

夏秋トマト雨よけ栽培における放射状裂果発生要因の解明と 対策技術開発に関する研究

鈴木隆志^a

Studies on the Cause of Radial Cracking and Development of Measures Technology in Tomato cultivation
under Rain Shelter in Cool Upland

Takashi Suzuki

Gifu prefectural Research Institute for Agricultural Sciences in Hilly and Mountainous Areas, Furukawa, Gifu 509-4244

Synopsis

Radial fruit cracking (RFC) can contribute to serious economic losses in tomato production under rain shelter in cool uplands. There have been many reports on investigation of RFC in large-size tomatoes. In all of them, RFC occurred in the fields of tomato cultivated under rain shelter in cool upland throughout a period of time between August and November, however, there was no adequate explanation for the fact that the timing and severity of RFC has varied from year to year, resulting in no determination of major cause. In this study, we tried to unravel a major cause of RFC through examining the previous investigations and to investigate measures to relieve taking the cause into consideration for development of countermeasures feasible in the field.

キーワード：夏秋トマト、放射状裂果、灌水、整枝、積算日射量、着果制限、果房被覆、二酸化炭素施用、コルク層、定植位置、栽植距離

目次

第1章 緒論	1
1-1 岐阜県における夏秋トマト雨よけ栽培の変遷 と現状の問題点	1
1-2 トマトの裂果の種類	2
1-3 トマトの裂果発生要因と対策に関する研究	2
1-4 研究の目的と本論文の構成	2
第2章 材料および方法	3
2-1 栽培方法	3
2-2 調査項目および方法	3
第3章 放射状裂果の発生に及ぼす灌水および整枝 の影響	3
第4章 積算日射量の影響を受ける生育ステージ および亀裂が発生する生育ステージの特定	7
第5章 放射状裂果の発生に及ぼす着果制限、果房 被覆および二酸化炭素施用の影響	11

第6章 放射状裂果の発生に及ぼす定植位置および 栽植距離の影響	16
第7章 結言	18
引用文献	21
Summary	24

第1章 緒論

1-1 岐阜県における夏秋トマト栽培の変遷と現状の問題 点

トマトは南米ペルーのアンデス高原に野生種が分布し、インディアンの移住にともなって中央アフリカに伝わり、この地域で作物化したものとみられている。メキシコを征服したスペイン人により16世紀にヨーロッパに伝わり、最初は鑑賞用として栽培された。食用に供されたのは18世紀以降で、野菜として普及したのは欧米においても19世紀以降であった。我が国へは、明治以降に導

本論文は岐阜大学大学院連合農学研究科学位審査論文(平成21年1月)に一部修正を加えたものである。本報告の一部は、園学研, 4, 75-79 (2005) 園学研, 6, 405-409 (2007) 園学研, 8, 27-33 (2009) において発表した。また、本報告の一部(論文未発表分)は、園芸学会平成18年度春季大会(園学雑75別1, 369, 2006)で講演した。

^a 現在、岐阜県農業技術センター

入されたが、第2次大戦後、食生活の洋風化に伴いトマトの消費も増大した（青葉，2000）。農林水産省「平成18年産秋冬野菜等の作付面積，収穫量及び出荷量」によると、全国のトマト作付け面積は、12,900 ha、生産量726,300 tである。また、岐阜県農林水産統計年報によると、岐阜県における平成18年度の夏秋トマト作付け面積は282 ha、出荷量は18,500 tであり、ハウレンソウと並ぶ2大園芸品目となっている。産地は美濃の中山間地域から飛騨の高冷地にまでおよんでいる。主に関西、中京市場中心に出荷され、外食、中食に使用される業務用と家庭消費用の生鮮トマトとして流通しているが、流通サイドでは肉質がしっかりして味の良い、棚持ちの良い、軟化、黄化、裂果していないトマトを、消費者は安価で美味しく安全なトマトを求めている（鈴木・浜本，2008）。

岐阜県における夏秋トマトの栽培は1960年（昭和35年）頃から始められたが、夏期の降雨量が多いことから、斑点細菌病や疫病発生のため極めて栽培が困難であった（曾我，2003）。簡易雨よけ施設による夏秋トマト栽培は、昭和42年、岐阜県恵那農業改良普及員が農家の庭先で傘がかけられたトマトが秋になっても枯死していないことにヒントを得て、簡易なビニルを畝の上に被覆したことがスタートとなった（鈴木，1997）。その後、本技術は、試験研究機関が技術的な裏付けと体系化を行い（二ツ寺ら，1976）、県内のみならず全国各地に普及しており（高橋ら，1983；富田ら，1981；雪竹，1982）、露地栽培と比較して、収穫可能な期間の延長や収量の増加を可能とした（山本ら，1983）。

また、夏秋トマト露地栽培においては、病害のみならず、放射状裂果の発生も大きな問題であった。山梨県などの高冷地では、放射状裂果の発生が特に激しいことから、収穫期の近づいた個々の果房を新聞や袋で被覆するという労力のかかる作業で対応してきたが、ハウス栽培の導入により、この問題は顕著に改善された（青木，1996a）。

しかし、近年雨よけ栽培においても年次や仕立て法によっては、総収穫量の3割程度を放射状裂果発生によって廃棄している。放射状裂果は、品質低下の最大の要因となっており、単収向上や高品質生産を実現する上で夏秋トマト産地の最大の問題となっている。

なお、果実の黄化については2000年以降岐阜県夏秋トマト産地で大きな問題となったが、高温期における収穫物の予冷庫利用を産地全体で徹底することによって現在では市場からのクレームがほとんどないまでに改善された（浜渦ら，1995）。

1-2 トマトの裂果の種類

トマトの裂果の発生症状は、大玉トマト、ミニトマトおよび中玉トマトにおいてそれぞれ異なった特徴があり、いくつかの種類に分類される。

大玉トマトの促成、半促成栽培では、裂果発生が少な

くその程度も軽いが、露地、夏秋、抑制栽培では裂果発生が多い。裂果のパターンは大きく3種類に分類される。

がくを中心に同心円状に裂ける同心円裂果　がくから放射状に裂ける放射状裂果　不規則に裂ける側面裂果や裂皮である（森，1990）。

ミニトマトでは、大玉トマトに比べ空洞果、変形果、すじ果などの発生は少ないが、周年を通じて完熟期に収穫するため、裂果による非商品果の発生割合が高い。ミニトマトの裂果は、7～8着色期以降に発生する。裂け方は果梗部から果頂部に向かって縦割れするものが大部分を占め、大玉トマトによくみられる放射状、同心円および側面裂果はほとんど発生しない（伊藤ら，1990）。著者は、これを大玉トマトの裂皮に近いものと考えている。

中玉トマトでは、裂果の研究報告はほとんどないが、渡邊ら（2006）は、中玉トマトにおいて果実の表皮が放射状や同心円状に裂開した果実を裂果果実として扱ったとしていることから、大玉トマトに近い発生症状であると考えられる。

1-3 トマトの裂果発生要因と対策に関する研究

(a) 大玉トマト

大玉トマトにおける主な裂果発生要因としては、果実表面からの水分吸収（二井内，1963；上村ら，1972）　土壌水分の急激な変化（二井内，1963；上村ら，1972）　強日射（Brown・Price，1934；山下・林，1994）　高温（Frazier・Bowers，1947；伊藤ら，1990）　コルク層の発達（Fraizer，1934；二井内，1963；上村ら，1972）　急激な果実肥大（Fraizer，1935；Young，1958）　高湿度（小沢，1993）　飽差の変動（渡邊ら，2006）等が報告されている。

裂果発生の主な対策としては、遮光（Brown・Price，1934；山下・林，1994；Wadaら，2006）　品種選定（Abbottら，1986）　給液による水分ストレス（梶田ら，1989；Ikedaら，1999；岡野ら，1999；中林ら，2001）　果梗部の捻枝（山下・林，1994）　カルシウムまたはホウ素の施用（青木，1996b）等がある。

(b) ミニトマト

ミニトマトにおける主な裂果発生要因としては、高湿度（伊藤ら，1990；太田ら，1991）　果実周辺の水ポテンシャルの上昇（村瀬ら，1993）　夜間から早朝における果実内への水の流入（Ohtaら，1997）　土壌水分の急激な変化（河合，1997）等が報告されている。

主な対策としては、品種選定（伊藤ら，1990；太田ら，1993）　除湿または送風処理（伊藤ら，1990；太田ら，1991）　夜間の強光照射（Ohtaら，1998）　夜間のポンプ停止（山田，村瀬，1994）等がある。

1-4 研究の目的と本論文の構成

上述したように、トマトの裂果に関する研究は数多く報告されているが、いずれの報告も、夏秋トマト栽培の生産現場において、放射状裂果発生が8月～11月の長期間

に発生し、年によって発生時期やその程度も異なるという現状を十分に説明できるものではなく、その主因は明確になっていない。

そこで、本研究では、既存の研究を検証することによって放射状裂果の発生の主因を明らかにすること、さらにその主因に対応した軽減技術を検討し、現地で実用可能な対策技術を開発することを目的として実施した。

本論文の構成と内容は以下の通りである。

第2章では材料、栽培方法および調査方法について述べた。

第3章では、従来から指摘されている土壌水分の急激な変化の影響や、強日射が茎葉や果実に及ぼす影響を明らかにした。その結果、茎葉や果実が受光する日射量が少ない条件では、土壌pF値1.2～2.5の範囲で土壌水分状態を変化させることによる放射状裂果の発生への影響は認められなかった。また、くず放射状裂果の発生は、果実肥大の大きい果実において発生する傾向が認められた。一方、灌水条件が同じであっても、茎葉や果実が受光する日射量が多い条件では、受光する日射量が少ない条件に比べて明らかに放射状裂果およびくず放射状裂果が発生しやすく、果実肥大に関係なく発生した。これらのことから、夏秋トマト栽培における放射状裂果の発生は、土壌水分の変化の影響は比較的小さく、茎葉や果実が受光する日射量が多い条件で発生すると考えられた。

第4章では、日射の影響を受ける生育ステージの範囲や亀裂発生が始まる生育ステージについて検討した。その結果、夏秋トマト栽培におけるくず放射状裂果の発生は、幼果期から緑熟期頃における積算日射量が一定水準を超えた果実で発生しやすい傾向が認められ、茎葉や果実に日射が受光しやすい整枝法で発生しやすいと判断された。また、果実肥大が旺盛な果実ほど放射状裂果が起こりやすい傾向が認められた。また、裂果の兆候がみられた果実の経時変化を観察した結果、亀裂の開始時期は緑熟期以降であること、亀裂の開始時期が早いものほど大きな裂果に発達することが明らかになった。

第5章では、着果制限、果房被覆および二酸化炭素施用が裂果発生に及ぼす影響を検討することによって、強日射は、光合成産物の転流、分配が促進されることによる過度の果実肥大をもたらすことを明らかにし、また、果実に対する強日射とコルク層の発達との関連性を指摘した。

第6章では、放射状裂果発生の対策となる栽培技術の開発を目的として、定植位置および栽植距離が放射状裂果発生に及ぼす影響について検討した。

第7章では、既存の研究及び本研究の結果結果をまとめることによって、放射状裂果発生のメカニズム解明や総合的な対策技術について提案を試みた。

第2章 材料および方法

2-1 栽培方法

圃場試験はすべて岐阜県中山間農業研究所(標高493 m)内の南北棟雨よけハウス(間口6 m,長さ50 m)またはガラス温室(間口7.2 m,長さ20 m)で実施した。

トマトの供試品種は‘桃太郎8’を用い、4月上旬に播種し、4月下旬に台木‘がんばる根’に幼苗接ぎ木した。接ぎ木苗を6月上旬に、雨よけハウス内で株間40 cm、条間80 cmの5条に定植し、11月(10～12段果房)まで養液土耕法で栽培した。施肥は、大塚ハウスA処方またはSA処方の1/2単位液(EC: 1.2 dS m⁻¹)を用いた追肥のみとし、栽培期間全体で窒素成分を10 a当たり23 kg施用した。

灌水方法は、生育段階に合わせて変更したが、慣行の平均的な灌水量を参考にして、最大で1日1株当たり2.6 Lとした。摘花(果)は、各花房の5番目の開花が終了した開花揃い期、およびピンポン玉サイズに肥大した時期にそれぞれ実施した。

仕立て法は主に斜め誘引仕立てまたは直立仕立て・玉出し処理とした。斜め誘引仕立てとは、第3果房より上位の茎葉を、地面に対して30～45度の範囲で誘引する方法である。直立仕立て・玉出し処理とは、西側の畝の株を供試し、直立仕立てによって花(果)房に光が当たりやすいように西側に向けて誘引し、開花前から葉吊りや摘葉によって玉出しする方法で、花(果)房の上に被る数枚の小葉は摘除した。

2-2 調査項目および方法

収穫調査として収穫果数、果重、放射状裂果の発生状況、果実幅、コルク層幅を測定した。果実幅は、赤道面における最大値と最小値を計測しその平均値とした。コルク層幅は、へたの周りにできたコルク層の幅の最大値を測定した。放射状裂果の発生した果実は、可販放射裂果(比較的軽微なもの)とくず放射状裂果(裂果の程度が激しく出荷できないもの)の2種類に分類し、その発生割合についても調査した(図2-1)。



可販放射状裂果 くず放射状裂果

図2-1 放射状裂果の規格

土壌水分は、畦内中央部の深さ15 cmに埋設したテンションメーター(DM-8,大起理化工業(株))により、午後5時にpF値を測定した。

果実表面が受光する日射量は、簡易積算日射測定システム(オプトリーフ,(株)大成イーアンドエル)を使用した。果実正面赤道部に感光フィルムを設置し、5か所ず

つ2反復で測定した。

ハウス内の積算日射量は、ハウスの中央部、高さ2.5 mの位置で、全天日射計（HT-0，東京ハイテック（株））を用いて1カ所で測定した。

第3章 放射状裂果の発生に及ぼす灌水および整枝の影響

放射状裂果発生の主因として、土壤水分の急激な変化の影響（二井内，1963；上村ら，1972）が一般的に言われている。もしそうであるならば、土壤水分変化の少ない灌水制御ができれば、放射状裂果発生を抑制することが可能となる。また、放射状裂果対策技術として、遮光（Brown・Price，1934；山下・林，1994；Wadaら，2006）が有効である。そこで、本章では、放射状裂果発生要因の絞り込みを目的に灌水方法や整枝方法の影響について検討した。

