

水稻の高温障害の克服に向けて

(高温障害対策レポート)

平成18年8月

農林水産省

水稻高温対策連絡会議対策推進チーム

目 次

はじめに	1
I 水稻の生育期間における気象の動向と米の品質との関係	1
1 早植地帯における検証	
2 遅植地帯における検証	
3 早期栽培地帯における検証	
4 各地域の気象条件と高温障害の発生との関係	
II 17年産水稻の作柄及び品質の概況	8
III 試験研究の成果と進捗状況	12
1 白未熟粒の発生のメカニズム	
2 高温障害対策技術の開発状況	
3 地域別にみた課題と研究開発の成果と進捗状況	
IV 都道府県の取組状況	27
V 今後の対応方向	29
1 重点的に取り組むべき試験研究課題	
2 生産対策の推進	
付 録	
○ 水稻高温対策連絡会議設置要領	32
○ 水稻高温対策連絡会議対策推進チームの検討状況等	34
○ 2005年(平成17年)の天候	35
○ 平成17年半旬別対平年差気象グラフ	49
○ 平成17年産水陸稲の収穫量	78

○ 平成 17 年産米の検査結果	95
○ 都道府県別の 1 等米比率の推移	118
○ 農産物検査における最近の落等理由	119
○ 地域別にみた気象動向と水稻生育への影響	120
○ 高温による米の品質低下のメカニズムと対策技術	159
○ 九州地方における平成 17 年産水稻の作柄・品質低下の要因解析 と対応技術	174
○ 水稻の高温対策に関する都道府県の実施状況調査	192
○ 高温障害の被害軽減事例	202
○ 水稻の高温障害に関する研究を行っている試験研究機関一覧と連絡先	211
○ 水稻高温障害に関する最近の研究成果	216

はじめに

最近、水稻生育期間における高温化傾向が顕著になっており、このことが白未熟粒などの多発をもたらす米の品質を大きく低下させる原因となっている。

いわゆる「高温障害」の発生原因やそのメカニズムについては、現在、試験研究機関や普及指導センターを中心に調査・研究が進められている段階にあるが、登熟期の異常高温による影響だけでなく、農業者の水管理や肥培管理など営農慣行を含めた様々な要因の関与が示唆され、未だ総合的な対策技術の確立には至っていない。

農林水産省では、平成14年産までの北陸地方を中心とした高温障害問題に焦点を当て、15年4月に省内に「水稻高温対策連絡会議」を設置し、水稻の高温障害に関する情報の収集や必要な対策技術の検討などを進めてきたところであるが、夏期の異常高温が再来した17年産米については、九州地方を中心に再び著しい品質低下を招く結果となった。

こうした状況を踏まえ、農林水産省では、これまで3年間に得られた高温障害の発生メカニズムに関する知見や、生産現場での技術対策の実施状況などについて調査を行い、関係する試験研究機関や普及指導センターなどとの情報共有を通じて、関係者が連携して対処することが急務と考え、このたび「高温障害対策レポート」をとりまとめたところである。

都道府県におかれては、本レポートを参考とされ、最近の気象動向と水稻の生育や品質との関係を各地域においてもさらに精査・検討され、産米の品質改善に向けた対策を一層強化されるよう切に願います。

I 水稻の生育期間における気象の動向と米の品質との関係

一般的には、水稻の登熟期が高温傾向に推移すると白未熟粒などが多発すると言われるが、水稻の作期や作型、立地条件などによってその発生の程度は大きく異なる現状にある。

このため、本稿では、水稻生育期間における高温傾向が米の品質などに及ぼす影響を解析するため、水稻の作期又は作型の別（早植地帯、遅植地帯、早期栽培地帯）に、最近の気象の動向や1等米比率（水稻うるち玄米）の推移を検証した。

また、田植えの前進化など、最近の営農慣行が高温障害の発生を助長しているという指摘もあることから、過去の統計情報を遡り、田植盛期や収穫盛期、登熟期間の日数（出穂盛期から収穫盛期までの日数）、 m^2 当たり籾数などの動向を検証し、最近の高温障害の発生との関連を考察した。

なお、検証には、以下の資料を用いて過去30年間（昭和50年以降）のデータを遡ることとした。

- 水稻うるち玄米の1等比率の推移：食糧部「農産物検査結果」
- 登熟期の高温化の傾向：統計部「水陸稲作柄及び被害状況調査」より、水稻の年産毎の出穂盛期と収穫盛期を特定し、この間の積算気温、平均気温、積算日射量、平均日射量を気象庁データより集計
- 田植えの前進化の状況：統計部「水陸稲作柄及び被害状況調査」における田植盛期を集計
- 籾数の動向：統計部「作況標本筆調査成績」における m^2 当たり籾数を集計

1 早植地帯における検証

早植地帯では、主力品種であるコシヒカリが、登熟初期に 27°C を超えるような高温下におかれると白未熟粒が多発するなどの報告がみられる。このため、コシヒカリの1等米比率の低下が問題となっている北陸地方を中心に気象との関係などを検証する一方で、現状においても1等米比率が比較的高い水準で維持されている千葉県及び長野県を比較検証した。（付録「地域別にみた気象動向と水稻生育への影響」120頁～134頁参照）

(1) 米の品質動向と気象との関係

早植地帯では、これまで冷害年を除けば1等米の比率が80～90%台と高く維持されていたが、最近、北陸地方では、夏期の猛暑と合わせてこの比率が低下する傾向がみられ問題化している。

過去30年間の気象の推移をみると、これら早植地帯では、出穂後（出穂盛期は、北陸地方及び千葉県で7月下旬から8月上旬、長野県で8月上中旬）の積算気温が1,000～1,200℃で収穫盛期を迎えているが、この間の日平均気温は、北陸地方では概ね26℃、作期の早い千葉県では概ね25～26℃、標高が高く日較差の大きい長野県では概ね22～23℃となっており、北陸地方がやや高い傾向がみられた。

また、白未熟粒などの高温障害は、特に、登熟初中期に異常な高温状態に置かれると発生量が増加すると言われているが、出穂後10日間の日平均気温をみると、北陸地方においては27℃を上回る年次が明らかに増加する傾向がみられた。他方、1等米比率が80%以上の高い水準で維持されている千葉県や長野県では、出穂後10日間の日平均気温は25℃前後で比較的低温で維持されており、登熟期の積算日射量では、北陸地方や千葉県（700 MJ/m²前後）に比べて、長野県（900 MJ/m²）の日射量がかなり多い状況にある。

(2) 水稻の生育状況

新潟県や富山県では、最近、梅雨明け直後の異常高温期に水稻の出穂期が重なり、高温障害が誘発されるため、これを回避する観点から、遅植栽培（ゴールデン・ウィークに集中する田植作業を5月中旬頃まで遅延・分散化させる）が推進されている。この推進によって、両県では、出穂盛期もやや遅れる傾向がみられるが、対策の推進以降、顕著な高温に遭遇した異常年が無かったこともあり、遅植栽培の推進が1等米比率の改善につながっているか、検証は不十分なものとなっている。

