

# 窒素の施用量が水稻体内のカルシウムの形態に及ぼす影響

小柴尚博・佐野 豊 (土壤肥料学研究室)

Naohiro KOSHIBA and Yutaka SANO

On the Effect of the Quantities of the Supplied Nitrogen on the Forms of Calcium in Rice Crop

## 緒 言

作物体の中でカルシウムは不溶性ペクチン態、イオン及び無機態、シュウ酸態、不溶態の4つの形態で存在し、橋本、岡本<sup>(4)</sup>は大豆についてこれらの形態とマグネシウムの関係を究明し、カルシウムは生育の全期間を通じて、不溶性ペクチン態>イオン及び無機態>シュウ酸態>不溶態の順に高くなっていることを報告している。また橋本<sup>(5)</sup>は水稻で、高橋、吉田<sup>(15)</sup>はタバコで、岩井、園田<sup>(7)</sup>は大豆で、妹尾<sup>(14)</sup>はエンパクでカルシウムの体内形態について、それぞれの研究の立場で報告を行なっている。PETERSON, W. H., and PETERSON, C. B. <sup>(12)</sup>によるとキャベツでは全カルシウムの60%が水で溶出されるという。

しかるに一方、カルシウムは作物体内の窒素代謝と密接な関係があるといわれている。即ち PARKER, F. W., and TRUOG, E. <sup>(11)</sup>によれば、植物のカルシウム含量と窒素の含量との間には密接な関係があり、窒素の含量が高まればカルシウムの含量も増大することを認め、窒素代謝に重要な作用を及ぼすであろうと推察している。しかしながら、窒素とカルシウムとの関係については、必ずしも PARKER, F. W., and TRUOG, E. と同一の結果が得られているものではない。これらの相互の関連性を究明することは、作物の栽培上意義あることは勿論、カルシウムの生理作用を明かにする上にも重要なことと考えられる。

作物体中のカルシウムは既述のように、種々なる形態で存在し、また窒素についても同様であり、これらは作物の内部環境あるいは外部環境により変異するものであると考えられる。そこで作物体内における窒素とカルシウムとの関係を明かにするためには、窒素の含量のみではなく作物体内でのその利用形態(または存在形態)とカルシウム含量との関係を究明すると同時に、カルシウムの作物体内での利用形態(または存在形態)との関係をも究明することが必要であると考えられる。従って

筆者等はこれらの立場に立って、作物体中のカルシウムと窒素の関係について若干の知見を得たので、ここに報告する。

## I. 実験方法

### A) 供試作物ならびに栽培方法

水稻近畿25号を供試作物として選び、昭和36年5月24日に普通水苗代に播種し、40日間栽培を行なったのである。本供試水稻の苗代期間は土耕栽培とした。このようにして栽培した苗の中、生育均一なものを選び、7月4日に1区2連制で1/5000アールポットに移植し、1ポット当たり5本植えとして、第1表に示すように、窒素を除く他の全ての肥料成分は同一濃度にして、窒素濃度を20 ppm., 40 ppm., 60 ppm. と変えた水耕液を用いてN-20, N-40, N-60の3区を設けてガラス室にて水耕栽培を行なった。水耕液の量は1ポット当たり3ℓとし、週2回更新を行ない、水耕液のpHは5.7に調整を行なったのである。水稻の収穫は8月3日に行ない、茎葉部のみを分析に供した。

第1表 水耕液の組成

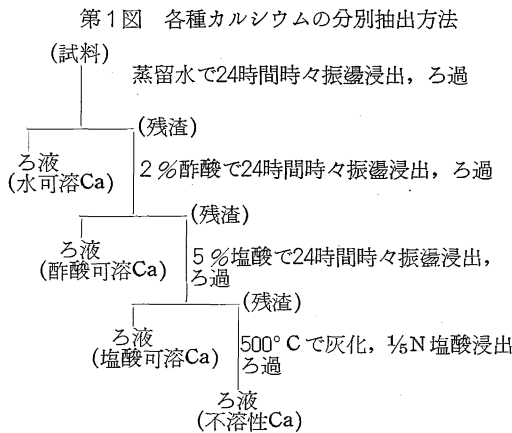
肥料成分	試験区			用いた塩類
	N-20	N-40	N-60	
N	PPm. 20	PPm. 40	PPm. 60	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	12	12	12	NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> · 12H <sub>2</sub> O
K <sub>2</sub> O	16	16	16	KCl
CaO	10	10	10	CaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O
MgO	3	3	3	MgCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3	3	3	Fe-citrate

