西オーストラリア乾燥地における *Eucalyptus camaldulensis* の樹液中塩類の挙動

小島 紀徳¹⁾²⁾ 斉藤 則子¹⁾ 田中 淑子¹⁾ 濱野 裕之¹⁾²⁾
加藤 茂¹⁾ 田原 聖隆³⁾ 高橋 伸英⁴⁾ 山田 興一¹⁾²⁾

¹⁾成蹊大学 理工学部 物質生命理工学科
(〒180-8633 東京都武蔵野市吉祥寺北町3-3-1)

²⁾エディスコーワン大学 自然科学科 生態システムマネジメントセンター
(Joondalup, WA 6027, Australia)

³⁾産業技術総合研究所 ライフサイクルアセスメント研究センター
(〒305-8569 茨城県つくば市小野川16-1)

⁴⁾信州大学 繊維学部 精密素材工学科
(〒386-8567 長野県上田市常田3-15-1)

地球温暖化主要原因物質である二酸化炭素の削減対策として、炭素固定のための乾燥地における大規模植林技術の確立が求められている。乾燥地は植物成長に必要な水の量が大変少ないため、高効率な水利用が望まれる。樹木が成長のために必要とする水量を、樹木内の塩類収支により推定する方法が提案されたが、この方法の精度を上げるためには、どの塩類に注目すべきか、また樹液中の濃度としてどのように代表値を定めるかが鍵となる。従って、様々な因子による樹木内塩類挙動の影響を、詳細に確認することが必要である。本研究では、西オーストラリア州レオノラ近郊を対象とし、対象地の優先樹種である*Eucalyptus camaldulensis*の自然植生を用い、樹液内塩類挙動について、樹液採取圧力、樹木樹高、根元からの距離、そして一日の中での変動、これらの因子による影響を検討した。その結果、圧力上昇に伴い樹液中塩類濃度はある幅内の収束傾向が見られ、影響を与えていることが確認された。また、日変化の影響も見られた。その他の因子については、樹液内塩類濃度に、顕著な挙動特性は確認されなかった。

キーワード：植林、炭素固定、樹液、塩類、乾燥地

I. はじめに

地球温暖化の主な原因物質である二酸化炭素の、効果的な削減法の早急な提示が求められている。そこで、植林による陸上固定を目指した大規模植林技術の確立が、西オーストラリア州レオノラ近郊の乾燥地を対象として検討されている (Yamada *et al.*, 1999)。乾燥地域では、植物成長のための水が大変少ないため、その有効利用が大変重要である (安部ら, 1997)。そのため植物が成長に利用する水量を知ることは、植林地に適した樹種を選択するためにも、また植林樹木への供給水量を把握するためにも、必要となる。そこでKojima *et al.* (2002) は、この樹木成長に要求される水量を比較的容易に把握するための方法を提案した。この方法では、樹木

内塩類収支から水利用効率が推定されるが、正確な推定のためには測定位置、測定方法、および経時変化の観点から、どのように代表値をとるべきか、またどのように平均すべきかについて議論する必要がある。

本研究では、樹液として流れる塩類に着目した。木の中で塩類は樹液流れとして移動し、組織に蓄積し、または体外に排出される。樹液には導管液と師管液が存在する。前者は土壌から根によって吸収された水と塩類を樹木の組織中へ運ぶ役割を、後者は光合成生産物と共に葉にいったん運ばれた塩類を他の部位に輸送する役割を果たしている (茅野, 1997)。そのうち水利用効率推定では、土壌から樹木内へ取り込まれた全濃度、つまり樹木組

織に蓄積が起こる前の導管液に含まれる塩類濃度を用いる必要がある。そのため、採取された樹液のうち、導管液を見極めなければならない。そこで、導管液と師管液に影響を与えると考えられる因子毎に、化学的測定により依存性について検討を行なう必要がある。

これまでに、トマトやトウモロコシといった作物に関しては、木部樹液塩類濃度と樹液流量やリーフ水分ポテンシャル等との関係についてTiekstra *et al.* (2000) やJason *et al.* (2005) などにより数多く報告されている。一方、樹木を対象とした研究事例は非常に少ない。Stark *et al.* (1985) が *Pseudotsuga menziesii* の木部樹液中塩類濃度と樹液採取圧力、採取位置、採取時間や樹齢などの様々な因子との関係を報告している。しかし、測定は年間降水量約330 mm、年間積雪量約1,200 mmと積雪量が多い地域で行われており、水環境としては植物成長にとって厳しい条件ではないと述べている。

