

令和2年～4年度豆類振興事業試験研究 「DNAマーカー選抜を利用した 茎疫病抵抗性小豆品種の開発強化」

(地独)北海道立総合研究機構中央農業試験場 研究主任 道満 剛平

●はじめに

我が国における小豆の生産量は約42,000t(令和4年度)で、そのうち約90%を北海道が安定して占めている(農林水産省〔2023〕)。北海道内の小豆作付面積は、令和4年度には19,000haであるが、コロナ禍以後の需要回復により、国産供給量を上回る国内需要が存在する(農林水産省〔2023〕)。小豆は、全国の和菓子やあん製品に不可欠な原料で、これまでも安定供給が求められてきたが、今後さらなる増産が求められている。

北海道内の地域別的小豆作付面積は道東地域に位置する十勝地方が約70%を占める(北海道農政部〔2023〕)。一方で、生産地域が一極に集中すると、近年の極端な気象変動や気象災害(平成28年の十勝地方への台風被害など)により供給量の年次変動が大きくなることから、安定供給の強化には十勝地方以外の地域でも小豆が安定して生産されることが必要である。道内で十勝地方に次いで生産量が多いのは、道央地域(北海道の西半分、道央・上川・道南地域を指す)で、全体の約25%を占める。道央地域では特に大納言小豆の作付比率が十勝地方より高く、道産の大納言小豆の80%以上が道央産である(北海道農政部〔2023〕)。しかしながら、道央地域の作付面積は年々減少している現状にある。この要因として、水田転換畑が多く、アズキ茎疫病などの土壌病害による被害を受けやすい点、北海道内でもより温暖な気候で高温登熟条件となりやすく、収量が不安定である点、道産ブランド品種「エリモ167」や「しゅまり」の土壌病害抵抗性が不十分である点、の3点が挙げられる。いずれも減収につながり、生産者の収益が変動しやすい。さらに生産者の高齢化や人手不足により栽培管理に手間のかかる小豆に対し、コンバイン収穫適性が高く労働時間が短い大豆等の他作物への転換が進んでいる。このため、道央地域で今後も小豆作付面積を維持していくためには、茎疫病等の土壌病害抵抗性を付与し、道央地域の温暖な気象条件に合った品種を育成し、収益性の向上と生産の省力化を実現することが必要である。

道総研では、本事業による助成を受け、これまで土壌病害(茎疫病、落葉

病、萎凋病) 抵抗性を複合的に付与させることを目標に品種開発を行ってきた。現在、北海道では、落葉病および萎凋病に抵抗性を持つ品種が作付面積全体の75%以上を占めている(北海道2023)。一方で、茎疫病抵抗性については、例えば道産小豆のブランドとなっている品種「エリモ167」は茎疫病に感受性であり、「しゅまり」は茎疫病レース1,3抵抗性を有するが、北海道内には茎疫病レース4が存在し、「しゅまり」でも減収被害が発生するなど増加傾向にある。したがって、茎疫病抵抗性を持つ北海道優良品種があるものの、レースの変遷への対応など抵抗性の付与にはさらなる改良の余地が残されている。

また、茎疫病抵抗性を付与した品種開発のために、安定して発病する畑で評価して抵抗性系統を選抜するだけでなく、抵抗性を選抜できるDNAマーカーを用いることが効率的である。なぜなら、精度の高いDNAマーカーを用いることで、畑での発病度を調査することなく抵抗性系統を選抜でき、交配して数年程度しか経過していない初期世代の育成材料でも、ほぼ確実に抵抗性系統を選抜できるからである。道総研では、落葉病抵抗性および萎凋病抵抗性を選抜するDNAマーカーを用いた選抜により、初期世代から抵抗性付与を実現し、育成材料のほぼすべての系統で抵抗性を持つまでに至っている。茎疫病抵抗性についても、同様に高精度な選抜マーカーを開発し、育種選抜に用いることができれば、抵抗性品種の迅速な開発につながる。

