

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 22 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25450018

研究課題名(和文)高二酸化炭素濃度条件が草型の異なる飼料イネ品種の飼料特性に及ぼす影響の解明

研究課題名(英文) The effect of high atmospheric CO₂ concentration on the feed compositions of different types of forage rice variety

研究代表者

加藤 盛夫 (KATO, Morio)

筑波大学・生命環境系・助教

研究者番号：90204502

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：開放系大気CO₂増加(FACE)実験施設において大気CO₂濃度(約390ppm)と将来予測される高CO₂濃度(+200ppm)条件を設定し、飼料用イネ専用品種として子実多収型品種クサホナミと茎葉多収型品種リーフスターを栽培して、成長経過、乾物収量、飼料成分およびサイレージ発酵品質を評価した。標準栽植密度では高CO₂濃度により飼料用イネの乾物収量は増加する傾向にあるものの有意差はなく、サイレージ発酵品質および飼料成分に顕著な影響はみられなかった。疎植栽培では高CO₂濃度により主に茎の増大により飼料用イネの乾物収量は有意に増加し、飼料成分にも影響がみられた。

研究成果の概要(英文)：Two forage rice varieties, Kusahonami (grain-weight type) and Leafstar (straw-weight type), were cultivated in Free-Air CO₂ Enrichment facility, Ibaraki, Japan during 2013 and 2015. An ambient CO₂ concentration (AMB: control) and an elevated CO₂ concentration (FACE; AMB + 200 ppm) plots were set with 4 replications. In the cultivation with normal planting density (22.2 hills/m²) the dry-matter yields of both varieties were slight higher in FACE plot than in control, but the differences were not significant. There were no significant difference among treatments in feed compositions and silage quality. In the cultivation with sparse planting (11.1 hills/m²), the dry-matter yields of both varieties were significantly higher in FACE plot than in control contributed by vigor growth of each stem. Crude ash and neutral detergent fiber contents were decreased in FACE plots compared to control, which suggested the improvement of digestibility of forage rice.

研究分野：作物生産学

キーワード：高二酸化炭素濃度 飼料用イネ 乾物収量 飼料成分 サイレージ

1. 研究開始当初の背景

大気中二酸化炭素 (CO_2) 濃度は現在約 390ppm で、今世紀半ばには 470~570ppm に上昇することが予測されている。 CO_2 は植物の光合成の基質であり、作物の生育に直接的影響を及ぼすとともに、温暖化など地球規模の環境変動の原因となっている。高 CO_2 環境に対する作物応答に関する研究は盛んに行われており、特に日本ではイネを対象として将来の大気中 CO_2 濃度上昇がもたらす気候変化が水稲生産に及ぼす影響が実際の水田で検証されている(開放系大気 CO_2 増加 (Free Air CO_2 Enrichment, FACE) 実験、「つくばみらい FACE 実験施設」(独)農業環境技術研究所)。

一方、日本の水田面積は 250 万 ha (2010 年) であるが、米消費量の低下による需要低迷により生産調整面積は 40% に及んでいる。このような状況で地域の水田農業振興に寄与するとともに将来のために水田の機能維持を図るためにも、水田の有効活用として飼料用、米粉用、バイオエタノール用など新規需要米の開発研究が進められている。また、日本の飼料自給率は 25% (2010 年) でトウモロコシなど濃厚飼料の自給率は 11% と低く大部分を海外から輸入しており、バイオエタノール原料としての需要拡大や気候変動による生産量の減少から輸入トウモロコシ価格が高止まりし、畜産経営は脆弱化している。このような背景とともに安全面からの国産品需要の高まりもあり、飼料イネ専用品種の開発や省力・低コスト栽培体系等の研究開発が進んでいる。

これまでの高 CO_2 濃度環境に対する作物応答の研究は閉鎖系実験室において主に個体を対象に行われていたが、FACE 実験により圃場レベルの実証研究ができるようになり、水稲では CO_2 濃度を外気より 200ppm 高めた場合の増収効果が 14~15% であり、品種により応答が異なり、窒素栄養条件により増収程度が異なることがわかっている。しかし、これらはすべて食用イネを対象とした場合の収量を想定したものであり、特に茎葉全体を収穫対象とする飼料イネの収量および飼料特性についてはまだ研究されていない。飼料イネ用品種には収量性や低コスト栽培性が求められ、子実多収性の品種(子実型)だけでなく茎葉部により多くの養分を蓄積する品種(茎葉型)が開発されている。 CO_2 は植物の光合成の基質であることから、その濃度上昇は光合成産物の蓄積・分配の変動を通じて飼料としての生産・品質に大きな影響を及ぼすことが予想されるが、実際に家畜に供与される形での稲発酵粗飼料(サイレージ)の調製過程および飼料特性にどのような影響を及ぼすかについての研究は行われていない。

