

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

竹田博之¹⁾・佐々木良治²⁾

(¹⁾ 近畿中国四国農業研究センター, ²⁾ 農林水産省)

要旨：転換畑ダイズ作における生育・収量の安定化と作期拡大を目指して、梅雨期に播種するダイズの出芽・苗立ちに対する地下水位制御システム (FOEAS) の効果を検討するとともに、同システムによる土壤水分の制御が梅雨明け後に播種するダイズの出芽・苗立ちおよび生育・収量に及ぼす影響を調査して梅雨明け後播種栽培の可能性を検討した。7月上旬に不耕起狭畦栽培方式で播種したダイズ品種サチユタカの出芽・苗立ち率は、額縁明渠のみ施工した慣行区では3カ年平均44%であったのに対してFOEASにより平均85%に向上した。7月下旬から8月上旬の播種では、播種数日前に水位を-5 cmに一時的に上げて土壤水分を高める水管理により69~87%の出芽率が得られた。しかし、播種時期が遅くなると播種から開花期までの期間や開花期から莢伸長始期までの期間が短縮し、さらに稔実莢数や粒数の減少などにより収量は低下した。7月下旬の播種では7月上旬播種のFOEAS区よりも30%程度減収すると推定されたが、同時期の慣行区に比較すると10%程度の減収であったことから、FOEASを利用したダイズの梅雨明け後播種栽培は、梅雨期における出芽不良のリスク分散や作期拡大の観点から実行可能性は十分にあると考えられた。

キーワード：出芽，ダイズ，地下灌漑，土壤水分，梅雨，晩播，不耕起，FOEAS。

わが国のダイズ生産の多くは水田転換畑で行われており、北海道を除く都府県ではダイズ作付面積の90%以上を水田転換畑が占めている (農林水産省 2010)。水田転換畑は普通畑に比較して一般的に地下水位が高く、降雨や隣接田からの漏水などによって土壤水分が過剰となりやすいため、ダイズの生育は不安定で収量も低い場合が多い。

西日本のダイズ作では6月から7月に播種されることが多く、梅雨により播種適期を逸することや出芽・苗立ちが著しく不良となることがある。一方、梅雨明け後は天候が安定することから、7月下旬~8月上旬に播種する晩播き栽培 (木村 1986, 望月ら 1992, 望月ら 1995, 梅崎ら 1995, 異儀田ら 1996) の検討が四国や九州でなされたが普及に至っていない (松永 2002)。九州北部や中国地域の梅雨明け平年値は7月18~20日頃であるが、年によって7月上旬から7月末まで変動がある (気象庁 2012) ことから、梅雨明けを想定して播種作業を計画しても、梅雨後期の大雨に遭遇するリスクや晴天が続く土壌が過乾燥状態となり出芽・苗立ちに支障を来すリスクは避けられない。

このように、ダイズの出芽・苗立ち期の生育は土壤水分の影響を強く受けるが、その後の生育にも土壤水分は影響し、初期生育が土壌の過湿で抑制されることが広く知られている。さらに、開花期以降はダイズの水分要求量が増加するため、多くの地域では7月中下旬から8月下旬には蒸散量が降水量を上回り (島田 2002)、旱害の危険に曝されることになる。開花期以降の水分欠乏ストレスは、生殖生長に対する影響が特に大きく、落花・落莢、子実肥大の抑制などにより減収となる。また、光合成や根粒活性に与え

る影響も大きく、好適地下水位の設定・維持は水田転換畑におけるダイズ多収化において必須な管理と考えられている (島田 2002)。ダイズの水分欠乏ストレスを軽減・回避する方法として、畦間灌水や地下灌水法などが検討されてきたが、近年は、地下水位制御システム (FOEAS) が開発され (小野寺ら 2003, 藤森 2005)、ダイズ作における検討が進められるとともに、その有効性が示されつつある (独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 2009)。西日本のダイズ作を拡大し、収量の年次変動を抑制して高位安定化させるためには、梅雨期における出芽・苗立ちを安定させるとともに、播種期の拡大を図る必要があると考える。

そこで本研究では、広島県をはじめ西日本の複数の県で奨励品種となっているダイズ品種サチユタカを供試して出芽・苗立ちに対するFOEASの効果を検討するとともに、地下水位の制御が生育・収量に及ぼす影響を調査した。さらに、梅雨明け後の晩播栽培で問題となる土壌乾燥による出芽・苗立ち不良を地下水位制御によって改善するとともに、晩播栽培における品種適応性を評価した。

材料と方法

水田転換畑 (岡山県小田郡矢掛町, 細粒灰色低地土, 北緯34度, 東経133度, 標高約20 m, 面積13.9 a) において2006~2008年にダイズの不耕起狭畦密植栽培を行った。試験圃場は、2005年に水稻を栽培した水田であり、2006年4月にFOEAS (小野寺ら 2003, 藤森 2005) を施工した。本システムは、圃場に埋設した有孔管等による幹線・支線パイプおよび補助孔 (弾丸暗渠等) に対して用水を供給す

るとともに田面排水機能を備えたシステムであり、水位制御器により暗渠排水と地下水位を調節する機能をもつ。試験圃場内の約9aにFOEASを施工し、残りの約5aはFOEASを施工せずに幅30cm、深さ15~20cmの額縁明渠を敷設した。

