

氏名	はっとり たいいちろう 服部 太 一 朗
学位の種類	博士（農学）
学位記番号	甲第360号
学位授与年月日	平成17年 3月15日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	ケイ酸施用によるソルガムの耐乾性向上とその生理的機作 (Silicon-induced enhancement of drought tolerance in sorghum and its physiological mechanisms)
学位論文審査委員	(主査) 稲 永 忍 (副査) 小葉田 亨 高橋 肇 中田 昇 田村文男

学 位 論 文 の 内 容 の 要 旨

乾燥・半乾燥地域では、土壌水分が作物生産の最大の律速要因となっている。したがって作物生産の増大と安定化を図るには、作物の耐乾性の向上が欠かせない。耐乾性には様々な要因が関わる事が報告されている。特に栄養塩類に着目してみると、リン酸塩、カリウム塩、ケイ酸塩などがそれに当たる。このうちケイ酸塩については他の塩類に比べて報告が少なく、しかもそれらは作物の特定形質との関係のみを論じたものである。そのため、ケイ酸と作物の耐乾性との関係については未だ不明な点が多い。そこで本研究は、乾燥地の主要穀物であるソルガムを対象に、ケイ酸施用がその耐乾性の向上に及ぼす影響とその生理的機作について明らかにすることを目的とした。主要な結果は下記の通りである。

1. 土壌乾燥ストレス条件下におけるソルガムの乾物生産量、水利用効率および吸水速度に及ぼすケイ酸施用の影響

スーダン原産のソルガム2品種（耐乾性品種 Gadambalia, 乾燥感受性品種 Tabat）を砂耕栽培し、土壌乾燥ストレスとケイ酸施用の有無が両者の生育に及ぼす影響について調査した。これらの条件に対する2品種の反応には差異はなく、以下の通りであった。すなわち、土壌乾燥ストレス条件下では、ケイ酸施用個体は無施用個体に比べ、ストレスによる乾物生産量の減少が軽減された。一方、土壌乾燥ストレスのない条件下では、ケイ酸の施用効果は全く認められなかった。土壌乾燥ストレス条件下では、ケイ酸施用個体は無施用個体に比べて地

上部/地下部比が小さく、根の成育が促進された。また、ケイ酸施用個体は土壤乾燥ストレス条件下でも気孔コンダクタンスが高く維持され、ストレスによる光合成速度および蒸散速度の低下が小さかった。水利用効率については、ケイ酸施用の有無による差異は認められなかった。蒸散速度と土壤水ポテンシャルの日変化から、ケイ酸施用個体は無施用個体が吸水困難な土壤水ポテンシャル下においても吸水できることが判明した。これらの結果から、ケイ酸にはソルガムの吸水能力を向上させることを通じて、土壤乾燥ストレスによる乾物生産能力の低下を軽減する効果があることが示唆された。

2. 浸透圧ストレス条件下におけるソルガムの蒸散速度、通水抵抗および吸水速度に及ぼすケイ酸施用の影響

水耕栽培したソルガム（品種 Gadambalia）にポリエチレングリコール 6000 を用いて浸透圧ストレスを与え、異なる濃度のケイ酸の施用が及ぼす影響について調査した。先の土壤乾燥ストレス実験と同じく、浸透圧ストレス下では乾物生産量は減少したが、施用したケイ酸濃度の増加に伴い、その減少程度は軽減された。一方、浸透圧ストレスのない条件下では、ケイ酸施用効果は全く認められなかった。ケイ酸濃度および浸透圧ストレスの有無にかかわらず、光合成速度と気孔コンダクタンス、および気孔コンダクタンスと葉身水ポテンシャルにはそれぞれ正の相関関係が認められた。ケイ酸施用区の光合成速度、蒸散速度および気孔コンダクタンスは、いずれも無施用区に比べて高かった。これはケイ酸施用区の葉身水ポテンシャルが無施用区より高いことに起因していた。浸透圧ストレス条件下においては、ケイ酸施用区の通水抵抗の増加程度は小さく、無施用区では大きかった。また、吸水速度と蒸散速度の経時的変化から、蒸散速度は吸水速度に追従して推移することが判明した。イネで報告されている、ケイ酸施用によるクチクラ蒸散抑制効果はソルガムでは認められなかった。これらの結果から、浸透圧ストレス条件下において、ソルガムの乾物生産量の減少がケイ酸施用によって軽減されたのは、ケイ酸が通水抵抗の増加を抑えることで、吸水速度の低下を防ぎ、結果として葉身水ポテンシャルが高く維持されたことに基づくといえる。

3. ソルガム根の伸長成長と通導組織の保護機能に関わる物理的特性に及ぼすケイ酸施用の影響

根の伸長成長に対するケイ酸施用効果、およびケイ酸沈着による通導組織の機械的補強効果を、細胞壁の物理的特性の観点から検証した。ケイ酸を含む、あるいは含まない水耕液で栽培したソルガム（品種 Gadambalia）の種子根において、3つの異なる部位（根端から 0-10 mm, 20-30 mm および根基部から 20-30 mm の各部位）から細胞壁切片を採取し、クリープ粘弾性計測法によって細胞壁の物理的特性を測定した。根先端部においては、ケイ酸施用による細胞壁伸展性の増加と、弾性率および粘性係数の減少が認められた。対照的に、根基部ではケイ酸施用によって中心柱および内皮の細胞壁伸展性が減少し、また、同部位の弾性率および粘性係数が増加した。これらの結果から、ケイ酸施用は、根の伸長帯においては細胞壁

