

原著論文

側枝を利用した茎数増加が促成栽培トマトの
生育、収量および物質生産に及ぼす影響

岩崎泰永・安東赫・鈴木真実*

(平成29年10月17日受理)

Effects of Increased Stem Density on the Growth, Yield, and Dry Matter
during Cultivation of Tomato in Forcing CultureYasunaga Iwasaki, Dong-Hyuk Ahn
and Mami Suzuki

I 緒言

国内のトマトの施設栽培における年間収量は長い間 25 kg・m²程度で、高収量生産者でも 25～30 kg・m²にとどまっている(斉藤,2012)。一方オランダのトマト年間収量は 60 kg・m²以上で、中には 65～70 kg・m²の高収量を達成している生産者もいることが現在では広く知られている。オランダの高収量の一つの要因と考えられる管理法として、日射量に応じて茎数を変える栽培管理がある。これは、1～2月の栽培開始時には栽植密度はやや低め(2.1～2.5株・m²)にして、春になると4株のうち、1～2株の側枝を伸長させ、夏にかけて面積あたりの茎数を増加させる管理である(Heuvelinkら,2005)。従来、国内のトマト生産では、栽植密度は作業効率や病害抑制を優先的に考慮して決められていることが多く、作型や地域に関わらずほぼ同じであることが多い。近年、大型の高軒高ハウスを用いた長期年1作栽培が増加しつつあり、日射量の増加に合わせて面積あたりの茎数を増加させる栽培管理を行う生産者も現れている(松本,2014)。しかし、オランダと日本では作型(定植時期、収穫期間)が異なるため、茎数を増加させる時期や本数およびその効果について検討する必要があるが、茎数の増加がトマトの生育や収量に及ぼす影響を定量的に調べた報告は見当たらない。側枝

を株あたりそこで本研究は、促成作型の長期年1作栽培における茎数管理による収量増加技術を確立するための基礎的な知見を得ることを目的として、品種や環境条件(CO₂濃度、湿度)を変えつつ、物質生産の観点(黒岩,1990)から解析することを試みた。

なお、本研究の実施にあたり、農研機構野菜茶業研究所武豊野菜研究拠点(現在閉所)において、業務1科武豊駐在であった河野真人氏、羽山敏夫氏、施設野菜生産技術研究グループ契約職員、横尾美喜子氏、中里有里氏、藤井栄美氏には多大な援助をいただいた。本研究の一部は農林水産省・食品産業科学技術研究推進事業、「CO₂長期長時間施用を核とする環境制御技術によって東海の園芸産地を活性化する(2012～14)」の助成を受けて実施した。

II 材料および方法

実験は、武豊野菜研究拠点(愛知県知多郡武豊町、現在閉所)にある、ポリオレフィンフィルムを展張した鉄骨ハウスを2棟供試して行った。1棟(間口4.5m×2連棟、奥行き24m、うち栽培部分は18m、軒高3.6m南北棟)は日中CO₂施用および加湿制御を行った(以下、CO₂・湿度制御ハウス)。もう1棟(間口4.5m×6連棟、奥行き32m、軒高3.6m、南北棟)はそれらの処理を

行わなかった（以下、慣行制御ハウス）。温風暖房機および天窓の設定温度は茎径や葉の茂り具合を観察しながら適宜調節したが、制御目標の初期値として、温風暖房機の設定温度は 13 °C、天窓の換気設定温度は CO₂・湿度制御ハウスの場合は 30 °C、慣行制御ハウスの場合は 28 °C とした。CO₂・湿度制御ハウスの CO₂ 濃度および相対湿度はユビキタス環境制御システム（安場ら、2012）によって制御した。相対湿度は気温 25 °C 以上の場合に 75 ~ 80 % となるようにミストを噴霧して制御した。天窓が連続して 5 分以上閉じた状態が続いた場合は、CO₂ の最低濃度を終日 800 ppm、一方、天窓が開いて換気が行われている状態では、CO₂ の最低濃度は 400 ppm とし、液化 CO₂ を用いて、ハウス内に CO₂ を供給した。各ハウス内には床面からの高さ 0.3 m、長さ 14 m、ベッド幅 0.3 m の栽培ベッド 4 本を南北方向に作成し、ベッド毎にロックウールスラブを 15 枚ずつ設置した。ベッド間隔は 1.8 m とした。供試品種は 'りんか 409'（サカタのタネ）、'富丸ムーチョ'（Syngenta）、'YAHARA'（Syngenta）とした。

