

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26450386

研究課題名(和文)高塩素粗飼料を利用した乳牛の低カルシウム血症予防方法の研究

研究課題名(英文)The study of high chlorine forage for prevention of hypocalcemia

研究代表者

神谷 裕子(Kamiya, Yuko)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・畜産研究部門飼養管理技術研究領域・上級研究員

研究者番号：10355696

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)：低Ca血症予防方法開発のため、高塩素含有粗飼料の栽培および給与方法に関する検討を行った。まず、DCAD値の低い粗飼料を生産するための施肥方法を検討した。その結果、塩素系肥料の施用により、粗飼料中の塩素含量が高まり、DCAD値が低下すること、また、施肥時期よりも施用量がDCAD値に影響することが明らかになった。塩素含量の多い粗飼料の嗜好性に問題は認められなかった。高塩素粗飼料を乳牛に給与すると、腸管での塩素吸収量が高まり、分娩時のCa代謝が改善される可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：We evaluated the cultivation and feeding methods of high chlorine (Cl) forage for prevention of hypocalcemia. We evaluated fertilizer application method to reduce DCAD value in forage crop efficiently. We found DCAD value was reduced by chloride fertilizer, and the amount of chloride fertilizer significantly affects DCAD value rather than the timing of chloride fertilization. The Cl content did not have an apparent effect on the palatability of forage. It is showed that feeding of high Cl forage in dairy cow increased Cl absorption in the intestine and might improve Ca metabolism around parturition.

研究分野：家畜飼養

キーワード：塩素 低Ca血症 乳熱 乳牛 粗飼料 肥料 DCAD

1. 研究開始当初の背景

乳牛では分娩前後に、分娩や泌乳による生理・代謝の変化に起因する代謝性疾患が多発する。その一つである低カルシウム (Ca) 血症は、泌乳開始時における乳中への多量の Ca 分泌に内分泌が適応できず、血漿中 Ca 濃度が低下することにより発症する。低 Ca 血症は、胎盤停滞、第 4 胃変位やケトosis等、他の周産期疾患を引き起こすことが多く、その後の乳生産性も大幅に低下させることから、問題となっている。

近年、分娩時の低 Ca 血症を予防するために、分娩前にイオンバランス (DCAD: 注) を低下させた飼料を給与する方法が推奨されている。これは飼料中のカリウム (K)、ナトリウム (Na) 含量を低下させ、塩素 (Cl)、硫黄 (S) 含量を増加させるなどにより、イオンバランスを調整した飼料を給与して牛を緩やかなアシドーシスとし、Ca 代謝の改善を図るものである。このために、飼料へ添加する Cl 製剤が開発されているが、嗜好性の面で飼料摂取量を低下させる場合もある。このことから、DCAD 値の調整により、低 Ca 血症を予防するためには、飼料摂取量に影響を及ぼさない方法を確認する必要があると考えられる。イオンバランス調整のための Cl 補給については、製剤添加による方法が重点的に研究されてきた。粗飼料におけるイオンバランス調整としては、K 低減粗飼料の栽培・給与が主流であり、Cl 含量について検討した例は少ない。そこで Cl 製剤以外で、牛に Cl を補給するために、粗飼料中の Cl 含量を高める方法を検討し、牛に給与する技術を開発することが重要であると考えられる。

DCAD: Dietary cation anion balance
 $(\text{Na}^+ + \text{K}^+) - (\text{Cl}^- + \text{S}^{2-}) (\text{mEq}/\text{kg})$ で表される

2. 研究の目的

本研究では粗飼料中の Cl 含量制御方法を検討し、さらに高 Cl 粗飼料給与が乳牛のミネラル代謝へ及ぼす影響を明らかにすることで、高 Cl 粗飼料給与による低 Ca 血症予防方法の確認を目指す。

試験 1 として、ソルガム、トウモロコシに塩素系肥料、炭酸塩系肥料または硫酸塩系肥料を施用し、Cl 含量や DCAD 値に与える影響を検討する。これにより、高 Cl 粗飼料を生産する施肥方法を明らかにする。

試験 2 として、イタリアンライグラスの 1 番草の播種時または生育期に塩素系肥料を施用し、2 番草まで収穫した場合の Cl 含有率および DCAD 値を調査する。これにより、塩素系肥料の投与時期と植物体の Cl 吸収量との関係を明らかにし、Cl を効率的に吸収させる施肥時期を明らかにする。