また、こうした遅植栽培の推進に加えて、最近では籾数を過剰に着生させないように追肥や水管理を適正に行うことが重要であるとの指摘もある。しかし

ながら、 m^2 当たりの粒数では、北陸地方で28,000粒程度、千葉県で30,000粒程度、長野県で34,000粒程度に安定的に確保されており、平均的な m^2 当たりの粒数の推移と1等米比率の変動との間にも明確な相関は見受けられない。

このため、これら対策効果については、さらなる試験研究データの集積・検証が必要と考えられるが、少なくとも、一般論として長野県や千葉県と比較して、北陸地方は登熟期の日平均気温が比較的高く、日射量が少ないといった登熟に不利な気象条件下にあることが高温障害を誘発する本質的な原因と考えられる。

2 遅植地帯における検証

麦の収穫後に田植えを行う遅植地帯では、以前から早植地帯に比べて1等米比率が低い傾向がみられるが、特に、17年産米では九州地方を中心に、台風14号の影響に加え、登熟期間が高温・少雨に経過したため、白未熟粒などの高温障害やウンカ等の病害虫の被害が多発した。

このため、ヒノヒカリ等の遅植品種が主体の福岡県、佐賀県、熊本県及び群馬県（ゴロピカリ）について、1等米比率と気象動向などとの関係を検証した。（付録「地域別にみた気象動向と水稻生育への影響」135頁～146頁参照）

（1）米の品質動向と気象との関係

遅植地帯では、1等米比率の年次変動が著しく、1等米比率も早植地帯と比較して低い状況にある。特に、ヒノヒカリが主体となっている福岡県や佐賀県、熊本県などでは、最近、1等米比率の低下が顕著となっており、九州地方全体としては16年産米が24%、17年産米が30%の1等米比率に止まっている。

福岡県、佐賀県及び熊本県における過去30年間の気象の推移をみると、出穂後の積算気温が $1,100^{\circ}\text{C}$ 前後で収穫適期を迎えているが、この間の日平均気温は、昭和50年頃は概ね 22°C 前後であったが、最近では 26°C 前後まで上昇しており、出穂から収穫までの登熟日数も大幅に短縮されてきている。また、この傾向は群馬県でも同様である。

出穂後10日間の日平均気温については、最近、27℃を上回る年次が頻発しており、1等米比率も低下する傾向にある。農産物検査における2等以下の落等理由としては、常に「粒の充実度の不足」が1位を占め、次いで「乳白粒・腹白粒の発生」（注：実際には背白粒が多く、農産物検査の落等理由は腹白粒の分類に区分されている場合が多い）となっており、同じく高温障害が問題となっている北陸地方（「乳白粒・腹白粒」が主な落等理由）とは落等理由がやや異なる状況にある。

登熟期の積算日射量については、出穂後、概ね600～700 MJ/m²で収穫盛期を迎えているが、1日当たりの平均日射量は、昭和50年頃が概ね12～13 MJ/m²であったの対して、最近では概ね15～16 MJ/m²に増加する傾向がみられる。ただし、この日平均日射量の水準は、北陸地方や長野県（概ね16～18 MJ/m²）、千葉県（概ね18～20 MJ/m²）よりも低いものとなっている。

（2）水稻の生育状況

福岡県や佐賀県では、麦の収穫期との関係で田植盛期が概ね6月中旬に定着化しているが、レイハウなどの晩生品種からヒノヒカリなどの早生・中生品種に作付け転換を推し進めてきた結果、出穂盛期が10日程度早まっている（9月上旬の出穂盛期が8月中下旬まで前進化している）。

また、収穫盛期については、登熟期の高温化や晩生から早・中生品種への転換などにより登熟期間がかなり短縮している。すなわち、昭和50年頃には収穫盛期が10月下旬であったのに対して、最近では10月上旬にまで前進化（20日程度の短縮）している。この結果、出穂から収穫までの登熟日数は10日から1週間程度短縮されてきている。また、この傾向は熊本県や群馬県でも同様となっている。

m²当たりの粒数については、福岡県、佐賀県、熊本県で30,000粒前後、群馬県で29,000粒前後となっているが、平均的な粒数の推移と1等米比率の変動には明確な相関がみられなかった。しかしながら、北陸地方と比べて、明らかに登熟期の気象条件が劣る（平均気温が高く、日射量が少ない）にも関わらず、m²当たり粒数は同水準にあることから、このことが早植地帯に比べて1等米比

率を低くしている要因の一つと推測される。

3 早期栽培地帯における検証

宮崎県や高知県などでは、7月下旬から8月上旬に収穫するコシヒカリの早期栽培が普及しており、同じコシヒカリ主体の早植地帯と比較検証を行うため、これら早期栽培地帯における最近の1等米比率と気象動向などとの関係を検証した。(付録「地域別にみた気象動向と水稻生育への影響」147頁～152頁参照)

(1) 米の品質動向と気象との関係

宮崎県や高知県では、これまで1等米の比率が概ね60～80%台に維持されてきたが、最近、カメムシ被害の多発や乳白粒などの発生によって、高知県では1等米比率が30～40%台にまで低下している。

宮崎県及び高知県における過去30年間の気象の推移をみると、出穂後（出穂盛期は、高知県で7月上旬、宮崎県で6月中下旬）の積算気温が900～1,000℃で収穫盛期を迎えているが、この間の日平均気温は27～28℃前後となっており、北陸地方よりも高い気温下でコシヒカリが登熟している状況が伺われる。

また、出穂後10日間の日平均気温では、高知県では27～28℃前後となっているのに対して、宮崎県では、田植時期を大きく前進化（田植盛期：3月下旬）させ、出穂盛期を6月中下旬まで前倒しすることによって、出穂後10日間の日平均気温が27℃を下回る年次が増える傾向がみられる。

なお、登熟期の積算日射量は、宮崎県、高知県ともに、出穂後、概ね600～700 MJ/m²で収穫盛期を迎えており、これは北陸地方や千葉県と同じ水準にある。

(2) 水稻の生育状況

宮崎県では昭和50年代から、高知県では平成元年頃からコシヒカリの早期栽培が普及しているが、田植時期は年々前進化しており、現状では宮崎県で3月

下旬、高知県で4月上中旬が田植盛期となっている。

このため、出穂盛期は、宮崎県で6月中下旬、高知県で6月下旬から7月上旬に前進化しているが、高知県では、最近、カメムシ被害が多発しており、これが1等米比率を押し下げる原因となっている。なお、カメムシ類については、夏期の高温化と機を一にして最近全国的に被害が多発しており、越冬量や繁殖回数の増加といった形で夏期の高温化の影響を受けている可能性がある。

一方、 m^2 当たりの籾数については、高知県では28,000粒前後に安定的に推移しているが、宮崎県では徐々に増加傾向を示しており最近では30,000粒前後となっている。なお、平均的な m^2 当たり籾数と1等米比率との間には明確な相関は見受けられなかった。