そこで本課題では、道央地域に向く複合土壌病害抵抗性(特に、茎疫病抵抗性)を付与した品種の開発を目標に、①茎疫病抵抗性評価による抵抗性品種または有望系統の開発、②茎疫病抵抗性を選抜するDNAマーカーの開発、③茎疫病抵抗性を有する道産ブランド品種(「エリモ167」など)の開発、を目的に実施した。なお、本課題は道総研の3つの農試(中央農試、十勝農試、上川農試)の4グループがそれぞれの強みを生かして実施した。道総研の小豆品種育成の主体である十勝農試のほか、道央地域の温暖な気候でも安定生産可能な品種を開発するため、育成系統の収量試験や品質評価には中央農試(夕張郡長沼町)の試験ほ場を用いた。茎疫病抵抗性の評価には、上川農試(上川郡比布町)の安定的に茎疫病が発病する水田転換畑ほ場を用いると同時に、接種によるレース毎の抵抗性調査を実施した。DNAマーカーの開発は、道総研農試の各作物育種のDNAマーカー検定を担う中央農試の生物工学グループで実施した。

●道央地域で安定生産可能な有望系統の選抜

中央農試の試験ほ場で中後期世代の現地選抜試験を行い、農業特性を評価した。また、茎疫病抵抗性を上川農試にて評価した。その結果、普通小豆については、土壤病害抵抗性（落葉病、萎凋病、茎疫病レース1,3,4抵抗性）を付与した有望系統「十育186号」が選抜された。「十育186号」は上川農試ほ場での茎疫病抵抗性が「強」であった。農業特性でも対照品種「エリモ167」に対して、多収で耐倒伏性に優れた（表1）。

大納言については、道産大納言で最も栽培されている「とよみ大納言」を対照品種とし、土壤病害抵抗性を付与した有望系統「十育183号」、「十育184号」が選抜された。「十育183号」、「十育184号」とともに、茎疫病レース1,3,4抵抗性であると同時に、「とよみ大納言」より多収で耐倒伏性に優れ、百粒重も同等に重かった（表1）。また、加工適性も両系統ともに、「とよみ大納言」とほぼ同等であった。

この3系統ともに道央地域で安定生産が可能で有望と考えられたが、その後の試験結果により残念ながら廃棄となった。しかしながら、交配母本として活用されており、現在、後代系統を選抜中である。

表1 道央地域に向く有望系統の特性（中央農試）

試験 年次	品種系統名	茎疫病抵抗性			開花期 (月.日)	成熟期 (月.日)	倒伏 程度	主茎長 (cm)	子実重 (kg/10a)	標準 品種比 (%)	百粒重 (g)	品質 (検査等級)
		レース										
		1	3	4								
2021～ 2022年	十育186号	R	R	R	7.24	9.25	0.5	63	380	110	15.8	3中
	エリモ167	S	S	S	7.24	9.26	0.9	62	345	100	14.4	3中
2020～ 2022年	十育183号	R	R	R	7.24	9.19	0.5	58	386	123	24.3	3上
	十育184号	R	R	R	7.24	9.19	0.2	49	349	111	23.5	3上
	とよみ大納言	S	S	S	7.22	9.18	1.3	53	315	100	24.3	3中

注1) 茎疫病抵抗性：Rは抵抗性、Sは感受性を示す。

注2) 倒伏程度：観察により0(無)、0.5(微)、1(少)、2(中)、3(多)、4(甚)で評価。

注3) 標準品種比：「エリモ167」または「とよみ大納言」の子実重を100としたときの子実重対比。

注4) 品質：造りによる検査等級。1～3等(2～3等は上中下あり)、規格外の8段階。

●普通小豆品種「きたひまり」が保持する茎疫病抵抗性を選抜するDNAマーカーの開発

道総研（十勝農試、上川農試、中央農試、北見農試）が2021年に育成した普通小豆品種「きたひまり（十育170号）」は、茎疫病レース1,3,4抵抗性を有し、上川農試ほ場での茎疫病抵抗性は“やや強”と判定された（表2）。「きたひまり」は、上川農試ほ場でも抵抗性が強いことから、レース1,3,4抵抗性以

外の抵抗性因子も保持すると推定された。

表2 茎疫病レース抵抗性と上川農試茎疫病検定ほ場における発病度および抵抗性評価

品種系統名	レース			発病度					
	1	3	4	2016	2017	2018	2019	2020	累年
きたひまり	R	R	R	5.2 強	1.1 強	11.2 強	3.8 やや強	31.6 中	やや強
エリモショウズ	S	S	S	36.5 弱	56.7 弱	37.1 弱	52.3 弱	80.9 弱	弱
しゅまり	R	R	S	27.6 弱	78.9 弱	46.5 弱	59.4 弱	70.3 弱	弱
十育150号	R	R	R	37.1 弱	59.7 弱	29.7 弱	43.3 弱	71.3 弱	弱

