

ナス科果菜の比較生理学的研究 (第4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窒素形態の影響

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

(4). Effects of Nitrogen Form 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 sand culture in order to clarify the influences of nitrate nitrogen and ammonium nitrogen on plant growth and endogenous hormones in shoot apices.

Ammonium nitrogen inhibited remarkably plant growth with the reduction of transpiration rate and photosynthetic rate compared with those grown under nitrate nitrogen, especially in tomato plants. Ammonium nitrogen reduced more partitioning of dry matter to root and resulted in an increase in top to root ratio of tomato plants than eggplant and sweet pepper. Plants grown under nitrate nitrogen showed higher insoluble nitrogen, starch, cytokinin, gibberellin-like substances, indoleacetic acid levels and lower abscisic acid level in shoot apices compared with those grown under ammonium nitrogen.

緒 言

既報¹⁻⁴⁾でトマト, ナスとピーマンの生育並びに植物体各部位の化学成分に及ぼす施用硝酸態窒素とアンモニア態窒素の濃度比率の影響について検討してきた。施用硝酸態窒素とアンモニア態窒素の濃度比率を7:3とした場合に生育が著しく促進されたが, それよりも施用アンモニア態窒素の濃度比率が高まるにつれて植物体各部位のアンモニア態窒素濃度が著しく増加するとともに生育が阻害され, ナス, ピーマン, トマトの順に生育が著しく阻害されることを明らかにした。本実験では光合成, 体内成分並びに頂芽部の内生ホルモンレベルの面から検討を加え, 植物生育に及ぼす硝酸態窒素及びアンモニア態窒素の影響の生理的機構を明らかにしようとした。

材料及び方法

トマト, '福寿2号', ナス 'はやぶさ' とピーマン '新さきがけみどり' を1988年5月10日に水洗した川砂をつめた箱に播種し, 子葉展開後の5月27日に水洗した川砂を一杯につめた1/5000 a

のポットに1株ずつ鉢上げ，ガラス室内で活着をまって各処理の培養液をかけ流して砂耕栽培を行った。培養液の成分組成及び濃度は既報¹⁾と同様で，窒素，リン，カリ三要素各200，カルシウム80，マグネシウム24，鉄1，マンガン0.5，銅0.02，亜鉛0.05，ホウ素0.5並びにモリブデン0.05 ppmとした。硝酸態窒素区（硝酸ナトリウム）及びアンモニア態窒素区（硫酸アンモニウム）の2区を設け，処理区当り20ポットで，7月11日まで各果菜を栽培した。天候によって日に3—5回培養液をかけ流した。なお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，茎と根に分けて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を既報⁵⁾と同様な方法で測定した。

頂芽部の内生ホルモンの分析は既報⁵⁾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，各果菜とも窒素源として硝酸態窒素を施用した

Table 1. Influence of nitrate nitrogen and ammonium nitrogen on the growth in solanaceous fruit vegetables

Crop	N form	Leaves	Stems	Roots	Total	Plant height (cm)
Tomato	NO ₃ -N	10.57	10.59	4.06	25.22 (100.0)*	86.52
	NH ₄ -N	6.72	5.45	1.81	13.98 (55.4)	72.37
Eggplant	NO ₃ -N	5.87	3.91	2.86	12.64 (100.0)	45.05
	NH ₄ -N	4.80	2.69	1.68	9.17 (72.6)	40.25
Sweet pepper	NO ₃ -N	4.09	2.48	1.90	8.47 (100.0)	42.30
	NH ₄ -N	2.98	1.53	0.92	5.43 (61.1)	36.67

*Relative growth rate, compared with NO₃-N treatment.

場合に生育が促進されたが，アンモニア態窒素を施用すると生育が阻害され，とくにトマトではその生育阻害が著しかった。また草丈も乾物重と同様な傾向を示した。

乾物分配は，Table 2 に示すように，トマトは茎への乾物分配がナスとピーマンよりも多く，T/R率（地上部/根の比率）が高かった。アンモニア態窒素によって茎と根への乾物分配が減少し，T/R率が高くなった。

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

Crop	N form	Leaves	Stems (%)	Roots	T/R ratio
Tomato	NO ₃ -N	41.91	41.99	16.10	5.21
	NH ₄ -N	48.07	38.98	12.94	6.72
Eggplant	NO ₃ -N	46.44	30.93	22.63	3.42
	NH ₄ -N	52.34	29.33	18.32	4.46
Sweet pepper	NO ₃ -N	48.28	29.28	22.43	3.46
	NH ₄ -N	54.88	28.18	16.94	4.90

