

稲の高温障害対策・活用技術の開発 —地球温暖化に立ち向かう稲作り—

農研機構 九州沖縄農業研究センター
暖地水田輪作研究領域

中野 洋

はじめに

世界平均気温は、産業革命以降の二酸化炭素等温室効果ガス濃度上昇の影響等により、上昇を続けている（IPCC 2014）。今世紀末にかけては、シナリオによって異なるが、およそ1～4℃の上昇が予想されている。このため、気温の影響を強く受ける農業分野では、気温上昇への対策技術の開発が喫緊の課題となっている。

これまでに、農研機構の稲の分野では、稲が稔っていく登熟期間の高温に耐える技術開発に係る研究に取り組み、高温環境下で登熟しても、玄米外観品質の低下が少なくなる追肥診断技術及び収穫適期診断技術の開発や品種の育成を行ってきた。また、最近筆者らのグループでは、高温を利用するといった発想に立ち、長い生育期間を必要とする再生二期作栽培で極めて高い収量を得ることに成功した。今回は、稲の分野における高温に耐える技術及

び高温を利用する技術について紹介する。

1. 高温に耐える技術

(1) 白未熟粒等の発生の影響

近年、登熟期の高温や日照不足により、玄米が白色不透明化した白未熟粒や玄米に亀裂の入った胴割粒等の被害粒が多発している。白未熟粒や被害粒歩合が高く整粒歩合が低い米は、検査等級を決める際の品位、精米歩留まりや炊飯米の食味等の低下を引き起こすため、生産者、実需者及び消費者といった米のフードチェーン全体に影響を及ぼす問題となっている。

(2) 高温登熟環境下でも白未熟粒の発生を抑制できる追肥診断技術

高温で発生する白未熟粒は、白濁する部位によって分類される（図-1）。玄米は、胚に近い部位が基部、胚と同じ側面が腹、その反対の側面が背とそ

れぞれ呼ばれている。整粒は全体が透き通っているが、基部未熟粒は基部が白色不透明化し、背白粒は背側の側面が白色不透明化している。

基部未熟粒や背白粒は、登熟前半（出穂から20日間）の平均気温が26℃を上回り（高温登熟）、登熟期の葉色が薄いと多発することが知られている（森田 2011）。稲の栽培では、籾の数を増やしたり、粒を大きくしたりするために、出穂およそ20～5日前に追肥（穂肥）を行う。このため、登熟前半の気温が高い中でも、十分な穂肥を施用していれば、基部未熟粒や背白粒の発生を抑制できる。

そこで、筆者らのグループでは、基部未熟粒等の発生特性と気象予報とを組み合わせ、年次による気象の違いに対応しつつ、基部未熟粒等の発生を抑制する技術を開発した（森田 2015, 図-2）。この技術では、出穂20～5日前の穂肥時に葉色を診断し、その時点の気象予報（農研機構開発のメッシュ気象データ）で登熟前半が高温に

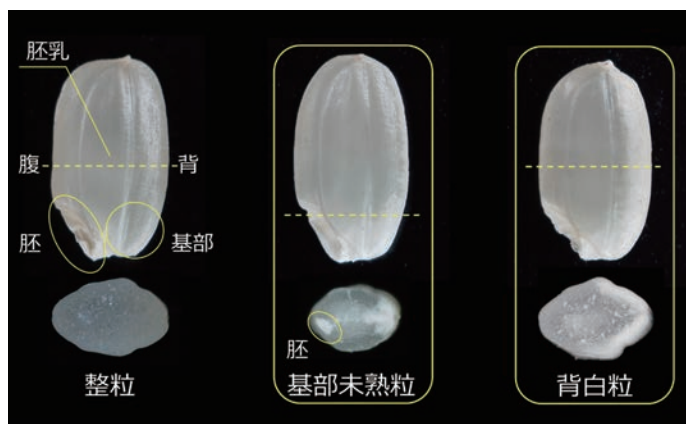


図-1 登熟期の高温で発生する基部未熟粒及び背白粒



図-2 高温登熟環境下でも基部未熟粒の発生を抑制できる追肥診断



図-3 高温登熟耐性品種「にこまる」
(宮崎県えびの市, 農研機構坂井真氏提供)

なると予想されれば、葉色に基づき穂肥を増量し、反対に、常温～低温になると予想されれば、慣行に基づいた穂肥を施用する。こうした取り組みにより、高温登熟条件下でも基部未熟粒等の白未熟粒歩合の低い米を生産できる。なお、元肥一発肥料を利用して生産者には、穂肥の作業が加わることになるが、近年、水口から流し込みできる肥料も開発・普及されているため、こういったものを利用すれば、大きな負担にはならないと考えられる。

