

平成 21 年 5 月 31 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006～2008

課題番号：18570011

研究課題名（和文） 複合的環境要因の変化に対する植物の可塑的形態形成

研究課題名（英文） Plasticity of plant matter partitioning in response to environmental factors

研究代表者

館野 正樹（TATENO MASAKI）

東京大学・大学院理学系研究科・准教授

研究者番号 00179730

研究成果の概要：

植物個体は、生育する環境にあわせて、物質分配をはじめとするさまざまな性質を変化させる。この研究では、まず弱光条件における最適物質分配法を理論的に解析し、現実の植物が理論的最適値をほぼ満たしていることを明らかにした。さらに、これを使って、個体の半分が被陰された状況の最適物質分配を求め、autonomy とよばれるシュートの独立性が成長の最大化と矛盾するものではないことを明らかにした。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
平成 18 年度	1,600,000	0	1,600,000
平成 19 年度	900,000	270,000	1,170,000
平成 20 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	570,000	4,070,000

研究分野：植物生態学

科研費の分科・細目：基礎生物学・生態環境

キーワード：光、窒素、物質分配、最適化、Autonomy、Correlative inhibition

1. 研究開始当初の背景

植物は環境条件に合わせて適応度を最大化するような最適成長を行う (Tateno, 1988; Iwasa & Cohen, 1989)。葉と茎からなるシュートの集団からなる樹木は、林床の稚樹から成木に至るまで 個体内の光環境は非常に不均一、すなわち明るい部分と

暗い部分が存在する。また前年作った枝上に新たに葉を展開して成長する。このような場合の樹木の成長が、資源配分パターンの変化を通して最適化されているかどうかは検証されていない。従来の樹木成長モデルでは、樹冠の不均一な光環境下における、①根からの吸収窒素（吸収 N）や春期の貯

蔵炭水化物・窒素（貯蔵 C・N）の分配、②枝からの光合成産物の分配規則が十分に考慮されておらず、枝の生死や樹木の成長の理解には不十分である。窒素は光合成に最も重要な栄養塩であり、貯蔵炭水化物は春期に大部分を消費して新葉を作るため、どちらも植物の成長に重要な資源である。また、光合成産物の分配規則については、枝間で光合成産物のやり取りが行われない **Branch autonomy** (Sprugel et al.,1991) が成立しているが、植物体を支える幹・窒素を吸収する根への配分ルールは不明であり、光環境や樹冠内の相対的位置によって変わる可能性がある。よって、光環境に応じた資源配分パターンを解明しないことには、樹冠内部の窒素配分及び樹木全体の成長を明らかにすることはできない。実際に、**Correlative inhibition** と呼ばれる現象 (Takenaka,2000)は、個体の一部の枝が強光下にあるとき、その他の弱光下の枝の成長・生存が著しく阻害される現象で、個体全体が不良環境下にあると起こらないことから、樹冠内の不均一な光環境を考慮することの重要性が示唆されている。

2. 研究の目的

本研究では、不均一な光環境下の個体において、各シュートからの光合成産物の地下部への分配の規範と、根から各シュートへの吸収窒素や貯蔵物質の分配パターンが個体の成長速度に与える影響を、数理モデルによるシミュレーションと、実際の植物を用いた検証実験で明らかにする。合わせてモデルの前提としている **branch autonomy** がどのような光環境下でも必然的であることを示す。

3. 研究の方法

(1)実験系

ヤマグワ 1 年生実生（発芽後 2 年目）を 2 本シュート仕立てにして遮光処理を施し、窒素 (N) 栄養条件を富栄養と貧栄養で生育させた。これらの個体から、数理モデル用のパラメータ採取を行うとともに成長解析を行い、モデルによるシミュレーションの予測結果と比較した。さらに、HLS 個体において貯蔵物質を HL または HS シュートに集中させた状態を再現するために、各光環境下でシュート 1 本に仕立てた個体 (WL、WS) を生育させた。

(2)基本モデル

各光環境下の葉における窒素含量 (LNCa: $g N m^{-2}$) と光合成曲線の間係を求め、生育期間中の 1 分単位の光強度データと組み合わせることで、各光環境下における LNCa に対する平均純生産速度 (NAR: $g m^{-2} d^{-1}$) を推定した。本モデルでは植物体の成長速度を LNCa と NAR の関係に基づいて決定した。植物体は、葉・茎・根からなり、土壤中の利用可能な N を、SAR (根のバイオマスあたりの窒素吸収量で土壌 N 栄養条件に依存する: $g N g^{-1}$) と根のバイオマスに応じて吸収し、地上部の葉へ供給する。葉は窒素含量 (LNCa) に応じて炭水化物を同化し、一定の分配率に従って同化炭水化物を新たに葉・茎・根に分配するというサイクルを繰り返す (Osone & Tateno, 2003)。

