蔬菜の養分缺乏症状 (第2報)*

杉山直儀・岩田正利・七條寅之助

(東京大學農學部)

T. SUGIYAMA, M. IWATA and T. SHICHIJO :
Hunger Signs in Vegetable Crops II.

第1報⁽¹⁹⁾に於ては養分含量の少ない本郷下層土を用いて數種の蔬菜の養分缺乏症を起させ、その結果を報告したが、その後水耕及び砂耕の設備が整つたので引續き數種の蔬菜の養分缺乏症の調査を行なつた。第1報では主として N, P, K の三要素についてであつたが、今度はその他に Ca, Mg, S, Fe, B 等の缺乏症についても觀察を行なつたのである。尙本實驗では培養液調製に用いる蒸溜水と水道水の比較、砂耕の場合石英砂と川砂との比較及び培養液の處方等將來この種の實驗を行なう際に参考となると思われる二、三の事項についても併せて調査した。

本研究は淺見教授の御指導の下に行なわれたもので、茲に同教授に深謝の意を表する次第である。尙本研究は文部省科學研究費による研究の一部をなすものである。

I. 實驗方法

1. 水耕法 内徑16cm, 高さ18cm, 容量約3.5lの磁製ポット(5萬分1ワグナーポット)を用い、これに培養液を容れ、その上に目簾をおき、植物の根はその目を通して培養液に達するようにし、莖の基部はよく洗つた砂利で固定した。簾の上には砂利を並べて植物を支持

第1圖 水耕法(トマト)

させると共に液に日光の直射するのを遮る役目を兼ねさせた⁽¹²⁾。支柱を必要とする時は簾に支柱(最初細い竹を用いたが、後ガラス棒に代えた)を固定し、これに植物體をゆいつけた(第1圖)。

2. 砂耕法⁽¹⁸⁾ 水耕法の場合と同じ容器を用い、これに砂を充し、下端の排水口にはゴム栓をはめ、これに

排水管(ガラス管)を取付け、管の上端には砂が入らぬようにガラス綿をまいておき、下端は受器の上に来るようにした。受器は内徑14cm, 高さ13.5cm, 容量約2lの磁製ポットで、蓋がついており、液に日光の直射するのを防ぐための磁製ルツボの身を倒さにして蓋の口を覆つておき、排水は蓋とルツボの隙間から流入するようになった(第2圖, 第3圖)。

第2圖 砂耕法(模式圖)

- a. 石英砂を満した培養ポット
- b. ガラス綿
- c. 排水管
- d. 餘分の培養液を溜める受器

砂は主として石英砂(市販の海砂)を用いた。この砂は僅かに黄色に着色した粒を混えた半透明の角ばつた粒で、0.5mm程度のもが多かつた。この他一部川砂を充分洗つたものを用いた場合もある。

この裝置では培養液を上ポットにそぐと砂を飽和した餘分の液は排水管から出て下の受器にたまるから、この液を1日に1乃至2回以上上のポットに注いでその中の液の更新をはかり、又蒸散や蒸發によつて液が減少したならば蒸溜水或は水道水を加へてもとの容積にかへしておいた。

第3圖 砂耕法(タマネ)

3. 培養液 水耕、砂耕共に大體 HOAGLAND, ARNON 兩氏の處方⁽⁷⁾による培養液を使用した。標準液は次の2種であるが A 液を主として用い、B 液の方は

* 本論文の要旨は昭和24年10月青森縣弘前市に開催の園藝學會秋期大會及び25年10月愛知縣に開催の同秋期大會で發表

$\text{NH}_4\text{-N}$ を含む液の pH 安定度は高いけれども、他の處理區は $\text{NH}_4\text{-N}$ を含まないので僅かに使用したに止まる。

標準液 A		標準液 B	
M KH_2PO_4	1ml/l	M $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	1ml/l
M KNO_3	5	M KNO_3	6
M $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	5	M $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	4
M $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	2	M $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	2

調製法は各鹽類の 1M 溶液を作つておき (stock solution), 調製に際し右に記した量を加用するのである。各要素の濃度は A 液では N 210.1, P 31.0, K 234.6, Ca 200.4, Mg 48.6, S 64.2 ppm で、B 液では $\text{NH}_4\text{-N}$ 14.0, $\text{NO}_3\text{-N}$ 196.1, P 31.0, K 234.6, Ca 160.3, Mg 48.6, S 64.2 ppm である。この他に微量要素として次の混合液を 1 ml/l の割合で加用した。

H_3BO_3	2.86 g/l	$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1.81 g/l
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.22	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.08
H_2MoO_4 (90% MoO_3)	0.08		

培養液中に於ける微量要素の濃度は B 0.5, Mn 0.5, Zn 0.05, Cu 0.02, Mo 0.05 ppm である。

Fe はクエン酸鐵 ($\text{FeC}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) の 0.8% 液を培養液 1l につき 1ml の割で必要に應じて (2~3 日毎に 1 回) 補給した。

pH は 2, 3 日に 1 回比色法によつて検定してアルカリ性に傾いている時は $\text{N}/10 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$ を加えて約 6.0 に調節した。

各種の養分缺乏症を起すためにはそれぞれある要素を含まね液を與えたが、その處方は次の通りである。

N 缺區		P 缺區	
0.5 M K_2SO_4	5ml/l	M $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	4ml/l
0.05M $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	10	M KNO_3	6
0.01M CaSO_4	200	M $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	2
M MgSO_4	2		
K 缺區		Ca 缺區	
M $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	5ml/l	M KNO_3	5ml/l
M $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	2	M $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	2
0.05M $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	10	M KH_2PO_4	1
Mg 缺區		S 缺區	
M $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	4ml/l	M $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	4ml/l
M KNO_3	1	M KNO_3	6
M KH_2PO_4	1	M KH_2PO_4	1
0.5M K_2SO_4	3	M $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	2

