

ナス科果菜の比較生理学的研究 (第3報)

頂芽部のホルモンレベル, 体内成分並びに光合成機能に及ぼす土壤水分の影響

鐘 鈴鋒・加藤 徹・許 秀萍・福元康文

(農学部蔬菜園芸学研究室)

Comparative Studies on the Physiological Characteristics in Solanaceous Fruit Vegetables

(3). Effects of Soil Moisture on Hormone Level in Shoot Apices, Chemical Constituents and Photosynthetic Function.

Lingfeng ZHONG, Toru KATO, Xiuping XU and Yasufumi FUKUMOTO

Laboratory of Vegetable Crop Science, Faculty of Agriculture

Abstract: Tomato (cv. Fukuzyu No. 2), eggplant (cv. Hayabusa) and sweet pepper (cv. Shinsakigakemidori) grown in 12cm pots under various soil moistures in order to clarify the influences of soil moisture content on plant growth and endogenous hormones in shoot apices.

1. Lower soil moisture content inhibited plant growth with reduction of transpiration rate and photosynthetic rate, especially in eggplant, but higher soil moisture content promoted plant growth in each vegetable with increased partitioning of dry matter to stem.

2. Soluble nitrogen, insoluble nitrogen and total nitrogen contents in top decreased with increasing soil moisture content. However, plants treated with medium soil moisture content showed higher soluble sugar and starch contents in top than those grown under lower and higher soil moisture contents.

3. Lower soil moisture content resulted in reduction of cytokinin (CK), gibberellin-like substances (GAs) and indoleacetic acid (IAA) levels and increase of abscisic acid (ABA) level in shoot apices in following descending order: eggplant, sweet pepper and tomato.

4. It was shown that the partitioning of dry matter to stem was regulated by GAs/CK and GAs/ABA ratios in shoot apices.

緒 言

著者ら¹⁾はナス科果菜の生育及び収量に及ぼす土壤水分の影響について検討し、トマトはナスとピーマンに比べて多土壤水分条件下で乾物分配が茎に傾き、徒長しやすく、それに伴って果実生産も低下しやすいことを報告している。また乾物分配と体内ホルモンのバランスとの関係についても検討し、ジベレリン含量、ジベレリンとサイトカイニンあるいはアブシジン酸比が高いほど茎への乾物分配が多くなることを明らかにした²⁾。本実験では異なる土壤水分環境条件下で各果菜の光合成及び頂芽部のホルモンレベルに及ぼす影響について比較検討した。

材料及び方法

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1988年5月10日に播種し, 子葉展開後の5月27日に12cmの育苗用ポリポットに鉢上げ, ガラス室内で栽培した。床土として土とバークは等量で作成し, 三要素各3 kg/a, 苦土石灰12kg/a, を施用した。少水分区, 中水分区及び多水分区を設けた。毎朝10時前後に少水分区に40—50ml, 中水分区に100—120ml, 多水分区に150—160mlをかん水した。なお天気及び生育に伴って生育速度を考慮してかん水量をやや増加した。実験は7月3日まで行い, 栽培管理は慣行法に従って行った。

実験終了直前に光合成及び蒸散速度を携帯用光合成蒸散測定装置によって測定した。その後最大葉を採取して80%アセトンで抽出し, 分光光度計で葉のクロロフィル含量を測定した。

さらに各果菜の頂芽部を採取し, 体内のホルモン分析に供した後, 株を掘りあげ, 葉, 茎と根に分け, 葉については自動葉面積計で葉面積を測定するとともに80°Cで乾燥後各部位の乾物重を測定した。葉と茎を混合して粉碎し, 分析に供した。

窒素化合物と炭水化物の分析は既報³⁾と同じ方法で測定した。

頂芽部の内生ホルモンの分析も既報²⁾と同様な方法で行った。すなわちサイトカイニンをブタノールで分画抽出し, 高速液体クロマトグラフィー (HPLC) で測定した。ジベレリン, オーキシシン及びアブシジン酸を酢酸エチルで分画抽出し, オーキシシン及びアブシジン酸をHPLCによって, ジベレリンをレタス生物検定法によってそれぞれ測定した。ジベレリン含量はGA₃当量で示した。

