窒素形態の差異とそ菜の生育 (第5報)

培養液中の各種陰イオンとの関係

岩田 正利・鈴木 芳夫

(東京大学農学部)

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

Growth as influenced by anions in the nutrient solution

Masatoshi IWATA and Yoshio SUZUKI

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

Summary

Experiments were carried out to compare the effects of anions on the growth and inorganic constituents of several vegetable crops supplied with different forms of nitrogen in sand culture.

In the preliminary experiments with onion supplied with nitrate nitrogen, plants showed inferior growth with sulphur deficiency symptoms at sulphate (SO_4) 0 me, slightly inferior growth without deficiency symptoms at SO_4 0.2 me, and better growth was observed between 0.5 and 10 me. While, there was detected no chlorine deficiency symptoms even at chloride (Cl) 0 me, and plants showed normal growth between Cl 0 and 10 me. In both sulphate and chloride series, plant growth was lowered at higher concentrations than 25 me, and the higher the concentration, the less was the growth.

In the next experiments of cabbage, turnip, and onion supplied with NaNO_3 , NH_4NO_3 , or $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ as nitrogen source (8 me as N), there was no clear difference of growth between the treatments supplied with cations as sulphate or chloride (11 me as SO_4 or Cl except $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ treatment). No difference of growth was found also between $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ plants in which ammonium, in addition to other cations, was supplied as sulphate, and NH_4Cl plants supplied as chloride (19 me as SO_4 and Cl, respectively). However, growth of plants in both treatments was markedly inferior to that in the treatments supplied with other forms of nitrogen. The

sulphur concentration in the leaves was higher in the SO_4 series than in the Cl series, and the chlorine concentration in the leaves was higher in the Cl series than in the SO_4 series, irrespective of the forms of nitrogen and the kinds of vegetables tested.

In the third experiment of onion and turnip supplied with NaNO_3 or $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, the effects of SO_4 and Cl given as sodium salt on the growth were compared in the higher concentrations of 12~48 me. The higher the concentration of SO_4 or Cl, the lower was the growth, however, there was no difference of growth between SO_4 and Cl series regardless of the forms of nitrogen supplied.

Finally, the effects of different concentrations of phosphorus on the growth of cabbage supplied with different forms of nitrogen were investigated. Growth was increased up to P 0.6 me, however, further increase was not observed at P 3 me both in NaNO_3 and NH_4NO_3 series. In $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ series growth was not affected by phosphorus concentration, and their growth was markedly inferior to ones in the other forms of nitrogen. Phosphorus concentration in the leaves became higher with increasing concentration of phosphorus supplied, irrespective of the forms of nitrogen, and was the highest in $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. However, phosphorus deficiency symptoms appeared on the plants both at P 0 and 0.2 me, in any nitrogen form.

窒素形態を変えてそ菜を砂耕した場合における培養液中の陽イオン濃度と生育との関連については、アンモニア態窒素を与えてもカルシウム濃度を高くすれば生育量がある程度増加すること、マグネシウム・カリにはそれほど効果がないことなどを明らかにした⁽¹⁾。一方、陰イオン中の SO_4 , Cl イオンについては肥料要素を硫酸塩、塩

化物のいずれの形態で与えるかという際、付随イオンとして問題になる場合がある。またアンモニア態窒素を与えた場合、塩化物を加えると害作用が著しいという報告もある⁽⁶⁾。そこで窒素形態を変え、数種のそ菜を砂耕し、各種の陽イオンを硫酸塩または塩化物で与え、生育に及ぼす影響を比較した。さらにリン酸についても、その施用濃度を変えた場合、窒素形態の差異により生育に対す

1968年9月24日受理

る反応がどのように異なるかを明らかにしようとした。

謝辞 本実験を指導された杉山教授ならびに種苗のあつ旋をされた千葉大学園芸学部 渡辺助教、神奈川県農業総合研究所の平岡技師に深謝の意を表する。

I. 実験方法

実験そ菜の栽培はすべて無加温のガラス室内における砂耕法によつて行なわれ、よく水洗した石英砂をつめた5千分のワグナーポットに、コカブの場合は直接は種し、カンランおよびタマネギの場合はあらかじめ育てあつた苗を移植した。

