

DNAマークー技術を利用した 酒米新品種の育成と実用化研究

兵庫県立農業高等学校

生物工学科

I はじめに

酒米品種の代表である「山田錦」は、大粒で心白発現率が高く、雑味の少ない酒造適性を示すことから、日本酒造りに最も多く利用されている。特にその品質は国内外で高く評価されており、「酒米の王」と称されている。しかし一方で、病害虫への耐性が低く、稈長が高いために倒伏が起こりやすいため、安定生産が困難であるという課題を抱えている。日本酒の原料供給を安定化させるためには、山田錦の特性を保持しつつ、耐倒伏性や耐病性を備えた新たな品種の開発が強く求められている。

2013年に和食文化がユネスコ無形文化遺産に登録されたことを契機に、日本酒は世界的に注目されている。酒造に用いる酒米は食用米と異なり、大粒でタンパク質含有量が低く、さらに心白発現率が高いことが重要な特性とされてきた。中でも兵庫県産の山田錦は、現在も全国生産量の約6割を占め、銘酒の多くに利用されている。兵庫県播磨地域は、寒暖差の緩やかな瀬戸内海気候に属し、台風被害を受けにくい環境を有する。さらに、花崗岩が風化したモンモリロナイト質の粘土土壤が深根性の酒米栽培に適していることから、古くより高品質な酒米の産地として発展してきた。その自然条件に加え、厳格な栽培管理や種子更新体制が確立されてきたことが、高品質酒米の安定供給を支えている。

この地域の酒米生産は、近世の伊丹や灘五郷といった酒造地の発展と深く結びついている。灘の樽酒は「下り酒」として江戸に流通し、18世紀末には全国需要の中心を占めるまでに至った。文献によると、天保7年（1836）に当地産米の取引記録が残されており、早くから酒造家に高品質米として認知されていたと記述されている。明治期に米質低下が問題となった際には「村米制度」が導入され、産地と酒造家の間に安定的な供給関係が築かれた。こうした制度的支えもまた、地域の酒米生産を発展させる要因となった。

さらに大正期以降、遺伝学的手法に基づく品種改良が進展し、1923年には在来種と他品種との交配が行われ、1936年には「山田錦」として奨励品種に採用された。山田錦はその後も日本酒産業を牽引し続け、100年近くが経過した現在でも代替品種が存在しない状況にある。しかし市場を独占する一方で、耐病性や耐倒伏性に乏しいことが生産上のリスクとなっており、安定供給のためには新たな遺伝資源の導入や品種改良の推進が不可欠である。

栽培現場においても、兵庫県北播磨・六甲山北部地域には「倒して倒さず」と表現される登熟管理や、「おいて」と呼ばれる圃場内水路を利用した独自の水管理が伝統的に実践されてきた。これらは自然条件に適応した高度な栽培技術として評価されており、今日でも品種特性を発揮させる基盤となっている。また、定期的な種子更新によって遺伝的純度を維持し、品質の一貫性を確保している点も特筆される。

以上のように、兵庫県を中心とした酒米産地は、恵まれた自然環境、歴史的制度、遺伝学的改良、そして高度な栽培管理の総合的な発展によって「山田錦」を中心とした高品質酒米の安定生産を実現してきた。その成果は日本酒産業の基盤を支えると同時に、持続可能な農業生産のモデルとして位置づけられる。今後は山田錦の優れた特性を継承しつつ、倒伏耐性や病害抵抗性を備えた次世代品種の開発が求められている。

このような背景から、私たちは、酒造や醤油の醸造をはじめとした地域の伝統産業を支える在来作物に注目した活動を継続してきた。これまでに酒造に適する野生酵母を選抜し、私たちが栽培した酒米を用いて地元酒蔵にて醸造をおこない、製品の分析結果を杜氏さんと共有することで商品化にも成功した。これは世界ワイン大会の「SAKE 部門」に出品し、審査員奨励賞を受賞するなど生命科学の学びが社会に貢献できるという実感を得た。一方で、伝統産業を支える酒米を始めとする作物の多くは、年々厳しくなる気候変動や、資材価格の高騰を始めとする輸入資材に依存する栽培環境が影響し、不安の影を落としている。地域の伝統産業を継承・発展させるためには、その原材料を安定して生産するための対策が必要だと私たちは考えた。このため、日ごろの生命科学を通じたバイオテクノロジーの学びで社会のために貢献したいという生徒たちの意欲が強い。本研究はめまぐるしく変化する農業環境に、バイオテクノロジーが貢献できるということを生徒自身の手によって実践し、証明していく探究活動に取組んだ。

2 目 的

伝統産業を支える酒米品種の“山田錦”は日本酒醸造に利用される代表的なブランド米である。“山田錦”は1923年に“山田穂”と“短稈渡船”的人工交配が行われ13年の育成期間を経て生み出された。「酒米の王様」とも評価される品種で、大手酒造メーカーはこぞって銘柄に“山田錦”を謳っている。“山田錦”という銘柄が新しい品種の育成を阻害している側面に生徒たちは気づいた。“山田錦”は醸造適性の高さから広く利用される一方で、草丈が高く風雨の影響を受けやすいという課題を抱えている。100年前に品種改良された山田錦は現代の夏にもう耐えられなくなっている。「山田錦の悲鳴が聴こえる」農場で田植えや管理・収穫をする生徒たちからはそんな言葉が聞かれた。伝統産業を担う現場からは“山田錦”的品質を受け継ぎつつ、暴風雨に強い品種の開発が求められている。持続的な農業生産を考えると“山田錦”は、ある問題を抱えていることに私たちちは気づいた。それは、高校の圃場で栽培する“山田錦”は、“短稈渡船”が持つ草丈が低いという短稈性を充分に受け継いでいることを実感した。私たちは100年前のブリーダーが目指したであろう形質を“山田錦”に与えるため、戻し交雑によって約7800系統の実生を得ることに成功している。大学や専門機関からの技術協力を得て、DNAマークターを用いた作物の選抜を行えるようにもなった。私たちはこのように遺伝子を見ることで、目標とする形質の農作物を臨機応変に選び出せるという技術を応用し、草丈が低く倒れにくいという優れた形質が遺伝した“山田錦”的子供たちを苗の段階で選び出したいと考えた。そして私たち高校生の手で次の100年を担う酒米品種を生み出したいと考えた。私たちは“山田錦”的品質を保持したまま生産性を向上させるため、短稈性で醸造適性の高い品種の育成を目的として品種改良に取組んできた。今年度はDNAマークターを利用して、実用性の高い系統の遺伝的固定度を確認するとともに世代更新による形質の安定を図る。これによって暴風雨による倒伏被害を抑え、安定した農業生産を支えたいと考えている。この話を“山田錦”は最高のブランド米と考える方々に伝えると「山田錦を超える酒米はこの世には存在しない」という厳しい評価を受けることも多く、酒米育種を行う難しさを感じた。だからこそ、私たちのようなお酒も飲めない高校生の新鮮な発想とバイオテクノロジーの学びを活かして、何れ必要となる品種を今から備えておきたいと思うのです。このためにPCR

による個体識別技術で、ジベレリン生合成を担う遺伝子の領域を特定するためのプライマー設計を行い、幼苗選抜を実施する。段階的に得られている有望系統のうち第1世代の有望系統が今年度ようやく実証実験が可能な段階となった。新聞社などからの取材も増え、米の価格が高騰する中でも高校生たちが大規模な圃場で行う実証実験に協力を申し出てくださる米農家さんが次々に現れた。地元酒蔵さんも昨今の酷暑や風雨による酒米の品質低下に危機感を感じ、試験醸造を快諾していただけた。こうしてようやく私たちの取組みが地域に理解されるようになってきた。いよいよ酒米生産者や酒蔵と連携した大規模実証実験を実施する段階となり農林水産省の品種登録に出願する準備に移行する。そしてバイオテク情報普及会の皆様にはこの活動へのご理解とご支援をいただきたく今回の申請に至りました。人は食べなければ生きていけません。世界人口を支えるためには食糧を安定供給する必要があります。しかし昨今、この安定という部分に様々な不安を感じるようになってきました。私たちは無力でしょうか。人はまた食べ物を奪い合う選択をするのでしょうか。いえ、人には知恵が与えられています。私たちは生命科学を学んできた経験を通じてほんの少しの希望を得ました。私たちは、この希望を研究という形で目に見えるものに変えて行きます。

具体的な活動として、山田錦の性質を保持したまま産出性を向上させるために、短稈性や醸造適性の高い品種の品種登録を目的とした。品種登録については、出願品種 2025 年度は 2024 年度に神戸大学大学院農学科附属食資源研究センター(以下、神大圃場)で栽培した山田錦と渡船 2 号の交配種の世代更新(第 6 世代)を形質の安定を目的とした。2025 年度には前年度に栽培した山田錦×渡船 2 号の 5 系統を 3 系統に選抜し、生育調査を校内圃場で行った。また、地域の酒蔵での試験醸造を行うため、加古川市内の農家、井澤さん・外山さんと協力して頂き醸造用の酒米を栽培した。短稈性遺伝子の発現を確認するために、PCR 法を用いた DNA マーカー選抜で調査を行った。これらの技術を応用することにより、山田錦に代わる新しい品種の育成と品種登録を目的とした。

