

高塩類集積土壌における土壌管理 (第2報)  
施肥窒素がリン酸カルシウムからのリン酸の溶出および  
シュンギクのリン酸吸収に及ぼす影響

宗林 正、平岡美紀、西田一平、木村 桐、瀬崎滋雄\*

Soil Management on Salt High Accumulated Fields. II  
Effects of Nitrogen Fertilizers on Phosphate Solubility and Uptake by  
Garland Chrysanthemum from Applied Calcium Phosphate, Tribasic.

Tadashi SORIN, Miki HIRAOKA, Ippei NISHIDA,  
Hisa KIMURA and Shigeo SEZAKI

Summary

For effective use of accumulated soil phosphate, the effects of several nitrogen fertilizers were investigated in phosphate solubility and ammonium sulphate were also investigated in their effects of phosphate uptake by Garland chrysanthemum. Calcium phosphate, tribasic was used for Ca-P.

Phosphate solubility from applied calcium phosphate were enhanced by addition of ammonium chloride or ammonium sulphate during the incubate periods. Their effects were achieved due to the nitrification and decline of soil pH. Maximum solubility were obtained at the peak of nitrification and decreased after then.

Phosphate uptake of Garland chrysanthemum were increased with an addition of nitrogen. As the uptake of calcium and manganese were suppressed at application of 40mg-N per 100g dry soil, it was thought that they related to phosphate solubility. Separate application were more suitable method for employment of nitrification and phosphate release.

**Key words:** phosphate solubility, calcium phosphate, nitrification,  
decline of soil pH, ammonium sulphate, Garland chrysanthemum.

緒 言

筆者らは先に、各種の有機質資材の連用によって集積したリン酸は、一様にCa型リン酸の特徴を示すが、施用資材の種類によって、溶解特性、作物による利用率が異なることを報告した<sup>1)</sup>。また、Ca型リン酸の特性から、土壌のpHを若干下げることにより、その溶解度や

利用率が大幅に改善されることが推定された。土壌pHは各種の有機酸や有機質資材の添加の他、アンモニア態肥料の硝酸化成によっても低下する。ここでは、Ca型リン酸源として、リン酸3カルシウムを用い、施肥窒素の種類がそのリン酸の溶解、および作物のリン酸吸収量に与える影響について2、3の知見を得たので報告する。

\* 現 県園芸農産課

## 材料および方法

### 実験 1

#### 1. リン酸3カルシウムからのリン酸の溶解に及ぼす窒素肥料の種類の影響

リン酸施用土壌として、奈良県農業試験場場内の水田転換畑(中粗粒質灰色低地土)から採取した風乾土壌にリン酸3カルシウム(和光純薬製)を $P_2O_5$ 500mg/100g乾土相当を添加、調整した。窒素肥料として硫酸アンモニウム、塩化アンモニウム、硝酸アンモニウム、尿素(いずれも和光純薬製、試薬特級)を用い、先のリン酸添加土壌50gに、各々窒素で0,10,25mg/100g乾土相当を水溶液で添加した。いずれも土壌水分20%、気温25°Cで5週間静置し、1:5水浸出液のpH,EC,水溶性無機成分を適宜測定した。pH,ECは電極法、水溶性のカルシウム、マグネシウム、カリウム、ナトリウムは原子吸光度法、アンモニアはインドフェノール法、塩素、硝酸、リン酸、硫酸の各イオンはイオンクロマトグラフィーで測定した。

### 実験 2

#### 1. 窒素肥料の施用量がシュンギクのリン酸吸収に及ぼす影響

実験1と同様に場内水田転換畑から採取した土壌にリン酸3カルシウムで $P_2O_5$ 500mg/100g乾土を添加調整し、硫酸アンモニウムで窒素0,10,20,40mg/100g乾土相当を水溶液で4回に分けて2週間毎に施用した。第1回目は播種前日に施用した。カリウムは $K_2O$ 10mg/100g乾土相当を硫酸カリウムで全処理に混和、施用した。ポットは1/5000aワグネルポットを用い、乾土3kg相当を充填した。

シュンギクは大葉春菊(タキイ種苗)を用い、平成2年11月8日に播種し、3年1月31日に収穫、調査した。養分含有率は窒素は硫酸分解後、蒸留法で、その他の成分については硝酸一過塩素酸分解後、常法で分析した。硫黄の分析は河野らの方法<sup>2)</sup>に準拠して行った。土壌中の水溶性成分は空中振とう法によって、根圏土壌と非根圏土壌に分けて採取し、風乾後分析に供した。分析は前項に準じて行った。

