

塩基適応性の作物種間差第7報

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者	鱒田中, 明
巻/号	48巻9/10号
掲載ページ	p. 352-361
発行年月	1977年9月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



塩基適応性の作物種間差 (第7報)

塩基選択能および濃度反応性の作物種間差—比較植物栄養に関する研究—

田 中 明*

この一連の実験では培地中の $\text{Na}^{1)}$, $\text{K}^{2)}$, $\text{Mg}^{3)}$, $\text{Ca}^{4)}$ 濃度の変化に対する生育反応および塩基含有率変化の種間差について論じてきた。本報では (a) 標準培養液で生育させた場合の塩基含有率の種間差および, (b) 培地中塩基濃度の変化に対応した生育反応・塩基含有率変化の種間差について, これまでに報告してきた実験結果を一括して, 総合的に論じた。

実験法・実験結果整理法

栽培法

実験 1⁵⁾: 49 作物 (第1表) の苗を Na , K , Mg , Ca をそれぞれ 2 mmole/l 含む pH 5.0 の水耕液で約 2 週間生育させ, 地上部についてこれら 4 元素の分析を行なった。各作物は 2 反復で生育させ, それぞれについて分析し, 分析結果は me/100 g 乾物 (me と略記する) で表示した。

実験 2¹⁾: K , Mg , Ca をそれぞれ 2 mmole/l 含み, Na は Na_2SO_4 を用いて 0, 2, 43.5 me/l の 3 段階として, 20 作物 (第3図中キウリ, バレイショ, ソバ, タマネギを除く) を約 20 日間生育させて後, 試料を採取し, 地上部, 根部に分け, 70°C で乾燥後, 秤量・粉砕して 4 元素を分析した。試料採取後の処置は以下の実験でも同様である。なお, 以下たとえば 2 meNa/l 区を $\text{Na} 2$ 区と略称する。

実験 3²⁾: Na , Mg , Ca をそれぞれ 2 mmole/l 含み, K は塩化物・硫酸塩当量混合物 (以下塩基濃度を変える場合はすべて同様) で 0.05, 2, 20 me/l の 3 段階で, 17 作物 (第3図中レタス, ナス, セロリー, パセリ, タマネギ, アスパラガス, コムギを除く) を 23 日間生育させた。

実験 4³⁾: Na , K をそれぞれ 2 mmole/l とし, Ca は 1 および 10 me/l の 2 段階とし, それぞれについて, Mg を 0.1, 4, 40 me/l の 3 段階として, 20 作物 (第3図中バレイショ, セロリー, パセリ, アスパラガスを除く) を 14 日間生育させた。なお, たとえば 10 meCa/l 系列の 4 meMg/l 区を $\text{Mg} 4$ [$\text{Ca} 10$] 区と略称する。

実験 5⁴⁾: Na , K , Mg をそれぞれ 2 mmole/l 含み Ca

を 0.1, 4, 50 me/l の 3 段階で, 19 作物 (第3図中キウリ, バレイショ, ハクサイ, アスパラガス, エンパクを除く) を 25 日間生育させた。

実験結果整理法

標準培養液における塩基含有率の種間差: 実験 1 は 10 科, 49 種, 各種 2 反復より構成されているので, 自由度を科間差 9, 科内種間差 39, 誤差 49 として分散分析を行なった (第2表)。また, Na , K , Mg , Ca の含有率の合計を全塩基含有率として, 各塩基および全塩基含有率間の相関係数を算出した (第3表)。さらに科ごとの Ca 含有率の平均値を算出し, その低いものから高いものへと科を並べ, 各作物について Mg/Ca 比および Na/Ca 比を算出し, 科内でこの比が著しく異なるものは除いて, 科平均値を算出した (第4表)。一方, 実験 2 の $\text{Na} 2$ 区, 実験 3 の $\text{K} 2$ 区, 実験 4 の $\text{Mg} 4$ 区 ($\text{Ca} 1$ および $\text{Ca} 10$ 両区), 実験 5 の $\text{Ca} 4$ 区では各作物とも正常に生育したので, これらを標準区と考え, 供試した作物の種類が各実験で統一されていなかったが, 得られた結果をすべて用いて各作物の平均値を算出し, この値によって地上部含有率と根部含有率との関係 (第1図), 地上部含有率/根部含有率比と地上部含有率との関係 (第2図) を検討した。なおここで算出した地上部含有率/根部含有率比は根より地上部への移行性を示す指標と考えた。

培地塩基濃度の変化に対応した生育量・当該塩基含有率の変化: 実験 2~5 の各処理区の生長量, 地上部塩基含有率の全作物平均値を算出し, 濃度を変えた塩基については含有率の種間の変動係数も算出した (第5表)。また各区の生育の良否, 症状の有無の概要を第3図に示した。さらに各実験における各作物について標準区の地上部含有率を横軸にとり, 当該塩基の低濃度区 ($\text{Na} 0$ 区, $\text{K} 0.05$ 区, $\text{Mg} 0.1$ 区, $\text{Ca} 0.1$ 区) または高濃度区 ($\text{Na} 43.5$ 区, $\text{K} 20$ 区, $\text{Mg} 40$ 区, $\text{Ca} 50$ 区) の含有率を縦軸にとって図を作成した (第4図)。なお, この図に横軸と縦軸の値が同一な場合の直線を記入した。すなわち, この直線より上位または下位の場合は, 標準区より含有率が高いかまたは低いことを示すものである。

培地塩基濃度の変化に対応した当該塩基以外の塩基含有率の変化: 実験 2~5 について, 濃度が変化する塩基

* 北海道大学農学部 (札幌市北区北 9 条西 9 丁目)
昭和 51 年 9 月 9 日受理
日本土壤肥科学雑誌 第 48 巻 第 9, 10 号 p. 352~361 (1977)