を軟化させ、根基部においては内皮組織を硬化させることが判明した。

以上、本研究により、ケイ酸の施用はソルガムの耐乾性を向上させることが見出された。すなわち、水ストレス条件下に成育する個体でもケイ酸施用により、葉身の水ポテンシャルが大きく低下することなく光合成が活発に営まれ、その結果として乾物生産力が維持された。これは、1) 通水抵抗の増加程度を低く抑える、2) 根系の伸長を促進させる、3) 通導組織を機械的に補強する、これら3つの効果により吸水速度の低下が軽減されることに基づいていた。

論文審査の結果の要旨

乾燥地では土壌水分の不足が作物生産の律速要因となっているため、作物の耐乾性の向上は重要な課題である。作物の耐乾性と栄養塩類との関係をみた既往の報告では、リン酸塩、カリウム塩、ケイ酸塩などが耐乾性の向上に関与すると指摘されている。このうちケイ酸塩に関しては他の塩類に比べ報告が少なく、かつそれらの報告は作物の特定形質との関係のみを論じた断片的なものである。そのためケイ酸塩と作物の耐乾性との関係については不明な点が多い。こうした背景から、本研究は、乾燥地の主要穀物であるソルガムを対象に、ケイ酸がその耐乾性に与える影響とそれに関わる生理的基礎を明らかにする目的の下に行われた。主要な結果は下記の通りである。

1. 土壌乾燥ストレス条件下に成育するソルガムの乾物生産量、水利用効率および吸水速度に与えるケイ酸の影響：スーダン原産のソルガム2品種（耐乾性品種 *Gadambalia*、乾燥感受性品種 *Tabat*）を砂耕栽培し、土壌乾燥ストレス条件とケイ酸施用条件が両品種の成育等に与える影響を調査した。その結果、二つの条件に対する両品種の反応は同様で、以下の通りであった。すなわち、土壌乾燥ストレス条件下では、ケイ酸施用個体は無施用個体に比べ乾物生産量の低下程度が小さかった。一方、土壌乾燥ストレスのない条件下では、こうしたケイ酸施用の効果は認められなかった。土壌乾燥ストレス条件下では、ケイ酸施用個体は無施用個体に比べて地上部/地下部比が小さく、また気孔コンダクタンス、光合成速度および蒸散速度の低下程度が小さかった。水利用効率にはケイ酸施用の影響は認められなかった。蒸散速度と土壌水ポテンシャルの日変化を比較検討した結果、ケイ酸施用個体は無施用個体が吸水困難な土壌水ポテンシャル下においても吸水可能であった。これらの結果から、ケイ酸にはソルガムの吸水能力を向上させ、土壌乾燥ストレスによる乾物生産能力の低下を軽減する効果があることが示唆された。
2. 水耕栽培・浸透圧ストレス条件下に成育するソルガムの蒸散速度、通水抵抗および吸水速度に与えるケイ酸の影響：ソルガム品種 *Gadambalia* を水耕栽培し、水耕液の浸透圧とケイ酸濃度を変え、それらの条件が蒸散速度等に与える影響を調査した。先の土壌乾燥ストレス

実験と同じく、浸透圧ストレス条件下では乾物生産量が低下したが、水耕液のケイ酸濃度の増加に伴い、その減少は軽減された。一方、浸透圧ストレスのない条件下ではケイ酸施用効果は認められなかった。ケイ酸および浸透圧ストレスの有無にかかわらず、光合成速度と気孔コンダクタンスとの間、および気孔コンダクタンスと葉身水ポテンシャルとの間にはそれぞれ正の相関関係が認められた。ケイ酸施用区の光合成速度、蒸散速度および気孔コンダクタンスは、いずれも無施用区より高かった。これはケイ酸施用区の葉身水ポテンシャルが無施用区より高いことに起因していた。浸透圧ストレス条件下においては、ケイ酸施用区の通水抵抗の増加程度は小さく、反対に無施用区では大きかった。また吸水速度と蒸散速度の経時的变化から、蒸散速度は吸水速度に追従して推移することが判明した。ケイ酸施用によるクチクラ蒸散の抑制効果は認められなかった。これらの結果から、浸透圧ストレス条件下において、乾物生産量の低下がケイ酸によって軽減されたのは、ケイ酸が通水抵抗の増加を抑えて吸水速度の低下を防ぎ、結果として葉身水ポテンシャルが高く維持されたことに基づくと考えられた。

3. ソルガム種子根の細胞壁の物理的特性に与えるケイ酸の影響：ケイ酸含有の有無を異にする水耕液で栽培したソルガム品種 *Gadambalia* の種子根において、3つの異なる部位から細胞壁切片を採取し、クリープ粘弾性計測法によって細胞壁の物理的特性を測定した。根先端部では、ケイ酸施用により細胞壁伸展性が増加し、弾性率と粘性係数が減少した。対照的に、根基部ではケイ酸施用によって中心柱および内皮の細胞壁伸展性が減少し、また弾性率と粘性係数が増加した。このことから、ケイ酸施用は、根先端部の伸長帯では細胞壁を軟化させ、根基部では内皮組織を硬化させることが判明した。

以上、本研究は、ケイ酸が、水ストレス条件下に成育するソルガムの乾物生産能力、光合成速度および葉身水ポテンシャルを向上させること、すなわち耐乾性を向上させることを初めて示したものである。さらにこれが、ケイ酸による通水抵抗の増加の抑制と根の成育促進を通じた吸水能力の向上に基づくものであることを明らかにしている。加えて、ケイ酸による根の成育促進には細胞壁伸展性の変化が関与する可能性が高いとの指摘も行っている。こうした包括的な成果は、作物の耐乾性向上に係る分野に斬新な知見を加えたものと高く評価され、学位論文として十分な価値を有するものと判断される。