非循環式の閉鎖型養液栽培システムを用いたトマト促成長期栽培における 培養液濃度管理法

石原良行^{1,2a*}・人見秀康^{1b}・中山千知^{1c}・八巻良和³

¹ 栃木県農業試験場 320-0002 宇都宮市瓦谷町 1080

² 東京農工大学大学院連合農学研究科 183-8509 府中市幸町 3-5-8

³ 宇都宮大学農学部 321-8505 宇都宮市峰町 350

A Dynamic Control of Concentration of Nutrient Solution for a Long-Term Forcing Culture of Tomatoes in a Closed Hydroponic System

Yoshiyuki Ishihara^{1,2a*}, Hideyasu Hitomi^{1b}, Chiharu Nakayama^{1c} and Yoshikazu Yamaki³

¹ *Tochigi Prefectural Agricultural Experiment Station, Utsunomiya, Tochigi 320-0002*

² *United Graduate School of Agricultural Sciences, Tokyo University of Agriculture and Technology, Fuchu, Tokyo 183-8509*

³ *Faculty of Agriculture, Utsunomiya University, Utsunomiya, Tochigi 321-8505*

Abstract

Control of the concentration of nutrient solution for a long-term forcing culture (LTFC) of tomatoes was studied in a non-circulating closed hydroponic system that was developed in order to decrease the load on the environment. An improved nutrient solution ($\text{NO}_3\text{-N} : \text{NH}_4\text{-N} : \text{P} : \text{K} : \text{Ca} : \text{Mg} : \text{S} = 7.0 : 0.2 : 2.1 : 5.6 : 2.9 : 1.0 : 1.1 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$) was applied in both LTFC and normal-term forcing culture (NTFC). Nutrient solution and nitrogen supplied in LTFC increased immediately after planting and reached a maximum in mid-October, then decreased until mid-December. Thereafter, the trends of nutrient solution and nitrogen supplied were similar in both LTFC and NTFC, i.e. nutrient solution and nitrogen supplied tended to increase until late March and early February, respectively. Concentration of solution within the substrate toward greater fluctuation in LTFC, but there was no ingredient that markedly exceeded the concentration of the nutrient solution applied. It was suggested that adequate levels of EC in the supplying nutrient solution would be $1.2 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ from planting until early December, increased to $1.4 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ then lowered in February to $1.0 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$.

Key Words : culture type, nitrogen, nutrient solution

キーワード : 培養液, 窒素, 作型

緒 言

トマトのかけ流し式ロックウール耕における作型は、7月に播種、8月に定植し、10月から翌年6月まで収穫する長期間の栽培（以下、促成長期栽培という）が多い。促成長期栽培では育苗から定植頃までが気温の最も高い時期に当たり、その後徐々に気温は低下し日照も少なくなり、3月以降気温や日照が高まってくる。このように、栽培期間中の環境の変化が大きい中での給液管理は、培養液濃度は夏期は低めの $1.6 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 前後、冬期は高めの $2.4 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 前後を目安とし、給液量は養水分吸収に合わせて排液率

（排液量／給液量 × 100）を 20～30% になるよう管理することが基本（糠谷，2002）とされている。促成長期栽培では定植から栽培終了までの期間が約 10 か月に及び、肥料分を含んだ排液が施設外に多量に廃棄されることになり、環境保全面から排液のない栽培技術の確立が求められている。

著者らは、スギ樹皮培地を用いて毛管給液を併用した非循環式の閉鎖型養液栽培システム（以下、本システムという）を開発し、9月中旬に播種、10月中旬に定植し、1月下旬から5月下旬に収穫するトマト促成栽培の給液管理について検討を行った（石原ら，2006）。その結果、みかけの成分吸収濃度および梶田ら（1989）の報告を参考に作成した培養液組成（以下、改良処方という）では、大塚ハウス A 処方と比較して培地内溶液濃度が低く推移し、上段花房の直下茎径および収量が大きいことを明らかにした。今後、本システムの実用化を図るためには、促成長期栽培においても排液を出さずに安定生産できる給液管理法を確立する必要がある。しかし、促成長期栽培において排液による環

2006 年 9 月 1 日 受付. 2006 年 12 月 28 日 受理.