実験方法

実験3-1．灌水方法の違いが放射状裂果の発生に及ぼす影響

試験区は標準区、午後灌水区、多量・少回数区、灌水制限区の4区を設け、1区5株、2反復とした。標準区では、午前6時より1時間ごとに1株当たり250 ml灌水した。ただし、1日当たりの灌水量は生育段階に応じて変更したが、慣行の平均的な灌水量を参考にして、最大で1株当たり2,500 mlとした。また、土壤水分がpF2.0以下を目標に灌水量を管理した。午後灌水区では、夜間の土壤水分を高めるため、正午より1時間ごとに1株当たり500 ml灌水した。なお、1日当たりの灌水量は標準区と同量とした。多量・少回数区では、土壤水分の変化を大きくするため、標準区の2または3日分に相当する灌水量を月、水、金曜日の午前8時にまとめて灌水（1回の灌水量は最大で1株当たり5,000 ml～7,500 ml）した。ただし、1週間当たりの灌水量は標準区と同量になるようにした。灌水制限区では、日射センサーを用い、曇雨天日においては、標準区に対して1日あたりの灌水量を最大500 ml削減した。仕立て法は、4区とも第3果房より上位の茎葉を斜めに誘引した。その他の栽培管理は、慣行法に準じた。土壤水分は、畝内中央部の深さ15 cmに埋設したテンションメーターにより、午後5時にpF値を測定した。

なお、5月27日に定植後、活着し生育が揃うまでの期間は全試験区において標準の灌水方法を実施し、7月13日より灌水処理を開始した。

実験3-2．整枝法（受光態勢）の違いが放射状裂果の発生に及ぼす影響

茎葉や果実に対する日射の当たりやすさを異にした斜め誘引仕立て区と直立仕立て・玉出し区の2区を設けた（図3-1）。灌水方法については、いずれの区も実験1の灌水制限区と同様とした。その他の栽培管理については、慣行法に準じた。



直立仕立て・玉出し区 斜め誘引仕立て区

図3-1 仕立て法

実験結果

実験3-1．灌水方法の違いが放射状裂果の発生に及ぼす影響

標準区では、午後5時における土壤pF値を2.0以下にすることを目標に設定したが、8月下旬～9月上旬（標準区のpF値が最大2.45）と10月中旬（標準区のpF値が最大2.5）に乾いた状態になった。標準区と比較して、午後灌水区のpF値は処理を開始した7月13日以降全期間を通じて低く推移した。多量・少回数区では、調査日によるpF値の変動幅が最大2.5、最小1.5と大きく、8月上旬頃までは標準区よりも高めに推移したが、その後は低めに推移した。灌水制限区では9月上旬以外は標準区よりも高めに推移したが、変動幅は最大2.4、最小1.8と小さかった（図3-2）。

栽培期間中の総収量、可販収量、平均果重、総収穫果数、放射状裂果数、くず放射状裂果数については、試験区間に有意差は認められず、異なる灌水方法による土壤水分が放射状裂果数およびくず放射状裂果数に及ぼす影響はみられなかった（表3-1）。

次に、放射状裂果およびくず放射状裂果の時期別発生状況についてみると、いずれも8月下旬頃に最大となったが、灌水制限区では9月中旬以降において、他の3区に比べて低めに推移した（図3-3，図3-4）。

一方、規格別平均果重をみると、各区とも正常果に比べて放射状裂果、くず放射状裂果共に大果となったが、平均果重では、正常果、放射状裂果、くず放射状裂果共に区間に相違は認められなかった（表3-2）。

実験3-2．整枝法（受光態勢）の違いが放射状裂果の発生に及ぼす影響

9月9日から10日にかけて測定した果実表面における積算日射量は、直立仕立て・玉出し区は斜め誘引仕立て区に対して有意に多かった（表3-3）。

総収量、平均果重、総収穫果数については、区間に相違は認められなかったが、直立仕立て・玉出し区で可販収量は有意に少なく、放射状裂果数およびくず放射状裂果数は有意に多かった（表3-4）。

時期別の放射状裂果およびくず放射状裂果の発生率は、

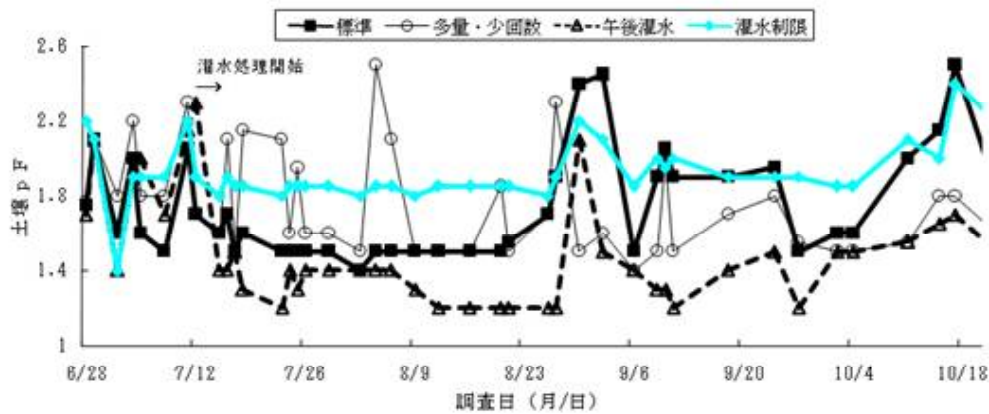


図3-2 灌水方法を異にして栽培したトマトほ場における土壌pH値の推移
測定は午後5時に実施

表3-1 灌水方法を異にして栽培したトマトにおける収量，平均果重，
総収穫果数，放射状裂果数およびくず放射状裂果数

処理区	総収量 (kg/株)	可販収量 (kg/株)	平均 ^z 果重 (g)	総収穫 果数 (個/株)	放射状 ^y 裂果数 (個/株)	くず放射 状裂果数 (個/株)
標準	5.51	4.93	186	29.6	11.3	2.1
多量・少回数	5.79	5.07	173	32.8	11.1	2.5
午後灌水	5.63	4.95	173	33.6	11.2	2.6
灌水制限	5.37	4.82	180	29.9	9.6	2.0
有意差 ^x	ns	ns	ns	ns	ns	ns

^z総収穫果より求めた

^y可販放射状裂果数+くず放射状裂果数

^x分散分析により，ns：有意差なし

収穫期間：7月23日～11月5日

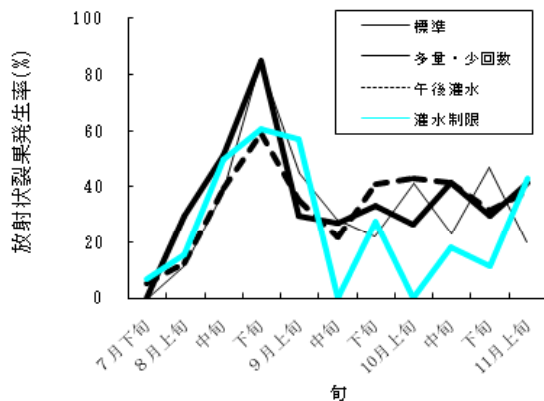


図3-3 灌水方法を異にして栽培したトマトにおける
収穫時期別の放射状裂果発生率の推移

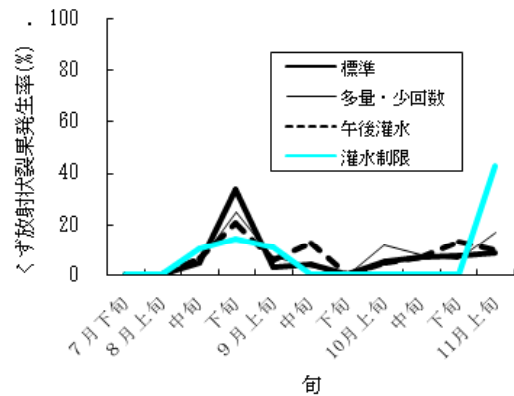


図3-4 灌水方法を異にして栽培したトマトにおける取
穫時期別のくず放射状裂果発生率の推移

表3-2 灌水方法を異にして栽培したトマトにおける
規格別平均果重

処理区	平均果重(g)		
	正常果	放射状裂果	くず放射状裂果
標準 (少量・多回数)	167	207	220
多量・少回数	157	204	219
午後灌水	156	184	198
灌水制限	162	208	204
有意差 ^z	ns	ns	ns

^z分散分析により，ns：有意差なし。

表3-3 果実表面における積算日射量

処理区	積算日射量(MJ/m ²)
斜め誘引仕立て	6.9
直立仕立て・玉出し	11.9
有意差 ^z	*

^zt-testにより，*0.05水準で有意差あり

調査期間：2002年9月10日～11日

測定カ所：2002年9月10日～11日

いずれも直立仕立て・玉出し区ではほぼ全期間を通して高い水準で推移した。また、斜め誘引仕立て区では、放射状裂果およびくず放射状裂果の発生率は、ともに8月下旬頃に最大となったが、直立仕立て・玉出し区では10月上旬頃に最大となり、明らかに異なった発生状況を示した(図3-5、3-6)。一方、規格別平均果重をみると、正常果については区間でほぼ同等であったが、放射状裂果、くず放射状裂果については直立仕立て・玉出し区で有意に小さかった(表3-5)。

考察

多量・少回数区では、pF値の変動が大きく(最大2.5~最小1.5)、計画した土壤水分の急激な変化は再現できた。灌水方法と放射状裂果、くず放射状裂果の発生との関係では、灌水制限区でその発生が若干抑えられる傾向がみられるが、灌水方法の違いによる差は認められなかった。このことから、くず放射状裂果を含めて放射状裂果の発生に対して土壤水分の変化による影響は比較的小さいと考えられる。Abbottら(1986)はトマトの施設栽培にお

いて、1日に灌水回数を変えて同量の水を与える比較実験(1日の灌水回数1回と4回)を実施し、1日に4回灌水した場合の放射状裂果の発生率はわずかに減少するものの、単位時間あたりの吸水量の違いは放射状裂果の発生には大きな影響を及ぼさないとしており、本実験結果はAbbottらと同様の結果となっている。また、Peet・Willits(1995)は、放射状裂果は灌水量が増すほど果実肥大が促進され、その発生率が高まる結果を得ており、本実験における灌水制限区で放射状裂果の発生がやや少なかった結果と一致する。

なお、果実肥大は果実への水の流入と密接に関係していることが指摘されている(Ohtaら, 1997)。さらに、水耕の大玉トマトやミニトマトでは、水耕液へのポリエチレングリコールの添加や高濃度培養液の利用による吸水抑制(太田ら, 1995; 岡野ら, 1999; 中林ら, 2001)、夜間のポンプ停止による吸水抑制(山田・村瀬, 1994)などで、果実肥大を抑え裂果の発生を抑える技術が開発さ

表3-4 整枝法(受光態勢)を異にして栽培したトマトにおける収量, 平均果重, 総収穫果数, 放射状裂果数およびくず放射状裂果数

処理区	総収量 (kg/株)	可販収量 (kg/株)	平均果重 (g)	総収穫果数 (個/株)	放射状裂果数 (個/株)	くず放射状裂果数 (個/株)
斜め誘引仕立て	5.37	4.82	180	29.9	9.6	2.0
直立仕立て・玉出し	5.53	3.85	173	31.9	19.4	9.8
有意差 ^x	ns	*	ns	ns	*	*

^x総収穫果より求めた。

^y可販放射状裂果数+くず放射状裂果数

*t-testにより, ns: 有意差なし, *: 0.05水準で有意差あり

収穫期間: 7月23日~11月5日

表3-5 整枝法(受光態勢)を異にして栽培したトマトにおける規格別平均果重

処理区	平均果重 (g)		
	正常果	放射状裂果	くず放射状裂果
斜め誘引仕立て	162	208	204
直立仕立て・玉出し	168	174	169
有意差 ^a	ns	**	**

t-testにより, ns: 有意差なし, **: 0.01水準で有意差あり。

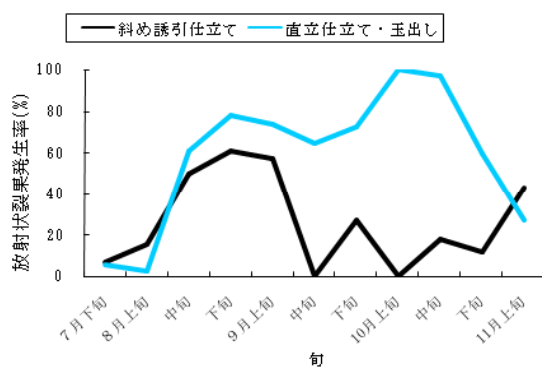


図3-5 整枝法(受光態勢)を異にして栽培したトマトにおける収穫時期別の放射状裂果発生率の推移

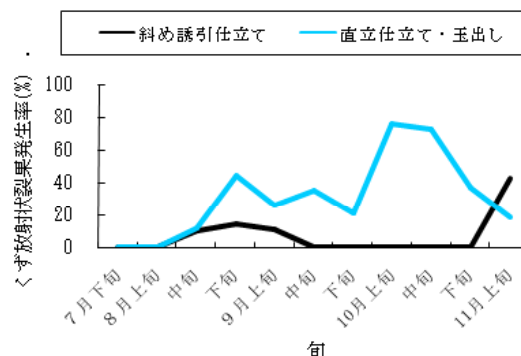


図3-6 整枝法(受光態勢)を異にして栽培したトマトにおける収穫時期別のくず放射状裂果発生率の推移

れている。しかし、夏秋トマト雨よけ栽培でみられる放射状裂果は、水耕の大玉トマトやミニトマトで果皮が裂ける裂皮とは異なる。

以上の結果より、夏秋トマト栽培においてpF値1.2～2.5の範囲で土壌水分の変化が放射状裂果発生に及ぼす影響を検討した結果、その影響は小さいと判断された。

一方、直立仕立て・玉出し区では、斜め誘引仕立て区と比べ放射状裂果およびくず放射状裂果の発生が増えることが確認された。山下・林(1994)は、株全体を遮光することで放射状裂果の発生は減少するとしているが、斜め誘引をすることで遮光同様の効果が期待できると考えられた。また、Frazier(1952)および著者ら(鈴木・柳瀬, 2002)は、夏期において、葉に遮蔽される面積の大きな果実では、放射状裂果の発生が少なくなることを報告している。本実験の結果およびこれらの結果を合わせると、放射状裂果の発生には茎葉や果実が受光する日射量が強く関与している可能性が考えられた。