現在までに、本研究が対象とする年間降水量約200 mm程度の水環境が厳しい条件における報告事例はない。そこで、本研究では乾燥地における樹木を対象として、樹液採取圧力、採取位置、採取時間に関する樹液採取方法の検討を行った。対象樹種としては、植林樹種として有望視されている *Eucalyptus camaldulensis* を選定し、自然樹木を用いて測定を行った。

II. 調査地および測定方法

1. 実験対象地の概要と対象樹木

本研究の調査対象地である西オーストラリア州レオノラ地域内（年平均降水量約200 mm, Kojima *et al.*, 2006）にある、土壌改良技術等を一切施さず自然植生が広がる「Site LP」と呼ばれる場所（Takahashi *et al.*, 2003）の樹木を対象とした。このエリアは、多量の雨が降ったときに周りから流れ出る水が入ってくる「クリーク」に沿った場所に位置している。そのため降雨の際は、地表面に降った水もすぐにクリークへ流れ込み、地表面には残りにくい。また、土壌質は粘土質である。この場所の優先樹種はユーカリ (*Eucalyptus camaldulensis*) であり、水や根域の確保ができる環境下では、成長が早く成木も大きくなることから植林樹種として用いられている。本研究の対象樹種としてこの樹種を選定し、樹液を2001年6月に4本の樹木から、2003年3月には3本

の樹木から採取した。オーストラリアの6月は冬季にあたり、対象地の過去約90年間のこの月の平均最高気温は約18℃、平均最低気温約7℃、また平均降水量21.6 mmである。これに対して3月は夏～秋季にあたり、平均最高気温約33℃、平均最低気温約18℃、平均降水量は26.7 mmである (Kojima *et al.*, 2006)。

2. 測定方法

1) 試料採取方法

樹液サンプルは、プレッシャーチャンバー法 (Scholander *et al.*, 1964) を用いて採取した。図-1に配管図を示す。チャンバーはステンレス製の耐圧容器を用い、窒素ガスボンベからチャンバーまでは直径3 mmあるいは6 mmのステンレス管でつないでいる。三方コックでラインを切り替え、R1は高圧、R2は低圧測定用とした。

この装置を用いた樹液の採取方法の詳細は、以下の通りである。樹木の枝先端に葉が5～6枚付いた状態で枝を切り取る。枝葉組織から圧力に応じて樹液を搾り出すため、切り取るサンプルには小さな傷も無いものを選ぶ。ステンレスチャンバー内にこの枝葉を取り付ける。チャンバーにセットする際には、シリコン栓で枝を挟むことにより密閉が必要である。このチャンバーに圧力をかけ、それを徐々に上げていくと樹液が搾り出されてくる。この樹液をマイクロチップで捕集することにより、サンプルを得た。最も低圧で搾り出される樹液は、0.1 mlが集められるまで圧力を上げて得られたものを、サンプルとした。そのため、第一液

図-1 プレッシャーチャンバー法配管図
 Fig.1 Line of the method for pressure chamber.

の搾り出し圧は対象樹木により異なる。その後は、いずれのサンプルも約0.2-0.3 MPaずつ圧力を区切り、別々のサンプルとして採取した。ただし、0.2-0.3 MPaの間では0.1 mlを得られない場合は、それ以上まで圧力を上げ0.1 mlを得られたところで次のサンプルとした。この採取圧力は2.41 MPa以上に圧力を上げると、細胞壁が壊れ細胞液が混入する恐れがあるとされている (Stark *et al.*, 1985)。しかし、対象としている樹木の生育環境が乾燥地であることから、より高い圧力である3.5 MPaまでの採取圧力で測定を行った。3.5 MPaより低い圧力で樹液が出てこなくなる場合は、その時点でサンプル採取を終了した。樹高132 cmおよび395 cmの樹木 (2003年3月採取) については、樹木根元からの距離が近い枝葉と離れている枝葉の両方について、同時に切り取ったサンプルを、図-1の配管上にある1および2のラインにつないでいる二つのチャンバーに設置し、同時に樹液を搾り出した。