1. 硫酸塩・塩化物の比較

a. 低濃度における比較 予備実験として9月6日まき、葉数3枚のタマネギ苗（泉州黄）を12月7日に1ポットあたり4株ずつ定植し、硝酸態窒素を与え、まず低濃度における硫酸塩・塩化物の比較をした。処理は12月10日より開始し、共通培養液として KH_2PO_4 、 KNO_3 、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ をそれぞれ1, 2, 2, 1ミリモルずつ、また微量元素として Fe 1 ppm（クエン酸鉄）、 B 0.5 ppm（ H_3BO_3 ）、 Mn 0.5 ppm（ $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ）を与えた。これに硫酸塩区には $\text{M}/10 \text{ Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ を、塩化物区には $\text{M}/5 \text{ NaCl}$ を培養液 1 l あたり、それぞれ0, 1, 2.5, 5, 10 ml 与え、 SO_4 、 Cl 濃度がそれぞれ0, 0.2, 0.5, 1, 2 me になるようにした。なお塩化物区には別に $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 1ミリモル（ SO_4 2 me）を与え、硫黄欠乏がおこらないようにした。1区は3ポットずつとし、翌3月4日に収穫した。

培養液は1ポットあたり 1 l を用意し、1日1~2回かん液した。培養液の稀釈には蒸留水または脱塩水を用いた。液替えは1週ごとに行ない、pH は時々調節して6付近に保つようにつとめた（pH は SO_4 区においては $\text{N}/2 \text{ H}_2\text{SO}_4$ と $\text{N}/2 \text{ NaOH}$ で、 Cl 区においては $\text{N}/2 \text{ HCl}$ と $\text{N}/2 \text{ NaOH}$ で調節した）。また液替えの前に、時々水を砂面にかけ流し、塩類の集積がおきないようにした。これらのことは以下の実験でも同様であつた。

b. 高濃度における比較 つぎに同じく（泉州黄）を用い、硝酸態窒素を与え、高濃度における硫酸塩・塩化物の比較をした。共通培養液は前実験同様で、これに硫酸塩区には $\text{M}/5 \text{ Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O} + \text{M}/10 \text{ K}_2\text{SO}_4 + \text{M}/5 \text{ MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ の混合液、塩化物区には $2\text{M}/5 \text{ NaCl} + \text{M}/5 \text{ KCl} + \text{M}/5 \text{ MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 混合液を培養液 1 l あたり、それぞれ0, 2, 5, 10, 25, 50, 100, 150 ml 与え、 SO_4 、 Cl 濃度がそれぞれ0, 2, 5, 10, 25, 50, 100, 150 me になるようにした。なお塩化物区に $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ を1ミリモル与えたことは前実験と同様である。苗は9月上旬まきの3葉苗で、11月26日に1ポットあたり4株ずつ定植し、11月30日より処理を開始した。順

次間引き、翌6月22日の収穫時には1ポットあたり1株ずつであつた。なお1処理区は4ポットずつとした。

c. 窒素形態を変えた場合における比較

さらに窒素形態として NaNO_3 、 NH_4NO_3 、ならびに $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)$ を用い、そのおのおのについて以下のように K 、 Ca 、 Mg を硫酸塩で与えた区と塩化物で与えた区とを比較した。

2M NaNO_3 、 NH_4NO_3 または $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 4 ml/l（ N として 8 me）

SO_4 区		Cl 区	
M KH_2PO_4	1 ml/l	M KH_2PO_4	1 ml/l
M/4 K_2SO_4	6	M KCl	3
M/100 CaSO_4	200	M $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2
M $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	2	M $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	2
		M/2 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	1

以上のように SO_4 、 Cl 濃度とも $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区を除き、それぞれ 11 me となる。 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区の SO_4 濃度は計 19 me になるので、これと比較するため窒素も M NH_4Cl (4 ml/l) で与えた区を設けたが、この区の Cl 濃度は計 19 me になつた。

実験材料にはカンラン（長岡交配秋まき早生、9月28日まき、10月3日発芽、12月13日定植、翌1月20日11葉時に処理開始、3月19日収穫、1ポット1株）、コカブ（極早生金町、9月25日まき、9月30日発芽、11月1日5葉時に処理開始、12月5日収穫、1ポット4株）、ならびにタマネギ（二宮丸、9月12日まき、11月15日定植、12月19日5葉時に処理開始、翌3月5日収穫、1ポット4株）を用いた。なお各そ菜とも1処理あたり4ポットを準備し、処理開始までは硝酸態窒素を含む培養液を与えた。

d. 窒素形態を変えた場合の高濃度における比較 最後に各窒素形態区において高濃度の硫酸塩・塩化物を与えた場合の生育に及ぼす影響を調べた。窒素形態としては NaNO_3 ならびに $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ を用い、いずれも窒素濃度が 8 me になるようにした。これら各窒素形態区共通の培養液としては 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、 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1ミリモルを与えた。上記の窒素液と共通培養液を合わせるとすでに NaNO_3 区の SO_4 、 Cl 濃度はそれぞれ 4 me で、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区の SO_4 濃度は 12 me、 Cl 濃度は 4 me であつた。そこで NaNO_3 の SO_4 区には $\text{M}/2 \text{ Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ を培養液 1 l あたり 8, 20, 44 ml、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区には 0, 12, 36 ml を与え、 SO_4 濃度が 12, 24, 48 me になるようにした。同様に Cl 区には 2M NaCl を 4, 10, 22 ml 与え、 Cl 濃度を 12, 24, 48 me とした。実験材料としてはタマネギおよびコカブを用いた。タマネギは泉州黄で、12月4日に1ポットあ