4 各地域の気象条件と高温障害の発生との関係

いわゆる高温障害といわれる米の品質低下には、乳白粒や腹白粒などの発生、粒の充実不足など様々な状態が知られるが、この本質的な発生原因は、水稻の登熟期における気象条件が大きく関係していると考えられる。

すなわち、登熟期全体としては平均気温が概ね 27°C を下回るものの、登熟初中期に一時的にこの気温を上回る北陸地方では、籾にデンプンが蓄積されるステージに応じて、粒の一部の外観が損なわれること（乳白粒や腹白粒等の発生）となる。

他方、登熟期のほぼ全般を通じて平均気温が 27°C 以上になる九州地方では、デンプンの蓄積が粒の肥大過程を通じて阻害され、粒の充実不足としてその影響が顕著に現れるものと考えられる。また、こうした高温障害の発生は、登熟期の日射量の多少やフェーンの発生などが深く関係している可能性が高い。

なお、デンプンの受け皿となる籾数の多少と高温障害の発生については、地域の平均的な籾数の推移からみただけでは明確な相関はみられなかったが、過剰な籾数の着生が玄米粒重を低下させ、粒の充実不足などをもたらすことは一般によく知られている。

Ⅱ 17年産水稲の作柄及び品質の概況

17年産水稲の作柄は、9月上旬に日本に接近、上陸した台風第14号による被害に加え、その後のウンカなどの害虫の多発や登熟期の高温障害により、九州地方を中心に被害が発生したが、それ以外の地域では登熟がおおむね順調に推移した。このため、全国では作況指数101、10a当たり収量は532kgと平年並みの作柄であった。

水稲の被害率では、全国では7.1%と平年に比べて2.2ポイント下回る結果となったが、九州地方では16.5%と平年に比べて5.1ポイント上回り、特に、9月中旬以降が高温傾向で経過したことから、高温障害による被害率が3.8%に達し高い被害率となった。

また、1等米比率については、北海道、東北、北陸地方などにおいて品質が良好であったため、全国平均では75%に達したが、遅植地帯を中心に登熟期に高温の影響を受け、九州地方などでは1等米比率が大きく低下した（九州地方では30%）。（付録「平成17年産水陸稲の収穫量」78頁～94頁、「平成17年産米の検査結果」95頁～117頁参照）

1 北海道地方

田植期は概ね平年に比べて2日遅く、生育初期は気温が平年を上回り、6月が高温多照で経過したことから旺盛な生育を示し、穂数はやや多めとなった。また、1穂当たりもみ数はやや多かったことから全もみ数は平年に比べ多い結果となった。

登熟は、出穂期以降、比較的高温に経過したことから稔実は平年並みで、粒の肥大・充実も平年並みとなった。

この結果、作柄は、大雨による倒伏などが一部で発生したものの冷害などによる被害が少なかったことから全道的に平年を上回り、作況指数109、10a当たり収量は573kgとなった。

また、1等米比率については、青未熟粒などの混入が少なく、粒の充実度も良好であったため82%に達した。

2 東北地方

田植期は、融雪の遅れにより青森県で平年に比べて5日遅れたほかは概ね平年並みであった。

生育は、5月中下旬の低温・日照不足の影響により一時分げつが抑制された地域があったが、出穂期は平年に比べて秋田県で2日早く、その他の県は平年並みから2日遅れた。

穂数は分げつの抑制された宮城県、岩手県、秋田県及び福島県ではやや少なく、青森県及び山形県は平年並みとなった。1穂当たりもみ数は、補償作用が働き宮城県、秋田県及び福島県では平年に比べてやや多くなり、その他の県では平年並みとなった。この結果、全もみ数では山形県、福島県ではやや多く、その他の県では平年並みないしやや少なかった。

登熟は、出穂・開花期が天候に恵まれ、気温が高めに推移したことから青森県、岩手県及び宮城県では平年に比べてやや良、その他の県は平年並みとなった。

この結果、東北地方の作柄は作況指数101、10a当たり収量563kgとなった。

また、1等米比率については、一部でカメムシ類による被害粒の発生がみられたが、全体的には青未熟粒などの混入も少なく、粒の充実度も良好であったため84%に達した。

3 関東地方

田植期は、概ね平年並みとなったが、5月中旬に低温の影響を受けた茨城県、栃木県及び千葉県で分げつが抑制されたため出穂期が3日から4日遅れた。その他の県では6月以降高温・多照に経過したことから、出穂期は平年並みないし2日早かった。

穂数は、群馬県、東京都、山梨県及び長野県で平年並みであったが、低温の影響を受けた茨城県、栃木県、埼玉県及び千葉県ではやや少なく、他方、1穂当たりもみ数は全体的に平年並みから多く確保できたことから、全もみ数としては埼玉県を除き平年並みないしやや多めとなった。

登熟は、出穂期以降、天候に恵まれ台風による影響もほとんど無かったことから稔実及び粒の肥大・充実ともに順調で、平年並みないしやや良となった。

この結果、作柄は、作況指数102、10a当たり収量543kgとなった。

また、1等米比率については、遅植品種のゴロピカリを有する群馬県などでは乳白・腹白粒が多発したため大きく低下したが、早植品種のコシヒカリを主体とする茨城県、栃木県、千葉県、長野県などでは80%以上の高い比率となったため、地域全体では86%に達した。

4 北陸地方

田植期は、各地で遅植え指導が行われたことから、石川県、福井県及び新潟県では1～2日遅く、富山県では7日遅かった。

生育は、5月の低温・日照不足の影響で分けつが抑制されたものの、6月以降は高温・多照に経過したことから回復し、出穂期は1～3日遅れとなった。穂数は、5月中下旬の低温・日照不足や7月の日照不足の影響から分けつが抑制され、総じてやや少なめとなったが、一穂当たりもみ数が総じて多めとなったため、全もみ数としては平年並みないしやや多い結果となった。

登熟は、8月中旬以降、日照時間がやや少なかったものの9月上・中旬に気温の日較差や適雨があったことから、新潟県、石川県及び福井県では平年並み、富山県ではやや良となった。

この結果、作況指数100、10a当たり収量534kgとなった。

また、1等米比率については、コシヒカリなどの一部に青未熟粒やカメムシ類による被害粒の発生がみられたが、乳白・腹白粒などの発生が少なかったため79%に達した。

5 東海及び近畿地方

田植期は、概ね平年並みであったが、6月以降高温・多照に経過したことから、出穂期は平年並みないし2日早まった。

穂数は、概ね少なめないし平年並みとなり、1穂当たりもみ数は概ね平年並みないしやや多く確保できたため、全もみ数では概ね平年並みとなった。

登熟は、出穂期以降、天候に恵まれ概ね順調であったことから、平年並みないしやや良となった。

作柄は、東海地方が作況指数100、10a当たり収量500kg、近畿地方が作況

指数 102、10a 当たり収量 516kg となった。

また、1 等米比率については、各県の主力品種であるコシヒカリやキヌヒカリなどが概ね 60 前後となったため、東海地方で 57 %、近畿地方で 64 %となった。

6 中国四国地方

田植期は、概ね平年並みであったが、6 月以降高温・多照に経過したことから、出穂期は平年並みから 4 日早まった。

穂数は、概ね平年並みから多く確保され、1 穂当たりもみ数も概ね平年並みないしやや多く確保された。この結果、全もみ数は鳥取県及び島根県を除き平年並みないしやや多くなった。

