窒素形態の差異とそ菜の生育 (第6報)

体内窒素成分ならびに炭水化物濃度に及ぼす施用窒素形態の影響

岩田 正利・間苧谷 徹

(東京大学農学部)

Influence of the forms of nitrogen supplied on the growth of vegetable crops. VI.

Effects of nitrogen forms on the concentrations of nitrogen fractions and carbohydrates in the plants

MASATOSHI IWATA and TÖRU MAOTANI

Faculty of Agriculture, University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo

Summary

Effects of nitrogen forms supplied on the growth, concentrations of nitrogen fractions and carbohydrates of cabbage and turnip were investigated in the solution or sand culture.

Growth of plants in the NO_3 and the $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ treatments was the greatest, and growth of NH_4 plants was the smallest, and that of urea plants was intermediate.

The tendencies of higher concentrations of total, insoluble and soluble organic nitrogen were observed in the NH_4 and the $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ treatments. However, such tendencies were not always found, when lower concentration of nitrogen was supplied. Higher concentration of nitrate nitrogen accumulated in the NO_3 treatment, and more ammonium nitrogen was found in the NH_4 and the $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ treatments. But, ammonium accumulation was much less than nitrate accumulation. In the urea treatment, lower concentrations of total, and insoluble nitrogen were found compared with those in the other treatments.

The concentrations of total, insoluble and nitrate nitrogen were higher at pH 7 than at pH 4 in cabbage leaves supplied with any forms of nitrogen. As for soluble organic nitrogen, the NO_3 treatment

was higher than the NH_4 and the $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ treatments at pH 4, on the other hand, at pH 7 vice versa. The concentration of ammonium nitrogen was somewhat higher at pH 7 than at pH 4 in the NH_4 and the $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ treatments.

The concentrations of reducing and total sugars in the leaves were higher in the urea, NH_4 and $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ treatments than in the NO_3 treatment. As for the concentrations of non-reducing sugar and starch, there were no consistent tendency owing to forms of nitrogen supplied. On cabbage leaves, the concentrations of reducing and total sugars were higher at pH 4 than at pH 7 in the NH_4 treatment, however, no differences of carbohydrate concentrations were found between pH 4 and pH 7 in the NO_3 and $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ treatments.

As for cabbage leaves, the concentrations of potassium, calcium, magnesium and sodium were the highest in the NO_3 treatment, the lowest in the NH_4 treatment, and intermediate in the $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ and urea treatments. Similar tendency was observed with regards to pH of leaf sap. There was found no difference in the phosphorus concentration owing to forms of nitrogen supplied.

そ菜を水・砂耕した場合、窒素源として硝酸態窒素を与えると生育量がもつともまさり、アンモニア態窒素を与えると劣つた。しかし、アンモニア態窒素を与えた場合でも同濃度の硝酸態窒素が共存すれば硝酸態窒素のみを与えた区に充分匹敵する生育量を示した⁽¹¹⁾。また尿素態窒素を与えてもアンモニア態窒素ほどには生育量は低下しなかつた⁽¹⁰⁾。そこで本実験ではカンラン・コカブを水・砂耕し、上記の各種形態窒素を与え、それぞれ

の体内における窒素成分、炭水化物、無機成分濃度ならびに pH 値を比較し、生育量の差との関連を明らかにしようとした。

謝辞：本研究は杉山教授の指導の下に行なわれた。また千葉大学園芸学部の渡辺博士からは種子のお世話を受けた。ここに深謝の意を表する。

実験方法

カンラン I (N 高濃度)

長岡交配秋蒔早生を 10 月中旬旬砂箱にまき、硝酸態窒

1968 年 12 月 26 日受理

素を含む完全培養液を与えて育苗し、12月中旬 15 l 容の大型平型バットに6株ずつ移植し、通気しながら水耕した。展開本葉7枚の翌1月9日より処理を開始し、1区4バットを準備した。処理としては $\text{NaNO}_3(\text{NO}_3)$, $\text{NH}_4\text{NO}_3(\text{NO}_3+\text{NH}_4)$, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4(\text{NH}_4)$, $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ (尿素) の4窒素形態区を設け、いずれもNとして10 me になるように NaNO_3 は10 ミリモル、他の塩類は5 ミリモルを与えた。なお共通培養液として各区とも KH_2PO_4 1 ミリモル, K_2SO_4 1 ミリモル, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 2 ミリモル, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 2 ミリモルを与え、その他鉄を初めとする微量要素も加えた。液替えは1週間ごととし、培養液の稀釈には水道水を用い、培養液は1バットあたり15 l を用意した。培養液のpHは時々調節し、6前後に保つようにつとめた。収穫調査は1月23日と2月13日の2回に分けて行ない、各回とも処理区あたり12株ずつ調査した。栽培はすべて無加温のガラス室内で行なった(以下の実験

カンランII

早生葉深を4月中旬砂箱にまき、硝酸態窒素を含む完全培養液を与えて育苗し、5月中旬 15 l 容の大型平型バットに6株ずつ移植し、通気水耕した。展開本葉5枚の6月1日より処理を開始し、1区2バットずつとした。処理としては NaNO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ の3窒素形態区を設け、いずれもNとして3 me になるように NaNO_3 は3 ミリモル、他は1.5 ミリモル与えた。なお共通培養液として各区とも KH_2PO_4 0.66 ミリモル, K_2SO_4 0.33 ミリモル, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 1 ミリモル, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1 ミリモルを与え、その他鉄を初めとする微量要素も加えた。収穫は6月15日に行ない、各区とも12株について調査した。

コカブ

覆下カブを4月18日に石英砂をつめた5千分の1ワグナーポットにまき、4月25日の発芽時より硝酸態窒素を含む完全培養液を与えて砂耕し、展開本葉3枚の5月13日より処理を開始し、1ポットあたり6株ずつを残した。処理としては NaNO_3 , NH_4NO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ の3窒素形態区を設け、1区10ポットずつを準備した。いずれもNとして10 me になるように NO_3 区は NaNO_3 8 ミリモルならびに NH_4NO_3 1 ミリモル, NO_3+NH_4 区は NH_4NO_3 を5 ミリモル, NH_4 区は $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 4 ミリモルならびに NH_4NO_3 1 ミリモルを与えた。なお共通培養液はカンランIの場合と同様であった。培養液は1ポットあたり1 l を用意し、1日1回かん液した。収穫は5月21日と6月9日に行ない、両回とも各処理区について1ポットあたり3株ずつ計30株について調査

