

BULLETIN
OF THE
IBARAKI AGRICULTURAL CENTER
No. 5
March 2023

茨城県農業総合センター研究報告

第5号

2023年3月

目次

- レンコン栽培における石灰窒素のアンモニア化特性と窒素肥効の推定
假屋哲朗・藤田 裕・小田部 裕・寺門 巖・飯村 強・・・1
- 炊飯米のツヤと白さの客観的評価手法の開発と QTL の検出
秋田和則・石川春香・平山正賢・岡本和之・岡野克紀・・・10
- キク矮化ウイロイド抵抗性小ギク品種の選抜技術の開発および系統育成
栗原冴子・平井弓子・喜多晃一・市毛秀則・石井亮二・郷内 武・・・34
- レンコン田土壌のアンモニア態窒素の簡易評価法
鹿島啓司・假屋哲朗・寺門 巖・郷内 武・藤田 裕・・・45
- 近年の気象における茨城県でのウメ品種の適応性
山口貴史・唐澤友洋・門脇伸幸・清水 明・寺門 巖・・・52
- 茨城県に適した緑茶用品種の選定
寺田充芳・長田仁志・・・63

茨城県農業総合センター

茨城県笠間市安居3165-1

レンコン栽培における石灰窒素のアンモニア化特性と窒素肥効の推定

假屋哲朗¹⁾・藤田 裕・小田部 裕²⁾・寺門 巖・飯村 強

(茨城県農業総合センター園芸研究所)

要約

レンコン栽培における石灰窒素の窒素肥効について、反応速度論的解析が可能であり、単純モデル型の一次反応式により地温データから石灰窒素のアンモニア化の過程を評価できることを明らかにした。また、石灰窒素施用時期別のアンモニア化率90%に要する期間は、2月～4月施用の場合は41日～58日、9月～11月施用の場合は22日～46日と推定した。この推定値について、4月に石灰窒素を施用したレンコン圃場において実証した結果、十分に適合した。また、レンコン栽培における春季に施用した石灰窒素の窒素肥効は、慣行肥料の50%程度を見込むことができることを明らかにした。

キーワード：レンコン、石灰窒素、窒素肥効、霞ヶ浦、アンモニア化

1. はじめに

レンコン (*Nelumbo nucifera*) は茨城県の主要な農産物の一つであり、その産地は霞ヶ浦沿岸に集中している。そのため、レンコン圃場からの窒素成分の流出が霞ヶ浦の富栄養化に影響すると懸念されている。レンコン栽培における適正な窒素施肥は、圃場からの窒素流出を低減し、霞ヶ浦への窒素負荷低減に寄与できると考えられる。

茨城県のレンコン栽培体系において、小田部・飯村 (2018) は、レンコンの収量に対する施肥の影響は少なく地域の気象や環境条件が大きく影響している可能性があることを示し、養分収支の考え方を応用して各圃場から持ち出すレンコン収量に応じてその圃場の施肥量を算定する施肥法を開発した。この方法は、各圃場の過去3年程度の収量水準を指標としてその圃場の施肥量を決定できることから、土壌分析等の手間もなく簡便な手法であり、茨城県野菜栽培基準 (茨城県農業総合センター、2016) に掲載され生産者に対する技術指導に活用されている。ただし、この方法は、収量の多少に応じて施肥量を適正化することができるが、各圃場の窒素肥沃度や施肥以外の窒素成分の影響を考慮しておらず、窒素施肥量のさらなる適正化において改良の余地を残している。

一方、茨城県のレンコン産地において、レンコンネモグリセンチュウの加害によってレンコンの表面に黒褐色の斑点や凹凸等の変形を生じる被害 (レンコン黒皮症) が発生し問題となっている (後藤ら、2011)。この線虫害への薬剤防除として、茨城県では石灰窒素を使用するケースが多い。このように茨城県のレンコン産地において、石灰窒素は農薬として用いられているが、石灰窒素に含まれる窒素成分の肥料効果はほとんど考慮されていないのが現状である。

市販の石灰窒素の主化合物は、カルシウムシアナミドであり、湛水条件では植物体に窒素として吸収されるまでにシアナミド、尿素、アンモニアと形を変える。また、水田土壌の窒素代謝は、田面水、土壌表層の酸化層、それ以下の還元層の3層で機能分化しており、脱窒系や無機化・有機化系などが相互に関連して働いている (鳥山、1996)。このように、常時湛水条件のレンコン圃場に施用された石灰窒素の窒素動態は複雑であり、その肥効は十分に明らかになっていない。

土壌中での形態変化を伴う窒素含有資材からの窒素供給に関しては、反応速度論的な解析が有効と考えられ、有機質肥料や被覆尿素を中心に多くの解析例があり (石橋ら、1992; 森次ら、2009; 新良、2010)、畑条件における石灰窒素の分解速度の解析にも用いられている (石橋、2017) が、水田条件での石灰窒素に関しては解析例が報告されていない。

そこで、レンコン栽培における石灰窒素の窒素肥効を明らかにするため、本研究では、石灰窒素について、反

1) 現 茨城県農林水産部産地振興課

2) 現 茨城県農林水産部農業経営課

応速度論的解析によるアンモニア化特性値を求めることにした。その際、この解析による石灰窒素のアンモニア化特性の推定値について、レンコン圃場での実測値と比較した。また、レンコン栽培圃場試験において、慣行肥料の窒素肥効との比較で、石灰窒素の窒素肥効の評価を試みた。

2. 材料および方法

2. 1 湛水条件における石灰窒素（カルシウムシアナミド）のアンモニア化特性

2. 1. 1 温度条件が石灰窒素のアンモニア化に及ぼす影響（恒温器培養試験）

供試土壌は、現地レンコン圃場（茨城県土浦市田村町、中粗粒強グライ土）から採取した水田土壌を用いた。土壌試料は、2mm 目合の篩により粗大有機物を取り除き、湿潤状態のまま実験開始時まで約 2℃で保存したものをを用いた。また、湿潤土を 105℃に設定した定温乾燥機で乾燥させ、水分を求めた。

湿潤土 60g と蒸留水 12ml をインキュベート管（直径 30mm、高さ 120mm）に加え、さらに石灰窒素区は市販の石灰窒素（粒状品、カルシウムシアナミド 55%、窒素全量 20%）を 20mg（石灰窒素 100kg/10a 相当量）に加え、対照区は石灰窒素無添加とした。インキュベート管内の材料をよく混和して土層内の空気を追い出し、プチルゴム栓で密閉した。これを 10℃、20℃、30℃に設定した恒温器内で静置培養した。培養中に発生した管内のガスは定期的に抜いた。培養試験はいずれも 3 反復で行った。

培養開始から 0、3、7、14、28、56、84 日後に、10%塩化カリウム溶液で無機態窒素を抽出し、インドフェノールブルー法（中谷、1981）を採用した気泡分節型連続流れ分析装置（BLTEC 社製、SwAAt）でアンモニア態窒素量を定量した。石灰窒素を混和した土壌のアンモニア態窒素量から対照区のアンモニア態窒素量を差し引いた窒素量をアンモニア化量とし、施用した石灰窒素の全窒素量に占める比率を石灰窒素のアンモニア化率とした。

培養試験の結果は、杉原ら（1986）の開発した反応速度論的解析法によって、培養試験で得られた温度別窒素アンモニア化曲線の重ね合わせを行い、アンモニア化の特性値を得た。なお、この曲線は、単純型、単純並行型、有機・無機化並行型の 3 つに類型化されている。杉原ら（1986）は未風乾土壌では単純型が適用できると報告しているため、本報告も単純型モデルを基本として解析した。

2. 1. 2 圃場条件における石灰窒素のアンモニア化に要する期間の推定

試験 2.1.1 で得られたモデル式により、圃場条件における石灰窒素のアンモニア化に要する期間の推定を行った。推定に必要なパラメータであるレンコン圃場の地温は、県内の主要なレンコン産地 5 か所（土浦市田村町、小美玉市下玉里、行方市繁昌、行方市山田、稲敷市浮島）において、2014 年 1 月～2016 年 12 月まで、土壌の深さ 15cm の位置を自記温度計で測定し、その平均値を用いた。推定に用いた石灰窒素の施用日は、レンコン定植前を想定した 2 月 1 日、3 月 1 日、4 月 1 日と、石灰窒素による線虫防除効果の高い施用時期を想定した 9 月 1 日、10 月 1 日、11 月 1 日とした。得られたモデル式に石灰窒素の施用日からの地温データを代入し、石灰窒素のアンモニア化率が 90%となる暦日とそれに要する日数を求めた。

2. 1. 3 レンコン圃場における石灰窒素のアンモニア化特性（土壌充填筒の圃場埋設試験）

供試レンコン圃場（土浦市田村町）の土壌は中粗粒グライ土である。供試圃場から採取し、2mm 目合の篩により粗大有機物を取り除いた土壌とカルシウムシアナミド試薬（全窒素 19.78%）4.96g（石灰窒素 100kg/10a 相当量）を混和し、底面のみガラス繊維ろ紙で覆った塩ビ製試験筒（内径 25mm、長さ 500mm）に充填した。対照として、同様の方法で土壌のみを充填した試験筒を作成した。これらの試験筒は、供試レンコン圃場の土壌表面と試験筒上面が同じ高さになるようにし、2016 年 4 月 6 日に埋設した。試験筒はいずれも 3 反復とした。

埋設開始から、0、7、14、28、42、70、98、126、154、182 日後に回収し、試験筒内の土壌を 10%塩化カリウム溶液で抽出し、インドフェノールブルー法（中谷、1981）を採用した気泡分節型連続流れ分析装置（BLTEC 社製、SwAAt）でアンモニア態窒素量を定量した。カルシウムシアナミドを混和した土壌のアンモニア態窒素量から対照区のアンモニア態窒素量を差し引いた窒素量をアンモニア化量とし、施用したカルシウムシアナミドの全窒素量に占める比率をカルシウムシアナミドのアンモニア化率とした。

2. 2 レンコン栽培における石灰窒素の窒素肥効

試験は土浦市手野町のレンコン圃場（中粗粒グライ土）において、2018年度と2019年度の2年間実施した。供試圃場の土壤理化学性を表1に示す。レンコン栽培の品種は、県内の主要品種の一つである‘パワー’とした。

供試レンコン圃場の一部を樹脂製の畦畔板（高さ0.6m）を用いて1区画6.72m²に区切り、その枠内に種となるレンコンを2本植え付けた。定植は、2018年4月11日と2019年4月9日に行った。定植後の栽培管理は茨城県野菜栽培基準（茨城県農業総合センター、2016）に準じた。掘り取りは、2018年が10月9日から10月11日、2019年が10月29日から10月30日に実施した。

窒素施肥に関して、肥料の種類や窒素施肥量の異なる4つの処理区を設けた。農家慣行のレンコン専用被覆肥料（レンコンの養分吸収特性に応じた窒素溶出となるように設計；アンモニア態窒素5%、シグモイド型被覆尿素肥料60日タイプ36%、シグモイド型被覆尿素肥料100日タイプ35%、シグモイド型被覆尿素肥料130日タイプ24%）を窒素成分で20kg/10a施用（慣行肥料20kgN区）および10kg/10a施用（慣行肥料10kgN区）と、石灰窒素を窒素成分で20kg/10a施用（石灰窒素区）とした。また、無窒素区を設けた。各区2反復とした。各処理区の石灰施用量を統一するため、石灰窒素区以外の処理区には石灰窒素区とアルカリ分が同量となるように消石灰を施用した。また、リン酸と加里は慣行肥料20kgN区の施肥量（リン酸11kg/10a、加里27kg/10a）を基準とし、すべての処理区の施肥量が同量となるように、リン酸肥料は重焼燐、加里肥料は塩化カリを用いて調整した。

掘り取り調査は、畦畔板で仕切った枠内のレンコンの株全体を掘り上げてよく水洗した後、肥大茎（食用に供する肥大した地下茎）とそれ以外（葉や肥大茎以外の地下茎）に分類し、それぞれの新鮮重を測定した。その後、各部位の一部を植物体分析サンプルとした。分析用サンプルは80℃で48時間以上通風乾燥した後、粉碎して全窒素含量をCNコーダー（Elementar社製、Vario Max）で測定した。

表1 レンコン圃場（土浦市手野町）の土壤の理化学性

pH	EC	NH ₄ -N	可給態 P ₂ O ₅	交換性塩基			CEC	T-N	T-C	遊離 酸化鉄	作土深	仮比重
				K ₂ O	CaO	MgO						
(H ₂ O)	(dS/m)		(mg/100g乾土)				(meq/100g乾土)			(%)	(cm)	(g/cm ³)
6.2	0.21	4.9	46	30	583	77	34	0.35	6.1	1.2	48	0.43

3. 結果および考察

3. 1 湛水条件における石灰窒素（カルシウムシアナミド）のアンモニア化特性

3. 1. 1 石灰窒素のアンモニア化パターンの推定

石灰窒素（カルシウムシアナミド）を混和した土壤を温度別に湛水培養した結果を図1に示す。石灰窒素のアンモニア化率は、培養温度30℃の場合、培養7日目に54%でありその後培養28日目に90%付近となり収束した。培養温度20℃の場合、培養7日目が30%であり、その後は培養温度30℃と比べてやや低い値で推移した。培養温度10℃の場合、培養28日目が51%、培養84日目が76%であった。このように、石灰窒素のアンモニア化は培養温度の影響を受け、培養温度が高いほど変化速度が速くなった。また、この温度別に湛水培養した石灰窒素のアンモニア化率値は、いずれも速度論的に導かれる単純型の反応モデル式（表2）で算出した推定値とよく適合した。

このように、石灰窒素のアンモニア化率は反応モデル式にうまく当てはまることから、反応速度論に基づく温度変換日数法によるアンモニア化予測が有効であると考えられる。すなわち、石灰窒素のアンモニア化パターンは表2の特性値による一次反応式が適用でき、地温データから石灰窒素のアンモニア化の過程を評価できることを明らかにした。

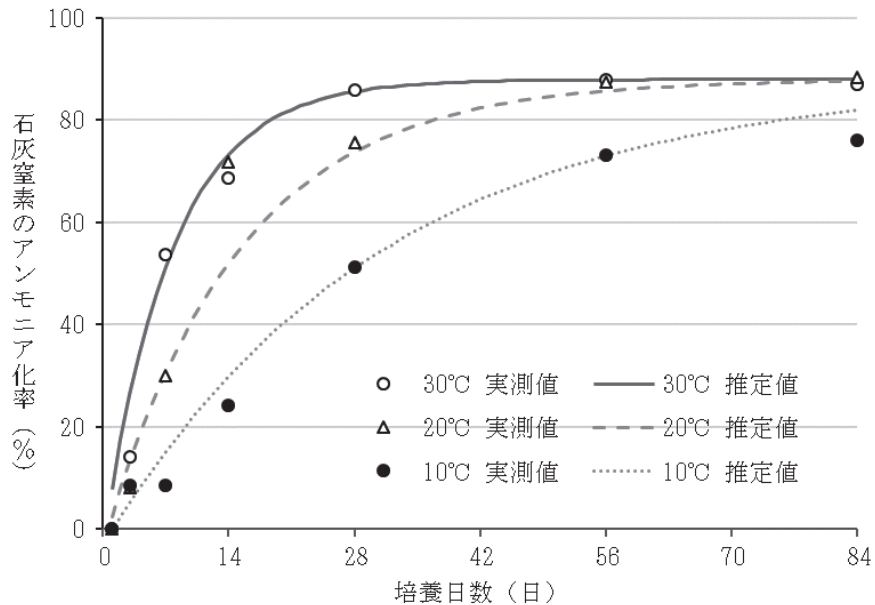


図1 湛水条件における培養温度別の石灰窒素のアンモニア化率の推移と単純型モデルによる近似曲線

表2 湛水土壤に混和した石灰窒素のアンモニア化の反応モデル式と特性値

類型	反応モデル式	特性値 ^{a)}			
		Ea	N ₀	k	b
単純型	アンモニア化率(%)=N ₀ (1-exp(-kt))+b	49765	91.282	0.0938	-3.38

a) Ea : 見かけの活性化エネルギー (Jmol⁻¹)、N₀ : 最大変化率、k : 速度定数 (day⁻¹)、t : 温度変換日数、b : 定数。

3. 1. 2 圃場条件における石灰窒素のアンモニア化に要する期間の推定

県内各地のレンコン圃場の深さ 15cm の日平均地温の推移を図2に示す。日平均地温の年間の平均値は 16.7°C、最高値は 25.9°C、最低値は 7.0°Cであった。この地温データを表2の反応モデル式に代入し、推定した石灰窒素施用日別の石灰窒素のアンモニア化に要する期間を表3に示す。レンコン定植前を想定した2月～4月に石灰窒素を施用した場合、石灰窒素のアンモニア化率90%となるまでの所要日数は41日～58日と推定され、施用時期が早いほど期間中の平均地温値が低く、所要日数が長くなった。一方、9月～11月に石灰窒素を施用した場合、石灰窒素のアンモニア化率90%となるまでの所要日数は22日～46日と推定され、施用時期が早いほど期間中の平均地温値が高く、所要日数が短くなった。

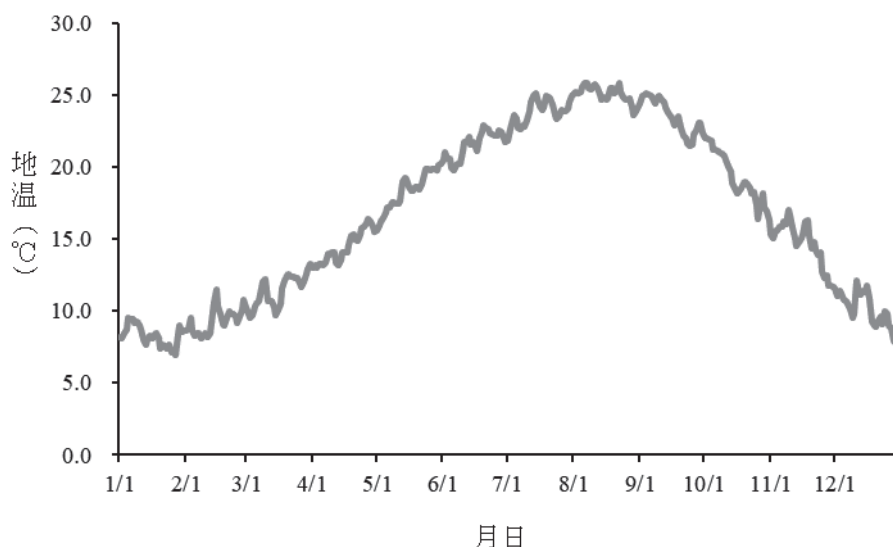


図2 県内レンコン圃場の日平均地温（深さ15cm、2014年1月～2016年12月の平均値）の推移

表3 石灰窒素施用日別の石灰窒素のアンモニア化に要する期間の推定

石灰窒素 施用日 (月日)	アンモニア化率 90%の推定日 (月日)	アンモニア化率 90%までの所要 日数(日)	期間中の 平均地温 (°C)
2月1日	3月31日	58	10.4
3月1日	4月20日	50	12.3
4月1日	5月12日	41	15.1
9月1日	9月23日	22	24.0
10月1日	10月31日	30	19.3
11月1日	12月17日	46	13.4

3. 1. 3 圃場条件における石灰窒素のアンモニア化に要する期間推定の実証

供試圃場に埋設した試験筒内土壌の石灰窒素のアンモニア化率の推移について図3に示す。石灰窒素のアンモニア化率は、埋設後20日目の4月20日に49%、埋設後42日目の5月18日に63%となり収束した。

石灰窒素のアンモニア化率は、実験室内の培養試験では90%程度で収束したのに対し、試験筒を埋設した圃場試験では63%前後に留まった。石灰窒素の主成分であるカルシウムシアンミドは水によく溶けるシアンミドを遊離し、シアンミドは加水分解されて尿素に変化し、さらに尿素は微生物のウレアーゼによってアンモニアに変化する（農村漁村文化協会編、2007）。また、水田土壌中における無機態窒素の形態変化は土壌の酸化還元状態に支配される（川口、1978）。すなわち、湛水下の水田作土の大部分を占める還元層ではアンモニアは酸化されず安定に存在するが、田面水や田面水から酸素が供給される酸化層ではアンモニア態窒素は硝化作用を受け硝酸または亜硝酸となる。また、生成した硝酸・亜硝酸は、一部浸透水と共に溶脱するが、大部分は拡散や水の移動により還元層あるいは酸化層内にある局所的な還元部位に移動し、脱窒作用を受け、窒素ガスまたは一酸化

二窒素となり大気中に揮散する。実験室内の培養試験は、インキュベート管を常に密閉状態にしており、酸素の侵入は極めて少なかったと考えられる。また、管内は垂直方向の水移動がなく、拡散作用によって発生した若干の窒素ガスまたは一酸化二窒素がガス抜きの際に系外に放出されたと考えられる。これらのことから、培養試験のアンモニア化率が90%程度で収束した要因は、施用した窒素の10%程度を培養操作の過程で揮散により失い、残りの90%程度の窒素が石灰窒素からアンモニアに形態変化したためと考えられる。一方、圃場の田面水は大気と接しており、田面水の酸素濃度はインキュベート管よりも高かったと考えられる。そのため、圃場に埋設した試験筒の石灰窒素の分解によるアンモニア態窒素はインキュベート管よりも硝化作用の影響を大きく受け、硝酸や亜硝酸の生成量が培養試験よりも多かったと考えられる。また、圃場では、生成された硝酸や亜硝酸が垂直方向の水移動により還元層に移動して脱窒作用を受け、脱窒で大気中に揮散した窒素量が培養試験よりも多かったと考えられる。さらに、田面水は区切られていないため、田面水に溶けた試験筒内土壌の石灰窒素は水の移動に伴って拡散し、失われた可能性が考えられる。これらの影響により、圃場試験では窒素の損失が培養試験よりも多くなり相対的に試験筒内の窒素の総量が減少したため、見かけ上、石灰窒素のアンモニア化率が63%前後に留まったと考えられる。

試験筒を圃場に埋設（4月6日）した後、石灰窒素のアンモニア化率が収束するまでに42日間を要した。これは、表2の特性値による一次反応式で推定したアンモニア化率90%となるまでの所要日数と極めて近い数値であった。すなわち、反応速度論的解析法を用いて石灰窒素のアンモニア化パターンを推定を行った結果は、実際の圃場におけるアンモニア化パターンとよく一致し、レンコン栽培期間中の石灰窒素のアンモニア化量の変遷を時期別に推定することができると考えられる。

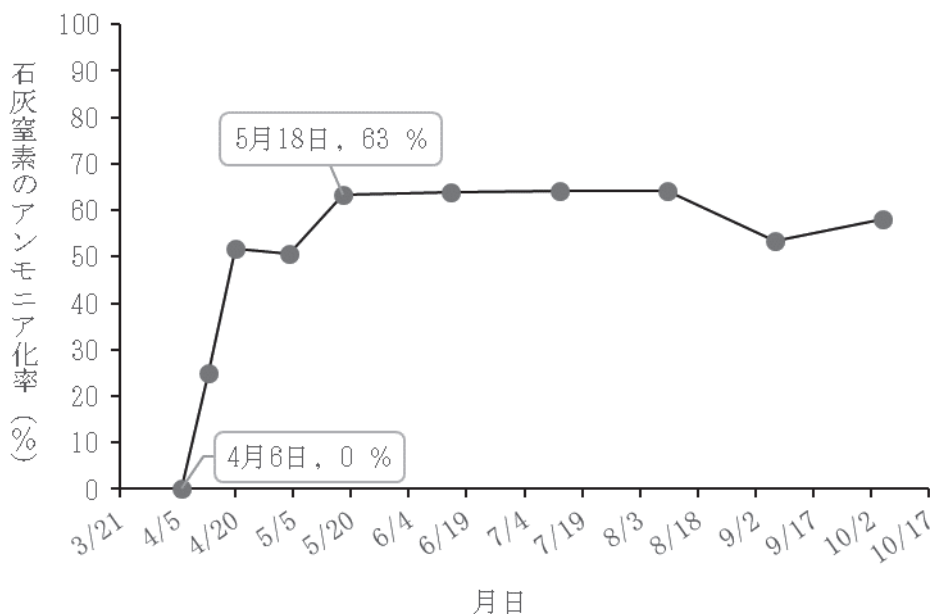


図3 圃場に埋設した石灰窒素のアンモニア化特性 (2016年)

3. 2 レンコン栽培における石灰窒素の窒素肥効

石灰窒素区、慣行肥料20kgN区および慣行肥料10kgN区、無窒素区の総収量および規格別収量を表4に示す。総収量は、慣行肥料20kgN区の4.05Mg/10aが最も多く、無窒素区の2.79Mg/10aが最も少なかった。石灰窒素区の総収量は3.45Mg/10aであり、慣行肥料10kgN区の3.52Mg/10aと同程度であった。レンコンの規格別割合は、石灰窒素区および慣行肥料20kgN区においてL品率の発生が多い傾向であった。

各試験区の窒素吸収量、施肥窒素利用率および慣行肥料と比較した石灰窒素の肥効を表5に示す。窒素吸収量は、慣行肥料20kgN区の17.1kg/10aが最も多く、無窒素区の10.7kg/10aが最も少なかった。石灰窒素区の窒素吸収量は14.7kg/10aであり、慣行肥料10kgN区14.3kg/10aと同程度であった。各試験区の窒素吸収量から無窒素区の窒素吸収量を差し引いて求めた施肥窒素吸収量は、石灰窒素区4.0kg/10a、慣行肥料20kgN区6.4kg/10a、

慣行肥料 10kgN 区 3.6kg/10a であった。また、施肥窒素利用率は、石灰窒素区 19.8%、慣行肥料 20kgN 区 31.8%、慣行肥料 10kgN 区 36.4% であった。慣行肥料の利用率と比較した石灰窒素の利用率として求めた石灰窒素の肥効は、慣行肥料 10kgN 区比 54.2%、慣行肥料 20kgN 区比 62.1% であった。

各試験区の施肥窒素利用率は、19.8%~36.4% の範囲であった。すなわち、レンコンが吸収する窒素は、施肥窒素以上に土壤有機物由来の窒素供給の寄与率が高い。水稻栽培において速効性窒素肥料で全層施肥した場合の基肥窒素の利用率は 32.8% (上野ら、1991) と報告がある。同様に水稻栽培について、長谷川 (1992) は、年間の施肥窒素量のうち、38% が水稻に吸収され、29% が土壤に残存し、20% 程度が脱窒し、13% が流出すると推定した。水田土壤は、無機化作用と有機化作用が絶えず並行する特徴的な窒素動態を有している。レンコンと水稻で品目が異なり、またレンコン田が常時湛水に対し水稻は生育中期の水管理により落水期間が認められる点で異なるが、畑作物と比較して、水稻と同様にレンコンが土壤有機物由来の窒素供給の寄与率が高いことは妥当であると考えられる。

レンコンの収量や窒素吸収量について、試験区の中で慣行肥料 20kgN 区が収量 4.05Mg/10a、窒素吸収量 6.4kgN/10a と最も高かった。これは、慣行肥料の窒素溶出がレンコンの養分吸収特性 (小田部・飯村、2015) に応じて設計されており、合理的な施肥法 (小田部・飯村、2018) により窒素供給が最適化できた影響によると考えられる。

また、石灰窒素区は収量 3.45Mg/10a、窒素吸収量 4.0kgN/10a であり、慣行肥料 10kgN 区の収量 3.52Mg/10a や窒素吸収量 3.6kgN/10a とほぼ同等の値であった。このことは、石灰窒素区の窒素投入量 20kgN/10a が慣行肥料 10kgN/10a と同等の肥効を示したと考えられる。他方で、石灰窒素区の施肥窒素利用率を慣行肥料区の施肥窒素利用率で除した「慣行肥料と比較した石灰窒素の肥効」は慣行肥料 10kg 比で 54.2%、慣行肥料 20kg 比で 62.1% であった。これらのことから、レンコン栽培における春季に施用した石灰窒素の窒素肥効は、慣行肥料の 50% 程度を見込むことができると考えられる。

表 4 窒素肥料の種類や窒素施肥量の違いがレンコンの総収量と規格別割合に及ぼす影響

試験区	総収量 (Mg/10a)	規格別割合 (%) ^{a)}			
		L	M	S	2S
石灰窒素区	3.45	16.5	52.7	21.2	9.6
慣行肥料20kgN区	4.05	14.1	54.4	20.3	11.2
慣行肥料10kgN区	3.52	7.3	63.5	18.6	10.7
無窒素区	2.79	9.9	60.3	19.1	10.7

a) 規格別収量は、L 規格：1400g 以上、M 規格：400g 以上 1400g 未満、
S 規格：200g 以上 400g 未満、2S 規格：70g 以上 200g 未満。

表 5 窒素肥料の種類や窒素施肥量の違いがレンコンの窒素吸収量や施肥窒素利用率に及ぼす影響

試験区	窒素 吸収量	施肥 窒素量	施肥窒素 吸収量 ^{a)}	施肥窒素 利用率 ^{b)}	慣行肥料と比較した 石灰窒素の肥効 ^{c)}	
					慣行肥料	慣行肥料
					10kg比	20kg比
					(%)	
石灰窒素区	14.7	20.0	4.0	19.8	54.2	62.1
慣行肥料20kgN区	17.1	20.0	6.4	31.8	-	-
慣行肥料10kgN区	14.3	10.0	3.6	36.4	-	-
無窒素区	10.7	0.0	-	-	-	-

a) 施肥窒素吸収量は、各試験区の窒素吸収量から無窒素区の窒素吸収量を差し引いて求めた。

b) 施肥窒素利用率 = 施肥窒素吸収量 / 施肥窒素量 × 100 とする。

c) 慣行肥料と比較した石灰窒素の肥効 = 石灰窒素区の施肥窒素利用率 / 慣行肥料区の施肥窒素利用率 × 100 とする。

4. おわりに

茨城県では、霞ヶ浦に係る湖沼水質保全計画（第8期）（茨城県ほか、2022）において、長期ビジョンとして「泳げる霞ヶ浦」（霞ヶ浦の湖水浴場がにぎわっていた昭和40年代前半の状況、COD 5mg/L 台前半）をできる限り早期に実現できるよう目指している。

石灰窒素の施用については、農薬効果のみならず十分な窒素肥料効果があることを生産者にしっかりと周知する必要がある。レンコン田において石灰窒素の窒素肥効を評価しそれに応じて窒素施肥量を削減できれば、生産者にとっては施肥量削減による肥料コスト低減が見込まれ、湖沼環境にとっては窒素流入量を低減できることから、双方にメリットをもたらすことが期待できる。また、今後は、県内レンコン田それぞれの窒素肥沃度をきちんと評価して施肥に反映させる方法を確立し、レンコン田への窒素投入量を必要最低限な量に適正化する必要がある。

引用文献

- 後藤万紀・高木素紀・鹿島哲郎（2011）レンコンネモグリセンチュウ *Hirschmanniella diversa* に対する有効薬剤のスクリーニング. 日本線虫学会第19回大会講演要旨 41 : 52.
- 長谷川清善（1992）水田における窒素の動態と環境への影響評価に関する研究. 滋賀農試特別研究報告 17:1-164.
- 茨城県・栃木県・千葉県（2022）霞ヶ浦に係る湖沼水質保全計画（第8期）.
https://www.pref.ibaraki.jp/seikatsukankyo/kantai/kasumigaura/lake/documents/8ki_honbun.pdf（2022年8月31日アクセス）.
- 茨城県農業総合センター（2016）茨城県野菜栽培基準（Ⅲ根菜類、10レンコン）：167-170.
- 石橋英二・金野隆光・木本英照（1992）反応速度論的方法によるコーティング窒素肥料の溶出評価. 日本土壤肥料学雑誌 63 : 664-668.
- 石橋英二（2017）石灰窒素のシアナミドの分解速度 およびタマネギへの追肥効果. 石灰窒素だより 152 : 7-9.
- 川口桂三郎（1978）水田土壌学. 講談社、東京、p.229.
- 森次真一・石橋英二・大家理哉（2009）水稻の感温特性を考慮したシグモイド溶出型被覆尿素の選定法. 日本土壤肥料学雑誌 80 : 49-53.
- 中谷省三（1981）アンモニア態窒素（ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ）. 日本分析化学会北海道支部編 水の分析-第3版-、化学同人、京都、pp.210-214.
- 新良力也（2010）コメヌカとオカラの湛水培養での窒素無機化特性解析と圃場での窒素放出経過の推定. 日本土壤肥料学雑誌 81 : 511-513.
- 農山漁村文化協会編（2007）肥料・土づくり資材大辞典. 農山漁村文化協会、東京、pp13-14.
- 小田部 裕・飯村 強（2015）茨城県におけるレンコン主要品種の乾物生産および養分吸収特性. 日本土壤肥料学雑誌 86 : 283-289.
- 小田部 裕・飯村 強（2018）収量および養分吸収特性に応じたレンコンの合理的施肥法. 日本土壤肥料学雑誌 89 : 220-226.
- 杉原 進・金野隆光・石井和夫（1986）土壌中における有機態窒素無機化の反応速度論的解析法. 農環研報 1 : 127-166.
- 鳥山和伸（1996）多様な水稻栽培方式における水田土壌肥料研究の現状と方向（1.水田土壌における養分動態研究の進歩、その1-窒素-）. 日本土壤肥料学雑誌 67 : 198-205.
- 上野正夫・熊谷勝巳・富樫政博・田中伸幸（1991）土壌窒素と緩効性被覆肥料を利用した全量基肥施肥技術. 日本土壤肥料学雑誌 62 : 647-653.

