

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K06008

研究課題名(和文) イネ籾の登熟に関わる生理的メカニズムと黄化特性の解明

研究課題名(英文) Clarification of physiological mechanism and hull yellowing related to ripening of rice

研究代表者

荒井 裕見子 (Arai, Yumiko)

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・上級研究員

研究者番号：50547726

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では収穫適期の指標のひとつである黄化率を画像解析により客観的に測定する方法を開発し、黄化率に基づく登熟期間の品種間差をもたらす要因を解明することを目的とした。目視による測定値と比較して、教師データでは二乗平均平方根誤差が8.1%、検証用の非教師データでは11.2%と高い精度で推定できていた。「やまだわら」と「えみだわら」の出穂後積算気温に対する黄化率の推移をロジスティック曲線に回帰すると、両品種とも決定係数0.99以上でよく当てはまっていた。また、「えみだわら」の方が、黄化速度が最大値に達する積算気温が早く、籾の黄化で判断される成熟の開始が早いことが定量的に明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

出穂から収穫適期までの長さ、すなわち登熟期間は水稻の生産性を決める重要な形質の一つである。しかし収穫適期の客観的な判断が困難であるため、登熟期間の品種間差をもたらす要因については不明な点が多い。そこで本研究では収穫適期の指標のひとつである黄化率を画像解析により客観的に測定する方法を開発した。本研究で開発した客観的な黄化率測定方法により、登熟期間に関する基礎的研究が進み、品種や栽培環境から登熟期間を予測できるようになると期待する。

研究成果の概要(英文)：We developed a method to objectively measure the grain yellowing rate, which is one of the indicators of the optimum harvest timing, through image analysis. The objective of this study was to elucidate the factors that contribute to the cultivar differences in the duration of grain filling based on the grain yellowing rate. Compared to measurements by visual observation, the root mean square error was 8.1% for the training data and 11.2% for the test data, indicating high accuracy in estimation. Regression of the grain yellowing rate against the cumulative temperature after heading using logistic curves resulted in a good fit with determination coefficients above 0.99 for both the "Yamadawara" and "Emidawara". It was quantitatively revealed that the grain yellowing rate in "Emidawara" reaches its maximum value earlier than "Yamadawara", suggesting initiation of maturity, as determined by grain yellowing, is earlier in "Emidawara."

研究分野：栽培生理

キーワード：水稻 登熟 黄化率 HSV色空間 収穫適期

### 1. 研究開始当初の背景

水稻の収穫適期の判定は、多収と高品質米生産のための重要な栽培技術の1つである。一方で近年普及が拡大しつつある多収で良味の業務・加工利用向け品種の中には、従来型の主食用品種と成熟特性が異なり、収穫適期の判定が難しい品種がある。収穫適期の判定には籾色(黄化率)が用いられることが多いが、目視による判定が一般的であるため、測定者や測定環境により判定基準が変わり、客観的基準を設けにくい。このことが成熟特性の品種間差異や品種間差異をもたらす要因について未解明な部分が多い理由になっていると考えられる。

### 2. 研究の目的

黄化率の判定基準に客観性を持たせるために、カラーガイドを用いる方法が考案されている(高橋ら 1996)。この方法は最終的な判断を目視に頼っている点で完全に客観化はされていない。完全に客観化された方法としては、測色計や画像解析ソフトを用いる方法が考案されている(佐々木 2003、吉田ら 2004、寺崎ら 2020)。いずれの方法も脱粒した多数の籾をひとまとめにした籾全体の色味を L\*a\*b\*色空間や RGB 色空間により数値化し、目視による黄化率と関連のある数値やそれらの比を算出している。これらの方法は籾の黄化程度の客観化に成功している一方で、いずれも一品種のみで推定精度を検証しており、様々な品種間での比較が可能かどうかは不明である。目視による黄化率の測定の際は籾一粒ずつに対し、一部でも緑色が残っているものを帯緑籾とし、それ以外を黄化籾とするのが一般的である(井上ら 2000、高橋ら 2007、荒井(三王)ら 2020)。そこで本研究では、HSV 色空間を用いた画像解析により黄化率を客観的に推定する方法を開発した。この方法により黄化率の時系列データを取得し、成熟特性の品種間差異を定量的に把握することを試みた。

### 3. 研究の方法

画像解析による黄化率の推定は Python (バージョン 3.9, Python Software Foundation) 環境下で、画像処理ライブラリ OpenCV (バージョン 4.6, OpenCV team) を用いて以下の手順で行った。まず脱粒した籾の RGB 画像をスキャナー (GT-X980, Epson, 東京) で取り込み(写真1)、画像や2値化等の前処理後、最も外側の白の輪郭を取得した。パラメータ Amin より面積が大きい輪郭の内部を籾とみなし、全籾数を取得した。続いて各籾の輪郭の内側について以下の処理を行い、その籾が帯緑しているかどうか判定した。まず元の RGB 画像 HSV 色空間画像に変換した。色相がパラメータ Gmin から Gmax の間で、彩度と明度が 100 以上である場合を緑色とみなし、緑色面積を算出した。緑色面積がパラメータ Garea 以上の籾を帯緑籾とし、帯緑籾数を得た。(1 - 帯緑籾数 / 全籾数) × 100 により黄化率 (%) を得た。Amin、Gmin、Gmax、Garea の4つを最適化が必要なパラメータとし、目視による測定値を実測値、画像解析による測定値を推定値とした時の残差平方和が最小となるように最適化した。