3 材料および方法

【実験 I】校内・神戸大学・井澤商店での酒米新品種の栽培実験

2024 年度に栽培した“山田錦”×“渡船 2 号”の中から、DNA マーカーによる短稈性の有無、稈長、収量、心白発現率を総合的に評価した。そして、有望な系統“23d-5-11-10”“23d-5-14-21”“24h-4-18-15”の 3 系統を選抜した。これに加え、系統比較のため“山田錦”“渡船 2 号”を含めた計 5 系統（試験栽培系統）の栽培を行った



Fig. 1 校内圃場の田植え

(Fig. 1)。栽培圃場は、2021 年度に造成した校内の水田を使用した。4 月ごろに水田全体を柔らかくすること、有毒ガスを抜き空気を含ませることを目的とし代掻きを行った。系統比較のため校内圃場・神大圃場では、元肥を入れずに栽培を行った。

校内圃場では、品種登録に向けた形質調査のための試験栽培圃場として使用した。ステンレスビーカーに食塩を添加して比重 1.13 に調整した食塩水に種もみを浸して、塩水選を行った (Fig. 2)。浮き上がってきた種子を取り除き、底に沈んだ種もみをザルですくい上げて水洗いし、乾燥させた。

種子消毒は、プラスチックシャーレに殺菌剤(商品名:テクリード)を 200 倍希釈に調整し、20°C で 24 時間浸漬処理を行った (Fig. 3)。この間に、ピペットでバブリングし、種子全体に薬剤をいきわたらせた。その後、殺菌剤を排水し水を入れ替え、積算温度が 100°C を超えるようにインキュベーター (20°C) で 5 日間静置し、催芽処理を施した。セルトレイ (200 穴) に調整培養土を 9 割充填し、灌水・鎮圧後に親系統では 180 粒、選抜系統では 100 粒ずつ播種を行った。なお、覆土は種子が隠れる程度に行った。ビニールハウス内に鉄パイプとビニールシートを用いて、育苗管理を行うためのプールを設置した。設置したプールに播種後のセルトレイを静置し、発芽するまでの期間は上に濡れた新聞をかけ、育苗を行な



Fig. 2 塩水選の様子



Fig. 3 殺菌剤添加の様子

った。さらに、水漏れを防ぐために排水用パイプを取り付けた。24日間の育苗後、根鉢が充実した苗を6月9日に校内圃場、6月14日に神大圃場、6月16日に外山さん圃場、6月18日に井澤さん圃場の定植を実施した。株間を20cm、条間20cmとし、それぞれ定植を行った。

収穫後、各圃場の調査株を無加温ハウス内で乾燥処理、脱穀処理を行った。その後、各調査株の最長稈長、穂数、穂一本当たりの粒数を項目とし調査を行い、“山田錦”“渡船2号”との比較を行った。

【実験II】C-TAB法を用いた短稈性遺伝子の確認

DNA抽出を行う際、試薬のコンタミネーションを防ぐために試薬を調合した。抽出液A、抽出液Bを作成した。蒸留水を入れたビーカーに試薬を添加し、メスフラスコを使って、抽出液Aは100mL、抽出液Bは50mLまでメスアップを行い、転倒混和を行った。

校内および神大圃場にて育苗した苗から葉を採取した。葉片を電子天秤により100mgに調整し、マイクロテストチューブへ移した(Fig.4)。抽出液Aを添加後、ボルテックスミキサーにより攪拌し、4°Cで5000rpmにて遠心分離を行った。得られた上澄みをマイクロピペットで除去し、抽出液Bを添加して30分間静置後、転倒混和を行った。さらに、葉片を液体窒素で瞬間凍結し、ホモジナイザーペッスルにより粉碎した。

粉碎試料に2×CTAB溶液200μLを加え、10回以上転倒混和した後、60°Cのウォーターバスにて10分間静置した。クロロホルム／イソアミルアルコール(24:1)を添加し、室温にて50rpmで15分間振とうさせた。遠心分離後、上澄み600μLを新しい1.5mLマイクロチューブへ移し、等量の2-プロパノールを加えて転倒混和した。試料を-20°Cで静置した後、4°Cで15000rpmにて10分間遠心分離した。

得られた上澄みを除去し、沈殿を真空デシケーターにて乾燥させ、残存エタノールを除去した(チューブは開放



Fig.4 DNA抽出の様子



Fig.5 DNA增幅の様子

し、キムワイプで覆った)。最後に、沈殿を $100\mu\text{l}$ の TE バッファーに溶解した。

抽出した DNA をサーマルサイクラーで増幅した。コンタミネーションを防ぐために、ゴム手袋と白衣、マスクを着用した。PCR に使用するサンプルを調合した。調合した溶液をマイクロテストチューブ (1.5ml) に加え混合し、反応混合液とする。8 連チューブに DNA 抽出液 ($2.5\mu\text{l}$) を分注した。その後、DNA 溶液に反応混合液を $22.5\mu\text{l}$ ずつ加えた。軽く 8 連チューブをタッピングした後、卓上遠心分離機でスピンドダウンを行った。最後に、サーマルサイクラーにセットし、PCR 反応を行った(Fig.5)。

電気泳動を行うために、電気泳動用ゲルの作成に取り組んだ。三角フラスコに試薬を添加し、ラップを被せ、つまようじで穴を開け、電子レンジで溶解した。溶解後は、ゲルトレイに流し入れコームを挿し込み冷やし $30\sim40$ 分間変えけて固めた。

サンプルコームに電気泳動用試薬を調合し、8 連チューブに添加した。最後に、ゲルトレイに調合液をマイクロピペットでアプライし、 100V で約 40 分電気泳動を行い、トランスイルミネーターでバンドパターンを観察した(Fig.6)。

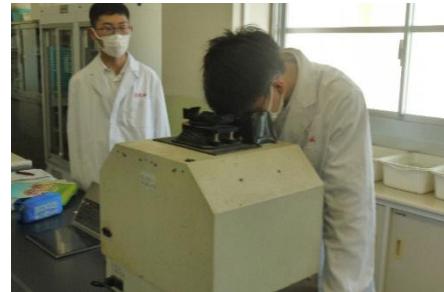


Fig.6 バンドパターンの確認

【実験Ⅲ】SSR マーカー技術を使用した短穀性遺伝子の確認

実験Ⅲで抽出した DNA をサーマルサイクラーで増幅を行った。コンタミネーションを防ぐために、ゴム手袋、白衣とマスクを着用した。PCR に使用するサンプルを調合後、調合した抽出液 ($2.5\mu\text{l}$) を分注した。その後、DNA 溶液に反応混合液を $22.5\mu\text{l}$ ずつ加えた。軽くタッピングした後、卓上遠心分離機でスピンドダウンした。最後に、サーマルサイクラーにセットし、PCR による増幅を行った。

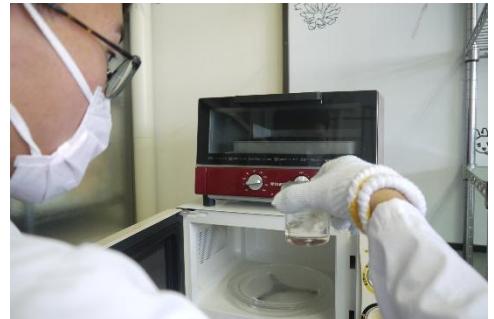


Fig.7 ゲル作成の様子

電気泳動を行うために、電気泳動用ゲルを作成した(Fig.7)。三角フラスコ内に高分子アガロースとゲルレッドを 1 倍希釈の TBE バッファーに溶かした試薬を添加した。その後、ラップを被せ、爪楊枝で数か所穴を開け、電子レンジの加熱により溶解を行った。溶解したゲルを、ゲルトレイに流し入れコームを挿し込み約

30～40分冷やし固めた。サンプルコームに電気泳動用試薬を調合し、8連チューブを使って添加した。最後に、ゲルトレイに調合液をマイクロピペットでアプライし、100Vで約40分電気泳動を行い、トランスイルミネーターでゲルをUV照射し目視で観察を行った。

【実験V】品種登録に向けた形質調査

農林水産省が定める農林水産植物種類別審査基準に基づき、形質調査を行った。審査基準の対象は、イネ科(*Poaceae*)イネ属(*Oryza L.*)のイネ種(*O. sativa L.*)に適応する品種を使用した。また、親株である“山田錦”“渡船2号”と形態的に類似する交雑種“23d-5-11-10”“23d-5-14-21”“24h-4-18-15”的3系統は、審査基準に適用可能と判断したため、試験栽培系統の形質調査を行った(Fig.8)。調査場所は校内圃場、神大圃場、井澤商店圃場の3カ所で調査を行った。校内圃場では【実験I】で行った栽培個体の中から、親系統の“山田錦”“渡船2号”は1列2株×3反復の計6株を、改良品種では“23d-5-11-10”“23d-5-14-21”を1列2株×3列×2反復の計12株を調査株とした。また、両端列と両端行は、ハーラン効果が発生することを考慮して「捨て株」とした。神大圃場では、親系統の“山田錦”“渡船2号”は1列10株×2反復の計20株を、改良品種では“23d-5-11-10”“23d-5-14-21”“24h-4-18-15”を1列10株×2反復の計20株を調査株とした。形質の有無が発現しにくい両端2株は捨て株とした。さらに、井澤商店圃場では“山田錦”“渡船2号”“23d”“24h”的4系統を栽培した。これらすべての系統は、1列10株の計10株を調査株とした。校内圃場、神大圃場、井澤商店圃場の形質調査項目は、次の46項目を必須形質のみとした。



