

葉面積を 4 水準に制御した樹高 3 m トマト個体群の収量解析

細井 徳夫

(平成 14 年 12 月 27 日 受理)

Analysis of yield from a 3 m high tomato community where the leaf area was controlled by using daily quantitative regulation of nitrogen at 4 different levels for a whole year

Norio Hosoi

Synopsis

The leaf area index (LAI) of 2 m and 3 m high communities was controlled by using daily quantitative regulation of nitrogen in 4 steps of 5 from 2 for a whole year. The high yielding ability 3 m tomato communities had been analyzed by comparing the form for light intercepting system and the yield components from 3 m and 2 m communities.

Key Word : LAI control, tall tomato community, quantitative regulation of nitrogen, analysis of yield.

I 緒 言

既報(細井 2000)において、窒素少量分肥施用による養液栽培トマト個体群の葉面積制御法を報告した。この方法を用い、 m^2 当たり 3.7 個体の栽植密度で草丈 2m の個体群葉面積を 6 水準に制御して、乾物生産に好適な葉面積指数(LAI)を検討したところ、日射量と温度等、気象資源の豊富な暖候期では LAI:5、気象資源の乏しい寒候期は LAI:4 と推定された。この個体群の葉面積を乾物生産に好適な水準の LAI:4 に周年制御し、個体群の生育活性が強い第 5 果房から第 10 果房の収穫期を日射量と温度資源の豊富な暖候期を中心に周年栽培すると、盛夏期も高温障害がなく良質な果実 30t/10a の生産が可能であった(細井, 2001a)。すなわち、個体群の葉面積を乾物生産に好適な状態に制御すると受光体勢が改善され、乾物生産量が最大となり、果実への乾物分配率も上昇することを確認した。

年間 30t/10a の収量が可能とされるトマト養液 1 段

栽培の個体群(小林 1997)は、LAI の等しい樹高 2m 個体群と比較すると、草丈が低く、葉は相互に重なり、受光体勢や蒸散条件および個体群内の CO_2 環境(CO_2 ガス濃度およびガス交換)は明らかに不良である。

一方、個体群の草丈を高くすると光透過率だけでなく、 CO_2 の吸収や蒸散機能も改善されると推察される。このような観点に立つと高軒高のフェンロー温室に草丈の高い個体群を形成するオランダ方式のトマト栽培は、小型の葉が広い空間に分散して光透過がよく、好ましい受光体勢を持ち乾物生産能力が高いと推察される。オランダ方式のトマト個体群については、個体密度(Amsen et al., 1971, Anker et al., 1980)と収量性、誘引方式(Hendix, 1984)と収量性の関係が研究されている。高軒高フェンロー温室、ロックウール養液栽培、ハイワイヤー誘引およびレール方式作業車システムの組み合わせたオランダ式トマト栽培は、樹高 2m の従来の栽培と比較し、労働力の分散(Hendix, 1984)と栽培の端境期にあたる高価格季節に出荷(Veeman, 1980)が可能であり、この方式の高い収量性は、従来の栽植密度を維持

しつつ、常に高さ2.5~3.5mの高所にあるトマトの生長点に日射が恒常的に当たり、生育が活発化すること起因するとされた(Atherton et al., 1986)。

この草丈の高い個体群を形成するオランダ方式のトマト栽培が日本において導入されつつある。しかし、トマト個体群に関し、草丈の高さと受光体勢、乾物生産量、収量の関係に関する研究は個体群の葉面積制御が難しく(辻ら, 1977)、検討されていない。そこで、窒素少量分肥用法を用いて、草丈の高いトマト個体群の葉面積を4段階に制御し、生長速度、受光体勢、蒸散量、乾物生産量および果実への乾物分配率を従来の樹高2mの個体群と比較したところ、草丈の高い個体群は、受光体勢と蒸散機能が改善されており、高い乾物生産機能が周年維持され、生長速度も速い結果を得た。すなわち、オランダ方式の草丈の高い個体群を形成する栽培法は、吸水ストレスが弱い養液栽培条件では樹高2mの日本の一般的な栽培法に比較し、管理作業は困難であるが乾物生産量が多く、果実への乾物分配率が高く、多収が可能な栽培法であることを確認したので報告する。

本研究の遂行にあたり、培養液と果実の無機分析には宮浦紀史氏(大塚化学(株)鳴門研究所)、研究の取り纏めに細野達夫主任研究官、栽培管理に太田栄一技官、池田久夫技官、石川一成技官、新美五世夫技官、岩切浩文技官、初山敏夫技官、河野真人技官の御援助をいただいた。ここに感謝の意を表す。

II 材料及び方法

1. 育苗と定植

品種‘サターン’を供試し、個体群の目標とするLAIが2と3の試験区は、1997年5月15日にバーミキュライト培地へ播種し、3葉期まで養成した後、育苗用の循環型水耕栽培容器(1m×2m×0.6m)に移植した。育苗には、養液栽培用肥料・大塚1号改(大塚1号から窒素を除去したもの)を用い、培養液のEC(電気伝導度)を0.7(dS・m⁻¹)、pHを5に調整した。窒素成分は、大塚2号(Ca(NO₃)₂)を用い、窒素を個体当たり2~3mg毎日施用し、自然光下で、窒素がやや不足ぎみの条件で育苗した。第1花房開花期の苗を、7月15日、9m×22mの温室に、幅0.60m×長さ20.5mの湛液式循環水耕装置(せせらぎ式養液栽培装置)6台の中で西側から1番目の1号栽培槽、2番目の2号槽、3番目の3号槽に各124個体定植した。西側から1番目の栽培槽は、施設の構造に合わせて樹高2m、LAI:2の個体群を

目標に栽培し、既存の結果(細井, 2001a)との比較および樹高3m、LAI:2の個体群の対照区とした。西側2番目の栽培槽は樹高3m、LAI:2の個体群、3番目の栽培槽は樹高3m、LAI:3の個体群を目標に栽培した。

個体群の目標とするLAIが4と5の試験区は、1997年6月15日にバーミキュライト培地へ播種し、3葉期まで養成した後、育苗用の循環型水耕栽培容器(1m×2m×0.6m)に移植した。育苗は、LAIが2の個体群の苗に準じた。第1花房開花期の苗を、1997年8月15日西側から4番目の4号栽培槽、5番目の5号槽に各124個体定植した。9月3日に西側から6番目の6号栽培槽に124個体を定植した。西側から4番目の栽培槽は樹高3m、LAI:4の個体群、西側から5番目の栽培槽は樹高3m、LAI:5の個体群を目標に栽培した。西側から6番目の栽培槽は、樹高2m、LAI:4の個体群を目標に栽培し、既存の結果(細井, 2001a)との比較および樹高3m、LAI:4の個体群の対照区とした。

2. 栽培法

栽培槽の培養液の濃度は大塚1号改を用い生育ステージによって変えた。すなわち、第1~3花房開花期の培養液濃度をEC:0.7~1.5(dS・m⁻¹)、第3~5花房開花期はEC:1.5~1.7、第5花房開花期以後はEC:1.7~2.0の範囲に機器(せせらぎ式養液栽培装置)により自動調節した。培養液のpHは5~6に調節した。各花房の開花期にトマトトン溶液を処理して着果を促進した。暖候期は0.3%のCaCl₂溶液を毎週1回幼果に散布し、尻腐れ果の発生を予防した。

誘引は、斜め誘引法を用いた。樹高3m以上に達した主茎の先端を、高さ2.8mの空間に生葉数が25~28枚程度存在するよう降し、斜めに誘引した。

目標葉面積指数2, 3, 4および5、樹高3mトマト個体群を形成するため、窒素施用量を下記の指標により制御した。所定の窒素量(細井, 2000)を毎日施用して、果房当たりの着生果数3を目標に第5花房開花期の個体を養成した。さらに第5~12花房開花期にかけて、窒素施用量を下記の要領で逐次修正し、樹高3m、LAIが2~5と異なる個体群を育成した。

なお、施設内の環境変化や作物の生育が進むなかで、樹高3mのトマト個体群を目標葉面積に維持するため、個体群のLAIを月1回調査し(細井, 1997)、毎日施用する窒素量を調節した。次の葉面積調査までの毎日施用する窒素量は、下記の指標により制御した。すなわち、毎日の施用窒素量の量的制御を行うとトマト個体の生育

と発育は施用窒素量により制限され、吸収窒素の分配はトマト果実>茎葉>果房当たり花数の優先順位が存在する。従って、開花花房から下位の3果房に着生する果数9を基本に、果数が多い場合は窒素施用量を10%ほど増し、開花花房の着生部の茎径が収穫期果房の着生部の茎径より太い場合は施用量を10%ほど減らした。また、収穫期果房の着生する節間と比し開花花房の着生節間が長い場合は窒素施用量を10%増した。この方法によれば、LAI:4の個体群の個体当たり毎日施用する窒素量は、暖候期60~100mg、寒候期40~60mgであり、試作制御器により自動調節した。

4~11月の天窓の開閉温度は20~23℃、側窓の開閉温度が25℃、換気扇の稼働温度を27℃に設定した。12~3月の温湯暖房機の稼働温度を10℃、換気扇の稼働温度を30℃に変えて施設環境を管理した。

3. 調査法

個体群葉面積は、月当たり1回、個体群の持続的維持が可能な葉面積調査法(細井, 1997)により調査した。葉面積調査に伴う生葉数の調査に合わせて生育調査を実施した。調査項目は主茎長、主茎葉数、生葉数、開花花房数、収穫果房数等である。収量調査は、暖候期は週当たり2回、寒候期は週当たり1回行い、果実重及び糖度を調査した。乾物生産量と果実への乾物分配量を把握するため、収穫可能な小果、奇形果、裂果等も果実重に加えた。本試験は売却可能な果実の収量を把握するため、奇形果、裂果等の不良果、50g以下の小果等は収量から除いた。

各栽培槽に対応する培養液槽の水位をフロートレス水位制御装置と電磁弁を用い制御し、供給された水量を水道メータを用いて定時に毎日記録し、吸水量(蒸散量)とした。

個体群の生産構造を調査するため、寒候期(1月第6半旬(LAI:2と3)と2月第5半旬(LAI:4と5))と暖候期の試験終了時(7月第6半旬(LAI:2と3)と8月第6半旬(LAI:4と5))に個体群内の高さ別の照度と日射量をうす曇りの正午ころ測定した。10個体を層別に15cm間隔で茎に印を付けて層別に刈り取り、各々の層別に葉面積調査および器官別の生重と乾物重を調査した。

III 結 果

1. 生育と収量調査

樹高3m、目標LAIが2, 3, 4, 5の個体群および樹高2m、目標LAIが2と4の個体群についてLAIの調査結果をTable 1に示した。

樹高2m、目標LAIが2の個体群は、定植2ヵ月後の9月から個体群のLAIが目標値2に達し、その後LAIは2程度で推移した。目標LAIが4の個体群は、11月から個体群のLAIが4に達し、その後LAIは4程度で推移した。

樹高が2mから3mに変わると、生葉数が必然的に増加すると推定される。そこで1葉当たりの葉面積を小型に制御し、茎長3mに達した時点で、目標LAIに到達するよう毎日の窒素施用量を調節した。すなわち、樹高

Table 1 Effects of daily control of nitrogen fertilizer on the leaf area index of tomatoes at a height of 2m* and 3m** at the first ten days of every month.

LAI Target ¹⁾	LAI Month														Mean LAI
	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	
2 ²⁾ **		0.5	1.8	2.2	2.2	2.1	2.1	2.0	1.9	1.9	2.0	2.1	2.0		2.05 ⁵⁾
3 ²⁾ **		0.5	2.3	3.3	3.3	3.2	3.2	3.1	3.0	2.9	2.8	2.8	2.9		3.06 ⁵⁾
4 ³⁾ **			1.4	2.6	3.7	4.2	4.2	4.0	3.8	3.8	3.8	4.0	4.2	4.1	3.96 ⁶⁾
5 ³⁾ **			0.8	2.8	4.1	4.9	5.1	4.8	4.8	5.0	5.2	5.2	5.1	5.0	5.01 ⁶⁾
2 ²⁾ *	0.7	2.2	2.1	2.1	2.0	2.0	1.9	2.0	2.1	2.2	2.1	2.1			2.07 ⁵⁾
4 ⁴⁾ *		0.6	2.9	4.2	4.2	4.1	4.0	3.9	3.8	3.9	3.9	4.0	4.0		4.00 ⁶⁾

* The leaf area of the tomato plants that has been training at 2m at the tip of stem

** The leaf area of the tomato plants that has been training at 3m at the tip of stem

1) The aim of LAI control of the tomato plants

2) Sowing date : 1997 May. 15. Planting date : 1997 Jul. 15.