試験 3 として、高 Cl 粗飼料の牛における嗜好性を検討し、さらに牛に給与した際の体内でのミネラルの動態を明らかにする。

試験 4 として、Cl 含量を高めた粗飼料を栽培し、妊娠牛に給与し、分娩前後の Ca 代謝

に及ぼす影響を明らかにする。

これらの試験により、高 Cl 粗飼料の効率的な栽培方法を確立し、さらに高 Cl 粗飼料を妊娠牛に給与し Ca 代謝に及ぼす影響を検証することで、新たな低 Ca 血症予防方法の確認を目指す。

3. 研究の方法

(1) 塩素系、炭酸塩系または硫酸塩系肥料の施用がソルガムおよびトウモロコシの Cl 含量および DCAD 値に与える影響 (試験 1)

熊本県合志市の試験圃場 (黒ボク土) において、ソルガム「涼風」、トウモロコシ「なつむすめ」を供試し栽培試験を行った。播種日は 2014 年 7 月 6 日、収穫日はソルガム 9 月 2 日 (開花期)、トウモロコシ 9 月 16 日 (黄熟期) であった。栽植様式はソルガムでは播種量 $3\text{g}/\text{m}^2$ 、条間 60cm で条播、トウモロコシでは条間 75cm、株間 20cm で点播とした。試験区面積はソルガム 7.2m^2 、トウモロコシ 9m^2 で、いずれも 3 反復とした。処理区として、塩素系肥料区 (Cl 区)、炭酸塩系肥料区 (CO 区)、硫酸塩系肥料区 (S 区) の 3 処理を設定し、Cl 区では窒素肥料に NH_4Cl 、K 肥料に KCl 、S 区では窒素 (N) 肥料に $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、カリ肥料に K_2SO_4 、CO 区では N 肥料に NH_4HCO_3 、K 肥料に KHCO_3 を使用した。P 肥料にはいずれの試験区も $\text{CaH}_4\text{O}_8\text{P}_2\text{H}_2\text{O}$ を使用した。施肥は播種時、7 月 11 日、7 月 24 日の 3 回に分けて行い、1 回あたりの施肥量が N、 P_2O_5 、 K_2O 換算で $7\text{g}/\text{m}^2$ となるように施肥量を調整し、側条施肥した。乾物収量、乾物中の Cl、K、Na、S 含有率を調査し、DCAD 値を求めた。DCAD 値 ($\text{mEq}/100\text{kg}$) = $(\text{Na 含有率}/0.023 + \text{K 含有率}/0.039) - (\text{Cl 含有率}/0.0355 + \text{S 含有率}/0.016)$

(2) 塩素系肥料の施肥時期の違いがイタリアンライグラスの Cl 含量および DCAD 値に与える影響 (試験 2)

熊本県合志市の試験圃場 (黒ボク土) で試験を行った。供試品種はイタリアンライグラス「優春」とした。播種日は 2014 年 10 月 21 日、収穫日は 1 番草が 2015 年 4 月 16 日 (出穂期)、2 番草は 5 月 18 日 (開花期) とした。試験区面積は $9\text{m}^2 \times 3$ 反復とした。施肥は基肥 (10 月 21 日)、追肥 1 回目 (2 月 9 日) および追肥 2 回目 (1 番草収穫後、4 月 18 日) の 3 回とした。試験設定として、3 回とも塩素系肥料を施用する「全 Cl 区」、基肥にのみ塩素系肥料を施用する「基 Cl 区」、追肥 1 回目にのみ塩素系肥料を施用する「追 Cl 区」、3 回とも非塩素系肥料を施用する「対照区」を設けた。

塩素系肥料には塩安、塩化カリを用い、非塩素系の肥料には硫安、硫酸カリを用いた。施肥量は施肥 1 回あたりの N、 K_2O の成分量が $5.3\text{kg}/10\text{a}$ となるように施用した。なお、リン酸肥料は全ての試験区で P_2O_5 の成分量が $16.0\text{kg}/10\text{a}$ を全量基肥で施用した。乾物収量、

乾物中の Cl、K、Na、S 含有率を調査し、さらに DCAD 値を求めた。

(3)高 Cl 含量トウモロコシサイレーズの嗜好性および体内における Cl 動態 (試験 3)

硫酸系肥料または塩素系肥料を用いてトウモロコシを栽培し、サイレーズに調製した。供試飼料として、硫酸系肥料施肥トウモロコシ (S 区)、塩素系肥料施肥トウモロコシ (Cl 区) または硫酸系肥料施肥トウモロコシに給与時に $MgCl_2$ (3g/1kgFM) を添加したもの (添加区) の 3 処理のサイレーズを準備し、4 頭の非妊娠乾乳牛に供試して嗜好性を調査した。3 種類のトウモロコシサイレーズを同時に供試牛に給与し、自由採食させ、1 時間後、6 時間後の採食量を測定した。

