

閉鎖型養液栽培におけるスギ樹皮培地の連用が培地の理化学性およびトマト収量に及ぼす影響

石原良行^{1,2*a}・中山千知¹・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

Physiological and Chemical Ageing of Cedar Bark Substrate and Their Effects on Tomato Yield in a Closed Hydroponics System

Yoshiyuki Ishihara^{1,2*a}, Chiharu Nakayama¹ and Yoshikazu Yamaki³

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

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

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

Abstract

Tomatoes were grown on substrates made of cedar bark to investigate the effects of decomposition changes in physiological and chemical properties of substrates, the concentrations of the components in the solution within the substrates, and the growth and yield of tomatoes. The substrates were fixed in a closed hydroponic system with a capillary uptake method. The liquid and gaseous phases of the substrates did not differ, while the solid phase decreased as decomposition proceeded. As decomposition progressed, the annual weight loss in the substrates grew smaller, CEC of the substrates increased, nitrogen absorption by the substrates decreased, and the NO₃-N level in the solution within the substrates tended to fluctuate higher. K, Ca, Mg levels in the solution within the substrates were higher in substrate used for five years than in substrates used less than three years. There were no difference in stem diameter of tomato plants at the first and third clusters, except that plants showed thinner stems on the one-year-old substrate. The yield of tomato fruits tended to be higher on two-year-old substrate than on one-year-old substrate. The yield was lowest on the five-year-old substrate. It was suggested that the substrate be replaced after five years.

Key Words : CEC (cation exchange capacity), nutrient concentration, organic substrate, three phase distribution

キーワード : 培地内溶液濃度, 三相分布, 陽イオン交換容量, 有機培地

緒 言

養液栽培は水耕と固形培地耕に大別される。設置面積は固形培地耕が大きく約 61% を占め、培地素材はロックウールが最も多い（農林水産省，2005）。ロックウール培地は、緩衝能がほとんどなく、保水力が高く水は作物が吸収しやすい状態にあることなどが特徴とされている（池田，2003）。しかし、原料が玄武岩あるいは輝緑岩と鉄鉱石の鉱滓であるため、その取り扱いにあたり人体への害や使用後の培地処理の困難さが指摘されている。このため、安全な取り扱いが可能で生産性が高く、使用後の処理の容易な培地が求められている。

近年、樹皮、ピートモス、やし殻繊維などの有機質素材を培地として利用する研究が行われるようになってきた。細川ら（2001）は、有機培地の物理性、水分保持特性を解明し、ロックウール培地と比較してスギ樹皮培地、やし殻とバーク堆肥の混合培地の実用性を認めている。スギ樹皮は国内で入手可能であり、峯岸・久地井（1989）は洋ラン類の培地に好適であると報告しており、植木ら（1999）はスギ樹皮を培地としたイチゴ養液栽培システムを開発している。全国の製材工場から排出されるスギなどの樹皮量は年間 374 万 m³ と推定され、土壌改良資材や燃料などとして利用されている一方で、排出量の 13.8% の樹皮は焼却処理されている（伊神・村田，2003）。しかし、焼却炉に関する規制が 2002 年に強化され、焼却処理が困難な状況となっており、樹皮の利用促進が求められている。