2. 研究の目的

大気中 CO_2 濃度の増加が作物の成長と収量に及ぼす影響については多くの報告があり、イネについては開放系大気 CO_2 増加 (FACE)

施設において実証的な実験が行われ、 CO_2 濃度増加が乾物生産および子実収量、さらに外觀品質や食味など品質に及ぼす影響が研究されている。近年、水田の有効利用として栽培面積が増加している飼料用イネは飼料用米として子実多収型とホールクロップサイレージ (WCS) として茎葉多収型の専用品種が開発されており、 CO_2 濃度増加に対して収量と品質の面で食用米とは異なる反応が予想される。そこで将来予測される大気中の高二酸化炭素 (CO_2) 濃度条件が飼料用イネ品種の成長、収量および飼料品質に及ぼす影響に関する基礎的知見を得ることを目的として、FACE 施設を利用して飼料用イネ専用品種を栽培し、その生育と乾物収量、さらに飼料品質に及ぼす高 CO_2 濃度の影響を調査した。

本研究により、将来の高 CO_2 濃度環境条件において多収と省力・低コスト栽培を目標として自給飼料生産を確立する場合に必要な飼料用イネ品種の特性および栽培条件を明らかにしようとした。

3. 研究の方法

(1) 実験施設および CO_2 処理

(独)農業環境技術研究所の開放系大気 CO_2 増加 (FACE) 実験施設(「つくばみらい FACE 実験施設」)において栽培実験を実施した。本施設では農家水田 4 筆を実験水田として、それぞれに現在の大気 CO_2 濃度区(約 390ppm、AMB 区)と将来予測される高 CO_2 濃度(外気+200ppm、FACE 区)を設定し、各区 6~8m² の区画に飼料用イネ品種を栽培した。

(2) 供試品種

利用用途により特徴の異なる飼料用イネ専用品種として子実多収型品種クサホナミ(飼料用米・WCS 兼用品種)と茎葉多収型品種リーフスター(WCS 専用品種)を栽培した。

(3) 栽培概要

平成 25・26 年度は標準的な栽植密度で、平成 27 年度は省力・低コスト栽培技術として栽植密度を半分とする疎植栽培を設定して栽培した。各年とも 4 月中旬に播種し、5 月下旬に移植した。平成 25・26 年度は栽植密度 22.2 株 m⁻² (30×15 cm) で、平成 27 年度は栽植密度 11.1 株 m⁻² (30×30 cm) で 1 株 3 本植として手植え移植した。

施肥は各年とも高収量栽培として高窒素施肥条件を設定して窒素成分 12 g m⁻² 施用の多肥栽培とした。

(4) 測定

生育調査：各年とも調査株を選び、移植 3 週間から 2 週間ごとに出穂期直前まで、草丈、茎数、最上位展開葉の SPAD 値を測定した。また、区ごとに出穂日を記録した。

形態調査：平成 25 年度および 27 年度は登熟中期に調査株を掘りあげて、株を構成する主な茎の止葉および第 2 葉の葉身長と幅、穂長、稈長・稈径を測定した。

乾物収量：各年とも出穂期、黄熟期(出穂後約 30 日)および成熟期(平成 26 年度の

み)に地際で刈り取り、地上部器官別乾物重を測定した。

子実収量：各年とも9月下旬に5株を収穫して、籾収量および収量構成要素を測定した。

飼料成分およびサイレージ品質：平成25・26年度は9月下旬の黄熟期に地上5cmで収穫して細断し、真空パックに詰めることによりサイレージに調製し、パック後のpHを測定することにより発酵品質の指標とした。また、サイレージ材料については、常法により乾物率、灰分、粗タンパク質、中性デタージェント繊維(NDF)などの飼料成分含有率を測定した。また、乾物収量を測定した乾物試料について酵素法により非構造性炭水化物として糖およびデンプン含有率を測定した。

以上の測定結果について、大気CO₂濃度区(AMB区)を対照区として、高CO₂濃度(FACE区)の値を比較して、高CO₂濃度の影響を評価した。

4. 研究成果

(1) 生育経過

高窒素肥料(N 12 g m⁻²)・標準栽植密度(22.2 株 m⁻²)条件で栽培した平成25・26年度は、両品種とも草丈、茎数およびSPAD値の推移にはCO₂処理区間に顕著な差はみられなかった。26年度は子実多収型品種クサホナミでは高CO₂濃度条件により生育初期の茎数増加が促進されたが、出穂期における穂数の差は小さくなった。

