

# 乳牛の低カルシウム血症予防のためのイネ発酵粗飼料における DCAD 調整手法の検討

安田康明 松浦真紀 岩成文子<sup>1)</sup> 布野秀忠

**要約** 飼料用イネのイオンバランスに着目し、無機成分および DCAD から陰イオン性について分析評価した。結果は、品種として「リーフスター」、収穫時期は黄熟期（出穂後 30 日）の DCAD が最も低値となった。また、イネ発酵粗飼料 93 サンプルの無機成分および DCAD を統計解析した結果、DCAD 値の推定には K および Cl の成分値を用い、重回帰式として  $DCAD(\text{meq/kg}) = 209 \times K\% - 261 \times Cl\% + 11.4 (R^2 = 0.947)$  を得た。このことにより、イネ発酵粗飼料 DCAD 値は、K および Cl 濃度を測定し推定することができるかと推察された。

**キーワード**：飼料用イネ イネ発酵粗飼料 DCAD 低 Ca 血症予防 陰イオン性植物

乳用牛において、分娩後に発症する低カルシウム (Ca) 血症は、加療に要する費用、生産量の低下、さらにはケトosis や第四胃変位などの関連疾病の増加によって、酪農における経済的損失は極めて多大なものとなる。本症の予防が可能となれば、酪農経営にとっての意義は大きい、確実な予防法は見出されていないのが現状である。このような中、近年、低 Ca 血症の予防法の一つとして、乾乳期の飼料中イオンバランス、すなわち陽イオン-陰イオン差 (Dietary Cation-Anion Difference : DCAD) をコントロールする給与法が注目されている<sup>1, 3-9)</sup>。

この DCAD コントロールの一つの手法として、軽度の代謝性アシドーシスに導くための陰イオン塩製剤の給与法が提唱されている<sup>1)</sup>。この方法では、分娩前の乾乳牛の尿 pH が適正値になるまで、飼料中のアンモニウム、Ca、マグネシウム (Mg) といった塩化物や硫酸塩を段階的に増量させる必要がある<sup>2)</sup>、少なくとも鳥根県内の酪農家での普及には至っていない。このほかの代謝性アシドーシスに誘導する手法としては、乾乳期に DCAD 値をマイナスとした粗飼料 (陰イオン性飼料) を用いた混合飼料の利用が報告されている<sup>3)</sup>。ただし、アルファルファなどのマメ科植物や多くのイネ科植物は土壌中のカリウムを必要量を超えて蓄積するため、給与前に粗飼料中の無機成分としてカリウム (K)、ナトリウム (Na)、塩素 (Cl) およびイオウ (S) を測定して陰イオン性飼料をあらかじめ選別するか、あるいは塩化 Ca を施用した飼料畑で栽培して飼料中の塩化物含量を上昇させるよう

な栽培手法を採用する必要があるという困難な技術的ハードルがある<sup>3, 4)</sup>。

一方、粗飼料供給の側面から、近年、水田転作作物として飼料用イネの栽培が進んでいる。飼料用イネは硝酸態窒素や K 含量が低いという特徴があり、陰イオン性粗飼料として活用できる可能性を有する。鳥根県内においても、2012 年のイネ発酵粗飼料用作付面積は 267ha に達し、自給粗飼料としての利用も拡大して、酪農経営体における利用も進みつつある。そして、このイネ発酵粗飼料の生産力を、低 Ca 血症の予防のための低イオン性飼料の生産につなげていくことも将来的には十分可能と判断される。しかしながら、乾乳期における DCAD コントロールの観点からのイネ発酵粗飼料の評価に関する詳細な知見は得られていない。

そこで、乾乳期での陰イオン性イネ発酵粗飼料 (低 DCAD イネ発酵粗飼料) 給与による低 Ca 血症の発症予防を目的とした、DCAD の飼料用イネ品種間差を調査するとともに、低 DCAD 飼料イネの生産手法およびイネ発酵飼料 DCAD レベル推定法を検討した。

## 材料および方法

### 調査 1 飼料用イネ収穫時期別および品種別の DCAD の比較分析

収穫時期別の DCAD の比較について、調査対象の飼料用イネ品種は「夢あおば」および「リーフスター」の 2 品種とし、鳥根県農業技術センター (出雲市芦渡町) において、それぞれ 2 か所の専用

1) 畜産課

圃場で栽培した。定植は2010年4月とし、収穫は5株ずつ出穂前10日および出穂期に加えて、出穂後10日、20日および30日とした。収穫によって採取したイネサンプルは、風乾乾燥後、微粉細化して乾物中の無機成分(K、Na、ClおよびS)の含有率を測定した。

