

秋田県におけるダイコン地方品種の育成と、それに関わる
諸形質の遺伝・育種学的研究

Breeding of local varieties of radish in Akita Prefecture
with genetic-breeding studies in radish

2015年3月

椿 信一

Nobuichi Tsubaki

目次

| | |
|--------------------------|----|
| 序論 | 1 |
| 第1章 わが国のダイコン地方品種の特性 | |
| 1. 表現型に基づく形質の評価 | 3 |
| 緒言 | 3 |
| 材料および方法 | 3 |
| 1) 供試品種 | 3 |
| 2) 耕種概要と調査方法 | 3 |
| 結果 | 4 |
| 1) 主要特性 | 4 |
| 2) 開花日 | 5 |
| 3) 秋田県地方品種の特性 | 5 |
| 考察 | 7 |
| 1) わが国ダイコン地方品種の表現型特徴 | 7 |
| 2) 秋田県の地方品種について | 7 |
| 図表 | 10 |
| 2. 辛味ダイコン主要品種の特性 | 25 |
| 緒言 | 25 |
| 材料および方法 | 25 |
| 1) 供試品種 | 25 |
| 2) 耕種概要と調査方法 | 25 |
| 結果 | 26 |
| 1) 形態特性および根内部特性 | 26 |
| 2) 成分特性 | 26 |
| 考察 | 27 |
| 図表 | 29 |
| 3. 表現型および遺伝子型に基づく類縁関係の解明 | 40 |
| 緒言 | 40 |
| 材料および方法 | 40 |
| 1) 供試品種 | 40 |
| 2) 表現型に基づいたクラスター分析 | 40 |
| 3) DNAの遺伝子型に基づいたクラスター分析 | 40 |
| 結果 | 42 |
| 1) 表現型に基づいたクラスター分析 | 42 |
| 2) DNAの遺伝子型に基づいたクラスター分析 | 42 |
| 考察 | 43 |
| 1) わが国のダイコンの分類 | 43 |
| 2) ハマダイコンについて | 44 |
| 図表 | 46 |

| | |
|---|-----|
| 第2章 アントシアニン系色素発現に関する遺伝解析と育種利用 | |
| 1. 交雑試験によるアントシアニン系色素の遺伝様式の解明 | 56 |
| 緒言 | 56 |
| 材料および方法 | 56 |
| 1) 供試品種 | 56 |
| 2) F ₁ , F ₂ , BC世代の育成と採種 | 56 |
| 3) 表現型の調査 | 57 |
| 4) DNAの遺伝子型調査 | 57 |
| 結果 | 58 |
| 1) 白色系品種のE遺伝子型の判別 | 58 |
| 2) アントシアニン系色素の遺伝解析 | 58 |
| 3) DNAの遺伝子型解析 | 61 |
| 考察 | 62 |
| 1) アントシアニン発現の遺伝メカニズム | 62 |
| 2) アントシアニン系色素の遺伝様式 | 62 |
| 図表 | 66 |
| 第3章 秋田県におけるダイコン地方品種の育成 | |
| 1. 加工用ダイコンF ₁ 品種‘秋田いぶりこまち’の育成とその特性 | 90 |
| 緒言 | 90 |
| 材料および方法 | 90 |
| 結果 | 92 |
| 考察 | 93 |
| 図表 | 94 |
| 2. 加工用ダイコンF ₁ 品種‘秋農試39号’の育成とその特性 | 102 |
| 緒言 | 102 |
| 材料および方法 | 102 |
| 結果 | 104 |
| 考察 | 105 |
| 図表 | 107 |
| 3. 辛味ダイコンF ₁ 品種‘あきたおにしぼり’の育成とその特性 | 116 |
| 緒言 | 116 |
| 材料および方法 | 116 |
| 結果 | 118 |
| 考察 | 119 |
| 図表 | 121 |
| 4. 有色辛味ダイコンF ₁ 品種‘あきたおにしぼり紫’の育成とその特性 | 130 |
| 緒言 | 130 |
| 材料および方法 | 130 |
| 結果 | 131 |
| 考察 | 133 |
| 図表 | 135 |
| 総合考察 | 143 |
| 謝辞 | 147 |
| 摘要 | 148 |
| Summary | 154 |
| 引用文献 | 156 |

序 論

ダイコン (*Raphanus sativus* L.) は、アブラナ科に属する植物で、その原産地は地中海沿岸または西南アジアから東南アジアとする説が有力である。しかし、ハマダイコンなどの野生種が欧州をはじめ、わが国やアメリカ大陸まで広く分布しており、それらが交雑によって生じたという多元説も存在している。エジプトでは起源前 2,200 年頃には既に栽培されていた記録が残っており、中国においても、起源前 1,100 年頃には栽培に関する記述が見られる。わが国においても古くから栽培・利用されていた野菜の一つで、日本書紀 (720) には「オホネ (大根)」との記載が認められることから、少なくとも 1,300 年以上前には、中国あるいは朝鮮半島などから渡来していたものと考えられている。江戸時代になると、都市近郊野菜園芸の中心的作物として栽培が盛んとなり、多くの品種が分化し、現代の主要品種である宮重系 (一般に青首ダイコンと呼ばれている) や練馬系品種は、既にこの時代に成立している。明治、大正、昭和へと時代が進む中でもダイコンは主要な冬野菜としての地位を維持してきており、今日でも、栽培面積が 34,400 ha、出荷量は 1,168,000 t (農林水産省 2012 年) と、国内野菜の中で第 1 位の生産規模を持ち、わが国において主要な野菜の一つとなっている。

ダイコンには、カブやハクサイといった他のアブラナ科野菜と比べ、特徴的な香りや食味が感じられる。それには、ダイコンに特異的に含まれるイソチオシアネート (辛味成分) が関係しており、この成分が、ダイコンを様々な形で利用する日本の食文化の発展に大きく影響を与えてきたものと考えられている。わが国では、煮物など加熱して食用にすることがダイコンの主な活用方法であるが、その他にも漬物、切り干し、刺身の「つま」、「おろし」および「カイワレ」などの利用方法も発達している。特に「おろし」はイソチオシアネートを積極的に用いるもので、他国にない、わが国独自の利用方法である。さらに、近年ではサラダに用いられることが多くなってきており、イソチオシアネートの少ない品種の開発も進んでいる。これら、利用方法の多様化が、世界でも類を見ない日本の多彩な品種分化へと繋がっていったものと考えられている。

アブラナ科植物は、自家不和合性や細胞質雄性不稔といった F_1 品種を育成する上で重要な性質を保持していることから、野菜類の中では比較的試験研究が進んでいる植物の一つである。ダイコンにおいても、これまでに自家不和合性 (新倉・松浦, 2000)、細胞質雄性不稔 (山岸ら, 2009)、す入りの研究 (萩屋, 1952) および根部肥大に関わる研究 (田中ら, 2011) など、多数の報告がなされ、品種改良に活用されてきた。一方、根色に関する遺伝様式の研究は、Hosi らが 1963 年に報告した‘聖護院’と‘コメット’の交雑試験以降、進展していなかった。しかし、近年になって、サラダ用のカラフルな品種開発の要望や、アントシアニンの抗酸化作用など、色素に対する機能性が注目され、再び根色に関する研究が行われてきている (浅子ら, 2011)。DNA に関する研究も盛んで、山岸 (2003) はミトコンドリア DNA の分析により、栽培ダイコンの起源を明らかにしている。また、核 DNA では、2011 年に公益財団法人かずさ DNA 研究所とみかど協和株式会社の共同研究により、連鎖地図情報が Radish Marker Database より公開されている。2014 年には、東北大学と、かずさ DNA 研究所が協力してデータを統合した結果、ダイコンゲノムの 76%にあたる約 400 Mb (4 億塩基対) の塩基配列が決定され、その情報は、aphanus

sativus Genome Data Base (<http://radish.kazusa.or.jp>) で公開されている。さらに、ダイコン 8 品種のゲノム配列データが公開され (Kitashiba ら, 2014), ダイコンは約 6 万 2 千個の遺伝子をもっていることが明らかになっている。これらの研究成果により, ダイコンの遺伝・育種学的研究を行う環境は整いつつあり, 今後の急速な研究の進展が期待されている。

ダイコンは, 他のアブラナ科植物と同様に自家不和合性を有する他殖性植物であるため, 一般的には集団として維持される。そのため農業生産上, 固定された品種であっても, 集団内で生理形態的にばらつきがあることが特徴であった。しかし, 最近の市場品種は, 均一性の高い F₁ 品種が広く用いられるようになってきており, 営利栽培においては, ばらつきの問題点は解決されている。一方, 古くから受け継がれてきた地方の固定品種は依然不均一であり, その栽培は減少し続けている。そのような状況の中でも, 現在, 60 品種以上の地方品種の存在を確認することができる (芦澤, 2002)。

近年, 地域の独自性に着目し, それを活用した地域活性化の取り組みが盛んになっており, 日本各地に残る「伝統野菜」に注目が集まっている。「伝統野菜」は, 地域および祖先の文化的遺産の一つであり, 極めて地域性が高く, それを活用することで, 地域活性化を進めようとする動きも多い。ダイコンにおいて, 地方品種 (伝統野菜) や地域の固有品種を地域振興に生かす試みは, 宮崎県の‘糸巻き’ダイコン (田中ら, 2011) や島根県におけるハマダイコンの栽培化 (伴ら, 2009) など多くの取り組み例がある。本県でも, 「秋田の伝統野菜」(秋田県農林水産部, 2006) が選定され, その振興が図られている。秋田県農業試験場では今日, ダイコンにおいて 8 (‘松館しぼり’, ‘大館’, ‘秋田 (仁井田)’, ‘川尻’, ‘改良秋田’, ‘秋田三八’, ‘関口’, ‘沼山’) の地方品種を確認し, 保存している。そのうち, 一定量の栽培面積と生産量を維持し, 「秋田の伝統野菜」に認定されているのは, ‘松館しぼり’, ‘大館’, ‘秋田 (仁井田)’ の 3 品種のみであり, 残りの 5 品種は, 栽培者がすでに消滅したり, 栽培面積が極めて小さく, 自家消費程度の栽培規模で維持されているにすぎない。

本研究は, 秋田県で維持・保存しているダイコン地方品種について, 積極的に活用し, 品種育成等を通じて, 秋田県内の地域の活性化および秋田県農業の発展に貢献することを目的として遂行された。はじめに, 秋田県に残されてきたダイコン地方品種 (本論文が初出典の品種を含む) の特性を明らかにし, その長所ならびに改良すべき点を整理した (第 1 章)。次に, 根部が赤色や紫色に着色する辛味ダイコン品種の育成に向け, これまで研究の進んでいないアントシアニン系色素の遺伝解析を行った (第 2 章)。最後に, 以上の試験結果を踏まえ, 地方品種を活用して育成した秋田県オリジナル品種について論じた (第 3 章)。

本論文は, 秋田県農業試験場において筆者が行ったダイコンの育種について報告するとともに, 秋田県立大大学院博士後期課程において行った地方品種の特性調査およびアントシアニン系色素に関する交雑試験 (表現型調査および DNA の分析による遺伝解析) の結果を合わせて, 秋田県におけるダイコン地方品種の育成としてとりまとめたものである。

第1章 わが国のダイコン地方品種の特性

1. 表現型に基づく形質の評価

緒 言

ダイコンにおいては、F₁ 品種が普及する以前から各地で栽培されていた地方品種が、少ないながらも現存している。秋田県にも、かつてはダイコンの地方品種が多く存在していたと思われるが、既に途絶えた品種も少なくない。例えば、能代市周辺で栽培されていた‘榊’ダイコンは、青葉（1981）によって秋田県の地方品種として報告されているが、現在ではまったく確認することができない（佐々木，2011）。今日、秋田県で存在を確認できるダイコンは序論で述べたように8品種あるが、これらの8地方品種の遺伝資源としての重要性は高く、種子の保存と特性調査を早急に行う必要がある。

遺伝資源の育種素材としての価値を明確にするためには、植物分類学に基づく形質の評価が重要であり（田中ら，1989）、秋田県の地方品種を含めた、わが国の地方品種の諸形質について調査を実施した。

材料および方法

1) 供試品種

供試品種は、秋田県の地方品種である8品種（図1-1-1）を中心に、わが国に残っている地方の固定品種52品種を選定した（表1-1-1）。対照品種として、大韓民国（以下、韓国と記載）1品種、中華人民共和国（以下、中国と記載）5品種、台湾、タイ、カザフスタン、スペインの各1品種を加えた。また東北地方で収集した自生由来のハマダイコン類3品種も加えた。

2) 耕種概要と調査方法

植物体特性については、秋田県農業試験場内露地ほ場において、2012年8月28日に播種し、条間1m、株間25cmで1か所に3～5粒播種し、第3本葉展開時に間引きを行って1本仕立てとした。施肥は基肥のみで、N:P₂O₅:K₂Oをそれぞれ10kg・10a⁻¹施用し、供試株数は品種当たり10～16株とした。収穫は11月6日～15日（栽培日数70～79日）に行った。調査は、標準的な根重の5株について行った。形態特性は目視、メジャー、デジタルノギスおよび台はかり（秤量4kg、最小目盛10g）を用いて計測した。根部の硬度は果実硬度計（KM-5型、藤原製作所）およびフルーツ硬度計（0-13KG, T.R. Turoni s.r.l.）を用いて、中心柱に沿って縦に2分割した根部の中央部に、直径5mmの円柱形プランジャーを押し当てて計測した。根部の乾物率は、縦に2分割した根部全体の一片を用い、はじめに新鮮重を計測し、送風定温乾燥器（FV-1500、アドバンテック東洋（株））で70℃、5～7日間乾燥後に乾物重を測定し、新鮮重との差から算出した。す入りおよび空洞症の有無は、根部を縦に2等分割してその断面を肉眼による観察で判定した。根部の辛味は、根中央部をおろし金ですりおろし、官能調査で判断した。根部の糖度は、辛味官能調査で用いた「お

ろし」の搾汁液を果実デジタル根部糖度計 (PR-101, (株) アタゴ) で計測した。開花特性については、秋田県農業試験場内ガラス室において、材料を養成した。2013年2月12日にすじ撒きし、子葉展開時に7.5 cmポットに鉢上げし、4月25日に15 cmポットに移植した。播種から鉢上げまでは地温を20°Cに保って発芽を促進したが、その後は、加温せず、最低室温を5°Cに設定して低温処理した。調査は各品種3株について行い、主枝の花が3花以上展開した日を開花日と判定した。

調査は、野菜品種特性分類審査基準 (農林水産省) を参考に一部改変したものに従い、45形質について行った。内訳は観察が27形質、測定が18形質である (表 1-1-2)。

結 果

1) 主要特性

供試した65品種の表現型は変異に富むものであった (表 1-1-2)。種子色は、わが国の品種は全て茶色であったが、中国系の‘青長’と‘赤皮大丸’の2品種は白茶色であった。胚軸のアントシアニン系色素の着色は、品種間で差が大きく、同一品種でも着色する個体としない個体が混在している場合も見られた。着色が認められたのは、わが国の辛味ダイコンの全て、東北地方や長野県、関西および九州地方の在来品種、日本国外の品種であり、根部にアントシアニン系色素の着色が同時に認められる品種が多かったが、白色系品種でも胚軸にアントシアニン系色素の着色が認められる場合もあった。また、わが国の主要品種である宮重系や練馬系では胚軸の着色は見られなかった。葉の切れ込みでは、ほとんどの品種で切れ込みがあり、いわゆるダイコン葉であったが、辛味ダイコンの一部および九州地方の在来品種の中に板葉状の全縁葉、あるいは切れ込みが少ない品種や個体が見られた。また、長野県の地方品種には切れ葉の品種が3品種確認された。葉や葉柄の基本色は品種固有の濃淡があったが、地域による一定の傾向は認められなかった。葉や葉柄のアントシアニン系色素の着色は、根部表皮のアントシアニン系色素の着色と関係が高かった。毛じは品種間で、量の差が大きく、地方品種で多く、主要品種で少ない傾向が認められたが、同一品種にあっても毛じを有する個体と無い個体が混在するなど、個体間差も大きかった。葉数、葉重、根重、T-R率および根形は最も顕著に品種特性を示す部位であり、品種間差が極めて大きかった。特に根重は、最小の‘京都薬味’が90 g、最大の‘阿波新晩生’が1,786 gと約20倍の格差が認められた。また、抽根の程度も品種間差が大きな形質の一つであった。根部のクロロフィルやアントシアニン系色素の着色も品種を区別する主要な形質であり、品種間差が大きかった。着色は地域に偏った傾向は認められなかったが、地方品種に着色した品種が多く見られた。

根部硬度と根部乾物率および根部糖度も品種間差が大きい形質であり、最小品種と最大品種の値は2~3倍の差があった (表 1-1-2, 図 1-1-2)。根部硬度と根部乾物率および根部糖度の間には強い正の相関関係 (根部硬度と根部乾物率で $r = 0.931$, 根部硬度と根部糖度で $r = 0.836$, 根部乾物率と根部糖度で $r = 0.907$) が認められ、これら3項目と根重の間には強い負の相関 (根部硬度と根重で $r = -0.806$, 根部乾物率と根重で $r = -0.780$, 根部糖度と根重で $r = -0.683$) が認められた (図 1-1-3)。秋田県の地方品種は、根部硬度、根部乾物率および根部糖度が、対照とした‘総太り宮重’より高く、全体の中でも高い品種が多

かった（図 1-1-2, 図 1-1-3）. 根部乾物率により, 根重に占める水分重と乾物重を算出したのが図 1-1-4 である. 根重と根乾物重の間には $r = 0.780$ の相関が認められた（データ略）が, 根重の差ほど根乾物重の差は大きくなく, 根重の違いは, 主に水分含量の違いによるものであった.

2) 開花日

開花日は品種間差が大きかった（図 1-1-5）. 最も早くから開花したのは, 抽だいに低温を必要としないとされる‘サヤ’の 5 月 16 日（93 日）であった. 続いて, 5 月 21 日（98 日）から 5 月 31 日（108 日）までの間は, 連続的に各品種が開花した. 6 月 4 日（112 日）から‘二年子’, ‘カザフ辛味’, ‘春秋アルタリ’, ‘亀戸’, ‘スペインラウンド’が順次開花し. 最後に開花したのは‘時無’で, 最初に‘サヤ’が開花してから 1 か月（124 日）が経過していた. 秋田県の 8 地方品種は, 5 月 25 日（102 日）から 5 月 28 日（105 日）までの間に開花した.

3) 秋田県地方品種の特性

‘総太り宮重’を対照品種として, 秋田県地方品種の特徴を, 図 1-1-6, 表 1-1-3, 図 1-1-7, 図 1-1-8 に示した. また, それらの特性概要を以下に記す.

(1) ‘松館しぼり’

草姿は立性, 葉は切れ込みが少ない全縁葉であった. 葉色は緑色～やや淡緑色であった. 葉重が大きく, 根重は小さいため, T-R 率は 291%と大きかった. 根形は尻部がややとがったくさび型で, まったく抽根しなかった. 根表面に横すじやひげ根が多いが, 根内部に, す入りや空洞は発生しなかった. おろしの辛味は極めて強く, 根部糖度が高かった. 肉質は極めて硬く, 根部乾物率も高かった. 宮城県の地方品種で, 葉を食用とする‘小瀬菜’と本品種を比較した結果, 根径で差が認められた以外有意な差異が認められず, 極めて似かよった品種であった（表 1-1-4, 図 1-1-9）.

(2) ‘大館’

草姿は立性, 葉形は全縁葉～普通葉に近い個体まで変異に富んでいた. 葉色は緑色で, 葉重および根重ともに小さく小ぶりであった. 根形は肩張りが少なく, 尻部がとがる中ぶくれ型であった. 抽根し, 抽根部が紫色に着色し, 根表面に横すじが多かった. 根内部に, す入りは発生しなかったが, 空洞が多く見られた. 肉質は極めて硬く, 根部乾物率が高く, 根部糖度も高かった. 根形から数系統に分けることができ, 今回調査した系統以外にも, より細長い系統や短太系統も存在した（図 1-1-10）.

(3) ‘沼山’

草姿はやや開帳性で葉形は普通であった. 葉色はやや濃緑色であった. 葉重および根重ともに小さめであった. 根形は肩張りし, 尻部がとがる先流れ型であった. 抽根し, 抽根部分がクロロフィルによって緑色に着色する青首品種だが, クロロフィルの発現が‘総太り宮重’より強く, 鮮やかな緑色であった. 根表面の横すじやひげ根は中程度, 根内部

の、す入りや空洞は少なかった。肉質は極めて硬く、根部乾物率が高く、根部糖度も高かった。

(4) ‘秋田三八’

草姿は中庸で葉形も普通であった。葉色は緑色～やや淡緑色，葉数が多く，葉重および根重ともに大きかった。毛じのある個体と無い個体が混在した。根形は総太り型で尻部がつまり，短い。根色は白く，やや抽根したが，根首部のクロロフィルの着色は見られなかった。根表面の横すじやひげ根が少ないが，す入りや空洞は発生しやすかった。肉質は他の県内地方品種と比較すると軟らかめであったが，‘総太り宮重’に比べ硬く，根部糖度も高かった。

(5) ‘秋田’

草姿はやや開帳性で葉形は普通であった。葉色は緑色であった。葉重が小さいため，T-R 率は 49%と小さかった。根形はやや流れ型で，尻部がとがり，根長が長かった。根表面に横すじは少ないが，ひげ根は多かった。肉質は硬く，根部乾物率がやや高く，根部糖度も高めであったが，根内部の空洞の発生が多く認められた。

(6) ‘川尻’

草姿は開帳性で葉形は普通であった。葉色は緑色で，葉重は‘秋田’より大きく，T-R 率が 71%と‘秋田’よりやや大きかった。根形は，尻部がとがるが，首部から根中央部まで肉付きが良い総太り型で，‘秋田’より抽根が少なく，根長が短く，根径が太かった。根表面の横すじは中程度，ひげ根は少なかった。根部硬度，根部乾物率，根部糖度ともに‘秋田’よりやや低かった。根内部の空洞は‘秋田’と同様に多かった。

(7) ‘関口’

草姿は中庸で葉形も普通，葉色は緑色であった。葉数が多く，‘秋田’と比較して葉重が大きく根重が小さいため，T-R 率は 89%と‘秋田’より大きかった。根部は肩張りが強く，根長が短く尻部がとがるため，くさび型～やや流れ型の根形であった。やや抽根するが着色せず，根表面に横すじがなく，ひげ根も少なめで表皮がきれいであった。す入りや空洞は少なかった。肉質は‘秋田’とほぼ同等で硬く，根部乾物率がやや高く，根部糖度も高めであった。

(8) ‘改良秋田’

草姿はやや開帳性で葉形は普通，葉色は緑色であった。‘秋田’と比べて葉重，根重ともに大きかった。根形は総太り型で，根長が長く，尻部がややふくれていた。根表面の横すじやひげ根は多いが，す入りは少なかった。肉質は硬く，根部乾物率がやや高く，根部糖度も高めであった。

考 察

1) わが国ダイコン地方品種の表現型特徴

国内外の 65 品種を対象とした 45 項目の形質調査から、国内の品種間には大きな変異があることが確認された。特に品種間差が大きな形質は、葉形、根形、根重、T-R 率および抽根性であり、これらが品種を識別あるいは分類する上での主要な形質となっていた。わが国の主要な栽培品種である宮重系および練馬系と地方品種の大きな違いは根重であり、宮重系が 1,000 g 以上が多い中で、ほとんどの地方品種の根重は 500~1,000 g 程度と小型のタイプであった。

根部硬度と根部乾物率および根部糖度の間には強い正の相関関係が認められ、これら 3 項目と根重の間には強い負の相関が認められた。根重が小さい地方品種は、主要栽培品種と比べると根部硬度、根部乾物率および根部糖度が高い品種が多く、このことが、わが国の地方品種を特徴づけているといえる。自家採種によって維持されてきた地方品種では、採種母本の越冬率の高さが品種を維持する上で不可欠な特性であったと考えられる。そのため、世代を重ねるにつれ、耐凍結性が高く貯蔵性の良い品種、すなわち根部硬度、根部乾物率および根部糖度の高い品種が選抜されていったものと推測される。

2) 秋田県の地方品種について

秋田県の地方品種は、根部硬度、根部乾物率および根部糖度が地方品種全体の中でも高い品種が多い。かつては、自家採種するために、冬期間の親株の維持、すなわち耐凍性（越冬性）が重要であった。また、漬物加工後の長期保存性の観点からも硬い品種が必要とされたため、本県で受け継がれてきた形質の一つとなっていたと推測された。また、本県の地方品種の抽だい時期に関しては、一般的なダイコンと変わらなかった。これは積雪があり、作型が秋冬どりに限定される本県では、晩抽性などの特性を保持させる必要なかったためと考えられた。

秋田県の地方品種は、肉質が緻密で硬く、収量も少ない。そのため、既存の宮重系青首ダイコンに代表される煮食用途中心の品種と比較しても、その優位性を発揮できないと考えられた。そこで、硬さや水分の少なさを生かした利用方法、つまり、従来から利用されている「おろし」や漬物などが有効と考えられた。また根部が着色する特性は、色鮮やかさから人目を引くため、直売所などでの販売に適している。以下に本県地方品種についての考察と利用方法についてとりまとめた。

(1) ‘松館しぼり’

葉が大きく、根の表面に横すじやひげ根が多いなど、他の秋田県に存在する地方品種と特性が著しく異なった。その一方で、草姿が立性で全縁葉であること、葉重が大きく T-R 率が極端に高いこと、根重が小さく、根形がくさび型で、全く抽根しないことなど、‘小瀬菜’と極めて酷似した形態特性を持っていた。根部硬度、根部乾物率および根部糖度でも両者の間には有意差が認められなかった。佐々木 (2011) は、‘松館しぼり’は、根部の肥大が劣り、全縁葉であることから、‘小瀬菜’に近い品種である可能性を推測していたが、本研究もこのことを支持する結果となった。‘小瀬菜’は宮城県加美郡加美町の地方野

菜であり、同じ東北地方でありながらも、‘松館しぼり’の産地である鹿角市とは直線距離で 200 km 以上離れている。かつて東北地方には両者の共通の祖先となる在来種が広く分布し、それらの多くが消滅し、この 2 品種のみが残っているとも考えることができるが、現在、似たタイプのダイコン品種を東北地方に確認することはできない。一方、‘小瀬菜’は宮城県だけでなく、かつては青森、岩手、山形および新潟県に分布していたとの記述（西，1978）や、山形県東置賜郡に‘茎取り’大根という葉長が 1 m 前後の品種が存在したとの記述（青葉，1981）が残されており、両者の類縁関係については、‘松館しぼり’との間で遺伝子レベルでの検証が必要である。

‘松館しぼり’は肉質が極めて硬いことから、これまで通り辛味ダイコン専用種としての利用が考えられた。

（2）‘大館’

‘大館’は大館地方に伝わる地方ダイコン品種の総称で、根首部が紫色であることが特徴の一つであるが、以前から首部が着色しない系統や個体も存在していた（佐々木，2011）。さらに同じ紫首であっても、比較的水分が多く太い系統と、水分が少なく細い系統など数種の系統があり、多様な品種群であった。さらに、近年では漬上がりの色合いを重視して、白首系統を自家採種する生産者もおり（椿 私信）、品種の変化も同時進行しているなど、生きた地方品種を知る上で貴重な遺伝資源である。‘大館’は、市販されている青首ダイコンと比較して硬いことから「カタダイコン」と地元では呼ばれ、青首ダイコンが煮物用に用いられるのに対して漬物専用として使い分けられている。この「カタダイコン」という呼び方は本県だけに限らず、長野県の地方品種でも用いられている（大井ら，2011）。さらに、‘大館’と同様に紫首のダイコンとしては、長野県の‘赤口’、岩手県、宮城県および山形県に分布する‘赤頭’、山形県の‘肘折’（西沢ら，2013）などが存在する。これらのことから、かつて、東北及び長野県一帯では紫首系の地方品種が広く分布していた可能性が高い。‘大館’は、葉に切れ込みのある普通葉がほとんどであるが、系統によっては全縁葉に近い個体の混入も観察されている（椿 私信）。このことから、全縁葉の‘松館しぼり’との類縁関係も示唆された。

‘大館’は肉質が硬めなことから、これまで通り漬物専用としての利用が考えられた。

（3）‘沼山’

本品種は、本論文が初めての公的な記録となる品種である。現在、農業試験場に種子が保存されているだけで栽培者はいない。かつては近隣の山内地区でも、‘板井沢青頭（かしら）’といわれる類似の青首ダイコンが栽培されていた（永沢，2010）とされるが、こちらは既に途絶えている。抽根部が緑色に着色する地方品種は、本品種以外では長野県の地ダイコン群（大井ら，2011）と‘京都青味’（西山ら，1958）が知られている程度と、極めて少なく貴重である。

本品種は肉質が硬く、根部乾物率が高く、漬物用に栽培されてきたことから、青首を生かした漬物としての利用が考えられた。

(4) ‘秋田三八’

砂丘地に適し、かつては日本海側砂丘地帯で栽培されていたが、現在では、農業生物資源ジーンバンクに種子が保存されているだけで栽培されていない。根形は総太り型で尻部がつまり、この根形（直径 3 寸、長さ 8 寸）が、本品種名の由来とされている（西，1978）。

他の県内地方品種と比較すると軟らかめだが、‘総太り宮重’と比べると硬く、根部糖度も高い。これらの特性から漬物加工用以外にも煮食用など、多彩な利用方法に適応できると思われ、汎用性のある伝統野菜として復活させ得る品種と考えられた。

(5) ‘秋田’（‘仁井田’）

「たくあん」用の品種で、品質の優れた練馬系の土着種として大正時代から全国的にも知られ（市川，1928），秋田県を代表するダイコンであったが、現在は、肉質が硬すぎるなどから、ほとんど栽培されていない。肉質の硬さや根部糖度の高さから、漬物加工用の素材として、あるいは伝統野菜としての活用が考えられた。

(6) ‘川尻’

現在は全く栽培されておらず、農業生物資源ジーンバンクに種子が保存されているだけであるが、‘秋田’と比べると肉付きが良い総太り型で、根長が短く根径が太いため、早期収穫できるといった長所がある。漬物加工用ダイコンの改良素材としての有効性が示唆された。

(7) ‘関口’

本品種も、本論文が初めての公的な記録となる品種である。湯沢市の農家からの持ち込みであり、現在は数人の栽培者が自家消費用に栽培を続けているにすぎない。くさび型の根形で、根の表面に横すじがなく、ひげ根も少ないため表皮がきれいである。また、肉質は‘秋田’とほぼ同等だが、す入りが少ない。これらの特性から、漬物加工用ダイコンの素材として有用と思われる。

(8) ‘改良秋田’

‘秋田’と、肥大性の強い練馬系品種との交雑から昭和 20 年代後半に育成された品種で、根形は総太り型で肉質は硬い。‘秋田’と比べ、葉重、根重ともに大きく肥大性が高い。従来は漬物加工用に広く栽培されていたが、近年ではほとんど栽培されなくなった。本品種も、肥大性を生かした漬物加工用ダイコンの育種素材としての利用が考えられた。

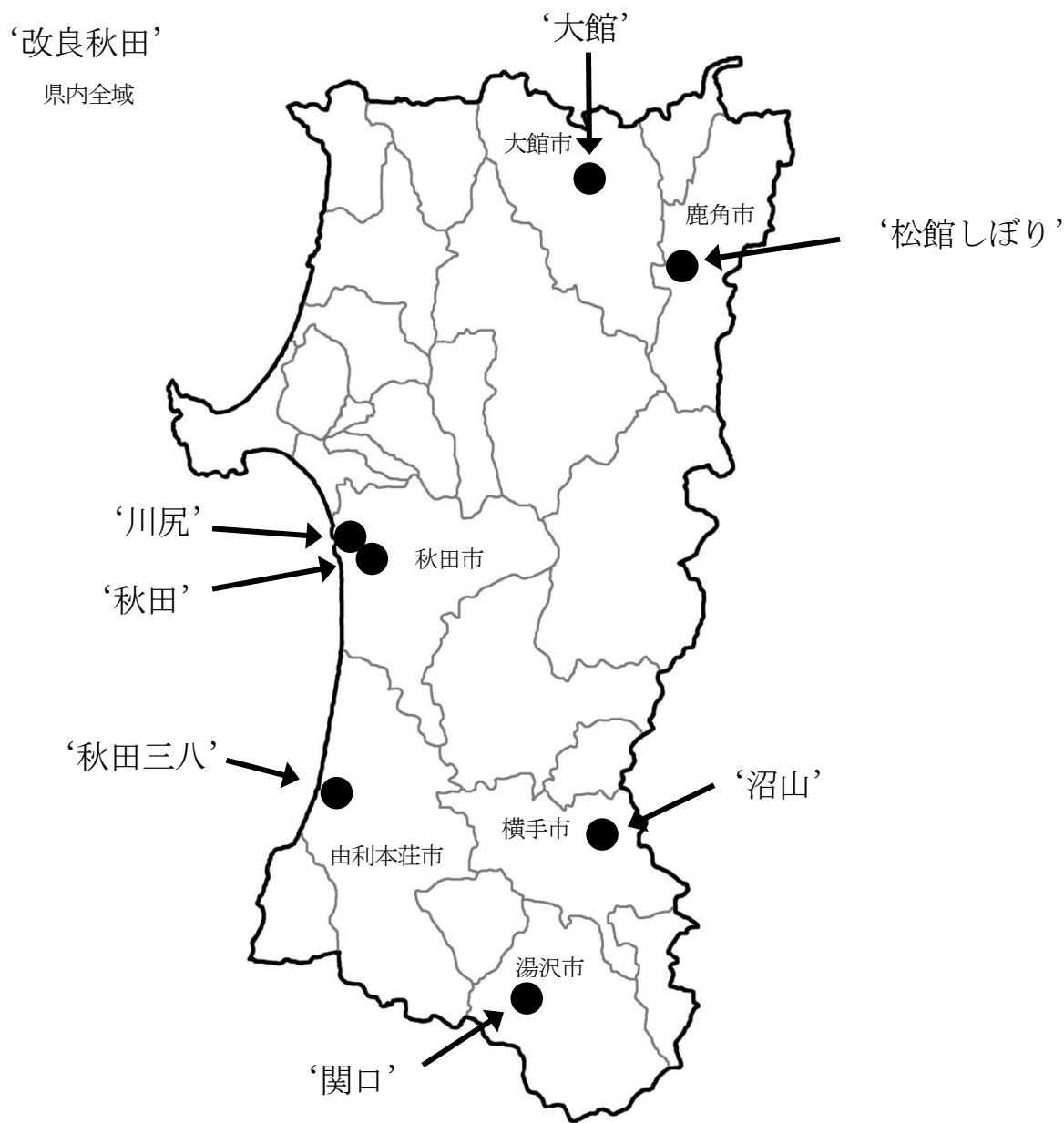


図 1-1-1 秋田県におけるダイコン地方品種の生産地

表 1-1-1 供試ダイコン品種の主産地と入手先

| 整理番号 | 品種名 | 世代 | 主産地 | 入手先 | 入手年 |
|------|----------|----|-----------|--------------------|------|
| 1 | 松館しぼり | S1 | 秋田県鹿角市 | 川村ヨシユ氏採種 | 1994 |
| 2 | 大館 | S1 | 秋田県大館市 | 秋田県農業試験場 | 1999 |
| 3 | 沼山 | S1 | 秋田県横手市 | 秋田県農業試験場 | 1994 |
| 4 | 秋田三八 | S0 | 秋田県由利本荘市 | 農業生物資源ジーンバンク | 2012 |
| 5 | 秋田 | S1 | 秋田県秋田市 | 秋田県農業試験場 | 1988 |
| 6 | 川尻 | S0 | 秋田県秋田市 | 農業生物資源ジーンバンク | 2012 |
| 7 | 関口 | S1 | 秋田県湯沢市 | 渡辺重博氏採種 | 2004 |
| 8 | 改良秋田 | S1 | 秋田県 | 秋田県農業試験場 | 1988 |
| 9 | 安家 | S1 | 岩手県 | 道の駅 いわいずみ | 2005 |
| 10 | 山形 | S1 | 山形県 | 秋田県農業試験場 | 1995 |
| 11 | 小真木 | S1 | 山形県 | (有)南国屋秋田西武地階店 | 1997 |
| 12 | 小瀬菜 | S1 | 宮城県 | 野口種苗研究所 | 2012 |
| 13 | 赤頭 | S0 | 岩手県・宮城県 | 農業生物資源ジーンバンク | 2012 |
| 14 | 赤筋 | S0 | 東北地方 | 野口種苗研究所 | 2012 |
| 15 | 赤口 | S0 | 長野県 | (有)つる新種苗 | 2012 |
| 16 | 信州 | S0 | 長野県 | (株)信州山峡採種場 | 2012 |
| 17 | 牧 | S0 | 長野県 | (有)つる新種苗 | 2012 |
| 18 | 松本 | S1 | 長野県 | (株)トマツ本店 | 1997 |
| 19 | 灰原辛味 | S0 | 長野県 | (株)信州山峡採種場 | 2012 |
| 20 | ねずみ辛味 | S0 | 長野県 | (株)信州山峡採種場 | 2012 |
| 21 | 戸隠 | S0 | 長野県 | (株)信州山峡採種場 | 2012 |
| 22 | 上野 | S0 | 長野県 | (有)つる新種苗 | 2012 |
| 23 | たたら辛味 | S0 | 長野県 | (株)信州山峡採種場 | 2012 |
| 24 | 親田辛味(白) | S0 | 長野県 | (株)信州山峡採種場 | 2012 |
| 25 | 親田辛味(紫) | S1 | 長野県 | 岐阜県 加納克也氏 | 2008 |
| 26 | いいずな青 | S0 | 長野県 | (株)信州山峡採種場 | 2012 |
| 27 | 練馬大長 | S0 | 東京都 | 野口種苗研究所 | 2012 |
| 28 | 高倉 | S0 | 東京都 | 野口種苗研究所 | 2012 |
| 29 | 大蔵 | S0 | 東京都 | タキイ種苗(株) | 2012 |
| 30 | 亀戸 | S0 | 東京都 | 三田育種場 | 2012 |
| 31 | 二年子 | S0 | 東京都・全国 | (株)トーホク | 2012 |
| 32 | 黒葉夏みの早生 | S0 | 関東地方 | (有)つる新種苗 | 2012 |
| 33 | 三浦 | S0 | 神奈川県 | (有)つる新種苗 | 2012 |
| 34 | 方領 | S0 | 愛知県 | (株)高井南茄園 | 2012 |
| 35 | 総太り宮重 | S0 | 愛知県 | タキイ種苗(株) | 2012 |
| 36 | 宮重大長 | S0 | 愛知県 | タキイ種苗(株) | 2012 |
| 37 | 打木源助 | S0 | 石川県 | タキイ種苗(株) | 2012 |
| 38 | 伊吹 | S1 | 滋賀県 | 岐阜県 加納克也氏採種 | 2008 |
| 39 | 守口 | S0 | 大阪府 | 野口種苗研究所 | 2012 |
| 40 | 大阪四十日 | S0 | 大阪府 | 野口種苗研究所 | 2012 |
| 41 | 田辺 | S0 | 大阪府 | 野口種苗研究所 | 2012 |
| 42 | 時無 | S0 | 京都府 | (有)つる新種苗 | 2012 |
| 43 | 白上り京 | S0 | 京都府 | (有)つる新種苗 | 2012 |
| 44 | 京都青味 | S0 | 京都府 | 野口種苗研究所 | 2012 |
| 45 | 京都薬味 | S0 | 京都府 | 野口種苗研究所 | 2012 |
| 46 | 和歌山 | S0 | 和歌山県 | タキイ種苗(株) | 2012 |
| 47 | 国富 | S0 | 岡山県 | (有)つる新種苗 | 2012 |
| 48 | 阿波新晩生 | S0 | 徳島県・全国 | タキイ種苗(株) | 2012 |
| 49 | 女山 | S0 | 佐賀県 | 農業生物資源ジーンバンク | 2012 |
| 50 | 米良 | S0 | 宮崎県 | 農業生物資源ジーンバンク | 2012 |
| 51 | 桜島 | S1 | 鹿児島県 | 不詳 | - |
| 52 | 島 | S0 | 沖縄県 | 野口種苗研究所 | 2012 |
| 53 | 春秋アルタリ | S0 | 大韓民国 | 農業生物資源ジーンバンク | 2012 |
| 54 | 大梅花 | S0 | 台湾 | 農業生物資源ジーンバンク | 2012 |
| 55 | サヤ | S0 | タイ王国 | 農業生物資源ジーンバンク | 2012 |
| 56 | 揚州白 | S1 | 中華人民共和国 | 不詳 | - |
| 57 | 青長 | S1 | 中華人民共和国 | タキイ種苗(株) | 2011 |
| 58 | 赤皮大丸 | S1 | 中華人民共和国 | (株)国華園 | 1999 |
| 59 | 紅心 | S1 | 中華人民共和国 | タキイ種苗(株) | 2011 |
| 60 | 紅皮紅心 | S1 | 中華人民共和国 | 不詳 | - |
| 61 | カザフ辛味 | S1 | カザフスタン共和国 | そ菜種子生産研究会 | 2011 |
| 62 | スペインラウンド | S1 | スペイン | (株)国華園 | 1999 |
| 63 | ハマ | S1 | 秋田県にかほ市 | 平沢海岸自生 | 1994 |
| 64 | ノラ | S1 | 秋田県湯沢市 | 渡辺重博氏採種 | 2004 |
| 65 | ピリカリ | S1 | 山形県 | 道の駅 庄内みかわ | 2003 |
| 66 | 錦赤丸 | S0 | 山口県 | 農業生物資源ジーンバンク | 2013 |
| 67 | 赤丸はつか | S1 | 欧州 | (株)トーホク | 2012 |
| 68 | パープルスター | S1 | 欧州 | 藤田種子(株) | 2012 |
| 69 | 白姫はつか | S1 | 欧州 | (株)トーホク | 2012 |
| 70 | ガウディ2 | S1 | 欧州 | Life with Green(株) | 2012 |
| 71 | ブルー | S1 | 欧州 | (株)国華園 | 1999 |

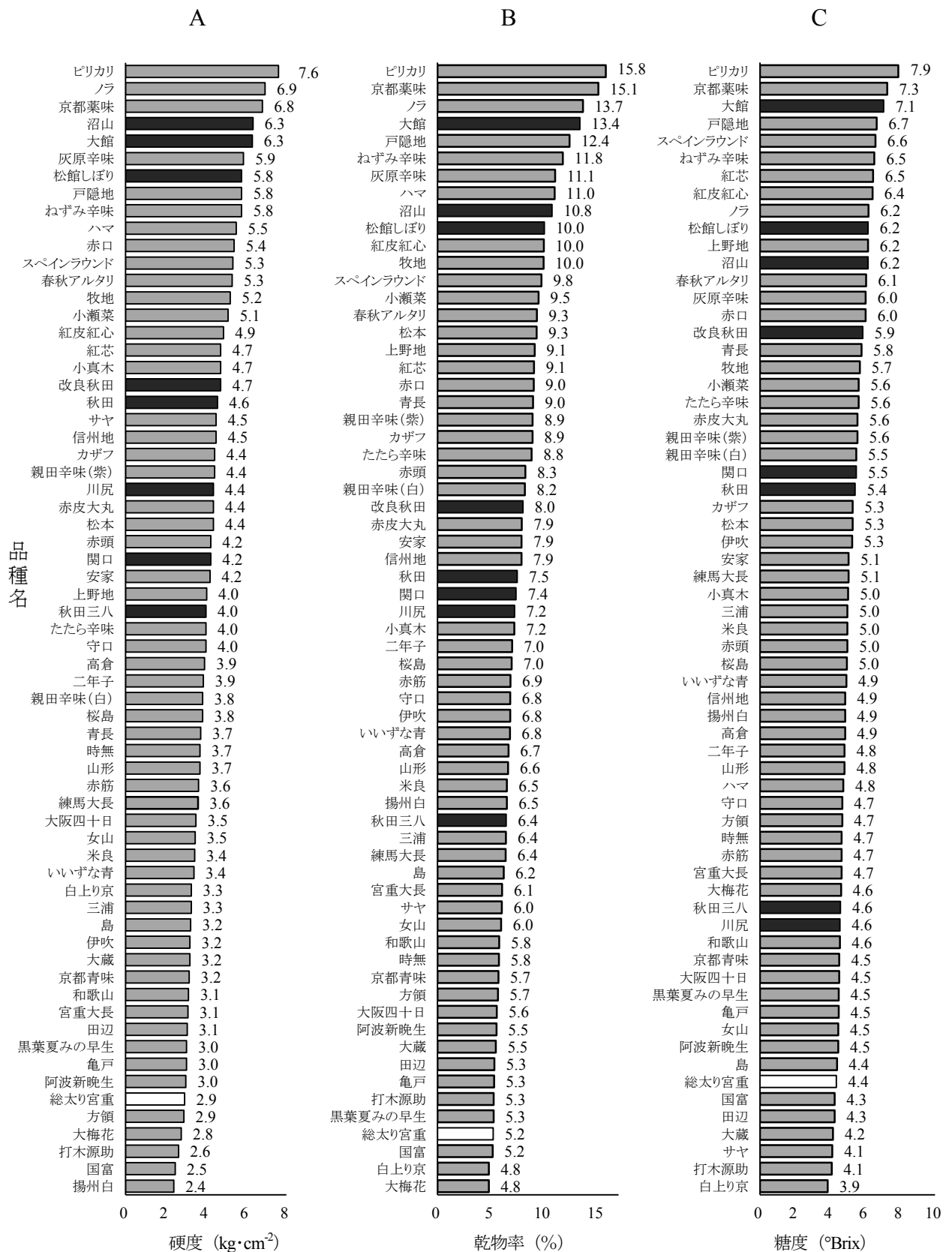


図 1-1-2 ダイコン品種の根部硬度，根部乾物率および根部糖度

A：硬度， B：乾物率， C：糖度

黒い塗りつぶしが秋田県地方品種，白抜きが，対照品種の‘総太り宮重’

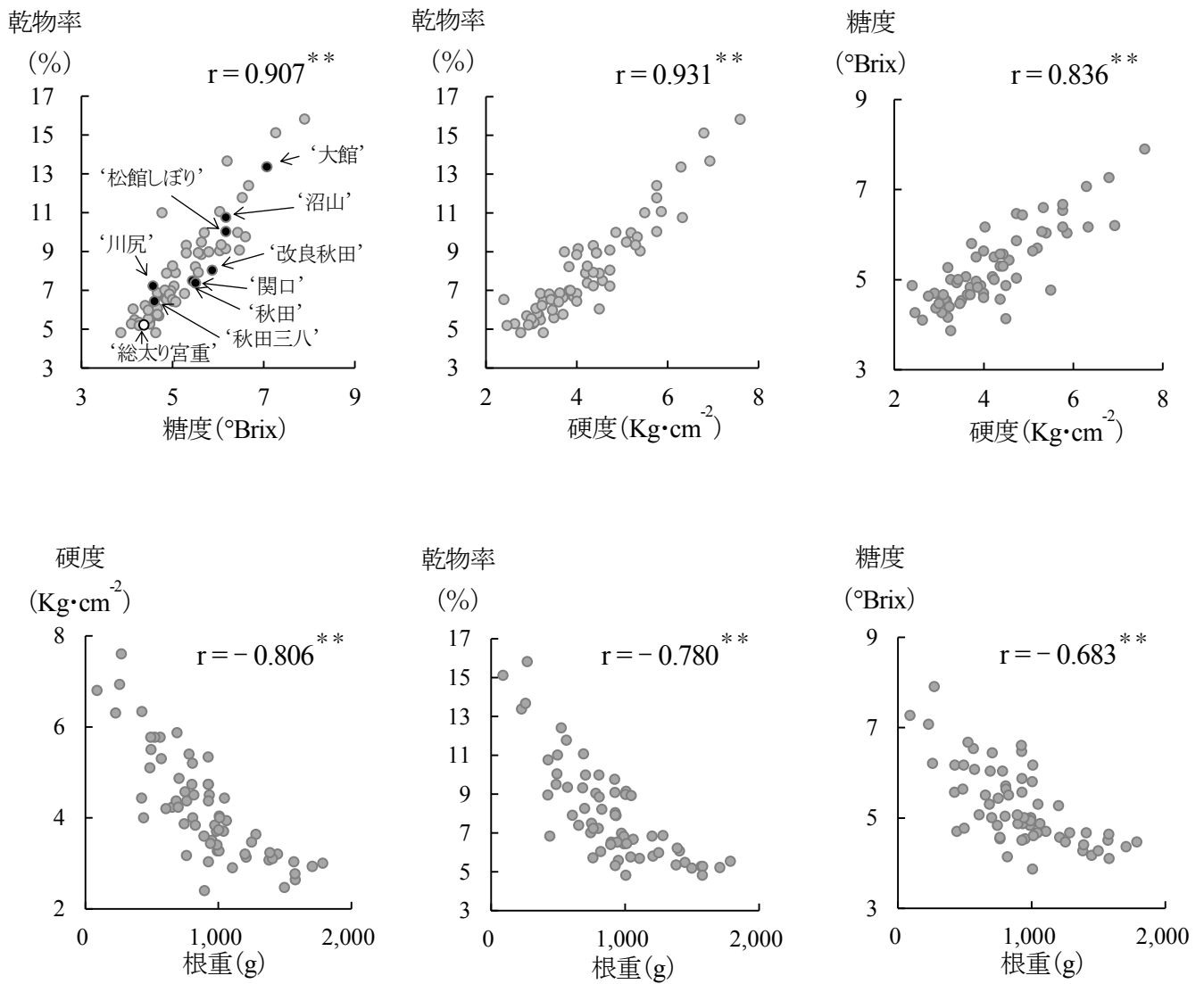


図 1-1-3 ダイコン品種の根重，根部硬度，根部乾物率および根部糖度の関係

** : $p < 0.01$ (n = 65)

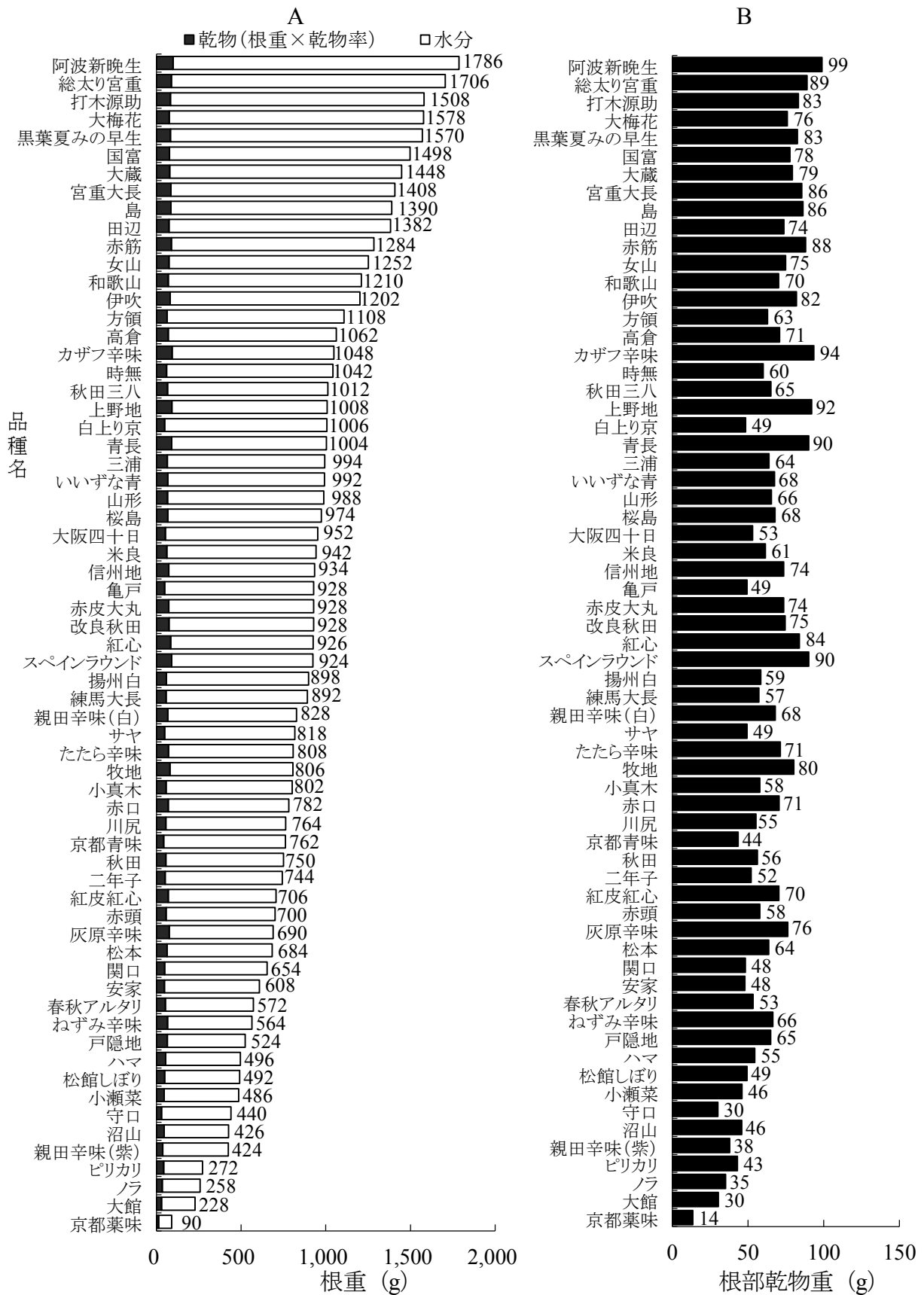


図 1-1-4 ダイコン品種の根重と根部乾物重 (乾物率より換算) n=3

A : 根重, B : 根部乾物重

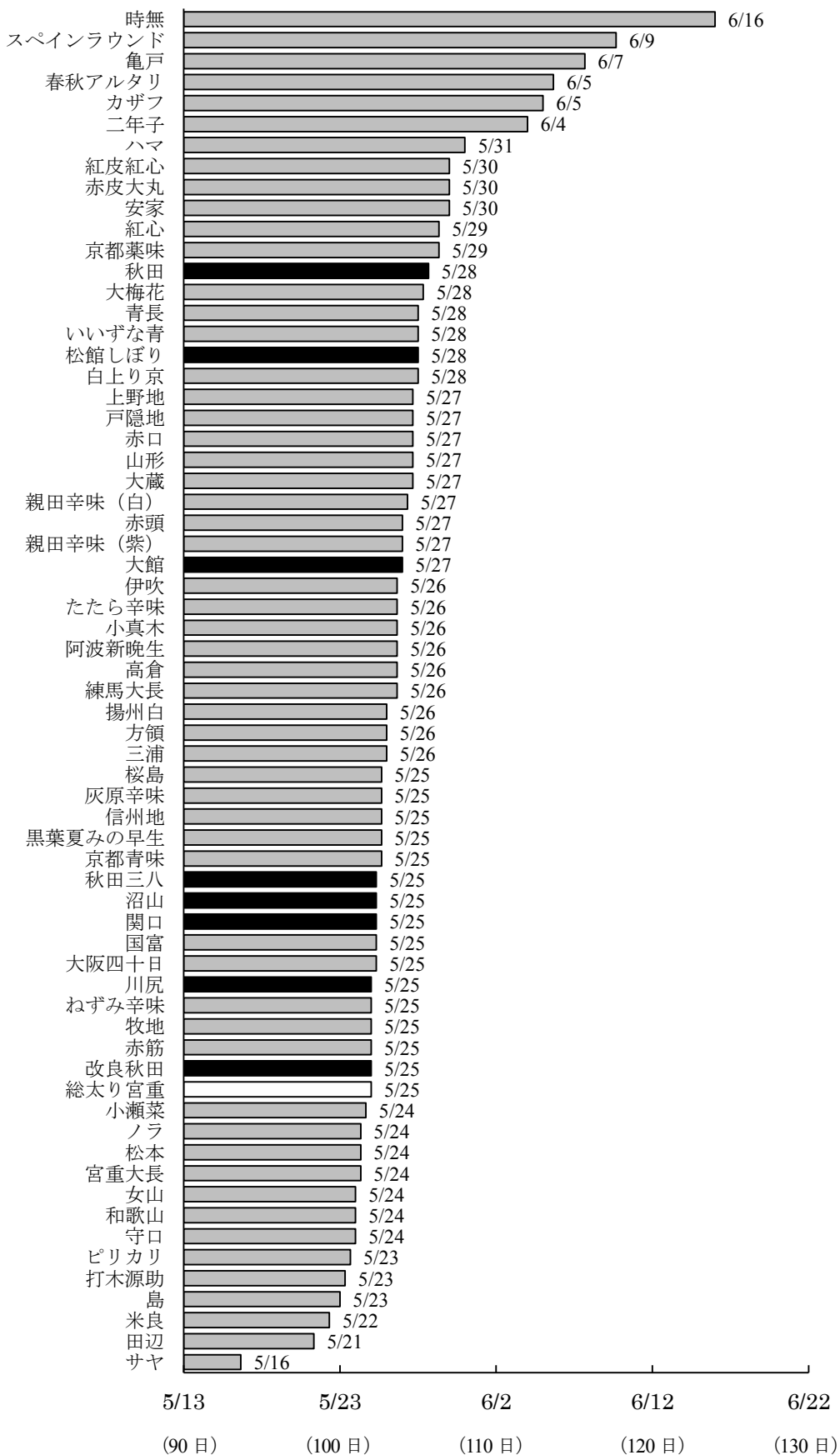


図 1-1-5 ダイコン品種の開花日 (播種から開花までの日数) n=3
 黒い塗りつぶしが秋田県地方品種, 白抜きが対照品種の‘総太り宮重’

