

塩基適応性の作物種間差 (第2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	田中, 明 但野, 利秋
巻/号	44巻10号
掲載ページ	p. 372-376
発行年月	1973年10月

塩基適応性の作物種間差(第2報)

カルシウム欠乏症発現限界培地濃度の種間差を生ぜしめる作物の属性
—比較植物栄養に関する研究—

田中 明*・但野利秋*

培地カルシウム (Ca) 濃度に対する適応性に作物種間差があり、低 Ca 濃度培地における生育が種間で異なることを前報で明らかにした¹⁾。

Ca 欠乏症が発現する限界培地 Ca 濃度に種間差を生ぜしめる作物の属性としては下記の3項目が考えられる。

1. 根の Ca 吸収能
2. 根で吸収した Ca の地上部各部位への移動性および古い組織より新しい組織への Ca の再移動性
3. Ca 欠乏症が発現する生長組織の限界 Ca 含有率
根の Ca 吸収能に種間差が認められることはすでに論じられており²⁾、また、Ca は根より地上部へ容易に移動するが³⁾、古い組織より新しい組織への再移動はある程度起こるにしても^{4,5)}、その程度はきわめて小さいとされている^{4,6,7)}。さらに、Ca 欠乏症が発現する限界 Ca 含有率に種間差があることも指摘されている⁸⁾。

しかし、これらの3属性について総合的に論じた例は少ないので、本報では Ca 欠乏症が発現する限界培地濃度に種間差が存在することを再確認すると同時にこの種間差が上記3属性中いずれに由来しているかを解析しようとした。

なお、本実験では水稻、大豆、トマト、キャベツの4作物を供試したが、これらはそれぞれ前報¹⁾におけるI、III、IV、VIII群に属し、この順に低 Ca 適応性から高 Ca 適応性に属する代表作物である。

実験方法および結果

実験 I. Ca 吸収能の比較

水稻(ユーカーラ)、大豆(北見白)、トマト(福寿2号)、およびキャベツ(ゴールデンユーカー)の苗をガラス室内でパーミキュライトを用いて、1/5 濃度の Ca 欠除培養液を灌水しつつ培養し、これらを蓋に縦横 8 cm ずつの間隔で穴を 40 個あけたポリプロピレン製 56 l 容器に各作物 10 個体ずつ移植した。このような容器を 12 個準備し、各容器中の培地 Ca 濃度はそれぞれ2反復で 2, 6, 10, 14 および 80 ppm Ca とし、Cl⁻ と SO₄²⁻ は等モルになるように調製した。Ca 以外の培地組成は前報¹⁾

に準じ、pH は NH₄OH で 5.5 に毎日調節し、培養液は 10 日ごとに更新した。

このように培養した作物を、大豆では移植後 21 日目に、他の3作物では 30 日目にそれぞれ前培養液と同じ Ca 濃度の培養液をトマトでは 1 l、他の3作物では 500 ml 加えた三角フラスコに移植し、晴天下のガラス室に置き、移植時と 24 時間後の培地 Ca 濃度を測定した。作物により前培養期間、試験時の培養液量を変えたのは、根量と培養液量の比をほぼ一定にするためである。なお 56 l 容器、三角フラスコは培養中いずれも通気した。

また、これとは別に大豆では 18 日間、他の3作物では 27 日間 80 ppm Ca 培地で培養後、各作物を 2, 6, 10 および 14 ppm Ca を含む 56 l 容器に移して3日間培養した後、それぞれの Ca 濃度に対応する Ca 濃度培地を加えた三角フラスコに前記実験と同様に移植して 24 時間後における培地 Ca 濃度の変化を調査した。

この実験結果を解釈するに当たっては、培地中 Ca 濃度が実験開始時に比べて低下した場合には、作物による水の吸収速度よりも Ca 吸収速度がすみやかであり、Ca が積極的に吸収されたと考え、逆に Ca 濃度が上昇した場合には Ca が排除されたと考え⁹⁾、Ca の積極的吸収が起こる限界 Ca 濃度が高いほど、その作物は Ca 吸収能が強いと考えた。