2012 年 9 月 24 日に園芸用土を詰めた 72 穴セルトレイに播種し、閉鎖型苗生産装置（商品名、苗テラス、三菱ケミカルアグリドリーム株式会社）内で育苗したのち、同年 10 月 12 日にそれぞれのハウスのロックウールスラブに定植した。培養液は大塚 A 処方を用い、株あたり 0.5 ~ 2.0 L・日⁻¹ を 5 ~ 10 回に分けて生育や天候に応じて供給した。培養液の EC は生育に応じて 1.2 ~ 2.4 dS・m⁻¹ の範囲で管理した。CO₂・湿度制御ハウス、慣行制御ハウスともに、品種（3 品種）および側枝伸長による茎数増加の有無（側枝利用区、慣行区）を組み合わせた計 6 試験区を設定した。

ロックウールスラブ 5 枚分を 1 区画とし、供試 3 品種を各ベッドにかたよりにないように割り付けた。1 区画あたり 25 株（1 スラブあたり 5 株、株間 0.182 m、茎数 3.05 本・m²）定植した。誘引パイプを栽培ベッドに沿って 2 列（高さ 3.0 m、0.45 m 間隔）設置し、1 株おきに東西に振り分けて誘引した。1 品種あたり 4 区画のうち 2 区画には側枝利用区を割り付け、2 区画には慣行区を割り付けた。各区画の中央付近の 8 株を収穫調査の対象とし、この 8 株をさらに東西の誘引方向別に 4 株ずつ区分して 1 調査区（1 反復）として、1 試験区あたり 4 調査区（4 反復）とした。側枝利用区は、各調査区内で 1 株おきとなるように第 10 花房直下から発生した強い側枝を伸長させて m² あたりの茎数を増加させ、4.58 本・m² とした。

不要な側枝はできる限り初期のうちに取り除いた。栽培中の下葉は黄変したものを取り除いた。除去した茎葉は調査区ごとに回収し乾物重を測定した。

定植時および定植から 62、131 および 242 日後に 1 調査区あたり 2 株ずつ（側枝利用区の場合は、側枝あり、側枝なしをそれぞれ 1 株ずつ）、試験区あたり計 8 株サンプリングを行い、LAI（Leaf Area Index、葉面積指数、m²・m⁻²）、葉、茎、未熟果実の新鮮重および乾物重を測定した。その際、収穫調査用個体の光条件に影響を与えない位置からサンプリング用の個体を選んだ。また、着果処理は 4-CPA（商品名、トマトーン、石原産業）の花房噴霧で行い、摘果は行わなかった。収穫調査は定植後 91 ~ 242 日後（2013 年 1 月 11 日 ~ 6 月 11 日）まで週 2 回ずつ、赤熟した果実について行った。果実数、新鮮重および乱形果などの障害果数を調査した。果実乾物重は果実新鮮重に乾物率をかけて算出した。乾物率は定植後 131 日前後に、各試験区から 20 個ずつ果実をサンプリングして新鮮重と乾物重を求め、乾物率 = 乾物重 / 新鮮重として計算した。'りんか 409' は 0.041、'富丸ムーチョ' は 0.042 および 'YAHARA' は 0.047 であった。

吸光係数の測定と光利用効率、積算受光量の計算は Higashide ら（2009）および金子ら（2015）の方法に準じて行った。吸光係数は CO₂・湿度制御ハウスでのみ測定し、その値を慣行制御ハウスにも適用した。定植 131 日後に光量子センサ（LI-190, Li-Cor）を群落の上に設置し、データロガー（GL220, GRAPHTEC）にて光合成有効光量子束密度（PPFD）を 10 秒ごとに記録した。群落上部から群落最下部までの高さを 0.5 m ごとに分割し、ロング光量子センサ（LI-191, Li-Cor）を分割した高さごとに群落内部に栽培ベッドと直交するように差し込み、水平面の PPFD を 1 区画あたり 3 カ所ずつ測定した。測定後に測定点付近の個体を 1 区画あたり 4 個体ずつサンプリングし、群落内の PPFD を測定した高さごとに葉面積を調査した。群落上部の光強度を I₀、高さ別の群落内光強度を I_n（n=1 ~ 3）とし、相対光強度 I_n/I₀ と、相対光強度を測定した高さより上部の LAI の実測値を用いて直線回帰式（1）を求め、吸光係数（k）を品種ごとに得た（Monsi ら、1953）。