また、高 Cl 粗飼料給与時の体内での Cl 動態を確認するため、消化試験を行った。給与飼料として、硫酸系肥料または塩素系肥料を用いて栽培したトウモロコシをサイレーズに調製した。これらを非妊娠乾乳牛 4 頭に給与し、さらにタンパク質要求量を満たすため、大豆粕を補給した。全糞採取法により、腸管での Cl 吸収量および Cl 吸収率を測定した。さらに骨代謝マーカーを測定した。

(4)高 Cl 粗飼料の給与が妊娠牛のミネラル動態に及ぼす影響 (試験 4)

供試粗飼料として、K および N において、塩素系肥料を用いる区 (Cl 区) および慣行肥料である硫酸系肥料を用いる区 (S 区) を設定して、トウモロコシおよびイタリアンライグラスを栽培した。Cl 区または S 区イタリアンライグラスサイレーズを 50%、Cl 区または S 区トウモロコシサイレーズを 20% および濃厚飼料 30% を混合し、妊娠牛用の発酵 TMR を調製した。供試牛として、妊娠牛 8 頭を供試し、試験用 TMR を妊娠牛の要求量を満たすよう、分娩予定日の約 3 週間前から給与した。分娩前後の飼料摂取量、尿 pH、尿中ミネラル排泄量、血漿中ミネラル濃度を測定した。

4. 研究成果

(1)塩素系、炭酸塩系または硫酸塩系肥料の施用がソルガムおよびトウモロコシの Cl 含量および DCAD 値に与える影響 (試験 1)

ソルガムでは乾物収量に処理による有意な差は認められなかった。ソルガムの K、Na、Cl、S 含有率および DCAD 含量は表 1 の通りであった。K および Na 含有率に試験区間の差は認められなかった。一方、Cl 含有率は、Cl 区で他の試験区よりも有意に増加した。また、S 含有率は、S 区で他の試験区よりも有意に増加した。DCAD 値は、C0 区 24.6mEq/100g、Cl 区 10.6mEq/100g、S 区 23.8mEq/100g となり、C0 区、S 区の間に差はなかったが、Cl 区で有意に低下した。

トウモロコシでは、乾物収量に処理による有意な差は認められなかった。トウモロコシの K、Na、Cl、S 含有率および DCAD 含量は表

2 の通りであった。K および Na 含有率においては、ソルガムと同様に、肥料の組成による影響は少なかった。Cl 含有率は Cl 区で他の試験区よりも有意な増加が見られた。また、S 含有率は C0 区、S 区では Cl 区よりも有意に高かった。DCAD 値は C0 区 16.6mEq/100g、Cl 区 7.8mEq/100g、S 区 19.5mEq/100g となり、ソルガムと同様に Cl 区で有意に低下した。

以上から、ソルガム、トウモロコシともに塩素系肥料を施用することで、植物体中の塩素含量が増加し、DCAD 値が低下することが示された。一方、硫酸塩系肥料の施用では、DCAD 値は低下しておらず、C0 区とも差はなかった。ソルガム、トウモロコシともに S 区の S 含有率は増加したが、増加程度はソルガム、トウモロコシともに 0.01 ポイント程度であり、DCAD 値に与える影響が少ないためと考えられた。

表 1 ソルガムにおける K、Na、Cl、S 含有率および DCAD 含量 (乾物中)

処理	K %	Na %	S %	Cl %	DCAD mEq/ 100g
C0 区	1.51	0.002	0.11 ^b	0.26 ^b	24.6 ^a
Cl 区	1.47	0.001	0.11 ^b	0.72 ^a	10.6 ^b
S 区	1.49	0.002	0.12 ^a	0.24 ^b	23.8 ^a

a, b: P<0.05

表 2 トウモロコシにおける K、Na、Cl、S 含有率および DCAD 含量 (乾物中)

処理	K %	Na %	S %	Cl %	DCAD mEq/ 100g
C0 区	1.17	0.004	0.094 ^a	0.27 ^b	16.6 ^a
Cl 区	1.27	0.002	0.085 ^b	0.70 ^a	7.8 ^b
S 区	1.22	0.003	0.095 ^a	0.22 ^b	19.5 ^a

a, b: P<0.05

(2)塩素系肥料の施肥時期の違いがイタリアンライグラスの Cl 含量および DCAD 値に与える影響 (試験 2)