著者らは、培地にスギ樹皮を用い、培養液を培地上部および毛管現象を利用して培地下部より供給する「毛管給液を併用した閉鎖型養液栽培システム」を開発し、トマトの

2006年3月20日 受付。2006年7月13日 受理。

本報告の一部は園芸学会平成17年度春季大会で発表した。

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

^a 現在：栃木県下都賀農業振興事務所

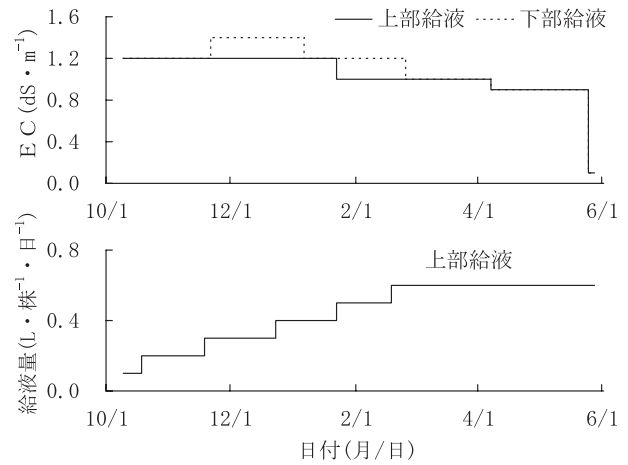
みかけの成分吸収濃度から給液管理法を明らかにした(石原ら, 2006). 糠谷(2001)は, 培地の素材に応じた養水分管理の検討に加えて, 物理的な観点から培地特性を解明する必要性を述べている. 養液栽培で2作連用したスギ樹皮は, その細胞壁の厚さおよび形状は変わらない(篠原ら, 2002)とされているが, 一方連用により腐朽や堆肥化がおこり理化学性は変化することが予測される. 細川・前田(2003)は, スギ樹皮培地で促成ナスを2作連用しても収量は変わらないとしているが, 培地の理化学性の変化については言及していない.

本実験では毛管給液を併用した閉鎖型養液栽培システムにおいてトマト促成栽培を行い, 連用した年数の異なるスギ樹皮培地が理化学性, 培地内溶液の無機成分濃度, トマトの生育および収量に及ぼす影響について検討した.

材料および方法

本実験に用いた培地素材は, スギ樹皮にヒノキ樹皮を数%混合したもの(以下, スギ樹皮という)とした. 供試したスギ樹皮培地は, 栗野町森林組合(栃木県)が近隣の製材工場から集めたスギ樹皮を約半年間野積み後, 以下のとおり作製された. 粉碎中に撥水性を軽減させるための界面活性剤を処理した後, のりを噴霧し幅 20 cm, 長さ 40 cm, 厚さ 7 cm の金型に詰め, 常圧下で 100°C の熱を 1 時間加え成型化した. スギ樹皮培地の密度は $218.7 \pm 14.3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ であった. 本実験は栃木農試場内にある硬質フィルム施設に設置した毛管給液を併用した閉鎖型養液栽培システム(以下, 本システムという)を用いて実施した.

処理区は, 本システムを用いてトマト促成栽培を行ったスギ樹皮培地の連用年数により次のとおりとした. 新品で初めて栽培に供する 1 作目を 1 年区, 1 作栽培した 2 作目を 2 年区, 同様に 2 作連用した 3 作目を 3 年区, 4 作連用した 5 作目を 5 年区として, 4 処理区を設けた. 前歴となるトマト促成栽培は, 9 月播種, 10 月定植で第 10 または 12 花房まで収穫する年 1 作の作型とした. 栽培終了後のスギ樹皮培地は井戸水 ($\text{EC} : 0.18 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$, $\text{pH} : 7.0$, $\text{NO}_3\text{-N} : 0.2 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{Ca} : 1.0 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{Mg} : 0.4 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{SO}_4 : 0.4 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$) で肥料分を洗い流し, 次作までポリエチレンで密封し保管した. さらに, 定植前に各処理区とも井戸水に十分浸漬した.