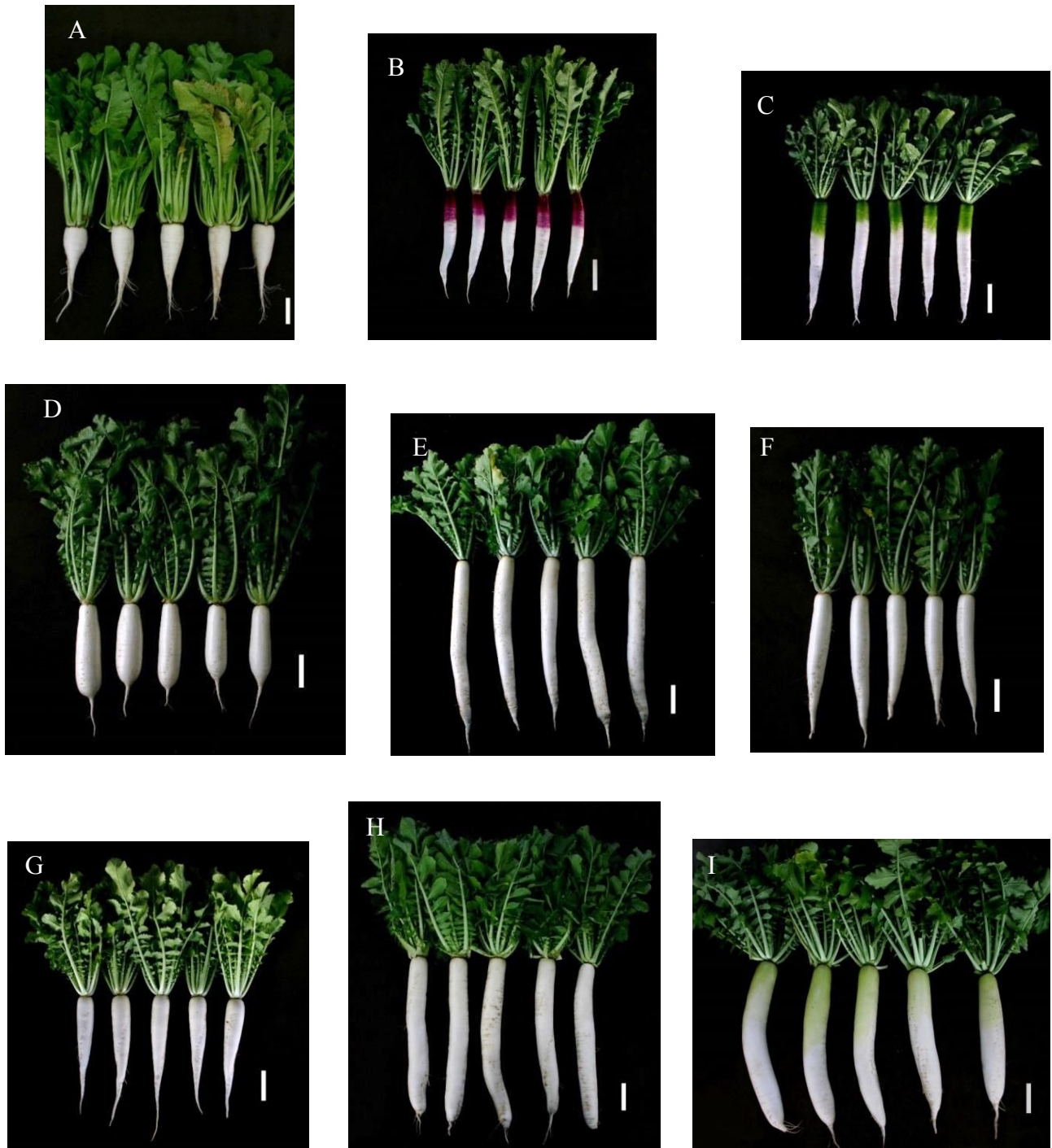


図 1-1-6 秋田県におけるダイコン地方品種と対照品種‘総太り宮重’の外観 bar = 10 cm
 A: ‘松館しぼり’, B: ‘大館’, C: ‘沼山’, D: ‘秋田三八’, E: ‘秋田’,
 F: ‘川尻’, G: ‘関口’, H: ‘改良秋田’, I: ‘総太り宮重’

表 1-1-3 秋田県におけるダイコン地方品種と対照品種‘総太り宮重’の特性 n=3~5

| 品種名 | 草姿 ^z | 葉の切れ込み ^z | 葉色 ^z | 毛じ | 葉数 (枚) | T-R率 ^y (%) | 根形 ^z | 尻形 ^z | 根基本色 ^z |
|-------|-----------------|---------------------|-----------------|-----|--|--------------------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| 松館しぼり | 立 | やや全縁 | 緑~ やや淡緑 | 有 | 24.6 ± 6.0 ^w a ^v | 291 ± 101 a | くさび | ややとがり | 乳白 |
| 大館 | 立 | やや全縁 ~普通 | 緑 | 無 | 16.2 ± 4.1 b | 96 ± 23 b | 中ぶくれ | とがり | 白 |
| 沼山 | やや開 | 普通 | やや濃緑 | 有 | 17.2 ± 1.9 b | 68 ± 7 b | 流れ | とがり | 白 |
| 秋田三八 | 中 | 普通 | 緑~ やや淡緑 | 無~有 | 25.2 ± 2.9 a | 83 ± 16 b | 総太り | つまり | 白 |
| 秋田 | やや開 | 普通 | 緑 | 有 | 15.8 ± 2.3 b | 49 ± 8 b | やや流れ | とがり | 乳白 |
| 川尻 | 開 | 普通 | 緑 | 有 | 20.4 ± 4.8 ab | 71 ± 14 b | 総太り | ややとがり | 乳白 |
| 関口 | 中 | 普通 | 緑 | 有 | 25.2 ± 1.8 a | 89 ± 5 b | くさび ~流れ | とがり | 白 |
| 改良秋田 | やや開 | 普通 | 緑 | 有 | 18.6 ± 2.3 ab | 68 ± 7 b | 総太り | とがり | 白 |
| 総太り宮重 | やや立 | 普通 | 緑 | 無 | 24.6 ± 2.4 a | 43 ± 9 b | 総太り | ややつまり | 白 |

| 品種名 | 根補 充色 ^z | 根径 (cm) | 根肉 色 | 横 すじ ^x | ひげ 根 ^x | す入 り ^x | 空 洞 ^x | 辛 味 | 硬 度 (kg·cm ⁻²) | 糖 度 (°Brix) | 乾物率 (%) |
|-------|-----------------------|---------------------------------------|----------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------|----------------------------------|-------------------|------------|
| 松館しぼり | 無 | 7.6 ± 3.4 ^w a ^v | やや 乳白 | 3.0 | 2.6 | 0.0 | 0.0 | 極辛 | 5.8 ± 0.6 a | 6.2 ± 0.4 b | 10.0 ± 0.4 |
| 大館 | 紫首 | 4.1 ± 3.1 e | 乳白 | 3.0 | 1.0 | 0.0 | 3.6 | 辛 | 6.3 ± 0.2 a | 7.1 ± 0.3 a | 13.4 ± 0.4 |
| 沼山 | 青首 | 4.8 ± 1.6 d | 乳白 | 1.4 | 1.6 | 0.0 | 0.6 | 辛 | 6.3 ± 0.5 a | 6.2 ± 0.4 b | 10.8 ± 0.8 |
| 秋田三八 | 無 | 7.8 ± 7.3 a | 白 | 1.2 | 0.0 | 1.4 | 3.4 | 辛 | 4.0 ± 0.1 b | 4.6 ± 0.1 d | 6.4 ± 0.3 |
| 秋田 | 無 | 5.1 ± 2.5 d | 乳白 | 0.0 | 2.8 | 0.0 | 6.2 | 辛 | 4.6 ± 0.1 b | 5.4 ± 0.3 c | 7.5 ± 0.3 |
| 川尻 | 無 | 5.9 ± 1.8 b | 乳白 | 1.2 | 1.6 | 1.2 | 2.6 | 辛 | 4.4 ± 0.1 b | 4.6 ± 0.1 d | 7.2 ± 0.4 |
| 関口 | 無 | 6.3 ± 1.0 b | 白 | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 0.6 | 辛 | 4.2 ± 0.1 b | 5.5 ± 0.0 bc | 7.4 ± 0.3 |
| 改良秋田 | 無 | 5.4 ± 3.6 cd | 乳白 | 1.6 | 1.6 | 0.0 | 0.4 | 辛 | 4.7 ± 0.1 b | 5.9 ± 0.2 bc | 8.0 ± 0.3 |
| 総太り宮重 | 青首 | 7.7 ± 3.4 a | 白 | 0.0 | 2.0 | 2.6 | 1.4 | やや 辛 | 2.9 ± 0.2 c | 4.4 ± 0.2 d | 5.2 ± 0.1 |

^z品種登録制度による農林水産植物種類別審査基準により、目視で判断した

^y葉重/根重×100

^x: 0(無), 1(少), 5(中), 9(多)

^w平均値±標準偏差 (n=5)

^vTukeyの多重検定により、同符号間には5%水準で有意差なし

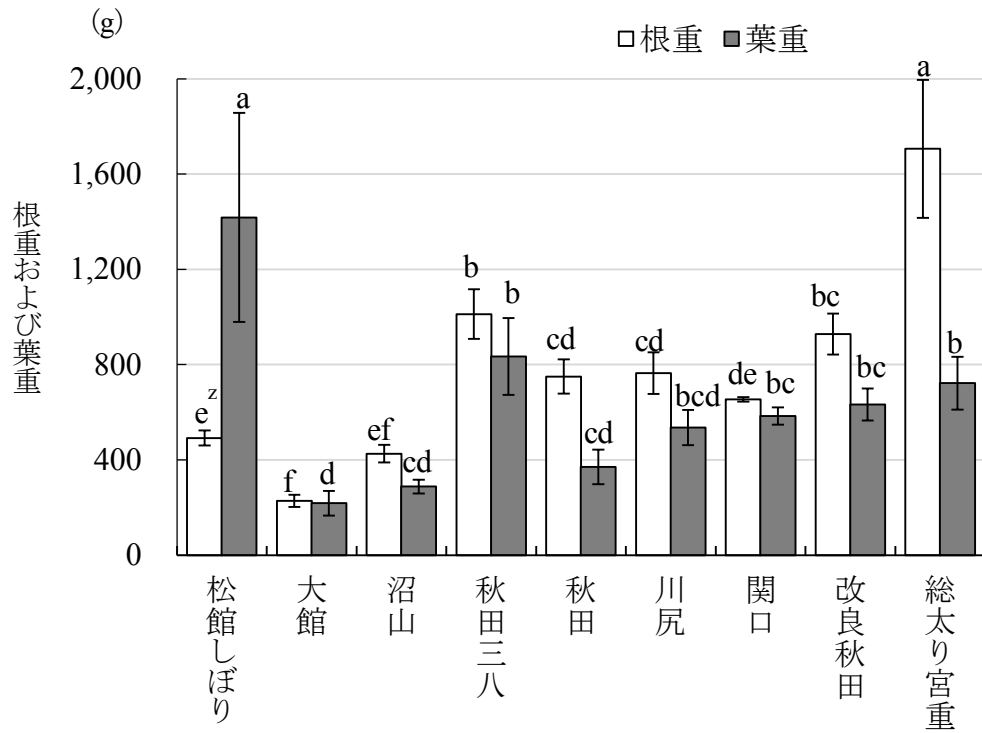


図 1-1-7 秋田県におけるダイコン地方品種および対照品種‘総太り宮重’の根重と葉重
^zTukey の多重検定により，同符号間には 5%水準で有意差なし (n=5) bar = 標準偏差

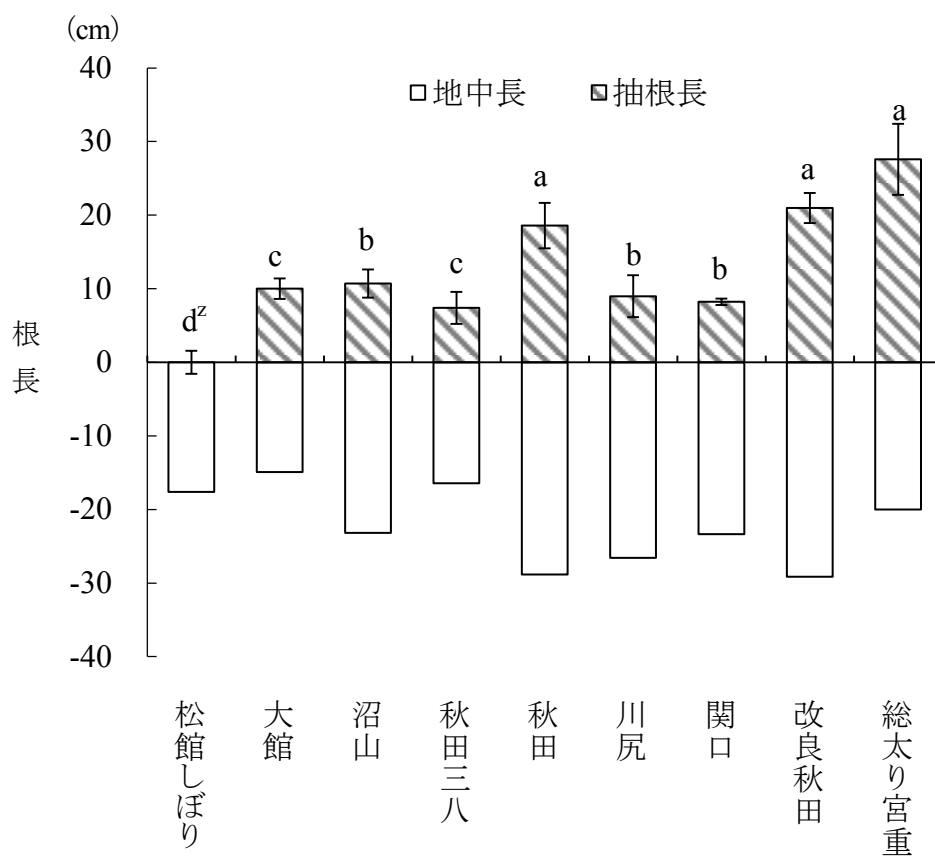


図 1-1-8 秋田県におけるダイコン地方品種および対照品種‘総太り宮重’の根長
^zTukey の多重検定により，根長において同符号間には 5%水準で有意差なし (n = 5)
 bar = 標準偏差

表 1-1-4 ‘松館しぼり’と‘小瀬菜’の特性（栽培日数 73～74 日）

| 品種名 | 葉片の ^z 特性 | 草 ^z 姿 | T-R率 ^y (%) | 根重 (g) | 根長 (cm) | 根径 (cm) | 根部 ^z 基本色 | 根部 硬度 (kg・cm ⁻²) | 根部 乾物率 (%) | 根部 糖度 (°Brix) |
|------------------|------------------------|---------------------|--------------------------|-----------|------------|------------|------------------------|------------------------------------|------------------|---------------------|
| 松館しぼり | 全縁 | 立 | 291 ± 101 | 492 ± 31 | 17.6 ± 1.6 | 7.6 ± 0.3 | 乳白 | 5.8 ± 0.6 | 10.0 ± 0.4 | 6.2 ± 0.4 |
| 小瀬菜 | 全縁 | 立 | 285 ± 56 | 486 ± 34 | 18.0 ± 0.8 | 6.6 ± 0.2 | 白 | 5.1 ± 0.4 | 9.5 ± 0.8 | 5.6 ± 0.3 |
| 有意差 ^x | | | ns | ns | ns | *** | | ns | ns | ns |

^z品種登録制度による農林水産植物種類別審査基準により，目視で判断した

^y葉重／根重×100

^xt検定により，***は1%水準で有意差あり nsは有意差なし（n=3～5）



図 1-1-9 ‘松館しぼり’ (左) と ‘小瀬菜’ (右) の外観
bar = 10 cm



図 1-1-10 ‘大館’の外観
短太系統（左）と細長系統（右） bar = 10 cm

2. 辛味ダイコン主要品種の特性

緒 言

ダイコンは、古くからわが国の重要な野菜の一つとして利用され、現在でも栽培面積が多い野菜の一つである。今日では、生食や漬物加工など多様な利用方法があり、それに適応した多様な品種分化が認められている。ダイコンをすりおろし、そばや刺身の薬味に用いる「おろし」もまたダイコンの利用方法の一つである。一般的な青首ダイコンも薬味として用いられるが、わが国には強い辛味を持ち、薬味専用に分化した辛味ダイコンと呼ばれる品種が古くから知られ、長野県や京都府在来の辛味ダイコンは、そばの薬味として用いられている（大井ら，2011）。秋田県でも、辛味ダイコンの在来品種‘松館しぼり’ダイコン（以下‘松館しぼり’と表記する）が、県の伝統野菜の一つに認定され、その生産が振興されている（秋田県農林水産部，2006）。また、近年では種苗メーカーからも日本各地の在来品種を素材とした F₁ 品種が販売されている（加治，2003）。さらに、栽培品種以外にも、わが国に自生しているハマダイコンも極めて強い辛味があることから、福島県の「あざき大根」（佐々木，2011）や山形県の「ピリカリ大根」（西沢ら，2013）、島根県の「出雲おろち大根」（伴ら，2009）のように、その選抜系統を利用しての取り組み例もある。

これら、辛味ダイコンは、各地に点在しているため、その特性について比較研究した事例は少なく、また、栽培環境により特性が変化することが考えられる。そこで、本研究では、辛味ダイコンの特性を把握し、今後の活用および育種利用の知見を得るため、わが国における代表的な辛味ダイコンについて、同一条件で栽培し、形態特性、根内部特性および成分特性を比較検討した。

材料および方法

1) 供試品種

供試品種は表 1-2-1 に示した 8 品種である。わが国における代表的な辛味ダイコン品種として、秋田県、長野県および京都府の在来 6 品種を選定した。また、前述のように、わが国に自生するハマダイコンも辛味ダイコンとして利用できることから、秋田県で収集した 1 系統を加えた。対照品種には、一般的な青首ダイコンの固定種、‘総太り宮重’を用いた。

2) 耕種概要と調査方法

栽培は秋田県農業試験場内露地ほ場で行い、2012 年 8 月 31 日に条間 1 m、株間 25 cm で 1 か所に 3~5 粒を播種し、第 3 本葉展開時に間引きを行って 1 本仕立てとした。施肥は基肥のみで、N : P₂O₅ : K₂O をそれぞれ 10 kg・10 a⁻¹ 施用し、供試株数は、品種当たり 16 株とした。収穫は 11 月 12 および 13 日（栽培日数 73~74 日）に行った。草姿の調査は収穫前の全株で行い、その他の項目については、収穫後に標準的な根重の 5 株を選んで調査を行った。

形態特性，す入りおよび空洞症の有無，根部硬度，根部乾物率および根部糖度は，第1章，1. 表現型に基づく，形質の評価の項で示した方法と同様に行った．根部搾汁液に含まれるイソチオシアネートの測定は，堀ら（1999）の方法に従った．はじめに，根部を中心柱に沿って縦に4～8分割した材料をジューサーで搾汁した．次に，搾汁液0.8 mlに，同量のクロロホルムを加えて攪拌した後，ガスクロマトグラフ（GC-17A，（株）島津製作所）で分離・定量した．検出には，水素炎イオン検出器（FID）を用いた．カラムはFused Silica Capillary Column（DB-WAX，Agilent J&W）を使用し，カラム温度は初期温度120℃で1分保持後，10℃/分の昇温速度で220℃まで昇温させた後，2分間保持した．クロマトグラムから2つの主要なピークが検出され，堀ら（1999）の報告方法を基に4-メチルチオブチルイソチオシアネート（以下エルシンと表記する）と（E）-4-メチルチオ-3-ブテニルイソチオシアネート（以下4MTB-ITCと表記する）と同定した．それぞれの濃度算出は，アリルイソチオシアネートの検量線を基におこなった．糖の組成と含量は，イソチオシアネート分析のために搾汁した搾汁液を用い，蒸留水で分析に適した濃度に希釈し，0.45 μm フィルターでろ過後，カラム（PA10，日本ダイオネクス（株））を用いてHPAEC（DX500，日本ダイオネクス（株））で分離，定量を行った．検出には，パルスドアンペロメトリー検出器（PAD）を用いた．

結 果

1) 形態特性および根内部特性

葉の形態特性は，‘松館しぼり’および‘京都薬味’が葉に切れ込みのない全縁葉，‘ねずみ辛味’が切葉，その他の品種は普通葉であった（図1-2-1，表1-2-2）．草姿は，立性～やや立性の品種が多く，‘たたら辛味’と‘京都薬味’がやや開帳性，‘ノラ’は開帳性であった．葉色は，‘松館しぼり’および‘京都薬味’がやや淡緑色，‘たたら辛味’および‘ノラ’がやや濃緑色，その他は緑色であった．根重は，いずれの品種も‘総太り宮重’の2,206 gより小さかった．その中では‘親田辛味’が828 g，‘たたら辛味’が808 gとやや大きく，‘京都薬味’は90 gと最も小さかった．T-R率は，いずれも対照とした‘総太り宮重’の10%より高い値を示し，茎葉部の比率が高い品種が多かった．‘松館しぼり’は291%と最も高く，‘たたら辛味’，‘灰原辛味’，‘親田辛味’は比較的lowな値であった．根形は各品種で様々であり，‘松館しぼり’，‘京都薬味’および‘ノラ’は収穫時に根部全体が地中にあり，抽根は認められなかった．‘ねずみ辛味’，‘灰原辛味’および‘親田辛味’は抽根し，抽根部分が緑色に着色した．側根は自生系の‘ノラ’が太く，それ以外の栽培品種では細かった．根部色では，‘たたら辛味’が根部基本色（表皮色）のみが紫色でアントシアニンによる着色が認められたが，それ以外はアントシアニンによる着色のない白色系であった．根肉色は‘総太り宮重’が白色であったのに対し，‘たたら辛味’を除き黄色みを帯びたやや乳白～乳白色であった．供試品種はいずれも‘総太り宮重’と比較して根部硬度，根部乾物率および根部糖度が高かった（図1-2-2，図1-2-3，図1-2-4）．

2) 成分特性

供試品種は，いずれも4MTB-ITCを主成分として，少量のエルシンを含有していた

(以下、イソチオシアネート含量は両者の合計値とした) (図 1-2-5). 4MTB-ITC 含量が多い品種はエルシン含量も多く、4MTB-ITC とエルシンの比率は、45 : 1~20 : 1 の間であった (図 1-2-6).

搾重液当たりで、最もイソチオシアネート含量が多かったのは‘京都薬味’で対照の‘総太り宮重’の約7倍量の $153 \text{ mg} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ のイソチオシアネート含量を保持していた。次いで‘ノラ’の含量が高かった。さらに、‘松館しぼり’、‘親田辛味’、‘ねずみ辛味’と続き、いずれも対照の‘総太り宮重’と比較して有意に高い含有量を示した。‘灰原辛味’と‘たたら辛味’はこれらよりもやや低い値であった。

供試品種から検出された糖はスクロース、フラクトース、グルコースであり、その合計値は搾汁液 100 mL あたり 4~6 mg 程度の範囲であった (図 1-2-7)。糖の構成比は品種間で差が大きく、対照の‘総太り宮重’はスクロース含量が 0.1 mg と少なく、グルコースおよびフラクトースが主成分であったのに対して、‘ノラ’ではスクロース含量が 80%以上と大部分を占めていた。その他の品種でのスクロースの含有率は上記2品種の間に位置し、‘松館しぼり’、‘京都薬味’でスクロースの含有率が高く、‘親田辛味’と‘たたら辛味’は比較的低い値であった。

イソチオシアネート含量は糖度、スクロース含量、乾物率および硬度と強い相関関係 ($r=0.860$, $r=0.880$, $r=0.834$, $r=0.819$) が認められる (図 1-2-8) と同時に、根重との間には強い負の相関関係が認められた。

乾物重あたりのイソチオシアネートを乾物率から換算すると、‘総太り宮重’と辛味ダイコン類の差は少なかった (図 1-2-9)。

考 察

ダイコンのイソチオシアネート含量は栽培条件によって変動する (石井ら, 1987) ことが知られており、本試験は、同一の播種日、同一の栽培日数、同一圃場で栽培された材料を用いている。栽培は、秋田県で一般的な秋ダイコンの栽培指針に準ずる 8 月下旬播種、11 月上旬収穫で行った。試験を実施した 2012 年 9~11 月は、秋田県を含む北日本は高温で推移し、平均気温が 1.5°C 以上高く、降水量はやや多く、日照量は平年並みであった。この条件の中、ダイコンの生育は概ね順調に推移した。

本試験で供試した辛味ダイコンの品種はいずれも対照の‘総太り宮重’と比較して根重が小さく、根部乾物率が高く、イソチオシアネートが多く含まれており、辛味ダイコンとしての特徴を保持していた。また、根部硬度、根部糖度およびスクロース含有量も‘総太り宮重’と比較して有意に高い系統が多く、これらの表現型も辛味ダイコンに共通する特徴の一つと考えられる。一方、葉片の形状や、根形、根色では変化に富み、一定の傾向は認められなかった。

イソチオシアネート含量は‘京都薬味’および‘ノラ’が、その他の辛味ダイコンの 2 倍程度の大きな値を示した。岡野ら (1990) は、わが国のダイコン 38 品種のイソチオシアネート含量を調査し、京都府の在来品種‘辛味’は長野県の地ダイコン類の一つ‘切葉松本’の 2 倍以上のイソチオシアネートを含有していると報告しており、今回の試験結果もそれを支持する結果で、京都産の辛味ダイコンの極めて高いイソチオシアネート含量を確

認した。辛味ダイコンにおける、適切なイソチオシアネート含量については、その用途によって異なると考えられるが、一定量の辛さを満たしていると、イソチオシアネート含量よりも甘みや香りおよび水分含量などが辛味ダイコンの評価に関与すると考えられる。さらに、乾物あたりに換算した各品種のイソチオシアネート含量を調べてみると、興味深い結果が得られた。それによると、多用途に用いられる‘総太り宮重’のイソチオシアネート含量は辛味ダイコン類と違わなかった。このことは、辛味ダイコンはイソチオシアネートを多く生産するダイコンではなく、水分量が少ないため、イソチオシアネートが濃縮されており、搾汁液あたりのイソチオシアネート含量が多いダイコンであるといえる。

糖組成は供試品種間で差が大きく、スクロースの比率は‘ノラ’が80%以上と最も高く、‘総太り宮重’ではほとんど含まれておらず、その他品種は両者の間にそれぞれ位置していた。伴ら（2009）も同様にダイコンにおけるスクロース含量の比率を調べ、ハマダイコンで高く、宮重系の‘耐病総太り’で低いと報告しているが、本試験の結果もそれを支持すると同時に、辛味ダイコン類のスクロース含量は、品種間で差異が大きいことが明らかになった。糖組成の違いは甘みの感じ方や風味にも影響を及ぼすと推測されるため、イソチオシアネート含量以外の特徴、すなわち高スクロース含量を生かし、‘松館しぼり’の差別化を図っていくことも必要と考えられる。また、高濃度のスクロース蓄積は、耐凍性との関連が推測され、品種の成立および品種が維持されてきた環境条件が色濃く反映されていると考えられる。これら、糖組成の違いは、辛味ダイコン以外でも、品種の類縁関係を示す指標として利用できる可能性があることが示唆された。

表 1-2-1 供試辛味ダイコン品種の主産地と種子入手先

| 品種名 | 世代 ² | 主産地 | 入手先 | 入手年 |
|-------|-----------------|--------|-------------|------|
| 松館しぼり | S ₁ | 秋田県鹿角市 | 川村ヨシエ氏採種 | 1994 |
| たたら辛味 | S ₀ | 長野県長野市 | (株) 信州山峡採種場 | 2012 |
| ねずみ辛味 | S ₀ | 長野県坂城町 | (株) 信州山峡採種場 | 2012 |
| 灰原辛味 | S ₀ | 長野県長野市 | (株) 信州山峡採種場 | 2012 |
| 親田辛味 | S ₀ | 長野県下條村 | (株) 信州山峡採種場 | 2012 |
| 京都薬味 | S ₀ | 京都府北区 | 野口種苗研究所 | 2012 |
| ノラ | S ₁ | 秋田県湯沢市 | 渡辺重博氏採種 | 2004 |
| 総太り宮重 | S ₀ | — | タキイ種苗 (株) | 2012 |

²種子の導入後に‘松館しぼり’は約20個体の無選抜集団採種子を用い、‘ノラ’は2個体の兄弟交配種子を用いた。その他品種は入手種子を直接用いた。

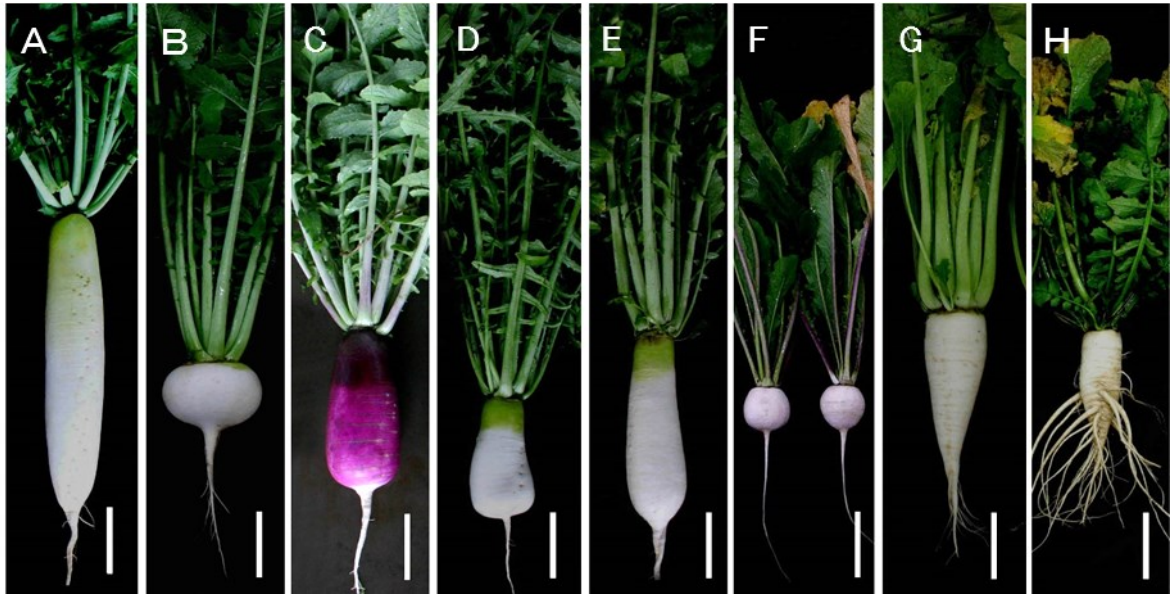


図 1-2-1 供試辛味ダイコン品種の外観

A: '総太り宮重', B: '親田辛味', C: 'たたら辛味', D: 'ねずみ辛味', E: '灰原辛味',
F: '京都薬味', G: '松館しぼり', H: 'ノラ' bar = 10 cm

表 1-2-2 供試辛味ダイコン品種の形態的主要特性（栽培日数 73～74 日）

| 品種名 | 葉形 ^z | 草姿 ^z | 葉色 ^z | 葉数 (枚) | 葉重 (g) | 根重 (g) |
|-------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------|-----------|-----------|
| 松館しぼり | やや全縁 | 立 | やや淡緑 | 24.6 a ^x | 1,418 a | 492 de |
| たたら辛味 | 普通 | やや開 | やや濃緑 | 16.2 bc | 442 defg | 808 bc |
| ねずみ辛味 | 切 | やや立 | 緑 | 21.0 ab | 626 cde | 564 cd |
| 灰原辛味 | 普通 | やや立 | 緑 | 16.6 bc | 560 def | 690 bcd |
| 親田辛味 | 普通 | 中 | 緑 | 21.2 ab | 718 bcd | 828 b |
| 京都薬味 | 全縁 | やや開 | やや淡緑 | 13.2 c | 96 g | 90 f |
| ノラ | 普通 | 開 | やや濃緑 | 14.8 bc | 394 defg | 258 ef |
| 総太り宮重 | 普通 | やや立 | 緑 | 24.6 a | 222 efg | 2,206 a |

| 品種名 | T-R率 ^y (%) | 抽根長 (cm) | 根長 (cm) | 根径 (cm) | 根部 ^z 基本色 | 根肉 ^z 色 |
|-------|--------------------------|-------------|------------|------------|------------------------|----------------------|
| 松館しぼり | 291 a | 0.0 d | 17.6 bcd | 7.6 c | やや乳白 | やや乳白 |
| たたら辛味 | 55 ef | 7.1 b | 17.1 bcd | 8.8 b | 紫 | 白 |
| ねずみ辛味 | 111 cde | 4.9 c | 15.3 cde | 8.3 bc | 乳白 | 乳白 |
| 灰原辛味 | 83 def | 5.6 c | 20.9 b | 7.2 cd | 乳白 | 乳白 |
| 親田辛味 | 89 def | 2.2 cd | 10.4 f | 11.9 a | やや乳白 | やや乳白 |
| 京都薬味 | 111 cde | 0.0 d | 4.7 g | 5.9 de | 乳白 | 乳白 |
| ノラ | 154 bcd | 0.0 d | 12.1 ef | 5.2 ef | 乳白 | 乳白 |
| 総太り宮重 | 10 f | 27.6 a | 47.6 a | 7.7 c | 白 | 白 |

^z品種登録制度による農林水産植物種類別審査基準により，目視で判断した

^y葉重／根重×100

^xTukeyの多重検定により，同符号間には5%水準で有意差なし（n=5）

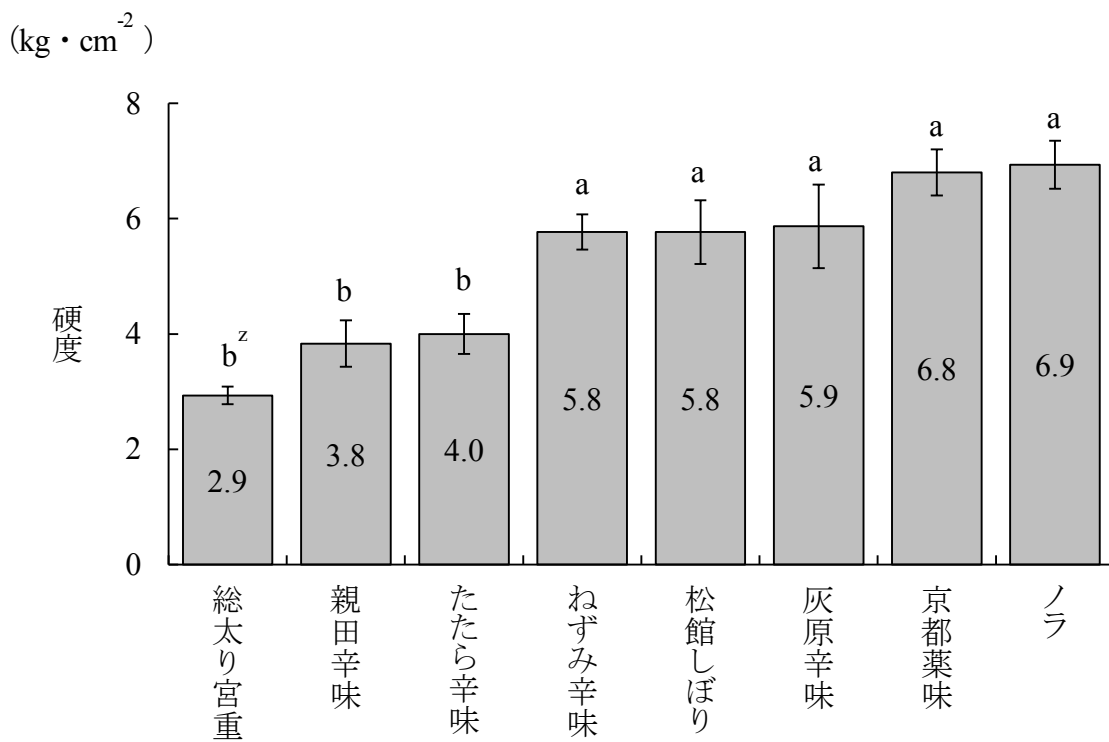


図 1-2-2 供試辛辣ダイコン品種の根部硬度

^zTukey の多重検定により、同符号間には 5%水準で有意差なし (n=3)

bar = 標準偏差

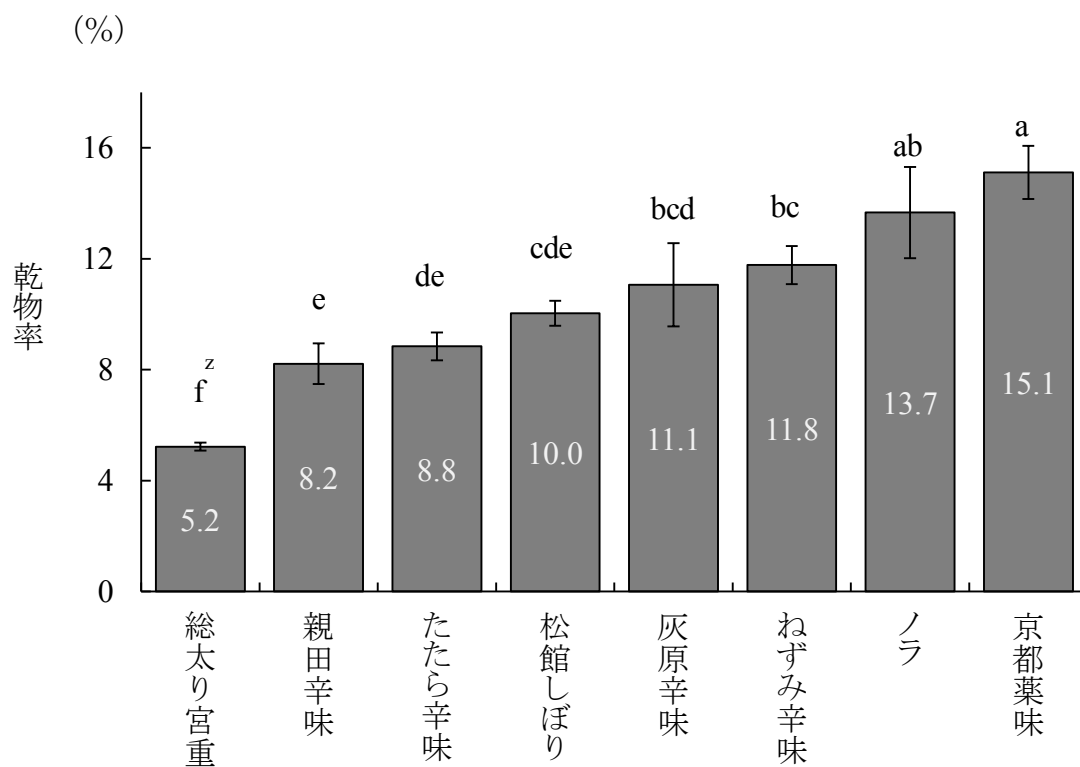


図 1-2-3 供試辛味ダイコン品種の乾物率

^aTukey の多重検定により，同符号間には 5%水準で有意差なし (n=3)

bar = 標準偏差

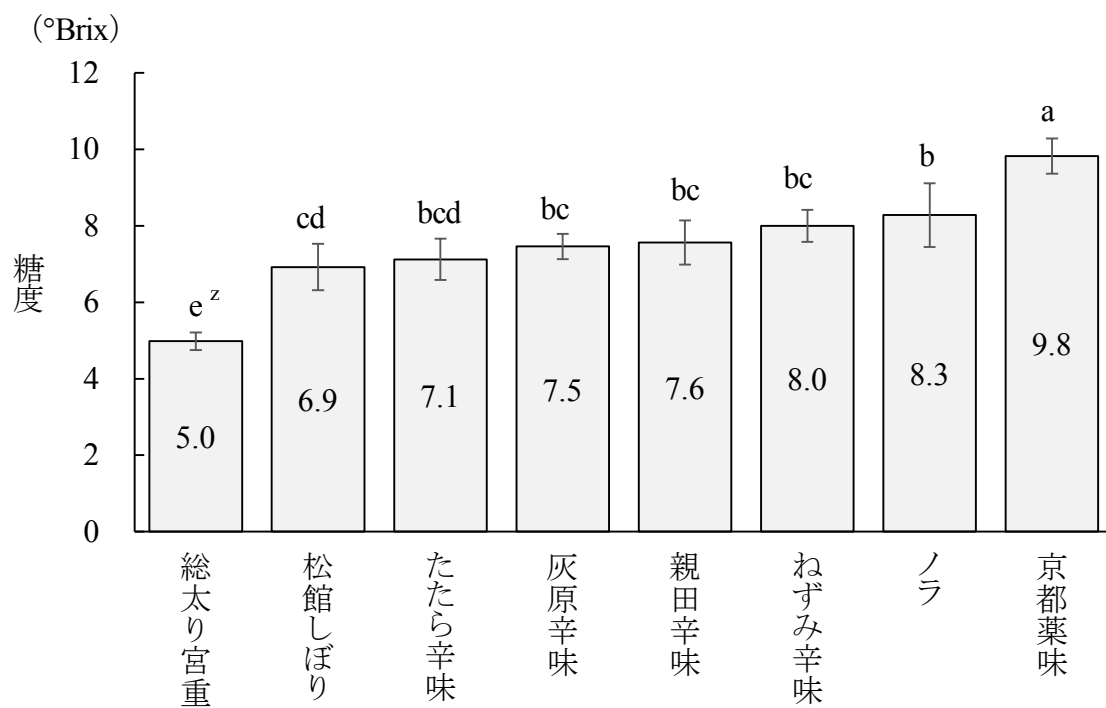


図 1-2-4 供試辛味ダイコン品種の糖度

^zTukey の多重検定により、同符号間には 5%水準で有意差なし (n=5)

bar = 標準偏差

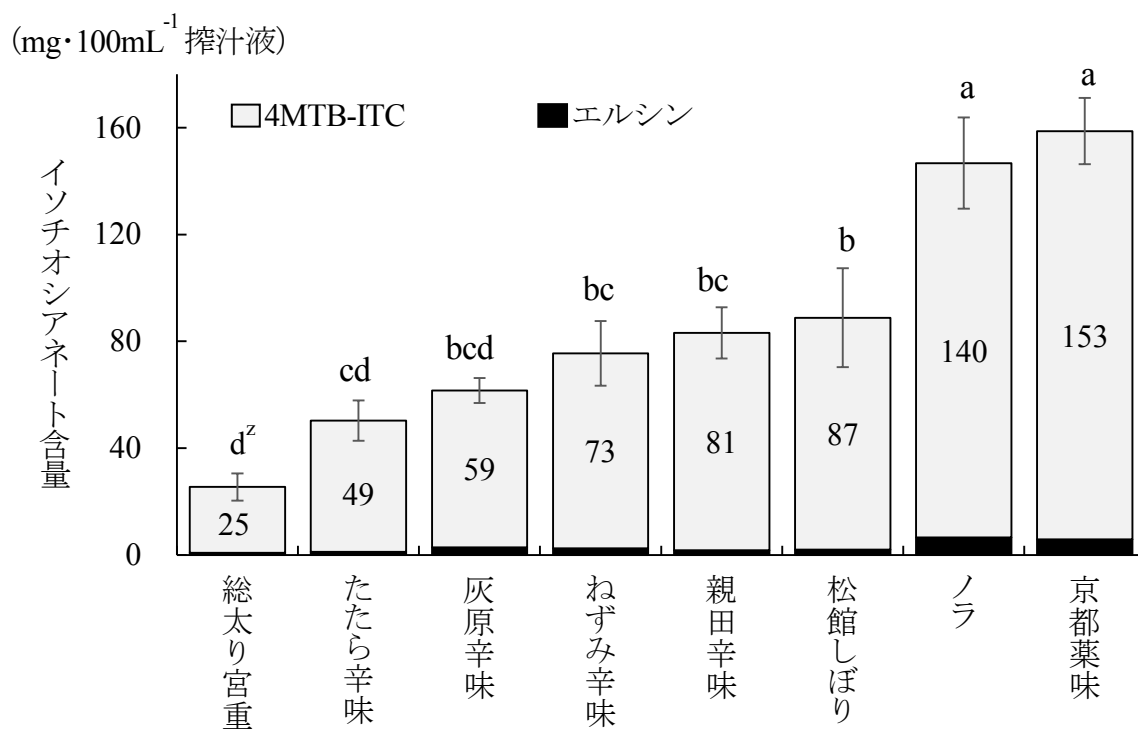


図 1-2-5 供試辛味ダイコン品種の辛味成分量

^zTukey の多重検定により、同符号間には 5%水準で 4MTB-ITC 含量の有意差なし (n=5)

bar = 総イソチオシアネート含量における標準偏差

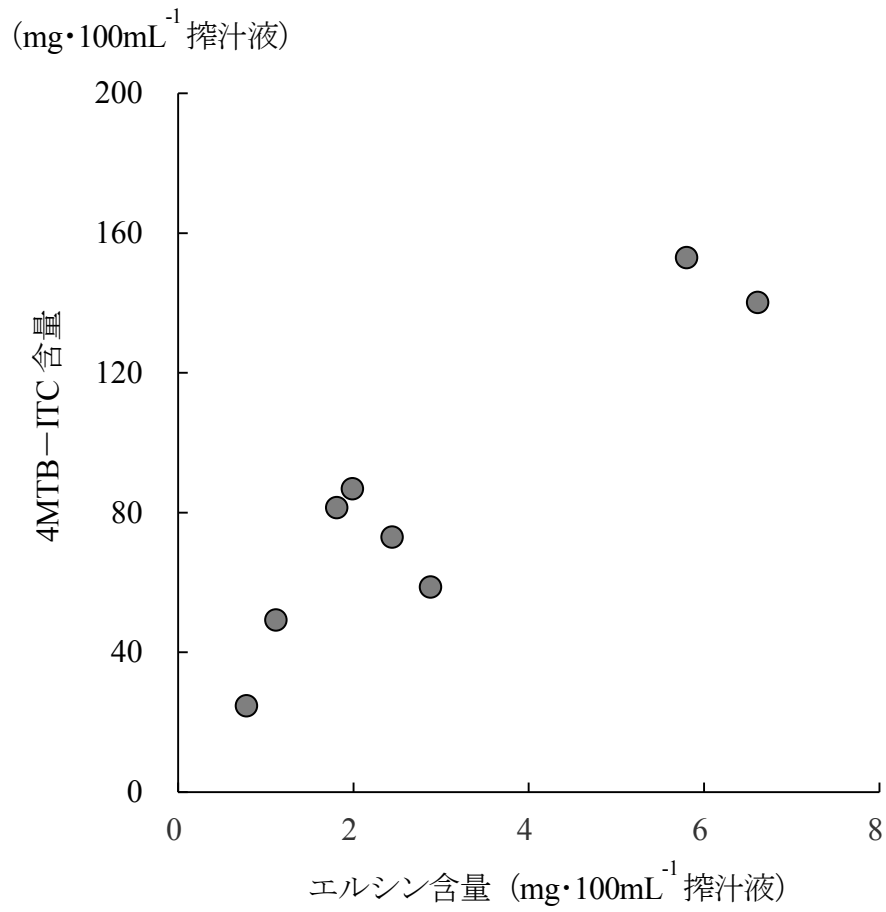


図 1-2-6 供試辛味ダイコン品種のエルシン含量と4MTB-ITC 含量の関係

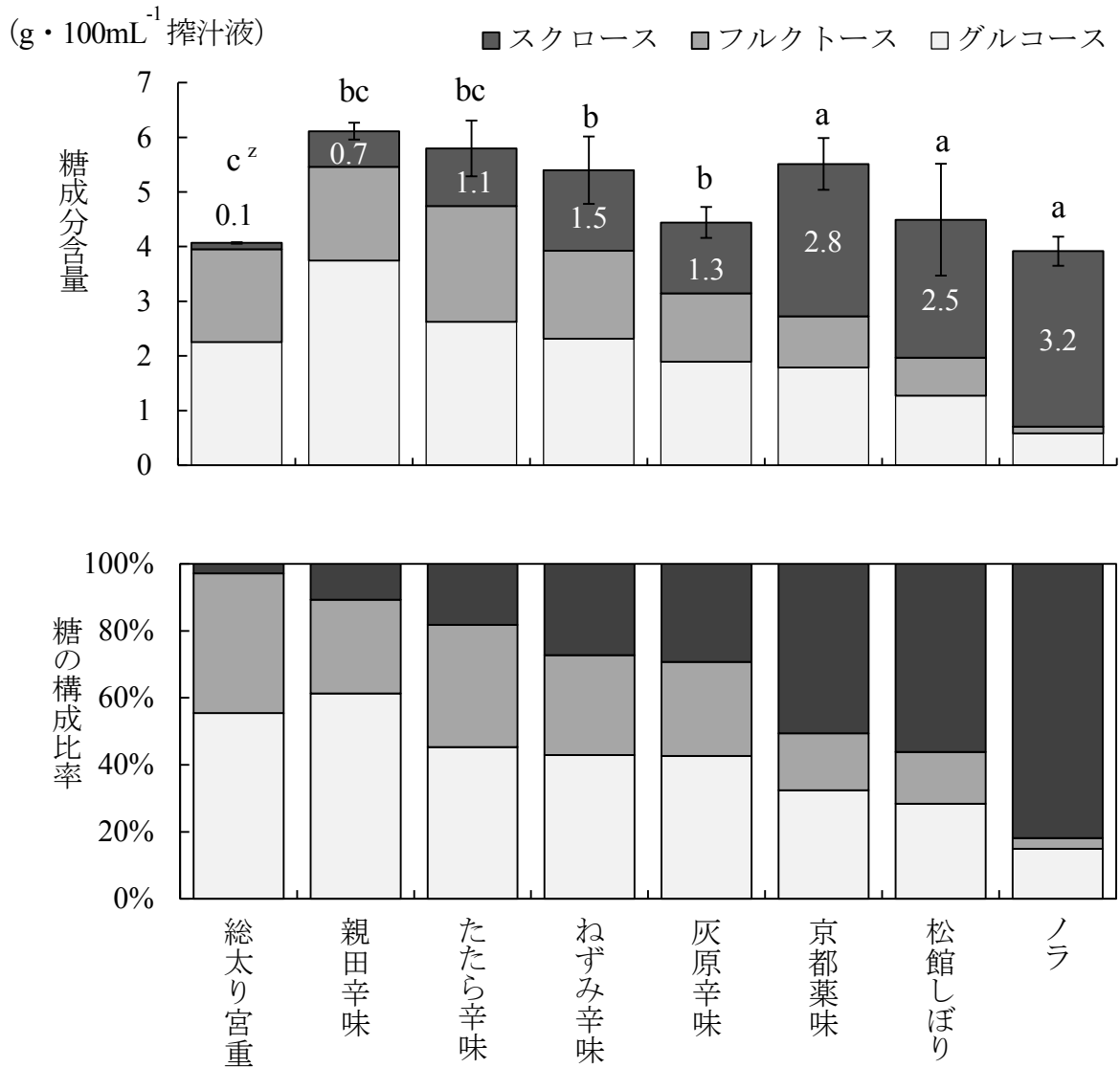
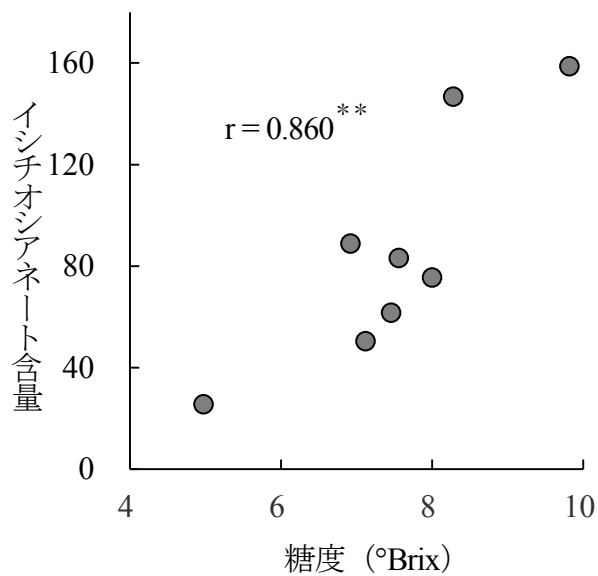


