

野菜栽培の現況と 土壌肥料的問題点

—石灰蓄積条件下の石灰欠乏症について—

北海道立中央農業試験場
農芸化学部主任研究員

相馬 暁

1. はじめに

温暖多雨なわが国の耕地土壌が酸性化し易いことは、一般畑作で早くから指摘されているが(1, 2, 3), 露地野菜栽培土壌の酸性化は降雨による塩基溶脱に加えて、一般畑作に比べ、作付頻度が高く、窒素施肥量が著しく多いことにより、促進されている(4, 5)。

このような土壌の酸性化が、露地野菜畑の生産力低下に及ぼす影響については、宮城、山形などにおけるハクサイ産地の生産力低下と産地移動(6, 7), 尾張沖積野菜栽培地帯の土壌老朽化(8), 都市近郊野菜産地の土壌酸性化と生産力低下(9, 10)として報告されており、これに関連して、石灰欠乏症に関する多くの報告もある(11, 12)。

そのため酸性矯正を目的とした石灰供給が、少なくとも野菜栽培土壌に対しては十分になされ、露地野菜畑においても、近年、土壌中の交換性石灰量は増加傾向を示す事例が多い(13, 14)。一方、施設栽培土壌においては養分集積が顕著であり、交換性石灰量も明らかに蓄積傾向にある(15, 16)。

にもかかわらず、ハクサイ、キャベツ、レタス、セロリーの様な葉茎菜やトマト、ピーマンの様な果菜類に石灰欠乏症が発生し、新たな問題となっている。これは古典的な土壌中の交換性石灰量が不足・欠乏し、発生するものではなく、石灰蓄積条件下での石灰欠乏症といえるだろう。

これらの欠乏症は他要素との相互作用で発現することが明らかになり、例えば、アンモニア態窒素の高濃度の存在(17)、窒素多施(18)、特定イオンの多量施用(19)、高カリ、高EC(18, 20)、等の条件下で石灰吸収が抑制され、発現するとされている。

このような石灰存在下における石灰欠乏症の発生は、新たな土壌肥料の問題であり、野菜畑、特にハウス土壌における養分蓄積・富栄養化現象と共に、二三検討を加えてみる。

2. 野菜栽培土壌における養分蓄積実態

北海道の露地野菜畑においては、土壌酸性化の兆しは最も粗放な肥培管理がなされているアスパラガス畑(連作畑)においてのみ認められ、その他の野菜栽培土壌の塩基は一般畑作畑に比べて増加傾向にある(14)。これは、一つには府県に比べて降雨量が少ないことに加えて、寒地北海道での野菜栽培において気温・地温確保のためトンネル栽培・マルチ栽培が広がり、露地野菜畑においてすら、土壌が部分的に降雨から遮断される期間が長期化し、溶脱を受けにくくなり、施用された肥料・資材成分が蓄積し易くなっているためと思われる。例えば、軟弱野菜(ホウレンソウ)畑においては交換性石灰の蓄積が顕著に進み、多くの畑でオーバータイム傾向にある(21)。また、施設(ハウス)栽培土壌においては府県と同様に、塩基はもとより、磷酸、窒素の蓄積が著しく進み、いわゆる富栄養化状態にある(22)。

経年化したハウス土壌は露地野菜畑に比べ、①窒素、②塩基(K, Mg, Ca)、③磷酸(P)の蓄積が著しく進んでいることは広く知られている所である(23, 24, 25)が、具体的な例として、同一農家の近接したハウスと露地野菜畑の養分蓄積状況を検討した結果を表1に示す。ハウス土壌は露地野菜畑に比べEC値が高く、塩基含量も多い、そのため塩基飽和度は100%を超え、見かけのpHは6.20であるが、オーバータイム傾向にあるハウスが多く、また、磷酸の蓄積も著しい。

さらに広範囲に全道283棟のハウスにおいて検

表-1 ハウス土壤と露地土壤の養分蓄積の比較

区 別	地点数	pH (H ₂ O)	EC (ms)	置換性塩基 (mg/100g)			CEC (me)	塩基飽和度 (%)	Truog P ₂ O ₅ (mg/100g)	りん酸吸 収係数
				CaO	MgO	K ₂ O				
ハウス土壤	140	6.2 (10.9)	0.74 (69.6)	485 (39.5)	116.2 (46.9)	97.6 (52.5)	23.7 (29.0)	109.6 (32.4)	182 (56.0)	955 (33.8)
露地土壤	118	6.2 (11.6)	0.17 (76.8)	385 (76.8)	47.1 (52.1)	50.7 (60.5)	20.4 (28.2)	64.4 (35.8)	84 (72.0)	~

