

サゴヤシ生育地の土壌 ——窒素の挙動に関わる土壌要因——

角田憲一¹・安藤 豊¹・吉田徹志²・山本由徳²・新田洋司³・
江原 宏⁴・後藤雄佐⁵・ベニト H. プルワント¹

¹ 山形大学農学部 〒997-8555 鶴岡市若葉町

² 高知大学農学部 〒783-8502 南国市物部

³ 茨城大学農学部 〒300-0393 稲敷郡阿見町

⁴ 三重大学生物資源学部 〒514-8507 津市上浜町

⁵ 東北大学農学部 〒981-8555 仙台市青葉区

要約 サゴヤシの窒素に関する栽培管理の基礎的なデータを得る目的で、現地の土壌断面調査を行い、土壌の化学的性質及び土壌窒素無機化量について検討を行った。インドネシア国リアウ州テピンティング、マレーシア国サラワク州ムカ、マレーシア国ジョホール州バツパハト、タイ国ナラチワトの土壌断面調査、土壌の化学的性質及び土壌窒素無機化量について調査した。テピンティング、ムカ及びバツパハトには泥炭土壌及び鉍質土壌が存在した。ナラチワトには鉍質土壌が分布していた。泥炭土壌の pH は 4 以下を示し、鉍質土壌よりも低い pH を示した。泥炭地帯の地下水中アンモニア態窒素は 0.1-0.5 mg l⁻¹ であり、サゴヤシの生育に影響を与えるものと予想された。陽イオン交換容量 (CEC) は、鉍質土壌 < 泥炭土壌であった。一方、CEC pH4/CEC pH7 は鉍質土壌で 0.9 以上を示す土壌が多く存在したが、泥炭土壌では 0.7-0.9 を示す土壌が多く存在した。したがって、泥炭土壌の窒素吸着強度は鉍質土壌に比べて弱いことが予想された。泥炭土壌の窒素無機化量は鉍質土壌のものに比べ高い水準にあった。易分解性窒素量は泥炭土壌で 3.5 mg kg⁻¹ 前後、鉍質土壌では 0.9 mg kg⁻¹ 前後であった。泥炭土壌の無機化速度定数 *k* は鉍質土壌に比べて高い傾向にあった。活性化エネルギーは泥炭土壌と鉍質土壌に差は認められなかった。ムカとテピンティング両地域における泥炭土壌の容積重は 0.15-0.20 g cm⁻³、鉍質土壌では 0.90-1.10 g cm⁻³ であった。容積当たり窒素無機化量は鉍質土壌よりも泥炭土壌で低いことが示された。また、容積当たりの CEC では、泥炭土壌は鉍質土壌よりも低いものと予想された。本試験の結果より、泥炭土壌と鉍質土壌に生育するサゴヤシの生育差は、土壌の窒素栄養からある程度説明できるものと推察された。

キーワード アンモニア態窒素, CEC, 窒素無機化量, 泥炭土壌, pH

Soil Characteristics in Sago Palm Grown Area.

Factors Associated with Fate of Inorganic Nitrogen in Soil.

Ken-ichi Kakuda¹, Ho Ando¹, Tetsushi Yoshida², Yoshinori Yamamoto², Youji Nitta³,
Hiroshi Ehara⁴, Yusuke Goto⁵ and Benito Heru Purwanto¹.

¹ Faculty of Agriculture, Yamagata University, Tsuruoka 997-8555, Japan

² Faculty of Agriculture, Kochi University, Nangoku 783-8502, Japan

³ Faculty of Agriculture, Ibaragi University, Inashiki 783-8502, Japan

⁴ Science for Agricultural Production, Mie University, Tsu 514-8507, Japan

⁵ Faculty of Agriculture, Tohoku University, Sendai 981-8555, Japan

Chemical and physical characteristics of soils planted sago palm were analyzed to get information for improvement of cultural practices of sago. Soil samples were collected from Riau Indonesia, Johor and Sarawak Malaysia and Narathiwat Thailand, and divided into two main groups of soil; mineral and peat soils.

The pH of the peat soils were around 4, which were lower than that of the mineral soils. Cation exchange capacity (CEC) of the peat soils evaluated at pH7 (CEC pH7) were about twice higher than that of the mineral soils. In the most of peat soils, CEC evaluated at pH4 (CEC pH4) were 70–90% of the CEC pH7. However, in the most of mineral soils, the CEC pH4 were more than 90% of the CEC pH7. These results imply that the peat soils performed a variable charge.

Parameters for mineralization of soil organic N were computed by using Arrhenius' law and Michaelis-Menten's equation. The apparent activation energy of the peat and mineral soils were 16500–17400 and 16000–24100 cal mol⁻¹, respectively. The mineralization rate of the peat and mineral soils were 0.034–0.067 and 0.023–0.028 day⁻¹, respectively.

