

Status Fosfat Organik dalam Tanah Siri Bungor dengan Sistem Tanaman Tunggal dan Giliran

AMINUDDIN HUSSIN, ABDUL KADIR SAAD
ANUAR RAHIM dan KHANIF YUSOP
Jabatan Sains Tanah, Fakulti Pertanian,
Universiti Pertanian Malaysia,
Serdang, Selangor, Malaysia.

Perkataan penunjuk: Fosforus organik; mineralisasi; immobilisasi; tanaman tunggal; tanaman giliran.

RINGKASAN

Satu kajian untuk menentukan status fosfat (P) organik dan sumbangannya kepada sumber P untuk tanaman dalam sistem tanaman tunggal (jagung) dan giliran (kacang tanah dan jagung) telah dijalankan. Kandungan P organik dalam kedua-dua sistem tanaman adalah dalam lingkungan 40-50% daripada jumlah P dalam tanah yang diberi pembajaan P dan 70-80% daripada jumlah P dalam tanah yang tidak diberi pembajaan P. Proses mineralisasi telah berlaku pada kadar 0.2 hingga 16% daripada kandungan P organik dalam tanah dalam semusim dan ini boleh menyumbangkan 1 hingga 60 kg P ha⁻¹ untuk tanaman. Nisbah unsur-unsur C:P dalam kedua-dua sistem tanaman adalah dalam lingkungan 140-160:1 yang menggalakkan berlakunya proses mineralisasi.

SUMMARY

An experiment was carried out to ascertain the status of organic phosphorus (P) and its contribution to P source for plants under monoculture (maize) and crop rotation (groundnut and maize) systems. The amount of organic P in both cropping systems was in the range of 40-50% of total P in P fertilized soils and 70-80% of total P in non P fertilized soils. Mineralization at a rate 0.2 to 16% of the amount of organic P in the soil in a cropping season was detected and this can contribute to 1 to 60 kg P ha⁻¹ for the plants. The C:P ratio in both systems was in the range of 140-160:1 which encouraged mineralization.

PENDAHULUAN

Kebanyakan tanah di Malaysia mengandungi fosforus (P) tersedia untuk tanaman yang sangat rendah disamping mempunyai kupayaan pengikatan P yang tinggi (Coulter 1972, Owen 1953). Bagi tanah-tanah mineral pertanian pula, kebanyakannya mengandungi P dalam bentuk bukan organik, menyebabkan penyelidikan terhadap peranan P organik kurang diambil perhatian. William (1967) mendapati pengambilan P organik oleh tumbuhan agak berkesan di kawasan Tropika.

Kebiasannya, 20-50 peratus daripada jumlah P di bahagian tanah permukaan adalah berbentuk P organik. Pada tanah-tanah yang mengalami proses luluhawa yang tinggi, kandungan P organik meningkat ke 60-80% daripada jumlah P (Sanchez, 1976). Ahmad Fuad (1976) mendapati tanah-tanah di Malaysia mengandungi 12.30% P dalam bentuk organik.

Fosfat organik boleh dijadikan sumber unsur P untuk tanaman setelah ia menjalani proses mineralisasi yang dilakukan oleh organisma mikro dalam tanah. Dalam proses ini P organik ditukarkan ke bentuk P bukan organik yang boleh diserap oleh tumbuhan (Ridge and Rowira 1971; Martin 1973). Proses mineralisasi ini dipengaruhi oleh faktor-faktor fizikal, kimia dan biologi tanah seperti suhu tanah, kehadiran organisma, saliran, pH, amalan pertanian dan sebagainya.

Nisbah karbon organik ke P organikan dalam tanah telah digunakan untuk meramal proses mineralisasi/immobilisasi P organik (Alexander 1961). Kajian ini cuba mendapatkan maklumat tentang status P organik, kadar mineralisasi/immobilisasi, nisbah Karbon : Nitrogen : Fosforus (C:N:P) dan sumber P daripada P organik untuk tanaman dalam sistem tanaman tunggal (jagung) dan giliran (jagung dan kacang tanah).

Key to authors' names: H. Aminuddin, S. Abdul Kadir, R. Anuar and Y. Khanif.

BAHAN DAN KAEDAH

Percubaan ini telah dijalankan di kawasan penyelidikan Sains Tanah UPM di Ladang Puchong. Rekabentuk yang digunakan ialah rawak blok sempurna (RCBD) dengan empat replikasi.