$$I_n/I_0 = \exp(-k \cdot LAI) \quad (1)$$

相対受光量は式（2）を用いて、各試験区の LAI と k から算出した。

$$\text{相対受光量 (\%)} = (1 - e^{-k \cdot LAI}) \times 100 \quad (2)$$

積算受光量は、毎日のハウス内積算日射量（MJ・d⁻¹）

表一 側枝利用の有無が収穫花房数, 可販果収量に及ぼす影響

< CO ₂ ・湿度制御ハウス >								
品種	側枝利用	収穫花房数		個数 (個・m ²)	重量 (kg・m ²)	可販果収量		
		総花房数 (本・m ²)	第11花房以降			平均1果実重量 (g・個 ⁻¹)	可販果率 (%)	重量比 側枝利用/慣行
りんか409	慣行区	67.1 **	36.6	186.6 **	25.8 **	138 ns	89.7 ns	1.19
	側枝利用区	80.9	50.4	232.1	30.8	133	92.2	
富丸ムーチョ	慣行区	67.1 **	36.6	222.9 *	32.5 ns	146 **	95.6 ns	1.02
	側枝利用区	77.8	47.3	248.4	33.1	133	97.1	
YAHARA	慣行区	61.0 **	30.5	235.0 **	28.7 ns	122 **	94.7 ns	1.06
	側枝利用区	70.2	39.7	272.8	30.4	111	95.2	

< 慣行制御ハウス >								
品種	側枝利用	収穫花房数		個数 (個・m ²)	重量 (kg・m ²)	可販果収量		
		総花房数 (本・m ²)	第11花房以降			平均1果実重量 (g・個 ⁻¹)	可販果率 (%)	重量比 側枝利用/慣行
りんか409	慣行区	61.0 **	30.5	135.8 **	20.5 *	151 *	81.7 ns	1.15
	側枝利用区	71.7	41.2	167.6	23.6	141	84.2	
富丸ムーチョ	慣行区	67.1 ns	36.6	173.1 ns	26.8 ns	155 ns	92.3 ns	1.05
	側枝利用区	70.2	39.7	186.0	28.1	151	92.4	
YAHARA	慣行区	51.9 ns	21.4	184.0 ns	22.1 ns	120 ns	90.3 ns	1.05
	側枝利用区	56.5	25.9	190.6	23.2	122	92.2	

同一ハウス, 同一品種内で*, **は危険率5%および1%でt検定で有意差があることを示す. nsは有意差無し (n=4)

と毎日のLAIおよびkから式(3)によって1日ごとの群落受光量を求め, これを積算したものとした. 毎日のLAIは定植後62日, 131日および242日のサンプリングで得られた葉面積データの直線補間値から推定した.

$$\text{群落受光量} = (1 - e^{-k \cdot \text{LAI}}) \times \text{積算日射量} \quad (3)$$

また, 定植後62日, 131日および242日における積算受光量とその時点における地上部全乾物重(茎葉と果実の乾物重合計)をプロットし, 原点を通る一次式で回帰した場合の傾きを光利用効率とした.

III 結果

ハウス内気温および日中のCO₂濃度はCO₂・湿度制御ハウスが慣行制御ハウスより高く維持された. ハウス内の日平均気温は定植日～62日後(2012/10/12～12/21)においてCO₂・湿度制御ハウス, 慣行制御ハウスの順に, 19.1, 18.4℃で, 日中(8時～16時)の平均CO₂濃度は同様に448, 407ppmであった. 定植後63～131日後(2012/12/21～2013/2/21)では, 平均気温はCO₂・湿度制御ハウス, 慣行制御ハウスの順に17.9, 14.8℃, 同様に日中平均CO₂濃度は792, 417ppm, 定植後132～242日後(2013/2/21～2013/6/11)では, 平均気温はCO₂・湿度制御ハウス, 慣行制御ハウスの順に22.9, 20.6℃, 同様に日中平均CO₂濃度は605, 446ppmであった. 図-1に旬別の屋外日射量の推移を示した. 側枝伸張を開始した1

月中旬の屋外日射量は9～12MJ・m²・日⁻¹であった.

