

外生菌根を形成したフタバガキ(*Dryobalanops lanceolata*) 苗への肥効調節型被覆肥料施肥の試み

入野(岡村)和朗^{*1}・田中憲蔵^{*2}・服部大輔^{*3}・二宮生夫^{*4}・櫻井克年^{*5}

1. はじめに

現在もなお失われつつある熱帯雨林に対し、森林の再生・修復は急務となっている。本誌 62 号にて櫻井ら¹⁾が報告したように、マレーシア・サラワク州において荒廃した森林生態系の修復を目指し、主としてフタバガキ樹種（以後単にフタバガキとする）を用いた植林を進めている。筆者らは、プロジェクトの基盤のひとつとして、苗畑におけるフタバガキの苗作りを中心に研究を進めてきた。

荒廃地におけるフタバガキ植林には、いくつかの困難な課題が存在する。特筆すべきものは、フタバガキ苗の脆弱性と荒廃地の土壤環境の悪さである。一般的に、フタバガキは乾燥に弱い上に成育が遅いため、植林初期には定期的なメンテナンスをしないと、周りの雑草などとの生存競争に負けてしまう。また、熱帯雨林気候下における荒廃地では、ほぼ毎日もたらされる激しい降雨による表土流失とそれとともにう養分流亡が生じるため、土壤肥沃度はきわめて貧しい土地も多い。他方、熱帯雨林気候といえども数週間にわたって雨がほとんど降らない一時的な乾燥も生ずることがある。特に荒廃地では日陰をつくるような高木が少ないので、乾燥時には土壤もまた非常に乾燥しやすくなる。このような厳しい土壤環境条件のもとでフタバガキ植林を行うためには、苗畑で健全な苗を生産し管理することが必須となる。

ところが、サラワク州の現場苗畑における苗の状態をみると、苗丈は十分で

Kazuo Okamura Irino, Kenzo Tanaka, Daisuke Hattori, Ikuo Ninomiya, and Katsutoshi Sakurai: Trial of Application of Controlled-release Fertilizer to Dipterocarp (*Dryobalanops lanceolata*) Seedlings Colonized with Ectomycorrhizal Fungi

*¹高知大学農学部（現 高知県産業振興センター）、*²愛媛大学農学部（現 森林総合研究所）、*³愛媛大学大学院連合大学農学研究科、*⁴愛媛大学農学部、*⁵高知大学農学部

あるものの、茎が細く貧弱で、葉数も少なく、しばしば葉に窒素欠乏症が見られる。こうした苗木の根には菌根菌の共生が見られなかったり、あるいはその発達状態が悪かったりすることが多い。これは植林現場での雑草との光競合に勝つためにはある程度の苗丈が必要なこと、不定期・長間隔で結実するフタバガキ実生苗による植林計画をスムーズに進めるために、苗畠で長い期間苗木状態を保つ必要があること、などの理由から、このような背丈ばかり高く、枝葉の量や養分量が少ない貧弱苗が多いものと思われる。しかし、このような苗では、荒廃地への定植時の活着率の低下は否めない。

そこで、植林地への定植時の苗の活着率向上の対策として、健全苗の育成のために外生菌根形成の促進と苗への施肥法の検討が重要であると考えた。フタバガキの外生菌根共生の重要性については、過去、本誌においても紹介されてきた^{2,3)}。現在までの多くの研究によって、菌根共生が宿主植物の土壤からの養・水分の吸収促進、成長の促進に寄与することなどが知られている⁴⁾。しかし、焼畠により植生が失われ、表層土壤が降雨により流されたような土地では、菌根菌は消失してしまう⁵⁾。すなわち、のような荒廃地においてフタバガキの植林を成功させるには、苗畠において苗に外生菌根を形成しておく必要があるだろう。他にも、適切な施肥管理を行い苗の栄養状態を適切に保つことも、健全な苗を生産する上で重要である。しかし、液肥や即効性の化学肥料の施肥は、同時に宿主の菌根形成を抑制することが知られている^{6,7)}。

