

称号及び氏名	博士(農学) 蔚 暁川
学位授与の日付	平成19年3月31日
論文名	「A fundamental study on regulation of bamboo growth by controlling gaseous environment in the rootzone (根圏ガス環境調節によるタケの成長制御に関する研究)」
論文審査委員	主査 北宅 善昭 副査 清田 信 副査 前中 久行 副査 渋谷 俊夫

論文要旨

はじめに

タケは、世界で70属以上、約1200種あり、そのうち、南アジアおよび東南アジアでは80%の種が分布し、世界のタケ林面積の80%を占めている。広大なタケ林を持つ東南アジアでは、タケは古くから、食用、工芸用、土木建築資材用などの資源として利用され、各国の文化の形成および経済の発展に重要な役割を果たしてきた。タケ類の成長速度は、木本類に比べて大きく、地球温暖化ガスであるCO₂の有効な吸収源となることが期待される。他方、日本では里山に侵入したタケ類が、在来の植物種を駆逐して繁茂する事例が多く見られ、在来植物種の保存のため、また景観保全のために、タケ類の繁茂を制限する必要性がある。

タケ林の拡大は、その管理が不十分であることに起因している。タケを積極的に利用するとともに、タケ植物の成長を抑制する方法が開発できれば、タケ林の持続的な管理手法を確立できる。そのためには、タケ植物の特性や機能を解明することが重要である。タケの生理、生態および利用に関する研究が進めば、タケ林は、良好に管理・保全され、人々の暮らしに貢献することが期待できる。

本研究ではタケ類を資源として活用するとともに、タケ林床土壌ガス環境の調節によってタケの成長制御方法を確立することを目的として、(1) タケ林内の地下部環境、(2) タケ植物およびタケ林床土壌のガス交換、(3) 土壌ガス組成がタケの成長に及ぼす影響、(4) 土壌ガス組成の調節によるタケの成長抑制方法について検討した。

1 タケ林内の地下部環境要素の動態

モウソウチク (*Phyllostachys heterocycla*) およびメダケ (*Pleioblastus simonii*) の林床土壌内のガス組成 (O_2 および CO_2 濃度) を調査した。ガス濃度の測定には、それぞれ O_2 センサーおよび CO_2 センサーを用い、それらを土壌表面下 5、20 および 50 cm の深さに埋設した。また、地温および土壌体積含水率を測定した。

4 月から 12 月におけるタケ林内の地上 1.5 m の気温、林床土壌深さ 0.05 m の地温および土壌深さ 0.1 m の体積土壌含水率の日平均値は、それぞれ、6~28°C、8~26°C および 21~31% の範囲で推移した。土壌が深くなるに伴い、土壌中の O_2 濃度が低くなり、 CO_2 濃度が高くなった。土壌中の O_2 濃度の低下および CO_2 濃度の上昇は 8 月に最も顕著になり、12 月に最も小さくなった。地温の上昇に伴い、土壌中の O_2 濃度は低下し、 CO_2 濃度は上昇した。

2 タケ林床土壌のガス交換

モウソウチク林内で通気チャンバー法を用いて、土壌呼吸速度を測定した。林床における土壌呼吸速度は地温の上昇に伴い増加し、 Q_{10} は約 2 であった。地温 25°C におけるタケ林床の土壌呼吸速度は $21 \mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ であり、マツ林、スギ林およびヒノキ林の林床について報告されている土壌呼吸速度 $5\sim 8 \mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ に比べて高かった。タケの茎 (桿) に近いほど土壌呼吸速度が高くなった。タケの根を取り除いた土壌の CO_2 発生速度は、茎からの距離にかかわらず、ほぼ一定であった。従って、タケ林床土壌中の CO_2 の多くはタケの根および地下茎から発生していると考えられる。

3 土壌ガス組成がタケの成長に及ぼす影響

タケ類の根および地下茎の分布域は土壌の表面付近に制限される。タケの高い成長速度は高い地下部呼吸活性に関連すると考えられる。前節で述べたように、タケ林床土壌が深くなるのに伴い O_2 濃度は低下し、 CO_2 濃度は上昇する。従って、深い土層における低い O_2 濃度および高い CO_2 濃度がタケの根および地下茎の伸長を制限する要因のひとつと考えられる。

