

北海道草地研究会シンポジウム

「家畜糞尿利用の新しい技術と今後の方向性」

乳牛の糞尿量および窒素排泄量の低減

扇 勉¹⁾・峰崎康裕²⁾・西村和行¹⁾・糟谷広高¹⁾
 (¹⁾ 根釧農業試験場・²⁾ 現天北農業試験場)

Manure production and control of nitrogen excretion in lactating cows.

Tsutomu OHGI, Yasuhiro MINEZAKI, Kazuyuki NISHIMURA, Hirotaka KASHUYA

近年における酪農経営の規模拡大に伴い、糞尿による環境負荷量の増大、環境汚染が進み、糞尿の有効利用あるいは適正な処理は避けて通れない問題となっている。また、消費者もクリーンな環境で生産された牛乳や乳製品を求めており、環境への負荷を少なくし、牛舎環境をクリーンに保つことはこれからの酪農経営にとって重要な課題である。そのためには経営規模、飼養管理および立地条件に応じた糞尿利用・処理施設を設置することが最も重要である。しかし、施設設置の基準となる糞尿量は、これまで糞量40kg、尿量20kg、合計60kg¹³⁾があるいは糞量30kg、尿量20kg、合計50kg⁶⁾が一般的に用いられてきた。しかし、近年、乳牛の泌乳能力の向上に伴い、乾物摂取量が増加し、飼料構成も変化してきていることから、糞尿量および窒素排出量をより正確に知るとともに、飼養管理面からそれらの低減を図っていく必要がある。

そこで、根釧農業試験場で実施した数多くの出納試験

のデータを取りまとめ、糞尿利用・処理施設の設置および環境容量の設定などに必要な乳牛の糞尿量および窒素排出量に関する基礎データを示すとともに、飼養管理面からそれらを低減させるための飼料的要因について検討した。さらに、飼料蛋白質の効率的利用により、窒素排泄量をどの程度低減できるか検討し、乳中および血中尿素窒素が尿窒素排泄量の指標となることを示した。

1. 乳牛の糞尿量および窒素排泄量

根釧農業試験場で実施した出納試験データを取りまとめ、乳牛の糞尿量・窒素排泄量およびそれらに及ぼす飼料的要因について検討した。

1) 方法

乳牛の糞尿量および窒素排泄量の解析には、根釧農業試験場において、1988～1996年に実施した出納試験のデータを用いた。供試牛は泌乳前期牛(分娩後20～99日)、

表1 供試牛の概要、乾物摂取量および給与飼料の成分含量

乳期	頭数	分娩		乳量	体重	乾物	給与飼料の成分含量			
		数日後	数日後				摂取量	乾物	CP	TND
初産牛	前期	51	56	26.7 ^A	527 ^A	15.9 ^A	49.8 ^A	17.0 ^A	73.7 ^A	39.7 ^A
	中期	41	149	22.5 ^B	548 ^{AB}	15.3 ^{AB}	47.3 ^{AB}	16.5 ^{AB}	70.7 ^B	45.8 ^B
	後期	36	246	18.8 ^C	567 ^B	15.3 ^B	41.7 ^B	16.0 ^B	64.0 ^C	47.8 ^C
	全乳期	128	139	23.1	545	15.5	46.7	16.6	70.0	43.9
2産以上	前期	55	65	37.6 ^A	650	22.5 ^A	50.3 ^A	15.9 ^A	74.1 ^A	40.3 ^A
	中期	36	154	29.0 ^B	656	20.1 ^B	51.8 ^A	15.4 ^{AB}	69.8 ^B	45.1 ^B
	後期	40	241	25.5 ^C	678	19.4 ^B	43.4 ^B	15.0 ^B	69.5 ^B	46.7 ^B
	全乳期	131	143	31.5	660	20.9	48.6	15.5	71.5	43.6

注) 異文字間に有意差あり (P < 0.10)

1) 根釧農業試験場 (086-1153 標津郡中標津町桜ヶ丘1丁目1番地)