注) 湛水処理前に茎疫病菌懸濁液を土壌接種し、その後8～16時間湛水処理した。
湛水処理後2～3週間後に発病度を1区あたり10株、4反復調査。

「きたひまり」と「エリモ167」の交雑後代を用いてゲノム解析を行った。その結果、第9染色体上に抵抗性に関わるゲノム領域を検出し、近傍にある既存のSSRマーカーでの選抜精度は80.3%であった(堀川ら2020)。次に、検出されたゲノム領域近傍に新たにDNAマーカーを設計し、「きたひまり」と「エリモ167」の交雑後代(F3世代、71系統)のマーカー遺伝子型と茎疫病菌の接種検定での抵抗性を比較した。その結果、DNAマーカー「pa097150」の遺伝子型と抵抗性評価が一致したのは71系統中62系統で、選抜精度が87.3%であった。この結果から、開発したDNAマーカー「pa097150」は、既存のSSRマーカーより精度よく抵抗性系統を選抜できると考えられた(表3、佐藤ら2022)。さらに、育種現場でDNAマーカー選抜を効果的に行うために、「pa097150」での選抜精度より高精度なDNAマーカーの開発を目指し、抵抗性遺伝子が座乗するゲノム領域の絞り込みを行っている。今後、DNAマーカーを利用して、育種において「きたひまり」由来の茎疫病抵抗性を効率的に選抜し、育成系統への導入を進める予定である。

表3 「きたひまり」後代系統の茎疫病抵抗性と開発したDNAマーカー「pa097150」の遺伝子型との関係

「pa097150」の 遺伝子型	茎疫病菌の接種検定による表現型			
	抵抗性	感受性	分離	不明
「きたひまり」型	23	0	1	0
「エリモ167」型	1	9	1	0
ヘテロ	3	0	30	3

注1) きたひまり/エリモ167のF₃世代71系統を供試

●まとめと今後の展開

本課題では、①茎疫病抵抗性を有する有望系統「十育183号」、「十育184号」、「十育186号」を選抜した。②「きたひまり」が保持するレース1,3,4抵抗性以外の抵抗性因子に関して、既存のSSRマーカーより高精度に抵抗性を選抜できるDNAマーカーを開発した。このような土壌病害抵抗性に優れた品種と品種育成を効率化するDNAマーカーの開発により、道央地域の温暖な気象条件でも生産安定性が高まり、生産者の収益性向上と小豆生産の省力化を実現する一助となると考えられる。更に、開発したDNAマーカーを用いて、「エリモ167」などのブランド品種への茎疫病抵抗性付与を進めている。

本課題で茎疫病抵抗性に着目した「きたひまり」は、2021年に道総研が育成し北海道優良品種となった（北海道〔2021〕）。「きたひまり」は茎疫病抵抗性に加えて、落葉病レース1,2抵抗性、萎凋病抵抗性であり、北海道優良品種の中で耐病性に最も優れる（表4）。さらに、農業特性の面でも「エリモ167」と比較して、多収で耐倒伏性に優れる（表5、図1）。「きたひまり」は高度な耐病性を有することから、茎疫病等の土壌病害被害が発生する地域での普及が見込まれる。一方、茎疫病菌のレースは変化しやすいことが指摘されている（藤田〔2007〕）。「きたひまり」の抵抗性は、遺伝資源「Acc1018」に由来する抵抗性遺伝子が受け継がれていると考えられるが、今後の茎疫病菌のレース分化に備えて、道総研が保有する別の抵抗性遺伝資源由来の抵抗性遺伝子の活用も図っていく予定である。現在、本事業の後継課題「道央地域で安定生産できる中晩生小豆品種の開発強化」で「きたひまり」の抵抗性を選抜するDNAマーカーのさらなる高精度化とともに、他の遺伝資源に由来する抵抗性遺伝解析、DNAマーカー開発を行っている。

表4 「きたひまり」の土壌病害抵抗性

品種系統名	茎疫病					落葉病レース抵抗性		萎凋病抵抗性
	レース抵抗性			上川試験場ほ場での抵抗性				
	1	3	4	発病度平均	累年評価	1	2	
きたひまり	R	R	R	10.6	やや強	R	R	R
エリモ167	S	S	S	-	-	R	S	R
エリモショウズ	S	S	S	52.7	弱	S	S	S

