

称号及び氏名	博士（農学）和田 光生
学位授与の日付	平成 17 年 2 月 20 日
論文名	「養液栽培によるトマトの計画的周年生産に関する基礎的研究」
論文審査委員	主査 教授 阿部 一博 副査 教授 池田 英男 副査 教授 清田 信

論文要旨

我が国の施設面積はおよそ 53,000ha であり、世界でも有数の規模である。近年、施設面積の増加はほとんど見られない中で、施設の大規模化と養液栽培面積の着実な増加が認められている。養液栽培面積は平成 13 年に 1,348ha に達しており、中でもトマトは、養液栽培面積が 418ha と最も多く、重要な作物である。これまでもトマトの生産安定に向けた多数の研究結果が報告されているが、近年の大規模施設における養液栽培の増加に伴い、施設を周年利用した計画的生産技術が必要とされてきている。

本研究では、計画的生産に適しているとされる一段栽培を主として用い、トマトの周年生産において特に問題となる冬季の低温および夏季の高温について環境制御による対策を検討するとともに、苗の周年安定生産技術についても検討した。また、高温、低温期に問題となる果実肥大と植え傷みについて植物体炭水化物代謝の面から検討した。

第 1 章 冬季における地上部および根域の温度管理に関する研究

冬季の栽培環境について、特に栽培日数に最も強く影響する気温および、低気温を補償する効果のある根域加温の影響について、品種「桃太郎」、「マルチファースト」、「TVR-2」を用いて検討した。

実験は最低気温を 5, 10, 15, 20 に設定したハウス内で、育苗時と定植後に分けて行った。育苗時は最低気温が高いほど苗の生育は促進された。苗の本葉展開数は、品種ごとに単一の直線で回帰でき、最低気温にかかわらず積算温度 100 day 当たり 1.47~1.57 枚の割合で展開したことから、開花日に影響する本葉展開速度は気温の制御により調節可能と考えられた。育苗時の最低気温は、10 以下では乱形果が多発して可販果収量が大きく減少したが、低いほど 1 果重は増加する傾向が見られた。一方定植後は最低気温が高まる

につれて収量は減少したが、収穫までの日数は顕著に短縮された。最低気温 5 と比較して 15 では、定植後の栽培期間が 21~32%短縮されたのに対し、収量減少は 0~22%であった。果実肥大速度は、'TVR-2'では、5~10 と比較して 15~20 でやや高かったものの、他の品種では最低気温の顕著な影響は見られなかった。

最低気温を 10 および 15 に設定したハウス内で根域を最低気温に対して +0~10 加温して育苗した。育苗時の根域加温は、苗の生育を促進し、最低気温 10 で発生した乱形果を減少させた。しかし、いずれの最低気温でも根域を 20 以上に加温して育苗すると、根の活性が低下して定植時に植え傷みが生じ、収量を減少させる傾向が見られた。

最低気温 5、10、15 に設定したハウス内で、定植後に根域を最低気温に対して +0~15 加温して栽培した。最低気温 5 および 10 では、定植後に根域を 15 まで加温すると、果実肥大が促進されて収量は増加したが、いずれの最低気温でも根域を 20 以上に加温すると根の活性が低下して、収量は減少した。

これらの結果から、育苗時の最低気温は、乱形果発生に影響する雌ざい分化期以前は 15 とし、以後は 10 まで低下させるのがよく、定植後の最低気温は 15 前後で管理するのがよいと考えた。また、根域温度は、育苗時、定植後ともに 15 までは加温する方がよく、最低気温を 15 以上に設定する場合には、根域は加温しなくてよいと判断した。

第 2 章 夏季における根域冷却と遮光に関する研究

夏季の栽培環境について、品種 '桃太郎' および 'マルチファースト' を用いて根域冷却による生育改善効果を調べるとともに、'桃太郎' を用いて遮光の効果についても検討した。