Konsen Agricultural Experimental Station, Nakashibetsu, Hokkaido 086-1153, Japan

2) 天北農業試験場 (098-5736 枝幸郡浜頓別町緑ヶ丘)

Tenpok Agricultural Experiment Station, Hamatonbetbu, Hokkaido 098-5736, Japan

泌乳中期牛(同100~199日)、泌乳後期牛(同200~325日)の合計で、初産牛のべ128頭、2産以上の牛のべ131頭、計259頭であった(表1)。各乳期の単純な平均で推定した305日乳量は、初産牛6,894kg、2産以上の牛9,338kgであり、初産牛の乳量水準はやや低かった。乳脂肪率は全乳期の平均で初産牛、2産以上の牛各々3.94、3.95%、乳蛋白質は3.01、3.12%であり、乳期別ではいずれも泌乳前期が泌乳後期に比べ低かった。平均体重は初産牛545kg、2産以上の牛660kgであった。

給与粗飼料は牧草サイレージであり、濃厚飼料は主として初産牛では分離給与し、2産以上の牛では混合飼料として給与した。給与飼料の乾物中CP含量は初産牛、2産以上の牛各々16.6、15.5%、TDN含量は70.0、71.5%、NDF含量は43.9、43.6%であった。乳期別では初産牛、2産以上の牛とも泌乳前期は泌乳後期に比べ、乾物率、CP含量およびTDN含量が高く、NDF含量が低かった。乾物摂取量は全乳期の平均で初産牛、2産以上の牛各々15.5±1.4、20.9±2.7kg/日であり、乳期別ではいずれも泌乳前期が泌乳後期に比べ多かった(P<0.01)。CP摂取量は各々2.57±0.36、3.24±0.57kg/日、TDN摂取量は10.9±1.3、15.0±2.5kg/日であり、NRC飼養標準⁷⁾の要求量に対する養分充足率は、CP充率が107、101%、TDN充足率が96、103%とほぼ充足さ

れていた。

出納試験は糞尿分離装置が設置された試験用ストールで行い、予備期2週間、本期4日間(一部3日間)とし、本期には糞尿を全量分採取した。糞は攪拌器で充分混合後、一部を分析に供した。飼料および糞尿の分析は常法により行い、牧草サイレージの栄養価は初産牛ではADF含量から推定し、2産以上の牛ではめん羊の消化試験より求めた。濃厚飼料の消化率は日本標準成分表より引用した。

2) 結果および考察

(1) 糞尿量

糞量は全乳期の平均で初産牛、2産以上の牛各々35.8±7.0、51.4±7.0kg/日であり、乳期による差は少なかった(表2)。尿量は各々13.8±4.7、13.0±4.4kg/日であったが、初産牛の泌乳後期は16.4±4.6kg/日とやや多かった。尿量は個体によるバラツキが大きく、変動係数は初産牛、2産以上の牛ともに34%であった。糞量と尿量の合計量は各々49.6±7.3、64.3±8.5kg/日であった。糞乾物量は各々4.88±0.73、6.74±0.78kg/日で、乳期による差は少なかった。また、糞乾物率は各々13.8±1.2、13.2±1.0%とバラツキが少なく、乳期による差もなかった。

表2. 糞尿量および窒素出納

乳期	糞尿量				窒素出納					
	糞	尿	糞+尿	摂取N	糞N	尿N	乳N	蓄積N	糞+尿	
	kg/日		g/日							
初産牛	前期	34.7	12.1 ^A	46.9 ^A	431 ^A	152 ^A	76 ^{AB}	124 ^A	79	228
	中期	36.9	13.6 ^A	50.4 ^{AB}	405 ^{AB}	147 ^{AB}	72 ^A	108 ^B	78	219
	後期	36.0	16.4 ^B	52.5 ^B	391 ^B	138 ^B	90 ^B	94 ^C	69	228
	全乳期	35.8	13.8	49.6	411	146	78	110	76	225
2産以上	前期	50.7	13.4	64.1	574 ^A	196 ^A	115	179 ^A	84	311 ^A
	中期	51.1	13.0	64.1	497 ^B	174 ^B	117	148 ^B	58	291 ^A
	後期	52.5	12.4	64.9	463 ^B	161 ^B	97	130 ^C	74	259 ^B
	全乳期	51.4	13.0	64.3	519	179	110	156	74	289