At 100 reference days of the soil incubation, the amounts of mineralized N under submerged conditions were 2.5–5.8 mg kg⁻¹ in the peat soils and 1.2–1.4 mg kg⁻¹ in the mineral soil. These amounts were calculated as weight basis. However, a very different value of bulk density between the peat and mineral soils was observed. Thus, the mineralized N and CEC expressed as volume basis are more practical to compare between the peat and mineral soils rather than weight basis. Amounts of mineralized N and CEC calculated as volume basis were only 20% of those calculated as weight basis. As a result, N mineralization and CEC calculated by volume basis indicated higher fertility of the mineral soil than the peat soil.

Key words: ammonium nitrogen, CEC, mineralization of soil organic nitrogen, peat soil, pH

はじめに

サゴヤシの生育環境は汽水域から淡水域まで広域にわたる(下田・パワー 1990)。またサゴヤシは、泥炭土壌、鉍質土壌に生育し、地下水位が高いところから低いところまで幅広く分布している。しかし異なる土壌環境のもとではサゴヤシの生育速度が異なり、泥炭層が厚い土壌でサゴヤシの生育は遅くなることが知られている(佐藤ら 1979, Yamaguchi et al. 1997)。

泥炭土壌と鉍質土壌に生育するサゴヤシでは、一樹当たりのデンプン生産量に差が認められない(Sim and Ahmed 1997, 高谷 1983)。しかし、サゴヤシの生育速度が遅くなると年間デンプン生産量は低くなる。土壌環境がサゴヤシの生育に与える影響は、土壌の理化学性、地下水位の高低、海水の影響などの総合的な結果と考えられる。

窒素は植物の生育に最も大きな影響を与える養分である。窒素施肥は作物の収穫量を増加させるための有効な手段である。サゴヤシ栽培においても、窒素施肥により単位面積当たりデンプン生産量の増加及び生育期間の短縮が期待される。しかし、これまでに行われたサゴヤシへの施肥試験では、サゴヤシの生育に対する窒素施肥の影響は認められなかった(Kueh 1995)。サゴヤシに対する施肥試験例は少なく、栽培法確立のためにさらなる知

見の蓄積が必要と考えられる。

サゴヤシの窒素施肥方法を確立するためには、サゴヤシの窒素要求量及び土壌からの窒素供給量を把握する必要がある。これまでに、サゴヤシの窒素、リン、カリウム、カルシウム、マグネシウム要求量が調査されている(Flach and Schuiling 1991)。しかし、サゴヤシ生育土壌からの窒素供給量について調査されたものはみられない。サゴヤシ生育土壌の窒素無機化量についての検討は、サゴヤシへの窒素施肥方法の確立のために重要である。

サゴヤシが多く栽培されている泥炭土地帯は低湿地に存在するため地下水位が高く、特に雨季には湛水状態となる(山本 1996)。したがって、土壌中に存在する無機態窒素はほとんどがアンモニア態の形で存在すると考えられる。施肥窒素及び土壌から無機化された窒素がサゴヤシに有効に利用されるためには、アンモニア態窒素が土壌中に長く存在する必要がある。土壌の陽イオン交換容量(CEC)はアンモニア態窒素保持に関わる重要な要因である。土壌のCECを把握することにより、施肥した窒素が土壌中で長く存在することができるかどうかを判断できると考えられる。

本報告では、サゴヤシの窒素に関する栽培管理の基礎的なデータを得る目的で、現地における土壌の断面の調査を行うとともに、土壌の化学的性質及び土壌窒素無機化量について検討を行った。

材料及び方法

1997年4月にインドネシア国リアウ州テビンティンギ (Riau, Tebingtinggi, テビンティンギ土壌)で土壌の断面調査(土壌名 M, D, S)を実施した。1997年8月にマレーシア国ジョホール州バツパハト (Johor, Batu Pahat, バツパハト土壌, 土壌名 BATU), タイ国ナラチワト (Narathiwat, ナラチワト土壌, 土壌名 NARA) 周辺土壌の断面調査を実施した。

土壌断面調査時に地下水と土壌試料を採取し分析に供した。地下水の pH は携帯型 pH 計で直ちに測定した。地下水のアンモニア態窒素濃度はインドフェノールブルー法で比色定量した。また, 1999年12月にマレーシア国サラワク州ムカ (Sarawak, Mukah, ムカ土壌)の17土壌(土壌層位各3層, 計51点), インドネシア国リアウ州テビンティンギの7土壌(土壌層位各3-4層, 計23点)を容積重測定のために100 mlのコアサンプラーを用いて採取した。

