

子葉と第 1 本葉の摘除または遮光が葉序の規則性に及ぼす影響，ならびに葉序の方向がトマトの低段・多段組み合わせ土耕栽培に及ぼす影響

吉田康徳¹， 沢野井敦子¹， 安保圭一郎¹， 神田啓臣¹， 今西弘幸²， 渡部信之³

¹ 秋田県立大学生物資源科学部アグリビジネス学科

² 秋田県立大学生物資源科学部フィールド教育研究センター

³ 能代市農業技術センター

著者らは，低段・多段組み合わせ土耕栽培（低段・多段栽培）で，果実の小玉化の改善と安定した増収効果のために，葉序の方向性を利用した受光態勢の改善に取り組んでいる。しかし，葉序の規則性については，不明な部分も多く，葉序の方向性を利用した低段・多段栽培についても詳細な検討が必要である。そこで，本研究では，トマトの子葉と第 1 本葉の遮光または摘除が葉序の規則性に及ぼす影響，ならびに葉序の方向が低段・多段組み合わせ栽培に及ぼす影響を密植の第 1～4 花序，慣行と同じ第 4～8 花序で検討した。その結果，葉序の規則性では，第 1 本葉摘除と第 1 本葉遮光は左右性に偏りが見られなかったが，1 回目と 2 回目の試験ともに，右回りと左回りの発現頻度は，本来はほぼ右回り：左回り=50：50 となるが，どちらか一方に偏りが生じた。しかし，いずれの処理区でも，葉位間の開度に関しては，有意な違いは認められなかった。低段・多段栽培では，第 1～8 花序の 10a 当たり収量で，慣行と比較して違いは認められなかったが，密植となる第 1～4 花序の 10a 当たり収量では，1.6 倍程度の増収となった。しかし，葉序の方向による違いは認められなかった。一方，第 5～8 花序の 10a 当たり収量は，慣行と比較して，低段・多段栽培で極端に低下したことから，増収効果が認められない理由は，生育後半の樹勢低下による着果不良および果実の小玉化が原因と再確認できた。今後は，樹勢の維持を中心に検討する予定である。

キーワード：花序，開度，葉序，着果率，増収

著者らは，トマトの生産者なら特段の投資なく実施できる増収技術として，低段・多段組み合わせ土耕栽培（低段・多段栽培）に取り組んでいる（吉田ら，2017）。本栽培法は，理論的には，10a 当たり換算収量で 1.3～1.5 倍程度の増収効果が期待できる。しかし，実際には，密植による受光態勢の悪化に起因した着果不良および小玉化傾向によって期待した増収効果が認められない場合がある。そのため，トマトの葉序の方向性を揃えることで，受光態勢の改善に取り組んでいる。トマトの葉序の方向性とは，出葉する順番に葉の展開方向を見た場合，基部の第 1 本葉から最上位葉にかけての出葉の順番が右回り

（真上から見て時計回り）と左回り（真上から見て反時計回り）が発生すること，その発現率がほぼ 1：1 であると報告されている（金浜ら，1989；吉田ら，2017）。この葉序の方向を揃えることで隣り合う株どおしの葉の重なりを避けて，受光態勢の改善が期待される。ただし，トマトの葉序に関して，2/5 葉序（144 度）（Hayward, 1967；八畝・白木,1983），1/3 葉序（130 度）（大河内，1983），1/4 葉序（90 度）と 1/2 葉序（180 度）の開度を繰り返す四列縦生またはコクサギ型（薄上，1964；Shishido・Hori, 1977，宍戸・堀，1991）および開度法では 3/8 葉序（135）または斜列法で 3：5（Kanahama ら，1993，1994）と

異なる見解が報告され、不明瞭な部分も多い。また、受光態勢の改善を目的に葉序の方向を揃えても、期待した増収効果が得られないため（吉田ら，2017），更なる検討が必要である。

そこで、本研究では、トマトの葉序の規則性に関して、子葉と第1本葉の遮光または摘除が葉序に及ぼす影響、ならびに葉序の方向が低段・多段組み合わせ栽培に及ぼす影響を検討した。

