

アメリカコーンベルトの農業と大豆育種

誌名	北農
ISSN	00183490
著者名	大西,志全
発行元	北海道農事試験場北農會
巻/号	83巻4号
巻号補足	
掲載ページ	p. 417-423
発行年月	2016年10月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



<海外農業事情>

アメリカコーンベルトの農業と大豆育種

大 西 志 全*

1. はじめに

海外研修制度により、平成23年8月にアメリカコーンベルトに位置するイリノイ大学、ネブラスカ大学、アイオワ州立大学および民間の種苗会社であるモンサント社およびデュポンパイオニア社（以下パイオニア社）を訪問する機会を得たので、アメリカコーンベルトの農業と大豆育種について報告する。なお、文中の現在は平成23年当時をさしている。

2. アメリカコーンベルトの農業

1) 農業全般

(1) 作目と経営規模

コーンベルトの輪作体系は、大豆とトウモロコシの交互作が基本である。機械の進歩・大型化により1家族経営あたりの経営面積は平均500ha前後に増大し、それにともない農家戸数は減少している。大豆とトウモロコシの交互作の他には、イリノイ州の南部ではトウモロコシの収穫後に秋まき軟質小麦（Soft red winter）を播種し、小麦の収穫後に大豆を播種する2年3作体系が、また降水量の少ないネブラスカ州では秋まき硬質小麦（Hard red winter）の栽培が行われている。雑草のコントロールは、以前は北海道と同じく、土壌処理剤、茎葉処理剤と中耕に頼っていたが、現在は大豆、トウモロコシとも除草剤耐性の遺伝子組み換え品種とグリホサートの組み合わせが一般的である。

(2) 気象条件

コーンベルトでは十分な降水があるため、ネブラスカ州を除いて灌漑はほとんど行われていない。5月～6月の降水は北海道よりむしろ多いが（図1）、

* 道総研中央農業試験場（現 道総研北見農業試験場）
Shizen OHNISHI

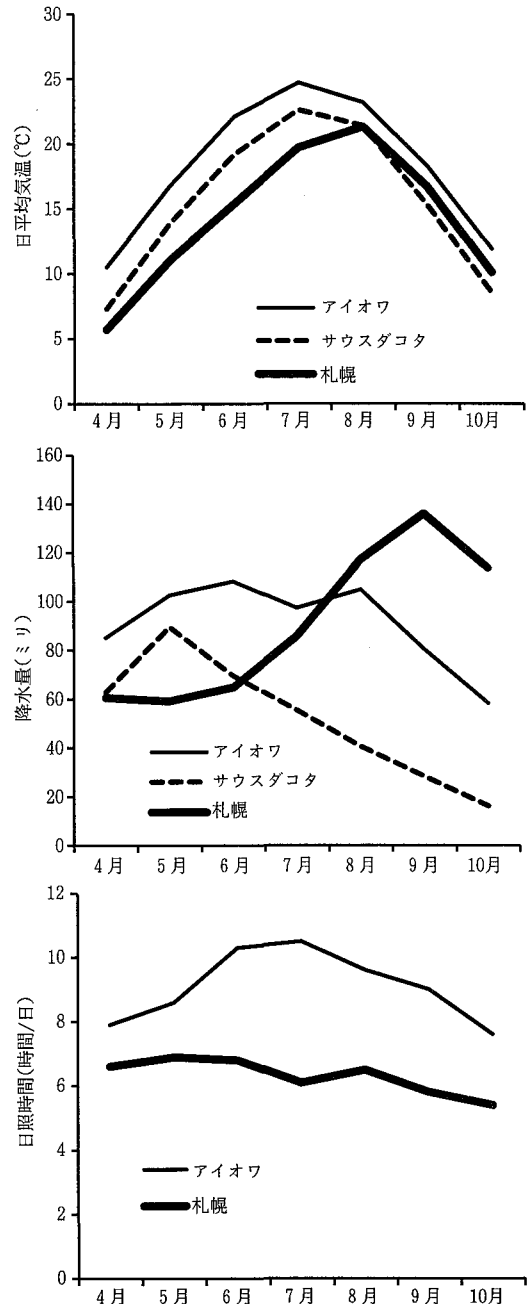


図1 コーンベルトと北海道の気象条件の違い

土壌の透排水性改善のための暗きょ管が積極的に設置され、春先の早い時期からの圃場作業を可能にしている。暗きょ管の設置は、近年ではプラスチック製のコルゲートチューブをTile plowと呼ばれる機械で連続挿入する手法が一般的である。素焼き暗渠管の露天堀による埋設と比べて、低コストで高寿命とされている。