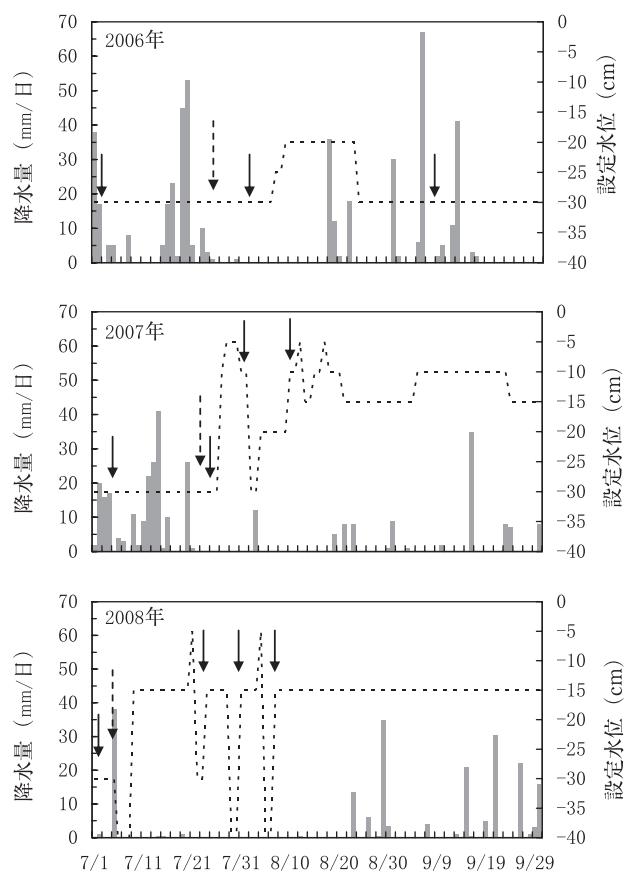
1. 播種

ダイズ品種サチユタカ（高橋ら2004）の種子を1粒ずつ約15cm間隔でシーダテープに封入した（日本プラントシーダ株式会社）。そして、近畿中国四国農業研究センターで開発したトリプルカット式不耕起播種機（窪田ら2003）により30cm間隔の播種溝を作溝し、1条播きの手押し式テープシーダ（日本プラントシーダ株式会社、TSA-7）を用いてシーダテープを播種溝に埋設することにより播種した。したがって、播種密度は約22.2粒 m^{-2} となる。トリプルカット式不耕起播種機（窪田ら2003）は、播種溝の近傍に施肥溝を作る機構を備えており、施肥ユニットにより施肥溝に施肥した。施肥は基肥のみとし、化成肥料によりN、 P_2O_5 、 K_2O それぞれを2006年は0 gm^{-2} 、7 gm^{-2} 、7 gm^{-2} 、2007年と2008年は梅雨明け後播種における初期生育の向上を期待して、それぞれ3 gm^{-2} 、9 gm^{-2} 、7.5 gm^{-2} とした。実際の施肥量は設定値の2006年は93~98%、2007年は92~103%、2008年は83~100%であった。播種の約1週間前に除草剤（グリホサート液剤またはグリホシネート液剤）を散布し、播種直後には除草剤（ベンチオカーブ・ペンディメタリン・リニュロン剤）と殺虫剤（ダイアジノン粒剤）を散布した。その後の薬剤散布は慣行法に準じて適時行った。

FOEASを施工した領域（以下、FOEAS区）は、更に3区（2006年）ないし4区（2007年、2008年）に分割し、2006年はそのうちの2区を利用して7月4日と8月2日に播種し、2007年は7月6日、7月25日、8月1日、8月10日、2008年は7月3日、7月24日、7月31日、8月7日に順次播種した。FOEASを施工していない領域（以下、慣行区）は2つに区分し、2006年は7月4日と8月2日、2007年は7月6日、7月25日、8月10日、2008年は7月3日、7月24日、8月7日に播種した。2007年の8月10日と2008年の8月7日の播種では、前回の播種で出芽・苗立ちした株を全て抜き取り、さらに播種する位置を15cmずらして行った。

試験区の大きさは、7月上旬播種ではFOEAS区と慣行区のいずれも12.2~13.5 m^2 とし、3カ所設けた。また、7月下旬以降の播種では、FOEAS区は7.2~10.8 m^2 、慣行区は3.6~9.5 m^2 とし3カ所設けた。

FOEAS区では、2007年と2008年の7月上旬播種においてサチユタカ以外にも参考としてエンレイ、フクユタカ、ニシムスメ、四国1号（後のはつさやか）（計5品種・系統）を供試した。また、梅雨明け後の晩播栽培における品種適応性を評価するために、2007年7月25日播種と2008年7

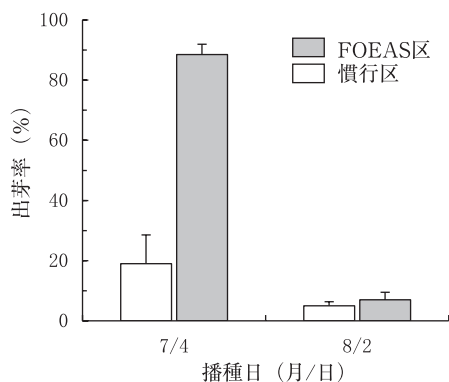


第1図 岡山県矢掛における降水量の推移と試験圃場における設定水位。

降水量は矢掛のアメダスデータであり、試験圃場からの約2kmに位置する。図中の実線矢印は播種日を示し、点線矢印は梅雨明け日を示す。設定水位は図中の点線で示した。

月24日播種では、サチユタカの他にハタユタカ、ユキホマレ、エンレイ（計4品種）を供試し、2007年8月1日播種と2008年7月31日播種では、これら品種にリュウホウを加えた計5品種を供試した。試験区の大きさはサチユタカと同様であり、各播種期とも3カ所設けた。一方、慣行区でも同様の品種比較を行ったが、上記のように2007年8月1日播種と2008年7月31日播種では試験区を設けていない。試験区の大きさはサチユタカと同面積であり、同じく各3カ所設けた。

播種後11~16日目に発芽・苗立ちした個体数を1.8~3.0 m^2 で調査して播種粒数に対する割合を出芽・苗立ち率（以下、出芽率）とした。播種粒数は、2006年と2007年は株間15cm条間30cmとして計算し、2008年は株間を実測して播種粒数を算出した。なお、全播種期のFOEAS区と7月上旬播種の慣行区では、出芽率を調査した後に補植を行い、少なくとも3.6 m^2 （6条×2.0m）程度の群落を維持することに努めた。2007年8月10日と2008年8月7日播種の慣行区では、土壌乾燥が著しいため補植はしなかった。



第2図 出芽率に及ぼす播種時期および地下水位制御システム (FOEAS) の影響 (2006 年).