二井内ら(1960)は、強い日射を受けた果実は肩部の果皮が粗になって局部的に壊死し、その結果生じるコルク状の小斑点(コルク点)から亀裂が生じ、放射状裂果が発生すると考察している。本実験でも、くず放射状裂果の発生果実には、著しいコルク状組織の発生が観察されたことから、強い日射がくず放射状裂果の発生に関与していると考えられる。

斜め誘引仕立てによって誘引・整枝した実験1では、灌水方法の違いに関わらず、区間で正常果、放射状裂果、くず放射状裂果の平均果重は同等であったが、放射状裂果の発生した果実は、正常果よりも大果であった。一方、誘引・整枝法を比較した実験2において、放射状裂果が多発した直立仕立て・玉出し区では、斜め誘引仕立て区と比べ正常果の平均果重は同等であったが、放射状裂果およびくず放射状裂果の平均果重は有意に小さかった。また、正常果、放射状裂果、くず放射状裂果いずれの平均果重もほぼ同等であった。このことから、茎葉や果実が受光する日射量が少ない条件では、果実肥大が促進された場合にくず放射状裂果発生が多くなるが、茎葉や果実への日射量が多い条件では、果実肥大に関係なく、くず放射状裂果が発生すると考えられた。ただし、今回の実験では、区間の摘果の程度が統一されていなかったため、この点については、さらに検討が必要である。

以上のことから、夏秋トマト雨よけ栽培における放射状裂果およびくず放射状裂果の発生は、灌水方法や灌水量の違いによる土壌水分の変化の影響よりも、茎葉や果実が受光する強い日射の影響が大きいと考えられた。

第4章 積算日射量の影響を受ける生育ステージおよび亀裂が発生する生育ステージの特定

第3章では、茎葉や果実が受光する強い日射の影響が大きいことが明らかとなった。そこで本章実験1では、積算

日射量の影響を受ける生育ステージを特定することを目的として、積算日射量の推移パターンが異なる3年間の気象条件下で、異なる仕立て法で栽培したトマトのくず放射状裂果発生と成熟前の一定期間の積算日射量との関係を検討した。

また、放射状裂果の発生がいつの時点で始まるかを特定することは、要因解明や対策技術を開発する上で重要である。Ohtaら(1997)は、ミニトマトは午前4時から6時の間に裂果しやすいことを果実表面の連続撮影により明らかにし、夜間から早朝にかけての果実内への水分移動によって果実が膨張し裂果が発生するとしている。そこで、本章実験2では、特定果実表面における裂果発生過程の経時変化を撮影し、亀裂が発生する生育ステージについて検討した。

実験方法

実験4-1. 積算日射量の影響を受ける生育ステージの特定

2002年から2004年の3年間、茎葉や果実に対する日射の当たりやすさを異にした斜め誘引仕立て区と直立仕立て・玉出し区の2区を設けた。調査項目は、開花時期と収穫時期の関係、正常果、放射状裂果およびくず放射状裂果の発生状況とそれらの平均果重、ハウス内の積算日射量等とした。積算日射量は、ハウスの中央部、高さ2.5 mの位置で、全天日射計(HT-0, 東京ハイテック(株))を用いて1カ所で測定した。栽培は、慣行法に準じた。実験は1区5株、3反復とした。

実験4-2. 亀裂が発生する生育ステージの特定

実験は、2002年に実施した。直立仕立て・玉出し処理の株の裂果の兆候がみられた特定の果実の経時変化を観察するため、デジタルカメラを用いて2～4日間に1回、朝8時頃に撮影した。微細な亀裂の発生を、放射状裂果開始時期と評価し、収穫時の亀裂の程度を無、軽微、中、甚の4段階で評価した。なお、栽培は、慣行法に準じた。

実験結果

実験4-1. 積算日射量の影響を受ける生育ステージの特定

くず放射状裂果発生率は、2002年の斜め誘引仕立て区で6.7%、直立仕立て・玉出し区で30.7%、2003年の斜め誘引仕立て区で3.2%、直立仕立て・玉出し区で14.6%、2004年の斜め誘引仕立て区で7.3%、直立仕立て・玉出し区で12.7%と年次による変動は大きいものの、いずれの年においても直立仕立て・玉出し区が斜め誘引仕立て区よりも高く推移した(表4-1, 図4-1)。また、旬別積算日射量が2002～2004年の平均値より高い時期を経過した果実で、その発生が高まる傾向が認められた。例えば7月下旬～8月上旬の積算日射量が平均値より高く推移した2002年には、8月下旬～9月上旬のくず放射状裂果発生率は高く推移したが、同時期の積算日射量が平均値より低く推移した2003年には、同時期のくず放射状裂果の発生はほとんどなかった。

3年間の実験において、開花時期と収穫時期および成熟

日数の関係を調査した。いずれの年も成熟日数には処理間の差はほとんどなかった。成熟日数は最短で35日、最長で66日と年次変動はみられるが、収穫時期が9月下旬まではほぼ45日以下となり、10月上旬以降はそれ以上の日数を要した（表4-2）。そこで成熟前の期間を35日前から始まる10日間ずつおよび25日前から始まる10日間ずつの6通りに分けて、くず放射状裂果発生率との関係について検討した。その結果、成熟日数の比較的短い7月下旬～9月下旬までに収穫された果実におけるくず放射状裂果発生率とその果実が成熟する前の積算日射量の関係は、直立仕立て・玉出し区、斜め誘引仕立て区いずれも、特に成熟前35～15日の期間の積算日射量と高い直線の関係が認められた（表4-3）。また、成熟日数の比較的長い10月上旬～11月上旬までに収穫された果実におけるくず放射状裂果発生率との関係は、直立仕立て・玉出し区では成熟前45～35日の期間の積算日射量と有意な関係が認められたが、斜め誘引仕立て区では明確な関係は認められなかった（表4-4）。さらに、7月下旬～9月下旬までに収穫された果実におけるくず放射状裂果発生率と成熟前35～15日間の積算日射量の関係を詳細にみると、回帰直線のX切片は直立仕立て・玉出し区で170.1 MJ・m⁻²、斜め誘引仕立て区で193.0 MJ・m⁻²であり、傾きは、玉出し区で0.308、斜め誘引仕立て区で0.267であった（図4-2、図4-3）。

なお、規格別平均果重は、年次変動は大きい2002年の斜め誘引仕立て区では、くず放射状裂果および可販放射状裂果がその他の可販果（正常果等）に比べ重い傾向が認められ、また、2004年では、いずれの区においても、くず放射状裂果、可販放射状裂果、その他の可販果の順に重い傾向が認められた（表4-1）。

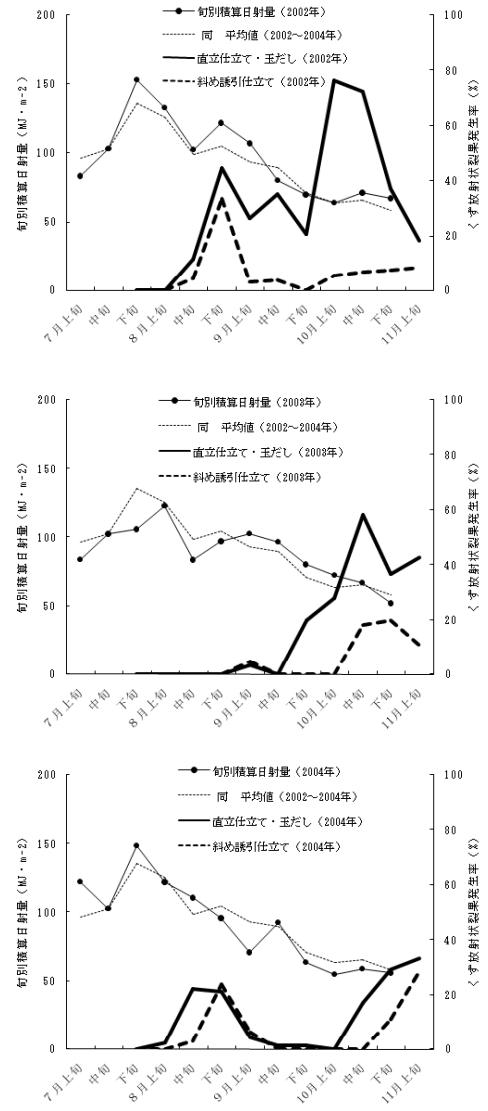


図4-1 旬別積算日射量と直立仕立て・玉出し処理および斜め誘引仕立てにおけるくず放射状裂果発生率の推移（2002～2004年）

表4-1 整枝法（受光態勢）を異にして栽培したトマトにおける規格別平均果重およびくず放射状裂果発生率（2002～2004年）

年次	処理区	平均果重(g)			くず放射状裂果発生率(%)
		可販放射状裂果	くず放射状裂果	その他の可販果	
2002年	斜め誘引仕立て	208.6a ^z	204.8a	168.9c	6.7
	直立仕立て・玉出し	180.1a	169.2a	171.4a	30.7
2003年	斜め誘引仕立て	205.6a	212.9a	195.2a	3.2
	直立仕立て・玉出し	225.6a	223.2a	220.7a	14.6
2004年	斜め誘引仕立て	195.6b	219.9a	171.8c	7.3
	直立仕立て・玉出し	200.6b	223.5a	183.5c	12.0

*最小有意差法により異なる文字間に5%水準で有意差あり

表4-2 本実験におけるトマトの開花時期と収穫時期の関係 (2002～2004年)

収穫果房 段数 (段)	2002年			2003年			2004年		
	開花日	収穫日	成熟日数	開花日	収穫日	成熟日数	開花日	収穫日	成熟日数
1～2	7月3日	8月7日	35日	6月23日	8月6日	44日	6月28日	8月2日	35日
4～5	7月19日	8月28日	40日	7月15日	8月25日	41日	7月16日	8月28日	38日
6～7	8月4日	9月18日	45日	8月10日	9月24日	45日	7月30日	9月10日	42日
8～9	8月21日	10月13日	53日	8月21日	10月14日	54日	8月23日	10月22日	60日
10～11	8月30日	11月3日	63日	8月26日	10月28日	63日	9月3日	11月8日	66日

表4-3 7月下旬～9月下旬までに収穫された果実におけるくず放射状裂果発生率とその果実が成熟する前の積算日射量の重相関係数 (2002～2004年)

処 理	成熟前の期間					
	35日～25日	25日～15日	15日～5日	25日～5日	35日～15日	35日～5日
直立仕立て	0.596**z	0.497*	-0.004	0.312	0.692**	0.550**
斜め誘引	0.769**	0.390	-0.005	0.245	0.728**	0.578**

z 分散分析により, **: 1%, *: 5%水準で有意

表4-4 10月上旬～11月上旬までに収穫された果実におけるくず放射状裂果発生率とその果実が成熟する前の積算日射量の重相関係数 (2002～2004年)

処 理	成熟前の期間					
	45日～35日	35日～25日	25日～15日	45日～25日	35日～15日	45日～15日
直立仕立て	0.616**z	0.430	-0.075	0.577*	0.237	0.422
斜め誘引	-0.241	-0.424	-0.471	-0.364	-0.500	-0.433

z 分散分析により, **: 1%, *: 5%水準で有意

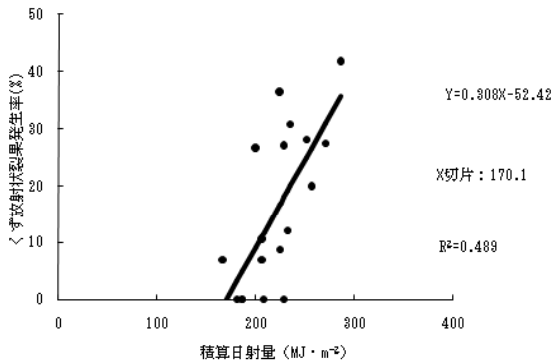


図4-2 直立仕立て・玉出し処理で栽培され7月下旬～9月下旬までに収穫された果実におけるくず放射状裂果発生率とその果実が成熟する前35日～15日間の積算日射量の関係 (2002～2004年)
くず放射状裂果発生率の統計処理には、アーケサイン変換した値を用いた

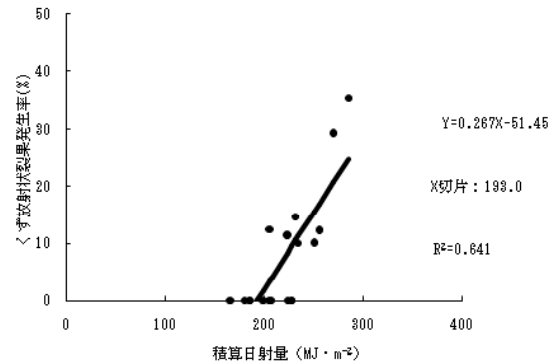


図4-3 斜め誘引仕立てで栽培され7月下旬～9月下旬までに収穫された果実におけるくず放射状裂果発生率とその果実が成熟する前35日～15日間の積算日射量の関係 (2002～2004年)
くず放射状裂果発生率の統計処理には、アーケサイン変換した値を用いた

実験2 亀裂が発生する生育ステージの特定

図4-4に、放射状裂果発生の際時変化を示した。裂 で8月16日 (開花相対日数66日)、亀裂 で8月18日 (開花相対日数70日)、亀裂 および で8月23日 (開花相対日数83日)であった。亀裂の程度を無、軽微、中、甚の4段階で評価すると、8月30日の段階で亀裂 および は甚、亀裂 は中、 は軽微であった。

