Seoul Nat'l Univ., Coll. of Agric. Rese., Vol. 10, No. 2-1, p. 33~40 (1985)

몇 소나무類의 葉綠素 含量의 月別 變化

李敦求 · 金甲泰 · 曺炅眞 · 李慶學 · 朱洸杰
(서울大學校 農科大學 林學科)

Monthly Changes of Chlorophyll Contents in Needles of Some Conifers

Don Koo Lee · Gab Tae Kim · Kyung Jin Cho · Kyeong Hack Lee · Kwang Yeong Joo
(Dept. of Forestry, Coll. of Agr., Seoul Nat'l Univ.)

Summary

To obtain the fundamental data about the chlorophyll contents of some conifers, monthly measurements of them per unit fresh weight(g) of needles were performed. The results were summarized as follows.

1. Difference of total chlorophyll contents between measuring times in a species was clear but not between species. Total chlorophyll content in summer showed high value and that in winter did low value.
2. In general, the total chlorophyll contents of the conifers showed the highest values in two-year-old needles, measured in July or August.
3. Monthly change of total chlorophyll contents was mainly due to that of the contents of chlorophyll a, and the contents of chlorophyll b was not varied greatly with measuring times.
4. It seems that the physiological activity of needles was closely related with the contents of chlorophyll a.

序 論

大部分의 植物은 光合成作用의 結果로 生長하며 이를 위해 生化學的 構造는 조금씩 다르지만 葉綠素를 가지고 있는 自養植物을 綠色植物이라 한다. 高等植物의 葉綠素는 細胞內 葉綠體의 lamella를 이루는 蛋白質과 結合해 있거나(chlorophyll-protein complex), 葉綠素들만 結合한 形態(chlorophyll-chlorophyll species)로 存在하며, 이 複合體가 光化學反應의 反應中心 및 光吸收體(light harvesting complex)로서의 機能을 한다(Katz 1972). 高等植物의 葉綠素에는 葉綠素 a와 葉綠素 b, 두 種類가 있으며, 光吸收에는 主로 葉綠素 a가 關係되는 것으로 알려져 있다. 單位生重量 또는 單位葉面積當 葉綠素의 含量은 光合成能力과 相關關係를 가지며 生長의 크기를 左右한다는 硏究結果들이 多數 報告(Brougham 1960, Kim & Lee 1983, Sestak 1966 & 1963, Sestak & Bartos 1962, Sestak & Catsky 1962)되어 있다.

한편 葉綠素의 含量이 各種 stress에 對한 生理的 活性의 指標로 利用된 例로는 低溫處理(蘇 1982), 酸性物質處理(李 等 1984, Lee *et al.* 1975), 또는 SO_2와 O_3(金 等 1982, Kundson *et al.* 1977)에 依한 葉綠素含量의 減少가 報告된 바 있으며, Todd와 Arnold (1962)는 大氣汚染에 依한 葉機能의 損傷程度를 葉綠素含量으로 나타낼 수 있음을 報告하였고, Lee와 Sung (1984)은 솔잎혹파리의 침입에 의해 針葉의 葉綠素含量이 增加하였음을 報告하였다.

이처럼 葉綠素含量은 生長能力을 나타내는 指標로, 또는 各種 sterss에 對한 生理的 活性變化의 指標로서 利用되고 있으나, 硏究者에 따라 그 分析方法이 조금씩 相異하기도 하고, 또한 그 表示에 있어서도 單位生重量當 含量(金 等 1982, Laudi & Manzini 1975), 單位乾重量當 含量(Wood 1974), 單位葉面積當 含量(Brougham 1960, Sestak 1966 & 1962) 또는 抽出液一定量當 含量(任 等 1979) 等 多樣하여 相互比較가 곤란한 점도 있다. 한편 作物에서의 葉綠素含量에 對한 硏究報告는 國內(金 等 1982, Lee *et al.* 1975, 蘇

1982), 國外(Brougham 1960, Sestak 1962)에 多數있으나, 林木에서의 測定報告(Kim & Lee 1983, Kirata & Hozumi 1973)는 적으며, 特히 소나무類에 對한 報告(Lee & Sung 1984, 李 等 1984)는 아주 드문 實情이다.

