

トマト一段密植栽培における葉数の違いが 収量に及ぼす影響^{*1}

大久保進一^{*2}
安場健一郎^{*5}

東出 忠桐^{*3}
大森 弘美^{*6}

金子 壮^{*4}
中野 明正^{*7}

トマト一段密植栽培において、葉数の違いが収量に及ぼす影響を収量構成要素に分解し解析した。第1果房の上2葉を残して摘心した処理を対照として、第2果房を摘房し第1果房の上5葉で摘心して果房上の葉数を増やした処理、第1果房の上と下2葉ずつを残して摘心・摘葉し葉数を減らした処理を比較した。果実収量は、摘心位置を変え果房上の葉数を増加させると増加したが、摘葉し葉数を減少させても減少しなかった。果房上の葉数の増加では葉面積の増大に伴う積算受光量の増加により総乾物生産量が増え、それが乾物収量および果実収量の増加につながったと考えられた。また、摘葉により葉面積の減少に伴って積算受光量が減り総乾物生産量は減少するものの、果実への乾物分配率が増加し乾物収量および果実収量を維持したと考えられた。これらより果房上の葉数の増加は増収に結びつくこと、摘葉が必ずしも収量に影響しないことが明らかとなった。

緒 言

北海道のトマト栽培は、都府県では栽培が少ない夏秋期に主に行われており、夏秋期の出荷量は全国1位である¹⁵⁾。その半数近くは道外に出荷され、全道的に移出産地が拡大している⁸⁾。道内の一般的なトマト栽培は、無加温の土耕栽培で、4~6月に定植し晩秋まで収穫する。しかし、この作付体系では、価格の下落しやすい8月に出荷が集中し、価格の回復する9月以降の出荷が少なくなるという問題がある。また、出荷時期の集中は、共同選果施設の運営面でも課題となっており、出荷時期の分

散による施設稼働率の平準化も要望されている。

この問題を解決する方法として低段密植栽培の導入は有効であると考えられる。我が国の低段密植栽培の研究はトマトの単価の高い時期に集中的に収穫する技術として1970年代に土耕栽培で開始されたが⁹⁾、密植栽培では必要な苗数が増えることから育苗労力等の問題があり普及が進まなかった。しかし、近年、人工光を利用した完全閉鎖型の苗生産装置が普及し高品質な苗を安定的かつ省力的に生産できるようになったことから、府県で養液栽培による低段密植栽培の普及が進むとともに¹⁶⁾、低段密植栽培を含む多収技術の研究および実証が植物工場で進められている¹⁴⁾。道内では、花・野菜技術センターが、秋季安定生産の確立を目的に、土耕栽培による3段密植栽培技術を開発した⁷⁾。この中で育苗労力の問題は、セル成型苗を直接本圃へ定植することで解消した。また、土耕栽培では難しいセル成型苗の草勢制御を仕立て法等で可能とした。

近年、品種間差や栽培法の最適化のための情報を得る手段として、トマトやキュウリでは収量構成要素等に基づいた解析が行われている³⁾⁴⁾⁹⁾。収量に関連する要素は階層構造をとっていることから²⁾、それを解析することでどの要素が収量に影響したのかが明確となる。トマト低段密植栽培では、金子ら¹¹⁾¹²⁾がこの手法により、定植時期の早晚がその後の生育へ及ぼす影響や群落内の光環境と品種の関係を明らかにしている。しかし、収量に大きく関与する葉面積が変化する摘心位置（果房上の葉数）

2018年11月7日受理

^{*1} 本報の一部は、園芸学会平成26年度春季大会で報告した。

^{*2} (地独) 北海道立総合研究機構花・野菜技術センター、073-0026 滝川市東滝川
E-mail: ohkubo-shinichi@hro.or.jp

^{*3} 農業・食品産業技術総合研究機構野菜茶業研究所(現：野菜花き部門)、305-8519 茨城県つくば市

^{*4} 同上(現：宮城県農業・園芸総合研究所、981-1243 宮城県名取市)