*なお()内はCV値

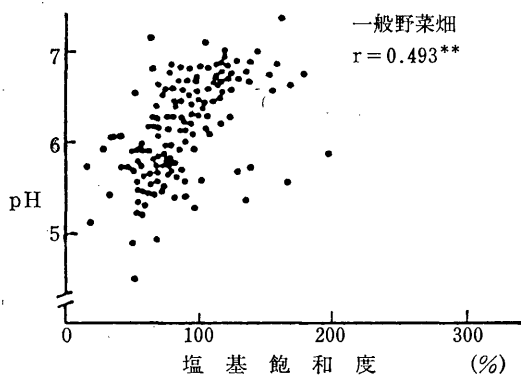
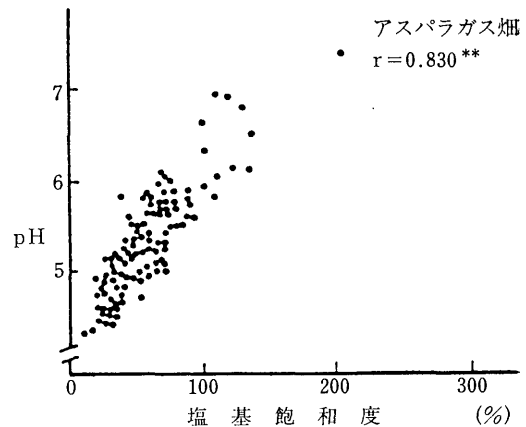
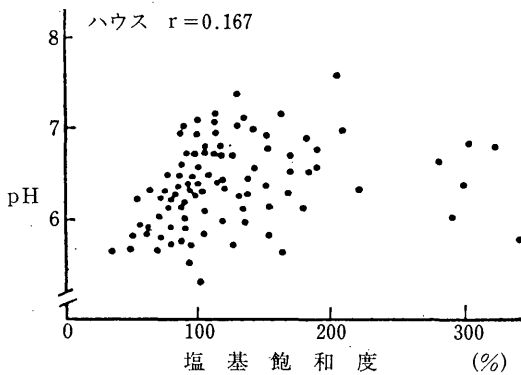
*ハウス、露地土壤とも沖積土である。

討した結果、収穫終了時の残存窒素量を調べたところ、10 a 当り平均26.0kgもの窒素集積が認められ、残存量の多い事例では100kgを超える事例も認められた。また、交換性石灰も10 a 当り1,000 kg/10 a を超す事例が認められ、燐酸は平均160.8 + 112.0kg/10 a にあった(26)。

3. 養分蓄積に伴う土壤中塩基の形態変化

塩基蓄積の進行は、塩基飽和度の上昇となって現れるが、見かけの塩基飽和度が100%以下の場合、飽和度の上昇に伴って土壤 pH は明確に高まる。しかし、塩基飽和度が100%を超えると、飽和度の上昇に伴う pH の高まりは鈍化し、様相を異にした。さらに、ハウス土壤の様に窒素集積が認められる条件下では、塩基飽和度あるいは石

図-1 火山性土のアスパラガス畑、一般野菜およびハウスにおける塩基飽和度と pH の関係



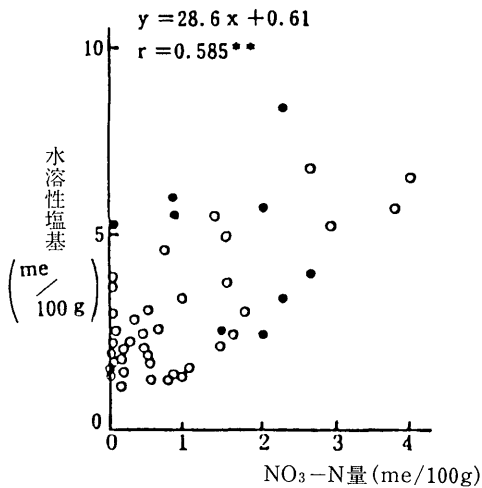
灰飽和度と土壤 pH の間には一定の傾向が認められない(図-1)。むしろ、窒素集積と密接な関係にある EC 値と土壤 pH の間に負の相関関係が成り立ち、見かけ上、土壤 pH は土壤の交換性塩基量や塩基飽和度よりも、窒素施肥量と窒素残存量に左右されていた。