3-1 土壌ガス組成がタケの葉面ガス交換に及ぼす影響

土壌表面の通気を抑制するため、タケ林床土壌表面をポリエチレン製フィルムで覆った後、土壌内 O_2 濃度、 CO_2 濃度、葉のガス交換の変動を調査した。葉のガス交換の指標として、葉面コンダクタンスおよび蒸散速度をポロメーターを用いて測定した。土壌通気抑制処理は、4、8、10 および 12 月に行った。

地温が高くなるに伴い、通気抑制処理後の O_2 濃度の低下および CO_2 濃度の上昇はより顕著になった。モウソウチク林床土壌の通気抑制処理後、4、8、10 および 12 月における林床土壌中深さ 0.05 m の O_2 濃度は 20.5-20.9% から、それぞれ 17.8-19.8% に低下し、 CO_2 濃度は 0.07-0.5% から、それぞれ 1.1-3.2% に上昇した。土壌通気抑制処理 1 週間後、4、8、10 および 12 月の葉面コンダクタンスは、土壌通気抑制処理前に比べて、それぞれ 75、80、78 および 50% 低下し、蒸散速度は、それぞれ 70、77、75 および 30% 低下した。

メダケでは、土壌通気抑制処理 7 日後、4、8、10 および 12 月の葉面コンダクタンスは、土壌中の O_2 濃度の低下および CO_2 濃度の上昇に伴い、土壌通気抑制処理前に比べて、それぞれ 60、63、67 および 60% 低下し、蒸散速度は、それぞれ 60、70、73 および 55% 低下した。土壌通気抑制処理後の葉面コンダクタンスおよび蒸散速度の低下は、土壌中の O_2 濃度の低

下およびCO₂濃度の上昇によって、根の吸水機能が抑制され、植物体が水ストレスを受けたことが原因と考えられる。

3-2 土壌中O₂およびCO₂濃度がタケの根の成長および葉面ガス交換に及ぼす影響

前節では、土壌中のO₂濃度の低下およびCO₂濃度の上昇に伴い、タケの葉面コンダクタンスは低下することが明らかとなった。ここでは、タケの葉面コンダクタンスの低下が、土壌中のO₂濃度低下とCO₂濃度増加のいずれに起因するかを解明するため、土壌中のO₂濃度とCO₂濃度のそれぞれが、タケの根の成長および葉のガス交換に及ぼす影響について検討した。

実験には、温室内で育成したポット栽培のホテイチク (*Phyllostachys aurea* Carr.) を用いた。培地にはパーミキュライトを用いた。培地内のO₂濃度を低下させ、CO₂濃度を上昇させるために、ポットをポリエチレン製フィルムで密封し、放射による温度上昇を防ぐために、アルミニウムフィルムで被覆した。培地中CO₂濃度を調節するために、ポット内培地表面にCO₂吸収剤およびCO₂発生剤を設置した（それぞれ低CO₂区および高CO₂区）。フィルムで密封しただけの区を中CO₂区、フィルムで密封しなかった区を対照区とした。葉のガス交換の指標として、葉面コンダクタンスおよび蒸散速度を測定した。各植物あたり5葉を供試した。培地内のO₂およびCO₂濃度の測定には、それぞれO₂センサーおよびCO₂センサーを用い、それらを培地表面下0.05mの深さに埋設した。実験開始前、供試植物の根の長さを0.05mに切り揃えた。実験開始4週間後、伸長した根の乾物重および葉数を調べた。測定期間中の平均気温および相対湿度は、それぞれ25℃および50%であった。

処理開始後一週間以内に、低CO₂、中CO₂および高CO₂区における培地中のO₂濃度は21%から、それぞれ19、19および17.5%に低下した。中CO₂および高CO₂区の培地中CO₂濃度は0.05%から、それぞれ2および3.5%に上昇したが、低CO₂区では0.05%から0.03%に低下した。中CO₂および高CO₂区のタケの蒸散速度はそれぞれ、処理開始前に比べて55%および85%低下し、葉面コンダクタンスはそれぞれ、58%および80%低下した。低CO₂区および対照区のタケの蒸散速度および葉面コンダクタンスは、処理前後において変化しなかった。実験開始4週間後、伸長した根の乾物重は、低CO₂、中CO₂、高CO₂区および対照区において、それぞれ4.3、1.8、0.8 および4.5 g/plantとなり、葉数は測定前のそれぞれ1.1倍、0.6倍、0.4倍および1倍となった。

