窒素形態の差異と蔬菜の生育*

岩田正利・谷内武信

(東京大学農学部)

M. IWATA and T. TANIUCHI: Influence of the forms of nitrogen supplied on the growth of vegetable crops

I. 緒言

蔬菜の様な多肥栽培、特に窒素施肥では肥料の種類が一応問題になる。所が本邦は水田農業が中心なものと、降雨量多く湿度が高い事等が原因となり、蔬菜を含む畑作の窒素肥料も化学肥料は硫酸を中心とした $\text{NH}_4\text{-N}$ を含むもの（又は土壤中で先ず $\text{NH}_4\text{-N}$ になるもの）が多く下肥等の有機質肥料も $\text{NH}_4\text{-N}$ を多く含む。然しながら一般蔬菜は元来 $\text{NH}_4\text{-N}$ を好むものかどうか？之に就いては水稻等とは異りむしろ $\text{NO}_3\text{-N}$ を好む事が知られているが、蔬菜が $\text{NH}_4\text{-N}$ を好まないとすれば、どの程度 $\text{NO}_3\text{-N}$ が $\text{NH}_4\text{-N}$ に置換われればよいか次の問題となる。之等の問題の究明は窒素施肥方法及び肥料の種類を定める上に何等かの基準になると思う。又将来、企業的礫耕栽培をしたり、畑地灌漑水に NH_3 を入れる様な場合にも若干役立つかもしれない。

以上の諸問題に就き、若干の研究はあるが、まとまつた研究は比較的少いので数種の蔬菜を使つて実験した。此の種の実験は始めから土壌で行うと硝酸化作用の爲、はつきりした事が分らないので水耕又は砂耕で行う必要があるが、今回はより扱い易い砂耕で行つた。培養液中の全窒素量は各区共、同一にし、その中で $\text{NO}_3\text{-N}$ と $\text{NH}_4\text{-N}$ の比率を種々に変え、蔬菜の生育、収量、併せて体内無機成分に及ぼす影響を調べた。

本研究は浅見教授、杉山助教授の御指導の下に行われたもので茲に両先生に対し深謝の意を表する次第である。更に種々御教示下さつた栽培学教室菅原博士に感謝の意を表する。又栽培管理は本多藤雄（現九州農試園芸部）、栗原昭夫両氏の援助を受け、分析操作は祐森房枝氏の助力に負う所が多い。ここに記して謝意を表する。尙本研究は文部省助成研究費による研究の一部をなすものである。

II. 実験方法

1. 装置 栽培はすべて無加温のガラス室内で行い、専ら砂耕法によつた。培養ホットは5万分の1ワグナーホット、培養液受器は小型磁製焚壺を用いた。尙、装置の詳細は前報⁽¹⁸⁾を参照されたい。

* 本論文の一部要旨は昭和28年4月9、10日、東京農学部にて開催の園芸学会春期大会で発表。

2. 砂 砂は主として青色に着色した粒の細かいガラス砂を使つたが、特にアルカリが溶出し pH が上がる事もなく、保水力もよいので充分使用に堪えた。尙、カブ、タマネギの時には前報と同じ海砂を使用した。何れの砂も 10% (容量) HCl に1週間浸漬し、充分水洗してから使用した。

3. 培養液 培養液は共通培養液である -N 液と処理区別に異なる N 液との組合せとした。-N 液は HOAGLAND, ARNON 両氏処方の -N 液を若干変更したもので次の如きものである。

M	KH_2PO_4	1 ml/l
0.5 M	K_2SO_4	4
M	$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2
M	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	2
0.8%	$\text{FeC}_2\text{H}_3\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	1

尙、微量要素として B (H_3BO_3) 0.5 p. p. m., Mn ($\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) 0.5 p. p. m., Zn ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 0.05 p. p. m., Cu ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 0.02 p. p. m., Mo (H_2MoO_4) 0.05 p. p. m., を与えた。

N 液は各区共、施与全窒素 10 m. e. (140 p. p. m.) とし、その中で $\text{NO}_3\text{-N}$: $\text{NH}_4\text{-N}$ の比を 10 : 0, 9 : 1, 7 : 3, 5 : 5 A (B を設けたシリーズもある), 3 : 7, 1 : 9, 0 : 10 とし処理区別に次の如きものとした。

$\text{NO}_3\text{-N} : \text{NH}_4\text{-N}$	2 M NaNO_3	M NH_4NO_3	M $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
10 : 0	5 ml/l	—	—
9 : 1	4	1	—
7 : 3	2	3	—
5 : 5 A	—	5	—
5 : 5 B	2.5	—	2.5
3 : 7	—	3	2
1 : 9	—	1	4
0 : 10	—	—	5

5 : 5 A, B は NH_4NO_3 と $\text{NaNO}_3 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ の比較で Na_2SO_4 加入の影響を調べる目的で設けた。尙、1 区は3ポット宛である。

培養液はホット当り 1 l 宛与え、stock solution の稀釈には水道水を用いた。水道水は Ca 約 40 p. p. m., Cl 約 30 p. p. m. 等を含み、pH は 7 附近だつた。

尙、苗育成及び処理開始前に与えた培養液は HOAGLAND, ARNON 両氏処法の標準液 B ($M \text{ NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 1 ml/l , $M \text{ KNO}_3$ 6, $M \text{ Ca}(\text{NO}_3)_2$ 4, $M \text{ MgSO}_4 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}$ 2) の $1/4 \sim 1/2$ 濃度のものを使用した。

4. 管理 液替は 5~7 日毎にし、その間は時々 pH を調べ $\text{N}/2 \text{ H}_2\text{SO}_4$, $\text{N}/2 \text{ NaOH}$ で大体 6~6.5 に保つ様にし、又 Fe 液 1 ml をも加え、クロロシス予防に努めた。更にデフェニールアミン液で NO_3 : NH_4 10 区の培養液中の $\text{NH}_4 \rightarrow \text{NO}_3$ 変化の有無を調べ、若し少しでも変化していれば液替の際、全区の砂面に水道水を充分にかけ流し洗滌し、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 反応がなくなつてから新しい培養液を与えた。逆に NO_3 : NH_4 0 区について $\text{NO}_3 \rightarrow \text{NH}_4$ 変化をネスラー試薬で調べたが、その変化は全く見られなかつた。その他の管理は前報と同様である。

5. 分析 主に葉部を 70°C で 1 昼夜乾燥し、乾物重を秤量後、小型粉碎器で粉碎し、広口壺に入れ、デシケーター中に保存した。分析前に再乾燥し、N はガンニング変法で、P はローレンツ法、K は亜硝酸コバルト法、Ca は過マンガン酸カリ法、Mg はオキシソ法で定量し、乾物当り%を算出した。

III. 実験結果

先ず作物別に簡単に実験結果のみを述べ、考察は後でまとめてする。

1. トマト

Marglobe 品種を 5 月 9 日、川砂に播種し、時々培養液を与え本葉 4 枚位になつた 5 月 28 日、ポットに 2 株宛定植した。6 月 1 日より $1/2$ 濃度の完全培養液を与え、処理は 6 月 8 日より開始し、ポット当り 1 株を残した。整枝も 1 本仕立とし、開花初期の 7 月 3 日 (処理開始後 25 日) 収穫した。

第 1 表 トマト収穫時に於ける生育調査 (1 株当、以下同様)