(3) 高温登熟耐性品種

農研機構九州沖縄農業研究センターでは、登熟期の高温や日照不足に耐性を持つ「にこまる」を2005年に育成し(坂井2007)、現在、長崎県、岡山県、愛媛県、熊本県や大分県等において普及が拡大している(図-3)。「にこまる」は、高温や日照不足といった不良登熟環境下においても、乳白粒や心白粒等の白未熟粒の発生が少なく、玄米外観品質が優れている。

九州地域では、基幹品種の「ヒノヒカリ」を6月下旬に移植すると8月下旬に出穂し、籾の中に澱粉が十分に詰まった10月上旬に収穫する。全国的に記録的な夏季の高温に見舞われた2010年の九州沖縄農業研究センター(福岡県筑後市)における「ヒノヒカ



図-4 異常高温年に農研機構九州沖縄農業研究センター(福岡県筑後市)で収穫された玄米
(農研機構坂井真氏提供)
無作為にサンプリングした玄米100粒について白未熟粒及び整粒に分類

り」の登熟前半の日平均気温(ほ場周辺)は、平年に比べ2℃も高い28℃に到達した。このため、九州を中心に作付けされている「ヒノヒカリ」の1等米比率は平年値(最近10か年の平均値)の46%から16%に低下した(図-4)。しかし、「にこまる」の1等米比率は平年値(60%)とほとんど変わらない59%に留まり、実力を発揮することになった。

九州各県では、高温登熟耐性品種のさきがけとなる「にこまる」が育成された後、独自の耐性品種の育成が進み、福岡県では「元気つくし」や「実りつくし」、佐賀県では「さがびより」、熊本県では「くまさんの力」や「くまさんの輝き」、宮崎県では「おてんとそだち」、鹿児島県では「あきほなみ」や「なつほのか」等が育成され、現在、普及が拡大している。なお、「実りつくし」及び「なつほのか」は、「にこまる」を片親として育成された品種であり、特に「なつほのか」は育成地の鹿児島県だけではなく長崎県でも栽培面積を拡大している。

農研機構では、「にこまる」を育成した後、トビイロウンカ、いもち病及び縞葉枯病といった各地で問題となっている病害虫の抵抗性に関与するゲノム情報を整備し、それを利用した育種を進めてきた。その結果、高温登熟耐

性に縞葉枯病抵抗性を付与した「恋の予感」(2014年)及び「にじのきらめき」(2018年)や、高温登熟耐性にトビイロウンカ、いもち病及び縞葉枯病抵抗性を付与した「秋はるか」(2017年)等を育成することに成功し、現在、普及面積が拡大している。

(4) 高温登熟環境下でも胴割粒の発生を抑制する収穫適期診断技術

胴割粒は、登熟初期の気温が高く、登熟期の葉色が薄く、収穫時期が遅れると多発することが知られている(長田ら2004)。高温環境下で、初期の澱粉の蓄積がうまく進まないことが関係していると考えられる。

そこで、農研機構西日本農業研究センターでは、胴割粒の発生特性と気象予報を組み合わせて、年次による気象の違いに対応しつつ、胴割粒の発生を低減する技術を開発した。胴割粒歩合が10%を超えると精米歩留まりが低下し始めるため、この技術では、この値を超えると予想される日の前日を収穫晩限日として知らせる仕組みになっている。出穂15日後から予測が可能で、刈り遅れが防止できるようになり、高温登熟条件下でも胴割粒歩合の低い米を生産できる。

2. 高温を利用する技術

(1) 九州地域の稲の生育可能な期間

九州地域は、国内のほかの地域に比べて、春や秋の気温が高く稲の生育可能な期間が長い、すなわち、早く移植



図-5 切株から発生してきた「ひこばえ」(緑色の葉)

して遅く収穫できるといった特徴がある。このことに加えて、近年、地球温暖化の影響で春や秋の気温も上昇しており、今後、生育可能な期間が一層長くなると予想される。

(2) ひこばえを育てる再生二期作

国内で栽培されている稲は、多年生の性質(稲は複数年にわたって生存する性質を持つが、国内では冬の寒さで枯死してしまう)を持つため、収穫後にひこばえ(植物の切株から再生して出てくる芽)が発生する(図-5)。ひこばえを栽培・収穫すると、その分だけ収量が増えると考えられるが、収穫に至るまでの十分な気温を確保することが必要である。再生二期作は、2回の収穫を要するものの田植えは1回だけであり、2回の田植えを行う二期作に比べて低コストになる。また、1回の田植えで1回の収穫を行う通常の栽培と比べると、多収による低コスト化が期待できる。再生二期作は、これまでに国内においても栽培事例があるが、近年育成された多収品種・系統や最近の気象条件での収量性の検討等は十分に行われていなかった。