以上の他にそれぞれ Fe 及び微量要素を加えた。Fe 或は B 以下の微量要素の缺乏區はその要素を加用しない標準液 A を用いた。

實驗中氣付いたことは Ca 缺區の液は N の濃度が他區に比べて可なり低いので N の不足の場合によつて起し易かつた。これは改める必要があると思う。

本實驗に用いた培養液は從來本邦で水耕法に使用されているものに比べて濃度がやゝ高い。缺乏症狀を速かに

惹起させるにはこの方が勝つていように思われる。

水は蒸溜水と共に比較のため水道水を用いた區を用いた。水道水は肥料研究所で分析の結果は Si 7.50, Ca 37.09, Cl 27.13, Na 15.43, S 2.08, Mg 9.74, K 3.02, N 0, P 0 ppm, pH 7.0 附近で、Ca, Cl を可なり含んでいるものである。

液の取換えは冬期は 2 週間に 1 回、春及び秋は 1 週間乃至 5 日に 1 回位取換えた。砂耕の場合は蒸溜水或は水道水で砂をよく洗い、新しい培養液を加えて最初に出た液を捨てて更に新しい液を加えて 300~500 cc が受器にたまるようにした。

本實驗は總て無加温のガラス室内で行つた。

II. ト マ ト

實驗 (1) N, P, K, Ca, Mg 缺乏症を調べる目的で水耕法により完全區と共に 6 區を設け、蒸溜水と水道水の 2 シリーズ、計 12 ポットを使用した。5 月 15 日園藝試驗場で育成されたマージョーブの苗 (本葉 8 枚前後) を植付け、活潑な水道水のみを與え、19 日より上記各種の培養液を與えた。最初の數日は濃度 $\frac{1}{2}$ のものを與え、以後基準濃度とし、培養液は毎週 1 回の割で更新した。莖は 1 本仕立とし、草丈、葉數、最大葉長、莖徑等生育調査を行ない、6 月 11 日 (移植後 28 日) に調査を打ち切り各部の重量等を測定した。次に缺乏症の觀察及び生育調査の成績をなるべく簡潔に述べる。

各區の缺乏症狀は次の通りである。

完全區 葉は大きく濃綠色で、莖は太く、生育旺盛で根は白色でよく發達した。

N 缺區 處理開始後 5 日で既に完全區に比べ葉は黃綠色を帯び、下葉は色があせ、葉脈は淡紫色を帯び、以後生育不良で、莖の伸長鈍く、葉は小型で黃綠色を呈し、全體矮化した。根は白色で伸長はよかつた。

P 缺區 苗が最初からやゝ不足の状態にあつたが、處理開始後 5 日で完全區に比べ莖の伸長衰え、頂部の新生部小さく、葉は濃綠色でやゝ黒ずんでおり、上葉は葉柄と莖との間の角度が小であり、葉の先端及び小葉は下方に反捲しており、又葉柄及び葉脈は紫色を帯びてきた。その後これらの症狀は一層顯著となり、莖は細く、全體矮化し、根は伸長はよいが側根の發生少く、淡褐色を帯びていた。

K 缺區 處理開始後 5 日で中下葉がやゝ光澤を失い色があせた感となり、完全區に比べ生育やゝ劣り、以後特別な症狀が認められないまゝ發育は可なり劣つて來、根の發育は悪く、褐色を帯びていた。

Ca 缺區 處理開始後 5 日で先長點附近に褐色の小斑

を生じ、伸長を停止し、9日目頃から莖の頂端は萎凋枯死して以後伸長を停止した。中下葉は内方に捲き込み、根はK缺區に似た状態となつた。

Mg 缺區 最初は完全區とほぼ同様旺盛な生育を續けたが、9日目頃から中下葉は葉柄と莖との間の角度が大となり(90°以上)、やゝ下垂した位置をとり、又葉脈と葉脈との間の緑色が失われて黄色となつた。根の發育は良好であり、葉の大きさも完全區と殆んど變りがない。以後この症状は進行して中下葉では黄色の部分が目立ち、生育も次第に衰えてきた。

以上は主として蒸留水のシリーズについての觀察結果であるが、水道水シリーズでもN, P, K 缺區はほぼ同様の症状を呈し、Ca 缺區は生育やゝ劣つたが異状を認めず、Mg 缺區は蒸留水に比べて症状の發現がやゝ遅れた。

實驗打切り時(處理開始後24日)の生育調査の結果は第1表の通りであつて、生體重はN缺、P缺區最も劣り、Mg 缺區が大であつた。草丈はN, P 缺區低く、Ca 缺區も生長點が枯死したため伸長できなくて低くなつており、P 缺區は莖の細いのが目立つている。

第1表 トマト(蒸留水シリーズ)の採取時(處理開始後24日)に於ける生育調査

區名	草丈	葉數	最大葉數	莖徑	莖葉重	根重	合計
	cm	枚	cm	mm	g	g	g
完全區	34.0	13	25.5	7.4	74.8	20.3	95.1
N 缺區	21.0	7	13.0	6.6	11.7	6.7	18.4
P 缺區	21.5	7	13.0	5.8	10.1	5.6	15.7
K 缺區	26.5	10	15.5	8.2	26.9	9.0	35.9
Ca 缺區	23.0	7	15.0	8.4	22.0	5.8	27.8
Mg 缺區	30.0	10	21.0	8.4	31.7	10.7	42.4