Estimation of Ammonification Characteristics and Nitrogen Fertilization Effect of Lime Nitrogen in Lotus Cultivation

Tetsuro KARIYA, Yutaka FUJITA¹, Hiroshi OTABE, Iwao TERAOKADO and Tsuyoshi IIMURA

Summary

As a result of submerged culture of lime-nitrogen-mixed soil, it was suggested that ammonification of lime nitrogen was affected by culture temperature. In addition, the ammonification rate values of the lime nitrogen cultured in water well matched the values estimated by the simple reaction model formula derived kinetically. When lime nitrogen was applied in lotus field from February to April, it was estimated that it took 41 to 58 days for the ammonification rate of lime nitrogen to reach 90%. Moreover, it was estimated to be 22 to 46 days when lime nitrogen was applied from September to November. It was evaluated that the nitrogen fertilizer effect of lime nitrogen applied in spring in lotus root cultivation was expected to be about 50% of the conventional chemical fertilizer.

Keywords: Lotus root, lime nitrogen, nitrogen fertilization, Kasumigaura, ammonification

¹ Address: Horticultural Research Institute, Ibaraki Agricultural Center, 3165-1 Ago, Kasama, Ibaraki 319-0292, Japan

炊飯米のツヤと白さの客観的評価手法の開発と QTL の検出

秋田和則¹⁾・石川春香・平山正賢・岡本和之²⁾・岡野克紀

(茨城県農業総合センター生物工学研究所)

要約

炊飯米の外観は、単に見た目の良否だけでなく粘りや食味の総合評価にも関連しており、炊飯米の外観に着目することは、良食味米を選抜、育成する上で有益であると考えられる。そこで、炊飯米のツヤと白さについて、既知の画像解析による評価法をオートクレーブによる少量炊飯と組み合わせ、少量・多数のサンプルに適用可能となるよう撮影条件を検討した。さらに、画像解析値と食味官能評価等との関係の検討、ツヤおよび白さに関する画像解析値の QTL の検出を行った。

撮影条件を検討した結果、炊飯する精米は 15g、シャッター速度は 1/15 秒とし、ツヤに関する画像解析値のばらつきが大きいことから、1 個のカップあたり画像を 20 枚連続撮影し値を平均することとした。オートクレーブで炊飯した米飯のツヤは積算輝度値、Harris 特徴点、Eigen 特徴点で、白さは b*値で評価できると考えられた。

画像解析値のうちツヤと最も相関関係が高い積算輝度値の QTL は、第 2 染色体上の CAPS マーカー NIAS_Os_ac02000855 および NIAS_Os_aa02003577 近傍で 3 年間検出され、「コシヒカリ」型のアリルがツヤを高める効果があり、DNA マーカーとして活用できる可能性があると考えられた。また、第 6 染色体上の SSR マーカー HvSSR6-19 近傍で「コシヒカリ」型のアリルが b*値を減少させ、炊飯米の白さを高める QTL が検出され、同じ領域で「コシヒカリ」型のアリルが玄米品質を高める QTL も検出された。

食味官能評価のツヤと白さは、どちらも総合評価と正の相関関係を示し、ツヤと白さを高めることは総合評価を高める上で重要であると考えられた。また、玄米品質が高いものほど炊飯米の白さが優れる傾向が認められた。

キーワード：水稲、炊飯米、ツヤ、白さ、画像解析、DNA マーカー、QTL

1. はじめに

近年、水稲品種がブランド米として評価されるためには、味や食感だけでなく、炊飯米の外観も優れることが求められる。水稲の品種育成において炊飯米の外観は、ツヤの良否、白さ、胚芽の残存程度、砕米・煮崩れの有無等により食味官能評価で評価される(福井・小林、1996)。このように、炊飯米の外観は様々な要素を含むが、この中でも「ツヤ」と「白さ」については個別に評価がされる場合がある。近年育成された水稲品種の中では、「つや姫」(結城ら、2010)、「雪若丸」(中場ら、2016)、「いちほまれ」(小林ら、2018)、「ゆめぴりか」(尾崎ら、2018)等の極良食味品種でツヤおよび白さの官能評価が行われている。

松永ら(1975)は、東北・北陸地方の品種を用いて、炊飯米のツヤと粘りの間に有意な相関関係があり、ツヤの判定により間接的に食味の優れる米を選抜できることを明らかにした。中場ら(1987)および川上・長澤(1992)は、ツヤが優れる系統ほど、硬さと粘りのバランスを示すテクスチャー特性値が高いことを明らかにした。崔・星(1998)および東ら(1994)は炊飯米のツヤと食味総合評価値との間に、重宗ら(2007)は炊飯米の外観と食味総合評価値の間に有意な相関関係があることを明らかにした。このように炊飯米の外観は、単に見た目の良否だけでなく粘りや食味の総合評価にも関連しており、炊飯米の外観に着目することは、良食味米を選抜、育成する上で有益であると考えられる。

炊飯米のツヤについては、広義の遺伝力は 0.521 であることが明らかにされた(藤巻・櫛淵、1975)。田中ら(2006)は、「コシヒカリ」と「アキヒカリ」の倍加半数体系系統群を用いて、炊飯米の外観とツヤの QTL を検出した。また、炊飯米の白さについては、明瞭な品種間差があることが確認され(Goto et al., 2014; 小木ら、2014)、

1) 現 茨城県農林水産部産地振興課

2) 現 茨城県農業総合センター農業大学校

QTL 解析も行われている (Shinada et al., 2015 ; 小林ら, 2015 ; 田中ら, 2018)。これらのことから、炊飯米のツヤと白さは遺伝的に改良可能な形質だと考えられる。

炊飯米の外観は人の目による官能評価で評価されるが、安定した評価には熟練を要し、パネラーの人数確保が必要となることから、多数のサンプルを評価することは容易ではない。この課題に対して、機器分析による客観的な評価手法の導入が有効であると考えられる。これまでに、炊飯米のツヤについては、柳原 (2000) が CCD カメラと画像解析処理装置を用いた画像解析による評価方法を報告した。一方で筆者らは、工業用の光沢計を用いたツヤの評価方法を検討したが、原理上、不可能であるとの結論に達した (秋田ら, 2020)。白さについては、Goto et al. (2014) は分光測色計を、小木ら (2014) はスキャナを用いた評価方法を報告した。さらに、ツヤと白さの両方を評価する方法として、町田ら (2017) は家庭用炊飯器で調理した炊飯米を、ドライヤーで湯気を飛ばしながらデジタルカメラで撮影し、パソコンで画像解析を行う方法を報告した。町田らの開発した画像解析ソフトウェアは無料で公開されており、デジタルカメラとパソコンがあれば実施可能である。

水稻育種においては少量・多数のサンプルの評価するために、数十 g の精米をビーカーに入れ、オートクレーブでまとめて炊飯する方法が知られている (須藤, 1996)。そこで本研究では、オートクレーブで炊飯した米飯に町田ら (2017) の画像解析法を組み合わせ、少量・多数のサンプルに適用できるように測定条件を検討した。さらに、画像解析により得られた解析値が、食味官能評価値や玄米品質等とどのような関係にあるのかを検討するとともに、ツヤと白さの QTL の検出を行った。

2. 材料および方法

2. 1 炊飯および画像解析の方法

後述する撮影条件の検討を経て、評価方法を次の通り設定した。

ステンレス製プリンカップ (71×55×30mm) に精米 15g をとり、洗米 (指で 10 回攪拌し排水する作業を 3 回) 後、加水率が 1.4 倍となるよう水道水を加えて、アルミホイルを被せた。1 時間浸漬した後、80°C に温めておいたオートクレーブ (HA-300MIV、(株)平山製作所) の上段にサンプルを並べた滅菌かごを入れ、105°C 20 分間圧力開放状態で加熱した。加熱後、30 分間蒸らしてからオートクレーブを開け、20°C のインキュベーターにおいて 30 分間放冷し、測定に供試した。なお、1 サンプルにつき 4 個 (4 反復) 炊飯した。

撮影にはデジタル一眼レフカメラ (Nikon D3500、(株)ニコン)、標準レンズ (AF-PNIKKOR 18-55mm f/3.5-5.6G VR、(株)ニコン)、およびコピースタンド (CS-A4、(株)LPL) を使用した (図 1)。光源にはマクロリングライト (VLR-490S、(株)LPL) を使用した。本製品は電池式であるが、電池の消耗に伴い明るさが低下したため、ダミー電池によりコンセントに接続し、明るさ調節は最大で撮影 30 分前には電源を入れ暖機して使用した。撮影条件は、カメラの高さ : 9.5cm、焦点距離 : 55mm、ホワイトバランス : オート、ISO 感度 : 100、シャッター速度 : 1/15 秒、絞り : f32 とし、暗室においてマクロリングライトをつけた状態で、プリンカップをレンズの直下に置き、1 個のカップにつき 20 枚連続撮影し、JPEG 形式の 2,416 万画素の画像を取得した。

画像解析には町田ら (2017) の開発した解析ソフト「Boiled Rice Image Analysis」を使用した (図 2、<https://www.kazusa.or.jp/kazusalab/>よりダウンロード可能)。ツヤについては、ツヤの部分をもととして検出し、その数を計測する Harris 特徴点および Eigen 特徴点と、明るさを示す L*値が一定以上の部分の面積を合計した積算輝度値を得た。白さ (色み) については、解析範囲内の L*値、a*値、b*値の平均値を取得した。上記撮影条件では、a*値は負の値を示し緑みの程度を、b*値は正の値を示し黄みの程度を



図 1 炊飯米の撮影

表した。画像上の解析範囲は幅 3,400×高さ 3,000 画素（計 1,020 万画素）とした（図 2）。

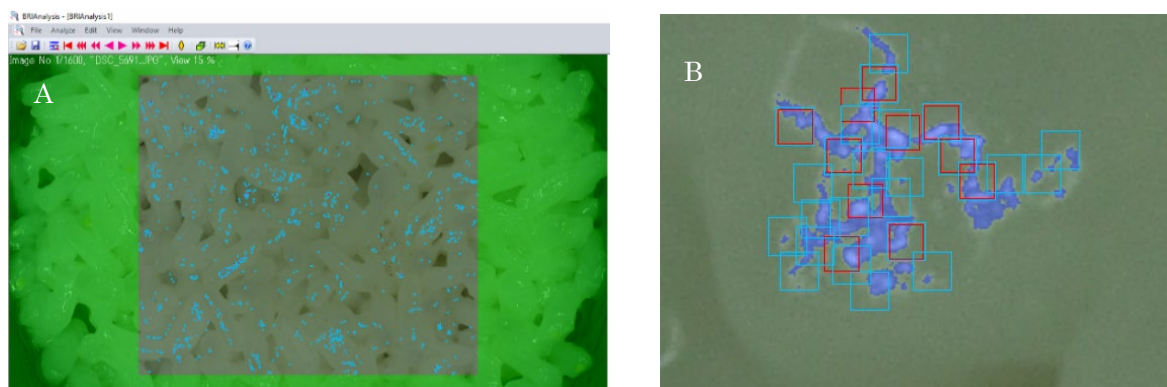


図 2 画像解析の様子

A：ソフトウェア画面で、中央四角部分が解析範囲

B：解析画面の拡大図で、小さな四角が特徴点、塗りつぶし部分は輝度値の積算部分

2. 2 画像解析による炊飯米のツヤと白さの評価方法の改良

2. 2. 1 供試材料

供試材料は、茨城県農業総合センター農業研究所内ほ場（茨城県水戸市）において栽培した玄米を使用した。撮影条件の検討には、2019 年産の炊飯米のツヤと白さが優れる‘コシヒカリ’と、どちらも劣る‘アキヒカリ’を用いた。

画像解析値と官能評価のツヤと白さとの相関関係の解析には、2021 年産の炊飯米のツヤと白さの程度が異なる 12 品種系統（‘ササミノリ’、‘ササニシキ’、‘トヨニシキ’、‘イナバワセ’、‘チヨニシキ’、‘生研 150 号’、‘コシヒカリ’、‘北陸 193 号’ほか）を用いた。

画像解析値と玄米品質等との関係の検討には、生産力検定試験区の収穫物を利用し、‘コシヒカリ’を基準として食味試験を行った品種系統を用いた。品種系統数は、2019 年が 45、2020 年が 35、2021 年が 97、3 か年で合計 177 であった。

収穫した玄米は 2019 年、2020 年はテスター精米機（MC-90A、東洋ライス株式会社）により歩留まり 90%で、2021 年はタテ形試験用精米機（VP-32T、株式会社山本製作所）により白度（+20）を目標にとり精した。精米は、砕米を 1.7mm のふるいで除去した後、目視で着色粒を取り除いた上で測定に供試した。

2. 2. 2 撮影条件の検討

撮影枚数、炊飯点数、シャッター速度、炊飯する精米量の検討を行った。検討の対象とした項目以外の撮影条件については、2. 1 の通りとした。

画像ごとの値のばらつきを把握するため、‘コシヒカリ’を 1 個炊飯し、500 枚連続撮影し画像解析を行った。画像 1 枚ごとの場合と、連続する 5、10、20 枚の画像の解析値を 1 枚ずつずらして移動平均した場合の値のばらつきを解析した。

炊飯したサンプルごとの値のばらつきを把握するため、‘コシヒカリ’を 36 個炊飯し、1 個あたり画像を 20 枚撮影して画像解析値を平均した。サンプル 1 個ごとの場合と、連続する 2、3、4 個のサンプルの解析値を移動平均して 1 つのデータとした場合の値のばらつきを解析した。

‘コシヒカリ’と‘アキヒカリ’を用い、シャッター速度（1/6～1/25 秒）および炊飯する精米量（10～20g）が画像解析値および品種間差に及ぼす影響を検討した。

2. 2. 3 画像解析値と官能評価の相関関係の検討

ツヤと白さの程度が異なる 12 品種系統をオートクレーブで炊飯し、画像解析とツヤと白さの官能評価を行った。官能評価は撮影の直後に行い、熟練したパネラー 1 名が‘コシヒカリ’を基準として -3（かなり劣る）～ +3（かなり優れる）の 7 段階で評価した。画像解析値と官能評価値の関係を相関係数と単回帰分析により解析

した。

2. 2. 4 食味官能評価によるツヤ、白さの評価値と諸形質との関係の検討

2019年から2021年の生産力検定試験供試系統を家庭用炊飯器（2019年および2020年：SR-HB103、パナソニック(株)、2021年：NP-GJ05-XT、象印マホービン(株)）で炊飯し、食味官能評価試験を行った。食味官能評価試験は、農業研究所および生物工学研究所の職員11～18名（平均14名）をパネラーとし、ツヤ、白さ、硬さ、粘り、味、総合の6項目について、「コシヒカリ」を基準の0点とし、かなり劣る・やわらかい・弱いを-3点、かなり優れる・硬い・強いを+3点とする7段階で評価した。また、玄米または精米を食味計（RCTA11A、(株)サタケ）、味度メーター（MA-90、東洋ライス(株)）、穀粒判別機（RGQI20A、(株)サタケ）、白度値（C600、(株)ケツト科学研究所）で評価するとともに、目視により玄米品質を1（上上）～9（下下）の9段階で評価した。また、食味官能評価に用いたのと同じの精米をオートクレーブで炊飯し、画像解析を行った。

これらのデータを用い、食味官能評価によるツヤと白さの評価値と、画像解析値などの項目との関係を解析するため、相関係数を求めた。

2. 3 ツヤと白さのQTLの検出

2. 3. 1 供試材料

「コシヒカリ」と「アキヒカリ」の交雑F₁の葍培養に由来する倍加半数体系統群（DHLs、Takeuchi et al., 2001）を、2018年から2021年に農業研究所内ほ場において栽培した。移植日は2018年が5月30日、2019年が5月23日、2020年が5月21日、2021年が6月2日であった。解析に供試した系統数は、全212系統のうち、2018年は十分な収穫物が得られた152系統、2019年および2020年は出穂期が両親に近い139系統、2021年は保有する全201系統を供試した（11系統は分譲種子が発芽しなかったため供試せず）。玄米100gをテスター精米機（MC-90A、東洋ライス(株)）により歩留まり90%でとう精し、碎米を1.7mmのふるいで除去した後、目視で黒や茶色の着色粒を取り除いた上で画像解析に供試した。また、2021年のみ目視により玄米品質を1（上上）～9（下下）の9段階で評価した。

2. 3. 2 多型解析

DHLsは、Takeuchi et al. (2001)による171種のDNAマーカーの遺伝子型データ（<https://rgp.dna.affrc.go.jp/E/publicdata/genotypedataDHLs/Introduction.html>）が公開されている。ただし用いられているマーカーの情報が古いため、ゲノムワイドな436種のSSRマーカー（Singh et al., 2010）で両親を解析し、多型を示したマーカーを用いてDHLsの多型解析を行った。なお、泳動には3%アガロースゲルを用いた。さらに第2染色体については、積算輝度値のQTLの位置をより詳細に特定するため、Q-TARO（<http://qtaro.abr.affrc.go.jp>、Yonemaru et al., 2010）により両親間のSNPsを抽出し、CAPSマーカーを設計して解析に用いた（表1）。

表1 第2染色体上に設計したCAPSマーカー

CAPSマーカー ^{a)}	物理位置 ^{b)}	プライマー(5'-3')	制限酵素
NIAS_Os_ab02000638	27,884,918	F TTGTGATCTCACCCAGTTGC R TTTGGCTATGGTTCACACG	AluI
NIAS_Os_aa02003577	32,133,621	F TAGCATCATATCGCATGGAG R TGGGCAATGGTAGAGTTGG	MspI
NIAS_Os_ac02000855	32,298,824	F TTGCACAGATGGCTCTTACG R AACCTCCGGTGACACTTCAG	HaeIII
NIAS_Os_aa02003532	30,815,956	F CCAATCAAAGCTCCATGTTTC R GGGAGGGTTGCATTCAGA	Hpy188III

a)マーカー名は、Q-TARO(Yonemaru et al., 2010)上でのSNPsの名称である。

b)物理位置はIRGSP 1.0 (Sakai et al., 2013)による。

2. 3. 3 QTL解析

遺伝解析には統計解析ソフトR (R Core Team, 2020)を用い、連鎖地図の作成はonemapパッケージ (Margarido

et al., 2007) を、QTL 解析は qtl パッケージ (Broman et al., 2003) を用いて行った。QTL 解析は区間マッピング法により 2cM 探索し、1,000 回の並べ替え検定によってゲノムワイドの 5% 有意水準に対応する閾値を各形質に対して求め、LOD 値がこの閾値を越えた場合に QTL が検出されたと判定した。

3 結果

3. 1 画像解析による炊飯米のツヤと白さの評価方法の改良

3. 1. 1 撮影条件

(a) 撮影枚数

‘コシヒカリ’ を 1 個炊飯し、連続撮影して画像解析を行い、画像ごとの値のばらつきを調べた。その結果、変動係数は Harris 特徴点で 17%、Eigen 特徴点で 11% とやや大きく、積算輝度値、L*値、a*値、b*値の変動係数は 1~3% と小さかった (表 2)。そこで、Harris 特徴点および Eigen 特徴点の変動係数を小さくするために、連続する 5、10、20 枚の画像の解析値を平均して 1 つのデータとしたところ、平均する画像の枚数が多いほど変動係数は小さくなり、20 枚平均の場合、Harris 特徴点の変動係数が 8%、Eigen 特徴点の変動係数が 4% となった (表 3)。

表2 画像間の画像解析値のばらつき

	Harris特徴点	Eigen特徴点	積算輝度値	L*値	a*値	b*値
最小値	92	606	48,100	69.9	-9.5	10.0
最大値	254	1,292	55,838	73.8	-9.2	10.4
平均値	165	1,037	52,229	71.7	-9.3	10.1
変動係数	17%	11%	3%	1%	1%	1%

a) ‘コシヒカリ’ を 1 個炊飯し、500 枚連続撮影して解析した (n=500)。

表3 連続する画像の解析値を平均した場合のばらつき

	Harris特徴点				Eigen特徴点			
	1枚 ^{b)}	5枚平均	10枚平均	20枚平均	1枚	5枚平均	10枚平均	20枚平均
n	500	496	491	481	500	496	491	481
最小値	92	117	124	124	606	763	797	896
最大値	254	213	208	197	1,292	1,210	1,173	1,124
平均値	165	165	165	165	1,037	1,038	1,039	1,039
変動係数	17%	10%	9%	8%	11%	7%	6%	4%

a) ‘コシヒカリ’ を 1 個炊飯し、500 枚連続で撮影した画像から解析値を得た。

b) 「1枚」は画像 1 枚ごと、「5枚平均」「10枚平均」「20枚平均」は連続する画像の解析値を移動平均し、解析した。

(b) 炊飯点数

‘コシヒカリ’ を 36 個炊飯し解析した結果、変動係数は Harris 特徴点が 25% と最も大きく、次いで積算輝度値が 18%、Eigen 特徴点も 12% とやや大きかった (表 4)。一方、L*値、a*値、b*値の変動係数は 1~2% と小さかった。そこで、2~4 個のカップの解析値を平均して 1 つのデータとしたところ、4 個平均で Harris 特徴点、Eigen 特徴点、積算輝度値の変動係数は 11%、5%、9% と、平均しない場合に比べて小さくなった (表 5)。

表4 炊飯したサンプルごとの画像解析値のばらつき

	Harris特徴点	Eigen特徴点	積算輝度値	L*値	a*値	b*値
最小値	34	473	18,074	67.7	-9.9	11.7
最大値	124	861	44,769	70.5	-9.5	12.9
平均値	91	666	30,206	69.0	-9.8	12.2
変動係数	25%	12%	18%	1%	1%	2%

a) ‘コシヒカリ’を36個炊飯し(n=36)、1個につき20枚画像を撮影して画像解析値を平均した上で解析を行った。

表5 反復を設定した場合の画像解析値のばらつき

反復 ^{b)}	Harris特徴点				Eigen特徴点				積算輝度値			
	なし	2	3	4	なし	2	3	4	なし	2	3	4
n	36	35	34	33	36	35	34	33	36	35	34	33
最小値	34	61	64	70	473	569	574	601	18,074	20,524	21,647	22,341
最大値	124	117	109	106	861	786	765	747	44,769	39,632	35,691	36,565
平均値	91	91	91	91	666	666	667	668	30,206	30,238	30,261	30,317
変動係数	25%	14%	11%	11%	12%	7%	6%	5%	18%	12%	11%	9%

a) ‘コシヒカリ’を36個炊飯し、1個につき20枚画像を撮影し画像解析値を平均した。

b) 連続する2~4個のカップの画像解析値を移動平均し、1つのデータとした。

(c) 炊飯する精米量

ツヤと白さが優れる‘コシヒカリ’と、いずれも劣る‘アキヒカリ’を用いて、炊飯する精米量が画像解析値に及ぼす影響を検討した。その結果、精米量に対して a*値は反比例し、b*値は比例する傾向が認められた (図3)。Harris 特徴点、Eigen 特徴点、積算輝度値、L*値は、精米量によって変化は見られるものの明瞭な増減の傾向はなかった。

品種間差に着目すると、Harris 特徴点、Eigen 特徴点、積算輝度値は、精米量が増えるほど品種間差がやや大きくなる傾向が認められ、10g および 15~20g ではすべての項目で品種間に有意差が認められた。b*値は、精米量によらず品種間差はほぼ一定で、10g および 15~20g では品種間に有意差が認められた。a*値は、15g でのみ品種間に有意差が認められた。L*値は、精米量によらず、品種間に有意差が認められなかった。

なお、精米 20g では炊飯米表面のコントラストが乏しいためカメラの焦点が合いにくく、撮影の効率が悪かった。また、精米が 10g より少ないとプリンカップの底面が一部露出し、解析ができなかった。

(d) シャッター速度

‘コシヒカリ’と‘アキヒカリ’を用いて、シャッター速度が画像解析値に及ぼす影響を検討した。その結果、Harris 特徴点、Eigen 特徴点、L*値および a*値は、シャッター速度が速くなるほど値が減少する傾向が、反対に積算輝度値と b*値は値が増加する傾向が認められた (図4)。

品種間差に着目すると、Harris 特徴点と Eigen 特徴点はシャッター速度が速くなるほど差が小さくなる傾向が認められ、1/6~1/10 秒ではどちらも品種間に有意差があり、1/20~1/25 秒では Eigen 特徴点のみ有意差が認められた。一方、積算輝度値はシャッター速度が速くなるほど差が大きくなる傾向が認められ、1/8~1/25 秒で品種間に有意差が認められた。L*値、a*値、b*値の品種間差は、シャッター速度によらずあまり変化しなかった。L*値はすべてのシャッター速度で有意差が認められなかった。a*値は、1/6、1/8、1/13、1/15 秒で、b*値はすべてのシャッター速度で有意差が認められた。

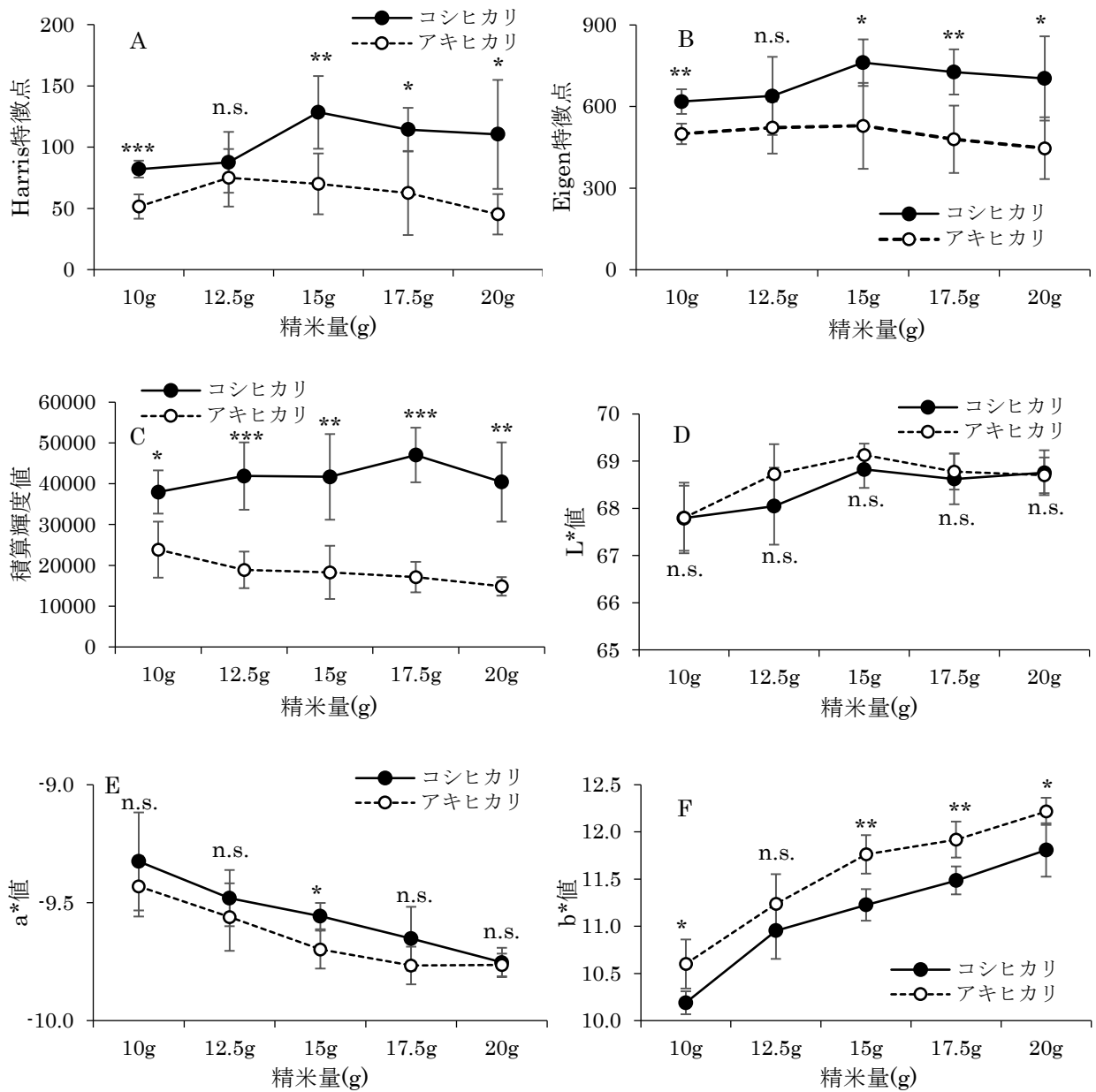


図3 精米量が画像解析値に及ぼす影響

A : Harris 特徴点、B : Eigen 特徴点、C : 積算輝度値、D : L*値、E : a*値、F : b*値。

エラーバーは標準偏差 (n=6) 。*はt検定において5%水準で、**は1%水準で、***は0.1%水準で、
 ‘コシヒカリ’ と ‘アキヒカリ’ の間に有意差があることを、n.s.は有意差がないことを示す。

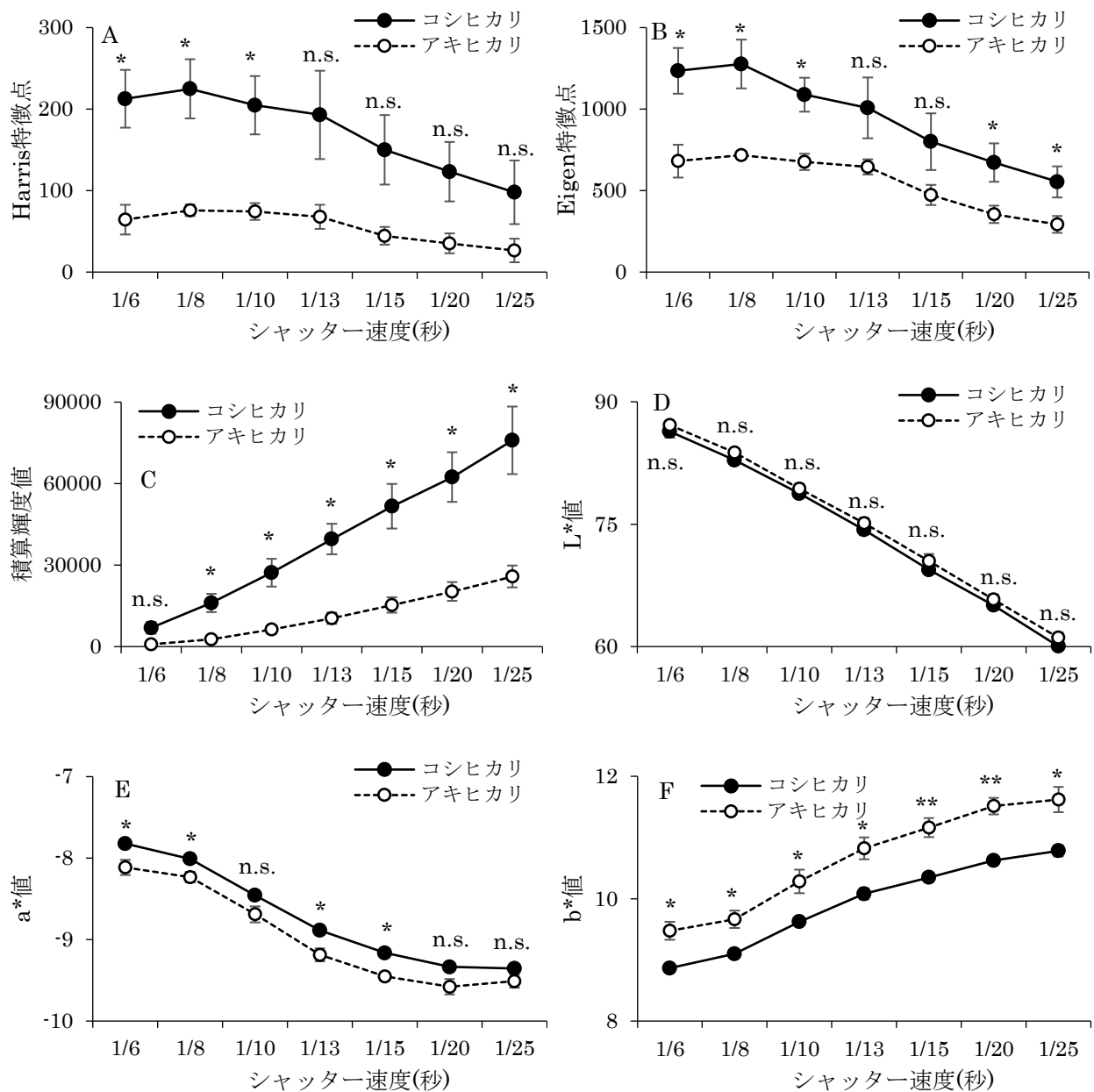


図4 シャッター速度が画像解析値に及ぼす影響

A : Harris 特徴点、B : Eigen 特徴点、C : 積算輝度値、D : L*値、E : a*値、F : b*値。

エラーバーは標準偏差 (n=3) 。*はt検定において5%水準で、**は1%水準で、

‘コシヒカリ’ と ‘アキヒカリ’ の間に有意差があることを、n.s.は有意差がないことを示す。

3. 1. 2 オートクレーブで炊飯した米飯の画像解析値と官能評価の関係

炊飯米のツヤと白さの程度が異なる12品種系統をオートクレーブで炊飯し、画像解析と、ツヤと白さの官能評価を行い、両者の相関係数を求めた。その結果、ツヤは積算輝度値およびHarris特徴点と有意な正の相関関係があり、Eigen特徴点も有意ではないものの (p=0.06) 正の相関関係を示す傾向が認められた (表6、図5)。白さはb*値と有意な負の相関関係が認められた。

