

傾斜地トマト栽培のための低コスト・閉鎖系養液栽培システムの開発

東出忠桐*・笠原賢明・伊吹俊彦・角川 修

農業・生物系特定産業技術研究機構近畿中国四国農業研究センター 765-0053 香川県善通寺市

Development of a Closed, Cost- and Energy-Saving Hydroponic System for Hillside Tomato Production

Tadahisa Higashide*, Yoshiaki Kasahara, Toshihiko Ibuki and Osamu Sumikawa

National Agricultural Center for Western region (WeNarc), National Agricultural and Bio-oriented Research Organization (NARO),
Zentsuji, Kagawa, 765-0053

Summary

To avoid problems, such as lifting soil and soil borne diseases, when growing tomatoes on hillside fields, we developed a hydroponic system for sloped land. First, we investigated an irrigation system. The drip tubes were set on contour line. After the water valve was closed, a considerable amount of drainage leaked from the lowest line. We changed the type of drip tube to that providing drainage shut off below a certain pressure and inserted check valves into the line. As a result, drainage from the lowest line stopped. Second, we developed a hydroponic system by application of the irrigation system. The supply of nutrient solution and fertilizer injectors were powered solely by water pressure, without the use of electric power or pump. As a result of growing tomatoes using the system, the yield of higher positions on the sloped greenhouse was less than that of the lower positions because of the insufficient water pressure. However, after securing the water pressure, there was no difference in yield at different positions. Finally, we developed a closed hydroponic system by improving the system. Drain of the nutrient solution was collected by slant of the ground into a reservoir tank. During the supply of nutrient solution, the collected drain in the tank was injected into the fresh solution by an aspirator that was powered by a current of water. Tomatoes were grown for about 7 months and the yield was 12.8 ton 10 a⁻¹ using this system.

キーワード： 配管，育苗装置，高低差，点滴，吐出

緒 言

四国の中山間地域では傾斜地が多く、夏季の冷涼な気候を利用して夏秋トマトなどの栽培が行われている。これらの地域では、傾斜勾配が大きく、圃場が不整形であるため、通常のパイプハウスの導入は極めて困難である。このため、畝ごとにフィルムで被覆を行う簡易雨よけ施設でトマト栽培を行っている。簡易雨よけ施設では、強風の被害を受けやすく、害虫の侵入が容易であり、降雨などの気象要因により農薬散布の効果が低くなったり、裂果などの品質低下が生じたりする場合も多い。これらの問題点を解消し、傾斜地における施設生産を可能とする目的で平張型傾斜ハウスが開発され、現地での導入が始まっている。平張型傾斜ハウスは、建設現場などで足場パイプとして用いられる 48.6 mm 鋼管およびクランプ類を材料とし、圃場の傾斜に平行な屋根面を持つハウスである。特徴としては、資材費が低価格であり、不整形な

圃場にも建設可能であることがあげられる(長崎ら, 2001; 長崎, 2002; 近畿中国四国農業研究センター, 2002)。また、傾斜地の斜面風によって自然換気が行われ、換気性が高いことも特徴のひとつである(柴田ら, 2003)。

傾斜地における野菜生産の問題は、ハウス化が困難なだけではない。傾斜地圃場では、作業や人の移動、降雨などにより、圃場上部の土が下部に向かって落ちるため、作付けの前の土揚げ作業が必須となっている。この作業は非常に労働強度が大きく、危険も伴うため、高齢化が進む生産者らに大きな負担を強いている(猪之奥ら, 2003)。また、傾斜地において夏秋トマトを生産している地域には、30年以上連作している地域が多い。これらの地域では、青枯れ病、萎ちょう病などの土壌伝染性病害が深刻となっている場合がある。これらの問題解決のため、養液栽培の導入が考えられるが、傾斜地用の養液栽培システムはこれまでに開発されておらず、平地用のシステムをそのまま利用した場合、様々な問題が生じると考えられる。そこで、著者らは、養液栽培を傾斜地で行う場合の問題点やその対策を検討し、傾斜地条件を利用

