

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月14日現在

機関番号：82107

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2012

課題番号：21380158

研究課題名（和文） 地球環境変化に対応したイネのケイ酸吸収・輸送・分配プロセス理論の新展開

研究課題名（英文） Development of theory on assimilation, transport and distribution processes of rice silica content to cope with global change

研究代表者

吉本 真由美（YOSHIMOTO MAYUMI）

独立行政法人農業環境技術研究所・大気環境研究領域・主任研究員

研究者番号：40343826

研究成果の概要（和文）：過去のFACE（開放系高CO₂濃度）実験のイネ部位別のケイ酸濃度を再解析した結果、茎部や葉身で高濃度CO₂によりケイ酸濃度が低下した。高濃度CO₂による乾物生産量の増加に見合った量のケイ酸を吸収あるいは分配していないために、その濃度が低下すると考えられた。穂（籾殻）においても高濃度CO₂によりケイ酸濃度が低下し、病虫害ストレス感受性が高まる可能性がある一方、ケイ酸濃度とは関係なく穂蒸散が低下し穂温が上昇するため、高温ストレスにも脆弱となる可能性があることが示唆された。

研究成果の概要（英文）：Re-analyzing of silica content of rice sampled in the past FACE (Free-Air CO₂ Enrichment) experiment showed that silica content decreased by high CO₂ in sheath, culm and leaf blade. It was inferred that silica distribution to each part of plants did not correspond to the silica amount expected from the increase of dry matter weight by high CO₂, resulting in the decrease of silica content. Silica content in panicle surface also decreased by high CO₂, which might make plants susceptible against the biotic stress. As the panicle transpiration decreased by high CO₂ regardless of silica content decrease, panicle temperature increase by high CO₂, which should raise the risk of heat stress.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	7,100,000	2,130,000	9,230,000
2010年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2011年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2012年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
総計	14,300,000	4,290,000	18,590,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業環境工学

キーワード：ケイ酸、イネ、開放系高CO₂実験、穂温、いもち病、温暖化影響、高温障害、蒸散

1. 研究開始当初の背景

ケイ素は土壌中で2番目に多い元素で、あまりに普遍的な存在ゆえ、これまで日本以外では植物におけるケイ酸に関する研究は多くなかった。しかし、ケイ酸が作物の様々な環境ストレス耐性の向上に役立つことが次第に明らかとなり、世界各国で作物生産にお

けるケイ酸の役割への関心が高まりつつある。日本では従来、イネの連作障害の改善や精米中のタンパク質含有率の低下など、イネ生産におけるケイ酸の有用性が経験的に認められ、土壌改良資材としても使用されている。イネにおいてケイ酸は、成長に応じて根から積極吸収され、蒸散流によって受動的に

輸送され、葉身や籾殻の末梢部分に集積し、表皮のクチクラ・ケイ酸二重層を形成することで、物理的に各種環境ストレス耐性を高めるとされる。蒸散とケイ酸含量の関係については、これまで主に室内の水耕栽培で実験が行われ、高CO₂制御室内での穂の蒸散とケイ酸含量の関係等について先駆的研究が行われている。しかし、実際の圃場でそれらの関係を実証した研究例は殆どなかった。一方、最近根での吸収過程でケイ酸輸送体が発見され、根のケイ酸輸送プロセスについて分子生物学的研究が進められつつあるが、水田圃場における輸送体の環境応答の解明と現場への応用までには依然隔たりがあった。

2. 研究の目的

高温・高CO₂濃度が、イネの葉身や穂のケイ酸濃度の挙動を通じて各種環境ストレス耐性にどのような影響を及ぼすかは、将来のイネの収量や品質を予測する上で非常に重要である。

(1) 葉身

高CO₂濃度では葉の気孔が閉じるため蒸散が低下する。蒸散の低下は、蒸散によって受動的に茎葉に集積するケイ酸の濃度を低下させ、いもち病菌に感染しやすくなる可能性が懸念されている。いもち接種試験が行われた過去5期のFACE実験では、うち3期で高CO₂処理により葉身ケイ酸含量の低下が認められ、いもち病感受性が高まった。しかし他の2期については葉身ケイ酸含量にCO₂処理間差が認められず、蒸散でケイ酸の分配が決まるとする従来の知見では説明できなかった。一方、温度上昇に対するケイ酸含量の反応としては、バイオマス増加に伴う希釈効果や、S/R比の低下に伴う吸収能の増大などのプロセスが考えられるが、研究分担者の予備的なチャンバー実験では、低温で葉身のケイ酸濃度が高まる傾向が認められた。しかし、一般には冷害時など、低温条件下でいもち病の感受性が高まるとされており、ケイ酸濃度低下→いもち病感受性上昇というプロセスもまた未確定である。