^{*5} 同上(現：岡山大学大学院環境生命科学研究科、700-8530 岡山県岡山市)

^{*6} 同上(現：農業・食品産業技術総合研究機構農業技術革新工学研究センター、331-8537 埼玉県さいたま市)

^{*7} 同上(現：農林水産省農林水産技術会議事務局、100-8950 東京都千代田区)

および摘葉の影響を解析した報告は少ない。

そこで、本研究では、トマト低段密植栽培における一段密植栽培により、果房当たりの葉数が収量に与える影響について、収量構成要素等に分解し解析した。

試験方法

実験は農業・食品産業技術総合研究機構植物工場つくば実証拠点（茨城県つくば市）のハウス内で行った。供試品種は「桃太郎ヨーク」とした。2012年12月21日にロックウールブロック（縦35mm、横35mm、高さ40mm）に播種し、発芽後は閉鎖型育苗装置（苗テラス、三菱ケミカルアグリドリーム株式会社）内で育苗した。本葉が6葉程度展開した2013年1月16日にNFT式の栽培ベッドに栽植密度11.1株・m²で定植した。受粉はトマトトーンによるホルモン処理で行い、摘果は行わなかった。培養液は大塚A処方を用いEC1.8dS・m⁻¹で管理した。天窓の換気設定温度は28℃、温風暖房機の設定温度は13℃とした。屋外および屋内の気温、湿度および日射などの気象データはユビキタス環境制御システムで測定した。

処理は、第1果房の上2葉を残して摘心した区を10葉区（対照）、第2果房を摘房し第1果房の上5葉で摘心した区を13葉区、第1果房の上と下2葉ずつを残して摘心・摘葉した区を4葉区とした。10葉区および13葉区の下葉については摘葉しなかったが、栽培中に黄化した下葉は取り除き、サンプリング調査に含めなかった。処理はトマトが開花始めとなった同年2月15日に行った。

処理区は1区9株、2反復とし、定植時および処理時、処理24日後（3月11日）、処理47日後（4月3日）にサンプリングを行い、葉、茎、果実の新鮮重および乾物重、葉面積、生葉数、茎長を測定した。処理24日後のサンプリングでは1反復当たり各2株ずつ、処理47日後は1反復当たり各4株ずつサンプリングした。処理47日後の時点でトマト果実は緑熟期であったが、その果実重を果実収量、乾燥させた果実乾物重を乾物収量とした。葉、茎、果実の乾物重の合計を総乾物生産量とした。

積算受光量および光利用効率の計算は東出ら⁴⁾の方法に準じて行った。1日当たりの受光量は吸光係数(k)、葉

面積指数(LAI)および光合成有効放射(PAR)から次式で求められる。

$$1日当たり受光量 = (1 - e^{-k \cdot LAI}) \times PAR$$

1日当たり受光量を生育期間で積算していったものが積算受光量となる。

吸光係数は金子らの測定に基づく0.64を用いた¹²⁾。毎日のLAIは4回のサンプリング調査から得られた葉面積から、線形補完によってサンプリング間の値を推定した。PARは全野外日射の50%とし、ハウス内透過率はHigashideらの報告³⁾に基づき60%として算出した。

光利用効率は積算受光量当たりの乾物生産効率である。よって、各サンプリング調査時における積算受光量と総乾物生産量から得られた回帰直線の傾きをそれぞれの処理区の光利用効率とした。