$\text{NO}_3 : \text{NH}_4$	葉 数	最大葉長	草 丈	葉新鮮重	葉乾物率	莖新鮮重	根新鮮重
	枚	cm	cm	g	%	g	g
10:0	11.7	43.0	53.3	84.2	8.5	36.2	22.8
9:1	12.0	43.2	60.3	76.8	8.1	40.8	18.0
7:3	11.0	41.8	57.7	80.2	7.8	36.0	16.9×
5:5	11.3	36.8×	55.2	73.6×	8.2	33.7	16.8×
3:7	10.7	31.8×	45.2	51.2×	7.5	20.8×	12.7×
1:9	8.7×	26.5×	40.0×	29.8×	8.1	11.7×	9.1×
0:10	6.7×	21.5×	33.7×	15.3×	8.9	5.9×	8.0×
L. S. D.	5% ↑ 1% ↑	2.2 3.1	4.2 5.9	8.3 11.6	9.3 13.0	N. S. †† 5.3 7.3	5.4 7.6

† L. S. D. 5% 又は 1% とは 5% 又は 1% レベルの最小有意差 †† N. S. は有意差なし × は $\text{NO}_3 : \text{NH}_4$ 10:0 区に比し 5% レベルで有意差、×× は 1% レベルで有意差あるを示す。以下同様

NO_3 : NH_4 0~ NO_3 5: NH_4 5 区迄は外観的には大差なく、正常で、葉は緑色で大きく、伸々と横に張り、茎も太い。所が NO_3 3: NH_4 7 以下になると処理後 9 日位から生育が劣つて来、特に 0:10 が著しい。0:10 はそれと共に外観的にも $\text{NH}_4\text{-N}$ の害作用を示し、葉色は鈍緑で中葉各小葉の葉縁が内側に小さく巻込み、下葉になると頂端小葉を始め各小葉は横に張らず内側に彎曲し全体的に袋状になる。更に実験終了近くになると袋状の葉は下部中葉に及び、下葉は葉柄自身が下垂し、茎との角度は拡がり、葉先が黄褐変枯死するに至る。 NO_3 1: NH_4 9 も程度は僅か劣るが、かなりその傾向を示し、3:7 区も始めはその傾向僅かだが後には割合はつきりする。然し葉色は普通の緑色で、又中葉の葉縁が上内側に巻込む葉は少い。尙、開花始めは各区共差はなかつた。根は一般に淡褐色だが 1:9 区以下は細根の分岐少く又脱離しやすい。

収穫時の生育調査は第 1 表に示す通り、葉数、草丈は 1:9 区で始めて有意差を生ずるが茎重は 3:7 区、葉長、葉重は 5:5 区で既に劣り、根重に至つては 7:3 区で有意差を示す。然し葉の乾物率は差がない。

収穫時の葉の無機成分は第 2 表の如く、N, P 含量は

第 2 表 トマト収穫時に於ける葉中無機成分含量×

$\text{NO}_3 : \text{NH}_4$	N	P	K	Ca	Mg
10:0	4.03%	0.50%	4.96%	1.84%	0.77%
9:1	4.27	0.56	5.23	1.51	0.73
7:3	4.46	0.50	5.49	1.16	0.60
5:5	4.43	0.58	5.66	0.49	0.38
3:7	5.44	0.70	5.73	0.34	0.28
1:9	5.85	0.81	3.96	0.23	0.17
0:10	5.89	0.90	3.40	0.17	0.18

× 乾物重当り%, 以下同様

$\text{NH}_4\text{-N}$ の増加につれて増し、Ca Mg は逆に減少し、K は 3:7 迄増し、以下減少している。

2. インゲン

マスターピースを 1 ポット 7 粒ずつ 4 月 18 日播種、5 月 1 日発芽し、 $1/2$ 濃度の完全培養液を与え、段々と間引き、5 月 15 日の処理開始時 (第 2 本葉展開) 迄には 1 ポット 1 株宛とした。開花結莢させ、サヤインゲンを収穫し、殆ど収穫完了した 6 月 25 日に実験を打切つた (処理開始後 41 日)。

NO_3 : NH_4 0 区~3:7 区は処

理後6日で花蕾をつけ、生育もかなり大となり、処理後11日では分枝もかなり出る。10:0, 9:1の葉色は普通の緑色だが5:5, 3:7区はやや緑色濃い。1:9, 0:10区になると処理後6日で既に生育やや劣り、11日で上中葉葉脈附近にやや緑色を残すが葉面全体的に褪せし鈍黄褐色がかり、葉縁、葉脈間に淡褐色の乾燥枯死部を生じ、この所謂葉焼は段々と拡がる。又葉脈間突起し、葉面凹凸を生じ、葉縁が巻上がるのがある。0:10区は特に著しく脱落する葉も多い。1:9, 0:10両区共、夕方になると葉の下垂程度は他区より著しく昼間もその傾向がある。但し第1本葉は濃緑色を暫く保つが処理後20日頃になると褪せし始めるものもある。この頃になると生育は明かに劣り葉は小さく、草丈低く、分枝は少く、開花も少く、新しく出る葉も淡緑色、草質でゴワゴワした感じの葉が多い。3:7区も処理後24日頃から生育劣り、下葉は緑色だが上中葉褪色、下垂し、程度は劣るが1:9, 0:10区の様傾向を示す。5:5区も生育末期になると上葉の葉面やや凹凸を生じ革質になる。このNH₄の害作用が上中葉に先に現れる傾向は、インゲンの外観的害作用が最も著しい事と併せ考えると興味がある。

根の生育も5:5区迄は同じ位で、根色淡褐色だが、3:7, 1:9区になると生育劣り、色も黒ずみ、0:10区の根はぬるぬるし脱離し易く、発育も最も劣る。尚、興味あるのは根瘤が10:0~7:3区迄はかなり多く又大きいが5:5区になると数も少く且小さく、3:7区以下では殆どない事である。之はNH₄-Nの多い区は体内N含量多く、培養液のpHもインゲン根瘤菌生育の酸性限界4.2前後迄下がる事が屢々あり、又砂耕とは言え体内への酸素供給はNO₃-N区に比して少い事等が原因となり根瘤菌が少いものと思われる。

収穫時の生育調査及び収量調査は第3, 4表の通りで、生育は3:7区以下が劣り葉、茎の乾物率も少い。又3:7区以下は結莢数、莢1個当重量共少いので収量も劣る。

その際の葉分析は第5表に示す。N, Pは5:5以下

第4表 インゲンの収量調査

NO ₃ : NH ₄	開花数	結莢数	収 量	莢1個当重量
10:0	30.0個	22.0個	107.5 ^g	4.9 ^g
9:1	32.0	24.7	108.2	4.4
7:3	30.3	22.0	97.7	4.3
5:5	25.0	18.0	85.4	4.7
3:7	14.7	10.0××	35.2××	3.4××
1:9	2.3×	2.3××	7.0××	3.0××
0:10	3.7×	2.7××	8.0××	3.0××
L.S.D. 5% 1%	21.3 N.S.	7.7 10.8	41.2 57.7	1.0 1.5