結 果

1. 生育に及ぼす影響 Table 1 に示すように, トマトでは乾物重がナスとピーマンよりも著し

Table 1. Influence of soil moisture on the growth in solanaceous fruit vegetables

Crop	Soil moisture	Leaves	Stems	Roots	Total	Plant height (cm)
Tomato	Low	1.14	0.83	0.36	2.33 (64.9) [*]	22.73
	Medium	1.62	1.50	0.47	3.59 (100.0)	36.77
	High	2.17	2.60	0.50	5.27 (146.8)	50.07
Eggplant	Low	0.79	0.43	0.31	1.53 (49.5)	19.07
	Medium	1.51	1.04	0.54	3.09 (100.0)	26.80
	High	2.34	2.17	0.67	5.18 (167.6)	32.30
Sweet pepper	Low	0.72	0.37	0.26	1.35 (58.7)	19.13
	Medium	1.14	0.82	0.24	2.30 (100.0)	28.67
	High	1.60	1.55	0.41	3.56 (154.8)	37.47

^{*}Relative growth rate, compared with medium soil moisture treatment.

く多かった。各果菜とも土壤水分が多いほど生育が促進され、乾物重が多くなった。また草丈も同様な傾向を示していた。中水分区に対して少水分区で各果菜とも生育が抑制されたが、その程度はトマトでは少なく、次いでピーマンで、ナスでは著しかった。これに対して、多水分区でナスの乾物重の増加がトマトとピーマンに比べて多かった。

乾物分配では、Table 2 に示すように、トマトはナスとピーマンに比べて分配が茎に傾き、逆に

Table 2. Influence of soil moisture on the partitioning percentage of dry matter and T/R (top: root) ratio in solanaceous fruit vegetables

Crop	Soil moisture	Leaves	Stems (%)	Roots	T/R ratio
Tomato	Low	48.93	35.62	15.45	5.47
	Medium	45.13	41.78	13.09	6.64
	High	41.18	49.33	9.49	9.54
Eggplant	Low	51.63	28.11	20.26	3.94
	Medium	18.87	33.66	17.47	4.72
	High	45.17	41.89	12.94	6.73
Sweet pepper	Low	53.33	27.41	19.26	4.19
	Medium	49.57	35.65	14.78	5.76
	High	44.94	43.54	11.52	7.68

根に少なく、T/R率(地上部/根の比率)は高かった。土壤水分が高まるに伴って各果菜とも茎への分配が著しく増加し、根と葉への分配が減少し、T/R率は高くなった。とくに、トマトではより著しかった。

2. 葉面積, クロロフィル含量, 蒸散速度及び光合成速度に及ぼす影響 Table 3 に示すように、

Table 3. Influence of soil moisture on the leaf area, chlorophyll content and photosynthetic rate in solanaceous fruit vegetables

Crop	Soil moisture	Leaf area (cm ²)	Chlorophyll content (mg/dm ²)	Transpiration rate (g/hr. dm ²)	Photosynthetic rate (CO ₂ mg/hr. dm ²)
Tomato	Low	333.17	3.24	1.76	17.65
	Medium	680.83	3.16	2.75	24.04
	High	773.60	2.72	2.83	22.98
Eggplant	Low	254.97	3.15	1.32	14.63
	Medium	628.83	2.82	2.72	20.67
	High	797.37	2.66	2.96	21.35
Sweet pepper	Low	213.81	3.91	1.90	14.23
	Medium	391.33	3.63	3.05	17.87
	High	447.50	3.22	3.22	18.22

トマトは光合成速度がいずれもナスとピーマンよりも著しく速かった。各果菜とも土壌水分が多いほど葉面積と蒸散速度が増加したが、クロロフィル含量は逆の傾向を示した。光合成速度はトマトが中水分区で最も速かったが、ナスとピーマンでは土壌水分が多いほど光合成速度が増加し、とくにナスでは著しかった。また中水分区に対して少水分区ではナスの光合成速度の低下が他の果菜よりも多かった。

3. 体内成分に及ぼす影響 Table 4に見られるように、各果菜とも地上部の可溶性窒素、不溶

Table 4. Influence of soil moisture on the nitrogenous compounds, soluble sugar and starch contents of top in solanaceous fruit vegetables