(3) 土壌条件

コーンベルトは、非常に地力の高い地域であり土壌は有機物に富む。施肥はトウモロコシ播種時に化成肥料で窒素20kg/10a以上と、リン酸、カリを施肥するが、大豆栽培では土壌中有機物の無機化で十分窒素が供給されるため無施肥が基本である。施肥した過剰な窒素が、暗渠管を通じて河川に流れ込むことから、近年水質汚染が問題になっている。コーンベルトにおける作物の収量は、夏の日照時間が長く、適度な降雨と高い地力のため、大豆で330kg/10a、トウモロコシで1.1t/10aであり全米平均や日本の平均と比べてかなり高い。

(4) 耕起法

日本と異なり、アメリカではロータリハロー（パワーハロー）が畑作に使われることはない。不耕起栽培が広まる前の一般的な体系（Conventional）は、プラウまたはチゼルプラウ→スプリングハローまたはディスクハロー→プランタまたはグレンドリルであり、現在でも不耕起栽培が向かない地帯ではこの体系で行われている。きれいに碎土されていなくても出芽が確保されるのは、大豆の粒大が小さく出芽のトラブルが少ないということもあるが、播種機の能力によるところが大きいと考えられる。播種機は独立した重量のある播種ユニットが地面の起伏を追従し、碎土が十分でなくても一定の深さの播種溝を切り覆土鎮圧できるようにになっている。

作土の風雨による流亡対策として広がった不耕起栽培であるが、欠点として雑草が増加すること、多雨地帯では土壌が過湿になりやすいこと、肥料散布後の効き始めが遅いこと、前作の残渣が日光を遮断し春先の地温が上がりにくいことが問題となっている。作土の流亡を防ぎつつこれらの欠点

を解消するために、不耕起とConventionalの中間的な体系として、チゼルプラウなどで部分的に耕起するが、残渣を地上にできるだけ残す耕起法（Minimum-Tillage 等）が広がっている。

2) 大豆の栽培

(1) 畦間と栽植密度

4月下旬～5月中旬が大豆の播種期である。大型機械により100ha/日以上と非常に高速で播種可能である。このため、播種に要する日数は2～3日間と北海道と大差はない。大豆の標準的な畦間は、38cm（15インチ）であるが、75cm（30インチ）や19cm（7.5インチ、ドリル播種）も一般的である。最近では、超大型のプランタ（作業幅18m以上）が普及しつつあり、播種ユニットの数を減らしてプランタを軽量化するため75cm畦幅が増えつつある。また、多湿条件を好む菌核病の発生を抑える意味でも風通しの良い75cm畦幅は有利である。収量面では畦間75cmはやや不利とされているが、畦間38cmと19cmドリル播種との間には収量の差はないとされている。育種圃場では、プロットコンバイン等での扱いやすさから、大豆の品種育成は畦間75cm～1mで行われており、ドリル播種（狭畦）に特化した品種が選抜されているわけではない。また、その前提として、畦間の広さと品種の交互作用はほとんど無いとされている。コーンベルトにおける大豆の一般的な播種量は3～3.5万粒/10aで、最終的な栽植密度は2.5～3万本/10aと北海道と同等からやや密植である。耕起体系は不耕起か、チゼルプラウ後にスプリングハローで整地して播種するのが一般的である。前述のとおり、トウモロコシの栽培時に施肥されるので、大豆栽培時は無施肥である。

(2) 雑草対策

雑草対策は、一部の日本向け等の遺伝子非組み換え品種を除くと、除草剤耐性品種とグリホサートなどの除草剤の茎葉散布に頼っている。具体的には、播種2週間くらいに一度グリホサートを散布し、その後生育期に雑草の高さが10～20cmなっ

た頃に、2回目を散布する。雑草に関する一番の問題は、除草剤耐性雑草の優占である。*Amaranthus tuberculatus*等是非常に強い耐性を持った個体群が存在し、遺伝子組み換え大豆品種に葉害が出るような高濃度でも枯れないことから、土壌処理剤の併用が推奨されている。民間企業では、グルホシネート等のグリホサート以外の除草剤に対する耐性品種の開発が行われている。

