

メタン発酵消化液の飼料イネ利用技術の確立

木下 強、長峰孝文¹⁾、阿久津充²⁾、福島正人、田澤倫子

1)現 畜産環境整備機構畜産環境技術研究所、2)現 塩谷南那須農業振興事務所

要 約

メタン発酵消化液の利用促進を図るため、実用規模での水田への液肥利用技術の開発・普及を行うことを目的として二年間の試験を実施した。

畜産環境技術研究所が製作した消化液施用装置を用い、水田の水口から用水と混合した消化液を流し込む方法で飼料イネの栽培試験を行い、次のような成果を得た。

- 1) メタン発酵残さである消化液は飼料イネ（飼料用稲、飼料用米）栽培における化学肥料の代替肥料として利用可能であり、生産資材費の削減につながる。
- 2) 消化液を水口から用水と混合して施用することにより、水田に入ることなく省力的な施肥が可能であるが、施用前に落水できる水田であることが前提条件である。
- 3) 消化液の水口施用を行う場合、水口から水尻の距離が長い水田において水尻付近で収量の低下が見られる場合は、水口の増設等で改善が可能である。
- 4) 消化液で栽培した飼料イネのカリウムや硝酸態窒素含有量は、化学肥料を用いた慣行栽培法と同程度であり、施用量が適正であれば、家畜の給与上問題となる水準からははるかに低い値である。
- 5) 消化液で栽培した飼料イネから調製したサイレージは発酵品質、栄養価とも化学肥料を用いた慣行栽培と遜色なく良質なサイレージ調製が可能である。

目 的

メタン発酵処理は、家畜ふん尿から、メタンという有用価値を取り出すことが出来る優れた技術である。処理残渣である消化液は、ふん尿に含まれる窒素、リン酸、カリウムが残存¹⁾しており、良質の有機質肥料である。消化液の液状物としての特性を生かしながら肥料としての利用促進を図るためには、水田への液肥利用技術の開発が必要である。食用米、飼料用稲の栽培試験が行われている^{2),3)}が、特に飼料用稲については、飼料として栄養価やサイレージの品質評価まで含めた技術体系の確立が不可欠である。

そこで、(財)畜産環境整備機構畜産環境技術研究所が製作した消化液の水口施用装置を用い、実規模水田における飼料イネの栽培試験を行い、消化液施用が飼料イネの収量や調製サイレージの品質に及ぼす影響、並びに慣行栽培法に対する生産コストや作業軽減効果を明らかにする。

材料及び方法

I 一年目の試験

(1)試験水田及び供試品種

栃木県大田原市内における全長 110m の水田 41. 2a を、試験区（消化液区）30. 2a、対照区（化成肥料区）8. 1a、

無窒素区 2. 3a に区切り、飼料イネを栽培した。なお、試験を実施する前の前作は畑作物である。

品種はホールクロープ用リーフスターを用い、田植機で水口から水尻方向にかけ稚苗を試験水田に移植した。

(2)供試消化液及び施用方法

栃木県畜産酪農研究センターのメタン発酵プラントで生産された消化液を散布装置で用水と混合し、水口から施用した（図1）。なお、消化液を出来るだけ均質に施用するため、消化液の施用前はいったん全ての田水を落水してから、消化液を流し込むこととした。

また、メタン発酵プラントの投入原料は乳牛ふんと食品残渣である。

(3)施肥設計

栃木県の食用米の施肥基準⁴⁾を基準にリーフスターの品種特性を考慮し、窒素投入量を2~3倍程度に増加させた。

対照区（化成肥料区）の施肥水準を基準として、試験区（消化液区）は、基肥、追肥とも消化液中のアンモニア態窒素を施肥設計上の窒素とし、不足する肥料成分は化学肥料で補正した。無窒素区は、窒素以外の成分が施肥設計値となるよう化学肥料で補正した。

なお、消化液と化成肥料の肥効率を考慮し、生育期間中の葉色等を参考に施肥量を調整した（表1）。

(4)栽培管理

試験水田の管理は、試験水田の所有者である農家の慣行法に従った。栽培概要は表2のとおり。

(5)収量調査及び調査項目

試験区15地点、対照区5地点、無窒素区4地点の計24地点(1m²)において収量調査を実施した。

調査項目は、乾物重、かん長、穂長、穂数、栽植密度、硝酸態窒素濃度、全窒素を調査した。なお、かん長、穂長、穂数については、地点ごとに代表的な5株を調査対

象とした。

(6)サイレージ調製

収量調査地点ごとにパウチサイレージ⁵⁾を調製し、25℃で1カ月間保管した。また、試験区(消化液区)、対照区(化成肥料区)について実規模を想定したロールベールサイレージを調製した。なお、調製したサイレージは一定期間保管後、官能評価(色沢、香味)、有機酸組成(乳酸、プロピオン酸、酪酸等)、Vscore、VBN比、TDN、pH、水分について分析した。

