

半島マレーシア人工林における汚泥堆肥の施肥効果

米田令仁・田中憲蔵（森林総研）・Arifin Abdu（愛媛大学大学院連合農学研究科）
Mohamad Azani Alias・Nik Muhamad Majid（マレーシアプトラ大学林学部）

Abstract: Effects of sewage sludge application for growth and physiological traits on seedlings were studied at plantation forest in Pedas, Negeri Sembilan, Peninsula Malaysia. Four tree species, *Acacia mangium*, *Hopea odorata*, *Dyera costulata* and *Cinnamomum iners* were selected. The tree height, the collar diameter, photosynthetic rate at light saturation (P_{max}), leaf mass per area (LMA) and leaf nitrogen content (N_{area}) were measured at 18 months after planting. Seedlings that applied sewage sludge showed higher tree height and collar diameter than non-application seedlings. However, the growth rate of the application seedlings might decrease from 12 month after planting. After 18 months, there were no significant different for P_{max} , LMA and N_{area} between the application and the non-application seedlings for *A. mangium*, *H. odorata*, and *D. costulata*. However, lower P_{max} , LMA and N_{area} showed on applied seedlings of *C. iners*. These results indicated that effect of sewage sludge application has already run out on planted seedlings at 18 months after planting.

Keywords: Sewage sludge application, Experimental Plantation, Growth, Photosynthesis, Tropical tree species

要旨：マレーシア連邦 Negeri Sembilan 州 Pedas において、汚泥を原料にした堆肥の人工林への導入効果を明らかにするために、植栽・施肥の 18 ヶ月後に 4 樹種(*Acacia mangium*, *Hopea odorata*, *Dyera costulata*, *Cinnamomum iners*) について成長量、葉の形態、光合成速度を施肥区と無施肥区において調べ比較した。その結果、樹高、地際直径の成長量は施肥区で高い値を示し、初期成長量については施肥の効果が見られた。しかし、植栽 12 ヶ月後と 18 ヶ月後の成長量を比べると施肥区では 4 樹種ともに成長量が低下していた。葉の形態や葉内窒素濃度は処理区間で違いは見られなかった。光飽和最大光合成速度を比較すると *Cinnamomum iners* において施肥区が無施肥区より低い値を示した。この原因として施肥区において気孔コンダクタンスと葉内窒素濃度が低いことが一因であると考えられた。このことから、植栽初期に施肥の効果が見られた 4 樹種は、18 ヶ月後には肥効が無くなり、*C. iners* については、窒素不足によって生理機能が低下していることが示唆された。

キーワード：施肥試験、植栽試験、成長、光合成、熱帯樹種

I はじめに

これまでに熱帯地域では荒廃した熱帯林の修復に関して様々な研究がおこなわれてきた(1,8,11)。土壌の劣化が深刻な場所においては施肥を行うことで植栽初期の枯死率をさげる必要があり、これまでに植栽する際に施肥を行う植栽試験もおこなわれてきた(6,7)。また、短伐期の人工林において施肥を行う事例がある。熱帯地域では、肥料の購入の際の金銭的な問題に加えて、各家庭から排出される汚泥の問題も深刻化していることから、過剰にある汚泥を荒廃地植林に有効に利用できるか検証し、可能であれば植林技術に導入することもできると考えられる。これまで汚泥由来の肥料を林地に用いた研究が多くなされており、その効果も確認されている(2,3,4)。しかし、施肥の効果は長く続かないとされており、熱帯地域において化学肥料を用いた試

験では、施肥の効果は最初だけでその後は成長、光合成能力が低下すると報告されている(6,7)。汚泥由来肥料についても、温帯の人工林で行われた研究では施肥効果が数年で無くなるとされている(5)。これらのことから、熱帯地域においても汚泥由来肥料の肥効持続性に関する検証が必要であると考えられる。

本研究では汚泥由来の肥料を施肥し、植栽初期に施肥効果が確認された人工林(2)において、18 ヶ月後の植栽木の成長量と生理生態特性を比較し、施肥効果が持続しているかを検証する。

II 調査地の概況および調査方法

調査はマレーシア連邦 Negeri Sembilan 州 Pedas の Indah Water Consortium 社所有地内の試験場（東経 102°04'、北緯 2°35'）においておこなった（図-1）。調

Reiji YONEDA, Tanaka KENZO (Forestry and Forest Products Research Institute, (FFPRI), 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki 305-8687), and Arifin ABDU (United Graduate School of Agricultural Sciences, Ehime University), Mohamad Azani ALIAS and Nik Muhamad MAJID (Faculty of Forestry, Universiti Putra Malaysia). Effects of sewage sludge application on planted seedlings at plantation forest in Peninsula Malaysia.