第 1 図 給液 EC および上部給液量の管理

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’を供試した. 穂木および台木とも 2003 年 9 月 9 日に播種, 本葉 2 葉期の 9 月 24 日に接木した後本葉 4 葉期の苗を 10 月 9 日に本システムに定植した. 昼温は 23°C で天窗が開くように設定し, 夜温は温湯暖房により 16°C を維持した. 第 1 花房の開花は 11 月上旬に始まり, 各花房とも 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. 4 月 1 日に第 15 花房上の 2 葉を残して摘心し, 6 月 7 日に全ての果実を収穫し栽培を終了した. 培養液組成は前報(石原ら, 2006)の改良処方の一部を変更し, $\text{NO}_3\text{-N} : \text{P} : \text{K} : \text{Ca} : \text{Mg} : \text{SO}_4 = 7.0 : 2.0 : 4.9 : 3.2 : 1.2 : 1.2 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$ とする組成, 濃度とした. 培養液濃度は電気伝導度 (EC) で表し, 給液 EC および培地上からの給液(上部給液)量は第 1 図のとおりとした. 毛管吸水槽への給液(下部給液)は, 培地底面から培養液面までの距離が 3 cm 程度になるよう適宜行った. 定植株数は 1 区当たりのベッド長 3.3 m に 14 株(栽植密度 $2300 \text{ 株} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ 相当)とし, 2 反復した.

栽培終了後に各処理区の三相分布, 湛水後の培地の重量変化, 陽イオン交換容量 (CEC) および窒素の取り込みを以下の方法で調査した. また, 処理区とは別に新品のスギ樹皮培地(以下, 新品区という)についても同様の調査を行い, 処理区と比較した. 測定点数は窒素の取り込みが 5 点, 他の項目は 3 点とした. 三相分布は, 採土管に試料を

第 1 表 スギ樹皮培地の連用が三相分布および CEC に及ぼす影響

処理区	三相分布 (%)			仮比重	CEC ($\text{me} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$)
	固相	液相	気相		
新品区	11.4 a ²	20.7 b	68.0 a	0.156 a	55.9 d
1 年区	9.6 b	34.5 a	55.9 b	0.140 ab	79.4 c
2 年区	9.3 b	33.6 a	57.2 ab	0.133 bc	96.0 bc
3 年区	7.3 c	39.8 a	52.9 b	0.122 cd	113.5 b
5 年区	7.2 c	40.8 a	52.0 b	0.106 d	140.7 a

² 同一文字間には Tukey 多重検定 ($P < 0.05$) で有意差なし

詰め、砂柱法により pF1.5 に調整したときの固相率、液相率、気相率を測定した。湛水後の培地の重量変化は、培地を井戸水に十分浸漬して本システムに移し、0.5, 1, 5, 10, 20, 30, 120 分後に重量を測定し、0.5 分後の重量に対する割合 (重量変化の割合 = ((0.5 分後の重量 - 測定時の重量) / 0.5 分後の重量) × 100) で表した。CEC は培地を乾燥、粉碎して試料とし、ショーレンベルガー法 (松中, 2004) により測定した。窒素の取り込みは次のとおり調査した。試料を井戸水で洗浄後 EC 1.4 dS・m⁻¹ の培養液に 1 日間浸漬後、重力水を排出した。その後、ポリエチレン袋に入れ密閉し、25°C の恒温器で 1, 10, 20, 40, 80 日間保存した。試料を毎分 4750 回転 (約 2000 G) で 10 分間遠心分離し、分離した溶液の NO₃-N 濃度をイオンアナライザー (IA-100, TOA) で定量した。

栽培中におけるスギ樹皮培地の溶液濃度は、1 区当たり 2 か所、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) で採取した。それらを等量ずつ混合してサンプルとし、EC (CM-30, TOA) および pH (F-21, HORIBA) を測定した後、前述のイオンアナライザーで無機成分濃度を定量した。収穫は 1 週間に 2 回行い、可販果は 80 g 以上として健全果、空どう果およびその他に分け、果数および果重を調査した。茎径は奇数段花房の花房下 1 cm の短径を各花房の収穫終了時に測定した。