實驗(2) 實驗(1)で檢した5要素以外の諸要素の缺乏症状と、組成、pH等を異にする培養液のトマトの生育に及ぼす影響を檢するために次の實驗を行つた。

苗は豫め川砂で育成したマージョーブの草丈7~9cmのものを6月18日に植付け、27日より處理を開始し、生育調査並びに症状の觀察を行ない、7月23日に打切り收穫物について調査を行なつた。

缺乏症状は次の通りである。

S 缺區 處理開始後9日目より全體やゝ淡緑色を呈し葉脈、葉柄が赤紫色を帯び、莖はやゝ細く、伸長もやや鈍り、以後生育は完全區に比べると次第に落ちたが左程顯著な症状はなく、根は新根少くやゝ細い傾向があつた。

Fe 缺區 處理開始後9日目より莖の先端の新葉は緑色がぬけ始め、12日目より葉脈に沿つて緑色が残り、葉脈間の部分は黄化し、19日目より更に葉全體が黄白色となり、葉柄は紫色を帯びた。新葉は總てこの様な症状を

呈したが古葉は異状なく、伸長は續けられ、葉の大きさも左程小さくならないが、症状が進むにつれて生育は衰えてきた。

B 缺區 處理開始後12日で莖の頂端の新生部が小さいことが認められ、19日後に至り先端は褐變枯死し、以後莖の伸長は停止した。全體の生育も亦完全區に比べてかなり劣っている。

Zn, Mn, Cu, Mo 缺乏區にはいずれも異常は認められなかつた。

實驗打切り時の生育調査を示すと第2表の通りである。

第2表 トマトの採取時に於ける生育調査

區名	草丈	葉數	最大葉長	莖徑	莖葉重	根重	合計
	cm	枚	cm	mm	g	g	g
完全區	58.0	14	40.0	10.8	168.0	38.7	206.7
S 缺區	40.0	11	28.0	9.0	56.6	17.0	73.6
Fe 缺區	35.0	10	24.0	8.6	37.6	11.0	48.6
B 缺區	25.0	9	20.5	8.9	28.0	10.3	38.3

以上の他に水道水を用いて標準液Bを用いた區、標準液AのCaをNH₄-Nで置換した區を比較したがいずれも生育良好で、異常は認められなかつた。B液はpHが比較的安定しており、又CaをNH₄-Nに置換しても水道水中にCaが相當含まれるため不足を感じなかつたのであろう。水道水で微量要素を添加しなかつた區はやゝおくれでB缺乏の症状を呈したので、トマトの要求を満すだけのBは含まないものと認められる。

III. ハツカダイコン

砂耕法によつてN, P, K, Ca及びMgの缺乏症状を調査する目的で行なつたもので、併せて川砂の利用價值についても検討した。水は蒸留水を使用した。

5月3日 Rapid Red.の種子を1ポット20粒宛まき、その後間引いて3本宛とした。培養液は最初より1/2濃度のものを加用し、7日に一齊に發芽した後13日より基準濃度とし、缺乏症状の觀察と生育調査を續けて、6月11日(發芽後35日)で實驗を打切り、收穫物の調査を行なつた。

各區の缺乏症状は次の通りである。

完全區 發芽後11日で根の肥大を始め、生育旺盛で、根の肥大も良好であつた。(收穫時には根はやゝ大き過ぎた)。

N 缺區 發芽後4日で子葉は既に小さく、黄緑色を呈し、その後本葉が出たが小型で生育極めておそく、發芽後11日で全體黄緑色を呈し、葉柄は著しく赤紫色となり、初生皮層は破れず、根の肥大はその後殆んど起らず、全體が著しく矮化した。

P 缺區 發芽後4日で子葉僅かに濃色を呈し、11日後

には子葉、本葉共に可なり濃綠色となり、この頃より生育劣り、21日後には生育不良一層顯著となり、初生皮層は僅かに破れるものがあつたが、根の肥大は極めて悪かつた。

K 缺區 發芽後初期の生育は標準區に比べて僅かに劣る程度であるが、17日頃より葉の發育可なり劣り、下葉の周縁が外側に彎曲し、色があせて次第に枯死して淡褐色となつた。この症状は急激に進んで次第に葉の周縁から内側に向うと共に、最下葉から次第に上方の葉に及び下葉の枯死により葉數は減少し、地上部及び根の發育は殆んど停止した。

Ca 缺區 發育は標準區に比べて次第に劣つていつたが、外觀上特異の症状は認められなかつた。

Mg 缺區 初期の生育は良好で、標準區に劣らず、根の肥大も順調に進んだが、發芽後 31 日頃に至り中葉の葉脈の間の部分の綠色がぬけて黄色を呈し、更に進むと擴がつて太い葉脈の間は境界不明瞭な黄色の部分を作り又灰白色の斑點を生じた。

各區の收穫時の重量その他は第3表に示す通りで、Mg 缺區は完全區に劣らず、N 缺區が最も生育悪く、他はその中間であつた。

第3表 ハッカダイコンの收穫時に於ける
調査(發芽後31日)

