

土壌病害抵抗性を持つ小豆品種の育成について

～十勝農試における耐病性育種の取り組み

田澤 暁子

はじめに

北海道において小豆は重要な作物の一つであり、道総研十勝農業試験場（以下、十勝農試）では設立当初から積極的に育種（品種改良）等の試験研究を行い、前身の十勝農事試作場であった1905年にはじめて優良品種として「円葉」「剣先」を選定して以来、これまで32品種を育成してきた。

北海道の小豆生産における障害としては、“冷害”が代表的であるが、これに加え病原菌が土壌中に存在することから薬剤防除が難しく、多発すると甚大な被害をもたらす“土壌病害”も大きな障害となっている。

一般的に土壌病害はその作物の栽培頻度が高くなるほど発生が増え、連作等の栽培過剰により急増する。北海道の小豆栽培は開拓以来栽培面積が急増し、戦時中は減ったものの最大では現在の2.5倍の約7万ヘク

タールまで増えた（図1）。そのため当時の主要な栽培地である道央、十勝地域では連作や過作により1960年代以降に土壌病害が相次いで顕在化した。

本稿では、北海道立農業試験場（現在の北海道立総合研究機構農業研究本部）が土壌病害に対して、病原菌の分離と同定、抵抗性母本の探索、それをを用いた抵抗性育種を順次実施し、多くの抵抗性品種を育成し、被害の軽減と小豆生産の安定化に寄与してきた取り組みについて紹介する。

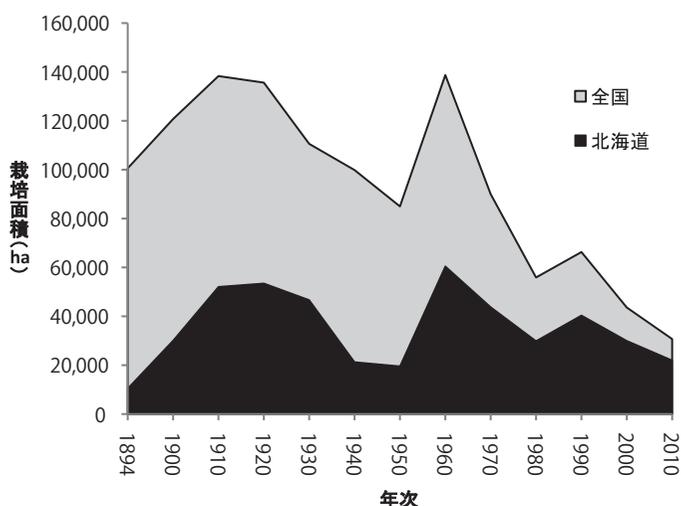


図1 全国と北海道の小豆栽培面積の推移（農林水産省統計情報部調査等による）

アズキ落葉病

アズキ落葉病は、*Phialophora gregata f.sp. adzukicola*を病原とする土壌病害で、1932年に十勝地方と北見地方で発見されていたが、1970年代に十勝地域で大発生し大きな問題となった。十勝農試では、1978年から抵抗性育種に取り組み、当初は落葉病の発生履歴のある農家圃場を利用するとともに、十勝農試内の隔離圃場に罹病植物残渣を鋤き込む等により菌密度を高めた検定圃場を設置し、圃場での発病により抵抗性遺伝資源の評価と系統の選抜を行った。

1985年に抵抗性遺伝資源「赤豆」を母本に用いた初の抵抗性品種「ハツネショウズ」を育成し、1992年には同品種の兄弟系統を交配親とした「アケノワセ」を育成した。その後、「黒小豆（岡山）」「小長品-10」「円葉（刈63）」等の遺伝資源を抵抗性育種に利用し、1994年に「円葉（刈63）」由来の抵抗性を導入した「きたのおとめ」を育成した。本品種は現在も主要品種である「エリモショウズ」を母親としており、「ハツネショウズ」等と比較して耐冷性、収量、外観品質等の農業特性が優れていたため、現在でも北海道で2番目に栽培が多い品種として広く栽培されている。

同病害に対する抵抗性育種では、道総研中央農業試験場（以下、中央農試）において2002年からDNAマーカーの開発に取り組んだ。小豆は稲、小麦、大豆等と比較すると利用出来るゲノム情報が少ないことから、両親と系統バルクを用いてAFLP解析を行い、AFLP断片から共優性のSCAR



