

第IV章 養分蓄積の進行と野菜生産

第1節 P蓄積の進行が 野菜生産に及ぼす影響

1. 目的

野菜畑におけるP蓄積の進行が野菜生産に及ぼす影響を、①各種野菜に対する土壌有効態P適正領域の設定、②P蓄積の進行に伴う生育阻害（P過剰害）の有無、③P過剰蓄積に伴う生産阻害要因の解明、そして、④P適応性からみた野菜の群別について検討する。

2. 試験方法及び供試ほ場の化学性

1) 試験方法

P蓄積と野菜生産に関する本章の研究は、①道立中央農試内の既存の熟畑枠ほ場（A枠ほ場と略す）、②同P資材多量施用による新規造成枠ほ場（B枠ほ場と略す）と、③現場農家ほ場において行った。試験方法の詳細については後述するとして、ここでは本章の試験の中心となったA枠ほ場及びB枠ほ場について記述する。

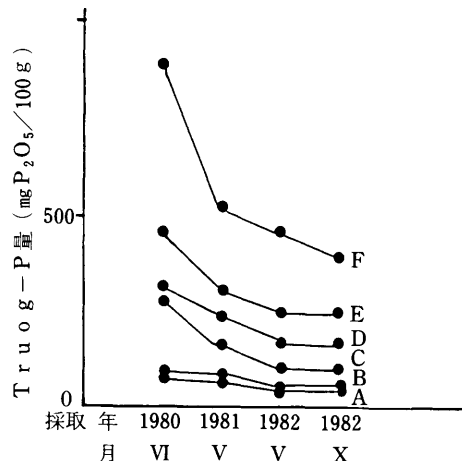
A枠ほ場は、1976年より4カ年間に、1㎡枠（深さ80cm、無底）を用いてタマネギに対するN・P用量試験を行った試験ほ場の一部で、1980年よりP資材（重過石）の施用によって、より明確にP蓄積量に格差をつけ、本章の試験に供試した。土壌は沖積土で、Truog-P量として最低11mgP₂O₅/100gから最高270mgP₂O₅/100gの範囲に、2連で20レベル設定した。なお、供試土壌の一般化学性を、設定した20レベル（枠）の平均値（標準偏差）で示すと、pH:5.29 (0.44), CEC:18.3 (2.1) m.e/100g, 交換性CaO量:358.9 (81.0) mg/100g, 同MgO量:131.0 (15.1) mg/100g, 同K₂O量:43.8 (9.1) mg/100g, 塩基飽和度:98.2 (21.5)%, 熱水抽出性N量:3.9 (0.9) mg/100g, P吸収係数880 (90)であった。

B枠ほ場は、1㎡枠（深さ50cm、無底）を用いて、1980年5月10日、P吸収係数(90)の0, 5, 30, 60, 100, 200%相当量のP₂O₅を、重過石で施用して造成した試験ほ場であり、供試土壌は沖積土(褐

色低地土)で、原土の一般化学性は、pH:6.33, CEC:19.8m.e/100g, 交換性CaO量:394.8mg/100g, 同MgO量:145.6mg/100g, 同K₂O量:44.2mg/100gである。

供試作物は、①葉菜としてホウレンソウ、シュンギク、コマツナ、タイナ、②結球野菜としてハクサイ、レタス、タマネギ、③根菜としてニンジン、ダイコン、カブ、④果菜としてトマト、キュウリ、トウモロコシ、ダイズ(枝豆)を利用した。なお、検討結果は①葉菜、②結球野菜、③根菜、④果菜に分けて取りまとめた。

各作物ごとの試験年次は、①Aほ場枠:1980年、ホウレンソウ、シュンギク、コマツナ、タイナ、1981年、コカブ、レタス、②B枠ほ場:1981年(造成初年目)、ホウレンソウ、シュンギク、ダイズ、1982年(造成2年目)、ニンジン、トウモロコシ、1983年(造成3年目)、ハクサイ、レタス、トウモロコシ、1984年(造成4年目)、ニンジン、ハクサイである。



第23図 B(造成)枠ほ場の土壌中Truog-P量の経年変化

注) P吸収係数の0, 5, 30, 60, 100, 200%の相当量のP₂O₅添加区を各々, A, B, C, D, E, Fとした。

施肥は、①A 枠ほ場の各野菜に対しては、毎年、N, P₂O₅, K₂Oを各々15kg/10a施用した。②B 枠ほ場の各野菜に対しては各年とも、N施肥量は4段階(10, 15, 20, 25kgN/10a)とし、Kは各区共通15kgK₂O/10a施用した。なお、Pは無施用とした。両枠ほ場とも使用した肥料形態は別に記載しない限り、硫酸(N), 硫加(K), 及び過石(P)である。

2) B 枠ほ場の化学性の変化

造成後の土壌中有効態P量の経年変化を、第23図に示した。Truog-P量は造成1年目から2年

目にかけて低下したが、2年目以降は比較的安定していた。そこで供試土壌の化学性を、①初年目と、②2年目以降に分けて、まず、造成初年目のP資材添加による変化を、ハウレンソウのは種時に検討した(第23表)。

P添加割合の増加に伴いTruog-P量、水溶性P量が明らかに増え、随伴して交換性Ca量の増加とEC上昇が認められた。また、pHも添加割合60~100%まで高まった。

ところで、P添加割合の上昇に伴う特異的現象として、交換性Mg量及びCECの増加と、硝酸態

第23表 P多量施用に伴う土壌中成分量の変化

P添加 割合*	採取年次	pH (H ₂ O)	EC (1:5) ms	(A)	(B)	A/B ×100 %	Truog-P mgP ₂ O ₅ /100g	水溶性P mg/100g	CEC me/100g	交換性塩基		
				NO ₃ -N	無機態N**					K ₂ O	MgO	CaO
				mg/100g								
0	1980	5.65	0.203	4.43	7.72	36.4	70.8	20.6	20.8	44.0	159.0	330.7
	1983	6.30	—	—	—	—	35.4	14.1	18.7	—	120.6	246.4
5	80	5.65	0.251	3.90	7.68	33.6	114.4	36.9	20.0	42.4	153.2	334.2
	83	6.40	—	—	—	—	42.4	12.9	18.9	—	134.5	271.5
30	80	6.12	0.270	2.56	9.05	22.0	198.6	146.6	21.1	55.2	154.5	375.4
	83	6.60	—	—	—	—	86.3	26.8	19.5	—	138.0	289.6
60	80	6.26	0.276	0.75	10.14	6.8	290.9	215.5	22.6	47.2	199.8	432.4
	83	6.65	—	—	—	—	145.2	40.6	20.5	—	154.1	296.8
100	80	6.25	0.439	0.40	17.03	2.2	485.7	349.8	23.8	47.1	196.0	437.6
	83	6.65	—	—	—	—	211.1	57.8	20.9	—	164.3	316.0
200	80	6.18	0.464	0.22	17.70	1.2	640.6	500.2	27.3	46.3	294.0	609.0
	83	6.75	—	—	—	—	466.2	108.8	23.0	—	175.2	380.3

注) *: P吸収係数に対するP添加割合 ** : 無機態N = NO₃-N + NH₄-N mg/100g

採取年次: 1980年6月20日及び1983年10月29日

N率で示される硝酸化成の遅延が認められた。この内、硝酸化成の遅延については前章においても述べたように、EC上昇による微生物活性の抑制と推測した。しかしCEC及び交換性Mg量の増加については、その要因が明らかでなかった。

造成4年目(1983年10月29日)の土壌分析結果の一部を参考として第23表に併記した。P資材添加割合の増加に伴い、①Truog-P量、水溶性P量、②交換性Ca量、③交換性Mg量、④塩基交換容量(CEC)が、造成初年目のハウレンソウ栽培時と同様に増加した。また、交換性Ca量とTruog-P量との間には高い正の相関関係(r=0.

965**)が認められた。このCa量の増加はP資材として、造成時に使用した重過石に含まれるCaに由来するものと推測した。一方、pHは造成初年目と異なり、P添加割合の増加に伴って高まった。

前章で、P多量施用に伴う土壌溶液組成の変化については既に述べたが(第12図)、P添加割合の上昇に伴い土壌溶液中のP濃度は0.1ppmから40ppmまで高まり、随伴して、土壌中成分の可溶化(Mg)と不溶化(K, Zn)が同時に進行し、N増肥によって可溶化(K, Ca, Mg, Zn, Mn)が促進された。

3. P蓄積が葉菜の生産に及ぼす影響

1) 試験方法

(a) A 枠ほ場に、1980年6月5日、2連でホウレンソウ「シンフォニー」及びシュンギク「大和中葉」をは種（1 枠3列、畦間25cm、条播、以下同様）、間引後60株立とし、34日目と、45日目に、1 枠30株ずつ収量調査した。その後、8月14日にコマツナ「卯月小松菜」及びタイナ「二貫目体菜」をは種、間引後45株立とし、35日目に1 枠30株、70日目に1 枠15株について収量調査した。

(b) B 枠ほ場で造成初年目の1980年6月20日にホウレンソウ「晩抽パイオニア」をは種、間引後60株立とし、29日目に1 枠10株、39日目と54日目に、各々25株ずつ収量調査を行った。シュンギク「中葉新菊」は同年8月14日には種、間引後60株立として、45日目と79日目に、各々30株ずつ収量調査を行った。

(c) ほ場レベルにおけるP適正領域を見極めるべく、後に詳述するN・P用量試験（現地ほ場試験）並びに附随した現地調査の結果の内、土壌中のTruog-P量の関係についてのみ取りまとめた。試験地は、札幌市常盤地区の山田氏2ほ場（洪積土）及び真栄地区の山口氏ほ場（沖積土）である。一方、現地調査は札幌市常磐・有明地区を対象に、試験地と同一品種で、は種日のほぼそろったほ場

を選んで行った。調査戸数は8戸である。なお、供試品種は「晩抽パイオニア」である。

本節の試験構成は、①比較的安定したP蓄積状態（Truog-P 20~270mgP₂O₅/100g）において、土壌中Pレベルがほぼ適正領域内にある条件下で、好適な体内P含有率及びP含有率の変化に伴う他成分含有率の変化を明らかにし、②P資材多施用によりP蓄積レベルをより高める（Truog-P 70~640mgP₂O₅/100g）ことによって、P過剰蓄積に伴う生育抑制の要因を解明し、③安定したP蓄積状態の農家ほ場において、ホウレンソウに対するP適正領域を決定する、ことを目的に組み立てた。

2) 結果

(a) 夏どりホウレンソウ、シュンギクの相対収量（35日目）は、Truog-P量50~60mgP₂O₅/100gまでの増加に伴い高まり、それを超え170~180mgP₂O₅/100gに達すると10%以上の減収となった（第24表）。また、45日目の相対収量もほぼ同傾向を示したが、抽台率がTruog-Pの増加につれ明らかに高まり、品質の低下が認められた。このような抽台株を除く、実際の上物収量はP多量蓄積につれ減少し、取りわけ、この傾向はホウレンソウにおいて顕著であった。

第24表 Truog-P量と夏どりホウレンソウ・シュンギクの相対収量の関係

① ホウレンソウ

Truog-P量 mgP ₂ O ₅ /100g	相対収量*			抽台率(%) 45日目
	34日目	45日目	45日目 上物収量	
16	74	83	89	7.3
47	100**	94	90	17.5
70	97	100**	100**	12.5
81	99	94	68	27.5
94	100**	92	74	30.0
110	99	94	74	32.5
152	95	92	66	37.5
169	91	90	62	40.0
183	86	89	61	40.0
269	81	82	54	42.5

② シュンギク

Truog-P量 mgP ₂ O ₅ /100g	相対収量*			抽台率(%) 45日目
	34日目	45日目	45日目 上物収量	
14	70	83	93	5.0
46	90	91	96	10.0
63	100**	100**	100**	15.0
81	95	99	96	17.5
115	98	100**	96	17.5
129	94	97	92	20.0
144	93	96	87	22.5
181	90	95	89	20.0
185	88	91	84	22.5
203	88	94	80	27.5

注) *、相対収量：平均10株重の最も重い区を100とした時の比で示した。なお、45日月上物収量は、抽台株を除去した収量の比である。

**、34日目の最高収量は、ホウレンソウ：538g/10株、シュンギク：230g/10株であり、45日目は、ホウレンソウ：720g/10株、シュンギク：392g/10株である。上物収量は、ホウレンソウ：630g、シュンギク：333gである。

第25表 Truog-P量と秋どりコマツナ・タイナの相対収量*の関係

① コマツナ (秋どり)

Truog-P量 mgP ₂ O ₅ /100g	35日目		70日目
	総収量**	上物収量**	総収量**
10	85	84	87
36	100***	100***	88
49	99	100***	100***
78	98	97	97
91	92	96	83
107	91	95	95
137	90	95	89
159	96	94	80
161	86	90	74
256	93	90	76

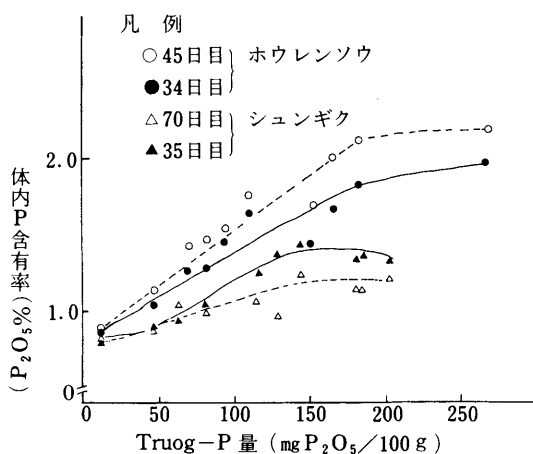
② タイナ (秋どり)

Truog-P量 mgP ₂ O ₅ /100g	35日目		70日目
	総収量**	上物収量**	総収量**
11	78	72	99
40	100***	100***	100***
59	99	96	97
65	97	98	93
91	97	98	87
118	94	97	91
129	93	97	89
166	92	93	84
184	92	92	78
196	89	90	79

注) *、相対収量：上物10株重または、総収量の10株重で示される最高収量を100とした収量比で示した。
 **、総収量、上物収量：総収穫物の10株重を総収量とし、上物収量は黄化の著しい葉を除去した10株重で示した。
 ***、35日目の最高収量は、コマツナ：総収量545 g/10株、上物収量490 g/10株、タイナ：総収量592 g/10株重、上物収量419 g/10株、70日目は、コマツナ総収量980 g/10株、タイナ：総収量1,646 g/10株重である。

一方、秋どりのコマツナ、タイナはTruog-P 35~50mgP₂O₅/100gまで、35日目の相対収量が増加し、それを超えると漸減した。その減少割合はハウレンソウ、シュンギクに比べ低かった(第25表)。

蓄積P量と作物体内含有率の関係をハウレンソウとシュンギクについて検討した(第24図)。



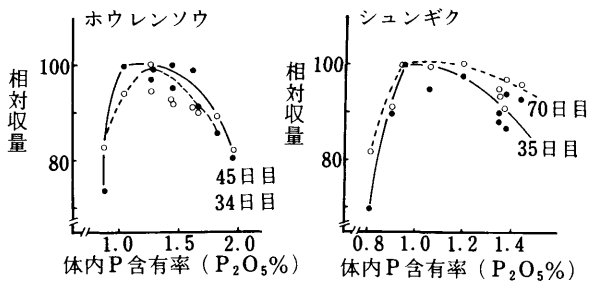
第24図 土壌中の Truog-P 量とハウレンソウ・シュンギクの体内P含有率の関係

Truog-P量の増加に伴いハウレンソウは明瞭に体内P含有率が高まり、生育後半ほど高含有率となった。それに対し、シュンギクはP蓄積量の増加に伴うP含有率の上昇がハウレンソウに比べ緩慢であった。一方、表示しなかったが、コマツナ、タイナはP蓄積量と体内P含有率の間に一定の傾向が認められなかった。

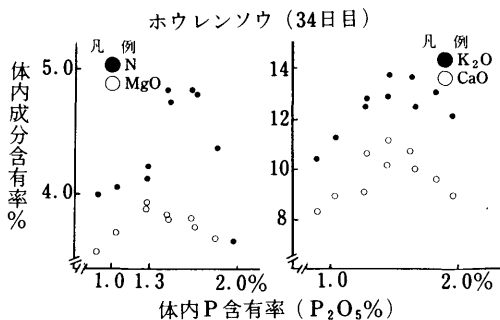
次に、体内P含有率と相対収量の間をみると(第25図)、ハウレンソウの場合、は種後34日目のP含有率が1.0~1.4%の、シュンギクの場合は0.95~1.20%の、範囲で良好な結果を得た。

土壌中P蓄積量の増加につれ上昇する体内P含有率と他成分含有率の関係をとりまとめると(第26図)、は種後34日目のハウレンソウにおいては、N、K、Ca含有率はP含有率1.5~1.6%前後まで、Mg含有率は1.3%前後まで、各々P含有率の上昇に伴い高まるが、それを超えると低下した。

一方、表示しなかったが、シュンギクの場合、体内P含有率の上昇につれK含有率のみ低下傾向を示し、他は一定の傾向を示さなかった。また、コマツナ、タイナについても、シュンギク以上にP蓄積量の増加に伴う体内P含有率の変化は少なく、かつ他成分含有率との関係も明確でなかった。



第25図 体内P含有率とホウレンソウ・シュンギクの収量の関係



第26図 ホウレンソウの体内P含有率と他成分含有率の関係

(b) B 枠ほ場における夏どりホウレンソウについては、最高収量が得られたのは、初期生育時(29日目)にはP吸収係数の30%相当量添加区(Truog-P 199P₂O₅mg/100g), 早期収穫時(39日目)には5~30%区(同114~199mgP₂O₅/100

g), 晩期収穫時(54日目)には0~5%区(同76~114mgP₂O₅/100g)であって、これらの区以上にP施与量が多くなると明らかに生育抑制・収量低下が認められた。なお、これらの生育・収量の低下はN増肥によりやや回復した(第26表)。

第26表 P多量添加に伴うホウレンソウの相対収量の変化(夏どり)

時期 P添加量* N施肥量	は種後29日目 10株重						
	0	5	30	60	100	200	平均
10	60	61	78	57	39	35	55
15	74	74	81	64	59	55	68
20	71	81	100	69	62	57	73
25	69	69	91	85	78	74	78
平均	69	71	87	69	60	55	

は種後39日目 収量/m ²							
0	5	30	60	100	200	平均	
54	54	55	45	37	21	44	
67	87	71	60	47	34	61	
84	90	77	62	55	35	67	
83	81	100	94	79	61	83	
72	78	76	65	55	38.		