2004年1月19日 受付。2004年8月19日 受理。

* Corresponding author. E-mail: ton@affrc.go.jp

した低コストで環境保全的な傾斜地用養液栽培システムを開発したので、これらについて報告する。

材料および方法

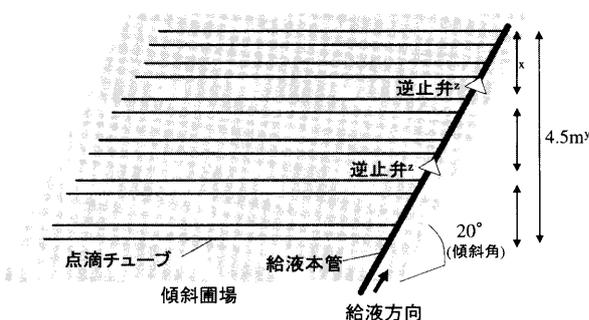
実験 1. 傾斜地における位置による給液量の違い

傾斜地圃場における給液のばらつきおよびその解消のために、位置による灌水資材からの吐出量の差異について以下のように測定した。

1-1. 傾斜地における点滴チューブからの吐出の測定

トマト養液土耕を行っている平張型傾斜ハウス(徳島県三好郡三加茂町加茂山 T氏圃場)において、点滴チューブおよび配管方法について検討した。測定した傾斜ハウスは、地面の傾斜角度が約 20° である東南東斜面に建設されており、等高線方向の長さが約 35 m、等高線に垂直方向の長さがおよそ 13 m、面積は約 4.4 a であった。使用した点滴チューブは (A) ネタフィルム社、ラム 17 (圧力補正機構付、流量 2.3 L h^{-1} 、適用水圧 $0.05\sim 0.39 \text{ MPa}$) および (B) 同社、ユニラム 17 (圧力補正機構付、流量 2.3 L h^{-1} 、適用水圧 $0.1\sim 0.39 \text{ MPa}$ 、停止圧 0.014 MPa) とした。なお、圧力補正機構とは、適用水圧の範囲では一定の吐出速度が維持される機構である。また、停止圧とは、吐出が停止する水圧のことであり、給液停止によりチューブ内の水圧が下がったとき、チューブ内に液を有した状態で保持されることとなる。

第 1 図のように等高線方向に約 1 m 間隔で 12 本の点滴チューブを配置した。このとき、一番高い給液ラインと低い給液ラインの高低差は約 4.5 m であった。給液本管の圃場下部より給液を行い、まず、点滴チューブ (A) を用いた場合の各チューブにおける給液中の吐出速度、給液停止後の吐出量と吐出終了時間を測定した。次に、点滴チューブをチューブ (B) に交換して同様に吐出を測定した。また、チューブ末端を単に折り返すだけでなく、末端へエンドキャップを設置した場合の吐出を測定した。さらに、本管の途中への逆止弁を配置した場合の吐出を



第 1 図 傾斜圃場における点滴チューブの配管方法および逆止弁の挿入箇所

² 点滴チューブ B 使用時の逆止弁挿入位置

^y 最も高い点滴チューブと最も低いチューブとの高低差

^x 逆止弁で分割された場合の給液ラインの高低差 (約 1.5 m)

測定した。吐出量の測定は、それぞれ 2~3 回、行った。

1-2. 傾斜地養液栽培システムにおける吐出の測定

近畿中国四国農業研究センター(香川県善通寺市)傾斜ハウス内に以下のように傾斜地養液栽培システムの試作を行った。傾斜ハウスは、傾斜角度 10° の北斜面に建設されており、等高線方向の長さが約 10 m、等高線に垂直方向の長さが約 20 m、面積は約 2.0 a であった。傾斜ハウス内に等高線方向に約 1.5 m 間隔で 8 列の栽培ベッドを設置した。位置的に高い列から第 1 列、第 2 列... 第 8 列とすると、第 1 列と第 8 列の高低差は約 2m であった。栽培ベッドの構造は、田中ら (1992) のロックウールシステムにしたがい、市販ロックウール栽培ベッド(誠和ベッドボックス、日東紡ロックファイバーベッド $75 \times 300 \times 910$) を各列 8 m の長さで設置した。各列 40 cm 間隔で 19 個の点滴ノズル、ネタフィルム社圧力補正付・ウッドベッカー水だれ防止 CNL ドリッパー (流量 3 L h^{-1} 、適用水圧 $0.05\sim 0.39 \text{ MPa}$ 、停止圧 0.04 MPa) を用いて給液を行った。2003 年 2 月 26 日、原水圧を 0.34 MPa とし、実験 1-1 と同様に各列の吐出の量、終了時間などを測定した。

実験 2. 傾斜地養液栽培システムによるトマト栽培試験

2-1. 育苗装置

養液栽培用の苗を育成するために第 2 図のようなエプアンドフロー方式の育苗装置を作成した。この装置では、タンクの培養液は、給水管を通してベッドに供給され、植物の底面から吸水される。ポンプが停止すると培養液はサイフォンの原理により給水管を逆流して速やかに回収される。栽培槽内の水位は調節せず、ポンプ稼動時にはタンク内の培養液のほぼ全量が栽培槽に貯留されるが、タンク内が空に近くなると、給排水管から一部が逃げ水としてタンク内に放出されるため、完全にタンクが空になることはない。栽培槽の大きさは $90 \times 360 \times 4 \text{ (cm)}$ であり、培養液タンクの容量は 200 L とした。また、低温時にはタンク内に水槽用投げ込みヒーター(ジェックス、セフティアップホットパック 300、サーモスタット付、ヒーター容量 300 W) を設置し、設定温度を 16°C として培養液の加温を行った。ポンプおよびヒーターは単極双投式 (C 接点方式) のタイムスイッチ (National, タイムスイッチ TB36109) によって制御した。すなわち、A 接点側にポンプを、B 接点側にヒーターを接続し、タイマにより A 接点が ON のとき以外は、B 接点が通電しており、ヒーターは ON となる。培養液には園試処方 50% 濃度液を使用し、培養液が不足する場合に追加した。給液は、タイマにより 1 日に 6~8 回行った。

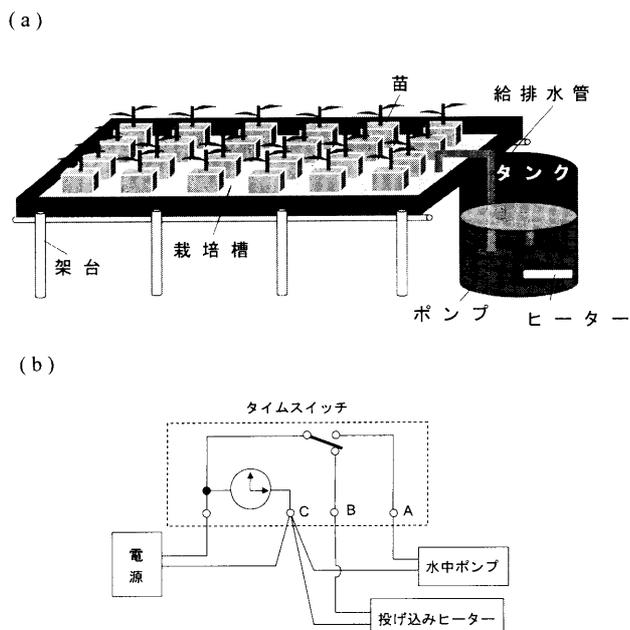
2-2. トマト栽培試験 (1)