登熟は、一部の地域で高温障害の発生や 9 月上旬に通過した台風第 14 号による被害があったが、概ね平年並みないしやや良となった。

作柄は、中国地方で作況指数 100、10a 当たり収量 516kg、四国地方で作況指数 101、10a 当たり収量 489kg となった。

また、1 等米比率については、

- ① 早期栽培のコシヒカリを主体とする徳島県、高知県ではカメムシ類による被害粒が多発したこと
- ② 早植えのコシヒカリなどを主体とする鳥取県、島根県では、一部に未熟粒の混入や粒の充実度の不足、乳白・腹白粒の発生がみられたこと
- ③ 遅植えのヒノヒカリを主体とするその他の県では、全体的に未熟粒の混入や粒の充実度の不足、乳白・腹白粒の発生が多かったこと

から 47 %となった。

7 九州地方

田植期は、5 月から 6 月にかけての少雨等の影響により 1～3 日遅れたが、7 月以降高温・多照に経過したことから生育が促進され、出穂期は 1 日～2 日早まった。

穂数は、概ね平年並みないしやや多く確保され、1 穂当たりもみ数も概ね平年並みないしやや多くなったため、全もみ数は平年並みから多めに確保された。

登熟は、台風の影響を受けたこと、9月中旬以降も高温傾向が持続しウンカなどの被害が多かったことからやや不良ないし不良となった。

作柄は、作況指数 94、10a 当たり収量 474kg となった。

また、1 等米比率については、全県でヒノヒカリ等の遅植品種に粒の充実度の不足や乳白・腹白粒の発生が多かったことなどから 30 %となった。

8 沖縄地方

第一期稲は田植期の低温・日照不足の影響により、穂数及び全もみ数が少なくなった。第二期稲も台風の影響を受けたことから、作期計の作柄は作況指数 92、10a 当たり収量 283 kg となった。1 等米比率については、粒の充実度の不足に加え、カメムシ類による被害粒が多発したことから 8 %となった。

Ⅲ 試験研究の成果と進捗状況

1 白未熟粒の発生のメカニズム

白未熟粒（ここでは乳白粒、心白粒、腹白未熟粒、背白粒、基部未熟粒など胚乳に白濁をもつ未熟粒の総称として用いる）において胚乳の一部が白濁して見えるのは、胚乳細胞の肥大過程でデンプン粒の発達が不完全になるため、光の乱反射が生じるためである。胚乳内のデンプン蓄積は、胚乳の中心部から周辺部、背部、基部へと進むことから、白未熟粒の白濁部位の違いは、デンプン蓄積の異常があった時期の違いを反映していると考えられる。すなわち、胚乳中心部に白濁をもつ「乳白粒」では登熟初中期に、「背白粒」及び「基部未熟粒」では登熟後期にデンプンの蓄積異常があったと推定される。

このような白未熟粒の発生が高温によって増大する原因としては、主に、

- ① 胚乳のデンプン合成サイトへのデンプン合成基質（光合成により合成される糖などの栄養分）の供給能力（ソース能力）の不足
 - ② 胚乳が基質を受け入れてデンプンを合成する能力（シンク能力）の低下
- の 2 つが考えられる。一般に、高温により登熟初中期の胚乳細胞の分裂・肥大

は加速し、粒重の増加速度は上昇するが登熟期間は短縮される。また、こうした登熟過程では、穎果間でのデンプン合成基質の競合が高まり、胚乳細胞の肥大に対してソース能力の不足が引き起こされると考えられる。また、高温によって穎果や茎葉部での呼吸量が増大することもソース能力の低下につながる。

一方、高温下では、穎果においてデンプン合成に関連する酵素の活性のピークの時期や組織の老化が早まり、シンク能力も低下すると考えられる。すなわち、高温は、ソース能力とシンク能力の双方に影響を及ぼすと考えられている。

白未熟粒のタイプ別にその発生要因をみると、乳白粒の発生は、籾数が多い、あるいは低日照条件などデンプン合成基質に対する競合が激しい場合に増加することから、登熟初中期の一時的あるいは局部的なデンプン合成基質の供給不足が大きく関係していると考えられる。また、玄米の基部に影響がみられる白未熟粒は、籾数の影響は受けにくく、穂肥の増加により減少することから、登熟後期にデンプン合成に関連する酵素の活性の凋落や、デンプン合成基質の輸送組織の老化が関係していると想定される。

現在、高温による細胞の肥大とデンプン蓄積のアンバランスがなぜ起きるのか、あるいは特定のデンプン合成に関連する酵素の発現や活性の低下がどのように関与するのかを明らかにするために、白未熟粒のタイプ別にそのメカニズムの解明や、デンプン合成に関連する酵素の特定、遺伝子の発現解析が進められている。

このほか、実際の圃場においては、高温に加えて稲体のソース能力やシンク能力を低下させる気象・栽培要因が存在し、白未熟粒の発生を助長していると考えられる。特に、日射量の不足は、おそらくデンプン合成基質の供給力を低下させることを通じて、乳白粒の発生を助長させていると考えられる。また、近年の食味重視の傾向が窒素の追肥量を減少させ、生育後半に窒素不足となることが白未熟粒発生に関係していると考えられる。特に、玄米の基部に影響がみられる未熟粒や背白粒の発生は、低窒素状態においてより低い温度域でも発生量が増加することから、窒素栄養の状態が強く影響を受けることが示唆される。また、フェーンや風によっても白未熟粒の発生が助長される。これら低窒素や水ストレス、風などがどのようにソース能力やシンク能力を低下させるのかの生理的メカニズムについては、今後の解明が待たれるところである。(付

録「高温による米の品質低下のメカニズムと対策技術」159 頁～ 173 頁参照)

2 高温障害対策技術の開発状況

(1) 品種開発

1) 高温耐性品種の育成の状況

近年、高温による品質低下が問題化する中で、育種段階では東北地方以南で普及を図る新品種については、高温耐性を評価する必要性が指摘されている。このため、鹿児島県農業開発総合センターを指定試験地として、各地の育成系統について高温耐性の検定が進められており、平成 17 年度は、独法試験研究機関及び指定試験地で育成中の系統のうち 80 系統について検定が実施され、また、18 年度も同数の検定が予定されている。さらに、各地域農研センターや県農業試験場においても、高温耐性に係る基準品種の選定作業が進められている。

2) 高温耐性品種

① 「にこまる」(平成 16 年九州沖縄農業研究センター育成)

「にこまる」は、ヒノヒカリと同様に熟期が中生の粳品種である。食味はコシヒカリ並みの極良食味で、外観品質はヒノヒカリよりも優れ、高温年でも安定して品質が優れている。現在、長崎県で奨励品種に採用され、「かりの舞」とヒノヒカリの一部に置き換えられ、普及が開始されている。

