

施設栽培における適環境条件の生理的研究(2)

誌名	千葉県農業試験場研究報告 = Bulletin of the Chiba-Ken Agricultural Experiment Station
ISSN	05776880
著者名	土岐,知久
発行元	千葉県農業試験場
巻/号	16号
掲載ページ	p. 31-42
発行年月	1975年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



施設栽培における適環境条件の生理的研究

第2報 日中の光条件が果菜類の温度管理に及ぼす影響

土岐 知久

Physiological Studies on Optimal Environment in Growing of Vegetable Crops under the Glass-and Plastic-houses

II. Effect of light experience on the management of day and night temperature in fruit vegetables

Tomohisa TOKI

I 緒 言

施設栽培における果菜類の適温条件を究明するに当たっては、単に作物の生育など外的、量的な反応だけから見るのではなく、光合成産物の転流や蓄積など作物の温度反応に及ぼす内的要因についても考慮しなければならない¹⁴⁾。したがって弱光期の夜温管理をさらに合理化するためには作物の代謝生理から解析して、転流を促進する温度と呼吸消耗を抑制する温度に分割する必要があることを提唱した¹⁴⁾。前報ではこうした夜間の変温管理がキュウリでは増収や燃料費の節減に結びつき、施設栽培における実用効果の高いことを報告した¹⁴⁾。

このように作物の内的要因を加味して果菜類の栽培温度を設定するに当たっては、光合成の能率やその生産物の動向など作物の生理的活動の前歴を無視することはできない。そこで栽培管理中最も影響の大きい光と温度の条件を組合せた前歴が光合成速度や乾物生産に及ぼす影響を明らかにし、更にこの結果を実際栽培により実証しようとした。

この研究を遂行するに当たり、ご指導、ご校閲を賜った千葉県農業試験場野菜研究室長荻原佐太郎氏、ならびに実験の際ご助言ご指導をいただいた農産加工研究室の新堀二千男氏・公害研究室の松岡義浩氏に深謝の意を表す。

II 前日の天候と夜温がキュウリ・トマトの光合成に及ぼす影響

キュウリの夜間の発育限界温度といわれる7~10℃では光合成産物の転流機能が低下し、葉内にデンプンなど炭水化物類の過剰蓄積がおこる¹⁴⁾。一方、炭水化物類の過剰蓄積や転流速度の低下は光合成活動を抑制す

る^{10,11,16,17)}。したがって或る期間低夜温にした場合のキュウリの俗称“カンザシ”や葉が捲き上ったり、小葉になる生育阻害の現象は転流機能の低下にともなう炭水化物類の過剰蓄積が翌日の光合成速度を低下させるからであろうと推察される¹⁴⁾。そこで果菜類の天候別の適夜温を驗知するに当たって、天候と夜温を組合せ、その適否を翌日の光合成速度により判定できるものと思われた。またその原因などについては葉内の炭水化物類など、果菜類の体内の内的変化から驗知しようとしてキュウリとトマトで実験を行った。

1. 材料および方法

キュウリは1月3日には種し、1月15日にクロゲネカポチャにつき木した“夏埼落3号”(埼玉原種育成会)を、トマトは1月3日には種した“ハウスほまれ”(サカタ種苗)を供試した。もみがらくん炭育苗法により育苗した苗を、キュウリは2月8日(晴天, 5葉苗), 2月9日(曇天, 5葉苗)の17時に、7℃, 10℃, 13℃, 16℃と変温・16℃(4h)→10℃(夕方5時から9時まで4時間を16℃にしその後翌朝まで10℃にする)の、トマトは3月2日(晴天, 5葉苗), 3月10日(曇天, 7葉苗)の17時に、5℃, 7℃, 10℃, 13℃と変温・12℃(4h)→5℃の、暗黒のグロスキャビネットに入れ、翌朝7時に連続通気の同化箱(照度40klux, 箱温25℃, 空気流量400ℓ/h)に持ち込み、赤外線炭酸ガス分析計により求めた炭酸ガスの減量から光合成に及ぼす天候と夜温の影響を検討した。

またそれぞれの区の処理前(夕方)と処理後(翌朝)の葉内の炭水化物類(デンプン, 糖)の含量を、生体10gをとり、ソモギー法により測定した。

2. 結 果

天候別の適夜温を知るため、天候と夜温を組合せ、翌日の光合成速度を測定した。

第1図に示すように光合成速度はキュウリ・トマトと

も、前日の天候によって影響を受け、曇天の場合、晴天より明らかに低下した。この傾向はトマトよりキュウリにおいて著しく、処理区において多少異なるが、25%から51.3%の低下になった。しかしトマトでは12.5~34.8%の低下にとどまった。

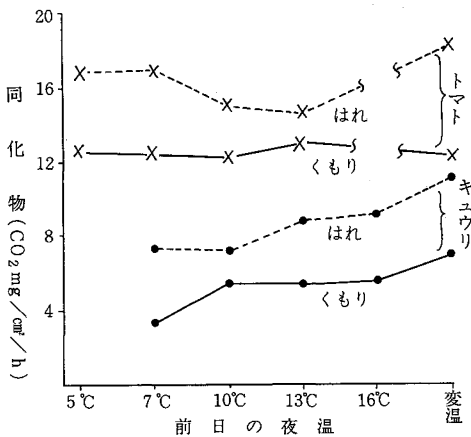
さらに前日の夜温による影響も受け、天候と同様トマトよりキュウリにおいて顕著であった。即ち、前日晴天の場合キュウリでは夜温10℃以下の区が、13℃・16℃の2区より20.1%低下したが、曇天の場合、7℃の区が、10℃~16℃の3区より34.9%低下した。しかしいずれの場合も変温区は明らかに高かった。トマトでは晴天の場合、キュウリにみられる低夜温による光合成速度の低下はなく、5℃でもほとんど変わらないが、逆に高夜温で若干低下する傾向がみられた。しかし曇天の場合、夜温の影響はほとんど認められなかった。

これらの現象がおこる原因を各夜温の葉内の炭水化物類の変化から験知しようとした。

第2図は温度処理前の夕方と処理後の翌朝の葉内の炭水化物類の含量の比較から、処理による体内成分変化をみたものである。

処理前の葉内のデンプン含量はキュウリではトマトより高く、キュウリにおいては晴天は曇天より25%高かった。夜温処理による葉内デンプン含量の変化は晴天の場合、夜温10℃以下の区で翌朝の葉内のデンプン含量が夕方の処理前の3~8%減少したが、13℃以上の区では30%以上減少した。これは低夜温区ではデンプンの糖化および転流が抑制されるが、高夜温区では順調に行われることを示している。曇天の場合も絶対量は少ないが、同様の傾向を示した。

トマトでは処理前の葉内のデンプン含量は曇天の場合



第1図 前日の天候と夜温がキュウリ・トマトの同化に及ぼす影響 (1972)