した。

窒素形態とpH

葉深カンランを5月上旬砂箱にまき、硝酸態窒素を含む完全培養液を与えて育苗し、6月15日に15 l 容の大型平型バットに8株ずつ移植し、通気水耕した。展開本葉6枚の6月22日より処理を開始し、7月10日に収穫調査した。窒素形態として NaNO_3 , NH_4NO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ の3種を用い、いずれもNとして3 me になるように与えた。なおN以外の共通培養液もカンランIIの場合と同様に与えた。pHは各窒素形態区についてpH4, 7の両処理区を設け、毎日調節した。

窒素成分: 全窒素の定量はガニング変法で行なった。可溶性窒素の分析は乾燥粉末2 gを100 mlの定容フラスコに採り、脱塩水60 mlを加え、約3分半沸騰水浴中で煮沸後、時々かく拌しながら放冷し、脱塩水で定容にした。これを乾燥濾紙を用いて濾過し、濾液20 mlを分解瓶に採り、1+1 H_2SO_4 と還元鉄を加え、発生する水素により硝酸塩をアンモニアに還元後、全窒素の場合と同様な方法で定量した。全窒素と可溶性窒素との差を不溶性窒素とした。硝酸態窒素ならびにアンモニア態窒素の定量は可溶性窒素定量の際の熱水抽出濾液の一定量を採り、SCHLENKER法⁽¹⁷⁾により、硝酸態窒素はフェノール硫酸比色法で、アンモニア態窒素はネスラー比色法で定量した。両者の和を可溶性窒素から引いたものを可溶性有機態窒素とした。これら各種窒素成分はすべて乾物あたり%であらわした。

炭水化物: 乾燥粉末2 gを円筒濾紙に移し、SOXLET抽出器中で75%アルコールを用いて約4時間抽出した。抽出液は100 ml定容フラスコに移し、2/3 M中性酢酸鉛2 mlを加えて還元物質を沈でんさせ、脱塩水で定容にし、しばらく放置後、無水酢酸ソーダをあらかじめ入れてある300 ml三角フラスコ中に乾燥濾紙を用いて濾過し、鉛を除去した。これをふたたび濾過し、その濾液の一定量を用いて、ソモギ法⁽²⁰⁾で還元糖を容量分析した。全糖の場合は上記の濾液20 mlを300 ml三角フラスコに採り、7.5 N H_2SO_4 5 mlを加え沸騰水浴中で10分間加水分解後、100 ml定容フラスコに移し、30% NaOHで中和後、脱塩水で定容にし、その一定量についてソモギ法で分析した。全糖と還元糖の差を非還元糖とした。でん粉の定量はまず円筒濾紙中の抽出残渣を乳鉢で粉碎し、300 ml三角フラスコに移し、脱塩水100 mlを加えて沸騰水浴中に40分間おいて糊化させた。これに4%タカジアスターゼ10 mlとトルエンを加えて、40℃に20時間おいて糖化を完了させてから、ゆる

やかに熱してトルエンを追い出した。ついで 250 ml 定容フラスコ中に濾過し、以後還元物質除去→脱鉛→酸加水分解→中和と全糖の場合と原則的には同様の操作を経て、最後はソモギ法で定量した。なおタカジアスターゼ中にも炭水化物が含まれるので、この値を差し引いた。

無機成分：乾燥粉末 1g を磁製ルツボに入れ、500℃ に一晩おいて灰化させ、これを 1+3 塩酸 10 ml で溶解後 100 ml 定容にした。P はバナドモリブデン黄比色法、K、Na は炎光光度計法、Ca は過マンガン酸カリ滴定法、Mg はチアゾール黄比色法で定量した。

pH：-20℃ に貯蔵してあつた成熟葉身を解凍後、さく汁し、汁液の pH をガラス電極 pH メーターにより測定した。各処理区とも 3 株の平均値で示した。

実験結果

生育：カンランⅠ（N高濃度）の場合、処理 2 週間後（1 月 23 日）にくらべ処理 5 週間後（2 月 13 日）のほうが処理による生育差は大きくなつたが、両収穫日とも傾向は同様であつた（第 1 表）。すなわち、NO₃ 区と NO₃+NH₄ 区が茎葉、根部ともつとも生育量が大きく、NH₄ 区がもつとも劣つた。尿素区の茎葉部の生育量は NH₄ 区よりややまさる程度であつたが、根部の生育量は NO₃、NO₃+NH₄ 両区と同じ位であつた。なお乾物率は茎葉部では NH₄、尿素区のほうが NO₃、NO₃+NH₄ 区にくらべ高い傾向にあるが、根部では NH₄ 区のみが高かつた。

カンランⅡ（N低濃度）の場合、処理後 2 週間のみの結果であり、しかも NO₃+NH₄ 区を省略したが、前実験同様、茎葉部生育量は NO₃>尿素>NH₄ 区の順で、根部生育量は NO₃≒尿素>NH₄ 区の順であつた。処理による乾物率の差も前実験と同じ傾向を示した（第 2 表）。

第 1 表 施用窒素形態とカンランの生育Ⅰ（1 株あたり）
1 月 23 日

処 理	葉				茎		根			
	葉数	最大葉長	新鮮重	乾物率	新鮮重	乾物率	根長	新鮮重	乾物率	
NO ₃	9.0	14.9	18.0	10.5	1.3	15.2	19.7	3.6	9.8	
NO ₃ +NH ₄	9.0	15.2	18.1	10.7	1.3	14.0	19.1	3.4	10.3	
NH ₄	7.7	13.1	12.6	12.5	1.1	18.1	19.0	2.7	11.7	
尿 素	8.0	14.1	14.4	12.2	1.2	17.4	18.4	3.4	10.1	