區 名	葉數	最大 葉長	最大 葉幅	葉重	根重	合計
完全區	8.7 ^枚	23.3 ^{cm}	10.3 ^{cm}	28.6 ^g	33.1 ^g	61.7 ^g
N 缺區	3.3	2.8	1.5	0.3	0.13	0.43
P 缺區	5.7	10.7	4.3	5.0	2.3	7.3
K 缺區	3.0	13.3	6.2	5.5	0.57	6.07
Ca 缺區	8.3	14.2	6.3	11.9	4.6	16.5
Mg 缺區	9.7	23.2	9.2	27.9	32.5	60.4

以上は石英砂(海砂)のシリーズについてであるが、川砂のシリーズはN缺區では症状が明かに認められ、他區では生育は劣っているが症状を示す迄には至らなかつた。おそらく川砂はよく洗滌してもなお養分が若干残つていて利用されたためと思われる。

IV. タ マ ナ

タマナについては水耕と砂耕の兩者を行なつた。水耕の方は11月2日サクセションの苗(本葉7枚前後)を苗床から抜取つて根をよく洗つて植付け、活着迄水道水のみを與え、更に11月28日迄 $\frac{1}{2}$ 濃度の標準液を與え28日から處理を開始した。冬の

間は濃度 $\frac{1}{2}$ の液を與え、2月9日より基準濃度とした。蒸溜水と水道水の2シリーズ 20 ポットである。砂耕の方は水道水のシリーズのみであるが、豫め川砂中で育成した苗(本葉5枚前後)を11月18日に植付け、28日迄は水道水のみを與え、28日より水耕と同時に處理を開始した。これも冬中は $\frac{1}{2}$ 濃度の液を與え、1月23日から基準濃度の液を與えた。處理は水耕と同じく 10 區で、その中5區は2ポット宛用いた。

各區の缺乏症状は次の通りである。

水耕法の方が砂耕法の場合よりも各症状は速かに現われる傾向があるが、全般的に生育劣り、特に根の發育が不良で、根腐れや、黄化現象などの障害を起し易かつたので缺乏症状は主として砂耕法の場合を述べて、補足的に水耕法の場合を説明することとした。尙水耕では4月3日、砂耕では4月13日に實驗を打切つたが、それは當時結球の初期にあたり砂耕では容器の大きさがそれ以上の生育を許さないと認められたからである。

完全區 正常な生育をとげ、特に2月に入つて生育は旺盛となり、4月上旬より結球を始めかけた。

N 缺區 處理開始後1ヶ月(12月下旬)頃から葉はやや黄綠色を呈し、下葉は橙黄色を帶び、葉脈は赤紫色となり、2ヶ月頃より生育可なり鈍り、下葉は橙黄色、葉脈、葉柄は赤紫色を帶び、下葉があがり、以後殆んど生育を停止した。

P 缺區 處理開始20日後頃(12月20日)から葉がやや濃綠色を帶び、1月上旬にはこれが顯著になると共に中下葉に花青素を生じて紫綠色となり、葉脈及び葉柄も又赤紫色をおび、蠟質が多い感となり、生育は次第に鈍つて來た。その後葉數の僅かな増加はあるが葉の大きさ増大せず、生育も著しく劣つてきた。(以上第4圖)

K 缺區 處理開始後2ヶ月頃迄は完全區と殆んど差がないが、2ヶ月半頃(2月上中旬)から生育が衰えてくるのが認められ、3月上旬に至り下葉では葉縁が下方へ曲り、葉脈間の部分が先ず色があせて枯死して灰褐色となり、その後この症状は葉の中心に向つて進むと共に、

第4圖 タマナの完全區(左)、N缺區(中)及びP缺區(右)の2月28日に於ける生育狀態

上の方の葉にも順次及んで下葉は急速に枯上つてゆく結果となり、生育は著しく衰えた。採收時、根を検するとその發育は劣り、全體が褐色を呈していた。

Ca 缺區 處理開始後 2ヶ月頃迄は異常はなかつたが 2月上中旬より生育やゝ劣り、3月上旬に至り下葉が色あせて萎凋枯死し始め、全體として生育が可なり劣つた。

Mg 缺區 生育旺盛で完全區に劣らず、3月中旬迄何等異常がなかつたが、3月下旬から4月上旬にかけて中下葉の葉脈の間の部分がぼんやりと緑色を失つて黄色を

葉脈の下面に暗紫色をおび、下葉は色あせて黄化し生育の可なり衰えるのが認められた。

Fe 缺區 處理開始後 60日頃より若い葉から葉脈にそつて緑色を残して葉脈間の部分が黄化した。これはその後やゝ回復し更に軽度の症状が續いた。水耕の Fe 缺區の症状は顯著で最初を上記と同様な症状で始まつたが、次で葉全體が次第に黄化して遂に黄白色となり、新葉は總て黄白色となり、古い緑色の葉は逐次脱落するから終に株全體が黄白色と變つてしまつた（第6圖）。

B 缺區 微量要素缺區はいずれも正常に生育し、特殊な症状を認めることができなかった。

採收時に於ける砂耕シリートの各區の生育状態は第4表の通りである。

分析結果 砂耕法による各區の採收時の葉を乾燥粉碎し、その無機成分を分析した結果は第6表に示す通りであ

第5圖 タマナの養分缺乏症状（4月2日）

上段左 完全區 中 K缺區 右 Ca缺區
下段左 Mg缺區 中 S缺區 右 Fe缺區

説明は本文参照、各區の大きさはポットの大きさと比較對照のこと

第6圖 水耕による Fe 缺區全體黄白色となる（2月28日）

第4表 タマナの採取時の生育状態 帶び、次第に症状

	地上部	根	合計	が明瞭となつてゆき、葉は早期落葉の傾向が認められた。全體の生育は採收時には未だ完全區と殆んど差がなかつた。
1 完全區	300.0	63.8	363.8	
2 N 缺區	7.6	2.7	10.3	
3 P 缺區	30.5	6.9	37.4	
4 K 缺區	58.1	17.2	75.3	
5 Ca 缺區	74.5	19.4	93.9	
6 Mg 缺區	250.0	44.4	294.4	
7 S 缺區	65.1	12.9	78.0	
8 Fe 缺區	215.0	37.0	252.0	
9 B 缺區	235.0	46.3	281.3	
10 微量要素缺	340.0	52.4	392.4	
11 完全區	340.0	73.0	413.0	
12 P 缺區	23.7	5.2	28.9	
13 K 缺區	98.2	25.3	123.5	
14 Ca 缺區	70.6	9.4	80.0	
15 Mg 缺區	370.0	62.6	432.6	