施肥と菌根形成という両者の間のジレンマを解消するために、700日という長期間にわたって緩やかな肥効を示す特性をもつ肥効調節型被覆肥料（以降、被覆肥料と記す）と即効性の化学肥料による施肥を試み、苗畠から植林地移植後までを通してフタバガキ苗の成長とその菌根形成状況について調査を行ったので、その内容^{8,9)}を紹介する。

2. 実験材料と方法

試験地は、サラワク州ミリ地区ニアにあるサラワク森林局ニア森林研究所（北緯3度41分東経113度39分）内の苗畠と森林保護区を行った。森林保護区の詳細は、高知大学の服部らによって本誌（26～33頁参照）上で紹介されている。まず、試験苗畠近辺の森林において、表層から深さ50cmまでの土壤を採取した。採取した土壤と川砂とを体積比1:1で混合したポット用土を調整し、1.2L容のビニルポットに充填した。このポット用土は、ニア森林研究所の苗畠で通常用いられているものであるが、養分含量は極めて乏しい。試験には、サ

ラワクの代表的な植林樹種であるフタバガキ科の *Dryobalanops lanceolata* の 20 ヶ月生苗を用いた。外生菌根菌の形成は森林表土中に含まれる菌による自然感染によった。試験には、日本製の 700 日型の肥効調節型被覆肥料（窒素 12 : リン 14 : カリウム 12, チッソ株式会社）と、現地で植林などの際に従来用いられているマレーシア製の化学肥料（窒素 15 : リン 15 : カリウム 15, Hoechest Ltd. Berhad）を用いた。本被覆肥料は、熱帯雨林の高温多湿な条件においても、長期間、安定した肥効を発揮しうることを想定し開発された試作品である。被覆肥料あるいは化学肥料をポット当たり 2, 5, 10 g 与えた処理区を各処理区 20 ポット、合計 120 ポットと、無施肥の対照区を 40 ポット準備した。苗畑にて、これらの苗を 30% の日陰下で 16 ヶ月間栽培した後、施肥区については各 4 本の苗を、対照区については 8 本を採取し、菌根形成状態と養分分析に供した。その 1 ヶ月後に化学肥料区にのみ追肥を施し、さらに 1 ヶ月間、苗畑で栽培した後、森林保護区内の試験プロットに苗を移植した。試験プロットは焼畑後の草地（1~2 年経過）を皆伐して設けた（写真 1 および 2）。移植から 16 ヶ月後（開始から 34 ヶ月後）に苗を採取し、菌根形成及び養分分析に供した。

試験期間中、1 ヶ月毎に苗の生存率と高さの測定を行った。試験開始から 16 ヶ月後と 34 ヶ月後の苗採取時に苗の根を観察し、根の先端部分に形成された菌根の割合を菌根形成率として測定し、同時に各処理区の非菌根形成苗の本数を調べた。採取した苗の乾物重を測定した後、養分含有率を分析した。ポット及び植林地で採取した土壤については、全チッソ、有効態リン、交換性カリウム等の一般理化学性の分析に供した。

3. 結果と考察



写真 1 苗畑における 16 ヶ月後の実験苗の様子（左から、化学肥料 10 g 区・5 g 区・2 g 区、対照区、被覆肥料 2 g 区・5 g 区・10 g 区）

3-1 苗 畑

まず、無施肥の対照区苗についてみると、苗高成長が悪く（写真 1）、窒素欠乏による葉の黄化が見られた（図 1）。ポット内土壤の養分含量は著しく少なく、植物体の養分状態及び根の菌根形成率も悪く、菌根非形成苗が約 7 割と非常に多かった。やはり、苗畑での *D. lanceolata* の長期にわたる育成には、適切な施肥が不可欠であるとい