晴天の半分程度に低下した。またキュウリにみられるような葉内蓄積は認められなかった。

葉内の糖含量ははれと曇りとは異なり、処理により一定の傾向は示さなかった、これはデンプンが糖化し、糖の形で転流するため、常に増減があるためである。

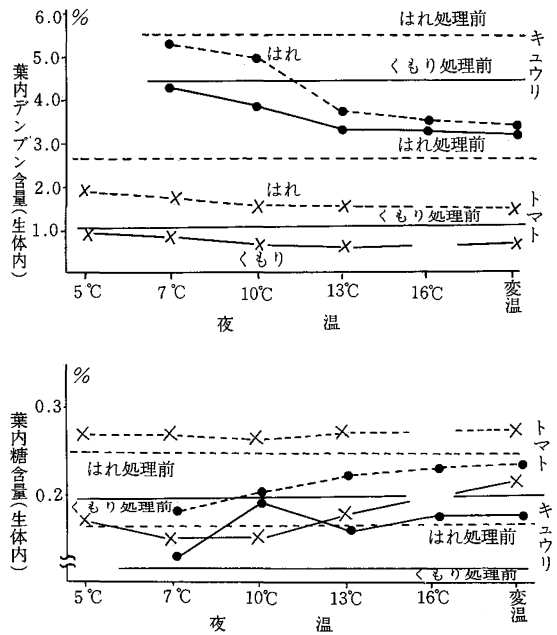
3. 考察

従来光合成活動は光の強さとともに変動し、CO₂・風速・温度・湿度などの気象要因、栄養・土壌水分・N・Kなどの土壌肥料要因、代謝速度・葉緑素含量・炭酸固定能力・葉内水分含量・光合成産物の葉内蓄積・転流速度・呼吸速度などの内的要因に影響されるという報告^{10,13,17)}がある。

本試験から前日の天候や夜温によってもキュウリやトマトの光合成速度が大きく影響されることが明らかになった。これらの気象的要因は当然作物自体の内的要因の変化に結びついたものであろうが、これらの内的要因が作物の光合成速度の変化にどの程度影響をし、その原因は何であるかを解明した報告は少ない。

これらを究明することは頭初の目的である天候別の適夜温の判定の基準を明らかにすることにもなり、かつ発育限界程度の低夜温における作物の生育阻害の原因の究明にもなりうるものと思われた。

まずキュウリの光合成速度は前日の天候の影響をうけやすく、夜温7℃の場合、前日晴天では曇天より倍以上の増加になり、最も少ない10℃でも25%の増加になった。



第2図 前日の天候と夜温がキュウリ・トマトの早朝の葉内炭水化物含量に及ぼす影響 (1972)

これを天候別にわけ、夜温の光合成速度に及ぼす影響をみると、晴天の場合10℃以下の2区が13℃以上の2区にくらべ20%低下し、曇天の場合、7℃区が10℃以上の3区にくらべ35%低下した。しかし最低気温が10℃で10時間経過する変温処理区では晴天の場合でも低下せず、逆に高くなる傾向を示した。このことは10℃の夜温が直接、細胞分裂や原形質流動などに影響して、光合成速度を低下させたのではないことを示している。

これらの現象はいずれも葉内のデンプン含量と密接な相関が認められ、晴天の場合、低夜温の2区は翌朝になっても葉内のデンプン含量が処理前である夕方の3~8%しか低下せず、10℃以下ではデンプンの糖化および転流が抑制されたことを裏付けている。このことはすなわち夜間の低温がデンプンの糖化および転流を抑制し、葉内のデンプンの過剰蓄積を引きおこし、翌朝の光合成速度を低下させたと考えてよい。このデンプンの過剰蓄積が光合成速度を低下させるという現象はトマトやサツマイモなどの報告と一致した^{11,16,17)}。葉に過剰に蓄積されたデンプン粒が光合成を抑制するメカニズムはクロロプラストまでのCO₂の拡散抵抗を増大させることやクロロプラストに吸収される光の量を減少させることなどが報告されている³⁾。

曇天の場合日中の光合成が少なく、葉内のデンプン蓄積量は晴天より20%以上低下したが、デンプンの糖化および転流に及ぼす夜温の影響は晴天とほぼ同傾向を示した。夜温7℃区は光合成速度が他の3区より40%弱低下するが、デンプンの糖化度に大差ない10℃区では低下しないことから、葉内デンプン含量の4%程度に光合成を抑制する限界線があり、両者の差があらわれたとするより、曇天で光合成産物の絶対量が低いところから、翌日の光合成速度の低下は7℃の夜温が細胞分裂や原形質流動などキュウリの体形成に直接影響を及ぼしておこったものと見るべきであろう¹⁵⁾。

以上のことからキュウリは同じ夜間の低温による生育阻害でも10℃では転流機能の低下によるデンプンの過剰蓄積が原因するが、7℃では低温が体形成に直接影響を及ぼすためと思われる、晴天は曇天よりやや高温管理しなければならないこと、栽培温度を晴天は10℃(恒温)以下に、曇天日でも7℃以下にはしてはならないこと、天候や夜温の気象要因が翌日の光合成に及ぼす影響は主に葉内のデンプンの過剰蓄積や転流速度の低下など、内的要因が原因することがあきらかになった。また夜間の変温(夕方5時から9時まで16℃にし、その後翌朝まで10℃にする)はいずれも翌日の光合成を高めるが、これは夜間の呼吸消費を抑制するためと思われる。

トマトでは晴天と曇天が翌日の光合成速度に及ぼす影響は夜温7℃の35%が最大であり、キュウリほど大きくない。また晴天の場合、5℃の低温でも光合成速度は低下せず、キュウリとは逆に10℃,13℃の高夜温で低下するという特異な傾向を示した。これは弱光期に10℃以上で栽培すると小果になり、徒長しやすくなることから、呼吸消費の増加が影響したものと思われる。一方、曇天の場合、夜温の影響はほとんど認められなかった。

これらの現象をトマト葉内のデンプン含量の変化から見ると、曇天時の含有量は晴天時の半分以下に低下した。晴天時は5℃の低温でもデンプンの糖化速度は低下せず、夜温による変化はほとんど認められなかった。曇天時も絶対量は低下するが、ほぼ同傾向を示した。したがっていずれの場合も翌日の光合成速度の温度反応とほぼ同傾向を示したことになる。

このように葉内のデンプン含有量と光合成速度とは高い相関が認められるが、糖含有量との相関はほとんど認められなかった。これは葉内でデンプンが糖化し、糖の形で転流が行なわれるため、糖の増減が常に同時に行なわれるからであろう。

このようなトマトとキュウリの前日の天候や夜温に対する反応の相異点は両者の光合成産物の転流の時間帯の差によるものと考えられた。すなわち、トマトではキュウリより同化度が高いにもかかわらず、夕方、葉のデンプン含有量が晴天の場合2.6%、くもりの場合1.1%でキュウリの半分以下であった。このことはトマトの転流は光合成をしながら主に日中行われ、キュウリは主に夜間行われることを示したことになる。この転流特性がトマトの場合、デンプンの夜間の持ち越しを少なくし、天候や夜温の影響を軽減させるが、キュウリの場合、逆にほとんど持ち越しのため、この影響が増大するものと思われる。

III 天候別の温度管理と生育・収量

天候と夜温が翌日の光合成速度に及ぼす影響からみて、曇天時は夜温を低下させるなど、天候により暖房温度を変化させる必要性が認められた。そこで栽培条件下でこれらの結果を確認しようとした。

1. 材料および方法

キュウリは1月5日には種し、1月16日に“クログネカボチャ”につき木し、2月4日に小型ガラス室(10m²)に定植した“夏崎落3号”を、トマトは10月14日には種し、12月8日に小型ガラス室に定植した“ハウスはまれ”(サカタ種苗)を供試した。