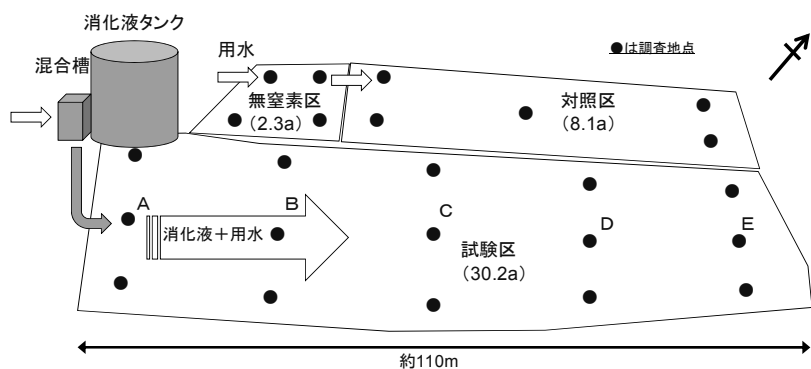


図1 試験水田の概要(1年目)

表1 施肥設計(1年目)

区分	施肥 資材名	施用量(kg/10a)							
		現物量		N	P ₂ O ₅	K ₂ O			
試験区	消化液	7,059	(5,828)	12	(10)	8	(7)	16	(13)
	基肥 過リン酸石灰	39	(39)	0	(0)	8	(8)	0	(0)
	合計	-	-	12	(10)	16	(15)	16	(13)
	穂肥 消化液	2,353	(4,007)	4	(7)	3	(5)	5	(9)
対照区	基肥 コシヒカリ専用化成	100	(100)	8	(8)	17	(17)	14	(14)
	穂肥 稲穂486号	29	(36)	4	(5)	2	(3)	5	(6)
無窒素区	過リン酸石灰	83	(83)	0	(0)	17	(17)	0	(0)
	基肥 塩化カリ	23	(23)	0	(0)	0	(0)	14	(14)
	合計	-	-	0	(0)	17	(17)	14	(14)
	過リン酸石灰	14	(14)	0	(0)	3	(3)	0	(0)
	穂肥 塩化カリ	10	(10)	0	(0)	0	(0)	6	(6)
	合計	-	-	0	(0)	3	(3)	6	(6)

※実数は設計時の施肥量、()は生育状況に応じて補正した実際の施肥量

表2 栽培概要(1年目)

月 日	作業内容
5月6日	試験区の過リン酸石灰散布
5月13日	対照区と無窒素区の肥料散布(基肥)
5月16日	稚苗移植①
5月23日	消化液投入(基肥① 5.4m ³)
5月30日	除草剤散布
6月6日	消化液投入(基肥② 5.8m ³)
6月20日	消化液投入(基肥③ 6.4m ³)
6月23日	除草剤散布②
7月25日	消化液投入(穂肥① 6.1m ³)
8月8日	消化液投入(穂肥① 6.0m ³)
8月10日	対照区と無窒素区の肥料散布(穂肥)
10月19日	収量調査
10月20日	ロールベールサイレージ調製

II 二年目の試験

(1) 試験水田及び供試品種

試験圃場は一年目の試験と同様であるが、リーフスターを稚苗移植した各試験区の中央部12条のみ、飼料用米品種であるモミロマンを稚苗移植する方法で、2品種を各試験区に配置した。

(2) 供試消化液及び施用方法

試験に用いた消化液は一年目と同様であるが、一年目の結果を踏まえ、消化液がより均一に施用出来るよう、本来の水口から80m付近に水口を増設した(図2)。

(3) 施肥設計

一年目の試験の結果を踏まえた、施肥設計の変更点は次のとおりである。

土壌分析の結果、試験以前の施用による過剰なリンの蓄積が見られたため、リンは無施肥とした。また、カリの過剰施用により、牛の健康に悪影響が懸念されたため、消化液施用区のカリの施用量を標準の3倍までと制限する。施肥設計を表3に示す。また、去年は定植後6日目に基肥として消化液を投入したが、初期生育の遅れが見られたため、3日後とした。

(4) 栽培管理

一年目の試験と同様、農家の慣行法に準じて管理した(表4)。

(5) サイレージ調製

パウチサイレージ調製は行わず、試験区と対照区について、リーフスターのみを材料としてロールベールサイレージを調製した。なお、調製したサイレージの調査項目は一年目の試験と同様である。