Kawasan

Tanah percubaan adalah daripada Siri Bungor (Typic Paleudult) yang merangkumi kawasan seluas 0.23 hektar. Mengandungi 40 buah plot rawatan, tiap satu berukuran 5 x 8 m, dipisahkan antara satu sama lain dengan jarak 1 m. Sebelum menanam tanah dibajak berserta dengan sisa-sisa tanaman asal.

Perlakuan Sistem Tanaman dan Pembajaan

Dua jenis sistem tanaman yang dikaji dalam percubaan ini terdiri daripada :-

a. Sistem tanaman tunggal - jagung

Dalam sistem ini tanaman jagung diberi paras rawatan nitrogen (N) sebanyak 0 (T_0), 45 (T_1), 90 (T_2), 135 (T_3) dan 180 (T_4) kg N ha⁻¹ setiap kali tanaman ditanam. Sumber N yang diberi ialah Urea. Pembajaan dijalankan pada dua peringkat : separuh diberi sebagai pembajaan asas dan separuh lagi sebagai baja sampingan, iaitu 6 minggu selepas menanam.

b. Sistem tanaman giliran - kacang tanah dan jagung.

Dalam sistem ini tanaman digilir-gilirkan mengikut susunan tertentu menggunakan tanaman jagung (J) dan kacang tanah (K). Giliran yang digunakan adalah:-

K.J.K.J.K.J. (T₅)
 J.K.K.J.K.K. (T₆)
 J.K.K.K.J.K. (T₇)

Pembajaan N tidak dilakukan dalam sistem giliran ini. Memadai daripada apa yang dikeluarkan oleh sisa-sisa tanaman dan pengikatan N oleh kacang tanah. Kacang tanah (*Arachis hypogaeae* var. V13) telah ditanam sebanyak 580 pokok/40 m² dengan jarak tanaman 23 cm x 30 cm, manakala jagung (*Zea mays* var. Sg. Buloh) sebanyak 232 pokok/40m² dengan jarak 23 cm. x 75 cm. Semua plot telah diberi pembajaan asas fosforus (Triple superphosphate) dan kalium (Muriate of potash)

sebanyak 25 kg. P dan 45 kg. K ha⁻¹ untuk setiap kali menanam. Kapur (ground magnesium limestone) diberi dengan kadar 5 tan ha⁻¹ pada awal percubaan. Pungutan hasil kacang tanah dilakukan 105 hari selepas menanam dan jagung selepas 78 hari. Berat hasil dicatat, berat basah pokok dari setiap plot direkod, sebahagian kecil (1 kg.) diambil untuk dikering oven dan untuk menentukan - N, P dan K dalam tisu tumbuhan. Sisa-sisa pokok kemudiannya dibajak ke dalam tanah.

Sampel Tanah

Sampel tanah dari setiap plot rawatan diambil dua kali. Sampel pertama (I) diambil 110 hari selepas penanaman musim ke 5 (sisa tanaman musim 5 belum lagi dibajak ke dalam tanah) dan sampel tanah kedua (II) diambil lima hari selepas penanaman musim 6 (3 bulan daripada sampel I), sisa-sisa tanaman 5 telah 14 hari dibajak ke dalam tanah. Sebanyak 10 sampel tanah dalam satu plot telah diambil secara rawak sedalam 18 cm, dikeringudarkan, diayak melalui penapis (saiz kurang dari .2 mm) sebelum analisis dijalankan.

Analisis Tanah dan Tumbuhan

Sampel tanah telah dianalisis untuk menentukan pH, keupayaan tukarganti kation (K.T.K), jumlah karbon dan nitrogen mengikut cara Lim (1976). Penentuan P organik dibuat mengikut kaedah 'Ignition - 0.2 N H₂SO₄ extraction' seperti yang diterangkan oleh Mattson *et. al.* (1950). Dalam kaedah ini 2 g tanah kering udara daripada satu sampel telah dibakar di dalam relau pada suhu 550°C selama satu jam. Tanah ini berserta dengan 2 g tanah daripada sampel yang sama diektrak semalaman (19 jam) dengan 100 ml 0.2 N H₂SO₄ di atas 'lateral shaker'. P dalam larutan ditentukan dengan cara Scheel (1936). Perbezaan nilai P antara tanah dibakar dan tidak dibakar diambil sebagai nilai P organik dalam tanah. Karbon dalam tanah ditentukan dengan cara Walkley dan Black (Allison, 1965) dan nitrogen dengan cara Micro Kjeldah (Bremner; 1965).