3) Sowing date : 1997 Jun. 15. Planting date : 1997 Aug. 15.

4) Sowing date : 1997 Jun. 15. Planting date : 1997 Sep. 3.

5) Mean of the leaf area index of tomatoes from Oct. in 1997 to Jul. 1998.

6) Mean of the leaf area index of tomatoes from Nov. in 1997 to Aug. 1998.

3m, 目標 LAI が 2 と 3 の個体群は, 定植 3 ヶ月後の 10 月から個体群の LAI は 2 と 3 に達し, その後ほぼ目標 LAI に推移した. 目標 LAI が 4 と 5 の個体群は, 定植 4 ヶ月後の 12 月から個体群の LAI が 4 と 5 に達し, その後 LAI は 4 と 5 程度に推移した.

樹高 3m, 目標 LAI が 2, 3, 4, 5 の個体群および樹高 2m, 目標 LAI が 2 と 4 の個体群の月別生葉数を Table 2 に示した.

樹高 2m, 目標 LAI が 2 の個体群は, 定植 2 ヶ月後の 9 月には個体群の生葉 26 枚程度に達し, その後 25 枚程度に推移した. 樹高 2m, 目標 LAI が 4 の個体群は, 10 月には個体群の生葉数が 25 枚程度に達した後, 寒候期の生葉数は明らかに減少し, 18~23 枚程度となり樹高 2m, LAI : 2 の個体群と比較し生葉数がやや少なく推移した.

樹高 3m, 目標 LAI が 2 の個体群は, 定植 2 ヶ月後の 9 月に生葉数が 29 枚に達し, その後 28 枚程度に推移した. 樹高 3m, 目標 LAI が 3 の個体群の生葉数は, 定植 2 ヶ月後の 9 月から 29 枚に達し, その後 28 枚程度に推移した. 樹高 3m, 目標 LAI が 4 の個体群の生葉数は, 定植 3 ヶ月後の 11 月に個体群 28 枚に達し, その後も 27 枚以上に推移した. 目標 LAI が 5 の個体群の生葉数は, 定植 2 ヶ月後の 10 月に 27 枚に達し, その後も 27 枚以上に推移した.

LAI : 2 の個体群生葉数は, 樹高が 2m から 3m に変わると各月とも 3 葉程度増加した. 一方, 樹高 3m, LAI が 4 の個体群の生葉数は, 樹高 2m 個体群と比較し日射量が乏しい寒候期では 10 葉, その他の生育期間では 4~6 葉多く推移した.

樹高 3m, 目標 LAI が 2, 3, 4, 5 の個体群および樹

高 2m, 目標 LAI が 2 と 4 の個体群の月別蒸散量を Table 3 に示した.

目標とする LAI が 2, 樹高が 2m と 3m の個体群について, 樹高 2m 個体群の月別蒸散量は, 樹高 3m 個体群と比較し 12 月以後わずかに多く推移したが, 年間蒸散量の差異は小さかった. 樹高 3m, LAI : 4 の個体群の月別蒸散量は, 樹高 2m, 乾物生産に好適であった LAI : 4 の個体群と比較すると, 11 月以後常に多く推移した. LAI が 4 であると樹高 3m 個体群の年間蒸散量は, 2m 個体群より明瞭に優った.

樹高 3m 目標 LAI : 3 の個体群の蒸散量は, 樹高 3m, LAI : 2 の個体群と比較し常に多く推移した. 目標 LAI : 4, 樹高が 3m の個体群は, LAI : 3 の個体群の月別蒸散量と比較し, 12 月以後常に多く推移した. 樹高 3m, 目標 LAI : 5 の個体群は, 樹高 3m, LAI : 4 の個体群の月別蒸散量と比較すると, 樹高が 3m に達した 11 月から翌年 4 月までは少なく, 5 月以後は多く推移した.

樹高 3m, 目標 LAI が 2, 3, 4, 5 の個体群について, 年間蒸散量を比較すると LAI の大きい個体群ほど蒸散量は多かった.

樹高 3m, 目標 LAI が 2, 3, 4, 5 の個体群および樹高 2m, 目標 LAI が 2 と 4 の個体群の月別収量と果実糖度の調査結果を Table 4 に示した. 樹高 2m, 3m 個体群の月別収量は, 収穫開始月から翌月までは播種月と移植月が異なる各区とも増加し, その後, 寒候期の 2 月まで減少した. 3 月からは増加に転じ, 7 月, 8 月は前月と比較しやや減少した. また, 樹高 2m, LAI が 2 と 4 の個体群の月別収量は, 収穫開始月と翌月を除き LAI : 4 の個体群が優り, 年間収量も LAI : 4 個体群が LAI : 2 より優った.

Table 2 Effects of daily control of nitrogen fertilizer on the number of green leaves on the main stem of tomato plants at a height of 2m* and 3m** at the first ten days of every month.

LAI Target ¹⁾	Month														Mean
	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	
2 ²⁾ **	13.7	22.7	29.4	29.3	29.0	28.8	28.6	28.9	28.2	28.1	28.0	27.9	28.4		28.6
3 ²⁾ **	17.4	26.7	29.0	28.8	28.6	28.5	28.4	28.2	28.0	28.9	27.8	27.8	28.2		28.4
4 ⁵⁾ **		16.5	25.6	27.5	28.5	28.4	28.2	28.0	28.0	27.7	27.5	27.6	27.5	27.6	27.8
5 ⁵⁾ **		16.5	25.4	27.6	27.8	27.3	27.1	27.2	27.5	27.6	27.4	27.9	27.7	27.7	27.3
2 ²⁾ *	13.8	20.6	26.2	26.0	25.7	25.2	26.1	25.8	25.4	25.9	25.3	25.4	25.5		25.7
4 ⁴⁾ *		15.4	21.7	25.0	22.9	16.7	18.0	21.2	22.9	22.7	23.8	23.6	23.2	22.8	22.0

* The leaf area of the tomato plants that has been training at 2m at the tip of stem

** The leaf area of the tomato plants that has been training at 3m at the tip of stem

1) The aim of LAI control of the tomato plants

2) Sowing date : 1997 May. 15. Planting date : 1997 Jul. 15.

3) Sowing date : 1997 Jun. 15. Planting date : 1997. Aug. 15.

4) Sowing date : 1997 Jun. 15. Planting date : 1997. Sep. 3.

Table 3 Effects of daily control of nitrogen fertilizer on the amount of transpiration per plant per day each month.

LAI ¹⁾ Target	Amount of water transpiration (liter/plant/day)												Total***	
	Month													
	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	
2 ²⁾ **	0.18	0.42	0.78	0.79	0.37	0.34	0.31	0.40	0.42	0.47	0.52	0.61		629.9
3 ²⁾ **	0.18	0.58	0.87	0.81	0.48	0.46	0.37	0.49	0.51	0.52	0.68	0.70		751.8
4 ³⁾ **		0.14	0.35	0.69	0.67	0.55	0.42	0.53	0.61	0.69	0.77	0.91	0.93	806.8
5 ³⁾ **		0.15	0.39	0.63	0.58	0.47	0.36	0.53	0.60	0.72	0.88	0.94	0.99	824.2
2 ²⁾ *	0.20	0.46	0.66	0.76	0.42	0.35	0.34	0.42	0.44	0.49	0.53	0.65		646.4
4 ⁴⁾ *		0.20	0.46	0.67	0.55	0.47	0.35	0.48	0.54	0.58	0.65	0.77	0.79	737.9

* The amount of transpiration of the tomato plants that has been training at 2m at the tip of stem

**The amount of transpiration of the tomato plants that has been training at 3m at the tip of stem

***The total amount of transpiration of tomato plants (t/10a/year)

1) The aim of LAI control of the tomato plants

2) Sowing date : 1997 May. 15. Planting date : 1997 Jul. 15.

3) Sowing date : 1997 Jun. 15. Planting date : 1997. Aug.15.

4) Sowing date : 1997 Jun. 15. Planting date : 1997. Sep. 3.

Table 4 Effects of the different levels of leaf area index on the yield (kg/124 plants) and Brix of tomatoes at a height of 2m* and 3m**.

LAI Target ¹⁾	Yield (kg/124plants)												Yield (t) / 10a/Year
	Month												
	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	
2 ²⁾ **	137	122	109	98	83	37	43	59	56	63	66		26.2
(Brix)	(4.9)	(5.3)	(5.6)	(5.9)	(6.2)	(6.6)	(6.5)	(6.2)	(6.1)	(6.1)	(6.0)		
3 ²⁾ **	135	155	143	109	86	58	52	75	82	100	95		33.1
(Brix)	(4.9)	(5.2)	(5.6)	(5.7)	(5.9)	(6.1)	(6.2)	(6.1)	(6.0)	(6.0)	(6.0)		
4 ³⁾ **		132	150	145	93	78	77	88	114	130	134	132	38.3
(Brix)		(5.0)	(5.3)	(5.5)	(5.6)	(5.8)	(6.0)	(6.0)	(6.0)	(5.8)	(5.6)	(5.6)	
5 ³⁾ **		109	154	136	85	67	79	91	119	146	145	142	38.2
(Brix)		(5.0)	(5.2)	(5.5)	(5.5)	(5.8)	(5.9)	(5.9)	(6.0)	(5.8)	(5.7)	(5.5)	
2 ²⁾ *	138	127	107	92	87	39	47	50	63	67	66		26.5
(Brix)	(4.9)	(5.3)	(5.6)	(5.8)	(6.1)	(6.3)	(6.3)	(6.1)	(6.1)	(6.1)	(6.1)		
4 ⁴⁾ *		81	131	116	94	53	48	67	87	83	87	80	27.3
(Brix)		(4.9)	(5.2)	(5.3)	(5.5)	(5.8)	(5.9)	(5.7)	(5.6)	(5.4)	(5.4)	(5.5)	

* The leaf area of the tomato plants that has been training at 2m at the tip of stem

**The leaf area of the tomato plants that has been training at 3m at the tip of stem

1) The aim of LAI control of the tomato plants

2) Sowing date : 1997 May. 15. Planting date : 1997. Jul. 15.

3) Sowing date : 1997 Jun. 15. Planting date : 1997. Aug. 15.

4) Sowing date : 1997 Jun. 15. Planting date : 1997. Sep. 3.

目標 LAI が 2 である樹高 2m と 3m の個体群の月別収量と年間収量は、ほぼ等しかった。目標 LAI が 4 である樹高 3m 個体群の年間収量は、LAI : 4 樹高 2m の個体群より 40%、11t/10a 多収であった。

樹高 3m, LAI : 3 の個体群は、樹高 3m, LAI : 2 の個体群の月別収量と比較し、各月とも優り、年間収量は顕著に多かった。樹高 3m, LAI : 4 の個体群は、樹高 3m, LAI : 3 の個体群の月別収量と比較し、11 月以後常に優り、年間収量も多かった。樹高 3m, LAI : 5 の

個体群は、樹高 3m, LAI : 4 の個体群の月別収量と比較し、収穫開始月から翌年 2 月までは劣ったが、3 月から 8 月までは優り、年間収量はほぼ等しかった。

樹高 3m 個体群の月別果実糖度は、個体群の LAI が大きいほど低下した。樹高 3m 個体群の月別果実糖度は、LAI の等しい樹高 2m 個体群と比較し、常に高く維持された。

樹高 3m, 目標 LAI が 2, 3, 4 および 5 の個体群の 1, 2, 3 月および 5, 6, 7 月の平均 LAI と収量の関係を

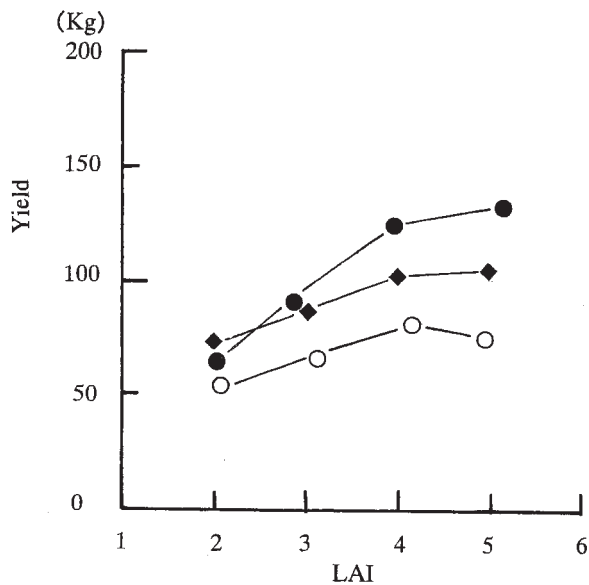


Fig. 1 Relationships of the yield and the leaf area index (LAI) of tomato communities in greenhouses

- : Yield of 124 plants (Average of Jan. Feb. Mar. in 1998) and leaf area index (LAI; Average of the 3 month, 3.7 plants/m²)
- : Yield of 124 plants (Average of May, Jun. Jul. in 1998) and leaf area index (LAI; Average of the 3 month, 3.7 plants/m²)
- ◆ : Yield of 124 plants (Average of the 12 month from planting)
Sowing date : 1997 May. 15.~Jun. 15. Planting date : 1997 Jul. 15.~ Aug. 15.