供試作物の乾物重は前培養全期間にわたって Ca 濃度処理を与えた区においては水稻では 2 ppm 区、大豆で 10 ppm Ca 以下、トマト、キャベツでは 14 ppm Ca 以下でより高濃度の区より小さかった。一方、前培養の最後の3日間だけ濃度処理を与えた区では処理間に乾物重の差は認められなかった(第1表)。

実験終了時の培地 Ca 濃度は開始時の Ca 濃度と比べて水稻では 2 ppm Ca 区で変化せず、6 ppm Ca 以上で上昇した。大豆では 2~6 ppm Ca 区ではわずかに低下し、それ以上の Ca 濃度で上昇し、トマトおよびキャベツでは供試したすべての濃度で Ca 濃度が低下した。これらの傾向は前培養処理が異なっても同様であった。

実験 II. 短期間における Ca の吸収および体内移動

80 ppm Ca 培地で大豆では 21 日間、他の3作物では

* 北海道大学農学部(札幌市北区北9条西9丁目)

昭和48年2月3日受理

日本土壤肥科学雑誌 第44巻第10号 p.372~376 (1973)

第1表 Ca 吸収にともなう培地中 Ca 濃度の変動（吸収時間：24 時間）

前培養 Ca 濃度 (ppm)	処理開始時の Ca 濃度 (ppm)	供試作物乾物重 (g/個体)				終了時の Ca 濃度 (ppm)			
		水 稻	大 豆	トマト	キャベツ	水 稻	大 豆	トマト	キャベツ
2	2	1.9	1.6	—*	—*	2.0	1.9	—*	—*
6	6	2.1	2.8	4.6	0.9	6.7	5.8	4.6	5.7
10	10	2.1	3.4	4.9	2.0	11.5	10.3	8.8	9.2
14	14	2.2	4.4	5.5	3.3	16.2	14.7	12.7	12.9
80	80	2.2	3.8	6.4	5.2	92.8	84.8	76.4	74.6
80—2	2	1.9	4.3	6.4	3.7	2.1	1.8	1.1	1.8
80—6	6	2.3	4.3	5.7	4.3	6.6	5.8	4.4	3.6
80—10	10	2.5	4.3	6.3	3.3	11.9	10.1	8.6	8.2
80—14	14	2.4	4.2	6.8	4.4	17.3	14.7	13.0	12.7

* 激しい Ca 欠乏症のため実験に供試不可能。

30 日間培養し、その後 2, 6, 10, 14 ppm Ca 培養液で 3 日間培養後、それぞれ ⁴⁵Ca を含む対応する Ca 濃度の培養液 1 l を入れた三角フラスコに移植し、24 時間後作物体を採取し、葉身、茎（葉鞘、葉柄を含む）および根にわけ、葉はさらに先端部より 2 葉ごとにおいて乾燥、粉細後、⁴⁵Ca の測定に供した。なお、水稲では最も若い葉は葉鞘内にあったので、ここで称する第 1, 2 位葉は、すでに抽出したものの中で若いものであり、他の 3 作物では第 1, 2 葉位葉は未展開葉であった。実験期間中に吸収した Ca の含有率を ⁴⁵Ca の比放射能より算出し、各部位の ⁴⁵Ca 含有率とした（第 1 図）。

⁴⁵Ca 含有率是对应する Ca 濃度区で比較すると水稲で最も低く、大豆がこれに次ぎトマト、キャベツで高かった。また、培地中 Ca 濃度の上昇にともなう ⁴⁵Ca 含有率の上昇はイネでゆるやかであり、トマト、キャベツでいちじるしかった。

根の ⁴⁵Ca 含有率はどの作物でも 3 部位中最も高く、培地中 Ca 濃度が高まるにつれて上昇した。茎と葉身を比較すると、水稲ではどの Ca 濃度でもほぼ同じ含有率

