

6 果樹（なし、ぶどう、りんご）

1 現在の気候変動影響と適応策

落葉果樹のなしやぶどう、りんごでは、気候変動に伴い、暖冬の影響により耐凍性を獲得する低温順化が妨げられ、厳寒期の強い冷え込みによって凍害（発芽不良）の発生頻度が高まっています。一方、春の気温の上昇で発育が早まり、開花期と降霜期が重なるなどして晩霜害による甚大な結実不足を招いています。

また、生育期から成熟期にかけての極端な高温は、果実の日焼けや果肉障害、着色不良などの果実品質に影響を及ぼします。加えて気温の上昇により、ハダニ類などの害虫が増加傾向となっています。

そのため、晩霜対策として防霜ファンの設置や防霜資材の散布、生育期の高温対策として、かん水管理の徹底や着色しやすい品種への転換のほか、ハダニ類対策として天敵製剤を活用するなど、効果的な対策を講じることで、今後も安定生産を図っていく必要があります。

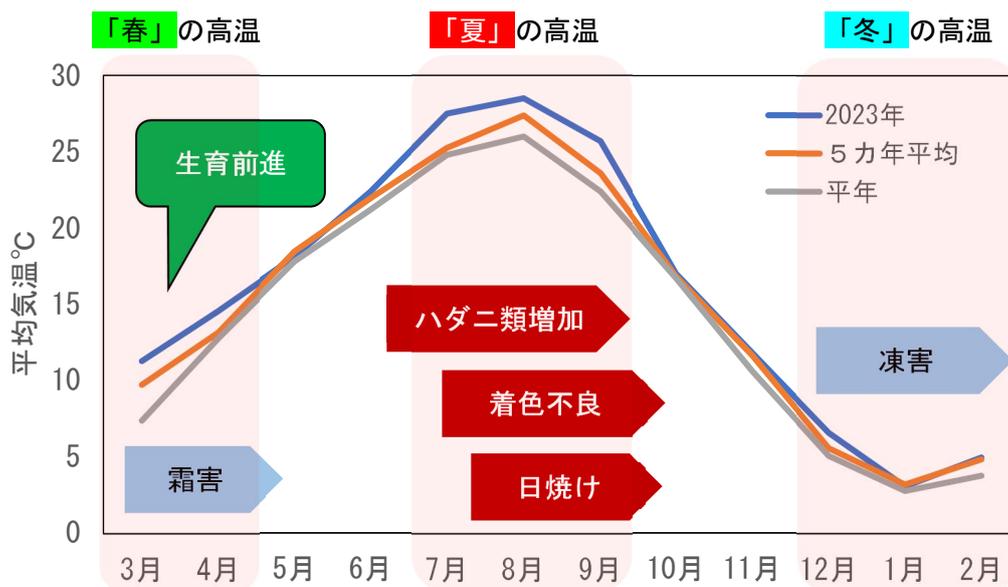


図1 月別平均気温の推移(データ:宇都宮地方気象台)

(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(なし・ぶどう・りんご)

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
休眠期の高温	ア 凍害（発芽不良）の発生	品質・収量の低下	中	中
	イ 晩霜害の発生	品質・収量の低下	大	大
7～9月の高温・少雨	ウ 日焼け等の発生	品質・収量の低下	中	中
	エ 着色不良の発生	品質・収量の低下	中	中
	オ 病害虫の増加	品質・収量の低下	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 凍害（発芽不良）の発生

なし・ぶどう

落葉期から休眠期にあたる 11 月～翌年 2 月の晩秋から冬期にかけて気温が高く推移することで、耐凍性が十分に高まらない中、冬期に氷点下 10℃以下の強い冷え込みに遭遇することで「凍害」が生じます。その後、発芽や開花に向けて樹液流動が始まる 3 月～4 月頃になると、発芽不良や発芽遅延、発芽後の生育不良などの症状が現れます（なしでは凍害により「紫変色枝枯れ症」として発生することもあります）。

近年、県内全域において、なしやぶどうの一部で発芽不良が確認されています。



図2 発芽不良を起こしたなし樹(左)



図3 凍害によるぶどう主幹部の亀裂

イ 晩霜害の発生

なし・りんご

暖冬に加えて、3月の気温の大幅な上昇により、自発休眠後の生育が早まることで、なしやりんごにおいて4月の開花期を中心に「晩霜害」に遭う危険性が非常に高まっています。

農業試験場のなし（にっこり）の開花状況をみると、30年前と比較して約10日早まっており、2023年産においては、3月の記録的な高温により、これまでで最も早い3月31日に開花始めとなりました。なしやりんごなどは、開花期が最も低温被害に遭遇しやすいことから、生育が前進する中で寒の戻りによって氷点下の厳しい冷え込みがあると被害が甚大になります。



図4 なしの晩霜害のようす

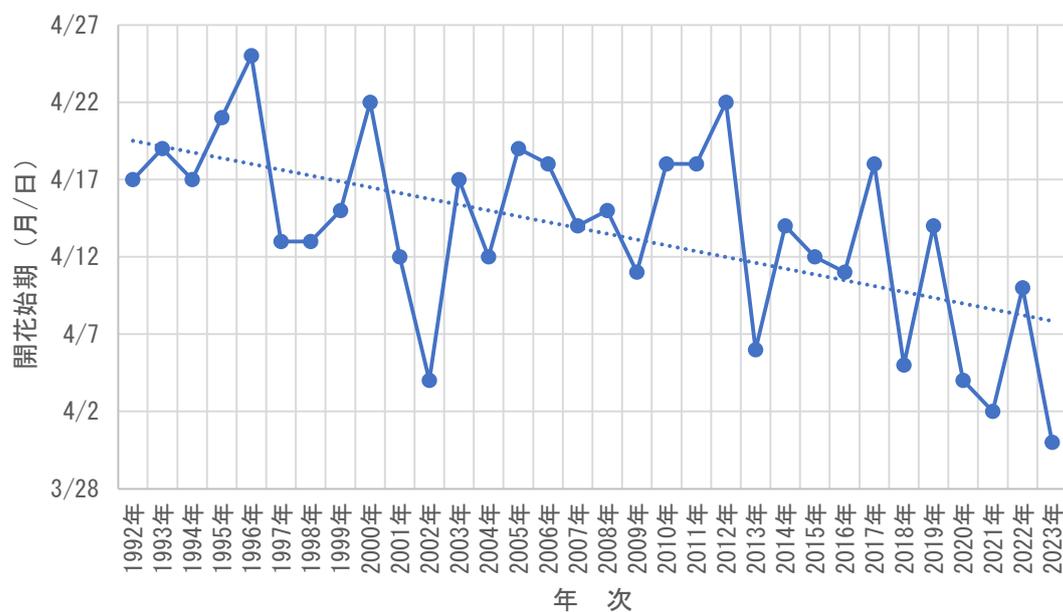


図5 なし“にっこり”の開花始期の年次変化(県農業総合研究センター)

ウ 日焼け等の発生

(ア) 日焼け

なし・ぶどう・りんご

梅雨期や8～9月の成熟直前に35℃を超える高温や強日射を受けると、果皮に「日焼け」が生じ、程度がひどい場合には果肉まで到達し、廃棄することとなります。特にりんごのわい化栽培は果実が直接日光にあたりやすいため発生率が高い傾向にあります。

また、ぶどうでは、硬核期から果粒肥大期にあたる6～7月にかけての高温により果房の日焼けが生じます。果房の日焼けは、袋内の温度が50℃を超え、果粒の温度が35℃を超えると発生しやすいことがわかっています。



図6 高温や強日射で日焼けした果実

(上段右:ぶどう果房の日焼け、下段左から:なし「にっこり」の水浸状障害、「にっこり」果実の日焼け、「にっこり」果実の日焼けに伴う高温障害、りんご果実の日焼け)

(イ) 水浸状果肉障害

なし

にっこりの水浸状果肉障害は、発生要因が十分には解明されていないものの、8月～9月にかけての高温・乾燥が影響していると考えられており、さらに秋期の気温が高く推移することでこれまで以上に果肉障害の発生する危険性が高まっています。

また、2023年産においては、8～9月にかけての記録的な高温と少雨の影響により、にっこり等の晩生品種で果実の日焼けが発生し、それに伴い果皮近くの果肉が黄色く浸みたような症状が散見されました。

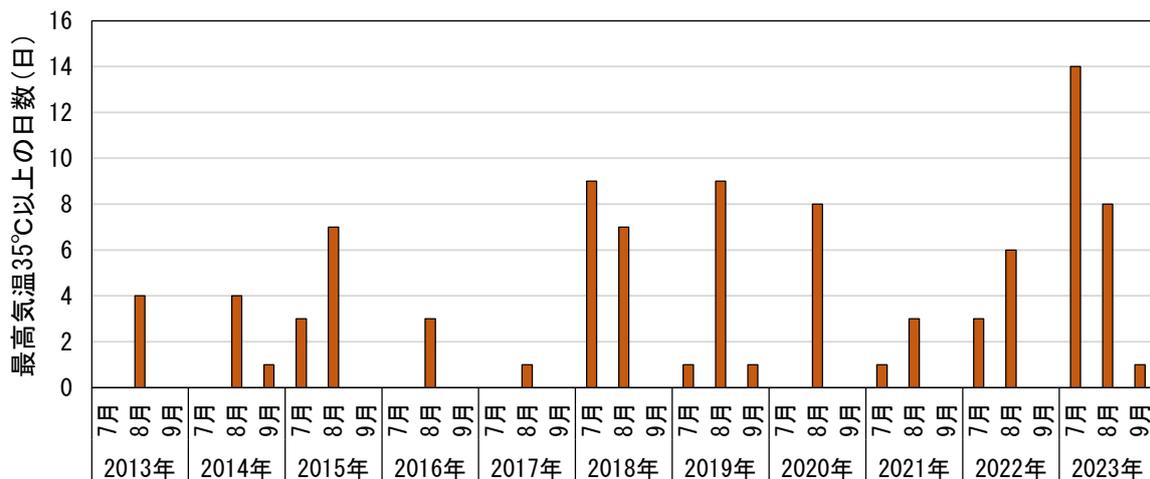


図7 最高気温 35℃以上の日数の経年変化(データ:宇都宮地方気象台)

工 着色不良の発生

ぶどう・りんご

果実の着色は温度に依存しており、着色期に気温が高く推移すると着色が劣ったり、遅延したりします。

ぶどうでは、果粒軟化期から成熟期にあたる7～8月の高温により巨峰などの着色が以前より劣る傾向があります。「巨峰系」ぶどうは、着色適温が15～20℃気温であり、30℃を超える条件下ではアントシアニンの合成が抑制され、着色不良が生じやすくなります。

本県りんごの主力である「ふじ」は、収穫期の約4週間前から徐々に着色が進行し、気温が15℃程度で着色が優れます。

また、最近の「ふじ」の収穫最盛期は、数十年前と比べて10～15日ほど遅くなっています。これは、晩秋の冷え込みが弱まったことで、着色遅延が発生し、収穫時期の遅れにつながっていると推察されます。現在のところ「ふじ」などの晩生種は、着色遅延の影響はあるものの、生育期間が延びることにより完熟した糖度の高いりんごを消費者へ提供できる面においては有利に働いていると考えることもできます。

但し、今以上に気温が上昇した場合は、着色不良や果肉軟化、みつ入りの減少など、負の面が大きくなると考えられることに注意が必要です。



図8 ぶどう「巨峰」の着色の様子
 (左:着色不良、右:正常な着色)
 [農研機構ホームページより]



図9 りんご「ふじ」の着色の様子
 (上:正常な着色、下:着色不良)
 [全国地球温暖化防止活動推進センターウェブサイト
 (<https://www.jccca.org/>)より]

オ 病害虫の増加

なし・ぶどう・りんご

生育期における気温の上昇や夏期の高温乾燥の影響により、県内全域でハダニ類の発生が増加しています。ハダニ類が寄生すると、新梢の葉焼けや落葉などを引き起こすことから、生産性や果実品質の低下につながります。

また、なしでは、近年の生育期の高温多湿条件により、炭疽病の増加が顕著になっています。炭疽病は葉に感染し早期落葉を引き起こすため、生産性や果実品質の低下はもとより、花芽の着生が少なくなるなどの問題を生じます。



図10 なしの葉に寄生したハダニ類



図11 炭疽病に感染したなしの葉

(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(なし)

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
ア 凍害（発芽不良）対策	(ア) 基肥の春肥施用	A	冬期の窒素施用は耐凍性を弱め凍害のリスクを高めるため注意
	(イ) 防寒資材の利用	B	防寒資材の稲わら等を用意する必要
イ 晩霜害対策	(ア) 防霜資材の利用	B	燃焼法や防霜資材の散布など低温の状況に応じて使い分け必要
	(イ) 防霜ファン	A	-2℃を下回る低温の場合は効果が不安定
	(ウ) 多目的防災網	C	直接の昇温効果はなく、燃焼法などと組み合わせる必要
	(エ) 人工受粉の実施	B	低温発芽性のある受粉用品種は計画的に導入する必要
ウ 日焼け対策	(ア) 果実袋の利用	B	被袋により成熟期がやや遅れるため収穫適期の判定が必要
	(イ) かん水の励行	A	夏に用水が不足しやすい地域では導入が困難
	(エ) カルシウム資材の利用	B	年次により効果に差がある、果実の汚れに注意
エ 病害虫の増加対策	(ア) 適期防除の励行	B	耕種的防除を組み合わせた総合防除技術の励行
	(イ) 天敵製剤の利用	B	選択的殺虫剤を使用

※A：優れた効果がある、B：効果がある、C：やや効果がある

表3 現在実施されている適応策(ぶどう)

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
ア 凍害（発芽不良）対策	(イ) 防寒資材の利用	B	防寒資材の稲わら等を用意する必要
ウ 日焼け対策	(イ) 傘かけ	B	傘かけにかかる資材費の増加
	(イ) かん水の励行	B	夏に用水が不足しやすい地域では導入が困難
エ 着色不良対策	(ア) 環状剥皮	B	連年実施は樹勢低下を招くため注意
	(イ) 着色系統品種の導入	A	需要に応じた品種の導入が必要
オ 病害虫の増加対策	(ア) 適期防除の励行	B	耕種的防除を組み合わせた総合防除技術の励行
	(イ) 天敵製剤の利用	B	選択的殺虫剤を使用する必要

※A：優れた効果がある、B：効果がある、C：やや効果がある

表4 現在実施されている適応策(りんご)

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
ア 凍害（発芽不良）対策	(イ) 防寒資材の利用	B	防寒資材の稲わらや白塗剤を用意する必要
イ 晩霜害対策	(ア) 防霜資材の利用	B	燃焼法や防霜資材の散布など低温の状況に応じて使い分け必要
	(イ) 防霜ファン	A	-2℃を下回る低温の場合は効果が不安定
ウ 日焼け対策	(ア) 果実袋の利用	B	被袋により成熟期がやや遅れるため収穫適期の判定が必要
	(ウ) かん水の励行	A	夏に用水が不足しがちな地域では、水管理の実施が困難
	(イ) カルシウム資材の利用	C	年次により効果に差がある、果実の汚れに注意
エ 着色不良対策	(イ) 窒素肥料の減肥	B	着色向上のため樹勢に応じて窒素肥料を減肥
	(ウ) 着色系統品種の導入	A	需要に応じた品種の導入が必要
オ 病虫害の増加対策	(ア) 適期防除の励行	B	耕種的防除を組み合わせた総合防除技術の励行
	(イ) 天敵製剤の利用	B	選択的殺虫剤を使用する必要

