

切り返し剪定した1年生リンゴ樹の新梢成長と貯蔵養分との関係

徐 剣波¹・荒川 修^{2*}・浅田武典²

¹ 岩手大学大学院連合農学研究科 020-8550 岩手県盛岡市上田

² 弘前大学農学生命科学部 036-8561 青森県弘前市文京町

The Relationship between Shoot Growth and Stored Assimilates after Pruning in One-year-old Apple Trees

Jianbo Xu¹, Osamu Arakawa^{2*} and Takenori Asada²

¹The United Graduate School of Agricultural Sciences, Iwate University, Ueda, Morioka 020-8550

²Faculty of Agriculture and Life Science, Hirosaki University, Bunkyocho, Hirosaki 036-8561

Abstract

The relation between new shoot growth and the utilization of stored assimilates (nitrogen and carbon) was investigated. A one-year-old apple tree ('Fuji' on *Malus prunifolia* (Willd.) Borkh.), after pruning, was treated with ¹⁵N and ¹³C in the year prior to the experiment. The trees were examined early (in May), at mid-term (June) and when mature (September). Shoot growth stages and nitrogen and carbon status were analyzed at each harvesting. The shoot length did not relate with its position and difference in the length of the shoots was small in May, but thereafter the upper shoots grew longer than the lower shoots. There was no relationship between the length of the shoot and the ¹⁵N excess% of the shoot at each stage, but the value of the ¹⁵N excess% of the shoots in September was much lower than that in either May or June. The ¹³C excess% decreased during the period from May to June, and a limited inverse correlation was found with the length of the shoot. There was a significant positive correlation between the lengths of the shoot and ¹⁵N or ¹³C distribution in the shoot. It was suggested that, as they grew, the longer shoots absorbed higher amounts of stored assimilates than the shorter shoots. Although the degree to which stored versus current absorbed assimilates contributes to new shoot growth might be the same in all shoots, stored nitrogen plays an important role in new shoot growth.

Key Words : carbon, nitrogen, stable isotope

キーワード : 安定同位体, 窒素, 炭素

緒 言

1年生のリンゴ樹の主幹に切り返し剪定を行うと、上部の3本程度の新梢が下部の新梢より顕著に長く成長する頂部優勢現象が認められる (Jonkers, 1982; Kikuchi ら, 1996)。この新梢成長の違いをもたらす要因としては、利用可能な光合成産物、水分、養分そして、それらの移行や集積を制御していると考えられる植物ホルモン (オーキシンやサイトカイニン) が考えられる。

春季に光合成器官の葉と養分吸収器官の根の機能が十分に発達するまでには、新梢成長の開始が貯蔵養分によってまかなわれるが、その後も貯蔵養分が長期に渡って新梢成長に重要な役割を果たしていることが明らかにされている (菊池, 1975)。特に、果樹では春季の発芽後の初期成長は貯蔵窒素の再移動によって維持され、多くの種や品種では春の成長と貯蔵窒素の量の間に相関があることが示されて

いる (Cheng ら, 2001; Dong ら, 2001; Millard・Neilsen, 1989; Neilsen ら, 1997; O'Kennedy ら, 1975; Tagliavini ら, 1998)。

しかしながら、貯蔵養分量の数量的な動向についての報告は少なく、吸収された窒素と貯蔵窒素との関係や貯蔵窒素が翌年の新生部位に転流する割合などについては不明な点が多い。また、重窒素 (¹⁵N) を用いた研究は、当年度あるいは短期間で終了するケースが多く (Dong ら, 2002, 2003; Hill-Cottingham・Lloyd-Jones, 1975)、貯蔵養分として樹体に蓄えられた窒素が翌年の初期生育に移行する量的割合についてはウンシュウミカンで赤尾・久保田 (1978) が報告しているが、落葉果樹では報告例が見当たらない。

そこで本研究では、切り返し剪定後の新梢成長の違いと貯蔵養分の利用との関係を明らかにするために、前年に1年生のリンゴ樹に重窒素と重炭素を吸収させてその翌年に切り返し剪定を行い、新梢成長段階における貯蔵された窒素と貯蔵された炭素の時期的な変化について調査し、新梢成長時における貯蔵養分の利用の違いについて検討した。

材料および方法

2005年5月11日に「マルバカイドウ」を台木として「ふ

2007年6月21日 受付. 2007年12月4日 受理.

