

塩基適応性の作物種間差 第4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 多田, 洋司
巻/号	46巻2号
掲載ページ	p. 33-37
発行年月	1975年2月

塩基適応性の作物種間差

第4報 Li, Na, K, Rb 含有率の種間差

—比較植物栄養に関する研究—

田中 明*・但野利秋*・多田洋司*

Na 含有率の種間差は K 含有率の種間差に比べて遙かに大きい¹⁾。K はいわゆる大量要素として植物の生育に必須であるが、Na があらゆる種類の植物に必須であるか否かは未だに不明である。このような K と Na の生理作用との結びつきの程度の差が含有率の種間差の相違に関係を持っている可能性がある。一方、K と Na とは原子量、水和イオン半径、易動度を異にしており（第1表²⁾、これらのことが上記の相違を成立させているとも考えられる。

第1表 Li, Na, K, Rb の比較

元 素 名	Li	Na	K	Rb
原 子 量	6.94	22.99	39.10	85.47
水和イオン半径 (Å)	10.03	7.90	5.32	5.09
イオン易動度 $l(\text{cm}^2/\text{ohm})$	33.3	43.4	64.6	67.5

そこで Li, Na, K, Rb の4種のアルカリ金属について同一培地に生育した20種の作物のこれら元素の含有率を調査し、これら元素の特性を比較した。

実験方法

供試作物、栽培法：第4表の20種類の作物を実験に供試した。なお、表中の植物種の番号は先報³⁾に用いた番号をそのまま用いた。ほぼ先報同様発芽の遅い順に石英砂に播種し、無 K・無 Na 培養液を使用して苗を生育させた。この場合第2表の標準培養液の KH_2PO_4 、 NaH_2PO_4 を $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ で置き換えた。移植適期に達した作物から順次 Li, Na, K, Rb をそれぞれ 0.2mM 加えた標準培養液に移植し、全作物を移植し終えたとき、Li, Na, K, Rb の4元素がそれぞれ 1mM の区、それぞれ 0.2mM の区、さらに1元素だけが 0.2mM で他の3元素が 1mM の区計6区（第3表）を作った。なお、培養液はすべて、 Cl^- と SO_4^{2-} が等モルになるように調整し、各アルカリ金属イオンは塩化物および硫酸塩として添加した。

第2表 標準培養液の組成

要素	培養液中要素濃度 (ppm)	使用 塩 () 内は当該要素濃度 (ppm)
N	68	$\text{NH}_4\text{NO}_3(45)$, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2(23)$
P	10	$\text{KH}_2\text{PO}_4(6.2)$, $\text{NaH}_2\text{PO}_4(3.8)$
K	7.8	KH_2PO_4
Ca	80	$\text{CaCl}_2(15.7)$, $\text{CaSO}_4(31.3)$, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2(33)$
Mg	48	MgCl_2 (8 または 14), MgSO_4 (40 または 34)
Fe	2	FeSO_4
Mn	1	MnSO_4
B	0.5	H_3BO_4
Zn	0.2	ZnSO_4
Cu	0.01	CuSO_4
Mo	0.005	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$
Na	2.8	NaH_2PO_4

56l 容バットを12個用い、6処理、各処理2反復とし、各バットの作物個体数、作物の固定法などは先報¹⁾と同様に行なった。

処理開始は1972年8月22日で9月1日のサンプリングまで10日間生育させ、その期間培養液は通気し、 $\text{HCl-H}_2\text{SO}_4$ 等モル溶液とアンモニア水で毎日 pH 5.5 に調整した。また処理期間中、随時脱塩水を加えて蒸散による水量の減少をおぎない、56l を維持し、処理期間中培養液は交換しなかった。

試料採取、調整、分析：採取した試料は脱塩水で洗滌し、地上部と地下部に分け、70°C で乾燥後、秤量、粉碎し、分析に供した。試料は串崎の方法⁴⁾に従い 1N-HCl で抽出し、抽出溶液について、Na と K は炎光光度計で、Li と Rb は原子吸光光度計で定量した。炎光光度計による K 定量、および原子吸光光度計による Rb 定量で、K と Rb との間に干渉が認められるので、あらかじめ共存する K あるいは Rb の各濃度における標準曲線を作製し、はじめに K 濃度を測定し、Rb=0 の標準曲線から K 濃度を求め、つぎに Rb 濃度の測定に際しこの K 濃度のときの Rb の標準曲線から Rb の濃度を求めて Rb 濃度とし、再びこの Rb 濃度のときの K 濃度の標準曲線から最終的な K 濃度を求めた。すべての定量は反