そこで私たちの研究グループでは、稲の生育可能な期間が長いといった九州地域の地の利を活かした再生二期作で、1回目の稲の収穫時期や高さを工夫することにより、1回目の稲と2回目の稲の合計でどれだけの収量が得ら

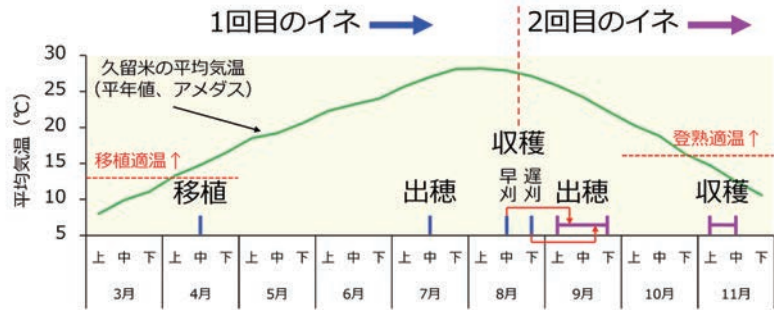


図-6 再生二期作栽培における栽培管理方法(2017年及び2018年)

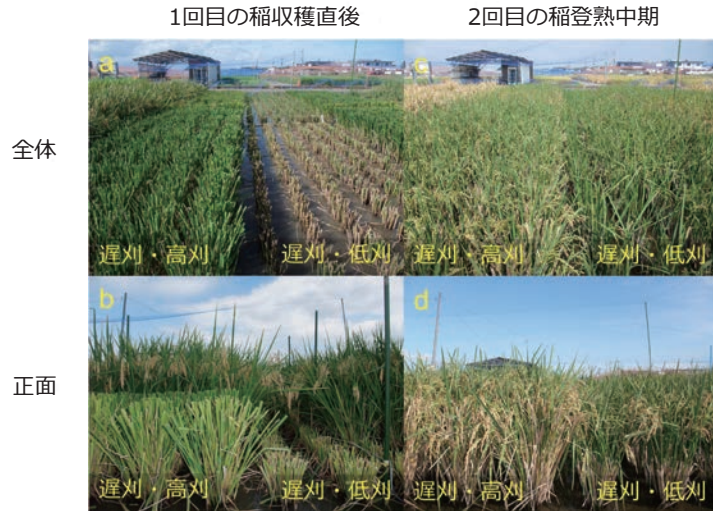


図-7 再生二期作栽培における1回目の稲の収穫直後及び2回目の稲の登熟中期の様子(2017年及び2018年)

れるのかを、多収系統を用いて明らかにした(Nakano *et al.* 2020)ので、その研究成果を紹介する。

(3) 栽培管理

今回の試験は、九州沖縄農業研究センター(福岡県筑後市)の圃場において、生育期間の気温が比較的高かった2017年及び2018年に、研究用に開発された多収系統(インド型多収品種「北陸193号」の生育期間を短く改良した系統)を用いて行った。両年とも、3月中旬に苗箱に播種・生育させた苗を4月中旬に移植し、1回目の稲を8月中旬(早刈, 出穂からの積算温度900°C)又は下旬(遅刈, 出穂からの積算温度1200°C)に地際から50cm(高刈)又は20cm(低刈)の高さで収穫した後、2回目の稲を11月上中旬に収穫した(図-6,-7)。また出穂は、

1回目の稲が7月中旬で、2回目の稲が1回目の稲を早刈すると9月上中旬に、遅刈すると9月中下旬になった。なお、稲体の窒素を常に高く保つため、追肥を1~2週間毎(窒素成分量で合計37kg/10a)に行った。

(4) 1回目の稲の収穫時期及び高さの影響

1回目の稲を遅刈すると、1回目の稲は早刈に比べて登熟が良くなり、増収した(図-8,-9)。また、このときの2回目の稲は、早刈に比べて出穂が遅れ、気温の低下により登熟が悪くなったものの、非構造化炭水化物(澱粉やショ糖等の栄養分)が増加し、僅かな減収に留まった(図-10)。このため、1回目の稲と2回目の稲の合計収量は、遅刈が早刈よりも多くなった。