図 1-2-7 供試辛味ダイコン品種の糖含量および構成比率

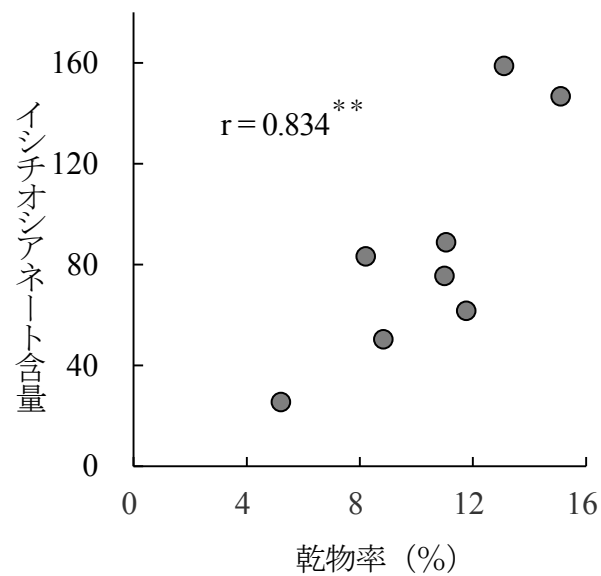
^aTukey の多重検定により、同符号間には 5%水準でスクロース含量の有意差なし (n=5)

bar = 総糖含量における標準偏差

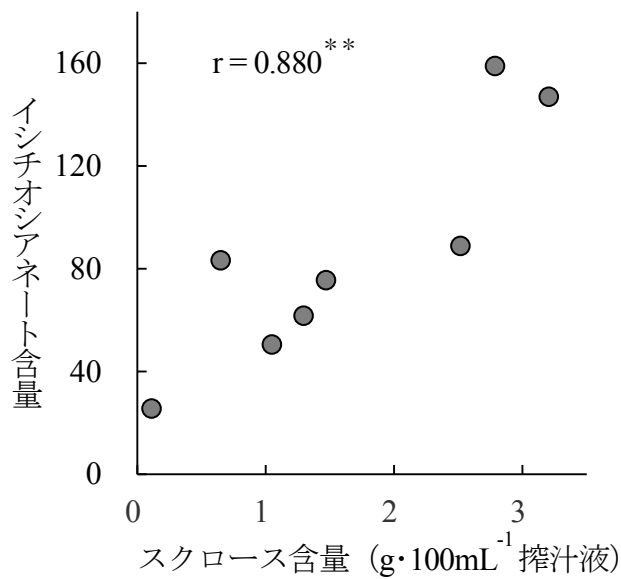
(mg・100mL⁻¹ 搾汁液)



(mg・100mL⁻¹ 搾汁液)



(mg・100mL⁻¹ 搾汁液)



(mg・100mL⁻¹ 搾汁液)

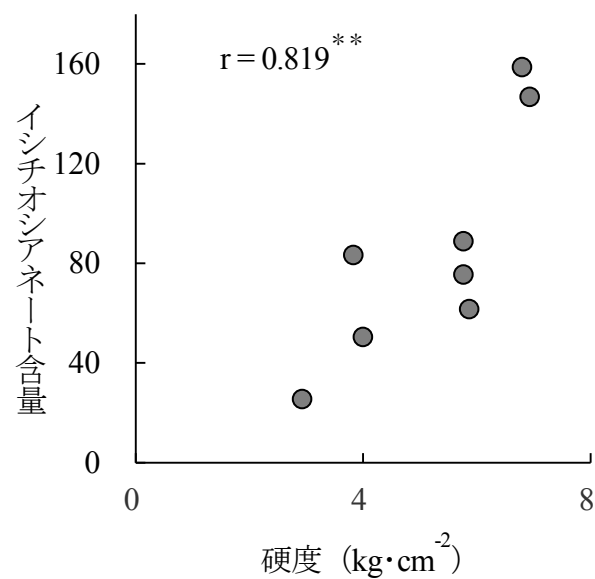


図 1-2-8 供試辛味ダイコン品種のイソチオシアネート含量と糖度，スクロース含量，乾物率および硬度の関係

** : $p < 0.01$ (n = 8)

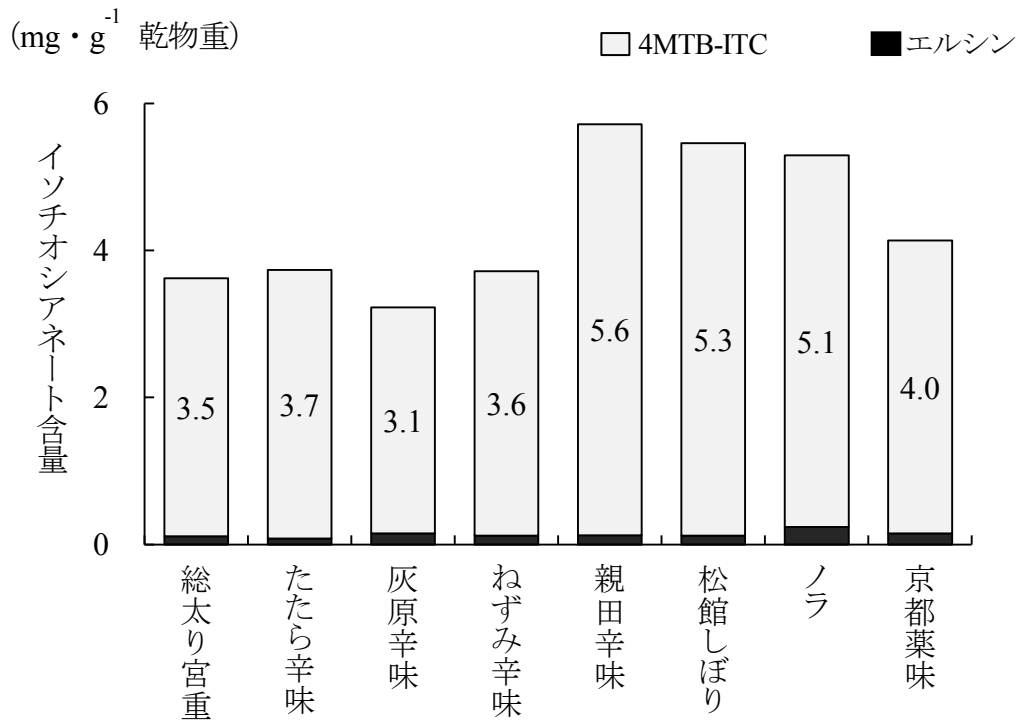


図 1-2-9 供試辛味ダイコン品種における乾物重 1g 当たりのイソチオシアネート含量
乾物率からの換算値

3. 表現型および遺伝子型に基づく類縁関係の解明

緒 言

わが国には多彩なダイコン地方品種が存在するが、それぞれの品種の類縁関係は明白ではない。品種の類縁関係を知り、地方品種の成立要因を推測することで、品種の遺伝的背景が明らかになるとともに、今後の育種に有益と考えられる。

これまで、わが国における多彩なダイコン品種を分類しようとする試みの多くは、形質の調査とそれに基づく推測によって行われてきた。一方、クラスター分析は、類縁関係を推察する場合にしばしば用いられる科学的分析手法の一つで、ダイコンでは大井ら(2000)が長野県在来のダイコン 13 品種の形態調査からクラスター分析を用い、3 グループと 5 サブグループに分類している。本試験では調査範囲を拡大し、国内外の 65 品種の地方品種を網羅した類縁関係の推察を試みた。すなわち、前述の特性調査で得られた得られた表現型データ基に、クラスター分析を行って品種間のデンドログラムを作成した。また、表現型は、人為淘汰の影響を強く受け、実際の遺伝的類縁関係以上に、系統間差を大きく表す場合もあると考えられる。そこで、より客観的に類縁関係を把握するために、SSR (Simple sequence repeat) マーカーの多型を調査し、DNA の遺伝子型に基づく類縁関係の解明も試みた。SSR マーカーは簡便性および再現性に優れ、かつ共優性の遺伝を示し、多くの作物において、品種・系統分類に用いられている (Jones ら, 1997) ことから、本試験で採用した。

材料および方法

1) 供試品種

前述の、「1. 表現型に基づく形質の評価」に用いた品種を材料とし、さらに、DNA の遺伝子型調査では、「錦赤丸」および欧州系ダイコンに属する二十日大根 (ラデッシュ) 5 系統も参考品種として追加した (表 1-1-1)。

2) 表現型に基づいたクラスター分析

前述の、「1. 表現型に基づく形質の評価」で得られたデータのうち、葉の切れ込みと葉色、根色に関係する形質を除いた 33 形質 (観察が 15 形質, 測定が 18 形質) (表 1-3-1) から UPGMA 法により品種間の遺伝距離を求め、系統樹を作成した。解析ソフトウェアは R を用いた。

3) DNA の遺伝子型に基づいたクラスター分析

サンプルは、前述の「1. 表現型に基づく、形質の評価」の開花調査に用いた植物体からの材料を用いた。サンプル数は各品種 1 個体とした。

(1) 材料の抽出

ダイコン生葉を約 50 mg 採取し、2 mL マイクロチューブに直径 5 mm のステンレスボ

ールとともに入れ、ビーズ式細胞破碎装置 (TOMY Micro Smash MS-100) で 3,000 rpm, 30 秒間遠心して粉碎した。ステンレスボールを取り除いた後、DNA 抽出溶液を 500 μL 加えて軽く攪拌して DNA を抽出し、12,000 rpm, 4°C, 20 分間遠心した。上清 270 μL を、5 M 酢酸カリウムを 135 μL 入れた新しい 1.5 mL マイクロチューブに加え、ピペットで丁寧に混ぜ、氷上または冷蔵庫で 30 分間冷却して多糖類を凝固させ、12,000 rpm, 4°C, 20 分間遠心した。上清 250 μL を、150 μL の結合溶液を入れた DNA 結合プレート (Coming 3511) に、加え、ピペットで丁寧に攪拌して DNA 結合プレートに結合させた。続いて、DNA 結合プレートを廃液プレート (ritter riplate medio) に乗せ、1,800 rpm, 3 分間遠心し、DNA 結合プレートに DNA を残し、廃液プレートにたまった液を捨てた。洗浄は、DNA 結合プレートに 80%エタノールを 180 μL 入れ、廃液プレートに乗せ、1,800 rpm, 3 分間遠心して廃液プレートにたまったエタノールを捨てる操作を 2 回繰り返して行った。洗浄後、エタノールを蒸発させた DNA 結合プレートに 1×TE を 200 μL 入れ、DNA 保存プレート (Coming 3344) に乗せ、1,800 rpm, 15 分間遠心して DNA 保存プレート内に DNA 溶液を得た。DNA 溶液は、シールして -30°C の冷凍庫で保存した。

(2) PCR 反応

Shirasawa ら (2011) が公開した遺伝地図情報を参考に、ダイコンの 9 本の染色体を均一にカバーするように 48 種類のマーカーを選定した。これら 48 マーカーの中から予備的な調査で比較的明瞭な PCR 増幅産物の多型が確認された 8 種類のマーカーを選んだ (表 1-3-2)。選んだプライマーは蛍光標識されるように 5'末側に数塩基付加したものに再設定した。

PCR 反応溶液は、ゲノム DNA が 1 μL 、Forward 側および Reverse 側プライマーがそれぞれ 1 μL 、*Ex Taq* DNA ポリメラーゼ ((株) タカラバイオ) が 0.1 μL 、10×*Ex Taq* Buffer が 2 μL 、dNTP が 1.6 μL に滅菌水を合わせて 20 μL とした。PCR 反応は、94°C・2 分の前処理後、94°C・30 秒、55°C・30 秒、72°C・30 秒を 1 サイクルとして 35 サイクル行い、72°C・7 分の保温を行った。

(3) ポストラベル検出法

SSR マーカーのポストラベル検出は安濃・福岡ら (2011) の方法に従い、以下のように行った。チューブに PCR 増幅産物 3 μL と、ラベリングミックス 5 μL (klenow fragment 0.02 μL , ThermoSequenase 0.005 μL , 0.1 mM R6G-ddCTP (or R110-ddUTP) 0.004 μL , 10xBuffer (klenow fragment Buffer) 0.8 μL , 滅菌水 4.171 μL) を混合し、37°C・5 分、57°C・15 分、4°C の条件で反応させ、ポストラベル反応液を作成した。新しいチューブにホルムアミドマーカー液 10 μL (ホルムアミド 9.9 μL , マーカー 0.1 μL) を入れ、ポストラベル反応液を 1 μL 入れ、熱変性 (95°C・2 分、すぐに冷却) した後、3130xl Genetic Analyzer (ABI) を用いてフラグメント解析を行った。得られたフラグメントサイズのデータから、UPGMA 法による系統樹を作成した。解析ソフトウェアは GenAlEx (<http://biology.anu.edu.au/GenAlEx/Welcome.html>) を用いた。

結 果

1) 表現型に基づいたクラスター分析

(1) 系統樹

クラスター分析の結果に基づいて系統樹を作成した結果、供試 65 品種は、4 つのクラスターに分けられた (図 1-3-1)。第 1 クラスターは欧州の黒ダイコン‘スペインラウンド’が含まれた。第 2 クラスターは、わが国の自生種ハマダイコンを中心としており、‘サヤ’、‘松館しぼり’、‘小瀬菜’および辛味ダイコンの‘京都薬味’が含まれ、第 3 クラスターには‘青長’、‘紅皮紅心’および‘赤皮大丸’の中国産 3 品種が含まれた。第 4 クラスターには、わが国の主要な品種が含まれていた。そこで、これらのクラスターを、表現型からそれぞれ欧州系、自生系品種、中国系品種および日本系と分類した。第 4 クラスターはさらに、5 つのサブグループに分類された。すなわち、‘方領’、‘亀戸’といった古い品種を中心とした南支系、東北の地ダイコンで構成された北支 1 系、信州地大根を中心とした北支 2 系、宮重系および練馬系である。また、グループ化されないいくつかの品種も存在した。

秋田県の地方品種では、‘松館しぼり’が自生系グループに分類され、それ以外は、いずれも日本系グループに分類された。日本系の中では‘大館’と‘沼山’が北支系 1 に、‘改良秋田’、‘秋田’、‘川尻’および‘秋田三八’は練馬系にそれぞれ分類された。‘関口’はグループ化されなかった。

2) DNA の遺伝子型に基づいたクラスター分析

(1) 系統樹

得られたフラグメントサイズのデータを基に系統樹を作成した結果、供試 65 品種は、6 つのクラスターに分けられた (図 1-3-2)。第 1 クラスターには‘スペインラウンド’と‘赤皮大丸’、第 2 クラスターには‘サヤ’、第 3 クラスターには‘秋田’、第 4 クラスターには‘時無’と‘安家’、第 5 クラスターには‘関口’が含まれ、その他の 58 品種は第 6 クラスターに分類された。これら 6 つのクラスターは、表現型で分けられた欧州系、自生系、中国系および日本系のクラスターと関連付けられず、秋田県の地方品種も各クラスターに分散した。

(2) DNA の遺伝子型

8 種の SSR マーカー全てで多型が検出され、フラグメント解析では 2 塩基程度の差も検出された (図 1-3-3, 表 1-3-3)。アレル数は、少ないもので 3, 多いもので 13 であった。フラグメントサイズの差はマーカーによって異なるが、大きなもので 71 bp, 小さなものでは 2 bp であった。供試品種での対立遺伝子のヘテロ接合率は導入世代で 27~41%, 自殖第 1 世代では 7~24%と、ダイコン品種の分子または DNA レベルでの高いヘテロ接合率が確認された (図 1-3-4, 図 1-3-5)。

アレルの多様性は、全てのマーカーにおいて 2~3 種の主要なアレル型が存在して全体

の大部分を占め、残りの部分に頻度の低い少数の多型が存在する構成であった。供試品種を大きく、中国系品種グループ、日本系品種グループ、自生系品種グループおよび欧州系品種グループに分けると、それぞれのグループで特異的に存在し、他のグループではほとんど存在しない特異的な対立遺伝子が確認された（図 1-3-6, 図 1-3-7）。

例えばマーカーRSS0977 において、255 bp のフラグメントサイズのアレルは、日本系、自生系および中国系の品種群に存在し、欧州系の品種群では認められなかった。また 247 bp のフラグメントサイズのアレルは中国系に存在し、極一部の日本系でも認められた。RSS0033 では 213 bp および 236 bp のフラグメントサイズのアレルは欧州系で多く、その他ではほとんど存在しなかった。RSS2459 は 3 種の多型が検出されたが、そのうち 153 bp のフラグメントサイズのアレルは、日本系でのみ特異的に認められた。RSS2559 は 13 種と極めて多くの多型が観察されたが、そのうち 10 種は日本系と自生系および極一部の中国系でのみ存在した。RSS1971 の 169 bp のフラグメントサイズのアレルは中国系と欧州系で検出され、日本系と自生系では検出されなかった。RSS3742 では、222 bp のフラグメントサイズのアレルは欧州系のみ、225 bp のフラグメントサイズのアレルは欧州系と自生系のみ認められた。RSS0027 のフラグメントサイズ 172 bp のアレルは日本系と自生系に認められた。RSS2661 のフラグメントサイズ 191 bp のアレルも日本系と自生系に認められた。

考 察

1) わが国のダイコンの分類

ダイコンの原産地は中央アジアとされ、そこから地中海沿岸地域や中国地域で分化発達し、世界各地に広まったものと推測され、奈良時代には概に中国からわが国に伝来していたものと考えられている（北村，1958）。わが国には中国北部を起源とし、葉数が少なく比較的小型で肉質が硬く、アントシアニンやクロロフィルによる着色品種が多い北支系品種群と、中国南部を起源とし、葉数が多く、大型で肉質が柔軟、着色のない南支系品種群が幾度となく伝来し、各地の気象条件に適応した多彩な品種が成立したと考えられている（熊沢，1956）。また、明治、大正および昭和戦前時代には、商人の手によって優良ダイコン種子は全国に広がり、それらと在来品種との交雑や淘汰が繰り返され、さらに多くの在来品種が育成されたと考えられている（石黒，1985）。また、わが国に自生するハマダイコンも、品種成立に関わっている可能性が高い。青葉（1981）は、ハマダイコンはアジア大陸から古い時代に渡来した野生ダイコンの後代とし、山岸（2006）は、細胞質の調査から、ハマダイコンはわが国の栽培種に対する遺伝的変異の供給源の一つと位置づけている。ハマダイコンの根部はほとんど肥大せず、根部特性では栽培種と大きな差異があるものの、遺伝学的には栽培種と同一種であり、栽培種との交雑の機会が多かったと考えられる。

表現型に基づいたクラスター分析の結果からは、これまでの推測による分類を概ね支持する系統樹が作成された。第 2 クラスターの自生系には、栽培種の‘松館しぼり’と‘小瀬菜’が含まれ、これら 2 品種はわが国の自生種との関係が推測された。また、日本系は、自生系や中国系とは別に、わが国独自のクラスターを形成したことから、わが国の品種は

両者の影響を受けて独自の品種群を形成したという説を裏付ける結果となった。日本系は、さらに、南支系や北支系といった、わが国に伝来した当初の表現型を保持しているグループと、宮重系や練馬系といった、わが国独自のグループに分類されたが、中国や韓国、カザフスタンなどの品種グループも同時に存在していたことから、互いに交雑が進んでおり、類縁関係はより複雑であることが推測された。

DNA マーカーを利用した品種分類は、自殖性作物においては、同一品種内の個体が高いホモ接合性を示すため、比較的容易であるとされる。また、栄養繁殖性作物ではヘテロ接合性であっても、クローンであるため、同一品種内の個体にバラツキがなく、同様に品種分類は容易とされる。SSR マーカーは、共優性マーカーで、複数のアレルが識別でき、さらに、PCR で容易に解析できる特徴を持つことから、育種や品種識別に有効である（赤木, 2000）。イネでは、SSR マーカーは近縁の栽培品種の分類・識別にも有効であるとされており（Akagi *et al.* 1997）、大越らは、8 種の SSR マーカーが、日本のイネ在来種の分類・識別に有効なことを示している（2004）。

一方、他殖性作物では、集団内に高いヘテロ接合性が存在するため、DNA マーカーによる識別は難しいことが予想される。ダイコンと同様に他殖性で、自殖弱勢が強いネギでは、主要な農業形質での均一性が確認できているにも関わらず、品種内に高いヘテロ接合性が存在するため、DNA マーカーによる品種分類は困難であることが報告されている（塚崎, 2010）。ダイコンの場合でも、本研究で、表 1-3-3 で示されたように 8 種類の SSR マーカーを用いた分析で、ヘテロ接合が多く、品種間の差が不明瞭で、わが国におけるダイコン品種の識別は困難であった。わが国のダイコン品種は、表現型で観察された違いとは異なり、DNA レベルでの差異がないという結果が示された。

この結果からは、次のようなことが推測される。例えば、ある特定の品種の中に 1 個体の突然変異個体が生じたとする。育種家は、自殖性作物であれば自家受粉によって、その 1 個体から新品種を育成できるが、他殖性作物のダイコンでは、集団内の別の個体と交雑して後代を得るしかない。そして、その後代から目的の表現型を選抜し、その過程を繰り返して、戻し交雑と同じ原理で、元の遺伝的多様性を維持したまま目標とする遺伝子のみが導入された集団（品種）ができあがる。

しかし、本研究では、国外の品種と、わが国の品種と明確に識別できるマーカーがいくつか確認され、その結果の一部は系統樹にも表現されていることから、これら特定のマーカーに着目して分析することで、今後わが国における品種成立に関わる交配などを推定することも可能であることが示唆された。例えばマーカーRSS2459 では、全品種の中で‘秋田’でのみ 153 bp のフラグメントサイズのアレルが得られている（表 1-3-3）。この変異は本県で生じ、‘秋田’の起源に関係するマーカーと考えられる。またマーカーRSS1971 では、中国の品種および‘サヤ’に特異的な 169 bp のフラグメントサイズのアレルが確認できる。この特異的なマーカーは、1800 年代の後半に中国からわが国に伝わったとされる‘錦赤丸’でも確認されている（表 1-3-3）ことから、中国系品種の影響を受けたわが国の品種を識別できる可能性がある。

2) ハマダイコンについて

ハマダイコンと呼ばれるわが国の自生品種は、表現型に基づく分類では、独立した明

確なクラスターを形成したにもかかわらず、SSR マーカーでは特異的な増産物は認められず、わが国の栽培種に存在する一般的なマーカーを保有していた。このことは、明白な表現型の違いとは異なり、ハマダイコンは、栽培種と共通する多くの遺伝子型を持った多様な集団であることを示している。そして、ハマダイコンが、わが国において一部の栽培品種成立に関わったことを示唆している。

表 1-3-1 ダイコン 65 品種における諸形質間の相関

| | 1 種子色 | 2 胚軸着色率 | 3 草姿 | 4 葉ふち | 5 葉基本色 | 6 葉柄基本色 | 7 毛じ | 8 葉数 | 9 小葉数 | 10 葉重 | 11 根重 | 12 T-R率 | 13 最大位置 | 14 尻形 | 15 根基本色 | 16 表皮コルク化 | 17 横すじ | 18 ひげ根 | 19 す入り | 20 空洞 | 21 補充色長 | 22 抽根長 | 23 根長 | 24 抽根率 | 25 首径 | 26 最大根径 | 27 根長/根径 | 28 硬度 | 29 糖度 | 30 乾物率 | 31 開花日 | 32 花の大きさ | 33 蕾の毛じ | | | | | | | |
|-----------|-------|---------|------|-------|--------|---------|------|------|-------|-------|-------|---------|---------|-------|---------|-----------|--------|--------|--------|-------|---------|--------|-------|--------|-------|---------|----------|-------|-------|--------|--------|----------|---------|------|------|------|------|------|--|--|
| 1 種子色 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 胚軸着色率 | 0.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 草姿 | 0.1 | -0.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 葉ふち | 0.0 | -0.1 | -0.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 葉基本色 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 葉柄基本色 | 0.2 | 0.1 | 0.3 | 0.0 | 0.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 毛じ | -0.3 | -0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 葉数 | -0.3 | -0.4 | -0.2 | 0.0 | -0.1 | -0.2 | 0.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 小葉数 | -0.2 | -0.4 | 0.2 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 葉重 | -0.2 | -0.1 | -0.1 | -0.1 | -0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.5 | 0.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 根重 | 0.0 | -0.3 | -0.1 | 0.0 | 0.0 | -0.1 | -0.1 | 0.4 | 0.4 | 0.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 T-R率 | -0.2 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | -0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | -0.4 | 0.6 | -0.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 最大位置 | 0.0 | 0.1 | -0.2 | -0.1 | -0.1 | 0.1 | -0.1 | -0.1 | 0.1 | -0.1 | 0.1 | -0.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 尻形 | 0.1 | 0.3 | -0.3 | -0.2 | 0.0 | 0.0 | -0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | -0.3 | 0.7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 根基本色 | -0.1 | -0.1 | 0.3 | 0.1 | -0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | -0.4 | 0.4 | 0.0 | -0.3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 表皮コルク化 | 0.0 | 0.1 | -0.2 | 0.0 | 0.4 | 0.0 | -0.1 | -0.2 | -0.1 | -0.1 | 0.0 | -0.1 | -0.1 | 0.1 | -0.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 横すじ | 0.0 | 0.2 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | -0.2 | 0.1 | 0.1 | -0.3 | 0.3 | 0.0 | -0.3 | 0.4 | -0.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 ひげ根 | 0.0 | 0.1 | 0.4 | -0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | -0.3 | 0.4 | -0.4 | -0.5 | 0.5 | -0.1 | 0.6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 す入り | -0.2 | -0.2 | -0.2 | -0.1 | 0.0 | -0.5 | -0.1 | 0.1 | 0.1 | -0.1 | 0.3 | -0.3 | 0.1 | 0.0 | -0.1 | -0.1 | -0.1 | -0.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 空洞 | 0.2 | -0.1 | -0.2 | -0.2 | 0.1 | -0.2 | -0.3 | -0.1 | 0.0 | -0.1 | 0.1 | -0.2 | 0.2 | 0.2 | -0.1 | 0.2 | -0.1 | -0.1 | 0.3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 補充色長 | 0.2 | -0.1 | -0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | -0.3 | -0.2 | 0.0 | -0.2 | 0.1 | -0.2 | 0.2 | 0.0 | -0.2 | -0.1 | 0.0 | -0.2 | -0.1 | 0.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 抽根長 | 0.0 | -0.7 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | -0.2 | -0.1 | 0.2 | 0.4 | -0.2 | 0.5 | -0.5 | 0.2 | -0.1 | -0.2 | -0.1 | -0.1 | -0.1 | 0.4 | 0.2 | 0.4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23 根長 | -0.1 | -0.7 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | -0.2 | 0.1 | 0.3 | 0.5 | 0.0 | 0.5 | -0.3 | 0.1 | -0.3 | 0.0 | -0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.1 | 0.2 | 0.9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24 抽根率 | 0.1 | -0.3 | -0.1 | -0.1 | 0.2 | 0.0 | -0.2 | 0.0 | 0.3 | -0.3 | 0.5 | -0.7 | 0.3 | 0.2 | -0.4 | 0.0 | -0.2 | -0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.4 | 0.7 | 0.4 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 首径 | -0.3 | -0.2 | -0.3 | -0.1 | -0.1 | -0.3 | -0.1 | 0.6 | 0.1 | 0.5 | 0.4 | 0.1 | -0.3 | 0.0 | -0.1 | -0.1 | -0.2 | 0.0 | 0.1 | -0.1 | -0.1 | 0.0 | 0.1 | -0.1 | 0.1 | -0.1 | -0.1 | -0.1 | -0.1 | -0.1 | -0.1 | -0.1 | -0.1 | -0.1 | -0.1 | -0.1 | -0.1 | -0.1 | | |
| 26 最大根径 | 0.1 | 0.4 | -0.1 | -0.2 | 0.0 | 0.1 | -0.1 | 0.0 | -0.1 | 0.1 | 0.4 | -0.2 | 0.1 | 0.5 | -0.3 | 0.3 | -0.3 | -0.3 | 0.0 | 0.0 | -0.2 | -0.4 | -0.6 | 0.1 | 0.2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 27 根長/根径 | -0.1 | -0.7 | 0.1 | 0.3 | 0.0 | -0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | -0.1 | 0.2 | -0.2 | 0.0 | -0.5 | 0.2 | -0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.8 | 0.9 | 0.3 | 0.0 | -0.7 | | | | | | | | | | | | | | |
| 28 硬度 | 0.0 | 0.4 | 0.1 | 0.0 | 0.2 | 0.2 | 0.0 | -0.4 | -0.4 | -0.1 | -0.8 | 0.5 | -0.1 | -0.1 | 0.4 | 0.1 | 0.3 | 0.3 | -0.4 | -0.1 | -0.1 | -0.5 | -0.4 | -0.6 | -0.4 | -0.4 | -0.3 | -0.2 | | | | | | | | | | | | |
| 29 糖度 | 0.2 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.3 | -0.1 | -0.5 | -0.4 | -0.2 | -0.7 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.0 | -0.4 | 0.0 | 0.0 | -0.5 | -0.5 | -0.4 | -0.4 | -0.1 | -0.3 | 0.8 | | | | | | | | | | | | |
| 30 乾物率 | 0.1 | 0.5 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.3 | 0.0 | -0.4 | -0.5 | -0.2 | -0.8 | 0.5 | -0.1 | 0.0 | 0.3 | 0.1 | 0.3 | 0.2 | -0.5 | -0.1 | 0.0 | -0.6 | -0.6 | -0.5 | -0.4 | -0.2 | -0.4 | -0.4 | 0.9 | 0.9 | | | | | | | | | | |
| 31 開花日 | 0.1 | 0.0 | -0.1 | -0.1 | 0.3 | -0.1 | 0.2 | -0.2 | -0.2 | -0.4 | -0.1 | -0.2 | -0.1 | 0.0 | -0.2 | 0.4 | -0.3 | -0.2 | 0.0 | 0.0 | -0.1 | 0.0 | -0.1 | 0.1 | -0.2 | 0.1 | -0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | | |
| 32 花の大きさ | 0.0 | -0.3 | 0.0 | 0.1 | -0.4 | -0.1 | 0.0 | 0.3 | 0.1 | 0.2 | 0.0 | 0.2 | 0.1 | -0.2 | 0.1 | -0.5 | -0.1 | -0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | -0.1 | 0.2 | -0.4 | 0.4 | -0.1 | -0.1 | -0.1 | -0.1 | -0.1 | -0.1 | -0.1 | -0.1 | -0.1 | -0.4 | | | |
| 33 蕾の毛じ | 0.0 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | -0.1 | -0.2 | 0.0 | -0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 0.0 | 0.1 | -0.1 | 0.0 | 0.0 | -0.2 | -0.2 | -0.1 | 0.0 | 0.2 | -0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | -0.3 | | |

灰色の塗りつぶしは、相関係数が 0.5 以上または -0.5 以下の値

表 1-3-2 フラグメント解析に用いた SSR マーカー

| マーカー名 | Motif | フォワードプライマー リバースプライマー | PCR産物の 長さ | 連鎖群 | 位置 (cM) |
|---------|------------|---|--------------|-----|------------|
| RSS0977 | AAG(mis2) | CATCCCAAGGCCTAAGATGA AGAAGCAAGGAAAGCATGGA | 169 | 8 | 64.4 |
| RSS0033 | AG | TTGGCTCACACTTTACCTCG CAACAGCACCGTAATCGCTA | 204 | 4 | 92.8 |
| RSS2459 | AG | CTGAAGCCTCACCACAATGA TTTTGCTCATAGGAATAAACCCA | 189 | 3 | 127.6 |
| RSS2559 | GGT(mis1) | AGGATTGCCGTGATGAAGAC TCCCTAGCAAAGTGACCAGC | 181 | 4 | 136.0 |
| RSS1971 | ATC(mis2) | AAAAACCATATGAAACAAAAGCG GTGCAGTGCCTGATTGAAAA | 229 | 4 | 113.0 |
| RSS3742 | AAAC(mis1) | ACTCATGGGTGGGTTCATGT TGTAGCAAACAGAGGCAAACA | 230 | 5 | 106.7 |
| RSS0027 | AG | GACACGCCTCTTCCTTCTTG TCAAGTACCACTTCCCGAGG | 179 | 7 | 15.1 |
| RSS2661 | AAAC(mis2) | CTCCGCACAATAAACGACAA TTCTCGCTCCTGAAAATGCT | 191 | 6 | 59.7 |

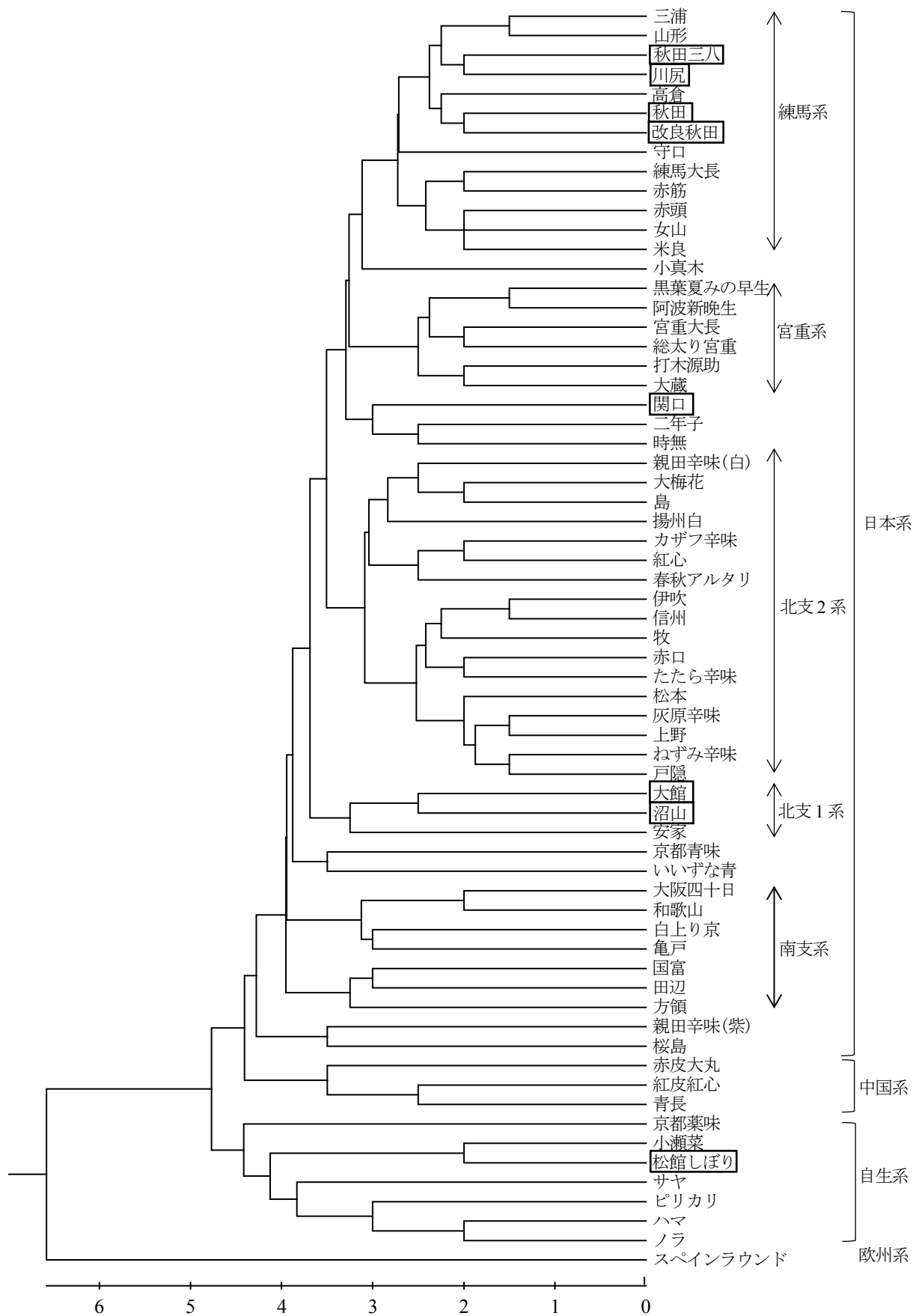


図 1-3-1 表現型に基づくダイコン品種の系統樹 n = 5
秋田県地方品種は四角で囲んだ

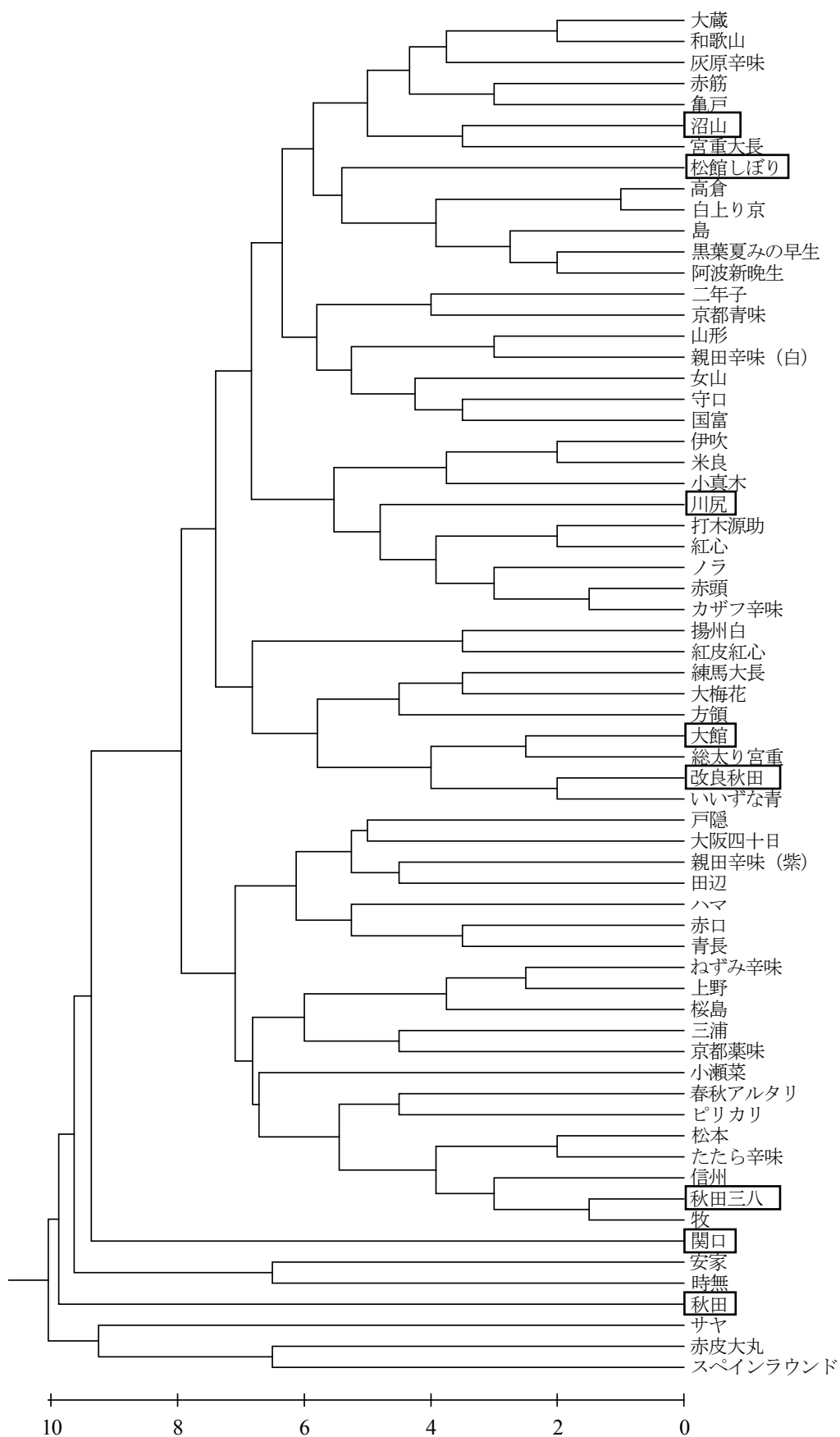


図 1-3-2 SSR マーカー多型に基づくダイコン品種の系統樹 n = 1
秋田県地方品種は四角で囲んだ

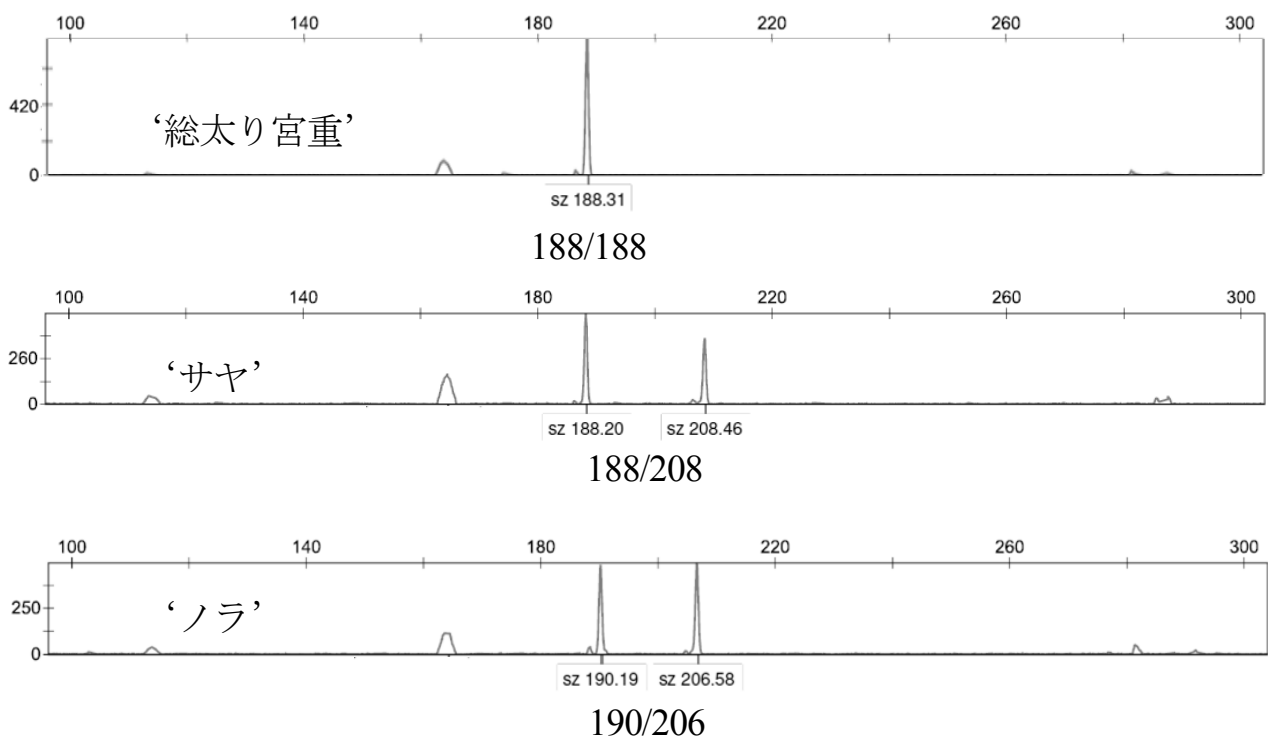


図 1-3-3 RSS2661 におけるダイコン品種‘総太り宮重’，‘サヤ’および‘ノラ’のフラグメント解析

表 1-3-3 8種のSSRマーカーにおける、ダイコン品種の遺伝子型

| 整理番号・地域 | 品種名 | RSS0977 | RSS0033 | RSS2559 | RSS2459 | RSS1971 | RSS3742 | RSS0027 | RSS2661 |
|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1 秋田 | 松館しぼり | 291 / 291 | 226 / 226 | 164 / 188 | 181 / 181 | 220 / 220 | 227 / 227 | 182 / 182 | 188 / 188 |
| 2 秋田 | 大館 | 255 / 255 | 207 / 207 | 192 / 192 | 175 / 181 | 220 / 220 | 227 / 227 | 172 / 172 | 188 / 188 |
| 3 秋田 | 秋田 | 291 / 291 | 222 / 222 | 188 / 188 | 153 / 153 | 220 / 220 | 227 / 227 | 172 / 172 | 188 / 188 |
| 4 秋田 | 川尻 | 255 / 255 | 222 / 222 | 164 / 224 | 175 / 175 | 220 / 220 | 195 / 230 | 174 / 174 | 188 / 188 |
| 5 秋田 | 改良秋田 | 253 / 255 | 207 / 228 | 164 / 192 | 181 / 181 | 232 / 232 | 227 / 227 | 172 / 182 | 188 / 188 |
| 6 秋田 | 秋田三八 | 255 / 255 | 207 / 207 | 188 / 188 | 175 / 181 | 232 / 232 | 195 / 230 | 182 / 182 | 188 / 190 |
| 7 秋田 | 関口 | 255 / 255 | 226 / 226 | 188 / 188 | 181 / 181 | 232 / 232 | 227 / 227 | 172 / 172 | 190 / 190 |
| 8 秋田 | 沼山 | 255 / 255 | 207 / 207 | 235 / 235 | 181 / 181 | 220 / 220 | 227 / 227 | 182 / 182 | 188 / 188 |
| 9 日本 | 山形 | 255 / 255 | 222 / 222 | 188 / 188 | 181 / 181 | 220 / 220 | 230 / 230 | 182 / 182 | 190 / 190 |
| 10 日本 | 小真木 | 255 / 255 | 207 / 222 | 164 / 164 | 181 / 181 | 220 / 232 | 195 / 195 | 174 / 174 | 208 / 208 |
| 11 日本 | 小瀬菜 | 291 / 291 | 226 / 226 | 164 / 188 | 175 / 175 | 232 / 232 | 195 / 195 | 174 / 174 | 188 / 188 |
| 12 日本 | 赤頭 | 255 / 255 | 207 / 207 | 164 / 164 | 175 / 175 | 220 / 220 | 195 / 227 | 174 / 182 | 188 / 188 |
| 13 日本 | 安家 | 255 / 255 | 226 / 226 | 192 / 198 | 175 / 175 | 220 / 220 | 227 / 227 | 182 / 182 | 190 / 190 |
| 14 日本 | 赤筋 | 255 / 255 | 207 / 222 | 192 / 192 | 175 / 175 | 220 / 232 | 230 / 230 | 174 / 182 | 188 / 188 |
| 15 日本 | 赤口 | 247 / 291 | 207 / 207 | 164 / 180 | 175 / 181 | 220 / 232 | 230 / 230 | 182 / 186 | 188 / 188 |
| 16 日本 | 松本 | 255 / 291 | 207 / 207 | 218 / 218 | 175 / 175 | 232 / 232 | 195 / 195 | 182 / 182 | 188 / 188 |
| 17 日本 | 信州 | 255 / 291 | 207 / 228 | 188 / 188 | 175 / 175 | 220 / 232 | 195 / 227 | 182 / 182 | 188 / 188 |
| 18 日本 | 牧 | 255 / 255 | 207 / 207 | 164 / 188 | 175 / 181 | 232 / 232 | 195 / 227 | 182 / 182 | 188 / 208 |
| 19 日本 | 灰原辛味 | 255 / 255 | 207 / 222 | 164 / 164 | 175 / 181 | 220 / 232 | 230 / 230 | 182 / 182 | 206 / 206 |
| 20 日本 | ねずみ辛味 | 291 / 291 | 207 / 207 | 164 / 188 | 181 / 181 | 232 / 232 | 195 / 195 | 174 / 186 | 188 / 188 |
| 21 日本 | 戸隠 | 291 / 291 | 236 / 236 | 164 / 227 | 175 / 181 | 232 / 232 | 227 / 230 | 172 / 177 | 188 / 188 |
| 22 日本 | 上野 | 291 / 291 | 207 / 207 | 164 / 231 | 181 / 181 | 220 / 232 | 195 / 195 | 172 / 172 | 188 / 188 |
| 23 日本 | たたら辛味 | 291 / 291 | 207 / 207 | 164 / 184 | 175 / 175 | 232 / 232 | 195 / 195 | 182 / 182 | 188 / 188 |
| 24 日本 | 親田辛味(紫) | 291 / 291 | 222 / 222 | 235 / 235 | 181 / 181 | 232 / 232 | 230 / 230 | 182 / 182 | 188 / 188 |
| 25 日本 | 親田辛味(白) | 255 / 255 | 226 / 226 | 188 / 227 | 181 / 181 | 220 / 220 | 230 / 230 | 174 / 182 | 190 / 190 |
| 26 日本 | いいずな青 | 255 / 255 | 207 / 228 | 164 / 164 | 181 / 181 | 220 / 232 | 227 / 227 | 172 / 172 | 188 / 188 |
| 27 日本 | 練馬大長 | 255 / 255 | 222 / 226 | 192 / 224 | 181 / 181 | 232 / 232 | 195 / 227 | 174 / 174 | 188 / 188 |
| 28 日本 | 高倉 | 255 / 255 | 226 / 226 | 188 / 188 | 175 / 181 | 220 / 220 | 195 / 195 | 182 / 182 | 188 / 190 |
| 29 日本 | 大蔵 | 255 / 255 | 207 / 226 | 227 / 227 | 175 / 181 | 220 / 220 | 195 / 227 | 182 / 182 | 188 / 206 |
| 30 日本 | 亀戸 | 255 / 255 | 207 / 226 | 192 / 192 | 181 / 181 | 220 / 220 | 230 / 230 | 174 / 182 | 188 / 188 |
| 31 日本 | 二年子 | 255 / 255 | 207 / 207 | 231 / 231 | 181 / 181 | 220 / 220 | 227 / 230 | 174 / 174 | 190 / 190 |
| 32 日本 | 黒葉夏みの早生 | 247 / 255 | 207 / 207 | 188 / 188 | 181 / 181 | 220 / 220 | 195 / 195 | 182 / 182 | 188 / 188 |
| 33 日本 | 三浦 | 291 / 291 | 207 / 207 | 235 / 235 | 175 / 181 | 220 / 232 | 195 / 230 | 174 / 174 | 188 / 206 |
| 34 日本 | 方領 | 255 / 255 | 207 / 207 | 188 / 188 | 181 / 181 | 232 / 232 | 227 / 227 | 174 / 174 | 188 / 188 |
| 35 日本 | 総太り宮重 | 255 / 255 | 207 / 207 | 196 / 196 | 181 / 181 | 220 / 220 | 227 / 227 | 172 / 172 | 188 / 188 |
| 36 日本 | 宮重大長 | 255 / 291 | 207 / 207 | 180 / 180 | 181 / 181 | 220 / 220 | 227 / 230 | 182 / 182 | 188 / 190 |
| 37 日本 | 打木源助 | 255 / 291 | 207 / 222 | 164 / 164 | 181 / 181 | 220 / 220 | 195 / 195 | 174 / 182 | 188 / 190 |
| 38 日本 | 伊吹 | 255 / 255 | 222 / 222 | 164 / 188 | 181 / 181 | 220 / 220 | 195 / 195 | 174 / 174 | 190 / 190 |
| 39 日本 | 守口 | 255 / 255 | 207 / 222 | 192 / 227 | 181 / 181 | 220 / 232 | 227 / 227 | 182 / 182 | 190 / 190 |
| 40 日本 | 大阪四十日 | 255 / 291 | 222 / 222 | 198 / 227 | 175 / 181 | 220 / 232 | 230 / 230 | 172 / 172 | 188 / 208 |
| 41 日本 | 田辺 | 255 / 291 | 220 / 228 | 227 / 227 | 175 / 181 | 232 / 232 | 230 / 230 | 182 / 182 | 188 / 188 |
| 42 日本 | 時無 | 247 / 247 | 222 / 228 | 192 / 192 | 175 / 175 | 220 / 220 | 227 / 227 | 172 / 182 | 186 / 186 |
| 43 日本 | 白上り京 | 255 / 291 | 226 / 226 | 188 / 188 | 181 / 181 | 220 / 220 | 195 / 195 | 182 / 182 | 188 / 190 |
| 44 日本 | 京都青味 | 255 / 255 | 207 / 207 | 231 / 231 | 175 / 181 | 220 / 220 | 195 / 195 | 172 / 182 | 188 / 190 |
| 45 日本 | 京都薬味 | 291 / 291 | 207 / 207 | 235 / 235 | 181 / 181 | 220 / 220 | 195 / 195 | 172 / 182 | 190 / 190 |
| 46 日本 | 和歌山 | 255 / 255 | 207 / 222 | 188 / 227 | 175 / 181 | 220 / 220 | 227 / 230 | 182 / 182 | 188 / 188 |
| 47 日本 | 国富 | 255 / 255 | 207 / 222 | 224 / 235 | 181 / 181 | 220 / 220 | 227 / 227 | 0 / 0 | 190 / 190 |
| 48 日本 | 阿波新晩生 | 255 / 291 | 207 / 222 | 188 / 188 | 181 / 181 | 220 / 220 | 195 / 227 | 174 / 182 | 188 / 188 |
| 49 日本 | 女山 | 255 / 291 | 207 / 226 | 192 / 192 | 181 / 181 | 220 / 220 | 227 / 230 | 172 / 177 | 190 / 190 |
| 50 日本 | 米良 | 255 / 291 | 222 / 222 | 164 / 224 | 175 / 181 | 220 / 232 | 195 / 195 | 174 / 174 | 190 / 190 |
| 51 日本 | 桜島 | 291 / 291 | 222 / 222 | 164 / 188 | 181 / 181 | 232 / 232 | 195 / 227 | 172 / 172 | 188 / 188 |
| 52 日本 | 島 | 255 / 255 | 207 / 207 | 188 / 188 | 181 / 181 | 220 / 220 | 195 / 195 | 177 / 177 | 188 / 188 |
| 53 韓国 | 春秋アルタリ | 255 / 255 | 207 / 207 | 164 / 164 | 175 / 175 | 232 / 232 | 195 / 195 | 172 / 172 | 188 / 188 |
| 54 中国 | 揚州白 | 247 / 247 | 207 / 207 | 164 / 184 | 181 / 181 | 232 / 232 | 227 / 227 | 174 / 174 | 188 / 188 |
| 55 中国 | 青長 | 247 / 247 | 207 / 228 | 164 / 164 | 181 / 181 | 232 / 232 | 195 / 230 | 182 / 182 | 188 / 188 |
| 56 中国 | 赤皮大丸 | 255 / 255 | 207 / 207 | 164 / 164 | 175 / 175 | 169 / 169 | 227 / 227 | 174 / 174 | 186 / 186 |
| 57 中国 | 紅心 | 255 / 291 | 207 / 207 | 164 / 164 | 181 / 181 | 220 / 220 | 195 / 227 | 174 / 186 | 188 / 188 |
| 58 中国 | 紅皮紅心 | 247 / 247 | 207 / 207 | 164 / 164 | 175 / 181 | 169 / 169 | 195 / 227 | 174 / 174 | 188 / 188 |
| 59 台湾 | 大梅花 | 255 / 255 | 222 / 222 | 180 / 180 | 181 / 181 | 220 / 232 | 227 / 227 | 174 / 182 | 188 / 188 |
| 60 タイ | サヤ | 255 / 255 | 0 / 0 | 0 / 0 | 175 / 181 | 169 / 169 | 227 / 230 | 184 / 184 | 188 / 208 |
| 61 カザフスタン | カザフ辛味 | 247 / 255 | 207 / 207 | 164 / 164 | 175 / 175 | 220 / 220 | 195 / 195 | 174 / 174 | 188 / 188 |
| 62 欧州 | スペインラウンド | 255 / 255 | 213 / 213 | 164 / 164 | 175 / 175 | 232 / 232 | 227 / 227 | 174 / 223 | 204 / 204 |
| 63 自生 | ハマ | 291 / 291 | 228 / 228 | 164 / 164 | 175 / 181 | 220 / 232 | 225 / 225 | 182 / 182 | 188 / 188 |
| 64 自生 | ノラ | 255 / 255 | 207 / 207 | 164 / 164 | 175 / 175 | 220 / 220 | 195 / 227 | 182 / 186 | 190 / 206 |
| 65 自生 | ピリカリ | 255 / 255 | 207 / 207 | 192 / 192 | 181 / 181 | 232 / 232 | 195 / 195 | 172 / 186 | 188 / 188 |
| 67 日本(中国) | 錦赤丸 | 247 / 247 | 207 / 222 | 188 / 188 | 175 / 181 | 169 / 169 | 230 / 230 | 182 / 182 | 188 / 188 |
| 68 欧州 | 赤丸20日 | 255 / 255 | 236 / 236 | 164 / 164 | 175 / 181 | 232 / 232 | 222 / 227 | 174 / 174 | 188 / 188 |
| 69 欧州 | パープル | 255 / 255 | 207 / 207 | 164 / 164 | 181 / 181 | 220 / 232 | 222 / 222 | 174 / 174 | 188 / 208 |
| 70 欧州 | 白姫20日 | 255 / 255 | 213 / 213 | 164 / 164 | 175 / 175 | 232 / 232 | 225 / 225 | 174 / 174 | 188 / 188 |
| 71 欧州 | ガウディ2 | 255 / 255 | 236 / 236 | 164 / 164 | 175 / 181 | 232 / 232 | 222 / 225 | 174 / 174 | 188 / 188 |
| 72 欧州 | ブルー | 255 / 255 | 236 / 236 | 164 / 164 | 181 / 181 | 169 / 169 | 225 / 225 | 174 / 174 | 188 / 188 |