※A：優れた効果がある、B：効果がある、C：やや効果がある

ア 凍害（発芽不良）対策

(ア) 基肥の春肥施用

なし

秋冬期の肥料や堆肥の施用は、耐凍性の高まりを妨げることから、基肥の散布時期を慣行の秋冬期から翌春に変更することで、花芽の枯死率を大幅に減らせることが報告されています。春の施用に切り替えても樹体や生産性への影響はありません。

本県の生産現場においても、紫変色枝枯れ症や芽枯れ等の凍害の発生に対して、基肥の施用時期を春肥に切り替えたところ発生が減少した事例があります。

（参考文献：「ニホンナシ発芽不良対策マニュアル」

https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/files/20200108_nifts_nihonnashi_hat_sugafuryo_manual.pdf

(イ) 防寒資材の利用

なし・ぶどう・りんご

幼木は凍害に遭いやすいため、防寒対策として主幹部に稲わらを5～10 cmの厚みで巻くことや白塗剤を塗ることで軽減することができます。

最近では、長い袋状に加工した透湿性防水シートにヒノキのプレーナー（かな）屑を充填した防寒資材（商品名：ホワイトスネーク）を活用することで、作業性良く防寒処理ができます。この防寒資材を主幹部に巻き付けると、冬期の樹の表面温度は、最低が4～5℃高く保持され、最高は9～10℃低く、日較差を大幅に小さくすることで、凍害を受けにくくなります。防寒資材の巻き付けは1月の厳寒期より前に行っておきます。



図12 防寒資材
(農水省技術カタログより)

イ 晩霜害対策

(ア) 防霜資材の利用

なし・りんご

燃焼法は、灯油を燃料に火を燃やして、果樹園内を昇温させ、霜を防ぐ方法です。点火数20点/10aの場合、約1℃の上昇効果があります。燃焼法は、燃焼時に煙や臭いなどが発生するため、実施する際には周辺環境に十分配慮する必要があります。

また、多孔質等を原料にした防霜資材を低温が予想される前日に散布することで、被害の軽減効果があります。資材は、自走式防除機のスピードスプレーヤーを使って散布できるため取り組みやすいです。直接の保温効果はないため、冷え込みの強さによっては効果が安定しないこともありますが、現地での活用事例も多く、未然防止対策の一つとして効果的です。



図13 左:燃焼資材の利用 右:防霜資材の散布

(イ) 防霜ファン

なし・りんご

送風法は、果樹園に設置した大型の扇風機により、放射冷却によってできた逆転層の上層にある暖かい空気を下へ送り、空気を攪拌することで、降霜を防ぐ方法です。果樹園に設置した防霜ファンにより気温を2℃程度上昇させることができます。

防霜ファンの作動は、花蕾露出期の早い生育ステージから行うことで、被害の未然防止につながるるとともに、-3℃を下回る冷え込みの場合は、燃焼法（防霜ロック）などを使った燃焼法と組み合わせた対策を行うことで、防霜効果を高めることができます。

本県なし園の設置状況は、全体栽培面積の45%で、降霜常発地帯では普及定着しています。

(ウ) 多目的防災網

なし

多目的防災網は、降ひょうや防風、防鳥、防虫を目的に設置されています。

晩霜対策として使用する場合は、開花前に果樹園全体（側面は開放しておく）を覆うように展張し、夜間の放射冷却を緩和することで、園内の気温を通常より約0.5℃高く保持することができます、一定の保温効果が期待できます。

また、保温効果を安定させるためには、園内の下草を開花までに短く刈り込むなど、地温をできるだけ高める工夫が必要です。

なお、多目的防災網の展張には、直接の昇温効果はないため、冷え込みの強い場合は、燃焼法などの対策を組み合わせる実施します。

表5 晩霜害対策の組み合わせによる効果(県農業総合研究センター2018)

対策の組合せ	昇温効果
防霜ファンのみ	+0.7℃
燃焼法のみ	+0.4℃
防霜ファン+燃焼法+網かけ	+1.8℃
防霜ファン+燃焼法	+1.2℃
燃焼法+網かけ	+1.2℃



(参考文献：栃木県農業試験場研究成果集第30号

https://www.agrinet.pref.tochigi.lg.jp/nousi/seikasyu/seika30/sep_030_1_19.pdf)

(I) 人工受粉の実施

なし

晩霜の事後対策や低温による結実不良対策として、人工受粉を確実に実施し、結実の安定を図ります。人工受粉用の花粉を安定的に確保するため、農業者個々による受粉用品種の計画的な導入はもとより、生産部会等において花粉採取ほ場を設置するなど、組織的な対策を検討しましょう。

また、近年は、開花の前進に伴い、人工受粉の適温（15℃以上）に達しない日が続くことがあるため、結実をより安定させる目的から、低温発芽性のある「土佐梨」などの受粉用品種の利用が効果的です。

なお、受粉用品種の導入にあたっては、花粉量や発芽率のほか、開花時期などの採取作業を考慮して選択しましょう。



図 14 なし人工受粉用花粉を確保するための花粉共同採取ほ場の事例

ウ 日焼け対策

(ア) 果実袋の利用

なし

幼果期に袋かけを行うことで果実の日焼けを軽減することができます（記録的な高温年となった 2023 年は十分な効果が得られなかった事例あります）。

また、「にっこり」の水浸状果肉障害は、満開後 90 日から収穫時までの間、二重袋などの遮光率の高い果実を被袋することで、果肉障害の発生を軽減することができます。遮光率の高い果実袋を使用した場合、無袋栽培に比べて成熟期がやや長くなるため、収穫適期の判定に注意を要します。



図 15 なしの袋かけ

（参考文献：栃木県農業試験場研究成果集第 33 号

https://www.pref.tochigi.lg.jp/g59/new_seika/documents/sep_033_1_08.pdf）

りんご

7月上旬頃までに白色化繊布等を幼果に被覆することで果実の日焼けを軽減することができます。また、被覆した状態では着色しにくいいため、酷暑が過ぎた9月上旬頃を目安に布を果実から取り外します。

(参考文献：被覆資材によるリンゴ日焼け軽減マニュアル

https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/080314.html)

(参考文献：着脱容易で耐久性のある果実被覆資材によるリンゴ日焼け軽減技術

https://www.naro.go.jp/project/results/4th_laboratory/nifts/2018/18_057.html)

(イ) 傘かけ

ぶどう

6月中旬までにクラフトやタイベック素材の傘を果房にかけることで、高温や強日射による果房の日焼けを防止することができます。

なお、着色系統の品種に遮光率の高い傘をかけた場合は、着色開始直前に傘を外して着色を促進する必要があります。

また、傘かけは、雨水で伝染する黒とう病やべと病、晩腐病などの病害防除も兼ねて実施すると良いでしょう。



図 16 ぶどうの傘かけ

(ウ) かん水の励行

なし・ぶどう・りんご

夏期の高温乾燥は、果実の日焼けを助長します。

かん水設備を導入し、降雨が少ない場合は1回当たり20～30mmを目安に地表面へのかん水を行うことで、日焼けを軽減することができます。気温が35℃を超える日が続く場合は、通常よりかん水量を増やして対応します。

なお、ぶどうは、硬核期以降（着色期）に大量の水分が土壌中に一度に加わると、裂果の発生を助長するため、かん水は多くなりすぎないようにこまめに行います。

(I) カルシウム資材の利用

なし・りんご

炭酸カルシウム資材を果実へ散布することで、日焼けの軽減につながります。カルシウム資材は、収穫直前に使用すると果実に白い汚れが付着するため、使用時期に注意しましょう。

エ 着色不良対策

(ア) 環状剥皮

ぶどう

成木において、満開後 30 日～50 日頃に主幹部へ環状剥皮を施すことで、着色向上につながります。

環状剥皮は、連年施用すると樹勢低下の影響が懸念されるため、まずは、着色改善に向けて着房数を再度見直し、3,000 房/10a を目安に適正な着果管理を実施した上で行うことが基本です。

ピオーネなどは、環状剥皮を行うことで、脱粒しやすくなることが報告されているため、処理する場合は、適期収穫を徹底する必要があります。

また、環状剥皮部分は、クビアカスカシバ等の樹幹害虫に被害されやすいため、樹を良く観察し、捕殺するなどの防除対策が必要になります。



図 17 ぶどう樹の主幹部に処理した環状剥皮
(農林水産省ホームページより)

(イ) 窒素肥料の減肥

りんご

窒素過多になると、着色不良を助長するため、樹勢に応じて年間の窒素施肥量を減肥します。

りんごの着色不良は、温暖化により進行する中、窒素施肥量が多くなることで、より発生を助長していると言われています。県内大多数の地域では、年平均気温が 13℃を超えていることから、年間施肥量を今一度見直し、樹勢が強い場合は、窒素を減らすことで着色向上を図ります。

表6 りんご果皮の着色を考慮した窒素施肥基準(農研機構 2020)

年平均気温	施肥量	備考
11-13℃	3～6 kgN/10 a	樹勢により施肥量調整
13℃以上	0～3 kgN/10 a	樹勢が強い場合は無施肥

(参考文献：わい化栽培のりんごにおける着色向上のための窒素施肥マニュアル

https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/files/20200226_nifts_chissosehi_manual.pdf)

(ウ) 着色系統品種の導入

ぶどう・りんご

農研機構等では、着色の容易な品種（ぶどう：「グロスクローネ」、りんご：「錦秋」など）の育成が進められています。県内でも一部導入しているところもありますが、栽培事例が少ないため、品種特性等の確認が必要です。



図 18 左:ぶどう「グロスクローネ」 右:りんご「錦秋」
(農林水産省ホームページより)

(参考文献：農研機構ホームページ ぶどう「グロスクローネ」

<https://www.naro.go.jp/collab/breed/0400/0411/077926.html>)

(参考文献：農研機構ホームページ りんご「錦秋」

<https://www.naro.go.jp/collab/breed/0400/0413/078142.html>)

オ 病害虫の増加対策

(ア) 適期防除の励行

なし・ぶどう・りんご

病害では、生育期の高温多湿条件下によって発生が助長される、炭疽病や輪紋病、晩腐病などが増加傾向であるとともに、害虫では夏期の高温によってハダニ類やカイガラムシ類などの発生が増えています。

そのため、落葉処理や粗皮削り、園内の雑草管理などの耕種的防除を組み合わせた総合防除に取り組むことで病害虫発生の軽減を図りましょう。



図 19 左:冬期の落葉処理 右:ハダニ類土着天敵温存のための草生管理

(イ) 天敵製剤の利用

なし・ぶどう・りんご

生育期の高温によりハダニ類の発生が増加しています。

ハダニ類防除では、ミヤコカブリダニなどを使った天敵製剤を活用することで、より効果的に防除することが可能です。天敵製剤は、ハダニ類の密度が増加すると想定される1ヶ月前までには園内に設置することがポイントです。設置のタイミングが遅れると、ハダニ類の増加に対して天敵の定着と増殖が間に合わず、被害を抑えることが難しくなるため注意が必要です。

また、天敵製剤を設置する前にハダニ類の発生が確認された場合は、天敵に影響の少ない殺ダニ剤を散布した上で取り付けることが重要です（ハダニ類の増殖に対して天敵の捕食が間に合わないため）。



図 20 ハダニ類天敵製剤の利用(なし)

2 20年後を見据えて準備しておく事項

今後さらに気候変動によって温暖化が加速した場合、落葉果樹のなしやぶどう、りんごでは、休眠期や生育期の高温の影響により凍害（発芽不良）、高温障害果（日焼けや着色不良等）の発生が増加するとともに、高温はハダニ類などの害虫の増加を誘発させることが予想されます。

また、強い台風や勢力を維持したまま本県に接近・通過する頻度が増加した場合、暴風による樹体の損傷、落果、棚等の施設の破損などの被害がこれまで以上に多くなることが懸念されます。

そのため、20年後を見据えて準備しておく事項として、冬期の気温上昇に対応するため、低温要求量の少ない品種の導入や常緑果樹などへの転換、台風に伴う暴風の増加には、樹形改善による低樹高化や棚栽培化を進めていく必要があります。

(1) 将来懸念される気候変動影響

表7 将来懸念される気候変動影響(なし・ぶどう・りんご)

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	
			現在	将来	現在	将来
ア 休眠期及び生育期の高温	(ア) 発芽不良	果実品質の低下や収量の減少	中	↗	中	↗
	(イ) 晩霜害		大	→	大	↘
	(ウ) 日焼け・果肉障害・着色不良		中	↗	中	↗
	(エ) 害虫の増加		中	→	中	↗
イ 降水量の増加	(ア) 病害の増加		中	→	中	↗
ウ 大型で強い台風風の増加	(ア) 樹体の損傷や落果		小	↗	小	→
	(ア) 施設の損傷		大	↗	小	↗

※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 休眠期及び生育期の高温

(ア) 発芽不良

落葉果樹では休眠覚醒するために7.2℃以下の低温が一定時間必要とされています。休眠期の冬期の気温が上昇することで、低温要求量が満たない場合、休眠が正常に覚醒せず、発芽不良が増加することが懸念されます。

また、冬期の気温が高い場合、耐凍性の低温順化が不十分となり、凍害に遭う危険が高まると考えられ、低温要求量の少ない品種や台木などの利用を検討していく必要があります。

(イ) 晩霜害

落葉果樹では、春の気温の上昇に伴って生育が前進し、開花期と降霜時期が重なることで、晩霜害に遭遇する危険性が高まります。

また、生育が大幅に前進することで、これまで降霜の被害のなかった地域で発生するなど、被害エリアの拡大が懸念されます。

(ウ) 日焼け・果肉障害・着色不良

生育期に最高気温 35℃を超える日が増え続けると、果実の日焼けや着色不良になる果実が増加することが懸念されます。

そのためには、比較的高温に強い（日焼けしにくい）品種や着色しやすい品種に切り替えることを検討します。なお、気温の上昇幅が大きく、品種の転換では改善の見込みが立たない場合は、常緑果樹（例「うんしゅうみかん」）等への品目転換を検討していく必要があります。

(I) 害虫の増加

生育期の気温が上昇し、高温が続くことで、果樹類に寄生するハダニ類やカイガラムシ類、シンクイムシ類などの害虫による被害の増加が懸念されます。特にハダニ類などは、高温により世代交代が早まり、薬剤抵抗性が発達する危険性が高まるため、耕種的防除を組み合わせた総合的防除技術の導入が必須となります。