小型ガラス室においてキュウリでは夕方5時から16℃で4時間、その後翌朝まで10℃にする変温区に対して、雨や曇天時だけ転流を促進する温度を16℃から13℃にする変温処理の改良区と更に14℃恒温の従来の慣行区の3区で比較した。トマトでは夕方5時から転流を促進する温度を12℃で4時間、その後呼吸消耗を抑制する温度を7℃で翌朝まで経過する変温区に対して、雨や曇天時だけ転流促進温度を10℃にし、呼吸消耗を抑制する温度を5℃にする変温処理の改良区と更に10℃恒温の従来の慣行区の3区で比較した。これらの温度処理はキュウリ・トマトともに定植後7日の活着後に行なった。1区24株1区制である。

2. 試験結果

1日の日照時間が2時間以下を曇天としてその日の夜温は変温の改良処理を行なった。その結果キュウリの処理回数は2月に4回、3月に8回、4月に5回の17回でほぼ27%に当たった。トマトの処理回数は12月(16日から)に6回、1月に10回、2月に7回、3月に8回、4月(15日ま

で)に5回の36回ではほぼ30%に当たった。

第1表に示すようにキュウリでは生育に及ぼす温度処理の影響は少なく、積算温度の高い区ほど促進されるが、第3図に示すように収量に及ぼす影響は大きく、3月までは恒温区がまさり、4月に入って改良変温区、変温区、恒温区の順になり、その間ほぼ12%づつの差であった。トマトでは逆に、生育に及ぼす温度処理の影響は大きく、処理後20日ですでに対象の恒温区と変温区では8%、改良変温区とでは11%、いずれも積算温度の高い区ほど生育は促進された。しかし第3図に示すように収量では、その差は比較的少ないが逆転する。すなわち、3月までは恒温区がまさるが、4月以降は改良区が最も多収となり、変温区、恒温区の順になるが、その間ほぼ7%づつの差であった。

燃料費の節減程度を積算温度でみると、キュウリでは変温区は恒温区に比べ8.4%の、改良変温区は17.7%の軽減になった。トマトでは変温区に比べ7.6%の、改良変温区は15.6%の軽減になった。

第1表 天候別の温度管理とキュウリの生育

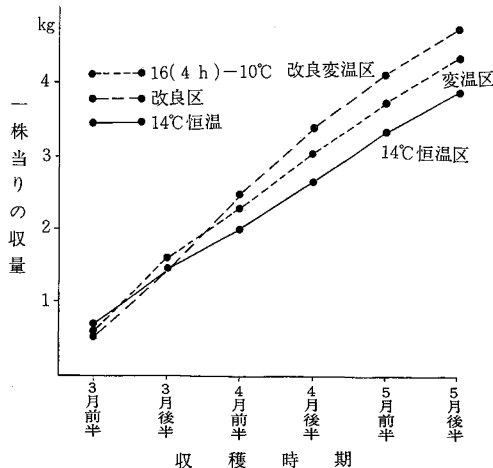
10株平均

試験区	2月15日			3月5日			3月20日			4月10日		
	草丈	葉数	最大葉長	草丈	葉数	最大葉長	草丈	葉数	最大葉長	草丈	葉数	最大葉長
変温	23.9 ^{cm}	4.3	12.0 ^{cm}	71.6	10.2	16.1	142.3	17.5	20.0	209.5	26.8	21.5
改良変温	24.0	4.3	12.2	70.3	10.0	15.8	138.7	17.1	20.1	204.2	26.4	21.5
14℃恒温	24.2	4.5	12.1	75.3	10.3	16.5	145.2	17.7	20.3	213.6	27.0	21.2

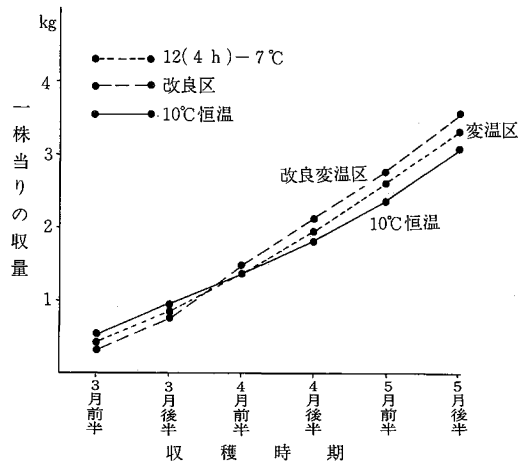
第2表 天候別の温度管理とトマトの生育

10株平均

試験区	12月15日			1月5日			2月5日			3月5日		
	草丈	葉数	最大葉長	草丈	葉数	最大葉長	草丈	葉数	最大葉長	草丈	葉数	最大葉長
変温	60.6 ^{cm}	10.4	36.3 ^{cm}	90.6	14.1	42.3	143.1	18.3	40.9	173.0	24.0	42.5
改良変温	59.7	10.4	35.8	87.6	14.3	43.7	139.7	18.5	42.6	171.2	24.2	42.7
10℃恒温	60.3	10.3	35.7	97.2	14.7	41.6	154.2	20.1	41.6	189.5	25.9	44.3



第3図 天候別の温度管理とキュウリの収量 (1973)



第4図 天候別の温度管理とトマトの収量 (1973)

3. 考 察

比較的晴天の多い冬期から春先にかけてでもほぼ30%は曇天であった。この改良変温区は変温区に対しても、総計すると、積算温度は7~9%の減少となり、燃料費節減の効果は大きかった。しかも単に燃料費の節減効果だけでなく、中後期の増収に結びついた。その効果はトマトよりキュウリにおいて大きく、処理後半の4月および処理後の5月にその差があらわれ、変温区より12%の増収になった。これは中段以降の側枝の発生がよく、落果が少なく、上物収量に結びついたためである。葉はやや小型で厚く、しかも老化しにくく、この時期の栽培にありがちな過繁茂や徒長を抑制したこともこの効果を高めたもので、呼吸消耗を抑制したことによる効果であろうと思われた。

IV キュウリ・トマトの光合成と転流の経時変化

キュウリ・トマトの温度反応は単に環境など外的条件だけでなく、光合成や転流などの作物の内的要因の影響も受けることが明らかになった。したがって作物の温度反応を解明するに当たっては、その光合成や転流など作物別の生理特性を験知する必要がある。

1. 材料および方法

キュウリは8月20日には種し、8月27日に“新土佐”カボチャにつき木し、9月7日に7寸鉢に定植した、とくに厳選した“ときわ光3号P型”(ときわ園研)を、トマトは7月1日には種し、8月10日に7寸鉢に定植し、とくに厳選した“若潮”(千葉農試)を、供試した。

トマト(13葉苗)・キュウリ(6葉苗)とも半葉法と改良半葉法(蒸気で葉柄の篩管部を遮断して行なう半葉法)を用

い、9月27日の午前6時から3時間おきに24時間、トマトは第8・9葉、キュウリは第3・4葉の乾物生産の増加および減少の経時変化を検討した。1区10株で2反覆した。

2. 試験結果

第5図はキュウリ・トマトの見かけの光合成と転流の経時変化を半葉法と改良半葉法により求めたものである。植物の葉重は光合成により増加し、呼吸と転流により減少する。転流は篩管部を通じて行われるので篩管部に蒸気を2分間あて遮断して、阻止すれば呼吸消耗を除いた増加(減少)量が出てくる。これと蒸気処理をしない葉の増加(減少)量を差し引けば転流量がでてくる。

