

野菜の収量と栽培環境

～光合成を知れば管理も変わる～

第8回

光合成産物の環境要因：温度



いしど よしひろ
穴戸 良洋

山形大学農学部 客員教授
農学博士

【略歴】

昭和47年東北大学農学部園芸学研究室助手、昭和59年農水省野菜試験場栽培部主任研究官、各職を経て、平成13年独立行政法人東北農業研究センター野菜花き部長、平成15年独立行政法人野菜茶業研究所野菜研究官など歴任、平成17年退官、平成23年明治大学植物工場基盤技術研究センター特任教授、翌年3月退職、現職は平成18年から。平成7年「トマトにおける光合成産物の動態と収支に関する研究」で日本園芸学会賞学術賞受賞。

今回は、栽培の環境要因として重要になる温度管理が、

種々の生育ステージにおいて、

光合成産物の転流と分配におよぼす影響と、

果実の生産におよぼす影響を解説したいと思います。

作物の生育に温度は大きな役割を果たしています。光合成、呼吸、花芽の分化、果実肥大、成熟や生長の速度へ直接的に影響すると見られ、光合成産物の転流・分配に対しても光合成・呼吸作用などを通して間接的にも影響していると考えられます。

作物の生育は温度の影響を受けてその速度や生長量に違いが起きていることはよく知られています。それらの生長の基は光合成産物で、その転流・分配が温度の影響を受け、植物の生長速度や生長量に作用すると見られます。

実際の栽培では、作物の種類、作型

や生育、栽培ステージで温度管理をしています。果菜類の夏季の高温期には、果実の収量と品質が落ちるなど、種々の時期の温度は収穫時期や収量などに関係すると考えられます。

また、夜温が低いかあるいは昼夜温度差が大きいと収量が上がるとか、おいしい果実ができるというわれ、夜温などの温度管理は、直接的に果実の収量および品質に大きく反映されると見られています。

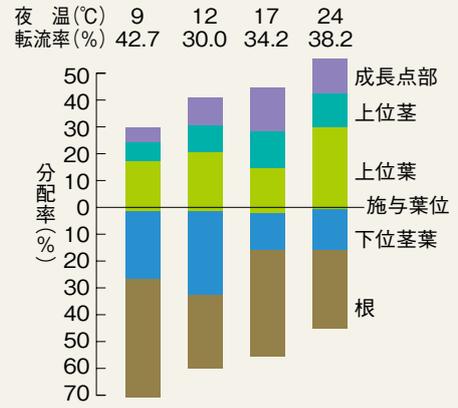
夜温で影響される転流・分配

トマト苗を昼間（8時間）24℃、夜（16時間）17℃で生育させて、約7葉期になった苗の第3葉に夜間直前の30分間CO₂（放射性同位元素）を光合成させ、その直後から16時間の暗黒下でそれぞれ9、12、17、24℃においた苗の転流と分配を見ました（第1図）。

分配パターンについて、夜温が上昇すると第3葉を基点に成長点部や上位茎葉部への分配が増加し、夜温が低下すると根や下位茎方向への分配が増加する傾向が認められました。

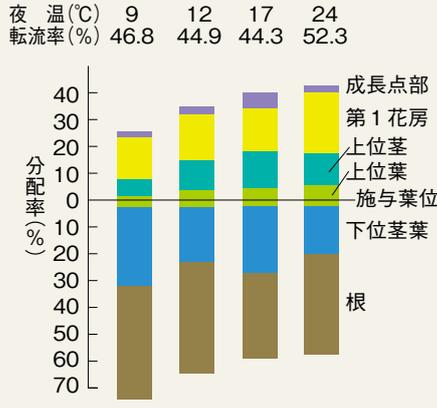
次に15葉期で、第1花房が開花後おおよそ2週間経過した苗で、果実がすでに肥大を開始している場合に、昼夜温度管理を24/17℃で1週間順化した後、夜温をそれぞれ9、12、17、24℃に変えた時の転流率と分配パターンを見ると、転流率は夜温24℃区で52%と高くなりましたが、大きな差は出ませんでした（第2図）。しかし分配パターンは、9℃区の根や下位茎葉への分配率が74%なのに対し、24℃区では58%になりました。その分、上位方向への分配は高夜温区で高く、低夜温区で低くなりました。花房への分配率も高

第1図 トマト若苗期の夜温変化と光合成産物の転流・分配



高夜温だと成長点部、上位茎葉への分配が増し、低夜温は根、下位茎葉方向への分配が増加。

第2図 トマト果実肥大期の夜温変化と光合成産物の転流・分配



若苗期と同様な傾向。

生育温度によって変わる 果実への分配

を、根は地温の影響を受け、各部位でそれぞれの温度環境に反応していると見られます。また、作物の生育ステージによって、地上部と地下部の比率は変わり、その比率により温度に反応する部位の割合が変わり、全体としての反応が変化すると考えられます。

