

仕立て法および栽培環境の違いが、ベイトアルファ型、 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

岩崎 泰永・安 東赫・下村 晃一郎*・東出 忠桐・中野 明正

(平成 25 年 10 月 15 日受理)

Optimizing Training Method and Environmental Factors to Improve the Growth and Yield of Cucumbers

Yasunaga Iwasaki, Dong-Hyuk Ahn, Koichiro Shimomura,
Tadahisa Higashide and Akimasa Nakano

I 緒 言

キュウリ (*Cucumis sativus* L.) には形態や特性の異なる多様な品種が存在するが、現在国内では果実の形状や外観が似通った日本型と呼ばれる品種を利用する画一的な生産が行われている (Sakata ら, 2010)。

また、日本のキュウリの生産性は世界的にみると必ずしも高くない。FAO (2011) の統計によると日本の単位面積あたり収量は $5.0\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ で、世界第 26 位である。収量の高い冬春期の生産に限ってみても日本の単位面積あたり収量は $10.0\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ である (農林水産省, 2013)。

北ヨーロッパには単位面積あたり収量の高い国が多く、1 位のオランダは $65\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上 (FAO, 2011) で日本とは大きな差がある。

さらに、キュウリは日本の主要な野菜品目の一つであるにもかかわらず、近年生産量の減少が著しい (農林水産省, 2013) という問題がある。その要因には、収穫や管理作業に多大な時間が必要であることや、作業工程が複雑で技術や経験が必要であること、収量や販売価格の低迷による収益の低下によって、他の品目に変更したり、高齢化のために廃業する生産者が多いにもかかわらず、新規参入が少なく生産者数が減少していることなどが考えられる。今後、生産量を維持してゆくためには、新品

種の育成や新技術の開発によって新しい栽培体系を確立し、労働時間の短縮、作業の簡素化、高品質化による販売価格向上や単位面積あたり収量の増加などを実現し、生産性を向上することが必要である。

海外と国内の大きな収量の差は、品種、気候、栽培方法、ハウスの構造および設備などが異なることに起因すると考えられる。このような収量差の生じる要因を定量的に明らかにすることは、生産性の高い栽培体系の確立に有益な知見を得ることにつながると考えられるが、現在のところそのような研究は少ない。

Sakata ら (2010) は海外および日本で栽培されている主要な 5 タイプのキュウリ (温室型、スライス型、ピクルス型、ベイトアルファ型および日本型) 合計 8 品種について、作型を変えて 4 回栽培実験を行い、それらの形態的な特徴や収量を比較している。その結果、収量は、温室型、ベイトアルファ型およびスライス型で高かったと述べている。また同時に摘心栽培とつる下ろし栽培を比較し、摘心栽培の収量が高かったと述べているが、それらの理由については定量的な検討はなされていない。

一方、東出ら (2012) は日本型キュウリ品種を 3 種類供試し、2 種類の整枝誘引法 (つる下ろし栽培と摘心栽培) の収量の差異を乾物重、果実分配率、LAI、受光体勢、光利用効率など物質生産 (黒岩, 1990) の観点か

ら解析した。その結果、果実収量はすべての品種で摘心栽培が多く、その理由として、摘心栽培は総乾物重が多く、また果実分配率が高いことを明らかにした。そして総乾物重の違いは光利用効率の違いに起因すると考察した。このような解析手法を用いることによって品種や栽培方法の違いによって生じる収量差の要因を明確にすることが可能となり、品種の選定や栽培方法の改善、育種の方向性などについての知見を得ることができる。

また、キュウリの栽培においてCO₂施用が収量の増加に効果があることはすでに報告されているが（川城ら、2009）、国内の生産現場では実際に導入されている事例は少ない。さらに、高軒高ハウスを利用したつる下ろし栽培において、海外および国内で利用されている品種を栽培しCO₂施用の影響を比較検討した報告はみあたらない。

本実験では国内キュウリ栽培の生産性を向上するための新品種の育成や新しい栽培技術の確立に資する基礎的な知見を得ることを目的として、海外および国内のキュウリ品種を供試して、とくに収量に及ぼす影響が大きいと思われる仕立て法と環境条件（CO₂濃度と湿度）に着目し、収量の品種間差について物質生産の観点から解析を試みた。