時期 N施肥量	は種後54日目 収量/m ²						
	10	15	20	25	平均		
10	51	38	34	44	34	30	39
15	54	56	61	36	31	39	46
20	100	88	75	62	45	30	67
25	79	67	65	73	72	47	67
平均	71	62	59	59	54	46	

39日目抽台率(%)							
18	21	17	29	26	34	24	
15	21	27	30	29	35	26	
10	24	30	32	23	35	26	
10	19	10	19	21	27	18	
13	21	22	27	25	32		

注) 29日目: 103g/10株を100とした。39日目: 2.44kg/m²を100とした。54日目: 4.01kg/m²を100とした。
* P添加割合: P吸収係数の0, 5, 30, 60, 100, 200%相当のP₂O₅量を添加
N施肥量: kg/10aである。

秋どりのシュンギクにおいても(第27表)最高収量は45日目にはP添加割合5~30%区, 79日目には0~5%区で得られ, それを超えると収量の低下が認められた。しかし, 収量低下割合は, ホ

ウレンソウより小さく, むしろ, N増肥効果が顕著であった。なお, 両野菜とも抽台率はP添加割合の増加に伴い高まる傾向を示した。

第27表 P 多量添加に伴うシュンギクの相対収量の変化（秋どり）

時期 P 添加割合* N 施肥量	は種後45日目10株重						
	0	5	30	60	100	200	平均
10	50	55	39	36	36	34	42
15	78	86	61	58	55	52	65
20	83	92	85	81	72	69	80
25	80	87	100	91	78	73	85
平均	73	80	71	67	60	57	

は種後79日目 10株重							
0	5	30	60	100	200	平均	
50	57	38	32	36	36	42	
80	86	61	60	57	61	68	
83	92	85	83	74	72	82	
84	100	87	92	78	80	87	
74	84	68	67	61	62		

時期 N 施肥量	79日目 抽台率 (%)						
	0	5	30	60	100	200	平均
10	3.7	4.2	4.4	5.2	7.2	8.1	5.5
15	4.5	2.2	2.4	4.9	5.4	5.6	4.2
20	1.6	2.1	2.5	4.2	4.7	6.7	3.6
25	3.0	2.2	1.8	3.2	4.9	9.9	4.2
平均	3.2	2.7	2.8	4.4	5.6	7.6	

注) 45日目：769 g/10株，79日目：1,570 g/10株。

*, P 添加割合：P 吸収係数の 0, 5, 30, 60, 100, 200% 相当の P₂O₅ 量を添加。

第28表 P・N 処理に伴うホウレンソウの体内成分含有率の変化（38日目上物収穫物）
（最高含有率区の値に対する相対値）

項目 P 添加割合 N 施肥量	N						
	0	5	30	60	100	200	平均
10	93	95	91	95	86	82	90
15	93	96	97	99	95	95	96
20	100	96	99	95	99	98	98
25	99	99	98	100	98	97	99
平均	96	97	96	97	95	93	

P ₂ O ₅							
0	5	30	60	100	200	平均	
49	58	69	70	89	100	73	
48	52	61	68	75	92	66	
52	52	63	70	67	82	64	
47	48	55	67	72	82	93	
49	53	62	69	76	89		

項目 N 施肥量	K ₂ O						
	0	5	30	60	100	200	平均
10	95	100	99	95	88	80	93
15	100	97	95	92	87	87	94
20	95	95	95	99	88	86	93
25	97	99	93	90	88	84	92
平均	97	98	96	94	88	84	

Mg O							
0	5	30	60	100	200	平均	
67	63	72	80	72	83	73	
70	74	78	81	81	88	79	
77	75	79	88	91	97	85	
86	83	81	94	88	100	89	
75	74	78	86	83	92		

項目 N 施肥量	Ca O						
	0	5	30	60	100	200	平均
10	91	77	81	80	72	62	77
15	76	89	85	87	84	75	83
20	100	80	85	80	81	81	85
25	84	83	93	87	73	80	83
平均	88	82	86	84	78	75	

Mn							
0	5	30	60	100	200	平均	
55	62	58	42	37	39	49	
50	68	55	41	46	38	50	
79	71	54	50	48	51	59	
90	100	58	41	46	39	62	
69	75	56	44	44	42		

項目 N 施肥量	Zn						
	0	5	30	60	100	200	平均
10	74	100	98	95	83	75	88
15	78	86	92	79	92	74	84
20	94	84	75	84	71	58	78
25	90	88	84	79	70	64	79
平均	84	90	87	84	79	68	

注) 各成分の最高含有率

N : 5.22% Mn : 145 p p m
 P₂O₅ : 2.62% Zn : 129 p p m
 K₂O : 9.69%
 Mg O : 2.64%
 CaO : 1.23%

P, N処理に伴う体内各成分含有率の変化(第28表)を検討すると、全処理区間で認められる各要素含有率の変化幅は、N(82~100) < K(80~100) < Ca, Mg(63~100) < P(47~100)の順に大きかった。これらの内、①P・N処理の影響を同時に受けているのはP, Mn, N含有率で、P含有率はP添加量の増加に伴い高まり、N増肥により低下した。逆にMn含有率はP添加量の増加で低下し、N増肥で上昇した。また、N少肥条件下

のN含有率はP多量添加区で低下した。

それに対し、②P処理のみに反応するのはK, Zn含有率で、ともにP多量添加区で低下した。逆に、③N処理のみに反応するのは中、多肥条件下のN含有率と、Mg含有率で、ともにN増肥に伴い高まった。なお、④P, N処理の影響があまり明確でないのはCa含有率と、表示しなかったがFe, Cuなどの含有率であった。

そこで、これら体内成分含有率(39日目収穫物)

第29表 P多量施用に伴う体内成分含有率の変化とハウレンソウの収量の関係

体内成分含有率(%)					体内成分含有率(ppm)				他要因(参考)		
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO	Fe	Mn	Zn	Cu	抽台率	晩期収量	土壤中 Truog-P ₂ O ₅ 量
1. 39日目体内成分含有率と早期(39日目)収量との相関係数											
0.637**	-0.744**	0.494*	0.085	0.621**	0.007	0.552**	0.208	0.134	-0.670**	0.830**	-
2. 39日目体内成分含有率と晩期(54日目)上物収量との相関係数											
0.450*	-0.675**	0.348	-0.275	0.549**	-0.011	0.630**	0.158	-0.010	-0.595**	-	-
3. 39日目体内成分含有率と同時期の抽台率との相関係数											
-0.280	0.748**	-0.515**	0.166	-0.519**	-0.047	-0.607**	-0.385	-0.199	-	-	-
4. 39日目体内P含有率と他成分含有率との相関係数											
-0.512*	-	-0.804**	0.138	0.635**	-0.105	-0.736**	-0.403	-0.226	-	-	0.908**
5. 39日目体内N含有率と他成分含有率との相関係数											
-	-0.512*	0.279	0.304	0.678**	-0.083	0.347	-0.063	0.131	-	-	-

注) *: 5%水準で有意 ** : 1%水準で有意

と収量及び含有率同志の相互関係について第29表に取りまとめた。早期収穫の場合には収量は体内N, K, Ca, Mn含有率と正の相関関係にあり、P含有率とは負の相関関係にある。なお、抽台率とP含有率とは正の、K, Ca, Mn含有率とは負の相関関係にあった。また、晩期収量と早期収穫時の体内含有率との間にも、N, Ca, Mn含有率については正の、P含有率については負の相関関係が成り立った。

一方、体内P含有率は土壤中Truog-P量の増加につれ明らかに高まり、そのP含有率の上昇に伴い、N, K, Ca, Mn含有率は低下した。それに対しN含有率の上昇はP含有率の上昇を小さくし、Ca含有率を上昇させた。

シュンギクのP含有率は土壤に対するP添加量の増加に伴い明らかに高まるが、N施肥によってはあまり影響を受けなかった(第27図)。一方、N・K含有率はP処理よりもN施肥条件によって

変化し、N多肥(25kg施肥)で体内N・K含有率が著しく高まった。それに対し、Ca含有率はP添加量の増加に伴い低下し、Mg含有率はP添加量の増加につれ高まる傾向を示した。また、Mn含有率はP添加量の増加につれて明らかに低下した。

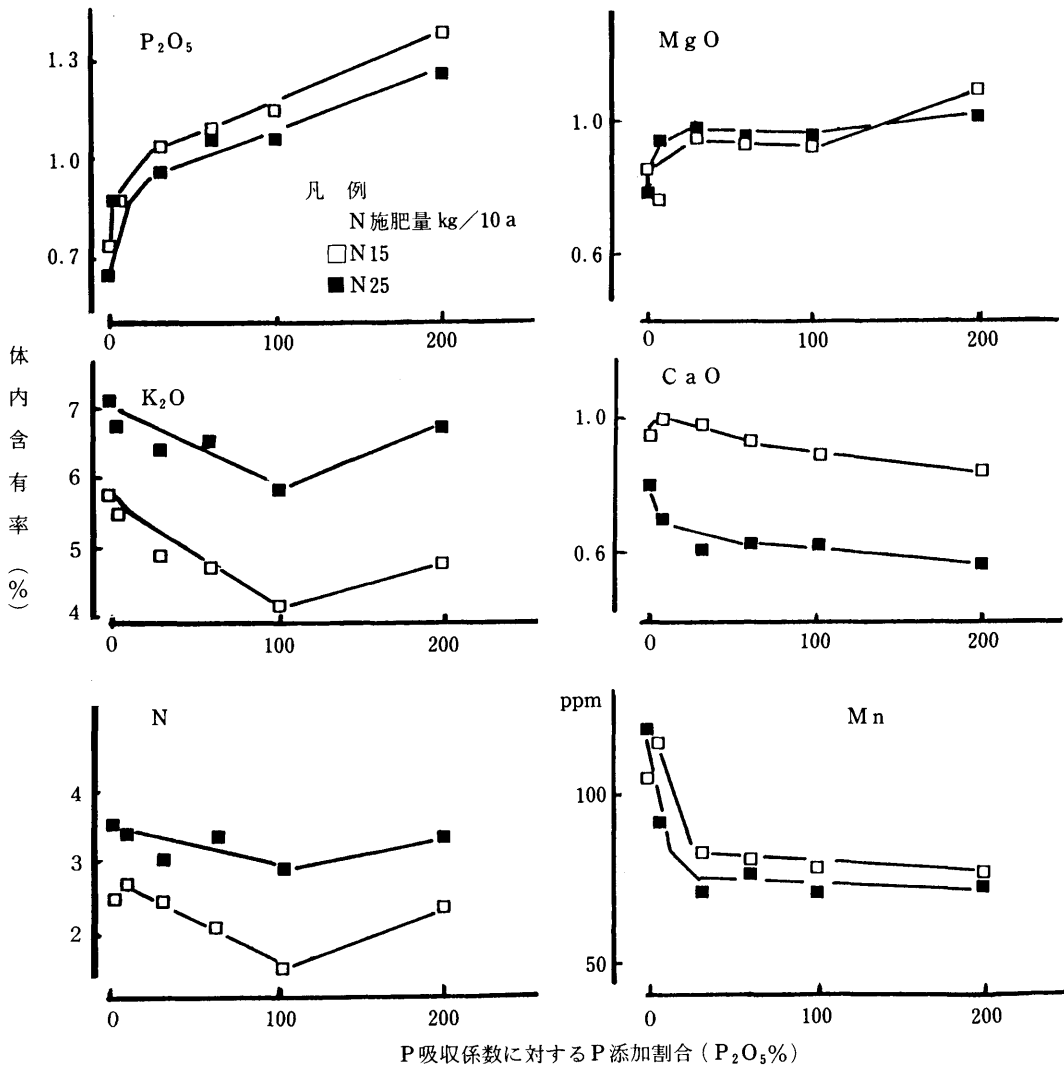
収量と体内含有率の関係を見ると、N, K, Ca含有率と収量の間には正の相関関係が、P含有率とは負の相関関係が認められ、体内P含有率の上昇に伴いK, Mn含有率の低下が認められ、Mg含有率が高まった。一方、N含有率の上昇はK, Ca含有率の上昇を随伴した(第30表)。

(c) ほ場レベルにおけるP蓄積量と収量の関係は第28図に示すとおりである。夏どりハウレンソウの場合は、①土壤中のTruog-P量50mgP₂O₅/100g前後まではP蓄積量の増加に伴い収量が高まり、次いで、②Truog-P量50~150mgP₂O₅/100gの範囲ではP蓄積量と収量の関係が判然と

せず、③それを超えると収量の低下が認められた。なお、沖積土の山口氏ほ場においては、低下傾向を示すも、収量レベルは高く、異なる推移を示した。

秋どりホウレンソウにおいてもほぼ同様な結果

が得られ、①P蓄積量の増加に伴い収量が上昇する領域と、②P蓄積量と収量の関係が判然としない領域（Truog-P量50~200mgP₂O₅/100gの範囲）、そして③P蓄積量の増加につれ収量が漸減する領域に分かれた。



第27図 P多量添加に伴うシュンギクの体内含有率の変化(45日目収穫物)

第30表 P 多量施用に伴う体内成分含有率の変化とシュンギク収量の関係

体内含有率 (%)					体内含有率 (ppm)		
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO	Mn	Fe	Zn
1. 53日目 体内成分含有率と同期の収量との相関性							
0.693**	-0.542**	0.828**	-0.300	0.688**	0.368	-0.342	0.108
2. 53日目 体内P含有率と他成分含有率との相関性							
-0.056	-	-0.417*	0.482*	-0.239	-0.530**	0.069	0.053
3. 53日目 体内N含有率と他成分含有率との相関性							
-	-0.056	0.846**	0.060	0.822**	0.211	-0.379	0.386

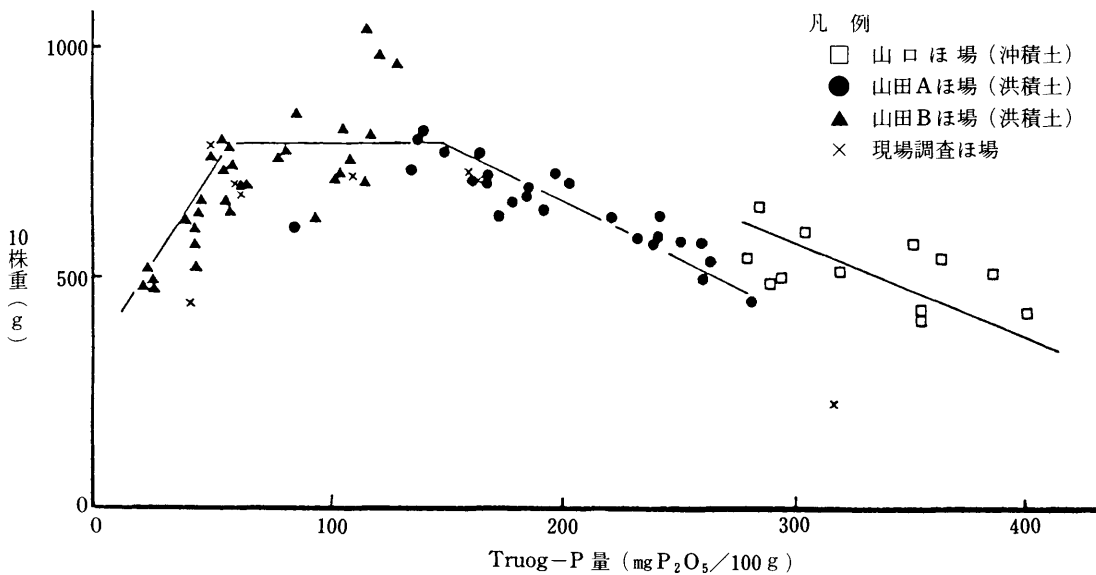
以上のように、ホウレンソウに対するほ場レベルでの検討結果は、前述、P資材多量施用による造成初年目のB枠ほ場の結果とほぼ一致し、当年施用Pが土壌蓄積Pとほぼ同様な効果を示すことを示唆した。

4. P蓄積が結球野菜の生産に及ぼす影響

1) 試験方法

[A. レタス]

(a) 前述のA枠ほ場に、1981年6月22日にレタ



第28図 土壌中のTruog-P量と夏どりホウレンソウの収量との関係

注) 現在調査は、は種後32~34日目の収穫適期ほ場を調査対象とし、7月25日に行った。

スの33日苗を、2連で1枠9株(畦間25cm, 株間25cm)定植し(以下同様)、30日目に各枠3株ずつサンプリングをし、8月21日に残余を収穫した。

(b) 前述のB枠ほ場に、造成3年目の1982年6月17日にレタスの28日苗を定植し、7月14日(定植後27日目)に1枠4株サンプリングをし、8月

24日(定植後68日目)に残余を収穫した。両試験とも供試品種は「カルマーMR」である。

[B. ハクサイ]

前述のB枠ほ場に、造成4年目の1983年8月12日にハクサイ「無双」の35日苗を1枠6株定植し、10月20日に収穫した。

〔C. タマネギ〕

道央13カ所の現地農家ほ場において、N施肥量2段階（15, 25kgN/10a）、P施肥量4段階（0, 10, 25, 50kgP₂O₅/10a）の組合せ8処理の試験を行った。供試品種は「札幌黄」で、試験規模は1区20m²、2連制で行い、供試土壌は沖積土10カ所、無機質表層泥炭土3カ所である。なお、詳細については後述するタマネギの施肥に関する試験において述べるとして、本節では土壌中のTruog-P量と収量の関係についてのみ取りまとめた。

2) 結 果

〔A. レタス〕

(a) A 枠ほ場におけるレタスの30日目生育量及第31表 Truog-P量とレタスの生育・収量の関係

Truog-P量 mgP ₂ O ₅ /100g	30日目相対生育量*		相対収量**	
	生 重	乾 重	総 重	結球重
21.8	32	47	52	57
36.3	34	50	71	72
62.0	74	71	72	75
71.6	82	78	83	79
89.1	85	90	86	84
96.8	94	91	91	87
134.4	100	100	100	100
168.8	96	89	90	89
172.0	94	88	88	82
228.0	93	87	87	81