また、飼料用イネの品種別DCADの比較について、「夢あおば」、「ホシアオバ」、「リーフスター」、「たちすずか」、「きぬむすめ」および「みほひかり」の6品種を調査対象とし、同センターでそれぞれ2か所の専用圃場で栽培した。すべての供試品種について、黄熟期での収穫を行い、風乾乾燥後、微粉細化して乾物中の無機成分(K、Na、Cl、S)の含有率を測定した。

無機成分の測定は、KおよびNaでは原子吸光分光光度計(日立製作所 Z-6000型)、ClおよびSではイオンクロマトグラフィー(日本ダイオネクス株式会社 DX-120)を用いて行った。DCADの算出は、Enderら<sup>5)</sup>が用いた次式

$$DCAD = (Na + K) - (Cl + S^2)$$

に基づいて、下記に示す算式を用いた。

$$DCAD (meq/kg) = (Na\% \times 435 + K\% \times 256) - (Cl\% \times 282 + S\% \times 624) \dots DCAD式(1)$$

そして、得られた無機成分値とDCAD算出値を用いて基本統計量を算出し、関連性を検討するため収穫時期および品種を母数効果とした分散分析を行った。

#### 調査2 イネ発酵粗飼料の無機成分値とDCADとの関連性分析

調査対象は、2010年から2011年までの期間中に鳥根県出雲市内の耕種農家で栽培され黄熟期で収穫された飼料用イネ(品種:「みほひかり」および「夢あおば」)から調製されたイネ発酵粗飼料(93検体)と

した。これらの検体について、調査1と同様な方法で、乾物中の無機成分(K、Na、ClおよびS)の含有率を測定し、DCADを算出して統計分析を行った。

統計処理はStatView for Windows Version5.0(SAS Institute)を用い分散分析、回帰分析および重回帰分析を行った。

## 結 果

### 調査1 飼料用イネ収穫時期別および品種別のDCADの比較分析

飼料用イネ2品種の収穫時期別無機成分値とDCADの基本的統計量および分散分析結果を表1に表した。DCADの平均値は276.7meq/kg、最小値は143.8 meq/kg、最大値は478.5 meq/kgであった。また、収穫時期および品種間で有意差を認めた。さらに、2品種における収穫時期別無機成分値とDCADの推移を表2に表した。2品種ともにNa以外の無機成分値は登熟に従い減少して推移し、出穂前10日と出穂後30日のDCADにおいて有意差( $P>0.05$ )を認めた。また、2品種のDCADは、全収穫時期において「リーフスター」が「夢あおば」より低値となった。

飼料用イネ6品種の無機成分値とDCADの基本的統計量および分散分析結果は表3に表した。DCADの平均値は194.7meq/kg、最小値は143.8meq/kg、最大値は284.1meq/kgであった。また、品種間に有意差を認めた。なお、調査対象とした6品種のDCADは、「夢あおば」249.1meq/kg、「ホシアオバ」211.5meq/kg、「リーフスター」147.6meq/kg、「たちすずか」206.1meq/kg、「きぬむすめ」198.8meq/kg、「みほひかり」155.0meq/kgとなり、6品種のDCAD比較において「リーフスター」が最も低値となった。

表1. 飼料用イネ2品種の無機成分値とDCADの基本的統計量および分散分析結果

							収穫時期		品種	
項目		平均	標準偏差	最小値	最大値	変動係数	F値	P値	F値	P値
無機成分	Na	0.02	0.01	0.01	0.03	0.26	18.989	0.0001	119.681	<0.0001
	K	1.91	0.53	1.14	3.17	0.28	42.470	<0.0001	50.840	<0.0001
	Cl	0.54	0.13	0.37	0.86	0.25	19.466	0.0001	9.166	0.0127
	S	0.11	0.02	0.08	0.15	0.19	22.715	<0.0001	6.003	0.0343
DCAD		276.7	87.21	143.8	478.5	0.32	27.645	<0.0001	50.824	<0.0001

n=20

Na,K,Cl,S: 乾物%

$$\text{DCAD}(\text{meq/kg}) = (\text{Na}\% \times 435 + \text{K}\% \times 256) - (\text{Cl}\% \times 282 + \text{S}\% \times 624)$$

表2. 飼料用イネ2品種の収穫時期別無機成分値とDCAD

品種	項目	出穂10日前	出穂	出穂10日後	出穂20日後	出穂30日後	
リーフスター	無機成分	Na	0.017	0.021	0.024	0.027	0.029
		K	2.261	1.933	1.539	1.419	1.203
		Cl	0.625	0.564	0.487	0.419	0.397
		S	0.136	0.106	0.102	0.091	0.097
	DCAD	325.2	279.2	203.6	199.7	147.6	
夢あおば	無機成分	Na	0.014	0.014	0.017	0.018	0.019
		K	2.961	2.396	2.107	1.690	1.591
		Cl	0.809	0.639	0.558	0.484	0.393
		S	0.150	0.127	0.114	0.098	0.089
	DCAD	441.6	360.5	318.1	242.9	249.1	

