

公募事業で実施した豆類試験研究の成果 (平成22～26年度) について (その1)

(公財) 日本豆類協会

当協会では、小豆、いんげん等の豆類の生産性向上と高品質化を図っていくため、その基盤となる品種改良や技術開発等の試験研究を推進してきております。平成22年度からは公募形式で事業を実施し、応募研究課題を審査、採択の上、北海道、石川県、京都府、兵庫県などにおける試験研究機関で試験研究を進めております。

各研究課題については概ね数年間の期間で取り組まれていますが、公募事業が始まってから5年以上が経過したことから、成果を冊子にまとめることとしました。その際、この5年間の試験研究成果を、期間内に終了した課題を中心に、成果をわかりやすくPR・説明する資料を作成しました。

12テーマのPR・説明資料ができ上がりましたので、今回から3回程度に分けて掲載していきたいと思っております。

今回掲載するテーマは以下の4つです。

- ①小豆の開花着莢期の低温に対する高度な耐冷性付与への挑戦
(北海道立総合研究機構十勝農業試験場)
- ②小豆の地域別適応品種の開発
(北海道立総合研究機構十勝農業試験場、中央農業試験場、上川試験場、北見試験場、東京農大、北海道大学)
- ③小豆のダイズシストセンチュウ抵抗性育種への取り組み
(北海道立総合研究機構十勝農業試験場、上川試験場、中央農業試験場、農研機構北海道農業研究センター)
- ④菜豆の品質研究と新規用途向け品種の開発
(北海道立総合研究機構十勝農業試験場)

小豆の開花着莢期の低温に対する高度な耐冷性付与への挑戦

十勝農業試験場研究部豆類グループ

北海道産小豆の安定生産のためには、耐冷性の優れた品種を育成・普及することが重要である。小豆では、低温による影響を受けやすい3つの生育ステージ（出芽直後、生育初期、開花着莢期）があり、それぞれの耐冷性母本が交配に利用されてきた。

開花着莢期'高度'耐冷性

このうち開花着莢期については、十勝農業試験場が保有する海外の遺伝資源の中に、昭和58年や平成5年のような極低温条件でも着莢できる新たな耐冷性母本が見出された（平成20年）。これを「開花着莢期高度耐冷性」と呼ぶことにし、これら母本を用いた交配後代を低温育種実験室で選抜することにより、開花着莢期高度耐冷性を有する系統の育成を目指してきた。

評価方法

開花着莢期高度耐冷性の評価方法は、低温育種実験室において、開花期から10日間、50%遮光条件下で昼15-夜10℃の極低温処理を実施し、その後の開花数や柱頭上の稔性花粉数（写真2左）から耐冷性の強弱を判定するものである。

耐冷性と不良形質

この評価法により、十勝農業試験場では、開花着莢期高度耐冷性を有する系統の選抜を行ってきたが、選抜系統は、自然日長で開花し、本耐冷性を有するものの、母本に由来する小粒等の不良農業形質も引き継いでいる。優れた耐冷性を維持しながら、効

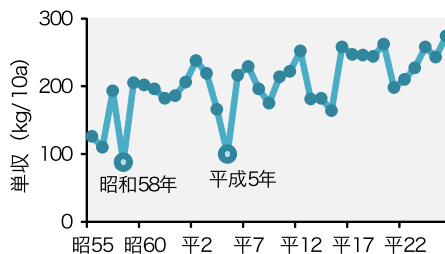


図1 北海道の単収の推移



写真1 低温育種実験室の外観（十勝農業試験場）。室内の気温は自動制御。ガラス室は4室に分かれ、うち1室は短日処理できる

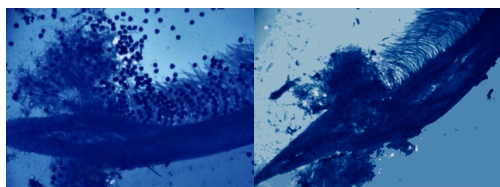


写真2 染色した柱頭の様子。稔性花粉あり（左）となし（右）



写真3 極低温処理後のAcc2265（左）とエリモショウズ（右）

選抜系統と耐冷性母本の不良形質

形質	開花着莢期高度耐冷性母本「Acc2265」	選抜系統（小豆品種×「Acc2265」）	「エリモショウズ」等の小豆品種
開花着莢期高度耐冷性	強	中～強	弱
伸育性	蔓	直～蔓	直（有限）
熟性	極晩生	中～中晩生	早～中晩生
種皮色	茶緑	灰白・赤など	赤（淡～濃）
子実の大きさ	極小	小～中	中～大

