トマトプラグ苗の側面接触定植は保水シート耕における活着を改善し二段栽培の生産性を向上させる

中野明正^{* 1)}・江口陽子²⁾・酒井浩伸²⁾・趙鉄軍¹⁾・並崎宏美^{** 3)}

1) 農業・食品産業技術総合研究機構 野菜花き部門

2) 鈴与商事株式会社

3) 熊本県農業研究センター

要 旨：トマトの養液栽培を保水シート耕で行う場合、定植時にプラグ苗の底面を保水シートに接触させる慣行法よりも、側面を保水シートに接触させる側面接触定植の方が、その後にプラグ苗から展開する根量が増加した。この知見をトマトの二段栽培に適用して生産性（収量および品質）を評価した。生産圃場で評価した場合でも、側面接触定植区の方が最終的には根の乾物重が14%増加し、着果率も平均で42%改善し、生産物の果実糖度も15%有意に増加した。

キーワード：定植、二段栽培、不定根、プラグ苗、保水シート耕。

Transplanting by side contact method of plug seeding increases the productivity of two truss tomato on wet sheet culture by improving the initial taking root : Akimasa NAKANO¹⁾, Yoko EGUCHI²⁾, Hironobu SAKAI²⁾, Tiejun ZHAO¹⁾ and Hiromi NAMISAKI³⁾ (¹⁾National Agriculture and Food Research Organization, Institute of Vegetable and Floriculture Science, ²⁾Suzuyo Research Institute Co.,LTD. ³⁾Kumamoto agriculture research center.)

Abstract : Transplanting by side contact method of plug seeding increased the root development after transplanting on wet sheet culture compared to conventional bottom contact transplanting. This method was applied to field experiment of two truss cropping system of tomato. As a result, transplanting by side contact method of plug seeding increased the rate of fruits setting by 42%, the root dry weight by 14% finally and sugar content of tomato fruits by 15% compared to conventional transplanting.

Keywords : Adventitious root, Plug seedling, Transplanting, Two truss tomato, Wet sheet culture.

緒言

トマトの安定多収生産のひとつの流れとして低段・多回転栽培がある。特に高温期においては、長期多段栽培よりも定植時期によっては樹勢の衰えを回避しやすいので、生産が安定化できる可能性がある。今後、夏季の高温抑制技術等が開発され、さらに多収化が進むと考えられ、長期多段栽培のみだけではなく、低段密植栽培でも総合的に高品質多収をねらえる可能性がある（中野，2016）。

高温期の多収化をめざして、高温期に適する品種選択を実施した研究事例もあるが（中野，2017）、高温期などストレスが負荷されやすい環境下で安定的な生産を可能とする栽培方法の改善も必要である。実際、播種日を異にした収量解析の結果からは、夏季に苗の定植を行う場合、収量が低下することが示されている（小林，1997，竹川・土屋，2010）。要因についてはいくつか可能性が考えられるが、高温環境における蒸散要求量に定植直後の根が十分適応できていないため、生長点（花

芽）などが障害を受けることが考えられる。特に養液栽培の方式のひとつである保水シート耕は、定植時にストレスが負荷されやすいと考えられる。つまり、保水シート耕は毛管水耕と湛液水耕の折衷型であり、根は湿ったシート上に発達して、定植後1週間程度で、先端は液貯留部に到達するような栽培法であり（渡辺，2006）、栽培の開始は、プラグ苗を直接湿潤なシート上に置床するだけであるので（第1図）、作業が簡便である反面、定植後にプラグ苗の表面の根が直接外気に触れるような手法であるため、通常の土耕やロックウールに定植する以上に、根系にストレスが負荷されると考えられる。

そこで、本研究では、保水シート耕における苗の活着の改善を目的として、定植方法を検討した。通常は、プラグ苗の底面を保水シートに接触させるような方法をとるが、改良法として接触面積を増加させるように側面を保水シートに密着させるように定植し、その効果を評価した。実際、このような手法で発根の促進が確認されたため、生産圃場においてトマトの二段栽培において収量および品質に与える影響を評価した。

