

地下水位制御システム(FOEAS)による 大豆の安定生産マニュアル



独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構
中央農業総合研究センター
農村工学研究所
九州沖縄農業研究センター
宮城県古川農業試験場
富山県農林水産総合技術センター 農業研究所



対照区



FOEAS区 地下水位-30cm

写真1 出芽苗立ちと初期生育への効果

播種日:5月31日、撮影日:2006年7月19日

(宮城県古川農業試験場内圃場)



対照区(ロータリー播種)



FOEAS区 地下水位-30cm(不耕起狭畦播種)

写真2 大豆登熟期の草姿への効果

播種日:FOEAS区 7月2日、 対照区 7月3日

撮影日:2008年9月30日

(中央農業総合研究センター 茨城県つくば市現地大規模圃場)

本マニュアル掲載の研究成果等については未発表のものもありますので、転載、複製する場合は、必ず原著者の許可を得てください。

はじめに

大豆は日本の食生活に欠かせない豆腐、煮豆、味噌、納豆などの原料として古くから栽培されてきましたが、現在、大豆の自給率は5%とたいへん低いのが現状です。近年、世界規模の気候温暖化により穀物生産が不安定になってきており、さらにバイオマスエネルギーの利用拡大による食用作物の作付け減などにより、世界的に穀物需給が逼迫してきています。このような背景の中、日本食の原料として加工適性に優れた国産大豆の安定的な供給が強く求められています。

日本の大豆生産は8割以上が水田転換畑で行われています。大豆は本来、畑の作物であるため、これら水田転換畑ではしばしば過湿による出芽不良や収量低下に見舞われます。さらに多くの地域では生育初期が梅雨期に遭遇し根張りが貧弱になるため、盛夏には高温やフェーン現象による干ばつも著しくなります。これらのことが我が国の大豆生産の不安定さや収量の低さの大きな原因となっています。

水田は灌漑施設を持っているため灌水が行えるという大きな利点があります。近年、農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所と株式会社パディ研究所では、水田としての機能を維持しつつ、高い排水機能と地下からの灌水機能を併せ持ち、地下水位を自由に設定できる地下水位制御システム（FOEAS）を開発しました。このシステムは、今までの大豆生産の大きな課題であった湿害と干ばつの双方を回避できるために大豆の高位安定生産に大きく寄与することが期待されます。そこで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」および関連研究において、FOEASを活用した大豆栽培技術の開発に取り組んできました。これらの研究成果を農業、普及、試験研究に携わる方々に広く知っていただくことを目的として、このシステムを活用した大豆の安定生産技術マニュアルを作成しました。

これら試験研究の実施とマニュアルの執筆をいただいた各試験研究機関の皆様には厚くお礼申し上げます。

このマニュアルを参考に大豆の安定生産が図られましたら幸いです。

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 チームリーダー

農研機構 中央農業総合研究センター 大豆生産安定研究チーム長 島田信二

< 目 次 >

1. FOEASの概要	1
2. 大豆生産におけるFOEAS導入の利点	5
3. FOEASを用いた大豆栽培の留意点	8
4. 大豆生産にFOEASの効果があまり期待できない諸条件	9
5. 地域ごとのトピックス	9
6. 文献・資料	11

1. FOEASの概要

水田で畑作物を栽培するためには湿害対策が重要であり、地表水対策としての明渠や地下水対策としての暗渠排水が施工されてきました。これまでの暗渠排水は土壌中の過剰水を迅速に排除することを目的として施工されてきたため、暗渠からの排水を制御する手段は暗渠末端の水閘の開閉だけでした。水閘を開くことで暗渠埋設深（一般には田面から-60cm～-70cm）まで地下水位を低下させ、閉めれば田面まで地下水位を上げるだけのON-OFF制御であり、任意の高さに地下水位を設定することは不可能でした。

しかし、畑作物には湿害対策としての排水だけでなく給水も必要です。例えば、大豆栽培で多収を実現している農家では、開花から子実肥大期における用水供給は重要であることから、畝間灌漑により品質と収量の安定化を図っているところがあります。また、作物毎に最適な地下水位も示されています。このように、畑作物の安定多収栽培を実現するためには、湿害対策が重要なのはもちろんのこと、作物の種類や生育時期に応じた水分供給を行うことが大切です。したがって、雨が降れば暗渠により排水し、干天が続けば暗渠からの地下灌漑により水分を補給して、作物栽培に最適な地下水位に制御することが重要です。

このため従来の暗渠排水とは異なり、作物栽培に最適な地下水位の設定を可能にしたのが、地下水位制御システム「FOEAS」です。

FOEAS は畑作時だけでなく、水稲作においても

効果を発揮します。農業経営の規模拡大に伴って水田の区画は大きくなってきていますが、灌漑の際の地表灌漑は水口からの距離が遠くなるほど水足の伸びが悪くなり、区画が大きくなるほど灌漑効率が低下します。これに対し地下から給水するFOEASでは灌漑効率が低下しない利点があります。

FOEAS は地下水位を制御するだけでなく、灌漑水の無効放流をゼロにすることができます。用水路のパイプライン化は水管理の省力化が期待されますが、農家の兼業化や高齢化により管理がおろそかになり、用水栓の開放状態での管理による無効放流が問題となっているのに対し、FOEAS では任意の水位で用水の供給を停止する水位管理者を装備しているため、無効放流がゼロとなります。

また、FOEAS では圃場の地下に暗渠管などを埋設して地下水位を制御しますが、地下の土壌条件は、石が多い、軟弱地盤など様々であり、従来は条件に合わせてトレンチャーやバックホーなどを選定していました。これに対し、どのような土壌条件においても掘削を可能とする開削型暗渠掘削装置「ベストドレーン」を開発しています。

1) システムの構造

圃場に埋設した有孔管等と田面への給水・排水を管理する用水・排水制御施設および田面に対し(+)の水位(湛水位)と(-)の水位(地下水位)が設定可能な水位制御器等を配置することにより、地中からの排水あるいは地中への給水を行い、人為的に適正な地下水位の制御を行うシステムです(図1)。

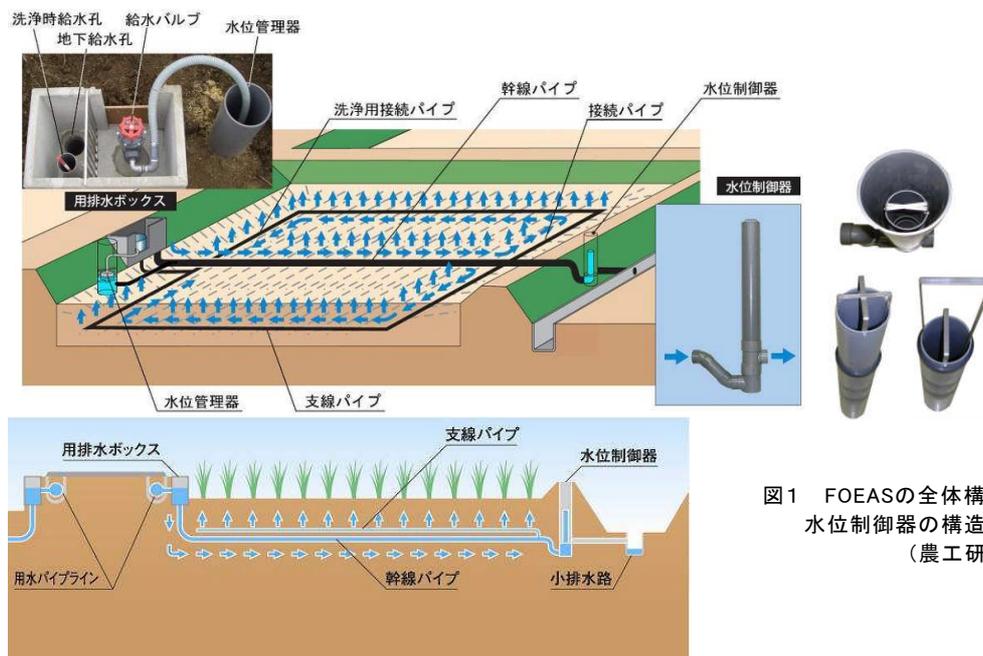
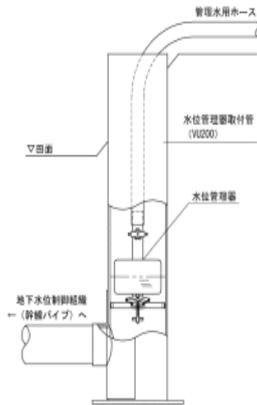