本報告の一部は園芸学会平成19年度春季大会で発表した。

* Corresponding author. E-mail: oarakawa@cc.hirosaki-u.ac.jp

じ'の枝を接木し、パーミキュライト（ブイエス科工株式会社）：川砂（1：1）の混合物の入ったポット（外径：17.5 cm，高さ：26.4 cm）に1個体ずつ定植した。萌芽後に新梢を1本残して屋外で生育させた。2005年5月13日から9月1日までハイポネックス（チッソ：リンサン：カリ＝5：10：5 ハイポネックス ジャパン株式会社）の1,000倍液を週1回、また、2006年5月16日～9月9日には約1回/9日施与した。

9月25日に樹毎に1gの $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$ （昭光通商株式会社）を蒸留水で溶解した液（約100 mL）を樹の根元へ処理し吸収させた。また、9月26日の晴天の午前中に、樹2本に90 Lのビニール袋を被せ、そのビニール袋の中で1gの $\text{Ba}^{13}\text{CO}_3$ （昭光通商株式会社）と4 mLの50%の乳酸液を反応させて $^{13}\text{CO}_2$ を発生させ、約3時間処理した。これらの処理時期には樹（新梢）の成長はほぼ停止しており、接ぎ木後の樹高は135 cm（ ± 11.2 ）だった。10月5日に2回目の $^{13}\text{CO}_2$ 処理を行った。冬季は無加温のガラス室で保管し、2006年3月2日に屋外に出した。

3月6日にこれらの樹について切り返し剪定（幹の全長の1/3の約45 cmを残す）を行った。4本の樹について個々の新梢長を経時的に調査した。3月7日、5月31日、6月29日および9月19日にそれぞれ樹の形態がそろった4樹を解体して試料として、3月7日は樹がまだ発芽していないため樹を主幹（長さ5 cm未満の枝も含む）、接ぎ穂、台木（根を除く）、太根（直径2 mm以上）および細根（直径2 mm以下）として、また、その後の時期におけるサンプリングは新梢の茎、新梢の葉、その他の葉（長さ5 cm未満の枝の葉と主幹から直接出ている葉）、主幹（長さ5 cm未満の枝も含む）、接ぎ穂、台木（根を除く）、太根（直径2 mm以上）および細根（直径2 mm以下）に分けて行った。そして新梢長を調査した後に、熱風乾燥し、乾物重を測定した。その後微粉末状に粉碎し、元素分析計（NC2500, CE Instruments）を接続した安定同位体質量分析計（DELTA plus, サーモエレクトロン株式会社）を用いてWT%N, WT%C, ^{15}N atom%および ^{13}C atom%を測定した。 ^{15}N excess%, ^{15}N 含量 (mg) および ^{15}N 分配率 (%) や ^{13}C excess%, ^{13}C 含量 (mg) および ^{13}C 分配率 (%) は以下の式で求めた。

^{15}N excess% = 試料 ^{15}N atom% - 自然の新梢 ^{15}N atom%,
 ^{15}N 分配率 (%) = 各部位の ^{15}N 含量 (mg) / 樹1本の総 ^{15}N 含量 (mg) (^{15}N 含量 (mg) = 試料の乾物重 × 窒素濃度 (%) N) × ^{15}N excess%), ^{13}C excess% = 試料 ^{13}C atom% - 自然の新梢の ^{13}C atom%, ^{13}C 分配率 (%) = 各部位の ^{13}C 含量 (mg) / 樹1本の総 ^{13}C 含量 (mg) (^{13}C 含量 (mg) = 試料の乾物重 × 炭素濃度 (%) C) × ^{13}C excess%). 統計分析は1元配置法として分散分析で行った。