本研究の実施にご協力いただいた、研究支援センターの粕山敏夫氏、岩切浩文氏、内野達哉氏に深く感謝いたします。

II 材料及び方法

温室型およびベイトアルファ型の品種は種苗会社からの聞き取り情報に基づいて栽培面積が多いものを選定した。実験1、実験2ともに、温室型として‘Proloog RZ’（Rijk Zwaan社）を、ベイトアルファ型として‘Media RZ’（Rijk Zwaan社）を用いた。日本型として‘エテルノ’（ときわ研究場）を用いた。‘エテルノ’はつる下ろし栽培に適した品種の一つとして国内の生産者に支持されている。主枝着果率は11月～2月までで70～80%とされており、摘心栽培もできる（ときわ研究場、2013）とされている。

国内のつる下ろし栽培では通常、主枝を10～15節程度で摘心し、側枝を2～4本伸張させる（太田ら、2005）。一方、海外のつるおろし栽培では主枝を伸張させる方法が一般的である。本実験では、海外で一般的な主枝を伸張させるつる下ろし栽培を用いた。

また、品種の受光体勢の違いを評価するため、本実験

の栽植密度は既往の報告（加藤ら、2005；太田ら、2005；東出ら、2012）よりも高めに設定した。実験1、実験2ともに密植による病害の多発や徒長など外観上の大きな異常は観察されなかった。

1 仕立て法の違いが生育および収量に及ぼす影響の品種間差異（実験1）

武豊野菜研究拠点（愛知県知多郡武豊町）内の単棟鉄骨ハウス（間口8m、奥行き20m、軒高2.0m、南北棟、被覆材はガラス）において実験を実施した。2011年10月13日に園芸用土（商品名ナテラ、MKVドリーム）を詰めた72穴セルトレイに播種し、閉鎖型苗生産施設内で育苗したのち、同年10月27日にロックウールスラブ（商品名グロトップエキスパート、長さ0.9m、幅0.195m、高さ0.075m、グロダン製）を培地とする栽培ベッドに定植した。ハウス内部には長さ14m、幅0.3mの栽培ベッド4本を南北方向に設置した。一つの栽培ベッドにはロックウールスラブを15枚設置した。ベッド間隔は1.6mとした。

各品種について、主枝1本仕立て区（側枝を利用するつる下ろし栽培と区別するため、本実験では1本仕立て区と呼ぶことにした）と摘心区を設けた。ロックウールスラブ5枚を1区画とし、一つの栽培ベッドを3区画に区切り、上記3品種をランダムに割り付けた。1区画当たりの定植株数は25株（1スラブ当たり5株、株間0.182m、3.43株・m⁻²）とし、そのうち、中央付近の10株を収穫調査の対象にした。4本の栽培ベッドのうち、2本を主枝1本仕立て区に、残り2本を摘心区とし、仕立て法ごとに交互に割り当て、1処理区あたり2区画（2反復）とした。

主枝1本仕立て区は側枝をすべて取り除き、栽培期間を通して主枝を伸張させた。摘心区は、主枝を第20節で摘心し、第5節までに発生した第1次側枝はすべて除去し、第6節以降の第1次側枝は第2節で摘心した。栽培ベッドは地上から0.4mの高さに設置し、誘引パイプは地上から2.0mの高さに設置した。誘引パイプは各ベッドに2本ずつ設置（間隔は0.45m）して、主枝1本仕立て区と摘心区ともに、左右振り分け誘引とした。栽培ベッドより下に伸びた第2次側枝などは床面に接触したときに切除した。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。除去した茎葉は区画ごとに回収し乾物重を測定した。

定植時および定植から28、42および105日後に1区

画当たり3株ずつサンプリングを行い、葉面積、葉数、莖長、葉や莖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。

収穫する果実の大きさはSakataら(2010)の報告を参照して決めた。‘Media RZ’と‘エテルノ’は長さ0.18～0.22mで、‘Proloog RZ’は0.25～0.3mを目安として週に3回収穫調査を行った。収穫調査は定植41～105日後(2011年12月6日～翌年2月6日)まで行った。果実数、新鮮重および曲り果などの不良果数を調査した。

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45日後および76日後に、各区より20本ずつ果実をサンプリングし、新鮮重と乾物重から乾物率＝乾物重／新鮮重として求めた(n=40)。乾物率は‘エテルノ’で0.039、‘Media RZ’および‘Proloog RZ’ではそれぞれ0.038であった。

天窓の換気設定温度は28℃とした。温風暖房機の設定温度は13℃とした。培養液は大塚A処方を用い、株当たり0.5～2.0L・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1.2～2.4dS・m⁻¹の範囲で管理した。

ハウス内のCO₂濃度および相対湿度は制御システム(CO₂当盤およびしつど当盤、トヨハシ種苗)を利用して制御した。相対湿度は気温25℃以上の場合に70～75%となるようにミストを噴霧した。天窓を閉じた状態ではCO₂の最低濃度を800ppm、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400ppmとして、液化CO₂ガスを用いて、ハウス内にCO₂を供給した。