* 北海道大学農学部（札幌市北区北9条西9丁目）
昭和49年3月11日受理
日本土壤肥料学雑誌 第46巻 第2号 p.33~37 (1975)

第3表 各処理区の20作物平均乾物重および地上部・根部元素含有率

区名	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	平均	変動係数
培養液中要素濃度 (mM)								
Li	1	0.2	0.2	1	1	1		
Na	1	0.2	1	0.2	1	1		
K	1	0.2	1	1	0.2	1		
Rb	1	0.2	1	1	1	0.2		
平均乾物重 (g/個体)								
	0.83	0.81	0.85	0.86	0.70	0.87		
地上部含有率 (me/100g) (A)								
Li	4.07	1.20	1.05	4.12	4.55	4.16	3.19	0.51
Na	13.7	11.1	12.4	8.5	12.9	17.2	12.6	0.23
K	46.3	34.2	48.2	46.7	22.6	75.7	45.6	0.36
Rb	36.5	28.9	38.1	37.4	44.9	17.9	34.0	0.28
計	100.6	75.4	99.8	96.7	85.0	115.0	95.4	0.13
根部含有率 (me/100g) (B)								
Li	2.05	0.80	0.82	1.90	1.90	2.01	1.58	0.38
Na	15.6	12.5	13.1	7.7	14.0	15.0	13.0	0.21
K	33.0	20.8	36.0	33.1	14.2	55.7	32.1	0.44
Rb	30.6	20.6	30.7	31.3	37.1	15.6	27.7	0.29
計	81.3	54.7	80.6	74.0	67.2	88.3	74.4	0.16
A/B								
Li	4.45	3.98	4.23	4.83	4.34	3.99	4.30	
Na	0.79	0.72	0.87	0.94	0.85	0.84	0.84	
K	1.56	2.21	1.57	1.57	2.07	1.49	1.75	
Rb	1.23	1.45	1.29	1.22	1.25	1.25	1.28	

復毎に行ない本報ではその平均値を示した。

実験結果

乾物重：供試 20 作物の各処理平均値でみると，No. 5 区は明かに他区より低く（第3表），K 不足で生育不良となった。No. 5 区以外の乾物重の差は小さかったが，その中では No. 2 区が低くこの区も軽度の不足であったと考えられる。

元素含有率に対する処理の影響：各処理区の全作物平均値について，地上部含有率をみると Li は 1.05 ~ 4.55 me/100g，Na 8.5 ~ 17.2 me/mg，K 22.6 ~ 75.7 me/100g，Rb 17.9 ~ 44.9 me/100g であり，変動係数は Li で最も大きい（第3表）。処理区平均根部含有率は Li 0.80 ~ 2.05 me/100g，Na 7.7 ~ 15.6 me/100g，K 14.2 ~ 55.7 me/100g，Rb 15.6 ~ 37.1 me/100g で変動係数は K で最も大きい。

地上部含有率/根部含有率比は Li > K > Rb > Na の順であり，処理による変動は小さかった。

処理の影響を見ると，No. 1 区から No. 2 区へと各元素濃度が均一に低下した場合には Li の低下率が最も大きい。No. 3 区 (Li のみ低濃度) または No. 4 区 (Na のみ低濃度) では No. 1 区に比較してそれぞれ Li または Na 含有率が低下しただけで，他の元素にはほとんど変化がない。なお，低濃度となった当該元素含有率を No. 2 区と比較すると，Na については地上部，根部ともに No. 2 区より低い含有率であり，Li も地上部で低い。No. 5 区 (K のみ低濃度) では No. 1 区に比べて，K 含有率が低く，Rb 含有率の上昇が認められ，また K 含有率は No. 2 区に比較しても低い。No. 6 区 (Rb のみ低濃度) では No. 1 区に比較して Rb 含有率は低く，K 含有率のいちじるしい上昇が認められ，元素合計は No. 6 区で No. 1 区より高い。この区の Rb 含有率は No. 2 区のそれより低い。

作物間の元素含有率の比較：作物平均（各作物についての 6 処理区平均値）地上部含有率（第4表）は Li 含有率 1.0 ~ 4.8 me/100g，Na 含有率 0.9 ~ 126.6 me/100g，K 含有率 24.1 ~ 74.5 me/100g，Rb 含有率 10.1 ~ 56.5 me/100g の範囲であり，変動係数は Na できわめて大きく，Li の変動係数も，K，Rb より大きかった。