注) 異文字間に有意差あり (P<0.10)

WILKERSONら¹⁶⁾は乳量29kg/日、乾物摂取量17.9kg/日で、糞量36.2kg/日、尿量17.5kg/日、VAN HORNら¹⁴⁾は乳量31.8kg、乾物摂取量21.0kgで、糞量45.4kg、尿量27.2kgであったと報告している。また、アメリカ農業工学会(ASAE)の基準¹⁾では、体重1000kg当たりの糞量は86kg/日、尿量は26kg/日と示されていることから、体重650kgの乳牛では、糞尿量55.9kg/日、糞量39.0kg/日、尿量16.9kg/日となる。

本成績の2産以上の牛は、乳量31.5kg、乾物摂取量20.9kg、糞量51.4kg、尿量13.0kgであることから、同水準の乳量レベルでは、糞量が多く、尿量が少ない結果となっている。また、尿量は一般的に用いられてきた20kg^{6,13)}より少なく、WILKERSONら¹⁶⁾やVAN HORNら¹⁴⁾の成績に比べても少ない。しかし、尿量は13.7±4.5kg/日であり、本成績とほぼ同様であった。このように、尿量は、飼養条件や個体差が大きいことから、栄

養バランス、飲水量、ナトリウム摂取量および環境温度などとの関係を明らかにすることより、大幅な低減が可能と考えられた。

(2) 窒素出納

糞窒素量は全乳期の平均で初産牛、2産以上の牛各々146±22、179±29 g/日と2産以上の牛が多く、いずれも泌乳前期が後期に比べ多かった (P<0.01)(表2)。糞窒素量は寺田らの成績¹¹⁾では163 g/日、早坂の成績⁵⁾では170 g/日、WILKERSONら¹⁵⁾の成績では163 g/日であり、本成績の2産以上の牛とほぼ同様の値であった。尿窒素量は各々78±29、110±44 g/日であり、初産牛では泌乳後期が少なかった。尿窒素量は寺田らの成績¹¹⁾では102 g/日、早坂の成績⁵⁾では100 g/日と、本成績の2産以上の牛とほぼ同様であったが、WILKERSONら¹⁵⁾の成績では164 g/日、VAN HORNら¹⁴⁾の成績では177 g/日と高い値になっており、尿窒素量は尿量と同様に飼養条件により大きく変動するものと考えられた。窒素排泄量は各々225±35、289±62 g/日であり、寺田らの成績¹¹⁾265 g/日、早坂の成績⁵⁾270 g/日に近い値であった。また、摂取窒素量に対する窒素排泄量の割合は各々55.0±6.8、55.9±7.3%であった。この割合は早坂の成績⁵⁾で示されている55%と同様の成績であったが、寺田ら¹¹⁾の成績では63.4%、EILKERSONら¹⁵⁾の成績では69%と高く、乳量水準あるいは給与飼養の栄養バランスの違いによるものと考えられた。

乳量1 kgあたりの糞量は、全乳期の平均で初産牛、2産以上の牛各々1.61±0.63、1.71±0.42kgであったが、乳期別にみると、泌乳前期が各々1.32、1.38kg/日に対し、泌乳後期では各々1.95、2.09kg/日といずれも泌乳前期が少なかった (P<0.01)。また、乳量1 kgあたりの窒素排泄量は各々10.03±2.30、9.43±2.01 g/日であり、乳期別では糞量と同様の傾向がみられた。これらから、乳生産あたりでみると、糞尿量および窒素排泄量の低減には、寺田ら¹¹⁾も述べているように、乳量水準を高める方が有利であると考えられた。