表6 オートクレーブで炊飯した米飯の画像解析値と官能評価のツヤおよび白さとの相関係数

		画像解析値					
		Harris特徴点	Eigen特徴点	積算輝度値	L*値	a*値	b*値
官能	ツヤ	0.73 *	0.55 n.s.	0.91 *	0.14 n.s.	0.14 n.s.	-0.40 n.s.
評価	白さ	0.37 n.s.	0.43 n.s.	0.45 n.s.	0.20 n.s.	0.44 n.s.	-0.90 *

a) n=12、*は相関係数が5%水準で有意であることを、n.s.は有意でないことを示す。

b) 画像解析は4反復で、官能評価は2反復で実施した。

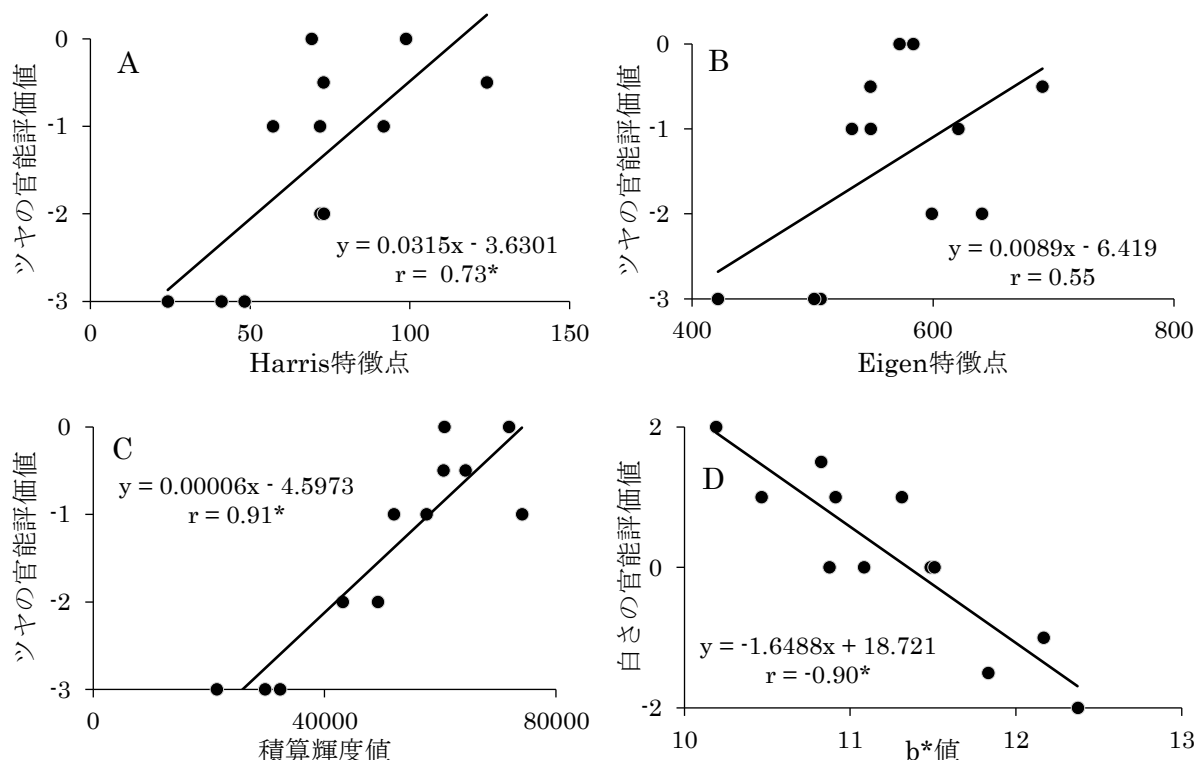


図5 オートクレーブで炊飯した米飯の画像解析値と官能評価のツヤおよび白さとの関係（抜粋）

A：ツヤと Harris 特徴点、B：ツヤと Eigen 特徴点、C：ツヤと積算輝度値、D：白さと b*値。

n=12、*は相関係数が5%水準で有意であることを示す。

画像解析は4反復で、官能評価は2反復で実施した。

3. 1. 3 食味官能評価によるツヤ、白さの評価値と諸形質との関係

食味官能評価におけるツヤと白さの評価値が、画像解析値やその他の形質とどのような関係にあるのかを明らかにするため、相関係数を求めた。

ツヤの食味官能評価値については、画像解析値の中で最も相関関係が高いのは積算輝度値であり、3か年を通じて有意な正の相関関係が認められた（表7）。また、Harris 特徴点、Eigen 特徴点との間には有意な正の相関関係が、b*値との間には有意な負の相関関係が認められた。L*値は相関係数が小さく、a*値は年によって傾向が異なった。食味官能評価の項目では、2019年と2021年にツヤと総合評価の間に有意な正の相関関係が認められた。ツヤと食味計および品質との間には、3か年を通じて一定の傾向は見られなかった。

白さの食味官能評価値については、画像解析値の中で最も相関関係が高いのは b*値であり、3か年を通じて有意な負の相関関係が認められた。Harris 特徴点、Eigen 特徴点、積算輝度値、L*値との間の相関係数は小さく、a*は年によって傾向が異なった。食味官能評価の項目の中では、3か年を通じて白さと総合評価との間に有意な正の相関関係が認められた。また、3か年中2か年で白さと味との間に有意な正の相関関係が認められた。一方、偏相関係数を求めると、白さと味との間に相関関係はなく、白さと総合評価、味と総合評価の間に有意な正の相関関係が認められた（図6）。3か年を通じて、白さと食味計の間に一定の傾向は見られなかったが、品質のうち整

粒歩合とは正の、玄米品質（値が小さいほど品質が優れる）とは負の有意な相関関係が認められ、整粒歩合が高く、玄米品質が優れるほど炊飯米の白さも優れる傾向があることが示された（図 7）。玄米白度および精米白度とは、一定の傾向が見られなかった。

単年度の結果ではあるが、味度値とツヤおよび白さの間には、有意な正の相関関係が認められた（図 8）。特に、ツヤと味度値の相関係数は、2021 年に調査したすべての項目の中で最も高く、白さについても、整粒歩合に次いで相関係数が高かった。

表7 食味官能評価におけるツヤおよび白さと諸形質との相関係数

		食味官能評価						凡例
		ツヤ			白さ			
		2019	2020	2021	2019	2020	2021	
画像解析	Harris特徴点	0.43 *	0.45 *	0.37 *	0.07 n.s.	0.06 n.s.	-0.09 n.s.	1.0
	Eigen特徴点	0.41 *	0.40 *	0.38 *	0.02 n.s.	-0.03 n.s.	-0.10 n.s.	0.8
	積算輝度値	0.49 *	0.61 *	0.41 *	0.05 n.s.	0.05 n.s.	-0.13 n.s.	0.6
	L*値	-0.01 n.s.	-0.18 n.s.	0.05 n.s.	0.22 n.s.	0.21 n.s.	0.07 n.s.	0.4
	a*値	0.01 n.s.	0.37 n.s.	0.36 *	-0.01 n.s.	0.35 n.s.	0.38 *	0.2
	b*値	-0.42 *	-0.48 *	-0.32 *	-0.54 *	-0.49 *	-0.41 *	0.0
食味官能評価	ツヤ	—	—	—	0.69 *	0.30 n.s.	0.08 n.s.	-0.2
	白さ	0.69 *	0.30 n.s.	0.08 n.s.	—	—	—	-0.4
	味	0.48 *	0.24 n.s.	0.05 n.s.	0.61 *	0.34 n.s.	0.24 *	-0.6
	粘り	0.39 *	0.04 n.s.	0.21 *	0.36 *	-0.23 n.s.	0.07 n.s.	-0.8
	硬さ	-0.14 n.s.	0.00 n.s.	-0.11 n.s.	0.05 n.s.	0.18 n.s.	-0.24 *	-1.0
	総合評価	0.67 *	0.19 n.s.	0.23 *	0.79 *	0.49 *	0.36 *	
食味計 ^{c)}	食味値	0.60 *	-0.04 n.s.	0.07 n.s.	0.56 *	0.11 n.s.	0.03 n.s.	
	タンパク含量	-0.51 *	0.07 n.s.	-0.02 n.s.	-0.50 *	-0.11 n.s.	-0.02 n.s.	
	アミロース含量	-0.60 *	0.11 n.s.	-0.06 n.s.	-0.55 n.s.	0.01 n.s.	-0.04 n.s.	
	脂肪酸	-0.43 *	0.05 n.s.	0.30 *	-0.47 *	-0.13 n.s.	-0.11 n.s.	
味度メーター	味度値	—	—	0.36 *	—	—	0.29 *	
品質	整粒歩合	0.52 *	-0.10 n.s.	0.04 n.s.	0.63 *	0.40 *	0.31 *	
	玄米品質	-0.46 *	0.19 n.s.	-0.09 n.s.	-0.60 *	-0.48 *	-0.22 *	
	玄米千粒重	-0.08 n.s.	0.37 n.s.	0.26 n.s.	0.03 n.s.	0.07 n.s.	-0.17 n.s.	
	玄米白度	-0.46 *	0.07 n.s.	-0.21 *	-0.38 *	-0.12 n.s.	-0.04 n.s.	
	精米白度	0.01 n.s.	0.32 n.s.	-0.16 n.s.	0.06 n.s.	0.38 n.s.	-0.03 n.s.	

a) 生産力検定試験に供試した品種系統のうち、「コシヒカリ」を基準として食味試験を行った中・晩生の品種系統の調査結果を基に作成した。品種系統数(n)は、2019年が45、2020年が35、2021年が97、3か年で計177である。

b) *は相関係数が5%水準で有意であることを、n.s.は有意でないことを示す。

c) 食味計には玄米を供試した。

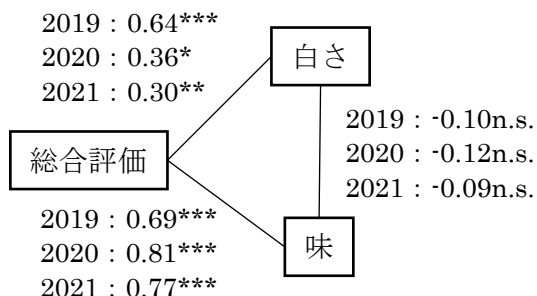


図6 食味官能評価の白さ、味および総合評価の間の偏相関係数
n=45 (2019年)、35(2020年)、97 (2021年)。
***は 0.1%、**は 1%、*は 5%水準で偏相関係数が有意であることを示す。

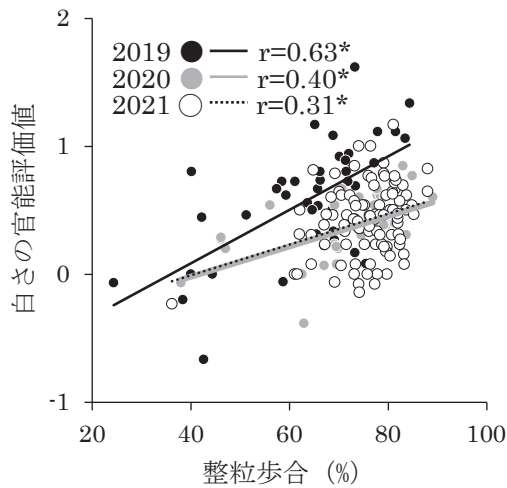


図7 食味官能評価の白さと整粒歩合の関係
n=45 (2019)、35 (2020)、97 (2021)、
*は相関係数 r が 5%水準で有意であることを示す。

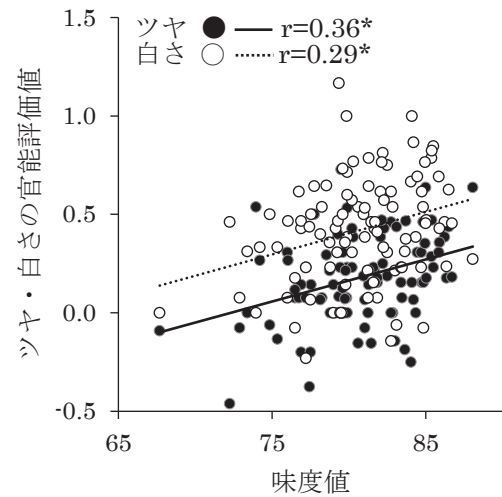


図8 食味官能評価のツヤおよび白さと味度値
の関係
n=97 (2021)、*は相関係数 r が 5%水準
で有意であることを示す。

3. 2 ツヤと白さの QTL の検出

(a) DHLs の形質変異

‘アキヒカリ’／‘コシヒカリ’の DHLs における各形質の頻度分布を図9に示した。画像解析値については、一部外れたデータがあるものの、大部分は連続分布となった。また、分布の幅は産年により異なった。両親に着目すると、ツヤに関連する Harris 特徴点、Eigen 特徴点、積算輝度値は、産年に関わらず‘コシヒカリ’の方が‘アキヒカリ’より大きかった。白さに関連する b^* 値は、4 か年を通じて‘コシヒカリ’の方が‘アキヒカリ’より小さかった。

出穂期については、熟期の近い系統を選んで供試した 2019 年および 2020 年は分布の幅が狭くなった。また、2018 年および 2021 年については、早生の‘アキヒカリ’に近い時期に大きなピークが、中生の‘コシヒカリ’より遅い時期に小さなピークがあった。

玄米品質については 2021 年のみ調査し、玄米品質の優れる‘コシヒカリ’並みの系統は極めて少なかった。一方で、白未熟粒や白死米などの粉質粒を多く含み、玄米品質が突出して劣る系統が 18 系統あった。

(b) 連鎖地図

既知の 171 座の多型情報に、新たに SSR マーカー42 座、CAPS マーカー4 座の多型情報を加えて連鎖地図を作成した(図10)。新たに加えたマーカーのうち、36 座は既知のマーカーの間に位置し、既知のマーカーで多型が見られない染色体領域に位置するものは 10 座と少なかった。このことから、本研究で得られた連鎖地図の染色体に対するカバー率は、もとの連鎖地図と同程度の 60%程度 (Takeuchi et al., 2001) と推定された。

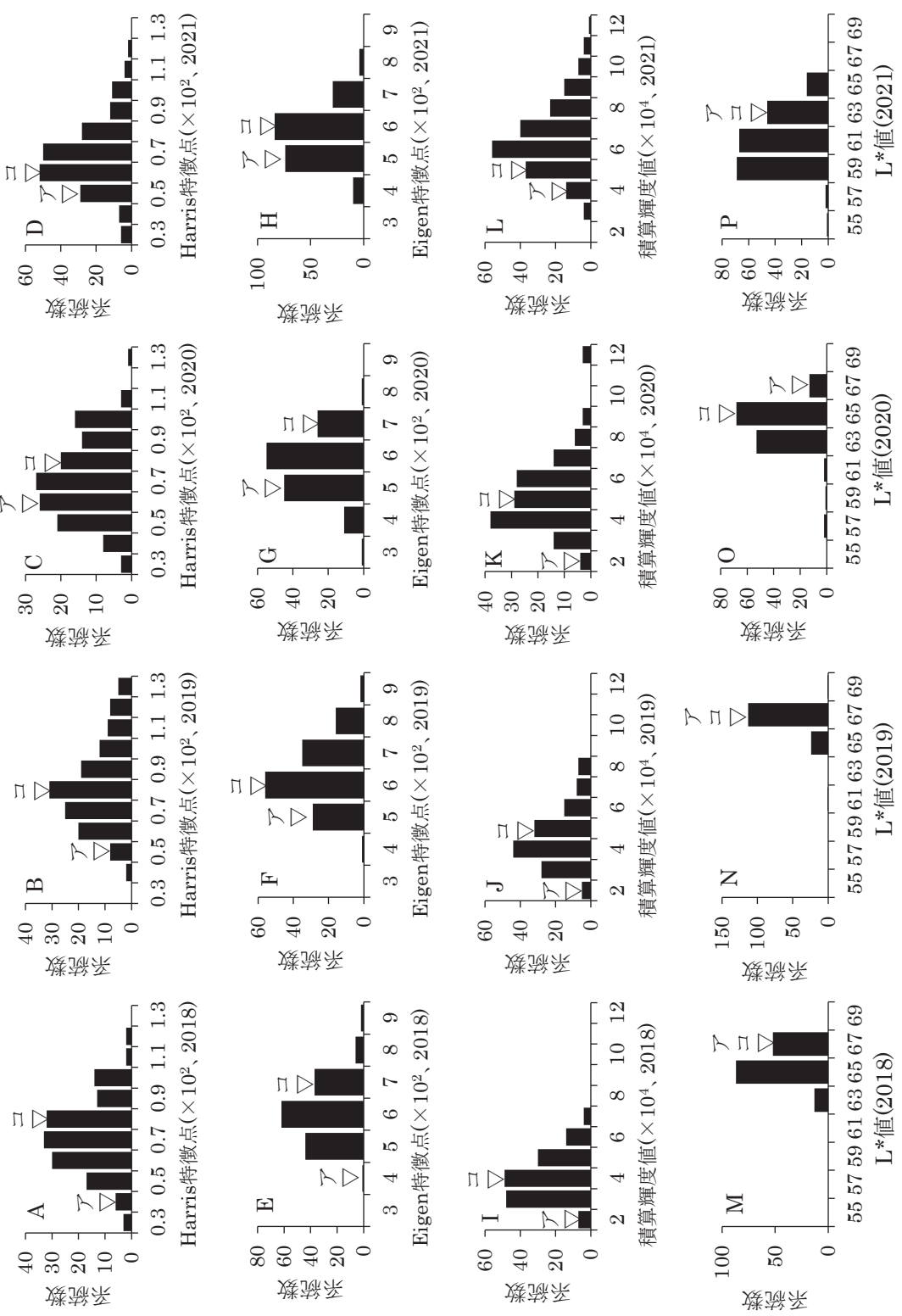


図9-1 ‘アキヒカリ’ / ‘コシヒカリ’ の倍加半数体系系統群の表現型の頻度分布

A～D : Harris 特徴点 (2018～2021 年、以下同じ)、E～H : Eigen 特徴点、I～L : 積算輝度値、M～P : L*値。

「ア」は ‘アキヒカリ’ を、「コ」は ‘コシヒカリ’ を示す。

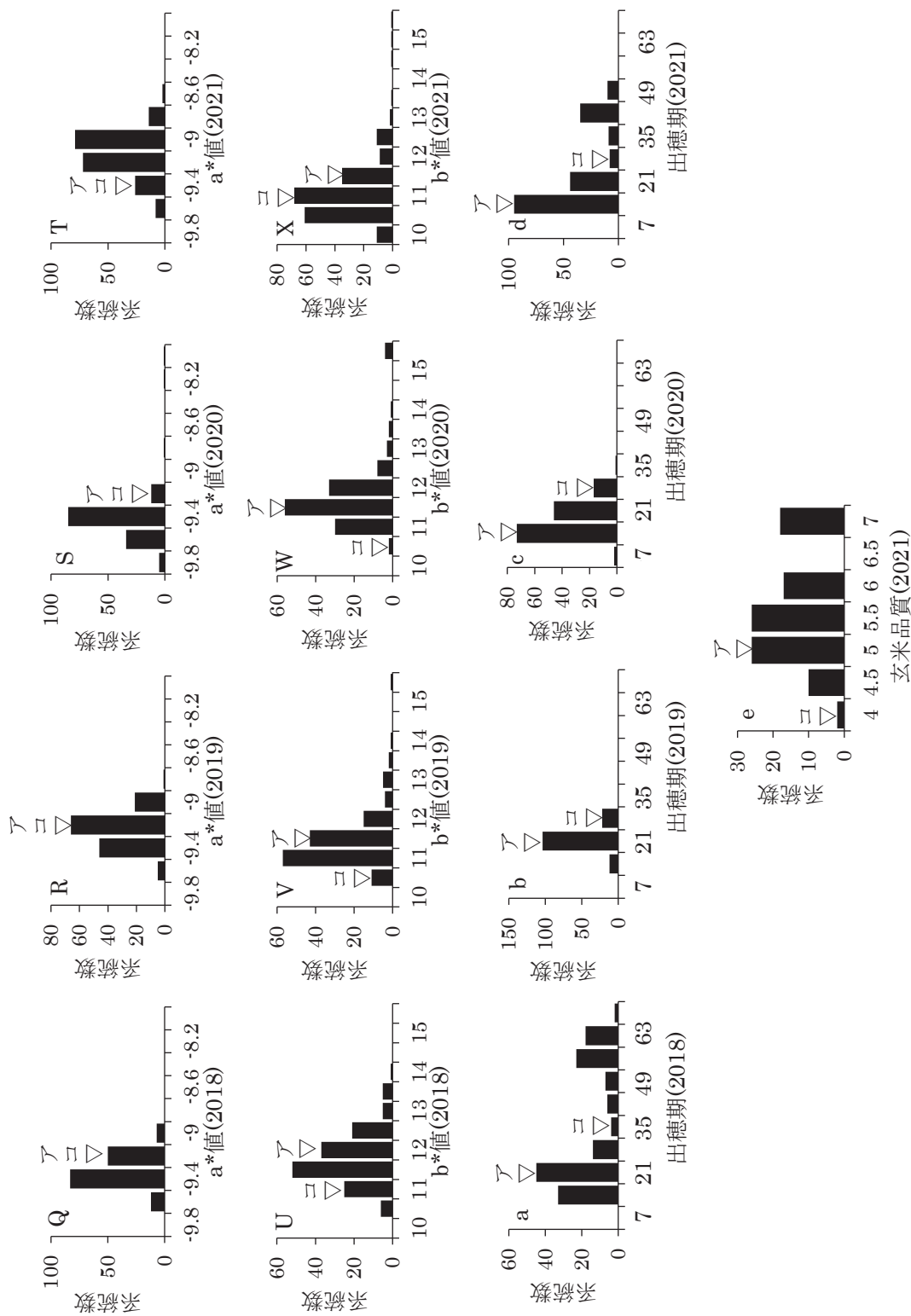


図9-2 ‘アキヒカリ’ / ‘コシヒカリ’ の倍加半数体系系統群の表現型の頻度分布
 Q~T : a*値 (2018~2021年、以下同じ)、U~X : b*値、a~d : 出穂期、e : 玄米品質 (2021年)。

「ア」は「アキヒカリ」を、「コ」は「コシヒカリ」を示す。

出穂期は、7月1日を1日目とした場合の日数を示す。玄米品質は2021年のみ調査し、値が小さいほど品質が良いことを示す。

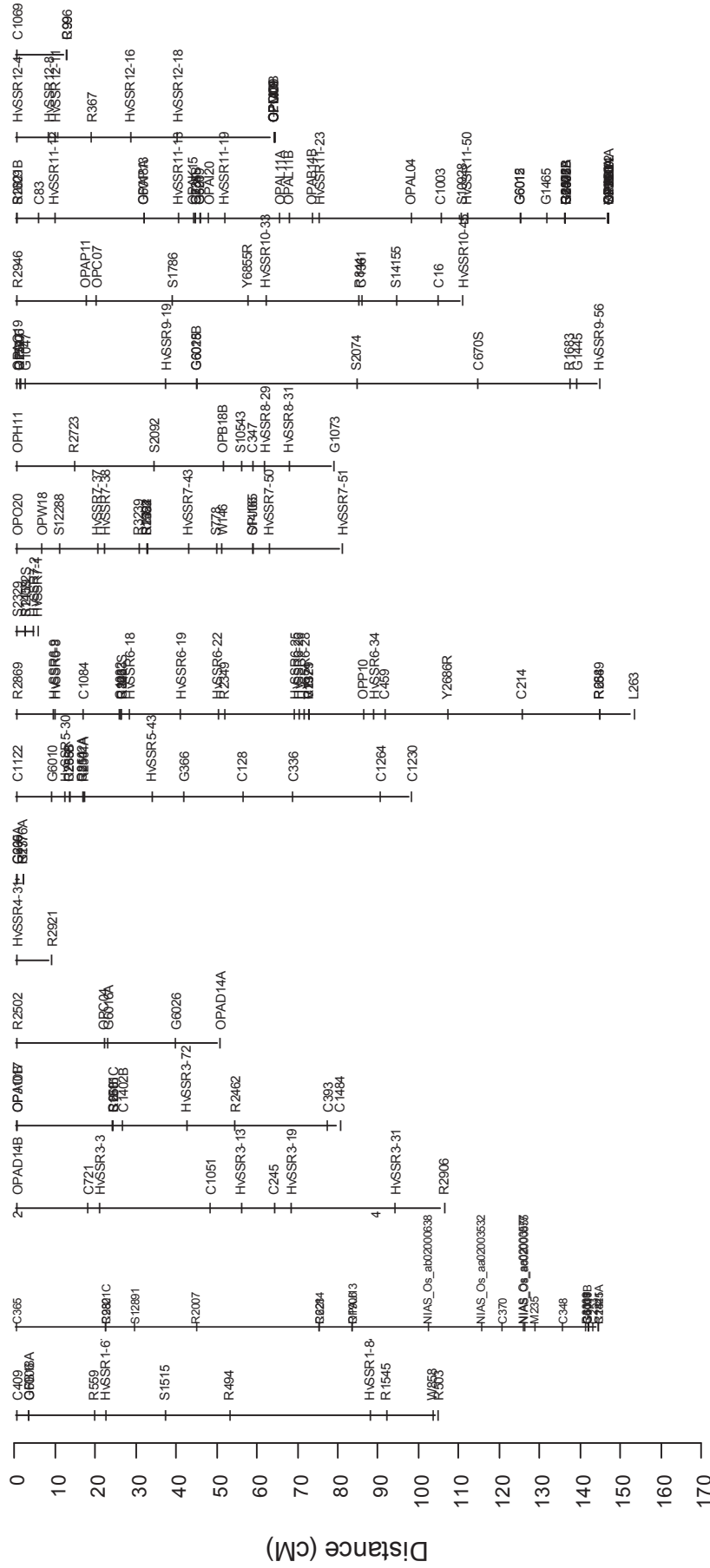


図10 ‘アキヒカリ’ / ‘コシヒカリ’ の連鎖地図

*は当該染色体上の2番目の連鎖群、**は3番目の連鎖群であることを示す。
DNA マーカーの密度が低いため、1つの染色体に複数の連鎖群が座した。

(c) ツヤに関する画像解析値の QTL

ツヤに関しては 17 個の画像解析値の QTL が検出された (表 8)。検出された QTL は、すべて ‘コシヒカリ’ 型のアリルが画像解析値を増加させ、ツヤを高める効果があったが、寄与率は 5% から 17% 程度とあまり大きくなかった。第 2 染色体では、4 か年を通じて Harris 特徴点、Eigen 特徴点、積算輝度値の QTL が 96~127cM の領域で検出された (図 11)。このうちツヤと最も相関関係が高い積算輝度値の QTL は、NIAS_Os_ac02000855 および NIAS_Os_aa02003577 近傍で 3 年間検出された。第 6 染色体の HvSSR6-26 近傍では 2021 年に Harris 特徴点と Eigen 特徴点の QTL が検出された。第 7 染色体の HvSSR7-50 近傍では 2021 年に積算輝度値の QTL が検出された。第 10 染色体の HvSSR10-45 近傍では 2018 年に Eigen 特徴点と積算輝度値の QTL が検出された。

(d) 白さ (色み) に関する画像解析値の QTL

白さに関しては 7 個の QTL が検出されたが、複数年に渡り検出された QTL はなく、寄与率も 4% から 13.5% と小さかった (表 8)。これら 7 個の QTL のうち 5 個は 2018 年のサンプルで検出されており、2019 年に検出されたものはなかった。炊飯米の白さと相関関係を示す b^* 値の QTL は、2018 年に第 3 染色体の C668 近傍、第 7 染色体の HvSSR7-37 近傍、第 9 染色体の HvSSR9-56 近傍で、2021 年に第 6 染色体の HvSSR6-19 近傍で検出され、いずれも ‘コシヒカリ’ 型のアリルが b^* 値を減少させる効果があった (図 11)。L* 値の QTL は、2018 年に第 3 染色体の C393 近傍で検出された。a* 値の QTL は、2018 年に第 2 染色体の NIAS_Os_aa02003532 近傍、2020 年に第 8 染色体の OPH18H 近傍で検出された。

(e) 玄米品質および出穂期の QTL

玄米品質については 2021 年のみ調査し、第 6 染色体の HvSSR6-19 近傍で QTL が検出され、‘コシヒカリ’ 型のアリルが玄米品質を高める効果があった (表 8、図 11)。他の QTL との関係を見ると、同じ染色体領域では 2021 年に b^* 値の QTL が検出され、‘コシヒカリ’ 型のアリルが b^* 値を減少させ、白さを高める効果があった。

出穂期については、第 6 染色体の V19 近傍で、作用力の大きな QTL が 4 か年にわたり検出され、‘コシヒカリ’ 型のアリルが晩生化に作用する効果があった。第 3 染色体の C393 近傍では、2018 年と 2021 年に QTL が検出され、‘コシヒカリ’ 型のアリルが早生化に作用する効果があった。他の QTL との関係を見ると、第 6 染色体の V19 近傍では 2021 年に Harris 特徴点および Eigen 特徴点の QTL が検出された。