## 結 果

### 実験 1

#### 1. リン酸カルシウムからのリン酸の溶出に及ぼす施肥窒素の影響

pHは当初、窒素およびリン酸無添加(対照)が最も低く5.76であり、尿素25mg添加が7.19と最も高い値を示した。その後、各処理ともに低下し、38日目には塩化アンモニウム25mg添加で4.99と最も低く、硫酸アンモニウム25mg添加の5.04がこれについだ。窒素無添加・リン酸添加は5.96と最も高い値を示した。尿素を除き窒素25mg添加が10mg添加より常に低く推移した。(第1図)。

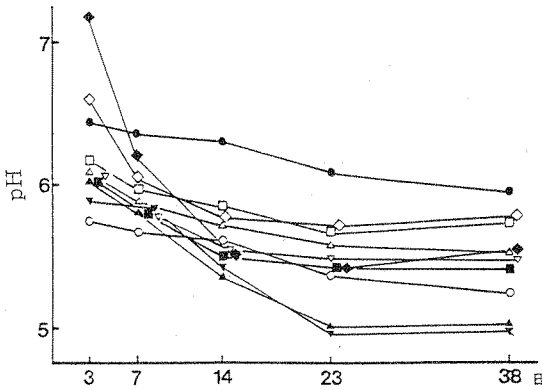
ECは徐々に上昇し、塩化アンモニウム25mg添加で最も高く推移し、3日目には0.50(mS/cm以下同じ)であったが、38日目には0.88にまで上昇した。硫酸アンモニウム25mg添加がこれに次ぎ、3日目には0.42であったが、38日目には0.73まで上昇した。ECは塩化アンモニウム・硫酸アンモニウム>硝酸アンモニウム・尿素の順に高かった。窒素無添加ではやや上昇したが、殆ど変化はなかった(第2図)。

硝酸態窒素は、3日目には硝酸アンモニウム25mg添加で最も高く12.5mg(/100g乾土以下同じ)であり、ついで硝酸アンモニウム10mg添加の6.8mgであった。窒素・リン酸無添加では最も低く、0.8mgであった。硝酸化成の進行にともない、その後徐々に増加し、38日目には尿素25mg添加で20.9mg、ついで硝酸アンモニウム25mg添加で20.8mgであった。窒素添加区では14日目まで急激に上昇し、その後は緩やかな上昇を示し、窒素無添加では38日目まで徐々に増加する傾向を示した(第3図)。

水溶性リン酸は窒素・リン酸無添加では殆ど検出されなかった。窒素無添加・リン酸添加では3日目には5.9mg( $PO_4$ mg/100g乾土以下同じ)と最も高い値を示し、その後徐々に減少した。硫酸アンモニウム添加区では3日目には10mg添加で5.8mg、25mg添加で3.0mgであったが、その後増加し14日目に最大となり、10mg添加で5.0mg、25mg添加で9.4mgを示し、その後減少した。硝酸アンモニウム添加区では10mg添加では3日目に最大となり、4.9mgを示したが、その後減少し38日目には3.4mgであった。25mg添加では3日目には4.5mgであったが、14日目に最大となり、6.6mgを示しその後減少した。塩化アンモニウム添加区では3日目には10mg添加で4.0mg、25mg添加で3.6mgであったが、10mg添加は14日目に最大値5.2mg、25mg添加は23日目に6.6mgを示しその後減少した。尿素添加区では3日目には10mg添加で0.5mg、25mg添加で3.9mgであったが、10mg添加は7日目に最大値5.9mg、25mg添加は14日目に7.3mgを示し、その後減少した(第4図)。

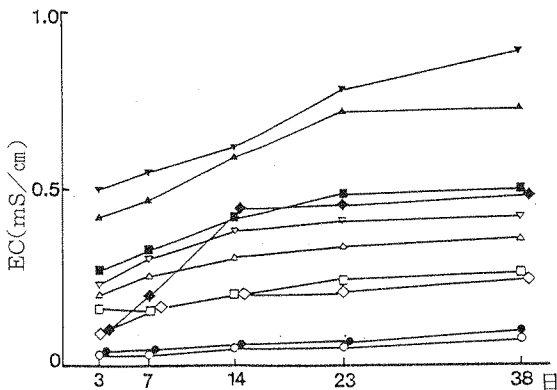
カルシウムは窒素無添加では3日目にはリン酸無添加で0.14mg(Camg/100g乾土)、リン酸添加で0.6mgを示

し、その後上昇し38日目にはリン酸無添加で3.6mg、リン酸添加で7.2mgであった。窒素添加区では塩化アンモニウム添加区で最も高く、25mg添加では3日目に14.7mg、38日目には53.4mgを示し、10mg添加では3日目に7.5mg、38日目には28.7mgであった。硫酸アンモニウム添加区がこれに次ぎ、硝酸アンモニウム、尿素添加区では塩化アンモニウム添加区のほぼ半量で推移した（第5図）。



