

高温期のトマト低段密植栽培における 積算日射量を指標とした遮光方法

井手 治*・龍 勝利・國武みどり・小熊光輝・奥 幸一郎

高温期のトマト低段密植栽培において、生育、収量および品質の安定を図ることを目的に、乾物生産量を低下させることなく、高温を回避できる遮光カーテンの自動開閉に最適な積算日射量の指標値について検討した。

1. 2007年、2008年の 7月から 9月の高温期に、ハウス外の30分間の積算日射量の指標値を0.8MJ/m²および1.2MJ/m²として、遮光率45%の遮光カーテンを自動開閉すると、累積遮光時間は、晴天日の 9時から16時に常時遮光する対照区のそれぞれ0.8MJ区が63%、71%および1.2MJ区が33%、40%となった。
2. 0.8MJ区および1.2MJ区で生育したトマト個葉の光合成速度は対照区に比べて高く、1株当たりの乾物重も0.8MJ区では対照区に比べて重かった。
3. 8月と9月の日照時間が平年値より少なかった2008年は、0.8MJ区および1.2MJ区で商品果収量が対照区に比べて多く、糖度も高かった。一方、日照時間が平年並であった2007年は、1.2MJ区では遮光が不足し、0.8MJ区が1.2MJ区に比べて商品果収量が多かった。
4. 以上の結果から、夏季に遮光率45%の遮光カーテンを内張りし、積算日射量0.8MJ/m²を指標値として自動開閉すると、収量、品質が向上した。

[キーワード：トマト、低段密植栽培、高温、遮光、日射量]

The Method of Shading with the Indication of Sum of Solar Radiation in Summer on Tomato Cultivation with Low Node-Order Pinching and High Density Planting. IDE Osamu, Katsutoshi RYU, Midori KUNITAKE, Mitsuteru KOGUMA and Koichiro OKU (Fukuoka Agricultural Research Center, Chikushino, Fukuoka 818-8549, Japan) *Bull. Fukuoka Agric. Res. Cent.* 30:30-33(2011)

Tomato cultivation with low node-order pinching and high density planting in high temperature phase, the optimum indication of sum of solar radiation on automatic shading in order to obtain stable growth, yield and quality of tomato fruits, while high temperature is avoided, was investigated, and a following knowledge was obtained.

1. When shade curtain is operated automatically between July and September by the indication of the sum of solar radiation for 30 minutes outside of the greenhouse with 0.8MJ/m² and 1.2MJ/m², accumulated shading hours, compared with the control section in 2007 and 2008, became 63% and 71% in each year in 0.8MJ section, and became 33% and 40% in 1.2MJ section, and the superfluous shading under the low light condition was able to be avoided.
2. The photosynthetic rate of tomato individual blade in 2008, which grew in 0.8MJ section and 1.2MJ section, was higher than the control section, and the amount of dry matter of 0.8MJ section in both 2007 and 2008 was heavier than the control section.
3. The marketable fruit yield of both 0.8MJ and 1.2MJ section increased and the sugar contents was also high compared with the control in 2008, when the sunshine duration of August and September was shorter than normal value. But the marketable fruit yield of 0.8MJ section increased compared with 1.2MJ section in 2007, when the sunshine duration was as same as normal value.
4. It was considered that the optimum indication of sum of 30 minutes solar radiation for automatic shading is 0.8MJ/m².

[Key words : tomato, low node-order pinching and high density planting, high temperature, shading, solar radiation]

緒 言

トマトの低段密植栽培は、一定品質のトマトを周年で安定的に栽培する目的で全国的に導入され始めている。本県でも2005年から農業生産法人が、野菜茶業研究所で開発された保水シート耕式養液栽培法（岡野 2001）を用いて、高糖度トマトの低段密植栽培に取り組んでいる。しかし、夏季の施設内は高温となり、生育抑制、障害果の発生および果実の肥大不良が大きな問題となっている。

トマトの高温による生育障害については、生育、開花・結実、障害果の発生等に関する多くの報告があり（岩堀・高橋 1964, 橋ら 1990, 宇井・高野 1995）、岩堀ら（1963）は開花中または開花後の40℃以上の高温により、小粒果の発生が増加し、1果重が減少することを明らかにしている。このような高温障害を回避するため、上記の法人では7月から9月の晴天日の日中に常時遮光を行い、施設内の昇温を抑制しているが、常時遮光では光量が不足する一時曇天等の日には遮光が過剰となって、乾物生産量の減少や空洞果等の