のNH₄-Nの割合多い区で増加し、Ca, MgはNH₄-Nの増加とは逆に減少している。Kは不規則だが、3:7区が最も多く、それ以下となると又減少する。

第5表 インゲン収穫時に於ける葉中無機成分含量

NO ₃ : NH ₄	N	P	K	Ca	Mg
10:0	3.40%	0.33%	3.59%	2.28%	0.61%
9:1	3.03	0.34	3.17	2.47	0.61
7:3	3.31	0.32	3.44	1.73	0.46
5:5	3.69	0.43	3.77	1.12	0.46
3:7	4.45	0.67	4.68	0.93	0.47
1:9	5.08	0.61	3.87	0.38	0.28
0:10	5.08	0.54	4.12	0.65	0.31

3. カブ

東京時無小蕪を9月24日播種し、9月28日発芽したものに10月1日より1/2濃度の完全培養液を与え本葉3~4枚迄生育させ、10月17日より処理を開始し処理後42日の11月28日に収穫した(1ポット3株宛)。

NO₃10:NH₄0から5:5迄は生育よく、カブの肥大も大だが3:7, 1:9区になると処理7日後で僅かながら葉色濃く、15日を過ぎると葉の大きさ劣り暗緑色で下葉の葉縁下方に彎曲し、葉脈間突起し、縮緬状で堅い感じの葉が多く、萎凋しやすく、カブの肥大もかなり劣る。0:10区は処理後7日で既に生育劣り、特に上中葉

は葉脈附近に緑色を残すのみで葉縁、葉脈間黄緑となる。又葉脈間突起し、葉面蠟質がかり葉縁も下方に彎曲する。15日過ぎになると下葉の葉縁、葉脈間に淡褐変部を生ずる様になり、カブの肥大も著しく劣る。7:3, 5:5区も処理後15日頃になると葉色はやや濃くなり、更に後になると葉面僅か縮緬状になり、葉縁も僅かなが

第3表 インゲン収穫時の生育調査

NO ₃ : NH ₄	葉 数	最大葉長	葉新鮮重	葉乾物率	茎新鮮重	茎乾物率	根新鮮重
	枚	cm	g	%	g	%	g
10:0	13.3	17.0	64.7	15.3	18.7	24.9	48.0
9:1	14.7	16.7	70.7	14.8	22.5	24.3	58.5
7:3	15.3	16.2	66.5	14.6	21.3	25.6	45.5
5:5	12.7	15.5	50.5	14.3	15.0	24.5	32.7
3:7	10.3	16.3	41.0×	13.8×	13.0×	20.6×	28.7×
1:9	11.3	10.7×	13.5××	12.7×	5.2××	17.4××	11.8××
0:10	8.0××	9.8×	5.5××	14.3	3.5××	17.9××	5.2××
L.S.D. 5% 1%	3.4 4.8	4.2 N.S.	19.4 27.2	1.4 N.S.	5.4 7.6	3.7 5.2	17.2 24.1

第1図 11月26日カブ各区の生育状態 左より $\text{NO}_3:10:\text{NH}_4:0$, 9:1, 7:3, 5:5 A, 5:5 B, 3:7, 1:9, 0:10 の諸区

第6表 カブ収穫時の生育調査

$\text{NO}_3:\text{NH}_4$	葉数	最大葉身長	地上部新鮮重	地上部乾物率	カブ横径	カブ新鮮重	カブ乾物率
	枚	cm	g	%	mm	g	%
10:0	10.8	16.1	33.0	7.2	39.1	25.2	5.6
9:1	11.0	16.5	38.7	6.7	38.1	24.5	5.8
7:3	10.1	16.5	36.7	6.9	38.5	24.2	5.8
5:5 A	11.1	14.2	29.3	7.5	33.7	18.3	6.2
5:5 B	11.0	14.5	29.6	7.4	36.9	22.7	6.4
3:7	10.9	13.7×	22.0×	8.0×	31.3×	14.8×	6.9×
1:9	8.8×	11.5×	13.9×	8.8×	28.0×	10.8×	6.9×
0:10	6.1×	7.9×	5.5×	9.9×	12.7×	1.6×	9.6×
L.S.D. 5%	1.6	2.2	6.6	0.6	6.7	9.2	1.2
1%	2.2	3.0	9.2	0.9	9.3	12.8	1.7

第7表 カブ収穫時に於ける葉中無機成分含量

$\text{NO}_3:\text{NH}_4$	N	P	K	Ca	Mg
	%	%	%	%	%
10:0	4.65%	0.49%	5.08%	2.59%	0.65%
9:1	4.95	0.49	5.80	2.46	0.59
7:3	4.88	0.56	6.14	1.59	0.44
5:5 A	4.67	0.64	6.41	1.19	0.38
5:5 B	4.95	0.57	6.73	1.15	0.35
3:7	4.76	0.63	6.16	1.11	0.25
1:9	4.89	0.71	5.76	0.69	0.23
0:10	5.73	0.98	5.45	0.81	0.30

ら下方に彎曲する葉が出て来る。特に 5:5 区に多い。細根は 10:0, 9:1 区は白いが, 7:3 になると僅か淡褐色がかり, 5:5 ではやや紫色がかり, 3:7 特に 1:9 区になるとかなり著しい。0:10 区は細根も最も生育劣り, 所々紫色がかかるが 1:9 区著しくない。

収穫時の生育状態は第6表の如くで, 葉数が 1:9 区で始めて有意な減少を示す以外はすべて 3:7 区以下で差を生じている。然し 3:7 区以下は地上部, カブ共新鮮重の減少とは逆に乾物率が増加しているのは興味がある。尙 0:10 区は他区に比し地上部よりカブの生長抑制の割合が大き。カブでは $\text{NH}_4\text{-N}$ は $\text{NO}_3\text{-N}$ に比し地上部より所謂カブの部分の生育を抑える事が予備実験で明かである。又 5:5 A と B との間に差はない。

収穫時の葉分析は第7表に示

す。N% は 0:10 区が最も多く他は同じ位だが, P は $\text{NH}_4\text{-N}$ が増えるに従い段々と増加し, 逆に Ca, Mg 減少する。K は 5:5 区迄増加し以下は逆に減少している。

4. ホウレンソウ

在来種を 9月27日播種し, 10月4日発芽したので, 10月6日から 1/2 濃度の標準培養液を各区に与え, 10月24日より処理を開始した。その際ホット当り3株

宛とし, 処理開始後 39 日の 12月2日収穫した。

10:5~0:5 区迄は葉色は正常の緑色で葉も大きく伸々とし収穫近くになると分枝葉もかなり出た。然し生育後期になると 7:3, 5:5 等 $\text{NH}_4\text{-N}$ の割合が多いと葉の緑色は僅か濃くなった。3:7 区は処理後8日で葉色は濃かつたが, 生育がやや後れたのは 20 日過ぎてからである。1:9 区は処理後8日で既に葉色濃緑で, 生育もかなり劣り葉は小さい。0:10 区になると最も生育劣り, 上中葉は暗緑で先端, 葉縁やや色褪せ, 下葉も褪色する。後になると上中葉で葉縁内側に折合わさる葉があり, 又下葉は葉縁から黄化萎凋する。葉は小さく, 少く,