第1図 インキュベート中のpHの変化 (○窒素・リン酸無添加●窒素無添加△(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-N10mg乾土 ▲(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-N25mg▽NH<sub>4</sub>Cl-N10mg▼NH<sub>4</sub>Cl-N25mg□NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-N10mg■NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-N25mg◇Urea-N10mg◆Urea-N25mg)

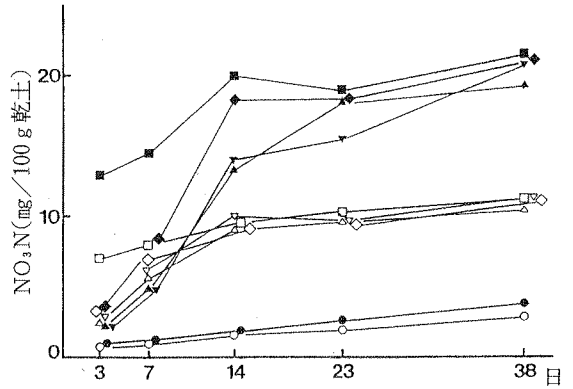
Fig.1. Changes of pH in incubate periods as affected by several nitrogen fertilizer application. (○N/P-0mg/100 g D.S.●N 0mg△(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-N10mg ▲(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-N25mg▽NH<sub>4</sub>Cl-N10mg▼NH<sub>4</sub>Cl-N25mg□NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-N10mg■NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-N25mg◇Urea-N10mg◆Urea-N25mg)



第2図 インキュベート中のECの変化 (凡例は第1図に同じ)

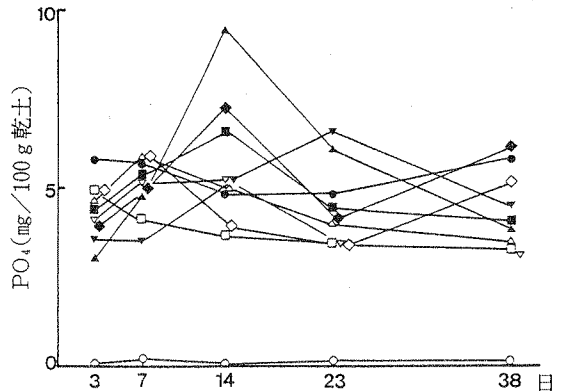
Fig.2. Changes of Electro-conductivity in

incubate periods as affected by several nitrogen fertilizer application. (symbols same to Fig.1.)



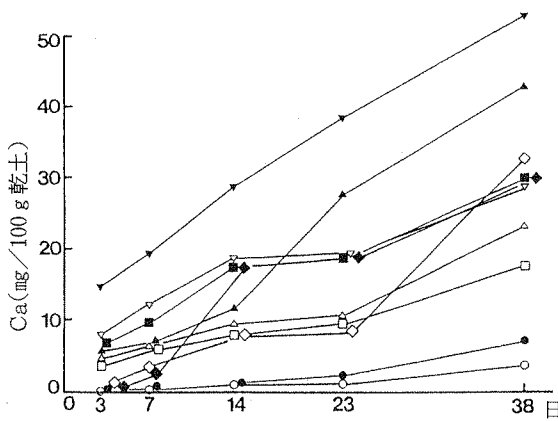
第3図 インキュベート中の硝酸態窒素の変化 (凡例は第1図に同じ)

Fig.3. Changes of Nitrate-N in incubate periods as affected by several nitrogen fertilizer application. (symbols same to Fig.1.)



第4図 インキュベート中の水溶性リン酸の変化 (凡例は第1図に同じ)

Fig.4. Changes of water-soluble in incubate periods as affected by several nitrogen fertilizer application. (symbols same to Fig.1.)



第5図 インキュベート中の水溶性カルシウムの変化 (凡例は第1図に同じ)

Fig.5. Changes of water-soluble calcium in incubate periods as affected by several nitrogen fertilizer application. (symbols same to Fig.1.)

実験 2

1. 窒素肥料がシュンギクのリン酸カルシウムからのリン酸吸収に及ぼす影響

シュンギクの生育は窒素肥料の増施によって増加し、ポット当り生鮮重は窒素無添加では5.9gであったが、N40mg添加では49.8gまで増加した。乾物重、草丈も同様の傾向であった。また、リン酸カルシウムの添加効果は明かであり、N20mgのリン酸添加と無添加を比べると生鮮重、乾物重、草丈のいずれもリン酸添加が10数%優れた(第1表)。

リン吸収量は窒素の増施により明らかに増加し、窒素無添加ではリン含有率0.80%、ポット当り吸収量7.36mgであったが、N40mg添加ではそれぞれ0.74%、38.99mgであった。また、窒素20mg施用・リン酸無添加ではポット当り吸収量は7.37mgと窒素無施用・リン酸添加とほぼ同等であった(第2表)。