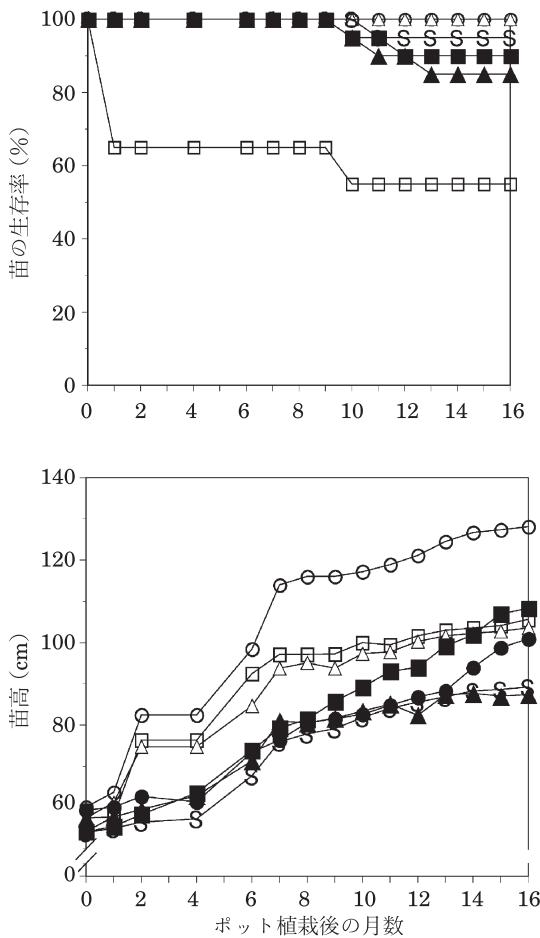


図 1 苗畑における苗の生存率（上図）と苗高成長（下図）
 化学肥料，□: 10 g 区，○: 5 g 区，△: 2 g 区；被覆肥料，
 ■: 10 g 区，●: 5 g 区，▲: 2 g 区；対照区: S. 上図で■
 と●はほぼ同じ値だったので、重なっている。

えるだろう。一方で、化学肥料区についてみると、10 g 区では過剰障害のために施肥直後に半数近くの苗が枯死した（図 1）。化学肥料区の苗の伸長成長は施肥後 7 ヶ月目頃までは著しかったが、それ以降の成長は鈍化した。しかし、初期成長が旺盛だったので、16 ヶ月後でも同レベルの被覆肥料区の苗より苗丈が大きいか、同程度であった。ところが、苗丈は大きかったが、苗の葉数は少

なく、黄化もみられ、茎部も細長い貧弱な苗となっており（写真1）、植林地への移植には不適当な苗形態であった。さらに、苗の養分含有率も窒素とカリウムについては施肥による改善がみられず、その上、菌根形成状態も悪いままであった（表1）。ポット用土については、全窒素と交換性カリウム含量に改善は認められなかった。つまり、化学肥料、特に窒素とカリ成分は、ポットからの溶出が早い特性ゆえに、短期間の苗の成長は改善したもの、7ヶ月を過ぎると、ポット内養分は欠乏状態になるようである。結局のところ、化学肥料の一度に多量の施肥は枯損を招き、少量1回だけ施肥では、この試験におけるような16ヶ月という長い成育期間の *D. lanceolata* 苗の養分や菌根形成の改善にはつながらなかった。

被覆肥料区の苗高成長は化学肥料区ほど急激ではなく、16ヶ月間、緩やかで安定した成長を示した。そして、どの処理区でも、枯死した苗はほとんど見られなかった（図1）。施肥から16ヶ月の時点でも土壤の養分状態は良好で、苗の葉も濃い緑色を呈しており、とくに5g区と10g区については、成長、養分状態、さらには菌根形成状態も良好であった（表1）。肥効調節型肥料による持続的かつ緩やかな肥効により、長期にわたり苗の栄養状態が良好に保たれた。そのため、苗が菌根を形成するために必要な光合成産物を長期に生産供給できるようになったのだろうと考えられる。しかし、被覆肥料は2gでは、苗木成長は対照区とほとんど同じで、肥効が認められなかった。一方、10g与えても、過