表8 ‘アキヒカリ’ / ‘コシヒカリ’ のDHLsで検出されたQTL

項目	画像解析	連鎖群 ^{a)}	近傍マーカー	年	位置 (cM)	LOD値	寄与率 ^{b)} (%)	相加効果 ^{c)}	閾値 ^{d)}	
ツヤ	Harris特徴点	2	NIAS_Os_aa02003532	2018	116.0	3.58	10.2	11	2.80	
			NIAS_Os_ab02000638	2019	108.0	5.92	17.3	20	2.89	
			NIAS_Os_ab02000638	2020	100.0	5.71	17.1	17	2.75	
			NIAS_Os_aa02003532	2021	115.7	8.94	16.2	14	2.77	
			6	HvSSR6-26	2021	69.7	3.22	4.9	8	2.77
	Eigen特徴点	2	NIAS_Os_aa02003532	2018	116.0	3.18	9.1	53	2.68	
			NIAS_Os_ab02000638	2019	108.0	4.38	13.3	77	2.76	
			NIAS_Os_ab02000638	2020	96.0	4.32	13.0	68	2.86	
			NIAS_Os_aa02003532	2021	115.7	5.93	10.5	52	2.77	
			6	HvSSR6-26	2021	69.7	4.38	7.4	43	2.77
			10	HvSSR10-45	2018	110.0	3.39	9.7	54	2.68
	積算輝度値	2	NIAS_Os_ac02000855	2018	127.0	5.41	14.6	8,231	2.81	
			NIAS_Os_aa02003577	2019	124.0	5.18	14.9	11,283	2.83	
			NIAS_Os_ac02000855	2020	127.0	1.68	5.3	18,556	1.32	
NIAS_Os_aa02003532			2021	114.0	8.88	16.3	14,361	2.72		
7*			HvSSR7-50	2021	66.0	4.12	6.8	9,698	2.72	
10			HvSSR10-45	2018	110.0	3.78	10.4	6,918	2.81	
白さ (色み)	L*値	3*	C393	2018	74.0	3.52	9.9	0.60	2.79	
	a*値	2	NIAS_Os_aa02003532	2018	116.0	3.44	9.8	0.08	2.61	
			8	OPH18H	2020	44.0	2.13	6.1	-0.12	2.13
	b*値	3*	C668	2018	20.0	3.06	5.5	-0.40	2.65	
			7*	HvSSR7-37	2018	16.0	2.83	5.5	-0.33	2.65
			9	HvSSR9-56	2018	142.0	3.26	4.4	-0.29	2.65
			6	HvSSR6-19	2021	36.0	6.10	13.5	-0.68	2.77
玄米品質		6	HvSSR6-19	2021	36.0	6.10	13.5	-0.68	2.77	
出穂期	3*	C393	2018	70.0	11.90	25.7	-21	2.77		
		C393	2021	72.0	9.73	20.9	-12	2.83		
	6	V19	2018	76.0	19.10	36.2	24	2.77		
		V19	2019	78.0	16.70	33.2	5	2.62		
		V19	2020	78.0	20.10	39.0	7	2.81		
		V19	2021	76.0	29.61	47.0	17	2.83		

a) 連鎖群の番号は染色体番号と同一である。「*」は、当該染色体上の「2番目の」連鎖群を意味する。

b) 全分散に対して各QTLが説明する分散の割合。

c) ‘アキヒカリ’型アレルに対する‘コシヒカリ’型アレルの効果。

d) 有意水準5%。

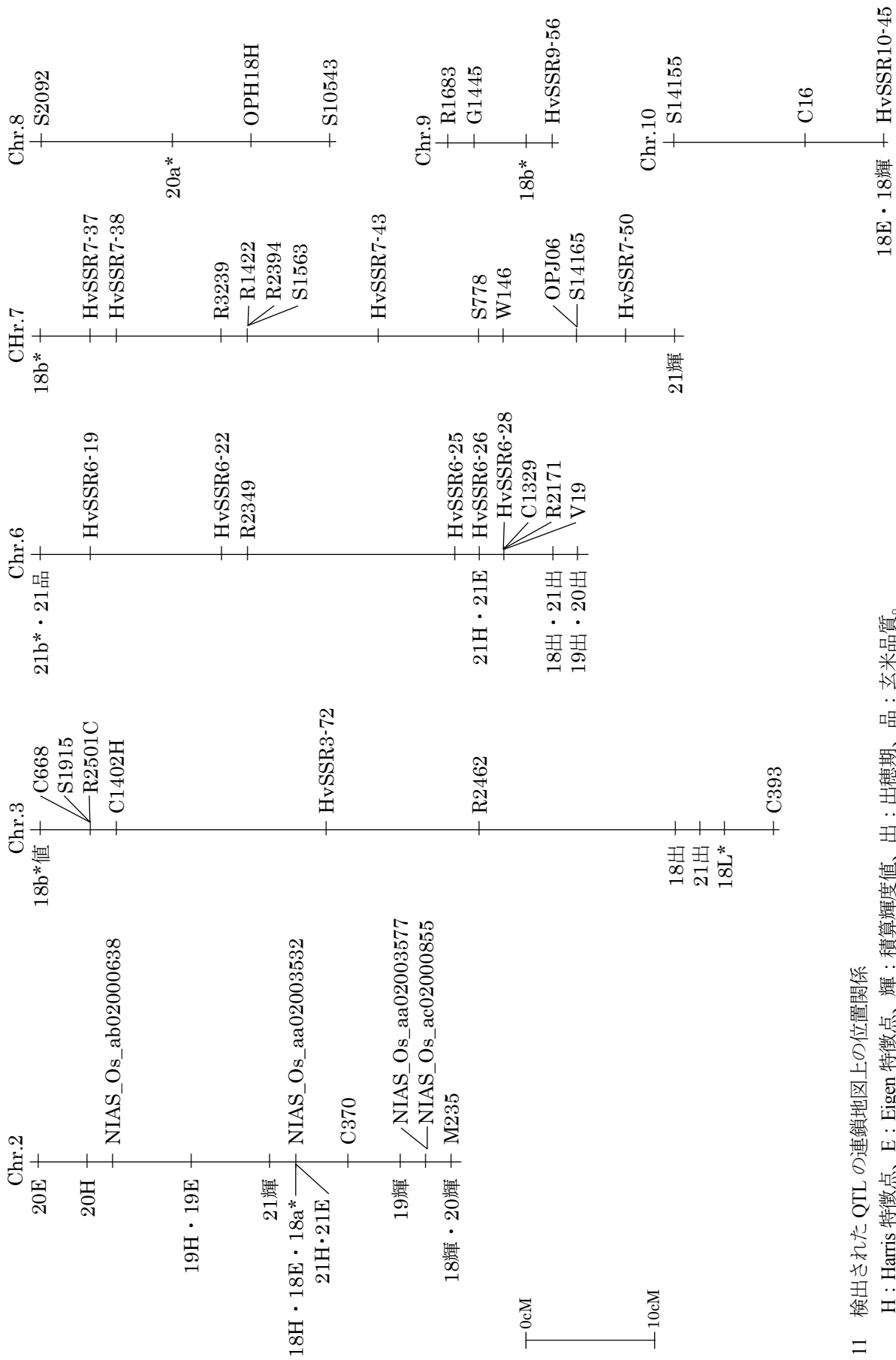


図 11 検出された QTL の連鎖地図上の位置関係

H : Harris 特徴点、E : Eigen 特徴点、輝 : 積算輝度値、出 : 出穂期、品 : 玄米品質。

19~21 は 2019~2021 年を示す。QTL が検出された連鎖地図の部分抜粋した。

4 考察

4. 1 画像解析によるツヤと白さの評価方法

(a) 撮影条件

本研究では撮影条件として、炊飯する精米量とシャッター速度の影響を検討した。

炊飯する精米量は画像解析値に影響し、Harris 特徴点、Eigen 特徴点、積算輝度値では精米量が増えるほど品種間差が拡大する傾向が認められた (図 3)。一方、精米量が多いと炊飯米表面のコントラストが乏しいためカメラの焦点が合いにくく、作業効率が劣った。水稻育種の初期世代では得られる収穫物が少ないことから、使用する精米は少ないことが望ましい。これらのことから、本研究では精米量を中間の 15g に設定した。

シャッター速度も画像解析値に影響し、品種間差の大きさに着目すると、速くなるほど Harris 特徴点と Eigen 特徴点は品種間差が小さくなる傾向が、反対に積算輝度値は品種間差が大きくなる傾向が認められた (図 4)。このように、画像解析の項目間で逆の傾向があったことから、本研究では Harris 特徴点、Eigen 特徴点、積算輝度値のすべての項目で品種間差がある程度の大きくなるよう、シャッター速度を中間の 1/15 秒とした。一方、品種間の有意差に着目すると、有意差が検出できた項目が最も多かったのは 1/8 秒で、L*値を除くすべての画像解析値の品種間差が有意となった。このことから、1/8 秒もシャッター速度として有望であると考えられた。

(b) 画像解析値のばらつき

本研究では 1 個のサンプルを連続撮影することで画像ごとのばらつきを、複数個のサンプルを解析することで炊飯したサンプルごとのばらつきを明らかにしようとした。その結果、ばらつきの指標である変動係数は、画像ごとの場合は Harris 特徴点、Eigen 特徴点で大きく、炊飯したサンプルごとの場合は Harris 特徴点、Eigen 特徴点、積算輝度値で大きかった。変動係数は標準偏差÷平均値で求められ、平均値の大小を無視して、集団の平均値まわりのデータのばらつきを、相対的に比較することができる (畠山、1995)。対象とする評価手法の変動係数が大きい場合には、信頼できる結果を得るために反復を多めにとるなどの対応が必要になる。値のばらつきを小さくできれば、撮影枚数や炊飯点数、精米量を減らし、調査の省力化・効率化につなげることが可能である。

画像ごとのばらつきについては、連続撮影した複数枚の画像の解析値を平均することで変動係数はやや小さくなった (表 3)。したがって、撮影枚数が多いほどデータの変動係数は小さくなるが、撮影と画像解析に要する時間は長くなる。本研究では 1 個のカップにつき画像 20 枚を連続撮影することとしたが、これは使用したカメラで連続撮影を行う際、18 枚目頃からシャッターの間隔がゆっくりになり、20 枚ちょうどでシャッターボタンから指を離すことが容易だったためである。

炊飯したサンプルごとのばらつきについては、複数サンプルの解析値を平均すると変動係数はやや小さくなった (表 5)。本研究で用いた機材の場合、1 日に 4 回の炊飯が可能であり、1 回のとう精で 4 個分の精米が得られることから、作業効率を考慮して、1 サンプルあたり 4 個炊飯することとした。

画像ごとのばらつきの要因としては、連続撮影した画像の明るさにむらがあることから、シャッター速度の微妙なブレ、マクロリングライトの高速点滅に伴うフリッカー現象の影響が考えられた。また、画像を JPEG 形式で保存したため、圧縮に伴うノイズの影響も考えられた。炊飯したサンプルごとのばらつきの要因としては、炊飯米表面の凹凸の程度の違いや、炊き方のむらなどが影響していると考えられた。炊飯器で調理し、本研究とは別機種のカメラを使用した町田ら (2017) と変動係数を比較すると、Harris 特徴点および Eigen 特徴点の変動係数は、町田らよりも本研究の方が小さいか同等で、b*値については本研究の方がかなり小さかった (表 9)。このように、異なる機材を用いても Harris 特徴点と Eigen 特徴点のばらつきが大きいことから、このばらつきは本手法の測定原理上、不可避のものと考えられた。

表9 画像解析値の変動係数の比較

比較元	品種	n	Harris特徴点			Eigen特徴点			b*値		
			平均値	SD	CV	平均値	SD	CV	平均値	SD	CV
本研究	コシヒカリ	36	91	23	25%	666	80	12%	12.2	0.2	2%
町田ら(2017)	コシヒカリ	9	798	249	31%	3,442	675	20%	0.08	0.15	188%
	日本晴	5	495	230	46%	2,465	347	14%	0.49	0.25	51%

a) 変動係数CV=標準偏差SD÷平均値

b) 本研究と町田らとは、炊飯米の表面積や解析範囲の設定、撮影時の露出等が異なるため、画像解析値が大きく異なる。

(c) オートクレーブで炊飯した米飯の画像解析値と官能評価の関係

オートクレーブで炊飯した米飯のツヤは、ツヤの官能評価値と正の相関関係を持つ積算輝度値、Harris 特徴点および Eigen 特徴点で評価が可能で、白さは官能評価値と負の相関関係を持つ b*値で評価が可能であると考えられた (表 6、図 5)。町田ら (2017) も、ツヤは Harris 特徴点および Eigen 特徴点で、白さは b*値で評価が可能であるとしており、本研究の結果と一致した。また、柳原 (2000) は、ある閾値以上の輝度値をもつ部分の累積画素数によりツヤを評価できるとしており、本研究の積算輝度値がツヤと相関関係を示すという結果と一致した。

炊飯器で調理した米飯の食味官能評価におけるツヤおよび白さと、オートクレーブで炊飯した米飯の画像解析値との相関を検討したところ、ツヤについては積算輝度値、Harris 特徴点、Eigen 特徴点、b*値と、白さについては b*値と有意な相関関係が認められた (表 7)。このことから、オートクレーブで炊飯した米飯の画像解析値から、炊飯器で調理した米飯のツヤと白さの傾向を推定できると考えられた。ただし、相関係数はあまり高くないことから、正確な推定は困難であることに留意が必要である。

本研究では、食味官能評価のツヤと、画像解析値で黄みを示す b*値との間に有意な相関関係が認められた。町田ら (2017) は官能評価でツヤと白さが正の相関関係を示すことを確認しており、その理由として、炊飯米のツヤと白さが共通の遺伝子により制御され連動している可能性や、ツヤと白さは遺伝的には無関係であるが、ヒトの視覚では白いものほどツヤがあるように見える可能性を指摘している。本研究でもそういったことが関与している可能性が考えられた。

4. 2 食味官能評価によるツヤ、白さの評価値と諸形質との関係

炊飯器で調理した米飯の食味官能評価におけるツヤおよび白さの値と、玄米品質など諸形質との関係を検討した。

食味官能評価の中では、ツヤ、白さともに総合評価と正の相関関係を示したことから、炊飯米のツヤと白さを高めることは、総合評価の向上につながると考えられた (表 7)。一方、白さと味の間に正の相関関係が認められたが、偏相関係数から、白さと味の相関は疑似相関であり、実際には相関はなく、無関係であると考えられた。

玄米品質や食味値との関係については、ツヤは一定の傾向は見られなかったが、白さは玄米品質が高いものほど炊飯米の白さも優れる傾向が認められた (図 7)。水稻の品種育成においては玄米品質による選抜が頻繁に行われるが、これには炊飯米の白さも向上させる効果が期待できると考えられた。

味度値とツヤおよび白さは、単年度の結果ではあるがそれぞれ正の相関関係を示し、特にツヤと味度値の相関係数は、2021 年に調査したすべての項目の中で最も大きかった (表 7、図 8)。味度値は、炊飯米表面の保水膜の厚さを測定しているとされ、ツヤとの関係が指摘されている (長沢ら、1994)。また、整粒歩合が高くなるほど味度値が高くなるとの報告 (水多ら、1996 ; 小林ら、1999) もある。このことから、水稻の育種において、味度値や玄米品質を指標とした選抜により、炊飯米のツヤや白さを高める可能性が考えられた。

4. 3 ツヤと白さの QTL の検出

(a) 連鎖地図

本研究で用いた ‘アキヒカリ’ / ‘コシヒカリ’ の DHLs は、Takeuchi et al. (2001) により既に連鎖地図が作成され、多型情報も公開されている。しかし、これらの連鎖地図に用いられているのは RFLP マーカーおよび

RAPD マーカーが大半であり、マーカーの情報が古い。そこで本研究では、ゲノムワイドな SSR マーカーセットを用い、連鎖地図の再作成を試みた。しかし、SSR マーカー436 種のうち多型が得られたのは 42 種であり、その所在も偏りがあったことから、連鎖地図を一新することはできず、既知の多型情報に新規に取得した SSR マーカーの多型情報を加えて連鎖地図を作成した (図 10)。SSR マーカーの多型が少なかったのは、‘コシヒカリ’ と ‘アキヒカリ’ がどちらも日本稲で、遺伝的に比較的近縁であるためだと考えられた。SSR マーカーでは多型が少なかったことから、ツヤに関する画像解析値の QTL が多く検出された第 2 染色体では、SNPs による CAPS マーカーを作成して連鎖地図に組み込んだ。

(b) ツヤに関する画像解析値の QTL

ツヤと最も相関関係が高い積算輝度値の QTL は、第 2 染色体の CAPS マーカー NIAS_Os_aa02003577 および NIAS_Os_ac02000855 近傍で 3 年間検出され、‘コシヒカリ’ 型のアリルが積算輝度値を高める効果があり、これらの CAPS マーカーはツヤの DNA マーカーとして活用できる可能性があると考えられた (表 8、図 11)。田中ら (2006) は本研究と同じ DHLs を用いて、同じ染色体領域でツヤの官能評価値の QTL を検出しており、‘コシヒカリ’ 型のアリルがツヤを高める効果があったと報告している。このことから、本研究と田中らの検出した QTL は同一の可能性もある。さらに、田中らは同じ領域で、‘コシヒカリ’ 型のアリルが炊飯米の粘りを高める QTL を検出しており、ツヤと粘りの QTL が関係する可能性を指摘している。したがって、NIAS_Os_aa02003577 および NIAS_Os_ac02000855 を用いた選抜を行った場合、ツヤと粘りの両方を高める効果が期待できると考えられた。

第 6 染色体の HvSSR6-26 近傍では、2021 年に Harris 特徴点と Eigen 特徴点の QTL が検出された。田中ら (2006) は、同じ染色体領域で ‘コシヒカリ’ 型のアリルが炊飯米外観と粘りを高める QTL を検出した。大槻ら (1997) は ‘アキヒカリ’ と ‘密陽 23 号’ の交雑後代において、同じ染色体領域にツヤ、粘りおよび滑らかさの QTL を検出した。これらのことから、本研究において検出した QTL は、これらの QTL と同一の可能性もある。一方、同じ第 6 染色体の V19 近傍では ‘コシヒカリ’ 型のアリルが晩生化に作用する QTL が 4 年間検出された。田中らは、出穂が遅くなるとアミロース含量の増加を生じ、米の粘りが減少する (Asaoka et al., 1989) のに対し、第 6 染色体の QTL は、‘コシヒカリ’ 型のアリルが出穂を遅らせ、粘りを高めるものであったことから、出穂と、粘りおよび炊飯米外観の QTL は異なる遺伝子座であると推定した。このことから、本研究でも、第 6 染色体の Harris 特徴点および Eigen 特徴点と、出穂期の QTL は異なる遺伝子座であると考えられた。

第 10 染色体の HvSSR10-45 近傍では、2018 年に Eigen 特徴点と積算輝度値の QTL が検出された。田中ら (2006) も、そのやや近くの S14155 近傍でツヤの QTL を検出しており、本領域にツヤに関する遺伝子が存在する可能性が考えられた。第 7 染色体では、2021 年に積算輝度値の QTL が検出されたが、田中らは第 7 染色体では QTL を検出していないことから、新規の QTL であると考えられた。

(c) 白さ (色み) に関する画像解析値の QTL

2021 年に、第 6 染色体の HvSSR6-19 近傍では ‘コシヒカリ’ 型のアリルが b^* 値を減少させ、炊飯米の白さを高める効果を持つ QTL と、‘コシヒカリ’ 型のアリルが玄米品質を高める QTL が検出された (表 8、図 11)。本研究において、玄米品質が優れるほど食味官能評価の白さも優れる傾向が示されたことから、本 QTL は玄米品質を高め、それにより炊飯米の白さも高める効果が期待できると考えられた。

2018 年に、第 3 染色体の C668 近傍、第 7 染色体の HvSSR7-37 近傍、第 9 染色体の HvSSR9-56 近傍で、‘コシヒカリ’ 型のアリルが b^* 値を減少させ、炊飯米の白さを高める QTL が検出され、また第 3 染色体では L^* の QTL が、第 2 染色体では a^* 値の QTL が検出された。このように 2018 年には白さに関する QTL が 5 個検出されたのに対し、2019 年から 2021 年には 0~1 個の QTL しか検出されなかった。この QTL の検出年次の偏りの原因として考えられるのは、通常、サンプルは収穫から 1 年以内に炊飯米外観の調査を行ったのに対し、2018 年のサンプルのみ収穫後の約 1 年半後に炊飯米外観の調査を行ったことである。古米化が進むと米飯の黄み (b^* 値) の度合いが強くなることが報告されている (貝沼, 1979) ことから、2018 年に検出された b^* 値の QTL は、‘コシヒカリ’ 型のアリルが古米化を抑制し、炊飯米の色味の変化を抑える働きを持つ可能性が考えられた。

‘コシヒカリ’ と ‘アキヒカリ’ の炊飯米の白さには、目視でも明確な差異があり、DHLs においても、 L^* 値、 a^* 値、 b^* 値には系統間差があった。それにも関わらず、白さに関する QTL はツヤに関する QTL に比べ検出数が

少なかった。この理由として、今回作成した連鎖地図の染色体全体に対するカバー率は約 60%であり (Takeuchi et al., 2001)、白さに関する QTL が連鎖地図の外に存在する可能性が考えられた。

4. 4 画像解析によるツヤと白さの評価方法

本研究では、オートクレーブによる少量炊飯と、町田ら (2017) の画像解析とを組み合わせ、ツヤと白さを評価するための条件設定を行った。本手法により取得した画像解析値は官能評価と有意な相関関係があり、DHLs の解析により QTL を検出することができた。この一部は、先行研究における官能評価での炊飯米のツヤや外観の QTL と同一であると考えられた。これらのことから、本手法による炊飯米のツヤと白さの評価は可能であると考えられた。

本手法は専用の測定機器を必要とせず、ツヤと白さの両方を客観的に評価できる。本研究で使用した機材の場合、1 回の炊飯あたり 42 個のカップ、1 日あたり 168 個のカップの測定が可能である (図 12)。1 サンプルを 4 反復、すなわち 4 個のカップで炊飯し測定するとすれば、1 日に 42 サンプルを評価できることになり、これは炊飯器を使った通常の食味官能評価に比べて非常に効率的である。水稻育種における系統選抜や、QTL 解析のように大量の材料を扱う場面では、本手法は重要なツールになると考えられた。

水稻の育種において炊飯米のツヤは、良食味米を間接的に評価する手法として重視されてきた。本手法で炊飯米のツヤと白さを評価する場合、1 個のカップにつき精米 15g、4 反復であれば精米 60g が必要となり、本県的水稻育種においてこの量の精米が得られるのは F₅ 世代の単独系統以降である。一方、オートクレーブでの炊飯による米飯のツヤの官能評価では、少ないものでは精米 4g で評価をしている事例 (山口ら、1997) もある。本研究で炊飯に用いたプリンカップは、できるだけ多くの米粒が写真に入るよう底面積のやや大きいものを使用した。50mL のトルビーカーなど底面積のより小さい容器を使用すれば、必要な精米量を減らせる可能性がある。

本手法の問題点として、ツヤに関する画像解析値のばらつきがやや大きいことが挙げられる。本研究では、良食味品種である‘コシヒカリ’と、食味が不良なことで知られる‘アキヒカリ’のツヤの品種間差は検出することができたが、どの程度の差までを安定して検出できるのかは検討が必要である。

時刻	1回目	2回目	3回目	4回目
8:00				
9:00	洗米・浸漬 予熱			
10:00	加熱	洗米・浸漬		
11:00	放冷 照明 撮影	加熱		
12:00	片付け	放冷 撮影 片付け		
13:00			洗米・浸漬 予熱	
14:00			加熱	洗米・浸漬
15:00			放冷 照明 撮影	加熱
16:00			片付け	放冷 撮影 片付け
17:00				

図 12 オートクレーブによる少量炊飯の撮影スケジュールの例
1 回あたり 42 個のカップ、1 日あたり 42 サンプル × 4 反復 (個) の測定が可能。必要人員は 2 名。

謝辞

‘アキヒカリ’ / ‘コシヒカリ’ の倍加半数体系系統群は、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構次世代作物研究開発センター (現作物研究部門) より分譲いただいた。

本研究の実施にあたり、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構作物研究部門オーダーメイド育種基盤グループの田中淳一博士には、DNA の分析技術をご指導いただいた。福井県農業試験場品種開発研究部には、本研究のもととなった画像解析技術についてご教授いただいた。山形県農業総合研究センター水田農業研究所水稻部、地方独立行政法人北海道立総合研究機構農業研究本部上川農業試験場研究部水稻グループおよび中

中央農業試験場加工利用部農産品質グループには、視察研修を受け入れていただき、炊飯米のツヤと白さの評価手法についてご教授いただいた。そして、茨城県農業総合センター農業研究所の現業職員および会計年度任用職員の皆さんには、本研究の遂行にあたり多大なる協力をいただいた。最後に、茨城県農業総合センター生物工学研究所普通作育種研究室の江幡加代子氏、後藤三枝子氏、鈴木裕紀氏、赤上幸広氏には、炊飯米の画像解析およびDNAの分析にあたり多大なる協力をいただいた。ここに記して厚く御礼申し上げる。

付記

本研究は、文部科学省特別電源所在県科学技術振興事業補助金の助成を受けて実施した。本研究の一部は、日本育種学会第139回、141回講演会において発表した。

引用文献

- 秋田和則・深沢芳隆・岡本和之（2020）光沢計による炊飯米の光沢測定の試み．育種学研究 22（別1）：153（講要）．
- Asaoka, M, K Okuno, K Hara, M Oba and H Fuwa (1989) Effects of environmental temperature at the early developmental stage of seeds on the characteristics of endosperm starches of rice (*Oryza sativa* L.), Journal of the Japanese Society of Starch Science 36:1-8.
- 東 聡志・佐々木行雄・石崎和彦・近藤 敬・星 豊一（1994）新潟県における水稻品種の品質・食味の向上 第7報 効率的食味選抜のための各種測定法の比較．北陸作物学会報 29：35-36.
- Broman KW, H Wu, S Sen, GA Churchill (2003) R/qtl: QTL mapping in experimental crosses, Bioinformatics 19:889-890.
- 中場 勝・後藤清三・谷藤雄二・佐藤晨一・桜田 博・菊地栄一（1987）水稻の良食味系統の選抜効率化．日本作物学会東北支部会報 30：42-43.
- 中場 勝・結城和博・佐野智義・後藤 元・渡部幸一郎・森谷真紀子・佐藤久実・水戸部昌樹・齋藤信弥・阿部洋平・齋藤 寛・本間猛俊・齋藤久美・鈴木隆由輝・渡部貴美子（2016）水稻新品種「山形112号」の育成．山形県農業研究報告 8：11-43.
- 藤巻 宏・櫛淵欽也（1975）炊飯米の光沢による食味選抜の可能性．農業及び園芸 50：253-257.
- 福井清美・小林 陽（1996）食味官能検査．イネ育種マニュアル（山本隆一・堀末 登・池田良一共編）．養賢堂、東京、pp.74-76.
- Goto H, N Asanome, K Suzuki, T Sano, H Saito, Y Abe, M Chuba and T Nishio (2014) Objective evaluation of whiteness of cooked rice and rice cakes using a portable spectrophotometer, Breeding Science 63:489-494.
- 畠山英夫（1995）分布の取り扱いと変動係数について．獣医情報科学雑誌 1995：1-7.
- International Rice Genome Sequencing Project (IRGSP) (2005) The map-based sequence of the rice genome, Nature 436:793-800.
- 崔 仁録・星 豊一（1998）新潟県における水稻品種の品質・食味の向上：第1報炊飯光沢による食味の簡易検定法の検討．北陸作物学会報 23：25-27.
- 貝沼やす子（1979）古米の搗精歩合が炊飯に及ぼす影響について．家政学雑誌 30：672-678.
- 川上 修・長澤裕滋（1992）食味関連成分および物理的食味測定値と米食味の関係．北陸作物学会報 27：8-9.
- 小林麻子・町田芳恵・片岡知守・田村克徳・富田 桂（2015）炊飯米の白さに関する遺伝的要因の解析．育種学研究 17（別2）：74（講要）．
- 小林麻子・富田 桂・林 猛・田野井 真・町田芳恵・中岡史裕・酒井 究・渡辺和夫・両角悠作・清水豊弘（2018）良食味水稻新品種「いちほまれ」の育成．育種学研究 20：138-143.
- 小林 渡・舘山元春・三上泰正（1999）良食味系統選抜における味度メーターの利用（1）．東北農業研究 52：31-32.
- Margarido G R A, A P Souza and A A F Garcia (2007) OneMap: software for genetic mapping in outcrossing species, Hereditas 144:78-79.
- 松永和久・佐々木武彦・鈴木啓司（1975）水稻品種の品質食味改善に関する育種的研究 II 米の食味簡易検定法—炊飯米の光沢と粘りの関係について．日本作物学会東北支部会報 17：18-19.
- 町田芳恵・林 篤司・相良直哉・七夕高也・富田 桂・田野井 真・小林麻子（2017）画像解析による炊飯米の

- 外観の評価. 育種学研究 19 : 103-108.
- 水多昭雄・佐野幸一・及川 勉・高橋浩明 (1996) 味度メーターによる食味評価について. 日本作物学会東北支部会報 39 : 63-64.
- 長沢裕滋・川上 修・大源正明 (1994) 食味関連成分および物理的食味測定値と米食味の関係 : 第 4 報味度値による選抜および F1 の味度値. 北陸作物学会報 29 : 32-34.
- 小木芳恵・七夕高也・富田 桂・小林麻子 (2014) スキャナと画像解析ソフトを用いた炊飯米の白さの測定法. 育種学研究 16 : 115-120.
- 大槻 寛・清水 恒・上原泰樹・八木忠之・小川紀男・芦川育夫・清水博之・田村克徳・太田久稔・黒田昌治・福田善通 (1997) イネの食味に関する QTL 解析. 育種学雑誌 47 (別 2) : 174 (講要).
- 尾崎洋人・佐藤 毅・沼尾吉則・吉村 徹・木下雅文・品田博史・粕谷雅志・木内 均・前川利彦・平山裕治・佐々木忠雄・相川宗巖・菊地治己・丹野 久・田中一生・新橋 登 (2018) 水稻新品種「ゆめびりか」の育成. 北海道立総合研究機構農業試験場集報 102 : 1-13.
- R Core Team (2020) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/> (2022 年 7 月 1 日アクセス) .
- Sakai H, S S Lee, T Tanaka, H Numa, J Kim, Y Kawahara, H Wakimoto, C Yang, M Iwamoto, T Abe, Y Yamada, A Muto, H Inokuchi, T Ikemura, T Matsumoto, T Sasaki and T Itoh (2013) Rice Annotation Project Database (RAP-DB): An integrative and interactive database for rice genomics, *Plant & Cell Physiology* 54:e6.
- 重宗明子・笹原英樹・後藤明俊・三浦清之・吉田智彦 (2007) 水稻品種育成地における食味官能試験の精度の検討. 日本作物学会紀事 76 : 306-310.
- Shinada H, T Yamamoto, E Yamamoto, K Hori, Y Hirayama, T Maekawa, H Kiuchi, H Sato and T Sato (2015) Quantitative trait loci for whiteness of cooked rice detected in improved rice cultivars in Hokkaido, *Breeding Science* 65:201-207.
- Singh H, R K Deshmukh, A Singh, A K Singh, K Gaikwad, T R Sharma, T Mohapatra and N K Singh (2010) Highly variable SSR markers suitable for rice genotyping using agarose gels, *Molecular Breeding* 25:359-364.
- 須藤 充 (1996) 炊飯光沢検定. イネ育種マニュアル (山本隆一・堀末 登・池田良一共編). 養賢堂、東京、pp. 76-78.
- Takeuchi Y, H Hayasaka, B Chiba, I Tanaka, T Shimano, M Yamagishi, K Nagano, T Sasaki and M Yano (2001) Mapping quantitative trait loci controlling cool-temperature tolerance at booting stage in temperate japonica rice, *Breeding Science* 51:191-197.
- 田中 勲・小林麻子・富田 桂・竹内善信・山岸真澄・矢野昌裕・佐々木卓治・堀内久満 (2006) イネ日本型品種における食味の粘りおよび外観に關与する量的形質遺伝子座の検出. 育種学研究 8 : 39-47.
- 田中淳一・鈴木啓太郎・堀清 純 (2018) 染色体断片置換系統群を用いた「タカナリ」と「コシヒカリ」の食味の違いに關与するゲノム領域の推定. 育種学研究 20 (別 1) : 71 (講要).
- 柳原哲司 (2000) 画像解析による炊飯米の外観評価. 日本食品科学工学会誌 47 : 516-522.
- 山口誠之・小綿寿志・春原嘉弘・東 正昭 (1997) イネの良食味、いもち病抵抗性系統の選抜. 東北農業試験場研究報告 92 : 35-42.
- Yonemaru J, T Yamamoto, S Fukuoka, Y Uga, K Hori and M Yano (2010) Q-TARO: QTL Annotation Rice Online Database, *Rice* 3:194-203.
- 結城和博・佐藤久実・中場 勝・櫻田 博・佐野智義・本間猛俊・渡部幸一郎・水戸部昌樹・宮野 斉・中場理恵子・横尾信彦・森谷真紀子・後藤 元・齋藤信弥・齋藤久美 (2010) 水稻新品種「つや姫」(山形 97 号) の育成. 山形県農業研究報告 2 : 19-40.

Evaluation of Glossiness and Whiteness of Cooked Rice by Image Analysis and Detection of Quantitative Trait Loci

**Kazunori AKITA¹, Haruka ISHIKAWA, Masakata HIRAYAMA,
Kazuyuki OKAMOTO and Katsunori OKANO**

Summary

In this study, we carried out to develop an image analysis method to evaluate the glossiness and whiteness of cooked rice with an autoclave and detect quantitative trait loci (QTLs) for these appearance traits with this method.

The number of feature points and integrated luminance value of the images were significantly correlated to the values of glossiness of cooked rice evaluated by sensory tests. Also, b* values of the images were significantly correlated to the values of whiteness. Evaluated whiteness values of cooked rice by sensory tests were correlated to the quality of appearance.

Detection of QTLs for glossiness and whiteness was performed using doubled haploid lines derived from crosses between two japonica rice cultivars, 'Koshihikari' and 'Akihikari'. Glossiness and whiteness were estimated based on the value obtained by image analysis. Putative QTLs for glossiness based on image analysis were detected on chromosome 2, 6, 7 and 10. 'Koshihikari' alleles increased the value of glossiness at these QTLs. Putative QTLs for b* value correlated with whiteness based on image analysis were detected on chromosome 3, 6, 7 and 9. 'Koshihikari' alleles increased the value of whiteness at these QTLs.

