

ナス科果菜の生育、収量並びに溢泌液中の 化学組成に及ぼす日照の強さの影響

鐘 鈴鋒・加藤 徹

(農学部蔬菜園芸学研究室)

Influence of Sunlight Intensity on Growth, Yield and Chemical Composition of Xylem Exudate in Solanaceous Fruit Vegetables

Lingfeng ZHONG and Toru KATO

Laboratory of Vegetable Crop Science, Faculty of Agriculture

Abstract : The influence of various sunlight intensities (natural sunlight, 35% and 55% shading) on the growth, yield and chemical composition of xylem exudate in tomato (cv. Fukuzyu No. 2), eggplant (cv. Hayabusa) and sweet pepper (cv. Shinsakigakemidori) grown in greenhouse were investigated.

- 1 . Lower sunlight intensity due to shading induced the reduction in dry weight of all plant parts and yield in the following descending order : tomato, eggplant and then sweet pepper.
- 2 . The plants grown under low sunlight intensity condition showed poor root system distribution with less thick roots over 1 mm in diameter, especially in tomato. A positive correlation between number of thick roots and yield in each vegetable was clearly observed.
- 3 . Low sunlight intensity reduced predominantly exudation rate and concentrations of cytokinin, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu and Zn in the xylem exudate in the following descending order : tomato, eggplant and then sweet pepper.
- 4 . It was found that cytokinin content in the xylem exudate was positively correlated with yield in each vegetable.

緒 言

すでにナス科果菜のうち、トマトは乾物分配が茎部に傾き、ナス、ピーマンに比べて徒長しやすいことを明らかにした¹⁾。トマトの過繁茂の原因としては施肥過多、灌水過多、日照不足、高夜温並びに若苗定植などが挙げられている²⁾。また施設内では日照量の不足で光合成能力が低下するために果実及び花への炭水化物の供給が減少し、落花落果の原因にもなっている³⁾。強日照条件下で作られたナスの苗についてその花芽分化が促進されることが石田⁴⁾によって認められている。齊藤ら⁵⁾もトマトについて光が強いほど苗の生育と花芽分化が促進され、収量が高められることを報告している。以上のように、ナス科果菜について生育に及ぼす日照の強さの影響に関する報告が数多くあるが、主に幼苗の生長と花芽分化に対する反応のみが調査されており、本圃での日照の強さが生育と収量にどのような過程をとおして影響を及ぼしているかについてあまり検討されていないのが現状である。そこで、本実験ではナス科果菜について調査した。

実験方法

トマト '福寿2号', ナス 'はやぶさ', ピーマン '新さきがけみどり' を1987年2月23日に播種し, 子葉展開後12cmポットに鉢上げして, 育苗した。床土として土とパークを等量で作成し, 窒素, リン, カリ各2 kg/a, 苦土石灰12kg/aを施肥した。育苗はビニルハウス内で行った。4月30日に本圃のビニルハウス内に定植した。本圃では元肥として窒素, リン, カリ各2 kg/a, 苦土石灰12kg/aを施肥した。定植一週間後自然日照区 (光度100%とする), 35%遮光区 (白寒冷紗1枚による遮光, 光度は約自然日照の65%前後), 55%遮光区 (黒寒冷紗1枚による遮光, 光度は約自然日照の45%前後) の3処理区を設けて栽培した。うね幅は各作物とも130cmで, 株間はトマトで40cm, ナスとピーマンで70cm, 1列植えて, 乱塊法で1区3株の4反復とした。トマトは1本仕立てで, 側芽は早期に除去した。ナスとピーマンは4本仕立てで, 側枝は1節で摘心した。6月下旬と7月中旬に2回住友液肥1号を5 l/aの割合で100倍にうすめて追肥した。灌水はドリッピング方式で, 消毒と灌水は適宜行った。

トマト, ナスの結実を促進するためにトマトーン100倍液で単花処理した。出荷時の大きさあるいは熟度に達した果実を収穫し, 重さを測った。8月6日に地際から約10cmで茎を切断し, 既報⁶⁾と同じように切株にゴム管を差し込んで朝8時から翌日まで計24時間根からの溢泌液を採取した。集められた溢泌液は-20℃の冷凍庫に分析使用時まで貯蔵した。また実験打ち切りの8月8日

