

平成22年 5月 1日現在

研究種目：基盤研究(C)
研究期間：2007～2008
課題番号：19580170
研究課題名（和文） 樹木の繁殖器官と葉のCO ₂ 交換と転流の量的バランス
研究課題名（英文） CO ₂ gas exchange and translocation balance in reproductive organs and leaves of trees
研究代表者
小川 一治 (OGAWA KAZUHARU)
名古屋大学・大学院生命農学研究科・助教
研究者番号：90224097

研究成果の概要：樹木の果実などといった繁殖器官と葉との転流の量的バランスを定量化するために、それぞれの光合成や呼吸といったCO₂交換量を測定することにより、果実成長への葉の光合成産物の貢献度を明らかにした。研究材料として、名古屋大学構内の陽当たりのよい場所に生育するクスノキと落葉樹二次林の林床に生育するアオキを用いた。また、熱帯に生育するドリアンの果実の既報のデータより、転流を考慮した場合の植物器官の成長に関する数理モデルの構築を行った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林学・森林科学

キーワード：樹木、繁殖器官、葉、転流、CO₂交換、果実成長

1. 研究開始当初の背景

樹木の転流バランスを解明するための基礎的研究として、主として球果や果実などの繁殖器官自身におけるCO₂ガス交換バランスや他器官から繁殖器官へ転流する物質のバランスを断片的ではあるが定量化に努めてきた。その結果、繁殖器官自身も光合成により、炭素固定を行っているが、繁殖器官の

成長はその大部分が他器官からの転流物質によって補われていることが示唆された。現在までのところ、他器官からの転流は主としてその大部分が葉における光合成産物の転流によってまかなわれているとされているが、繁殖器官と葉との転流バランスの定量的関係は明白にされていないのが現状である。

2. 研究の目的

葉の CO₂ ガス交換量も同時に測定することにより、繁殖器官と葉の両者の転流バランスの量的関係を明らかにし、繁殖器官の成長に必要な物質が葉からの光合成産物によってどの程度補われているか定量的につきとめることを目的とする。この結果は、樹木をはじめとする植物の繁殖コストの低減に果実の光合成がどれほど貢献しているかを定量的に示す一つの指針となる。

3. 研究の方法

名古屋大学構内の生育するクスノキと落葉二次林に生育する林床の低木のアオキの雄株と雌株を対象に以下の内容で研究を実施した。

(1) 繁殖器官のサイズ構成

特に付着した果実の直径を定期的に測定し、そのサイズ構成が成長とともにどのように変化するかを調べ、生存曲線から得られた落下数変化との対応を解析した。また、同時に果実を採取し、直径、重量を測定し、重量と直径との相対成長関係より、非破壊的に付着した果実の重量を推定した。

(2) CO₂ガス交換

携帯用光合成蒸散測定システムLI-6400(米国Li-Cor社製)により、野外において自然状態で花芽、花、果実の繁殖器官のCO₂ガス交換測定を実施した。この測定の概要は、花芽の段階から定期的にCO₂ガス交換測定を実施し、その後、花、果実のそれぞれの成育段階へと測定を移行していった。また、同時に葉のCO₂ガス交換測定を実施した。この野外測定により、光合成速度の光依存性を明らかにし、繁殖器官および葉の物質収支を解析した。

(3) 転流量

まず第一に、繁殖器官におけるCO₂ガス交換量と成長量のデータから他器官から転流量を算出し、開花・結実過程における転流量の時間的変化を調べ、成長と転流との量的関係を解析した。また、次に、葉における転流量(cf. Hozumi and Kurachi 1991)を算出し、繁殖器官と葉の両者における転流バランスの量的関係を吟味した。

4. 研究成果

(1) 落葉樹林に生育する低木アオキが、林床の変化する光環境でどのような炭素獲得特性および繁殖への配分特性を持つのか、また雌雄異株植物であるアオキは性間でその特性が異なるのかを明らかにすることを目的とした。

当年葉は、林冠の着葉期には低い暗呼吸速度と光補償点によって弱光下でも正の炭素獲得量を達成し、冬の落葉期には高い光合成速度を維持して夏期よりも多い同化産物を生産した。これらの光合成特性は、季節により光環境の変化する林床に適応的なものであると考えられる。一年生シュートレベルでの転流関係の推定では、最も結実したシュートではシュート上の当年葉だけでは果実が必要な同化産物量を賄えないことが示唆された。しかし、一年葉は当年葉の約85%の光合成速度を持ち、同化産物が不足する期間に正の炭素獲得を達成した。

栄養器官への炭素配分量は葉乾重合計と当年生シュートボリュームにおいて雄が高い値を示した。繁殖への投資量は、雌の果実への投資量が雄の花序への投資量を上回った。つまり、アオキでは繁殖への高い同化産物の投資量が、雌における繁殖と栄養成長との間のより強いシュートレベルのトレードオフの関係を生み出していると考えられる。一方、

雄の最大総光合成速度は雌より高かったが、弱光下の光合成速度に差はなく、1日あたりの炭素同化量に性差は見られなかった。葉面積合計には雌雄間で配分に差がなかったため、雄と同等の一年生シュートボリュームを持つ雌は雄と同量の同化産物量を獲得できると考えられる。

果実は呼吸で放出するCO₂を80%以上の割合で再固定できる光合成能力を持つが、林床での1日あたりの再固定率に換算すると3-8%であった。また、果実の被覆は果実乾重に有意な影響を与えなかった。したがって果実の光合成は、林床環境では繁殖コストの低減にそれほど重要ではないと考えられる。

