

〈論文〉

クヌギ苗の生長と養分の季節変動

橋詰隼人^{*}・岡亜喜彦^{**}

Growth and Seasonal Variation of Nutrients in *Quercus acutissima* Seedlings

Hayato HASHIZUME^{**} and Akihiko OKA^{**}

Summary

1-year-old seedlings of *Quercus acutissima* CARR. were grown under different relative light intensities from 25% to 100%, and the seasonal variations of nutrients contained in the seedlings were investigated.

The growth of seedlings was best at 50% relative light intensity, followed by 100% day light.

Seasonal variation in the concentration of mineral nutrients contained in seedlings varied with the kind of mineral elements. Seasonal variation of nitrogen and phosphorus concentrations in whole seedlings gave a concave curve showing lower concentrations in the summer season, whereas that of potassium and calcium concentrations in whole seedlings gave a convex curve showing higher concentrations in the period from mid summer to early autumn. It was found that there were remarkable differences in seasonal variation of potassium and calcium concentrations according to the part of the seedlings. The concentration of potassium decreased in the summer season in the leaf, but it increased during the period from June to July in the stem and during the period from July to September in the root. The concentration of calcium increased gradually from May to September in the leaf and root, but it decreased gradually from May to October in the stem.

The amount of uptake of mineral elements by seedlings was generally little in the early period of the growing season. The amount of uptake of nitrogen and phosphorus increased markedly in and after July, that of potassium in a period from June to August, and that of calcium in a period from July to August.

The concentration of total sugar in the leaf, stem, and root was lower in the growing season and increased in September. The concentration of crude starch increased in the summer season in the leaf, but in the stem and root

^{*} 鳥取大学農学部造林学研究室 : *Laboratory of Silviculture, Faculty of Agriculture, Tottori University*

^{**} 広島県尾三地方森林組合 : *Bisan District Forest Owners' Association, Hiroshima Prefecture*

it decreased in May and increased in October. Crude starch was contained most abundantly in the root. Therefore, it was proved that the root is important as a reserve organ of starch.

From histochemical investigation, it was observed that the amount of reserve starch in each tissue of stem and root generally increased a period from late autumn to early winter and decreased in the summer season. However, it was found that there were some differences in the seasonal variation of reserve starch according to tissues. In secondary phloem, primary xylem and secondary xylem of stems, two maximums and two minimums were observed in the seasonal variation in the amount of reserve starch. The amount of reserve starch was most abundant in the pith, and only a small quantity was in cortical parenchyma.

I 緒 言

拡大造林による広葉樹林の減少、シイタケ原木の需要量の増加などによって、最近シイタケ原木が不足し、深刻な問題になっている。この対策としては、原木林を積極的に造成し、長期的に安定して原木を供給する必要がある。クヌギはシイタケ原木として優れた樹種で、最近人工造林が行われている。クヌギの人工造林は直播造林か植樹造林によるが、後者の植樹造林すなわちタネをまいて苗木をつくり造林する方法が一般的である。筆者はクヌギの育苗試験を行っており、今回苗木の生長と養分の季節変動との関係について調査研究したので報告する。

本研究に際し、ご協力いただいた大学院生杉本 直氏(現在福岡県福岡舞鶴高等学校)に感謝の意を表す。

II 材 料 と 方 法

1. 育 苗 試 験

本実験は1980年に鳥取大学農学部苗畑で行った。供試材料は1年生クヌギ苗である。3月中旬に苗畑を耕うんして畝をつくり、基肥として1㎡当たり堆肥2kg、住友化成森林肥料特2号(N:P:K=13:17:12,%)を100g施した後、3月下旬に大きさの様な苗木を直根を切断せずに床替えした。1試験区の大きさは1×1.5mで、その中に苗木を80本植えつけた。処理区として、相対照度100%区、50%区及び25%区の3区を設けた。庇陰処理は、床替え床の上に1.5m(長さ)×1m(幅)×1m(高さ)の庇陰格子を設け、その周囲をダイオネットで覆って照度を調節し、5月上旬から10月下旬まで行った。苗床の管理はかん水、除草を適宜行い、また6、7月にヤスデやナメクジが発生し

たので、カルホス粒剤及びナメキールを散布した。測定は、各処理区から10本を選び、4月から10月まで10日おきに苗高と根元直径を測定した。掘り取り調査は10月下旬に行った。根を切断しないように注意して掘り取り、各区より20本を選出し、苗高、根元直径、各部分乾重量、葉面積などを測定した。葉面積の測定には自動面積計を用いた。

2. 含有成分の分析

4月から10月まで毎月1回、月末に各処理区から5本ずつ苗木を掘り取り、生長を測定し、更に葉、幹枝及び根に分けて80℃で24時間乾燥させて乾重量を測定した。乾燥試料は粉碎機で粉碎し、1mmのふるいを通して化学分析に供した。化学分析は、全窒素、リン、カリウム、カルシウム、全糖及び粗デンプンを定量分析した。化学分析の方法は前報²⁾と同様である。化学分析の結果から、苗木の各部分及び全体における各成分の乾重含有率を求めた。無機養分の吸収量は $D_0^2 H$ （根元直径²×苗高）と全苗乾重との相対生長関係より各月における苗木の乾重量を求め、それに各成分の含有率を乗じて求めた。

次に幹及び根の各組織における貯蔵デンプン含有量の季節変動を顕微化学的に調べた。各処理区から毎月2本ずつ苗木を掘り取り、幹及び主根の一部を切り取ってサンプル管に入れ、ファーマー氏液で24時間固定した後70%アルコール溶液に貯蔵した。試料は随時取り出してマイクロトームで30~40μの厚さの切片をつくり、ヨウ素ヨウ化カリウム試液で染色して検鏡した。デンプンの含有量は幹及び主根の皮層柔組織、二次師部、二次木部、一次木部及び髓の各細胞について調査し、一つの細胞の中にデンプン粒子が全くないときを0、充満しているときを10とし、その間は目測で測定した。測定は各組織の細胞40個について行い、その加重平均をとった。