結 果

1. 新梢成長

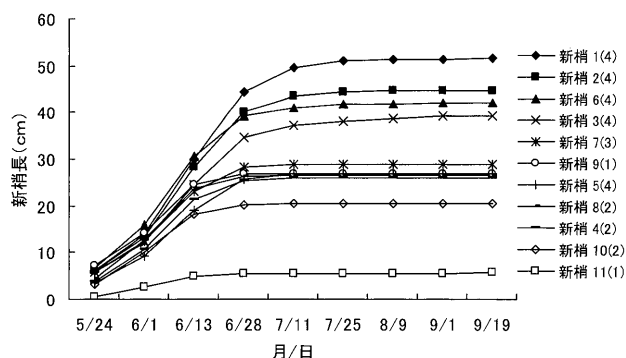
切り返し剪定をした1年生のりんご樹の新梢成長は、成

長の開始期（5月）には新梢の位置に関係なく、個々の新梢の成長が緩慢であり、それらの新梢長の差は小さかった。しかし、6月中旬から上部の新梢が下部の新梢より大きく成長し、その後その差が顕著になり、最終的には上部から3本と6番目の新梢が優勢に成長した（第1図）。

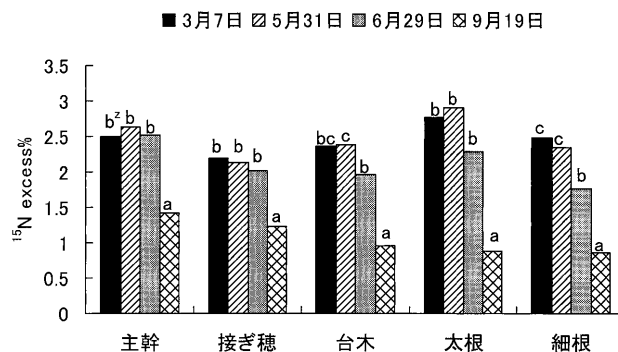
2. 新梢の成長に伴う窒素の吸収と分配

主幹、接ぎ穂、台木および根における ^{15}N excess%は、5月は3月と共に高かったが、6月には地下部から減少しはじめ、9月にはすべての部位で3月の半分以下に有意に減少した。特に、太根では、5月に ^{15}N excess%が2.907%と最も高かったが、9月には0.884%と著しく減少した（第2-a図）。主幹、台木および根における ^{15}N 分配率 (%) は、3月には高かったがその後は減少した。しかし、主幹および台木への ^{15}N 分配率 (%) は9月になると再び増加する傾向が認められた。また、5月から9月の新梢成長時には新梢への ^{15}N 分配率 (%) が高くなり、特に旺盛に成長する6月に60.36%と最も多く分配されていた（第2-b図）。

新梢における ^{15}N excess%は、6月と5月には共に高かったが、9月には半分程度まで減少した。いずれの時期にも

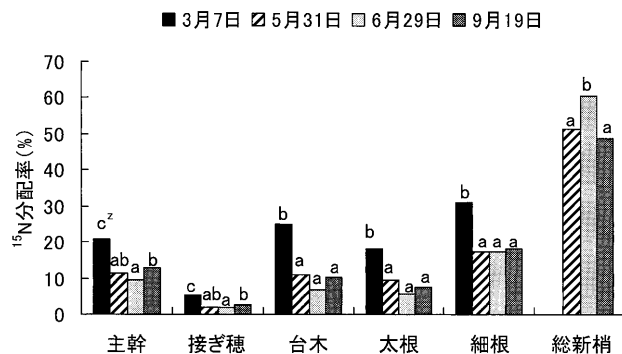


第1図 リンゴ‘ふじ／マルバカイドウ’1年生樹の切り返し剪定後の新梢成長
 新梢1～11は上部から下部への新梢
 ()は調査した新梢の本数である

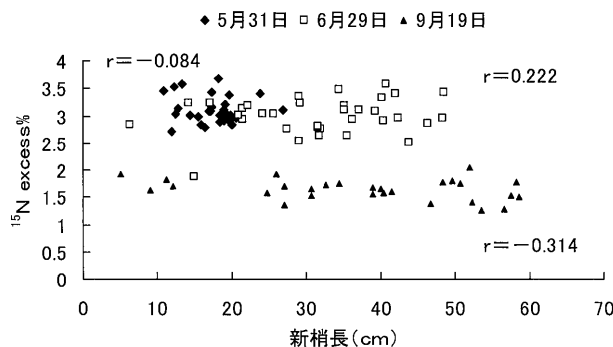


第2-a図 リンゴ‘ふじ／マルバカイドウ’1年生樹の切り返し剪定後の各部位における ^{15}N excess%の経時変化
^a異なる英小文字の付いた調査日の間には Tukey-Kramer 法の多重比較検定により5%の水準で有意差があることを示す