이에 本 硏究는 서울大學校 農科大學 構內에서 生育中인 몇 樹種의 소나무類에 對하여 葉齡에 따른 單位生重量當 葉綠素含量을 月別로 測定調査하여 소나무類 生長硏究의 基礎資料를 提供하고자 試圖되었다.

材料 및 方法

1. 硏究材料

京畿道 水原市 西屯洞 서울大學校 農科大學 構內에서 건전하게 生育中인 소나무(*Pinus densiflora*), 잣나무(*P. koraiensis*), 리기다 소나무(*P. rigida*), 스트로부 잣나무(*P. strobus*), 방크스 소나무(*P. banksiana*) 등 5樹種을 對象으로 하였으며, 樹種別로 生育狀態를 보아 3個體씩 試驗木을 選擇하여 1983年 11月부터 1984年 10月까지 每月 中旬에 1年生 및 2年生 針葉을 任意로 採取하여 試料로 使用하였다.

選擇된 試驗木의 樹齡, 樹高, 胸高直徑은 Table 1과 같다.

Table 1. Age, height and DBH of the tree species investigated.

Species	Age (year)	Height (m)	D.B.H (cm)
Pinus densiflora	30	10.0	20
P. koraiensis	12	3.5	10
P. rigida	25	9.0	18
P. strobus	15	3.5	14
P. banksiana	25	3.5	12

2. 葉綠素 含量 測定

採取한 葉試料에서 生重量으로 0.5g씩을 20ml의 80% aceton에 넣어 Kim과 Lee(1983), Lee와 Sung(1984)의 方法에 準하여 色素를 抽出하였으며, Arnon(1949)의 公式으로 葉綠素 a, 葉綠素 b 및 總葉綠素 含量을 算出하였고, 葉綠素 a와 葉綠素 b의 比를 求하였다. 이와 같이 하여 樹種마다 月別로 3反復測定한 후 平均을 내었다.

結果 및 考察

樹種別, 葉齡別 葉綠素 a, 葉綠素 b, 總葉綠素 含量 및 葉綠素 a와 葉綠素 b의 比 등에 對한 平均과 標準偏差를 Table 2에 보였다.

樹種別 總葉綠素 含量의 月別變化는 Fig. 1에 圖示한 것처럼 新葉이 5月末頃에 나오기 始作하면서 8,9月까지 增加하다가 氣溫이 낮아짐에 따라 다음해 1月末까지는 減少하는 傾向을 보였다가 봄부터 다시 急激히 增加하여 7,8月에 最大値를 보이고 그 이후로는 減少하는 傾向으로 나타났다. 이는 針葉의 生理的 活性이 높은 시기에는 葉綠素 含量이 增加하고 生理作用이 거