アズキ落葉病が発生した圃場
(左：感受性品種、右：抵抗性品種)

マーカーを作製するという手順で開発を行った。また、当初落葉病はレース分類が行われていなかったが、その後“レース1”“レース2”“レース3”の3レースが報告され、「黒小豆（岡山）」、「小長品-10」、「円葉（刈63）」およびその抵抗性を導入した「きたのおとめ」等はレース1と3に抵抗性を持つことが分かった。レース2についても抵抗性の探索を行い、レース1と2に抵抗性を持つ「Acc259」（Acc：十勝農試の遺伝資源保存番号）等の遺伝資源を見だし、2008年頃までにレース1、3抵抗性の遺伝子Pga1と、レース1、2抵抗性の遺伝子Pga2（ともに優性の単一遺伝子）を持つ個体を選抜できるDNAマーカーを開発、実用化した。

現在では、検定圃場において集団選抜を行い、中期世代での系統選抜にはDNAマーカーを利用し、品種育成を効率化している。「きたのおとめ」以降の落葉病抵抗性品種はすべてPga1を持つが、Pga2を持つ品種はまだ育成されていない。

現在までに、落葉病のレース1、2、3全

てに抵抗性を持つ系統は育成されていない。Pga1とPga2については、現在までに遺伝資源においても交配後代においても両遺伝子を併せ持つものが見つかっていないことから、対立遺伝子の関係にある可能性が高く、レース1、2、3抵抗性を併せ持つ系統育成には、新たな母本の選定と育種利用が必要である。

アズキ茎疫病

アズキ茎疫病は、*Phytophthora vignae* f.sp. *adzukicola*を病原とする土壤病害で、水媒伝染性のため転換畑などの排水不良土壤において夏期の高温多雨時に多発する。1967年に北海道で初めて発見され、1970年代の減反政策により転換畑での小豆栽培が増加するに伴って多発した。1971年に初の抵抗性品種「寿小豆」が育成されたが、同品種は「能登小豆」由来の茎疫病抵抗性を持ち、1966年に集団選抜を実施した中央農試において、集中豪雨により発生した著しい湿害の中で生育が比較的良好な個体を選抜したことによって茎疫病抵抗性を得た。また、前項で述べた「アケノウセ」は、落葉病抵抗性だけでなく「寿小豆」と同一由来の茎疫病抵抗性を持つ、複合抵抗性品種である。

茎疫病は十勝地域では発生が比較的小ないため、1980年から同病害の多発地域にある道総研上川農業試験場（以下、上川農試）と共同研究を行った。その後、「能登小豆」以上の茎疫病抵抗性を持つ遺伝資源「浦佐（島根）」が見いだされ、これを母本

に用いて、2000年に抵抗性品種「しゅまり」を育成した。アズキ茎疫病の病原菌が属する*Phytophthora*属は病原性のレース分化が著しいことで知られており、抵抗性育種とその崩壊を繰り返してきたジャガイモ疫病、ダイズ茎疫病と同属であるため、アズキ茎疫病でも抵抗性崩壊が生じることが予想されていた。1989年にはアズキ茎疫病のレース分類と地理的分布の調査が行われ、「寿小豆」「アケノウセ」は「能登小豆」由来のレース1抵抗性を持ち、「しゅまり」とその母本の「浦佐（島根）」は“レース1”と“レース3”に抵抗性を持つことが明らかになった。

「しゅまり」はこの茎疫病抵抗性に加え、落葉病、萎凋病にも抵抗性を有し、これら土壤病害の被害の大きかった上川地域での普及が進んだ。一方、茎疫病抵抗性品種の育成とともに新たなレースの存在が明らかになり、「しゅまり」の品種化に向けての試験中に、複数の圃場でこの抵抗性を侵す“レース4”の発生が新たに認められた。さらにレース4に対する抵抗性選抜試験を実施していた上川農試内圃場において、“レース5”の発生も認められ（表1）、各々のレースに対応した真性抵抗性を利用した品種育成には限界があると判断した。

そこで十勝農試と中央農試では“圃場抵抗性”という概念に着目した。病害抵抗性には“真性抵抗性”と“圃場抵抗性”という概念がある。前者は単一または比較的小数の遺伝子が関与するピンポイントな抵抗性で、レースの変化により効果を失う可能