平成 17 年に九州沖縄農業研究センターの圃場において同一条件下で栽培した結果でも、ヒノヒカリ(右側)では白未熟粒が目立ったのに対して、「にこまる」(左側)では明らかに白濁した粒の発生が少なかった(写真 1)。



写真1 「にこまる」(左)と「ヒノヒカリ」(右)の外観品位の比較

平成 17 年産米、九州沖縄農研センター（福岡県筑後市）の生産力検定試験ほ場より収穫

② 各県で育成された高温耐性品種

北陸地方においては、新潟県の「こしいぶき」、富山県の「てんたかく」、石川県の「ゆめみずほ」などの高温耐性の高い早生品種が育成されている。

高知県農業技術センターが高温条件下での選抜した「南国そだち」（平成 17 年）は早期出荷（7 月 20 日頃）ができる極早生品種で、「とさぴか」よりも耐冷性が優れ多収で、アミロース含有率が低く良食味品種である。

③ その他の育成中の品種

九州沖縄農研センターでは、日本晴並みの早生系統として「西海 258 号」、中央農研センター北陸センターでは、極早生系統「北陸 208 号」などが、良食味で高温条件下でも外観品質が低下しにくい系統として育成が進められている。

(2) 営農技術による対策技術

高温によって品質低下を引き起こす要因としては、

- ① 登熟期が異常に高温化すること
- ② 田植期の前進化により出穂期が梅雨明け直後の盛夏と重なること
- ③ 分げつ期が高温下で過剰な生育となり穂数や籾数が過剰となること
- ④ 食味を意識した施肥量の削減が登熟期の稲体の凋落を招くこと
- ⑤ 地力低下や作土層の浅耕化による根の活力の低下
- ⑥ コンバイン収穫のために早期落水する機会が多いこと
- ⑦ 銘柄品種への作付け集中や営農規模の大型化、圃場の大区画化など営農的な問題
- ⑧ 局地的なヒートアイランド現象の発生や用水の富栄養化などの環境上の問題

などに分けて考えることができる。

これらの要因は、地域によって影響度合いに軽重はあるものの、相互に関係して高温障害を引き起こしていると考えられる。

上記③から⑥は、イネの生理・生態に関わる要因であり、障害を起こしやすい「イネの体質」（作物側要因）を形成する。他方、上記⑦及び⑧は「生産者の営農状態」（生産者側要因）を形成し、上記①及び②の気象・環境条件が直接的引き金となって高温障害が発生すると考えられる。したがって、高温障害に対する営農対策は、これら個別要因を詳細に分析・検証を行い、総合的かつ体系的に組み立てられる必要がある。

1) 移植時期の繰り下げ

出穂期を遅らせることによって梅雨明け直後の異常高温に遭遇するリスクを回避する方法が、新潟県や富山県において実施され一定の成果を得ている。登熟期に高温の持続期間が長い九州地方などでは、出穂時期を多少遅延させても異常高温を回避することが容易ではないが、移植時期の繰り下げが品質の向上効果を有するとの鹿児島県等での事例報告もみられる。また、水利計画の変更

など地域ぐるみの対応が必要となるため、実施に当たっては十分な効果が得られるか否かの見極めが重要になる。このほか、福井県では、生育や出穂が遅れるという特性を活かして直播栽培を推奨している。

2) 適正な籾数の制御・誘導

北陸地方のコシヒカリでは、籾数を 28,000 粒/m²、穂数を 350 ~ 400 本/m²に誘導することによって白未熟粒の発生が抑制されることが明らかにされている。今後は、適正な籾数に誘導するための追肥管理技術を確立するための生育診断法等の開発が急務となっている。

3) 栽植密度の調整

生育後半まで地力窒素を維持し、登熟期の稲体の凋落を防止するためには疎植栽培が有効となる。しかしながら、低温年には茎数が不足して収量が低下する可能性があるほか、穂長が大型化してむしろ二次枝梗籾が増え、籾数が過剰になる場合も考えられる。

このため、極端な疎植は避けるとともに、作付け品種の特性や地域の気象条件などを踏まえて、適正な栽植密度を決定する必要がある。なお、富山県では平坦地で 18 株/m²程度を基準としている。

4) 施肥法の改善

生育後半に地力窒素が不足し生育が凋落することを防止するため、肥効調節型肥料の利用が進められている。また、食味に配慮する観点から玄米への窒素移行を防ぎつつ、適正な籾数を確保し得る肥培管理方法の開発が求められる。また、最近普及しつつある側条施肥技術は、根の分布が地上表層に集中する傾向があるため、地力の低い土壌ではかえって登熟期間の窒素吸収量が減って整粒歩合が低下するとの指摘もある。

5) 早期落水の防止

生育後半まで稲体の活力を維持するためには根系の活力維持が不可欠であり、登熟期の早期落水を避ける必要がある。ただし、軟弱な土壌地帯では、やむを得ない場合もあり、地域の立地条件に応じて適切な落水時期を決定することが重要である。

6) 地力向上と作土層の確保による根系の生育促進

地力窒素を効果的に発現させるためには、土壌中の有機物の量を増やして地力を向上させる必要がある。地力の向上には、特に、作土の上層と下層とで肥料成分のバランスを保つことや、根の発育を促すため十分な作土深を確保することが重要である。しかしながら、土壌栄養と品質との関係は未解明な部分が多く、さらに詳細な調査・分析が必要である。

7) 作期分散や圃場内の地力の均一化

銘柄品種への作付け集中や規模拡大による作業の遅れなどが高温障害を助長している可能性がある。

このため、作付品種の分散や直播栽培の導入等により作期を分散化させることが重要である。また、大区画圃場では、ほ場内でも地力にアンバランスが生じ、同一ほ場内でも出穂や登熟の速度が異なることが胴割粒などの増加をもたらす場合がある。

3 地域別にみた課題と研究開発の成果と進捗状況

(1) 関東・東山・東海地方

1) 品質低下の発生概況と要因

関東地方では、出穂・開花期の高温に加えて、日照不足が高温障害の発生に大きく影響している。特に、低温寡照年であった平成 13 年には、早植品種のコシヒカリなどでも出穂後 20 日間の平均気温が 26℃以下であったにも関わらず、北関東地方を中心に「乳白・腹白粒」が多発した。また、遅植品種についても高温障害の発生が著しかった。

東海地方の平坦部は、全国的にみても登熟期間中の気温が高い地域であり、出穂後 20 日間の平均気温が 28℃を上回る場合が多い。このため、コシヒカリなどの早植品種でも「粒の充実度の不足」や「乳白・腹白粒の発生」によって 1 等米の比率が低下しやすく、また、台風による倒伏なども発生を助長している。さらに、フェーン現象の発生や強風が 1 等米比率の低下に関与していると言われる。

一方、甲信地方の長野県や山梨県では、1 等比率が安定して高く白未熟粒の発生が少ない地域である。これは登熟期の平均気温が低く登熟期間が長いことや日射量が多いことが要因と考えられる。特に、登熟期の日最低気温が比較的低いことが白未熟粒の発生を抑制しているのではなかと考えられ、現在、白未熟粒の発生を抑制する要因の解析を行っているところである。