第1表 科別供試作物の一覧表

双子葉植物	
合べん花類	
キク科	: シュンギク, ゴボウ, レタス
ウリ科	: キウリ, ヘチマ
ナス科	: ナス, トマト, トウガラシ
シソ科	: シソ
離べん花類	
セリ科	: セロリ, ニンジン, パセリ
マメ科	: ホワイトクローバー, レッドクローバー, クリムソクローバー, アルサイクローバー, アルファルファ, ソラマメ, エンドウ, ダイズ, サイトウ, アズキ
アブラナ科	: ミズナ, カラシナ, コマツナ, タイナ, ハクサイ, カブ, ルタバガ, キャベツ, ダイコン
アカザ科	: ビート, ホーレンソウ
単子葉植物	
ユリ科	: タマネギ, アスパラガス
イネ科	: イネ, オオムギ, コムギ, エンバク, ライムギ, ヒエ, ソルガム, トウモロコシ, オーチャードグラス, トールフェスク, メドウフェスク, イタリヤンライグラス, リードカナリャーグラス, チモシー

第2表 10科, 49種についての塩基含有率平均値 (me/100g) および科別・種別の変動係数・F値

塩基		Na	K	Mg	Ca
平均値		23	132	49	54
変動係数	科間	3.00	0.47	1.33	1.44
	科内種間	1.23	0.36	0.31	0.34
F値	科間 ^{a)}	5.88**	1.63	18.3**	19.3**
	科内種間 ^{b)}	23.4**	2.89**	17.7**	20.7**

^{a)} df=9/49, ^{b)} df=39/49

**, * 1%, 5% 水準で統計的に有意, 以下の表でも同様。

以外の塩基の, 各処理区別の全作物平均含有率を算出した(第5表)。また, 各実験の濃度を変えた塩基以外の塩基について, 標準区の地上部含有率を横軸に, 低・高濃度区のそれを縦軸にして図を作成した(第5~8図)。

実験結果

標準培養液における塩基含有率の種間差: 標準培養液で生育した49作物の平均地上部含有率は $K > Ca \geq Mg > Na$ で, その変動係数は $Na > Ca > Mg > K$ である(第2表)。そして Ca, Mg では科間差が明瞭であり, 科内種間差も認められ, Na では科間差も認められるが, 科内種間差が大きく, K では科間差は統計的に有意でなく, 科内種間差も比較的小さい。

全塩基含有率と各塩基の含有率との間には正の相関が存在し, Kで相関係数が最も小さい(第3表)。

第3表 49作物の各塩基含有率相互間の相関係数

	Na	K	Mg	Ca	全塩基
Na	1.000				
K	0.265	1.000			
Mg	0.506**	0.079	1.000		
Ca	0.309*	-0.013	0.776**	1.000	
全塩基	0.732**	0.470**	0.749**	0.679**	1.000

第4表 科別の Ca 含有率, および Mg/Ca, Na/Ca 含有率比 (当量比)

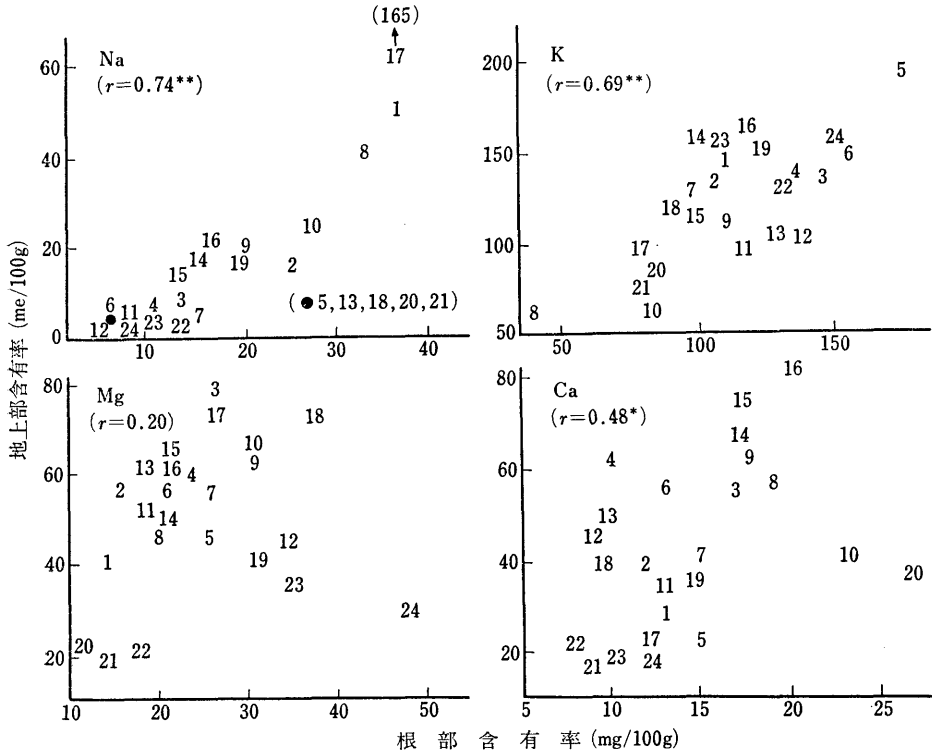
科名	種数	Ca (me/100g)	Mg/Ca ^{注)}	Na/Ca ^{注)}
イネ	14	27	1.03	0.17
			[トールフェスク1.60, オーチャード1.40, ヒエ1.36, エンバク1.24]	[ヒエ0.74, トールフェスク0.50]
ユリ	2	35	0.66	0.19
アカザ	2	43	2.04	0.44
				[ビート4.00]
キク	3	57	1.01	0.29
				[シュンギク1.26]
ナス	3	53	1.18	0.24
シソ	1	53	0.98	0.24
マメ	10	54	0.83	0.20
			[アルファルファ1.20, ソラマメ1.12, サイトウ0.46, ホワイトクローバー0.48]	[クリムソクローバー1.32, ソラマメ0.56, アルファルファ0.42]
セリ	3	56	0.70	0.38
				[セロリー1.12]
ウリ	2	90	0.94	0.05
アブラナ	9	93	0.80	0.49
				[ダイコン0.94, タイナ0.74, カラシナ0.26]