品種はサチユタカ. 垂線は標準誤差 ($n=3$) を示す. 2006 年の梅雨期は 6 月 8 日から 7 月 25 日.

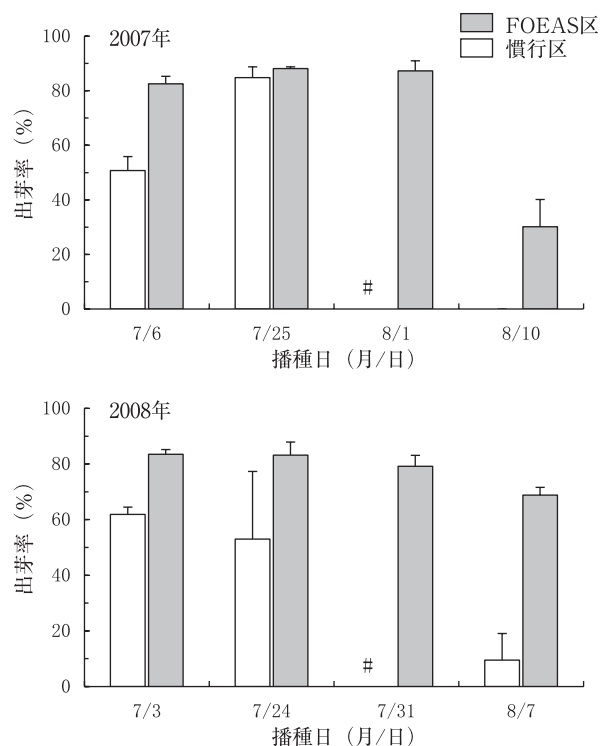
2. 地下水位の設定と土壤水分の測定

地下水位は、試験圃場内の地表面の平均標高を基準として給水側の水位管理器ならびに排水側の水位制御器により設定した. 大豆の最適な地下水位は 40~50 cm とする報告が多いが (島田 2002), FOEAS の給排水機能を考慮して 2006 年は 8 月 7~24 日 (7~9 日は水位 -25 cm, 9~24 日は -水位 20 cm) を除くほぼ全期間 -30 cm に水位を設定した (第 1 図). しかし, 後述するように 2006 年 8 月 2 日播種では, 種子近傍の著しい土壤乾燥により発芽不良が認められたことから, 2007 年と 2008 年は第 1 図に示すように天候, 土壤水分, 播種作業の日程などを勘案して逐次調整した. 播種前後の具体的な水位設定については後で述べる. 両年ともに梅雨明け後は 1 ヶ月以上まとまった降雨がなく, 梅雨明け後播種の初期生育の低下などが懸念されたため, 島田ら (2006) の報告や 2006 年の試験結果を勘案して水位を -10 cm もしくは -15 cm に設定した.

土壤水分の測定は 2008 年のみ実施し, 採土器 (大起理化工業株式会社, DIK-115B) を用いて地表部から 1~6 cm の土層の土壤を播種数日前から播種後 10 日目まで採取し, 105℃で 3 日間以上乾燥して体積含水率を算出した.

3. 生育・収量調査

各播種期について開花期, 莢伸長始期, 子実肥大始期, 子実最大期および成熟期を記録した. また, 成熟期には各試験区で最下着莢高, 倒伏の程度を 3 カ所, 各 15~20 株で調査した. 倒伏の程度は, 主茎の傾斜角度 10°未満を 0 (無), 10°以上 20°未満を 1 (少), 20°以上 40°未満を 2 (中), 40°以上 60°未満を 3 (多), 60°以上を 4 (甚) とする 5 段階で評価した. そして, この株を含む 0.7~1.8 m² を刈り取り自然乾燥した. 平均的な生育を示す 10 株を選抜し, 主茎長を測定するほか, 稔実莢数や子実粒数を調査して 1 莢粒数を算出した. 残りの株は脱粒機 (白川農機具製作所, CP-18) により脱粒した後, 先の 10 株から得た子実と合わせ, 粒厚 2 mm 以上の子実を粗子実とした. 子実の水分は



第3図 出芽率に及ぼす播種時期および地下水位制御システム (FOEAS) の影響.

データは品種サチユタカの結果を示す. #: 2007 年 8 月 1 日播種と 2008 年 7 月 31 日播種では慣行区を設けていない, 垂線は標準誤差 ($n=3$) を示す.

水分計 (ケット科学株式会社, PM-830) により計測し, 粗子実重 (以下, 子実収量) と百粒重は含水率 15% 換算値で示した.

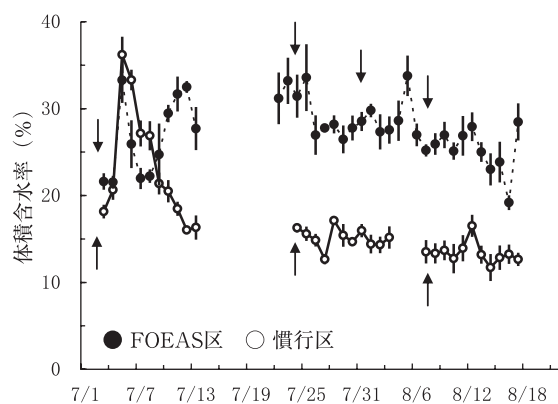
結果と考察

1. 出芽率

(1) 梅雨期の播種

2006 年のサチユタカの出芽率は, FOEAS 区では 89% であったのに対し, 慣行区は 19% と著しく低かった (第 2 図). FOEAS 区の出芽率は 2007 年や 2008 も安定して高く, それぞれ 83% と 84% であったのに対し, 慣行区では 51% と 62% と低かった (第 3 図).