(6) サイレージの嗜好性試験

試験区と対照区について調製した約250kgのロールベールサイレージを用い、栃木県畜産酪農研究センター内において嗜好性試験を行った。嗜好性試験は、乾乳牛3頭に一対比較法⁶⁾で3日間給餌(2時間自由採食)して採食量を測定した。

(7) 作業時間および生産コスト

栽培管理に係る作業時間及び生産コストについて、農家の聞き取り調査を行った。

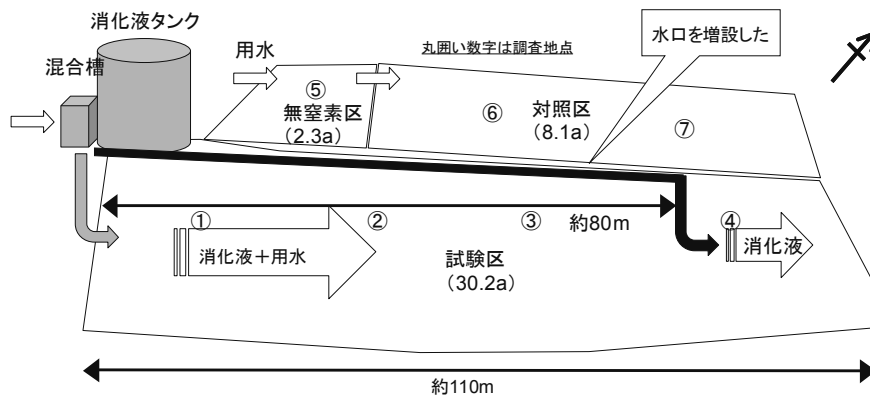


図2 試験水田の概要(2年目)

表3 施肥設計(2年目)

区 分		施用量(kg/10a)			
		現物量	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
試験区	消化液	2,980 (4,470)	6 (8)	4 (5)	24 (36)
	基肥 硫安	11 (11)	2 (2)	0 (0)	0 (0)
	合計	-	8 (11)	4 (5)	24 (36)
試験区	消化液	1,490 (1,325)	3 (3)	2 (2)	12 (11)
	穂肥 硫安	5 (5)	1 (1)	0 (0)	0 (0)
	合計	-	4 (4)	2 (2)	12 (11)
対照区	硫安	38 (38)	8 (8)	0 (0)	0 (0)
	基肥 塩化カリ	40 (40)	0 (0)	0 (0)	24 (24)
	合計	-	8 (8)	0 (0)	24 (24)
対照区	硫安	19 (19)	4 (4)	0 (0)	0 (0)
	穂肥 塩化カリ	20 (20)	0 (0)	0 (0)	12 (12)
	合計	-	4 (4)	0 (0)	12 (12)
無窒素区	硫安	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
	基肥 塩化カリ	39 (39)	0 (0)	0 (0)	23 (23)
	合計	-	0 (0)	0 (0)	23 (23)
無窒素区	硫安	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
	穂肥 塩化カリ	17 (17)	0 (0)	0 (0)	10 (10)
	合計	-	0 (0)	0 (0)	10 (10)

※実数は設計時の施肥量、()は生育状況に応じて補正した実際の施肥量

表4 栽培概要(2年目)

月日	作業内容
5月7日	対照区と無窒素区の肥料散布(基肥)
5月8日	稚苗移植
5月11日	消化液投入(基肥① 5.1m ³)
5月15日	除草剤散布
6月1日	消化液投入(基肥② 4.0m ³)
7月17日	消化液投入(基肥③ 4.4m ³)
8月8日	消化液投入(穂肥① 4.0m ³)
8月9日	対照区硫安散布(穂肥)
8月10日	対照区、無窒素区の塩化カリ散布
9月30日	収量調査
10月8日	ロールベールサイレージ調製

結果及び考察

I 一年目の試験

(1) 収穫物

飼料イネの収量調査結果を表5に示した。乾物収量は調査地点でばらつきがあるが、対照区は調査地点にかかわらず2,000kg/10a前後と最も多く、無窒素区は平均で対照区に比べ500kg/10a以上収量が低かった。また、試験区については水口と水尻で収量が低く、特に水尻では極端に収量が低下した。

1株当たりの穂数も乾物収量と同様の傾向が見られたが、試験区における稈長は水口でも低くはならず、穂長も試験区内で大きな差が見られなかった。これらのこと

表5 収量調査結果(一年目)