性をはらんでいる。一方、“圃場抵抗性”は複数の遺伝子が関与する量的形質であり、各々のレースに対する抵抗性の強度は“真性抵抗性”には劣るものの、多数のレースに広く抵抗性を示すと考えられ、イネのいもち病、バレイショのジャガイモ疫病など多くの病害で圃場抵抗性を利用した育種が行われ、効果を上げている。

十勝農試と上川農試では、2005年からアズキ茎疫病の圃場抵抗性育種に向けた試験を実施した。その中で、レース3、4、5が発生し「しゅまり」等の抵抗性品種でも大きな被害を受ける試験圃場においても発病がほとんど認められない、“圃場抵抗性遺伝資源”を複数見いだした。また、圃場抵抗性を評価するための検定方法や基準品

表1 アズキ茎疫病のレース分類

小豆品種	レース				
	1	2	3	4	5
エリモショウズ	S	S	S	S	S
寿小豆	R	S	S	S	S
能登小豆	R	R	S	S	S
浦佐 (島根)	R	—	R	S	S
十育150号	R	—	R	R	S
報告年	1989		2001	2007	

表2 圃場抵抗性の基準品種と発病度 (2006-2009の平均)

品種系統名	圃場抵抗性	レース抵抗性			発病度	早晩性
		1	3	4		
エリモショウズ	弱	S	S	S	92.0	中生
十育149号	やや弱	R	R	R	68.6	中生
能登小豆	中	R	S	S	42.7	晩生
Acc832	やや強	S	S	S	24.9	晩生
Acc1398	強	S	S	S	8.1	極晩生

Accは十勝農試における遺伝資源の整理番号、早晩性は圃場での観察による

種等を設定し (表2)、抵抗性遺伝資源を用いた抵抗性育種を実施しているが、これらの抵抗性遺伝資源は本州の在来種等であり、北海道で栽培すると開花期が極端に遅く、草型も大きく異なる等、育種の障害となる形質を持つ。そのためこのような形質を除いた中間母本の作出に取り組むとともに、高精度、効率的に圃場抵抗性育種を行うため、DNAマーカー開発に向けた基礎的研究を進めている。

アズキ萎凋病

アズキ萎凋病 (以下、萎凋病) は、*Fusarium oxysporum f.sp.adzukicola* を病原とする土壌病害であり、1983年に発見され、その後、道央の転換畑を中心に多発した。

主に初夏に発生し、茎に水浸状病斑を形成し、縮葉や脈間壊疽等を生じる。萎凋病抵抗性については、前述の「黒小豆 (岡山)」等の落葉病抵抗性遺伝資源が萎凋病にも抵抗性を示し、萎凋病の抵抗性遺伝子RFoa1は、落葉病抵抗性遺伝子Pga1と同一遺伝子の多面発現、または極めて強い連鎖であることが示されている (図2)。そのため、

前述のPga1のDNAマーカー選抜によって同時選抜が可能になっており、「きたのおとめ」以降の落葉病抵抗性は全て萎凋病抵抗性を有しており、これらの抵抗性品種の普及により近年生産現場では大きな被害が出ていない。

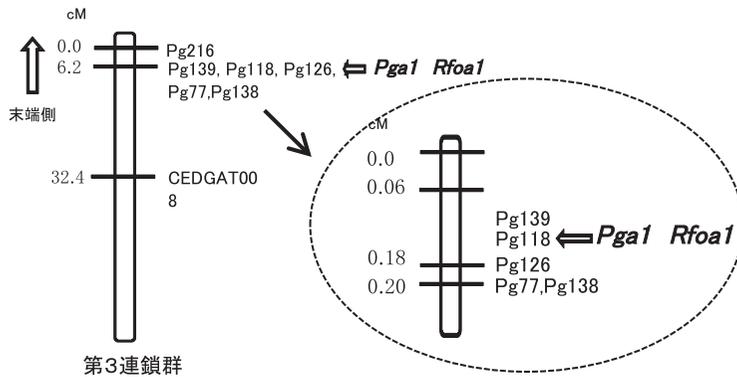


図2 落葉病抵抗性Pga1と萎凋病抵抗性Rfoa1の選抜マーカー (2011中央農試)