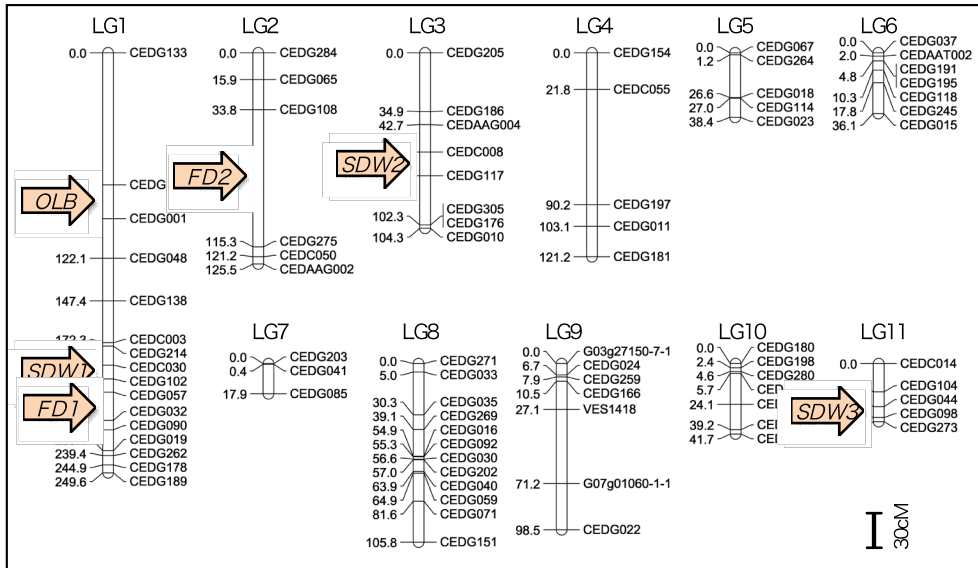


図2 「しゅまり」 × 「Acc2265」 RILsの遺伝子連鎖地図。矢印はそれぞれFD:開花期、SDW:百粒重、OLB:種皮色の推定QTL*。(*QTL:量的形質遺伝子座)

率的に不良形質を取り除くためには、遺伝解析を進め、これら不良形質と開花着莢期高度耐冷性の遺伝的連鎖関係を解明する必要がある。

遺伝解析

そこで、遺伝解析のための材料 (RILs: 組換え自殖系統) を養成し、帯広畜産大学、中央農業試験場と協力して遺伝子連鎖地図の作成を試みた。北海道優良品種「しゅまり」と遺伝資源「Acc2265」を両親とするRILsを養成し、両親間に多型の認められた81個のSSRマーカーを用いて連鎖地図を作成した。この連鎖地図を用いたQTL解析から、開花着莢期高度耐冷性に関するQTLは検出されなかったが、晩生・小粒・粒色のQTLが複数見つかり、これら不良形質と連鎖するDNAマーカーを特定できた。

今後の課題

開花着莢期高度耐冷性のQTLが検出されなかった原因として、短日処理によりRILsの開花期は揃ったものの検定に十分

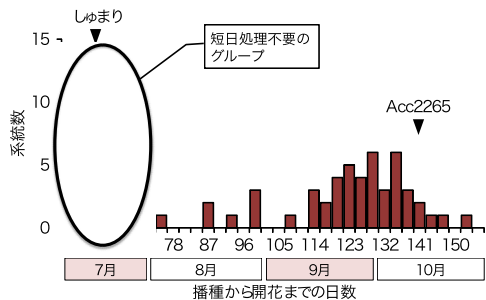


図3 自然日長における開花始の頻度分布 (「しゅまり」 × 「Acc2265」 RILs, n=88)