本報告の一部は園芸学会平成 16 年度秋季大会で発表した。

* Corresponding author. E-mail: ishiharay02@pref.tochigi.jp

^a 現在：栃木県下都賀農業振興事務所 328-0032 栃木市神田町

^b 現在：栃木県芳賀農業振興事務所

^c 現在：栃木県河内農業振興事務所

第1図 毛管給液を併用した非循環式・閉鎖型養液栽培システムの栽培槽の構造

境への負荷を軽減することを目的とした研究は少なく(磯崎ら, 2005), 非循環式の閉鎖型養液栽培では報告がみられない。

本実験では, 10月～翌年5月にかけて収穫するトマト促成長期栽培において, 本システムに適する培養液濃度管理法について検討した。

材料および方法

実験は栃木県農業試験場内の硬質フィルム施設に設置した本システム(第1図)で行った。本システムの栽培槽は, 不透水シートの上に培地台を置き, 培地台上に毛管吸水槽に垂れるように吸水シートを敷きその上に不透根シートで包まれたスギ樹皮培地を置く構造とした。培養液は, 点滴チューブにより培地上部(培地給液)および吸水シートの毛管現象を利用して培養液を貯えた毛管吸水槽(毛管吸水槽給液)より供給される。この二つの給液は独立しており, 培地給液に関しては給液時刻, 給液ECおよび1回当たりの給液量が設定でき, 毛管吸水槽給液では水位センサにより給液が制御される。

トマト品種は穂木に‘ハウス桃太郎’, 台木に‘がんばる根3号’を用いた。処理区は促成区および促成長期区の2区とした。促成区は2002年9月6日に播種, 本葉2葉期の9月24日に接ぎ木し, 本葉4葉期の苗を10月8日に本システムに定植した。促成長期区は2002年7月23日に播種し, 同様に8月5日に接ぎ木, 8月19日に定植した。定植株数は長さ5.6mのベッド(栽培槽)に24株とし, 1区当たり2反復とした。栽培槽は1.8m間隔に設置した(栽植密度約2000株・10a⁻¹相当)。

培養液には前報(石原ら, 2006)の改良処方(NO₃-N: NH₄-N: P: K: Ca: Mg: S = 7.0: 0.2: 2.1: 5.6: 2.9: 1.0: 1.1 me・

第2図 促成区および促成長期区における培地給液量と給液ECの管理

L⁻¹)を用いた。培養液濃度は電気伝導度(EC)で表し(以下, 給液ECという), 育苗中には給液ECを1.2 dS・m⁻¹とし, 適宜施用した。定植後の培地給液量および給液ECは第2図のとおりとした。なお, 5月16日以降は, 培養液ではなく井戸水のみを供給した。毛管吸水槽給液は, 1株当たり数本の根が培地底面まで伸長した時期を目安として, 促成区では10月23日, 促成長期区では9月4日に開始し, 培養液面が培地底面よりも6cm程度低下したら3cm程度の距離になるまで液を供給するよう, 水位センサで制御した。昼温は23°Cで天窓が開くように設定し, 最低夜温は温風暖房機により12°C, 最低培地温は培地下部に設置した温湯管により18°Cに保った。着果促進のため花房全体に4-CPA(トマトトーン, 100倍希釈)液を噴霧し, 着果確認後1花房当たり4果となるよう摘果した。両区とも3月26日に開花花房上の2葉を残して摘心し, 5月26日に全ての果実を収穫し実験を終了した。なお, 実験中は両区とも培養液を廃棄しなかった。