1回目の稲を高刈すると、2回目の

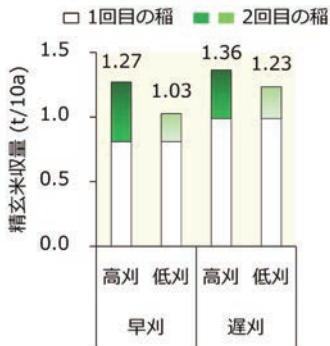


図-8 再生二期作における1回目の稲の収穫時期及び高さが1回目の稲及び2回目の稲の収量に及ぼす影響 (2017年及び2018年)

稲は低刈に比べて非構造的炭水化物や緑葉が切株に多く残った影響で籾数が増加するとともに登熟も良くなり、増収した(図-8, -11)。

以上のことから、1回目の稲を十分に成熟させた時期に地際から高い位置で収穫することにより、1回目の稲と2回目の稲の合計で多収(2年間の平均で1.36t/10a)となることが明らかになった。なお、生育期間を通じて気温が高く日射量が多かった2018年には、1.44t/10aの超多収が得られた。

(5) 切株に残る非構造的炭水化物や緑葉の役割

今回の筆者らの研究グループの研究結果やこれまでの研究報告から、栄養分である非構造的炭水化物は、切株で眠っている芽、すなわち、休眠芽の覚醒を助けるのではないかと考えられる。また緑葉の役割については、明確にされていないが、再生芽への窒素の供給源となるとともに、光合成を行って炭水化物を蓄え休眠芽の覚醒を助けているのではないかと考えられる。現在、私たちの研究グループでは、緑葉の役割を明らかにするために、圃場試験を行っている。

(6) 今後の普及に向けて

今後、筆者らの研究グループでは、今回得られた知見を基に施肥技術の開

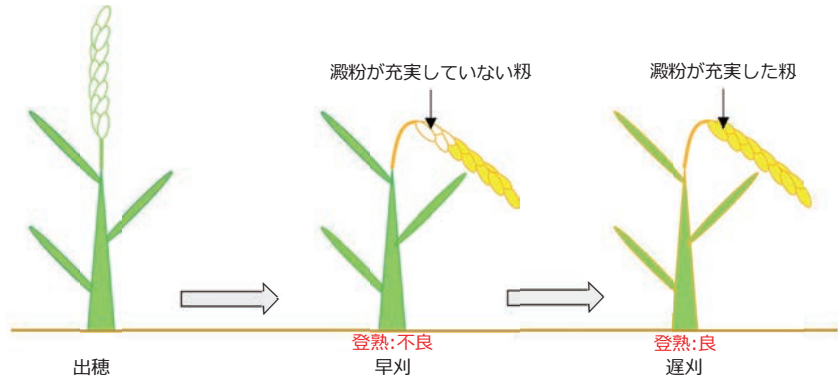


図-9 再生二期作における1回目の稲の収穫時期が収量に及ぼす影響の概念図

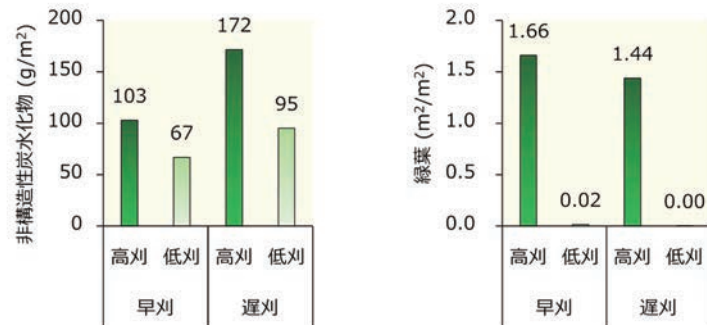


図-10 再生二期作における1回目の稲の収穫時期及び高さが切株の非構造的炭水化物及び緑葉の面積に及ぼす影響 (2017年及び2018年)

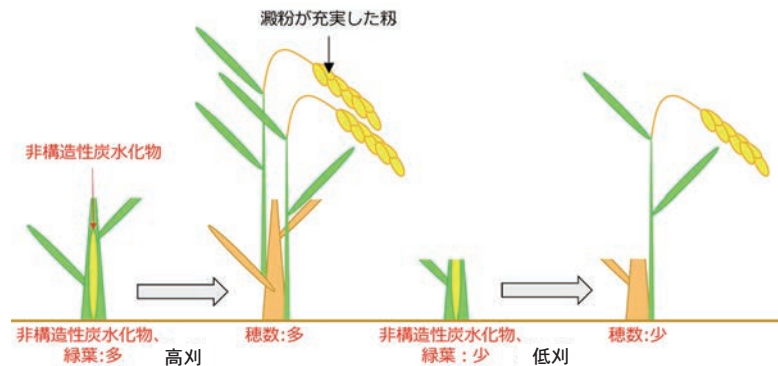


図-11 再生二期作における1回目の稲の収穫高さが収量に及ぼす影響の概念図

発を行った後、現地実証試験を行い、加工用米や業務用米の画期的な低コスト生産技術として九州地域を中心に普及させていく計画である。また、地際から50cmの位置で刈り取ることは、汎用型コンバインでは可能だが、自脱型コンバインでは困難である。しかし、自脱型コンバインでも、10cmよりも20cm、20cmよりも30cmと高くした方が2回目の稲の多収が得られると考えられる。