第8表 ホウレンソウ収穫時の生育調査

$\text{NO}_3:\text{NH}_4$	葉数	最大葉身長	地上部新鮮重	地上部乾物率
	枚	cm	g	%
10:0	14.4	8.7	10.9	9.1
9:1	15.3	8.3	8.6	8.9
7:3	15.7	8.3	8.4	8.7
5:5 A	17.2†	8.2	9.0	8.5
5:5 B	13.8	8.3	8.1	8.6
3:7	14.0	7.8×	7.1×	8.8
1:9	10.8×	6.7×	4.0×	9.0
0:10	7.5×	4.7×	1.5×	10.2×
L.S.D. 5%	2.5	0.8	2.3	0.7
1%	3.5	1.1	3.2	0.9

† 分枝葉を多く生じた株ある為, 数値多い。

第2図 11月26日ハウレンソウ各区の生育状態 左より $\text{NO}_3:10:\text{NH}_4:0$, 9:1, 7:3, 5:5 A, 5:5 B, 3:7, 1:9, 0:10 の諸区

第9表 ハウレンソウ収穫時に於ける葉中無機成分含量

$\text{NO}_3:\text{NH}_4$	N	P	K	Ca	Mg
10:0	4.96%	0.71%	7.81%	0.64%	0.97%
9:1	5.66	0.86	7.95	0.55	0.93
7:3	5.93	0.78	7.42	0.38	0.77
5:5 A	6.00	0.86	7.49	0.28	0.75
5:5 A	6.05	0.91	7.53	0.29	0.71
3:7	6.13	0.95	7.37	0.32	0.72
1:9	6.21	1.17	6.52	0.37	0.62
0:10	5.85	1.54	5.22	0.35	0.27

分枝葉は殆どない。根の色は各区共白色で差はなかつた。

収穫時の生育調査は第8表に示す如く、葉数は1:9区で減少するが、葉の大きさ、地上部の重さは3:7区で既に下降を始める。又地上部の乾物率は0:10区のみ多い。尚、5:5 A と B の差は特に見られなかつた。

葉分析成績は第9表の如くで、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の割合が増加すると段々に N 含量増加し、之に伴い P 含量も増し、1:9 区以下では 1% を超える。

それとは逆に K, Ca, Mg の陽イオンは減少する。

5. タマナ

富士早生を9月25日砂箱に播種、砂耕育苗し(途中1回移植)、12月3日、本葉5~6枚の時、ポットに1株宛定植し、12月6日より1/2濃度の完全培養液を与え、12月16日より処理を開始し、収穫は翌年3月20日に行つた。

$\text{NO}_3:10:\text{NH}_4:0\sim 5:5$ 区迄は生育は大差なく、葉色も最初は普通の緑色で同様だが、型春になり生育旺盛になると10:0, 9:1区に比し7:3, 5:5区は濃緑になる。0:10区は処理後14日では生育は劣らないが下葉にアントシアニンの発生著しく全体的に紫緑色を呈し、最下葉は赤紫色~橙黄

色となり脱落するものもある。又葉柄も著しく赤紫色で上中葉の葉脈特に裏面にも紫色入る。1:9, 3:7にも程度は劣るがその傾向がある。更に約1月経つと3:7区以下の各区は上葉がやや鈍緑がかり、1:9, 0:10両区は下葉脱落の為、葉数減少し小さくなる。更に1月後には3:7区以下は葉の大きさも劣る様になる。3月になり生育盛んになつても3:7区以下はその速度遅く、葉柄は短く、又温度の高い日には萎凋し易く、特に3:7区が著しい。下葉の赤紫色も $\text{NH}_4\text{-N}$ の多い区程、後迄残る。この頃には前述の如く7:3~3:7区の葉色は濃緑明瞭となり1:9区以下は鈍緑色を呈する。

細根は7:3区迄は淡褐色で、5:5区位から紫褐色の根多く特に3:7以下になるとその割合非常に多く、脱離し易く、新根は少ない。

収穫時(処理後94日)の生育調査は第10表の如くで、大体に於いて3:7区以下の生育が劣るが、興味あるのは9:1区の生育が10:0区を凌いでいる事と、葉、茎の乾物率が5:5区以下で高い事である。

第10表 タマナ収穫時の生育調査

$\text{NO}_3:\text{NH}_4$	葉数	最大葉長	葉新鮮重	葉乾物率	茎新鮮重	茎乾物率	根新鮮重
10:0	16.0枚	22.3 ^{cm}	157.5 ^g	9.3%	14.4 ^g	14.6%	30.2 ^g
9:1	15.3	25.0	182.3×	9.4	10.8×	16.9×	22.7
7:3	16.0	23.2	162.1	9.7	13.4	16.2	28.9
5:5	17.0	21.5	145.6	10.4×	10.4×	17.2×	27.4
3:7	14.7	16.7×	76.1×	10.1×	6.0×	17.4×	12.7×
1:9	10.7×	11.2×	36.1×	10.5×	3.9×	19.1×	7.3×
0:10	7.3×	9.2×	19.9×	11.9×	3.3×	22.6×	4.3×
L.S.D. 5%	2.4	2.8	18.5	0.7	3.0	1.9	8.8
1%	3.4	4.0	26.0	1.0	4.2	2.6	12.3

第3図 3月17日タマナ各区の生育状態 左より $\text{NO}_3:10:\text{NH}_4:0$, 9:1, 7:3, 5:5, 3:7, 1:9, 0:10 の諸区

その際の茎葉を一緒にした地上部の分析は第11表に示す。N含量は変動はあるが、Pと共に $\text{NH}_4\text{-N}$ の多い区に多く、Ca, Mg は $\text{NO}_3\text{-N}$ の多い区に含量が高い。K は 0:10 が最も少ないが、それ迄は $\text{NH}_4\text{-N}$ の増加に伴い徐々に増している。

第11表 タマネギ収穫時に於ける地上部
(茎葉)無機成分成分含量

$\text{NO}_3\text{:NH}_4$	N	P	K	Ca	Mg
10:0	2.62%	0.33%	2.80%	1.10%	0.54%
9:1	2.34	0.41	2.88	1.08	0.50
7:3	2.64	0.41	3.09	0.88	0.39
5:5	2.46	0.41	2.72	0.71	0.36
3:7	3.74	0.53	3.16	0.40	0.27
1:9	3.94	0.62	3.34	0.34	0.24
0:10	3.19	0.59	2.11	0.30	0.15

6. タマネギ

農研園芸部より譲渡された泉州黄(9月18日播, 1株3~4g苗)を11月24日, ポット当り3本宛定植し, 最初は水道水のみで, 11月30日より処理を開始した。最初は1/2濃度で, 12月10日より普通の濃度とし, 翌年4月1日(処理後129日)に収穫し種々調査した。

10:0~5:5迄は大差なく正常だが, 0:10区は処理後28日頃から僅か, 更に2週間位後(処理後42日)になつて始めて明かに葉色やや褪せ, 下葉の枯達も他区より多く生育も若干劣る様になる。更に1月後(2月11日頃)になると生育かなり劣り, 葉色も $\text{NO}_3\text{-N}$ の多い区に比しやや黒ずみ, 葉も全体的に細い。1:9区も0:10程ではないがその傾向を生じて来る。3月上旬になると3:7区も生育劣り始め, 葉色黒ずみ, 葉も細くなる。0:10は葉色鈍緑となり, 枯達多い為, 葉長短く外側にそる傾向があり, 球の肥大も他区に比し後れ始める。