Crop	Soil moisture	Soluble N	Insolubl N		Total N	Soluble sugar	Starch
			(% Dry weight basis)				
Tomato	Low	1.74	2.04		3.74	2.98	2.46
	Mediun	1.15	1.94		3.09	4.66	3.78
	High	0.71	1.65		2.36	3.48	3.11
Eggplant	Low	1.89	2.33		4.21	3.26	2.88
	Medium	1.20	2.03		3.23	5.47	4.48
	High	0.85	1.77		2.62	5.26	4.18
Sweet pepper	Low	2.19	2.61		4.80	3.05	2.36
	Medium	1.55	2.35		3.90	4.37	3.99
	High	1.10	2.08		3.18	3.91	3.53

性窒素及び全窒素が各果菜とも少水分区で高く、土壌水分が多いほど低下する傾向が見られた。一方可溶性糖分と澱粉の含量が各果菜とも中水分区で最も高く、次いで多水分区、少水分区の順になった。

4. 頂芽部のホルモンレベルに及ぼす影響 Table 5に示すように、頂芽部のサイトカイニン、

Tabl 5. Influence of soil moisture on the endogenous hormone levels of shoot apices in solanaceous fruit vegetables

Cpop	Soil moisture	CK		GAs		IAA		ABA		GAs/CK* ratio	GAs/ABA* ratio
		A	B	A	B	A	B	A	B		
Tomato	Low	0.319	0.048	0.102	0.0155	1.875	0.285	0.219	0.033	0.320	0.466
	Medium	0.380	0.062	0.230	0.0374	3.599	0.585	0.140	0.023	0.605	1.643
	High	0.207	0.032	0.396	0.0612	2.660	0.411	0.068	0.011	1.913	5.824
Eggplant	Low	0.189	0.027	0.045	0.0065	1.005	0.144	0.484	0.069	0.238	0.093
	Medium	0.275	0.044	0.120	0.0191	1.894	0.302	0.331	0.053	0.436	0.363
	High	0.152	0.023	0.185	0.0282	1.363	0.208	0.159	0.024	1.217	1.164
Sweet peppdr	Low	0.201	0.029	0.048	0.0070	0.886	0.129	0.560	0.082	0.239	0.086
	Medium	0.260	0.039	0.102	0.0153	1.556	0.233	0.369	0.055	0.392	0.276
	High	0.160	0.023	0.226	0.0321	1.117	0.159	0.129	0.018	1.413	1.752

CK, cytokinin; GAs, gibberellin-like substances; IAA, indoleacetic acid; ABA, abscisic acid. A, $\mu\text{g/g}$, fresh weight; B, $\mu\text{g/plant}$.

*, Concentration ($\mu\text{g/g}$, fresh weight) ratio.

ジベレリン並びにオーキシン濃度及び株当りの含量がトマトでナスとピーマンよりも高かった。しかし、アブシジン酸は逆の傾向を示した。各果菜とも頂芽部のサイトカイニン及びオーキシン含量がいずれも中水分区で少水分区と多水分区に比べて多い傾向が見られた。一方ジベレリン含量が土壤水分が多いほど増加したが、アブシジン酸含量は逆の傾向を示した。さらに、ジベレリン/サイトカイニンあるいはアブシジン酸比がトマトではナスとピーマンに比べて高く、土壤水分の増加で高められた。

考 察

1. 土壤水分と光合成及び生育との関係 トマトは生育が著しく早く、乾物重がナスとピーマンよりも多く、光合成速度に対応する傾向が見られた。これは既報²⁾の結果と一致している。

本実験では各果菜とも土壤水分が多いほど生育が促進されたが、少水分区で生育が抑制され、トマト、ピーマン、ナスの順に生育抑制割合が著しかった。また、少水分区では根への乾物分配が中、多水分区よりも多く、少水分区で根よりも地上部とくに茎の生育がより顕著に阻害された (Table 1, 2)。これは既報¹⁾の結果と一致している。少水分条件下で蒸散速度が低下するために光合成速度が低下し、ひいては生育の阻害につながるものと思われる。とくにナスでは乾燥による光合成速度の低下が他の果菜よりも著しかったので、生育もそれに対応しているものと考えられる。一方既報¹⁾においてはナスは植物全体に占める葉の割合が著しく大きいので、トマトに比べて要水量が多いうえに耐水性があることを報告しているが、本実験でも多水分区でナスの生育促進がトマトとピーマンよりも著しい傾向が見られた。多水分区での生育促進は葉面積の拡大と光合成の増加と関係しているように思われる。