日変動を評価するための樹液サンプルは、丸一日以上 (24時間以上)、1時間毎に採取を行い、その他の評価に用いるためのサンプルは、採取が容易な日の出前に採取した。これは、日の出後には光合成および蒸散が開始されるため、リーフ水分ポテンシャルが高くなり、樹液抽出に要する圧力がより高くなるためである。また、日変動評価用の樹液は、0.0-2.0 MPaの低圧側と2.0-3.0 MPaの高圧側に分けて採取をした。これらの樹液サンプルはカビの発生を防ぐため、採取後すぐに冷凍した。

本実験で用いた枝葉サンプルは、2週間以上降雨が無い状況の下に採取をした。2003年3月に採取をした395 cmの樹木の枝葉のみ、43 mmの降雨の翌日に採取をした。なお、各測定に用いた樹木の樹高およびサンプル採取点の樹木根元からの距離 (採取部枝が出ている幹の高さ+幹からの採取部までの距離) については、図-2の凡例に示した。2001年6月採取の樹高25 cmの樹木は小さいため、樹木を根元から切り取りサンプル枝葉とした。そのため距離の記載はない。また、日変動を検討した樹木の樹高は約750 cmであり、各サンプルは幹の垂直高さ500-700 cmから出ている枝の極力林冠外側に生えている新しい枝葉を切り取った。

2) 測定方法

冷凍樹液サンプルは測定前に室温解凍し、液体状態となったものを用いた。塩類の測定には高速液体クロマトグラフィー (島津製作所HIC-10A) を用い

た。各樹液サンプルの量は大変少量であるため、測定は蒸留水を用いて25倍に希釈 (HIC-10Aの検出限界は数ppb = $\mu\text{g/l}$) して行った。また、対象元素はいずれもカチオンとし、1価イオンはカリウム (K)、ナトリウム (Na)、アンモニウム (NH_4)、2価イオンはカルシウム (Ca)、マグネシウム (Mg) とした。これらのイオンのうち、水利用率推定に用いることを考えているカリウムおよびカルシウムに特に注目して検討を行うこととする。その他の3元素については参考データとして2元素と併せて記載する。樹液流量測定には、TDP (Dynamax, inc. TDP-80) を使用した。

Ⅲ. 結果及び考察

1. 因子別樹液中塩類の挙動

様々な条件下で採取された樹液の塩類濃度を測定することにより、挙動特性を検討した。結果を図-2(a)-(e)に示す。以下では、塩類挙動に影響を与える因子毎に評価を行う。

1) 採取圧力による可能採取塩類

いずれのイオンいずれのサンプルについても、若干外れるデータがあるものの、2.0 MPa程度からは圧力が上がってゆくほど濃度が次第に減少した。この傾向は、Stark *et al.* (1985) が、木部樹液濃度が採取圧力1.4-3.1 MPaでは殆ど変化がみられていないとの報告と異なる。さらに一部のデータでは若干のばらつきが見られるものの、ある圧力以上で搾り出される樹液中の塩類は、ある濃度範囲内に収まっており、変動は大変小さくなっている傾向が見られる。

以上の結果について、以下のように考察を行った。樹液には、土壤中から根を通して吸収される導管液と、樹木内を通して根へ戻る液が通る師管液とがある。低圧下で得られた樹液が師管液であるかどうかを、師管液の特徴である含有糖分の存在により判定した。師管は、光合成によって葉で作られた糖や、無機類が輸送されている管であるためである (茅野, 1997, Hocking, 1980)。この試験は、グルコーステスト (メルク株式会社 No.116720) を用いて、2003年3月と8月に行った。これは、グルコースの存在により、試験紙の変色が起こることを利用した、簡易的に糖の有無を確認するものである。その結果、樹液採取圧力を徐々に上げていくにつれ色が薄くなり、1.8-2.2 MPaの圧力で採

図-2 樹液中塩類濃度の圧力による挙動 (a)カリウム(b)カルシウム(c)ナトリウム(d)アンモニウム(e)マグネシウム

*樹木根元からの垂直高さに幹から採取した枝葉までの枝の長さを足し合わせた距離

Fig.2 Behavior of nutrients concentration in sap by pressure for extract of sap (a) Potassium (b) Calcium (c) Sodium (d) Ammonium (e) Magnesium

*Distance means the sum of measured lengths of the trunk and the branch from trunk to branch and leaves of a sample.