(3) 糞尿量および窒素排泄量に及ぼす要因

糞尿量および窒素排泄量と、乳量・乳成分、体重および飼料摂取量との単相関係数を表3に示した。糞量は初産牛、2産以上の牛とも乳量および体重との相関が低かったが、NDF摂取量との相関は高く、相関係数が各々0.46、0.58 (P<0.001)であった。本試験で糞量と乳量および体重との相関が低かったのは、牛群内の乳量水準および体重の差が少なかったためと推察された。また、糞量は、乾物摂取量よりNDF摂取量との相関が高かったことから、良質粗飼料の給与などにより、NDF摂取量を少なくすることにより低減できるものと考えられた。糞窒素量は初産牛、2産以上の牛とも乳量、乳蛋白質量、乾物摂取量、CPおよびTDN摂取量と相関が高かった(いずれもP<0.001)。

表3. 糞尿量および窒素排泄量に及ぼす要因との関係

		乳量	体重	飼料摂取量				
				乾物	CP	TDN	NDF	TDN/CP
初産牛	前期	.04	.06	.26*	-.06	.14	.46**	.28*
	中期	-.21	.33**	.11	.29**	-.05	.20	-.45**
	後期	.41**	.01	.45**	.55**	.55**	.15	-.13
	全乳期	-.06	.25*	.13	.39**	.03	-.06	-.50**
2産以上	前期	.11	.13	.34**	.14	.19	.58**	.07
	中期	.20	.01	.26*	.45**	.09	.15	-.58**
	後期	.65**	-.12	.69**	.77**	.58**	.25*	-.33**
	全乳期	.25*	.17	.30**	.57**	.14	-.02	-.65**

注) 右肩の印は有意差を示す (*: P<0.01, **: P<0.001)

乳量および尿窒素量は初産牛、2産以上の牛ともCP摂取量およびTDN/CP比と負の相関 (いずれもP<0.001) がみられ、特に尿窒素量とTDN/CP比との相関係数は、初産牛、2産牛以上の牛各々-0.50、-0.65と高かった。

さらに、糞尿量および窒素排泄量に及ぼす要因のう

ち相関の高かったものについて、2産以上の牛の全乳期のデータを用いて回帰分析を行った。その結果、

糞量はNDF摂取量と有意な直線的関係が認められ (図1)、NDF摂取量を低下させることにより、糞量は低減できることが示唆された。

糞量: y_1 (kg/日) のNDF摂取量: x_1 (kg/日)