2017年5月10日受付 2017年11月12日受理

* 連絡先 〒305-8519 つくば市観音台3-1-1 E-mail: anakano@affrc.go.jp, 現在農林水産省、農林水産技術会議事務局

** 現在熊本県庁 本研究の一部は、「革新的技術開発・緊急展開事業（うち経営体強化プロジェクト）」により実施された。

第1図 保水シート耕を模した発根評価装置と定植法の模式図。

材料及び方法

1. セル苗の定植方法が保水シート上における根の発達に及ぼす影響評価

育苗は、人工光型育苗装置（苗テラス、三菱樹脂アグリドリーム）を用いて行った。実験には‘桃太郎ヨーク’（タキイ種苗）および‘エンデバー’（Rijk Zwaan 社）を使用した。育苗は72穴のプラグ苗トレイ（セルトレーAP、東罐興業）を用い、各セルに育苗用培養土（種培土1号、スミリン）を充填し、2016年4月19日に1セル当たり1粒を播種した。トレイを播種後3日間催芽器（28℃一定）に入れた後、人工光型育苗装置に移動し、蛍光灯は3波長系昼白色 Hf 蛍光灯（FHF32EX-N-H、パナソニック）を用い栽培棚一段当たり6本とした。明期16時間、暗期8時間で5月13日まで育苗を行った（育苗期間21日）。培養液は、1L当たりハイテンポ Cu（住友化学）2.93 mLとハイテンポ Ar（住友化学）0.98 mLを溶解したものを、EC 1.6 dS m⁻¹、pH5.9（N-P-K = 5.9-1.1-2.4 me L⁻¹）とした。灌水は1日1回10分間（8時から8時10分まで）、セルトレー底面から30 mm程度の高さまで培養液が満たされる状態とした。その後、重力により自然排水されるしくみである。人工光型育苗装置内の気温は毎日0時～8時（暗期）は18℃、8時～24時（明期）は25℃とした。人工光型育苗装置内のCO₂濃度は1000 ppmとした。

その後、上記条件で育苗した苗を、太陽光型植物工場（農研機構、野菜花き研究部門、つくば）内の北育苗区画に設置した保水シート耕を模した発根評価装置（第1図）に置床し初期の生育を評価した。プラグ苗からの発根を評価するため、また、次に述べる実際に保水シート耕での結果と比較できるように、保水性のある不織布（東洋紡、ジャームガード、7210S、厚さ2 mm、目付0.11 g cm⁻³）上に黒不織布（ユニチカ、ラブシートブラック、20307BKD、厚さ0.13 mm、透水性85%、遮光率75%）を敷設した構造とした。両布は培

養液に浸されているため、根への養液の供給が充分行われると考えられ、また、苗の周辺はシルバーマルチで遮光したため、処理期間中に根が乾燥するようなことはなかった。

対照区は通常のプラグ苗の置床方法であり、プラグ苗の底面が保水シートに接するように定植した（第1図）。側面接触定植区は、接触面積を増加させるように側面で保水シートに接触させ定植した。対照区と側面接触定植区がそれぞれ保水シートに接触する面積は4 cm² および 11 cm² であり、側面接触定植区の方が大きかった。対照区の苗は10日程度は自立可能と判断し、誘引は行わなかった。側面接触定植区についても、地上部の頂芽は定植後1日ではほぼ地面と垂直に上を向きその後実験期間中は自立したため誘引は必要でなかった。

11日後の、同年5月24日に実験を終了し、それぞれの処理区において発根状態を評価するとともに、地上部の苗の生育量も合わせて評価した。根の評価についてはWinRhizo（Regent Instruments Inc.）を用いて行い、総根長および根の平均直径を計測した。