な開花数が得られなかったこと、また、両親間で多型を示すマーカー数が不十分であったことが考えられる。

今後の課題として、短日処理不要の材料 (図3) を用いてQTL解析を行うこと、ゲノム情報を利用してマーカー数を増やすこと、選抜してきた開花着莢期高度耐冷性系統の耐冷性を実証することが挙げられる。

特に、新たな遺伝資源から導入した開花着莢期高度耐冷性と従来の開花着莢期耐冷性との関係は未解明であり、開花着莢期高度耐冷性が生産現場で実用可能な形質であるかを検討していく必要がある。

小豆の地域別適応品種の開発

十勝農業試験場、中央農業試験場、上川農業試験場、北見農業試験場、東京農大、北海道大学

(1) 背景

①道央・道南(上川・留萌地方を含む)地域

道産小豆の3割を占める栽培面積を有する地域である。

道東に比べ冷害に遭いにくく、生育期間が温暖で、多収が望まれる。

古くからの小豆産地で水田転換畑も多く、土壌病害(落葉病、茎疫病、萎凋病)抵抗性が必要。

登熟期間が高温条件下では、粒色が濃く、粒大が小さくなり、規格内歩留が低くなる可能性が高く、粒色が淡く、大粒が望まれる。

②道東地域

道産小豆の6割以上を占める栽培面積を有する地域である。

十勝山麓・沿海部、オホーツク沿海部では無霜期間が短く、冷害発生の懸念があり、早生品種で耐冷性が必要。

十勝地方では落葉病発生の危険が高く、落葉病抵抗性は必須。新たなレースも発生している。

(2) 地域別品種の育成のために

1) 道央・道南地域向け品種の選抜(十勝農試、中央農試、上川農試)

道央・道南向けに交配した組合せを中央農試において初期世代集団選抜、中期世代系統選抜を実施し、後期世代系統で同地域への適応性を確認し、温暖条件でも規格内歩留が高く、外観品質の優れた系統の育成を図った。並行して上川農試ではレースが分化しやすい茎疫病に対応できるほ場抵抗性の母本を探索、選抜法を確立し、茎疫病ほ場抵抗性を有する系統の選抜を実施した。

2) 道東地域向け品種の選抜(十勝農試、北見農試、東京農大)

冷涼な気象条件の網走沿海地域において現地選抜ほ場を設置し、中期世代系統選抜を実施し、後期世代で同地域への適応性を確認し、安定した早生性、収量性を有する系統を選抜・検定した。十勝、オホーツクの異なる気象条件でも安定した早生性を維持できる生育特性を解明した。

(3) 各地域向け品種を育成

1) 道央・道南地域向け普通小豆品種「きたあすか」(平成22年)の育成

「きたあすか」は「エリモショウズ」に比べ成熟期が遅い道央道南地域向けの普通小豆である。「きたあすか」は多収で、粒大が大きく、普通小豆規格内歩留が高く、粒色はやや淡い。そのため外観品質は同産地の「エリモショウズ」より優る。落葉病、茎疫病レース1、3、萎凋病に対して抵抗性を有し、道央地域の生産物は同産地の「エリモショウズ」より加工適性が優れる(表1、写真1)。

表1 道央地域における試験成績(平成18~21年、延べ8か所)

品種名 または 系統名	耐病性				耐冷性		成 熟 期 (月日)	倒 伏 程 度 (cm)	主 茎 長 (kg/10a)	子 実 重 (%)	同 左 粒 比 重 (g)
	落 葉 病	茎 疫 病	萎 凋 病	開 花 耐 冷 性	成 熟 耐 冷 性	や や 弱					
きたあすか	強	強	強	強	強	9.8	1.2	65	325	108	16.1
エリモショウズ	弱	弱	弱	弱	中	9.9	1.4	57	300	100	13.2
しゅまり	強	強	強	弱	弱	9.8	1.2	59	283	94	12.6