* 連絡責任者
(野菜栽培部: osamuide@farc.pref.fukuoka.jp)

発生により収量が低下しやすい。

この問題を解決するには、日射量の変化に応じて遮光カーテンの自動開閉ができる制御方法が有効であると考えられる。吉田ら（2002）はトマトの育苗において、日射量が $400\text{w}/\text{m}^2$ （30分間の積算日射量で $0.72\text{MJ}/\text{m}^2$ に相当）を超える強光時に50%の遮光処理を行うことで、高温を回避でき、乾物生産に悪影響を及ぼすことなく、健苗を生産できるとしている。しかし、トマトの本場の栽培では、遮光処理を行う指標となる最適な日射量について検討した報告はみあたらない。

そこで、高温期のトマト低段密植栽培において、生育、収量および品質の安定を図ることを目的に、乾物生産量を低下させることなく、高温を回避できる遮光カーテンの自動開閉に最適な積算日射量の指標値について検討した。

試験方法

供試品種は「ハウス桃太郎」（自根）を用いた。試験区は遮光方法により①ハウス外の30分間の積算日射量が $0.8\text{MJ}/\text{m}^2$ に達したら30分間遮光する区（以下0.8MJ区とする）、②同様に $1.2\text{MJ}/\text{m}^2$ に達したら30分間遮光する区（以下1.2MJ区とする）、③晴天日の9時から16時に常時遮光する対照区および④ハウス内気温、トマト葉温調査の参考区として遮光を行わない無遮光区の4区を設けた。試験は奥行が南北向き単棟ハウス（間口6m、奥行20m、棟高3.2m）2棟を用い、それぞれを南北に等分するように透明POフィルムで間仕切りした4区画で行った。遮光カーテンは遮光率45%のワイドスクリーンギンギラ（日本ワイドクロス社製）を内張り展張し、自動開閉できるようにした。遮光処理期間は2007年7月23日～9月7日、2008年7月14日～9月22日とし、積算日射量による遮光の開閉制御はグリーンキット（GK-80：ESD社製）で行った。栽培は前述した保水シート耕式養液栽培で行い、栽植密度は8,888株/10a、栽培槽間1.5m、株間7.5cm、2条振り分け誘引とした。2007年6月25日および2008年7月14日に4葉期の72穴セルトレイ苗を定植した。培養液は園試処方を用いて、定植～活着期は $\text{EC}1.0\text{dS}/\text{m}$ 、活着期～2段果房着果期は $\text{EC}2.0\text{dS}/\text{m}$ 、2段果房着果期以降は $\text{EC}4.0\text{dS}/\text{m}$ の培養液を、1株当たり1回につき100mLを1日当たり24回循環給液した。トマトトン100倍液で着果処理を行い、各果房4果に摘果し、2段果房直上の2葉を残し摘心した。試験規模は1区8株の4反復とした。

調査項目は、ハウス外の日射量、ハウス内とハウス外の気温、トマトの葉温、トマト小葉の光合成速度、トマト1株当たりの乾物重、商品果収量、1果重、商品果率、不良果発生率、糖度とした。

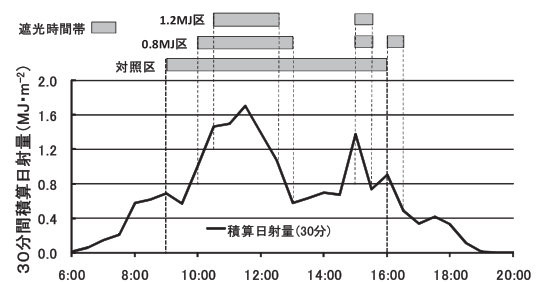
ハウス外の日射量は供試ハウスの棟頂上で、地上から3.2mの高さの地点を、全天日射計（英弘精機社製：ML-020VM）を用いて1分間隔で測定した。ハウス内の気温は各試験区画の中央部で、地上から1.5mの高さの地点を、ハウス外の気温（以下、外気温とする）は地上から1.5mの高さの地点をそれぞれサーモレコーダー（ティアンドデイ社製：RTR-52）を用いて10分間隔で測定した。葉温は2007年8月16日の

