被覆下栽培における肥培の研究 (第3報)

そ菜の塩類高濃度障害について

(3) 培養液の塩類濃度が果菜類の微量元素栄養におよぼす影響

橘 昌 司・位田藤久太郎

(三重大学農学部)

Studies on the Fertilization and Cultivation of Horticultural
Crops under Covering Conditions

III. On the High-salt Injury of Vegetable Crops

(Part 3) Effect of the Concentration of Nutrient Solutions
on the Trace Element Nutrition of Tomato and Cucumber

Shoji TACHIBANA and Tokutaro INDEN

Faculty of Agriculture, Mie University, Tsu, Mie

Summary

The authors have previously reported the influence of external solution concentrations on the growth, mineral nutrition and water relations of fruit vegetables. This report describes the micronutrient nutrition of vegetable crops as affected by the concentration of nutrient solutions.

1. Seedlings of tomato and cucumber were grown fifteen days in solutions of different concentrations raised by multiplying a Hoagland and Snyder solution. The concentration of micronutrient elements was held constant. The pH of solutions was adjusted initially to 6.0.

2. Higher salt concentration caused growth depression of tomato and cucumber, in that the growth of the latter was repressed to a lesser extent at relatively lower ranges of the multiples.

3. Absorption of Mn was markedly suppressed by increasing solution concentrations. This trend was a little more pronounced in cucumber.

4. Contents of B in the leaves also decreased at higher solution concentrations. This decrease was more remarkable in the tomato leaves.

5. Higher external concentrations brought about an increase in Fe contents of leaves, and exerted only a slight influence upon Zn contents. Cu contents were affected differentially according to crops, that of cucumber leaves being decreased, while that of tomato leaves showed no consistent trend.

6. Sulphur contents of leaves increased in accordance with solution concentrations, especially in the lower leaves of tomato.

7. pH of nutrient solutions had a tendency to rise following culture, and the lower the concentration was, the greater was the degree of rise.

緒 言

施設作物の塩類高濃度障害については、塩類集積の実態、集積塩類の除去、緩効性肥料の開発を含む施肥法の改善などに関して精力的な研究が続けられ、障害の軽減、回避が図られてきた(7, 11, 21)。一方、塩類高濃度

障害の機作についても種々の角度から検討が進められてきた。このことについては、従来、培地の浸透ポテンシャルの低下による吸水の減退にもとづく浸透圧作用と、培地に多量に存在するイオンの過剰吸収、あるいは養分吸収の乱れといった特定イオン作用とに分けて論ぜられてきた(1, 18, 19, 24)。こうした分類は Bernstein (1) も

1975年8月4日 受理

指摘するように便宜上のものであつて、実際には両作用が組み合わさつて働いており、塩および作物の種類、その他の条件によりいずれが主な要因であるかが決定されるものと考えられる。作物の塩類濃度障害は塩の種類や作物の種類によつて影響されるのみならず、気温、湿度などの気象要因や土壌の肥沃度などによつても影響を受けることが認められている(13, 17)。また培地の塩類高濃度は土壌微生物の活動にも影響をおよぼすことが知られており(8)、濃度障害の機作は単純ではない。

筆者らは、培養液の塩類濃度を高め、あるいは土壌中に集積しやすい単一塩やポリエチレングリコールを培養液に添加した場合の果菜の生育、水分生理、無機栄養について研究を進めているが(9, 10)、本報は果菜の微量要素栄養におよぼす培養液の塩類高濃度の影響をトマト、キュウリについて調べた結果をまとめたものである。

