

山地施肥에 관한 考察¹

李天龍² · 朴烽宇³

Prospects and Effect of Forest Fertilization¹

Chun Yong Lee² · Bong Woo Park³

ABSTRACT

Decrease of the planting area reduced fertilized area of forest. To accomplish the aims of natural regeneration, mini-rotation plantation, diminishing the rotation length, maintaining healthy forest and production of good quality timber, forest fertilization should be continued.

In order to improve the deteriorate situation, slow-release fertilizer applied on top soil needs to be developed and aerial application will give diminished cost.

Fertilization with tending before tree felling in forest will increase the effect of fertilizer more. Proper quantity of fertilizer by tree species and soil fertility should be found out in the future.

Street trees, environmental forest near city and ornamental trees in the residential areas could be also included in this field.

Key words : forest fertilization.

緒 論

우리나라와 같이 樹齡이 어린 山林의 生産性を 增大시키기 위해서는 林道 等の 생산기반 整備, 임업노동성 提高와 山林撫育이 필요한데 이 中 山地施肥가 短期的으로 가장 빠른 方法이다. 따라서 全世界의 山地施肥面積도 1970년까지 약 500만 ha였으나 1980년까지는 약 4,000만 ha로 增加하였다 (Bengtson, 1979). 이에 반하여 우리나라의 施肥面積은 造林面積의 減少에 따라 줄어 들고 있다. 그러나 山地施肥는 木材生産을 증가시키는 直接效果 外에도 임분유펜을 촉진하여 國土保全, 水源涵養, 景觀美向上 等の 公益的 機能을 높이므로 經濟性を 고려하면서 지속적으로 추진할 필요가 있다. 물론 山地施肥가 經濟的인 이유때문에 필요성 자체에 대한

논란이 있으나 造林時의 施肥는 林木生長促進效果가 크고, 成木施肥는 山林生態系의 物質循環 과정에서 地力을 維持, 增進시켜 林木을 質的, 量的으로 向上시키는 效果가 있다. 특히 人工造林을 위한 皆伐과 樹種更新은 林地의 生産力을 저하시키므로 施肥로 이것을 補充해야 한다. 그러므로 本 論文에서는 山地施肥의 方法, 效果 및 經濟性を 考察하여 施肥技術을 確立하고 그 必要性을 강조하는 데 目的을 두었다.

山林用肥料와 養料循環

山林用肥料는 農業用肥料와는 달리 樹種別로 나누어져 있지 않으며 대체로 緩效性肥料와 速效性肥料로 區分한다. 完효성비료에는 1979년에 開發된 山林用 固形複合肥料, 航空施肥用인 粒狀肥料, 鉀산포복비료 등이 있고 速효성비료에는 주로 尿素, 熔過燐, 鹽化加里가

¹ 接受 1月 8日 Recieved on January. 8, 1988

² 林業研究院 Forestry Research Institute, Seoul, Korea

³ 江原大學校 Kangweon National University, Chuncheon, Korea

있다. 그 외에도 有機質肥料이 있으나 특별한 경우에 사용된다. 山林用 固形複合肥料은 1개의 무게가 15g이고 窒素, 磷酸, 加里의 비율이 3:4:1로서 N1.8g, P₂O₅ 2.4g, K₂O 0.6g이며 그 외에 peat나 zeolite가 10% 섞여 있다(李, 1983). 粒狀肥料은 1977년 航空施肥용으로 開發되었는데 비료 3요소와 15:20:5, 10:25:5인 것과 砂防地용으로 9:27:0인 것이 있으며 일에 닿아도 썩지 않는다는 長點이 있다(李, 1981). 鈣산과 燐素비료는 窒素가 서서히 용해되어 식물의 이용도가 높다는 장점이 있으나 값이 비싸 實用化하지 못하였다. 速效性肥料인 尿素(N 46%), 熔過燐(P₂O₅ 20%)과 鹽化加里(K₂O 60%)는 林業에서 가장 많이 쓰이는 單肥로서 苗圃와 砂防地에 주로 사용된다. 이러한 肥料의 土壤內 循環過程을 보면, 尿素는 施肥後 1~2個月 되면 無機態 질소의 농도가 급격히 증가하는데(掘田 等, 1983) 이것은 尿素가 질산화작용이 강한 토양에서는 NO₃-N이 되고 약한 토양에서는 NH₄-N으로 되기 때문이다. 그後 無機態窒素는 점차 減少하여 施肥 3~5個月 後에는 無施肥區와 같아지는데 이것은 질소가 林木에 吸收되고, 土壤으로 溶脫되며 土壤微生物에 利用되었기 때문이다. 토양미생물에 의하여 合成된 질소는 서서히 無機化하여 林木에 지속적으로 양료를 공급하므로 肥效가 상당기간 계속된다(河田, 1977).