注) *30日目相対生育量：定植後30日目の最大1株重297g及び最大1株乾重13.7gを100として、初期生育量を示した。

**相対収量：最大10株総重13.8kg、及び10株結球重9.9kgを100とした。

第32表 P多量施用に伴うレタス体内含有率の相互関係

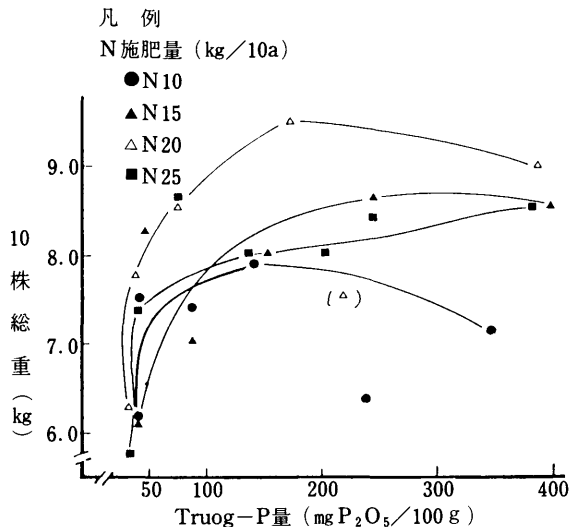
体内成分含有率(%)					体内成分含有率(ppm)			結球収量
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Fe	Mn	Zn	
1. 定植後27日目の作物体内P含有率と他成分含有率との相関係数								
-0.576**	—	-0.718**	0.183	0.111	-0.386	-0.855**	-0.583**	0.409*
2. 定植後27日目の作物体内N含有率と他成分含有率との相関係数								
—	-0.576**	0.294	0.086	0.445*	0.206	0.817**	0.739**	-0.247
3. 収穫時の体内P含有率と他成分含有率との相関係数								
0.325	—	-0.720**	-0.665**	0.179	0.080	-0.756**	-0.495*	0.525**
4. 収穫時の体内N含有率と他成分含有率との相関係数								
—	0.325	-0.183	-0.084	0.087	0.480*	-0.031	0.232	0.188

注) *：5%水準で有意 **：1%水準で有意

び収量は、土壌中Truog-P量134mgP₂O₅/100gをピークに、その前後で低下した（第31表）。最高結球収量に対する減収率15%以内の収量を確保し得るP蓄積量の範囲を、有効態P適正領域とすると、Truog-P量90mg~180mgP₂O₅/100gがレタスに対する適正P領域と推定された。

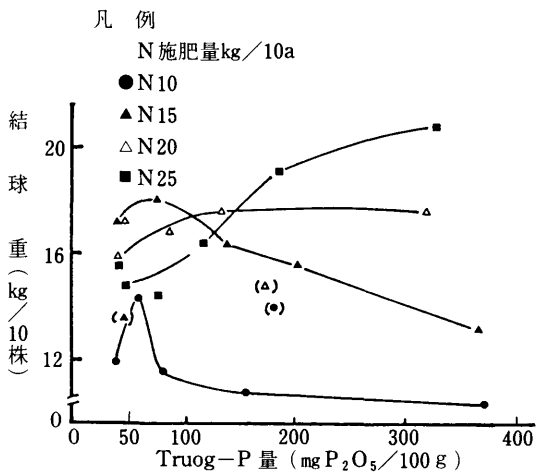
(b) B 枠ほ場における土壌中のTruog-P量の増加は、定植後28日目のレタス体内P含有率を明らかに高め（ $r=0.882^{**}$ ）、その体内P含有率の上昇に伴い初期生育は全般的に良好となるが（ $r=0.827^{**}$ ）、しかし、初期生育量の多少は収穫時総重の多少とは必ずしも一致せず、P蓄積量の多い場合には、N少肥でおう盛な初期生育が確保されても、その後の生育は停滞し、収穫時の総重は小さかった。そのため、第29図に示すように、N10kg施肥系列の総重（あるいは結球重）は、Truog-P150~160mgP₂O₅/100g程度を超えると低下した。それに対しN多肥系列ではP過剰蓄積に伴う収量低下は明瞭でなく、広域適応性を示した。

一方、体内成分含有率間の相互関係を定植後27日目の作物体でみると、体内P含有率の上昇につれN、K、Mn、Zn含有率が低下した（第32表）。収穫時においてもP含有率の上昇に伴い体内K、Ca、Mn、Zn含有率が低下し、かつ、両時期の体内P含有率と結球収量との間に正の相関関係が認められた。



第29図 土壤中のTruog-P量とレタス収量との関係

注) 10株総重と結球重の相関係数 $r=0.609^{**}$
 注) 図中、左端より、各N施肥系列ともP吸収係数に対するP添加割合0, 5, 30, 60, 100, 200 ($P_2O_5\%$) 区に相当する。



第30図 土壤中のTruog-P量とハクサイの収量との関係

注1) 結球重と総重との相関係数 $r=0.704^{**}$
 注2) 図中、左端より、各N施肥系列とも、P吸収係数に対するP添加割合0, 5, 30, 60, 100, 200 ($P_2O_5\%$) 区に相当する。

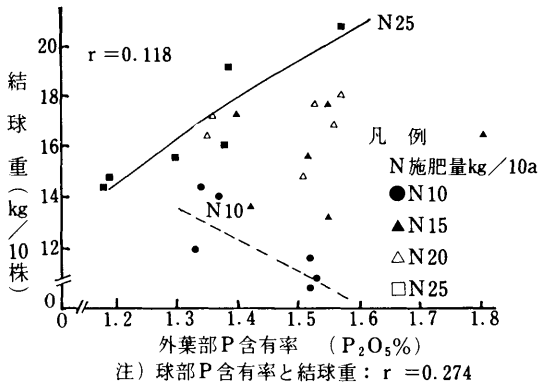
[B. ハクサイ]

P蓄積量と結球収量との関係を第30図に示した。N少肥条件(N10, 15kg施肥系列)では、Truog-P 60 (N10系列) ~ 80 (N15系列) mg $P_2O_5/100g$ をピークに、その前後で収量が低下した。しかし、N多肥条件(N20, 25系列)になるとP過剰蓄積による収量低下が解消され、N25系列ではP蓄積量の増加に伴い増収した。

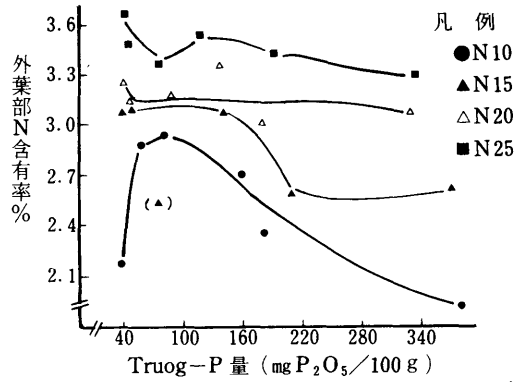
収穫時の外葉部及び結球部のN・P含有率と結球重の関係を検討すると、P含有率と結球重の間には全体として、一定の傾向が認められないが(第31図)、①N10系列ではP含有率が高いほど、結球重が低下する傾向にあり、②N15・20系列では判然とせず、③N25系列では明らかにP含有率の上昇で結球重が高まった。すなわち、P含有率の上昇をもたらす蓄積P量の効果がN施肥条件によって異なった。一方、N含有率と結球重の間には全体として正の相関関係($r=0.536^{**}$)が認められた。

次に、土壤のTruog-P量の増加に伴う体内N・P含有率の変化を検討すると、P含有率はTruog-P量の増加につれ外葉部($r=0.607^{**}$)・結球部($r=0.548^{**}$)とも高まり、N含有率は全体的には一定の傾向を示さなかった。しかし、各N施肥系列別に見ると、N増肥により体内N含有率は高まり、Truog-P量の増加に伴い低下傾向を示した。その低下傾向はN少肥条件ほど顕著であった(第32図)。

さらに、P蓄積量の多少が他成分含有率に及ぼす影響を検討すると、第33表のように、Truog-P量の増加は結球前の体内Ca, Mg含有率を高め、K, Mn, Zn含有率を低下させた。体内Ca, Mg含有率の上昇はTruog-P量の増加に伴う交換性Ca, Mg量の増加に起因する。一方、Truog-P量の増加に伴い体内K含有率は明らかに低下し($r=-0.829^{**}$)、Mn含有率も同傾向を示した($r=-0.712^{**}$)。ただし、Mn含有率はN増肥により顕著に高まり、pH上昇に伴い低下した。



第31図 ハクサイ体内P含有率(収穫時)と収量との関係



第32図 土壌中のTruog-P量とハクサイ外葉部N含有率(収穫時)の関係

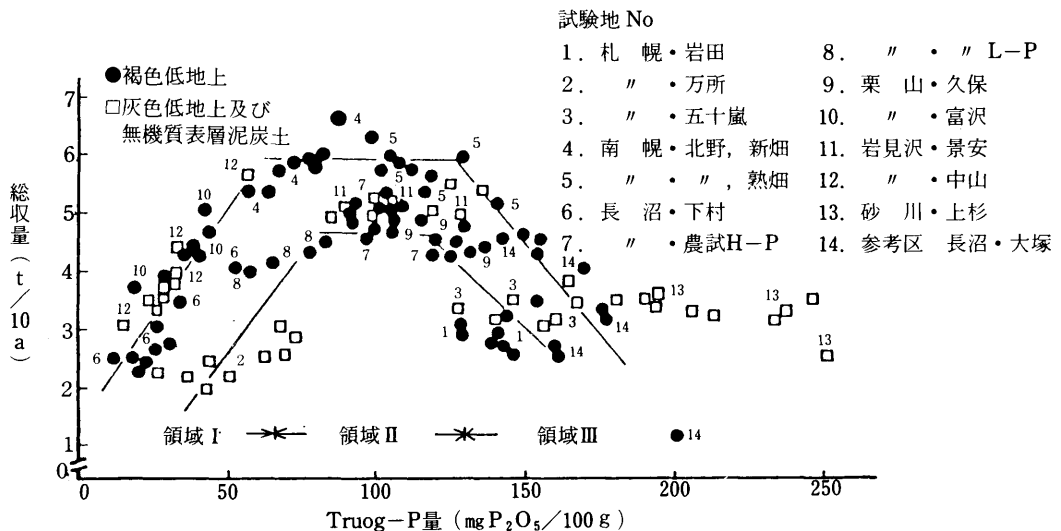
第33表 Truog-P量の増加がハクサイの成分含有率に及ぼす影響

項目 サンプリング時期	Truog-P量と体内各成分含有率との相関係数							
	P ₂ O ₅	N	K ₂ O	CaO	MgO	Fe	Mn	Zn
9月16日 (結球前)	0.297	-0.132	-0.742**	0.561**	0.723**	-0.090	-0.688**	-0.623**
10月13日 (収穫時)	-0.169	-0.012	-0.512**	-0.242	0.133	0.224	-0.405*	-0.456*

注) * : 5%水準で有意 ** : 1%水準で有意

[C. タマネギ]

P蓄積量と収量の関係を第33図に取りまとめた。なお、本調査を実施した1977年はやや低収年



第33図 土壌中のTruog-P量とタマネギの総収量との関係(1977年)

であった。全試験地のTruog-P量と総収量の関係から、土壤中のP蓄積状態を3区分した。すなわち、①P蓄積量の増加が明瞭な収量増につながる領域Ⅰ、②収量水準は最も高いがP蓄積量と収量の関係が判然としない領域Ⅱ、そして③P蓄積量の増加が収量低下をもたらす領域Ⅲである。

領域Ⅱ、すなわち、P適正領域は1977年では、Truog-P 80~130mgP₂O₅/100gの範囲と推定された。一方、多収年の1978年については、既報¹⁹⁶⁾のように、P適正領域は70~170mg/100gの範囲となり、P蓄積増に伴う収量変化は、1977年の結果と同様に、ほぼ3領域に区分し得た。

5. P蓄積が根菜の生産に及ぼす影響

1) 試験方法

[A. コカブ]

前記A枠ほ場において、1981年6月15日に、コカブ「耐病ひかり蕪」をは種し(1枠5列、畦間17cm)、は種後20日目に1回目間引き、同30日目に生育調査を兼ねて2回目の間引きを行い、1列12株立とし、8月10日(は種後56日目)に収量調査を行った。

[B. ニンジン]

(a) 前記B枠ほ場において、造成2年目の1981年6月1日に、ニンジン「U. S春時5寸人参」を、1枠3列は種、間引き後1枠60本立てとし、8月14日(は種後75日目)にサンプリングを行い1枠40株とし、9月9日(は種後101日目)に収穫した。

(b) 富良野地区140カ所のニンジン栽培跡地の土壌を分析し、併せて収量調査を行った。本節においては、P蓄積量と総収量についてのみ取りまとめた。なお、本調査は富良野地区普及所及び管内4農協の協力のもとに行なったものである。

2) 結果

[A. コカブ]

土壤中Truog-P 70mgP₂O₅/100g前後で、総重、根重とも最大であった(第34表)。また、上物収量に対する減収率15%以内の収量を確保し得るP蓄積量を有効態P適正領域とみなすと、Truog-P 30~90mgP₂O₅/100gの範囲が該当し

た。

一方、体内P含有率と他成分含有率の関係を検討したところ、P含有率の上昇に伴いN($r=-0.908^{**}$)、K($r=-0.925^{**}$)含有率は低下し、Ca・Mg含有率との関係は明らかでなかった。

[B. ニンジン]

(a) 表示しなかったが、75日目葉重はTruog-P量の増加に伴い、N少肥条件下では低下し、N増肥でその低下が回復する傾向を示した。また、75日目葉重と上物収量の間には正の相関関係($r=0.864^{**}$)が認められた。そのためP蓄積量と収量の関係は75日目葉重との関係と同傾向となった。

P蓄積量と収量の関係を第34図に示した。上物収量は20kgN/10aで最大で、それよりの増減で減収し、かつ、Truog-P 50mgP₂O₅/100g以上の範囲ではTruog-P量の増加に伴い減収した。なお、上物収量と総収量の間には高い正の相関関係が認められた。

次に、75日目及び収穫時の葉部成分含有率について一括取りまとめ第35表に示した。75日目葉重・収穫時葉重は、体内P含有率の上昇につれて低下し、N含有率の高まりに伴い上昇した。また、75日目葉重とMn、Fe含有率との間に正の相関関係が認められた。ところで、体内成分含有率間の相互関係を検討すると、P含有率の上昇に伴いMn、Fe、K含有率の低下が認められた。

(b) 現地農家ほ場においては、第35図に示すように、Truog-Pと収量の間にはあまり明瞭な関係が認められなかった。しかし、収量の、特に低

第34表 Truog-P量とコカブ収量の関係

項目 Truog-P量 mgP ₂ O ₅ /100g	30日目10株乾重	全収穫物10株重(g)		上物10株重***(g)	
	(g)	総重	根重	総重	根重
18	7.6	74	29	76	31
36	10.2	82	36	84	39
60	11.9	104	51	110	55
68	14.0	92	48	108	52
82	12.8	94	41	101	48
101	12.4	86	36	92	44
120	9.6	77	36	88	41
172	11.8	86	35	85	41
186	9.8	77	35*	80	39
200	9.2	76	35*	79	36

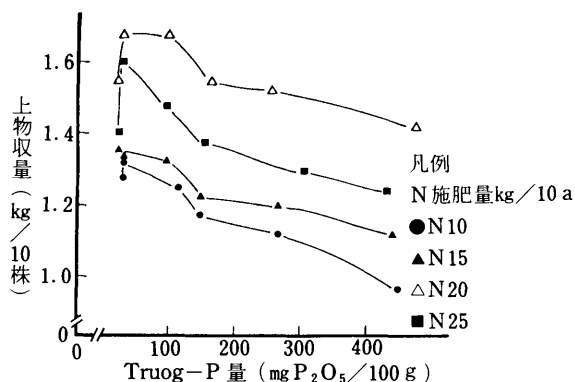
注) * : 裂球(ワレと称する)

** : 全収穫物から、裂球、屑を除く収量

35表 P 多量施用に伴うニンジン体内成分含有率の相互関係

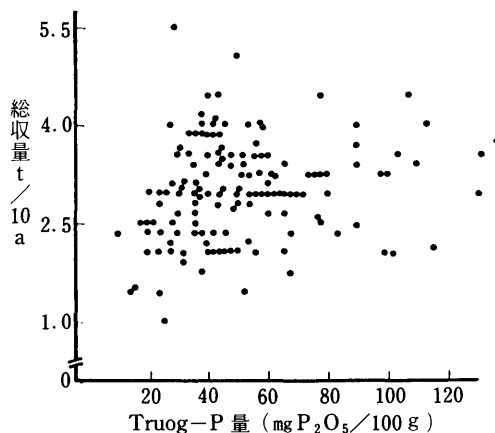
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Fe	Mn	Zn
1. は種後75日目作物体内（葉部）成分含有率と生育量（葉重）の相関関係							
0.701**	-0.520**	0.401	0.205	0.300	0.441*	0.486*	0.129
2. 収穫時の葉部成分含有率と生育量（葉重）の相関関係							
0.691**	-0.398	0.247	-0.589**	-0.377	-0.232	-0.124	-0.189
3. は種後75日目葉部P含有率と他成分含有率の相関関係							
0.336	-	-0.244	-0.389	0.653**	-0.469*	-0.542**	-0.217
4. 収穫時の葉部P含有率と他成分含有率の相関関係							
0.081	-	-0.448*	0.579**	0.452*	-0.553**	-0.312	0.079

注) *：5%水準で有意 **：1%水準で有意



第34図 土壌中の Truog-P 量とニンジンの収量との関係

注) 図中左端より各N施肥系列ともP吸収係数に対するP添加割合0, 5, 30, 60, 100, 200 (P₂O₅%区)に相当する。



第35図 土壌中の Truog-P 量とニンジンの収量との関係（富良野地区）

いものはP以外の要因のために低収であったと考え、各P蓄積土壌について高収例のみに着目すると、Truog-P 40~60mg P₂O₅/100g程度までP蓄積量の増加に伴い収量は高まるが、それを超えると判然としなくなるか、むしろ減収傾向を示した。

6. P蓄積が果菜の生産に及ぼす影響

1) 試験方法

[A. ダイズ]

(a) B 枠ほ場に、ダイズ「A62-2」の9日目苗（は種床に5月24日は種）を、1980年6月2日に1枠24株ずつ定植し、7月30日（開花期）に1枠12株採取した。その後10月20日に収量調査を行った。

(b) a/2, 000ワグネルポットにB枠ほ場と同一

の沖積土を充填し、①P無添加-15mgN/100g施肥区、②P添加-15mgN/100g施肥区、③P添加-30mgN/100g施肥区、④P添加-(15mgN+150mgS)/100g施肥区、⑤P添加-(15mgN+5mgZn)/100g施肥区の5処理区をもうけ、1980年10月4日（処理後40日目）に9日目苗のダイズ「A62-2」をポット当り5株ずつ定植した。その後43日目にサンプリングを行い、茎葉とさやに分け分析に供した。試験規模は1処理30ポットである。なお、P添加はP吸収係数(900)の200%相当量のP₂O₅を重過石で行い、Kは各区15mgK₂O/100gを共通施肥し、Sは硫黄で、Znは硫酸亜鉛で施用した。

[B. トウモロコシ]

B 枠ほ場に、1981年（造成2年目）6月1日に、

1 株9カ所（3粒ずつ）は種し、発芽後1株9株立てとし、7月14日に側芽を除去し、その量で初期生育量を推定した。さらに、生育途中（8月17日）に1株3株サンプリングを行い、残余を10月5日に収穫した。