しかし、2011年に、北海道北部の小豆圃場において萎凋病抵抗性Rfoa1を持つ「きたろまん」で萎凋病の発生が確認され、萎凋病の新レースとして認められた。また近年、落葉病のレース2抵抗性育種に取り組む中で新たに導入したレース1、2抵抗性遺伝子Pga2は、Rfoa1と連鎖してないことが明らかになった。そのため、Pga2を保有する「Acc259」自体はRfoa1とは異なる新しい萎凋病抵抗性を持つものの、Pga2の育種利用に際しては、別途、萎凋病抵抗性の選抜を行う必要が出てきた。そのため、現在、中央農試と共同で本萎凋病抵抗性を選抜できる新規DNAマーカーの開発に取り組んでいる。

新たな病害虫抵抗性と今後の小豆育種

近年、北海道の小豆栽培においては、ダイズシストセンチュウ（以下、シストセンチュウ）に対して抵抗性を持つ小豆品種開発への要望が強い。同線虫は大豆の重要害虫であるが、小豆やインゲンマメ等、大豆

以外の豆類にも広く寄生する。近年は豆類の作付け過剰傾向にある地域を中心として著しい密度の上昇が生じ、小豆での被害も顕在化している。

十勝農試では、2008年から小豆におけるシストセンチュウ抵抗性に関する試験を

実施している。シストセンチュウの研究は大豆においては米国等でも広く行われており、抵抗性遺伝子やレースの分類等が明らかになっているが、小豆での研究は始まったばかりで、解明すべき点が多い。

現在までの研究において、小豆でも大豆の抵抗性品種並みにシストの着生が少ない抵抗性遺伝資源が複数見いだされている(図3)。また、大豆で分類されるレースの種類にかかわらず多くのシストセンチュウに対して抵抗性を示すものもあり、このような遺伝資源の育種利用により、同線虫被害の対策として有効な抵抗性小豆品種の育成が今後期待される。

現在小豆育種では、従来から取り組んできた多収性、耐冷性や土壌病害抵抗性に加え、省力化を目的とした機械収穫適性の向上や、輪作体系改善に有効な極早生性、100年に一度の冷害でも壊滅的被害を受けない高度耐冷性、前述のシストセンチュウ抵抗性など、多くの新規育種目標に取り組んでいる。そのため、選抜と評価に関わる

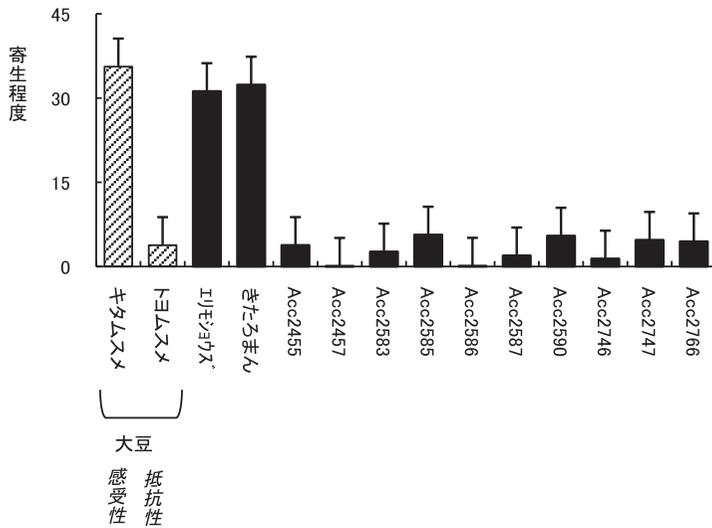


図3 比較品種と遺伝資源のシスト着生指数 (2009十勝農試)

労力の軽減は非常に重要であり、DNAマーカーを利用した選抜は精度と効率の向上において有効である。

小豆の育種においては、道総研農業研究

本部内で、育種担当である十勝農試とDNAマーカー開発担当の中央農試が連携し、落葉病抵抗性育種の効率化を実現してきた。現在、病虫害抵抗性や耐冷性など多様な形質については、中央農試や上川農試等の道総研内の農試だけでなく、北海道農業研究センターや北海道大学、帯広畜産大学、東京農業大学等の多様な研究機関と共同研究を

行っている。これらの取り組みにより、画期的な特性を持つ小豆品種の育成と、その普及による生産の安定が期待される。