一方、ハウス土壤 (n=47) を供試し、水溶性塩基と硝酸イオン (NO₃⁻)、水溶性燐酸 (燐酸1水素イオン HPO₄²⁻)、硫酸イオン (SO₄²⁻) 量の関係を検討したところ、水溶性石灰量と硝酸イオン量の間には r=0.668**、水溶性燐酸量との間に

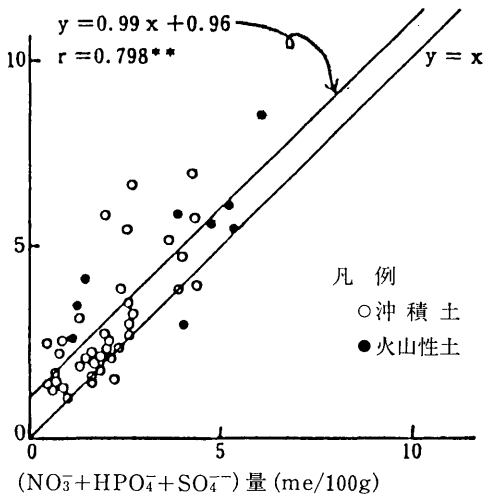
$r = 0.329^*$, 硫酸イオン量との間に $r = 0.770^{**}$, と各々高い正の相関関係が成立し, 水溶性苦土量とも前2者は $r = 0.616^{**}$, $r = 0.362^*$, と高い相関関係を示した。また, 水溶性カリ量とは, $r = 0.531^{**}$, $r = 0.498^{**}$, $r = 0.326^*$, と各々高い相関関係が認められた (27)。

これらの関係を取りまとめ図示すると, 水溶性塩基量は硝酸イオン量よりも多く, 硝酸イオン量+磷酸1水素イオン量+硫酸イオン量とほぼ対応するが, なお, 水溶性塩基量がやや多く, 前3者イオン以外に, 塩素イオンのようなアニオンの存在が示唆された (図2)。

図一2 NO_3^- または $(\text{NO}_3^- + \text{HPO}_4^- + \text{SO}_4^{--})$ 量と水溶性塩基量の関係



て高まるが, 栽培期間中は窒素施肥と, それに続く硝酸化成に伴うHイオン生成の影響を受け, 土壌pHの低下と交換性塩基のHイオンによる交換溶出が生じ, 土壌溶液中に硝酸イオンとカルシウムイオンの共存状態を生み出した。それが塩基蓄積の進行につれ, 飽和度100%で10%程度の水溶性塩基が存在するようになり, 交換性塩基以外に硝酸塩(硝酸カルシウム)が認められ, また, 飽和度が100%を超えるような土壌では, 硫酸塩(石膏-硫酸カルシウム), 磷酸塩(磷酸カルシウム), 炭酸塩(炭酸カルシウム), 塩化物(塩化カルシウム)などの存在が示唆された。



具体的な一事例として, これらハウス土壌の一例を示すと, 交換性全塩基量が $27.4 \text{ m} \cdot \text{e} / 100 \text{ g}$ で, 飽和度が222%の場合に, 水溶性塩基量が $8.43 \text{ m} \cdot \text{e}$ 存在し, 全塩基量に占める割合は30.8%であった。その内, 水溶性石灰量は $3.41 \text{ m} \cdot \text{e}$ で, 全塩基量に占める割合は12.4%, 水溶性塩基量に占める割合は40.5%であり, さらに, 硫酸カルシウム型のカルシウム量が $1.14 \text{ m} \cdot \text{e}$ 存在した。これを全塩基量, 水溶性塩基量, 水溶性石灰量に占める割合でみると, 各々4.2%-13.5%-33.4%となった。すなわち, 塩基蓄積の進行に伴い交換性石灰以外の形態(石灰)の存在が示唆され, 石膏の存在が確認された (27)。

結局, 塩基飽和度の低い状態において, 土壌pHは塩基資材の施用に伴う飽和度の上昇によ

4. 石灰蓄積下の石灰欠乏症の発生

土壌中における塩基蓄積の進行, 取り分けアンバランスな進行は, 各塩基間に拮抗作用による吸収抑制をもたらし, 養分存在下の養分欠乏症を引き起こす。例えば, 試験的に行ったカリ資材多量施用に伴い, トマトの体内石灰濃度は明らかに低下し, 尻腐れ果発生率は増加した (表一2)。