たり4株ずつ定植し、翌1月8日より処理を開始し、3月14日に収穫した。1区は3ポットずつであった。コカブは金町を用い、4月24日に、は種し、5月22日より処理を開始し、1ポット3株ずつとし、6月19日に収穫した。1区2ポットずつであった。

2. リン酸

カンラン(富士早生)を9月26日にまき、本葉5~6枚の12月19日に1ポットあたり1株ずつ定植し、硝酸態窒素を含む培養液を与え、翌1月4日7葉時より処理を開始し、3月23日に収穫した。1区は3ポットずつであった。

窒素形態は $\text{NO}_3(\text{NO}_3 \text{ 9 : NH}_4 \text{ 1})$, $\text{NO}_3 + \text{NH}_4(\text{NO}_3 \text{ 5 : NH}_4 \text{ 5})$, $\text{NH}_4(\text{NO}_3 \text{ 1 : NH}_4 \text{ 9})$ の3区とし、2M Na NO_3 , M NH_4NO_3 ならびに M $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ を組み合わせて与え、窒素濃度がそれぞれ10meになるようにした。リン酸は各窒素形態区において M NaH_2PO_4 を培養液1lあたり、0, 0.2, 0.6, 3ml 与え、リン酸濃度がそれぞれ0, 0.2, 0.6, 3meになるようにした。その他、共通培養液として K_2SO_4 , $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ それぞれ2ミリモルを各区に与えた。

硫酸塩・塩化物の比較ならびにリン酸実験を通じて葉

第1図 硝酸態窒素を与えた場合における硫酸塩・塩化物濃度とタマネギの生育(低濃度)

中無機成分の分析は試料を乾燥・粉碎後、窒素を GUNNING 変法、リン酸をバナドモリブデン酸比色法、カリ・ナトリウムを炎光度計法、カルシウムを過マンガン酸カリ滴定法、マグネシウムをチアゾール黄比色法、硫黄を硫酸バリウム重量法、塩素を MOHR 法によりそれぞれ定量した。分析値はすべてそれぞれ元素の乾物あたりパーセントで表わした。

II. 実験結果

1. 硫酸塩・塩化物の比較

a. 低濃度における比較 硝酸態窒素を与えたタマネギにおいて低濃度の硫酸塩 (SO_4) と塩化物 (Cl) が生育に及ぼす影響を調べた結果が第1図である。

SO_4 シリーズでは 0 me 区の最大葉長・葉新鮮重がもつとも劣り、葉色も淡く、葉先が枯れ込み、根もやや褐変し発育が劣り、硫黄欠乏症状を示した。0.2 me でも欠乏症は示さないが、生育量は劣った。0.5 me 以上では正常な生育を示し、対照の 2 me 区と差がなかった。一方 Cl シリーズでは 0 me 区から 2 me にわたり生育量に大差がみられなかった。したがって SO_4 シリーズは Cl シリーズにくらべ 0~0.2 me の範囲では生育量が劣

第2図 硝酸態窒素を与えた場合における硫酸塩・塩化物濃度とタマネギの生育(高濃度)

るが、0.5～2 me の範囲では差がみられなかつた。

b. 高濃度における比較 つぎに同じく硝酸態窒素を与えたタマネギで、高濃度の硫酸塩・塩化物と生育収量との関係をみたのが第2図である。

SO₄ シリーズでは 0 me が前実験同様、硫黄欠乏症状を示し、最大葉長・球部新鮮重とも著しく劣り、また球部を輪切りにしても、二硫化アリルなどの揮発性硫黄化合物によるタマネギ特有の刺激臭や辛味は感じられなかつた。2～10 me 区では生育・収量とももつともまさるが、25 me を越えるときかなり急激に低下した。Cl シリーズでも 0～10 me の範囲で生育・収量が共にもつとも大であつたが、25 me と越えると低下した。しかしながら 2～150 me の範囲では SO₄ 区と Cl 区との間に生育・収量に大差は認められなかつた。50 me 以上になると両シリーズとも葉は青緑色となり、細く、上葉は萎凋し、先端より褐変した。この傾向は濃度が高くなるほど著しく、SO₄ 150 me 区では中下葉も先端より枯れ込み、6 月下旬の収穫時までに枯死した株が多かつた。Cl 100, 150 me 区の球も肥大は著しく劣り、外側の鱗皮の赤味が少なく、成熟の進んでいないことを示していた。