図1 FOEASの全体構成と水位制御器の構造 (農工研)

従来の自動給水器は代かきや中干し後の大量取水にも対応する構造であり、また、パイプラインの圧力水を制御する必要から、複雑で精密な構造とならざるを得ませんでした。そこで、最大取水時は水位管理者を経由せずに給水バルブから直接給水すること

とし、細かな給水量調節が必要だが水量は比較的少ない水稻の普通期の用水補給や地下灌漑にのみ自動給水に対応する構造とすることで、低コスト化を図っています(図2、3)。



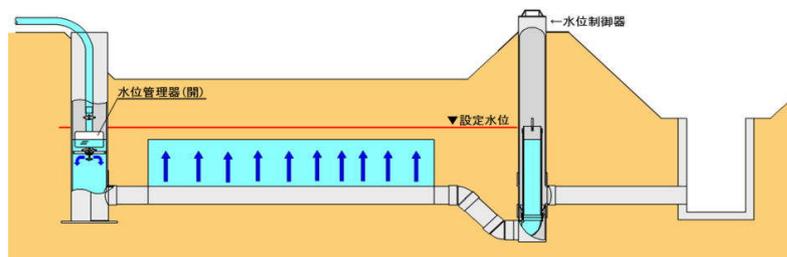
水位管理者の構造図



FOEASの用排水ボックスへの設置状況

図2 水位管理者の構造と設置状況(農工研)

地下水位が低い時は設定水位まで用水を供給する



降雨により地下水位が高い時は設定水位まで排水

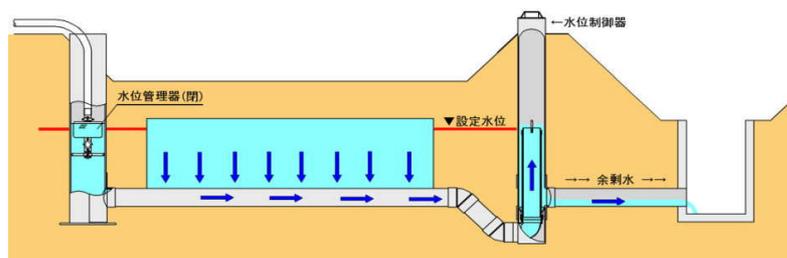


図3 水位設定に伴う水位管理者の作動と水の移動(農工研)

2) システムの特徴

- ①圃場全面で均一な地下水位が維持できます(図4)。
- ②暗渠組織を使用して地下灌漑を行う際に、用水中に含まれる泥や砂等による管内堆積とこれに伴う暗渠機能の喪失が問題となります。用排水ボックスから幹線パイプに流入した雑物は、用水とともに水位

- 制御器に到達する間に沈殿します。これの除去は用排水ボックスから多めの用水を流下させ、水位制御器の中筒を外すことで容易にできます(図5)。
- ③従来の圃場の形状などの所有界、権利関係を変更せずに整備水準を向上できます。
- ④天候や流入出による地下水位の変動を緩和します(図6)。

⑤ 水稻栽培時の水管理の適正化と省力化が図れます。

⑥ 田畑輪換が自在に行えます、などがあげられます。

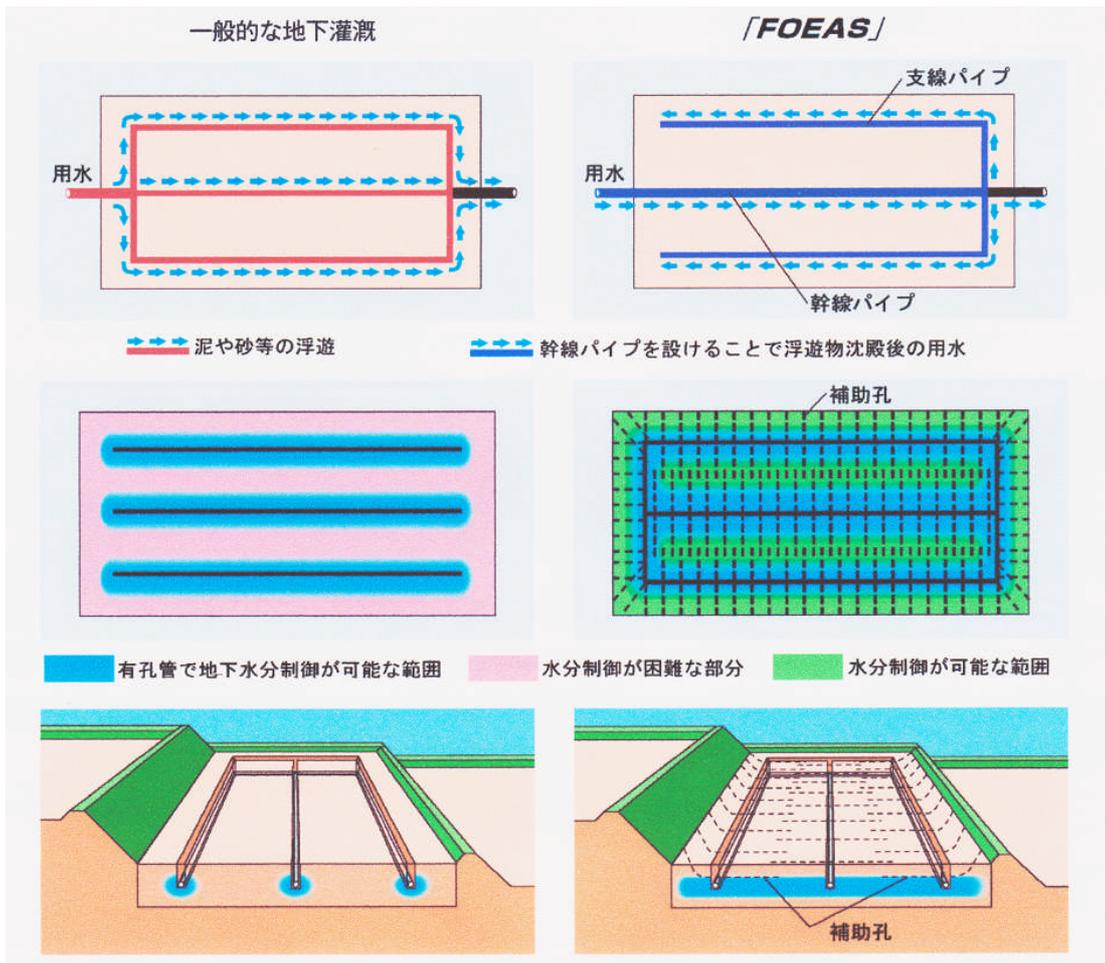
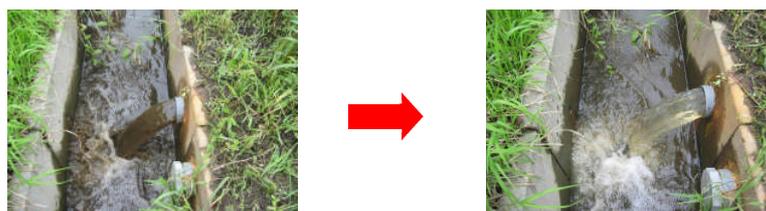
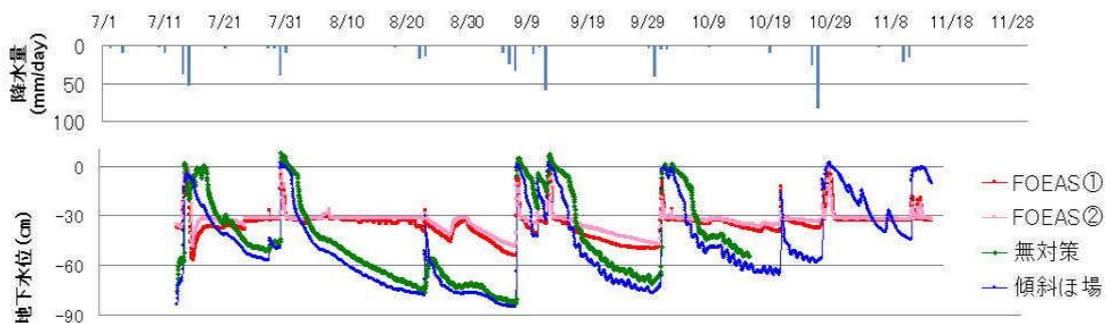