考察

実験1では、積算日射量の推移パターンが異なる3年間の気象条件下で、異なる仕立て法で栽培したトマトのくず放射状裂果発生と成熟前の一定期間の積算日射量との関係を詳細に検討した。その結果、くず放射状裂果発生

率は、いずれの年においても直立仕立て・玉出し区が斜め誘引仕立て区より高く推移し、また、旬別積算日射量が平均値より高い時期を経過した果実で高まる傾向が認められた。山下・林 (1994) は、株全体を遮光することで放射状裂果の発生は減少することを報告している。また、第3章で、果実表面における積算日射量は、斜め誘引仕立て区が直立仕立て・玉出し区より有意に低いことを述べたが、斜め誘引仕立てをすることで遮光と同様の効果が現れたと考えられる。以上のことから、斜め誘引仕立ては、放射状裂果対策として有効な仕立て法であると判断された。

くず放射状裂果とその果実が成熟する前の積算日射量

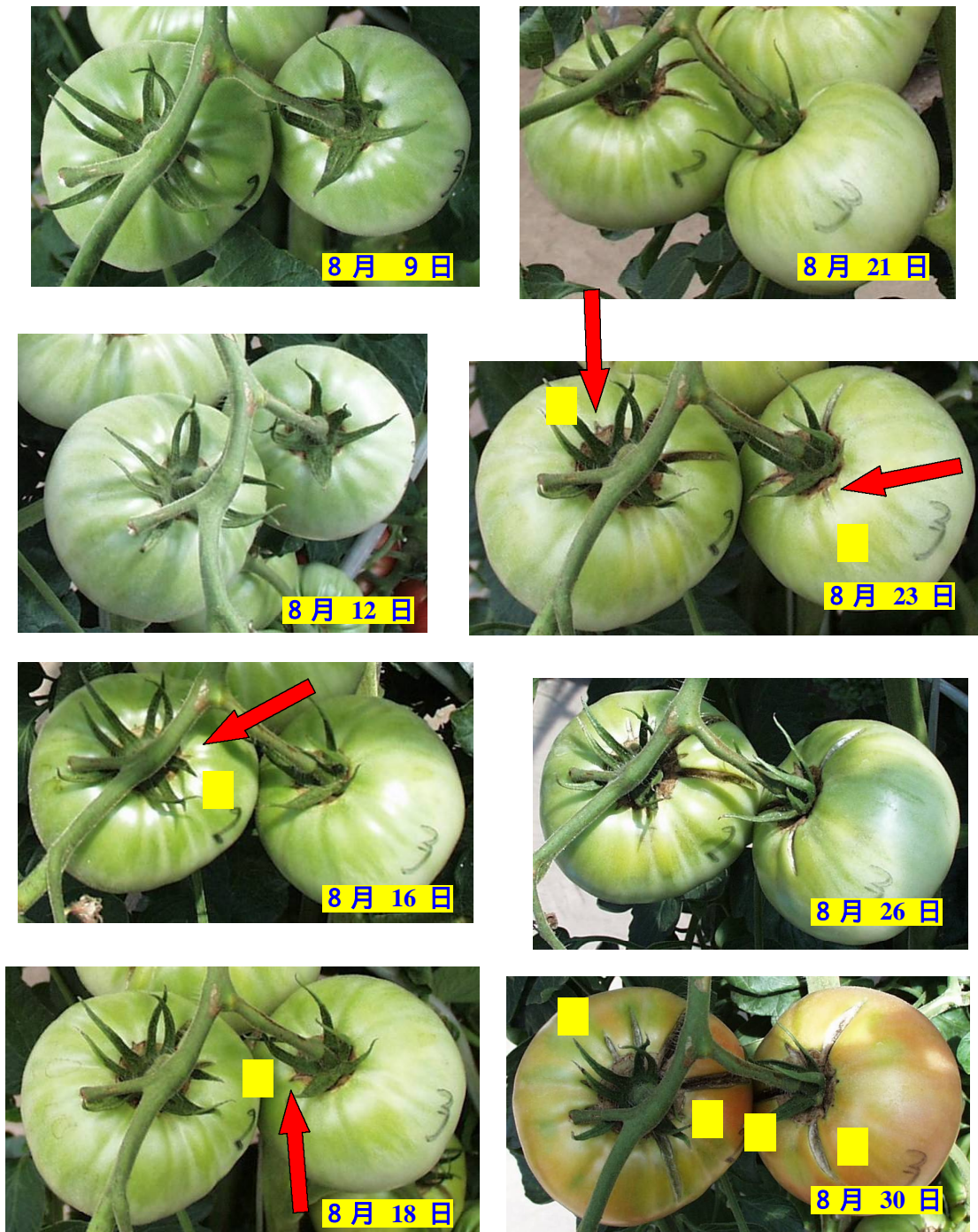


図 4-4 トマト果実における放射状裂果発生経過 (2002 年)

開花日：7月20日

矢印は、放射状裂果が開始時に発生する微細な亀裂を示す

番号は目視で確認できた順位を表す

の関係をみると、いずれの区も幼果期～緑熟期の積算日射量と直線の関係が認められた。7月下旬～9月下旬までに収穫された果実におけるくず放射状裂果発生率と成熟前35～15日間の積算日射量の関係では、直立仕立て・玉出し区と斜め誘引仕立て区の回帰直線におけるX切片の値の差からみて、直立仕立て・玉出し区の方では積算日射量が約1割少ない条件で放射状裂果の発生が始まることが確認された。また、回帰直線の傾きも直立仕立て・玉出し区の方が大きいことから、積算日射量の影響を受けやすいと判断された。一方、10月上旬～11月上旬までに収穫された果実におけるくず放射状裂果発生率と成熟前の積算日射量の関係で、直立仕立て・玉出し区では成熟前45～35日間の積算日射量と有意な関係が認められたが、斜め誘引仕立て区では明確な関係は認められなかった。この原因としては、斜め誘引仕立て区では直立仕立て・玉出し区に比べて高い積算日射量でくず放射状裂果が発生するが、今回の実験期間の積算日射量がくず放射状裂果を多発させるレベルより低かったことが考えられる。

実験2では、亀裂の発生する生育ステージは緑熟期以降であること、亀裂の発生が早いものほど大きな亀裂に発達する傾向があることが明らかとなった。実験1および実験2の結果より、幼果期～緑熟期において積算日射量を一定量以上受けた果実は、緑熟期以降に微細な亀裂が発生し放射状裂果に発達するが、積算日射量が多いほど、微細な亀裂の発生時期が早まりより大きな亀裂に発達すると考えられた。

次に、果実肥大とくず放射状裂果発生との関係について考察する。規格別平均果重は、2002年の直立仕立て・玉出し区以外では、正常果よりも放射状裂果およびくず放射状裂果の方が大きくなる傾向が認められ、果実肥大の促進がくず放射状裂果発生の原因と考えられた。トマトの光飽和点は $1400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (約8万 lx)以上といわれている(丸尾, 2006)。本実験を行った施設周辺では、夏期に $1700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ を超える場合がある(鈴木, 未発表)が、雨よけ被覆下では日射の2割以上が遮光されることと、トマト群落構造による相互遮蔽の影響を考慮すると、光飽和点を越えることは多くはなかったと推測される。それゆえ、今回の実験では、積算日射量が高いほど光合成産物の生産および転流が高まったものと考えられた。

さらに、光合成産物の転流・分配について、吉岡・高橋(1979)は、果実のシンクの強さは、開花後相対日数30～80日でほぼ70%以上に達しているとしている。トマトの肥大は、単純なS字型成長曲線をとるとされており(斉藤, 1984)、幼果期～緑熟期の果実肥大が旺盛な時期に日射を多く受けることによって光合成産物の生産が高まり、さらに果実への転流・分配が効率よくなされることによって、果実肥大が進んだものと思われる。

第5章 放射状裂果の発生に及ぼす着果制限、果房被覆および二酸化炭素施用の影響

第4章では、幼果期～緑熟期頃までの積算日射量が一定水準を超えた条件で生育した果実や肥大が旺盛な果実ほど放射状裂果が起こりやすい傾向があることを報告した。また、強日射と放射状裂果の関連について、二井内(1963)は、放射状裂果発生はまずコルク層が裂開し果皮の裂果につながるとし、清田(1982)は、コルク層は一種の日焼け現象であり、果面に強い日射を受けると形成されるとしている。これらの結果から、放射状裂果発生には果実への光合成産物の転流・分配や果実表皮への日射の影響が示唆される。

そこで本章では、摘果、果房被覆および二酸化炭素施用の影響について検討し、夏秋トマト雨よけ栽培における放射状裂果発生要因を解明することを目的とした。

実験方法

実験1．着果制限および果房被覆が放射状裂果発生に及ぼす影響

実験は、2004年に実施した。茎葉や果実に対する日射の当たりやすい直立仕立て・玉出し処理を行い、摘花(果)は、各花房の5番目の開花が終了した開花揃い期およびピンポン玉サイズに肥大した時期の2回に分けて行った。

試験区は、着果数を2、3、5果に制限する3水準の区と果房被覆処理の有無を組み合わせ合わせた合計6区を設定した。1区5株3反復で行った。果実に当たる日射を制限する目的で、遮光資材(タイベック、デュポン)を用い果房被覆処理を行った。果房被覆は、第1回目を開花揃い期に行い、A4サイズの遮光資材を用いて果房を袋状に覆い、ホチキスで固定した。さらに、果実肥大に伴い、適宜果実が隠れる程度に資材を補修した。果実表面の日射量については、簡易積算日射測定システム(オプトリーフ、大成イーアンドエル)を用いて果実正面赤道部に感光フィルムを設置し、5か所ずつ2反復で9月9日8時から9月10日8時までの34時間測定した。

実験2．二酸化炭素施用が放射状裂果発生に及ぼす影響

トマト‘桃太郎8’を供試し、2005年12月に播種、2月に1/2,000 aワグナーポットにヤシガラ：パーライト＝7：3(容積比)混合培地を入れ定植した。栽培はガラス温室内に設置した5 m×5 m×2.2 mのパイプハウスにガス透過性の低いフィルム(パリアスター、東罐興業)で全面被覆したものの2棟を用い行った。ポットは縦横共に1 m間隔で、ハウス内に25株配置した。直立仕立てを行い、3段果房の上位2葉のところで摘心し、収穫は2段果房までとした。また、果房あたり3果程度に摘果した。いずれのパイプハウスにもサイドには、昇温対策として自動巻き上げ装置を設置し、35℃以上で開放した。試験区の構成は、二酸化炭素を施用する二酸化炭素施用区(液化CO₂方式)と施用しない対照区の2区とした。二酸化炭素の施用

期間は3月15日～5月15日、施用時間は10時～17時、設定濃度の上限は1,000 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ とした。ただし、高温期は開放時間が長いため、15分に1回2分間の施用とした。

実験は、中央の15株を供試し、収穫した果実はすべて果重、放射状裂果程度、可溶性固形物含量、果実幅、コルク層幅を測定した。また、二酸化炭素の施用効果を確認するため、それぞれの区で二酸化炭素施用開始時に播種したトマト苗の乾物重についても計測した。さらに、2棟のハウスの気温、湿度および二酸化炭素濃度についても調査した。

実験結果

実験1．着果制限および果房被覆が放射状裂果発生に及ぼす影響

果実表面における調査期間中（9月9日8時から9月10日18時まで）の積算日射量は、果房被覆処理区で6.0 $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ 、対照区で10.5 $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ となり、果房被覆処理によって有意に低くなった。

総収量および可販収量は、果房被覆の有無に関わらず着果数を制限して少なくするほど減少し、平均果重は着果数を制限して少なくするほど増加した（表5-1）。また、放射状裂果発生率およびくず放射状裂果発生率は、着果数を制限して少なくするほど増加し、果房被覆処理によって減少した。果房被覆処理は、総収穫果数の減少をもたらしたが果重への影響は認められなかった。

図5-1に、収穫時期別の平均果重の推移を示した。すべての区で8月下旬および10月下旬～11月上旬頃に平均果重が最大となった。また、いずれの時期においても着果を制限して少なくするほど平均果重が増大する傾向が見られた。一方、くず放射状裂果発生率は、8月下旬および10月下旬～11月上旬に上昇し、その上昇は、着果制限した2果区において特に顕著であった（図5-2）。また、果房被覆処理を行ったいずれの区においても、くず放射状裂果発生率は減少する傾向が見られた。

表5-1 果房被覆の有無および着果数がトマトにおける収量、平均果重、総収穫果数、放射状裂果率およびくず放射状裂果率に及ぼす影響

果房被覆	着果制限	総収量 (kg/株)	可販収量 (kg/株)	平均 ² 果重 (g)	総収穫 果数 (個/株)	放射状裂 果発生率 ³ (%)	くず放射裂 果発生率 ⁴ (%)
無	2果	4.3b ⁵	3.3b	203a	21.2c	51.3a	20.0a
	3果	5.9a	5.1a	193a	30.6b	43.1ab	12.0a
	5果	6.6a	5.9a	172b	38.7a	36.7b	9.9a
有	2果	4.3b	3.4b	211a	20.5c	56.1a	18.9a
	3果	5.7a	5.3a	190ab	29.9b	28.6b	5.8b
	5果	6.0a	5.7a	179b	33.7a	25.8b	3.7b
分散分析 ⁶	果房被覆	ns	ns	ns	*	*	*
	着果制限	**	**	**	**	**	**
	交互作用	ns	ns	ns	*	*	ns