Keywords: *Oryza sativa* L., cooked rice, glossiness, whiteness, image analysis, QTL

¹ Address: Plant Biotechnology Institute, Ibaraki Agricultural Center, 3165-1 Ago, Kasama, Ibaraki 319-0292, Japan

キク矮化ウイルス抵抗性小ギク品種の選抜技術の開発および系統育成

栗原冴子、平井弓子¹⁾、喜多晃一¹⁾、市毛秀則²⁾、石井亮二³⁾、郷内 武

(茨城県農業総合センター生物工学研究所)

要約

キク矮化ウイルス (CSVd) はキク矮化病を引き起こし、本県ではその被害が増加傾向にある。CSVd への抵抗性には品種間差があり、根本的な解決のためには抵抗性品種の育成が重要である。そこで、選抜の過程で必要となる CSVd 感染の有無を確認する効率的な選抜方法の確立と、抵抗性育種素材の選抜および優良系統の育成を行った。選抜技術として開発した、培養物を用いた試験管接木接種法は、定法のポット接木接種法と比べて同等の接種効率で、かつ省スペースで多サンプルの取り扱いが可能となり、時期を選ばずに実施できる。さらに、爪楊枝法を用いた direct RT-PCR 検定に用いる植物体の部位は、上位葉および茎が適しており、接木部分の固定にシリコンチューブを用いることで接種効率が高くなった。また、当所の保存品種および現地収集品種 131 品種から育種素材となる抵抗性品種を選抜するとともに、それらを親として優良な抵抗性系統である 8 月咲き紫桃色の '18c27' を育成した。

キーワード：交雑育種、小ギク、品種、キク矮化ウイルス (CSVd)、抵抗性

1. はじめに

キク (*Chrysanthemum morifolium* Ramat.) は、全国各地で生産されており、我が国の切り花類の中で出荷量・作付面積ともに第 1 位 (農林水産省大臣官房統計部生産流通消費統計課園芸統計班、2021) の重要品目である。茨城県では、特に小ギクの生産割合が高く、2019 年には年間出荷量が 2140 万本、栽培面積が 101 ha であり、県内の切り花キク出荷量のうち 70% を占める (農林水産省大臣官房統計部生産流通消費統計課園芸統計班、2020)。本県の小ギク生産は、7 月の東京盆、8 月の旧盆、9 月の彼岸の物日需要向けが主体であり、東京都中央卸売市場の小ギク出荷数量 (2020 年産) のうち、6 月から 10 月にかけては茨城県産が約 40% を占め、全国第 1 位である (茨城県営業戦略部東京渉外局県産品販売促進チーム、2021)。

キク矮化ウイルス (*Chrysanthemum stunt viroid*、以下「CSVd」) は、キク矮化病を引き起こし、本県では 2005 年に主要な産地において矮化病が初めて確認されて以来、被害が増加傾向にあり、その対策が問題となっている。対策としては、感染株の抜き取りや作業器具の消毒があげられる (愛知県農業総合試験場園芸研究部・花き研究室、2013) が、根本的な解決のためには抵抗性品種の育成が必要である。

これまでの研究から、輪ギクおよびスプレーギクにおいて CSVd に対する抵抗性には品種間差異があることが報告されている (Omori *et al.*, 2009 ; Nabeshima *et al.*, 2012 ; 長谷川ら、2016) が、小ギクにおいては、効率的な抵抗性品種のスクリーニング方法が未だに確立されていない。

抵抗性系統の選抜には、検定対象株の穂を保毒株に接木接種し、穂への CSVd の移行および増殖を検定する必要がある。接種法としては定法であるポット接木接種法が用いられるが、台木の養成を待つため実施時期に限られること、多サンプルの処理にはスペースを要することが課題である。そこで本研究では、ポット接木接種法と同等の接種効率で、通年実施可能で、さらに省スペースで多サンプルの処理を可能とするため、培養物を用いた新たな試験管内接木接種法について検討した。さらに育種素材となる抵抗性品種を選抜するとともに、それらを親として優良な抵抗性系統を作出することを試みた。

2. 材料および方法

- 1) 現 茨城県農林水産部産地振興課
- 2) 現 茨城県農業総合センター園芸研究所
- 3) 現 茨城県農業総合センター企画情報部専門技術指導員室

2. 1 効率的な CSVd 抵抗性検定方法の確立

CSVd 感受性小ギク品種 ‘ホタル’ を検定品種（穂木）として、CSVd に罹病した ‘千都の輝’ を台木として供試した。

ポット接木接種法では、台木は3号ポリポット（直径9cm）に定植し養成した。穂木は基部をくさび状にし、葉を除去して約2cmに調整後、台木の上部5mmの切れ込み部に割り接ぎした。接木部分はパラフィルムで固定した。

試験管内接木接種法では、台木は無菌培養で維持した培養物の基部を約2cmに調整した。穂木は培養物をポット接木接種法と同様に調整し、台木の上部5mmの切れ込み部に割り接ぎした。接木部分はアルミ箔又はシリコンチューブで固定し、接木した植物体をMS培地（pH5.8）に置床した。

接木後は20℃・16時間日長の人工気象室または植物培養室で養成した。接木から1、2、3、4、5週間後および2カ月後に、上位葉、茎、下位葉をサンプリングし、爪楊枝法を用いた direct RT-PCR 検定（Hosokawa *et al.*, 2006）により検定品種における CSVd 感染の有無を調査した。また、それぞれの方法の接種効率を比較するために、作業効率（1時間当たりの接木本数）、接木活着率、面積効率（面積当たりの取り扱い個体数）を調査した。

2. 2 交雑親に用いる CSVd 抵抗性品種のスクリーニング

当所の保存品種・系統および県内の小ギク産地より収集した計131品種・系統について、CSVd に罹病した ‘千都の輝’ を台木としたポット接木接種法および試験管内接木接種法により CSVd を接種した後、爪楊枝法を用いた direct RT-PCR 検定により感染の有無を検定した。抵抗性品種の指標として ‘岡山平和’（Matsushita *et al.*, 2012）を用いた。ポット接木接種法では接木1か月後および3か月後、試験管内接木接種法では接木20日後および30日後において CSVd が検出されない品種・系統を高度抵抗性、検出頻度が20%以下の品種・系統を中度抵抗性と判定した。direct RT-PCR は One Step SYBR® PrimeScript™ PLUS RT-PCR Kit（タカラバイオ）を用いたリアルタイム RT-PCR で、上位葉を3回突き刺した有頭シガ昆虫針6号を反応液に1分間浸漬したものをテンプレートとし、42℃（5分）→95℃（10秒）→（95℃（5秒）→60℃（30秒））×40サイクル→95℃（15秒）→60℃（1分）で行った。プライマーの塩基配列は表1のとおり（松下ら、2006）。

表1 direct RT-PCR に用いたプライマーと塩基配列（松下ら、2006）

プライマー名	塩基配列
CSVd-Real 1	5'- tccgacgagatcgcggc -3'
CSVd-Real 2	5'- gaagaccgggctagggcaga -3'

2. 3 育成集団からの CSVd 抵抗性小ギク系統の選抜

上記の方法でスクリーニングした CSVd 高度抵抗性品種（CSVd-R1、R2、R3）を交配親として交雑を行い、得られた実生個体群を圃場に展開して、草丈、花色、葉色および草姿に優れるものを一次選抜した。一次選抜した系統について、茨城県花き栽培基準に準じた栽培管理を行い、各系統の開花時期、切花長、草姿等の特性を調査した。栽培特性および切り花形質に優れる系統について、CSVd に罹病した ‘千都の輝’ を台木、検定対象系統を穂木として、ポット接木接種法により CSVd の接種を行った。接種3か月後に最上位展開葉を採取し、爪楊枝法を用いた direct RT-PCR 検定によりスクリーニング時と同様に CSVd 感染の有無を確認した。さらに、CSVd を接種した各系統を台木（接種源）から切り離れた後の植物体より、RNeasy Plant Mini Kit（QIAGEN）を用いて RNA を抽出し、One Step SYBR® PrimeScript™ PLUS RT-PCR Kit（タカラバイオ）を用いたリアルタイム RT-PCR で CSVd 感染の有無を確認した。

3. 結果

3. 1 効率的な CSVd 抵抗性検定方法の確立

定法であるポット接木接種法（図1a）において上位葉または茎では接種後3週間から CSVd が安定して検出されたのに対し、培養物を用いた試験管内接木接種法（図1b）は、安定して検出されるまでに4週間を要した（図2）。爪楊枝法を用いた direct RT-PCR 検定に用いる部位は両接種法ともに上位葉および茎が適しており、

下位葉は長期間の接種によっても安定した検出が認められず、検定には適さなかった（図2）。

また、それぞれの接種法の効率を調査した結果、1時間当たりの接木本数（作業効率）はポット接木接種法が29.0本であったのに対し、接木部のアルミ箔固定による試験管内接木接種法が9.0本と少なかったが、シリコンチューブ固定による試験管内接木接種法が20.6本とアルミ箔固定に比べて効率が向上した。接木活着率はポット接木接種法が97.6%と最も優れ、シリコンチューブを使用した試験管内接木接種法が87.5%、アルミ箔を使用した試験管内接木接種法が73.3%であった。接木後の占有面積を示す面積効率は試験管内接木接種法が771.6本/m²と、ポット接木接種法の123.5本/m²に比べて約6倍のサンプルを取り扱い可能であった（表2）。

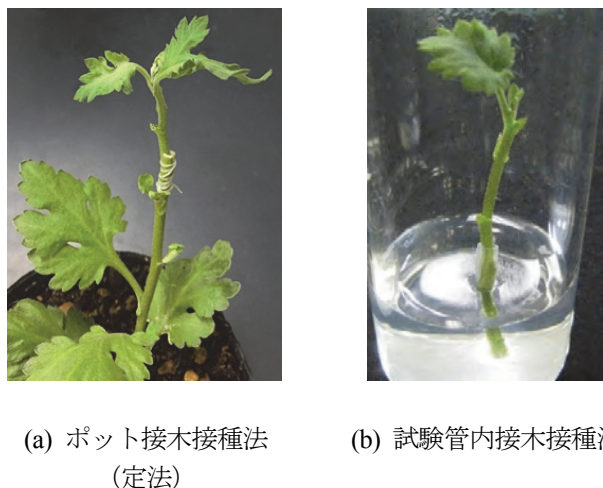


図1 CSVd 接木接種法の様子

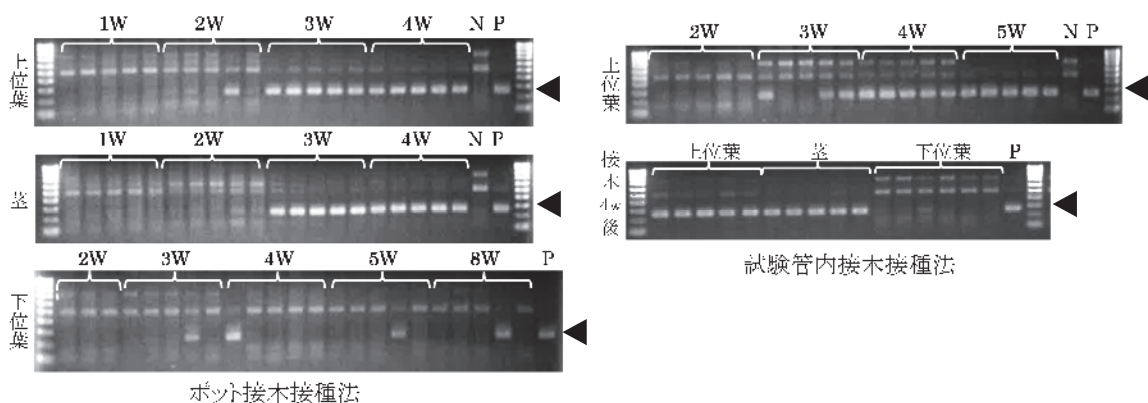


図2 ポット接木接種法および試験管内接木接種法による CSVd 検出結果（2015年）

1W～8W：接木1～8週間後、N：健全株、P：罹病株。

表2 接木接種法の違いによる作業効率等の比較（2015年）

接木種類	調査項目	作業効率 (本/時間)	接木活着率 (%)	面積効率 (本/m ²)
ポット接木接種		29.0	97.6	123.5
試験管内接木接種（アルミ箔）		9.0	73.3	771.6
試験管内接木接種（シリコンチューブ）		20.6	87.5	771.6

3. 2 交雑親に用いる CSVd 抵抗性品種のスクリーニング

当所の保存品種・系統および現地収集品種の計 131 品種・系統について、前述の接種法および検定法により、CSVd 抵抗性品種のスクリーニングを実施した。

ポット接木法では 129 品種を供試し、91 品種が接木接種 1 か月後に検出頻度が 100%を示し、CSVd に感受性を示した（データ省略）。表 3 に接木接種 1 か月後に検出頻度が 100%未満であった 38 品種のうち 28 品種を示す。‘岡山平和’をポット接木接種法における抵抗性品種の指標として抵抗性を判定した結果、‘CSVd-R3’、‘CSVd-R1’、‘CSVd-R2’が‘岡山平和’と同等以上の高度抵抗性を示した。

試験管内接木接種法では、ポット接木接種法に供試した一部の品種に新たに 2 品種を加えた計 18 品種を供試した（表 4）。3 品種が接木接種 20 日後に検出頻度が 100%を示し、CSVd に感受性を示した。抵抗性品種の‘岡山平和’における接種後 20 日および 30 日後の検出頻度はいずれも 0%であった。供試品種・系統における検定の結果、‘CSVd-R3’が高度抵抗性、‘CSVd-R4’、‘CSVd-R5’が中度抵抗性を示した。また、‘CSVd-R3’はポット接木接種法および試験管内接木接種法のいずれにおいても高度抵抗性を示した一方、‘品種 L’、‘品種 Z’はポット接木接種法と試験管内接木接種法とで CSVd に対する反応性が異なった。

以上の結果から、‘CSVd-R1’（6 月咲き白色）、‘CSVd-R2’（11～12 月咲き黄色）、‘CSVd-R3’（8 月咲き赤色）を高度抵抗性品種、‘CSVd-R4’（7 月咲き赤色）、‘CSVd-R5’（8 月咲き赤色）を中度抵抗性品種とした。

3. 3 育成集団からの CSVd 抵抗性の小ギク系統の選抜

高度抵抗性と判定した ‘CSVd-R1’、‘CSVd-R2’ および ‘CSVd-R3’ の 3 品種を片親として交雑し、13 組合せ 1,673 粒の種子を得た（表 5）。これらの実生について圃場における特性調査により開花期、草姿および花色に優れる 10 系統を一次選抜した（表 5、6）。これらの一次選抜系統について CSVd 抵抗性検定を行った結果、強接種圧条件においても CSVd 検出個体数が供試個体数の半数以下と抵抗性を示し、切花長や草姿が優れ、開花時期が需要期に合う 8 月咲き紫桃色系統の ‘18c27’（図 3、4）を有望系統として選抜した（表 7）。なお、紫桃色は生産や流通の現場では赤色として扱われる色である。

表3 ポット接木接種によるCSVd 抵抗性品種候補の選定

品種・ 系統名	2016年				2017年				抵抗性 評価
	接種1か月後		接種3か月後		接種1か月後		接種3か月後		
	検出数 /供試数	検出頻度 (%)	検出数 /供試数	検出頻度 (%)	検出数 /供試数	検出頻度 (%)	検出数 /供試数	検出頻度 (%)	
CSVd-R3	0/5	0	0/5	0	—	—	—	—	高度抵抗性
品種A	4/5	80	0/5	0	—	—	—	—	
品種B	2/5	40	2/5	40	0/5	0	2/8	25	
品種C	3/7	43	2/4	50	2/4	50	1/4	25	
品種D	2/4	50	3/5	60	5/5	100	—	—	
品種E	4/5	80	4/5	80	6/10	60	0/5	0	
品種F	0/5	0	5/5	100	5/5	100	—	—	
品種G	1/4	25	3/3	100	—	—	—	—	
品種H	2/5	40	5/5	100	—	—	—	—	
品種I	3/5	60	5/5	100	6/6	100	—	—	
品種J	3/5	60	5/5	100	—	—	—	—	
品種K	3/5	60	5/5	100	—	—	—	—	
品種L	3/5	60	5/5	100	9/10	90	4/5	75	
品種M	3/5	60	5/5	100	—	—	—	—	
品種N	3/5	60	5/5	100	—	—	—	—	
品種O	4/5	80	5/5	100	1/5	20	1/4	25	
品種P	5/6	83	5/5	100	—	—	—	—	
品種X	3/5	60	4/5	80	0/5	0	0/5	0	
品種Z	3/4	75	5/5	100	—	—	—	—	
品種Q	—	—	—	—	3/4	75	—	—	
CSVd-R1	—	—	—	—	0/4	0	0/4	0	高度抵抗性
品種R	—	—	—	—	4/5	80	—	—	
品種S	—	—	—	—	3/4	75	2/2	100	
CSVd-R2	—	—	—	—	0/5	0	0/4	0	高度抵抗性
品種T	—	—	—	—	3/5	60	6/6	100	
品種U	—	—	—	—	3/4	75	—	—	
品種V	—	—	—	—	3/4	75	4/4	100	
品種W	—	—	—	—	2/4	50	3/4	75	
岡山平和	0/5	0	1/5	20	0/3	0	0/7	0	

表4 試験管内接木接種による CSVd 抵抗性品種候補の選定 (2017 年)

品種・ 系統名	接種 20 日後			接種 30 日後			抵抗性評価
	検出数 /供試数	検出頻度 (%)	検出濃度 ^{a)}	検出数 /供試数	検出頻度 (%)	検出濃度 ^{a)}	
CSVd-R3	0/5	0	—	0/5	0	—	高度抵抗性
CSVd-R4	1/5	20	極低	0/5	0	—	中度抵抗性
CSVd-R5	0/5	0	—	1/5	20	低	中度抵抗性
品種 L	0/5	0	—	0/5	0	—	b)
品種 A	6/6	100	高	6/6	100	高	
品種 B	2/5	40	低・中	3/5	60	中・高	
品種 E	0/5	0	—	5/5	100	高	
品種 F	3/5	60	低・中	4/5	80	高	
品種 G	0/2	0	—	2/2	100	中	
品種 H	0/5	0	—	5/5	100	中・高	
品種 I	2/4	50	ND	3/4	75	ND	
品種 J	5/5	100	高	—	—	—	
品種 K	2/4	50	中・高	4/4	100	高	
品種 O	3/6	50	低・中	2/6	33	低・中	
品種 P	4/5	80	ND	—	—	—	
品種 X	0/5	0	—	2/5	40	低	
品種 Y	3/3	100	高	3/3	100	高	
品種 Z	0/4	0	—	2/4	50	低	
岡山平和	0/3	0	—	0/3	0	—	抵抗性品種

a) 濃度と PCR における Ct (サイクル数) 値には相関があり、高: Ct<23、中: 23≤Ct<26、低: 26≤Ct<29、極低: 29≤Ct と分類した。

b) 品種 L はポット接木接種において感受性品種と判断された。

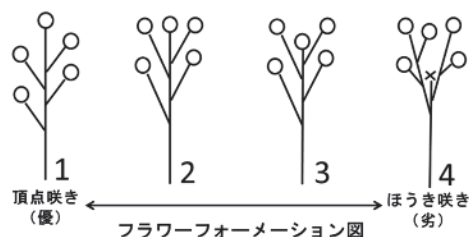
表5 CSVd 抵抗性小ギク系統作出のための交配組み合わせと一次選抜結果 (2018 年)

種子親	花粉親	種子数 (粒)	発芽率 (%)	定植数 (株)	選抜数 (株)
CSVd-R3	品種 B	1,272	70.1	834	6
CSVd-R3	常陸オータムゆうひ	1	0	0	0
CSVd-R3	15c78	42	26.2	8	1
品種 B	CSVd-R3	60	28.3	17	0
常陸オータムゆうひ	CSVd-R3	26	0	0	0
CSVd-R1	品種 C	26	53.8	13	2
品種 C	CSVd-R1	17	47.1	7	0
常陸サマースノウ	CSVd-R1	28	89.3	22	0
CSVd-R2	常陸オータムゆうひ	31	35.5	8	0
CSVd-R2	15c78	1	0	0	0
CSVd-R2	品種 F	3	66.7	1	0
常陸オータムゆうひ	CSVd-R2	148	80.4	105	1
15c78	CSVd-R2	18	88.9	14	0
合	計	1,673	66.6	1,029	10

表6 作出した系統の特性調査結果 (2019年)

作型 ^{a)}	系統名	花色	発蕾日 ^{b)}	開花日 ^{c)}		切花長 (cm)	切花重 (g)	節数	花蕾数	FF ^{d)}	CSVd 抵抗性 ^{e)}	有望系統
				始	終							
7月	18c02	赤紫	6/12	7/15	7/29	123.4	116.4	45	56	3	無	
	18c23	白	6/11	7/17	7/31	111.6	95.8	48	73	4	強	
8月	18c27	紫桃	7/7	8/9	9/4	95.6	74.6	43	44	2	有	○
	18c29	紫桃	7/7	7/26	8/14	106.0	82.8	47	40	2	強	
	18c47	白	6/24	7/31	8/23	93.2	79.6	35	37	2~3	有	
	18c106	紫桃	— ^{f)}	9/15	9/23	144.2	129.2	42	72	3~4	有	
9月	18c52	紫桃	7/24	8/23	9/9	81.0	87.4	43	18	2	無	
	18c61	淡桃	7/29	9/15	9/25	89.0	102.6	31	62	2~3	無	
	18c62	淡桃	7/26	9/9	9/20	70.8	88.4	31	54	2	強	
10月	18c75	黄	9/13	10/16	10/25	74.4	58.6	46	42	2~3	強	

- a) 7月作型は3月下旬、8月作型は4月下旬、9月作型は5月下旬、10月作型は6月下旬に定植し、いずれも定植から7~10日後に摘心を行い、3本仕立てとした。
 b) 全体の50%以上が発蕾した日。
 c) 頂花の管状花が外側から2~3周開花した時を開花とし、開花本数が全体の5%に達した日を「始」、95%に達した日を「終」とした。
 d) フラワーフォーメーションの略 (右下図参照)。
 e) 接木接種法による CSVd 抵抗性検定において、「強」は接種3か月後において感染が認められなかった系統、「有」は接種3ヶ月後に感染が認められた個体が全体の1/2以下であった系統、「無」は接種3か月後に感染が認められた個体が全体の3/4以上であった系統を示す (n=4)。
 f) データなし。



4. 考察

キク矮化ウイルス (Chrysanthemum stunt viroid, CSVd) は、キク矮化病を引き起こし、主な病徴は葉が小型化し節間が短縮して矮化し、挿し穂の発根が悪くなることなどである (松下、2016)。

CSVd 感染によるキク矮化病が問題となり始めてから 20 年程度経過しており、耕種的対策として、使用する鉢等の火炎滅菌法および次亜塩素酸ナトリウム浸漬法 (中村ら、2013a) が提案されているが、作業効率などの面から生産現場における実施には課題がある。また、根を介した CSVd の接触伝染の可能性も指摘されており (福田ら、2012)、栽培上の対策によってまん延を防ぐことは非常に困難

である。さらに、CSVd のキクに対する病原性は品種によって異なることが明らかになっており、土井・加藤 (2004) は CSVd に感染させたキク 10 品種を比較し、健全個体と比べてほとんど矮化しない品種や健全個体の半分程度まで矮化した品種があったと報告している。また、中村ら (2013b) は愛知県内の外観上病徴のない



図3 '18c27' の花色



図4 '18c27' の草姿

291 品種について、葉をサンプリングし、高濃度保毒品種を検出できる RT-PCR/電気泳動法と、低濃度保毒品種を検出できる RT-PCR/ハイブリダイゼーション法で調べたところ、それぞれ 31%と 53%の品種で CSVd が検出されたことを報告している。そのため、生産現場における CSVd 感染には、感染していても無病徴または弱い病徴しか示さないような品種が感染源となっている可能性がある。

以上のことから、CSVd 抵抗性品種の利用は極めて有効な防除手段となり得る。CSVd 抵抗性キク育種は各地で精力的に行われており、愛知県においてスプレーギク（長谷川ら、2016）、奈良県において小ギク（仲、2020）の抵抗性品種が育成されている。小ギクは本県の主要切花の一つであり、本県においても気象条件等に適する CSVd 抵抗性品種の育成を進める必要がある。本研究では育成にあたり、既存の遺伝資源の抵抗性評価を行った後に、それらを親に用いた交雑育種により抵抗性品種を育成することとした。

選抜過程における CSVd の接種検定は、安定性と簡便性が求められるが、定法であるポット接木接種法はあらかじめポットで栽培した保毒台木を準備する必要があることと、接木実施に適する時期が限られることが問題であった。これまでに Matusita *et al.* (2009) により試験管内における保毒台木への接木と、その後の挿し穂植物体における CSVd の移行が確認されており、本研究ではこの手法を改変して選抜過程の簡易検定法とすることを試みた。開発した試験管内接木接種法は、シリコンチューブを用いることにより活着率が向上し、RT-PCR によって検出されるまでに 1 週間長く要するものの、省スペースで多サンプルの取り扱いが可能となり、有効な方法であった。また、CSVd を保毒する培養物と検定対象の培養物があれば時期を選ばずに実施できる点が定法よりも優れ、選抜過程における簡易な検定法として活用できる。CSVd の検出方法としては、昆虫針や爪楊枝を利用した direct RT-PCR 検定の有効性がすでに示されており（Hosokawa *et al.*, 2006）、当所においても標準手法として生産現場等の植物体の検定を行っている。本研究では、爪楊枝法を用いた direct RT-PCR 検定に用いる部位は、両接種法ともに上位葉および茎が適しており、下位葉は上位葉や中位葉より長く接種を続けたとしても安定した検出が認められず、検定に用いるのに適さないことが示された。また、昆虫針や爪楊枝を利用した direct RT-PCR 検定は 2 種類のウイロイドのマルチプレックス検出にも適用可能であることが示されており（Hosokawa *et al.*, 2007）、今後、新たなウイルスおよびウイロイド検定が必要となった際にも速やかに対応可能である。

Matsushita *et al.* (2012) は、CSVd 抵抗性品種として‘岡山平和’を見出しており、本研究においても、‘岡山平和’と同様に‘CSVd-R1’、‘CSVd-R2’および‘CSVd-R3’は CSVd に対して安定した高度抵抗性を示した一方、‘CSVd-R4’や‘CSVd-R5’のようにわずかに検出個体が現れる中度抵抗性を示す系統も確認された。このことは、CSVd に対する抵抗性を有する品種・系統間において、その抵抗性に強弱がある可能性を示唆している。長谷川ら (2016) は定量的 PCR による植物体内の CSVd 濃度を指標として、抵抗性程度を I ~ III 型（数字が大きいくほど検出量が低い）に分類している。また、抵抗性が I 型の個体と II 型の個体との交雑後代から、抵抗性がより強い III 型の系統が出現したことも示されており（長谷川ら、2016）、CSVd 抵抗性への複数遺伝子の関与と、それらの相加的効果の可能性が示唆されている。本研究において選抜した‘18c27’は接種 3 か月での感染個体数が全体の 1/2 以下で、実用的な抵抗性として十分であるという評価により選抜した。

‘18c27’は I ~ II 型の抵抗性を有すると思われ、他の抵抗性系統との交雑により高度抵抗性個体が獲得できることが期待される。‘18c27’は、さらに今後の切花特性評価によって品質の安定性を評価し、品種候補として調査を続け、品種化の可否を検討する。その他の CSVd 抵抗性を有する育成系統は中間母本として今後の育種に活用する予定である。

今回用いた接種検定法は 3~4 週間と長期間を要し、その結果は必ずしも安定しないという問題がある。本研究においても接木操作や効率性の面では方法を確立したが、接種方法の違いおよび反復検定により、結果が異なる事例も一部で認められた。また、ポット接木接種検定における‘品種 A’のように、接種 1 か月後に 80%の検出頻度であったものが接種 3 か月後には 0%となるなど、検定の確実性には課題が残されている。このような検定の不安定性を克服するためには、抵抗性遺伝子に連鎖する DNA マーカーの利用が効果的である。CSVd 抵抗性については、抵抗性品種の‘岡山平和’と CSVd 罹病性品種との交雑後代より抵抗性を示す個体が現れたことから、遺伝形質であることが示された（Matsushita *et al.*, 2012）が、その遺伝様式等は明らかにされておらず、選抜マーカーも未開発である。また、抵抗性は複数の量的遺伝子により支配されている可能性がある。栽培ギクは高次倍数体であり、その遺伝解析は困難であるが、一方で 2 倍体の近縁野生種であるキクタニギクの概要配列が公開されており（Hirakawa *et al.*, 2019）、これを活用した効率的な DNA マーカー開発

技術が報告されている (Sumitomo *et al.*, 2019)。これらの情報や技術を活用することにより、CSVd 抵抗性に連鎖する DNA マーカー開発が進展することが期待される。

謝辞

本研究の推進にあたり、JA グループ茨城花き流通部会の皆様、専門技術指導員室をはじめとする茨城県農業総合センター、各農林事務所経営・普及部門または地域農業改良普及センター、茨城県農産物販売推進東京本部の皆様には多大なるご協力・ご助言をいただいた。さらに、農業総合センター管理課分室、当研究所会計年度任用職員の皆様には試験圃場や培養物の管理に多大なるご支援をいただいた。ここに記して、これらの方々へ心より感謝の意を表す。なお、本研究は文部科学省特別電源所在県科学技術振興事業補助金の助成を受け、「キク矮化ウイルス抵抗性コギク品種の選抜技術の開発および系統育成 (2015~2019 年度)」として実施した。

引用文献

- 愛知県農業総合試験場園芸研究部・花き研究室 (2013) ウイロイドによって引き起こされるキク矮化病の蔓延防止マニュアル. 愛知県農業総合試験場.
<https://www.pref.aichi.jp/nososi/seika/singijutu/singijiyutu102.pdf> (2022 年 8 月 26 日アクセス).
- 土井 誠・加藤公彦 (2004) 静岡県で発生したキクわい化ウイルス (CSVd) の塩基配列とキク品種の病徴. 関西病虫研報 46 : 11-14.
- 福田至朗・栗山幸子・平野哲司・服部裕美・中村恵章・大石一史 (2012) 根を介したキクわい化ウイルスの接触伝染. 関西病虫研報 54 : 47-51.
- 長谷川 徹・遠山宏和・鈴木良地・堀田真紀子・新井和俊・伊藤健二 (2016) キク矮化病抵抗性を有するスプレーギク新系統の作出. 愛知農総試研報 48 : 161-164.
- Hirakawa, H.; Sumitomo, K.; Hisamatsu, T.; Nagano, S.; Shirasawa, K.; Higuchi, Y.; Kusaba, M.; Koshioka, M.; Nakano, Y.; Yagi, M.; Yamaguchi, H.; Taniguchi, K.; Nakano, M.; Isobe, S. N. (2019) De novo whole-genome assembly in *Chrysanthemum seticospe*, a model species of Chrysanthemums, and its application to genetic and gene discovery analysis. DNA research 26(3): 195-203.
- Hosokawa, M.; Matsushita, Y.; Uchida, H.; Yazawa, S. (2006) Direct RT-PCR method for detecting two chrysanthemum viroids using minimal amounts of plant tissue. J. Virol. Methods. 131 : 28-33.
- Hosokawa, M.; Shiba, H.; Kawabe, T.; Nakashima, A.; Yazawa, S. (2007) A Simple and simultaneous detection method for two different viroids infecting Chrysanthemum by multiplex direct RT-PCR. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 76:60-65.
- 茨城県営業戦略部東京渉外局県産品販売促進チーム (茨城県農産物販売推進東京本部) (2021) 東京都中央卸売市場における花きの取扱数量・価格の推移. 茨城県営業戦略部東京渉外局県産品販売促進チーム (茨城県農産物販売推進東京本部).
<https://www.pref.ibaraki.jp/eigyoto/kyo/kensan/documents/r2kakahoukokur.pdf> (2022 年 8 月 26 日アクセス).
- 松下陽介・伊藤陽子・築尾嘉章 (2006) リアルタイム PCR を用いたキクわい化ウイルスの定量. 日本植物病理学会関東部会講演.
- Matsushita, Y. and Penmetcha, K. K. R. (2009) In vitro-transcribed Chrysanthemum stunt viroid RNA is infectious to Chrysanthemum and other plants. Phytopathology 99:58-66.
- Matsushita, Y.; Aoki, K.; Sumitomo, K. (2012) Selection and inheritance of resistance to Chrysanthemum stunt viroid. Crop Prot. 35:1-4.
- 松下陽介 (2016) ウイルス・ウイロイド. 加除式農業技術体系花卉編・6 キク (クリサンセマム)・追録第 19 号. 農山漁村文化協会、東京、pp.327.
- Nabeshima, T.; Hosokawa, M.; Yano, S.; Ohishi, K.; Doi, M. (2012) Screening of Chrysanthemum Cultivars with Resistance to Chrysanthemum Stunt Viroid. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 81 (3):285-294.
- 仲 照史 (2020) 生産者や関係機関と協同した切り花キク品種の育成と普及. 新近畿中国四国農業研究. 3 : 71-74.
- 中村恵章・福田至朗・栗山幸子・服部裕美・平野哲司・大石一史 (2013b) 栽培ギクのキク矮化ウイルス

(CSVd) 保毒状況の把握. 愛知農総試研報. 45 : 53-59.

中村恵章、福田至朗、栗山幸子、服部裕美、平野哲司、大石一史 (2013a) キク矮化ウイルス (CSVd) の蔓延を防ぐ鉢等器具の消毒方法. 愛知農総試研報. 45 : 61-67.

農林水産省大臣官房統計部生産流通消費統計課園芸統計班 (2021) 令和2年産全国の作付(収穫)面積及び出荷量. 作物統計調査・作況調査(花き)・確報・令和2年産花き生産出荷統計. 農林水産省.

<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/file-download?statInfId=000032129877&fileKind=0> (2022年8月26日アクセス).

農林水産省大臣官房統計部生産流通消費統計課園芸統計班 (2020) 令和元年産全国農業地域別・都道府県別の作付(収穫)面積及び出荷量・切り花類・きく・小ぎく. 作物統計調査・作況調査(花き)・確報・令和元年産花き生産出荷統計. 農林水産省.

<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/file-download?statInfId=000032010816&fileKind=0> (2022年8月26日アクセス).

農林水産省大臣官房統計部生産流通消費統計課園芸統計班 (2020) 令和元年産全国農業地域別・都道府県別の作付(収穫)面積及び出荷量・切り花類・きく・計. 作物統計調査・作況調査(花き)・確報・令和元年産花き生産出荷統計. 農林水産省.