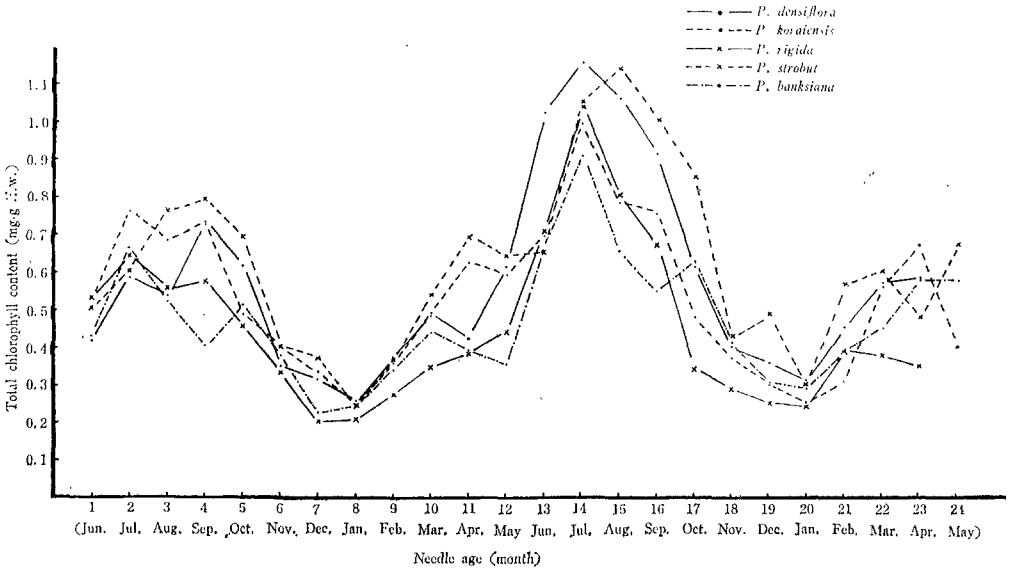

Fig. 1. Monthly change of total chlorophyll content.

Table 2. Monthly mean values and standard deviations of needle chlorophyll content for some conifers.
($\bar{X}$±S.D. mg·g^{-1}·f.w.)

Month	*Pinus densiflora*			
	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total Chlorophyll	Chl. a/Chl. b
Jun.	.316±.157	.105±.042	.421 ±.199	2.92±0.35
Jul.	.461±.056	.128±.023	.589 ±.078	3.62±0.28
Aug.	.425±.102	.098±.016	.539 ±.105	3.78±1.01
Sep.	.562±.157	.176±.016	.739 ±.168	3.17±0.70
Oct.	.495±.178	.124±.047	.619 ±.224	4.01±0.17
Nov.	.231±.014	.118±.035	.350 ±.048	2.36±0.99
Dec.	.210±.017	.102±.014	.312 ±.031	2.08±0.15
Jan.	.123±.006	.135±.017	.259 ±.022	0.92±0.08
Feb.	.266±.027	.107±.060	.373 ±.030	2.48±0.24
Mar.	.350±.039	.144±.017	.494 ±.055	2.44±0.16
Apr.	.293±.104	.132±.046	.425 ±.150	2.22±0.14
May	.473±.135	.146±.033	.618 ±.168	3.23±0.19
Jun.	.767±.166	.255±.087	1.021±.249	3.61±1.23
Jul.	.926±.039	.231±.050	1.156±.059	4.14±0.88
Aug.	.786±.112	.183±.031	.969 ±.141	4.30±0.11
Sep.	.680±.252	.239±.012	.919 ±.374	2.99±0.44
Oct.	.416±.292	.199±.010	.618 ±.385	2.10±0.70
Nov.	.242±.005	.159±.012	.402 ±.013	1.53±0.12
Dec.	.250±.026	.111±.033	.361 ±.053	2.35±0.50
Jan.	.129±.005	.183±.030	.312 ±.031	0.72±0.10
Feb.	.321±.019	.135±.010	.456 ±.027	2.38±0.14
Mar.	.379±.071	.196±.058	.575 ±.128	1.97±0.20
Apr.	.429±.103	.158±.035	.590 ±.138	2.67±0.31
May	N.A.*	N.A.	N.A.	N.A.

Month	*Pinus koraiensis*			
	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total Chlorophyll	Chl. a/Chl. b
Jun.	.396±.089	.133±.067	.529±.140	3.40±1.21
Jul.	.624±.209	.139±.080	.763±.201	4.55±1.82
Aug.	.569±.152	.113±.027	.682±.178	5.00±0.33
Sep.	.563±.239	.170±.059	.733±.291	3.32±0.70
Oct.	.379±.093	.111±.019	.490±.111	3.40±0.37
Nov.	.246±.002	.159±.014	.404±.017	1.56±0.13
Dec.	.234±.045	.102±.047	.336±.091	2.55±0.56
Jan.	.125±.007	.124±.016	.250±.021	1.02±0.09
Feb.	.253±.031	.107±.016	.360±.047	2.38±0.15
Mar.	.336±.014	.150±.015	.486±.029	2.25±0.12
Apr.	.466±.137	.159±.044	.625±1.23	3.16±1.61
May	.480±.041	.112±.025	.592±.028	4.50±1.50
Jun.	.508±.163	.191±.026	.699±.162	2.71±1.01
Jul.	.860±.011	.139±.031	.999±.036	6.39±1.27