給液量は毎日記録した。培地内溶液は培地中央部に埋設したポーラスカップ(ミズツール, 大起理化工業)で7日ごとに採取し, EC(CM-30, TOA)を測定した。その後, 0.45 μmメンブレンフィルターでろ過し, イオンアナライザー(IA-100, TOA)で成分濃度(NO₃-N, NH₄-N, P, K, Ca, Mg, S)を定量した。開花日は花房内の第1花が咲いた日, 収穫日は第1果を収穫した日とし, 花房ごとに調査した。茎径は奇数段果房の収穫時に果房下1cmの短径を測定した。収穫は1週間に2回行い, 栃木県の出荷基準により可販果は80g以上の健全果および軽度の空どう果, 窓あき果, 乱形果とし, 果数および果重を調査した。

結果

培地給液量および毛管吸水槽給液量を合計した給液量は, 促成区では定植後から3月下旬まで増加傾向, その後

第1表 促成区および促成長期区における成分施用量

処理区	総施用量 (g/株)							12月16日～栽培終了時の施用量 (g/株)						
	NO ₃ -N	NH ₄ -N	P	K	Ca	Mg	S	NO ₃ -N	NH ₄ -N	P	K	Ca	Mg	S
促成区	18.7	0.5	4.1	41.7	12.3	2.3	9.3	15.7	0.4	3.5	35.5	10.5	2.0	7.8
促成長期区	29.7	0.9	6.6	64.0	19.0	3.5	14.6	16.3	0.4	3.6	36.9	10.9	2.0	8.1

第3図 促成区および促成長期区における給液量の推移
給液量は培地給液量と毛管吸水槽給液量の合計グラフ内の
の↓は毛管吸水槽への給液を開始した時期

第4図 促成区および促成長期区における窒素施用量の推移
グラフ内の↓は毛管吸水槽への給液を開始した時期

第5図 促成区および促成長期区における培地内成分濃度の推移
○：促成区，●：促成長期区

減少傾向となった(第3図)。促成長期区では定植後から増加し、10月中旬には栽培期間中で最大の1.49 L/株/日となり、10月中旬から12月中旬まで減少した後は促成区と同様な推移であった。総給液量は促成区が163 L/株、促成長期区が251 L/株、両区の推移がほぼ同様となった12月16日以降では促成区が138 L/株、促成長期区が143 L/株であった。

窒素施用量は促成区では定植後から2月上旬まで増加傾向、その後増減はあるが減少傾向であった(第4図)。促成長期区では定植後から増加し、10月中旬に最高値16.1 me/

株/日となった後は12月中旬まで減少し、その後促成区と同様な推移であった。各成分の総施用量および12月16日から栽培終了までの施用量を第1表に示した。総施用量は各成分とも促成長期区では促成区の1.6倍程度であったが、12月16日から栽培終了時までにはほぼ同じとなった。

培地内溶液の成分濃度の推移を第5図に示した。NO₃-Nは促成区では定植後に急激に低下し、1月中旬に上昇に転じるまで低い値で推移した。2月中旬以後高低を繰り返し、4月下旬より低下し5月下旬に0 me・L⁻¹となった。促成長期区でも定植後急激に低下したが、10月中下旬および12

第2表 促成区および促成長期区における果実の成長と品質

処理区	収穫果房数 (果房/株)	収量 (kg/株) ^z		1果重 (g/個)	品質別果数割合 (%)				果実生産効率 ^w (Ng・kg ⁻¹)
		全果	可販果		健全	窓あき	他 ^y	非販 ^x	
促成区	12.0	8.8 (17.6)	8.5 (17.1)	176	78	11	8	3	2.2
促成長期区	19.3	13.0 (26.0)	12.6 (25.1)	164	82	6	9	3	2.4

^z () 内の数字は 10 a 当たりの収量 (t・10 a⁻¹)^y 販売できる軽度の空どう果, 乱形果^x 小果, 尻腐れ果, 販売できない窓あき・空どう・乱形果等^w 全窒素施用量 (g) / 総果実収量 (kg) 第6図 促成区および促成長期区における茎径の推移
図中の縦線は標準誤差 (n=4) を示す