2 月 13 日

NO ₃	10.7	19.5	36.7	9.9	2.9	12.5	27.0	6.6	9.3	
NO ₃ +N ₄ H	10.7	19.0	40.4	10.0	2.7	13.0	24.3	7.0	9.9	
NH ₄	7.8	13.4	19.1	11.4	1.5	18.4	21.6	4.2	11.4	
尿 素	8.8	15.8	26.2	11.7	1.7	17.1	27.2	7.2	9.8	

第 2 表 施用窒素形態とカンランの生育Ⅱ（1 株あたり）

処 理	葉				茎		根			
	葉数	最大葉長	新鮮重	乾物率	新鮮重	乾物率	根長	新鮮重	乾物率	
NO ₃	9.0	12.0	9.4	13.2	1.6	17.7	20.6	1.6	13.6	
NH ₄	6.2	8.0	3.5	16.8	1.0	24.2	16.2	0.9	17.2	
尿 素	7.3	10.1	5.9	16.5	1.3	22.5	19.6	1.6	13.7	

第 3 表 施用窒素形態とコカブの生育
（1 株あたり）

葉部 5 月 21 日

処 理	葉数	最大葉長	葉新鮮重	葉乾物率
NO ₃	4.9	13.6	3.1	7.3
NO ₃ +NH ₄	5.4	13.2	3.4	7.8
NH ₄	4.6	10.7	2.0	8.4

6 月 9 日

NO ₃	6.3	21.3	14.4	8.1
NO ₃ +NH ₄	6.2	20.0	13.5	9.0
NH ₄	5.0	14.0	6.3	8.7

肥大根 6 月 9 日

処 理	肥大根直径	肥大根新鮮重	肥大根乾物率	R/T
NO ₃	31.8	15.4	6.4	1.07
NO ₃ +NH ₄	32.2	16.1	7.0	1.20
NH ₄	20.9	5.0	6.3	0.80

生育量の差も葉部と似た傾向を示したが、R/T 比からもわかるように NH₄ 区では他区にくらべ、葉部より肥大根の生育低下が著しいことがわかる。乾物率は葉部では NH₄ 区がやや高い傾向を示したが、肥大根では差がなかった（第 3 表）。

カンランにおける窒素形態と pH との関係については茎葉・根部の生育量とも NO₃>NO₃+NH₄>NH₄ 区の順で、NO₃ 区では pH 4 と pH 7 の間に生育量の差は認められなかつたが、NO₃+NH₄、NH₄ 両区では pH 7 の

第 4 表 施用窒素形態ならびに pH とカンランの生育
（1 株あたり）

処 理		葉				根			
		葉数	最大葉長	新鮮重	乾物率	根長	新鮮重	乾物率	
NO ₃	pH 4	11.4	14.0	16.8	12.2	22.1	12.3	12.3	
	pH 7	10.6	12.6	16.4	11.6	24.1	12.3	13.1	
NO ₃ +NH ₄	pH 4	7.4	8.6	5.8	13.5	15.1	10.7	15.1	
	pH 7	9.4	12.8	13.0	12.8	15.8	11.8	16.5	
NH ₄	pH 4	5.1	6.3	2.6	15.6	12.6	10.7	19.8	
	pH 7	6.3	8.0	5.1	12.7	13.6	10.8	16.4	

第5表 施用窒素形態とカンランの窒素成分濃度Ⅰ
(乾物あたり)

1月23日

部分	処 理	全N	不溶 性N	不溶性 N* 全N	可溶性 有機態 N	NO ₃ -N	NH ₄ -N
葉	NO ₃	3.77	2.74	72.7	0.689	0.327	0.018
	NO ₃ +NH ₄	4.16	2.85	68.5	1.055	0.233	0.023
	NH ₄	3.49	2.51	71.9	0.940	0.010	0.029
	尿 素	2.93	2.10	71.7	0.805	0.012	0.016
茎	NO ₃	2.30	1.28	55.7	0.557	0.437	0.022
	NO ₃ +NH ₄	2.87	1.63	56.8	0.728	0.473	0.037
	NH ₄	2.49	1.44	57.8	0.978	0.024	0.048
	尿 素	1.85	1.30	70.3	0.524	0	0.022
根	NO ₃	4.02	2.85	70.9	0.702	0.439	0.030
	NO ₃ +NH ₄	4.28	2.91	68.0	1.096	0.227	0.047
	NH ₄	4.30	2.98	69.3	1.276	0	0.045
	尿 素	3.76	2.66	70.7	1.068	0	0.036

2月13日

部分	処 理	全N	不溶 性N	不溶性 N* 全N	可溶性 有機態 N	NO ₃ -N	NH ₄ -N
葉	NO ₃	4.46	3.03	67.9	0.646	0.766	0.013
	NO ₃ +NH ₄	4.76	3.06	64.3	1.225	0.456	0.021
	NH ₄	4.10	3.06	74.6	0.998	0.008	0.030
	尿 素	3.19	2.48	77.7	0.687	0.006	0.015
茎	NO ₃	2.61	1.31	50.2	0.431	0.840	0.025
	NO ₃ +NH ₄	2.94	1.49	50.7	0.851	0.562	0.038
	NH ₄	2.73	1.68	61.5	0.995	0.023	0.034
	尿 素	1.80	0.99	55.0	0.760	0.022	0.030
根	NO ₃	4.43	2.98	67.3	0.793	0.633	0.029
	NO ₃ +NH ₄	5.08	3.50	68.9	1.294	0.242	0.044
	NH ₄	4.90	3.62	73.9	1.241	0	0.042
	尿 素	3.99	2.78	69.7	1.172	0	0.040

$$* \frac{\text{不溶性N}}{\text{全N}} \times 100$$

ほうが生育量がまざり、NO₃+NH₄・pH7区ではNO₃区に近い生育量を示した。乾物率は茎葉・根部ともNH₄>NO₃+NH₄>NO₃区の順であつた(第4表)。

表施用窒素形態による外観の差異についてはカンランでは一般にNO₃区の葉色はややうすく、上中葉は場合によりクロロシスをおこすことがあつた。NO₃+NH₄区の葉色はやや濃く、尿素区はNO₃区に近い葉色を示した。NH₄区では鈍緑色で、下葉は葉縁がたい色し、さらに黄褐変乾燥した。根についてはNO₃区が白色～淡褐色で健全な外観を呈し、尿素区もそれに近かつた。NO₃+NH₄区の根はやや褐変し、NH₄区では全体的に褐変し、特に新根の先端がふくらみ褐変したものが多かつ