(3) 収穫

収穫は大型の普通コンバインで高速で行われるが、北海道と比べて9月以降の降水量が少なく、収穫作業可能日数が多い。成熟期前後は降水量が少なく乾燥するため、難裂莢形質が必須である。

(4) ダイズシストセンチュウ対策

ダイズシストセンチュウは、アメリカの大豆栽培において最も被害の大きな病害虫である。コーンベルトでは土壌が肥沃で窒素が十分供給されるため、センチュウ密度が非常に高い圃場であっても、通常地上部に黄化などの病徴は現れない。コンバイン収穫時に得られる収量マップをみて、大豆特異的に収量の低い場所があれば、シストセンチュウの被害と推定される。

対策として大豆を連作せず、必ずトウモロコシと交互作することが奨励されている。シストセンチュウのシスト密度は、トウモロコシの作付けにより作付け前の25%に、センチュウ抵抗性的大豆品種を導入することで、作付け前の35%に減少するとされている。センチュウ抵抗性の遺伝資源は複数知られているものの、収量性などの点から、現在販売されている大豆品種の抵抗性の由来はPI 88788にほぼ限定されており、抵抗性の由来の異なる品種をローテーションで使うことは現実的には難しい。抵抗性を打破するレースの出現を抑えるために、感受性品種もローテーションに入れるべきという考え方もあるが、現場の普及組織では、いかなる場合もセンチュウ密度を増やす感受性品種を入れるべきでないとの考え方も強い。

3. アメリカコーンベルトの大豆育種

1) 民間会社・大学における育種

アメリカでは、主要な大学とモンサント社、パイオニア社などの民間種苗会社により大豆の品種改良が行われている（写真1）。大豆品種のシェ



写真1 大豆の最新品種の一例
葉が小さく立っている

アはモンサント社がトップであり、パイオニア社がそれに続く。大学における大豆育種は民間会社に資金力とシェアで太刀打ちできないことから、枝豆用などニッチな用途向け育種や、遺伝資源を利用した母本の開発、および民間会社で将来育種家として活躍する学生の教育などに特化している。

市場の大きさと予算規模の違いを反映して、道総研とアメリカの民間会社では育種の規模は大きく違うが（表1）、育種の流れ自体は大きくは変わらない。ただし、いくつか異なる点がみられたので紹介したい。(1) 道総研では1年2世代の世代短縮のみであるが、アメリカでは2年6世代としており、世代短縮に対する意識が高い。(2) アメリカでは、相対的に1組み合わせあたりの個体数が少なく、組み合わせ数が多い。(3) 道総研では、個体選抜(F_3)において、栽植した個体のわずか5%しか翌年の系統選抜に供試しないのに対して、アメリカでは多く(20~40%)を次年度の系統選抜に供試する（以上表1）。また、2年6世代の世代短縮($F_1 \sim F_5$)のために、南半球の試験地

表1 北海道とアメリカの大豆育種規模の比較 (平成23年当時)

場所	世代	材料養成				個体選抜	系統選抜	特性評価・選抜		
		交配	F1	F2	—	F3	F4	F5	F6	F7~F9
北海道	材料規模	90組合せ		9万個体		9万個体	3千系統	400系統	80系統	6系統
	組合せあたり材料数		~36個体	千個体		2,000個体	~160系統			
	試験区制						1畦1反復	4畦1反復	4畦2反復	4畦4反復
	選抜強度					5%選抜	10%選抜	20%選抜		
アメリカ大学	試験場所	冬季温室		無選抜				1箇所	2~3箇所	2~15箇所
	場所	世代	交配	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
	材料規模	100組合せ		3万個体	3万個体	3万個体	1万5千系統	1,250系統	125系統	12系統
	組合せあたり材料数		~10個体	500個体	500個体	500個体	~250系統			
アメリカ民間企業	試験区制						1畦1反復	2畦1反復	4畦3反復	4畦3反復
	選抜強度	南半球		無選抜南半球	無選抜南半球	40%選抜	10%選抜南半球	10%選抜5箇所	5箇所	12箇所
	試験場所									
	場所	世代	交配	F1	F2	—	F3	F4	F5	F6
アメリカ民間企業	材料規模	数千組合せ					数百万個体	数十万系統		
	組合せあたり材料数		20個体				800個体	~700系統		
	試験区制							1畦1反復	1畦1反復	2畦1反復
	選抜強度						個体収穫20%選抜	10%選抜	25%選抜	
アメリカ民間企業	試験場所	温暖地		温暖地				南半球	5箇所	20箇所
	場所									
	世代									
	材料規模									

