



Title	ダイズ (Glycine max) における種子低温裂開抵抗性及び早熟性に関する育種学的研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	山口, 直矢
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	乙第6990号
Issue Date	2016-03-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/61871
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Naoya_Yamaguchi_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称： 博 士（農学）

氏名 山 口 直 矢

学 位 論 文 題 名

ダイズ (*Glycine max*) における種子低温裂開抵抗性及び早熟性に関する育種学的研究

ダイズは日本型の食生活に欠かせない豆腐、煮豆、納豆、味噌、醤油などに加工される主要作物であり、輪作体系を維持するためにも重要な作物である。北海道は日本におけるダイズの一大産地であるが、低温の影響を受けやすく、無霜期間も短いことから、ダイズ栽培の北限地域である。特に厳しい冷害は北海道北部と東部で 4 年に一度の割合で発生している。低温は収量減だけではなく、種子の外観品質にも悪影響を与える。特に近年では北海道東部および北部で冷害年に発生する「裂開粒」が問題となっている。裂開粒は種子の背側種皮が大きく裂けて子葉が露出し、2 枚の子葉接合部が付着せず乖離する障害粒であり、収穫後の選別では屑粒として扱われるため、裂開粒の発生により生産者の歩留まりが大きく低下する。裂開粒の他に安定生産を阻む要因として、北海道は無霜期間が短く、ダイズの生育期間が短いことが挙げられる。このため、成熟が遅い品種は霜害を受け、種子の外観品質が低下する。また、冷害年では成熟が遅れるため、コンバイン収穫が不可能となることがある。これらの理由から、北海道では耐冷性と並び早熟性も重要な形質の一つである。本論文では、北海道での安定生産を阻む裂開粒および海外遺伝資源を用いた早熟性の育種学的研究を行った。

まず、裂開粒の低温感受性の高い時期を明らかにするとともに、裂開抵抗性の品種間差の評価方法を検討し、人工気象室を用いた検定法を確立した。十勝、オホーツク、上川の 3 つの地域の計 27 の圃場試験において、開花期後の平均気温と品種「ユキホマレ (YH)」の裂開粒重率の相関を調査した結果、開花期 14~21 日後の平均気温と裂開粒重率の間には有意な負の相関が認められた ($r = -0.73^{***}$)。したがって、YH の裂開粒発生に関与する低温感受性時期は開花期 14~21 日後であることが示された。これらの圃場試験において、YH の裂開粒重率が 1.0%以上であった 9 試験では、「トヨホマレ (TH)」と「十育 238 号 (T238)」の裂開粒重率は YH と「トヨムスメ (TM)」よりも有意に低かった。したがって、圃場での裂開抵抗性には品種間差があることが示された。次に圃場での品種間差を再現するために、人工気象室を用いて検定法を確立した。YH を用いて低温処理条件を検討し、裂開粒率が高かった開花 10 日後から 21 日間の低温処理を採用した。この低温処理条件（開花 10-31 日）は圃場で裂開粒が発生した年次の低温に該当していた。次に、YH, TM, T238, TH を開花 10 日後から 21 日間の低温処理を行ったところ、3 年間の試験において TH と T238 の裂開粒率は YH と TM よりも有意に低かった。したがって、開発した検定法で、圃場試験での品種間差を再現できることが明らかとなった。

人工気象室を用いた裂開抵抗性検定法は設備の面積と労力の都合上、大量の系統を選抜することはできない。このため、育種プログラムでは中後期世代の系統しか検定を行うことができない。初期世代から積極的に選抜を行うためには DNA マーカーの開発が必要とされる。そこで、低温裂開抵抗性の DNA マーカーの開発を目指し、量的形質遺伝子座 (QTL) 解析を行った。まず初めに低温裂開抵抗性が強い「十育 248 号 (T248)」と弱い YH の組み合わせから、組換え自殖系統群 (RILs) 117 系統を育成した。F₆ 世代、F₇ 世代の RILs を低温裂開抵抗性検定に供試し、裂開粒率の逆正弦変換値 (CSI, Cracked Seed Index) を算出した。T248 と YH について合計 391 マーカーの遺伝子型を調査した。その結果、158 マーカーで多型が検出され、多型率は 40.4%であった。これらのマーカーを用いてゲノム全体をカバーする全長 1,826 cM、マーカー間の平均距離は 11.6 cM の連鎖地図を作成した。CSI の QTL 解析は最小 LOD 値を 2.0 としてコンボジットインターバルマッピング法を用いて行った。2 ヶ年に渡って QTL 解析を行い、2 回の試験とも同じ染色体領域に QTL が