実験 1-2 に示した養液栽培装置においてロックウールを培地としてトマトの栽培試験を行った。用いた品種は“桃太郎ファイト”で、2002 年 11 月 29 日に播種し、2003 年 1 月 1 日に $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}$ のロックウールポッ

トに鉢上げし、2-1に示した育苗装置および方法により育苗を行った。2003年1月27日、5.3葉期の苗を2条振り分け株間20 cmで、各列10個体8列の計80個体を定植した。培養液には園試処方50%濃度液を用い、タイマにより1日8~14回、給液を行った。1回の給液時間は、天候に応じて手動で1~5分間に調節し、排液は循環させずかけ流し方式とした。6段花房上1葉を残し摘心を行い、1~6段の果実収量について調査した。なお、試験開始時の原水圧は0.09 MPaであったが、周囲の水の使用状況により0.04 MPa以下まで低下する場合がたびたびみられたので、同年2月26日に原水経路を変更し、原水圧を0.34 MPaとした。

2-3. トマト栽培試験(2)-原水圧が十分な条件および吸水シートの有無の影響-

2-2と同一な養液栽培システムにおいて、原水圧が十分に確保されている状態でトマト栽培試験を行った。原水圧は0.34 MPaであり、給液時の経路内水圧は0.29 MPaとした。また、このとき、ロックウールベッドの下に吸水性の不織布(東洋紡, ジャムガード, 厚さ4 mm)を用いた場合と用いない場合の、収量などへの影響を比較した。用いた品種は“桃太郎ファイト”で、2003年1月17日に播種、同年2月10日に鉢上げし、2-2と同様に育苗を行った。同年3月3日、6.0葉期の苗を株間20 cmで、吸水性の不織布がある場合(シート区)とない場合(無シート区)につき、各列それぞれ5個体ずつ計80個体を定植した。給液および培養液管理は、2-2と同様とした。1週間ごとに草丈および葉数を調査し、6段花房上1葉を残して摘心を行い、1~6段の果実収量を調査した。

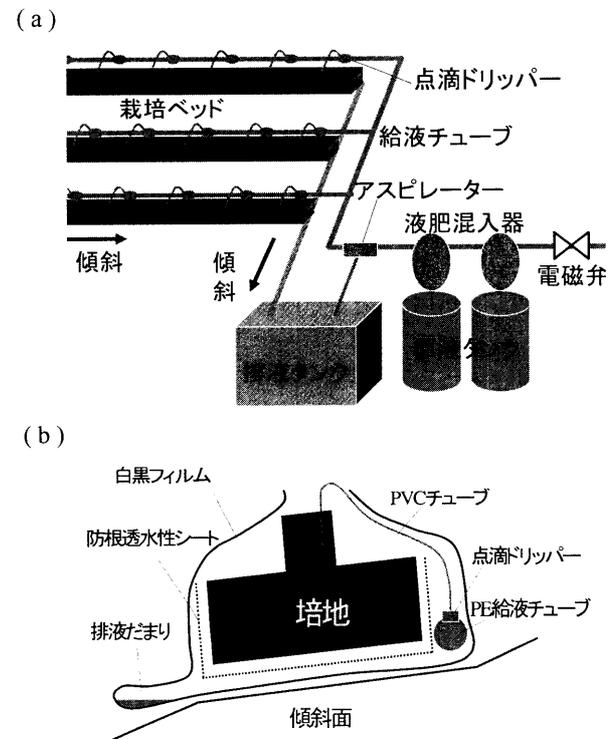


第2図 エブアンドフロー式の育苗装置の模式図(a)および配線図(b)

実験3. 閉鎖系養液栽培システムによるトマト栽培試験

傾斜地養液栽培において、使用後の培養液を系外に排出しない閉鎖系システムを作成し、トマト栽培の実証試験を行った。試験は徳島県三好郡三加茂町加茂山K氏圃場、平張型傾斜ハウス(圃場傾斜角6°, 面積約2.8 a, 等高線方向の長さ27 m, 等高線に垂直方向の長さ10.5 m)にて行った。作成した傾斜地養液栽培システムおよび栽培ベッド構造の概要を第3図に示す。

本システムは、点滴ドリッパー(ネタフィルムジャパン, 圧力補正付・ウッドペッカー水だれ防止CNLドリッパー; 流量 3 L h^{-1} , 適用水圧0.05~0.39 MPa, 停止水圧0.04 MPa), 配管, 原液タンク, ディスクフィルタ(ネタフィルムジャパン, アーカルフィルタ(Arkal Filtration System社製), 120メッシュ), 無動力式の液肥混入器(ネタフィルムジャパン, ネタトロン(TESEN社製), モデル2502, 混入比率:0.2~2%, 水圧範囲:0.02~0.59 MPa, 流量範囲:20~2500 L h^{-1}), 排液タンク(容量:1 m^3), アスピレーター(アズワン, 水流ポンプ, 1-689-02, 金属製), 電磁弁, タイマなどからなる。培養液の供給には、ポンプを用いず、取水口との高低差に由来する原水の水圧を利用した。栽培ベッドは、防根透水性シートおよび厚手の白黒フィルムにて培地スラブを包んだものとし、ベッド幅だけをテラス状に整地して設置した。その際、白黒フィルムの斜面下側にたるみをもたせ、その部分に植物に吸収されなかった培養液をいったん集めた。栽培ベ