(2) 穂

穂のケイ酸濃度の増加は、イネの開花期高温不稔や登熟不良を助長する可能性がある。穂の表面には気孔がなく、ケイ酸濃度の増加が直接クチクラ蒸散を抑制し、穂温を上昇させるためである。研究代表者らは、圃場条件で穂温を推定する微気象モデルを開発し、高CO₂濃度に伴う葉の気孔閉鎖が間接的に穂温を上昇させ、高温不稔を激化させる可能性を示した。しかし、穂温の重要な決定要素の一つである穂蒸散は、穂へのケイ酸集積と相互に作用し合うため、本モデルの高精度化並びにモデルによる高温不稔や登熟不良への影響評価のためには、環境変動下における穂へ

のケイ酸集積と穂蒸散との関係の定量的把握が不可欠であるが、これを明らかにした研究例はない。

以上のように、イネのケイ酸濃度が病害抵抗性や穂温と密接に関係することが確実であるにも関わらず、環境要因の変化がイネの応答に伴ってケイ酸濃度にどのように影響するのか、さらに、ケイ酸濃度の変化が病害抵抗性や穂温に対してどの程度の作用をもたらすのか、という各プロセスが解明されていない。そこで、ケイ酸を介したイネの脆弱性を正しく評価し、将来の環境変動下のイネ生産性の予測における確実性を高めるために、これらの各プロセスの解明が不可欠であると考えた。

本研究は、“高CO₂濃度や温度変化で、イネの生物的応答に伴いイネ体内のケイ酸含量が変化し、その結果、病害抵抗性や穂温に何らかの作用をもたらす”という仮説を証明し、そのプロセスを解明することを目的とする。FACE実験や温暖化実験、チャンバー実験での生育試験や過去のFACE実験データの再解析を通じて、温度変化や高CO₂濃度によるイネの応答（成長・蒸散など）と、イネの茎葉・穂におけるケイ酸含量の変化の定量的把握を行う。さらにそのイネ生産性への影響として、1. いもち病感受性、2. 穂温と高温不稔・登熟不良に及ぼす影響を明らかにする。

3. 研究の方法

茨城県つくば市の農業環境技術研究所内の開放系高CO₂(FACE)実験、東北農業研究センター内圃場においてイネの生育試験を行い、温度変化や高CO₂濃度下における成長・蒸散などのイネの生物的応答と、イネ体内のケイ酸含量・分配との関係を解析する。また、過去7期のFACE実験のイネサンプルの再解析を行い、部位別のケイ酸吸収量、部位間のケイ酸収支・分配を求めるとともに、ケイ酸動態解析と並行して、接種試験によるいもち病感受性の調査、穂温測定とコメの稔実・品質調査を行い、イネ生産性への影響を実験的に明らかにする。

(1) 過去のFACE実験のサンプル再解析

東北農業研究センターに保管されている過去7期(1998-2000年、2003-2004年、2007-2008年)のFACE実験のうち、1998-2000年、2004年のイネサンプルの部位別ケイ酸濃度を測定した。この結果から、部位別のケイ酸吸収量、部位間のケイ酸収支・分配を求めた。

(2) ケイ酸濃度変化といもち病感受性との関係解明

圃場実験により、高CO₂濃度と気温の変化がいもち病感受性に与える影響を解析した。各試験区でイネにいもち病を接種し、発病程度やイネの生育様相を調査するとともにイネ

体のケイ酸濃度や窒素含量、特にいもち病の感受性と関係が深い可溶性窒素含量も解析した。

(3) ケイ酸濃度変化が穂蒸散と穂温に及ぼす影響の解明

つくばみらい市の開放系高CO₂ (FACE) 実験圃場の対照区 (Ambient) と高CO₂ 区 (FACE) において、2010年と2011年にあきたこまち、コシヒカリ、およびコシヒカリのケイ酸吸収能欠損変異体であるD85を供試した。2010年はコシヒカリについて、通常区 (C) の他にケイ酸施用区 (Si) を設け、ケイ酸資材のウォータースリカ (富士シリシア化学) を出穂の20日前に田面水に均一散布 (12.75 gSiO₂/m²) した。出穂日は、両年ともあきたこまちがコシヒカリ系統に比べ1週間程度早かった。開花期および登熟期の葉や穂の蒸散コンダクタンスを定常型ポロメータ