土壌中のカリ過剰蓄積により, 拮抗阻害に基づく石灰や苦土欠乏症が生じることは既に報告(28)されている所であり, 現実の野菜栽培においても, セルリーの心腐れやトマトの尻腐れ果の発生を助長し, 石灰欠乏症を引き起こす一要因となっている。

ところで, 炭カル(Ca)の施用量の増加につれ土壌中の交換性石灰量は増加するが, 植物の根に

表一2

処 理 区	土 壤 分 析 結 果		相 対 生 長 量 8月8日*	相 対 収 量				上 部 茎 葉 中 成 分 含 有 率				
	各塩基別飽和度 (%)	塩基飽和度 (%)		上物収量	総収量	総収穫数 果 数	尻ぐされ果発生率 (%)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO
1) 無処理区	—	88.3	100 128.3g/株	100 10.71kg	100 12.32kg	100 133果	18.0	100(1.56)	100(0.47)	100(4.78)	100(1.07)	100(1.39)
2) Ca-100%区	71.9	114.4	96	112	92	120	19.0	99	92	87	102	104
3) 130%区	166.3	203.3	83	104	110	108	14.1	104	98	90	82	104
4) 160%区	255.2	296.2	79	108	110	110	8.6	110	115	98	97	118
5) Mg-100%区	56.9	92.6	77	77	82	113	26.7	131	100	101	80	93
6) 130%区	62.4	108.7	76	76	76	126	29.1	127	94	93	123	63
7) 160%区	69.1	123.1	69	75	78	141	37.6	154	109	101	137	71
8) K-100%区	24.9	82.6	87	95	94	109	25.2	102	87	101	78	83
9) 130%区	51.0	96.6	85	97	91	115	29.8	147	96	117	67	55
10) 160%区	74.8	138.6	80	66	67	114	40.9	138	98	122	53	35

表一3 塩基多量施用に伴う土壤溶液中の塩基量の変化

処 理 区		土 壤		塩基飽和度 (%)	土 壤 溶 液 (me/l)				
		pH	EC		pH	K	Mg	Ca	計
Ca	100%	6.40	0.135	127.4	6.70	0.37	5.17	1.74	7.28
	130%	6.71	0.215	310.0	7.40	0.38	6.19	1.04	7.61
	160%	7.20	0.195	304.5	9.70	0.27	4.97	1.00	6.24
Mg	100%	6.80	0.095	98.1	7.35	0.43	6.71	0.59	7.73
	130%	6.28	0.210	103.9	6.35	0.44	11.72	0.87	13.03
	160%	6.26	0.495	118.0	6.20	0.69	29.17	4.40	34.26
K	100%	6.42	0.160	110.5	6.40	7.29	6.40	1.64	15.33
	130%	6.35	0.275	128.6	6.45	13.32	3.57	1.85	18.74
	160%	6.15	1.240	183.4	6.20	45.33	5.38	5.51	56.22

(注) Ca, Mg, K-100は、塩基飽和度 100% を目標に各資材を施用した区

Ca, Mg, K-130は、塩基飽和度 130% を目標に各資材を施用した区

Ca, Mg, K-160は、塩基飽和度 160% を目標に各資材を施用した区

養分を供給する場である土壤溶液中には反映せず、一定レベル以上には高まらない(表一3)。それに対して硫マグ(Mg)・硫加(K)施用は土壤中の交換性苦土・カリ量をも高めるのみならず、土壤溶液中の苦土・カリ濃度を高める。そのため拮抗作用が生じ、石灰等の養分吸収抑制・欠乏症の発生をもたらしたものと推測される。

その点、石灰の過剰施用で問題になるのは高pH化、オーバライムの場合で、高pH化に伴い土壤中のホウ素やマンガン・鉄等が不溶化し、作物が吸収利用出来なくなる。例えば、高pH条件(pH