晴天日（9:00～16:00）に1時間間隔で、放射温度計（MINOLTA社製：HT-10D）を用いて、第2段果房直下の小葉を各区10葉を測定した。光合成速度は第2段果房の直下の小葉をLI-6400（LI-COR社製）を用いて2008年9月10日の晴天日（11:00～14:00）に、光強度 $2000\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、流量 $500\mu\text{mol}/\text{s}$ 、葉温 33°C の一定条件で各区5株を測定した。トマト1株当たりの乾物重は各区10株を測定した。糖度は屈折式糖度計（ATAGO社製）を用いて、全ての商品果について測定した。

結果および考察

1 遮光処理の違いと累積遮光時間

第1図に2007年8月28日におけるハウス外の30分間積算日射量の推移と、各試験区の遮光時間帯を示した。この日は日の出から11時までは晴天で、その後、積算日射量は減少し、14時30分および15時30分に再度増加した。この日に積算日射量 $0.8\text{MJ}/\text{m}^2$ および $1.2\text{MJ}/\text{m}^2$ を指標値として、遮光カーテンを自動開閉すると、遮光時間は0.8MJ区で4時間、1.2MJ区で2時間30分と対照区の7時間に比べて短くなったことから、日射量減少時の過剰な遮光が回避できると考えられる。この方法により遮光処理期間中の累積遮光時間は、2007年では0.8MJ区および1.2MJ区がそれぞれ対照区の63%、33%、2008年では同様に71%、40%となった（第1表）。なお、指標値に30分間の積算日射量を用いた理由は、短い積算時間の方が制御精度がより高くなるが、遮光カーテンを頻繁に開閉することにより機械的トラブルが発生しやすい。そこで、30分間の積算時間で制御を行うことで、機械的トラブルを回避するためである。



第1図 積算日射量と遮光処理の違いによる遮光時間帯（2007年8月28日）

第1表 遮光処理の違いによる累積遮光時間

試験区	2007年		2008年	
	累積遮光時間 (時間)	(対照区比) (%)	累積遮光時間 (時間)	(対照区比) (%)
0.8MJ区	330	(63)	342	(71)
1.2MJ区	171	(33)	193	(40)
対照区	525	(100)	483	(100)

1) 遮光処理期間：2007年7月23日～9月7日（75日間）、2008年7月14日～9月22日（69日間）

2 ハウス内気温およびトマト葉温

遮光処理の違いによるハウス内の平均気温および葉温を第2表に示す。2007年の遮光処理期間 7月23日～9月7日の9時～16時におけるハウス内の平均気温は、無遮光区の39.3℃に対して、1.2MJ区が38.3℃、0.8MJ区が37.3℃、対照区が37.1℃と、累積遮光時間が長いほど低かった。

2007年8月16日の9時～16時における葉温は、無遮光区の37.2℃に対して、1.2MJ区が34.4℃、0.8MJ区が33.3℃、対照区が33.2℃と、平均気温と同様に累積遮光時間が長いほど低かった。一方、同日の9時～16時における平均気温は、無遮光区の42.4℃に対して、1.2MJ区が41.1℃、0.8MJ区が40.2℃、対照区が39.8℃といずれの試験区も無遮光区と比べると、葉温の方がハウス内の平均気温よりも低下したことから、遮光処理は気温よりもトマトの葉温の上昇を抑える効果が高いと考えられた。

3 光合成速度および乾物生産量

2008年における、トマト光飽和点付近の光強度2000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ での個葉の光合成速度は、0.8MJ区が17.1 $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ 、1.2MJ区が17.9 $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ と対照区の13.6 $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ に比べて有意に高かった(第4表)。柳ら(1992)は、低照度の条件下で生育したトマト葉身は陰葉化し、陽葉に比べて光飽和点の光合成速度が低くなると報告している。本試験においても対照区では過剰な遮光により陰葉化が進み、光合成速度が低下したと推察された。

また、無遮光区の光合成速度は11.5 $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ (データ略)で、対照区よりもさらに低かった。クロロフィル蛍光値は高温ストレスによる光合成活性の指標となるとされており(小田ら1993、佐藤ら2002)、吉田ら(2002)は、トマト小葉のクロロフィル蛍光値が、無遮光区では400w/ m^2 を指標値として50%遮光を処理する区に比べて、大きく低下するとし、これは無遮光区のトマトが利用能力を上回る過剰な光エネルギー

