

栃木県  
農作物生産における  
気候変動適応ガイド  
(第1版)

令和6（2024）年6月  
栃木県農政部

# 目次

はじめに	1
第1章 気候変動の状況	2
第2章 作物別の影響と対策	7
1  水稻	8
2  いちご	27
3  トマト	44
4  ほうれんそう	55
5  その他の野菜（にら、アスパラガス）	61
6  果樹（なし、ぶどう、りんご）	76
7  花き（きく、りんどう）	99
8  飼料作物（飼料用トウモロコシ、牧草）	115
第3章 農業気象災害のリスクヘッジのための制度活用	131
参考資料 農業経営における気候変動の影響に関するアンケート結果	133

# はじめに

化石燃料の大量使用などの影響で、現在の地球は 1800 年代後半と比べて 1.1°C 温暖化しており、過去 10 年間（2011～2020 年）は観測史上、最も気温が高い 10 年間となりました。さらに、2023 年の夏の世界の平均気温は観測史上最高となり、「もはや地球温暖化から地球沸騰化の時代」との声も聞かれています。

気温上昇の影響は、大雨や干ばつ、台風の大型化など世界各地に顕著な形で現れてきており、本県においても、作物や施設が被害を受ける農業気象災害では、2000 年からの 10 年間の被害額は 101 億円でしたが、その後の 10 年間では被害額 502 億円と約 5 倍に増加し、被災回数や 1 災害当たりの被害額も増加しています。

こうした状況に対し、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）は 2050 年までの平均気温の上昇を 1.5°C 以内に抑える目標を掲げており、我が国においても 2020 年 10 月に「2050 年カーボンニュートラル宣言」を行い、温室効果ガスの削減に向けた様々な対策が始まっています。

本県においては「とちぎ 2050 年カーボンニュートラル実現に向けたロードマップ」を策定し、各産業における産業の脱炭素化の推進や再生可能エネルギーの利用促進などの取組を進めており、農業分野においても「とちぎグリーン農業推進方針」を策定し、化学肥料や化学農薬の削減や省エネ機器への転換促進、水田由来のメタンガス排出抑制対策などに取り組んでいるところです。

しかし、こうした取組が順調に進みカーボンニュートラルが実現された場合でも、気温の上昇は今後数十年間続くとされており、将来にわたり本県農業が持続的に発展していくためには、気候変動に適応した栽培技術や営農方式を的確に経営に取り入れていくことが重要です。

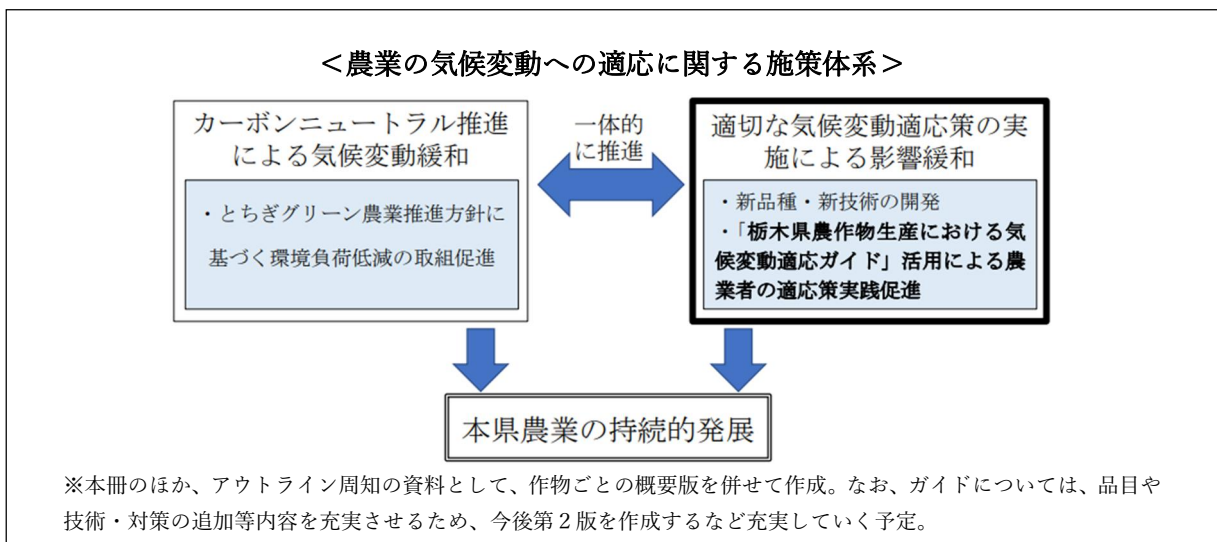
そこで、本ガイドでは、本県で栽培されている主要な農作物について、現在の状況を踏まえて短期的に必要な技術対策と、20 年後を見据え持続的に農業生産を行うために必要な事項を取りまとめました。喫緊の課題への技術対策が広まるとともに、若い担い手が将来に向けて着実な備えを進めることが出来るよう、御活用いただきたいと思えます。

農業は、私たちにとって最も大切な「食」を支える生命産業です。将来にわたって安定的な農業生産が行われ、県民の皆様には新鮮で安全な農産物の安定的な供給がされるよう、今後とも農業者を始め農業団体や市町などの関係者の皆様と一体となって必要な対策を進めて参ります。

本ガイドが、本県の豊かな農業・農村を未来に引き継いでいくための一助となれば幸いです。

令和 6（2024）年 6 月

栃木県農政部長 熊田 欽丈



# 第1章 気候変動の状況

## 1 近年の気候変動の状況

気象庁の2020年1月の発表によると、これまで日本の平均気温は様々な変動を繰り返しながら上昇しており、1898年以降では100年あたり1.28℃上昇しています。特に1990年代以降、高温となる年が頻繁に現れています。栃木県（宇都宮）の気温上昇は日本の平均より高く2.4℃上昇しています。気温の上昇にともない、真夏日や猛暑日は増え、冬日は少なくなっています。栃木県内でも黒磯、宇都宮、佐野の1978年から2022年の平均気温は上昇しており、県南の方が上昇の割合が高い傾向が見られます。

表1 日本と栃木県の近年の気象状況

項目	1991～2020年 平年値(宇都宮)	気候変動の状況	
		日本 <sup>※1</sup>	栃木県(宇都宮) <sup>※2</sup>
年平均気温	14.3℃	(100年あたり) <b>約1.28℃ 上昇</b>	(100年あたり) <b>約2.40℃ 上昇</b>
真夏日日数	49.6日	(100年あたり) <b>約6.7日 増加</b>	(80年あたり) <b>約26.7日 増加</b>
猛暑日日数	5.9日	(100年あたり) <b>約1.9日 増加</b>	(80年あたり) <b>約8.9日 増加</b>
冬日日数	72.9日	(100年あたり) <b>約17.0日 減少</b>	(80年あたり) <b>約48.2日 減少</b>
年降水量	1524.7mm	長期変化傾向は見られず	長期変化傾向は見られず

※1：都市化の影響を受けていない13地点の平均値、年降水量は観測データの均質性が長期間継続している51地点の平均値  
 ※2：都市化の局地的な気温の上昇が加わっている  
 (気象庁データより栃木県作成)

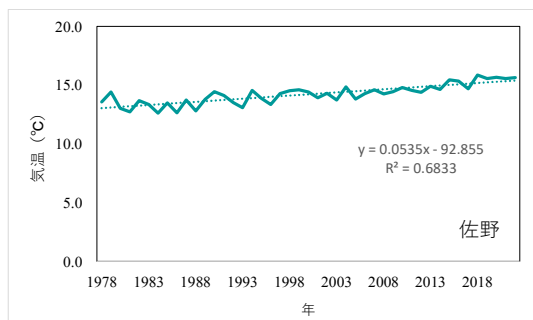
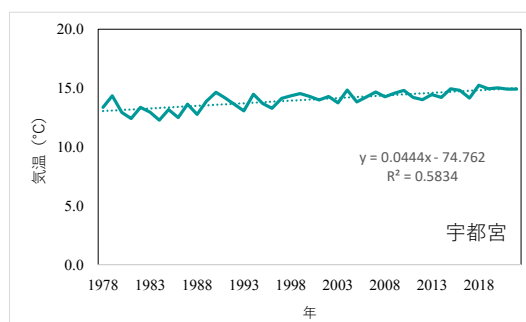
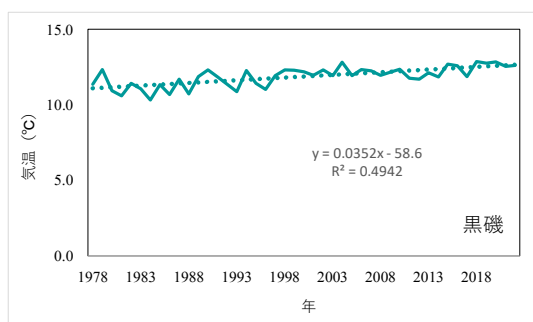


図1 黒磯、宇都宮、佐野の平均気温の推移

## 2 今後の予測と懸念されるリスク

国の研究機関等は、気候モデルを用いて 21 世紀末までの気候変動の予測データを公表しています。栃木県でも予測を公表しています。それによると追加的な温室効果ガス排出量を抑制する緩和策を講じない場合 (RCP8.5)、21 世紀末には、20 世紀末と比べて、県内全域で年平均気温が約 4～5℃上昇すると予測されています。農研機構のメッシュ農業気象、メッシュ気候シナリオにより黒磯、宇都宮、佐野の年平均気温を予測すると、2040 年には、20 世紀末と比べて 2℃程度上昇するとされました。しかし近年の気温は予測を上回る速さで上昇している傾向があります。降水は一度に多量に降る日が増える一方で、雨の降らない日も増える傾向にあります。また温室効果ガス排出シナリオ 4℃上昇シナリオ (RCP8.5) によると、確信度が中程度ではあるものの、日本付近では台風の強度が強まると予測されていて、個々の台風による降水量の増加や風の強まりも予測されています。加えて、降雪量は減少するものの大雪の頻度は増えるとの予測もあります。

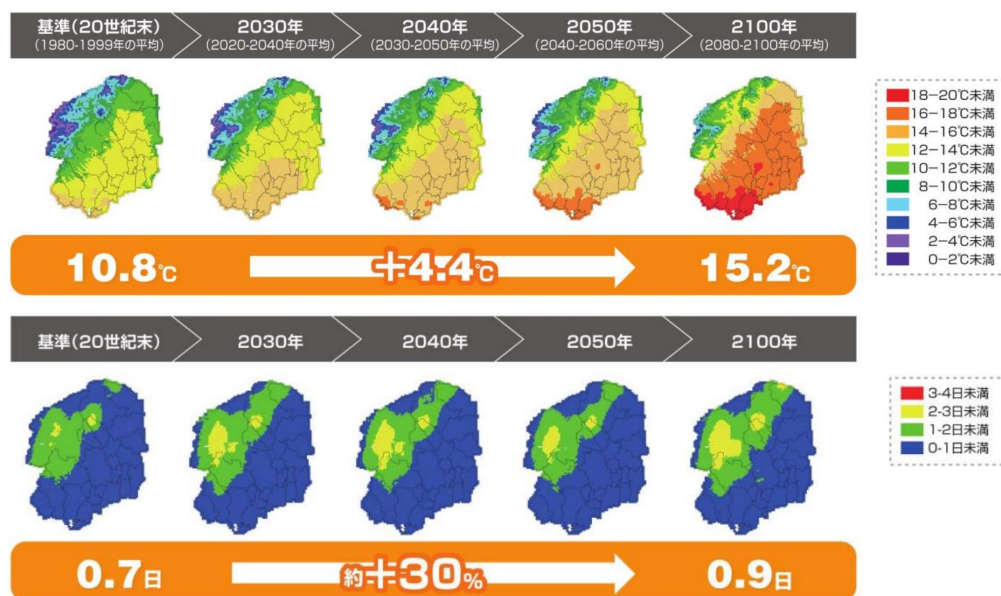


図2 年平均気温の変化と日降水量 100mm 以上の日数

栃木県気候変動対策課作成

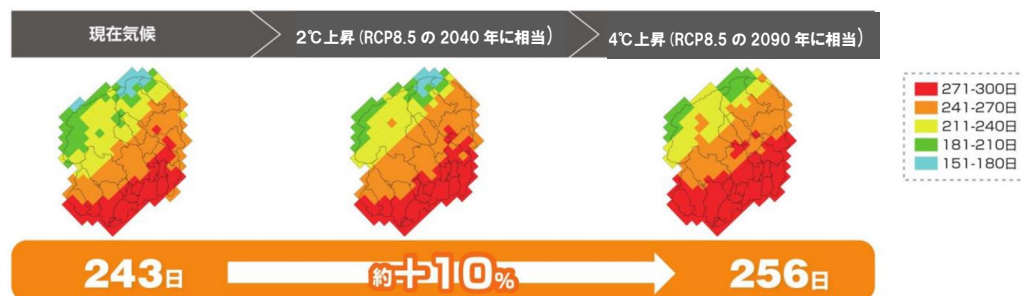


図3 無降水日の年間日数

栃木県気候変動対策課作成

表2 黒磯、宇都宮、佐野の近年平均気温の状況と今後の変化

	黒磯	宇都宮	佐野
2001	11.9	14.0	14.3*
2020	12.8	15.0	15.7
2025**	12.4	14.5	14.5
2040**	13.6	15.7	15.7

\*2002年の値

\*\*農研機構 メッシュ農業気象

メッシュ気候シナリオデータ

気候モデル：MIROC5、排出シナリオ：RCP8.5

### 気候予測の方法

将来の気候予測は、気候モデルで排出シナリオに基づいてシミュレーションして予測します。

### (参考) 気候モデルとは

気候モデルとは大気や海洋などの中で起こる現象を物理法則に従って定式化し、計算機(コンピュータ)によって擬似的な地球を再現しようとする計算プログラムで、世界のさまざまな研究機関によって多数のモデルが開発されています。日本で開発された気候モデルは東京大学/国立研究開発法人国立環境研究所/国立研究開発法人海洋研究開発機構の共同により開発された MIROC5 等があります。MIROC5 は日本を含むアジアの気候やモンスーン、梅雨前線等の再現性や将来変化の研究に利用されています。

表3 主な気候モデル

気候モデル	開発機構	特徴
MIROC5	東京大学、国立研究開発法人国立環境研究所、国立研究開発法人海洋研究開発機構	日本の研究機関が開発した気候モデルであり、当該モデルを利用して日本を含むアジアの気候やモンスーン、梅雨前線等の再現性や将来変化の研究が実施されている。
MRI-CGCM3.0	気象庁気象研究所	
GFDL CM3	米国NOAA地球物理流体力学研究所	日本周辺の年平均気温と降水量の変化の傾向を確認し、そのばらつきの幅を捉えられるように選ばれた気候モデル。
HadGEM2-ES	英国気象庁ハドレーセンター	

(参考) 排出シナリオとは

私たちがこれから温室効果ガスの排出をどれくらい削減できるかという仮定のことです。排出シナリオの1つに RCP シナリオがあります。RCP は Representative Concentration Pathways(代表的濃度経路)の略称で、後ろに続く数値は 2.6、4.5、6.0、8.5 があり、数値が大きいほど 2100 年における地球温暖化を引き起こす効果が大きいことを意味しています。排出シナリオは国際的な集まりで数年に一度に見直され、最新のシナリオは SSP シナリオ (2023) です。