Aug.	.634±.117	.143±.023	.786±.140	4.48±0.13
Sep.	.579±.169	.182±.044	.761±.213	3.16±0.20
Oct.	.351±.151	.131±.043	.482±.193	2.62±0.32
Nov.	.240±.011	.136±.028	.376±.038	1.80±0.32
Dec.	.208±.024	.100±.013	.308±.036	2.09±0.10
Jan.	.123±.007	.133±.013	.256±.020	0.93±0.03
Feb.	.215±.050	.095±.026	.310±.071	2.30±0.41
Mar.	.372±.028	.191±.041	.564±.069	2.05±0.42
Apr.	.419±.092	.253±.011	.672±.173	1.88±0.85
May	.297±.063	.112±.025	.409±.085	2.67±0.29

Month	*Pinus rigida*			
	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total Chlorophyll	Chl. a/Chl. b
Jun.	.408±.198	.122±.062	.530 ±.241	3.87±1.87
Jul.	.533±.187	.115±.047	.649 ±.235	4.69±0.25
Aug.	.456±.088	.103±.016	.559 ±.102	4.44±0.39
Sep.	.440±.053	.140±.090	.580 ±.061	3.14±0.23
Oct.	.350±.197	.094±.058	.459 ±.240	4.07±0.55
Nov.	.230±.013	.103±.021	.333 ±.035	2.30±0.40
Dec.	.139±.017	.065±.016	.203 ±.033	2.19±0.27
Jan.	.107±.014	.103±.037	.209 ±.051	1.11±0.32
Feb.	.200±.062	.079±.017	.278 ±.078	2.50±0.38
Mar.	.261±.050	.090±.015	.350 ±.065	2.91±0.08
Apr.	.281±.078	.105±.023	.386 ±.101	2.67±0.16
May	.323±.100	.118±.045	.441 ±.143	2.78±0.43
Jun.	.515±.102	.195±.035	.710 ±.122	2.68±0.57
Jul.	.899±.080	.143±.050	1.046±.068	6.32±0.78
Aug.	.655±.237	.151±.051	.805 ±.287	4.33±0.10
Sep.	.519±.051	.113±.092	.682 ±.072	3.19±0.10
Oct.	.251±.036	.094±.058	.345 ±.057	3.52±2.37
Nov.	.203±.033	.092±.020	.294 ±.035	2.21±0.31
Dec.	.156±.049	.095±.046	.251 ±.095	1.73±0.32
Jan.	.121±.000	.125±.000	.246 ±.000	0.97±0.01
Feb.	.275±.003	.119±.000	.394 ±.003	2.31±0.03
Mar.	.266±.114	.117±.083	.383 ±.197	2.58±0.86
Apr.	.239±.035	.113±.019	.352 ±.054	2.16±0.01
May	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

Month	*Pinus strobus*			
	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total Chlorophyll	Chl. a/Chl. b
Jun.	.408±.071	.097±.014	.504 ±.082	4.21±0.45
Jul.	.491±.171	.121±.018	.613 ±.186	3.98±0.92
Aug.	.626±.093	.134±.019	.761 ±.111	4.66±0.01
Sep.	.603±.062	.189±.010	.792 ±.072	3.18±0.17
Oct.	.527±.189	.172±.046	.699 ±.234	3.00±0.45

Nov.	.247±.004	.156±.027	.403 ±.030	1.61±0.28
Dec.	.240±.030	.135±.027	.375 ±.056	1.80±0.15
Jan.	.117±.005	.125±.050	.245 ±.012	0.94±0.01
Feb.	.255±.092	.115±.060	.370 ±.014	2.27±0.15
Mar.	.368±.069	.172±.010	.540 ±.168	2.52±1.01
Apr.	.461±.100	.233±.046	.694 ±.145	1.97±0.10
May	.502±.099	.144±.045	.646 ±.144	3.56±0.41
Jun.	.495±.289	.160±.011	.655 ±.401	3.36±1.00
Jul.	.865±.023	.155±.089	1.020±.044	4.70±0.86
Aug.	.929±.121	.214±.040	1.144±.156	4.38±0.42
Sep.	.755±.122	.254±.042	1.008±.081	3.06±0.98
Oct.	.604±.350	.257±.013	.861 ±.484	2.26±0.26
Nov.	.249±.004	.186±.024	.435 ±.028	1.35±0.16
Dec.	.298±.038	.195±.020	.494 ±.088	1.57±0.28
Jan.	.128±.000	.172±.030	.302 ±.000	0.74±0.01
Feb.	.260±.154	.182±.029	.573 ±.066	2.17±0.14
Mar.	.393±.051	.215±.071	.607 ±.121	1.91±0.40
Apr.	.333±.004	.151±.051	.484 ±.047	2.34±0.82
May	.511±.226	.169±.070	.680 ±.272	2.95±0.52