窒素、カリウム、ナトリウム、硫黄、亜鉛、銅の吸収量も同様の傾向を示した。カルシウム、マグネシウム、マンガンではN40mg施用でN20mg施用よりも含有率、吸収量ともに低くなった。鉄では窒素無添加よりも吸収量は増加するものの、窒素施用量による吸収の増減には明瞭な傾向が認められなかった。N20mg・リン酸無添加はリン酸添加に比し、窒素、カリウム、カルシウム、マグネシウム、ナトリウムで吸収量が低かったが、鉄、マン

ガンでは含有率、吸収量ともに上回り、亜鉛、銅では吸収量はほぼ同じであったが、含有率ははるかに高かった(第2表)。

第1表 春菊の生育

Table 1. Yield of Garland Chrysanthemum.

処理区	硫酸施用量 (mg/100g 乾土)	リン酸施用量 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/ 100g)	生鮮重 (g/ pot)	乾物重 (g/ pot)	草丈 (cm)
N20-P	N20	0	25.3 <sup>a</sup>	3.62 <sup>a</sup>	12.0 <sup>a</sup>
NO+P	N 0	500	6.2 <sup>a</sup>	1.00 <sup>a</sup>	7.2 <sup>a</sup>
N10+P	N10	500	30.9 <sup>a</sup>	4.33 <sup>a</sup>	13.0 <sup>a</sup>
N20+P	N20	500	43.1 <sup>b</sup>	5.04 <sup>b</sup>	14.1 <sup>b</sup>
N40+P	N40	500	49.0 <sup>a</sup>	5.18 <sup>a</sup>	14.6 <sup>a</sup>

肩添字は Duncan の Multiple Range Test (5%水準) の有意性を示す

生鮮重、乾物重、吸収量はいずれもポット当り(5株)の値

2. 栽培跡地土壌の化学性

pHは窒素添加量の増加によって低下する傾向を示し、根圏土壌で非根圏土壌よりも低い値を示した。窒素無添加では非根圏土壌で6.14、根圏土壌で6.10と変わらなかったが、N20mg・リン酸無添加ではそれぞれ5.67、5.01、N40mgではそれぞれ5.98、5.48と根圏土壌で低かった(第3表)。

ECは窒素添加量の増加により上昇し、また、根圏土壌が非根圏土壌よりも大きな値を示した。N40mgでは非根圏土壌の0.311に対して根圏土壌では1.26にまで上昇した(第3表)。

水溶性成分は、非根圏土壌では硫酸、硝酸、カルシウム、マグネシウムの各イオンが窒素添加量の増加によって増大した。根圏土壌でも同様の結果を示したが、その値は非根圏土壌よりも大きかった(第3表)。

リン酸は窒素添加量の増加により減少した。塩素およびナトリウムでは明瞭な関係は認められなかった(第3表)。

考 察

鉱質土壌でのリン酸の蓄積は火山灰土壌と異なりCa型リン酸の形態が多く<sup>5,8,11,14,17)</sup>、そのCa型リン酸の溶解度は、酸の添加・pHの低下によって高まることが知られている<sup>5,6,9,17)</sup>。そのため、土壌蓄積リン酸の有効化には有機酸の添加によるキレート作用の利用やpHの低下が提言されている<sup>4)</sup>。著者らも先に鉱質土壌の有機物連用圃では蓄積リン酸はCa型が主であり、pHの低下に

第2表 春菊の養分含有率および吸収量（ポット当り）

Table 2. Nutrient contents and uptake quantities of Garland chrysanthemum as affected by nitrogen application.

