



水ストレス下におけるコーヒーの光合成に関する研究

金地, 通生

(Degree)

博士 (学術)

(Date of Degree)

1988-03-31

(Date of Publication)

2014-04-04

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲0741

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1000741>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



氏名・(本籍)	かね ち かつ お (大阪府)
学位の種類	学術博士
学位記番号	学博い第111号
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当
学位授与の日付	昭和63年3月31日
学位論文題目	水ストレス下におけるコーヒーの光合成に関する研究

審査委員	主査 教授 山口 禎
	教授 一井 隆夫 教授 寺分 元一

論文内容の要旨

コーヒーは、熱帯圏でのみ栽培されている重要な永年生作物である。その栽培の多くが排水の良い傾斜地で行われていることや、厳しい乾期に遭遇することによって早害を受け、しばしば大きな被害を被る。従って、その様な不良環境下での物質生産の改良は重要な課題である。そこで本研究は、経済的に最も重要な栽培種であるアラビカコーヒーに関して、その物質生産の基礎である光合成に及ぼす水ストレスの影響を、水ストレス下での光合成の律速要因の解明から明らかにすることを目的とした。実験は、3章から構成されている。

コーヒー栽培の特徴は、地域によって無遮光栽培と遮光栽培が行われていることであり、各々の栽培環境下で、形態的・生理的にも異なる陽葉と陰葉が形成される。そこで、まず第一章では、水ストレスの指標として用いた葉の水ポテンシャルと光合成との関係を陽葉と陰葉で比較し、さらに別の2種の栽培種(カネフォラ種・リベリカ種)と比較検討することで、アラビカコーヒーの水ストレス下での光合成の特徴を明らかにすることを試みた。また第二章、第三章では、異なる水ストレス下での光合成の律速要因を着生葉を用いたガス代謝法と、光合成機能に関与する葉内成分の含量並びに活性の変化とから解明することを試みた。すなわち第二章では、コーヒーの葉齢が長いことに着目して、葉の発育期および成熟期の各々に対する長期間の慢性的な水ストレスの影響を比較し、さらに第三章では、短期間で強まる急進的な水ストレスの影響を成熟葉を用いて調査した。

第一章においては、葉の水ポテンシャルと光合成との関係を、陽葉と陰葉における差異および種間差異の面から調べ、さらに、葉の水ポテンシャルの変化に伴う光合成速度の変化の原因を、

着生葉におけるCO₂拡散伝導度から検討した。

1) 土壌の水ポテンシャル (Ψ_{soil}) と葉の水ポテンシャル (Ψ_{leaf}) との間には、無遮光下で生育した陽葉で $r=0.806^{**}$ 、遮光下で生育した陰葉で $r=0.825^{**}$ と、どちらも非常に高い相関関係が認められた。

2) 初期萎凋点の Ψ_{soil} は、無遮光下、遮光下共に約 -2.0MPa で同じであったが、その時の Ψ_{leaf} は、陽葉で -3.7MPa 、陰葉で -4.5MPa であり、陰葉の方が低かった。

3) Ψ_{leaf} の低下に伴う光合成速度の低下の様相には、陽葉と陰葉とで差異が見られた。すなわち、弱い水ストレス下 ($\Psi_{\text{leaf}} > -2.0\text{MPa}$) では陰葉の光合成が陽葉よりも早く低下したが、水ストレスがさらに強くなると ($\Psi_{\text{leaf}} < -2.0\text{MPa}$)、陽葉では光合成が低下し続けるのに対し、陰葉ではあまり顕著な低下は見られなかった。その結果、陽葉の光合成が100%抑制されるような著しく低い Ψ_{leaf} 域 ($\Psi_{\text{leaf}} < -4.0\text{MPa}$) でも、陰葉は光合成能力を維持していた。また、その様に低い Ψ_{leaf} 域での葉肉伝導度は、陽葉に比べて陰葉の方が高かった。

4) Ψ_{leaf} の低下に伴う光合成速度の低下の様相には、種間差異が認められた。光合成が半減する Ψ_{leaf} は、カネフォラ種で -1.7MPa 、リベリカ種で -2.1MPa 、アラビカ種で -2.6MPa であり、 Ψ_{leaf} の低下に伴う光合成の低下に伴ってカネフォラ種の光合成が最も早く低下した。また、 Ψ_{leaf} が -3.5MPa 以下となるような強い水ストレス下では、アラビカ種がカネフォラ種、リベリカ種に比べて高い光合性を維持した。