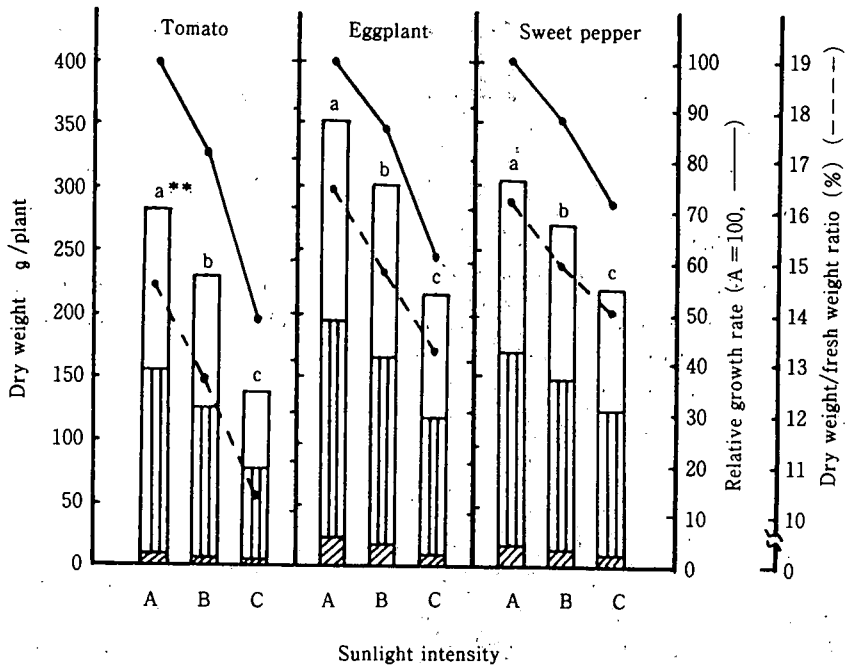


Fig. 1. Influence of sunlight intensity on the growth in solanaceous fruit vegetables.

A, natural sunlight; B, 35% shading; C, 55% shading.

□ Leaves; ▨ Stems; ▩ Roots.

** Dry weight (g/plant): mean separation by Duncan's multiple range test, 1% level.

に株の生育および根系分布を調べた。株では葉、莖（葉柄を含む）、根に分けて、生体重を測定した後、80℃で乾燥させて乾物重を測った。根では一部掘壕法によって根系分布を調査し、一部は株元を中心に半径20cm、深さ30cm掘り取った円筒内の根について、直根、一次根、二次根などの直径1mm以上の根を太根とし、その根数を調査した。

既報^{6,7)}と同じように窒素化合物はセミマイクロケルダール法によって、炭水化物はソモギー法によって測定した。硝酸態窒素をフェノール硫酸法によって、アンモニア態窒素をインドールフェノール比色法によって、リンをバナドモリブデン酸法によって、カリ、カルシウム、マグネシウム、鉄、マンガン、銅並びに亜鉛などの成分を原子吸光法によってそれぞれ測定した。なお溢泌液中の有機態窒素濃度は全窒素から硝酸態窒素とアンモニア態窒素を差し引いたものとした。さらに、溢泌液中のサイトカイニン⁸⁾は既報⁸⁾と同じようにブタノールで抽出して高速液体クロマトグラフィーによって測定した。

結 果

1. 生育と収量

Fig. 1に見られるように、各作物とも自然日照区で生育が最も良好で、乾物重が著しく多かった。遮光に伴って乾物重が減少し、トマトではその減少が著しく、逆にピーマンでは少なかった。一方、乾物率は自然日照区においてトマトで最も低く、ナスで著しく高かった。乾物率は遮光によって低下したが、ピーマンではその低下が他果菜よりも少なかった。

株当りの収量は、Fig. 2に見られるように、各作物とも自然日照区で著しく高かったが、遮光で減少した。遮光による収量の減少程度はトマトで著しく、次いでナスで、逆にピーマンでは少なか

