

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月28日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2012

課題番号：21380021

研究課題名（和文） 超高収量トマト生産のための栽培プラットフォームの確立に関する研究

研究課題名（英文） Study of cultivation platform for high yield tomato production

研究代表者

丸尾 達（MARUO TORU）

千葉大学・大学院園芸学研究科・准教授

研究者番号：20143266

研究成果の概要（和文）：

日本における単位面積あたりのトマト生産能力は世界標準よりも低い。世界標準である50t/10aの生産能力を達成するために、日本版トマト栽培プラットフォームについて検討した。その結果、本圃の面積を最大限に効率化する移動ベンチシステムを用いたトマト1段密植栽培システムが有効であり、栽培ベッド間隔を遮蔽率に基づいて動かすことで従来の1.5-2.0倍の株を栽培できた。また、群落内への補光を効率的かつ省力的に行う手法や、本法に適した育苗時の環境条件を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

The yield of tomato plants in Japan is below the world standard. We examined the tomato cultivation platform in Japan to achieve the production capacity of 50t/10a, the world standard. As a result, single truss high yield tomato production system using a mobile bench system to streamline the full area of the field was effective, and the plant density was increased to 1.5-2.0 times the conventional by moving the intervals of cultivation bench based on the shading ratio. Moreover, supplemental lighting within the canopy of efficient and labor-saving, and the suitable environmental conditions of nursery were revealed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	8,700,000	2,610,000	11,310,000
2010年度	3,300,000	990,000	4,290,000
2011年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2012年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
総計	15,000,000	4,500,000	19,500,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農学・園芸学・造園学

キーワード：トマト・低段密植・施設栽培・移動ベンチ・補光・量的管理・養液栽培・高収量

1. 研究開始当初の背景

高温多湿な日本において、夏場のトマト施設栽培は病虫害が発生しやすいことや着果不良などの理由から収量が安定しない。特に

酷暑となる7、8月は閑散期になりがちで、このために、単位面積あたりの年間収量は世界的標準よりも極めて低い。

一方、以前は我が国と同程度の収量であつ

たオランダは、この 20 年間で著しく生産量を高め、世界的に高水準の収量を得ている。様々な栽培技術が高収量を支えているが、これら確立された技術を即時に現場に導入できる栽培プラットホームの確立による所が大きい。我が国に目を移すと、地域によって栽培方法はまちまちであり、統一された栽培プラットホームの観念はなかった。そのため、栽培法ごとに適した技術を開発するため、極めて効率が悪いのが現状である。

2. 研究の目的

(1) 我が国での高収量トマト栽培に適した栽培プラットホームの確立を目指す。既に高収量を達成する栽培方式として、ロックルール+ハイワイヤー栽培が知られているが、我が国では高温が障害となり、高収量を得られていない。高温を克服する栽培技術として年間を通じて短期作を繰り返す低段密植栽培が挙げられる。この栽培方法は、季節に適した品種を選択できることから、日本のように四季によって栽培環境が劇的に変化する気候では有効な手法と考えられる。

(2) 単位面積あたりの収量を高めるためには、栽植密度を高めることが有効である。そこで、本圃の栽培面積を効率的に使用する移動式トマト 1 段密植栽培システムについて検討し、群落内への光の遮蔽率をもとに栽培ベンチ間隔を決定した。

(3) トマト 1 段栽培システムを日本の周年栽培体系で利用するためには、栽植密度を高め、年間の栽培回数を増やすことで収量を高めることが出来る。しかし、栽植密度を高めると相互遮蔽によってトマト群落内の光環境が劣悪であることが推測される。そこで、トマト 1 段密植栽培システムでの果実収量ならびに品質を高めるため、本研究では群落内に補光を行い、補光に対する感受性の高いステージ、光源または最適な補光位置を明らかにした。