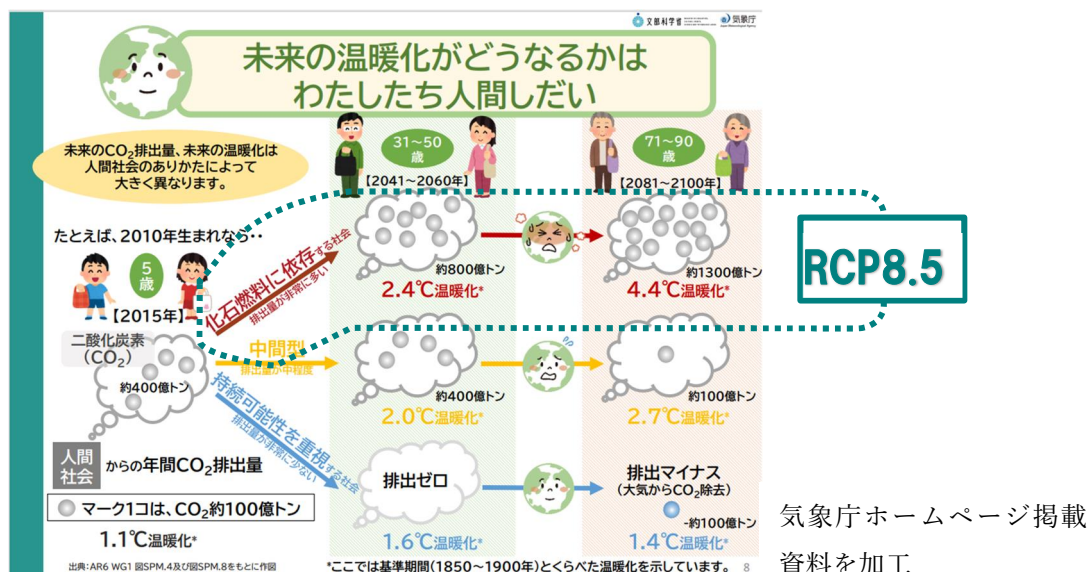


図4 RCP シナリオ

シナリオ	シナリオの概要 [近いRCPシナリオ]
SSP5-8.5	化石燃料依存型の発展の下で気候政策を導入しない。2050年までにCO <sub>2</sub> 排出量が現在の2倍に。[RCP8.5]
SSP3-7.0	地域対立的な発展の下で気候政策を導入しない。エーロゾルなどCO <sub>2</sub> 以外の排出が多い。2100年までにCO <sub>2</sub> 排出量が現在の2倍に。[RCP6.0 とRCP8.5 の間]
SSP2-4.5	中道的な発展の下で気候政策を導入。2030年までの各国の「国が決定する貢献(NDC)」を集計した排出量の上限にほぼ位置する。CO <sub>2</sub> 排出は今世紀半ばまで現在の水準で推移。[RCP4.5(2050年までRCP6.0にも近い)]
SSP1-2.6	持続可能な発展の下で、工業化前を基準とする昇温(中央値)を2°C未満に抑える気候政策を導入。2050年以降にCO <sub>2</sub> 排出正味ゼロ。[RCP2.6]
SSP1-1.9	持続可能な発展の下で、工業化前を基準とする21世紀末までの昇温(中央値)を概ね(わずかに超えることはあるものの)約1.5°C以下に抑える気候政策を導入。2050年頃にCO <sub>2</sub> 排出正味ゼロ。[該当なし]

図5 SSP シナリオ

環境省「IPCC第6次評価報告書の概要—第1作業部会(自然科学的根拠)—」

気候変動の予測は以下のサイトで確認することができます。

(気候変動の将来予測 WebGIS

<https://adaptation-platform.nies.go.jp/webgis/index.html>)

(農研機構 メッシュ農業気象データシステム

[https://amu.rd.naro.go.jp/wiki\\_open/doku.php](https://amu.rd.naro.go.jp/wiki_open/doku.php))



## **第2章 作物別の影響と対策**

# 1 水稲

## 1 現在の気候変動影響と適応策

水稲の収量は、気温及びCO<sub>2</sub>濃度の上昇に伴い増加する傾向にあります。2061～2080年頃をピークに玄米の小粒化(千粒重が軽くなる)傾向により収量が減少に転じ、コメの品質の指標である整粒率は低下すると予想され、収量品質ともに気候変動の影響を受けることが予想されます。栃木県の水稲の年平均収量は1960年代から増加を続けていましたが、2004年以降は増加傾向が鈍っています。これは気候変動の影響も考えられますが、社会的な要因(食味重視など)も考えられます。

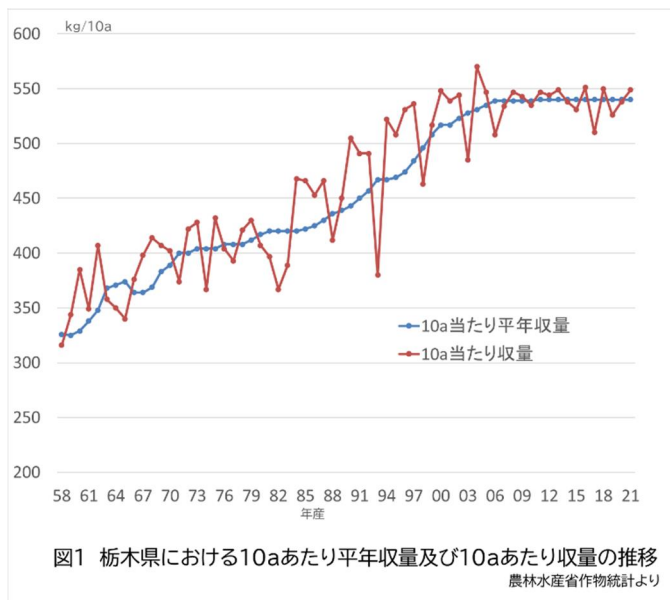


図1 栃木県における10aあたり年平均収量及び10aあたり収量の推移  
農林水産省作物統計より

また、水稲の品質について栃木県における1981年からの1等米比率(%)を示しました。過去、2001年に1等米比率が40%となったのが最低です。品質低下の要因を解析すると、2001年以前の品質低下の要因は、低温・日照不足、2002年以降は高温によるものと考察されました。近年は高温による品質低下が多いようですが、栃木県は概して品質が高位に維持されており、気候変動が米の品質に大きく影響しているとは言い切れません。

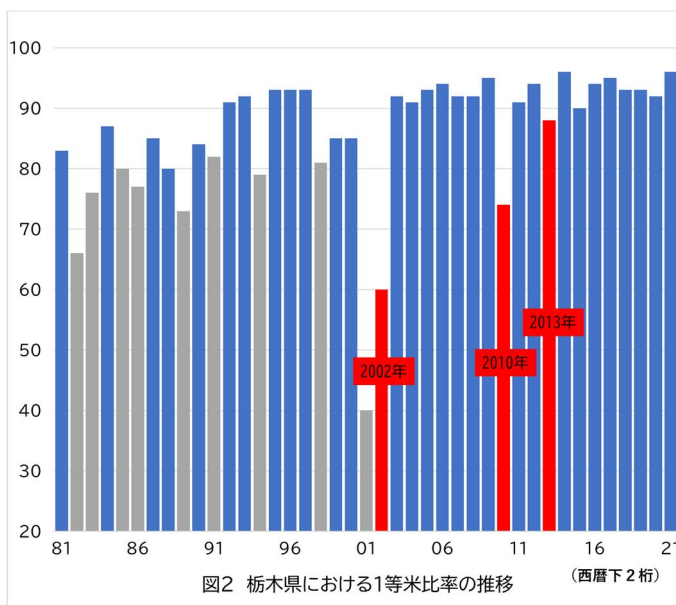


図2 栃木県における1等米比率の推移 (西暦下2桁)

それでも、2023年のように、稲の生育期間の高温は品質面への影響が大きく白未熟粒の発生、胴割米の発生、カメムシ類による着色米、不稔が増加すると予想されます。

## (1) 現在生じている気候変動影響

表1 現在生じている気候変動影響

影響を引き起こす気候	作物の症状	品質・収量等への影響	被害の大きさ ※1	被害の発生頻度 ※2
出穂・登熟期の高温	ア 白未熟粒の発生	品質低下	大	高
	イ 粒の充実不足	品質・収量低下	中	高
	ウ 胴割米の発生	品質・収量低下	大	高
出穂期以降の高温・多雨	エ 作期の前進	品質・収量低下	中	中
開花期の高温	オ 高温不稔	収量の低下	中	中
種子予措～育苗期の高温	カ 病害虫の発生	種子の生産量低下等	中	中

※1：生産量の減少程度で大、中、小、※2：一定年数中の発生年の割合で高、中、低

### ア 白未熟粒の発生

登熟初中期の高温（出穂期から20日間の平均気温が27℃以上、最高気温34℃以上、最低気温24℃以上のいずれかの日が5日以上続く等）によって、白未熟粒が多くなります。

高温に遭遇した時期によって発生部位が異なり、心白、腹白、背白、乳白粒等を総称して白未熟粒といわれており、胚乳細胞へのデンプン蓄積が阻害されて発生します。白く見えるのは、デンプン粒間に空隙が生じ、そこで光が乱反射するためです。穂の温度が高くなると、胚乳細胞でのデンプン蓄積が阻害され、デンプン粒の間に隙間が生じます。

また、①総粒数と稲体と比べて総粒数が過大になる、②フェーン現象や早期落水などによって水ストレスを受ける、③登熟期の日照が不足する、④稲の栄養が不足する等で発生が助長されることが知られています。

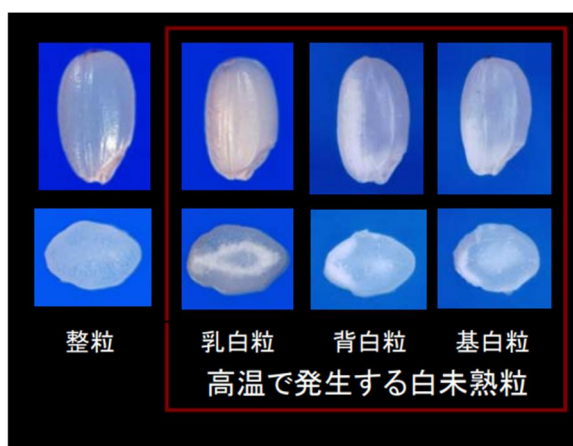


図3 白未熟粒の種類

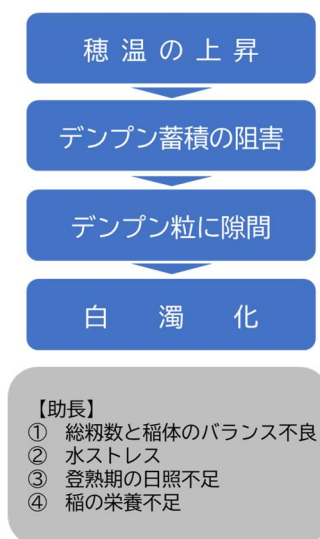


図4 白未熟粒の発生過程

## イ 粒の充実不足

登熟期の平均気温が 22～23℃付近を越えると玄米 1 粒重が低下します。最も玄米 1 粒重を低下させる時期は開花後 10 日目前後から 16 日目前後の登熟盛期です。

## ウ 胴割米の発生

登熟初期の高温の影響に加え登熟後期及び収穫後の玄米水分変化が指摘されています。籾が急激に成長し、そのことが籾の内部構造やデンプン蓄積に影響を及ぼして、胴割れしやすい米質になると考えられています。

また葉色が淡く登熟期の栄養が不足している場合や、早期落水や刈遅れにより籾の含水率が過度に低下する、作土が浅く籾含水率が過度に低下する、高水分籾を高温で乾燥する等により発生が助長されることが知られています。



図5 胴割米

## エ 作期の前進

発育段階が前進することは、移植から成熟までの発育期間の短縮、光合成によるバイオマス蓄積量の減少等につながり、この 2 つは減収の大きな要因とされています。

## オ 高温不稔

水稻は一般に午前から昼にかけての数時間に開花しますが、開花時に水稻の穂(穎花：えいか)が高温に曝されると、おしべの葯の裂開が阻害されたり、裂開しても葯から花粉がめしべの柱頭にこぼれなかったりして、受粉が阻害されて実らなくなります。

高温不稔の発生メカニズムは、未解明な部分も多いですが、石丸ら(2008)は館林市において出穂後 5 日間の最高気温が 38℃に達すると不稔率が 10%を超えるほ場が多いことを報告しています。また、長谷川ら(2008)は、つくば市の精密ほ場で発生した不稔について開花期の日最高気温 34℃以上の積算値が不稔の発生率と関係していると報告しています。

## カ 病害虫の発生

### (ア) カメムシ類被害の増加

東北地方では 2000 年ごろから斑点米が全域的な問題となり、1999 年には斑点米の発生面積が 17.6%と急増した結果、多くの水稻に落等被害が起きました。また、2002 年には夏季の長雨と日照不足にも関わらず同様に斑点米被害が多くみられました。菊地ら(2004)は、東北地方における、カメムシ類の発生と被害実態、気象条件の関係を分析して、6~8 月の平均気温と斑点米被害との間に正の相関があること、降雨日数とカメムシ類の間に負の相関があることを明らかにしました。

特にカメムシ類の分布拡大については Kiritani(2007)が耕作放棄地の増加に伴う寄主植物の分布と気象要因を主要因として挙げています。大友(2013)は気象要因に着目して分析した結果、6~8 月の平均気温が平年値を上回る年が複数年続く場合に密度が高まる傾向にあることを示しました。



図6 斑点米の例と斑点米カメムシ類

### (イ) いもち病の高温抑制

いもち病は低温 (20~25°C)、多雨、日照不足などの条件下で発生しやすくなり、梅雨明けの 30°Cを越すような高温や多照によって停滞することが明らかになっています。この停滞減少を「高温抑制」と呼び、緯度が低くて標高の低い地域ほど起こりやすいとされています。気温上昇は、この高温抑制現象が起きる地域が拡大するため、今後の気候変動によっていもち病の発生地帯は縮小するとともに北上することが予想されます。

## (2) 現在実施されている適応策（5年後の営農を見据えて取り組める事項）

表2 現在実施されている適応策

作物の症状	現在実施されている適応策	適応策の 効果※	留意事項
白未熟粒の発生	ア 水管理の徹底	A	用水の総量が決まっているため、急に湛水を指導してもタイミングによっては実施が困難な地域があります。同様の理由から、かけ流しの指導も困難です。
	イ 土壌改良	B	
	ウ 品種転換	A	
	エ 適正な肥培管理	A	
胴割米の発生	オ 早期落水防止	A	中生の晩～晩生品種の作付割合が増加しており、9月以降の用水の必要量が増加していますが、送水量が決まっているため、通水時期を延ばすなどの対応が求められています。
	カ 刈遅れ防止	A	担い手の規模拡大に伴い、天候によっては適期内に刈り終わらない事例がみられます。
病害虫の発生	キ カメムシ類防除	A	畦畔の草刈り時期によっては、カメムシ類を本田に追い込むことになり、被害を拡大させます。

※A：優れた効果がある、B：効果がある、C：やや効果がある

高温登熟障害の対策技術は、登熟期に高温に当てないようにする高温回避型と、高温に耐える力を強化する高温耐性型があります。また、技術のタイミングによって、登熟期が高温になるかどうかわからない段階で施す予防型と、登熟期が高温になってから、あるいは高温のリスクが高まってから施す治療型があります。

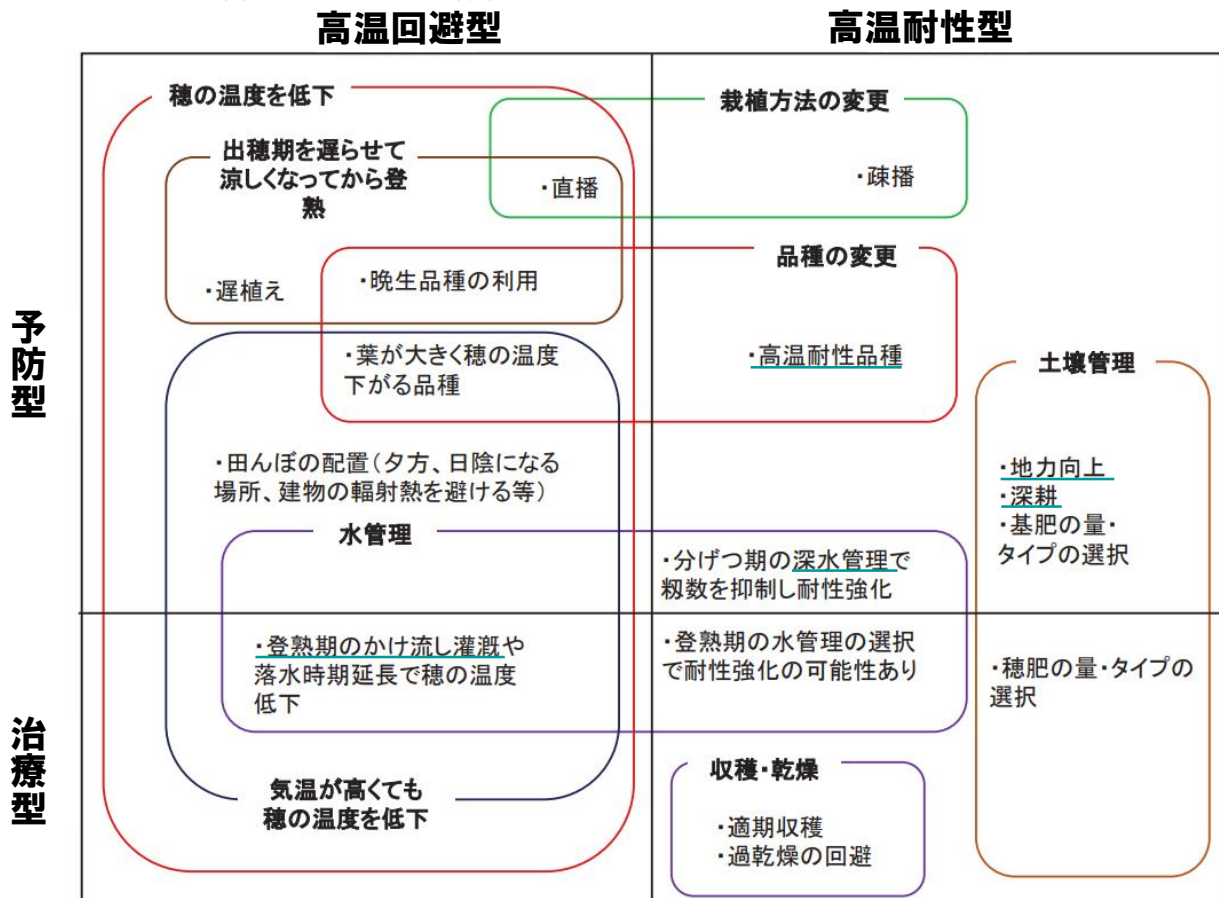


図7 水稻の高温登熟障害の適応策例(九州沖縄農業研究センターより作成)