図4 地下灌漑方式の構造及び用水浸透状況の比較(農工研)



10分程度で洗浄は完了

図5 幹線パイプに沈殿させた泥や砂の除去状況(農工研)



FOEAS圃場は設定水位の田面下35cmでほぼ維持、対照区は湛水から田面下80cmと大きく変動。

図6 水位管理器による大豆栽培時の水位制御状況(農工研)

3) メリット

- ①湿害と干ばつの回避による作物の安定生産が図れます。
- ②田畑輪換によって、暗渠疎水材のモミガラは湿潤と乾燥を繰り返すため非常に腐り易くなり、極端な事例では2年間で陥没が発生しています。地下水位制御によってモミガラを水に浸しておくことで腐食が防止でき、暗渠機能が持続します。
- ③転作を続けると畦畔や下層土に亀裂が入り、水田に戻したときには水保ちが悪くなりますが、地下灌漑を行うことにより水田としての機能が持続します。
- ④水田を乾燥させ過ぎると土壌中の有機物の分解により地力が低下しますが、地下水位の維持によって下層土の地力が維持されます。
- ⑤水田において畑作物を連作すると畑雑草が繁茂するとともに、病気や害虫被害、連作障害等が発生しますが、田畑輪換によってこれらが回避されます。
- ⑥用水側に設置する用排水ボックスからも排水ができることから、迅速な排水が行えます。
- ⑦地表灌漑を行うと、畑作に必要な土壌の団粒構造を壊す恐れがあり、また、播種・定植時における種子や苗の流亡、スプリンクラー灌漑に起こりがちな飛散水滴による幼苗の物理的被害、飛散土粒子や菌の付着が発生しますが、地下からの灌漑はこれらを回避できます。

4) 費用

費用は用排水ボックスや水位制御器、幹線パイプ、1m間隔の補助孔、特許使用料など、従来の本暗渠施工にはない工種を加えたにも拘わらず従来の一般的な暗渠排水を若干上回る程度です(図7)。

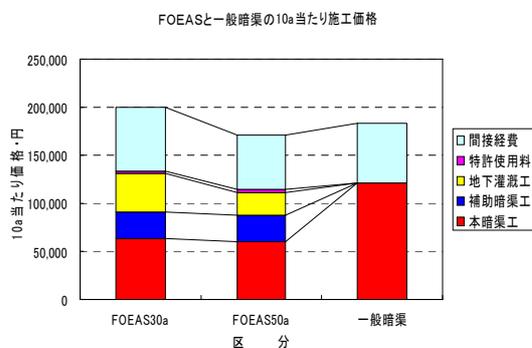


図7 一般の暗渠とのコスト比較(農工研)
20ha以上施工する場合の概算費でベストドレーン工法機械の輸送費を含む。

10a 当たりの施工価格は、田面下に岩石等がなく施工条件が良好な場合で、圃場が 30a 区画では 21 万円、50a 区画では 18 万円程度です。この理由は、支線パイプの田面下 60cm 水平施工と新たに開発したベストドレーン工法による掘削断面の縮小(9cm)によって疎水材であるモミガラ使用量が削減されたことや、従来から暗渠掘削で用いられているトレンチャー利用と比較して作業人員が 8 人程度から 4 人に半減することなどが関係しています。

5) 導入に必要な条件

(1) 漏水対策

地下灌漑の実施において問題となるのは、水田下層土の透水と畦畔等からの漏水・進入水対策であり、特に排水路側畦畔からの漏水対策が重要です。これらの条件が悪いと用水を供給しても地下水位を制御することは困難であり、場合によっては下流側圃場の湿害原因となる恐れがあります。そこで、漏水対策として、遮水シート埋設等を必要とする場合があります(図8)。

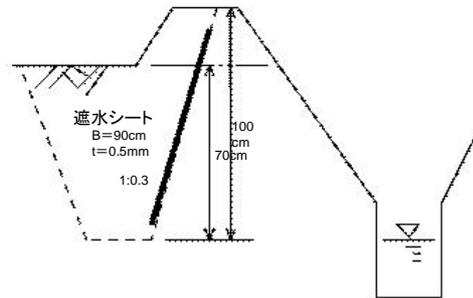


図8 遮水シートを用いた畦畔漏水対策事例(農工研)

なお、漏水対策として最も有効な方法は、パイプライン化(一般には開水路となっている排水路をパイプラインとすることで畦畔下から排水路への漏水がなくなる)であり、さらには圃場の大区画化を図ることで、畦畔の草刈り労力や圃場間の移動時間が削減され、省力化が可能となることで規模拡大にも

つながります。

(2) 用水の確保

大豆等の畑作物や水稻の乾田直播、飼料イネ等は用水必要期間と用水ピーク等が移植水稻とは異なることが予想されます。また、水稻の中干し期には、揚水機場等からの送水が停止される場合もあるので用水の確保対策を必要とします。年間を通じて自由な水利用を可能とするためには、ファームポンドの造成や湧水、排水等の利用も検討する必要があります。

6) 施工が難しい場所

下層土が砂礫質で漏水が著しい水田については地下灌漑は困難と思われませんが、現地の地形や土壌、用水量等を調査して判断する必要があります。

7) FOEAS 機能の維持・管理

水稻の移植栽培や湛水直播栽培において、過度な代かきを行うと補助孔の施工によって発達した亀裂が失われ、透水性が低下することがあります。この際には、干天が続く圃場が乾燥した状態において、トラクタ牽引のサブソイラ(弾丸暗渠)を深さ40cm、幅1mで施工して下さい。なお、補助孔掘削装置(サブベストドレーン、図9)を用いると容易で確実に復元できます。