査対象樹種として *Acacia mangium* (マメ科)、*Hopea odorata* (フタバガキ科)、*Dyera costulata* (キョウチクトウ科)、*Cinnamomum iners* (クスノキ科) の4樹種が選ばれた。マレーシアプトラ大学 (UPM) 林学部内の苗畑において、寒冷紗を用いて相対照度を約 40% に制御し、スプリンクラーで定期的に灌水した1年生の苗を用い、植栽地に移しハードニング処理を行ったうえで2002年11月に植栽をおこなった。植栽は1m間隔で列状に植栽し、列の間隔を3mとした。列の間に幅約1m、深さ約1mの溝を掘り、溝の中に汚泥由来の肥料を入れた(図-1)。この肥料は人糞や生ゴミを原料とし、窒素(約5%)やリン(約3%)が含まれている。比較対象のために施肥をしない無施肥区も設定した。

各個体について、携帯式光合成蒸散測定装置(LI-6400, Li-cor)を用いて成熟葉の光飽和最大光合成速度(P_{max})、気孔コンダクタンス(g_s)を調べた。測定の際、 CO_2 濃度は $360 \mu mol m^{-2} s^{-1}$ に設定した。採取した葉を温度80度に設定したオーブンで乾燥させ、葉面積比(LMA; Leaf Mass Area, 葉乾重/葉面積)を求めた後、NCアナライザー(NC-900, Sumigraph)を用いて葉内窒素濃度(N_{area})を測定した。

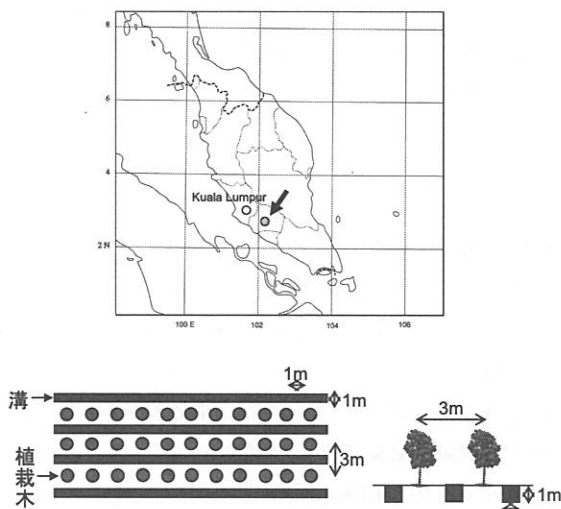


図-1. 調査地および植栽試験のデザイン.

Figure-1. Location of study site and experimental design of plantation site.

III 結果と考察

1. 植栽18ヵ月後の植栽苗の成長量 植栽苗の樹高を比較すると、施肥をした個体の樹高は施肥をしていない個体よりも高かった(図-2)。特に施肥を行った *A. mangium* では高い樹高成長を示し、樹高は $8.33 \pm 0.17m$

で、無施肥区の約2倍になった。*H. odorata*、*D. costulata*、*C. iners*の樹高はいずれも施肥区で約2m、無施肥区で約1.3mであった。ARIFINら(2)が同試験地において、植栽時12ヶ月後に行った測定の値と比較すると、施肥区では12ヶ月後の樹高と18ヶ月後の樹高はほぼ同じであった。このことから、施肥区では植栽12ヶ月後から18ヶ月後にかけて樹高成長がほとんど無かったと考えられた。無施肥区でも、植栽12ヶ月後の *A. mangium*、*D. costulata*、*C. inners*の樹高がそれぞれ約4.5m、1.7m、1.3mであったことから、12ヶ月後から18ヶ月後までの成長量は少なかった。しかし *H. odorata* については、植栽12ヶ月後に約1mだった樹高が18ヶ月後では $1.45 \pm 0.13m$ を示し、6ヶ月の間に樹高が約1.5倍高くなった。地際直径についても樹高と同じ傾向を示した(図-2)。

この結果から、化学肥料を用いた熱帯樹種の研究例と同様に(6,7)、施肥区において、施肥初期の段階では高い成長量を示し、12ヶ月以降は肥効が弱まり植栽木の成長量が急激に落ちたと考えられた。

2. 葉の光合成、形態、窒素濃度 植栽苗の光合成速度を比較すると *A. mangium*、*H. odorata*、*D. costulata*では施肥区と無施肥区の間で光飽和最大光合成速度(P_{max})の差は見られなかったが、*C. iners*では施肥をした個体のほうが低い P_{max} を示した(図-3)。*C. iners*の P_{max} を調べた研究では P_{max} は約 $14 \mu mol m^{-2} s^{-1}$ と報告されており(10)、施肥区の P_{max} は比較的低い値を示していると考えられる。