Fig.8 形質調査の様子

【形質番号 1：胚乳の型】

0.1%ヨード (I2) 溶液と 0.2%ヨウ化カリウム (KI) 溶液を混合して用意し、ヨードカリ (KI-I) 溶液反応で調査を行った。形質区分は 1. 糜 2. 半粳 3. 稼 の計 3 種類の状態を調査基準と定め、計測を行った。

【形質番号 3：葉しょうアントシアニンの着色】

葉しょうアントシアニンの着色を調べるために、8月 25 日から 9月 29 日の間、クリーンルーム内(28°C 設定)、遮光環境で生育したサンプルを使用した。葉しょうにアントシアニンが含まれているかを目で判断した。形質区分は 1. 無又は弱 2. やや弱 3. 中 4. やや強 5. 強 の計 5 種類の状態を調査基準と定め、計測を行った。

【形質番号 4：草姿】

30cm 直定規を使用し、草姿を計測した。官能評価で行うが、観測者によってデータの偏りを防ぐため、複数の観測者を用いて評価を行った。さらに、カメラで記録した。形質区分は 1. 立 2. 立～半立 3. 半 4. 半立～中立 5. 中間 6. 中間～半ひざまずき 7. 半ひざまずき 8. 半ひざまずき～ひざまずき 9. ひざまずき の計 9 種類の状態を調査基準と定め、計測を行った。

【形質番号 5：葉しょう先端のアントシアニンの着色】

30 cm 直定規を使用し、計測を行った。止め葉から 2 番目の葉しょう先端のアントシアニンの着色を調査した。官能評価で行うことによる、観測者ごとのデータの偏りを防ぐため、複数の観測者で評価を行った。また、葉色カラーチャートを用いて比較することでデータの偏りを防いだ。形質区分は 1. 無または極弱 2. かなり弱 3. 弱 4. やや弱 5. 中 6. やや弱 7. 強 8. かなり強 9. 極強 の計 9 種類の状態を調査基準と定め、計測を行った。

【形質番号 6：葉しょう基部のアントシアニンの着色】

葉色カラーチャートを使用し、計測を行った。止め葉から 2 番目の葉しょう基部のアントシアニンの着色を調査した。官能評価で行うが、観測者によってデータの偏りを防ぐため、複数の観測者で評価を行った。形質区分は 1. 無または極弱 2. かなり弱 3. 弱 4. やや弱 5. 中 6. やや弱 7. 強 8. かなり強 9. 極強 の計 9 種類の状態を調査基準と定め、計測を行った。

【形質番号 7：葉身の緑色の濃淡】

葉色カラーチャートを使用し、計測を行った。止め葉から 2 番目の葉身の緑色の濃淡を調査した。形質区分は 1. 極淡 2. かなり淡 3. 淡 4. やや淡 5. 中 6. やや濃 7. 濃 8. かなり濃 9. 極濃 の計 9 種類の状態を調査基準と定め、計測を行った。

【形質番号 8：葉身のアントシアニンの着色】

葉色カラーチャートを使用し、計測を行った。止め葉から 2 番目の葉身のアントシアニンの着色を調査した。形質区分は 1. 無または弱 2. やや弱 3. 中 4. やや弱 5. 強 の計 5 種類の状態を調査基準と定め、計測を行った。

【形質番号 9：葉身の毛じ】

穂ばらみ期における止め葉から 2 番目の葉身表面の毛じの粗密を調査した。形質区分は 1. 無または極粗 2. 粗 3. 中 4. 密 5. 極密 の計 5 種類の状態を調査基準と定め、計測を行った。

【形質番号 10：葉舌の形】

穂ばらみ期における止め葉から 2 番目の葉舌の色を調査した。形質区分は 1. 切形 2. 錐形 3. 裂 の計 3 種類の状態を調査基準と定め、計測を行った。

【形質番号 11：葉舌の色】

葉色カラーチャートを使用し、調査を行った。穂ばらみ期における止め葉から 2 番目の葉舌の色を調査した。形質区分は 1. 白 2. 緑 3. 紫 の計 3 種類の状態を調査基準と定め、計測を行った。

【形質番号 12：出穂期】

供試株の 50% で第 1 小穂が確認できた日を調査した。調査区分は 1. 極早 2. かなり早 3. 早 4. やや早 5. 中 6. やや晩 7. 晩 8. かなり晩 9. 極晩 の計 9 種類の状態を調査基準と定め、調査を行った。

【形質番号 13：止め葉の長さ】

30 cm 直定規を使用し、調査を行った。止め葉の葉身の先端から基部までの長さを調査した。形質区分は 1. 極短 2. かなり短 3. 短 4. やや短 5. 中 6. やや長 7. 長 8. かなり長 9. 極長 の計 9 種類の状態を調査基準と定め、計測を行った。

【形質番号 14：止め葉の幅】

ものさしを使用し、調査を行った。止め葉の葉身の最大幅を調査した。形質区分は 1. 狹 2. やや狭 3. 中 4. やや広 5. 広 の計 5 種類の状態を調査基準と定め、計測を行った。

【形質番号 15：外穎の毛じの粗密】

開花期～糊熟期における外穎の毛じの粗密を調査した。評価基準は 1. 無または粗密 2. 粗 3. 中 4. 密 5. 極密 の計 5 種類の状態を調査基準と定め、計測を行った。この調査は調査株の収量に影響する可能性があるため、外周の個体を調査した。

【形質番号 16：柱頭の色】

ピンセットを使用し、調査を行った。50% 開花期における柱頭の色を調査した。形質区分は 1. 白 2. 緑 3. 黄 4. 紫 5. 黒 の計 5 種類の状態を調査基準と定め、計測を行った。この調査は調査株の収量に影響する可能性があるため、外周の個体を調査した。

【形質番号 17：稈の長さ】

30 cm直定規を使用し、調査を行った。最長稈の地際から穂首節までの長さを調査した。形質区分は 1. 極短 2. かなり短 3. 短 4. やや短 5. 中 6. やや中 7. 長 8. かなり長 9. 極長 の計 9 種類の状態を調査基準と定め、計測を行った。

【形質番号 18：稈の太さ】

30 cm直定規を使用し、調査を行った。最長稈の最下位節間の太さを調査した。形質区分は 1. 極細 2. かなり細 3. 細 4. やや細 5. 中 6. やや太い 7. 太 8. かなり太 9. 極太 の計 9 種類の状態を調査基準と定め、計測を行った。

【形質番号 19：稈の節のアントシアニンの着色】

葉色カラーチャートを使用し、調査を行った。稈の節のアントシアニンの着色を調査した。形質区分は 1. 無または弱 2. やや弱 3. 中 4. やや強 5. 強 の計 5 種類の状態を調査基準と定め、計測を行った。

【形質番号 20：稈の節間のアントシアニンの着色】

葉色カラーチャートを使用し、調査を行った。節の節間のアントシアニンの着色を調査した。形質区分は 1. 無または弱 2. やや弱 3. 中 4. やや強 5. 強 の 5 種類の状態を調査基準と定め、計測を行った。

【形質番号 21：穂数】

遅れ穂を除く穂の数(1m²あたりに換算)を調査した。形質区分は 1. 極少 2. かなり少 3. 少 4. やや少 5. 中 6. やや多 7. 多 8. かなり多 9. 極多 の計 9 種類の状態を調査基準と定め、調査を行った。

【形質番号 22：芒の分布】

乳熟期～糊熟期における芒の分布を調査した。形質区分は 1. 無 2. 先端 1/4 3. 上半分 4. 上 3/4 5. 全体 の計 5 種類の状態を調査基準と定め、調査を行った。

【形質番号 23：芒の長さ】

乳熟期～糊熟期における最長芒の長さを調査した。形質区分は 1. 極短 2. 短 3. 中 4. 長 5. 極長 の計 5 種類の状態を調査基準と定め、調査を行った。

【形質番号 24：穂の長さ】

入熟期～完熟期における最長稈の穂首節から穂の先端（芒を防ぐ）までの長さを調査した。調査区分は 1. 極短 2. かなり短 3. 短 4. やや短 5. 中 6. やや長 7. 長 8. かなり長 9. 極長 の計 9 種類の状態を調査基準と定め、調査を行った。

【形質番号 25：外穎先端の色】

糊熟期～完熟期における外穎先端の色を目視で調査した。形質区分は 1. 白 2. 黄 3. 赤 4. 紫 5. 褐 6. 黒 の 6 種類の状態を調査基準と定め、調査を行った。