図9 補助孔掘削装置(農工研)

また、用水中に含まれる泥や酸化鉄の付着により幹・支線パイプが詰まることも考えられます。FOEASは幹線パイプ内に泥等を一時的に堆積させ、これをFOEAS柵内の水位上昇と水位制御器の内筒開放で容易に除去できる構造となっています。各支線パイプについては、立ち上がり管が付けてあり、洗管ノズルを用いて洗浄することができます。

2. 大豆生産におけるFOEAS導入の利点

FOEASは水田輪換畑の排水性を大きく改善するとともに、地下水位を自由に制御できるので、大豆生産にとって多くの利点があります。

1) 作業性の向上

1m毎に弾丸暗渠を施工しているFOEASでは圃場の排水性が高く、特に水の横への浸透性が乏しい重粘な土壌ではその効果が大きく発揮されます。この大幅な排水性の向上により降雨後の地耐力の回復が早いので、より速やかに各種作業(耕耘、播種、中耕培土、農薬散布、収穫)を開始でき、適期作業が容易となります。特に播種適期が梅雨期に重なる地域では、降雨による播き遅れが大幅に減少し、安定生産だけでなく省力化や規模拡大が期待されます。

また、圃場全面の排水性向上により、極端に重粘な土壌や大雨でない限り、明渠や畝立てをしなくても排水性は確保できるため、それら作成作業が省略できるとともに、明渠からの雑草発生も回避できます。

2) 出芽・苗立ちの向上

大豆は出芽の際に大きな子葉を土壌から持ち上げなければならず、土壌の水分状態や砕土率、クラスト形成などによって出芽苗立ちが不安定になりやすい作物です。出芽・苗立ち不良は、減収だけでなく雑草繁茂も引き起こすので、大豆栽培では出芽苗立ちの安定化が最も重要な課題です。

FOEASでは大幅な排水性向上によって降雨後も滞水しにくいので梅雨期での播種でも出芽が安定します(図10)。

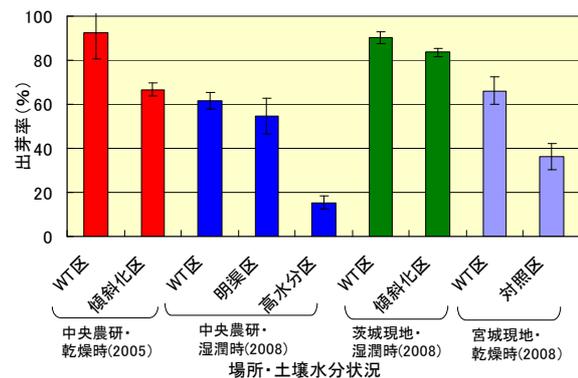


図10 地下水位制御が出芽率向上に及ぼす効果。

WT区は地下水位制御区。「乾燥時」では、一時的に地表が湿る程度に地下水位を上昇させ、出芽を促進。傾斜は1/1000。中央農研、茨城現地は不耕起播種、宮城古川農試は慣行播種でのデータ。

縦線は5~12反復調査の標準誤差。

また、土壌が乾燥した時には一時的に地下水位を上昇させることにより種子近傍の土壌水分を出芽に好適な状況に維持できるので、出芽促進と安定化が図れます(図10)。

さらにこの一時的な地下水位上昇によりクラストを柔らかくすることができるので(図11)、クラストによる出芽不良も軽減できます。このようにFOEASの活用によって、降雨がばらつく天候不順下においても大豆の出芽苗立ちを大幅に安定化させることが可能です。

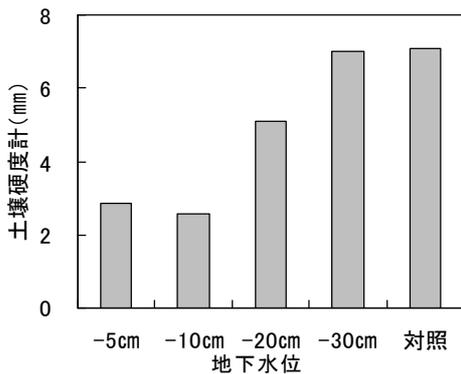


図11 地下水位が土壌表層のクラスト硬度に及ぼす影響 (宮城古川農試 2007) 土壌硬度計(山中式)による播種3日後の値。

3) 抑草効果

出芽苗立ちと初期生育の良好化によって大豆が圃場を早く覆うようになるため、雑草繁茂の抑制も期待できます(図12)。

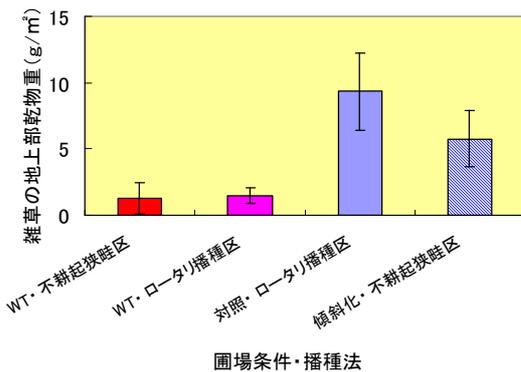


図12 地下水位制御が成熟期の雑草発生量に及ぼす影響。(中央農研)

WT区は地下水位制御区。茨城県内大規模農家圃場でのデータ。縦線は3反復の標準誤差。

ただし、土壌水分の調整によっては雑草の出芽も促進されます(図13)。その雑草の発生にあわせて播種前の非選択性除草剤や播種時の土壌処理剤散布な

どの除草対応を行うと除草効果の向上が期待されま

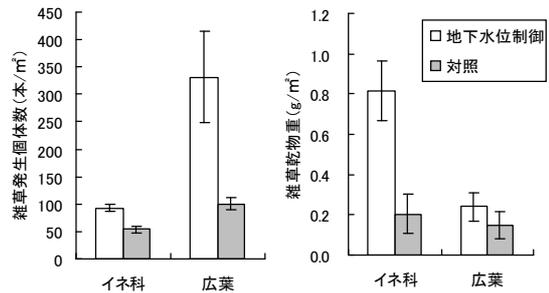


図13 土壌処理剤無散布時の雑草発生量。(宮城古川農試 2006) 播種後26日に調査。縦線は3反復の標準誤差。

4) 青立ちの軽減

干ばつ年には、地下からの灌漑による干ばつ回避により青立ちを軽減できます(図14,15)。



図14 茨城県つくば市現地試験成熟期の状況(2008年11月18日撮影)

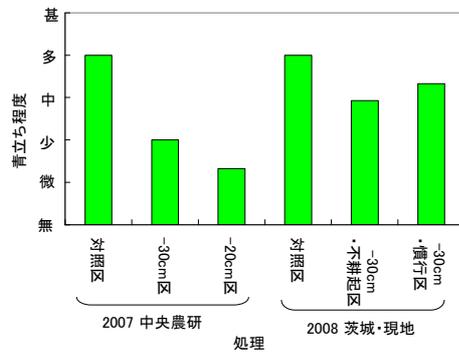


図15 干ばつ年における地下水位制御の青立ち抑制効果。(中央農研)

5) 収量の向上

FOEASによる地下水位の制御により乾湿害を抑制して、根系や根粒の活性を維持できるので、大豆の養分吸収、根粒窒素固定、光合成が増大して増収をもたらします。

大豆は比較的軽微な土壌の乾燥化によっても葉の気孔が閉じ始めて光合成が低下しやすい作物です。実際に干ばつにより光合成が半分に低下しても外観

上は全く区別が付きません (図 16)。



図 16 軽微な干ばつ時の外観 (中央農研)