## ア 水管理の徹底

### (ア) 深水管理

分げつ期には、無効分げつの発生を抑えるため、ほ場内を深水になるよう管理します。こうすることで、白未熟粒を引き起こしやすい粒数過剰になることを防ぎます。

表3 水管理が茎次位別の白未熟粒の発生割合に及ぼす影響(農研機構 2013 より作成)

水管理	茎の次位	白未熟粒割合 (%)	
		2007年	2008年
慣行	主茎	8.87 a	6.08 ab
	最上位1次分げつ	4.76 b	7.95 a
深水	主茎	3.65 b	1.68 c
	最上位1次分げつ	3.97 b	2.95 c

## (イ) 中干し

中干しは、重粘土壌では強めに行い、砂質土壌では軽く済ませるなど、土壌の質によって調整します。それによって葉色を濃く保ち、背白粒や基部未熟粒の発生を防ぎます。

## (ウ) 間断かん水

出穂期から 20 日間の平均気温が 27℃以上、最高気温 34℃以上、最低気温 24℃以上のいずれかの日が 5 日以上続くと品質低下が大きくなります。昼間は自然落水させて夕方以降入水する「間断かん水」を継続し、ほ場内の地温・水温を低く保たせます。

表4 夜間かんがいの実施有無による品質の発生比率(%)

夜間かんがい	ほ場	乳白	背白	死米	腹白	白未熟	被害米
実施	1	1.2	0.0	5.0	1.0	1.2	1.2
	2	1.5	2.0	2.6	1.7	1.5	1.2
未実施	3	4.2	0.0	4.0	1.9	4.2	2.6

(出典:竹下ら(2013):「山田錦」における高温障害抑制のための掛流し灌漑試験、農業農村工学会誌、No81(4))を参考に作成

## (I) 通水

登熟期から収穫間際までできるだけ通水を続け、稲を冷やします。特に登熟初期は、かけ流しかんがいにして高温になるのを防ぎます。

胴割米防止対策として、出穂後の落水時期について早期落水とならないよう注意することも必要です。近年は品種が中生の晩～晩生品種の作付割合が増加しており、9月以降の用水の必要量が増加していますが、土地改良区などとの取決めにより送水量が決まっている場合があるため、通水時期を延ばすなどの対策を講じる必要があります。

## イ 土壌改良

登熟が良いほど、白未熟粒の割合が低下することが知られています。水稻にとって好適な栄養状態を保ち、根張りを良くして登熟後期まで根の活力を維持させ、登熟の向上を図ることが重要です。



## (ア) 作土深の確保

耕起時の耕深は15～20 cmを確保します。作土が浅いと、肥料養分が表層部に多いので根張りが浅くなり、初期に過繁茂になります。そのため、秋落ち的生育となり、倒伏しやすく、登熟が低下し、収量も不安定になります。さらに、登熟後期に枯れ上がりしやすく、胴割米が多くなるので、品質・食味低下の原因にもなります。また、風害や冷害等の災害も受けやすくなります。

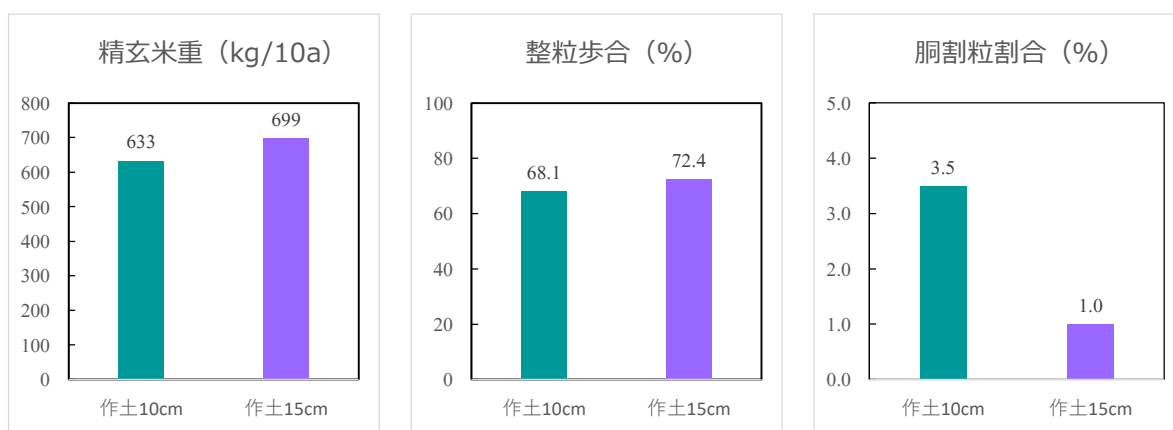


図8 作土深が精玄米重、整粒歩合および胴割米粒率に及ぼす影響(新潟県より作成)

## (イ) 有機物の施用

水稻が吸収する窒素の6～7割は地力窒素に依存し、この地力窒素は堆肥の連用により安定的に蓄積されます。また、そのほかに多くの養分を供給し、保肥力を高め、緩衝作用があるので作柄の安定や食味向上も期待できます。なお、未熟堆肥の投入は窒素飢餓や強還元による“根痛み”など初期生育の遅れを発生させたり、雑草種子がほ場へ持ち込まれたりする原因となることがあるので注意しましょう。また、堆肥の過剰施用は、倒伏や窒素分の過剰施用や根圏での強還元状態を引き起こす場合があるので、土壌診断に基づき適正な量を施用しましょう。

## (ウ) 土づくり肥料等資材の施用

土壌中のミネラル分を適性に保つため、土壌診断に基づき、目標値になるよう土づくり肥料を施用します。土づくり肥料により塩基、りん酸、けい酸等が充分供給されると、風害(台風時の青枯れ症や白穂等)や冷害等の気象災害に対する抵抗性が高まります。さらに、稲体の生理的活性を高めるばかりでなく、根張りが良くなるため登熟が向上し、収量安定・品質・食味向上につながります。また、有機物の分解促進にも役立ちます。

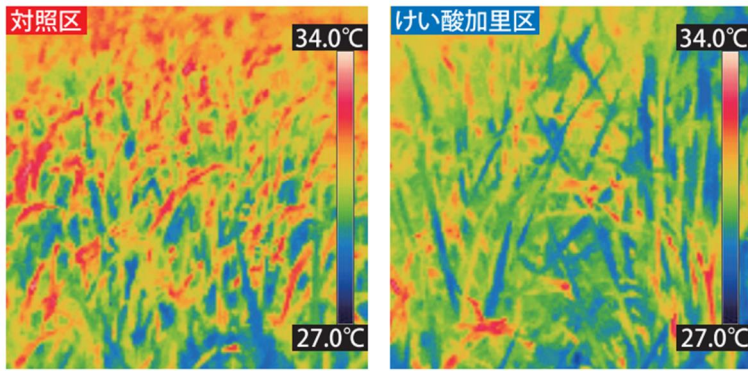


図9 稲の赤外線写真比較(全農)

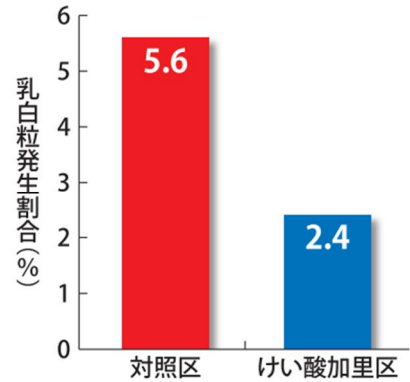


図 10 乳白粒発生割合におよぼす  
けい酸質肥料の影響(全農)

### (I) 透排水性改善

水田の日減水深は、20 mm程度が適切です。日減水深(1日あたりにほ場の水位が減る量)が小さいと、強還元状態になるので、根の生理的機能が低下しやすく、有機物の分解が遅れ、土壌改良資材の投入効果も低下しやすいことが知られています。一方で、日減水深が大きすぎると、肥料が流亡しやすく、除草剤も薬害が発生しやすくなるので注意が必要です。

### ウ 品種転換

品種によって、白未熟が生じる温度に違いがあることが知られています。栃木県で広く栽培されている品種の中では「とちぎの星」が高温登熟性に優れ外観が良い品種ですので「とちぎの星」を利用しましょう。

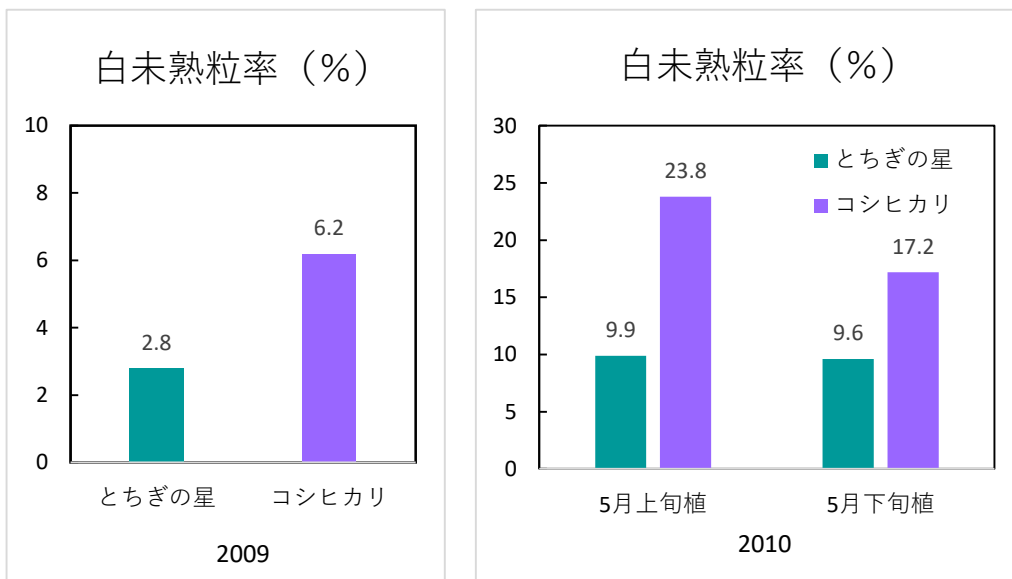


図 11 とちぎの星とコシヒカリの白未熟粒発生割合(栃木農試より作成)

## 工 適正な肥培管理

食味計による食味評価では、玄米のタンパク含有量が少ない方が高く評価される傾向にあるため、食味を重視する栽培では窒素施肥量を控える傾向にあります。窒素施肥量が少なく出穂期前後の葉色が淡すぎると、白未熟粒の発生が増加する傾向があります。高温時には、出穂期前後の葉色診断を行い適正な葉色で栽培することが求められています。

## オ 早期落水防止

水稻の登熟は出穂後約 40～45 日程度（帯緑色籾率 10%）の期間を要しますが、出穂後 20 日程度で落水すると、白未熟粒が増加する傾向があります。また、玄米が充実しないため収量減になることが多いことから、落水は出穂後 35 日以降に実施することが必要です。

## カ 刈遅れ防止

刈取り適期は、帯緑色籾率と登熟積算気温（出穂後の日平均気温の積算で 1,000～1,100℃）で判断します。出穂期から 1 か月が過ぎたら、ほ場で穂の基の方に残っている黄緑色の籾（帯緑色籾）の割合を確認します。帯緑色籾率が 10% になったら刈り始め、3% になるまでに終わらせます。

## キ カメムシ類防除

イネ科植物が穂をつけるとカメムシ類が増殖しますので、出穂期の 10～15 日前に発生源を除草すると、カメムシ類個体数を抑圧できます。一斉に、広域で除草すると、さらに効果が高くなります。ただし、出穂期以降に除草すると餌場を失ったカメムシ類を逆に水田内に呼び込むことになりかねないので、注意が必要です。

耕種的管理でカメムシ類を十分に抑圧できなかった場合や、加害主体がより大型種である場合には、本田での農薬散布が必要になります。有機リン系、合成ピレスロイド系の薬剤のほか、ネオニコチノイド系薬剤が登録されています。侵入ピークの穂揃い期と、その 7～10 日後との、発生程度により追加防除が必要です。

化学的防除を行っても斑点米率が高い場合には、色彩選別機を利用する方法もあります。ポストハーベスト的な処理なので、水田への環境負荷がないという利点があります。ただ、選別機に 1 回かけると通常でも歩留まりは約 3% 程度低下します。

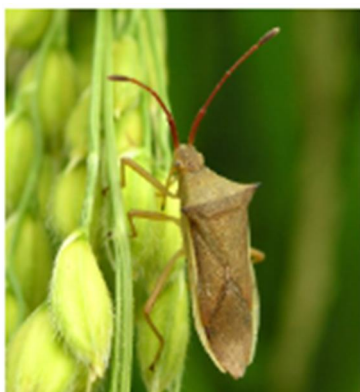


図 12 ホソハリカメムシ



図 13 クモヘリカメムシ

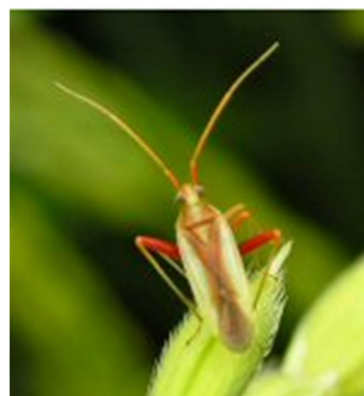


図 14 アカスジカスミカメ

## 2 20年後を見据えて準備しておく事項

今後、温暖化が進展すると水稻の収量・品質に大きな影響が現れてきます。特に出穂から成熟期にかけて高温に遭遇すると、白未熟粒を中心に品質低下することが試算されており、高温耐性品種である「とちぎの星」を用いても県南の一部においては、品質低下する可能性があります。

右のグラフは SSP5-8.5 シナリオで 2091-2100 年を予測し「コシヒカリ」と高温耐性品種の「とちぎの星」を作付けした場合、白未熟粒が発生する地域を示したものです。20 年後においても同様な傾向が発生することが予想されます。

高温耐性品種については、より能力の高い品種が開発されてくると考えられますが、品種導入だけではなく品質低下防止技術の組み合わせにより品質低下を回避することが大切です。

また、気候変動期には、夏季の高温だけではなく、水稻の減数分裂期（出穂前 10～12 日頃、幼穂長 8cm 前後）の低温による障害型冷害で不稔が発生する可能性も高まります。品種の選定では高温耐性だけではなく、耐冷性などの特性も確認して品種選定をする必要があります。

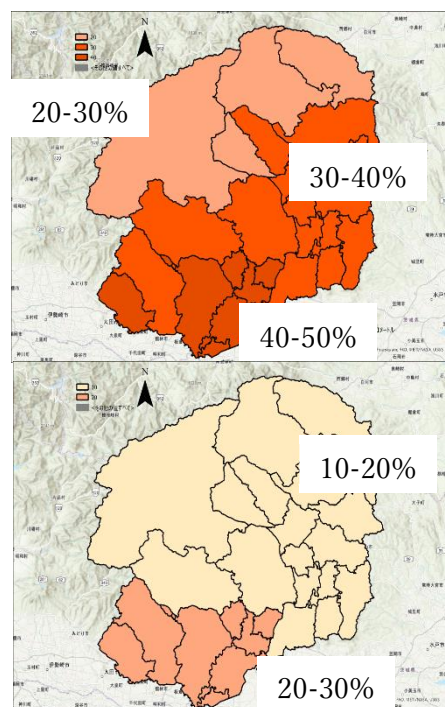


図 15 SSP5-8.5 で試算した 2091-2100 年の白未熟粒の発生率(県気候変動対策課資料から)  
(上段:コシヒカリ、下段:とちぎの星)