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)の方法に準じて行った。定植103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3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を一区画当たり3カ所ずつ測定した。測定より2日後の定植105日後に、測定点付近の個体を1区画当たり3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、相対光強度をI_n/I₀として、高さ別の葉面

積と株あたり占有面積から算出した高さ別のLAIを横軸にとり、相対光強度を縦軸として散布図上にプロットし、それぞれの座標と、LAI=0(相対光強度1)を一次式で回帰しその傾きを吸光係数(k)として、品種および仕立て法ごとに求めた(Monsiら, 1953)。積算受光量は、LAIと吸光係数およびその日の積算日射量から算出した。その際、毎日のLAIは3回のサンプリングから得られた葉面積データから、線形補完によってサンプリング間の値を推定した。定植後28日、42日および105日における積算受光量とその時点における総乾物重をプロットし、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。

2 栽培環境の違いが生育および収量に及ぼす影響の品種間差異(実験2)

武豊野菜研究拠点(愛知県知多郡武豊町)にある、鉄骨ハウスを2棟供試して実験を行った。一棟(間口4.5m×2連棟、奥行24m、うち栽培部分は18m、軒高3.6m南北棟、被覆材はPO)は実験1と同様なCO₂施用および湿度制御を行った(以下、制御ハウス)。もう一棟(間口4.5m×6連棟、奥行36m、軒高3.6m、南北棟、被覆材はPO、うち栽培部分は9×16m)はそれらの処理を行わなかった(以下、対照ハウス)。2011年10月13日に実験1と同様に園芸用土を詰めた72穴セルトレイに播種し、閉鎖型苗生産施設内で育苗したのち、同年10月28日にロックウールを培地とする栽培ベッドに定植した。ハウス内に長さ14m、幅0.3mの栽培ベッド4本を南北方向に作成し、各ベッドにはロックウールスラブを15枚設置した。ベッド間隔は1.8mとした。ロックウールスラブ5枚を1区画(1反復)とし、一つの栽培ベッドを3区画に区切り、上記3品種をランダムに割り付けた。1区画当たり20株(1スラブ当たり4株、株間0.228m、2.44株・m⁻²)定植し、中央付近の10株を収穫調査の対象とした。試験区は中央の栽培ベッド2本に設置し、1処理区あたり2区画(2反復)とした。第5節までに発生した強い側枝を第2主枝として伸ばし、主枝2本仕立てのつる下し誘引とした。実験1の主枝1本仕立て区同様に、側枝はすべて取り除き、栽培期間を通して主枝を伸張させた。栽培ベッドは地上から0.3mの高さとなるように設置し、誘引パイプは地上から3.0mの高さに栽培ベッドに沿って0.45m間隔で2列に設置した。側枝の処理や解体調査、光環境の調査は実験1と同様にして行った。

吸光係数は制御区のみ測定し、その値を対照区にも適

用した。収穫調査は定植42～126日後(2011年12月7日～翌年2月29日)まで行った。乾物率は実験1と同様にして求め、‘エテルノ’は0.036, ‘Media RZ’および‘Proloog RZ’は、それぞれ0.034 (n=40)であった。

天窓の換気設定温度は28℃とした。温風暖房機の設定温度は13℃とした。培養液管理は実験1と同様に行った。

制御区の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℃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800ppm、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400ppmとして、液化CO₂ガスを用いて、ハウス内にCO₂を供給した。

Ⅲ 結果

1 仕立て方法の違いが生育および収量に及ぼす影響の品種間差異(実験1)

収量(果実新鮮重)は、商品果収量および商品果と不良果を合計した総収量ともに、すべての品種において主枝1本仕立て区よりも摘心区が多かった(表-1)。主枝1本仕立て区、摘心区内において、それぞれ品種の違いをみると、商品果収量は‘Media RZ’がもっとも多く、次いで、‘Proloog RZ’、‘エテルノ’の順になった。一方総収量は、‘Media RZ’と‘Proloog RZ’がほぼ同等で有意な差はなく、‘エテルノ’がやや少なかった。収穫果実数においても同様な傾向であった(データ略)。

その結果、商品果率は‘Media RZ’が主枝1本仕立て区0.79, 摘心区0.75でもっとも高く、次いで、‘Proloog RZ’(主枝1本仕立て区0.53, 摘心区0.57), ‘エテルノ’(主枝1本仕立て区0.54, 摘心区0.44,)の順となった。‘Media RZ’および‘Proloog RZ’は摘心区と主枝1本仕立て区の商品果率は同様な値となったが、‘エテルノ’では、主枝1本仕立て区の商品果率が高かった。