Fig. 1 に示した。寒候期の 1, 2, 3 月における樹高 3m 個体群は、LAI が 2~4 まで LAI の増加に伴い収量も直線的に増加し、LAI : 5 に至ると収量はやや減少した。すなわち、寒候期の個体群 LAI : 2~4 弱は、①窒素の施用量増加に伴い個体群の葉面積が拡大し、光合成量と収量の増加が期待される窒素水準に相当する。個体群の LAI : 4 に至ると、②窒素の施用量増加に伴い個体群の葉面積は拡大するが、光合成量と収量の大きな増加が期待できない窒素水準で、この葉面積において個体群の収量は最大となる。LAI : 5 の個体群は、③窒素の施用量増加に伴う個体群葉面積の拡大が相互遮蔽を増大させ、光合成量と収量が減少する窒素水準で、このとき個体群は過繁茂の状態にあることを示す。

一方、暖候期 5, 6, 7 月の平均 LAI と収量の関係は、LAI が 2~4 まで LAI の増加に伴い収量も直線的に増加した。LAI : 5 に至ると収量の増加率がやや減少した。すなわち、LAI : 2~4 は、①窒素の施用量増加に伴い個体群の葉面積が拡大し、光合成量と収量の増加が期待される窒素水準、LAI : 4~5 は、②窒素の施用量増加

に伴い個体群の葉面積は拡大するが収量の増加率が逡減する窒素水準、③窒素の施用量増加に伴う個体群葉面積の拡大が相互遮蔽を増大させ、光合成量と収量が減少する窒素水準、すなわち、過繁茂の状態にある個体群は認められなかった。

樹高 3m 個体群において、光合成と収量が最大に至る LAI は、日射が強く日照時間の長い暖候期は 5 程度、日射が弱く日照時間の短い寒候期は 4 であり、その場合の 124 個体/33m²当たりの収量は、暖候期 137kg/月、寒候期 82kg/月と 1.7 倍以上の差異が認められた。12 ヶ月間の LAI と収量の間関係を見ると、LAI が 2 から 4 まで収量と LAI は 1 次関数的に増加した。しかし LAI の 4 から 5 への増加に伴う収量の増加はごくわずかであった。

2. 生産構造調査

Fig. 1 の寒候期 (1, 2, 3 月) において、①に対応する LAI : 2.1 と 3.2 の 1 月下旬における過小葉面積個体群、②に対応する LAI : 4.0 の好適葉面積個体群および③に対応する LAI : 4.8 の過繁茂個体群の 2 月下旬における層別刈り取り結果を Fig. 2 に示した。

LAI : 2.1~4.8 の個体群において、地上 2.85~3.00 m 層から 1.80~1.95m 層までは、葉の伸展に伴い生葉重が増加した。地上 1.75~1.08m 層から 0.15~0.30m 層までは、下層になるほど葉の物理的痛みによって生葉重は順次減少した。地上 0.15m 以下の層では茎の傾きがやや大きく、LAI が相対的に大きい個体群の下位葉は相互遮蔽に伴い黄化し、離層を形成し脱落した。

LAI : 2.1 の個体群の相対照度曲線によれば、薄曇り正午における個体群の最上部照度が約 56klux のとき地上 0.60~0.75m 層を中心に照度が最も下がり (相対照度 : 0%)、照度は 5klux 弱であった。LAI : 3.2 の個体群では、薄曇り正午における個体群の最上部照度が約 57klux のとき地上 0.90~1.05m 層を中心に最も照度が下がり、照度は 4klux 強であった。LAI : 4 の個体群では、薄曇り正午における個体群の最上部照度が約 55klux のとき地上 1.05~1.20m 層を中心に最も照度が下がり、照度は 3klux 強であった。LAI : 4.8 の個体群では、薄曇り正午における個体群の最上部照度が約 55klux のとき地上 1.05~1.20m 層を中心に最も照度が下がり、照度は 3klux 弱であった。

各刈り取り層の茎重は、地上 2.85~3.00m 層より 1.80~1.95m 層まで順次重さを増し、この層から 0.75~0.90m 層までの変化は僅かであるが、それ以下の層では茎の傾きに比例して層別茎重はやや増加した。また、

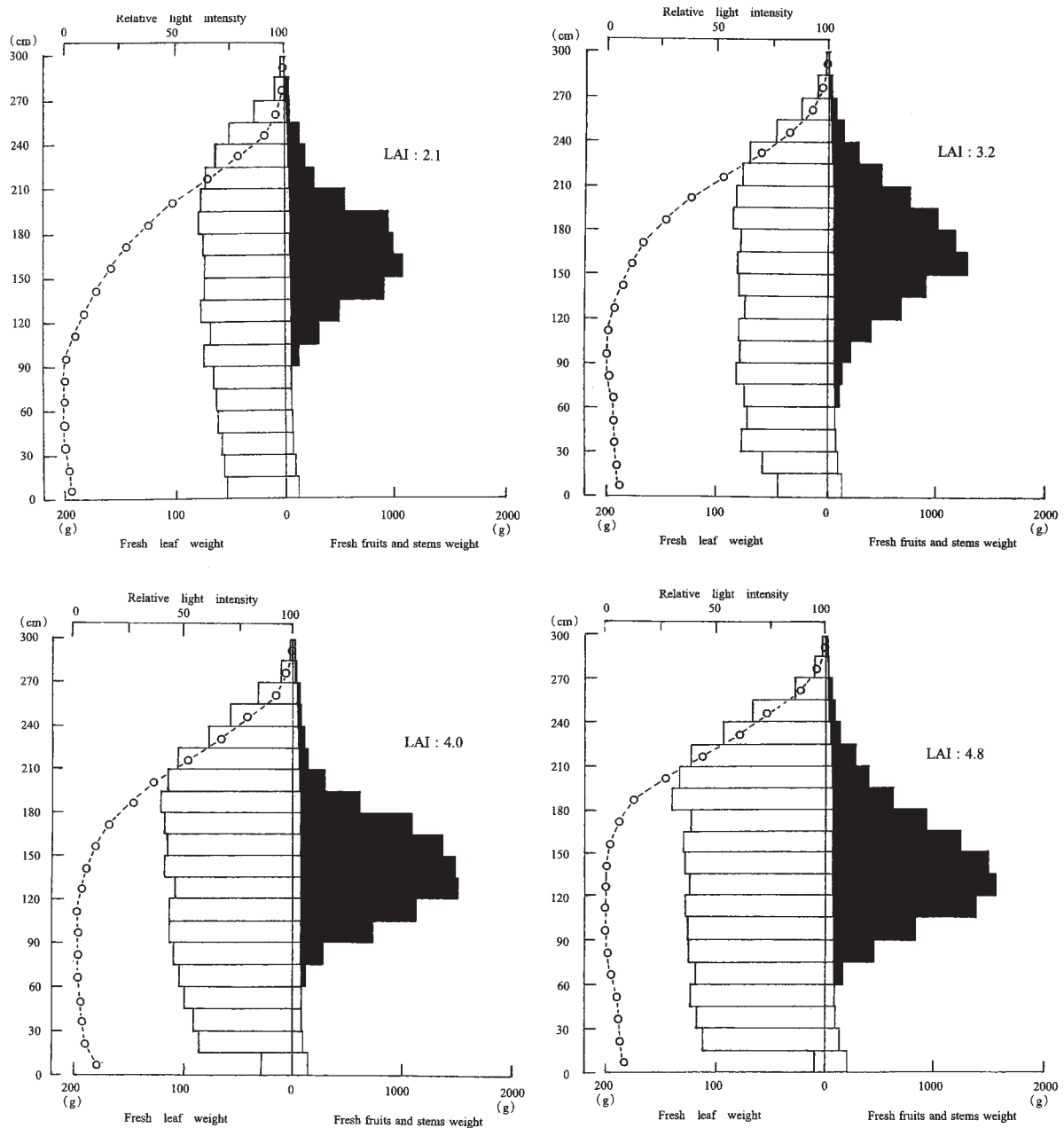


Fig. 2 Productive structure diagram of tomato communities at a height of 3m at the tip of stem with different LAI in greenhouses

Upper left community with LAI : 2.1

Upper right community with LAI : 3.2

Sowing date : 1997 May. 15. Planting date : 1997 Jul. 15. Investigate date : 1998 Jan. 25~31.

Under left community with LAI : 4.0

Under right community with LAI : 4.8

Sowing date : 1997 Jun. 15. Planting date : 1997 Aug.15. Investigate date : 1998 Feb. 20~25.

個体群の葉面積指数が LAI : 2.1 から LAI : 4.8 に増すに伴い各刈り取り層の茎重も僅かに増加した。LAI : 2.1 の個体群の果実重 (未熟+成熟果実) は、地上 1.50~1.65m 層が最も重く、0.75~0.90m 層までに熟した。LAI : 3.2 の個体群の果実重は、地上 1.50~

1.65m 層が最も重く、0.60~0.75m 層までに熟した。LAI : 4.0 の個体群の果実重は、地上 1.20~1.35m 層が最も重く、0.60~0.75m 層までに熟した。LAI : 4.8 の個体群の果実重 (未熟+成熟果実) は、地上 1.20~1.35m 層が最も重く、0.60~0.75m 層までに熟した。

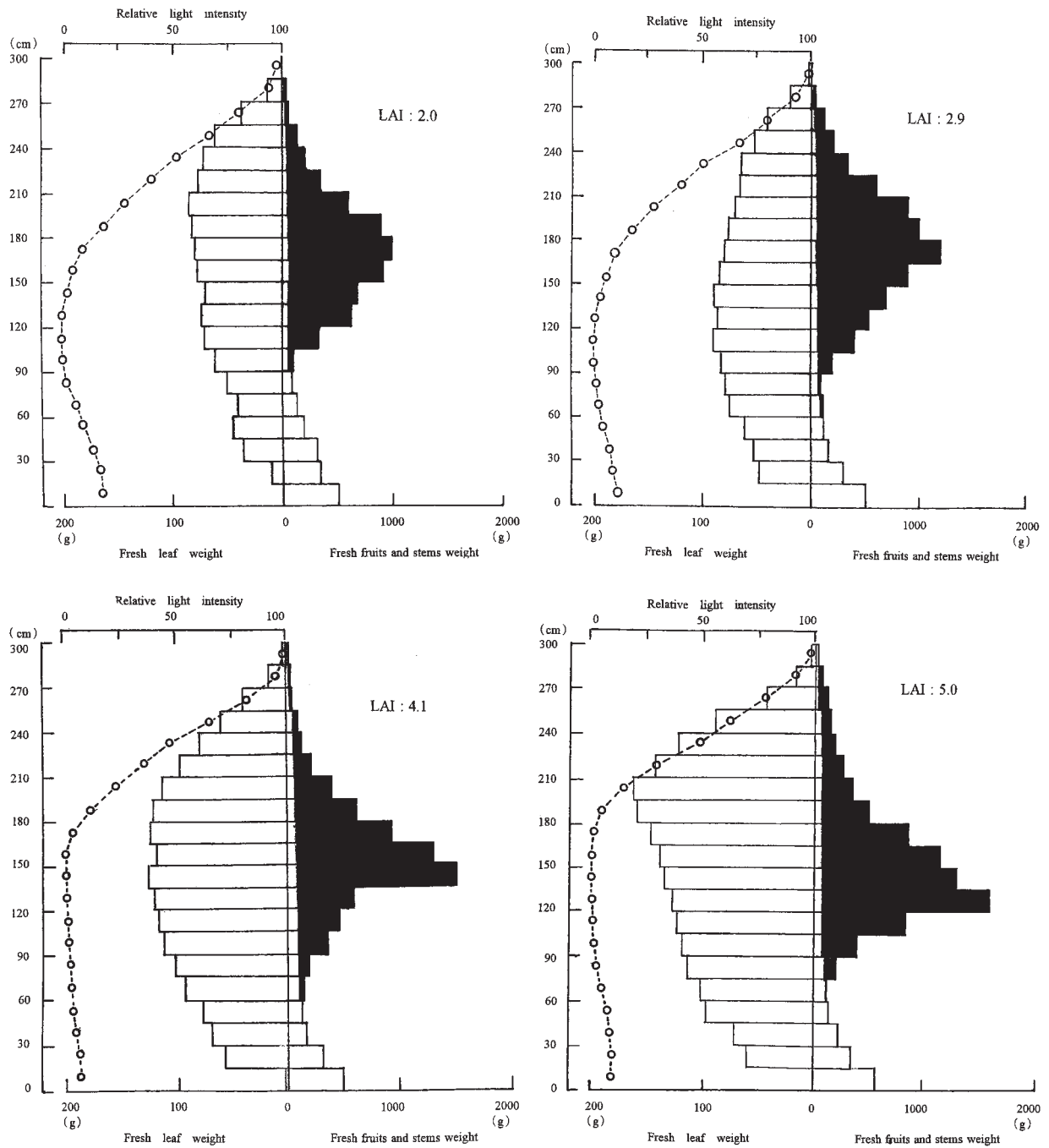


Fig. 3 Productive structure diagram of tomato communities at a height of 3m at the tip of stem with different LAI in greenhouses