### B) 作物体の分析方法

水稻の茎葉部は収穫後、常法により蒸留水でよく洗浄し、直ちに通風乾燥器内で70°Cで乾燥処理を行ない、その後細粉<sup>(15)</sup>し分析用の試料<sup>(4)</sup>とした。この試料について高橋、吉田、橋本、岡本の方法に準じて第1図に示すよう

に、 $H_2O$ 、2%- $CH_3COOH$ 、5%- $HCl$ にて、順次カルシウムの分別抽出を行ない、ブフナーロートを用いてろ過、同一抽出剤にて洗浄をくり返し、それぞれのろ液についてカルシウムを定量し、ロート上の最後の残渣は常法により灰化後カルシウムの定量を行ない、それぞれ水可溶Ca、酢酸可溶Ca、塩酸可溶Ca、不溶性Caとした、カルシウムの定量はキレート滴定法<sup>(13)</sup>により行なった。

次に作物体中の窒素の形態については藤原、大平、成田<sup>(2)</sup>の方法により、蛋白態、非蛋白態の2つの形態に分別し、それぞれケルダール法により定量を行なった。



茎葉部内におけるこれらの各種形態のカルシウム並びに窒素は1区2連制の下で栽培を行なったので、この2連制の平均値を以て示すことにした。

## II. 実験結果ならびに考察

水稻の生育状況は第2表に示す通りであり、第3表は水稻体内の形態別カルシウムの分別定量結果を示したものである。また各試験区の水稲体の各種形態のカルシウ

第2表 水稻の茎葉部の生育状況

調査項目	草 丈	茎 数	乾物重
試験区			
N-20	47.9cm.	26.3本	8.0g.
N-40	49.6	27.3	8.3
N-60	49.4	27.0	8.4

第3表 水稻体内の各種カルシウムの含量 (乾物当りCa%)

カルシウムの形態	水可溶Ca	酢酸可溶Ca	塩酸可溶Ca	不溶性Ca	全Ca
試験区					
N-20	0.0441	0.2354	0.0222	0.0071	0.3088
N-40	0.0549	0.1942	0.0219	0.0070	0.2780
N-60	0.0568	0.1674	0.0203	0.0069	0.2514

ムが全カルシウムの中でどのような比率を占めるかを検討することは本実験結果を考察する上に意義あることと考えられ、各試験区の全カルシウムを100として算出して示したのが第4表である。なお水稻体の窒素の形態についての分別定量は第5表に示す通りである。

第4表 水稻体内の各種カルシウムの分布割合 (全Caを100とする)

試験区	水可溶Ca	酢酸可溶Ca	塩酸可溶Ca	不溶性Ca	全Ca
N-20	14.32	76.23	7.19	2.30	100
N-40	19.75	69.86	7.88	2.52	100
N-60	22.59	66.59	8.08	2.75	100

第5表 水稻体内の各種窒素の含量ならびにその分布割合

窒素の形態及び分布割合	全窒素 (T)	蛋白態窒素 (P)	非蛋白態窒素 (N)	T	P/T	N/T
試験区						
N-20	2.55	2.06	0.49	100	80.78	19.22
N-40	2.77	2.15	0.62	100	77.62	22.38
N-60	2.94	2.24	0.70	100	76.19	23.81

(含量は乾物%を示し、分布割合は全窒素を100として算出した。)