²総収穫果より求めた

³放射状裂果とは、軽微なものから程度が激しく商品価値のないものまですべての放射状裂果をいう

⁴くず放射状裂果とは、放射状裂果の内程度が激しく商品価値のないものをいう

なお、放射状裂果およびくず放射状裂果発生率の統計処理には、アークサイン変換した値を用いた

⁶分散分析によりnsは有意性なし，*：0.05水準で有意差あり，**：0.01水準で有意差あり

⁵果房被覆処理区内で異なる文字間に0.05水準で有意差あり（Tukey-Kramer法）

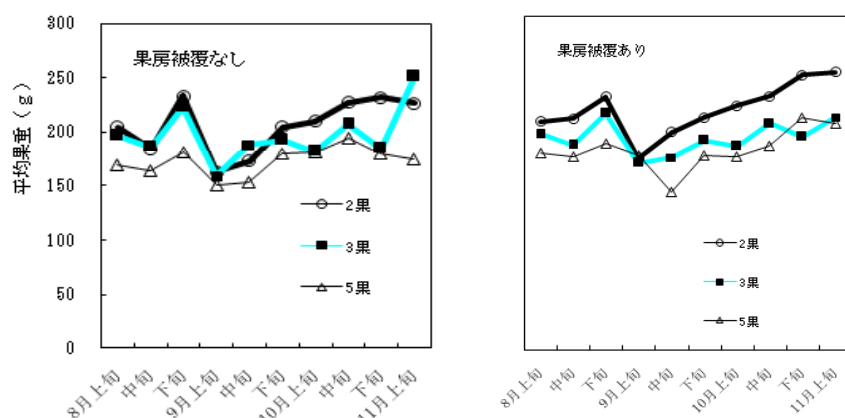


図5-1 果房被覆の有無や着果数を異にして栽培したトマトにおける収穫時期別平均果重

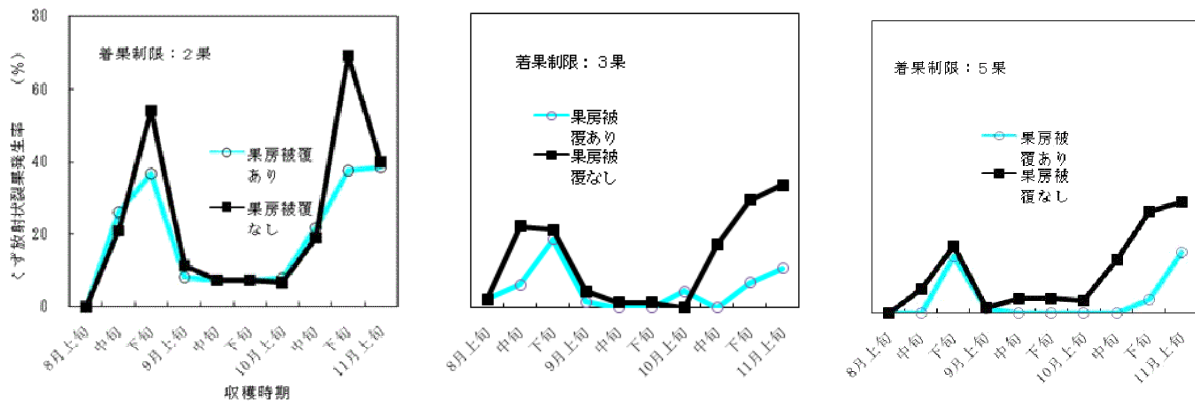


図5-2 果房被覆の有無や着果数を異にして栽培したトマトにおける収穫時期別くず放射状裂果発生率の推移に及ぼす影響

表5-2 果房被覆の有無および着果数がトマトにおける規格別平均果重に及ぼす影響

果房被覆	規格	着果制限 (g)		
		2果	3果	5果
無	くず放射状裂果	224a ^w	223a	188a
	可販放射状裂果 ^z	204ab	201b	175a
	その他の果実 ^y	194b	183b	169a
有	くず放射状裂果	212a	202a	187a
	可販放射状裂果	233a	205a	204a
	その他の果実	198a	185a	176a
分散分析 ^x	果房被覆	ns	ns	ns
	規格	**	**	*
	交互作用	ns	ns	ns

^z 可販放射状裂果とは、放射状裂果の内商品価値のないくず放射状裂果以外のものをいう

^y その他の果実とは、正常果や放射状裂果以外の生理障害果をいう

^x 分散分析により nsは有意性なし, *: 0.05水準で有意差あり, **: 0.01水準で有意差あり

^w 果房被覆処理区内で異なる文字間に0.05水準で有意差あり (Tukey-Kramer法)

表5-2に規格別の平均果重を示した。すべての区においてくず放射状裂果で最も重く、可販放射状裂果、その他の果実の順に軽くなる傾向が見られた。

表5-3に果実幅とコルク層幅を示した。くず放射状裂果発生率の高かった8月18日～25日に収穫された果実の果実幅およびコルク層幅は、果房被覆の有無にかかわらず、着果数を少なく制限するほど広がる傾向が見られた。しかし、果房被覆によるコルク層発達抑制効果については明確ではなかった。表5-4に果房被覆なしで栽培したトマトにおける同一果房内での着果順位と放射状裂果発生指数との関係を示した。放射状裂果発生指数は、放射状裂果発生が多かった第4果房では、着果制限2果区および5果区における果房内での着果順位第1果および第2果で高い値を示した。しかし、着果制限5果区の第3果以降は低下する傾向が見られた。また放射状裂果発生が少なかった第8果房においても、第4果房の結果と類似した結果が得られ、2果区および3果区では着果順位が早いほど放射状裂果発生指数は高まる傾向が認められた。

実験2. 二酸化炭素施用が放射状裂果発生に及ぼす影響

本実験期間中の温湿度は、いずれのハウスもほぼ同じ値で推移した。また、低温期における10時～17時の二酸化炭素濃度は、二酸化炭素施用区では800～1,200 μmol・mol⁻¹で、対照区では150～350 μmol・mol⁻¹で推移した。一方、高温期においては、二酸化炭素施用区では400～1,200 μmol・mol⁻¹で、対照区では200～350 μmol・mol⁻¹で推移した。

二酸化炭素施用開始時にそれぞれの区で播種したトマトの乾物重を比較したところ、いずれの器官においても二酸化炭素施用区で有意に重かった (表5-5)。

平均果重の推移は、4月第6半旬までほぼ同じであったが、それ以降は二酸化炭素施用区が高まった (図5-3)。また、くず放射状裂果発生率は、4月第6半旬～5月第1半旬まではほぼ同じであったが、それ以降は二酸化炭素施用区で高まる傾向が見られた (図5-4)。可溶性固形物含量は、いずれの時期も2つの処理間でほぼ同等に推移した (図5-5)。二酸化炭素施用は、総収量、平均果重、くず放射状裂果発生数、果実幅およびコルク層幅に関してこれらの値を有意に高める効果が認められた (表5-6)。

表5-7に、規格別平均果重、可溶性固形物含量およびコルク層幅を示した。分散分析の結果、二酸化炭素施用の有無に関わらず放射状裂果ではその他の果実より平均果

重が有意に重く、可溶性固形物含量が有意に高くコルク層幅が有意に広い傾向が認められた。

表5-3 果房被覆の有無および着果数がトマトにおける果実幅とコルク層幅に及ぼす影響^a

果房被覆	着果制限	果実幅 (mm)	コルク層幅 (mm)
無	2果	75.8±1.9 ^y	9.8±0.4
	3果	73.3±1.4	8.1±0.3
	5果	70.1±0.7	7.1±0.2
有	2果	79.2±4.2	9.1±0.8
	3果	73.6±2.1	7.7±0.5
	5果	71.1±1.7	6.6±0.2

^a調査は2004年8月18～25日に実施した

^y平均値±標準誤差(n=20)

表5-4 果房被覆無しで栽培したトマトにおける同一果房内での着果順位別放射状裂果発生指数

着果制限	着果順位	第4果房	第3果房
2果	第1果	3 ^z	2
	第2果	3	2
有意差 ^y		ns	ns
3果	第1果	— ^x	1
	第2果	—	0
	第3果	—	0
有意差		—	*
5果	第1果	3	0
	第2果	3	0
	第3果	0	0
	第4果	0	0
	第5果	0	0
有意差		*	ns

放射状裂果発生程度指数 0: 正常果 1: 軽微 2: 中 3: 甚(くず)
本指数が高いほど裂果の程度が大きいことを示す

^a中央値を示す(n=5)

^yKruskal-Wallis testにより, ns: 有意差なし, *: 0.05水準で有意差あり

^z3果区における第4果房は未調査

表5-5 二酸化炭素施用がトマトにおける乾物重に及ぼす影響(mg/株)

処理区	4月13日			5月2日		
	葉	茎	根	葉	茎	根
対照	21	8	6	693	369	79
二酸化炭素施用	40	20	10	1,577	1,070	155
有意差 ^a	**	**	*	**	**	**

^at-testにより, *: 0.05水準で有意差あり, **: 0.01水準で有意差あり

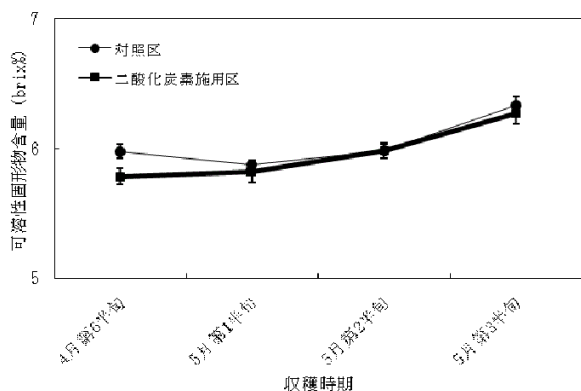


図5-3 二酸化炭素施用がトマトにおける可溶性固形物含量に及ぼす影響
図中の垂線は標準誤差を示す (n=15)

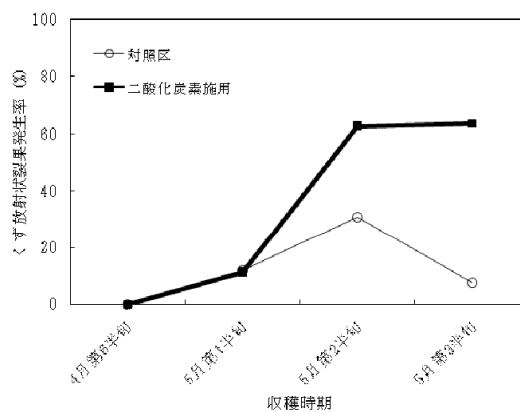


図5-4 二酸化炭素施用がトマトにおけるくず放射状裂果発生に及ぼす影響

表5-6 二酸化炭素施用がトマトにおける収量，平均果重，総収穫果数，放射状裂果数，くず放射状裂果発生数，可溶性固形物含量，果実幅およびコルク層幅に及ぼす影響

処理区	総収量 (kg/株)	可販収量 (kg/株)	平均果重 (g)	総収穫果数 (個/株)	放射状裂果数 (個/株)	くず放射状裂果数 (個/株)	可溶性固形物含量 (Brix%)	果実幅 (mm)	コルク層幅 (mm)
対照	1.24	0.99	215	5.8	3.7	0.8	6.0	78.4	4.8
二酸化炭素施用	1.79	1.19	291	6.1	3.9	1.8	5.9	86.9	6.8
有意差 ^a	**	ns	**	ns	ns	*	ns	**	**

^at-testにより，ns：有意差なし，*：0.05水準で有意差あり，**：0.01水準で有意差あり

表5-7 二酸化炭素施用の有無を異にして栽培したトマトの規格別平均果重，可溶性固形物含量およびコルク層幅

試験区	規格	平均果重 (g)	可溶性固形物 含量(Brix%)	コルク層 幅(mm)
対照区	くず放射状裂果	274	6.1	6.6
	可販放射状裂果 ^z	227	6.0	5.4
	その他の果実 ^y	172	5.9	3.2
二酸化炭素施用区	くず放射状裂果	334	6.0	6.7
	可販放射状裂果	344	6.0	8.0
	その他の果実	192	5.7	5.5
分散分析 ^x	二酸化炭素施用	**	ns	**
	規格	**	*	**
	交互作用	ns	ns	ns

^z可販放射状裂果とは，放射状裂果の内商品価値のないくず放射状裂果以外のものをいう

^yその他の果実とは，正常果や放射状裂果以外の生理障害果をいう

^x分散分析によりnsは有意性なし，*：0.05水準で有意差あり，**：0.01水準で有意差あり

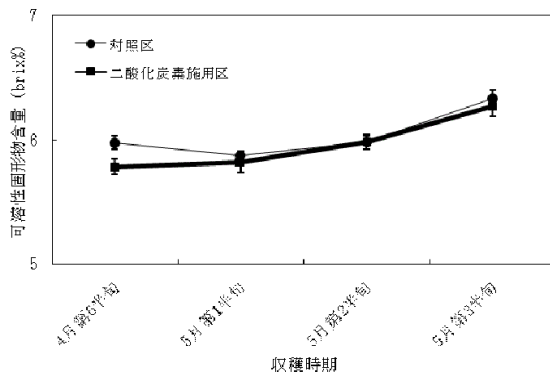


図5-5 二酸化炭素施用がトマトにおける可溶性固形物含量に及ぼす影響

図中の垂線は標準誤差を示す (n=15)

考察

トマト果実の細胞数は開花後2週間頃までに決定するため(西尾, 2006) その後の果実肥大には個々の細胞の伸長、肥大が必要であり、水分、光合成産物および無機養分(主として窒素、リン酸、加里)をより多く果実内へ転流・蓄積させることが重要である(斉藤, 1984)。

そこで、植物体への養水分の供給は同一の条件下で、ソース強度(光合成産物の供給)とシンク強度(光合成産物の需要)の変化が放射状裂果発生に及ぼす影響について検討した。すなわち、実験1では、ソース強度が一定の条件下でシンク強度を3水準設定し、実験2では、ソース強度を2水準設定し、シンク強度を一定の条件として実験を行った。その結果、果実に対する日射が同等であれば、いずれの実験においても、果実肥大が旺盛な区でくず放

射状裂果が発生しやすい傾向が認められた(表5-1, 表5-6)。さらに、旬別平均果重が増加する時期に、くず放射状裂果発生率が上昇する(図5-3, 図5-4)ことから、くず放射状裂果は肥大が旺盛な果実に発生しやすいと考えられた。

一方、Peet(1992)は、本研究の実験1と同様の結果として、1果房あたり2果に摘果すると放射状裂果発生数が増加することを示している。しかし、その原因が果実あたりの光合成産物の供給が増えた影響であるか、あるいは、根からの水分の供給が増えた影響であるかは明らかでないとしている。細胞が肥大するためには細胞内へ水が流入することと細胞壁がゆるむことが必要である。細胞への水の流入は、糖質、無機イオンあるいは有機酸などの物質が細胞内に蓄積し浸透圧が上昇することによ