c. 窒素形態を変えた場合における比較 以上の予備実験で生育に支障のない SO₄, Cl 濃度の大体の範囲がわかつたので、つぎにタマネギの他、カンラン、コカブを加え、さらに窒素形態を変え、そのおのおのについて K, Ca, Mg を硫酸塩で与えた区と塩化物で与えた区の生育を比較した。SO₄, Cl 濃度は NH₄ 区を除き、それぞれ 11 me, NH₄ 区では 19 me であつた。

カンランでは NO₃ + NH₄ 区は NO₃ 区にくらべ葉色がやや濃く、NH₄ 区の上中葉は鈍緑色だが、下葉はアントシ

アンにより紫色がかり、さらに進むと赤紫色～橙黄色になり脱落するよになつた。この下葉の脱落により NH₄ 区は処理後 2 週間を過ぎると他区にくらべ葉数・葉長などが劣つた。根も NH₄ 区では暗褐色になり、新根も紫色がかつていた。コカブでも NO₃ + NH₄ 区は葉色がやや濃くなるが、NH₄ 区は処理後 1 週間で生育量が劣るようになり、葉脈付近のみ緑色が濃く、葉縁、葉脈間は黄緑色がかつた。タマネギでは処理後 1 か月を過ぎてから NH₄ 区の葉数・葉長が他区より劣るようになり、葉色もややあせ、黄色がかり、下葉の先端より枯れ込むよになつた。ただしカンラン・コカブ・タマネギの各窒素形態区内において、SO₄, Cl 処理間に外観上の差はみられ

第3図 各窒素形態区における硫酸塩・塩化物施用と各種そ菜の生育
(各柱の上の数字は乾物重%を示す)

第1表 各窒素形態区における硫酸塩・塩化物
施用と各種そ菜の生育

処 理	カンラン			コカブ			タマネギ		
	葉 数	最大 葉長	根 長	葉 数	最大 葉長	肥大 根径	葉 数	最大 葉長	球 径
		cm	cm		cm	mm		cm	mm
NO ₃ ・SO ₄	15.0	17.6	29.0	10.2	27.4	39.7	7.7	65.7	15.9
Cl	15.0	18.3	28.9	10.2	27.6	40.2	7.4	70.3	15.8
NN・SO ₄	14.3	15.0	24.6	10.5	25.3	34.8	7.4	65.6	17.4
Cl	15.3	16.3	27.3	10.0	27.1	39.8	7.2	66.9	18.9
NH ₄ ・SO ₄	8.8	12.3	21.3	6.9	15.5	22.9	4.7	39.8	17.3
Cl	9.8	12.5	22.6	7.2	19.0	25.7	3.5	26.0	18.3
NH ₄ Cl	9.3	12.6	23.2	6.6	18.4	24.6	3.7	21.6	18.7

* NN=NO₃+NH₄(以下同様)

なかつた。

これらの区の収穫時における葉・根部の生育状態を示すと第3図、第1表のようである。

カンラン・コカブ・タマネギとも NO₃ 区と NO₃+NH₄ 区の間には葉・根部の生育に大差がないが、NH₄区はかなり劣つた。ただしタマネギの3月上旬における球径は第1表に示すように NH₄ 区でむしろ大であつた。これは前述の葉の枯れ込みと関係があるように思われた。しかしながら各窒素形態区ともに陽イオンを硫酸塩で与えても塩化物で与えても生育に著しい差はみられず、むしろ塩化物で与えたほうが生育が幾分まさる傾向さえあつた。アンモニア態窒素を NH₄Cl で与えた場合も (NH₄)₂SO₄ で与えた場合に比べ、特に生育が劣るようなことはなかつた。したがつて各窒素形態区とも 11~19mc 程度の塩化物の共存は硫酸塩にくらべ生育に悪影響を及ぼすことはなかつた。

第3図においては新鮮重で比較したが、乾物重で比較した場合もタマネギの根の場合を除けば大体同様な傾向を示した。乾物重%も NH₄ 区で高い傾向がみられたが、各窒素形態区とも硫酸塩と塩化物の間ではカンランの NH₄ 区の場合を除きはつきりした差はみられなかつた。