第3図 傾斜地用の閉鎖系養液栽培システムの概要(a)およびベッド断面図(b)

ッドは、ほぼ等高線方向に設置したが、ベッドの排水が地面の傾斜を利用して排水タンクに回収されるよう留意して設置した。回収された排水は金属製アスピレーター(水流ポンプ)を用い、培養液供給時に混入して再度、給液される。アスピレーターによる排水の混入率は、給液水圧が0.31 MPaの場合、22%程度であった(笠原ら, 2003)。

栽培試験には、品種“桃太郎ファイト”を用い、2003年3月26～28日に播種、同年4月11日に鉢上げし、実験2と同様な方法で育苗した。培地にはロックウール(日東紡, ロックファイバーベッド75×300×910)を用い、同年4月25日、4葉期の苗を株間20 cmで157.5 m²に330個体を定植した。同年12月10日まで栽培を行い、草丈、葉数および果実収量について調査した。培養液処方としては同年8月29日までは圃試処方を用い、それ以降は大塚SA処方を用いた。培養液は、タイマにより1日8～14回、それぞれ100倍原液を0.5～1%の割合で給液に混入して与えた。また、1回の給液時間は、天候に応じて手で1～5分の間で調節した。排水量は、東出ら(2003)の方法で連続的に測定し、給液量と排水量の差を吸水量とした。ECセンサ(セムコーポレーション, CES-10)およびpHセンサ(同社, S5610)によって、排水タンク内のECおよびpHを連続的に測定した。温室内の日射は、放射熱センサ(Li-Cor, LI-190SB)によって連続的に測定した。

結 果

実験1. 傾斜地圃場における高低差による給液量の違い

1-1. 傾斜地における点滴チューブからの吐出

点滴チューブ(A)を用いた場合、電磁弁を開放し、ポンプ稼動状態の定常時には、1穴あたりの吐出速度に大きな差はみられなかった。しかし、電磁弁が閉鎖、ポンプ停止後には、給液ラインの最も低い場所での吐出が長時間あり、量的にも大きいことが示された(第1表)。次に、点

第1表 点滴チューブAの1穴からの水の吐出にチューブ列の高低差が及ぼす影響

| チューブ列の高低差 ² (m) | 4.0 | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 1.0 | 0 |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| 定常時吐出速度 (mL min ⁻¹) | 42.0 | 42.0 | 41.3 | 39.7 | 39.3 | 38.7 |
| 吐出終了までの時間 (sec) | 0 | 60 | 60 | 60 | 60 | 720 |
| 8分給液時の総吐出量(mL) | 305 | 330 | 328 | 340 | 330 | 520 |

²最も低いチューブ列(給液ライン)からの高低差

第2表 点滴チューブBおよびエンドキャップを使用した場合の1穴からの水の吐出にチューブ列の高低差が及ぼす影響

| チューブ列の高低差 ² (m) | 4.5 | 3.5 | 2.5 | 0.5 | 0.5 | 0 |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| 定常時吐出速度 (mL min ⁻¹) | 36.0 | 37.6 | 37.4 | 35.8 | 36.0 | 35.6 |
| 吐出終了までの時間 (sec) | 7 | 7 | 7 | 87 | 7 | 295 |
| 給液停止後の吐出量(mL) | 0 | 0 | 0 | 41 | 0 | 83 |

²最も低いチューブ列(給液ライン)からの高低差

点滴チューブ(B)に交換した場合、電磁弁閉鎖後、給液ラインの最も低い位置における吐出は19分20秒続き、吐出量は500 mLであった(データ略)。点滴チューブの末端からチューブ内に空気が入らないようにエンドキャップをつけた場合にも、給液ライン最低位置における電磁弁閉鎖後の吐出は5分程度続き、その量は83 mLであった(第2表)。さらに、本管の途中で高低差を分割するように逆止弁および電磁弁を追加した結果が第3表である。これにより給液停止後、7～20秒で吐出が停止し、また、その量も少なく、均一に灌水できることが示された。

1-2. 傾斜地養液栽培システムにおける吐出

各列の点滴ノズルからの吐出速度は、56.5～63.0 mL min⁻¹であり、高低差の影響はみられなかった。給液開始時の吐出および給液停止時の吐出停止は、ほとんど同時であり、列による時間差を計測することはできなかった(第4表)。

実験2. 傾斜地養液栽培システムによるトマト栽培

2-1. 育苗装置

作成した育苗装置によって、実験2および3で用いるための健全で均一性の高い苗が育成できた。

2-2. トマト栽培(1)

植物体の生育は、高い位置の列よりも低い列において旺盛であり、茎の太さなども大きかった(データ略)。2列ごとに果実収量について比較すると、位置的に高い1-2列および3-4列に比べ、低い5-6列および7-8列の方が収量は多かった(第5表)。