また、年間の気温が高くなることで、南方系の果樹カメムシ類などの害虫の侵入や県内での定着が進むことにより、新たな防除体系の確立が必要になると考えられます。

イ 降水量の増加

(ア) 病害の増加

降水量が増加するとともに、一度に大量の強い雨が降ることで、防除薬剤の残効期間が短くなり、病害の発生がこれまで以上に増加することが懸念されます。

そのためには、防除技術の改善や A I 病害虫診断による適期防除、さらには耐病性品種の導入を検討していく必要があります。

ウ 大型で強い台風の増加

(ア) 樹体の損傷や落果

台風等に伴う暴風や突風、降ひょうなどが増加することで、なしやぶどう、りんご等の果樹では枝の折損被害や果実の落果などの増加が懸念されます。特に、立木栽培の果樹では、風に弱いため、樹体の損傷によって長期的な経営不安を招くおそれがあります。

風や降ひょうから樹体や果実を守るため、多目的防災網を設置し対応します。

また、立木栽培は、低樹高化を図るとともに、棚栽培へ切り替えるなどして、風対策を検討する必要があります。

(イ) 施設の損傷

台風等に伴う暴風や突風、降ひょうなどが増加することで、ハウスや果樹棚などの施設の被害の増加が懸念されます。

ハウスや多目的防災網の施設では、首の長いアンカーを使うなど、風圧に対する強度を高めた設計を検討しましょう。

(2) 準備が必要な具体的な事項

表8 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 栽培適地ほ場の選定	霜や降ひょうの常発地帯ではない、適地適作を原則にほ場を選ぶことで高品質果実生産が可能	近隣の栽培適地ほ場は限定的、防霜ファンや多目的防災網等の設備は必須
イ 品種転換の検討	着色不良や果肉障害などが減少することで、果実品質や生産性が安定、耐病性品種により生産コストを削減	新品種導入には栽培技術の確立や新規需要の開拓が必要、新品種の誕生までには長期間を要す
ウ 常緑果樹等への品目転換の検討	果実の日焼けや着色不良などを回避し、生産性を上げることで経営が安定	新品目導入には産地戦略による新規需要の開拓等が必要
エ スマート農業技術の活用	農薬使用や防除作業の削減、生産性の向上（病虫害増加対策）	地域や品種特性に合った栽培技術の確立が必要
オ 施設の強靱化、樹体の低樹高化・棚栽培化	樹体損傷や果実被害等の軽減による生産性の安定	施設等の設備などのコスト負担が増える、樹形改造による低樹高化は計画性が必要

ア 栽培適地ほ場の選定

ほ場の選定にあたっては、適地適作を原則に降霜や降ひょうの常発地帯を避けて植え付けを行います。降霜は、地域の地形やほ場の高低差などの微気象により、冷え込みの強さが変わってくるため、ほ場の環境条件を近隣農業者等へ聞くなどして状況の把握に努めましょう。

また、果樹園には、気象災害の未然防止に備えて、防霜ファンや多目的防災網等を設置しましょう。

イ 品種転換の検討

品種転換に向けては、産地や生産部会として品種の試作を検討し、地域における適応性の把握や栽培事例を積み重ねることで、新たな品種の選抜を効果的に進めます。

また、新たな品種の導入にあたっては、新規需要の開拓などの産地戦略を協議していく必要があります。



新たな品種の導入は産地で検討

(ア) 低温要求量の少ない品種や台木の利用

暖冬の影響による発芽不良を回避するため、なしでは低温要求量（7.2℃以下）の少ない品種を利用します（例：ニホンナシ「凜夏」）。

また、発芽不良を防止するため、台湾ナシ系統から選抜・開発される低温要求量の少ない台木等の利用を検討します。



図 21 低温要求量の少ないニホンナシ「凜夏」
（農研機構ホームページより）

（参考文献：暖地で安定生産が可能な良食味ニホンナシ新品种「凜夏」

https://www.naro.go.jp/publicity_report/press/laboratory/fruit/049431.html）

(イ) 自家和合性品種の利用

結実の安定や着色管理の省力化、果実品質の向上等を図るためそれぞれの特性を有する品種を利用します。なしでは、花柱側自家和合性を有する品種（例：ニホンナシ「なるみ」）等への転換や花粉側和合性品種の開発により栽培種かつ受粉樹としての品種を利用します。



図 22 自家和合性を有するニホンナシ「なるみ」
(農研機構ホームページより)

(参考文献：農研機構ホームページ品種詳細「なるみ」

<https://www.naro.go.jp/collab/breed/0400/0415/060813.html>)

(ウ) 着色の優れる品種の利用

ぶどうやりんごでは、現在の経済品種と比べて高温条件下でも着色に優れる品種への転換を図ります(例：ぶどう「グロスクローネ」、りんご「錦秋」)。

(I) 着色管理の不要な品種の利用

ぶどうやりんごでは、着色不良の問題が生じやすい赤色系品種から着色管理が不要な黄色系品種への転換を図ります(例：ぶどう「シャインマスカット」、りんご「ぐんま名月」や「シナノゴールド」等)。

(参考文献：農研機構ホームページ品種詳細「シャインマスカット」

<https://www.naro.go.jp/collab/breed/0400/0411/001262.html>)

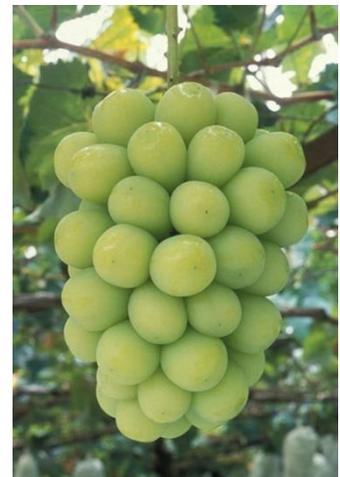


図 23 ぶどうシャインマスカット
(農研機構ホームページより)

(オ) 耐病性品種の利用

なしやりんごでは、農研機構を中心に主要病害である黒星病の抵抗性品種の開発が進められています(例：ニホンナシ「ほしあかり」)。気候変動による病害の増加はもとより、農薬使用の削減や防除作業の省力化に繋げることができます。



図 24 左:ニホンナシ黒星抵抗性品種「ほしあかり」
 右:りんご黒星抵抗性遺伝子を持つ「あかね」※交雑育種の交配親として期待される
 (農研機構ホームページより)

(参考文献:農研機構ホームページ品種詳細ニホンナシ「ほしあかり」)

<https://www.naro.go.jp/collab/breed/0400/0415/055995.html>

(参考文献:りんご「あかね」の黒星病ほ場抵抗性に寄与する染色体領域の特定)

https://www.naro.go.jp/project/results/4th_laboratory/nifts/2019/nifts19_s05.html

ウ 常緑果樹等への品目転換の検討

同品目の品種転換では対応できないと判断される場合は、以下を参考に品目転換を検討します。現在、宇都宮の年平均気温は 14.3℃で今後気温が 2℃上昇すると仮定した場合、16.3℃となり、うんしゅうみかんやびわなどの常緑果樹の栽培が可能となります。

なお、今後気温が大幅に上昇したとしても、安定生産を図る上では、冬期の防寒対策は必須の作業と考えられます。

(参考文献:農研機構果樹茶業研究部門果樹茶育成品種紹介「かんきつ属」)

https://www.naro.go.jp/laboratory/nifts/kih/hinshu/citrus_cat/index.html

表9 宇都宮の平均気温

	平均気温		冬期の最低極温 ※
	年	4～10月	
平年値	14.3℃	20.2℃	-5.7℃
平年値+2℃	16.3℃	22.2℃	-3.7℃

※気象庁データより加工

※2014～2023年(10年間)の冬期最低極温の平均値

表 10 栽培に適する自然的条件に関する基準(「果樹農業振興を図るための基本方針」農林水産省)

	品 目	平均気温		冬期の最低極温
		年	4～10月	
適温になると考 えられる品目	うんしゅうみかん	15℃以上 21℃以下	—	－5℃
	しらぬい	16℃以上	—	－5℃
	びわ	15℃以上	—	－5℃(耐寒性品種)
栽培が難しくな る品目	りんご	6℃以上 14℃以下	13℃以上 21℃以下	－25℃以上
	おうとう	7℃以上 15℃以下	14℃以上 21℃以下	－15℃以上

(参考文献：果樹農業振興を図るための基本指針 農林水産省)

<https://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/fruits/attach/pdf/index-96.pdf>

エ スマート農業技術の活用

スマート農業技術の開発により、AI病虫害診断等を活用し、適期防除を励行します。また、適期防除の判断や晩霜害など気象災害の未然防止に役立てるため、気象モニタリング機器の導入により気象状況をリアルタイムで確認でき、早急な対応に繋げることができます。



図 25 なし園に設置された気象モニタリング機器(通信機能付き)

オ 施設の強靱化、樹体の低樹高化・棚栽培化

(ア) 果樹の施設や棚等の設備の強化

台風等の風圧に備えるため、棚資材に用いる支柱を太く強固にするとともに、棚を支えるアンカーはこれまでより首の長いものを使うなど、施設の強化を図りましょう。

(イ) 樹体の低樹高化

りんごなどの立木栽培では、風による果実の落果や樹体の損傷が発生しやすいため、樹形を改善して低樹高化を図ります。

また、樹高を低くして固定できる棚栽培（例りんごのジョイント仕立て栽培等）を検討しましょう。



図 26 左:りんごのジョイント仕立て栽培 右:りんご防風ネットの設置
(全国りんご研究大会宮城大会現地視察ほ場 2023)

◇農業保険の活用（なし、ぶどう、りんご）

・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。

・果樹共済（梨のみ）

自然災害等による収量減少を補償する果樹共済があります。

（収入保険との併用はできません）

・園芸施設共済(園芸施設本体と附帯施設の補償に限られます)

果樹（なし、ぶどう、りんご）の栽培に「多目的ネットハウス」、「鉄骨ハウス」、「雨よけハウス」、「パイプハウス」を利用する場合、自然災害等（突風、台風、大雪等）による施設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（梨のみ、収入保険との併用はできません）

果樹共済（なし）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梨を実損額（1口当たり100万円）で補償します。

7 花き（きく、りんどう）

1 現在の気候変動影響と適応策

農林水産省が行った令和4年地球温暖化影響調査レポートでは、花き生産への高温の影響として、きくでは、「開花期の前進・遅延」、「生育不良」など多くの報告があり、りんどうでは、「奇形花の発生」、「開花期の前進・遅延」の報告がありました。品質低下、収量減少及び開花期の変動による計画生産が難しくなるなど大きな影響を受けています。また、ヨトウムシ類や立枯病の発生が増加傾向となっています。

現在取り組まれている適応策は、高温開花性品種への転換やカーテンによる遮光処理が主に実施され、先進農家ではヒートポンプによる夜冷処理が効果をあげています。

気温上昇の影響により、台風の大型化・頻発化が予想され、また、冬季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

きく

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 開花遅延	収量低下	大	中
高温	イ 奇形花(輪菊)	品質・収量低下	中	中
高温・乾燥	ウ 葉先枯れ(葉焼け)	品質・収量低下	小	中
高温	エ 病虫害発生	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 開花遅延

きく栽培において、好適環境下では短日処理（消灯またはシェード）開始後から約7週間前後で開花しますが、その間に昼温 35℃以上、夜温 25℃以上の高温に遭遇すると、1週間以上開花が遅れ、お盆や秋彼岸の需要期に計画的出荷ができなくなります。

また、開花遅延に伴う苞葉の硬化やスプレーマムでは柳芽が発生し、スプレーフォーメーション（草姿）が乱れ、品質を大きく低下させます。そのため、現地では高温開花性を備えた夏秋系品種の作付けが進んでいますが、近年、夏秋系品種でも高温による開花遅延が発生する報告が増えています。



図1 スプレーフォーメーションの乱れ



図2 苞葉の硬化

イ 奇形花（輪菊）

奇形花とは花形が楕円状になる障害で、花芽分化を誘導する短日処理前後2週間に昼温35℃以上、夜温25℃以上の高温に遭遇すると発生が顕著（30～50%）になると報告されています。主に9月出荷の作型では、梅雨明けの7月中旬～8月上旬の高温期に短日処理を開始するため発生が多くなっています。

また、品種間差があり、夏秋系白輪菊の主力品種「精の一世」で発生が多く、発生しにくい系統の選抜が進められています。



図3 輪菊の奇形花(花形の変形)



図4 輪菊の奇形花(がくの生育が不均一)

ウ 葉先枯れ（葉焼け）

葉先が壊死し欠失する障害です。カルシウム欠乏といわれており、高温と蒸散不良が発生原因と考えられています。8月のお盆出荷から9月の秋彼岸出荷で主に発生し、菊の生育ステージが花芽分化時（短日処理開始から3週間ぐらい）に、日照時間が少ない曇雨天が続いた後に晴天になると発生しやすくなります。また、換気不良のハウスで発生しやすく、品種間差があり、80%以上発生する場合があります。



図5 輪菊の葉先枯れ



図6 スプレーマムの葉先枯れ

エ 病害虫発生

高温によりハスモンヨトウやオオタバコガなど、ヤガ類発生の増加や発生期間が拡大し、食害により品質や収量を著しく低下させます。また、薬剤抵抗性の発達により、既存の薬剤による防除が困難になっています。

また、病害についてはフザリウム属菌等による立枯病が増加し、収量が大きく減少します。発生後の薬剤による効果が低く、土壌消毒を中心に対策を講じていますが、この病害を根絶することは困難となっています。



図7 立枯性病害

りんどう

表2 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 開花期の変動	収量低下	小	中
高温	イ 着色不良	品質・収量	大	中
高温・乾燥	ウ 株持ち悪化	収量	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 開花期の変動

りんどうの開花は日平均気温の積算温度による開花予測が可能です。有効積算温度は日平均気温が0℃以上から22℃未満となっており、22℃以上では開花が抑制されます。そのため、温暖化の影響として、8月上旬に開花する早生品種で開花が前進し、9月上旬以降に開花する中晩生品種では開花が遅延するとされています。露地や雨よけで栽培される早生品種などは、高温により開花が1週間以上前進することで、7月の新盆や8月の旧盆の需要期に計画出荷しにくくなります。