注) 表中の [] 内には科内で特異なものの種名およびその比を示した。平均値はこれらの種を除いたものについての値。

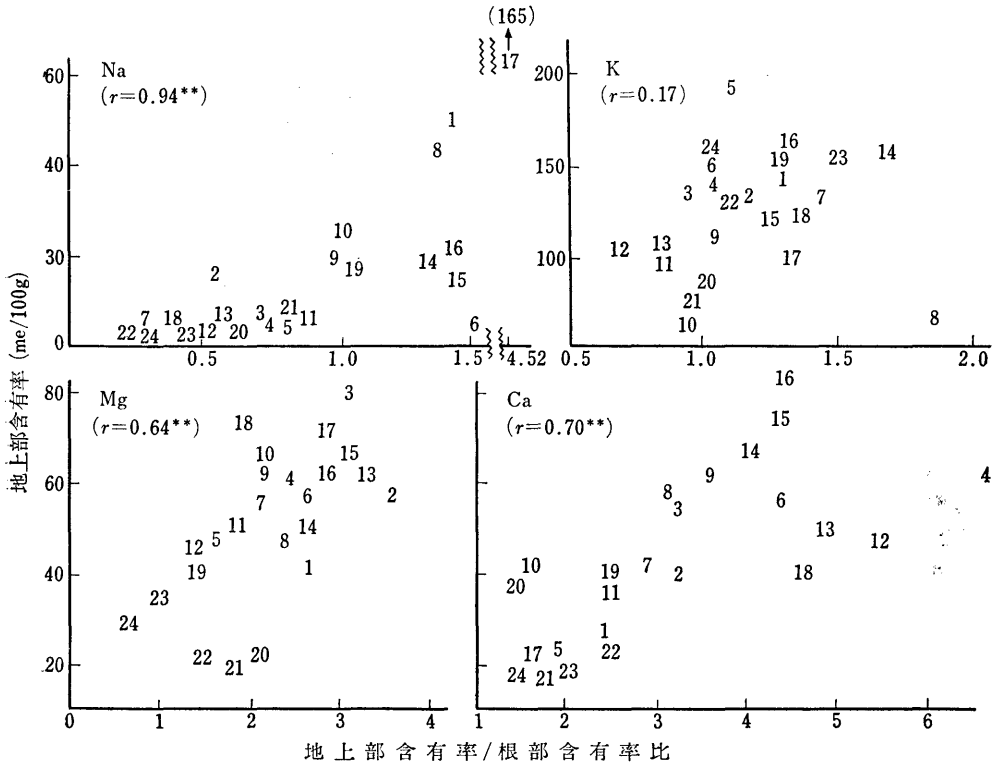
地上部の科平均 Ca 含有率は, イネ科 27 me, アブラナ科 93 me と科間差が大きい(第4表)。Mg/Ca 比はアカザ科で特に大きく, ユリ科, セリ科, アブラナ科で他科より小さいが, イネ科, マメ科で科内に例外的な値を示す種が多い。Na/Ca 比はアブラナ科, アカザ科, セリ科で大きく, ウリ科, イネ科で小さいが, 科内変動も大きい。

標準区の24作物についての結果によれば, 地上部含有率と根部含有率の間には, Na, K では正の相関が存在し, Ca でもある程度の相関が認められるが, Mg では両者は全く無関係である(第1図)。一方, 地上部含有率と地上部含有率/根部含有率比の間には, Na では高い正の相関が認められ, Ca, Mg でも正の相関が存在したが, Kでは相関がみられなかった(第2図)。

培地塩基濃度の変化に対応した生育量・当該塩基含有率の変化: 全作物平均生長量は標準区に比べて, Na 0



第1図 Na, K, Mg, Ca についての根部含有率と地上部含有率との相互関係
(図中の数字は第3図の作物番号, () 内の r は相関係数, 第2図も同じ)



第2図 Na, K, Mg, Ca についての地上部含有率/根部含有率比と地上部含有率との相互関係

第5表 各処理区の平均含有率

培地塩基濃度 (me/L)	供試作物数	生長量 (g/個体)	地上部重		Na	K	Mg	Ca
			根重	地上部重				
Na	0	2.38	3.75	12(46)	148	48	71	
	2	2.42	3.49	25(267)	138	46	62	
	43.5	2.11	3.41	137(87)	81	31	41	
K	0.05	1.45	5.16	63	23(62)	48	76	
	2	3.62	4.52	18	128(28)	43	36	
	20	2.99	3.95	12	182(24)	40	43	
Ca 1	0.1	0.74	5.13	20	128	13(36)	55	
	4	0.70	4.81	20	157	76(35)	21	
	40	0.35	6.64	21	87	150(42)	13	
Mg	0.1	0.70	6.64	17	153	9(30)	85	
	4	0.85	4.99	14	155	43(33)	69	
	40	0.87	3.56	11	146	115(41)	26	
Ca	0.1	0.51	3.27	30	75	80	18(111)	
	4	1.61	3.53	24	70	53	32(53)	
	50	1.48	3.86	20	96	35	155(56)	

()内は変動係数

区では変化なく、Na 43.5区でやや低下し、K 0.05区で著しく小さく、K 20区でやや低下し、Mg濃度の上昇で、Ca 1系列では低下し、Ca 10系列ではやや上昇し、Ca 0.1区では著しく低下し、Ca 50区でやや低下した

(第5表)。また全作物平均の地上部重/根重比はK 0.05区、Mg 40 [Ca 1]区、Mg 0.1 [Ca 10]区などで標準区よりやや大きな値を示した。

個々の作物についてみると、低濃度区では、Naについてはいずれの作物でも生育は良好で症状は発現しなかった(第3図)。Kについてはすべての作物で欠乏症が現われたが、イネ、エンバクで生育悪化は軽微であった。Mgではアブラナ科、ビート、ソバ、タマネギ、イネ、コムギなどでは欠乏症を示さず、生育が良好であるのに対して、シュンギク、キウリ、ナス科などでは欠乏症が明瞭に現われ、生育が不良となり、Ca 1系列ではCa 10系列に比較して一般に欠乏症が軽微であった。Caではイネを除く全作物で欠乏症が現われたが、イネ、エンドウ、アズキ、ビートなどで生育量の減退が比較的小さかった。

一方、高濃度区ではNaについてはアズキで特に生育が不良となり、ナス、トマト、パセリ、ダイズ、イネでもわずかに生育が不良となった。Kではキウリで生育が特に悪く、トウガラシ、ハクサイ、ダイコン、ビート、イネでも生育不良となった。Mgについては多くの作物にCa欠乏症が発現し、特にCa 1系列で著しく、Mg 40 [Ca 1]区ではシュンギク、レタス、キウリ、ニンジン、ハクサイ、キャベツなどで生育が特に不良であり、Mg 40 [Ca 10]区ではハクサイ、ダイコン、ソバなどでは生育が不良であったが、キウリ、トマトなどでは標準区よりむしろ生育が良好であった。Caについてはレタス、ソバなど明らかに生育が悪化するのに対して、セ

