

令和 2 年 5 月 20 日現在

機関番号：14101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K08168

研究課題名(和文)大規模栽培された飼料イネにおける光合成産物の貯蔵・再転流と家畜による消化性の解明

研究課題名(英文) Accumulation and re-mobilization of photosynthetic assimilates and their digestibility in ruminants in rice for fodder grown in large-scale farms

研究代表者

関谷 信人 (Sekiya, Nobuhito)

三重大学・生物資源学研究所・准教授

研究者番号：80456590

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：飼料イネの極短穂型品種は、茎部に糖とデンプンを蓄積しやすい。糖はサイレージとして貯蔵する際の乳酸発酵を促し、デンプンは濃厚飼料を一部代替することが期待される。極短穂型品種は、基肥重点施肥、5月移植、出穂後8週目で、茎部の糖とデンプン濃度を増加させた。また、出穂後8週目に収穫しても反芻動物の第一胃内消化性が高く維持された。以上から、基肥重点施肥、5月移植、出穂後8週目収穫が、極短穂型品種の茎部における可消化炭水化物含量を増加させる技術であることが特定された。進行中の消化性試験が完了すれば、消化性を高くする栽培技術がさらに特定される可能性がある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、家畜消化管内におけるイネの消化特性に与える栽培技術の影響を明らかにし、水稻栽培から家畜の栄養素吸収までの作物学と畜産学を融合した科学的知見を得た。また、世界でも例がない極短穂型品種において、糖・デンプンの挙動を完熟期以後まで追跡し、イネにおける光合成産物分配に関する新たな知見を提供した。従来の飼料原料ではデンプンは専ら穀実由来であり、茎葉部にデンプンを大量に蓄積する飼料自体が存在しなかったことから、本研究の成果は飼料科学の分野でも新たな知見となる。糖・デンプンは家畜にとって重要な栄養素であり、畜産業への飼料供給に関する情報を論理的に下支えする可能性がある。

研究成果の概要(英文)：Small panicle cultivars of fodder rice tend to accumulate sugars and starch in their stems. Sugars are reported to promote lactic acid fermentation during ensilation and starch is expected to replace a part of concentrated feed. Sugars and starch in stems of small panicle cultivars were increased by a basal application of nitrogen fertilizer, transplanting in May, and harvesting eight weeks after heading. Ruminant fermentation was maintained at a high level even in stems harvested eight weeks after heading. We conclude that the basal application of nitrogen fertilizer, transplanting in May and harvesting eight weeks after heading are the techniques to increase digestible carbohydrates. On-going additional experiments may identify some more cultivation techniques that can improve digestibility of small panicle cultivars.

研究分野：環境農学関連

キーワード：飼料イネ 発酵粗飼料 非構造化炭水化物 消化性 窒素施肥 移植時期 栽植密度 収穫時期

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

(1) 国内の水田利用は変曲点を迎えている

近年、日本の水田では、食用米の供給過剰を回避して不足する国産飼料を増産するため、飼料用イネの生産が増加しつつある。これは農村景観の維持や洪水軽減など、副次的に水田の多面的機能の維持にも繋がると期待されている。一方、就農人口が減少し耕作放棄地が増加する問題を解決するため、大規模農業生産法人（以下、大規模法人）を担い手として農地を集積し、食用イネと飼料用イネを組み合わせた作付体系が拡大しつつある。

(2) 穂の小さいイネが作られている

従来、飼料用には穂も茎葉も大きいイネが利用されてきた。これらのイネでは、食用イネと同様、茎・葉・穂の全重量の中で穂が約50%も占めている。しかし、籾に覆われた穀実がウシの消化管内での消化性が低く、未消化のまま糞中へ排泄されてしまう。これは、穂に蓄積したデンプンが体外へ排出され、多量のエネルギーが損失することを意味する。そこで近年、茎葉が大きい上に、穂重の割合が約10%という極短穂型の飼料イネが育成された（図1）。