2. 生産圃場における評価

(1) 栽培条件

生産現場においても、対照区および側面接触定植区を設けてトマトの生産性に与える影響を評価した。育苗については128穴のセルトレーを用い、前述に準じて実施し、2016年7月8日に‘桃太郎ヨーク’を播種し、同年8月2日に、広さ275 m²（縦25 m×横11 m）の区画に幅30 cmの保水シート耕ベッドを9畝配置した。その一部である1列25 mを1処理区として、上記2処理区の苗を株間8 cmで定植した（栽植密度10.6 株 m⁻²）。二段栽培として、花房には適宜植物ホルモン（トマトーン、日産化学）を散布した。収穫開始は9月20日であり収穫終了は10月13日であった。EC1.5 dS m⁻¹の園試処方養液を給液した。

栽培期間中の日平均気温および日平均湿度は、それぞれ、26.6 ± 4.4℃（平均値 ± 標準偏差）、79 ± 16%（平均値 ± 標準偏差）であり、地上部の環境制御としては換気や遮光などを実施して、トマト栽培に適する環境を維持できたと考えられた。

(2) 生育調査等

前述の処理列の中から調査株として10株を選定した。初期の生育状況を評価するために花数および着果率の調査を行った。収穫開始後は概ね2日に1度収穫を行い、収量および糖度を非破壊で測定した。また、障害果の発生については、収穫時の各処理区の栽培列全体（323 株）の収穫果数との障害果（尻腐れ果および裂果）の発生数から計算した。

第1表 定植法が、定植後の苗の生育および根の乾物、長さおよび太さに与える影響。

品種	定植法	地上部 乾物重 (g 株 ⁻¹)	根部 乾物重		T/R	総根長		平均根直径	
			外	内		外	内	外	内
		(g 株 ⁻¹)	(g 株 ⁻¹)	(g 株 ⁻¹)		(m 株 ⁻¹)		(mm)	
桃太郎ヨーク	対照	6.1	0.137	0.171	19.9	14.3	17.8	0.43	0.39
	側面	5.4	0.186	0.150	16.0	18.0	19.0	0.44	0.35
	側面 / 対照	0.88	1.35	0.88	0.80	1.25	1.07	1.02	0.88
		*	ns	ns	*	*	ns	ns	ns
エンデバー	対照	6.8	0.183	0.263	15.2	15.9	20.18	0.46	0.43
	側面	5.9	0.229	0.214	13.4	19.0	18.58	0.47	0.40
	側面 / 対照	0.88	1.25	0.82	0.88	1.19	0.92	1.00	0.93
		ns	ns	*	ns	ns	*	ns	ns

*:5%の危険率で有意差あり, ns: 有意差なし (n=4), Student の t 検定.

内: 育苗培養土内に存在した根. 外: 保水シート上に置床後, シート上に展開した根.

第2図 定植後11日目の発根の状態の差異。

栽培終了時に、それぞれの区について12株ずつ乾物重を測定した。生産現場で使用されている装置の都合上、根は複雑に絡み合っているため、株毎の切り分けが困難であり、根については便宜上4株まとめてサンプリングした。根の区切りは株と株の中間地点とした。根および地上部は採取後1ヶ月程度かけて風乾し乾物重を測定した。根の乾物重については4株分であるため、4で除した値を株あたりの乾物重とした。

結果

1. 根系の評価

プラグ苗を側面接触定植することにより地上部の生育は抑制され、プラグ苗から展開する根の量（外）が増加する傾向が認められた（第2図、第1表）。根長については、‘桃太郎ヨーク’で有意に25%増加した。これは‘エンデバー’でも同様の傾向であった。結果的に‘桃太郎ヨーク’ではT/R比が側面接触定植により有意に低下した。根の直径についての有意な差は認められなかった。

2. 生産現場における生産性の改善

(1) 着果率と果実収量および品質

定植方法を側面接触定植にすることで、第一花房、

第二花房とも花数には有意な差は認められなかった。一方、着果率は対照区に比べ側面接触定植区では第一花房で1.3倍、第二花房で1.6倍高くなった（第2表）。また、果実収量については、側面接触定植によって有意差は認められなかったが増加傾向が認められた。果実糖度については第一果房において、側面接触定植が対照区に比べ15%有意に高まる結果が示された（第3図）。