【結果】番草別の乾物収量、合計乾物収量には処理による明らかな差は認められなかった。1 番草の K、Na、Cl、S および DCAD 含量は表 3 に、2 番草の K、Na、Cl、S 含有率および DCAD 含量を表 4 に示した。番草別の K、Na および S 含有率に試験区間の差はなく、肥料の組成の違いはこれらの項目に影響しなかった。これに対し、1 番草の Cl 含有率は、塩素系肥料を施用した全ての試験区で高くなった。ただし、施肥時期の異なる基 Cl 区と追 Cl 区との Cl 含有率に差はなかった。2 番草においても、Cl 含有率は塩素系肥料を施用

した区では、対照区よりも有意に高くなったが、1番草と同様に基CI区と追CI区との間にCI含有率の差はなかった。そのため、施肥時期の違いは、イタリアンライグラスのCI含有率に大きな影響を及ぼさなかったと考えられた。3回とも塩素系肥料を施用した全CI区のCI含有率が1番草、2番草を通じて最も高かったことから、肥料施肥の時期よりも、施用量の多寡がイタリアンライグラスのCI含有率に影響すると考えられた。1番草のDCAD値は基CI区と追CI区との間に差はなかった。また、2番草のDCAD値は1番草と同様に基CI区と追CI区との間に差はなかった。CI含有率と同様に、全ての施肥で塩素系肥料を使用した全CI区のDCAD値が1番草、2番草を通じて最も低かったことから、塩素系肥料の施肥時期よりも、施用量の多寡がイタリアンライグラスのDCAD値に影響すると考えられた。

表3 1番草のK、Na、Cl、S含有率およびDCAD含量(乾物中)

処理	K (%)	Na (%)	S (%)	Cl (%)	DCAD (mEq/100g)
対照区	2.85	0.11	0.28	1.13 ^b	28.0 ^a
基CI区	3.43	0.10	0.26	1.85 ^a	23.9 ^a
追CI区	3.21	0.12	0.24	1.84 ^a	20.6 ^{ab}
全CI区	3.28	0.10	0.22	2.17 ^a	13.3 ^b

a, b: P<0.05

表4 1番草のK、Na、Cl、S含有率およびDCAD含量(乾物中)

処理	K (%)	Na (%)	S (%)	Cl (%)	DCAD (mEq/100g)
対照区	3.35	0.04	0.45	0.68 ^c	40.6 ^a
基CI区	3.38	0.06	0.40	1.41 ^b	24.3 ^{ab}
追CI区	3.41	0.06	0.36	1.48 ^b	25.7 ^{ab}
全CI区	3.76	0.05	0.28	2.56 ^a	9.3 ^b

a, b, c: P<0.05

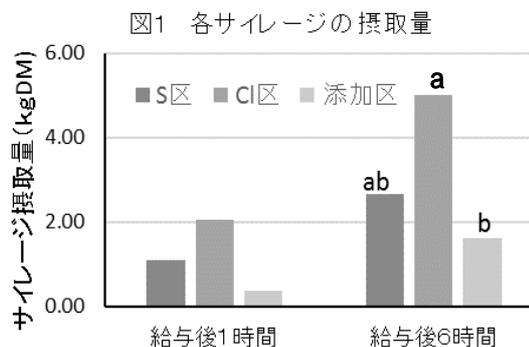
(3) 高CI含量トウモロコシサイレージの嗜好性および体内におけるCI動態(試験3)

嗜好性試験に用いたトウモロコシサイレージのK、Na、Cl、S含有率およびDCAD含量は表5の通りであった。トウモロコシサイレージの摂取量は、給与開始後1時間においては、各区で有意な差は認められなかった。給与開始後6時間においては、S区とCI区では有意な差は認められなかった(図1)。またCI区の摂取量と比較し、添加区が少なかった

(図1)。以上から、塩素系肥料を施肥した高CIトウモロコシサイレージの嗜好性は、慣行肥料である硫酸系肥料を施肥したトウモロコシサイレージと比較して、問題ないことが明らかとなった。

表5 嗜好性試験に用いたトウモロコシサイレージのK、Na、Cl、S含有率およびDCAD含量(乾物中)

処理	K (%)	Na (%)	S (%)	Cl (%)	DCAD (mEq/100g)
S区	1.12	0.01	0.09	0.26	15.7
CI区	1.02	0.01	0.09	0.59	4.7