Upper left community with LAI : 2.0 Upper right community with LAI : 2.9
 Sowing date : 1997 May. 15. Planting date : 1997 Jul. 15. Investigate date : 1998 Jul.25~31.
 Under left community with LAI : 4.1 Under right community with LAI : 5.0
 Sowing date : 1997 Jun. 15. Planting date : 1997 Aug.15. Investigate date : 1998 Aug.25~31.

従って LAI が 2.1 から 4.8 へ増すに伴い寒候期の収穫位置の上限は地上 1.65~1.50m から 1.35~1.20m へ約 30cm 下降した。

Fig. 1 の暖候期 (5, 6, 7 月) に対応する栽培終了時

の生産構造調査結果を Fig. 3 に示した。LAI : 2.0~5.0 の個体群において、地上 2.85~3.00m 層から 1.80~1.95m 層まで生葉重は葉の伸展に伴い増加した。地上 1.80~1.75m 層から 0.30~0.15m まで生葉重は LAI が

大きい区ほど下層の葉重が減少した。地上0.60m以下の層では茎の傾きが大きく、各LAIとも下位葉は相互遮蔽に伴い黄化し、離層を形成し脱落した。

過小葉面積個体群①に相当するLAI:2.0の個体群の相対照度曲線によれば、薄曇り正午における個体群の最上部照度が約63kluxのとき地上1.05~1.20m層を中心に照度が最も下がり(相対照度:0%)、照度は6klux弱であった。LAI:2.9の個体群では、薄曇り正午における個体群の最上部照度が約62kluxのとき地上1.05~1.20m層を中心に最も照度が下がり、照度は5.5kluxであった。LAI:4.1の個体群では、薄曇り正午における個体群の最上部照度が約62kluxのとき地上1.35~1.50m層を中心に最も照度が下がり、照度は5klux強であった。好適葉面積個体群②に相当するLAI:5.0の個体群では、薄曇り正午における個体群の最上部照度が約62kluxのとき地上1.50~1.65m層を中心に最も照度が下がり、照度は4klux強であった。

各刈り取り層の茎重は、地上2.85~3.00m層より1.80~1.95m層まで順次重さを増し、この層から0.75~0.90m層までの変化は僅かであるが、それ以下の層では茎の傾きに比例して層別茎重が大幅に増加した。また、個体群のLAIが2から5へ増すに伴い各刈り取り層の茎重も僅かに増加した。LAI:2.0の個体群の果実重(未

熟+成熟果実)は、地上1.65~1.80m層が最も重く、0.90~1.05m層までに熟した。LAI:2.9の個体群の果実重は、地上1.65~1.80m層が最も重く、0.90~1.05m層までに熟した。LAI:4.1の個体群の果実重は、地上1.35~1.50m層が最も重く、0.60~0.75m層までに熟した。LAI:5.0の個体群の果実重(未熟+成熟果実)は、地上1.20~1.35m層が最も重く、0.60~0.75m層までに熟した。すなわち、樹高3mに誘引すると暖候期の収穫位置の上限は1.8mと高く収穫には補助器具を必要とする。また、LAIが2.0から5.0へ増すに伴い暖候期の収穫位置の上限は地上1.65~1.80m層から1.20~1.35m層へ約45cm下降した。

3. 収量構成要素調査

樹高3m、目標LAIが2, 3, 4, 5の個体群および樹高2m、目標LAIが2と4の個体群の収量構成要素調査結果をTable 5に示した。

Fig 1, 2と対応する定植から200日経過した1月下旬のLAI:2の個体群について、樹高3mの茎長が4.34m、樹高2mの茎長は4.35mと、このLAI水準では差異はなかった。LAI:2の個体群においては、樹高3mと2mの個体群間で茎長と同様な傾向が、葉数、花房数、収穫果房数、収量、果数、果房当たり果数および

Table 5 Effects of the daily control of nitrogen fertilizer on the growth of tomatoes plants at a height of 2m* and 3m**

LAI Target ¹⁾	Days of cultivation	Stem length (m)	Num. of leaves	Num. of flowering clusters	Num. of fruit clusters ⁵⁾	Yield (kg)/plant	Number of fruits /plant	Number of fruits/ clusters	Weight of each fruit (g)
2 ²⁾ **	200	4.34	57.1	17.1	10.6	4.42	26.7	2.5	165.2
3 ²⁾ **	200	4.48	59.8	17.6	10.7	5.06	31.3	2.9	161.4
4 ³⁾ **	196	4.54	61.9	17.6	10.8	4.82	31.4	2.9	153.1
5 ³⁾ **	196	4.49	61.7	17.5	10.5	4.44	29.5	2.8	150.5
2 ²⁾ *	200	4.35	57.3	17.4	10.4	4.44	27.2	2.6	162.8
4 ⁴⁾ *	178	4.43	58.0	17.2	10.1	3.83	27.3	2.7	140.3
2 ²⁾ **	380	8.28	99.4	32.6	26.8	7.00	45.5	1.7	153.9
3 ²⁾ **	380	8.51	115.2	33.3	27.5	8.86	58.8	2.1	150.7
4 ³⁾ **	380	8.65	118.9	33.5	27.7	10.29	72.1	2.6	142.9
5 ³⁾ **	380	8.59	118.4	33.4	27.2	10.26	71.9	2.6	142.7
2 ²⁾ *	380	8.17	96.1	29.9	25.2	7.08	47.3	1.9	149.6
4 ⁴⁾ *	362	8.21	97.3	30.1	24.9	7.30	54.1	2.2	135.7

* The leaf area of the tomato plants that has been training at 2m at the tip of stem

**The leaf area of the tomato plants that has been training at 3m at the tip of stem

1) The aim of LAI control of the tomato plants

2) Sowing date : 1997 May. 15. Planting date : 1997 Jul. 15. Investigate date : 1998 Jan. 25~31 and Jul. 25~31

3) Sowing date : 1997 Jun. 15. Planting date : 1997. Aug. 15. Investigate date : 1998 Feb. 20~25 and Aug. 25~31

4) Sowing date : 1997 Jun. 15. Planting date : 1997. Sep. 3. Investigate date : 1998 Feb. 20~25 and Aug. 25~31

5) Number of fruit clusters after harvesting Electric conductance of nutrient solution (EC) : 1.7 (dS · m⁻¹)

1果重で認められた。

定植から200日経過した樹高3m, LAI:2の個体群と比較し, LAI:3の個体群の茎長は14cm長く, 葉数は2.8枚多く, 花房数は0.5段多く, 個体当たり収量は0.6kg多く, 果数は4.6個多く, 果房当たりの果数が0.4個多かった。一方, 収穫果房数の差異はなく, LAI:2の個体群と比較し, LAI:3の1果重は軽かった。

8月中旬定植から196日, 樹高3m, LAI:4の個体群と, 定植から178日, 樹高2m, LAI:4の個体群については, 栽培期間18日の差異を反映し, 樹高3mの個体群はすべての調査形質で優れた。また, 生育日数の影響を直接受けない1果重も樹高3m個体群が樹高2m個体群に比較し明らかに重かった。

定植から196日, 樹高3m, LAI:4の個体群と比較し, LAI:5の個体群の茎長, 葉数, 花房数, 収穫果房数, 個体当たり収量, 果数, 果房当たりの果数および1果重ともわずかに劣った。

個体群の草丈の高さを3m, LAIを2, 3, 4, 5と変えて, 播種から440日, 定植から380日間栽培したFig. 1, 3に対応する個体群について, 生長の早さを表す茎長と葉数の個体群順位は, LAI:4>5>3>2を示した。収量構成要素の収穫果房数の個体群順位は, LAI:4>3>5>2を示した。また, 収量がLAI:4>5>3>2の個

体群順位を示す原因は, 1果重の個体群順位がLAI:2>3>4>5であっても, 個体当たり果数に関するLAI:4>5>3>2の個体群間の差異が大きいことに因る。

380日栽培したLAI:2の個体群において, 樹高2m個体群の生長速度を表す形質の茎長, 葉数, 開花花房数, 収穫果房数のいずれも樹高3m個体群に劣った。しかし, 個体当たり果数, 果房当たり果数は樹高2m個体群, 1果重は樹高3m個体群が優っており, 結果として個体群の樹高3mと2m間の収量に差異は無かった。

一方, 362日栽培したLAI:4の個体群において, 樹高2m個体群の生長速度を表す形質の茎長, 葉数, 開花花房数, 収穫果房数のいずれも380日栽培した樹高3m個体群に比較し著しく劣った。また, 樹高2m個体群の個体当たり果数, 果房当たり果数, 1果重は, 樹高3m個体群と比較しいずれも劣っており, 樹高3m個体群の収量は樹高2m個体群に比較し30%優れた。

4. 乾物の生産と分配の調査

樹高3m, 目標LAIが2, 3, 4, 5の個体群および樹高2m, 目標LAIが2と4の個体群について, Fig. 1, 2, 3に対応する定植196~200日後と栽培終了時の個体の生葉重, 茎重および幼果重をTable 6に示した。

寒候期の1月末および2月末の調査個体群では, 葉重

Table 6 Fresh weight of leaf, stem and immature fruit of tomato plants at a height of 2m* and 3m** with different LAI in greenhouses.