一方、葉のクロロフィルの含有量は各果菜とも少水分区で高く、土壤水分区が多くなるにつれて低下した。これは既報¹⁾の結果と一致しており、乾燥下では葉面積拡大が阻害されるので、クロロフィルが葉に濃縮され、逆に多水分条件下で葉面積拡大に伴うクロロフィルの希釈効果であろう。しかし、光合成速度は葉のクロロフィル含量と逆の傾向を示し、蒸散速度にはほぼ対応していた。これは既報¹⁾の結果と一致している。このことから、光合成速度がクロロフィル含有量よりも蒸散速度に強く影響されているように思われる。

土壤水分が少ないほど可溶性窒素、不溶性窒素及び全窒素含量が増加した。可溶性糖分及び澱粉の含量は各果菜とも中水分区で最も高く、次いで多水分区、少水分区の順になった。ほぼ同様な結果が齊藤ら^{4,5)}によっても報告されている。少水分条件下での炭水化物含量の低下は光合成速度の低下と関係しているように思われる。

2. 土壤水分と内生ホルモンとの関係 本実験においても既報²⁾と同様に生育量の多いトマトでは生育促進物質としてのサイトカイニン、ジベレリン及びオーキシン含量がナスとピーマンに比べて高く、逆に生育抑制物質としてアブシジン酸含量が低い傾向が見られた (Table 5)。

各果菜ともサイトカイニンとオーキシン含量が中水分区で最も高く、少水分あるいは多水分区で低くなった。とくに少水分区ではナス、多水分区ではトマトのサイトカイニン含量が中水分区よりもそれぞれ著しく低下した。乾燥と多湿の条件下で溢液及び体内のサイトカイニン含量が低下することが BURROWS ら⁶⁾と ITAI ら⁷⁾によって報告されており、本実験の結果と一致している。オーキシンに及ぼす土壤水分の影響についての研究報告はほとんど見られないが、サイトカイニンと同じく乾燥と多湿のような不良条件下で生合成が阻害されるように思われる。また本実験では土壤水分が少ないほどアブシジン酸含量が増加し、ジベレリンは逆の傾向を示した。AHARORI ら⁸⁾は乾燥条件下でレタス葉のジベレリン含量が低下することを報告している。ZEEVAART⁹⁾は乾燥下でアブシジ

ン酸含量が増加すると報告している。本実験の結果はこれらの報告と一致している。乾燥下で、ジベレリンの生合成が阻害され、逆にアブシジン酸の生合成が促進されるものと考えられる。これらの結果から、乾燥下での生育の抑制はサイトカイニン、ジベレリン及びオーキシン含量の低下及びアブシジン酸含量の増加と関係しているように思われる。アブシジン酸は蒸散と光合成を抑制するので^{10,11)}、乾燥下でのアブシジン酸含量の増加は蒸散と光合成を低下させ、ひいては生育を低下させるかも知れない。逆に、多水分でアブシジン酸の生産が抑制され、ジベレリンの生産が促進されるので、生育の促進につながるものと考えられる。

各果菜とも体内の炭水化物含量の多い中水分区ではサイトカイニンとオーキシン含量が高い傾向が見られた。また、体内の不溶性窒素と炭水化物含量が低下するとともに体内のジベレリン含量が増加した。アブシジン酸は体内炭水化物含量との間には明かな関係が見られなく、アブシジン酸は不良な条件下で生産されやすいように思われる。

3. 体内のホルモンと乾物分配との関係 本実験でも既報²⁾と同様にジベレリン様物質が頂芽部に多く、逆にサイトカイニンとアブシジン酸が少なすぎると、茎への乾物分配が著しく増加する傾向が見られた。茎の乾物分配率の高いトマトではジベレリン含量、またはジベレリン/サイトカイニンあるいはアブシジン酸比が高く、逆に茎の乾物分配率の低いナスとピーマンでは低かった。また土壌水分の増加に伴う茎の乾物分配率の増加はジベレリン/サイトカイニンあるいはアブシジン酸比の増加に対応していた。