非妊娠乾乳牛の消化試験に用いたトウモロコシサイレージのCI含量は、塩素系肥料施肥区(CI区)で乾物中0.53%、硫酸系肥料施肥区(S区)で乾物中0.35%であり、塩素系肥料の施肥により、CI含量を高めることができた。K、NaおよびS含量には大きな差は認められなかった。トウモロコシサイレージのDCADは、CI区で19.5 mEq/100gDM、S区で26.8 mEq/100gDMであった。供試牛のCIの摂取量およびみかけの吸収量はそれぞれS区で37.4g/day、31.2g/day、高CI区で48.5g/day、40.1g/dayであり、CI区の乾乳牛では、S区と比較し、CI摂取量および吸収量が有意に(P<0.01)増加した。腸管でのCI吸収率は、S区で83.4%、CI区で82.7%であり、両区で有意な差は認められなかった。尿pHはS区で8.22、CI区で8.06であり、CI区で有意に(P<0.05)低かった。骨形成マーカーおよび骨吸収マーカーには有意な差は認められなかった。

これらの試験から、高CIトウモロコシの嗜好性には問題は無く、CI含量を多く含むトウモロコシを牛に摂取させた場合、腸管でのCI吸収量が高まり、体内の酸塩基平衡に影響を及ぼすことが確認された。

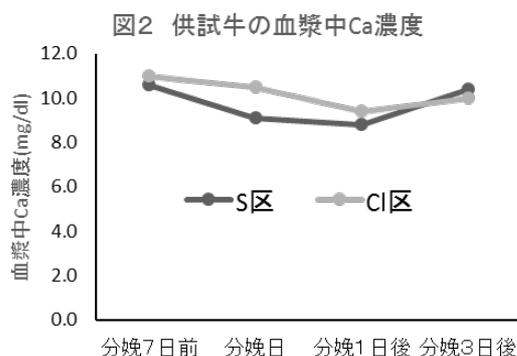
(4) 高CI粗飼料の給与が妊娠牛のミネラル動態に及ぼす影響(試験4)

供試したイタリアンライグラスおよびトウモロコシサイレージのCI含量はそれぞれ乾物中、CI区で3.28%および0.59%、S区

で 2.03% および 0.26% であった。供試した TMR の DCAD 値は、S 区で 31.0mEq/100gDM、CI 区で 24.1 mEq/100gDM であった。

分娩前および分娩後の TMR 摂取量には両区で有意な差は認められなかった。供試牛の尿中 pH は、分娩前で S 区と比較し、CI 区で有意に ($P < 0.05$) 低くなった。血漿中 Ca 濃度は、分娩日において S 区と比較し CI 区で高い傾向 ($P < 0.10$) を示した (図 2)。

以上の結果から、粗飼料中 CI 含量を高めることで DCAD 値を低めた TMR の給与は、妊娠牛の体内の酸塩基平衡に影響を及ぼし、分娩前後の Ca 代謝を改善させる可能性が示唆された。



これらの研究から、高塩粗飼料の栽培方法が明らかとなり、これを妊娠牛に給与することで、分娩時の Ca 代謝の改善される可能性が示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

神谷 裕子、加藤 直樹、服部 育男、野中最子、田中正仁、塩素含量の異なるトウモロコシサイレージ給与が乾乳牛のミネラル出納に及ぼす影響、日本畜産学会報、86 巻、査読有、2015、449-455

〔学会発表〕(計3件)

加藤 直樹、神谷 裕子、服部 育男、島 武男、小林 良次、塩素系肥料、炭酸塩系肥料、硫酸塩系肥料の施用がソルガム、トウモロコシの DCAD 値に与える影響、日本草地学会、2016.3.31、石川県立大学(石川県野々市市)

加藤 直樹、神谷 裕子、服部 育男、小林 良次、塩素系肥料の施肥時期の違いがイタリアンライグラスの塩素含有率および DCAD 値に与える影響、日本草地学会、2016.3.31、石川県立大学(石川県野々市市)

神谷 充、神谷 裕子、服部 育男、林義朗、カンショ焼酎粕濃縮液の給与が肥育牛の尿中ミネラル濃度に及ぼす影響、九州農業研究発表会、2014.9.4、九州大学(福岡県博多市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

神谷 裕子 (KAMIYA, Yuko)

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 飼養管理技術研究領域・上級研究員

研究者番号：10355696

(2) 研究分担者

服部 育男 (HATTORI Ikuo)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・九州沖縄農業研究センター 畜産草地研究領域・グループ長

研究者番号：70355692

加藤 直樹 (KATO Naoki)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・九州沖縄農業研究センター 畜産草地研究領域・主任研究員

研究者番号：90414797