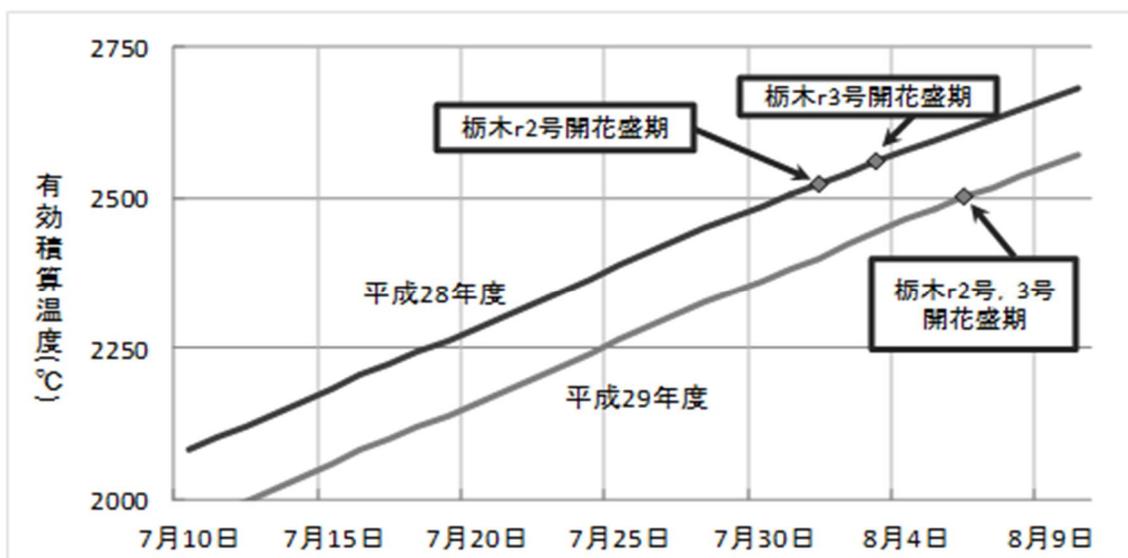


図8 栃木 r2 号*及び栃木 r3 号*の年度別有効積算温度の推移

※栃木県が育成した青紫色のりんどう2品種

栃木r2号:開花期7月下旬～8月上旬、栃木r3号:開花期8月上旬

イ 着色不良

りんどう生産において、近年、春から夏にかけての平均気温の上昇とともに、花卉の着色不良による障害の発生が増加しています。軽度では花卉中央部が白く着色不良となり、重度となると着色不良部がくびれた奇形花となります。いずれも出荷に大きな影響を与えています。

発生要因は、花卉抽出期前後の高温遭遇と言われており、花卉抽出期（開花 18～26 日前）までに、最高気温が 29℃以上、最低気温 20℃以上、日照時間 4 時間以上の条件が重複した場合に発生の危険性が高まると推測されます。

この期間に遮光処理をすることで発生を低減できると考えられます。

（参考文献：リンドウの花弁に発生する着色不良症状の発生要因と対策の方向性

<https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/254176.pdf>）



図9 花卉の着色不良(軽度)



図10 花卉の着色不良(重度)



図11 花卉抽出期

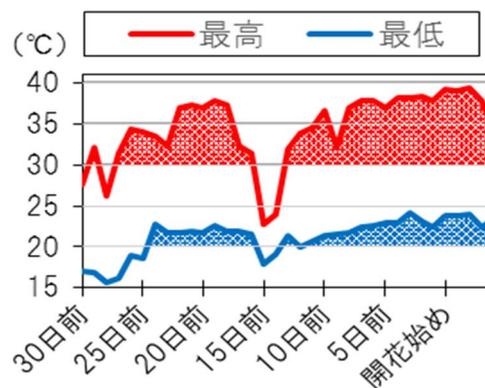


図12 障害発生時の気温推移
(調査期間 2019/6/21～7/25)

ウ 株持ち悪化

りんどうは主に標高が高く、湿原等に自生する宿根草であり、耐暑性が低く乾燥を苦手としています。そのため、定植1年目や採花終了後の株養成期に高温や乾燥に遭遇すると株が衰弱し、生産寿命が3年未満と短くなり、りんどう栽培を続けて行くことが経営的に難しくなります。安定経営には株の生産寿命を3年以上に延ばす栽培管理が重要となります。



図 13 収穫4年目の経年劣化

(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）

きく

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
開花遅延 奇形花 葉焼け	ア 施設内温度管理 (換気)	B	ヒートポンプの導入・運用コストがかかります
	(循環扇)	C	
	(夜間シェード開放)	B	
	(夜冷処理)	A	
	イ 遮光処理 (遮光カーテン)	B	
	(遮光塗料)	B	塗布に係る労力とコスト
	ウ 耐暑性品種転換	B	市場性が伴わない場合があります
	エ 適正施肥	C	
	オ 頭上散水	B	病害が増加するおそれがあります
気象被害の軽減	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 施設内温度管理

モニタリング装置により、施設内温度を把握し、循環扇や遮光処理など適切な温度管理に努めます。開花遅延や高温障害が発生しにくい、昼温 35°C、夜温 25°C以下を目指します。

ハウスの側窓や天窓により積極的に換気します。また、循環扇を活用しハウス内環境の均一化を図ります。また、暖房機の送風機による通風も効果的です。ハウス内の空気を常時動かすことで、蒸散量を増やし植物体温度を下げ、高温障害の発生を抑えます。

自然日長が長い春の彼岸から秋の彼岸までの期間はシェード栽培を行います。シェードにより施設内の夜間温度が高くなります。そのため、20時～翌日4時の夜間シェードを開放し、夜温低下に努めます。また、出荷時期や作付品種によりシェード時間を調整することで高温による開花遅延の日数を短縮できます。

ヒートポンプによる夜冷効果として、消灯から開花まで夜温 23°Cで管理することで、開花遅延が起こらず、満開時の花が大きくなる効果が報告されています。



図 14 ヒートポンプ



図 15 循環扇



図 16 シェード装置

イ 遮光処理

遮光処理により日射量を削減し、ハウス内の気温上昇を抑制します。遮光ネットや遮光塗料を活用し、30～50%の遮光を実施します。通常、施設内部の遮光カーテンによって行われますが、温度低下には外部遮光が効果的です。また、遮光ネットや遮光塗料も熱線カットなど高機能な資材が開発されています。



図 17 内部遮光



図 18 外部遮光



図 19 遮光塗料

ウ 耐暑性品種転換

耐暑性を備えた夏秋系品種への転換と夏秋系品種の作付期間の拡大により開花遅延を防止する。また、輪菊は奇形花の発生しにくい系統や品種に転換し、奇形花抑制を図る。

工 適正施肥

施肥量が多いと開花遅延を助長するため、土壌分析に基づいた施肥を行います。

オ 頭上散水

夏季の8～15時の間に頭上かん水装置を用いて少量多頻度（散水量：約1.5L/m²/日、散水頻度・時間：40分間隔で30秒～1分）で散水処理すると、ハウス内温度は4～5℃低下し、開花遅延が抑制され、品質向上が図れます。



図 20 頭上散水

カ 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

りんどう

表4 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
開花期の変動	ア 品種転換	B	試作による開花期の確認が必要
着色不良	イ 遮光ネットの活用	B	乾燥により株が痛みやすくなるので定期的なかん水が必要
株持ち悪化	ウ 定植1年目及び採花終了後の被覆材除去	B	雨により葉枯れ病が発生しやすくなるので定期的な薬剤散布が必要
気象被害の軽減	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 品種転換

半促成栽培向けの極早生品種は株持ちの良い品種を選定し、最低でも3年間の生産寿命を確保することが必要です。また、お盆などの物日向け品種は、狙った時期に開花する品種を選定します。ただし、りんどうの開花期は年次変動が大きいため、数年間は現地適応性を確認することが必要です。

イ 遮光ネットの活用

遮光処理により、着色不良の発生を抑えることができます。花卉の着色不良を防ぐため、遮光資材を開花 30 日前から開花期までハウス被覆材の上に展張します。遮光資材は、遮光率 50%を目安に選定します。色がシルバーや白色等の遮熱効果が高い資材(遮光率 20%)では、ハウス内の昇温抑制効果が得られ、植物体温度で 2.2~3.5℃下げることができます。また、屋根散水により、屋根面を冷却することでハウス内温度を下げることができ、りんどうハウスでは低コストで自力設置ができます。



図 21 遮光始めのステージ



図 22 遮光ネット

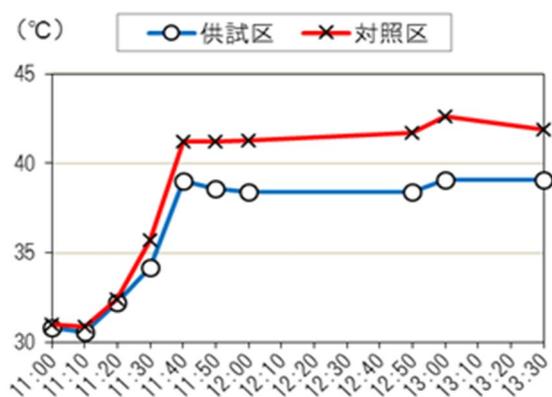


図 23 植物体温度の推移



図24 屋根散水

ウ 定植1年目及び採花終了後の被覆材除去

定植1年目や採花終了後に被覆材を除去し、ほ場を露地状態にすることで、高温や乾燥を避けられます。ただし、葉枯病など斑点性病害発生の懸念があり、定期的に殺菌剤による防除が必要です。また、天井部フィルムを開放できるフルオープンハウスに改造することで、作業の省力化が図れます。



図25 フルオープンハウス

エ 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。

2 20年後を見据えて準備しておく事項

(1) 将来懸念される気候変動影響

きく

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※1		被害の発生頻度※2	
			現在	将来	現在	将来
生育期間の高温	ア 開花遅延	需要期に計画生産ができず、収益が減少します。 品質が低下します。	大	↗	中	↗
	イ 奇形花	品質低下や規格外品が増加し、収量が減少します。	中	↗	中	↗
	ウ 葉焼け	品質が低下します。	小	↗	小	↗
	エ 病害虫の多発	ヤガ類の発生が増加し、品質や収量が低下します。	小	↗	小	↗
		立枯性病害が増加し、収量が減少します。	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 開花遅延

開花遅延は高温による花芽発達の遅れが要因となるため、高温に遭遇する期間が長くなることで、影響を受ける作型が拡大することが懸念され、7～10月開花の作型まで計画生産が難しくなり、品質低下が増加すると考えられます。

イ 奇形花

奇形花は花芽分化時に高温に遭遇することが要因となるため、高温に遭遇する期間が長くなることで、影響を受ける作型が拡大することが懸念され、8～11月開花の作型まで発生することが考えられます。

ウ 葉焼け

高温と蒸散不良が発生原因と考えられており、高温に遭遇する期間が長くなることで、影響を受ける作型が拡大することが懸念され、被害の発生頻度も増加すると考えられます。

エ 病害虫の多発

高温に遭遇する期間が長くなることで、高温条件を好む病害虫の発生が増加すると考えられます。病害ではフザリウム属菌などの立枯性病害が増加し、害虫ではヤガ類やハダニ類などが増加すると考えられます。また、病害虫の発生時期が例年の発生消長から変化する可能性が高く、想定していない時期に思いがけない病害虫が発生することが考えられます。

りんどう

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※1		被害の発生頻度※2	
			現在	将来	現在	将来
生育期間の高温	ア 開花期の前進・遅延	計画生産ができず、収量が減少します。	小	↗	小	↗
	イ 着色不良	品質低下や規格外品が増加し、収量が減少します。	大	↗	小	↗
	ウ 株持ち悪化	生産寿命が短くなり、収量が減少します。 改植の間隔が短くなり、経費が増加します。	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 開花期の前進・遅延

りんどうは、日平均気温が 22℃までは開花が促進し、22℃以上では開花が抑制されます。高温に遭遇する期間が長くなることで、お盆や秋彼岸に計画生産することが難しくなることが考えられます。

イ 着色不良

着色不良の発生要因は、花卉抽出期前後の高温遭遇と言われており、高温に遭遇する期間が長くなることで、影響を受ける作型が拡大することが懸念され、被害の発生頻度も増加すると考えられます。

ウ 株持ち悪化

りんどうは、耐暑性が小さく乾燥を苦手としており、高温に遭遇する期間が長くなることで、生産寿命が短くなることが考えられます。

(2) 準備が必要な具体的な事項

きく

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 スマート農業を活用した統合環境制御による栽培管理	温度、湿度、日射及び炭酸ガスなどの施設内環境を、季節や天候の変化に応じて適切に管理することができ、需要に応じた計画生産が可能となります。また、品質向上や収量の安定化が図られます。	導入・運転コストが増大
イ 耐暑性品種への変更・作期拡大	高温期の品質の安定化が図られます。	
ウ 緑色 LED によるヤガ類の防除	ヤガ類の飛来抑制および産卵抑制効果により、品質の安定、農薬使用量削減が図られます。	きく類の場合、開花遅延や不開花になることがあります

ア スマート農業を活用した統合環境制御による栽培管理

(ア) 統合環境制御

施設環境モニタリングにより、施設内外の環境（温湿度、日射量、炭酸ガス濃度など）を各種センサーで自動計測し、スマートフォン等で見える化（データ化）することです。施設内をより植物の成長に適した環境にすることが可能となります。また、経験に頼った管理からデータに基づく管理が可能となります。

統合環境制御システムにより、環境モニタリングで収集した複数の環境要因を統合的に制御します。カーテンや天窓、冷暖房機やCO₂施用機などの施設内設備を気象の変化に応じて効率的に稼働させることで、コスト低減と生産効率向上を実現できます。

(イ) 冷房

ヒートポンプを用いて、夜間に冷房を行うことで、高温障害回避効果があることが確認されています。ヒートポンプについては、主に空気熱源を利用した機種が導入が進んでいますが、地中熱を利用した機種は空気熱源に比べて効率が良く、特に暖房効率が高くなります。ただし、導入経費が空気熱源ヒートポンプに対して4～5倍となります。

パッドアンドファンは、水の気化冷却によって冷房効果を得る冷房方法です。温室の妻面に設置した網目状のパッドと反対側の妻面に設置したファンによって構成されています。暖かい外気が湿らせたパッドを通過する時に気化冷却された空気が室内に入り、温室内を通過した空気は、ファンによって排気され、施設内温度が5℃程度低下します。



図 26 パッドアンドファン

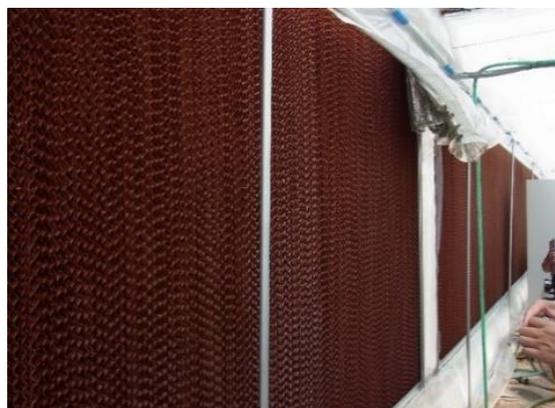


図 27 パッド部

イ 耐暑性品種への変更・作期拡大

耐暑性を備えた夏秋系品種でも高温による開花遅延が発生する報告が増えています。夏秋系品種で開花遅延しにくい品種選定が必要と考えられます。

夏秋系品種の作付けは、主に8～9月開花の作型ですが、高温に遭遇する期間が広がっており、作付けを7月下旬～10月上旬開花の作型などに拡大する必要があります。

ウ 緑色 LED によるヤガ類の防除

ヤガ類の飛来抑制および産卵抑制効果の高い緑色 LED 防蛾灯の効果が確認されており、露地ぎくでは実用化がされています。

りんどう

表8 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 農業用水の確保	品質・収量の安定化が図られます。	
イ 既存パイプハウスの強度向上	強風や大雪時のハウスの倒壊防止	