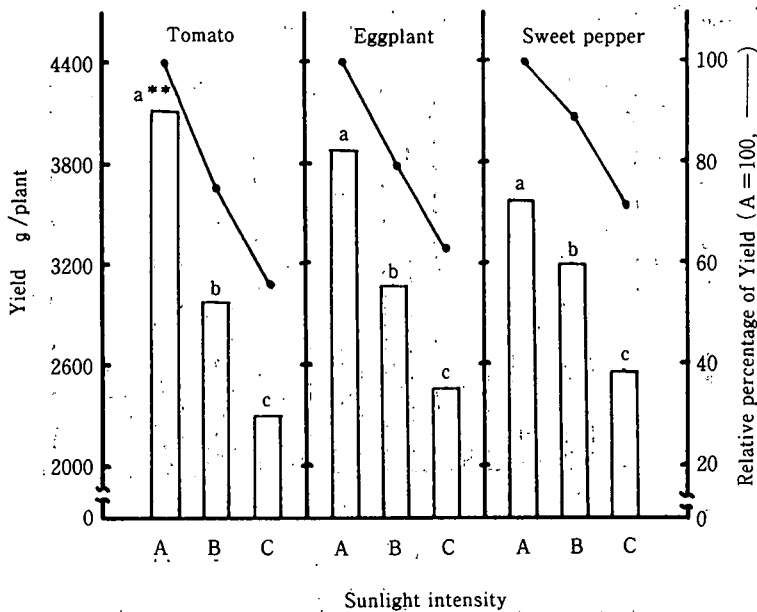


Fig. 2. Influence of sunlight intensity on the yield in solanaceous fruit vegetables.

A, natural sunlight ; B, 35% shading ; C, 55% shading.

**Yield : mean separation by Duncan's multiple range test, 1% level.

った。

2. 根中の窒素化合物と炭水化物

根中の全窒素含有率は各果菜とも遮光に伴ってほとんど変わらなかったが、不溶性窒素、可溶性糖分と澱粉含有率ならびに不溶性窒素/全窒素比は低下し、逆に可溶性窒素は増加した (Table 1)。とくにトマトではその傾向がナスとピーマンよりも著しかった。

Table 1. Influence of sunlight intensity on the nitrogenous compounds and carbohydrates of the root in solanaceous fruit vegetables

Crop	Sunlight intensity	Soluble N	Insoluble N	Total N	Insoluble N/total N ratio	Soluble sugar	Starch
Tomato	Natural	0.068	0.257	0.325	79.08	0.764	0.558
	35% shading	0.083	0.235	0.318	73.90	0.511	0.308
	55% shading	0.129	0.191	0.320	59.69	0.278	0.185
Eggplant	Natural	0.128	0.438	0.566	77.39	2.231	3.643
	35% shading	0.148	0.405	0.553	73.24	1.606	2.677
	55% shading	0.187	0.371	0.558	66.49	1.328	2.204
Sweet pepper	Natural	0.152	0.463	0.615	75.28	0.943	0.656
	35% shading	0.169	0.448	0.617	72.61	0.778	0.534
	55% shading	0.194	0.416	0.610	68.20	0.613	0.434

3. 太根根数と根系分布

直径 1 mm 以上の太根根数は、Fig. 3 に見られるように、ナスが他作物に比べて多かった。処理区別では、太根根数は自然日照区で著しく多かったが、遮光に伴って減少した。トマトの太根根数は

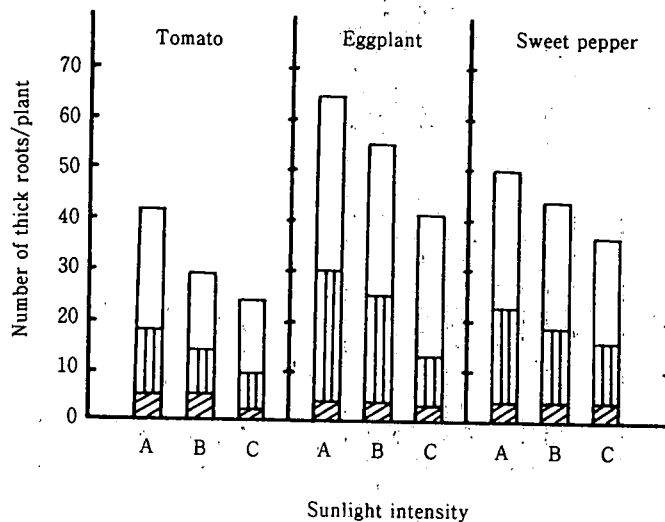


Fig. 3. Influence of sunlight intensity on the number of thick roots over 1 mm in diameter in solanaceous fruit vegetables.

A, natural sunlight ; B, 35% shading ; C, 55% shading.

□ 1.0~1.9mm ; ▨ 2.0~3.9mm ; ▩ over 4mm.