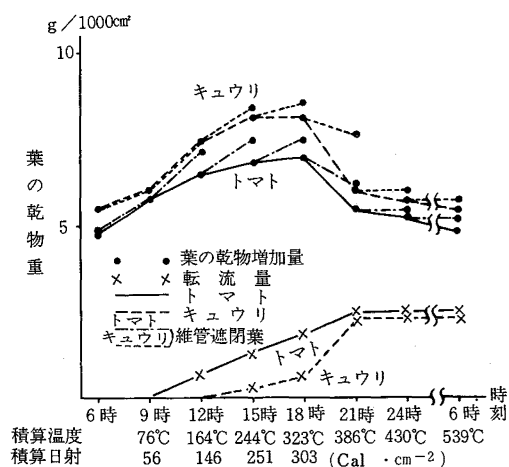
キュウリの葉の乾物増加は午前中に多く、午後は半分以下に減少したが、トマトの乾物増加は昼間ほぼ平均的に行われ、両者の光合成特性の差を示した。また転流特性も異なり、キュウリでは前夜半に多く、夕方6時から9時までの3時間で総転流量の $\frac{3}{4}$ に及ぶが、トマトでは日中でも盛んに行われ、総転流量の $\frac{3}{4}$ に及んだ。

3. 考 察

トマトの光合成や転流特性については同化箱や半葉法やトレーサ法を用いた多くの報告があるが^{6,7)}、キュウリについての報告はきわめて少ない^{8,14)}。一方それらの研究も光や温度など栽培条件下で行なわれたものはまたきわめて少ない。そのため温度との関連などで実際栽培とかけ離れた結果がでてくる。そこでハウス内の栽培条件下で、葉の乾物の増減の経時変化から両者の特性を検討したところ、同じ果菜類でも光合成および転流の主として行われる時間帯で明らかに異なった。この差は葉の構造と機能によるところが多いと考えられる。葉面積の大きいわりに、葉脈が細く、また多岐にわたっているキュウリでは日中の転流がきわめて少ないことから験知できるように、光もしくは光合成活動が転流を抑制し^{11,16,17)}、これによって生じたデンプンの過剰蓄積が光合成を抑制するという悪循環を繰返すものと思われた。このため、午後は光合成速度が低下し、また転流は前夜半に多くなる。

一方トマトでは太い葉脈を持ち、かつ複葉であるため、日中の転流は順調に行われ、光合成も日中平均的に行われるものと思われた。

これらのキュウリとトマトの転流特性の結果は葉内のデンプン含量の変化から得られた結果とほぼ一致するものであった。この試験では更にその時間帯と量などが験知でき、キュウリでは日中 $\frac{1}{4}$ 、夜間 $\frac{3}{4}$ 、トマトでは日中 $\frac{3}{4}$ 、夜間 $\frac{1}{4}$ 行われることが明らかになった。この転流特性がデンプンの葉内の蓄積量などに影響し、キュウリは夜間の、トマトは日中の温度に比較的敏感であるという温



第5図 キュウリ・トマトの見かけの光合成と転流の経時変化 (1973)

度反応の特性に結びつくものと思われた。

V 照度と昼温の組合せが乾物生産に及ぼす影響

天候の日変化に対する温度対応について明らかになったので更に晴天や曇天など或る期間継続する天候下の昼間の温度対応について検討する必要がある。

1. 材料および方法

連続天候下の昼間の適温を求めするため、照度と昼温を組合せ、7日間の株の乾物生産量でその適否を判定しようとした。キュウリは1月8日には種し、1月21日に「クロダネ」カボチャにつき木し、2月10日に7寸鉢に定植した6葉苗を、トマトは10月10日には種し、12月1日に7寸鉢に定植した「ハウスはまれ」の10葉苗と11月10日には種した3寸鉢のくん炭育苗法により育苗した苗を用いた。

処理はキュウリでは3月1日から7日間、昼温は15℃、20℃、25℃、30℃の4段階(夜温は12℃共通)のグロースキャビネットに入れ、それぞれ遮光などにより照度を20 klux, 10 klux, 4 kluxの3段階に変え、合計12区、1区10株で行った。

トマトでは12月20日から7日間、昼温は15℃、20℃、25℃、30℃の4段階(夜温は7℃共通)のグロースキャビネットに入れ、それぞれ遮光などにより照度を20 klux, 10 klux, 4 kluxの3段階に変え、合計12区、1区10株で行った。処理中の乾物の増加量を測定し、判定の基準とした。

2. 試験結果

第6図は照度と昼温を組合せ、キュウリ・トマトの乾物生産に及ぼす影響を示したものである。

キュウリ(6葉苗)の乾物重に対する処理の影響は昼温より照度の方が強くあらわれ、10klux以上では25℃~30℃の、4 kluxでは15℃の乾物重が高くなった。

一方4葉苗のトマトでは乾物重に対する処理の影響は照度間ではほとんど差が認められなかった。したがって育苗中の苗には光より昼温の影響の方が強いことになる。一方いずれの照度においても乾物重では25℃が高くなった。

10葉苗のトマトでは乾物重に対する処理の影響は逆に昼温より照度の方に強くあらわれ、10klux以上では25℃の、4 kluxでは20℃の乾物重が高くなった。

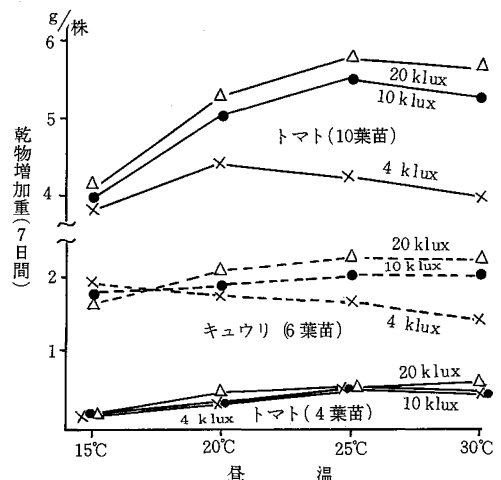
3. 考 察

温度と照度を変え、同化箱で光合成速度を測定すると、キュウリでは照度の影響は比較的少なく、25℃以上の高温では明らかに低下するが、トマトでは照度に応じて絶対量は増加し、比較的温度的影響は少なく、15~30℃の間では差がないと報告されている⁵⁾。

しかし経験的にも弱光期のトマトの促成栽培では夜温を一定にし、昼温を15℃と25℃で栽培すれば、25℃区の生育は大巾に促進されるし、キュウリでも冬期の昼温は25~30℃が適温で、20℃以下では生育は極端に低下する。すなわち光合成の温度反応と実際栽培のそれとは大きく異なり、温度と照度の光合成速度に及ぼす影響からでは天候別の適温基準を求めることができないものと思われた。これは光合成速度の測定が一日のしかもきわめて短時間であること、同化箱における光合成速度はあくまでも見かけで、生育を支配する大きな要因になりえないこと、果菜類では光呼吸がかなり多く、単なる呼吸とは同一視できないこと、光源が人工光であること、転流など生育に及ぼす他の内的要因の影響が無視されていることなどであろう。したがって或る期間同一条件下で栽培し、その間の乾物生産で比較すれば多く要因を或る程度包含し検討できるものと思われた。