Ⅲ 結果と考察

1. 苗木の生長

苗木の伸長生長、根元直径生長及び重量生長の経過を図1~4に、また10月に掘り取り調査した結果を表1に示す。苗木の伸長生長、根元直径生長、重量生長はいずれも相対照度50%区>100%区>25%区の順に良かった。伸長生長の期間は5月上旬から9月上旬までであったが、6月中旬と7月中、下旬によく伸長し、二つの山がみられた。根元直径生長は7月下旬から8月下旬にかけて盛んであった。重量生長は6月以降はほぼ一定の割合で直線的に増加した。苗木の形質については(表1)、比較苗高、T/R率、葉重比などは各処理区間に大きな差はなかったが、弱さ度及び葉面積比は相対照度25%区で最も高く、照度の低下に伴って苗木は弱々しくなり、葉が薄くなった。

前報²⁾の結果によると、苗木の伸長生長は相対照度25~50%区で、根元直径生長は100%区で、重量生長は1年生苗では50%区で、2年生苗では100%区で最も良かったが、今回の実験では、伸長生長、直径生長、重量生長はいずれも50%区で最大を示し、前回の結果と多少違う結果がえられた。

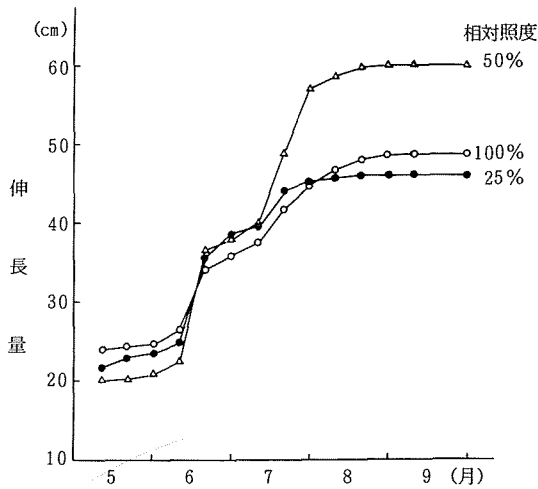


図1 各相対照度区における1年生苗の伸長生長の経過
○相対照度100%区, △50%区, ●25%区。
図2~図15における符号は図1と同様である。

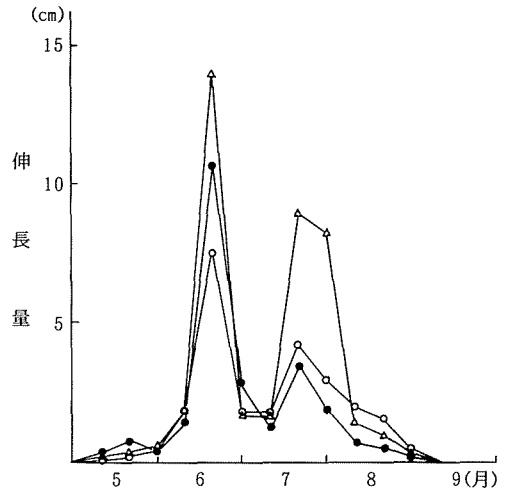


図2 1年生苗における定期伸長生長の経過

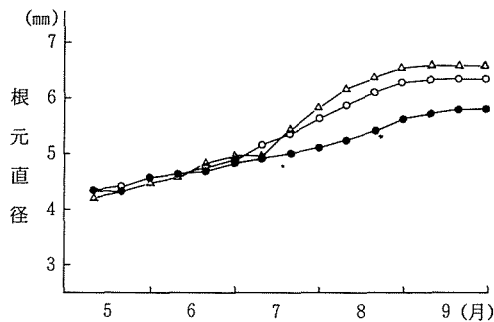


図3 1年生苗における根元直径の生長経過

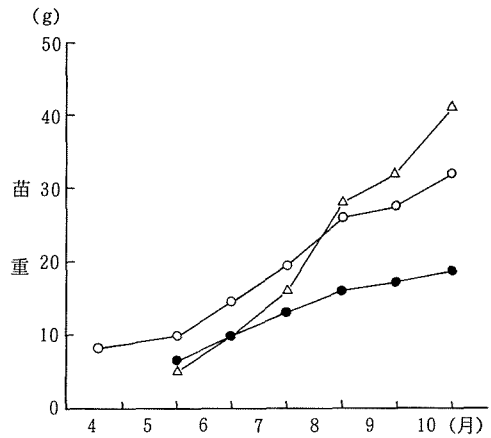


図4 1年生苗における重量生長の経過

表1 苗木の生育状況[※]

調査項目	相対照度	100%区	50%区	25%区
苗高	(cm)	48.6	59.8	46.2
根元直径	(cm)	0.63	0.71	0.58
根長	(cm)	59.1	63.2	47.5
1本当たり乾物重量	葉 (g)	6.62	8.25	3.55
	幹枝 (g)	5.20	7.67	3.59
	根 (g)	20.08	25.46	12.49
1本当たり全体	(g)	31.90	41.38	19.63
1本当たり葉面積	(cm ²)	1,189	1,652	802
比較苗高		77.1	84.2	79.7
弱さ度		4.1	3.8	6.5
T/R率		0.59	0.63	0.57
葉重比		0.21	0.20	0.18
葉面積比	(cm ² /g)	179.6	200.2	225.9

※ 10月下旬掘り取り調査。

これは苗畑の気象条件が年によって異なるためであると思われる。相対照度を同じ条件に調節しても、温度、土壌水分、日射量などがその年の気候によってかなり異なるからである。クヌギは陽樹であるが、育苗に際して播種当年には相対照度50%程度の遮光ネットを夏期にかけるとよいようである。2年目からは無日覆で育苗してさしつかえない。