結 果

果実収量は10葉区に比べ13葉区が有意に多く、4葉区には有意差がみられなかった（図1）。

実験終了時（処理47日後）の生葉数は、10葉区に比べ13葉区は有意差がみられず、4葉区で有意に少なかった（表1）。LAIは、葉数が増えると増加し、4葉区のLAIは10葉区と13葉区に比べ有意に小さく、10葉区と13葉区では10葉区が有意に小さかった。積算受光量は、10葉区に比べ13葉区が有意に多く、4葉区で有意に少なかった。茎乾物重は、10葉区および13葉区に比べ4葉区が有意に軽く、葉乾物重でも4葉区は10葉区および13葉区に比べ有意に軽かった。乾物収量（果実乾物重）は、10葉区に比べ13葉区は有意に多かったが、10葉区と4葉区には有意差がみられなかった。総乾物生産量は、LAIが増えると増加し、13葉区の総乾物生産量は10葉区および4葉区に比べ有意に多く、10葉区と4葉区では10葉区が有意に多かった。果実乾物率（乾物収量／果実収量）は、処理区間に有意差がみられなかった。果実乾物分配率（乾物収量／総乾物生産量）については、10葉区に比べ4葉区が有意に高かった。

表1 処理47日後における摘葉と果房上の葉数の違いが生葉数、LAI、積算受光量、乾物重、果実乾物率および果実乾物分配率に及ぼす影響

処理	生葉数 枚・株 ⁻¹	LAI m ² ・m ⁻²	積算 受光量 ^z MJ PAR・m ⁻²	乾物重				果実 乾物率 g・g ⁻¹	果実乾物 分配率 g・g ⁻¹
				茎	葉	果実	総乾物生産量		
				g・m ⁻²	g・m ⁻²	g・m ⁻²	g・m ⁻²		
10葉	8.4a ^y	7.8b	213b	114a	316b	167b	596b	0.065a	0.28b
13葉	10.8a	9.8a	217a	122a	330a	256a	707a	0.062a	0.36ab
4葉	4.1b	4.5c	203c	70b	175c	172ab	417c	0.057a	0.41a

z：処理24日目までの平均積算受光量＋個体ごとの積算受光量（処理24日～終了時）

y：異なるアルファベット間にTukey-Kramer法により5%水準で有意差あり（n=2）

圃場面積当たり積算受光量と総乾物生産量との関係を図2に示した。すべての処理区で積算受光量と総乾物生産量との間に有意な相関関係がみられ、有意な回帰直線が得られた($r=0.97\sim0.99$, $P<0.05$)。各処理区の光利用効率をこの回帰直線の傾きから算出した結果、2.02~3.26の範囲にあり、95%信頼区間で比較すると処理区間には有意差がみられなかった。

全処理区の収量構成要素の関係をみると、果実収量は乾物収量との間に有意な相関関係がみられた一方で、果実乾物率とは相関がみられなかった(表2)。乾物収量は総乾物生産量および果実乾物分配率との間に有意な相関関係がみられた。総乾物生産量は光利用効率、積算受光量およびLAIとの間に有意な相関関係がみられた。積算受光量はLAIとの間に有意な相関関係がみられた。

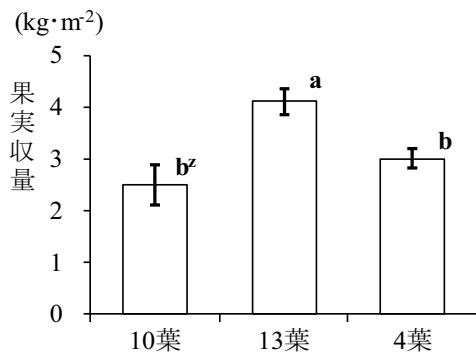


図1 処理47日後における摘葉と果房上の葉数の違いが果実収量に及ぼす影響

z: 異なるアルファベット間にTukey-Kramer法により5%水準で有意差あり(n=2)