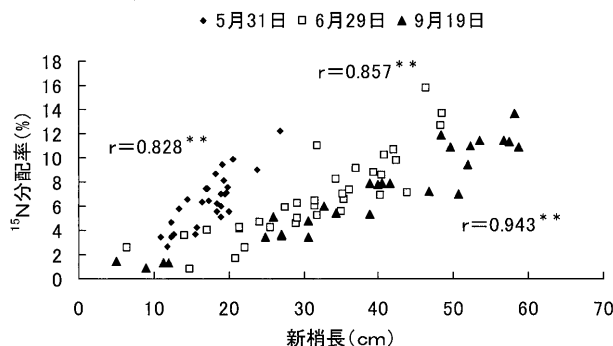
新梢長と新梢の ^{15}N excess% との間には関係は認められなかった (第 2-c 図). しかし, 新梢長と新梢の ^{15}N 分配率 (%) の間には 5 月, 6 月および 9 月とも有意な高い正の相関が認められた (第 2-d 図).



第 2-b 図 リンゴ ‘ふじ/マルバカイドウ’ 1 年生樹の切り返し剪定後の各部位における ^{15}N 分配率 (%) の経時変化
総新梢は新梢の茎, 新梢の葉およびその他の葉 (長さ 5 cm 未満の枝の葉と主幹から直接出ている葉) も含む
^z 異なる英小文字の付いた調査日の間には Tukey-Kramer 法の多重比較検定により 5% の水準で有意差があることを示す



第 2-c 図 リンゴ ‘ふじ/マルバカイドウ’ 1 年生樹の切り返し剪定後の新梢長と ^{15}N excess% との関係

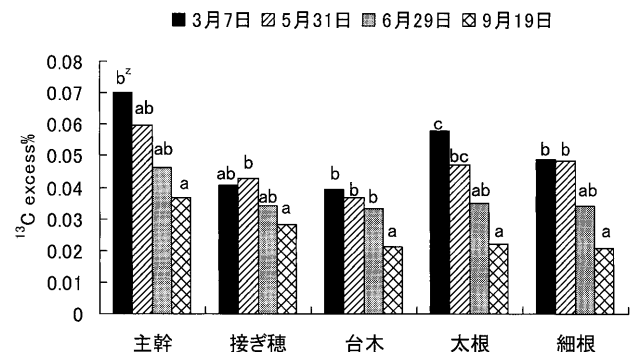


第 2-d 図 リンゴ ‘ふじ/マルバカイドウ’ 1 年生樹の切り返し剪定後の新梢長と ^{15}N 分配率 (%) との関係
** は 1% のレベルで有意であることを示す

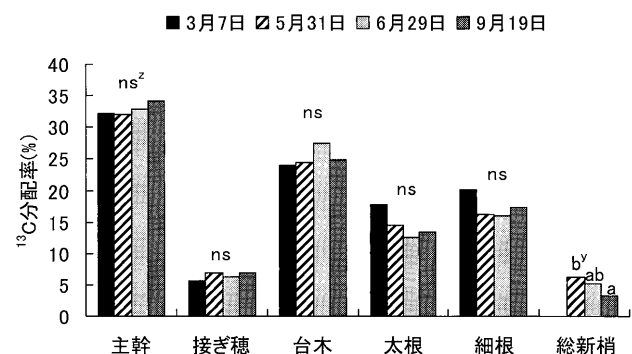
3. 新梢の成長に伴う炭素の吸収と分配

主幹, 台木および太根における ^{13}C excess% は, 3 月は高かったが 5 月から減少し, 9 月になると有意に減少した. 特に, 主幹と太根における ^{13}C excess% は 3 月に最も高く (それぞれ 0.0702% と 0.0581%), その後次第に減少した (第 3-a 図). しかしながら, ^{13}C 分配率 (%) は主幹, 接ぎ穂, 台木および根においては新梢成長期間中にはほとんど変化しなかった. ^{13}C 分配率 (%) は 3 月には主幹, 台木, 細根, 太根の順に大きかったが, 新梢成長期間中の 5 ~ 9 月には, 太根と細根は有意ではないものの, 3 月に比較して減少した. 新梢の ^{13}C 分配率 (%) は 5 月から 9 月にかけて徐々に減少した (第 3-b 図).