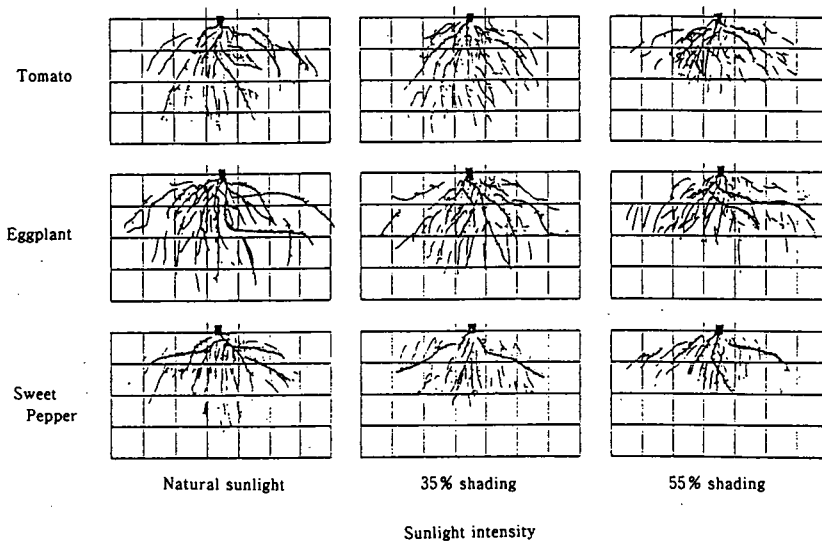


Fig. 4. Influence of sunlight intensity on the root system distribution in solanaceous fruit vegetables.

遮光により著しく減少したが、ピーマンではその減少程度が少なかった。

根系分布がナスでは他作物よりも大きく、広く深い傾向を示しており、太根根数に対応していた (Fig. 4)。処理区別に見ると、自然日照区の根系が各作物とも大きく広く、しっかりと深くまで分布した。これに対し、遮光区では根系が貧弱で小さく、浅く分布していた。

4. 太根根数と収量との関係

Fig. 5 に示すように直径 1mm 以上の太根根数と収量との間に高い正の相関が認められた。

5. 溢泌速度、溢泌液中の EC と pH

溢泌速度はトマトが最も速く、次いでナス、ピーマンの順となった (Table 2)。EC はナスで、pH はピーマンで高かった。遮光に伴って溢泌速度と EC が著しく低下し、逆に pH は高くなった。

6. 溢泌液中の無機成分濃度

ナスでは硝酸態窒素、有機態窒素および全窒素濃度、ピーマンではアンモニア態窒素濃度が他果菜に比べてそれぞれ高かった。逆に、これらの窒素化合物濃度はトマトで著しく低い傾向が見られた。遮光によってこれらの窒素化合物濃度が各果菜とも減少した (Table 3)。一方他成分について見ると、ナスではリン、カリ、カルシウム、マ

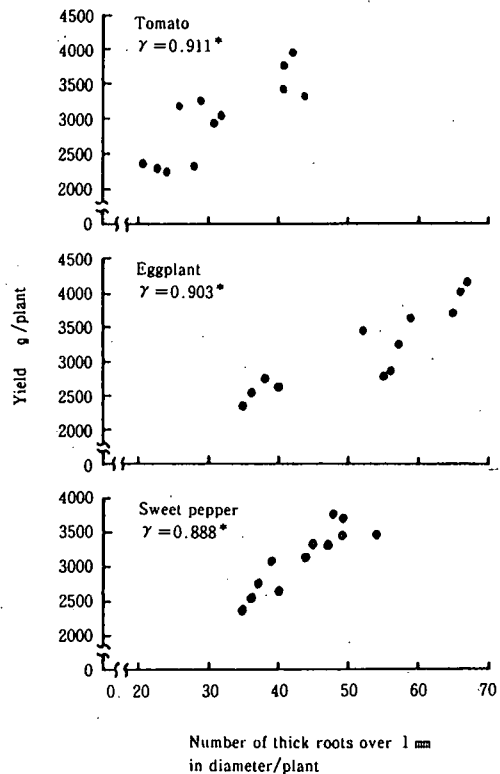


Fig. 5 Correlation between number of thick roots over 1 mm in diameter and yield in solanaceous fruit vegetables.

*Significant at 5 % level.