つぎに収穫時の葉中無機成分濃度を調べた結果が第2, 3, 4表である。

カンラン・コカブ・タマネギを通じて、NO₃区はCa, Mg, Naなどの陽イオン濃度が高く、一方NH₄区はP濃度が高く、NO₃+NH₄区は両者の中間の値を示した。K濃度はカンラン・タマネギではNO₃側のほうが高いが、コカブではむしろNH₄区側のほうが高く、一定の傾向はみられなかつた。しかしながら各窒素形態ともSO₄区とCl区との間では前者でS濃度が高く、後者でCl濃度が高い他は、後者においてCa, Mg, Na濃度が幾分高い程度であつた。SO₄区のCl濃度は一般に低く、0.02%前後の場合が多かつたが外観に異常はみられな

第2表 各窒素形態区における硫酸塩・塩化物
施用とカンランの葉中無機成分濃度

(乾物あたり%)

処 理	N	P	S	Cl	Ca	Mg	K	Na
NO ₃ ・SO ₄	2.51	0.48	1.06	0.016	1.47	0.60	3.18	0.97
Cl	2.43	0.49	0.39	0.161	1.45	0.58	3.72	1.00
NN・SO ₄	2.78	0.57	1.17	0.020	0.84	0.40	2.74	0.18
Cl	2.46	0.52	0.38	0.331	1.04	0.45	3.01	0.34
NH ₄ ・SO ₄	2.76	0.62	1.18	0.020	0.38	0.23	2.13	0.19
Cl	2.47	0.59	0.67	0.201	0.73	0.27	2.30	0.20
NH ₄ Cl	2.60	0.61	0.46	0.351	0.72	0.33	2.46	0.31

第3表 各窒素形態区における硫酸塩・塩化物
施用とコカブの葉中無機成分濃度

(乾物あたり%)

処 理	N	P	S	Cl	Ca	Mg	K	Na
NO ₃ ・SO ₄	4.76	0.60	1.17	0.025	2.92	0.88	4.85	1.45
Cl	4.50	0.50	0.65	0.397	3.25	0.93	4.54	1.67
NN・SO ₄	5.27	0.93	1.63	0.027	1.76	0.36	6.67	0.32
Cl	4.82	0.82	0.74	0.575	2.25	0.52	5.36	0.85
NH ₄ ・SO ₄	4.65	0.95	1.83	0.046	0.76	0.25	5.02	0.24
Cl	4.41	1.02	1.22	0.544	1.32	0.28	6.01	0.37
NH ₄ Cl	4.60	1.04	0.89	0.633	1.31	0.27	5.79	0.48

第4表 各窒素形態区における硫酸塩・塩化物
施用とタマネギの葉中無機成分濃度

(乾物あたり%)

処 理	N	P	S	Cl	Ca	Mg	K	Na
NO ₃ ・SO ₄	3.31	0.56	0.66	0.019	0.67	0.26	4.11	0.58
Cl	3.05	0.54	0.43	0.124	0.75	0.28	4.07	0.41
NN・SO ₄	2.92	0.53	0.72	0.015	0.35	0.17	3.64	0.09
Cl	2.99	0.59	0.43	0.216	0.57	0.20	3.95	0.13
NH ₄ ・SO ₄	2.61	0.58	0.69	0.018	0.19	0.09	1.73	0.12
Cl	3.00	0.62	0.42	0.124	0.19	0.10	1.70	0.15
NH ₄ Cl	3.01	0.62	0.29	0.169	0.23	0.10	1.79	0.23

かつた。またCl区のCl濃度もコカブのNH₄Cl区で0.6%を越えたのが最高で、あまり高くはなかつた。

d. 窒素形態を変えた場合の高濃度における比較 つぎにタマネギ・コカブを用い、各窒素形態区において高濃度の硫酸塩・塩化物を与えた場合の生育に及ぼす影響を調べた結果が第4, 5図である。

タマネギ・コカブともにNO₃区ではSO₄, Cl濃度を増すと生育量は共に低下する傾向を示したが、SO₄, Cl区間にはつきりした差はみられなかつた。NH₄区ではアンモニア態窒素の影響が強く、SO₄, Cl濃度による生育差ははつきりしなかつた。

第4図 各窒素形態区における硫酸塩・塩化物濃度とタマネギの生育

第5図 各窒素形態区におけるリン酸施用濃度とカンランの生育

第6図 各窒素形態区における硫酸塩・塩化物濃度とコカブの生育

2. リン酸

各窒素形態区におけるリン(P)酸施用濃度の差異がカンラン収穫時の茎葉・根新鮮重に及ぼす影響を調べた結果を示すと第6図のようである。

茎葉新鮮重は NO_3 、 NO_3+NH_4 両区とも同じくらいで P 0.6 me まで増加したが、3 me でもそれ以上には増加しなかった。 NH_4 区はリン酸施用濃度により生育程度がほとんど影響されずまた前二者にくらべ生育量が著しく劣った。しかしながら P 0 me では NO_3 区の生育量は NO_3+NH_4 区や NH_4 区のそれより劣るか同じくらいであった。根新鮮重も茎葉新鮮重と大体似た傾向を示したが、 NO_3 区において P 0.2 me ですでに最高に達した点が異なっていた。