4. 研究成果

(1)各光環境下での物質分配

均一な強光・弱光環境下における植物個体 (WL, WS 個体) の相対成長速度 (RGR) を最大化する最適な地上部の割合 (P_{Shoot}) と最適な LNCa を、最適物質分配モデルを用いて求めて実際の物質分配と比較した。

モデルより、強光環境下では根の割合を増やして高い LNCa を実現することで、弱光環境下では LNCa を増加させても生産量が上がらないため地上部の割合を大きくすることが予測された。実測の物質分配はモデルによる予測と概ね一致していた。

(2) 不均一な光環境下の個体において吸収窒素の配分パターンの変化が個体の成長速度に与える影響

個体が不均一な光環境に置かれた場合 (HLS 個体) の挙動を予測した。各シュートが同化した光合成産物は先に求めた関係式に従って地下部へ分配され、葉・茎・根を作って成長していく。デフォルトでは各シュートが作った根の量に応じて、吸収 N は各シュートへ配分されるものとした。もし、吸収 N を優先的に強光環境下の HL シュートに配分したとき、各シュートの成長速度と個体全体の成長速度がどのような影響を受けるのか、シミュレーションを行った。

光環境下の HL シュートへ優先的に配分した場合、優先分配率 (n) が大きいほど HL シュートの成長は促進され、HS シュートの成長は抑制されるが、個体全体の RGR はほとんど変化しないことが予測された。この結果は、N 栄養条件 (SAR) に依存せず、また HS シュートの光環境を RPPFD30%とした場合も同様の結果であった。よって、どのような窒素栄養・光環境条件においても、優先的な N 配分による HL シュートの成長速度増加分 (ベネフィット) は、HS の成長速度抑制分 (コスト) とほぼ等しく、結果として HLS の RGR は変化しないことが示唆された。

モデルを検証するために HLS 個体の成長解析を行った。N 富栄養条件下において同じ光環境下のシュート間で LNCa に違

いは見られなかったが、N 貧栄養下に HS シュートで低下し、HL シュートで増加する傾向が見られた。このことは HL シュートに N が優先的に配分されることを示唆している。シュートの乾燥重量も LNCa と同じ傾向を示した。このような資源配分パターンが個体全体の成長速度に与えた影響を評価するために、2 本のシュートに同等の N が配分されていた WL 個体と WS 個体の乾燥重量の平均を H-uni と定義し、HLS 個体の乾燥重量と比較した。両者の乾燥重量はほぼ等しかったため、個体全体の成長速度は変化しないというモデルの予測を支持していた。

(3) 不均一な光環境下の個体において貯蔵物質の配分パターンの変化が個体の成長速度に与える影響

春期の新葉展開時に貯蔵物質の強光環境下のシュートへの優先的な配分が、個体の成長速度に与える影響をシミュレートした。一定量の貯蔵物質を、全て弱光環境下のシュートに投資した場合 ($s = 0$) から、全て強光環境下のシュートに投資した場合 ($s = 1$) までの成長を、基本モデルを拡張することで評価した。本モデルから、貯蔵物質が HL シュートに集中されるほど個体の成長速度が大きく増加することを予測された。

1 本のシュートに貯蔵物質を集中させた WL、WS 個体と貯蔵物質を強光・弱光環境に分割された HLS 個体の乾燥重量比較することで、モデルの検証を行った。

ポット実験より、HL シュートに貯蔵物質が集中されるほど成長量が大きい傾向がみられ、概ねモデルの予測を支持していた。実際に 2 本のシュートが異なる光環境下にある場合に強光環境下のシュートに貯蔵資源が集中されるかを 2009 年春の展葉時に追証する予定である。

(4) Branch autonomy の進化

本研究ではシュート間で光合成産物の輸送はない、という branch autonomy を前提としてモデル解析を行った。autonomy が成立する理由を、本研究で用いたモデルを応用することで考察した。HLS 個体、WL 個体、WS 個体において、それぞれシュート間で光合成産物の輸送を行ったとき (HL→HS, HS→HL, L→L, S→S の4パターン)、個体の成長速度がどのように変化するかを予測した。結果は、HS→HL の場合のみ多少成長速度が増加するものの、その他の場合では光合成産物のシュート間輸送は個体成長を増加させるものではなかった。したがって、シュート間の光合成産物輸送は大きなメリットを持たないために、branch autonomy の仕組みが進化してきたと考えられる。

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1件)

Oson, Y., Ishida, A., Tateno, M. (2008)

Correlation between relative growth rate and specific leaf area requires associations of specific leaf area with nitrogen absorption rate of roots. *New Phytol.* 179, 417-427. 査読あり。

[学会発表] (計1件)

杉浦大輔、館野正樹 “個体内の異なる光環境に応じたシュート間の不均一な窒素分配” 日本生態学会第56回大会、盛岡(2009年3月17日～21日)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

館野 正樹 (TATENO MASAKI)

東京大学・大学院理学系研究科・准教授

研究者番号 : 00179730

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし