窒素形態の差異と蔬菜の生育 (第2報)

各種形態窒素の施用濃度がコカブの生育に及ぼす影響*

岩 田 正 利

(東京大学農学部)

M. IWATA: Influence of the forms of nitrogen supplied on the growth of vegetable crops. (II) Effects of varying concentrations of nitrogen in the different forms on the growth of turnip

Summary

Experiments were carried out to clarify the influences of the forms of nitrogen supplied with varying concentrations on the growth, yields and chemical compositions of turnip in sand culture under glass. In the first experiment, mixed nitrates ($\text{KNO}_3 : \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 : \text{Mg}(\text{NO}_3)_2 = 5 : 5 : 4$), NaNO_3 , NH_4NO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ and $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ were used as nitrogen sources and nitrogen concentrations supplied were 5, 10, 20, 40, 80 and 120 m. e. for each nitrogen source, respectively. In the second experiment, nitrogen sources were NaNO_3 , NH_4NO_3 and $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, and nitrogen concentrations supplied were 1, 3, 5, 10, 20, 40, 60, 80 and 120 m. e. All known nutrients were provided for each treatment. Results of both experiments were summarized as follows.

(1) In the mixed nitrates and NaNO_3 treatments, leaves were light green and even-surfaced. On the contrary NH_4NO_3 plants produced deep green foliage, and with increased nitrogen concentration their leaves became darker green and uneven-surfaced. Further, in the later stage of growth, they developed symptoms similar to that of potassium deficiency. In the $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ series, leaves were darker green at the lower concentrations, but at the higher concentrations became dull to yellow green and developed injuries due to excessive ammoniacal nitrogen. Leaves of the $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ plants were chlorotic.

And leaf color was proportional to the chlorophyll contents in the leaves.

(2) Among mixed nitrates, NaNO_3 and NH_4NO_3 treatments, there was no great difference of their top growth up to 40 m. e. (560 ppm) nitrogen level. But beyond 40 m. e., the decreasing of growth was most remarkable in the NH_4NO_3 , and least in the mixed nitrates. The growth of plants supplied with $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$, especially with $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ were markedly inferior to the above 3 nitrogen forms at every concentration. And at higher concentrations of $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ and of NH_4NO_3 , the decreasing of fleshy

root growth was more remarkable than other nitrogen forms, and their fibrous roots were also injured.

(3) Total nitrogen content of both leaves and roots increased with increment of nitrogen supplied, irrespective of nitrogen forms. And in the higher nitrogen concentrations supplied (beyond 40 m. e.), increment of nitrogen content was remarkable for $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ and NH_4NO_3 treatments, but gradual for mixed nitrates and NaNO_3 . $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ plants at lower concentrations contained less nitrogen than other nitrogen forms, but at higher concentrations absorbed fairly much nitrogen. And generally NaNO_3 plants accumulated much of nitrate nitrogen, but $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ plants contained only trace, and NH_4NO_3 was intermediate. As to ammonium nitrogen, the relation of $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 > \text{NH}_4\text{NO}_3 > \text{NaNO}_3$ was found, but accumulation of ammonium nitrogen was much less compared with nitrate nitrogen.

(4) In the NH_4NO_3 , especially in the $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ treatment, phosphorus content of leaves was higher and increased with increment of ammoniacal nitrogen supplied. As to potassium, plants supplied with mixed nitrates or $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ contained much. Plants supplied with NaNO_3 , NH_4NO_3 or $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, had less potassium than the above 2 nitrogen forms, and potassium content decreased against increased Na^+ or NH_4^+ supply. In comparison of calcium and magnesium content among NaNO_3 , NH_4NO_3 and $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ treatments, the tendency of $\text{NaNO}_3 > \text{NH}_4\text{NO}_3 > (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ was found, so antagonism between NH_4^+ and Ca^{++} or Mg^{++} was clear.

(5) Ascorbic acid contents in the leaves of NaNO_3 plants was high, and that of NH_4NO_3 plants was less slightly compared with NaNO_3 plants, at the higher nitrogen concentrations. In the $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, ascorbic acid content was much less and this tendency became more remarkable with increasing of ammoniacal nitrogen supplied.

* 本論文の要旨は園芸学会昭和26年度春季大会及び29年度秋季大会において発表 1957年12月10日受理

I. 緒 言

前報⁽⁶⁾で、各種蔬菜を砂耕し、施用窒素濃度を一定 (10 m.e.) にし、その中で $\text{NO}_3\text{-N}$ と $\text{NH}_4\text{-N}$ との比率を種々に変えた場合、一般に全量を $\text{NO}_3\text{-N}$ で与えた区が最も生育が良く、全量 $\text{NH}_4\text{-N}$ の区が最も悪いが、施用窒素量中の半量が $\text{NH}_4\text{-N}$ でも残り半量が $\text{NO}_3\text{-N}$ ならば、全量 $\text{NO}_3\text{-N}$ 区に充分匹敵することを明らかにした。その後、引続きコカブを材料として以上の関係が窒素の濃度を変えた場合にも成立つものかどうかを実験したので、その結果を報告する。なお第 1 実験では窒素形態として前報の NaNO_3 , NH_4NO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ の他、 NO_3 塩混合、 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ の 2 形態を加えた。第 2 実験では窒素形態は前報と同様にし、その代り施用濃度の区別を増し、低濃度 (5 m.e. 以下) で $\text{NH}_4\text{-N}$ 区の生育がどうなるかを調べた。同時に 1 区の繰返しを多くして第 1 実験の結果を確かめ、更に第 1 実験における分析データの不備を補った。

本実験は杉山教授の御指導の下に行われ、また本稿の御校閲を賜わった。ここに深謝の意を表する次第である。また本実験の栽培管理については池 基、谷内武信、栗原昭夫氏らの御助力に負う処が多い。また本研究の一部は文部省助成研究費によつて行われた。併せて謝意を表する。

II. 実験材料並びに方法

実験はすべて無加温のガラス室内で行い、容器は 5 万分の 1 ワグナーポットを使い、これに石英砂を入れ砂耕した。材料は両実験とも金町コカブを使つた。

1. 第 1 実験

1950 年 9 月 26 日播種し、10 月 2 日発芽が揃つてから HOAGLAND 完全培養液を与え、本葉 4~5 枚の 10 月 17 日より処理を開始した。その際、間引きを行い、1 ポット当り 3 株を残した。

処理は NO_3 塩混合 (K , Ca , Mg 塩), NO_3 ($2M \text{NaNO}_3$), NO_3+NH_4 ($M \text{NH}_4\text{NO}_3$), NH_4 ($M (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), 尿素 ($M (\text{NH}_2)_2\text{CO}$) の各種形態窒素について、それぞれ 5, 10, 20, 40, 80, 120 m.e. の施用濃度段階を設け (尿素シリーズのみ 120 m.e. 区を除外)、括弧内の塩を培養液 1 l 当り、それぞれ 2.5, 5, 20, 40, 60 ml 与えた。なお NO_3 塩混合液は先ず $M \text{KNO}_3$, $0.5 M \text{Ca} (\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $0.4 M \text{Mg} (\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ の混合液を作り、m.e. で表わした $\text{K}:\text{Ca}:\text{Mg}$ 比率が後述の共通培養液と同じ 5:5:4 になるようにした。この液 1 ml は 2.8 m.e. N に相当するので、薄めて 2 m.e. N を含むよう