た。このような根の状態と関連があると思われるがNH₄区の葉は晴天時にしおれやすかつた。コカブにおいてもカンランと同様に窒素形態による葉色の差異がみられたが、コカブのNH₄区ではさらに葉面に凹凸を生じ、葉が革質化した。

窒素成分：カンランⅠ(N高濃度)の場合の各部における窒素成分を示すと第5表のようである。

両収穫時期における分析結果を通じ、全N、不溶性N濃度とも葉部で若干の例外はみられたが、NO₃+NH₄、NH₄両区のほうがNO₃区より高い場合が多く、また尿素区はもつとも低い場合が多かつた。 $\frac{\text{不溶性N}}{\text{全N}}$ は1月23日には尿素区の茎部を除き、処理によるはつきりした差はみられなかつたが、2月13日には各部ともNH₄、尿素両区のほうがむしろ高い傾向にあつた。可溶性有機態窒素についてはNO₃+NH₄、NH₄両区がもつとも高濃度を示し、尿素区がこれにつき、NO₃区がもつとも低い場合が多かつた。NO₃-N濃度は各部ともNO₃区においてももつとも高く、NO₃+NH₄区がこれにつき、NH₄、尿素両区では著しく低かつた。NH₄-Nの蓄積はNO₃-Nの蓄積にくらべると著しく少なく、処理間の比較は葉ではNH₄区がもつとも高く、つぎがNO₃+NH₄区で、尿素、NO₃両区がもつとも低かつた。根、茎ではNO₃+NH₄、NH₄>尿素>NO₃の順であつた。

カンランⅡ(N低濃度)の場合における各部の窒素成分の分析結果は第6表のようである。

この場合は各窒素成分濃度とも一般にかなり低かつた。その中では全N、不溶性NともにNO₃区がもつとも高濃度で、NH₄区、尿素区と続くことが多かつた。 $\frac{\text{不溶性N}}{\text{全N}}$ について茎部においてはNH₄、尿素両区がより高い傾向が認められたが、他部では処理間に差はなかつた。可溶性有機態Nはこの場合NO₃区のほうが他

第6表 施用窒素形態とカンランの窒素成分濃度Ⅱ
(乾物あたり)

部分	処 理	全N	不溶 性N	不溶性 N 全N	可溶性 有機態 N	NO ₃ -N	NH ₄ -N
葉	NO ₃	3.13	2.42	77.3	0.561	0.124	0.020
	NH ₄	2.76	2.16	78.3	0.578	0	0.025
	尿 素	2.17	1.67	77.0	0.468	0.006	0.029
茎	NO ₃	1.67	1.02	61.1	0.404	0.227	0.018
	NH ₄	1.46	1.04	71.2	0.395	0.010	0.017
	尿 素	1.38	0.99	71.7	0.355	0.012	0.018
根	NO ₃	3.62	2.69	74.3	0.760	0.141	0.030
	NH ₄	3.08	2.42	78.6	0.627	0.003	0.034
	尿 素	2.89	2.17	75.1	0.671	0.010	0.035

第7表 施用窒素形態とコカブの窒素成分濃度
(乾物あたり)

葉部 5月21日

処 理	全N	不溶 性N	不溶 性N 全N	可溶性 有機態 N	NO ₃ -N	NH ₄ -N
	%	%	%	%	%	%
NO ₃	5.73	3.16	55.1	0.208	2.333	0.027
NO ₃ +NH ₄	5.71	3.44	60.2	0.811	1.419	0.041
NH ₄	5.41	3.51	64.9	1.566	0.266	0.070

6月9日

NO ₃	4.64	2.55	55.0	0.189	1.871	0.025
NO ₃ +NH ₄	4.81	3.13	65.1	1.019	0.611	0.051
NH ₄	5.26	3.24	61.6	1.731	0.077	0.215

肥大根 6月9日

NO ₃	3.19	1.32	41.4	0.948	0.897	0.029
NO ₃ +NH ₄	3.24	1.49	46.0	1.357	0.352	0.040
NH ₄	3.69	1.66	45.0	1.849	0.098	0.078

第8表 施用窒素形態ならびに pH とカンラン
葉中窒素成分濃度 (乾物あたり)

処 理	全N	不溶 性N	不溶 性N 全N	可溶性 有機態 N	NO ₃ -N	NH ₄ -N
	%	%	%	%	%	%
NO ₃	pH4	3.85	2.70	70.1	0.852	0.271
	pH7	4.17	2.89	69.3	0.816	0.438
NO ₃ +NH ₄	pH4	3.22	2.41	74.8	0.707	0.073
	pH7	3.79	2.62	69.1	0.971	0.160
NH ₄	pH4	2.39	1.71	71.5	0.614	0.008
	pH7	3.34	2.40	71.9	0.868	0.006

の2区よりもむしろ高濃度であつた。NO₃-N は NO₃ 区にのみかなり含まれ、他区は痕跡程度であつた。NH₄-N は葉・根部では NH₄、尿素区のほうが NO₃ 区よりやや高濃度であつたが、茎部では差がみられなかつた。

コカブにおける各種窒素成分濃度は第7表のようである。

両収穫日における葉部ならびに6月9日における肥大根の全N、不溶性N、可溶性有機態Nならびに NH₄-N 濃度は NH₄ 区においてもつとも高く、以下 NO₃+NH₄ 区、NO₃ 区と続く場合が多かつた。また $\frac{\text{不溶性N}}{\text{全N}}$ も各部において NH₄、NO₃+NH₄ 両区のほうが NO₃ 区よりも高い傾向があつた。NO₃-N は NO₃ 区に著しく多く蓄積し、ついで NO₃+NH₄ 区に多く、NH₄ 区がもつとも低濃度であつた。

