

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。

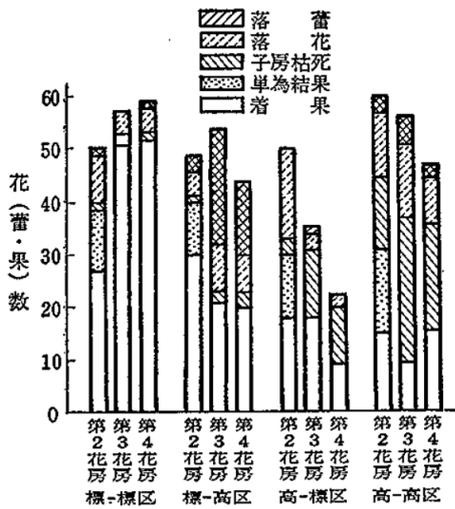


図1 開花、結実に及ぼす高温の影響 (藤井 1946)

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 (μm)	最短 (μm)	平均 (μm)
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

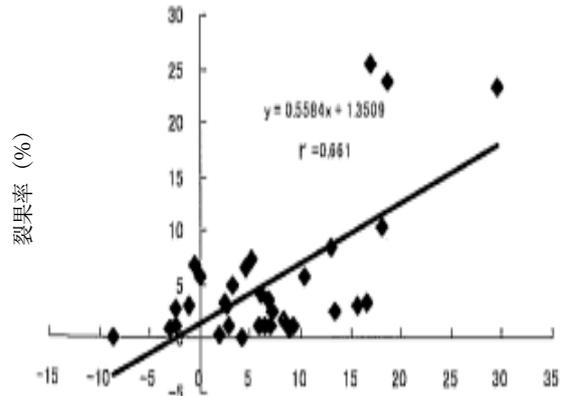
トマトの裂果は①萼を中心に同心円状に裂ける同心円裂果、②萼から放射状に裂ける放射状裂果、③不規則に裂ける側面裂果の3種類に分けられ、大玉トマトでは同心円裂果及び放射状裂果の発生が多くなります。特に、夏期の高温期には放射状裂果の発生が多くなります。

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

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)

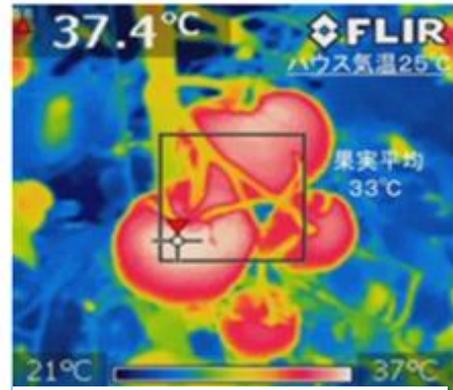


図9 トマトの果実温度(熱画像)

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

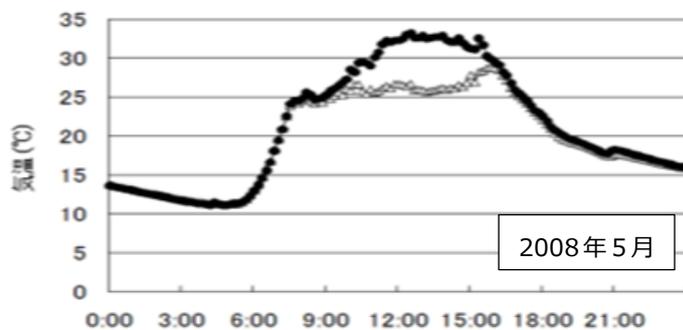


図12 トマトハウスでの細霧冷房による昇温抑止効果
栃木農試 2009 木野本ら（△細霧冷房区、●对照区の温度）

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に一般的には 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。

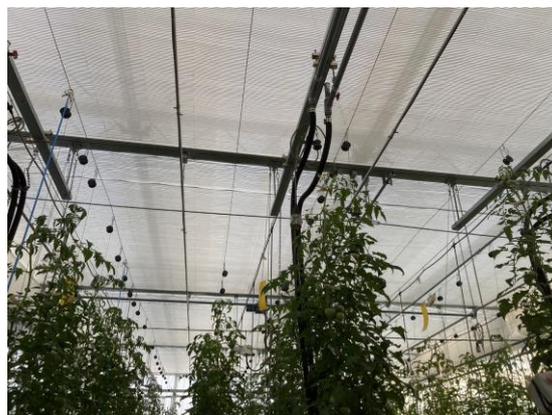


図 13 遮光カーテンを使用したハウスの様子

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必要があります。

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はなく、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必要があります。

◇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。