(LI-1600, Li-Cor) で測定した。穂蒸散コンダクタンスの測定と併せて葉や穂をサンプリングし、各部位のケイ酸濃度を重量法で分析した。

4. 研究成果

(1) 過去のFACE実験のサンプル再解析

部位別ならびに生育時期別のケイ酸濃度は、それぞれ特徴的な変化を示した (図1: 2000年の例)。茎部 (葉鞘+稈) のケイ酸濃

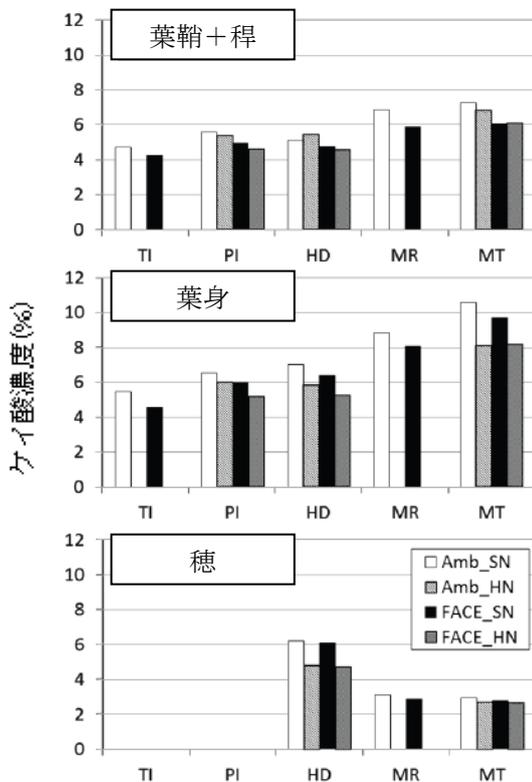


図1 部位別、生育時期別のケイ酸濃度。Amb: 対照区、FACE: 高CO₂区。SN: 標準窒素区、HN: 多窒素区。TI: 分けつ期、PI: 幼形期、HD: 出穂期、MR: 登熟期、MT: 収穫期を表す。

度は生育の経過とともに上昇するが、その程度は葉身 (緑葉) に比べて小さかった。これに対して穂のケイ酸濃度は登熟が進むと顕著に低下した。これはデンプンの蓄積によるものである。窒素とCO₂濃度の作用も部位により異なる。茎部では多窒素による濃度低下は小さく、高濃度CO₂によって濃度が低下した。葉身では多窒素と高濃度CO₂がともに、ケイ酸濃度を低下した。一方、穂では高濃度CO₂の影響は小さかった。高濃度CO₂や多窒素によって乾物生産量が増加するが、それに見合った量のケイ酸を吸収あるいは分配していないために、その濃度が低下すると考えられるが、乾物重の増加に伴う希釈だけでは説明できなかった。

部位別に幼形期の乾物分配率とケイ酸分配率の関係性をプロットしたところ、葉身では乾物分配率よりもケイ酸分配率が大きく、逆に葉鞘では乾物分配率よりもケイ酸分配率が小さかった (図2)。これは葉鞘と葉身の蒸散効率の違いによる可能性等が考えられるが、詳細な要因は未解明である。