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, 葉面積は生育速度の速いトマトで著しく大きく, 次いでナス, ピーマンの順であった。処理区については, 窒素源として硝酸態窒素を施用した場合に各果菜とも葉面積が大きかったが, アンモニア態窒素の施用によって葉面積が小さくなった。果菜別に見ると, ナスでは受けた影響が少なく, 次いでピーマンで, 逆にトマトではその葉面積減少が多かった。葉のクロロフィル含量と蒸散速度がともにピーマンで他果菜よりも高かった。硝酸態窒素に対してアンモニア態窒素の施用によって各果菜とも葉のクロロフィル含量が高められたが, 蒸散速度が低くなる傾向が見られた。光合成速度はトマトで最も速く, 次いでナス, ピーマンの順になった。アンモニア態窒素によって光合成速度が低下し, とくにトマトでは著しかった。

Table 3. Influence of nitrate nitrogen and ammonium nitrogen on the leaf area, chlorophyll content and photosynthetic rate in solanaceous fruit vegetables

Crop	N form	Leaf area (cm ²)	Chlorophyll content (mg/dm ²)	Transpiration rate (g/hr. dm ²)	Photosynthetic rate (CO ₂ mg/hr. dm ²)
Tomato	NO ₃ -N	2321.14	3.13	2.78	26.57
	NH ₄ -N	1634.00	4.12	1.88	17.63
Eggplant	NO ₃ -N	1450.47	3.20	2.65	22.03
	NH ₄ -N	1241.76	3.80	2.14	16.33
Sweet	NO ₃ -N	822.57	3.88	3.07	18.90
	NH ₄ -N	643.84	4.61	2.20	13.02

3. 地上部の体内成分に及ぼす影響 Table 4に示すように, 窒素源として硝酸態窒素に比べてアンモニア態窒素の施用で地上部の全窒素と可溶性糖分含量が微増し, 可溶性窒素含量が著しく増加したが, 逆に不溶性窒素及び澱粉含量が減少した。とくにトマトは著しい影響を受けた。

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

Crop	N from	Soluble N	Insoluble N	Total N	Soluble sugar	Starch
Tomato	NO ₃ -N	1.12	2.53	3.65	5.46	4.07
	NH ₄ -N	1.93	2.16	4.09	5.62	2.87
Eggplant	NO ₃ -N	1.08	2.73	3.81	6.46	5.67
	NH ₄ -N	1.63	2.56	4.19	6.52	4.71
Sweet pepper	NO ₃ -N	1.21	2.99	4.20	4.92	4.21
	NH ₄ -N	2.01	2.67	4.68	5.12	3.26

Table 5. Influence of nitrate nitrogen and ammonium nitrogen on the endogenous hormone levels of shoot apices in solanaceous fruit vegetables

Crop	N from	CK		GAs		IAA		ABA		GAs/CK* ratio	GAs/ABA* ratio
		A	B	A	B	A	B	A	B		
Tomato	NO ₃ -N	0.326	0.055	0.134	0.0225	2.408	0.405	0.141	0.024	0.411	0.950
	NH ₄ -N	0.205	0.033	0.053	0.0084	1.289	0.205	0.383	0.061	0.259	0.138
Eggplant	NO ₃ -N	0.232	0.045	0.075	0.0146	1.293	0.251	0.282	0.055	0.323	0.266
	NH ₄ -N	0.180	0.035	0.046	0.0089	0.862	0.166	0.416	0.080	0.256	0.111
Sweet pepper	NO ₃ -N	0.238	0.039	0.069	0.0112	1.262	0.205	0.336	0.055	0.290	0.205
	NH ₄ -N	0.156	0.024	0.031	0.0048	0.606	0.094	0.466	0.072	0.199	0.067

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.

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、ジベレリン並びにオーキシン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、ジベレリン及びオーキシン含量がアンモニア態窒素によって低下し、逆にアブシジン酸含量が増加し、とくにトマトでは著しかった。また硝酸態窒素施用ではジベレリン/サイトカイニンあるいはアブシジン酸比がトマトではナスとピーマンに比べて高かった。アンモニア態窒素によってジベレリン/サイトカイニンあるいはアブシジン酸比は各果菜とも低下した。

考 察

1. 窒素形態と光合成及び生育との関係 本実験でも既報⁵⁾と同様にトマトは光合成速度が速いために生育が著しく早く、乾物重がナスとピーマンよりも多かった。また硝酸態窒素施用区に比べてアンモニア態窒素の施用によって生育が阻害され、とくにトマトではより顕著であった (Table 1)。これは既報¹⁻⁴⁾の結果と一致している。