実験終了時(定植105日後)についてみると(表-2)、節数は同一品種では仕立て法について有意な差はなく、仕立て法ごとに品種の差をみると、‘Proloog RZ’がもっとも多く、次いで‘Media RZ’、‘エテルノ’の順となった。

LAIは、同一品種では主枝1本仕立て区が摘心区よりも小さい傾向であった。仕立て法ごとに品種の違いをみると、主枝1本仕立て区では‘エテルノ’と‘Proloog RZ’が同等であり、‘Media RZ’は他の2品種よりも大きかった。一方摘心区では‘Proloog RZ’と‘Media RZ’の間に有意な差がみられた。

吸光係数は、同一品種でみると、主枝1本仕立て区が摘心区よりも大きかった。主枝1本仕立て区、摘心区内でそれぞれ品種の違いを見ると、仕立て法に関わらず‘エテルノ’の吸光係数が有意に大きく、‘Media RZ’および‘Proloog RZ’はほぼ同等であった。

果実乾物重は、収量と同様にいずれの品種においても摘心区が主枝1本仕立て区よりも大きかった。また、主枝1本仕立て区および摘心区ともに‘エテルノ’の果実乾物重が他の品種に比べて小さかった。定植105日後の総乾物重は、同一品種では摘心区で大きく、主枝1本仕立て区で小さかった。

表-1 仕立て法および品種の違いが果実新鮮重に及ぼす影響

仕立て法	品種	収量(果実新鮮重量)		商品果率
		商品果収量 ^w (kg/m ²)	総収量 (kg/m ²)	
1本仕立て区	エテルノ	4.1 a ^y	7.6 a	0.54 a
	Media	8.2 b	10.3 b	0.79 b
	Proloog	5.3 a	9.9 b	0.53 a
摘心区	エテルノ	4.9 a (119) ^x	11.0 a (145)	0.44 a
	Media	8.9 c (109)	11.9 ab (116)	0.75 c
	Proloog	7.0 b (133)	12.3 b (123)	0.57 b
分散分析 ^z	仕立て法	*	*	*
	品種	*	*	*
	交互作用	ns	ns	*

w 商品果: 曲がり果, 尻細果, 尻太果を除いた正形果

x 主枝1本仕立て区に対する摘心区の収量比(%)

y 同一区内の異なるアルファベットはTukeyの多重検定により危険率5%水準で有意差があることを示す

z **は1%で, *は5%水準で有意差があることを示し, nsは有意差なしを示す

表－2 仕立て方法及び品種の違いが節数、LAI、吸光係数、乾物重、分配率、積算受光量、光利用効率に及ぼす影響

仕立て法	品種	節数 (節/株)	LAI (m ² /m ²)	吸光係数	乾物重					果実 分配率 (%)	積算 受光量 (MJ/m ²)	光利用 効率 (g/MJ)
					茎	葉	下葉	果実	総乾物重			
1本仕立て区	エテルノ	40.3 a ^y	2.46 a	1.69 b	116 b	97 b	138 a	325 a	674 a	48.1 a	611 a	0.98 a
	Media	42.2 ab	3.20 b	1.20 a	89 a	85 a	114 a	425 b	713 b	59.7 b	610 a	1.04 b
	Proloog	44.6 b	2.52 a	1.33 a	79 a	85 a	119 a	442 b	725 b	61.0 b	602 a	1.06 b
摘心区	エテルノ	34.7 a	3.78 ab	1.15 b	217 b	101 b	23 a	460 a	801 a	57.4 a	583 a	1.08 a
	Media	40.2 b	3.47 a	0.94 a	149 a	92 a	53 b	533 b	827 b	64.4 b	581 a	1.27 b
	Proloog	47.2 c	3.90 b	0.91 a	136 a	107 b	51 b	535 b	829 b	64.5 b	576 a	1.29 b
分散分析 ^z	仕立て法	ns	*	**	*	*	**	**	**	**	ns	*
	品種	*	*	*	**	ns	ns	*	**	*	ns	*
	交互作用	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