本成果は、地球温暖化の進行に対応

した画期的な農業技術であり、今後の世界食料需給の逼迫が予想される中で、米の安定供給や、国内の加工用米や業務用米の低コスト生産への貢献が期待される。そのほか、再生二期作では、自然災害等に伴う国内外の米の需要に応じ、二期作目の実施の可否を判断することもできると考えられる。また将来的に、地球温暖化に伴う気温の上昇が続くと考えられるので、再生二期作の収量の増加や適地拡大が予想される。

引用文献

IPCC. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core writing team, P.K. Pachauri & L.A. Meyer (Eds.)]. IPCC. Geneva.

森田敏 2011. イネの高温障害と対策. 農文協. 東京.

森田敏ら 2015. 高温による基部未熟粒の発生を軽減する「気象対応型追肥法」の最適追肥量の決定手法. 第239回日本作物学会講演会講演要旨集, 145.

長田健二ら 2004. 登熟初期の気温が米粒の胴割れ発生に及ぼす影響. 日作紀 73, 336-342.

Nakano, H. et al. 2020. Breaking rice yield

barrier with the ratooning method under changing climatic conditions: A paradigm shift in rice cropping systems in southwestern Japan. Agron. J. 112, 3975-3992.

坂井真 2007. 玄米品質に優れた暖地向き良食味水稻品種「にこまる」の育成について. 育種学研究 9, 67-73.

統計データから

農業経営の継承に関する意識・意向調査

農業経営の継承に関する意識・意向調査は、令和2年8月に、認定農業者のいる農業経営体（家族経営体）の経営主である60歳代の農業者を対象に実施し、690人から回答を得た結果である。

現在の経営を継承する（他者に引き継ぐ）意向について（表-1）は、「経営資産の全体または一部を継承する」と回答した割合が50.1%と最も高く、次いで「決めていない」の34.6%、「何も継承しない」の7.8%の順である。また、継承する意向がある者において、「後継者が決まっている（本人の同意を得ている）」と回答した割合が40.1%、「後継者は決まっていない」と回答した割合が9.9%となっている。

後継者の属性では「同居の子」が72.9%、「非同居の子」が23.5%であった。「後継者は決まっていない」と回答した農業者のうち、「候補はいる」との回答は72.1%で、「子（同居）」36.7%、「子（非同居）」34.7%である。ただし、候補者に経

営継承の同意を得られると考えているかとの質問には、「現状のままで可能」は29.4%にとどまり、「現状のままでは難しい」が63.2%となった。その理由でもっとも多かったのは「農業所得が不足している」で76.7%。次いで「施設・機械が老朽化している」が34.9%となっている。

次に、経営資産の全体または一部を継承する意向がある者において、後継者に継承したい資産は、「農地」と回答した割合が94.8%と最も高く、次いで「施設・機械等の有形資産」の86.4%、「生産技術・ノウハウ」の61.0%の順であった（表-2）。

また、経営を継承しない意向の者の理由については、「地域に農地の受け手となりうる農業者がいないため」と回答した割合が29.6%と最も高く、次いで「地域に農地の受け手となりうる農業者はいるが、これ以上農地を引き受けきれない状態のため」の24.1%となっている。（K. O）

表-1 経営継承の意向及び後継者の有無

区分	回答者数	経営資産の全体または一部を継承する				農地のみ継承	何も継承しない	決めていない
		計	後継者は決まっている	後継者は決まっていない	無回答			
農業者	人 690	% 50.1	% 40.1	% 9.9	% 0.1	% 7.4	% 7.8	% 34.8

表-2 後継者に継承したい資産

区分	回答者数	農地	施設・機械等の有形資産	生産技術・ノウハウ	販路	生物（乳用牛、繁殖母豚・樹体等）	従業員	その他	無回答
農業者	人 346	% 94.8	% 86.4	% 61	% 37.9	% 16.8	% 9.2	% 0.9	% 0.6