白未熟粒以外の品質低下の要因として、岐阜県、愛知県、千葉県などでは粒の充実度不足が問題となる。岐阜県では、晩生品種の「ハツシモ」の充実不足が頻発しているほか、茨城県、栃木県、埼玉県、山梨県などでは胴割粒やひび割れ粒の発生が問題となっており、これらの発生メカニズムの要因解明が急務である。(胴割米に関しては、ウェブサイト <http://www.naro.affrc.go.jp/top/seika/2003/tohoku/to03027.html> を参照)

2) 研究開発の成果と現在の取り組み状況

白未熟粒の発生要因としては、①籾数過多によって乳白粒の発生が助長される、②出穂期の葉色が著しく低下すると基白粒と背白粒の発生が増加することが分かっており、登熟期間中に稲体の窒素レベルを適正に維持することが重要である。また、生育前半に稲体が過剰生育を示し、葉色が過度に低下する場合も白未熟粒などの発生を助長する。

このため、適正な籾数の確保と登熟期に葉色を適正な水準に維持することが重要であり、合わせて食味を低下させない程度に玄米中のタンパク質含有量を抑制する栽培法の確立が求められる。

具体的には、現在、幼穂形成期の茎数に葉色値を乗じた数値や幼穂形成期から出穂期までの葉色の低下程度などを指標として、基肥の窒素量のコントロールや栽植密度の調節、中干しによる茎数制御、追肥量の調節などによる総合的な栽培方法が開発されている。

また、適正な目標籾数としては、おおむね 27,000 ～ 32,000 粒/㎡の範囲に抑えることが重要と考えられ、肥効調節型肥料の利用が効果的であるとの報告もみられる。

さらに、登熟期間中に間断灌漑を行うことが白未熟粒の発生の軽減に効果がみられるとの報告がある。この場合、約 3 ～ 4 日間隔で pF1.0 程度になったら入水するのが効果的であり、他方で透水性の確保や深耕による根域の確保も重要である。

愛知県農業総合試験場では、不耕起V溝直播栽培による深水管理が外観品質の向上に効果があると報告しており、現在、このメカニズムの解明が行われている。

茨城県などの早植地帯では、登熟期の高温を避けるため遅植えや作期の分散が指導されている。しかし、千葉県などでは現行の4月中旬の移植を遅らせると秋雨被害が多くなるなど、他の気象災害のリスクが高まるとの危険性も指摘されている。

米の外観品質と土壌条件又は根の機能との関係については、生理的なメカニズムが解明されていない部分が多いため、作物研究所において事例の解析や地

温、土壌水分の影響について研究を進めている。

このほか、デンプン合成に係る代謝系の温度反応などについて品種間の差異を明らかにし、高温耐性品種の開発を加速化する必要がある。

(2) 北陸地方

1) 品質低下の発生概況

北陸地方では、出穂・開花期から登熟初期に相当する7月下旬から8月中旬までの気温が、最近着実に上昇する傾向が伺われる。すなわち、昭和48年から平成4年までの20年間と最近の10年間（平成5年から14年）とを比較すると、7月下旬から8月中旬頃の日平均気温が1～2℃高めとなっている。

また、機械移植の普及に合わせて田植時期が早まっており、このことが出穂期を早める原因となっている。北陸地方では、概して2種兼業農家が多いといった背景もあり、最近では4月末から5月上旬の連休中に田植盛期となっており、出穂・開花期から登熟初期がちょうど梅雨明け直後の8月上旬の盛夏期に重なる作期となっている。

このような条件に加えて、分けつ期の高温化が籾数の過剰を招き、最近の施肥量の抑制傾向も相まって、登熟期に窒素栄養が不足するといった形で営農要因が複合的に関わり、白未熟粒が比較的生じにくいとされてきたコシヒカリにおいても高温障害の被害をもたらしていると考えられる。

2) 研究開発の成果と現在の取り組み状況

① 早生品種への対応

早生品種については、出穂・開花期から登熟初期が盛夏期と重なるため、高温登熟による品質低下がかなり以前から問題となっていた。このため、高温耐性が優れた新品种として、新潟県では「こしいぶき」、富山県では「てんたかく」、石川県では「ゆめみずほ」などが育成されている。「こしいぶき」は、新潟県の温水かけ流し圃場で育成され、「てんたかく」については人工気象室な

どを利用した高温登熟性の選抜試験において育成されたものである。現在、これら品種は品質が劣る「雪の精」、「ひとめぼれ」、「能登ひかり」、「ほほほの穂」などの代替品種として普及が進められている。

② 中生品種への対応

北陸地方では品種育成に加え、以下の4点についてコシヒカリの栽培方法の改善に研究開発の重点が置かれている。

ア 適正籾数の設定と生育誘導

コシヒカリについては、各県ともに 28,000 粒/m²程度が玄米の外観品質の低下が少ないとされており、茎数の過多によってこの適正籾数を上回らないように基肥施用の適正化や有効茎数を確保する際の水管理などに指導の力点が置かれている。

イ 移植時期繰り下げによる出穂時期の延伸

移植時期の繰り下げは、農業用水の配水制限や、種籾又は苗の供給制限などを通じて、新潟県や富山県の平坦地で指導が徹底されている。

一方、福井県や石川県では、梅雨明け後の高温傾向が長らく続き、コシヒカリの出穂期自体も新潟県や富山県よりも早いことから、移植時期を繰り下げても効果があまり期待できない。このため、福井県では、出穂期が大幅に遅れる直播栽培を推進している。また、富山県農業技術センター農業試験場では、作業分散の観点から早期から田植えを開始せざるを得ない大規模経営体向けの技術として、栽植密度を通常 (20 ~ 21 株/m²) よりもやや少ない 18 株/m²程度に抑制する疎植栽培を推奨している。

ウ 肥培管理法の改善

高温登熟時には、生育後期に窒素栄養の凋落を伴うことが多いことから、新潟県農業総合研究所作物研究センターでは、肥効調節型肥料による後期窒素栄養の改善が取り組まれている。

エ 地力・耕深等の改善

福井県農業試験場では、深耕による根域の拡大が下層の根の伸長を促し、品質向上につながることを立証し、また、基肥の一括側条施肥法が土壌条件によっては品質低下を招く危険性があることを指摘している。

石川県農業総合研究センターでは、登熟期の通水管理による地温低下が稲体の水分ストレスを軽減し、特に、夜間の通水管理が品質の向上に効果が大いことを明らかにしている。また、疎植栽培も有効であることを確認している。登熟期の水管理については、北陸農研センターにおいても深水管理による品質改善効果を明らかにしており、分けつ構成や穂相との関係をさらに検討している。

以上のほか、高温年には、出穂が一時期に集中し、大規模生産者においては適期収穫が困難になり、品質の低下を助長するとの指摘があるため、大規模生産者の実態調査なども合わせて進めている。今後、上記の技術開発とともにこれら営農要因の解析も進め、地域ごとに具体的な対策技術などを提案する予定としている。