注) 太線で囲まれた世代は、世代短縮により1年間で実施されていることを示す。

を活用するとともに、交配種子は全て枝豆の状態
で収穫し、強制乾燥させた後試験に使うなどの工夫が
されている。また、アメリカでは選抜の早い
ステージから多数の試験箇所で行うことを重視
しているため、1箇所あたりの1区面積や反復
数が道総研より少ない(表1)。また、日本では
品種化直前まで系統選抜を繰り返して遺伝的純度
を高めるのが一般的であるが、アメリカではF₄
世代で1度系統選抜をした以降はF₄:F_nとして
バルクで採種し、基本系統という概念は存在しな
い点で大きく異なる。育種家種子は、品種化3年
前にバルク採種の一部から40~100系統を養成し、
異形等を含む系統を淘汰した後に再度混合するこ
とで養成されるのが一般的である。

2) 収量性向上への取り組み

アメリカにおいて、大豆は搾油とその絞り粕を
飼料として利用するための作物であり、1番の育
種目標は収量性である。大学、民間企業のいずれ
においても、収量性向上への基本的な戦略は同じ
で、(1) 多様性を作ること、(2) できるだけ多くの
材料を収量性で評価すること、である。一部の育

種プログラムでは、多様性を出すために、DNA
マーカーにより両親間の遺伝的距離を算出し、それ
を考慮して交配組み合わせが決められている。

その他の収量性向上のためのアプローチとして、
パイオニア社ではDNAマーカーが使われており、
Accelated Yield Technologyと名付けられてい
る。オールマイティーな多収のDNAマーカーが
存在しない一方で、個々の交配組み合わせでみた
場合、数個のDNAマーカーで、収量性の向上が
図れることが明らかにされ、個々の交配組み合わ
せごとにQTL解析を行い、その結果をその交配
組み合わせに限定して用いることで成果を上げて
いるようである(Sebastian et al., 2010)。担当
者によるとこの選抜手法は特許化されているとの
ことであった。

3) 品種改良への機械の利用

日本の大豆育種と比較して、アメリカの大豆育
種では機械化が進んでいる。試験区の播種は、プ
ロットシーダで行われ、収穫はプロットコンバイン
または草刈り機で刈り倒した後、プロットコン
バインへの投げ込み収穫で行われる(写真2)。



写真2 大型のプロットコンバイン
1区2畦の生産力試験を2区同時に収穫していく

小麦などで用いられるリールヘッダのプロットコンバインの場合、試験区の後ろの方の個体をうまく巻き込めないことから、全ての大豆育種プログラムではロックアップヘッダのプロットコンバイン（ALMACO社製）が使われていた。このロックアップヘッダは畦間75cmであり、このため育種プログラムの試験区は畦間75cmである。

プロットコンバインの特性として、一部のプロットだけを選択して収穫することができないため、ブロックの全ての品種が成熟期に達した後、全てのプロットを一斉に収穫する。このためには、秋の天候がある程度安定していることが必要であると考えられた。また、プロットコンバインには計量機能が備わっており、一定の収量レベル以下の材料は、収穫後ただちに自動的に廃棄されるため、全てのプロットを収穫するものの、袋詰めして回収するのは一部の材料に限られる。

圃場の区画は図2のように0.9mの裸地で区切られている。作業用の通路は裸地にするのではなく、極早生品種が植えられ試験区の収穫開始前に通路は掃除刈りされる。

プロットコンバインによる種子のコンタミネーションは、最も多い育種プログラムで平均2%、最も少ないプログラムで0%であるとのことであった。

4) DNAマーカーの利用

大学における育種では、DNAマーカーの利用は連続戻し交配などに限定される一方、民間企業では非常に積極的に利用されていた。対象となる形質は、除草剤耐性（遺伝子組み換えにより導入）、ダイズシストセンチュウ抵抗性、ダイズアブラムシ抵抗性、茎疫病真性抵抗性などである。

どの世代でDNAマーカー選抜を行うかは大きな問題であるが、道総研とアメリカ民間会社の例を図3に示した。道総研と比較して、アメリカの民間会社では早い世代でDNAマーカー選抜を実施しており、より効率的な圃場の利用につなげていた。その一方で、早い世代でDNAマーカー選抜を実施するために、葉のサンプリングとDNAの抽出、ジェノタイピングに大きな労力を必要としていた。例えば、 F_3 個体についてDNAマーカー選抜を実施しているパイオニア社では、全ての F_3 個体の葉をサンプリングするために、20人で16日間の日数を要していた。モンサント社の方法でマーカー選抜を行う場合、大量の種子にIDをつけて管理する必要が生じる。このため、モンサント社では個々の種子から自動的に破片を削り取