また、大豆の根粒は土壌水分欠乏と酸素の双方に敏感に反応するため、地下水位制御により根粒窒素固定量が増大します (図 17)。

図 18 は、根粒が着生しない大豆では 50kg/10a に満たないような土壌の窒素肥沃度が低い圃場での結果ですが、この圃場においても地下水位の制御によって大きく増収していることがわかります。

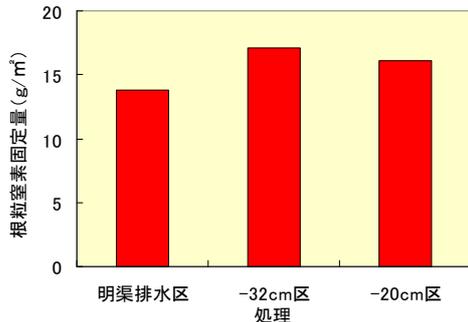


図 17 地下水位制御が根粒窒素固定量に及ぼす影響 (中央農研 2006)

出芽～子実肥大盛期 (9月20日) までの値。

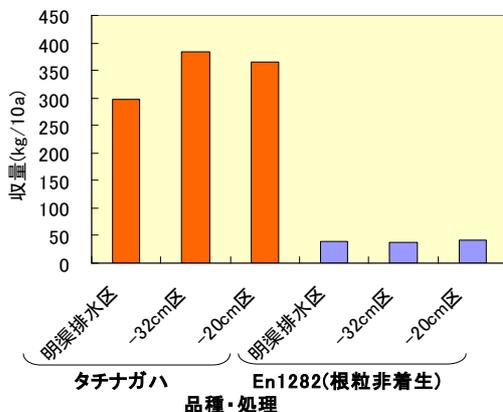
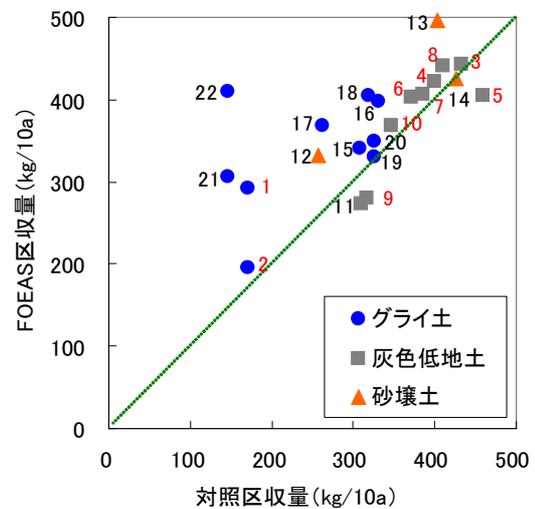


図 18 低窒素肥沃度圃場における品種と地下水位制御が収量に及ぼす影響。(中央農研 2006、2007年の平均値)

このように、地下水位の制御は根粒窒素固定活性を高めるので、地力窒素に乏しい圃場においても増収が可能です。

図 19、表 1 に示されるように、2005～2008 年に試験を実施した 4 県 (宮城、富山、茨城、福岡) のほとんどにおいて FOEAS による増収効果が認められました。特に透水性が悪い粘質な圃場において効果が高い傾向がみられます。ただし、対照区が適度な降雨 (表中の試験番号: 14) や好適な地下水位 (5) に恵まれた場合や、FOEAS 区の生育が旺盛で蔓化、倒伏する場合 (2、9、11) には、対照区と同等か減収する場合があります。



赤字のプロットの対照区は、排水性はFOEAS区と同等だが灌水は行っていない。

図 19 地下水位制御による増収効果

表 1 図 19 の各プロットの内容

試験年次	場所	品種	FOEAS区設定 地下水位(cm)	対照区の概要	備考
1	2008 宮城県美里町現地1	ミヤギシロメ	-30cm一定	排水性はFOEAS区と同等で無灌水	FOEAS区変化
2	2008 宮城県美里町現地2	ミヤギシロメ	-30cm一定	排水性はFOEAS区と同等で無灌水	FOEAS区変化
3	2007 福岡県(九沖農研)	フクユタカ	-35cm一定	排水性はFOEAS区と同等で無灌水	対照区地下水位-35~-60cm
4	2007 福岡県(九沖農研)	サチユタカ	-20cm一定	排水性はFOEAS区と同等で無灌水	
5	2008 福岡県(九沖農研)	フクユタカ	-35cm一定	排水性はFOEAS区と同等で無灌水	
6	2008 福岡県(九沖農研)	サチユタカ	-20cm一定	排水性はFOEAS区と同等で無灌水	
7	2008 宮城県(古川農試)	タンレイ	-30cm一定	排水性はFOEAS区と同等で無灌水	晩播、FOEAS区倒伏
8	2008 宮城県(古川農試)	あやこがね	-30cm一定	排水性はFOEAS区と同等で無灌水	晩播
9	2008 宮城県(古川農試)	タンレイ	-30cm一定	排水性はFOEAS区と同等で無灌水	
10	2008 宮城県(古川農試)	あやこがね	-30cm一定	排水性はFOEAS区と同等で無灌水	
11	2008 宮城県大崎市現地	きぬさやか	-30cm一定	本暗渠	FOEAS区変化
12	2006 富山県(富山農総セ)	エンレイ	開花後+5~53日、-35cm	明渠、無灌水	畦立て栽培
13	2007 富山県(富山農総セ)	エンレイ	開花後+3~64日、-20cm	明渠、畦間灌水	畦立て栽培
14	2008 富山県(富山農総セ)	エンレイ	開花後+5~64日、-20cm	明渠、畦間灌水	畦立て栽培
15	2005 茨城県(中央農研)	タチナガハ	-30cm一定	傾斜化(1/1000)	不耕起栽培
16	2006 茨城県(中央農研)	タチナガハ	-32cm一定	明渠+弾丸暗渠	対照区青立ち
17	2007 茨城県(中央農研)	タチナガハ	-32cm一定	明渠+弾丸暗渠	対照区青立ち
18	2008 茨城県(中央農研)	タチナガハ	-32cm一定	明渠+弾丸暗渠	
19	2007 茨城県つくば市現地	タチナガハ	播種後~8月末、-30cm	傾斜化	FOEAS区不耕起栽培
20	2007 茨城県つくば市現地	タチナガハ	播種後~8月末、-30cm	傾斜化	対照区青立ち
21	2008 茨城県つくば市現地	タチナガハ	播種後~8月末、-30cm	傾斜化	FOEAS区不耕起栽培
22	2008 茨城県つくば市現地	タチナガハ	播種後~8月末、-30cm	傾斜化	FOEAS区不耕起栽培

3. FOEASを用いた大豆栽培の留意点

FOEAS 施工圃場での大豆栽培は基本的に今までの栽培と同じですが、いくつか留意すべき点があります。

1) 圃場の準備

FOEAS は排水性が良好なため、豪雨に見舞われない限り明渠や畝立て栽培は必要ありません。ただし、著しい豪雨の際には排水路の水位が大きく上昇して水位制御器の設定高さよりも高くなり圃場内に逆流することがあります。このような場合は豪雨前にいったん水位制御器の設定水位を田面高まで上げておくなどの対応が必要です。