## (1) 将来懸念される気候変動影響

表5 将来懸念される気候変動影響

影響を引き起こす気候	作物の症状	品質・収量等への影響	被害の大きさ		被害の発生頻度	
			※1	※2	※1	※2
			現在	将来	現在	将来
生育期間の低温	ア 遅延型冷害	生育が遅延して、成熟に至らず、収量が低下します。	小	↗	中	↗
	イ 障害型冷害	減数分裂期の低温により受精が妨げられ収量が低下します。	中	↗	中	↗
	ウ 複合型冷害	遅延型、障害型が複合的に起きます。また、低温によるいもち病が多発することで、収量が低下します。	大	↗	大	↗
生育期間の高温	エ 白未熟粒による品質低下	出穂期～登熟前期の高温により白未熟粒が発生し、品質が低下します。	中	↗	中	↗
	オ 胴割米の発生による品質低下	登熟前期の高温により胴割米が発生しやすい玄米構造になります。	大	↗	中	↗
	カ カメムシ類の発生密度が高くなり吸汁害による品質低下が拡大	カメムシ類が大量発生し斑点米の発生が増加します。	中	↗	中	↗
	キ 雑草生育の早期化	ノビエなどの雑草生育が早くなり、雑草害を受けやすくなります。	大	↗	中	↗

※1：現在は生産量の減少程度で大、中、小、将来は現在と比べて増加が↗、変化なしが→、減少が↘

※2：現在は一定年数中の発生年の割合で高、中、低、将来は現在と比べて増加が↗、変化なしが→、減少が↘

### ア 遅延型冷害

温暖化による気候変動については、極端な気象現象が現れやすくなることから、高温だけではなく、低温のリスクも増加することになります。水稻の生育前期（幼穂形成期前）に継続的な低温になると、生育が遅延し、出穂が遅れることにより成熟期に至らなくなることがあります。これを遅延型冷害と呼びます。特に、経営規模が拡大し移植時期が遅い場合、被害は拡大します。

### イ 障害型冷害

水稻の減数分裂期～花粉形成期（出穂前 10～15 日頃、幼穂長 8 cm 前後）に平均気温 18℃（平均最低気温 16℃）以下の低温に遭遇すると、花粉形成が妨げられるため、不稔が発生し、収量が低下します。

## ウ 複合型冷害

水稻の生育期間が低温で経過するため、遅延型・障害型の冷害が複合的に作用する冷害のタイプです。また、冷涼な夏はいもち病菌の生育適温となることが多く、冷害の症状にいもち病が複合的に発生する場合があります。

## エ 白未熟粒による品質低下

今後、温暖化が進展すると白未熟粒発生と密接な関係がある出穂期から出穂後 20 日間は高温となることが常態化すると考えられ、高温に耐性のない品種（「コシヒカリ」など）は、品質低下のため作付けできなくなることが予想されます。

## オ 胴割米の発生による品質低下

登熟前後の最高気温が高くなると予想されることから、玄米構造が脆弱になることで同割粒の発生増加が懸念されます。ほ場での胴割米（立毛胴割れ）が発生してしまうと適期刈取が実施されても、玄米の品質低下が避けられないと予想されます。

## カ カメムシ類の発生密度が高くなり吸汁害による品質低下が拡大

斑点米を発生させるカメムシ類が高温により現在より多く世代を繰り返す可能性があり、稲の生育期間中の虫数増加が懸念されます。また、冬期間の温暖化により、虫の越冬密度も高くなる可能性があり、より被害が増える可能性があります。

## キ 草生育の早期化

気温が高くなると、雑草の発芽、葉齢進展が早くなり除草剤等を施用する適期が狭くなることが想定されます。また、温暖地で問題となっている雑草（ナガエツルノゲイトウ等）が北上する可能性があります。

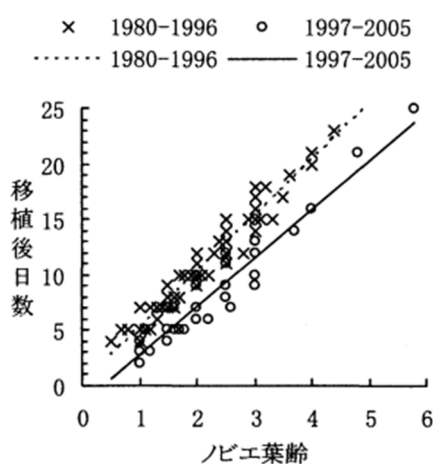


図 16 年次別ノビエ葉齢と移植後日数  
島根県農業技術センター

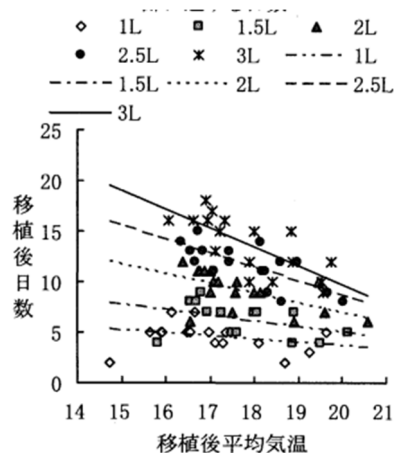


図 17 移植後の平均気温とノビエ各  
葉齢に達する日数  
島根県農業技術センター

## (2) 準備が必要な具体的な事項

表6 準備が必要な具体的な事項

具体的な実施内容	導入によって見込まれる効果	課題
ア ドローンによる生育診断に基づく適切な施肥	登熟期の高温回避が図られる可能性があります。	マルチスペクトルカメラの精度向上。
イ 地域の話合いによる適正な水資源の配分	地域の話合いにより、計画的・適正な水資源の配分が行われます。  広域水管理システム（iDAS）により地域として効率的な水資源の配分が可能になります。	適正な水管理を行うための、話し合いの場の設定が必要です。  土地改良区等が管理するシステムを制御するため、施設費がかかります。地域の同意が必要です。
ウ 5月上旬～下旬への移植時期分散	登熟期の高温回避が図られる可能性があります。	移植を分散しないと収穫作業が集中し労働力が不足する可能性があります。
エ 雑草対策	雑草の発生時期の前進化、生育速度早まりに対する、適用範囲の広い除草剤の使用により除草効果が高まります。	成分数の増加などに伴い価格が上昇する可能性があります。
オ カメムシ類対策	精密な発生予察情報の利用やスマート農業機器を用いた畦畔雑草管理などで、カメムシ類の発生密度の低下が図れます。	ロボット草刈機の導入などに経費を要します。予察情報の精緻化が必要です。
カ 高温耐性品種の利用	現在作付けている品種より高温登熟性の強い品種の選定により一等米比率が向上します。	とちぎの星、なすひかり、コシヒカリ、あさひの夢以外の品種は系統で扱うまでに数年かかります。

## ア ドローンによる生育診断に基づく適切な施肥

水管理は高温登熟障害への適応策として効果の高い技術の一つですが、ほ場ごとの管理となると時間のかかる作業であり、また夏期の高温期に作業することから作業への負担も大きくなり、ほ場数が多くなればなるほど適切な管理が困難になります。水管理システムをほ場ごとに設置することにより、詳細な水管理が可能となり高温登熟障害を減少させることが期待できます。

窒素を適期に追肥すると、収量が増加するほか、登熟期の気温が高い場合に発生する基部未熟粒や背白粒が減少します。ドローンを利用した生育診断と施肥は、追肥適期の年次変動や同一ほ場内での地力のばらつきへの対応といった労力のかかる作業を大幅に軽減できることから、気候変動への対応もスムーズに実行できます。

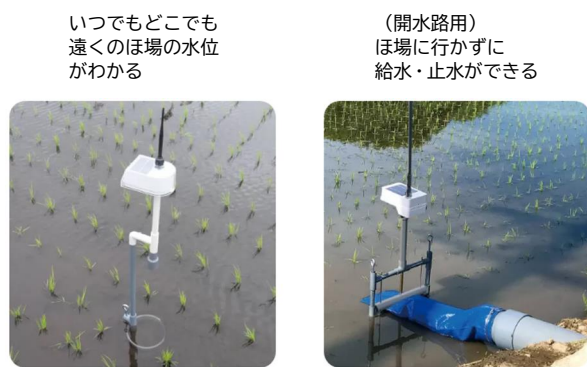


図 18 水管理システム



図 19 ドローンによる生育診断



## イ 地域の話合いによる適正な水管理

高温障害を回避するうえで、出穂前後の水管理はとても重要です。この時期に用水量が不足すると、品質のみではなく、収量まで影響します。高温時は利用できる水資源も不足しがちですので、地域で話合いにより効率的に用水を利用する必要があります。日頃から、水不足時の番水方法などについて話合いを行うことが大切です。

<広域水管理システム（iDAS）により地域的な水資源の適正配分>

個人での水管理システムだけでは、地域として供給される水が確保されなければ対応することは困難であるため、地域として水資源をコントロールするシステムを国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構（以下、農研機構）で開発しました。

現在 ICT・IoT を活用した自動給水栓の導入など、ほ場の水管理の省力化に向けた取組みが進んでいますが、土地改良区が管理するポンプ場等の水利施設は、主に手で管理されており、管理労力や節水・節電の観点からも水管理の効率化・自動化が求められています。農研機構が開発した iDAS は、ほ場の水利用に応じた効率的な配水が自動的に行えるようになり、

施設管理者の省力化とポンプの節電・節水効果が期待されます。また、別に開発されている自動給水栓等と連携することにより、農家の水管理の省力化に加えて水配分状況の把握による計画的なかんがいが可能となります。

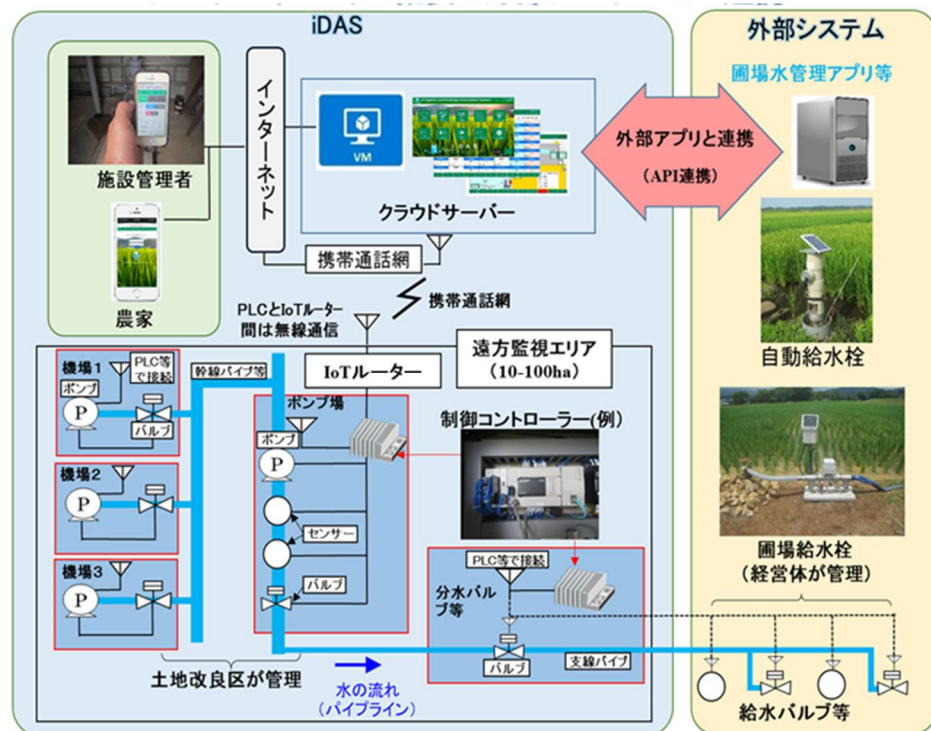


図 20 システム(iDAS)の概要と外部システムとの連携

(参考文献：ICT を活用した圃場-水利施設連携による効率的な配水管理制御システムを開発

[https://www.naro.go.jp/publicity\\_report/press/laboratory/nire/119976.html](https://www.naro.go.jp/publicity_report/press/laboratory/nire/119976.html))

## ウ 5月上旬～下旬への移植時期分散

特定の時期に生育ステージが集中すると高温に遭遇する可能性が高まるので、移植時期を分散します。または移植時期を拡大することによってリスク分散を図ることも有効です。具体的には、①移植時期は5月上旬から下旬までに分散させる、②登熟初中期に高温を迎える可能性が高い4月移植は行わない、③移植時期の分散の程度は水利条件などの地域の実情を考慮し設定する、などで移植時期を検討しましょう。

## エ 雑草対策

除草剤の散布適期は、主にノビエの葉齢を基準にして決めている除草剤が多いことから、除草剤の使用時期が遅くならないように注意しましょう。また、散布適期幅が広い除草剤を選択することも有効です。

さらに、温暖地で問題となっているナガエツルノゲイトウ等雑草が北上する危険性もあるので、草種の鑑別や適応できる除草成分などの情報収集に努めることも大切です。



図21 ナガエツルノゲイトウ

## オ カメムシ類対策

高温によりカメムシ類の数が増えることが想定させることから、畦畔除草などで、カメムシ類の数を制御しながら管理することが重要です。草刈りなどは、猛暑の中での作業になることから、RC草刈機やトラクターに装着できるハンマーナイフモアなど軽労化しながら畦畔管理できる技術の導入が必要となります。



図22 トラクターアタッチ草刈機



図23 ラジコン(RC)草刈機

## カ 高温耐性品種の利用

農研機構では、現在高温登熟性が問題となっていない北海道を除く全国の主要な水稲既存品種の高温登熟性を調査分類しています。これらを参考に将来を見据えて新たな品種の導入計画を立てることにより対策できます。

表7 高温登熟性標準品種(農研機構)

地域区分	生態型	3	4	5	6	7
		弱	やや弱	中	やや強	強
寒冷地北部・中部	極早生・早生	駒の舞 初星		むつほまれ あきたこまち	ふ系227号 里のうた こころまち	ふさおとめ
	中生	ササニシキ		ひとめぼれ はえぬき	みねはるか	
	晩生・極晩生			コシヒカリ	つや姫	笑みの絆
寒冷地南部	極早生・早生	初星		あきたこまち ひとめぼれ	ハナエチゼン	
	中生	ともほなみ	コシヒカリ			笑みの絆
	晩生・極晩生	祭り晴		日本晴 みずほの輝き	あきさかり	
温暖地東部※	極早生・早生	初星 あかね空		あきたこまち コシヒカリ	とちぎの星	ふさおとめ 笑みの絆
	中生	彩のかがやき さとじまん		日本晴	なつほのか	
	晩生・極晩生	葵の風 ヒノヒカリ		シンレイ	コガネマサリ	
温暖地西部	極早生・早生		キヌヒカリ	あきたこまち ひとめぼれ コシヒカリ	ハナエチゼン つや姫	ふさおとめ
	中生	祭り晴		日本晴		
	晩生・極晩生	葵の風 ヒノヒカリ			コガネマサリ	
暖地	極早生・早生	初星 祭り晴	黄金晴	日本晴	みねはるか	なつほのか
	中生	ヒノヒカリ	シンレイ	にごまる	コガネマサリ	おてんとそだち
	極早生・早生	あきさやか	たちはるか		ニシヒカリ	

※栃木県は温暖地東部に該当

## ◇農業保険の活用

### ・収入保険(青色申告している方)

気象災害による収入減少だけでなく、価格低下なども含めた収入減少を補償する収入保険があります(農作物共済との併用はできません)。

### ・農作物共済(収入保険との併用はできません)

自然災害等による、収量減少を補償する加入方式(半相殺方式・全相殺方式・地域インデックス方式)と収量減少または品質低下による生産金額の減少を補償する加入方式(水稻品質方式)の4つの加入方式から個々の農家が選択できます。全相殺方式と水稻品質方式には加入条件があります。