材料および方法

Hoagland 液の 1/2 倍濃度の培養液で水耕育苗した本葉 6 葉令のトマト (品種、米寿) と 2 葉令のキュウリ (品種、久留米落合 H 型) の苗を 1973 年 9 月 22 日に処理液のはいつた 5000 分の 1 フールのポットに植えつけ、15 日間水耕法で栽培を行なつた。処理液は標準培養液を 1, 2, 3, 4, 5 倍に濃度を高めた液で、微量要素は各処理液とも同一濃度に保つた。標準培養液は、Ca (NO_3)₂; 4 mM, KNO₃; 6 mM, KH₂PO₄; 1 mM, Mg-SO₄; 2 mM, Fe; 3 ppm, Mn; 0.5 ppm, B; 0.5 ppm, Zn; 0.05 ppm, Cu; 0.02 ppm, Mo; 0.05 ppm の組成のものを用いた。各処理液は特級試薬と脱塩水を用いて作製した。微量要素を含まない標準培養液について微量要素の試薬などからの混入を調べたところ、Fe; 10 ppb, Mn; 痕跡, Zn; 4 ppb, Cu; 2 ppb であつて、微量要素として添加したそれぞれの濃度に比較して無視できるものと判断された。なお各処理液の pH は作製時において 6.0 に調節したが、作物培養中の pH の変動はそのままとし、培養液を 5 日ごとに更新した。実験はガラス室で、1 区 4 連で行なつた。

植物体は葉身、葉柄、茎、根に分け、さらに葉身については葉位により、トマトは下位葉 (基部から 5~6 葉)、中位葉 (2 葉)、上位葉 (4~5 葉) に、キュウリは下位葉 (基部から 3~4 葉)、上位葉 (4~5 葉) にそれぞれ分けて収穫し、熱風乾燥後、葉身と根は乳ばちで、その他はウィーラー粉砕器で細粉にして分析試料とした。

分析は、Fe, Mn, Zn については試料粉末を北岸ら(12)の方法に準じて硝酸-過塩素酸系で湿式分解し、分解液について直接原子吸光分析計により定量した。Cu は分解液の一定量を APDC-MIBK により溶媒抽出し(23)、

抽出液について原子吸光分析を行なつた。分解液を直接噴霧させる場合、共存イオンによる干渉が問題になるが、K, Ca, Mg による干渉は実際上問題にならないことを確かめた。B の定量はクルクミン比色法(29)によつた。本法において HCl 抽出の場合には NO₃ の共存が問題になるので、処理区の異なる任意試料数点につき、その 10, 20, 50, 100 mg をとつて分析を行なつたところ、いずれの試料においても 50 mg までは試料量と吸光度の間に直線関係が得られたので、50 mg の試料を分析に供した。S は高周波発生炉法(16)により定量した。

実験結果

1. 生育におよぼす影響

培養液の塩類高濃度がトマト、キュウリの生育におよぼす影響は第 1 表に示したとおりである。トマトは 2 倍液ですでに生育の抑制がみられ、5 倍液では標準区 (1 倍液) の 60% の生育であつた。これを器官別にみると、地上部は葉身、葉柄、茎の各部位がほとんど同程度に影響をうけたが、葉柄重の低下がやや目立つた。根重は培養液濃度の影響をほとんどうけなかつた。キュウリは 2 倍液では生育の減退はみられず、むしろ地上部の生育は標準区を上回つた。4 倍液以上の濃度になると生育は明らかに劣り、5 倍液では標準区の 64% であつた。キュウリの場合は培養液濃度の高まりにより根の生育が顕著に阻害された。

外観的に特別な徴候は見われなかつたが、1 倍液で栽培したトマトにおいて、処理開始後 8 日目ごろに先端葉が全体にクロロシスを呈した。これは培養液の交換によりすみやかに消失した。このようなクロロシスは 2 倍液以上の濃度では発現しなかつた。

2. 微量要素栄養におよぼす影響

(1) Fe

Table 1. Effect of the concentration of nutrient solutions on the growth of tomato and cucumber plants.

Plant	Strength of Hoagland solution	Dry weight (g/plant)				
		leaf blade	petiole	stem	root	total
Tomato	1	6.45	3.03	2.70	1.18	13.36
	2	5.30	2.06	2.62	1.13	11.11
	3	4.77	1.69	2.29	0.97	9.72
	4	4.92	1.65	2.06	0.88	9.51
	5	4.06	1.24	1.76	1.06	8.12
Cucumber	1	5.02	0.75	1.22	2.11	9.10
	2	5.09	0.83	1.31	1.37	8.60
	3	4.62	0.68	1.18	1.37	7.85
	4	3.56	0.50	0.85	1.66	6.57
	5	3.12	0.48	0.83	1.43	5.85

Fig. 1. Iron contents of tomato (A) and cucumber (B) leaves as influenced by the concentration of external solutions.