(2) 栽培終了時の地上部および地下部乾物重

側面接触定植により、茎葉および地下部の乾物量は増加する傾向にあった。特に、側面接触定植区の根部乾物重は対照区に比べ有意に14%増加した（第3表）。

(3) 障害果率

尻腐れ果の発生は両処理区とも認められなかったが、裂果率は側面接触定植で有意に増加した（第4図）。すなわち、最終的な裂果率が、第一果房では平均で対照区が3.8%なのに対して、側面接触定植区では8.4%、第二果房では、対照区が11.2%なのに対して、側面接触定植区で20.0%となり、概ね対照区の倍の裂果発生率となった。

考察

保水シート耕は、株元の根が空气中に露出するため、単純な湛液水耕よりも酸素欠乏の危険が小さいとされる。実際、宮崎県のトマト生産農家では、このような生産方法を導入して経営をしていて（渡辺, 2006）、安定的な運営が図られている。一方で、夏季の高温など環境条件が悪い時期での定植においては、収量の低下が問題となっている。これについては、水分ストレスが負荷されやすい状況であると考えられた。つまり、定植直後は十分に根が発達していないため、花芽などがストレスを受けて形成されにくくなる可能性も考えられた。一段栽培においても、着果数は花芽分化期の高温条件により減少する。桃太郎では8月播種、ハウス桃太郎では8,9月の高気温時の播種では、1株当たり3.5果を下回ることがあった（小林, 1997）。今回検証した

第2表 側面接触定植が花数および着果率に及ぼす影響。

定植法	花数		着果率 (%)	
	第一花房	第二花房	第一花房	第二花房
対照	4.4	5.2	60	36
側面	4.3	4.5	80	57
側面 / 対照	0.98	0.87	1.33	1.58
	ns	ns	*	*

*:5%の危険率で有意差あり, ns: 有意差なし (n=10), Student の t 検定.

第3図 側面接触定植がトマト二段栽培の収量および糖度に与える影響。

*:5%の危険率で有意差あり, ns: 有意差なし (n=10), Student の t 検定. 縦棒は, 標準偏差を示す.

側面接触定植においては, 速やかに新たな側根または不定根が発生することにより活着が良好であったと考えられる. 特に, 着果率が側面接触定植区で増加しており, 側面接触定植により活着時に発生しやすい水分ストレスを緩和できた可能性がある (第2表). 一般的に保水シート耕で直接定植される21日苗は, 概ね第一花房が分化しており, 定植直後は第2花房分化期あたりと想定され, 今回対象とした二段栽培においては, 定植後10日程度は充実した花器官の形成において重要な時期になると考えられる. その後の生育も側面接触定植で旺盛であり (第3表), 活着が側面接触定植により改善されたことを示唆している. 今回の側面接触定植では, 主茎が曲がるため, それにより基部にオーキシンが蓄積し, 不定根の発生が誘導された可能性がある. メカニズムについては今後解明する必要がある.

物質生産性については側面接触定植が優れた. 有意な差は認められなかったが, 総生産量 (茎葉と根の合計量) は対照区に比べ側面接触定植区で増加する傾向にあり, 根の乾物重においては有意に14%増加してお

第3表 側面接触定植が栽培終了時の地上部および地下部の乾物重に及ぼす影響.

定植法	乾物重 (g 株 ⁻¹)	
	茎葉	根
対照	24.1	10.4
側面	28.6	11.9
側面 / 対照	1.19	1.14
	ns	*

*:5%の危険率で有意差あり, ns: 有意差なし, 地上部 (n=12), 根部 (n=3), Student の t 検定.
※根はつながっているため, 株毎の切り分けが困難であり, 便宜上4株まとめて測定して, 4で除した値を, 株あたりの根乾物重とした.

第4図 異なる定植法における裂果率の推移.

収穫時の各処理区の栽培列全体 (323 株) の収穫果数との障害果 (尻腐れ果および裂果) の発生数から計算した.