全相殺方式：全量をJA等で乾燥調整している方

青色・白色申告書類で収穫量が確認できる方

水稻品質方式：全量をJA等へ出荷し、品種ごと、等級ごとの収量が把握できる方

### ・園芸施設共済

自然災害等(春先の突風、大雪、台風等)による水稻育苗ハウス損害への備えとして園芸施設共済があります。

### ・保管中農産物補償共済(収入保険との併用はできません)

農作物共済(水稻)の加入者が対象です。収穫後、納屋・倉庫に保管中及び集荷施設・出荷先への輸送中の米を実損額(1口当たり100万円)で補償します。

## 2 いちご

### 1 現在の気候変動影響と適応策

温暖化がいちごの生育に及ぼす影響として、花芽分化の遅れと台風や豪雨による作業の遅延、病害虫の多発が挙げられます。

いちごは、8月中旬以降の気温の低下と日長の減少に伴い花成が誘導され、9月中旬頃に花芽を形成し定植に至ります。近年は8月中旬以降も高温が続く傾向であり、花芽分化が遅れるため、定植時期が遅れ、年内収量の低下を招いています。生産現場では、遮光や強制換気などによるハウスの昇温抑制対策がとられているほか、一部のほ場では定植後のクラウン冷却技術が導入されています。

また、集中豪雨など極端な気候変動が多くなることで、ほ場の浸水による定植準備の遅れや、定植後の浸水による生育停滞が頻発化しています。浸水被害を受ける地域では、浸水により畝を崩されないように不耕起栽培を導入する事例が見られます。また、ハウスを新設する際には浸水地域を避けてほ場を選定しています。

病害虫では、アザミウマ類の被害が増加傾向となっています。アザミウマ類は、10月下旬頃になると生殖休眠に

入り、施設内への侵入や増殖が抑えられますが、温暖化に伴って活動できる期間が長くなり、

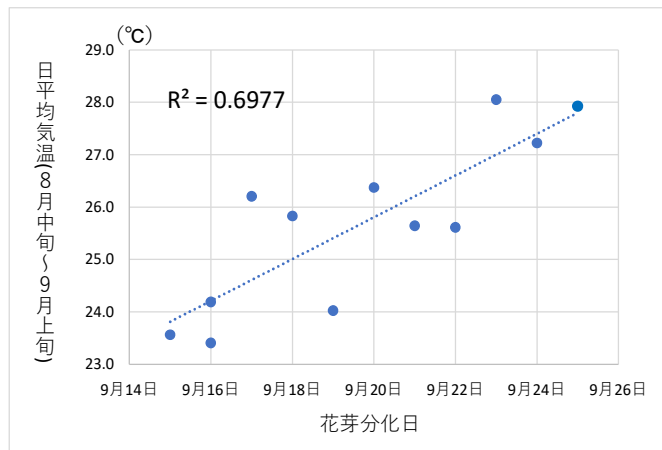


図1 秋口の高温がとちおとめの花芽分化に及ぼす影響

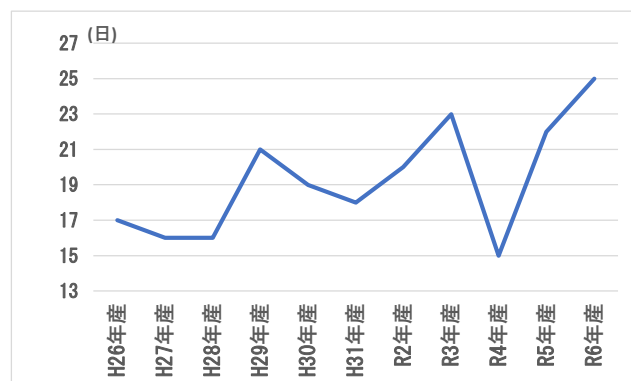


図2 県いちご研究所の花芽分化日(9月)の年次推移(H26～R6年産:とちおとめ)

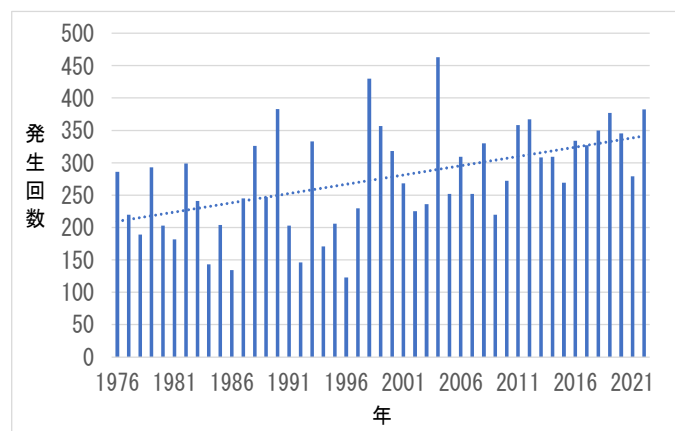


図3 雨量 50mm/h以上の降雨の発生回数

被害が増加しています。化学農薬の効果も低下しているため、天敵農薬をアザミウマ類防除に用いる事例が増加しています。

## (1) 現在生じている気候変動影響

表1 現在生じている気候変動影響

影響を引き起こす気候	作物の症状	品質・収量等への影響	被害の大きさ ※1	被害の発生頻度 ※2
高温	ア 花芽分化の遅れ	収量低下	中	中
	イ 連続出蕾性の低下	品質・収量低下	中	中
	ウ 病害虫の発生	品質・収量低下	中	中
大雨	エ ほ場の浸水	収量低下	小	少

※1：生産量の減少程度で大、中、小 ※2：一定年数中の発生年の割合で高、中、低

### ア 花芽分化の遅れ

現在国内で栽培されているいちご品種の多くは、短日条件で花芽形成が誘導され、秋に気温が下がり日長が短くなると花芽分化します。「とちおとめ」や「スカイベリー」などの本県育成品種は、自然条件では9月の中下旬に花芽が形成されますが、近年は夏秋期の高温により花芽形成が遅れる傾向があります。

### イ 連続出蕾性の低下

10月が高温で推移すると、頂花房から一次腋花房の間に発生する葉の枚数が増加し、一次腋花房の開花が遅れる傾向があります。一次腋花房は1月以降に出荷されるため、一次腋花房が遅れると年明け後の出荷量が減少します。

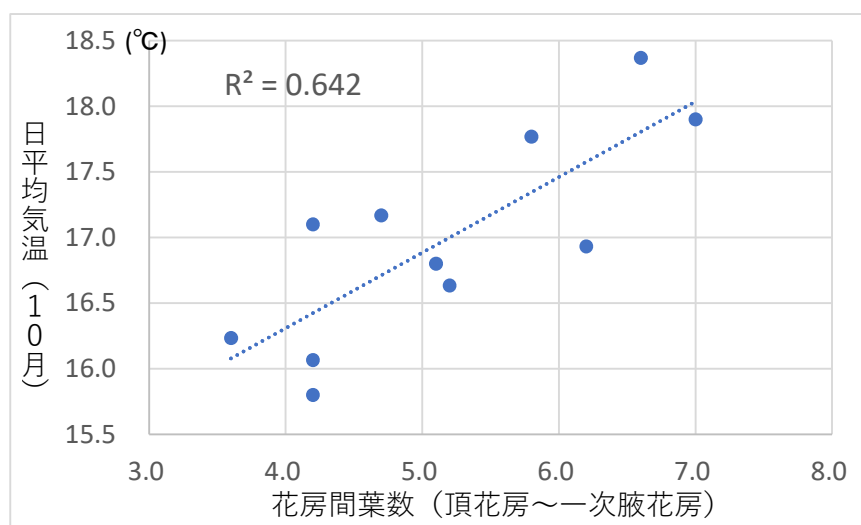


図4 10月の高温がとちおとめの花房間葉数に及ぼす影響

## ウ 病害虫の発生

### (ア) 炭疽病

症状は、葉身上に薄墨色の小斑点（葉上斑点）が現れ、クラウン部が侵されると株が枯死します。病斑上に胞子の塊（分生子層）を形成し、水はね等で胞子が飛散することで二次伝染を繰り返すため、経営を左右する重要病害です。最適発病温度は夜温 25℃～昼温 35℃で、分生子層形成の最適温度は 25℃です。温暖化に伴い、発生リスクが増加しています。



図5 炭疽病の葉上斑点

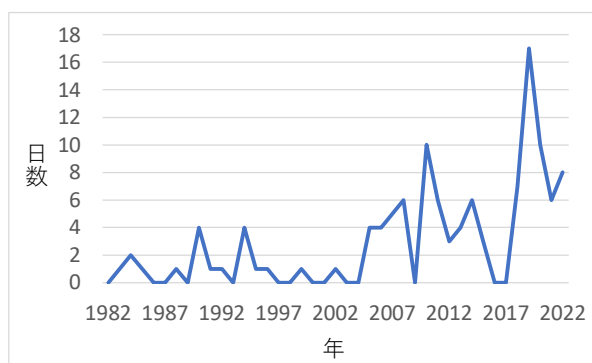


図6 各年8月における最低夜温 25℃以上の日数

### (イ) 萎黄病

萎黄病も高温条件で問題となる病害です。病原菌は、土壌中で長期間残存し、汚染した土壌や苗で伝染します。発病最適土壌温度は 25～30℃であり、乾湿差が大きいと根が傷み、さらに発生しやすくなるので、高温が長期化すると発生が多くなることが懸念されます。



図7 萎黄病の症状(株の萎縮・黄化)

### (ウ) アザミウマ類

活動適温は 20～30℃、主な多発時期は 9～11 月及び 2～6 月で、いちごの場合は秋の保温開始前にハウス内に侵入し、加害します。昨今の温暖化により活動期間が長くなっており、秋のハウス内へ侵入が増加し、被害拡大が懸念されます。現在は化学農薬による防除が中心となっていますが、薬剤抵抗性が発達しつつあり、被害が増加しています。



図8 花に発生したヒラズハナザミウマ成虫



図9 アザミウマ類に食害された果実

## エ ほ場の浸水

集中豪雨や台風の大雨によりほ場が冠水する事例が生じています。定植後に冠水すると、ベッドの崩壊や、植物体への泥の付着により、収量が著しく減少します。また、土壌伝染性の病害の流入により、翌年以降にも影響を及ぼす事例もあります。

いちごは水田で作付けされている場合が多く、大雨時の排水路の逆流や越水などにより、冠水が起こりやすい状況にあります。



図10 冠水後のほ場の様子



## (2) 現在実施されている適応策（5年後の営農を見据えて取り組める事項）

表2 現在実施されている適応策

作物の症状	現在実施されている適応策	適応策の 効果※	留意事項
花芽分化遅延・病害の発生	ア「とちあいか」の導入	A	萎黄病に対する耐病性が高い
頂花房の花芽分化遅延	イ 夜冷庫の有効活用	A	効果安定に向けた検討が必要
	ウ 育苗ハウスの昇温抑制	A	開口部の拡大は施設の強度低下を招く
一次腋花房の花芽分化遅延	エ クラウン冷却	A	効果安定に向けた検討が必要
	オ 本ぼの昇温抑制	A	開口部の拡大は施設の強度低下を招く
病害の発生	カ 育苗時の株元かん水	A	専用の育苗トレイと液肥混入機が必要
害虫の発生	キ アザミウマ類天敵農薬の導入	B	薬剤防除体系と併せて活用方法を検討中
大雨によるほ場の浸水	ク 不耕起栽培	B	ベッド崩壊は対応できるが、冠水すると泥の付着や根傷みにより生育が停滞する
	ケ 気象災害への対応	B	気象状況や技術対策情報を迅速に把握する必要がある

※A：優れた効果がある、B：効果がある、C：やや効果がある

### ア 「とちあいか」の導入

「とちあいか」は、「とちおとめ」より花芽分化しやすく、萎黄病に対する耐病性も高いため、高温条件での栽培に比較的適しています。さらに、収量性も高く品質も良好であるため、今後普及が見込まれます。ただし、果実の着色が早いため、特に春先の高温期は遮光などの昇温対策を講じる必要があります。

表3 「とちあいか」の耐病性(栃木県農業試験場研究報告 第81号を基に作成)

試験年次	品種	萎黄病発病度 <sup>注1)</sup>	炭疽病発病度 <sup>注2)</sup>
2016年度	とちあいか	38	83
	とちおとめ	98	95
	スカイベリー	73	58
	宝交早生	90	38
	アスカウェイブ	93	-
2017年度	とちあいか	38	90
	とちおとめ	100	100
	スカイベリー	-	73
	宝交早生	100	48
	アスカウェイブ	85	-

注1)病原菌接種110日後に発病指数(0:発病なし、1:小葉(1小葉)のわずかな奇形、2:小葉(2小葉以上)の奇形・黄化、3:株の萎縮・萎凋、4:枯死)を調査し、下記の式により求めた。

注2)病原菌接種55日後に発病指数(0:発病なし、1:斑点病斑を形成、2:分生子層または葉柄に黒褐色の陥没病斑を形成、3:萎縮、4:枯死)を調査し、下記の式により求めた。

$$\text{発病度} = \{ \sum (\text{発病度} \times \text{同株数}) \} \div (4 \times \text{調査株数})$$

## イ 夜冷庫の有効活用

機械式の夜冷庫を活用することで、夜冷庫内の温度の正確な制御が可能となり、育苗時の花芽分化を調節することが可能です。

1か月程度育苗した苗を用い、日長8時間、室温12～15℃程度で処理をすることで高温時でも花芽分化を促進できます。また、室温15～20℃で設定することで、挿し苗後の発根促進にも利用できます。



図 11 夜冷育苗の様子



図 12 夜冷庫に入庫したいちご苗

## ウ 育苗ハウスの昇温抑制

7～8月の育苗期は最も高温になります。育苗ハウスの屋根を可動式にしてフルオープンにすることで、晴天日の温度上昇を抑制することができます。

また、遮光ネットの活用も有効です。遮光ネットも可動式にすることで、天候に応じて遮光率を調整することが可能になります。



図 13 換気窓と遮光ネットを可動式にした育苗ハウス

## エ クラウン冷却の導入

いちごはクラウン部にある成長点の温度を制御することで、生育をコントロールできます。定植後の高温対策として、クラウン部に接するようにチューブを配置し、地下水を通水することで花芽分化が促進され、高温年は一次腋花房の出荷を早めることができます。



図 14 クラウン冷却の様子

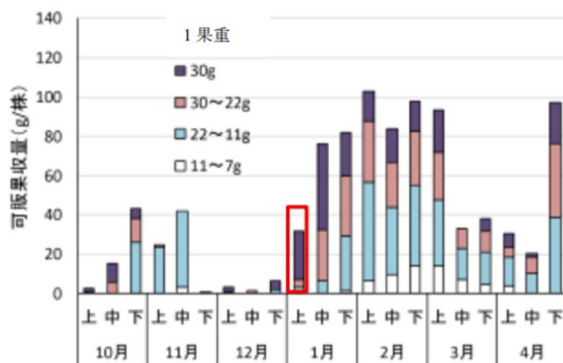


図 15 クラウン冷却有りの可販果収量

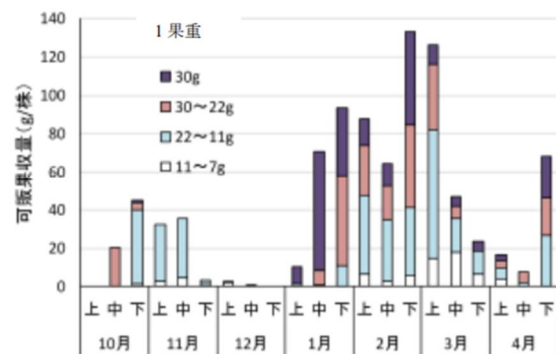


図 16 クラウン冷却無しの可販果収量

(参考文献：イチゴ超促成栽培におけるクラウン温度制御を用いた増収効果

<https://www.naro.affrc.go.jp/org/tarc/seika/jyouhou/H27/yasaikaki/H27yasaikaki006.html>)

## オ 本ぽの昇温抑制

### (ア) 強制換気の導入

定植後に送風機により換気することで、ハウス内気温を下げることができ、一次腋花房の分化の促進や高温に起因する生理障害の発生を軽減できます。

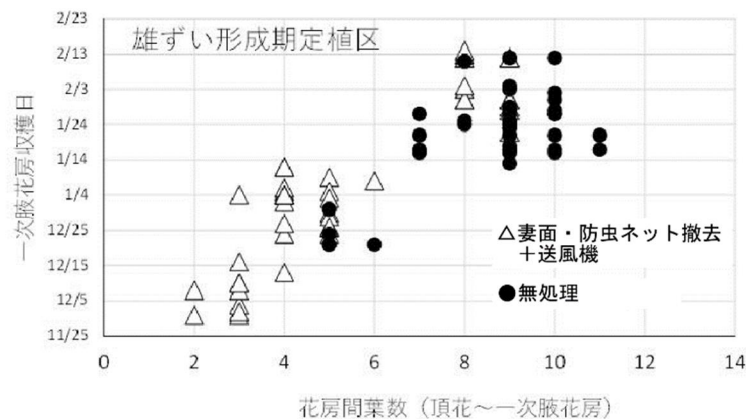


図 17 換気の違いが一次腋花房の収穫時期に及ぼす影響

## (イ) 遮光ネットの利用

遮光率 40～60%程度の遮熱ネットを展張することで、ハウス内気温を最大5℃程度抑えることが可能です。また、定植前から遮光ネットを展張することで、定植時の地温の低下が図られ、定植後の苗の活着が良くなります。