以上より、トマトは乾燥に強く、ナスは逆に多湿に強く、ピーマンは広い水分適応性を持っている。またトマトはナスとピーマンに比べて茎への乾物分配が多いのは体内のジベレリン含量だけではなく、ジベレリンとサイトカイニンあるいはアブシジン酸のバランスにも起因することが考えられる。

要 約

少水分区、中水分区及び多水分区を設けてトマト‘福寿2号’、ナス‘はやぶさ’及びピーマン‘新さきがけみどり’をそれぞれポットで栽培し、生育と光合成、体内成分並びに頂芽部のホルモンレベルとどう関係しているかについて比較検討した。

1. 各果菜とも土壌水分が多いほど生育が著しく促進された。少水分区ではトマトは生育の低下が少なく、逆に多水分区でナスの生育がより顕著に促進された。土壌水分が多いほど茎への乾物分配率とT/R率が高くなり、とくにトマトではより顕著であった。

2. 各果菜とも土壌水分が高いほど葉面積及び蒸散速度が増加したが、クロロフィル含量は逆の傾向を示した。トマトでは光合成速度が中水分区で高いのに対して、ナスとピーマン、とくにナスでは土壌水分が多いほど高くなった。

3. トマトはサイトカイニン、ジベレリン及びオーキシン含量がナスとピーマンに比べて高く、逆にアブシジン酸含量が低かった。各果菜とも炭水化物含量の多い中水分区ではサイトカイニン及びオーキシン含量が高かった。アブシジン酸含量が少水分区で高く、逆にジベレリン含量が土壌水分が多いほど高くなった。

4. 茎の乾物分配率の高いトマトではジベレリン/サイトカイニンあるいはアブシジン酸比が高く、逆に茎の乾物分配率の低いナスとピーマンでは低かった。また土壌水分の増加に伴う茎の乾物分配率の増加はジベレリン/サイトカイニンあるいはアブシジン酸比の高まりに対応していた。

文 献

- 1) 鐘 鈴鋒・加藤 徹：ナス科果菜の生育及び収量に及ぼす土壤水分の影響。高大学研報，農学，37，51-59 (1988)。
- 2) 鐘 鈴鋒・加藤 徹：ナス科果菜の比較生理学的研究 (第1報) 頂芽部のホルモンレベル，体内成分並びに光合成機能に及ぼす日照の強さの影響。高大農システム園実研報，5，55-66 (1988)。
- 3) 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)。
- 4) 斉藤 隆・伊東秀夫：ナスの開花・結実に関する研究 (第8報) 花の発育，形態および落花に及ぼす幼苗期の環境条件の影響。園学雑，42，155-162 (1973)。
- 5) 斉藤 隆・伊東秀夫：トマトの生育ならびに開花・結実に関する研究 (第10報) 花の形態，機能および落花に及ぼす幼苗期の環境条件の影響 (2) 水量，摘葉及び Gibberellin 施与の影響。園学雑，36，19-27 (1967)。
- 6) BURROWS, W. J. and CARR, D. J. Effects of flooding the root system of sunflower plants on the cytokinin content in the xylem sap. *Physiol. Plant.* 22, 1105-1112 (1969)。
- 7) ITAI, C. and VAADIA, Y. Cytokinin activity in water-stressed shoots. *Plant Physiol.* 47, 87-90 (1971)。
- 8) AHARONI, N. BLUMENFELD, A. and RICHMOND, A. E.: Hormonal activity in detached lettuce leaves as affected by leaf water content. *Plant Physiol.*, 59, 1169-1173 (1977)。
- 9) ZEEVAART, J. A. D.: Changes in the levels of abscisic acid and its metabolites in excised leaf blades of *Xanthium strumarium* during and after water stress. *Plant Physiol.*, 66, 672-678 (1980)。
- 10) 加藤 徹：野菜の生育調節。P. 32-286 博友社，東京 (1988)。
- 11) SEEMANN, J. R. and SHARKEY, T. D.: The effect of abscisic acid and other inhibitors on photosynthetic capacity and the biochemistry of CO₂ assimilation. *Plant Physiol.* 84: 696-700 (1987)。

(平成元年9月29日受理)

(平成元年12月27日発行)