1982年6月7日、再度、B株ほ場に1株12カ所（3粒ずつ）は種し、発芽後1株12株立てとし、7月19日に1株6株サンプリングを行い、残余を10月7日に収穫した。なお、供試品種は両年とも「クロスバンタムM」である。

[C. トマト]

前述、ダイズの(b)試験に供試したポットに2作目として1981年6月4日に、3作目として1981年7月20日にトマト「ひかり」の24日苗（2作目）及び18日苗（3作目）を1ポット3株定植した。定植後40日目及び42日目に生育調査を行い、地上部を採取、分析に供した。

2作目の処理は、①P無添加-15mgN/100g施肥区、②P添加-15mgN/100g施肥区、③P添加-30mgN/100g施肥区、④P添加-(15mgN+250mgS)/100g施肥区、⑤P添加-(15mgN+10mgZn)/100g施肥区の5区であり、試験規模は1処理区20ポットとした。なお、P、S、Zn資材添加及びK施肥は前述、ダイズ(b)試験と同様である。

3作目の処理は、①P無添加-15mgN/100g施肥区（2作目の処理区①）と、同区を分け、N増肥した②P無添加-60mgN/100g施肥区を新設し、同様に、③P添加-15mgN/100g施肥区（2作目の処理区②）と、同区をN増肥した④P添加-60mgN/100g施肥区をもうけ、また、新たに⑤P添加-(15mgN+50mgFTE·Fe)/100g施肥区を設定した。なお、試験規模は1処理区10ポットとした。

2) 結 果

[A. ダイズ]

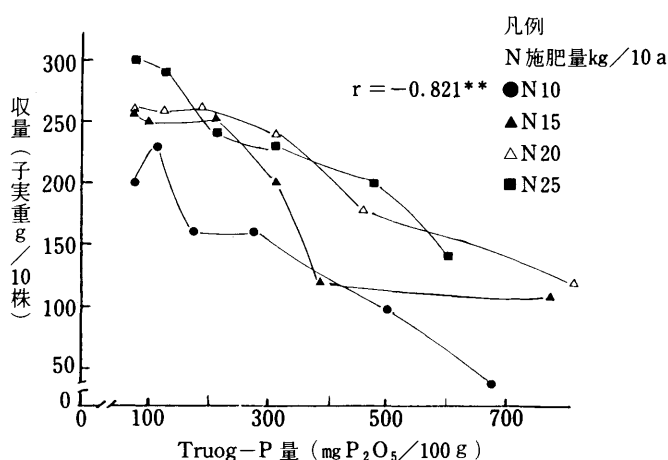
P蓄積量の増加に伴うダイズの生育抑制・収量低下は著しく、P吸収係数の60%相当量を超えるP添加区におい

て、葉脈間に小斑点状の褐斑が生じ、P吸収係数の100%相当量を超える区で下位葉の落葉が認められた。また、このようなP添加量の増加に伴う生育抑制は、N増肥によって若干回復した（第36図）。このことは、この生育抑制がN添加に伴う、ECの上昇よりも、P量の増加が主要因であることを示唆した。

一方、土壌中のTruog-P量の増加に応じ、開花期のダイズ体内P含有率は顕著に高まり($r=0.884^{**}$)、P含有率と茎葉重の間に負の相関関係が成り立った($r=-0.912^{**}$)。また、開花期の茎葉重と収量の高いに高い正の相関関係が見られ($r=0.971^{**}$)、結局、土壌中P蓄積量の増加が体内P含有率を顕著に高め、生育を抑制し、収量が低下した。

以上の結果から、ダイズに対するP適正領域はTruog-P 75mgP₂O₅/100g以下にあると推定されるとともに、P過剰蓄積に伴い激しい生育阻害を受け、それがN増肥でやや回復することが確認された。

ところで、ダイズの体内P含有率とN($r=0.655^{**}$)、K($r=0.563^{**}$)、Mg($r=0.842^{**}$)含有率との間には各々正の相関関係が認められた。



第36図 土壌中の Truog-P 量とダイズの収量との関係

注) 図中、左端より各N施肥系列ともP吸収係数に対するP添加割合0, 5, 30, 60, 100, 200(P₂O₅%)区に相当する。

第36表 P多量施用とそれに対応したN, S, Zn添加処理がダイズの生育に及ぼす影響

部位	処理区別	体内成分含有率 (%)					体内成分含有率 (ppm)				相対生育量
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Zn	Mn	Fe	Cu	
茎葉	① P 0-N15施肥区	2.76	0.80	2.72	1.88	2.06	72	167	409	12	100
	② P 200-N15 "	3.78	5.11	2.98	1.80	2.76	38	93	339	10	37
	③ P 200-N30 "	3.92	5.87	3.36	1.80	2.63	51	132	235	11	52
	④ P 200-S "	3.22	1.09	2.64	1.74	2.98	51	381	381	12	57
	⑤ P 200-Zn "	2.97	5.19	3.40	1.43	2.72	39	395	395	8	49
子実	① P 0-N15施肥区	3.78	0.51	3.06	0.55	0.70	41	41	261	8	-
	② P 200-N15 "	4.73	2.09	3.39	0.59	0.75	38	36	255	10	-
	③ P 200-N30 "	4.52	1.76	3.25	0.61	0.71	39	37	172	10	-
	④ P 200-S "	4.83	1.19	3.18	0.44	0.71	37	35	190	10	-
	⑤ P 200-Zn "	4.41	2.46	3.66	0.76	1.09	36	47	290	9	-

注) P 0: P資材無添加 P 200: P吸収係数の200%相当量のP₂O₅添加

N15: 15mg/100g N施肥 N30: 30mg/100gのN施肥

S: 150mg/100gのSを硫黄で施肥

(b) P吸収係数の200%相当量のP添加処理区において、生育抑制と葉脈間に小斑点状の黄化、褐変が生じ、B枠は場と同一の症状が確認された。この作物体の成分含有率を検討したところ、対照の無処理区に比べ体内のN, P, K, Mg含有率は高まり、B枠は場と同様な結果を得た(第36表)。さらに、Zn, Mn, Fe等の含有率低下が認められた。それに対し、N倍肥区において生育は回復傾向を示し、体内含有率についてみると、P多投によって低下した各種含有率の内、Zn, Mn含有率がやや回復し、Fe含有率は低下した。

一方、S施肥区においても生育は回復し、その時、顕著な体内P含有率の低下が認められるとともに、Zn, Mn, Fe含有率が上昇した。また、Zn施肥区において生育は回復傾向を示すものの、Zn含有率の上昇は認められなかった。

[B. トウモロコシ]

2カ年の試験結果において、表示しなかったが土壌中Truog-P量の増加につれ、1981年7月14日の側芽中 ($r=0.922^{**}$)、同8月17日 ($r=0.866^{**}$) 及び1982年7月19日 ($r=0.905^{**}$) の茎葉中P含有率が明らかに高まった。そして、1981年の側芽重とP含有率との間には負の相関関係 ($r=-0.809^{**}$) が成り立ち 特に、N10, 15kg系列において含有率の上昇につれ側芽重は明瞭に減少した。しかし、N20, 25kg系列では、P含有

率の上昇に伴い1.9~2.0%程度まで側芽重は増加し、それを超えると減少した。この傾向は、1982年7月19日の茎葉重とP含有率との関係においてより明らかであり、P含有率の1.33%前後までの上昇は茎葉重を増加させ、それを超えると減少した。

1981年、1982年ともP蓄積量の増加に伴い収量は低下し、N20kg以下の施肥条件ではTruog-P 50mgP₂O₅/100g以下がP適正領域であった。そして、P過剰蓄積に伴う収量低下はN増肥により回復する傾向を示した(第37図)。なお、N増肥に伴う収量変化はP蓄積量の増減に伴う収量変化よりも大きかった。

次に、土壌中P蓄積量の増加に伴う体内P含有率の上昇が他成分の吸収に及ぼす影響について検討した。1981年の側芽においてはP含有率の上昇につれ、体内Ca($r=-0.577^{**}$)、Fe($r=-0.567^{**}$)、Zn含有率の、取りわけ、Zn含有率の低下は顕著であった(第38図)。

1982年(7月19日の茎葉)の結果からも、体内P含有率の上昇に伴いMn($r=-0.681^{**}$)、Zn($r=-0.685^{**}$)含有率が低下し、土壌中Truog-P量と体内Mn($r=-0.498^{*}$)、Zn($r=-0.501^{*}$)含有率の間に負の相関関係が認められた。また、N含有率とP含有率の間にも負の相関関係 ($r=-0.561^{**}$) が成り立ち、さ

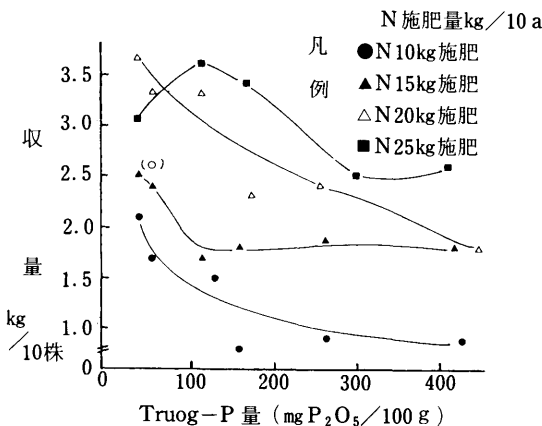
らに、N含有率とZn, Mn含有率の間に正の相関関係が認められ、P蓄積増によるZn, Mnの吸収抑制がN増肥で緩和された(第39図)。

[C. トマト]

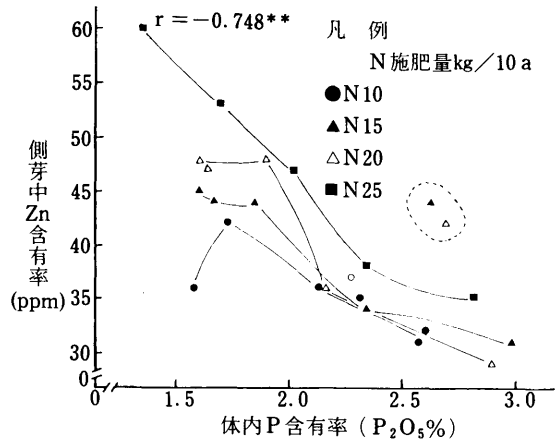
前述、ダイズの(b)試験に供試したポットの、2作目としてトマト(1回目)を定植する時の土壤中Truog-P及び水溶性P量は第37表に示すとおり、P添加区で多く、体内P含有率も高まっていた。P添加各区の生育量はP無添加区より良好となり、一方、P添加系列の内、N30mg施肥区、S施肥、Zn施肥区の生育はP添加区の生育と同等かむしろ劣り、これら資材の効果は認められなかった。

2回目のトマトの生育量はN多肥区(処理区2及び4)で抑制され、同一N施肥レベルではP添加処理で良好となった(第38表)。また、P添加-N60mg施肥区において上位葉の黄化が激しく、その葉色の黄化はFTE・Feの添加でほぼ解消され、生育も回復傾向を示した。

一方、生長の中心部位であり、黄化現象が顕著に認められる上位葉を中心に体内成分含有率を検討すると、P添加処理は体内P含有率を高めるとともに、同一N施肥レベルで比べるとN含有率をも高め(処理区1と3, 2と4)、逆に、Mn, Zn, Fe含有率を低下させた。なお、Fe含有率の低下はFTE・Fe施肥によって明らかに回復した。

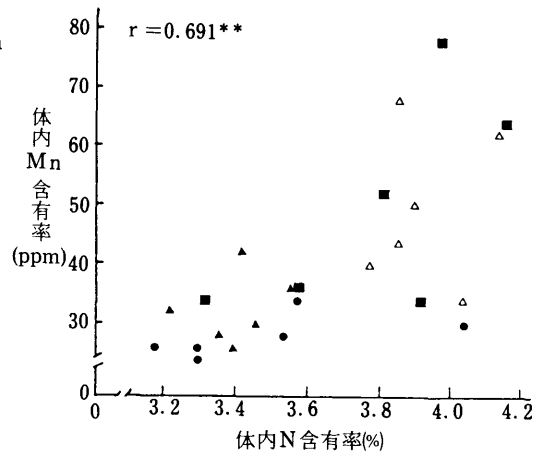
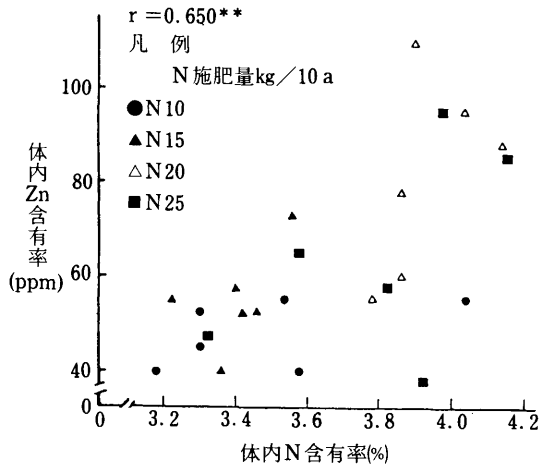


第37図 土壤中のTruog-P量とトウモロコシの収量との関係(1982年)



第38図 トウモロコシ側芽中のP含有率とZn含有率の関係(1981.7.14)

注) 側芽中の体内Zn含有率と側芽重: $r = 0.592^{**}$



第39図 トウモロコシ体内のN含有率の変化とZn, Mn含有率の関係(1982.7.19)

第37表 P多量施用とそれに対応したN, S, Zn添加処理がトマトの生育に及ぼす影響

処理区別	定植時				は種後64日目			体内P ₂ O ₅ 含有率	
	pH (H ₂ O)	EC (ms)	Truog-P (mgP ₂ O ₅ /100g)	水溶性-P (mgP ₂ O ₅ /100g)	草丈 (cm)	葉数 (枚)	乾物重比	葉部 (%)	茎部 (%)
① P 0-N15施肥区	5.14	0.765	46	8	37.0	9.4	100	0.67	0.56
② P 200-N15 "	6.30	0.759	622	424	45.0	9.7	119	2.44	2.46
③ P 200-N30 "	6.01	1.135	535	365	41.4	9.6	117	2.36	2.55
④ P 200-S "	5.85	1.035	475	239	39.3	9.2	115	2.39	2.77
⑤ P 200-Zn "	6.54	0.746	594	447	38.0	9.5	114	1.95	2.62

注) P資材添加処理後, 2作目。は種後64日目の生育を調査

P吸収200%: P吸収係数の200%相当量のP₂O₅添加

第38表 P多施用とそれに対応したN, Fe添加処理がトマトの生育・成分吸収に及ぼす影響

部位	処理区別	体内成分含有率 (%)					体内成分含有率 (ppm)					1株 乾量 (g)	同比 (%)
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Zn	Mn	Fe	Cu	Ni		
上位 葉	① P 0-N15施肥区	4.52	1.30	4.84	1.01	1.30	47	400	227	21	92	56.9	100
	② P 0-N60 "	4.97	0.70	3.56	1.33	1.83	71	717	201	22	178	40.0	70
	③ P 200-N15 "	4.80	3.24	4.14	1.11	2.60	43	152	206	18	67	69.7	122
	④ P 200-N60 "	6.13	3.11	4.20	0.73	1.52	59	132	146	15	74	48.3	85
	⑤ P 200-N60+Fe "	5.93	3.26	3.97	0.96	1.69	79	128	317	23	114	59.0	104

注1) P 0: P資材無添加

P 200: P吸収係数の200%相当量のP₂O₅添加

N 15: 15mg/100gのN施肥

N 60: 60mg/100gのN施肥

2) 上位葉: 第1花房より上位の葉

第2節 塩基蓄積の進行が 野菜生産に及ぼす影響

1. 目的

野菜畑における塩基蓄積の進行が野菜生産に及ぼす影響に関連して, ①野菜の正常生育に対する塩基蓄積の上限値の推定及び②塩基蓄積に伴う生育阻害の有無と, 阻害要因の解明について検討した。

2. 試験方法及び供試ほ場の化学性の変化

1) 試験方法

①道立中央農試梓ほ場, ②道南農試大型ビニールハウスにおいて試験を行い, それらの結果を取りまとめた。取りわけ, 道立中央農試梓ほ場(“塩基梓ほ場”と略す)においては, 1978~1982年の5カ年にわたって試験を行い, 本研究の主要部分を占めている。そこで, 同塩基梓ほ場について試験経過と土壌化学性の推移を述べる。

1978年(初年目)6月2日, pH6.02, CEC15.1m.e/100g, 塩基飽和度88.3%の状態にあった沖積土に, 炭カル(炭酸カルシウム), 硫マグ(硫酸マグネシウム), 硫加(硫酸カリウム)を施用し, 目標塩基飽和度まで高めた。処理区は塩基資材3種(炭カル, 硫マグ, 硫加)と目標塩基飽和度3段階(100, 130, 160%)の組合せ9処理に, 無処理区を加えた10処理とした。

1980年(第3年目)5月2日に, pH5.02, CEC14.9m.e/100g, 塩基飽和度58.4%の状態にあった洪積土に, 前述の塩基資材3種と目標塩基飽和度1段階(130%)の組合せ3処理に, 無処理区を加えた4処理区を増設し, また, 1978年より処理を開始した沖積土を, 1978年と同じ塩基資材を施用し, 再調整した。

1981年(第4年目)には, 沖積土について, さらに塩基資材8種(炭カル, 炭酸マグネシウム, 炭酸カリウム, 硫酸カルシウム, 硫マグ, 硫加, 水酸化カルシウム, 水酸化マグネシウム)と施用

塩基量 2 段階 (2.5, 5.0m.e/100g添加) の組合せの内、硫酸カルシウムと水酸化カルシウムの5.0 m.e添加区を除いた14処理区を増設した。また、1978年(沖積土)及び1980年(洪積土)より処理を開始した各区を炭カル、炭酸マグネシウム(炭マグと略す)、炭酸カリウム(炭加と略す)により再調整した。

すなわち、1980年までの3カ年間は、炭カル、硫マグ、硫加により目標飽和度を設定したため、随伴アニオンが異なった。それに対し、1981年と1982年は炭カル、炭マグ、炭加と炭酸塩で再調整し、随伴アニオンを一定にそろえた区を設定した。

供試枠は表面積 1 m² (無底で深さ80cm)で、処理は土層30cmの深さまでを対象として行った。試験規模は3連制で、各年の供試作物及び処理区数は、①1978, 1979年はトマトで処理区は10区、②1980年はハウレンソウ及びシュンギクで、処理区は14区、③1981年はレタスで、処理区は28区、④1982年はハウレンソウで、1981年に増設した区を除いた14処理区であった。

2) 塩基枠ほ場の土壌化学性の変化

塩基資材施用に伴う土壌pHの経年変化を沖積土で検討すると(第40図)、pHは1978年には施用量の増加に伴い炭カル施用系列で上昇し、硫加、硫マグ施用系列で低下傾向を示した。また、炭カル、硫加施用系列では経年的にpHが高まり、硫マグ施用系列では低下する傾向を示した。なお、