Table 2. Influence of sunlight intensity on the exudation rate, EC and pH of xylem exudate in solanaceous fruit vegetables

Crop	Sunlight intensity	Exudation rate (ml/plant/hour)	EC (mS/cm)	pH
Tomato	Natural	15.89	1.50	6.20
	35% shading	13.71	1.20	6.64
	55% shading	10.14	1.01	6.87
Eggplant	Natural	8.06	2.54	6.31
	35% shading	6.15	2.34	6.34
	55% shading	5.56	2.12	6.64
Sweet pepper	Natural	4.40	2.32	6.75
	35% shading	3.81	2.00	6.92
	55% shading	3.45	1.95	7.42

Table 3. Influence of sunlight intensity on the nitrogenous compounds of xylem exudate in solanaceous fruit vegetables

Crop	Sunlight intensity	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Organic N	Total N
		ppm			
Tomato	Natural	154.43	12.15	104.48	271.06
	35% shading	125.26	8.86	72.17	206.79
	55% shading	105.47	6.24	50.37	162.08
Eggplant	35% shading	256.51	17.45	147.99	421.95
	35% shading	218.75	13.40	125.53	357.68
	55% shading	187.50	10.25	109.63	307.38
Sweet pepper	Natural	187.11	32.75	115.03	334.89
	35% shading	166.41	29.99	94.22	290.62
	55% shading	157.55	28.23	88.07	273.85

Table 4. Influence of sunlight intensity on the mineral composition of xylem exudate in solanaceous fruit vegetables

Crop	Sunlight intensity	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
		ppm							
Tomato	Natural	54.88	264.42	100.49	61.83	2.50	0.58	0.30	0.28
	35% shading	42.68	220.19	83.33	55.73	2.01	0.44	0.24	0.22
	55% shading	34.15	187.50	66.18	42.75	1.63	0.32	0.16	0.14
Eggplant	Natural	79.27	341.35	203.43	85.80	3.61	1.61	0.43	0.33
	35% shading	63.85	326.92	187.25	76.34	2.95	1.49	0.37	0.26
	55% shading	59.76	293.27	175.00	66.72	2.11	1.25	0.34	0.24
Sweet pepper	Natural	60.98	291.35	98.04	27.02	3.21	0.73	0.53	0.39
	35% shading	56.10	274.04	91.67	22.90	2.91	0.71	0.51	0.36
	55% shading	50.00	254.81	88.24	20.61	2.76	0.60	0.49	0.25

ゲネシウム、鉄及びマンガン濃度、ピーマンでは銅及び亜鉛がそれぞれ他作物よりも高かったのに対し、トマトではこれらの成分濃度が低かった (Table 4)。遮光が強くなるにつれてこれらの無機成分濃度がいずれも低下し、とくにトマトではその低下がより顕著であった。

7. 溢泌液中のサイトカイニン

Fig. 6 に示すように、ナスではトランスゼアチン濃度が他作物よりも高かった。しかし株当たり時間当たりの溢泌液中のトランスゼアチン含量はトマトで他作物よりも多かった。遮光が強くなるにつれてトランスゼアチン含量が減少した。トマトではその減少程度が著しく、次いでナス、ピーマンの順となった。

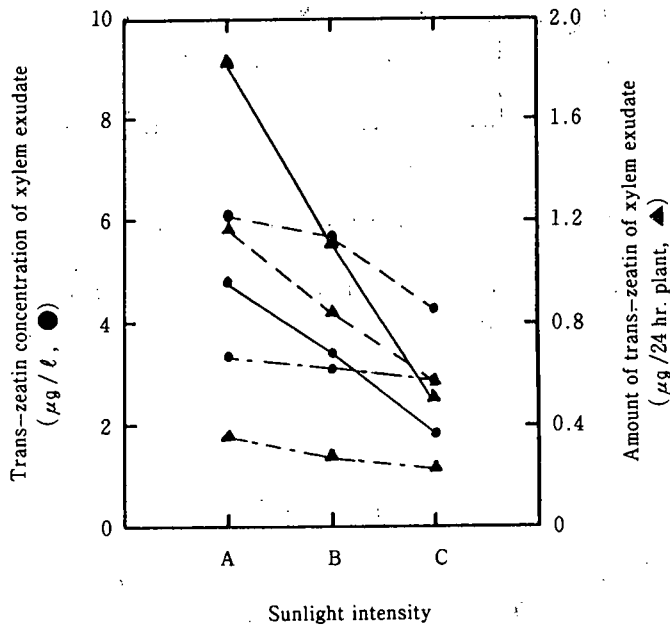


Fig. 6. Influence of sunlight intensity on the trans-zeatin content of xylem exudate in solanaceous fruit vegetables.

A, natural sunlight ; B, 35% shading ; C, 55% shading.

———— Tomato ; - - - - Eggplant ; ····· Sweet pepper.