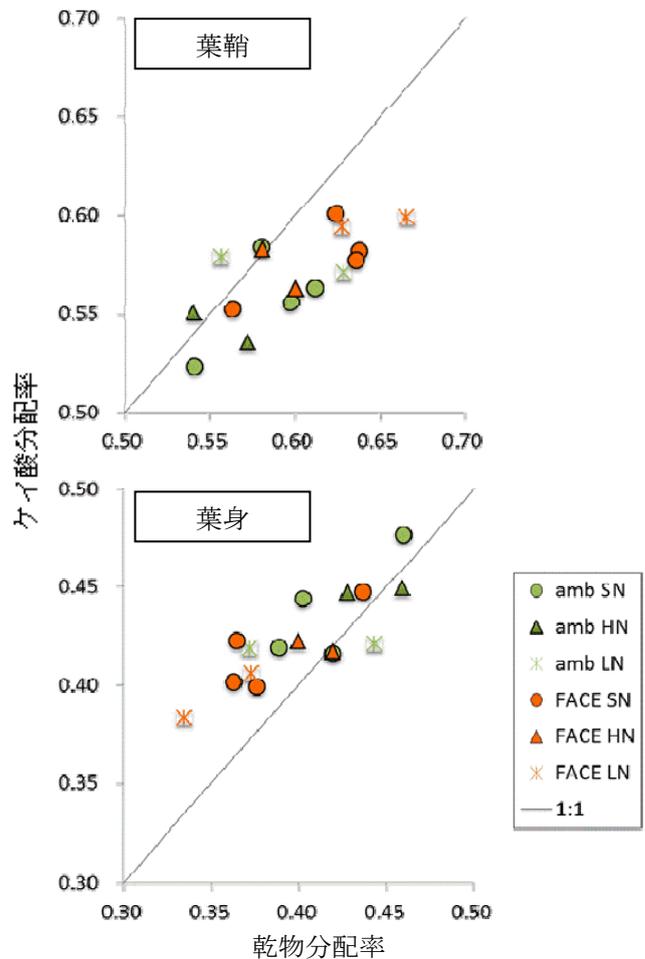


図2 乾物分配率とケイ酸分配率との関係 (幼形期)。

(2) ケイ酸濃度変化といもち病感受性との

関係説明

高CO₂濃度と気温の変化がいもち病感受性に与える影響を調べるため、いもち病接種試験を行い、発病程度や生育様相とイネ体内のケイ酸濃度および可溶性窒素濃度との関係を解析した。その結果、上位3葉のケイ酸含有率は高CO₂濃度区で低く、いもち病病斑面積率は同区で高い傾向があった。また、加温によりケイ酸含量が増加し、葉いもちの発生は低下する傾向にあった。また、CO₂濃度の高低に関わらず可溶性窒素濃度はほぼ一定であり、窒素動態はいもち病感受性の変化に寄与していないことが推察された。

(3) ケイ酸濃度変化が穂蒸散と穂温に及ぼす影響の解明

開花期の気孔コンダクタンスはFACEにより全品種で24~35%低下した。葉のケイ酸濃度は、D85を除きFACEにより低下し(図3a)、高CO₂濃度に伴う蒸散抑制により葉身へのケイ酸蓄積が減少したと考えられた。開花日の穂蒸散コンダクタンス(図3c)は、ケイ酸濃度が低いD85で最も高く、穂のケイ酸濃度が蒸散特性を決定する要因の一つであることがわかった。一方、FACEにより穂蒸散コンダクタンスはいずれの品種も低下する傾向が認められたが、穂のケイ酸濃度はFACEによる変化がなく(図3b)、ケイ酸蓄積以外の要因によると推定された。ケイ酸施用による葉や穂のケイ酸濃度の増大はほとんど認められず、本圃場条件下では通常の土壌に植物のケイ酸吸収能を超えるケイ酸が含まれ、施用の効果が無かったと考えられた。

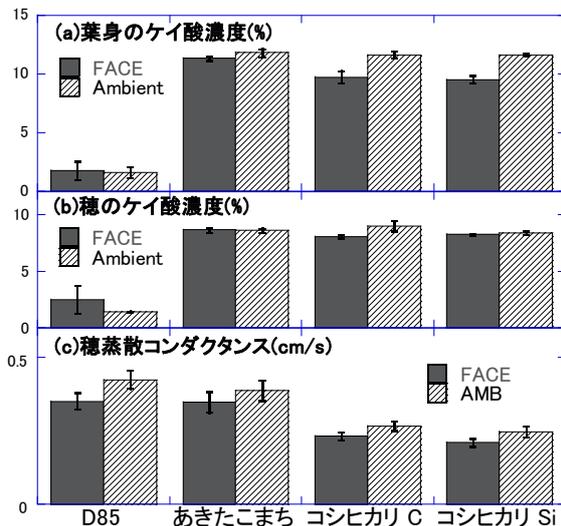


図3 開花日の葉身と穂のケイ酸濃度と開花時の穂蒸散コンダクタンス(2010年)。C: 通常ケイ酸区、Si: ケイ酸施用区。

登熟が進むにつれ、穂の籾殻のケイ酸濃度が増加し(図4a)、出穂以降、穂の蒸散に伴い穂表面にケイ酸が集積したと考えられた。

穂蒸散コンダクタンスの登熟期の経日変化は小さく(図4b)、籾殻のケイ酸濃度との対応は認められなかった。また、FACEによって、登熟期の穂蒸散コンダクタンス、籾殻のケイ酸濃度共にやや低下した。穂の表面には気孔がないことから、FACEによって穂首の通水性低下など気孔以外の何らかの理由で穂蒸散が低下し、それに伴い穂表面へのケイ酸蓄積が減少したと考えられた。