検出された場合（10 cM 以内），その QTL は陽性であると判断した．QTL 解析の結果，2 ヶ年共に同一領域に検出された QTLs は 2 つあり，染色体 8 上に検出された QTL を *qCS8-1*，染色体 11 上に検出された QTL を *qCS11-1* と命名した．*qCS8-1*，*qCS11-1* とともに T248 型が CSI を低下させる効果を示した．また，*qCS8-1* と *qCS11-1* の遺伝子型が YH 型の RILs が最も高い CSI を示した．次に *qCS8-1* もしくは *qCS11-1* 領域がヘテロ型の RILs を選抜し，準同質遺伝子系統（NILs）を育成した．育成した NILs を裂開抵抗性検定に供試したところ，T248 型の NIL が YH 型の NIL よりも CSI が有意に低かった．また，両 QTLs とともに圃場試験において他の農業形質に負の影響を与えることがないことが確認された．さらに，少なくとも *qCS8-1* については，異なる遺伝的背景下においても低温裂開抵抗性の向上に効果があることが確認できた．これらの結果より，*qCS8-1* 及び *qCS11-1* は低温裂開抵抗性育種を進める上で有用な遺伝子であると考えられた．

一般的に早熟の品種は栄養生長期と生殖生長期の両方が短いため，晩生の品種よりも低収である．一方で，遠縁の遺伝資源は多収系統育成のための母本として有効との報告が多数ある．ポーランドはダイズ作の北限地域であるため，ポーランド品種は長日条件でも開花し，耐冷性も強いと報告されている．そこで，海外の遺伝資源としてポーランド品種「Polan」と「Progres」を活用し，収量性を損なわずに早熟かつ耐冷性の強い系統を育成できるか検証した．「十系 1067 号（T1067）」は 1 回親を「Polan」，「十系 251 号（T251）」は 1 回親を「Progres」とした YH を戻し交配親とする BC1 戻し交配集団から育成した．2 カ所の圃場で 3 年の栽培試験を行ったところ，両圃場において，T1067 と T251 は YH よりも有意に成熟期が早かった．T1067 の子実収量は YH よりも有意に低かったが，T251 は YH と同等であった．収量構成要素を比較したところ，T251 は YH よりも百粒重が軽く，主茎莢数は少なかったが，分枝莢数が多かった．百粒重の重い T248 と T251 を交配することにより，早熟かつ百粒重が YH と同等の系統「十系 1141 号」「十系 1142 号」を育成することができ，早熟性と百粒重の両立は可能であることを明らかにした．DNA マーカーを用いて熟性遺伝子 *E1-E4* 座の遺伝子型を推定したところ，YH と T251 は *e1-nl/e2/E3/e4* 型であり，*E1-E4* 以外の遺伝子が T251 の早熟性に関与していることが確認された．YH よりも成熟期が早い T251，「十系 1141 号」，「十系 1142 号」を用いて，ゲノム全体をカバーする 262 の DNA マーカーで解析を行ったところ，これら 3 系統は共通して，染色体 4 上の *E8* 座近傍が「Progres」型を示した．*E8* 座に関する NILs を育成して効果を検証したところ，*e8* 型が *E8* 型よりも有意に早熟であったことから，*E8* 座が早熟性に関与することが示唆された．耐冷性については，T251，T1067 の開花期耐冷性が YH の「やや強」を上回る「強」であることを確認した．これらの結果より，ポーランド品種は早熟及び耐冷性育種に有効であることが確認された．

本論文では，低温裂開抵抗性検定法を開発し，開発した検定法を用いて QTL 解析を行い，2 つの QTLs を検出した．これら 2 つの QTLs 近傍 DNA マーカーを育種に用いることで，初期世代から裂開抵抗性を選抜することが可能になるであろう．また，ポーランド品種を母本に用いることにより，収量性を落とさずに早熟化できることが示された．この早熟性に関与する遺伝子は *E1-E4* とは異なるものであり，*E8* 座の遺伝子である可能性が示唆された．これらの成果を育種に活用することにより，低温裂開抵抗性と早熟性を複合化した，北海道でも安定生産できるダイズ品種の育成が期待される．