8. サイトカイニン含量と収量との関係

Fig. 7 に示すように根重が多いほどサイトカイニン生産量が多くなる傾向が見られた。とくにトマトでは著しかった。

Fig. 8 に示すように、溢泌液中のトランスゼアチン含量と収量との間に高い正の相関が見られた。

考 察

1. 生育と収量について

本実験において遮光によりトマト、ナスとピーマンとも株の乾物重と収量が減少し、遮光が強いほどこの傾向が著しくなった (Fig. 1 と 2)。光は光合成作用にとって不可欠なものであり、照度の低下で光合成が抑えられるので、生育と収量の低下を招くものと思われる。渡辺⁹⁾は照度の低下

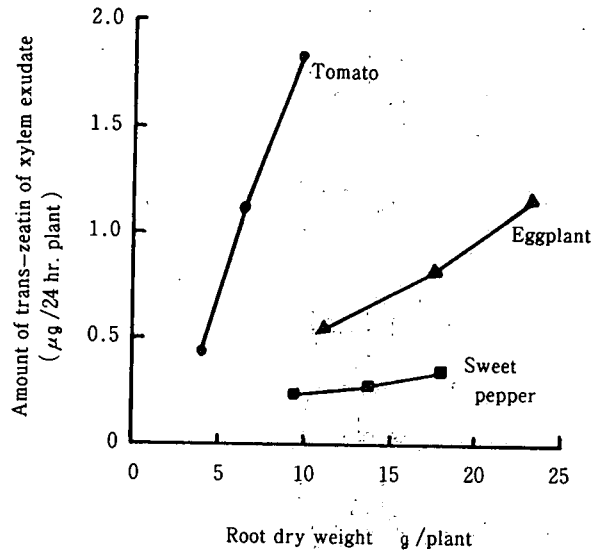


Fig. 7. Relationship between root dry weight and amount of trans-zeatin in the xylem exudate of solanaceous fruit vegetables

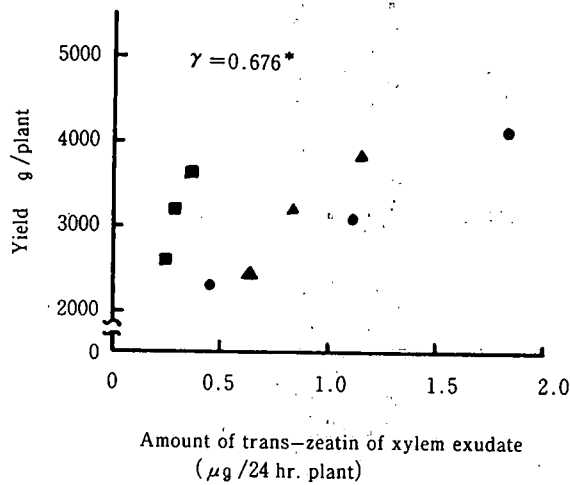


Fig. 8. Correlation between amount of trans-zeatin in the xylem exudate and yield in solanaceous fruit vegetables.

● Tomato ; ▲ Eggplant ; ■ Sweet pepper.

*Significant at 5 % level.

に伴ってトマトの光合成が低下したことを認めているし、日照不足の条件下で果菜類の落花と結実不良がよく発生することが藤井ら³⁾によっても示されている。果菜別にみると、ピーマンでは遮光

による生育と収量の低下が最も少なく、次いでナス、トマトではその低下が著しく多かった。これはピーマンの光飽和点が約3万ルクスで、トマトの7万とナスの4万ルクスよりも低いことによるので¹⁰⁾、日照の低下に伴う光合成の低下がトマトとナスより少なかったためではないかと考えられる。

2. 根の発育と養水分吸収及びサイトカイニン生産について

日照の低下に伴って根中の可溶性糖分と澱粉の含有率が減少し、とくにトマトはより著しい減少傾向を示していた (Table 1)。日照が弱いほど体内の可溶性糖分と澱粉の含有率が減少したことは斉藤ら⁵⁾によっても認められている。これは日照の低下による光合成の抑制や葉から根への光合成産物の転流の減少などによるものと思われる。