2006 年は播種 2~3 日前に計 55 mm の降雨があり, 2007 年は播種後に連続的な降雨, 2008 年は播種 2 日後に 38 mm の降雨が記録されていることから (第 1 図), 慣行区では降雨による部分的な冠水や高い土壤水分により出芽障害が生じて出芽率が低下したと推測される. 一方, このような条件下でも FOEAS 区の出芽率は安定して高く, それは本試験で実施した不耕起栽培と FOEAS の田面排水機能 (小野寺ら 2003) によって冠水が回避されるとともに, 土壤水分の改善が図られて出芽障害が大幅に軽減したことによると考えられる. この推測は, 2008 年の土壤体積含水率 (以下, 含水率) の推移からも首肯できる. 播種日と播種



第4図 体積含水率の推移 (2008年)。

体積含水率は地表から1~6 cmの土層で調査した。矢印は播種日を示し、垂線は調査地点間の標準誤差 (n=3もしくは6)を示す。

翌日の含水率はFOEAS区では22%であったのに対し、慣行区では18~21%とわずかに低かった (第4図)。しかし、降雨のあった7月5日にはFOEAS区の含水率が33%であったのに対し、慣行区では36%にまで高まった。FOEAS区では、給水を一時的に止め排水と土壤乾燥を優先したことにより、その後3日間は慣行区よりも5~7%低く経過した。このような播種後の土壤水分の差が出芽率の処理間差に影響したと推測される。

(2) 梅雨明け後の播種

2006年8月2日播種の出芽率は、慣行区の5%に対してFOEAS区でも7%と著しく低くかった (第2図)。2006年は、梅雨明けした7月26日から播種後15日目までに降雨は1 mmしかなかったため (第1図)、種子近傍の土壤水分は土壤下層からの毛管水に依存することになるが、播種数日後に観察した種子近傍の土壤は著しく乾燥していた。播種5日後には-25 cmに設定水位を変更し、その2日後には-20 cmにまで設定水位を高めたが、その効果は認められなかった。このことは、土壤表面からの蒸発に比べて、土壤下層からの毛管による土壤水の上昇が律速となっていたことを示唆する。したがって、梅雨明け後に降雨が無く晴天日が続くような夏季には、FOEAS区で設定した水位-30 cmでは地表部に十分に水分供給できないと判断した。

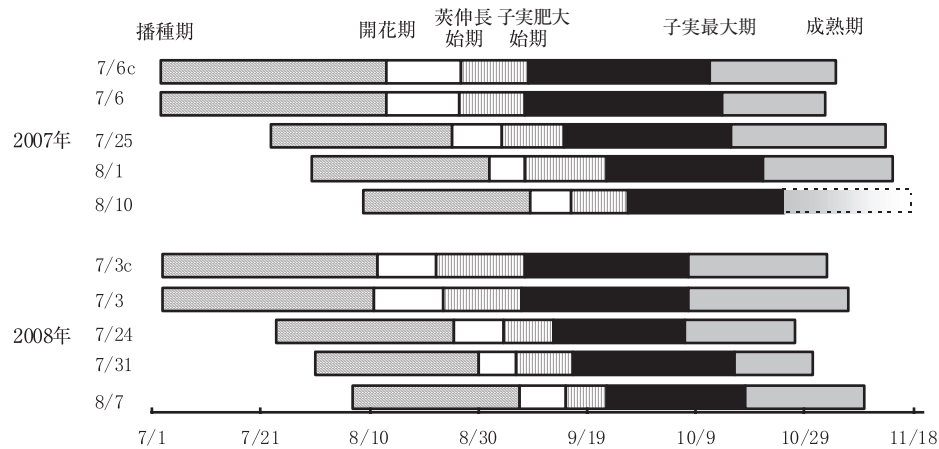
そこで、2007年と2008年は天候、土壤水分、播種作業の日程などを勘案して地下水位を逐次調整した (第1図)。まず、2007年7月25日播種は、梅雨明け直後であり、また、播種5日前に26 mmの降雨があったことから、設定水位は-30 cmを維持して播種した。そして、播種3日後には8月1日播種に備え設定水位を-5 cmとした。この7月25日播種の出芽率は、FOEAS区 (88%) のみならず慣行区 (85%) でも高かった (第3図) ことから、FOEASによる地下水位の制御効果があったとは言い難い。8月1日播種ではFOEAS区で87%の出芽率を得たが、これには7月28日から31日にかけて設定水位を-5 cmに高めた水管理が

効果をもたらしたと推測される。8月10日の播種では、土壤乾燥により慣行区では出芽が全く確認できなかったのに対して、FOEAS区で30%の出芽率が得られた。この播種では、播種前に地下水位を高める管理は行わず、播種2日後と7日後に水位を-5 cmに上昇させる水管理を行った。地表面の高い場所では十分に水が浸透せず、逆に低い場所ではかなりの湿潤状態となるなど地表面の高低により水分状態にムラが散見された。マメ類では、急激な吸水により子葉部および胚軸部のひび割れ、過剰水分吸収による種子内部の酸素不足、種子中の養分の流出等により発芽率が低下することが知られており (中村 1985)、糖の溶出が出芽に深く関わっている (鄭・綿部 2000)。また、播種当日とともに播種4日後の冠水により苗立ち率が減少することが報告されている (濱田ら 2007)。これらを考え合わせると、播種2日後に行った-5 cmへの水位上昇により地表面 (標高) の低い場所では急激な吸水により発芽率が低下して出芽率が低下したと考えられる。