地下水位制御による根粒窒素固定の活性化により、窒素はかなりの量を根粒からまかなえるようになります。しかし、田畑輪換において大豆作付けの頻度が増えると、土壤有機物が減少して土壤の物理性や化学性の悪化を招きます。この物理性の悪化はクラスト化や砕土率低下による出芽不良、土壤孔隙の減少による通気性悪化などを通じて生育不良を招くので、やはり堆肥の投入や稲わら、麦わら、緑肥など鋤込みによる地力涵養は大切です。

2) 品種、耕種条件の選定

FOEAS では干湿害の回避により大豆の生育が旺盛になりやすく（図 20）、品種や栽植密度、土壤肥沃度によっては倒伏やまん化する可能性があります。

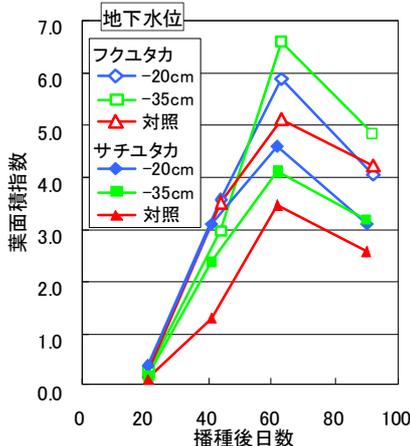


図20 葉面積指数の推移
(九沖農研、2008)

そのため、倒伏、まん化を回避するために、土壤の肥沃度に応じて品種や栽植密度を選定することが大切です。施肥に関しては、窒素は根粒活性向上が期待できるので、リン酸、カリ、カルシウムなどの窒素以外の肥料を基本に施用します。

播種は慣行の方法を基本的とします。ただし、高

い排水能力のために排水目的で行う作畦や明渠が不要となるため、耐倒伏性品種と組み合わせた省力的な不耕起狭畦栽培や無中耕・無培土栽培に好適と考えられます。

3) 出芽促進

大豆の出芽苗立ちは、土壤水分の過多、不足により大きく影響されます。FOEAS では数 cm 単位で圃場全面の地下水位を制御できるので、上手にこの機能を利用すると出芽苗立ちを揃えることができます。

(1) 土壤が湿潤時の留意点

出芽前の種子の冠水は禁物です。特に播種時の種子水分が約12%以下の乾燥種子では急激に種子が吸水して種子組織が破壊されます。梅雨期間の播種のように降雨の可能性が高い場合は、地下水位を出来るだけ下げて積極的に排水し、冠水防止と種子への酸素供給を図ることが大切です。

(2) 土壤が乾燥時の留意点

一度、吸水した種子がその後の土壤乾燥により、種子水分20%以下になると出芽が著しく低下するか枯死します。そのため、種子が発根して土壤中に根が伸びるまでは、比較的湿潤な土壤水分の方が出芽苗立ちが良好となります。FOEASでは従来の排水施設よりも土壤表層が良く乾くので、しばらく好天が続く場合は種子近傍が過乾となり、かえって出芽が悪くなることがあります。特に重粘な土壤では下層土からの水の上昇が少なく、砕土率が低くなりやすいので配慮が必要です。

このような時は地下水位を一時的に上昇させることにより、出芽を促進させることができます。出芽促進に適した地下水位は、土壤の種類や砕土率で大きく異なり、通常は-7~-15cm程度で、播種した種子の近傍が軽く湿る程度、通常は土壤表面がわずかに湿る程度が目安となります（図21）。



図21 一時的な地下水位上昇による乾燥時の出芽促進（中央農研、2006）

ただし、前の項で述べたように種子組織の破壊防止などの観点から種子の水没は厳禁ですので、圃場

の均平が保たれていることがこの処置の前提条件となります。

出芽促進のために地下水位を上昇させる期間は天候により異なります。気温が低くて日射が強くない場合は、一度吸湿した土壌表層の水分は比較的長期間保持されるので、地下水位上昇は数時間程度でも問題ありません。しかし、高温・高日射の晴天が続く時は、種子吸水後の過乾燥による枯死を防ぐため、種子根が出現するまでの間(約2~3日)とすべき場合があります。

4) 生育期の地下水位

生育、収量にとって好適な地下水位について、試験を実施した-20~-35cmの間では、栽培年次、場所、品種により異なったため一定の結論を出すには至りませんでした。例えば、福岡県における試験では、品種フクユタカは-35cmで多収になる傾向にあり、サチユタカは-20cmで多収になる傾向がみられました。また、乾燥年はやや高めの地下水位が良いようです。ただし、多くの場合には地下水位-30~-35cm程度で良好な結果を得ているので(図19)、研究の進展により諸条件別の最適地下水位が明らかになるまでは、この範囲に地下水位を制御するのがよいでしょう。

4. 大豆生産にFOEASの効果があまり期待できない諸条件

1) 気象条件

FOEASは土壌水分の制御を行うシステムですので、大豆の生育期間中に適度の降雨があり乾湿害が生じにくい地域や年次では、その効果はあまり期待できません。

2) 圃場条件

図22はライシメータを用いて地下水位処理が大豆の収量に及ぼす影響をみたものです。透水性、保水性が乏しい重粘な土壌で地下水位制御による増収効果が大きいことが分かります。一方、保水性、透水性に富む黒ボク土では、高地下水位による悪影響はみられるものの、地下水位制御の効果はあまりみられません。また、砂質な土壌では地下灌漑による干ばつ防止効果は大きいですが、圃場周囲や下層への漏水が生じやすく灌水必要量が大きくなる場合があります。そのため、圃場状況、用水確保等から導入の可否を判断するとともに、必要に応じて漏水対策を実施します。また、大豆単収が400kg/10aに達するような圃場では、基本的に土壌水分の悪影響は小さいので、FOEASの効果はあまり期待できない

と考えられます。

なお、大豆作における排水対策であれば、耕うん畝立て同時播種技術、小明渠作溝同時浅耕播種技術、圃場傾斜化などの各種の湿害防止技術が開発されていますので、それらも考慮する価値があります。

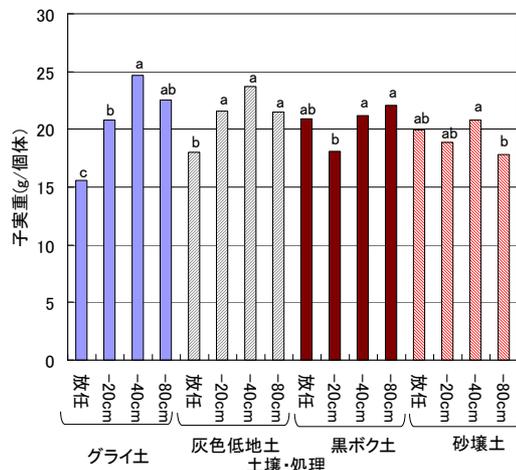


図22 土壌の種類と地下水位が大豆の生産性に及ぼす影響。(中央農研)

(ライシメータ実験、2006~2008年の平均)

品種はエンレイ。放任区は無灌水で地下水位-10cmで排水。各土壌内において同じ文字はTukey法の5%水準で有意差なし。

5. 地域ごとのトピックス

1) 砂質土壌圃場での成果及び留意点

(富山県農林水産総合技術センター)

富山県農業研究所内の砂質土圃場において、開花期後、FOEASを用いて地下水位を一定にした試験区は、無かん水区、畦間かん水区にくらべ、土壌水分の変動が小さくなりました。そこで、開花期後、干ばつ条件下となった2006及び2007年では、FOEASを用いると、稔実莢数や稔実粒数、収量が向上する傾向が見られました(表2)。