収穫時の細根の生育状態は $\text{NO}_3\text{-N}$ の多い区が良好で白色根多いが, 3:7区以下の細根の發育は劣り分岐も少く, 1:9特に0:10区になると新根少く褐変した根の割合多くなる。

収穫時の生育調査は第12表に示す如く, 葉数, 葉長地上部重共に3:7区以下劣り, 球径は5:5区から既に低下している。尚, 地上部乾物率は0:10区のみ多い。

タマネギ地上部の無機成分含量は第13表に示す如く他作物と些か様子が異り, Nは5:5区が最も多く, それより $\text{NO}_3\text{-N}$ 側でも, $\text{NH}_4\text{-N}$ 側でも同程度に減少している。Kも5:5区最も多いが, 此の場合は $\text{NH}_4\text{-N}$ 側の方が含量少く, Caは大体に於いて, $\text{NH}_4\text{-N}$ 増すと減少し, Mgは1:9区以下で急減する。Pは著しい差ではないが $\text{NH}_4\text{-N}$ の方が含量少く他作物との対照が明かである。

第12表 タマネギ収穫時の生育調査

$\text{NO}_3\text{:NH}_4$	葉数	最大葉長	球径	地上部新鮮重	地上部乾物率
10:0	6.3枚	54.9cm	14.1mm	30.8g	7.1%
9:1	6.1	55.4	13.5×	30.9	6.7
7:3	6.0	54.7	14.1	30.0	6.5
5:5	6.0	54.1	13.1×	28.2	6.6
3:7	5.7×	45.4×	12.9×	22.2×	6.8
1:9	5.2×	32.3×	11.5×	12.4×	7.8
0:10	3.9×	16.8×	10.3×	4.0×	9.4×
L.S.D. ^{5%} 1%	0.5 0.7	6.1 8.6	0.6 0.8	4.4 6.2	0.9 1.3

第13表 タマネギ収穫時に於ける地上部
(鱗球も含む)無機成分含量

$\text{NO}_3\text{:NH}_4$	N	P	K	Ca	Mg
10:0	3.84%	0.49%	4.83%	0.79%	0.22%
9:1	4.29	0.63	5.72	0.91	0.20
7:3	4.52	0.61	5.68	0.88	0.28
5:5	4.71	0.59	5.75	0.61	0.24
3:7	4.50	0.54	4.61	0.63	0.21
1:9	4.15	0.47	3.08	0.39	0.07
0:10	3.97	0.49	2.00	0.46	0.08

7. その他

イチゴ(ヴィクトリア種), ソラマメ(早生蚕豆)に就いても予備試験を行つたが, 他の蔬菜同様, 3:7区以下に葉焼を起し, 生育も低下し, 開花数も少かつた。

IV. 考 察

以上8種に就いての実験で, 蔬菜一般に及ぼすわけには行かないが, 水田裏作にも作られるタマネギ, イチゴ等をも含め普通の畑作蔬菜は作物自体としては $\text{NO}_3\text{-N}$ を好む所謂好硝酸性作物ではないかと考えられる。本実験の様に蔬菜を水, 砂耕し両形態Nの比較をした実験は他にもあり, ジャガイモ⁽¹⁰⁾, トマト^(2,10), エンドウ⁽¹²⁾, ソラマメ⁽¹¹⁾, カボチャ⁽¹¹⁾, カラシナ⁽¹²⁾では何れも $\text{NO}_3\text{-N}$ 区の方が生育大となつてゐる。然し水生蔬菜, たとえばクワイ⁽⁸⁾は水稻と同じく好アンモニア作物だと言われているが更に検討を要する。クワイは水田栽培なので水稻と同じく $\text{NH}_4\text{-N}$ の同化吸収力を持つと同時に, $\text{NO}_3\text{-N}$ では NO_2 を生じて害を受けたり, 脱窒作用によりNを充分に利用できない為ではないかとも考えられる。

但し畑作物の場合でも両形態Nの比較は種々の外的, 内的条件によりかなり異つた結果を生ずる場合がある。先ずN濃度であるが, 本実験で選んだ全N濃度10m.e.(140p.p.m)は予備試験の結果, NaNO_3 , NH_4NO_3 の形で与えた場合には比較的正常に生育する濃度だが,

(NH_4) SO_4 には幾分高かった。然しこの実験では NO_3 -N の適濃度を基準にした為己むを得なかった。全 N 濃度を種々に変え、その各々の中で比率を変える実験も必要と思う。その他、培養液の pH、他の栄養素量、根圏の通気状態如何がかなり大きい影響を与えるが本実験では pH は 6~6.5 (勿論吸収によりかなり大きく動くが時々調節)、他の栄養素も充分与え、又砂耕の為、根圏の通気も良好と思われ、之等の条件が両形態 N の作物栄養的な比較を妨げたとは思われない。最後に NH_4 -N で与えた場合、特に問題になるのは体内の有効炭水化物含量であるが (之は又生育段階と関連する)、之が少いとすぐ害作用が現れる。たとえば種々の蔬菜種子の発芽直後に 10 m.e. の NH_4 -N を与えると、 NO_3 -N に比しすぐに生育が劣つて来る事を予備実験で認めた。そこで本実験では直播のものは発芽後 2~3 週間、移植のものは発芽後 1~2 カ月の苗齢になって始めて処理を開始したので、ある程度炭水化物は蓄積していたと思う。

以上の如く NO_3 -N も NH_4 -N にも比較的無難な条件下で実験したわけであるが、やはり NO_3 区の方が生育、収量共に良い。そこで全 N を同量にした場合、 NO_3 -N と NH_4 -N の割合をどの位にすれば全部を NO_3 -N で与えた場合に匹敵するかを検討してみると一般に NO_3 5 : NH_4 5 区位迄に有意差はないが、ものによつては 5 : 5 区で既に劣る。7 : 3 迄なら安全である。むしろタマノの様に 9 : 1 の方が 10 : 0 を凌駕する場合もある。タバコでも 10 : 0 より 8 : 2 の方が生育良好だった例もあり (全 N 120 p.p.m.)⁽²⁵⁾、 NH_4 -N でもこの位の割合なら害なく、吸収も NO_3 -N だけの時より早く、而も pH がより安定している為⁽²⁵⁾、10 : 0 区と同様或いはそれ以上の生育をするものと思われる。3 : 7 以下になると生育、収量は明かに劣り、 NH_4 -N の増加と共に低下の割合は大となる。10 : 0 区と 5 : 5 区が大体同等の生育をなす理由はカブでの他の実験で、 NO_3 -N の 10 m.e. と 5 m.e. では生育に大差ない事、又 NH_4 -N も 5 m.e. 以下ならそれ程著しい害作用なく、むしろ低い濃度なら共存していた方がよい場合もある事等によつて一応説明できと思う。之が 3 : 7 区以下になると、この逆で NH_4 -N が多くなり害作用増し、之を抑制する NO_3 -N 濃度が低くなる為生育が劣るのではないか、又 5 : 5 A と B との間に差はなく、この程度の濃度なら Na^+ 、 SO_4^{2-} の余分の加入も害作用はないものと思う。

次に NH_4 -N による害作用の外観的な面を検討してみよう。先ず処理後 NH_4 -N の害作用の徴候が現れる迄の期間であるが、トマト、インゲン、カブ、ホウレンソウの夏、秋作の方が、タマノ、タマネギ、イチゴ等の冬作より