処理区	N		P		K		Ca		Mg		Na	
	%	mg/pot	%	mg/pot	%	mg/pot	%	mg/pot	%	mg/pot	%	mg/pot
N20-P	4.09 <sup>b</sup>	150.68 <sup>c</sup>	0.21 <sup>c</sup>	7.37 <sup>d</sup>	4.43 <sup>a</sup>	162.88 <sup>c</sup>	0.477 <sup>c</sup>	17.55 <sup>c</sup>	0.279 <sup>c</sup>	10.26 <sup>c</sup>	0.460 <sup>ac</sup>	16.94 <sup>d</sup>
NO+P	1.00 <sup>d</sup>	9.53 <sup>c</sup>	0.80 <sup>a</sup>	7.36 <sup>d</sup>	4.45 <sup>a</sup>	41.55 <sup>d</sup>	0.827 <sup>a</sup>	7.75 <sup>d</sup>	0.302 <sup>bc</sup>	2.81 <sup>d</sup>	0.465	4.34 <sup>e</sup>
N10+P	2.90 <sup>c</sup>	126.09 <sup>d</sup>	0.48 <sup>b</sup>	20.57 <sup>e</sup>	3.55 <sup>b</sup>	154.37 <sup>c</sup>	0.682 <sup>ab</sup>	29.67 <sup>b</sup>	0.327 <sup>abc</sup>	14.22 <sup>b</sup>	0.489	21.30 <sup>c</sup>
N20+P	4.28 <sup>b</sup>	220.18 <sup>b</sup>	0.60 <sup>ab</sup>	21.03 <sup>b</sup>	3.66 <sup>b</sup>	188.35 <sup>b</sup>	0.732 <sup>ab</sup>	37.72 <sup>a</sup>	0.378 <sup>a</sup>	19.44 <sup>a</sup>	0.494	25.42 <sup>b</sup>
N40+P	5.42 <sup>a</sup>	286.25 <sup>a</sup>	0.74 <sup>a</sup>	38.99 <sup>a</sup>	3.86 <sup>b</sup>	204.07 <sup>a</sup>	0.607 <sup>bc</sup>	32.09 <sup>c</sup>	0.353 <sup>ab</sup>	18.61 <sup>a</sup>	0.522	27.56 <sup>a</sup>

処理区	S		Fe		Mn		Zn		Cu	
	%	mg/pot	ppm	mg/pot	ppm	μg/pot	ppm	μg/pot	ppm	μg/pot
N20-P	1.19 <sup>ab</sup>	44.87 <sup>b</sup>	517.3 <sup>ab</sup>	1.911 <sup>a</sup>	135.5 <sup>a</sup>	500 <sup>a</sup>	62.2 <sup>a</sup>	230 <sup>b</sup>	9.1 <sup>b</sup>	33.4 <sup>a</sup>
NO+P	0.68 <sup>b</sup>	6.32 <sup>c</sup>	693.2 <sup>a</sup>	0.643 <sup>b</sup>	54.0 <sup>b</sup>	50 <sup>c</sup>	43.4 <sup>bc</sup>	41 <sup>d</sup>	9.3 <sup>a</sup>	8.7 <sup>c</sup>
N10+P	1.11 <sup>ab</sup>	48.34 <sup>b</sup>	371.2 <sup>b</sup>	1.620 <sup>ab</sup>	50.3 <sup>b</sup>	219 <sup>b</sup>	35.3 <sup>c</sup>	154 <sup>c</sup>	6.6 <sup>ab</sup>	28.5 <sup>b</sup>
N20+P	1.41 <sup>a</sup>	72.40 <sup>ab</sup>	301.0 <sup>b</sup>	1.554 <sup>ab</sup>	52.8 <sup>b</sup>	273 <sup>b</sup>	44.6 <sup>bc</sup>	230 <sup>b</sup>	7.0 <sup>ab</sup>	36.2 <sup>a</sup>
N40+P	1.60 <sup>a</sup>	84.30 <sup>a</sup>	316.0 <sup>b</sup>	1.670 <sup>ab</sup>	50.6 <sup>b</sup>	267 <sup>b</sup>	53.1 <sup>ab</sup>	281 <sup>a</sup>	7.6 <sup>ab</sup>	40.0 <sup>a</sup>

肩添字は Duncan の Multiple Range Test (5%水準) の有意性を示す

第3表 シュンギク栽培跡地土壌の水溶性成分 (mg/100 g 乾土)

Table 3. Water-soluble soil nutrient contents after Garland chrysanthemum cultivation. (mg/100 g D.S.)

