

トマト栽培の基礎と高温対策

生育抑制や収量低下の仕組みを探る

明治大学 農学部 教授 岩崎泰永

2023年は記録的な猛暑となり、高温により多くの野菜の生産量が減少した。このようなことはめったにないという楽観的な予想に反して、2024年も同様な猛暑となった(図1)。今後も、このような極端な気象に遭遇する可能性は低いと思われる。今号では、トマト栽培において高温によって生育が抑制されたり収量が低下したりする仕組みにフォーカスし、対策を考えてみたい。

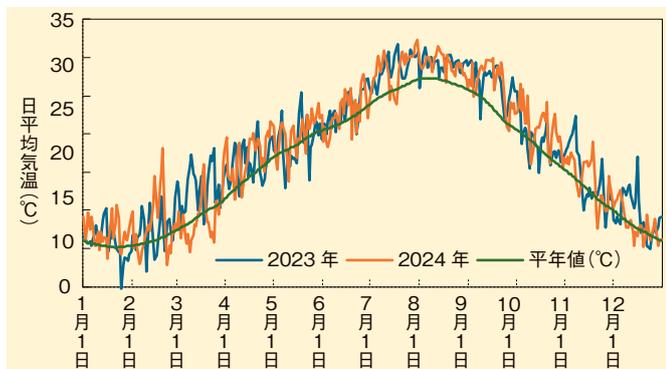


図1 2023年、2024年ならびに平年の日平均気温の推移(東京)

高温による生育抑制

なぜ高温に遭遇すると生育が抑制されるのか。トマトの生育適温は25~20℃という報告がある。そもそも生育適温とは何か。気温に対する反応は、部位や器官によって大きく異なる。一般に、生殖器官である花粉や雌蕊は温度に敏感で、35℃以上の高温で活性が低下するといわれている。茎や葉の伸長は40℃以上の高温で停止する。このように、細胞や組織が壊死して機能が低下するほどの高温との遭遇は、ただちに回避しないと生産を継続できない。

一方、生産現場で日常的に問題となるのは、それより

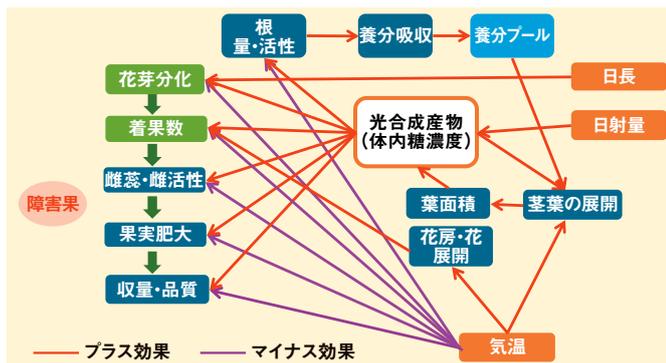


図2 環境要因と作物の反応(模式図)

もマイルドな温度帯(日平均気温が25~30℃)における生育不良、収量低下である。このような温度帯では「節間が伸びる」「葉1枚当たりの面積が小さくなる」「茎が細くなる」「果実肥大が劣る」「果房当たりの開花数、着果数が減少する」「葉の展開速度、果房の発生速度が低下する」などの症状が現れる(図2、写真1)。

シンク・ソースのバランスと糖濃度の関係

シンク・ソースとは「植物の体内で、炭素や窒素などの資源についての受容器官をシンク、供給器官をソースという。通常、光合成産物である炭素の受容・供給について使う場合が多い」(農業技術辞典、農研機構)とされている。つまりソース=光合成量、シンク=生育量(茎や葉の生育、果実の肥大に使われる光合成産物の量)であり、言い換えると、光合成産物の供給と需要の関係である。筆者は、高温期の生育不良とそれともなう収量低下の主な要因は「シンク強度に対するソース能力の不足」と考えている。光合成量は日射の影響を強く受ける。一方、葉の展開や果実の肥大は気温の影響を強く受ける。高温時は、葉の展開や果実の肥大速度が増加する(シンク強度が大きくなる=光合成産物の要求量が多くなる)ために、それに見合うだけの光合成速度(ソース能力)が必要となる。シンク強度に対してソース能力が不足すると光合成産物が不足し、各器官への光合成産物の分配量が減少して葉1枚当たりの面積が小さくなって果実の

水耕栽培

ロックウール栽培



写真1 高温によるトマトの生育不良(萎れ、葉の壊死、葉面積の減少、茎径の減少、開花数、着果数の減少などが生じる)

肥大速度が低下する。光が足りないとき、植物は節間を伸ばすなど形態が変化する。高温によって光合成産物が不足するときは、光が不足する場合と同様に節間が伸び、いわゆる「徒長」した状態になる。