燐酸도 林木生長과 生理作用에 큰 역할을 하고 있는데 土壤內에는 有機態인산의 농도가 아주 높다. 施肥된 燐酸質肥料은 土壤에서 Ca型, Al型, Fe型을 거쳐 難容性으로 되나, 일부는 질소와 같이 土壤微生物의 菌體成分으로 同化하여 有機態인산으로 변하여 균이 죽으면 無機態로 변한다(河田, 1973). Ca型으로 난용성에 도달하는데 걸리는 시간은 토양조건에 따라 차가 있어서 강산성토양에서는 빠르고 약산성의 비옥지에서는 느리다. 이러한 인산의 形態變化는 肥效와 持續期間에 큰 영향을 주므로 肥料의 效率의 利用面에서 계속 연구가 필요

하다. (Flinn 等, 1982).

林業에서는 일반적으로 취급하기가 좋고 持効性이며 경비가 상대적으로 덜 드는 高濃度肥料가 效果의인테 이러한 肥料은 尿素施肥時 보다 5年間 50%의 肥料代가 감소된다는 보고도 있다(浜本 等, 1977; 桑原, 1976). 日本에는 現在 山林用肥料로서 固形肥料 3種과 粒狀肥料 7種이 있다(高遠, 1985).

施肥量과 施肥方法

肥料의 3要素 中 질소가 가장 效가 크지만 토양에 따라서 인산의 肥效가 높을 수 있으며 加里는 대체로 낮다(河田과 佐佐, 1962). 소나무류는 인산결핍이 일어나기 쉬우므로 施肥의 必要性이 크며 加里는 천연공급량이 많아 施肥量이 적다. 외국에서는 필요에 따라 질소나 인산 등 한가지 비료만 주는 경우가 많으나 우리나라는 비교적 3요소를 배합한 비료를 사용한다. 시비량은 수종, 林木의 크기, 토양의 종류 등에 따라 다르지만 그렇다고 세분하기 어려우므로 pot 試驗과 山地試驗으로 適正量을 計算한다(李 等, 1982). 造林當時의 施肥基準量은 表1과 같으며 造林後 5년까지의 追肥基準量은 表2와 같다. 또한 층층나무, 물들메나무, 가래나무, 상수리나무에 대한 施肥量을 究명한 바 長期樹에 주는 量과 같았다(李, 1982).

植栽時의 施肥位置는 植穴土壤에 肥料을 섞는 方法보다 表土下 5cm깊이에 주는 側孔施肥가 活着率在 높고 林木生長도 양호하다(鄭, 1967; 金, 1972). 즉 造林木의 力枝에서 수직으로 내린 곳에 5cm 깊이로 땅을 파고 施肥하는 方法이 가장 좋다.

施肥時期는 活着이 完了된 5월이 가장 좋으나(李, 1983), 成木에서는 6월도 무방하며(植田 等, 1971) 노동력의 분산을 위하여 11월 즉 林木의 生長休止期에 施肥해도 된다(Driessche, 1985).

養料를 많이 要求하는 삼나무, 편백, 일본일갈나무

Table 1. Amount of fertilizer per stem in planting year.

Tree species	Mixed fertilizer			Solid compound fertilizer for the forest	Compost
	Urea	Fused superphosphate	Potassium chloride		
<i>Castanea crenata</i>	13 g	42 g	5 g	5 each	7 kg
<i>Paulownia coreana</i>	13	42	5	5	7
<i>Populus</i> spp.	20	46	5	5	-
Conifers	4	12	-	1	-

Table 2. Annual amount of fertilizer during 5 years after planting.

Tree species	Solid compound fertilizer per stem	Solid compound fertilizer per ha
<i>Castanea crenata</i>	40 unit	240 kg
<i>Prunus armeniaca</i> var. <i>ansu</i>	40	240
<i>Paulownia coreana</i>	40	360
<i>Populus</i> spp.	20	120
Conifers	2	90

등은 3年 連續施肥해야 그 효과가 뚜렷하며, 편백은 隔年施肥해도 좋다(唐, 1981). 한편 砂防施工地에서도 植栽時에는 本當尿素 4g, 熔過磷 32g을 3年 連續施肥한다.