(2)常緑樹クスノキの果実と葉における両器官の間での転流バランスを定量的に把握するため、両器官のCO₂交換と乾重の季節変化を調べた。果実重の増加速度は8月と10月にピークを示し、最初のピークは果肉成長と、また、次のピークは種子成長によるものであった。この2つの時期において、果実の呼吸もまた増加した。すなわち、果実成長に要求される炭水化物量は繁殖期間中、2つのピークを示した。果実の光合成は8月の初期に比較的高かった。この時期に果実は呼吸で放出されたCO₂の75%を再固定する潜在的な能力があり、果実呼吸のための炭素要求量の15-35%を果実の光合成によって補われていることが明らかとなった。

当年葉の重量成長は果実重の成長が始まった6月に終了し、果実の生育期間中ほぼ10-25 mg d.wt leaf⁻¹ day⁻¹の速度で炭水化物を葉以外の他器官に転流した。当年葉から転流されるこの速度は、繁殖のために必要とされる炭水化物量

(ほぼ3 mg d.wt fruit⁻¹ day⁻¹)をはるかに上まった。もし果実と当年葉との間の炭素バランスを考慮すれば、繁殖のために要求される炭水化物は果実を付けている当年生シュート内で生産されていると言える。クスノキでは果実と葉の間で炭水化物をめぐるほとんど競争がないと考えられるので、繁殖成長と栄養成長のパターンが繁殖に適していると推察された。葉による光合成産物は繁殖と新しいシュートの形成過程に用いられるので、繁殖器官による光合成は繁殖コストを補償する上で重要な役割をしていることが明らかとなった。

(3)動物における成長におけるベルタランフイーの微分式で示された成長式を考慮した場合、植物の成長もまた同化(光合成)と異化(呼吸)の差の結果として示されると言える。しかしながら、植物のある器官(繁殖器官など)を考えた場合、他器官、特に葉からの光合成産物の転流物を考慮に入れる必要があると考えられる。それ故に、転流を考慮した場合、植物のある器官の成長はその器官の炭素バランスを推定するためのコンパートメントモデルを基にして、既報のドリアンに関する転流、光合成、呼吸の測定結果を用いて解析された。転流量、光合成量、呼吸量と果実重はそれぞれ、巾乗式で示すことができ、これらの関係式から転流量と成長量は比例関係にあることが分かった。この転流量と成長量の比例関係はクスノキ果実でも成立することが分かっている。この果実の転流量と成長の比例関係から、本研究では果実の成長は拡張されたベルタランフイーの微分成長式で表すことができ、成長量と転流量が比例関係にある場合、通常の単純なベルタランフイーの微分成長式で表すことができる可能

性があることが示唆された。また、植物のある器官重と全重との相対成長式が成り立つ場合、器官のベルタランフイーの微分成長式は、植物体自体のベルタランフイーの微分成長式に拡張可能であることが示唆された。また、Hozumi (1985, 1987) の提案した樹木の幹材積における $u-w$ 解析も果実の重量成長に応用可能であることが分かった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① K. Ogawa, Consideration of translocation into a growth model of a plant organ, *Ecological Modelling*, 査読有、220, 2009, 1492-1494
- ② K. Ogawa, Mathematical analysis of change in forest carbon use efficiency with stand development: A case study on *Abies veitchii* Lindl., *Ecological Modelling*, 査読有、220, 2009, 1419-1424
- ③ S. Imai and K. Ogawa, Quantitative analysis of carbon balance in the reproductive organs and leaves of *Cinnamomum camphora* (L.) Presl, *Journal of Plant Research*, 査読有、122, 2009, 429-437
- ④ K. Ogawa, The leaf mass/number trade-off of Kleiman and Aarssen implies constancy of leaf biomass, its density and carbon uptake in forest stands: scaling up from shoot stand level, *Journal of Ecology*, 査読有、220, 2008, 1419-1424
- ⑤ K. Ogawa, A consideration of the constancy of biomass density in plant populations undergoing self-thinning, 査読有、2007, 1-4

[学会発表] (計 7 件)

- ① K. Ogawa, Mathematical analysis of change in forest carbon use efficiency with stand development: a case study on *Abies veitchii*, International Conference on Adaptation of Forests and Forest Management to Changing Climate with Emphasis on Forest Health: A Review of Science, Policies and Practices, 2008年8月26日、スウェーデン、ウメオ
- ② 小川一治、森林の炭素利用効率 (CUE) の林分発達に伴う変化の数理学的説明-シラビソ林を例にして-、第 119 回日本森林学会大会、2008年3月28日、東京農工大

③ 小川一治、森林における炭素利用効率 (Carbon Use Efficiency, CUE) の林分発達に伴う変化: ヒノキを例にして、第 55 回日本生態学会大会、2008年3月17日、福岡

④ 今井俊輔、小川一治、落葉樹林の林床に生育する雌雄異株の低木アオキの繁殖器官と葉における炭素バランス、第 55 回日本生態学会大会、2008年3月17日、福岡

⑤ K. Ogawa, Forest carbon use efficiency: is net primary production a constant fraction of gross primary production?, An International Scientific Conference on The Conservation and Use of Old-growth Forests in The 21st Century: Old Forests, New Management, 2008年2月19日、オーストラリア、タスマニア

⑥ K. Ogawa, Consideration of translocation into a growth model of a plant organ, EcoSummit2007, 2007年5月25日、中国、北京

⑦ 今井俊輔、小川一治、林床の低木アオキの果実における炭素バランス、第 118 回森林学会大会、2007年4月3日、九州大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小川 一治 (OGAWA KAZUHARU)

名古屋大学・大学院生命農学研究科・助教
研究者番号: 90224097