テビンティンギ土壌, バツパハト土壌及びナラチワト土壌について風乾細土(2 mm 以下)を調整し, 一般理化学性の分析に供試した。pH は土壌: 水 = 1: 2.5 の懸濁液で測定した。陽イオン交換容量は 1M 酢酸アンモニウム溶液 (pH7 及び pH4)で洗浄後, 80% アルコール (pH7 及び pH4)を添加し, 振とう後に遠心分離により過剰アンモニウム塩を除去し, 1M 塩化カリウム溶液で抽出後, ホルマリン溶液を加え TB を指示薬として水酸化ナトリウム溶液で滴定し定量した(ホルモル法, 奥田・山口 1965)。交換性塩基は 1M 酢酸アンモニウム溶液で抽出後, 抽出液を ICP で定量した。

土壌窒素無機化量測定のために, 1998年8月にテビンティンギ土壌(土壌名 TT) 及びムカ土壌(土壌名 MK)を採取した。生土 10 g をガラス製試験管(直径 24 mm, 高さ 100 mm)に入れ, 脱塩水を加えた後に密栓し, 20°C, 25°C 及び 30°C で 16 週間湛水静置培養した。湛水後 1, 2, 4, 8 及び 16 週後に 1M 塩化カリウム溶液で無機態窒素を抽出し, 水蒸気蒸留法によりアンモニア態窒素を測定した。得られた結果は速度論的方法により解析を行った(杉原ら 1986, 安藤・庄子 1986)。無機化パラメーターは以下に示す単純型モデルにあてはめて計算を行った。

$$N = N_0 (1 - \exp(-k \times t)) + B \quad (1)$$

N_0 : 易分解性窒素量 $N \text{ mg kg}^{-1}$, N : t における土壌窒素無機化量 $N \text{ mg kg}^{-1}$, k : 無機化の速度定数 day^{-1} , t : 累積 25°C 変換日数 day , B : 定数 $N \text{ mg kg}^{-1}$ 。

累積 25°C 変換日数はアレニウスの式を用いて求めた。

$$t = t_0 \times \exp(E_a (T_0 - T) / R \times T_0 \times T) \quad (2)$$

T : 基準温度 25°C, T_0 : 培養時の温度 °C, t : 累積 25°C 変換日数 day , t_0 : T_0 条件での培養期間 day , E_a : みかけの活性化エネルギー cal mol^{-1} , R : 気体定数 $\text{cal day}^{-1} \text{mol}^{-1}$ 。

結果と考察

(1) 土壌断面

マレーシア国ジョホール州バツパハト

調査地点は海から 14km に位置し, 鈹質土壌であった (BATU-1, Table 1)。地下水位は 40-50 cm 程度と推定された。地表から 32 cm 以下の部分では重粘質の土壌で根の伸長が少なかった。同地区には泥炭土壌 (BATU-2-1 (0-10 cm), BATU-2-2 (10-20 cm)) も認められたが断面調査は行わなかった。

タイ国ナラチワト

ナラチワトはマレーシア国境沿いに位置し, 土壌は鈹質土壌 (NARA-1, Table 1) であったが, マレーシア側は泥炭土壌が分布していた。この付近のサゴヤシは自生であった。地下水位は低く (2 m 以下), 土性は粘質であった。

インドネシア国リアウ州テビンティンギ

海底堆積物と思われる鈹質土壌 (M 土壌), 1メートル以上泥炭層が続く深い泥炭土壌 (D 土壌) 及び 1メートル以内に粘土質の土壌がある泥炭土壌 (S 土壌) の 3 種類の土壌が認められた (Table 1)。土壌断面記載ではリッターと泥炭土壌を区分できなかったため, 最表層からの深さを示した。地下水はいずれの断面でも 5 から 20 cm とごく浅い位置から出現した。サゴヤシの根は地下水位付近から下の層で多く見られた。土壌の種類によらず, 土壌表面は植物遺体で覆われていた。地下水の pH は 3.5 から 4.0 の範囲であった。

(2) 土壌の化学性

土壌の化学性を土壌タイプごとに示した (Table 2)。土壌 pH は, 鈹質土壌 (MI 土壌) で 4.0-5.7, 泥炭土壌 (1メートル以上泥炭層が続く深い泥炭土壌 (DP 土壌), 及び 1メートル以内に粘土質土壌がある泥炭土壌 (SP 土壌)) で 3.4-4.4 であった。

全窒素量は, MI 土壌で 0.7-12.5 g kg^{-1} , DP 及び SP 土壌で 12.8-19.9 g kg^{-1} であり, DP 及び SP 土壌で高い値を示した。これは, 両土壌における有機物含量の差によるものと考えられた。