定植直後は、植物体が小さく、必要とする日射量も少なくて済むため、定植後2週間程度は遮光をしましょう。



図 18 遮光ネットを展張したハウス

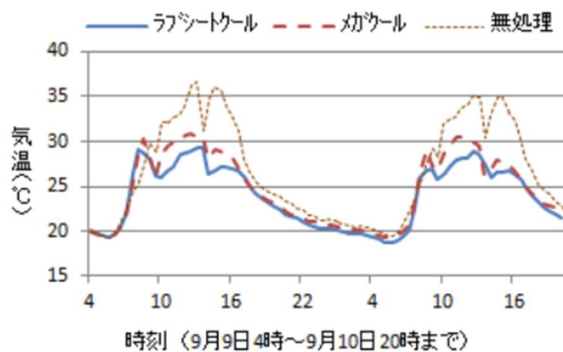


図 19 遮光ネットの昇温抑制効果

(参考文献：いちご本ぽにおける昇温抑制対策

<https://www.pref.tochigi.lg.jp/g61/seika/documents/03125.pdf>)

## (ウ) 肩換気の導入

側窓の換気だけでなく、肩換気を導入することでハウス開口部の拡大により高温期の温度上昇を抑制できます。フィルム交換時の手間は増えますが、高温対策として有効な技術です。また、厳寒期は肩換気で換気することで、冷気が株に直接当たるのを防ぐため、生産性向上も図れます。



図 20 肩換気の活用

## カ 育苗時の株元かん水

いちごの最重要病害である炭疽病は、かん水による水はねで孢子が飛散し感染が拡大するため、株元かん水により被害を抑えられます。近年では、専用の育苗トレイとドリップチューブを用いる方法が普及しつつあります。

液肥混入機を用いることで、育苗期の施肥の省力化も図れます。頭上かん水と比較してハダニ類は発生しやすくなるので注意しましょう。



図 21 株元かん水用の育苗資材

## キ アザミウマ類天敵農薬の導入

アザミウマ類幼虫を捕食するククメリスカブリダニ製剤と定植時のかん注剤を使用した防除体系により、薬剤抵抗性が発達したヒラズハナアザミウマに対しても防除効果が期待できます。定植前にアザミウマ類に効果のあるかん注剤を用いることで定植後1か月程度の間アザミウマ類による寄生を防ぎ、効果が切れる頃にククメリスカブリダニ剤を放飼することで、継続して防除効果が得られます。

天敵農薬の効果を十分に発揮するためには、放飼前の薬剤防除により十分に害虫密度を低下させることと、天敵に影響が少ない農薬を選定するのが重要です。栃木県農業環境指導センターの病害虫発生予察情報や天敵に対する農薬影響表を参考に農薬を選定しましょう。

また、ククメリスカブリダニはアザミウマ類成虫を捕食できないため、1割以上の花でアザミウマ類成虫の寄生が見られる場合は、成虫に効果のある薬剤で防除しましょう。

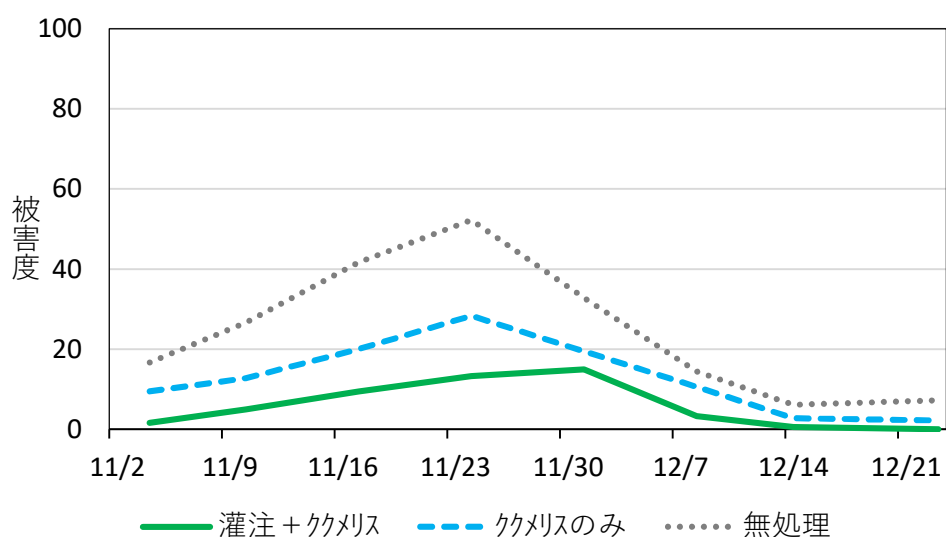


図 22 アザミウマ類による果実の被害度

(参考文献：栃木県農業試験場農試 News

<https://www.pref.tochigi.lg.jp/g59/nousinews/documents/r509.pdf>)

(参考文献：栃木県農業環境指導センター病害虫発生予察情報

<https://www.pref.tochigi.lg.jp/g64/boujo/yosatsu.html>)

## ク 不耕起栽培

集中豪雨等により、頻繁にほ場が浸水する地域では、浸水しないほ場の選定や、排水溝や水中ポンプの設置による浸水対策が必要になりますが、それでも浸水被害を受ける場合は不耕起栽培の導入が有効です。高設栽培とは異なり、設備コストがかからないので導入しやすい技術です。2年目以降は畝が硬くなるため、浸水しても畝が崩壊せず被害が軽減されます。

また、畝立ての作業を省略できるため、軽作業化も図れ、定植作業を適期に実施しやすくなります。導入コストがかからないのも特徴です。基肥や堆肥を全層施用できなくなるため、給液装置等の導入により肥培管理を精密化して増収を図りましょう。



図 23 定植前の不耕起栽培ほ場

(参考文献：イチゴの連続畝利用と灌水同時施肥法

<https://www.pref.aichi.jp/nososi/seika/singijutu/singijiyutu86.pdf>)

## ク 気象災害への対応

天気予報を事前に確認の上適切な対応を実施することにより、気象災害の被害を軽減し生産性が安定します。また、栃木農業防災 LINE に登録することで技術対策も確認できます。



QR コードからお友だち登録を

## 2 20年後を見据えて準備しておく事項

気温が現状よりさらに2℃上昇すると、より高温の影響が顕著に現れます。大雨による浸水被害や台風や突風による施設被害の増加などのほか、大雪の頻度が増加すると言われており、強風や大雪に備えた設備やハウスの強靱化等が必要になると予測されます。

また、気温と湿度の上昇により、病害虫の発生増加が懸念されます。特に、ハスモンヨトウやアザミウマ類など、秋口にハウス内に侵入する害虫の増加が予想され、より徹底的な侵入対策が必要になります。夏季の炭疽病も増加が予想され、株元かん水や底面給水などの対策を基本的な技術として普及拡大していく必要があります。

さらに、花芽分化の遅延も問題になり、特に定植後の花芽分化制御が課題になると予想されます。現状では、地下水を利用したクラウン冷却等による定植後の花芽分化促進技術が一部で導入されていますが、ヒートポンプを用いた冷却方法など、新しい設備が必要になると考えられます。将来的には、日長延長により花芽形成が調整できる四季成り性品種が普及する可能性があるため、電照設備等が必要になると見込まれます。

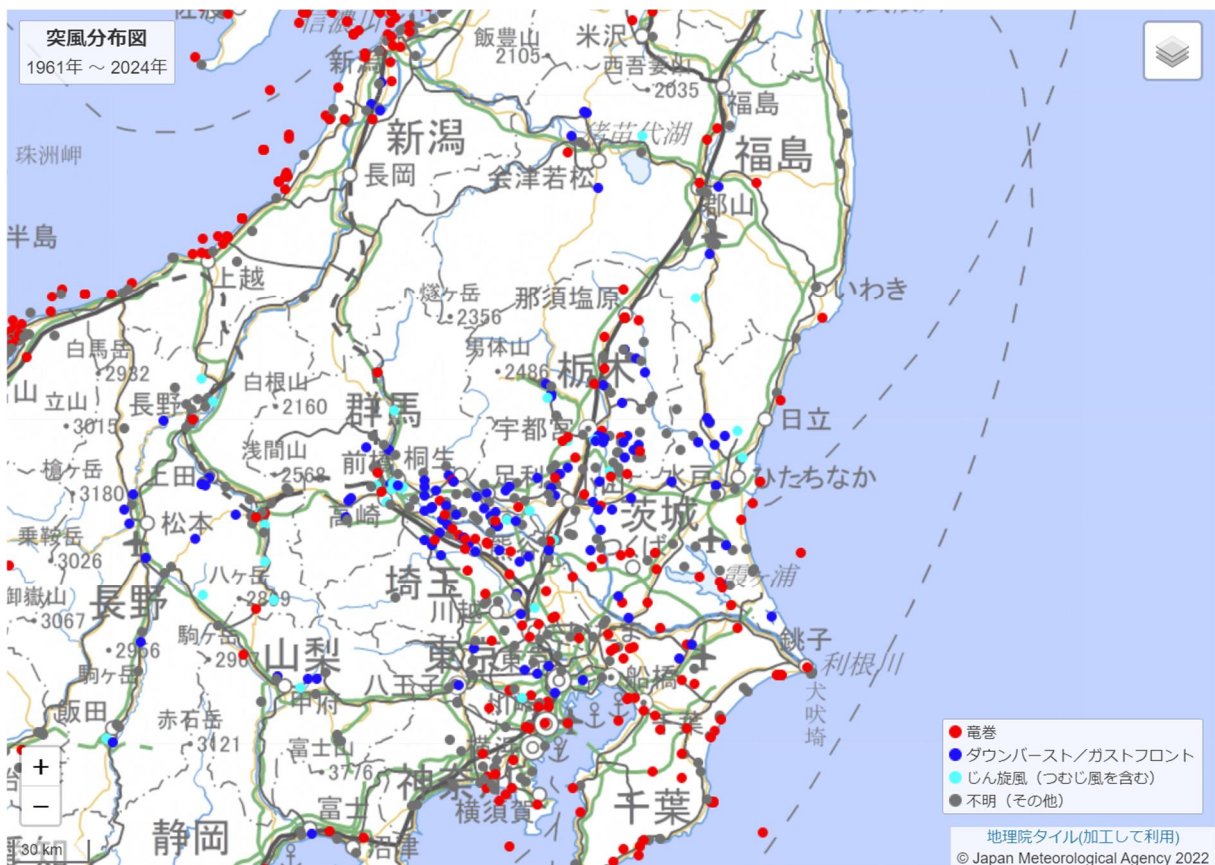


図 24 突風分布図(気象庁ホームページより)2024年2月28日更新

## (1) 将来懸念される気候変動影響

表4 将来懸念される気候変動影響

影響を引き起こす気候	作物の症状	品質・収量等への影響	被害の大きさ		被害の発生頻度	
			※1		※2	
			現在	将来	現在	将来
台風や突風、豪雨などの増加	ア 浸水被害	生育が遅延して、収量が低下する	中	↗	小	↗
	イ 施設の被害	ハウスの倒壊などにより、経営が困難になる	大	↗	小	↗
夏秋期の高温	ウ 花芽分化の遅延	定植後の花芽分化の遅延により、収量が低下する。	中	↗	中	↗
	エ 害虫の侵入の増加	アザミウマ類などの微小害虫の活動期間が長くなり、被害が増加する。	中	↗	中	↗

※1：現在は生産量の減少程度で大、中、小、将来は現在と比べて増加が↗、変化なしが→、減少が↘

※2：現在は一定年数中の発生年の割合で高、中、低、将来は現在と比べて増加が↗、変化なしが→、減少が↘

### ア 浸水被害

台風や豪雨の頻度が高まるため、浸水被害の頻度や被害エリアが拡大すると予想されます。現状の不耕起栽培の対策では、畝の崩壊は防げますが、泥などの付着により収量性は低下するため、頻度が高まると経済的な被害が増加します。

### イ 施設の被害

強風や突風によるハウスの損壊・倒壊の頻度が増加すると予想されます。

### ウ 花芽分化の遅延

更に高温になるため、特に定植後の花芽分化制御が困難になると予想されます。定植後の花芽分化が遅れることで、収量の山谷が大きくなり、労働生産性の低下や総収量の低下が懸念されます。

### エ 害虫の侵入の増加

ハスモンヨトウの多発やアザミウマ類の施設内への侵入増加が懸念されます。特にアザミウマ類は屋外での活動期間が長くなることで、多発が予想されます。



## (2) 準備が必要な具体的な事項

表5 準備が必要な具体的な事項

具体的な実施内容	導入によって見込まれる効果	課題
ア 高設栽培システムの導入	浸水被害の軽減、土壌消毒や畝立て等の夏季の労力軽減、高温期の果実品質の向上	導入コストが高額のため、単位面積あたりの収益性の向上が必須
イハウスの増強	高温条件下での花芽分化安定化	
ウ冷却技術の高度化	高温条件下での花芽分化安定化	
エ病害虫対策	微小害虫の侵入抑制 炭疽病発生率の減少	害虫侵入抑制は、ハウス内の気温上昇を招くため、冷却技術の併用が必須
オ高温に対する耐性の高い四季成り性品種の導入	秋期の花芽分化促進による年内収量の向上	四季成り性品種選抜の効率化
カ栽培適地の選定	豪雨や突風による気象災害の回避	

### ア 高設栽培システムの導入

高設栽培システムを導入することで、大雨時に雨水がほ場に流入しても、冠水の心配がなくなります。

また、土壌消毒が簡易になるとともに、基肥や堆肥の施用及びトラクターによる耕耘作業、畝上げの作業などが無くなるため、夏季の高温時のハウス内作業が減少し、肉体的負担が軽減されます。

導入コストが高額ですが、収穫作業が格段に早くなるため、人件費の軽減が見込めます。



図25 高設栽培システム

## イ ハウスの増強

### (ア) 既存パイプハウスの強度向上

強風に備えてパイプハウスの強度向上を図っていく必要が生じます。単管パイプやダブルアーチによる補強、ブレース設置や筋交いなどによる補強が想定されます。コスト面で全てのハウスを補強できない場合は、ほ場の端にあるハウスなど、被害を受けやすい部分を補強するだけでも効果があります。ハウスを定期的に点検し、劣化した部材を更新するのも重要です。

また、ハウスのパイプ資材の太さや厚みなどを見直し、強度を向上させることも検討する必要があります。

ダウンバーストのような強い突風被害は、施設の強靱化では防げないため、施設園芸共済や収入保険への加入が重要です。



図 26 ダブルアーチによる補強



図 27 単管パイプによる補強

(参考文献：園芸用ハウスを導入する際の手引き

<https://jgha.com/wp-content/uploads/2019/11/TM06-14-house-tebiki-5.pdf>)

## (イ) 低コスト耐候性ハウスの導入

高設栽培の導入と併せて、低コスト耐候性ハウスを導入することで施設を増強しつつ定植株数の確保や高度環境制御を実施しやすい栽培環境の実現を図ります。

低コスト耐候性ハウスは一般的に普及している鉄骨ハウス等の基礎や構造を改良することで十分な強度を確保したハウスであり、風速 50m/秒の強風や新雪 50kg/m<sup>2</sup>の積雪に耐えます。また、設置コストが同規模の鉄骨ハウスの7割以下となっています。



図 28 低コスト耐候性ハウス

(参考文献：一般社団法人日本施設園芸協会「低コスト耐候性ハウス」

<https://jgha.com/%E4%BD%8E%E3%82%B3%E3%82%B9%E3%83%88%E8%80%90%E5%80%99%E6%80%A7%E3%83%8F%E3%82%A6%E3%82%B9/>)

(参考文献：令和3年度農業用ハウスの低コスト化に向けた価格及び見積に関する調査委託事業

<https://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/engei/attach/pdf/onshitsu-3.pdf>)