【形質番号 26：止め葉の姿勢】

乳熟期～完熟期における最長稈の穂首節から穂の先端（芒を除く）までの長さを調査した。形質区分は 1. 立 2. 立～半立 3. 半立 4. 半立～水平 5. 水平 6. 水平～やや反曲 7. やや反曲 8. やや反曲～かなり反曲 9. かなり反曲 の計 9 種類の状態を調査基準と定め、調査を行った。

【形質番号 27：着粒密度】

完熟期における穂の着粒の粗密を調査した。形質区分は 1. 極粗 2. かなり粗 3. 粗 4. やや粗 5. 中 6. やや密 7. 密 8. かなり密 9. 極密 の 9 種類を調査基準と定め、調査を行った。着粒密度は単位穂長当たりの着粒密度（粒数 ÷ 穂長）を算出し、標準品種との対比較により評価した。

【形質番号 28：穂の主軸の湾曲】

完熟期における穂の稈に対する向きを調査した。形質区分は 1. 立 2. 傾く 3. 垂れる 4. 屈曲 の計 4 種類を調査基準と定め、調査を行った。

【形質番号 29：穂の密着度】

完熟期における穂軸に対する 1. 次枝梗の密着の程度を調査した。調査区分は 1. 密着 2. やや密着 3. 隣接 4. やや離れる 5. 離れる の計 5 種類を調査基準と定め、調査を行った。

【形質番号 30：穂の二次枝梗の多少】

完熟期における穂の二次枝梗の多少を調査した。調査区分は 1. 無又は少 2. 中 3. 多 の 3 種類を調査基準と定め、調査を行った。

【形質番号 31：穂の抽出度】

完熟期における止め葉の葉しょうからの穂及び穂軸の抽出程度を調査した。調査区分は 1. 非抽出 2. 一部抽出 3. 穂だけ抽出 4. 穂軸もよく抽出 の 4 種類を調査基準と定め、調査を行った。

【形質番号 32：成熟期】

正常な粒の大部分が黄化し、80%が硬化した日を調査した。調査区分は 1. 極早 2. かなり早 3. やや早 4. 中 5. やや晚 6. 晚 7. かなり晚 8. 極晚 の 9 種類を調査基準と定め、調査を行った。

【形質番号 33：枯れ上がり時期】

完熟期における枯れ上がりの状態を調査した。調査区分は 1. 早：(成熟期に葉がすべて枯死) 2. 中 3. 晩(成熟期に 2 枚以上の葉が緑色を保持) の 3 種類を調査基準と定め、調査を行った。

【形質番号 34：外穎の色】

成熟粒の外穎の色を調査した。調査区分は 1. 白 2. 黄 3. 赤 4. 紫 5. 茶 6. 黒 の 6 種類を調査基準と定め、調査を行った。

【形質番号 36：護穎の長さ】

成熟粋の最長の護穎の長さを調査した。調査区分は 1. 短 2. 中 3. 長 の 3 種類を調査基準と定め、調査を行った。

【形質番号 37：護穎の色】

成熟粋の護穎の色を調査した。調査区分は 1. 白 2. 黄 3. 赤 4. 紫 5. 茶 6. 黒 の計 6 種類を調査基準と定めて、調査を行った。

【形質番号 38：玄米の千粒重】

精玄米の千粒重を調査した。調査区分は 1. 極小 2. かなり小 3. 小 4. やや小 5. 中 6. やや大 7. 大 8. かなり大 9. 極大 の 9 種類を調査基準と定めて、調査を行った。

【形質番号 39：玄米の長さ】

精玄米の長さを調査した。調査区分は 1. 極短 2. かなり短 3. 短 4. やや短 5. 中 6. やや長 7. 長 8. かなり長 9. 極長 の 9 種類を調査基準と定めて、調査を行った。

【形質番号 40：玄米の幅】

精玄米の幅を調査した。調査区分は 1. 狹 2. やや狭 3. 中 4. やや広 5. 広 の 5 種類を調査基準と定めて、調査を行った。

【形質番号 41：玄米の長さ／幅】

精玄米の長さ／幅を調査した。調査区分は 1. 低 < 1.50 2. やや低 $1.50 - 1.99$ 3. 中 $2.00 - 2.49$ 4. やや高 $2.50 - 2.99$ 5. 高 > 2.99 の 5 種類を調査区分と定めて、調査を行った。

【形質番号 42：玄米の色】

精玄米の外観の粒色を調査した。1. 白 2. 赤 3. 赤褐 4. 紫 5. 淡褐 6. 暗褐 7. 黒 の 7 種類を調査区分と定めて、調査を行った。

【形質番号 44：玄米の香り】

玄米の香りの強弱を行った。を調査した。1. 無又は極弱 2. 弱 3. 強 の 3 種類を調査区分と定めて、調査を行った。

【形質番号 45：玄米の心白の発現（酒米品種に限る。）】

酒米品種の精玄米の心白発現率を調査した。評価基準は 1. 少 2. やや少 3. 中 4. やや多 5. 多 の 5 種類を調査区分と定めて、調査を行った。

【形質番号 46: 脱粒性】

完熟期における脱粒の難易を調査した。評価基準は 1. 極易 2. かなり易 3. 易 4. やや易 5. 中 6. やや難 7. 難 8. かなり難 9. 極難 の 9 種類を調査区分と定めて、調査を行った。

試験方法：成熟期に達した穂を片手で強く握った後、脱粒した粒の割合で評価した。

4 実験結果

【実験 I】酒米新品種の形質及び系統の選抜

6月に圃場へ定植後、校内圃場、神大圃場、井澤さん圃場、外山さん圃場にて栽培を行った。定植直後に高温障害による葉の枯死が見られた(Fig.9)。さらに、昨年には、見られなかった巻貝が大量発生した。そのため、高温障害は田んぼの水をかけ流しにし、水温が上がりにくいように調整した。また、巻貝は種の特定を行いヒメモノアラガイであることが分かった。害虫ではなかったが水をかけ流しにしたことで発生しにくくなった。そのため10月上旬にすべての個体を収穫後、試験栽培系統の稈長を測定した。また、井澤さん圃場で得られた稈長の差は、校内圃場および神大圃場よりも大きかった。親系統の“山田錦”“渡船2号”と選抜系統の“23d-5-14-21”“23d-5-11-10”“24h-4-18-15”的比較においても、“山田錦”と“23d-5-11-10”“23d-5-14-21”的差は最も大きかった。



Fig.9 高温障害の症状

Table 1
山田錦の稈長、穂数、粒数穂一本（校内圃場）

個体番号	稈長 (cm)	穂数 (本)	粒数/穂一本 (粒)
15	89.5	14	N.D.
22	90.5	18	125
51	87.0	23	123
58	91.5	22	72
87	98.5	19	105
94	86.0	17	88

Table 2
渡船2号の稈長、穂数、粒数穂一本（校内圃場）

個体番号	稈長 (cm)	穂数 (本)	粒数/穂一本 (粒)
15	82.0	21	59
22	85.0	25	69
51	93.0	26	N.D.
58	89.5	26	77
87	93.5	17	104
94	93.0	31	65

Table 3
23d-5-11-10 の稈長、穂数、粒数穂一本 (校内圃場)

個体番号	稈長 (cm)	穂数 (本)	粒数/穂一本 (粒)
15	92.5	19	59
22	89.5	18	67
27	91.5	19	72
33	90.5	19	79
39	89.5	15	N.D.
46	93.0	24	99
75	105.0	22	104
82	91.5	18	78
87	103.5	20	91
94	95.5	18	77
99	101.5	19	111
106	93.5	24	73

Table 4
23d-5-14-21 の稈長、穂数、粒数穂一本 (校内圃場)

個体番号	稈長 (cm)	穂数 (本)	粒数/穂一本 (粒)
15	93.0	14	96
22	92.0	17	110
27	96.0	13	78
33	94.5	14	96
39	96.5	14	133
46	96.5	22	84
75	98.0	23	82
82	98.0	17	95
87	98.0	19	90
94	101.5	22	79
99	95.0	21	104
106	96.0	16	N.D.