2-3. トマト栽培試験(2)-原水圧が十分な条件および吸水シートの有無の影響-

2-2と同様に2列ごとに果実収量について比較すると、ベッドの列間での有意差はみられなかった(第6表)。

培地の下に吸水シートを用いた場合の方が、葉数および茎長は大きかった。一方、収量については、シートの有無による差はみられなかった(第7表)。

第3表 点滴チューブB, エンドキャップ, 逆止弁を使用した場合の1穴からの水の吐出にチューブ列の高低差が及ぼす影響

| チューブ列の高低差 ² (m) | 4.5 | 3.5 | 2.5 | 0.5 | 0.5 | 0 |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| 定常時吐出速度 (mL min ⁻¹) | 38.4 | 39.0 | 39.4 | 36.4 | 36.4 | 38.2 |
| 吐出終了までの時間 (sec) | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 20 |
| 給液停止後の吐出量(mL) | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 7 |

²最も低いチューブ列(給液ライン)からの高低差

第4表 傾斜地養液栽培システムにおける1つの点滴ドリッパーからの水の吐出にベッド列の高低差が及ぼす影響

| ベッド列No. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| ベッド列の高低差 ² (m) | 1.9 | 1.6 | 1.3 | 1.1 | 0.8 | 0.5 | 0.3 | 0 |
| 吐出速度 (mL min ⁻¹) | 63.0 | 63.0 | 59.5 | 62.0 | 56.5 | 61.0 | 65.0 | 60.0 |
| 吐出終了までの時間 (sec) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 給液停止後の吐出量(mL) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

²最も低いNo.8ベッド列からの高低差

実験3. 閉鎖系養液栽培システムによるトマト栽培試験

本システムにおいて7ヶ月間以上のトマト栽培を行うことができ、10aあたりの果実収量は12.8トンであった。しかし、2003年5月9日、6月10日、6月21日、6月25日、7月1日、9月13日および9月29日に原水設備の問題やタイマの入れ忘れなどによる断水があり、植物体が萎ちようするトラブルがあった。また、8月初旬より

第5表 傾斜地養液栽培におけるベッド列間のトマト収量の違い

| ベッド列 ^z | 収量(g 株 ⁻¹) ^y | 収穫果数(果 株 ⁻¹) ^y |
|-------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 1-2列(上側) | 4504 ± 646 a ^x | 26.9 ± 5.5 a |
| 3-4列 | 4410 ± 791 a | 26.6 ± 4.7 a |
| 5-6列 | 5066 ± 664 ab | 27.2 ± 5.0 a |
| 7-8列(下側) | 5125 ± 665 b | 26.7 ± 4.2 a |

^z 1列が最も高く、8列が最も低い

^y 平均±標準偏差(n=19~22)

^x 同列内で異なる文字はTukey-Kramer Test, 5%水準で有意差あり

第6表 傾斜地養液栽培において原水圧が十分な場合のベッド列間のトマト収量の違い

| ベッド列 ^z | 収量(g 株 ⁻¹) ^y | 収量(果 株 ⁻¹) ^y |
|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1-2列(上側) | 5217 ± 1284 a ^x | 25.6 ± 4.6 a |
| 3-4列 | 4768 ± 928 a | 24.3 ± 4.0 a |
| 5-6列 | 5359 ± 1099 a | 25.0 ± 4.7 a |
| 7-8列(下側) | 5555 ± 1095 a | 25.9 ± 4.3 a |

^z 1列が最も高く、8列が最も低い

^y 平均±標準偏差(n=16~22)

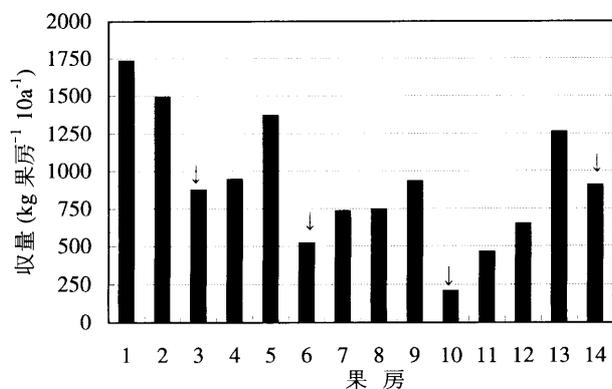
^x 同列内で異なる文字はTukey-Kramer Test, 5%水準で有意差あり

第7表 吸水シートの有無が生育および収量に及ぼす影響

| 吸水シート | 茎長 ^z (cm) | 葉数 ^z (葉) | 収量(g 株 ⁻¹) ^y |
|-------|----------------------|---------------------|-------------------------------------|
| なし | 147.6 | 21.7 | 5263 |
| あり | 159.0 | 22.8 | 5147 |
| t検定 | * | ** | NS |

^z 定植後58日目, ^y 1段~6段

** : 1%, * : 5%水準で有意差あり, NS: 有意差なし



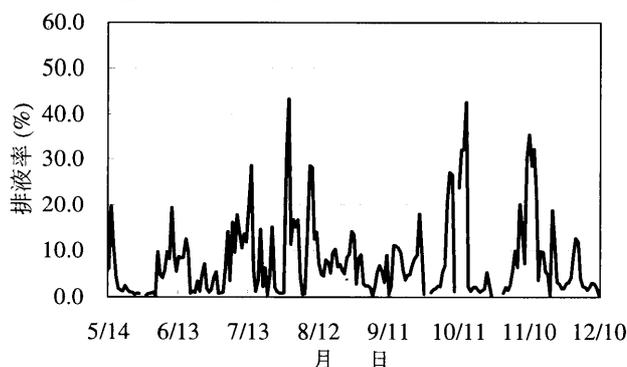
第4図 傾斜地閉鎖系養液栽培におけるトマトの果房別収量
↓は、開花時期に断水もしくは養分欠乏などがあったことを示す