花芽分化の遅れや花数・着果数の減少の要因

それでは、花芽分化の遅れや花数・着果数の減少は、どのように説明できるであろうか。Liら（2015）は、シンク・ソースのバランスと茎や葉の糖濃度（スクロース、グルコース、フルクトースなどの還元糖とデンプンの合計）は比例関係にあることを報告し、シンク強度が大きくなると糖濃度は低下することが明らかとなっている。Wangら（2020）は、トマトの苗をさまざまな遮光条件で栽培し、葉面積と開花の関係性を調べた。その結果、遮光程度が高いほど開花時期は遅れるが、遮光条件にかかわらず、葉面積が一定の大きさになると開花する規則性を見出した（図3）。これは、体内の糖濃度がある値に達すると花芽が分化することを示唆している。Yoshidaら（2012）は、いちごの花芽分化に体内の糖濃度が大きく影響することを報告している。ほかにも、体内の糖濃度が開花に大きく影響するという報告は多い。Higashideら（2009）は、果実数と収量は開花前の10日から4日にかけての日射に大きく影響を受けるとしており、花数の決定に光合成産物量、すなわち体内の糖の蓄積が関わっていることを示唆している。糖とはエネルギーに他ならない。花や葉、根など器官の分化には多くのエネルギーが必要であり、体内の糖濃度を過度に低下させない管理が必要となる。このように、高温による生育の抑制や収量の低下は、シンク強度がソース能力を超えてしまうことによって、各器官への光合成産物の分配量が減少したり体内の糖濃度が低下し、果実肥大の抑制や花芽分化の遅れを生じると考えることができる。

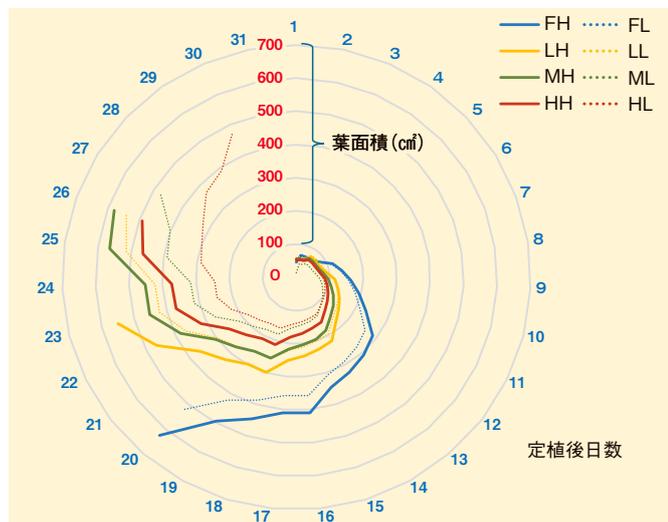


図3 第一花房の開花までの日数と葉面積 (Wangら、2020)
 F:遮光なし、L:30%遮光、M:50%遮光、H:70%遮光
 H:培養液EC0.6dS/m、L:培養液EC1.8dS/m
 折れ線は葉面積、それぞれの線の終端が開花日を示す

シンク強度を小さくし、ソース能力を高める

シンク・ソースのバランスを適切な範囲に維持するには「シンク強度を小さくする」「ソース能力を高める」ことが有効である。シンク強度を小さくするには、気温を下げるのが基本であるが、摘果や摘心も有効である。一方、ソース能力を高めるには「光強度を高める」「葉面積を多くする」「栽植密度を調節して株当たりの受光量を多くする」「CO₂濃度を高める」などの方法がある。遮光は、光の量を減少させる割には気温低下の効果が少ない場合が多いので、利用には注意が必要である。摘心は新たな果房の発生、茎葉の発生や伸長を抑えてシンク強度を低下させるので、既に着生していた果実の肥大を促進して品質をよくする。また、体内の糖濃度を高め、新たな花芽の分化を促進する効果も期待できる。近年広く利用されるようになってきた強勢台木、極強勢台木は、根が強く吸水能力が高いので、強い日射をともなう高温条件下でも萎れにくく、光合成能力を高く維持できるので、ソース能力を高める効果がある。

適切なシンク・ソースのバランスとは

では、適切なシンク・ソースのバランスの範囲は数値的に明らかにされているのか？答えはNOである。適切な体内の糖濃度の目安は？これもはっきりしていない。体内の糖濃度は測定する時間によって大きく変動する。さらに、茎や葉に高濃度の糖が蓄積すると光合成速度が落ちることがわかっている。現時点で茎や葉の糖濃度をリアルタイムに測定する手段はない (Brix計では低くて測れない)。一方、シンク強度、ソース能力、シンク・ソースのバランスは、シミュレーションモデルを使って数値で示すことができる (図4)。筆者らは、体内の糖濃度を間接的に示す指標としてシンク・ソースのバランスに着目している。今後は生育の良否を関連づけて、体内の今の状態を間接的に示す指標として活用できるようにデータを蓄積したい。

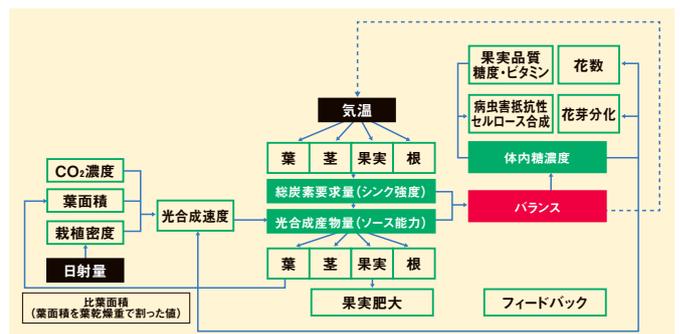


図4 日射量と気温が乾物分配と体内糖濃度を決定するメカニズムの模式図(推定)