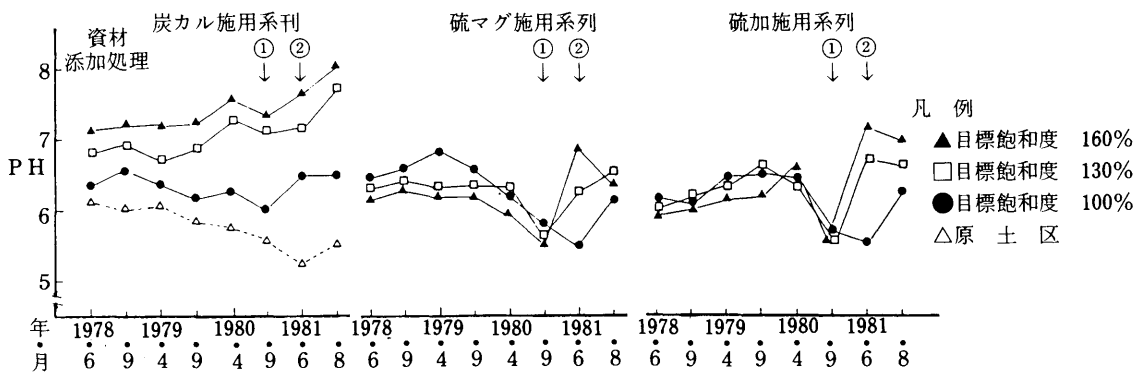
炭マグ、炭カル、炭カリの炭酸塩施用による1981年の再調整で、各区のpHは明らかに高まった。

1980年の1回目再調整時までの塩基含量の推移は、表示しなかったが、施用したCaは土壌中で比較的安定で、経年的減少量が少ないが、Mg, Kは多量施用区において経年的に著しく減少した。なお、供試土壌は蛇紋岩の影響を受けた沖積土で、交換性MgO120mg/100g程度含んでいた。

一方、造成1年後の1979年4月に、土壌を100ml採土管で採取し、水で飽和した後、余剰水を排除し、遠心分離器でpF 0~3.8の範囲の土壌溶液を採取し、同時期の土壌の交換性塩基とともに、各塩基を常法²⁰⁾で測定した。

炭カルの多量施用は、施用1年後においても、土壌及び土壌溶液pHを高めていた。そして、交換性Ca(水溶性を含む)の形態で多量に土壌中に存在するが、土壌溶液中には必ずしも溶出しなかった。それに対し、硫マグ、硫加施用系列は土壌溶液中のMg, K濃度が施用量の増加につれ、明瞭に高まった(第39表)。

1980年、6月4日(施肥後20日目)、ハウレンソウ栽培中の土壌(沖積土のみ)を採取し、硝酸態N率を測定した(第40表)。この場合の塩基資材の施用量は少なく、1978年の資材多量施用時ほど明確なECの上昇は起らなかった。しかし、硫マグ、硫加施用系列の硝酸態N率が、炭カル施用系列に比べ明らかに低く、硝酸化成の抑制が認め



第40図 塩基枠ほ場における塩基資材施用に伴うPHの変遷

注) ①第1回再調整 Ca炭酸塩, Mg, K:硫酸塩

②第2回再調整 Ca, Mg, K:炭酸塩

第39表 塩基多量施用に伴う土壌中及び土壌溶液中塩基量の変化 (1979.4)

処理区	土 壤		土壌中交換性塩基 (m·e/100g)					塩 基 飽 和 度 (%)	土 壤 溶 液 (m·e/ℓ)				
	PH	EC	K	Mg	Ca	計	PH		K	Mg	Ca	計	
Ca	100%	6.40	0.135	0.55	5.40	11.25	17.20	127.4	6.70	0.37	5.17	1.74	7.28
	130%	6.71	0.215	0.76	4.55	36.57	41.88	310.2	7.40	0.38	6.19	1.04	7.61
	160%	7.20	0.195	0.43	5.10	35.57	41.10	304.5	7.70	0.27	4.97	1.00	6.24
Mg	100%	6.80	0.095	0.53	6.04	7.18	13.75	98.1	7.35	0.43	6.71	0.59	7.73
	130%	6.28	0.210	0.72	6.50	7.08	14.30	103.9	6.35	0.44	11.72	0.87	13.03
	160%	6.26	0.495	0.68	8.25	7.55	16.48	118.0	6.20	0.69	29.17	4.40	34.26
K	100%	6.42	0.160	5.74	2.95	6.04	14.73	110.5	6.40	7.29	6.40	1.64	15.33
	130%	6.35	0.275	9.23	0.92	7.00	17.15	128.6	6.45	13.32	3.57	1.85	18.74
	160%	6.15	1.240	13.13	0.57	10.75	24.45	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

第40表 塩基資材多量施用に伴う硝酸化成の変化

処理区	1980年6月4日(施肥後20日目)						1978年6月13日				
	pH	EC	NO ₃ -N	N含量	硝酸態N率	A/B×100	pH	EC	NO ₃ -N	N含量	硝酸態N率
			(A)	(B)					(A)	(B)	
			mg/100 g	mg/100 g				mg/100 g	mg/100 g		A/B×100
Ca	100%	5.85	0.523	5.53	14.78	37.4	6.35	1.025	10.90	18.46	59.0
	130%	7.00	0.575	8.89	12.50	71.1	6.80	0.915	8.94	11.88	75.3
	160%	7.35	0.675	10.43	13.10	79.6	7.15	0.700	6.72	9.24	72.3
Mg	100%	5.60	0.511	2.65	15.23	17.4	6.45	1.605	1.60	16.17	9.9
	130%	5.55	0.969	3.14	16.69	18.8	6.37	3.920	0.40	21.27	1.9
	160%	5.50	1.140	2.68	13.88	19.3	6.12	6.450	0.02	17.53	0.1
K	100%	5.45	0.618	3.32	17.89	18.6	6.12	1.935	1.52	18.61	8.2
	130%	5.50	0.914	2.79	14.73	18.9	6.00	7.370	0.22	22.91	1.0
	160%	5.60	1.415	2.63	13.83	19.0	5.95	10.700	0.13	21.98	0.6

注) 1980年の施肥量(成分量) N:P₂O₅:K₂O=20:15:20kg/10a(ハウレンソウ栽培)
 1978年の施肥量(成分量) N:P₂O₅:K₂O=22:20:22kg/10a(トマト栽培)
 N含量=N O₃-N+N H₄-N

られた。なお、炭カル施用系列の硝酸態N率は無処理区より高く、硝酸化成が促進されていた。

3. 塩基蓄積が葉菜の生産に及ぼす影響

1) 試験方法

塩基枠ほ場を供試し、1980年5月20日にハウレンソウ「晩抽パイオニア」をは種し(1枠3列、畦間25cm、以下同じ)、間引後1列30株立てとし、35日目に1枠50株、43日目に残余を収穫した。その後、同年8月11日にシュンギク「中葉新菊」を

は種、間引後1列30株立てとし、44日目に1枠50株、72日目に残余を収穫した。施肥は、ハウレンソウ、シュンギクとも、N、P₂O₅、K₂Oをそれぞれ20,15,20kg/10a施用した。処理区数は、①沖積土の10処理区に、②洪積土の4処理区を加えた、2土壌14処理区である。

ハウレンソウについては1982年5月24日に再度は種し、7月7日に収穫した。栽培管理、施肥、栽植密度、処理区数などは1980年の試験方法と同一である。

2) 結 果

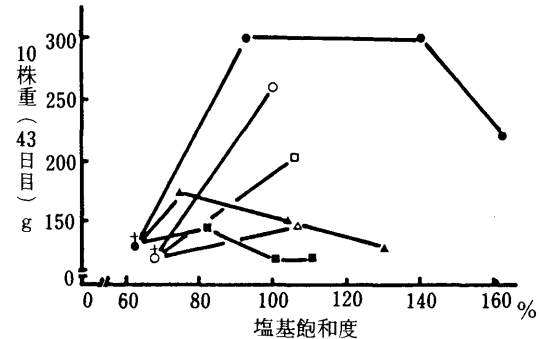
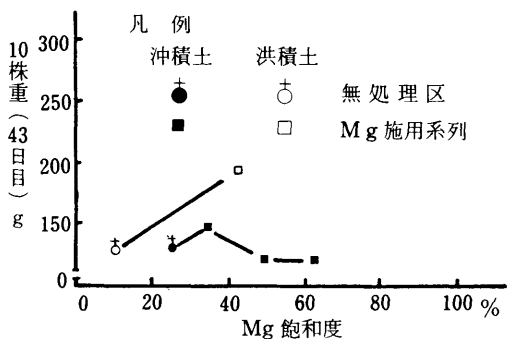
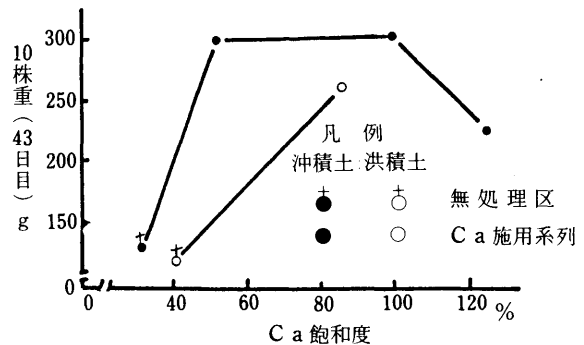
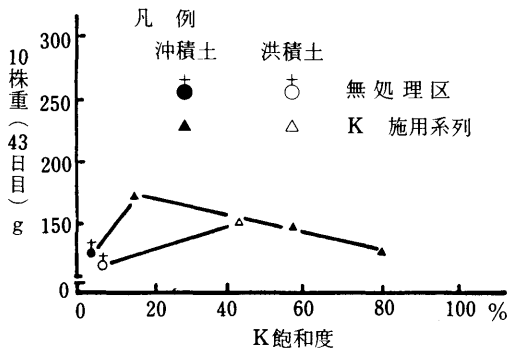
ハウレンソウの収量と塩基飽和度との関係を取りまとめた(1980年, 第41図)。炭カル施用系列では飽和度90%前後まで収量が高まり、140%程度を超えると低下した。それに対し、硫加、硫マグ施用系列は全般的に低収で変化が小さく、目標塩基飽和度130%以上の区で収量が漸減した。一方、各塩基別飽和度について検討すると、Ca飽和度はほぼ50~100%で良好な収量が得られ、K飽和度は15%程度まで、Mg飽和度は40%前後まで、飽和度の上昇に伴い収量が漸増し、それを超えると漸減した。

各塩基資材施用に伴う体内成分含有率の変化を検討し、第41表に取りまとめた。沖積土における炭カル施用増は、体内Ca含有率を高めるのみならず、Mg含有率をも高め、K含有率を低下させた。なお、洪積土においては、逆にK含有率が上昇し、Mg含有率が低下した。一方、硫マグ施用系列において、沖積土の目標塩基飽和度130%を

超える各区で、Ca、K含有率が著しく低下した。また、硫加施用系列においても、目標塩基飽和度130%を超える沖積土の各区でCa、Mg含有率が、洪積土でMg含有率が明らかに低下した。そして、体内K含有率とMg含有率の間には、第42図に示すように拮抗関係が示唆された。

シュンギクの場合(第43図)は、ハウレンソウと異なり、炭カルと同等かそれ以上に硫マグ、硫加の施用効果が認められた。まず、全体的に塩基飽和度との関係をみると、70~110%の範囲で良好な収量が得られ、各塩基別飽和度について検討すると、Ca飽和度は50~80%範囲で、K飽和度は10~15%前後で多収となり、Mg飽和度は40%前後まで、飽和度の上昇につれ増収し、その後増収率は鈍化した。

次に、pHと収量との関係を取りまとめると、ハウレンソウはpH6.0~7.0の範囲で、シュンギクはpH5.5~6.0で良好な収量が得られ、pH上昇を伴わない硫加、硫マグの施用はハウレンソウに対



第41図 土壌の塩基蓄積とハウレンソウの収量との関係(収穫跡地)

第41表 塩基資材施用に伴うホウレンソウの体内成分含有率〔無処理区*の値に対する相対値(%)〕の変化

土壌別	処 理 区	炭カル施用系列			硫マグ施用系列			硫加施用系列		
		Ca	Mg	K	Mg	Ca	K	K	Ca	Mg
沖積土	① 無 処 理 区	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	② 各塩基100%区	104	131	86	161	103	94	116	79	122
	③ 各塩基130%区	163	152	91	168	63	61	122	64	91
	④ 各塩基160%区	223	146	93	180	53	61	142	51	80
洪積土	⑤ 無 処 理 区	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	⑥ 各塩基130%区	146	85	106	143	119	103	133	108	90

* 沖積土の無処理区の体内成分含有率は、CaO:0.75%、K₂O:10.12%、Mg:1.57%であった。

洪積土の無処理区の体内成分含有率は、CaO:1.00%、K₂O:9.52%、Mg:1.67%であった。

しては効果がなく、シュンギクに対しては効果が認められた(第44図)。

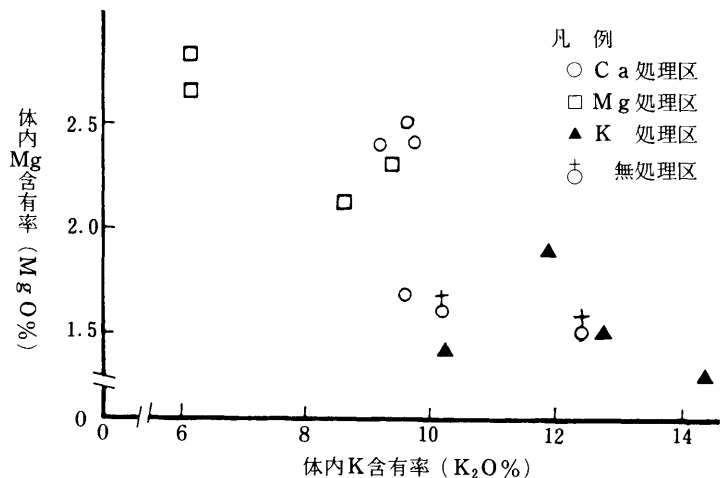
一方、体内成分含有率を沖積土についてのみ検討すると(第42表)、炭カル施用系列ではCa-160%区においてのみ体内Ca含有率が明らかに上昇し、K、Zn、Mn、取りわけMn含有率が著しく低下した。それに対し、Mg飽和度の上昇に伴い体内Mg含有率が高まり、K含有率がやや低下した。しかし、他成分については、炭カル施用系列ほど明瞭な含有率の低下は認められなかった。また、硫加施用系列においてはK飽和度の上昇が必ずしも体内K含有率を高めず、むしろMg含有率が高まった。なお、他成分についてみると、Mn及びCa含有率が、K-160%区でやや低下した。

一方、炭カル、炭マグ、炭加施用による2度目の再調整を前年に行った造成5年目(1982年)の土壌pHは、資材施用量の増加に伴い、取りわけ、炭加施用系列において著しく高まった。また、pHの上昇につれ土壌中のMn含量が、特にpH7.0を超える各区で顕著な減少を示した(第43表)。

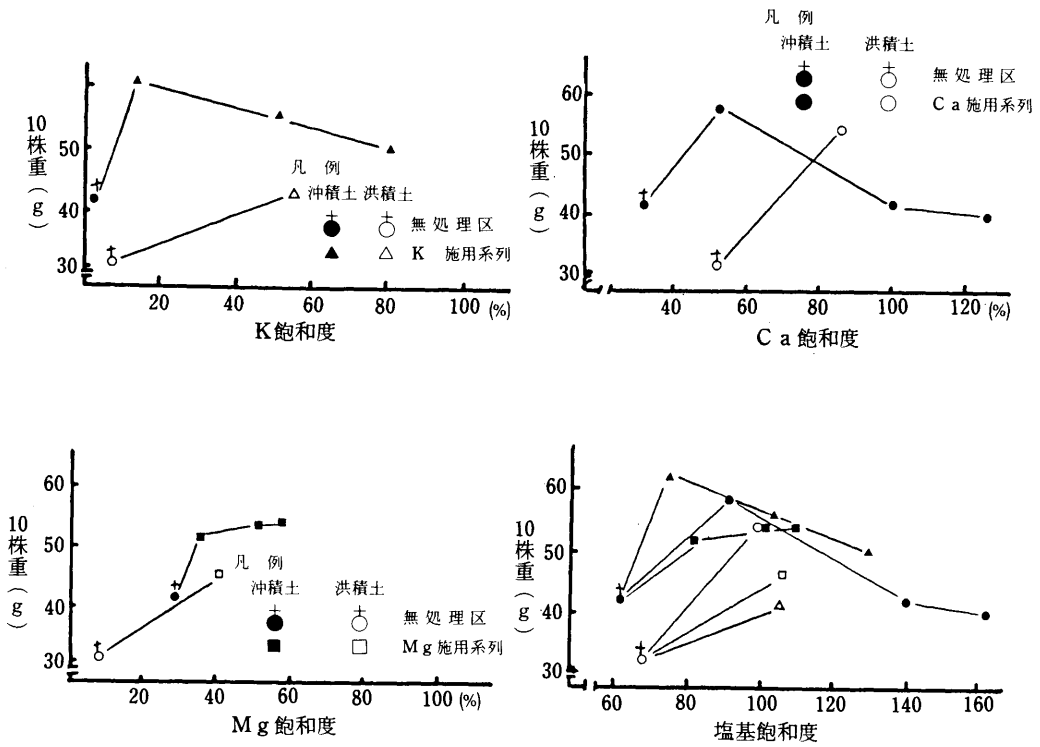
このような条件下におけるホウレンソウの収量と各塩基飽和度の関係は1980年の結果と異なり、pH7.0程度までのpH上昇を伴う炭マグ、炭加施用区において、飽和度の上昇につれ生育がおう盛となった。なお、図示しなかったが、Ca飽和度は80