成木施肥는 林內養料循環을 基礎로 하여야 하며 다른 撫育作業과 함께 實行해야 효과가 크다(朝日, 1970). 대체로 질소가 낙엽으로 환원되는 비율은 70%이고 기타 양료는 55~65%이다(野上, 1975; 1976). 그러므로 林木의 정상생장에 필요한 양료가 약간 부족하므로 施肥로서 낙엽의 分解를 촉진하고 직접적인 양료공급을 통하여 林分을 優良하게 유도할 수 있다(佐藤, 1974). 施肥에 의한 林木의 生長에 對하여 Weetman 等(1973)은 成木에 질소만 주는 것이 좋다고 하였으나 伊藤(1972)는 3要素區가 더 효과가 있다고 하였다.

施肥量은 樹種, 生長狀態, 林分密度, 土壤에 따라 다르지만 보통 ha당 200kg(N : P₂O₅ : K₂O=3 : 4 : 1)을 3年 연속 주는 것이 좋다(藤田 等, 1975). 또 伊藤(1978)는 林木의 一生동안 撫育段階別로 4回 질소를 60~100kg/ha씩 3年 연속 주는 것을 提案하였다. 芝本(1965)은 질소를 200kg/ha씩 3회 3年間 施肥하는 것을, 鄭(1975)은 造林時와 林齡이 11년 될 때 140~160kg/ha를 3年間, 21년 될 때는 220kg/ha를 3年間 施肥하면 伐期를 40년에서 26년으로 단축시킬 수 있다고 하였다.

成木施肥方法으로 日本에서는 지표성인 입상비료를 表面에 撒布하는데 이것은 細根이 地表가까이에 있고, 人件費가 減省되며, 施肥效果도 땅을 파고 주는 方法과 다르지 않기 때문이다(芝本, 1979). 그러나 우리나라에서는 경사가 급하여 肥料의 流失 염려가 있고 粒狀肥料가 없으므로 圓形複肥를 等高線方向으로 땅을 파고 ha당 750kg을 준다. 最近 大面積의 경우 헬기나 경비행기로 空中撒布하는데 桑原(1971)는 10ha, 李(1981)는 36ha 以上 되어야 경제성이 있다고 하였다. 今後 農山村의 勞動力은 계속 부족할 것이므로 航空施肥는 必然的

인 方法이나 大面積撒布에 따른 經費問題가 先決되어야 한다(須崎, 1971).

施肥效果와 經濟性 分析

施肥를 하면 肥料는 먼저 土壤이나 落葉層에 닿아 土壤內 양료를 증가시키고 다음에 뿌리에서 吸收되어 葉으로 轉移됨으로서 葉色이 짙어지고 葉量과 葉長이 增大하여 결국 林木의 生長에 영향을 준다. 먼저 施肥가 土壤에 미치는 영향을 고찰해 보면 크게 둘로 나눌 수 있는데 하나는 비료가 土壤속에서 들어가서 일어나는 직접적 영향이고 다른 하나는 비료가 林木과 雜草 등에 흡수되어 有機化되던지, 落葉 等に 의해 토양으로 還元되는 것이다(野上, 1975). 이 영향은 토양과 기상조건에 따라 다르지만 직접적 영향은 肥料의 종류와 量에 의해서, 간접적 영향은 공급된 有機物의 量과 質에 의하여 支配된다고 보여지나 明確히 解析하기가 어렵다(伊藤, 1972). 唐(1971)는 幼令林施肥에 따른 土壤의 變化를 綜合하였는데 施肥된 林地는 酸性이 약해지며 탄소율이 낮아지고 窒素 濃도가 증가한다고 하였다. 鹽崎(1977)는 施肥後 H層이 적어지고 pH가 높아지며 탄소율, 窒素濃度, 窒素濃도가 증가했다고 하였다. Gessel 等(1965)은 질소시비로 表土 15cm 以內에서는 窒素과 유기물이 증가하고 pH는 低下했으나 深土에서는 變化가 없다고 하였다.