表1 苗畑における施肥から16ヶ月後の苗の養分状態と菌根形成状態の変化

ポット用土	苗木							
				養分含有率			菌根	
	全窒素	有効態 リン	交換性 カリウム	窒素	リン	カリウム	形成率	形成苗の割合
被覆肥料								
10g	高	高	高	高	高	高	中	多
5g	中	中	中	中	中	中	中	中
2g	低	低	低	低	低	低	低	少
化学肥料								
10g	低	高	低	低	高	低	低	少
5g	低	中	低	低	中	低	低	少
2g	低	中	低	低	中	低	低	少

注) 高、中、低（あるいは多、中、少）はそれぞれの含有率（苗木数）等の相対的評価

剰施肥による苗の枯損も生じなかったので、被覆肥料は施肥量の有効範囲を広くする結果をもたらしたものと考えられる。

3-2 植林地

植林地移植後は、化学肥料、被覆肥料とも2g区では対照区との差が明瞭でなかったが、それ以上の施肥区は、対照区に比して移植後の成長が優れていた(図2)。また、対照区の苗の樹高成長経過から判断すると、移植後数ヶ月目以降は順調に成長をしているので、これ以降は全ての処理区苗とともに植林地の土壤

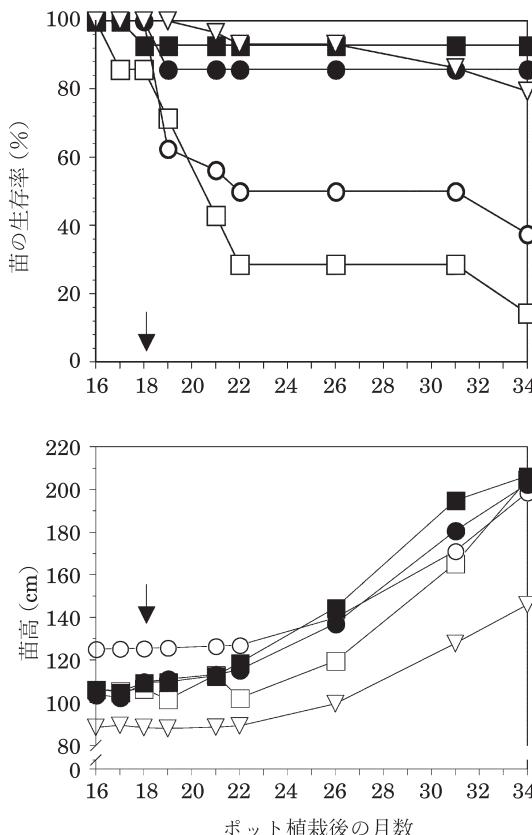


図2 植林地移植後の苗の生存率(上図)と苗高(下図)。化学肥料、□:10g区、○:5g区；被覆肥料、■:10g区、●:5g区；対照区:▽。化学肥料追肥は17ヶ月目、植林地への移植は18ヶ月目(矢印)に実施。化学肥料、被覆肥料とも、2g区は対照区と有意な差が無かったため、図からは省略した。



写真 2 植林地に植栽した試験苗

環境に馴化していたとも考えられる（写真2）。苗畑での苗木の形質や栄養がもっとも大きく影響すると思われる、移植後数ヶ月以内の成長状態についてみると、肥料の種類によって大差がなかった。これについては、化学肥料区の追肥の効果、あるいは化学肥料区の高い枯死率などの関与が考えられるが、詳細な原因は不明である。

