韓國林學會誌 69 : 13-18. 1985
Jour. Korean For. Soc. 69 : 13-18. 1985

잣나무葉의 初期 分解過程에 있어서 無機態 窒素 및 CO_2 放出速度의 變化[1]

李明鐘[2] · 韓相燮[2] · 金鼎濟[3]

Changes of Inorganic Nitrogen and CO_2 Evolution Rate on the Decomposition Process of Korean White Pine Needles[1]

Myong Jong Yi[2] · Sang Sup Han[2] · Jeong Je Kim[3]

要 約

잣나무의 綠葉, 落葉, F層의葉과 떡갈 및 굴참나무의 綠葉을 각각 土壤에 混合하여 53 일간 30℃(±1)로 恒溫培養하는 동안 土壤中의 無機態 窒素 및 CO_2 放出速度의 變化를 測定하여 다음의 結果를 얻었다. 1) 培養初期에는 無機態 窒素의 有機化로 無機態 窒素量의 減少가 強하게 일어났고, 時間의 經過에 따라 점차 增加 하였다. 2) 混合한 葉中의 有機態 窒素의 有機化速度는 잣나무의 葉中 綠葉에서 가장 컸으나, 굴참 및 떡갈나무의 綠葉보다는 작았다. 3) CO_2 放出速度의 크기는 굴참나무綠葉, 떡갈나무綠葉, 잣나무綠葉, 잣나무 落葉, F層의 잣나무葉을 混合한 土壤의 順이었고, 시간의 經過에 따라 점차 감소했다. 4) 窒酸態 窒素量은 점차 增加하여 培養 53 일 후에, 암모니아態 窒素量을 上廻하였다.

ABSTRACT

Forest soils mixed with organic matters (green needle, flesh needle litter and needle litter in F layer of *Pinus koraiensis*, and green leaf of *Quercus dentata* and *Q. variabilis*) were incubated under a constant 30°C (±1) for 53 days to measure the changes of inorganic nitrogen and CO_2 evolution rate. The results obtained were summarized as follows;1) In the early incubation period the amounts of total inorganic nitrogen in soils by mixture of organic matters decreased rapidly because of immobilization by microbial uptake, and thereafter their amounts increased with further incubation. 2) The rate of immobilization of organic nitrogen in mixed organic matters was the highest in green needle among green needle, flesh needle litter and needle litter in F layer of *P. koraiensis*, but lower than that of green leaf of *Q. variabilis* and *Q. dentata*. 3) The rates of CO_2 evolution from soils mixed with organic matters increased sharply in the early time, and then decreased slowly with increasing time. The order of the CO_2 evolution rate was green leaf of *Q. variabilis* > green leaf of *Q. dentata* > green needle of *P. koraiensis* > flesh needle litter of *P. koraiensis* > needle litter of *P. koraiensis* in F

[1] 接受 4月 23日 Received April 23, 1985.
[2] 江原大學校 林科大學 College of Forestry, Kangweon National University, Chuncheon, Korea.
[3] 江原大學校 農科大學 College of Agriculture, Kangweon National University, Chuncheon, Korea.

layer from the largest to the least. 4) Nitrate nitrogen concentrations showed a tendency to increase throughout incubation time, so that their concentrations after 53 days were higher than that of ammonium nitrogen.

Key words: Pinus koraiensis *needles; inorganic nitrogen; CO_2 evolution; decomposition process.*

緒 論

森林生態系에 있어서 物質은 樹體, 有機物層 및 土壤中을 循環하고 있다. 이러한 物質의 移動循環의 過程으로서는 樹體에 의한 養分의 吸收와 樹體로부터의 落葉・落枝에 의한 養分의 還元이 있다.[11] 따라서 森林土壤을 中心으로 한 경우 落葉・落枝는 諸物質의 重要한 供給源[10]이 되며, 地力의 維持나 林地의 生産力에 큰 意味를 갖는다. 林地에 供給된 有機物의 分解는 土壤生物의 作用에 의하지만 分解狀態는 分解에 關與하는 環境條件이나 自體의 性質에 支配된다.[7,12,20] 下刈, 가지치기, 間伐 등의 撫育作業이 實施되는 人工造林地에선 落葉・落枝와 함께 生枝・生葉이 林地에 多量 供給됨으로써 養分循環 및 地力에 큰 影響을 미친다.[1,5]