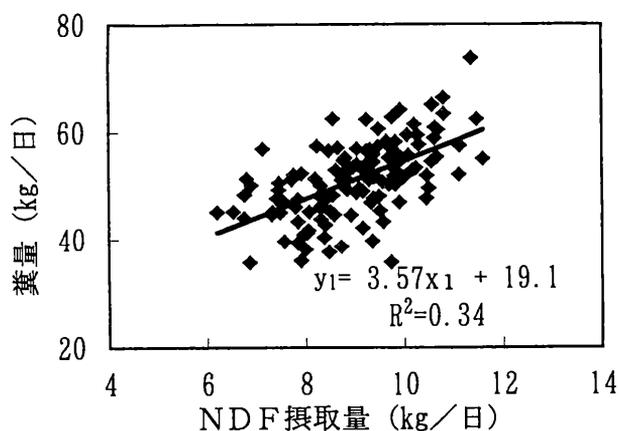


図1. 2産以上の牛における糞量とNDF摂取量との関係

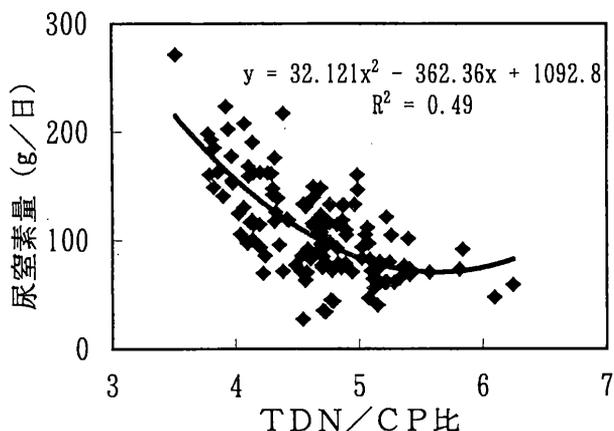


図2. 2産以上の牛における尿窒素量とTDN/CP比との関係

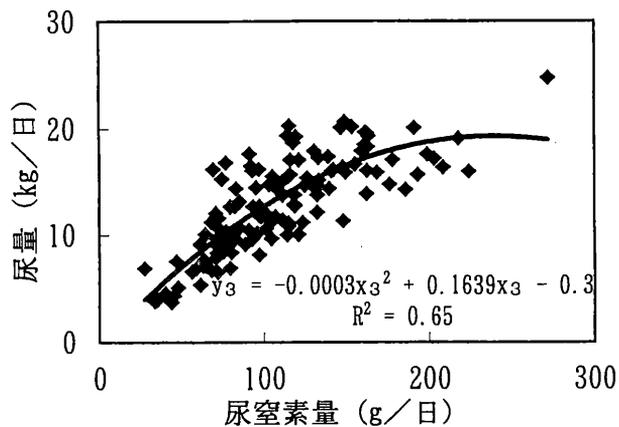


図3. 2産以上の牛における尿量と尿窒素量との関係

に対する回帰式は次の通りであった。

$$y_1 = 3.5733 x_1 + 19.068 \quad (R^2 = 0.34, P < 0.001)$$

尿窒素量はTDN/CP比と有意な曲線関係が認められ(図2)、飼料中の蛋白質とエネルギーのバランスを保つことにより、尿窒素量は低減できることが示された。

尿窒素量: y_2 (g/日) のTDN/CP比、 x_2 に対する回帰式は次の通りであった。

$$y_2 = 32.121 x_2^2 - 362.36 x_2 + 1092.8 \quad (R^2 = 0.49, P < 0.001)$$

また、尿量は尿窒素量と有意な曲線関係が認められ(図3)、尿窒素量を低減することにより、尿量も低下することが示唆された。

尿量: y_3 (kg/日) の尿窒素量: x_3 (g/日) に対する回帰式は次の通りであった。

$$y_3 = -0.0003 x_3^2 + 0.1639 x_3 - 0.3 \quad (R^2 = 0.65, P < 0.001)$$

2. 飼料蛋白質の効率的利用による窒素排泄量の低減

著者らは保護アミノ酸の添加試験や魚粉の給与試験により乳蛋白質生産が高まることを報告⁸⁾し、ATWALら²⁾、BRODERICKら³⁾ およびCARROLLら⁴⁾ も魚粉の給与試験により同様の成績を報告している。しかし、逆に魚粉の給与などにより、飼料中のアミノ酸バランスを考慮することにより、乳生産を低下させずに窒素排泄量の低減を図ることも理論的に可能である。そこで、コーネル大学で開発された正味炭水化物・蛋白質システム: CNPS¹⁰⁾に基づくモデルにより、ルーメン内の窒素・ペプチドバランスと、アミノ酸要求量を考慮して飼料設計することにより、どの程度糞尿の窒素量が低減できるか検討した。

1) 方法

試験処理は全飼料中のCP含量で13、15、17%区の3水準設けた。飼料構成は表4に示したように、牧草サイレージ主体の混合飼料(粗濃比55:45)で、CP13、15%区にはアミノ酸バランスを考慮して魚粉を全乾物中2%給与した。実際に給与した飼料のCP含量は各区分各々13.2、15.1、16.7%とほぼ設定と通りであり、TDNおよびNDF含量は各区とも各々76、44%であった。供試年は泌乳中期の経産牛6頭を用い、1期3週間の3²ラテン方格法で窒素出納試験を行った。試験は糞尿分離装置が設置された試験用ストールで行い、予備期2週間、本期4日間とし、本期には糞尿を全量分離採取した。乳中および血中尿素窒素の採材は、本期4日目の飼料給与後に3時間間隔で4回行い、酵素法により測定した。