○—○: lower leaves, □—□: middle leaves, △—△: upper leaves.

Table 2. Iron contents of petioles, stems and roots in ppm as affected by the external solution concentrations.

Plant	Plant part	Strength of Hoagland Solution				
		1	2	3	4	5
Tomato	Petiole	89	80	86	81	94
	Stem	63	56	55	55	55
	Root	1527	1284	988	952	1121
Cucumber	Petiole	77	63	62	61	54
	Stem	100	91	100	95	94
	Root	938	1279	1085	842	795

植物体中の Fe 含量におよぼす培養液濃度の影響は第 1 図、第 2 表に示した。まず部位別に Fe 含量をみると、Fe 含量は根においてもつとも高いが、葉身においてもかなり高い値を示した。葉位別には両作物とも下位葉の Fe 含量が高かった。葉柄中の Fe 含量は茎とほとんど同じであり、葉身よりかなり低かった。培養液濃度の影響を葉についてみると、キュウリの上位葉を除いて塩類濃度の高まりにつれて Fe 含量が増加する傾向が認められた。しかし、トマトの中・上位葉においては、培養液濃度が 4 倍～5 倍になると Fe 含量が低下した。葉柄、茎中の Fe 含量は処理の影響をほとんどうけなかったが、根においては培養液濃度の増大につれて Fe 含量が両作物とも減少した。

(2) Mn

Mn 含量の分析結果は第 2 図、第 3 表に示した。Mn も Fe と同様に根にもつとも高濃度に含まれるが、葉の Mn 含量もかなり高かった。またキュウリの葉はトマトの数倍濃度の Mn を含有していた。トマトでは下位葉ほど Mn 含量が高い傾向があつたが、キュウリでは上位葉の方が高い値を示した。

培養液の塩類濃度の増大は植物体各部位の Mn 含量

Fig. 2. Manganese contents of tomato (A) and cucumber (B) leaves as influenced by the concentration of external solutions. Symbols as in Fig. 1. Note that the scale of ordinates is different between A and B.

Table 3. Manganese contents of petioles, stems and roots in ppm as affected by the external solution concentrations.

Plant	Plant part	Strength of Hoagland solution				
		1	2	3	4	5
Tomato	Petiole	119	55	48	57	54
	Stem	73	41	36	41	34
	Root	1390	1259	1212	879	818
Cucumber	Petiole	260	184	171	167	130
	Stem	98	73	67	50	57
	Root	1532	786	942	902	1203

を顕著に低下させた。すなわち、葉身ではトマトの下位葉の Mn 含量は 1 倍液で 153 ppm であつたが、培養液濃度の高まりとともに直線的に減少し、5 倍液では 75 ppm と約 2 分の 1 になった。中・下位葉においても Mn 含量の直線的な低下が認められた。キュウリもトマトと同じ傾向を示したが、その低下割合はトマトより著しく、1 倍液では下位葉、上位葉における Mn 含量がそれぞれ 562 ppm, 494 ppm であつたが、5 倍液ではそれぞれ 199 ppm, 252 ppm で、いずれも約 60% の減少となつた。他の部位においても Mn 含量は培養液濃度の高まりによつて減少する傾向が認められた。

(3) Zn

植物体の Zn 含量を第 3 図、第 4 表によつてみると、Zn は根に多く含まれ、地上部の各部位間には大きな濃度差がなかつた。トマトの葉身では、培養液濃度の高まりは Zn 含量の増大をもたらししたが、キュウリの葉身では上・下葉とも Zn 含量の減少となり、作物により影響のうけ方が異なつた。葉柄と茎では両作物とも培養液濃度の高まりにより Zn 含量が減少した。全体的にみて培養液濃度が Zn 含量におよぼす影響は小さかつた。

Fig. 3. Zinc contents of tomato (A) and cucumber (B) leaves as influenced by the concentration of external solutions. Symbols as in Fig. 1.

Table 4. Zinc contents of petioles, stems and roots in ppm as affected by the external solution concentrations.