森林土壤의 生産力을 林木에 대한 養分의 供給이란 면에서 볼 때, 窒素는 가장 重要한 營養源[13]으로써 이에 대한 많은 研究가 있었다. 植物이 利用할 수 있는 窒素는 無機化된 窒素, 즉 無機態窒素(NH_4-N, NO_3-N 및 NO_2-N)이며, 土壤生物에 의한 有機物의 無機化 速度를 강하게 規制하는 環境要因은 溫度와 水分 등이다.[12]

따라서 土壤으로부터의 CO_2 放出速度도 이들 要因의 影響을 받게 된다.[5,18] 本 研究에서는 撫育作業으로 인하여 林木의 生枝・生葉이 一時에 多量으로 林地에 供給 되었을 때, 이들 有機物의 分解에 따른 初期의 土壤中 無機態窒素 및 CO_2 放出速度의 經時變化를 豫測하기 위하여, 風乾・粉碎한 잣나무의 綠葉, 落葉 및 F層의 分解葉을 土壤에 混合하여 30℃ (±1)로 恒溫培養하여 얻은 結果를 報告한다.

材料 및 方法

1. 供試土壤 및 混合試料

供試土壤은 江原大學校 演習林內의 22年生 잣나무 人工造林地에서 0～10 cm의 表土層은 採取하여 風乾시키면서 根, 石礫, 動・植物遺體 등을 除去한 후 使用하였고, 混合試料로써 잣나무葉을 上記 林分內에서 綠葉, 落葉, F層의 葉으로 區分하여 採取하고, 分解比較를 위해 闊葉樹로써 떡갈나무 및 굴참나무의 綠葉을 採取하여 風乾시킨후 粉碎한 것으로 했다. 本稿에선 各各의 葉試料를 土壤에 混合하여, 다음과 같이 分類하여 使用했다.

가. 잣나무의 綠葉을 混合한 土壤을 「잣—綠葉」
나. 잣나무의 落葉으로 光澤이 있는 新鮮한 落葉의 混合土壤을 「잣—落葉」
다. F層의 多少 分解된 잣나무葉의 混合土壤을 「잣—F」
라. 떡갈나무의 綠葉을 混合한 土壤을 「떡—綠葉」
마. 굴참나무의 綠葉을 混合한 土壤을 「굴—綠葉」
바. 葉試料를 混合하지 않은 土壤을 「無處理」로 區

Table 1. Some chemical properties of soil and organic matter used.

Item	Soil	*Pinus koraiensis*			*Quercus dentata*	*Q. variabilis*
		green needle	flesh needle litter	needle litter in F layer	green leaf	green leaf
C (%)	3.90	49.9	47.5	45.3	47.1	46.2
T-N (%)	0.26	1.10	0.65	1.15	1.39	1.96
C/N ratio	15.0	45.4	73.1	39.4	33.9	23.6
pH (H_2O)	4.8	-	-	-	-	-
pH (KCl)	4.2	-	-	-	-	-
y_1	4.0	-	-	-	-	-
NH_4-N (mg/	3.49	-	-	-	-	-
NO_3-N 100 g. dw)	2.61	-	-	-	-	-

分했다.

供試土壤의 化學的 性質 및 混合試料의 養分 含有率은 表-1과 같다.

2. 測定試料의 處理

同一한 風乾細土 250 g과 風乾·粉碎한 各各의 葉試料 5 g씩을 直徑 9.5 cm, 높이 16 cm의 프라스틱製 円形容器에 넣어 混合한후, 最大容水量의 60 %가 되도록 純水를 加하여 30 ℃(±1)의 恒温器內에서 培養하였다. 水分의 維持를 위해 3～4일 마다 重量法으로 水分調節을 하였다.