LAI ¹⁾	Days of cultivation	Leaf (g/m ²)	Stem (g/m ²)	Immature Fruit (g/m ²)	Standing Crop (g/m ²)	Fruit/Leaf	Fruit/Leaf +Stem	Yield/ (Yield ⁷⁾)	Yield/ Yi. +St.Cr. ⁶⁾	D.W t/10a
2 ²⁾ **	200	949.6 ⁵⁾	1218.7	5207.1	7375.4	5.48	2.40	(16.5 ⁷⁾)	0.691	1.19
3 ²⁾ **	200	1269.8	1306.3	5839.7	8415.8	4.59	2.57	(18.8)	0.690	1.36
4 ³⁾ **	196	1732.0	1389.2	6958.4	10079.6	4.01	2.23	(17.9)	0.639	1.39
5 ³⁾ **	196	1954.2	1396.0	6629.8	9980.0	3.39	1.97	(16.5)	0.623	1.32
2 ²⁾ *	200	850.6 ⁵⁾	1273.0	5315.8	7439.4	6.24	2.50	(16.5)	0.689	1.19
4 ⁴⁾ *	178	1727.8	1374.8	5726.5	8829.1	3.31	1.84	(14.3)	0.618	1.15
2 ²⁾ **	380	861.3 ⁵⁾	2325.1	5057.2	8270.1	5.90	1.59	(26.2)	0.760	1.72
3 ²⁾ **	380	1189.0	2481.5	5573.6	9244.1	4.68	1.51	(33.1)	0.783	2.11
4 ³⁾ **	380	1723.7	2647.4	6635.4	11006.5	3.85	1.51	(38.3)	0.792	2.46
5 ³⁾ **	380	1995.2	2670.8	6587.1	11253.1	3.30	1.41	(38.2)	0.792	2.47
2 ²⁾ *	380	904.1 ⁵⁾	2391.8	5114.7	8410.6	5.65	1.55	(26.5)	0.759	1.74
4 ⁴⁾ *	362	1720.5	2598.6	5584.9	9904.0	3.24	1.29	(27.3)	0.734	1.86

* The leaf area of the tomato plants that has been training at 2m at the tip of stem

**The leaf area of the tomato plants that has been training at 3m at the tip of stem

1) The aim of LAI control of the tomato plants

2) Sowing date : 1997 May. 15. Planting date : 1997 Jul. 15. Investigate date : 1998 Jan. 25~31 and Jul. 25~31

3) Sowing date : 1997 Jun. 15. Planting date : 1997. Aug.15. Investigate date : 1998 Feb. 20~25 and Aug. 25~31

4) Sowing date : 1997 Jun. 15. Planting date : 1997. Sep. 3. Investigate date : 1998 Feb. 20~25 and Aug. 25~31

5) (g/m²) 6) Yield/ (Yield+Standing Crop) 7) Yield (kg/m²)

と茎重はLAIと正の相関、未成熟の果実重はTable 4に示す2月の収穫量に正の相関があり、2月収量、未成熟の果実重はLAI:4の個体群が最大であった。各個体群の現存量も1, 2月の収穫量と正の相関があった。果実重/葉重および果実重/(葉重+茎重)は、窒素施用量あるいは個体群のLAIと負の相関関係を示した。200日の栽培期間では、収量+現存量から推定した乾物生産量の個体群順位はLAI:4>3>5>2であり、1.4~1.2t/10aであった。

暖候期の7月および8月末の個体群について、寒候期の調査形質と個体群のLAIの関係が暖候期においても維持されていた。なお、生育期間が長い暖候期の個体群は寒候期の個体群と比較し茎重が増加し、暖候期の果実重/(葉重+茎重)の値は寒候期と比較し低下した。一方、暖候期と寒候期の光合成のシンク器官とソース器官の比率を示す果実重/葉重は、ほぼ等しかった。また暖候期、寒候期ともに収量が高い個体群ではこの比が3.5前後であった。

果実への乾物分配率に対応する収量/(収量+現存量)の比は、寒候期および暖候期において窒素施用量、個体群のLAIと反比例した。しかし、生育期間の長い暖候期の収量/(収量+現存量)の比は、寒候期と比較し各LAI個体群において増加した。380日の栽培期間の暖候期までの収量+現存量から推定した乾物生産量は2.4~1.7t/10aで、乾物生産量の個体群順位はLAI:5>4>3>2であり、生育期間が200日程度の寒候期の乾物生産量の個体群順位と異なった。

定植から178~200日経過した寒候期までの樹高2m個体の生葉重、茎重、未熟果実重および現存量は、樹高3m個体群と等しかった。しかし、定植から178~200日経過した寒候期におけるLAI:4の樹高2mの未成熟の果実重は樹高3m個体群と比較し明らかに劣り、現存量の差異は大きかった。また、LAI:4の個体群の定植178~200日後寒候期までの乾物生産量は樹高3m個体群が樹高2m個体群より優った。

定植から380日経過した暖候期までの樹高2m個体の生葉重、茎重および未熟果実重および現存量は、樹高3m個体群と差異が無かった。しかし、栽培期間362日、寒候期までのLAI:4の樹高2m個体群の生葉重、茎重および未熟果実重および現存量は、栽培期間380日、樹高3mLAI:4個体群と比較し明らかに劣り、樹高3m個体群の現存量は樹高2mよりかなり多かった。定植362~380日、暖候期までのLAI:4の樹高3m個体群の乾物生産量は、樹高2m個体群と比較し、32%優った。

樹高3m個体群の光合成のシンク器官とソース器官の比率を示す果実重/葉重及び果実重/(葉重+茎重)は、樹高2m個体群と比較し、LAI:2ではほぼ等しく、LAI:4では著しく優った。

樹高3m個体群の果実への乾物分配率に対応する収量/(収量+現存量)の比は、樹高2m個体群と比較し、LAI:2個体群ではほぼ等しく、LAI:4個体群では著しく優った。その結果LAI:4、樹高3m個体群の果実重は、樹高2m個体群より40%優った。

樹高3m、目標LAIが2, 3, 4, 5の個体群および樹高2m、目標LAIが2と4の個体群の1月31日と7月31日における培養液の分析結果をTable 7に示した。

LAIが異なる樹高2mと3m個体群の1月31日と7月31日における培養液は、基準養液と比較し、CaO, MgO, ClおよびSO₄は集積し、K₂Oは減少した。また、LAIの大きな個体群の培養液のK₂O濃度は減少傾向を示したが他の要素の濃度は増加傾向が認められた。しかし、培養液中の塩類集積に関するLAIや樹高が異なる個体群別の差異は小さかった。なお、1年間使用した培養液中の残留が顕著な要素はCaO, ClおよびSO₄であり、それぞれ586, 681および993ppmの分析値を示したが生育障害は認められなかった。

窒素成分のNH₄-N, NO₃-Nは、樹高3m, LAI:5の個体群における1月31日のNO₃-Nと7月31日のNH₄-Nを除き認められなかった。

樹高3m, 目標LAIが2, 3, 4, 5の個体群および樹高2m, 目標LAIが2と4の個体群の試験終了時における果実に含まれる無機塩類の分析結果をTable 8に示した。LAIが大きな個体群ほど果実の糖度は低く、果実の含水率は高かった。また、樹高3m個体群の果実糖度は、等しいLAIを持つ樹高2m個体群も果実糖度に比較しやや高く、果実の含水率は低い結果を得た。

果実に含まれる無機塩類は、LAIや樹高が異なる個体群間に有意な差異はなく、一定の傾向も認められなかった。

IV 考 察

窒素少量分肥施用法を用いると樹高2m個体群と同様、樹高3mトマト個体群(3.7本/m²)の葉面積指数(LAI)を周年2~5の4段階に制御が可能であることを示した(Table 1)。これらの樹高3m個体群の生長速度、受光体勢、蒸散量、乾物生産量と果実への乾物分配率および収量構成要素を、樹高2m, LAI:2と4の個体群および既報の個体群(細井, 2001a)と比較し、草丈の

Table 7 Content of inorganic elements in used solution on hydroponic culture in greenhouses.

LAI ¹⁾	Days of cultivation	Content of elements in nutrient solutions (ppm)														
		NH ₄ -N	NO ₃ -N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	MnO	B ₂ O ₃	Fe	Cu	Zn	Mo	Na	Cl	SO ₄
2 ²⁾ **	200	ND ⁸⁾	ND	142	365	234	141	1.3	1.5	2.8	.09	0.1	.07	23	116	340
3 ²⁾ **	200	ND	ND	138	376	202	140	1.3	1.4	2.6	.08	0.1	.07	21	185	356
4 ³⁾ **	168	Tr ⁷⁾	Tr	132	367	190	117	1.3	1.5	2.5	0.1	0.1	0.1	20	193	371
5 ³⁾ **	168	Tr	11.5	138	361	199	110	1.4	1.4	2.3	0.1	0.2	0.1	24	208	397
2 ²⁾ *	200	ND	ND	131	382	155	133	1.3	1.9	2.8	0.1	0.1	.08	23	169	334
4 ⁴⁾ *	149	Tr	Tr	137	408	178	126	1.3	1.6	2.7	0.1	0.1	0.1	19	179	352
2 ²⁾ **	380	ND	Tr	152	150	495	125	1.0	1.7	3.1	0.3	0.2	0.1	114	585	853
3 ²⁾ **	380	Tr	Tr	138	144	558	131	1.2	1.2	3.1	0.2	0.2	0.1	123	619	882
4 ³⁾ **	349	Tr	Tr	123	142	561	117	1.2	1.4	2.3	0.2	0.2	0.1	136	645	917
5 ³⁾ **	349	0.8	Tr	124	128	586	99	1.2	1.5	2.3	0.2	0.2	0.1	146	681	993
2 ²⁾ *	380	ND	Tr	237	275	481	84	1.0	1.3	3.1	0.1	0.2	0.1	94	585	846
4 ⁴⁾ *	332	Tr	1.8	148	199	527	94	1.1	1.5	3.5	0.2	0.2	0.1	131	613	978
Sta ⁶⁾		Tr ⁷⁾	Tr	120	400	(100) ⁵⁾	66	1.5	1.5	2.5	.03	.09	.03	Tr	126	311

* The leaf area of the tomato plants that has been training at 2m at the tip of stem

** The leaf area of the tomato plants that has been training at 3m at the tip of stem

1) The aim of LAI control of the tomato plants

2) Sowing date : 1997 May. 15. Planting date : 1997 Jul. 15. Investigate date : 1998 Jan. 31 and Jul.31

3) Sowing date : 1997 Jun. 15. Planting date : 1997. Aug.15. Investigate date : 1998 Jan. 31 and Jul.31

4) Sowing date : 1997 Jun. 15. Planting date : 1997. Sep. 3. Investigate date : 1998 Jan. 31 and Jul.31

5) (100) : Content of CaO at the beginning of the culture (ppm) 6) Standerd solution : EC2.2, pH5.8

7) Tr : Trace 8) ND : Not Detect

Table 8 Content of inorganic elements in tomato fruits on hydroponic culture in greenhouses

LAI	Brix	Content of elements in tomato fruits (ppm)												
		H ₂ O ⁵⁾ %	N %	P %	K %	Ca %	Na %	Mg %	Mn ppm	B ppm	Fe ppm	Cu ppm	Zn ppm	Mo ppm
2 ²⁾ **	6.3	93.4	4.3	0.32	4.0	0.10	0.05	0.13	54	61	124	7.9	31	10.9
3 ²⁾ **	5.1	94.9	4.4	0.33	4.2	0.12	0.06	0.15	59	66	127	8.1	31	10.3
4 ³⁾ **	4.5	95.0	4.6	0.34	4.0	0.11	0.05	0.14	51	58	115	7.8	28	9.5
5 ³⁾ **	4.3	95.1	4.6	0.35	3.9	0.11	0.04	0.15	52	59	123	7.9	30	10.8
2 ²⁾ *	5.9	94.5	4.5	0.33	4.0	0.11	0.05	0.14	58	65	118	8.5	30	9.7
4 ⁴⁾ *	4.1	95.3	4.6	0.36	3.8	0.10	0.04	0.16	53	57	122	8.3	30	6.8

* The leaf area of the tomato plants that has been training at 2m at the tip of stem

** The leaf area of the tomato plants that has been training at 3m at the tip of stem

1) The aim of LAI control of the tomato plants

2) Sowing date : 1997 May. 15. Planting date : 1997 Jul. 15. Investigate date : 1998 Jul.31

3) Sowing date : 1997 Jun. 15. Planting date : 1997. Aug.15. Investigate date : 1998 Jul.31

4) Sowing date : 1997 Jun. 15. Planting date : 1997. Sep. 3. Investigate date : 1998 Jul.31

5) Content of water in fresh fruits

高いトマト個体群の収量性を下記の7点につき検討する。

1) 生育の特徴

約1年の間、LAI:4を維持した樹高3m個体群は、樹高2m、LAI:4の個体群と比較し (Table 5)、主茎長が長く、主茎葉数が多く、開花花房数と収穫果房数が多い。すなわち、主茎の生長と葉の展開が速いと結論され、それに伴い花房数や開花花房数も増加するものと推定される。Atherton et al. (1986) は、ハイワイヤー方式で栽培されたトマトの生長が樹高2m従来の垂れ下

げ誘因法と比較し速いこと、生長点が日射に当たる環境にあることを生長の早い原因としている。本試験より、樹高3m個体群の生長点は2m個体群と比較し上位にあり、生長点の気温は2m個体群より周年高く推移する。さらに3m個体群の乾物生産量は2m個体群と比較し多いことも生長の速い原因と推察される (Table 5, 6)。一方、主茎長/主茎葉数及び主茎長/花房数の比は、LAI:4の樹高3mと2m個体群間に大きな差異は無く、節間長に差異は無いと推定される。また、LAI:4の樹