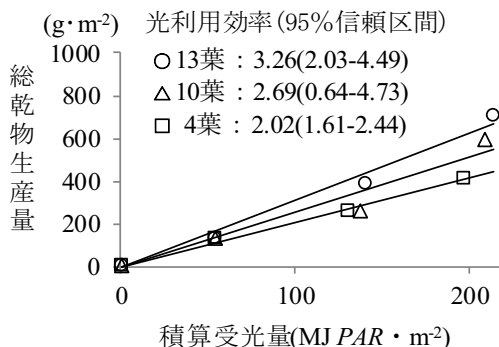


図2 葉数の異なるトマトにおける積算受光量と総乾物生産量の関係

考 察

小林¹³⁾は、十分に光の当たる条件では葉数が増えるほど同化量が増え、収量も増加するため一段密植栽培における果房上の葉数(0~3枚)は、3枚が良いと報告している。本試験でも、摘心位置を変えることで、対照とした10葉区(果房上葉数2枚)に比べ果房上の葉数が5枚の13葉区が増収した。一方、下葉を摘葉することで10葉区より葉が少なくなった4葉区では減収しなかった。景山・益田¹⁰⁾は、二段密植栽培において葉面積を約1/2程度になる摘葉をしても収量は無処理とほとんど変わらなかったが、約3/4程度の摘葉では約30%の減収となったと報告している。本試験の処理時では、4葉区のLAIは10葉区に比べ約67%となったが(データ略)、処理47日後で4.5とある程度の高い状態であったため(表1)、収量に与える影響はなかった可能性がある。

トマトの収量構成要素では、果実収量は乾物収量と果実乾物率によって決まる²⁾。本試験の果実収量は処理47日後には乾物収量と有意な正の相関がみられたが、果実乾物率とは相関がみられなかった(表2)。これらのことから、果実収量は乾物収量の影響を受け、果実乾物率の影響はほとんどなかったと考えられる。このことは、果実収量と同様に乾物収量は10葉区に比べ13葉区で多く4葉区とは差がみられないにもかかわらず、果実乾物率は処理区に差がみられないことから示唆される(表1)。つまり、乾物収量の多少が果実収量の増減につながったといえる。

乾物収量は総乾物生産量と果実乾物分配率によって決まるが²⁾、処理47日後には乾物収量は双方と正の相関関係が見られた(表2)。総乾物生産量はLAIの多い区ほど多かったが、果実乾物分配率は4葉区が高かった(表1)。このことから、13葉区の乾物収量が10葉区および4葉区に比べ多かった要因として、総乾物生産量が大きく影響していると考えられる。

総乾物生産量は光利用効率と積算受光量によって決まるが²⁾、処理47日後では双方ともに正の相関関係がみられた(表2)。一方、光利用効率には各処理区間で有意な差がみられなかったが(図2)、積算受光量は葉数が多い処理区ほど多かった(表1)。このため、13葉区の総乾物生産量が多いのは、積算受光量が多いためと考えられる。さらに、積算受光量はLAIと正の強い相関関係がみられることから(表2)、処理区の総乾物生産量の違いはLAIの差に由来する積算受光量の違いに基づくと考えられる。このことから、13葉区の増収は、LAI増大に伴う積算受光量の増加により総乾物生産量が増え、それが乾物収量および果実収量の増加につながったと考えられる。なお、トマト1株当たりの果実収量は果実数と果実重からなる。

表2 処理47日後における収量構成要素間の相関係数

	乾物収量	果実 乾物率	総乾物 生産量	果実乾物 分配率	光利用 効率	積算 受光量	LAI
果実収量 有意性 ^a	0.91 ***	0.13 NS	0.50 *	0.62 **	0.53 **	0.34 NS	0.46 *
乾物収量 有意性		0.48 *	0.73 ***	0.42 *	0.75 ***	0.44 *	0.65 ***
総乾物生産量 有意性				-0.26 NS	1.00 ***	0.63 ***	0.94 ***
積算受光量 有意性							0.83 ***

z: *, **, ***はそれぞれP<0.05, 0.01, 0.001で有意差あり. NSは有意差なし (n=24)