最後に施用窒素形態ならびに pH とカンラン葉中の窒

素成分濃度との関係を調べた結果が第8表である。

この場合は施用窒素濃度が低い、葉中全N、不溶性N、NO₃-N 濃度とも窒素形態による差異に関しては NO₃ > NO₃+NH₄ > NH₄ 区の順で、pH に関しては pH7 区のほうが pH4 区より高い場合が多かつた。 $\frac{\text{不溶性N}}{\text{全N}}$ については処理間による差はつきりしなかつた。可溶性有機態N濃度は pH4 では NO₃ 区のほうが NO₃+NH₄、NH₄ 両区より高く、pH7 では逆の傾向にあつた。NH₄-N 濃度は NH₄ > NO₃+NH₄ > NO₃ 区の順で、NO₃+NH₄、NH₄ 両区とも pH7 のほうが幾分高かつた。

炭水化物：カンランの葉中炭水化物濃度については第9表に示す。

生育段階のあまり進んでいない1月23日には還元糖ならびに全糖濃度が一般に高いが、その中では尿素 > NH₄ > NO₃+NH₄ > NO₃ 区の順で、アンモニア態窒素の施用割合が増えたり、尿素態窒素を与えた場合に特に濃度が高かつた。非還元糖濃度もわずかながら NH₄、尿素区において高い傾向があつた。でん粉濃度は NO₃ 区のみがやや高く、他区間には差が認められなかつた。

生育段階のやや進んだ2月13日には各区とも還元糖・全糖濃度はかなり低下し、非還元糖・でん粉濃度もやや低下したが、各区間の差の傾向は1月23日の場合と同様であつた。

第9表 施用窒素形態とカンラン葉中
炭水化物濃度 (乾物あたり)

1月23日

処 理	還元糖	非還元糖	全糖	でん粉
	%	%	%	%
NO ₃	12.35	5.32	17.67	10.02
NO ₃ +NH ₄	15.48	5.08	20.56	7.71
NH ₄	17.56	6.41	23.97	7.71
尿 素	19.73	6.12	25.85	7.63

2月13日

NO ₃	5.92	3.89	9.81	9.66
NO ₃ +NH ₄	8.93	3.00	11.93	6.16
NH ₄	12.86	4.83	17.69	6.17
尿 素	15.64	5.03	20.67	6.37

第10表 施用窒素形態とコカブ葉中
炭水化物濃度 (乾物あたり)

6月9日

処 理	還元糖	非還元糖	全糖	でん粉
	%	%	%	%
NO ₃	4.19	1.23	5.42	11.05
NO ₃ +NH ₄	8.23	1.57	9.80	11.55
NH ₄	5.06	2.84	7.90	6.49

コカブの場合
は最終収穫
時の6月9日
における葉中
炭水化物濃度
のみを第10
表に示す。

還元糖なら
びに全糖濃度
はこの場合も
NO₃区がもつ
とも低い、
カンランの場
合と異なり、
NO₃+NH₄区
がもつとも高
く、NH₄区が
これに次い
だ。非還元糖
は NH₄ 区が
もつとも高か

第11表 施用窒素形態ならびに pH とカンラン葉中炭水化物濃度（乾物あたり）

処 理		還元糖	非還元糖	全糖	でん粉
NO ₃	pH 4	2.65%	3.57%	6.22%	6.53%
	pH 7	3.14	3.00	6.14	7.16
NO ₃ +NH ₄	pH 4	8.18	4.03	12.21	11.24
	pH 7	8.21	3.13	11.34	11.99
NH ₄	pH 4	9.19	1.15	10.34	11.78
	pH 7	5.57	3.14	8.71	14.50

第12表 施用窒素形態とカンラン葉中無機成分濃度（乾物あたり）

1月23日

処 理	N	P	K	Ca	Mg	Na
NO ₃	3.94%	0.23%	3.05%	1.97%	0.29%	1.30%
NO ₃ +NH ₄	3.88	0.26	2.66	1.87	0.28	0.19
NH ₄	3.54	0.23	2.21	1.18	0.24	0.10
尿 素	2.96	0.26	2.49	1.61	0.30	0.11

2月13日

NO ₃	4.59	0.26	2.94	2.30	0.61	1.99
NO ₃ +NH ₄	4.80	0.25	2.70	2.15	0.48	0.15
NH ₄	4.03	0.25	1.72	1.06	0.28	0.12
尿 素	3.32	0.26	2.44	1.76	0.36	0.14

つた。でん粉濃度は NH₄ 区のみ低く、NO₃ 区と NO₃+NH₄ 区間には差がみられなかった。

カンランにおいて窒素形態と pH を変えた場合の葉中炭水化物濃度を示すと第11表のようである。

窒素形態については還元糖・全糖濃度とも NO₃ 区に比べ NO₃+NH₄、NH₄ 両区のほうが高いことは上述の結果と同様であつたが、でん粉濃度も NO₃+NH₄、NH₄ 区のほうが高く、上述の結果と逆であつた。非還元糖濃度には窒素形態の差異による一定の傾向が認められなかった。pH の差異については NO₃、NO₃+NH₄ 両区においては pH 4 でも pH 7 でも炭水化物濃度には差がみられず、NH₄ 区でのみ pH 4 のほうが pH 7 よりも還元糖・全糖濃度が高く、非還元糖・でん粉濃度が低かつた。

無機成分：カンランのみの結果であるが、両収穫日とも葉中 N 濃度は尿素区が最も低く、P 濃度

処 理	1月23日	2月13日	
NO ₃	5.02	5.09	には窒素形態による差は認められなかった。K,
NO ₃ +NH ₄	4.84	4.37	Ca, Mg, Na などの陽
NH ₄	4.31	4.25	イオン濃度については一
尿 素	4.82	4.91	般に NO ₃ 区が最も