Na,K,Cl,S: 乾物%

$$\text{DCAD}(\text{meq/kg}) = (\text{Na}\% \times 435 + \text{K}\% \times 256) - (\text{Cl}\% \times 282 + \text{S}\% \times 624)$$

各品種内で出穂前10日と出穂後30日のDCADにおいて有意差を認めた (p<0.05)

表3. 飼料用イネ6品種の無機成分値とDCADの基本的統計量および分散分析結果

							n=12	
項目		平均	標準偏差	最小値	最大値	変動係数	F値	P値
無機成分	Na	0.02	0.004	0.017	0.029	0.189	9.453	0.0082
	K	1.26	0.194	1.003	1.753	0.154	5.016	0.0374
	Cl	0.30	0.076	0.216	0.422	0.254	6.814	0.0184
	S	0.08	0.009	0.070	0.105	0.108	3.154	0.0972
DCAD		194.7	40.173	143.8	284.1	0.206	5.111	0.0358

Na,K,Cl,S: 乾物%

$$\text{DCAD}(\text{meq/kg}) = (\text{Na}\% \times 435 + \text{K}\% \times 256) - (\text{Cl}\% \times 282 + \text{S}\% \times 624)$$

調査2 イネ発酵粗飼料の無機成分値とDCADとの関連性分析

イネ発酵飼料の無機成分値とDCADの基本的統計量は表4に表した。算出したDCADの平均値は160.3meq/kg、最小値は-1.89meq/kg、最大値は380.85meq/kgであった。また、陽イオンのKおよびNaの濃度は、1.58%および0.04%であり、KはNaの39.5倍であった。陰イオンのClおよびSの濃度は、0.70%および0.10%であり、ClはSの7倍であった。次に、イネ発酵粗飼料DCADと各無機成分値の関係をピアソンの相関係数検定によって行い、得られた相関行列を表5に表した。DCADと無機成分のClおよびKに強い相関関係

が認められ、相関係数は-0.661および0.562であった。Naは直接的な相関関係は認められず、DCADをプラス側に傾向させる影響力は低いと推定された。この結果を基に、イネ発酵粗飼料のDCADを求めるため、KおよびClを独立変数とした重回帰分析を実施した結果、イネ発酵粗飼料DCAD値の回帰式としては下記に示す算式が得られた。

$$DCAD(\text{meq/kg}) = 209 \times K\% - 261 \times Cl\% + 11.4 \dots DCAD式(2)$$

また、イネ発酵粗飼料無機成分値からDCAD式(1)により得られるDCAD値との相関係数は0.947であった。

表4. イネ発酵粗飼料の無機成分値とDCADの基本的統計量

		n=93				
項目	平均	標準偏差	最小値	最大値	変動係数	
無機成分	Na	1.58	0.25	1.00	2.18	0.16
	K	0.04	0.02	0.01	0.09	0.43
	Cl	0.70	0.22	0.15	1.44	0.32
	S	0.10	0.03	0.00	0.17	0.32
DCAD	160.29	71.31	-1.89	380.85	0.44	

Na,K,Cl,S: 乾物%

$$DCAD(\text{meq/kg}) = (Na\% \times 435 + K\% \times 256) - (Cl\% \times 282 + S\% \times 624)$$

表5. イネ発酵粗飼料無機成分値とDCADの相関行列

	Na	Cl	S	DCAD
K	-0.332	0.206	0.414	0.562 **
Na		-0.225	0.202	-0.061
Cl			-0.182	-0.661 **
S				0.264 *

\*\* : p<0.01, \* : p<0.05

考 察

低Ca血症は、分娩後の乳生産に必要なCaを腸管からの吸収や骨からの動員、ならびに腎臓での再吸収で得られないために起こる周産期代謝病である。栄養学的には、乾乳期にKなど陽イオンが多く含有する給与飼料が、牛体の血液をアルカリに傾向させ、分娩後泌乳開始時に1,25-ジヒドロキシビタミンD合成低下などCa吸収作用の阻害に関連している。このため、乾乳期にはK含量の低い飼料の給与が勧められている。さらに、低Ca血症は、生乳生産を低減させる大きな要因であるため、発症時の対処法や予防技術が多数報告されている<sup>5-9)</sup>。予防法の一つとして陰イオン性粗飼料を用いた乾乳期DCADコントロールがある。この方法をK含量の低い飼料用イネにより実行可能となれば、酪農家で簡易にDCADコントロールが実施できると考えられる。