側枝利用の有無が生育・収量および物質生産に及ぼす影響はCO₂・湿度制御ハウス, 慣行制御ハウスのいずれでも定性的には同様な傾向を示した. また, 側枝利用が想定される作型は促成栽培が中心であるが, この作型では, 生産現場においてもCO₂濃度や湿度を積極的に制御する場合が多くなりつつあるため, 以下はCO₂・湿度制御ハウスのデータについて述べることにし, 慣行制御ハウスについては, 適宜, 補足的に言及することとした.

表-1に収穫花房数, 可販果収量についてまとめた. CO₂・湿度制御ハウスでは収穫花房数(m²あたり)は側枝利用区は慣行区よりも15%以上増加した.

側枝利用によって慣行よりも可販果重量は増加する傾向がみられたが, 有意な差がみられたのは‘りんか409’だけであった. 可販果率は89.7～97.1%で, ‘りんか409’が他の2品種よりやや低かった.

可販果重量を収穫花房別(第1～10花房, 主枝第11花房以降および側枝)に図-2に示した. ‘りんか409’では, 側枝利用区は慣行区よりもほぼ側枝収量分増加した. ‘富丸ムーチョ’および‘YAHARA’では, 側枝利用区は慣行区と比べて主枝収量(第10花房までと主枝第11花房以降)が減少し, 側枝収量と主枝収量を合計した量が慣行区よりも若干増加した程度にとどまった. 慣行制御ハウスでは側枝収量は0.7～1.8kg・m²でCO₂・湿度制御ハウスより少なく, 可販果収量に占める割合が少なかった.

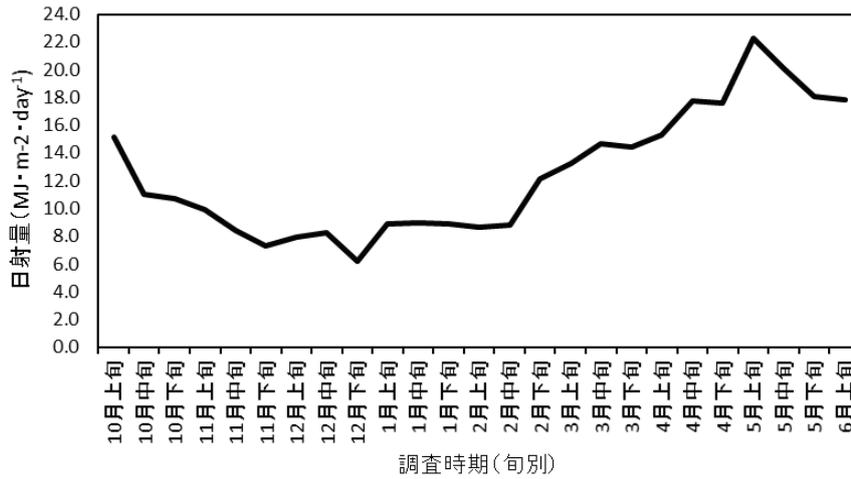


図-1 屋外日射量（日積算日射量）の推移（2012～2013）

表-2 側枝利用の有無が吸光係数、LAI、受光量、乾物重、光利用効率に及ぼす影響

< CO ₂ ・湿度制御ハウス >									
品種	側枝利用	吸光係数	LAI (m ² ·m ⁻²)	受光量 (MJ·m ⁻²)	乾物重			果実分配率 (%)	光利用効率 (g·MJ ⁻¹)
					茎葉	果実	合計		
りんか409	慣行	0.86	4.06 **	1,678 ns	1,092 *	1,371 **	2,463 *	55.7 **	1.47 ns
	側枝利用		5.05	1,685	989	1,698	2,687	63.2	1.62
富丸ムーチョ	慣行	0.80	3.69 **	1,625 ns	1,244 ns	1,672 ns	2,916 ns	57.3 ns	1.80 ns
	側枝利用		4.54	1,659	1,124	1,737	2,861	60.7	1.69
YAHARA	慣行	0.59	4.10 *	1,569 ns	1,106 ns	1,639 ns	2,745 ns	59.7 *	1.75 ns
	側枝利用		4.48	1,592	1,028	1,785	2,813	63.5	1.78