図1 飼料イネの穂

(3) 大規模法人の飼料イネは多様な環境で栽培・収穫されている

大規模法人では、利幅の大きい食用イネの収穫を優先するため、飼料イネの収穫遅れが頻発する。私達は、数件の大規模法人における予備調査により、収穫適期の黄熟期（10月）を超えて、完熟期（11月）さらには12月や1月にまで収穫が遅れる実態を確認した。また、飼料イネの栽培方法に関する情報が極端に少ないため、移植時期、栽植密度、施肥量、施肥時期、収穫時期など、各法人の試行錯誤により多様な方法の組み合わせで栽培されていることも確認した。

(4) 現代の飼料イネ栽培では従来のイネ研究が想定しない状況が発生する

食用イネでは、穂重を増加させることが中心課題であり、穂重を減少させるための研究は実施されていない。食用イネと比較して、飼料イネの緑葉部分は圧倒的に大きく、光合成産物の供給能力（ソース能）も高い。一方で、穂が緑葉から転流する光合成産物を受容する能力（シンク能）は極端に小さい。その結果、多量の光合成産物が茎へ転流し、糖やデンプンとして蓄積することを私達は確認した（図2）。また、大規模法人で頻発するような完熟期を過ぎた季節での収穫など従来のイネ研究では想定されていない。申請者は別の多年生イネ科草本が茎に貯蔵した養分を秋から冬に根へ再転流させることを報告しており、本来多年生であるイネも収穫が遅れている間に茎に蓄積した養分を根へ再転流させる可能性が考えられる。さらに、大きな体を支えるために根も肥大させることが予測され、結果的に根のシンク能が高い可能性もある。根が大きなシンク能を発揮すれば、光合成産物ひいてはデンプンに対して茎との間で競合し、飼料品質に影響を与える可能性がある。圧倒的に大きな体と



図2 飼料イネにおける光合成産物の挙動仮説

極端に小さな穂を持つ飼料イネが、これまで想定されていない環境で栽培されるため、その収量性やデンプン蓄積の過程を理解するには、ソース・シンク関係や光合成産物の転流・貯蔵・再転流に関する新たな知見が必要である。

2. 研究の目的

本研究は、我が国で生産量が増加しつつある極短穂型の飼料イネにおいて、栽培要因・茎部デンプン蓄積・反芻動物第一胃内消化性の三者の関係を解析し、飼料品質を最大化する飼料イネ栽培方法の特定を目的とする。まず、各種栽培方法で飼料イネを栽培し、イネ茎部へのデンプン蓄積量を最大化する栽培要因を特定する。次に、水田圃場から採取した飼料イネを用いて、反芻動物の主要な消化器官である第一胃内の消化性を測定し、消化性を最大化する栽培要因を特定する。

3. 研究の方法

【研究1】

2016年5月20日と6月23日、2017年5月19日と6月23日に極短穂型品種「たちすずか」と親品種で穂重型のクサノホシを三重大学の水田圃場にて1m²あたり22.2株（標準区）と11.1株（30cm×15cm、低密度区）、1株あたり3苗で移植した。2016年では出穂後0、2、4、6、8週目、2017年では出穂後0、4、8、12週目に地上部を地際で刈取り、根を含む円筒土壌をライナー採

土器で採取した。土壌を洗い流した根と切り分けた穂、茎（稈と葉鞘）、葉身の乾物重量を計測し、各部位の糖とデンプン濃度を測定した。

【研究2】

2016年6月15日、極短穂型品種「たちすずか」と「たちあやか」、それぞれの親品種で穂重型のクサノホシとホシアオバを三重大学の水田圃場にて、窒素施肥法2水準（基肥区：移植前14g/m²、分割区：移植前7g/m²+幼穂形成期7g/m²）で移植した。出穂後0、4、8、15週目、籾数を測定し、穂、葉身、茎（葉鞘+稈）、根のNSC（糖+デンプン）含量、窒素含量を測定した。また、茎のNDF、ADF、リグニン（ADL）含量を測定し、それらの差からヘミセルロース、セルロース含量を算出した。また、in vitroルーメン培養により48時間のNDF消化率を測定した。