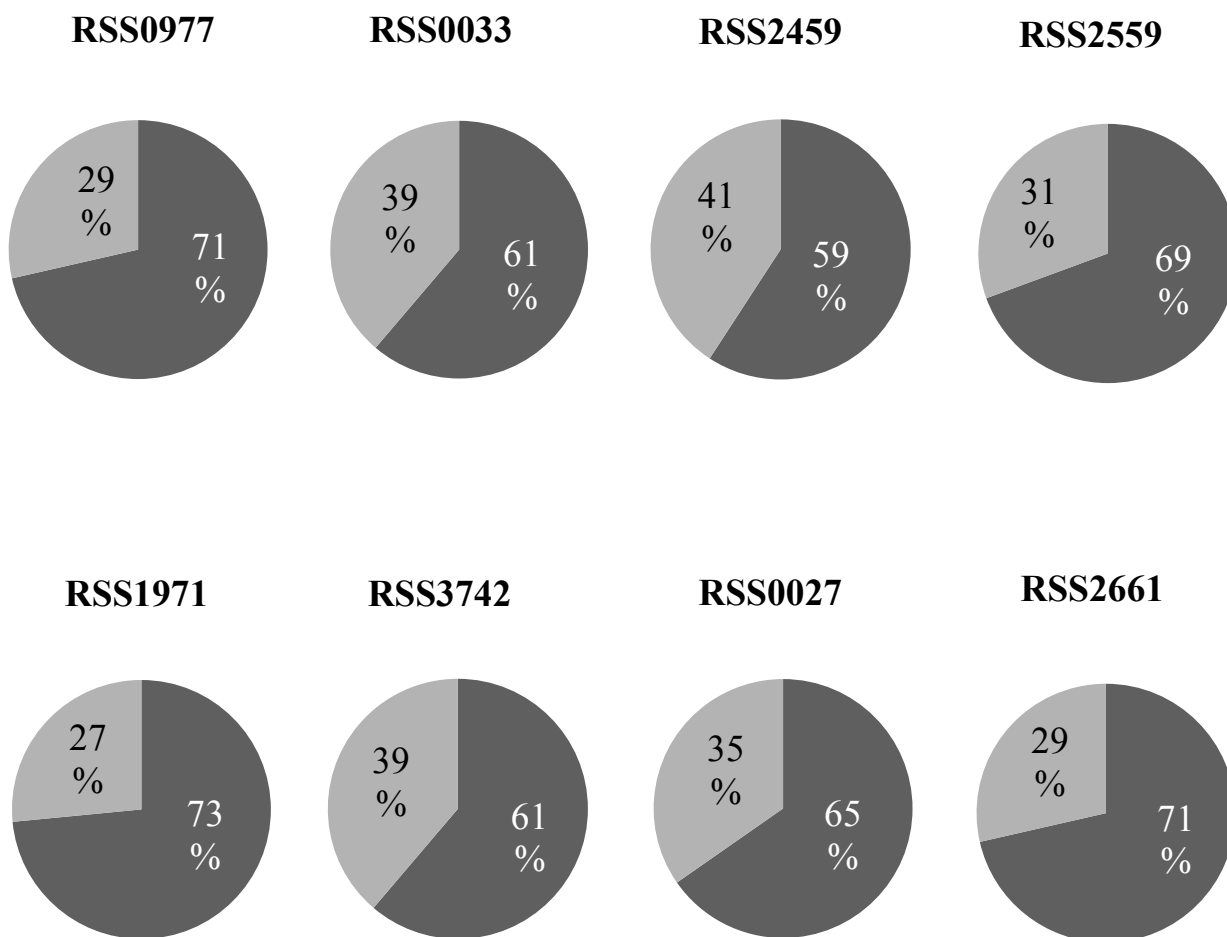


図 1-3-4 導入世代 (S₀) のダイコン品種における 8 種マーカーの接合比率
(49 系統, 各 1 個体の合計) ■ホモ接合 ■ヘテロ接合

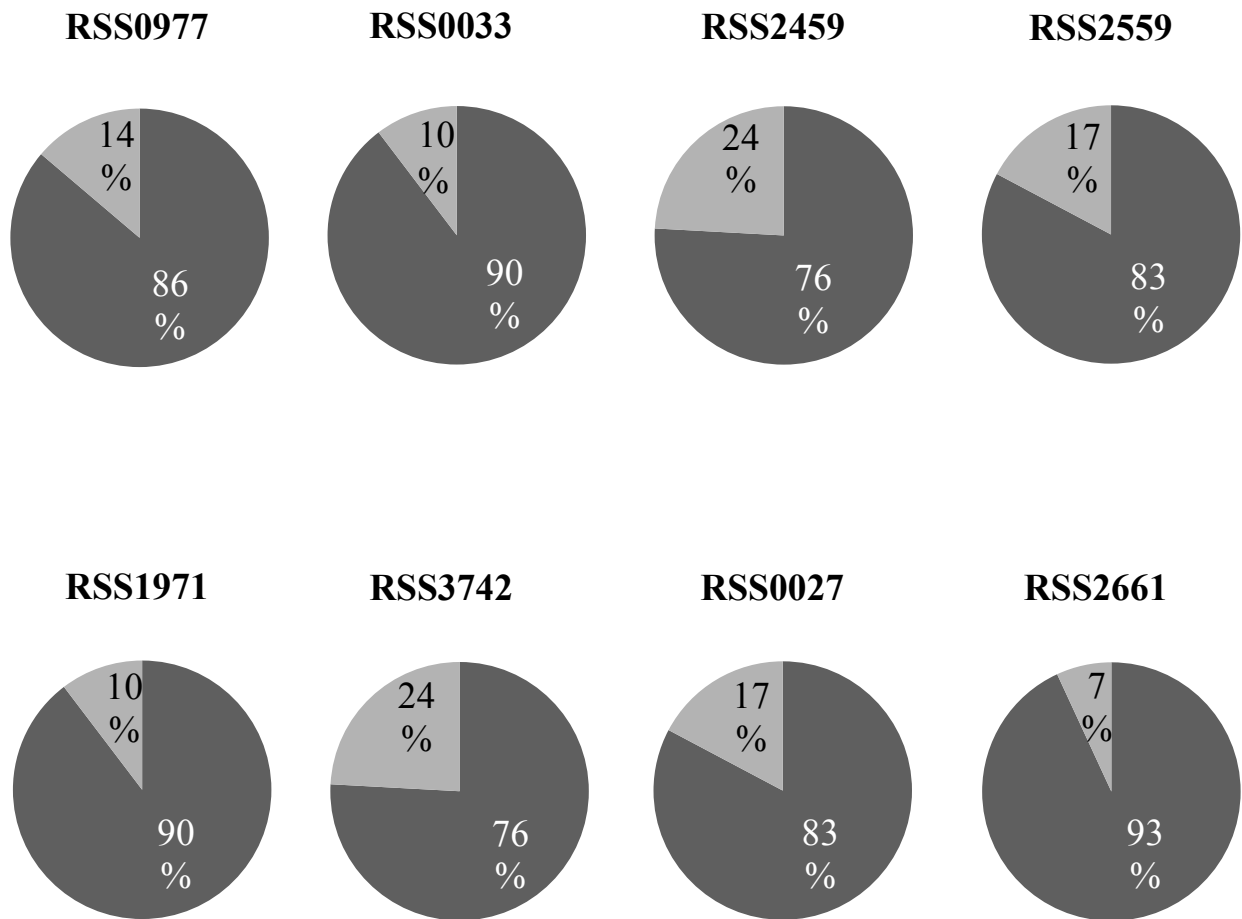


図 1-3-5 自殖第 1 世代 (S_1) のダイコン品種における 8 種マーカーの接合比率 (29 系統, 各 1 個体の合計) ■ ホモ接合 ■ ヘテロ接合

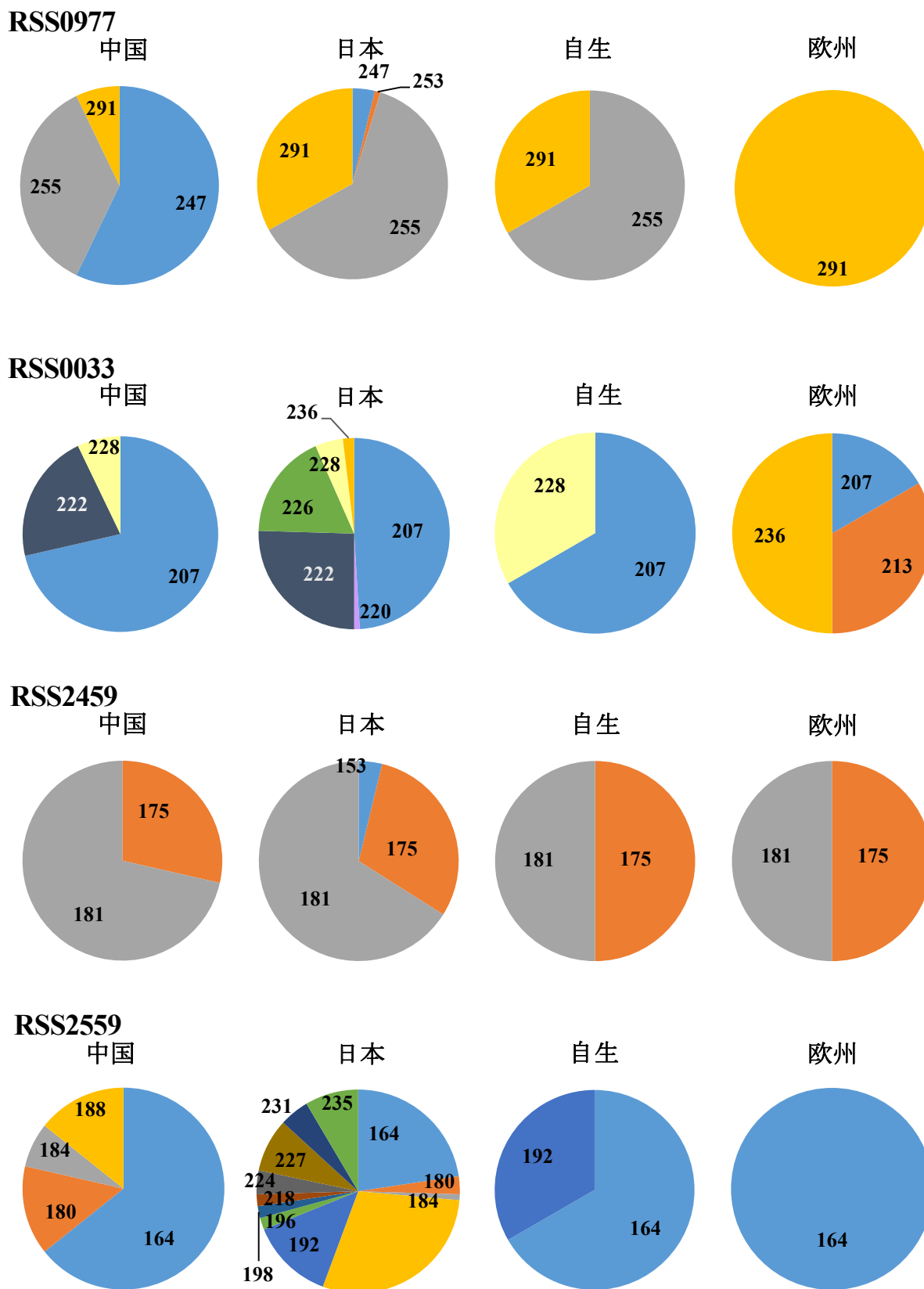
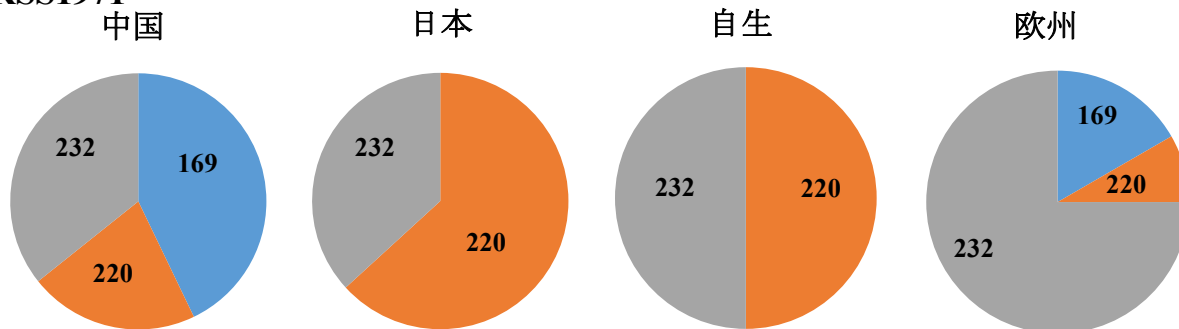


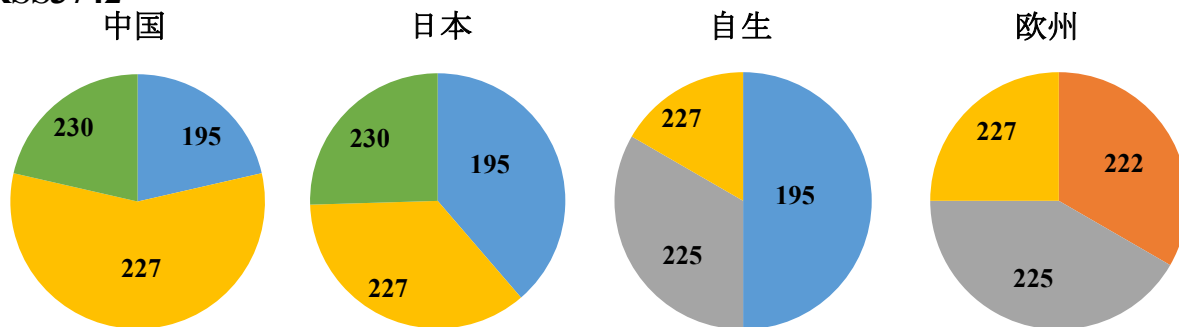
図 1-3-6 ダイコン品種の生育地域ごとのフラグメント割合 (RSS0977, RSS0033, RSS2459, RSS2559)

数値は遺伝子型を塩基数で (bp) で示したもの 中国系 : 7 品種 7 個体, 日本系 : 53 品種 53 個体, 自生系 : 3 品種 3 個体, 欧州系 : 6 品種 6 個体で調査

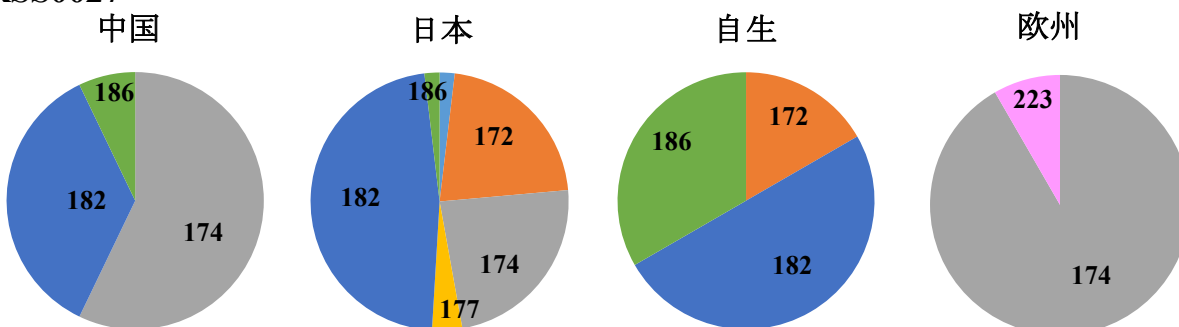
RSS1971



RSS3742



RSS0027



RSS2661

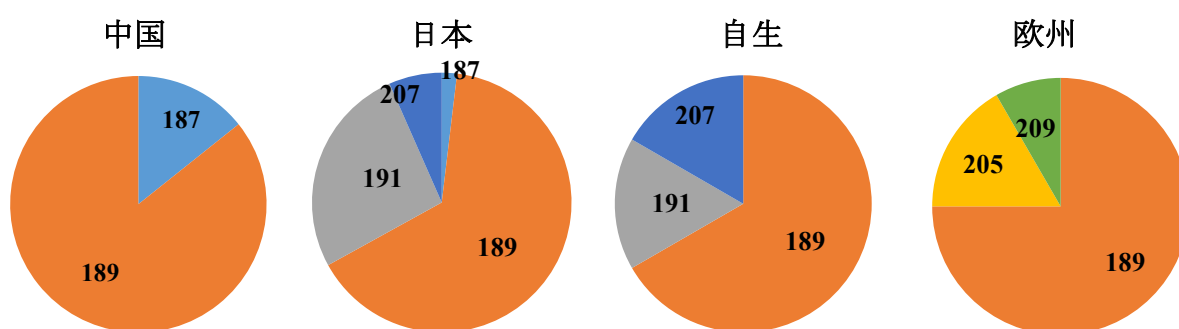


図 1-3-7 ダイコン品種の生育地域ごとのフラグメント割合
(RSS1971, RSS3742, RSS0027, RSS2661)

数値は遺伝子型を塩基数で (bp) で示したもの 中国系 : 7 品種 7 個体, 日本系 : 53 品種 53 個体, 自生系 : 3 品種 3 個体, 欧州系 : 6 品種 6 個体で調査

第2章 アントシアニン系色素発現に関する遺伝解析と育種利用

1. 交雑試験によるアントシアニン系色素の遺伝様式の解明

緒 言

ダイコン類の根部が紫色や赤色に着色するのはアントシアニン色素によることが明らかになっており、赤色はペラルゴニジン配糖体、紫色はシアニジン配糖体と同定されている(加藤ら, 2013)。これまでの研究で、ダイコンの根部におけるアントシアニン系色素の遺伝様式に関しては、根表皮の場合、Hoshi ら(1963)によって名付けられた2つの独立した対立遺伝子、 R と E によって説明され、その遺伝子はアントシアニン合成経路中の酵素に関連づけられている(図2-1-1)。一方、根内部の着色に関しては、浅子ら(2011)が3対の対立遺伝子の関与を示唆しているが、その詳細は不明である。飛驒(1989)は、ダイコン類における色素発現の遺伝様式をとりまとめているが、交配組み合わせによって異なる結果が得られる場合や、白色の個体から有色個体が出現する場合があるなど、遺伝様式は複雑であると報告している。また、近年、根内部が着色するサラダ用 F_1 品種が次々と発表されているが、いずれも非着色個体が数%程度混入すると注意書きを添付して販売されているが、そのメカニズムは不明である。

以上のようにアントシアニン系色素の遺伝様式は不明な点が多く、着色系品種を育成する上で、その遺伝メカニズムを明らかにしておく必要がある。

そこで、本章では、アントシアニン系色素を有する品種育成に資するため、アントシアニン系色素の発現部位が異なるいくつかの固定系統を育成し、相互に交配して F_1 、 F_2 およびBC世代を作出し、その表現型に基づく遺伝様式の解明を試みた。また、SSRマーカーの多型を利用して、DNAの遺伝子型に基づく遺伝様式の解明と原因遺伝子の座位推定を行った。

材料および方法

1) 供試品種

供試品種を表2-1-1に示した。いずれの系統も自家不和合性を有するために蓄受粉を繰り返して育成した固定系統である。それぞれの系統は、根色とともに、その着色部位も異なっている(図2-1-2)。各系統にはHoshiら(1963)の仮説に従い、既知の遺伝子記号 R および E を表示している。さらに、本試験では色素の発現部位の違いにより、遺伝様式も異なることが予想されたため、 R を発色部位別にさらに細分し、 R^a (表皮・皮層が着色)、 R^b (木部柔組織のみ着色)、 R^c (表皮・皮層・木部柔組織の全てが着色)、 R^{d1} (表皮のみ着色)および R^{d2} (ラデッシュにおける、表皮のみ着色)の記号を付与して実験を進めた。

2) F_1 、 F_2 、BC世代の育成と採種

秋田県農業試験場内ガラス室において、2012~2015年の2~3月に、親系統または F_1

系統を播種した。播種時には地温を 20°C に保って発芽を促進したが、発芽後は加温せず、最低室温を 5°C に設定して換気を行い、外気温に近い条件で栽培した。苗は 15 cm ポリポットで養成し、5~6 月の開花時に蕾受粉によって交配した。開花 50~60 日後、成熟した莢を採種して乾燥させた。採種は全て個体毎に行った。

3) 表現型の調査

採種した種子を、秋田県農業試験場内露地ほ場に、2013~2015 年の 8~9 月に播種した。畝幅 60 cm の平畝に、条間 30 cm の 2 条を確保し、株間 10 cm で 1 粒ずつ播種した。施肥は基肥のみで、N : P₂O₅ : K₂O をそれぞれ 10 kg · 10 a⁻¹ 施用した。収穫は 11~12 月に行った。調査は全個体で行い、目視により根部表皮の色を分類した後、根中央部を横に切断して根内部（皮層および木部柔組織）における色の種類と着色部位を目視により調査した。一部個体については、15 cm ポリポットに鉢上げして翌年開花させ、花色を調査した。F₂ および BC 世代で得られた分離比は、理論値に適合するかの χ^2 検定を行った。理論値は、1 対の対立遺伝子による場合（紫色 : 白色、紫色 : 赤色）はそれぞれ 3 : 1 (F₂) および 1 : 1 (BC)、2 対の独立した対立遺伝子による場合（紫色 : 赤色 : 白色）は条件遺伝子の分離比 9 : 3 : 4 (F₂) および 1 : 1 : 2 (BC) とした。また、2 対の独立した対立遺伝子で組換え価 20% で連鎖している場合（紫色 : 赤色 : 白色）は 42.24 : 5.76 : 16.00 (F₂) または（紫色 : 赤色 : 白色紫花色 : 白色赤花色）は 42.24 : 5.76 : 5.76 : 10.24 および（紫色 : 赤色 : 白色）で 3.2 : 0.8 : 4.0 (BC) とした。

4) DNA の遺伝子型調査

サンプルは、前述の表現型の調査に用いた植物体から採取した。

(1) DNA の抽出

ダイコン生葉を約 50 mg 採取し、2 mL マイクロチューブに直径 5 mm のステンレスボールとともに入れ、ビーズ式細胞破碎装置 (TOMY Micro Smash MS-100) で 3,000 rpm, 30 秒間遠心して粉碎した。ステンレスボールを取り除いた後、DNA 抽出溶液を 500 μ L 加えて軽く攪拌して DNA を抽出し、12,000 rpm, 4°C, 20 分間遠心した。上清 270 μ L を、5 M 酢酸カリウムを 135 μ L 入れた新しい 1.5 mL マイクロチューブに加え、ピペットで丁寧に混ぜ、氷上または冷蔵庫で 30 分間冷却して多糖類を凝固させ、12,000 rpm, 4°C, 20 分間遠心した。上清 250 μ L を、150 μ L の結合溶液を入れた DNA 結合プレート (Corning 3511) に加え、ピペットで丁寧に攪拌して DNA 結合プレートに結合させた。続いて、DNA 結合プレートを廃液プレート (ritter riplate medio) に乗せ、1,800 rpm, 3 分間遠心し、DNA 結合プレートに DNA を残し、廃液プレートにたまった液を捨てた。洗浄は、DNA 結合プレートに 80% エタノールを 180 μ L 入れ、廃液プレートに乗せ、1,800 rpm, 3 分間遠心して廃液プレートにたまったエタノールを捨てる操作を 2 回繰り返して行った。洗浄後、エタノールを蒸発させた DNA 結合プレートに 1×TE を 200 μ L 入れ、DNA 保存プレート (Corning 3344) に乗せ、1,800 rpm, 15 分間遠心して DNA 保存プレート内に DNA 溶液を得た。DNA 溶液は、シールして -30°C の冷凍庫で保存した。

(2) PCR 反応

Shirasawa ら (2011) が公開した遺伝地図を参考に、ダイコンの 9 本の染色体上のそれぞれから 4~7 種類の SSR マーカーを選び、合わせて 48 種類の SSR マーカーを選定した。これら 48 マーカーの中から予備的な調査で親系統の間で比較的明瞭な PCR 増幅産物の多型が確認された 10~12 マーカーを選んだ (表 2-2-1, 表 2-2-2)。その後、染色体座乗領域を狭めていく過程で、適宜多型の認められるマーカーを加えていった。PCR 反応溶液は、ゲノム DNA が 1 μ L, Forward 側および Reverse 側プライマーがそれぞれ 1 μ L, *Ex Taq* DNA ポリメラーゼ ((株) タカラバイオ) が 0.1 μ L, 10 \times *Ex Taq* Buffer が 2 μ L, dNTP が 1.6 μ L に滅菌水を合わせて 20 μ L とした。PCR 反応は、94 $^{\circ}$ C \cdot 2 分の前処理後、94 $^{\circ}$ C \cdot 30 秒, 55 $^{\circ}$ C \cdot 30 秒, 72 $^{\circ}$ C \cdot 30 秒を 1 サイクルとして 35 サイクル行い、72 $^{\circ}$ C \cdot 7 分の保温を行った。

(3) 電気泳動

PCR 増幅産物は、アガロースゲル電気泳動法 (2.5%Metaphor, 1 \times TBE Buffer) で分画し、エチジウムブロマイド染色後にトランスイルミネータ (UV 照射装置) を用いて可視化して CCD カメラで画像を取得した (図 2-2-2)。

結 果

1) 白色系品種の *E* 遺伝子型の判別 (\times ‘P-赤丸’ : $R^{d-2}R^{d-2}ee$)

根色が白色系の品種と赤色系の品種 (‘P-赤丸’ : $R^{d-2}R^{d-2}ee$) の交雑 F_1 では、白色系品種が *E* 対立遺伝子を持つ場合は紫色 ($R^{d-2}rEe$) に、白色系品種が *e* 対立遺伝子を持つ場合は赤色 ($R^{d-2}ree$) となる (検定交雑)。本試験で、 F_1 の根色が赤色となったのは全 55 品種中、中国品種の‘青長’のみであった。この結果から、‘青長’の遺伝子型は *rree*, それ以外の白色系品種は全て *rrEE* と判別された (表 2-1-2)。

2) アントシアニン系色素の遺伝解析

(1) F_1 世代の根色

全ての組み合わせにおいて正逆交配を行ったが、いずれの組み合わせにおいても、色素発現の表現型に、正逆交配での違いは認められなかった (図 2-1-3, 図 2-1-4)。図に示された表現型の他に、一部の組み合わせにおいては、両親または一方の親に着色固定系統を用いているにも関わらず、 F_1 世代で根部が着色しない変異株が分離出現した (表 2-1-3)。

色の種類に着目すると、全ての組み合わせで、紫 (*RE*) \times 赤 (*Re*) の F_1 は紫 (*RE*)、紫 (*RE*) \times 白 (*r-*) の F_1 は紫 (*RE*)、赤 (*Re*) \times 白 (*rE*) の F_1 は紫 (*RE*)、赤 (*Re*) \times 白 (*re*) の F_1 は赤 (*Re*) となった (図2-1-3, 図2-1-4)。

着色部位に着目すると、木部柔組織のみ着色が認められる‘P-12’ (R^bE) および‘P-紅心’ (R^be) は、自殖および相互に交配した場合には、木部柔組織のみ着色するが、その他の組み合わせ (表皮および皮層が着色する系統, あるいは白色系統との交雑) では、表皮、皮層および木部柔組織ともに着色が認められた (図 2-1-3)。葉柄色は、根部表皮色と関連

しており、‘P-12’×‘P-3s’では、両親ともに葉柄色が緑色であるが、F₁では葉柄が紫色に着色した。ラデッシュでは、根の基部が赤色で、根端が白色になる‘P-ガウディ’と全体が赤い‘P-赤丸’とのF₁は全体が赤色となった（図 2-1-4）。

色の濃淡に着目すると、F₁は両親の濃い方～中間となった。木部柔組織の着色（R^b）の濃淡は、F₁において、ほぼ両親系統の中間となった（図 2-1-3）。ラデッシュでは、有色系（R^{d-2}）×白色系では中間のやや淡色となった。‘P-赤丸’の赤色は濃く、‘P-パープル’との交雑では紫色が濃く現れ、‘P-白姫’との交雑では、‘P-パープル’を用いた場合と比較して淡色となった（図 2-1-4）。

（2）F₂およびBC世代の根色

表皮および皮層が紫色の‘P-6’（R^aE）と、白色の‘P-3s’（rE）を交雑したF₂では、全ての組み合わせの全個体で紫色：白色が3：1の分離比に適合し、同様にBCでは1：1の分離比に適合した（表 2-1-4）。

表皮が赤色の‘P-赤皮’（R^{d-1}e）と、白色の‘P-34’（re）を交雑したF₁およびF₂は赤色の発色が淡色であったため、少しでも赤が発色している個体は赤色として調査した。F₂では赤色：白色が3：1の分離比に適合した（表 2-1-4）。

表皮が赤色の‘P-赤皮’（R^{d-1}e）と、表皮および皮層が紫色の‘P-6’（R^aE）を交雑したF₂では、赤色が理論値よりやや多い傾向が見られたが、紫色：赤色の比率は3：1の分離比に適合した（表 2-1-4）。

表皮および皮層が紫色の‘P-6’（R^aE）と、白色の‘P-34’（re）を交雑した2対の対立形質に着目したF₂の分離比は、それぞれの形質が独立して遺伝する紫色：赤色：白色の条件遺伝の分離比9：3：4に適合せず、BCの分離比でも同様の分離比1：1：2に適合しなかった（表 2-1-4）。いずれも理論値と比べて紫色の個体が少なく、赤色個体が多かった。

そこで組換え価20%と仮定した分離比42.24：5.76：16.00で検定すると、よく適合した（表 2-1-4）。さらに、同じ組み合わせにおいて白色個体を開花させ、花色が紫色の場合の遺伝子型がrrE-、花色が桃赤色の遺伝子型がrreeと仮定すると、組換え価20%の場合の分離比根色紫（R^a-E-）：根色赤（R^a-ee）：根色白・花色紫（rrE-）：根色白・花色桃赤（rree）は42.24：5.76：5.76：10.24によく適合した。また、それぞれの遺伝子毎に分けて調査すると、根部着色：根部白色は3：1に適合しており、根あるいは花色が紫色系：根あるいは花色が赤色系は3：1に適合していた（表 2-1-5）。

ともに白色の‘P-3s’（rE）と‘P-34’（re）を組み合わせたF₂では、全個体が白色となり、有色個体はなかった（表 2-1-4）。

表皮が赤色の‘P-安 83’（R^{d-1}e）と、表皮および皮層が赤色の‘P-安 87’（R^ae）を交雑したF₂では、表皮および皮層が赤色：表皮が赤色：白色は、12：3：1の分離比に適合した（表 2-1-6）。

‘P-3s’（rE）と‘P-12’（R^bE）のF₂では、根部が紫色と白色が3：1の分離比に適合した（表 2-1-7）。木部柔組織の着色はほとんどの着色個体で確認されたが、木部柔組織が着色する個体と、表皮及び皮層が着色する個体は連続的に出現し、階級分けはできなかった（データ省略）。さらに‘P-12’を戻し交雑した結果、分離が期待されない白色個体が3個体、全体の1.1%出現した（表 2-1-7）。

‘P-6’ (R^aE) と ‘P-紅心’ (R^be) および ‘P-紅くる’ (R^ce) の F_2 では、根部が紫色の個体と赤色の個体が 3 : 1 の分離比に適合したが (表 2-1-7), 木部柔組織の着色と表皮及び皮層の着色の程度は連続的で階級分けはできなかった (データ省略). 本組み合わせでも F_2 で分離が期待されない白色個体が, 全体の 0.7% 分離した.

‘P-6’ (R^aE) と ‘P-12’ (R^bE) の F_2 の着色部位は連続的で不明瞭で階級分けできなかった (データ省略). 本組み合わせでも, 戻し交雑で分離が期待されない白色個体が全体の 1.2% 分離した (表 2-1-7).

‘P-34’ (re) と ‘P-紅心’ (R^be) および ‘P-紅くる’ (R^ce) の F_2 では、根部が赤色の個体と白色の個体が分離し, 3 : 1 の分離比に適合する組み合わせもあったが, ほとんどは適合せず, 2 : 1 程度となり, 理論値と比べて白色の比率が高い場合が多かった (表 2-1-7).

‘P-赤丸’ ($R^{d1}e$) と ‘P-紅心’ (R^be) および ‘P-紅くる’ (R^ce) の F_2 では、根部の表皮および皮層が赤色の個体と白色の個体が分離し, 3 : 1 の分離比に適合した (表 2-1-7). 本組み合わせでは, 表皮のみ赤色の個体が出現せず, 代わりに白皮白肉個体が分離出現した.

‘P-34’ (re) と ‘P-12’ (R^bE) の F_2 は, それぞれの形質が独立して遺伝する分離比である紫色 : 赤色 : 白色 = 9 : 3 : 4 に適合しなかった (表 2-1-7). また, 組換え価 20% と仮定した場合の分離比である紫色 : 赤色 : 白色 = 42.24 : 5.76 : 16.00 でも適合しなかった. 紫色と赤色の出現率は適合値に近かったが, 白色の比率が高かった. ‘P-12’ を戻し交雑した結果, 分離が期待されない赤色および白色個体があわせて全体の 3.0% 分離した (表 2-1-7).

‘P-3s’ (rE) を交配親とし, ‘P-紅心’ (R^be) および ‘P-紅くる’ (R^ce) を組み合わせた F_2 の分離比は, それぞれの形質が独立して遺伝する分離比 9 : 3 : 4 に適合するものは少なかった (表 2-1-7). 組換え価 20% と仮定した場合の分離比 42.24 : 5.76 : 16.00 では, ‘P-紅心’ (R^be) との F_2 では適合したが, ‘P-紅くる’ (R^ce) との F_2 では白色個体が多かったことから理論値に適合しなかった (表 2-1-7).

‘P-紅心’ (R^be) と ‘P-12’ (R^bE) の F_2 では, 木部柔組織でのみ発色し (データ省略), 紫色と赤色の出現率が 3 : 1 の分離比に適合した (表 2-1-7).

根の表皮が紫色の ‘P-パープル’ ($R^{d2}E$) と白色の ‘P-白姫’ (rE) の F_2 では, 根部が紫色と白色の出現率が 3 : 1 の分離比に適合した (表 2-1-8).

根部が紫色の ‘P-パープル’ ($R^{d2}E$) と, 赤色の ‘P-ガウディ’ ($R^{d2}e$) および ‘P-赤丸’ ($R^{d2}e$) の F_2 では, 根部色が紫色と赤色の出現率が 3 : 1 の分離比に適合した (表 2-1-8).

根部が赤色の ‘P-ガウディ’ ($R^{d2}e$) および ‘P-赤丸’ ($R^{d2}e$) を交配親として, ‘P-白姫’ (rE) を組み合わせた F_2 の分離比は, それぞれの形質が独立して遺伝する分離比 9 : 3 : 4 に適合した (表 2-1-8).

(3) 木部柔組織が着色する系統の固定度調査

供試系統の中で, F_1 世代において分離が認められたのは, 主に木部柔組織が着色する系統を交配親に用いた場合であったことから, 個体数を増やして親系統の固定度を調査した (表 2-1-9).

親系統の自殖後代では, ‘P-12’ は, 個体差があるものの 0.06% ~ 0.31%, 全体では 0.18% (4,432 個体中 8 個体) で, 根部が着色しない白色の個体が分離した. ‘P-紅くる’

では 0.55% (728 個体中 4 個体), 'P-紅心' では 0.55% (182 個体中 1 個体) で, 根部が着色しない白色の個体が分離した.

交配親に白色の 'P-3s' を用いた F_1 世代では, 'P-12' と 'P-3s' の F_1 では 1.03~4.07%, 'P-紅くる' と 'P-3s' 系の F_1 では 3.23~11.52%, 'P-紅心' と 'P-3s' 系の F_1 では 4.69~6.86% と, 自殖後代と比較して 10 倍以上高い白色個体の出現率であった.

3) DNA の遺伝子型解析

(1) 親系統 'P-6' (R^aR^a) と 'P-3s' (rr) の組み合わせによる F_2 世代 (R^a 遺伝子解析)

供試した 48 種類の SSR マーカー (図 2-2-1) のうち, 両親系統間で多型が認められたのは, 12 マーカーであった (表 2-2-1). これら 12 マーカーを用い, F_2 世代で根色が白色で劣性ホモの表現型を示す個体 (rr) を用いて遺伝子型を調べたところ, RSS1781 と RSS3362 でバンドパターンと表現型の一致率が高く (それぞれ 90.7%), その他のマーカーでは一致率は低かった (図 2-2-2, 表 2-2-2). 表現型の分離比から遺伝因子は単因子であることが推測されていることから, とともに第 1 連鎖群に存在するマーカー RSS1781 および RSS3362 付近に R^a 遺伝子が座乗する可能性が高かった.

(2) 親系統 'P-6' (R^aR^aEE) と 'P-34' ($rree$) の組み合わせによる F_2 世代 (R^a 遺伝子と E 遺伝子の同時解析)

供試した 48 種類の SSR マーカーのうち, 両親系統間で多型が認められたのは, 10 マーカーであった (表 2-2-1). これら 10 マーカーを用い, F_2 世代で根色が白色 ($rr-$) または赤色 ($R-ee$) の表現型を示す個体を用いて遺伝子型を調べたところ, 白色個体は RSS3362 でバンドパターンと表現型が高い一致率 (それぞれ 93.5%) を示し, 次いで, RSS0403, RSS0080 がやや高い一致率を示し, その他のマーカーでの一致率は低かった (表 2-2-3). 赤色個体では RSS0403 および RSS0080 がそれぞれ 95.5%, 86.4% と高い一致率を示し, RSS3362 も 50.0% と比較的高い値を示した. 表現型の分離比から遺伝因子は単因子であることが推測されており, R^a 遺伝子とともに E 遺伝子も, 第 1 連鎖群に存在し, マーカー RSS0403 および RSS0080 付近に座乗する可能性が高かった.

(3) 遺伝子の座乗領域の絞り込み

遺伝子の座乗が予測される近傍のマーカーを追加し, 座乗領域の絞り込みを試みた (表 2-2-4, 表 2-2-5). その結果, R^a 遺伝子と E 遺伝子はともに, 第 1 連鎖群に座乗し, R^a 遺伝子は, マーカー RSS0553 と RSS0893 に挟まれる範囲 (54.4~63.4cM) に, E 遺伝子はマーカー RSS3362 と RSS2744 に挟まれる範囲 (83.9~103.6cM) にあるとされた (図 2-2-3). しかし, 公開され, かつ多型を示すマーカーは限られているため, 現状ではこれ以上の領域の絞り込みは困難であった.

考 察

1) アントシアニン発現の遺伝メカニズム

アントシアニンの生合成経路は、多くの植物で研究され、共通した発現経路が明らかになっており、ダイコンにも適応できると考えられる。ダイコンにおけるアントシアニン系色素については、赤色系がペラルゴニン、紫色系がシアニンであるとされている(加藤ら, 2013)。

E 遺伝子を保持せず根部が赤色の品種は、葉柄、花茎および花卉といった植物体の全身で赤色が発現した(データ省略)。このことから *E* 遺伝子の作用は植物体全体に及び、アントシアニン生合成経路に当てはめると、*E* 遺伝子は F3'H (フラボノイド 3'-水酸化酵素) に関与していると考えられた(図 2-1-1)。一方、*R* 遺伝子を持たずに根が白色の品種であっても、葉柄、花茎および花卉は紫色や赤色に着色している場合がほとんどであった。このことから、根が白色の品種には、アントシアニン生合成経路の ANS (アントシアニン合成酵素) や DFR (ジヒドロフラボノール 4-還元酵素) に関与する遺伝子は存在しており、従来の *R* 遺伝子は根部の色素発現に関与する着色調節遺伝子である可能性が示唆された。

2) アントシアニン系色素の遺伝様式

(1) 白色系品種の *E* 遺伝子型の判別

根部がアントシアニンによって着色せず、白色を呈する品種には、*E* 対立遺伝子を持つ品種 (*rrEE*) と持たない品種 (*rree*) の存在が予想された。本試験の結果見いだされた‘青長’は、実用品種の中では、唯一の *E* 遺伝子をもたない品種であった。中国には *E* 対立遺伝子を持たない赤色のダイコンがいくつか存在しており、‘青長’は、これら *E* 対立遺伝子を持たない赤色のダイコンから分離育成された白色品種の可能性がある。さらに、一般的なダイコンの種子色が茶色であるのに対し、‘青長’の種子色は淡い白茶色である。種子色が白茶色の品種に、中国の赤色系品種‘赤皮大丸’がある(表 1-1-2A) ことも、‘青長’と中国の赤色系品種の近縁性を示唆しているものと考えられた。

一方、わが国に分布する白色系地方品種については、全て *E* 遺伝子型を持つことが判明した。Hoshi ら (1963) は‘聖護院’ (白色) と‘コメット’ (赤色) の F₁ が紫色となったことから、‘聖護院’は *E* 対立遺伝子を持っているとされていたが、今回の解析により、わが国のダイコンに広く *E* 対立遺伝子が存在していることが明らかになった。

一般に赤ダイコンと呼ばれるわが国の有色系ダイコン品種のほとんどは紫色系品種で、赤色を呈する品種はほとんどない。山口県の伝統野菜‘岩国赤’ (‘錦赤丸’) は明治時代の後半に中国から導入されたことがわかっており、それを除くと、わが国の有色系地方品種の中で赤色を呈するのは岩手県の‘安家’および九州地方の赤ダイコン群の 2 品種しか知られていない。今後、これら、わが国の赤ダイコンの *e* 遺伝子の起源を探ることは、アントシアニン系色素の遺伝解析にも有効と考えられる。

(2) R と E 遺伝子の遺伝様式

本試験では多数の交配組み合わせを行ったが、正逆交雑で、 F_1 における表現型に差が認められなかったことから、アントシアニン系色素の遺伝様式には細胞質は関与していないと推測された。

本試験で行った F_1 および F_2 の調査結果を、まとめて考察すると以下の結論が導かれた。

紫色 (R^aE) × 白色 (rE) の F_1 (R^arEE) は紫色、 F_2 では、紫色 : 白色が 3 : 1 に、BC では 1 : 1 の分離比に適合し、白色 (rE) × 紫色 (R^bE) の F_1 (R^brEE) は紫色、 F_2 では、紫色 : 白色が 3 : 1 の分離比に適合した。また、紫色 ($R^{d-1}E$) × 白色 (rE) の F_1 ($R^{d-1}rEE$) は紫色、 F_2 では、紫色 : 白色が 3 : 1 の分離比に適合し、赤色 ($R^{d-1}e$) × 白色 (re) の F_1 ($R^{d-1}ree$) は赤色、 F_2 では、赤色 : 白色が 3 : 1 の分離比に適合した。以上のことから R^a 、 R^b および R^{d-1} はそれぞれ r^a 、 r^b 、 r^{d-1} に対して単因子優性と考えられた。

表皮のみ赤色 ($R^{d-1}e$) × 皮層が赤色 (R^1e) の F_1 ($R^aR^{d-1}ee$) は皮層が赤色、 F_2 では、白色個体が分離出現し、皮層が赤色 : 表皮のみ赤色 : 白色が 12 : 3 : 1 の分離比に適合したことから、 R^a と R^{d-1} は対立遺伝子ではなく、別の遺伝子で、 R^{d-1} の発現に対して R^a の発現が優性であると考えられた。

赤色 ($R^{d-1}e$) × 紫色 (R^aE) の F_1 ($R^aR^{d-1}Ee$) は紫色、 F_2 では、紫色 : 赤色が 3 : 1 の分離比に適合し、紫色 (R^aE) × 赤色 (R^be 、 R^ce) の F_1 (R^aR^bEe 、 R^aR^cEe) は紫色、 F_2 では、紫色 : 赤色が 3 : 1 の分離比に適合した。また、赤色 (R^be) × 紫色 (R^bE) の F_1 (R^bR^bEe) は紫色、 F_2 では、紫色 : 赤色が 3 : 1 の分離比に適合し、紫色 ($R^{d-1}E$) × 赤色 ($R^{d-1}e$) の F_1 ($R^{d-1}R^{d-1}Ee$) は紫色、 F_2 では、紫色 : 赤色が 3 : 1 の分離比に適合した。以上のことから E は e に対して単因子優性と考えられた。

紫色 (R^aE) × 白色 (re) の F_1 (R^arEe) は紫色、 F_2 では、紫色 : 赤色 : 白色がそれぞれの形質が独立して遺伝している 9 : 3 : 4 の分離比に適合せず、BC でも同様に 1 : 1 : 2 に適合しなかった。そこで組換え価 20% と仮定した分離比 42.24 : 5.76 : 16.00 で検定するとよく適合したことから、 R^a 遺伝子と E 遺伝子には連鎖があると考えられた。

赤色 ($R^{d-2}e$) × 白色 (rE) の F_1 ($R^{d-2}rEe$) は紫色、 F_2 では、紫色 : 赤色 : 白色がそれぞれの形質が独立して遺伝している 9 : 3 : 4 の分離比に適合したことから、 R^{d-2} 遺伝子と E 遺伝子は連鎖していないと考えられた。すなわち、 R^a 遺伝子と R^{d-2} 遺伝子は、染色体の座乗位置が異なると考えられた。

以上の結果からは、赤色、紫色、白色といった色の種類のみを考慮すると、赤色が Re 、紫色が RE 、白色が rE または re という従来の R と E の遺伝子の単因子優性遺伝で説明できることが確認された。

色の濃淡は交配相手の白色品種の種類に影響を受けやすく、 F_1 でも、親とほとんど変わらない程濃い色が発生する組み合わせから、薄い色になる組み合わせまで様々であった。特に濃い色から分離出現した白色系統を用いると F_1 は濃い色となる (図 2-1-5)。また、 R^{d-1} は濃い色の親系統を用いても、 F_1 では極淡色となる特徴があった (図 2-1-6)。以上のことから色の濃淡は遺伝子をホモに持つあるいはヘテロに持つといった遺伝子の数によるものでなく、色素の発現量をつかさどる別の遺伝子が白色品種に存在し、それが関与しているものと推測される (植物にとって野生型が本来の姿であるとするならば、根部の着色を押さえる遺伝子を野生型が持ち、それが機能しない場合に根部の発色が認められると考え

ることが妥当である)。この結果は、根部の発色が良いF₁品種を作出する場合、必ずしも発色が優れた有色系品種同士を掛け合わせなくとも、片親に着色を押さえる遺伝子を持たないか、あるいは働きの弱い系統を用いることも有効であることを示唆していた。

本試験では、表皮の全体が着色する‘P-赤丸’および‘P-錦’と、表皮の抽根部のみが着色する‘P-安83’は、ともにR^{d-1}eと表記している。これは、全面に発色する系統であっても、根端部が白くなる場合があることや、両者を交配したF₂世代では、明確な分離が見られないことを総合して考えた場合に、発色そのものは同一の遺伝子によると思われるからである。しかし、発色の濃淡については、他にも遺伝的な背景も関与していると思われる。

SSR マーカーを利用したDNA調査の結果は、表現型の調査でR^a遺伝子とE遺伝子が連鎖していると推測した結果を裏付けるものとなった。表現型の調査で組換え価は20%と予想したが、DNA調査でもほぼそれに近い位置に離れて両者の遺伝子が座乗していることが確認された。また今回の試験で着色に関するR^a遺伝子とE遺伝子が、共に第1連鎖群に存在することが明らかになった。しかし、交配試験からR^{d-1}やR^{d-2}遺伝子の座乗位置は、R^a遺伝子と異なっていることが予想される。またR^b、R^c、R^{d-1}およびR^{d-2}遺伝子の座乗位置も明らかになっていない。これらR遺伝子の座乗位置についてはさらに解析する必要がある。

(3) 色素発現機構における易変遺伝子の存在

数十株の調査において親系統の固定を確認しているにもかかわらず、その系統を用いたF₁において、数%程度の確率で着色に関する別の表現型が分離出現する場合は観察された。分離出現が認められた組み合わせは、根内部(木部柔組織)が着色する親系統(R^b、R^c)を交配親に用いた場合に多かったが、表皮および皮層が着色する親系統(R^a)の中でも確認される系統もあった(データ省略)。これら親系統に共通する現象が、極まれに生ずるキメラ個体(図2-1-7)である。キメラ個体は、体細胞分裂時に起こる突然変異により形成されるもので、頻度が高い場合には、トランスポゾンなどが関与する易変遺伝子が作用していると考えられている(稲垣, 1995)。易変遺伝子はアントシアニンやクロロフィルといった色素表現の発現で目立つことから、アサガオなど、花色での研究報告が多い(飯田ら, 1996)。これら遺伝子の変異は生殖細胞でも同様に起こりうると考えられ、それが数%程度といったメンデル遺伝で説明できない程の低率で起こる根色分離の原因と推測された。変異個体の頻度は親系統の平均で0.24%、F₁の平均で3.59%と、F₁は親系統の10倍程度の頻度で発生が認められた。

また、アサガオにおいて発見されている易変遺伝子は、アントシアニンの生合成経路中のDFRに挿入されているトランスポゾンが関与していることが明らかになっており(稲垣, 1995)、ダイコンに認められる発色のキメラ現象なども、DFRに関与する易変遺伝子の可能性も示唆された。

(4) 木部柔組織が着色する系統の遺伝様式

浅子ら(2011)は、木部柔組織が着色する系統の遺伝様式は、3遺伝子座により支配されている可能性を示唆しているが、本試験では、R^bについて2遺伝子座で説明された。

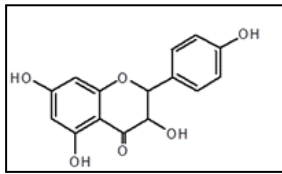
しかし、木部柔組織が着色する系統を交配した場合には、 F_2 における白色個体数が、理論値がより多い傾向がある。また、理論上、白色が出現しない組み合わせの F_2 においても、少数ながら白色個体が分離した。この現象は、前述の易変遺伝子が生殖細胞で発現したと考えると説明がつく。そのため、正確な分離比を導き出すのが困難であったものと考えられた。また、多数の組み合わせを行った中で、個体別に調査すると、 F_2 世代でほとんどの個体が期待される分離比を示す中であって、時折、異常な分離比を示す個体が見つかる事例があった（データ省略）。これらは抽だいから開花の間に易変遺伝子が働いた結果、同一個体でありながら異なる遺伝的特性を持つ花茎がキメラ状に現れ、その変異個体から採種した結果であると考えられる。