飼料用イネは、飼料自給率向上を図るため栽培が全国的に普及し、ホルスタイン種搾乳牛を用いた生乳生産性への影響についても検討されている<sup>10, 11)</sup>。しかし、陰イオン性粗飼料としての評価や特性を

活かした給与技術の知見は得られてない。

本試験では、飼料用イネの特徴を評価するために、島根県農業技術センターおよび島根県出雲市内耕種農家で栽培された飼料用イネを用いて、品種および収穫時期とDCADの関連性について分析した。また、イネ発酵粗飼料の無機成分からDCADを推定する方法について検討した。今回の分析により飼料用イネのDCAD値には収穫時期および品種が大きく関与しているところが明らかとなった。

品種別のDCADについては、今回調査対象とした6品種において「リーフスター」が最も低く、陰イオン性粗飼料の特徴が最も強い品種と考えられた。ただし、飼料用イネは多数の品種が供給されているため、今後、さらに栽培試験によりDCADコントロールに適する専用品種を検討する必要がある。また、飼料用イネ2品種による収穫期別DCAD比較では、2品種ともKが登熟にともない低下し、DCADは出穂後30日経過した黄熟期が最も低値となることが確認された。

また、イネ発酵粗飼料の無機成分とDCADの関

連性を統計解析した結果、K および Cl を用いた DCAD (meq/kg) = 209 × K% - 261 × Cl% + 11.4 が利用できる と推察された。一般に、DCAD を求める式として DCAD (meq/kg) = (Na% × 435 + K% × 256) - (Cl% × 282 + S% × 624) が用いられる<sup>5)</sup>が、イネ発酵粗飼料の DCAD 算出には前述の算出式を用いることで、必要な無機成分の測定は K および Cl の 2 項目のみのとなり、迅速な DCAD 推定が可能となる。しかし、Horst ら<sup>1)</sup>、Goff ら<sup>12)</sup> は代謝性アシドーシスにより引き起こされる尿の酸性化から、分娩前の給与飼料 DCAD 算出は Na、K、Cl、S 以外に、飼料中の Mg、リン (P)、および Ca を加えた DCAD 推定式を推奨している。このため、無機成分の測定項目を省略することは、正確な DCAD の推定から乖離すると懸念されるが、イネ発酵粗飼料を用いた DCAD コントロールを推進するためには、迅速かつ効率的に DCAD を判定する手法が必要である。さらに、乳用牛における乾物摂取量と飼料中 DCAD は 2 次の関係にあり、その最大 DCAD 値は 470 meq/kg との報告<sup>13)</sup>もある。従って、イネ発酵粗飼料無機成分の測定は、泌乳期飼料として比較的高い DCAD のイネ発酵粗飼料の確保ができ、そして、給与することより効果的な乾物摂取量の確保にも有効であると考えられる。

以上の結果から、低 DCAD イネ発酵粗飼料として調製する有効な品種は「リーフスター」であり、収穫期は出穂期から 30 日経過後した黄熟期に収穫調製することで、最も DCAD の低いイネ発酵粗飼料を得ることができると考えられた。また、栽培または調製した飼料用イネの DCAD は K および Cl 濃度を測定することで、迅速に DCAD を算出できることから、低 DCAD イネ発酵粗飼料としての利用性が高まると示唆された。

## 謝 辞

本試験の実施にあたり、飼料イネ栽培試験ならびに無機成分の分析にご協力いただいた農業技術センターの関係諸氏に深謝いたします。

## 参 考 文 献

- 1) Horst R L., et al. Journal of Dairy Science 80: 1269-1280 1997.
- 2) デーリージャパン社 NRC 乳牛飼養標準 2001 年・第 7 版.
- 3) E. Charbonneau., et al. Journal of Dairy Science 92: 2067-2077 2009.
- 4) V. S. Heron., et al. Journal of Dairy Science 92: 238-246 2009.
- 5) Ender. F., et al. Journal of Dairy Science 28: 233-256 1971.
- 6) Jesse P. Goff, Veterinary Journal 176: 50-57 2008.
- 7) J. M. ramos-nieves, et al. Journal of Dairy Science 92: 5677-5691 2009.
- 8) M. Rerat, et al. Journal of Dairy Science 92: 6123-6133 2009.
- 9) M. S. Bhanugopan, et al. Journal of Dairy Science 93: 2119-2129 2010.
- 10) 布野秀忠ら, 鳥根県畜産技術センター研究報告, 42: 17-21, 2011.
- 11) 岩成文子ら, 鳥根県畜産技術センター研究報告, 43: 1-7, 2012.
- 12) Jesse P. Goff, Vet. Clin. North Am Food Anim. Pract16: 319-337 2000.
- 13) Wenping Hu, et al. Animal Feed Science and Technology 136: 216-225 2007.