て起こると考えられる（市村，2008）。トマトでは糖質が主要な浸透圧物質となっている（Damonら，1988）。また、北野・荒木（2001）は、トマト果実の肥大成長は、果実に流入する師管液および導管液のフラックスと果実からの蒸散の収支によって変化するとし、果実内に集積した汁液に占める師管液の割合を約7割と推定している。さらに、ソース葉における光合成と果実内の師部から果皮貯蔵細胞内への糖の輸送は、果実への師管液フラックスの集積を律速しうるとしている。従って、実験1では、ソース強度が一定の条件で着果数を制限してシンク強度を小さくするほど、また実験2では、シンク強度（着果数）が一定であればソース強度（二酸化炭素濃度）が高いほど、それぞれ、果実あたりの師管液の流入割合は高まったと考えられる。特に実験2では、放射状裂果はその他の果実よりも平均果重が重くかつ可溶性固形物含量が高いことから（表5-6）果実あたりの光合成産物の転流量増加の影響が示唆された。

吉岡・高橋（1979）は、同一果房内の個々の果実への光合成産物の転流・分配は、まず第1果に優先的に転流され、その後、他の果実へ転流されると報告しており、実験1では、第1果が最も放射状裂果発生が起りやすい傾向が見られたことから転流の影響が示唆された（表5-4）。

ただし、実験2においては、二酸化炭素施用処理による放射状裂果発生数および可溶性固形物含量の値を有意に高める効果が認められなかった（表5-6）。Bertinら（2002）は、二酸化炭素施用と着果制限を組み合わせた実験で、上位果房における果実の細胞数は、光合成産物の競合が大きい条件で減少し、小さい条件で増加することを示している。従って、放射状裂果発生数および可溶性固形物含量の値が高まらなかった理由としては、二酸化炭素施用区の果実の細胞数が対照区よりも増加したため、果実あたりの転流量は増加しても細胞あたりの転流量はあまり増加していなかったことが考えられる。なお、実験1においても着果数を制限して少なくするほど細胞数は増加したと考えられるが、1果実あたりのシンクサイズの増大割合よりも1果実あたりの転流量の増大割合が上回っていた可能性もある。

次に、第3章では、放射状裂果の発生には、茎葉や果実への強い日射による影響が大きいことを報告した。また山下・林（1994）は、株全体を遮光することで放射状裂果の発生は減少することを報告している。しかし、これらの結果は、茎葉と果実の両者に対する日射の影響であって、果実のみに対する影響については明確になっていなかった。実験1では、着果数を2、3、5果に制限する3区について果房被覆処理の影響を検討した。果房被覆処理作業の過程で一部の果実を落下させてしまったため、総収穫果数は果房被覆処理区で有意に少なかったが、いずれの区においても放射状裂果発生を有意に抑える傾向が

認められ、果実に対する日射の影響が大きいことが明らかとなった。雨よけが導入される前の夏秋トマト露地栽培では、収穫期が近づいた果房に袋かけをして裂果発生を防いでいた（青木，1996）が、袋かけによる雨よけの効果と共に日射を抑制する効果も考えられた。

コルク層の発生と放射状裂果発生の関係について、二井内（1963）は、コルク層はがくの接着基部が果実の肥大に伴ってはずれ、現れた柔組織がコルク化したものであるとし、コルク層の発生と果径および果実の肥大速度には密接な関係があることを指摘している。さらに、放射状裂果はまずコルク層が裂開し、果皮の裂開につながるとしている。同様に、上村ら（1972）は、果実が大きいほどコルク層の発達も大きくなり、幼果期から微細なくさび状の小亀裂が発生し、果実肥大とともにその数と大きさを増加するとしている。また、清田（1982）は、コルク層は一種の日焼け現象であり、果面に強い日射を受けると形成されるとしている。

本研究では、いずれの実験においても果実肥大が旺盛な区でコルク層が発達する傾向が見られ、特に実験2の二酸化炭素施用処理によってコルク層幅は有意に広がった。また、実験1の着果数を2、3、5果に制限する3区について果房被覆処理の影響を検討した結果、いずれの区においても放射状裂果発生を有意に抑える傾向が認められた。すなわち、ソース強度とシンク強度が同等の条件においては、果実に対する日射を遮断することでコルク層の発達を抑え、放射状裂果発生が抑えられたと考えられた。しかし、今回の実験ではコルク層の発達を抑える原因について十分な検証はできなかった。今後は、さらにこの点について明らかにする必要がある。

第6章 定植位置および栽植距離の影響

ここまでは、主に放射状裂果発生要因について検討し、茎葉や果実に日射が当たりやすい条件で発生しやすく、果実への光合成産物の過剰な転流・分配や果実表皮のコルク層の発達が発生を誘導することを明らかにした。

夏秋トマト雨よけ栽培では、通常間口6 m程度の簡易パイプハウスで栽培されており、4~6条の範囲で定植されている。これまでの結果から、同一ハウス内でも日射が当たりやすく風通しの良い外側の列の方が内側の列よりも放射状裂果は発生しやすく、また、同一列内では、株間が狭い方が発生しにくいことが予想される。

そこで本章では、放射状裂果発生の対策となる栽培技術の開発を目的として、定植位置および栽植距離の影響を検討した。

実験方法

実験1．定植位置が放射状裂果発生に及ぼす影響

2005年に実施した。接ぎ木苗を6月上旬に、間口6 m、長さ50 mの南北棟雨よけハウス内で株間40 cm、条間80 cmの5条に定植し、11月（12段果房）まで養液土耕法で栽

培した（図6-1）。仕立て法は、直立仕立てとし、5条の株をそれぞれ供試した。実験は、1区5株3反復で実施した。

なお、両端の列の株の果房の向きは、いずれも外側に向けて誘引した。果実表面の日射量については、簡易積算日射測定システム（オプトリーフ、大成イーアンドエル）を用いて果実正面赤道部に感光フィルムを設置し、5か所ずつ8月30日10時から9月2日10時までの72時間測定した。その他の管理は、慣行に準じた。

実験2．栽植密度が放射状裂果発生に及ぼす影響

2005年に実施した。接ぎ木苗を6月上旬に、間口6 m、長さ50 mの南北棟雨よけハウス内で、条間80 cmの5条に定植し、11月（12段果房）まで養液土耕法で栽培した。仕立て法は、直立仕立てとし、東端の列の株を供試した。株間40 cmと32 cmの2区を設けた。なお、1株当たりの灌水量を揃えるために、32cm区では、40cm区の1.2倍の灌水量、0.8倍の肥料濃度で行った。果実表面の日射量につい

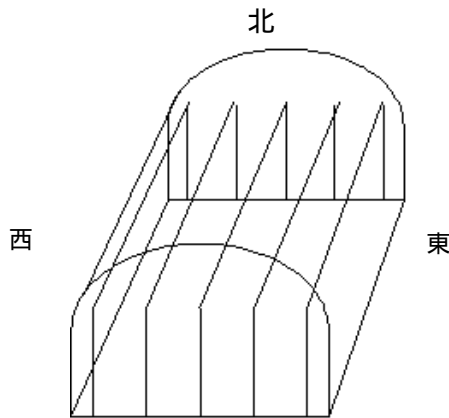


図6-1 ハウスと畦の向き

ては、簡易積算日射測定システム（オプトリーフ、大成イーアンドエル）を用いて果実正面赤道部に感光フィルムを設置し、5か所ずつ8月30日10時から9月2日10時まで

表6-1 定植位置を異にして栽培したトマトにおける果実表面の積算日射量

処理区	積算日射量(MJ/m ²)
1列目 ^a	9.7 a
2列目	8.1 b
3列目	6.5 c
4列目	7.1 bc
5列目	7.5 bc
有意差 [†]	*

^a西端より順に1列目～5列目とする

[†]分散分析によりnsは有意性なし，*：0.05水準で有意差あり

同一果房被覆処理内で異なる文字間（ab）に0.05水準で有意差あり（Tukey-Kramer法）

調査期間：2005年8月30日～9月2日

の72時間測定した。その他の管理は、慣行法に準じた。

結果および考察

実験1．定植位置の影響

果実表面における調査期間中の積算日射量は、1列目区で9.7 MJ・m⁻²、2列目区で8.1 MJ・m⁻²、3列目区で6.5 MJ・m⁻²、4列目区で7.1 MJ・m⁻²、5列目区で7.5 MJ・m⁻²と内側に植えた株より外側に植えた株の方が有意に多くなった（表6-1）。また、放射状裂果数およびくず放射状裂果数は、内側に植えた株より外側に植えた株の方が有意に多くなった（表6-2）。

実験2．栽植密度の影響

果実表面における調査期間中の積算日射量は、株間40cm区で7.5 MJ・m⁻²、対照区で6.9 MJ・m⁻²と株間を狭くすることで減少したが有意な差ではなかった（表6-3）。

1株当たりの総収量、可販収量、平均果重、総収穫果数、放射状裂果数及びくず放射状裂果数は、株間40cm区に比べ株間32cm区で減少したが、面積あたりの可販収量は、増加した（表6-4）。また、くず放射状裂果発生率は、株間32cm区で全般に低く推移した（図6-2）。

実験1において、積算日射量が外側に植えた株より内側に植えた株の方が少なくなったことおよび実験2において株間32cm区の方が、積算日射量が少なかったのは、周囲の株による相互遮蔽の影響である。遮光によって放射状裂果の発生が軽減される報告は数多くあるが（Brown・Price, 1934; 山下・林, 1994; Wadaら, 2006）株間を狭くすることで、遮光と同様の効果が期待できる。従来、株間はどの列でも同一にして植えることが慣行的に行われてきたが、放射状裂果の発生しやすい外側の列（1列目と5列目）の株間を狭くすることで、全体としての発生割合を抑えることが可能と判断された。

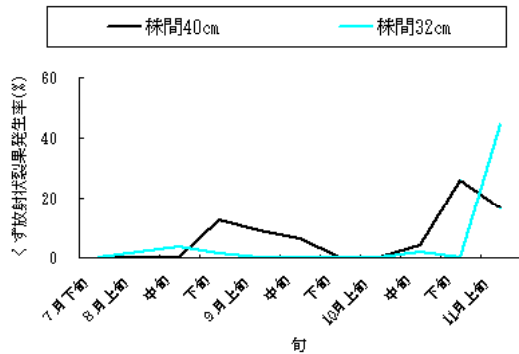


図6-2 株間を異にして栽培したトマトにおける収穫時期別のくず放射状裂果発生率の推移

表6-2 定植位置を異にして栽培したトマトにおける収量，平均果重，総収穫果数，放射状裂果数およびくず放射状裂果数

処理区	総収量 (kg/株)	可販収量 (kg/株)	平均果重 (g)	総収穫果数 (個/株)	放射状裂果数 (個/株)	くず放射状裂果数 (個/株)
1列目 ^a	6.77	6.13	199	34.3	12.0a	2.8a
2列目	6.81	6.15	197	34.8	7.7b	2.4a
3列目	6.40	6.21	202	31.9	7.6b	0.5b
4列目	6.08	5.55	183	33.9	8.4ab	1.7ab
5列目	6.61	5.96	204	32.7	9.0ab	1.8ab
有意差 ^b	ns	ns	ns	ns	*	*

^a西端より順に1列目～5列目とする

^b分散分析によりnsは有意性なし，*：0.05水準で有意差あり

^c同一果房被覆処理内で異なる文字間 (ab) に0.05水準で有意差あり (Tukey-Kramer法)

表6-3 株間を異にして栽培したトマトにおける果実表面の積算日射量

処理区	積算日射量 (MJ/m ²)
株間40cm	7.5
株間32cm	6.9
有意差 ^a	ns

^at-testにより，nsで有意差なし

調査期間：2005年8月30日～9月2日

表6-4 株間を異にして栽培したトマトにおける収量，平均果重，総収穫果数，放射状裂果数およびくず放射状裂果数

処理区	総収量 (kg/株)	可販収量 (kg/株)	可販収量 (t/a)	平均 ^a 果重 (g)	総収穫果数 (個/株)	放射状裂果数 (個/株)	くず放射状裂果数 (個/株)
株間40cm	6.61	5.96	1.23	204	32.7	9.0	1.8
株間32cm	5.55	5.27	1.31	189	29.5	5.4	0.5
有意差 ^b	*	*	ns	*	ns	*	*

^a総収穫果より求めた

^bt-testにより，ns：有意差なし，*：0.05水準で有意差あり

第7章 結 言

夏秋トマト栽培で問題となっている放射状裂果の発生要因に関する研究は、これまで数多く報告されている。主な要因としては、果実表面からの水分吸収（二井内，1963；上村ら，1972） 土壌水分の急激な変化（二井内，1963；上村ら，1972） 強日射（Brown・Price，1934；山下・林，1994） 高温（Frazier・Brown，1947；伊藤ら，1990） コルク層の発達（Fraizer，1934；二井内，1963；上村ら，1972） 急激な果実肥大（Fraizer，1935；Young，1953） 高湿度（小沢，1993） 飽差の変動（渡邊ら，2006）等がある。

特に、土壌水分の急激な変化（二井内，1963；上村ら，1972）は、雨よけ栽培の夏秋トマト産地では主因として従来現地指導がなされてきた。本研究のそもそもの発端も、土壌水分センサーが発達した現状において（山田ら，2005） 灌水制御により放射状裂果の対策が可能となると判断したためである。

しかし、第3章では、これまでの定説が否定された。すなわち、土壌pH値1.2～2.5の範囲での土壌水分の変化が夏秋トマト雨よけ栽培における放射状裂果およびくず放射状裂果の発生に及ぼす影響を検討した結果、灌水方法や灌水量の違いによる土壌水分の変化の影響よりも、茎葉や果実への強い日射による影響が大きいと推察された。