に調製し、この中から上述の各量を採取し、 NO_3 塩混合シリーズの各区に与えた。以上の処理は -N 区を加え全部で 30, 1 処理 2 ポットで計 60 ポットを使つた。

なお窒素以外の要素については各区共通の培養液 (-N 液) を与えた。即ち 1 l 当り $M/20 \text{Ca} (\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 10 ml, $M/2 \text{K}_2\text{SO}_4$ 5 ml, $M \text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 2 ml, $M \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 2 ml で、その他 $\text{Fe} (\text{FeC}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O})$ 1 ppm, $\text{B} (\text{H}_3\text{BO}_3)$ 0.5 ppm, $\text{Mn} (\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O})$ 0.5 ppm, $\text{Zn} (\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O})$ 0.05 ppm, $\text{Cu} (\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})$ 0.02 ppm, $\text{Mo} (\text{H}_2\text{MoO}_4)$ 0.02 ppm を括弧内の塩で与えた。

液替えは 1 週間ごとに行い、1 ポット当り培養液 1 l を与え、stock solution の稀釈には水道水を用いた。灌液は 1 日 1~2 回行つた。培養液の pH は初期は隔日、後期には連日 B·T·B 指示薬などを用いて測定し、各区とも 6 前後に保つように努めたが、 NO_3 塩混合区、 NaNO_3 区の pH は 7 近くになりがちであつた。また時々鉄を添加してクロロシスの発生を予防した。なお NO_3 塩混合、 NaNO_3 区では培養液中の $\text{NO}_3\text{-N}$ の $\text{NH}_4\text{-N}$ への変化、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区では $\text{NH}_4\text{-N}$ の $\text{NO}_3\text{-N}$ への変化、 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ 区では $\text{NH}_4\text{-N}$ 、更には $\text{NO}_3\text{-N}$ への変化を NESSLER 試薬または diphenylamine 液で調べたが変化は見られなかつた。その他の栽培管理、装置はすべて前報⁽⁶⁾に準じた。

時々生育調査をし、収穫は処理開始後 35 日の 11 月 21 日に行い、各部を測定調査後、80°C で 24 時間乾燥した。乾燥したサンプルは小型粉砕器で粉砕後、デシケーター中に保存し、随時分析に供した。窒素は GUNNING 変法で、磷酸は TRUOG-MEYER 比色法で、加里は亜硝酸コバルト法で分析した。なお窒素は葉、カブ、細根について分析したが、磷酸、加里の分析は葉についてのみ行つた。

2. 第 2 実験

装置、栽培管理は大体第 1 実験と同様である。1953 年 9 月 30 日に播種し、発芽揃いの 10 月 5 日より HOAGLAND 完全培養液を与え、10 月 23 日より処理を開始した。コカブは段々に間引き、最後には 1 ポット当り 3 株を残した。

処理は NO_3 ($2M \text{NaNO}_3$), NO_3+NH_4 ($M \text{NH}_4\text{NO}_3$), NH_4 ($M (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) の各形態窒素について、それぞれ 1, 3, 5, 10, 20, 40, 60, 80, 120 m.e. ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区のみ 120 m.e. を除外) の施用濃度段階を設け、括弧内の塩を培養液 1 l 当り、それぞれ 0.5, 1.5, 2.5, 5, 10, 20, 30, 40, 60 ml 与えた。処理は -N 区を加え全部で 27 区、1 区 4 ポット計 108 ポットを使用した。

窒素以外の共通培養液 (-N 液) としては 1 l 当り

M KH_2PO_4 1 ml, M/2 K_2SO_4 4 ml, M $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 2 ml, M $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 2 ml を与え、その他前回同様、鉄を始めとする微量要素を与えた。今回も stock solution の稀釈には水道水を用いた。pH は 6.5 に保つように努めたが NaNO_3 区は 7 近くに、 NH_4NO_3 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区は 6 前後に下がりがちであつた。

時々生育調査をし、収穫は処理後 47 日の 12 月 9 日に行つた。各部を測定調査後、前回同様 80°C で乾燥し分析材料を調製した。今回は葉中窒素、燐酸、加里を分析した他、石灰を過マンガン酸加里滴定法で、苦土をオキシソ法で定量した。なおカブについては窒素のみを分析した。また全窒素の他、硝酸態窒素を葉、カブについてフェノール硫酸比色法で、アンモニア態窒素を葉について PUCHER 法⁽¹¹⁾で定量した。更に生育途中の葉中全クロロフィル含量については 85% アセトンで抽出後、BECKMANN 光電光度計で測定し⁽¹⁰⁾、葉中還元型アスコルビン酸については 2,6-dichlorophenol indophenol 滴定法によつて定量した。

III. 実験結果

A. 外観

1. 第1実験

NO_3 塩混合、 NaNO_3 区の葉色は明るい緑色で、葉面は平滑だが、 NH_4NO_3 区の葉色は濃く、施用濃度が高くなると黒ずんでくる。また NH_4NO_3 区では 20 m. e. 以上になると中下葉の葉脈間が突出し、チリメン状を呈し、かたい感じとなる。40 m. e. 以上では葉先、葉縁が下内側に捲込み、80 m. e. 以上では葉縁の緑色が抜け褪緑色となり、段々と葉脈間を内部に拡がって行く。著しくなると黄化、更に淡褐変し、上葉にもその症状が拡がるようになる。しかし葉身内基部、葉脈部には最後まで緑色を残す。つまり一見加里欠乏症状に似た外観を呈するようになるわけである。生育末期には 40 m. e. にも同様な症状が現われる。 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区は 20 m. e. までは葉色が濃いですがそれ以上の濃度では鈍緑色となり、つやがなくなる。80 m. e. 以上になると下葉は黄化し、新葉の伸長は殆ど停止し、中下葉の葉脈間に点々と淡褐変部を生じ、終には枯死する株も現われ、アンモニアの害の徴候が著しくなる。40 m. e. 以上になると $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区にも加里欠乏類似の症状が現われるが、アンモニアの害症状にマスクされ、 NH_4NO_3 区ほど明瞭ではない。 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ 区は低濃度では他形態に比べ葉色は最も淡い。しかし 40 m. e. 以上になると葉色はかなり濃くなり、葉先や葉縁が下向側に捲込むようになる。

なおカブの部分の色は各区とも白色で差はなかつた。

しかし細根は NO_3 塩混合、 NaNO_3 区は淡褐色を呈し最も健全だったが、 NH_4NO_3 、 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ 区は淡鼠色があり、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区はかなり淡紫色がかり害徴候を示した。

2. 第2実験

NaNO_3 、 NH_4NO_3 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区とも若干の相異はあるが、大体において第1実験と似た結果を示した。

なお外観による葉色の比較の裏づけとして生育盛期の中葉について、全クロロフィル含量を定量したが、その結果は第1表に示す。

第1表 各種形態窒素の施用濃度と葉中クロロフィル含量* (1953)

濃度	形態	NaNO_3	NH_4NO_3	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
0 m. e.		0.12**		
1		0.19	0.20	0.24
3		0.26	0.27	0.28
5		0.25	0.30	0.28
10		0.23	0.32	0.23
20		0.23	0.35	0.29
40		0.24	0.37	0.22
60		0.24	0.35	0.22
80		0.27	0.42	0.15
120		0.31	0.29	—