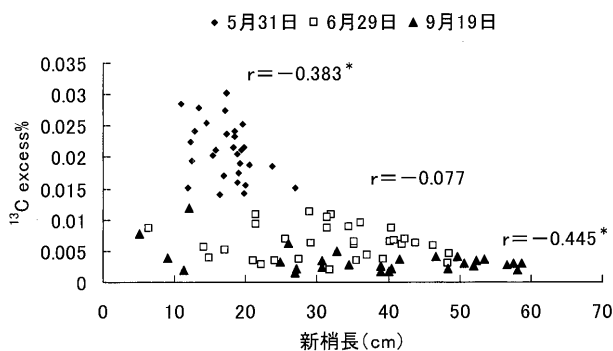
新梢における ^{13}C excess% は, 5 月に高かったが 6 月に急激に減少し 1/4 程度となった. 5 月と 9 月には長い新梢ほど ^{13}C excess% が低くなり, 有意な負の相関が認められた



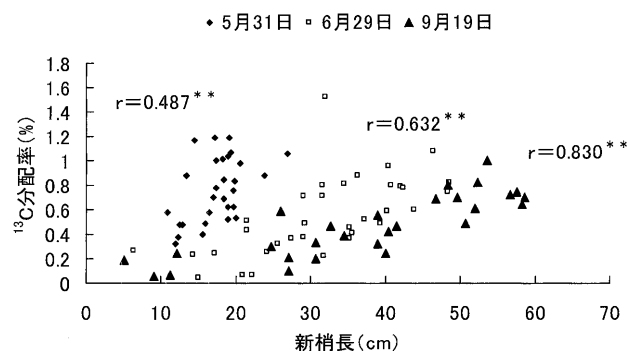
第 3-a 図 リンゴ ‘ふじ/マルバカイドウ’ 1 年生樹の切り返し剪定後の各部位における ^{13}C excess% の経時変化
^z 異なる英小文字の付いた調査日の間には Tukey-Kramer 法の多重比較検定により 5% の水準で有意差があることを示す



第 3-b 図 リンゴ ‘ふじ/マルバカイドウ’ 1 年生樹の切り返し剪定後の各部位における ^{13}C 分配率 (%) の経時変化
総新梢は新梢の茎, 新梢の葉およびその他の葉 (長さ 5 cm 未満の枝の葉と主幹から直接出ている葉) も含む
^z Tukey-Kramer 法の多重比較検定により 5% の水準で有意差がないことを示す
^y 異なる英小文字の付いた調査日の間には Tukey-Kramer 法の多重比較検定により 5% の水準で有意差があることを示す



第3-c図 リンゴ‘ふじ／マルバカイドウ’1年生樹の切り返し剪定後の新梢長と ^{13}C excess%との関係
*は5%のレベルで有意であることを示す



第3-d図 リンゴ‘ふじ／マルバカイドウ’1年生樹の切り返し剪定後の新梢長と ^{13}C 分配率 (%)との関係
**は1%のレベルで有意であることを示す

が、相関係数は小さかった（第3-c図）。新梢長と新梢の ^{13}C 分配率 (%)の間には5月、6月および9月のいずれの時期にも有意な高い正の相関が認められた（第3-d図）。

考 察

リンゴ樹の新梢の先端部、あるいは新梢に切り返し剪定を行った場合、頂部優勢性によって先端部の枝ほど長く、特に上部の3本程度の枝が下部の枝より長く成長することが認められる。この枝の成長の違いが何によってもたらされているのかについては植物ホルモンと成長に必要な養分の両面から説明されてきたが（Wareing, 1970; Wareing・Nasr, 1961）、未だに明確な説明はされていない。これまで植物学においては植物ホルモンの面からの研究が多く、養分の面からの研究は少ない。そこで本研究は、窒素ならびに炭素の同位体を用いて、貯蔵養分の利用の面から枝の成長の違いを明らかにしようとしたものである。すなわち、長く伸びる枝はより優先的に貯蔵養分を利用しているかどうかを明らかにすることを目的とした。