作物 番号 種名	培地条件								
	低濃度区				高濃度区				
	K	Mg (Ca1)	(Ca10)	Ca	Na	K	Mg (Ca1)	(Ca10)	Ca
1 シュンギク	◎	◎	◎	△	○	○	△	△	○
2 レタス	○	○	○	△	○	○	△	△	○
3 キウリ	◎	◎	◎	△	○	○	△	△	○
4 ナス	○	○	△	△	△	○	△	△	○
5 バレイショ	△	○	○	○	○	○	○	○	○
6 トマト	◎	◎	△	△	○	○	△	△	○
7 トウガラシ	◎	◎	◎	△	○	○	△	△	○
8 セロリ	○	○	○	△	○	○	○	○	○
9 ニンジン	△	○	◎	△	○	○	△	△	○
10 パセリ	○	○	○	△	○	○	○	○	○
11 エンドウ	△	○	△	△	○	○	△	△	○
12 ダイズ	△	○	◎	△	○	○	△	△	○
13 アズキ	△	◎	◎	△	○	○	△	△	○
14 ハクサイ	◎	◎	◎	△	○	○	△	△	○
15 キャベツ	△	○	◎	△	○	○	△	△	○
16 ダイコン	◎	◎	◎	△	○	○	△	△	○
17 ビート	◎	◎	◎	△	○	○	△	△	○
18 ソバ	◎	◎	◎	△	○	○	△	△	○
19 タマネギ	○	○	○	△	○	○	○	○	○
20 アスパラガス	○	○	○	○	○	○	○	○	○
21 イネ	◎	◎	◎	○	△	△	○	○	○
22 コムギ	○	○	○	△	○	○	○	○	○
23 エンバク	◎	◎	◎	○	○	○	△	△	○
24 トウモロコシ	△	○	△	△	○	○	△	△	○

欠乏症状：◎顕著、○軽微、△Ca欠乏症
 生育概況：■著しく不良、□不良、△やや不良、○良(標準区並)、
 ●著しく良(標準区以上)

第3図 各作物の低濃度区および高濃度区における症状および生育概況

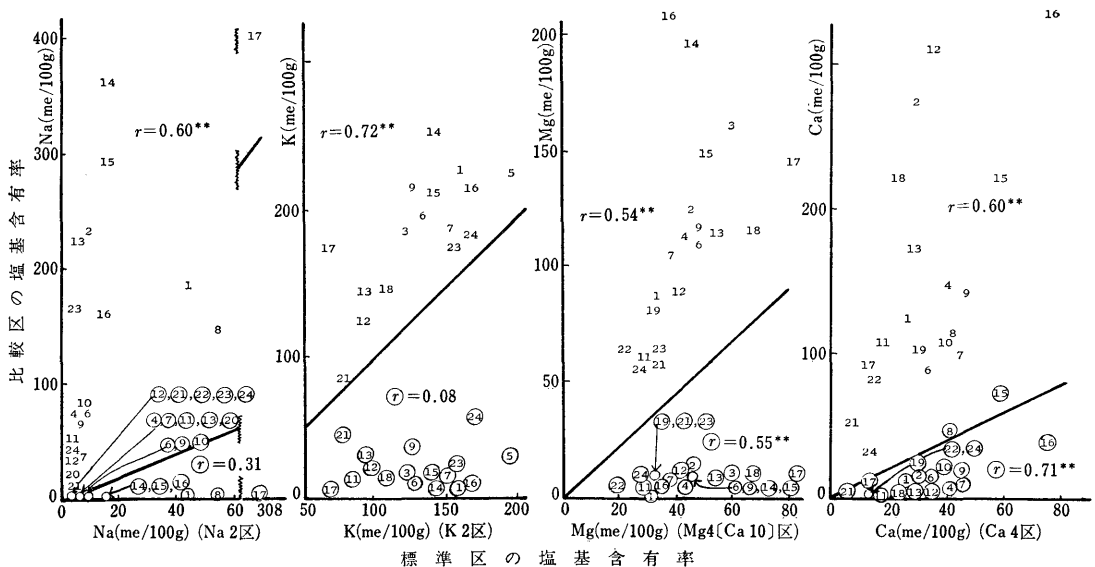
ロリー, エンジン, パセリ, キャベツでは生育がむしろ改善された。

培地濃度の上昇にともない, 当該塩基の地上部平均含有率はいずれの塩基でも上昇し, 同一培地濃度 (me/l 表示) における地上部含有率を推定すると, 低濃度の場合は $K > Ca \geq Mg > Na$ であり, 高濃度となると塩基間の差が縮小した (第 5 表)。濃度が増える塩基の含有率の作物間の変動係数は, Na では Na 0 区で小さく, Na 2 区で極めて大きく, Na 43.5 区でも比較的大きい。K では K 0.05 区で大きな変動係数を示すが, K 2 区, K 20 区では小さい。Mg では処理による変動係数の変化が小さく, 各区とも比較的小さい。Ca では Ca 0.1 区で大きな変動係数を示し, Ca 4 区, Ca 50 区は Ca 0.1 区より小さいが, K, Mg の場合に比べると大きい。