処理区	pH	EC (mS/cm)	PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	Cl	Ca	Mg	K	Na
非 根 圏 土 壌	N20-P	5.67 <sup>c</sup>	0.281 <sup>a</sup>	0.095 <sup>b</sup>	38.72 <sup>a</sup>	5.19 <sup>b</sup>	0.190 <sup>b</sup>	14.07 <sup>ab</sup>	2.526 <sup>a</sup>	1.546 <sup>ac</sup>
	NO+P	6.14 <sup>ab</sup>	0.173 <sup>b</sup>	0.510 <sup>a</sup>	21.40 <sup>b</sup>	5.60 <sup>b</sup>	0.283 <sup>a</sup>	8.50 <sup>b</sup>	1.269 <sup>b</sup>	0.831 <sup>b</sup>
	N10+P	6.18 <sup>a</sup>	0.168 <sup>b</sup>	0.736 <sup>a</sup>	22.24 <sup>b</sup>	3.83 <sup>b</sup>	0.188 <sup>b</sup>	9.45 <sup>b</sup>	1.289 <sup>b</sup>	0.910
	N20+P	6.06 <sup>ab</sup>	0.224 <sup>ab</sup>	0.453 <sup>ab</sup>	28.22 <sup>ab</sup>	4.85 <sup>b</sup>	0.133 <sup>c</sup>	11.24 <sup>ab</sup>	1.779 <sup>ab</sup>	1.385
	N40+P	5.98 <sup>b</sup>	0.311 <sup>a</sup>	0.472 <sup>ab</sup>	39.95 <sup>a</sup>	7.82 <sup>a</sup>	0.160 <sup>bc</sup>	16.69 <sup>a</sup>	2.884 <sup>a</sup>	1.889
根 圏 土 壌	N20-P	5.01 <sup>b</sup>	0.605 <sup>bc</sup>	0.055 <sup>b</sup>	73.10 <sup>b</sup>	2.03 <sup>b</sup>	0.275 <sup>ac</sup>	33.20 <sup>bc</sup>	5.757 <sup>b</sup>	3.597 <sup>ac</sup>
	NO+P	6.10 <sup>a</sup>	0.210 <sup>d</sup>	0.340 <sup>a</sup>	25.23 <sup>c</sup>	1.28 <sup>b</sup>	0.348	11.03 <sup>c</sup>	1.598 <sup>c</sup>	1.736
	N10+P	5.93 <sup>b</sup>	0.308 <sup>cd</sup>	0.321 <sup>a</sup>	39.53 <sup>c</sup>	0.61 <sup>b</sup>	0.130	18.16 <sup>d</sup>	2.847 <sup>bc</sup>	1.071
	N20+P	5.59 <sup>c</sup>	0.832 <sup>b</sup>	0.189 <sup>ab</sup>	90.93 <sup>b</sup>	1.91 <sup>b</sup>	0.205	47.32 <sup>b</sup>	6.776 <sup>bc</sup>	2.867
	N40+P	5.48 <sup>c</sup>	1.260 <sup>a</sup>	0.145 <sup>ab</sup>	125.40 <sup>a</sup>	6.49 <sup>a</sup>	0.113	67.26 <sup>a</sup>	9.563 <sup>a</sup>	3.742

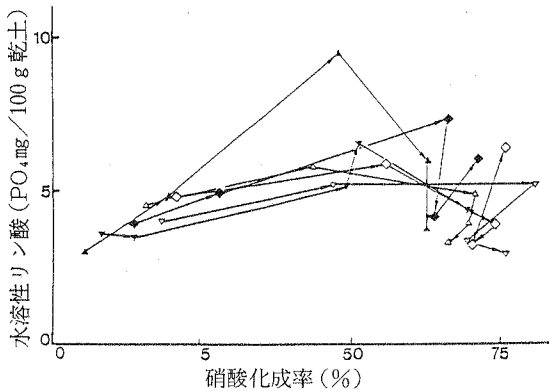
肩添字は Duncan の Multiple Range Test (5%水準) の有意性を示す

よって土壌リン酸の溶解度が高まるが、施用資材の種類によってその溶解度は異なり、最も低いオガズ鶏ふん堆肥連用土壌ではリン酸3カルシウムの溶解特性に似ていること、また、リン酸可給量の評価は水溶性リン酸が適していることを報告した<sup>11)</sup>。土壌pHは、アンモニア態窒素の硝酸化成によっても低下することがよく知られている。実際の栽培圃場において、有機酸の多量施用等は、経済性、作物生育への影響からみて困難な場合が多く、硝酸化成によるpH低下の利用は、より現実的であると考えられる。本実験においても、pHは硝酸化成の

進行により低下し、塩化アンモニウム、硫酸アンモニウムの添加で最も低下している。窒素添加量を同じにすると塩化アンモニウム、硫酸アンモニウムに比べ硝酸アンモニウム、尿素では添加イオン総量が半量となりpH低下度は低い。ECもそれらのことを反映して変動している。

土壌リン酸には目的に応じて、種々の測定法があるが、リン酸は根圏域への拡散によって供給されていると考えられている<sup>11)</sup>。そのため、高集積土壌では浸出液としてイオン強度の強い種々の緩衝液を用いるよりも、水溶性

リン酸量が最も植物への可給度を現しているものと考えられる<sup>11, 10)</sup>。よって、本実験では、水溶性リン酸による評価を採用した。リン酸量は当初は窒素無添加で最も高いが、現実の栽培条件では必ず施肥を伴うことから、窒素25mg添加区で比較すると、概ね14日目付近にピークを持ち、その後低下している。このことは、硝酸化成がピークを迎えるまでは見かけ上のリン酸溶解量は増加するが、その後、安定するとともに減少していくことを示している(第6図)。溶解されたリン酸は、実際には土壤中の微生物による収奪等が起こるため、分析値は溶解・可溶化されたリン酸の総量ではなく見かけ上の値とならざるをえないが、これらのリン酸量の減少の原因の一つとして再固定がある。リン酸の溶解はpHの低下によって進むが、pHが4.0以下になるとアルミニウムの溶解が進み、リン酸アルミニウムを生成して、不溶化することが知られている<sup>5)</sup>。本実験では浸出液のpHは4.0以下に低下することはなかったが、窒素源は極在・偏在化しており、部分的にそれ以下に低下したところがあり、不溶化したものとも考えられる。



第6図 硝酸化成率の変化と水溶性リン酸の関係(凡例は第1図に同じ)

Fig.6. Relationship between nitrification-rate and water-soluble phosphate.(symbols same to Fig.1.)