疎植条件で栽培した平成27年度でも生育初期には両品種ともFACE区で茎数が多く推移したが、最終的な穂数にはCO₂処理区間に顕著な差はみられなかった。草丈およびSPAD値には差はみられなかった。

なお、本実験を通して両品種とも栽植密度に関わらず高CO₂濃度により出穂が2~4日早くなった。

(2) 形態形質

個体の形態形質については、標準栽植密度の平成25年度はFACE区で葉身はクサホナミでは小さく、リーフスターでは大きい傾向がみられ、また、両品種ともFACE区で稈長は長く、リーフスターでは特に稈径が太くなる傾向がみられた。疎植栽培の平成27年度は両品種ともFACE区で穂長が8-11%長く、稈基部の径が5-7%太くなっていた。

(3) 乾物収量

平成25年度の黄熟期地上部乾物重はクサホナミ1682~1778 g m⁻²、リーフスター1979~2052 g m⁻²と両品種ともFACE区でやや大きい、有意差はなかった。26年度は出穂期地上部乾物重はクサホナミ1335~1360 g m⁻²、リーフスター1391~1591 g m⁻²とリーフスターでFACE区が大きく、特に茎部(稈+葉鞘)の割合が増加し(AMB区68%、FACE区71%)、この傾向はクサホナミでも同様であった(AMB区60%、FACE区64%)。成熟期地上部

乾物重はクサホナミ1806~1824 g m⁻²、リーフスター1787~1880 g m⁻²と高CO₂濃度による増収効果は小さくなったが、茎部の割合はFACE区で高かった(リーフスターAMB区59%、FACE区62%、図1)。

標準栽植密度では両品種とも出穂期および飼料用イネの収穫適期に当たる黄熟期の乾物収量および子実収量は高CO₂濃度区が対照区に比べて高い傾向にあるものの有意差はなかった。しかし、乾物分配の面からは高CO₂濃度条件で茎葉の割合が増加した。以上より、CO₂濃度増加により飼料用イネ品種でも乾物収量は増加する傾向があるが、子実多収型と茎葉多収型品種ではその程度に差があり、また形態形質の変化により乾物分配率にも影響があることが示唆された。

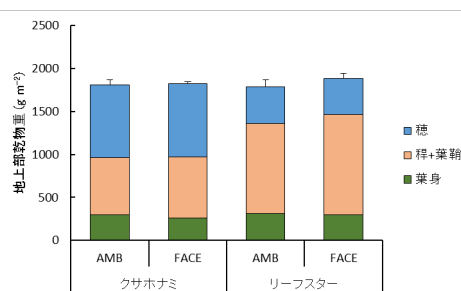


図1 成熟期における飼料用イネの地上部乾物収量の比較(2014年、標準植)

AMB：大気CO₂濃度、FACE：高CO₂濃度

平成27年度は省力・低コスト栽培条件として栽植密度を広くする疎植条件(11.1 株 m⁻²)で両品種の栽培試験を行った。出穂期の地上部乾物重はクサホナミ1075~1252 g m⁻²、リーフスター1262~1437 g m⁻²と両品種ともFACE区が有意に大きく、特に茎部(稈+葉鞘)の割合が増加した。黄熟期地上部乾物重はクサホナミ1425~1717 g m⁻²、リーフスター1684~1887 g m⁻²と両品種ともFACE区が有意に大きかった(図2)。両品種とも高CO₂濃度により茎が太くなるとともに、穂が大型化して穂重が増加することにより、出穂期および黄熟期には乾物収量は有意に増加した。

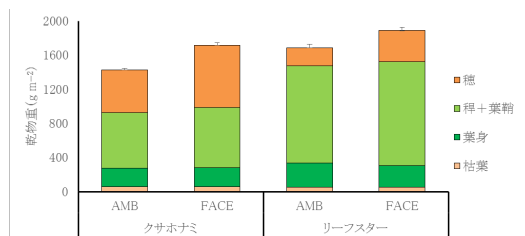


図2 黄熟期における飼料用イネの地上部乾物収量の比較(2015年、疎植)

AMB：大気CO₂濃度、FACE：高CO₂濃度

(4) 子実収量

平成26年度の標準栽植密度における収量調査では、籾収量はクサホナミ700~731 g m⁻²、リーフスター428~437 g m⁻²と両品種ともFACE区でやや大きい、有意差はな

った。収量構成要素の中では1穂当たり初数がクサホナミ 176 ~ 187 個、リーフスター 109 ~ 115 個と両品種ともFACE区で5~6%程度多かったのが特徴であった。