ア 農業用水の確保

りんどうは高温や乾燥に弱く、定植1年目や採花終了後の株養成期のかん水は株の寿命延長に重要となります。そのため、常時水を確保できるほ場を選定する必要があります。ほ場は水田が適しており、生育期間中に用水路に水が流れているほ場を選定することが重要です。また、コンテナ栽培や土壌消毒による連作の場合は、井戸による地下水利用が適しています。

イ 既存パイプハウスの強度向上

強風や大雪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、筋交いなどによる補強が想定されます。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。ダウンバーストは、施設の強靱化では防げないため、園芸施設共済や収入保険への加入が重要になり



ます。

図 28 ダブルアーチによる補強

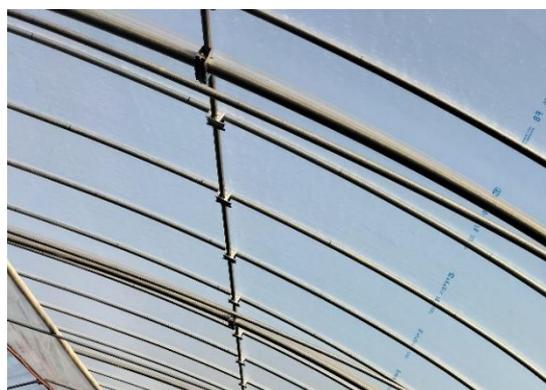


図 29 単管パイプによる補強

表9 パイプの外径及び厚みと許容される最大瞬間風速

アーチパイプの外径 (mm)	アーチパイプの厚み (mm)	許容される最大週間風速 (m/s)
φ22.2	1.2	29
φ25.4	1.2	33
φ31.8	1.6	46

(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>)

◇農業保険の活用（きく、りんどう）

- ・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。

8 飼料作物（飼料用トウモロコシ、牧草）

1 現在の気候変動影響と適応策

気象庁は2020年の「大気と陸・海洋に関する観測・予測評価報告書」において、21世紀末までの将来予想として、気温の上昇により猛暑日が増加し冬日は減少するとしています。また、雨の降る日が減少する一方で、短時間強雨の発生頻度は増加し、強い台風の発生割合も増えると予測しています。2019年には関東・東北で大型の台風第15号、第19号が上陸して甚大な被害が発生しました。

こうした、気候変動による飼料生産への影響として、牧草、飼料用トウモロコシの減収や品質低下が発生するなど、気候変動に対応した技術対策が重要になってきています。

飼料用トウモロコシでは、強力な台風による倒伏や大雨による湿害及び降雨日数の減少による干ばつなどの水ストレスで障害や病害が発生しやすくなることが予測されます。その一方で、気温の上昇に伴い収量が増加する予測や、二期作可能地域の拡大も考えられます。

寒地型牧草では、生育期の高温・少雨、収穫期の高温による夏枯れや、栄養成長期・収穫期の高温、収穫期の多雨によるサイレージ品質低下、また、生育不良、収穫遅れ、凍結死、病害の多発、湿害などが懸念されます。

(1) 現在生じている気候変動影響

飼料用トウモロコシ

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
多雨	ア 湿害の発生	品質・収量低下	小	低
暴風	イ 倒伏の発生	品質・収量低下	中	低
多雨・高温	ウ 病害虫の発生	収量低下	小	低
大雨	エ 土壌流亡	収量低下	小	低

※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 湿害の発生

飼料用トウモロコシは飼料作物の中では耐湿性が低く、地下水位の上昇や土壌表面における停滞水により発育が不良になることが懸念されます。

表2 地下水水位別適応作物

(高橋 1979 改変)

地下水水位	適応する作物
(湛水)	イネ、飼料用イネ
-10cm 以下	イタリアンライグラス、ラジノクローバー、トールフェスク
-20cm 以下	ヒエ、シコクビエ、ローズグラス、カラードギニアグラス
-30cm 以下	オーチャードグラス、赤クローバー、ソルガム
-40cm 以下	飼料用トウモロコシ

イ 倒伏の発生

飼料用トウモロコシの倒伏には根元から倒れる「転び型倒伏」と稈が折れる「折損型倒伏」の2つの型があります。日本国内における倒伏は台風などの降雨を伴う強風によって発生することが多く、その主体は「転び型倒伏」です。しかし「転び型倒伏」だけでなく「折損型倒伏」も多く含む倒伏の事例も散見されています。



図1 台風による「転び型倒伏」



図2 倒伏の種類(左:転び型、右:折損型)

ウ 病害虫の発生

生育初期では長雨と急激な高温により、フザリウム属菌やピシウム属菌などの糸状菌に起因する苗立枯病が散見されるようになってきています。生育の後期では激しい雨と高温条件にさらされると根腐病が発生し、倒伏やサイレージの二次発酵被害が発生するリスクが高くなります。

絹糸(めしべ)抽出時期の大雨は、赤かび病によるかび毒の発生も懸念されます。さらに、生育期の高温によって、ヨトウムシ類やメイガ類の発生増加も懸念されます。



図3 苗立枯病

出芽時に多湿条件にあうと苗が枯死する糸状菌病。種子が感染して出芽しないこともあります。出芽後3-4葉時に苗が萎凋枯死することが多いです。



図4 赤かび病(2015 日本科学飼料協会)

糸状菌病の一種で、子実に淡紅色または鮭肉色のかびを生じます。病勢が進むと紫黒色となり、穂軸まで侵されることもあります。全国で発生します。



図5 ヨトウムシ類

ヨトウガ、ハスモンヨトウ、アワヨトウ、ツマジロクサヨトウ※などがあります。孵化したての幼虫は、葉裏に群生し葉裏から食害します。大きくなると夜行動するため見つけにくく、分散し、被害が拡大します。

※ツマジロクサヨトウを発見した場合は県に連絡をお願いします。



図6 メイガ類

アワノメイガは飼料用トウモロコシの最大の害虫。卵が飼料用トウモロコシの穂に産み付けられると、そこからふ化した幼虫が飼料用トウモロコシの茎の内部に潜り込み、実や茎を食い荒らします。幼虫の体長は15 mm程度、体色は淡黄色です。

工 土壌流亡

激しい雨の発生回数が増加する環境で、地表面に有機物の少ない土壌がむき出しになると、土壌流亡（エロージョン）が発生しやすくなります。有機物が少ない土壌では植物の発芽定着や生育が悪く、土壌流亡はより発生しやすくなります。深過ぎる耕起により、有機物の少ない心土（作土の下層土）を表面に出さないよう留意が必要です。



図7 飼料畑の土壌流亡

牧草

表3 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 夏枯れの発生	収量低下	小	低
多雨	イ サイレージの品質低下	品質低下	小	低
	ウ 湿害	収量低下	小	低
大雨	エ 土壌流亡	収量低下	小	低
	オ 倒伏	収量低下	中	低

※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 夏枯れの発生

夏枯れは、夏場の高温や干ばつ等が原因として考えられており、温暖化の影響で夏枯れの地域が拡大傾向にあります。発生すると、生育がほとんど停滞し、再生力も低下します。栃木県においてイタリアンライグラスは単年利用が多く、5月ごろに収穫してしまうため、耐暑性はあまり問題になりませんが、放牧場や永年草地で利用されるオーチャードグラスなどの比較的耐暑性のある永年生イネ科牧草でも発生します。ペレニアルライグラスなどではさび病の発生を伴うこともあります。

表4 主なイネ科牧草の耐暑性と特徴

草種名	年生	耐暑性	特 徴
トールフェスク	多年生	強	土壌や気象適応性が高く、耐暑性に優れます。夏枯れが発生しやすい地域で栽培されるが嗜好性はやや劣ります。
オーチャードグラス	多年生	中	採草及び放牧の両用。耐寒性が強く比較的耐暑性もありますが耐湿性が劣ります。
ケンタッキーブルーグラス	多年生	中	土壌に対する適応性は広く、冷涼で比較的湿潤な気候を好みます。生産力、家畜の嗜好性や栄養価はやや劣ります。
メドウフェスク	多年生	中	放牧に適する。栽培適地はチモシーと同様、本県では高冷地以外での栽培は不向きです。
ペレニアルライグラス	多年生	弱	夏は冷涼で冬は温和な気候を好む。再生力・家畜の嗜好性及び消化率にも優れます。本県では高冷地において、主に放牧用として広く利用されます。
ハイブリッドライグラス	多年生	弱	イタリアンとペレニアルライグラスの交雑種です。採草用として本州以南の高冷地、準高冷地で利用可能です。
イタリアンライグラス(2倍体)	一年生	極弱	初期生育が早いです。夏作の飼料用トウモロコシと組み合わせて栽培される冬作飼料作物の代表的な品種です。
チモシー	多年生	極弱	収量性高、嗜好性に優れるが、高温と乾燥に弱いため、夏枯れ等で持続性が低下しやすいため、本県では高冷地以外での栽培は不向きです。

イ サイレージの品質低下

ゲリラ豪雨や長雨などにより収穫時期の天候が安定しないため、収穫時期が遅れるケースや、天日干しによる水分調整が十分にできずにサイレージの品質低下を招いているケースも増えてきました。最悪の場合、天日干し期間中に長雨にさらされることで牧草が腐敗し、収穫を断念するケースもあります。

ウ 湿害

飼料用トウモロコシに較べて、比較的耐湿性に優れるイタリアンライグラスなどの牧草も、播種時期に滞留水に浸かってしまった場合は、発芽不良により収量減少に繋がることがあります。

エ 土壌流亡

激しい雨の発生回数が増加する環境で、地表面に有機物の少ない土壌がむき出しになると、土壌流亡（エロージョン）が発生しやすくなります。有機物が少ない土壌では牧草の発芽定着や生育が悪く、土壌流亡はより発生しやすくなります。深過ぎる耕起により、有機物の少ない心土（作土の下層土）を表面に出さないよう注意が必要です。

オ 倒伏

牧草の収穫時期に豪雨に打たれて倒伏した場合は、刈取作業が困難となり大幅な収量減になるケースも見られます。

(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）

飼料用トウモロコシ

表5 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
湿害	ア 明渠排水(地表排水)	A	
	イ 耕盤破碎(地下排水)	A	
	ウ 畝立て栽培の導入	A	畝立て栽培用の特殊な播種機が必要
	エ 追肥を含む施肥管理	C	追肥は7葉期までが作業限界
倒伏	オ 耐倒伏品種の導入	A	
	カ 播種時期の早期化	B	遅くなるほど収穫時期に台風に遭遇しやすい

※：A:優れた効果がある、B:効果がある、C:やや効果がある

ア 明渠排水（地表排水）

ほ場の湿害対策としては、「地表排水」を促進させる方法と「地下排水」を促進させる方法の2通りの方法があります。ほ場の状況によりどちらか一方の方法のみしか選択できない場合もありますが、両方を組み合わせることが重要です。

「地表排水」を促進させる方法としては排水口や明渠の整備、栽培ほ場の均平化、溝切りなどの方法が有効です。なお、「地下排水」を促進させる方法については次項に記載しました。



図9 明渠が施工されたほ場

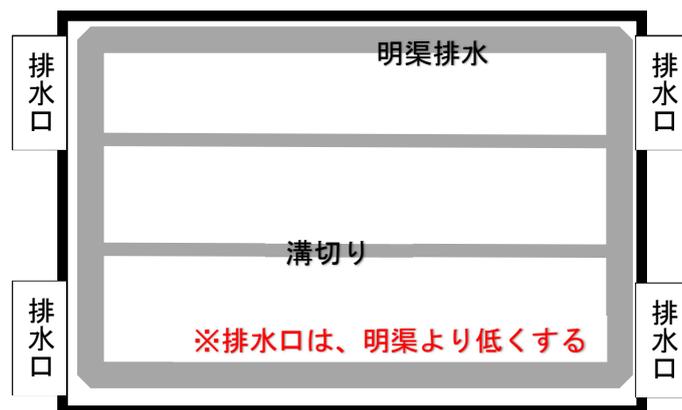


図10 明渠排水施工のイメージ

イ 耕盤破碎（地下排水）

飼料用トウモロコシの畑では、プラウやロータリーによる耕起で下層土が練りつぶされたり、大型の機械による踏圧で水や空気が通りにくい硬く締まった土層ができることで、耕盤層が形成されます。

その結果、下層まで根を伸ばすことができず、大雨が降ると耕盤層上層の作土層は滞水し、少雨の時には、地下水を利用できません。

そこで、サブソイラなどで耕盤層を破碎することで、飼料用トウモロコシは健全な根を下層まで大きく伸ばすことができ、収量の安定確保につなげることができます。施工作業は畑土壌が十分に乾燥してからにしましょう。

畑の表土が乾いていたら、手で土を掘り取って握り、手を開いて「水滴がたれず、土が2、3個の塊に崩れる」程度なら施工のタイミングとされます。

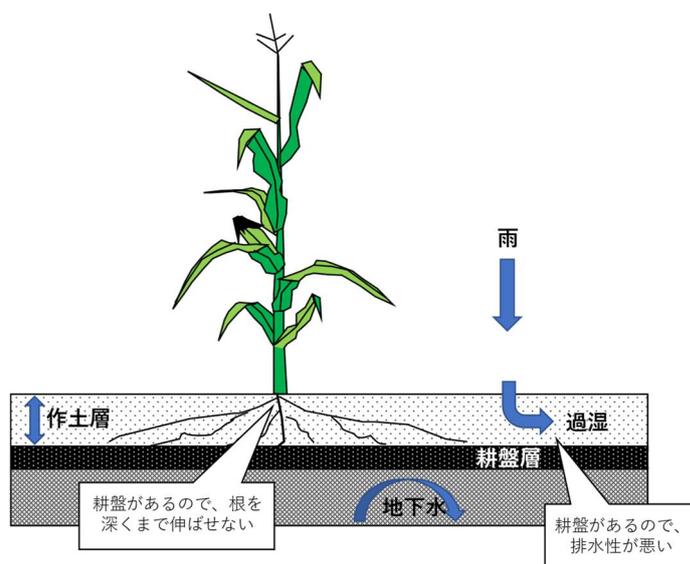


図11 耕盤層による飼料用トウモロコシへの影響について

ウ 畝立て栽培の導入

半数近くの飼料用トウモロコシは転作水田に作付けされています。ソルガム等に比べ耐湿性が劣るため、ほ場条件により湿害が問題となっています。一方、同様に湿害が問題となっている大豆では、湿害回避技術として耕うん同時畝立て技術が開発され、播種機の改良や導入が進んできており、飼料用トウモロコシへの応用についても既に現地での実証によってその効果が明らかにされています。

農研機構などにより、水田等の排水不良ほ場における飼料用トウモロコシの湿害軽減技術として、耕うん同時畝立て播種技術が開発されています。

(参考文献：飼料用トウモロコシの作付け拡大に向けた新しい栽培技術<2019年度版>

https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/files/nilgs-corn2019.pdf)

耕うん同時畝立て播種は、アップカッターロータリーと施肥播種機を組み合わせ、畝高さ10cm前後、播種深度3~5cmで飼料用トウモロコシを畝立て播種する技術であり、排水不良ほ場での湿害が軽減される効果が期待できます。ほ場が過湿となるほど湿害軽減効果は顕著になります。