2. 無機養分の含有率と吸収量の季節変動

苗木の部分別無機養分含有率の季節変動を図5～8に、また苗木の各部分を込みにした全体の含有率の変動を図9に示す。全窒素の含有率は葉で最も高く、幹枝及び根では低かった。葉の全窒素含有率は、相対照度100%区と50%区では春季に高く、8月に著しく減少し、秋季に再び増加したが、25%区では夏季にあまり低下しなかった。幹枝における季節変動は著しくなく、各区とも6月以降徐々に減少した。根においては、100%区では6月から8月にかけて減少し、50%区と25%区では7、8月に減少し、その後増加した。苗木全体の変動は、春季に高く、夏季に低下し、秋季に再び増加する凹型変化を示した。

リンの含有率は葉で最も高かった。葉では、含有率は各照度区とも5月に最大で、6月に急激に減少し、その後は低い値で推移した。幹枝及び根においても、6月に減少したが、根では7月以降増加する傾向がみられた。苗木全体では、含有率は春季に高く、6月に低下し、その後再び増加して凹型に近い変化を示した。

カリウムの含有率は葉で最も高く、相対照度100%区と50%区では7月に減少し、凹型に近い変化を示したが、季節変動は顕著でなかった。幹枝においては、6、7月に著しく増加し、凸型変化を示した。根においては、7～9月に増加し、凸型に近い変化を示した。苗木全体の変化は、4月以降

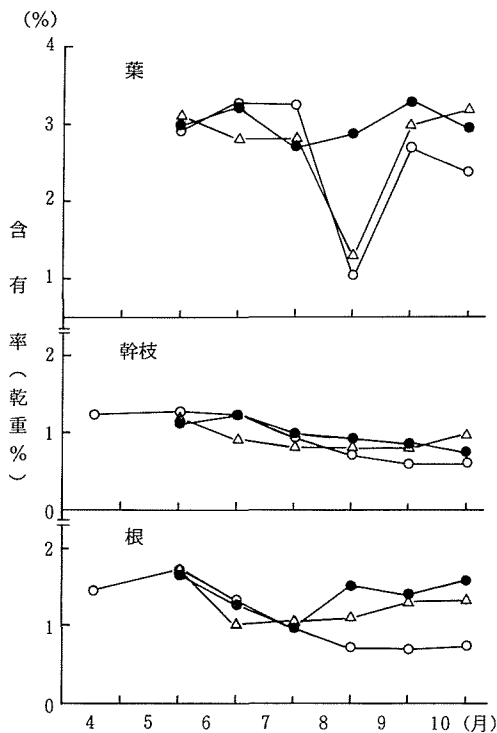


図5 1年生苗木の各部分における全窒素含有率の季節変動

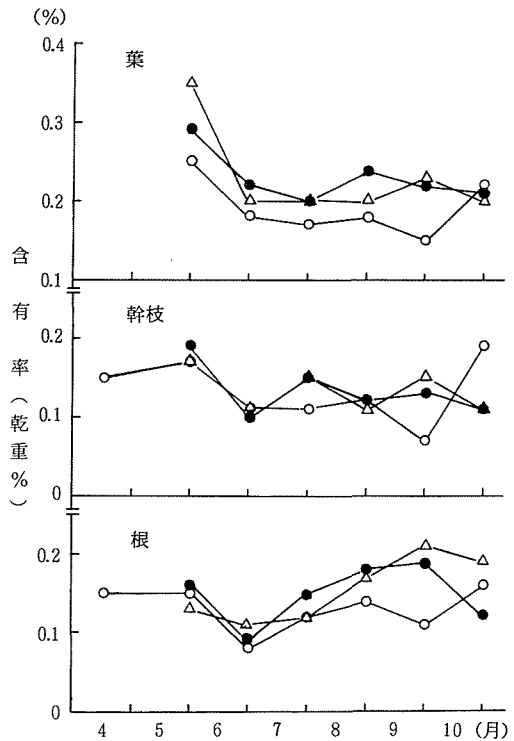


図6 1年生苗木の各部分におけるリン含有率の季節変動

漸次増加して7~9月に最高になり、10月に再び減少し、凸型変化を示した。

カルシウムの含有率は葉においては5月以降漸次増加したが、幹枝では逆に季節が進むにつれて減少した。根においては、季節の進行にしたがって増加し、8~9月に最大になり、その後再び減少した。苗木全体の変化は根と同様に8~9月に最も養分濃度の高い凸型変化を示した。各養分の含有率の季節変動と相対照度との関係については、特に著しい傾向はみられなかった。

次に無機養分吸収量の季節変動についてみると、図10~13のごとくである。窒素の吸収量は、相対照度100%区と25%区では季節の進むにつれて緩慢に増加したが、50%区では7月以降急激に増加した。リンの吸収量は、各処理区とも生育の初期に少なく、7月以降に増加した。カリウムの吸収量は、各処理区とも6月から8月にかけて急激に、その後は緩慢に増加した。カルシウムの吸収量は6月までは緩慢に増加し、7、8月に急激に増加した。一般に各成分とも生育の初期と後期に吸収量が少なく、7、8月に増加した。特に相対照度25%区では、生育後期の吸収量が少なかった。無機養分吸収量の季節変動は苗重の生長の季節変動と密接に関連している。苗木1本当たりの吸収量は、各成分とも相対照度50%区>100%区>25%区の順であった。

落葉広葉樹の葉における無機養分含有率の季節変動は中塚⁶⁾によってくわしく研究されている。クヌギの葉においては、窒素とP₂O₅の含有率は発芽直後の新葉で最も高く、6月から10月まではあま