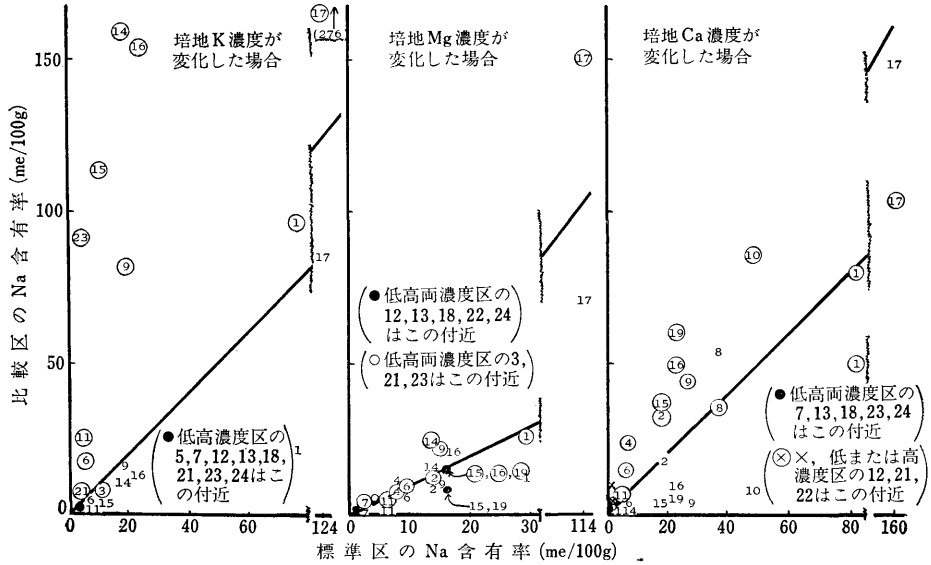
個々の作物についての培地濃度の変化に対応した当該塩基の地上部含有率の変化 (第 4 図) は, Na 含有率については Na 2 区と Na 0 区との間には相関が認められず, Na 0 区では全作物とも低い値となり, Na 2 区と Na 43.5 区との間には正の相関が認められ, Na 2 区で Na 含有率の高い種で Na 濃度の上昇による含有率の上昇が著しい傾向がある。しかし, Na 2 区の含有率の割には, レタス, アズキ, ハクサイ, キャベツ, ダイコン, エンバクなどで上昇が著しい。一方, 標準区で低 Na 含有率の種の中には, Na 43.5 区でもほとんど含有率が上昇しない種が多い。K 含有率は K 2 区と K 0.05 区との間に相関が認められず, K 2 区と K 20 区の間

は正の相関が認められたが, ビートは K 2 区では低含有率であるが, K 20 区で上昇が著しい。Mg 含有率については, Ca 10 系列では Mg 4 区と Mg 0.1 区または Mg 40 区との間に正の相関が認められる。しかし, Mg 4 区より Mg 40 区への Mg 含有率の上昇はキュウリ, キャベツ, 特にハクサイ, ダイコンで明瞭であり, この傾向は Ca 1 系列でさらに明瞭であった。Ca 含有率については Ca 4 区と Ca 0.1 区または Ca 50 区との間にも Ca 含有率間の正の相関が認められ, Ca 0.1 区ではほとんどの作物で Ca 含有率が低下したが, セロリー, キャベツなどでは低下せず, Ca 4 区より Ca 50 区への上昇は, Ca 4 区の Ca 含有率の割にはレタス, ダイズ, アズキ, ソバなどで顕著であった。

培地塩基濃度の変化に対応した当該塩基以外の塩基含有率の変化: 全作物平均の地上部含有率についてみると, 標準区の含有率に対して Na 含有率は K 0.05 区で著しく高く, K 20 区でやや低下し, Mg 濃度の上昇に対しては Ca 1 系列ではほとんど変化せず, Ca 10 区ではやや低下し, Ca 濃度の上昇でもわずかに低下した (第 5 表)。K 含有率は Na 濃度の上昇で Na 0 区から Na 2 区への変化は小さく, Na 43.5 区で低下し, Mg 濃度の変化で Ca 1 系列の Mg 0.1 区でやや低く, Mg 40 区で明らかに低下するが, Ca 10 系列ではほとんど変化せず, Ca 濃度の変化で Ca 0.1 区でやや高く, Ca 50 区では上昇した。Mg 含有率は Na, K 濃度の上昇によりわずかに低下し, Ca 濃度の上昇で著しく低下し



第 4 図 標準区の塩基含有率と当該塩基についての低濃度区 (○内の数字で示す) または高濃度区 (数字で示す) の含有率の関係 [図中の ⊙ または r は標準区と低濃度区または高濃度区の含有率の相関係数, 数字は第 3 図の作物番号, 以下の図においても同じ]



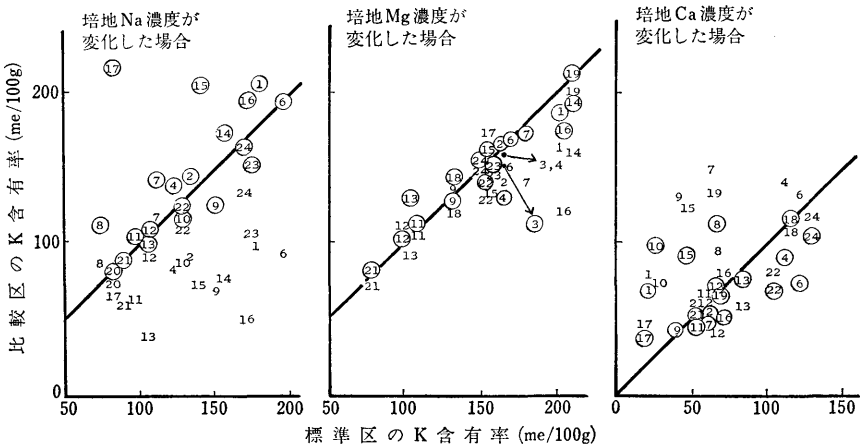
第5図 標準区の Na 含有率と各塩基についての低濃度区または高濃度区の Na 含有率との関係（図中の数字などは第4図と同じ）

た。Ca 含有率も各塩基濃度の上昇で低下し，Na，K 濃度の影響は小さく，Mg 濃度の上昇で著しく低下した。

培地濃度の変化に対応した当該塩基以外の塩基の地上部含有率の変化を個々の作物についてみると，Na 含有率については，標準区に対して K 0.05 区で上昇し，その上昇はビート，ニンジン，ハクサイ，キャベツ，ダイコン，エンバクで顕著であり，シュンギク，トマト，エンドウなどでもやや上昇するが，それ以外の作物では全く上昇しなかった（第5図）。K 20 区において標準区に比べて Na 含有率が明らかに低下するのは，シュンギク，ビートのみで他の種ではほとんど変化しない。Na

含有率は Mg 0.1 区においてはビートのみで明瞭に上昇し，Mg 40 区ではシュンギク，ビートで低下した。Ca 濃度の変化に対応した Na 含有率の変化は，Ca 0.1 区では多くの作物で上昇したのに対して，シュンギク，ビートでは逆に低下し，Ca 50 区では標準区に比べてニンジン，パセリ，キャベツ，ダイコンなどで低下したが，他の作物ではほとんど変化しなかった。