ギーを熱エネルギーとして散逸しているためと報告している。このことから、本試験において無遮光区に比べていずれの試験区も光合成速度が高くなった要因は、遮光処理により気温および葉温が低下し高温ストレスが回避されたためと推察される。

トマト1株当たりの乾物重は、2007年および2008年ともに0.8MJ区が対照区に比べて有意に重かった(第3表、第4表)。

4 収量および品質

2007年における商品果収量および1果重は、0.8MJ区が3.8t/10a、83gで対照区の3.7t/10a、79gと同等であったが、1.2MJ区の3.3t/10a、75gと比べて有意に重かった。これは2007年8月と9月の合計日照時間が平年値(392時間)の99%と平年並みであり、このような日照条件においては1.2MJ区では遮光が不足し、果実の肥大が抑制されたためと考えられる(第3表)。果実糖度、商品果率および不良果発生率は試験区間に差はみられなかった。

一方、2008年は8月と9月の合計日照時間が平年値の66%と少なく、2007年に比べて弱光条件であった。2008年における商品果収量および1果重は、0.8MJ区が5.3t/10a、104g、1.2MJ区が5.3t/10a、103gで、対照区の4.5t/10a、91gと比べて有意に重かった(第4表)。和田ら(2006)は遮光率0%、30%、55%および83%で処理した一段栽培したトマトの1果重および全果実収量は、遮光率が増加するにつれて低下すると報告している。本試験においても対照区では過剰な遮光により1果重および商品果収量が低下したと推察された。

また、2008年は弱光時に発生しやすい空洞果(高尾・田中1984)および小果の発生率が、0.8MJ区および1.2MJ区で対照区に比べて低く、商品果率が高かった(第4表)。このことも対照区に比べて、0.8MJ区および1.2MJ区で商品果収量が多くなった要因の一つと考えられる。果実糖度は0.8MJ区が6.9%および1.2MJ区が7.2%で対照区の6.4%と比べて有意に高かつ

第2表 遮光処理の違いによるハウス内平均気温およびトマト葉温(2007年)

試験区	遮光処理期間		8月16日 ²⁾			
	平均気温 ¹⁾		(無遮光区差)			
	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
0.8MJ区	37.3	(-2.0)	40.2	(-2.2)	33.3	(-3.9)
1.2MJ区	38.3	(-1.0)	41.1	(-1.3)	34.4	(-2.8)
対照区	37.1	(-2.2)	39.8	(-2.6)	33.2	(-4.0)
無遮光区	39.3	—	42.4	—	37.2	—
外気温	31.7	—	34.4	—	—	—

1)遮光処理期間の平均気温は2007年7月23日(遮光開始)～9月7日(収穫終了)、9:00～16:00の平均気温の平均値

2)2007年8月16日の平均気温は、9:00～16:00の気温(10分間隔)の平均値、葉温は、9:00～16:00の1時間ごと、10葉測定の前平均値

第3表 遮光処理の違いによるトマトの収量、品質および乾物重(2007年)

試験区	商品果収量 (t/10a)	1果重 (g)	糖度 (Brix %)	商品果率 (%)	不良果発生率		乾物重 (g/株)
					空洞果 (%)	小果 (%)	
0.8MJ区	3.8a ¹⁾	83a	7.8a	80.3a	2.1a	3.2a	120a
1.2MJ区	3.3b	75b	7.9a	82.7a	2.3a	6.9a	113ab
対照区	3.7ab	79ab	7.6a	82.3a	3.5a	5.4a	106b

1)異なる英文字間に5%水準で有意差あり(Tukey法)

第4表 遮光処理の違いによるトマトの収量、品質、光合成速度および乾物重（2008年）

試験区	商品果収量 (t/10a)	1果重 (g)	糖度 (Brix %)	商品果率 (%)	不良果発生率		光合成速度 ¹⁾ ($\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$)	乾物重 (g/株)
					空洞果 (%)	小果 (%)		
0.8MJ区	5.3a ²⁾	104a	6.9a	91.1a	2.0b	1.0b	17.1a	146a
1.2MJ区	5.3a	103a	7.2a	90.7a	0.5b	0.5b	17.9a	139ab
対照区	4.5b	91b	6.4b	75.1b	12.6a	8.1a	13.6b	125b