根域を無冷却もしくは 25 および 20 に冷却して育苗時と定植後に分けて栽培した。根域を冷却しないで育苗すると、定植時に植え傷みが発生して定植後の生育が遅延し、収量が著しく低下したのに対し、根域を冷却して育苗すると苗の生育は抑制されたものの、根の活性が顕著に高くなり、定植時の植え傷みが軽減されて、定植後の生育、収量は増加した。定植後に根域を冷却しないと、定植後間もなくしおれ始めてやがてすべて枯死したが、定植後に根域を冷却すると高温下での栽培が可能となり、さらに 20 まで根域を冷却すると、裂果の発生が抑制されて可販果収量は増加した。

このように、夏季には育苗時、定植後ともに根域を 25 以下に冷却することにより、生育、収量の改善が可能であったことから、次に根域を 25 に冷却した条件下で遮光の影響について調べた。

無遮光および 45%の遮光下で育苗したところ、育苗時の遮光は苗の生育を抑制するとともに、開花数を減少させた。また、開花時の遮光は著しい着果不良を引き起こして収量を低下させた。そこで、2月から8月まで毎月播種し、開花 10 日後より 30、55、83%の遮光を開始することとして定植後の遮光の影響を調査した。遮光程度が強くなるにつれて 1 果重が低下し、83%遮光での収量は常に無遮光よりも低かった。無遮光では平均気温が 25 以上となる時期に裂果が発生して可販果収量は低下した。遮光には裂果の発生を抑制する

効果が認められ、平均気温 25 以上の時は 30%、28 以上の時は 55%の遮光により、裂果の発生が抑制されて可販果収量は増加した。

収量は遮光に強く影響されたことから、さらに収量と積算日射量の関係について調べ、収量を予測するためのモデルの構築を試みた。株当たりの収量は積算日射量により直線で回帰された ($r^2=0.73$) が、予測のためには誤差が大きかった。そこで、回帰式の係数を平均気温により補正して積算日射量から収量を予測する以下のモデル式を構築した。

$$Y=a(R - b) ; \quad a=0.14T - 0.91, \quad b= - 3.67T^2 + 185T - 2270$$

ここで、Y は株当たりの収量 (g), R は積算日射量 (MJ m^{-2}), T は平均気温 ()

その結果、予測精度が向上し ($r^2=0.81$)、シミュレーションの結果から、平均気温が高くなるほど、積算日射量の低下に伴う収量低下が大きくなることが明らかになった。

第 3 章 苗の周年安定生産に関する研究

高品質な苗を周年で安定生産するため、まず育苗キューブのサイズと最適育苗日数との関係について調べるとともに、閉鎖型苗生産システムの活用について品種‘桃太郎’を用いて検討した。

高さ 5cm で容積を 125, 280, 500 ml としたロックウールキューブを用いて育苗したところ、定植後の草勢が強くなり過ぎずかつ高収量が得られる最適育苗期間は、それぞれ、2, 3, 4 週間であった。育苗キューブの各サイズに対する最適育苗期間には、植物体の生育段階よりもむしろキューブ内の根密度が強く影響し、キューブ容積にかかわらず根乾物重 (mg) / キューブ容積比 (ml) が 1.64 の時に定植するのが最も良く、2.0 を超えると生育が抑制されて収量が低下することが明らかとなった。

プレハブ冷蔵庫を閉鎖型苗生産システム (TPS) として利用する多段式簡易育苗装置を試作し、明期を 16 時間、明 / 暗期気温を 25 / 15 , セルトレー上面での PPFD を 250 ~ 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ とした一定条件下で苗を周年生産し、ビニルハウス育苗を対照として、生育、収量を比較した。TPS で育成した苗の生育は周年変動が小さく、地上部生体重および第 1 花房までの葉数の年間変動係数は、それぞれ対照区で 60.7 および 16.6% であったのに対し、TPS では 17.7 および 6.5% と小さくなった。TPS 育苗では夏季に植え傷みの症状が見られて収量がやや低下したが、特に冬季において定植後の生育が旺盛となり、1 果重の増加によって収量が増加し、果実糖度も高かった。TPS 育苗で苗の生育に周年変動が認められた原因について調べたところ、苗の生育および第 1 花房までの葉数と育苗ユニット内の明期水蒸気飽差との間に負の相関があることが明らかとなった。育苗ユニット内の明期水蒸気飽差は冷房装置の稼働時間の影響を受けて周年変動したことから、均質な苗を周年生産するためには湿度の制御も必要であると考えられた。