この純同化の考え方を応用して照度別の適温をみたところ、育苗時のトマトでは光より温度の影響が大きく、天候にかかわらず昼間の適温は25℃であろうと思われた。定植後のトマトでは温度より光の影響が大きく晴天の場合25℃が、曇天の場合20℃が昼間の適温であろうと思われた。

キュウリでは照度より昼温の影響の方が大きく、晴天時は25~30℃が、曇天時は15℃が昼間の適温であろうと思われた。



第6図 照度・昼温の組合せとキュウリ・トマトの乾物生産 (1972)

VI 照度と夜温の組合せが乾物生産に及ぼす影響

更に或る期間継続する天候下の夜間の温度対応につい

て検討する必要があった。

1. 材料および方法

連続天候下の夜間の適温を求めめるため、照度と夜温を組合せ、7日間の乾物生産量でその適否を判定しようとした。キュウリは1月8日には種し、1月31日に「クロダネ」カボチャにつき木し、2月18日に7寸鉢に定植した6葉苗を、トマトは10月20日には種し、12月10日に7寸鉢に定植した「ハウスほまれ」の10葉苗と11月20日には種した3寸鉢のくん炭育苗の苗を用いた。

処理はキュウリでは3月10日から7日間、夜温は7℃、10℃、13℃、16℃、変温・16(4h)→10℃の5段階(昼温は25℃共通)のグロースキャビネットに入れ、それぞれ遮光などにより照度を20klux、10klux、4kluxの3段階に変え、合計15区、1区10株で行った。

トマトでは12月28日から7日間、夜温は5℃、7℃、10℃、13℃、変温・12(4h)→5℃の5段階(昼温は25℃の共通)のグロースキャビネットに入れ、それぞれ遮光などにより照度を20klux、10klux、4kluxの3段階に変え、合計15区、1区10株で行った。

2. 試験結果

第7図は照度と夜温を組合せ、キュウリ・トマトの乾物生産に及ぼす影響を示したものである。

キュウリではトマトにくらべ、照度・夜温のいずれの影響も強く受け、高夜温区では照度の差が大きくなるが、低夜温区ではきわめて小さいか、もしくは逆転した。

4葉苗のトマトでは乾物量に対する処理の影響は照度より夜温の方が強くあらわれ、高温ほど高くなる傾向を示したが、積算温度は低くても変温区が最も高かった。

10葉苗のトマトでは乾物重に対する処理の影響は逆に夜温より照度の方が強くあらわれ、4kluxの低夜温区では乾物重はきわめて低下し照度の差は大きい、高夜温区ではその差は少なくなった。しかし10kluxと20kluxの間では逆に高夜温区で差が開いた。この場合も変温区は積算温度が80%以上低いにもかかわらず、乾物重は逆に高かった。

3. 考察

裏日本など冬期の天候の悪い所では育苗や栽培中の夜温を表日本より低下させている。これは日中生産された光合成産物の量が少ないため、これまでの試験でも示されたように、必要以上の消耗をなるべく抑えようとするからである。しかしこれは一日だけの反応であり、体形成に強く影響すると思われる継続的な曇天には必ずしもあてはまらない。

また種類や生育段階にかかわらず一率に低下させてよいというものでもない。そこで純同化の手法を用いて乾

物生産から検討する必要があった。その結果キュウリは低照度下では低夜温の、高照度下では高夜温の乾物生産が高いところから、曇天が続く場合は若干低下させる必要が認められた。

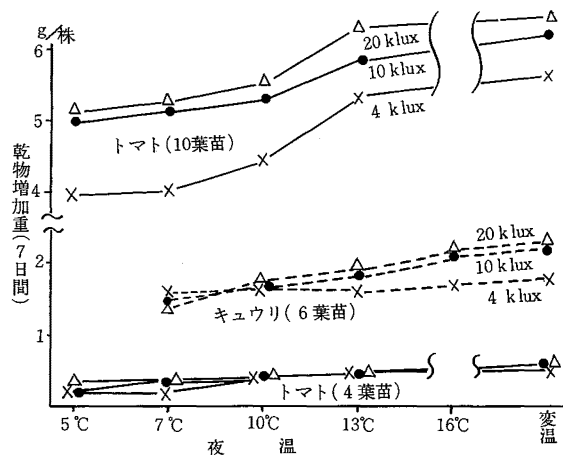
育苗時のトマトでは光の影響が比較的少ないところから、あえて天候により夜温を変える必要はなく、いずれも従来通りの10～13℃が適当と思われた。低照度下の定植後のトマトでは低夜温による乾物生産の低下が著しいことから、曇天など継続弱光下の夜温管理は若干高めめの10℃程度が、逆に継続晴天下ではむしろ低めめの7～10℃が適当であろうと思われ、従来の報告と逆な結果が得られた。しかしヨーロッパでは弱光期でもかなりの高夜温では栽培されているところから更に発展させ検討する必要がある。

VII 照度別の温度管理と生育・収量

照度と昼・夜温を組合せてキュウリ・トマトの乾物生産をみるところ、光合成速度などによって得られた従来の報告とはかなり異なるところから、栽培条件下でこれらの結果を確認しようとした。

1. 材料および方法

光条件の異なる促成と半促成栽培において昼温を検討した。キュウリは11月1日には種し、11月12日に「クロダネ」カボチャにつき木し、12月10日に小型ガラス室に定植した「夏埼落3号」の促成と1月20日には種し2月1日に「クロダネ」カボチャにつき木し、2月20日に小型ガラス室に定植した「夏埼落3号」の半促成を供試し、換気扇の始動温度を28℃、23℃、午前中28℃・午後23℃、午前中25℃・午後20℃の4区の昼温処理下で23節の挿心栽



第7図 照度・夜温の組合せとキュウリ・トマトの乾物生産 (1972)

培を行った。1区24株1区制である。

トマトは10月10日には種し、12月5日に小型ガラス室に定植した“若潮”の促成と12月10日には種し、2月9日に小型ガラス室10m²に定植した“若潮”の半促成を供試し、換気扇の始動温度を28℃、23℃、午前中28℃・午後23℃、午前中25℃・午後20℃の4区の昼温処理下で6段階摘心栽培を行った。1区24株1区制である。

寒冷紗で被覆して日射量を異にした自動温度調節温室で夜温を検討した。キュウリは11月1日には種し、11月12日に“クロダネ”カボチャにつき木し、12月12日に定植した“夏埼落3号”を供試し、転流を促進する温度16℃と13℃、呼吸消費を抑制する温度を10℃と8℃を組合せ、13℃、10℃の恒温区を加えて計6区に、それぞれに無処理と、これを100%とした相対照度の74%、57%の3段階の日照条件とを組合せ合計18区の日照と夜温下で23節の摘心栽培を行った。1区15株1区制である。

トマトは10月10日には種し、12月9日に定植した“若潮”を供試し、転流を促進する温度を12℃、呼吸消費を抑制する温度を5℃にする変温区に・10℃、7℃の恒温を対象に計3区を、それぞれ無処理を100%として、相対照度74%、57%の3段階の日照条件と組合せ、計9区の日照と夜温下で6段階の摘心栽培を行った。1区10株1区制である。