であり、大豆では茎で高く、トマト、キャベツでは低 Ca 濃度では茎で高く、高 Ca 濃度では葉身で高かった。

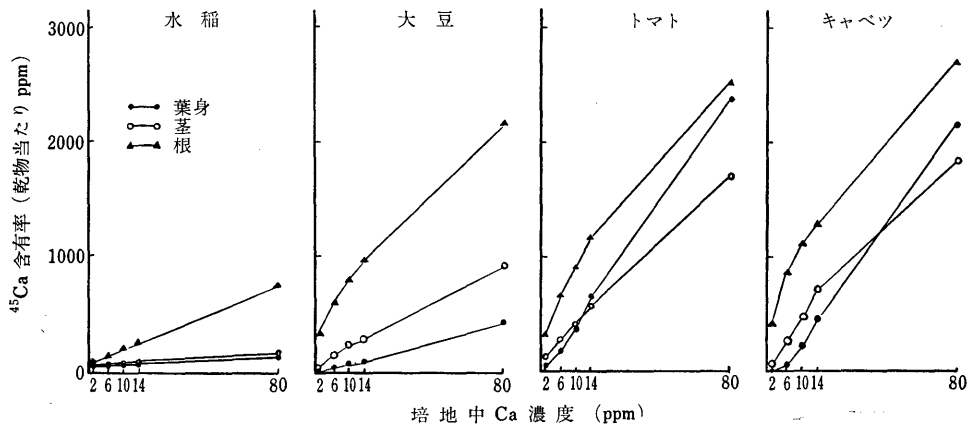
根で吸収した ⁴⁵Ca の根に止まっていた割合は、Ca 濃度の上昇にともない、水稲では増加し、他の 3 作物では減少した（第 2 図）。葉身における分配割合は根の場合と逆に Ca 濃度の上昇にともない、水稲では減少し、他の 3 作物では増加した。

低培地 Ca 濃度における葉身への Ca の分配割合は、水稲、トマトでは 30% 程度であったが、大豆、キャベツでは数パーセントにすぎなかった。

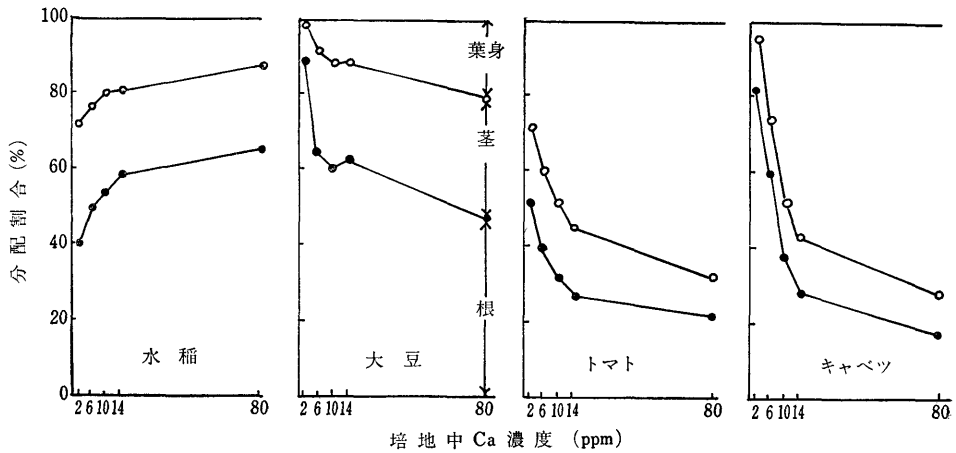
葉身中の全 ⁴⁵Ca 量を 100 とした場合の葉位別 ⁴⁵Ca 配分割合を 2 ppm 区についてみると（第 3 図）、水稲では上位葉ほど多く、他の 3 作物では先端葉で少なく大豆では 5, 6 葉で最大の分布を示し、トマトでは 5, 6 葉で、キャベツでは 3, 4 葉で最大の分布を示した。また先端葉への ⁴⁵Ca の配分割合はトマトで他作物より低く、キャベツ、大豆、水稲の順に高くなった。