各作物平均根部含有率（第5表）は Li 含有率 0.2 ~

第4表 各作物の6処理区平均地上部 Li, Na, K, Rb 含有率 (me/100g)

No.	作物名	Li	Na	K	Rb
5	ハクサイ	3.9	9.0	66.0	56.4
8	キャベツ	4.3	8.0	57.8	36.7
9	ダイコン	4.5	10.4	55.4	42.8
10	キウリ	4.7	2.7	38.9	37.4
12	トウガラシ	4.5	2.7	43.9	22.1
13	ナス	4.3	3.9	74.5	30.1
14	トマト	3.4	4.9	59.5	36.4
17	レタス	4.2	8.4	24.1	24.9
18	ニンジン	4.8	7.9	48.2	28.9
19	パセリ	3.4	15.2	39.2	31.8
20	セロリ	4.2	27.0	30.6	10.1
22	テンサイ	3.6	126.6	46.2	34.2
25	アスパラガス	1.1	3.5	46.2	22.6
27	イネ	2.7	4.8	31.4	18.8
29	コムギ	2.0	4.1	52.0	34.7
30	エンバク	2.0	5.2	46.5	46.7
32	トウモロコシ	1.0	1.4	52.7	56.5
42	ダイズ	1.3	0.9	29.0	30.7
43	ショウズ	1.2	1.8	31.1	35.1
46	エンドウ	2.1	3.8	38.8	41.6
平均値		3.16	12.6	45.6	33.9
変動係数		0.43	2.18	0.29	0.34

第5表 各作物の6処理区平均根部 Li, Na, K, Rb 含有率 (me/100g)

No.	作物	Li	Na	K	Rb
5	ハクサイ	1.5	19.6	31.0	38.4
8	キャベツ	1.2	9.4	25.2	23.7
9	ダイコン	1.0	9.1	46.3	37.7
10	キウリ	0.8	3.2	29.3	28.2
12	トウガラシ	4.5	8.4	32.2	23.1
13	ナス	8.9	17.0	44.2	25.1
14	トマト	0.8	4.3	36.0	29.3
17	レタス	3.2	20.5	31.3	28.1
18	ニンジン	0.2	14.9	52.5	31.2
19	パセリ	1.4	29.5	30.3	28.3
20	セロリ	1.4	38.5	21.5	6.6
22	テンサイ	0.5	33.1	16.8	17.7
25	アスパラガス	0.7	14.4	51.4	26.6
27	イネ	0.3	3.2	19.0	14.6
29	コムギ	1.1	8.4	46.1	33.8
30	エンパク	1.0	8.5	15.9	27.6
32	トウモロコシ	1.2	3.2	21.9	34.1
42	ダイズ	0.9	3.3	22.7	25.9
43	ショウブ	0.6	2.5	28.9	33.3
46	エンドウ	0.7	6.8	40.3	38.1
平均		1.59	12.9	32.1	27.7
変動係数		1.25	0.82	0.36	0.29

8.9me/100g, Na 含有率 2.5~38.5me/100g, K 含有率 15.9~52.5 me/100g, Rb 含有率 6.6~38.4me/100g の範囲であり, 変動係数は Li で最大であり, Na がつぎに大きかった。

考 察

作物体の含有率は, 培地中に各イオンが同一濃度に存在している場合, ほぼ $K > Rb > Na > Li$ の順であり, K 含有率, Rb 含有率の差は小さく Na 含有率は一般に K 含有率, Rb 含有率の数分の1, さらに Li 含有率は Na 含有率の数分の1である(第3表)。すなわち, 水和イオン半径の小さい易動度の高いイオン程, より高い含有率を示す傾向がある。ただし, K と Rb の関係は入れ替わっている。また, 地上部含有率/根部含有率比は, $Li > K > Rb > Na$ の順で, 上記の順と必ずしも一致していない。

培地中のある元素の濃度が低下した場合には, その元素の含有率が低下することは当然であるが, 4元素共に 0.2mM の場合に比べてある1元素のみが 0.2mM で他の元素が 1mM の場合の方が 0.2mM の元素の含有率が低いことは, 各元素の 1mM の存在は, 他の元素の 0.2mM からの吸収を抑制することを示す。この意味では各元素間には相互関係が認められる。