‘P-12’および‘P-紅心’は木部柔組織のみ着色し、表皮および皮層は着色しないことが特徴であるが、他の品種（表皮が着色する品種および白色品種）と交雑すると、その F_1 は表皮も内部の木部柔組織も同時に着色する。木部柔組織が着色する遺伝子が、ホモで働き、ヘテロで内部とともに表皮や皮層も発現する機構は不明であるが、根部着色に関する重要な遺伝様式が明らかになった。これまでは、‘紅心’を素材として育種を試みると、根内部と外部ともに赤色の系統を固定できなかったが、これは、ヘテロ個体を選抜していたとすると説明がつく。今後、根外部および内部ともに発色する系統を育成する場合にはヘテロ性を活かした F_1 雑種が有効であることが示唆された。

近年開発された‘紅くるり’は、根内部および外部ともに着色する、既存品種にない特徴を持つ F_1 品種である。その後代からは、‘紅心’とは異なり、根内部および外部ともに着色する系統‘P-紅くるり’が固定された。このことから‘紅心’とは異なる遺伝子の存在が予測され、 R^c の遺伝子記号を付与することが妥当と考えられた。本遺伝子の遺伝様式や色素発現のメカニズムについてもこれからの課題である。

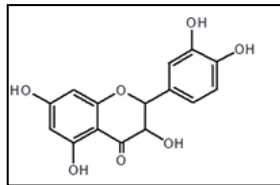
今回の交配試験からは、根部着色において、 R^a 、 R^b 、 R^c 、 R^{d-1} 、 R^{d-2} 、および E の遺伝様式が推定されたが、 R^a および E 以外は、それぞれ異なる座乗位置にあるのか、あるいは、複対立遺伝子であるかは明らかになっていない。今後の DNA 分析による座乗位置の解明および原因遺伝子の特定が急がれる。

ジヒドロケンフェロール



F3'H E 遺伝子

ジヒドロケルセチン



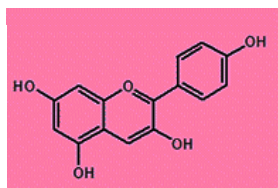
DFR
ANS

根部着色調節遺伝子

R 遺伝子

DFR
ANS

ペラルゴニン



シアニン

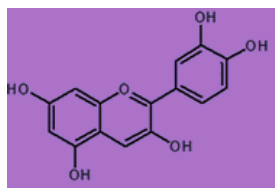


図 2-1-1 ダイコンのアントシアニン合成経路と関係する酵素
F3'H : フラボノイド 3'-水酸化酵素, DFR : ジヒドロフラボノール 4-還元酵素,
ANS : アントシアニン合成酵素

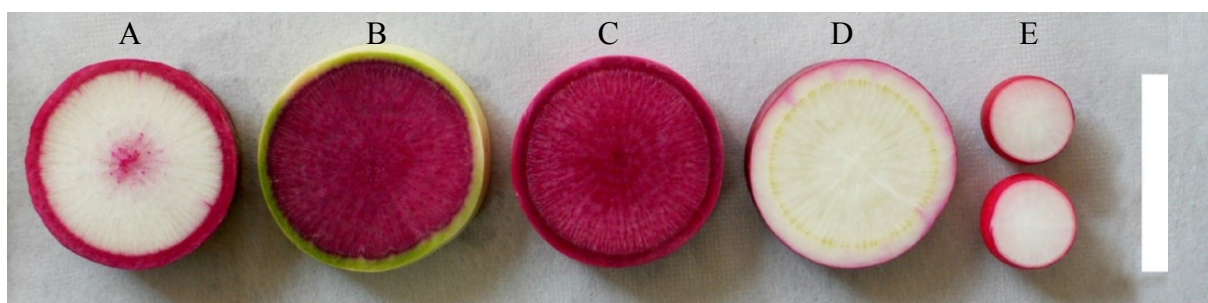
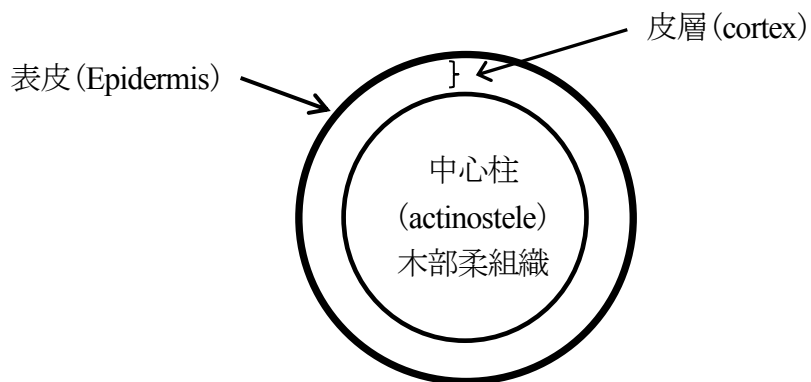


図 2-1-2 ダイコンの根部横断構造と着色部位に基づいた分類 bar = 5 cm
 A: 'P-安 87' 表皮と皮層が着色 (R^a), B: 'P-紅心' 木部柔組織が着色 (R^b),
 C: 'P-紅くる' 根部全体が着色 (R^c), D: 'P-安 83' 表皮が着色 (R^{d1}),
 E: 'P-赤丸' で表皮が着色 (ラデッシュ) (R^{d2})

表 2-1-1 供試ダイコン系統における着色部位とその特性

| 系統名 | 世 ^z 代 | 根部色 | | | 遺伝子 型記号 | 葉色 | 葉柄 基部色 | 花卉 色 | 育種素材 |
|--------|---------------------|-----|----|-------|-------------|----|-----------|---------|---------------|
| | | 表皮 | 皮層 | 木部柔組織 | | | | | |
| P-6 | S ₉ | 紫 | 紫 | 白 | $R^a E$ | 紫 | 紫 | 紫 | 松館しぼり, 多段, 紅心 |
| P-12 | S ₉ | 白 | 白 | 紫 | $R^b E$ | 緑 | 緑 | 紫 | 松館しぼり, 多段, 紅心 |
| P-赤皮 | S ₃ | 赤 | 白 | 白 | $R^{d-1} e$ | 緑 | 赤 | 淡桃赤 | 赤皮大丸 |
| P-錦 | S ₁ | 赤 | 白 | 白 | $R^{d-1} e$ | 緑 | 赤 | 淡桃赤 | 錦赤丸 |
| P-安83 | S ₃ | 赤 | 白 | 白 | $R^{d-1} e$ | 緑 | 緑 | 桃赤 | 安家 |
| P-安87 | S ₃ | 赤 | 赤 | 白 | $R^a e$ | 淡赤 | 赤 | 桃赤 | 安家 |
| P-紅心 | S ₃ | 白 | 白 | 赤 | $R^b e$ | 緑 | 緑 | 淡桃赤 | 紅心 |
| P-紅くる | S ₃ | 赤 | 赤 | 赤 | $R^c e$ | 緑 | 赤 | 淡桃赤 | 紅くるり |
| P-3s | S ₉ | 白 | 白 | 白 | rE | 緑 | 緑 | 紫 | 松館しぼり |
| P-34 | S ₉ | 白 | 白 | 白 | re | 緑 | 赤 | 淡桃赤 | 松館しぼり, 多段, 紅心 |
| P-パープル | S ₃ | 紫 | 白 | 白 | $R^{d-2} E$ | 紫 | 紫 | 淡紫 | パープルスター |
| P-ガウデイ | S ₃ | 赤 | 白 | 白 | $R^{d-2} e$ | 緑 | 緑 | 淡桃赤 | ガウデイ2 |
| P-赤丸 | S ₃ | 赤 | 白 | 白 | $R^{d-2} e$ | 緑 | 緑 | 淡桃赤 | 赤丸20日 |
| P-白姫 | S ₃ | 白 | 白 | 白 | rE | 緑 | 緑 | 淡紫 | 白姫20日 |

^z: 導入後の自殖世代 数値は自殖回数
塗りつぶしはアントシアニンによる着色が認められた部位

表 2-1-2 白色系ダイコン品種×‘P-赤丸’ (遺伝子型: $R^{d2}e$) F₁ 世代の根表皮色と
白色系ダイコン品種の推定遺伝子型

| 組み合わせ | F ₁ の根表皮色 | 推定遺伝子型 | 組み合わせ | F ₁ の根表皮色 | 推定遺伝子型 |
|----------------|----------------------|-----------|---------------|----------------------|-----------|
| 松館しぼり × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> | 白上り京 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> |
| 秋田 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> | 田辺 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> |
| 改良秋田 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> | 打木源助 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> |
| 川尻 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> | 総太り宮重 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> |
| 四ツ小屋 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> | 宮重大長 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> |
| 秋田三八 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> | 大蔵 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> |
| 沼山 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> | 三浦 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> |
| 関口 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> | 練馬大長 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> |
| 小真木 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> | 高倉 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> |
| 小瀬菜 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> | 山形 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> |
| 赤筋 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> | 阿波新晩生 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> |
| 信州 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> | 国富 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> |
| 牧 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> | 伊吹 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> |
| 灰原辛味 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> | 二年子 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> |
| ねずみ辛味 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> | 時無 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> |
| 戸隠地 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> | 桜島 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> |
| 上野地 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> | 島 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> |
| いはずな青 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> | ピリカリ × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> |
| 松本 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> | ノラ × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> |
| 信州地 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> | ハマ × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> |
| 大阪四十日 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> | 春秋アルタリ × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> |
| 京都青味 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> | 大梅花 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> |
| 京都薬味 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> | 揚州白 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> |
| 黒葉夏みの早生 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> | 青長 × P-赤丸 | 赤 | <i>re</i> |
| 亀戸 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> | サヤ × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> |
| 方領 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> | カザフ辛味 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> |
| 守口 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> | 白姫20日 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> |
| 和歌山 × P-赤丸 | 紫 | <i>rE</i> | | | |

塗りつぶしは、F₁の根表皮色が赤で遺伝子型が*re*と推定された品種

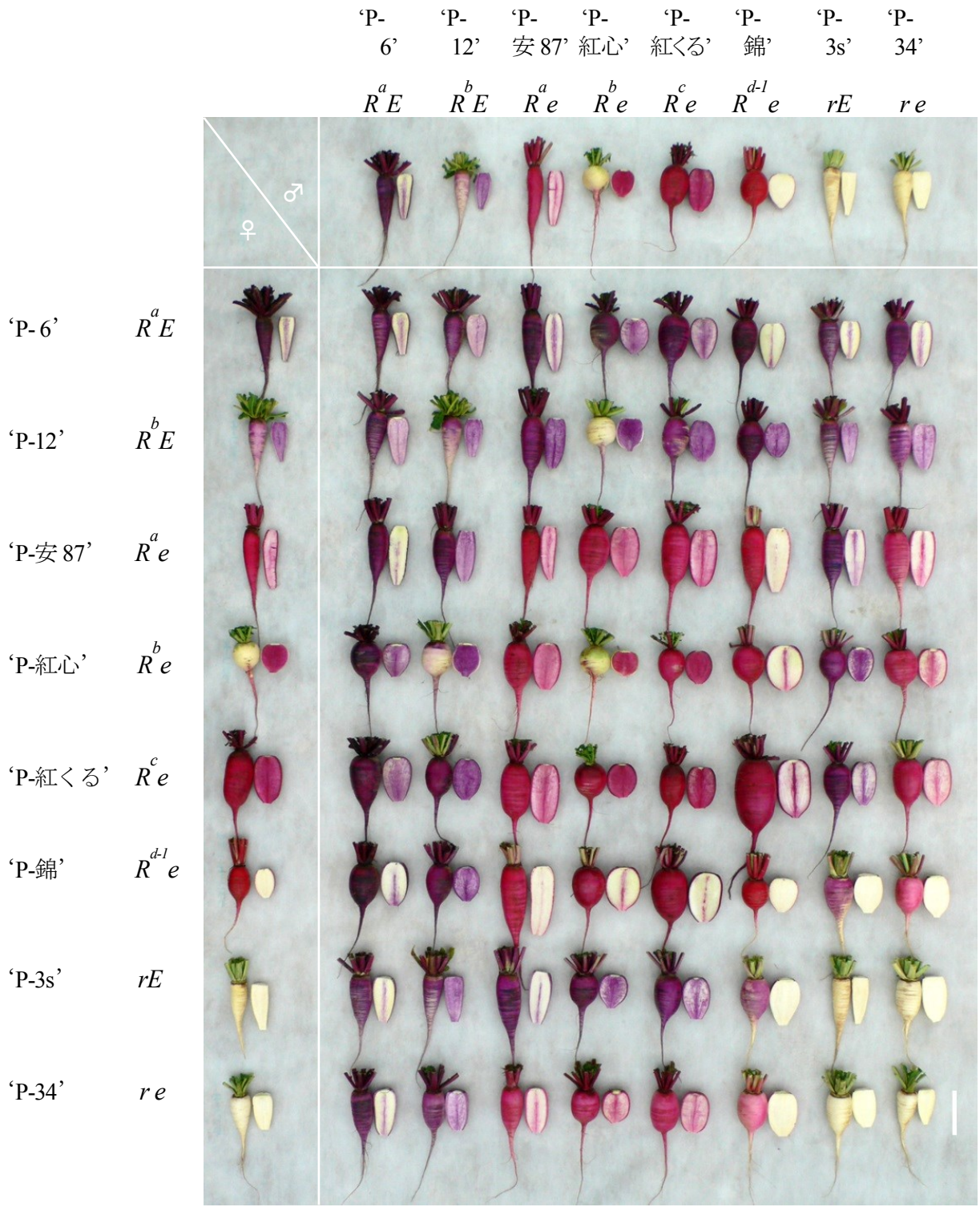


図 2-1-3 ダイコン系統の F₁ 組み合わせの根色 (ラデッシュを除くダイコン品種)
bar = 10cm



図 2-1-4 ダイコン系統の F₁ 組み合わせの根色 (ラデッシュ)
bar = 10 cm

表 2-1-3 ダイコン系統の F₁ 世代における白色根変異個体の出現頻度

| 系統名 | ♂ | | | | | | |
|--------|------------------|------|------|------|-------|----------------|------|
| | P-6 | P-12 | P-赤皮 | P-紅心 | P-紅くる | P-3s | P-34 |
| P-6 | 0/9 ^z | 0/9 | 0/9 | 0/8 | 0/9 | 0/9 | 0/8 |
| | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| P-12 | 0/9 | 0/10 | 0/9 | 3/9 | 1/9 | 1/15 | 1/9 |
| | 0% | 0% | 0% | 33% | 11% | 7% | 11% |
| P-赤皮 | 0/9 | 1/8 | 0/8 | 1/9 | 3/20 | 0/9 | 0/9 |
| | 0% | 13% | 0% | 11% | 15% | 0% | 0% |
| ♀ P-紅心 | 0/5 | 0/7 | 0/9 | 0/8 | 0/8 | 2/33 | 0/9 |
| | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 6% | 0% |
| P-紅くる | 0/5 | 1/9 | 0/3 | 1/8 | 0/8 | 2/16 | 1/13 |
| | 0% | 11% | 0% | 13% | 0% | 13% | 8% |
| P-3s | 0/9 | 1/17 | 0/10 | 3/55 | 1/26 | — ^y | — |
| | 0% | 6% | 0% | 5% | 4% | | |
| P-34 | 0/10 | 3/15 | 0/9 | 4/20 | 7/19 | — | — |
| | 0% | 20% | 0% | 20% | 37% | | |

^z: 変異株数/調査株数

^y: すべて根色が白となる組み合わせのためデータなし
塗りつぶしは、根色が白色の個体が出現した組み合わせ

表 2-1-4 ダイコン系統の F₂ 世代における根色の分離比 (その 1)

| 組み合わせ | 観測値 | | | | 分離比 | 理論値 | | | χ^2 | p |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|------------------|-------|-------|-------|----------|------|
| | 紫 | 赤 | 白 | 合計 | | 紫 | 赤 | 白 | | |
| P-6 × P-3s | 500 | 176 | 676 | | (3:1) | 507.0 | 169.0 | | 0.39 | 0.53 |
| P-3s × P-6 | 724 | 238 | 962 | | (3:1) | 721.5 | 240.5 | | 0.03 | 0.85 |
| (P-3s × P-6) × P-3s | 91 | 78 | 169 | | (1:1) | 84.5 | 84.5 | | 1.00 | 0.32 |
| P-34 × P-赤皮 | 137 | 45 | 182 | | (3:1) | 136.5 | 45.5 | | 0.01 | 0.93 |
| P-6 × P-赤皮 | 180 | 55 | 235 | | (3:1) | 176.3 | 58.8 | | 0.32 | 0.57 |
| P-赤皮 × P-6 | 166 | 59 | 225 | | (3:1) | 168.8 | 56.3 | | 0.18 | 0.67 |
| P-6 × P-34 | 190 | 17 | 80 | 287 | (9:3:4) | 161.4 | 53.8 | 71.8 | 31.19 | 0.00 |
| | | | | | (42.2:5.8:16.0) | 189.4 | 25.8 | 71.8 | 3.97 | 0.14 |
| P-34 × P-6 | 322 | 60 | 131 | 513 | (9:3:4) | 288.6 | 96.2 | 128.3 | 17.55 | 0.00 |
| | | | | | (42.2:5.8:16.0) | 338.6 | 46.2 | 128.3 | 5.01 | 0.08 |
| (P-34 × P-6) × P-34 | 30 | 11 | 43 | 84 | (1:1:2) | 21.0 | 21.0 | 42.0 | 8.64 | 0.01 |
| | | | | | (3.2:0.8:4.0) | 33.6 | 8.4 | 42.0 | 1.21 | 0.54 |
| P-3s × P-赤皮 | 111 | 76 | 79 | 266 | (9:3:4) | 149.6 | 49.9 | 66.5 | 26.01 | 0.00 |
| | | | | | (32.6:15.4:16.0) | 135.7 | 63.8 | 66.5 | 9.15 | 0.01 |
| P-赤皮 × P-3s | 132 | 82 | 86 | 300 | (9:3:4) | 168.8 | 56.3 | 75.0 | 21.40 | 0.00 |
| | | | | | (32.6:15.4:16.0) | 153.0 | 72.0 | 75.0 | 5.88 | 0.05 |
| P-3s × P-34 | | 97 | 97 | | | | 97 | | | |
| P-34 × P-3s | | 88 | 88 | | | | 88 | | | |

塗りつぶしは $p \geq 0.05$

表 2-1-5 ダイコン系統の F₂ 世代における根色の分離比 (その 2)

| 組み合わせ | 観測値 | | | | | 分離比 | 理論値 | | | | χ^2 | p |
|------------|----------------------------|----------------------------|----------------|----------------|-----|---------------------|----------------------------|----------------------------|----------------|----------------|----------|------|
| | 紫 <i>R^aE</i> | 赤 <i>R^ae</i> | 白 <i>rE</i> | 白 <i>re</i> | 合計 | | 紫 <i>R^aE</i> | 赤 <i>R^ae</i> | 白 <i>rE</i> | 白 <i>re</i> | | |
| P-6 × P-34 | 299 | 39 | 37 | 75 | 450 | (9:3:3:1) | 253.1 | 84.4 | 84.4 | 28.1 | 137.44 | 0.00 |
| | | | | | | (42.2:5.8:5.8:10.2) | 297.0 | 40.5 | 40.5 | 72.0 | 0.50 | 0.92 |
| P-34 × P-6 | 129 | 18 | 12 | 37 | 196 | (9:3:3:1) | 110.3 | 36.8 | 36.8 | 12.3 | 79.43 | 0.00 |
| | | | | | | (42.2:5.8:5.8:10.2) | 129.4 | 17.6 | 17.6 | 31.4 | 2.83 | 0.42 |

根色が白色の場合は開花させ、花弁色が紫色の場合は遺伝子型を*rE*、桃赤色の場合は*re*と判断した
塗りつぶしは $p \geq 0.05$

表 2-1-6 ダイコン系統の F₂ 世代における根色の分離比 (その 3)

| 組み合わせ | 観測値 | | | | 分離比 | 理論値 | | | χ^2 | P |
|---------------|-----|----|---|-----|----------|------|------|-----|----------|------|
| | 赤 | 赤皮 | 白 | 合計 | | 赤 | 赤皮 | 白 | | |
| P-安83 × P-安87 | 70 | 16 | 4 | 90 | (12:3:1) | 67.5 | 16.9 | 5.6 | 0.61 | 0.74 |
| P-安87 × P-安83 | 91 | 22 | 3 | 116 | (12:3:1) | 87.0 | 21.8 | 7.3 | 2.68 | 0.26 |

塗りつぶしは $p \geq 0.05$

表 2-1-7 ダイコン系統の F₂ 世代における根色の分離比 (その 4)

| 組み合わせ | 観測値 | | | | 分離比 | 理論値 | | | χ^2 | p |
|----------------------|------|-----|-----|------|------------------|--------|-------|-------|----------|------|
| | 紫 | 赤 | 白 | 合計 | | 紫 | 赤 | 白 | | |
| P-3s × P-12 | 601 | | 216 | 817 | (3:1) | 612.8 | | 204.3 | 0.90 | 0.34 |
| (P-3s × P-12) × P-12 | 266 | | 3 | 269 | (1:0) | 269.0 | | | | |
| P-6 × P-紅心 | 118 | 35 | 1 | 154 | (3:1) | 115.5 | 38.5 | | 0.37 | 0.54 |
| P-紅心 × P-6 | 351 | 135 | 4 | 490 | (3:1) | 367.5 | 122.5 | | 2.02 | 0.16 |
| P-6 × P-紅くる | 114 | 35 | | 149 | (3:1) | 111.8 | 37.3 | | 0.18 | 0.67 |
| P-紅くる × P-6 | 353 | 106 | 4 | 463 | (3:1) | 347.3 | 115.8 | | 0.92 | 0.34 |
| P-紅心 × P-12 | 241 | 90 | | 331 | (3:1) | 248.3 | 82.8 | | 0.85 | 0.36 |
| P-12 × P-紅くる | 110 | 41 | | 152 | (3:1) | 114.0 | 38.0 | | 0.37 | 0.54 |
| P-6 × P-12 | 540 | | | 540 | (1:0) | 540.0 | | | | |
| (P-6 × P-12) × P-12 | 163 | | 2 | 165 | (1:0) | 165.0 | | | | |
| P-34 × P-紅心 | | 196 | 89 | 285 | (3:1) | | 213.8 | 71.3 | 5.90 | 0.02 |
| P-紅心 × P-34 | | 215 | 107 | 322 | (3:1) | | 241.5 | 80.5 | 11.63 | 0.00 |
| P-34 × P-紅くる | | 310 | 172 | 482 | (3:1) | | 361.5 | 120.5 | 29.35 | 0.00 |
| P-紅くる × P-34 | | 248 | 109 | 357 | (3:1) | | 267.8 | 89.3 | 5.83 | 0.02 |
| P-34 × P-12 | 1006 | 134 | 517 | 1657 | (9:3:4) | 932.1 | 310.7 | 414.3 | 131.83 | 0.00 |
| | | | | | (42.2:5.8:16.0) | 1093.6 | 149.1 | 414.3 | 34.04 | 0.00 |
| (P-34 × P-12) × P-12 | 754 | | 23 | 777 | | 777.0 | | | | |
| P-3s × P-紅心 | 152 | 79 | 80 | 311 | (9:3:4) | 174.9 | 58.3 | 77.8 | 10.41 | 0.01 |
| | | | | | (32.6:15.4:16.0) | 158.6 | 74.6 | 77.8 | 1.81 | 0.41 |
| P-紅心 × P-3s | 137 | 66 | 78 | 281 | (9:3:4) | 158.1 | 52.7 | 70.3 | 7.03 | 0.03 |
| | | | | | (32.6:15.4:16.0) | 143.3 | 67.4 | 70.3 | 6.09 | 0.05 |
| P-3s × P-紅くる | 70 | 40 | 47 | 157 | (9:3:4) | 88.3 | 29.4 | 39.3 | 9.12 | 0.01 |
| | | | | | (32.6:15.4:16.0) | 80.1 | 37.7 | 39.3 | 75.61 | 0.00 |
| P-紅くる × P-3s | 102 | 45 | 66 | 213 | (9:3:4) | 119.8 | 39.9 | 53.3 | 6.34 | 0.04 |
| | | | | | (32.6:15.4:16.0) | 108.6 | 51.1 | 53.3 | 45.30 | 0.00 |

塗りつぶしは $p \geq 0.05$

表 2-1-8 ダイコン系統の F₂ 世代における根色の分離比 (その 5, ラデッシュ)

| 組み合わせ | 観測値 | | | | 分離比 | 理論値 | | | χ^2 | P |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|---------|-------|-------|-------|----------|------|
| | 紫 | 赤 | 白 | 合計 | | 紫 | 赤 | 白 | | |
| P-パープル × P-白姫 | 265 | | 76 | 341 | (3:1) | 255.8 | | 85.3 | 1.34 | 0.25 |
| P-白姫 × P-パープル | 265 | | 93 | 358 | (3:1) | 268.5 | | 89.5 | 0.18 | 0.67 |
| P-赤丸 × P-パープル | 165 | 59 | | 224 | (3:1) | 168.0 | 56.0 | | 0.21 | 0.64 |
| P-パープル × P-ガウディ | 122 | 37 | | 159 | (3:1) | 119.3 | 39.8 | | 0.25 | 0.61 |
| P-ガウディ × P-白姫 | 434 | 140 | 192 | 766 | (9:3:4) | 430.9 | 143.6 | 191.5 | 0.12 | 0.94 |
| P-白姫 × P-ガウディ | 454 | 131 | 189 | 774 | (9:3:4) | 435.4 | 145.1 | 193.5 | 2.28 | 0.32 |
| P-白姫 × P-赤丸 | 529 | 148 | 213 | 890 | (9:3:4) | 500.6 | 166.9 | 222.5 | 4.15 | 0.13 |
| P-赤丸 × P-白姫 | 220 | 62 | 109 | 391 | (9:3:4) | 219.9 | 73.3 | 97.8 | 3.04 | 0.22 |

塗りつぶしは $p \geq 0.05$

表 2-1-9 ダイコン系統の P 世代の固定度と F₁ 世代における白色根変異個体の出現頻度

| 世代 | 系統名 | 調査数 (株) | 紫色 (株) | 赤色 (株) | 白色 | |
|----------------|--------------|------------|-----------|-----------|-----|-------|
| | | | | | (株) | (%) |
| P | P-12 | 4,432 | 4,424 | | 8 | 0.18 |
| | P-紅くる | 732 | | 728 | 4 | 0.55 |
| | P-紅心 | 182 | | 181 | 1 | 0.55 |
| | 計 | 5,346 | 4,424 | 909 | 13 | 0.24 |
| F ₁ | P-3s × P-12 | 152 | 150 | | 2 | 1.32 |
| | P-12 × P-3s | 611 | 588 | | 23 | 3.76 |
| | P-3s × P-紅くる | 191 | 169 | | 22 | 11.52 |
| | P-紅くる × P-3s | 124 | 120 | | 4 | 3.23 |
| | P-3s × P-紅心 | 102 | 95 | | 7 | 6.86 |
| | P-紅心 × P-3s | 64 | 61 | | 3 | 4.69 |
| | 計 | 1,244 | 1,183 | | 61 | 4.90 |

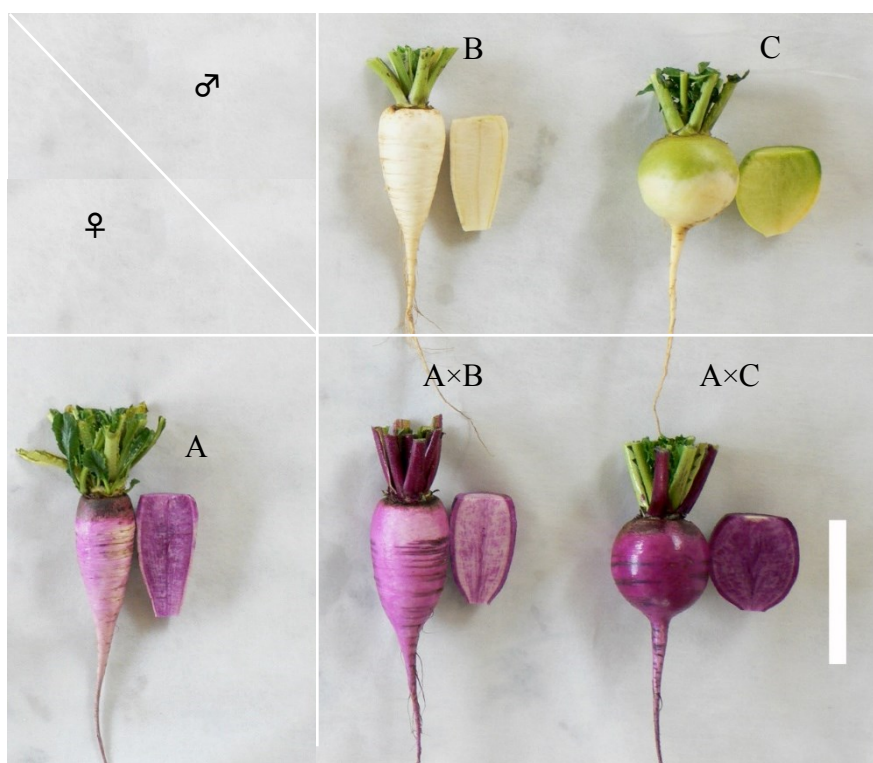


図 2-1-5 ダイコン系統の交配組み合わせの違いによる F₁ の発色差 bar = 10 cm
 A : 'P-12', B: 'P-34', C: 'P-紅心 W' ('紅心'から分離・固定した白色系統)

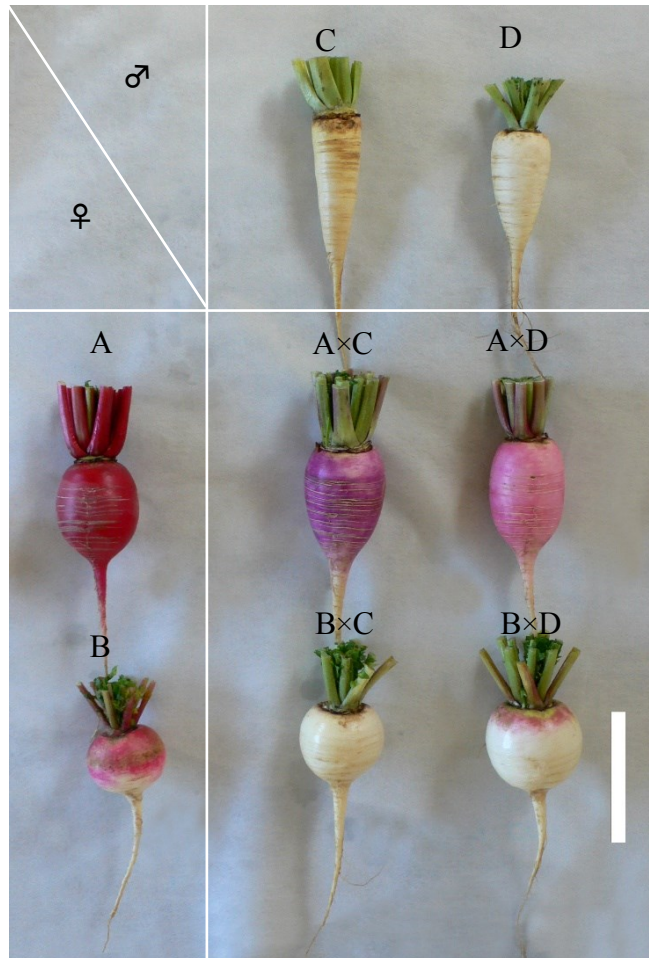


図 2-1-6 ダイコン系統の交配親の根皮色の濃淡が F₁ の発色に及ぼす影響
 A: 'P-錦', B: 'P-赤皮', C: 'P-3s', D: 'P-34'



図 2-1-7 栽培試験中に発見されたダイコンの着色キメラ個体

A：系統名不明

B：‘紅くるり’（左），‘P-34’×‘親田辛味(紫)’のF₂(右)

C：‘紅くるり’

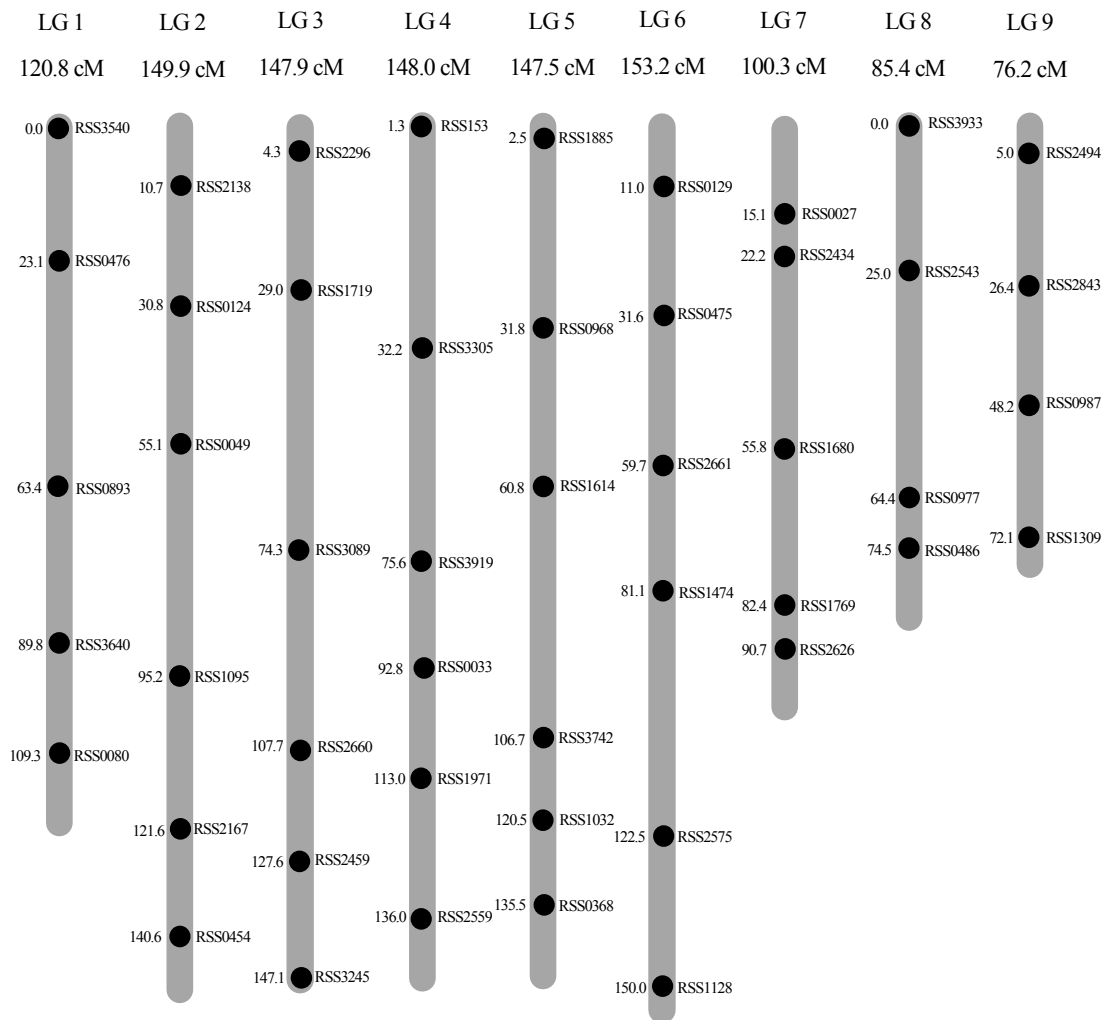


図 2-2-1 ダイコンにおける 48 種の SSR マーカーの位置

表 2-2-1 ダイコンの供試 SSR マーカーの配列

| マーカー名 | Motif | フォワードプライマー リバースプライマー | PCR産物の 長さ | 連鎖群 | 位置 (cM) |
|---------|------------|---|--------------|-----|------------|
| RSS1781 | AG(mis1) | CAAACCTCGCCTCTTCACTC TCCATCGTATCCTCCGCTAC | 187 | 1 | 66.9 |
| RSS3362 | ATC(mis2) | AAAACCCCTTCTCTTCCCTCG GCGTAGGTTCACTAGCGTCC | 195 | 1 | 83.9 |
| RSS0403 | GGA(mis1) | TCACGAGAACGAGGATCTGA TCTGGAGCTTCCTCGTCAAT | 234 | 1 | 103.2 |
| RSS0080 | GGA | TCACTCGAGAGCACAAATGG GGTGTAGCACGATGTTGACG | 220 | 1 | 109.3 |
| RSS0124 | GGT | TCAGGCAAGGTCACAAGGTT ACGCCTATGACCAGATTTGC | 158 | 2 | 30.8 |
| RSS1719 | GGA(mis1) | CTCGGGCTTATCGTTACCAA GACACTGCTTGCCCTTTAGC | 174 | 3 | 29.0 |
| RSS2459 | AG | CTGAAGCCTCACCACAATGA TTTTGCTCATAGGAATAAACCCA | 189 | 3 | 127.6 |
| RSS0033 | AG | TTGGCTCACACTTTACCTCG CAACAGCACCGTAATCGCTA | 204 | 4 | 92.8 |
| RSS3742 | AAAC(mis1) | ACTCATGGGTGGGTTTCATGT TGTAGCAAACAGAGGCAAACA | 230 | 5 | 106.7 |
| RSS1769 | AAG(mis1) | AAAATGCACACGTTGTTGGA GGCTTCAAGGTCAGGTTCA | 243 | 7 | 82.4 |
| RSS2626 | AAC(mis2) | CTGCACCGTAGTTGTCTCCA CCAACCATTTTCGAGGTTGT | 202 | 7 | 90.7 |
| RSS0977 | AAG(mis2) | CATCCCAAGGCCTAAGATGA AGAAGCAAGGAAAGCATGGA | 169 | 8 | 64.4 |
| RSS2843 | GGT | CCAGACGCTGATGAGTACGA AACCGTTGTTCCAGTTCCAG | 195 | 9 | 26.4 |
| RSS1309 | AAG(mis2) | GAAACGTCTCGATTTGGAGG ATTGGGGCTAAACATTGCTG | 222 | 9 | 72.1 |

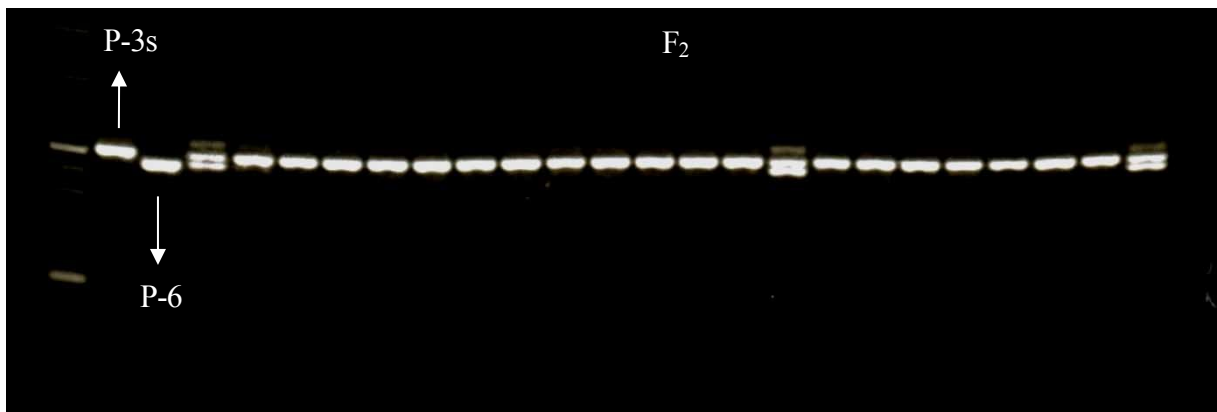


図 2-2-2 'P-3s'×'P-6'の白色根 F₂ 世代におけるマーカーRSS3362 の遺伝子型
'P-3s' : 白色, 'P-6' : 紫色

表 2-2-2 ダイコンの SSR マーカーの遺伝子型と表現型との一致率 (R^a 遺伝子)

| マーカー名 | 連鎖群 | 位置 (cM) | 親系統の遺伝子型 | | F ₂ 世代の表現型(白色)と遺 伝子型(rr)との一致率 | |
|---------|-----|------------|------------|-----------|---|-------|
| | | | P-3s 白色 | P-6 紫色 | | |
| RSS1781 | 1 | 66.9 | rr | $R^a R^a$ | 39 / 43 | 90.7% |
| RSS3362 | 1 | 83.9 | rr | $R^a R^a$ | 39 / 43 | 90.7% |
| RSS0124 | 2 | 30.8 | rr | $R^a R^a$ | 10 / 43 | 23.3% |
| RSS1719 | 3 | 29.0 | rr | $R^a R^a$ | 12 / 43 | 27.9% |
| RSS2459 | 3 | 127.6 | rr | $R^a R^a$ | 11 / 43 | 25.6% |
| RSS0033 | 4 | 92.8 | rr | $R^a R^a$ | 7 / 43 | 16.3% |
| RSS1769 | 7 | 82.4 | rr | $R^a R^a$ | 11 / 42 | 26.2% |
| RSS0977 | 8 | 64.4 | rr | $R^a R^a$ | 6 / 42 | 14.3% |
| RSS2843 | 9 | 26.4 | rr | $R^a R^a$ | 14 / 43 | 32.6% |
| RSS1309 | 9 | 72.1 | rr | $R^a R^a$ | 9 / 43 | 20.9% |

紫色の塗りつぶしは R^a 遺伝子近傍と推定されるマーカー

表 2-2-3 ダイコンの SSR マーカーの遺伝子型と表現型との一致率 (R^a 遺伝子, E 遺伝子)

| マーカー名 | 連鎖群 | 位置 (cM) | 親系統の遺伝子型 | | F ₂ 世代の表現型(白色)と 遺伝子型(rr)との一致率 | | F ₂ 世代の表現型(赤色)と 遺伝子型(ee)との一致率 | |
|---------|-----|------------|------------|---------------|---|-------|---|-------|
| | | | P-34 白色 | P-6 紫色 | | | | |
| RSS3362 | 1 | 83.9 | rr, ee | $R^a R^a, EE$ | 43 / 46 | 93.5% | 11 / 22 | 50.0% |
| RSS0403 | 1 | 103.2 | rr, ee | $R^a R^a, EE$ | 28 / 46 | 60.9% | 21 / 22 | 95.5% |
| RSS0080 | 1 | 109.3 | rr, ee | $R^a R^a, EE$ | 25 / 45 | 55.6% | 19 / 22 | 86.4% |
| RSS0033 | 4 | 92.8 | rr, ee | $R^a R^a, EE$ | 8 / 45 | 17.8% | 4 / 22 | 18.2% |
| RSS3742 | 5 | 106.7 | rr, ee | $R^a R^a, EE$ | 8 / 44 | 18.2% | 5 / 21 | 23.8% |
| RSS1769 | 7 | 82.4 | rr, ee | $R^a R^a, EE$ | 9 / 46 | 19.6% | 7 / 22 | 31.8% |
| RSS2626 | 7 | 90.7 | rr, ee | $R^a R^a, EE$ | 5 / 42 | 11.9% | 4 / 22 | 18.2% |
| RSS0977 | 8 | 64.4 | rr, ee | $R^a R^a, EE$ | 15 / 46 | 32.6% | 12 / 22 | 54.5% |
| RSS2843 | 9 | 26.4 | rr, ee | $R^a R^a, EE$ | 14 / 45 | 31.1% | 6 / 22 | 27.3% |

紫色の塗りつぶしは R^a 遺伝子近傍と推定されるマーカー

桃色の塗りつぶしは E 遺伝子近傍と推定されるマーカー

表 2-2-4 ダイコンの SSR マーカーの遺伝子型と表現型との一致率による染色体領域の絞り込み (R^a 遺伝子)

| マーカー名 | 連鎖群 | 位置 (cM) | 親系統の遺伝子型 | | F ₂ 世代の表現型(白色)と遺伝子型(rr)との一致率 | | F ₃ 世代の表現型(白色)と遺伝子型(rr)との一致率 | |
|---------|-----|---------|------------|-----------|---|-------|---|-------|
| | | | P-3s 白色 | P-6 紫色 | | | | |
| RSS0148 | 1 | 29.9 | rr | $R^a R^a$ | 29 / 43 | 67.4% | | |
| RSS0466 | 1 | 31.2 | rr | $R^a R^a$ | 30 / 43 | 69.8% | | |
| RSS0553 | 1 | 54.4 | rr | $R^a R^a$ | 41 / 43 | 95.3% | 88 / 90 | 97.8% |
| RSS0291 | 1 | 56.2 | rr | $R^a R^a$ | 42 / 43 | 97.7% | 89 / 90 | 98.9% |
| RSS0893 | 1 | 63.4 | rr | $R^a R^a$ | 42 / 43 | 97.7% | 80 / 90 | 88.9% |
| RSS1737 | 1 | 64.6 | rr | $R^a R^a$ | 42 / 43 | 97.7% | 76 / 89 | 85.4% |
| RSS1781 | 1 | 66.9 | rr | $R^a R^a$ | 39 / 43 | 90.7% | | |
| RSS3362 | 1 | 83.9 | rr | $R^a R^a$ | 39 / 43 | 90.7% | 60 / 87 | 69.0% |
| RSS2945 | 1 | 104.7 | rr | $R^a R^a$ | 24 / 43 | 55.8% | 40 / 83 | 48.2% |
| RSS3991 | 1 | 108.0 | rr | $R^a R^a$ | 24 / 43 | 55.8% | | |

紫色の塗りつぶしは R^a 遺伝子近傍と推定されるマーカー

表 2-2-5 ダイコンの SSR マーカーの遺伝子型と表現型との一致率による染色体領域の絞り込み (*E* 遺伝子)

| マーカー名 | 連鎖群 | 位置 (cM) | 親系統の遺伝子型 | | F ₂ 世代の表現型(赤色)と 遺伝子型(<i>ee</i>)との一致率 | F ₃ 世代の表現型(赤色)と 遺伝子型(<i>ee</i>)との一致率 | | |
|---------|-----|------------|------------|-----------|--|--|---------|-------|
| | | | P-34 白色 | P-6 紫色 | | | | |
| RSS1241 | 1 | 63.8 | <i>ee</i> | <i>EE</i> | 6 / 22 | 27.3% | | |
| RSS1737 | 1 | 64.6 | <i>ee</i> | <i>EE</i> | 7 / 22 | 31.8% | | |
| RSS3362 | 1 | 83.9 | <i>ee</i> | <i>EE</i> | 11 / 22 | 50.0% | | |
| RSS0403 | 1 | 103.2 | <i>ee</i> | <i>EE</i> | 21 / 22 | 95.5% | 57 / 73 | 78.1% |
| RSS2744 | 1 | 103.6 | <i>ee</i> | <i>EE</i> | 21 / 22 | 95.5% | 58 / 75 | 77.3% |
| RSS1273 | 1 | 107.7 | <i>ee</i> | <i>EE</i> | | | 53 / 75 | 70.7% |
| RSS0080 | 1 | 109.3 | <i>ee</i> | <i>EE</i> | 19 / 22 | 86.4% | 50 / 75 | 66.7% |

桃色の塗りつぶしは*E* 遺伝子近傍と推定されるマーカー

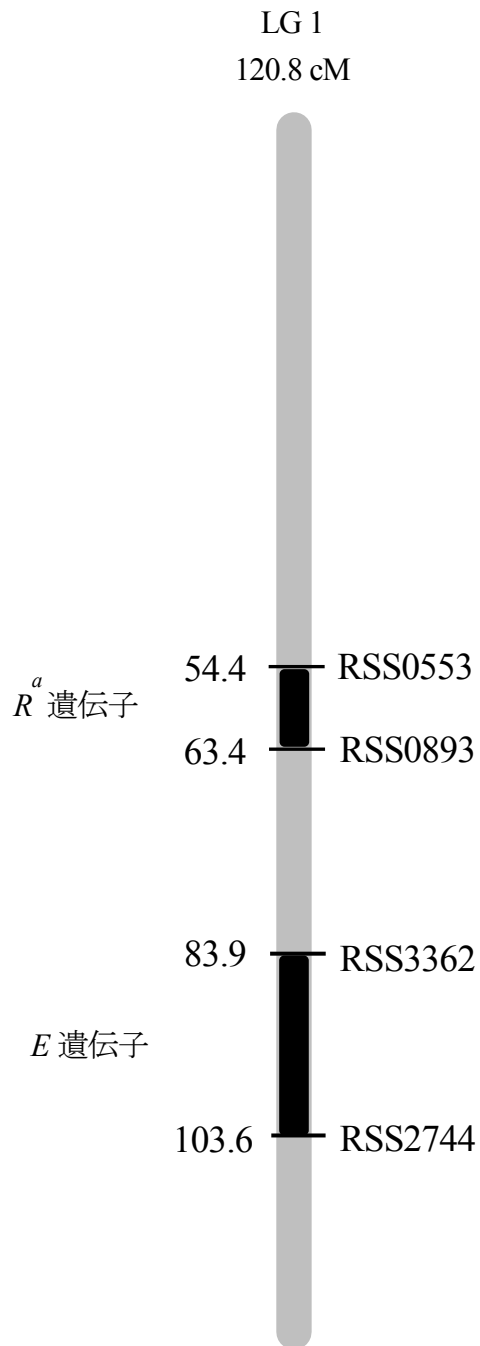


図 2-2-3 R^a 遺伝子および E 遺伝子のダイコン第 1 連鎖群上の推定座乗領域

第3章 秋田県におけるダイコン地方品種の育成

1. 加工用ダイコンF₁品種‘秋田いぶりこまち’の育成とその特性

緒 言

秋田県は、東北地方の日本海側に位置し、県境を奥羽山脈や出羽山地に囲まれ、他県から隔てられた立地条件にあることから、古来より独自の食文化が発達し、現在でも特色ある伝統食品が数多く伝えられている。燻製にしたダイコンの漬物である「いぶりたくあん漬」もその一つで、通常の「たくあん漬」が、天日などで乾燥させたダイコンを、米ぬかと塩で漬込むのに対し、「いぶりたくあん漬」では、燻製乾燥させたダイコンを漬込むことから、独特のスモークの香ばしさを持っている。本県では晩秋から初冬にかけて天候不順となりやすく、収穫したダイコンの天日乾燥が難しい。そのうえ、屋外での乾燥は凍結の危険を伴うことから、ダイコンを室内の囲炉裏火で乾燥させて漬込んだことが「いぶりたくあん漬」の由来とされ、その成立には本県の気象条件が深く関与していたと考えられている（菅原，1996）。秋田県漬物協同組合によると、本県では年間に1,500～1,800t程度の「いぶりたくあん漬」が製造販売されており（私信）、その原料となる加工用ダイコンの収穫量は、およそ5,000tと推定される。

「いぶりたくあん漬」の漬込み加工は、冬季の10月から翌年の3月に集中するが、その販売は年間を通して行われている。そのため、「いぶりたくあん漬」の原料としては、製品加工後も1年程度の保存が可能な肉質の硬い品種が適しており、‘山形’をはじめとした地方在来の肉質の硬い固定品種が用いられてきた（菅原，1996）。しかし、自家消費中心の小規模な栽培から、商業生産向けの大規模栽培に移行するにつれ、根形や根重のばらつき、す入りや空洞症を生じた個体（図3-1-1）の混在など、それまで用いられてきた固定品種が持つ表現型のばらつきが課題となった。一方、‘耐病干し理想’（タキイ種苗）をはじめとした国内種苗メーカー育成の漬物加工用一代雑種（F₁）品種は、根部の揃いは良好であるが、肉質が軟らかく、「いぶりたくあん漬」には適さないため、用いられてこなかった（私信）。

秋田県では漬物加工組合からの要望を踏まえ、地方伝統食品の原料となる加工用ダイコンの品質安定化を図るため、1988年から漬物加工用品種の育成に取り組んだ。その取り組みの中で、秋田県に古くから伝わってきた地方品種の肉質の硬さが再確認され（第1章）、その一つを素材としたF₁品種‘秋田いぶりこまち’を2002年に育成し、2006年に品種登録された。本報告ではその育成経過と諸特性について報告する。

材料および方法

1) ‘秋田いぶりこまち’の育成

(1) 供試材料

‘秋田’は秋田市近郊の集落で古くから栽培されてきた地方品種‘仁井田’の選抜系統（秋田県，1971）で、練馬系品種と在来品種の交雑種と推測され（青葉，1981）、生育が

遅く晩生で肉質が硬い。本試験では 1988 年に秋田市の農家から分譲された種子を農業試験場で維持しているものを用いた。

‘山形’は 1950 年代に山形県立農業試験場でウイルス病に強い品種を目的として、練馬系の東京都在来種‘高倉’の自然交雑後代から育成された固定品種である（山形県，1996）。‘山形’は、す入りが遅く、生育も比較的早い根形や品質が不揃いである。本試験では市販されている種子および栽培農家の圃場から収集した個体の選抜後代系統を用いた。

（2）系統選抜

系統選抜における栽培は、本県の加工用ダイコンの慣行栽培に準じ、8 月下旬に秋田県農業試験場内の露地ほ場に、条間 1 m、株間 25 cm で 1 か所に 3～5 粒播種した。第 3 本葉展開時に間引きを行って 1 本仕立てとし、11 月上旬に収穫して選抜を行った。施肥は基肥のみで、N : P₂O₅ : K₂O をそれぞれ 10 kg・10 a⁻¹ 施用し、供試株数は系統あたり 10～15 株とした。選抜個体は、葉部を 5 cm 程度残し、根の先端から根長の 1/3 程の部分を輪切りにして、内部のす入りや空洞を調査した後に 8 号鉢に移植し、無加温ガラス温室内で低温に感応させて抽苔を促進した。4～5 月の開花期には自家不和合性を打破するために、蕾受粉を行って自殖種子を採種した。自殖を繰り返して固定化を図った。F₁ の採種には自家不和合性を利用することとし、並行して開花受粉も実施し、自殖種子が得られる個体は自家不和合性程度が低い個体と判断し、選抜対象から除外した。F₁ 組み合わせの交雑和合調査は、植物体特性の固定化が進んでから試験交配によって行った。