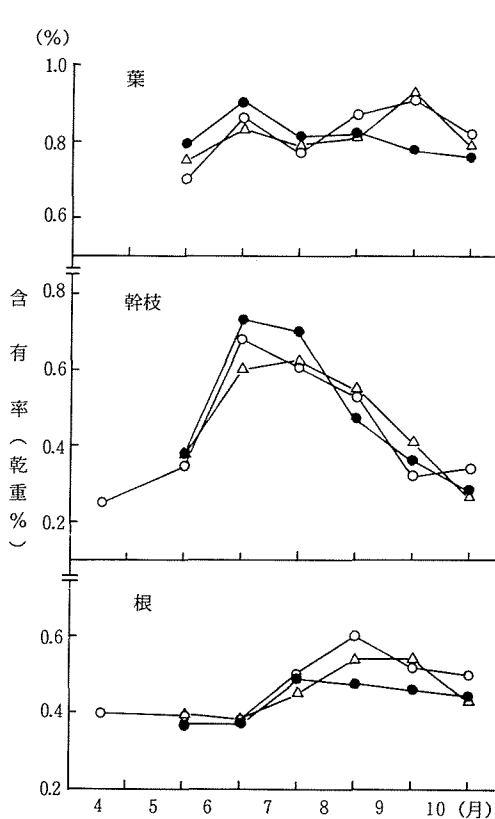


図7 1年生苗の各部分におけるカリウム含有率の季節変動

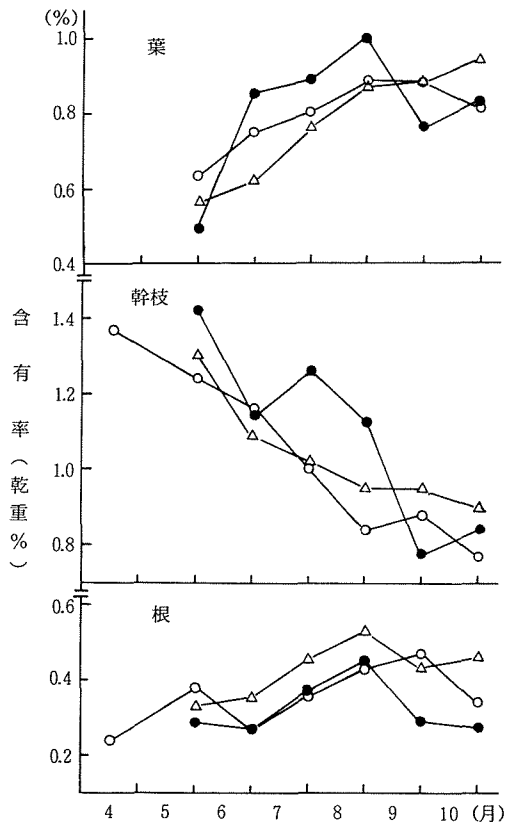


図8 1年生苗の各部分におけるカルシウム含有率の季節変動

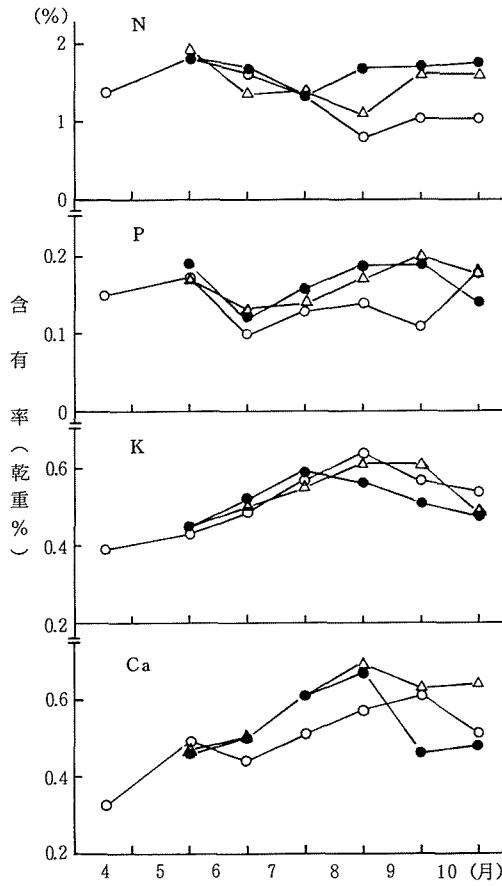


図9 1年生苗全体におけるN, P, K およびCa含有率の季節変動

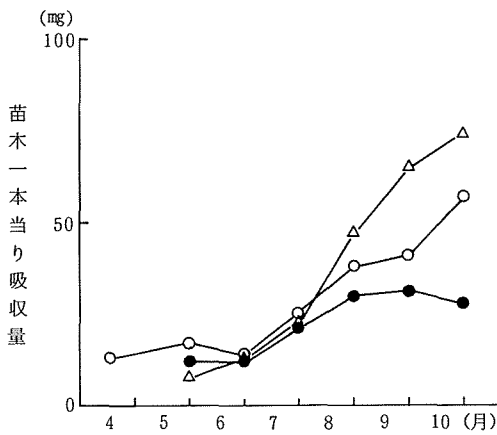


図11 1年生苗におけるリン吸収量の季節変動

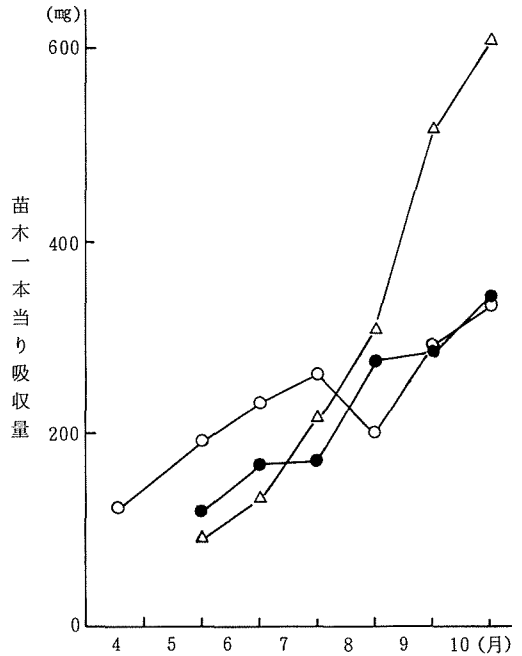


図10 1年生苗における窒素吸収量の季節変動

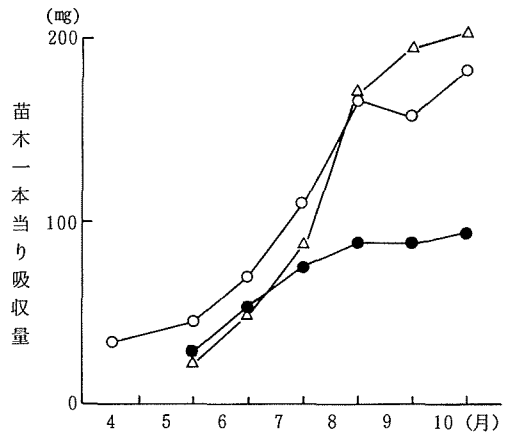


図12 1年生苗におけるカリウム吸収量の季節変動

り変化せず、11月以降紅葉期から落葉期にかけて急激に減少している。K₂Oの含有率は新葉で最も高く、季節の進むにつれて減少し、落葉期に最低になった。これに対して、CaOの含有率は11月上旬まであまり変化せず、紅・落葉期に急に増加している。辰己の研究⁸⁾によると、シラカンバ、ハルニレ、ヤチダモの葉においては、N、P₂O₅、K₂Oの含有量は新葉から成熟葉になるにした

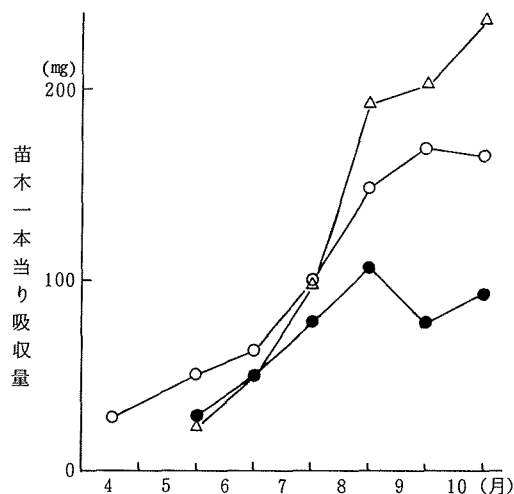


図13 1年生苗におけるカルシウム吸収量の季節変動

がって減少の傾向が認められた。葉における無機養分含有量の季節変動は樹種によって異なり、後藤の研究¹⁾によると、窒素については、早春開葉時に最高濃度を示し、しだいに減少し、早秋に若干増加した後再び減少するパターンをとるものと、早春に最高濃度を示し、夏期に減少し、秋期に再び増加する凹型パターンを示すものがある。リン酸については、生育初期に最高濃度を示し、しだいに減少するパターンをとるものと、生育初期に養分濃度が高く、しだいに減少し、秋期に再び増加するパターンを示すものがある。カリについては、開葉時に高く、しだいに減少する凹型パターンを示すものと、