<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/file-download?statInfId=000032010813&fileKind=0> (2022年8月26日アクセス).

Omori, H.;Hosokawa, M.;Shiba, H.;Shitsukawa, N.;Murai, K.;Yazawa, S.(2009)Screening of Chrysanthemum Plants with Strong Resistance to Chrysanthemum Stunt Viroid.J. Japan. Soc. Hort. Sci.78 (3):350-355.

Sumitomo, K.;Shirasawa, K.;Isobe, S.;Hirakawa, H.;Hisamatsu, T.;Nakano, Y.;Yagi, M.;Ohmiya, A.(2019)Genome-wide association study overcomes the genome complexity in autohexaploid chrysanthemum and tags SNP markers onto the flower color genes.Scientific reports.9(1):1-9.

Development of Screening Method and Breeding of Chrysanthemum Stunt Viroid-Resistant Small Spray-type Chrysanthemum Line

Saeko KURIHARA¹, Yumiko HIRAI, Koichi KITA, Hidenori ICHIGE,
Ryoji ISHII and Takeru GONAI

Summary

Chrysanthemum stunt viroid (CSVd) causes Chrysanthemum stunting disease, and its damage is increasing in Ibaraki Prefecture. It is important to breed the cultivars resistant to CSVd for the control strategy. Therefore, we studied an efficient screening method for CSVd resistance, which was necessary to select resistant breeding materials and progenies. As a screening technique, it was developed an *in vitro* grafting inoculation method that could handle many samples in a space-saving manner with the same inoculation efficiency as the conventional pot grafting inoculation method, and could be performed at any time by using shoot cultures. Furthermore, it was revealed that upper leaves and stems were suitable parts of the plant body for direct RT-PCR assay using the needle method, and the use of silicon tubes for fixing the grafted parts improved the efficacy for inoculation. In addition, we selected resistant cultivars as breeding material from 131 cultivars owned by our laboratory and collected from the cultivated fields in this prefecture, and bred a resistant line '18c27' which flower color was red and flowered in August by crossing of the selected parents.

Keywords: crossbreeding, small spray-type chrysanthemum, cultivar,
Chrysanthemum stunt viroid (CSVd) , resistance

¹ Address: Plant Biotechnology Institute, Ibaraki Agricultural Center, Ago 3165-1, Kasama, Ibaraki, 319-0292, Japan

レンコン田土壌のアンモニア態窒素の簡易評価法

鹿島啓司・假屋哲朗¹⁾・寺門 巖・郷内 武²⁾・藤田 裕

(茨城県農業総合センター園芸研究所)

要約

茨城県のレンコン田は、多くが通年で湛水状態に保たれており、土壌中の無機態窒素の多くはアンモニア態で存在している。

このアンモニア態窒素は、レンコン田の無機態窒素量を示す指標として適正施肥量の算出への活用が期待されるが、測定には高価な機器による蒸留法やインドフェノール法が用いられている。そこで、普及現場でも対応可能な、より簡易な評価法を検討した。

その結果、アンモニア態窒素の測定はパックテストを用いることで、インドフェノールブルー法による分析値と高い相関があった。また、パックテストアンモニウム（アンモニウム態窒素）の反応時間は、1時間が適切と考えられた。レンコン田土壌の仮比重は、風乾土 10g に 10%塩化カリウムを 40mL 入れて振とうし、1時間静置した土壌の容積を測定し、土壌の容積に-0.0639 を乗じてその値に 1.3823 を加算することで推定できた。面積あたりのアンモニア態窒素量は、本簡易法によるアンモニア態窒素および仮比重から算出することで、インドフェノールブルー法によるアンモニア態窒素およびコアサンプル法による仮比重から算出した分析値と高い相関を得られた。

キーワード：レンコン、土壌分析、アンモニア態窒素、仮比重、簡易評価

1 はじめに

茨城県におけるレンコン (*Nelumbo nucifera*) の作付面積は、2020 年度は 1,690ha であり全国で最も多い（農林水産省関東農政局、2020）。県内の主要産地は霞ヶ浦・北浦に隣接しており、レンコン栽培田（以下、レンコン田）から流出する肥料成分が、これらの湖沼の水質に影響を及ぼすことが懸念される。

本県におけるレンコン田は、多くが通年で湛水状態に保たれており、レンコン跡地の土壌中の無機態窒素はすべてがアンモニア態である（折本・武井、2007）。湖沼への窒素負荷軽減には、レンコン田の土壌中アンモニア態窒素を評価し、レンコンの生育に不足している窒素分のみを施肥することが重要である。

レンコンの適正施肥を実施するためには、普及現場で土壌のアンモニア態窒素を評価する必要がある。アンモニア態窒素の測定は、一般的に蒸留法（土壌環境分析法編集委員会編、1997）やインドフェノールブルー法（中谷、1981）などが用いられるが、高価な機器や試薬が必要であり測定には時間を要する。そのため、普及センター等の現地指導機関では、簡易な測定方法が求められる。

また、圃場の面積あたりのアンモニア態窒素量を評価するには、単位重量あたりのアンモニア態窒素濃度に仮比重を乗じる必要がある（茨城県農業総合センター、2015）。そのため各圃場の仮比重を測定する必要があるが、簡易な方法が確立していない。

そこで、レンコン田土壌の単位重量あたりのアンモニア態窒素濃度および仮比重を簡易に評価する手法を検討したので、その結果を報告する。

2 材料および方法

2. 1 アンモニア態窒素の簡易測定法に適する発色試薬の検討

試験は、2018 年に行った。県内のレンコン田土壌を 54 地点（小美玉市 6 地点、行方市 5 地点、土浦市 29 地点、かすみがうら市 8 地点、稲敷市 6 地点）から採取した。採取した土壌は、湿潤状態で 2mm 目合いの篩を

1) 現 茨城県農林水産部産地振興課

2) 現 茨城県農業総合センター生物工学研究所

通過させて粗大有機物を取り除き、35℃に設定した送風定温恒温機内で72時間以上風乾処理を行い、乳鉢で粉碎したものを風乾土として供試した。風乾土10gに対して10%塩化カリウムを100mL加え、1時間振とうした後、No.5C濾紙で濾過した。濾液を蒸留水により5倍希釈したものを抽出液として供試した。

アンモニア態窒素の簡易測定法として、発色試薬をリフレクトクェントアンモニウムテスト (Merck Millipore 社、品番：16892-M、測定原理：インドフェノール青比色法) (以下、RQT)、パックテストアンモニウム (排水) (㈱共立理化学研究所、型式：WAK-NH₄ (C) -4、測定原理：インドフェノール青比色法) (以下、PT)、アクアチェック A (シーメンスヘルスケア・ダイアグノスティクス㈱、測定原理：アンモニア選択透過膜を用いた呈色反応) (以下、ACA) の3つを供試した。RQTは、抽出液5mLにNH₄-1試薬を10滴添加して攪拌し、NH₄-2試薬を付属のさじを用いて1さじ添加して完全に溶けるまで攪拌した。それを試験紙に反応させ、8分後にRQフレックスプラス10 (Merck Millipore 社、型番：1.17246.0001) を用いて測定した。PTは、抽出液をチューブの約半量吸わせ、チューブ内の試薬が完全に溶けるまで振り混ぜた。発色の10分後に、標準色列と目視により比色して、濃度を判定した。ACAは、試験紙を抽出液に浸して30秒間振って反応させて抽出液から取り出し、試験紙を30秒間水平に保った後、標準色列と目視により比色して、濃度を判定した。

簡易測定法と比較のためのアンモニア態窒素の測定は、10%塩化カリウム溶液で無機態窒素を抽出し、インドフェノールブルー法を採用した気泡分節型連続流れ分析装置 (ビーエルテック㈱、SwAA1) (以下、CFA) により行った。

各簡易測定法の精度について検討するため、簡易測定法とCFAで測定したアンモニア態窒素濃度をもとに、相関図 (Excel 2016、Microsoft 社) を作成してその一次近似式と決定係数を求めた。

2. 2 パックテストアンモニウム (アンモニウム態窒素) における発色時間の検討

試験は、2019年に行った。県内のレンコン田土壌を57地点 (小美玉市9地点、笠間市1地点、行方市12地点、土浦市21地点、かすみがうら市8地点、稲敷市6地点) から採取した。採取した土壌は、湿潤状態で2mm目合いの篩を通過させて粗大有機物を取り除き、35℃に設定した送風定温恒温機内で72時間以上風乾処理を行い、乳鉢で粉碎したものを風乾土として供試した。

アンモニア態窒素の簡易測定法は、風乾土10gに対して10%塩化カリウムを40mL加え、30分振とうした後、60分間静置した。静置した抽出液の上澄みを蒸留水で25倍に希釈し、パックテストアンモニウム (アンモニア態窒素) (㈱共立理化学研究所、型式：KR-NH₄-4、測定原理：インドフェノール青比色法) (以下、パックテスト) に1.5ml吸わせて発色させた。発色から10分後、20分後、30分後、1時間後にデジタルパックテストアンモニウム/アンモニウム態窒素 (㈱共立理化学研究所、型式：DPM2-NH₄) (以下、デジタルパックテスト) を用いて発色程度を測定した。なお、2. 1では共存物質による影響を抑制するため、パックテストアンモニウム (排水) を用いたが、レンコン田土壌から抽出したアンモニア態窒素を測定した結果、共存物質による影響は見られなかったため (データ省略)、本試験においては、パックテストを用いた。パックテストは、簡易吸光光度計 (デジタルパックテスト) に対応しており、吸光光度法により正確な値を求めることができる。

簡易測定法と比較のためのアンモニア態窒素の測定は、CFAにより行った。

パックテストの精度について検討するため、CFAで測定したアンモニア態窒素濃度をもとに、相関図 (Excel 2016) を作成して一次近似式および決定係数を求めた。

2. 3 仮比重簡易法の検討

試験は、2019年に行った。県内のレンコン田土壌を57地点 (小美玉市9地点、笠間市1地点、行方市12地点、土浦市21地点、かすみがうら市8地点、稲敷市6地点) から採取して供試した。土壌採取は、収穫から1か月以上経過し、土壌の懸濁が落ち着いている時期に行った。

仮比重簡易法は、採取した土壌を湿潤状態で2mm目合いの篩を通過させて粗大有機物を取り除き、35℃に設定した送風定温恒温機内で72時間以上風乾処理を行い、乳鉢で粉碎したものを供試した。仮比重の簡易測定 (茨城県農業総合センター、2017) を参考とし、以下の方法で土壌の容積を求めた。すなわち、1mL単位で容量目盛りのある50mL遠沈管に風乾土を10g量りとり、10%塩化カリウムを40mL加えて30分間振とうし

た。振とう機から取り出した遠沈管を 10 回程度手で振り、チューブラックに立てて 30 分間、1 時間、2 時間静置した後に、土壌と抽出液の境界線を遠沈管の目盛りから測定し、それを土壌の容積とした。

また仮比重は、土壌物理実験法（宮崎・西村、2011）に基づき、コアサンプル法で測定した。

仮比重簡易法による仮比重推定の精度を検討するため、仮比重簡易法による土壌の容積と、コアサンプル法による仮比重をもとに、相関図（Excel 2016）を作成して一次近似式および決定係数を求めた。

2. 4 圃場の面積あたりアンモニア態窒素量の簡易評価法の実用性

試験は 2019 年に行った。県内のレンコン田土壌を 50 地点（小美玉市 6 地点、笠間市 1 地点、行方市 10 地点、土浦市 20 地点、かすみがうら市 7 地点、稲敷市 6 地点）から採取して供試した。

土壌は、採取した土壌を湿潤状態で 2mm 目合いの篩を通過させて粗大有機物を取り除き、35°C に設定した送風恒温恒湿機内で 72 時間以上風乾処理を行い、乳鉢で粉碎したものを風乾土として供試した。

仮比重の簡易推定は、1mL 単位で容量目盛りのある 50mL 遠沈管に風乾土を 10g 量りとり、10%塩化カリウムを 40mL 加えて 30 分間振とうした。振とう機から取り出した遠沈管を 10 回程度手で振り、チューブラックに立てて 1 時間静置した後に、土壌と抽出液の境界線を遠沈管の目盛りから測定し、土壌の容積を求めた。

単位重量あたりのアンモニア態窒素濃度の簡易推定は、仮比重の簡易推定の過程の抽出液を 1mL 採取して蒸留水で 25 倍に希釈し、1.5mL をデジタルバックテスト用の分析用セルに量りとった。分析用セル内の希釈液をバックテストチューブに全量吸わせ、良く振り混ぜて発色させた後、チューブ内部の液を分析用セルに戻した。発色から 1 時間後にデジタルバックテストで測定し、希釈倍率を乗じて単位重量あたりのアンモニア態窒素濃度推定値を求めた。

作土深について、遠藤ら（1981）により、レンコンの頂芽及び節の重量割合は 25~30cm が最も大きいと報告がある。これより、レンコンは主に作土 30cm までで生育していると考え、本試験ではレンコン田の作土深は 30cm とした。

面積あたりアンモニア態窒素量 (kg/10a) は、仮比重 (g/cm³)、単位重量あたりのアンモニア態窒素濃度 (mg/100g)、作土深 (m) および 10 をそれぞれ乗じて算出した。

また簡易評価法との比較のため、仮比重をコアサンプル法により求め、単位重量あたりのアンモニア態窒素濃度を CFA により求めた（以下、コア・CFA 法）。

簡易評価法による面積あたりアンモニア態窒素推定量の精度を検討するため、簡易評価法による面積あたりアンモニア態窒素推定量と、コア・CFA 法による面積あたりアンモニア態窒素量をもとに、一次近似式（Excel 2016）を作成して近似式および決定係数を求めた。

3 結果および考察

3. 1 アンモニア態窒素の簡易測定に適する発色試薬の検討

アンモニア態窒素の測定値について、CFA と各簡易測定法との比較を図 1 に示す。CFA の測定値との関係を一時式で近似した結果、RQT では、近似式の傾きが 1.0401 で決定係数は 0.8797、PT ではそれぞれ 1.4776、0.9563、ACA では 1.3066、0.4848 であった。したがって、CFA と一次式の決定係数は PT が最も高く、精度よく CFA によるアンモニア態窒素を推定できると考えられる。

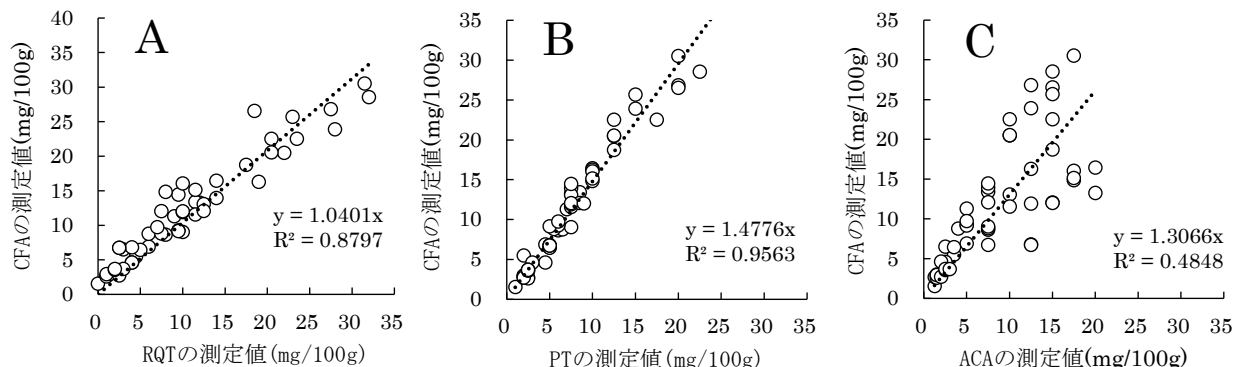


図 1 簡易測定法（RQT (A)、PT (B)、ACA (C)）の測定値と CFA の測定値の関係

3. 2 パックテストにおける発色時間の検討

アンモニア態窒素の測定値について、CFA と既定時間発色させたパックテストとの比較を図 2 に示す。CFA の測定値との関係を一次式で近似した結果、10 分間発色では近似式の傾きが 1.1733 で決定係数は 0.9403、20 分間発色ではそれぞれ 1.1227、0.9421、30 分間発色では 1.0906、0.9427、1 時間発色では 1.0457、0.9408 であった。以上より、パックテストの測定値はいずれの反応時間においても、CFA の測定値と高い正の相関があった。また、一次近似式は、発色時間が長いほど傾きは 1 に近づいた。市川ら (2002) は、インドフェノール青法によるアンモニア態窒素測定において、2M 塩化カリウムを抽出液として用いた時、発色時間が 1.5 時間以降ではアンモニア態窒素測定値は定常であることを明らかにしている。デジタルパックテストで測定できるアンモニア態窒素の範囲は、0.2mg/L から 3.0mg/L であるが、市川ら (2002) の報告によると、アンモニア態窒素が 2mg/L のとき、発色 1 時間までは時間に比例して吸光度が上昇しているが、1 時間以降はほぼ定常状態となっている。

以上より、1 時間発色させたパックテストの測定値を用いることで、精度よく CFA によるアンモニア態窒素を推定できると考えられる。

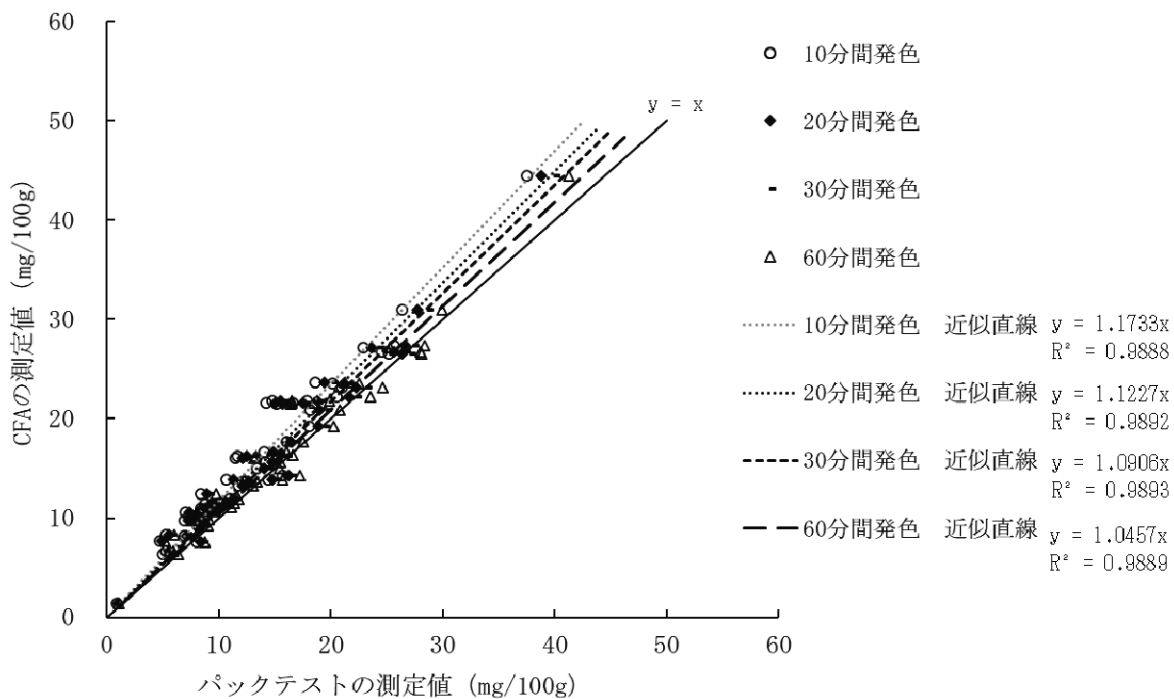


図 2 発色時間の違いによるパックテストの測定値と CFA の測定値の関係

3. 3 仮比重簡易法の検討

仮比重について、一定時間静置した土壌の容積との関係を図 3 に示す。仮比重との関係を一次式で近似して結果、30 分間静置後は、近似式の傾きが -0.0645 で決定係数は 0.7213、1 時間静置後ではそれぞれ -0.0639、0.7574、2 時間静置後では -0.0648、0.7327 であった。以上より土壌の容積は、いずれの静置時間においても仮比重と負の相関があった。また近似式の決定係数は、1 時間静置後の土壌の容積と仮比重との間が最も高かった。

したがって、1 時間静置した土壌の容積を測定し、土壌の容積に -0.0639 を乗じてその値に 1.3823 を加算することで、仮比重を推定できると考えられる。

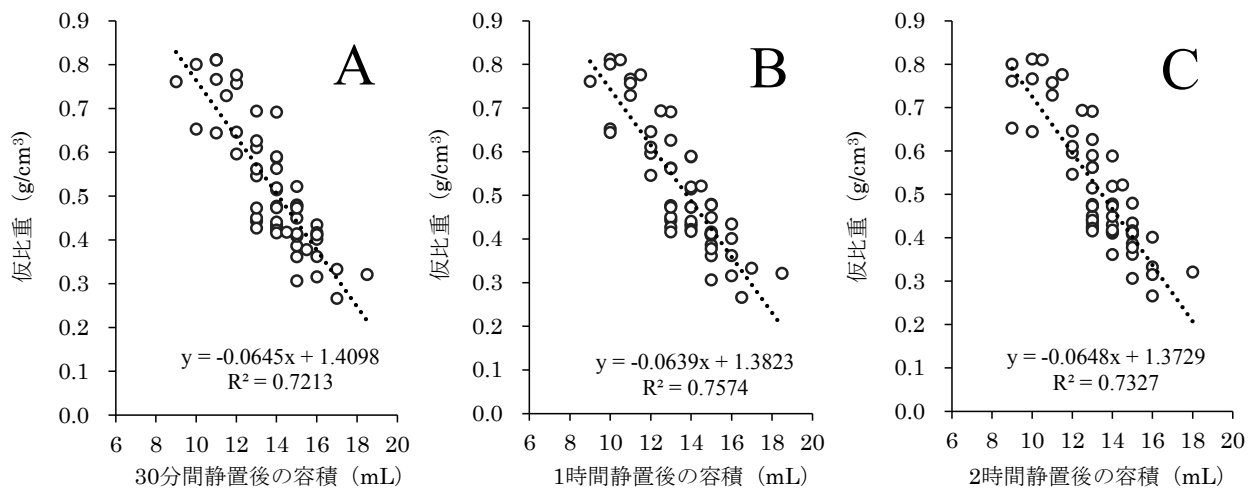


図3 一定時間（30分（A）、1時間（B）、2時間（C））静置後の土壌の容積と仮比重の関係

3. 4 圃場の面積あたりアンモニア態窒素量の簡易評価法の実用性

面積あたりアンモニア態窒素量について、コア・CFA法による面積あたりアンモニア態窒素量と簡易評価法による面積あたりアンモニア態窒素推定量との比較を図4に示す。なお仮比重簡易法は、3.3より、最も精度の高かった図3Bの近似式に当てはめて算出した。簡易評価法による面積あたりアンモニア態窒素量は、コア・CFA法との関係を一次式で近似した結果、近似式の傾きは1.0386で決定係数は0.855であった（図4）。このことから、簡易評価法を用いることにより、精度よく面積あたりアンモニア態窒素量を推定することができると考えられる。

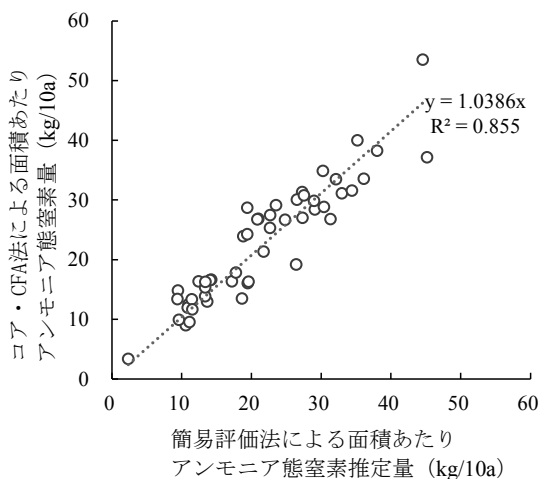


図4 簡易評価法とコア・CFA法による面積あたりアンモニア態窒素量の関係

上記より、レンコン田土壌中の面積あたりアンモニア態窒素量の簡易評価法を作成した（図5）。本簡易評価法を用いることで、一連の作業で仮比重および単位重量あたりのアンモニア態窒素濃度を推定することができる。本法に用いるパックテストは、1検体分が約100円と安価である。またデジタルパックテストの測定や土壌の容積測定は容易な操作である。筆者らは、窒素施肥量を低減することを目的として、施肥前土壌中のアンモニア態窒素を測定し、その窒素量を窒素施肥基準量からさし引いて窒素施肥量を決める窒素診断施肥技術を開発している。本法を用いることで、普及現場で簡易に圃場の面積あたりアンモニア態窒素の評価が可能となり、窒素診断施肥に活用することができる。

手順	
1	採取した土壌から粗大有機物を取り除いて風乾し、乳鉢等で粉碎する
2	1mL単位が目盛り付き50mL遠沈管に風乾土を10g入れる
3	10%塩化カリウムを40mL加える
4	30分間振とうする
5	手で10回程度強く振とうした後、60分間静置する
6	土壌と抽出液の境界線を目盛りを記録する（土壌の容積（mL）） ①仮比重推定値（g/cm ³ ）＝土壌の容積（mL）×（-0.0639）＋1.3823
7	抽出液を1mL採取し、蒸留水で25倍に希釈する
8	デジタルパックテスト用の分析用セルに希釈液を1.5mL採取する
9	分析用セル内の希釈液をパックテストで全量吸わせて振り混ぜ、分析用セルに戻す
10	希釈液を1時間発色させた後、デジタルパックテストで測定する（測定値（mg/L）） ②風乾土あたりのアンモニア態窒素濃度推定値（mg/100g）＝（測定値（mg/L））×12.5
11	以下の式により、面積あたりアンモニア態窒素量を推定する 面積あたりアンモニア態窒素量（kg/10a）＝①仮比重推定値（g/cm ³ ） ×②風乾土あたりのアンモニア態窒素濃度推定値（mg/100g） ×作土深（m）×10

図5 レンコン田土壌中の面積あたりのアンモニア態窒素量の簡易評価法

引用文献

- 土壌環境分析法編集委員会編（1997）土壌環境分析法．博友社、東京、p.392-393.
- 遠藤俊三・芝野保徳・笹尾 彰（1981）噴流式レンコン掘取機の開発研究（第3報）．農業機械学会誌 43（3）：391-399.
- 茨城県農業総合センター（2015）土壌・作物栄養診断マニュアル．土壌の診断基準．10a 当たりの土壌重量（土壌の乾燥重量）：63.
- 茨城県農業総合センター（2017）茨城県普通作物栽培基準（含む、工芸作物）．参考資料．仮比重の簡易測定：158.
- 市川貴大・高橋輝昌・浅野義人・小林達明（2002）インドフェノール青法によるアンモニア態窒素の簡易定量法の検討．日本緑化工学会誌 27（4）：623-626.
- 宮崎 毅・西村 拓編（2011）土壌物理実験法．東京大学出版会、東京、pp.20-25.
- 中谷省三（1981）アンモニア態窒素（NH₄⁺-N）．日本分析化学会北海道支部編 水の分析-第3版-、化学同人、京都、pp.210-214.
- 農林水産省関東農政局（2020）URL：<https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/menseki/index.html>（2022年8月25日アクセス）.
- 折本善之・武井昌秀（2007）レンコン栽培における被覆肥料を用いた窒素減肥および節水管理が収量および窒素排出量に及ぼす影響．日本土壌肥料科学雑誌 78（4）：363-369.

Simple Measurement method of the amount of Ammonium Nitrogen in the Plow Layer at Lotus Field

Keiji KASHIMA¹, Tetsuro KARIYA, Iwao TERAKADO, Takeru GONAI and Yutaka FUJITA

Summary

A majority of the fields which are grown lotus (*Nelumbo nucifera*) roots in Ibaraki Prefecture are flooded throughout the year, and most of the inorganic nitrogen in the soil exists in the form of ammonium nitrogen.

It is thought that the ammonium nitrogen in the fields can be used to calculate the appropriate amount of fertilizer application as an index that indicates the amount of fertility nitrogen in the soil. Generally, the distillation method and the indophenol method are used to quantify ammonium nitrogen, but requires expensive instruments. Therefore, the current study investigated a simple evaluation method which can be calculated at the agricultural extension center.

As a result, a positive correlation was suggested between measurement results of ammonium nitrogen by PACK TEST TUBE (commercial water analysis kit) and by indophenol method. In addition, The PACK TEST TUBE was needed to react for an hour. Bulk density in the field could be estimated from the volume of ten g air-dried soil, added 40 mL of 10% KCl, shaken, and leaved for an hour multiply -0.0639 and plus 1.3823 . The amount of ammonium nitrogen per area calculated from the estimated bulk density and ammonium nitrogen concentration per unit weight by this simple evaluation method correlated with the amount of ammonium nitrogen per area calculated from the bulk density by the core method and ammonium nitrogen concentration per unit weight by the indophenol method.