その結果、1年生の樹に切り返し剪定を行った時の新梢成長と貯蔵養分の利用について調査を行ったところ、上部から3本目までと6番目の4本の新梢の伸長が4, 5番目お

よび7番目以下の新梢に比べて顕著に長かった。なお、新梢成長の初期（5月）には必ずしも上部の新梢が長いとは限らず、新梢長は芽の位置とは関係なかった。その後、新梢成長が旺盛な時期（6月）になると、これら4本の新梢は旺盛に伸長し、他の新梢に比較して顕著に長くなった。これは、6月は新梢の成長が旺盛な時期であり、新生葉による光合成作用が活発となって個々の新梢間で養分の競争が激しくなる結果、これらの4本の新梢が競争に打ち勝った結果と考えられる。しかし、6番目の新梢が長くなった理由については本試験の結果からは明確でなく、今後の再現試験が必要である。

^{15}N excess%の値は、前年度の秋に吸収された ^{15}N の割合を示しているものである。新梢の ^{15}N excess%は5月と6月には共に高いが、9月には大きく減少した。このことから、5月と6月には枝の成長における貯蔵された窒素の利用には違いは無いが、それ以降の9月までの期間は、新たに吸収した窒素の利用が増加すると考えられる。5月頃の初期成長時には主に貯蔵された窒素を利用して成長していると考えられるが、6月になっても5月と同様に貯蔵された窒素の寄与が大きいことが推察された。一方、新梢長と新梢の ^{15}N excess%の間には、どの時期においても相関は認められなかった。特に成長初期においては、長い枝は短い枝に比べて貯蔵された窒素をより優先的に利用して成長しているとも考えられるが、今回の結果から、枝の長さによってその違いは無いことが示唆された。

^{15}N の分配率は樹全体の ^{15}N の中からその部位に分配された割合である。新梢長と新梢の ^{15}N 分配率 (%)の間には高い正の相関が認められた。しかしながら、前述のように枝の長さは貯蔵された窒素の濃度である ^{15}N excess%とは特に関係が認められなかったことから、貯蔵窒素のシンクとしての力は枝の長さとは関係ないものの、長い枝は全窒素含量がより多いために ^{15}N の分配率が高くなったものと考えられた。

なお、樹1本あたりの ^{15}N の吸収量 (mg) と吸収率 (%) は、いずれの時期においても有意な変化は認められなかったことから、実験期間中においては新たな ^{15}N の吸収はなかった（データは省略）。

新梢の ^{13}C excess%は6月には5月に比べて減少したことから、新梢成長における貯蔵炭素の利用は6月から低下することが推察された。また、枝の長さとは ^{13}C excess%の間には5月と9月で有意な負の相関が認められたが、相関係数は小さいことから、枝の長さの違いによって貯蔵炭素のシンクとしての力は大きな違いはないことが推察された。一方、 ^{13}C 分配率 (%) は、5月から9月まで新梢長と有意な正の相関が認められた。これは、前述のように ^{13}C excess%は枝の長さによって大きな違いはないが、長い枝は全炭素含量が多いために ^{13}C 分配率が高くなったものと考えられる。以上のことから、貯蔵炭素は新梢成長の初期段階において利用されるが、6月の成長が旺盛な時期においては、

貯蔵された炭素の利用は低下し、むしろ新生葉によって固定された炭素の利用が高まることが示唆された。

一般に、新梢の初期成長には前年の貯蔵養分に頼らざるを得ない。そして、新梢の成長は5～6枚の葉が発達した後自らの同化養分でまかなうことが知られている (Forshey・Elfving, 1989; 福元, 1985)。今回の結果から、新梢成長が開始する時から新梢が旺盛に成長する時期にかけて貯蔵窒素を利用しているが、貯蔵された炭素を利用して伸びる期間は比較的短く、また、その分配も小さく、窒素とは大きく異なることが明らかとなった。