(4) トマト 1 段密植栽培は短期栽培を繰り返すため、開花日の揃いが非常に重要である。これは、開花日が揃うほど、栽培管理が省力化できるためである。更に収穫日が揃うことで栽培終了時期も揃うため、効率的な作付けが可能となり、年間総収量も増加する。しかし実際の栽培現場では、第一花房着生節位の不揃いによる作業の煩雑化や総収量の減少が問題となっている。第一花房着生節位の揃いは、育苗時の明暗期長・明暗期温度および光強度等の環境条件が関与している。また一段密植栽培では、年間的に高品質苗を多数必要とするため、閉鎖型苗生産システムを用い

ることが多い。そこで、トマト苗の第一花房着生節位の揃いを向上させるために、閉鎖型苗生産システムにおける明暗期長および明暗期温度について検討し、トマト 1 段密植栽培に適した育苗法を明らかにした。

3. 研究の方法

(1) 低段密植栽培として 3 段栽培と 1 段栽培について比較検討した。閉鎖型苗生産システムで育苗したトマト‘桃太郎ヨーク’を、ロックウール粒状綿を充填した 9 cm の不織布ポットに定植し、培養液を点滴灌液する簡易なシステムで栽培した。主茎は、3 段栽培では第 4 花房が開花時に第 3 花房直下で摘心し、1 段栽培では第 1 花房が開花時に第 2 花房直下で摘心した。栽植密度は、3 段栽培では 6,600 株/10a、1 段栽培では 10,000 株/10a の密植栽培とした。量栽植密度における生産性を総合的に評価した。

(2) 閉鎖型苗生産システムで育苗したトマトを、ロックウール粒状綿を充填した 9 cm の不織布ポットに鉢上げした。2 次育苗後に株間 10.5 cm の栽培ベッドに定植し、日射比例制御システムで培養液を灌液した。主茎は第 1 花房が開花時に第 2 花房直下で摘心した。定植後の栽培ベンチ間隔は光の遮蔽率を基に 25、50 および 75% に設定し、10 日ごとに設定した遮蔽率となるようにベンチ間隔を調整した。ここで用いた光の遮蔽率は、栽培ベンチ間の中央におけるポット面と栽培ベンチフレーム上部の光強度 (PPF) を測定し、 $(\text{ポット面の PPF}) / (\text{ベンチフレーム上部の PPF}) \times 100$ として算出した。栽培は春作と秋作の 2 回おこない、夏作では‘桃太郎なつみ’を秋作では‘桃太郎はるか’を用いた。

(3) 閉鎖型苗生産システムで育苗したトマト‘桃太郎ヨーク’を、ロックウール粒状綿を充填した 9 cm の不織布ポットに鉢上げし、株間 10 cm の栽培ベッドに定植した。栽植密度は 10,000 株/10a とした。開花時から 1 週間ごとに群落内に補光をおこなった。補光は 32W の白色蛍光灯を片側方向から 16 時間 (5:00~21:00) 照射し、補光期間は 1 週間とした。また、補光に使用する光源を赤、青および白色 LED とし、トマト収量および果実品質を高める波長域についても明らかにした。一方、トマト‘桃太郎なつみ’を閉鎖型苗育苗装置で育苗し、ロックウール粒状綿を充填した 9 cm ポットに鉢上げして株間 10 cm で栽培ベッドに定植した。主茎は第 1 花房が開花時に第 2 花房直下で摘心した。開花 25 日後、地上部全体に同化箱を設置し、 $^{13}\text{CO}_2$ を 3 時間曝露した。曝露直後に植物体を葉、茎、果実、根に分けてサンプリングし、赤外線分

光法で各器官に同化された ^{13}C の存在比を求めた。また、果房の上下3葉にも $^{13}\text{CO}_2$ を3時間曝露し、曝露48時間後の各器官における ^{13}C の存在比を求めた。

(4) トマト‘桃太郎ヨーク’を、培養土を充填した128穴セルトレイに播種し、27°C、暗黒の発芽室に静置した。播種3日後、14時間日長、昼夜温22/18°C、 CO_2 濃度1,200ppmの閉鎖型苗生産システムに静置した。播種5日後、明期温度22および25°C、暗期温度16, 18および20°Cを組み合わせ6処理区で育苗した。播種21日後、ロックウール粒状綿を充填した9cmポットに鉢上げし、条間110cm、株間10cmで栽培ベッドに定植した。定植後は園試処方培養液の1/2単位を施与し、主茎は第1花房が開花時に第2花房直下で摘心した。次に、閉鎖型苗生産システム内の明期/暗期温度を25/20°Cとし、日長を8、12および16時間とした。同様の条件で栽培し、1段密植栽培に適した育苗法を検討した。