さらに、第4章では、明らかに積算日射量の推移のパターンが異なる3年間の気象条件下で、異なる仕立て法で栽培したトマトのくず放射状裂果発生と成熟前の一定期間の積算日射量との関係を詳細に検討した。その結果、くず放射状裂果発生率は、いずれの年においても直立仕立て・玉出し区が斜め誘引仕立て区より高く推移し、また、旬別積算日射量が平均値より高い時期を経過した果実で高まる傾向が認められた。

また、くず放射状裂果とその果実が成熟する前の積算日射量の関係を見ると、いずれの区も幼果期～緑熟期の積算日射量と高い直線の関係が認められた。現地では収穫作業の能率を高めるため摘葉が行われており、摘葉によって果実への日射量が増加し、放射状裂果発生を助長することが懸念されたが、これらの結果より、緑熟期以降であれば影響は少ないと判断された。

光合成産物の転流・分配について、吉岡・高橋（1979）は、果実のシンクの強さは、開花後相対日数30～80日でほぼ70%以上に達しているとしている。トマトの肥大は、単純なS字型成長曲線をとるとされており（斉藤，1984） 幼果期～緑熟期の果実肥大が旺盛な時期に、日射を多く受けることによって光合成産物の生産が高まり、さらに果実への転流・分配が効率よくなされることによって、果実肥大が進んだものと推察された。

この仮説を検証するために、第5章では、摘果および二

酸化炭素施用処理によってシンク強度やソース強度を調整し、光合成産物の転流、分配の影響について検討するとともに、果房被覆処理によって果実表皮への日射の影響について検討した。その結果、果実に対する日射が同等であれば、いずれの実験においても、果実肥大が旺盛な区でくず放射状裂果が発生しやすい傾向が認められた。さらに、旬別平均果重が増加する時期に、くず放射状裂果発生率が上昇することから、くず放射状裂果は肥大が旺盛な果実に発生しやすいと考えられた。特に実験2では、放射状裂果はその他の果実よりも平均果重が重くかつ可溶性固形物含量が高いことから、果実あたりの光合成産物の転流量の増加の影響が示唆された。

また、第5章では、いずれの実験においても果実肥大が旺盛な区でコルク層が発達する傾向が見られ、特に実験2の二酸化炭素施用処理によってコルク層幅は有意に広がった。また、実験1の着果数を2、3、5果に制限する3区について果房被覆処理の影響を検討した結果、いずれの区においても放射状裂果発生を有意に抑える傾向が認められた。すなわち、ソース強度とシンク強度が同等の条件においては、果実に対する日射を遮断することでコルク層の発達を抑え、放射状裂果発生が抑えられたと考えられた。

コルク層の発生と放射状裂果発生との関係について、二井内（1963）は、コルク層はがくの接着基部が果実の肥大に伴ってはずれ、現れた柔組織がコルク化したものとし、コルク層の発生と果径および果実の肥大速度には密接な関係があることを指摘している。また、放射状裂果はまずコルク層が裂開し、果皮の裂開につながるとしている。同様に、上村ら（1972）は、果実が大きいくほどコルク層の発達も大きくなり、幼果期から微細なくさび状の小亀裂が発生し、果実肥大とともにその数と大きさを増加するとしている。また、清田（1982）は、コルク層は一種の日焼け現象であり、果面に強い日射を受けると形成されるとしている。

遮光によって放射状裂果の発生が軽減される報告は数多くある（Brown・Price，1934；山下・林，1994；Wadaら，2006）が、山下・林（1994）は、その原因として、葉からの水分の蒸散が抑制されるため、根からの水分吸収量が減少し、ひいては果実への流入量も減ることが原因であると述べている。これに対して、市村（2008）は、細胞が肥大するためには細胞内への水が流入することと細胞壁がゆるむことが必要であり、細胞への水の流入は、糖質、無機イオンあるいは有機酸などの物質が細胞内に蓄積し浸透圧が上昇することによって起こるとし、トマトでは糖質が主要な浸透圧物質となっている（Damonら，1988）。すなわち、細胞内に糖質が少ない果実は肥大しにくく、ひいては裂果しにくいものと考えられる。このことは、今回の二酸化炭素施用の実験結果で、その他（放射状裂果以外）の果実は、放射状裂果の果実に比べ平均

果重が軽くかつ可溶性固形物含量が低いことから明らかとなった。以上のことから、遮光によって放射状裂果の発生が軽減されるのは、葉からの水分の蒸散が抑制されることよりも、果実あたりの光合成産物の転流量の減少の影響が強く働いているものと考えられた。

また、山下・林（1994）は、果梗部捻枝処理によって裂果の発生が激減するとしている。これは、維管束の組織を傷つけることで果実への水分供給が制限され、裂果が防止できたと述べている。しかし、このときのデータを詳細にみても、捻枝強度の強い区ほど、裂果の発生は少ないが、糖度は低く、平均果重が軽い結果であった。すなわちこの結果は、師管液の流入が抑えられたためと考えられた。

井手ら（2007）は、高温期の施設トマト栽培において、外気導入ファンと換気扇を組み合わせた外気導入式強制換気が、微小な目合いの防虫ネットを展開したハウス内の昇温抑制効果や生育、収量等に及ぼす影響について検討した結果、昇温抑制効果は、高く、光合成速度および蒸散速度は高かったが、裂果発生率が高く、商品果収量は同程度であったと本研究を裏付けている。

以上の結果をまとめたのが、図7-1である。茎葉に強日射が当たったり二酸化炭素を施用することによって、光合成産物が増加し、果実肥大が起こる。また、摘果によって果実当たり転流量が増加し、果実肥大が起こる。果実肥大は、コルク層の発達に影響を与える。

一方、果実に強日射が当たることによってコルク層が発達する。放射状裂果はまずコルク層から裂開するとされており、コルク層が発達するほど結露水等の侵入するリスクが高まる。これらの相互作用によって放射状裂果が起こると推察された。

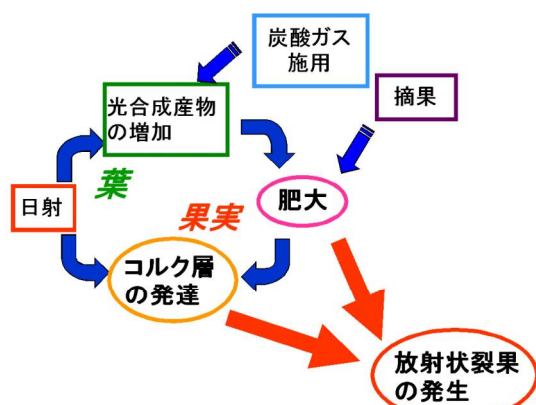


図 7-1 放射状裂果の発生メカニズム

以上の結果をもとに、夏秋トマト雨よけ栽培における放射状裂果発生要因を整理してみると、第3章実験2において8月下旬頃に不雨放射状裂果発生率が高く推移したのは、梅雨明け直後に幼果期であった果実に強日射が茎葉や果実にあたることによって、果実への光合成産物の

転流・分配が促進され果実肥大が進んだことに加え、梅雨明け頃の開花のため開花前の光合成産物の競合が大きく、果実の細胞数は、少なくなりやすいことも要因として推察された。Bertinら（2002）は、二酸化炭素施用と着果制限を組み合わせた実験結果として、上位果房における果実の細胞数は、光合成産物の競合が大きい条件で減少し、小さい条件で増加するとしている。また、10月以降に不雨放射状裂果発生率が高く推移したのは、出荷基準の果色程度が夏期より赤くなることにより収穫までの期間が長くなり、放射状裂果発生のリスクが高まったことに加え、摘心によって茎葉への光合成産物の転流量が少なくなり、果実への割合が増加し、さらに着果数の減少に伴い転流・分配が残った果実に集中し、気温の低下に伴い呼吸による消費が少なくなり、結果的に果実肥大が進んだこと、また、その時期に収穫される果実は、摘心部直下の最終段付近の果房であり、誘引線の最上部付近に誘引されることから、果実に日射が当たりやすく、コルク層が発達しやすいことも大きな要因であると推察された。さらに、気温が下がり、飽差が低下することによって結露しやすくなり、葉に溜まった結露水が果実のへた部に落ちる頻度が高まることも要因として考えられた。

次に、放射状裂果対策技術について検討する。山下・林（1994）は、遮光によって裂果の発生は減少するが、収量が減少し、糖度の低下や空洞果の増加などマイナス効果が大きく、裂果防止効果も不十分であるため、実際現場への導入は不適切であると述べている。Wadaら（2006）は、夏季の一段トマト栽培において、遮光によって有意に抑制され、平均気温が25℃を越えた場合には、日平均積算日射量を5～6 MJ・m⁻²程度まで低下させることによって、可販収量は増加する効果が認められたが、遮光によって果実の糖度は低下したとしている。著者ら（野村・鈴木，2005）は、過剰な日射を抑制する手段として温度制御により遮光資材（遮光率40%）を被覆する自動遮光処理、岐阜地方気象台の短期予報に基づいて遮光資材（遮光率30%）の開閉を1週間単位で行う手動遮光処理および無処理について検討した結果、遮光処理によって放射状裂果発生率は減少したが、平均果重は軽くなり、可販収量は無処理区と比べ、自動遮光区でほぼ同等、手動遮光区で少なくなったと報告した。

以上の結果より、遮光資材の利用によって、現時点ではコストや労力に見合う収益性の向上は期待できないと判断された。今後さらに、光散乱性を持つ被覆フィルム等の利用について検討が必要である。

仕立て法については、第3章・第4章の結果から茎葉や果実に日射が当たりにくい斜め誘引仕立てが放射状裂果対策として有効であると判断された。斜め誘引仕立ては、施設の構造上、誘引線の高さが2 m程度に制限される施設において10段花房以上連続して収穫する栽培に適して

いるが、直立仕立てに比べて採光性や通気性が劣り、果実の品質低下や病害発生リスクが高くなるのが課題とされている（三井，2008）。2006年岐阜県内の夏秋トマト栽培における仕立て法別面積割合の調査を行ったところ、栽培面積の約84%が斜め誘引仕立てを行っているという結果であり、県内では、既に広く普及できたと考える。

着果数については、飛騨地域の夏秋トマト栽培では、従来「3・3・4運動」として、第1果房3果、第2果房3果、第3果房4果に着果制限をすすめてきたが、8月、9月に収穫作業が集中するため、第4果房以降の摘果は省かれることが多く、中段以降の着果不良や果実肥大不足等によって、産地全体の10月以降の収量は減少する傾向であった。これは、夏秋トマト栽培では、定植後に梅雨期を迎えるため、初期・中期の着果負担は、後期の花質・草勢の低下につながることで原因と考えられた。著者ら（2006）は、夏秋トマト斜め誘引仕立て栽培における最適着果数を検討した結果、初期・中期は3果、後期は4～5果に調整することによって、8月、9月に集中していた収穫労力のピークが10月以降に分散化され、かつ、果実単価上昇により収益性は向上することを明らかにした。第5章では、放射状裂果発生率は、着果数を制限して少なくするほど増加することから、果房当たりの着果数を増やすことによって、果実あたりの光合成産物の転流量を減少させることが有効であると考えられる。しかし、初期・中期の極端な着果負担は、8月、9月の収穫作業の集中や中段以降の果実肥大不足等をもたらすため、総合的に判断すると望ましくない。初期・中期は3果、後期は4～5果に調整することによって、少なくとも10月以降の放射状裂果対策につながるものと考えられる。ただし、初期・中期の対策については、別途検討が必要であると判断した。

第6章では、ハウス内において外側に植えた株の方が内側に植えた株よりも放射状裂果発生率が高いことを示し、株間を狭くすることで軽減できることを明らかにした。従来、株間はどの列でも同様に植えることが慣行的に行われてきたが、放射状裂果の発生しやすい外側の列の株間を狭くすることで全体としての発生割合を抑えることが可能であると推察された。この方法は、株間が慣行の40 cmから32 cmにするため、苗数は25%増やす必要があるが、両端のみの処理であり、また、他の資材等は特に必要ないことから、現地として導入しやすい技術と考えられる。

栽植密度を高める栽培法として低段密植栽培がある。低段密植栽培は、栽培期間が短く繰り返し栽培を行うため、栽培技術の習得が早く、失敗しても一度リセットして次作で挽回できるなど、長期栽培と比べてリスク分散ができる。試験的にデータが得やすいため、これまでに多くの試験場や大学などで研究されている（山下ら，1992；鈴木，2008）。今後は、これらの研究をふまえ、放射

状裂果発生が多く、高単価が期待できる10～11月出荷をねらった低段密植栽培等の検討も必要であると考えられる。

以上、放射状裂果の対策技術の開発について検討したが、この研究の難しい点は、放射状裂果発生の要因が、果実あたりの光合成産物の過剰な転流量が影響するとすると、これを制限することで、収量・品質の低下につながるリスクが逆に大きくなるのが想定されることである。日射量についても第4章で述べたように、年次・季節の変動が大きく、それらを制御することの難しさを痛感した。放射状裂果発生は、ある意味必要悪のようなものであり、完全にゼロにする必要はないと考える。過剰な日射量を遮光するのではなく、収量・品質を高めるような発想で今後もさらに検討を進めたい。

引用文献

- Abbott, J. D., M. M. Peet, D. H. Willits, D. C. Sanders and R. E. Gough. 1986. Effect of irrigation frequency and scheduling on fruit production and radial fruit cracking in greenhouse tomatoes in soil and in a soil-less medium in bags. *Sci. Hort.* 28: 209-217.
- 青木宏史. 1996a. 野菜のやさしい生理生態と栽培技術 - 生理障害の対策 -. *農耕と園芸*. 10: 88-90.
- 青木宏史. 1996b. 野菜のやさしい生理生態と栽培技術 - 生理障害の対策 -. *農耕と園芸*. 11: 96-98.
- 青葉 高. 2000. トマト(1)その起源と伝播およびわが国での栽培状況. p33-38. *日本の野菜*. 八坂書房: 東京.
- Bertin N., H. Gautier and C. Roche. 2002. Number of cells in tomato fruit depending on fruit position and source-sink balance during plant development. *Plant Growth Regu.* 36: 105-112.
- Brown, H. D. and C. V. Price. 1934. Effect of irrigation, degree of maturity, and shading upon the yield and degree of cracking of tomatoes. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 32: 524-528.
- Damon, S., J. Hewitt, M. Nieder and A. B. Bennett. 1988. Sink metabolism in tomato fruit. .Phloem unloading and sugar uptake. *Plant Physiol.* 87: 731-736.
- Fraizer, W. A. 1934. A fainal study of some factors associated with the occurrence of cracks in the tomato fruit. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 32: 519-523.
- Fraizer, W. A. 1935. Further studies on the occurrence of cracks in tomato fruits. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 33: 536-541.
- Frazier, W. A. 1952. Cracking resistance in puck progeny. *Tomato Genet. Coop. Rpt.* 2, p. 3.
- Frazier, W. A. and J. L. Bowers. 1947. A report on studies of tomato fruit cracking in Maryland. *Proc. Amer. Soc.*