各窒素形態区とも P 0 me においてリン酸欠乏症状があらわれた。葉は小さく、やや立ち気味で、葉色はつやのない暗緑色であった。その中でも NO_3+NH_4 、 NH_4 両

区の葉色のほうが NO_3 区より濃かった。下葉は各窒素形態区とも赤紫色がかり、枯れ上がりが多いため葉数が減少した。P 0.2 me 区も葉色が濃く、程度は軽いがリン酸欠乏症状が認められた。根は NO_3 区の P 0 me では褐変したが、 NO_3+NH_4 、 NH_4 両区では灰紫色がかった外観を呈した。

つぎに収穫時の葉中無機成分濃度を示すと第5表のようである。

一般に NO_3 区は Ca、Mg 濃度が高く、 NH_4 区は N、P 濃度が高く、 NH_4NO_3 区は両者の中間の値を示した。K 濃度については窒素形態によるはつきりした差が認められなかった。リン酸施用濃度を増すと、各窒素形態区とも葉中 P 濃度が増加した。リン酸欠乏症状は各窒素形態区とも P 0、0.2 me で現われたので、アンモニア態

第5表 各窒素形態区におけるリン酸施用濃度とカンランの葉中無機成分濃度 (乾物あたり%)

処	理	N	P	K	Ca	Mg
$\text{NO}_3 \cdot \text{P}$	0 me	4.82	0.08	3.02	1.70	0.32
	0.2	3.55	0.12	3.25	2.07	0.56
	0.6	3.23	0.38	2.63	1.89	0.42
	3	3.38	0.55	2.66	1.47	0.49
$\text{NO}_3+\text{NH}_4 \cdot \text{P}$	0	5.46	0.09	3.20	1.12	0.30
	0.2	4.14	0.21	3.27	1.28	0.33
	0.6	3.57	0.43	2.73	1.59	0.33
	3	3.35	0.86	2.71	0.87	0.27
$\text{NH}_4 \cdot \text{P}$	0	5.12	0.10	3.14	0.57	0.20
	0.2	5.01	0.28	3.88	0.45	0.23
	0.6	5.29	0.58	3.10	0.35	0.20
	8	4.55	0.69	2.87	0.21	0.20

窒素を与えた場合のほうが葉中P濃度が高くて欠乏症状を呈したことになる。

III. 考 察

1. 硫酸塩・塩化物の比較

タマネギに硝酸態窒素を与えた予備実験において SO_4 0me では硫黄欠乏症状が現われ、葉色が淡く、葉先が枯れ込み、球部に刺戟臭がなかった。 SO_4 0.2 me でも生育量が劣り、正常な生育をするためには 0.5 me 以上与える必要のあることが示された。杉山ら⁽¹⁷⁾の実験でもトマト・カンランで硫黄が欠乏すると葉色が淡緑色となり、生育量もかなり低下したが、タマネギでは生育量が劣るだけで外観の異常は特に認められなかった。一方塩素も植物が正常な生育をするために少量は必要なが知られているが⁽⁵⁾、本実験では移植時の苗中にすでにある程度の塩素が含まれ、さらに石英砂・蒸留水・薬品(1級)中にも微量ながら含まれていることが考えられ、Cl 0 me でも欠乏症状を示さず、生育量も低下しなかった。そして SO_4 区では 0.5~10 me、Cl 区では 0~10 me の濃度範囲で生育がもつとも良好で、25 me 以上になると両シリーズとも生育量がかなり低下した。50 me 以上になると葉色は青緑色になり、葉先より褐変し、萎凋しやすく、水分欠乏の徴候を示し、施用濃度が高くなるほど生育低下が著しかった。トマトでも SO_4 2.5~10 me、Cl 5~10 me でももつとも生育が良好なことが報告されている⁽⁷⁾。しかしながら本実験の場合、 SO_4 、Cl シリーズ間に生育上の差はみられなかったので、 SO_4 、Cl イオンの直接の影響よりもこれらの施用濃度の増加に伴ない培養液の浸透圧が高まり、生理的水分欠乏をひおきこすことのほうが影響が大きいと思われるが^(2,9)、これについてはさらに検討を要する。