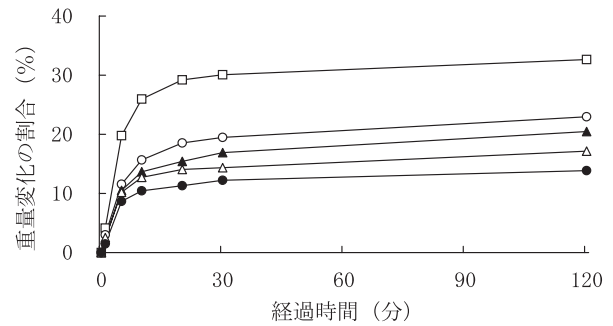
結 果

栽培終了時の各処理区の三相分布、仮比重および CEC を第 1 表に示した。連用により固相率および仮比重は低下した。液相率は増加、気相率は低下する傾向がみられたが、有意差は認められなかった。新品区と比較すると、固相率および気相率は 2 年区の気相率を除き、各処理区とも有意に低く、液相率はいずれの処理区とも有意に高かった。CEC は連用により高くなり、新品区に比べて 1 年区では約 1.4 倍、3 年区では 2.0 倍、5 年区では 2.5 倍となった。また、1 年間に变化する CEC は、新品区と 1 年区で差が最も大きく 23.5 me・100 g⁻¹ で、連用するにしたがい小さくなる傾向であった。

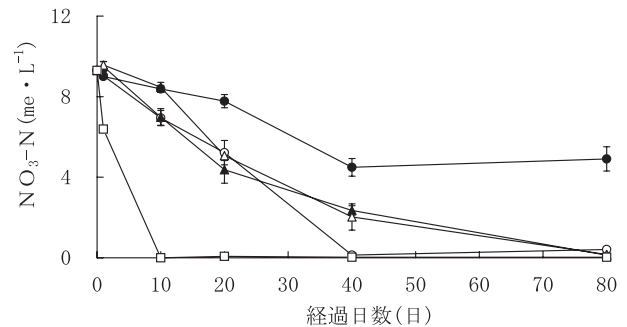
湛水後の培地を本システムに移した後の培地の重量変化の割合を第 2 図に示した。重量変化の割合は各処理区とも 5 分以内に急上昇したが、10 分後からは緩やかに上昇した。その割合は使用年数が長くなるほど小さくなった。一方、新品区では各処理区より大きかった。

NO₃-N 濃度は 1 年区、2 年区、3 年区および 5 年区のすべてで 40 日まで低下を続け、1 年区では 40 日で 0 me・L⁻¹、2 年区および 3 年区では 80 日でほぼ 0 me・L⁻¹ となり、5 年区では 40 日に 4.5 me・L⁻¹ に低下した後は変化がなかった。新品区では 1 日で 6.4 me・L⁻¹ に低下し 10 日には 0 me・L⁻¹ となり、各処理区より NO₃-N の減少が著しかった (第 3 図)。