根の発育が地上部からの光合成産物の転流の多少に大きく影響されている。各果菜とも自然日照区で光合成が盛んに行われるために光合成産物が根にも多く転流され、根張りが良好となった。直径1mm以上の太根根数が多く、根系も大きく、しっかりと深くまで分布していた (Fig. 3と4)。太根根数が多いほど収量が増加する傾向が見られた (Fig. 5)。この結果は既報¹¹⁾の結果と一致している。しかし日照が弱くなるにつれて太根根数が減少し、根系分布は浅く小さくなった。とくに、トマトの根系はナスとピーマンよりも貧弱であった。日照の低下による光合成の抑制が引き起こされ、葉で生産された光合成産物が減少し、葉から根への炭水化物の転流がますます少なくなることが考えられる。この炭水化物の不足で根の発育が阻害されるので、太根が減少し、貧弱な根系となると思われる。とくにトマトではこの傾向が著しかった。

溢泌速度はトマトで最も速く、次いでナス、ピーマンの順となった (Table 2)。遮光処理によって各果菜とも溢泌速度は低下する傾向を示していたが、トマトはナスとピーマンよりも顕著に低下した。遮光による溢泌速度の低下は光合成産物の不足で根の発育が悪くなり、根系が貧弱となったことによるものと思われる。とくに、弱光下でトマト根の発育がナスとピーマンに比べて著しく不良であるので、根の吸水能力も著しく低下したのであろう。

一方、根の可溶性窒素の含有率が遮光に伴って増加したが、不溶性窒素が著しく減少した。(Table 1)。また溢泌液中の全窒素、硝酸態窒素、アンモニア態窒素、有機態窒素、リン、カリ、カルシウム、マグネシウム、鉄、マンガン、銅及び亜鉛の濃度と吸収量はいずれも日照の低下に伴って減少した (Table 3, 4)。果菜別では、いずれの成分においてもトマトはナスとピーマンに比べてより顕著に低下する傾向が見られた。これは遮光による根の発育不良に起因する吸収力低下によるものと考えられる。

サイトカイニンは主に根で生産されるので¹²⁻¹⁶⁾、日照の低下による根系の貧弱で、サイトカイニン生産が減少したものと思われる (Fig. 6と7)。WOOLLEYら¹⁷⁾は低照度でサイトカイニン含量が低下すると報告しており、本実験の結果と一致している。トマトは日照の低下による根の発育阻害がナスとピーマン以上に著しいものであることから、サイトカイニン生産もそれに対応した結果と思われる。また溢泌液中のサイトカイニン含量と収量との間に高い正の相関が認められたことから (Fig. 8)、遮光によるサイトカイニン生産の減少は生育と収量の低下をもたらす要因であると考えられる。植物の老化、生長速度および光合成は根から地上部へのサイトカイニン供給によって大きく左右されることは多くの実験によって示されている¹⁸⁻²⁰⁾。SKENEら¹⁵⁾は溢泌液のサイトカイニン含量がブドウの生育及び収量に大きな影響を及ぼしていることを報告している。STEVENSら¹⁶⁾は桜桃の溢泌液のサイトカイニン含量と収量との間には高い正の相関が見られると報告している。

以上の結果により、日照の低下で光合成が抑制され、体内の炭水化物が不足するので、根の発育が不良となり、根系は細根型となり、しかも分布が狭く、浅く、吸収能力の低い貧弱なものとなる。

その結果として、根のサイトカイニン生産と養水分吸収が低下し、それに伴って生育が抑制され、収量が減少するものと考えられる。

要 約

異なる日照強度条件下で(自然日照区, 35%遮光区と55%遮光区)トマト(福寿2号); ナス(はやぶさ)及びピーマン(新さきがけみどり)を供試してビニルハウス内で栽培し, 生育, 収量ならびに溢泌液中の化学組成に及ぼす影響について調査した。

1. 遮光に伴って各果菜とも生育が抑えられ, 収量が減少したが, トマトはナスとピーマンよりも著しかった。
2. 遮光によって根の不溶性窒素, 可溶性糖分及び澱粉含有率が減少したので, 根の発育が不良となり, 根系は細根多く, 分布狭く, 浅い貧弱なものとなった。株の太根根数と収量との間に高い正の相関が認められた。
3. 遮光によって溢泌速度と溢泌液中のサイトカイニン, 硝酸態窒素, アンモニア態窒素, リン, カリ, カルシウム, マグネシウム, 鉄, マンガン, 銅ならびに亜鉛の濃度が減少し, とくに, トマトではその傾向がより顕著であった。
4. 溢泌液中のサイトカイニン含量と収量との間に高い正の相関が見られた。
5. 以上の結果により, 遮光による日照不足で生育と収量が減少したのは根の発育, サイトカイニン及び養水分吸収の抑制と密接に関係していると思われる。ナス科果菜のうち, ピーマンは低日照条件に強く, 次いでナスで, トマトは最も弱かった。