肥料処理区の違いは、苗の活着率の違いとしてより顕著に表れた。苗畑でもすでに枯死の目立った化学肥料10g区はもとより、5g区においても半数近くの苗が枯死した（図2）。これは追肥の量が過剰であったためか、苗畑で環境適応力の低い脆弱な苗となってしまっていたためか、あるいは両者の効果であろう。一方で、被覆肥料を用いた場合は、徒長が押さえられた上に、苗の養分蓄積量も十分であったため、移植後の苗の活着率が高く、成長も良好であったものと考える。なお、苗の活着率は対照区や2g区でも高かった。また、現地に移植する際に菌根を形成していた苗の方が非形成苗に比較して、移植後の活着・生存がよくなる傾向が認められた。おそらく、*D. lanceolata*における菌根の重要性は、野外のような養分循環が開放されている条件においてその効果がより発揮されるものと考えられる。

3-3 まとめ

フタバガキ樹種の植林による劣化荒廃地の修復をおこなう場合に、植栽苗木の形質が重要である。サラワク州でよく行われている貧栄養のポット培地を用いて、暗い被陰下で、成長を抑えて長期間の育苗する方法は、過酷な環境の荒廃地に植林するには不適当な不健全苗ができやすい。そこで、施肥による健全苗の育成を試みた。結果を要約すると以下の通りである。

育苗においては、通常の化学肥料区は、①10g/ポットでは施肥量過剰害が生じる、②肥効は7ヶ月程度しか持続しない、③全ての区で著しい徒長苗となつた、④全ての区で菌根の着生が抑制されていた。一方被覆肥料区では、①肥効が17ヶ月間持続した、②10g/ポットでも過剰害は生ぜず、苗木養分の高い苗が生産された、③暗い環境下でも徒長成長が比較的抑制された、④2g区では

対照区と大差なかった、⑤5gと10g区で菌根形成率が高かった。

植林地においては、①両肥料種類区とも2g/ポットでは、対照区と大差なかった、②化学肥料区の5gと10g区の苗の活着率は非常に低かった、③生存苗の苗高成長は肥料の種類で大差がなかった、④移植後数ヶ月目以後は植林地の土壤に順化していた、⑤菌根形成苗は生存率及び成長が高い傾向にあった、⑥移植直前の化学肥料追肥についてはさらに検討が必要である。

これらのことから、徒長苗ができやすい条件下であっても、被覆肥料を施用することによって、移植後の活着・成長がよい健全苗が生産できる可能性が見いだされた。これは以下の被覆肥料の特性効果によると考える。

- a. 苗木養分状態のゆるやかな改善と徒長の抑制
- b. 施肥量の許容範囲の広さによる施肥設計・実施の簡易化
- c. 苗の菌根形成の促進

今後、長期溶出型の被覆肥料の施肥という技術が、熱帯雨林の荒廃地修復に役立つことを願うものである。

〔参考文献〕 1) 櫻井克年・二宮生夫・原田 光 (2005) マレーシア・サラワク州における生態系修復の試み. 热帶林業 61 : 20-28 2) 小川 真 (1991) ラワンときのこ-菌根菌. 热帶林業 22 : 29-38. 3) 菊池淳一・小川 真 (1997) 共生微生物を利用したフタバガキの育苗. 热帶林業 38 : 36-48. 4) Smith, S.E. and Read, D.J. (1997) In Mycorrhizal Symbiosis. Second Edition. 605 p. Academic Press, London. 5) Amaranthus, M.P. (1992) Mycorrhizas, forest disturbance and regeneration in the Pacific Northwestern United States. In Mycorrhizas in Ecosystems. Eds. D.J. Read *et al.* 202-207. CAB International, Cambridge. 6) Xu, D. *et al.* (2001) Effects of P fertilization and ectomycorrhizal fungal inoculation on early growth of Eucalypt plantations in southern China. Plant Soil 233 : 47-57. 7) Baum, C. and Mäk-schin, F. (2000) Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on mycorrhizal formation of two poplar clones (*Populus trichocarpa* and *P. tremula* × *tremuloides*). J. Plant Nutri. Soil Sc. 163 : 491-497. 8) Irino, K.O. *et al.* (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 (5) : 747-753. 9) Irino, K.O. *et al.* (2005) Performance of pot-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 (3) : 369-377.