2) 結果および考察

表4. 窒素低減試験における飼料構成、養分含量および飼料摂取状況

	飼料構成				養分分量		飼料摂取量			養分充足率	
	牧草 サイレージ	圧パン トモコシ	大豆 粕	魚粉	CP	TDN	乾物	CP	TDN	CP	TDN
	乾物比%				乾物中%		kg/日			%	
CP13%区	55.0	39.0	4.0	2.0	13.2	76.1	20.6	2.72	15.7	90	104
CP15%区	55.0	34.6	8.4	2.0	15.1	75.8	20.9	3.14	15.9	102	103
CP17%区	55.0	30.0	15.0	0	16.7	75.7	21.5	3.58	16.3	115	104

(1) 飼料摂取量および泌乳成績

乾物摂取量はCP13、15、17%区各々20.6、20.9、21.5kg/日と、CP17%区がやや多かったが、有意差はみられなかった(表4)。CP摂取量は各区2.72、3.14、3.58kg/日であり、TNDおよびNFD摂取量には差がみられなかった。NCR飼養標準⁷⁾の要求量に対する養分充足率では、CP充足率はCP13%区が90%と低く、CP17%区が115%とやや高かったが、TND充足率は各区とも100%を超えていた。乳量は各区29.5、30.3、30.5kg/日と、CP13%区がやや低く、乳蛋白質量も同様の傾向がみられたが、いずれも有意差は認められなかった(表5)。また、乳脂肪率および乳蛋白質率は処理間に差がみられなかった。このように、本試験では飼料中のCP含量をかなり低く設定したにもかかわらず、乳生産に差がみられなかったが、CP含量14%以下では消化率が低下するとの報告⁸⁾もあり、適正なCP含量についてはさらに検討する必要がある。

(2) 糞尿量および窒素出納

糞量、尿量および糞窒素量は、CP13%区がCP17%区よりやや少ない傾向にあったが、いずれも有意差はみられなかった(表5)。しかし、尿窒素量はCP13、15、17%区各々69、98、125g/日と、飼料中CP含量が低くなると尿窒素量も少なくなり、処理間に有意差がみられ(P<0.05)、CP13、15%区ではCP17%区の各々55、78%となっている。寺田ら¹²⁾も魚粉の活用により、窒素排泄量を一割程度削減できるとしており、

魚粉や保護アミノ酸製剤の利用により、乳生産を低下させることなく、窒素排泄量、特に尿窒素排泄量を低減できるものと考えられた。

(3) 乳中および血中尿素窒素

乳中および血中尿素窒素は、採材時間による変動は少なく、乳中尿素窒素の平均はCP13、15、17%区各々7.3±0.7、10.6±1.9、14.3±1.2mg/dl、血中尿素窒素は各々8.7±1.2、12.0±2.1、15.5±1.4mg/dlと、いずれもCP含量が少なくなると、乳中および血中尿素窒素も高くなった(P<0.05)(表6)。また、乳中尿素窒素と血中尿素窒素との相関も高かった(r=0.97、P<0.001)。このように乳中尿素窒素と血中尿素窒素の相関が極めて高かったのは、給与飼料が混合飼料であったため、ルーメン発酵の変化が少なかったことによるものと考えられた。さらに、乳中尿素窒素は尿窒素量と正の有意な相関(r=0.69、P<0.001)がみられ、尿窒素量低減の指標として有用と考えられた。

(4) 血清遊離アミノ酸

著者らは、魚粉給与試験⁹⁾において、血清遊離アミノ酸濃度は搾乳後の経過時間により違いがみられ、搾乳3時間後には頸静脈の血清メチオニン濃度が魚粉区、対照区各々2.42、1.81μmol/dl、頸静脈-乳静脈差が各々1.62、1.21μmol/dlとなり、血清アミノ酸濃度の測定が乳合成における制限アミノ酸を推測する上で有効であることを示している。今回の成績でも、搾乳3時間後の頸静脈の血清メチオニン濃度は、CP13、15、17%区各々2.44、2.24、1.99μmol/dlと