2008年の梅雨明けは例年になく早く、中国地域では7月6日頃と発表されている (気象庁 2012)。梅雨明け後は晴天が続いたことにより、慣行区の含水率は7月12日には16%にまで低下した (第4図)。一方、FOEAS区では7月8日から地下灌漑を再開したことにより28~33%にまで上昇した。梅雨明け後は7月24日の播種日までに計8 mmの降雨しかなかったため、慣行区の含水率は16%と低かったが、FOEAS区では7月21~22日に水位を-5 cmとしたことにより播種日の含水率は31%であった。その結果、連日晴天が続いたにも関わらず83%の出芽率が得られた (第3図)。一方、土壤が乾燥した慣行区の出芽率は平均53%にとどまり、場所による出芽・苗立ちムラも見られた。FOEAS区では7月31日や8月7日の播種でもそれぞれ79%、69%と比較的高い出芽率が得られたが、8月4日には8月7日播種に備え-5 cmに水位を高める管理を実施した。8月7日播種の慣行区における出芽率が10%であったことを考えると、播種数日前に一時的に地下水位を-5 cmに高めて土壤水分を高くする水管理は、梅雨明け後播種の出芽率向上に効果があったと言える。ただし、本研究では圃場内に複数の播種期が混在しており、設定できる水位にも制約があったことから、梅雨明け後播種における播種前後の最適な水管理については更に検討する必要がある。

2. 播種日と開花期および生育期間との関係

7月上旬播種では播種日から成熟期までの日数に年次間で同様の処理間差は認められなかった (第5図)。播種日から成熟期までの日数は、平均すると2007年は116日であったが、2008年は子実最大期から成熟期までの期間が2007年よりも7日ほど長かったことなどにより124日となった。7月下旬以降の播種では、7月上旬播種に比較して、播種日から成熟期までの日数が短縮した。2008年8月7日播種では、播種日から成熟期までの日数は94日であった



第5図 播種時期と生育ステージとの関係。

棒グラフ左は播種日(月/日)を示し、cは慣行区、cを付していない残りはFOEAS区を示す。
2007年の8/10播種は成熟期に達しなかった。

第1表 各生育期間と播種から成熟期までの日数との相関関係。

年次	播種期～ 開花期	開花期～ 莢伸長始期	莢伸長始期～ 子実肥大始期	子実肥大始期～ 子実最大期	子実最大期～ 成熟期
2007年	0.954*	0.934*	0.026 ^{ns}	0.875 ^{ns}	-0.328 ^{ns}
2008年	0.979**	0.949*	0.909*	0.670 ^{ns}	0.876 ^{ns}
2カ年	0.917***	0.851**	0.734*	0.691*	0.580 ^{ns}

相関係数の算出には7月6日(2007年)と7月3日(2008年)に播種した慣行区を含む。2007年8月10日播種では11月13日の最終調査時点で全個体が成熟期に達しなかったため、この日を成熟期とした。*、** および *** は、それぞれ5%、1%および0.1%水準で有意であることを示し、nsは5%水準で有意でないことを示す。

が、2007年8月10日播種では、11月13日(播種後95日目)の最終調査時点で全個体が成熟期に達しなかった。この日を成熟期とみなし、播種日から成熟期までの日数と各生育期間との相関係数を算出すると、播種日から開花期までの期間と最も相関が高かった($r=0.917^{***}$ 、第1表)。そして、播種日から成熟期までの日数と各生育期間との相関係数は生育が進むにつれ低下した。この結果は、晩播きになるほど開花日まで日数や成熟期までの日数が短縮し(浅沼・奥村1991)、開花期の差は播種期の差より小さく、成熟期の差はさらに小さくなった(島田ら1990)とする報告と一致する。したがって、サチユタカを梅雨明け後に播種する場合、7月上旬播種に比較して生育期間は短縮するが、その短縮には播種から開花期までの期間や開花期から莢伸長始期までの期間短縮がより強く影響すると考えられた。

3. 収量および収量構成要素

(1) 梅雨期の播種

2007年と2008年の7月上旬に播種したサチユタカならびに参考として供試した4品種・系統の出芽率、生育期間および子実収量等を第2表に示した。出芽率は処理や品種によって44～92%と変動したことから、両年とも出芽率の調査後に補植している。子実収量は、平均すると慣行区の328 gm^{-2} に対してFOEAS区では371 gm^{-2} と40 gm^{-2} ほど高

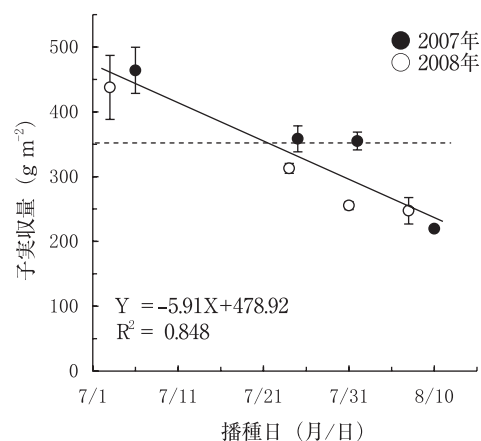
かったが統計的に有意ではなかった(第2表)。成熟期までの播種後日数、稔実莢数や粒数にも有意な処理間差は認められなかった。一方、主茎長には処理間差があり、FOEAS区で1.0～1.4倍(2007年)、1.7～2.4倍(2008年)長かった。特に、2007年のフクユタカや2008年のニシムスメ、フクユタカ、四国1号の主茎長は64～94 cmに達し、倒伏の程度も2.5～4.0と大きかった。これらのFOEAS区における子実収量は慣行区の70～103%であり、FOEAS処理によって減収する事例も見られた。稔実莢数や粒数も慣行区のそれぞれ70～86%と72～91%と低かったことから、これらの低下がFOEAS処理による増収を阻んだ原因と推測された。フクユタカは、サチユタカに比較して莢実の成長開始後も栄養成長が旺盛であることが知られている(馬場ら2003)。したがって、上記のようにFOEAS処理によって主茎の伸長が助長されたことを考え合わせると、生殖成長器官の生育がFOEAS処理によって相対的に抑制され、逆に栄養生長器官の生育が促進され、結果として同化産物の競合が強く生じたために子実収量が低下したと推測される。生育や収量に好適な地下水位は、栽培年次や場所、品種によって異なるが(独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構2009)、生育段階によっても異なると考えられるため、最適地下水位については更なる研究が必要となる。

第2表 地下水位制御システム (FOEAS) が7月上旬に播種したダイズの出芽率, 生育期間および収量等に及ぼす影響.