月上旬の2回高くなった後, 1月中旬からは5月上旬の1例を除き促成区とほぼ同様に推移した. Pは両区とも定植後に低下する傾向にあり, 促成区では11月上旬以降, 促成長期区では10月下旬以降0~0.7 me・L⁻¹の範囲で増減した. Kはいずれの時期も促成長期区で高く推移し, 推移の傾向は両区ともNO₃-Nとほぼ同様であった. Ca, Mgは促成区では定植後に0 me・L⁻¹付近まで低下した後2月下旬まで低い値で推移し, 3月上旬から5月上旬まで増加した後低下した. 促成長期区では, 定植後に低下してから10月中旬に高くなり, 4月上旬までCaは4~5 me・L⁻¹, Mgは1 me・L⁻¹程度で推移した後, 促成区に類似した増減を示したが, 促成区より高めに推移した. Sは促成区では定植後に低下した後, 5月中旬の1例を除き1 me・L⁻¹以下で推移した. 促成長期区でも定植後に低下したが, 10月中旬に急上昇し, 10月下旬からは促成区とほぼ同様な推移となった. 培地内溶液ECはKまたはNO₃-Nに類似した推移を示し, 促成区では0.2~1.6 dS・m⁻¹, 促成長期区では0.4~2.6 dS・m⁻¹の範囲にあった(データ略).

茎径は促成区では第1果房で最も大きく上段果房ほど小さくなる傾向であった. 促成長期区では第3果房で大きくなった後第7果房まで小さくなり, その後第13果房で最大となるパターンを示した(第6図).

第1果房の開花日および収穫日は促成区では11月14日, 1月30日, 促成長期区では9月9日, 10月30日であった(データ略). 同一果房における開花日から収穫日までの日数は, 促成区では第3果房で81日と最も長く以降上段果房

ほど短くなった. 促成長期区では第1果房が51日と最も短く, 第2果房(58日)以降第9果房(81日)まで長くなり, 以降は上段果房ほど短くなった. 収穫果房数は促成区で12.0果房/株, 促成長期区で19.3果房/株で, 促成長期区で7.3果房/株多かった(第2表). 株当たりの収量は, 総果実, 可販果とも促成長期区で約48%多かった. 1果重は促成区でやや重い傾向であった. 健全果の割合は促成長期区で高く窓あき果の割合は低かった. 総果実収量を1 kg得るのに必要な窒素量(窒素の果実生産効率 = 全窒素施用量(g) / 総果実収量(kg))は促成長期区で2.2 g・kg⁻¹, 促成区で2.4 g・kg⁻¹とほぼ同様な傾向であった.

考 察

培養液を循環して利用すると循環培養液の組成は施用培養液の組成と異なることが報告されている(木下ら, 1999; 大川・林, 1996; 安井, 1986). このような循環培養液の組成の変化を抑制し継続利用するために, 給液法(板東ら, 1988; 池上ら, 1990), 培養液組成(板東・町田, 1992), 培地資材(岩崎・千葉, 1999)について検討されているが, これらの報告における収穫果房数は6~8果房/株と少なく, 長期間の栽培における検討はされていない. 本実験では, 促成長期区の収穫果房数は促成区より7.3果房/株多い19.3果房/株であり, 定植してから9か月以上にわたり排水を出すことなく栽培でき, 収量は栃木県のかけ流し式ロックウール耕における促成長期栽培の目標とされる25 t・10 a⁻¹(石原ら, 2000)とほぼ同程度であることが示された. ここでは, 給液量, 成分施用量, 培地内溶液濃度, 収量などの調査結果から本システムによる促成長期栽培の給液EC管理について, 両区の給液量および成分施用量がほぼ同様となった12月中旬の前と後に分けて検討した.