第3表によれば、全カルシウムの含有率は本実験結果では0.3088~0.2514%の範囲内にあり、窒素の施用量の増大に伴って減少する傾向を示した。水稻体内における全窒素は第5表に示すように窒素の施用量の増大に伴って含有率は上昇し、他の研究者<sup>(2,6)</sup>の結果と一致した。従って本実験結果では、水稻体内に窒素が増大するとカルシウムの含有率は低下することを示した。窒素とカルシウムの関係については若干の報告があり、それらの中には相反する結果も報告されている。PARKER, F. W., and TRUOG, E. は多数の植物について分析し、その結果に基づいて、植物体内の窒素が増大するとカルシウムも増大すると報告し、GINBURG, J. M. はソラマメについて、出口、大田は水稻についてそれぞれ研究し、窒素の含有率とカルシウムの含有率の間には負の関係のあることを報告している。また NEWTON, J. D. は大麦、エンドウについて、岩井、園田はダイズ、ソラマメについて、それぞれ研究し、窒素の含有率とカルシウムの含有率の間には一定の関係のないことを報告しているが、筆者等の本実験結果では窒素とカルシウムの間には、既述のように負の関係のあることを示した。

次に水稻体中に存在する窒素の形態と全カルシウムの間の関係について見るに、蛋白態窒素は第4表に示すように、窒素の施用量の増大と共に増大する傾向を示しているが、全窒素中に占める蛋白態窒素はむしろ減少の傾

向を示した。そこでPARKER, F. W., and TRUOG, E. のように植物体内に於ける窒素とカルシウムとの間には窒素の量が増せば蛋白代謝が旺盛になり、蛋白態窒素の含量が増大し、その結果シュウ酸の生成が増してこれを中和するために、カルシウムの吸収が増大し、植物体内に於けるカルシウムの含有率も高くなるべきであるが、本実験結果の示すように、蛋白態窒素が増したにもかかわらずカルシウムの含有率は低下する傾向を示した。このことは水稻体内の全窒素中に占める蛋白態窒素の比率が低下したことに原因を求められると考えられるけれども、後述のようにこれらのみでは解明できないものように推察される。

以上は水稻体内の窒素の形態と全カルシウムとの関係について述べてきたが、カルシウムは既述のように種々なる形態で作物体中に存在しているといわれている。第3表によれば窒素の施用量の異なる各試験区ともに、酢酸可溶Caが最大であり、水可溶Ca、塩酸可溶Ca、不溶性Caの順位で含有率は減少し、この結果は多数の研究者の結果と同じ傾向を示した。そこでかかる形態のカルシウムが窒素の施用量と共に如何なる変化を示すかを水稻体内の窒素との関連の下に検討することにする。

水可溶Caは0.0568~0.0441%の範囲内にあり、窒素の施用量の増大と共に、その含有率は高くなり、全カルシウムの変化とは相反する傾向を示した。また各試験区における全カルシウム中に占める水可溶Caの比率を見ると、N-20では14.32からN-60では22.59へと増大する傾向を示した。

酢酸可溶Caは0.2354~0.1674%の範囲内にあり、窒素の施用量の増大と共に減少し、全カルシウムの変化と同一の傾向をたどり、水可溶Caとは相反する傾向を示したのである。また窒素の施用量の異なる各試験区における全カルシウムの中に占める酢酸可溶Caの比率はN-20で76.23、N-60で66.59へと減少する傾向を示した。

以上の水可溶Ca、酢酸可溶Caはそれらの含有率或いは全カルシウム中に占める比率より考えて、水稻体中のカルシウムの主要な部分を占めている。従ってこの2つの形態のカルシウムの変化が全カルシウムの含有率に最も強い影響を持つものであるが、窒素の施用量、換言すれば水稻体内の窒素の含量により相反する傾向を示した。そこでこの相反する傾向は如何にして生じてきたかを考察することは窒素の施用量による全カルシウムの変化を検討する場合に重要なことと考えられる。