3. 無期態窒素의 測定

處理培養中의 土壤을 定期的으로 꺼내어 NH_4-N 및 NO_3-N를 다음과 같은 方法으로 定量했다. 10 g씩의 土壤을 取해 2 N KCl 溶液으로 1時間 振盪(抽出比率 1 : 10) 한후 濾過하였다. 濾液의 一定量을 蒸溜플라스크에 넣고 MgO를 加해 流出液 60 ml를 얻을 때까지 蒸溜하여 NH_4-N를 定量했다. 다시 殘液에 Devarda 合金 0.5 g을 添加하여 同一 方法으로 蒸溜하여 NO_3-N를 定量했다. 流出液의 捕集液은 methylred-brom cresol greeh 混合指示藥을 加한 2 % H_3BO_3 溶液 10 ml를 使用했고, N/200 H_2SO_4을 사용해 滴定했다.[3, 13]

4. CO_2放出速度의 測定

培養中인 円形容器內에 CO_2 吸收液으로 0.25 N KOH溶液을 넣은 直徑 4 cm, 높이 6 cm의 吸收瓶을 安置하고, 円形容器에 뚜껑하여 密閉시켰다. 一定 時間동안 吸收瓶에 吸收된 CO_2量을 0.25 N HCl溶液으로 滴定하여 求했다.[6, 18]

結果 및 考察

1. 全無機態窒素의 変化

混合試料를 달리하여 培養한 土壤中의 初期 全無機態窒素의 時間의 經過에 따른 變化를 그림 1에 나타냈다.

培養 5일째 「無處理」와 「잣－F」에선 實驗前 土壤의 全無機態窒素量(6.10 mg/100 g 乾土) 보다 急增加 한후, 增加量은 鈍化했고, 「잣－F」에선 「無處理」보다 多少 낮았다.

「잣－綠葉」과 「잣－落葉」에선 培養 5일째 實驗前 土壤의 量에서 急減少하여 11일째까지 繼續된후, 점

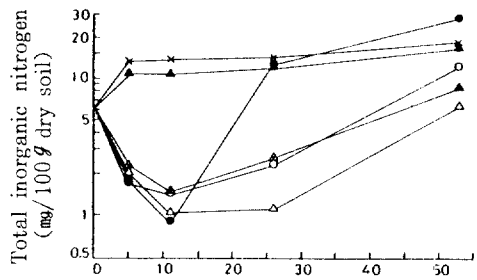

Fig. 1. Time trends of the total inorganic nitrogen amount in soil by mixture of organic matter

△ : Mixed with green needle of *Pinus koraiensis*
▲ : Mixed with flesh needle litter of *P. koraiensis*
▲ : Mixed with needle litter of *P. koraiensis* in F layer
○ : Mixed with green leaf of *Quercus dentata*
● : Mixed with green leaf of *Q. variabilis*
× : Nontreatment

차 增加하는 傾向을 보였다. 잣나무의 葉種의 차이에 따른 增減量을 보면, 培養 5일째 「無處理」와 「잣－F」에서 各各 13.56, 11.0 mg으로 實驗前 土壤의 量보다 약 2.2, 1.8倍로 增加한후, 時間의 經過에 따라 緩慢한 增加를 하여, 53일째에는 「無處理」와 「잣－F」에서 각각 17.29, 16.67 mg이었다. 이에 反해 「잣－綠葉」과 「잣－落葉」에선 培養 5일째 각각 2.03, 2.22 mg으로, 實驗前 土壤의 量에서 약 3.0, 2.7倍로 急減少했다. 11일째는 兩處理 모두 培養期間中 가장 減少하여, 「잣－綠葉」과 「잣－落葉」에서 각각 1.05, 1.51 mg으로 「잣－綠葉」에서의 減少量이 더욱 컸다. 이후 점차 增加하여 53일째엔 각각 6.19, 8.51 mg으로 實驗前 土壤의 量을 上廻했다. 한편 「떡－綠葉」과 「굴－綠葉」에서도 培養 初期인 5일째 急減少하여 11일째, 각각 0.89, 1.46 mg으로 「굴－綠葉」에서 減少量이 더컸다. 11일째 「잣－綠葉」과 「떡－綠葉」에서 보다 「굴－綠葉」에서 가장 큰 減少量을 나타냈다. 이후 가장 빠른 速度로 增加하여, 26일째엔 거의 「無處理」 값에 達했고, 53일째엔 「無處理」의 量을 超過했다. 53일째 각각의 葉을 混合한 모든 土壤은 實驗前 土壤의 量을 上廻하여 「잣－綠葉」, 「잣－落葉」, 「잣－F」, 「떡－綠葉」 및 「굴－綠葉」에서, 각각 6.19, 8.51, 16.67, 12.25 및 28.25 mg였으나, 「굴－綠葉」을 除外한 모든 土壤에선 「無處理」의 17.29 mg보다 낮았다. 이상과 같이 葉의