新梢以外の部分における窒素の変化を見ると、 ^{15}N excess %は細根以外の部位は6月まではほとんど変化は無く、9月に大きく減少した。一方 ^{15}N の分配率(%)は、どの部位も3月は高かったが、その後は減少しほぼ同じ値となった。 ^{15}N の分配率(%)は地上部に比べて根の部位で高く、新梢成長時に大きく減少することから、台木および根は、新梢成長に利用される窒素の重要な貯蔵器官であることが示され、これまでの報告と一致した (Mason・Whitfield, 1960; 望月・花田, 1956)。

一方、 ^{13}C excess %は主幹が他の部位に比べてやや高かったが、どの部位においても3月から9月にかけて徐々に減少した。 ^{13}C 分配率(%)は成長期間中に有意な変化はしなかったが、根の部分における ^{13}C 分配率(%)は有意ではないものの、他の部位に比べて減少する傾向が認められた。これらのことから、根に貯蔵された炭素が新梢成長に利用されていることが推察された。

永年性の落葉果樹においては冬季間の樹体と早春の初期成長を維持するために有機、無機養分を体内に貯えている。窒素はタンパク質やアミノ酸として根や主幹および台木の樹皮中に貯蔵されるが、新梢の発芽時には、まず芽に近い位置に存在するものが利用されるようであり (Mason・Whitfield, 1960; 望月・花田, 1956)、その後は根から上昇したものが重要な役割を占めると考えられる。炭水化物は、主として澱粉や糖として根や台木および主幹の樹皮と木部に貯蔵されており、望月・花田 (1955) と Quinlan (1969) らは炭水化物の貯蔵場所として特に根が重要であると報告している。そして、重窒素を用いた実験で Mochizuki・Kamakura (1971) は、秋から冬の間に吸収された窒素は根に貯えられ、早春の生育開始に当たり新生部位に移動して役立っていることを示したが、今回の結果から、特に貯蔵された窒素は新梢成長の長期に渡って利用されていることが明らかとなった。

成長するためには養分や水分が不可欠であるが、それらの移行には、植物ホルモンの影響が大きいことが推察される。今回の研究では植物ホルモンのレベルは測定していないが、今後はオーキシンやジベレリンおよびサイトカイニンなどの役割やそれらのホルモンと養分の移行や集積との関連について総合的に解析してみる必要があると考えられた。

摘 要

リンゴ樹における新梢成長と貯蔵養分の利用との関係を知るために、前年度に ^{15}N と ^{13}C を施与したリンゴ‘ふじ／マルバカイドウ’の1年生樹に切り返し剪定を行い、その後の新梢成長と貯蔵養分の移行について、成長初期(5月)、成長旺盛期(6月)、成長停止期(9月)に調査した。5月までは新梢の位置に関係なく、個々の新梢長の差は小さかったが、6月には上部の新梢が長くなり、それからその差が顕著になった。新梢長と新梢の ^{15}N excess %との間には相関は認められなかったが、 ^{15}N excess %は9月に顕著に減少した。新梢長と新梢の ^{13}C excess %との間には低い負の相関が認められ、5月から6月にかけて大きく減少した。新梢長と ^{15}N 分配率(%)および ^{13}C 分配率(%)の間には、5月から9月において有意な正の相関が認められた。これらのことから、上部の長く伸びる枝は、貯蔵された窒素あるいは炭素を相対的により多く利用していることが推察された。そして長い枝と短い枝では貯蔵養分と当年に吸収された養分の利用の度合いには差が無いが、特に、新梢成長には貯蔵された窒素の寄与が炭素に比べてより大きいことが推察された。