< 慣行制御ハウス >									
品種	側枝利用	吸光係数	LAI (m ² ·m ⁻²)	受光量 (MJ·m ⁻²)	乾物重			果実分配率 (%)	光利用効率 (g·MJ ⁻¹)
					茎葉	果実	合計		
りんか409	慣行	0.86	5.40 **	1,685 ns	806 ns	1,148 **	2,045 *	56.1 **	1.22 ns
	側枝利用		5.92	1,694	823	1,419	2,263	62.7	1.32
富丸ムーチョ	慣行	0.80	4.31 *	1,621 ns	940 ns	1,441 ns	2,374 ns	60.7 ns	1.46 ns
	側枝利用		4.71	1,629	928	1,554	2,474	62.8	1.51
YAHARA	慣行	0.59	2.93 **	1,432 ns	1,040 *	1,310 ns	2,324 ns	56.4 **	1.29 ns
	側枝利用		3.61	1,508	910	1,391	2,259	61.6	1.48

同一ハウス，同一品種内で*，**は危険率5%および1%でt検定で有意差があることを示す．nsは有意差無し（n=4）
 吸光係数は定植131日後に調査
 LAIは収穫終了時（242日後）に測定
 積算受光量の定植日～収穫終了時（242日後）までの積算値

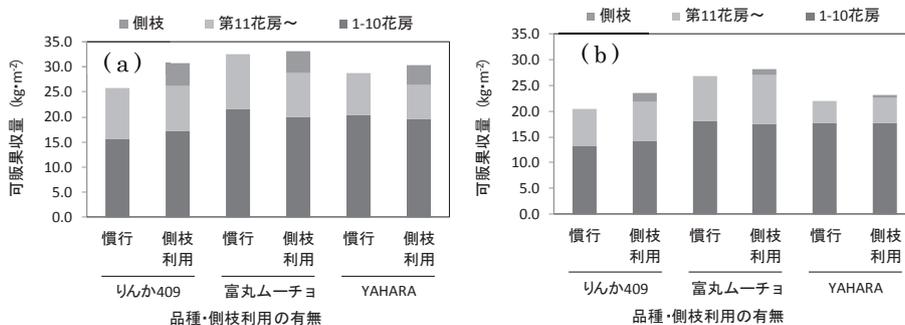


図-2 側枝利用の有無が収穫部位別の可販果収量に及ぼす影響
 ((a) CO₂・湿度制御ハウス，(b) 慣行制御ハウス)

表-2 に吸光係数, LAI, 積算受光量, 光利用効率, 乾物重, 果実分配率についてまとめた. 吸光係数は 'YAHARA' が最も小さく, 次いで '富丸ムーチョ', 'りんか 409' の順となった. 定植 242 日後の LAI は 'りんか 409' で 4.1 ~ 5.1, '富丸ムーチョ' で 3.7 ~ 4.5, 'YAHARA' で 4.1 ~ 4.5 となった. LAI は定植後 62 日目に行った解体調査時に品種にかかわらず 3.0 を超えており, 131 日後では 3.5 を超えていた (データ略). 定植 ~ 栽培終了時までの積算受光量は側枝利用区と慣行区で有意な差はなかった.

地上部全乾物重は 'りんか 409' では, 慣行区より側枝利用区が有意に大きくなったが, 他の品種については有意差はみられなかった. 果実乾物重についても同様な傾向であった. いずれの品種においても, 慣行より側枝利用をした場合に果実分配率が高くなる傾向がみられ, 'りんか 409' と 'YAHARA' で側枝利用区果実分配率が有意に高くなった.

3 回の解体調査結果と積算受光量から光利用効率を求めた. 側枝利用区と慣行区の間で有意差はみられなかった.

IV 考察

促成作型の長期 1 作どりにおける収量の増加を目的として, 日射量が増加する 1 月中旬から側枝を伸長させることによって茎数を増加させる管理を行い, 生育・収量および物質生産に及ぼす影響について, 品種および環境条件の異なる試験区を設定して調べた. 先述したように, 側枝利用の活用が想定・期待されるのは, 促成栽培作型であることを踏まえ, 主に CO₂ 施用および加湿制御を行う条件下での結果について議論を行うこととする.