高3mと2m個体群の生育の特徴は、既報（細井，2001a）の樹高2m，LAI：4の個体群と比較においても同様な結果が確認された。

樹高3m，LAI：4個体群の果実成熟は、樹高2m個体群と比較し促進され、収穫果房数も多い特徴がある（Table 5）。この原因は、樹高が3mの個体群の成熟段階にある果実より上位にある葉重（葉面積量）が、LAIが等しい樹高2mの個体群（細井，2001a）と比較明らかに軽く（少なく）、果実に直射光の当たる頻度が高く、直射光量が多いこと、さらに、乾物生産量が2m個体群と比較し多いことに因ると推察される（Table 6）。

2) 受光体勢と蒸散量の特徴

等しいLAIをもつ樹高2m個体群（細井，2001a）と3m個体群の生産構造図の比較から、暖候期及び寒候期ともに樹高3m個体群内の光減衰率は、樹高2m個体群と比較し小さい。等しいLAIをもつ樹高2m（細井，2001a）と3m個体群の m^2 当たり生葉重はほぼ等しく（Table 6）、樹高2m個体群の生葉は高さ2mの空間、15cmの層別に分けると13～14層（細井，2001a）、樹高3m個体群は3mの空間、15cmの層別に分けると18～19層（Fig. 1, 2）に分散する。したがって、樹高2m個体群の各層別の生葉重は3m個体群より1.5倍程度重い。樹高2mと3m個体群の節間長はほぼ等しく（Table 5）、各層に展開する葉数はほぼ等しい。すなわち、樹高3m個体群を形成すると等しいLAIの樹高2m個体群と比較し、1葉当たりの重量が軽く、葉面積が縮小した形態となる。すなわち、樹高3m個体群は等しいLAIの樹高2m個体群と比較し、小葉が広い空間（3m）に散開することにより直達光、散乱光ともに個体群中の透過率が顕著に改善されることが示された（細井，2001a, Fig. 2, 3）。したがって、等しいLAIを持つ樹高2mと3m個体群を比較すると、株元の絶対照度は草丈の高い個体群が高い（細井，2001a）。これらは、草丈の高い個体群の下位葉は、受光に有利であり、老化が抑制され、気孔が開きやすく、下位葉まで光合成に寄与し易いことを示す。小葉の散開がガス交換にも有利であることは、樹高2m，好適LAI：4の個体群（Table 3）と比較し、LAI：4，樹高3m個体群の蒸散量が多いことから推察できよう。Watanabe et al. (2001) は、立体栽培スイカの高さ1.8mの各葉位の受光量は光減衰曲線と比例し、下位葉の光合成量は受光量よりさらに減少が激しいと指摘している。樹高3mのトマト個体群の直射光が当たる下位葉は、陽葉の形態を維持しており、直射光が供給されると2m個体群の下位葉で認められる陰葉の

光合成量よりかなり多いと推察した。

樹高3m個体群の月別収量に好適なLAIは、日長が長く、日射が強い暖候期（5, 6, 7月）において5以上、日長が短く、日射が弱い寒候期（1, 2, 3月）では4であり、樹高2m個体群の月別収量（細井，2001a）に好適なLAI（暖候期はLAI：5，寒候期LAI：4弱）と比較し寒候期、暖候期ともに個体群の収量に好適なLAI水準は0.5程度大きかった（Fig. 1, Table 4）。また、樹高3m個体群の収量に好適なLAIの水準も、樹高2m個体群（細井，2001a）同様、日射の強さと日射量（季節）によって変わることを確認した（Table 4, Fig. 1）。

3m個体群の収量に好適なLAIが2m個体群と比較し0.5多いことは、好適LAIを形成した樹高3m個体群は、樹高2m個体群と比較し光合成を行う葉が周年10% ($0.5/5=0.1$)、 $5000cm^2/m^2$ 多いことを示す。樹高3m個体群は、樹高2mの好適LAI個体群（細井，2001a）と比較し蒸散（ガス交換）条件（Table 3）及び受光条件（Table 2, Fig. 2, 3）がよく、光合成量が増大することは容易に推察できる。すなわち、トマト個体群の樹高を高くすると、小葉が散開し、光透過率など受光体制が改善され、個体群の好適LAIが増し、ガス交換条件（蒸散量）も改善され、光合成量が増大することが示された。この結果は、オランダで認められる草丈の高いトマト個体群の形成は、受光体勢の向上による光合成量の増大を期待して誘引作業などの作業性（MacCanna, 1979）を犠牲にした栽培と推察される。

3) 収量構成要素の特徴

葉面積と窒素量の不足環境を①、好適な光合成・葉面積・窒素量環境を②、過繁茂・窒素過剰環境を③と仮定し、異なるLAI管理に伴う樹高2m個体群（細井，2001a）の収量構成要素変化を見ると、トマトの生長速度は②が速く、③が最も遅かった。花房数、開花数、開花房数は生長速度と比例し、②が多く、③が最も劣った。一方、収穫果房数は①が多く、③が少なかった。収穫果房数および個体当たりの果実数は②が多く、①が最も少なかった。また、1果重は①が重く、③が最も軽い結果であった。一方、樹高3m個体群の葉面積と窒素量の不足環境の①、好適な光合成・葉面積・窒素量環境の②、過繁茂・窒素過剰環境の③について、各区分と収量構成要素の関係は、樹高2m個体群と相違点はなく、2～3m範囲の樹高による収量構成要素の窒素反応は差異が無いと判断した。

LAI：2，樹高3m個体群の1果重，果数/果房，収穫果房数/個体の各形質は、LAI：2の樹高2m個体群

とほぼ等しかった。一方、LAIが4、樹高3m 個体群の1果重、果数/果房、収穫果房数/個体の各形質は、LAI:4、樹高2mの個体群と比較しすべての形質が優れた (Table 5)。すなわち、LAI:4を維持した樹高3m 個体群は、好適LAI:4の樹高2m 個体群と比較し、すべての収量形質に関し、改善と優位性を示すものである。

すなわち、樹高2mの収量に好適な葉面積であったLAI:4の個体群と比較し、LAI:4を維持した樹高3m 個体群は (Table 5)、主茎の生長と葉の展開が速く、それに伴い花房数や開花花房数も増加する。さらに樹高3m 個体群の乾物生産量が樹高2m 個体群と比較し多いことは生長の速さと1果重の増加に寄与する (Table 5, 6)。また、樹高3m 個体群の果実成熟は2m 個体群と比較し促進され、収穫果房数も多い特徴がある。

以上のごとく、LAI:4を維持した樹高3m 個体群の多収性は、樹高2m、LAI:4の個体群と比較し、生長が (主茎長、主茎葉数、花房数、収穫花房数) が速く、収量構成要素の $\frac{1 \text{果重} \times \text{果数} / \text{果房} \times \text{収穫花房数}}{\text{個体} \times \text{個体数} / 10a \times \text{栽培回数} / \text{年}}$ に関し、下線形質の改善にあると指摘された (Table 5)。

4) 乾物生産と分配の特徴

樹高2m 個体群の乾物生産と窒素施用量の関係は、個体群のLAIの大きさを指標に説明され、①個体群のLAIおよび乾物生産量が、施用された窒素量に比例する第1段階、②個体群LAIは窒素施用量に比例するが、乾物生産量の増加率が逡減し、やがて止まる第2段階、③窒素施用量の増加に伴う個体群LAIの増加率が逡減し、乾物生産量が減少する第3段階に区分されている (細井, 2001a)。樹高3m 個体群の乾物生産と窒素施用量の関係は、第2段階②のLAIが樹高2m 個体群より0.5大きい特徴を除くと、樹高2m 個体群のそれらの関係と基本的に等しかった (Table 4, Fig. 1, 細井, 2001a)。

LAI:4、樹高3m 個体群の1年経過後の現存量は、1.1t/10a、樹高2m、LAI:4 個体群の0.99/10aより、比率にして10%多い。また、LAI:4の樹高3m 個体群の乾物生産量は、2m 個体群と比較し、30%強優れた。すなわち、好適LAIに制御された樹高3m 個体群は、小葉を散開し、光透過率がよく受光体勢やガス交換 (蒸散量) 等が改良され、樹高2mの好適LAI 個体群より乾物生産を20~30%改善することが可能と判断された (Table 6)。

光合成に関与するシンク器官とソース器官の乾物分配比率を表す果実重/葉重及び果実重/(葉重+茎重)の

比 (Table 6) は、1年経過したLAI:2の樹高3mと2mの個体群では差異が小幅であるが、LAI:4では樹高3m 個体群のシンク器官への分配率は樹高2m 個体群より明らかに高い。すなわち、好適LAIに制御された樹高3m 個体群は、好適LAIの樹高2m 個体群に比較し、シンク器官への乾物分配率も向上すると指摘できる。

果実への乾物分配率に対応する収量/(収量+現存量)の比は、1年経過した樹高2mと3mのLAI:2 個体群では差異はないが、LAI:4では樹高3m 個体群が大きい。すなわち、好適LAIに制御された樹高3m 個体群は、樹高2m 個体群に比較しシンク器官への乾物分配率が改善されると共に、乾物生産量が30%多く、果実生産量は、樹高2m 個体群より40%改善可能と、乾物生産と分配の特徴から推定された。

5) 収量と品質の特徴

窒素分肥施用法を用いて、樹高3mのトマト個体群のLAIを光合成に好適な水準に制御して樹高2mの個体群と比較したところ、樹高3m 個体群は受光体勢が改善され生長が速く、収量構成要素の1果重、果数/果房、収穫果房数/年が改善され、果実への乾物分配率が上昇し、かつ乾物生産量が30%多く、収量性が樹高2m 個体群と比較し40%改善された。すなわち、樹高3m 個体群の多収性は、受光体勢 (光減衰率・生葉数) や蒸散 (ガス交換) 環境がよく、収量に好適なLAIが樹高2m 個体群と比較し0.5程度大きく、乾物生産量が0.6t/10a/年、30%増加し、シンクの場合である1果重、果数/果房および収穫果房数/個体が優り、果実への乾物分配率が高いことに起因する (Table 5, 6)。

樹高3m 個体群の奇形果、裂果、着色異常果、60g以下の小果等の不良果は、樹高2m 個体群と比較すると果実重の増加に伴いやや多いが、果実の良品率では差異がなかった。また、樹高と果実糖度間に一定の関係は認められなかった (Table 4)。トマト養液栽培に、窒素少量分肥施用法を用いると、窒素以外の主要肥料要素の養液を用いECを自由に制御可能で、暖候期EC:2、寒候期EC:1.7を維持し、LAIを3に制御した樹高2m 個体群の果実の過半は比重1.0以上で水に沈むことを認めた (細井, 2000)。また、窒素少量分肥施用法による培養液のEC調節 (目標LAI:2~2.5, EC:2.5~4) を用いて果実糖度制御を意識した栽培法も可能であり (細井, 2000)、糖度8以上の高糖度を目的とした栽培 (EC:3≦) は培養液に残留窒素が僅かではあるが認められ (N:4ppm)、収量は著しく低下した (糖度8~10, 6~8トン/年)。

6) 培養液と窒素施用法の特徴

光競合のない条件でトマト個体を養液栽培すると、肥料成分をバランス良く管理した培養液区が最大収量を得る。本養液栽培の肥料成分管理は、個体群光合成量が最大となる LAI を目標に調節されている。個体群の LAI が乾物生産に好適な条件に保たれる時、窒素は施用後 2 時間以内にトレース状態まで吸収され、その後 20 時間以上培養液に窒素はなく、収量も最大となる。すなわち、作物集団の栄養管理は、地上部の受光体勢を最良に保つことが目的であり、毎日の窒素施用量を決める養分管理情報を土壌（養液）中心から地上部（作物）へ移行したところに本養液栽培の特徴がある。

窒素分肥施用法を用い養液栽培された樹高 2m のトマト個体群は、EC:2 以下、好適 LAI で管理されると施用窒素の全量を培養液中から吸収し、窒素成分の残留は無い。逆に、EC:2 以下で培養液中に窒素成分が残留する培養液管理を継続すると、個体群は過繁茂に至ると指摘された（細井, 2001a）。これらの結果は、樹高 3m の個体群においても成立した（Fig. 1, Table 7）。すなわち、樹高 3m 個体群の窒素施用量と LAI および収量の関係は、樹高 2m と同様に、①個体群の LAI および収量が、施用された窒素量に比例する第 1 段階、②個体群 LAI は窒素施用量に比例するが、収量の増加率が逡減し、やがて止まる第 2 段階、③窒素施用量の増加に伴う個体群 LAI の増加率が逡減し、収量が減少する第 3 段階が存在した（Table 4, Fig. 1）。また、水分ストレスの弱い養液栽培条件の樹高 3m 個体群は、③の窒素条件が継続すると過繁茂に至り、培養液中に窒素が残留すると指摘できよう（森次ら 1981）。