区分	調査地点	乾物収量 (kg/10a)	籾わら比 (DM)	稈長 (cm)	草丈 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/株)	総籾数 (粒/株)	
試験区	A(水口)	1,703 ± 47	0.23 ± 0.03	113 ± 0.28	150 ± 2.51	23 ± 0.32	11 ± 1.23	2,081 ± 70	
	B	1,831 ± 110	0.23 ± 0.01	112 ± 1.02	147 ± 2.70	22 ± 0.44	11 ± 1.20	1,327 ± 130	
	C(中間)	1,794 ± 172	0.26 ± 0.00	106 ± 0.75	145 ± 1.54	23 ± 0.57	11 ± 0.98	1,938 ± 360	
	D	1,571 ± 98	0.32 ± 0.01	107 ± 2.54	143 ± 1.29	23 ± 1.25	9 ± 1.23	1,587 ± 231	
	E(水尻)	1,404 ± 116	0.27 ± 0.03	97 ± 1.36	132 ± 1.14	21 ± 0.07	8 ± 0.62	1,480 ± 113	
	平均	1,661 ± 195	0.26 ± 0.04	107 ± 5.85	143 ± 6.46	22 ± 0.91	10 ± 1.60	1,683 ± 352	
無窒素区	平均	1,349 ± 175	0.28 ± 0.01	95 ± 0.78	125 ± 3.44	20 ± 0.78	9 ± 0.71	1,073 ± 83	
対照区	平均	2,030 ± 124	0.25 ± 0.03	114 ± 1.14	151 ± 3.37	21 ± 1.14	12 ± 1.32	1,424 ± 568	

調査地点は A:水口~E:水尻

平均±標準偏差

表6 収穫物の成分分析結果(一年目)

区分	調査地点	水分 (%)	T-N(DM%)			NO ₃ -N (DMppm)	K (DM%)
			全体	籾	わら		
試験区	A(水口)	64 ± 0.29	1.13 ± 0.03	1.17 ± 0.03	0.73 ± 0.06	29 ± 0.6	1.25 ± 0.02
	B	63 ± 0.38	1.13 ± 0.01	1.17 ± 0.00	0.71 ± 0.02	29 ± 2.3	1.24 ± 0.01
	C(中間)	62 ± 0.22	1.15 ± 0.01	1.19 ± 0.01	0.70 ± 0.03	28 ± 3.7	1.22 ± 0.03
	D	61 ± 0.77	0.88 ± 0.18	1.16 ± 0.02	0.60 ± 0.01	23 ± 1.8	1.20 ± 0.02
	E(水尻)	60 ± 0.51	0.69 ± 0.04	1.13 ± 0.04	0.57 ± 0.02	15 ± 0.4	1.21 ± 0.07
	平均	62 ± 1.43	0.99 ± 0.20	1.16 ± 0.03	0.66 ± 0.07	25 ± 5.5	1.22 ± 0.04
無窒素区	平均	59 ± 0.69	0.61 ± 0.04	1.04 ± 0.05	0.48 ± 0.03	13 ± 1.3	1.15 ± 0.04
対照区	平均	62 ± 0.69	0.90 ± 0.09	1.23 ± 0.04	0.80 ± 0.09	49 ± 17.6	1.27 ± 0.04

調査地点は A:水口~E:水尻

平均±標準偏差

から乾物収量低下は1株当たりの穂数、すなわち有効分げつ数が大きな要因になっていると推察された。

試験区における飼料イネの籾わら比は、水口に近い地点ほどわらの比率が多くなる傾向が見られた。また、1株当たりの総籾数、一穂当たりの粒数とも試験区のばらつきが大きく、一定の傾向はつかめなかったが、無窒素区では籾数が他区に比べて低い傾向であった。

収穫物の成分分析結果を表6に示した。飼料用イネ全体中の乾物中全窒素(T-N)は、試験区の水口から中央にかけての調査地点で対照区よりも高く、水尻では無窒素区並に低い値を示した。また、乾物中硝酸態窒素(NO₃-N)は、最も多い地点でも71ppmと家畜に給与する場合の危険水準(2,000ppm)からは、遙かに低い水準⁷⁾ではあるが、全窒素とは対照的に試験区が対照区よりも相対的に低い値を示した。

飼料用稲の部位(籾、わら)別の乾物中全窒素では、籾の乾物中全窒素で無窒素区が低い値を示したが、試験区と対照区間に大きな差は見られなかった。また、試験区内においても水口と水尻間に著しい傾向は見られなかった。一方、わらの乾物中全窒素では、籾同様、無窒素区が低い値を示し、試験区と対象区では対象区が高い傾向を示し、試験区内の調査地点では水口から水尻の地点にかけて、値が低くなる傾向を示した。