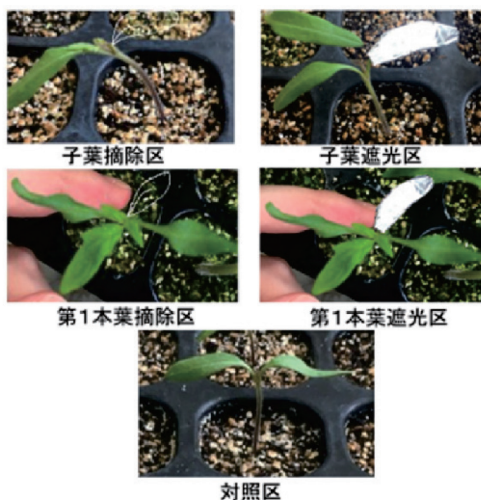
材料および方法

実験1. 子葉と第1本葉の遮光または摘除が葉序の規則性に及ぼす影響

材料 トマト‘桃太郎ヨーク’を供試した。

方法 2017年6月21日（第1回目）および8月25日（第2回）に播種を行い、発芽後の子葉展開時に子葉1枚を摘除（子葉摘除）または子葉1枚をアルミ箔で遮光（子葉遮光）、第1本葉展開時に本葉を摘除（本葉摘除）またはアルミ箔で遮光（本葉遮光）する処理を行った（第1図）。無処理の対照を含め計5区を設けた。

調査は、第3本葉展開時に左右性を調査した。調査後、鉢上げを行い、無加温ガラス室で慣行の栽培管理を行った。第1花序開花時に、第1から第6または7葉（第1回目）ならびに第5または6葉（第2回目）、までの開度を計測した。開度とは、葉と葉の間の角度のことで、分度器を用いて計測した（第2図）。



第1図. 子葉と第1本葉の摘除または遮光が葉序に及ぼす影響

実験2. トマトの葉序の方向が低段・多段栽培に及ぼす影響

材料 トマト‘桃太郎8’を供試した。

方法 2016年12月9日に播種を行い、第2本葉



第2図. 開度の調査方法

展開時に鉢上げを行い、第1花房開花時に葉序の左右性を調査し、第1本葉を手前にして、第3本葉が右になるのを右回り（R）と左にあるのを左回り（L）した。葉序の方向で右回りと左回りを交互に配置するものをR+Lとし、右回りのみ配置するものをRとした。2017年2月16日にガラス温室の地床に慣行R+L（慣行）区は株間40cm、低段・多段区R+LとR区は株間20cmの2条植えで定植した。定植後は、養液土耕栽培を行い、園誌処方 $EC = 1.0 \sim 1.5$ mS/cmで毎日灌水した。供試本数は慣行区8本、低段・多段区各10本供試した。

調査は、生育調査と開花調査および収穫調査を行った。

結果

実験1. 子葉と第1本葉の遮光または摘除が葉序の規則性に及ぼす影響

第1回目調査の場合、対照で、右回り（右）と左回り（左）の個体の割合（%）は、右：左が56.8：43.2であった（第1表）。この結果から第1回目調査と同様に左右性に約±7%の誤差が生じるものとして、他の処理区と比較した。つまり、第1本葉摘除と第1本葉遮光は左右性に偏りが見られなかったが、子葉摘除では右：左が40：60、子葉遮光で右が75：25と左右性に偏りが生じることが示唆された。

開度調査では、子葉～第1葉で、対照の77.1程度に対して、いずれの処理でも、81.4～101.0程度と差は認められず、第1葉～第2葉で、対照の140.0に対して、いずれの処理で145.4～156.7程度と差は認められず、以後同様に差は認められなかった。子葉から第6または7葉までの平均値でも、対照の126.3程度に対して、いずれの処理区でも127.9～132.4と同程度で、差は認められなかった(第2表)。

第2回目調査では右回り(右)と左回り(左)の個体の割合(%)は、右:左が43.8:56.3であった(第1表)。この結果から第1回目調査と同様に左右性に約±7%の誤差が生じるものとして、他の処理区と比較した。

対照の43.8:56.3に対して、右:左が子葉摘除区

で61.3:38.7、子葉遮光区で66.7:33.3、第1本葉摘除区で40:60、第1本葉遮光区で64.3:35.7と全処理区で左右性に偏りが認められた。

開度調査では子葉～第1葉で、対照の90.0程度に対して、いずれの処理でも、75.7～92.5程度と差は認められず、第1葉～第2葉で、対照の145.3に対して、いずれの処理で140.7～151.7程度と差は認められず、以後同様に差は認められなかった。子葉～第6または7葉までの平均値でも、対照の133.6程度に対して、いずれの処理区でも125.2～130.8と同程度で、差は認められなかった(第3表)。