Keywords: lotus roots, soil analysis, ammonium nitrogen, bulk density, simple measurement

¹ Address: Ibaraki Agricultural Center Horticultural Research Institute, 3165-1 Ago, Kasama, Ibaraki 319-0292, Japan

近年の気象における茨城県でのウメ品種の適応性

山口貴史・唐澤友洋・門脇伸幸¹⁾・清水明²⁾・寺門 巖

(茨城県農業総合センター園芸研究所)

要約

近年の気象変動により、ウメ栽培を取り巻く環境が変化してきているが、茨城県におけるウメの生理生態に関する調査は、35年前の報告が最後である(渡辺ら、1987)。そこで、近年の気象における12品種の特性を明らかにするため、2014年から2022年に各品種の開花特性と主要品種の収量と果実品質を調査した。その結果、各品種の開花期は早期化しており、本県で最も栽培されている‘白加賀’は、開花盛期が調査した品種の中で2番目に遅く、同時に開花する品種が少なかった。収量および果実品質を調査した品種の中で、‘石川1号’と‘南高’は他品種よりも樹冠面積あたりの収量が多い傾向にあったが、‘白加賀’は少なかった。障害果率は、‘白加賀’と‘玉英’でヤニ果が多く、‘白加賀’と‘南高’で病害果は多い傾向にあった。以上から、本県の栽培には‘石川1号’と‘南高’が適していた。

キーワード：ウメ、開花予測、収量、果実品質

1. はじめに

バラ科サクラ属スモモ亜属に属するウメ (*Prunus mume* Siebold & Zucc.) は主に東アジアで栽培される落葉果樹である。ウメは中国や台湾、日本において原生分布がみられることから、我が国で栽培されてきたウメは原生種か渡来種なのか不明である。ウメは元来、観賞用途であることが多いと考えられるが、明治時代頃から栽培品種として利用されるものがでてきた(吉田、1984)。

ウメの生産は、その年の気象要因によって大きく左右され、開花が早い年は不完全花率の増加や霜害の可能性が高まり不作となる。一方で、開花が遅い年は完全花率が高く、訪花昆虫の飛来も増える傾向にあることから豊作となりやすい(渡辺、1984)。また、冬季(12月～2月)の日本の平均気温は上下変動をしながらも長期的には上昇傾向になること(気象庁、2022a)や2020年の地上での温室効果ガス世界平均濃度は最高値を更新する(気象庁、2021)との報告があり、地球温暖化が進行することで開花への影響も懸念される。実際に1960年代と比較して開花時期が早期化しており(清水・大政、2010)、『南高』では受粉樹の小梅品種と開花のズレが生じていることや、開花期間が短くなることと相まって結実不良のリスクが高まるとの報告がある(杉浦、2010)。ところが、本県におけるウメの生理生態については35年前の報告(渡辺ら、1987)のみであり、上述の気候変動の影響により生理生態が変化し、適性品種の選定について再考が必要となっている可能性がある。

そこで、茨城県農業総合センター園芸研究所に定植されたウメ12品種(主要5品種、補完的な7品種)について、収量に大きな影響を与える開花時期を中心に直近8年間の調査結果を解析し、本県における過去の報告とも比較して近年の状況において栽培に適するウメ品種を明らかにしたので報告する。

2. 材料および方法

茨城県農業総合センター園芸研究所の果樹研究室ウメほ場(茨城県笠間市安居、腐植質普通アロフェン質黒ボク土)に定植された次に上げるものを供試樹とした。‘白加賀’1樹(26年生：2000年～32年生：2007年、1年生：2008年～15年生：2022年)、『玉英』2樹(6年生：2000年～28年生：2022年)、『南高』2樹(6年生：2000年～28年生：2022年)、『石川1号(藤之梅)』1-2樹(3年生：2000年～25年生：2022年)

1) 現 茨城県農業総合センター企画情報部専門技術指導員室

2) 現 茨城県南農林事務所つくば地域農業改良普及センター

年)、『露茜』2-3 樹 (4 年生：2014 年～12 年生：2022 年) の主要な 5 品種と『加賀地蔵』3 樹 (3 年生：2010 年～15 年生：2022 年)、『十郎』2 樹 (6 年生：2003 年～25 年生：2022 年)、『竜峡小梅』1 樹 (2 年生：2008 年～16 年生：2022 年)、水戸付近の果実生産用在来種 (以下『水戸』) 1 樹 (6 年生：2000 年～28 年生：2022 年)、『麗和』1 樹 (1 年生：2008 年～15 年生：2022 年)、『星秀』1 樹 (1 年生：2012 年～11 年生：2022 年)、『星高』1 樹 (1 年生：2011 年～12 年生：2022 年) の補完的な 7 品種について調査した。栽培は、茨城県参考防除例を参考に剪定後、開花終期、展葉期、幼果期、果実肥大期、5 月中旬、収穫後の年 7 回の病虫害防除を行い、茨城県施肥基準を参考に窒素量で 2 (1～2 年生)、4 (3～5 年生)、6 (6～7 年生)、8 (8～9 年生)、11 (10～14 年生)、13 (15 年生～) $\text{kgN}\cdot 10\text{a}^{-1}\cdot \text{年}^{-1}$ を基準に施用した。なお、栽植密度は $7.2\text{m}\times 7.2\text{m}$ 互の目植 ($38 \text{本植}\cdot 10\text{a}^{-1}$) として生育させた。ただし、定植 15 年以降に間伐を実施して $7.2\text{m}\times 7.2\text{m}$ 正方植 ($18 \text{本植}\cdot 10\text{a}^{-1}$) としており、『白加賀 (～2007 年)』、『玉英』、『南高』、『石川 1 号』、『十郎』がこれに該当する。

各種調査は (独) 農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所の育成系統適応性検定試験・特性検定試験調査方法 (2007) を参考に次のとおり行った。生育調査として、剪定後に地表面から 20cm 部分の幹周と樹冠の縁から縁までの長さとして東西長、南北長を測定して樹冠面積を算出した。また、開花期については、全体の 20～30%が開花した日を開花始、80%が開花した日を開花盛、全体の 70～80%の花弁が散った日を開花終とした。収穫作業は、ウメ核表面色カラーチャート (石澤ら、1995) で 2～3 の状態、もしくは果実が十分膨らみ果実を強く引くと果梗が離れる状態を青ウメの適熟果として順次収穫を行った。収穫した果実の総重量を測定して 1 樹あたりの収量とした。また、収穫日毎に平均的な大きさの果実 20 果の平均を 1 果重とし、最大 50 果実について病害果や虫害果、ヤニ果 (内外樹脂障害果) の数を調査して各種発生率を求めた。

3 結果

3.1 各ウメ品種の開花時期

茨城県における 2014 年～2022 年までの主要・補完的な品種の開花調査結果は表 1 のとおりである。開花始期は、早い順から『水戸』>『竜峡小梅』>『星秀』>『南高』>『星高』の 5 品種で 2 月下旬から、次いで、『十郎』>『加賀地蔵』>『石川 1 号』>『麗和』>『玉英』>『白加賀』の順で 3 月上旬に、そして『露茜』は 3 月中旬であった。比較した品種の中で、『玉英』、『白加賀』、『露茜』の 3 品種は開花始が遅い品種であった。開花盛期および開花終期は、若干の違いは見られるが開花始の順と大きく変わらなかった。これら開花時期は、年によって大きく変動し、開花始期が平均して 2 月下旬になるような開花が早い品種ほど標準偏差が 10 日を超える傾向にあり、開花が遅い品種ほど標準偏差が小さく、年による変動が小さい傾向にあった。また、各開花期の標準偏差は開花終期では比較的小さくなった。開花期間は品種によって 13 日間～23 日間となり、『水戸』や『竜峡小梅』といった開花が早い品種ほど 20 日間を超えて長く、開花始が最も遅い『露茜』は開花期間が 13 日と最も短くなった。茨城県での主要な品種である『白加賀』と開花盛期が近い品種は、『玉英』と『石川 1 号』、『麗和』の 3 品種であった。

表 1 茨城県における各品種の開花時期 (2014～2022年)

品種	開花始 (月/日)	開花盛 (月/日)	開花終 (月/日)	開花期間 (日)
白加賀	3/10 ± 7.4	3/13 ± 7.0	3/25 ± 5.7	15 ± 4.6
玉英	3/8 ± 8.5	3/12 ± 8.1	3/24 ± 6.6	17 ± 4.0
南高	2/26 ± 10.1	3/3 ± 10.3	3/15 ± 8.4	18 ± 5.0
石川1号	3/3 ± 11.5	3/9 ± 10.1	3/20 ± 8.5	17 ± 4.4
加賀地蔵	3/1 ± 10.9	3/5 ± 10.6	3/18 ± 7.6	17 ± 4.6
十郎	3/1 ± 9.2	3/5 ± 9.0	3/19 ± 7.1	16 ± 7.2
竜峡小梅	2/21 ± 10.2	2/27 ± 11.0	3/14 ± 6.9	22 ± 4.7
水戸	2/20 ± 12.6	2/27 ± 12.7	3/14 ± 9.5	23 ± 5.2
麗和	3/4 ± 11.7	3/10 ± 9.6	3/19 ± 8.3	18 ± 5.1
露茜	3/15 ± 6.2	3/19 ± 5.3	3/28 ± 7.4	13 ± 5.2
星秀	2/24 ± 12.0	2/28 ± 12.0	3/13 ± 11.2	19 ± 3.9
星高	2/27 ± 11.1	3/3 ± 10.5	3/18 ± 8.6	19 ± 5.2

3.2 開花盛期に影響を与える月平均気温

ウメの花芽形成時期である8月下旬から9月上旬以降の月平均気温と開花盛期の相関係数を表2に示した。比較した多くの品種において、開花盛期は9月および10月、11月の平均気温とは相関がなく、12月および1月、2月の平均気温とは高い負の相関となった。また、品種によって影響を受ける月平均気温が異なり、‘石川1号’、‘加賀地蔵’、‘十郎’、‘竜峡小梅’、‘水戸’、‘星高’は12月、1月、2月のすべてと高い負の相関があった。‘麗和’と‘星秀’は12月と2月の月平均気温、‘玉英’と‘露茜’は1月と2月の月平均気温とそれぞれ高い負の相関があった。一方で、‘白加賀’は2月、‘南高’は12月の月平均気温と高い負の相関があった。12月から2月のうちの複数月平均気温では、ほとんどの品種で高い相関を示し、特に12月-2月の月平均気温と高い負の相関であった。

表2 茨城県における各品種の開花盛時期と月平均気温との相関（2014～2022年）

品種	9月	10月	11月	12月	1月	2月	12月-1月	12月-2月	1月-2月
白加賀	-0.500	0.113	-0.038	-0.574	-0.429	-0.678*	-0.571	-0.710*	-0.615
玉英	-0.503	-0.087	-0.116	-0.588	-0.676*	-0.762*	-0.705*	-0.767*	-0.788*
南高	-0.337	-0.044	-0.139	-0.751*	-0.591	-0.585	-0.762*	-0.752*	-0.643
石川1号	-0.512	-0.096	-0.222	-0.713*	-0.683*	-0.841**	-0.785*	-0.881**	-0.838**
加賀地蔵	-0.523	-0.102	-0.054	-0.737*	-0.650	-0.702*	-0.784*	-0.813**	-0.741*
十郎	-0.701	-0.398	0.022	-0.764*	-0.674	-0.722*	-0.816*	-0.843**	-0.766*
竜峡小梅	-0.436	0.015	-0.203	-0.702*	-0.605	-0.762*	-0.739*	-0.828**	-0.753*
水戸	-0.430	-0.013	-0.235	-0.688*	-0.615	-0.803**	-0.736*	-0.845**	-0.782*
麗和	-0.173	0.086	-0.396	-0.726*	-0.540	-0.633	-0.721*	-0.766*	-0.646
露茜	-0.382	0.014	-0.381	-0.508	-0.684*	-0.842	-0.660	-0.770*	-0.840**
星秀	-0.477	-0.014	-0.223	-0.682*	-0.575	-0.824**	-0.712*	-0.854**	-0.774*
星高	-0.571	-0.219	-0.123	-0.811**	-0.631	-0.772*	-0.820**	-0.894**	-0.772*

[.]10%水準、[*]5%水準、[**]1%水準で有意

3.3 主要な品種の開花盛期の推移

‘白加賀’、‘玉英’、‘南高’、‘石川1号’について、2000年から2010年の開花盛期と2011年から2022年の開花盛期を図1に示した。2000年から2010年の開花盛期は品種によらず、年を経るごとに早期化する傾向があるものの、年との相関はなかった。一方、2011年から2022年の開花盛期は‘白加賀’と‘玉英’について、年とやや高い負の相関を示し、開花盛期を目的変数とした線形モデルの傾きがより大きく、決定係数が上昇したことから、2000年から2010年の線形モデルよりも当てはまりがよく、2011年から2022年の開花が早期化する傾向にあった。なお、‘南高’と‘石川1号’は有意でないものの同様の傾向が見られた。

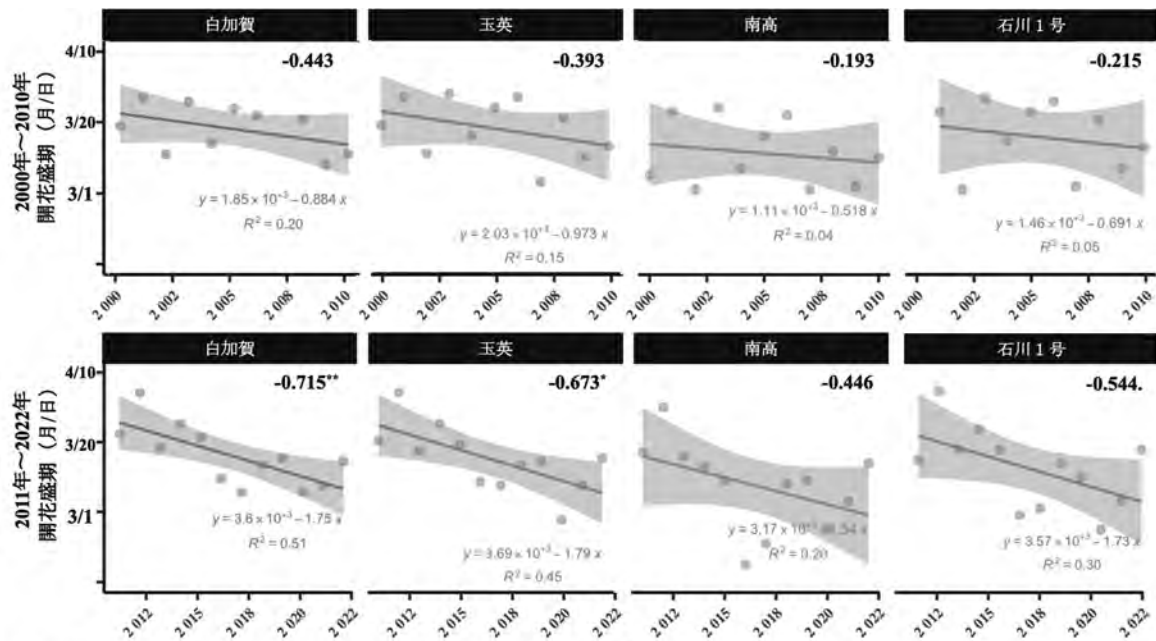


図1 2000～2010年の開花盛期と2011～2022年の開花盛期

相関係数：[.]10%水準、[*]5%水準、[**]1%水準で有意
灰色の部分は95%信頼区間を示す。

3.4 主要な品種の生育

樹の幹周について、‘玉英’、‘石川1号’、‘南高’は経時的に大きくなっていったが、‘白加賀’は2021年をピークに2022年では減少し、‘露茜’は他の品種と比べて微増するにとどまった(図2a)。樹冠面積については、‘玉英’、‘石川1号’、‘南高’が2014年から2016年にかけて減少したが、それ以降は増加していた。‘白加賀’は増減を繰り返して2022年時点では、2014年よりも増加した。‘露茜’は2014年からほぼ樹冠面積が一定であり、他品種のように増加しなかった。(図2b)

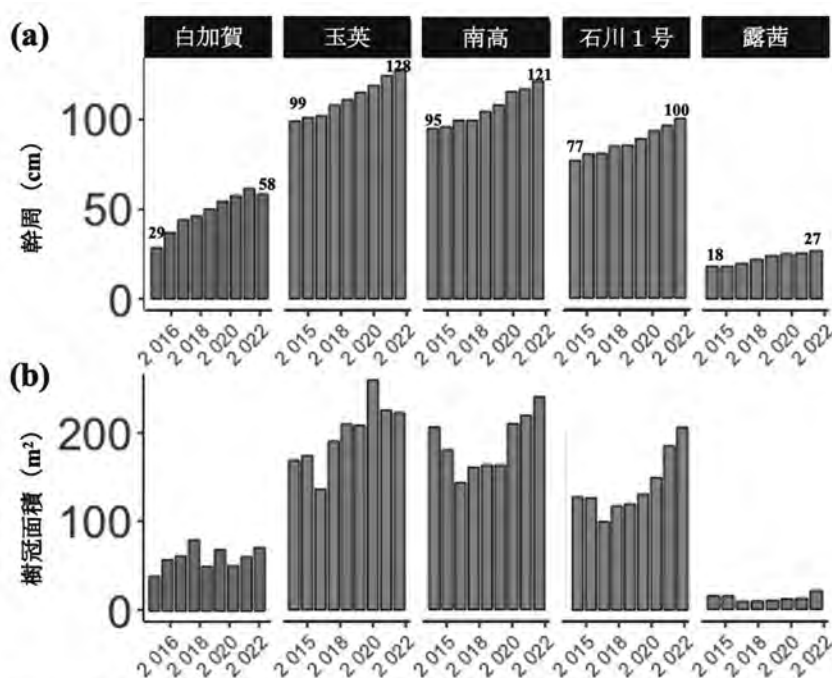


図2 主要な品種の幹周 (cm) と樹冠面積 (m²) の変化 (2014~2022年)

3.5 主要な品種の収量と果実品質

2014年から2022年の調査結果は表3のとおりである。収量は品種により大きな差があるが、これは樹の大きさによる影響を受けたものである。また、いずれの品種も収量の標準偏差が大きく、年ごとに収量がばらつき、年次変動が見られた。1果重は、‘露茜’ > ‘南高’ > ‘白加賀’ > ‘玉英’ > ‘石川1号’の順であった。病害果率では、‘白加賀’ > ‘南高’ > ‘露茜’ > ‘石川1号’ > ‘玉英’の順であった。虫害果率はいずれの品種も5%以下であった。ヤニ果率は‘白加賀’と‘玉英’で高く、病害虫果率は‘白加賀’と‘南高’で高くなった。ここで、収量については年次変動と樹の大きさによる影響を受けていることから、樹冠面積あたりの収量を求めた(図3)。年によって豊凶の差はあるものの、‘石川1号’と‘南高’は他品種よりも樹冠面積のあたり収量が多い傾向にあった。次に比較的多いのは‘玉英’で、‘白加賀’と‘露茜’はほとんどの年で樹冠面積のあたり収量が少なかった。

表3 主要な品種の収量と果実品質 (2014~2022年)

品種	収量 (kg/樹)	1果重 (g)	病害果率 (%)	虫害果率 (%)	ヤニ果率 (%)
白加賀	8.3 ± 5.9	28.6 ± 5.5	16.6 ± 13.1	3.9 ± 6.3	10.9 ± 7.5
玉英	69.1 ± 43.4	26.8 ± 4.3	2.2 ± 3.5	1.8 ± 2.2	8.8 ± 7.5
南高	104.5 ± 62.0	29.5 ± 7.6	10.2 ± 10.3	5.0 ± 8.9	2.1 ± 2.4
石川1号	74.7 ± 25.3	15.9 ± 4.7	3.3 ± 6.9	1.1 ± 1.1	2.1 ± 2.9
露茜	3.0 ± 2.0	49.4 ± 16.7	5.9 ± 7.8	1.7 ± 2.0	0.3 ± 0.7

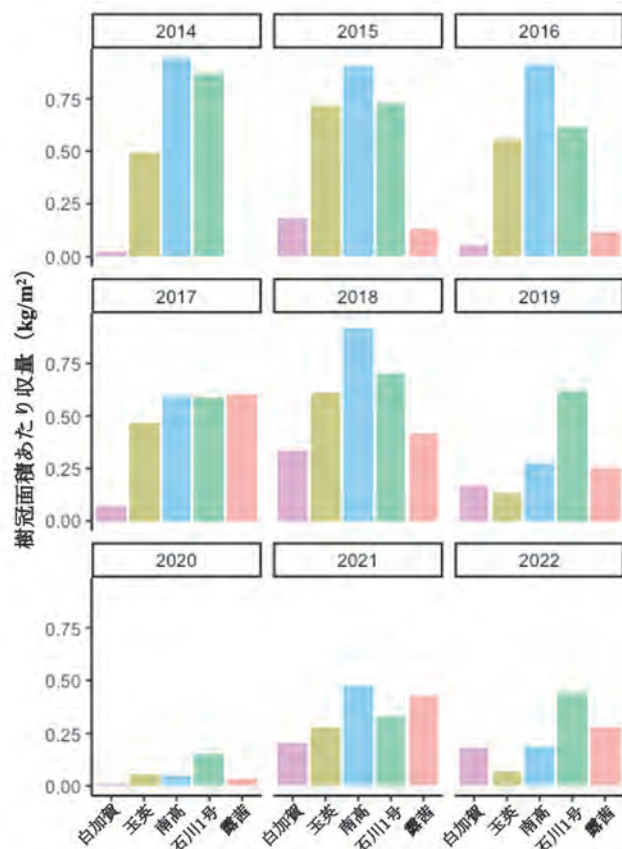


図3：主要な品種の樹冠面積あたり収量 (kg/m²) の推移

4. 考察

4.1 ウメ品種の開花時期

本県の1966年から1985年における研究(渡辺ら、1987)と共通する‘白加賀’、‘玉英’、‘南高’、‘石川1号’、‘竜峡小梅’の開花生態について比較すると、開花始期は2~9日、開花盛期は9~13日、開花終期6~11日早期化し、開花期間は2~5日短くなっていることから、近年のウメ開花生態は、近年の気温上昇等の影響を受け、変化していると言える。開花期間については、今回の結果は、本県の過去の報告からやや短くなっており、渡辺ら(1979)の千葉県における報告の28~37日よりは短くなっていた。これは、報告にある千葉県原種農場(旧：千葉県山武郡成東町)は海沿いにあり、本所よりも開花期前の月平均気温が3℃程高く、温暖な気候で開花始期が早くなっている影響と考えられる。また、ウメの開花始期は年次変動と品種差が大きいことが知られ、過去に報告のある開花始期の年次変動は、最大で50~60日程度とされるが(渡辺ら、1987; 渡辺ら、1979)、今回の調査結果の最大差は、‘白加賀’で21日、‘玉英’で19日、‘南高’で28日、‘石川1号’で27日、‘竜峡小梅’で27日(2014年欠損値)となり、過去の報告よりも小さくなったが、4月に開花始期となるような年が見られないことが影響したと考えられる。品種差について、各品種の開花始期は平均値で2月下旬から3月中旬の間にあり、最も早い‘水戸’と最も遅い‘露茜’では18日の差だが、過去の報告では‘竜峡小梅’と‘織姫’の25日であった。これらのことから、過去と比較して近年は開花が早期化しており、年次変動が縮小していることが示唆された。さらに、今回供試した品種においては、開花始期の差が縮小する可能性がある。

また、開花始期と開花期間には高い負の相関が知られており(渡辺ら、1979; 渡辺、1984)、今回の調査結果でも表4のように‘石川1号’、‘加賀地蔵’、‘竜峡小梅’、‘水戸’、‘麗和’で高い負の相関、‘白加賀’、‘玉英’、‘十郎’、‘星高’でやや高い負の相関が認められた。この相関について、開花期間を開花盛期で前半に分け、各開花期との相関を確認すると、多くの品種で後半(Δ開花終-開花盛)に開花始期と開花盛期について有意な負の相関が見られ、開花終期は他の開花期と比べて開花期間と相関が小さく年次変動も小さいことから、開花期間の長短は、気温による開花始期および開花盛期の変動と比較的固定され

た開花終期によって決まり、結果として開花始期と高い負の相関を示すと推察される。

開花時期の他、ウメは他のバラ科果樹と同様に *S*-*RNase* による配偶体型自家不和合性が知られており(杉浦・田尾、2002)、安定したウメ栽培には開花時期と合わせて自家結実性や *S* 遺伝子型も考慮に入れる必要がある(図4)。本県で最も多く栽培される‘白加賀’は *S* 遺伝子型が S_3S_6 で自家不和合性を有するので(八重垣ら、2002; 林ら、2004)、今回供試した品種の中で受粉樹として最も適切な品種は‘麗和’であり、次いで‘石川1号’が適する可能性があった。なお、‘麗和’と‘石川1号’は *S* 遺伝子型が S_f で自家結実性を有し、‘麗和’はヤニ果発生率も少ない新品種であるため、今後の導入が期待される品種である(八重垣、2020)。

以上の結果から、渡辺ら(1987)の報告から35年が経った近年では、品種によらず開花時期は早期化し、開花期間も短くなっていることが明らかになった。このことは、自家不和合性を有する品種にとっては受粉機会が減少していることと同意であり、特に開花時期が遅く、同時に開花する品種の少ない‘白加賀’については、積極的な受粉樹の定植が必要となることを示すものである。また、これまでに報告されていた開花始期と開花期間に見られる負の相関は、開花始期と開花盛期が早期化することの影響が大きい可能性を示した。

表4 茨城県における各品種の開花期間と各開花時期の相関(2014~2022年)

品種	vs 開花期間			vs Δ (開花盛-開花始)			vs Δ (開花終-開花始)		
	開花始	開花盛	開花終	開花始	開花盛	開花終	開花始	開花盛	開花終
白加賀	-0.639 .	-0.678 *	-0.014	-0.426	-0.299	-0.575	-0.526	-0.591 .	0.113
玉英	-0.661 .	-0.623 .	-0.242	-0.354	-0.168	-0.237	-0.552	-0.593 .	-0.155
南高	-0.571	-0.495	-0.092	0.070	0.188	0.427	-0.665 .	-0.611 .	-0.222
石川1号	-0.782 *	-0.756 *	-0.540	-0.747 *	-0.651 .	-0.660 .	-0.569	-0.593 .	-0.305
加賀地蔵	-0.829 **	-0.816 **	-0.590 .	-0.287	-0.189	-0.222	-0.798 **	-0.810 *	-0.563
十郎	-0.685 .	-0.602	-0.309	-0.236	-0.069	0.034	-0.712 *	-0.688 .	-0.385
竜峡小梅	-0.813 *	-0.772	-0.511	0.228	0.437	0.272	-0.795 *	-0.840 **	-0.594 .
水戸	-0.727 *	-0.619	-0.414	-0.039	0.118	0.311	-0.888 **	-0.828 *	-0.663 .
麗和	-0.794 *	-0.799 *	-0.447	-0.796 *	-0.679 *	-0.320	-0.454	-0.557	-0.060
露茜	-0.153	0.123	0.574	-0.337	0.016	0.026	0.117	0.221	0.712 *
星秀	-0.353	-0.215	-0.026	-0.124	0.128	0.062	-0.301	-0.363	-0.085
星高	-0.657 .	-0.605 .	-0.238	-0.357	-0.169	-0.200	-0.563	-0.591 .	-0.171

[.]10%水準、[*]5%水準、[**]1%水準で有意

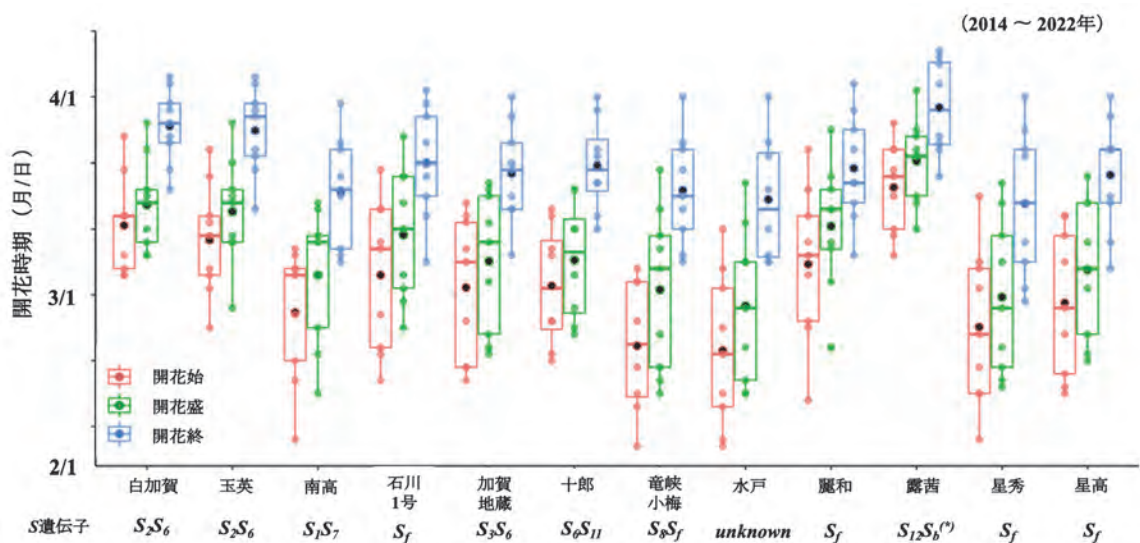


図4 茨城県における各品種の開花時期と*S*遺伝子型

林ら(2004)、八重垣ら(2002)、村上ら(2012)を参考に作成
(*)相同性の高い遺伝子として報告のあったものを記載

4.2 開花盛期に影響を与える月平均気温

開花盛期は12月から2月の月平均気温と高い負の相関があり、複数月の平均気温とより高い負の相関を示した。群馬県ではウメ‘冬至’の花芽が10月下旬には胚珠形成期に至り形態が完了していると報告があり(花岡ら、1980)、西日本では低温感応の始まりは10月下旬頃と推定していることから(青野・佐藤、1996)、本県でも11月には休眠覚醒のための低温を要求している時期にあると考えられる。休眠覚醒は7.2℃以下に遭遇した時間の積算値で判断することが従来から用いられるが、本県の日最低気温の月平均値は例年11月から7.2℃以下になる。このことから、11月から12月にかけて自発休眠覚醒状態に移行しており、12月以降には外環境の影響を受ける他発休眠状態にあると考えられる。今回の結果は、渡辺ら(1979)の報告では相関が認められなかった2月平均気温と高い相関があったが、前述のとおり地域差および近年の気象による差が見られていると考えられ、本県において各品種で相関が高かった12月から2月の月平均気温を説明変数、開花盛期を目的変数とした単回帰式によって開花前に開花盛期を推定することを試みた(表5)。

その結果、説明変数とする月平均気温は異なるが、すべての回帰式で決定係数 $R^2 = 0.5$ 以上であり、一定の当てはまりが認められることから、本県においても開花前の12月から2月の月平均気温を用いて開花盛期を予測可能であると考えられた。これまでウメにおいてこのような取り組みは本県ではなく、この式と国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構が開発・運用する農研機構メッシュ農業気象データシステムを活用することで、事前に生育ステージを把握できるようになり、霜害対策等の営農活動に寄与するものと期待される。

表5 月平均気温(x)と開花盛期(y)との相関と回帰式 (2014~2022年)

品種	相関係数	回帰式	決定係数 (R^2)	備考 (xに用いる月平均気温)
白加賀	-0.710 *	$y = -5.18x + 96.5$	0.50	12月-2月
玉英	-0.788 *	$y = -7.03x + 95.4$	0.62	1月-2月
南高	-0.762 *	$y = -9.25x + 98.1$	0.58	12月-1月
石川1号	-0.881 **	$y = -6.46x + 110$	0.78	12月-2月
加賀地蔵	-0.813 **	$y = -9.02x + 105$	0.66	〃
十郎	-0.843 **	$y = -7.74x + 100$	0.71	〃
竜峡小梅	-0.828 **	$y = -10.7x + 108$	0.69	〃
水戸	-0.845 **	$y = -10.4x + 104$	0.71	〃
麗和	-0.766 *	$y = -7.70x + 104$	0.59	〃
露茜	-0.840 **	$y = -5.94x + 99.6$	0.71	1月-2月
星秀	-0.854 **	$y = -10.7x + 107$	0.73	12月-2月
星高	-0.894 **	$y = -9.81x + 107$	0.80	〃

[*]5%水準、[**]1%水準で有意

4.3 主要な品種の開花盛期の推移

近年、温暖化により様々な樹種でその影響があるとされ、ウメでは1999年ころから品種間の開花のズレや開花の早期化とその問題が報告されている(杉浦ら、2007; 杉浦、2010; 別府、2020)。世界年平均気温の上昇の停滞が見られた2000年から2010年頃と再度上昇の見られる2011年から2022年(気象庁、2022b)で区切り開花盛期の推移を示す回帰式を作成したところ、2011年から2022年の回帰式の傾きがより小さくなっており、2011年から2022年の主要な品種の開花盛期が2~3日早期化していた。この区分の場合、‘玉英’、‘南高’、‘石川1号’については高樹齢化しているため、樹齢の影響も少なからず受けている。しかし、‘白加賀’は2000年~2006年の調査には26年生から32年生のデータも含まれており、2011年から2022年の調査に用いた樹(4年生~15年生)の方が若年であるが開花期が早期化していた。このことから、より詳細な調査が必要であるが、本県のウメは近年温暖化により開花期が早期化している可能性が示された。また、今後も10年単位で同様の変化が起これるのであれば、防除適期のズレや果実肥大、収穫期に

影響が出てくると予想され、対応策を問題に先んじてとっていく必要がある。

4.4 主要な品種の生育

2014年から2022年にかけて、今回供試した主要な品種のうち間伐済みで7.2m×7.2m 正方植となっている‘玉英’、‘石川1号’、‘南高’は、樹勢維持や結果枝更新の剪定の影響を受けて樹冠面積が減少する時期もあったが、調査期間中は順調な生育を見せて幹周が1.3倍になった。しかし、樹齢の影響か、渡辺ら(1979)の報告にある若木ほどの生育は見せなかった。7.2m×7.2m 互の目植としている‘白加賀’は調査期間で幹周が2倍程度になったが、腐生菌が付着して樹が一部欠損したために2022年が前年よりも減少している。7.2m×7.2m 互の目植のウメ栽培では、15年生までに縮伐や間伐を実施することを想定しており、‘白加賀’は樹冠面積からみても今後の間伐が可能であり、この栽培方法を適用する事ができる。一方で、‘露茜’は若木だが幹周の増加は1.5倍にとどまり、樹冠面積もほとんど拡大できず、7.2m×7.2m 互の目植として定植するのは困難であった。‘露茜’は樹勢が弱～中と報告されており(八重垣ら、2012)、今回の生育の様子から本県においては樹勢弱であり、園地を埋めるためには密植や強樹勢品種の主幹先端への高接ぎ(土田ら、2022)等の工夫が必要であろう。

4.5 主要な品種の収量と果実品質

ウメは2月頃から開花するため、霜害や訪虫の不足等が発生しやすく収量の年次変動が大きい。年次別の樹冠面積あたりの収量では、‘玉英’、‘南高’、‘石川1号’が比較的多い収量で安定していた。しかし、‘白加賀’と‘露茜’は前に上げた3品種よりも少なかった。‘白加賀’は開花盛期が開花調査のために供試した12品種の中でズレていることと、自家不和合性であることが要因であると推察される。ただし、開花期や花粉稔性を含め、似た表現型を示す‘白加賀’と‘玉英’で生じる収量の差については、いくつか報告があり(渡辺ら、1979; 渡辺ら、1987)、収穫果実数が異なっているとされるが、その要因は明らかにされておらず、今後の詳細な調査が必要である。‘露茜’については、もともと樹勢が弱い傾向にあり、今回の調査樹では樹勢維持を目的として発育枝を2/3程度剪除するような強剪定管理をしていた。‘露茜’の強剪定では、枝あたりの収量が少なくなると報告されており(下ら、2017)、この影響を受けていると考えられる。しかし、強剪定をしているにも関わらず、樹冠拡大が困難であったことから、一般的な栽培管理による結果枝長の延長は望めず、経済栽培するために収量確保を目的として密植かつ中程度の剪定を行う、もしくは高接ぎする等、他の品種以上に栽培を工夫する必要がある。また、収量と各形質の相関関係を確認したところ、収量と開花盛期には‘石川1号’で正の相関が認められ、開花が遅い年は収量が増える傾向にあった(表6)。この傾向は過去の報告(中川ら、1966; 渡辺ら、1987; 渡辺ら、1979)と一致するが、他の4品種には見られなかった。収量は、前年の着果量の多少や開花期間中の温度不足による訪虫の減少、品種によっては不完全花の増加、品種の開花時期による霜害リスク等(渡辺、1984)、複合的要因であることから、開花始期以外の影響が強かった可能性がある。‘南高’および‘露茜’は収量と1果重で負の相関が認められ、収量が多いと果実サイズが小さくなるので、着果が多い年には摘果の実施も検討する必要がある。幹周は‘白加賀’と‘露茜’で正の相関、‘玉英’、‘南高’、‘石川1号’で負の相関があった。これはウメの経済樹齢が25年程度と考えられていることから、調査期間中に25年生前後となった‘玉英’、‘南高’、‘石川1号’は樹齢の影響で収量が低下する傾向にあった。