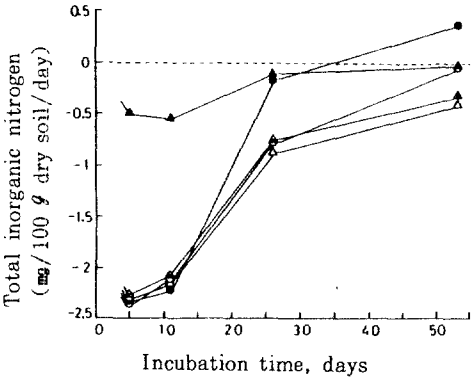

Fig. 2. Mineralization rate of organic nitrogen in mixed organic matter.
The symbols are same as in Fig. 1.

混合에 의한 初期 分解過程에선 無機態窒素量의 增加는 보이지 않고, 이후 時間의 經過에 따라 점차 增加하는 傾向을 보였다. 이러한 傾向은 廣瀨(1973) 및 生原(1984)이 각각 C/N率이 높은 볏짚과 삼나무의 葉을 土壤에 混合하여 實驗한 結果와 같다. 이와 같은 現狀을 더욱 明確하게 하기 위해 混合한 葉中의 有機態窒素의 無機化速度를 求했다(그림 2).

有機態窒素의 無機化速度라는 것은 葉을 混合한 土壤에서 一定 期間內에 生成된 無機態窒素量에서 無處理 土壤에서 生成된 無機態窒素量을 빼고, 얻어진 값을 그 期間內의 日數로 나눈 값이며, 混合한 葉中의 有機態窒素의 1日當 無機化量을 意味한다.[8] 이 計算에서 葉을 混合한 土壤의 無機態窒素量이 無處理 土壤의 量보다 적을 경우에는 無機化速度는 負의 값을 가지며, 이값은 葉의 混合에 의한 土壤中의 無機態窒素의 有機化速度를 나타낸다.[8] 初期에는 葉의 混合에 의한 土壤中 無機態窒素의 增加는 보이지 않았고 즉시 強한 有機化 過程이 進行됐다. 有機化速度는 모든 混合土壤에서 5일째를 最高로 하여, 「굴－綠葉」을 除外한 모든 土壤에서 53일까지 有機化 過程이 일어났다. 「잣－F」에서 有機化 速度가 훨씬 낮았고 25일 이후는 거의 一定하였다. 「떡－綠葉」과 「굴－綠葉」은 初期에는 「잣－綠葉」과 「잣－落葉」의 傾向과 비슷하였으나 11일 이후 「굴－綠葉」은 有機化 過程에서 無機化 過程으로의 轉換이 가장 빨랐고, 26일 이후엔 잣나무葉의 混合土壤에서 보다 「떡－綠葉」에서 無機化로의 轉換이 빨랐다. 이상으로 볼 때 모든 葉의 混合으로, 일단 無機態窒素의 有機化 過程을 거친후 無機化 過程이 始作되며, 有機化 過程에서 無機化 過程으로 轉換하는 時期는 C/N率이 낮은 葉일 수록 빨랐다. 廣瀨(1973)에 의하면 植物遺體의 C/N率이 約 10 이하 일때 有機態窒素의 無機化 過程이 즉시 急速하게 進行되지만, 10 이상 일때는 우선 有機化 過程을 거쳐 無機化 過程이 開始되며, C/N率이 높은 植物遺體 일수록 有機化에서 無機化로의 轉換時期가 늦다고 했다. Castellanos 등(1981)은 C/N率 15.9인 정소의 厩肥를 混合한 土壤에서 培養 4週間에 無機態 窒素의 有機化가 일어남을 보고했다. 芝本(1955)은 C/N 率이 큰 有機物이 土壤에 가해지면 土壤中의 無機態 窒素가 微生物體의 蛋白質 合成 때문에 消費되므로 植物體에 대한 有效態 窒素는 不足하게 된다고 했다. Marumoto 등(1980)은 土壤中 窒素化合物質의 分解에 따른 有機化는 C/N 率의 影響이 크다고 했다.