以上の結果、10 me 前後の濃度では SO_4 、Cl とも生育に害を及ぼさないことがわかったので、つぎにカンラン・コカブおよびタマネギを用い、施用窒素形態を変え、陽イオンを硫酸塩、塩化物で 11 me になるようにして与え、生育に及ぼす影響を比較した。各そ菜とも窒素形態間では差がみられ、 NH_4 区は NO_3 、 $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ 区にくらべ生育量が劣ったが、各窒素形態区内では硫酸塩区と塩化物区の間には差はみられず、むしろ塩化物区のほうがわずかにまさる傾向さえあった。lima bean でも硫酸塩より塩化物のほうが収量が高いという報告がある⁽¹²⁾。また本実験では $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区で陽イオンを硫酸塩で与えた区と NH_4Cl 区との間にも生育量に差はなく、この場合アンモニア態窒素の影響が強く、19 me 程度の塩化物が共存しても、硫酸塩にくらべ生育をさらに低下させることはなかった。BUCHNER⁽⁶⁾ はインゲンで NO_3 区に

くらべ NH_4 区において塩素の害の著しいことを報告しているが、この場合硫酸塩と比較しているわけではなく、また葉中 Cl 濃度が乾物あたり 3~6% にも達していた。本実験の場合の葉中 Cl 濃度はもつとも高いコカブの NH_4Cl 区でも 0.63% で、この辺にも生育低下の起こらなかった原因があると思われる。

つぎに SO_4 、Cl 施用濃度をさらに上げて生育障害の起こるような 12~48 me にした時、窒素形態によりどのように反応が異なるかをタマネギおよびコカブを用いて調べた。 NaNO_3 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 両区とも SO_4 、Cl 区間に差はみられず、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区ではアンモニア態窒素そのものの影響が強かった。大沢⁽¹⁵⁾は塩害の実験で窒素形態を変え、葉根葉類を砂耕し、NaCl を 2,500~8,000 ppm (Cl 約 43~137 me) と与えた場合、 NH_4 区は NO_3 区にくらべ Ca の吸収阻害や Na、Cl の葉内集積が著しいことを報告しているが、本実験の場合より施用濃度が著しく高いので同日には論ぜられないと思われる。

以上のように硫酸塩・塩化物の比較についてはバレイショ⁽¹³⁾、タバコ⁽¹⁸⁾などのように収穫物の品質が特に問題になる作物を一応別にすれば、一般そ菜では肥料要素をいずれの形態で与えても生育・収量に大差はないと思われる。また窒素形態によつて硫酸塩・塩化物に対する反応のちがいもなく、 NH_4 区で塩化物を与えた場合、 NO_3 区の場合より生育低下が著しいということはなく、むしろ窒素形態そのものの影響が強かった。

2. リン酸

窒素形態とリン酸濃度との関係についてはカンランのみの結果ではあるが、アンモニア態窒素を与えた場合、リン酸施用濃度を高めてもアンモニア態窒素そのものの影響が強く、リン酸濃度によつて生育は左右されなかった。アンモニア態窒素を与えても同時に硝酸態窒素を与えれば、硝酸態窒素のみを与えた区と同様にリン酸施用濃度 0.6 me まで生育量が増加した。

ここで興味のあるのは P 0 me において NO_3 区の生育量が NH_4 区と大差のないことである。これと似た現象は Ca 0 me の場合にも観察されたが、K、Mg 0 me の場合は NO_3 区のほうがかなり生育量がまさった⁽¹¹⁾。麻生⁽¹⁾もトマトを水耕し、+P の場合は NaNO_3 区の草たけが $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区よりまさるが、-P の場合は逆になることを認めた。硝酸態窒素を与えた場合、リン酸が欠乏すると硝酸還元酵素の活性が低下し、硝酸態窒素が蓄積することが知られているので⁽⁸⁾、これも NO_3 P 0 me 区の生育低下の一因になると考えられる。しかしながら BREON ら⁽⁴⁾はリン酸欠乏で硝酸態窒素が蓄積するのは硝酸還元酵素が不活性になるよりも硝酸態窒素の吸

収が早くなるためであるとし、この点についてはさらに検討が必要と思われる。

また葉中リン酸濃度は $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区が一般にもつとも高いにもかかわらず、 NaNO_3 区と同様に P 0.2 me 区までリン酸欠乏症状が現われたので、アンモニア態窒素を与えた場合はリン酸の吸収量は多くても、その効率のわるいことが推定される。いずれにしてもアンモニア態窒素を与えた場合はリン酸施用濃度を高くしても生育量は増加せず、硝酸態窒素区に比べはるかに劣ることがわかった。