第1回と2回の左右性を調査した結果、どちらも子葉遮光区で左右性に最偏りがあった。また、どちらの調査でも右回り個体の割合が高かった。

第1表. 子葉と第1本葉の遮光または摘除が葉序の規則性に及ぼす影響

処理区	6月21日(第1回)		8月25日(第2回)	
	右回り(%)	左回り(%)	右回り(%)	左回り(%)
対照区	56.8	43.2	43.8	56.3
子葉摘除	40.0	60.0	61.3	38.7
子葉遮光	75.0	25.0	66.7	33.3
本葉摘除	47.5	52.5	40.0	60.0
本葉遮光	53.1	46.9	64.3	35.7

第2表. 子葉から第6または7葉までの開度(第1回)
(子葉遮光区のみ右回り個体)

処理区	子葉-第1葉	第1葉-第2葉	第2葉-第3葉	第3葉-第4葉	第4葉-第5葉	子葉-第6および7葉
対照	77.1a	140.0a	131.8a	133.2a	146.8a	126.3a
子葉摘除	101.0a	149.0a	123.7a	132.6a	138.9a	129.9a
子葉遮光	95.3a	148.7a	117.3a	136.7a	146.8a	127.9a
本葉摘除	91.7a	156.7a	132.5a	137.9a	145.4a	132.4a
本葉遮光	81.4a	145.4a	126.8a	142.5a	140.0a	128.8a

²Tukeyの多重検定により異なる英小文字間には5%水準で有意差があることを示す。

第3表. 子葉から第6または7葉までの開度(第2回)(子葉遮光区のみ右回り個体)

処理区	子葉-第1葉	第1葉-第2葉	第2葉-第3葉	第3葉-第4葉	第4葉-第5葉	子葉-第5および6葉
対照	90.0a	145.3a	135.6a	142.8a	154.2a	133.6a
子葉摘除	92.1a	151.7a	130.0a	136.7a	144.6a	130.8a
子葉遮光	92.5a	144.0a	122.5a	133.0a	121.5a	128.2a
本葉摘除	81.7a	151.0a	124.3a	133.3a	145.3a	127.1a
本葉遮光	75.7a	140.7a	129.6a	133.9a	136.8a	125.2a

²Tukeyの多重検定により異なる英小文字間には5%水準で有意差があることを示す。

以上より、子葉遮光区は左右性に影響していることが示唆された。そこで、子葉遮光区右回り個体で、左右性を決定する第3葉の展開位置調査した。その結果、第1回目と2回目の調査で、それぞれ遮光していない子葉側への展開が65.0%、66.7%とやや高い傾向が認められた（データ省略）。

実験2. トマトの葉序の方向が低段・多段栽培に及ぼす影響

1株当たり果実数は、第1～8花序で比較した場合、慣行の24.3個に対して、低段・多段R+L区で19.3個と同程度であったが、低段・多段R区では15.4個と低い傾向が認められた（第4表）。果実重では、慣行区の165.8gに対し低段・多段R+L区で137.7g、低段・多段R区で126.6gと、低段・多段両区で低い傾向が認められた。10a当たり換算収量では、慣行区の7.9tに対し、低段・多段R+L区で9.2tと低段・多段R区では8.5tと有意差はないが1.1倍程度の増収傾向が認められた（第4表）。しかし、期待した増収効果が認められなかったため、低段・多段栽培で密植となる第1～4花序と慣行と同じ枝間になる第5～8花序で比較した場合、1株当たり果実数は、第1～4花序の慣行で14.3個に対して、低段・多段R+LとR区は、それぞれ15.0と14.4個と同程度であったのに対して、第5～8花序では、慣行で10.0個に対して、低段・多段R+LとR区は、それぞれ8.6と2.7個と小さい傾向が認められた。果実重では、

第1～4花序で、慣行の181.9gに対して、低段・多段R+LとR区が、それぞれ137.6gと145.7gと有意に小さかった。第5～8花序でも、慣行の149.6gに対して、低段・多段R+L区は148.1gと同程度であったが、低段・多段R区では、69.4gと小さかった。その結果、10a当たり収量は、第1～4花序で比較した場合、慣行の4.9tに対して、低段・多段R+LとR区で7.9～8.1tと期待した増収効果が認められた。しかし、第5～8花序で比較した場合、10a当たり換算収量が慣行の3.0tに対して、低段・多段R+Lで2.6t、低段・多段R区で1.1tと低い傾向が認められた。本研究では、葉序の方向を揃えた多段Rの優意性は示すことができなかった。その理由として、第5～8花序の果実重が低かったことが考えられた。さらに花序別に着果率を見ると、低段・多段R区の5段目以降では、他2区と比べ低下傾向（データ省略）も影響したと考えられた。