一般に水可溶Caは水溶性ペクチンと結合して存在するもの、或いはイオン状態で解離して存在するものなどに分けられるが、橋本、岡本によると、その大部分は後

者の形態が存在しており、体内の代謝系によって生ずる有機酸の中和に重要な役割を演じているといわれている。<sup>(7)</sup>そこで本形態のカルシウムの増大は窒素の施用量の増大、即ち水稻体内の窒素の含量の増大と共に、蛋白態窒素の含量は増し(第5表)、また後述の塩酸可溶Caの全カルシウム中に占める比率も高くなっているところより推察すれば、蛋白態窒素の水稻体内での増加に伴ない、PARKER, F. W., and TRUOG, E. のようにシュウ酸の生成が増し、その結果、これを中和し水稻体内に於ける正常な代謝系を維持するために、岩井、園田がいうように酢酸可溶Caの移動性から考えて酢酸可溶Caから移動してきて、その結果、水可溶Caが増大したように考えられるが、一方蛋白態窒素の全窒素中に占める比率は窒素の施用量の増大と共に減少の傾向を示すことと合わせ推察すれば、これのみでは水可溶Caの増大の原因とはならないように考えられる。酢酸可溶Caについては水可溶Caとは逆の傾向を示したことは既述の通りであるが、その大部分は不溶性ペクチンと結合して存在するといわれている。<sup>(4,15)</sup>そこでこの形態のカルシウムを形成するペクチンは一般に光合成作用により生ずる糖類物質だと考えられるが、本実験に供試した水稻体中に存在する蛋白態窒素の全窒素中に占める比率は既述のように窒素の施用量の増大と共に、減少していることより推察すれば、光合成作用によって生ずる糖類物質は当然増大すべきものと考えられる。しかし水稻体の生育過程について見る時、主要な代謝系として光合成作用(糖代謝)と蛋白代謝の二つが考えられ、この両代謝系は生育の過程に於いて己づと比重を異にしている。藤原、大平、成田は生育初期のように旺盛な生育段階では蛋白代謝が糖代謝を上廻る傾向があると報告している。従って窒素の施用量の増大により、非蛋白態窒素の全窒素中に占める比率が高くなっているが、本実験のように水稻の生育初期の段階では本形態の窒素は糖代謝により生じた糖類物質と速やかに反応して蛋白態窒素へと変化する性格を持っているものと考えられる。その結果、仮りに糖類物質の生成が糖代謝により行なわれたとしても、糖類物質の水稻体内での蓄積は少なくなる傾向にある。そのためにペクチン様物質の生成が抑制され、ペクチンの不足を生ずるものと考えられる。従って酢酸可溶Caは減少して水可溶Caが増加したものと推論できる。即ち酢酸可溶Caに対して水可溶Caは一種の貯蔵的性格を持って存在していると考えられる。また塩酸可溶Caの含有率は非常に低く、その全カルシウム中に占める比率も低いことより推察すれば、水可溶Caの体内消費も極めて少ないものと考えられる。これらの原因によりカルシウムの吸収が抑制され、その結果含有率にも影響を

与え減少したものと考えられる。従って本実験のような条件下で水稻を栽培した場合に、水稻体内の全カルシウムの含有率の低下したのは酢酸可溶Caの低下が主因だと考えることができる。

塩酸可溶Caは窒素の施用量により、その含有率には一定の傾向を示さず、各試験区共に差異がなかった。窒素の施用量の異なる各試験区の全カルシウム中で本形態のカルシウムの占める比率は増大の傾向を示した。不溶性Caは塩酸可溶Caと同様に、窒素の施用量の増大によりその含有率に影響は示さなかった。しかし各試験区の全カルシウム中に占める本形態のカルシウムの比率は窒素の施用量の増大と共に高くなった。この形態のカルシウムの存在意義については本実験結果からは不明であるが、塩酸可溶Caと同様な結果を示したことは興味あることである。

### Ⅲ. 摘 要

作物体内に於けるカルシウムと窒素との関係については、研究者により知見を異にしている。この関係を明かにするには、窒素含量のみでなく作物体内でのこれの利用形態（存在形態）とカルシウムとの関係を究明すると同時に、カルシウムの種々なる存在形態との関係をも究明することが重要だと考える。そこでこの立場に立って、水稻体内のカルシウムと窒素との関係を明かにするために窒素を除く他の肥料成分は一定にし、1カ月間水稻を水耕栽培し、カルシウムは水可溶Ca、酢酸可溶Ca、塩酸可溶Ca、不溶性Caは分別定量し、窒素については蛋白態窒素、非蛋白態窒素に分別定量した。

水稻体内の窒素については窒素の施用量が増大すると、全窒素並びに蛋白態窒素の含有率は高くなるが、全窒素中に占める蛋白態窒素の比率は低下した。かかる水稻体内の形態別カルシウムは次の通りであった。

- (1) 全カルシウムの含有率は窒素の施用量が増大すると減少した。
- (2) 水可溶Caの含有率は窒素の施用量が増大すると高くなり、全カルシウムとは逆の結果を示した。また全カルシウム中に占める水可溶Caの比率は窒素の施用量