果実品質について、1果重は‘露茜’が極めて大粒、次いで‘玉英’、‘南高’、‘白加賀’が大粒、‘石川1号’が中粒であった。なお、‘白加賀’ではかいよう病とヤニ果の発生が目立った。ヤニ果は梅干しに利用した際に食味を低下させる要因となるが、果実肥大の不均衡によって生じ、品種特性であるため対策は容易ではない(Yamaguchi et al., 2004)。「玉英」は東京都青梅市で実生から発見され「白加賀」と果形や加工適性に大きな差はない(長谷川ら、1982)。そして、「玉英」の方が「白加賀」よりも収量および果実品質が安定しているので、本県での栽培に適する品種と考える。また、「南高」では黒星病とかいよう病の両方が確認され、病害果率が高くなった。「南高」は優れた果実品質のため和歌山県でも多く生産されるが、今後の気象条件の変動も考慮して黒星病抵抗性を有する品種の導入を検討していく必要がある(北村ら、2018; 沼口ら、2021)。

以上より、本県で多く栽培される‘白加賀’は、開花時期が他の品種とズレがあり、茨城県の近年の気

象では栽培適応性が低く、収量が低いことが明らかになったことから、果実品質が同程度で収量が安定する‘玉英’へ更新する必要があると考えられた。一方、‘白加賀’既存樹の着果安定化のためには、受粉樹として‘麗和’や‘石川1号’といった品種を混植することも必要である。

表6 主要な品種の樹あたり収量との相関

品種	開花盛日	1果重	樹冠面積	幹周	年(樹齢)
白加賀	0.05	-0.28	0.29	0.43	0.43
玉英	0.41	-0.49	-0.55	-0.68 *	-0.68 *
南高	0.17	-0.68 *	-0.29	-0.77 *	-0.79 *
石川1号	0.93 ***	-0.48	-0.03	-0.39	-0.43
露茜	0.05	-0.59 .	0.11	0.30	0.55

[.]10%水準、[*]5%水準で有意

引用文献

- 青野靖之・佐藤和美(1996)休眠解除過程を考慮した西日本におけるウメの開花日の推定.農業気象 52 : 125-134.
- 別府賢治(2020)サクラ属果樹の栽培における温暖化に伴う障害の発生とその対策.園芸学研究 19 : 219-228.
- 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所(2007)ウメ育成系統適応性検定試験・特性検定試験調査方法 : 114-123.
- 長谷川裕正・郡司 章・田所洋弐・木村宏忠(1982)梅の加工に関する研究 8 : 塩漬梅の品種別加工適性.茨城県食品試験所報告 25 : 1-14.
- 花岡喜重・茂木孝夫・森 昭(1980)標高差による花木の生態的研究.群馬県園芸試験場研究報告 8 : 1-18.
- 林 恭平・根来圭一・岩本和也・細平正人・菅井晴雄(2004)PCR法によるウメ品種のS遺伝子型.和歌山県農林水産総合技術センター研究報告 5 : 67-73.
- 石澤ゆり・京谷英壽・西村幸一・山口正己・垣内典夫(1995)ウメ収穫期判定のためのカラーチャート.果樹試験場研究報告 28 : 15-24.
- 気象庁(2022a)日本の季節平均気温. https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/win_jpn.html (2022年8月31日アクセス).
- 気象庁(2021)WMO温室効果ガス年報第17号(気象庁訳). https://www.data.jma.go.jp/gmd/env/info/wdcgg/GHG_Bulletin-17_j.pdf (2022年8月31日アクセス).
- 気象庁(2022b)地球温暖化と十年規模変動-世界の平均気温上昇の近年における停滞. https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/db/mar_env/knowledge/ohc/hiatus.html (2022年8月31日アクセス).
- 北村祐人・武田知明・沼口孝司・土田靖久・根来圭一・林 恭平・岩本和也・菱池政志・中 一晃・島津 康(2018)黒星病抵抗性ウメ‘星高’の育成と減農薬栽培への可能性の評価.和歌山県農林水産試験場研究報告 6 : 27-35.
- Yamaguchi, M., T. Haji and H. Yaegaki(2004).Differences in Mesocarp Cell Number, Cell Length and Occurrence of Gumming in Fruit of Japanese Apricot (*Prunus mume* Sibe. et Zucc.) Cultivars during their Development.Journal of the Japanese Society for Horticultural Science 73:200-207.
- 村上 覚・神谷健太・鎌田憲昭・山田晋也(2012)ニホンスモモとウメの自然種間雑種'李梅'(Prunus salicina Lindl.×P.mume Sieb.et Zucc.)におけるShaploptypeと受粉品種の検討.園芸学研究 11 : 315-320.
- 中川行夫・金戸橘夫・角田篤義(1966)果樹の気象適地に関する研究(4)ウメの開花結実と冬の気温.農業気象 21 : 131-136.
- 沼口孝司・北村祐人・武田知明・下村友季子・綱木海成・柏本知晟・島津 康・菱池政志・岩本和也・根来圭一・中 一晃・林 恭平・土田靖久・大江孝明(2021)ウメ‘星秀’の育成.和歌山県農林水産試験場研究報告 9 : 73-85.
- 清水 庸・大政謙次(2010)1961年～2007年のウメの開花に関する経年変化・地域的傾向の解析.農業気

象 66 : 279-288.

下博 圭・竹中正好・北村祐人・佐原重広・川村 実 (2017) ウメ‘露茜’の安定生産のためのせん定法の確立. 和歌山県農林水産試験研究機関研究報告 5 : 99-105.

杉浦 明・田尾龍太郎 (2002) 自家不和合性の果樹生産における問題点と現状. 植物の生長調節 37 : 156-165.

杉浦俊彦・黒田治之・杉浦裕義 (2007) 温暖化がわが国の果樹生育に及ぼしている影響の現状. 園芸学研究 6 : 257-263.

杉浦俊彦 (2010) 果樹への温暖化の影響と対応. 農林水産技術研究ジャーナル 33 : 20-25.

土田靖久・城村徳明・稲葉有里・綱木海成・下村友季子・大江孝明・仲 慶晃 (2022) ウメ‘露茜’への強樹勢品種の高接ぎが樹体成長および収量に及ぼす影響. 園芸学研究 21 別冊 1 : 191 (講要).

八重垣英明・三宅正則・土師 岳・山口正己 (2002) ウメ品種の自家結実性の判定. 果樹研究所研究報告 1 : 55-60.

八重垣英明・山口正己・土師 岳・末貞佑子・三宅正則・木原武士・鈴木勝征・内田 誠 (2012) ウメ新品種‘露茜’. 果樹研究所研究報告 13 : 1-6.

八重垣英明 (2020) ウメ「麗和」と「和郷」. 果樹種苗 160 : 11-12.

吉田雅夫 (1984) 栽培の基礎. 果樹園芸大百科 8 ウメ農業技術大系. 農山漁村分化協会、東京、pp.5-8.

渡辺茂雄・石橋寛己・佐久網章・猪野洋子・長門寿男・曾良久男 (1979) 火山灰土地帯に適したウメ品種. 千葉県原種農場研究報告 1 : 25-32.

渡辺 進 (1984) ウメの生産安定と品質改善. 農業技術 39 : 363-368.

渡辺幸夫・山本正幸・佐久間文雄・霞 正一・足立元三・辛島紀男・土井 憲・飯島克信・星野正和・桧山博也・早乙女琢磨・市村 尚 (1987) 茨城県における果樹の品種生態に関する研究 (2). 茨城県園芸試験場研究報告 13 : 31-65.

Adaptability of Japanese Apricot cultivars in Ibaraki Prefecture under recent weather circumstances

**Takafumi YAMAGUCHI¹, Tomohiro KARASAWA, Nobuyuki KADOWAKI,
Akira SHIMIZU and Iwao TERAOKA**

Summary

Although the environment surrounding Japanese apricot cultivation has changed due to recent weather fluctuations, the last report on the physiological ecology of apricot in Ibaraki Prefecture was published over 35 years ago (Watanabe et al., 1987). Therefore, in order to understand the effects of changes in climate on the main properties of 12 varieties of cultivar, we investigated the flowering characteristics, yield of the main cultivar and fruit quality of each variety from 2014 until 2022. The results showed that the flowering period of each cultivar is occurring earlier, and 'Shirokaga', the most cultivated cultivar in this prefecture, had the second-latest flowering period among the surveyed cultivars, and few of the cultivars flowered at the same time. Among the surveyed cultivars for yield and fruit quality, annual yield per canopy area was high in 'Ishikawa No.1' and 'Nanko', and low in 'Shirokaga'. Regarding fruit quality, the frequency of gumming in fruit was high in 'Shirokaga' and 'Gyokuei', while diseased fruits were common in 'Shirokaga' and 'Nanko'.

These results suggest that 'Ishikawa No. 1' and 'Nanko' are the most suitable cultivars for cultivation in this prefecture.

Key words: Japanese Apricot, flowering forecast, yield and fruit quality

1 Address: Horticultural Research Institute, Ibaraki Agricultural Center, 3165-1 Ago, Kasama, Ibaraki 319-0292, Japan

茨城県に適した緑茶用品種の選定

寺田充芳・長田仁志¹⁾

(茨城県農業総合センター山間地帯特産指導所)

要約

本県の茶栽培品種は‘やぶきた’に偏重している。そこで、耐寒性と高い製茶品質を期待できる中生から晩生の6品種を供試し、茨城県での生育特性および一番茶荒茶の成分調査、官能評価試験で評価した。その結果、‘はるのなごり’と‘みやまかおり’は晩生で、病害や寒害の発生程度が低く、収量等の生育特性に優れていた。また、成分調査では全窒素・アミノ酸含有量が高く、官能審査結果でも高い評価であった。これら2品種を生産者アンケートに供したところ、‘はるのなごり’が最も高い評価を得た。このことから、‘はるのなごり’を本県茶産地に適した晩生品種に選定した。

キーワード：チャ、はるのなごり、品種、選定

1. はじめに

本県のチャは経済的北限の産地として、大子町を中心とする県北中山間地域や県西部の猿島地域を中心に延べ173ha栽培されている(公益社団法人日本茶業中央会、2022)。自園自製自販を基本とする経営形態により古くから地域に定着し、現在でも地域振興上重要な品目に位置づけられている。

本県のチャ栽培品種のうち約70%を‘やぶきた’(公益社団法人日本茶業中央会、2022)が占めており、品種構成が偏重している。このため、産地では摘採や製茶の作業時期が集中し、作業が遅れた茶の品質低下や香味の画一化等の弊害が生じるとともに、‘やぶきた’樹の老齢化による樹勢低下が問題となっている。そこで、中生品種‘やぶきた’への偏重を改善し作期の分散を図れる中生から晩生の品種を対象とし、耐寒性・耐病性・収量性が高く、優れた製茶品質を有する本県茶産地に適した品種の選定試験を実施したので報告する。

2. 材料および方法

中生から晩生の6品種‘ゆめわかば’、‘はるのなごり’、‘みやまかおり’、‘はるもえぎ’、‘おくはるか’および‘みなみさやか’を供試し、作期や品質の標準である品種‘やぶきた’(中生品種)と比較した。来歴(農研機構果樹茶業研究部門、2021)は表1、定植時期は表2に示した。試験は、茨城県農業総合センター山間地帯特産指導所(茨城県久慈郡大子町頃藤、表層腐植質黒ボク土)で行った。2年生の苗を畝幅180cm、株間40cm、単条で、1区24.3m²、2連制で定植し、定植時の樹高を20cm程度に調整し、弧状仕立てで管理した。その他、施肥等栽培管理や病虫害防除は茨城県普通作物栽培基準(茨城県農業総合センター、2017)に準じた。

生育調査は、チャ育種要綱(農林水産省野菜・茶業試験場、1999)に準じて、定植年から樹高、株張り、生育の良否、病虫害の発生程度を10月頃、寒害障害(赤枯れ、青枯れ)の発生程度を3月頃調査した。また、定植4年目から萌芽期、摘採日、芽揃いおよび収量調査を行い、摘採直前に30cm×30cm枠で摘採芽を採取し、摘芽形質(芽数、百芽重、摘芽長、出開き度)を調査した。

製茶は、定植5年目から少量用の2kg製茶ライン(栴寺田製作所製)による慣行製茶法で生葉を荒茶に加工した。

成分調査は、荒茶を粉碎し、近赤外分光分析計(静岡製機(株)製、GT-8)で、全窒素、遊離アミノ酸、テアニン、繊維、カフェイン、タンニンの含有量を池谷らの手法(池ヶ谷ら、1990)や後藤の手法(後藤、1992)により調査した。

官能審査は、形状、色沢、香気、水色、滋味を各項目10点満点の普通審査法(深津、2008)により、単盲検試験で評価した。

生産者アンケートは、生育評価、成分調査、官能審査結果から有望とした2品種および‘やぶきた’の荒茶サンプルを2020年10月に県内の自園自販の茶生産者13名に送付し、アンケート調査を実施した。項目は、外観、水色、香気、滋味および総合評価とし、非盲検試験で順位付け評価した回答を回収、集計した。

3. 結果

3. 1 茶樹の生育

1) 現 茨城県農業総合センター園芸研究所

樹高および株張りからみた定植1年目苗の生育は‘やぶきた’と比べ、‘ゆめわかば’、‘はるのなごり’、‘みやまかおり’が優る生育であった。‘はるもえぎ’の生育は同等程度であった。定植年が異なるが、‘やぶきた’の定植1年目の調査結果と比較して、定植1年目の‘みなみさやか’は同等程度、‘おくはるか’は劣った。その後、2020年までの生育は、‘みやまかおり’、‘はるのなごり’が‘やぶきた’より安定して優れていた。他の供試品種の生育は、ほぼ同等から劣る生育であった(表2)。

表1 品種の来歴^{a)}

品種名	来歴		摘採期 早晩性 ^{b)}	育成地	登録年
	♀	♂			
はるのなごり	埼玉1号	宮崎8号	+4	宮崎県	2012年
みやまかおり	京研283	埼玉1号	+5~7	宮崎県	2006年
ゆめわかば	やぶきた	埼玉9号	±0	埼玉県	2008年
はるもえぎ	茶本F ₁ NN27	ME52	+2~3	宮崎県	2006年
おくはるか	埼玉20号	埼玉7号	+6~10	埼玉県	2015年
みなみさやか	宮A-6	茶本F ₁ NN27	+1~3	宮崎県	1994年
やぶきた(標準品種)	静岡県在来実生		-	静岡県	1953年

a) 来歴、早晩性、育成場所、登録年は茶品種ハンドブック第6版(農研機構果樹茶業研究部門、2021)より。

b) やぶきたより早いものを-n日、遅いものを+n日で表示。

表2 供試品種の定植時期と生育の推移^{a)}

項目	品種	定植時期	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
樹高 (cm)	はるのなごり	2011年4月	50	104	55	60	66	68	71	109	97	122
	みやまかおり	2011年4月	56	102	59	63	67	71	74	118	104	138
	ゆめわかば	2011年4月	60	110	55	56	61	55	58	72	68	94
	はるもえぎ	2011年4月	61	95	54	59	63	62	61	81	76	97
	おくはるか	2012年9月		25	44	45	54	53	56	89	82	114
	みなみさやか	2012年4月		50	70	49	51	58	58	91	75	96
株張り (cm)	やぶきた(標準品種)	2011年4月	50	101	49	52	57	56	57	94	80	99
	はるのなごり	2011年4月	34	79	82	91	101	117	103	118	115	137
	みやまかおり	2011年4月	32	72	73	88	97	109	103	118	120	147
	ゆめわかば	2011年4月	30	59	69	69	77	72	72	77	74	94
	はるもえぎ	2011年4月	19	58	64	73	88	82	77	78	76	98
	おくはるか	2012年9月		9	25	47	72	69	74	92	95	128
生育の良否 ^{b)}	みなみさやか	2012年4月		27	39	58	61	76	72	85	79	105
	やぶきた(標準品種)	2011年4月	22	64	67	68	80	83	81	94	99	114
	はるのなごり	2011年4月	4.5	4.5	4.5	4.5	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
	みやまかおり	2011年4月	4.5	4.5	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.5	4.5	4.5
	ゆめわかば	2011年4月	4.0	4.0	3.5	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	はるもえぎ	2011年4月	3.5	3.5	3.0	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	2.0	3.0
b)	おくはるか	2012年9月		2.0	2.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.5	3.0	3.0
	みなみさやか	2012年4月		3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.0	3.0
	やぶきた(標準品種)	2011年4月	3.0	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0

a) 調査は各年10月に実施。

b) 生育の良否:1(不良)→5(良)。

3. 2 障害発生程度

病害の発生が全体的に少ない中で、炭そ病の発生は、いずれの供試品種も‘やぶきた’より少なかった。輪斑病の発生は、‘おくはるか’が‘やぶきた’より多かったが、他の供試品種では、発生は認められなかった。チャホソガ、ツマグロアオカスミカメ、チャノミドリヒメヨコバイ、カンザワハダニは発生が認められなかった(データ省略)。赤枯れの発生は、‘やぶきた’と比べ‘ゆめわかば’でやや多く、‘みなみさやか’が同程度で、他の供試品種は少なかった。青枯れの発生は、いずれの供試品種も‘やぶきた’より発生が少なかった(表3)。

3. 3 萌芽期および摘採日

各供試品種の萌芽期は、‘やぶきた’と比べ、1～6日遅かった。摘採日は、‘ゆめわかば’は‘やぶきた’と同等、他の供試品種は‘やぶきた’と比べ2～4日程度遅かった（表4）。

表3 障害の発生程度^{a)}

品種	障害発生程度 ^{b)}			
	病害		寒害	
	炭疽病	輪斑病	赤枯れ	青枯れ
はるのなごり	1.1	1.0	2.3	1.5
みやまかおり	1.3	1.0	2.0	1.3
ゆめわかば	1.2	1.0	3.0	1.6
はるもえぎ	1.0	1.0	2.1	1.6
おくはるか	1.4	1.7	2.3	1.5
みなみさやか	1.0	1.0	2.8	1.6
やぶきた(標準品種)	1.8	1.3	2.7	1.7

a) データは2015年～2020年の平均値。

b) 障害発生程度: 1(無)→5(多)。

表4 萌芽期および摘採日^{a)}

品種	萌芽期		摘採日	
	(月日)	比較 ^{b)} (日)	(月日)	比較 ^{b)} (日)
	はるのなごり	4/24	+4.3	5/25
みやまかおり	4/26	+6.5	5/26	+3.4
ゆめわかば	4/21	+1.3	5/23	+0.8
はるもえぎ	4/23	+1.3	5/25	+2.4
おくはるか	4/25	+1.3	5/27	+3.9
みなみさやか	4/22	+1.3	5/26	+2.9
やぶきた(標準品種)	4/20	-	5/23	-

a) データは2015年～2020年の平均値。

b) ‘やぶきた’より早いものを-n日、遅いものを+n日で表示

3. 4 収量性および摘芽特性

一番茶生葉収量は、‘はるのなごり’、‘みやまかおり’が‘やぶきた’と比べ2割ほど多かった。他の供試品種の収量は‘やぶきた’より少なかった（表5）。

出開き度は‘みなみさやか’が35%でやや早めの摘採適期程度、他の供試品種は20%以下で早めの摘採であった。‘はるのなごり’、‘みやまかおり’は芽数、百芽重ともに数値が高かったが、芽数型の傾向であった。一方、‘みなみさやか’は、芽数が少ないが、百芽重が多い芽重型であった。他の供試品種は、芽数がやや多いが、百芽重が少ない傾向であった。摘芽長は、‘みやまかおり’と‘みなみさやか’が‘やぶきた’と同程度、他の供試品種は短い傾向であった。芽揃いは、各品種ともおおむね並みであった（表5）。

3. 5 一番茶荒茶の成分調査結果

緑茶のうまみ成分の目安となる一番茶荒茶の全窒素、遊離アミノ酸およびテアニンの含有率は、‘やぶきた’と比べ、‘ゆめわかば’が同等程度で、他の供試品種は‘やぶきた’より高かった。また、渋みのもととなるタンニン含有量は、‘やぶきた’と‘ゆめわかば’が同程度で、他の供試品種は、‘やぶきた’と比べ低かった（表6）。

3. 6 官能審査結果

外観（形状、色沢）は、‘みなみさやか’が‘やぶきた’と同程度、他の供試品種は‘やぶきた’より優れていた。香気の差は品種間で少なかったが、‘みやまかおり’は、枝豆様の香り、‘おくはるか’は、スパイシーな

香りが特徴的であった。水色は、‘やぶきた’ と比べ ‘ゆめわかば’ が劣り、‘はるのなごり’ は同等、他品種は優れていた。滋味は、‘やぶきた’ と比べ ‘ゆめわかば’ が劣り、‘みやまかおり’、‘はるのなごり’、‘はるもえぎ’ は ‘やぶきた’ とほぼ同等で高かった。

官能評価による一番茶荒茶の品質を総合的に評価すると、‘みやまかおり’、‘はるのなごり’、‘はるもえぎ’、‘おくはるか’ が ‘やぶきた’ と比べ優れていた (表7)。

表5 一番茶生葉収量と摘採期における摘芽形質^{a)}

品種	一番茶		摘芽形質 ^{c)}			
	生葉収量 (kg/10a) (指数) ^{b)}	芽数 (本)	百芽重 (g)	摘芽長 (cm)	出開き度 (%)	芽揃い ^{d)}
はるのなごり	140 (124)	62	65.3	6.0	7	2.4
みやまかおり	137 (121)	69	65.9	6.6	9	2.3
ゆめわかば	82 (72)	56	52.1	5.7	17	2.5
はるもえぎ	87 (77)	60	55.2	6.1	7	2.9
おくはるか	74 (65)	54	53.0	5.9	1	3.0
みなみさやか	91 (80)	44	76.3	6.5	35	3.0
やぶきた(標準品種)	113 (100)	51	62.0	6.5	20	3.0

a) データは2016～2020年の5か年平均値。ただし、‘おくはるか’、‘みなみさやか’は過去2017～2020年の4か年平均値。

b) ‘やぶきた’を100とした値。

c) 30×30cm 枠による調査。摘芽長は任意の20芽を調査。

d) 芽揃い: 1(不良)→5(良)。

表6 一番茶荒茶の成分含有量^{a)}

品種	荒茶成分(%) ^{b)}					
	全窒素	遊離アミノ酸	テアニン	繊維 ^{c)}	カフェイン	タンニン
はるのなごり	6.0	4.0	2.3	17.7	3.0	12.8
みやまかおり	6.1	4.0	2.2	17.0	3.0	12.7
ゆめわかば	5.1	2.8	1.3	20.0	2.7	16.1
はるもえぎ	5.8	3.9	2.1	18.2	3.0	14.3
おくはるか	5.6	3.7	2.0	19.6	2.7	13.1
みなみさやか	5.5	3.4	1.8	19.4	2.9	14.6
やぶきた(標準品種)	5.1	2.9	1.3	20.1	2.6	16.2

a) データは2016～2020年の5か年平均値。ただし、‘おくはるか’、‘みなみさやか’は過去2017～2020年の4か年平均値。

b) 荒茶成分は乾物換算の量。

c) 繊維は中性デタージェント繊維量。

表7 官能審査結果^{a) b)}

品種	外観		内質				合計値 (指数) ^{c)}
	形状	色沢	香気	水色	滋味	内質計	
はるのなごり	7.8	9.2	8.8	7.8	9.0	25.6	42.6 (114)
みやまかおり	8.2	9.4	7.8	8.6	9.2	25.6	43.2 (116)
ゆめわかば	8.0	8.6	8.0	6.6	7.2	21.8	38.4 (103)
はるもえぎ	8.4	8.4	8.6	8.0	9.2	25.8	42.6 (114)
おくはるか	8.0	8.3	8.7	9.0	8.0	25.7	42.0 (112)
みなみさやか	6.0	7.0	8.7	8.7	8.7	26.0	39.0 (104)
やぶきた(標準品種)	5.8	6.6	8.6	7.6	8.8	25.0	37.4 (100)

a) 各項目10点満点の普通審査法による。

b) データは2016～2020年の5か年平均値。ただし、‘おくはるか’、‘みなみさやか’は過去2017～2020年の4か年平均値。

c) 指数は‘やぶきた’を100とした値。

3. 7 生産者アンケート結果

これまでの試験結果から、生育・収量がよく、障害の発生程度が低く、晩生で、荒茶の成分量、官能審査結果で優れる2品種‘はるのなごり’および‘みやまかおり’を有望品種候補とした。これら2品種と標準品種‘やぶきた’を県内自園自販の茶生産者を対象にした試飲アンケートを供し、13名中12名から回答があった。‘はるのなごり’は外観と香気の評価が高く、爽やかな香気がある等の意見があった。‘みやまかおり’は水色と滋味の評価が高かった。2品種は各項目で‘やぶきた’より高い評価だったが、‘はるのなごり’はバランスがよい等の意見があり、総合評価でも最も高い評価を得た(表8)。

これらの結果を踏まえ、供試した6品種の中から‘はるのなごり’を本県に適する晩生品種として選定した。

表8 生産者試飲評価結果^{a)}

品種	生産者試飲評価による票数														
	総合評価			外観			水色			香気			滋味		
	1位	2位	3位	1位	2位	3位	1位	2位	3位	1位	2位	3位	1位	2位	3位
はるのなごり	9	2	0	8	4	0	3	7	1	9	3	0	3	8	1
みやまかおり	2	8	1	4	8	0	8	3	0	2	6	4	6	3	3
やぶきた(標準品種)	0	1	10	0	0	12	0	1	10	1	4	7	3	2	7

a) 県内茶生産者12名による評価、各項目品種毎に順位をつけ集計(空欄、同順位あり)。

b) 2020年所内産一番茶荒茶を試料として配布、2020年11月～2021年1月にかけて結果を回収した。

4. ‘はるのなごり’について

‘はるのなごり’は‘やぶきた’と比べ収穫適期が約2日遅いため、‘やぶきた’に偏重した収穫時期をずらすことができ、適期摘採による品質の向上や製茶工場稼働の効率化が期待できる。また、萌芽期が約4日遅いため、霜害のリスクが低くなる。さらに、吉留ら(2011)は炭疽病および輪紋病に抵抗性を有するとしており、本試験でも炭疽病の発生が少なかったことから、農薬使用回数の削減が期待できる。耐寒性は高く、生育は旺盛で収量も多い。これらの生育特性から‘はるのなごり’は本県全域で栽培適性があると考えられる。

一方、荒茶の品質分析結果では、うまみの指標となる成分全室素量等の含有率が高く、渋みの指標となるタンニンの含有量は少ない。官能審査の評価も高いことから‘やぶきた’と同等以上の製品を期待できる。これらは、吉留ら(2011)と同様の結果であった。生産者による試飲での評価も高いことから、今回供試した品種の中では‘はるのなごり’が最も本県に適すると考えられる。今後、栽培の多い‘やぶきた’や既存の晩生品種からの置き換えが期待される。

謝辞

試飲アンケートの実施にあたり、奥久慈茶業組合、さしま茶協会および古内茶生産組合の茶生産者に協力頂いた。ここに感謝の意を表す。

引用文献

- 深津修一 (2008) 茶大百科 I 歴史・文化／品質・機能性／品種・製茶. 農山漁村文化協会、東京、pp.878-882.
- 後藤 正 (1992) 近赤外法による茶の総繊維の定量分析. 茶業研究報告 76 : 51-61.
- 茨城県農業総合センター (2017) 茨城県普通作物栽培基準 : 78-85.
- 池ヶ谷賢次郎・高柳博次・阿南豊正 (1990) 茶の分析法. 茶業研究報告 71 : 43-74.
- 公益社団法人日本茶業中央会 (2022) 令和 4 年版茶関係資料. 公益社団法人日本茶業中央会、東京、pp.15-21.
- 農研機構果樹茶業研究部門 (2021) 茶品種ハンドブック第 6 版. pp.10-24.
- 農林水産省野菜・茶業試験場 (1999) チャ育種要綱. pp.1-12.
- 吉留 浩・佐藤健一郎・長友博文・水田隆史・佐藤邦彦・古野鶴吉・上野貞一・平川今夫・阿部二生 (2011) 炭疽病及び輪斑病に抵抗性を有す煎茶用品種 ‘はるのなごり’ の育成. 茶業研究報告 111 : 1-13.

Agricultural characteristics of green tea ‘Harunonagori’ in Ibaraki Prefecture

Mitsuyoshi TERADA¹ and Hitoshi OSADA

Summary

To select a suitable cultivar for green tea in Ibaraki prefecture, we compared six cultivars from mid to late budding with . As a result, we screened ‘Harunonagori’ and ‘Miyamakaori’ for the followings reasons: (a) two cultivars for green tea were late budding, the plucking time of 1st crop is about 2-4 days later than in ‘Yabukita’, (b) they were resistant to cold damage in midwinter and Tea Anthracnose, (c) their yields are higher than that of ‘Yabukita’ by around 20%, (d) they had more amino acids and less tannin than ‘Yabukita’, (e) the quality of processed tea was equal to or greater than ‘Yabukita’.

To select the best cultivar, we sent unrefined tea samples and a questionnaire regarding tea quality to tea farmers who own a manufacturing factory within this prefecture. The result of the questionnaire, ‘Harunonagori’ was highly regarded for its good balance and brisk smell. ‘Harunonagori’ was rated with a higher score over ‘Miyamakaori’ and ‘Yabukita’.

From these results, ‘Harunonagori’ was selected as a late budding cultivar for green tea in Ibaraki prefecture.

Keywords: tea, cultivar, Harunonagori, selection

¹ Address: Mountainous Agricultural Research Station, Ibaraki, Agriculture Center, 6690-1 Korofuji, Daigo, Ibaraki 319-3361, Japan

本誌に掲載された記事に関しては「茨城県農業総合センター」ホームページ
<https://www.pref.ibaraki.jp/nourinsuisan/nosose/cont/> にてPDFを掲載しております。

編集委員

副センター長兼企画情報部長（総括）	久保 洋一
園芸研究所所長（編集委員長）	内藤 和也
生物工学研究所所長（副編集委員長）	宮城 慎
農業研究所所長（副編集委員長）	滑川 裕之
山間地帯特産指導所所長	横須賀 知之
鹿島地帯特産指導所所長	菊田 功
研究管理監	西宮 聡
専門技術指導員室長	草野 謙三
企画調整課主任	齊藤 賀一

各研究所の連絡先

生物工学研究所	笠間市安居 3165-1	0299-45-8330
園芸研究所	笠間市安居 3165-1	0299-45-8340
農業研究所	水戸市上国井町 3402	029-239-7211
山間地帯特産指導所	大子町頃藤 6690-1	0295-74-0821
鹿島地帯特産指導所	神栖市息栖 2815	0299-92-3637

茨城県農業総合センター研究報告 第5号

2023年3月24日発行

発行者 茨城県農業総合センター

〒319-0292 茨城県笠間市安居3165-1

電話 0299-45-8321

FAX 0299-45-8350

印刷者 株式会社佐藤印刷

〒310-0043 茨城県水戸市松が丘2-3-23

電話 029-251-1212

FAX 029-251-1047

本誌に掲載された論文の著作権は、当センターに帰属するものとする

BULLETIN
OF THE
IBARAKI AGRICULTURAL CENTER
No. 5
March 2023

Contents

Estimation of Ammonification Characteristics and Nitrogen Fertilization Effect of Lime Nitrogen in Lotus Cultivation Tetsuro KARIYA, Yutaka FUJITA, Hiroshi OTABE, Iwao TERAOKADO and Tsuyoshi IIMURA	1
Evaluation of Glossiness and Whiteness of Cooked Rice by Image Analysis and Detection of Quantitative Trait Loci Kazunori AKITA, Haruka ISHIKAWA, Masakata HIRAYAMA, Kazuyuki OKAMOTO and Katsunori OKANO	10
Development of Screening Method and Breeding of Chrysanthemum Stunt Viroid-Resistant Small Spray-type Chrysanthemum Line Saeko KURIHARA, Yumiko HIRAI, Koichi KITA, Hidenori ICHIGE, Ryoji ISHII and Takeru GONAI	34
Simple Measurement method of the amount of Ammonium Nitrogen in the Plow Layer at Lotus Field Keiji KASHIMA, Tetsuro KARIYA, Iwao TERAOKADO, Takeru GONAI and Yutaka FUJITA	45
Adaptability of Japanese Apricot cultivars in Ibaraki Prefecture under recent weather circumstances Takafumi YAMAGUCHI, Tomohiro KARASAWA, Nobuyuki KADOWAKI, Akira SHIMIZU and Iwao TERAOKADO	52
Agricultural characteristics of green tea ‘Harunonagori’ in Ibaraki Prefecture Mitsuyoshi TERADA and Hitoshi OSADA	63

Ibaraki Agricultural Center
3165-1, Ago, Kasama, Ibaraki 319-0292, JAPAN