表6. 乳中・血中尿素窒素および血清遊離アミノ酸濃度

区 分	尿素窒素		血清遊離メチオニン			血清遊離リジン		
	乳中	血中	頸静脈	乳静脈	差	頸静脈	乳静脈	差
	mg/dl		μmol/dl					
CP13%区	7.3 ^a	8.7 ^a	2.44	0.96	1.49	8.18	3.68	4.51
CP15%区	10.6 ^b	12.0 ^b	2.24	0.88	1.36	8.05	3.84	4.21
CP17%区	14.3 ^c	15.5 ^c	1.99	0.83	1.17	7.08	3.61	3.47

注) 異文字間に有意差あり (P<0.05)

CP13、15%区がCP17%区より高く、頸静脈-乳静脈差も各々1.49、1.36、1.17 μ mol/dlと同様の傾向がみられた(表6)。また、血清リジン濃度もメチオニンと同様の傾向を示した。これらから、CP13、15%区では、魚粉に含まれる非分解性のメチオニンおよびリジンが有効に利用され、メチオニンおよびリジンが乳生産の制限アミノ酸となっていなかったものと推察された。

これまでのことから、乳牛の糞量は従来用いられてきた1日当たり30kg/頭あるいは40kg/頭より多く見積もる必要があり、尿量および尿窒素量は飼料中の蛋白質量を適正にし、TDN供給量とのバランスを図ることによりかなり低減できるものと考えられた。また、乳中および血中尿素窒素は、尿窒素排泄量と正の相関があり、尿窒素低減の指標として有用であり、特に乳中尿素窒素は乳成分を分析する赤外線分析装置で簡易に測定できるようになったことから、乳検情報の1つとして利用できるものと期待される。

しかしながら、糞尿の利用・処理施設の貯留容量を算出するには、貯留期間、将来の増頭を見込んだ頭数、糞尿の処理方法と排出量、敷料の種類と量、洗浄水・雨水の流入¹⁰⁾および蒸発水量などを考慮する必要がある。また、乳牛から排出された糞尿中の窒素は、貯留前後および散布時の損失が大きいことから、農耕地への窒素還元量の算出には、十分注意する必要がある。

引用文献

1) American Society of Agricultural Engineers, Manure Production and characteristics. ASAE Standards D384. 1. Agric. Eng. Yearbook

ASAE, St. Joseph, MI. 1993
 2) ATWAL, A. S., J.D.ERFLE : J. Dairy Sci. 75, 502-507 (1992)
 3) BRODERICK, G. A. : J. Dairy Sci. 75, 174-183 (1992)
 4) CARROLL, D. J., F. R. HOSSAIN., M. R. KELLER : j. Dairy Sci. 77, 3058-3072 (1994)
 5) 早坂貴代史 : 北海道農試験報、165号、1-68
 6) 北海道農業改良普及会、糞尿処理施設. 北海道農業生産技術体系, II家畜-乳用牛, p234. 1994
 7) National Research Council. Nutrient requirements of dairy cattle (Update,1989). 6th rev. ed. Nati. Acad. Sci., Washington, DC. (1988)
 8) 扇 勉 : ルーメン内窒素代謝と生産性 [7] -乳牛における保護アミノ酸・非分解性蛋白質の効果、畜産の研究、51巻、1、P91~98. (1997)
 9) ROFFLER, R. E., WRAY, J.E., SATTER, L. D. : J. Dairy Sci. 69, 1055-1062.
 10) RUSSELL, J. B., J. D. O'CONNOR., D. G. FOX., et. al. : J. Anim. Sci. 70, 3551-3561 (1992)
 11) 寺田文典、栗原光規、西田武弘ら : 日畜会報、68 (2)、163-168
 12) 寺田文典、塩谷 繁 : 日畜会報、69 (6)、620-624
 13) 中央畜産会 : 家畜排泄物の処理・利用の手引き、P 2 (1978)
 14) VAN HORN, H. H., WILKIE, A.C., POWERS, W. L., et. al. : J. Dairy Sci. 77, 2008-2030.
 15) WILKERSON, V.A., MERTENS, D.R., CASPER, D. P. : J. Dairy Sci. 80, 3193-3204