り (第3表), 定植時の活着の促進がその後の光合成量の増加にも寄与していることを示唆している. また, 果実の内容成分の評価指標である糖度が側面接触定植で増加しており (第3図), 良好な活着による初期の葉面積の速やかな拡大が, 株あたりの光合成量を増大させることにより, 生産量および品質の双方を向上させる可能性が示唆された. 根の活性の改善がトマト果実を増加させる報告がある (佐々木ら, 2013). これは長期多段栽培の結果であり果実と根の同化産物の奪い合いを避けることが果実糖度の上昇に寄与しているとされている. 今回は低段密植栽培の結果であるが, 根量の増加が認められており, 根の活性化が果実品質の向上に結びつく可能性を示唆する類似の結果である. 地上部の生育も旺盛になり蒸散が盛んになった結果, 総体的に水ストレスが負荷され, 果実品質が向上した可能性も考えられる.

一方で, 裂果は側面接触定植により有意に増加した (第4図). これは, 対照区に比べ側面接触定植区で根の生育が良好であり, 生育自体が旺盛になり, 吸水力

が強くなりすぎた結果と考えられる。このような裂果については、緑熟で収穫（早めに収穫）して回避できる可能性があるほか（中川ら, 2016）、ホルクロルフェニユロン（フルメット液剤, 協和発酵バイオ）など、ホルモン剤の散布で、発生を軽減できる可能性もある（飛川・久保, 2012）。今後、生産現場でもこれらの処理を採用して、活着を改善したことによる旺盛な生育に伴う弊害を回避して、多収を維持できる可能性がある。

以上、保水シート耕においては、側面接触定植することにより初期の根長の伸びが大きく根の展開が促進されたといえる。これは着果率の増加にも寄与し、収量および糖度の向上に寄与する可能性が示された。トマトの場合固定された光合成同化産物は、浸透圧や水分ストレスによって果実に糖を集積するか、果実肥大に寄与するか分配を異にする（斎藤ら, 2006）。つまり、ストレス負荷により果実収量は低下するが、果実糖度は上昇する。一般にこれはトレードオフの関係にあると言われている（中野, 2017）。第3図に見られるように、果実収量と糖度の積はいずれも、側面接触定植区の方が対照区に比べ大となる可能性があり、環境制御を適切に実施すれば、側面接触定植で多収になる可能性もあると考えられた。このような結果からも定植法を改善することによる初期の側根または不定根の発生誘導が、活着を促進し、夏季の高温、乾燥、冬の低温など、不

良環境下において、生産性を向上させる手法のひとつとなる可能性がある。

引用文献

- 小林尚司 1997. 養液栽培によるトマトの一段どり栽培に関する研究（第1報）- 播種時期別の生育と果実収量. 農業施設 27: 199-206.
- 中川卓也, 大道紀子, 浄閑正史, 塚越覚, 北条雅章, 丸尾達 2016. 貯蔵温度が緑熟期トマトの追熟および果実品質におよぼす影響. 園学研 15 (別1): 118.
- 中野明正 2016. 日本農業の現状と植物工場の展開. 電学誌 136: 340-343.
- 中野明正 2017. 高品質安定多収生産をめざすトマト施設生産技術の現状と展望. 農業および園芸 92: 321-331.
- 斎藤岳士, 福田直也, 西村繁夫 2006. 塩ストレス, 栽植密度ならびに果房直下の側枝がNFT栽培トマトの収量および糖度に及ぼす影響. 園学研 5: 415-419.
- 佐々木英和, 河崎靖, 安場健一郎, 鈴木克己, 高市益行 2013. ハイワイヤー誘引栽培したトマトの主茎基部側枝が果実の糖度と収量におよぼす影響. 野菜茶業研究所研究報告 12: 1-6.
- 竹川昌宏, 土屋和 2010. トマトの3段どり養液栽培における周年栽培体系モデル. 兵庫農技総セ研報 58: 1-7.
- 飛川光治, 久保紀子 2012. ホルクロルフェニユロンによる雨除け栽培トマトの放射状裂果の発生抑制. 近畿中国四国農業研究 20: 29-31.
- 渡辺慎一 2006. 低段密植栽培による新たなトマト生産. 野菜茶研集報 3: 91-98.