取された樹液でほとんど変色がなくなるほど薄くなった。これは、Kojima *et al.* (2002) の報告で行われたGC-MSを用いたグルコース含量測定による結果とほぼ一致している。これらの結果と塩類濃度の結果より、約2.0-2.2 MPa付近以上の圧力で搾り出される樹液は、導管液であると考えられる。従って、ある濃度範囲内に収まる高圧側では、導管液が採取されたと考えられる。

なお、師管液中のイオン濃度が導管液中のイオン濃度に比べて大きいことは、次のように説明することができる。まず、導管液中の水は光合成に

伴って大部分蒸散される。一方各イオンは光合成部で分配、さらに蓄積されない限り、葉から樹木各部に師管液中光合成生成物として移動する。従って、師管中では導管中に比べて水が減少しているにも関わらず、光合成生産物としての無機物等が含まれているために、師管液中は導管液中に比べて塩類濃度が高いと言える (茅野, 1997)。

なお、一部のデータで、3.0 MPa以上のある圧力で得られた樹液中のイオン濃度が高くなるという傾向が確認されたが、これは細胞壁が壊れ、細胞液が出てきてしまった圧力であると考えられる。また、

乾燥地樹木ではリーフ水分ポテンシャルが, Stark *et al.* (1985) が指摘した2.41 MPaを超える樹木もあった。これらの結果より, 乾燥地樹木では一般に議論されている採取のための圧力よりも高い圧力が必要であると考えられ, それに伴い細胞液混入圧力もより高圧側 (3.5 MPa以上) にシフトすると考えられる。

以上のことから, 乾燥地など, 従来の報告 (Stark *et al.*, 1985) と異なる生育条件における樹木の導管液採取には, 採取圧力と樹液濃度との関係より, 安定した濃度範囲になる圧力条件の確認が必要と考えられる。

2) 樹高 (樹齢) による樹液中塩類濃度の違い

樹木組織中の含有塩類濃度についての報告 (Hamano *et al.* 投稿中) で, 樹高が小さい (樹齢が低い) ほど単位重量あたりに多くの含有が認められた。そのため, 樹液中含有塩類濃度についても同様の傾向が得られるかどうか, 二つの時季に分けて樹高の異なる樹木により傾向を検討した。その結果, 濃度の傾向は掴めなかった。これは, 樹高の異なる樹木から樹液を採取したもの, 対象としたいずれの樹木も大きく成長するユーカリにとってはまだまだ成長段階であり, 塩類濃度にはそれほど大きく差が出なかったと考えられる。

3) 根元からの距離が樹液中塩類濃度に与える影響

2003年3月採取のサンプルについては, 幹下部からと樹木先端部の両者からのサンプリングを心がけその両者を比較した。図中凡例に示しているサンプルの距離とは, サンプリングした枝葉が付いていた枝までの樹木根元からの垂直長さに, 幹から枝葉までの枝の長さを足し合わせた長さである。この結果より, 1価イオンのうち, ナトリウムとアンモニウムイオンは樹木により傾向が異なっており, 圧力により濃度の逆転現象が起こったりしており, 両者の違いを確認することはできなかった。一方カリウムイオンは, いずれの樹木でも根からの距離が離れるほど多く含まれていた。蓄積の起こりにくいこのイオン (Larcher, 2001) が, 樹液中に残存したまま樹木上部へ上がっていくにつれ蒸散によって水分のみが減るために, 樹液濃度が高くなったと考えられる。

2価イオンについては, カルシウム, マグネシウムの両者はカリウムとは異なり, 395 cmの樹木については根からの距離が離れるほど濃度は小さくなる傾向が見られた。これらのイオン, 特に

カルシウムイオンはカリウムと逆の特性, すなわち蓄積が起こりやすいため (Larcher, 2001), 土壌から吸われた樹液は根に近いほど濃度が高いと考えられる。しかし樹高が低い木ではその傾向を確認することができなかった。これは, 樹高が小さい木では, 蓄積による樹液中塩類濃度減少が顕著に表れるほどではなかったためと考えられる。

2. 樹液中塩類の日変動

樹液中の塩類濃度は, 1日の中での時間により変化があることが確認された図-3 (a)-(b)。この結果については, 含有量が多く水利用率推定のトレーサーとして着目しているカリウムおよびカルシウムイオンのみについて検討することとする。樹液は, 採取圧力を2.0 MPaを境にして低圧側と高圧側の二つのみに分けて採取をした。2.0 MPaは, 圧力因子による検討で, 師管液と導管液の採取圧力境界が2.0-

図-3 樹液中カリウムおよびカルシウム含有量と樹液流入量の日変動 搾り出し圧a) 2.0 MPa以下 b) 2.0 MPa以上

Fig.3 The concentrations change in sap by the time in a day, (potassium and calcium), and sap flow rate. Pressure for sap extraction: a) below 2.0 MPa b) above 2.0 MPa.