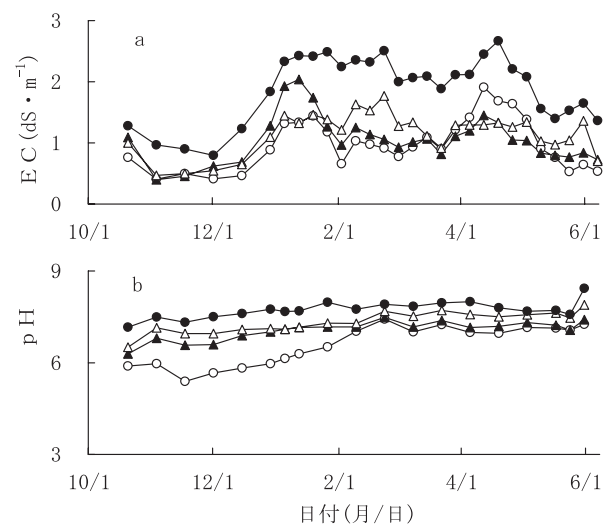
培地内溶液の EC は、1, 2 および 3 年区間には差がなく



第 2 図 スギ樹皮培地の連用が湛水後の培地の重量変化の割合に及ぼす影響
□:新品区, ○:1年区, ▲:2年区, △:3年区, ●:5年区

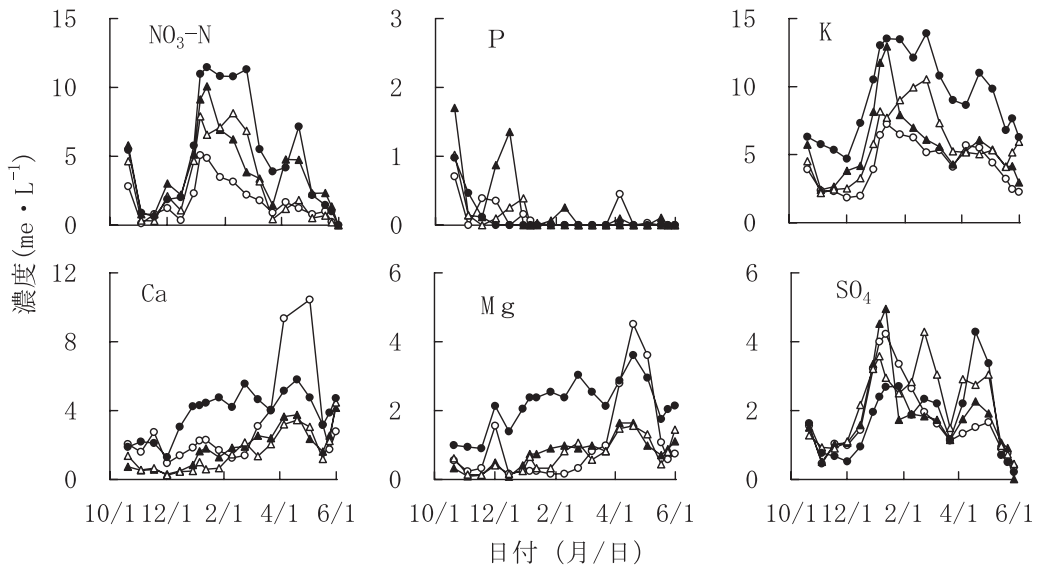


第 3 図 スギ樹皮培地の連用が窒素の取り込みに及ぼす影響
□:新品区, ○:1年区, ▲:2年区, △:3年区, ●:5年区
エラーバーは標準誤差 (n=5) を示す



第 4 図 スギ樹皮培地内溶液の EC および pH の推移
○:1年区, ▲:2年区, △:3年区, ●:5年区

0.5 から 2.0 dS・m⁻¹ 前後を推移することが多かったのに対し、5 年区ではいずれの時期も他区に比べて高く、1 月上旬から 5 月上旬までは 1.9 から 2.5 dS・m⁻¹ の範囲にあった (第 4 図 a)。培地内溶液の pH は定植後から徐々に高まる傾向がみられ、pH の変動は 1 年区が最も大きく 5.4 から 7.3 でその幅は 1.9 あったが、2 年区、3 年区および 5 年区で



第5図 スギ樹皮培地内溶液の無機成分濃度の推移
○：1年区, ▲：2年区, △：3年区, ●：5年区

第2表 スギ樹皮培地の連用が収量および果実品質に及ぼす影響

処理区	収量 (kg/株)		1果重 (g)	品質別果数割合 (%)			
	全果	可販果		健全	空どう	他	非販
1年区	10.0 ab ²	9.8 ab	165 a	77	14	6	3
2年区	10.6 a	10.3 a	167 a	77	12	6	5
3年区	9.8 ab	9.4 ab	157 a	79	11	5	5
5年区	9.4 b	9.1 b	156 a	75	14	6	5

² 同一文字間には Tukey 多重検定 (P < 0.05) で有意差なし

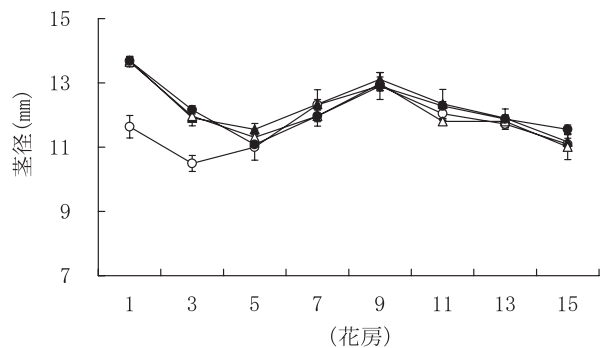
は変動幅は0.7から0.9と小さかった。5年区のpHは7.2～8.4と全期間を通じ他の区より高く推移し、連用が多い区ほど高い傾向が認められた(第4図b)。