収穫花房数は側枝利用によって CO₂・湿度制御ハウスではすべての品種で有意に, 慣行制御ハウスでは 'りんか 409' のみ有意に増加した. 可販果個数は 'りんか 409' では, 側枝利用によって慣行制御ハウスも含め有意に増加した. 一方, '富丸ムーチョ' および 'YAHARA' では CO₂・湿度制御ハウスでのみ有意な増加がみられ, 慣行制御ハウスでは可販果個数に有意な差は見られなかった. 可販果重量は 'りんか 409' では側枝利用によって有意に増加したが, '富丸ムーチョ' および 'YAHARA' では有意な差はみられなかった. このように, 側枝利用が収量に及ぼす影響は品種や環境によって異なり, 'りんか 409' では, 側枝利用によって可販果個数が CO₂・

湿度制御ハウス, 慣行制御ハウスともに 20 % 以上増加し, 収穫花房数の増加が可販果収穫個数の増加に反映された. 一方, '富丸ムーチョ' および 'YAHARA' では, 側枝利用による可販果収穫個数の増加率は CO₂・湿度制御ハウスで 11 ~ 16 %, 慣行制御ハウスで 4 ~ 7 % の増加にとどまった.

次に収量に対する側枝の寄与について考察すると, 'りんか 409' について果実の着生花房別割合 (重量比) をみると, 慣行区では, 第 1 ~ 10 花房由来, 第 11 花房以降由来の順に, 60.6, 39.4 % であった. 側枝利用区では, 第 1 ~ 第 10 花房由来, 主枝第 11 花房以降由来および側枝由来の順で, 56.1, 29.2, 14.7 % となった. 本実験では側枝利用区は半数の株について第 10 花房直下の側枝を伸長させて茎数増加させているので, 側枝と主枝が同等な生育をしたと仮定すると, 第 11 花房以降の収穫果実のうち側枝に由来する果実の割合は, 理論的には 1/3 (側枝と主枝の割合は 1:2) となる. そこで, 第 11 花房以降の収穫果実の主枝と側枝の割合を計算すると CO₂・湿度制御ハウスでは側枝 / 主枝 = 14.7/29.2 でほぼ 1/2 であった. しかし, 慣行制御ハウスでは, 7.8/31.5 で側枝の着果数または花房数が少なく, 主枝由来の果実の割合が理論値よりも高くなっていて, '富丸ムーチョ', 'YAHARA' においても同様の結果であった. 本実験では, 側枝に着生した花房数が主枝に着生した花房数より少ない場合があり, その傾向はとくに慣行制御ハウスで顕著であった. 伸長する茎もシンクとして機能するが, 慣行制御ハウスでは, 主枝と側枝間で同化産物の競合が生じ, 同化産物が主枝に優先的に分配された結果, 側枝の葉の展開速度, 花房の発生速度が主枝より遅くなり花房数に差が生じたと考えられる. 福元ら (2004) はピーマンの着果率を主枝と側枝で比較したところ, 主枝で安定して高かったと報告しており, 側枝の果実よりも主枝の果実に同化産物が優先的に分配される可能性が示唆される. このことから, 光合成産物が少ない条件下では, 側枝を利用した茎数増加による花房数の増加が小さくなる場合もあると推測される.

本実験では, 側枝を利用して茎数を増加すると LAI は増加するものの積算受光量は増加しなかった. 吸光係数と LAI から, 相対受光量が 90 % を超える LAI を計算する (Monsi ら, 1953) と, 'りんか 409' では 2.7, '富丸ムーチョ' は 2.9, 'YAHARA' は 3.9 となった. 'りんか 409' と '富丸ムーチョ' は, 側枝の伸長を開始した 2 月中旬にはすでに群落の LAI は 4.0 以上であり, ハウス内に入射した光は側枝の有無にかかわらずほぼすべて群