以上より、花序別に、10a当たり換算収量を比較すると、第1～4花序で、慣行と比較して、10a当たり換算収量は低段・多段栽培で1.6倍程度の増収傾向が認められた。しかし、第1～8花序では、増収効果が認められず、葉序の方向を揃えた優意性は示されず、今後の検討が必要となった。

第4表. 葉序の方向がトマトの低段・多段栽培の収量に及ぼす影響

処理区	1株当たり果実数(個)	果実重(g)	1株当たり収量(kg)	10a当たり換算収量(t)
第1～8花序				
慣行	24.3±1.1a	165.8±11.2a	4.3±0.2a	7.9±0.5a
低段・多段R+L	19.3±1.9ab	137.7±6.0b	2.8±0.3b	9.2±0.8a
低段・多段R	15.4±1.6b	126.6±11.6b	2.4±0.3b	8.5±0.9a
第1～4花序				
慣行	14.3±0.8a	181.9±7.8a	2.6±0.2a	4.9±0.3b
低段・多段R+L	15.0±0.8a	137.6±6.6b	2.1±0.1a	7.9±0.5a
低段・多段R	14.4±1.2a	145.7±11.8b	2.2±0.2a	8.1±0.9a
第5～8花序				
慣行	10.0±1.2a	149.6±19.9a	1.6±0.2a	3.0±0.4a
低段・多段R+L	8.5±1.2ab	148.1±22.6a	1.4±0.3ab	2.6±0.6ab
低段・多段R	2.7±1.3b	69.4±26.8b	0.6±0.2b	1.1±0.4b

Tukeyの多重検定により、異なる英小文字間には5%水準で有意差あり

考察

1. 葉序の規則性に及ぼす影響

子葉遮光区の右回り個体で、第3葉が遮光していない子葉側に多く展開した原因は、遮光した子葉は成長が阻害され維管束の発達が悪くなり、遮光していない子葉の上に第3葉との維管束の連結がつくられ、結果、遮光していない子葉の上に第3葉が多く展開した結果になったと推測した。実際に正常な個体の維管束を染色し、視覚化したものから片方の子葉と第3葉の維管束のつながりを確認することができた（データ省略）。

次に、子葉遮光区で、左右性に最も偏りが生じた理由は、子葉展開という早いタイミングで第1と2本葉の成長に必要な光合成を供給する子葉の一方が遮光によって機能しなかったことで、第3葉の発生位置が影響されたと考察した。

また、開度調査の結果から子葉と第1本葉の摘除および遮光処理は、左右性に影響しても開度には影響せず、ほぼ135度となり、金浜ら(1989)とkanahamaら(1993)に一致した。

本実験では、子葉遮光区で右回りが増加したが、遮光処理によって第3葉の展開位置を操作できても、第1本葉の位置が手前側にあるか奥側にあるかで左右性が変わる。そのため今後実験をおこなうにあたって、子葉遮光する際、第1葉に対して右と左どちらの子葉に処理をするかを統一して処理の影響を再確認する必要がある。また、子葉の維管束の連結が第3葉の分化位置に影響を及ぼすことを確認する必要がある。

以上より、子葉の遮光処理が、葉序の左右性に最も強く影響を及ぼしたが、子葉遮光区以外の処理区においても、少なからず左右性に影響がみられたため、子葉遮光区を含め再検討する必要がある。

2. 葉序の方向が低段・多段栽培に及ぼす影響

低段・多段栽培は、第1~4花序が密植で、第5~8花序は慣行と同じ枝間になるため、低段と多段の長所・短所を活用した栽培法である。しかも、本栽培法は、トマトの生産者なら特段投資なく実施でき

ることも大きなメリットである。しかし、その増収効果には、年次間差が認められ、果実の小玉化傾向も課題となっている。そのため、小玉化傾向を回避し、安定した増収効果を示すことが期待される。本試験では、第1~8花序の10a当たり換算収量では、慣行の1.2倍程度しか増収効果は認められなかった。一方、密植している第1~4花序の10a当たり換算収量では、慣行と比較して1.6倍程度と増収効果が認められた。しかし、葉序の方向性を揃える有意性は認められなかった。また、第5~8花序の10a当たり換算収量で、低段・多段区で急激な減収が認められ、特に、葉序の方向を揃えた処理区で減収した。これらの理由は、密植で受光態勢が悪い第1~4花序の果実の肥大によって、樹体に負担が増し、樹勢の低下を引き起こし、生育中期~後半の第5~8花序の着果率を低下させ、果実の小玉化を引き起こしたものと考えられた。このことは、本栽培法で、安定した増収効果を得るためには、生育後半の樹勢維持が重要であることを改めて示した。今後は、樹勢の維持を中心に検討する予定である。