Table 5
24h-4-18-15 の稈長、穂数、粒数穂一本 (校内圃場)

個体番号	稈長 (cm)	穂数 (本)	粒数/穂一本 (粒)
15	97.5	23	92
22	96.0	28	74
27	94.0	21	97
33	96.0	22	46
39	96.5	22	N.D.
46	98.5	29	113
75	95.0	27	79
82	100.0	22	78
87	91.5	22	76
94	99.0	22	55
99	94.5	26	85
106	91.0	22	68

Table 6
山田錦の稈長、穂数、粒数穂一本 (神大圃場)

個体番号	稈長 (cm)	穂数 (本)	粒数/穂一本 (粒)
1	105.0	20	70
2	96.5	14	70
3	99.0	16	83
4	96.0	N.D.	N.D.
5	98.5	20	82
6	100.0	15	71
7	100.5	19	67
8	103.0	13	66
9	107.5	17	75
10	99.5	13	75
11	105.5	25	96
12	99.0	24	71
13	97.0	19	61
14	108.0	20	66
15	101.5	18	71
16	97.0	18	63
17	99.5	15	65
18	104.5	15	54
19	98.0	25	57
20	98.0	15	63

Table 7
渡船2号の稈長、穂数、粒数穂一本（神大圃場）

個体番号	稈長 (cm)	穂数 (本)	粒数/穂一本 (粒)
1	107.0	25	79
2	107.5	23	77
3	101.0	20	95
4	104.0	22	80
5	101.0	N.D.	N.D.
6	108.0	23	52
7	110.0	24	74
8	107.0	21	64
9	101.5	24	81
10	109.0	15	71
11	106.5	25	78
12	108.5	27	78
13	103.5	26	69
14	103.5	26	70
15	100.0	19	85
16	108.0	20	88
17	106.0	22	73
18	100.0	23	99
19	103.5	20	75
20	100.0	24	71

Table 8
23d-5-11-10 の稈長、穂数、粒数穂一本（神大圃場）

個体番号	稈長 (cm)	穂数 (本)	粒数/穂一本 (粒)
1	93.5	N.D.	N.D.
2	102.0	23	61
3	97.0	19	59
4	100.0	25	60
5	90.0	20	72
6	107.0	20	82
7	N.D.	N.D.	N.D.
8	97.0	21	67
9	99.5	19	71
10	98.0	18	73
11	105.0	18	50
12	105.5	25	71
13	108.0	22	62
14	101.0	24	70
15	107.0	22	66
16	107.5	19	55
17	98.0	20	78
18	95.5	17	59
19	95.0	17	59
20	98.0	16	62

Table 9
23d-5-14-21 の稈長、穂数、粒数穂一本 (神大圃場)

個体番号	稈長 (cm)	穂数 (本)	粒数/穂一本 (粒)
1	102.0	19	75
2	104.5	23	64
3	104.5	23	47
4	104.0	21	62
5	105.5	16	87
6	103.0	18	78
7	N.D.	N.D.	N.D.
8	98.0	18	90
9	104.0	18	73
10	100.5	19	75
11	107.0	25	44
12	106.5	N.D.	N.D.
13	110.0	22	67
14	103.5	22	58
15	109.5	19	71
16	105.0	22	62
17	105.0	15	77
18	101.5	22	69
19	102.5	26	69
20	104.0	23	81

Table 10
24h-4-18-15 の稈長、穂数、粒数穂一本 (神大圃場)

個体番号	稈長 (cm)	穂数 (本)	粒数/穂一本 (粒)
1	104.0	29	68
2	106.0	24	58
3	104.0	24	78
4	98.5	29	59
5	106.5	23	66
6	96.0	21	65
7	98.0	28	44
8	100.5	19	75
9	98.0	19	59
10	95.5	22	71
11	107.0	31	61
12	95.0	27	65
13	107.5	20	65
14	103.0	27	56
15	103.0	23	58
16	97.0	N.D.	N.D.
17	105.5	21	61
18	105.5	22	64
19	101.5	29	68
20	99.5	30	62

Table 11
山田錦の稈長、穂数、粒数穂一本 (井澤商店)

個体番号	稈長 (cm)	穂数 (本)	粒数/穂一本 (粒)
1	111.5	48	74
2	114.5	41	95
3	110.5	40	60
4	110.5	38	68
5	113.0	N.D.	N.D.
6	112.5	31	81
7	116.0	51	77
8	110.0	28	73
9	109.0	41	55
10	107.0	42	97

Table 12
渡船2号の稈長、穂数、粒数穂一本 (井澤商店)

個体番号	稈長 (cm)	穂数 (本)	粒数/穂一本 (粒)
1	115.0	31	77
2	106.0	46	89
3	106.0	56	92
4	106.0	46	97
5	100.0	36	91
6	113.5	52	76
7	114.0	N.D.	N.D.
8	106.0	42	66
9	110.0	57	74
10	112.0	50	49

Table 13

23d の稈長、穂数、粒数穂一本（井澤商店）

個体番号	稈長 (cm)	穂数 (本)	粒数/穂一本 (粒)
1	100.5	40	66
2	96.0	34	71
3	100.1	31	62
4	103.0	36	61
5	102.0	36	65
6	92.5	N.D.	N.D.
7	98.5	34	76
8	102.0	28	58
9	103.0	40	65
10	110.5	25	68

Table 14

24h の稈長、穂数、粒数穂一本（井澤商店）

個体番号	稈長 (cm)	穂数 (本)	粒数/穂一本 (粒)
1	104.0	51	46
2	101.0	N.D.	N.D.
3	107.0	54	57
4	105.0	50	58
5	103.5	35	57
6	105.5	48	58
7	108.5	55	79
8	110.0	44	60
9	105.0	39	57
10	113.0	48	56

【実験Ⅱ】C-TAB 法を用いた短稈性遺伝子の確認

試験栽培系統について DNA 抽出を行い、その精度を確認するために PCR 法で増幅したサンプルを電気泳動にかけた。電気泳動の結果、DNA 原液から明確なバンドが確認できたため、DNA 抽出は問題なく行われたと判断した。そこで、次の段階として制限酵素 *Pst*I を用い、短稈性遺伝子の有無を調べた。

電気泳動は左から “分子量マーカー” “山田錦” “渡船 2 号” “23d-5-14-21” “23d-5-11-10” “24h-4-18-15” “分子量マーカー” の順で行った。その結果、“渡船 2 号” “23d-5-11-10” “23d-5-14-21” ではバンドが確認されなかったのに対し、“山田錦” と “24h-4-18-15” ではバンドが確認された (Fig.10)。

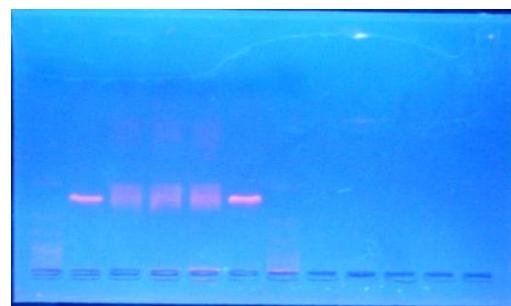


Fig.10 C-TAB 法を用いた電気泳動の結果

【実験Ⅲ】SSR マーカー技術を使用した短稈性遺伝子の確認

電気泳動は左から “分子量マーカー” “山田錦” “渡船 2 号” “23d-5-11-10” “23d-5-14-21” “24h-4-18-15” “分子量マーカー” の順で行った (Fig.11)。その結果、渡船 2 号のみがバンドの位置が試験栽培系統と比べて電極側に移動していたことが分かった。

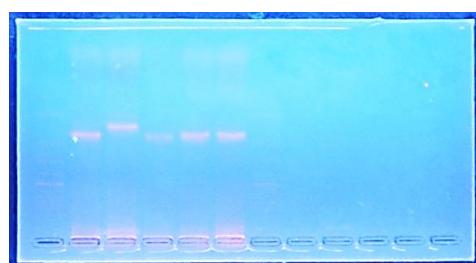


Fig.11 電気泳動後のゲル

【実験VI】品種登録に向けた形質調査

形質調査での判定は、「品種登録出願審査等要領」に定められた区別性・均一性及び安定性（DUS）審査のための一般基準に基づいて実施した。また、形質番号 8:葉身のアントシアニンの着色、形質番号 12:出穂期、形質番号 17:稈の長さ、形質番号 25:外穎先端の色、形質番号 41:玄米の長さ/幅、形質番号 42:玄米の色の計 7 項目の調査は系統から無造作に取り出したサンプルを形質特性とした。

農林水産省が定義する形質は質的形質、量的形質に分類され、その性質に応じて適切な評価方法が選択される。質的形質は状態区分が明確であるため個体単位での観察が有効であるのに対し、量的形質は連続的な変異を示すことから、集団としての傾向を把握する必要がある。そのため、調査項目間で調査方法が異なる。特性表において用いられる記号には、それぞれ明確な意味が付されている。G は品種のグループ分けに使用する形質を示す記号であり、(*)は品種記載の国際的な調和を目的として調査される形質を示す。形質の性質に基づく区分としては、QL が質的形質、QN が量的形質、PQ が擬似の質的形質を表す。また、(+)は第VIII章において当該形質に関する特性表の説明図等が示されていることを示す記号である。

さらに、測定および観察方法の違いを示す記号として、MG は植物体または植物体の一部を集団として測定し記録する場合に用いられ、MS は植物体または植物体の一部を個々に測定し記録する場合に用いられる。加えて、VG は植物体または植物体の一部を集団として観察し記録することを示し、VS は植物体または植物体の一部を個々に観察し記録することを示す。

【形質番号 1:胚乳の型】

Table 15 胚乳の型の結果 (親系統)

個体番号	山田錦	渡船2号
15	1	1
22	1	1
51	1	1
58	1	1
87	1	1
94	1	1

Table 16 系統別胚乳の型の結果 (交配系統)

個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15	1	1	1
22	1	1	1
27	1	1	1
33	1	1	1
39	1	1	1
46	1	1	1
75	1	1	1
82	1	1	1
87	1	1	1
94	1	1	1
99	1	1	1
106	1	1	1

【形質番号 3: しょう葉アントシアニンの着色】

Table 17 しょう葉アントシアニン

の着色の結果 (親系統)

個体番号	山田錦	渡船2号
15	1	1
22	1	1
51	1	1
58	1	1
87	1	1
94	1	1

Table 18 しょう葉アントシアニンの着色の結果 (交配系統)