그러므로 토양에 미치는 施肥의 영향은 직접적인 것 외에도 林床의 分解促進과 이로 인한 腐植酸의 증가로 pH가 낮아지고 有機物 等的 養料가 增加하며(Carlyle 等, 1986), 大型土壤動物이 增加하여 土壤을 발달시킨다(新島, 1978). 또한 施肥當年에 葉色과 葉의 形態가 變化하며 葉內養料도 크게 增加한다(芝本, 1965; Moiko, 1978; Timmer, 1978). 造林木中 主要樹種에 對한 施肥效果는 일본일갈나무(河田 等, 1962; 李, 1983), 삼나무(河田 等, 1966; 1968; 1972; 佐藤, 1962), 편백(河田, 1966), 잣나무(李, 1983), 현사시(李, 1983), black spruce(Page, 1974), slash pine(Bengtson, 1974), red pine(Heigberg, 1964), radiata pine(Hopkins, 1971), pinaster pine(Keay, 1968), black walnut(Maeglin 等, 1977) 等에서 나타나고 있다. 이러한 初期의 施肥는 林木生長을 促進하여 除草作業의 回數를 줄일 수 있으며 호주에서는 이때의 施肥效果가 林分의 一生동안 나타나 나중에 成木에 施肥하는 것보다 효과가 크다고 하였다(Hopkins, 1971).

成木施肥에 대하여 或者는 山林生態系內에서는 林木-土壤間에 養料循環이 自然적으로 이루어져 施肥의 必

要件이 없다고 하나 이 양분순환율은 林木의 정상생장에 충분하지 못하므로 林地生産力增大을 기대하려면 施肥가 必要할 것이다. 成木施肥는 撫育作業과 併行함이 效果의인데 (桑原, 1979) 가지치기와 施肥를 같이 하면 同化器管除去에 따른 生長減退를 回復시키고 傷處部位를 빨리 아물게 한다(藤森, 1979). 이 효과는 편백(桑原, 1971; 1976), 삼나무(竹內, 1977), 잣나무(朱, 1983), radiata pine(Snowdon 等, 1981) 등에서 잘 나타나고 있다. 또한 間伐後 施肥는 임분울체를 촉진하므로서 大徑材를 生産할 수 있는데 소나무(芝本, 1965), 삼나무(丹下, 1971; 川名 等, 1971; 伊藤, 1972; 塘, 1974; 藤田, 1976), 일본잎갈나무(中村, 1972), 폰데로사소나무(wheeler, 1969), 편백(桑原, 1969), 잣나무(朱, 1983) 등과 같은 樹種에서 效果가 나타났다. 그러나 施肥해도 肥効가 나타나지 않는 林分도 있는데 土壤의 化學的 性質이 良好하고 石灰飽和도가 높아 생산력이 큰 곳이나(藤田, 1973), 경사가 급하여 비료유실이 심한 곳이다(Tsutsumi, 1983). 이와같이 成木林의 施肥效果는 立地條件에 따라 다르게 나타나며 肥沃도가 높은 곳에서는 잘 나타나지 않는다. 따라서 中級以下の 林分에 施肥해야 生産力 增大가 기대된다(伊藤 等, 1966). 天然林에 對한 施肥效果는 林分密度와 큰 관계가 있으므로 適正密度를 유지한 후 施肥하여야 하며 萌芽林은 效果가 없다고 報告된 바 있으나 이것은 皆伐後 질소와 加里의 流失 또는 萌芽의 特性에 基因하므로 계속 檢討되어야 한다(Mroz, 1986; 李 等, 1986).

이러한 施肥의 效果는 經濟性과 直結되는데 造林木에 施肥하면 그 效果가 樹高生長과 枝葉의 繁茂로 나타나 측정하기 쉬우므로 경제성도 파악하기 쉽다. 그러나 下刈費節減과 初期生育增大로만 성급하게 이것을 판단하기가 어려우므로 成木에 對한 施肥效果로서 經濟性을 分析하고 있다(伊藤, 1978). 成木施肥의 經濟性은 일반 농업과는 달리 施肥勞賃 等 資本投資額의 回收期間이 길어 명확하게 유리하다고 결론지을 수 없다. 이 分析에 필요한 인자는 材積增加量, 肥効의 지속기간, 비료 가격, 시비임금, 임목가격 등인데 立木價格이 경제성을 좌우하는 가장 큰 要因이 된다(藤田, 1976). 그래서 塘等(1974)은 3年 連續施肥後 5年間의 材積增加量으로 본 경제성의 限界値는 ha當 삼나무 10m³, 편백 7m³, 소나무 15m³, 일본잎갈나무 17m³ 이상이라고 하였다. 李 等(1986)은 소나무천연림의 경우 16m³ 이상이어야 한다고 하였는데 除伐과 가지치기를 併行하여도 경제성이 있다고 하였다. 그러므로 성목림에 대한 시비의 경제성은 對象林地的 條件에 따라 있고 없으므로 施肥適地의 選定이 상당히 중요하다.