引用文献

- 金浜耕基・斉藤隆・曲英華（1989）「ナス科野菜・花卉における器官配列の左右性と花序の発達に関する研究」『園芸学会雑誌』57：642-647.
- Kanahama, K., K. Iwabuchi and M. Suda. (1994) Phyllotaxis on the main shoot of wild tomato plants calculated by the parastichy system. *Tohoku J. Agric. Res.* 44: 15-22.
- Kanahama, K., M. Suda and K. Iwabuchi. (1993) Phyllotaxis on the main shoot of the wild tomato plants calculated by the orthostichy system. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 62: 377-382.
- 大河内信夫（1983）「トマトの通導組織と葉位の関係」『農業及び園芸』58: 870-874.
- Shishido, Y. and Y. Hori. (1977) Studies on translocation and distribution of photosynthetic assimilates in tomato plants. II. Distribution pattern as affected by phyllo taxis. *Tohoku J.*

Agric. Res. 28: 82 95.

宍戸良洋・端 裕 (1991) 「トマトにおける光合成産物の花房内の果実間分配と果実肥大に対する葉位の役割」『園芸学会雑誌』60: 319-327.

薄上秀男 (1964) 「トマトの着果習性と出葉体系との関係」『農業および園芸』 39: 1281- 1282.

八鍬利郎・白木正範 (1983) 「トマトの花房着生位置についての規則性」『農業および園芸』58: 559-562.

吉田康徳・細矢真・鈴木正人・進藤陽平・神田啓臣・渡部信之・高橋春實 (2017) 「トマトの低段・多段組み合わせ土耕栽培に関する研究葉序の方向と2本仕立てが収量に及ぼす影響」『秋田県立大学ウェブジャーナル B (研究成果部門)』4 : 186-192.

〔平成30年6月30日受付〕
〔平成30年7月10日受理〕

Effects of defoliation or sun light shading of the cotyledon or the first true leaf of tomato and impact of phyllotaxy direction and multi-shoots on the yield of tomato plants growing in conditions of a combination of low- and high-order pinching at high planting density

Yasunori Yoshida¹, Atsuko Sawano¹, Keiichiro Anpo¹, Hiroomi Kanda¹, Hiroyuki Imanishi²,
and Nobuyuki Watanabe³

¹ Department of Agribusiness, Faculty of Bioresource Sciences, Akita Prefectural University

² Center of Field Science, Faculty of Bioresource Sciences, Akita Prefectural University

³ Agricultural Technology Center, Noshiro City Office

The arrangement of the phyllotaxy direction in tomato production has improved canopy light distribution characteristics. This method prevents the fruit being small weight (stabilizes the yield) through a combination of low- and high-order pinching on soil culture at high planting density. There were a few reports of phyllotaxy regularity for some tomato varieties. Thus, the authors of the current study examined the effects of defoliation or shading of the cotyledon, or the first true leaf of the tomato plant, and the arrangement of the phyllotaxy direction of tomato plants growing under a combination of low- and high-order pinching at high planting density. In both examinations, the ratio of right to left phyllotaxy direction was not altered by defoliation or shading of the first leaf; however, the orientation was slightly altered by either condition (i.e. defoliation or the shading of the cotyledon or the first true leaf). The angle of divergence between each pair of neighboring leaves was not significantly different in any investigation. An examination of the cultivation method of using phyllotaxy direction revealed that from the first to eighth inflorescence, the technique produced almost the same yield per 10 a as normal planting density. However, between the first and fourth inflorescence, the yield was 1.6 times higher per 10 a in comparison to normal planting density or high planting density without the effect of phyllotaxy direction. The fifth to eighth inflorescence significantly decreased the yield per 10 a in comparison to normal planting density because this cultivation generated a low fruit set and led to the fruit being small because of weak plant vigor at the mid to end growth stage. Future studies will seek to improve plant vitality through the use of this cultivation method.

Keywords: inflorescence, angle of divergence between each pair of neighboring leaves, phyllotaxy direction, raising yield