注1) 耐病性: 各病害のレース別抵抗性を示し、強: 抵抗性、弱: 罹病性。

注2) 耐冷性: 開花・成熟期耐冷性を示し、弱、やや弱、中、やや強の4段階。

注3) 倒伏程度: 成熟期における倒伏程度、0(無)、0.5(微)、1(少)、2(中)、3(多)、4(甚)。

注4) 同左比: エリモショウズの子実重、規格内子実重を100とした百分率。



写真1 「きたあすか」の外観品質

を有し、道央地域の生産物は同産地の「エリモショウズ」より加工適性が優れる(表1、写真1)。

「きたあすか」

は、冬期温室で人工交配を行ない、春期暖地で世代促進を行なった。中後期世代で中央農試において道央・道南地域向けの外観品質を選抜、収量性を確認し育成した。

2) 道東の早生品種栽培地帯向け普通小豆品種「十育164号」(平成28年)の育成

「十育164号」は現行品種中最も早生の「サホロショウズ」並の成熟期を有する早生品種栽培地帯向けの普通小豆品種である。「十育164号」は耐倒伏性に優れ、収量性は「サホロショウズ」以上であり、耐冷性は「エリモショウズ」並で、落葉病、茎疫病レース1,3,4、萎凋病に抵抗性を有し、病害抵抗性は現行品種中最も優れる。「きたろまん」並の加工適性を有する(表2、写真2)。

「十育164号」は、冬期温室で人工交配を行ない、春期暖地で世代促進を行なった。中後期世代でオホーツク現地、北見農試で早生性および収量性で選抜を行ない、冷涼地での適応性を確認し育成した。また、本品種がオホーツク地域で安定した早生性を示す特性を明らかにした。

(4) 地域別品種の特性を向上させる更なる技術の蓄積

①多様なレースに対応できる茎疫病圃場抵抗性を導入



写真2「十勝164号」の早生性(平成26年9月13日芽室町)。左、エリモショウズ164号(成熟期:9月20日)右、「十勝164号」(成熟期:9月4日)

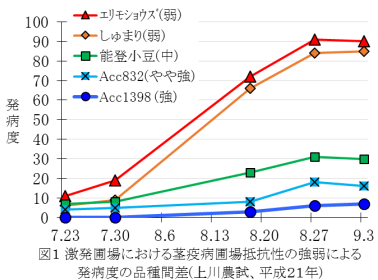


表2 早生品種栽培地域における試験成績(平成26~27年、延べ7か所)

品種名	耐病性				成 熟 期 (月日)	倒 伏 度 (cm)	主 茎 長 (kg/10a)	子 実 重 (%)	同 左 比 (%)	同 百 粒 重 (g)
	落 葉 病	茎 疫 病	萎 凋 病	蕾 腐 病						
また は	レース	レース	レース	レース	度	程	重	対 比		
系 統 名	1	3	4	病	(月日)	度	(cm)	(kg/10a)	(%)	(g)
十育164号	強	強	強	強	9.15	0.1	62	376	105	16.1
サホロショウズ	弱	弱	弱	弱	9.18	1.2	69	357	100	15.3
きたろまん	強	強	弱	弱	9.22	1.2	69	371	104	15.4

- 注1)耐病性:各病害のレース別抵抗性を示し、強:抵抗性、弱:罹病性。
 2)耐冷性:開花蕾萎凋耐冷性を示し、弱、やや弱、中、やや強の4段階。
 3)倒伏程度:成熟期における倒伏程度、0(無)、0.5(微)、1(少)、2(中)、3(多)、4(甚)。
 4)同左比:サホロショウズの千実重を100とした百分率。

表3 中央農試における試験成績(平成27年)

品種名	耐病性				成 熟 期 (月日)	倒 伏 度 (cm)	主 茎 長 (kg/10a)	子 実 重 (%)	同 左 比 (%)	同 百 粒 重 (g)
	落 葉 病	茎 疫 病	萎 凋 病	蕾 腐 病						
また は	レース	レース	レース	レース	度	程	重	対 比		
系 統 名	1	3	4	場 病	(月日)	度	(cm)	(kg/10a)	(%)	(g)
十育168号	強	強	強	強	9.23	2.7	83	427	107	17.2
エリモショウズ	弱	弱	弱	弱	9.18	2.7	81	399	100	13.2
きたあすか	強	強	強	弱	9.20	3.0	121	407	102	16.0