もずっと早く現れ、而も前者では害の徴候と生育抑制が殆ど同時に起り害作用の進行の急速な事が分るが後者では先ず害の徴候が現れ、之が徐々に進行し終に生育を抑制する。作物の種類は違ふが処理時の大きさはそう違わないので、夏や秋は NH_4 -N の吸収早く害も早く現れ、冬は NH_4 -N の吸収遅く且少く従つて害徴候も遅く現れると考える。之は pH の変化からも推定でき、又 ENGEL 氏⁽⁴⁾ も夏の方がアンモニア中毒に敏感な事を報告している。

次に葉色は NH_4 -N が増すと一般に濃緑となる事が知られており本実験でもカブ、ホウレンソウ、タマノ、タマネギの場合は明かに、インゲン、ソラマメでもややその傾向が見られた。特にカブ、ホウレンソウでは著しく、大体 NH_4 -N の量に比例して濃くなり、 NH_4 -N の多い区は黒ずんでいた。之は NH_4 区の方が N の吸収多く、クロロフィル量が多いとも考えられるが更にクロロフィル a/b 比にも考慮を及ぼす必要があるかもしれない。又間接的には NH_4 区の方が培養液乃至根附近の pH を下げる為、Fe、P がより有効な事も関係しているか。葉菜類等は此の点から NH_4 -N が少しは入っていた方が葉色濃く、新鮮味があつてよいかもしれない。然し 1 : 9、特に 0 : 10 区の如く NH_4 の割合が多くなりすぎると NH_4 の害作用で体内機構が乱れ葉緑素壊れる為か却つて黄緑色~鈍緑色となる。そして葉先、葉縁から褐変乾燥枯枯みが多くなる。インゲンの葉焼は特に著しく、この事は SKOK 氏⁽¹⁷⁾ も認めている。然しトマト、イチゴでは NH_4 が増えても濃緑とならずむしろ鈍緑色だった。之はもう少し検討を要するが、TIEDJEN 氏⁽²⁴⁾ もトマトで NH_4 が多くなると葉色は灰緑色になると言っている。又タマノ、イチゴは 3 : 7 以下になると冬期間、下葉にアントシアニンを生じ全面的に赤紫色がかかるが之には低温で炭水化物が蓄積する事も一因と思われるが、それと NH_4 との関係は不明である。又 NH_4 -N が多いとタバコの場合の様に⁽⁹⁾、カブ、タマノ、インゲンでは葉面がゴワゴワし葉質で厚い感じになる。之には NH_4 と細胞膜炭水化物との間に何等かの関係があると思われる、特に葉菜では葉の品質と関連し興味がある。

更に NH_4 -N の割合が増すと葉先、葉縁が捲込んだり、葉面が全体的に折りたんだり、下垂したり又は萎凋し易くなる (特に下葉)。この事はタバコ⁽⁵⁾、トウモロコシ⁽²⁷⁾ でも見られ、水分不足の為と考えられる。その原因としては第 1 に根が害を受けている事であろう。細根は NH_4 同化を行う場所故、地上部より早く害を受けると思われるが、之は前述した如く外観からも判定できる。LOO 氏⁽⁶⁾ はインゲン、ソラマメで、JACOBSON 氏⁽⁵⁾ はタバコで同様な事を観察している。この為根の吸水力弱り

葉からの蒸散量に追付けず、上述の様な外観を呈するものと思う。それを裏書するものとしては NH_4 の多い区、の葉や茎の乾物率の割合が一般に多い事である。逆に言えばそれは水分含有%が少い事になる。然しトマト、インゲンの様な夏作物はこの場合例外でトマトは乾物率に差はなく、インゲンではむしろ逆な関係にある。水分含量は色々な条件で動くので研究者により区々な結果が出ており簡単には言えないが本実験のトマト、インゲンでは夏作物なので温度高く NH_4 の害作用急速に進み、有効炭水化物の減少著しく、特にインゲンでは葉焼を起し脱落多く、若い葉が残つた事も乾物率低下の一因かもしれない。然し之等に就いては更に研究を要する。

次に $\text{NH}_4\text{-N}$ の害作用が如何なる吸収同化過程を経て現れるかを簡単に述べると先ず本実験の様な弱酸性の培養液からは NH_4 、 NO_3 共イオン形で吸収されるが、その場合細胞内外の水素イオン濃度、原形質の荷電等から $\text{NH}_4\text{-N}$ の方が吸収され易く、両イオン共存の際も NH_4 の吸収の方が多い⁽¹⁵⁾。吸収された N は細根部で同化されるが、 $\text{NH}_4\text{-N}$ はその儘、有効炭水化物の酸化により生じた有機酸と結合しアミノ酸その他の有機態 N を合成するので同化速度早い。が $\text{NO}_3\text{-N}$ は *reductase* により一度還元されてから同化されるので、その速度遅く^(14, 23)、一部蓄積するが遊離 $\text{NO}_3\text{-N}$ はかなり蓄積しても害なく生育は大である^(7, 24)。又生育初期は $\text{NH}_4\text{-N}$ の吸収が多い⁽²⁾。そこで体内に有効炭水化物がかなりある処理開始時には NH_4 の吸収同化早く、生育も NO_3 区に匹敵するが暫くし炭水化物が少くなると (NH_4 区は炭水化物合成も少い⁽²⁰⁾)、 $\text{NO}_3\text{-N}$ よりもその利用が炭水化物量に左右され易い $\text{NH}_4\text{-N}$ は吸収されても同化されず遊離アンモニアが蓄積し始め作物に害を及ぼす様になる⁽⁴⁾ (然も $\text{NO}_3\text{-N}$ 程多量に蓄積しないで既に害作用を呈する)。炭水化物が著しく減少すると NH_4 は吸収利用されず蛋白質やアミド等は分解し NH_4 は更に蓄積し遂に根から培養液中に排泄される。この頃になると生長は停止し、乾燥枯死するに至る。本実験でも培養液の pH から推して 0:10 区には $\text{NH}_4\text{-N}$ 排泄が若干あつた様である。

以上の事から $\text{NH}_4\text{-N}$ の害作用は炭水化物欠乏により過度に蓄積した遊離 $\text{NH}_4\text{-N}$ 直接の害作用⁽²⁾それに伴う体内の酸化状態の低下に基因し、それに加え培養液特に根毛との接触面に於ける pH の低下⁽⁹⁾——所謂生理的酸性——更に他の陽イオン吸収の減少も一因となる。 $\text{NH}_4\text{-N}$ の割合少くなり、 $\text{NO}_3\text{-N}$ が多くなれば害作用少くなり、又発現迄により多くの日数を要する事は当然である。

次に体内成分含量を検討するに N はタマネギを除き大体に於いて $\text{NH}_4\text{-N}$ の割合が増すと含量 (%) も増加

している。特に 5:5 区以下に著しいのは pH の変化から推しても $\text{NH}_4\text{-N}$ 吸収の多い為と思われる。1:9 区に比し 0:10 区が幾分少い場合のあるのは全部 $\text{NH}_4\text{-N}$ だと体内機構が乱れる為か。 NH_4 区の方が N の含量多い事は前述の N 吸収機構からも頷れ、又他の研究者もトマト^(2, 10)、タバコ⁽¹⁹⁾等で認めている。タマネギの 5:5 区以下で N が却つて減少するのは説明できないが $\text{NH}_4\text{-N}$ の多い区でも培養液 pH の変化の少い事から NH_4 の吸収が徐々であつた事は確かである。