謝 辞 本論文を取りまとめるにあたり、菊池卓郎弘前大学農学生命科学部名誉教授にご助言頂いた。ここに記して感謝の意を表する。

引用文献

- 赤尾勝一郎・久保田収治. 1978. 温州みかん樹の春季新生器官形成時における貯蔵窒素、特に秋肥窒素の利用について (その1). 園学雑. 47: 31–38.
- Cheng, L., S. Dong and L. H. Fuchigami. 2001. Effect of nitrogen fertilization on reserve nitrogen and carbohydrate status and regrowth performance of pear nursery plants. *Acta Hort.* 564: 51–62.
- Dong, S., L. Cheng and L. H. Fuchigami. 2001. New root growth in relation to nitrogen reserves of young Gala/M.26 apple trees. *Acta Hort.* 564: 365–370.
- Dong, S., L. Cheng, C. F. Scagel and L. H. Fuchigami. 2002. Nitrogen absorption, translocation and distribution from urea applied in autumn to leaves of young potted apple (*Malus domestica*) trees. *Tree Physiol.* 22: 1305–1310.
- Dong, S., L. Cheng, C. F. Scagel and L. H. Fuchigami. 2003. Root damage affects nitrogen uptake and growth of young Fuji/M.26 apple trees. *J. Hort. Sci. Biotech.* 78: 410–415.
- Forshey, C. G. and D. C. Elfving. 1989. The relationship between vegetative growth and fruiting in apple trees. *Hort. Rev.* 11: 229–287.
- 福元将志. 1985. 年間の貯蔵養分の動き. p. 247–250. 農文協編. 果樹全書. リンゴ. 農文協. 東京.
- Hill-Cottingham, D. G. and C. P. Lloyd-Jones. 1975. Nitrogen-

- 15 in apple nutrition investigations. J. Sci. Food Agr. 26: 165–173.
- Jonkers, H. 1982. Testing Koopman's rules of apple tree pruning. Sci. Hort. 16: 209–215.
- 菊池卓郎. 1975. せん定と生長・結実. p. 273–293. 青木二郎編. 新編リンゴの研究. 津軽書房. 青森.
- Kikuchi, T., Y. Shiozaki and F. S. Yasunaka. 1996. Dry matter partitioning in young 'Fuji' apple trees on *M. prunifolia* rootstock as affected by pruning at planting. Bull. Fac. Agr. Hirosaki Univ. 59: 47–53.
- Mason, A. C. and A. B. Whitfield. 1960. Seasonal changes in the uptake and distribution of mineral elements in apple trees. J. Hort. Sci. 35: 34–55.
- Millard, P. and G. H. Neilsen. 1989. The influence of nitrogen supply on uptake and remobilization of stored N for the seasonal growth of apple trees. Ann. Bot. 63: 301–309.
- 望月武雄・花田 慧. 1955. りんご幼木体内成分の季節的消長. 第1報. 水分及び炭水化物. 弘大農報. 1: 27–40.
- 望月武雄・花田 慧. 1956. りんご幼木体内成分の季節的消長. 第2報. 窒素, 磷酸及び加里. 弘大農報. 2: 25–39.
- Mochizuki, T. and J. Kamakura. 1971. Nitrogen nutrition of apple trees. III. Utilization of nitrogen absorbed in winter. Bull. Fac. Agr. Hirosaki Univ. 17: 110–113.
- Neilsen, D., P. Millard, G. H. Neilsen and E. J. Hogue. 1997. Sources of N for leaf growth in high-density apple (*Malus domestica*) orchard irrigated with ammonium nitrate solution. Tree Physiol. 17: 733–739.
- O'Kennedy, B. T., M. J. Hennerty and J. S. Titus. 1975. Changes in the nitrogen reserves of apple shoots during the dormant season. J. Hort. Sci. 50: 321–329.
- Quinlan, J. D. 1969. Mobilization of ^{14}C in the spring following autumn assimilation of $^{14}\text{CO}_2$ by an apple rootstock. J. Hort. Sci. 44: 107–110.
- Tagliavini, M., P. Millard and M. Quartieri. 1998. Storage of foliar-absorbed nitrogen and remobilization for spring growth in young nectarine (*Prunus persica* var. *nectarina*) trees. Tree Physiol. 18: 203–207.
- Wareing, P. F. 1970. Growth and its co-ordination in trees. p. 1–21. In: L. C. Luckwill and C. U. Cutting (eds.). Physiology of Tree Crops. Academic Press, London.
- Wareing, P. F. and T. A. A. Naser. 1961. Gravimorphism in trees. 1. Effects of gravity on growth and apical dominance in fruit trees. Ann. Bot., N. S. 25: 321–340.