5) アラビカ種、カネフォラ種、リベリカ種共、 Ψ_{leaf} の低下に伴う光合成の低下は、気孔伝導度および葉肉伝導度のどちらとも相関関係が高く、どちらが光合成低下の主因となっているのかは断定できなかった。しかし、リベリカ種に関しては、 Ψ_{leaf} の低下に伴って光合性と葉肉伝導度の両方が同様に直線的な低下傾向を示したことから、 Ψ_{leaf} の低下に伴う光合成の低下が、葉肉伝導度に支配されている可能性が示唆された。

第二章においては、葉齢の違いによる慢性的な水ストレスの影響を比較する目的で、葉の発育期並びに成熟期を通して約40日に亘る長期間の水ストレス処理を行った。水ストレス処理の程度は、予備実験の結果より、成熟葉の光合成速度を約50%抑制する程度とし、処理期間中一定とした。水ストレス処理終了後、完全展開葉に関して、光-光合成曲線、CO₂濃度-光合成曲線、光合成に関与する葉内成分としてクロロフィル、全可溶性タンパクおよびCO₂初期固定酵素であるRubisco含量を測定し、細胞間隙CO₂濃度-光合成曲線による着生葉レベルでの光合成の律速要因の解析を行うと同時に、葉内成分含量の変化との関係を検討した。

1) 水ストレス下で発育した葉の光飽和光合成速度およびみかけの量子収量は、対照区に比べて陽葉で各々約60%、約40%、陰葉では各々約75%、約60%低下した。

2) 細胞間隙CO₂濃度-光合成曲線によるCO₂飽和光合成速度は、発育期で水ストレスを受けた場合では、陽葉、陰葉共に約80%減少したのに対し、成熟期に達してから水ストレスを受けた場合では、両葉共、平均50%の減少であった。また、CO₂固定効率も、発育期に水ストレスを受けた場合では、陽葉、陰葉共に約70%減少したのに対し、成熟期に達してから水ストレスを受

けた場合では、両葉共、約40%減少した。

3) 長期間に亘る水ストレスは葉の発育過程および成熟葉のいずれに対しても、その光合成を著しく低下させたが、その低下原因のうち葉肉細胞のCO₂固定活性の低下に起因する割合は、いずれの場合もほぼ100%であり、気孔閉鎖による光合成の低下はほとんど認められなかった。

4) 発育過程を通しての水ストレスは、暗反応系に関与する酵素の合成を著しく阻害し、特に陰葉においては全可溶性タンパクで27%、Rubiscoで31%と著しい含量の低下が見られた。これに対し、クロロフィル含量の変化はほとんど見られなかった。

5) 水ストレス下で生育を続けた成熟葉の葉内成分含量は、陰葉の全可溶性タンパクおよびRubiscoで約25%減少したが、陽葉では変化しなかった。また、クロロフィル含量は、陰葉、陽葉共に変化しなかった。

第三章においては、灌水停止処理に伴って水ストレスが強まる過程における陽葉並びに陰葉の光合成の律速要因を明らかにする目的で、様々な水ストレス段階におけるCO₂濃度-光合成曲線を測定し、それによって作成した細胞間隙CO₂濃度-光合成曲線から着生葉レベルでの光合成の律速要因の解析を行った。さらに、葉内成分含量、*in vitro*での光合成の明反応系と暗反応系の各々の活性を表す光化学反応系の活性およびRubiscoのカルボキシラーゼ活性を測定し、細胞間隙CO₂濃度-光合成曲線より解析した光合成の律速要因との関連を検討した。

1) 細胞間隙CO₂濃度-光合成曲線に及ぼす水ストレスの影響を見ると、CO₂飽和光合成速度およびCO₂固定効率、陽葉、陰葉共に、水ストレスが強まるにつれて徐々に低下したが、CO₂固定効率は、いずれの Ψ_{leaf} 域でも陰葉の方が高かった。