K 含有率については，標準区に対して Na 0 区ではキャベツ，ビートで明瞭に上昇し，他の作物ではわずかに上昇し，Na 43.5 区ではシュンギク，トマト，ニンジン，アズキ，ハクサイ，キャベツ，ダイコンなどで低下



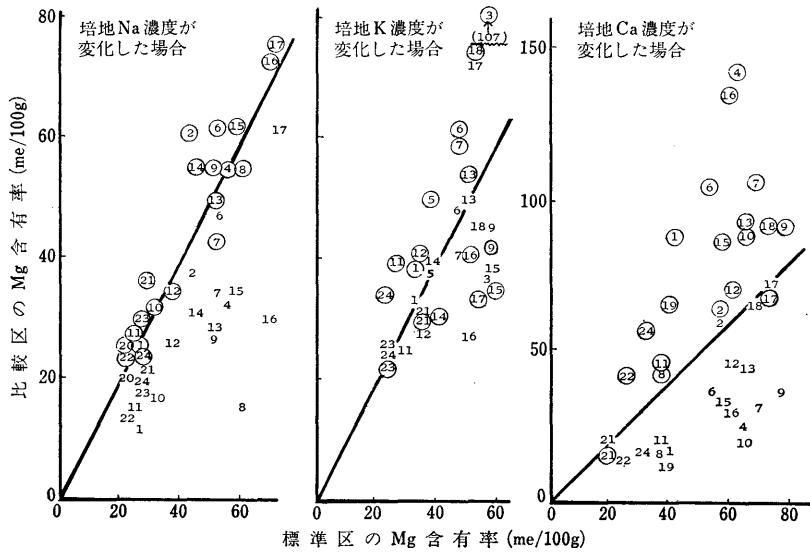
第6図 標準区の K 含有率と各塩基についての低濃度区または高濃度区の K 含有率との関係（図中の数字などはすべて第4図と同じ）

したが、ほとんど変化しない作物も多かった(第6図)。Mg 濃度の変化によってK含有率は各作物ともにほとんど影響されず、Mg 40 区でハクサイ、ダイコンなどでわずかに低下したに過ぎない。Ca 濃度の変化に対応したK含有率の変化は種ごとにまちまちである。

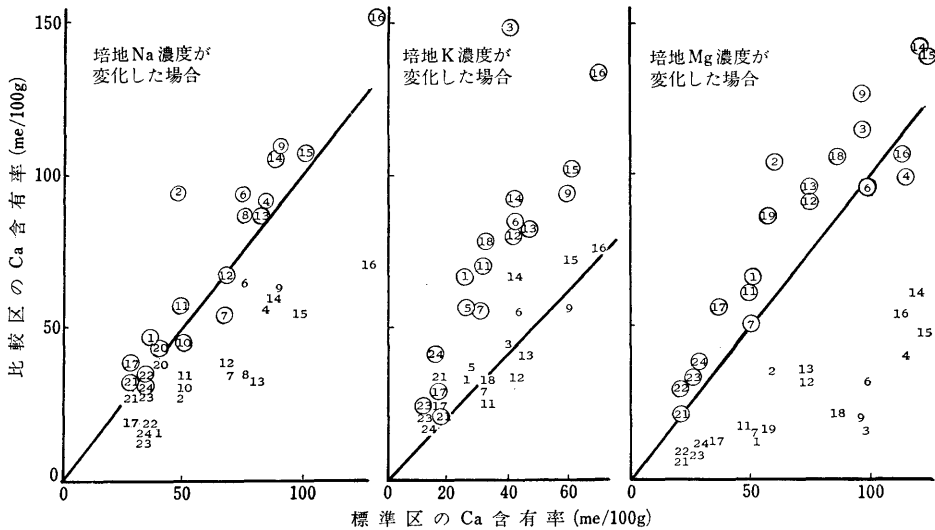
Mg 含有率は標準区に対して、Na 0 区では各作物ともほとんど変化せず、Na 43.5 区では多くの作物で低下したが、この低下はセロリー、ダイコンなどで顕著であり(第7図)、K 0.05 区では多くの作物で上昇し、特に

キウリ、ソバで上昇が著しかったが、ニンジン、キャベツ、ビートなどでは逆に低下し、K 20 区ではキウリ、キャベツ、ダイコンなどで特に低下したが、一方ビートでは上昇した。Ca 0.1 区ではほとんどの作物で Mg 含有率は上昇し、ナス、ダイコンで上昇が著しく、一方ほとんど変化を示さない作物もあり、Ca 50 区では Mg 含有率は一般に低下したが、キウリ、ビート、ソバ、イネでは変化を示さなかった。

Ca 含有率は Na, K, Mg 濃度の変化に対応した変化



第7図 標準区の Mg 含有率と各塩基についての低濃度区または高濃度区の Mg 含有率との関係(図中の数字などはすべて第2図と同じ)



第8図 標準区の Ca 含有率と各塩基についての低濃度区または高濃度区の Ca 含有率との関係(図中の数字などは第2図と同じ)

の種間差は小さく、K 0.01 区におけるキウリの著しい上昇のみが特異的であった（第8図）。

考 察

標準培養液で生育した場合の供試全作物平均値と比較すれば、地上部含有率は $K > Ca \geq Mg > Na$ であり、地上部含有率/根部含有率比（地上部移行性）は $Ca > Mg > K > Na$ であって、Na は作物に吸収されにくく、地上部移行性が低く、K は多量に吸収され、根部と地上部にほぼ同様な含有率で分布し、Ca は吸収量はあまり多くないが、地上部移行性が高く、Mg も Ca と類似の性質を示す。

個々の種の塩基含有率に注目すると、一般に全塩基含有率の高い種で各塩基の含有率が高い傾向が認められ、塩基の種類には関係なく、塩基吸収力の強い種と弱い種が存在するかに見える。しかし、K 含有率と他塩基含有率との間には相関が認められず、K は特異な行動を示し、さらに、Na, Mg, Ca 相互間の相関においても例外が多く、種の特性はそれぞれの塩基について論ずる必要があり、地上部塩基含有率の種間の変異係数は $Na > Ca > Mg > K$ である。