A. mangium、*H. odorata*、*D. costulata*において、葉内窒素濃度(N_{area})は施肥と無施肥の間で有意差は見られなかった。汚泥由来肥料の施肥によって、植栽木の葉内窒素濃度が増加することが報告されているが(3)、

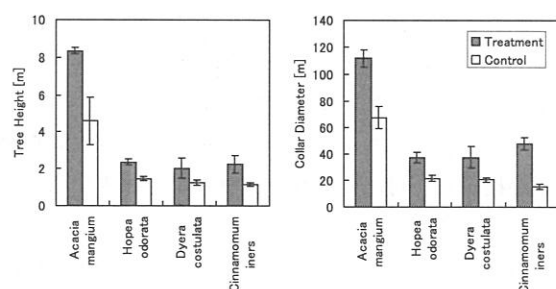


図-2. 植栽木の樹高と地際直径。(平均±SE)

Figure-2. Tree height and collar diameter of planted seedlings. (Mean±SE)

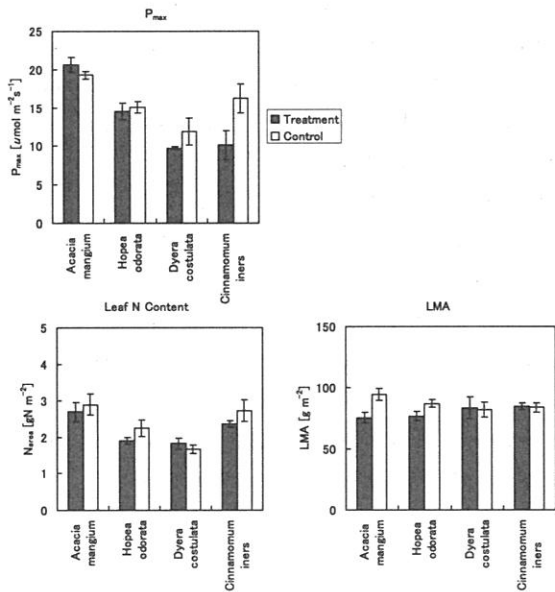


図-3. 植栽木の光飽和最大光合成速度 (P_{max})、葉内窒素濃度 (N_{area})、葉面積比 (LMA)。(平均±SE)

Figure-3. Light-saturated maximum photosynthetic rate (P_{max}), leaf nitrogen content (N_{area}) and leaf mass per area (LMA) of planted seedlings. (Mean±SE)

本研究では施肥区と無施肥区の間で N_{area} に有意差がないことから、植栽 18 ヶ月後では施肥による葉内窒素の増加は認められなかった。*C.iners* では無施肥区が施肥区より高い N_{area} 値を示した。樹種で比較すると *A. mangium* と *C. iners* で高い N_{area} 値を示した (図-3)。

LMA の変化は光環境の変化に対して葉の厚さがどのように変わったかを示す指標になるが(9)、LMA の値は *H. odorata*、*D. costulata*、*C. iners* では処理区間の差が無く、*A. mangium* のみ無施肥区のほうが高い LMA の値を示した (図-3)。このことから、*H. odorata*、*D. costulata*、*C. iners* では、植栽 18 ヶ月後には施肥による葉の構造に違いが確認されなかった。

3. 光合成特性、葉内窒素の関係 P_{max} と気孔コンダクタンス (g_s) の間に強い正の相関が見られた (図-4)。

また、 P_{max} は N_{area} とも強い正の相関が確認された (図-4)。これらのことから、本研究で高い P_{max} を示した植栽木では高い g_s と N_{area} を持つと考えられた。*C. iners* において、施肥区の P_{max} が無施肥区より低い値を示したのは、無施肥区のほうが高い N_{area} であったことが一因にあると考えられた。

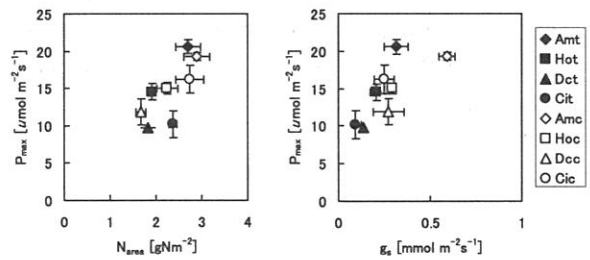


図-4. 葉内窒素濃度 (N_{area})、気孔コンダクタンス (g_s) と光飽和最大光合成速度 (P_{max}) の関係

Figure-4. Relationship between leaf nitrogen content, stomatal conductance and light-saturated maximum photosynthetic rate (P_{max})

Amt: *A. mangium*, Hot: *H. odorata*, Dct: *D. costulata*, Cit: *C. iners*, Amc: *A. mangium* (control), Hoc: *H. odorata* (control), Dcc: *D. costulata* (control), Cic: *C. iners* (control)