2.2 MPaと考えられることを考慮した圧力である。なお、上述のように3.5 MPa以上では細胞液混入の恐れがあることから、ここでは3.0 MPa以下で採取した樹液についてのみ議論している。また、図中には樹液流量についても併せて示している。

図中点線で示した、全時間の濃度を平均したものにより比較をすると、前述のようにいずれのイオンも低圧側（2.0 MPa以下）で搾り出された樹液に多く含有していたことが分かる。これについては既に議論した通りである。カリウムイオンについては、低圧で搾り出された樹液に含まれる濃度は、日中若干大きいとの傾向があるが、高圧側（2.0 MPa以上）で得た全てのイオン濃度や低圧でのデータも含めたカルシウムイオンについては、ほとんど傾向が見られない。特にカルシウムイオン濃度は、日変化が見られなかった。

樹液流入量については、太陽が昇り光合成が盛んになると共に増加していることが分かる。光合成と併せて、蒸散も起こっているために多量の吸水を必要としているためである。樹液濃度に日変動が無いものの、樹液流入量が日中に多いため塩類の流入量も、日中では多いと言える。

IV. まとめ

筆者らが提唱する樹木内塩類収支からの水利用効率推定には、土壌から樹木内へ取り込まれた全濃度、つまり導管液の塩類濃度データおよび樹液内塩類挙動特性の把握が必要である。そこで、導管液と師管液に影響を与えると考えられる因子毎に、化学的測定により依存性について検討を行ない、年間降水量約200 mmの乾燥地における自然樹木の *Eucalyptus camaldulensis* を用いて測定を行った。

その結果、様々な因子による樹液内塩類挙動特性について、詳細に測定を行った。樹液搾り出し圧力により、濃度の違いが確認された。すなわち、圧力上昇に伴い搾り出されてくる樹液に含有される塩類濃度は、いずれも減少していき、ある濃度範囲に収まる傾向があった。これより、師管液が抽出される低圧側と比べ、高圧で搾り出される導管液は濃度変動が小さいと言える。

樹高、つまり樹齢による顕著な違いは見られなかった。根元からの距離、すなわち樹液移動距離の影響は、樹高が高くなるとCa、Mgは下方、Kは上方で高濃度となることが認められた。

一日の中での時間による変動については、樹液流量は光合成や蒸散によると考えられる変動が見られたが、樹液内塩類濃度はいずれの時間においても、導管液と考えられる（高圧力側で搾り出された）樹液についてはある濃度範囲になることが確認された。

謝辞

本研究は、科学技術振興事業団（現科学技術振興機構）・戦略的基礎研究「乾燥地植林による炭素固定システムの構築（代表 山田興一）」および、環境省地球環境研究総合推進費S-2によって実施された。ここに記し、謝意を表する。