塩基含有率に種間差が存在する機作をこの一連の実験結果から論じることは不可能であるが、塩基が培地から水と平行して吸収され、蒸散係数が 200~400 と仮定すると、標準培養液の組成では植物体の含有率は Na, K では 40~80 me/100 g, Mg, Ca では 80~160 me/100 g となるはずである。そして、含有率がこの値より低い場合には、水の吸収より塩基吸収が遅く、根の排除能が働いており、含有率が高い場合には水より塩基がより速やかに吸収されており、根の積極的吸収能が働いていると考えられる⁶⁾。この考え方によれば、Na についてはビートでは積極的吸収が行なわれ、他の作物では排除能の強弱によって含有率の高低が支配されており、K ではいずれの作物でも積極的吸収が行なわれており、Mg, Ca では主として排除能の強弱によって含有率の高低が支配されていると考えられる。なお、ここでは排除能・積極的吸収能の強弱という表現をしたが、この差が作物間の同一機作の単なる強度の差に起因するのか、機作そのものの質的な差に起因するかは不明である。

一方、地上部の含有率は根の含有率と Na, K では正の相関を示し、Mg では無関係であり、さらに地上部含有率は地上部移行性と Na では密接な正の相関を示し、Mg, Ca でもある程度の正の相関を示し、K では無関係である。

以上のことから判断して、Na では根の排除能の強弱、

根より地上部への移行の難易によって地上部含有率に著しい種間差が生じ、K では根の積極的吸収能により地上部含有率が支配されるが、その種間差は他塩基ほどには顕著でなく、Mg, Ca では根の排除能にも支配されるが、主として地上部移行性によって地上部含有率が支配されていると考えられる。

塩基含有率の種間差を科間差と科内種間差に解析すると、科間差は Ca, Mg で明瞭であり、Na でも統計的に有意であるが、K では認められず、科内種間差は Na で最も明瞭であり、Ca, Mg でも明瞭で、K についても統計的に有意である。このように科内種間差は存在するが、各科は一応下記のごとく特徴づけることができる。

イネ科, ユリ科: Ca, Mg, Na 含有率が低い。なお、ユリ科で Mg 含有率が特に低い。

アカザ科: Ca 含有率が比較的 low, その割には Mg, Na 含有率が高い。

キク科, ナス科, シソ科, マメ科: Ca, Mg, Na 含有率が中位である。

セリ科: Ca 含有率が中位であり、その割には Mg 含有率が低く、Na 含有率が高い。

ウリ科: Ca, Mg 含有率が高く、Na 含有率が低い。

アブラナ科: Ca, Na 含有率が高く、その割には Mg 含有率が低い。

なお、イネ科、マメ科には科平均の Mg/Ca 比、Na/Ca 比から離れた組成を持つ種が多く、Na 含有率はイネ科のヒエ、アカザ科のビート、キク科のシュンギク、マメ科のクリムソンクローバー、セリ科のセロリー、アブラナ科のダイコン、タイナなどは科内の他種より Na 含有率が明らかに高い。

つぎに、培地中の塩基濃度が変化した場合の生育反応の種間差を検討すると、培地濃度が極端に低かったり、高かったりした場合、根の生育がまず障害を受け、その結果地上部の生育が悪化する可能性がある。しかし、本論文で対象となった処理では地上部重/根部重比の処理間の開きは比較的小さく、生育量の変化を地上部塩基含有率の変化との関連で論じ得ると考えた。生育反応を全作物平均の生育量でみると、低濃度の場合は K, Ca では欠乏症が激発し、生育が著しく劣り、Na ではその必須性が全く認められず、Mg については Ca 濃度との拮抗が明瞭で、Mg 欠乏は高 Ca 濃度の場合激発したのに対して、低 Ca 濃度の場合は軽微であった。一方、高濃度の場合は、本実験で用いた処理濃度の範囲では、各塩基について特定の種で高濃度障害が現われる程度であったが、高 Mg 濃度については生育が不良となる種が多く、これは主として Ca 欠乏症のためであり、特に高

Mg・低 Ca濃度培地で著しかった。

生育反応によって各科を特徴づけるには資料が不足であるが、強いてこれを試みると下記のごとくである。

イネ科：一般に低濃度耐性が強く、高 Ca 濃度耐性が弱い。しかし、コムギ、トウモロコシは低 Ca 濃度耐性が弱く、イネは高 Na, K 濃度耐性が弱い。

キク科：低 K, Mg, Ca 濃度耐性、高 Mg 濃度耐性が弱い。

ナス科：低 K, Mg, Ca 濃度耐性が弱く、低 Ca 濃度培地での高 Mg 濃度耐性は弱い、Ca, Mg がともに高濃度の培地では生育が良好である。

マメ科：低 K濃度耐性弱、低 Ca 濃度耐性中、高 Mg, Ca 濃度耐性が弱である。なお、アズキは高 Na 濃度耐性が弱く、エンドウは高濃度耐性が一般に強い。

セリ科・アブラナ科：低 K, Ca 濃度耐性が弱く、低 Mg 濃度培地で生育がむしろ良好で、高 Mg 濃度耐性は弱く、高 Ca 濃度培地で生育が良好である。

さて、生育反応の種間差を濃度の変化に対応した塩基含有率の変化と関連させて考えてみよう。一般的に低濃度における生育量の低下程度（低濃度耐性）の作物間差は、低濃度培地よりの吸収能および低含有率となった場合の生育障害程度（低含有率耐性）の種間差による。一方、高濃度耐性の種間差は高濃度培地における排除能および高含有率耐性の種間差に起因すると考えることができる。なお、低含有率耐性または高含有率耐性は必ずしも単純に当該塩基の含有率のみでなく、他塩基含有率の変化との関連で考えねばならぬ場合もある。

培地中のある塩基の濃度が低濃度から次第に上昇した場合、一般に (a) 当該塩基の地上部含有率は上昇し、(b) 他の塩基の含有率は拮抗的に低下する。全作物平均値でみると、低濃度においては当該塩基の含有率は $K > Ca \geq Mg > Na$ であるが、濃度の上昇にともない、その順序は変化しないが、その差が狭まる。Na 含有率については各作物ともに Na を必須としない（たとえ必須としても必須量は極く微量）ために、Na 0 区ではすべての作物で極めて低含有率となり、Na 濃度の上昇にともない Na 排除能の種間差により明瞭な差が現われ、さらに Na 濃度が上昇すると、アズキでは生育障害を受け、Na 排除能が低下し、Na 含有率が急上昇し、アブラナ科、エンバクなどでは Na-K 間の拮抗が著しいために、Na 濃度の上昇で K 含有率の低下をともないつつ Na 含有率の上昇が起る。なお、ビートは特異的に Na 含有率が高く、低濃度域では Na を積極的に吸収する。K 含有率については低 K 濃度では K 吸収能・低 K 含有率耐性の種間差のために K 含有率の種間差が明瞭に現われ、K 濃