4. 研究成果

【研究1】

茎の糖とデンプン濃度は、クサノホシではそれぞれ2.2~11.7と0~6.0%、「たちすずか」ではそれぞれ12.0~26.5と0.9~17.1%であった。根の糖とデンプン濃度は、クサノホシではそれぞれ0.3~2.8と0~3.8%、「たちすずか」ではそれぞれ0.3~6.9と1.2~17.1%であった。茎と根の糖とデンプン濃度に対する品種の効果は有意で、各値はクサノホシよりも「たちすずか」で顕著に高かった。これは、「たちすずか」が茎だけではなく根にも糖とデンプンを蓄積させるとした既報を支持する。ただし、2016年の「たちすずか」の根では糖濃度が検出限界に近く、大きく年次変動した。移植時期は、茎と根の糖濃度に対して有意な効果を示し、6月移植よりも5月移植で高かったものの、デンプン濃度に対しては有意な効果を示さなかった。栽植密度は、茎と根の糖とデンプン濃度のいずれにも有意な効果を示さなかった。収穫時期は、茎と根の糖とデンプン濃度に対して有意な効果を示した。ただし、品種と収穫時期が有意な交互作用を示し、クサノホシでは出穂後に茎と根の糖とデンプン濃度が減少したのに対して、「たちすずか」ではいずれの値も出穂後に増加した。ただし、2016年のクサノホシの茎では出穂後6週目から糖濃度が再び増加し、大きく年次変動した。

以上から、飼料水稻品種の出穂後における茎と根の糖とデンプン濃度は、品種、移植時期、収穫時期で変動することが明らかになった。すなわち、クサノホシよりも「たちすずか」で茎と根の糖とデンプン濃度は顕著に高くなる。6月移植よりも5月移植で茎と根の糖濃度が増加する。収穫を遅延するとクサノホシでは茎と根の糖とデンプン濃度が減少し、「たちすずか」では各値が増加する。ただし、クサノホシの茎と「たちすずか」の根の糖濃度は年次変動する。

【研究2】

クサノホシの茎、根およびホシアオバの茎のNSC含量は、出穂後0~15週目まで減少し続けた。この間、穂のNSC含量が増加しており、茎と根のNSCが穂へ再転流したことを示唆している。ホシアオバは、籾数が多いにもかかわらず、根のNSC含量が出穂後8週目まで僅かに増加した。これは籾数が多い品種でも出穂後に根でNSCを蓄積させることを示している。一方、極短穂型品種の茎と根では、出穂後にNSC含量が増加し続け、8週目で最大となった。全品種において、分割施肥で籾数が増加し、茎と根のNSC含量は減少した。植物体全体の窒素含量も全品種において分割施肥で増加した。穂重型品種の穂では出穂後0~8週目まで窒素含量が増加した。一方、極短穂型品種の茎と根では出穂後0~8週目、根では出穂後0~15週目まで、窒素含量が増加し続けた。この間、葉の窒素含量は減少しており、葉の窒素が穂または根へ再転流したことを示唆している。出穂後4週目以後、極短穂型品種の茎部NDF消化率は穂重型品種よりも高く推移した。穂重型品種のNDF消化率は収穫時期が遅くなるにつれて減少したが、極短穂型品種のNDF消化率は出穂後8週目までは同程度に維持され15週目で減少した。極短穂型品種では、穂重型品種と比べて、出穂後4週目以降のNDF中にヘミセルロースが多く、セルロースが少なかった。