- 注1)耐病性:各病害のレース別抵抗性を示し、強:抵抗性、弱:罹病性。
 2)茎疫病圃場抵抗性:弱、やや弱、中、やや強、強の5段階評価。
 3)倒伏程度:成熟期における倒伏程度、0(無)、0.5(微)、1(少)、2(中)、3(多)、4(甚)。
 4)同左比:エリモショウズの千実重を100とした百分率。

表4「十育170号」、「十育172号」の試験成績(平成27年)

試験場	品種名	耐病性				成 熟 期 (月日)	倒 伏 度 (cm)	主 茎 長 (kg/10a)	子 実 重 (%)	同 左 比 (%)	同 百 粒 重 (g)	
		落 葉 病	茎 疫 病	萎 凋 病	蕾 腐 病							
また は	レース	レース	レース	レース	度	程	重	対 比				
系 統 名	1	2	1	3	4	病	(月日)	度	(cm)	(kg/10a)	(%)	(g)
十勝農試	十育170号	強	強	強	強	9.24	1.0	81	433	108	13.5	
	きたのおとめ	強	弱	弱	弱	9.24	2.2	73	402	100	13.3	
中央農試	十育172号	強	強	強	強	9.21	2.8	89	421	103	15.4	
	きたあすか	強	弱	強	強	9.22	3.2	114	408	100	17.4	
	しゅまり	強	弱	強	強	9.20	2.5	76	355	87	13.4	

- 注1)耐病性:各病害のレース別抵抗性を示し、強:抵抗性、弱:罹病性。茎疫病は場抵抗性ha
 2)倒伏程度:成熟期における倒伏程度、0(無)、0.5(微)、1(少)、2(中)、3(多)、4(甚)。
 3)同左比:「十育170号」は「きたのおとめ」、「十育172号」は「きたあすか」の千実重を100とした。

茎疫病圃場抵抗性の母本を見出し、選抜検定法を確立した(図1)。道央道南地域向け品種の開発と並行して選抜・検定を実施することで、「十育168号」(平成27年)を育成した(表3)。現在、更に選抜を続け茎疫病圃場抵抗性を有する育成系統を多数開発している。

②新たな落葉病レース2抵抗性DNAマーカーの開発と抵抗性有望系統の開発

落葉病レース1抵抗性を侵す新たな落葉病菌(レース2)に抵抗性を示すDNAマーカーを開発し、選抜に利用し、道東地域向け普通小豆「十育170号」、道央地域向け普通小豆「十育172号」(平成27年)を育成した(表4)。

小豆のダイズシストセンチュウ抵抗性育種への取り組み

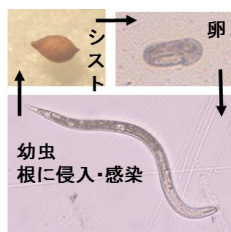
十勝農業試験場、上川農業試験場、中央農業試験場、農研機構北海道農業研究センター

ダイズシストセンチュウ (SCN) とは

ダイズシストセンチュウ (以下、SCN) は、北海道内各地の土壤中に分布している線虫の一種である。SCNは根に寄生し、生育を阻害する。寄生した幼虫は根の組織内で発育し、雌成虫はそのままシストという大量の卵を含んだカプセルとなって、土壤中に何年もの間生存するという厄介な特性を持つ。また、名前にダイズという植物名が入っているとおり、大豆の減収をもたらす重要病害虫として認識されている。その一方で、SCNは大豆のみならず小豆にも寄生し、減収要因となっている。