表2 収量構成要素及び収量

年次	試験区	総節数 (ノ/m)	稔実莢数 (ノ/m)	稔実粒数 (ノ/m)	百粒重 (g)	収量 (kg/a)
2008	設定地下水位-30cm	493.5	696.5	1157.1	35.8	41.4
	設定地下水位-20cm	470.7	689.8	1191.9	35.7	42.6
	畦間かん水	431.1	684.4	1154.9	36.9	42.6
	無かん水	476.0	784.2	1324.6	34.0	45.0
2007	設定地下水位-20cm	421.6	893.8	1690.4	29.4	48.7
	畦間かん水	399.0	707.6	1306.1	30.9	42.2
2006	設定地下水位-35cm	379.4	623.6	1068.7	31.0	34.6
	無かん水	357.1	532.0	909.4	28.3	29.9

注) 耕種概要 品種:エンレイ、播種様式:畦立同時機械播種、培土有り
 施肥量(Nkg/a) 2006、2008年:0.3、2007年0.3+1.5(Lpss)
 播種期 2006年:6/5、2007年:5/30、2008年:5/27
 開花期 2006年:7/22、2007年:7/19、2008年:7/17

しかし、砂質土壤に FOEAS を導入する際、降下浸透や畦畔漏水が著しく、水位管理器等で設定した地下水位を維持できない場合や多量の用水が必要となる場合があります、導入に当たっては留意が必要です。

2) FOEAS と大豆の不耕起狭畦栽培

(中央農業総合研究センター)

関東東海地域の大規模水田輪作経営では、小麦作後の大豆作付けが主流ですが、この時期はちょうど梅雨にあたるため、小麦収穫と大豆播種作業が降雨により遅延しやすく、大豆では播種遅延による減収や品質低下が生じやすくなります。また、大豆作では中耕・除草と培土作業が作業時間の4割を占めるため、この作業の省力化が大きな課題となっています。そこで、中央農業総合研究センターでは、これらを解決する省力的な栽培技術として、汎用型不耕起播種機による大豆の不耕起狭畦播種技術を開発しています。

不耕起狭畦播種技術では平坦な田面に播種溝を切るため、降雨により播種溝に水がたまり易く、湿害や病害にあいやすい課題があり、圃場の良好な排水性がこの技術導入の必須条件となっています。

FOEAS は排水性改善に大きな効果がみられることから、不耕起狭畦播種技術との併用効果が期待されます。そこで茨城県つくば市内の粘質な土壤を有する現地大規模圃場において栽培試験を実施しました。供試圃場はグライ土でしたが、FOEAS 施工圃場では明渠を作らなくても降雨後速やかに余剰水が排水されました。2008年6月29,30日に合計44mmの降雨がありましたが、2日後の7月2日には播種に支障のない土壤水分となり、汎用型不耕起播種機による効率的な播種が可能でした(図23)。



さらに 2007、2008 年の結果から、FOEAS + 不耕

起狭畦栽培区は FOEAS + 慣行栽培区および対照(無暗渠・額縁明渠+慣行栽培)区対比で、それぞれ+20%および+61%増収しました(図24)。このことから、排水不良な粘質な土壤においても、FOEAS 導入によって不耕起狭畦栽培による省力的な大豆生産が可能になると期待されます。

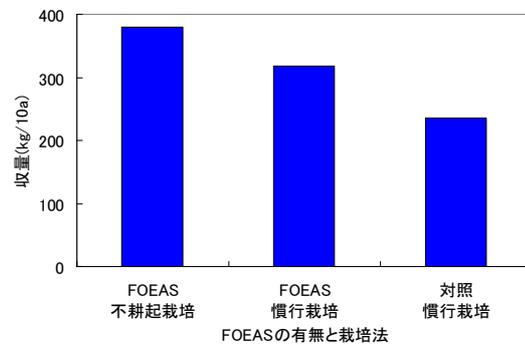


図24 FOASと不耕起狭畦栽培が収量に及ぼす効果。(中央農研)

茨城県つくば市現地大規模圃場、2007,2008年の平均。対照区は無暗渠で額縁明渠排水。不耕起栽培と慣行栽培の畦巾は各30cm、70cm。

3) 九州地域の成果・留意点と品種間差

(九州沖縄農業研究センター)

九州では主力品種フクユタカの播種適期が梅雨の後期と重なるため、地下水位制御システムには排水性向上による播種可能日数の増加と出芽苗立ち改善の効果がまず期待できます。さらに、生育中の乾燥ストレスに対する地下灌漑の効果について、次のようなことがわかってきています。

(1) 地下水位制御システムによる灌漑の効果があらわれやすい条件

地下灌漑による増収効果は、明らかに認められる時とそうでない時がありますが、概して生育量の小さい品種や栽培条件(晩播、無施肥など)の場合に、効果がよくあらわれます。

(2) 最適な地下水位の品種による差

地下灌漑による増収効果が得られる場合、好適な地下水位は品種によって異なり、品種フクユタカでは地下水位-35cm、サチユタカでは-20cmで多収になる傾向がみられます(図25)。サチユタカはフクユタカより早生、短茎で生育量が小さい特徴がありますが、さらに根系発達の違いなどが、最適水位の差に影響しているようです。

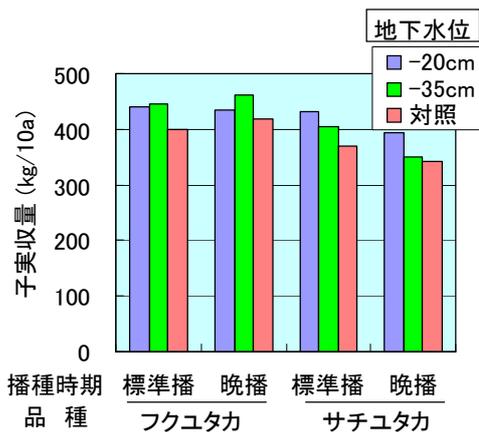


図25 地下水位制御が収量に及ぼす影響の品種間差。(九沖農研2008) 無施肥区。晩播は狭畦密植。

フクユタカは九州の大豆作付け面積の85%以上を占めていることから、現状では多くの場合、地下水位は-35cm程度に制御すればよいと考えられます。ただし、今後、新たな品種の作付けが伸びる場合には、その品種に適した地下水位を検討する必要があるでしょう。

(3) 高温・乾燥年には品質に地下水位制御が影響

子実肥大期に気温が高く雨の少なかった2007年には、生産現場では粒が十分肥大せずに百粒重が小さくなる傾向がみられました。このような年に、地下水位を制御した圃場では粒が大きくなる傾向が認められました(図26)。また、サチユタカでは粒が大きくなると共に、粗蛋白含有率も高くなりました。一方2008年には、地下灌漑が粒大に及ぼす影響は、一部を除いて明らかではありませんでした。

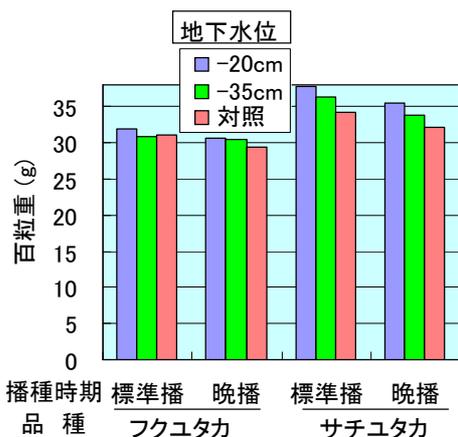


図26 地下水位制御が百粒重に及ぼす影響。(九沖農研2007) NPK施肥区。晩播は狭畦密植

(4) スクミリンゴガイにご用心

九州全域で水稻への被害が問題になるスクミリンゴガイ(ジャンボタニシ)ですが、地下水位制御システムにとっても、実は困り者です。給水側の水位管理者付近の配管の細い部分などに、スクミリンゴガイが詰まることあるのです。スクミリンゴガイが灌漑用水にいる場所では、水位管理者の上流の適当な箇所にフィルターの役目をする網袋を取り付けるなどして、管の詰まりを防ぎましょう。

6. 関連文献・資料

< FOEAS 開発 >

藤森新作. 2005. 水田畑作の安定化を図る新しい地下灌漑システムの開発. 圃場と土壌 37(7):20-24.
藤森新作. 2006. 低コスト地下灌漑システム「FOEAS」(フォアス). 農業技術大系 追録第28号 技1028の2-7.