Month	*Pinus banksiana*			
	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total Chlorophyll	Chl. a/Chl. b
Jun.	.335±.009	.101±.031	.436±.022	3.53±1.02
Jul.	.578±.285	.105±.014	.666±.302	5.18±2.01
Aug.	.407±.081	.094±.025	.521±.109	4.73±0.59
Sep.	.281±.071	.126±.044	.408±.112	2.28±0.32
Oct.	.378±.030	.134±.012	.513±.042	2.82±0.04
Nov.	.239±.004	.140±.040	.379±.008	1.70±0.04
Dec.	.147±.019	.085±.023	.232±.040	1.78±0.31
Jan.	.120±.004	.123±.050	.243±.006	0.98±0.06
Feb.	.231±.026	.110±.022	.342±.048	2.12±0.20
Mar.	.293±.015	.148±.028	.440±.025	2.04±0.42
Apr.	.276±.004	.115±.012	.391±.015	2.42±0.23
May	.262±.024	.106±.013	.368±.036	2.47±0.16
Jun.	.490±.179	.166±.069	.656±.237	3.09±1.02
Jul.	.783±.158	.133±.014	.916±.172	5.83±0.59
Aug.	.538±.052	.125±.013	.663±.060	4.33±0.45
Sep.	.366±.071	.184±.059	.550±.123	2.06±0.35
Oct.	.442±.075	.197±.064	.639±.136	2.34±0.48
Nov.	.244±.006	.179±.023	.423±.026	1.37±0.16
Dec.	.187±.004	.131±.011	.318±.015	1.44±0.08
Jan.	.131±.002	.166±.012	.297±.014	0.79±0.06
Feb.	.259±.137	.131±.084	.390±.221	2.08±0.29
Mar.	.319±.038	.145±.033	.464±.025	2.38±0.74
Apr.	.417±.017	.169±.011	.586±.028	2.48±0.05
May	.413±.106	.168±.013	.581±.098	2.33±0.52

N.A.; No data available

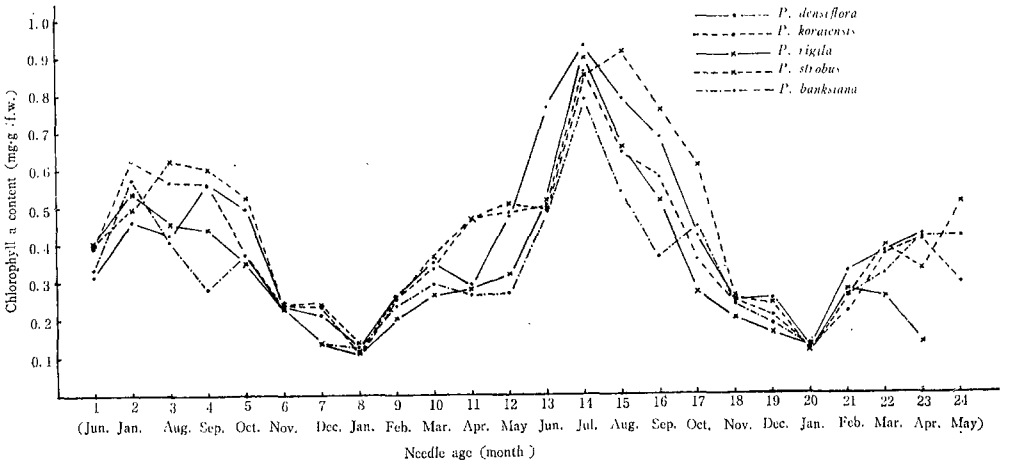

Fig. 2. Monthly change of chlorophyll a content.