促成長期区の給液量および窒素施用量は定植後から増加し, 10月中旬に最大値を示すことが認められた. このような推移は, 本実験の9月上旬から10月中旬の施設内平均気温が23.0°Cと生育に適した温度(青木, 1997)であったため, 花房間の開花日の日数や開花日から収穫日までの日数が短くなり, 生育, 果実肥大が早かったことによると考えられた. この間の給液ECについて, 定植から9月30日を1.2 dS・m⁻¹, 10月1日以降を1.4 dS・m⁻¹に高めたところ, 培地内溶液のNO₃-N, K, S濃度が高まった. 中野ら(2006)

は水耕で前週の日最多吸水量を指標としたトマトの窒素施用量について検討し、吸水量が 0.5 L/株/日までの生育初期の窒素施用量は 3.5 me/株/日でよいが、吸水量の増加に応じて 9.3 me/株/日まで増量するのがよいとしている。本実験では給液 EC を $1.4 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ に変更した期間の給液量の平均は 1.4 L/株、窒素施用量の平均は 14.6 me/株/日となった。給液量を同量とした場合、窒素施用量を 9.3 me/株/日とするためには、給液 EC は $1.0 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 程度となる。しかし、10 月 16 日に給液 EC を $1.4 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ から $1.2 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ に変更したところ培地内溶液の $\text{NO}_3\text{-N}$, K, S 濃度は低下傾向となり、その後も成分濃度の増加がみられなかったため、10 月上中旬の給液 EC は $1.0 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ まで下げずに $1.2 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ のままでよいと考えられた。また、定植から 9 月下旬までおよび 10 月下旬から 12 月上旬までの給液 EC は、培地内溶液濃度が比較的安定して経過したため、本実験の管理でよいと考えられた。これらのことから、促成長期栽培における給液 EC は定植から 12 月上旬まで $1.2 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ で管理することで培地内溶液濃度は安定して推移すると考えられた。

12 月中旬以降には、促成長期区の給液量、窒素施用量の推移および各成分の施用量は促成区とほぼ同様となった。培地内溶液の $\text{NO}_3\text{-N}$, P, S 濃度の推移は両区ともほぼ同じ、K, Ca, Mg 濃度は促成長期区でやや高く推移したが集積することはなかった。このことから、12 月上旬以降の給液 EC の管理は促成区と同様でよいと考えられた。なお、12 月中旬の生育ステージは促成区では第 4 花房開花期 (12 月 20 日)、促成長期区では第 10 花房開花期 (12 月 10 日) および第 4 果房収穫期 (12 月 9 日) であった。

窒素施用量と収量の関係を見ると、全窒素施用量は促成長期区では促成区の約 1.6 倍、総果実収量は約 1.5 倍であったが、窒素の果実生産効率は促成区で $2.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、促成長期区で $2.4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ とほぼ同様な傾向で、武井 (1997) の示した範囲 ($2.2 \sim 2.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) にあった。窒素の果実生産効率について、佐々木・板木 (1978) は促成長期栽培では培養液処方の違いにより $1.74 \sim 2.71 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ となり、窒素濃度が高い処方で効率が低下するとしている。景山 (1991) は 2 段どりトマトにおいて、培養液の窒素濃度を一定とする区より定量施与する区で効率が高いことを認め、窒素濃度一定区では茎と葉の乾物が定量施与区より重く、果実肥大終了後も窒素の供給を続けると茎葉の生体重が増加することを報告している。本実験でも、摘心後実験終了時期が近づくにつれて、両区とも低段から上段までの茎径が次第に大きくなり葉が濃緑で厚くなり、茎葉重は増加していった。これらのことから、培地内溶液の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が高まった 10 月中下旬の給液 EC を低め培養液の窒素濃度を低下させることや、培養液を井戸水のみ変更する時期を本実験の栽培終了 10 日前よりさらに早めることにより、窒素の果実生産効率を高めることができると考えられた。

摘 要

養液栽培による環境への負荷を軽減するために開発した非循環式の閉鎖型養液栽培システムにおいて、トマト促成長期栽培における培養液濃度 (給液 EC) 管理法について検討した。培養液には改良処方 ($\text{NO}_3\text{-N}:\text{NH}_4\text{-N}:\text{P}:\text{K}:\text{Ca}:\text{Mg}:\text{S}=7.0:0.2:2.1:5.6:2.9:1.0:1.1 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$) を用いた。促成長期区の給液量および窒素施用量は定植後から増加し 10 月中旬に最大値をとり、その後 12 月中旬まで減少した。12 月中旬からは促成区とほぼ同様な推移を示し、給液量は 3 月下旬まで、窒素施用量は 2 月上旬まで増加傾向であった。培地内溶液濃度は促成長期区では促成区と同等かやや高めに推移したが、施用培養液濃度を超えて集積する成分は認められなかった。このような培地内溶液濃度の推移から促成長期区における給液 EC の管理は、定植から 12 月上旬までが $1.2 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 、その後 2 月上、中旬まで $1.4 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 、以後低下させ 4 月上旬に $1.0 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ とする管理が適することが示唆された。