Tisu tumbuhan telah dikeringkan di dalam oven pada suhu 65°C selama 3-4 hari sebelum dikisar menggunakan 'Wiley Mill'. Fosforus, N dan K dalam tumbuhan ditentukan dengan kaedah yang diterangkan oleh Joseph dan Roy (1971) dengan menggunakan alat Auto Analyser. Sifat-sifat fizikal dan kimia tanah penyelidikan diberi pada Jadual 1.

STATUS FOSFAT ORGANIK DALAM TANAH SIRI BUNGOR

JADUAL 1
Sifat kimia dan fizikal Tanah Kajian

Lempung	Seselut %	Pasir	pH		Jumlah N	Karbon Organan %
			Air	KCl		
22.7	5.2	72.1	4.53	3.67	0.20	2.71
M.T.K.		Tukar ganti Bes (meq/100 g)			Ketepuan Bes	
meq/100 g	Ca	Mg	K	Na	%	
7.26	0.48	0.32	0.22	tr*	14.05	

*tr – terlalu rendah

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Kandungan P Organan dalam Tanah

Sistem Tanaman Tunggal – Jagung. Daripada analisis sampel tanah II, kandungan P organan dalam tanah yang dirawat dengan N yang berbeza berada dalam lingkungan 38-52 peratus daripada jumlah P (P organik dan bukan organik) – Jadual 2. Kandungan P organik yang tertinggi didapati daripada perlakuan T_1 (45 kg N ha^{-1}), iaitu sebanyak $419.8 \text{ kg. P ha}^{-1}$ yang merupakan 52% daripada jumlah P dalam tanah. Pengumpulan P organik yang tinggi daripada perlakuan ini jika dibandingkan dengan perlakuan-perlakuan yang lain adalah disebabkan oleh kurangnya kadar mineralisasi P organik yang berlaku (Jadual 4). Jika dilihat daripada segi jumlah P organik yang didapati daripada sisa-sisa tanaman yang dibajak untuk lima musim berjumlah lebih kurang 70 kg. P ha^{-1} yang memberikan purata 15 kg. P dalam sisa tanaman untuk semusim. Nilai ini ditambah dengan jumlah P dalam bijirin akan memberikan jumlah P yang diambil oleh jagung dari tanah dalam semusim. Walaupun rawatan T_3 ($145 \text{ kg. N ha}^{-1}$) telah menghasilkan berat kering tanaman yang tinggi dan P dalam tumbuhan yang dibajak ke dalam tanah yang tinggi juga (75.6 kg. P) namun kandungan P organik dalam sampel tanah II adalah yang terendah ($296 \text{ kg. P ha}^{-1}$). Ini disebabkan oleh kadar mineralisasi P organik yang tinggi oleh organisma mikro yang menukarnya ke bentuk P bukan organik yang boleh diserap oleh tumbuh-tumbuhan (Jadual 4). Terdapat perbezaan yang bererti daripada segi jumlah P (organik + bukan organik) dalam tanah di antara T_0 dan T_1, T_2, T_3 . Pengumpulan jumlah P telah berlaku dalam plot tanpa rawatan N kerana kurangnya pengambilan P oleh tumbuhan (ditunjukkan dengan hasil berat kering yang

rendah) dan sebaliknya untuk rawatan T_3 di mana jumlah P nya adalah yang terendah. Jumlah P berada dalam lingkungan $800 \text{ kg. P ha}^{-1}$. Ini memandangkan bahawa pembajaan P bukan organik juga diberi sebanyak 25 kg. P ha^{-1} untuk setiap musim tanaman. Sekiranya jumlah P bukan organik ini ditolak daripada jumlah P (lebih kurang 125 kg P ha^{-1} dalam lima musim) maka peratus P organik dalam tanah tanpa pembajaan P adalah dalam lingkungan 70-80% daripada jumlah P. Angka ini adalah bersamaan dengan hasil kajian yang dilakukan oleh Sanchez (1976) bagi tanah-tanah yang tidak dilakukan pembajaan.