(2)サイレージ

パウチサイレージの発酵品質及び栄養価の分析結果を表7に示した。官能検査では調査地点間に大きな差は見られなかったが、pH及び有機酸の値では調査地点間のばらつきが大きく、一定の傾向は見られなかった。また、VBN/TN値は、乾物中全窒素の多い地点で高く、試験区

の水尻や無窒素区等の低い地点で低い値を示した。

また、ロールベールサイレージの発酵品質及び栄養価の分析結果は表8のとおり、作業の関係上、作業機械が異なってしまったが、対照区、試験区とも飼料イネとしての発酵品質は良好であった。

表7 パウチサイレージの発酵品質(一年目)

区分	調査地点	水分 %	pH	VBN/TN %	Vscore	官能検査		CP 乾物中%	TDN 乾物中%
						香味	色沢		
試験区	A (水口)	65.9 ± 0.20	4.61 ± 0.28	8.0 ± 0.1	75 ± 2.9	3.0 ± 0.0	3.0 ± 0.0	6.0 ± 0.2	54.0 ± 0.3
	B	65.7 ± 1.01	4.64 ± 0.15	7.8 ± 0.5	78 ± 6.3	3.0 ± 0.0	3.0 ± 0.0	5.9 ± 0.1	55.3 ± 1.2
	C (中間)	64.5 ± 1.22	4.44 ± 0.26	6.9 ± 0.6	85 ± 8.5	3.2 ± 0.2	2.8 ± 0.2	5.6 ± 0.1	54.9 ± 0.6
	D	63.9 ± 1.35	4.93 ± 0.22	7.0 ± 0.6	77 ± 5.6	3.0 ± 0.0	3.0 ± 0.0	5.4 ± 0.0	55.2 ± 1.0
	E (水尻)	61.7 ± 0.83	4.56 ± 0.19	5.4 ± 1.2	86 ± 7.1	3.0 ± 0.0	3.2 ± 0.2	5.0 ± 0.4	56.5 ± 0.6
平均	64.3 ± 1.83	4.63 ± 0.28	7.0 ± 1.2	80 ± 7.8	3.0 ± 0.1	3.0 ± 0.2	5.6 ± 0.4	55.2 ± 1.1	
無窒素区	平均	59.7 ± 0.73	4.63 ± 0.22	5.2 ± 0.8	87 ± 2.2	3.0 ± 0.0	3.5 ± 0.0	4.7 ± 0.4	57.1 ± 0.4
対照区	平均	64.3 ± 1.11	4.65 ± 0.24	7.7 ± 1.4	79 ± 8.9	2.8 ± 0.2	2.6 ± 0.2	6.5 ± 0.5	54.7 ± 0.7

※官能検査は香味、色沢とも 1不~5良 の5段階で評価した。

平均±標準偏差

※TDNは酵素法により推定した。(推定式 $TDN = -5.45+0.89 \times (OCC+Oa)+0.45 \times OCW$)

表8 ロールベールサイレージの品質

区分	ロール No.	水分 %	pH	有機酸(新鮮物中%)								VBN/TN %	Vscore	CP 乾物中%	TDN 乾物中%	備考	
				乳酸	酢酸	プロピオン酸	i酪酸	n酪酸	i吉草酸	n吉草酸	iαプロン酸						nαプロン酸
試験区	1	64.7	3.80	1.18	0.17	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	6.2	98	5.6	51.8	細断型 ペーラ
対照区	2	66.2	3.83	0.99	0.11	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	4.8	94	6.1	50.0	カッティング

※有機酸はHPLC(ポストカラムBTB)により測定

※TDNは酵素法により推定した。(飼料用イネ推定式 $TDN = -5.45+0.89 \times (OCC+Oa)+0.45 \times OCW$)

II 二年目の試験

(1)収穫物

表9に収穫調査結果を示した。

飼料イネ全体の乾物収量はリーフスター、モミロマンとも無窒素区の収量が最も低かった。試験区と対照区では、対照区で多収の傾向が見られ、収量の比率から、消化液は化成肥料の8割程度肥効であるということ considering して施肥設計する必要があると考えられた。また、前年度の試験で水尻付近の収量低下が課題となったことから、新たに水口から80m付近に消化液投入パイプを増設した結果、試験区内の地点別収量では、水口周辺及び増設した消化液投入パイプ周辺(①③)で収量が多くなった。