の増大と共に高くなった。

(3) 酢酸可溶Caの含有率は窒素の施用量が増大すると低下し、全カルシウムと同じ傾向を示した。そして水稻体内のカルシウムの含有率の低下は本形態のカルシウムにその原因が求められるように推論される。また全カルシウム中に占める本形態のカルシウムの比率は窒素の施用量の増大と共に低下した。

(4) 塩酸可溶Caならびに、不溶性Caの含有率は窒素の施用量の増大による影響を殆んど受けなかったが、全カルシウム中に占めるこれらの形態のカルシウムの比率は高くなった。

なお、各試験区共に水稻体の形態別カルシウムの含有率ならびに全カルシウム中に占めるそれぞれの形態のカルシウムの比率は酢酸可溶Ca>水可溶Ca>塩酸可溶Ca>不溶性Caの順位を示した。

### 引用文献

- (1) 出口正夫・太田安定：土肥誌 26：11—14, 1955
- (2) 藤原彰夫・大平幸次・成田精一：土肥誌 22：97—102, 1951
- (3) GINBURG, J. M. : Soil Sci. 20 : 1—13, 1925
- (4) 橋本武・岡本守：土肥誌 24 : 231—234, 1953
- (5) 橋本武：土肥誌 28 : 9—12, 1957
- (6) 石塚喜明・田中明：土肥誌 21 : 23—28, 1950
- (7) 岩井巖・園田洋次：岐阜大農研報 11 : 145—150, 1959
- (8) ———— : ———— 12 : 189—197, 1960
- (9) ———— : ———— 12 : 184, 188, 1960
- (10) NEWTON, J. D. : Soil Sci. 15 : 181—204, 1923
- (11) PARKER, F. W., and TRUOG, E. : Soil Sci. 10 : 49—56, 1920
- (12) PETERSON, W. H., and PETERSON, C. B. : J. Agr. Res. 33 : 695—699, 1926
- (13) 植物栄養学実験編集委員会：植物栄養学実験, 1961 東京 P51
- (14) 妹尾保夫：宮崎大農研報 2 : 30—35, 1955
- (15) 高橋達郎・吉田大輔：土肥誌 27 : 468—471, 1957

### Summary

There have been many different views about the physiological relationship between calcium and nitrogen in the crops among the reporters. In order to clarify this point, we should investigate the relationship between the forms as well as the contents of nitrogen and those of calcium in the crops.

In these points of view, we attempted this experiment to clarify the relationship between nitrogen and calcium in the rice crop, which was planted in the water culture solution of the

various concentration of nitrogen. In this experiment, we observed  $H_2O$ -soluble-Ca,  $CH_3COOH$ -soluble-Ca,  $HCl$ -soluble-Ca and insoluble-Ca in the tops of the rice crop, and also we analysed protein-N and non-protein-N in them.

As increasing the concentration of nitrogen in the water culture solution, the rice crop increased the contents of total-N and protein-N, but it decreased the ratios of protein-N to total-N. The contents of various forms of calcium in this rice crop are as follows:

(1) The contents of total-Ca were decreased by raising the concentration of nitrogen in the water culture solution.

(2) The contents of  $H_2O$ -soluble-Ca were increased by raising the concentration of nitrogen in the water culture solution, but their ratios to total-Ca were increased.

(3) The contents of  $CH_3COOH$ -soluble-Ca were decreased by raising the concentration of nitrogen in the water culture solution, but their ratios to total-Ca were decreased. We recognized it was this form of calcium that caused the total-Ca to decrease by raising the concentration of nitrogen in the water culture solution under this experiment.

(4) The contents of  $HCl$ -soluble-Ca and insoluble-Ca were almost constant, independently of the concentration of nitrogen in the water culture solution, but the ratios of  $HCl$ -soluble-Ca and insoluble-Ca to total-Ca were increased.

The contents of the various forms of calcium and their ratios to total-Ca increased according to the following order:  $CH_3COOH$ -soluble-Ca,  $H_2O$ -soluble-Ca,  $HCl$ -soluble-Ca and insoluble-Ca, independently of the concentration of nitrogen in the water culture solution.