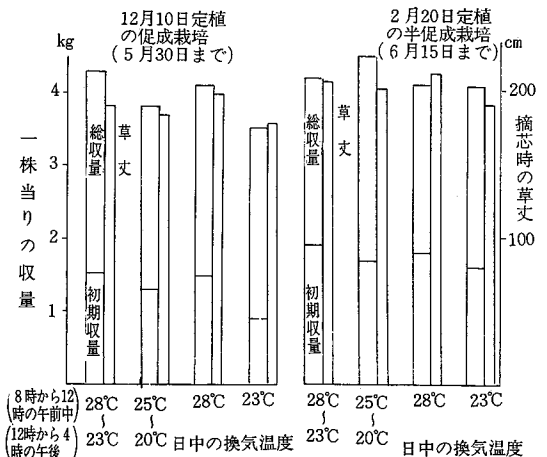
2. 試験結果

第8図に示すように12月定植の促成キュウリと2月定植の半促成キュウリの生育はいずれも昼温の積算温度の高い区がややまされた。促成栽培の初期および総収量もほぼ同傾向を示し、やや高温の変温区および28℃区がまされたが、半促成栽培では温度の影響は比較的少なく、午前中25℃、午後20℃のやや低温の変温区が若干ま

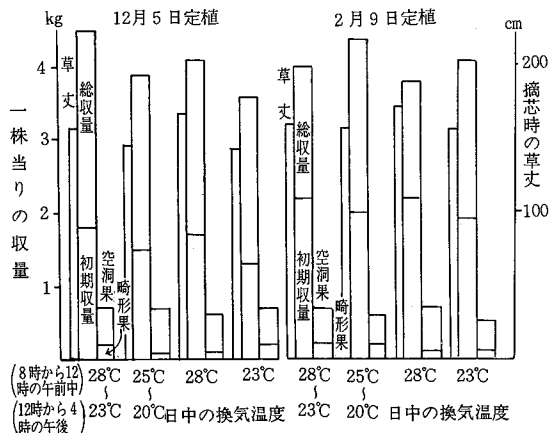
た。

第9図に示すように12月定植の促成トマトと2月定植の半促成トマトの生育はいずれも昼温の積算温度の高い区がまされた。促成栽培の初期および総収量もほぼ同傾向を示し、やや高温の変温区および28℃区がまされたが、半促成栽培では温度の影響は比較的少なく、午前中25℃・午後20℃のやや低温の変温区が若干まざる傾向を示した。日中の高温が影響するといわれる空洞果はこの温度範囲内では特に多発するものではなかった。また日中の低温が影響するといわれる畸形果も同様であった。キュウリとトマトの昼温に対する反応はほぼ同様であるが、半促成栽培のトマトではキュウリよりその差が顕著にあらわれた。

*300の寒冷紗を被覆すると相対照度は74%、防風用の寒冷紗を被覆すると57%まで低下した。この異なる照度下で7℃、10℃、12(4h) - 5℃の変温区を比較すると、草丈は遮光区のしかも積算温度の高い区が伸びるが、収量はいずれの場合も変温区がまされた。7℃と10℃の間では無処理は7℃が、相対照度の74%と57%の遮光区では10℃がまされた。遮光により空洞果は激増するが、高夜温はそれを更に助長した。キュウリでは天候に合った変温温度を知るため転流を促進する温度と呼吸消費を抑制する温度を変えたところ、草丈は相対照度57%区が最も伸びるが、小葉で明らかに徒長していた。無処理区と相対照度74%区の差は少なく、いずれも積算温度の高い変温区が伸びた。無処理区の収量は16(4h) - 10℃ > 16(4h) - 8℃ ≒ 13℃ > 13(4h) - 10℃ > 13(4h) - 8℃ > 10℃であったところから転流促進温度の16℃が、74%区では16(4h) - 10℃ ≒ 13(4h) - 10℃ > 13℃ > 16(4h) - 8℃ ≒ 13(4h) - 8℃ > 10℃であったところから呼吸



第8図 日中の換気温度とキュウリの草丈・収量(1973)
(注)夜温は16(4h)-10℃の変温初期収量は収穫開始後40日25節摘心栽培



第9図 日中の換気温度とトマトの草丈・収量・品質(1972)
(注)夜温は12(4)-5℃の変温初期収量は収穫開始後40日6段階摘心栽培

消耗抑制温度の10℃が、57%区では全般に差が少ないが、転流促進温度の低い13℃区が多収であったところから呼吸消耗の低下すなわち全体的な低温が、それぞれ増収に結びつくものと思われた。

3. 考 察

従来からトマトの施設栽培における昼間の適温は20～25℃といわれ、25℃を換気の日安としており、栽培時期が前進した現在もこの管理法を踏襲している。半促成ではこの温度で最も多収となるが、促成など生育盛期が弱光期を経過する栽培では更に5℃程度高めた方が生育もよく、また多収になった。

キュウリの昼間の適温はトマトより2℃程度低いとされていたが、促進栽培では5～7℃高く、トマトとほぼ同じところに適温が認められた。

このように昼間の温度管理法でも栽培時期の影響を強く受け、弱光期にはやや高め、強光化してくる3月以降にはやや低める必要性が認められた。また昼間でも変温の効果が認められ、果実の肥大を促進した。これは水稻などで報告されているように弱光期には温度は光を補償する¹²⁾という何らかの働きが果菜類にも認められたことになる。一方呼吸消耗をなるべく軽減しなければならないからであろう。

この試験では栽培時期のみ変え、光条件の変化を見たもので、曇天が継続するなどの日射量が更に低下した場合の適温管理は改めて検討しなければならない。

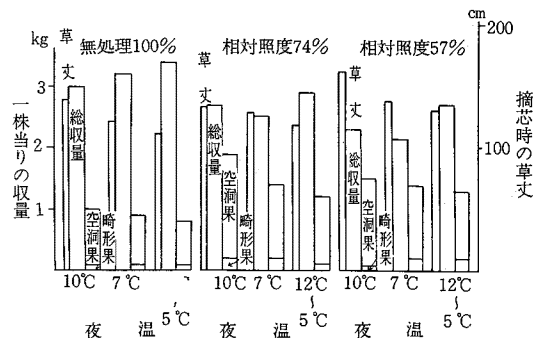
天候は日射量だけではなく温度変化もともなう。したがって寒冷紗により日射量を変化させることは必ずしも自然条件には合致しないが、日射量の異なる場合の夜温管理法を比較検討しながら求めようとした。トマトの無処理区は7℃が遮光区は10℃が多収となり、高照度下では低夜温に、低照度下では高夜温に、する必要があり、