8～9ごろに最も養分濃度の高い凸型パターンを示すものがある。カルシウムは一般に生育後半に増加する。本研究の結果によると、クヌギの葉では窒素とカリウムは夏期に減少する凹型変化を、リンは生育初期に最高濃度を示し漸次減少する漸減型変化を、カルシウムは生育後期増加型変化を示した。しかし、これらの養分の季節変動は同じ樹種でも器官によって異なり、クヌギ苗ではカリウムの含有率は葉では凹型変化を、幹枝では凸型変化を示した。またカルシウムの含有率は葉及び根では季節の進行に伴って増加し生育後期に最大になった(生育後期増加型変化)が、幹枝では逆に減少した(漸減型変化)。苗木全体についてみると、窒素は7、8月に谷のある凹型変化を、リンは6月に谷のある凹型変化を、カリウムとカルシウムは生育後期に山のある凸型変化を示した。苗木の生長との関係については、窒素とリンは一般に生育初期に濃度が高く、カリウムは生長最盛期に幹枝で増加し、カルシウムは生育初期に幹枝で最も濃度が高く、葉及び根では逆に最も濃度が低い。各元素の吸収特性は苗木の生長と密接に関連しており、更にくわしく研究する必要があると思われる。

3. 炭水化物含有量の季節変動

1年生苗の各部分における全糖及び粗デンプン含有率の季節変動を図14～15に示す。葉の全糖含有率は開葉後漸次増加し、8月の終わりから9月に(生育後期)に最大になった。幹枝及び根においてもほぼ同様の変化を示したが、10月下旬には含有率が減少した。粗デンプンの含有率は、葉では5月以降急激に増加し、7月下旬に最大に達し、その後減少した。すなわち夏季に濃度の高い凸型変化を示した。幹枝及び根においては、相対照度100%区で5月に含有率が低下したが、6月に回復して9月まで横ばい状態で推移し、10月に増加をはじめた。特に根においては10月に急激に増加した。粗デンプン含有率は根で著しく高く、また生長休止期に急激に増加するので、根はデンプンの貯蔵器官として重要な役割を演じていると考えられる。根では10月に全糖含有率が急激に低下し、粗デンプン