葉先や葉縁が枯れるカリウム欠乏とみられる症状がみられた。果房別の収量についてみると、3-4段、6-7段、10-11段、14段果房では、収量の低下がみられた(第4図)。これらの果房の開花期は、先に述べた断水や養分欠乏などが発生した時期と一致した。同年8月29日に園試処方から大塚SA処方に培養液を変更したところ、カリウム欠乏とおもわれる症状は改善した。

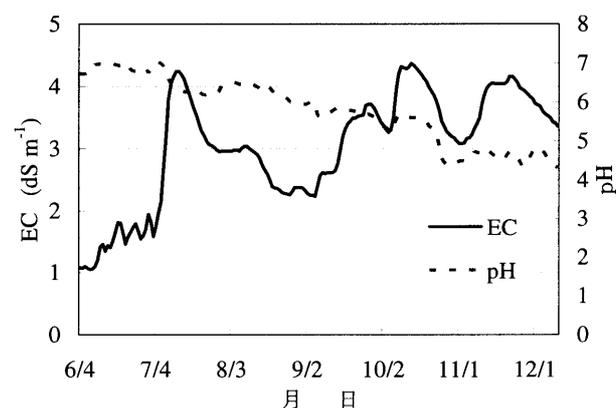
排液率は、0~40%程度の間で変動していたが、期間全体の平均は7.3%と低いものであった(第5図)。排液タンク内の培養液のECは、大きく変動しながら徐々に高く、pHは徐々に低くなる傾向がみられた(第6図)。排液率が5%以上の日の吸水量と積算日射について、収穫開始までと収穫開始後の期間に分けて調べたところ、両者には正の相関があり、積算日射と吸水量との1次回帰式がえられた(第8表)。

考察

傾斜地で点滴灌水を行う場合、圃場内の高低差に由来する水圧差によって給液の不均一が生じることが予測さ



第5図 傾斜地閉鎖系養液栽培における排液率の推移



第6図 排液タンク内のECおよびpHの推移

第8表 傾斜地養液栽培における吸水量と積算日射との相関

| | 期間 | 相関係数(r) | 1次回帰式 ^z |
|-------|-----------|---------|---------------------------|
| 収穫まで | 4/25~6/30 | 0.77 | Wu = 0.0778 · Sr + 0.0795 |
| 収穫開始後 | 7/1~12/10 | 0.80 | Wu = 0.0631 · Sr + 0.2540 |

^z Wu:吸水量(L 株⁻¹), Sr:積算日射(MJ m⁻² day⁻¹)

れる。具体的な給液ばらつきの要因としては、吐出速度の違い、吐出開始や終了の違いに由来する吐出時間の違い、給液停止後の吐出などが考えられる。平地の養液土耕栽培などで一般的に用いられる圧力補正機構付の点滴器具を用いた場合、給液中の吐出速度は高低差に関係なく、ほぼ同等であったが、給液停止後にチューブ内の水が、給液ラインの低い部位で吐出した(第1表)。そこで、一定水圧以下では吐出が停止する停止水圧付の点滴器具を用い、さらに点滴チューブ同士の水圧差がこの停止水圧以内におさまるように逆止弁などで配管を分割した。その結果、給液停止後の吐出を抑え、均一な灌水を行うことができた(第2表, 第3表, 第4表)。

傾斜地において点滴灌水を行う場合、地形や水圧によって配管方法を検討する必要がある(安養寺・Wu, 1985; 安養寺・Wu, 1986a; 安養寺・Wu, 1986b; 近畿中国四国農業研究センター, 2003)。現在の点滴器具の精度は高く、経路内に多少の水圧差があっても、給液中の吐出速度の位置的な差異は少ない。しかし、給液停止後は、管内に残留する水が低い部分に集中して漏れてくる。従って、給液(量)の不均一は配管の高低差に大きく影響されるものといえる。このとき、管の総延長が大きくなったり、給液頻度が増えたりすると給液量の不均一はより顕著になる。傾斜地における給液停止後の水だれについて、Kawashimaら(2000)は、給液経路下部に電磁弁を設置して、給液終了時に管内の残留水をいったん抜くことで対処している。このとき、抜かれた残留水はタンクに集められ、再度、ポンプアップして給液に利用するため、設備およびランニングコストが余計に必要となる。実験1で示したように水だれ防止機構付の点滴器具を用い、各ラインが停止水圧内におさまるように本管を逆止弁などで分割する方法は、こういった設備が必要なく、コスト面でも優れていると考えられる。

トマトを長期間栽培している地域では土壤病害に対応するため、接木苗を購入している場合が多く、苗コストの支出に占める割合は大きい。養液栽培では、一般に土壤病害の問題は少ないため、接木は不要となり、自家育成も容易となり、コストダウンが図られる。高品質な苗生産を行うため、育苗装置としてエプアンドフロー形式を用いる場合は多く、自作も容易である(藤原ら, 2001)。しかし、自作の装置では、水があふれたり、漏れたりするなどの事故や故障が起こる場合が多い。今回、示した育苗装置は、ベッド底部に排水口を設けないため、水漏れの危険は少ない。また、ポンプ稼動によってタンク内の液はほとんど栽培槽に注入されるが、タンク内の液量がごく少量になるとポンプは稼動していても注入は停止し、給排水管から逃げ水としてタンク内に液が戻る。これにより、ポンプが空回しになることはなく、ポンプの焼き付を防止できる。培養液の加温の際にも、単極双投式のタイムスイッチの使用により、ポンプ稼動時にヒー