第 4 章 炭水化物代謝から見た果実肥大特性と植え痛み発生機構に関する研究

果実肥大速度は果実温度に強く影響されると言われているが、冬季に最低気温を高めて

も果実肥大が早まらなかったことと、夏季の遮光により果実肥大が抑制されたことから、これらの条件下で、レーザー判別センサーにより果実直径の変化を計測し、EDTA 法により果柄からのスクロース浸出量を測定することによって、果実肥大と果実へのスクロース転流量との関係について調べた。

冬季に最低気温 10~15 で栽培したところ、果柄からのスクロース浸出量は、最低気温 10 では終日ほぼ一定であったが、最低気温が高まるにつれて一時的に増加するものの夜間早期に低下した。また、果実肥大速度は、最低気温 10 および 15 では日中に高く夜間はしだいに低下したが、最低気温 20 では午前中に高く午後から夜間には低く推移した。夏季に無遮光および 30, 55, 83%の遮光下で栽培したところ、果柄からのスクロース浸出量、果実肥大速度ともに遮光の程度が強くなるにつれて低下した。これらのことから、冬季の高い最低気温や夏季の遮光下での栽培では、果実へのスクロース転流量が低下して果実肥大を抑制していることが明らかとなった。

第 1 章および第 2 章で示したように、定植時の植え傷みは定植前後の根域温度が低いときに軽減されたことから、定植前後の根域温度と植え傷みとの関係について、植物体中炭水化物含量の点から検討した。培養液温度を 15, 20, 25 に設定して湛液水耕し、人為的に植え傷みを発生させるために根の先端部を切断して、さらに各温度に移植した。いずれの温度でも、葉では、還元糖含量は移植直後から低下し、デンプン含量も数日後から低下した。根では、還元糖含量は移植後一旦低下した後数日で回復し、デンプン含量は移植直後より大きく低下した。移植前の培養液温度を低くすると葉および根の還元糖含量が増加し、移植前もしくは移植後に培養液温度を低くすると、移植後の各成分含量の低下が小さく、回復も早かった。これらのことから、移植前の低い根域温度は植物体中還元糖含量を高めること、移植後の低い根域温度は根の損傷に伴う呼吸量の増大を抑えて貯蔵養分であるデンプンの消費を抑制することによって、植え傷みの軽減に影響しているものと考えられた。

審査結果の要旨

我が国の施設面積はおよそ 53,000ha であり、世界でも有数の規模である。近年、施設面積の増加はほとんど見られない中で、施設の大規模化と養液栽培面積の着実な増加が認められている。養液栽培面積は平成 13 年に 1,348ha に達しており、中でもトマトの養液栽培面積が 418ha と最も多く、重要な作物である。これまでもトマトの生産安定に向けた研究結果が報告されているが、近年の大規模施設における養液栽培の増加に伴い、施設を周年利用した計画的生産技術が必要とされてきている。

本研究では、計画的生産に適している一段栽培を主として用い、トマトの周年生産において特に問題となる冬季の低温および夏季の高温について環境制御による対策を検討するとともに、苗の周年安定生産技術についても検討した。また、高温あるいは低温期に問題となる果実肥大と定植時の植え傷みの原因について植物体炭水化物代謝の面から検討した。