高く、アンモニア態窒素の施用割合が増すにつれて減少した。尿素区は NO₃+NH₄ 区と NH₄ 区の中間の値を占めた（第12表）。

pH：カンラン葉の汁液 pH 値は第13表に示すように両収穫時期とも NO₃ 区が最も高く、NH₄ 区が最も低く、NO₃+NH₄、尿素両区がその中間であつた。

考 察

窒素成分：生育量にかなりの差を生じた NO₃ 区と NH₄ 区の窒素成分濃度をくらべると、比較的高濃度の窒素を与えた場合は葉・茎・根部とも NO₃ 区は NO₃-N 濃度が高く、NH₄ 区は可溶性有機態窒素と NH₄-N 濃度が高かつた。NO₃-N は主に葉において還元され、有機態窒素に同化されると云われている⁽⁷⁾。NO₃-N はコカブの例でもわかるように施用濃度が高いと NO₃-N そのままの形で蓄積され、かなりの高濃度でも害作用はないようである。そして徐々に還元され、アミノ酸からたん白質へと合成過程を進むものと思われる。

一方 NH₄-N が吸収されるとおもに根で同化され^(1,27)、アミノ酸、アミドなどの可溶性有機態窒素となつて蓄積される。しかしながら比較的低濃度の NH₄-N が与えられても、まもなく糖や有機酸などの基質に不足を来たすのか、またはあつても利用しにくいためか遊離の NH₄-N が蓄積し、それほど高濃度でなくても害作用を与え、ついで地上部に移動する。本実験でも根部のほうが地上部より NH₄-N、可溶性有機態窒素濃度が高く、また害徴候もまず根にあらわれた。NH₄-N を与えた場合、葉部に可溶性有機態窒素濃度が高いことはトマト⁽⁴⁾、タバコ^(21,26)、シロカラシナ⁽¹²⁾などでも認められているが、根部についての資料は比較的少ない。NH₄ 区の葉では可溶性有機態窒素の中でも一般にグルタミン、アスパラギンなどの多いことが知られており^(5,14,21)、またエンバクではロイシン⁽¹⁶⁾、シロカラシナではプロリン⁽¹²⁾の蓄積が認められている。これらの可溶性有機態窒素の蓄積は一般に NH₄-N の一種の貯蔵形態または解毒作用に関連があると考えられ、NH₄-N の施用濃度が高いと可溶性有機態窒素の蓄積も多くなる。それが限度に達すると遊離の NH₄-N が蓄積し、害作用を及ぼすと思われる。さらにアミノ酸からたん白質への合成が NH₄ 区では NO₃ 区に比較して劣ると云われているが^(3,22)、本実験では不溶性 N において処理区による差がないか、むしろ NH₄ 区の生育量は NO₃ 区に比べるとかなり劣るのでたん白質の絶対量は NO₃ 区より少ないことは明らかである。

ここで興味があるのは NO₃+NH₄ 区であり、NH₄-N

の蓄積が NH_4 区と同程度の場合でも NO_3 区とほとんど同じ位の生育量を示した。これは体内にかなりの濃度の $\text{NO}_3\text{-N}$ が共存するためと思われる。この $\text{NO}_3\text{-N}$ が同化利用されて生育が促進され、それにより $\text{NH}_4\text{-N}$ と結びつく基質がたえず供給され、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の害作用を抑え、むしろこれを有効に利用できるのではないかとと思われるが、さらに検討を要する。

窒素が分子状で吸収される⁽²⁹⁾尿素区では各部の全窒素、不溶性窒素濃度をもつとも低く、この窒素吸収、同化の少ないことが生育量の劣る一因とも考えられる^(10,13)。尿素は吸収されてからウレアーゼによりアンモニア態窒素に変化後、同化される過程を経る場合が多いと云われている⁽³⁰⁾。 NH_4 区にくらべると尿素区のほうが生育量はまさるが、体内 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は両区ともほとんど同じ場合がある。これは尿素として吸収・蓄積され、徐々にアンモニア態窒素に変化するほうが、 NH_4 区のように $\text{NH}_4\text{-N}$ として吸収され、そのまま蓄積されるより害作用が少ないためであろうか。ちなみに尿素区の水溶性有機態窒素中にはかなり尿素態窒素が含まれていると思われる。

窒素形態と pH との関係については NH_4 区と $\text{NO}_3\text{+NH}_4$ 区ではいずれの窒素成分濃度も生育量の多い pH 7 のほうが pH 4 よりも高かった。pH の高いほうが $\text{NH}_4\text{-N}$ の吸収が多く、生育量もまさることは前報⁽⁹⁾でも認められており、また $\text{NH}_4\text{-N}$ の吸収に好適な pH はその同化にも好適とされている⁽⁶⁾。BARKER ら⁽¹⁾ もインゲンで根圏を中性近くに保つと $\text{NH}_4\text{-N}$ の吸収が多く、根における有機態窒素への転換が早くなると述べている。しかしながら本実験では高橋ら⁽²²⁾ がタバコで認めているように、 NH_4 区の酸性側で遊離の $\text{NH}_4\text{-N}$ や可溶性有機態窒素がより多く蓄積するということはみられなかった。

炭水化物：炭水化物濃度は葉についてのみの結果であるが、カンラン・コカブを通じ NH_4 区のほうが NO_3 区よりも還元糖・全糖とも高い傾向にあった。同様のことはタバコ^(22,26)、シロカラシナ⁽¹²⁾の葉においても認められている。本実験の結果は一見 $\text{NH}_4\text{-N}$ の有機態窒素化に好都合のようにみえるが、これは根における分析結果ではなく、また生育量の低下をみてもわかるように、すでに $\text{NH}_4\text{-N}$ の害作用が現われた後における結果である。 $\text{NH}_4\text{-N}$ の害作用が進むと体内において炭水化物も分解に傾き⁽²²⁾、これらの糖は有効に利用できないと考えられる。尾形⁽¹⁶⁾もエンバク葉・根部のアミラーゼ、インペルターゼ作用力が NO_3 区より NH_4 区において高いことを見出し、体内生理状態が加水分解的であると述