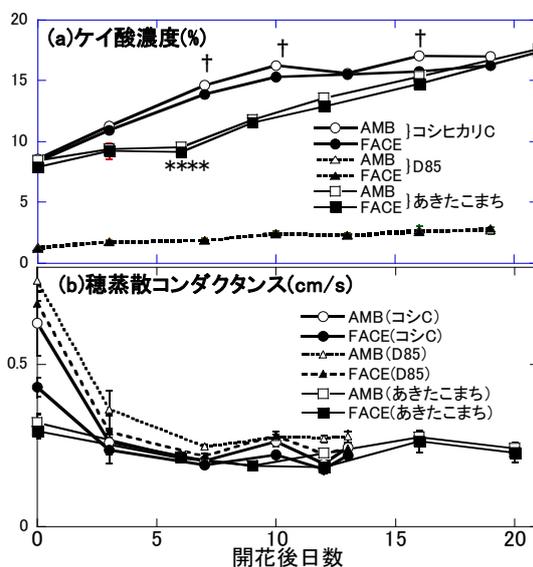


図4 登熟期の穂のケイ酸濃度と穂蒸散コンダクタンスの推移(2011年)。

以上から、高CO₂濃度により、葉同様穂においてもケイ酸濃度が低下し、病虫害ストレス感受性が高まる可能性がある一方、ケイ酸濃度とは関係なく穂蒸散が低下し穂温が上昇するため、高温ストレスにも脆弱となる可能性があることが示唆された。

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1件)

- ① Mayumi YOSHIMOTO, Minehiko FUKUOKA, Toshihiro HASEGAWA, Misako UTSUMI, Yasushi ISHIGOOKA, Tsuneo KUWAGATA, Integrated micrometeorology model for panicle and canopy temperature (IM2PACT) for rice heat stress studies under climate change. Journal of Agricultural Meteorology, 査読有、67、2011、233-247

[学会発表] (計5件)

- ① 吉本真由美ら、2010年つくばみらいFACEにおける気孔コンダクタンスと群落熱・水収支の高CO₂応答、日本作物学会第

231 回講演会、2011 年 3 月 30 日、東京農工大学

- ② 吉本真由美ら、穂温モデルと作物気象データベースによる高温年の日本全国の穂温の特徴、日本農業気象学会 2012 年度全国大会、2012 年 3 月 16 日、大阪府立大学
- ③ 兼松誠司ら、有機栽培に使用できるケイ酸資材の圃場でのいもち病回避効果、第 65 回北日本病害虫研究発表会、2012 年 2 月 16 日、岩手県民会館
- ④ 岡田益己ら、FACE におけるイネケイ酸吸収の動態、農業環境工学関連学会 2012 年合同大会、2012 年 09 月 11 日～2012 年 09 月 14 日、宇都宮大学・峰キャンパス
- ⑤ 吉本真由美ら、FACE によるイネの穂蒸散の変化と体内ケイ酸濃度との関係、日本農業気象学会 2013 年全国大会、2013 年 03 月 27 日～2013 年 03 月 29 日、石川県立大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉本 真由美 (YOSHIMOTO MAYUMI)

独立行政法人農業環境技術研究所・大気環境研究領域・主任研究員

研究者番号：40343826

(2) 研究分担者

岡田 益己 (OKADA MASUMI)

岩手大学・農学部・教授

研究者番号：10355274

福岡 峰彦 (FUKUOKA MINEHIKO)

独立行政法人農業環境技術研究所・大気環境研究領域・主任研究員

研究者番号：40435590

兼松 誠司 (KANEMATSU SEIJI)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・東北農業研究センター・生産環境研究領域・上席研究員

研究者番号：80343961

(3) 連携研究者

小泉 信三 (KOIZUMI SHINZO)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・東北農業研究センター・寒冷地温暖化研究チーム・上席研究員

研究者番号：90355305