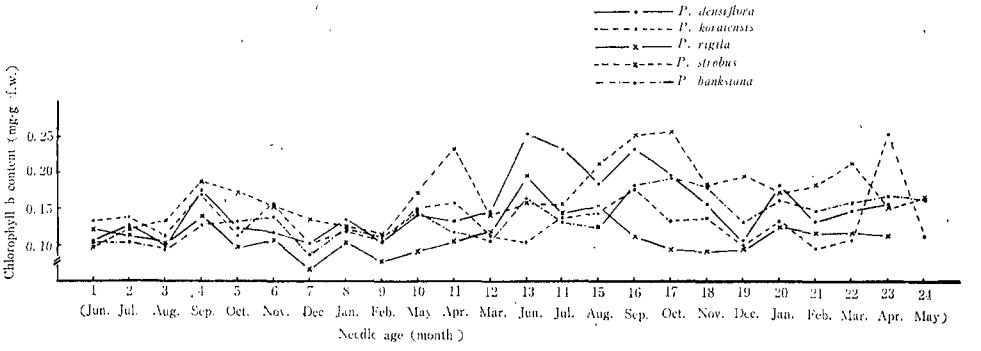

Fig. 3. Monthly change of chlorophyll b content.

의 일어나지 않는 시기에는 葉綠素 含量이 減少함을 나타낸다. 이러한 傾向은 Poplar에서 Kim과 Lee (1983)가 報告한 6~10月 사이의 葉綠素 含量의 月別變化와 비슷하였으며, Kirata와 Hozumi(1973)가 Minamata지방의 常綠性 참나무의 葉綠素 含量을 季節別로 測定해 본 結果 겨울철이 오히려 더 높은 含量을 보인 것과는 相異한 結果이다. 이러한 傾向의 差異는 주로 氣候差에 起因한 것으로 思料된다. 한편 이 硏究에서 測定된 소나무類의 總葉綠素 含量은 0.20~1.16(mg·g^{-1}·f.w.)으로 金등(1982)이 水稻에서의 含量 1.87~3.40(mg·g^{-1}·f.w.), Wood(1974)가 오스트레일리아에서 radiata소나무에 對하여 報告한 2.02~3.70(mg·g^{-1}·f.w.)보다 조금 낮은 값을 보였으며, Laudi와 Manzini(1975)가 *Metasequoia glyptostroboides*에서 0.46~0.87(mg·g^{-1}·f.w.), 李 등(1984)이 2月과 3月에 소나무에서 0.17~0.37, 그리고 잣나무에서 0.17~0.44(mg·g^{-1}·f.w.), Lee와 Sung(1984)이 6~10月 사이에 소나무와 리기다 소나무에서 各各 0.14~0.80, 0.12~0.91(mg·g^{-1}·f.w.)로 報告한 값과 거의 같은 結果이다. 樹種間의 差異는 뚜렷하지 않았다.

總葉綠素 含量의 月別變化는 主로 葉綠素 a의 含量變化에 依한 것임을 Fig. 2에서 볼 수 있으며, 葉綠素 b의 含量은 Fig. 3에 나타난 것처럼 月別變化가 거의 없었고 대체로 葉齡이 增加함에 따라 조금씩 增加하는 것으로 나타났다. 葉綠素 a와 葉綠素 b의 含量比의 月別變化는 Fig. 4와 같다.

그런데 葉綠素 b의 含量은 葉齡과 季節에 거의 無關한 반면, 葉綠素 a의 含量은 葉齡과 季節에 따라 變化幅이 크게 나타나 葉綠素 a와 b의 含量比의 變化는 總葉綠素 含量 및 葉綠素 a 含量의 變化와 같은 傾向을 보였다. 本 硏究에서 調査된 葉綠素 a와 b의 含量比는 李 등(1984)이 2月과 3月에 소나무와 잣나무에 對하여, 그리고 Lee와 Sung(1984)이 6~10月에 소나무와 리기다 소나무에 對하여 報告한 값과 거의 같은 傾向을 보였으며, 樹種間의 差는 뚜렷하지 않았다.