ターの電源は切断される。タンクが空の状態に加温した場合、空焚きによるタンクおよびヒーターの劣化や破損をまねく。ヒーターの劣化は、漏電や感電事故の危険性だけでなく、銅などの金属の溶出による植物の障害に結びつく。実験2-1で示した育苗装置は、作成が容易で事故のおそれが少ないものと考えられる。

実験2-2では、栽培ベッドの高低差によって、収量に差異がみられた(第5表)。この原因は、原水圧低下による給液量の差に由来するものと考えられる。試験開始時の原水圧は0.09 MPa、給液中の経路内水圧は0.05～0.07 MPaであり、使用した点滴ノズルの適応可能範囲内であった。しかし、給液時に周囲の圃場や温室において水が使用されると、原水圧は0.04 MPa以下まで低下し、点滴ノズルの適用範囲以下となることがたびたびあった。このため、点滴ノズルから均一に吐出できなかったものと考えられる。これを改善するため、実験2-3では、原水経路を変更し、十分な原水圧が得られるように設定したところ、高低差のある列間においても、収量には差はみられなかった(第6表)。また、第7表に示すように、培地の下に吸水シートを使った場合には、莖長は大きくなるが、収量に差はみられなかった。吸水シートは吸収されなかった培養液を毛管現象によって再度、供給する目的で用いた。傾斜地圃場では、一般に単一斜面よりも複合斜面が多く、平地のように均一に平面化することは容易ではない。このように地面の凹凸がある圃場では、排液の滞留時間にも差異があると予測される。このため、吸水シートを用いた場合、位置的な水分状態のばらつきを生じ、生育の不均一をまねく可能性がある。従って、傾斜地養液栽培では、シートは使用しない方が安全であると考えられる。

養液栽培は、コストがかかることが導入上の問題であり、低コストで簡易な装置の研究が進められている(近乗ら1992; 佐久間, 2001)。今回、開発した養液栽培システムは、傾斜地用として初めてのシステムであるだけでなく、低コスト化が図られている。まず、給液には、原水圧を用い、無動力式液肥混入器にて給液時に培養液を調整するため、ポンプ、大容量タンクおよびECセンサなどが不要であり、タイマおよび電磁弁以外には電力を用いない。また、培地を防根シートおよびフィルムで包むだけで、ベッドを支持する容器も用いていない。また、近年、普及が始まっているハイガターシステムでは、吸収されなかった培養液は、宙吊りされたガターによって、温室構造の勾配を利用して回収されるが、本システムでは圃場の勾配を利用して回収している。さらに排液はアスピレーターによって混入するため、その動力も不要である。このように初期設備だけでなく、傾斜地の特性を利用してランニングコストについても低コスト化を図っている。なお、実験3で用いた閉鎖系システムの総資材費は10aあたり116万円程度であった。

実験3では、実際の生産者圃場において本システムによる7ヶ月間以上の栽培を行った。このとき、果房別の収量をみると、特定の果房において収量の低下がみられた(第4図)。これらの果房の開花時期は断水や養分欠乏の発生時期と一致することから、これらのトラブルが落花や不着果をまねき、収量低下の大きな要因となったと考えられる。また、断水などの影響は特定の段のみだけでなく、しばらくの間、生育に影響を残したものと思われる。

本システムでは、給液する培養液に20%程度の排水を混入して植物に与えることが可能である。従って、給液中の80%程度は新鮮な培養液であるため、養分組成の乱れによる植物への影響は、循環型システムに比べて小さいと考えられる。実験3では、排水タンク内の培養液のECは、大きく変動しながら徐々に高くなっていった(第6図)。培養液濃度が一定以上に高い場合、排水率が低いと、排水中の養分濃度が高くなる傾向がある(Higashideら, 2002)。今回は、排水率がかなり低く推移していることから、これがECの変動や上昇に大きく関与していることが推察される。今後の課題としては、排水率を制御した状態で栽培試験を行い、養分吸収を解析し、培養液管理法を策定することが必要である。

本システムで培養液を完全に利用するためには、排水率を常に20%程度以下に抑える必要がある。排水量をモニタリングし、フィードバックすることで、天候や生育の変化に応じて適正な給液を行うことが可能である(Gielingら, 2000; Higashideら, 2002)。しかし、これを行うにはコンピュータなどの設備が必要であり、中山間傾斜地を対象とする本システムに利用することは、普及性を考えると難しい。本システムの給液制御には、生産者がタイムなどを設定するフィードフォワード制御が適していると考えられる。実験3における排水率は、期間全体の平均で7.3%であり、5%以下の日も多く、給液が不足していたことがうかがえる(第5図)。排水率が5%以上の日について、積算日射と吸水量との1次回帰式をえたものが第8表である。1回の給液時間の上限を6分程度とし、最低給液間隔を30分として、第8表に基づいて時期別に給液法を検討すると、定植~6月30日では1日14回、1回につき0.8~6分間、7月1日~8月31日では1日14回、1回につき1.5~6分間、9月1日~10月31日では1日11回、1回につき1.5~5分間、11月1日~12月10日では1日9回、1回につき1.5~5分間が適当な範囲であると考察される。今後は、この目安を参考にして、天候に応じて1回あたりの給液時間を調節すれば、排水率の制御精度が向上するものと考えられる。