交換性カルシウム含量は, MI 土壌 < SP 土壌 < DP 土壌であった。交換性マグネシウム含量は, MI 土壌 <

Table 1 Soil profile morphology

Soil code	Soil layer	Depth of soil collection	Sample name	Soil texture	Organic matter	Soil color		pH of ground-water	Note
BATU-1	0-20 cm	0-10 cm	BATU-1-1	CL	High	7.5YR3/4	dark brown	groundwater level: 40-50 cm many fine roots: 0-30 cm no roots: 30 cm<	
		10 cm-	BATU-1-2						
	20-32 cm			CL	Medium	7.5YR4/6	brown		
	32 cm-			HC	Medium	5YR5/1	brownish gray		
NARA-1	0-9 cm	0-9 cm		CL	Medium	10YR4/1	brownish gray	groundwater level: 2 m<	
	9-19 cm	9-19 cm	NARA-1-2	CL	Medium	10YR5/4	dull yellowish brown		
	19-31 cm	19-31 cm	NARA-1-3	HC	Medium	10YR5/3	dull yellowish brown		
	31 cm-			HC	Low	10YR6/3	dull yellow orange		
M-1	0-16 cm	0-8 cm	M-1-1		High	2.5YR2/1	reddish black	groundwater level: 5 cm many roots: 0-16 cm	
		8-16 cm	M-1-2						
	16 cm-	16 cm-	M-1-3	HC	Low	5Y6/3	olive yellow		
M-2	0-15 cm	0-7 cm	M-2-1	LiC	Litter	7.5YR3/2	brownish black	groundwater level: 20 cm no roots: 0-15 cm many roots: 15 cm <	
		7-15 cm	M-2-2						
	15-25 cm	15-25 cm	M-2-3	LiC	High	5YR3/2	dark reddish brown		
	25 cm-	25 cm-	M-2-4	HC	Medium	2.5Y5/3	yellowish gray		
M-3	0-10 cm	0-10 cm	M-3-1	LiC	High	7.5YR3/2	brownish black	groundwater level: 10 cm many roots: 10-20 cm	
	10-25 cm	10-25 cm	M-3-2	LiC	High	7.5YR3/2	brownish black		
	25 cm-	25 cm-	M-3-3	HC	Low	5Y5/3	grayish olive		
D-4	0-10 cm	0-10 cm	D-4-1		Litter	2.5YR2/2	very dark reddish brown	groundwater level: 10 cm many roots: 10 cm < litter: 0-10 cm	
	10 cm-	10 cm-	D-4-2		Peat	2.5YR2/2	very dark reddish brown		
D-5	0-10 cm	0-10 cm	D-5-1			2.5YR3/2	dark reddish brown	groundwater level: 15 cm many roots: 15 cm <	
	10 cm-	10 cm-	D-5-2		Peat	2.5YR3/2	dark reddish brown		
D-6	0-15 cm	0-15 cm	D-6-1		Litter	2.5Y3/2	brownish black	groundwater level: 15 cm many roots: 15 cm < litter: 0-10 cm	
	15 cm-	15 cm-	D-6-2		Peat	2.5Y3/2	brownish black		
S-7	0-10 cm	0-10 cm	S-7-1		Litter	2.5YR2/2	very dark reddish brown	groundwater level: 10 cm litter: 0-8 cm mineral soil: 60 cm < many roots: 10 cm <	
	10-24 cm	10-24 cm	S-7-2		Peat	2.5YR2/2	very dark reddish brown		
	24-60 cm	24-60 cm	S-7-3		Peat	2.5YR3/3	dark reddish brown		
	60 cm-	60 cm-	S-7-4	HC	Low				
S-8	0-10 cm	0-10 cm	S-8-1		Litter	2.5YR3/2	dark reddish brown	groundwater level: 10 cm litter: 0-5 cm coarse roots: 20 cm <	
	10-100 cm	10-100 cm	S-8-2		Peat	10YR2/3	brownish black		
	100 cm-	100 cm-		HC	Low				
S-9	0-10 cm	0-10 cm	S-9-1		Litter	2.5YR2/2	very dark reddish brown	groundwater level: 10 cm many roots: 10 cm < litter: 0-7 cm	
	10-100 cm	10-100 cm	S-9-2		Peat	5YR3/3	dark reddish brown		
	100 cm-	100 cm-		HC	Low				

Table 2 Chemical properties of soils.