写真1 スキャナーによる光環境の安定したRGB画像の取得

2019年に農研機構上越研究拠点内水田圃場(新潟県上越市)で栽培した日本型水稻11品種の籾、計177点を教師データとした(第1表)。また2018年に同谷和原水田圃場(茨城県つくばみらい市)で栽培した4品種12サンプルを検証用データとして用いた。続いて成熟特性の品種間差異の把握のため、谷和原水田圃場において業務・加工利用向けの多収水稻品種「やまだわら」と「えみだわら」、「イクヒカリ」と「和1289(後の「やまだわら」)とのF<sub>1</sub>に、「和1289」を交配した後代より育成された粳系統」を2019年から2022年に栽培し、黄化率の推移を測定した。荒井(三王)ら(2020)と同様に出穂後積算気温(x)に対する株ごとの黄化率と黄化籾数(y)の推移を年次ごとの平均値を用いて(式1)に回帰した。

$$y = \frac{a}{1 + e^{-\frac{x-c}{b}}} \quad (\text{式1})$$

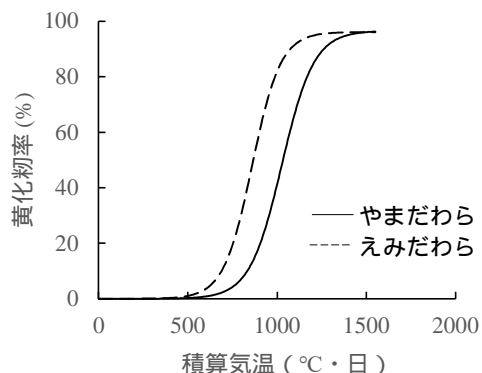
回帰曲線のパラメータ a、b、c は残差平方和が最小となるように Microsoft Excel のソルバーを用いて最適化した。

第1表 教師データと検証データで供試した品種

	品種
教師データ	新潟次郎
	ちほみのり
	つきあかり
	ゆきん子舞
	こしいぶき
	コシヒカリ
	ミルクークイーン
	にじのきらめき
	あきだわら
	あきあかね
	みずほの輝き
検証データ	あきだわら
	やまだわら
	えみだわら

#### 4. 研究成果

黄化率の目視による測定値と画像解析による測定値の関係を第1図に示した。色相値による判断基準を目視の判断基準に近づけるためパラメータの最適化を行った。閾値となる色相値を度数法で表すと、帯緑と判断される下限が $51^\circ$  ( $G_{min} = 25.6$ )で上限が $191^\circ$  ( $G_{max} = 95.6$ )と一般的に緑色とされる範囲に近かった。目視による測定値と比較して、教師データでは二乗平均平方根誤差 (RMSE) が 8.1%、検証用の非教師データでは 11.2%と高い精度で推定できていた。各品種別の RMSE は教師データでは 1.20%から 13.67%と幅があり、品種によっては目視による測定値との差がやや大きくなるものもあった。しかし、目視による測定は成熟時の籾色が品種により異なるなどにより、様々なバイアスが生じることも考えられ、本研究の結果だけではどちらが正しい値であるかは一概に言うことはできない。本研究の方法では、異なる品種であっても色相値により客観的に籾色を判断している点で品種を問わず有効だと考えられる。



第1図 「やまだわら」と「えみだわら」の出穂後積算気温と黄化の関係。プロットは各年次の平均値 (n=3)、曲線は3か年の平均値を用いた回帰曲線を示す。

また「やまだわら」と「えみだわら」の出穂後積算気温に対する黄化率の推移をロジスティック曲線に回帰すると、両品種とも決定係数 0.99 以上でよく当てはまった(第1図)。黄化速度の最大値に品種間差はみられないが、「えみだわら」の方が最大値に達する積算気温が早く、籾の黄化で判断される成熟の開始が早いことが定量的に明らかになった。

今後は、本研究で開発した黄化率推定方法を用いて、様々な品種・系統の成熟特性を定量的に明らかにし、成熟特性の品種間差異に影響を与える要因を解明していく。

#### <引用文献>

荒井(三王)裕見子・岡村昌樹・向山雄大・小林伸哉・荻原均・吉田ひろえ・近藤始彦 2020. 業務・加工用水稲多収品種の収穫適期の検討. 日作紀 89: 102-109.

井上浩一郎・中津智裕・吉永巧・齋藤康正 2000. 水稻の青味籾比率による収穫時期の予測. 山口農試研報 51: 1-12.

佐々木次郎. 2003. 登熟期の水稻籾の色彩特性 第1報 色彩計による色彩特性の測定. 東北農業研究 56: 23-24.

高橋行継・窪田裕一・吉田智彦 2007. 群馬県東毛地域における水稻品種「あさひの夢」の収穫適期に関する検討. 日作紀 76: 362-369.

高橋渉・川口祐男・南山恵 1996. コシヒカリの客観的刈り取り適期診断法. 北陸作物学会報 31: 1-3.

寺崎亮・板谷恭兵・野村幹雄 2020. 画像解析ソフトによる水稻の籾黄化率推定法. 北陸作物学会報 55: 31-34.

吉田宏・及川あや・高橋 政夫 2004. 色彩色差計の利用による水稻籾黄化程度の評価法. 日作東北支部報 47: 11-12.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 岡村昌樹・荒井（三王）裕見子・大平陽一・石川淳子
2. 発表標題 HSV色空間を用いた黄化初率推定による水稻の成熟特性の品種間差異の把握
3. 学会等名 日本作物学会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	岡村 昌樹  (Okamura Masaki)  (00757908)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・中日本農業研究センター・主任研究員    (82111)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------