施肥와 諸害低抗性

山地施肥는 生産增大와 最大收穫量 획득이 目標지만 同時에 생물, 비생물적 원인에 의한 阻害要因에 대하여 林分抵抗性을 개선하는 면에서 중요하다. 그렇게 하려면 肥料의 適正施肥가 필요하다. 多量施肥는 耐病虫性을 減少시키는데 특히 질소는 脛窒化합물을 減少시켜 吸汁性昆虫被害를 增加시킨다(右田, 1975). 반면에 加里는 질소질 비료의 施肥에 의한 短點을 補完한다. 곰팡이가 일으키는 병은 加里의 함량에 따라 增減하는 것으로 알려져 있다(塘 等, 1974). 또한 施肥는 기상해와 대기오염 피해에도 영향을 주는데 高遠(1985)은 固形肥料를 施肥하면 煙害地 植生の 根系發達을 促進시켜 植生을 早期에 回復시킨다고 하였다. 반면에 과다한 窒素施肥(400kg/ha)는 雪害를 크게 한다(Auchmoody, 1985; 須藤, 1975). 川名 等(1964)은 삼나무, 편백施肥木은 無施肥木보다 雪害가 적다고 하였다. 따라서 適量施肥는 自然的인 災害와 病虫害를 어느 정도 경감시킨다.

施肥와 環境

山地施肥에 의한 水質과 土壤汚染問題는 山林生態系가 養分保有能과 淨化力을 갖고 있으므로 化學肥料 散布단으로는 크게 우려할 염려가 없으나(Hetherington, 1985) 肥料가 물에 직접 떨어지는 것을 막기 위하여 계류근처에 無施肥帶를 남겨야 하는 등의 조치가 필요하다(生原 等, 1977). 또한 산업폐기물이나 하수처리물을 山林用 비료로 이용하면 환경오염을 막을 수 있으나 重金屬流出 등에 관한 研究가 있어야 할 것이다(Fiskell 等, 1982). 現在 山林用固形複合肥料에 zeolite 대신 糞尿處理物을 넣어 사용하고 있다. 적당한 施肥는 植物의 번무를 촉진하여 침식을 방지하는 토양보호작용으로 물의 最大汚染源인 침전물을 줄인다. 그러므로 오염을 적게 하고 效果를 크게 하려면 適正量의 肥料를 적당한 장소에 施肥해야 한다. 山地施肥는 人口가 많은 地域에서는 公益的 機能面에서 중요한 역할을 하는데 都市 近郊林의 休養機能強化, 荒廢地再綠化 促進, 病虫害豫防 側面에서 效果가 있다. 또한 등산로주변의 植生 回復, 土壤浸蝕減少, 地表植物의 健全한 生育, 야영지 土壤의 植生回復, 스키場的 土壤保全에 필요한 草類育成 等에 對한 施肥效果는 木材生産과는 다르게 평가되어야 할 것이다.

結 論

해마다 造林面積이 減少함에 따라 施肥面積이 줄고

있다. 그러나 天然林撫育, 短伐期林業, 主伐期間縮小, 健全林分造成 및 優良材生産이라는 目標下에서 山地 施肥는 계속되어야 할 것이다. 앞으로는 지금까지 밝혀진 適正한 施肥方法으로 경제성을 고려하여 施肥해야 한다. 즉 林業用 肥料의 開發을 서둘러 完효성이면서 表土에 撒布할 수 있고 3年 連續施肥하지 않고 한꺼번에 주는 等の 省力效果가 있는 肥料가 필요하다. 또한 空氣에 의한 施肥로서 經費를 節減하여야 하며 무엇보다 중요한 것은 林分을 集約적으로 관리할 때 무육과 併行해야 施肥效果가 크다. 造林時 長期樹種에 固形複肥를 2個씩 3年 만 줄 것이 아니라 撫育 段階別로 施肥하므로서 前述한 바와 같은 目標을 達成할 수 있다. 즉 가지치기와 間伐때에도 固形複肥를 750kg/ha씩 3年間 주어야 하고, 伐採前에도 木材生産量 증가와 地力維持를 위하여 施肥해야 할 것이다. 좀 더 나아가서 樹種別, 地位別로 葉이나 土壤分析을 통해 施肥量을 增減하여 合理的으로 施肥하는 方法이 요청된다.