Soil type	Soil name	Soil pH	Total nitrogen g kg ⁻¹	CEC		Exchangeable cation				Base-saturation percentage %	Concentration of nitrogen in groundwater mg l ⁻¹
				pH7	pH4	Ca	Mg	Na	K		
				cmol kg ⁻¹		cmol kg ⁻¹					
Mineral Soil (MI)	M-1-1	4.0	12.5	58.8	56.2	8.0	7.1	3.7	1.3	34.1	0.14
	M-1-2	4.2	12.0	56.5	53.8	5.9	6.6	3.4	1.4	30.6	
	M-2-1	4.0	7.1	33.3	28.9	6.2	5.2	1.6	1.1	42.3	0.14
	M-2-2	4.1	3.2	20.7	14.3	4.5	3.2	1.3	0.6	46.5	
	M-3-1	4.1	12.1	58.5	53.6	6.4	6.3	3.3	1.2	29.3	0.15
	M-3-2	4.1	6.9	30.1	36.1	7.9	6.3	2.6	0.1	56.2	
	BATU-1-1	4.4	4.4	32.2	51.5	2.7	3.3	1.9	0.1	25.0	
	BATU-1-2	4.7	3.7	34.2	36.0	3.6	6.6	3.2	1.0	42.1	
	NARA-1-1	5.7	1.3	4.5	8.7	1.9	0.7	0.3	0.1	68.8	
	NARA-1-2	5.6	0.7	9.2	6.3	2.1	0.8	0.3	0	35.5	
	MK-1	5.3	3.5	19.9	9.1						0.26
	TT-1	4.0	3.5	22.4	20.6						0.12
Shallow Peat Soil (SP)	S-7-1	3.7	15.6	84.1	65.3	8.1	11.3	3.9	1.4	29.3	0.12
	S-7-2	3.5	12.9	108.1	96.9	12.7	15.5	7.5	0.3	33.3	
	S-8-1	3.9	16.1	100.0	74.5	11.0	12.6	4.6	1.3	29.5	0.18
	S-8-2	3.9	14.9	99.8	73.1	10.2	11.3	4.7	0.8	27.0	
	S-9-1	3.7	19.1	95.8	83.0	9.9	11.2	3.8	1.4	27.5	0.14
	S-9-2	3.6	14.4	95.6	76.8	11.3	11.6	9.6	1.3	35.4	
	MK-2	4.4	13.8	91.4	35.5						0.14
Deep Peat Soil (DP)	D-4-1	3.5	19.0	104.6	88.1	13.1	15.8	5.2	2.7	35.1	0.46
	D-4-2	3.6	16.4	96.4	87.6	11.4	13.1	5.0	2.8	33.5	
	D-5-1	3.7	18.6	109.3	114.0	24.0	22.4	7.6	2.4	51.6	0.13
	D-5-2	3.5	17.0	96.7	82.7	16.7	13.4	10.8	2.3	44.6	
	D-6-1	3.5	19.9	104.3	84.8	15.2	16.0	5.9	2.5	38.0	0.15
	D-6-2	3.4	15.6	107.0	89.2	12.1	13.7	5.8	2.0	31.3	
	BATU-2-1	3.5	14.9	107.2	92.7	21.4	20.6	0.9	0.9	33.1	
	BATU-2-2	3.5	12.8	106.3	95.2	18.7	12.3	0.9	0.1	30.0	
	TT-2	4.3	17.2	82.0	60.4						0.26

SP 土壌 = DP 土壌であった。一方、交換性ナトリウム含量では土壌タイプごとに差は認められなかった。ティンギ土壌採取地点はバツパハト土壌採取地点に比較して海岸に近いことから、交換性ナトリウム含量は土壌タイプよりも立地条件に大きく支配されたものと考えられた (Funakawa et al. 1996)。交換性カリウム含量は、MI 土壌 = SP 土壌 < DP 土壌であった。DP 土壌の交換性カリウム含量が他の土壌より高い原因として、植物体中のカリウムが容易に抽出されることが関連していると考えられた。しかし、SP 土壌のカリウム含量が低い原因は不明である。

地下水のアンモニア態窒素濃度では、土壌タイプごと

に差は認められなかった。地下水のアンモニア態窒素濃度は、0.1–0.5 mg l⁻¹ であったため、1 m⁻³ の水から 100–500 mg の窒素をサゴヤシに供給することが可能となる。地下水中のアンモニア態窒素はサゴヤシの生育に影響を与えるものと予想された。

(3) 陽イオン交換容量

有機質土壌は変異荷電を示すと考えられるため、pH4 及び pH7 で陽イオン交換容量 (CEC pH4, CEC pH7) を検討した。CEC pH4 及び CEC pH7 とともに、MI 土壌 < SP 土壌 = DP 土壌であった (Table 3)。

MI 土壌では、CEC pH4/CEC pH7 が 0.9 以上である土壌が大部分であった。M-1-1, M-1-2 及び M-3-1 では

Table 3 Variable charge of peat and mineral soils

Soil type	CEC pH 4/CEC pH 7*2			Soil pH
	> 0.9	0.9-0.7	0.7 >	
Mineral Soil	8*3	1	3	4.5
Peat Soil*1	2	13	1	3.7

*1 Deep peat and shallow peat soils

*2 CEC was evaluated at pH 4 (CEC pH 4) and at pH 7 (CEC pH 7).