* BECKMANN 光電光度計の読み 11 月 16 日定量

** 0 m. e. 区は各種形態窒素に共通（以下同様）

NaNO_3 区では 3 m. e. までは増加するが、それ以上では大体一定である。 NH_4NO_3 区は 3 m. e. 位までは NaNO_3 区と同程度だが、5 m. e. 以上になると明らかに NaNO_3 区よりまきり、濃度が増すにつれ含量は高くなり、3 種の窒素形態中、最も高い値を示した。120 m. e. になるとクロロシスを起すため値は低い。 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区は低濃度では含量がかなり高いが、高濃度になるとクロロシスを起し NaNO_3 区よりも値が低くなる。以上のように外観による葉色の判定とクロロフィル含量とは若干の相異はあるが大体において一致した。クロロフィル含量が 0.3 位の値だと外観もよく、アンモニア態窒素が若干は入つた方がよいようである。

B. 収穫時の生育調査

1. 第1実験

結果は第2表に示す。

各窒素形態間で葉数、最大葉長、葉新鮮重などの地上部の生育を比較すると、 NO_3 塩混合、 NaNO_3 、 NH_4NO_3 区間では 40 m. e. までは大差がないが、それ以上の濃度になると、 NO_3 塩混合区に比べ、 NaNO_3 特に NH_4NO_3 区の生育低下が著しい。 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ 区は各濃度とも他区に比べて劣るが、特に $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区が劣る。両区の間では 10 m. e. までは、むしろ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区の方がやや大だが、20 m. e. 以上では明らかに

第2表 各種形態窒素シリーズの収穫時における生育状態 (1950年11月21日, 1株当りの数値)

形態 濃度	葉 数					最 大 葉 長					葉 新 鮮 重				
	NO ₃ 混合	NaNO ₃	NH ₄ NO ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄	(NH ₂) ₂ CO	NO ₃ 混合	NaNO ₃	NH ₄ NO ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄	(NH ₂) ₂ CO	NO ₃ 混合	NaNO ₃	NH ₄ NO ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄	(NH ₂) ₂ CO
m.e.	g					cm					g				
0	4.8					7.6					1.03				
5	8.2	9.5	10.0	6.7	6.7	21.2	22.1	20.6	12.8	11.3	15.2	18.5	16.2	6.0	3.4
10	9.8	10.0	9.3	6.7	7.2	24.0	25.6	22.7	13.0	14.3	23.9	21.4	19.9	5.8	5.0
20	10.7	9.3	10.0	9.5	8.2	26.2	23.2	23.5	11.6	16.0	32.0	25.2	22.6	4.2	8.1
40	9.5	8.3	9.8	5.0	9.3	22.1	21.1	23.6	9.3	15.0	20.4	24.8	25.0	1.5	8.4
80	9.5	7.8	9.0	—*	6.3	20.5	18.4	16.5	—*	12.6	19.1	14.5	8.3	—*	4.2
120	8.7	7.0	6.7	—*	—*	18.9	15.0	12.4	—*	—*	14.8	7.7	3.0	—*	—*

形態 濃度	細 根 新 鮮 重					カ ブ 新 鮮 重					カ ブ 横 径				
	NO ₃ 混合	NaNO ₃	NH ₄ NO ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄	(NH ₂) ₂ CO	NO ₃ 混合	NaNO ₃	NH ₄ NO ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄	(NH ₂) ₂ CO	NO ₃ 混合	NaNO ₃	NH ₄ NO ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄	(NH ₂) ₂ CO
m.e.	g					g					cm				
0	0.42					0.76					0.98				
5	1.18	1.38	1.10	0.47	0.53	12.4	14.6	13.8	2.9	2.3	2.91	3.26	3.15	1.78	1.63
10	1.26	1.10	0.83	0.50	0.79	18.0	10.9	13.0	3.2	2.5	3.59	2.86	2.97	1.83	1.68
20	1.38	1.22	0.94	0.25	0.86	14.7	14.1	11.9	1.7	3.7	3.34	3.26	3.03	1.17	1.97
40	0.96	1.53	1.10	0.16	0.84	9.6	10.8	5.4	0.15	3.4	2.84	2.77	2.32	0.52	1.99
80	1.04	1.08	0.38	—*	0.40	8.4	5.7	1.5	—*	0.7	2.67	2.15	1.27	—*	0.94
120	0.98	0.52	0.23	—*	—*	5.7	2.2	0.4	—*	—*	2.31	1.68	0.74	—*	—*

形態 濃度	カ ブ 乾 物 率					カ ブ 新 鮮 重 / 葉 新 鮮 重				
	NO ₃ 混合	NaNO ₃	NH ₄ NO ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄	(NH ₂) ₂ CO	NO ₃ 混合	NaNO ₃	NH ₄ NO ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄	(NH ₂) ₂ CO
m.e.	%					%				
0	—*					73.7				
5	5.8	6.0	6.7	7.6	7.8	81.5	78.9	85.2	48.3	67.7
10	6.0	5.7	6.9	8.4	8.0	75.3	50.9	65.3	55.1	50.0
20	5.4	5.8	6.3	7.1	7.3	45.9	56.0	52.7	40.5	45.7
40	6.5	5.7	6.9	—*	7.4	47.1	43.6	21.6	10.0	40.5
80	6.5	7.0	—*	—*	—*	43.9	39.3	18.1	—*	16.7
120	8.2	—*	—*	—*	—*	38.5	28.6	13.3	—*	—*

* 枯死その他の理由で調査せず (以下同様)

(NH₂)₂CO 区が大となる。全体を通覧すると (NH₄)₂SO₄を除き、各形態窒素とも 10~40 m.e. の範囲では生育に大差がなく、10~20 m.e. あれば充分なことが分る。(NH₄)₂SO₄ 区のみは 5~20 m.e. の範囲、その中でもなるべく低い濃度の方が良い。

次いでカブ新鮮重、横径、細根新鮮重などの地下部生育については、細根重に若干の例外はあるが大体において NO₃ 塩混合、NaNO₃、NH₄NO₃ 区間では 20 m.e. までは大差がない。しかし 40 m.e. 以上になると生育の低下に差を生じ、NO₃ 塩混合区が最も低下が少く、NH₄NO₃ 区が最も著しい。更に (NH₄)₂SO₄、(NH₂)₂CO 区になると各濃度とも前3者よりはるかに劣るが、両者間では低濃度で (NH₄)₂SO₄ 区が僅かに良く、高濃度になると (NH₂)₂CO 区が若干良くなる。全体を通覧すると地下部の生育に対する最適窒素濃度は地上部の最適濃度より若干低い処にあり、また高濃度になると地上部より生育の低下が著しい。そのため施用窒素濃度が高くなると、カブ新鮮重と葉新鮮重の比率は各形態窒素シリーズ

共低下の傾向にあるが、特にアンモニア態窒素区で著しい。

なおカブの乾物率は全体として NO₃ 塩混合、NaNO₃ が低く、(NH₄)₂SO₄、(NH₂)₂CO 区が高く、NH₄NO₃ 区は中間の値を示した。水分含有率については逆の関係になる。

2. 第2実験

結果は第3表に示す。

地上部、地下部の生育、両者の比率、カブの乾物率などについては前実験と大体同様な結果を示した。葉の乾物率は NaNO₃ 区と NH₄NO₃ 区間では 40 m.e. までは大差がなく、60 m.e. 以上になると NH₄NO₃ 区の方が高くなる。(NH₄)₂SO₄ 区は各濃度とも他区より高い傾向がある。水分含有率は逆の関係になる。