한편 山地施肥의 범주 안에 都市林, 都市近郊林, 集團 造景樹植栽地도 포함하여 쾌적한 환경조성에 기여할 수 있도록 體系的인 施肥管理를 해야 한다.

引用 文 獻

1. 新島浮子. 1978. 林地肥培と土壤動物. 森林と肥培 98 : 6-9.
2. 朝日正美. 1970. 集約施業林の育成方式. 森林と肥培 64 : 1-6.
3. 藤田桂治外. 1975. 스기成木林의 肥培效果(III). 施肥量試驗について. 86回日林講 : 97-98.
4. 藤田桂治. 1976. 成木林肥培의 經濟性について. 森林と肥培 88 : 1-2.
5. 藤森隆郎. 1979. 枝打ち效果. 森林と肥培 100 : 9-15.
6. 堀田庸, 長友忠行. 1983. チッ素肥料의 土壤中におけるうそぎ. 森林と肥培 115 : 1-6.
7. 生原喜久雄, 川名明, 銷島寛. 1977. 壯令林의 肥培에 關する研究(XII). 日林誌 59 : 41-55.
8. 樋口國雄. 1976. 列狀間伐后에 施肥された アカマツ林의 下層植 生의 變化. 日林誌 58 : 60-64.
9. 浜本正夫外. 1977. IBDU 成形品의 林地肥培에 關する研究(II). 日林誌 59 : 353-359.
10. 右田一雄. 1975. 肥培と스기타마바エ, ハタニ의 被害. 森林と肥培 86 : 13-15.
11. 桑原武男. 1969. 壯令林肥培에 關する研究(I). 廣島県林試研究報 4 : 9-12.
12. 桑原武男. 1971. 壯令林에 對する施肥試驗から. 森林と肥培 66 : 8-10.
13. 桑原武男. 1976. ヒノキ에 對する肥培效果について. 森林と肥培 88 : 5-6.
14. 桑原武男. 1976. 林地肥培에 における緩効性肥料 への 期待. みるとり 14 : 32-36.
15. 桑原武男. 1979. 林分保育と林地肥培. 森林と肥培 100 : 5-8.
16. 愛媛県林試. 1971. 愛媛県林에 における成木施肥效果試驗. 森林と肥培 66 : 13-15.
17. 伊藤忠夫, 植田正幸. 1966. アカマツ幼令造林地에 における立地別肥培試驗. 日林誌 48 : 213-220.
18. 伊藤忠夫. 1972. 林地肥培による土壤의 變化. 森林と肥培 74 : 2-8.
19. 伊藤守夫, 堀田庸. 1972. 大日山県營林에 における스기肥培試驗. 靜岡県林試研報 7 : 11-12.
20. 伊藤守夫, 堀田庸. 1972. 壯令林肥培에 關する研究(I). 靜岡県林試研報 4 : 9-10.
21. 伊藤守夫. 1978. 林木一生의 肥培. 靜岡県林業會議所. 31pp.
22. 朱鎮順外. 1983. 枝打 및 間伐林地施肥 效果試驗. 林試研報 30 : 131-152.
23. 鄭印九. 1975. 肥培林業. 加里研究會, 서울. 371 pp.
24. 丹下勳, 鈴木誠, 高浜靜子. 1971. 壯令林의 肥培에 關する研究(I). 82回日林講 : 108-110.
25. 川名明外. 1964. 스기·ヒノキ의 生長および寒風害에 對する施肥의 影響. 日林誌 46 : 355-363.
26. 川名明, 相場芳憲, 生原喜久雄. 1971. 壯令林의 肥培에 關する研究(VI). 東京大演習林報告 9 : 18-23.
27. 河田弘, 佐佐木茂. 1962. 카라마ツ에 對する肥料3要素의 施肥效果. 日林誌 44 : 364-366.
28. 河田弘, 衣笠忠可. 1966. 高野山國有林에 における스기, 히노키幼令林施肥試驗. 日林試研報 191 : 115-136.
29. 河田弘, 衣笠忠可. 1968. 스기幼令林施肥試驗. 日林試研報 216 : 75-97.
30. 河田弘, 衣笠忠可. 1972. 高野山國有林에 における스기幼令林의 施肥試驗(II). 日林試研報 7 : 11-12.
31. 李元圭, 金泰勛, 朱鎮順. 1981. 航空施肥效果試驗. 林試研報 28 : 175-188.
32. 李元圭, 朱鎮順, 金錫權. 1982. 참나무類 撫育試驗. 林試 試驗研究報告書 329-383.
33. 李元圭, 車淳馨, 朴宰淳. 1983. 잣나무, 일본잎갈나무 및 현사시 幼令林 施肥效果試驗. 林試研報