注1) 病害抵抗性：Rは抵抗性、Sは感受性を示す。

注2) 上川農試験定ほ場での結果は2016～2020年の平均値と累年評価。

表5 「きたひまり」の特性

品種 系統名	開花期 (月.日)	成熟期 (月.日)	倒伏程 度	主茎長 (cm)	子実重 (kg/10a)	エリモ 167比 (%)	百粒重 (g)	品質 (検査等級)	生あん色			あん 粒子径 (μ m)
									L*値	a*値	b*値	
きたひまり	7.28	9.18	1.1	63	325	105	14.1	3上	39.51	9.26	6.90	113.1
エリモ167	7.28	9.17	1.6	56	310	100	14.3	2下	39.98	8.78	7.84	115.9

注1) 病害抵抗性：Rは抵抗性、Sは感受性を示す。

注2) 倒伏程度：観察により0(無)、0.5(微)、1(少)、2(中)、3(多)、4(甚)で評価。

注3) 品質：造りによる検査等級。1～3等(2～3等は上中下あり)、規格外の8段階。

注4) 生あん色、あん粒子径以外は道内普及見込み地帯の試験成績のべ30か所の平均。

生あん色、あん粒子径は2016～2020年十勝農試産原料の平均。

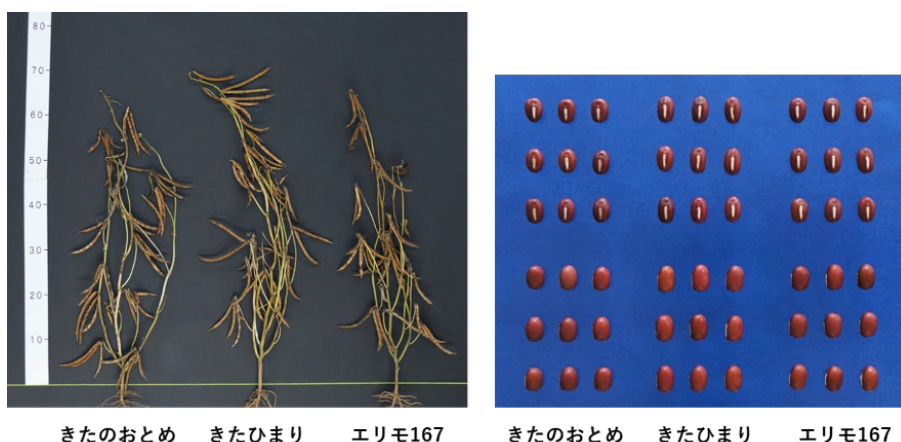


図1 「きたひまり」の草本と子実形態

最後に、北海道では令和5年夏に記録的な高温となり、生産現場においても高温が原因で落花や落莢が見られた。通常は成熟に向かう8月後半にかけても二次生長が多発し、葉落ちが不良となった結果、収穫作業に時間を要した。道央地域は特にその影響を受け、中央農試の定期作況調査(「エリモショウズ」)では、小粒化と着莢数の減少により、平年を大きく下回る収量(平年比58%)で、濃赤粒が多発し、外観品質も悪化した(道満ら2023)。このように、高温の影響を受けやすい道央地域においては、高度な土壌病害抵抗性に加えて、高温登熟条件下でも安定生産できる品種育成が強く求められる。今後も道総研の小豆育種の強みを生かした品種開発を進め、道央地域の生産安定性を向上させることで、道産小豆の安定供給の強化に貢献していきたい。

● 謝辞

「きたひまり」育成に係る成果の一部は生研支援センター「イノベーション創出強化研究推進事業」(JPJ007097)(01019C、2019～2020年)の支援を受けて行った。

引用文献

- ・ 藤田 (2007) 北海道立農業試験場報告115号p1～55.
- ・ 堀川ら (2020) 育種学研究22 (別1) 208.
- ・ 北海道 (2021) 令和3年普及奨励ならびに指導参考事項.
- ・ 佐藤ら (2022) 育種学研究23 (別1) 110.
- ・ 北海道農政部 (2023) 麦類・豆類・雑穀便覧R5豆類編.
- ・ 農林水産省 (2023) 作物統計 (令和5年耕地及び作付面積統計).
- ・ 道満ら (2023) 日本育種学会・日本作物学会北海道談話会報64: 8-9.