線虫対策には抵抗性品種の利用が最も有効であり、大豆では抵抗性育種が進んでいるが、小豆にはこれまで抵抗性品種がなく、生産現場からは抵抗性品種の開発が望まれていた。



世界初のSCN抵抗性小豆遺伝資源を発見

道総研では、十勝農業試験場保有遺伝資源の中から、31点の抵抗性遺伝資源を見出した。これらのうち、子実の外観が比較的既存品種に近い「Acc2195」及び「Acc2766」を抵抗性導入のための交配母本に選定し、この2点のSCN抵抗性遺伝資源について調査した。

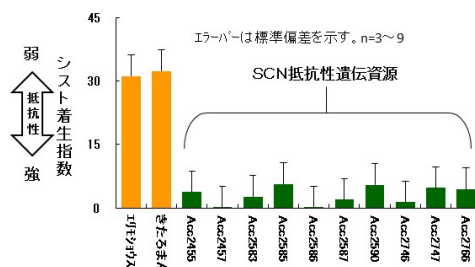


図1 発見したSCN抵抗性小豆遺伝資源 (一部)

小豆のSCN抵抗性のメカニズムと特徴

①SCNの幼虫に感染はするが成虫まで育たない

「Acc2195」・「Acc2766」、抵抗性を有しない (以下、感受性) 「しゅまり」、抵抗性大豆品種「スズヒメ」にSCN幼虫を接種し、根組織内での発育状況を観察した。接種された幼虫は、SCN抵抗性小豆遺伝資源の根組織に侵入するものの、雌成虫 (シスト) まで発育しなかった。

作物名	供試材料	SCN抵抗性	接種3日後		接種23日後	
			感染数 / 全根	総虫数 / 全根	雌成虫数 / 全根	雌成虫数 / 全根
小豆	しゅまり	感受性	144	35	21	
	Acc2195	抵抗性	112	59	1	
	Acc2766	抵抗性	109	39	1	
大豆	スズヒメ	抵抗性 (極強)	217	113	1	

注) 1個体あたりSCNを192卵+507幼虫を接種した。(2015 中央農試)

表1 接種したSCNの根組織内における発育

②道内のSCN個体群のほとんどに抵抗性SCNは大豆品種への寄生性によりいく

つかの個体群に分類されており、SCN抵抗性大豆品種中最強である「極強」の品種にも寄生する個体群が存在する。「Acc2195」・「Acc2766」は、北海道内の土壤から採取したSCN個体群66種類の大部分に抵抗性を示した。

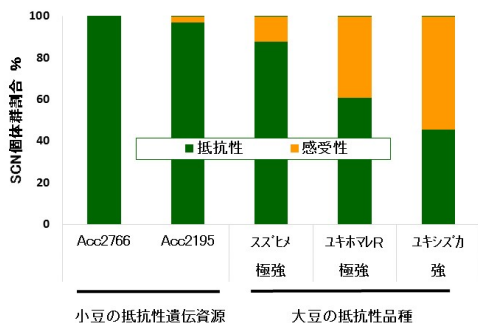


図2 北海道内から採取した66のSCN個体群のうち抵抗性を示した割合

③抵抗性が効かなくなるリスクが小さい

抵抗性品種を繰り返し栽培することにより、徐々に線虫の寄生能が上昇し、抵抗性が効かなくなることがある。「Acc2195」・「Acc2766」の根にSCNの幼虫を接種し、着生したわずかなシストから幼虫をふ化させ、同じ材料に接種することを繰り返した(継代)結果、SCNの寄生能の上昇程度は抵抗性大豆品種より小さく、SCN抵抗性が効かなくなるリスクは低いと推察される。

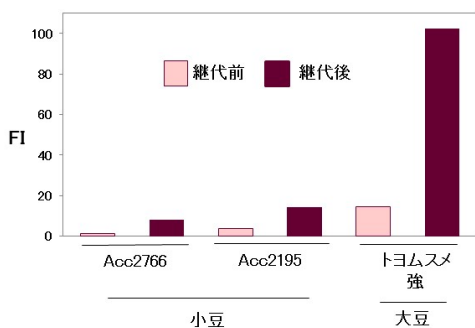


図3 抵抗性品種で5作継代を繰り返したSCNの寄生能

注) FI: Female Index 線虫抵抗性の程度を示す指標。大きいほど感受性

④作付けすると土壤中のSCN密度が減る
 土壤中のSCN密度は、「Acc2195」・「Acc2766」の栽培により、栽培前より低下した。このことは、SCN抵抗性小豆作付けには耕種的防除の意味もあり、輪作体系上のメリットがあることを示す。