Plant	Plant part	Strength of Hoagland solution				
		1	2	3	4	5
Tomato	Petiole	61	37	38	43	48
	Stem	58	43	41	46	52
	Root	463	441	361	312	283
Cucumber	Petiole	62	55	49	41	41
	Stem	71	69	68	53	55
	Root	277	272	275	286	270

(4) Cu

Cu 含量も他の微量要素と同様に根中の含量がもつとも高く、また地上部の部位間における濃度差は Zn と同じように比較的小さかった。また葉位別には上位葉ほど Cu 含有率が高かった。処理の影響のうけ方はトマトとキュウリで異なり、トマトでは地上部の Cu 含量は2倍液で極端に減少したが、培養液濃度が3倍液以上の濃度になると次第に含量が高くなった。根中の Cu 含量は培養液濃度の高いほど少なかった。キュウリでは地上部の各部位の Cu 含量は培養液濃度の高まりにより減少し、根では逆に著しく増加した(第4図、第5表)。

(5) B

Bについては葉身のみについて調べたが、その結果を第5図に示した。葉身中のB含量は葉位によるちがいが小さく、全体にはほぼ均一に分布していることが認められた。処理の影響については、両作物とも、培養液濃度の高まりによりB含量は減少したが、トマトにおいてその傾向が顕著であつた。

(6) S

Sも葉身のみについて調べた。その結果は第6図に示したが、トマトでは上位葉のS含量がやや少ないのに対し、キュウリでは、上・下位葉の差は小さかった。培養

Fig. 4. Copper contents of tomato (A) and cucumber (B) leaves as influenced by the concentration of external solutions. Symbols as in Fig. 1.

Table 5. Copper contents of petioles, stems and roots in ppm as affected by the external solution concentrations.

Plant	Plant part	Strength of Hoagland solution				
		1	2	3	4	5
Tomato	Petiole	10.8	4.5	5.5	6.7	7.0
	Stem	9.9	5.5	6.2	7.4	8.2
	Root	56.9	46.8	34.2	35.3	27.8
Cucumber	Petiole	13.4	13.4	14.0	10.8	9.0
	Stem	27.4	20.3	18.5	14.3	12.2
	Root	63.8	81.3	92.5	97.5	119.8

Fig. 5. Boron contents of tomato (A) and cucumber (B) leaves as influenced by the concentration of external solutions. Symbols as in Fig. 1.

Fig. 6. Sulphur contents of tomato (A) and cucumber (B) leaves as influenced by the concentration of external solutions. Symbols as in Fig. 1.

液濃度の高まりによつて培地のS濃度は高くなるわけであるが、葉身中のS含量もこれに伴つて増大した。この傾向はとくにトマトの下位葉において顕著であつた。

考 察

1. 生育について

培地の塩類高濃度に対する作物の反応の程度がその種類や品種によつて異なることはよく知られている(20, 24)。本実験においては処理期間が短かつたが、キュウリは高濃度培地にかなりよく耐え、2倍液では地上部の生育は1倍液よりも良好であり、一方トマトは比較的low濃度で生育の減退がみられ、2~3 倍液の培養液濃度ではトマトの方がキュウリよりも高濃度培地に対する耐性が小さかつた。この結果は前報の結果(10)と一致しないが、前報では砂耕法とれき耕法で実験を行なつており、しかも処理期間が40~45日にわたつていたので、こうした実験法のちがいがこのことに関係しているものと思われる。本実験においてキュウリの根は培地の塩類高濃度により著しい生育阻害をうけており、栽培期間が長くなれば処理の影響はより大きくなるとと思われる。

2. 微量要素栄養について

従来、わが国におけるそ菜類の微量要素栄養に関する研究は、B欠乏やMn過剰などの一部の例を除いて実際に大きな問題が起らなかったことや、分析上の問題のため、いわゆる多量要素栄養にくらべてかなり立ちおくれしていることは否定できない。塩類高濃度培地に生育するそ菜類の無機栄養に関しても、多量要素についての知見は多いが、培養液濃度が作物の微量要素栄養におよぼす影響について調べた成績は少ない。