落に捕捉される状況にあり、積算受光量には差が生じなかったと考えられた。一方、'YAHARA'は節間長が長いため、他の2品種よりもLAIが小さく、相対受光量が90%以上となるLAIを下回っていた期間もみられたが、積算受光量に側枝利用の有無による有意な差はみられなかった。側枝の有無は光利用効率にも影響しなかった。したがって茎数の増加自体は群落光合成（ソース能）を増加させないが、シンク能を増加させることによって増収をもたらすものと考えられる。'りんか409'は日射量の増加および環境制御によって光合成量が増加してソース能が大きくなった場合、側枝利用による花房数増加というシンク能の増加が有効に作用し、光合成産物の果実への分配率が慣行より8%増加する傾向がみられた。これに対して、'富丸ムーチョ'および'YAHARA'では側枝利用によるシンク能の増加を行わなくても、花房あたり着果数が多くなったり、平均1果実重量が大きくなることによってシンク能が自律的に大きくなり、その結果、果実分配率の低下は3~4%にとどまった。つまり、'富丸ムーチョ'および'YAHARA'はシンク-ソースバランスの調節能力が'りんか409'よりも高いと考えられた。Matsudaら（2011）は、日本品種'桃太郎ヨーク'（タキイ種苗）を、オランダ品種'Dundee'（Syngeta）を供試し、摘果、摘葉およびCO₂施用によってシンク-ソースバランスの異なる条件を設定して栽培を行ったところ、'Dundee'ではソースの強度が大きくなるとそれに対応して果実サイズが大きくなったが、'桃太郎ヨーク'では、ソース強度の増加に対応した果実サイズの増加は限定的であったとしている。本実験で供試した'りんか409'は日本品種、'YAHARA'はオランダで利用されている品種であり、'富丸ムーチョ'は、日本品種とオランダで利用されている品種を交配した品種とされている。供試した品種名は異なるものの、日本品種とオランダ品種でMatsudaら（2011）と共通する反応が得られている。Cockshullら（1995, 2001）は茎数の増加は収量の増加ではなく、果実の大きさを調節する効果があることを報告しており、本実験の結果とも一致する。

本実験の実施地では1月中旬以降日射量が増加すると、単位床面積あたりの受光量が増加し、群落光合成量が増加するので、ソース能が過剰となる可能性があるが、茎数の増加は単位床面積あたりの花房数を増加させてシンク能を大きくし、増加した光合成産物を果実に分配し、収量を増加させるとともに、シンク-ソースバランスが適切な範囲となるように調節することに効果があると考えられた。ただし、日射量の上昇とともに気温も上昇

するので、葉の展開や花房の発生速度が大きくなることによるシンク能の増加も同時に進む。したがって、シンク-ソースバランスを考慮して、側枝を伸長させるタイミング（時期）や側枝を伸長させる株の割合を適切に選定することが重要となる。日本品種を供試した予備的な検討（村田ら、2010）では12月中旬に側枝伸長を開始する処理を行ったが、本実験では日射量が多くなる1月中旬に開始し、日本品種において、より大きな増収効果を得ることができた。トマトの栽培において、側枝を利用する技術としては、ほかに佐々木ら（2013）の報告があり、トマトハイワイヤー栽培において株の基部からの側枝を伸長すると根の活性が高く維持され、収量に影響はなかったが果実糖度が増加したとしている。この場合は、花芽を生じた節の直下で摘心して5枚程度の葉を残しており、側枝自体には花芽を持っていないため、側枝利用の目的は受光量の増加による光合成量の増加であり、シンク能の調節を目的とした本研究とは異なっている。

以上のように、日射量の増加する時期に側枝を伸長させる茎数増加は、花房数および着果数を増加させることによって収量を増加させるとともに、シンク強度を調節し、シンク-ソースバランスを適切に維持する有効な栽培管理であると考えられた。しかし、茎数増加による増収効果は品種によって異なること、環境条件によっては、主枝よりも側枝の生育が遅れる結果、花房数が増加しにくい場合があることが示された。したがって、側枝の伸長を開始する時期や、側枝を伸長する株の割合は日射条件やCO₂施用など環境制御の条件を考慮して決めることが重要である。

V 摘要

近年、大型の高軒高ハウスを中心に増加しつつあるトマト長期年1作栽培において、栽培途中における側枝伸長による面積あたりの茎数の増加が生育・収量に及ぼす影響を、品種や環境条件（CO₂濃度、湿度）を変えつつ、物質生産の観点から解析した。側枝伸長による茎数増加は、光利用効率や積算受光量には影響がなく、面積あたりの花房数および着果数を増加させることによって乾物の果実分配率を高め、収量を増加させる可能性があることが明らかにされた。しかし、茎数増加による増収効果は品種や環境条件によって異なった。光合成量（ソース能）が増加する条件下で、'りんか409'は茎数増加によるシンク能の増加が可販果収量の増加に結びいたが、'富

丸ムーチョ'および'YAHARA'では果実の大きさや着果数の変化によってシンク能が自律的に調節された結果、茎数増加による可販果収量の効果は大きくなかった。また、光合成産物が不十分な場合には側枝よりも主枝に優先的に分配されるため、主枝よりも生育の遅れが生じて、花房数増加効果が低い場合があることが明らかとなった。