本試験では、果実数を測定していないが、処理は花数が決定している開花初期に行っており、処理後の落花は観察されなかったことから、処理区間に果実数の差はないと推察される。観察では13葉区の果実は10葉および4葉区に比べ肥大が良好であったことから、果実重の増加が13葉区の果実収量の増加に結びついたと考えられる。

一方、4葉区の総乾物生産量は10葉区に比べて有意に低いものの、乾物収量には差がみられなかった（表1）。この要因は4葉区の果実乾物分配率が10葉区に比べ高かったことによる（表1）。果実乾物分配率はシンク強度と果実数によって決まるが、本試験の果実数は上述のとおり、処理区間の差はないと推察される。また、果実乾物分配率は果実のシンク強度を植物全体（生殖生長および栄養生長器官）のシンク強度で割ったものとして計算できる¹⁾。そのため、4葉区は摘葉により栄養生長器官のシンク強度が減ったことにより植物全体に占める果実のシンク強度が増し、それが果実乾物分配率の向上につながったと考えられる。これは葉の除去によって栄養器官のシンク強度が低下し果実乾物分配率が増加したというXiaoらの結果と一致した¹⁷⁾。これらのことから、4葉区は10葉区に比べ総乾物生産量が少ないが、果実乾物分配率の向上により、乾物収量および果実収量を維持したと考えられる。

以上のことから、一段密植栽培において果房上の葉数の増加は果実収量の増加に結びついたこと、摘葉が果実収量に必ずしも影響しないことが収量構成要素の解析から明らかになった。この結果から、果房上の葉数を増やすことで一段密植栽培の果実収量を増加させることが期待できる。

謝 辞 本研究は、著者の一人（大久保）が農業・食品産業技術総合研究機構の依頼研究員受入制度を利用し、野菜茶業研究所（現：野菜花き研究部門）で依頼研究員として実施したものである。試験の実施およびデータの収集に当たり、ご協力をいただいた野菜茶業研究所の方々に改めて深く感謝申し上げる。

引用文献

- 1) エペ・フーヴェリング. トマト オランダの多収技術と理論. 農文協, 東京, 2012, p136
- 2) 東出忠桐. 農業技術体系. 2巻(トマト), 農文協, 東京, 2010, p.基18の2-9
- 3) Higashide, T. and E. Heuvelink. Physiological and morphological changes over the past 50 years in yield components in tomato. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 134, 460-465 (2012)
- 4) 東出忠桐, 後藤一郎, 鈴木克己, 安場健一郎, 塚澤和憲, 安東赫, 岩崎泰永. 収量構成要素の解析からみたキュウリ短期栽培の摘心およびつる下ろし整枝法の差異. 園学研. 11(4), 523-529 (2014)
- 5) Higashide, T., T. Oshio, T. Nukaya, K. Yasuba, A. Nakano, K. Suzuki, H. Ohmori and S. Kaneko. Light Transmission of a Greenhouse (NARO Tsukuba Factory Farm) Built to Meet Building and Fire Standards. 野菜茶研研報. 13, 27-33 (2014)
- 6) 久富時男, 藤本幸平. トマトの1段密植栽培に関する研究（第1報）は種時期の生育・収量について. 園学雑. 46(4), 487-494 (1978)
- 7) 北海道農政部. 秋季安定生産に向けたトマト3段どり栽培技術と経済性. 平成26年普及奨励並びに指導参考事項, 88-90 (2014)
- 8) 北海道野菜地図編集委員会編 “北海道野菜地図その41”. 北海道農業協同組合中央会・ホクレン農業協同組合連合会. 2018, p.17-21.
- 9) 岩崎泰永, 安東赫, 下村晃一郎, 東出忠桐, 中野明正. 仕立て法および栽培環境の違いが、ペイトアルファ型, 温室型および日本型キュウリ品種の生育, 収量に及ぼす影響. 野菜茶研研報. 13, 65-73 (2014)
- 10) 景山詳弘, 益田忠雄. 水耕栽培によるトマトの密植低段栽培に関する研究（第1報）摘葉が収量ならびに養水分の吸収量に及ぼす影響. 岡山大農学報. 52, 91-98 (1978)