*3 Number of soil sample

全窒素含量が 10 g kg^{-1} 以上であり、鉍質土壌内の有機質土壌層である可能性がある。一方、これら土壌の CEC pH4/CEC pH7 は 0.92-0.96 の範囲にあり、比較的小さな変異荷電を示した。しかし本試験では炭素含量の測定をしていないため M-1-1, M-1-2 及び M-3-1 が鉍質土壌であるかどうかを判断できなかった。

DP 及び SP 土壌では CEC pH4/CEC pH7 が 0.7 から 0.9 の範囲にあるものが大部分であった (Table 3)。DP 及び SP 土壌の pH は平均 3.7 であることより、現地泥炭土壌の CEC はさらに低くなる可能性がある。弱酸基に吸着した交換性アンモニア態窒素は強酸基に吸着したものよりも放出されやすいことが知られている (永田・村松 1962)。泥炭土壌では pH の変化による CEC の変化が鉍質土壌より大きいことから、荷電は弱酸基によるものが多いものと考えられる (久津那・野本 1960)。泥炭土壌中での無機態窒素の挙動では、流亡や溶脱による窒素ロスを考慮に入れる必要があると考えられる。

本試験では CEC の測定においてアルコールを用いて過剰塩の除去を行った。しかし、有機質土壌ではアルコール洗浄により CEC を過小評価する場合がある (原田 1984)。今後、非アルコール洗浄による CEC を併せて検討する必要がある。

(4) 土壌窒素無機化量

サゴヤシの窒素栄養の改善のために窒素施肥は有効な方法と考えられる。しかし、サゴヤシの窒素施肥法確立のためには土壌から供給される窒素無機化量を把握する必要がある。現在サゴヤシのプランテーションがインドネシア・リアウ州及びマレーシア・サラワク州で行われている (山本 1998)。そこで両地域の泥炭土壌及び鉍質土壌について湛水培養による窒素無機化量を検討した。

使用した土壌の化学性は Table 2 に示した。鉍質土壌ではテビンティンギ土壌 (TT 土壌) よりもムカ土壌 (MK 土壌) で高い pH を示した。一方、テビンティンギ土壌及びムカ土壌とも全窒素量は 3.5 g kg^{-1} であった。泥炭土壌ではテビンティンギ土壌及びムカ土壌ともほぼ同

じ土壌 pH を示した。一方、テビンティンギ土壌はムカ土壌よりも高い全窒素量を示した。

湛水培養を行った結果は単純型反応モデルにあてはめた (1)。Fig. 1 に 3 つの温度条件で測定した土壌窒素無機化量を 25°C 変換日数で示した。土壌窒素無機化量の測定に供試したすべての土壌で、 25°C の無機化曲線上に重ね合わせる事ができた。ムカの泥炭土壌では、 25°C 変換 100 日で約 4.5 mg kg^{-1} 、鉍質土壌では約 1.6 mg kg^{-1} の窒素無機化量を示した。一方、テビンティンギの泥炭土壌では 25°C 変換 100 日では約 5.8 mg kg^{-1} 、鉍質土壌では約 1.2 mg kg^{-1} の窒素無機化量を示した。両地域ともに、泥炭土壌は鉍質土壌の 3-5 倍の窒素無機化量を示した。泥炭土壌を比較すると、ムカ土壌よりもテビンティンギ土壌において培養初期から終期まで高い窒素無機化量を示した。鉍質土壌を比べると、テビンティンギ土壌よりもムカ土壌において高い窒素無機化量を示した。

Table 4 は窒素無機化量をモデル式にあてはめて得られたパラメータについて示している。両地域の易分解性窒素量 (N_0) は泥炭土壌で 3.5 mg kg^{-1} 前後、鉍質土壌では 0.9 mg kg^{-1} 前後であった。 N_0 は鉍質土壌よりも泥炭土壌で高く、またテビンティンギとムカ土壌間に大きな差は認められなかった。鉍質土壌の無機化速度定数 (k) は地域間で差は認められなかったが、泥炭土壌の k はテビンティンギ土壌がムカ土壌の約 2 倍を示した。また、泥炭土壌の k は鉍質土壌に比べて高い傾向にあった。活性化エネルギー (E_a) はムカの鉍質土壌のみ 24100 であり、その他の土壌では約 16000-17400 であった。