P の含量は一般にかなり高いが之は P を充分に与えた上、砂耕で通気が良好だつた為で、この場合もタマネギを除き $\text{NH}_4\text{-N}$ の増加につれ含量は増してくる。之は $\text{NO}_3\text{-N}$ 多いと陰イオン間の拮抗の為、 P の吸収少くなるのと (又は NH_4^+ が静電氣的に PO_4^{3-} を引張る為か)、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 区の方が根の吸収面の pH を低くし、 P を有効状態に保っている為と思う。之により NH_4 区には P 欠の出にくい理由が分る。 NH_4 区に P 含量多い事は他の研究者も報告している^{10, 12, 20, 22}。タマネギでは他蔬菜と違い $\text{NH}_4\text{-N}$ 多いと P 含量は徐々に減少しているが、之は N 含量と何等かの関連があると思う。

NO_3 区の方が NH_4 区より K の吸収が多いと言う実験は多く^(12, 19, 20, 21)、 NH_4^+ と K^+ との拮抗作用で説明されており NH_4 区に K 欠が出やすいと言う。然し NH_4^+ と Ca^{++} との間の拮抗作用程強くない。それも一因となり、又 K は条件により変化を受けやすいので本実験では N 形態と K 含量との関係は不規則である (尤も含量を何時も乾物当%で表わす事にも問題はあつた)。但し 5:5 又は 3:7 区以下になり $\text{NH}_4\text{-N}$ の割合が多くなると NH_4^+ と K^+ との拮抗が見られ K 含量は減少しているが作物体の生育上の差異や Ca 吸収等が関連し変動もある。更に 10:0 から 5:5 にかへ一般に K 含量が却つて増加しているが之には Na の減少が関係していると思う (10 m.e. $\rightarrow$ 0)。未発表の資料によつても NaNO_3 を段々増して行くと K 含量は逆に減少した。但し 5:5 A と B では差は見られない。ホウレンソウのみは $\text{NH}_4\text{-N}$ の増加につれ K の含量は減少の傾向にある。

Ca 、 Mg は一般に $\text{NH}_4\text{-N}$ の増加につれ減少している。但し 1:9、0:10 区になると生育上の差が関連する為か若干増加する場合がある。之により $\text{NH}_4\text{-N}$ で与えた場合、 Ca を加えると生育が大となる⁽¹³⁾とか NH_4 区に Mg 欠乏が出易いと言う事もうなずける。 NH_4 と Ca^{++} 、 Mg^{++} 特に Ca^{++} との間には強い拮抗作用があり、 NH_4 区に Ca 、 Mg 含量の少い事は他でも報告されている^{5, 13, 19, 20, 21}。本実験では $\text{NH}_4\text{-N}$ の割合が多いと Ca 、 Mg 含量は普通なら欠乏症状を起す程減少しており、この含量

の少い事が NH_4 区の生育が劣る一因とも考えられる。

以上で蔬菜では NH_4 は NO_3 に比して劣る事、及び NH_4 もその半分が NO_3 により置換されれば充分 NO_3 に匹敵する事が分る。然しながら NH_4 -N も濃度、pH、他のイオン、通気等の条件に充分注意すれば NO_3 -N に近い生育をする事も可能であり、PIRSCHLE 氏^(11, 12)は比較的低い濃度で NH_4 -N を与え流動式水、砂耕により pH を 6, 7 に一定する様に努め、かなり成功している。然し NH_4 は根により徐々に吸収される必要があり又種々の条件に敏感に反応するので緩衝作用の少い水、砂耕では一般的に NO_3 の方が使用に安全である。

蔬菜自体としては NO_3 を好む事は分つても実際の蔬菜栽培では化学肥料としては硫酸（肥料製造上から、又肥料の吸湿性の点から本那では将来共使用されると思われる）又は之に準ずる NH_4 -N 肥料が主である。そこで之等を如何にうまく使用するかが問題になり著者等の些細な研究も若干の資料にはなと思う。都合のよい事に一般土壤は緩衝作用強く、又土壤膠質は NH_4 を吸着し遊離の NH_4 の状態にある事は少い。更に硝化菌による NH_4 から NO_3 への変化が起り何時迄も NH_4 -N だけと言う事はなく、本実験の如く適当な比率迄変化すると考えられる。そこで硝酸化成の行われる土壤では NH_4 -N を与えても NO_3 -N と大差なくむしろ流亡の点からは NH_4 -N の方がよい事が考えられる。然し硫酸等を多量に特に幼植物に与えれば NH_4 の害を生ずる。更に pH の低い従つて石灰飽和度の低い、硝酸化成の行れにくい土壤、又 NH_4 -N を吸着する膠質粒子の少い砂質がかつた土壤等では別な結果も考えられる。又硝化作用と温度との関係からシーズンによる差も考えられ、再検討を要する。尙、物理的性質（特に連用の場合）に対する影響も考慮の要があり、又窒素の形態に関連し有機質肥料も問題になると思う。

V. 摘 要

1. トマト、インゲン、カブ、ハウレンソウ、タマナタネギ等を砂耕し、全窒素濃度を一定 (10 m.e.) にし、その中で NO_3 -N と NH_4 -N の比率を NaNO_3 , NH_4NO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ の組合わせにより 10:0, 9:1, 7:3, 5:5, 3:7, 1:9, 0:10 と変え、上述蔬菜の生育、収量並びに葉中無機成分含量に及ぼす影響を調べた。

2. その結果、一般蔬菜は NO_3 -N を与えた方が生育、収量共に大で NH_4 -N では劣るが NH_4 -N でもその半分が NO_3 -N で代替されれば (5:5)、全部が NO_3 -N の区 (10:0) に充分匹敵し、タマナでは 9:1 区の方が 10:0 区を凌駕した。又 5:5 区では NH_4NO_3 (A) でも $\text{NaNO}_3 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (B) でも差はなかつた。

3. NH_4 -N の害作用は夏、秋作の方が冬作よりも早く現れ進行も急激である。又 NH_4 -N の割合多くても早く現れる。一般に NH_4 -N が増加すると葉色は濃くなるが多くなりすぎると葉緑素壊れ、黄緑～鈍緑になり更に葉焼を起したり枯込んだりする。タマナ、イチゴでは冬期 3:7 区以下の下葉は赤紫色となり後、脱落した。又カブ、タマナ、インゲンの如く葉面がゴワゴワし革質になるのもあつた。地下部も害を受け、その為に水分不足を来し葉が巻込んだり萎凋しやすくなる。インゲンでは NH_4 -N 多い区は根瘤が殆どなかつた。

4. 葉中 N, P 含量 (%) はタマネギを除き、 NH_4 -N の割合多い区に多く、Ca, Mg は逆である。K は Na^+ , NH_4^+ その他のイオンの拮抗作用が錯雑し、窒素形態による差が判然としないが 5:5 以下では NH_4 の増加につれ、減少の傾向にある。