（3）F₁ の作出および特性の評価

2001 年 3 月に秋田県農業試験場内の無加温ガラス温室内で、自殖系統間の開花済みの花を用いて人工交配を行い、交雑和合性のある自殖系統間の組み合わせを決定した。

F₁ の組み合わせ能力検定は秋田県農業試験場内の露地ほ場で行った。現地栽培適応性検定は、県内 2 か所（三種町、大仙市）の露地ほ場で実施した。また、「いぶりたくあん漬」の加工適応性検定は、現地栽培適応性検定に供した材料を用い、秋田県総合食品研究所で実施した。

2) ‘秋田いぶりこまち’の特性調査

（1）形態的および生態的主要特性

‘山形’を対照品種として、特性調査を実施した。秋田県農業試験場内露地ほ場において、2001 年および 2002 年 8 月に播種し、前述 1). 2) 系統選抜に準じた方法で栽培し、収穫は 11 月に行った。供試株数は、系統・品種あたり 10 株とした。根部の硬度測定には果実硬度計 (KM-5 型、藤原製作所) を用い、測定部位は、縦に 2 等分割した根部の中央部とし、直径 5 mm の円柱形プランジャーを押し当てて計測した。根部乾物率は、縦に 2 等分割した根部片方を用い、大型送風定温乾燥器 (FV-1500、アドバンテック東洋) で 70℃、5 日間乾燥させて乾物重を測定し、新鮮重との差から算出した。根部糖度の測定は、根中央部をおろし金ですりおろし、搾汁液を果実デジタル根部糖度計 (PR-101、アタゴ) で計測した。良根率は、収穫した全個体から曲根、分岐根、裂根および小根を不良根とし

て除き、残りの良根から算出した。

(2) 漬物加工特性

‘山形’を対照品種として、秋田県農業試験場内露地ほ場において収穫されたダイコンを用い、秋田県総合食品研究所において乾燥処理した後、漬込み加工を行った。調査は2001年に行った。栽培株数は各品種当たり15株とし、収穫後に根重が標準的な5本を選んで供試材料とした。漬込み条件は食塩5.0%、砂糖12%、漬込み期間は89日とした。

結 果

1) ‘秋田いぶりこまち’の育成

1988年に秋田市仁井田地区で栽培されていた地方品種‘秋田’の種子を導入し、その特性を調査した。根形などの特性は良く揃っていたが、さらに、素材としての固定度を高めるために自殖を進め、1997年に自殖5世代目で固定系統‘AK-1’を得た(図3-1-2, 図3-1-3)。本系統は根表皮が白く、小ぶりであるが、根部乾物率が高いため肉質が硬く、また、す入りについては比較的入りにくい系統であった。一方、1995年に導入した市販品種‘山形’は、根形などの個体間のばらつきが著しかったため、根肌がきれいで生育の良好な系統を目的に翌年から自殖を進め、2000年に自殖5世代目で固定系統‘YM-1’を得た。

2001年3月に‘AK-1’を母本とし、‘YM-1’を父本として自家不和合性を利用して組み合わせ、F₁品種を作出した。2001年と2002年に‘秋試交2号’の系統名で特性調査および現地栽培試験、加工試験(秋田県総合食品研究所の協力で実施)を行い、有望と認められたため、2003年4月に‘秋田いぶりこまち’の品種名で品種登録の出願を行い、2006年2月に品種登録された(登録番号:第13765号)。

2) ‘秋田いぶりこまち’の特性

(1) 形態的および生態的主要特性

‘秋田いぶりこまち’の葉色は‘山形’より濃く、緑色であった(表3-1-1)。全重はほぼ‘山形’と同等であるが、根部の肥大が旺盛で根重は‘山形’の平均値より約10%程度大きかった。また、茎葉部に対しての根部の割合(T-R率)は76~77%と‘山形’より小さかった。根長は‘山形’の平均値よりやや長く、地上部分に露出している抽根長も‘山形’より長かった。根形は先流れ型で、中ぶくれ型の‘山形’と異なる形状であった。根肌に細根や横すじが少なく、綺麗で加工に適していた(図3-1-4)。

‘秋田いぶりこまち’の肉質は‘山形’と同様に緻密で硬度が高く、「いぶり」に適した加工用ダイコンとしての特性を備えており、根部乾物率は‘山形’よりやや高い7.0%であった。‘秋田いぶりこまち’の根部外観に着目した良根率の平均は87~89%と‘山形’より高かった(表3-1-2)。「秋田いぶりこまち」の根重は1,000~1,250 kgを中心に良く揃っていた(図3-1-5)。

(2) 漬物加工特性

乾燥とそれに続く漬込み後の‘秋田いぶりこまち’の総歩留りは 30.5%と‘山形’より高く、やや太く仕上がった。製品の色は濃茶色、しわ、硬さは中程度で、‘山形’と差がなかった(表 3-1-3)。

考 察

秋田県が加工用ダイコンの品種育成に取り組み始めた 1988 年当時、「いぶりたくあん漬」用の主力品種は‘山形’であった。この品種はそれ以前の‘秋田’や‘改良秋田’と比較して、成長が早く、す入りが少ないなどの長所があるものの、生食用として一般に栽培されている F₁ 青首ダイコンと比較すると不揃いであった。また、古くから用いられていた‘秋田’は肉質が硬く、歯触りが良いが、成長が遅く、す入りも早いといった特性があった。以上のことから、両者を組み合わせ、地方品種についても、F₁ 化を行い、両親の長所を受け継ぎ、収量性と品質の安定化、および均一性の向上を目指した。育成した F₁ 品種‘秋田いぶりこまち’は根部形状の揃いが良く F₁ 化の効果が認められた。

‘秋田いぶりこまち’は‘AK-1’を母本として、‘YM-1’を父本として育成した F₁ 品種であるが、試験結果でも示されているように、逆の組み合わせ(‘YM-1’を母本、‘AK-1’を父本)であっても同一特性の F₁ 品種が再現された(表 3-1-1, 表 3-1-2, 図 3-1-5) ため、母本を特定しない正逆交雑の F₁ 品種でもある。自家不和合性を利用した F₁ 採種において、両親ともに採種できることは採種効率がよく、経済的であった。

‘秋田いぶりこまち’の根部の肥大は‘山形’よりやや早く、晩播適応性が高いと考えられた。そのため、播種期は県内平坦部で 8 月中～8 月下旬と推測された。なお、収穫遅れは、す入りを生じやすいため、根重 1,000 g を目安に、播種後 70～80 日(10 月下～11 月中旬)の適期収穫が必要と考えられた。

これまで、本県特産品の「いぶりたくあん漬」の原材料の表記には「秋田県産」などの産地表示はされていたが、他県名そのものである‘山形’という品種名をあえて明示することはなかった。本研究で育成された‘秋田いぶりこまち’を採用することで、秋田県で育成された県独自品種で、しかも県内で栽培された材料ということを明示でき、より効果的に伝統食品を売り込むことが可能となった。2003 年には、市場評価を確認するために、約 1.6 ha の規模で「いぶりたくあん漬」の生産業者が集まった県漬物共同組合の組合員を中心に試験栽培を実施した。その結果、揃いが良い、肌がきれい、抜き取りやすい形状である、食感が良いなど、概ね既存品種と比較して良好との評価を得、2005 年から一般に種子販売を行った。

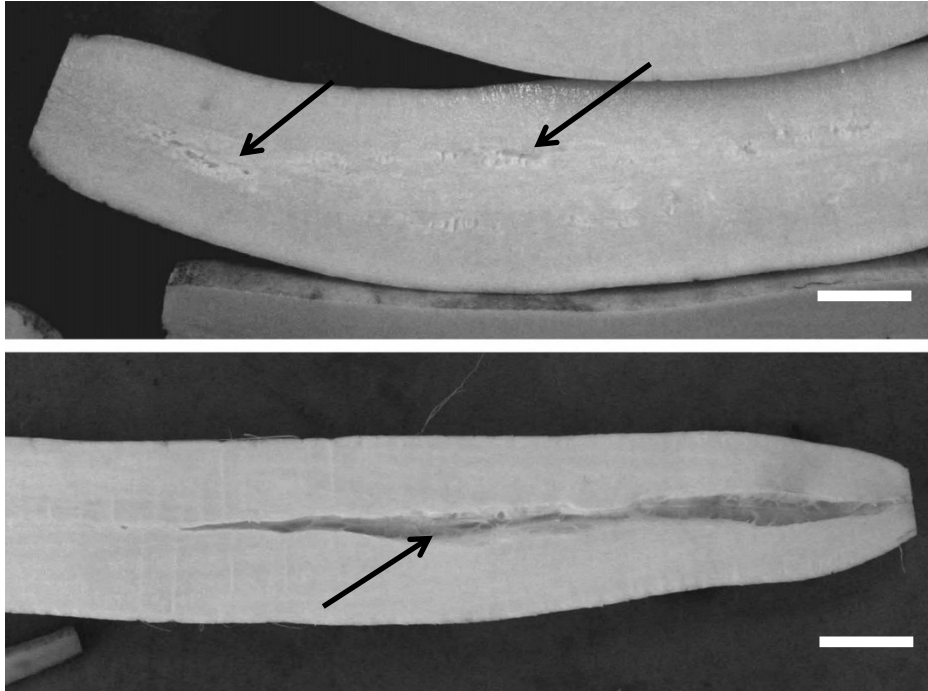


図 3-1-1 ‘山形’に発生したす入りと空洞症（根内部を縦割）
A：す入り根， B：空洞根 bar = 3 cm

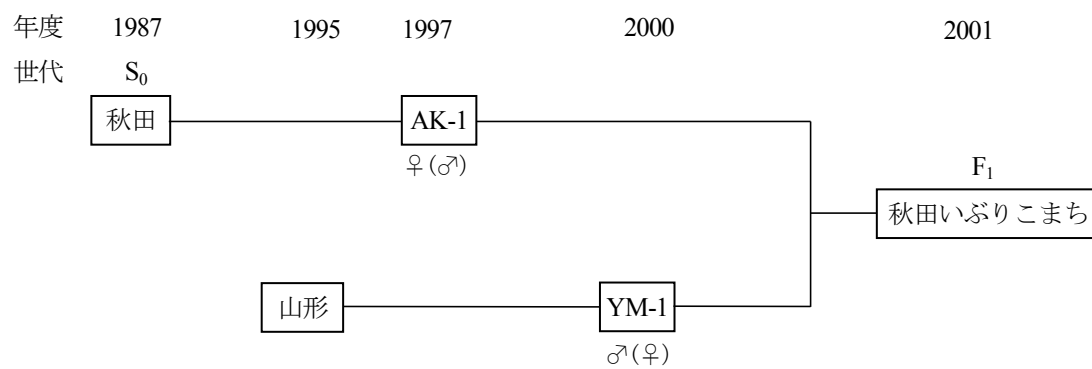


図 3-1-2 ‘秋田いぶりこまち’の育成経過



図 3-1-3 ‘秋田いぶりこまち’および交配親系統の根部形状比較
左：‘YM-1’，中央：‘秋田いぶりこまち’，右：‘AK-1’ bar=10 cm

表 3-1-1 ‘秋田いぶりこまち’の主要特性

| 品種名 (組み合わせ) | 葉色 | 全重 (g) | 根重 (g) | T-R ^z 率 (%) | 根長 (cm) | 抽根 ^y 率 (%) | 根径 (cm) | 根形 | 根色 | 細根 | 横すじ | 根肉色 | 硬 ^x 度 (Kg・cm ⁻¹) | 糖度 ^w (°Brix) | 乾物 率 (%) |
|-------------------------|----------|-----------|-----------|---------------------------|------------|--------------------------|------------|----------|----|----|-----|-----|---|----------------------------|-------------|
| 秋田いぶりこまち (AK-1×YM-1) | 緑 | 2,049 | 1,155 | 77 | 50.7 | 34.3 | 6.0 | 先 流れ | 乳白 | 少 | 少 | 乳白 | 4.1 | 6.2 | 7.0 |
| 秋田いぶりこまち (YM-1×AK-1) | 緑 | 1,971 | 1,119 | 76 | 50.0 | 35.4 | 6.1 | 先 流れ | 乳白 | 少 | 少 | 乳白 | 4.4 | 6.4 | 7.0 |
| 山形 | やや 淡緑 | 2,004 | 1,036 | 93 | 48.5 | 27.1 | 5.8 | 中 ぶくれ | 乳白 | 多 | 多 | 乳白 | 4.4 | 6.0 | 6.0 |

^z葉重/根重 ^y抽根長/根長 ^x硬度計は直径5mmの円柱形プランジャーを使用 測定部位は根中央部

^w測定部位は根中央部

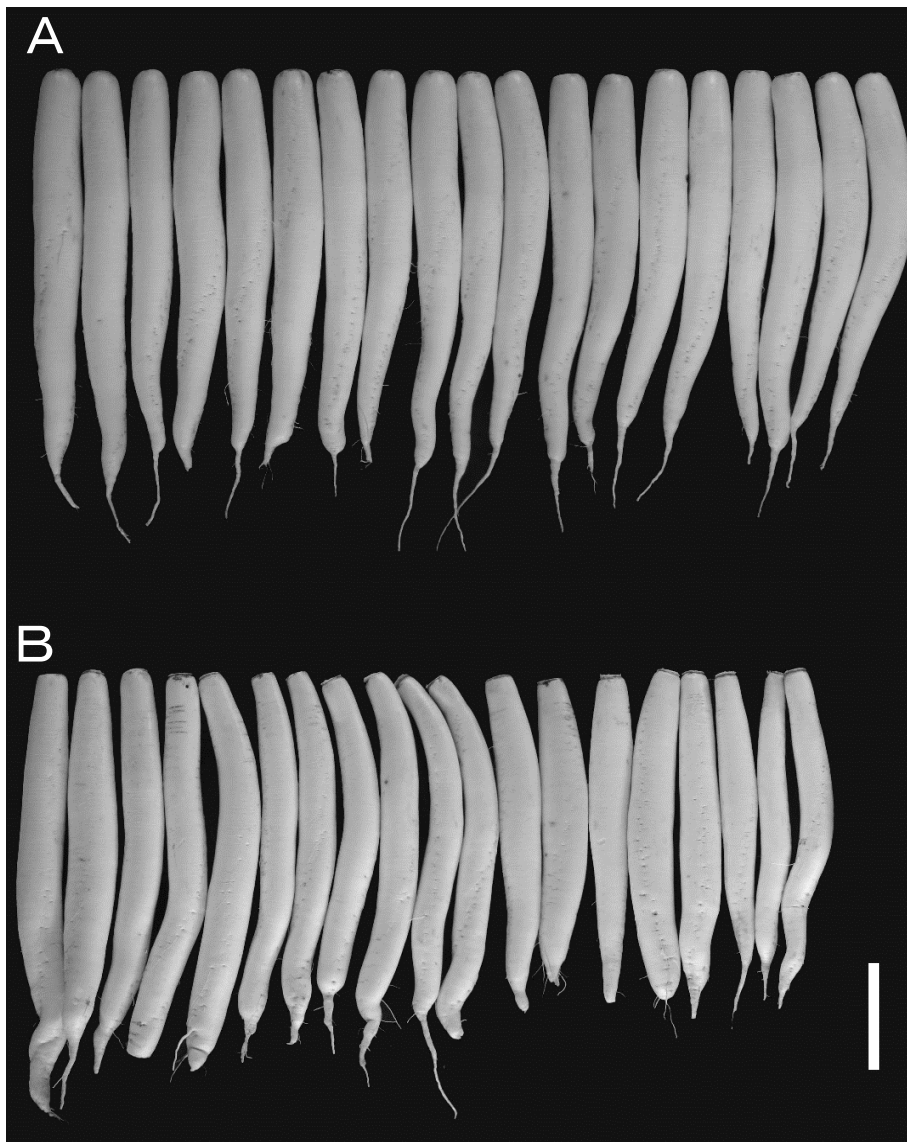


図 3-1-4 ‘秋田いぶりこまち’と‘山形’の根部比較
A：‘秋田いぶりこまち’，B：‘山形’ bar = 10 cm

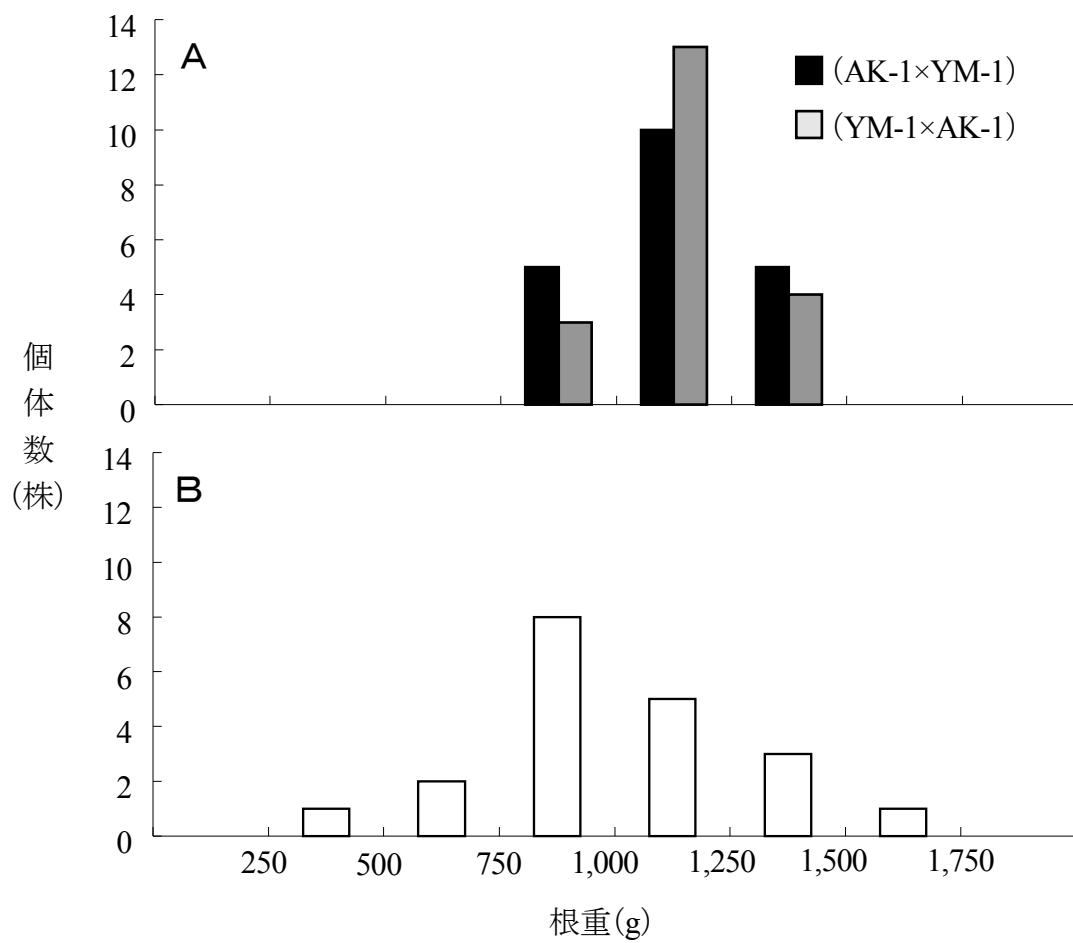


図 3-1-5 ‘秋田いぶりこまち’と‘山形’における根重の度数分布
A: ‘秋田いぶりこまち’, B: ‘山形’

表 3-1-2 ‘秋田いぶりこまち’の良品根率

| 品種名(組み合わせ) | | 根の外観による分類 | | | | |
|---------------------|------|------------|-----------|------------|-----------|------------------------|
| | | 良品根 (%) | 曲根 (%) | 分岐根 (%) | 裂根 (%) | 小根 ² (%) |
| 秋田いぶりこまち(AK-1×YM-1) | 2001 | 89 | 0 | 0 | 0 | 11 |
| | 2002 | 89 | 0 | 5 | 5 | 0 |
| | 平均 | 89 | 0 | 3 | 3 | 5 |
| 秋田いぶりこまち(YM-1×AK-1) | 2001 | 89 | 0 | 0 | 0 | 11 |
| | 2002 | 85 | 0 | 0 | 5 | 10 |
| | 平均 | 87 | 0 | 0 | 3 | 10 |
| 山形 | 2001 | 63 | 0 | 5 | 11 | 21 |
| | 2002 | 70 | 10 | 0 | 0 | 20 |
| | 平均 | 67 | 5 | 3 | 5 | 21 |

²根重が0.5kg以下

表 3-1-3 ‘秋田いぶりこまち’の加工特性 (秋田総食研)

| 品種名 | 新鮮 | 乾燥後 | | 漬込み後 | | 製品 ^x | | | | |
|----------|------------|------------|-------------------------|------------|--------------------------|-----------------|----|----|----|----|
| | 一本重 (g) | 一本重 (g) | 歩留り ^z (%) | 一本重 (g) | 総歩留り ^y (%) | 太さ | 色 | しわ | 硬さ | 食感 |
| 秋田いぶりこまち | 814 | 416 | 51.1 | 249 | 30.5 | やや太 | 濃茶 | 有 | 中 | 良 |
| 山形 | 706 | 334 | 47.3 | 185 | 26.2 | 中 | 茶 | 有 | 中 | 良 |

^z生もの一本重/乾燥後一本重 ^y生もの一本重/漬け込み後一本重 ^x収穫後に乾燥処理を行い,その後漬け込み加工した製品 漬込み条件は食塩5.0%, 砂糖12%, 漬込み期間89日

2. 加工用ダイコンF₁品種‘秋農試 39 号’の育成とその特性

緒 言

秋田県農業試験場で育成した‘秋田いぶりこまち’は、地方品種‘山形’と、同じく地方品種である‘秋田’から選抜された系統とを交配親とする F₁ 品種であり、両交配親の肉質の硬い特性を受け継ぐとともに、根部の均一性が高く、成長も早いなど、優れた特性を備えていた。しかし、収穫作業の遅れや、生育中期の高温遭遇などの条件下では、す入りや空洞症が発生しやすい欠点を有しており、しかも、個体間の均一性が高いことから、これらの障害が高率で生じる危険性が高いことが問題となり、栽培面積は拡大しなかった。一方、そのような条件であっても固定品種‘山形’の集団内には、す入りや空洞症の発生しない個体が含まれていた。そこで、‘山形’の母集団から、す入りや空洞症が認められない個体を選抜し、互いに組み合わせることで、肉質が硬く、根部の揃いも良く、す入りや空洞症の発生が少ない F₁ 品種‘秋農試 39 号’を 2011 年に育成し、2013 年に品種登録された。本稿ではその育成経過と諸特性について報告する。

材料および方法

1) ‘秋農試 39 号’の育成

(1) 母集団からの選抜

2002 年 11 月に秋田県八竜町（現三種町）、協和町（現大仙市）および雄和町（現秋田市）の 3 か所のほ場で栽培されていた‘山形’約 2,000 個体の中から、根部の生育が良好な個体を一次選抜し、さらに内部に、す入りや空洞症が認められない 15 個体を二次選抜して供試材料とした。内部障害程度の調査は、根の先端から根長の 1/3 程の部分で輪切りにして目視にて確認した。

(2) 自殖系統の作出

系統選抜における栽培は、本県の加工用ダイコンの慣行栽培に準じ、8 月下旬に秋田県農業試験場内の露地ほ場に、条間 1 m、株間 25 cm で 1 か所に 3~5 粒播種した。第 3 本葉展開時に間引きを行って 1 本仕立てとし、11 月上旬に収穫して選抜を行った。施肥は基肥のみで、N : P₂O₅ : K₂O をそれぞれ 10 kg・10 a⁻¹ 施用し、供試株数は系統あたり 10~15 株とした。11 月上旬の収穫期までに地上部特性を、収穫期に根部特性を調査して個体選抜を行った。根内部における、す入りおよび空洞症の発生状況は、前述 1. 1) 母集団からの選抜で記した方法に準じて調査した。選抜個体は、葉部を 5 cm 程度に切り揃えて 8 号鉢に移植し、無加温ガラス温室内で低温に感応させて抽苔を促進した。4~5 月の開花期には自家不和合性を打破するために、蕾受粉を行って自殖種子を採種した。なお、並行して開花受粉も実施し、自殖種子が得られる個体は自家不和合性程度が低い個体と判断し、選抜対象から除外した。以上の行程を、2003~2007 年の間に 5 世代繰り返し、F₁ 作出のための自殖系統を作出した。

(3) F₁の作出および特性の評価

2008年5月に秋田県農業試験場内の無加温ガラス温室内で、自殖系統間の開花済みの花を用いて人工交配を行い、交雑和合性のある自殖系統間の組み合わせを決定した。

F₁の組み合わせ能力検定は秋田県農業試験場内の露地ほ場で行った。現地栽培適応性検定は、県内2か所(三種町, 大仙市)の露地ほ場で実施した。また、「いぶりたくあん漬」の加工適応性検定は、現地栽培適応性検定に供した材料を用いて大仙市内の2業者に委託して実施した。

2) ‘秋農試39号’の特性調査

(1) 交配親系統との特性比較および市販品種との根部硬度と根部乾物率の比較

秋田県農業試験場内露地ほ場において、2012年8月28日に播種し、前述1.2)自殖系統の作出に準じた方法で栽培し、収穫は11月19日(栽培日数83日)に行った。供試株数は、系統・品種あたり10株とした。根部の硬度測定には果実硬度計(KM-5型, 藤原製作所)を用い、測定部位は、縦に2等分割した根部の中央部とし、直径5mmの円柱形プランジャーを押し当てて計測した。根部乾物率は、縦に2等分割した根部片方を用い、大型送風定温乾燥器(FV-1500, アドバンテック東洋)で70℃, 5日間乾燥させて乾物重を測定し、新鮮重との差から算出した。す入りおよび空洞症の有無は、根部を縦に2等分割してその断面を肉眼による観察で判定した。対照とした市販F₁品種には、本県で漬物加工用に販売されている‘改良山形’(坂本種苗), ‘いぶり乙女’(渡辺採種場), ‘干し理想’(タキイ種苗), ‘耐病干し理想’(タキイ種苗)および‘香漬の助’(トーホク)を用いた。

(2) 形態的および生態的主要特性

‘山形’および‘秋田いぶりこまち’を対照品種として、特性調査を実施した。播種日、収穫日および耕種概要は前述の2.1)と同様の方法で行い、供試株数は各品種当たり60株とした。根部の硬度測定は前述と同様にして行い、根部糖度の測定は、根中央部をおろし金ですりおろし、搾汁液を果実デジタル根部糖度計(PR-101, アタゴ)で計測した。良根率は、収穫した全個体から分岐根, 小根, す入り根および空洞根を不良根として除き、残りの良根から算出した。す入りおよび空洞症の有無は、前述と同様に根部を縦に2等分割して目視により判定した。

(3) 漬物加工特性

‘山形’および‘秋田いぶりこまち’を対照品種として、秋田県農業試験場内露地ほ場において収穫されたダイコンを、室内で乾燥処理した後、漬込み加工を行った。調査は2009~2011年の3か年行い、播種日および収穫日は、それぞれ2009年が8月26日, 11月16日(栽培日数82日), 2010年が8月27日, 11月16日(栽培日数81日) 2011年が8月25日, 11月11日(栽培日数78日)とした。耕種概要は前述の2.1)と同様の方法で行った。栽培株数は各品種当たり15株とし、収穫後に根重が標準的な5本を選んで供試材料とした。漬込み条件は食塩4.4%, 砂糖16%, 漬込み期間は60日とした。

結 果

1) ‘秋農試 39 号’の育成

‘山形’の栽培集団から、2002年に選抜した導入当代の15個体を自家受粉し、2003年5月にS₁種子を得た(図3-2-1)。8月にS₁世代15系統(‘No.1’~‘No.15’)を播種し、す入りや空洞症が発生せず、肉質が硬いと判断した8系統を選抜した。以後、1年に1世代ずつ自殖により系統選抜を進め、2007年11月に、強度の自家不和合性を安定して保持し、根部特性も揃っているS₅世代7系統(‘YM-2’~‘YM-8’)を得た。次にこれら7系統を用い、交雑和合性が認められる6組み合わせのF₁を作出し、2008年からF₁組み合わせ能力検定を行った。その結果、母本を‘YM-8’、父本を‘YM-5’としたF₁系統‘試交 No.4’が、す入りおよび空洞症の発生が見られず、揃いが良いことから、‘秋試交6号’の系統名を付与した。2009年および2010年の現地栽培適応性検定および「いぶりたくあん漬」の加工適応性検定の結果が良好であったため、2011年7月に‘秋農試39号’の名称で品種登録出願し、2013年9月に品種登録された(登録番号:第22660号)。

2) ‘秋農試 39 号’の特性

(1) 交配親系統との特性比較

‘秋農試39号’の根重は1,660 gと、母本とした‘YM-8’の1,320 g、父本とした‘YM-5’の1,300 gより大きかった(図3-2-2)。根長、硬度および根部乾物率には3系統間に有意な差は認められなかった。す入りおよび空洞症は、‘秋農試39号’とその両交配親系統ともに発生が認められなかった(表3-2-1)。「秋農試39号」の根部形状は首部が細く、最大根径の位置が根中央部に位置する中ぶくれ型で、首部がより細く、下ぶくれ型の形状を示す‘YM-8’および首部の太さが中程度で、根中央部からやや上部が太い‘YM-5’との中間的な形状であった(図3-2-2)。

(2) 市販品種との根部硬度と根部乾物率の比較

‘秋農試39号’の根部硬度は4.3 kg・cm²と、地方品種‘山形’より硬く、地方品種‘秋田’および既存の育成品種‘秋田いぶりこまち’と同程度であった。また、市販されている加工用F₁品種の根部硬度は2.5~3.4 kg・cm²であり、いずれよりも‘秋農試39号’のほうが硬かった(表3-2-2)。「秋農試39号」の根部乾物率は7.1%であった。供試品種間の根部硬度と根部乾物率の間には高い正の相関関係(r = 0.954, p < 0.05)があり(データ略)、硬い品種ほど根部乾物率が高い傾向が認められた。

(3) 形態的および生態的主要特性

‘秋農試39号’の葉色は‘山形’と同様に黄緑色で‘秋田いぶりこまち’よりやや淡かった(表3-2-3)。根重は1,320 gで‘山形’や‘秋田いぶりこまち’と比較して有意差は認められなかった。T-R率は32%と‘秋田いぶりこまち’の37%と同等であり、‘山形’の57%より小さく、茎葉部と比較して根部の比率が高かった。根長は57.6 cmと‘秋田いぶりこまち’の54.9 cmと同程度で、‘山形’の50.9 cmと比較して長かった。根径は6.2 cmで‘秋田い

ぶりこまち'の6.7 cmより細く, '山形'の6.2 cmと同程度であった. '秋農試39号'の根重, 根長および根径の標準偏差はいずれも'秋田いぶりこまち'よりやや大きかったが, '山形'より小さい値であった. 根色は3品種ともに全面乳白色で, 細根や横すじは'秋農試39号'が'秋田いぶりこまち'と同様に'山形'より少なかった(図3-2-3). 根肉色も3品種ともに乳白色であった. 根部の硬度は'秋農試39号'が $4.4 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ と, '秋田いぶりこまち'および'山形'より高かった. 根部糖度は'秋農試39号'が5.5°で, '秋田いぶりこまち'の5.9°より低かったが, '山形'の5.3°より高かった.

(4) 根部の揃いと良根率

根部の揃いは, 加工用原料として重要な形質となる根重と根部硬度についての度数分布図で示した(図3-2-4). 階級の間隔は, 根重では250 g, 根部硬度では $0.2 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ とした. '秋農試39号'は, 根重の平均値1,320 gを中心とした前後3階級(1,000 g以上1,750 g未満)に属する根重の個体が82%であり, '秋田いぶりこまち'の93%より低いが, '山形'の60%と比較して高く, 平均値周辺に多くの個体が含まれていた. 根部硬度では, 平均値 $4.4 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ を中心とした前後3階級($4.2 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 以上 $4.8 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 未満)に属する個体の割合が'秋農試39号'で93%と, '秋田いぶりこまち'の80%および'山形'の55%と比較して高く, 根重と同様に平均値周辺に多くの個体が含まれていた.

良根率は, '秋農試39号'が95.0%と, '山形'の73.3%, '秋田いぶりこまち'の35.0%より高かった(表3-2-4). 不良根の内訳では, '秋農試39号'には分岐根が5.0%見られたのみで, 根内部に, す入りおよび空洞症は生じていなかったが, '山形'には分岐根や小根の他に, す入り根が11.7%, 空洞根が6.7%生じ, '秋田いぶりこまち'には, す入り根が30.0%, 空洞根が46.7%と高率で生じていた.

(5) 漬物加工特性

乾燥後および漬物加工後の歩留まりは供試3品種間に有意な差が認められなかった. また, 「たくあん漬」の色, しわについても, 3品種の間に差がなかった(表3-2-5).

考 察

「たくあん漬」では, 水分が少ない状態のダイコンを原料とするほど, 漬込み後の肉質の変化が遅く, 長期保存に適するとされている(前田, 2002). '秋農試39号'は, 硬い肉質の地方品種'山形'を育種素材として育成された品種であり, 表3-2-2に示されるように市販の加工用品種と比較して根部硬度および根部乾物率が高い特性を有している. そのため, 燻製乾燥処理において, 市販の加工用品種より短時間で「いぶりたくあん漬」に適した水分含量とすることが可能であり, 乾燥歩留まりも高いことから, 長期保存が要求される「いぶりたくあん漬」に適する加工特性を持っていると考えられる.

'秋農試39号'の主要な特性は, 表3-2-3に示されるように, 従来の「いぶりたくあん漬」用品種'山形'または'秋田いぶりこまち'と同等であり, 漬物加工後の品質についても3品種間に差がなかった(表3-2-5). そのため, '秋農試39号'は, 加工用品種として十分に対応できる品種特性を持つと考えられる. さらに, 表3-2-3や図3-2-3に示されてい

るように根部表面に、細根や横すじが少ないことから、‘山形’を原料として用いた場合と比較して加工品の品質向上が期待できる。

‘秋農試 39 号’は、既存の育成品種‘秋田いぶりこまち’と同様に F₁ 品種である。F₁ 化によって、従来の固定品種‘山形’と比較して、根重、根長、根径および根部硬度の揃いが良く（表 3-2-3、図 3-2-3、図 3-2-4）、均一性の向上が認められた。わが国において、主要野菜では民間の種苗メーカーが F₁ 化を進め、その生産性の向上に大きく寄与してきた。しかし、地方野菜については民間の取り組みが少なく、F₁ 化は公設の試験研究機関が中心となって進められてきた。その結果、地方品種としては、これまでに長野県の‘上野’（大井，2002）、‘親田辛味’（大井，2002）、‘戸隠’（臼井，2003）、‘ねずみ辛味’（重盛，2006）および愛知県の‘守口’（矢部，2003）などについて F₁ 品種が育成され、いずれも均一性の向上が図られている。均一性の高い F₁ 品種は、一斉収穫が容易であるなど作業効率が高く、大規模栽培にも適する。このため、一般的に均一性が劣る地方品種について、F₁ 化を図ることは、栽培の規模拡大に効果が高いと考えられる。一方、‘秋農試 39 号’におけるヘテロシスについては、交配親の自殖系統（‘YM-8’および‘YM-5’）に対しての根重の増加は顕著である（表 3-2-1）が、集団採種により比較的高いヘテロ接合性が維持されている固定品種‘山形’との比較では、その効果を認めることはできなかった（表 3-2-3）。

ダイコンにおいて、す入りは同化産物の量と根の肥大成長のバランスが保たれなくなった場合に生じ、柔細胞が崩壊した現象とみられている。また、早生品種には、す入りが早く生じ、晩生品種は遅い傾向があるなど、その発生には品種間差が認められている（萩屋，1952，1958）。一方、空洞症は生育中期の高地温によって生じやすく、急激な成長により破生間隔に柔細胞が充填されないために発生するとされる（Kano，1989；田中ら，2011）。また、その発生程度にも、す入りと同様に品種間差があり（市川ら，1980；加納・福岡，1994）、成長が遅い晩生種には発生が少ないと考えられる。‘秋農試 39 号’の素材となった‘山形’は晩生で、す入りや空洞症が発生しにくい品種ではあるが、集団内で遺伝的な変異が大きく、比較的成長が速く、す入りや空洞症が生じやすい個体が混在していた。しかし、す入りや空洞症の発生しにくい個体から選抜育成した系統を両親とする‘秋農試 39 号’は、‘山形’と同様に晩生で、かつ‘山形’以上に、す入りや空洞症の生じにくい品種である（表 3-2-4）。そのため、‘秋農試 39 号’の良根率の平均は 95.0%と高く、原料としての生産性の向上が期待される。さらに、す入りが発生しにくいことから、在ほ性の向上および収穫期間の延長が期待できる。

以上のように‘秋農試 39 号’は市販品種にない肉質の硬さを持ち、揃いの良い F₁ 品種であり、先に育成した‘秋田いぶりこまち’と比較して、す入りや空洞症の発生しにくい品種特性を持っている。このため、漬物加工業者および生産者の評価が高く、秋田県内での 2012 年の栽培面積は約 20 ha に拡大している。本品種の採用によって、本県の特産品である「いぶりたくあん漬」の評価がさらに高まり、生産量が増加することが期待される。

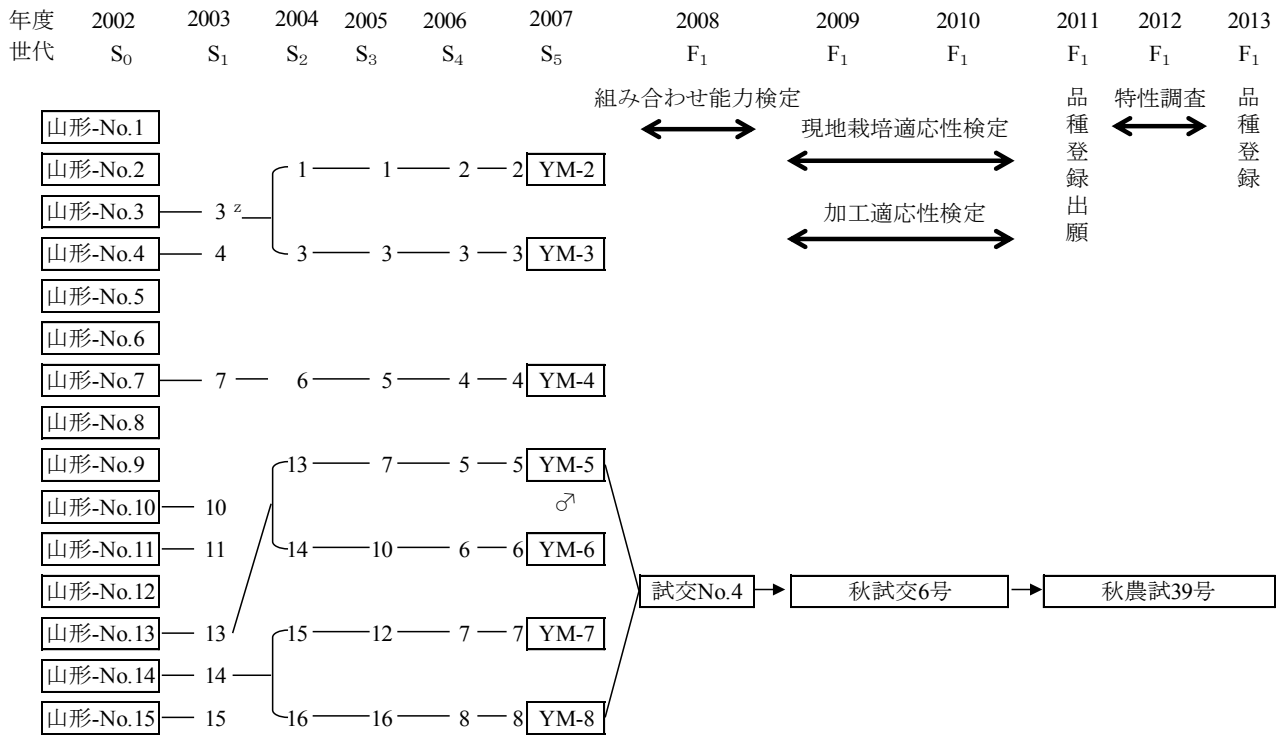


図 3-2-1 ‘秋農試 39 号’の育成経過
^z系統番号

表 3-2-1 ‘秋農試 39 号’および交配親系統の特性

| 品種・系統名 | 根重 (g) | 根長 (cm) | 硬度 (kg・cm ²) | 乾物 率 (%) | す入り 根率 (%) | 空洞 根率 (%) |
|--------|----------------------|------------|-----------------------------|----------------|------------------|-----------------|
| YM-8 | 1,324 b ^z | 58.1 a | 4.1 a | 6.8 a | 0.0 | 0.0 |
| YM-5 | 1,302 b | 57.1 a | 4.2 a | 7.3 a | 0.0 | 0.0 |
| 秋農試39号 | 1,664 a | 61.5 a | 4.3 a | 7.1 a | 0.0 | 0.0 |

^zTukeyの多重検定により，同符号間には5%水準で有意差なし (n=3~5)



図 3-2-2 ‘秋農試 39 号’ および交配親系統の根部形状比較
左：‘YM-8’，中央：‘秋農試 39 号’，右：‘YM-5’ bar = 10 cm

表 3-2-2 ‘秋農試 39 号’および対照品種の根部硬度と乾物率

| 品種区分 | 品種名 | 固定または F ₁ 品種 | 硬度 (kg・cm ⁻²) | 乾物率 (%) |
|------|----------|----------------------------|------------------------------|------------|
| 育成品種 | 秋農試39号 | F ₁ | 4.3 a ² | 7.1 ab |
| | 秋田いぶりこまち | F ₁ | 4.1 ab | 7.3 ab |
| 地方品種 | 秋田 | 固定 | 4.4 a | 7.5 a |
| | 山形 | 固定 | 3.8 bc | 6.7 abc |
| 市販品種 | 改良山形 | F ₁ | 3.4 cd | 6.1 abc |
| | いぶり乙女 | F ₁ | 3.3 cd | 6.3 abc |
| | 干し理想 | F ₁ | 3.1 d | 5.9 bc |
| | 耐病干し理想 | F ₁ | 3.1 d | 5.5 c |
| | 香漬の助 | F ₁ | 2.5 e | 5.4 c |

²Tukeyの多重検定により，同符号間には5%水準で有意差なし (n=3)

表 3-2-3 ‘秋農試 39 号’および対照品種の主要特性

| 品種名 | 葉色 ^z | 根重 (g) | T-R率 ^y (%) | 根長 (cm) | 根径 (cm) |
|----------|-----------------|---|--------------------------|--------------|-------------|
| 秋農試39号 | 黄緑 | 1318 ± 270 ^w ab ^v | 32 b | 57.6 ± 6.7 a | 6.2 ± 0.5 b |
| 山形 | 黄緑 | 1278 ± 380 b | 57 a | 50.9 ± 7.0 b | 6.2 ± 0.8 b |
| 秋田いぶりこまち | やや黄緑 | 1411 ± 200 a | 37 b | 54.9 ± 4.9 a | 6.7 ± 0.4 a |

| 品種名 | 根形 ^z | 根色 ^z | 細根 ^x | 横すじ ^x | 根肉色 ^z | 硬度 (kg・cm ⁻²) | 糖度 (°Brix) |
|----------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------------------|---------------|
| 秋農試39号 | 中ぶくれ | 乳白 | 少 | 少 | 乳白 | 4.4 ± 0.2 a | 5.5 ± 0.3 b |
| 山形 | 中ぶくれ, 先流れ | 乳白 | 多 | 多 | 乳白 | 4.1 ± 0.4 b | 5.3 ± 0.4 c |
| 秋田いぶりこまち | 先流れ | 乳白 | 少 | 少 | 乳白 | 4.0 ± 0.2 b | 5.9 ± 0.3 a |

^z品種登録制度による農林水産植物種類別審査基準により，目視で判断した

^y葉重／根重×100 (n=5)

^x‘秋田いぶりこまち’を基準として，目視で判断した

^w平均値±標準偏差 (n=60)

^vTukeyの多重検定により，同符号間には5%水準で有意差なし

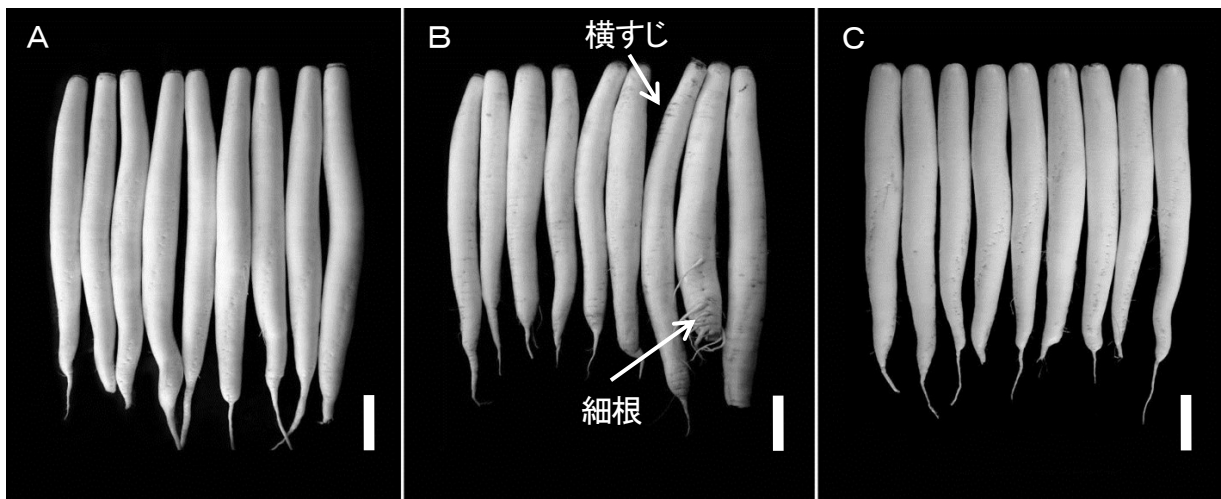


図 3-2-3 ‘秋農試 39 号’ および対照品種の根部形状比較
A: ‘秋農試 39 号’, B: ‘山形’, C: ‘秋田いぶりこまち’ bar = 10 cm

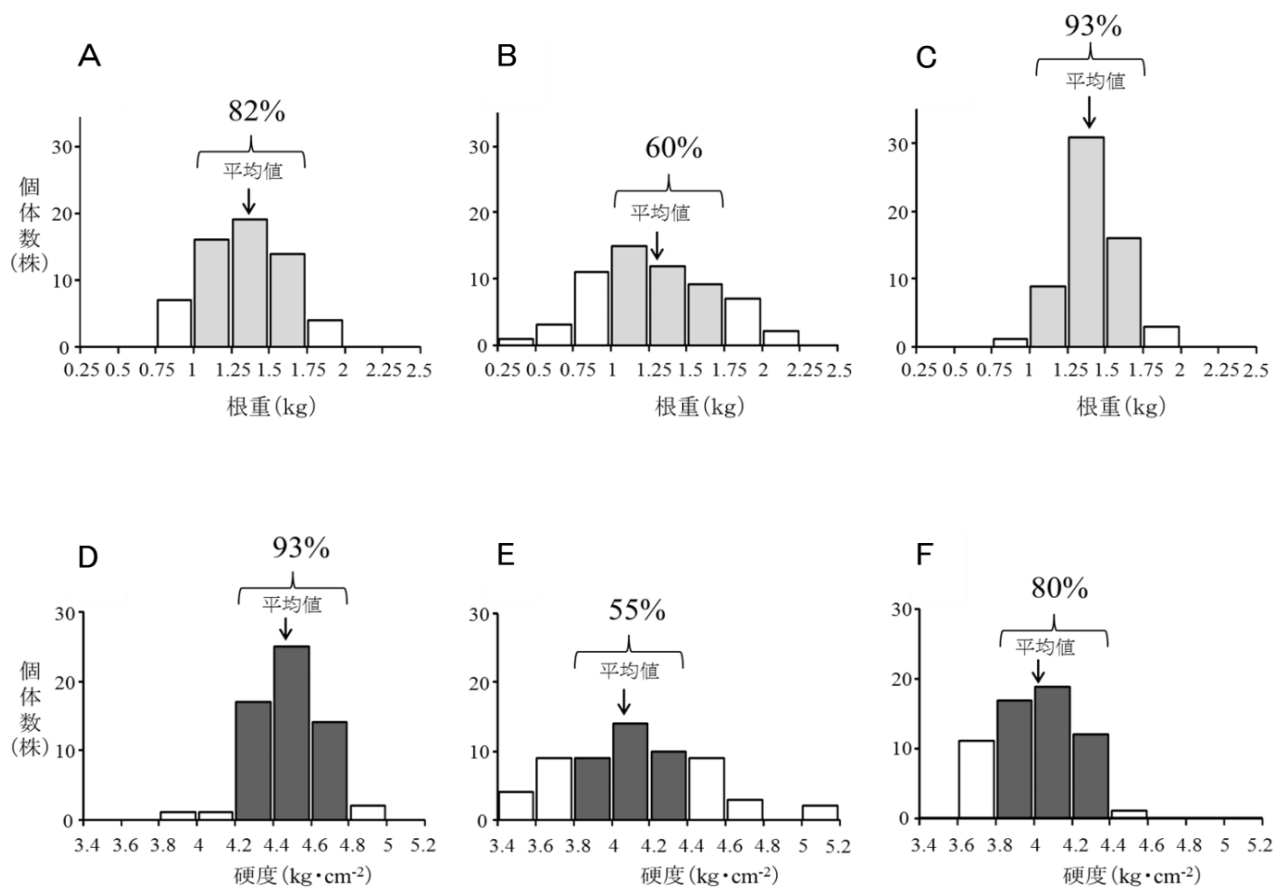


図 3-2-4 ‘秋農試 39 号’ および対照品種の根重と根部硬度における度数分布 (n = 60)
 A および D: ‘秋農試 39 号’, B および E: ‘山形’, C および F: ‘秋田いぶりこまち’

表 3-2-4 ‘秋農試 39 号’ および対照品種の良根率 (n = 60)

| 品種名 | 良根 ^z (%) | 不良根 ^y | | | |
|----------|------------------------|------------------|------------------------|-------------|------------|
| | | 分岐根 (%) | 小根 ^x (%) | す入り根 (%) | 空洞根 (%) |
| 秋農試39号 | 95.0 | 5.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 山形 | 73.3 | 8.3 | 1.7 | 11.7 | 6.7 |
| 秋田いぶりこまち | 35.0 | 10.0 | 0.0 | 30.0 | 46.7 |

^z収穫した全個体から分岐根, 小根, す入り根および空洞根を不良根として除いた残りの正常な根

^y不良根の各項目は重複している場合があり, 必ずしも項目の合計値と, 不良根の総数値は一致しない

^x根重が0.5kg以下

表 3-2-5 ‘秋農試 39 号’ および対照品種の漬物加工特性

| 品種名 | 新鮮 | 乾燥後 | | 漬込み後 | | 製品外観 ^x | |
|----------|----------------------------------|------------|-------------------------|------------|--------------------------|-------------------|----|
| | 一本重 (g) | 一本重 (g) | 歩留り ^z (%) | 一本重 (g) | 総歩留り ^y (%) | 色 | しわ |
| 秋農試39号 | 1322 ^w a ^v | 813 a | 61.3 a | 469 a | 35.4 a | 茶 | 有 |
| 山形 | 1285 a | 808 a | 62.7 a | 392 a | 30.1 a | 茶 | 有 |
| 秋田いぶりこまち | 1342 a | 846 a | 62.9 a | 473 a | 35.4 a | 茶 | 有 |

^z乾燥後一本重／新鮮一本重

^y漬込み後一本重／新鮮一本重

^x‘秋田いぶりこまち’を基準として、目視で判断した

^w2009～2011年の3年間の平均値 (n = 5)

^vTukeyの多重検定により、同符号間には5%水準で有意差なし

3. 辛味ダイコンF₁品種‘あきたおにしぼり’の育成とその特性

緒 言

秋田県北部には、‘松館しぼり’と称される辛味ダイコンの在来品種が栽培され、県の伝統野菜の一つに認定されている（秋田県農林水産部，2006）．‘松館しぼり’の「おろし」は繊維質が多く、直接利用されることは少なく、「おろし」を布などでろ過し、その搾り汁が調味料として用いられ、その利用方法が品種名の由来となっている（吉川，2002）．‘松館しぼり’の搾り汁は濃厚で、強い辛味だけでなく、他の辛味ダイコンと比べて旨味や甘みが強く感じられることが特徴とされている（前田，1993）．

‘松館しぼり’は100年以上前から栽培されてきたが、集団で維持されてきた品種であるため、根形や辛味品質のばらつきが大きく、商品化を図る上での問題となっていた（戸澤，2003；椿，2005）．秋田県農業試験場では品種としての均一性向上を目的として、‘松館しぼり’から選抜した2系統間のF₁品種‘あきたおにしぼり’を育成し、2003年より普及させた（椿ら，2005）．現状では、JAかづのから「松館しぼり大根」の名称で販売されているダイコンの全量がF₁品種‘あきたおにしぼり’で統一され、根形やイソチオシアネートの量と質が安定した品種が生産されている．2013年度における‘あきたおにしぼり’の栽培面積は約2haとなっており、約30tが県内を中心に県外にも出荷されている（私信）．

本報告では、‘あきたおにしぼり’の育成経過と諸特性について報告するとともに、地方品種のF₁化による品質向上効果を明らかにするため、F₁品種‘あきたおにしぼり’と、その親系統および原品種‘松館しぼり’の収量特性、形態特性、根内部の特性およびイソチオシアネートや糖含量といった成分特性を詳細に比較し、その効果について検証した．

材料および方法

1) ‘あきたおにしぼり’の育成

(1) 母集団からの選抜

‘松館しぼり’の現地ほ場（秋田県鹿角市）で栽培した約1,000個体の中から、1993年から1995年までの3年間、毎年、根形が球形からやや長形、裂根が見られない、根重が500g程度とした3つの形態的な選抜基準にすべて適合する個体を選抜し、さらにそれらの中から辛味が強い個体を選抜した．辛味は、根部をおろし金ですりおろして官能調査により評価した．