また、プラウ耕やディスクハローに変えて、耕うん、播種、鎮圧作業を同時に行うことができるため、作業時間の大幅な短縮効果が期待できます。特に栃木県においては一般に飼料用トウモロコシは冬作飼料作物(イタリアンライグラスやライ麦)と組み合わせた二毛作体系で作付けされる場合が多いため、耕うん同時畝立て播種を行うことで、慣行法と比較して播種に要する作業時間を削減でき、播種作業の省力化も期待できます。



図12 耕うん同時畝立て播種区の生育状況
(日光市内)



図13 慣行区の生育状況
(日光市内)



図14 耕うん同時畝立て播種作業
(日光市内)

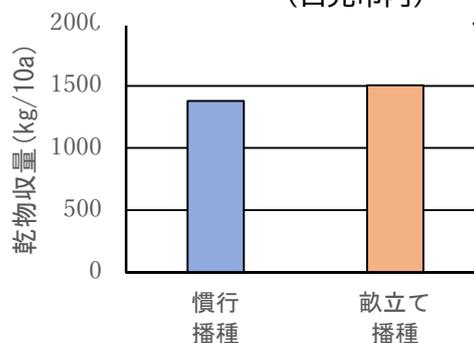


図15 耕うん同時畝立て播種による増収効果
(農研機構 大田原市内)

作付草種	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
飼料用トウモロコシ					飼料用トウモロコシ							
イタリアンライグラス	イタリアンライグラス											
飼料用トウモロコシ					飼料用トウモロコシ							
ライ麦	ライ麦											

図16 飼料用トウモロコシと冬作飼料作物の二毛作体系における畝立て栽培による播種作業の短縮効果

工 追肥を含む施肥管理

ほ場の湛水等による窒素等の土壌養分および肥料成分の溶脱も大きな湿害発生要因の一つです。湿害発生時に尿素等により5~10kg/10aの窒素を追肥することで飼料用トウモロコシの生育が回復することが知られています。

播種後に長雨があった場合等は、生育後半に肥料切れ（葉の色が淡くなる）が発生するので窒素の追肥が重要です。

飼料用トウモロコシの4~5葉期頃（7葉期まで）に葉が乾いている状態で、ブロードキャストで尿素もしくは硫安を窒素換算で4kg/10a程度散布します。

また、湿害が予想されるほ場について、事前に尿素等により10kg/10a前後の窒素を追肥することで湿害の軽減が可能です。

春先の低温、干ばつまたは除草剤により飼料用トウモロコシの生育が停滞している時には、専用の液肥の活用で、生育改善が期待できます。液肥は葉から吸収されやすく、ストレスにより飼料用トウモロコシの葉が黄色くなっている状況を改善します。

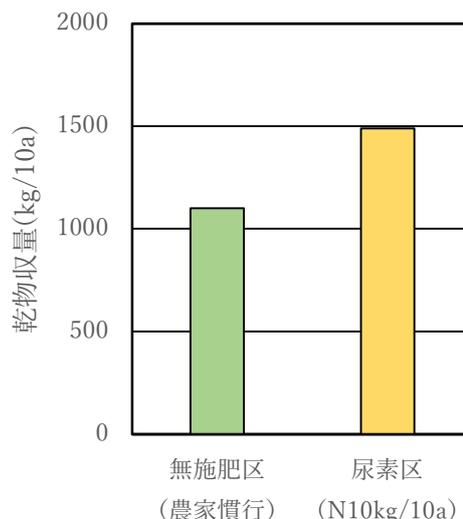


図17 窒素追肥による湿害軽減効果 (農研機構)

オ 耐倒伏品種の導入

栃木県では、飼料用トウモロコシの奨励品種として、耐倒伏性にも十分配慮し品種を選定していますので参考にしてください。

(参考文献：飼料作物奨励品種等特性表【環境飼料：各種技術資料内】)

<https://www.pref.tochigi.lg.jp/g06/gyoseijyoho/kanyoshiryo.html>

カ 播種時期の早期化

飼料用トウモロコシの播種時期が遅れるほど、収穫時期が遅くなり台風に遭遇する確率が高まりますので、冬作飼料作物はイタリアンライグラスの一部を収穫時期の早いライ麦に変えるなど作期分散を図り、飼料用トウモロコシの播種作業が遅れないようにします。

牧草

表6 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
夏枯れ	ア 耐暑性品種の導入	B	採草利用では刈取り回数を増加 放牧利用では適宜掃除刈を実施 高刈りの実施
サイレージ品質低下	イ 乳酸菌等の添加	A	
湿害、土壌流亡	ウ 明渠排水（地表排水）	B	土壌流亡は流亡箇所を早期修復
倒伏	エ 耐倒伏品種の導入	C	併せて刈り遅れないように注意

※：A:優れた効果がある、B:効果がある、C:やや効果がある

ア 耐暑性品種の導入

イタリアンライグラスを代表とする寒地型牧草は、暑さに弱いため、冠さび病などが出やすくなりますが、国内で育成された品種は、異常気象下でも安定した収量が得られています。

以下にイタリアンライグラスの奨励品種を掲載していますが、さらに耐暑性が高い牧草が必要な場合は、オーチャードグラスなどを選定しましょう。

表7 イタリアンライグラスの奨励品種

品種名	早中 晩	草型	乾物収量 (kg/10a)	耐倒 伏性	特性及び栽培上の注意
タチマサリ	早	直立	1,210	やや強	・初期生育が良好、強稈 ・冠さび病に弱い（極端な早まきは避ける）
タチユウカ	早	直立	1,244	やや強	・初期生育に優れ、早秋の収量が高い ・再生力が低く、冠さび病に弱い
タチムシャ	中	直立	1,283	やや強	・耐倒伏性が強く、再生力が良好 ・葉量が多い
さつきばれ EX	中	直立	1,251	強	・春の生育が良好 ・再生力が強く収量が多い
フウジン	中晩	直立	1,300	やや強	・初期生育が良好

注) 乾物収量は栃木県畜産酪農研究センターにおける一番草乾物収量の平均値（2019～2021年度）

イ 乳酸菌等の添加

サイレージ調製の基本原則（適期刈取り、水分調整、細断と踏圧、早期密封）が守られれば、乳酸発酵を促す添加物を使用する必要は、ほとんどありません。しかし、収穫時期が遅れたり、刈取り後に雨にさらされた場合、不良な材料を用いた場合や、開封後の品質管理上問題がある場合などには添加物が有効です。

乳酸発酵を促進するもの、不良発酵を押さえるもの、水分調整などの目的によって添加物を選ぶことが重要です。

表8 主なサイレージ調製用添加物と特性

区分	種類	特徴	問題点	添加法
乳酸発酵促進	乳酸菌及びその製剤	乳酸菌を添加して初期の乳酸発酵を促進、pHを下げて雑菌の増殖を抑制します。	有効炭水化物(糖分)が少ない場合、乳酸発酵は促進されません。	原料の0.5～1%添加。ただし、糖含量が現物中1.5%以下では糖蜜を1%併用します。
	糖蜜 液状糖蜜 糖蜜吸着物 糖蜜飼料	有効炭水化物の少ない材料に添加して乳酸発酵を促進します。	水で希釈すると高水分となり、機械化が難しくなります。	サイロ内で液状糖蜜2～3%を2～3倍に希釈して添加します。 糖蜜吸着物は材料により5～10%添加します。
	ブドウ糖 (グルコース)	乳酸菌に最も利用されやすい炭水化物です。	コストが課題です。	材料の1～2%添加します。
	穀類	炭水化物の補強と水分調整を兼ねます。	添加した穀類の養分量を考慮する必要があります。	米糠、ふすま、脱脂米糠、ビートパルプ、ポテトパルプ5～10%です。
	わら	最も手近な水分調整材であり繊維の補強も兼ねます。	均一添加に注意、過量添加は嗜好性低下し、カビが発生しやすいです。	水分調整は70%程度を目標とし、材料の10～12%添加して発酵促進に米糠3～4%を併用します。
二次発酵抑制	市販添加剤	原料のpHを低下させ不良発酵を抑制しタンパク質の分解を防ぎます。 カビの発生を抑制します。	取り扱い上注意を要します。	pH3～4を目標に調整します。



図18 サイレージ用乳酸菌製剤(WCS用)



図 19 乳酸菌散布装置を取り付けた収穫機

ウ 明渠排水（地表排水）

牧草が作付けされているほ場は傾斜地が多く、大雨で土壌流亡が拡大し法面の崩壊などに繋がる恐れもありますので、土壌流亡を発見した場合は拡大しないよう速やかに補修するとともに、土壌表面が露出しないよう牧草種子を追播し、裸地を作らないことが大切です。

また、採草地ではトラクターの走行頻度が高い枕地の部分で湿害を生じやすいので、明渠の設置等、ほ場に停滞水が生じないように配慮する必要があります。詳細は飼料用トウモロコシの適応策の記載（P122 のア）を参照してください。

エ 耐倒伏品種の導入

栃木県で作付面積が多いイタリアンライグラスでは、表7の奨励品種特性表を参考に、耐倒伏性の高い品種を作付けし、刈り遅れに注意しましょう（刈り遅れるほど倒伏しやすい）。

2 20年後を見据えて準備しておく事項

今後、温暖化が進むと、既存の作付け体系で飼料生産に支障を及ぼす影響があるので、現在の飼料作付け体系の見直しや作期分散について、将来の気候変動を踏まえて検討しておく必要があります。また、公共牧場などの草地では、夏季の高温により夏枯れが発生する頻度が高まり、草地を維持できなくなる恐れがあるので、夏枯れに強い高温耐性品種の導入が必要となります。

(1) 将来懸念される気候変動影響

飼料用トウモロコシ・牧草

表9 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※1		被害の発生頻度※2	
			現在	将来	現在	将来
気候の不安定化	ア 生育不良や収穫時期の不安定化	収量・品質低下	中	↗	低	↗
台風の多発・大型化	イ 作物の倒伏	収量低下	中	↗	低	↗
夏期の高温	ウ 牧草の夏枯れ	収量低下	小	↗	低	↗
気温上昇	エ 生育の前進化	収量増加	-	↗	-	↗
高温	オ 病害虫の発生	収量低下	小	↗	低	↗

※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 生育不良や収穫時期の不安定化

気候変動に伴う気候の不安定化により、飼料用トウモロコシでは、長雨による播種作業の遅延や日照不足による生育不良、気温の上昇による収穫時期の早期化による作業計画への影響などが懸念されます。

また、牧草では、暖冬にともなう牧草越冬草勢（伸びすぎ）への影響や、多雨による草地土壌の酸性化、肥料成分流亡などに起因する収量や品質の低下が懸念されます。

イ 作物の倒伏

気象庁の「日本の気候変動2020-大気と陸・海洋に関する観測・予測評価報告書-」によれば、4℃上昇シナリオ（RCP8.5）による21世紀末の将来気候、又は世界平均気温が4℃上昇した状態に相当する予測の下では、台風のエネルギー源である大気中の水蒸気量が増加するため、日本付近における台風の強度は増すと予測されています（確信度が中程度）。台風の影響に加え、ゲリラ豪雨が増えることで飼料作物の折損や倒伏の頻度が高まり、収穫困難となる面積の拡大により収量低下が懸念されます。

ウ 牧草の夏枯れ

夏期の高温により、牧草生産区分の北上が予測されており、現在の寒地型牧草生産地では夏枯れ頻度の高まりにより、草地の維持管理が困難になることが予想されます。畜産草地研究所の報告（佐々木ら 2003）によれば、2003年時点で寒地型 66%、夏枯れ 10%、暖地型 24%であった区分が、100年後には寒地型 41%（現在の 0.61 倍）、夏枯れ 6%（現在の 0.62 倍）、暖地型 53%（現在の 2.21 倍）になると報告しています。

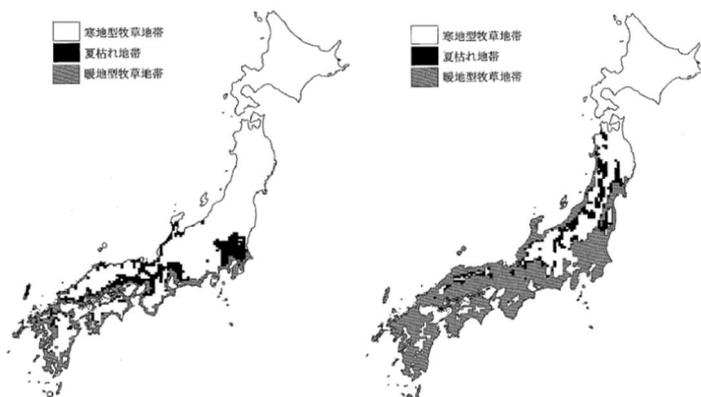


図 20 牧草生産区分の北上予想
左 2003 年、右 2103 年

エ 生育の前進化

温暖化による気温上昇により、飼料用トウモロコシの生育が早まることによる二期作栽培適地の拡大が予測されています。畜産草地研究所の報告（菅野ら 2018）では栽培可能地等の適地区分は 2090 年頃には九州～関東地域（栃木県も含む）の広い地域が二期作栽培可能地になることが予測されています。

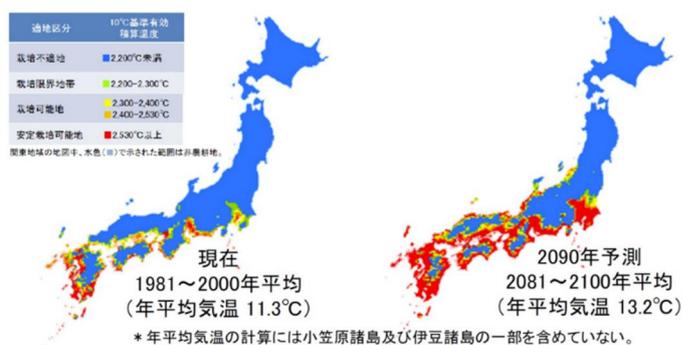


図 21 2090 年までの飼料用トウモロコシ二期作栽培適地の変化予測

（参考文献（図 20、図 21）：農林水産省（2019）平成 30 年度気候変動への影響への適応に向けた将来展望

<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/climate/report2018/attach/pdf/report-27.pdf>

オ 病虫害の発生

温暖化による気温の上昇は、害虫の分布域の拡大や年間世代数及び発生量の増加、発生盛日の変化をもたらす可能性があります。また、病害については、これまで報告がなかった地域で大発生が見られるなど発生地域が拡大することが想定されています。