従来の報告やその日の天候に合せた夜温管理と連続天候下の夜温管理とでは明らかに異なるものと思われた。

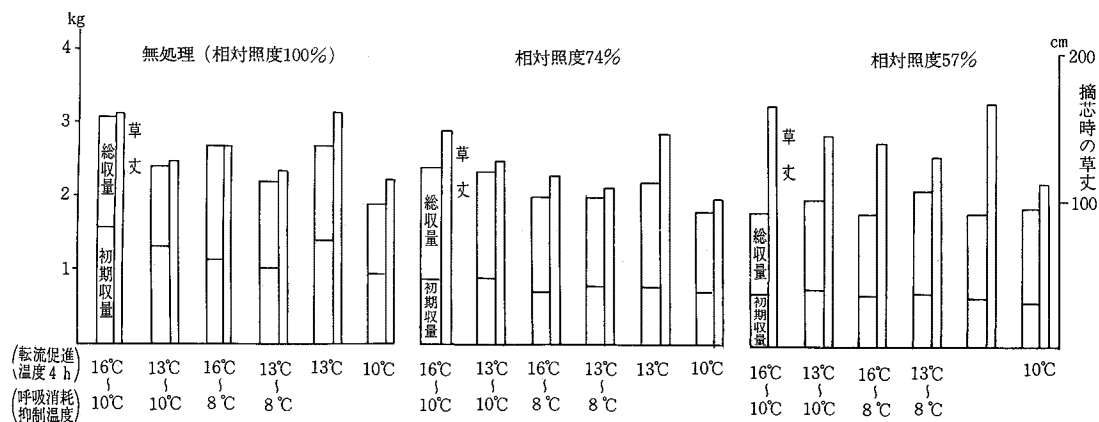
キュウリでは連続天候下の夜温管理も、日々の天候に合わせた夜温管理も同傾向を示し、高照度下では高夜温に、低照度下では低夜温に、する必要であり、一方、無処理区では転流を促進する温度の16℃が、相対照度74%区では呼吸消耗を抑制する温度の10℃が、57%区では転流を促進する温度の13℃が、増収に結びついたことから、変温管理もそれぞれの天候に合わせて行うべきであろう。

VIII 総 括

キュウリ・トマトなど果菜類の栽培適期は初夏である。したがって適昼温は20～30℃、適夜温は15～25℃である。施設栽培における冬期の温度管理もこれに準ずればよいことになるが、とくに夜間はこの温度で栽培すれば徒長して、寿命が短くなり、とうてい多収は望めない。実際にはこの温度より5～10℃低下させて栽培している。この両者の違いは夏と冬の栽培時期の差、すなわち日射



第11図 照度・夜温の組合せとトマトの収量・品質 (注) 昼温は25℃ 5段摘芯栽培 (1972)



第10図 照度・夜温の組合せとキュウリの草丈・収量 (1973) (注) 初期収量は収穫開始後30日20節摘芯栽培

量や日長など光条件の差、すなわち光合成産物の量の差からくるものであろうと思われた。そこで作物の温度反応を単に生育など量的変化からみるだけではなく、光合成産物の転流や蓄積など内的要因との関連についても解析しなければならないと思われた。

作物の生育に及ぼす内的要因は代謝速度、葉緑素含量、炭酸固定能力、葉内水分含量、光合成産物の葉内蓄積、転流速度、呼吸速度などが知られている^{9,10,13)}。このうち施設栽培における外的条件から内的変化を引きおこし栽培に直接影響すると思われるものに光合成産物の葉内蓄積、転流速度、呼吸速度などあげられる。この内的要因に最も影響する環境は天候と温度である。そこで果菜類の温度管理に及ぼす天候の影響について内的要因をふまえ、光合成速度や乾物生産から検討した。

まず天候の日変化に応じて温度管理を行う必要がある。キュウリでは前日の天候や夜温によって、その日の光合成速度は大きく異なり、曇天は晴天より25~51.3%、低夜温は高夜温より20~35%低下した。これは葉内のデンプン含量に関連しておこるもので、晴天時は光合成産物が多いが、キュウリの場合日中の転流はきわめて少なく、主に夜間転流する特性を持つ。一方夜温が10℃以下の場合には転流量がきわめて少なく、翌朝まで多量のデンプンを持ちこす。このデンプンの過剰蓄積が翌日に影響し光合成速度の低下となってあらわれるものと思われた。デンプンの蓄積が少ないにもかかわらず曇天の場合はこの低下が夜温7℃でおこることから、晴天、曇天にかかわらず7℃以下では細胞分裂や原形質流動などキュウリの体形成に直接影響を及ぼす¹⁵⁾ためと思われた。したがって低温で生育が阻害される理由は2つ考えられ、白イボキュウリの生育限界温度といわれる8~10℃では転流機能の低下によるデンプンの過剰蓄積が翌日の光合成速度を低下させるからであり、7℃以下では細胞分裂や原形質流動などキュウリの体形成に直接影響するからであろう。このことはキュウリの栽培温度が晴天時は10℃、曇天時は7℃が限界であり、これ以下にしてはならないこと、またそれがそれぞれの天候の呼吸消耗を抑制する温度でもあること、相対的に晴天時の夜温は高めに、曇天時は低めにする必要があることを示すものであった。

トマトでは前夜温の光合成速度に及ぼす影響はきわめて少なく、5℃の低夜温で栽培してもほとんど変りはなかった。曇天時はさらにその差が少なくなる。トマトの転流特性をみると、日中光合成をしながら転流も同時に行うので光合成産物の夜間の持ち込みが少ないからであろう。

デンプンの過剰蓄積が光合成を低下させるメカニズム

はまだ明らかではないが、デンプン粒がクロロプラストまでのCO₂の拡散抵抗を増大させること、クロロプラストに吸収される光の量を減少させるなど報告されている³⁾。

キュウリとトマトの前夜温に対する反応の大きく異なる原因はキュウリとトマトの内的要因の変化をもたらす転流特性の違いからくるのであろう。すなわちトマトでは日中光合成を行ないながらも転流し、その割合は昼間 $\frac{1}{4}$ 、夜間 $\frac{1}{4}$ となり、夜間の持ち込みがきわめて少ない。このためトマトでは夜温の影響は比較的少なく、5℃の低夜温でも特別異常は認められないが、逆に昼温の影響は大きくなるものと思われた。

キュウリの昼・夜の転流割合は昼間 $\frac{1}{4}$ 、夜間 $\frac{1}{4}$ で主に夜間行なわれるため、昼温より夜温の影響を敏感に受ける。したがって低夜温では転流を阻害され、葉内にデンプンの過剰蓄積をおこし、生育阻害の原因となる。

このようなキュウリとトマトの転流特性の差は葉の構造と機能によるところが多いと思われる。すなわち、大きな葉面積を持ちながら比較的細くかつ多岐にわたる葉脈を持つキュウリでは炭酸固定をするクロロプラストの多い葉肉細胞から末端導管組織への物質の移行に多くのエネルギーを必要とし、一方末端導管組織から葉脈への移行も昼間は渋滞しがちになる¹⁸⁾。これに対しトマトでは太い葉脈を持ち、かつ複葉であるため、日中の転流は順調に行なわれるものと思われた。

このような葉の構造および機能の違いから転流の時間帯の差となり、前述の温度反応の差となってあらわれるものと思われた。

その日の天候に合わせて温度管理をする場合の基準として、従来は照度と温度を組合せ、同化箱における光合成速度から求めた。しかしこのようにして得られた結果はトマトでは照度に応じて光合成速度は高まるが比較的温度的影響は少なく、15~30℃の間では差がない⁵⁾。一方キュウリでは25℃以上が逆に低下するというもので、経験的にもうなずけない。キュウリやトマトの促成栽培では昼温を25℃以上で管理しており、20℃以下では生育は極端に低下するからである。このような相違点がでてくる原因の一つとして同化箱における光合成速度はあくまで見かけで、生育を支配する大きな要因にはなり得ないこと、果菜類では光呼吸が多く、単なる呼吸と同一視することができないこと、光源が人工光であること、転流の影響など生育に及ぼす他の内的要因の影響が無視されていること、同化箱の測定がきわめて短い時間におけるものであることなどが考えられる。