## ウ 高度な冷却技術の導入

定植後の花芽分化安定化技術として、現在は地下水を利用したクラウン冷却技術が導入されつつありますが、ヒートポンプを用いた冷却技術を導入することで、より精密な花芽誘導が可能になります。厳寒期の局所加温としても活用できるため、より高い増収効果が望めます。



図 29 ヒートポンプ

(参考文献：促成イチゴ栽培で早期収量の増加と収穫の平準化が可能なクラウン温度制御技術

<https://www.naro.go.jp/project/results/laboratory/karc/2007/konarc07-06.html>)

## 工 病虫害対策

### (ア) 微小害虫の侵入対策

屋外での害虫発生が増加するため、害虫侵入対策の徹底を図る必要が生じます。現在も0.4mm目合いの防虫ネットを設置している事例はありますが、ハウス内の気温上昇や花芽分化遅延を招くリスクがより高まるため、冷却技術と併せての導入が必要になると予想されます。

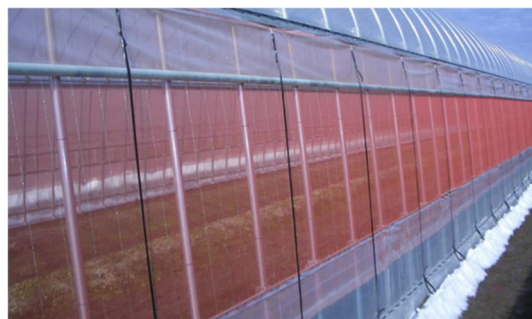


図30 0.4mm目合いの防虫ネット

また、ハウス周辺の雑草対策も侵入を防止するために重要です。ハウス周辺に防草シートを設置し、裾ビニールと一緒にビニペットで固定することで、隙間無く雑草対策ができます。上記の防虫ネットと併用することで、栽培期間中のアザミウマ類の侵入を防ぎましょう。



図31 防草シートによる雑草対策



図32 ビニペットによる固定

### (イ) 炭疽病対策技術の一般化

気温と湿度がさらに上昇するため、現在普及しつつある株元かん水や底面給水などを基本的な技術として県全体に普及させていく必要があります。資材等の更新の際には導入を検討しましょう。



図33 株元かん水

## オ 高温に対する耐性の高い四季成り性品種の導入

長日条件で花芽分化する四季成り性の品種を促成栽培に導入することで、定植後の日長制御がしやすくなり、さらに温暖化が進行しても花芽分化の安定化が望めます。

(参考文献：イチゴ種子繁殖型品種「よつぼし」の長日処理による花成誘導

<https://agriknowledge.affrc.go.jp/RN/2010902282.pdf>)

## カ 栽培適地の選定

大雨や強風の被害は、ほ場の立地条件により大きく異なるため、ハウスの新設・増設の際には被害を受けにくいほ場を選定することが重要です。過去の農業災害の発生状況を把握することで被災のリスクを軽減できます。

### ◇農業保険の活用

#### ・収入保険(青色申告している方)

気象災害による収入減少だけでなく、価格低下なども含めた収入減少を補償する収入保険があります。

#### ・園芸施設共済

(収入保険との併用が可能です(ただし施設内農作物の補償は併用できません))

自然災害等(突風、台風、大雪等)によるハウス損害への備えとして園芸施設共済があります。

# 3 トマト

## 1 現在の気候変動影響と適応策

トマトの生育適温は 13～25℃で、30℃以上の高温に遭遇すると花芽の形成や生育に障害が発生します。本県のトマト栽培は県内全域で行われており、生産面積の約50%は8月下旬定植の促成期どり栽培となっています。栽培期間の初期が高温期にあたるため、着果不良や裂果の高温障害が増加することが見込まれます。また、春先からの高温による黄変果や日焼け果等の発生も増加すると予想されます。

### (1) 現在生じている気候変動影響

表1 現在生じている気候変動影響

影響を引き起こす気候		作物の症状	品質・収量等への影響	被害の大きさ ※1	被害の発生頻度 ※2
高温	開花期	ア 着果不良（落花）	品質・収量低下	大	高
	果実肥大期	イ 裂果	品質・収量低下	大	高
	着色前	ウ 日焼け果	品質・収量低下	中	中
	着色期	エ 着色不良（黄変果）	品質・収量低下	大	高
	肥大期	オ 尻腐れ	品質・収量低下	中	中

※1：生産量の減少程度で大、中、小 ※2：一定年数中の発生年の割合で高、中、低

#### ア 着果不良（落花）

トマトの着果不良は、日中 35℃以上の高温遭遇や日平均気温が 28℃を超えると顕著に現れます。その要因としては、花粉稔性の低下（おしべの劣化）、花質の低下（めしべ劣化）で重複することで発生が大きくなります。

花粉稔性の低下については、35℃以上の高温だけでなく、遭遇時間が重要で、日中の高温の時間をできるだけ短くし、朝夕や夜間に低温に遭遇させることで、花粉の発芽率への影響を回避できることが知られています。

花質が低下（めしべ劣化）すると、花粉の発芽能力が低下していても着果しなくなります。花質の低下の要因にはいくつか考えられますが、主に光合成による同化産物（糖エネルギー）の不足です。これは、連続した日照不足や、高温による呼吸過剰（糖エネルギーを消費する）、着果負担によることが多いと考えられます。

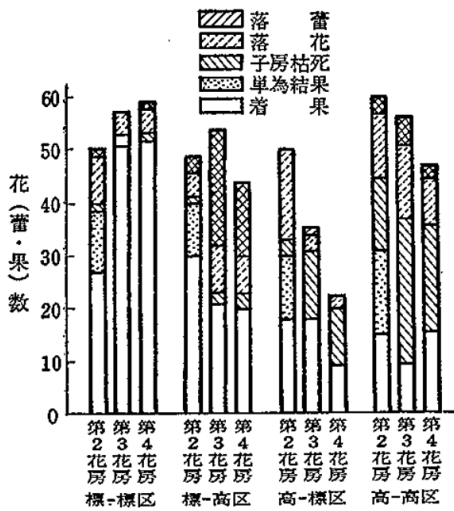


図1 開花、結実に及ぼす高温の影響  
(藤井 1946)

表2 花粉発芽と花粉管の伸長に及ぼす温度の影響  
(藤井 1946)

温度 (°C)	花粉の発芽			花粉管伸長		
	総数	発芽数	発芽率 (%)	最長 ( $\mu m$ )	最短 ( $\mu m$ )	平均 ( $\mu m$ )
25.0	80	80	100	1,400	400	840
27.5	120	50	41.6	1,600	600	1,040
30.0	120	45	37.5	1,500	400	790
32.5	80	76	95.0	320	40	150
35.0	210	14	6.6	1,400	240	780
37.5	180	2	1.1	120	100	110
40.0	発芽せず					



図2 極端に白い花(着果困難)



図3 花の弱体化

## イ 裂果

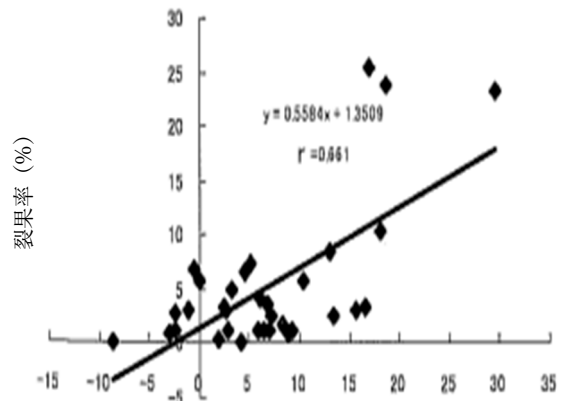
トマトの裂果は①萼を中心に同心円状に裂ける同心円裂果、②萼から放射状に裂ける放射状裂果、③不規則に裂ける側面裂果の3種類に分けられ、大玉トマトでは同心円裂果及び放射状裂果の発生が多くなります。特に、夏期の高温期には放射状裂果の発生が多くなります。

放射状裂果は、果実に日光が当たり続けると緑熟期間が短くなり、早く白熟期となって果皮が硬化し裂果してしまいます。

また、裂果は果実肥大と果実への水と同化産物の流入のバランスが崩れた時に多く発生すると考えられており、夏期の高温による着果不良の影響により、本葉の枚数に比べて果実が少ないときに、果実へ送られる同化産物が多い場合、生じやすくなります。



図4 裂果(放射状裂果)



前回収穫終了時から収穫開始時までの日毎の最高飽和差の差の最大値 (mmHg)

図5 トマトの前回収穫時から日毎の最高飽和差の差と裂果率との関係(渡邊ら 2006)

## ウ 日焼け果

果皮の組織は、40℃以上の高温で壊死して白く変色し、後に乾燥します。緑色の果実は赤色よりも高温に弱いので、肥大後期で着色前の果実が日焼け果になりやすいと考えられます。



図6 日焼け果

## エ 着色不良 (黄変果)

赤色色素のリコピンは、温度 12~32℃の範囲を超えると生成が抑制されます。その一方で、黄色色素のβカロテンは、リコピンに比べ生成適温が広く、リコピン生成の適温を外れた場合に、黄色に着色した果実ができてしまいます。

なお、果実には気孔がなく冷却能力がないため、果実が直射光にさらされると、蓄熱効果によって着色不良になることもあります。

	8℃	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	
リコピン生成	12~32℃ (適温20~25℃)															
βカロテン生成	8~36℃ (適温30℃)															

図7 トマト色素(リコピンとβカロテン)の生成適温





図8 果実の着色不良果(黄変果)

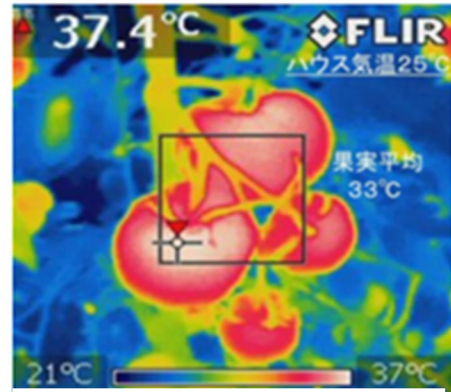


図9 トマトの果実温度(熱画像)

## オ 尻腐れ

尻腐れは、果頂部が油浸状になり、その後は黒褐色の円形になって陥没し硬化する生理障害です。尻腐れ果は正常な果実より早く着色する傾向があります。尻腐れ果の主な発生原因は、カルシウム欠乏であることが明らかにされていますが、①夏期高温時の乾燥条件によってカルシウムの吸収が抑制される、②蒸散が激しく成長点までの水分（カルシウムを含んだ水分）の供給が間に合わない、③土壌養液中にカリウム・マグネシウムなどが多く拮抗的にカルシウムの吸収が阻害される、などの原因によってもカルシウム欠乏が発生すると考えられます。



図10 トマトの尻腐れ果

## (2) 現在実施されている適応策（5年後の営農を見据えて取り組める事項）

表3 現在実施されている適応策

作物の症状	現在実施されている適応策	適応策の 効果※	留意事項
高温障害 着色不良	ア 細霧冷房の利用	B	過剰に利用することで病害の誘発や、植物の弱体化を招きます。導入コスト（150万円/10a程度）の負担。
裂果	イ 遮光カーテンの活用	A	高性能のアルミ蒸着カーテンのコスト負担。
日焼け果	ウ 遮光塗料の活用	A	遮光塗料は塗布作業の負担が大きい。
着果不良 尻腐れ	エ マルハナバチ巣箱の昇温抑制（冷却）	B	
	オ 着果ホルモン剤の利用	A	
気象災害の被害軽減	カ 気象災害への対応	B	台風や大雪の気象情報に注意し、早めに対策を行う。 栃木県農業防災 LINE の活用。

※A：優れた効果がある、B：効果がある、C：やや効果がある

### ア 細霧冷房の利用

日射が強い時間帯に、霧状の水を専用ノズルでハウス内に噴霧することで、気化潜熱によってハウス内の温度を5℃程度下げることができます。

細霧冷房は、過度に噴霧すると、植物の葉が濡れ、病害発生リスクが高まるだけでなく、葉の気孔が閉じて光合成が減速します。霧のノズルの種類は、ハウス栽培においては平均粒子30μm前後の粒径で霧を発生させるシステムがもっとも使い勝手がよいと考えられます。

一方、60μm以上の大きめの粒子のシステムでは、ポリチューブの接続で簡単に設置でき、低コストで導入できるものもあります。大きめの粒子は、葉が濡れやすい欠点はあるものの、短時間で多量に噴霧することができ、蒸発が速い暖候期～夏期に使うのであれば高い冷房効果、加湿効果が得られやすいと考えられます。

それぞれの利用目的（費用対効果）にあったシステムを検討し導入しましょう。

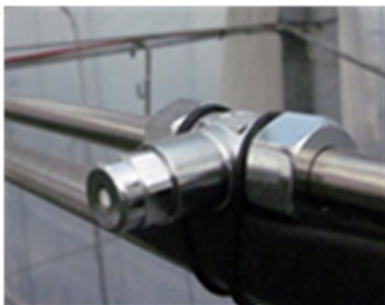


図11 細霧ノズル

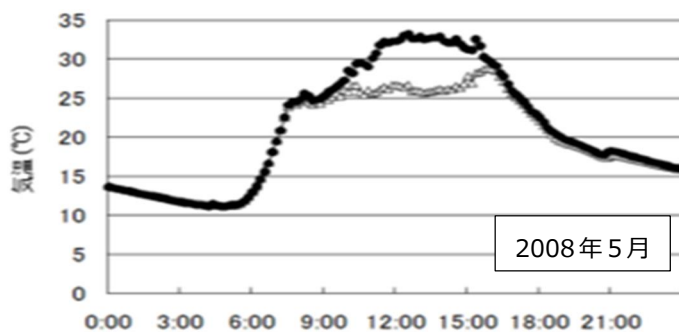


図12 トマトハウスでの細霧冷房による昇温抑止効果  
栃木農試 2009 木野本ら（△細霧冷房区、●対照区の温度）

### イ 遮光カーテンの活用

アルミをフィルムに蒸着させた資材は、太陽光線の熱を遮断する効果が高いため、高性能の遮光カーテンでは主流となっています。透明ストリップとアルミストリップの割合の違い等で数種の遮光率が選べる商品もあります。昇温抑制と適度な光合成や蒸散を確保できるよう一般的には 50～60%の遮光率のものを選定することで、ハウス内の昇温抑制が図られ着色不良果の発生を抑制することができます。



図 13 遮光カーテンを使用したハウスの様子

## ウ 遮光塗料の活用

白色の遮光塗料をハウス外側に吹き付けることで、簡易に遮光、遮熱効果が得られます。遮光塗料を噴霧することでトマト果実温度を6℃以上下げることがわかっています。特に遮光カーテンが無いパイプハウスでは、簡易に効果を得られる遮光塗料の利用は効果的です。ただし、遮光塗料は、一度、塗布すると約2か月間程度は高い効果を発揮しますので、塗布した状態で日照不足となった場合は、植物の軟弱化が懸念されるため、長期予報を確認しながら適切な処理時期を見極めることが必要です。

表4 遮光塗料利用によるトマト果実温度の昇温抑制効果

	遮光塗料資材	無処理
ハウス気温	31.5℃	33.2℃
果実表面温度	39.6℃±4.2℃	46.1℃±4.5℃

※測定は、2015年7月22日12時30分(晴天)  
地点:栃木県小山市(気象台温度33.7℃)



図 14 非接触温度計による果実表面温度の確認

## エ マルハナバチ巣箱の昇温抑制（冷却）

補助花粉を与えるなどの延命技術も含め、マルハナバチの最適活動温度にハウス内環境を近づけることが必要です。蜂のコロニーによって温度に対する感受性は異なりますが、高温対策は必要です。

夏期にマルハナバチを利用するにあたっての工夫としては、①マルハナバチ冷暖房装置を導入して巣箱内を快適な温度（20℃～30℃）に保つ、②巣箱を地中埋設（半地下状態）にする（蟻の発生に注意）、③保冷剤を巣箱上に乗せて保冷する（細かい温度調節ができないので結露の発生や、冷やしすぎ等、小まめな確認が必要）、④遮光（日傘）によって直射日光を遮断し、巣箱内温度の上昇を抑える（反射する資材はマルハナバチに対して忌避効果があるので使用しない）、⑤なるべく風通しのよいところに巣箱を設置するなどがあります。



図 15 マルハナバチ冷暖房装置(てきおん君)