y 同一区同一列中の異なるアルファベットはTukeyの多重検定により、危険率5%水準で有意差があることを示す

z **は1%で、*は5%水準で有意差があることを示し、nsは有意差なしを示す

表－3 栽培環境および品種の違いが果実新鮮重に及ぼす影響

試験区	品種	収量(果実新鮮重量)		商品果率
		商品果収量 ^w (kg/m ²)	総収量 (kg/m ²)	
対照区	エテルノ	11.8 a ^y	12.4 a	0.95 a
	Media	14.0 b	15.9 b	0.88 a
	Proloog	12.6 ab	14.1 b	0.89 a
制御区	エテルノ	14.5 a (123) ^x	15.2 a (123)	0.95 a
	Media	18.5 b (132)	18.7 b (118)	0.99 a
	Proloog	19.4 b (154)	19.7 b (140)	0.98 a
分散分析 ^z	環境	*	*	ns
	品種	*	*	ns
	交互作用	*	ns	ns

w 商品果:曲がり果、尻細果、尻太果を除いた正形果

x 対照区に対する制御区の収量比(%)

y 同一区内の異なるアルファベットはTukeyの多重検定により危険率5%水準で有意差があることを示す

z **は1%で、*は5%水準で有意差があることを示し、nsは有意差なしを示す

果実への乾物分配率は同一品種でみると摘心区が主枝1本仕立て区よりも高かった。主枝1本仕立て区および摘心区内で品種の差をみると、‘エテルノ’が他の品種よりも有意に低く、他の2品種は同等であった。

積算受光量は仕立て法および品種の違いによる有意な差はみられなかった。

光利用効率は0.98～1.29の範囲となり、同一品種では、摘心区が主枝1本仕立て区よりも高かった。主枝1本仕立て区および摘心区内でそれぞれ品種による違いをみると、主枝1本仕立て区、摘心区ともに、‘エテルノ’の光利用効率が他の2品種よりも低かった。

なお、雌花の着生に関しては、‘Proloog RZ’および‘Media RZ’では主枝および側枝の雌花着生率が極めて高く、また‘エテルノ’では主枝には雌花と雄花が混生し、側枝にはほとんどの節に雌花が着生したことが観察された(データ略)。

2 栽培環境の違いが生育および収量に及ぼす影響の品種間差異(実験2)

商品果収量および総収量ともに、いずれの品種においても対照区よりもCO₂施用および湿度制御を行った制御区が多かった(表-3)。制御区は対照区に対して商品果収量で23～54%、総収量で18～40%増加した。品種による商品果収量の違いをみると、対照区では‘エテルノ’と‘Proloog RZ’が同等で、‘Media RZ’が高く、制御区では‘エテルノ’、‘Media RZ’、‘Proloog RZ’の順に高かった。総収量は‘エテルノ’がもっとも低く‘Proloog RZ’と‘Media h RZ’が同等となり、制御区では‘エテルノ’、‘Media RZ’、‘Proloog RZ’の順に高かった。収穫果実数は収量と同様な傾向がみられた(データ略)。商品果率は対照区、制御区ともいずれの品種においても0.88以上と高く、環境制御の有無や品種による差はなかった。

実験終了時(定植126日後)についてみると(表-4)、節数は同一品種内では制御区が対照区よりも多

表4 環境制御方法および品種の違いが節数, LAI, 吸光係数, 乾物重, 分配率, 積算受光量, 光利用効率に及ぼす影響

試験区	品種	節数 (節/株)	LAI (m ² /m ²)	吸光係数	乾物重				果実 分配率 (%)	積算 受光量 (MJ/m ²)	光利用 効率 (g/MJ)	
					茎	葉	下葉	果実				総乾物重
対照区	エテルノ	55.8 a ^y	3.37 a	1.03 b	84 a	136 a	50 a	454 a	724 a	62.7 a	707 a	0.99 a
	Media	65.8 b	4.28 b	0.80 a	93 b	130 a	54 a	587 c	864 b	67.9 a	696 a	1.18 b
	Proloog	85.0 c	4.54 b	0.86 a	120 c	139 a	70 a	510 b	840 b	60.8 a	688 a	1.17 b
制御区	エテルノ	64.7 a	3.57 a	1.03 b	102 a	136 a	63 a	555 a	855 a	64.9 a	738 a	1.11 a
	Media	80.3 b	4.15 b	0.80 a	123 b	114 a	90 a	658 b	985 b	66.8 a	715 a	1.31 b
	Proloog	98.8 c	4.00 b	0.86 a	142 c	104 a	107 a	705 c	1,059 b	66.6 a	724 a	1.39 b
分散分析 ^z	環境	**	ns	-	*	ns	**	**	**	ns	ns	**
	品種	*	*	*	**	ns	ns	*	**	ns	ns	*
	交互作用	ns	ns		ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns

y 同一区同一列中の異なるアルファベットはTukeyの多重検定により, 危険率5%水準で有意差があることを示す

z **は1%で, *は5%水準で有意差があることを示し, nsは有意差なしを示す

かった。制御区および対照区内で品種の差をみると‘Proloog RZ’がもっとも多く, ついで, ‘Media RZ’, ‘エテルノ’の順となった。

LAIは, 同一品種では対照区, 制御区で差がみられなかった。対照区および制御区内で品種による差をみると, ‘エテルノ’のLAIが他の2品種よりも有意に小さかった。