個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15	1	1	1
22	1	1	1
27	1	1	1
33	1	1	1
39	1	1	1
46	1	1	1
75	1	1	1
82	1	1	1
87	1	1	1
94	1	1	1
99	1	1	1
106	1	1	1

【形質調査 4:草姿】

Table 19 草姿の結果 (親系統)

個体番号	山田錦	渡船2号
15	1	1
22	1	1
51	1	1
58	1	1
87	1	1
94	1	1

Table 20 草姿の結果 (交配系統)

個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15	1	1	1
22	1	1	1
27	1	1	1
33	1	1	1
39	1	1	1
46	1	1	1
75	1	1	1
82	1	1	1
87	1	1	1
94	1	1	1
99	1	1	1
106	1	1	1

【形質調査 5:葉しょう先端のアントシアニンの着色】

Table 21 葉しょう先端のアントシアニン

の着色の結果 (親系統)

個体番号	山田錦	渡船2号
15	1	1
22	1	1
51	1	1
58	1	1
87	1	1
94	1	1

Table 22 葉しょう先端のアントシアニンの着色 (交配系統)

個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15	1	1	1
22	1	1	1
27	1	1	1
33	1	1	1
39	1	1	1
46	1	1	1
75	1	1	1
82	1	1	1
87	1	1	1
94	1	1	1
99	1	1	1
106	1	1	1

【形質調査 6:葉しょう基部のアントシアニンの着色】

Table 23 葉しょう基部のアントシアニンの着色の結果（親系統）

個体番号	山田錦	渡船2号
15	—	—
22	—	—
51	—	—
58	—	—
87	—	—
94	—	—

Table 24 葉しょう基部のアントシアニンの着色（交配系統）

個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15	—	—	—
22	—	—	—
27	—	—	—
33	—	—	—
39	—	—	—
46	—	—	—
75	—	—	—
82	—	—	—
87	—	—	—
94	—	—	—
99	—	—	—
106	—	—	—

【形質調査 7:葉身の緑色の濃淡】

Table 25 葉身の緑色の濃淡の結果（交配系統）

個体番号	山田錦	渡船2号
15	5	5
22	5	5
51	5	5
58	5	5
87	5	5
94	5	5

Table 26 葉身の緑色の濃淡の結果（交配系統）

個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15	5	5	5
22	5	5	5
27	5	5	5
33	5	5	5
39	5	5	5
46	5	5	5
75	5	5	5
82	5	5	5
87	5	5	5
94	5	5	5
99	5	5	5
106	5	5	5

【形質調査 8:葉身のアントシアニンの着色】

Table 27 葉身のアントシアニンの

着色の結果（親系統）

個体番号	山田錦	渡船2号
15	—	—
22	—	—
51	—	—
58	—	—
87	—	—
94	—	—

Table 28 葉身のアントシアニンの着色の結果（交配系統）

個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15	—	—	—
22	—	—	—
27	—	—	—
33	—	—	—
39	—	—	—
46	—	—	—
75	—	—	—
82	—	—	—
87	—	—	—
94	—	—	—
99	—	—	—
106	—	—	—

【形質調査 9:葉身の毛じ】

Table 29 葉身の毛じの結果（親系統）

個体番号	山田錦	渡船2号
15	—	—
22	—	—
51	—	—
58	—	—
87	—	—
94	—	—

Table 30 葉身の毛じの結果（交配系統）

個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15	—	—	—
22	—	—	—
27	—	—	—
33	—	—	—
39	—	—	—
46	—	—	—
75	—	—	—
82	—	—	—
87	—	—	—
94	—	—	—
99	—	—	—
106	—	—	—

【形質調査 10:葉舌の形】

Table 31 葉舌の形の結果 (親系統)

個体番号	山田錦	渡船2号
15	3	3
22	3	3
51	3	3
58	3	3
87	3	3
94	3	3

Table 32 葉舌の形の結果 (交配系統)

個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15	3	3	3
22	3	3	3
27	3	3	3
33	3	3	3
39	3	3	3
46	3	3	3
75	3	3	3
82	3	3	3
87	3	3	3
94	3	3	3
99	3	3	3
106	3	3	3

【形質調査 11:葉舌の色】

Table 33 葉舌の色の結果 (親系統)

個体番号	山田錦	渡船2号
15	1	1
22	1	1
51	1	1
58	1	1
87	1	1
94	1	1

Table 34 葉舌の色の結果 (交配系統)

個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15	1	1	1
22	1	1	1
27	1	1	1
33	1	1	1
39	1	1	1
46	1	1	1
75	1	1	1
82	1	1	1
87	1	1	1
94	1	1	1
99	1	1	1
106	1	1	1

【形質調査 12:出穂期】

Table 35 出穂期の結果 (親系統)

個体番号	山田錦	渡船2号
15	6	6
22	6	6
51	6	6
58	6	6
87	6	6
94	6	6

Table 36 出穂期の結果 (交配系統)

個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15	6	6	6
22	6	6	6
27	6	6	6
33	6	6	6
39	6	6	6
46	6	6	6
75	6	6	6
82	6	6	6
87	6	6	6
94	6	6	6
99	6	6	6
106	6	6	6

【形質調査 13:止め葉の長さ】

Table 37 止め葉の長さの結果 (親系統)

個体番号	山田錦	渡船2号
15	5	5
22	6	4
51	5	4
58	5	5
87	5	5
94	4	5

Table 38 止め葉の長さの結果 (交配系統)

個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15	5	3	4
22	5	5	4
27	4	5	5
33	5	4	5
39	4	4	3
46	5	5	4
75	6	5	5
82	5	5	5
87	5	5	5
94	5	5	4
99	5	3	3
106	5	3	3

【形質調査 14: 止め葉の幅】

Table 39 止め葉の幅の結果 (親系統) Table 40 止め葉の幅の結果 (交配系統)

個体番号	山田錦	渡船2号	個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15	4	3	15	3	2	2
22	3	3	22	3	2	3
51	3	2	27	2	2	2
58	3	3	33	3	2	3
87	3	3	39	3	2	2
94	2	5	46	3	3	2
			75	3	3	2
			82	3	3	3
			87	3	3	3
			94	3	3	3
			99	3	3	3
			106	3	3	2

【形質調査 15: 外穎の毛じの粗密】

Table 41 毛じの粗密の結果 (親系統) Table 42 毛じの粗密の結果 (交配系統)

個体番号	山田錦	渡船2号	個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15			15			
22			22			
51			27			
58			33			
87			39			
94			46			
			75			
			82			
			87			
			94			
			99			
			106			

【形質調査 16:柱頭の色】

Table 43 柱頭の色の結果 (親系統)

個体番号	山田錦	渡船2号
15	1	1
22	1	1
51	1	1
58	1	1
87	1	1
94	1	1

Table 44 柱頭の色の結果 (交配系統)

個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15	1	1	1
22	1	1	1
27	1	1	1
33	1	1	1
39	1	1	1
46	1	1	1
75	1	1	1
82	1	1	1
87	1	1	1
94	1	1	1
99	1	1	1
106	1	1	1

【形質調査 17:稈の長さ】

Table 45 稈の長さの結果 (親系統)

個体番号	山田錦	渡船2号
15	8	6
22	8	7
51	7	7
58	8	8
87	9	7
94	7	7

Table 46 稈の長さの結果 (交配系統)

個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15	8	8	9
22	8	8	9
27	8	9	8
33	8	8	9
39	8	9	9
46	8	9	9
75	9	9	9
82	8	8	9
87	9	9	9
94	8	9	9
99	9	9	9
106	8	9	9

【形質調査 18: 桿の太さ】

Table 47 桿の太さの結果 (親系統)

個体番号	山田錦	渡船2号
15	7	5
22	6	5
51	6	6
58	6	5
87	6	5
94	6	5

Table 48 桿の太さの結果 (交配系統)

個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15	5	6	6
22	5	7	7
27	6	6	8
33	6	6	6
39	7	6	6
46	5	6	6
75	6	7	7
82	6	7	6
87	6	7	5
94	6	6	7
99	6	7	6
106	6	8	6

【形質調査 19: 桿の節のアントシアニンの着色】

Table 49 桿の節のアントシアニンの着色の結果 (親系統)

個体番号	山田錦	渡船2号
15		
22		
51		
58		
87		
94		

Table 50 桿の節のアントシアニンの着色の結果 (交配系統)

個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15			
22			
27			
33			
39			
46			
75			
82			
87			
94			
99			
106			

【形質調査 20: 稈の節間のアントシアニンの着色】

Table 51 稈の節間のアントシア

ニンの着色の結果（親系統）

個体番号	山田錦	渡船2号
15	1	1
22	1	1
51	1	1
58	1	1
87	1	1
94	1	1

Table 52 稈の節間のアントシアニンの着色の結果（交配系統）

個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15	1	1	1
22	1	1	1
27	1	1	1
33	1	1	1
39	1	1	1
46	1	1	1
75	1	1	1
82	1	1	1
87	1	1	1
94	1	1	1
99	1	1	1
106	1	1	1