③ 新品種の高温耐性に関する検定

水稻の高温耐性に係る検定法については、早生品種で基準品種の選定が行われているほか、新潟県農業総合研究所作物研究センターではビニールハウス、圃場温水かけ流し、人工気象室など各種検定法の特性解明を進めている。また、北陸研究センターでは遮光の影響が少ない圃場オープントップ・チャンバー法の開発を進めている。

このほか、北陸農研センターでは、基礎研究として、高温等登熟条件下での玄米の外観品質に関わる QTL (quantitative trait loci) の検出とマッピング、デンプンや糖の生合成と転流に関わる関連酵素群について遺伝子レベルでの解明を進めている。

(3) 近畿中国四国地方

1) 品質低下の発生概況

近年、近畿中国四国地方では、コシヒカリ、ヒノヒカリ、キヌヒカリの作付け割合が増加し、これら3品種で全体の約70%を占めている。平成17年産米の1等米比率は、地域全体としてコシヒカリで約60%、ヒノヒカリとキヌヒカリでは約40%であったが、登熟期の高温による白未熟粒の発生や粒の充実不足が2等以下に落等した大きな原因となっている。本地域では、夏季の高温期間が長く、高温下での登熟を余儀なくされている現状にある。

高温を回避するため、移植時期の繰り下げなどが多くの府県で検討・実施されている。移植適期は、日本海沿岸地域から滋賀県では5月中下旬、和歌山県や香川県では6月中下旬としているが、出穂後に猛暑となる期間が長いいため地域のよっては品質低下の軽減効果が認められないとする報告もみられる。一方、高知県などの早期栽培地帯では、移植時期をさらに前倒しすることによって登熟期の高温を回避すること可能となるが、活着の遅延や穂ばらみ期に低温（梅雨時期）に遭遇する危険性がある。

2) 研究開発の成果と現在の取り組み状況

過剰な籾数の着粒によって白未熟粒の発生は助長されるため、生育前半（分げつ期）の生育量の制御が重要である。具体的には、籾数を適正に制御するため、植え付け本数の調節や疎植栽培の導入が各県で検討がされているが、栽植密度と白未熟粒の発生との相関は必ずしも明確でないとする報告もみられる。

また、島根県農業技術センターでは、疎植栽培に適応した新たな施肥体系が検討されている。基肥の減肥、穂肥の回数や施用量の削減などが白未熟粒を抑制するとの報告がなされており、京都府農業総合研究所では1回目（出穂18日前頃）の穂肥の削減効果が大きいことを報告している。

島根県中山間地域研究センターでは、作況試験データの過去20年分の解析から、生育期前半の高温の影響によって最高分げつ期が早まっていると指摘し

ており、今後は生育予測・診断技術の高精度化を図り、生育量に応じた適正な穂肥の施用技術を開発する必要があるとしている。また、中干しや間断灌漑の徹底、落水時期の適正化が効果的であるとの報告もみられ、高知県では登熟期の湛水・かけ流しが指導されている。

これら対策技術に加え、高知県農業技術センターでは、高温耐性品種の簡易検定法の開発が進められている。また、日本晴の熟期（コシヒカリとヒノヒカリの間）に適合した新たな基幹品種を育成するため、15 府県が共同で高温耐性に優れた新品種の選定試験を進めている。

（４）九州地方

１）品質低下の発生概況

九州地方における高温登熟障害の特徴は、登熟期の高温に加えて寡照条件が大きく影響しており、一般に乳白粒などの発生に加えて粒の充実不足が問題となる。また、主力品種の「ヒノヒカリ」が高温耐性に劣ることが、最近の1等米比率の低下に大きく関係している。

２）研究開発の成果と現在の取り組み状況

① 新品種の開発・育成

九州沖縄農研センターでは、「ヒノヒカリ」並みの熟期で高温耐性を有する品種として平成 17 年に「にこまる」を育成するとともに、現在、日本晴並みの早生系統として「西海 258 号」を育成中である。また、福岡県農業総合試験場、佐賀県農業試験研究センター及び鹿児島県農業開発総合センターでは、高温下における登熟性の検定方法や高温耐性を有する高品質系統の選抜法を開発し、新品種の育成を進めている。

② 栽培技術の開発・改良

佐賀県農業試験研究センター、長崎県総合農林試験場及び宮崎県総合農業試験場では、移植時期の違いによる収量や乳白・心白・背白粒の発生に及ぼす影響を調査し、それぞれの地域における最適移植時期を再検討している。

また、佐賀県農業試験研究センターでは、穂肥が過剰になる場合には、籾数が増加し、粒の充実不足や乳白粒を誘起すること、他方、穂肥が不足する場合には、背白粒の多発や整粒不足が問題となることを明らかにし、気象動向に即応した品質管理技術を開発することとしている。

九州沖縄農研センターでは、玄米の横断面の輪郭像から算出した玄米の充実不足に係る指標値を開発し、「にこまる」が「ヒノヒカリ」よりも、高温寡照条件下で縦溝が深くなりやすく、玄米粒の充実度が良好であることを明らかにした。現在、この指標値を用いて粒の充実不足をもたらす品種特性を明らかにするとともに、栽培法の確立にも活用することとしている。

大分県農林水産研究センターでは、遅植えにより1等米比率が改善することを確認しており、特に、粒の充実不足や乳白粒の発生などが顕著である沿岸平坦地において、普及指導センターと連携をとりながら、遅植えを奨励している。

鹿児島県農業開発総合センターでは、ほ場内の移植時期を変えた試験データの累年値を遡り解析を行った結果、登熟期の高温が背白・基白粒の発生と相関が高いことを明らかにしている。また、これら解析結果を踏まえ、登熟期の高温が玄米の外観品質に及ぼす影響について、品種間の差異や遺伝的要因についてさらに研究を進めている。また、玄米タンパク質含有率と背白米の発生割合との関係等についても栽培試験を行っている。

IV 都道府県の取組状況

1 調査の概要

高温障害は、登熟期の高温化傾向のみならず、食味を重視した施肥量の少量化、水田地力の低下など様々な営農上の要因がこれを助長しているとの指摘がある。

このため、平成17年12月、都道府県の農産主務課を通じて、高温障害の発生状況やその原因、県試験研究機関や普及指導センターなどが行っている調査研究や技術対策の内容を調査した。（付録「水稻高温障害対策に関する都道府県の取組状況調査」192頁～201頁参照）

2 調査の結果

（1）高温障害の発生状況と原因

北海道や北東北地方などの一部都府県を除く、39府県において水稻の高温障害が問題化しているとの回答が寄せられ、うち全県的に問題化しているとする県が20県に上った。

これら39府県から寄せられた高温障害の発生原因としては、

- ① 出穂後20日間において、日平均気温が26℃ないし27℃（日最低気温が24℃）を超えると白未熟粒が多発する（多くの県）
- ② 生育後半の肥料切れによる稲体の活力低下が白未熟粒などを増加させる（多くの県）
- ③ 高温により初期生育が旺盛となり、籾数が過多になると多発する（北陸、近畿地方などの一部県）
- ④ 籾数過多により、穂の二次枝梗の弱勢穎花で白未熟粒が増加する（北陸地方の一部県）
- ⑤ 台風通過後のフェーン現象等による水分ストレスが原因となる（関東地方