トマトで9葉期に達し、開花直後の花芽は同一条件下(昼夜温24/17°C)で分化した苗を、昼夜温30/24°C、24/17°C、17/12°Cで2週間生育させた後に第1花房直下の第8葉へ¹⁴C¹⁴CO₂を施与し、その転流分配パターンを調査しました。

各温度処理による生育について見ると、全乾物重は生育温度が高いほど軽くなっています(第3図)。しかし、各部位別の乾物重で第1花房を見ると、30/24°C区では17/12°C区と比べて2倍前後も大きくなりました。新たに展開する莖葉の発育スピードは低温で遅くなる部分があり、根や葉などの乾物重は高温で少なくなる傾向が見られました。

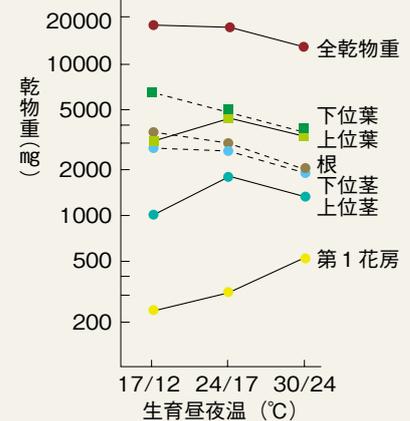
光合成産物の分配パターンは高温区

ほど果実への分配は多く、17/12°C区の果実への分配率は2%前後なのに対し、30/24°C区では30%以上の分配率で、著しく果実への分配が異なり、一方、根への分配は低温区で多くなることと認められます(第4図)。この場合の花芽は、分化時の環境条件が同一で、花芽の充実度や質に差異はなく、生育温度によって果実への分配パターンが変化したと考えられます。また、17/12°C区の転流率は24/17°Cや30/24°C区より10%前後低くなりました。

温度に対する植物全体の反応は、乾物重の変化と光合成産物の転流・分配パターンの変化から見ると、低夜温下では根を含む下位方向への分配が相対的に多くなる傾向が認められます。逆に、高夜温では上位方向への分配が多くなり、肥大期の果実をもつ場合には、果実への分配が著しく多くなることと認められました。

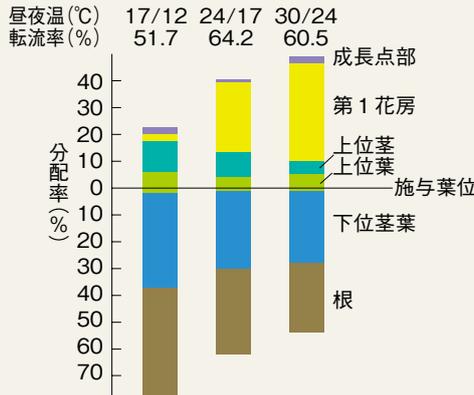
慣行栽培ではいわゆる高温下や夏季の栽培で、生産性が低下することはよく知られています。第3図でも植物体全体では17/12°C区の全乾物重が高く、転流や分配パターンはその時の温度に對しての生育反応を示していると考えられます。