(2) 自殖系統の作出

選抜した個体は、硬質プラスチック8号鉢に移植し、秋田県農業試験場内の無加温ガラス室で維持して4～5月の開花期に蕾受粉を行って自殖種子を採種した．採種した種子は、8月上旬に再び鹿角市の現地栽培ほ場に播種し、11月上旬（栽培日数90日程度）に収穫した．上述したように現地ほ場において栽培および個体選抜し、農業試験場で自殖種子を採種する行程を3世代繰り返して固定系統を育成した．

(3) F₁の作出および特性の評価

1999年に固定系統間で人工交配して、組み合わせ能力を検定し、2000年と2001年に鹿角市の現地ほ場で現地栽培適応性検定を実施した。

2) ‘あきたおにしぼり’の形態特性、内部特性および成分特性調査

(1) 交配親系統との特性比較

秋田県農業試験場露地ほ場において、2012年8月27日に条間1m、株間25cmで1か所に3~5粒を播種し、第3本葉展開時に間引きを行って1本仕立てとした。施肥は基肥のみで、N:P₂O₅:K₂Oをそれぞれ10kg・10a⁻¹施用し、収穫は11月27日(栽培日数92日)に行った。供試株数は、系統・品種当たり16株とした。

形態特性は目視、メジャー、デジタルノギスおよび台はかり(秤量4kg)を用いて計測した。根部の硬度はフルーツ硬度計(0-13KG, T.R. Turoni s.r.l.)を用いて、中心柱に沿って縦に2分割した根部の中央部に、直径5mmの円柱形プランジャーを押し当てて計測した。根部の乾物率は、縦に2分割した根部一片を用い、はじめに新鮮重を計測し、送風定温乾燥器(FV-1500, アドバンテック東洋(株))で70℃7日間乾燥後に乾物重を測定し、新鮮重との差から算出した。根部の糖度は、根中央部をおろし金ですりおろし、搾汁液を果実デジタル根部糖度計(PR-101, (株)アタゴ)で計測した。根部搾汁液に含まれるイソチオシアネートの測定は、堀ら(1999)の方法に従った。はじめに、根部を中心柱に沿って縦に4~8分割した材料をジューサーで搾汁した。次に、搾汁液0.8mlに、同量のクロロホルムを加えて攪拌した後、ガスクロマトグラフ(GC-17A, (株)島津製作所)で分離・定量した。検出には、水素炎イオン検出器(FID)を用いた。カラムはFused Silica Capillary Column(DB-WAX, Agilent J&W)を使用し、カラム温度は初期温度120℃で1分保持後、10℃/分の昇温速度で220℃まで昇温させた後、2分間保持した。クロマトグラムから2つの主要なピークが検出され、堀ら(1999)の報告方法を基にエルシンと4MTB-ITCと同定した。それぞれの濃度算出は、アリルイソチオシアネートの検量線を基に行った。糖の組成と含量は、イソチオシアネート分析のために搾汁した搾汁液を用い、蒸留水で分析に適した濃度に希釈し、0.45μmフィルターでろ過後、カラム(PA10, 日本ダイオネクス(株))を用いてHPAEC(DX500, 日本ダイオネクス(株))で分離、定量を行った。検出には、パルスドアンペロメトリー検出器(PAD)を用いた。

(2) 在来品種‘松館しぼり’との特性比較

品種内の表現型のばらつきを詳細に検討するために、供試株数を各60株に増やし、前述の1)交配親系統との特性比較と同様の方法で栽培および調査を行った。在来品種‘松館しぼり’は、1994年に現地栽培農家から導入した種子を用い、遺伝的変異を維持する目的から、20株の集団で虫媒による放任受粉を行い、増殖した自殖第1世代である。

結 果

1) ‘あきたおにしぼり’の育成

1993～1995年に現地ほ場において、計約3,000個体から10個体を選抜した(図3-3-1)。その後、系統選抜を進め、1998年に、強い自家不和合性を保持し、根部特性もそろっているS₃世代2系統(‘M-2-1’および‘M-K1-3’)を得た。1999年にこれら2系統のF₁組み合わせ能力検定を行い、根形のそろいが良く、イソチオシアネート含量のばらつきが少なかったことから、さらに2年間の現地栽培適応性検定を行い、2002年3月に‘あきたおにしぼり’の名称で品種登録出願し、2005年3月に品種登録された(登録番号:第12844号)。

2) ‘あきたおにしぼり’の特性

(1) 交配親系統との特性比較

‘あきたおにしぼり’の葉片は、両交配親系統と同様に切れ込みのない全縁葉であった(図3-3-2, 表3-3-1)。葉柄基部におけるアントシアニンの着色は‘あきたおにしぼり’と‘M-K1-3’で認められ、‘M-2-1’では認められず、F₁における優性発現が確認された(表3-3-1)。「あきたおにしぼり」の葉重は1,087g、根重は753gと、いずれも交配親系統の‘M-2-1’および‘M-K1-3’より値が大きく、ヘテロシスが認められた。また、T-R率も145%と、両交配親系統より有意に高かった(図3-3-2, 表3-3-1)。「あきたおにしぼり」の根形は、‘M-2-1’および‘M-K1-3’の中間的な形状の短円筒型であった(図3-3-2, 表3-3-1)。根色は乳白色、根部硬度は6.6 kg・cm⁻²、根部糖度は9.1°で、いずれも交配親系統の‘M-2-1’および‘M-K1-3’との間の値、すなわち中間値に近く、F₁で相加効果が認められた(表3-3-1)。

‘あきたおにしぼり’、‘M-2-1’および‘M-K1-3’の搾汁液には、4MTB-ITC およびエルシンの2成分のイソチオシアネートが検出されたが、いずれの系統も4MTB-ITCが総イソチオシアネート含量の97%を占め、主成分であることが確認された。「あきたおにしぼり」の総イソチオシアネート含量は96.0 mg・100 mL⁻¹で、交配親2系統のうち、含量率の高い‘M-K1-3’と同等の値であったことから、F₁で、イソチオシアネート含量における優性効果が認められた(図3-3-3)。

供試品種で検出された糖はスクロース、フルクトースおよびグルコースであった。これら3種類の糖を合わせた総糖含量は、供試品種間に差は認められなかった(図3-3-4)。糖組成では、交配親‘M-2-1’ではスクロース含量が5.0 g・100 mL⁻¹と全体の84.8%を占め、フルクトースとグルコースの割合は低かったが、もう一方の交配親‘M-K1-3’のスクロース含量は2.1 g・100 mL⁻¹で全体の35.6%と‘M-2-1’と比べて少なく、その代わりにフルクトースとグルコースの割合が高く、両系統で差があった。「あきたおにしぼり」の糖組成は、交配親系統の‘M-2-1’および‘M-K1-3’との間で、両親系統の平均値に近く、F₁における相加効果が認められた(図3-3-4)。

(2) 在来品種‘松館しぼり’との特性比較

‘あきたおにしぼり’の平均根重は671gと‘松館しぼり’の551gと比較して有意に大きかった(表3-3-2)。「あきたおにしぼり」の根形は、‘松館しぼり’が長円錐型の個体が大部分を占めていたのに対し、根長が短く、根径が太い短円筒型であった(図3-3-5)。「あきたおにしぼり」の

根重、根長、根径、根長／根径の標準偏差の値はいずれも‘松館しぼり’の値より小さく、根部の形態特性において均一性が高かった（表 3-3-2）。

‘あきたおにしぼり’の根部硬度、根部乾物率および根部糖度は、いずれも‘松館しぼり’より有意に高く、それぞれの標準偏差の値はいずれも小さく、根内部の特性においても均一性が高かった（表 3-3-2）。

‘あきたおにしぼり’の総イソチオシアネート含量は、搾汁液中に $62.8\sim 106.8\text{ mg}\cdot 100\text{ mL}^{-1}$ 含まれ、個体間差が小さくそろっており、平均値は $85.6\text{ mg}\cdot 100\text{ mL}^{-1}$ であった（図 3-3-6）。一方、‘松館しぼり’では $17.7\sim 153.1\text{ mg}\cdot 100\text{ mL}^{-1}$ と個体間差が極めて大きく不ぞろいで、平均値は $69.8\text{ mg}\cdot 100\text{ mL}^{-1}$ と、‘あきたおにしぼり’と比較して小さかった（図 3-3-6）。‘あきたおにしぼり’の総イソチオシアネート含量に占めるエルシンの含有率は、測定した 60 個体において 3.0～3.7%と、微量で個体間差も小さかった。一方、‘松館しぼり’では、測定した全 60 個体中、エルシンの含有率が 50%以上を占める個体が 6 個体、10%以上 50%未満では 4 個体、残り 50 個体は 2.1～8.1%であり、個体間で含有率のばらつきが大きかった（図 3-3-6）。

搾汁液中のスクロース、フルクトースおよびグルコース含量の平均値は、‘あきたおにしぼり’でそれぞれ $3.7\text{ g}\cdot 100\text{ mL}^{-1}$ 、 $0.8\text{ g}\cdot 100\text{ mL}^{-1}$ 、 $1.3\text{ g}\cdot 100\text{ mL}^{-1}$ 、‘松館しぼり’では、それぞれ $3.5\text{ g}\cdot 100\text{ mL}^{-1}$ 、 $0.8\text{ g}\cdot 100\text{ mL}^{-1}$ 、 $1.4\text{ g}\cdot 100\text{ mL}^{-1}$ と大差なく、両品種間に各成分含量の有意差は認められなかった（図 3-3-7）。しかし、‘あきたおにしぼり’は‘松館しぼり’と比較して含量および組成比ともに個体間差が小さくそろっていた（図 3-3-7）。

考 察

‘あきたおにしぼり’は在来品種‘松館しぼり’の集団から系統選抜した 2 系統を、自家不和合性を利用して組み合わせた F_1 品種である。‘あきたおにしぼり’を、その交配親系統と比較した場合、葉重、根重および T-R 率でヘテロシスが顕著に現れ、同一の固定種内から育成された近縁系統間の F_1 品種であっても、収量に関する特性において十分なヘテロシス効果を示すと考えられた。ダイコンの根重におけるヘテロシスは、Iwata ら（2000）が宮重品種群で、田中ら

（2011）が‘桜島’でそれぞれ報告し、 F_1 育種法の有効性を示しているが、本研究結果もその報告を支持するものであった。一方、収量以外の特性についてはヘテロシス効果が確認されず、優性効果または相加効果が認められた。本試験で優性効果が認められたのは、葉柄のアントシアニン着色およびイソチオシアネート含量の 2 形質のみであった。葉柄のアントシアニン着色は優性遺伝と推測されるが、イソチオシアネート含量は量的な形質と考えられるため、その遺伝様式については、さらに異なる組み合わせや、イソチオシアネートをほとんど含まない系統との交配試験を行って判断する必要がある。

上記以外のほとんどの形質では、両親の中間の値（相加効果）を示した。‘あきたおにしぼり’に特徴的な短円筒型の根形は、丸型と長円錐型の遺伝子をヘテロ接合体で有することで表現されている（第 1 図）。この根形デザインは、丸型および長円錐型個体の自殖後代では、比較的容易に根形を固定できるが、短円筒型個体の後代からは、丸型や長円錐型の個体が分離するケースが多い（データ省略）ことを踏まえて実施されたものである。このようにダイコンの根形において、ヘテロ接合で表現される短円筒型の表現型をそろえるには、 F_1 育種法が極めて効果的と考えられる。ダイコンの根形にかかわる主要形質である根長および根径については、西山ら（1958）が日

本のダイコン10系統を調査して不完全優性であるとし、Iwataら(2000)も宮重品種群6系統で不完全優性であると報告しており、本試験でも同様に両親の中間的形質(不完全優性)となり、それらを支持する結果であった。一方、'桜島'ダイコンの様な扁球形品種では、根径および扁球形の形質が優性から超優性(ヘテロシス)との報告(田中ら, 2012)もあり、品種により発現性が異なる場合もあると考えられる。

F₁品種における根部の糖分含量については、田口ら(2006)がテンサイにおいて相加効果が認められると報告している。本試験では、テンサイと同様にダイコンのF₁においても根部糖度で相加効果が認められた。さらに本試験では、糖組成においても相加効果があることが確認された。以上のように、F₁品種'あきたおにしぼり'におけるヘテロシス効果、優性効果および相加効果の結果は、今後ダイコン在来品種のF₁育種を進める上で参考となると考えられる。

加工用ダイコン'秋農試39号'の育成で示されたのと同様に、'あきたおにしぼり'はF₁化によって、在来品種'松館しぼり'と比較して、根重および根形などの形態特性で均一性が向上した。さらに、根部硬度、根部乾物率および根部糖度などの根内部の特性においても均一性が高いことが確認され、商品化を図る上でのF₁化の有効性が確認された。

多くのダイコンの搾汁液中には4MTB-ITCを主成分とし、極少量のエルシンが含まれている(Friis・Kjaer, 1966; 石田ら, 2012; Kjaerら, 1978)。しかし'松館しぼり'には30個体中4個体(約13%)でエルシンを搾汁液の主成分とする個体があることが報告されている(堀ら, 1999)。本試験でも図3-3-6で示したように'松館しぼり'60個体の中で10個体(約17%)が、搾汁液中にエルシンを主成分または多く含む個体であった。これらエルシンを主成分とし、4MTB-ITCが少ない個体は、「おろし」にワサビに近い香りや味が感じられるとともに、すりおろした後の変色やたくあん臭発生が少ないなどの特徴があり(データ省略)、食味のばらつき要因の一つとなっていた。'あきたおにしぼり'においては、親系統の育成に当たり、両親ともに、4MTB-ITCを主成分とし、含量が高い個体を選抜したことから、4MTB-ITC含量が高い特性の安定化が図られたといえる。

'あきたおにしぼり'の搾汁液に含まれる糖の含量および成分組成比は、'松館しぼり'と比較して個体間のばらつきが少なく、均一性が高かった。なお、糖組成の違いが「おろし」の食味に及ぼす影響については、今後の検証が必要と考えられる。

本研究で、'松館しぼり'をF₁化して育成された'あきたおにしぼり'は、成分特性でも均一性が高いことが確認され、'松館しぼり'の商品化を図る上で成分特性の面からもF₁化が有効であることが示唆された。しかし、'松館しぼり'には極めて高いイソチオシアネート含量を示す個体や、エルシンを主成分とした辛味の質が異なる個体(第5図)も含まれており、その成分特性における遺伝資源としての価値は極めて高い。そのため、大量生産用には均一性の高いF₁品種を利用する一方で、成分特性をはじめとした遺伝的多様性を内在する在来品種については、固定種の状態で栽培を続け、存続していくことも重要と考えられる。

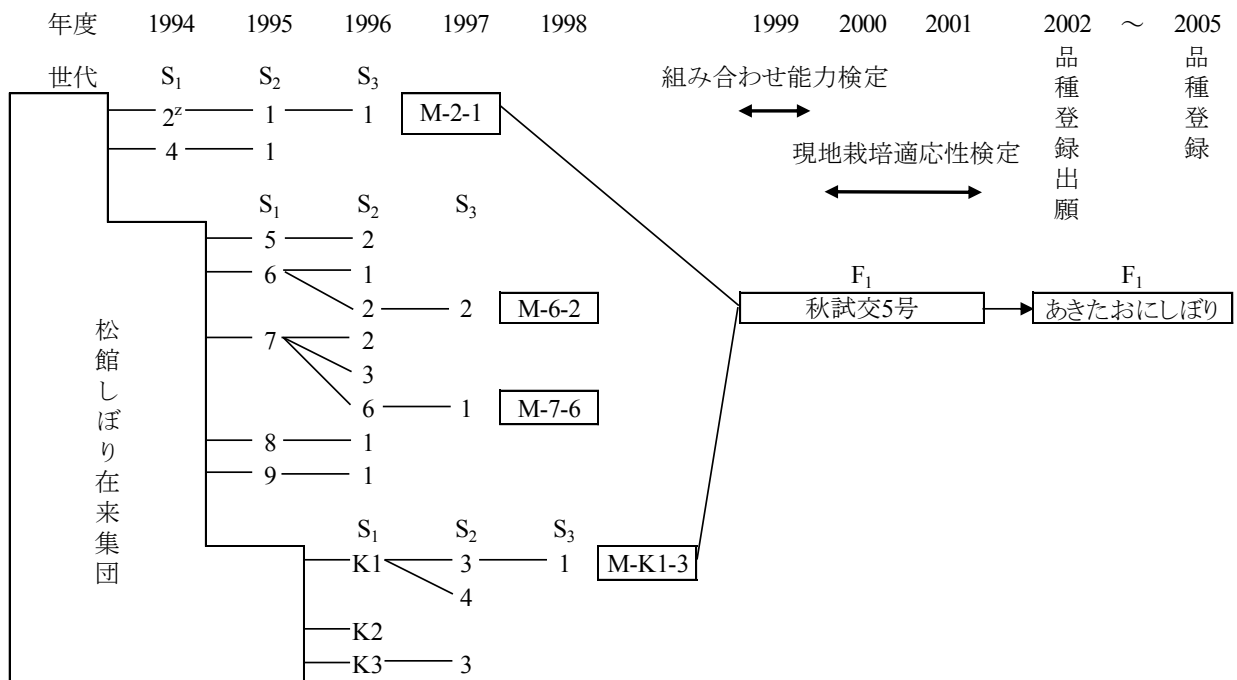


図 3-3-1 ‘あきたおにしぼり’の育成経過 ^z系統番号

表 3-3-1 ‘あきたおにしぼり’および交配親系統の特性（栽培日数 92 日）

| 品種・系統名 | 葉片の ^z 特性 | 葉柄の 色素 | 葉重 (g) | 根重 (g) | T-R率 ^y (%) | 根形 ^z | 根色 ^z | 根部 硬度 (kg・cm ⁻²) | 根部 糖度 (°Brix) |
|----------|------------------------|-----------|--------------------------------------|------------|--------------------------|-----------------|-----------------|------------------------------------|---------------------|
| M-2-1 | 全縁 | 無 | 426 ± 61 ^x b ^w | 376 ± 39 c | 114 ± 19 b | 長円錘 | 濃乳白 | 7.3 ± 0.2 a | 9.4 ± 0.4 a |
| M-K1-3 | 全縁 | 有(紫) | 319 ± 34 b | 448 ± 39 b | 71 ± 7 c | 丸 | 白 | 6.4 ± 0.2 c | 8.6 ± 0.5 b |
| あきたおにしぼり | 全縁 | 有(紫) | 1,087 ± 164 a | 753 ± 72 a | 145 ± 23 a | 短円筒 | 乳白 | 6.6 ± 0.1 b | 9.1 ± 0.4 ab |

^z品種登録制度による農林水産植物種類別審査基準により，目視で判断した

^y葉重／根重×100

^x平均値±標準偏差（n = 5～10）

^wTukeyの多重検定により，同符号間には5%水準で有意差なし（n = 5～10）



図 3-3-2 ‘あきたおにしぼり’および交配親系統の形態特性比較
左：‘M-2-1’，中央：‘あきたおにしぼり’，右：‘M-K1-3’ bar = 10 cm

(mg · 100 mL⁻¹ 搾汁液)

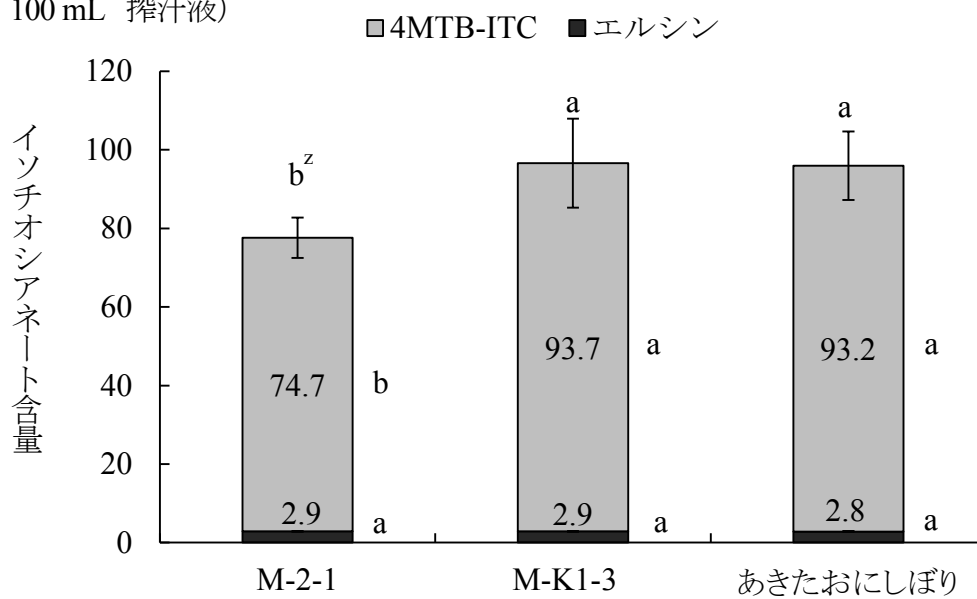


図 3-3-3 ‘あきたおにしぼり’および交配親系統のイソチオシアネート含量

^zTukey の多重検定により，同符号間には 5%水準で有意差なし (n=5)

グラフ上のアルファベットは総含量の比較

グラフ横のアルファベットは成分間の比較

bar = 総イソチオシアネート含量の標準偏差

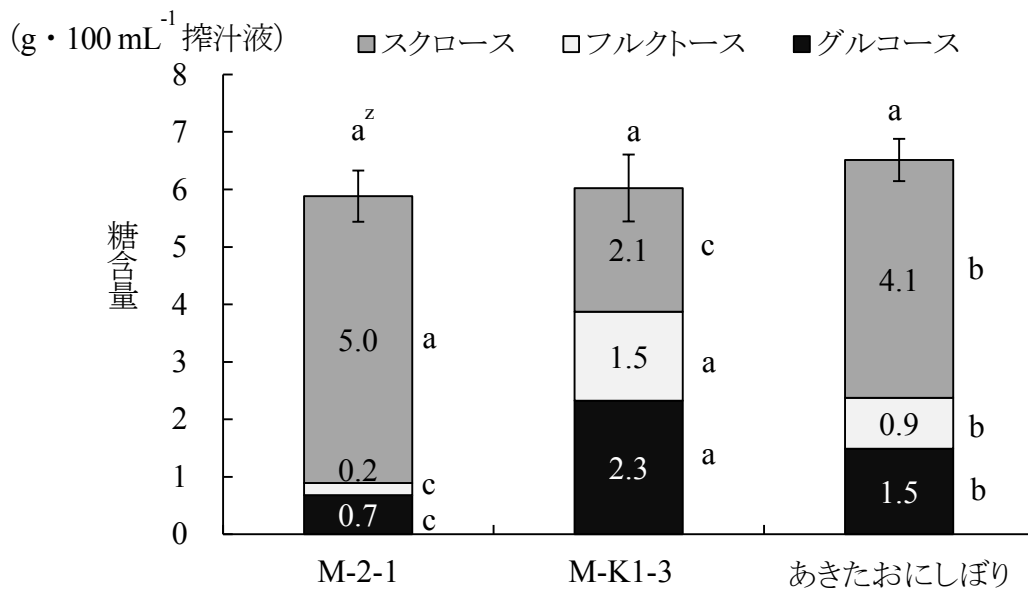


図 3-3-4 ‘あきたおにしぼり’および交配親系統の糖含量

^zTukey の多重検定により，同符号間には5%水準で有意差なし (n=5)

グラフ上のアルファベットは総含量の比較

グラフ横のアルファベットは成分間の比較

bar = 総糖含量の標準偏差

表 3-3-2 ‘あきたおにしぼり’および‘松館しぼり’の特性 (栽培日数 92 日)

| 品種名 | 根重 (g) | 根長 (cm) | 根径 (cm) | 根長/根径 | 根部 硬度 (kg・cm ⁻²) | 根部 乾物率 (%) | 根部 糖度 (°Brix) |
|------------------|-----------------------|------------|------------|-------------|------------------------------------|------------------|---------------------|
| あきたおにしぼり | 671 ± 84 ^z | 14.1 ± 0.9 | 9.3 ± 0.5 | 1.52 ± 0.11 | 6.6 ± 0.2 | 12.2 ± 0.7 | 8.4 ± 0.5 |
| 松館しぼり | 551 ± 198 | 14.9 ± 2.9 | 7.7 ± 1.0 | 1.95 ± 0.39 | 5.0 ± 0.8 | 11.0 ± 1.4 | 7.9 ± 0.8 |
| 有意差 ^y | *** | * | *** | *** | *** | *** | *** |

^z平均値±標準偏差 (n=60)

^yt検定により, ***は0.1%水準で, *は5%水準で有意差あり (n = 60)

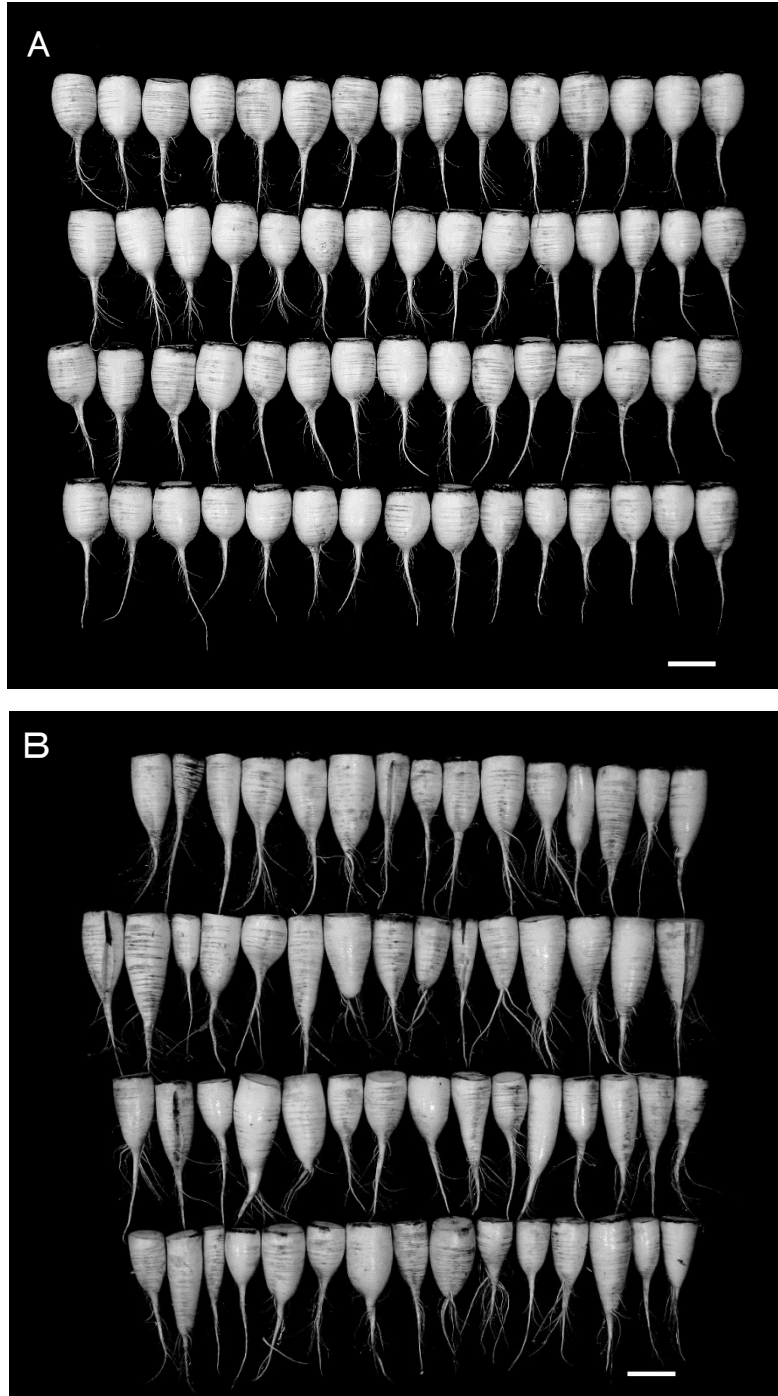


図 3-3-5 ‘あきたおにしぼり’および‘松館しぼり’の根部形状と根部のそろい (n=60)
A : ‘あきたおにしぼり’, B : ‘松館しぼり’ bar = 10 cm

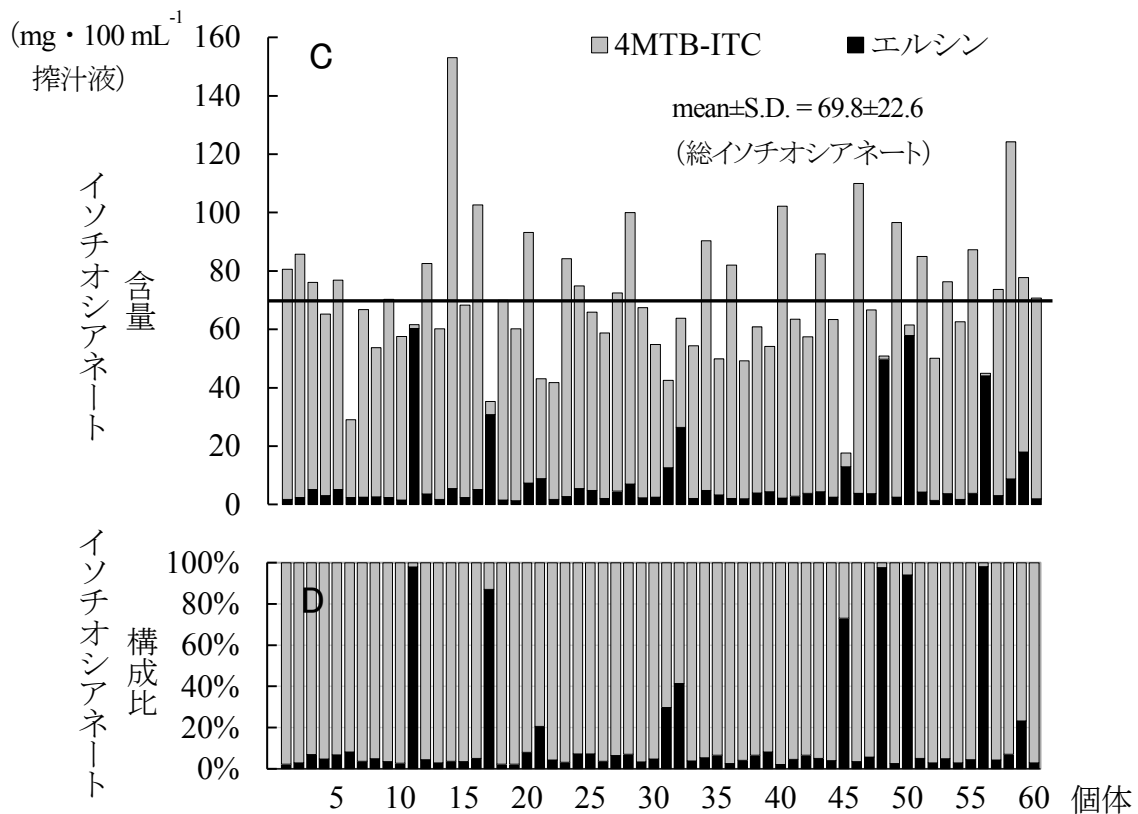
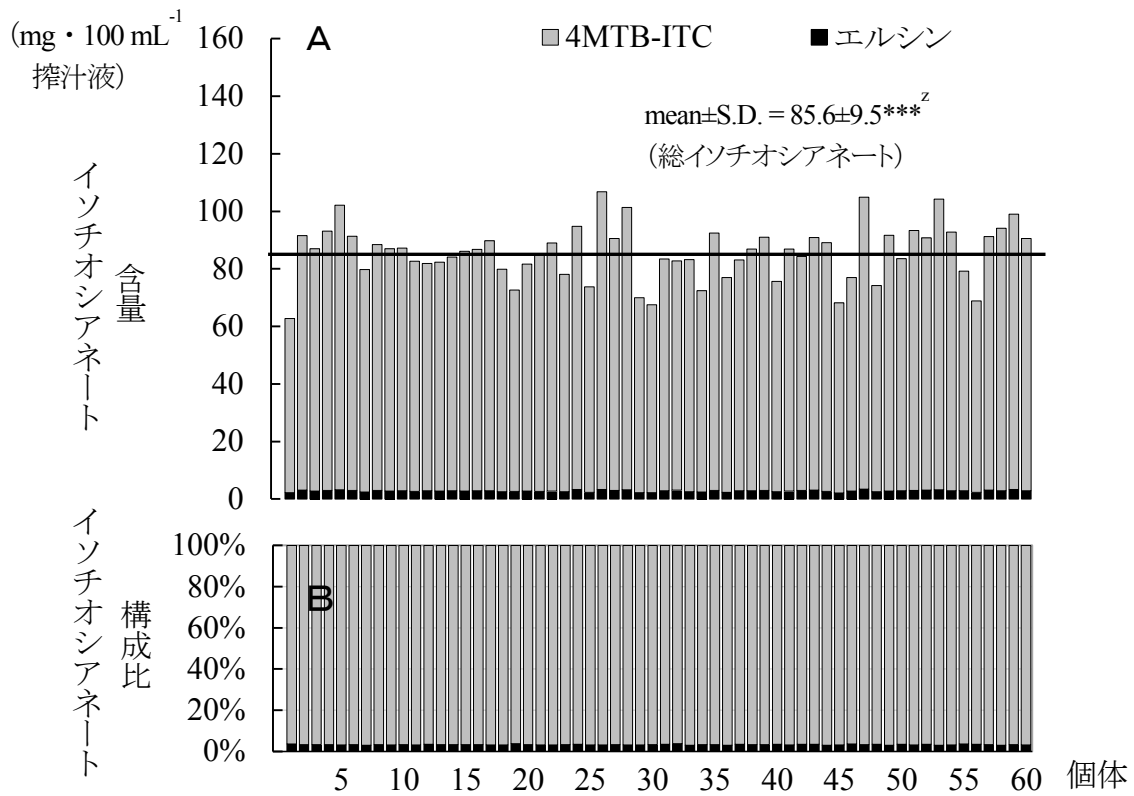


図3-3-6 ‘あきたおにしぼり’および‘松館しぼり’のイソチオシアネート含量の個体間差
 AおよびB: ‘あきたおにしぼり’, CおよびD: ‘松館しぼり’ bar = 平均値
 z検定により, ***は0.1%水準で品種間に総イソチオシアネート含量の有意差あり (n=60)

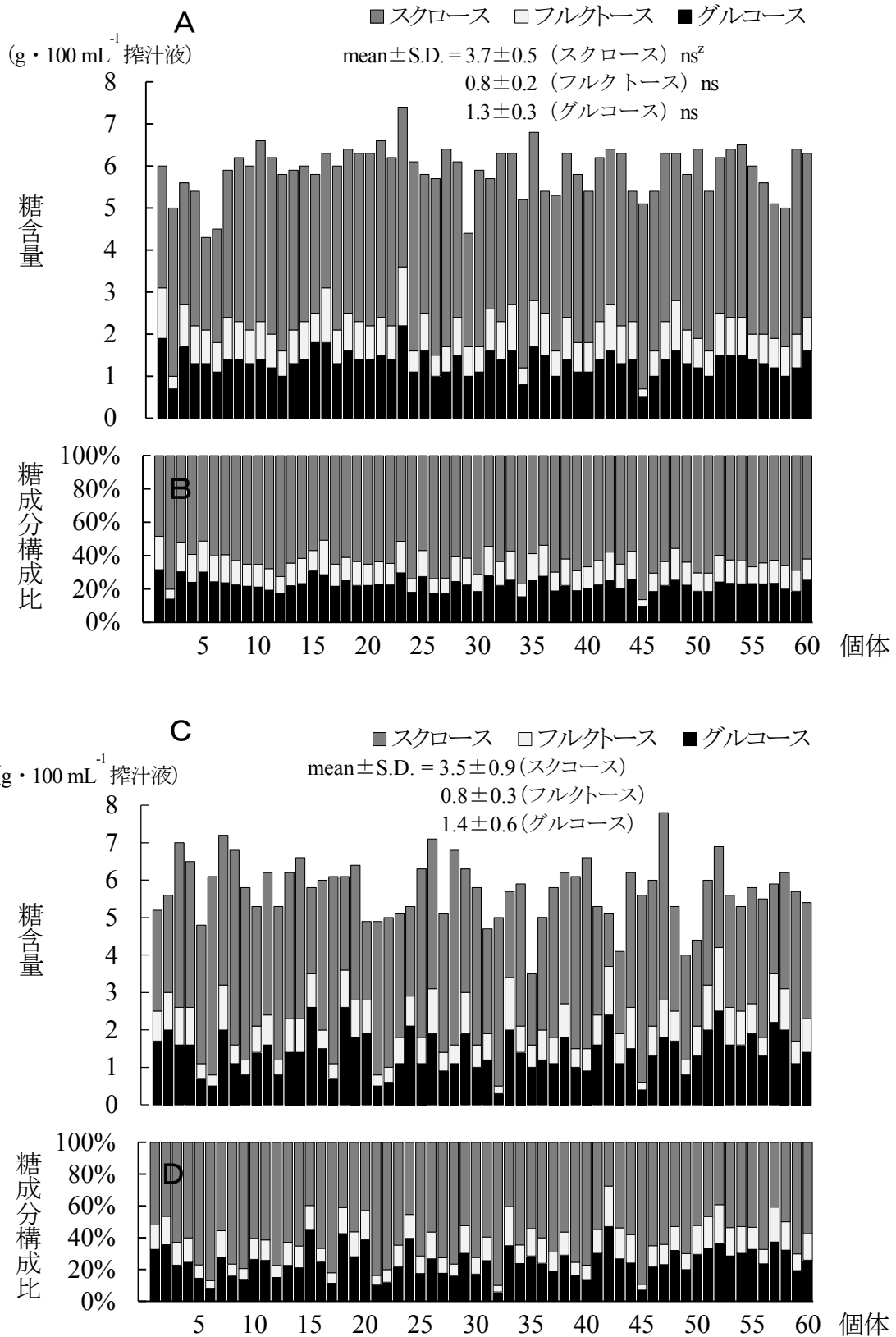


図3-3-7 ‘あきたおにしほり’および‘松館しほり’の糖含量の個体間差
 AおよびB: ‘あきたおにしほり’, CおよびD: ‘松館しほり’
²t検定により, nsは品種間に糖含量の有意差なし (n=60)

4. 有色辛味ダイコンF₁品種‘あきたおにしぼり紫’の育成とその特性

緒 言

本県伝統野菜の一つ、辛味ダイコン‘松館しぼり’は根部にアントシアニン系色素が発現しないため、根色は白色である。しかし他県の在来種の中には紫色に着色する品種もあり、「紅葉（もみじ）おろし」用などと称して白色とセット販売して注目を集めている産地がある。長野県下条村特産の‘親田辛味’には白色系と紫色系の2系統があり、同県の‘たたら辛味’（図 1-2-1）も淡紫色を特徴としている（大井ら，2011）。また、市販品種の中にも紫色をした辛味ダイコン‘からいね赤’（渡辺採種場）が育成されており（加治，2003）、直売所や家庭菜園用として人気が高い。

アントシアニンには強い抗酸化作用があり、機能性食品の一つとして、人間の健康への有効性も認められている（五十嵐，2008）。

このように、アントシアニンが含まれる野菜は、その彩りの美しさから、食欲をそそる食物として、あるいは機能性の面から人気は高まってきており、近年、アントシアニンが含まれる多くの野菜品種が開発されてきている。こうした状況の中で、「松館しぼり大根」の生産地からは、赤色や紫色をした「松館しぼり大根」育成に対する要望がある。そこで、‘あきたおにしぼり’を素材とした有色系辛味ダイコンの品種育成に取り組み、2014年には根部が紫色の辛味ダイコン新品種‘あきたおにしぼり紫’を育成した。本稿ではその育成経過と諸特性について報告する。

材料および方法

1) ‘あきたおにしぼり紫’の育成

(1) 供試材料

育種に用いた素材、‘あきたおにしぼり’の親系‘M-2-1’および‘M-K1-3’、‘多段’および‘紅心’である（図 3-4-1）。‘多段’は新潟県在来の辛味ダイコンで、表皮および皮層が紫色で含水率が低く、辛味が強い特徴があり、1996年11月に新潟県湯之谷村（現魚沼市）の産地直売所より導入した。‘紅心’は中国系の生食用ダイコンで根内部が赤紫色に着色するのが特徴である。本試験に用いた材料は秋田市内の産地直売所で購入したもので、メーカー名は不明である。

(2) 自殖系統の作出

系統選抜における栽培は、ダイコンの慣行栽培に準じ、8月下旬に秋田県農業試験場内の露地ほ場に、条間1 m、株間25 cmで1か所に3～5粒播種し、第3本葉展開時に間引きを行って1本仕立てとした。施肥は基肥のみで、N:P₂O₅:K₂Oをそれぞれ10 kg・10 a⁻¹施用し、供試株数は系統当たり10～15株とした。11月上旬の収穫期までに地上部特性を、収穫期に根部特性を調査して個体選抜を行った。選抜基準は、根内部が紫色に着色し、それ以外の根部および葉部などの形態特性が‘あきたおにしぼり’の親系に近く、辛味が強

いこととした。辛味の強さは、根部をおろし金ですりおろして官能調査により評価した。選抜個体は、葉部を 5 cm 程度に切り揃えて 8 号鉢に移植し、無加温ガラス温室内で低温に感応させて抽苔を促進した。4~5 月の開花期には自家不和合性を打破するために、蕾受粉を行って自殖種子を採種した。なお、並行して開花受粉も実施し、自殖種子が得られる個体は自家不和合性程度が低い個体と判断し、選抜対象から除外した。以上の行程を繰り返して、F₁ 作出のための自殖系統を作出した。

(3) F₁ の作出および特性の評価

秋田県農業試験場内の無加温ガラス温室内で、5 月の開花期に自殖固定系統間の開花済みの花を用いて人工交配を行い、交雑和合性のある自殖系統間の組み合わせを決定した。

F₁ の組み合わせ能力検定と特性調査は秋田県農業試験場内の露地ほ場で行った。現地栽培適応性検定は、秋田県鹿角市の露地ほ場で実施した。

2) ‘あきたおにしぼり紫’の形態特性、内部特性および成分特性調査

(1) 交配親系統との特性比較

秋田県農業試験場露地ほ場において、2013 年 8 月 28 日に条間 1 m、株間 25 cm で 1 か所に 3~5 粒を播種し、第 3 本葉展開時に間引きを行って 1 本仕立てとした。施肥は基肥のみで、N : P₂O₅ : K₂O をそれぞれ 10 kg・10 a⁻¹ 施用し、収穫は 11 月 29 日（栽培日数 93 日）に行った。供試株数は、系統・品種当たり 16 株とした。形態特性、根部硬度、根部乾物率、根部糖度、根部搾汁液に含まれるイソチオシアネートおよび糖含量は、前述の‘あきたおにしぼり’の育成とその特性で示した方法と同様の方法で行った。

(2) ‘あきたおにしぼり’および市販品種との特性比較

秋田県農業試験場露地ほ場において、2012 年 8 月 27 日に播種し、収穫は 11 月 27 日（栽培日数 92 日）に行った。比較に用いた‘からいね赤’は渡辺採種場育成の市販 F₁ 品種である。栽培および調査方法は、前述の（1）交配親系統との特性比較と同様に行った。

結 果

1) ‘あきたおにしぼり紫’の育成

‘あきたおにしぼり’は、2 種の固定系統を組み合わせた F₁ 品種であるが、‘あきたおにしぼり紫’は、その親系統のうち一方を有色化することによって育成した F₁ 品種である。

1997 年 5 月に‘多段’と、‘あきたおにしぼり’の一方の親系統‘M-2-1’を交配し、F₁ を作成した（図 3-4-2）。次に F₂ 個体を用い、根内部の着色を目的として 1999 年 5 月に、‘紅心’と交配して F₁ を作成した。その後代は着色に優れるものの含水率が高かったため、2001 年 5 月に F₃ 個体に‘M-2-1’を戻し交雑した。以後、根内部が紫色に着色し、それ以外の根部および葉部などの形態特性が‘M-2-1’に近く、辛味が強い個体を選抜し、自殖によって世代を促進した。2008 年に、根の木部柔組織が紫色を呈し、辛味の強い‘M-12’を F₇ 世代で固定した。これに、‘あきたおにしぼり’のもう一方の親系統‘M-K1-3’を組み合

わせた F₁ を作出し（‘No.128’），農業試験場内の圃場にて組み合わせ能力検定を実施した。その結果，‘あきたおにしぼり’と特性が極めて類似しており，根色のみが淡紫色であることから有望と認め，2011年に‘秋試交8号’の系統名を付与した。2013年と2014年には鹿角市の現地ほ場で現地栽培適応性検定を実施して有望性を確認し，2015年9月に‘あきたおにしぼり紫’の品種名を付けて品種登録の出願を行った（出願番号：第30439号）。

2) ‘あきたおにしぼり紫’の特性

(1) 交配親系統との特性比較

‘あきたおにしぼり紫’の葉形は，両交配親系統と同様にくびれない全縁葉であった（図3-4-3，表3-4-1）。‘あきたおにしぼり紫’の両親である‘M-12’および‘M-K1-3’は，葉色および葉柄色が緑色であったが，F₁の‘あきたおにしぼり紫’では紫色を呈し，両親で見られなかったアントシアニンの着色が認められた（図3-4-3，表3-4-1）。‘あきたおにしぼり紫’の葉重は636 g，根重は403 gと，いずれも交配親系統の‘M-12’および‘M-K1-3’より値が大きく，ヘテロシスが認められた。また，T-R率も159%と，両交配親系統より有意に高かった（図3-4-2，表3-4-1）。‘あきたおにしぼり紫’の根形は，長形の‘M-12’および丸形の‘M-K1-3’の中間的な形状でやや短円筒型であった（図3-4-3，表3-4-1）。有色の交配親系統‘M-12’は木部柔組織のみが紫色であったが，‘あきたおにしぼり紫’の根色は表皮，皮層および木部柔組織のいずれも淡紫色であった。根部硬度は7.8 kg・cm²で，交配親系統の‘M-12’および‘M-K1-3’との間の値であったが，硬度の高い‘M-12’と有意差は認められなかった（表3-4-1）。根部糖度は8.6°で，両親系統と差が認められなかった（表3-4-1）。

(2) ‘あきたおにしぼり’との特性比較

‘あきたおにしぼり紫’の葉形は全縁葉，根形は短円筒形で，形態特性においては‘あきたおにしぼり’と差が認められなかったが，根重は549 gと‘あきたおにしぼり’の659 gと比較して有意に小さかった（図3-4-3，表3-4-2）。‘あきたおにしぼり紫’の根部硬度，根部乾物率は，‘あきたおにしぼり’と同等で両者に差が認められなかったが，根部糖度は9.5°と，‘あきたおにしぼり’よりやや低い値であった（表3-4-2）。‘あきたおにしぼり’の葉および葉柄色は緑色で，根部にもアントシアニンによる着色は認められなかったが，‘あきたおにしぼり紫’の葉および葉柄は紫色，根の表皮，皮層および木部柔組織のいずれも淡紫色であった（図3-4-3，表3-4-2）。

‘あきたおにしぼり紫’の総イソチオシアネート含量は103.3 mg・100 mL⁻¹含まれており，‘あきたおにしぼり’の96.0 mg・100 mL⁻¹と差がなかった（図3-4-4）。‘あきたおにしぼり紫’のスクロース含量は3.9 mg・100 mL⁻¹で，‘あきたおにしぼり’と差が認められなかったが，フルクトースおよびグルコース含量は‘あきたおにしぼり’より少なかった（図3-4-4）。‘あきたおにしぼり紫’の「おろし」の色は，根部色と同様に淡紫色であった（図3-4-5）。

(3) 市販品種‘からいね赤’との特性比較

形態特性では，‘からいね赤’が普通葉であるのに対し，‘あきたおにしぼり紫’の葉形

は全縁葉であった。また、‘からいね赤’は抽根が認められたが‘あきたおにしぼり紫’は抽根しなかった。‘からいね赤’と比べて葉重が大きく、逆に根重が小さいため、T-R 率が大きかった。‘からいね赤’と比べて‘あきたおにしぼり紫’の根部硬度、根部乾物率および根部糖度が高かった。根色は、‘からいね赤’が、表皮および皮層が紫色で木部柔組織は白色であったのに対し、‘あきたおにしぼり紫’は表皮、皮層および木部柔組織ともに淡紫色であった（図 3-4-6）。

考 察

‘あきたおにしぼり紫’は、「おろし」にしたときの色合いを考慮し、現代の嗜好に合わせて伝統野菜に改良を加えた地方品種である。すなわち、既存の‘あきたおにしぼり’にアントシアニン色素の発現性を導入して有色にすることにより、機能性が高く、視覚的にも美しく、付加価値をつけた品種を育成した。育成に当たっては、従来の‘あきたおにしぼり’の特性を損なうことなく、色素発現性のみを導入する必要があった。素材の一つとなった‘多段’は、一般には知られていないが、新潟県長岡市の伝統野菜の一つで、強い辛味を持ち、水分が少なく、根形が短円筒形であることなど、‘あきたおにしぼり’に類似しており、根の表皮および皮層が紫色を呈していたことから、‘あきたおにしぼり’の特性を損なわずに色素発現性のみを導入するのに適していると考え、材料として用いた。また、前述のように「おろし」にすりおろした状態で着色しているためには、根の表皮・皮層だけでなく木部柔組織も着色していることが望ましい。そこで、中国原産で根内部（木部柔組織）が赤紫色に着色する‘紅心’も素材として利用した。‘紅心’は浅子ら（2011）も根内部が着色する生食用のダイコン中間母本‘乾谷’の育成に用いた品種である。しかし、‘紅心’は‘あきたおにしぼり’に比べて含水率が高く、交雑後代は、肥大性が強く、水分が多い個体が多数分離した。そのため、‘あきたおにしぼり’の親系統と戻し交雑することで改善を図った（図 3-4-2）。

根の内部および表皮・皮層ともに着色している個体は、第 2 章で述べたように、着色に関する遺伝子がヘテロ状態であることが推定されている。そこで、‘あきたおにしぼり紫’の親系統の育成に当たっては、根の表面が着色している個体は選抜せず、根内部のみ着色している有色系統（‘M-12’）を選抜し、着色に関する遺伝子の固定を図った。F₁ 品種‘あきたおにしぼり紫’は、‘M-12’を一方の交配親に用いており、色に関する遺伝子をヘテロ状態にすることにより、根内部および外部も紫色に着色することに成功した。なお、‘あきたおにしぼり紫’の色素発現が親の‘M-12’より弱く、淡紫色となっているのは、ヘテロ接合による不完全優性とも考えられたが、これまでの交配試験で、交配相手となる白色個体の系統によっては濃い紫色を示す場合もあった（第 2 章参照）ことから、発色を押さえる未知の遺伝子が‘M-K1-3’に存在していると考えの方が妥当と思われた。今後、交配相手の白色系品種の改良によって、同様の組み合わせでも、より紫色の発色が強い品種を育成できる可能性がある。

‘あきたおにしぼり紫’の特性として、およそ 2.6%の頻度で根部が白色の個体が生じる（第 2 章参照）。これは交配ミスによる親株の混入によるものではないと考えられた。それは、有色の‘M-12’を母本とした場合でも生じることや、白色個体の根重が親系統より

大きくヘテロシスを示すことから明らかである。この現象は、第2章で提示されているように、易変遺伝子によるものと考えられる。易変遺伝子は植物が持っている遺伝的な特性であり、現時点では防ぐことはできないと思われ、対策としては、間引きの時期に胚軸や子葉を観察し、紫色に着色していない個体を淘汰するなどの物理的な除去が必要である。

色素発現以外では、‘あきたおにしぼり紫’は‘あきたおにしぼり’とほとんど変わらない特徴をもつ。すなわち、‘あきたおにしぼり’と同様にヘテロシス効果を利用しており、生育が旺盛である。根重は‘あきたおにしぼり’よりやや小さいが、イソチオシアネートは同等以上である。根形も全く差がなく、根の表面に横筋が同様に強く表れるが、横筋の紫色はアクセントとなっている。市販の有色系辛味ダイコン‘からいね赤’と比べると、水分含量が少なく根部糖度が高いなど、‘あきたおにしぼり’の長所を受け継いでいる。また、‘からいね赤’は表皮および皮層のみが紫色に着色するのに対し、‘あきたおにしぼり紫’は木部柔組織も含めて全体が淡紫色に着色する。そのため、「おろし」の色の濃淡は両者の間に大きな違いがないが、‘あきたおにしぼり紫’では均一で、濃さにむらのない「おろし」を作ることができる。

本研究で育成された‘あきたおにしぼり紫’は、伝統野菜を活用して育成された地方品種であり、従来の伝統野菜‘あきたおにしぼり’とともに生産販売することにより、消費者の購買意欲を高める効果が高い。



図 3-4-1 ‘あきたおにしぼり紫’の有色系素材品種
A : ‘多段’, B : ‘紅心’ bar = 10 cm

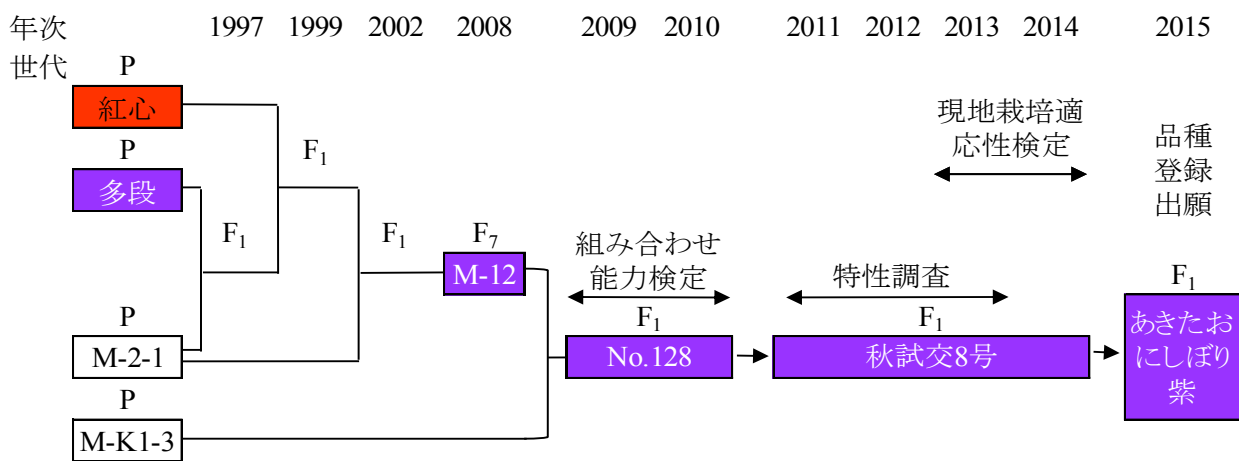


図 3-4-2 ‘あきたおにしぼり紫’の育成経過

塗りつぶし色は根色を示す ‘あきたおにしぼり’の組み合わせは‘M-2-1’×‘M-K1-3’

