low weed biomass at harvesting period, and to skip intertillage-ridging. As a result, the seed yield in NN was greater than in either CN or CC, which suggests that the combination of FOEAS and non-tillage cultivation contributes to stable soybean production in Kanto District.

Key words : FOEAS (Farm-Oriented Enhancement for Aquatic System), Narrow row cultivation, Non-tillage, Soybean, Water table control.