養液栽培における養液管理は、電気伝導度を利用した主要肥料要素の濃度管理が一般的で各主要要素の好ましい濃度バランスを維持することが養液管理の基本とされる（岩本ら, 1997）。窒素少量分肥施用法は、トマト個体群の葉面積を指標に窒素施用量を決定し、窒素の定量管理法を開発したところに特徴がある。本方法は、窒素と他の肥料要素の溶存バランスは従来の養液管理と異なるが、環境に配慮し窒素の施設外への排出はなく、肥料要素の濃度バランス（EC）による養液管理法を用いた従来の養液栽培以上の収量を期待できる栽培法である。

肥料要素の定量管理法は、植物の肥料吸収特性を活用し、過不足なく施用可能な技術であり、窒素にとどまらず P や K に拡張可能である。この養液管理法は、①作物の生育段階別の主要要素や微量元素の吸収特性に応じた肥料要素の供給および養液中の各肥料要素バランスの

維持が可能であり、②少量分肥施用法を応用すると窒素同様 P と K の養液残留と施設外への排出がないトマト養液栽培を可能である。次報に基本技術を報告する。また、肥料要素の定量管理法を養液土耕法に応用すると主要肥料要素の土壌への残留がなく、トマト果実の品質と収量についても良結果を得た（細井, 2001b）。

一方、トマトの各肥料要素の吸収特性（比率）が収穫期間はほぼ一定であることに注目し（Gerald, 1993）、養液栽培用肥料・大塚 1 号改に P, K, Mg はその吸収比率に合わせて配合した。これによって、P, K, Mg の栽培開始時の溶存濃度と終了時の残留濃度が大きく変わらず（Table 7）、個体当たり 8ℓ の培養液で養液を交換することなく 1 年間栽培可能となった。生育初期は収穫期間と各肥料要素の吸収比率が異なるため（Gerald, 1993）、生育初期から収穫開始期まで、大塚 1 号改を用いて EC を 0.7 から 1.5 と逐次上げて各肥料要素の溶存量とバランスを確保する手法を用い対応した（細井, 2001a）。

7) トマト栽培における増収法

年間 40t/10a の収穫量を得るためには $40,000/0.15$ kg (1 果重) = 266,666 個の果実数を必要とする。1 果房当たり 3 果で年間の成熟果房数を 26 (細井, 2000) と仮定すれば $266,666/26 \times 3 = 3,419$ 個体が果数を得るために必要である。さらに不良果 10% と仮定すると $3,419/0.9 = 3,798$ 個体となる。この個体数以上の栽植密度が無い場合は、年間の成熟果房数の増加が期待できないので 1 果房当たりの果重をさらに重くする必要がある。そこで、果房数当たりの果数を増すと不良果が増加し、1 果重が減少する関係にあり、果房当たりの良果数を増し、1 果重の現象を止めることは困難である。栽植密度をさらに増すと、好適 LAI は変わらないので、個体当たりの葉面積が減り、果房当たりの果数と 1 果重が減少する関係にあり、かつ茎の直径が細くなり果梗は果重を支えられない。

樹高 3m 個体群は、2m 個体群に比較し年間 2~3 果房多く成熟し（Table 5）、1 果重も重い傾向があり、好適 LAI 個体群の個体当たりの収穫果重は、樹高 2m 個体群と比較し 1kg 以上の増収が可能である。一方、年間 40t/10a の収穫量を得るためには果実重 $40,000\text{kg} \times 0.05$ (乾物率) = 2,000kg の果実用の乾物生産が必要であり、また茎、葉および根重は、果実重/葉茎重比 = 3.6 から $\approx 11,000\text{kg}$ と推定され（Table 6）、 $11,000\text{kg} \times 0.05$ (乾物率) = 550kg の茎葉根に対応する乾物重を要する。すなわち、収量 40t 個体群の乾物生産量は、2.5t/10a 以上を必要とする。樹高 2m 個体群では 2.5t

／10aの乾物を生産した事例はなく（細井，2000，2001a），乾物生産量の不足が日本のトマト栽培の低収性の主原因と指摘されよう。しかし，樹高3m 個体群の受光体勢（葉面積）を好適環境（LAI：4）に管理し，3月に定植すれば2.55tの乾物生産は十分可能と推察できる。すなわち，シンクの場合である果実数とソースの乾物生産の両条件を満たす樹高3m 個体群は日本品種であっても，40t／10aの生産が可能であることを示唆する。

日本のトマト栽培における年間目標収量は，土耕栽培20t／10a，樹高の高い養液栽培は30t／10a程度である。土耕栽培の栽植数は2,000本／10aが多い。したがって，2,000本×26果房×3個×150g=23.4tであり，20t／10a強の収量水準に留まる。一方，養液栽培の栽植数は2,300本／10a程度で，2,300個体×28果房×3個×150g=28.9t／10aであり，30t／10a弱と推定される。すなわち，日本のトマト栽培はシンクの場合の果実数（栽植密度）が絶対的に不足していると収量構成要素の解析から指摘できよう。しかしながら，土耕栽培では土壤に窒素残留が多く，また肥料要素の濃度管理が行われる養液栽培では栽植密度を上げると過繁茂は必然的である（細井，2001a；森次ら，1981）。土耕および養液栽培とも栽植本数を減少させ過繁茂を防止している日本のトマト栽培では，栽植本数を増やすことができず果実数（シンクの場合）を確保できない。密植個体群のLAIを適正制御が可能な窒素少量施肥用法によって，窒素施用量の定量制御を毎日行い，単為結果品種‘ラークナファースト’を3,720本／10a，3月に定植してシンクの場合を確保し，樹高3.5m，EC：1.7～2.2，LAI：4～4.5に維持し受光体勢を整えソース条件を満たすと，43t／10a／年，果実糖度5の収量を得た（未発表）。

高軒高フェンロー温室，ロックウール養液栽培，ハイワイヤー誘引，レール方式作業車システムを組み合わせ，従来の栽培密度（2.7～4.8個体／m²）を維持（シンクの場合の確保）しつつ，トマトの生長点を高さ2.5～3.5mの高所に保ち，恒常的に光を当て生育を活発化し（Atherton et al., 1986），培養液のEC値を高め（EC：3～4）に管理して個体群のLAIを抑制し，日長の長い夏季中心に栽培するオランダ方式は，受光体勢（ソースの確保）の観点から合理的であり年間収量は50t／10aに達している。なお，日本の盛夏期施設は強日射・高温であり，培養液のECを高め管理すると水分ストレスにより尻腐れ果が多量に発生し，高温による樹勢の弱화가著しい。

日本の草丈の高いトマト栽培は，ロックウール培地に

よる養液栽培が多い。盛夏期を回避した循環式トマトロックウール養液栽培に窒素分肥施用法を栽培初期から応用すると，個体群LAIの適正制御が可能で，良好な収量・品質を維持しつつ，施用窒素を施設外へ出さぬ循環型栽培を10ヵ月継続できた（未発表）。一方，窒素分肥施用法をトマトの養液土耕に応用すると（細井，2001b），樹高2m，3.4個体／m²の個体群では，LAIの適正制御が可能で，土壤に窒素成分の過剰な残留が無く，盛夏期も良好な収量・品質を維持できた。樹高3.5m養液土耕栽培トマトは，LAIの制御は可能であったが，施設環境の変動と地上部の巨大化による蒸散量の急激な変化に見合う水分吸収が盛夏期に伴わず，水分ストレスの急激な変化のため尻腐れ果と裂果の発生が比較的多く，草丈の高い個体群を形成した盛夏期のロックウール養液栽培同様，期待したほどの結果が得られなかった（未発表）。

これらの結果を参考にすれば，LAIを指標にした窒素施用量の日調節（窒素の量的制御）を用いた草丈の高いトマトの周年栽培は，根に十分酸素が供給され，地上部の蒸散量に見合う水分を吸収可能な健全な根と水分ストレスを基準（EC：2）以下に維持し，受光体勢を好適に管理して栽培するとき，施設外への窒素排出がなく環境に優しく，盛夏期の日射・温度資源を有効に活用し，良果の増収が可能な栽培法である。なお，収量に好適なトマト個体群の高さ，栽植密度，最適な栽培期間の長さについては未検討である。

V 摘 要

1) 窒素分肥施用法を用いて，樹高3mのトマト個体群の葉面積指数（LAI）を2～5の4段階に周年制御し，これらの個体群の生長速度，受光体勢，蒸散量，乾物生産量と果実への乾物分配率および収量構成要素を樹高2mの個体群（細井，2001a）と比較し，草丈の高いトマト個体群の収量性を解析した。

2) 樹高2m個体群は，日射が弱く，日射量が少ない寒候期ではLAI：5を維持不能であったが（細井，2001a），樹高3m個体群は周年LAI：5を維持した（Table 1）。

3) 樹高3m個体群は，LAI：5条件にて寒候期においても生葉数の変動はなかったが，樹高2mの個体群は，日射が弱く，日射量が少ない寒候期ではLAI：4条件で生葉数の減少を認めた（Table 2）。

4) 樹高3m個体群の年間蒸散量は，樹高2m個体群と比較しLAI：2個体群ではほぼ等しく，LAI：4個体

群では70t/10a, 10%優った (Table 3). 樹高3m, LAI: 2~5の個体群の年間蒸散量は, 個体群のLAIに正比例した. しかし, LAI: 5個体群の寒候期における月別蒸散量は, LAI: 4個体群と比較し劣った.

5) 樹高3m, LAI: 2~4の個体群の年間収量は, 個体群のLAIに比例し, LAI: 5の個体群の年間収量はLAI: 4とほぼ等しかった. しかし, LAI: 5の個体群の月別収量は, LAI: 4の個体群と比較し寒候期では劣り, 暖候期では優った (Table 4).

樹高3m個体群の年間収量は, 樹高2m個体群と比較しLAI: 2の個体群では等しく, LAI: 4の個体群では10t/10a, 40%優った (Table 4).

6) 樹高3m個体群の窒素施用量とLAIおよび収量の関係は, ①窒素の施用量増加に伴い個体群の葉面積が拡大し, 光合成量と収量の増加が期待される第1段階, ②窒素の施用量増加に伴い個体群の葉面積は拡大するが収量の増加率が逡減する第2段階, ③窒素の施用量増加に伴う個体群葉面積の拡大が相互遮蔽を増大させ, 光合成量と収量が減少する第3段階が存在し, 樹高2mの窒素反応と類似した (Fig. 1, Table 4).

7) 日長が長く, 日射が強い暖候期 (5, 6, 7月)における樹高3m個体群の収量に好適なLAIは, 5以上, 日長が短く, 日射が弱い寒候期 (1, 2, 3月)の好適LAIは4であり, 樹高3m個体群の収量に好適なLAIは樹高2mと比較し周年0.5程度大きかった (Table 4, Fig. 1, 細井, 2001a).

8) 樹高3mと2m個体群の生産構造図によれば, LAIの等しい樹高2m (細井, 2001a)個体群と比較し生葉数が多く, 小型の葉を3mの空間に散開する樹高3m個体群の光減衰率は小さい. すなわち, 樹高3m個体群を形成すると直達光, 散乱光ともに個体群内の透過率が顕著に改善され, 下位葉まで直達光が良く到達した (Fig. 2, 3).

9) 樹高3m, LAI: 2, 3, 4, 5である個体群の果実が着色する位置の上限は, 寒候期において165, 165, 135, 135cm, また暖候期では180, 180, 150, 135cmであった (Fig. 2, 3). 樹高3m個体群の果実収穫の位置の上限は180cm, 樹高2m個体群の果実収穫の位置と比較し40~50cm高く (細井, 2001a), 樹高3m個体群の果実収穫は補助器具を必要とした.

10) 樹高3m, LAI: 2の個体群の個体当たり収量, 個体当たり収穫果実数, 花房当たり果実数は, 樹高2m個体群とほぼ等しかったが, LAIが4, 樹高3m個体群の茎長, 主茎葉数, 花房数, 収穫果房数及び1果重は,

樹高2mの対応するLAIを持つ個体群と比較し顕著に優った. (Table 5).