の一部県)

- ⑥ 土壌の浅耕化や高温が根の活力を低下させ、白未熟粒、胴割粒などを多発させる（中国四国地方の一部県）
 - ⑦ 登熟期間の短縮が粒の充実不足を招く（中国四国地方の一部県）
- などの情報が寄せられている。

また、発生を助長する営農面の要因としては、

- ① 田植時期が早まり、出穂・登熟期が高温に遭遇しやすい（多くの県）
 - ② 追肥や中干しが十分に行われず、籾数が適正に制御できていない（多くの県）
 - ③ 食味に配慮して、施肥量を抑制するため生育後半に稲体の活力が凋落する（多くの県）
 - ④ 登熟期の水管理がおろそかになり、早期落水が生育後半に稲体の活力を凋落させる（多くの県）
 - ⑤ 堆肥の投入量の減少や転作による畑地化が水田の地力を低下させ、稲体の活力を凋落させる（多くの県）
 - ⑥ 基肥や栽植密度（60 株／坪以下）を下げ、旺盛な初期生育を抑える必要がある（北陸地方の一部県）
 - ⑦ 全量基肥施用が普及し、追肥による籾数制御が不十分となっているほか、肥料切れが生育後半の稲体の凋落に拍車をかけている（東海地方の一部県）
- などが挙げられた。

（2）対策技術の開発・普及状況

高温障害が問題化していると回答した 39 府県のうち、27 県では県の重点指導事項に位置づけ、現在、県試験場や普及指導センターを挙げて対策技術の開発・普及に努めており、具体的には、

- ① 田植えの遅植え（29 府県）
- ② 登熟期の早期落水の防止（26 県）
- ③ 追肥や中干しなどの調整による茎数・籾数の制御（24 府県）
- ④ 出穂期・登熟期の間断灌漑やかけ流し（21 県）

などを主な対策技術として推進している。

他方、これら対策技術の推進上の課題としては、高温障害は登熟期の異常高温に加えて様々な営農面の要因が関係しているため、田植えの遅植えなど単一の対策技術だけでは解決できないとの報告が多くみられるほか、

- ① 高齢化・兼業化が進み、十分に実施してもらえない（24 府県）
 - ② 年々の気象動向によって対応が異なってくるため、農家における実施の判断が難しい（22 県）
 - ③ 地域の水利慣行を変更する必要がある（21 府県）
- などの問題点が報告された。

V 今後の対応方向

1 重点的に取り組むべき試験研究課題

高温障害の発生原因やそのメカニズムについては、未だ解明されていない部分が多く、効果的な対策技術の開発や新品種の育成が遅れている状況にある。このため、当面、以下の6点について重点的に試験研究を進める必要がある。

- ① 白未熟粒などを多発させる気象要因については、上記Ⅰの検証のとおり登熟期の気温と日射量の関係が重要であると推察されるが、高温障害をもたらす気象条件（最高・最低気温の水準や日射量の多少、風や湿度の影響など）についてさらに精査・検証が必要である。
- ② また、白未熟粒などを発生させる植物生理学的な知見や基礎的なデータも不足している。とりわけ、登熟期に茎葉の窒素栄養が不足したり、過剰な籾数が着生した場合には、白未熟粒が多発するなどの現象がみられるが、これら現象について生理学的な見知からの解明が求められる。
- ③ こうした知見を踏まえつつ、営農上の対策技術としては、生育後半まで稲体の活力や土壌中の窒素栄養を持続させ、玄米の外観品質と食味とを両立させ得る生育診断技術や施肥管理技術の開発が急務である。
- ④ さらに、深耕や土づくり、水管理の適正化などが高温障害の発生を抑制す

るといった現地報告を踏まえ、根の活力低下がどのように影響を及ぼしているのかについて更なる調査・研究が必要である。

- ⑤ 他方、品種開発については、「にこまる」、「こしいぶき」などの高温耐性に優れた品種がいくつか選抜・育成されてきているが、「日本晴」の全遺伝子情報が解明されている現在、高温耐性に関わる遺伝子の解析や育種素材の選定を急ぎ、高温耐性に優れた新品種の育成を加速化させる必要がある。
- ⑥ このほか、最近、多発するカメムシ類の生態解明や効果的な対策技術についても、さらに調査研究を進める必要がある。

2 生産対策の推進

高温障害の発生は、単に夏期の異常高温によるものだけでなく、田植時期の早期化、肥培管理や水管理等の粗放化など、生産者の営農要因が発生を助長している。

このため、各地域における最近の気象動向や営農実態を踏まえつつ、水稻の栽培体系や作付品種等を総合的に点検・検証し、生産者、生産者団体、市町村、普及指導センターなどの関係者が連携して、以下の取組を進める必要がある。

(1) 生産者の意識高揚と推進体制づくり

食味値の高い売れる米づくりが重視される中で、地域によっては食味を意識した施肥量の大幅な削減がみられ、生育後半の稲体の凋落傾向が顕著になっているとの指摘もみられる。また、高温障害を回避するために、田植時期を繰り下げたり、登熟期に十分な灌漑水を確保するためには、地域の水利関係者の協力が不可欠である。

このため、普及指導センターやJAなどが中心となって水稻の高温障害問題に対する生産者意識の高揚に努めるとともに、市町村、土地改良区、地方農政事務所などの協力を得て、各地域において推進体制を早急に整備する。

(2) 現行の栽培体系の検証・見直し

高温化の影響によって生産現場では、①生育が旺盛になり穂数や籾数が過剰になりやすい、②出穂期や収穫期がかなり前進化している、③稲体の老化が早く登熟期間が短縮しているなど、水稻生育に様々な影響がみられる。

また、最近の気温の上昇傾向だけでなく、登熟期の日射量や日最低気温の影響を強く受けるため、地域において気象動向と水稻の生育や品質との関係を精査し、現行の栽培体系を再点検することが重要である。

このため、地域における最近の気象の動向や生育状況に応じて、適正な移植時期の選定、施肥の量又は時期の調節、適正な落水時期や収穫期の判定などを進め、適宜、栽培指針などの見直しを進める。

また、地域によっては直播栽培や疎植栽培の導入が効果的であるとの報告もみられることから、普及指導センターなどが中心となってこれら技術実証ほ場を設置して効果を検証するなど、栽培様式の変更も考慮した検討を進める。

(3) 高温耐性品種への転換

高温耐性に優れた新品種の普及や銘柄化を図るためには、一定の販売ロットの確保と品質の安定化が不可欠である。

このため、地方農政局等を単位としたブロック毎に、新品種の栽培特性や品質などに関する情報の共有を図り、関係県が協調して奨励品種の採用を行い得るよう新品種の評価体制を強化する。