Sistem Tanaman Giliran. Hasil berat kering sisa tanaman dalam sistem ini dalam 5 musim adalah lebih rendah daripada sistem tanaman tunggal dan kandungan P organik juga adalah rendah (Jadual 3). Ini adalah kerana sistem ini merupakan campuran tanaman jagung dan kacang tanah yang mempunyai peratus berat kering dan kepekatan P dalam tisu yang berlainan (Ipinmidum 1972). Tidak terdapat perbezaan dalam kandungan P organik dalam tanah disebabkan giliran tanaman dalam sistem ini. Tanpa pembajaan N telah menyebabkan jumlah P dan P organik dalam sistem ini lebih stabil daripada sistem tanaman tunggal. Peratus kandungan P organik dalam tanah adalah di antara 42-46% daripada jumlah P. Pada keseluruhannya boleh dikatakan %P organik dalam tanah dalam kedua-dua jenis sistem tanaman berada dalam lingkungan 40-50% daripada jumlah P dalam tanah.

Mineralisasi dan Immobilisasi P Organik

Setelah 2 minggu sisa-sisa tanaman (Jagung dan kacang tanah) musim kelima dibajak ke dalam tanah, samaada proses mineralisasi (penge-

JADUAL 2
Kandungan P organan dalam tanah sampel II sistem
Tanaman Tunggal dan % P organan

Perlakuan	Berat Kering Sisa Tanaman Lima Musim (kg. ha ⁻¹)	P Dari pada Sisa Tanaman Lima Musim (kg. ha ⁻¹)	Jumlah P Dalam Tanah (P _o + P _i) * (kg ha ⁻¹)	Purata P Organan Dalam Tanah Sampel II (kg. ha ⁻¹)	% P Organan
T ₀	15,827 ^a	52.2 ^a	862.4 ^d	388.1 ^b	45 ^b
T ₁	17,544 ^{ab}	57.9 ^a	807.3 ^{ab}	419.8 ^b	52 ^c
T ₂	21,091 ^{ab}	69.6 ^b	823.2 ^{bc}	411.6 ^b	50 ^{bc}
T ₃	22,916 ^b	75.6 ^{bc}	779.2 ^a	296.1 ^a	38 ^a
T ₄	24,896 ^b	82.2 ^c	844.2 ^{cd}	405.2 ^b	48 ^{bc}

Huruf yang sama dalam turus menunjukkan tiada perbezaan bagi ujian Duncan's Multiple Range Test (DMRT), P = 0.05

*P_o = P organan

P_i = P bukan organan

JADUAL 3
Kandungan P organan dalam tanah sampel II sistem
Tanaman Giliran dan % P organan

Perlakuan	Berat Kering Sisa Tanaman Lima Musim (Kg. ha ⁻¹)	P Dari pada Sisa Tanaman Lima Musim (kg. ha ⁻¹)	Jumlah P Dalam Tanah (P _o + P ₁) (kg. ha ⁻¹)	Purata P Organan Dalam Tanah Sampel II (kg. ha ⁻¹)	% P Organan
T ₅	13,628 ^a	47.1 ^a	856.9 ^a	359.9 ^a	42 ^a
T ₆	13,255 ^a	46.2 ^a	867.0 ^a	381.5 ^a	44 ^a
T ₇	11,744 ^a	42.0 ^a	853.7 ^a	392.7 ^a	46 ^a

Huruf yang sama dalam turus menunjukkan tiada perbezaan bagi ujian 'DMRT', P = 0.05

luaran P bukan organik daripada P organik) atau immobilisasi (pengikatan dan pengumpulan P organik) P organik berlaku ada ditunjukkan dalam Jadual 4.

Kadar mineralisasi P organik ditentukan dengan cara perbezaan antara gabungan P organik daripada sisa-sisa tumbuhan musim 5 yang dibajak ke dalam tanah dan jumlah P organik dalam sampel I dengan jumlah P organik dalam sampel II. Sekiranya perbezaan nilai adalah positif (nilai sampel II lebih rendah daripada nilai gabungan)

proses mineralisasi dengan kadar yang tertentu dianggarkan berlaku dan sekiranya perbezaan nilai adalah negatif maka proses immobilisasi pula yang berlaku.