2. CO_2 放出速度의 變化

生原(1984)은 土壤에 綠葉을 混合 했을 때 土壤中의 無機態 窒素의 減少가 큰 것은 微生物에 의한 綠葉의 分解가 다른 分解葉에 비해 活發하기 때문인지, 또는 分解는 그만큼 進行되지 않고 土壤中의 無機態窒素의 微生物에 의한 섭취가 先行하고 있을 뿐인가를 밝히기 위해 CO_2 放出量을 調査하여 無機態窒素의 有機化가 일어남으로써 減少한다고 했다.

本 實驗에서도 CO_2 放出量은 無處理에서 보다 葉을 混合한 土壤에서 많았으며, 分解가 進行된 葉을 混合한 土壤에서 보다 綠葉의 混合土壤에서 많았다(그림 3).

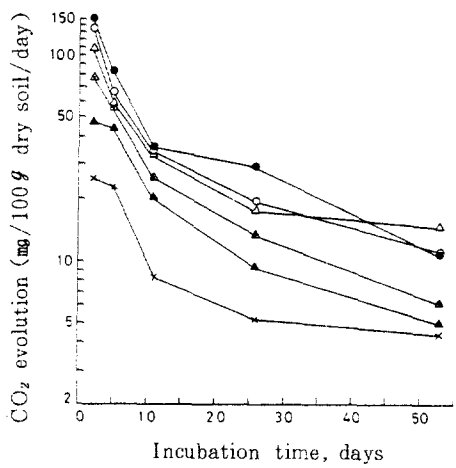

Fig. 3. Changes of CO_2 evolution rate from soil by mixture of organic matter.
The symbols are same as in Fig. 1.

또한 測定日中 初期인 2일째 가장 많았고, 時間의 經過에 따라 점차 減少했다. CO_2放出量이 가장 많은 2일째 「잣-綠葉」, 「잣-落葉」 및 「잣-F」에서, 各各 113.92, 78.04, 47.01 ㎎였고, 「굴-綠葉」과 「떡-綠葉」에서 각각 153.15, 137.20 ㎎으로, 闊葉樹의 葉을 混合한 土壤에서 더 많았다. CO_2 放出量은 時間의 經過에 따라 점차 減少하였고, 각 土壤間의 差異도 작아졌다. 生原(1984)은 綠葉은 分解되기 쉬운 物質이 豊富하기 때문에 土壤에 混合된 경우, 微生物의 活動이 活發하게 됨으로써 土壤中의 無機態窒素의 減少, 즉 微生物에 의한 無機態窒素의 有機化가 크게 일어난다고 했다. 이상의 結果에서 綠葉과 落葉을 土壤에 混合했을때 土壤中의 無機態窒素의 增減이나 CO_2放出速度는 달라, 綠葉을 混合한 土壤에서 無機態窒素의 減少가 컸고, CO_2 放出速度도 컸다. 이것은 綠葉은 他葉에 비해 分解容易한 有機物質이 豊富하여 微生物에 의한 分解가 急速히 進行되며, 이에 따라 土壤中의 無機態窒素가 크게 減少함을 알 수 있다.

따라서 撫育作業에 의해 生枝·生葉 등, 一時에 多量의 有機物이 供給되는 林地에서는 作業후 즉시 窒素質 肥料의 施肥가 必要할 것으로 생각된다.

3. 암모니아態窒素 및 窒酸態窒素의 変化

그림 1에 나타냈던 全無機態窒素(NH_4-N+NO_3-N)를 암모니아態 窒素와 窒酸態 窒素로 區分하여 時間의 經過에 따른 變化를 그림 4에 나타냈다.