吸光係数は‘エテルノ’が他の2品種よりも大きかった。

果実乾物重は, 果実新鮮重と同様にすべての品種において制御区が対照区より大きかった。総乾物重についてみると, 同じ品種では制御区で大きく, 対照区で小さかった。また, 制御区および対照区内ともに‘エテルノ’が他の品種に比べて小さかった。

果実への乾物分配率は環境制御の有無および品種による差はみられなかった。

積算受光量は環境制御の有無および品種による差はみられなかった。

光利用効率は, 0.99~1.39の範囲にあり, 同一品種でみると制御区が対照区よりも高かった。制御区および対照区内で品種による違いをみると, ‘エテルノ’が有意に低かった。

実験1同様‘Proloog RZ’および‘Media RZ’では雌花着生率が極めて高く, ‘エテルノ’では雌花と雄花が混生して発生したことが観察された(データ略)。

IV 考察

東出ら(2012)は2種の整枝法(摘心栽培とつる下ろし栽培)と3つの品種を組み合わせて収量の差異を収量構成要素から評価した。その結果, 収量(果実新鮮重)が多かった摘心区および品種は果実乾物重が多く,

果実乾物重が多い理由として, 総乾物重および果実への乾物分配率がともに多いためであると報告した。さらに, 総乾物重の違いは光利用効率の違いによって生じると説明し, 光利用効率と吸光係数との間には有意な負の相関関係があることを述べて, 光利用効率の大小には受光態勢が関与することが示唆されると報告している。また, つる下ろし栽培において光利用効率が低かった理由について言及し, 群落下部の弱光条件に光合成能の高い成熟葉が存在することであると考察している。本実験においても商品果収量および総収量ともに主枝1本仕立て区よりも摘心区が多くなった。主枝1本仕立て区は摘心区よりも吸光係数が大きく, 光利用効率が低い結果を得ており, 東出らの結果と一致する。一方で, 東出らは品種間の収量の差異については具体的には言及していない。そこで本実験は, 海外および国内のタイプの異なるハウス栽培用のキュウリ3品種を供試し, 実験1では異なる仕立て法を, 実験2では異なる環境条件を与え, 品種の特性を物質生産の観点から解析することを試みた。

実験1では, 商品果収量, 総収量ともにいずれの仕立て法においてもベイトアルファ型の‘Media RZ’がもっとも多く, 次いで温室型の‘Proloog RZ’, 日本型の‘エテルノ’の順となった。‘エテルノ’は他の2品種と比較して総乾物重が小さく, 乾物重の果実分配率が他の2品種よりも低かった。総乾物重が低下した要因として, ‘エテルノ’の光利用効率が仕立て法に関わらず, 他の2品種より有意に低かったことが考えられる。‘エテルノ’は他の2品種より吸光係数が大きい(主枝1本仕立て区1.69, 摘心区1.15), LAIがある程度以上の大きさとなると, 群落上層でほとんどの光が吸収され, 群落内部に存在する光合成能力の高い成熟葉を十分に活用できないことが, 光利用効率が低くなった要因と考えられた。乾物重の果実分配率が‘エテルノ’にお

いて低かった要因は、雌花の着生特性すなわち、性表現の違いが反映されていると考えられる。Sakataら(2010)は、本実験とは品種が異なるが温室型およびベイトアルファ型品種の性表現を雌性(gynocious)としている。本実験で供試した品種においても雌花着生率が極めて高いことから同様に雌性であると判断される。一方、‘エテルノ’では主枝着果率が11月～2月まで70～80%とされており(ときわ研究場, 2013)、本実験においても雌花と雄花が混生して発生したことから雌雄同株性(monoecious)であると判断される。‘エテルノ’は雌雄同株性であるために、乾物重の果実分配率が低かったと推察される。

仕立て法の違いが収量に及ぼす影響の強さは品種によって差があり、とくに‘エテルノ’では摘心区は主枝1本仕立て区より総収量が45%と多くなった。これは仕立て法によって‘エテルノ’の果実分配率が大きく異なることから生じたと考えられる。‘エテルノ’では主枝の雌花着生率は70～80%とされており(ときわ研究場, 2013)、本実験においてもほぼ同様な状況が観察された。一方、多くの品種同様に側枝の雌花着生率は‘エテルノ’においても高かった。これらのことから‘エテルノ’では主に側枝を利用して収穫する摘心栽培で果実分配率が多くなったことが推測される。