年次	処理	品種	出芽率 (%)	播種後日数 (日)		子実収量 (g m ⁻²)	稈実莢数 (個 m ⁻²)	粒数 (粒 m ⁻²)	百粒重 (g)	主茎長 (cm)	倒伏程度 (0-4)
				開花期	成熟期						
2007 年	FOEAS	サチユタカ	82.5	39.0	115.0	466	777	1321	35.3	41.2	0.1
		エンレイ	78.2	33.7	103.7	351	771	1386	25.3	28.8	0.1
		ニシムスメ	75.1	39.0	119.0	464	992	1599	29.0	35.0	0.2
		フクユタカ	91.9	46.0	129.3	341	702	1147	29.3	64.2	2.5
		四国1号	87.0	41.0	116.3	436	873	1439	30.2	39.2	0.1
	慣行	サチユタカ	50.7	39.0	117.0	352	676	1065	33.0	33.2	0.0
		エンレイ	44.4	34.0	103.7	240	500	911	26.4	28.9	0.1
		ニシムスメ	50.4	39.0	119.0	337	745	1331	25.2	33.3	0.1
		フクユタカ	64.5	46.0	124.0	350	821	1261	27.1	45.3	0.3
		四国1号	65.5	41.0	117.0	294	667	1112	26.4	34.8	0.1
2008 年	FOEAS	サチユタカ	83.5	38.7	126.0	437	766	1238	35.1	53.4	2.1
		エンレイ	73.6	33.0	120.7	210	409	638	32.8	54.9	2.8
		ニシムスメ	65.4	38.7	128.0	320	653	1044	30.6	71.9	3.6
		フクユタカ	77.6	41.0	128.0	320	628	1122	28.0	93.9	4.0
		四国1号	85.4	39.0	128.7	362	686	1035	35.7	92.6	3.5
	慣行	サチユタカ	61.9	39.3	122.0	350	706	1143	30.3	29.4	0.3
		エンレイ	66.8	32.0	119.7	131	289	548	22.9	30.9	0.5
		ニシムスメ	50.1	39.3	121.7	418	928	1455	28.6	40.2	0.5
		フクユタカ	57.5	41.0	126.7	454	867	1531	29.7	54.7	0.7
		四国1号	73.9	40.0	127.7	352	840	1299	27.4	38.1	0.2
分散分析	処理 (T)	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	-
	品種 (V)	*	**	**	*	*	*	*	ns	*	-
	年次 (Y)	ns	**	**	ns	ns	*	*	ns	**	-
	T × V	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-
	T × Y	*	ns	ns	*	ns	*	*	ns	**	-
	V × Y	ns	**	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-

出芽率の調査後に補植を行った。*と**は、それぞれ5%と1%水準で有意であることを示し、nsは5%水準で有意でないことを示す。主茎長は地際からの長さを示す。倒伏程度は主茎の傾斜程度により、0(無)、1(少)、2(中)、3(多)、4(甚)で評価した。詳細は本文参照。

百粒重に関しても FOEAS 処理の影響は統計的に有意でなかったが(第2表), サチユタカ, ニシムスメ, 四国1号では, 2カ年とも FOEAS 区の百粒重は慣行区と同等もしくはやや優る傾向にあった。齊藤ら(1999)の研究では, エンレイの百粒重は子実肥大期の土壤水分欠乏により明らかに低下している。一方, FOEAS により地下水位を制御した島田ら(2006)の報告では, 百粒重は増加した。また, 高橋ら(2008)の報告においても FOEAS により地下水位(-20 cm と -35 cm)を制御したサチユタカでは無制御区に比較して百粒重は10%と6%増加し, フクユタカでも水位-20 cm でわずかに増加していた。転換畑で畦間灌水の効果を検討した宮城県(渡辺・高橋1982)や鳥取県(伊藤1987)の報告では, 稈実莢数の増加とともに百粒重が増加しており, 土壤水分の変動が小さい有芯部分耕栽培でも着粒数や百粒重の増大傾向が示されている(吉永ら2008)。FOEAS 区では土壤の過乾燥や過湿が大幅に軽減され, 土壤水分の変動も小さかったこととともに, 光合成や根粒窒素固定活性が高く維持される(島田ら2008)ので,



第6図 播種時期と子実収量との関係.

データは FOEAS 区におけるサチユタカの子実収量を示す。垂線は標準誤差 (n=3, ただし 2008 年 8 月 7 日播種は n=1) を示す。また, 図中の点線は, 慣行区における 7 月上旬播種の平均値を示す。

第3表 大豆品種サチユタカの播種時期と収量および収量構成要素との関係。

年次	播種日	最下着莢高 (cm)	稔実莢数 (個 m ²)	一莢粒数 (粒)	粒数 (粒 m ²)	百粒重 (g)	子実収量 (g m ²)
2007 年	7 月 6 日	13.4 b	777 a	1.70 a	1321 a	35.3 a	466 a
	7 月 25 日	14.9 a	656 a	1.62 a	1064 a	33.9 ab	360 ab
	8 月 1 日	14.3 ab	658 a	1.69 a	1113 a	31.9 b	356 b
	8 月 10 日	8.7	459	1.78	814	27.0	220
2008 年	7 月 3 日	14.6 ab	766 a	1.62 b	1238 a	35.1 a	437 a
	7 月 24 日	15.9 a	579 b	1.80 ab	1037 ab	30.3 ab	313 b
	7 月 31 日	14.0 ab	534 b	1.80 ab	961 b	26.6 b	255 b
	8 月 7 日	12.5 b	481 b	1.89 a	911 b	27.1 b	247 b
子実収量との相関係数		—	0.992***	-0.750*	0.984***	0.965***	—

子実収量と百粒重は水分 15%換算値を示す。異なる英字は各年次において 5%水準の有意差があることを示す (Tukey の HSD 法)。2007 年の 8 月 10 日播種は反復なし。* と *** は、それぞれ 5% と 0.1%水準で有意であることを示す。