- 11) 金子壮, 東出忠桐, 安場健一郎, 大森弘美, 中野明正. 収量構成要素の解析からみたトマト低段密植栽培における定植時期の苗ステージと栽植密度. 園学研. 14(2), 163-170 (2015)
- 12) 金子壮, 畠中誠, 木村哲, 田村将吾, 東出忠桐, 安場健一郎, 大森弘美, 中野明正. トマトの3段密植栽培における群落内の光環境と品種の関係. 園学研. 12(別2), 370 (2013)
- 13) 小林尚司. 養液栽培によるトマトの一段どり栽培に関する研究(第3報) 栽植密度および花房より上位に残す葉の数が生育・収量に及ぼす影響. 農業施設. 30(1), 53-60 (1999)
- 14) 丸尾達. トマト養液栽培における最新の動向と展望. 月報野菜情報. 102(9), 32-37 (2012)
- 15) 農林水産省. 平成28年産野菜生産出荷統計. 2018, p46
- 16) 渡辺慎一. 低段密植栽培による新たなトマト生産. 野菜茶研究集報. 3, 91-98 (2006)
- 17) Xiao, S., Van der Ploeg, A., Bakker, M. and E. Heuvelink. Two instead of three leaves between tomato truss: measured and simulated effects on partitioning and yield. Acta Hort. 654, 303-308 (2004)

Effects of Number of Leaves per Truss on Yield and Yield Components in Single-Truss Tomato Production

Shin-ichi OHKUBO^{*1}, Tadahisa HIGASHIDE^{*2}, So KANEKO^{*3},
Ken-ichiro YASUBA^{*4}, Hiromi OHMORI^{*5} and Akimasa NAKANO^{*2}

Summary

Tomato plants with 4, 10, and 13 leaves per truss in single-truss tomato production were compared to investigate effects of number of leaves on yield. The plants were grown in a greenhouse using a nutrient film technique.

“10 leaves per truss” is the standard treatment (control) and the main shoot was pinched at two leaves above the first truss. In “13 leaves per truss”, the five leaves above the truss were increased by changing pinching node order. In “4 leaves per truss”, the leaves were removed except two leaves above and below the truss. The fresh fruit yield was increased with increasing the number of leaves above the truss but not influenced by the leaf removal. In

“13 leaves per truss”, the high fresh fruit yield would be caused by the high dry weight yield which resulted from the high total dry matter production. Also, it's thought that the high total dry matter production originated in the high light interception from an increase in the leaf area. On the other hand, in “4 leaves per truss”, no influence by leaf removal on the fresh fruit and dry weight yield were observed although the low light interception by a decrease in the leaf area resulted in the low total dry matter production. These results would be caused by high dry matter partitioning to the fruits.

^{*1} Hokkaido Ornamental Plants and Vegetables Research Center, Takikawa, Hokkaido, 073-0026 Japan
E-mail: ohkubo-shinichi@hro.or.jp

^{*2} NARO Institute of Vegetable and Tea Science (Present; Institute of Vegetable and Floriculture Science), Tsukuba, Ibaraki, 305-8519 Japan

^{*3} ditto. (Present; Miyagi Prefectural Institute of Agriculture and Horticulture, Natori, Miyagi, 981-1243 Japan)

^{*4} ditto. (Present; Graduate School of Environmental and Life Science, Okayama University, Okayama, Okayama, 700-8530 Japan)

^{*5} ditto. (Present; NARO Institute of Agricultural Machinery, Saitama, Saitama, 331-8537 Japan)

^{*6} ditto. (Present; Research Council's Secretariat Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries Japan, Chiyoda, Tokyo, 100-8950 Japan)