べている。また $\text{NO}_3\text{-N}$ が与えられた場合は NH_4 区におけるように有機窒素化合物の合成に糖が必要なだけでなく、まず $\text{NO}_3\text{-N}$ の還元に必要なエネルギーを得るため糖が酸化されるので NH_4 区にくらべ糖の消費が多く、これが NO_3 区において糖濃度の低い一因とも考えられる⁽²⁵⁾。

なお NO_3 区とはほぼ同様な生育量を示す $\text{NO}_3\text{+NH}_4$ 区の糖濃度が NH_4 区に近い場合のあること、 NH_4 区より生育量のまさる尿素区の糖濃度が NH_4 区より高いことについては充分説明できない。いずれにしても生育量と糖濃度との関係は窒素形態そのものとの関係にくらべ2次的であることは否めないと思われる。

でん粉濃度は NO_3 区で他区にくらべて高い場合が多いが、カンランの pH の実験ではむしろ逆の結果が示された。高橋ら⁽²²⁾ はタバコで、尾形⁽¹⁶⁾ はエンバクで NO_3 区において炭水化物がより合成的に傾き、でん粉濃度などが高いことを報告しているが、高橋らの別の実験結果⁽²¹⁾をみると、 NH_4 区のほうがでん粉濃度の高い場合もあり、かならずしも一貫していない。

pH についても NH_4 区では pH 4 は pH 7 にくらべ糖濃度が高く、でん粉濃度は低く、炭水化物はより分解的に傾き、生育量と関連づけられるようにみえるが、同じくで生育量の劣る $\text{NO}_3\text{+NH}_4$ 区では pH 間に炭水化物濃度の差がみられず、さらに詳細な検討を要する。

無機成分：葉中無機成分濃度についてはカンランのみの結果であるが、 $\text{K}\cdot\text{Ca}\cdot\text{Mg}\cdot\text{Na}$ などの陽イオン濃度は、若干の例外はあるが、 NO_3 区においてもつとも高く、 NH_4 区においてもつとも低かった。 NO_3 区では窒素が陰イオンの $\text{NO}_3\text{-N}$ として吸収され、また有機酸が多く生成されるため⁽¹³⁾、体内における陽イオン・陰イオンのバランスを保つためにも陽イオンの吸収が多くなる。一方 NH_4 区では窒素が陽イオンの $\text{NH}_4\text{-N}$ として吸収されるため、これと拮抗関係にある他の陽イオンの吸収は抑制されたと思われる⁽¹¹⁾。 $\text{NO}_3\text{-N}$ と $\text{NH}_4\text{-N}$ 両イオンが吸収される $\text{NO}_3\text{+NH}_4$ 区の陽イオン濃度は NO_3 区と NH_4 区との中間の値を示し、窒素が分子状で吸収される尿素区でも陽イオン吸収は NO_3 区のように促進もされず、 NH_4 区のように抑制もされず、 $\text{NO}_3\text{+NH}_4$ 区と同様中間的な値を示した。なお前報⁽¹¹⁾の結果では陰イオンのりん酸濃度は NO_3 区で低く、 NH_4 区で高い傾向があつたが、本実験では処理による差が明らかでなかった。

pH：硝酸塩を与えると作物が $\text{NO}_3\text{-N}$ をより多く吸収し、付随陽イオンが残り培地の pH を高くし、アンモニウム塩を与えると作物が $\text{NH}_4\text{-N}$ を多く吸収し、付

随陰イオンが残り培地の pH を低下させる。一般に作物組織の pH は弱酸性であるが、培地の pH がこれに影響を与えるとともに、アンモニア系窒素を与えた場合、 $\text{NH}_4\text{-N}$ が体内で $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}^+$ となり⁽¹³⁾、水素イオンを生じ、他の窒素形態区よりも組織の pH をさらに低下させる傾向がある。

そ菜に対する $\text{NH}_4\text{-N}$ の害作用そのものについて本実験で検討したとは云えないが、比較的低濃度の蓄積でも既存の炭水化物やたんぱく質を分解したり⁽¹⁾、呼吸障害をひきおこし⁽²⁸⁾、また組織中の陽イオン濃度や pH を低下させる。 $\text{NH}_4\text{-N}$ を与えると最初は葉色が濃くなるが、処理期間が長くなるとクロロフィル含量が却つて減少し光合成能力が低下する⁽¹⁹⁾。また MARGOLIS⁽¹⁴⁾ はトマトの水耕で $\text{NH}_4\text{-N}$ を与えると $\text{NO}_3\text{-N}$ を与えた場合にくらべ、グルタミン・アスパラギンなどのアミド含量は多いが、グルタミン酸・アスパラギン酸などのアミノ酸含量が少なく、たん白質合成に直接関連する能力が劣るのではないかと述べている。さらに根が最初障害を受けるので、水分収支にも支障を来し、これらのことが重なって生育低下をまねくと思われる。この害作用を軽減するには培地の pH を上げ、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の吸収・同化を促進することもかなり有効である。その上 $\text{NO}_3\text{-N}$ を等濃度以上共存させるような条件を与えると、 $\text{NO}_3\text{-N}$ のみを与えた場合に匹敵する良好な生育を示した。

摘 要

カンラン・コカブを水・砂耕し、施用窒素形態を変え、生育、体内窒素成分・炭水化物・無機成分濃度ならびに葉の pH に及ぼす影響を調べた。

生育量は一般に NO_3 区と $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ 区がもつともすぐれ、 NH_4 区がもつとも劣り、尿素区は中間であつた。カンランの NO_3 区では pH 4 と pH 7 の間には生育量の差がみられなかつたが、 $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ 、 NH_4 両区では pH 7 のほうは生育量が大きであつた。