る。分析方法については他の機會にゆずり、結果のみを簡単に説明する。

培養液中に缺けている要素の含量は各區共減少しているのは當然のことであるが、完全區に比べてその割合は N 及び P では左程減少しておらず、K、Ca 及び Mg ではそれ等を缺いた區の含量は甚だ少なくなつてゐる。

要素相互間の拮抗作用 (antagonism) としては N 缺區の P の増加と K の減少、P 缺區の N の増加と K のやゝ減少すること、K 缺區の N、P 及び Mg 増加、Mg 缺區の K の増加、S 缺區の N 及び P の増加が認められ、N、P、K 缺各區の結果は前報⁽¹⁸⁾とほぼ同一傾向を示している。尙 S 含量が全體的に他作物に比べて比較的多いのはタマナの特徴であろう。

第5表 タマナの採取時に於ける葉中の無機成分含量(乾物重%)

區名	灰分	N	P	S	K	Ca	Mg
	%	%	%	%	%	%	%
1 完全區	12.05	2.10	0.323	1.21	2.59	1.45	0.420
2 N 缺區	7.91	1.58	0.470	—	1.99	—	—
3 P 缺區	7.63	2.87	0.102	—	1.69	1.02	—
4 S 缺區	8.87	4.36	0.439	0.38	2.37	0.98	0.332
5 K 缺區	11.14	3.76	0.487	—	—	1.54	0.583
6 Ca 缺區	12.69	2.47	0.562	—	3.48	0.51	0.727
7 Mg 缺區	13.44	2.54	0.317	1.13	4.07	1.26	—
8 Fe 缺區	18.49	3.42	0.392	2.22	3.07	3.00	0.776
9 B 缺區	13.86	3.08	0.385	1.51	3.13	1.87	0.530
10 微量要素缺區	12.19	2.74	0.328	1.14	2.83	1.60	0.447
11 完全區	10.25	1.88	0.261	1.03	1.90	1.62	0.356
12 P 缺區	6.68	2.48	0.112	—	1.50	0.94	0.250
13 K 缺區	11.64	3.78	0.568	—	0.36	2.24	0.666
14 Ca 缺區	7.48	2.24	0.354	0.95	2.28	0.33	0.287
15 Mg 缺區	13.25	2.36	0.302	1.16	3.74	1.39	0.046

V. タマネギ

砂耕法により蒸溜水と水道水の2シリーズ各10區22ポット、完全區のみ2ポット宛を用い、各種要素の缺乏

第7圖 5月2日タマネギ各區の生育状態 左より完全、N缺、P缺、K缺、Ca缺、Mg缺、S缺、Fe缺、B缺、微量要素缺の諸區

症について實驗を行なつた。9月5日播の貝塚早生の小苗(3本で約8g)(園藝試験場育成)を11月18日に1ポット當3本宛植付け、11月28日より處理を開始した。石英砂は保水力に乏しくタマネギは乾燥に弱いことを考慮して生育の初期は器底に培養液が3~4cm たまる程度として乾燥を防いだ。培養液は當初 1/2 濃度のものを使用し、1月23日からは基準濃度のものを用い、液の更新も多中は2週間に1回程度であつたが、3月になり生育が促進されるようになって毎週1回とし、灌水の回数及び灌水水量も次第に増加した。球の肥大の可なり進んだ5月6日に培養液を打切り、以後蒸溜水或は水道水のみを與え、6月1日に收穫して數日乾燥後球の調査を行なつた。

缺乏症状は次の通りである。

完全區 植付後2月迄は生育極めて緩慢であるが、3月に入り急速に生長し、4月に入り球の肥大が始まり、5月上旬球徑可なり肥大し莖は倒伏した。その後もなお球は肥大をつづけ收穫時には1ポット3個の球は互に相接して接觸部が平らになるに至つた。

N缺區 處理開始後1ヶ月頃(12月末)より完全區に比べて葉はやゝ黄緑色となり、その後伸長衰え、以後地上部は殆んど發育を停止した。球は肥大したが地上部は最後迄倒伏しなかつた。

P缺區 處理開始後2ヶ月(1月下旬頃)より葉はやゝ濃緑色を帯びて生育鈍り、3月中旬頃には殆んど停止状態となつた。球の肥大は悪く、莖は倒伏しなかつた。

K缺區 3月半頃より生育やゝ衰え、4月上旬には可なり生育不良が明瞭となると共に下葉の先端の葉脈の間の部分が縦に緑色を失つて灰緑色となり、やがて葉先から萎凋枯死し、4月中下旬にはこの傾向は更に甚しく古い方の葉から葉先が枯込んでより新しい葉に迄及び、球の肥大は悪く、莖は一部が倒伏したのみである。(第8圖)