籾わら比では、稈長や草丈の値からも推定されるように、2品種ともわら収量が多いことから対照区の値が低くなった。

モミロマンの玄米収量は、籾わら全体の収量同様、水口周辺及び増設した消化液投入パイプ周辺で収量が多くなった。

飼料イネの成分分析結果を表10に示した。

リーフスターの全窒素(T-N)は、無窒素区が試験区、対照区に比べ、全体、籾、わらとも低く、試験区内では、収量と同様、水口周辺及び増設した消化液投入パイプ周辺で値が高くなった。また、硝酸態窒素(NO₃-N)は、対照区で高い傾向が見られたが、家畜に給与する場合の危険水準濃度⁷⁾からは遙かに低い濃度であった。給与飼料のミネラルバランスに影響を及ぼすカリウム(K)の値は、試験区、対照区、無窒素区に顕著な差は見られなかった。

モミロマンの全窒素(T-N)は、リーフスター同様、無窒素区が試験区、対照区に比べ、全体、籾、わらとも低く、水口に近くなるほど窒素の値が高くなるが、わらの全窒素含量については、増設した消化液投入パイプ付近でリーフスターのように高い値を示さなかった。

表9 収量調査結果(二年目)

区分	品種	調査地点	乾物収量 (kg/10a)	籾わら比 (DM)	稈長 (cm)	草丈 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/株)	総籾数 (粒/株)	粗玄米収量 (kg/10a)
飼料用稲 (リーフスター)	試験区	①	1,798	0.46	119	151	23	11	1,403	—
		②	1,610	0.45	115	145	23	10	1,529	—
		③	1,987	0.40	118	150	23	11	1,602	—
		④	1,735	0.44	117	149	23	10	1,356	—
	無窒素区	⑤	1,638	0.39	107	130	21	9	1,109	—
	対象区	⑥	1,991	0.32	122	154	23	11	1,266	—
		⑦	1,930	0.38	122	153	24	11	1,784	—
飼料用米 (モミロマン)	試験区	①	1,815	1.45	91	124	25	12	2,687	680
		②	1,641	1.48	91	123	25	11	2,411	664
		③	1,796	1.39	94	127	25	12	2,625	791
		④	1,572	1.51	92	124	25	10	1,697	651
	無窒素区	⑤	1,482	1.37	89	123	23	10	1,765	620
	対象区	⑥	1,817	1.27	97	128	24	11	2,532	675
		⑦	1,872	1.29	95	128	24	13	2,099	771

表10 成分分析結果(二年目)

区分	品種	調査地点	水分 (%)	T-N(DM%)			NO3-N (DMppm)	K (DM%)	
				全体	籾	玄米			
飼料用稲 (リーフスター)	試験区	①	67.9	0.94	1.10	—	0.86	0.3	0.94
		②	69.9	0.88	1.07	—	0.82	1.4	1.02
		③	66.3	0.89	1.10	—	0.80	0.0	0.88
		④	68.6	0.84	1.09	—	0.79	0.0	1.02
	無窒素区	⑤	63.9	0.70	1.00	—	0.58	0.0	1.01
	対象区	⑥	67.5	0.87	1.11	—	0.84	33.0	1.01
		⑦	68.4	0.92	1.10	—	0.80	66.2	1.14
飼料用米 (モミロマン)	試験区	①	61.8	1.06	1.19	1.50	1.04	0.0	0.84
		②	61.9	1.03	1.25	1.48	1.05	0.0	1.02
		③	64.9	0.87	1.18	1.45	1.02	16.9	0.81
		④	61.6	0.96	1.16	1.38	0.76	18.7	1.80
	無窒素区	⑤	58.8	0.78	0.93	1.15	0.57	13.7	0.89
	対象区	⑥	58.6	0.60	1.02	1.24	0.84	27.7	0.22
		⑦	62.9	0.91	1.15	1.37	0.63	17.9	0.45

(2)サイレージ (リーフスターのみ)

カッピングロールベアラ (フレールモア刈り落とし) により成型梱包したイネ WCS4 個の平均重量及び製品の数量から算出した推定収量は、試験区、対照区 (無窒素含む) とも表9の坪刈り収量の6割程度となった(表11)。主な原因としては子実の脱落等、収穫作業時の収穫ロスが考えられる。

なお、ロールベアラサイレージの推定収量 (試験区全体) では、両区の乾物収量に大きな差は認められなかった (表11)。

調製したロールベアラサイレージは、約 100 日間試験場内で貯蔵した後、フィードサンプラーでサンプリングし、発酵品質及び栄養価について分析を行った。その結果、ロールベアラごとのばらつきがみられるものの、両

区とも pH で 4.0 を下回り、Vscore の 90 点を上回るロールがみられ、発酵品質は比較的良好であった (表12)。

No4 ロールの pH では、他のロールに比べ劣質であった。一般的に植物はタンパク (CP) 含量が増加すると WSC (水溶性炭水化物) が減少する。飼料イネの WSC は良好な乳酸発酵に必要な含有量でボーダーラインにあり、No4 の CP 値は試験区に比べてわずかに高い値 (表12) であったことが、発酵品質が不安定になった要因の一つと推察された⁸⁾。