そこで或る期間一定条件下で栽培し、その間の乾物生

産で比較する純同化測定の手法を用いたところ定植後のトマトでは晴天時は25℃、曇天時は20℃が、キュウリでは晴天時は25～30℃、曇天時は15℃が、天候に合せた昼間の適温であろうと思われた。

表日本や裏日本などでは冬期の天候は比較的継続化する。従来、天候の悪い地帯では低夜温で栽培することが一般化しているが、極端な短日のしかも弱光のオランダなどの北欧では15～20℃の高夜温で栽培するといわれ、必ずしもその日の天候に合せた夜温管理と連続天候下の夜温管理は一致しないものと思われた。そこで或る期間同一条件下においてその乾物生産をみるいわゆる純同化の手法を用いて検討した。育苗時のトマトでは光の影響が少なく10℃以上の乾物重が高かったところから、天候にかかわらず10～13℃が適温と思われ、従来の育苗温度と変りなかったが、定植後は曇天続きの場合、やや高め10℃に、冬期の晴天続きの場合(10～20klux)、逆に5～7℃の低温にする必要が認められ、曇天時には低下させるその日の天候に合せた温度管理とは逆の結果になった。これは短日弱光期にかなりの高夜温で栽培する北欧の結果と一致するものであった。

キュウリではその日の天候に合せた温度管理と一致し、曇天続きの場合は若干低下させる必要が認められた。

これらの結果を実際栽培の温度管理に組み込み実用化をはかるためには、栽培により実証しなければならない。曇天の日だけ夜温を低下させる改良変温法は加温期間だけでもその処理日数は27～30%に及び、総計すると積算温度は普通の変温処理より更に7～9%の節減につながった、一方呼吸消耗を軽減するためか、トマトでは変温区より7%、慣行の8℃恒温より14%の増収になり、キュウリでは変温区より12%、慣行の13℃恒温より20%の増収になった。

光条件が作物に及ぼす影響は天候だけではなく、作型によってもかなり変化してくる。生育盛期が最も弱光期を経過する促成栽培ではキュウリ・トマトとも25℃を換気の目安としてきた従来の昼温管理より5℃程度高めた方が生育・収量ともすぐれていたところから、弱光期の昼温はやや高め、強光化してくる3月以降はこれよりやや低下させる必要が認められた。

天候が作物に及ぼす影響は単に日射量だけではなく、当然温度変化も伴う。したがって寒冷紗によって日射量を変えることは自然条件に必ずしも合致しないが、日射量の異なる場合の夜温管理を比較しながら求めようとした。トマトの無処理は7℃が、遮光区は10℃が多収となったところから、連続天候下の夜温管理はその日の天候に合せた夜温管理と異なり、表日本など冬期の晴天続

きの場合(10～20klux)はやや低めの5～7℃が、裏日本など曇天続きの場合はやや高めの10℃程度が、適温であろうと思われた。

キュウリの場合、連続天候下の夜温管理もその日の天候に合せた夜温管理もほぼ一致し、冬期の晴天続きの場合はやや高め、曇天続きの場合はやや低下させる必要があり、夜間の変温も転流を促進する。温度をやや低下させる必要性が認められた。この様に実際栽培においても、乾物生産から求められた傾向や温度とほぼ一致するものであった。

IX 摘 要

1) 施設栽培における果菜類の栽培適温を究明するに当って、光や温度が作物の内的要因に及ぼす影響など生理面から解析しようとした。

2) キュウリでは夜温10℃以下で転流機能は低下し、葉内にデンプンが過剰に蓄積し、翌日の光合成速度を低下させて生育が悪くなる原因となった。しかしトマトでは5℃でもデンプンの過剰蓄積はおこらず、生育もとくに異常は認められなかった。

3) 両者の温度反応の差はトマトは主に昼間、キュウリは主に夜間転流するという、転流の時間帯の違いからくるものであった。

4) その日の天候に合せた夜温管理を翌日の光合成速度から求めた。晴天時の夜温は相対的に高めに、曇天時は低めに管理する必要があること、キュウリの場合、晴天時は最低を10℃以下に、曇天時は7℃以下にはしないことが明らかになった。

5) 連続天候下の温度管理を純同化の手法を用いて求めた。キュウリの昼温は晴天時、曇天時それぞれ25～30℃、15℃であり、トマトは同様に25℃、20℃であった。キュウリの夜温は晴天時、曇天時それぞれ13℃、10℃でトマトは同様に5～7℃、10℃であった。

6) これらの結果を栽培によって実証したところ、ほぼ同様の結果が得られた。

引 用 文 献

1) BOUSSINGAULT, J. B. 1868 *Photosynthesis and relation. process I.*

2) BOHNING, R. H. 1949 *Plant physiol.*, **24**, 222～240.

3) GAASSTRA, P. 1959 *Meded. Landbouwh. Wageningen*, **59**(13): 1～68.

- 4) 藤井健雄・伊東正 1962 千大園学報, 10, 71~79.
- 5) 堀 裕・巽 穰 1970, 1971 園試そ菜花き年報, 67~75, 63~70.
- 6) 堀 裕・穴戸良洋 1974 園芸学会要旨(秋), 224~225.
- 7) 久富時男 1974 園芸学会要旨(春), 234~235.
- 8) 稻山光男・村上高 1973 園学雑, 42(1), 27~34.
- 9) 伊東正 1971 園学雑, 40(1), 41~47.
- 10) —— 1963 千大園学報, 7, 1~134.
- 11) Moss, D. N. 1962 Crop Sci., 2, 366~367.
- 12) 戸刈義次・松尾高嶺 1966 稲作講座, 1~3, 朝倉書店.
- 13) 戸刈義次 1871 作物の光合成と物質生産, 養賢堂.
- 14) 土岐知久 1970 千葉農試研報, 10, 62~72.
- 15) 邨田卓夫 1972 化学と生物, 6, 370~372.
- 16) 津野幸人・藤瀬一馬 1965 農技研報, D-13, 1~131.
- 17) ——・—— 1965 日作記, 33, 230~235.
- 18) 山本友英 1971 農業技術, 26, 414~419.

Summary

1. In order to obtain the optimal thermal environment, relationship between light, temperature and internal status of the plant was determined from plant physiological point of view in growing fruit vegetables.

2. In the cucumber, translocation of assimilates was restricted extremely below 10°C of night temperature, consequently starch remained high abnormally till next morning. This starch accumulation caused the decrease in photosynthetic activity and restricted the growth of the plants. On the contrary in the tomato, this abnormal accumulation of starch and restriction of the growth were not occurred even in the plants kept at 5°C.

3. This was caused by the difference in time course of translocation of assimilates from source to sink, resulting mainly night in cucumber and day in tomato.

4. The optimal night temperature was determined in the plants exposed to different light experiences for a day by analyzing photosynthetic activity in the following day. It was shown that night temperature should be kept relative higher in case of fine day and lower in the cloudy day, and that minimum night temperature should not kept below 10°C in the fine day and 7°C in the cloudy day in cucumber.

5. Dry matter accumulation was examined in the plants grown under three light intensities in the different temperatures for 7 days. The optimal day temperatures were 25°C - 30°C and 15°C in cucumber and 25°C and 20°C in tomato during fine and cloudy days respectively. Night temperatures on the other hand, were excellent at 13°C and 10°C when fine and cloudy respectively.

6. These temperature were justified by achievement of glasshouse experiments both in cucumber and tomato.