第3図 トマト(9葉期)乾物重と気温



温度が高いほど全乾物重は軽くなるが、第1花房は重くなった。

第4図 異なる温度下で生育したトマトの転流・分配



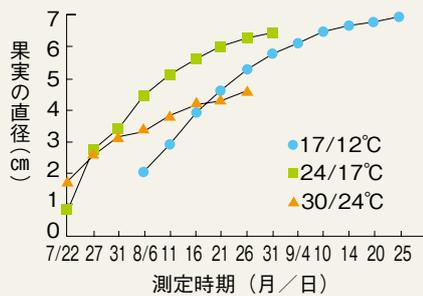
果実への分配は高温で著しく多く、根の分配は低温で増える。

生育・収量と収穫期に影響する温度

この項では6・3葉期に達した苗を昼夜温30/24°C、24/17°C、17/12°Cの3段階の温度下で、第2花房収穫までの生育状況を観察しました。

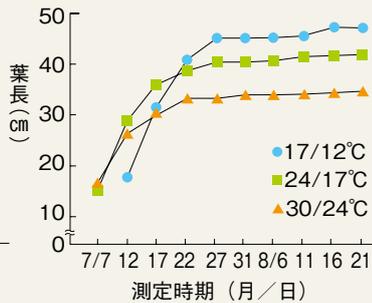
次頁第5図を見ると、収穫時期は生育温度によって大きく変化し、30/24

第7図 果実の肥大と温度



葉長と同じ傾向にあるが、肥大開始、収穫時期に顕著な差が出た。

第6図 第7葉の葉長と温度

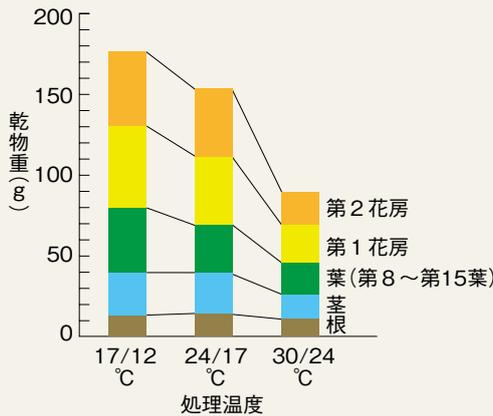


葉は高温区で小さく、低温区で大きくなる。

第5図 6・3葉期～第2花房収穫まで各昼夜温別の生育

昼夜温(°C)	7月2日	8月26日	8月31日	9月26日
17/12	収穫まで87日			収穫
24/17	収穫まで61日		収穫	
30/24	収穫まで56日	収穫		

第8図 乾物重と温度



果実肥大、収穫時期への長さから24/17°C区が適温だと思われる。

℃区と比べて17/12℃区は約1ヵ月遅れの収穫となりました。
6・3葉期(7月2日)から各昼夜温管理を開始し、その後5日間隔で第7葉の伸長(第6図)と第1花房の果実肥大(第7図)を調査すると、30/24℃区で処理開始20日後には葉の伸長を停止し始め、24/17℃区は伸長の鈍化は小さく、伸長日数も少し延びているように見えます。
一方、17/12℃区では伸長の開始は遅く、高温区が伸びにくくなった時点でも緩やかに伸長を続け、その後伸長量は最大になり、各温度区の葉の乾物重(第8図)は17/12℃区が最も重くなって、30/24℃区の葉は軽く葉長も小さくなっています。

これと同様に果実の直径を測定した第7図では、葉の伸長と同じ傾向を示し、高昼夜温区で肥大開始が早くなくても肥大量は少なく、低昼夜温区では肥大開始は遅いものの期間は長く、最終的に肥大は最大になることが認められました。

第8図で第2花房が収穫時期のトマト全体の乾物重量を見ると、収穫時期は各温度区でそれぞれ異なるため(第5図)、17/12℃区では各花房の収量および株全体の乾物重が最も多くなりませんが、生育期間は長く、収穫時期は1ヵ月遅くなります。24/17℃区の収穫時期は30/24℃区と比べて1週間前後の遅れで、収量も多く適温域内ではないかと思われました。

昼夜温の組み合わせと肥大・収穫(イチゴ)

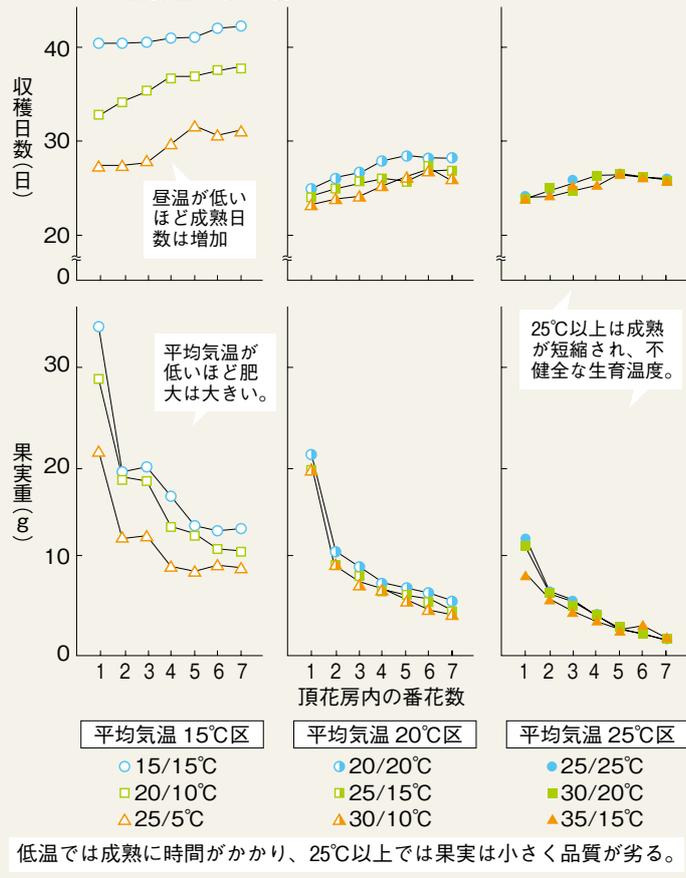
果実重と収穫時期に対する温度の影響についてイチゴを例に紹介します。

花芽の質と充実度が同じ、第1花房の第1花の開花も同日の苗を選抜し、温度処理を開始しました。昼夜温(各12時間)の平均気温が15、20、25℃の3段階とし、それぞれの平均温度の昼夜温を3区設け、収穫までの日数と果実