酵素分析により推定した TDN は表13の穀実の混入評価が示すように子実の脱落等も要因となりロール間にはばらつきが見られた (表14)。

また、乾乳牛 3 頭を用いたロールベアラサイレージ嗜好性試験における採食量は、対照区の方が多かったが、

回を重ねるごとに差は小さくなり、両試験区の合計採食量は回を重ねるごとに減少した(表14)。

今回の試験では、給与量の設定上、1~2回目と3回目のロールNo.が異ならざるを得なかった。このことから、

結果がロールばらつきによるものなのか、栽培方法によるものなのか半別しがない部分もあるが、表12の分析結果から考えれば、少なくとも試験区の採食量が劣る結果は予測できなかった。

表11 飼料イネロールペールサイレージの実収量(推定値)

No.	ロール 個数	重量 kg	合計重量 kg	面積 a	生収量 kg/10a	乾物率	乾物収量 kg/10a
試験区	29	243	7,047	28.6	2,464	0.44	1,084
対照区	11	243	2,673	10.6	2,522	0.42	1,059

※ロールペールの重量は4個(各区2個)の平均とした

表12 ロールペールサイレージの品質

区分	ロール No.	水分 %	pH	有機酸(新鮮物中%)										VBN/TN %	Vscore	CP 乾物中%	TDN 乾物中%
				乳酸	酢酸	プロピオン酸	i酪酸	n酪酸	i吉草酸	n吉草酸	カプロン酸	カプロン酸					
試験区	1	61.6	3.84	0.78	0.10	N.D.	N.D.	0.01	0.01	N.D.	0.01	N.D.	1.7	97	6.1	53.5	
	2	62.4	4.05	0.76	0.11	N.D.	N.D.	0.13	ND	ND	ND	ND	3.2	88	5.9	51.7	
対照区	3	62.3	3.90	0.67	0.07	N.D.	N.D.	0.06	0.01	N.D.	N.D.	N.D.	2.7	95	6.3	52.0	
	4	63.3	4.39	0.25	0.29	0.01	N.D.	0.12	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	4.0	90	6.3	51.0	

※2010年10月8日サイレージ調製、2011年1月7日開封

※TDNは酵素法により推定した。(飼料用イネ推定式 $TDN = -5.45 + 0.89 \times (OCC + Oa) + 0.45 \times OCW$)

表13 ロールペールサイレージの官能評価

区分	ロールNo.	刈取 ステージ	穀実の混入	色沢	香味	触感	切断長	カビ	雑草・ 夾雑物	総合評価
試験区	1	A	B	A	B+	A	E	A	A	B
	2	A	C	A	B	A	E	A	A	A-
対照区	3	A	C	A	A	A	E	A	A	A-
	4	A	C	A	B	A	E	A	A	B

※刈取ステージはA:黄熟期~E:結実期、切断長はA:9mm以下~E:19mm以上、他はAが優れる

表14 ロールペールサイレージの採食量

P = 0.0477495

区分	1回目	2回目	3回目	平均	標準偏差
試験区	2.73	4.02	13.18	6.64	4.65
対照区	32.13	24.64	14.53	23.76	7.21
計	34.86	28.66	27.70		

※1~2回目はロールNo.1,3を給与し、3回目はロールNo.2,4を給与

※給与時間は各回とも13:30~15:30の時間制限給餌とした

(3)作業時間および生産コスト(10a)

消化液の運搬及び収穫作業は畜産農家が行うという前提から、耕種農家が担う栽培にかかる作業時間のみ、作業日誌をもとに集計するとともに、化学肥料のみの慣行栽培法で作業を実施した場合の作業時間を推定すると、慣行法の11.7時間に対し、消化液を利用した場合は11.2時間となった(表15)。

全体の作業時間では小さな差であるが、ぬかるんだ水田の中を重いミスト機を背負って行う作業から解放されることを考慮すれば、作業の軽労化に貢献できると考えられる(表15)。

同様に、栽培にかかる資材のみについて集計すると

もに、全面積を化学肥料のみの慣行法で行うとした場合の資材費を試算すると、慣行法38,449円に対し、10,578円と大幅に削減できることがわかった(表16)。

(4)メタン発酵消化液の成分変動について

メタン発酵消化液生産工程における消化液の成分変動の分析結果を表17に示した。

実機によるデータのため、水分の揮散や雨水の流入などを考慮できないが、行程の進行とあわせて有機物が分解され乾物量は減少した。

肥料成分として重要な位置づけとなる窒素、リン酸、カリウムの値は水溶性のカリウムを除き、行程の進行とあわせて漸減した。また、カルシウムとマグネシウムは

貯留槽の行程で半減した。

これらの要因については、微生物による分解や大気中への揮散、各槽における沈殿分離等が考えられるが、い

ずれにしても消化液の利用にあたっては、これらの肥料成分変動をある程度考慮する必要があると考えられた。

表15 栽培に係る作業時間の比較(10a当たり)