「잣-F」와 「無處理」에서 암모니아態 窒素의 量은 初期 5일간은 實驗前의 土壤보다 增加하여, 각각 11.0, 13.56 ㎎였고, 이후 점차 減少했다. 「잣-綠葉」, 「잣-落葉」, 「떡-綠葉」 및 「굴-綠葉」에서는 初期에 減少하여, 11일째 최고 減少를 보여, 각각 0.64, 0.83, 0.81, 0.39 ㎎였다. 이후 점차 증가 傾向을 나타냈다. 窒酸態 窒素의 量은 모든 土壤에서 5일째까지 減少한후, 점차 增加하는 경향을 보여, 培養時間의 經過에 따라 암모니아態 窒素量을 上廻하였다. 「無處理」에서 처음 5일간은 암모니아態 窒素의 增加가 나타났으나, 「잣-綠葉」, 「잣-落葉」, 「떡

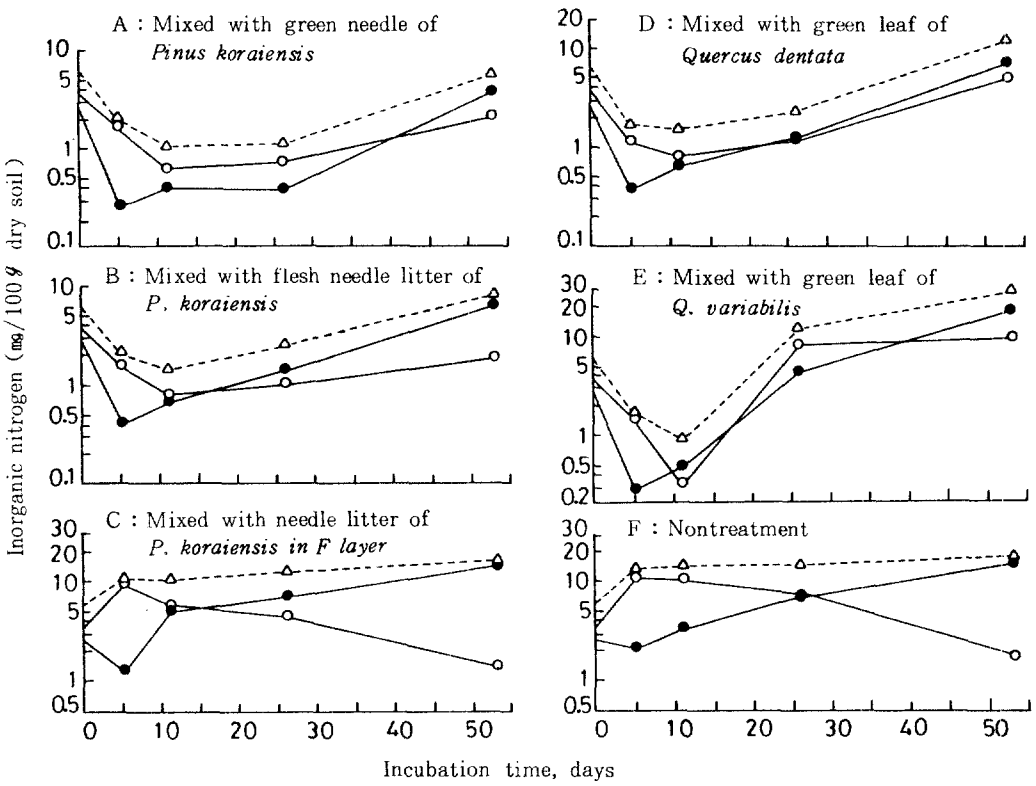

Fig. 4. Changes of the ammonium and nitrate nitrogen amount in soil by mixture of organic matter.
△ : Total inorganic N, ○ : NH_4-N, ● : NO_3-N.

－綠葉」및「굴－綠葉」에선 同一 期間內 암모니아態 窒素의 生成速度의 減少를 나타냈다. 이 現狀은 分解되기 쉬운 炭素化合物의 分解에 따른 암모니아態 窒素의 有機化量이 土壤의 有機態 窒素의 無機化量을 凌駕했기 때문으로 생각된다.[9] 모든 土壤에서 時間이 經過함에 따라 窒酸態 窒素量은 점차 增加해 암모니아態 窒素를 上廻했다.