Proses mineralisasi telah berlaku dalam kesemua rawatan N dalam sistem tanaman tunggal. Dalam sistem tanaman giliran hanya rawatan T₆ menunjukkan sedikit immobilisasi berlaku dengan kadar 0.8 kg. P ha⁻¹ manakala rawatan T₅ dan T₇ proses mineralisasi telah berlaku dengan kadar 10.9 dan 7.6 peratus. Kecuali

JADUAL 4
 Nilai mineralisasi/immobilisasi P organan dalam Tanah Tanaman Keenam

Perlakuan	Sistem Tanaman Tunggal					Sistem Giliran		
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇
P organan daripada sisa tanaman musim ke 5 (kg ha ⁻¹)	13.9 ^{ab}	14.7 ^{ab}	17.9 ^b	18.8 ^b	20.0 ^b	9.0 ^a	8.2 ^a	7.2 ^a
Kandungan P organan dalam sampel I (kg ha ⁻¹)	415.4 ^{bc}	411.6 ^{bc}	694.4 ^d	336.6 ^a	434.3 ^a	394.7 ^{bc}	372.5 ^{ab}	418.9 ^{bc}
Mineralisasi (-) Immobilisasi (+) (kg P ha ⁻¹)	-41.2 ^{bc}	-6.5 ^a	-2.7 ^a	-59.3 ^c	-49.1 ^{bc}	-43.8 ^{bc}	+0.8 ^a	-32.4 ^b
Pemineralan/ Pengikatan (%)	9.6 ^b	1.5 ^a	0.5 ^a	16.7 ^c	10.8 ^b	10.9 ^b	0.2 ^a	7.6 ^b

Huruf yang sama dalam barisan menunjukkan tiada perbezaan bagi ujian 'DMRT', P = 0.05

rawatan T_6 pada keseluruhannya mineralisasi telah berlaku dengan kadar kurang daripada 16% kandungan P organik dalam tanah dalam semusim penanaman. Ini menyumbang kepada pengeluaran 1 hingga 60 kg. P ha⁻¹ yang boleh digunakan oleh tanaman. Proses pemineralan telah berlaku dengan kadar yang tinggi pada rawatan T_3 (16.7%) dan T_4 (10.8%) dalam tanaman tunggal, pada T_5 dan T_7 dalam tanaman giliran. Kandungan P yang dikeluarkan daripada mineralisasi P organik pada T_3 , T_4 , T_5 , T_7 dan T_0 melebihi kandungan P organik daripada sisa tanaman kelima yang dibajak ke dalam tanah. Ini menunjukkan bahawa tabung (pool) P organik dalam tanah rawatan-rawatan tersebut adalah tinggi. Kadar mineralisasi P organik juga tergantung kepada jenis-jenis P organik yang ada.

Didapati juga pengeluaran P daripada P organik dalam tanaman giliran (T_5 dan T_7) tanpa pembajaan N adalah bersamaan dengan pengeluaran P daripada sistem tanaman tunggal (T_3 dan T_4) yang dibaja dengan N dengan kadar yang tinggi (135 dan 180 kg. N ha⁻¹). Jumlah P yang dikeluarkan menerusi mineralisasi pada tahap yang tinggi boleh membekalkan sumber P yang tinggi untuk tanaman yang ditanam.

Nisbah C:N:P Organik

Nisbah C:N:P dalam tanah ada kaitannya dengan kehadiran dan aktiviti organisma dalam tanah yang menentukan kadar immobilisasi atau mineralisasi yang berlaku. Black dan Goring (1953) mendapati nisbah unsur-unsur ini ialah 100:9:1 untuk membolehkan proses mineralisasi berlaku. Kebanyakan laporan menunjukkan proses mineralisasi berlaku apabila nisbah C:P rendah daripada 200:1 (White dan Ayoub, 1983; Van Diest, 1968). Semua perlakuan dalam kajian ini memberikan nilai nisbah C:P yang rendah daripada 200:1 iaitu dalam jangkakan 140-160:1, nisbah yang menggalakkan proses mineralisasi berlaku (Jadual 5). Kecuali perlakuan T_6 di mana proses immobilisasi sebanyak 0.2% (0.8 kg. P ha⁻¹) telah berlaku perlakuan-perlakuan mengikut jangkakan. Berlakunya immobilisasi yang kecil pada T_6 boleh jadi disebabkan oleh kandungan karbon organik yang agak tinggi (2.73%) Walaupun pembajaan N tidak dilakukan dalam sistem tanaman giliran (T_5 - T_7) kandungan N dan nisbah N dalam tanah didapati tinggi dan melebihi pembajaan 45 kg. N ha⁻¹ untuk tanaman tunggal. Nampaknya tanaman kacang tanah yang digilirkan telah dapat membekalkan dan meninggikan kandungan N dalam tanah. Ini boleh memberi sumber N untuk tanaman.