Ca缺區 生育良好で異常なく完全區に比べて左程劣らない。

Mg缺區 5月になりやゝ生育が劣り、葉は軟弱な感となつたが他に異状なく、莖は正常に倒伏した。

S缺區 3月頃から生育衰え、特に外觀上異状はないが全般的に小型で球も小さかつた。

Fe缺區 生育良好で異常なく、完全區に比べて左程劣らなかつた。

B缺區 4月上旬頃より生育劣り、特別の症状は認められないが、全般的に小型で球も小さかつた。微量要素(Fe、B以外)の缺區生育正常であつた。(以上第7圖)

地上部の發育がほぼ最高に達し球の肥大も盛んな5月2日の各區の状態は第7圖に見られる通りである。

4月12日の地上部の生育調査、收穫後の球の重さ及び可溶性固形物(ハンドレフクトメーターの読み)を示せば第7表の通りである。同表によれば4月12日の地上部はN缺區P缺區最も劣り、K缺、S缺これ等に次ぎ、B缺、Mg缺は可なり大きく、Ca缺Fe缺及び微量要素缺區是完全區と差が殆んどなかつた。收

第8圖 タマネギのK缺乏症(右) 左は完全區(4月2日)

穫時の球重も又大體同様の傾向を示し、可溶性固形物含量はP缺區及びK缺區が少ないことが注目される。

第6表 タマネギの生育時の地上部及び收穫時の球の調査

區 名	4月12日の地上部			收穫時	
	葉數	最大葉長	莖徑	球重	可溶性固形物
	枚	cm	mm	g	%
完 N	6.9	61.2	13.4	189.7	9.9
全 缺 區	3.0	13.7	6.4	7.1	9.1
P	2.7	15.8	5.7	6.0	8.1
K 缺 區	3.7	35.3	8.0	21.7	8.1
Ca	6.7	48.0	13.0	130.0	9.3
Mg 缺 區	5.0	54.0	11.6	64.8	9.7
S	3.7	34.3	9.6	36.4	9.2
Fe 缺 區	7.0	61.5	13.0	163.5	9.2
B	5.7	47.0	11.0	67.1	8.7
微量要素缺區	6.3	57.2	12.6	125.9	9.3

以上は蒸溜水シリーズを主として述べたのであるが、水道水シリーズも大體同様であつて、たゞ S, Mg 缺區の生育は蒸溜水の場合に比べて可なり良好であり、又 Ca, Fe 缺區は反つて悪かつたが、その原因はよく分らない。

VI. 考 察

本實驗で觀察された各要素の缺乏症状を從來の報告と比較對照することは興味があるけれどもここでは省略する。前報⁽¹⁸⁾ 並に本實驗の各要素の缺乏症状で各種の蔬菜に共通した點を取まめると大凡次の様に要約できると考える。

- A 不足を來した場合に直ちに生育が衰え、全體が矮化する。
- a 葉は黄綠色を呈し、小型となり、又屢々花青素を生ずる……………N
- b 葉は濃綠色となり、莖は細く、屢々花青素を生ずる……………P
- c N, P 程影響顯著でなく、症状もやゝ明瞭をかく、屢々花青素の發現がある……………S
- B 下葉の周邊から變色枯死し、次第に内側に向い、又上葉に及び、下葉は枯上る。症状はやゝ生育が進んだ後現われ急性に進行する……………K
- C 葉綠素が失はれ、葉に黄色の部分を生ずる。初期の中は生育に殆んど影響がない。
- a 中下葉から現われ、太い葉脈間に境界不明瞭な黄色の部分を生じ、甚しければその部分が枯死する……………Mg
- b 莖の先端の若い葉から現われ、葉脈に沿つて綠色の部分を残し、葉脈間の部分が黄色となり、甚しければ葉全體が黄白色となる……………Fe

D 莖の先端が枯死し、伸長を停止する。輕度の時は外觀上特異な症状がなく、生育が悪くなる……Ca, B

タマネギの分析結果から明かなように、N, P (及び S) は完全區に比べて缺除區のその成分の減少率は K, Mg の減少率に比べてあまり大きくない。このことはNやPは體構成上或割合で含まれることが必要で、供給が不足した場合は間もなく生育を停止するのであつて、これに反し、K や Mg は體構成上左程必要でなく、供給が不足しても可なり生育をつづけ、或限界以下になるとその要素の不足のために重要な機能を停止するのではないかと思われる。又 N, P, K, Mg, (S) 等の缺乏症状は古い葉に先ず顯著に現われるのに對し、Fe, Ca, B 等は新生部に顯著に症状を呈するが、前者は古い部分から新生部へ移行可能であるのに對し、後者は移行が比較的困難で従つて供給の不足した場合には先ず最も不足を生じ易い新生部から特異な症状を呈するのではないかと考えられる。

本實驗に用いた水道水はCa及びClを可なり含んでおり、Ca 缺乏の症状は蒸溜水を用いた場合に比べて現われ難く、又 Mg, B 等の缺乏の現われるのも遅延する傾向が認められた。砂耕では又 Fe 及び Ca の缺乏症状が明瞭を缺くことが多く、これも石英砂中の不純物の影響と思われる。川砂ではN以外の缺乏症状は著しく不明瞭であつた。これ等の點については特定の要素の供給量を制御して實驗する際に考慮すべきことと思われる。又 Mn, Zn, Cu, Mo 等の微量要素の缺乏症状の現われなかつたのは水及び藥品等の中の不純物によるものと考えられ、これ等の缺乏症状を確實に起すためには水は再蒸溜水を用い、藥品も純化を行なう⁽¹⁷⁾ など細心の注意が必要であらう。N, P, K, Mg 等の供給量を制御することは比較的容易で本實驗程度の水耕或は砂耕法によつて充分その目的が達せられるようである。