培養液の塩類濃度が植物体の微量要素含量におよぼす影響には、(1) 培養液中の多量要素イオンとの拮抗、(2) 吸水の減退によるpassiveな吸収の抑制、(3) 根の代謝阻害によるactiveな吸収の阻害、(4) 多量要素間における陽イオンと陰イオンの吸収比の乱れに対する補償、あるいは(5) 植物体の生長と微量要素の吸収の相対的速度、などの種々の要因の関与が考えられる。また土壌溶液の場合には土壌反応や土壌微生物の活動などが影響をうけ、それによつて二次的に作物の微量要素栄養が影響される場面も考慮する必要がある。いずれにしてもこれらの諸要因の作用力の相対的な大きさにより、全体としての植物体の影響のうけ方が決まるものと思われる。

本実験において両作物を通じて培養液濃度の影響を顕著にうけた微量要素はMnとBであつた。その他の成分は比較的影響が小さいか、作物によつて影響のうけ方が異なつた。Sは培地中の濃度が培養液濃度とともに高く

なつていたので他の成分とは条件を異にするが、Sについての測定例がなかつたので調べた。培養液濃度の高まりによる植物体組織のS含量の増加はこのようなことから当然予想されたことであるが、このS含量の増加と生育抑制の関係は今後の課題である。

作物の根や葉面からのMnの吸収は、作物の種類により程度の差はあるが、低温や代謝阻害剤の影響をうけるエネルギー依存の積極的過程であるとされている(5)。一方、Mnと他のイオンとの吸収面における相互作用についてもよく研究されている。例えばVlamisら(28)はオオムギをHoagland液の1/5倍濃度の希薄な培養液で栽培するとMnの過剰害が現われるが、培養液濃度を1倍に高めるとその害は現われなくなることを観察した。そして葉中のMn含量は培養液の塩類濃度が高い方が明らかに少なかつた。彼らはこの原因を調べ、Ca, Mg, NH_4 がMnの吸収を拮抗的に阻害することを認めた。またMaasら(15)はMgがMnの吸収を著しく抑制することを認めている。微量要素間の相互作用についてはDokiyaら(6)の研究がある。本実験におけるMn含量の低下は培地に高濃度に存在するCaやMgとの拮抗作用の結果であることは十分考えられる。しかしながら塩類濃度が高いと根の活性が低下することが知られ(22)、また根の還元活性とMn吸収の間に正の相関があること(4)から、根の活力低下によるMn吸収の減退の可能性についても考慮をほらう必要があろう。

Bの吸収のメカニズムについてはよく分つていない。Binghamら(2)はオオムギ根について調べた結果にもとづき、Bの吸収は物理的であつて代謝エネルギーに依存していなと結論したが、Bowen(3)はサトウキビの葉によるBの吸収はmultiple patternをもつ積極的な過程であることを見出している。他のイオンとの相互作用に関しては、Binghamら(2)によるとオオムギ分蘗根によるBの吸収に対してCaやKは40 meq/lの濃度まで影響をおよぼさない。しかしTanaka(26)はCaとKの高濃度はBの地上部への蓄積を抑制し、Pの高濃度はそれを増大することを認め、Caの多量の吸収が基部におけるBの不溶化をもたらし、その結果葉身部のB含量の減少がおこるものと考えた。本実験においては、地上部の各部位のCa含量は培養液濃度の高まりにより低下したことから、CaによるBの不溶化の可能性はおそらく小さいものと考えられる。従つて培養液濃度の高まりによる葉身中のB含量の低下は葉中に高濃度に蓄積したKの影響や吸水の減退によつてもたらされたのではないかと思われる。

一方、これらの成分の吸収が培地のpHの影響をうけ

Fig. 7. Shift of pH values of nutrient solutions of different concentrations in the tomato (A) and cucumber (B) cultures.

Bars denote the degree of pH shift up (black bars) and down (white bars) at the 1st, 2nd and 3rd sampling date from left to right in each plot. Samples were taken at the time of solution renewal.