1)光合成速度は9月10日の晴天日(11:00~14:00)に、光強度2000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、流量500 $\mu\text{mol}/\text{s}$ 、葉温 33℃の一定条件で各区5株を測定

2)異なる英文字間に5%水準で有意差あり(Tukey法)

た(第4表)。柳ら(1995)は4段階の遮光条件で処理した一段栽培したトマトは、遮光程度が高いほど光合成産物の供給が低下するとともに、受光量減少により果実シンク能が低下し、アスコルビン酸含量および還元糖含量が減少すると報告している。本試験においても対照区では1株当たりの乾物重も減少したことから、過剰な遮光によりトマトの同化産物の合成とともに転流も減少し、糖度が低下したと推察される。

以上のことから、高温期のトマト低段密植栽培では、晴天日の9時から16時に常時遮光する対照区に比べて、30分間の積算日射量0.8MJ/m²および1.2MJ/m²を指標値として遮光カーテンを自動開閉することで、弱光時の過剰な遮光を回避できることが示唆された。光合成速度は0.8MJ区および1.2MJ区で生育した株は対照区に比べて高く、1株当たりの乾物重は2007年、2008年ともに0.8MJ区が対照区に比べて重かった。また、8月と9月の日照時間が平年値より少なかった2008年は、0.8MJ区および1.2MJ区で商品果収量が対照区に比べて多く、糖度も高かった。一方、日照時間が平年並であった2007年は、1.2MJ区では遮光が不足し、0.8MJ区が1.2MJ区に比べて商品果収量が多かった。これらのことから、遮光カーテンの自動開閉に最適な積算日射量の指標値は0.8MJ/m²と考えられた。

引用文献

- 岩堀修一・崎山亮三・高橋和彦(1963) トマトの高温障害に関する研究(第1報)、苗齢と障害の程度.園学雑.32: 197~204.
- 岩堀修一・高橋和彦(1964) トマトの高温障害に関する研究(第3報)、種々のステージの花蕾に及ぼす高温の影響.園学雑.33: 67~74.
- 小田雅行・李 智軍・辻 顕光(1993) 高温時の空気湿度と土壌水分がキュウリの葉緑素蛍光発生に及ぼす影響.園学雑.62(2): 399~405.
- 岡野邦夫(2001) 省力・軽作業の一段密植連続養液栽培.農業技術体系野菜編2 トマト, 農山漁村文化協会: 基654の12~18.
- 佐藤達雄・吉田 誠・大矢武志(2002) パルス振幅変調(PAM)クロロフィル蛍光測定法による野菜の高温ストレス耐性の検定.園学雑.71(1): 101~106.
- 橘 昌司・安川人央・惟任恵子(1990) 養液栽培トマトの尻腐病が夏季の栽培で多発する理由に関する研究.園学雑59別2: 364~365.
- 高尾宗明・田中幸孝(1984) 施設トマトの空洞果防止対策に関する研究.第2報 本圃の生育環境並び

に摘葉、摘果が空洞果の発生に及ぼす影響.福岡農総試研報B-4: 31~36.

宇井 睦・高野泰吉(1995) 果実肥大期における温度と培養液濃度が水耕トマトの尻ぐされ発生に及ぼす影響.生物環境調節.33: 7~14.

和田光生・池田英男・松下健司ほか(2006) 夏季の遮光が一段栽培したトマト果実の収量と品質に及ぼす影響.園学雑.75(1): 51~58.

柳 智博・佐藤治雄・上田悦範ほか(1992) 遮光処理が一段摘心栽培トマトの個葉の光合成に及ぼす影響.園学雑61別2: 312~313.

柳 智博・上田悦範・佐藤治雄ほか(1995) 一段摘心栽培トマトの収穫果実の品質に及ぼす遮光処理と着果順位の影響.園学雑.64(2): 291~297.

吉田裕一・羽場清人・村上賢治・梶田正治(2002) 高温強日射時の遮光処理がトマト苗の乾物生産とエネルギー散逸に及ぼす影響.園学雑71別2: 345.