一方, Li または Na の1元素のみが 0.2mM で他の元素が 1mM の場合は全元素が 1mM の場合に比べて Li または Na 含有率のみが低下し, 他元素の含有率はほとんど変化しない。この点では Li, Na は他元素の吸収に対してほとんど拮抗的に作用しない。他方, K または Rb の中一方が 0.2mM で残りの3元素が 1mM の場合は, それぞれ K または Rb の含有率が低下するのみでなく, Rb または K の含有率のいちじるしい上昇をもたらす。すなわち, K と Rb の間には明瞭な拮抗作用が認められる。

すなわち, Li, Na, K, Rb の中一方が高濃度の場合, 他方の吸収が抑制され, 低濃度の場合には吸収が促進されるという型の拮抗関係が成立しているのは K-Rb 間においてのみである。

以上のように Li, Na, K, Rb は共にアルカリ金属であり, この順に原子量が大きく, 水和イオン半径が小さく易動度が大きいのであるが, Li は作物による吸収はきわめて少なく, 根より地上部への移行率は高く, Na は Li より多量に吸収されるが根より地上部への移行率は低い点で特徴が認められる。一方, K, Rb は共に Li, Na よりも多量に吸収され, 根より地上部への移行率は中位であって両イオン間には類似点が認められる。さらに, K と Rb との間には拮抗関係が成立しているのに対して他の組み合わせではこの関係が認められない。すなわち, K はいわゆる大量要素であり, Rb は必要ではなく原子量は K の2倍以上であるが, 植物による吸収・移行においては類似の行動を示し, 拮抗関係にある。なお, このことと関連して K の生理作用の Rb による代替が報告されていることを付記する^{5,6)}。すなわち, (Li), (Na), (K, Rb) の3者は植物による吸収・移行においてそれぞれ異なった行動をしていると見ることができる。

つぎに, 作物間の各元素の含有率の差を論ずることにする。作物毎の平均要素含有率について地上部含有率と根部含有率との相関係数を算出してみると, Li 0.333, Na 0.608**, K 0.362, Rb 0.727** (** 印は1%レベルで統計的に有意)であつて, Na と Rb については根の含有率が高い作物で地上部含有率も高い傾向が認められるが, Li と K についてはこのような関係は認められず, 地上部における含有率の作物種間差は吸収能の差と根より地上部への移行率の差に帰因するものと考えられる。

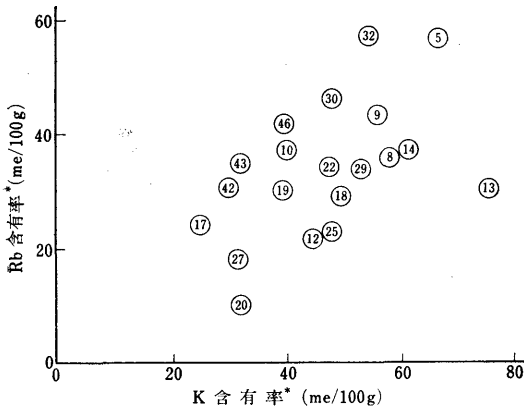
地上部含有率について各元素間の相関係数を算出してみると, K-Rb 間のみ統計的に有意な相関が認められる(第6表)。すなわち, K-Rb 間には前述のごとく処理間には拮抗関係が成立しているが, 作物種間で比較し

第 6 表 地上部元素含有率間の相関係数

	Li	Na	K	Rb
Li	—			
Na	0.170 (0.505*)	—		
K	0.231	0.080 (0.047)	—	
Rb	0.221	0.080 (0.047)	0.488*	—

() 内は作物 No.20, No.22 を除いた場合
 * : 5% レベルで統計的に有意
 注 : 20 作物各々についての 6 処理区の平均値について相関係数を算出した

た場合には K 含有率の高い作物は Rb 含有率も高いという傾向 (第 1 図) が認められ、両者の吸収が類似の機作で行なわれている可能性を示している。なお、K-Rb 関