以上のように、日本型品種‘エテルノ’は、ベイトアルファ型の‘Media RZ’、温室型の‘Proloog RZ’より総乾物重、果実分配率が低いこと総収量が低いことが明らかとなった。総乾物重が低い要因は吸光係数大きいことであり、一方、果実分配率が低い要因は性表現が雌雄同株性であることと判断された。

実験2では、オランダなどで行われている仕立て方法と環境制御を想定し、高軒高ハウスにおいて、主枝を垂直に誘引して伸張させるつる下ろし栽培を行い、一方のハウスでは光合成を促進するためにCO₂濃度と相対湿度を高め維持した(岩崎ら, 2011)。CO₂施用と湿度制御によって、すべての品種において、商品果収量、総収量ともに増加した。CO₂施用と湿度制御の影響の強さは品種によって異なった。特に‘Proloog RZ’で商品果収量、総収量ともに増加の幅が大きかった(32～54%)。光利用効率をみると、CO₂施用と湿度制御によって対照区に対して11～19%増加した。これはCO₂施用と湿度制御によって光合成速度が向上したことを反映していると考えられる。‘Proloog RZ’では光利用効率は19%増加した。これに対して、総収量、商品果収量はそれぞれ40%、54%増加した。‘Proloog RZ’は

CO₂と湿度を高めた条件で葉への乾物分配が減少し、果実への分配率が60.8%から66.6%まで増加している。この要因として、‘Proloog RZ’は雌花の着生数ももっとも多かったことが考えられる。‘Proloog RZ’はほぼすべての節に雌花の着生する雌性であり、それに加えてもっとも節数が多かった。雌花着生数が多い状況で、CO₂施用と湿度制御による光合成産物が増加したことにより、落花や肥大途中で停止する果実が減少した結果、収穫果数が増加したと考えられる。

本実験では、実験1と実験2の商品果率が大きく異なった。商品果率は実験2がすべての区で0.88以上と非常に高かったが、実験1では0.44～0.79であった。不良果はそのほとんどが曲がり果と尻細果であることから、不良果は光合成産物の不足によって発生したと考えられる。このような差が生じた要因の一つとして、実験2では、高軒高ハウスを用いることによって葉面積が増加し、光合成量が増加した結果として不良果の発生が少なかったと考えられる。また、本実験では被覆資材の日射透過率は測定していないが、実験1は旧型のガラス温室を利用しているため、日射透過率が低下している可能性があり、商品果率低下の要因の一つと考えられる。

以上をまとめると、品種による収量の差には受光体勢と乾物分配率が大きく影響していることが確認された。さらに、仕立て法や栽培環境の違いは受光体勢や乾物分配率の違いを通して収量に影響するため、品種によって仕立て法や栽培環境条件に対する収量の増減が異なることが明らかとなった。受光体勢の改善には吸光係数の低い特性を有する品種が有利であり、果実分配率を高めるためには、雌花着生数が多い特性が望ましいと考えられる。また、本実験では調べていないが、単為結果率が高い品種は果実分配率が高くなりやすいと考えられる(齋藤, 1982)

オランダでは高軒高ハウスで主枝つる下ろし栽培を行い、CO₂と相対湿度などの環境を光合成に好適な条件に維持している。このような条件に、雌花着生数も多く吸光係数の低い品種を組み合わせることで高い収量を達成していると考えられる。

V 摘要

日本型品種‘エテルノ’(雌雄同株性)、ベイトアルファ型品種‘Media RZ’(雌性)、温室型品種‘Proloog RZ’(雌性型)を供試し、実験1では異なる仕立て方法(主枝1本仕立てと摘心栽培)、実験2では異なる栽培

環境条件 (CO₂ 濃度と湿度) で栽培し、品種ごとの収量の差異を物質生産の観点から調べた。仕立て法や環境条件に関わらず、‘エテルノ’の総収量がもっとも低かった。‘エテルノ’では総乾物重、果実乾物重が低く、総乾物重は光利用効率が低いことが、果実乾物重は乾物重の果実分配率が低いことが要因であることが明らかとなった。‘エテルノ’は吸光係数が大きいために光利用効率の低下が生じた可能性がある。性表現が雌雄同株性である‘エテルノ’は主枝の雌花着生率が他の品種より低いいため、乾物重の果実乾物率が低くなると推測される。また、栽培環境や仕立て法は、光利用効率や乾物重の果実乾物率、すなわち、受光体勢や着果特性といった品種特性を介して収量に影響するため、それらの条件に対する収量の増減は品種ごとに異なることが確認された。‘エテルノ’では主枝の雌花着生数が少ないが、一方で側枝の雌花着生数は多くなりやすい。このため、摘心仕立てと主枝1本仕立ての収量比が他の品種より大きくなったと推測された。一方、‘Proloog RZ’は雌性である上に節数が多いので、主枝の雌花着生数が多くなり、CO₂ 施用と湿度制御による収量の増加割合が他の品種より大きかったと推測された。以上の結果から、収量を高めるためには吸光係数が低く、雌花の着生数が多い品種特性が有利であると判断された。