しかしながら、いずれにしろ窒素源の一時添加は、本実験のような短期間では、一時的なリン酸の溶出を認めるだけであり、それは植物根による吸収の有無に関係なく進行する。作物の生育期間を通じて吸収を増加させるためには、根圏域でpHの低下によるリン酸塩の溶解が持続的に進行することが必要である。そのためには、アンモニア態窒素の供給、硝酸化成の進行が根圏域で安定的に持続される必要がある。また、生成された硝酸がpHの極端な低下をもたらさないように、順調に植物に利用

されることも条件の一つである。本実験のような1:5浸出液では明瞭ではないが、土壤溶液中では、塩化アンモニウム、硫酸アンモニウムの様に、他の酸根を含むものではカルシウムの溶解度も高いが、電気伝導度・浸透圧が上昇し易い。これらの中では、遊離したカルシウムの幾分かを、硫酸カルシウムとして生成・沈澱させる硫酸アンモニウムが、より植物体への影響が少ないものと考えられる<sup>7)</sup>。

以上のことから、実験2ではシュンギクを対象作物、硫酸アンモニウムを窒素源として使用し、アンモニア態窒素の持続的な供給を図るために水溶液で多数回施用を行った。地上部生育量は、窒素添加の効果が明かであり、また、N20mgでの比較からリン酸カルシウムの効果も明かである。これは、リン、カルシウムおよびマグネシウムの含有率および吸収量においても同様である。

リン吸収量は窒素添加量の増大により明らかに増加しており、リン含有率も窒素無添加で最も高い値を示すものの、窒素添加によって明らかに上昇している。このことは植物体によるリンの吸収に、添加窒素がインキュベート試験同様に何等かの役割を果たしたことを示している。リン鉱石はパイライトの併用によりリンの吸収が増加することはよく知られているが、硫酸塩の添加自体がリン酸の吸収や溶解量を増すという報告もあり<sup>3, 13)</sup>、硝酸化成の進行によるpHの低下のみならず、前述したように酸根としての硫酸根自体の効果も考慮されるべきであろう。

跡地土壌では水溶性リン酸は、特に根圏土壌で窒素添加量の増大によって減少する傾向を示している。しかしながら、EC、硫酸根およびカルシウムイオンの量からはリン酸3カルシウムからのカルシウムの遊離が硫酸アンモニウムの添加によって進展し、さらにそれが水への溶解度の低い硫酸カルシウムとして残存しているものと考えられる。N20mg添加では、リン酸無添加と比較して根圏土壌でその水溶性カルシウムの少なくとも約30%がリン酸3カルシウム由来と想定できる。また、施用窒素量に比し、残存硝酸態窒素量は極めて少ないが、最終施肥後、調査まで約1カ月あり、シュンギクによる吸収が大きかったものとも考えられる。これらの根圏土壌のEC等から判断して、非根圏から根圏への養分の積極的な移行があり、窒素、リン等と比べ要求度の低い硫酸はカルシウム塩として、その過程で根圏に集中して残存しているものと考えられる。非根圏から、根圏への養分の積極的な移動があることは渋谷らによっても報告され、この場合もカリウム、カルシウム、マグネシウム、硫酸根で顕著であるとされている<sup>10)</sup>。

また、カルシウム吸収量はN40mg添加でN20mg添加よりも低くなっている。吉倉ら<sup>10)</sup>はシュンギク心枯れ症がリン酸過剰下でのカルシウムの吸収阻害によることを報告しているが、本実験においてもN40mg添加では潜在的なカルシウム欠乏の可能性がある。また、鉄、マンガン吸収量においてもリン酸添加および窒素添加量の増加により減少する傾向を示し、鉄、マンガン吸収が抑制されているものと考えられる。このことは土壌中でのリン酸鉄あるいはリン酸マンガン等の難溶性塩の生成の可能性を示している。さらに、硫酸カルシウムの多量集積は、生育抑制の要因とも成り得るし、さらにシュンギク自体の硫黄含有率、吸収量の増加もストレスの前兆として注意を要する<sup>12)</sup>。特に、根圏域での著しい集積は、従来型の土壌診断法では検出困難であり、県下で急増している硫酸カルシウム集積土壌を含め、その評価法等、今後の検討課題であろう。