IRINO らのフタバガキ科樹木を用いた研究においても、施肥後 8 ヶ月は植栽木の成長量も高く、施肥の効果が確認されたが、その後は葉内窒素が無処理区よりも低い値を示し、それに伴い光合成速度も減少した(6,7)。これらのことから、本研究においても、汚泥由来の堆肥を施肥した結果、初期の成長はよいが、植栽 18 ヶ月後では、施肥効果は無くなっていることが考えられた。その影響が一番早く現れたのが *C. iners* で、葉内窒素などが減少し、光合成速度も低下したことが考えられた。

IV おわりに

本研究より、汚泥由来の肥料は化学肥料を与えたときと同様の結果を示し、肥効が 1 年程度で切れると考えられた。植栽 18 ヶ月後は施肥の効果が無くなり、樹種によっては葉内窒素が低下し光合成機能が落ち始めていた。今後、追肥することで養分を補うのか、もしくは他の方法を行うべきなのか、判断する必要があるだろう。

引用文献

- (1) ALIAS, M.A., HAMZAH, M.Z., FUJIWARA, K. and MEGURO, S (1998) Rehabilitation of tropical rainforests based on potential natural vegetation species for degraded area in Sarawak, Malaysia. *Tropics* 7: 223-239.
- (2) ARIFIN, A., AZANI, M.H., NIK MUHAMAD MAJID, and

- ZAKI, M.H. (2004) Effects of sewage sludge application on growth performance of five timber tree species in Malaysia. In MATSUMOTO, Y. et al. (edt). *Rehabilitation of Degraded Tropical Forests, Southeast Asia 2005*. 123-131.
- (3) BRAMRYD, T. (2001) Effects of liquid and dewatered sewage sludge applied to a Scots pine stand (*Pinus sylvestris* L.) in Central Sweden. *Forest Ecology and Management*. **147**:197-216.
- (4) EGIARTE, G., CAMPS ARBESTAIN, M., ALONSO, A., RUIZ-ROMERA, E., PINTO, M. (2005) Effect on repeated applications of sewage sludge on the fate of N in soils under Monterey pine stands. *Forest Ecology and Management*. **216**: 257-269.
- (5) HART, J.B., NGUYEN, P.V., URIE, D.H., BROCKWAY, D.G. (1988) Silviculture use of wastewater sludge. *Journal of Forestry*. **86**: 17-24.
- (6) IRINO, K.O., IBA, Y., ISHIZUKA, S., KENZO, T., RIPOT, S., KENDAWANG, J.J. MIYASHITA, N., NARA, K., HOGESTU, T., NINOMIYA, I., IWASAKI, K. and SAKURAI, K. (2004) Effects of controlled-release fertilizer on growth and ectomycorrhizal colonization of pot-grown seedlings of the dipterocarp *Dryobalanops lanceolata* in a tropical nursery. *Soil Science and Plant Nutrition* **50**: 747-753.
- (7) IRINO, K.O., KANG, Y., KENZO, T., HATTORI, D., ISHIZUKA, S., NINOMIYA, I., IWASAKI, K., KENDAWANG, J.J. and SAKURAI, K. (2005) Performance of post-grown seedlings of the Dipterocarp *Dryobalanops lanceolata* with controlled-release fertilizer after transplantation to the shifting cultivation land in Sarawak, Malaysia. *Soil Science and Plant Nutrition* **51**: 515-523
- (8) KENZO, T., ICHIE T, OZAWA, T, KASHIMURA, S., HATTORI, D., IRINO, K.O., KENDAWANG, J.J., SAKURAI, K, and NINOMIYA, I. (In press) Leaf physiological and morphological responses of seven dipterocarp seedlings to degraded forest environments in Sarawak, Malaysia: A case study of forest rehabilitation practice. *Tropics*.
- (9) LARCHER, W. (2003) *Physiological plant ecology*. 4th Edition. 513pp. Springer-Verlag, New York.
- (10) MATSUMOTO, Y., MARUYAMA, Y., UEMURA, A., SHIGENAGA, H., OKUDA, S., HARAYAMA, H., KAWARASAKI, S., HOE, A.L., and YAP, S.K. (2003) Gas exchange and turgor maintenance of tropical tree species in Pasoh Forest Reserve. In OKUDA, T. et al. (edt) Pasoh -Ecology of a lowland rain forest in Southeast Asia-. Springer-Verlag. Tokyo. 241-250.
- (11) OTSAMO, A., ÄDJERS, G., HADI, T.S., KUUSIPALO, J., and VUOKKO, R. (1997) Evaluation of reforestation potential of 83 tree species planted on *Imperata cylindrical* dominated grassland. *New Forest* **14**: 127-143.