摘 要

傾斜地トマト栽培で問題となる土揚げ作業を省略し、土壌病害を防ぐために傾斜地用養液栽培システムを開発した。圧力補正機能付の点滴チューブを傾斜地において等

高線方向に配置した場合、給液中、定常状態での吐出速度には位置的な差異はみられなかったが、給液停止後チューブ内の水が低い位置から吐出した。一定水圧以下になると吐出が停止する点滴器具を用い、チューブ間の高低差に起因するチューブ内水圧の差が停止圧以内になるように配管を逆止弁などで分割したところ、給液停止後の吐出はなくなった。傾斜地に等高線方向にロックウールベッドを配置し、原水圧で培養液を給液する傾斜地養液栽培システムを試作して、トマトを栽培したところ、位置的に高いベッドよりも低いベッドの方において果実収量が多かった。同装置で原水圧を十分に高く設定してトマトを栽培したところ、位置的な収量の差はみられなかった。この傾斜地養液栽培システムを改良し、圃場の傾斜によって排水を回収し、アスピレーターにより無動力で再混入させる閉鎖系システムを作成した。約7ヶ月間トマトを栽培し、10aあたり12.8トンの収量が得られた。

謝 辞 本研究は、農業・生物系特定産業技術研究機構、地域先導技術総合研究「傾斜地特性を活用した野菜等の高付加価値生産技術体系の確立(2002~2006)」の1部として行われた。本試験の実施に協力頂いた徳島県三加茂町トマト生産者の谷操氏、久保春好氏および両家族のみなさま、当センター平田孝和氏、宮西克明氏および大東歩氏に深く感謝します。

引用文献

- 安養寺久男・I-pai Wu. 1985. 点滴灌漑の滴下管の設計方法に関する研究. 農土論集. 120: 11-17.
- 安養寺久男・I-pai Wu. 1986a. 点滴灌漑の給水管路の設計方法に関する研究. 農土論集. 121: 9-16.
- 安養寺久男・I-pai Wu. 1986b. 点滴灌漑の散布ブロック内の管路系の設計方法に関する研究. 農土論集. 121: 17-21.
- 近乗偉夫・安部勇徹・宝満利行. 1992. もみがらを培地とした低コスト養液栽培装置の開発. 大分県農業技術センター研究報告. 22: 97-110.
- 藤原隆宏・吉岡 宏・佐藤文生. 2001. エブ&フロー灌水と培養液へのNaCl添加によるセル成型育苗の省力化とキャベツ苗品質の向上. 農作業研究. 36(3): 153-161.
- Gieling, T. H., H. J. J. Janssen, G. Van Straten and M. Suurmond. 2000. Identification and simulated control of greenhouse closed water supply systems. Computers and Electronics in Agriculture 26: 361-374.
- Higashide, T., H. Shimaji and H. Hamamoto. 2002. Feedback control of nutrient solution supply based on flow rate of drainage in a mist culture of cucumber. Acta Horticulturae 588: 39-42.
- 東出忠桐・島地英夫・濱本 浩・高市益行・渡辺慎一・中野有加・川嶋浩樹. 2003. 養液栽培における微量排水の連続測定法とそれに基づく給液制御法. 平成14年度野菜茶業

- 研究成果情報. 35-36.
- 猪之奥康治・角川 修・岡戸敦史・田中宏明. 2003. 中山間傾斜地における土揚げ作業について(1). 農業機械学会関西支部報. 93: 42-45.
- 笠原賢明・東出忠桐・角川 修・伊吹俊彦. 2003. アスピレーターを用いて排液を再給液する養液栽培の方法. 土肥学会関西支部講要. 16.
- Kawashima, H., M. Nonaka and Y. Nagasaki. 2000. The drip fertigation system for vegetable cultivation in sloping greenhouses. Proceeding of the International Agricultural Engineering Conference 272-276.
- 近畿中国四国農業研究センター. 2002. 平張型傾斜ハウスの施工マニュアル. 近畿中国四国農業研究センター. 1-26.
- 近畿中国四国農業研究センター. 2003. 周年マルチ点滴灌水同時施肥法(マルドリ方式)技術マニュアル. 近畿中国四国農業研究センター. 1-29.
- 長崎裕司・川嶋浩樹・野中瑞生・的場和弘. 2001. 山間傾斜地に適した平張型傾斜ハウス. 機械化農業. 10: 18-23.
- 長崎裕司. 2002. 中山間傾斜地農業における作業技術研究に関する一考察. 農業機械学会誌. 64(5): 14-18.
- 佐久間青成. 2001. 低コスト簡易な養液栽培装置による葉菜類の栽培. 農及園. 76(7): 797-802.
- 柴田昇平・菅谷 博・伊吹俊彦・笠原賢明・東出忠桐. 2003. 徳島県三加茂地区における谷風と傾斜ハウスの自然換気能の関係. 中国・四国の農業気象. 16: 34-37.
- 田中和夫・安井秀夫. 1992. ロックウール栽培の実用化に関する研究. 野菜・茶業試験場報告 A(野菜・花き). 5: 1-36.