11) 収量構成要素の調査によれば, 樹高3m, LAI: 4を維持した個体群の多収性は, 樹高2m, LAI: 4の個体群と比較し, 生長 (主茎長, 主茎葉数, 花房数, 収穫果房数) が速く, 収量構成要素の $\frac{1 \text{ 果重} \times \text{果数}}{\text{果房}} \times \frac{\text{収穫果房数}}{\text{個体}} \times \frac{\text{個体数}}{10a} \times \frac{\text{栽培回数}}{\text{年}}$ に関し, 下線の形質が改善された (Table 5).

12) 乾物生産量と果実への乾物分配の調査によると, 樹高3m個体群の多収性は, 受光体勢 (光減衰率・生葉数) や蒸散 (ガス交換) 環境がよく, 収量に好適なLAIが樹高2m個体群と比較し0.5ほど大きく, 乾物生産量が0.6t/10a/年, 30%増加し, シンクの場合である1果重, 果数/花房および収穫果房数/個体が優り, 果実への乾物分配率が高い (Table 1, 5).

13) LAIを制御した樹高3m個体群は, 収量が最大となる第2段階の窒素施用水準まで培養液中に窒素残留はない. 過繁茂の状態にあり個体群の収量が減少する第3段階の窒素施用水準に至ると, 培養液中に窒素の残留が認められた. すなわち, 培養液に窒素残留がない樹高3m個体群のLAIの限界条件は, 樹高2m (細井, 2001a)と比較し周年0.5ほど大きかった (Fig. 1, Table 7).

14) 以上の結果から以下の結論を得た. 樹高3m個体群は生長が速く, 収量構成要素の1果重, 果数/果房, 収穫果房数/年, さらに受光体勢が改善され, シンクの場合の確保が容易で, 乾物生産量と果実への乾物分配率が優り, 収量が樹高2m個体群に比較し40%増加した. 窒素分肥施用法を用い草丈の高い個体群の葉面積を好適に制御する栽培法は, 水分 (吸水) ストレスの小さい養液栽培条件では樹高2mの栽培法に比較し, 多収が可能でかつ施設外に窒素を排出しない栽培法である.

15) 高軒高フェンロー温室に草丈の高い個体群を形成するオランダ方式のトマト栽培は, 栽培管理は困難であるが, 葉は立体的に分散して光透過がよく, 好ましい受光体勢を持ち, 乾物生産量が多く, 果実への乾物分配率も高く, 生育が速く, 個体当たりの果実数多く, シンクの場合の確保が容易で, 収量は樹高2mの栽培法より3~4割高いと推察される.

引用文献

- 1) Amsen, M. G. and Bredmose, N. (1971) The influence of plant density on the yield and quality of the tomato. Tidsskr Planteavl., 75, 457~465.

- 2) Anker, K., Buyvoets, J., Mettens, H., van Oosten, G. and Remmers, M. (1980) : Plant distance in protected tomatoes. Lab. Hort., Wageningen, Netherlands. Intern. Rep. **170**, p36
- 3) Atherton, J. G. and Rudich J. (1986) : The Tomato Crop-Ascientific basic improvement. Chapman and Hall Ltd. Hardbound Netherlands. p381~423.
- 4) Gerald E.w. (1993) : Tomato. Editor by W. F. Bennett, Nutrient Deficiencies Toxicities In Crop Plants. APS PRESS. St. Paul Minesota USA. p137~141.
- 5) Hendix, A. T. M (1984) : Economical Aspects of some cropping systems for tomato. IMAG-Rep., p196.
- 6) 細井徳夫 (1997) : トマト個体群の持続的維持が可能な葉面積調査法. 農業気象東海支部会誌. **55**, 13~16.
- 7) 細井徳夫 (2000) : 窒素少量分施による養液栽培トマトの葉面積制御. 野菜茶試研報. **15**, 79~93.
- 8) 細井徳夫 (2001a) : 養液耕による施設栽培長段トマト個体群の収量に好適な葉面積指数に関する研究. 野菜茶試研報. **16**, 329~349.
- 9) 細井徳夫 (2001b) : トマト個体群葉面積の適正制御が可能な養液土耕装置の開発. 野菜・茶業成果情報. 12年度, 1~2.
- 10) 岩本恒夫・高梨恒夫・赤松達夫 (1997) : 養液栽培装置. 施設園芸の環境制御技術. 誠文堂新光社. 東京. pp.187~207.
- 11) 小林尚司 (1997) : 養液栽培によるトマトの一段どり栽培に関する研究 (第1報) - 播種時期別の生育と果実収量 -. 農業施設. **27**, 199~206.
- 12) MacCanna, C. (1979) A review of tomato training systems. Sci. Hort. **30**, 90~105.
- 13) 森次益三・川崎利夫 (1981) : 作物生育ならびに無機養分吸収に及ぼす窒素源の影響. 土肥誌. **52**, 20~26.
- 14) 辻 博美・山田貴義・染田 保・森下正博 (1977) : 水耕栽培におけるトマトの適正葉面積に関する研究 [1] - 摘葉が生育および収量に及ぼす影響 -. 大阪農技セ研報. **14**, 1~6.
- 15) Veeman, A. F. (1980) : Full year system for the early tomato. Groente en Fruit, **36**, 38~40.
- 16) Watanave, S., Y. Nakano and K. Okano (2001) : Comparison of light interception and field photosynthesis between vertical and horizontally trained watermelon plants. J. Japan Soc. Hort. Sci. **70**, 669~674.

Analysis of yield from a 3 m high tomato community where the leaf area was controlled by using daily quantitative regulation of nitrogen at 4 different levels for a whole year

Norio HOSOI

Summary

1) The leaf area index (LAI) of height of 3m community that has been training at a height of 3m at the tip of stem was controlled by using daily quantitative regulation of nitrogen in 4 steps of 5 from 2 for a whole year. The speed of growth, amount of transpiration, yield component, dry matter production and translocation rate of dry matter in the fruit of the 3m community at 4 different levels of LAI, were compared with that of the 2m community in 2 different levels of LAI. The high yielding ability of the tall tomato community had been analyzed by comparing the yield characteristics of each 3m and 2m community (Hosoi, 2001a).

2) The 3m community had maintained LAI : 5 for a whole year, but the 2m community could not maintain LAI : 5 in the cool season (Table 1).

3) The 2m community with LAI : 4 showed a decrease of the number of live leaves on the main stem in the cool season with less solar radiation and short sunshine. But, there was no decrease in the number of live leaves on the main stem in the 3m community with LAI : 5 in the cool season (Table 2).

4) The amount of annual transpiration of the 3m community with LAI : 2 was about the same as the 2m community with the same LAI. The amount of annual transpiration of the 3m community with LAI : 4 exceeded 70t/10a and 10% more than the 2m community with the same LAI. The amount of annual transpiration of the 3m community was in proportion to the LAI of the communities on the LAI : 2~5 conditions. But, the amount of monthly transpiration of the community with LAI : 5 was inferior in comparison with the community with LAI : 4 in the cool season (Table 3).

5) The annual yield of the 3m community was in proportion to the LAI of the community on the LAI : 2~4 conditions. The annual yield of the 3m community with LAI : 5 was about the same as the community with LAI : 4. The monthly yield of the 3m community with LAI : 5 was below the community with LAI : 4 in the cool season and exceeded the community with LAI : 4 in the warm season. The annual yield of the 3m community with LAI : 2 was about the same as the 2m community with the same LAI (Table 4). But the annual yield of the 3m community with LAI : 4 exceeded 10 tons/10a and 40% more than the 2m community with the same LAI (Table 4).

6) The relationship of the amount of nitrogen fertilizer and the leaf area of the tomato community and or the yield of the tomato community were almost equal between the 3m and 2m communities and was rearing the 3 types. Category 1 was that the leaf area of the community

and or the yield of the community had been proportional to the amount of nitrogen supply. Category 2 was that the leaf area of the community had been proportional to the amount of nitrogen supply, and the yield of the community increased a little with the increase of nitrogen supply. The category 3 was that the leaf area of the community a little increased with the increase of nitrogen supply and the yield of the community had decreased with the increase of nitrogen supply (Table 4. Fig.1).

7) The best LAI of the 3m community with maximum yield had exchanged with the seasonal changes of weather the best LAI of the 3m community with maximum yield in the warm season with high solar radiation and long sunshine was 5 and up, and the best LAI in the cool season with less solar radiation and short sunshine was 4.

The best LAI with maximum yield of the 3m community was bigger by about 0.5 than the best LAI with maximum yield of the 2m community (Hosoi,2001a) in the warm and the cool seasons (Table 4. Fig.1).

8) It was compared with the production structure between the communities of 3m and 2m (Hosoi, 2001a), and it produced the following result : The optical decline rate inside the 3m community, of which the miniature leaf had been scattered in the space of 3m, was small in comparison with the inside the 2m community with the same LAI (Fig. 2,3).

When the 3m community with LAI : 4 that had been training at a height of 3m at the tip of the stem was controlled by using daily regulation of nitrogen for a whole year, the permeation rate of direct light and scattered light inside the community was improved more remarkably than in the 2m community with the same LAI (Fig. 2,3).

9) The upper limit of the height that the fruit of the 3m communities with LAI : 2,3,4,5 colored was 165,165,135,135 cm in the cool season and 180,180,150,135 cm in the warm season respectively (Fig. 2,3).

Therefore, if there is no assistant utensil, the fruit of the 3m community with the suitable LAI can not be harvested.

10) Main stem length, number of leaves on the main stem, number of flower clusters, number of fruit clusters and weight of fruit of the 3m community with LAI : 4 exceeded that of the 2m community with the same LAI. Main stem length, number of leaves on the main stem, flower clusters, number of fruit clusters and weight of fruit of the 3m community with LAI : 2 were about the same as that of the 2m community with the same LAI (Table 5).

11) The following conclusion was obtained from the investigation of yield components of the 2m and 3m tomato communities : The reason that the yield of the 3m community of which the suitable LAI was maintained for a whole year and exceeded the maximum yield of the 2m community was originated from the number of fruits and fruit clusters, the weight of fruit and the number of harvested fruit clusters of the 3m community with suitable LAI exceeded that of the 2m community with suitable LAI (Table 5).

12) The following conclusion was obtained from the investigation of the dry matter production and the dry matter distribution in the fruit between communities of 3m and 2m : High yielding ability of the 3m community with suitable LAI depended on the form of light intercepting system and the dry matter production (sources) that had exceeded the 2m community, and depended on the dry matter distribution rate to the fruit and the location of sink that was larger than the 2m community (Table 1,5).

13) If the leaf area of the 3m community had been controlled suitably for a whole year by regulating the daily amount of nitrogen fertilizer everyday in hydroponic culture, where suction of

water stress is small, cultivation of the 3m tomato would makes high yields more possible than in the 2m tomato cultivation , and would not let nitrogen escape to the outside of the facilities, and if it reaches the third-step level for nitrogen supply where the leaf of the 3m community is in the condition of over-growing and the yield of the the community decreases, the nitrogen remained in the culture fluid. The LAI which is suitable for photosynthesis and no nitrogenous remaining in the culture solution of the 3m community is larger than the 2m community by as much as 0.5 (Fig.1, Table 7).

14) The following conclusion came from the above results : The growth of the 3m community was faster than the 2m community. The weight of the fruit, the number of fluits and clusters and the number of harvested fruit clusters of the 3m community with suitable LAI exceeded that of the 2m community with suitable LAI. Form for light intercepting system of the 3m community with LAI : 4 was improved more than the 2m community with the same LAI, and the dry matter production of the 3m community reached 1.3 times more than the 2m community. The maximum yield of the 3m community was more than 30-40% the maximum yield of the 2m community under hydroponic cultivation condition whose suction of water stress was small.

15) The management of Dutch tomato cultivation of which tall tomato communities were cultured in high eaves greenhouse was not easy, but the Dutch tomato cultivation had good form for the light intercepting system, and had high dry matter production and the dry matter distribution function in the fruit. The growth was fast in the Dutch tomato cultivation in which the number of tomato fluits was high, and securing of the location of sink was easy in the tall tomato cultivation.

It was sujested that the yield of the Dutch tomato cultivation are more than 30-40% the maximum yield of the 2m community in Japan.