Fig. 8. Effect of solution concentrations on the concentration of nitrate, phosphate and potassium in the external solutions at solution renewal. Top: 1st sampling, middle: 2nd sampling, bottom: 3rd sampling. Solid lines: media in which tomato was grown, broken lines: media in which cucumber was grown.

ることはよく知られている。Mnについては、Maasら(14)によると pH 3~7 の範囲では、pH 6 まで pH が高いほど吸収量が多く、pH 7 では Mn の沈殿が起るため吸収量が減じる。また B については、Bingham ら(2)は pH が 7 以上では B の吸収が著しく阻害されると述べており、田中(27)は根表面への B の吸着は pH に影響されて、微アルカリ条件下でのみ起こり、このため高 pH 条件下では吸収された B が根にとどまらず、地上部に移行する量が減少することを認めている。同様な現象は Fe でも認められており、pH が高いとしばしばクロロシが発生するのは、一つには吸収された Fe の地上部への移行が阻害されるためであるとされた(25)。

本実験においては培養液の pH は作製時に 6.0 に調節したが、作物生育中の 5 日間の変動は矯正しなかつた。

培養液の pH と残存イオン濃度を培養液更新時に調べたが、その結果は第 7 図および第 8 図のとおりであつた。培養液の pH は 1 倍液では 5 日間に著しく上昇し、最後の 5 日間にはトマトでは 8 近くにまで上昇したが、培養液濃度の高まりにつれて上昇の程度が減じ、5 倍液では当初の pH より低くなつた。またこの上昇の程度はトマトの方が明らかに大きかつた。培養液中に残存しているイオン濃度と対比してみると、pH の高まりは培養液中の P 濃度の減少と関係があるようにみえる。しかしながら、pH が高くなると P の沈殿が起るので、この間の因果関係についてはさらに検討する必要がある。このような培養液の pH のちがいが培養液濃度と微量要素栄養との関係にどのようにかわつているかは明らかではないが、成分によっては考慮をばらう必要がある。

以上のように、培地の塩類濃度の高まりは Mn や B などの微量要素の吸収・蓄積に影響をおよぼすことが認められたが、こうした Mn や B の含量の低下が塩類高濃度による生育の減退とどのような関係にあるかは今後の課題である。しかしながら、これらの成分が欠乏しやすいところでは、土壤溶液濃度の高まりによりこれらの成分の欠乏が助長されて、それが生育の限定

要因になりうることは十分考えられる。

摘 要

培養液の塩類濃度がそ菜の微量要素栄養におよぼす影響を調べるため、トマトとキュウリを供試して実験を行なつた。処理液は Hoagland と Snyder の処方に準じた培養液の多量要素のみを 1~5 倍まで 5 段階に濃度を高め、微量要素濃度は一定に保つた。各処理液の pH は作製時に 6.0 に調節したが、作物の生育期間中の変動はそのままとした。栽培期間は両作物とも 15 日間であつた。

