水田作における温暖化適応技術

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構

中央農業総合研究センター

渡邊 朋也

1. はじめに

水稲、麦類、大豆などのいわゆる土地利用型と呼ばれる作物は、野外で栽培されることから気象変化の影響を直接受けるが、栽培時期、栽培方法、品種などを組み合わせた長年の技術開発により、北海道から沖縄まで全国で栽培が可能となっている。IPCC 第 5 次評価報告書では、最近 30 年の各 10 年間の世界平均地上気温が 1850 年以降のすべての 10 年間に上回って高温であったことが示されており、日本においてもとくに 1990 年代以降の高温傾向は顕著である。今後気温上昇や変動幅はこれまでにない範囲で拡大する可能性もあり、土地利用型作物においてもこれまでの技術に加えて、温暖化への適応技術開発をさらに進めていく必要がある。本稿では、水稲、小麦、病害虫・雑草における温暖化の影響や適応技術開発の概要について紹介する。

2. 水稲

水稲の出穂以降の高温条件は、玄米の一部が白濁する「白未熟粒」や、粒にひびが入る「胴割米」を発生させ、コメの品質低下（等級低下）による農家収入減や、精米過程での破米などの経済的影響につながる。温暖化傾向に伴うこれらの品質低下は 20 世紀末から指摘されはじめ、最近では夏季高温であった 2010 年に全国広範囲での品質低下要因となった。白未熟粒はコメ粒のどの部位が白濁するかによって発生メカニズムは異なるが、胚乳細胞に蓄積するデンプン粒が十分につまっていなかったため、光の乱反射によって白く濁った状態である。そのため白未熟粒の回避には、水稲の初期生育を適切に制御することにより、もみの数が多くなることを防ぎ、後半に十分な炭水化物がもみに行き渡るようにする必要がある。そのため、窒素肥料を与えるタイミングや量を調整することによって、収量（収穫量）と品質（白未熟粒が少ない）の両方を確保する栽培管理技術が開発されている（ポスター適応技術 1）。

肥料を与えることでもみ数を制限したり、登熟後のデンプンの蓄積を確保したりする技術は、生育・登熟期間の気象条件によって水稲の反応が変化するため、それに応じた適切な判断が必要な技術である。森田（2011）はこれを「気象対応型栽培法」と呼んでおり、農研機構においては、気象予測と組み合わせた高温条件化での水稲栽培管理技術として確立する取り組みが始まっている。

気象予測技術白未熟粒の発生は一般には登熟期前半（出穂後 20 日間）の平均気温が 26～27℃以上とされているが、かといって出穂後の平均気温が低すぎると良質の粒が得られなくなる。コメの充実に適切な期間に登熟期間を迎えるには、いつ田植えをするか（移植適期の選択）も重要となる。しかし、近年の秋季の高温傾向によりこの条件を満たす登熟期間はきわめて限られてくるため、当然移植適期も狭くなる。最近開発された高温耐性品種「にこまる」を用いると、栽培適期が従来品種より広がることから、高温条件化での地

域適応性が高いことが示されている（ポスター適応技術1）。現在、高温耐性品種の開発・導入は各地で行われ、全国での栽培面積は2013年度で約65,000haに達しており、今後も増加するものと思われる（ポスター品種開発1で農研機構新品種「恋の予感」を紹介）。

気候シナリオを用いて計算した将来の気温上昇に伴う収穫量の変化は3℃程度の上昇までは減少しないと予測されているが、この中にはCO₂増加や病害虫発生変動などの影響は含まれていない。また全球気候モデルMIROC5を用いた計算では、東北地域に冷害をもたらす低温条件「やませ」の発生頻度は将来も大きく変化しないと予想されている（Kannoら,2013）。これらのことから気温変動幅が増大することを念頭に置いた、対応技術の開発が必要となる。