소나무, 잣나무, 리기다 소나무, 스트로부 잣나무, 방크스 소나무에 對한 葉綠素 含量의 月別變化는 主로 葉綠素 a의 含量變化에 의해 나타나며, 葉綠素 a는 針

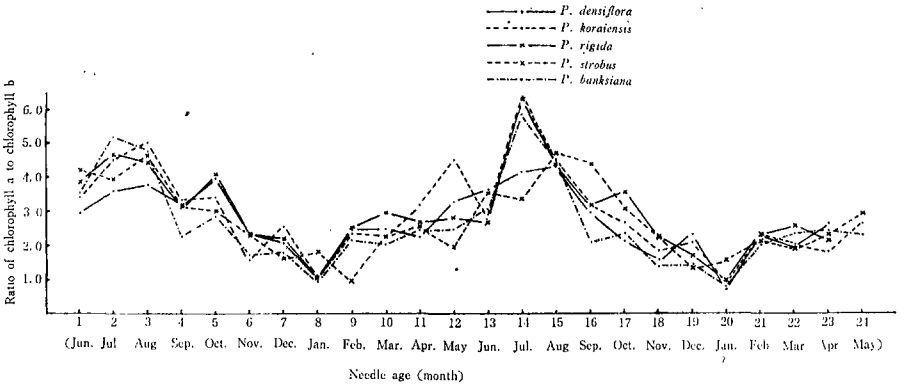

Fig. 4. Monthly change of the ratio of chlorophyll a to chlorophyll b.

葉의 生理的 活性이 높은 生育期에 많아졌다가 生育이 거의 정지되는 겨울철에는 줄어드는 것을 알 수 있었다. 樹種間의 針葉單位生重量當 總葉綠素, 葉綠素 a, 葉綠素 b의 含量 및 葉綠素 a와 b의 含量比는 뚜렷한 差異가 없었다.

結 論

소나무類의 葉綠素 含量에 關한 基礎資料를 얻고자 水原市 西屯洞 서울大學校 農科大學 構內에 生育中인 소나무, 잣나무, 리기다 소나무, 스트로부 잣나무, 방크스 소나무에 對하여 葉齡에 따른 單位生重量當 葉綠素 含量을 月別로 測定하여 比較해 본 結果 다음과 같은 結果을 얻었다.

1. 葉綠素 含量의 樹種間 變異는 뚜렷하지 않으나 季節的 變異는 뚜렷하였으며, 生長이 활발한 여름철에는 含量이 많고 生長이 거의 정지된 겨울철에는 적었다.

2. 일반적으로 2年生 針葉이 7,8月에 最大의 葉綠素 含量을 보였다.

3. 總葉綠素 含量의 月別變化는 주로 葉綠素 a의 含量變化에 起因하며, 葉綠素 b의 含量은 크게 變化하지 않았다.

4. 針葉의 生理的 活性은 葉綠素 a의 含量과 密接하게 關聯되어 있는 것으로 보인다.

摘 要

植物體는 生存 또는 生長을 위해 光合成作用을 하며, 綠色植物은 이를 위한 色素로서 葉綠素를 가지고 있다. 따라서 이의 含量은 生長能力이나 各種 stress에 對한 生理的 活性變化를 나타내는 指標로 이용되는 데 이에 對한 硏究報告는 基礎的 資料로서의 重要性에도 불구하고 林木 특히 소나무類에 있어서는 극히 드물었다.

이에 서울大學校 農科大學 構內에 있는 소나무類 5樹種에 對한 針葉單位生重量當 葉綠素含量을 月別測定한 結果 樹種間의 含量差異는 뚜렷하지 않았으나 測定時期間에는 差異를 보였다. 總葉綠素의 含量變化는 葉綠素 a의 含量變化에 起因하며 이는 여름철에는 높고 겨울철에는 낮았다. 또한 最大値는 2年生 針葉을 7,8月에 測定했을 때 나타났다. 이러한 結果를 綜合해 볼 때 소나무類의 生理的 活性은 葉綠素 a와 密接한 關係를 갖고 있는 것으로 思料된다.