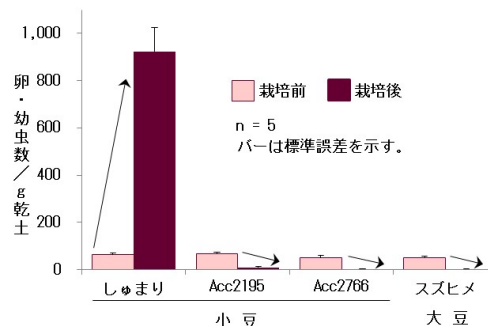


図4 栽培前後の土壤中のSCN密度の変化(ポット試験による)

SCN抵抗性小豆系統の選抜

「Acc2766」と「きたろまん」を交配し、SCN発生圃で選抜を行った。その結果、SCN抵抗性であり、土壤中のSCN密度低減効果があり、SCN発生圃での減収程度が小さく、北海道で成熟期に達する2系統を得た。これらは今後育種素材として活用する。

品種・系統名	SCN抵抗性			子実重 kg/10a	成熟期 月/日
	シスト寄生程度	SCN密度の変化 ¹⁾	FI		
きたろまん	66.0	-	-	105	361 9/5
しゅまり	-	7.77	100	-	361 9/10
Acc2766	0.0	0.12	0.0	-	- 達せず
0831-48-5-2	0.8	0.16	0.0	311	370 9/25
0831-52-2-2	0.0	0.09	0.0	253	373 9/23

注1) 栽培後/栽培前 (乾土1g当りSCN卵・幼虫数)
 2014年 十勝農試・中央農試

表2 「きたろまん」×「Acc2766」(十交0831)後代F6系統の特性

菜豆の品質研究と新規用途向け品種の開発 十勝農業試験場研究部豆類グループ

菜豆の現状と品種改良

北海道における菜豆（いんげんまめ）の生産は、全国の約95%を占めている。その主な用途は、金時類では加糖煮豆や甘納豆、手亡類では白餡・和菓子といった、日本伝統の加糖製品である。しかし、消費の頭打ちや天候不順による生産の不安定さから、作付面積は漸減傾向にある。北海道立総合研究機構では、菜豆類の安定生産と収量向上による生産者収入の向上、用途拡大による消費増加を目指している。

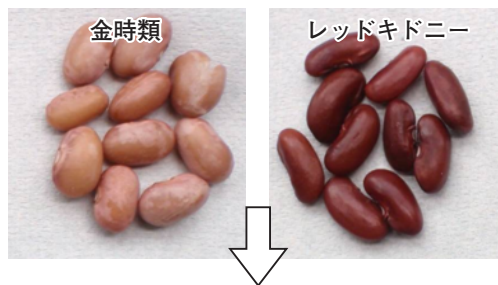
新たな菜豆用途の開拓を

近年、豆類をサラダやスープなどに利用することが拡大しているが、これらには海外産レッドキドニーなどが主に用いられている。北海道産・国産原料に対する要望も高まっているが、金時類は調理時に種皮色の退色や皮切れ・煮くずれ粒が発生することが問題視されている。そこで、新規用途に求められる品質を明らかにし、それらを簡易迅速に評価する方法を検討した。

新規用途向け菜豆に必要な品質とは？

サラダ等用途向け赤いんげんまめに加工メーカーが求める加工特性は、「加熱後も種皮色が赤く鮮やかなこと」と「加熱後も皮切れせず、煮くずれないこと」であり、外観品質が重視されていることが明らかになった。加工後の硬さについては、一定の

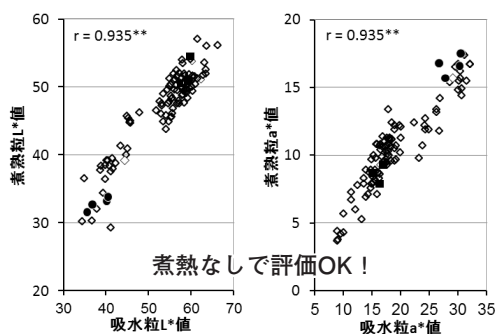
傾向はないが、多くの加工メーカーが重視していた。



赤くて煮くずれしない赤いんげんまめの開発!!