体内全窒素、不溶性窒素ならびに可溶性有機態窒素濃度は NH_4 、 $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ 区において高い傾向があつた。しかしながら施用窒素濃度が低いとかならずしもその傾向は認められなかつた。硝酸態窒素は NO_3 区に多く蓄積し、アンモニア態窒素は NH_4 、 $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ 区に多く蓄積したが、硝酸態窒素にくらべると著しく少なかつた。尿素区では全窒素、不溶性窒素とも低濃度の場合が多かつた。カンラン葉では全窒素、不溶性窒素、硝酸態窒素濃度とも施用窒素形態にかかわらず pH 7 のほうが pH 4 よりも高かつた。可溶性有機態窒素濃度は pH 4 では NO_3 区のほうが高く、pH 7 では NH_4 、 $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ 区のほうが高かつた。アンモニア態窒素濃度は NH_4 、 $\text{NO}_3 +$

NH_4 両区とも pH 7 のほうが幾分高かつた。

葉中還元糖、全糖濃度は尿素、 NH_4 、 $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ 区のほうが NO_3 区よりも高かつた。非還元糖、でん粉濃度は窒素形態による一定の傾向が認められなかつた。カンランの NO_3 、 $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ 両区では pH 4 と pH 7 との間に炭水化物濃度の差がみられなかつたが、 NH_4 区では pH 4 のほうが pH 7 よりも還元糖、全糖濃度が高かつた。

カンラン葉中の K, Ca, Mg, Na などの陽イオン濃度は NO_3 区がもつとも高く、 NH_4 区がもつとも低く、 $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ 、尿素区がその中間であつた。葉の pH も同様の傾向を示した。りん酸濃度には窒素形態による差がみられなかつた。

参考文献

1. BARKER, A. V., R. J. VOLK and W. A. JACKSON. 1966. *Plant Physiol.* 41: 1193—1199.
2. BEAMONT, A. B., G. J. LARSINOS, P. PIEHEN-BROCK and P. R. NELSON. 1931. *J. Agr. Res.* 43: 559—567.
3. BREON, W. S., W. S. GILLAM and D. J. TEN-DAM. 1944. *Plant Physiol.* 19: 649—659.
4. BURKHART, L. 1934. *ibid.* 9: 351—358.
5. CLARK, H. E. 1936. *ibid.* 11: 5—24.
6. ——— and J. W. SHIVE. 1934. *Soil Sci.* 37: 459—476.
7. 原田登五郎・高木 浩. 1964. *土肥誌.* 35 (5): 181—186.
8. 岩田正利. 1958. *園学雑.* 27 (1): 21—31.
9. ———. 1962. *同誌.* 31 (1): 39—52.
10. ———・北野佑一郎. 1968. *農及園.* 43 (9): 1443—1444.
11. ———・谷内武信. 1953. *園学雑.* 22 (3): 183—192.
12. KIRKBY, E. A. 1968. *Soil Sci.* 105: 133—141.
13. ——— and K. MENGEL. 1967. *Plant Physiol.* 42: 6—14.
14. MARGOLIS, D. 1960. *Contrib. Boyce Thomp. Inst.* 20: 425—436.
15. 尾形昭逸. 1963. *土肥誌.* 34 (9): 313—317.
16. ———. 1963. *同誌.* 34 (9): 318—322.
17. 奥田 東編. 1953. *植物栄養生理実験書*, pp. 127—153. 朝倉書店.
18. PRJANISCHNIKOV, D. 1934. *Z. Pflanzener. Düng., Bodenk.* A (33): 134—169.
19. PURITCH, G. S. and A. V. BARKER. 1967. *Plant Physiol.* 42: 1229—1238.
20. SOMOGYI, M. 1952. *J. Biol. Chem.* 195: 19—23.
21. 高橋達郎・吉田大輔. 1957. *土肥誌.* 28 (5): 176—180.
22. ———・———. 1958. *同誌.* 29 (5): 200—204.

23. . 1959. 同誌. 29(7): 294—297.
24. TIEDJEMS, V. A. 1934. Plant Physiol. 9: 31—58.
25. VIADIMIROV, A. V. 1945. Soil. Sci. 60: 265—275.
26. VICKERY, H. B., G. W. PUCHER, A. J. WAKEMAN and C. S. LEAVENWORTH. 1940. Conn. Agr. Exp. Sta. Bull. 442: 65—119.
27. VIETS, F. G. JR., A. L. MOXON and E. I. WHITEHEAD. 1946. Plant Physiol. 21: 271—289.
28. VINES, H. M. and R. T. WEDDING. 1960. *ibid.* 35: 820—825.
29. WALLACE, A. and R. T. ASHCROFT. 1956. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 68: 227—233.
30. YAMAGUCHI, S. 1935. J. Fac. Sci. Hokkaido Imp. Univ. Ser. V. Bot. 4 (1): 237—249.

追 記

前記のコカブの実験において NH_4 区 ($\text{NO}_3\text{1}:\text{NH}_4\text{9}$) の他に植物体をよしずで遮光し、照度を $1/3$ 位にした NH_4 遮光区を設けたが、6月9日における葉の生育量、

窒素成分を通常の NH_4 区と比較するとつぎのようである。

処 理	新鮮重	乾物率	全 N	不溶性 N	不溶性 N 全 N	可溶性有機態 N	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$
	g	%	%	%	%	%	%	%
NH_4^*	6.3	8.75	26.3	24	61.6	1.731	0.077	0.215
NH_4 遮光	2.4	6.97	7.22	16	28.0	4.572	0.778	0.208

* 第3表ならびに第7表より転載

NH_4 区で遮光すると全 N 濃度、可溶性有機態 N が高いにもかかわらず不溶性 N 濃度が低く、したがって $\frac{\text{不溶性 N}}{\text{全 N}}$ も著しく低かつた。これは遮光による光合成産物の生成低下によりたん白合成も低下したためと思われ、生産量、乾物率も減少している。ここで興味あるのは NH_4 遮光区では NH_4 区同様 $\text{NO}_3\text{-N}$ を 1 me しか与えていないのに葉内にかなりの $\text{NO}_3\text{-N}$ が蓄積されていることである (NO_3+NH_4 区と同じ位)。これは光の制限による硝酸還元酵素の活性低下と関連があると考えられる。なお $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は NH_4 区との間に差がみられなかつた。