引 用 文 獻

1. Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenol-oxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiol. 24:1-15.
2. Brougham, R.W. 1960. The relationship between the critical leaf area—total chlorophyll content, and maximum growth rate of some pasture and crop plants. Ann. Bot. 24:463-474.
3. Hiscox, J.D. and G.F. Israelstam. 1979. A method for the extration of chlorophyll from leaf tissue without maceration. Can. J. Bot. 57:1332-1334.
4. Katz, J.J. 1972. Chlorophyll function in photosynthesis, p. 103-142. In The Chemistry of Plant Pigments, ed. by C.O. Chichester. A.P. New York, 218pp.
5. 金福榮, 趙在規, 朴英善. 1982. 水稻生育에 對한 Ozone가스의 影響에 關한 硏究. 1. Ozone가스에 對한 水稻生育時期別影響, 韓國環境農學會誌 1(2);

123-128.

6. Kim, G.T. and D.K. Lee. 1983. A technique for selecting superior *Populus alba*×*Populus glandulosa* F_1 clones with some physiological characters. Jour. Korean For. Soc. 59:15-30.
7. Kirata, H. and K. Hozumi. 1973. Estimation of the total cholorophyll amount and its seasonal changes in a warm-temperate evergreen oak forest at Minamata. Japan. Jap. J. Ecol. 23(5):195-200.
8. Kundson, L.L., T.W. Tibbitts and G.E. Edwards. 1977. Measurement of ozone injury by determination of leaf chlorophyll concentration. Plant Physiol. 60:606-608.
9. Laudi, G. and M.L. Manzini. 1975. Chlorophyll content and plastid ultrastructure in leaflets of *Metasequoia glyptostroboides*. Protoplasma 84:185-190.
10. Lee, D.K. and J.H. Sung. 1984. Variation in photosynthesis and leaf pigments of susceptible *Pinus densiflora* and resistant *Pinus rigida* following pine gall midge attack. Jour. Korean For. Soc. 65:1-11.
11. 李敎求, 金甲泰, 辛俊煥, 朱洸抉. 1984. 人工酸性雨가 소나무와 잣나무 幼苗의 葉綠素 含量에 미치는 影響. 서울大 農學硏究 9(2):15-19.
12. Lee, M.S., J.W. Park and S.R. Lee. 1975. Discoloration pattern of lettuce leaf disks as influenced by sulfur dioxide. Korean J. Bot. 18: 1-10.
13. Sestak, Z. 1966. Leaf-aging, chlorophyll content and photosynthetic rate. Acta Univ. Carolinae-Biologia Supplementum 1/2:115-118.
15. Sestak, Z. and J. Bartos. 1962. Photosynthesis and chlorophyll content in different areas of fodder cabage leaves. Biol. Plant. 4:47-53.
16. Sestak, Z. and J. Catsky. 1962. Intensity of photosynthesis and chlorophyll content as related to leaf age in *Nicotiana sanderae* hort. Biol. Plant. 4:131-140.
17. 蘇昌鎬. 1982. 水稻品種들의 生理機能의 低溫反應特性에 關한 硏究. 서울大 碩士學位論文, 60pp.
18. Suwannapinunt, W. and T.T. Kozlowski. 1980. Effect of SO_2 on transpiration, chlorophyll content, growth, and injury in young seedling of woody angiosperms. Can. J. For. Res. 10:78-83.
19. Todd, G.W. and W.W. Arnold. 1962. An evaluation of methods used to determine injury to plant leaves by air pollutants. Bot. Gaz. 123: 151-154.
20. Vernon, L.P. 1960. Spectrophotometric determination of chlorophylls and pheophytins in plant extracts. Analytical Chemistry 32(9):1144-1150.
21. Wood, G.B. 1974. Spatial variation in leaf chlorophyll within the crown of a radiata pine sapling. Aust. For. Res. 6:5-14.
22. 任慶彬, 金泰旭, 權琦遠, 李景宰. 1979. 環境汚染의 都市樹木의 生育에 미치는 影響(Ⅱ). 서울大 演習林報告 15:103-124.