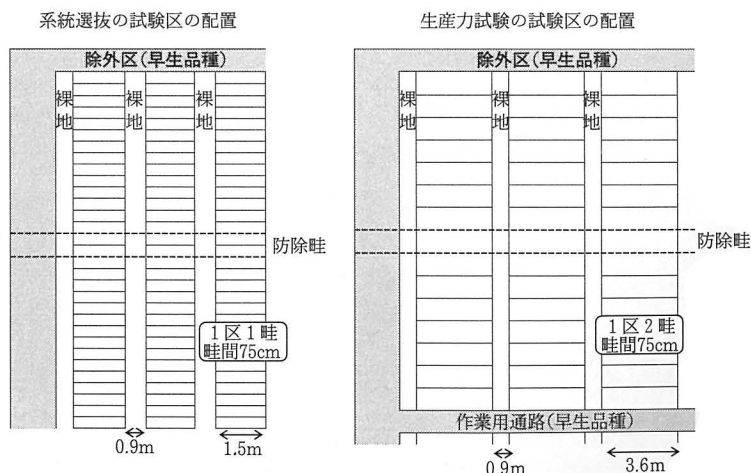


図2 アメリカにおける系統選抜および生産力試験の圃場の一例

り、その種子をIDのついたセルトレイをロボットで管理するというシステムを自社で開発し用いていた。マーカーの種類は、大学、民間会社とも

に Taqman-probe を用いており、その理由は遺伝子型の判定が自動化できるためであった。

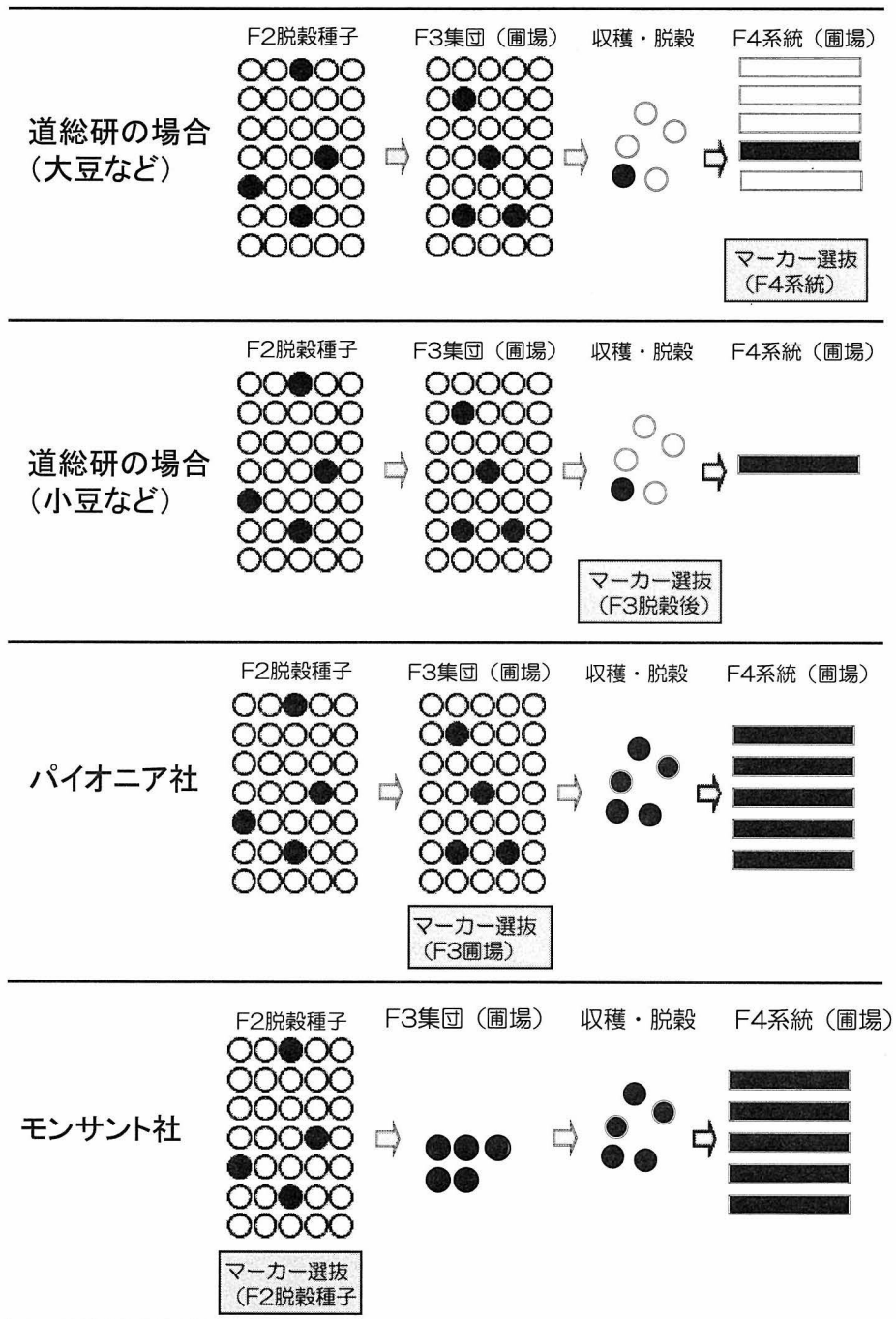


図3 育種プログラムによるDNAマーカー選抜の利用方法の違い

黒塗りは選抜したい遺伝子型、丸は1個体を、長方形は1系統を意味する。

5) シストセンチュウ抵抗性育種

コーンベルト向け品種のシスト線虫抵抗性の94%はPI 88788に由来する。PI 88788由来の抵抗性品種は感受性品種と同等の収量であるが、その他の抵抗性遺伝資源に由来する品種は感受性品種より低収であり、抵抗性遺伝子と連鎖する低収因子があると考えられている。このため、PI 88788以外に由来する抵抗性を導入した品種は非常に少ない。

アメリカにおけるセンチュウ抵抗性の標準検定法は、温室でセンチュウの卵を接種する方法であり次の点で日本の室内検定法と異なる。(1) 温室



写真3 ダイズシストセンチュウ抵抗性検定の様子

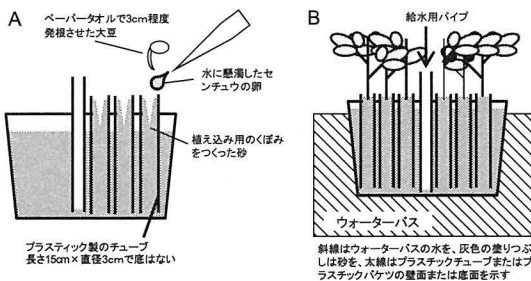


図4 ダイズシストセンチュウ抵抗性検定の模式図