水耕と砂耕の比較はタマネギについてのみ直接比較を行なつたが、水耕法によると根の發育が悪く、往々根腐れや鐵不足の障害を起し易く、生育も一般に不良であつたから、少くとも水耕で通氣を行わない限りは砂耕法の方が正常な發育を行わせる上に勝つてゐるものと思われる。

VII. 摘 要

1. トマト、ハッカダイコン、タマネギ及びタマネギについて水耕及び砂耕法によつて養分缺乏症の研究を行なつた。各要素の缺乏症の特徴を挙げると次の如くである。

N缺區 葉は黄綠色を呈し小型となり、生長著しく不良となり、全體が矮化する。トマト、ハッカダイコン、タマネギなどでは花青素が發現するか或は花青素が多くなる。根は白色で正常である。

P 缺區 葉は濃綠色を呈し、小型となり、生長不良となり全體が矮化し莖は細く細長の感を與える。トマト、ハッカダイコン、タマナなどでは花青素が發現するか或は多くなる。トマトでは上葉の莖柄と莖との間の角度が小で、葉先と小葉は下方に反捲する。根の發育は悪く、水耕では赤褐色をおびる。

K 缺區 初期の生育は左程劣らないが、或程度大きくなつた後生育が落ち始め下葉の周邊或は先端が變色枯死し、この症狀は内部に進むと共に上の方の葉にも及んで急速に下葉が枯上る。ただトマトではこの症狀が明瞭でなかつた。

Ca 缺區 トマトでは莖の先端が枯死し、葉は内側に卷込んだ。他の種類では特異な症狀を認めないが生育不良であつた。

Mg 缺區 初期の生育は完全區に劣らないが、或時期に達すると中下葉の葉脈間の部分がぼんやりと黃色となり、これが次第に擴大していつた。トマトでは中下葉は下垂の位置をとり、タマナでは早期落葉の傾向があり、タマネギでは症狀不明瞭で單に葉が軟弱な感となつた。

S 缺區 全體の生育が鈍り、トマト、タマナでは花青素が葉柄、葉脈等に現われたが、他に明瞭な症狀はなかつた。

Fe 缺區 先端の葉が先ず葉脈に沿つて綠色を殘し、葉脈間の部分が黃色となり、更に進むと葉全體が黃白色となつた。古い葉には異狀はないが新葉は總て異常を呈する。

B 缺區 トマトでは莖の先端が枯死した。タマネギでは單に生育不良が起つた。

Mn, Zn, Cu, Mo の微量要素の缺乏症狀は本實驗では認められなかつた。

2. タマナの葉の無機成分の分析結果を示し、それについて二三の考察を加えた。

3. 水道水は **Ca** その他の鹽類を含み、**Ca** の缺乏症は現れ難く、又 **Mg, B** 等の缺乏症の發現もやゝおくれた。石英砂(海砂)は **Fe, Ca** の缺乏症を現し難かつた。川砂は **N** 以外の缺乏症を示さなかつた。これ等はいずれも不純物としてこれ等の要素を若干含むためと考えられる。**B** 以外の微量要素についても同様である。

4. タマナでは無通氣の水耕法に比べて砂耕法の方が正常な生育をとげた。

VIII. 參考文獻

- (1) American Society of Agronomy and National Fertilizer Association: Hunger Signs in Crops. Judd and Detweiler, Wash. D. C. 1941.
- (2) CAROLUS, R. L.: Effects of magnesium deficiency in the soil on yield, appearance and

composition of vegetable crops. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 32 (1934): 610-614, 1935.

- (3) ECKERSON, S. H.: Influence of phosphorus deficiency on metabolism of the tomato (*Lycopersicum esculentum* MILL.) Contrib. Boyce Thompson Inst. 3: 197-217, 1931.
- (4) ECKSTEIN, O., BRUNO, A. und TURRENTINE, J. W.: Kenzeichen des Kalimangels. Berlin, 1937.
- (5) FISHER, P. L.: Responses of the tomato in solution cultures with deficiencies and excesses of certain essential elements. Maryland Agr. Exp. Sta. Bul. 375, 1935.
- (6) HOAGLAND, D. R.: Inorganic Nutrition of Plants. 1944.
- (7) HOAGLAND, D. R. and ARNON, D. I.: The water culture method for growing plants without soil. Calif. Agr. Exp. Sta. Circ. 347, 1935.
- (8) JANSSEN, G., BARTHOLOMEW, R. R., and WATTS, V. M.: Some effects of nitrogen, phosphorus, and potassium on the composition and growth of tomato plants. Arkansas Agr. Exp. Sta. Bul. 310, 1934.
- (9) JOHNSTON, E. S. and FISHER, P. L.: The essential nature of boron to the growth and fruiting of the tomato. Plant Physiol. 5: 387-392, 1930.
- (10) JOLIVETTE, G. P. and WALKEN, J. C.: Effects of boron deficiency on the histology of garden beet and cabbage. Jour. Agr. Res. 66: 167-182, 1943.
- (11) MACGILLIVRAY, J. H.: Effect of phosphorus on the composition of the tomato plant. Jour. Agr. Res. 34: 97-127, 1927.
- (12) 春日井新一郎: 水耕法に關する研究, 日土肥雜 13: 669-822, 1939.
- (13) LUNDEGARDH, H.: Die Nährstoffaufnahme der Pflanze. 1932.
- (14) NIGHTINGALE, J. T., SCHERMERHORN, L. G. and ROBBINS, W. R.: Effects of sulphur deficiency on metabolism in tomato. Plant Physiol. 7: 565-595, 1933.
- (15) ———, ADDOMS, R. M., ROBBINS, W. R. and SCHERMERHORN, L. G.: Effects of calcium deficiency on nitrate absorption and on metabolism in tomato. Plant Physiol. 6: 605-630, 1931.
- (16) ———, SCHERMERHORN, L. G. and ROBBINS, W. R.: Some effects of potassium deficiency on the histological structure and nitrogenous and carbohydrate constituents of plants. New Jersey Agr. Exp. Sta. Bul. 499, 1930.
- (17) STOUT, P. R. and ARNON, D. I.: Experimental methods for the study of the role of copper,