なお (NH₄)₂SO₄ 区は 5 m.e. 以下の低濃度にしても生育は特に増大せず、施用濃度の如何にかかわらず他区に比べかなり劣ることが分つた。

なお収穫時における各区の地上部生育状態を示すと第1図のようである。

C. 窒素含量

1. 第1実験

分析結果は第4表に示す。

葉、カブ、細根の全窒素含量を通じ、全体的に各形態窒素の比較をすると細根に若干の例外はあるが、大体において (NH₄)₂SO₄ 区が最も高く、次いで NH₄NO₃ 区

第3表 各種形態窒素シリーズの収穫時における生育状態（1953年12月9日、1株当りの数値）

調査 形態 濃度	葉 数			最 大 葉 長			葉 新 鮮 重			葉 乾 物 率		
	NaNO ₃	NH ₄ NO ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄	NaNO ₃	NH ₄ NO ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄	NaNO ₃	NH ₄ NO ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄	NaNO ₃	NH ₄ NO ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄
m.e.	枚			cm			g			%		
0	4.3			8.0			0.9			11.1		
1	8.3	7.4	7.5	14.0	14.7	11.7	5.5	5.5	4.4	8.6	8.6	9.7
3	9.8	9.3	6.3	20.6	19.0	12.2	12.1	11.6	4.3	7.8	8.2	10.1
5	11.0	10.0	6.8	21.1	19.9	12.2	18.1	14.5	4.6	7.1	7.9	9.7
10	10.6	10.0	6.6	22.4	23.8	12.4	18.5	21.1	4.2	7.4	7.5	9.8
20	9.8	9.9	6.1	22.3	23.6	10.8	16.7	22.0	2.9	7.6	7.7	10.1
40	10.0	10.9	5.0	20.3	21.3	9.6	16.8	19.4	1.7	7.4	8.2	9.2
60	9.1	10.4	2.3*	20.8	17.4	5.1*	15.3	11.5	0.26*	7.9	9.3	9.4*
80	8.4	7.7	1.3*	18.1	12.6	3.1*	10.2	5.0	0.18*	8.3	11.1	9.4*
120	6.7	5.0*	—	15.1	7.2*	—	5.8	1.0*	—	8.9	12.4*	—
L.S.D.5%		1.6			1.9			3.2			1.2	
1%		2.1			2.6			4.4			1.6	

調査 形態 濃度	カ プ 新 鮮 重			カ プ 横 径			カ プ 乾 物 率			カ プ 新 鮮 重 / 葉 新 鮮 重		
	NaNO ₃	NH ₄ NO ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄	NaNO ₃	NH ₄ NO ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄	NaNO ₃	NH ₄ NO ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄	NaNO ₃	NH ₄ NO ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄
m.e.	g			cm			%			%		
0	0.55			0.89			—			59.8		
1	6.0	5.0	2.1	2.35	2.14	1.64	6.7	7.9	8.3	112.4	92.3	47.1
3	10.7	9.9	2.1	2.80	2.80	1.46	6.3	7.2	8.5	87.8	84.4	49.4
5	10.5	10.7	2.3	2.89	2.88	1.54	6.1	7.1	8.7	55.8	73.4	50.1
10	15.9	12.8	1.4	3.23	2.94	1.28	5.9	6.4	10.0	84.1	67.5	39.2
20	9.5	14.1	0.68	2.65	3.04	0.83	6.4	7.5	—	59.0	61.8	25.2
40	8.7	6.3	0.18	2.69	2.44	0.49	6.5	7.0	—	52.7	30.8	12.1
60	7.9	2.6	0.07*	2.52	1.64	0.38*	6.9	7.1	—	59.3	22.2	17.7*
80	4.6	0.51	0.02*	2.04	1.03	0.22*	7.2	—	—	45.2	10.3	9.4*
120	2.4	0.15*	—	1.60	0.43*	—	7.8	—	—	40.7	12.8*	—
L.S.D.5%		3.4			0.38			1.6			22.5	
1%		4.5			0.50			2.2			33.9	

* NH₄NO₃ 120 m.e. 区, (NH₄)₂SO₄ 60, 80 m.e. 区は各調査項目とも残存株についての平均（統計処理から除外）

第4表 各種形態窒素の施用濃度とコカブ各部の窒素含量（乾物当り）（1950）

部分 形態 濃度	葉					カ プ					細 根				
	NO ₃ 塩 混合	Na NO ₃	NH ₄ NO ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄	(NH ₂) ₂ CO	NO ₃ 塩 混合	Na NO ₃	NH ₄ NO ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄	(NH ₂) ₂ CO	NO ₃ 塩 混合	Na NO ₃	NH ₄ NO ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄	(NH ₂) ₂ CO
m.e.	%					%					%				
0	2.18					1.31					1.79				
5	4.07	4.09	4.52	4.30	3.59	2.49	2.72	2.65	3.20	2.20	2.84	2.99	3.64	4.11	2.73
10	4.64	5.40	5.09	5.25	3.84	2.80	3.43	3.05	3.77	2.99	3.14	3.45	4.04	3.84	2.42
20	4.94	5.23	5.48	6.17	4.13	3.62	3.54	3.40	4.22	3.10	3.87	3.97	4.17	4.20	3.32
40	5.07	5.28	6.34	7.39	5.00	3.57	3.71	4.16	—	3.78	3.18	4.39	4.57	3.54	3.29
80	5.04	5.33	7.39	—	6.26	3.59	3.84	4.75	—	4.94	3.36	4.20	4.09	—	4.50
120	5.26	5.57	8.51	—	—	3.70	4.16	6.01	—	—	2.83	3.52	3.80	—	—

である。NaNO₃ 区と NO₃ 塩混合区とは大体同様であるが前者がやや高い。両者とも NH₄NO₃ 区と比較すると 20 m.e. までは大差がないが、40 m.e. 以上では明らかに低い。(NH₂)₂CO 区は 20 m.e. までは全窒素形態を通じ最も含量が低い、40 m.e. では硝酸態窒素区に追付いている。

2. 第2実験

その結果は第5表に示す。

3 形態窒素間の葉、カブ中の全窒素含量の比較は大体

において第1実験の結果と同様である。硝酸態窒素については葉、カブともに NaNO₃ 区が最も多く、NH₄NO₃ 区がこれに次ぐが、NH₄NO₃ 区の最高でも NaNO₃ 区の 70 %で、半分以下の場合が多い（同じ窒素施用濃度区での比較）。特に 40～60 m.e. 以上における硝酸態窒素の減少は NH₄NO₃ 区が著しい。(NH₄)₂SO₄ 区は殆ど硝酸態窒素を含まない。葉中のアンモニア態窒素は 3 m.e. までは各形態窒素間で大差がないが、5 m.e. 以上になると、(NH₄)₂SO₄ > NH₄NO₃ > NaNO₃ の順を示すが、その含量