IV. 摘 要

数種のそ菜を砂耕し、窒素として硝酸態窒素あるいはアンモニア態窒素を与え、各窒素形態区ごとに培養液中の陰イオンの種類、濃度を変え、生育量、葉中無機成分濃度に及ぼす影響を調べた。

予備実験でタマネギに硝酸態窒素を与えた場合、硫酸塩 (SO_4) 0 me では硫黄欠乏症状が現われ、生育量も劣った。 SO_4 0.2 me でも生育量はやや劣ったが、0.5~10 me では正常な生育を示した。一方塩化物 (Cl) は 0 me でも欠乏症状は現われず、0~10 me の範囲で生育は正常であつた。硫酸塩、塩化物とも 25 me を越えると生育量は低下し、濃度が高くなるほどその程度は著しかつたが、両イオンの間に差はみられなかつた。

カンラン・コカブ・タマネギに NaNO_3 、 NH_4NO_3 あるいは $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ を与えた場合 (N として 8 me)、そのおのおの区の K, Ca, Mg などの陽イオンを硫酸塩で与えても、塩化物で与えても ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区を除き SO_4 , Cl 濃度それぞれ 11 me) 生育量に差はみられなかつた。さらに $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区と $\text{NH}_4\text{-N}$ も塩化物で与えた NH_4 Cl 区 (SO_4 , Cl それぞれ 19 me) との間にも生育程度に大差はなく、両者とも他の窒素形態にくらべ著しく劣った。 SO_4 区は Cl 区にくらべ葉中 S 濃度が高く、Cl 区は SO_4 区にくらべ葉中 Cl 濃度が高かつた。

タマネギおよびコカブの NaNO_3 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区に Na 塩で SO_4 , Cl を与え、これらの濃度が 12~48 me になるようにし、生育量を比較した。 NaNO_3 区では SO_4 , Cl 濃度が高くなると生育量が低下したが、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区ではその傾向はあまりはつきりしなかつた。ただし両窒素形態とも SO_4 , Cl 区間には生育の差は認められなかつた。

カンランで各窒素形態区ごとに培養液中のリン酸濃度を変えると、 NaNO_3 、 NH_4NO_3 両区では 0.6 me で大体最高に近い生育量に達し、3 me にしても 0.6 me における生育量とあまり差がなかつた。 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区ではリン酸濃度により生育量がほとんど影響されず、他窒素形態区にくらべ著しく劣った。葉中リン酸濃度はリン酸施用濃度の高い区ほど高く、特に $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 区で高かつた。しかしながら 0, 0.2 me の低濃度では各窒素形態区ともリン酸欠乏症状があらわれた。

参考文献

1. 麻生末雄. 1951. 土肥誌. 21(3): 249—250.
2. AYERS, A. D., C. H. WADLEIGH and L. BERNSTEIN. 1951. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 57: 237—242.
3. BREON, W. S., W. S. GILLAM and D. J. TENDAM. 1944. Plant Physiol. 19(3): 495—506.
4. ————. 1944. ibid. 19(4): 649—659.
5. BROYER, T. C., A. B. CARLTON, C. M. JOHNSON and P. R. STOUT. 1954. ibid. 29(6): 526—532.
6. BUCHNER, A. 1951. Z. Pflanzener. Düng., Bodenk. 55(2): 124—144.
7. EATON, F. M. 1942. J. Agr. Res. 64(7): 357—399.
8. ECKERSON, S. H. 1931. Contrib. Boyce Thomps. Inst. 3(2): 197—217.
9. HAYWARD, H. E. and F. M. LONG. 1943. Plant Physiol. 18(4): 556—569.
10. 岩田正利・武内武信. 1953. 園学雑. 22(3): 183—192.
11. ————. 1962. 同誌. 31(1): 39—52.
12. KRETSCHMER, A. E., S. J. TOTH and F. E. BEAR. 1953. Soil Sci. 76(3): 193—199.
13. LATZKO, E. 1954. Z. Pflanzener. Düng., Bodenk. 66(2): 148—155.
14. ————. 1955. ibid. 68(1): 49—55.
15. 大沢孝也. 1962. 園学雑. 31(2): 157—167.
16. SKINNER, J. S. and E. R. PURVIS. 1949. Hunger signs in crops. pp. 171—214.
17. 杉山直儀・岩田正利・七条寅之助. 1951. 園学雑. 20(2): 89—97.
18. 高橋達郎・吉田大輔. 1957. 土肥誌. 28(5): 176—180.
19. ————. 1957. 同誌. 28(5): 181—184.
20. TURCHIN, T. W. 1936. Pflanzener. Bodenk. 44: 65—83.