- 30 : 131-152.
34. 中村基, 竹下純郎. 1972. 成木施肥効果試験. 岐阜県林試研報 1 : 1-3.
35. 野上寛五郎. 1975. ^{15}N 標識肥料による林木のチッソ利用率の検討(II). 86回日林講 : 184-186.
36. 野上寛五郎. 1976. ^{15}N 標識肥料による林木のチッソ利用率の検討(IV). 87回日林講 : 139-141.
37. 大原敏男. 1971. 成木施肥の生長量調査結果について. 81回日林講 : 129-131.
38. 佐藤俊. 1962. スギ造林地に對する施肥の効果. 13回日林東北支部講演集. 37-41.
39. 佐藤俊外. 1964. 東北地方における主要造林樹種の幼令時の施肥効果について. 日林誌 64 : 39-47.
40. 佐藤俊. 1974. 林地肥培が土壤の化學的性質および養分循環に及ぼす影響. 森林と肥培 81 : 2-7.
41. 芝本武夫. 1965. 成木施肥. 森林と肥培 39 : 2-3.
42. 芝本武夫, 塘隆男. 1979. 肥料. ハンドブック. 倉文. 東京. 388 pp.
43. 須崎民雄. 1971. ヘリコプターによる林地肥培. 森林と肥培 66 : 3-7.
44. 須藤昭二. 1975. 施肥と雪害. 森林と肥培 98 : 6-9.
45. 竹内郁雄, 蜂屋欣二. 1977. 枝打ちが生長におよぼす影響. 日林誌 59 : 313-320.
46. 塘隆男. 1971. 苗畑施肥と林地肥培. 地球出版. 東京. 136 pp.
47. 塘隆男, 佐藤久男, 藤田桂治. 1974. 成木施肥. 林業改良普及協會. 東京. 183 pp.
48. 塘隆男外. 1975. スギ成木林の肥培効果. 86回日林講 : 99-102.
49. 塘隆男. 1976. 間伐枝打ちと施肥. 林業技術 410 : 40-43.
50. 高遠宏. 1985. 固形肥料による林地肥培試験. 森林と肥培 126 : 9-12.
51. 植田正幸, 伊藤忠夫, 川名明. 1971. 壮令林肥培に關する研究(IV). 日林誌 53 : 42-50.
52. Auchmoody, L.R. 1982. Response of young black cherry stands to fertilization. Can. J. For. Res. 12 : 319-325.
53. Auchmoody, L.R. 1985. Evaluating growth responses to fertilization. Can. J. For. Res. 15 : 877-880.
54. Arp, P.A., and H.H. Krause. 1982. Retention and spatial distribution of mineral nitrogen in the forest floor of an aerially fertilized watershed. Forest Sci. 28 : 613-626.
55. Ballard, R. 1981. Optimum nitrogen rates for fertilization of loblolly pine plantations. Southern J. Applied Forestry 5(4) : 212-216.
56. Ballard, T.M., and N. Mahd. 1985. Use of pretreatment increment data in evaluating tree growth response to fertilization. Can. J. For. Res. 15 : 18-22.
57. Bengtson, G.W., E.C. Sample, and S.E. Allen. 1974. Response of slash pine seedlings to P sources of varying citrate solubility. Plant and Soil 40 : 83-96.
58. Bengtson, G.W. 1979. Forest fertilization in the United States. J. For. 79 : 222-229.
59. Bengtson, G.W., and G.C. Smart, Jr. 1981. Slash pine growth and response to fertilizer after application of pesticides to the planting site. Forest Sci. 27 : 487-502.
60. Carlyle, J.C., and D.C. Malcolm. 1986. Larch litter and nitrogen availability in mixed larch-spruce stand(II). A comparison of larch and spruce litters as a nitrogen source for sitka spruce seedlings. Can. J. For. Res. 16 : 322-329.
61. Crown, M., R.V. Quent, and C. Layton. 1977. Fertilization and thinning effects on a Douglas fir ecosystem at Shownigan Lake. Pacific Forest Research Center : 8-18.
62. Fiskell, J.G. A., F.G. Martin, W.L. Pritchett, and M. Maftoun. 1982. Effects of cadmium levels and sludges of loblolly pine seedlings. Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings 41 : 163-168.
63. Flinn, D.W., J.M. James, and P. Hopmans. 1982. Phosphorus fixation of soil and cycling in radiata pine. Aust. For. Res. 12 : 19-35.
64. Gessel, S.P., T.N. Stoate, and K.J. Turnbull. 1965. The growth behavior of Douglas-fir with nitrogen fertilizer in Western Washington. Inst. of Forest Production Res. Bull. 1. 204 pp.
65. Haapanen, T., P. Hari and S. Kellomaki. 1979. Effect of fertilization and thinning on radial growth of Scots pine. Silva Fennica 13(2) : 184-189.