昼夜温条件が果実に与える影響

第1花の各昼夜温処理下での収穫日数は、平均気温が低いほど長く、平均気温15℃の場合、平均20、25℃区よりも著しく長くなりました。同一平均気温下で昼夜温を変えた場合、15℃区では15/15℃では約40日で、20/10℃では約33日、25/5℃で約27日と、昼夜温が低いほど成熟日数は長くなりました。平均20℃区では、23/24・5日、平均25℃区では昼夜温の変化の影響はまったくなくなり全区23日で成熟しました。果実重は果実の順位と気温によって1/35gと大きな差異が認められ、すべての処理区で果実の順位が低いものほど果実重が大きくなりました。中でも第1花が最大で、同じ果実順位で見ると、平均気温が低いほど果実重は大きくなっています。また、平均気温が15℃の場合、昼夜温較差がない区、すなわち昼間の温度が低いほど果実重は大きくなりました。平均気温が20℃区で同様の傾向は若干あるように見られますが明確ではなく、25℃区で昼夜温変化による差は認められませんでした。昼夜温が15/15℃の場合、20/20、25/25℃区と比べて成熟期間は長くな

第9図 イチゴの各番花順の収穫日数と果実重におよぼす昼夜温の組み合わせ



り、平均気温が同じでも、昼夜温が異なれば成熟日数は異なり、昼温が低いほど成熟日数は増加しました。この傾向は平均気温15℃区で顕著でした。

平均20、25℃区で20/20℃区を除いた昼温25℃を超える場合の成熟日数は、大きく短縮されることが明らかになりました。このことはイチゴの最適生育温度がトマトと比べ低いためです。平均15℃区において、25/5℃区の成熟日数は15/15℃区と比べ13日も短縮されています。これらのことから、成熟日数に対して昼温の影響は夜温と比べ

大きくと考えられます。イチゴの場合、昼温が25℃以上で成熟日数はほぼ一定になり、25℃以上の温度域はイチゴの発育に対して異常な高温である可能性があると考えられました。

各器官の生育速度は1株当たりの光合成量、呼吸量および各器官への光合成産物の分配率によって左右されると考えられます。イチゴの各器官の乾物重増加曲線を測定していますが、株全体の乾物重の増加速度は15/15℃区で

温度条件の違いが作物の物質生産に与える影響

最も大きく、平均25℃区の乾物重増加は最も少なくなりました(図略)。25℃では高温すぎるため、光合成量の低下と呼吸量の増加が関係していると考えられます。実際の栽培では、温度が上昇すると果実への分配が一時的に高まるため、成熟までの日数が短縮されることをふまえて温度管理することが望ましいでしょう。

栽培に最適な温度環境

これまでのように、温度が植物のさまざまな生理作用と密接に関連していることは明らかです。総合的に見ると、草丈伸長や葉の展開は温度が高いと速まります。果実の肥大も促進されますが、果実が肥大する時間も短縮されることになり注意しなければなりません。果実への光合成産物の分配は高温で促進されます。しかし、果実が成熟して色付くと、果実肥大量は徐々に低下し、シンク(果実、茎葉、根など光合成産物の行き先)としての強さも弱まります。果実肥大の基である光合成産物の蓄積も少なくなる時期が早まってしまいます。その結果、最終的な果実の肥大量は変わってくるのです。日本におけるトマトの周年栽培で、生産量

低下の最も大きい要因が夏季の高温で、果実の肥大期間の短縮によると考えられます。

今回は気温を中心に解説しましたが、気温の影響を受ける度合いは地上部と地下部で同じとは限りません。地上部の気温は比較的早く変化しますし、地温はゆっくりと外気温の影響を受けて変化していきます。その温度に反応する部分で、根と地上部の茎葉ではそれぞれ違いが出てくるものと見られ、生育ステージにもよりますが、茎葉部分は根と比べれば圧倒的に大きい影響を受けます。また、気温が急激に変わっても根はその影響を直接的には受けにくいと考えられます。