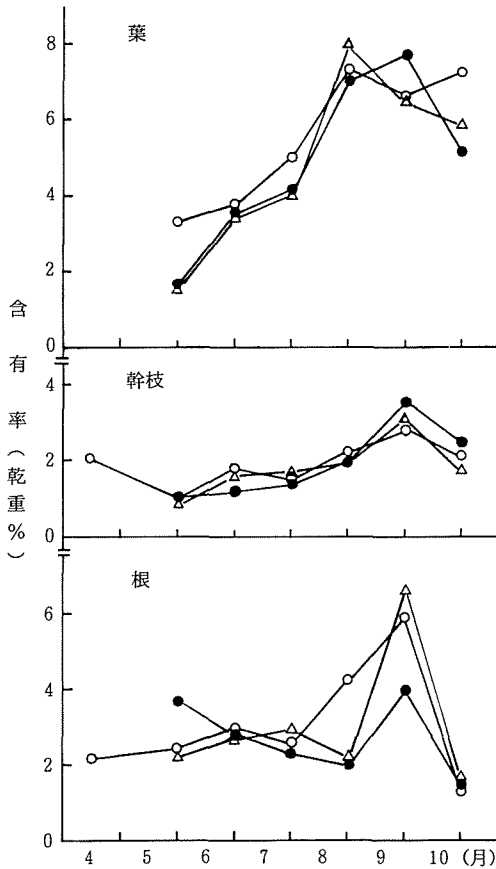


図14 1年生苗の各部分における全糖含有率の季節変動

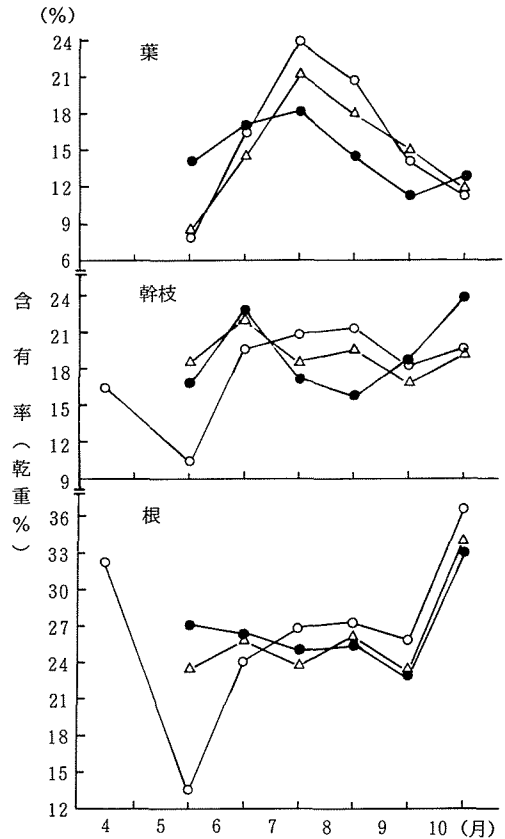


図15 1年生苗の各部分における粗デンプン含有率の季節変動

の含有率が急激に増加する。この時期に糖からデンプンの合成が盛んに行われるものと思われる。

次に幹及び根の各組織における貯蔵デンプン量の季節変動を顕微化学的に調べた(図16~17)。幹における貯蔵デンプンの季節変動は、一般に晩秋から初冬に多く、春季から夏季にかけて減少した。しかし、組織によって季節変動に差異がみられた。皮層柔組織においては、12月に含有量が最大で、1月に急激に低下し、その後9月まで低レベルで推移し、10月に増加して回復した。二次師部、二次木部及び一次木部においては、1月から3月にかけて含有量が急激に低下し、4~5月に少し増加し、6~8月に再び減少して最低になり、9月から増加を始め11~12月に最大になった。髓では、1月以降漸減して6、7月に最低になり、8月から増加を始めて12月に最大になった。幹の各組織におけるデンプンの分布は髓の細胞に最も多く含まれており、次いで二次木部の細胞に多く、皮層柔組織の細胞には最も少ないようであった。また幹の外側の組織ほど晩冬から急激に含有量が低下し、春季から夏季の生長期における含有量が低い傾向がみられた。

根の各組織における貯蔵デンプン量の季節変動は幹の場合とほぼ同様で、各組織とも冬季に含有量が最も高く、夏季に最低になった。しかし、組織によって季節変動に多少違いがみられた。根の二次