4. 研究成果

(1) 収量は、1段および3段栽培ともに40t/10a程度となった。欧米並みの50t/10aには及ばないものの、我が国の平均的収量が25t/10a程度であることを踏まえると、多収生産が可能な栽培プラットフォームとして低段密植栽培の可能性が示された。次に、栽培管理の観点から評価したところ、3段栽培は1段栽培よりも収穫日や栽培終了時期のバラつきが大きく、次期作の定植に遅れが生じた。以上のことから、我が国の栽培プラットフォームには1段密植栽培が適していると考えられた。

(2) 栽培終了後の地上部新鮮重・乾物重および乾物率への光の遮蔽率の影響はみられなかったが、葉面積は遮蔽率が高くなるにつれて小さくなった。

夏作における栽植密度はそれぞれ10aあたり10,556、13,320および17,659株となり、秋作では10,591、13,064および16,171株となった(第1表)。

第1表 作季ごとの平均ベンチ間隔、栽植密度および収量

作季	光遮蔽率 (%)	平均ベンチ間隔 (cm)	栽植密度 (株/10a)	収量	
				(g/株)	(t/10a)
夏	25	90	10556	458 a ^z	4.8
	50	71	13320	440 ab	5.9
	75	54	17659	399 b	7.0
秋	25	90	10591	630 a	6.7
	50	73	13064	523 b	6.8
	75	59	16171	430 c	7.0

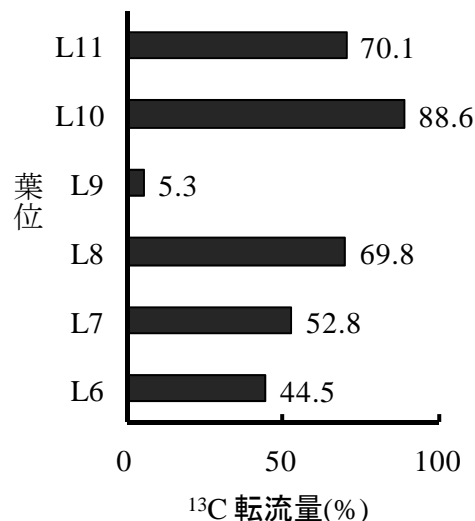
^z 縦に異なるアルファベット間にはTukey法により5%水準で有意差あり (n=20)

遮蔽率25、50および75%のベンチ間隔における株当たりの収量は、夏作ではそれぞれ458、441および399gであり、秋作では630、523および430gとなり、遮蔽率が高くなるにつれて減少した。一方、10a当たりの収量は、夏作では4.8、5.9および7.0tと遮蔽率が高いほど多かったが、秋作では約6.8tと遮蔽率による違いはなかった。また、最終的なベッド間隔は減衰率25、50および75%のときそれぞれ95、70および55cmだった。

以上の結果から、移動ベンチシステムにおける遮蔽率に基づいた栽培ベンチ間隔を決定することの有効性が示された。

(3) 果実肥大期での補光は、開花期あるいは白熟期と比べて高収量・高品質であった。果実重の増大と補光の関係は相関関係にあった。次に、光源として光質の異なるLEDを用いて補光したところ、白色あるいは赤色LED照射は青色LED照射よりも収量が増加した。白色LEDで増収効果が高かったのは、群落内への透過率が高い緑色光を含んでいるからと考えられた。また、 ^{13}C トレーサー実験により、果房直下の葉3枚への補光がトマト1段栽培システムで光合成の転流を促進すると考えられた(第1図)。