~120%、Mg飽和度は40%前後で良好な収量が得られ、K飽和度は10%を超えると低下した。

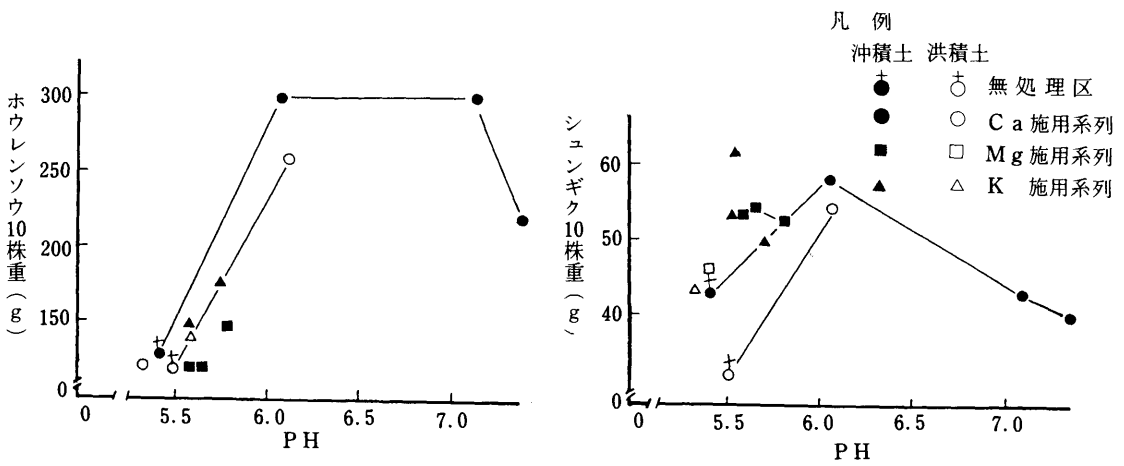
ところで、pH7.0を超える各区において、取りわけ炭加多施用区において発芽時より生育が抑制され、葉の黄化が著しかった。なお、土壌中のK飽和度の上昇に伴い体内K含有率が明瞭に高まり、逆にN、Mg含有率、特にMg含有率の著しい低下が認められた。また、Mn、Feなど微量元素含有率も低下した。一方、Ca飽和度の上昇に伴う体内Ca含有率の高まりにつれ、Mn、Zn含有率の低下が認められた。結局、Mnの吸収低下はpH7.0を超えるK、Ca施用区の共通的现象で、黄化葉の発生と一致した。それに対して土壌中のMg飽和度の上昇に伴う体内各成分含有率の変化は最も小さかった(第43表)。



第42図 ホウレンソウにおけるKとMgの拮抗現象



第43図 土壤の塩基蓄積とシュンギクの収量との関係



第44図 pHとほうれんそう・シュンギクの収量との関係

第42表 塩基施用に伴うシュンギクの体内成分含有率〔無処理区*の値に対する相対値(%)〕の変化

資施系列 材用別	処 理 区	体内成分含有率相対比					
		Ca	Mg	K	Zn	Fe	Mn
炭施用 カ系 ル列	1) 無 処 理 区	100	100	100	100	100	100
	2) Ca -100%区	106	147	112	107	126	85
	3) Ca -130%区	107	110	87	102	111	76
	4) Ca -160%区	123	108	84	90	97	65
硫施用 マ系 グ列	1) 無 処 理 区	100	100	100	100	100	100
	2) Mg -100%区	100	107	93	95	104	86
	3) Mg -130%区	105	118	85	96	112	92
	4) Mg -160%区	93	132	80	94	199	96
硫施用 系 加列	1) 無 処 理 区	100	100	100	100	100	100
	2) K -100%区	90	145	99	120	109	102
	3) K -130%区	91	142	98	105	102	100
	4) K -160%区	90	125	94	93	102	85

* 無処理の体内成分含有率はCaO:1.37%, K₂O:6.45%, MgO:0.60%, Zn:41ppm, Fe:196ppm, Mn:46ppmであった。

第43表 炭酸塩塩基資材による調整後(2度目)の化学性の変化とハウレンソウの収量及び体内含有率の変化

処理区別	項 目	pH	塩 基 飽 和 度 (%)	置換性 Mn (ppm)	10株重 (g)	黄化葉率 (%)	体内成分含有率(%)					体内成分含有率(ppm)		
							N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO	Mn	Fe	Zn
洪 積 土	1) 無 処 理 区	4.34	50.3	110	28	0	4.72	0.98	9.44	0.94	1.59	129	541	65
	2) Ca -130%区	6.89	117.6	32	250	0	4.45	0.97	11.34	0.41	0.76	94	374	49
	3) Mg -130%区	6.37	89.1	62	223	0	5.04	0.89	8.92	1.67	0.71	98	302	32
	4) K -130%区	8.18	149.0	20	17	36.7	4.62	1.06	9.78	0.66	1.77	94	469	38
沖 積 土	5) 無 処 理 区	5.58	81.9	72	104	0	4.72	1.05	9.34	1.73	0.95	182	546	56
	6) Ca -100%区	6.20	118.7	18	237	0	4.57	1.14	7.72	1.62	1.11	172	434	56
	7) Ca -130%区	6.70	126.8	5	251	26.6	4.83	1.24	8.76	1.72	1.43	42	434	41
	8) Ca -160%区	7.24	190.6	4	167	36.7	4.88	1.25	8.24	1.69	1.76	36	650	38
	9) Mg -100%区	5.49	84.7	42	200	0	4.44	0.96	7.38	2.05	0.88	231	469	63
	10) Mg -130%区	6.43	94.5	25	201	3.3	4.54	1.14	8.40	2.24	0.85	148	503	51
	11) Mg -160%区	6.85	115.7	4	179	0	4.41	1.22	8.50	1.88	0.68	123	425	47
	12) K -100%区	6.40	104.9	16	139	10.0	4.48	1.11	9.78	1.38	0.65	170	497	46
	13) K -130%区	8.38	121.0	4	15	100.0	4.21	1.12	10.22	0.93	0.64	72	362	30
	14) K -160%区	9.07	147.4	1	15	100.0	4.07	1.20	11.68	0.60	0.51	37	336	37

4. 塩基蓄積が結球野菜の生産に及ぼす影響

1) 試験方法

塩基性ほ場において、造成4年目の1981年6月22日に、レタス「カルマーMR」の31日苗を1株6株定植した。施肥量はN, P₂O₅, K₂Oを各々15kg/10a施用した。供試土壌及び処理区数は、前記2-1)試験で述べたように、沖積土24処理区(前

述、ハウレンソウの試験に供試した10処理区に、当年増設した14処理区を加えた)、洪積土4処理区である。なお、8月上旬に豪雨があり、試験性ほ場も一時、滞水し、その後、天候の回復とともに、軟腐病発生の兆しが認められたため、は種後80日目の8月10日に、収穫適期にはやや早い収穫した。

2) 結 果

平均1株重は、飽和度の上昇に伴いCa飽和度70%程度まで増加し、それを超えると判然としなかった(第45図)。一方、Mg施用系列において、Mg飽和度50%以上で飽和度の上昇に伴い平均1株重は減少した。Mg施用系列以外をも含め全体的に見ると、Mg飽和度40~50%まで平均1株重は増加し、それを超えると減少した。また、K飽和度15%前後までの上昇は顕著に平均1株重を増加させるが、それを超える過剰施用(K飽和度15%以上)によって生育は明らかに抑制された。これら各飽和度の総和としての塩基飽和度と平均1株重の関係をみると、飽和度100~120%程度までは、平均1株重が増加した。

ところで、K飽和度の上昇に伴う生育抑制は、平均1株重の抑制のみならず、結球を遅延させる傾向にあり(第46図右)、そのような生育遅延は

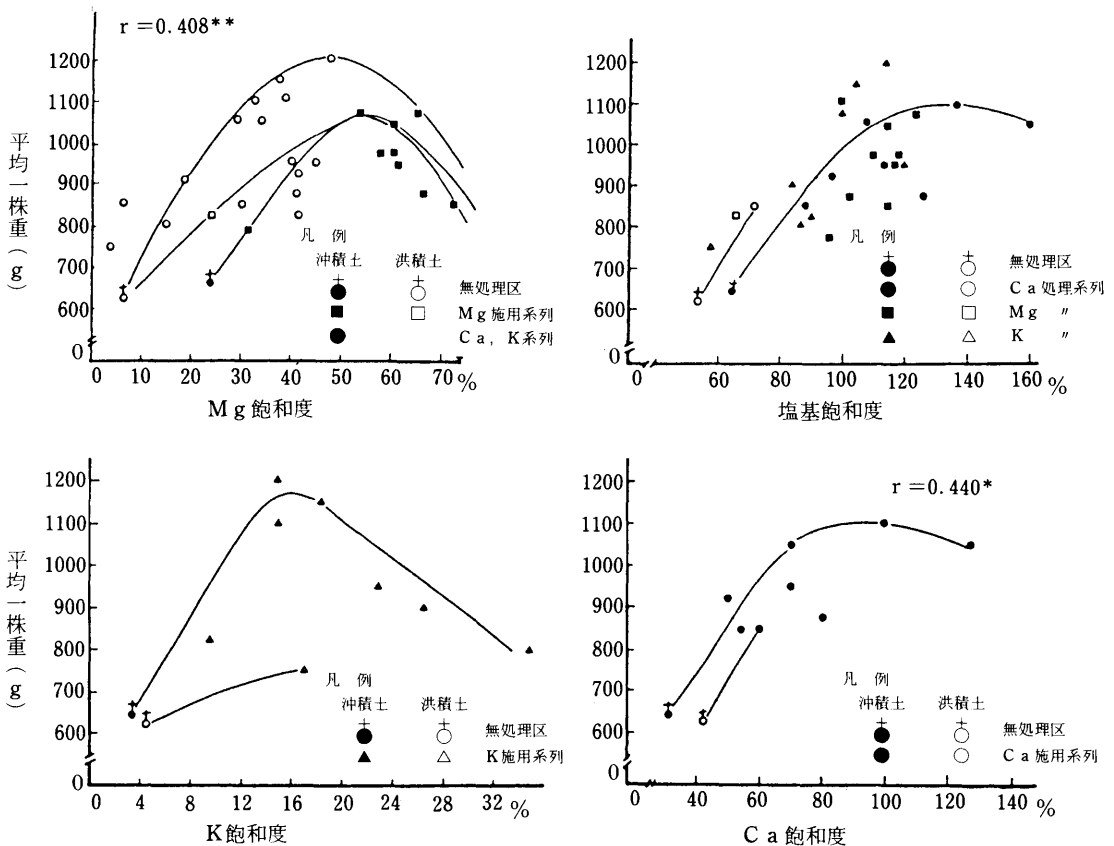
硫酸塩施用でより顕著であった。一方、このようなK飽和度の上昇に伴い体内K含有率が、特に、硫酸塩施用区で顕著に高まり、また、K飽和度15%程度までの上昇は、体内Mg含有率を高めるが、それを超えると逆に低下させた(第46図左)。

以上の結果、レタスの生育、収量に及ぼす影響力は、K>Ca>Mgの順に強く、特に、K過剰蓄積が結球率を下げ、収量を抑制することが明らかとなった。それに対し、Ca蓄積に伴う平均1株重の抑制は認められず、Mg蓄積との関係は判然としなかった。

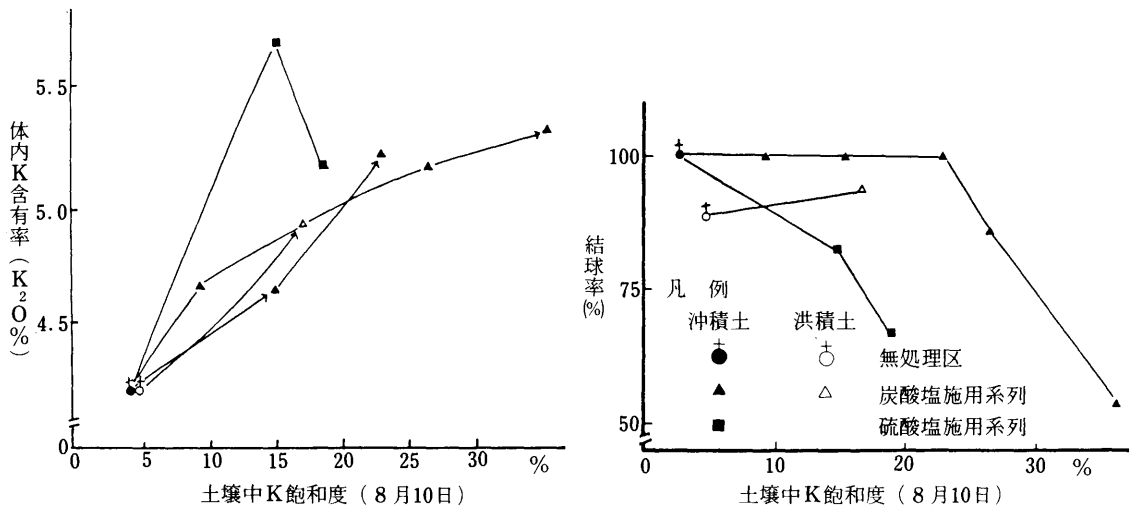
5. 塩基蓄積が果菜の生産に及ぼす影響

1) 試験方法

(a) 塩基枠は場にて、1978年(造成初年日)及び1979年の6月10日に、トマト「ひかり」の70日苗を1枠4株定植した。施肥量は、N, P₂O₅,



第45図 土壌の塩基蓄積とレタスの収量との関係



第46図 K蓄積とレタスの結球率及び体内K含有率の関係

K₂O各々22, 20, 22kg/10aである。なお、塩基資材の施用処理は土壌30cm深までを対象に行ったが、処理時、天候不順のため、混合が不十分となり、初年目の作付時には表層15cm部で目標飽和度を著しく上回った。

(b) 道立道南農試験場内大型ビニールハウスを使用し、1982年4月21日に、トマト「強力秀光」の60日苗を、4,000株/10aの栽植密度で定植し、6月15日～8月3日の49日間、収穫した。

供試土壌は沖積土（褐色低地土）で、試験規模は1区15m²、2連制とした。処理は、土壌の目標Ca飽和度3段階（50, 100, 150%）とN・K施肥量4段階（NとK₂Oを各10, 20, 40, 60kg/10a）の組合せ、12処理区とした。

炭カル施用処理は1980年にのみ行い、その後、同一処理の組合せで2ヵ年ハクサイ、トマトを栽培した。そのため、交換性Ca含量は年次の経過に伴い減少し、K含量は逆に増加した。なお、30kgP₂O₅/10aと6kgMgO/10aを各区共通に施肥した。供試した肥料形態は、硝酸アンモニウム、硝酸カリウム、重焼りんと炭酸カルシウムである。

2) 結 果

(a) 造成初年目の塩基枠ほ場は、EC値が収穫

跡地（9月10日）においても高く、炭カル施用系列以外は明らかに濃度障害による生育抑制を受け、収穫不能区が多かった（第44表）。そのため収量の検討は2年目から行った。

第2年目の塩基飽和度はCa施用系列で目標より高く、Mg・K施用系列で低かった。一方、トマトの生育はMg施用系列で最も抑制され、次いでK施用系列、そしてCa施用系列の生育も無処理区に比べやや劣った（第44表）。総収量はCa施用系列>無処理区>K施用系列>Mg施用系列の順に低下した。ただし、K施用系列の多量施用（K-160%）区の収量が最も低く、Ca-100%区の上物収量は、無処理区より劣った。また、尻ぐされ果は、Ca施用系列の施用量増大に伴い減少したが、Mg・K施用系列では施用量増大につれ、明らかに増加した。

収穫開始時（8月8日）の、栄養生長の中心部位である上部茎葉の体内の含有率は土壌のCa飽和度の上昇につれ高まるが、他成分含有率の明瞭な低下は認められなかった。それに対して、Mg, K施用系列では施用量の増加につれ、体内Mg, K含有率が高まるとともに、Ca含有率が、特にK施用系列で著しく低下した（第45表）。

(b) Ca資材施用処理後3年目のハウス土壌の

塩基蓄積状況は(第46表), 目標Ca飽和度50%系列でほぼ設定通り49~52%(塩基飽和度72~81%)となったが, 目標100%系列は59~68%(塩基飽和度83~92%), 目標150%系列で82~85%(塩基飽和度102~116%)と, 高飽和度区で当初設定した水準より著しく低下した。また, K飽和度は経年化につれ施肥量の違いを反映し, 10kgK₂O/10a施肥区の3.0%程度から, 60kgK₂O/10a施肥区の13.0%程度まで変化した。なお, NとK施肥量を連動させたため, 表示しなかったがK蓄積の進

行した区ほど無機態N量も多く, EC値が高かった。また, pHはCa飽和度の上昇につれ高まり, N,K増肥に伴い低下した。

収量についてみると, 総収量, 上物収量ともCa飽和度50~70(塩基飽和度70~90)%で多収となり, それを超えると減収傾向を示した。一方, K飽和度は10%を超えると収量が低下した。

第44表 塩基資材多量施用に伴う土壌化学性の変化とトマトの生育・収量

処 理 区	9月10日の土壌分析結果				2 年 目 調 査								
	pH	EC ms/cm	各塩基別 飽和度 (%)	塩基 飽和度 (%)	生育調査(30日目)			相対生長量		相 対 収 量			
					草丈cm	G. I	着果数	8月8日*	上物収量	総収量	総収穫果数	10株あたり 果実重量	
1) 無 処 理 区	6.02	0.036	—	88.3	—	—	—	100 128.3g/株	100 10.71kg	100 12.32kg	100 133果	18.0	
2) Ca -100%区	6.55	0.745	71.9	114.4	71.5	13.6	9.9	96	112	92	120	19.0	
3) 130%区	6.91	0.730	166.3	203.8	70.3	14.2	9.8	83	104	110	108	14.1	
4) 160%区	7.22	0.650	255.2	296.2	71.6	14.0	10.0	79	108	110	110	8.6	
5) Mg -100%区	6.59	0.920	56.9	92.6	69.6	13.0	10.5	77	77	82	113	26.7	
6) 130%区	6.30	3.070	62.4	108.7	52.0	6.9	9.1	76	76	76	126	29.1	
7) 160%区	6.39	4.050	69.1	123.1	35.5	3.1	8.8	69	75	78	141	37.6	
8) K -100%区	6.08	1.355	24.9	82.6	67.3	12.5	10.7	87	95	94	109	25.2	
9) 130%区	6.10	5.115	51.0	96.6	42.4	4.5	8.0	85	97	91	115	29.8	
10) 160%区	6.18	7.670	74.8	138.6	34.1	2.5	5.8	80	66	67	114	40.9	

注1) G. I = 草丈cm × 葉数枚 × 茎径mm, 10³で示す。着果数 = 第1, 2果房の着果数

注2) Ca, Mg, K-100%区は塩基飽和度100%を目標に各資材を施用した区

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

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

注3) 8月8日: 定植後, 39日目 収穫開始時

注4) 無処理区の1株乾物重128.3g, 10株当り総収量12.32kg, 上物収量10.71kg, 総収穫果数 133果

第45表 塩基資材施用に伴うトマトの上部茎葉中成分含有率の変化

処理区	項目	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO
1) 無 処 理 区		100 (1.56)	100 (0.47)	100 (4.78)	100 (1.07)	100 (1.39)
2) Ca -100%区		99	92	87	102	104
3) 130%区		104	98	90	82	104
4) 160%区		110	115	98	97	118
5) Mg -100%区		131	100	101	80	93
6) 130%区		127	94	93	123	63
7) 160%区		154	109	101	137	71
8) K -100%区		102	87	101	78	83
9) 130%区		147	96	117	67	55
10) 160%区		138	98	122	53	35