硝酸態窒素に比べてアンモニア態窒素の施用によって各果菜とも光合成速度が低下し、とくにトマトでは著しかった (Table 3)。このことからアンモニア態窒素による生育阻害は光合成の低下と関係しているように思われる。光合成はアンモニア態窒素によって阻害されることが PURITCH ら⁶⁾ によって報告されており、本実験の結果と一致している。一方葉のクロロフィル含量がアンモニア態窒素の施用によって著しく高められたのは生育阻害による濃縮効果と考えられる。

アンモニア態窒素の施用によって各果菜とも可溶性窒素含量が著しく増加し、逆に不溶性窒素と澱粉含量が著しく減少した。とくにトマトではその傾向がより顕著であった。これは既報¹⁾の結果と一致している。アンモニア態窒素による澱粉含量の著しい低下は光合成の抑制と関係しているように思われる。

2. 窒素形態と内生ホルモンとの関係 本実験においても既報⁵⁾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の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、ジベレリン及びオーキシン含量が硝酸態窒素施用区に比べてアンモニア態窒素区で低く、アブシジン酸は逆の傾向を示した。SALAMA ら⁷⁾と YOSHIDA ら⁸⁾は硝酸態窒素に比べてアンモニア態窒素の施用によって植物体内及び分泌液中のサイトカイニン含量が低下することを報告している。また著者ら⁹⁾もアンモニア態窒素の施用でナス科果菜の分泌液中のトランスゼアチン濃度が低下することも報告している。本実験の結果はこれらの報告と一致している。一方ジベレリンとオーキシン含量に及ぼす窒素形態の影響についての報告はほとんど見られないが、サイトカイニンと同じくアンモニア態窒素で生合成が阻害されることが考えられる。これに対して、アブシジン酸はアンモニア態窒素の条件下で生合成が促進されることも考えられる。この結果から、アンモニア態窒素による生育阻害はサイトカイニン、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。

3. 体内のホルモンと乾物分配との関係 本実験でも既報⁵⁾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。アンモニア態窒素で茎への乾物分配が減少するのはジベレリン/サイトカイニンあるいはアブシジン酸比の低下と関係しているように思われる。

以上より、アンモニア態窒素による生育阻害は蒸散速度、光合成速度、サイトカイニン、ジベレリン並びにオーキシンの低下と関係しているように思われる。とくにトマトではその傾向が著しかった。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

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' をポットで砂耕し、生育と光合成、体内成分並びに頂芽部のホルモンレベルに及ぼす硝酸態窒素とアンモニア態窒素の影響について調査した。

1. 各果菜ともアンモニア態窒素の施用によって生育が阻害され、とくにトマトでは著しかった。

2. 硝酸態窒素に比べてアンモニア態窒素の施用でクロロフィル含量が増加したが、葉面積、蒸散速度並びに光合成速度が低下した。アンモニア態窒素の施用によって各果菜とも可溶性窒素含量

が著しく増加し、逆に不溶性窒素と澱粉含量が著しく減少した。とくにトマトではより顕著であった。

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。アンモニア態窒素の施用によってサイトカイニン、ジベレリン及びオーキシン含量が低下し、逆にアブシジン酸含量が増加した。

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茎の乾物分配率の低いナスとピーマンよりも高い傾向が見られた。

文 献

- 1) 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).
- 2) 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).
- 3) 鐘 鈴鋒・加藤 徹：ナス科果菜の比較生理生態的研究（第8報）生長、果実肥大ならびに溢泌液中の化学組成に及ぼす硝酸態窒素とアンモニア態窒素の濃度比率の変化の影響。生物環境調節, 27, 23-29 (1989).
- 4) 加藤 徹・鐘 鈴鋒：ナス科果菜の比較生理生態的研究（第9報）異なる夜温下の硝酸態窒素とアンモニア態窒素の濃度比率が生長、果実肥大ならびに養分吸収に及ぼす影響。生物環境調節, 27, 31-36 (1989).
- 5) 鐘 鈴鋒・加藤 徹：ナス科果菜の比較生理生態的研究（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).
- 6) PURITCH, G. S. and BARKER, A. V.: Structure and function of tomato leaf chloroplasts during ammonium toxicity. *Plant Physiol.* 42, 1229-1238 (1967).
- 7) SALAMA, A. M. EI-D. A. and WAREING, P. F.: Effects of mineral nutrition on endogenous cytokinins in plants of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *J. Exp. Bot.* 30, 971-981 (1979).
- 8) YOSHIDA, R. and ORITANI, T.: Studies on nitrogen metabolism in crop plants. XIII. Effects of nitrogen topdressing on cytokinin content. *Proc. Crop Sci. Soc. Jpn* 43:47-51 (1974).
- 9) 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).

(平成元年9月29日受理)

(平成元年12月27日発行)