- Hort. Sci. 49: 241-255.
- 二ツ寺勉・小池法雄・羽賀 豊. 1976. 冷涼地夏秋トマトの新作型設定に関する研究. 岐阜県高冷地農試研報. 1: 1-63.
- 浜渦康範・宮本裕子・茶珍和雄. 1995. 収穫後のトマト果実におけるカロチノイド色素の消長に及ぼす高温の影響. 園学雑. 63: 675-684.
- 井手 治・森山友幸・龍 勝利・奥 幸一郎. 2007. 高温期の施設栽培における外気導入式強制換気法がトマトの生育, 収量およびリコペン含量に及ぼす影響. 福岡農試研報. 26: 51-55.
- Ikeda, T., Y. Sakamoto, S. Watanabe and K. Okano. 1999. Water Relations in Fruit Cracking of Single-Truss Tomato Plants. Environ. Control in Biol. 37: 153-157.
- 市村一雄. 2008. 花卉の展開にともなう細胞肥大と花の形. 園学研. 7: 157-163.
- 伊藤裕朗・村上 実・河合伸二. 1990. ミニトマトの生産安定に関する試験(第1報)品種, 栽培及び環境条件と裂果発生の関係について. 愛知農総試研報. 22: 133-140.
- 上村昭二・吉川宏昭・伊藤喜三男. 1972. トマトの裂果に関する研究. 園試報. C7: 73-135.
- 河合 仁. 1997. 基礎編 ミニトマトの栽培. p.597-605. 農業技術体系野菜編トマト. 農文協. 東京.
- 北野雅治・荒木卓哉. 2001. トマトにおける果実成長および光合成産物の転流の動態に対する環境作用(第2報), 師管液および導管液フラックスと果実水収支の解析. 生環調. 39: 43-51.
- 清田 勇. 1982. 基礎編 雨よけ栽培, 栽培技術の要点. p. 354の8-354の13. 農業技術体系野菜編トマト. 農文協. 東京.
- 梶田正治・瀧口 武・松原幸子. 1989. 培養液濃度がトマトの収量と品質および養液成分の濃度変化に及ぼす影響. 園学雑. 58: 641-648.
- 丸尾 達. 2006. 施設野菜・薬用植物・ハーブの特徴と栽培管理. p.150-168. 古在豊樹ら編著. 最新施設園芸学. 朝倉書店. 東京.
- 三井俊宏. 2008. トマトの斜め誘引整枝法. 農耕と園芸. 10: 26-29.
- 森 俊人. 1990. 基礎編 トマトの生理障害の原因と対策. p. 355-360. 農業技術体系野菜編トマト. 農文協. 東京.
- 村瀬治比呂・山田久也・西浦芳史・穂波信雄. 1993. ミニトマト裂果現象の有限要素解析. 植物工場学会. 4. 139-147.
- 中林和重・石山仁美・片井祐介・三原大輝・山下洋平. 2001. 種々の培養液供給方法がトマトの裂果および成分におよぼす影響. 明治大農研報. 126: 41-53.
- 二井内清之. 1963. トマトの裂果に関する研究. 園試報. D1: 117-154.
- 二井内清之・本多藤雄・太田成美. 1960. トマトの裂果に関する研究(第1報), 裂果の機構について. 園学雑. 29: 287-293.
- 西尾敏彦. 2006. 果菜類の結実. p.166-167. 藤目ら編著. 野菜の発育と栽培. 農文協. 東京.
- 野村康弘・鈴木隆志・塩谷哲也. 2005. 遮光資材による夏秋トマト裂果発生抑制技術. 岐阜中山間農技研報. 5: 11-16.
- 太田勝巳・伊藤憲弘・細木高志・戒田昌子. 1993. 水耕ミニトマトの裂果発生の品種間差異について. 近畿中国農研. 85: 46-49.
- 太田勝巳・伊藤憲弘・細木高志・杉 佳彦. 1991. 水耕ミニトマトにおいて湿度が裂果発生に及ぼす影響ならびに裂果発生の制御. 園学雑. 60: 337-343.
- 太田勝巳・長谷川隆一・細木高志. 1995. 低浸透ポテンシャル溶液処理による水耕チェリートマトの裂果発生制御. 生環調. 33: 297-298.
- Ohta, K., T. Hosoki, K. Matumoto, M. Ohya, N. Ito and K. Inabe. 1997. Relationships between Fruit Cracking and Changes of Fruit Diameter Associated with Solute Flow to Fruit in Cherry Tomatoes. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 65: 753-759.
- Ohta, K., K. Tsurunaga and T. Hosoki. 1998. Possibility of Controlling Fruit-Cracking in Cherry Tomatoes by Light Treatment at Night. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 67: 216-218.
- 岡野邦夫・坂本有加・渡邊慎一・中島武彦. 1999. 排液の再利用による一段トマトの閉鎖型養液栽培システムの確立. 生環調. 37: 63-71.
- 小沢智美. 1993. 夏秋トマトの良品多収生産技術のポイント. 農耕と園芸. 3: 82-85.
- Peet, M. M. 1992. Fruit Cracking in Tomato. HortTechnology 2: 216-223.
- Peet, M. M. and D. H. Willits. 1995. Role of excess water in tomato fruit cracking. HortScience. 30: 65-68.
- 斉藤 隆. 1984. 基礎編 果実の発達と成熟の生理, 生態. p. 115-142. 農業技術体系野菜編トマト. 農文協. 東京.
- 曾我京次. 2003. トマト葉かび病防除におけるオ・ソサイド水和剤80の利用. 農薬ガイド. 104: 7-13.
- 鈴木克己. 2008. トマトの低段密植・多収栽培. 農耕と園芸. 10. 39-43.
- 鈴木克己・浜本 浩. 2008. 主要な野菜品目および茶業における低コスト安定生産技術の開発に向けた研究戦略. 野菜茶業研究所研究資料. 3: 4-6.
- 鈴木滋雄. 1997. 基礎編 地域条件と栽培方式の選択・経営戦略 高冷地(岐阜県). p.689-694. 農業技術体系野菜編トマト. 農文協. 東京.
- 鈴木隆志・塩谷哲也・藤本豊秋・傍島千鶴・井之本浩美

- ・中西文信. 2006. 夏秋トマト栽培における連続摘果栽培法が収益性および作業能率に及ぼす影響. 岐阜県中山間農技研報. 5: 6-10.
- 鈴木隆志・野村康弘. 2006. 夏秋トマト栽培における放射状裂果の発生に関する研究(第5報) 定植位置や栽植距離がトマト放射状裂果の発生に及ぼす影響. 園学雑75別1. 110.
- 鈴木隆志・野村康弘・嶋津光鑑・田中逸夫. 2009. 夏秋トマト雨よけ栽培における放射状裂果の発生に及ぼす着果制限, 果房被覆および二酸化炭素施用の影響. 園学研. 8: 27-33.
- 鈴木隆志・柳瀬関三. 2002. 夏秋トマト栽培における裂果発生要因の解明とその対策. 農気東海支部会報. 60: 1-5.
- 鈴木隆志・柳瀬関三. 2005. 夏秋トマト雨よけ栽培における放射状裂果発生に及ぼす灌水および整枝の影響. 園学研. 4: 75-79.
- 鈴木隆志・柳瀬関三・塩谷哲也・嶋津光鑑・田中逸夫. 2007. 夏秋トマト雨よけ栽培における放射状裂果発生に及ぼす積算日射量の影響. 園学研. 6: 405-409.
- 高橋春實・高井隆次. 1983. 寒冷地における夏秋トマト栽培に関する研究. 秋田県農短大研報. 9. 119-127.
- 富田秀弘・柳田雅芳・大場貞信・岩瀬利己. 1981. 寒冷地における雨よけハウストマトの品質について. 東北農試. 29. 247-248.
- 山田久也・村瀬治比古. 1994. ポンプ運転制御によるNFTミニトマト裂果軽減法. 生環調. 32:1-7.
- 山田良三・川嶋和子・今川正弘. 2005. 即時灌水制御システムを導入した隔離床栽培トマトの養液土耕栽培マニュアル. 愛知農総試研報. 37. 61-66.
- 山本忠志・佐藤忠弘・長谷川一. 1983. 夏秋トマト栽培に関する研究, 第1報 雨よけ施設の経済性. 東北農研. 33. 221-222.
- 山下文秋・青柳光昭・林 悟朗. 1992. 水耕トマトの低段密植栽培における周年生産(第1報)は種期, 摘心位置及び低段密植がトマトの生産特性に及ぼす影響. 愛知農総試研報. 24: 115-122.
- 山下文秋・林 悟朗. 1994. 水耕トマトの低段密植栽培における周年生産(第2報)高温期における裂果防止対策. 愛知農総試研報. 26: 157-162.
- Young, H. W. 1958. Inheritance of fruit cracking. *Tomato Genet. Coop.* 8: 38.
- 雪竹照信. 1982. 中山間地域における夏秋トマトの簡易被覆栽培法に関する研究. 佐賀農試研報. 22: 39-63.
- Wada, T., H. Ikeda, K. Matsushita, A. Kambara, H. Hirai and K. Abe. 2006. Effects of Shading in Summer on Yield and Quality of Tomatoes Grown on a Single-truss System. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 75: 51-57.
- 渡邊聖文・志和地弘信・岩堀修一・高橋久光. 2006. 施設栽培におけるトマト果実裂果発生要因の解析. 東京農大農学集報. 50: 106-111.
- 吉岡 宏・高橋和彦. 1979. 果菜類における光合成産物の動態に関する研究 トマト果実の肥大・成熟に伴うSink能の変化とSource-Sinkの関係. 野菜試報. A6: 85-103.

Studies on the Cause of Radial Fruit Cracking and Development of Measures Technology
in Tomato Cultivation under Rain Shelter in Cool Upland

Takashi Suzuki

Summary

Radial fruit cracking (RFC) can contribute to serious economic losses in tomato production under rain shelter in cool uplands. There have been many reports on investigation of RFC in large-size tomatoes. In all of them, RFC occurred in the fields of tomato cultivated under rain shelter in cool upland throughout a period of time between August and November, however, there was no adequate explanation for the fact that the timing and severity of RFC has varied from year to year, resulting in no determination of major cause. In this study, we tried to unravel a major cause of RFC through examining the previous investigations and to investigate measures to relieve taking the cause into consideration for development of countermeasures feasible in the field. And, we called refuse RFC which was intense level of fruit cracking and no commercial value.

We examined the effects of the differences in soil moisture with four irrigating methods and the effects of the differences in two training systems. When foliage and fruits were exposed to scarce solar radiation, changes in soil moisture (from 1.2 to 2.5 pF) did not demonstrate an effect on the incidence of RFC. However, it was observed that refuse RFC tended to occur in enlarged fruits. When the foliage and fruits were exposed to abundant solar radiation under the same irrigating conditions, RFC and refuse RFC evidently tended to occur more frequently than that under limited solar radiation, irrespective of fruit size. These facts suggest that RFC in tomatoes cultivated in tomato production under rain shelter in the cool uplands occurs mostly in response to the solar radiation reaching the foliage and fruits, while changes in soil moisture affect the occurrence of RFC relatively less.

The effect of total integrated radiation using two types of training methods was determined over a three-year period. The percentage of refused RFC associated with increased total integrated solar radiation from the young fruit stage to the mature green stage. RFC occurred in the training method which foliage and fruits received a large amount of light-interception. Also, as for fruits that undergo vigorous enlargement, the frequency of the RFC increased. Moreover, observation of fruits showing a sign of cracking over time revealed that cracking started to occur after the mature green stage and that earlier cracking tends to become larger.

In order to investigate the effects of translocation and distribution of photosynthate to the fruits during the occurrence of RFC, tomato plants were grown under treatments with fruit thinning and CO₂ enrichment, which regulate the strength of sink and source, and treatments with covering of the fruit truss, which decreases solar radiation incident on the fruit surface. The occurrence of RFC was increased by fruit thinning and CO₂ enrichment, and decreased by covering of fruit truss. Time course of the percentage of RFC to total harvest showed a remarkable rise toward the end of August and toward the end of October in 2004, when harvested fruit weight was increasing. These findings suggest that RFC is attributed to excessive enlargement of the fruit by promotion of translocation and distribution of photosynthate from leaves (source) to fruits (sink) and the solar radiation incident on the fruits. In addition, the relation between RFC and the generation of a cork layer is considered.

To develop cultivation technique against RFC, we investigated the effect of planting position and distance. The incidence of RFC was higher in outer plants than inner ones and was lower in those planted with a narrower planting distance. Conventionally, the planting distance was constant among rows. Narrowing the planting distance in outer rows at high risk of RFC may reduce the total incidence of RFC.

The results of this study indicate that (1) intense solar radiation on foliage, CO₂ enrichment, and thinning can increase the amount of translocation of photosynthate per fruit, leading to excessive enlargement of the fruit; (2) enlargement of the fruit causes development of the cork layer; (3) intense solar radiation on the fruit causes development of the cork layer; and (4) the thicker cork layer increases the risk of RFC. The interaction among these facts may generate RFC. Then we investigate countermeasures against RFC. Shading could significantly reduce RFC, but no telling data was obtained regarding the yield and quality. Oblique training that less solar radiation reaches the foliage and fruit was considered as a more effective countermeasure against RFC than upright training. Narrowing the planting distance was also effective.