【形質調査 21: 穂数】

Table 53 穂数の結果（親系統）

個体番号	山田錦	渡船2号
15	4	7
22	5	7
51	6	8
58	6	8
87	5	5
94	5	9

Table 54 穂数の結果（交配系統）

個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15	5	4	6
22	5	5	7
27	5	4	6
33	5	4	6
39	4	4	6
46	7	6	7
75	6	6	7
82	5	5	6
87	6	5	6
94	5	6	6
99	5	5	7
106	7	4	6

【形質調査 22: 芒の分布】

Table 55 芒の分布の結果 (親系統)

個体番号	山田錦	渡船2号
15	-	5
22	-	5
51	-	5
58	-	5
87	-	5
94	-	5

Table 56 芒の分布の結果 (交配系統)

個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15	-	-	-
22	-	-	-
27	-	-	-
33	-	-	-
39	-	-	-
46	-	-	-
75	-	-	-
82	-	-	-
87	-	-	-
94	-	-	-
99	-	-	-
106	-	-	-

【形質調査 23: 芒の長さ】

Table 57 芒の長さの結果 (親系統)

個体番号	山田錦	渡船2号
15	-	3
22	-	3
51	-	4
58	-	3
87	-	2
94	-	2

Table 58 芒の長さの結果 (交配系統)

個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15	-	-	-
22	-	-	-
27	-	-	-
33	-	-	-
39	-	-	-
46	-	-	-
75	-	-	-
82	-	-	-
87	-	-	-
94	-	-	-
99	-	-	-
106	-	-	-

【形質調査 24: 穂の長さ】

Table 59 穂の長さの結果 (親系統)

個体番号	山田錦	渡船2号
15	N.D.	5
22	6	5
51	7	N.D.
58	4	5
87	6	6
94	6	4

Table 60 穂の長さの結果 (交配系統)

個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15	4	6	6
22	5	6	6
27	5	6	6
33	5	6	6
39	N.D.	6	N.D.
46	6	6	6
75	6	6	6
82	6	6	5
87	6	6	6
94	6	6	6
99	6	7	6
106	6	N.D.	5

【形質調査 25: 外穎先端の色】

Table 61 外穎先端の色の結果 (親系統)

個体番号	山田錦	渡船2号
15	—	—
22	—	—
51	—	—
58	—	—
87	—	—
94	—	—

Table 62 外穎先端の色の結果 (交配系統)

個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15	—	—	—
22	—	—	—
27	—	—	—
33	—	—	—
39	—	—	—
46	—	—	—
75	—	—	—
82	—	—	—
87	—	—	—
94	—	—	—
99	—	—	—
106	—	—	—

【形質調査 26: 止め葉の姿勢】

Table 63 止め葉の姿勢の結果 (親系統)

個体番号	山田錦	渡船2号
15	3	2
22	2	2
51	2	2
58	3	2
87	3	2
94	2	2

Table 64 止め葉の姿勢の結果 (交配系統)

個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15	3	2	3
22	2	3	2
27	2	3	3
33	2	2	2
39	3	3	2
46	2	3	3
75	3	3	3
82	2	2	3
87	3	3	2
94	2	2	3
99	3	2	2
106	2	2	3

【形質調査 27: 着粒密度】

Table 65 着粒密度の結果 (親系統)

個体番号	山田錦	渡船2号
15	N. D.	3
22	6	3
51	5	N. D.
58	3	4
87	5	5
94	3	4

Table 66 着粒密度の結果 (交配系統)

個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15	4	4	5
22	4	4	5
27	N. D.	3	N. D.
33	3	4	3
39	4	2	2
46	5	5	5
75	5	4	4
82	4	4	4
87	5	3	4
94	3	4	4
99	4	3	3
106	3	N. D.	3

【形質調査 28: 穂の主軸の湾曲】

Table 67 穂の主軸の湾曲の結果 (親系統) Table 68 穂の主軸の湾曲の結果 (交配系統)

個体番号	山田錦	渡船2号	個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15	3	3	15	3	3	3
22	3	3	22	3	3	3
51	3	3	27	3	3	3
58	3	3	33	3	3	3
87	3	3	39	3	3	3
94	3	3	46	3	3	3
			75	3	3	3
			82	3	3	3
			87	3	3	3
			94	3	3	3
			99	3	3	3
			106	3	3	3

【形質調査 29: 穂の着密度】

Table 69 穂の密着度の結果 (親系統)

個体番号	山田錦	渡船2号
15	N. D.	
22		
51		N. D.
58		
87		
94		

Table 70 穂の密着度の結果 (交配系統)

個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15			
22			
27	N. D.		N. D.
33			
39			
46			
75			
82			
87			
94			
99			
106		N. D.	

【形質調査 30: 穂の二次枝梗の多少】

Table 71 穂の二次枝梗の多少の結果 (親系統) Table 72 穂の二次枝梗の多少の結果 (交配系統)

個体番号	山田錦	渡船2号	個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15	N.D.	1	15	1	1	1
22	1	1	22	1	1	1
51	1	N.D.	27	1	1	1
58	1	1	33	1	1	1
87	1	1	39	N.D.	1	N.D.
94	1	1	46	1	1	1
			75	1	1	1
			82	1	1	1
			87	1	1	1
			94	1	1	1
			99	1	1	1
			106	1	N.D.	1

【形質調査 31: 穂の抽出度】

Table 73 穂の抽出度の結果 (親系統)

個体番号	山田錦	渡船2号
15	4	4
22	4	4
51	4	4
58	4	4
87	4	4
94	4	4

Table 74 穂の抽出度の結果 (交配系統)

個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15	4	4	4
22	4	4	4
27	4	4	4
33	4	4	4
39	4	4	4
46	4	4	4
75	4	4	4
82	4	4	4
87	4	4	4
94	4	4	4
99	4	4	4
106	4	4	4

【形質調査 32: 成熟期】

Table 75 成熟期の結果 (親系統)

個体番号	山田錦	渡船2号
15	6	6
22	6	6
51	6	6
58	6	6
87	6	6
94	6	6

Table 76 成熟期の結果 (交配系統)

個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15	6	6	6
22	6	6	6
27	6	6	6
33	6	6	6
39	6	6	6
46	6	6	6
75	6	6	6
82	6	6	6
87	6	6	6
94	6	6	6
99	6	6	6
106	6	6	6

【形質調査 33: 枯れ上がり時期】

Table 77 枯れ上がり時期の結果 (親系統)

個体番号	山田錦	渡船2号
15	5	5
22	5	5
51	5	5
58	5	5
87	5	5
94	5	5

Table 78 枯れ上がり時期の結果 (交配系統)

個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15	5	5	5
22	5	5	5
27	5	5	5
33	5	5	5
39	5	5	5
46	5	5	5
75	5	5	5
82	5	5	5
87	5	5	5
94	5	5	5
99	5	5	5
106	5	5	5

【形質調査 34: 外穎の色】

Table 79 外穎の色の結果 (親系統)

個体番号	山田錦	渡船2号
15	N.D.	2
22	2	2
51	2	N.D.
58	2	2
87	2	2
94	2	2

Table 80 外穎の色の結果 (交配系統)

個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15	2	2	2
22	2	2	2
27	2	2	2
33	2	2	2
39	N.D.	2	N.D.
46	2	2	2
75	2	2	2
82	2	2	2
87	2	2	2
94	2	2	2
99	2	2	2
106	2	N.D.	2

【形質調査 36: 護穎の長さ】

Table 81 護穎の長さの結果 (親系統)

個体番号	山田錦	渡船2号
15	N.D.	3
22	3	3
51	3	N.D.
58	3	3
87	2	3
94	3	3

Table 82 護穎の長さの結果 (交配系統)

個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15	3	3	3
22	3	3	3
27	2	3	3
33	3	3	3
39	N.D.	3	N.D.
46	2	3	3
75	3	3	3
82	2	3	3
87	3	3	3
94	3	3	3
99	3	3	3
106	2	N.D.	3

【形質調査 37: 護穎の色】

Table 83 護穎の色の結果 (親系統)

個体番号	山田錦	渡船2号
15	N.D.	1
22	1	1
51	1	N.D.
58	1	1
87	1	1
94	1	1

Table 84 護穎の色の結果 (交配系統)

個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15	1	1	1
22	1	1	1
27	1	1	1
33	1	1	1
39	N.D.	1	N.D.
46	1	1	1
75	1	1	1
82	1	1	1
87	1	1	1
94	1	1	1
99	1	1	1
106	1	N.D.	1

【形質調査 38: 玄米の千粒重】

Table 85 玄米の千粒重 (親系統)

反復数	山田錦	渡船2号
1	24.703	25.646
2	24.672	25.676
3	24.682	25.921

Table 86 玄米の千粒重 (交配系統)

反復数	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
1	27.192	27.450	26.314
2	27.184	27.689	25.948
3	28.244	28.095	25.734

【形質調査 39: 玄米の長さ】

Table 87 玄米の長さの結果 (親系統)

個体番号	山田錦	渡船2号
15	N.D.	5
22	5	5
51	5	N.D.
58	5	6
87	5	5
94	6	5

Table 88 玄米の長さの結果 (交配系統)

個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15	6	6	6
22	5	5	6
27	5	6	5
33	5	6	5
39	N.D.	5	N.D.
46	6	5	5
75	5	6	5
82	6	5	5
87	6	5	6
94	6	6	6
99	6	5	5
106	6	N.D.	5