実験 III. Ca の再移動

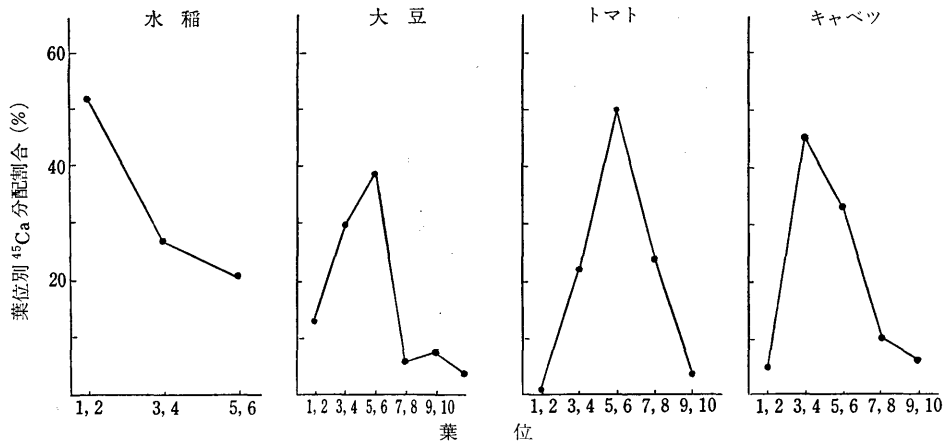
10, 80 および 200 ppm Ca を含む培地で 16 日間培



第1図 葉身、茎（含葉鞘、葉柄）および根の ⁴⁵Ca 含有率



第2図 ⁴⁵Ca の根、茎（含葉鞘、葉柄）および葉身への分配割合



第3図 2 ppm Ca 区における葉位別 ⁴⁵Ca 分配割合（葉身全含有量=100, 先端葉を1葉とする）

第2表 異なった Ca 濃度で培養した作物を Ca 欠除培養液へ移して 10 日間の生育と Ca の再移動

作物	前培養 Ca 濃度 ^{a)} (ppm)	欠乏症発現までの期間(日)	乾物重 (g/個体)		全重に対する処理後生長組織の割合(%)	Ca 含有量 (mg/個体)		処理後生長組織への Ca の移動割合 (%)
			処理前よりあった組織	処理後生長組織 ^{b)}		処理前よりあった組織	処理後生長組織	
水 稻	10	5	1.01	0.21	17	0.56	0.068	12.1
	80	8	0.99	0.22	18	0.75	0.073	8.9
	200	9	0.90	0.21	19	1.09	0.068	6.2
大 豆	10	6	6.63	1.41	18	13.7	1.03	7.0
	80	10	5.81	2.05	26	36.7	1.69	4.4
	200	10	5.60	2.31	29	41.7	1.96	4.5
ト マ ト	10	3	1.88	0.017	0.9	5.0	0.012	0.24
	80	6	2.93	0.035	1.2	18.0	0.026	0.20
	200	7	3.40	0.030	0.9	24.2	0.028	0.12
キャベツ	10	3	0.57	0.021	3.6	3.6	0.020	0.55
	80	5	1.06	0.048	4.3	14.2	0.045	0.32
	200	6	0.99	0.045	4.3	16.4	0.047	0.29

a) 前培養期間は 16 日間

b) 水稲, トマト, キャベツでは葉身のみ, 大豆では葉身+茎

養した作物を Ca 欠除培地へ移し、1日および3日後に培養液を交換して10日間培養後作物体を採取し、Ca 欠除培地に移して後に生長した組織と、それ以前よりあった組織にわけて乾物重および Ca 含量を測定した。

Ca 欠除培地へ移して後 Ca 欠乏症が発現するのに要した日数は前培養 Ca 濃度が低いほど短かく、またキャベツ、トマトで早く、大豆、水稻で遅かった(第2表)。

全乾物重中 Ca 欠除処理後生長した組織重の割合は水稻、大豆で高く、トマト、キャベツで低く、また大豆では前培養 Ca 濃度の上昇につれてその割合が大きくなった。

Ca 欠除処理後生長した組織中に含まれていた Ca 量の全 Ca 含有量に対する割合は、水稻で高く、大豆でそれにつき、トマト、キャベツで低かった。また、どの作物でも前培養 Ca 濃度が低い場合に新たに生長した組織への移動割合が高かった。

実験 IV. Ca 欠乏症発現限界培地濃度と葉位別 Ca 含有率

1, 2, 4, 6, 10, 14 および 80 ppm Ca を含む培地で各作物を2反復で25日間培養した。

水稻では1ppm区で欠乏症が発現し、2ppm以上では正常であった(第3表)。大豆では1ppm区でCa欠乏により枯死し、2ppm区で欠乏症が発現しつつ生育し、4ppm以上では正常であった。トマトでは2ppm以下で枯死、4および6ppm区で欠乏症発現、10ppm以上で正常であり、キャベツでは4ppm以下で枯死、6および10ppm区で欠乏症発現、14ppm以上で正常であった。