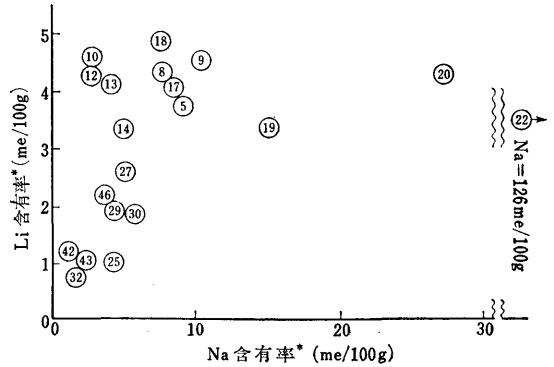


第 1 図 作物地上部の K 含有率と Rb 含有率との関係 (図中の数字は植物名を指す。第 4 表参照)

* 含有率は各作物についての 6 処理区の平均値

係を示す第 1 図によれば、マメ科^{⑫⑬⑭⑯}、キュウリ^⑩、レタス^⑰、イネ科のうちエンバク^⑳、トウモロコシ^㉑では K 含有率に対して Rb 含有率が高く、ナス科^{⑫⑬⑭}、ニンジン^⑱、セロリ^㉒、アスパラガス^㉓、イネ^㉔、コムギ^㉕では K 含有率に対して Rb 含有率が低い傾向が認められ、K と Rb の含有率が全く平行ではなく両元素の含有率比の種間差が存在する。

Li-Na 間の相関係数は小さな値であるが (第 6 表)、これらの中 Na 含有率が同一科内で特に高いテンサイ^㉖およびセロリ^㉗を除外して相関係数を算出すると、統計的に有意な値を示し、Na 含有率の高い種で Li 含有率も高い傾向が存在する (第 2 図)。なお、キュウリ^⑩、ナス科^{⑫⑬⑭}では他の種に比べて Na 含有率に対して Li 含有率が高い。すなわち、Na 含有率と Li 含有率の種間差は類似の機作によって成立している側面もあるが、



第 2 図 作物地上部の Na 含有率と Li 含有率との関係

(図中の数字は植物名。第 4 表参照)

* 含有率は各作物についての 6 処理区の平均値

Na 含有率が同一科内でもずば抜けて高い種の強い Na 吸収能は Li 吸収能とは無関係であり、Na 含有率に認められるきわめて大幅な種間差は、Na に対する特異的な選択能に支配されているものであると考えられる。

なお、本実験においては、処理に対する反応性の種間差を明かにすることが主要目的の一つであったが、統計分析に耐え得る特性は見出し得なかったことを付記する。

要 約

1. Li, Na, K, Rb 含有率の作物種間差は Na で最も大きく、Li でこれにつき K, Rb では小さい。
2. K-Rb 間には培地中の各イオン濃度の変化に対応した吸収における拮抗関係が認められ、また K 含有率の高い種で Rb 含有率も高い傾向が存在し、両元素が類似の機作で吸収されると見ることができる。ただし与えられた K 含有率に対して、Rb 含有率はマメ科などで高く、ナス科などで低い傾向があった。
3. Li-Na 間には吸収における拮抗関係は認められないが、Na 含有率の高い種で Li 含有率が高い傾向があった。ただし、テンサイ、セロリのようにそれぞれの科内でずば抜けて Na 含有率の高い種では Li 含有率は特に高いことはなく、一方、ナス科などでは Na 含有率に対して Li 含有率が高い傾向が認められた。
4. Li-K, Li-Rb, Na-K, Na-Rb の間には拮抗関係、平行的な含有率の種間差は認められなかった。

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) KACHMAR, J. E., and BOYER, P. D. : Kinetic Analysis of Enzyme Reactions. II. The Potassium Activation and Calcium Inhibition of Pyruvic Phosphoferase. J. Bol. Chem. 200, 669~682 (1953)

- 3) 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)
 - 4) 串崎光男：原子吸光分光分析に植物試料抽出法を併用した Mn, Cu, Zn, Mg 定量の簡易迅速化，土肥誌, 39, 489~490 (1968)
 - 5) RICHARDS, F. J.: Physiological Studies in Plant Nutrition. XI. The Effect on Growth of Rubidium with Low Potassium Supply, and Modification of this Effect by Other Nutrients. Part I. The Effect on Total Dry Weight. *Ann. Bot. (London)* 5, 263~296 (1941)
 - 6) RICHARDS, F. J.: Physiological Studies in Plant Nutrition. XI. The Effect on Growth of Rubidium with Low Potassium Supply, and Modification of this Effect by Other Nutrients. Part II. The Effect on Dry Weight Distribution, Net Assimilation Rate, Tillering, Fertility, etc. *Ann. Bot. (London)*, 8, 323~356 (1944)
-