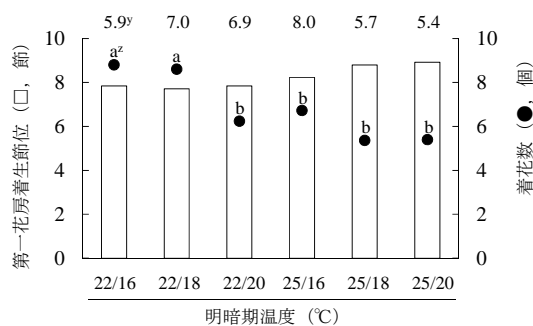
以上の結果から、日本のトマト1段密植栽培システムで収量を増加させる最適な補光時期、光源または補光位置が明らかとなった。



第1図 各葉位から果実への ^{13}C 転流量. 果房は8葉上に着生.

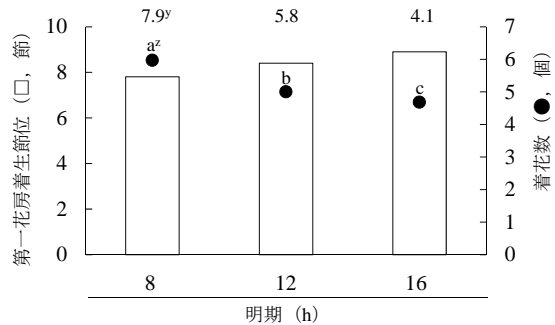
(4) 明暗期温度22 / 16°Cを除き、高温ほど第一花房はより高位の節に着生した。第一花房が最も高位の節に着生した試験区は、明暗期温度25 / 20°Cで8.9節に着生した。一方最も低位の節に着生した試験区は、明暗期温度22 / 18°Cで7.7節に着生した(第2図)。第一花房着生節位の揃いが最も良かったの

は、明暗期温度 25 / 20℃で第 8 節に 16%、第 9 節に 76%、第 10 節に 8%の割合で着生した。変動係数は 5.4%であった。一方最も悪かったのは、明暗期温度 25 / 16℃で第 7 節に 13%、第 8 節に 52%、第 9 節に 35%の割合で着生した。変動係数は 7.0%であった。また低温ほど第一花房における着花数は増加していき、明暗期温度 22 / 16℃では 8.8 個、明暗期温度 25 / 20℃では 5.4 個となった(第 2 図)。第一番花開花日においては、高温ほど開花日が遅れる傾向と、第一番花開花日が揃う傾向が見られた。これは第一花房着生節位の揃いが良いため、第一番花開花日も揃ったものと考えられる。各試験区における収量における差は見られなかった。育苗時の明暗期温度の違いによって、定植時における苗の外観は大きく異なるが、定植時の光合成速度に大きな差は見られず、摘心後の苗の外観には差は見られなかった。これより、異なる育苗環境によって得られた外観や性質は、定植後の生長に反映されず、苗の外観および収量に差は見られないことがわかった。



第 2 図 閉鎖型苗生産システムにおける明暗期温度が第一花房着生節位および着花数に及ぼす影響
²横に異なるアルファベット間には Tukey の多重検定により 5%水準で有意差あり。
³第一花房着生節位における変動係数 (%)
 棒グラフは第一花房着生節位、点グラフは着花数を表す。

第一花房は長日条件ほど高位の節に着生した。第一花房が最も高位の節に着生した明暗期長は、16 / 8 h で 8.9 節であった。一方、最も低位の節に着生した明暗期長は、8 / 16 h で 7.8 節であった(第 3 図)。第一花房着生節位が最も揃った明暗期長は 16 / 8 h で、第 8 節に 11%、第 9 節に 86%、第 10 節に 3%の割合で着生した。一方揃いが最も悪かった明暗期長は 8 / 16 h で、第 7 節に 33%、第 8 節に 57%、第 9 節に 10%の割合で着生した。また第一花房における着花数は短日条件ほど増加していき、明暗期長 8 / 16 h では 6.0 個、明暗期長 16 / 8 h では、4.7 個となった(第 3 図)。一番花開花日は長日条件ほど早く開花し、開花日も揃う傾向であった。四番花開花日にも同様の傾向があり、長日条件ほどトマトーン等の着花促進剤が短い期間