杉原らは (1986) は日本の畑土壌の窒素無機化について速度論的解析を行い、 k は 0.0027-0.0067、平均 0.0041 ($25^\circ\text{C day}^{-1}$)、 E_a は 15000-23300 であることを報告している。本試験の E_a は杉原の報告のものとはほぼ同じであった。一方、本試験で用いた泥炭土壌及び鉍質土壌の k は 0.023-0.067 であることより、杉原の k に比べ約 10 倍の値を示している。一般に、土壌 pH が低い場合には、土壌有機物の分解速度が遅いものと考えられる (Benoit and

Table 4 Parameters for nitrogen mineralization in laboratory incubation of soils

Location and soil type		N-mineralization potential mg kg ⁻¹	Mineralization rate constant day ⁻¹	Apparent activation energy cal mol ⁻¹
Tebingtinggi	Peat soil	3.43	0.067	17400
	Mineral soil	0.84	0.023	16000
Mukah	Peat soil	3.78	0.034	16500
	Mineral soil	0.99	0.028	24100

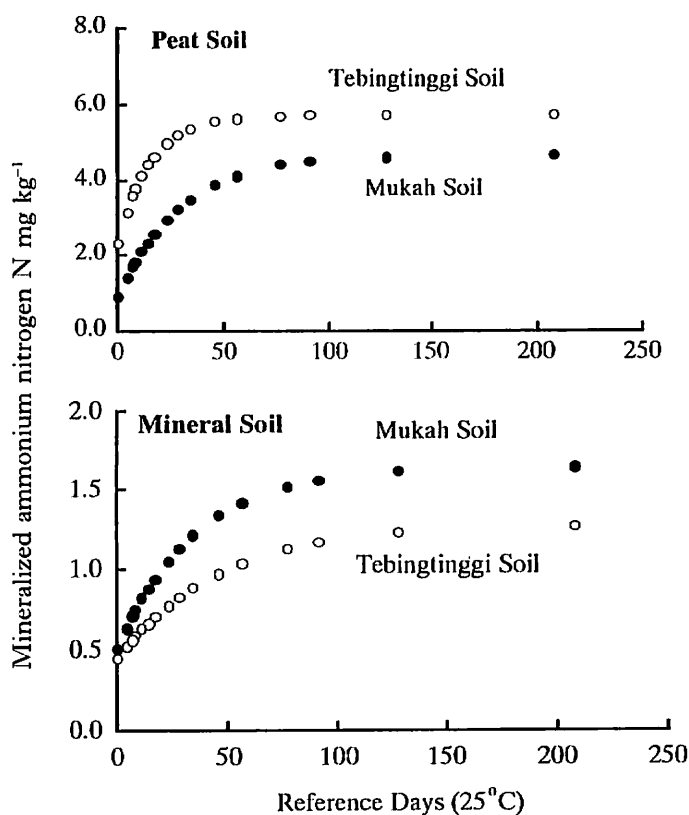


Fig. 1 Time course of N-mineralization in incubated soils.

Starkey 1968, Aoyama and Kuroyanagi 1996)。ムカ土壌及びテピンティング土壌の pH は 4.0-5.3 であった (Table 2)。このため、窒素無機化量の測定に供試したすべての土壌 pH は、土壌窒素無機化反応に対して負の要因と考えられる。ムカ及びテピンティング土壌で高い k を示す原因は不明であり今後の検討課題である。

(5) サゴヤシの生育に及ぼす土壌の窒素環境

サゴヤシの生育は鉍質土壌よりも泥炭土壌で遅れることが報告されている (佐藤ら 1979, Yamaguchi et al.

1997)。本試験における泥炭土壌の窒素無機化量及び無機化速度は鉍質土壌のものに比べ高い水準にあった。これらの結果は、サゴヤシの生育が泥炭土壌で遅れる理由が土壌の窒素環境とは無関係であることを示すようにみえる。

一方、泥炭土壌は鉍質土壌に比べ容積重が極めて小さい。ムカとテピンティング両地域における泥炭土壌の容積重は 0.15-0.20 g cm⁻³、鉍質土壌の容積重は 0.90-1.10 g cm⁻³ であった。圃場条件下の泥炭土壌と鉍質土壌がサゴ

ヤシへ供給できる窒素無機化量を比較する場合には、土壌容積をもとに計算した窒素量で検討する必要がある。かりに泥炭土壌の容積重を 0.20 g cm^{-3} として窒素無機化量を計算すると、鉍質土壌及び泥炭土壌の 25°C 変換 100 日の窒素無機化量は 1.2–1.4, 0.9–1.2 mg となる。圃場条件では鉍質土壌よりも泥炭土壌で窒素栄養条件が劣ることが推察される。