- manganese, and zinc in the nutrition of higher plants. *Amer. Jour. Bot.* 26 : 144-149, 1939.
- (18) 杉山直儀：砂耕法 農學 39: 12-17, 1950,
- (19) ———, 岩田正利：數種蔬菜の養分缺乏症状 園學雜 19 (2): 113-124, 1950.
- (20) 田中彰一：農作物の苦土缺乏症に關する研究 農及園 19: 812-814, 1944.
- (21) TIEDJENS, V. A. and SCHERMERHORN, L. G.: Available calcium a factor in salt balance for vegetable crops. *Soil Sci.* 42: 419-433, 1936.
- (22) ——— and ——— Notes on nutrient deficiencies of some vegetable crops. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 35 (1937): 704-708, 1938.
- (23) ——— and WALL, M. E.: The importance of Potassium in the growth of vegetable plants. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 36 (1938): 740-743, 1939.
- (24) WALL, M. E.: The role of potassium in plants. I. Effect of varying amounts of potassium on nitrogenous, carbohydrates, and mineral metabolism in the tomato plants. *Soil Sci.* 47: 143-162, 1939.
- (25) ——— : ——— II. Effect of varying amounts of potassium in the tomato plants. *Soil Sci.* 49: 315-331, 1940.
- (26) WOODMAN, R. M.: The effects of a deficiency of certain essential elements on the development and yield of carrots, onions, and radishes grown in sand cultures under glass. *Jour. Pomol. Hort. Sci.* 17: 297-307, 1939.

Hunger Signs in Vegetable Crops. II

T. SUGIYAMA, M. IWATA and T. SHICHIJO

Summary

Experiments were carried out in order to clarify deficiency symptoms of nutrient elements on tomatoes, radishes, cabbages and onions in solution and sand cultures. The results are as follows :

Nitrogen deficiency : Plants were dwarfed, and had small, yellowish green leaves. In radishes and cabbages, red color was intensified due to development of anthocyan pigments. Roots were white and healthy.

Phosphorus deficiency : Plants were dwarfed and rather thin. Leaves were small and dark green ; anthocyan pigments had developed in cabbages and radishes. In tomatoes, petioles of young leaves attached to stem with narrow angles, and leaflets curved to under side. Roots were poor in growth, and reddish brown.

Potassium deficiency Early growth was not so affected, but in later stage, especially after the symptoms had appeared, growth was drastically checked. In cabbages and radishes, margin of older leaves had turned to grayish brown and dried out. Younger leaves were progressively affected and lower leaves had dropped off. In onion, interveinal area of outer leaves turned to brown color, longitudinally, and later, leaf tips withered and dried up. In tomatoes, potassium deficient plants were small, but did not reveal any specific symptoms.

Calcium deficiency : In tomatoes, stem tips were dead; elongation of stem had consequently ceased; lower leaves curled upwards. In other crops plants had been dwarfed, but no specific symptoms were observed.

Magnesium deficiency : Early growth of magnesium deficiency plants were excellent as well as that of normal plants. In the later stage, yellow patches had developed between large veins of lower leaves. In tomatoes, petiole of lower leaves attached to stem with very wide angles. In cabbages, older leaves abscised prematurely. In onions, no specific

symptoms had developed, but plants felted rather soft. After deficiency symptoms had developed, plant growth was severely retarded.

Sulphur deficiency : Lower leaves turned to slightly lighter color. Red pigments had developed in veins of tomatoes. In onions, plants were dwarfed without any specific symptoms.

Iron deficiency : Interveneal portions of young leaves turned to yellow, while narrow portions along veins remained green. Later, young leaves turned to pale yellow; at first leaf size was not so affected, but later, growth had been severely checked.

Boron deficiency : Stem tips of tomatoes had died. In onions, growth was poor, but did not developed any specific symptoms.

Deficiency symptoms of manganese, zinc, copper and molybdenum were not developed in this experiment which may be due to the impurities contained in sand, chemicals or water used. It seems that some specific treatments on them shall be necessary for the study of such minor elements.

Cabbage plants of different treatments were analyzed for their inorganic constituents. Nitrogen, phosphorus, and sulphur contents of nitrogen, phosphorus and sulphur deficient plants respectively were low, while potassium, magnesium and calcium contents of potassium, magnesium, and calcium deficient plants respectively were significantly low. The latter three elements may be not so much essential for plant growth as the former three elements. After the contents of the former dropped to or below the critical levels, physiological functions may be distinctly affected.

Calcium, boron, and iron deficiency symptoms had developed at the younger portion, while the ones of the other elements at the older portions. It seems that these elements may not be easily mobilized from older parts to younger parts as other elements.