66. Heigberg, S.O., H.A.I. Madgwick, and A. Leaf. 1964. Some long time effects of fertilization on red pine plantations, *Forest Sci.* 10 : 17-23.
67. Hetherington, E.D. 1985. Streamflow nitrogen loss following forest fertilization in a southern Vancouver Island watershed. *Can. J. For. Res.* 15 : 34-41.
68. Hopkins, E.R. 1971. Fertilizer responses in *Pinus radiata*. Res. paper 5. Forests Dept. of Western Australia.
69. Huss-Danell, K. 1986. Growth and production of leaf litter nitrogen by *Alnus incana* in response to liming and fertilization on degenerated forest soil. *Can. J. For. Res.* 16 : 847-853.
70. Kawana, A., G.K. Xydias, and A.L. Leaf. 1969. Response of *Pinus resinosa* plantation to potassium fertilization on a potassium deficiency site. *Plant and Soil* 30 : 439-445.
71. Keay, J., A.G. Turton, and N.A. Campbell. 1968. Some effects of nitrogen and phosphorus fertilization of *Pinus pinaster* in Western Australia. *Forest Sci.* 14 : 408-417.
72. Laine, J., and H. Mannerkoski. 1980. Effects of fertilization on tree growth and elk damage in young Scots pine stands planted on drained, nutrient-poor open bogs. *Acta forestalia Fennica* 166. 45 pp.
73. Maeglin, R.R., H. Hallock, F. Freese, and K. A. McDonald. 1977. Effects of nitrogen fertilization of black walnut growth, log quality, and wood anatomy. USDA For. Ser. Res. Pap. Forests Products Laboratory. FPL 294. 12 pp.
74. Mayhead, G.J. 1976. Forest fertilizing in Great Britain. The Fertilizer Society. 13 pp. London.
75. Miller, R.E., and R.F. Tarrant. 1983. Long term growth response of Douglas-fir to ammonium nitrate fertilizer. *Forest Sci.* 29 : 127-137.
76. Moiko, M.F., T.G. Danilina, I.A. Markova, and E.D. Akimova. 1978. Effect of mineral fertilizer on the growth of spruce plantations. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 42 : 150-189.
77. Mroz, G.D., D.J. Frederick, and M.E. Jurgensen. 1985. Site and fertilizer effects on northern hardwood stump sprouting. *Can. J. For. Res.* 15 : 535-543.
78. Safford, L.O., and M.M. Czapowskyj. 1986. Fertilizer stimulates growth and mortality in a young *Populus-Betula* stand : 10-year results. *Can. J. For. Res.* 16 : 807-813.
79. Schnekenburger, F., K.M. Brown, and J.E. Baker. 1985. Effects of nitrogen fertilization and low thinning on snow damage in jack pine. *Forest Sci.* 31 : 552-556.
80. Snowdon, P., H.D. Waring, and R.C. Woollons. 1981. Effect of fertilizer and weed control on stemform and average taper in plantation-grown pines. *Aust. For. Res.* 11 : 209-221.
81. Tamm, C.O. 1971. Development of forest fertilization in Europe. *Forest and Fertilization* 70 : 4-7.
82. Timmer, V.R., and E.L. Stone. 1978. Comparative foliar analysis of young balsam-fir fertilized with nitrogen, phosphorus, potassium and lime, *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 42 : 125-130.
83. Tsutsumi, T., Y. Nishitani, and Y. Kirimuma. 1983. On the effects of soil fertility on the rate and the nutrient element concentrations of litterfall in a forest. *Jap. J. Ecol.* 33 : 313-322.
84. Van den Driessche, R. 1985. Late-season fertilization, mineral nutrient reserves, and retranslocation in planted Douglas fir seedlings. *Forest Sci.* 31 : 485-496.