引用文献

- 1) Cockshull, K.E. L.C.Ho.(1995):Regulation of tomato fruit size by plant density and truss thinning. *J. Hort. Sci.& Biotech.***70**,395-407.
- 2) Cockshull, K.E. L.C.Ho, J.S.Fenlon.(2001): The effect of the time of taking sideshoots on the regulation of fruit size in glasshouse-grown tomato crops. *J. Hort. Sci.& Biotech.***76**,474-483.
- 3) 福元康文・西村安代・島崎一彦 (2004): ピーマンの着果周期におよぼす着果負担の影響. *園学雑*, **73(2)**, 171-177.
- 4) Heuvelink, E., M. Dorais(2005):Crop growth and yield. Heuvelink, E.,TOMATOES,85-144.CABI Publishing, UK.
- 5) Higashide, T. and E. Heuvelink(2009) : Physiological and morphological changes over the past 50 years in yield components in tomato. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **134**, 460-465.
- 6) 金子壮・東出忠桐・安場健一郎・大森弘美・中野明正 (2015) : 収量構成要素の解析からみたトマト低段栽培における定植時の苗ステージと栽植密度. *園学研*, **14**, 163-170.
- 7) 黒岩澄雄 (1990) : 物質生産における個体と群落, 物質生産の生態学, 74-105. 東京大学出版会, 東京
- 8) Matsuda, R. A. Nakano, D. Ahn, K. Suzuki, K. Yasuba, M. Takaichi(2011): Growth characteristic and sink strength of fruit at different CO₂ concentrations in a Japanese and a Dutch tomato cultivar. *Scientia Horticulturae*.127,528-534.
- 9) 松本佳浩 (2014) : トマト促成長期どり土耕栽培で収量30t/10a. 農文協編,最新農業技術 野菜vol7. 9-18. 農文協. 東京 .
- 10) Monsi, M. and T. Saeki(1953): Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften, seine Bedeutung für die Stoffproduktion. *Jpn. J. Bot.*, **14**, 22-52.
- 11) 村田光明・篠原洋太・岩崎泰永・二川雅登・澤田和明・三枝正彦 (2010) : トマト長段栽培における栽植密度可変栽培についての可能性 栽植密度の違いが生育と果実収量に及ぼす影響. 日本生物環境工学会2010年京都大会講演要旨集, 34-35.
- 12) 齊藤章(2012):オランダのトマト生産の現在. エベ・フーヴェリンク編著, 中野明正・池田英男監訳, トマト オランダの多収技術と理論 100トンどりの秘密. 3-20. 農文協. 東京
- 13) 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枝基部側枝が果実の糖度と収量に及ぼす影響. *野菜茶研報*, **12**,1-6.
- 14) 安場健一郎・黒崎秀仁・高市益行・鈴木克己 (2012) : ユビキタス環境制御システム通信実用規約に基づいた施設園芸用管理ソフトウェアの開発. *野菜茶研報*, **11**,63-72.

Effects of Increased Stem Density on the Growth, Yield, and Dry Matter during Cultivation of Tomato in Forcing Culture

Yasunaga Iwasaki, Dong-Hyuk Ahn
and Mami Suzuki

Summary

The effect of increased stem density achieved by retention of side branches during cultivation of tomato on plant growth and yield was analyzed from the perspective of characteristics of dry matter production. This analysis was performed while considering the cultivars and environmental conditions (CO₂ concentration and humidity control). Our results showed that increase in the number of stems during cultivation had no effect on the light use efficiency or amount of cumulative intercepted light. Furthermore, it was observed that increased stem density resulted in higher dry matter distribution ratio of fruits along with increased yield in the form of a greater number of flowers and fruits per area. However, this effect on the yield differed between the cultivars and environmental conditions. It is concluded from these results that increasing the stem density is more effective in enhancing yield, when using a cultivar whose fruit size does not change with the source strength, such as 'Rinka409'. Main stems were observed to use the photosynthetic products prior to the side branches, which caused delayed growth of the latter under insufficient availability of light for photosynthesis; in such cases, the contribution of increased stem density to yield increase may be low. Therefore, it is important to determine the most suitable timing to start the elongation of side branches and the proportion of the plant biomass that extends into these branches; this should be done while considering solar radiation and environmental control conditions, such as CO₂ application.

Accepted; October 17, 2017

Division of Vegetable Production System

3-1-1 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8519 Japan