注) 表中()は, 体内濃度(%)を示す。

第46表 Ca・K飽和度とトマトの収量との関係

目標Ca飽和度(%)	N・K ₂ O施肥量(kg/10a)	各塩基飽和度(%)				10株当たり収量比	
		Ca	K	Mg	計	総重 100 (40.4)	上物収量 100 (30.5)
50	10	50.2	3.9	17.8	72		
	20	51.0	6.0	17.8	75	108	113
	40	51.9	11.2	17.9	81	106	107
	60	48.7	13.1	17.2	79	90	85
100	10	60.8	3.1	18.7	83	109	114
	20	67.8	3.8	20.3	92	109	105
	40	60.4	8.1	16.5	85	99	100
	60	58.8	12.4	13.8	85	92	103
150	10	81.7	3.2	17.3	102	109	97
	20	81.9	4.2	17.8	104	106	105
	40	83.3	12.0	18.1	114	97	105
	60	84.5	13.3	17.7	116	89	81

注) 収量比は目標Ca飽和度50%のN・K₂O施肥量10kg/10a区を100として示した。なお、()内は同区の実測収量kg/10株である。

第3節 考 察

1. 各種野菜に対する

土壌有効態P適正領域の策定

作物に対するP施用効果については、古くから多くの研究^{31,61,207})があり、P資材の多量施用による熟畑化技術^{28,58,75})が、一般畑作畑、一般野菜畑に対して、農業技術として広く普及励行されている。また、作物に対するP供給時期の検討^{17,131})や、P限界濃度(下限)^{12,112})、作物の低P濃度適応性²⁰⁴)などについての報告もある。しかし、Pの上限濃度もしくは土壌中有効態P量の適正領域に関する研究は、最近、端緒についたところである。

一方、野菜栽培土壌の養分蓄積は近年、著しく進み、蓄積P量が顕著に高まり^{119,188,206,236,240})、P過剰蓄積による野菜の生育抑制が指摘されるようになった^{137,150,240})。このようなP過剰蓄積による生育抑制・収量低下について、著者はすでにタマネギ^{193,196})、ホウレンソウ¹⁹⁵)について報告し、また、12作物について有効態P適正領域を検討している¹⁹⁴)。

作物によって、P適応性が異なることは、景山ら⁸²)や但野ら²⁰⁴)によって指摘されているところであるが、本節においても各種野菜のP適応性を

検討し、土壌中有効態P適正領域の策定を試みた。

まず、①土壌中Truog-P 50mgP₂O₅/100g以下で、最もおう盛な生育・収量が得られる野菜を有効態P低含有領域適応性(低領域適応性と略す、以下同様)②Truog-P 50~100mgP₂O₅/100gの範囲で最も良好な生育・収量が得られる野菜を中含量領域適応性(中領域適応性)、③Truog-P 100~200mgP₂O₅/100gの範囲に適正領域を有する野菜を高含有領域適応性(高領域適応性)、そして、④本試験の範囲内で、Truog-P量の増加に伴う生育抑制・収量低下が認められない野菜を広域適応性と規定した。

その上で、N少肥(N10または15kg/10a施肥)条件下で取りまとめると、第47図のように、各種野菜はP適応性から4群に大別し得た。

①低領域適応性野菜：トウモロコシ(第37図)。ただし、N施肥の影響を強く受け、N多肥条件では低・中領域適応性となる。

②低・中領域適応性野菜：ダイズ(第38図)、ニンジン(第34図、第35図)、コカブ(第34表)、ダイコン(Truog-P 30~70mgP₂O₅/100gがP適正領域)⁴⁷)。ただし、ニンジンはN多肥条件では中・高領域適応性となる。なお、①及び②は類似的であり、以後低及び低・中領域適応性野菜として一括する。

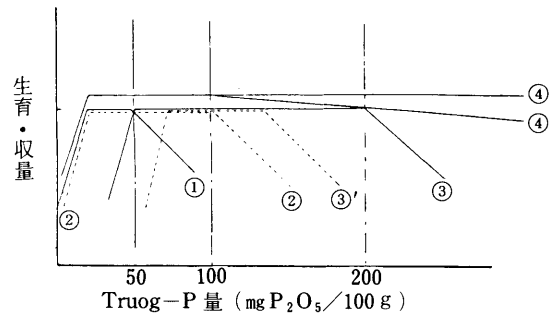
③中・高領域適応性野菜：ハウレンソウ（第24表、第26表、第28図）、シュンギク（第24表、第27表）、レタス（第31表）、ハクサイ（第30図）、タマネギ（第33図）。ただしシュンギクはN多肥条件では高領域適応性となり、ハクサイ及びレタスは次に述べる広域適応性となる。

④広域適応性野菜：コマツナ・タイナ（第25表）、トマト、キュウリ⁴⁷⁾。ただし、コマツナ・タイナは蓄積P量の増加に伴い収量が漸減する傾向にあり、低・中領域適応性野菜の亜型である。一方、トマトは本試験の範囲内では、Truog-P 600mgP₂O₅/100gまで生育の抑制が認められず（第37表）、また、道南農試の成績⁴⁷⁾によれば、実際のほ場において、トマト、キュウリはTruog-P 80mgP₂O₅/100gまでの蓄積P量の範囲内では、土壤中P蓄積量の増加につれ明らかに収量は高まり、コマツナなどと比べると、中・高領域適応性野菜の亜型であった。

これらの適応性区分を、但野ら²⁰⁴⁾の低リン酸適応性の検討結果と、共通供試作物で比較すると、但野らは、トウモロコシ（低・中濃度適応性）<ダイズ（中・高濃度適応性）<ハクサイ・トマト（高濃度適応性）の順に適正領域が高まるとしており、本章の結果とよく一致した。

一方、野菜作の土壤養分過剰に関する成績概要の全国的な取りまとめ結果²⁴⁰⁾をみても、①トマトは跡地Truog-P 200mgP₂O₅/100gまで収量増となり、500mg以上の蓄積量で、はじめて収量の低下が指摘され、②キュウリは添加1,000mgP₂O₅/100gを超える土壤中、著者らがダイズにおいて記述したような褐色の小斑が中～下位葉に現われることが報告²⁴⁰⁾されている。また、伊藤⁷⁷⁾はTruog-P 500mgP₂O₅/100g以上で、下位葉の葉脈間に斑点状の黄化と枯上り症状を認めている。いずれにせよ、トマト・キュウリはTruog-P 500mgP₂O₅/100g以上を限界値とし、広域適応性野菜とした本論の結果と一致した。

中・高領域適応性野菜の、①ハクサイについてみると、沖積土（褐色低地土）ではTruog-P 20mgP₂O₅/100g、火山性土では60（淡色黒ボク土）～100（黒ボク土）mgP₂O₅/100gが最適で、腐



第47図 各種野菜のP適応性

- 注) ①低領域適応性（トウモロコシ）
 ②低・中領域適応性（ダイズ、ニンジン、コカブ、ダイコン）
 ③及び③' 中・高領域適応性（ハウレンソウ、シュンギク、レタス、タマネギ、ハクサイ）
 ④及び④' 広域適応性（コマツナ、タイナ、トマト、キュウリ）

植含量の多い土壤ほど適量が高まる傾向にあり、火山性土での限界値は500mgP₂O₅/100g前後と報告²⁴⁰⁾されている。②キャベツはTruog-P 350mgP₂O₅/100g前後を限界値とし、最適量は70～80mg/100gと報告^{154, 240)}されている。これらのことを考慮するならば、ハクサイ・キャベツはトマト・キュウリより限界値がやや低く、中・高領域適応性とした本章の結果とほぼ一致するものと考察した。

同じく、中・高領域適応性野菜に属する③ハウレンソウは、沖積土で限界値はTruog-P 120mgP₂O₅/100g、火山性土で180～190mgP₂O₅/100gとする指摘²⁴⁰⁾があり、一方、作型別に検討した神奈川県農総研の報告²⁴⁰⁾によれば、夏作ハウレンソウはTruog-P 119mgP₂O₅/100g、秋作ハウレンソウで240mgで最高収量を示し、土壤・作型によって最適量が異なるが、一定レベルを超えるP蓄積で減収することが明らかとなった。これらの結果は、ハウレンソウが著者の分類による高領域適応性野菜に該当し、本論の結果とほぼ一致した。

ところで、以上の検討結果は、各野菜とも特定の品種を供試し、得られたものである。それに対して、景山ら⁸⁴⁾は品種が異なれば、同一野菜でも蓄積P量に対する反応が異なる場合もあると指摘しており、各種野菜のP適応性を農業技術として活用するためには、今後、品種間差異の幅広い検討が望まれる。

本論におけるP適正領域は夏どり作型を中心に、比較的塩基・微量要素含量の多い沖積土で検討した結果であり、塩基・微量要素含量の著しく異なる条件下（土壌）においては、当然ながら異なったP適正領域を示すものと考え、これが、土壌間差異の生ずる一要因と考察した。なお、江川ら²³⁾や早川ら⁴²⁾は共存する塩基量の多少によってPの肥効が異なることを、オオムギ及び牧草について、既に指摘している。

そのため、野菜の生産上望ましい蓄積P量の範囲であるP適正領域は、共存する塩基・微量要素含量によって異なり、本章で述べるP適正領域は、塩基・微量要素等が比較的制限因子とならない条件下での基準である。

2. P適応性からみた野菜の群別

第47図において、4群に大別した各種供試野菜の内、広域適応性を示したのは、果菜のトマト・キュウリ及びアブラナ科の葉菜、コマツナとタイナであった。前者は栄養生長を続けながら、生殖生長を行い、その生殖生長体である果実を収穫する野菜であり、後者は栄養生長体を可食部とし、生育の最盛期に収穫する野菜である。すなわち、広域適応性野菜は、栄養生長・生殖生長同時進行型野菜（果菜）と栄養生長型野菜（アブラナ科葉菜）であった。

次に、中・高領域適応性を示す野菜は、葉菜のホウレンソウ、シュンギクと結球野菜のレタス、ハクサイ、タマネギである。前者はアカザ科及びキク科の葉菜で、栄養生長型野菜であり、後者は栄養生長から結球現象を通じ可食部を形成する結球野菜である。なお、結球野菜のハクサイ及びレタスはN多肥条件下で広域適応性を示し、シュンギクはN多肥条件で高領域適応性を示した。

低領域及び低・中領域適応性を示す野菜は、根菜のニンジン、コカブとダイコン及び、果菜のダイズ（枝豆）とトウモロコシである。前者は根部の肥大現象により可食部を形成し、結球野菜と類似したタイプの野菜であり、後者は栄養生長から生殖生長へ転換する型の野菜である。

一方、山崎²³⁴⁾は野菜を養分吸収パターンから、

A、Bの2つのタイプに分けた。A型は1日当りの養分吸収量が漸増し、ほぼ一定値に達し、収穫時もしくは収穫終了時まで継続するタイプとし、後者は養分吸収が生育ステージの進展とともに増加し、その後ピークに達した後、漸減するタイプとした。

この養分吸収パターンとP適応性を組合せ、全体を取りまとめ、第48図のように各種野菜を群別した。なお、現時点において、この分類は必ずしも完全なものでないが、今後、野菜の種類による生育期間差、根自体の耐性などの検討を進めることにより、より完全な群別が可能になるものと信ずる。

①広域適応性野菜は、栄養生長・生殖生長同時進行型の果菜及び栄養生長型の葉菜（コマツナ、タイナ）で、A型の養分吸収を示す。

②中・高領域適応性野菜は、栄養生長型の葉菜（ホウレンソウ、シュンギク）及び結球野菜（ハクサイ、レタス、タマネギ）で、前者はA型の、後者はB型の養分吸収を示す。

③低領域及び低・中領域適応性野菜は、根菜及び栄養生長から生殖生長へ転換するタイプの果菜で、前者の地上部はB型、根部はA型の養分吸収を示し、後者はB型を示す。

すなわち、栄養生長・生殖生長同時進行型野菜 > 栄養生長型野菜 > 結球野菜 > 根菜 > 栄養生長・生殖生長転換型野菜の順に、P適応領域が広域化した。このことは、Pが野菜の生育ステージの進展・生育相の転換に関与していることを示唆しており、例えば、タマネギの球肥大が土壌の蓄積P量及び体内P栄養の影響を強く受けていることを示す従来の報告^{28, 83, 125)}とも一致した。

3. P過剰蓄積に伴う生育阻害要因の解明

作物の養分吸収の場において、P吸収と相互関係を有する土壤養分として、①塩基^{23, 42, 236, 244)}、②微量要素^{114, 137, 150)}、③N^{32, 72)}などが報告されているが、本節においては、P蓄積量の増加に起因する生育抑制・収量低下をもたらす要因の解明をこれら土壤養分との関連で検討した。

蓄積P量の一定レベル以上の増加によって、広

域適応性野菜以外の各供試野菜において生育抑制・収量低下が認められた。

この生育・収量抑制の要因は、①塩基 (Ca, Mg, K)の吸収抑制, ②微量元素 (Mn, Zn, Fe)の吸収抑制, ③Nの吸収抑制, ④生育量増大による体内成分の希釈に基づく作物の活性低下, ⑤P含有率の異常上昇によるP自体の過剰障害に大別し得た。

第48図 各種野菜の群別

P 適 応 性	養分吸収パターン	慣行的な野菜の分類	例	生育タイプ
広域適応性	A型	果 菜	トマト, キュウリ, ナス	栄養生長・生殖生長同時進行型野菜
		葉 菜	コマツナ, タイナ	
高中領域適応性	A型	葉 菜	シュンギク, ホウレンソウ	} 栄養生長型野菜
	B型	結球葉茎菜	ハクサイ, レタス, タマネギ	
低中領域適応性	B及びA型	根 菜	ニンジン, ダイコン	} 結球野菜 } 結球・根肥大により栄養根 菜 } 生長より転換する野菜
	B型	果 菜	トウモロコシ, ダイズ	

異が中・高領域適応性のホウレンソウ・シュンギクと、広域適応性のコマツナ・タイナの違ひとなったものと考察した。なお、ホウレンソウの場合、体内K, Ca含有率の上昇に伴い収量が向上するところから、塩基 (K, Ca)吸収の抑制が収量低下の一要因となったものと結論付けた (第1節, 3. 葉菜)。

このような塩基吸収の抑制は、結球野菜のレタス (K:r=-0.718**), ハクサイ (K:第33表), 根菜のニンジン (K:第35表), カブ (K:r=-0.699**) などにおいても認められた。

次に、微量元素の吸収抑制について検討すると、結球野菜では、レタス (第32表), ハクサイ (第33表) において、蓄積P量の増加に伴いMn, Zn含有率の低下が生じた。また、根菜では、ニンジンのMn, Fe含有率 (第35表) が、果菜ではトウモロコシのMn, Zn含有率 (第38図) が、ダイズにおいてはMn, Zn, Fe含有率 (第36表) が、蓄積P量の増加につれ低下した。

ところで、タマネギのZn欠乏症がP資材及び塩基資材の多施用によって助長されるとの指摘があり^{128, 230)}、二宮ら¹³⁷⁾は蓄積P量が多くなるほど、タマネギ畑の交換性Zn量が著しく減少し、

最初に、塩基の吸収抑制について考察すると、葉菜類は、ホウレンソウ>シュンギク>コマツナ・タイナの順に、蓄積P量の増加につれ、体内P含有率が高まり、その時、ホウレンソウ・シュンギクにおいてはCa, K含有率の低下が認められた。それに対し、コマツナ・タイナにおいては、蓄積P量の増加に伴う体内P含有率の上昇は明瞭でなく、塩基吸収の抑制も認められなかった。この差

茎葉中Zn含有率が低下すると報告している。一方、トウモロコシのZn欠乏については十勝農試の報告⁵⁰⁾があり、ダイズにおいても、蓄積P量の増加に伴い体内Zn含有率が低下し、生育抑制が生ずるとの知見¹⁵⁰⁾がある。

本章においても、蓄積P量の増加につれ体内Zn含有率が低下し、トウモロコシの初期生育や7月中旬の生育量が抑制され、収量低下をもたらした。すなわち、微量元素の吸収抑制が収量低下の一要因となった。

さらに、PとNの相互作用にふれると、古山ら²⁸⁾はP多施による熟畑化に伴い、タマネギの初期生育が著しく良好となるが、その後の生育が停滞し、凋落的生育を示すとした。そして、このような生育の停滞に対してN, Mg増肥の効果を報告している。

一方、著者はタマネギの生育の推移を検討した結果、生育を、①全期旺盛型、②後期凋落型、③後期回復型、④全期不良型の4タイプに類型化した^{193, 199)}。この内、後期凋落型の生育は、古山ら²⁸⁾の指摘する凋落的生育に相当する。この場合、蓄積P量の増加につれ初期生育がおう盛となるため、N増肥が伴わないかぎり体内希釈的にN

含有率が低下し、そのため作物体の活性が弱まり、その後の生育が停滞することを指摘した。ここに、N増肥の必要性が生じるものと考察した。

蓄積P量の増加に伴う体内N含有率の低下が認められる事例は、先に述べたタマネギ以外に葉菜のハウレンソウ（少N条件、第29表）、結球葉菜のレタス（第32表）、ハクサイ（第32図）、果菜のトウモロコシなどが、本章の検討結果からも明らかになった。その内レタスはタマネギと同様な凋落的生育を示し、初期生育量の増大によるNの体内希釈が作物の活性低下をもたらした（第1節、4-レタス）。

それに対し、ハウレンソウの場合は、P多施用に伴い硝酸化成が遅延し（第23表）、好硝酸態作物であるハウレンソウのN吸収が抑制された^{169, 203)}ものと考えた。一方、トウモロコシは蓄積P量の増加につれ体内P含有率は高まり、生育が抑制されるが、その時の体内N含有率は低下した。この場合、硝酸化成が遅延が認められないため、一定レベル以上の蓄積P量の増加がN吸収を抑制している可能性を示唆した。

このように、蓄積P量の増加に伴う体内N含有率の低下は、①生育量増大による体内希釈による場合、②硝酸化成が遅延による好硝酸態作物のN吸収低下の場合と、③一定レベル以上のP蓄積で生育が抑制されながら、N吸収が抑えられる場合、とに区分された。

一方、ダイズは体内P含有率が著しく高まりながら、他成分のN、K、Ca、Mg含有率も上昇し、しかも明らかな生育抑制・収量低下が生じた。この場合、P含有率の異常上昇自体が生育抑制の主要因となり、他成分の含有率上昇は生育量減少に基づく体内濃縮効果によるものと考察した（第1節、6-ダイズ）。なお、体内P含有率の上昇が著しい区において、下位葉から黄褐色の小斑点が発生し、枯死した。同様な観察は但野ら²⁰⁴⁾によってもなされ、また、水稲⁷⁶⁾、キュウリ^{77, 240)}についても報告されている。