以上から、出穂後の茎と根におけるNSCと窒素の蓄積は品種に依存し、籾数の少ない極短穂型品種で顕著であった。また、施肥による籾数の変化が出穂後の茎と根におけるNSCの蓄積量を変化させた。極短穂型品種の根に蓄積したNSCと窒素は、翌年の作物栽培に影響を及ぼす可能性がある。また、極短穂型品種のNDF消化率は高く、それはNDF中のヘミセルロース割合の高さと関係している可能性が示唆された。また、両品種では出穂後にヘミセルロースが合成されている可能性も示唆された。

【まとめ】

極短穂型品種では、分割施肥よりも基肥重点施肥、6月移植よりも5月移植、標準的な収穫時期である出穂後4週目よりも出穂後8週目で、茎部の糖・デンプン濃度が増加することが明らかになった。大規模法人の栽培様式を類型化し、各類型から採取した飼料イネを調査したところ、茎部における糖・デンプン濃度の変異は圃場試験の結果と同様になった。現時点までの消化性試験の結果から、出穂後8週目に収穫しても反芻動物の第一胃内消化性が高く維持されることが明らかになった。以上から、極短穂型品種の飼料イネ茎部における可消化炭水化物含量を増加させる栽培技術は、基肥重点施肥、5月移植、出穂後8週目収穫であることが特定された。進行中の消化性試験が完了すれば、消化性を高くする栽培技術がさらに特定される可能性がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Budi, W. H, Ito. N, Sekiya M, Kondo
2. 発表標題 Does Panicle Size Affect Carbohydrate Composition and In Vitro Ruminal Fermentation of the Stem of Forage Rice?
3. 学会等名 The 18th Asian Australasian Animal Production Congress (AAAP) 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡辺晋生、山田亜香里、太田怜奈、関谷信人
2. 発表標題 飼料用水稲栽培水田における土中の還元と窒素の挙動
3. 学会等名 2018年度土壌物理学学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 近藤誠、Budi Wardiman、小野田和哲、伊藤はつき、早川ひかり、関谷信人
2. 発表標題 極短穂型飼料用水稲の茎部繊維消化性とその要因解析
3. 学会等名 2019年度日本草地学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小野田和哲、近藤誠、関谷信人
2. 発表標題 飼料用水稲における出穂後の非構造的炭水化物と窒素の挙動
3. 学会等名 2019年度日本草地学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 関谷信人、太田怜奈、近藤誠
2. 発表標題 飼料用水稲における出穂後の糖とデンプン濃度に対する栽培技術の効果
3. 学会等名 2019年度日本草地学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小野田和哲・近藤誠・関谷信人
2. 発表標題 飼料用水稲の糖とデンプン蓄積に与える窒素施肥法と収穫時期の影響
3. 学会等名 日本作物学会東海支部第148回講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小野田和哲・近藤誠・関谷信人
2. 発表標題 飼料用水稲根系のデンプン蓄積に与える窒素施肥法と収穫時期の影響
3. 学会等名 第47回根研究集会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 太田怜奈・近藤誠・関谷信人
2. 発表標題 飼料用水稲の茎と根における出穂後の非構造的炭水化物の蓄積
3. 学会等名 2018年度日本草地学会熊本大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 太田怜奈・近藤誠・関谷信人
2. 発表標題 飼料用水稻の糖とデンプン蓄積に与える栽植密度と収穫時期の影響
3. 学会等名 日本作物学会東海支部第148回講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 太田怜奈・近藤誠・関谷信人
2. 発表標題 飼料用水稻根系におけるデンプン蓄積に与える栽植密度と収穫時期の影響
3. 学会等名 第47回根研究集会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 太田怜奈・近藤誠・関谷信人
2. 発表標題 粗飼料用水稻品種のデンプン蓄積に与える栽植密度と収穫時期の影響
3. 学会等名 第244回日本作物学会講演会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

三重大学生物資源学研究科資源循環学専攻国際資源植物学研究室>最近の出来事>カテゴリー>飼料イネ http://shokubutu.kokusai.junkan.bio.mie-u.ac.jp/
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	近藤 誠 (Kondo Makoto) (50432175)	三重大学・生物資源学研究科・准教授 (14101)	