1. 培養液濃度の高い培地で生育したトマトとキュウリは生育が遅れた。2~3 倍液の濃度ではトマトの方がキュウリよりも影響を強くうけた。

2. 培養液濃度の高まりにより植物体各部位の Mn 含

量が著しく低下した。この傾向はトマトよりキュウリの方がやや顕著であった。

3. 葉身中のB含量も影響をうけ、培養液濃度の高まりにより含量が低下した。この傾向はトマトで著しかった。

4. 葉身中のFe含量は培養液濃度の増大によりわずかに増加する傾向があつた。Zn含量には処理の影響が小さく、Cu含量は作物により影響のうけ方が同じでなかった。

5. 葉身中のS含量は培養液濃度の高まりに伴ない増加した。この傾向はトマトの下位葉において顕著であつた。

引用文献

- BERNSTEIN, L., and H. E. HAYWARD. 1958. Physiology of salt tolerance. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 9: 25—46.
- BINGHAM, F. T., A. ELSEEWI, and J. J. OELTRI. 1970. Characteristics of boron absorption by excised barley roots. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 34: 613—617.
- BOWEN, J. E. 1968. Borate absorption by excised sugar cane leaves. *Plant and Cell Physiol.* 9: 467—478.
- BROWN, J. C., and W. E. JONES. 1962. Absorption of Fe, Mn, Zn, Ca, Rb, and phosphate ions by soybean roots that differ in their reductive capacity. *Soil Sci.* 94: 173—179.
- 土器屋由起子・熊沢喜久雄・三井進午. 1964. 植物による鉄、マンガン、銅の吸収に関する比較生理学的研究（第1報）。*土肥誌.* 35: 367—372.
- DOKIYA, Y., N. OWA, and S. MITSUI. 1968. Comparative physiological study of iron, manganese, and copper absorption by plants. III. *Soil Sci. Plant Nutr.* 14: 169—174.
- 藤沼善亮. 1970. 濃度障害と肥料。日本土壤肥料学会編。近代農業における土壌肥料の研究。pp. 72—76. 養賢堂。
- HARADA, T., and H. KAI. 1968. Studies on the environmental conditions controlling nitrification in soil. I. *Soil. Sci. Plant Nutr.* 14: 20—26.
- 位田藤久太郎・橋 昌司・藤城好信. 1970. 被覆下栽培における肥培の研究（第1報）。*園学雑.* 39: 251—255.
- ・———・———・丸山靖志. 1971. 同（第2報）。*園学雑.* 40: 121—127.
- 景山美葵陽・正木 敬・片山政一. 1968. 被覆下そ菜園土壌の生産力低下防止に関する研究（第3報）。*園試報.* B. 8: 27—42.
- 北岸確三・小畑 仁. 1971. 溶媒抽出前処理を伴わない植物体中銅の原子吸光分析法。三重大農学報。42: 49—57.
- LUNIN, J., and M. H. GALATIN. 1965. Salinity-fertility interactions in relation to the growth and composition of leaves. II. *Agron. J.* 57: 347—355.
- MAAS, E. V., D. P. MOORE, and B. J. MASON. 1968. Manganese absorption by excised barley roots. *Plant Physiol.* 43: 527—530.
- ・——— and ———. 1969. Influence of calcium and magnesium on manganese absorption. *Plant Physiol.* 44: 796—800.
- 松島二良・原田 学. 1966. 果樹の亜硫酸ガスによる煙害。三重大農学報。33: 1—8.
- NIEMAN, R. H., and L. L. POULSEN. 1967. Interactive effects of salinity and atmospheric humidity on the growth of bean and cotton plants. *Bot. Gaz.* 128: 69—73.
- OELTRI, J. J. 1966. Effect of external salt concentrations on water relations in plants. I. *Soil Sci.* 102: 180—186.
- 大沢孝也. 1963. 蔬菜の耐塩性に関する浸透圧の作用とイオンの特異的作用。園学雑。32: 211—223.
- . 1965. 蔬菜の耐塩性に関する研究 とくに無機栄養に関して。大阪府大紀要・農・生物。16: 13—57.
- 嶋田永生・武井昭夫. 1965. そ菜類の窒素施肥に関する基礎的研究（第2報）。愛知園試研報。3: 49—65.
- 嶋田典司. 1972. 作物のマグネシウム過剰障害に関する研究。千葉大園学特報。6: 1—105.
- SLAVIN, W. 1968. Atomic absorption spectroscopy. pp. 102—105. Interscience Publishers.
- STROGONOV, B. P. 1962. Fiziologicheskie osnovy soleustoichivosti rastenii. p. 8. Akademiya nauk USSR. (英訳版)。
- TANAKA, A., and S. A. Navasero. 1966. Chlorosis of the rice plants induced by high pH of culture solution. *Soil Sci. Plant Nutr.* 12: 213—219.
- TANAKA, H. 1967. Boron absorption by crop plants as affected by other nutrients of the medium. *Soil Sci. Plant Nutr.* 13: 41—44.
- 田中啓文. 1970. ホウ素要求における作物間差異の解析。土肥誌。41: 27—30.
- VLAMIS, J., and D. E. Williams. 1962. Ion competition in manganese uptake by barley plants. *Plant Physiol.* 37: 650—655.
- 吉田よし子・吉田昌一. 1965. 抽出法による作物体ホウ素の迅速定量法。土肥誌。36: 45—48.