泥炭土壌及び鉍質土壌の容積重の違いは CEC に対しても影響すると考えられる。泥炭土壌の CEC はいずれの地域においても約 100 cmol kg^{-1} を示していたが、容積重をもとに計算するとその値の 20% に減少する。さらに泥炭土壌の荷電は弱酸基によるものが多いと予想されることと考えあわせると、土壌の窒素吸着強度においても泥炭土壌は鉍質土壌よりも低くなると予想される。

サゴヤシの生育は泥炭層が厚いほど遅く、泥炭層が薄くかつ下層が鉍質土壌であると良いとする報告がある(佐藤ら 1979)。本試験の結果より、泥炭土壌のサゴヤシの生育が鉍質土壌のサゴヤシに比べて遅れる原因は、泥炭土壌より供給される土壌窒素無機化量が少ないためと予想される。さらに、泥炭土壌に生育するサゴヤシに対し施肥窒素の影響が認められない (Kueh 1995) 理由は、泥炭土壌の窒素吸着力が弱く施肥窒素ロスが生じるためと推測される。

謝辞

本研究は、トヨタ財団の助成(助成番号 96B3–106, 研究代表者高知大学農学部 山本由徳)によるものである。ここに記して謝意を表する。

引用文献

安藤 豊・庄子貞雄 1986 水田土壌中の地力窒素の発現と施用窒素の土壌中での固定について. 土肥誌 57: 1–7.
Aoyama, M. and S. Kuroyanagi, S. 1996 Effects of heavy metal accumulation associated with pesticide application on the decomposition of cellulose and orchard grass in soils. *Soil Sci. Plant Nutr.* 42: 121–131.
Benoit, R. E. and Starkey, R. L. 1968 Inhibition of decomposition of cellulose and some other carbohydrates by tannin. *Soil Sci.* 105: 291–296.
Flach, M. and Schuiling, D. L. 1991 Growth and yield of sago palms in relation to their nutritional needs. *Proceedings of the Fourth Int. Sago Symposium, Kuching, Sarawak, Malaysia.* 103–110.

Funakawa, S., Yonebayashi, K., Shoon, J. F. and Khun, E. C. O. 1996 Nutritional environment of tropical peat soils in Sarawak, Malaysia based on soil solution composition. *Soil Sci. Plant Nutr.* 42: 833–843.

原田靖生 1984 土壌の陽イオン・陰イオン交換容量, 測定法とその背景. 土肥誌 55: 273–283.

Kueh, H. S. 1995 The effects of soil applied NPK fertilizers on the growth of the sago palm (*Meteroxyylon Sagu, Rottb*) on undrained deep peat. *Fifth Int. Sago Symposium. Acta Horticulturae* 389, 67–75.

久津那浩三・野本亀雄 1960 土壌吸着基の特性について (第 2 報) NH_4^+ 吸収型および Ca^{++} , NH_4^+ の選択吸収について. 土肥誌 32: 243–246.

奥田 東・山口益郎 1965 Formol 法によるアンモニア性窒素の定量法. 新改版農芸化学実験書, 第 1 巻, 京都大学農学部農芸化学教室編. pp275–300. 産業図書, 東京

佐藤 孝・山口 禎・高村泰樹 1979 サゴヤシの栽培と収穫・調整. 熱帯農業 23: 130–136

下田博之・パワー A. P. 1990 パプアニューギニア, 東セピック州のサゴヤシ林の実態とその澱粉生産性に関する調査研究 第 1 報 調査値の概要とサゴ林の自然環境. 熱帯農業 34: 292–233.

杉原 進・今野隆光・石井和夫 1986 土壌中における有機態窒素無機化の反応速度論的解析法. 農環研報 1: 127–166.

Sim, E. S. and Ahmed, M. I. 1977 Variation in starch yield of Sarawak, in Sago-'76: Papers of the 1st international sago symposium, ed. Tankoolin, M. A. Kuala Lumpur, 178–180.

高谷好一 1983 南スラヴェシのサゴ生産. 東南アジア研究 21: 235–260.

永田武雄・村松記久夫 1962 置換基の種別による置換アンモニアの放出とその利用の難易 (第 2 報) 種別間の接触置換と幼植物法の成績. 土肥誌 33: 300–302.

Yamaguchi, C., Okazaki, M., Kaneko, T., Yonebayashi, K. and Abdul Halim 1997 Comparative studies on Sago Palm Growth in Deep and Shallow Peat Soils in Sarawak. *Sago Palm* 5: 1–9.

山本由徳 1996 サゴヤシとはどんな植物か. 遺伝 50: 48–53.

山本由徳 1998 サゴヤシ. 国際農林業協力協会(東京) 109.