第3表 Ca 欠乏症発現状況

作物	培養液 Ca 濃度 (ppm)						
	1	2	4	6	10	14	80
水稻	2	○	○	○	○	○	○
大豆	×	4	○	○	○	○	○
トマト	×	×	5	4	○	○	○
キャベツ	×	×	×	5	2	○	○

表中の数字は Ca 欠乏症が発現した葉数
○印は健全な生育を示した区
×印は枯死した区

欠乏症が発現しつつ生育した Ca 濃度区と 80 ppm 区より各作物を4個体ずつ採取し、葉位別に Ca 含有率を測定した。

各葉位葉の Ca 含有率は先端葉で最も低く、下位葉ほど高かった(第4表)。この傾向はトマト、キャベツでいちじるしく、大豆、水稻ではゆるやかであった。

Ca 欠乏症を呈していた最先端葉の Ca 含有率は水稻

第4表 欠乏症発現 Ca 濃度区と 80 ppm Ca 区における葉位別 Ca 含有率 (%)

作物および Ca 濃度	葉位 ppm Ca	Ca 含有率 (%)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
水稻	1	0.05	0.09	0.16	0.22	0.46			
	2	0.11	0.13	0.16	0.15	0.20	0.25	0.55	0.56
	4	0.13	0.18	0.27	0.39	0.51	0.55	0.83	
キャベツ	6	0.13	0.15	0.25	0.57	0.75	1.06	1.17	
	10	0.16	0.23	0.45	0.45	0.56	0.85	1.33	
大豆	80	0.13	0.28	0.42	0.67	0.94			
	80	0.62	0.53	0.61	0.94	1.27	1.68	2.36	3.12
	80	0.52	0.77	0.92	1.22	1.62	1.92	2.69	3.72
	80	0.43	0.87	1.34	1.79	2.24	2.44	2.61	3.11

で0.05%、大豆で0.11%、トマト、キャベツで0.13%であった。

考 察

前報¹⁾の結果と同様最大生育を示す培地 Ca 濃度は水稻、大豆、トマト、キャベツの順である(第1表)。また、Ca 欠乏症が発現する限界培地 Ca 濃度にも種間差があり、水稻では1ppm、大豆では2ppm、トマトでは6ppm、キャベツでは10ppm Ca であった(第3表)。

まず、根の Ca 吸収能を比較するために、各作物の積極的吸収を示す最高培地濃度を比較したが、Ca 欠乏症の発現限界 Ca 濃度が高い作物で高く、限界 Ca 濃度が低い作物で低く、この培地 Ca 濃度は作物の Ca 栄養状態には影響を受けず、作物個有の特性を示すものである(第1表)。さらに、同一 Ca 培地で生育した場合、Ca 含有率は水稻<大豆<トマト≒キャベツの順であり(第1図、第4表)、このことも Ca 欠乏症発現限界 Ca 濃度が高い作物ほど、Ca 吸収能が大きいことを示すものである。

根より吸収された Ca の体内分配割合をみると Ca 濃度の低下にともない、水稻では葉身中の割合が増大し、根中の割合が低下するのに対し、他3作物では葉身中割合が減少し、根中割合が増大した。(第2図)。低 Ca 培地濃度における葉身への Ca の分配割合は水稻、トマトで大きく、キャベツで小さく、大豆においてとくに小さな値であった。大豆、キャベツで葉身における分配割合が小さいのは、根に止まる割合が大きいのみでなく、地上部に移行した Ca のうち、茎に止まる割合も大きいことも関与している。

つぎに、葉身中に分配された Ca のうち、先端葉に分配される Ca の割合は水稻で大きく、大豆、キャベツで小さく、とくにトマトで小さかった(第3図)。

すなわち、低 Ca 濃度培地に生育した場合、水稻では

根で吸収した Ca のうち 40% が根に止まり、60% が地上部に移動し、地上部に移動した Ca のうち 50% が葉身に分配され、さらに葉身中でも生長中の上位葉に分配される割合が多い。これに対してキャベツでは、根で吸収した Ca のうち 80% が根に止まり、わずかに 20% が地上部へ移動するにすぎず、さらに、この地上部へ移動した Ca のうちわずかに 20% が葉身に分配されるにすぎず、さらに加えて、葉身の中でも生長中の先端葉へ分配される割合が少ない。このように、根で吸収された Ca の作物体内における一次配分の様相は作物間でいちじるしく異なっている。