第4表 梅雨明け後播種における成熟期と子実収量の品種間差。

品種	2007 年				2008 年			
	7 月 25 日播種		8 月 1 日播種		7 月 24 日播種		7 月 31 日播種	
	成熟期 (日)	子実収量 (g m ²)	成熟期 (日)	子実収量 (g m ²)	成熟期 (日)	子実収量 (g m ²)	成熟期 (日)	子実収量 (g m ²)
サチユタカ	107	360	101	356	95	313	91	255
ハタユタカ	96***	372 ^{ns}	91***	354 ^{ns}	92***	296 ^{ns}	91 ^{ns}	282 ^{ns}
リュウホウ	—	—	89***	341 ^{ns}	—	—	89*	281 ^{ns}
ユキホマレ	86***	304 ^{ns}	83***	328 ^{ns}	88*	250*	83***	243 ^{ns}
エンレイ	90***	282 ^{ns}	88***	323 ^{ns}	86***	245*	85***	227 ^{ns}

成熟期は播種後の日数で示した。子実収量は水分 15%換算値である。* と *** は、それぞれサチユタカとの間に 5%水準および 0.1%水準で有意差があることを示し、ns は 5%水準で同様に有意差がないことを示す (t 検定)。

FOEAS による土壌水分の制御が百粒重の増加をもたらす可能性は大きいと推察される。百粒重の増大は精粒歩合を高めることにつながることから、収量や精粒歩合を高める品種特性に応じた水管理の検討が今後の課題となる。

(2) 梅雨明け後の播種

サチユタカを 7 月下旬以降に播種した FOEAS 区の子実収量は、播種時期が遅くなるほど低下し、播種が最も遅かった 8 月 7 日 (2008 年) および 8 月 10 日 (2007 年) では 2 カ年とも 300 g m² に達しなかった (第 6 図)。子実収量は、播種日が 1 日遅れると 5.9 g m² の割合で低下すると試算され、梅雨明け後でも 7 月末までに播種すれば 300 g m² は期待できると推察される。7 月 24 日から 8 月 1 日に播種した試験区の子実収量は、播種日や年次間での差が大きかったが平均すると 320 g m² であった。これは、内川ら (2009) がサチユタカを晩播 (7 月 25~27 日) して得た収量とほぼ同程度であり、また、7 月上旬に播種した慣行区の平均子実収量 351 g m² の約 90% に相当した。

晩播きになるほど主茎長や主茎節数、1 次及び 2 次分枝数、葉面積指数、全乾物重とも低下することが数多く報告 (Oslera and Carter 1954, 福井 1963, Beatty ら 1982, 大賀

ら 1985, 浅沼・奥村 1991) されており、また、サチユタカを供試した大川・辺見 (2001) も遅播き (7 月 19 日播種) では普通期 (6 月 15 日播種) に比較して着莢数が減少して収量が低下したと報告している。本研究の結果も同様であり稔実莢数や粒数、百粒重は播種時期が遅くなるほど低下する傾向が認められ (第 3 表)、いずれも子実収量と高い正の相関関係にあった (2 カ年込みの相関係数 r は 0.965***~0.992***)。収量や稔実莢数は、最高 LAI、茎乾物重および総節数と高い正の相関関係を示すことから (島田ら 1990)、播種時期が遅くなるほど子実収量が低下した原因は、開花期や莢伸長始期までの期間の短縮により栄養生長量が低下し、そのことにより稔実莢数が減少したことによると推測される。最後に 7 月 24 日から 8 月 1 日に播種した 4~5 品種の子実収量を第 4 表に示した。いずれの播種でもサチユタカに優る子実収量を示した品種はなかった。ただし、ハタユタカやリュウホウの子実収量は、サチユタカと同程度であったことから、生育期間の短縮を図るという観点から品種の選択肢となるだろう。

以上のように、梅雨明け前の 7 月上旬の播種では、FOEAS の田面排水機能と地下水位制御機能により出芽率が向上することが明らかとなったが、子実収量や稔実莢数、

粒数等に対する向上効果は認められなかった。梅雨明け後の播種では、地下水位を制御して播種数日前に種子近傍の土壤水分を高めることにより 69~87%の出芽率が得られたことから、気象条件や設定水位と土壤水分との関係を詳細に検討することにより出芽率の更なる向上が期待できる。子実収量は、7月末までに播種すれば7月上旬播種の慣行区に比較して 10%程度の減収であり、梅雨期播種の出芽率の年次変動や作期拡大の効果等を勘案すると梅雨明け後播種の実行可能性は十分あると考えられる。ただし、本研究では、梅雨明け後の極晩播栽培に適應するサチユタカを超える収量を示す品種を見出すことができなかったことから、今後は水管理の他に栽植密度や施肥の影響などについても検討していきたい。

謝辞：本研究の実施に際しコップス研究会代表の小野寺恒雄氏には試験圃場の選定や FOEAS の施工など多大なるご支援をいただくとともに試験設計に対して貴重なご助言をいただきました。ダイズ品種ユキホマレの種子は北海道立十勝農業試験場より分譲していただきました。ここに記して深く感謝申し上げます。