## オ 着果ホルモン剤

ハウスの最高気温が 35℃以上、平均気温で 26℃以上になる期間は受粉しても着果不良となることが多く、マルハナバチだけに頼らず、着果ホルモン剤を優先的に利用（併用）することも必要になります。

## カ 気象災害への対応

気象情報を事前に確認の上、適切な対応を実施することにより気象災害の被害を軽減でき、生産性が安定します。

## 2 20年後を見据えて準備しておく事項

トマトは、30℃以上の高温に遭遇すると収量・品質に大きな影響が現れてきます。外気温が28℃を超える期間が長くなることから、高温による着果不良やそれに伴う裂果の発生が多くなることが見込まれます。また、春以降の高温による黄変果や日焼けが増加することが予想されます。

病害虫の発生リスクも高くなることが考えられ、高温における害虫発生、多湿度における病気発生が懸念されます。

高温耐性品種については、耐性の強い品種の開発が進むと思われますが、品種導入による対策だけでなく、作型の組み合わせや昇温抑制対策技術等を併用した総合的な対策を検討して行くことが大切になります。

表5 宇都宮の将来の外気温推移

	外気温	
	25℃以上	28℃以上
2025年	51日	10日
2040年	63日	24日

※農研機構 メッシュ農業気象メッシュ気候  
メッシュ気候シナリオデータ  
気候モデル:MIROC5  
派出シナリオ:RCP8.5

### (1) 将来懸念される気候変動影響

表6 将来懸念される気候変動影響

影響を引き起こす気候		作物の症状		品質・収量等への影響	被害の大きさ		被害の発生頻度	
					※1		※2	
					現在	将来	現在	将来
高温	開花期	高温障害	ア 着果不良（落花）	品質・収量低下	大	↗	高	↗
	果実肥大期		イ 裂果	品質・収量低下	大	↗	高	↗
	着色前		ウ 日焼け果	品質・収量低下	中	↗	中	↗
	着色後		エ 着色不良（黄変果）	品質・収量低下	大	↗	高	↗

※1：現在は生産量の減少程度で大、中、小、将来は現在と比べて増加が↗、変化なしが→、減少が↘

※2：現在は一定年数中の発生年の割合で高、中、低、将来は現在と比べて増加が↗、変化なしが→、減少が↘

#### ア 着果不良（落花）

着果不良（落花）は高温による花粉稔性の低下、花質の低下が要因となるため、高温となっている期間が長くなることにより、今まで以上に着果不良となる段数が多くなることが懸念されます。また、花芽分化期が高温時期に当たるため花の各器官の発育が悪く、素質の悪い小さな花の発生が多くなることが考えられます。

現在の促成長期どり作型で考えると、第1～4花房の花芽分化期から開花期が高温期になるため、着果不良の発生が多くなります。仮に第1～4花房が着果不良で全ての花が落花してしまった場合、約4トン/10aの減収となる可能性があります。

## イ 裂果

裂果は、夏期の高温時に発生が多くなることから、温度の高い日が多くなることで発生する期間が現在に比べ延長されることが考えられます。特に夏期の発生を考えると放射状裂果の発生が多くなることを見込まれます。減収の程度は、着果不良（落花）と同程度と考えられます。

## ウ 日焼け果

日焼け果は果実着色前の高温、特に果実に直射日光に当たることで発生が多くなり、春先の温度上昇が早くなることにより発生時期が早まることが懸念されます。

## エ 着色不良(黄変果)

黄変果は果実着色期の高温、特に高軒高ハウスで着果位置が高く果実が直射日光に当たる部位や、Uターン誘引等で高い位置に花房があり果実が直射日光に当たる部位で発生が多くなります。

また、春先の気温上昇が平年より早い場合は、黄変果の発生始期も早まる懸念があります。日焼け果より低い温度でも発生するため、日焼け果より発生量が多くなると考えられます。

## (2) 準備が必要な具体的な事項

表7 準備が必要な具体的な事項

具体的な実施内容	導入によって見込まれる効果	課題
ア 環境制御による適切な栽培管理	環境制御によりトマトの生育に適した環境を整えることで、収量・品質向上が図れます。	導入コストが多額になる可能性があります。
イ ハウスの高軒高化	従来型のハウスの軒を高くすることで、ハウス内の環境が改善され昇温抑制対策につながります。	構造変更するコストが多額になる可能性があります
ウ 耐暑性のある品種の導入	品質の安定化が図れます。	品種特性が異なる可能性があるため、栽培技術の変更が必要になる可能性があります。
エ 高温期の作型分散	高温期を避ける作型を組み合わせることで、作型にあった品種やハウス形状を選択することが可能になります。	黄化葉巻病の発生が多くなる恐れがあります。
オ 時期に応じた作物選定 (夏期の品目転換)	施設を利用しない品目を導入することにより、夏期の所得向上が図れます。	新たな技術修得が必要になります。

## ア 環境制御による適正な栽培管理

トマトの生育に適した環境を整えるために環境制御技術を活用します。現状の遮光カーテンや細霧冷房、大型換気扇等を組み合わせた対策に加え、ヒートポンプ等による昇温抑制対策を行っていく必要があります。環境制御による適正な管理は、収量・品質向上だけでなく、労働環境が快適になることも期待できます。

## イ ハウスの高軒高化

従来作付けされている軒の低いハウスは、ハウス内の体積が小さいため高温期の温度上昇が高軒高ハウスに比べて早くなります。従来型のハウスの軒を高くすることでハウス内の環境が改善され昇温抑制対策につながります。

## ウ 耐暑性のある品種の導入

種苗メーカーでは、耐暑性のある品種や黄変果の発生が少ない品種の開発をしています。種苗メーカーや研究機関、生産者間の情報共有を行いながら新たな品種導入を検討して行くことが重要になります。

## エ 高温期の作型分散

現在の促成長期どり作型では低段花房が高温に遭遇する時期にあたるため、高温期を避ける作型を組み合わせることも有効になります。組合せは、それぞれの経営に応じて行う必要がありますが、例えば、促成栽培＋夏秋栽培＋抑制栽培の組合せにすれば、それぞれの作型にあった品種の選択やハウスの形状が選択することが可能となります。また、作型を分散することにより経営リスクを軽減することができます。

## オ 時期に応じた作物選定（夏期の品目転換）

労務環境を考慮すると夏期の新たな品目として露地野菜を導入することも一つの手法として考えられます。新たな品目を導入するためには、トマト経営の中にどのように組み込むのかを検討して行くことが必要になります。

## ◇農業保険の活用

- ・収入保険(青色申告している方)

気象災害による収入減少だけでなく、価格低下なども含めた収入減少を補償する収入保険があります。

- ・園芸施設共済

(収入保険との併用が可能です(ただし施設内農作物の補償は併用できません))

自然災害等(突風、台風、大雪等)によるハウス損害への備えとして園芸施設共済があります。



## 4 ほうれんそう（高冷地）

### 1 現在の気候変動影響と適応策

ほうれんそうは、西アジアから中央アジアが原産地とされ、冷涼な気候を好む野菜です。本県では、夏期は高温を避けられる日光地域や塩原地域の標高 800～1,200m前後の高冷地でハウスを活用して栽培されています。近年、高冷地でも夏期に 30℃を超える日が続くようになり、発芽不良や生育抑制が散見されるようになってきました。現在、高冷地では乾燥防止のため定期的なかん水や遮光資材をハウスに展張するなどの対策が実施されています。

気温上昇の影響により、台風や突風の大型化・頻発化が予想され、また、冬期の降雪量自体は減少していくものの、大雪の頻度は増加すると言われていています。強風や大雪に備えたハウスの強靱化等が必要になると予測されます。

#### (1) 現在生じている気候変動影響

表1 現在生じている気候変動影響

影響を引き起こす気候	作物の症状	品質・収量等への影響	被害の大きさ ※1	被害の発生頻度 ※2
高温	ア 発芽不良	品質・収量低下	中	高
	イ 生育抑制と品質低下	品質・収量低下	大	高
高温・多湿	ウ 病害虫の発生	品質・収量低下	大	高

※1：生産量の減少程度で大、中、小 ※2：一定年数中の発生年の割合で高、中、低

#### ア 発芽不良

ほうれんそうの発芽適温は 15～20℃で、25℃以上で発芽が鈍り、35℃以上ではほとんど発芽しません。現在、高温の影響による発芽不良は少ないですが、今後、外気温の上昇による発生増加が懸念されます。高温に加え乾燥の影響も発芽を抑制する一因となることが考えられます。



図1 高温・乾燥による発芽不良

## イ 生育抑制と品質低下

気温が3℃上昇すると光合成が抑制され、生育量は12～18%程度減少するとの予測があります。高温の影響による生育抑制は、高冷地で顕著に発生することが予測されます。現在でも、標高900m程度の塩原地域では、生育抑制による収量低下が課題となっています。また、高温に伴う乾燥も生育抑制の一因と考えられることから、適正なかん水管理を実践して行く必要があります。

一方、高温による生育抑制を回避するため、栽培期間中ハウスに遮光資材を展張し続けると、硝酸含量の増加や株の徒長など品質低下することが懸念されます。



図2 高温によるしおれ

## ウ 病害虫の発生

高温期の6～8月は、リゾクトニア属菌による立枯病の被害が多く見られます。また、近年はフザリウム属菌による萎凋病やリゾクトニア属菌による株腐病が増加傾向にあります。

また、害虫の発生も多くなっており、今まで発生が少なかった害虫（例：シロオビノメイガ、ホウレンソウケナガコナダニなど）も近年増加しており、今後も害虫発消長の変化が懸念されます。



図5 シロオビノメイガの成虫



図6 ホウレンソウケナガコナダニの食害

## (2) 現在実施されている適応策（5年後の営農を見据えて取り組める事項）

表2 現在実施されている適応策

作物の症状	現在実施している適応策	適応策の 効果※	留意事項
発芽不良	ア 遮光ネットの活用	A	曇天時は徒長が懸念される。
	イ かん水の実施	A	かん水過多では酸素欠乏で発芽率が低下する。
病害虫の発生	ウ 病害虫防除	A	
気象災害の被害 軽減	エ 気象災害への対応	B	台風や大雪の気象情報に注意し、早めに対策を行う。 栃木県農業防災 LINE の活用。

※A：優れた効果がある、B：効果がある、C：やや効果がある

### ア 遮光ネットの活用

夏期のハウス内の温度や地温の昇温抑制のため、ハウス外側に遮光ネット（50%遮光前後）を展開することが有効です。遮光により、地温は4～6℃低下します。遮光資材を展開したままにしておくとも品質の低下が懸念されるため、遮光資材の展開期間については、十分に検討を行う必要があります。

### イ かん水の実施

適度な土壤水分を保つため、かん水は有効です。は種後のほ場全体への十分なかん水、その後は発芽までの定期的なかん水が必要です。発芽後、それ以降、生育状況やほ場の乾燥状態を確認しながら、かん水を実施する必要があります。

日中の高温時のかん水はしおれを助長するため、早朝か夕方の気温が下がった時間帯に行う必要があります。また、品質向上のため収穫7日前くらいからかん水は控えるようにします。

### ウ 病害虫防除

ハウス栽培では、限られた農地を有効活用し収量を確保するため、年間で複数回の作付けを行うことから、立枯病や萎凋病等の土壤病害への対策が重要となり、計画的な土壤消毒が必要になります。害虫では、ハウレンソウケナガコナダニの発生が増えており、本葉2葉期と本葉4葉期の集中した薬剤散布が必要です。発生予察に基づく適正防除に努めましょう。

### エ 気象災害への対応

気象情報を事前に確認の上、適切な対応を実施することにより気象災害の被害を軽減でき、生産性が安定します。

## 2 20年後を見据えて準備しておく事項

将来は、高冷地（標高 1,200m）も更に外気温が上昇し、28℃以上を超える日が9日程度多くなり、高温による発芽不良や生育抑制が懸念されます。また、年間を通し、気温が上昇することにより栽培期間が拡大することも考えられ、作型や品種構成の見直しなどが必要になります。高温耐性品種については、より耐性の強い品種開発が進むと思われていますが、品種転換だけでなく、昇温抑制対策技術についても検討する必要があります。

表3 鶏頂山の将来の外気温推移

	外気温	
	25℃以上	28℃以上
2025年	22日	0日
2040年	34日	9日

※農研機構 メツシユ農業気象メツシユ気候  
メツシユ気候シナリオデータ  
気候モデル:MIROC5  
気候シナリオ:RCP8.5

### (1) 将来懸念される気候変動影響

表4 将来懸念される気候変動影響

影響を引き起こす気候	作物の症状	品質・収量等への影響	被害の大きさ		被害の発生頻度	
			※1		※2	
			現在	将来	現在	将来
高温	ア 発芽障害	品質・収量低下	中	↗	高	↗
	イ 生育抑制と品質低下	品質・収量低下	大	↗	高	↗
高温・多湿	ウ 病害虫の発生	品質・収量低下	大	↗	高	↗

※1：現在は生産量の減少程度で大、中、小、将来は現在と比べて増加が↗、変化なしが→、減少が↘

※2：現在は一定年数中の発生年の割合で高、中、低、将来は現在と比べて増加が↗、変化なしが→、減少が↘

#### ア 発芽障害

ほうれんそうの発芽限界は35℃程度とされています。今後、気温や地温の上昇により発芽障害の発生増加が想定されます。高温耐性品種への転換が進んでも、発芽障害軽減のため播種前から昇温抑制対策を実施する必要が考えられます。

#### イ 生育抑制と品質低下

高冷地における夏期の気温上昇による生育抑制や、土壌乾燥による重度な品質低下が懸念されます。高温による生育抑制で収穫までの日数が延び、ハウスの作付回数が減少し、経営に影響することも考えられます。また、高温による葉先枯れなどの発生も多くなり品質低下が顕著になることが懸念されます。

## ウ 病害虫の発生

高冷地での夏期の気温上昇は、今まで発生が少なかった萎凋病などの発生が増えることが見込まれます。また、温暖化により害虫の発生消長が変化することが懸念されます。

## (2) 準備が必要な具体的な事項

表5 準備が必要な具体的な事項

具体的な実施内容	導入によって見込まれる効果	課題
ア 自動かん水管理システムによる適切な水管理	ほうれんそうの生育状況に合わせたかん水管理システムを構築することで生育の適正化が図れます。	データ集積とシステム構築に時間を費やします。
イ 遮光塗料の活用	ハウス内の昇温抑制効果が得られ生産安定に繋がります。塗布作業にドローンを活用することで労力軽減となり作業効率も向上します。	
ウ 高温耐性品種への転換	高温期の生育がスムーズになり、生育の抑制が減少します。	品種更新が早いので、毎年、品種の検討を行う必要があります。
エ 品目転換	暑さに強い品目、新たな品目を導入することで夏期の所得向上が図れます。	技術修得が必要になります。
オ 栽培適地の選定・ハウスの強靱化	気象災害の被害を軽減できます。	

### ア 水管理システムによる適切な水管理

高温による発芽障害や生育抑制を回避するためには、適正な水管理が必要です。ほうれんそうの生育状況に合わせたかん水管理システムを構築し適正に管理する必要があります。

### イ 遮光塗料の活用

温度上昇により発芽障害や生育抑制、葉先枯れによる品質低下等の障害が発生する頻度が高くなるため、遮光塗料などの昇温抑制対策を行う必要があります。



図7 ドローンによる遮光資材の塗布作業

## ウ 高温耐性品種への転換

高温耐性のある品種への転換が必要になってきます。ほうれんそうは各種苗メーカーで新品種を開発しているため、現地での適応性を確認しながら品種特性を把握し、安定生産につなげる必要があります。

## エ 品目転換

外気温 25℃以上の日が 30 日を超えることが見込まれているため、ほうれんそう以外の品目を検討していく必要が生じます。高温期に新たな品目を導入することも一つの手法として考えられます。新たな品目を導入するためには、ほうれんそう経営の中にどのように組み込むのかを検討して行くことが必要になります。

## オ 栽培適地の選定・ハウスの強靱化

ハウスの新設、増設時には、風や雨の影響、土壌の排水性などを考慮してほ場の選定を行います。ハウスは定期的に点検を行い、部材の更新やブレース設置などの補強対策に万全を期し、台風や大雨に備えます。

### ◇農業保険の活用

#### ・収入保険(青色申告している方)

気象災害による収入減少だけでなく、価格低下なども含めた収入減少を補償する収入保険があります。

#### ・園芸施設共済

(収入保険との併用が可能です(ただし施設内農作物の補償は併用できません))

自然災害等(突風、台風、大雪等)によるハウス損害への備えとして園芸施設共済があります。