CO₂増加に伴う、作物生育や収量の変化はさまざまな方法で調べられてきた。野外の水田環境で人為的にCO₂濃度を高めて栽培する実験からは、CO₂増加により収量は増加するがその効果は品種により大きく変動すること、高温では増収効果は期待通りには発揮されず品質の低下がみられること、などが明らかになっている（ポスター影響評価2）。このような知見は高温・高CO₂条件下に対応した品種開発へ適用できるだろう。

水稲は出穂後の高温で受精障害（不稔）を生じる場合がある。関東地域で気温が40℃を超えた日が現れた2007年には、野外調査で不稔発生が確認されたが、その程度は実験条件下から予測されたより小さかった（Hasegawaら, 2011）。これは気温が40℃を超えても水田群落での気温上昇は必ずしも高くないものと推定されている。また、気象観測に用いられるAMeDAS観測地点は、農耕地より街中に設置されている場合が多い。そのため、不稔発生の予測については、水田地帯における実際の気温分布の測定・推定と、水稲の気温反応の両面から進める必要があるだろう。

3. 小麦

小麦については水稲のような気温上昇による品質収量の低下を示した例は多くはないが、中園（2010）は全国の作況試験の解析から、冬季および春季の気温上昇傾向により全国的に播種期の遅れと出穂期の前進がみられ、その結果生育期間（播種から出穂まで）が短縮している一方、出穂期から収穫までの期間は短縮せず、むしろ増加している地域もあることを示している。播種後の高温による生育促進で幼穂形成および茎立ちの時期（茎が急激に伸長し始める時期）が早まると地上に出てきた幼穂が低温（マイナス2℃以下）を受けて凍死する凍霜害リスクが高まる。また高CO₂はタンパク質含量を低下させるとともに、高温下の登熟は種子の休眠性を弱め、降雨によって誘発される穂発芽（穂についた状態の種子が発芽すること。これによって、子実の品質が著しく低下する）のリスクを高める可能性が指摘されている。現在、幼穂形成に一定の低温遭遇期間が必要な（低温要求性の高い）形質と、日長反応性の組み合わせから、温度が変化しても幼穂形成や出穂時期の変動が小さい早生品種の開発が進められている（塔野岡、2008）。

北海道においては夏季高温となった2010年に、小麦の大幅な減収が生じたことが報告されている（北海道農政部2011；広田ら2011）。西尾ら（2011）は春季の気温と小麦の穂の数や穂の長さなどの増加には負の相関が、また夏季の気温と小麦の登熟日数の間にも負の相関があることを示した。さらに北海道芽室の3月と6月の平均気温、ならびに4月と8月の平均気温にも負の相関がみられたことから、2010年は春季の低温により、穂の数や

サイズなど同化産物の入れ物の増加があつたにもかかわらず、夏季高温により小麦の登熟期間が短縮し、穂に十分な同化産物を送り込むことができず、著しい小粒化を引き起こし、それが大幅な減収につながつたと考察している。また Kanno(2013)は 1998 年以降の北日本全体 4 月と 8 月の気温に強い負の相関関係のあること、気候モデルによると将来においてもこの傾向が見られることを示した。このことは、春季低温・夏季高温による小麦減収などの作物への影響が他地域で現れる可能性とともに、作物の栽培管理戦略において中期的な気温変化の特徴を利用できる（たとえば春季の低温の年は夏季の高温を警戒、など）可能性を示唆している。