品質評価の簡易化で品種改良の効率UP！

品種改良において、特性の調査・評価の簡易迅速化は非常に重要である。そこで、吸水粒色から煮熟粒色を推定できることを明らかにし、水浸漬処理のみで推定することが可能になった。これにより、赤いんげんまめの煮熟粒色を簡易に推定できる。



■:金時類、●:レッドキドニー類、◇:育成系統

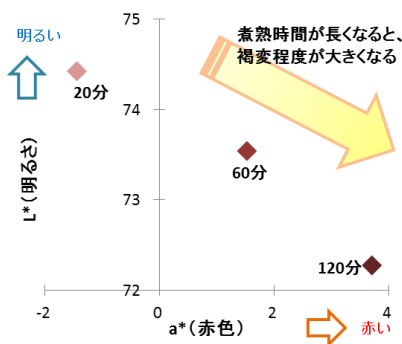
硬さの評価手法も効率化を図った。これまでは、種皮部分と子葉部分の硬さを別個に測定していたが、これを同時に測定する手法を開発した。菜豆は増殖率が低いので、少ないサンプルから評価する手法は品種改良において非常に重要となる。

さらに高品質な白餡を目指して

上生菓子（練り切り）などに白餡を用いる場合、加工性・品質の面から、明るい白色の餡であることが望まれる。手亡類は風味や製餡適性を高く評価されているが、海外産ライマメと比較すると、餡色が褐色にくすむ傾向がある。そこで、手亡餡の製造工程における着色現象の要因を明らかにし、品種改良に利用可能な簡易餡色評価法を開発した。

手亡餡の着色要因は？

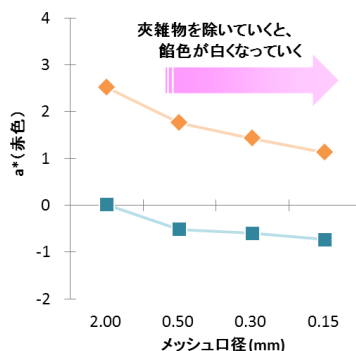
製餡時にアミノ酸を添加した場合や煮熟時間を長くすると、生餡の褐変程度は大きくなった。これらのことにより、食品の褐変現象の一つとして知られているメイラード反応によって褐色物質が生じることが、手亡餡の着色要因の一つと推察された。



また、生餡中に餡粒子より大きい夾雑物が見つかり、これを除去すると褐変程度が低下した。このため、夾雑物の混入も着色要因の一つであることが示された。

以上のことから、褐変物質がメイラード反応により生じ、餡粒子および夾雑物に吸着されることが、白餡の着色機構と示唆さ

れた。しかし、これらの要因から餡色を正確に推定することは困難で、手亡餡色の評価には餡の調製が必須であった。



少量サンプルから餡を作る

白く明るい餡の手亡類を開発するにあたり、餡色の評価は実際に餡を調製して実施する必要がある。従来からの試験製餡は、サンプル量が多く必要となり、操作も複雑である。多くの育成系統や遺伝資源の餡色を評価するためには、より迅速・簡便に、少量の試料から餡を調製できる製餡法が必要であった。

そこで、10gの種子から餡を調製する改良法を開発し、少量の種子から簡易に餡色を評価することが可能になった。

高品質な菜豆の開発に向けて

近年、消費者が食味や食品機能性など、農産物に品質や付加価値を求める傾向が強くなっている。北海道産農産物に対し期待がされる一方で、求められるハードルは高くなっている。生産者にとって作付けしやすく、加工実需者や消費者が望む品質の菜豆新品種を開発していくことがより重要になるだろう。