4. 蓄積P量の増加に伴う

生産阻害要因発生の際作

P過剰蓄積に伴う生育阻害要因発生の際作について、①P資材の多量施用による急激なP富化時（当年施用のP）と、②経年化に伴うP富化、いわゆる熟畑条件（蓄積P）とを想定しながら取りまとめた。

第1段階としてP資材多量施用時に、①EC値が著しく高まり、直接的に作物の生育を濃度障害的に阻害する場面があるが、本研究の範囲内でEC上昇による直接的な生育阻害を受けた事例はない。一方、②造成初年目において、前章で述べたように、EC上昇（浸透圧上昇）に伴い微生物活性に変化が生じ、硝酸化成の遅延が認められた（第22図）。これはハウレンソウのような好硝酸態作物のN吸収を低下させ、生育阻害要因となるものと考察した。しかし経年化（熟畑化）につれ硝酸化成の遅延は認められなくなった。

第2段階として、P資材施用量あるいは蓄積P量の増加につれ、土壌中に可給態成分量の増減が生じた。すなわち、随伴して持ち込まれるCa量を反映した、①pHの上昇がMn、Bなどの不溶化を促進し、また、②K、ZnなどはPと難溶性物質を生成し不溶化した。なお、Fe、AlはpH及びP難溶性物質生成の影響を受けていた。③P資材多量施用時には一時的にpHが低下し、Mnなどの可溶化を促進し、母材にMgが豊富な場合、原因不明であるがMgの可給化が進行した。なお、この現象は経年化につれ消失した。

第3段階として、土壌中可給態成分量の増減を反映し、土壌溶液中の濃度が高まるもの（P、Mgなど）と、低下するもの（K、Zn、Mnなど）に分かれ、作物の養分吸収に差異が生ずる要因となった。なお、Caのように交換性Ca量が増加しながら土壌溶液中Ca濃度が一定レベル以上に上昇しないものも認められた。

第4段階として、生成された土壌溶液組成において各成分間に拮抗作用が働き、特定養分の吸収抑制が生じ、作物の生育阻害の要因となるものと推測した。なお、この段階において、作物の各成分に対する吸収能と排除能が深く関与し、さらに、作物の各成分に対する低・高濃度耐性の強弱によって、生育障害の発現が決定されるものと考察し

た。

一方、N増肥は、①pHの低下などを通じ、蓄積P量の増加によって不溶化したMnなどの可溶化を促進し、生育抑制の回避につながり、また、②蓄積P量の増加に伴う生育量増加による体内N含有率の希釈的低下を防ぎ、おう盛な生育を維持したものと考察した。

N増肥効果との関連で、野菜畑の熟畑化につれ進行する多肥化の問題についてふれると、いわゆるP富化による熟畑化は、蓄積P量の増加に伴う初期生育量及び全栄養生長量の増大と収量増をもたらす、必然的に養分吸収量の増加をうながした。これが、Nを始めとする各施肥成分量の多肥化を進めたものと考えた。

5. 各種野菜に対する上限塩基飽和度の策定

作物に対する塩基施用効果については古くから多くの研究^{65, 105, 116, 208, 244})があり、Pとともに、低位生産土壌に対する改良法として一般化している。一方、各塩基の欠乏症^{18, 30, 65, 110, 233})や、過剰症^{31, 162, 240})、塩基相互の拮抗作用^{68, 69, 89, 239})に関する報告も古くからあるが、近年は各地において、土壌診断基準として、それらが集大成され、農業技術として普及化しつつある。さらに、各塩基の飽和度や全塩基飽和度について、上限値の策定^{2, 53, 240})、あるいは望ましい塩基バランス^{89, 239, 240})についても研究がなされ、そして、比較植物栄養に関する新しい知見^{210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218})が、これらの技術を統一的に体系化することを促進している。

本章においては、各塩基及び全塩基飽和度の上限値設定を中心に考察するが、その前段として、土壌診断基準における各塩基の適正領域についてふれる。まず、各都道府県における現行の野菜畑に対する土壌診断基準について、全国的な取りまとめ結果²⁴¹)をみると、pHは6.0～6.5、塩基飽和度は60～80%、Ca/Mg当量比としては6～8、Mg/K当量比は2以上としている府県が多い。塩基含量の基準値は塩基交換容量によって異なるが、砂質土壌で交換性CaO100～200mg/100g、CECの大きな黒ボク土で300～400mg/100g程度と

なっている。

一方、北海道における現行の土壌診断基準は第47表に示すとおりであり、塩基量は交換容量別による適正量が絶対値(mg/100g)として設定されている。しかし、この基準値は、必ずしも、北海道における具体的な試験成績に準拠するものばかりではなく、府県による検討結果^{89, 238})に負うところが大きい。ところで、このような野菜一般に対する診断基準をさらに押し進め、各種野菜別に診断基準を設定すべき試みを著者らは行い、タマネギ^{191, 193})及びアスパラガス²⁰⁵)について既に報告している。

さて、望ましい塩基量は現行の診断基準値を適用するとして、目下の問題はこの基準を大幅に上回る事例が多発し、塩基の過剰蓄積やバランスの乱れが生理障害発生の要因となっていることである。そのため、資材の施用を中止する目安としての上限飽和度設定の必要があり、本章においてはその点を中心に考察した。

すなわち、第2節2(葉菜)、3(結球野菜)、4(果菜)において検討した各塩基の適正領域の上限値を中心に、過剰の養分蓄積を防ぐことを主眼に、上限飽和度を以下のように設定した。

①ハウレンソウ、シュンギク(葉菜)に対する交換性Caの上限飽和度は90～100%、交換性Mgの上限飽和度は20～30%、Kの上限飽和度は10～15%、塩基の上限飽和度は120～140%とした。これらの値は、鎌田ら⁸⁹)がハウレンソウに対し最適飽和度として設定したCa飽和度50%、Mg飽和度20%、K飽和度10%、塩基飽和度80%より高いが、これらの値を超えると該当資材の施用を中止する限界値としては妥当と考えた。なお、岩井ら⁸⁰)もCa飽和度75%に比べ150%でハウレンソウの収量が著しく低下し、Ca過剰蓄積による減収について報告している。一方、Mg飽和度については供試土壌が蛇紋岩の影響を受けた高Mg含有土壌で、土壌由来のMgを多量に含むため、Mg資材に起因するMg蓄積の上限飽和度と異なる可能性もあるため、上限飽和度をやや下げて設定した。

②レタス(結球野菜)の上限飽和度を、Ca:80

～100%，Mg:20～30%，K:10～15%，塩基飽和度100～120%とした。これらの値は鎌田ら⁸⁹⁾がレタスに対して設定した最適飽和度よりやや高めに設定されている。また、同じ結球野菜のハクサイは、道南農試の成績⁴⁷⁾によるとCa飽和度70～80%で最も多収となり、一方、塩基飽和度130%，pH7.3を超えると明らかに減収し、塩基飽和度80%以上でホウ素の施用効果が生ずるとの報告²⁴⁰⁾があり、Ca飽和度、塩基飽和度についてはレタスとほぼ一致するものと考えた。

レタスに対するK過剰蓄積は生長量自体を抑え

るとともに、生育を遅延させ、結球数の減少、結球度合の低下を通じ、減収となるが(第46図)、同様な結果は、メロン及びハクサイのほ場試験からも得られ、メロンの上限K飽和度は9%，ハクサイで10%とされており⁵³⁾、レタスと一致した。

③トマト(果菜)の上限飽和度を、Ca:70～80%，Mg:20%，K:10%，塩基飽和度:100～110%と設定した。これらの値は、Ca飽和度70%，塩基飽和度90%で最も多収となり、Ca施用効果は顕著であるが、過剰施用で減収傾向を示すとする道南農試の成績⁴⁷⁾からもほぼ妥当と考察した。

第47表 野菜に対する土壌診断基準(塩基関係のみ)

項目 土壌別	pH(H ₂ O)	適正基準幅 (mg/100g)			上限値 (CEC別塩基飽和度)				CaO/MgO	MgO/K ₂ O
		CaO	MgO	K ₂ O	CaO	MgO	K ₂ O	塩基飽和度		
砂質土壌	6.0～6.5	100～180	20～30	15～25	70	20	10	100	8～4	2以上
壤質土壌		180～350	25～40	15～30						
重粘質土壌		280～450	30～45	20～35						

注) 砂質土壌: CEC 5～15m.e/100g, 壤質土壌: CEC15～25m.e/100g, 重粘質土壌: CEC25～35m.e/100g
 上限値: CaO飽和度はCEC18m.e/100g以上及び9～15m.e/100gの範囲の土壌に対し設定し、9m.e/100g以下及び5～18m.e/100gの範囲の土壌は適正基準幅のみとする。

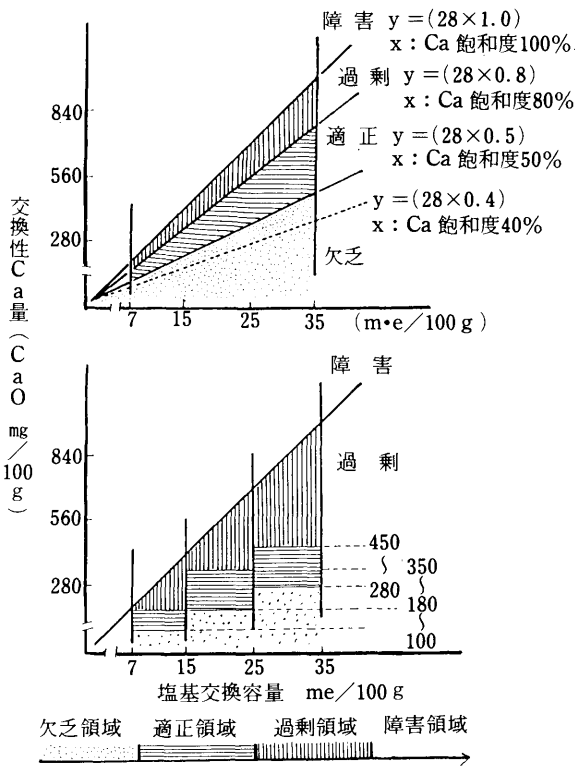
なお、これら塩基飽和度に関する検討の内、1980年以前の試験においては、施用した塩基資材が炭カル、硫マグ、硫加であるため随伴アニオンが異なるなど、必ずしも試験条件を一定にし得なかった。このような施用資材の差異は、ハウレンソウにおいてpH上昇を伴う炭マグ、炭加の施用効果は認められるが(第43表)、硫マグ、硫加の施用効果は認められなかったり(第41表)、レタスの体内K含有率や結球率(第46図)が土壌のK飽和度が同じであっても、炭加施用系列と硫加施用系列で異なるように、明らかに認められた。そのような条件下での検討であることを附記しておく。

このようにして設定した上限飽和度と、前述した基準値(適正領域)を組合せた(第49図下)。すなわち、直線上に適正領域(基準値)を含有量(mg/100g)で示し、それを超え上限飽和度までの区間を過剰領域とみなし、上限飽和度を超える領域を障害領域とした。逆に、適正領域に至らぬ

領域を欠乏領域と規定した。

そして、欠乏領域に属する野菜畑に対しては適正領域の中間値まで、該当資材を施用し、適正領域に属するほ場に対しては施肥標準通りの管理を行い、過剰領域のほ場に対しては該当資材を減肥し、上限飽和度を超える障害領域にあるほ場に対しては該当資材の施用を中止するものとした。

具体的な例として、交換性Caについて示すと、粗粒質土壌(CEC7～15m.e/100g:交換性Ca基準値100～180mgCaO/100g)、中粒質土壌(15～25m.e/100g:180～350mgCaO/100g)、細粒質土壌(25～35m.e/100g:280～450mgCaO/100g)の適正領域は、各々、図中の横線の部分に相当し、その上に、仮に交換性Caの上限飽和度を100%として、一次式($y=28x$, y :交換性CaO量mg, x :塩基交換容量m.e)でそう入すると、過剰領域が区分され、それを超える領域が障害領域となり、一方、基準値(適正領域)に至らぬ領域は欠乏領域である(第49図中)。



第49図 塩基の基準値の取り扱い方に関する現行の考え方と、飽和度で統一した新しい考え方の比較

しかし、この方式では適正領域が段階的であるため、上限飽和度を90%以下に設定すると、上限飽和度が適正領域内に部分的に入ったり、基準値が変わる前後の交換容量で、交換容量の小さな変化にもかかわらず、対応技術が異なる欠点がある。

それに対して、適正領域（基準値）を飽和度で規定し、上限飽和度とともに、3本の一次式で与えると、交換容量に対応して連続的に基準値・上限値とも変化し、前述の欠点が解消される（第49図上）。

現時点においては望ましい塩基量を飽和度として検討された事例が少なく、絶対値を中心に基準が策定されているが、今後、土壌を統一的に取り扱う方法として提起する。

なお、交換容量35m.e/100g以上の土壌に対しては、第49図の基準値・上限飽和度を演繹して適用し得るが、交換容量7m.e/100g以下の土壌は未熟土として取り扱い、施肥・肥培管理を分施重

点の異なる管理法によるものとする。

6. 塩基過剰蓄積に伴う生育阻害要因の解明

塩基過剰蓄積による生育抑制・収量低下の要因は、①pH上昇・アルカリ化によるMn、B、Feなど微量元素の吸収抑制、②塩基相互の拮抗作用による吸収抑制、③イオン特異性による生育阻害、④多量施用時のEC上昇による濃度障害、⑤微生物活性の低下、取りわけ硝酸化成の遅延、に大別した。

pH上昇に伴うMn、B、Feなどの不溶化と、それに伴う吸収抑制は古くから指摘^{72,219)}されているのみならず、近年、施設栽培土壌を中心に大きな問題となり出している。すなわち、野菜栽培土壌における塩基蓄積は著しく^{119,150,170,188)}、例えば、施設栽培土壌の塩基飽和度は平均100%を超えるに至っており^{109,121,236,240)}、全体的に高pH・アルカリ土壌化している。そのような状況下、ハクサイはpH7.3~7.5以上で球重が低下し、レタスも6.9~8.0の高pH土壌で異常球の多発をみている²⁴⁰⁾。

本章の検討結果においても、炭酸塩（炭カル、炭マグ、炭加）資材の施用に伴い土壌pHが高まりすぎた区のハウレンソウ・シュンギクにおいて、体内Mn、Zn、Fe含有率の低下が認められ、減収の主要因となったものと考察した（第2節、3-3）。その際、土壌溶液中のMn、Zn濃度の低下（第39表）で示されるように、高pH化による微量元素の不溶化が認められた。

一方、炭カルの多量施用は土壌中の交換性Ca量を明らかに高めるが、必ずしも土壌溶液中のCa濃度に反映しないのに対し、硫マグ、硫加の多量施用は土壌中の交換性Mg・K量を増加させるとともに、土壌溶液中のMg・K濃度も高めた（第39表）。そのため、Mg・K濃度の上昇に伴う塩基相互間のバランスの乱れが、拮抗作用をうながし（第42図）、K多施用区でハウレンソウ（第41表一硫加施用、第43表一炭加施用 以下同じ）・シュンギク（第42表一硫加）、トマト（第45表一硫加）などの体内Ca・Mg含有率の低下が、硫マグ多施用区でトマトの体内Ca含有率の低下が認め

られた(第45表)。

この段階において、作物の各塩基成分に対する吸収能と排除能が深く関与し、さらに、作物の各成分に対する低・高濃度耐性の強弱によって、生育阻害の発現が決定され、生育抑制・収量低下の要因となるものと推察した。なお、作物の低・高濃度耐性は各塩基が単独で作用するばかりでなく、例えば、トマト・キュウリは高濃度のCa共存下で高Mg適応性を有するが、Ca濃度が低いとMg排除能が弱体し、生育が著しく阻害される²¹⁷⁾ように、各塩基が相互に作用していた。事実、硫マグ施用区において、土壌溶液中Mg濃度が12~29m.e/lと高まる一方、Ca濃度が1m.e/l程度と低い場合(第39表)、Ca低濃度条件でのMg排除能が弱体化し、トマトの生育が著しく抑制された(第44表)。

一方、硫加多量施用に伴い土壌中の交換性Mg量が著しく減少することは(第39表)、K多施用に起因するMg/K比の低下を、一層促進し、生育障害の発生²⁴⁰⁾につながる恐れがあった。

このようなK多施用による塩基(Ca, Mg)の溶脱促進は高K含有のスラリー散布やデカンター廃液の農用地散布が、現実の農業技術として普及されるにつれ、留意すべき現象である。なお、K施用に伴う塩基(Ca, Mg)の溶脱現象について、波多野⁴⁰⁾は十勝地方の主要畑土壌を用いたカラム実験により、K親和力の強い沖積土で、上層部から順次K⁺が取り込まれ、Ca²⁺が放出されることを明らかにしている。

イオン特異性による生育阻害については、本章の試験結果からあまり明確にし得なかった。しかし、嶋田¹⁶²⁾はMgのイオン特異性に基づく生育

阻害について詳細に報告しており、今後、農業技術論的に留意すべき事項と考えた。

以上の要因は、塩基資材の多量施用時(施用塩基)のみならず、塩基高蓄積土壌(蓄積塩基)においても共通的に生ずる問題であるが、資材多量施用時には、これら以外に直接的な濃度障害の問題が生じた。すなわち、造成初年目の塩基枠ほ場で見られたように、K・Mg資材(硫酸塩)施用区でEC値が顕著に高まり、トマトの生育が著しく抑制され、収穫に至らなかった(第44表)。なお、炭カル多量施用区はEC値上昇を引き起さず、濃度障害的な生育抑制は認められなかった。この点、施用資材の形態(塩の種類)による溶解度の違いが関与しているものと推察した。

さらに、資材多量施用時に、硫マグ、硫加施用系列において微生物活性が低下し、硝酸化成速度が遅延する傾向にあった(第40表)。これは、塩類濃度上昇による浸透圧効果が主要因と考えられるが、Mg・Kイオン自体の過剰蓄積も一部関与している可能性が示唆され、特定イオンの過剰蓄積と微生物活性の関連についての今後の検討がまたれる。

ところで、多くの作物に対し硝酸態Nがアンモニウム態Nより、すぐれたN源とされていることを考慮するならば、硝酸化成速度の低下は、作物のN吸収抑制の一因となり、生育抑制をもたらす可能性が認められた。事実、トマトにおいては、一定のpHに維持しても、アンモニウム態N栄養下にある場合より、硝酸態Nで栽培したトマトの生育速度がすぐれ^{122, 229)}、硝酸態NがよりすぐれたN源であるとされている²⁰³⁾。