JADUAL 5
Nisbah C : N : P organan dalam Tanah Sampel II

Perlakuan	% N dalam tanah sampel II	% C Organan sampel II	Nisbah C : N : P Organan
T_0	.18 ^a	2.49 ^a	141 : 10 : 1
T_1	.18 ^a	2.55 ^a	133 : 10 : 1
T_2	.19 ^a	2.61 ^a	140 : 12 : 1
T_3	.20 ^a	2.61 ^a	133 : 15 : 1
T_4	.21 ^a	2.81 ^a	139 : 12 : 1
T_5	.19 ^a	2.6 ^a	159 : 12 : 1
T_6	.19 ^a	2.73 ^a	143 : 12 : 1
T_7	.21 ^a	2.69 ^a	151 : 12 : 1

Huruf yang sama dalam turus menunjukkan tiada perbezaan bagi ujian 'DMRT', P = 0.05

STATUS FOSFAT ORGANIK DALAM TANAH SIRI BUNGOR

BAHAN RUJUKAN

- AHMAD FUAD, H.T. (1976) : Distribution of phosphorus in six Malaysian soils. Project paper for B. Agric. Sci., Fac. of Agric, UM, K.L.
- ALEXANDER, M. (1961) : *Introduction to Soil Microbiology*, pp. 353-369. New York. John Wiley and Sons.
- ALLISON, L.E. (1965) : "Organic carbon." Chapt. 90 In *Methods of Soil Analysis*. Part 2. Black, C.A. (ed.) Amer. Soc. Agron. Inc. Madison, Wisconsin.
- BLACK, C.A. and GORING, C.A.I. (1953) Organic phosphorus in soils. In : *'Soils and Fertilizer Phosphorus in Crop Nutrition'* (Pierre, W.H. and A.G. Norman, eds.), *Agronomy*. 4 : 123-152. New York. Academic Press.
- BREMNER, J.M. (1965) : "Total nitrogen". Chapt. 83. In *Methods of Soil Analysis*. Part 2. Black, C.A. (ed.). Amer. Soc. Agron. Inc. Madison, Wisconsin.
- COULTER, J.K. (1972) : Soils of Malaysia. Review of investigation on their fertility and management. *Soil Fert.* 345 : 475-498.
- IPINMIDUM, W.B. (1972) : Organic phosphorus in some Norther Nigerian soils in relation to soil organic carbon as influenced by parent rock and vegetation. *J. Sci. Food Agric.* 23 : 1099-1104.
- JOSEPH, E.S. and ROY, L.F. (1971) : Simultaneous determinations of phosphorus, potassium, calcium and magnesium in wet digestion solutions of plant tissue by autoanalyser. Chapter 5 in *Instrumental methods for analysis of soils and plant tissue*, Walsh, L.M. (ed.), Soil Sci. Soc. of Amer. Inc. Madison, Wisconsin.
- LIM, H.K. (1976) : Working manual for soil analysis. Soil analytical series manual No. 6, Min. of Agric. Malaysia.
- MARTIN, J.K. (1973) : The influence of rhizosphere microflora on the availability of ^{32}P myoinositol hexaphosphate phosphorus to wheat. *Soil Biol. Biochem.* 5 : 473-483.
- MATTSON, S. WILLIAMS E.G. and BARKOFF, E. (1950) : Determination of total organic phosphorus in soils. *J. Soil Sci.* 6 : 254-267.
- OWEN, G. (1953) : Study on the phosphate problem in Malaysian soils. *J. Rubber Res. Inst. Mal.* 14 : 121-132.
- RIDGE E.H. and ROVIRA, A.D. (1971) : Plant root exudates. *Bot. Rev.* 35 : 35-37.
- SANCHEZ, P.A. (1976) : *Properties and management of soils in the tropics*. New York. John Wiley and Sons.
- SCHEEL, K.C. (1936) : Colorimetric determination of phosphoric acid in fertilizers with the pulfrich photometer. *Zeitschrift Fur Analytische Chemie.* 105 : 256-269.
- VAN DIEST, A (1968) : Biological immobilization of fertilizer phosphorus. *Plant and Soil.* 29 : 241-247
- WHITE, R.E. and AYOUB, A.T. (1983) : Decomposition of plant residues of variable C/P ratio and the effect on soil phosphate availability. *Plant and Soil.* 74 : 163-173.
- WILLIAMS, E.G. (1967) : The effect of phosphorus supply on the rates of uptake of phosphorus and nitrogen and upon certain aspects of phosphorus metabolism in graminous plants. *Aust. J. Sci. Res (B)* 1 : 333-361.

(Received 26 June, 1984)