第 1 章では、冬季における地上部および根域の温度管理について検討した。最低気温を 5 ~ 20 に設定したハウス内において、苗の本葉展開数は直線で回帰でき、最低気温にかかわらず積算温度 100 day 当たり 1.47 ~ 1.57 枚の割合で展開したことから、開花日に影響する本葉展開速度は気温の制御により調節可能であることを明らかにした。最低気温が 10 以下の場合、育苗時の根域加温は苗の生育を促進し、定植後に根域を 15 まで加温すると果実肥大が促進されて収量は増加することを明らかにした。育苗時の最低気温は、乱形果発生に影響する雌ずい分化期以前は 15 とし、以後は 10 まで低下させるのがよく、定植後の最低気温は 15 前後で管理するのがよいと判断した。

第 2 章では、夏季の栽培環境の制御として、根域冷却による生育改善効果を調べるとともに、遮光の効果についても検討した。育苗時の根域冷却により生育は抑制されたが、根の活性が顕著に高くなり、定植時の植え傷みが軽減されて、定植後の生育と収量は増加した。定植後に根域を 20 まで冷却すると、裂果の発生が抑制されて可販果収量は増加した。遮光には裂果の発生を抑制する効果が認められ、平均気温 25 以上の時は 5 ~ 6 MJ m⁻²、28 以上の時は 4 MJ m⁻² まで平均日積算日射量を低下させる遮光により、裂果の発生が抑制されて可販果収量は増加することを明らかにした。

収量は遮光に強く影響されたことから、さらに収量と積算日射量の関係について調べ、回帰式の係数を平均気温により補正して積算日射量から収量を予測する以下のモデル式を構築した。

$$Y=a(R-b) ; \quad a=0.14T-0.91, \quad b=-3.67T^2+185T-2270$$

ここで、Y は株当たりの収量 (g)、R は積算日射量 (MJ m⁻²)、T は平均気温 ()

第 3 章では、高品質な苗を周年で安定生産するため、まず育苗キューブのサイズと最適育苗日数との関係について調べるとともに、閉鎖型苗生産システムの活用について検討した。育苗キューブの各サイズに対する最適育苗日数には、キューブ内の根密度が強く影響

し、キューブ容積にかかわらず根乾物重 (mg) / キューブ容積比 (ml) が 1.64 の時に定植するのが最も良く、2.0 を超えると生育が抑制されて収量が低下することを明らかにした。閉鎖型苗生産システム (TPS) として多段式簡易育苗装置を試作し、温度と光条件を制御して育苗したところ、TPS 育苗で苗の生育に周年変動が認められた。その原因について調べ、苗の生育および第 1 花房までの葉数と育苗ユニット内の明期水蒸気飽差との間に負の相関があることを明らかにし、均質な苗を周年生産するためには温度と光のみならず湿度の制御も必要であることを示した。

第 4 章では、炭水化物代謝から見た果実肥大特性と植え痛み発生機構について検討した。冬季に最低気温を高めても果実肥大が早まらなかったことと、夏季の遮光により果実肥大が抑制されたことから、これらの条件下で、果実直径の変化を計測するとともに、EDTA 法により果柄からのスクロース浸出量を測定することによって、果実肥大と果実へのスクロース転流量との関係について調べた。その結果、冬季の高い最低気温や夏季の遮光下での栽培では、果実へのスクロース転流量が低下して果実肥大を抑制していることが明らかとなった。定植前後の根域温度と植え傷みとの関係について、植物体中炭水化物含量の点から検討したところ、移植前の低い根域温度は植物体中還元糖含量を高めることと移植後の低い根域温度は根の損傷に伴う呼吸量の増大を抑えて貯蔵養分であるデンプンの消耗を抑制することによって、植え傷みの軽減に影響していることを明らかにした。

以上のように本研究では、トマトの栽培時における低温あるいは高温の環境下でも、地上部と地下部の温度管理や遮光の効果的な利用によって生育や収量を向上できることを明らかにし、平均気温と積算日射量によって高い精度で収量を予測できるモデル式を構築した。また、冬季の高夜温や夏季の遮光によって果実の肥大が抑制されるのは、果実へのスクロース転流量の低下が一因であり、移植時の植え傷みには、植物体内の還元糖およびデンプン含量が関与することを明らかにした。よって、学力確認の結果と併せて、博士(農学)の学位を授与することを適当と認める。