2) ワールブルグ効果として見た光呼吸は、陽葉、陰葉共、 $\Psi_{leaf} > \text{約} -3.0 \text{MPa}$ の範囲では、 Ψ_{leaf} の低下に伴って増加するが、それ以下の Ψ_{leaf} 下では減少する傾向を示した。また、光呼吸はいずれの Ψ_{leaf} 域においても陽葉の方が陰葉よりも大きい傾向があった。

3) 気孔閉鎖に起因する光合成の律速割合は、 Ψ_{leaf} の低下に伴って陽葉では顕著な変化は見られなかったが、陰葉では増大する傾向を示した。また、いずれの Ψ_{leaf} 域においても陰葉の方がその割合は高かった。

4) 水ストレス下での葉肉細胞のCO₂固定活性の低下に起因した光合成の低下割合は、 Ψ_{leaf} が約 -2.0MPa の弱い水ストレス下では、陽葉で約80%、陰葉で約60%であったが、 Ψ_{leaf} が低下するに伴って両葉共、その割合は急激に増大し、 $\Psi_{leaf} < -3.0 \text{MPa}$ では、陽葉で100%、陰葉で約90%であった。また、いずれの Ψ_{leaf} においてもその割合は陰葉の方が陽葉よりも小さかった。

5) クロロフィル、全可溶性タンパクおよびRubiscoの含量は、陽葉、陰葉共に、水ストレスが強まっても低下しなかった。

6) 光化学反応系の活性は水ストレスによって変化しなかったのに対し、Rubiscoのカルボキシラーゼ活性は、陽葉、陰葉共、 Ψ_{leaf} の低下に伴って著しく低下した。

以上のことより、コーヒーの Ψ_{leaf} は土壌の水ストレスを的確に反映していることが明らかとなり、水ストレスの生理的な指標として用いることができると考えられた。また、3種のコーヒー

の中では、アラビカ種が低い Ψ_{leaf} 下においても、最も高い光合成を維持することが明らかとなり、光合成から見た耐旱性は最も強いことが示唆された。さらに同じアラビカ種でも、陽葉と陰葉とで Ψ_{leaf} の低下に伴う光合成の低下の様相が異なり、低い Ψ_{leaf} 域では、陰葉の方が高い光合成能力を示すことが明らかとなった。水ストレス下での光合成の反応を見ると、葉の発育過程に及ぼす慢性的な水ストレスの影響は非常に大きく、光合成の暗反応に関与する Rubisco 等の合成阻害を通じて、葉肉細胞での光合成活性を著しく低下させるものと考えられた。また、陽葉と陰葉とを比べると、慢性的な水ストレスは陰葉に対する影響の方が大きく、光合成の低下をもたらした原因のほとんど全てが葉肉細胞の CO_2 固定活性の低下によるものであった。さらに、比較的短期間で強まる水ストレス下での光合成の低下は、明反応系の活性低下に因るものではなく、暗反応の酵素である Rubisco のカルボキシラーゼ活性の低下と最も関係しており、その結果、着生葉での光合成の低下原因に占める葉肉細胞での CO_2 固定活性の低下の割合が、 Ψ_{leaf} の低下に伴って著しく増大するものと考えられた。

論文審査の結果の要旨

コーヒーは、中南米、アフリカ及び東南アジアの熱帯諸国で栽培されている重要な永年生作物である。コーヒー栽培の特徴は、地域によって無日陰栽培が行われたり、日陰栽培が行われることである。しかし、多くの栽培地の地形が排水のよい傾斜地であることや、きびしい乾期に遭遇することによって早害を受け、大きな被害となる。しかし、この早害については生育調査にとどまり、生理学的な説明はほとんどなされていない。

本研究は、植物生長の最も基礎となる光合成と水ストレスとの関係、すなわち、水ストレス下の光合成の特徴と律速要因を明らかにすることを目的としたものである。論文は3章からなる。