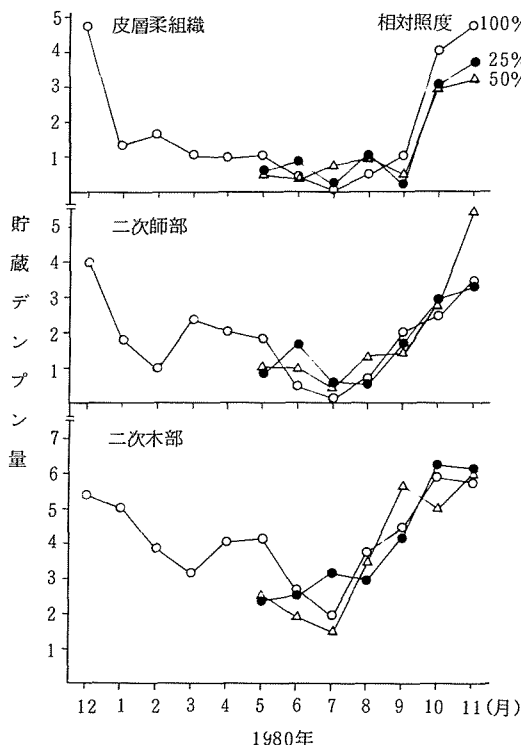


図16-A 幹の各組織の細胞におけるデンプン含有量の季節変動
○相対照度100%区, △50%区, ●25%区。

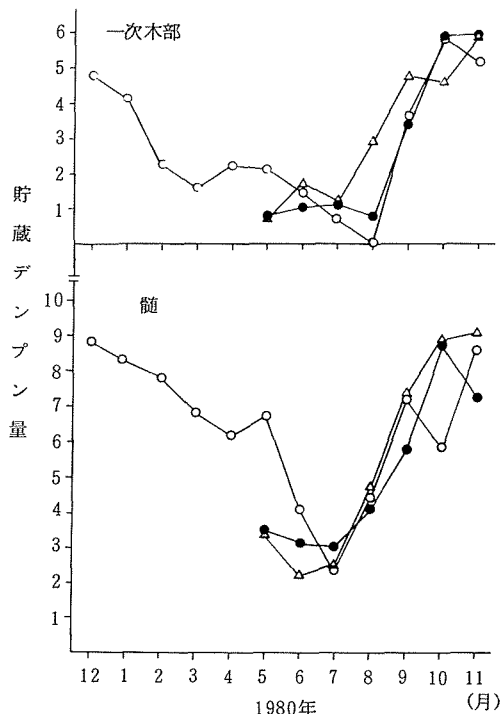


図16-B 幹の各組織の細胞におけるデンプン含有量の季節変動

師部、二次木部及び一次木部においては、幹の二次師部、二次木部及び一次木部にみられる2、3月の極小と春の発芽前の極大がみられなかった。また根のデンプン含有量は、皮層柔組織及び二次師部においては1月から3月まで急激に、その後は緩慢に減少して7、8月に最低になったが、木部及び髓においては1月から5月まで緩慢に、6月に急激に減少して7月に最低になった。根のデンプン含有量は大部分の組織で9月以降に急激に増加したが、皮層柔組織においては10月以降に増加し、増加を始める時期が少し遅れた。根の各組織におけるデンプンの含有量は幹の場合と同様に髓の細胞に最も多く、外側の皮層柔組織に最も少ないようであった。

相対照度と貯蔵デンプン含有量の季節変動との関係については、幹の各組織においては季節変動について各処理区間に著しい違いはみられなかったが、根の二次木部、一次木部及び髓においては相対照度25%区で他の処理区に比べて夏季の減少が少ないようであった。

落葉広葉樹における炭水化物含有量の季節変動については二、三の研究がある。Kanazawa⁴⁾によると、クヌギ苗における可溶性炭水化物の季節変動は根で最も大きく、その濃度は5月から9月まで連続的に減少し、11月に4月の値に回復した。可溶性炭水化物の中で粗デンプンが量的に最も多く、また季節変動が最も著しい。佐藤ら⁷⁾によると、クヌギとシラカシでは共に春の芽の出る時に貯蔵デンプンの激減がみられた。しかし、季節変動は樹木の部分によって異なり、クヌギでは枝と根では初冬と春の発芽後の極小がみられたが、幹では冬の極小がみられなかった。菊谷⁵⁾によると、コナラの

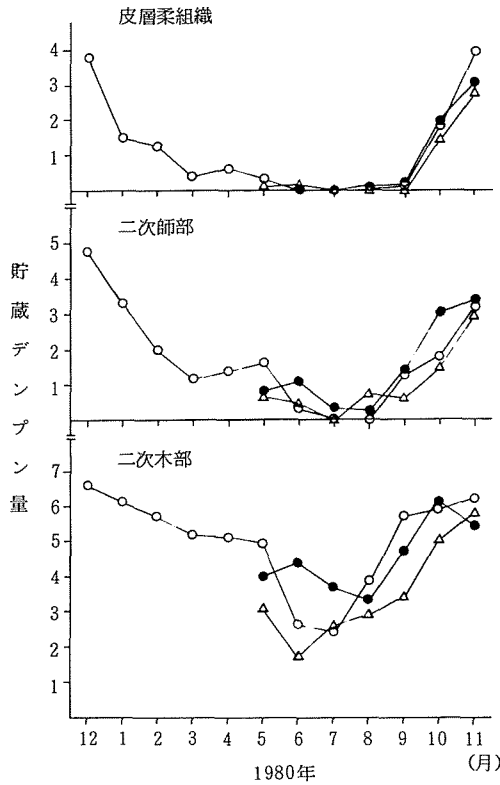


図 17-A 根の各組織の細胞における
デンプン含有量の季節変動
図の中の符号は図16と同様である。

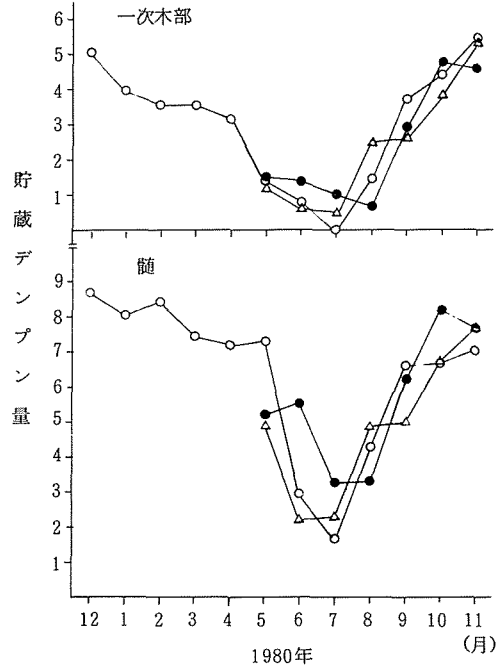


図 17-B 根の各組織の細胞における
デンプン含有量の季節変動

木部における貯蔵デンプンの量は冬期に多く、夏期に減少した。しかし、樹木の部分によって変動が異なり、梢頭及び枝においては5月中旬から6月中旬にかけて第1回目の谷があり、更に8月に第2回目の谷があるが、幹と根においては8月の第2回目の谷は著しくなかった。石部³⁾の研究によると、落葉樹種(クリ、ハンノキ、ハリエンジュ、ボダイジュ、ポプラ)では、地上部におけるデンプン量は1~2月の最小、春発芽前の最大、晩春の最小、晩秋の最大の4極点を示すが、根では休止期に最大で、生長期に最小が起こるといふ。本研究によると、クヌギ苗の貯蔵デンプンの季節変動は地上部では冬の最小、春発芽前の最大、夏の最小、晩秋の最大の4極点がみられたが、根では冬の最小と春の最大はみられず、生長期の最小と生長休止期の最大の2極点がみられ、石部の結果³⁾と大体一致した。貯蔵デンプンの季節変動は同じ樹種でも生育場所や供試材料の違いによって多少異なるようである。いずれにしても苗木の可溶性炭水化物の量は生長期に減少し、生長休止期に増加する。また根に多量に貯蔵デンプンが含まれているので、育苗に際してはこれらのことに留意して諸作業を行うことが重要である。