は硝酸態窒素に比べると著しく少い。

D. 葉中無機成分含量

第1実験

葉中の磷酸，加里含量は第6表に示す。

磷酸含量は NO_3 塩混合， NaNO_3 ， NH_4NO_3 の各形態窒素区内では 120 m. e. が含量の多い他は，窒素濃度形態，による磷酸含量の差異ははつきりしない。 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区のみ窒素の増加に伴なつて磷酸含量も増し，前3者に比べても 20 m. e. 以上では高い。 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ 区は 5 m. e. で最も含量が多く，他区の 5 m. e. より多いが，10 m. e. 以上になると他区と差がなくなる。尿素を与えると硝酸態窒素の場合より磷酸含量が多くなると云う報告⁽⁸⁾があるが，本実験では 5 m. e. 区でのみあてはまるだけである。加里含量について各形態窒素を比較すると NO_3 塩混合区の含量が全体的に最も高く，窒素濃度の増加につれて徐々に増えている。 NaNO_3 ， NH_4NO_3 ， $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ の3区では窒素濃度の増加につれ加里含量は減少の一途を辿り，120 m. e. でも1%を切ることはないが 5 m. e. の $1/3 \sim 1/4$ 以下になる。3形態間の同一濃度では NH_4NO_3 区が一番高く，次いで $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ で， NaNO_3 が全体的に最も低い。 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ 区は 80 m. e. で減少しているが，40 m. e. までは窒素濃度に関係なく， NO_3 塩混合区に次ぐ比較的高い濃度を示す。

第1図 各種形態窒素シリーズの収穫時におけるは NaNO_3 区と同じ) 下段 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区 (左

第5表 各種形態窒素の施用濃度とコカブ各部の窒素含量 (乾物当り) (1953)

要素 形態 濃度	葉 中 全 N			カブ 中 全 N			葉 中 NO ₃ -N				
	NaNO ₃	NH ₄ NO ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄	NaNO ₃	NH ₄ NO ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄	NaNO ₃	全Nに對する %	NH ₄ NO ₃	全Nに對する %	(NH ₄) ₂ SO ₄
m.e.											
0	2.47%			1.50%			— %	—			
1	3.86	3.41	4.12	2.35	2.29	2.72	tr.	—	tr.	—	tr.
3	4.45	4.34	4.78	2.72	2.75	3.10	0.42	9.4	0.18	4.1	tr.
5	5.08	4.66	4.56	3.01	2.82	3.01	0.97	19.1	0.44	9.4	tr.
10	5.49	5.12	5.29	3.19	3.39	3.28	1.60	29.1	1.05	20.5	tr.
20	5.61	5.68	6.59	3.42	3.42	4.25	1.70	30.3	1.20	21.1	tr.
40	5.57	6.45	7.48	3.64	4.37	—	1.81	32.5	0.88	13.6	—
60	5.69	7.31	9.45	3.49	4.33	—	1.71	30.1	0.75	10.3	—
80	5.83	7.98	10.13	3.66	4.57	—	1.67	28.6	0.58	7.3	—
120	5.80	9.52	—	4.53	5.87	—	1.61	27.8	—	—	—

要素 形態 濃度	カブ 中 NO ₃ -N					葉 中 NH ₄ -N					
	NaNO ₃	全Nに對する %	NH ₄ NO ₃	全Nに對する %	(NH ₄) ₂ SO ₄	NaNO ₃	全Nに對する %	NH ₄ NO ₃	全Nに對する %	(NH ₄) ₂ SO ₄	全Nに對する %
m.e.											
0	— %	—				— %	—				
1	0.19	8.1	tr.	—	tr.	0.014	0.36	0.020	0.59	0.017	0.41
3	0.38	14.0	0.11	4.0	tr.	0.015	0.34	0.024	0.55	0.019	0.40
5	0.56	18.6	0.20	7.1	tr.	0.016	0.31	0.021	0.45	0.032	0.70
10	0.75	23.5	0.47	13.9	tr.	0.012	0.22	0.036	0.70	0.055	1.04
20	0.90	26.3	0.47	13.7	—	0.017	0.30	0.042	0.74	—	—
40	0.96	26.4	0.63	14.4	—	0.014	0.25	0.045	0.70	—	—
60	1.00	28.7	0.51	11.8	—	0.013	0.23	0.100	1.37	—	—
80	1.11	30.3	—	—	—	0.020	0.34	0.122	1.53	—	—
120	1.60	35.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* tr. は痕跡量

生育状態 (1953) 上段 NaNO_3 区 (左より 1, 3, 5, 10, 20, 40, 60, 80, 120 m.e.) 中段 NH_4NO_3 区 (配列より 0, 1, 3, 5, 10, 20, 40, 60, 80 m.e.)

第 6 表 各種形態窒素の施用濃度とコカブ葉中の磷酸、加里含量 (乾物当り) (1950)

要素 形態 濃度	P					K				
	NO_3 塩 混合	NaNO_3	NH_4NO_3	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$	NO_3 塩 混合	NaNO_3	NH_4NO_3	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$
0m. e.	0.50%					3.82%				
5	0.21	0.23	0.18	0.24	0.43	6.03	5.32	6.71	4.79	5.77
10	0.19	0.27	0.23	0.23	0.23	6.29	4.72	6.04	5.04	5.99
20	0.22	0.22	0.20	0.36	0.19	6.32	3.77	5.19	4.29	6.30
40	0.23	0.19	0.22	0.41	0.16	6.44	2.68	3.67	2.97	5.90
80	0.20	0.21	0.18	—	0.20	6.74	1.85	2.10	—	4.81
120	0.41	0.29	0.62	—	—	6.70	1.56	1.57	—	—

第 7 表 各種形態窒素の施用濃度とコカブ葉中の無機成分含量 (乾物当り) (1953)

要素 形態 濃度	P			K			Ca			Mg		
	NaNO_3	NH_4NO_3	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	NaNO_3	NH_4NO_3	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	NaNO_3	NH_4NO_3	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	NaNO_3	NH_4NO_3	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
m. e.	%			%			%			%		
0	0.65			5.24			1.56			0.38		
1	0.52	0.59	0.68	5.95	5.91	5.90	1.89	1.26	0.57	0.52	0.39	0.27
3	0.54	0.61	0.84	6.18	6.09	5.62	2.40	1.16	0.32	0.61	0.42	0.20
5	0.56	0.60	0.82	5.74	5.90	5.49	2.07	1.05	0.33	0.61	0.38	0.20
10	0.57	0.63	0.79	5.16	5.83	4.96	1.80	1.07	0.29	0.63	0.38	0.18
20	0.57	0.67	1.00	4.18	4.78	4.50	1.43	0.92	0.24	0.49	0.31	0.20
40	0.53	0.75	0.95	3.19	3.54	3.76	1.11	0.52	0.33	0.36	0.20	0.25
60	0.59	0.86	—	2.47	2.82	—	0.72	0.35	—	0.30	0.13	—
80	0.57	0.72	—	2.12	2.35	—	0.70	0.27	—	0.20	0.15	—
120	0.69	0.84	—	1.45	2.04	—	0.38	0.35	—	0.13	0.19	—

2. 第2実験

結果は第7表に示す。

磷酸含量は第1実験とやや異なり、窒素形態間の比較では NaNO_3 区が最も少く、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区が最も多い。 NH_4NO_3 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区では窒素濃度の増加につれ段々と多くなり、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区では1%に達するものもある。 NaNO_3 区では窒素濃度による磷酸含量の差は殆ど見られない。全体的に第1実験の値より高く倍位あるのは施用磷酸が前回は $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ で、今回は KH_2PO_4 であったことも一因と思われる。加里含量については大体において第1実験と同様な傾向が示された。

石灰含量は各区とも窒素濃度の増加とともに減少し(NaNO_3 区では3m.e. までは増加)、 NH_4NO_3 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区では0.5%以下になる区も生ずる。各窒素形態間の比較では $\text{NaNO}_3 > \text{NH}_4\text{NO}_3 > (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ の順となる。苦土についても、石灰ほどははっきりしないが、大体同様な傾向が見られ、窒素濃度が増すにつれて苦土含量は低くなるが、全体的には NaNO_3 区が最も高く、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区が最も低く0.25%以下のものが多い。