参考文献

- 安部征雄・小島紀徳・山田興一(1997):二酸化炭素対策としての乾燥地における大規模植林, 沙漠研究, 7-1, 77-81.
- Hamano H, Saito N, Tanaka Y, Kato S, Tahara K, Takahashi N, Kawarasaki S, Yamada K, Kojima T. Submitting. Factors affecting distribution of nutrient in tree organs of *Eucalyptus camaldulensis* in arid lands of Western Australia
- Hocking PJ. 1980. The composition of phloem exudates and xylem sap from tree Tabacco (*Nicotiana glauca* Grah.). *Annals of Botany* 45: 633-643.
- Jason QD. Goodger, Robert E Sharp, Ellen L Marsh, Daniel P Schachtman. 2005. Relationship between xylem sap constituents and leaf conductance of well-watered and water-stressed maize across three xylem sap sampling techniques. *Journal of Experimental Botany* 56 (419): 2389-2400.
- 茅野充男(1997):現代植物生理学5, 物質の輸送と貯蔵, pp.128-145, 朝倉書店.
- Kojima T, Tanaka Y, Katoh S, Tahara K, Takahashi N, Yamada K. 2002. Estimation of water requirement per unit carbon fixed by *Eucalyptus camaldulensis* in semi-arid land of Western Australia. *Science in China (Series D)* 45: 142-147.
- Kojima T, Hamano H, Abe Y, Tanouchi H, Egashira Y, Saito M, Law J, Takahashi N, Yamada K. 2006. Basic Data of Research Project on Large Scale Afforestation of Arid Land for Carbon Fixation near Leonora in Western Australia. *Journal of Arid Land Studies*. 16 (3), 167-174.
- Larcher W. 2001. The utilization of mineral elements. In ヤ Physiological plant ecology 4th ed.' . 185-229. (Springer: New York).
- Scholander PF, Hammel HT, Hemmingsen EA, Bradstreet ED. 1964. Hydrostatic pressure and osmotic potential in leaves of mangroves and some other plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 52: 119-125.
- Stark N, Spitzner C, Essig D. 1985. Xylem sap analysis for determining nutritional status of trees: *Pseudotsuga menziesii*. *Canadian Journal of Forest Research*. 15: 429-437.
- Takahashi N, Tahara K, Utsugi H, Kojima T, Egashira Y, Abe Y, Saito M, Yamada K. 2003. Water use efficiency of

Eucalyptus camaldulensis growing in arid regions in Western Australia. *Journal of Chemical Engineering of Japan*. 36 (4) : 391-400.

Tiekstra AE, Else MA, Jackson MB. 2000. External Pressures Based on Leaf Water Potential Do Not Induce Xylem Sap to Flow at Rates of Whole Plant Transpiration from Roots of Flooded or Well-drained Tomato and Maize Plants. Impact of

Shoot Hydraulic Resistances. *Annals of Botany*. 86: 665-674.

Yamada K, Kojima T, Abe Y, Williams A, Law J. 1999 Carbon Sequestration in an Arid Environment near Leonora, Western Australia.. *Journal of Arid Land Studies*. 9 (2) : 143-151.

(受付：2006年7月3日，受理：2007年4月6日)

Behavior of Nutrients in Sap of *Eucalyptus camaldulensis* in Arid Land of Western Australia

Toshinori KOJIMA ¹⁾²⁾ Noriko SAITO ¹⁾ Yoshiko TANAKA ¹⁾ Hiroyuki HAMANO ¹⁾²⁾
Shigeru KATO ¹⁾ Kiyotaka TAHARA ³⁾ Nobuhide TAKAHASHI ⁴⁾ Koichi YAMADA ¹⁾²⁾

¹⁾ Department of Materials and Life Science, Seikei University
(3-3-1, Kichijoji-kitamachi, Musashino-shi, Tokyo 180-8633, Japan)

²⁾ Centre for Ecosystem Management, School of Natural Sciences, Edith Cowan University
(Joondalup, WA 6027, Australia)

³⁾ Research Center for Life Cycle Assessment,
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology,
(16-1 Onogawa Tsukuba Ibaraki 305-8569, Japan)

⁴⁾ Department of Fine Materials Engineering, Shinshu University
(3-15-1, Tokida, Ueda, Nagano 386-8567, Japan)

The establishment of technologies for large-scale afforestation in arid lands for carbon fixation is expected. This technology is one of the countermeasures for reduction of carbon dioxide that is the main cause gas of global warming. Arid lands can provide only small amount of water for plant growth, so highly effective water use is required. The objective of this study is the establishment of a method to estimate the amount of water required for tree growth on the basis of nutrient flow in a tree. Therefore, detailed examination on the effects of various factors on the behavior of nutrients is necessary. In this report, the behavior of nutrients in a sap was examined by changing pressure for sap extraction, height of a tree, distance from tree bottom, and time in a day for *Eucalyptus camaldulensis*, one of the typical species in the research area near Leonora, Western Australia. As results, the pressure for extraction of a sap from a tree had remarkable influence on the nutrient concentration which approached a value with increased pressure. The daily variation in the nutrient concentration was also found to exist. Effects of other factors on the behaviors of nutrients in a sap were not found.

Key words : afforestation, carbon fixation, sap, nutrient, arid land