低CO₂区および中CO₂区の土壌中O₂濃度の低下はほぼ同じであったことから、土壌中のCO₂濃度の上昇が根の成長抑制および葉のガス交換抑制の主な原因であることが明らかとなった。これらのことから、根近傍のCO₂濃度を上昇させることによって、タケの成長を抑制することが可能と考えられた。

4 タケの成長を抑制するために土壌中CO₂濃度を高める方法の開発

種槽および稲わらを土壌表面に施用し、土壌中CO₂濃度を上昇させ、タケの葉のガス交換および成長に及ぼす影響について検討した。

4-1 ポット栽培のタケを用いた基礎的実験

有機物材料として種槽を用い、ホテイチクを栽培したポット内土壌表面に1、3および5cmの厚さの層で被覆することによって、それぞれ低、中および高被覆区を設置した。測定

項目は土壌中 O_2 濃度、 CO_2 濃度、葉面コンダクタンスおよび蒸散速度とした。また、葉の枯れ（ネクロシス）の変化を評価するため、葉の長さに対する枯れた部分の長さの比率を求めた。

種槽の被覆 5 日後、低、中および高被覆区の土壌中 CO_2 濃度は処理前の 0.05%から、それぞれ 3、5 および 9%に上昇した。低、中および高被覆区のホテイチクの葉の蒸散速度は、処理前に比べてそれぞれ 70、84 および 88%低下し、葉面コンダクタンスは、それぞれ 65、85 および 87%低下した。低、中および高被覆区の葉の枯れた部分の比率は、それぞれ 15、50 および 43%であった。被覆処理 10 日後、中および高被覆区の植物体は枯死した。

4-2 タケ林における実用化のための実験

種槽および稲わらを土壌ガスの調節材料として用い、タケ林内で実験を行った。2005 年 8 月にモウソウチク林床の土壌表面を種槽で被覆（厚さ 5 cm）した。また 2006 年 5 月にメダケ林床の土壌表面を稲わらで被覆（厚さ 30 cm）した。土壌内 O_2 濃度、 CO_2 濃度、葉面コンダクタンスおよび蒸散速度の変動を調査し、被覆処理のない対照区と比較した。メダケについては、高さ 10 ~20 cmのシュート 20 本を用い、生存率および伸長速度を測定した。

モウソウチク林床被覆処理 1 日後、 CO_2 濃度は 0.1 から 2%に上昇した。タケの葉面コンダクタンスおよび蒸散速度は、対照区に比べて 45%および 50%に低下した。メダケ林床の土壌表面における稲わらの被覆処理 3 日後、土壌中の CO_2 濃度は処理前の 0.1%から 3%に増加し、7 日後には、5%に上昇した。被覆処理 30 日後、処理区のタケの葉面コンダクタンスは対照区に比べて 50%低下した。処理区および対照区のタケのシュートの生存率は 38%および 63%であった。シュート長は対照区に比べて、35%低下した。

タケの土壌表面を有機物で被覆後、有機物の分解によって土壌中 CO_2 濃度が高くなるのに伴い、タケの葉面コンダクタンスおよび蒸散速度は低下し、成長は抑制された。したがって、土壌表面の有機物による被覆はタケの成長を抑制する方法として有効であると考えられる。

おわりに

タケの土壌中の CO_2 濃度が高くなるのに伴い、タケの地下部の呼吸活性が抑制され、タケの根の成長抑制、葉面ガス交換抑制が生じ、その結果、タケの成長は抑制された。特に土壌表面の有機物による被覆は土壌中 CO_2 濃度を上昇させるために有効な方法であると考えられる。今後、タケ林の持続的な管理手法を確立するために、有機物の被覆による根圏ガス環境調節の実用化技術を確立することが重要である。

審査結果の要旨

タケは、世界で 70 属以上、約 1200 種あり、そのうち、南アジアおよび東南アジアでは 80%の種が分布し、世界のタケ林面積の 80%を占めている。アジアでは、タケは古くから、食用、工芸用、土木建築資材用などの資源として利用され、各国の文化の形成および経済