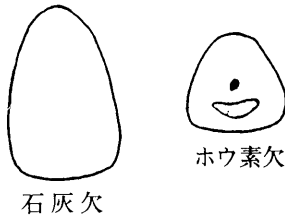
7.0以上)のハウスでは、ハクサイの外葉が濃淡まだらに黄化し、内葉の葉柄部に褐色の亀裂が生じ、また、内葉の側方周辺部があめ色に壊死する。これは、高pH化に伴うホウ素(併発マンガン・鉄)欠乏症である。しかし、往々にして、外葉部の黄化がなく、葉柄部の褐変・亀裂も認めにくい場合があり、典型的な症状を示さない限り、ホウ素(B)欠乏症は石灰欠乏症と識別し難く、アンコ玉(石灰欠乏症)として一括されている事例が、現場において認められる。

そこで土壤条件をpHとEC値で簡単に確か

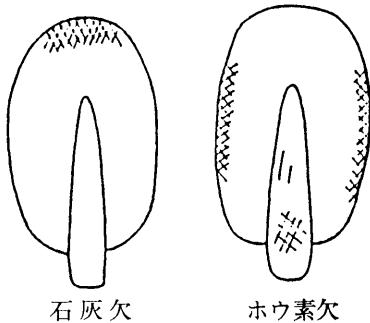
め、高 pH (pH7.0以上) で低 EC (0.4~0.6ms/cm以下) 条件なら、ホウ素、鉄欠乏症と判断し、高 EC (1.3~1.6ms/cm以上) 条件なら、次に述べる窒素過剰による石灰欠乏症と推測する。なお、ホウ素欠乏症と石灰欠乏症の外見的な症状を比較し、図-3に示しておく。

図-3 Ca欠乏およびB欠乏の症状とその特徴

(1) 芯の比較



(2) 葉の比較



(注) 出典：第6図と同じ

- 石灰欠乏：茎の芯の伸長は、おおむね順調
- ホウ素欠乏：茎の芯の伸長が抑制され、短くなり、褐変、空洞症などが見られる。
- 石灰欠乏：葉の先端が脱水症状を示し、内側にスプーン状にまく
- ホウ素欠乏

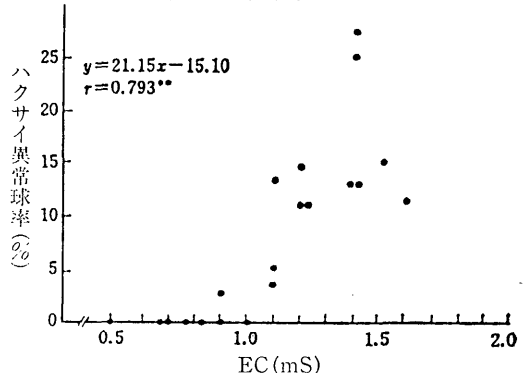
- 1) 葉柄部に褐変きれつゴマ症状が出る。
- 2) 葉の横部分の葉緑素が抜け、淡灰黄色になる。これは、脱水症状を示さない。鉄欠を併発することもある。

窒素集積は、大雑把に言って、4つの型で野菜の生育・収量・品質を抑制・低下させる。①EC値上昇で示される濃度障害、②窒素過剰蓄積に起因する拮抗阻害、③アンモニア自体のイオン特異性による生育阻害、④アンモニアガスに亜硝酸ガス障害である。その内、②の拮抗阻害が石灰欠乏

との関連で問題となる。

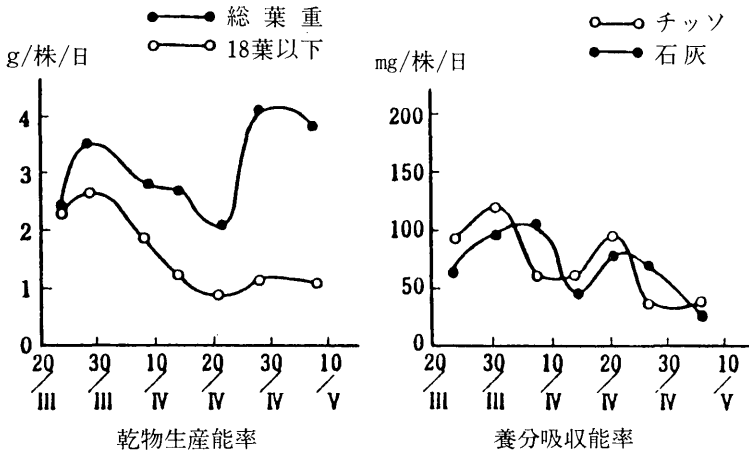
窒素過剰集積による濃度障害はいわば急性中毒で、誰の目にもハッキリ分かる。ところが、それほど酷くない場合でも、ハクサイやレタス或はキャベツにおいて、高EC条件(多窒素条件)で“縁腐れ”と呼ばれている石灰欠乏症が多発し、可販収量を皆無にする。また、そのような条件ではトマトやピーマンの尻腐れを引き起こしている。これなど窒素過剰により拮抗阻害的に石灰の吸収が抑制され、体内で石灰欠乏が生じたために起こる。例えば、ハウス春ハクサイの石灰欠乏症の発生と土壌EC値の関係を検討したところ、EC上昇につれ石灰欠乏症は明らかに多発した(図-4)。それに対して、肥料の無施用、表層5cmの排土(除塩)、稲ワラの鍬込み等、ECを低下させる処理で石灰欠乏症の発生を抑え得た。