E. アスコルビン酸含量

第2実験では葉中の還元型アスコルビン酸含量を測定したが、その結果は第8表に示す。

第8表 各種形態窒素の施用濃度と葉中アスコルビン酸含量* (1953)

濃 度	形 態	NaNO_3	NH_4NO_3	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
0m.e.		131mg%		
1		116		
3		85	119	72
5		100	105	37
10		96	94	23
20		98	91	30
40		98	98	26
60		89	69	15
80		96	71	—
120		114	94	—
		83	83	—

* 還元型 (新鮮物当り) 11月28日定量

NaNO_3 区では窒素濃度にあまり関連なく大体100mg前後の値を示す。 NH_4NO_3 区は20m.e. までは NaNO_3 区と大差ない値を示しているが、40m.e. 以上になるとやや含量が低くなる。 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区ではその傾向は更に著しく、窒素濃度の増加につれてアスコルビン酸含量は急減し、全体的にも他の窒素形態区よりかなり低い。

IV. 考 察

本実験において収穫時の生育状態を総合的に比較すると地上、地下部とも前報同様やはり NaNO_3 区、特に NO_3 塩混合区が最もまきり、高濃度になつても生育低下は緩慢である。 NH_4NO_3 区は40m.e. までは硝酸態

窒素区と大差のない生育を示すが、それ以上の高濃度になると硝酸態窒素区に比べ生育の低下は著しく、特に地下部の生育低下が大となり、そのためカブ重/葉重の比率低下も著しい。 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ 区、特に $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区は他形態窒素区に比べかなり生育が劣り、特に地下部の生育が劣る。 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区では前報より低濃度にしても別に生育は良好にならない。施用窒素濃度が一定の場合硝酸態窒素を与えた方がアンモニア態窒素を与えるより生育がよいことは多くの研究者が認め^(4,6,17)、特に BEAMONT 氏⁽²⁾はタバコの水耕で $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 区が最もまきり、 NaNO_3 区がこれに次ぎ、 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ 区、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区と段々に劣つて行くことを示した。また硝酸態窒素が尿素にまさることはインゲン⁽¹³⁾、トマト⁽⁹⁾でも認められている。しかし本実験のように施用窒素濃度を種々に変えて比較した実験は案外少い。

以上のように窒素形態により生育に差異を生ずる原因を考えると先ず窒素含量が問題になる。 NaNO_3 、 NO_3 塩混合両区とも各部の全窒素含量は10~20m.e. までは増加するが、それ以上の増加は徐々である。 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量も大体同様な傾向を示している。硝酸態窒素を与えると、吸収後一旦還元されてから同化されるので同化速度が遅く、施用濃度が高いと $\text{NO}_3\text{-N}$ のままでかなり体内に蓄積される。しかし $\text{NO}_3\text{-N}$ はあるレベルまで蓄積されることは良好な生育のためにはむしろ必要であり、それ以上過剰に蓄積されても比較的危害は少い⁽⁹⁾。このように硝酸態窒素を与えた場合は、吸収された過剰の窒素は $\text{NO}_3\text{-N}$ として蓄積されるため、ある程度以上与えてもそれ以上あまり吸収されず、窒素含量も増加が少く、従つて高施用濃度における害作用も少いと思われる。なお葉中に少量の $\text{NH}_4\text{-N}$ があるが、これは $\text{NO}_3\text{-N}$ が還元されたものが主で、すぐにより高級な窒素化合物に変化するため、蓄積は極めて少い。

NH_4NO_3 区では40m.e. 以上になつても窒素含量は増加を続け、硝酸態窒素区より著しく多くなる。 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ を共に与えた場合、一般に $\text{NH}_4\text{-N}$ の方が吸収されやすいが、高濃度になると、その傾向は更に強くなる。これは本実験の場合、培養液のpHがかなり酸性になることでも分り、また葉中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量の減少、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の増加によつてもある程度裏づけられる。 $\text{NH}_4\text{-N}$ は体内に入り、すぐにアミドなどの可溶性有機態窒素をつくり、 $\text{NH}_4\text{-N}$ は殆ど蓄積されないので、引続き $\text{NH}_4\text{-N}$ は吸収される。しかし段々と $\text{NH}_4\text{-N}$ の施用濃度が高くなると窒素同化に支障を来すようになり、遊離のアンモニアが蓄積し、これが害を及ぼすものと思われる⁽⁶⁾。本実験の NH_4NO_3 区では葉中の $\text{NH}_4\text{-N}$ が乾物

重当り 0.1% 以上になると生育の低下が著しいが、 NO_3^- -N の蓄積よりはるかに少い。 NH_4NO_3 の場合は NO_3^- -N も含むので低濃度では NH_4 -N、 NO_3^- -N が共に吸収同化され、硝酸態窒素区に匹敵する生育を示すが、高濃度になると NH_4 -N の吸収が著しく多く、アンモニアの害が現われ、生育の低下が著しいものと思われる。この害作用が炭酸同化作用、炭水化物の移動などに悪影響を及ぼし、カブの肥大を著しく妨げたと考えられるが、これについては更に検討を要する。

次に $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区で NH_4 -N だけを与えた場合は葉中の NH_4 -N が 0.1% 以下でも他区より生育が著しく劣る（試料が少くて分析できなかったが、高濃度では 0.1% 以上になっていたと思われる）。そこでアンモニア態窒素だけを与えた場合は吸収されやすいが、同化されにくく、可溶性有機態窒素は多くても、アミノ酸や蛋白質まで合成されるものが少く、充分生育できなかったと思われる⁽²⁾。なお $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区の体内には NO_3^- -N が殆どないが NH_4 -N は体内で酸化されることはないの で当然と思われる。

$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ は分子状で吸収されるため吸収されにくく低濃度では全窒素含量が、窒素形態中最も低く生育も劣る。高濃度になると窒素含量はかなり高くなるが生育は幾分よくなるだけで、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ に次いで同化されにくいことが分る。 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ は吸収されてからウレアーゼによつてアンモニアになつてから同化されるのか、他の径路を通つて同化されるのが充分解明されていないが高濃度では $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ 自体または NH_4 -N の蓄積による害作用が考えられる⁽²⁰⁾。

窒素形態により生育に差を生ずる原因として次に無機成分含量が考えられる。アンモニア態窒素 (NH_4NO_3 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) の施用量を増すと K, Ca, Mg (特に Ca) などの陽イオンが NH_4 イオンとの拮抗作用のために吸収が減少し、逆に磷酸などの陰イオンは余計に吸収され体内における陽イオンと陰イオンとのバランスを一定に保つような方向に動くものと思われる⁽⁶⁾。そこでアンモニア態窒素を多く与えた場合、生育が劣る原因の1つとして陽イオンの吸収が減少し、非常に含量が低くなることが考えられる。これは特に Ca, Mg について云えることで本実験の場合、普通ならそれぞれの欠乏症状を現わすレベルまで低下している。ただし加里については同じ陽イオンでも若干事情が異なる。即ちアンモニア態窒素を多く与えた場合は勿論加里の含量は減少するが、硝酸態窒素でも NaNO_3 の場合は Na イオンとの拮抗で加里の含量は低下し、アンモニア態窒素区よりもむしろ低い位である。しかも両区共窒素を 120 m. e. 与えた場合