培地内溶液の無機成分濃度の推移を第5図に示した。NO₃-Nは連用により高まる傾向が認められ、1月上旬以降では1年区で低く、5年区で高く推移した。また、1年区では定植1か月後の11月上旬に0.1 me · L⁻¹まで低くなった。Kは1年区で低く5年区で高い傾向がみられ、2年区および3年区は2例を除き5年区と1年区の間の値を推移した。CaおよびMgは1年区の4、5月を除き5年区で高く推移し、他の処理区間の傾向は明瞭でなかった。PおよびSO₄は処理の影響がみられなかった。

全果収量、可販果収量とも1年区より2年区で多い傾向がみられ、2年区、3年区および5年区間では連用するほど低下する傾向が認められた(第2表)。5年区の収量は2年区より有意に少なかった。1果重および品質別果数割合は処理の影響がみられなかった。第1, 3花房の茎径は1年区で有意に小さく、第5花房より上の花房では処理間に差はみられなかった(第6図)。

考 察

培地を利用する養液栽培システムでは培地素材の保水性



第6図 スギ樹皮培地の連用が茎径に及ぼす影響
○：1年区, ▲：2年区, △：3年区, ●：5年区
エラーバーは標準誤差 (n=4) を示す

あるいは通気性、成分の吸着・溶出、CEC等の理化学性を把握する必要がある(池田, 2003)。樹皮などの有機培地については、三相分布、保水率、CEC、窒素の取り込みなどが明らかにされている(細川ら, 2001; 岩尾ら, 1994; 岩崎・千葉, 1999)。しかし、これらの報告で用いられた有機培地は栽培に未使用であり、培地を継続して使用する点からみた場合、実際に連用した培地の理化学性の変化を検討することが必要と考えられる。本実験では、トマトを促成栽培した年数の異なるスギ樹皮培地を用いて、培地の理化学性、

培地内溶液の成分濃度, 生育, 収量を調査し, 培地の理化学性の変化, 給液管理および耐用年数について考察した.

本実験において, 液相率および気相率は新品区を除く処理区間に差がなく, 保水性や通気性は連年使用しても変化しないと考えられた. しかし, 固相率および仮比重は連用により有意に減少し, さらにスギ樹皮の繊維は連用により細く短くなることが観察された. 香山 (1961) は木材が腐朽すると全重量が減少すると述べ, 篠原ら (2002) はスギ樹皮が水性バクテリアにより食害されることを報告しており, 固相率および仮比重の減少は腐朽や微生物の食害が影響していると考えられた. このように, 液相率, 気相率は変化がなく固相率が減少したことから, スギ樹皮培地は連用により容積が小さくなると考えられた.

樹皮の CEC は堆肥化が進むにつれて大きくなり, 完熟すると元の 2~3 倍になる (相崎, 1996) とされている. 本実験でも連用により CEC が大きくなり, 3 年区では新品区の約 2 倍, 5 年区では約 2.5 倍となり堆肥化が進んでいると考えられた. 木下ら (1999) はもみ殻耕でトマトを栽培し, 3 作目終了時にはもみ殻の形状が崩れ堆肥化することを報告しているが, 本実験のスギ樹皮培地においても同様な傾向が認められた. すなわち, スギ樹皮が細く短くなることに加えて, 特に培地下部で連用が多い区ほどスギ樹皮がもろく崩れやすくなった. さらに, 培地下部では根がマット状に堆積していた. これらの現象は 5 年区で顕著に認められ, このような物理的变化は培地の重量変化の割合に影響を及ぼしたと考えられた. 重量変化の割合が小さい場合排水性が低下していると考えられ, 培地下部が過湿になり易いことが示唆された. この要因の一つとして, 本システムが培地底面から毛管現象を利用した給液を行っていることも考えられる.