以上から、リン酸3カルシウムをCa型リン酸として与えた場合、アンモニア態窒素の施用は明らかにリン酸の溶解を促し、リン吸収量は増大するが、硝酸化成やリン酸の溶解は根圏、非根圏の別なく進行し、場合によっては各種の生育阻害等も引き起こしかねない。そのためには、水溶液で与える場合は本実験よりもより低濃度で施用回数を多くする必要があり、現実的には被覆肥料等の利用が最も有効であろう。その場合も本試験と同規模のポット試験ではN20mg程度が上限かと判断される。

## 摘 要

土壌中での蓄積リン酸の利用率向上の基本的知見を得るため、リン酸3カルシウムを指標とし、その溶解およびシュンギクによるリンの吸収に与える窒素肥料の影響について検討した。

1. リン酸3カルシウムからのリン酸の溶解は塩化アンモニウム、硫酸アンモニウムの添加で最も進行し、その効果は硝酸化成の進行による土壌pHの低下によるものと考えられた。
2. リン酸の溶解は硝酸化成の進行と連動し、硝酸化成のピーク直前にほぼ最大となり、その後、減少した。そのため、実用時には根圏域における硝酸化成を、栽培期間を通じて連続的に進行させるために、多数回分施が望ましいと考えられた。
3. シュンギクによるリンの吸収は窒素添加量に従って増加したが、最大施用量N40mg/100g乾土ではカルシウム、マンガン等の吸収が阻害される傾向があり、これらは土壌中でのリン酸の溶解と関係があると考えら

れた。

4. 効率的にリン酸の利用を図るためには、シュンギクではN20mg程度を本実験での2週間間隔よりもさらに分施する必要があると考えられた。

## 引用文献

1. 伊藤純雄.1984.養分吸収のダイナミックシミュレーション.化学工学.48:30-33.
2. 河野憲治・尾形昭逸・小林省吾.1987.草類の硫黄欠乏症発現と植物体の硫黄含有率および土壌の硫黄供給可能量との関連.土肥誌.58:343-349.
3. 中川良二.1982. 硫安の硫黄成分の効用について. 硫酸と工業.38:65-77.
4. 南条正巳.1986. 化学的機能活用による土壌蓄積りんの有効化.農林水産技術会議・農環研編「土壌蓄積りんの再生・循環利用」.pp43-56.
5. 南条正巳.1989. 土壌とリン酸の化学的反応に関する研究.農環研報6:19-73.
6. 小川 真.1986. 菌根菌とその利用. 農林水産技術会議・農環研編「土壌蓄積りんの再生・循環利用」. pp73-84.
7. 岡島秀夫.1976. 土壌肥沃度論. 農文協.
8. 大橋恭一.1987. 厩肥連用に伴う土壌リン酸とフォスフォモノエステラーゼ活性. 土肥誌.55:311-315.
9. 関谷宏三.1978. りん酸. 土壌養分分析法委員会編「土壌養分分析法」. 養賢堂. pp225-245.
10. 渋谷加代子・松永俊朗・塩崎尚朗・足立嗣雄.1989. 露地野菜栽培に伴う根圏環境の養分動態.NARC研究速報. 6:7-12.
11. 宗林 正・瀬崎滋雄・田中康隆.1992.高塩類集積土壌における土壌管理(第1報).各種有機質資材の連用により集積したリン酸の特性について.奈良農試研報 23:33-42.
12. 宗林 正・西田一平・平岡美紀・木村 桐・瀬崎滋雄.1993.奈良県における硫酸カルシウム集積土壌の分布とその特性.奈良農試研報.24:55-61.
13. Srivastava, S. C. and M. P. Agrawal.1967. Enhanced solubility of dicalcium phosphate in the presence of sulfate ions, and its edaphic significance in calcareous soil. Soil Sci.104:77-80.
14. 津高寿和・砂野 正・田中平義.1984.土壌類型別のリン酸の形態.土肥誌.61:98-103.
15. 渡辺光昭・加藤直人.1983.土壌中における施肥リン

- 酸の動態に関する研究.農技研肥料化学資料.251.
16. 吉川義一・井上栄.1980.施設畑土壌におけるリン酸の集積(第2報).高知大研報.農学29:27-30.
17. 吉川義一・吉田徹志・山中 律.1985.施設畑における
- 養分集積実態.同上.34:9-27.
18. 吉倉惇一郎・二見敬三・桑名健夫・青山喜典.1987.シュンギク心枯れ症の発生要因と対策.兵庫農総セ研報.35:75-80.