でも加里含量は 1% を切らず普通は加里欠乏症状を現わさない筈である。実際 NaNO_3 区では高濃度でも加里欠乏症は現われず、生育の低下もそう著しくないが、アンモニア態窒素区では 40 m. e. を超えると加里欠乏症が現われ、生育の低下も著しくなる。高橋氏ら⁽¹⁴⁾ はタバコで体内の窒素と加里の含量の間に不均衡が生ずると機能的な加里欠乏を生ずることを指摘し、N/K₂O 比が 2 以上になると加里欠乏を起しやすいと云う。本実験でもアンモニア態窒素の場合は大体その傾向があるが、 NaNO_3 区では 2 以上 (80 m. e. 以上) になつても加里欠乏症は現われず、まだ問題点が残されている。そこでアンモニア態窒素を与えた場合は硝酸態窒素の場合より加里の必要量が多いか、能率が悪く特にアンモニア態窒素が過剰に吸収された場合は、加里濃度が著しくは低下しなくても機能的に不充分で、アンモニアの害作用と相俟つて加里欠乏類似の症状が出たものと思われる。以上、加里の機能的障害、石灰、苦土の不足がアンモニア直接の害作用と相俟つてアンモニア態窒素区の生育を低下させるものと思われるが、更にこれらを明らかにするには各形態窒素に以上の陽イオンを種々のレベルで与え生育反応を調べる必要がある。

なお NO_3^- 塩混合区の生育が特に高濃度において NaNO_3 区にまさるのは Na イオンの過剰の害がない上、K, そしておそらく Ca, Mg 含量が低下しないためと思われる。 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ 区については K 含量しか調べておらず、それもアンモニア態窒素区のように含量が低くならず、 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ 区の生育不良と陽イオンとの関係は明らかでなく今後の問題と思われる。

次に葉根菜類では葉の品質が商品価値に影響を及ぼすのでかなり重要になるが、これと窒素形態との関係を調べてみよう。先ず葉色であるが $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区の高濃度を除いてはアンモニア態窒素区が最も濃く、硝酸態窒素区はかなり淡く、 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ 区が全体的に最も淡い。葉色は葉中のクロロフィル含量と密接な関係があり、またクロロフィル含量と葉中の窒素含量ともかなり高い相関関係がみられる。しかし同じ位の窒素含量でもアンモニア態窒素区の方が硝酸態窒素区よりも葉色が濃いので、葉色を単なる葉中窒素含量だけでは説明できず窒素形態が問題になり、クロロフィル a/b 比や葉緑粒の配列状態などに及ぼす影響にも検討を要すると思われる。また間接的にはアンモニア態窒素区の方が根圏附近の pH を下げ、鉄を有効態に保ちやすいこともクロロフィルの生成に都合がよいと思われる⁽¹²⁾。そこで葉色を濃くして商品価値を高めるには硝酸態窒素だけでなくある程度アンモニア態窒素も吸収されることが必要である。

なおアンモニア態窒素を多く与えると生育は別としても葉脈間が隆起し、葉質もかたく、厚くなり、葉先や葉縁が捲込む欠陥が出てくる。これは窒素過剰の1つの徴候とも思われるがアンモニア態窒素の場合特に著しい。アンモニア態窒素の吸収が多いと維管束系の発育が抑えられ葉脈間が隆起し、また細胞膜炭水化物にも影響を与え葉質がかたくなると考えられるが、これらについては実験的な裏づけが殆どなく今後の研究に俟つ処が多い。葉が捲込むことは他の研究者も認めており、その1つの原因として根が障害を受け水分不足になることをあげている^(7,13)。本実験でも $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区ならびに NH_4NO_3 の高濃度区では根が障害を受けており、カブ部の水分含量も低い。また葉の水分含量も低く、晴天の日に葉が萎凋しやすいことは水分吸収の不完全さを示しており、葉の捲込みとの関連が考えられる。

次に葉中のアスコルビン酸含量は硝酸態窒素区に比べアンモニア態窒素区特に高濃度区ではかなり低い。窒素形態とアスコルビン酸との関係を調べた研究は少ないが、硝酸態窒素を与えるとき有機酸が増加することは認められている^(4,17)。これは硝酸態窒素を還元するため、炭水化物が酸化されて有機酸を生ずるためと考えられる。VLADIMIROV 氏⁽¹⁹⁾ は硝酸態窒素を与えると1種の有機酸であるアスコルビン酸も増すことを予想しているが、本実験でそれが明らかにされたわけである。一方アンモニア態窒素区では体内が還元状態にあり、炭水化物も少く、アスコルビン酸の生成も少ないわけである。

以上砂耕により得た結果から、窒素形態の比較を植物栄養的に論じてきたが、土壌ではかなり様相を異にし、アンモニアの害も砂耕の場合ほど著しくないとされる。つまり土壌膠質にアンモニア態窒素が吸着され、遊離のアンモニアが少く、また土壌微生物による硝酸化成が行われ、硫酸を与えてもかなりの割合が硝酸態窒素に変化し、更には雨水などによる土壌下層への浸透が行われるからである。故に土壌条件または気象条件が硝酸化成作用に都合がよければ硫酸や尿素をかなりの量与えても害はないが、硝酸化成作用の弱い条件、例えば砂質土壌、酸性土壌または低温時に与えると施用量や作物のステージによつてはかなりの害が出るものと思われる。またアンモニア態窒素などの連用の場合には土壌の理化学的性質が劣化し、蔬菜園の老朽化とも関連を持ち、問題が複雑となるので土壌における窒素形態の比較は今後に譲りたいと思う。

最後に一言加えると、最近施肥量決定の基礎資料を得るため、各肥料要素の最適濃度をきめる実験や肥料要素間の最適比率をきめる実験などが砂耕法によつて行われ

ることが多く、その場合窒素源として $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ が使用されている例が多い。この場合、土壌微生物の少ない砂では硝酸化成があまり行われず、また土壌膠質も少ないのでアンモニア・イオンの害が出やすい。このような条件での最適濃度、最適比率自体にも問題があるし、それを土壌微生物、土壌膠質の多い普通の土壌に対する基礎資料とすることにも無理がある。故に $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 全部を硝酸態窒素に代えないまでも、かなりの部分を硝酸態窒素に代えるか、または $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ の代りに NH_4NO_3 を使った方がむしろ実態に近いのではなかろうか。

V. 摘 要

金町コカブをガラス室内で秋播砂耕し、培養液中の窒素形態と施用濃度とを種々に組合わせ、コカブの生育、収量、化学組成に及ぼす影響を調べた。第1実験では NO_3 塩混合 ($\text{KNO}_3 : \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 : \text{Mg}(\text{NO}_3)_2 = 5 : 5 : 4$)、 NaNO_3 、 NH_4NO_3 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ の5種の窒素形態を用い、各々について窒素のレベルを 5, 10, 20, 40, 80, 120 m. e. の6段階とし、第2実験では窒素形態は NaNO_3 、 NH_4NO_3 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ の3種とし、窒素のレベルは 1, 3, 5, 10, 20, 40, 60, 80, 120 m. e. の9段階とした。両実験の結果をまとめると次の通りである。