引用文献

- 1) 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 (2012) : 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, 523-529.
- 2) 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.
- 3) 岩崎泰永・三浦慎一 (2011): トマトおよびイチゴ促成栽培における加湿制御が生育および収量に及ぼす影響. 園学研., 10(別2), 455
- 4) 加藤香織・高橋 登 (2005): キュウリつる下ろし栽培における整枝法. 群馬農技セ研報., 2, 121-129.
- 5) 川城英夫・土屋 和・崎山 一・宇田川雄二 (2009): 低濃度二酸化炭素施用が促成栽培キュウリの収量に及ぼす影響とその経済性評価. 園学研., 8, 445-449.
- 6) 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
- 7) Monsi, M. and T. Saeki(1953): Über den lichtfaktor in den pflanzengesellschaften und seine bedeutung für die stoffproduktion. *Jpn. J. Bot.*, 14, 22-52.
- 8) 農林水産省 (2013). 全国の作付面積・収穫量・出荷量. 平成23年産野菜生産出荷統計. e-Stat 政府の統計窓口.
- 9) 太田友代・清野英樹・井上直和 (2005): 施設キュウリの新整枝法「つる下ろし栽培」の特徴と生産安定技術. 埼玉農総セ研報., 4, 79-83.
- 10) 斎藤 隆 (1982): 開花, 結実の過程. キュウリ 農業技術体系野菜編第1巻, 基 80-85. 農文協. 東京
- 11) Sakata, Y., M. Sugiyama and Y. Yoshioka (2010) : Morphological characteristic and yields of five major cucumber types under cultivation in Japan. *Bulletin of the National Institute of Vegetable and Tea Science*, 9, 113-123.
- 12) 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. 野菜茶研研報., 11, 63-72.
- 13) FAO(2011), <http://faostat.fao.org/>
- 14) ときわ研究場 (2013) (<http://www.tokiwa-cucumber.com/hinshu/eterno/eterno.html>)

Optimizing Training Method and Environmental Factors to Improve the Growth and Yield of Cucumbers

Yasunaga Iwasaki, Dong-Hyuk Ahn, Koichiro Shimomura, Tadahisa Higashide and Akimasa Nakano

Summary

We investigated the yield differences among three cucumber (*Cucumis sativus* L.) cultivars in greenhouses from October 2011 to February 2012. We grew the greenhouse cultivar 'Proloog RZ', the Beit Alpha cultivar 'Media RZ', and the Japanese cultivar 'Eteruno'. We investigated the effects of support and training methods (the Japanese teki-shin method and the single-stem method) and of environmental factors (CO_2 concentration and relative humidity) on the fresh fruit yield, dry matter (DM) production, leaf area index, DM partitioning to fruit, and light use efficiency. Teki-shin is a common Japanese training method that involves (1) supporting and training the primary vine up a vertically strung cord, (2) topping the primary vine at the 18 to 20th node, (3) pinching off the first and secondary lateral branches at the first or second node. The single-stem method that we used involved (1) supporting and training the primary vine up a long vertically strung cord, (2) pruning all lateral branches and harvesting fruits from the primary vine. The fresh fruit yield was lowest in 'Eteruno' under all growing conditions, owing to the low DM production and low DM partitioning to fruit. The DM production was determined by the light use efficiency, which was correlated with the light extinction coefficient. The DM partitioning to fruit was determined by the fruit set characteristic such as the number of pistillate-flowers per plant. Support and training methods and environmental factors affected fresh fruit yield through determining light interception and the fruit set characteristic, and therefore their effects depended on cultivar. For example, the low rate of pistillate-flower set on the main stem of 'Eteruno' caused a large difference in fruit yield between the two support and training methods. 'Proloog RZ' had the most nodes and the most pistillate flowers, so a higher CO_2 concentration and higher humidity improved the fruit yield the most. To achieve high yields, it is necessary to grow cultivars with a low light extinction coefficient and a high rate of pistillate-flower set. Breeding should focus on these characteristics.