(2) 準備が必要な具体的な事項

飼料用トウモロコシ・牧草

表 10 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 リモートセンシングによる飼料畑や草地の適正管理	<ul style="list-style-type: none"> ・ 飼料畑の空撮によりほ場全体の生育状況が把握可能 ・ 撮影画像・位置情報・発生予察情報を組み合わせてピンポイントでの確な病害虫防除が可能 	イニシャルコスト及びランニングコストの増加
イ 作期分散	<ul style="list-style-type: none"> ・ 適期作業による自給飼料の品質向上 ・ 作業時期が分散することで栽培面積の拡大が可能 	作物を組み合わせる場合は、必要に応じて新たな機械体系が必要
ウ 高温耐性品種の利用	<ul style="list-style-type: none"> ・ 夏期高温時の夏枯れや発育停滞の改善が図られる可能性 	特になし
エ 飼料用トウモロコシの二期作栽培	<ul style="list-style-type: none"> ・ 気温上昇により県南部で二期作栽培ができる可能性 ・ 二期作栽培による収量の増加 	特になし

ア リモートセンシングによる飼料畑や草地の適正管理

マルチスペクトルカメラを搭載した汎用ドローンを用い、対象となる飼料畑を空撮し、ほ場全体の NDVI 値※を専用のソフトで解析し、マップ化することで生育の善し悪しの判断材料として活用できます。併せて、マップに基づく施肥設計により適切な施肥管理が可能となります。

また、ドローンの撮影画像と位置情報を利用し、発生予察情報と組み合わせることで、的確でピンポイントな病害虫防除や無人管理機の運用が可能となります。

※植生の分布や活性度を示す指標（赤色光の反射率など）。



図 22 ドローンによるリモートセンシング

イ 作期分散

作物の種類、品種の早晩性を組み合わせることにより作期分散を図ります。気候変動による台風の上陸回数増加や夏場の高温による牧草の夏枯れなどの影響を最小限にとどめ、かつ最大収穫量を確保するため、作物の種類（飼料用トウモロコシ、ソルガム、牧草など）や品種の早晩性の組み合わせについて、全国各地で検討されています。

また、畜産農家の飼養規模拡大に伴い、飼料作物の栽培面積の拡大に十分な労働力を割くことができていないため、コントラクターの育成などが進められており、併せて、この課題に対応するためにも作期分散を進め、適期作業による自給飼料の品質向上が求められています。

温暖地で実施されている飼料用トウモロコシ、ソルガム混播 2 回刈り体系を利用した作期分散の例を以下に記載しました。安定栽培の目安となる指標は有効積算温度で 2,030°Cとされていますが、平均気温上昇や品種の組み合わせによって栃木県内（現在は県南部のみ）でも作付けが可能になると考えられています。

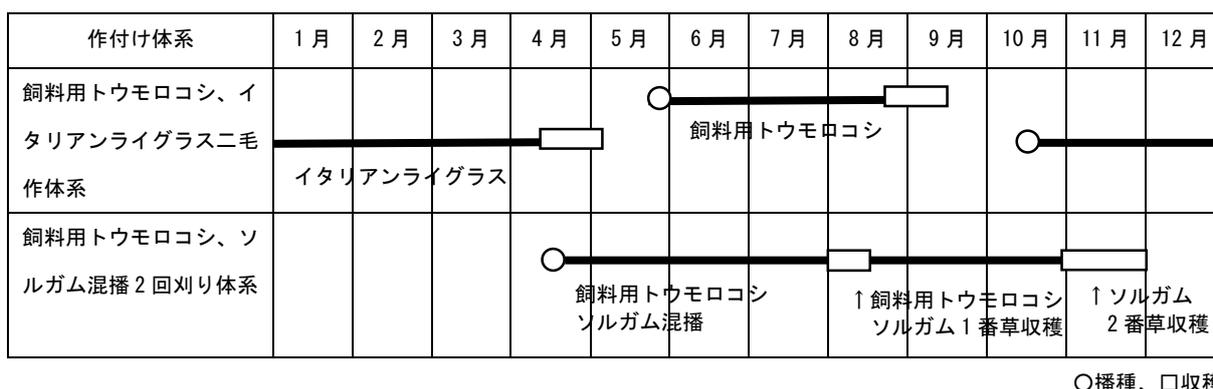


図 23 飼料用トウモロコシ、ソルガム混播体系を取り入れた作期分散の例

ウ 高温耐性品種の利用

気候変動に起因する夏場の高温によって、特に寒地型イネ科牧草（イタリアンライグラス、オーチャードグラスなど）の夏枯れや生育の停滞が懸念されています。特に平場の採草地や公共牧場などでは十分な収量や採食量を確保するための対策として高温耐性をもった品種の導入を進めていく必要があります。



図 24 越夏性に優れる採草用牧草フェストロリウム(ライグラス系とフェスク系の雑種、農研機構)

エ 飼料用トウモロコシの二期作栽培

温暖化に伴う気温上昇により、飼料用トウモロコシの二期作栽培の適地拡大に伴い、栃木県においても飼料用トウモロコシの二期作栽培が可能となります。下図は飼料用トウモロコシの収穫適期である黄熟期（子実が固まる直前の時期）が平均気温の上昇によってどのように変化するか試算したものです。栃木県畜産酪農研究センター（九石ら 2010）の試算によると、平均気温が 1℃上昇すると、県南部で飼料用トウモロコシの二期作が可能になるとしています。

今後、栃木県内で二期作栽培を取り入れていくためには、二期作品種に対応した品種の開発や品種の組み合わせについても検討していく必要がありますが、暫定的な二期作（一作目を早刈りする）として県内では、芳賀町で二期作に取り組んでいる農家がいる他、大田原市南部でも二期作の取り組みの模索が始まっています。

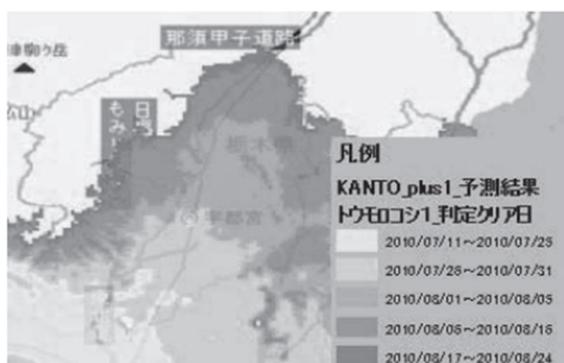


図 25 平均気温が 1℃上昇した場合の
1作目黄熟期判定



図 26 平均気温が 1℃上昇した場合の
2作目黄熟期判定

（参考文献：飼料作物の選定と栽培技術の確立－トウモロコシ二期作栽培技術の確立

https://www.pref.tochigi.lg.jp/g70/press_etc/documents/02-p15-p23.pdf）

第3章 農業気象災害のリスクヘッジのための制度活用

気象災害への対策として、技術対策と併せ、農業保険への加入が有効です。農業保険には農業共済と収入保険があり、掛金（農業共済）や保険料（収入保険）の一部を国が補助しています。

農業保険の種類	加入の対象 (共済目的※)	対応リスク	備考
農作物共済	水稲・陸稲・麦	風水害、病虫害等	補償期間 水稲…本田移植期から収穫をするときまで 陸稲・麦…発芽期から収穫をするときまで
果樹共済	なし	凍霜害、病虫害等	補償期間は発芽期から、その年の果実を収穫するまで
園芸施設共済	ビニールハウス・多目的ネットハウス(多目的防災網ハウス)等	風水害、雪害、雹害等	加入申込みは随時
保管中農産物補償共済	農作物共済(水稲・陸稲・麦)、果樹共済(なし)、畑作物共済(大豆)の共済目的	収穫後、保管中の火災、盗難、自然災害及び輸送中の事故等による損害	補償期間 Aタイプ…責任開始日から連続する120日間 Bタイプ…責任開始日から1年間
収入保険	全品目が対象	収入減少	加入申込みは11月末まで(個人の場合)

※この他に栃木県農業共済組合では畑作物共済(大豆・蚕繭)や家畜共済(牛・豚・馬)も実施しています。

(1) 農業共済とは

農作物共済や果樹共済は、災害による収量減少を補填する制度で、比較的安価な掛金で加入できますが、対象作物が限定されます。

また、水稲共済の品質方式については、高温等を原因とする米の品質低下による損失を補填するものです。(こちらについては加入条件があります。)

園芸施設共済はビニールハウスなどの園芸施設が、台風、大雪、ダウンバースト等の気象災害により損害を受けた場合に、被害の程度に応じて補償される制度です。特約を付加することで、復旧や撤去費用の補償も追加できます。

【園芸施設共済：共済金の支払い対象となる事故】



(2) 収入保険とは

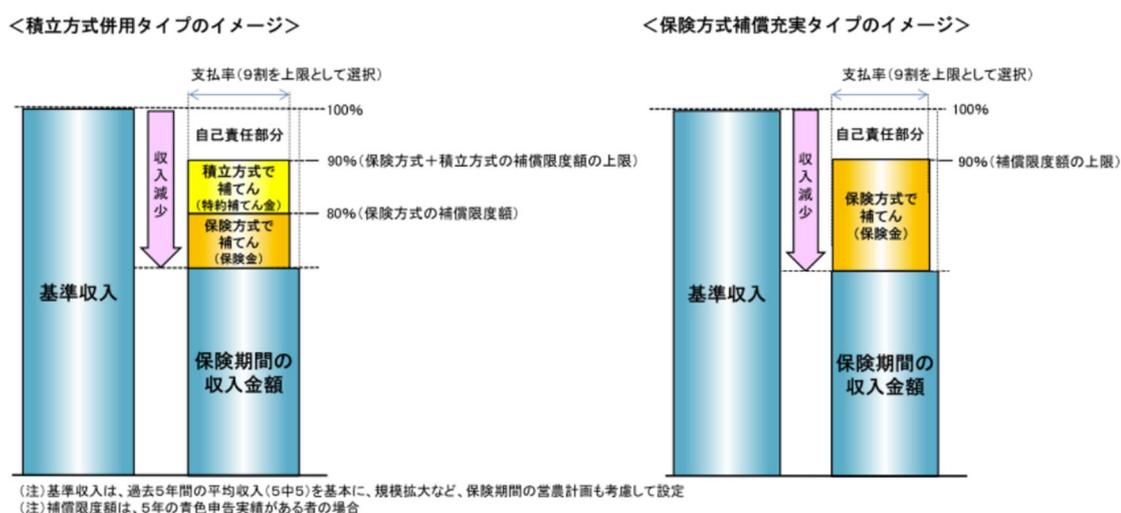
品目の枠にとらわれず、気象災害による収入減少だけでなく、価格低下なども含めた収入減少を補填する制度で、青色申告の農業者が対象です。

【補償内容】



当年の収入が基準収入の9割(5年以上の青色申告実績がある場合)を下回った場合に、下回った額の9割(支払率)を補填します。また、収入保険の特徴として、保険期間中に災害等により資金が必要な場合には、無利子の「つなぎ融資」を受けることができます。

【収入保険の補填の仕組み(農林水産省 HP より)】



- ・ 保険料は掛捨て
- ・ オプションで積立方式を併用することも可能
- ・ 保険料には50%、積立金には75%の国庫補助

農業保険に関するご相談は栃木県農業共済組合(NOSAI とちぎ)本所又は、お近くの支所へお問い合わせください。栃木県農業共済組合ホームページ(<https://www.nosai-tochigi.or.jp>)

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

- 県内各地域の農業者（36 品目）を対象に、360 名から回答を得た。
- 農業者の 86%が、気候変動により農業経営に悪い影響があると回答し、品質の低下（16%）、生育不良（14%）、収量の低下（13%）などの影響が挙げられた。
- これらの農業者のうち、対策を講じている農業者は 58%に留まり、42%が現在対策を実施していないという状況であった。
- 気候変動に伴う農業生産への影響について、85%が将来不安があると回答しており、農業者が求めている情報としては、技術対策（24%）、適応品種（19%）、気象の変動予想（12%）が上位を占め、被害軽減に関する情報を求める傾向が見られた。

【調査内容】

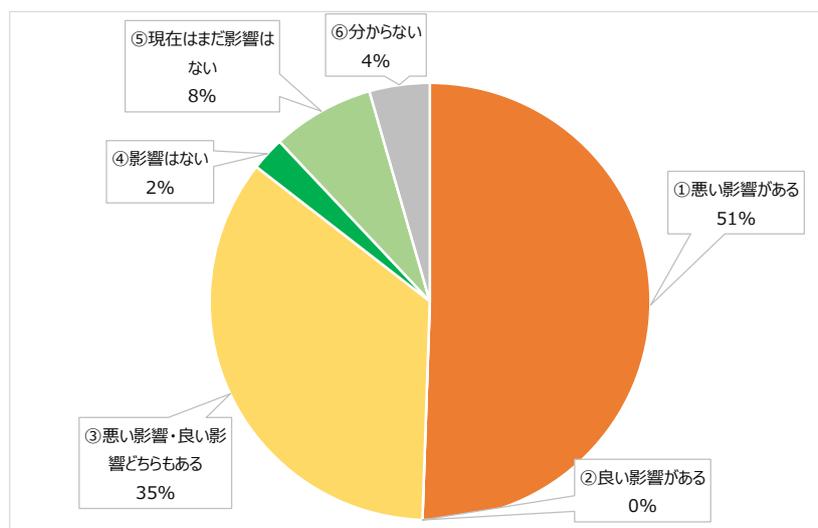
・調査期間：2022 年 11～12 月 ・調査方法：対面による聞き取り ・回答数：360 件