第1章は、葉の水ストレスの生理的な指標として用いた葉の水ポテンシャルと光合成との関係について、陽葉と陰葉の差異及び3種の栽培種であるアラビカ種、カネフォラ種、リベリカ種の差異を比較検討したものである。 Ψ_{leaf} が少し低下した弱い水ストレス下では、陽葉よりも陰葉の方が低い光合成を示したが、 Ψ_{leaf} がさらに低下した場合は、逆に陰葉の方が高い光合成を維持した。また、栽培種間で比較すると、光合成が半減する Ψ_{leaf} は、カネフォラ種で -1.7MPa 、リベリカ種で -2.1MPa 、アラビカ種で -2.6MPa で、 Ψ_{leaf} の低下にともなってカネフォラ種の光合成が最も早く減少した。さらに、 Ψ_{leaf} が -3.0MPa 以下となるような強い水ストレス下では、アラビカ種が他の2種に比較して高い光合成を維持することを明らかにしている。

第2章においては、発育中の葉と成熟した葉について、長期間一定の水ストレス ($\Psi_{\text{soil}} = -1.6\text{MPa}$) が生じた場合の光合成に及ぼす影響を調べた。発育中の葉が水ストレスを受けた時、葉の光合成速度は、陽葉で対照区の約40%、陰葉で約25%に減少した。また、成熟葉については陽葉、陰葉ともに対照区の約50%に減少した。すなわち、長期間の水ストレスは発育中の葉に及ぼす影響が大きいことを見出している。次に、このような水ストレス下の光合成の律速要因を着生葉で

明らかにするために細胞間隙CO₂濃度－光合成曲線による解析を行なった。すなわち、光合成の減少が気孔閉鎖に起因する部分と葉肉細胞のCO₂固定能力の低下に起因する部分とに分けた。その結果、葉肉細胞のCO₂固定能力の低下に起因した光合成の減少割合は、発育中に水ストレスを受けた葉では、陽葉、陰葉ともにほぼ100%であるのに対し、成熟葉に対しては、陽葉で約85%、陰葉ではほぼ100%であった。慢性的な水ストレスによる光合成減少の主因は、葉肉細胞のCO₂固定能力の低下であることが示された。また、その機作として、CO₂固定酵素であるRuBisCO(リブローズ-1, 5-二リン酸カルボキシラーゼ)含量は、陽葉、陰葉ともに10~30%減少したのに対し、他の植物で一般的に見られるクロロフィル含量の減少はほとんど見られなかった。すなわち、長期間の水ストレスは、特に、光合成の暗反応系に及ぼす影響が大きいことを指摘している。

第3章では、灌水停止後、比較的短期間で進行する水ストレスにともなって光合成速度がじょじょに減少する過程での律速要因を明らかにする目的で、第2章同様、細胞間隙CO₂濃度－光合成曲線による解析を行なった。葉肉細胞のCO₂固定能力の低下に起因した光合成の減少割合は、 Ψ_{leaf} が約-2.0MPaでは、陽葉で約80%、陰葉で約60%であり、 Ψ_{leaf} が-3.0MPa以下に低下すると、陽葉で100%、陰葉で約90%であった。すなわち、 Ψ_{leaf} の低下にともない、陽葉、陰葉ともに葉肉細胞のCO₂固定能力による律速性が強まった。さらに単離葉緑体で測定した光化学反応系の活性は、水ストレスによって変化しなかったのに対し、暗反応系に関与するRuBisCOは、その含量は変化しないが、みかけの比活性が陽葉、陰葉ともに、 Ψ_{leaf} の低下にともなって著しく減少することを見い出している。

以上のことより、コーヒーの光合成に及ぼす水ストレスの影響は、陽葉と陰葉で異なり、強い水ストレス下では、陰葉の方が高い光合成能力を示した。また、慢性的な水ストレスの影響は、成熟葉に対するよりも発育中の葉に対して大きく、光合成の暗反応系に関与するRuBisCOの合成阻害を通じて、葉肉細胞のCO₂固定活性を著しく減少させた。これに対して、比較的短期間で強まる水ストレス下では、RuBisCOの不活性化が光合成減少の主因であった。

本研究は、これまでほとんど研究されていないコーヒーの水ストレス下での光合成の特徴を、着生葉レベルから葉緑体レベルにわたって総合的に明らかにしたものであり、早害を解明していくための貴重な基礎資料を提供したものと高く評価できる。よって論文提出者金地通生は、学術博士の学位を得る資格があると認める。