文 献

- 1) 加藤 徹・鐘 鈴鋒: ナス科果菜の比較生理生態的研究(第1報) 培養液濃度が生長, みかけの同化量, 葉の蒸散速度および根の呼吸に及ぼす影響. 生物環境調節, 25, 7-12 (1987).
- 2) 大野 元・正木 敬: 過繁茂による結実障害. 農林技術研究開発資料, p.399-401 (1981).
- 3) 藤井健雄: 果菜類の落花に関する研究. P.58-81, 河出書店, 東京(1948).
- 4) 石田 薫: ナスの花成に及ぼす日長と温度の影響(第4報) 光の強さと日長感応について. 農及園, 47, 1059-1060 (1972).
- 5) 斉藤 隆・畑山富男・伊藤秀夫: トマトの生育ならびに開花結実に関する研究(第2報) 育苗期の日長と光の強さが生育ならびに開花結実に及ぼす影響. 園学雑, 32, 49-60 (1963).
- 6) 鐘 鈴鋒・加藤 徹・沢村正義: ナス科果菜の比較生理生態的研究(第7報) 溢泌液中の化学組成に及ぼす施用窒素の形態の影響. 生物環境調節, 26, 53-60 (1988).
- 7) 鐘 鈴鋒・加藤 徹: ナス科果菜の比較生理生態的研究(第6報) 生育および体内成分に及ぼす窒素形態の影響. 生物環境調節, 26, 9-19 (1988).
- 8) 鐘 鈴鋒・加藤 徹: ナス科果菜の溢泌液中のサイトカイニンに及ぼす窒素形態の影響. 高知大学研報, 農学, 37, 29-37 (1988).
- 9) 渡辺 斉: 低光度下におけるトマトの苗の発育と温度, 日長, 灌水量との関係について. 千葉大園学報, 7, 57-66 (1959).
- 10) 巽 稔・堀 裕: そ菜の光合成に関する研究1. 光の強さとそ菜幼植物の同化特性. 園試報, A 8, 127-140 (1969).
- 11) 加藤 徹・鐘 鈴鋒: ナス科果菜の比較生理生態的研究(第3報) 生育, 収量ならびに養分吸収に及ぼ

す微量元素添加の影響. 生物環境調節, 25, 83-89 (1987).

- 12) CHEN, C-M., ERTL, G. R., LEISNER, S. M. and CHANG, C-C.: Localization of cytokinin biosynthetic sites in pea plants and carrot roots. *Plant Physiol.*, 78, 510-513 (1985).
- 13) DAVEY, J. E. and VAN STADEN, J.: Cytokinin translocation: Changes in zeatin and zeatin-riboside levels in the root exudate of tomato plants during their development. *Planta*, 130, 69-72 (1976).
- 14) SKENE, K. G. M. and KERRIDGE, G. H.: Effect of root temperature on cytokinin activity in root exudate of *Vitis vinifera* L. *Plant Physiol.*, 42, 1131-1139 (1967).
- 15) SKENE, K. G. M. and ANTCLIFF, A. J.: A comparative study of cytokinin levels in bleeding sap of *Vitis vinifera* (L) and the two grapevine rootstocks, Salt Creek and 1613. *J. Exp. Bot.*, 23, 283-293 (1972).
- 16) STEVENS, G. A. Jr. and WESTWOOD, M. N.: Fruit set and cytokinin-like activity in the xylem sap of sweet cherry (*Prunus avium*) as affected by rootstock. *Physiol. Plant.*, 61, 464-468 (1984).
- 17) WOOLLEY, D. J. and WAREING, P. E.: The interaction between growth promoters in apical dominance. 11. Environmental effects on endogenous cytokinin and gibberellin levels in *Solanum andigena*. *New Phytol.*, 71, 1015-1025 (1972).
- 18) CARMÍ, A. and VAN STADEN, J.: Role of roots in regulating the growth rate and cytokinin content in leaves. *Plant Physiol.*, 73, 76-78 (1983).
- 19) SITTON, D., ITAI, C. and KENDE, H.: Cytokinin production as a factor in shoot senescence. *Planta*, 73, 296-300 (1967).
- 20) CARMÍ, A. and KOLLER, D.: Regulation of photosynthetic activity in the primary leaves of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by materials moving in the water conducting system. *Plant Physiol.*, 64, 285-288 (1979).

(昭和63年9月30日受理)

(昭和63年12月27日発行)