各処理区の給液 EC および培地給液量は同じ管理としたが, 培地内溶液の K, Ca, Mg 濃度は 1 年区, 2 年区および 3 年区に比べて 5 年区で高く推移し, これら陽イオンが培地内溶液に保持される傾向がみられた. このような傾向は, 前年度に実施した予備実験 (未発表) で使用したスギ樹皮培地で連用 4 年目の収穫開始期頃から認められた. 土壌においては養分供給能力, 肥料成分の保持能力の高まりは CEC の増加によることが知られている (和田, 1984). また, CEC は pH の影響も受けることも知られている (和田, 1984). 本実験でも 5 年区では他の処理区に比べて CEC が高く, 培地内溶液の pH は適値とされている 6.0~6.5 (並木, 1986) より高い 8 前後で推移しており, K, Ca, Mg 濃度が安定して高く維持されたものと考えられた. 有機培地の連用と給液管理について, 木下ら (1999) はもみ殻培地では使用年次に応じた給液管理の必要性を示唆している. しかし, 本実験では連用 3 年までの区に対して 5 年区で培地内溶液の $\text{NO}_3\text{-N}$, K, Ca, Mg 濃度が高く推移したが, 培養液の成分濃度より著しく高まった成分はなかった. このため, 給液 EC および給液量の管理は 5 作目までは連用年数にか

かわらず変更する必要はないと考えられた.

培養液に浸漬後の培地内養液の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は, 各処理区とも日数の経過にともない減少し, $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の低下の程度は新品区で最も大きく, 次いで 1 年区, 2 および 3 年区がほぼ同様で, 5 年区で最も小さかった. このことから, 窒素の取り込みは連用年数が少なく, 使用期間が短いほど大きいことが示された. この結果は, 培地内溶液の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の順位と類似するものであった. また, 茎径の推移をみると, 第 1, 3 花房では 2, 3 および 5 年区より 1 年区で小さく, 第 5 花房より上の花房では処理間差がなく同程度の茎径であった. このことから, 1 年区の栽培初期は窒素の取り込みが著しく多かった新品区と同じとみることができ, 給液した窒素がスギ樹皮に取り込まれ不溶化した (今野ら, 1985) ことにより, トマトの窒素栄養が低下し第 1, 3 花房の茎径肥大が抑制されたと思われる. 岩崎・千葉 (1999) は数種の有機培地の窒素の取り込みを明らかにし, 有機培地では窒素の取り込みが培養液組成に影響を与える可能性を述べている. これらのことから, 新品のスギ樹皮培地では初期の培養液の窒素濃度をやや高めることで, 低段花房の生育低下を回避できると推察される.

収量は 3 年区までは差がなく, スギ樹皮培地でナスを 2 年連続栽培しても減収しないとした細川・前田 (2003) の報告と類似した. しかし, 5 年区の収量は 2 年区より有意に少なくなった. これは, 5 年区では 2 年区に比べて CEC の上昇, 培地重量変化の割合の低下, 培地内溶液の成分濃度の高まりなどの変化があったことによるものと考えられた. 6 年目以降ではこれらの理化学性がさらに変化することが示唆され, また収量は 5 年区よりさらに低下すると予測されるため, 本システムにおけるスギ樹皮培地は 5 年連用後に交換することが望ましいと考えられる. 今後は, 使用済みスギ樹皮培地の効果的な堆肥化およびその利用について検討する必要がある.