VI. 引用文献

- (1) BURKHART, L.: Metabolism of etiolated seedlings as affected by ammonium nutrition. *Plant Physiol.* 9(2):351-58. 1934.
- (2) CLARK, H. E.: Effect of ammonium and of nitrate nitrogen on the composition of the tomato plant. *Plant Physiol.* 11(1):5-24. 1936.
- (3) ----- and J. W. SHIVE: The influence of the pH of a culture solution on the rates of absorption of ammonium and nitrate nitrogen by the tomato plants. *Soil Sci.* 37:203-25. 1934.
- (4) ENGEL, H.: Die Wirkung der Ammoniumsalze in ihrer Abhängigkeit von der Wasserstoffionenkonzentration. *Ztsch. f. Pflanzener. Düng. u. Bodenk.* 16 (A): 226-33. 1930.
- (5) 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):340-42. 1933.
- (6) LOO, T.: On the mutual effects between the plant growth and the change of reaction of nutrient solution with ammonium salts as the source of nitrogen. *Jap. Jour. Bot.* 3: 163-204. 1926-7.
- (7) MCKEE, H. S.: A review of recent work on the nitrogen metabolism of plant, Part I. *New Phytol.* 36: 33-56. 1937.
- (8) NAGAOKA, M.: On the behavior of rice plant to nitrates and ammonium salts. *Bull. Coll. Agr. Univ. Tokyo.* 6: 285-334. 1904-5.
- (9) NIGHTINGALE, G. T.: Ammonium and nitrate nutrition of dormant Delicious apple trees at 48°F. *Bot. Gaz.* 95: 437-52. 1934.
- (10) 奥田東, 下瀬昇: 作物の窒素代謝に関する研究, *日土肥雑* 22(2):6-8. 1951.
- (11) PIRSCHLE, K.: Nitrate und Ammonsalze als Stickstoffquellen für höhere Pflanzen bei

- konstanter Wasserstoffionenkonzentration. Ber. deutsch. Bot. Gesell. 47: (86)-(92). 1929.
- (12) ————: ———— IV. Ztsch. f. Pflanzener., Düng., u. Bodenk. 22 (A): 51-86. 1931.
- (13) PRIANISCHIKOV, D.: Zur Frage nach der Ammoniakernahrung von höheren Pflanzen. Biochem. Zeitschr. 207: 341-49. 1929.
- (14) PRIANICHNIKOV, M.: Sur l'assimilation de l'ammoniaque par les plants supérieures. Compt. Rend. Acad. Sci. (Paris) 177: 603-6. 1913.
- (15) 坂村徹: 植物の栄養素源としての硝酸とアンモニアとの吸収, 植及動. 7(1): 63-72. 1939.
- (16) 渡谷紀三郎, 佐伯秀幸, 片貝台三郎: 植物の硝酸態並にアンモニア態窒素の利用に関する研究, 第5報 馬鈴薯, 熱農誌 9(2): 187-98. 1937.
- (17) SKOK, J.: Effect of the forms of the available nitrogen on the calcium deficiency symptoms in the bean plant. Plant Physiol. 16(1): 145-58. 1941.
- (18) 杉山直儀, 岩田正利, 七条寅之助: 蔬菜の養分欠乏症状 (第2報). 園学雑誌 20(2): 89-97. 1951.
- (19) 高橋達郎, 竹山賢治: たばこの加里栄養に関する研究 (第2報), 培養液の硝酸態窒素とアンモニア態窒素の割合が加里その他の要素の吸収に及ぼす効果, 日土肥雑誌, 22(3): 206-8. 1952.
- (20) ————, 吉田大輔: ———— (第3報), 培養液の窒素形態と加里濃度との関係について, 日土肥雑誌 22(1): 288-92. 1952.
- (21) ————, ————: 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, 日土肥雑誌, 23(1): 42-46. 1952.
- (22) ————, ————: ———— (第2報) 培養液のアンモニア態, 硝酸態窒素と磷酸との関係 (講演要旨), 日土肥雑誌, 23(4): 327. 1953.
- (23) TIEDJENS, V. A.: Some observations on the assimilation of ammonium and nitrate nitrogen in some horticultural plants. Proc. Amer. Soc. Hort Sci. 29: 253-54. 1932.
- (24) ————: Factors affecting assimilation of ammonia and nitrate nitrogen, particularly in tomato and apple. Plant Physiol. 9(1): 31-58. 1934.
- (25) TRELEASE, S. F. and H. M. TRELEASE: Changes in hydrogen ion concentration of culture solutions containing nitrate and ammonium nitrogen. Amer. Jour. Bot. 22(5): 520-42. 1935.
- (26) VICKERY, H. B., G. W. PUCKER, A. J., WAKEMAN and C. S. LEAVENWORTH: Chemical investigations of the tobacco plant. VIII. The effect upon the composition of the tobacco plant of the form in which nitrogen is supplied. Conn. Agr. Exp. Sta. Bull. 442: 65-119. 1940.
- (27) VIETS, F. G. Jr., A. L. MOXON and E. I. WHITHEAD: Nitrogen metabolism of corn (*Zea mays*) as influenced by ammonium nutrition. Plant Physiol. 21(3): 271-89. 1946.

Summary

1. Experiments were carried out in order to clarify the influences of the forms of nitrogen supplied on the growth, yields, and leaf inorganic constituents of several vegetable crops, in sand cultures under glass. Materials tested were tomato, kidney bean, turnip, spinach, cabbage and onion. As for treatments, seven nutrient solutions with different proportions of $\text{NO}_3\text{-N}$ and $\text{NH}_4\text{-N}$ were prepared by combinations of NaNO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ and NH_4NO_3 . Their ratios were as follows: 10:0 (all $\text{NO}_3\text{-N}$), 9:1, 7:3, 5:5, 3:7, 1:9, 0:10 (all $\text{NH}_4\text{-N}$). The total nitrogen content of all solutions was the same (140 p.p.m.), and all known nutrient ions were provided in constant proportion except Na^+ and SO_4^{2-} . All treatments were repeated in triplicate.

2. In crops tested, plants supplied with larger proportion of $\text{NO}_3\text{-N}$ (10:0 to 5:5) made excellent growth, and generally, among them, there was no significant difference. On the contrary, plants supplied with more $\text{NH}_4\text{-N}$ (3:7 to 0:10) were stunted in growth, and among them, the more $\text{NH}_4\text{-N}$ ratio increased, the more decreased the growth.

3. Injurious symptoms of excess $\text{NH}_4\text{-N}$ in the

spring and fall crops emerged earlier and developed more rapidly than those of winter crops. Usually, all NO_3 plant produced light-green colored foliage, and with increased proportion of $\text{NH}_4\text{-N}$, foliage became blue green or darker green step by step, but at the extreme such as 1:9 to 0:10 treatments, plants caused leaf-burning and subsequent defoliation. Moreover, anthocyanin pigments developed in cabbage, and leaf surface were rather uneven and leathery in turnip and kidney bean.

Roots also suffered from injuries of excess $\text{NH}_4\text{-N}$, consequently, with disorder of water absorption of root, leaves tended to curve upwards and withered.

4. As to inorganic constituents in the leaves, analyses showed definitely that an increased proportion of $\text{NH}_4\text{-N}$ resulted in a larger percentage of total nitrogen and phosphorus, with exception of onion, but smaller percentage of calcium and magnesium. And between potassium and forms of nitrogen, there was not so definite relation as with above nutrient elements, due to complicated antagonism among cations such as K^+ , Na^+ , NH_4^+ and so on.