度の上昇にともなって種間差は縮少する。ただし、ビートでは K 濃度の上昇で Na 含有率が低下しつつ、K 含有率が著しく上昇する。Mg 含有率については、この実験に用いた低濃度の範囲では、Mg 含有率の種間差の拡大は認められず、高濃度区では、生育が不良となったキュウリやアブラナ科で排除能の低下のために特に目立った上昇が起った。Ca 含有率については、Ca 吸収能・低 Ca 含有率耐性の種間差のために低濃度区において著しい種間差が認められ、セロリー、アブラナ科で高い。高 Ca 濃度区においては生育が悪化したレタス、ダイズ、アズキ、ソバなどで排除能の低下のために Ca 含有率の上昇が特に著しかった。

一方、ある塩基濃度の変化に対応した他の塩基の含有率の変化は Na-K 間の拮抗、特に K 欠乏時の Na 含有率の上昇、および Mg-Ca 間の拮抗、特に低 Ca 濃度における Mg 含有率の上昇および高 Mg 濃度による Ca 含有率の低下が明瞭であった。これらの塩基相互間の拮抗関係はカチオン同志の競合として一応理解されるが、実際はそれほど単純ではなく、拮抗の現われ方に種間差が存在し、さらにたとえば K は積極吸収されるために、K 吸収は Ca 欠乏によって根の機能が減退すると減退し、Ca が高濃度で根の機能が盛んになると促進されるといった現象も認められる。

拮抗関係における種間差をみると、Na 含有率は低 K 濃度の場合、アブラナ科、ニンジン、ビート、エンバクなどでは著しく上昇し、Na 濃度が低い場合、キャベツ、ビートでは K 含有率が著しく上昇し、これらの作物では Na-K 間の拮抗関係が明瞭である。一方、Na や K 濃度の変化で K や Na 含有率が全く変化しない作物も多数存在する。また Mg-Ca 間の拮抗によるこれら塩基の含有率の変化は、一般に標準培地で Mg, Ca 含有率の低い作物で小さく、高い作物で大きい。

これら拮抗現象との関連で特記すべきことは、低 K 濃度で Na 含有率の上昇が著しい作物では一般に耐低 K 含有率耐性が強く²⁾、低 K 含有率状態で Na が K の作用の一部を代替している可能性が考えられること、セリ科、アブラナ科などでは Mg-Ca 間の拮抗が明瞭に現われ、これらの作物では低 Ca 含有率耐性が弱いために、高 Mg 濃度において Ca 欠乏が激発するのに対して、ナス科では低 Mg-Ca 含有率耐性が弱いために、Mg-Ca 濃度がともに高いときに生育が良好であることなど指摘される。

なお、塩基間の拮抗関係で特異な挙動を示す例としては、キュウリでは低 K 濃度において Mg, Ca 含有率が著しく上昇すること、ビートでは低 Ca 濃度において Ca

欠乏状態となると Na 含有率が低下することから、Na が積極的に吸収されていると考えられることなどがあげられる。

これまでに数次に涉って、個々の塩基についての低濃度耐性・高濃度耐性の種間差について記載してきた¹⁻⁴⁾。本報ではこれらの知見を一括して、それぞれの種、あるいは科の特性を総合的に比較しようと試みた。その結果、標準培地における含有率には科間差、科内種間差が存在し、さらに培地中濃度の変化に対応した当該塩基含有率の変化やこれと拮抗した他塩基の含有率の変化にも多様な種間差が存在することが明らかになった。このように種間差が極めて多面的に発現するために、種や科の特性を総合的に表現することは極めて困難であった。また、ある特定の種を用いて得られた知見から、一般的な結論を導くことは極めて危険であることを指摘しておきたい。

要 約

標準培地 (Na, K, Mg, Ca それぞれ 2 mmole/l) で生育した 49 種の作物の塩基含有率を比較し、また 24 作物について、培地中の塩基濃度を変えて生育反応・塩基含有率の変化を比較し、下記の結果を得た。

1) 標準培地における地上部塩基含有率の科間差は Ca, Mg, Na では統計的に有意であり、K では有意でなく、科内種間差は Na 含有率で最も大きく、Mg, Ca で

も認められる。Ca, Mg/Ca 比, Na/Ca 比によって各科は特徴づけられる。たとえば、イネ科は低 Ca, Mg, Na 含有率であり、アブラナ科は高 Ca, Na 含有率であるが、その割には Mg 含有率が低い。

2) 培地濃度の変化に対応した生育反応から、各科は一応特徴づけられる。たとえば、イネ科は一般に低濃度耐性が強く、アブラナ科、セリ科は高 Ca・低 Mg 濃度培地で、ナス科は高 Ca・高 Mg 濃度培地で生育が良好である。

3) 上記の生育反応の種間差を、培地濃度の変化に対応した当該塩基含有率の変化、これと拮抗した他塩基含有率の変化と対応させて論じた。

文 献

- 1) 田中 明・但野利秋・多田洋司：塩基適応性の作物種間差（第3報）、ナトリウム適応性、土肥誌、45, 285~292 (1974)
- 2) 田中 明・但野利秋・秋山由紀：同上（第6報）、カリウム適応性、土肥誌、48, 175~180 (1977)
- 3) 田中 明・但野利秋・樫田木世子：同上（第5報）、マグネシウム適応性、土肥誌、47, 361~366 (1966)
- 4) 田中 明・但野利秋・山田三樹夫：同上（第1報）、カルシウム適応性、土肥誌、44, 334~339 (1973)
- 5) 田中 明・早川嘉彦：耐酸性の作物種間差（第1報）、耐低 pH 性の種間差、土肥誌、45, 561~570 (1974)
- 6) 田中 明：水稻根によるイオンの積極的排除について、土肥誌、41, 457~460 (1970)