【形質調査 40:玄米の幅】

Table 89 玄米の幅の結果 (親系統)

個体番号	山田錦	渡船2号
15	N.D.	3
22	3	3
51	3	N.D.
58	3	3
87	3	3
94	3	3

Table 90 玄米の幅の結果 (交配系統)

個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15	3	3	3
22	3	3	3
27	3	3	3
33	3	3	3
39	N.D.	3	N.D.
46	3	3	3
75	3	3	3
82	3	3	3
87	3	3	3
94	3	3	3
99	3	3	3
106	3	N.D.	3

【形質調査 41:玄米の長さ/幅】

Table 91 玄米の長さ/幅の結果 (親系統)

個体番号	山田錦	渡船2号
15	N.D.	2
22	2	2
51	2	N.D.
58	2	2
87	2	2
94	3	2

Table 92 玄米の長さ/幅の結果 (交配系統)

個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15	2	2	2
22	2	2	2
27	N.D.	2	N.D.
33	2	2	2
39	2	2	2
46	2	2	2
75	2	2	2
82	2	2	2
87	2	2	2
94	2	2	2
99	2	2	2
106	3	N.D.	2

【形質調査 42:玄米の色】

Table 93 玄米の色の結果 (親系統)

個体番号	山田錦	渡船2号
15	N.D.	
22		
51		N.D.
58		
87		
94		

Table 94 玄米の色の結果 (交配系統)

個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15			
22			
27			
33			
39	N.D.		N.D.
46			
75			
82			
87			
94			
99			
106		N.D.	

【形質調査 44:玄米の香り】

Table 93 玄米の香りの結果 (親系統)

個体番号	山田錦	渡船2号
15	N.D.	
22		
51		N.D.
58		
87		
94		

Table 94 玄米の香りの結果 (交配系統)

個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15			
22			
27			
33			
39	N.D.		N.D.
46			
75			
82			
87			
94			
99			
106		N.D.	

【形質調査 45:玄米の心白の発現 (酒米品種に限る。)】

Table 95 玄米の心白の発現の結果

山田錦	渡船2号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
66.5%	87.5%	77.5%	79.5%	87.5%

【形質調査 46: 脱粒性】

Table 96 脱粒性の結果 (親系統)

個体番号	山田錦	渡船2号
15	N. D.	4
22	3	3
51	4	N. D.
58	3	6
87	4	6
94	2	3

Table 97 脱粒性の結果 (交配系統)

個体番号	23d-5-11-10	23d-5-14-21	24h-4-18-15
15	6	4	6
22	5	6	4
27	N. D.	6	N. D.
33	5	4	3
39	5	1	3
46	6	3	3
75	9	3	4
82	5	4	6
87	7	6	5
94	7	3	5
99	6	3	4
106	3	N. D.	3

5 考 察

【実験Ⅰ】酒米新品種の形質及び系統の選抜

校内圃場で栽培した試験栽培系統は、東側で栽培されている酒米の生育が悪く、収量も少なかったが、西側の酒米は生育が良好であったことから、水温が関係していると考えた (Fig. 12)。水は地下水をくみ上げたものを東側から西側にかけ流しにしていた。そのため水源の近くほど水温が低くなり、西側に流れるほど太陽光で温められ水温が高くなつたと考えられる。これらの要因から、水温の調節具合によって生育が良くなる可能性が高いと考えた。

また、校内圃場・神大圃場・井澤さん圃場の3カ所で“山田錦”を比較すると、井澤さん圃場で栽培した個体の稈長は、他の2圃場で得られた値よりも稈長が大きく“23d-5”との稈長の差がより明確にわかつた。この結果は、圃場間での稈長差に土壤条件が影響していることが考えられる。校内圃場・神大圃場では元肥を入れずに試験栽培を行った。しかし、井澤さん圃場では肥料設計を正確に設計し栽培を行った。このことから、“山田錦”を栽培する上で肥料の有無により稈長の成長具合が変化するので、試験栽培を行う際は元肥を入れる必要があると考えた。



Fig. 12 試験栽培系統の中干しの様子

【実験Ⅱ】C-TAB 法を用いた短稈性遺伝子の確認

得られたサンプルを電気泳動にかけた結果、短稈性遺伝子が含まれている“渡船2号”においてはバンドが確認できなかったことから、“23d-5-11-10” “23d-5-14-21”にも短稈性遺伝子が含まれている可能性が高いと推察される。一方で、今回の結果からは発色が確認できた。“24h-4-18-15”には“山田錦”同様に短稈性遺伝子が含まれていないと考えた。

【実験Ⅲ】SSR マーカー技術を使用した短稈性遺伝子の確認

SSR マーカーと制限酵素 $PstI$ を用いた電気泳動の解析結果では不一致見られた。これは、それぞれの手法が対象とする遺伝子領域や検出原理が異なるためであると考えた。また、短稈性遺伝子が複数の遺伝子により決まる量的形質であることから、SSR マーカーだけで

は正確には判断しにくいと考えられる。さらに、本来発現する遺伝子が自然化による栽培環境の影響により、発現しなくなる要因があると考えた。

【実験VI】品種登録に向けた形質調査

形質調査において、写真整理やデータ紛失によるやり直しが多発したため、調査の実験精度や測定方法だけでなくデータ管理体制にも大きく左右されることが確認できた。改善策として、紙とデジタル機器の併用、専用入力表の作成、調査時に複数人で確認する体制を導入することで、より安定した調査結果を得られると考えた。

6 まとめ

品種登録に向けて形質調査を進めてきたが、試験栽培系統内で一部の個体の倒伏が確認された。これは、品種に求められる区別性および均一性の基準を満たしていないことを示していると考えたため、倒伏しにくい個体を中心に、さらに選抜を進める必要があると判断した。今年度栽培した試験栽培系統の中から、品種登録に向けて大きな成果を上げられると考えた系統番号 23d-5 を出願した。また、校内で栽培した山田錦は例年よりも草丈が低くなっていたため、来年度以降の栽培では種苗管理センターからいただいた種もみを用いて栽培することで安定した結果が得られると思われる。校内で栽培したさらに、井澤さん圃場、外山さん圃場で栽培された酒米品種は、加古川市内にある酒造会社さんで日本酒醸造を行ってもらった。

加えて、【実験Ⅱ】では、電気泳動で作成するゲルの硬さの比較実験も同時に行つた。酒米では、毎年 DNA マーカー技術を使って短稈性遺伝子の確認を行つたが、近年はバンドが出にくい状態が続いていた。特に 2024 年度には、すべてのバンドがぼやけてしまうという問題が発生した。このような背景から、電気泳動でバンドが出にくくなつた原因を明らかにするため、本実験を実施した。比較実験を行うために、1.5% と 5.0% の 2 つのゲルを作成した。2 つの濃度で電気泳動した結果、5.0% ゲルは 1.5% ゲルと比べてバンドがはっきりと確認できた。比較実験では、実験反複数が少ないため科学的確証は得られていない。しかし今後、電気泳動を使った DNA 実験を進める際は、ゲル濃度にも着目して実験を進めてほしい。

以上の研究の結果、品種の特性を明確化することができ、区別性や安定性について一定の知見をえることができたため、農林水産省の品種登録の出願が可能となった。このことより、2026 年 3 月に出願を予定している。

7 謝 辞

本研究を進めるにあたり、多くの方々に品種登録に関する知識や栽培方法をご指導いただきました。本研究の計画から品種登録に関する手続き、圃場作業における耕耘機の操作指導、レポートの添削など、研究の基盤となる数々の場面で支えていただきました。例年通りいかない場面では、さまざまなアイデアを提案していただいたことで研究を進めることができました。また、本研究を進めるにあたり、ご支援や本校での研修会実施など多大な協力をいただきましたバイテク情報普及会様にはこの場をもってお礼を述べさせていただきます。最後になりましたが、あらためて多くの方々の温かいご支援があってこそ、本研究を無事に進めることができました。ここに記して深く御礼申し上げます。

8 参考文献

農林水産省 世界農業遺産・日本農業遺産地域「兵庫の酒米「山田錦」生産システム」(2025)

JA 兵庫みらい 平成 30 年度小野営業生活センター水稻良優米栽培こよみ ((2025)

「Novel QTLs for photoperiodic flowering revealed by using reciprocal backcross inbred lines from crosses between *japonica* rice cultivars」 K.Matubara・I.Kono・K.Hori・Y.Nonoue・N.Ono・A.Shomura・M.Mizubayasi・K.Shirasawa・T.Nishio・M.Yano (2008)

Breeding Science 59:285-295 「A novel quantitative trait locus, CLI, involved in semi-dwarfism derived from Japanese rice cultivar Nipponbare」 Kiyosumi Horie, Toshio Yamamoto, Kaworu Ebana, Yosinobu Takeuchi and Masahiro Yano (2009)

農林水産省 品種登録の手引き (2025)

農林水産省 審査基準・特性表「稻種」(2024)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構種苗管理センター 稲種特性調査マニュアル (2023)

副島顯子 「酒米ハンドブック」 文一総合出版 (2017)