の自然光下で養成するので大豆が徒長しにくい。気温はコントロールせず、地温のみウォーターバスで27℃にコントロールするので、大規模に実施可能である(写真3, 図4B)。(2) 卵を分離し、卵数をそろえて接種する。また、あらかじめ発根させた根と接種源の卵を直ちに接触させるので、エスケープが少なく結果が安定している(図4A)。(3) 用土(砂)の量は1個体あたり100mlと少ないが、共通のベッドに埋め込み、給水管により底面給水するので土壤水分が均一かつ安定し、環境条件が均一になっていると考えられた(図4B)。

6) 海外の育種家から日本の育種家へのアドバイス

収量性の向上のためには、多収品種と多収品種を交配して収量で選ぶこと。交配組合せは、できるだけ多様性を持たせて、かつ可能な限り様々な交配組合せを試すとよい。また、余計な調査項目やデータ収集は中止して、収量での選抜機会を増やすこと。育種に必要な作業にどれだけのコストがかかっているか常に意識をすること。マーカー選抜など実験室の作業は、年間を通して仕事量を平均化し人員や設備の稼働率を高くすることが重要である。

参考文献

Sebastian SA et al. (2010) Context-Specific Marker-Assisted Selection for Improved Grain Yield in Elite Soybean Populations. *Crop Science*. 50, 1196-1206.

謝 辞

海外の大学および民間会社との間を取り次いでいただいた、作物研の羽鹿氏にはこの場を借りてお礼を申し上げる。また、海外研修について、過去の海外研修の経験から様々なアドバイスをいただいた九州農研センターの大木氏、作物研の山田氏をはじめとする皆様にも心から感謝いたします。