이는 適溫・適濕의 培養으로 土壤中 窒酸菌의 活性으로 인한 窒酸化作用으로 窒酸態 窒素가 增加했기 때문이다.[9,16,17] 樹木의 落葉이 99%의 完全分解를 하는데, 金(1982)은 針葉樹類는 38.4年, 참나무類는 17.9年이 걸린다고 했으며, Edmonds(1984)는 잣나무 類는 34年이라 했다.

本 硏究에선 粉碎葉을 鑛質土壤에 直接 混合하여 短期間 培養에 의한 實驗結果이므로, 自然狀態인 林床에서의 硏究가 必要하다고 생각된다.

引 用 文 獻

1. 相場芳憲, 生原喜久雄, 川端省三. 1983. 地力に及ぼす集約的保育作業の影響(II) 生枝打ちで落とされたスギ針葉の分解と養分動態. 日林誌 65(6): 215-219.
2. Castellanos, J. Z. and P. F. Pratt. 1981. Mineralization of manure nitrogen——Correlation with laboratory indexes. Soil Sci. Soc. Am. J. 45 : 354-357.
3. 土壤養分測定法委員會. 1976. 土壤養分分析法. 養賢堂. 東京. 430pp.
4. Edmonds, R. L. 1984. Long-term decomposition and nutrient dynamics in Pacific silver fir needles in western Washington. Can. J. For. Res. 14 : 395-400.
5. 生原喜久雄, 相場芳憲. 1984. 有機物の混和による森林土壤中の無機態Nの動態およびCO_2放出. 日林誌 66(1): 36-39.
6. 韓相燮 外. 1982. 生態學과 森林. 鄕文社. 363 pp.
7. Heal, O. W. 1979. Decomposition and nutrient release in even-aged plantations. Pages 257-291 *in* E. D. Ford, D. C. Malcolm and J. Atterson eds. The Ecology of Even-Aged Forest Plantation. Institute of Terrestrial Ecology, Cambridge.
8. 廣瀨春朗. 1973. 各種植物遺體の有機態窒素の畑狀態土壤における無機化について. 日土肥誌 44(5) : 157-163.
9. 廣瀨春朗. 1973. 稻わらおよび稻わら堆肥の分解とアンモニア態窒素の有機化 過程. 日土肥誌 44 (6): 211-216.
10. 片桐成夫, 堤 利夫. 1973. 森林の物質循環と地位との關係について(I) Litter fall 量とその養分量. 日林誌 55(3): 83-90.
11. 河原輝彦. 1971. Litter fall による養分 還元量について(II) 有機物量および養分 還元量. 日林誌 53(8): 231-238.
12. 河原輝彦, 堤 利夫. 1968. 森林土壤中の無機態チッ素量に關する硏究(I) その季節變化について. 京大演報 40 : 157-168.
13. 河田 弘. 1977. 森林土壤の窒素の形態について. 日林試硏報 297 : 105-131.
14. 金遵敏. 1982. 生態學的 立場에서 본 森林作業, 1982 년도 夏季심포지움. 韓林誌 56 : 7-10.
15. Marumoto, T., H. Shindo and T. Higashi. 1980. Effects of carbonaceous materials on the accumulation of readily mineralizable organic nitrogen in soil. Soil Sci. Plant Nutr. 26 (2) : 185-190.
16. Mengel, K. and E. A. Kirkby. 1982. Principles of Plant Nutrition. International Potash Inst. Switzerland. 655pp.
17. Ohta, S. and K. Kumada. 1978. Studies on the humus forms of forest soils VI. Mineralization of nitrogen in brown forest soils. Soil Sci. Plant Nutr. 24(1): 41-54.
18. 瀨戶昌之. 1980. 土壤の二酸化炭素の放出速度と土壤の含水率および土壤溶液中の溶存有機炭素量との關係. 日生態會誌 30 : 385-391.
19. 芝本武夫. 1955. 森林土壤. 朝倉書店, 東京. 199pp.
20. 山谷孝一. 仙石織也. 1976. 丘陵地および上部山地の森林下における落葉分解過程. 日林誌 58(12) : 441-447.