引用文献

- 浅沼興一郎・奥村美智夫 1991. ダイズの乾物生産と子実生産に及ぼす播種期の影響. 日作紀 60 : 484-489.
- 馬場彰子・鄭紹輝・松永亮一・井上眞理・古屋忠彦・福山正隆 2003. 西南暖地向けのダイズ新品種サチユタカの乾物生産特性. 日作紀 72 : 384-389.
- Beatty, K.D., I.L. Eldridge, and A.M. Simpson Jr. 1982. Soybean response to different planting patterns and dates. *Agron. J.* 74 : 859-862.
- 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 2009. 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大豆生産安定研究チーム編集発行, 茨城. 1-12.
- 藤森新作 2005. 低コストで操作が容易な地表・地下水位制御システムの開発. 圃場と土壤 37(7) : 20-24.
- 福井重郎 1963. 日長感応度からみた大豆品種の生態的研究. 農事試験報 3 : 19-78.
- 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. 日作紀 76 : 212-218.
- 異儀田和典・羽鹿牧太・高橋将一 1996. 九州における大豆の晩期栽培. 九州農業研究 58 : 50.
- 伊藤邦夫 1987. ダイズ作におけるうね間かん水の効果. 農及園 62 : 299-304.
- 木村悟 1986. 梅雨回避のための大豆の晩播栽培. 農業技術 41 : 1-5.
- 気象庁 2012. 昭和26年 (1951年) 以降の梅雨入りと梅雨明け (確定値). <http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/baiu/index.html> (2013/01/08 閲覧).
- 窪田潤・石田茂樹・亀井雅浩・吉田智一・竹田博之・土屋史紀 2003. 中耕ロータリを利用した大豆のトリプルカット不耕起播種機. 平成14年近畿中国四国農業研究センター成果情報. 近畿中国四国農業研究センター, 広島. 251-252.
- 松永亮一 2002. 第3章栽培生産技術. 14. 地域の栽培技術. (6) 九州. 農林水産技術会議事務局編, 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 No. 27. 農林統計協会, 東京. 351-357.
- 望月俊宏・中川幸夫・久保廣安 1992. ダイズにおける晩播き栽培用品種の検索 (予報). 日作九支報 59 : 70-71.
- 望月俊宏・中川幸夫・安河内和子・久保廣安 1995. 北部九州におけるダイズの晩播き栽培について-早生品種の生育と収量-. 日作九支報 61 : 48-49.
- 中村俊一郎 1985. 農林種子学総論. 養賢堂, 東京. 27.
- 農林水産省 2010. II 作物別作付 (栽培) 面積, 4 豆類 (乾燥子実) 作付面積, (1) 大豆. <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001064723> (2013/01/08 閲覧).
- 小野寺恒雄・藤森新作・谷本岳・若杉晃介 2003. 地下灌漑システム「FOEAS」の開発. 農業土木学会東北支部 第 47 回研究発表会講演要旨集 33-36.
- 大賀康之・三善重信・平野幸二 1985. 大豆の早播き栽培について. 第 3報 生育及び収量. 日作九支報 52 : 59-62.
- 大川浩史・辺見由紀子 2001. 広島県における播種期の違いが大豆の生育, 収量に及ぼす影響. 日作中国支部集録 42 : 12-13.
- Osler, R.D., and J.L. Cartter 1954. Effect of planting date on chemical composition and growth characteristics of soybeans. *Agron. J.* 46 : 267-270.
- 齊藤邦行・タリクマハムド・黒田俊郎 1999. 土壤水分の欠乏がダイズの開花結実に及ぼす影響. -エンレイと東山 69 号の比較-. 日作紀 68 : 537-544.
- 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.
- 島田信二 2002. 第 2 章 生理生態. 3. 環境ストレス. (2) 干害. 農林水産技術会議事務局編, 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 No. 27. 農林統計協会, 東京. 184-193.
- 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・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の生産性に及ぼす効果-2 カ年間の成績. 日作紀 77(別 2) : 50-51.
- 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.
- 高橋将一・松永亮一・小松邦彦・中澤芳則・羽鹿牧太・酒井真次・異儀田和典 2004. ダイズ新品種「サチユタカ」の育成とその特性. 九州沖縄農研報告 45 : 15-39.
- 鄭紹輝・綿部隆太 2000. 浸水によるダイズ種子からの糖溶出と出芽の関係. 日作紀 69 : 520-524.
- 内川修・田中浩平・宮崎真行・松江勇次 2009. 北部九州における晩播狭畦栽培ダイズの生育収量および窒素固定能について. 日作紀 78 : 163-169.
- 梅崎輝尚・力武弘・平松紀士・江藤博大 1996. 早期水稻後作物としてのダイズの晩播栽培について. 日作九支報 62 : 88-90.
- 渡辺源六・高橋昌明 1982. 大豆に対する畦間灌水の効果について. 東北農業研究 31 : 97-98.
- 吉永悟志・河野雄飛・白土宏之・長田健二・福田あかり 2008. 転換畑ダイズ作における有芯部分耕栽培が土壤水分および生育・収量に及ぼす影響. 日作紀 77 : 299-305.

Effects of Ground Water Level Control on the Establishment, Growth and Yield of Soybeans Seeded during and after the Rainy Season : Hiroyuki TAKEDA¹⁾ and Ryouji SASAKI²⁾ (¹⁾*NARO Western Region Agricultural Research Center, Fukuyama 721-8514, Japan,*
²⁾*Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries*)

Abstract : In many districts in Japan, the soybean seeding time is the rainy season, which results in unstable seedling establishment. The use of a new system, farm-oriented enhancing aquatic system (FOEAS), consisting of a subsurface drainage system and a ground water level control system, can enhance soybean establishment. The percentage of seedling establishment of soybean, cv. Sachiutaka, seeded in early July on an upland field converted from a paddy field with open ditch drainage was 44% on the average of 3 yr. The low emergence was probably attributable to high soil moisture contents and partial submergence by heavy rains. However, the percentage of soybean emergence was increased to 85% by effective draining by FOEAS. Seedling establishment of soybeans seeded in late July or early August was improved considerably by the temporary elevation of the ground water level for several days before seeding, even when soybean emergence was severely inhibited by soil drying. Later seeding reduced the period from seeding to flowering or initiation of pod elongation, and thus reduced the numbers of pods and grains, and grain yields. Compared with the early sowing under conventional conditions with open ditch drainage, sowing at the end of July reduced grain yields only about 10% FOEAS was adapted. Thus when using FOEAS, seeding in late July appears to be practicable to extend the soybean crop season.

Key words : Emergence, FOEAS, Late seeding, Nontillage, Rainy season, Soil water, Soybean, Subirrigation.