の発展に重要な役割を果たしてきた。タケ類の成長速度は、木本類に比べて大きく、地球温暖化ガスであるCO₂の有効な吸収源となることが期待される。他方、日本では里山に侵入したタケ類が、在来の植物種を駆逐して繁茂する事例が多く見られ、在来植物種の保存のため、また景観保全のために、タケ類の繁茂を制限する必要性がある。

本研究ではタケ類の成長制御方法を確立することを目的として、タケ林内の地下部環境の動態、タケ植物の地上部および地下部のガス交換特性、および成長について検討し、土壌ガス組成がタケの成長に及ぼす影響を解明した。さらに土壌ガス組成の調節によるタケの成長抑制方法を開発し、現場でのタケ成長抑制技術の実用化に向けた提言を行っている。研究成果は次のとおりである。

1. タケ林内における土壌が深くなるに伴い、土壌中のO₂濃度が低くなり、CO₂濃度が高くなった。地温の上昇に伴い、土壌中のO₂濃度は低下し、CO₂濃度は上昇した。林床における土壌呼吸速度は地温の上昇に伴い増加した。地温 25°Cにおけるタケ林床の土壌呼吸速度は 21 μmolCO₂ m⁻² s⁻¹であり、マツ林、スギ林およびヒノキ林の林床について報告されている土壌呼吸速度 5~8 μmolCO₂ m⁻² s⁻¹に比べて高かった。タケの茎（桿）に近いほど土壌呼吸速度は高くなり、またタケの根を取り除いた土壌のCO₂発生速度は、茎からの距離にかかわらず、ほぼ一定であったことから、タケ林床土壌中で発生するCO₂の多くは、タケの根および地下茎の呼吸に起因し、その呼吸活性が高いことを明らかにした。タケの高い成長速度は、高い地下部呼吸活性に関連すると考えられた。

2 土壌ガス組成がタケの成長に及ぼす影響

現地調査により、タケ類の根および地下茎の分布域は土壌の表層付近に制限されることを確認した。前述のように、タケ林床土壌が深くなるのに伴いO₂濃度は低下し、CO₂濃度は上昇する。従って、深い土層における低いO₂濃度および高いCO₂濃度がタケの根および地下茎の伸長を制限する一因と考えられた。

そこで本研究では、土壌ガス組成がタケの成長に及ぼす影響を解明するため、土壌中のO₂濃度の低下およびCO₂濃度の上昇に伴う、タケの葉のガス交換の変動を調査した。タケ林内で土壌を通気抑制する実験を行った結果、土壌中のO₂濃度の低下およびCO₂濃度の上昇に伴い、葉面コンダクタンスが低下し、光合成および蒸散が抑制され、成長が抑制されることを明らかにした。これは土壌中のO₂濃度の低下およびCO₂濃度の上昇によって、根の吸水機能が抑制され、植物体が水ストレスを受けたことが原因と考えられた。さらにポット栽培されたタケを用いた制御実験の結果、タケの成長抑制が、土壌中CO₂濃度上昇に主に起因することを明らかにした。これらのことから、根圏のCO₂濃度を高めることによって、タケの成長を抑制することが可能と考えられた。

3 タケの成長を抑制するために土壌中CO₂濃度を高める方法の開発

タケの土壌表面を有機物で被覆後、有機物の分解によって土壌中CO₂濃度が2~3%に上昇するのに伴い、タケの葉のガス交換速度は低下し、成長は抑制された。ここでは、有機物として入手が容易な菜種糟および稲わらを用いた。このような簡易な根圏ガス環境の制御方法は、タケの成長を抑制する方法として有効であり、実用化の可能性が高いと考え

られる。

以上、本研究ではタケの根圏ガス環境と成長特性との関係を解明し、とくに土壤中CO₂濃度の上昇がタケの成長を抑制することを見だし、それらの基礎知見および現場での応用試験結果の知見から、タケの成長制御に適した根圏ガス環境の調節方法を提言している。これら一連の研究成果は、タケ林の持続的な管理手法の確立に寄与できる実用技術に結びつく知見であり、タケ植物の成長特性の解明のみならず、日本さらにはアジアの里山生態系保全に貢献するところが大きい。よって、最終試験の結果とあわせて、博士（農学）の学位を授与することを適当と認める。