IV 総 括

クヌギの1年生苗を異なる相対照度の下で育てて生育状況を比較し、更に化学分析を行って含有成分の季節変動を調べた。本研究の結果は次のごとくである。

1. 苗木の生長期は5月上旬から10月上旬までであった。伸長生長は6月中旬と7月中、下旬がおう盛で、二つの山がみられた。根元直径生長は7月下旬から8月下旬にかけて盛んであった。重量生長は6月以降一定の割合ではほぼ直線的に増加した。苗木の伸長生長、根元直径生長及び重量生長はいずれも相対照度50%区>100%区>25%区の順に良かった。

2. 無機養分含有率の季節変動は、苗木の部分によって差異があった。窒素の含有率は、苗木全体及び葉においては夏季に低い凹型変化を示したが、幹枝及び根においては春季に高く、夏季に低下した。リンの含有率は、苗木全体、各部分ともに春季に高く、6、7月に減少し、凹型に近い変化を示した。カリウムの含有率は、葉では夏季に低下し凹型に近い変化を示したが、幹枝では6、7月に、根では7~9月に増加し、凸型変化を示した。苗木全体では、7~9月に高い値をとり、凸型変化を示した。カルシウムの含有率は、葉と根では5月から8・9月まで漸次増加し、生育の後期に最大になったが、幹枝では逆に季節が進むにつれて減少した。苗木全体では8・9月に高い値をとり、凸型に近い変化を示した。相対照度25~100%の範囲内では、相対照度の違いによって窒素、リン、カリウム及びカルシウムの吸収特性に大きな差異はみられなかった。

3. 無機養分の吸収量は一般に生育の初期に少なく、窒素とリンは7月以降に、カリウムは6~8月に、カルシウムは7~8月に顕著に増加した。相対照度25%区においては、各成分とも生育後期に吸収量が低下した。無機養分吸収量の季節変動は苗木の重量生長の経過と大体一致した。苗木1本当たり吸収量は、各成分とも相対照度50%区>100%区>25%区の順であった。

4. 葉の全糖含有率は開葉後漸次増加し、9月に最大になった。幹枝及び根においても9月に最大値がみられた。粗デンプン含有率は、葉では夏季に増加し、凸型変化を示したが、幹枝及び根では5月に最低になり、10月に増加した。粗デンプンは根に最も多く含まれており、根はデンプンの貯蔵器官として重要であると思われる。根では、10月に全糖含有率が急激に低下し、粗デンプン含有率が急激に増加した。糖からデンプンへの転換がこの時期に活発に行われるものと思われる。

5. 顕微化学的調査によると、幹及び根の各組織における貯蔵デンプンの含有量は、一般に晩秋から初冬に最も多く、夏季に最低になった。しかし、組織によって季節変動に差異がみられた。幹の皮層柔組織では、1月に急激に減少し、その後漸減して夏季に最低になり、11月に元の値に回復した。髄では、1月以降漸次減少し、夏季に最低になった。二次師部、一次及び二次木部においては、2、3月に減少し、春の発芽前に増加し、夏季に最低になり、晩秋に最大になった。すなわち、二つの谷と二つの山がみられた。根では幹でみられた2、3月の極小と春の発芽前の極大がみられず、デンプンの含有量は各組織とも晩秋に最大で、夏季に最低になった。

幹及び根では、一般に貯蔵デンプンは中心部の髄の細胞に最も多く含まれており、外側の皮層柔組織には少なかった。また外側の組織ほど早くから(晩冬から)急激に含有量が低下し、生長期における含有量が低い傾向がみられた。

相対照度と貯蔵デンプン量の季節変動との関係については、相対照度の違いによって季節変動に著しい差異はみられなかった。

文 献

- 1) 後藤和夫：林業技術者のための肥料ハンドブック（芝本武夫・塘隆男編）。創文（1979）PP. 55～56
- 2) 橋詰隼人：クヌギ苗の生育と陽光量との関係。広葉樹研究，**2**，1～12（1982）
- 3) 石部 修：樹木内貯蔵澱粉及び脂肪の季節的变化。生態学研究，**2**，1～6（1936）
- 4) Kanazawa, Y. : Growth analysis of seedlings of two deciduous broad-leaved tree species, *Quercus acutissima* CARR. and *Fagus crenata* BIUME, from the view point of dry matter and "soluble" carbohydrate economy. *Jap. J. Ecol.*, **31**, 147～153（1981）
- 5) 菊谷昭雄：コナラの木部に貯えられた澱粉の季節的变化。日林誌，**35**，191～193（1953）
- 6) 中塚友一郎：樹木及樹苗の生理化学的研究（第1報）。落葉闊葉樹の無機成分及窒素量の季節変化。日林誌，**25**，521～532（1943）
- 7) 佐藤大七郎・竹越卓爾：クヌギとシラカシの貯蔵デンプンの季節による増減。演習林（東大），**9**，17～23（1952）
- 8) 辰己修三：主要広葉樹の栄養生理に関する研究。葉分析に基づく無機養分の季節的变化について。72回日林講，174～175（1962）