4. 病害虫・雑草

病害虫・雑草の発生変動は、栽培される作物、品種、栽培体系や防除技術の変化などにも大きく依存することから、温暖化と病害虫の発生量や作物被害量との関係は複雑である。昆虫では、気温上昇による冬季の生存率上昇、出現時期の早期化、発生世代数の増加などとともに、寄主植物や天敵との生活史のずれや競争種との関係の変化により、発生動態や分布域に変化が生じることが予想されている（桐谷・湯川、2010 など）。我が国では昆虫・ダニ・線虫類など約 580 種において、気温による発育速度のパラメータが調べられている。気温上昇による 1 年間に繰り返す世代数の変化を計算したところ、クモ類では世代数増加が期待されないが、寄生性天敵や一部の捕食者は 2 - 3 世代の増加が予想された。また害虫の中ではウンカ類で世代数増加が予想されたことから、温暖化は水田内の害虫・天敵相の構成や個体数に影響を与えるだろう（Yamamura and Kiritani, 1998）。また CO₂ の増加は植物の C/N 比の低下を通じて、葉を食害する害虫では悪影響を与えるが、アブラムシなどの吸汁性害虫では植物の質の低下の影響を受けにくいようである（桐谷・湯川、2010 など）。

イネ病害では高温・多湿を好むイネ紋枯病の被害増加が懸念されている（ポスター適応技術 2）。またイネ紋枯病は高 CO₂ 条件下において発病株率が増加するが、病斑高率（株元から病斑が達する高さ）は変化しないこと、イネいもち病では葉いもちの発生は増加するが、穂いもちでは変化はみられないことなどが報告されている（Kobayashi et al. 2006）。

帰化アサガオ類は熱帯産の帰化雑草で、つる性で発生期間が長く、ダイズ畑に侵入すると防除が難しく、ダイズを覆い尽くすほど繁茂し甚大な被害が問題となっている。また気温上昇による分布可能域の拡大とともに、アサガオとダイズの生育スピードの違いから除草剤散布による効果的な防除時期が限定されることが予想されている。そのため防除技術の開発とともに、帰化アサガオの分布拡大・被害を防ぐための生態と的確な防除の知識と技術普及が進められている（ポスター適応技術 3）。

病害虫・雑草の発生予測・防除対策技術の開発は作物安定生産上きわめて重要であり、気候変動下における病害虫・雑草の発生動態の変化は、気温上昇による直接的な影響とともに、CO₂ 増加による作物生育の変化などの間接的な影響の両面から検討を進める必要がある。

5. 最後に

農業における温暖化適応技術の開発は、生産現場の直面する問題解決はもちろんのこと、将来への適応を見据えておかなければならない。現場の実態に応じた研究成果の迅速な普

及については、導入コストの評価やわかりやすい技術解説（マニュアル）なども整備することが求められている。また、将来の気候変動の不確実性を考慮した安定生産をめざすには、導入技術の評価による対策の変更や代替技術の提案など順応的な対応への準備も必要であろう。さらに変動の大きさによって品種や新技術の導入では対応が難しくなる場合には、作目の変更、インフラ整備など、地域の合意形成や政策レベルでの対応に必要な技術情報の提供も、研究サイドの重要な役割となってくるだろう。

引用文献

Hasegawa T et al (2011) *Journal of the Agricultural Meteorology*, 67: 225-232.

広田知良ら(2011) 北海道農業研究センター研究資料, 69:1-13.

北海道農政部 (2011) 平成 22 年異常高温・多雨等が農畜産物に与えた影響と今後の対策.
(<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ns/gjf/H22IJYOUKOUO/N.htm>)

Kanno,H.et al (2013) *Journal of the Agricultural Meteorology*, 69: 117-125.

Kanno,H. (2013) *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 91:355-373.

桐谷圭治・湯川淳一編(2010) 地球温暖化と昆虫, 全農教, 東京, 347pp.

Kobayashi,T.(2006) *Phytopathology* 96:425-431.

森田敏(2011) イネの高温障害と対策, 農文協, 143pp.

中園 江(2010) 農林水産技術研究ジャーナル, 33(8):10-14.

西尾善太ら (2011) 北海道農業研究センター研究資料, 68:17-23.

農研機構気候変動対応プログラム紹介サイト <http://adpmit.dc.affrc.go.jp/>

塔野岡卓司(2008) 農林水産技術研究ジャーナル, 31(5):20-23.

Yamamura and Kiritani(1998) *Applied Entomology and Zoology* 33: 289-298.