引用文献

- 青木宏史. 1997. 温度管理の実態と考え方. p. 基 403–404. 農業技術体系野菜編 2. トマト. 農文協. 東京.
- 板東一宏・町田治幸. 1992. トマトのロックウール栽培実用化技術の確立. (第 4 報) 循環方式における培養液組成が品質、収量に及ぼす影響. 徳島農試研報. 28: 35–42.
- 板東一宏・町田治幸・古藤英司. 1988. トマトのロックウール栽培実用化技術の確立. (第 2 報) 循環方式における培養液濃度及び給液法が品質、収量に及ぼす影響. 徳島農試研報. 25: 27–35.
- 池上正彦・清水光男・安田 傑. 1990. 冬春トマトのロックウール耕における栽培技術. 愛媛農試研報. 30: 36–41.
- 石原良行・人見秀康・八巻良和. 2006. 毛管給液を併用したトマトの閉鎖型養液栽培における培養液組成が培地内溶液濃度および収量に及ぼす影響. 園学研. 5: 265–270.
- 石原良行・渡辺恵美子・大島一則・駒場謙一・木村 栄. 2000. 促成トマトのロックウール栽培における給液管理. 栃木農試研報. 49: 1–14.
- 磯崎真英・小西信幸・黒田克利・佐藤法子・古田堅持・田中一久・富川 章. 2005. 排液再利用ユニットを取り付けたロックウールシステムで栽培したトマトの収量および培地内培養液の無機成分濃度の推移. 園学研. 4: 63–68.
- 岩崎泰永・千葉佳朗. 1999. 有機質資材を培地としたトマトの循環型養液栽培システムの開発. 宮城園試研報. 12: 1–11.
- 景山詳弘. 1991. 培養液の窒素濃度が水耕トマトの窒素吸

- 収と生育ならびに収量に及ぼす影響. 園学雑. 60: 583–592.
- 木下陽一・豊田光男・佐野雅俊・山田晴夫. 1999. もみがら耕装置を利用した促成トマトの養液栽培技術. 大分農技セ研報. 29: 43–57.
- 榊田正治・瀧口 武・松原幸子. 1989. 培養液濃度がトマトの収量と品質および養液成分の濃度変化に及ぼす影響. 園学雑. 58: 641–648.
- 中野有加・渡辺慎一・川嶋浩樹・高市益行. 2006. トマト水耕栽培の無機成分の日施用法における施用量が収量, 品質および無機成分吸収量に及ぼす影響. 園学雑. 75: 421–429.
- 糠谷 明. 2002. ロックウール栽培 2) 適用作物と栽培法 (1) トマト. p. 96–100. 養液栽培の新マニュアル. 社団法人日本施設園芸協会. 東京.
- 大川浩司・林 悟朗. 1996. 親水性不織布と防根シートを利用した養液栽培装置による高糖度トマト生産. (第1報) 装置の特性と高濃度培養液の施用効果. 愛知農総試研報. 28: 117–126.
- 佐々木皓二・板木利隆. 1978. 果菜類における養液栽培技術の確立に関する研究. (第2報) 数種培養液処方がトマトの生育・収量に及ぼす影響. 神奈川園試研報. 25: 52–58.
- 武井昭夫. 1997. 施肥. p. 基 335–338. 農業技術体系野菜編 2. トマト. 農文協. 東京.
- 安井秀夫. 1986. 固形培地式養液栽培の理論. 農及園. 61: 147–159.