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 水田リフォーム技術の開発. 農業および園芸. 82(5): 570-576.

藤森新作. 2007. 田畑輪換体系における水稻作も考慮した新たな排水対策技術は?. 収量・品質の向上と安定生産のための大豆づくりQ&A. 全国農業改良普及支援協会: 7-10

藤森新作. 2007. 水田輪作を可能とする新たな水田汎用化技術の開発. 農業 1497号

藤森新作、若杉晃介、小野寺恒雄. 2007. 地下灌漑時及び普通期の田面水位を自動管理する低コストな水位管理者. 平成19年度農業農村工学会大会講演要旨集:832-833

藤森新作、若杉晃介. 2007. 低平地排水不良地区における低コスト地下灌漑システム及び自然圧パイプラインの実証試験. 第58回農業農村工学会関東支部大会講演要旨:111-114

藤森新作. 2008. 湿害や干ばつを防止する新地下水位制御システム「FOEAS (フォアス)」. 農業新技術2008

藤森新作、若杉晃介、北川巖. 2008. 田畑輪換で食糧自給率向上を図るための新たな基盤整備技術. 畑地農業 595号:4-25

藤森新作、若杉晃介. 2008. NARO RESEARCH PRIZE 2008. 農研機構 2008.9.25

藤森新作. 2009. 水田のかんがい水位を自動管理する低コストな水位管理者. ニューカントリー 659号:38-39

藤森新作. 2009. 水田の高度利用を実現する地下水位調節システムFOEAS. グリーンレポート 477号:4-

<大豆栽培技術>

冠秀昭、神崎正明、岩佐郁夫、千田智幸. 2007. 大豆栽培時における地下灌漑による土壌水分調節について. 2007年度農業農村工学会大会講演集: 350-351.

冠秀昭、星信幸、神崎正明. 2008. 粘土質転換畑における暗渠内水位調節. 第50回土壌物理学会講演要旨集:70-71

神崎正明、冠秀昭、星信幸. 2007. 地下灌漑システム利用による地下水位調節がダイズの出芽、生育に与える影響. 日作紀 76(別2): 58-59.

神崎正明、平智文、冠秀昭. 2007. 地下灌漑システム利用による地下水位調節が雑草の出芽に及ぼす影響. 雑草研究 52(別): 28-29.

中元博明、森田 敏、中野恵子、北川寿、中野洋、鄭紹輝. 2007. 新地下灌漑システム (FOEAS) による地下水位制御が北部九州における大豆の生育および収量に及ぼす影響. 日作紀 76(別1): 90-91.

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.

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.

島田信二、藤森新作、金榮厚、若杉晃介、中野寛、田澤純子、金谷豊、国立卓生、中村卓司、中山則和、山本亮、島村聡. FOEAS の地下水位制御は大豆の根粒窒素固定、光合成を高めて増収させる. 平成18年度「関東東海北陸農業」研究成果情報

島田信二、藤森新作、若杉晃介、神崎正明、春口真一、野原努、中村卓司、中山則和、山本亮、島村聡. 2006. ダイズの苗立ち、窒素固定、収量に対する新

規地下灌漑システム (FOEAS) の効果 (予備実験). 日作紀 75(別1): 98-99.

島田信二. 2006. 水田輪換畑作ダイズの多収化戦略. 日作紀 75: 394-399.

島田信二. 2006. ダイズ生産性の向上と根粒窒素固定. 農業技術大系 追録第28号第6巻 技30の7の10-25.

島田信二、松浦和哉、金榮厚、藤森新作、若杉晃介、金谷豊、国立卓生、田澤純子. 2007. 低肥沃度水田輪換畑圃場におけるFOEASの地下水位制御がダイズの光合成、窒素固定、収量に及ぼす影響. 日作紀 76(別1): 282-283.

Shimada, S. and S. Fujimori. 2007. Effects of water table control by FOEAS on soybean productivity in paddy fields. ASA-CSSA-SSSA 2007 International Meetings, 164-13

島田信二、松浦和哉、金榮厚、濱口秀生、藤森新作. 2008. 異なる土壌種類における地下水位制御が根粒着生・非着生ダイズの葉色と子実重に及ぼす影響. 日作紀 77(別1) 256-257.

島田信二、濱口秀生、加藤雅康、国立卓生、田澤純子、松浦和哉、金榮厚、藤森新作. 2008. 低窒素肥沃度水田輪換畑圃場におけるFOEASの地下水位制御がダイズ生産性に及ぼす効果—2カ年間の成績. 日作紀 77(別2): 50-51.

島田信二. 2009. 大豆の生産・安定供給について. 産学官連携ジャーナル 4(8): 13-14.

島田信二、濱口秀生、高橋幹、森田敏、中元博明、星 信幸、神崎正明、冠 秀昭、南山恵、金田宏、藤森新作. 2009. 大豆に対する地下水位制御システムの効果. 平成20年度「共通基盤」研究成果情報

高橋幹、中元博明、中野恵子、森田敏、北川寿、中野洋、鄭紹輝. 2008. 地下灌漑システム「FOEAS」による地下水位制御が暖地ダイズの生育、収量、品質に及ぼす影響. 日作紀 77(別2): 78-79.

7. 担当者

< FOEAS 開発担当 >

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所
藤森新作、若杉晃介、北川 巖

< 大豆栽培技術担当 >

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業総合研究センター
島田信二、濱口秀生、加藤雅康、田澤純子、国立卓生、金 榮厚、金谷 豊

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 九州沖縄農業研究センター
高橋 幹、森田 敏、北川 寿、中野 洋、中野恵子、中元博明

宮城県古川農業試験場
星 信幸、神崎正明、冠 秀昭

富山県農林水産総合技術センター 農業研究所
南山 恵、金田 宏、杉森史郎

・問い合わせ先

< FOEAS施工関係 >

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構
農村工学研究所 水田汎用化システム研究チーム
〒305-8609 茨城県つくば市観音台2-1-6
電話 029-838-7642

< 大豆栽培関係 >

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構
中央農業総合研究センター 大豆生産安定研究チーム
〒305-8666 茨城県つくば市観音台3-1-1
電 話 029-838-8532
メール daizuseisan@naro.affrc.go.jp

地下水位制御システム(FOEAS)による大豆の安定生産マニュアル

発行 2009年3月
編集発行 独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構
中央農業総合研究センター
大豆生産安定研究チーム
〒305-8666 茨城県つくば市観音台3-1-1
印刷所 朝日印刷株式会社