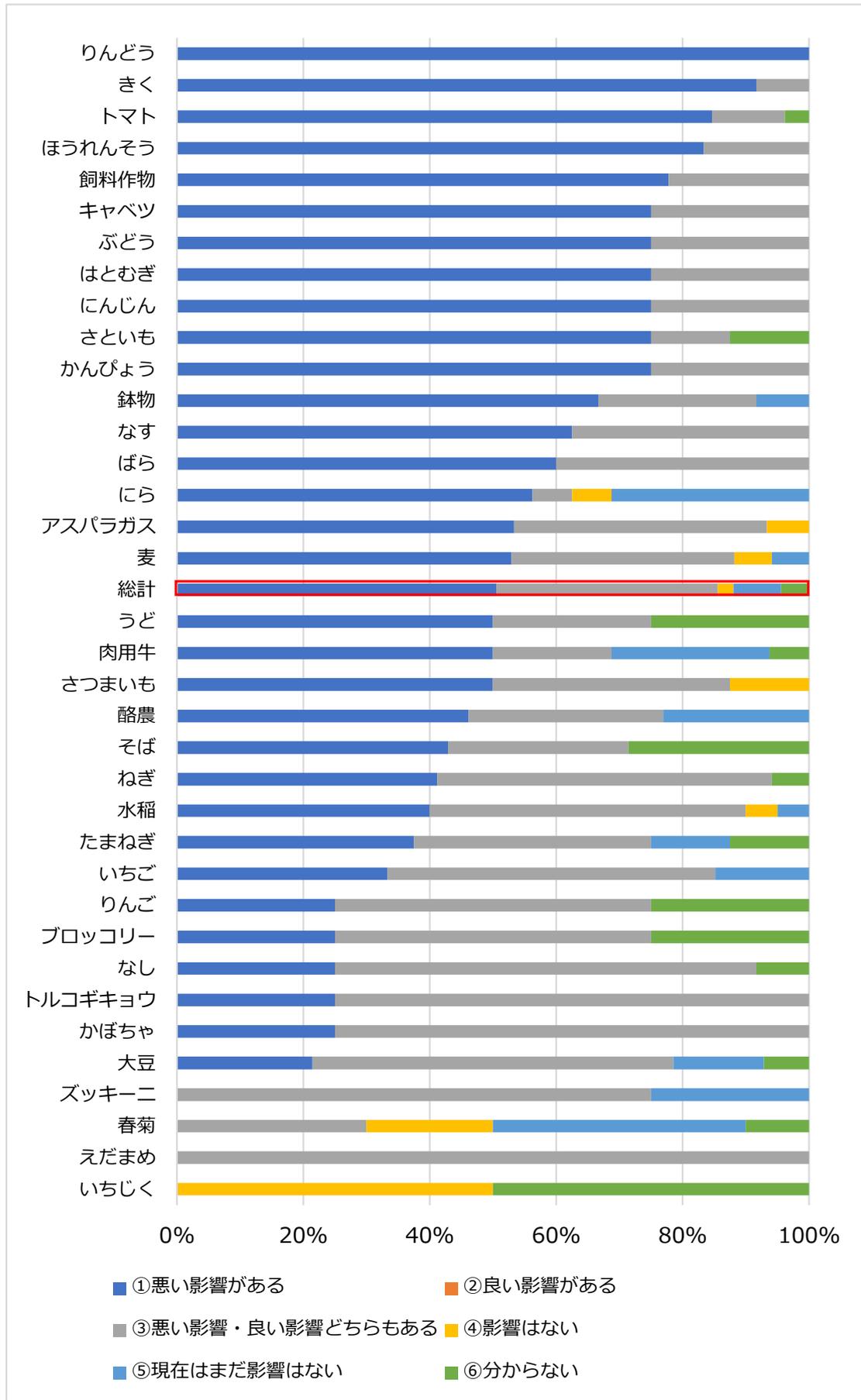
1 現在、あなたの農業経営は、気候変動の影響を受けていますか？

（結果）

全体の 51%が悪い影響があると回答。良い影響があるは無し。悪い影響と良い影響どちらもあるが 35%で、影響はないまたは現在はまだ影響はないが 10%であった。

特徴的な傾向を示す品目もあり、りんどう、キク、トマト、ほうれんそう、飼料作物等は、悪い影響がある割合が高い。一方で、大豆、にら、春菊、えだまめ、ズッキーニ、いちじく等は、悪い影響がある割合が少ない。



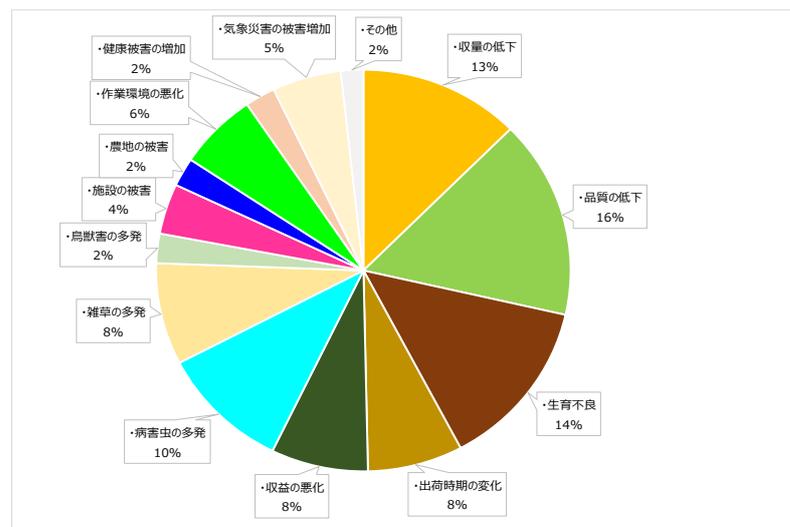


- 2 ①悪い影響がある、③悪い影響・良い影響どちらもある と回答した方にお聞きします。具体的にどのような影響がありますか？

(結果)

全体では、品質の低下が 16%、生育不良が 14%、収量の低下が 13%、病害虫の多発が 10%、出荷時期の変化が 8%であり、収益の悪化も 8%で挙げられた。

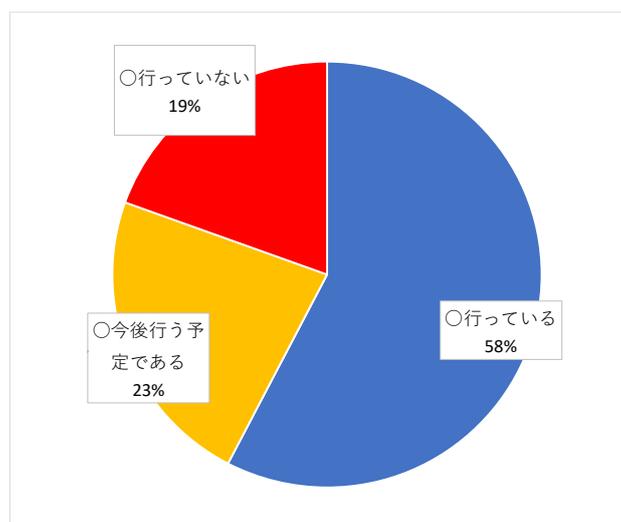
品目別では、麦、キャベツ、さつまいも、酪農では乳量の低下、なすやぶどうでは品質の低下、にんじんやキャベツでは生育不良、なしやズッキーニでは出荷時期の変化、さといもやかんぴょうでは収益の悪化、ねぎとりんごでは病害虫の多発、春菊やそばでは雑草の多発、トマトや鉢物では施設の被害の割合が高かった。



- 3 悪い影響を緩和するため、現在、何らかの対策を行っているもしくは、今後行う予定はありますか？また、具体的な取組内容を記載願います。

(結果)

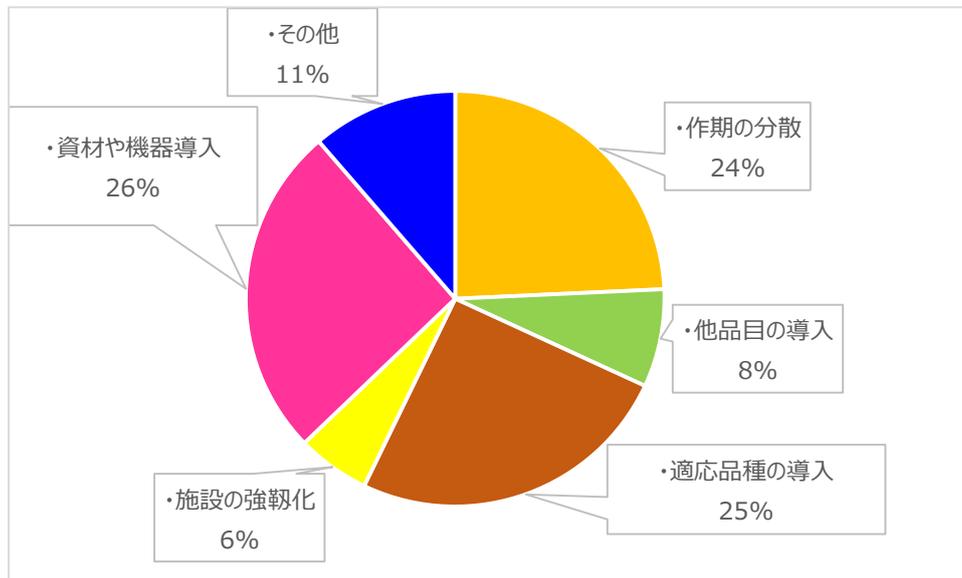
全体では、58%が対策を行っている、23%が今後行う予定、19%が行っていないとの回答であった。



(結果)

全体では、資材や機器導入 26%、適応品種の導入 25%、作期の分散 24%が多かった。

品目別では、春菊やにんじんでは他品目の導入、水稲やぶどうでは適応品種の導入、なすやりんごでは施設の強靱化、ばらやりんどうでは資材や機器導入の割合が高かった。

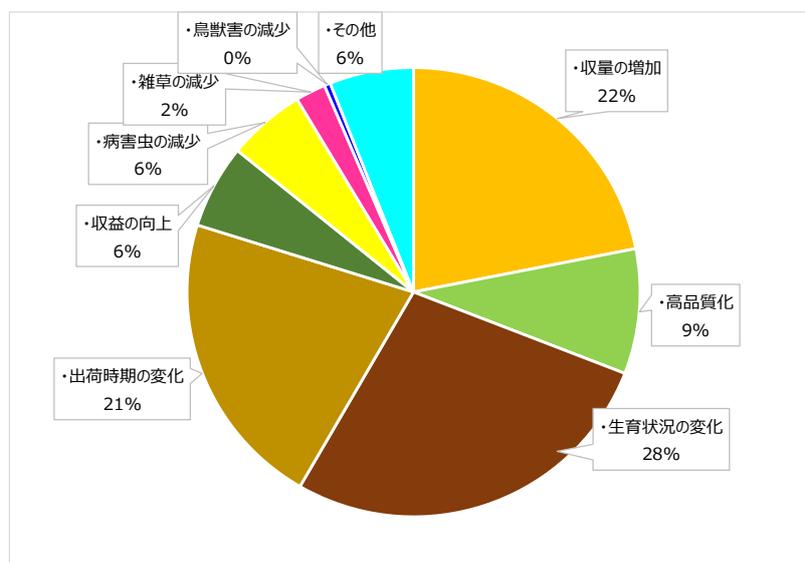


- 4 ②良い影響がある、③悪い影響・良い影響どちらもあると回答した方にお聞きします。具体的にどのような影響がありますか？

(結果)

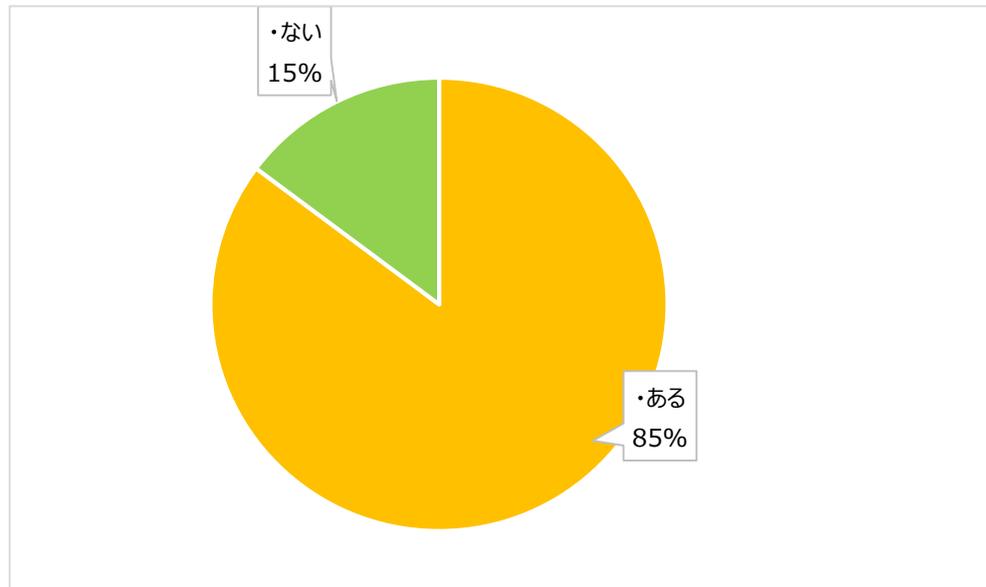
全体では、生育状況の変化 28%、収量の増加 22%、出荷時期の変化 21%が多かった。

品目では、にんじんやうどでは収量の増加、えだまめやりんごで高品質化、麦やさといもで生育状況の変化、かんぴょうやズッキーニで出荷時期の変化、えだまめやトルコギキョウで収益の向上、キャベツや春菊で病害虫の減少の割合が多かった。



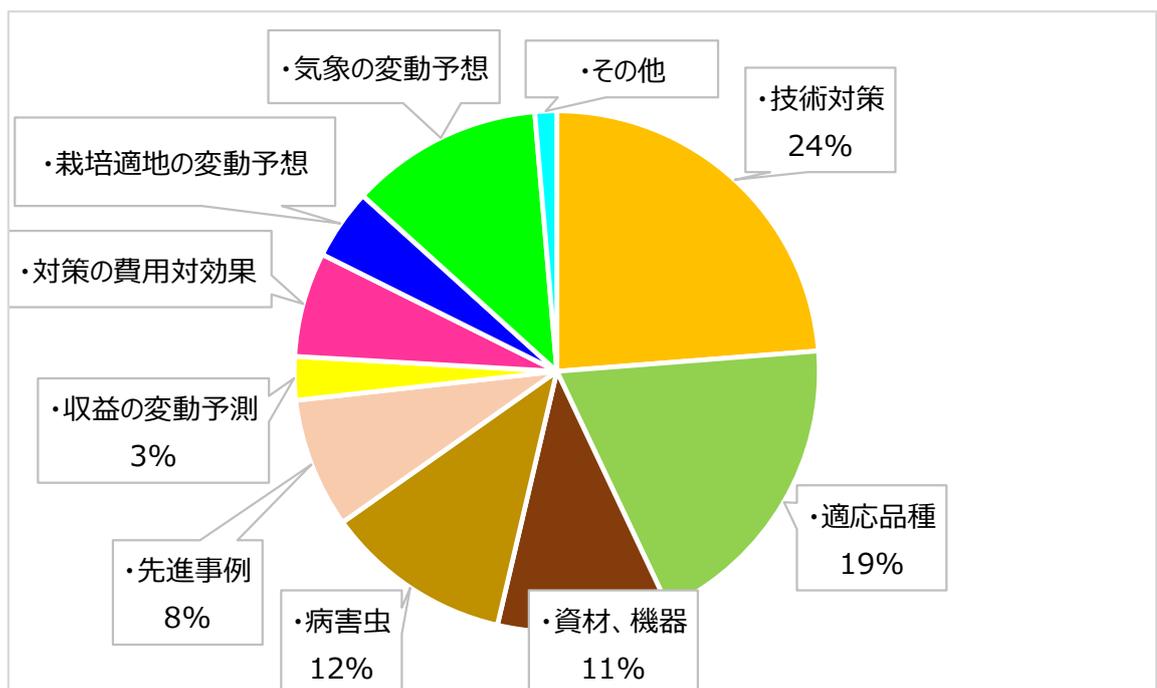
- 5 気候変動に伴う農業生産への影響について、将来的な課題や不安に思うことはありますか？
 (結果)

全体では、85%が気候変動に伴う農業生産への影響について将来の不安をもっている。



- 6 気候変動への適応に向けて、今後どのような情報があればよいと思いますか？
 (結果)

全体では、技術対策 24%、適応品種 19%、気象の変動予想 12%、病害虫の情報 12%を求める割合が多かった。



7 現在及び将来、気候変動に伴う農業経営において有効と考えるものは何ですか？

(結果)

全体では、収量及び品質向上の技術対策導入 (24%)、新品種導入 (20%)、保険や農業共済加入 (14%) が有効と考えている。