(1) NO_3 塩混合、 NaNO_3 区では一般に葉色は明るい緑色で葉面も平滑だが、 NH_4NO_3 区の葉色は濃緑色で濃度が高くなると黒ずみ、葉面も凹凸を生じ、生育末期には加里欠乏類似の症状を呈する。 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区は低濃度では葉色は濃い、高濃度では鈍緑～黄緑色となり、葉が捲込んだり、よじれたりし甚だしい場合には枯死する。 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ 区の葉色は全般に最も淡いが高濃度になるとやや濃くなる。葉中クロロフィル含量も外観と大体同様な傾向を示した。細根は NO_3 塩混合、 NaNO_3 区では淡褐色だが、 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ 、 NH_4NO_3 特に $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区では淡鼠色～紫色がかり根の障害を示していた。カブ部は各区とも白色で差はなかつた。

(2) 地上部の生育は 40 m. e. (560 ppm) までは NO_3 塩混合、 NaNO_3 、 NH_4NO_3 区とも大差がない。それ以上の濃度になると各区とも生育は低下するが、 NH_4NO_3 区の低下が最も著しく、 NO_3 塩混合区の低下が最も少ない。 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ 区の生育は各濃度とも前3者より著しく劣り、その中でも $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区の生育が更に劣る。地下部の生育も地上部と大体同様な傾向を示すが、生育の低下がより低濃度で始まり、しかも NH_4NO_3 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区の低下程度は地上部よりも著しい。このため高濃度における R/T 率の低下はアンモニア態窒素区で著しい。

(3) 地上部、地下部の全窒素含量は各窒素形態とも施用濃度の増加に伴ない増加するが、高濃度における増加程度は NO_3 塩混合、 NaNO_3 区では徐々であるが、 NH_4NO_3 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区では著しい。 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}$ 区は低濃度では窒素含量が最も低いが、高濃度になるとかなり高くなる。 $\text{NO}_3\text{-N}$ の含量は NaNO_3 区に最も多く、 NH_4NO_3 区がこれに次ぎ、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区は痕跡程度である。 $\text{NH}_4\text{-N}$ の含量は逆に $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 > \text{NH}_4\text{NO}_3 > \text{NaNO}_3$ の順であるが、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量に比べると著しく少い。

(4) 葉中の磷酸含量は NH_4NO_3 特に $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区に多く、施用濃度の増加に伴ない多くなる。加里含量は NO_3 塩混合区が最も高く、 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}$ 区がこれに次ぐ。 NaNO_3 、 NH_4NO_3 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区はいずれも施用濃度の増加につれ、加里含量は低下するが、その中では NH_4 区の含量が高い。以上3者間で石灰、苦土含量の比較をすると各濃度とも $\text{NaNO}_3 > \text{NH}_4\text{NO}_3 > (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ の傾向を示す。

(5) 葉中のアスコルビン酸含量は NaNO_3 、 NH_4NO_3 区の低濃度では両者間に大差がないが、高濃度になると NH_4NO_3 区がやや低くなる。 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区は各濃度とも他区より含量が低く、高濃度になるほど低下が著しい。

参 考 文 献

- (1) ARENZ, B.: Beiträge zur Frage der Wirkung von Salpeter- und Ammoniakstickstoff auf das pflanzenwachstum bei verschiedenen Nährstoffverhältnissen, *Bodenk. u. Pflanzener.* 8(53): 182~216, 1938.
- (2) BEAMONT, A. B., G. J. LARSINOS, P. PIEHENBROCK and P. R. NELSON: The assimilation of nitrogen by tobacco, *Jour. Agr. Res.* 43(6): 559~567, 1931.
- (3) BREON, W. S., W. S. GILLAM and D. J. TENDAM: Influence of phosphorus supply and the form of available nitrogen on the absorption and the distribution of phosphorus by the tomato plant, *Plant Physiol.* 19(3): 495~506, 1944.
- (4) CLARK, H. E.: Effect of ammonium and nitrate nitrogen on the composition of the tomato plant, *Plant Physiol.* 11(1): 5~24, 1936.
- (5) ENGEL, H.: Die Wirkung der Ammoniumsalze in ihrer Abhängigkeit von der Wasserstoffionenkonzentration, *Ztsch. f. Pflanzener. Düng. u. Bodenk.* 16(A): 226~233, 1930.
- (6) 岩田正利・谷内武信: 窒素形態の差異と蔬菜の生育, *園学雑誌*, 22(3): 183~192, 1953.
- (7) JACOBSON, H. G. M. and T. R. SWANBACK: Relative influence of nitrate and ammoniacal nitrogen upon intake of calcium by tobacco plants, *Plant Physiol.* 8(2): 340~342, 1933.
- (8) MCCALLA, G. A. and E. K. WOODFORD: Effect of a limiting element on the absorption of individual elements and on the anion: cation balance in wheat, *Plant Physiol.* 13(4): 695~712, 1938.
- (9) MCKEE, H. S.: A review of recent work on the nitrogen metabolism of plant, Part I. *New Phytol.* 36: 33~56, 1937.
- (10) 奥田東編: 植物栄養生理実験書 p. 160, 朝倉書店(東京), 1953.
- (11) PUCHER, G. W., H. B. VICKERY and C. S. LEAVENWORTH: Determination of ammonia and amide nitrogen in plant tissues, *Ind. & Eng. Chem. Anal. Ed.* 7: 152, 1935.
- (12) SIDERIS, C. P., B. H. KRAUSS and H. Y. YOUNG: Assimilation of ammonia and nitrate by pineapple plants grown in nutrient solutions and its effects on nitrogenous nitrogens and carbohydrate constituents, *Plant Physiol.* 13(3): 489~527, 1938.
- (13) SKOK, J.: Effect of the form of the available nitrogen on the calcium deficiency symptoms in the bean plant, *Plant Physiol.* 16(1): 145~158, 1941.
- (14) 高橋達郎・竹山賢治: たばこの加里栄養に関する研究(1) 硝酸態アンモニア態窒素の施用量が加里欠乏症、加里の吸収並びにたばこの生化学に及ぼす影響, *秦野たばこ試報*, 36: 77~101, 1952.
- (15) ———・吉田大輔: たばこ植物の栄養に及ぼす各種イオンの相互作用について(第1報) 培養液のアンモニア態、硝酸態窒素と陽イオンとの関係, *土肥雑誌* 23(1): 42~46, 1952.
- (16) TURTCHIN, TH. W.: Die Rolle des Kaliums und Phosphors bei der Assimilation verschiedener Stickstoffformen durch Pflanzen, *Ztsch. f. Pflanzener. u. Bodenk.* 44: 65~83, 1936.
- (17) VICKERY, H. B., G. W. PUCHER, A. J. WAKEMAN and C. S. LEAVENWORTH: Chemical investigation of the tobacco plant. VIII. The effect upon the composition of the form in which nitrogen is supplied, *Conn. Agr. Exp. Sta. Bull.* 442, 1940.
- (18) VIETS, F. G. JR., A. L. MOXON and E. I. WHITEHEAD: Nitrogen metabolism of corn (*Zea mays*) as influenced by ammonium nutrition, *Plant Physiol.* 21(3): 271~289, 1946.
- (19) VLADIMIROV, A. V.: Influence of nitrogensources in the formation of oxidized and reduced compounds in plants, *Soil Sci.* 60(4): 265~275, 1945.
- (20) YAMAGUCHI, S.: Studies on the relation between urease in soy bean seedlings and nutrient value of urea as a nitrogen sources, *Jour. Fac. Sci. Hokkaido Imp. Univ. Ser. V. Bot.* 4(1), 1935.