さらに、一度組織へ分配された Ca の再移動性は、水稻、大豆で比較的大きく、トマト、キャベツでは小さかった(第 2 表)。また、Ca 欠除培地へ移してから Ca 欠乏症が発現するまでに要した日数はこの再移動性とほぼ対応していた。

つぎに、Ca 欠乏症発現限界 Ca 含有率を作物間で比較すると、Ca 欠乏症を発現した限界の Ca 濃度区における先端葉の Ca 含有率は、水稻では 0.05%、大豆では 0.11%、トマト、キャベツでは 0.13% であった(第 4 表)。

以上の諸属性の作物間比較を要約すると、

根の Ca 吸収能はキャベツ≧トマト>大豆>水稻;

低濃度区における根で吸収した Ca のうち葉身へ分配される Ca の割合は水稻>トマト>キャベツ>大豆;

葉身へ分配された Ca のうち展開中の先端葉身へ分配される Ca の割合は水稻>大豆>キャベツ>トマト;

Ca の再移動性は水稻>大豆>キャベツ>トマト;

Ca 欠乏症が発現する限界の Ca 含有率は、キャベツ≧トマト>大豆>水稻である。

これらの属性が総合されて、Ca 欠乏症が発現する限界の培地 Ca 濃度はキャベツ>トマト>大豆>水稻の順となる。したがって、限界培地 Ca 濃度に種間差をもたらす属性は、欠乏症が発現する限界 Ca 含有率と根より吸収された Ca の生長中の葉に分配される割合、および再移動性であると考えられる。

根の Ca 吸収能は高 Ca 培地適応性の大きい作物ほど大きく、根の Ca 吸収能が小さいために Ca 欠乏症が発

現しやすいという傾向は認められなかった。すなわち、Ca 要求性の高い作物は、この特性に対応した大きい Ca 吸収能を持っていると考えられる。

要 約

作物の Ca 欠乏症発現限界培地濃度における種間差が、作物のどのような属性に起因するのかを代表作物として水稻、大豆、トマト、キャベツを用いて検討し、次のごとき結果を得た。

1) Ca 欠乏症が発現する限界培地 Ca 濃度は水稻 1 ppm、大豆 2 ppm、トマト 6 ppm、キャベツ 10 ppm であった。

2) Ca 吸収能はキャベツ≧トマト>大豆>水稻であった。

3) 低 Ca 濃度培地より吸収した Ca の葉身への分配割合は水稻>トマト>キャベツ>大豆であり、葉身に分配された Ca のうち、生育中の先端葉へ分配された Ca の割合は水稻>大豆>キャベツ>トマトであった。

4) 古い葉より生長葉への Ca の再移動性は水稻>大豆>キャベツ>トマトであった。

5) 生長葉における Ca 欠乏症発現限界 Ca 含有率はキャベツ≧トマト>大豆>水稻であった。

以上の結果を総合して Ca 欠乏症発現限界培地 Ca 濃度の種間差は根で吸収された Ca の生長葉への分配割合、Ca の再移動性、および生長葉の欠乏症発現限界 Ca 含有率の種間差に帰因しており、根の Ca 吸収能が弱いために Ca 欠乏症が起こりやすいということはないと結論された。

文 献

- 1) 田中 明・但野利秋・山田三樹夫：土肥誌 44, (1973)
- 2) 河野通佳・高橋治助：土肥誌, 29, 63 (1958)
- 3) 坂口孝司：土肥誌, 35, 210 (1964)
- 4) 田中 明：土肥誌, 29, 241 (1958)
- 5) GREENE, D. W. and BUKOVAC, M. J.: *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 93, 368 (1968)
- 6) BIDDULPH, O., CORY, R. and BIDDULPH, S.: *Plant Physiol.*, 34, 512 (1959)
- 7) RINNE, R. W. and LANGSTON, R.: *Plant. Physiol.*, 35, 210 (1960)
- 8) LONERAGAN, J. F. and SNOWBALL, K.: *Austral. J. Agr. Res.*, 20, 479 (1969)
- 9) 田中 明：土肥誌, 41, 457 (1970)