図-4 EC値と異常球率



窒素との関連で石灰欠乏症の生ずる機作としては、作物の窒素と石灰の吸収速度のズレがある。ハクサイについて検討したところ、窒素の吸収ピークは外葉伸長期と結球充実期にあり、石灰の吸収ピークはそれより10日程遅れる(図-5)。もっとも別な検討結果によれば、3~4日程度の遅れであり、この遅れは条件によってやや異なると思われる。窒素の過剰な吸収、それを引き起こす灌水、降雨等によって、ハクサイが窒素を急激に吸収し、一気に生育量が増加すると、体内希釈が生じ、窒素に比べて吸収の遅れる石灰の体内濃度が、特に生育先端部(生長点)で局所的に低下し、石灰欠乏症の発生につながる。その時、石灰が体内移動し難いことも欠乏症を助長する要因に成っているものと推察される。

図一五 ハクサイの1日当たり生育量(乾物生産能率)とメシの食込み量(養分吸収率)



注) 3月15日に定植。

この事は、従来の石灰欠乏症が干ばつ・水分不足で発生するのに対して、灌水或は降雨後にも、多窒素条件で発生し得ることを示唆した。すなわち、複雑多岐になった野菜栽培(土壌)条件を反映し、石灰欠乏症が、従来と異なった条件下で発生し得ることを示している。

参考文献

- 1) 青木茂一ら, 1985: 日土肥誌, 29, 25~28
- 2) 金井真澄ら, 1931: 日土肥誌, 5, 19~40
- 3) 中安信行, 1966: 野菜に関する土壌肥料研究収録, 151~158, 全購連
- 4) 嶋田永生ら, 1966: 愛知県園試研報, 5, 43~52
- 5) 興津伸二ら, 1967: 園学会昭42春研究要旨, 212~213
- 6) 青葉高, 1957: 山形農林学報, 12, 9から15
- 7) 堀 裕, 1959: 園芸学全編, 614~641, 養賢堂
- 8) 城山桃夫ら, 1955: 愛知県園試昭29年成績書
- 9) 堀 裕ら, 1959: 東海近畿農試研報, 5, 98~114
- 10) 中安信行ら, 1966: 野菜に関する土壌肥料研究収録, 57~64, 全購連
- 11) 高野泰吉ら, 1964: 園学雑, 33, 35~45
- 12) 川口菊雄ら, 1962: 静岡県農試研報, 6, 33~43
- 13) 柏倉康光ら, 1975: 群馬県農試研報, 15, 25~28
- 14) 相馬暁ら, 1980: 北海道立農試集報, 44, 25~36
- 15) 野菜試験場, 1982: 野菜作の土壌養分過剰に関する成績概要
- 16) 相馬暁ら, 1986: 北農, 53, 4, 33~50
- 17) 嶋田永生, 1967: 愛知県園試研報, 6, 67~114
- 18) 堀 裕ら, 1960: 園学雑, 29, 169~180
- 19) 橋田茂和, 1965: 日土肥誌, 36, 274~283
- 20) 川口菊雄, 1964: 静岡県農試研報, 9, 85~92
- 21) 相馬暁ら, 1985: 北農, 52, 10, 20~35
- 22) 目黒孝司ら, 1986: 北農, 53, 1, 36~49
- 23) 青木一郎ら, 1968: 栃木県農試研報, 12, 70~79
- 24) 蟻川浩一ら, 1968: 農及園, 43, 979~982
- 25) 篠崎光夫, 1970: 神奈川県農総研報, 108, 1~18
- 26) 相馬暁, 1985: 農及園, 60, 1287~1290
- 27) 相馬暁, 1985: 北海道立農試報告, 56