(4) 飼料成分およびサイレージ発酵品質

平成 25・26 年度の飼料成分には CO₂ 処理による明瞭な差はみられなかった。サイレージ発酵品質の指標としての pH の変化にも処理区間の差はみられなかった(図 3)。サイレージ発酵に影響する非構造性炭水化物含量にもFACE区でやや多い傾向がみられたものの、高 CO₂ 濃度による有意な影響はみられなかった。

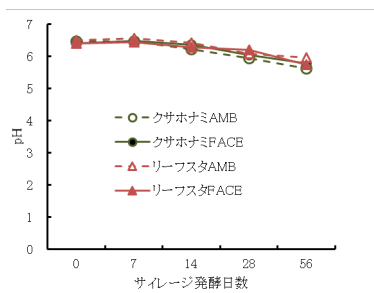


図 3 飼料用イネのサイレージ発酵期間中の pH の変化 (2013 年)

疎植栽培の平成 27 年度試料では高 CO₂ 処理により、飼料成分のうち粗タンパク質含有率には影響は見られなかったが、灰分と中性デタージェント繊維含有率が減少したことから(図 4)、飼料としての消化率の向上が予測された。

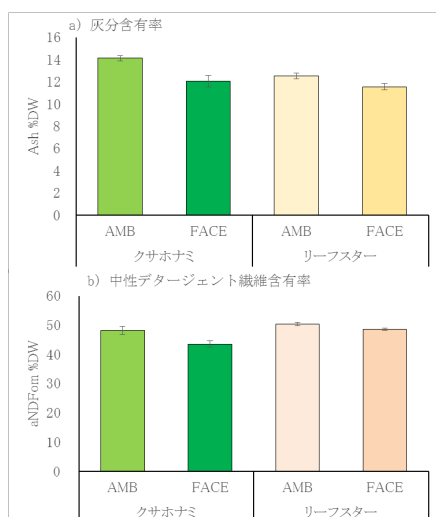


図 4 飼料用イネの灰分および中性デタージェント繊維含有率の比較(2015 年、疎植栽培)

以上の解析により、標準栽植密度では有意差はみられなかったものの、草型の異なる飼料用イネ専用品種において高 CO₂ 濃度により乾物収量は増加する傾向があり、疎植栽培条件では有意な効果があった。この増加は、株あたり茎数の増加とともに茎自体の大型化によるものであり、このような形態変化が飼料成分に影響しており、特に灰分と繊維成分の相対的な減少から、飼料としての消化率の

向上につながることを示唆された。

5. 主な発表論文等

[学会発表](計 6 件)

加藤盛夫、収穫時期が草型の異なる飼料用イネ品種の乾物収量および飼料成分に及ぼす影響、日本作物学会第 241 回講演会、2016 年 3 月 28 日、茨城大学(茨城県水戸市)

Kenta Tanimura, Evaluation of the Growth, Dry Matter Yield and Feed Composition of Forage Rice with Sparse Planting in Free-Air CO₂ Enrichment (FACE) Condition, International Ag-ESD Symposium 2016, 2016.11.19, University of Tsukuba (Tsukuba).

Akiho Takumi, Effect of Harvest Time on Feed Composition of Different Types of Forage Rice Varieties, International Ag-ESD Symposium 2016, 2016.11.19, University of Tsukuba (Tsukuba).

加藤盛夫、開放系大気 CO₂ 増加 (FACE) が飼料用イネ品種の生育と乾物収量に及ぼす影響、日本作物学会第 239 回講演会、2015 年 3 月 29 日、日本大学(神奈川県藤沢市)

綾塚達郎、開放系大気 CO₂ 増加が食用米収穫後の刈株茎乾物重および再生イネの成長とその飼料品質に及ぼす影響、日本作物学会第 239 回講演会、2015 年 3 月 29 日、日本大学(神奈川県藤沢市)

加藤盛夫、飼料用イネ品種の疎植栽培における 1 株植付本数が子実収量と飼料成分に及ぼす影響、日本作物学会第 238 回講演会、2014 年 9 月 9 日、愛媛大学(愛媛県松山市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

加藤 盛夫 (KATO, Morio)
筑波大学・生命環境系・助教
研究者番号：9 0 2 0 4 5 0 2

(2) 研究分担者

石川 尚人 (ISHIKAWA, Naoto)
筑波大学・生命環境系・助教
研究者番号：2 0 2 0 2 9 6 3

(3) 連携研究者

長谷川利拡 (HASEGAWA, Toshihiro)
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農業環境変動研究センター・上席研究員
研究者番号：1 0 2 2 8 4 5 5

(4) 研究協力者

永西 修 (ENISHI, Osamu)
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・畜産研究部門家畜代謝研究領域精密栄養管理ユニット