摘 要

毛管給液を併用した閉鎖型養液栽培システムにおいて, トマトを促成栽培した年数の異なるスギ樹皮培地の理化学性, 培地内溶液の成分濃度, トマトの生育および収量について検討した. スギ樹皮培地の三相分布では, 液相率および気相率は連用しても変化しなかったが, 固相率は連用年数の増加にしたがい低下した. 十分に湛水した培地を本システム上に設置した後の培地重量の変化は, 連用年数が多いほど小さかった. 連用年数の増加により CEC は高くなり, 窒素の取り込みは少なくなった. また, 培地内溶液の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は連用年数が多くなるにつれ高く推移する傾向で, K, Ca, Mg 濃度は 3 年区までに比べ 5 年区で高く推移した. 茎径は 1 年区の第 1, 3 花房で小さかった以外は連用による差はなかった. 収量は 2 年区で高い傾向にあり, その後は連用により低下し, 5 年区では 2 年区と比べて有意に少なかった. 本実験により, 連用年数の違いによるスギ樹

皮培地の理化学性の変化, 収量などが明らかとなり, 本システムにおけるスギ樹皮培地は5年連用後に交換するとよいことが示唆された。

引用文献

- 相崎万裕美. 1996. パークたい肥. p. 103-122. 土壤改良と資材. 日本土壤協会. 東京.
- 細川卓也・前田幸二. 2003. 高知方式湛液型養液栽培システムにおける有機質培地の利用に関する研究(第2報) 有機質培地耕におけるナスの促成栽培. 高知農技セ研報. 12: 59-68.
- 細川卓也・前田幸二・岡野邦夫. 2001. 高知方式湛液型養液栽培システムにおける有機質培地の利用に関する研究(第1報) 有機質培地の物理的特性, 水分保持特性. 高知農技セ研報. 10: 59-65.
- 伊神裕司・村田光司. 2003. 製材工場における木質残廃材の発生と利用. 森林総研研報. 2: 111-114.
- 池田英男. 2003. 養液栽培の展開. p. 258-273. 施設園芸ハンドブック. 園芸情報センター. 東京.
- 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.
- 岩尾俊男・魏 亜玲・林 圭皖・藤浦建史・房 薇・竹山光一・霜里康浩・浅尾俊樹. 1994. スギ, ヒノキ樹皮廃材コンポスト化素材の水耕栽培用ベッドへの適応性の研究—スギ, ヒノキ樹皮ベッドの物性—. 島根大農研報. 28: 53-59.
- 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.
- 香山 疆. 1961. 腐朽材の化学的研究(第1報) 腐朽材の化学的組成, および腐朽材パルプの二, 三の性質について. 木材学会誌. 7: 161-166.
- 木下陽一・豊田光雄・佐野雅俊・山田晴夫. 1999. もみか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.
- 今野一男・平井義孝・東田修司. 1985. パーク堆肥の腐熟過程における化学成分変化と腐熟度指標. 北海道立農試集報. 52: 31-40.
- 松中照夫. 2004. 土壤学の基礎. p. 123-125. 農山漁村文化協会. 東京.
- 峯岸長利・久地井恵美. 1989. 杉パーク「クリプトモス」による洋ラン類の栽培. 園学雑. 58(別1): 466-467.
- 並木隆和. 1986. 培養液組成の理論と実際. 農及園. 61: 197-204.
- 農林水産省. 2005. 園芸用ガラス室・ハウス等の設置状況.
- 糠谷 明. 2001. 養液栽培の培地の特性. p. 養液栽培 59-67. 農業技術体系野菜編 12. 共通技術・先端技術. 農文協. 東京.
- 篠原速都・鶴田 望・関田寿一・田岡大史・大谷慶人. 2002. ロックウールの処理方法及び代替資材の開発と実用化に関する研究(第2報) 未利用資源や新素材を利用した代替資材の開発. 高知工技セ研報. 33: 39-42.
- 植木正明・栃木博美・畠山昭嗣・稲葉幸雄・重野 貴. 1999. 杉パーク「クリプトモス」を培地としたイチゴの高設ベッド栽培. 園学雑. 68(別1): 233.
- 和田光史. 1984. 土壤の化学性. p. 73-95. 新土壤学. 朝倉書店. 東京.