表 3-4-1 ‘あきたおにしぼり紫’および交配親系統の特性

| 品種・系統名 | 葉形 ^z | 葉および 葉柄色 ^z | 葉重 | | 根重 | | T-R率 ^y | 根長 | 根径 | | | |
|-----------|-----------------|--------------------------|-----------------------|----------------|----------|-----|-------------------|------|------------|---|-----------|---|
| | | | (g) | (g) | (g) | (g) | (%) | (cm) | (cm) | | | |
| M-12 | 全縁葉 | 緑 | 178 ± 49 ^x | c ^w | 278 ± 67 | bc | 64 ± 8 | c | 11.5 ± 1.0 | b | 6.4 ± 0.5 | c |
| あきたおにしぼり紫 | 全縁葉 | 紫 | 636 ± 76 | a | 403 ± 50 | a | 159 ± 21 | a | 12.6 ± 0.9 | a | 7.4 ± 0.3 | a |
| M-K1-3 | 全縁葉 | 緑 | 366 ± 44 | b | 292 ± 30 | b | 125 ± 8 | b | 10.2 ± 0.4 | c | 6.9 ± 0.3 | b |

| 品種・系統名 | 根長/根径 | 根表皮色 ^z | 根内部色 ^z | | 根部 硬度 | 根部 乾物率 | 根部 糖度 | | | | |
|-----------|--------------------------|-------------------|-------------------|-------|------------------------|-----------|----------|------------|---|-----------|---|
| | | | 皮層 | 木部柔組織 | | | | | | | |
| | | | | | (kg・cm ⁻²) | (%) | (°Brix) | | | | |
| M-12 | 1.80 ± 0.11 ^x | a ^w | 乳白 | 乳白 | 紫 | 8.2 ± 0.6 | a | 14.1 ± 0.7 | a | 8.5 ± 0.4 | a |
| あきたおにしぼり紫 | 1.71 ± 0.10 | a | 淡紫 | 淡紫 | 淡紫 | 7.8 ± 0.4 | a | 14.3 ± 0.4 | a | 8.6 ± 0.2 | a |
| M-K1-3 | 1.47 ± 0.07 | b | 白 | 白 | 白 | 7.0 ± 0.4 | b | 13.5 ± 0.2 | b | 8.7 ± 0.5 | a |

^z品種登録制度による農林水産植物種類別審査基準により、目視で判断した

^y葉重/根重×100

^x平均値±標準偏差 (n = 10)

^wTukeyの多重検定により、同符号間には5%水準で有意差なし (n = 10)



図 3-4-3 ‘あきたおにしおり紫’, ‘あきたおにしおり’および交配親系統の形態特性比較
 A: ‘M-12’, B: ‘あきたおにしおり紫’ (A×C, C×A), C: ‘M-K1-3’,
 D: ‘あきたおにしおり’ (E×C, C×E), E: ‘M-2-1’ bar = 10 cm

表 3-4-2 ‘あきたおにしぼり紫’および対照品種の特性

| 品種名 | 葉形 ^z | 葉および 葉柄色 ^z | 葉重 (g) | 根重 (g) | T-R率 ^y (%) | 根長 (cm) | 根径 (cm) |
|-----------|-----------------|--------------------------|---------------------------------------|-------------|--------------------------|--------------|-------------|
| あきたおにしぼり紫 | 全縁葉 | 紫 | 877 ± 139 ^x a ^w | 549 ± 50 c | 159 ± 16 a | 12.5 ± 0.5 b | 8.4 ± 0.3 c |
| あきたおにしぼり | 全縁葉 | 緑 | 873 ± 159 a | 659 ± 90 b | 133 ± 19 b | 13.0 ± 0.9 b | 9.1 ± 0.5 b |
| からいね赤 | 普通葉 | 紫 | 561 ± 104 b | 855 ± 134 a | 67 ± 15 c | 15.0 ± 1.7 a | 9.9 ± 0.5 a |

| 品種名 | 根長/根径 | 根表 皮色 ^z | 根内部色 ^z | | 根部 硬度 (kg・cm ⁻²) | 根部 乾物率 (%) | 根部 糖度 (°Brix) |
|-----------|---|-----------------------|-------------------|-------|------------------------------------|------------------|---------------------|
| | | | 皮層 | 木部柔組織 | | | |
| あきたおにしぼり紫 | 1.49 ± 0.09 ^x a ^w | 淡紫 | 淡紫 | 淡紫 | 7.2 ± 0.3 a | 14.8 ± 0.4 a | 9.5 ± 0.3 b |
| あきたおにしぼり | 1.43 ± 0.10 a | 乳白 | 乳白 | 乳白 | 7.2 ± 0.3 a | 14.6 ± 0.4 a | 9.9 ± 0.4 a |
| からいね赤 | 1.52 ± 0.18 a | 紫 | 紫 | 白 | 4.6 ± 0.3 b | 9.5 ± 0.3 b | 7.3 ± 0.2 c |

^z品種登録制度による農林水産植物種類別審査基準により、目視で判断した

^y葉重/根重×100

^x平均値±標準偏差 (n = 15)

^wTukeyの多重検定により、同符号間には5%水準で有意差なし (n = 15)

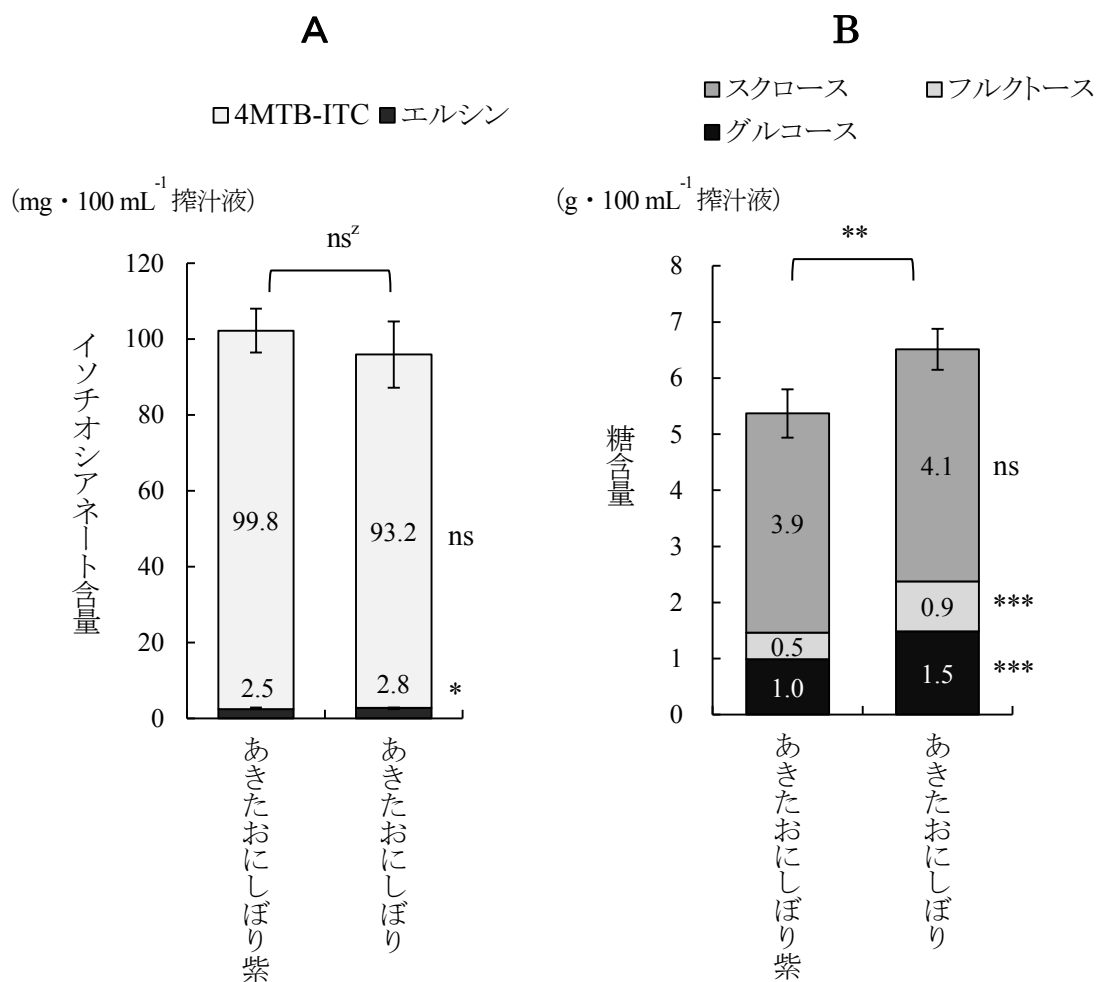


図 3-4-4 ‘あきたおにしぼり紫’および‘あきたおにしぼり’の成分比較

A: イソチオシアネート含量, B: 糖含量

t検定により, ***, **, *, はそれぞれ0.1%, 1%, 5%水準で有意差あり, nsは有意差なし (n=5) bar = 総成分含量の標準偏差



図 3-4-5 ‘あきたおにしぼり紫’および‘あきたおにしぼり’の
根部外観と「おろし」の比較
左：‘あきたおにしぼり紫’，右：‘あきたおにしぼり’ bar = 10 cm



図 3-4-6 ‘あきたおにしぼり紫’および‘からいね赤’の根部比較
上：‘からいね赤’，下：‘あきたおにしぼり紫’，
左：：切断面，右：表皮 bar = 10 cm

総合考察

近年、地域の独自性に着目した地域活性化の取り組みが盛んになってきており、その一つとして、野菜の地方品種に注目が集まっている。地方品種とは、一代雑種育種法が開発される以前から、それぞれの地域で栽培と採種が続けられてきた固定種（在来種）を指し、地域の気候に適合した遺伝資源であるとともに、地域の伝統や文化と密接に結びついた文化遺産でもあり、伝統野菜とも云われている。昭和 30 年代までは、一般に栽培される野菜は地方品種であった。しかし、農業の機械化や農家の生産規模拡大に伴い、形状や品質などにばらつきが多い地方品種の多くは、種苗メーカー育成で、均一性が高い F₁ 品種に置き換わり、失われてきた。一方、地方品種には、市販品種にない優れた食味特性を備えている品種が多いため、地方の食文化に欠かせない存在として、維持されてきた側面をもつ。そのため、食味特性をはじめとした地方品種のもつ有用形質を見直し、地域活性化のアイテムとして利用する取り組みが試みられるようになった。

秋田県においては、数種のダイコン地方品種が、今日でも現存しているが、いずれも、その生産者数は少なく、一般にはその特性がほとんど知られていない。また、これら地方品種の普及、生産規模拡大を図るにしても、不揃いであるなどの理由により、育種的な取り組みを必要とする事例も多い。このような背景の中、本研究では、秋田県で維持あるいは保存されてきたダイコンの地方品種に着目して、それらが持つ特性を明らかにするとともに、その有用形質を活用した品種育成に取り組んだ。

1) 地方品種全般の特性および秋田県地方品種の特性

国内外の 65 品種を対象とした 45 項目の形質調査から、国内の地方品種間には大きな変異があることが確認された。特に品種間差が大きな形質は、葉形、根形、根重、T-R 率および抽根性であり、これらが品種を識別するうえで主要な形質であった。わが国の主要な栽培品種である宮重系（一般的な青首ダイコン類）と地方品種の大きな違いは、根重であり、地方品種の根重は、500~1,000 g 程度の小型のタイプがほとんどであった。根部硬度、乾物率、糖度、スクロース含量およびイソチオシアネート含量の間には強い正の相関関係が認められ、これらと根重の間には負の相関が認められた。すなわち、根重が小さい地方品種は、主要栽培品種と比べると根部硬度、乾物率、糖度、スクロース含量およびイソチオシアネート含量が高く、このことが地方品種全般の特徴でもあった。根部におけるクロロフィルやアントシアニンによる着色もまた、地方品種に多く認められた特性であったが、一部地域に偏らず、全国の地方品種に点在していた。秋田県の地方品種は、地方品種全体の中で、根部硬度、乾物率および糖度が高い品種が多く、これは冬期間の越冬性に優れた個体や品種が県内に適応して維持されてきたことに関係していると推測された。

2) 品種分類の意義

品種を分類してグループ分けをすることにより、その品種の起源を推測できる。さらに、品種の起源といった情報は育種を行う上で重要なデータとなる。例えば、F₁ 育種法では、品種分類は交配組み合わせの参考となる。さらに、品種の特性を大きく変えることなく耐病性などの遺伝子を導入したい場合、比較的近縁な系統を選んで交雑することによ

り、早期に品種育成が可能となる。また、地方品種の生産者は、品種そのものの知識があっても、それが、わが国全体の中でどのような位置にあるのかといった品種のもつ遺伝的特性についてはほとんど知らない。品種の成り立ちや分類および類縁関係を推測することにより、いっそう品種の理解が深まり、生産者の意識向上にも繋がると考えられる。

形質を基にしたクラスター分析の結果、供試品種は欧州系、自生系、中国系および日本系の4つに分類され、本県の地方品種は、自生系と、日本系の大きく2つに分類された。すなわち、極めて硬くて辛味が強く、自生系に分類された‘松館しぼり’、比較的肉質が硬く、主に練馬系に分類された‘大館’、‘沼山’、‘秋田’、‘改良秋田’、‘川尻’および‘関口’である。一方、SSR マーカーを基にした遺伝解析では、6つのクラスターが分類されたが、表現型で分けられた4系統と関連せず、本県の地方品種も各クラスターに分散していた。その理由としては、ダイコンが集団で維持されてきたことが関係するものと考えられた。すなわち、目的の遺伝子は固定（ホモ接合）しているものの、それ以外の遺伝子はある程度ヘテロ接合で共通している部分が多いものと推定された。しかし、各地域に特異的なアリルもあり、品種分類に利用できるものを見いだした。

‘松館しぼり’は、辛味ダイコン用品種で、他品種とは異なる自生系グループに分類され、自生種から改良されたか、栽培種との交雑種と考えられた。他の辛味ダイコン栽培種と比較すると、収量が高いうえに、‘京都薬味’に次いでイソチオシアネートが多く、スクロースの比率が最も高いなど、その長所が明らかになった。

3) 地方品種の生かし方

秋田県の地方品種の特徴を生かすには、その特徴である辛味、着色および硬さの3つのポイントに着目すべきである。すなわち、辛味の強さを生かした辛味ダイコンと硬さや色合いを生かした漬物加工用ダイコンの2種類の用途である。ただし、前述のように地方品種は固定種であるため、近年、種苗メーカーが開発しているF₁品種と比較すると揃いが悪い。地方品種のF₁化も、均一性の向上に有効であると思われた。

4) アントシアニン系色素の遺伝様式

アントシアニン系色素の遺伝様式は、Hoshi ら (1963) の提唱した2つの異なる遺伝子座に位置する2つの遺伝子 R と E の報告が、現在まで支持されてきた。しかし、必ずしも同様の実験結果が得られない場合があることや、根内部の着色には3つの遺伝子座が関与している可能性が報告される（浅子ら, 2011）など、詳細は不明なままであった。本章の交雑試験の結果、着色に関する遺伝様式は、従来の R と E の遺伝様式に概ね沿った遺伝様式を示したが、いくつかの新しい知見が得られた。まず、着色部位によって色素の発現様式が異なることがわかった。そこで着色部位別に、根部着色に関する遺伝子を、 R^a （表皮および皮層組織が着色）、 R^b （木部柔組織が着色）、 R^c （根の全部位が着色）および R^{d-1} （表皮のみが着色）、 R^{d-2} （ラデッシュで表皮のみが着色）の5種に分類した。交雑試験の結果、 R^a 遺伝子は、 E 遺伝子と組み換え率20%程度で連鎖しているが、 R^{d-2} 遺伝子は、 E 遺伝子と独立しているが明らかになった。さらに、ホモ接合とヘテロ接合では、根内部および表皮の色素発現が異なる場合があること、非着色（白色）は無色ではなく、発色を妨げる別の遺伝子を保持している可能性があること、易変遺伝子と推測される遺伝因子が

R 遺伝子に関与している可能性があることを明らかにした。

また SSR マーカーを利用した遺伝解析の結果でも交雑試験の結果が支持され、 R^a 遺伝子と E 遺伝子は第 1 連鎖群とともに座乗していることがわかった。しかし、 R^b 、 R^c 、 R^{d-1} および R^{d-2} 遺伝子の座乗位置は本研究では特定に至っておらず、今後の研究が必要である。さらに、本研究で得られた結果が、他の着色系ダイコンにも適応できるのかを確認する必要がある。

本試験において、根部のキメラ現象や、発現しないはずの白色個体が出現するなどの分離比異常が低い頻度であるが確認され、易変遺伝子の存在が示唆された。易変遺伝子については、アサガオのアントシアニン合成経路においてトランスポゾンの存在が明らかにされており、ダイコンの根部においても、同様の機構が働いている可能性が示唆されたが、その詳細を知るには、今後の継続的な研究が必要である。いずれ、アントシアニン系色素の遺伝様式の全容は未解明であるが、本研究で明らかになったヘテロ接合体が示す発色様式や、易変遺伝子の存在などは、有色系ダイコンの育種に参考になると考えられた。

5) 品種育成と普及について

これまでに育成した加工用ダイコン 2 品種および辛味ダイコン 2 品種の計 4 品種は、いずれも自家不和合性を利用した F_1 品種である。近年、園芸植物の分野では、地方品種（在来種）に対しての F_1 品種というとらえ方をする場合があるが、それは誤ったとらえ方である。これまでの地方品種は固定種であり、近年の市販品種のほとんどが F_1 品種である。しかし、これは地方品種の F_1 化が遅れていたためであり、 F_1 品種の揃いの良さは既に実証されているため、今後は地方品種であっても、 F_1 化されていく事例が増加すると考えられる。ただし、この分野では民間種苗メーカーの参入は少ないため、地方の公的機関が中心となって開発する必要がある。しかし、ここで問題となるのは固定種がもっていた遺伝的多様性の維持保存である。筆者は、地方品種は、基本的には固定種の状態に遺伝的多様性を保持したまま維持し、場合に応じ、大量生産用には品種内で作出した F_1 品種を用いるなど、多様な維持方法が必要であると考えている。

加工用ダイコン‘あきたいぶりこまち’は、第 1 章で示された秋田県地方品種‘秋田’の肉質の硬さを利用して育成した。秋田県特産の「いぶりたくあん漬」は硬い肉質が求められていたため、肉質が硬い‘秋田’と‘山形’の交配種‘秋田いぶりこまち’は、その要望に沿った品種であった。しかし、す入りが発生する場合があり、栽培が不安定であることから栽培面積は拡大しなかった。‘秋田’が内在していた、す入りのし易さからは、地方品種の優れた一面だけでなく、欠点とされる特徴についても同時に明らかとなり、地方品種の利用は慎重に行う必要があることが示された。

次いで育成した加工用品種‘秋農試 39 号’は、気象立地条件が秋田県と類似している隣県の山形で開発された地方品種‘山形’を基に育成した品種である。‘秋農試 39 号’はす入りしないことから栽培面積が増加しており、秋田県特産の「いぶりたくあん漬」の原料を秋田県オリジナル品種で、しかも栽培加工地ともに県内という、生産組合が目指す加工体制の目的に合致した育成品種である。

辛味ダイコン‘あきたおにしぼり’は、素材としての地方品種‘松館しぼり’の特性をそのまま生かし、 F_1 化することで揃いを良くし、高い商品性も獲得した。本事例では、外

観の揃いだけでなく、辛味の強さや糖組成といった成分含量でも均一性が高いことを詳細に報告した。また地方品種‘松館しぼり’の集団に数%の頻度で検出される辛味成分の種類異なる個体に着目し、その希少性および利用の可能性を示した。

最後に取り上げた‘あきたおにしぼり紫’は、新しい地方品種育成の取り組み事例である。伝統野菜として育成された‘あきたおにしぼり’は、品質向上に大きな成果を上げているが、産地としての優位性を継続していくには、新しい取り組みも必要と考えられ、根部が着色した‘あきたおにしぼり’を育成した。品種育成の上で注意した点は、‘あきたおにしぼり’の主要特性をそのまま堅持することであった。とりわけ辛味の強さと水分含量の少なさ、および高い糖度は必ず保持する必要があるため、戻し交雑を取り入れるなど、育成には長い年月が費やされた。さらに、本研究では、発色部位の固定化が長年の課題であった。それは、根の表皮とともに根内部も着色する、いわゆる全体が着色する個体の後代からは、必ず根全体が着色しない個体が出現するため、固定化が進まなかったからである。しかし、第2章で明らかになったヘテロ接合体の発色に関する研究結果から、親系統の育種にめどが付き、品種育成がなされた。また、固定系統を育成しても、F₁ 組み合わせを行った場合に、数%という比較的高い頻度で白色個体が分離出現することも、品種育成を困難にしていた要因であった。この現象についても、第2章で易変遺伝子の存在が推測されたことにより、白色個体の出現を阻止する事ができないまでも、その理由が推測されたことで、普及推進する上で説明することが可能となった。

これら、地方品種の特性調査、アントシアニン色素の遺伝様式の解明および本県で開発された地方品種についての多岐にわたった研究報告は、本県での品種育成に利用できるばかりでなく、わが国のダイコン研究全体に関わる資料となると考えられた。

謝 辞

本研究を遂行し学位論文をまとめるにあたり，指導教官である秋田県立大学生物資源科学部准教授 高橋秀和博士には多くのご支援とご指導を賜りました．本論文作成にあたり，審査委員の同教授 赤木宏守博士，同准教授 吉田康德博士には多くのご助言を賜りました．

本研究は，秋田県立大学生物資源科学部植物遺伝・育種グループのご協力を得て行われました．同グループ准教授 渡辺明夫博士，准教授 櫻井健二博士，准教授 佐藤奈美子博士には多岐にわたりご指導をいただきました．

本研究は，秋田県農業試験場の研究課題の一環として遂行され，同職員の協力を得て行われました．前秋田県農業試験場長 湯川智行博士（現独立行政法人農研機構 東北農業研究センター 生産基盤研究領域長），農業試験場場長 渡辺兵衛氏からは，研究の遂行にあたって特段のご配慮とご鞭撻を賜りました．また，野菜・花き部の職員にはご協力をいただきました．特に，前野菜・花き部長 金和裕博士（現作物部長），野菜・花き部長 村上章博士，同園芸育種・種苗担当主任研究員 佐藤友博氏，同主任研究員 佐藤努博士，同専門員 檜森靖則氏には多大なご協力をいただきました．また，同技師 三浦一将氏（現作物部）には，実験を進めるにあたって絶大なご協力をいただきました．辛味成分および糖組成については，野菜担当主任研究員 篠田光江氏に全面的なご協力と，多くのご助言をいただきました．圃場業務にあたっては，同企画管理室技能主任 佐々木文武氏，同技能主任 関亘氏には多大なご協力をいただきました．

以上の方々に，心から感謝を申し上げます．

摘 要

本研究では、秋田県で維持あるいは保存されてきたダイコンの地方品種に着目して、それらが持つ特性を明らかにし、その有用形質を活用した品種育成を行った。

第1章では、秋田県のダイコン地方品種の特性を、他の地方品種と比較することにより、その特性上の問題点や育種素材としての可能性を明らかにした。秋田県の地方品種には、根部硬度、乾物率および糖度が高い品種が多く、辛味の強い品種が含まれていた。辛味を生かした辛味ダイコンや、硬さを生かした漬物加工用ダイコンなどが育種素材として適していると考えられた。

以下に、本章で得られた知見を箇条書きにまとめる。

- 1) わが国のダイコンを中心とした 65 品種を、45 形質について形質を調査した結果、表現型は変異に富み、葉数、葉重、根重、T-R 率、抽根程度および根形が品種を識別するうえでの主要な表現型であった。特に根重は、最大 1,786 g の‘阿波新晩生’から最小 90 g の‘京都薬味’まで大きな変異があった。
- 2) わが国の主要な栽培品種である宮重系の‘総太り宮重’の根重が 1,706 g であったのに対し、ほとんどの地方品種の根重は 1,000 g 以下と小型であった。
- 3) 根重と、硬度、乾物率および糖度の間に負の相関関係（ $r = -0.806$, $r = -0.780$, $r = -0.683$ ）があり、小型が特徴である地方品種は、主要栽培品種と比較すると、硬度、乾物率および糖度の高い品種が多く、このことがわが国の地方品種を特徴づけている。
- 4) 供試品種における根重の格差に対し、乾物重の差は小さく、根重の違いは、主に水分量の違いによるものであった。
- 5) 秋田県内の 8 地方品種は、小型で、根部の硬度、乾物率および糖度のいずれも高く、冬期間の野外でも凍結せずに、生存した親株から種子を得てきた結果生じた特徴と推測された。
- 6) 根部における葉緑素やアントシアニン系色素の着色は、品種識別に関する重要な表現型の 1 つであり、主要な栽培品種に認められず、地方品種に多く見られた。着色品種の分布はわが国の一部地域に偏ることなく、全国に点在していた。
- 7) 胚軸におけるアントシアニン系色素の着色は、品種間差が大きく、同一品種でも着色する個体としない個体が混在している場合があった。着色個体が見られたのは、わが国の辛味ダイコン、東北地方や長野県、関西、および九州の地方品種および日本国外の品種であった。胚軸の着色は、根部がアントシアニン系色素に着色する品種の他に、

根部が白色系の品種でも胚軸に着色する品種があったが、わが国主要品種の宮重系や練馬系品種では着色は認められなかった。アントシアニン系色素の着色は、葉の毛じの有無と同様に品種内変異が大きく、人為淘汰の影響を受けにくく、品種集団内に変異が保存されている形質の一つと考えられた。

- 8) 開花日（抽だいの早晩性）は品種間差が大きく、低温感受性を持たない‘サヤ’が最も早く、海外の‘カザフ辛味’、‘春秋アルタリ’、‘スペインラウンド’は遅かった。国内品種では、‘二年子’、‘亀戸’、‘時無’が晩抽性であった。
- 9) ‘松館しぼり’は、他の辛味ダイコン栽培種と比較すると、収量が高いうえに、‘京都薬味’に次いでイソチオシアネートが多く、スクロースの比率が最も高いなど、その長所が明らかになった。
- 10) 辛味ダイコン6栽培品種のイソチオシアネート（辛味成分）を調べたところ、主要な成分として4MTB-ITCと、少量のエルシンが含まれていた。
- 11) 辛味ダイコンにおけるイソチオシアネート含量は、糖度、スクロース含量、乾物率および硬度と高い相関関係（ $r=0.860$, $r=0.880$, $r=0.834$, $r=0.819$ ）が認められ、根重とは負の相関関係が認められた。
- 12) 乾物重あたりのイソチオシアネートを乾物率から換算すると、辛味ダイコンではない‘総太り宮重’が他の辛味ダイコンに近いか同等の値を示した。このことから、わが国の多くの辛味ダイコンは辛味成分が多い品種から育成されたというよりはむしろ、水分が少ないダイコンを辛味ダイコンとして用いていると考えたほうが妥当であった。
- 13) 糖組成は、辛味ダイコン各品種間で差が大きく、スクロースの比率が高いのは‘ノラ’で80%以上、‘総太り宮重’ではほとんど含まれなかった。‘松館しぼり’と‘京都薬味’は比較的高いスクロース含量を示した。糖組成は甘みの感じ方や風味にも影響を及ぼすと推測された。また高濃度のスクロース蓄積は耐凍性に関連し、品種成立や品種維持の環境条件が反映されていると考えられるため、品種の類縁関係を示す指標としても活用できる可能性が示された。
- 14) 表現型を基にしたクラスター分析の結果、供試品種は欧州系、自生系、中国系および日本系の4つに分類され、本県の地方品種は、自生系と、日本系の大きく2つに分類された。自生系には‘松館しぼり’、日本系には‘大館’、‘沼山’、‘秋田’、‘改良秋田’、‘川尻’および‘関口’が含まれた。
- 15) SSR マーカーを基にした遺伝解析では、6つのクラスターに分類されたが、表現型で分けられた4系統と関連せず、本県の地方品種も各クラスターに分散していた。その理由は、ダイコンは集団で維持されてきており、品種を特徴付ける主要な遺伝子以外

は、多くの部分が共通した遺伝子をもっているからであると推定された。

- 16) フラグメント解析では、対立遺伝子数はマーカー当たり 3~13、変異の大きさは 2 bp ~71 bp であった。いずれのマーカーにおいても主要な 1~2 の対立遺伝子と、頻度の低い対立遺伝子が混在する遺伝子構成であった。対立遺伝子のホモ接合度は、マーカーにより差があるものの、導入当代 (S_0) で 59~73%、自殖第 1 代 (S_1) で 76~93% であった。
- 17) 供試品種を大きく、中国系、自生系、日本系、欧州系に分けると、それぞれのグループで特異的に存在し、他のグループではほとんど存在しない特異的なアリルもあり、品種分類に利用できる SSR マーカーを見いだした。
- 18) フラグメント解析の結果から、わが国の品種（日本系）は、中国系と自生系の交雑品種の可能性が示唆された。
- 19) ‘松館しぼり’は、辛味ダイコン専用品種で、他品種とは異なる自生系グループに分類され、自生種と栽培種との交雑種と考えられた。他の辛味ダイコン栽培種と比較すると、‘京都薬味’に次いでイソチオシアネートが多く、スクロースの比率が最も高いなど、その長所が明らかになった。
- 20) ‘大館’と‘沼山’は、干しダイコン用として維持されてきた品種で、根首部が鮮やかな紫色や緑色で、他の地方品種にない特性があった。辛味ダイコンとしての利用や、育種素材として有用性が見いだされた。
- 21) ‘秋田三八’は、比較的軟らかい地方品種であるが、‘総太り宮重’と比べると硬く、根部糖度も高いため、漬物加工用以外にも煮食用など、多彩な利用方法に適応できると思われた。また、特徴的な短く詰まった根形を生かして、伝統野菜として復活させるのに有用な品種と考えられた。
- 22) ‘秋田’、‘川尻’、‘改良秋田’および‘関口’では肉質の硬さと糖度の高さが確認された。‘関口’のす入りしにくい特性を生かし、「いぶりがっこ」（いぶりたくあん漬）用品種の育種素材としての利用が期待された。

第 2 章では、交雑試験を行い、有色系のダイコン品種を育成する上で重要な、アントシアニン系色素の遺伝様式を解明した。その結果、紫色、赤色および白色の着色に関する遺伝様式は、従来の R と E の 2 対の対立遺伝子の作用による条件遺伝であり、 F_2 世代の分離比解析と SSR マーカーを利用した遺伝解析の結果、 R^a 遺伝子と E 遺伝子は第 1 連鎖群とともに連鎖して座乗していることがわかった。

これらが座乗する連鎖群およびこれらが連鎖していることは本研究が初の報告である。

以下に、本章で得られた知見を箇条書きにまとめる。

- 1) 赤色系品種 ($R^{d-2}R^{d-2}ee$) を用いて検定交雑する事により、わが国や海外の白色系品種の遺伝子型を調べた。その結果中国の‘青長’が $rree$ 、その他はすべて $rrEE$ と判定され、わが国の白色ダイコンに広く E 遺伝子が存在していることがわかった。
- 2) 固定系統を用いた F_1 の根色を調査した結果、色素発現に関して正逆交配で差が認められず、アントシアニン系色素の遺伝には、細胞質の関与はないと推測された。
- 3) 根色紫 (R^aR^aEE) × 根色白 ($rrEE$) の F_1 は根色紫、 F_2 では根色紫 : 根色白が 3 : 1 に分離したことから、この形質に関する遺伝様式は、根色紫が根色白に対して優性の単因子 (R^a 遺伝子) によるものとみられた。
- 4) 根色紫 (R^aR^aEE) × 根色赤 ($RRee$) の F_1 は根色紫、 F_2 では根色紫 : 根色赤が 3 : 1 に分離したことから、この形質に関する遺伝様式は、根色紫が根色赤に対して優性の単因子 (E 遺伝子) によるものとみられた。
- 5) 根色紫 (R^aR^aEE) × 根色白 ($rree$) の F_2 では根色紫 : 根色赤 : 根色白が 2 対の独立した対立遺伝子による条件遺伝の分離比 9 : 3 : 4 に適合せず、2 対の対立遺伝子が組み換え価 20% で連鎖していることが示唆された。
- 6) SSR マーカーを利用した遺伝解析の結果、 R^a および E 遺伝子は、第 1 連鎖群に連鎖して座乗していた。 R^a 遺伝子はマーカー RSS0553 と RSS0893 に挟まれる範囲 (54.4 ~ 63.4 cM) に座乗し、 E 遺伝子はマーカー RSS3362 と RSS2744 に挟まれる範囲 (83.9 ~ 103.6 cM) に座乗していると推測された。
- 7) 根色赤 ($R^{d-2}R^{d-2}ee$) × 根色白 ($rrEE$) の F_2 では根色紫 : 根色赤 : 根色白が 2 対の独立した対立遺伝子による条件遺伝の分離比 9 : 3 : 4 に適合したことから R^{d-2} 遺伝子と E 遺伝子は独立して座乗していると推測された。
- 8) ホモ接合体で根内部の木部柔組織のみ着色する R^b 遺伝子は、ヘテロ接合では、根内部、皮層および表皮ともに着色することがわかった。
- 9) 易変遺伝子と推測される遺伝因子が R 遺伝子に関与している可能性が示された。

第 3 章では、本県で育成されたダイコン 4 品種について、報告した。以下に、本章で各品種の概要をとりまとめた。

1) ‘秋田いぶりこまち’

秋田県の伝統食品の一つ、「いぶりたくあん漬」に適して肉質の硬い加工用ダイコン‘秋田いぶりこまち’を育成した。‘秋田いぶりこまち’は地方品種‘秋田’と‘山形’からそれぞれ育成した 2 系統を組み合わせた F₁ 品種であり、均一性が大幅に向上しており、大規模栽培向けの品種である。‘秋田いぶりこまち’は、種子親を特定しない正逆交雑の F₁ 品種あり、採種において、両親の両方から採種できるため、採種効率がよく、経済的である。しかし、本品種は、栽培条件によっては、す入りや空洞が入る場合がある。

2) ‘秋農試 39 号’

秋田県の伝統食品の一つ、「いぶりたくあん漬」に適した加工用ダイコン‘秋農試 39 号’を育成した。‘秋農試 39 号’は肉質の硬い地方品種‘山形’から選抜育成した系統を両親としており、その硬い肉質特性から「いぶりたくあん漬」に適した加工特性を持っている。‘秋農試 39 号’は F₁ 品種であるため根部の均一性が高く、大規模栽培に適した栽培特性を持つ品種である。‘秋農試 39 号’は、す入りや空洞症がほとんど発生せず、良根率が 95.0%と、高い生産特性を持っている。これらの品種特性から、2014 年の栽培普及面積は約 20 ha にまで増加している。

3) ‘あきたおにしぼり’

‘あきたおにしぼり’は、在来品種‘松館しぼり’の自殖固定系統間の F₁ 品種であるが、交配親の自殖系統と比較して葉重、根重および T-R 率といった収量特性においてヘテロシスを示す。一方、形態特性、根内部の特性および成分特性（イソチオシアネート含量、糖含量）ではヘテロシス効果は認められず、優性効果または相加効果が認められた。‘あきたおにしぼり’は、原品種‘松館しぼり’と比較して、形態特性および根内部の特性における均一性だけでなく、イソチオシアネートや糖の含量および組成といった成分特性でも均一性が高いことが確認され、‘松館しぼり’の商品化を図る上で F₁ 化が有効であることが示唆された。他方、在来品種‘松館しぼり’は遺伝資源の多様性を内在しており、その維持保存を継続する必要がある。

JA が取り扱う商品名「松館しぼり大根」の全量に‘あきたおにしぼり’が採用され、2014 年の栽培面積は 3 ha である。

4) ‘あきたおにしぼり紫’

辛味ダイコン‘あきたおにしぼり紫’は、F₁ 品種‘あきたおにしぼり’の親系統の一方に、根が紫色を呈する特性を導入し、もう一方の親系統を組み合わせて育成した F₁ 品種である。親の有色系統‘M-12’は根内部のみが紫色に着色する系統であるが、白色系統‘M-K1-3’と組み合わせて育成した‘あきたおにしぼり紫’は、根内部および外部も淡紫色に着色する。‘あきたおにしぼり紫’は、およそ 2.6%の頻度で根部が白色の個体が生じる、その原因は、アントシアニン合成経路に易変遺伝子が関与しているためと推測される。‘あきたおにしぼり紫’は、紫色の色素が発現する以外は‘あきたおにしぼり’とほとんど変わらず、根形などの形態的特徴に差がなく、‘あきたおにしぼり’と同様に辛味成分が多く水分が少ない。地方品種‘あきたおにしぼり紫’を、従来の白色の

伝統野菜‘あきたおにしぼり’とともに生産販売することは、有利販売に繋がると考えられる。

近年、秋田県では水稲中心の農業構造から、野菜や花などの園芸作物を取り入れた収益性の高い農業構造への転換を図っている。本研究で育成された、これらダイコンの F₁ 地方品種は、オリジナル性、均一性に優れ、品質も安定しており、販売量および栽培面積の拡大が予測され、本県における野菜生産量振興拡大の一翼を担うことが期待される。

Summary

By using local varieties of the Japanese radish, which has been cultivated in Akita Prefecture, this study for the purpose of development of new varieties was done.

In Chapter 1, the characteristics of the Japanese radish local varieties Akita, by comparing with other local varieties, and revealed the strengths and weaknesses as a breeding material. The local varieties of many of Akita Prefecture, roots hardness, dry matter content and sugar content was high. Also included a strong varieties of pungency. Therefore it was thought to be available on a Japanese radish for pickle processing that hardness was required or a pungent radish.

In Chapter 2, in order to development of the colored radish varieties of red and purple, we conducted cross test, and elucidated the mode of inheritance on the anthocyanin-based dye. Mode of inheritance on the coloration of purple, red and white, could be explained by conditional genes due to the action of alleles of two pairs of traditional *R* and *E*. F_2 generation of segregation ratio and a result of the genetic analysis using SSR marker, *R^a* gene and *E* gene was linked to both the locus of the linkage group 1.

In Chapter 3, the radish 4 varieties that have been developed in Akita Prefecture, were reported.

‘Akita-Iburikomachi’

We have bred a new radish cultivar called ‘Akita-Iburikomachi’, which is an F_1 hybrid of two lineages derived from the cultivar ‘Akita’ and ‘Yamagata’. With its hard flesh, ‘Akita-Iburikomachi’ is suitable for making *Iburi-takuan-zuke* (smoked daikon pickles), which is a traditional dish of Akita Prefecture. ‘Akita-Iburikomachi’ has high scores for uniformity, that make it suitable for large-scale cultivation. ‘Akita-Iburikomachi’ is an F_1 varieties of reciprocal crosses that do not identify the seed parent. In F_1 seed production, it is possible to seed from both parents, high seed efficiency and is economical. However, poor cultivation conditions, pithiness and cavitation occurs.

‘Akinoushi-39’

We have bred a new radish cultivar called ‘Akinoushi-39’, which is an F_1 hybrid of two lineages derived from the cultivar ‘Yamagata’. With its hard flesh, ‘Akinoushi-39’ is suitable for making *Iburi-takuan-zuke* (smoked daikon pickles), which is a traditional dish of Akita Prefecture. ‘Akinoushi-39’ has a number of characteristics that make it suitable for large-scale cultivation. It has high scores for uniformity, it rarely develops pithiness and cavitation, and its average production-to-sales rate is 95%. In 2012, the total cultivation area of the cultivar was approximately 20 ha.

‘Akita-Oni-Shibori’

‘Akita-Oni-Shibori’ is an F_1 hybrid developed from the inbred lines of ‘Matsudate-Shibori’, a native Japanese radish variety. Although ‘Akita-Oni-Shibori’ is an F_1 hybrid of related lines, it shows

heterosis in its yield characteristics, such as the leaf weight, root weight, and T-R ratio, compared with its parental inbred lines. On the other hand, 'Akita-Oni-Shibori' does not show heterosis in its morphological characteristics, internal characteristics of the root, or component characteristics (content of isothiocyanate and sugar), indicating its acquisition of dominant or additive effects. Compared with the original cultivar 'Matsudate-Shibori', 'Akita-Oni-Shibori' exhibits marked uniformity in its morphological characteristics and internal characteristics of the root. In addition, high-level uniformity even in its component characteristics (content and composition of isothiocyanate and sugar) has been confirmed. These suggest that the development of the F₁ variety is effective for achieving the commercialization of 'Matsudate-Shibori'. On the other hand, native 'Matsudate-Shibori' has diverse genetic resources and it is necessary to continue preserving them.

'Akita-Oni-Shibori -Murasaki'

Parental line of pungent radish 'Akita-Oni-Shibori-Murasaki' is either the same of the two parental lines of F₁ varieties 'Akita-Oni-Shibori', is the brother strain. 'Akita-Oni-Shibori-Murasaki' is an F₁ varieties between the 'M-12' (root internal purple), and the 'M-K1-3' (the entire root white). Root color is pale purple both inside and root epidermis. In the 'Akita-Oni-Shibori-Murasaki', roots occurs is white individuals at a frequency of approximately 2.6%. The reason for this, mutable gene was presumed to be due to involved in anthocyanin synthesis pathway. Other than color, 'Akita-Oni-Shibori-Murasaki' and the morphological characteristics of the 'Akita-Oni-Shibori' is very similar, isothiocyanate content are many, water content is low. The 'Akita-Oni-Shibori-Murasaki' and 'Akita-Oni-Shibori', be production and sales at the same time, it is thought to lead to advantageous sale.

引用文献

- Akagi, H., Y. Yokozeki, A. Inagaki and T. Fujimura. 1997. Highly polymorphic microsatellites of rice consist of AT repeats, and a classification of closely related cultivars with these microsatellite loci. *Theor. Appl. Genet.* 94: 61-67.
- 赤木宏守. 2000. DNA 多型によるイネの品種識別. *育学研.* 2: 89-96.
- 秋田県農林水産部. 2006. 秋田の伝統野菜. 秋冬編. p.1. 秋田県農林水産部. 秋田.
- 秋田県. 1971. 技術研究八十年の歩み : 明治 24 年-昭和 46 年. p. . 秋田県農業試験場. 秋田.
- 青葉 高. 1981. 野菜 在来品種の系譜. P.236. 法政大学出版局. 東京.
- 浅子洋一・大脇裕介・小関良宏・佐々木伸大・阿部 裕・百瀬忠征・下村講一郎. 2011. 地下部内部全体にペラルゴニジンを主たるアントシアニンとして蓄積するダイコン (*Raphanus sativus* L.) の中間母本「乾谷」とその遺伝様式. *育学研.* 13: 65-73.
- 芦澤正和. 2002. 地方野菜の復権. p.11-16. タキイ種苗 (株) 出版部編著. 都道府県別地方野菜大全. 農文協. 東京.
- 伴 拓也・小林伸雄・本谷弘志・門脇正行・松本伸吾. 2009. ハマダイコンの栽培と利用について. *園学研.* 8: 413-417.
- Friis, P. and Kjaer. A. 1966. 4-Methylthio-3-butenyl isothiocyanate, the pungent principle of radish root. *Acta Chem. Scand.* 20: 698-705.
- 萩屋 薫. 1952. 根菜類のすいり現象の生理学的研究(第 2 報). すの発現に関係を有する形質の品種間差異に就いて. *園学雑.* 21: 165-173.
- 萩屋 薫. 1958. 根菜類のすいり現象の生理学的研究(第 5 報). 大根の品種間雑種の F1, F2 におけるすの発現および耐す性品種の育種に関する考察. *園学雑.* 27: 685-77.
- 飛驒健一. 1989. ダイコン. p.823-834. 松尾孝嶺 監修. 植物遺伝資源集成. 2. 講談社. 東京.
- 堀 一之・大久長範・鈴木 基・佐藤孝夫・吉川朝美. 1999. しぼりダイコンにおける芥子油の化学構造と定量分析. *日食工誌.* 46: 528-534.
- Hoshi, T., E. Takemura and K. Hayashi. 1963. Genetic Modification of Hydroxylation Pattern in Radish Anthocyanins Studies on Anthocyanins, XLII. *Bot. Mag.* 76: 431-439.
- 五十嵐喜治. 2008. 食品素材によるアントシアニンの成分特性と機能・利用. *日本調理科学会誌.* 41: 167-175.
- 飯田 滋・星野 敦・久富恵世. 1996. アサガオ属の易変性変異と可動遺伝因子. p.132-141. 植物のゲノムサイエンス. 細胞工学別冊. 植物細胞工学シリーズ 5. 学研メディカル秀潤社. 東京.
- 稲垣善茂. 1995. 絞り花アサガオから単離された転移調節因子の解析. 東京大学博士(薬学)論文. 博薬. 712.
- 石田正彦・小原隆由・柿崎智博・畠山勝徳・森光康次郎・中原清隆. 2012. グルコラファニンを高含有するダイコン系統の作出方法. 特許公開 2012-110238.
- 石黒嘉門. 1985. 野菜考 ベジタブル・マイフレンド. p.2-40. 愛知県経済農業協同組合連合会. 愛知.
- 石井現相・西条了康. 1987. 栽培条件がダイコン搾汁液中のイソチオシアネート含量に及

- ぼす影響. 園学雑. 56: 313-320.
- 市川裕雄・川合貴雄・秋田史郎. 1980. ダイコンの空洞症に関する研究. 第1報. 品種の相違が発生に及ぼす影響. 園学要旨. 昭55秋: 194-195.
- 市川実太郎. 1928. 実験蔬菜園芸全講. 下. 養賢堂. 東京.
- Iwata, H., S. Nikura, S. Matsuura, Y. Takano and Y. Ukai. 2000. Diallel analysis of root shape of Japanese radish (*Raphanus sativa* L.) based on elliptic Fourier descriptor. *Breed. Sci.* 50: 73-80.
- Jones, C.J., K.J. Edwards, S. Castaglione, M.O. Winfield, F. Sala, C. van de Wiel, G. Bredemeijer, B. Vosman, M. Matthes, A. Daly, R. Brettschneider, P. Bettini, M. Buiatti, E. Maestri, A. Malcevschi, N. Marmiroli, R. Aert, G. Volckaert, J. Rueda, R. Linacero, A. Vazquez and A. Karp. 1997. Reproducibility testing of RAPD, AFLP and SSR markers in plants by a network of European laboratories. *Mol. Breed.* 3: 381-390.
- 加治 誠. 2003. からいね, からいね赤. p.147. 日本園芸生産研究所編. 伊東 正 監修. 蔬菜の新品種. 15. 誠文堂新光社. 東京.
- Kano, Y. 1989. Effects of time of high and low temperature treatments on the growth of Japanese radish cv. 'Gensuke' and on the occurrence of hollow root. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 57: 626-632.
- 加納恭卓・福岡信之. 1994. ダイコンにおける空洞発生と木部柔細胞の木化の品種間差異. 園学雑. 62: 801-809.
- 加藤一幾・佐藤和成・金澤俊成・庄野浩資・小林伸雄・立澤文見. 2013. ダイコン類 (*Raphanus sativus* L.) における根色とアントシアニン. 園学研. 12: 229-234.
- 吉川朝美. 2002. 秋田県. p.30-37. タキイ種苗(株)出版部編著. 都道府県別地方野菜大全. 農文協. 東京.
- 北村史朗. 1958. ダイコンの品種とその変遷. p.1-19. 西山市三編著. 日本の大根. 日本学術振興会. 東京.
- Kitashiba, H., F. Li, H. Hirakawa, T. Kawanabe, Z. Zou, Y. Hasegawa, K. Tonosaki, S. Shirasawa, A. Fukushima, S. Yokoi, Y. Takahata, T. Kakizaki, M. Ishida, S. Okamoto, K. Sakamoto, K. Shirasawa, S. Tabata and T. Nishio, 2014. Draft Sequences of the Radish (*Raphanus sativus* L.) Genome. *DNA Res.* 21: 481-490.
- Kjaer, A., J. O. Madsen, Y. Maeda, Y. Ozawa and Y. Uda. 1978. Volatiles in distillates of fresh radish of Japanese and Kenyan origin. *Agric. Biol. Chem.* 42: 1715-1721.
- 熊沢三郎. 1956. 蔬菜園芸各論. 養賢堂. 東京.
- 前田安彦. 2002. 漬物学 その化学と製造技術. p.226-255. 幸書房. 東京.
- 前田安彦. 1993. 商品試作化3年間の取り組み. p.17-20. 高付加価値型農産物導入推進事業実績書(松館しぼり大根). 鹿角農業改良普及所. 秋田.
- 永沢松雄. 2010. 横手の伝統野菜. p.4. 広報「ひらか」. 74. 平鹿農業共済組合. 秋田.
- 新倉 聡・松浦誠司. 2000. 日本の栽培ダイコンにおける自家不和合性遺伝子と自家不和合性程度の遺伝的変異. 育学研. 1: 211-220.
- 西 貞夫. 1978. ダイコン. p.37-44. 野菜の地方品種. 野菜試験場育種部. 三重.
- 西山市三・根井正利・宮司祐三・高杉喜一・飯塚宗夫. 1958. 遺伝学的研究. p.98-131. 西山市三編著. 日本の大根. 日本学術振興会. 東京.
- 西沢 隆・島村景子・江頭宏昌・保木本利行. 2013. 山形県内に残る在来ダイコンの調査

- およびそれらの生理・生態的特徴. 人間植物関係学会. 12: 13-19.
- 岡野邦夫・浅野次郎・石井現相. 1990. ダイコンの辛味成分含量. 園学雑. 59: 551-558.
- 大越昌子・胡 景杰・石川隆二・藤村達人. 2004. マイクロサテライトマーカーを用いた日本の在来イネの分類. 育学研. 6: 125-133.
- 大井美知男・磯村由紀. 2000. 長野県在来ダイコン品種の表現型の変異と類縁関係の推察. 信州大学農学部紀要. 37: 49-55.
- 大井美知男. 2002. F1 品種改良で甦った上野大根. p.78-80. 大井美知男・神野幸洋編者. からい大根とあまい蕪のものがたり. 長野日報社. 諏訪.
- 大井美知男・市川健夫. 2011. 地域を照らす伝統作物. p.75-77, 88-91, 95-99. 川辺書林. 長野.
- 佐々木寿. 2011. 東北ダイコン風土誌. 東北出版企画. 山形.
- Shirasawa, K., M. Oyama, H.Hirakawa, S. Sato, S. Tabata, T. Fujioka, C. Kimizuka-Takagi, S. Sasamoto, A. Watanabe, M. Kato, Y. Kishida, M. Kohara, C. Takahashi, H. Tsuruoka, T. Wada, T. Sakai and S. Isobe. 2011. An EST-SSR Linkage Map of *Raphanus sativus* and Comparative Genomics of the Brassicaceae. DNA Res. 18: 221-232.
- 重盛 勲. 2006. からねずみ. p.121. 日本園芸生産研究所編. 伊東 正 監修. 蔬菜の新品種. 16. 誠文堂新光社. 東京.
- 菅原久春. 1996. 「いぶり漬」の原料ダイコンについて. 秋田県農業技術情報. p.4-6.
- 田口和憲・中司啓二・高橋宙之・岡崎和之・吉田智彦. 2006. テンサイ一代雑種の近縁係数と収量の関係. 育学研. 8: 151-159.
- 田中正武・鳥山國士・芦澤正和. 1989. 植物遺伝資源入門. p.2-24. 技報堂出版. 東京.
- 田中義弘・桑鶴紀充・永田茂穂. 2011. ‘桜島ダイコン’の根重および空洞症のダイアレル分析. 園学研. 10: 9-13.
- 田中義弘・桑鶴紀充・永田茂穂. 2012. ‘桜島ダイコン’根形のダイアレル分析. 園学研. 11: 295-300.
- 田中佑樹・熊本耕平・石井修平・西村佳子・富永 寛・陳 蘭荘(庄). 2011. 系統選抜による宮崎県在来野菜「糸巻き大根」の再生および新品種育成へのアプローチ. 南九州大学研報. 41A: 37-41.
- 戸澤清徳. 2003. ぴりりと辛い薬味の王様「松館しぼり大根」. 農業秋田. 49: 62-63.
- 椿 信一. 2005. 伝統野菜辛味ダイコン新品種「あきたおにしぼり」. 農林水産技術研究ジャーナル. 28: 7-8.
- 椿 信一・佐藤友博. 2013. 秋農試 39 号. 品種登録 22660.
- 椿 信一・檜森靖則・佐藤孝夫・鈴木基・三澤土志郎・加賀屋博行. 2006. 秋田いぶりこまち. 品種登録 13765.
- 椿 信一・佐野広伸・佐藤孝夫・鈴木 基・三澤土志郎・篠田光江・飯塚文男. 2005. あきたおにしぼり. 品種登録 12844.
- 塚崎 光. 2010. ネギ (*Alium fistulosum*) の育種における SSR マーカーの利用. 野菜茶業研究所研報. 9: 137-188.
- 臼井富太. 2003. 戸隠おろし. p.148. 日本園芸生産研究所編. 伊東 正 監修. 蔬菜の新品種. 15. 誠文堂新光社. 東京.
- 矢部和則. 2003. 一代交配 スラート. p.138. 日本園芸生産研究所編. 伊東 正 監修. 蔬菜

- の新品種. 15. 誠文堂新光社. 東京.
- 山形県. 1996. 山形県立農業試験場百年史. p.350. 山形県農業試験場. 山形.
- 山岸 博. 2003. ミトコンドリアの遺伝子が示す‘小瀬菜’ダイコンの起源. 農業および園芸. 78: 1056-1059.
- 山岸 博・山下陽子. 2009. 細胞質雄性不稔-稔性回復系の遺伝子を用いた京都府在来ダイコン‘佐波賀’の起源の解明. 園学研. 8: 1-6.
- 山岸 博. 2010. 栽培ダイコンの起源と日本産ダイコンのルーツを探る. p.3-11. だいこんの魅力にせまる—だいこんサミット6年間をふりかえって—. 宇都宮大学農学部ダイコンサミット実行委員会. 栃木.