第 3 図 閉鎖型苗生産システムにおける明暗期長が第一花房着生節位および着花数に及ぼす影響

²横に異なるアルファベット間には Tukey の多重検定により 5%水準で有意差あり。

³第一花房着生節位における変動係数 (%)

棒グラフは第一花房着生節位、点グラフは着花数を表す。

で散布可能と考えられた。これは実験 1 と同様に長日条件ほど第一花房着生節位が揃ったため、開花日もより揃ったものと考えられた。また、長日条件ほど苗の生育が良かったため、その後の生育や開花日も早まったと考えられた。

以上の結果から、育苗時における長日条件は、年間作付け回数増加による総収量の増加につながる可能性が示唆された。一方、果実収量の差はなかった。定植時の光合成速度、クロロフィル含量および苗の外観は、育苗時の明暗期長の違いによって大きく異なるが、摘心後の苗の外観には差は見られなかった。異なる明暗期長によって得られた外観や性質は、定植後の生育速度には影響するが、果実肥大以降、最終的な生育には反映されず苗の外観および果実収量に差は見られないことがわかった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

① Lu, N., T. maruo, M. Johkan, M. Hohjo, S. Tsukagoshi, Y. Ito, T. Ichimura, Y. Shinohara. Effects of supplemental lighting within the canopy at different developing stages on tomato yield and quality of single-truss tomato plants grown at high density. Environ. Cont. Biolo. 査読有、50、2012、1-11.
 DOI: <http://dx.doi.org/10.2525/ecb.50.1>

② Lu, N., T. maruo, M. Johkan, M. Hohjo, S. Tsukagoshi, Y. Ito, T. Ichimura, Y. Shinohara. Effects of supplemental lighting with light-emitting diodes (LEDs) on tomato yield and quality of

single-truss tomato plants grown at high planting density. Environ. Cont. Biolo. 査読有、50、2012、63-74.
DOI: <http://dx.doi.org/10.2525/ecb.50.63>

〔学会発表〕(計15件)

① 大谷智之・北条雅章・丸尾達・淨閑正史・塚越覚・篠原温：“閉鎖型苗生産システムにおける環境条件がトマト苗の第一花房着生節位の揃いおよび生育に及ぼす影響”園芸学会。(2013.3.23). 東京農工大学農学部

② 金子荘・児玉香苗・丸尾達・篠原温・淨閑正史：“移動式トマト一段密植栽培に関する研究(第1報)灌液システムの開発と生育段階にあわせたベンチ間隔の検討”園芸学会。(2011.3.20). 宇都宮大学農学部

③ Toru Maruo: “Possibility of low truss with high planting density tomato culture for realizing higher yield” Sino-Japan-Korean Symposium on Protected Horticulture & Environmental Control. (2010.6.3). Shanghai Wumao Plaza Hotel

④ 平田恵理・丸尾達・北宣裕・廣瀬一郎・篠原温：“トマトの低段多段組合せ栽培体系モデルの構築-低段多段栽培の切り換えを前提とした栽培システムの開発-”園芸学会。(2010.3.21). 日本大学生物資源学部

⑤ Na Lu・丸尾達・篠原温：“The yield enhancements of single truss tomato plants grown in super-high densities with supplemental lighting from LED at different growth stages” 6th International Symposium on Light in Horticulture. (2009.11.17). 筑波国際会議場(エポカルつくば).

〔図書〕(計1件)

① (社) 日本施設園芸協会／日本養液栽培研究会共編、誠文堂新光社、養液栽培のすべて：植物工場を支える基本技術、2012、385

〔その他〕

ホームページ等

① 農林水産省植物工場 実証・展示・研修事業 千葉大学拠点

<http://www.fc.chiba-u.jp/plant-factory/>

② NPO 法人 植物工場研究会

<http://npoplantfactory.org/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

丸尾 達 (MARUO TORU)

千葉大学・大学院園芸学研究科・准教授
研究者番号：20143266

(2) 研究分担者

篠原 温 (SHINOHARA YUTAKA)

千葉大学・大学院園芸学研究科・教授
研究者番号：30015903