作業内容	①所要時間 (時間)	②人数 (人)	③回数 (回)	④消化液利用 延べ作業時間 ④=①×②×③ (時間)	作業 強度 (A~C)	推定慣行栽培 延べ作業時間 (時間)	作業 強度 (A~C)	備考
播種	0.24	4.0	1.0	1.0	B	1.0	B	
育苗管理	0.06	1.0	28.0	1.7	A	1.7	A	
耕起	0.49	1.0	2.0	1.0	A	1.0	A	トラクター
畦塗り	0.36	1.0	1.0	0.4	A	0.4	A	トラクター
肥料散布(基肥)	0.24	1.0	1.0	—	—	0.2	A	トラクター
肥料散布(穂肥)	0.24	1.0	1.0	—	—	0.2	C	
荒代	1.46	1.0	1.0	1.5	A	1.5	A	トラクター
植代	0.97	1.0	1.0	1.0	A	1.0	A	トラクター
田植え	0.73	2.0	1.0	1.5	B	1.5	B	田植機械
畦畔除草(刈払機)	0.24	1.0	6.0	1.5	C	1.5	C	
畦畔除草(除草剤)	0.12	1.0	5.0	0.6	B	0.6	B	
除草剤(粒剤)散布	0.36	1.0	1.0	0.4	C	0.4	C	
水管理	0.02	1.0	35.0	0.8	A	0.8	A	
合 計				11.2		11.7		

※消化液の輸送時間:1.5時間×2名×7台(2tダンパー車)=21時間

表16 栽培に係る資材費の比較(10aあたり)

(円)

品 名	①数量	②単価	③消化液利用 資材費 ③=①×②	④推定慣行栽培 資材費 ④=①×②	備 考
飼料イネ種子	3.3 kg	525	1,720	1,720	150g/箱×90箱
育苗培土	6.1 袋	490	2,973	2,973	
種子消毒剤	0.2 本	830	201	201	タチガレエース乳剤
肥料(硫安)	0.8 袋	980	779	—	
肥料(基肥用化成肥料)	6.2 袋	3,410	—	21,049	コシヒカリ専用化成10号
肥料(穂肥用化成肥料)	2.2 袋	3,420	—	7,600	稲穂486号
除草剤(水田用)	1.2 袋	2,020	2,451	2,451	ザークD粒剤
除草剤(畦畔用)	0.2 本	1,510	367	367	
軽油(免税)	20.0 L	90	1,802	1,802	トラクター用(5L/時間)
ガソリン	2.2 L	130	284	284	田植機2L、刈払機1L×6回、ミスト機1L
合 計			10,578	38,449	

※肥料の数量は全面積同じ施肥管理を行うとして面積換算した

表17 メタン発酵消化液生産行程における消化液の成分変化

成分名	消化液(mg/l)			固液分離固分 (mg/現物kg)
	混合槽 (発酵前)	殺菌槽 (発酵直後)	貯留槽 (一定期間貯蔵後)	
蒸発残留物(乾物)	39,000	29,000	16,000	231,000
強熱減量(灰分)	9,200	10,000	7,000	—
アンモニア性窒素	980	1,500	1,700	—
全窒素	2,600	2,200	1,800	2,500
BOD	14,000	1,000	890	—
COD	15,000	10,000	8,800	—
TC(全炭素)	16,000	10,000	6,400	—
有機体炭素(TOC)	15,000	8,200	4,700	90,000
全リン酸(P ₂ O ₅)	530	470	420	1,300
酸化カリウム(K ₂ O)	2,200	2,400	2,300	1,900
酸化カルシウム(CaO)	1,700	2,000	1,200	1,900
酸化マグネシウム(MgO)	360	420	230	300
硫酸イオン	160	70	42	—
塩化物イオン	1,000	1,200	980	—
銅	2	2	1	3
亜鉛	36	36	17	42
揮発性有機酸	4,000	2,000	30	—
水分(%)	96	97	98	77

※プラント投入原料(家畜ふん等)→ 固液分離器→ 液分(混合槽へ)→ メタン発酵槽→ 殺菌槽→ 貯留槽
固分(堆肥化施設へ)

以上、2年間の実証試験を行った結果、メタン発酵残さである消化液は飼料イネ(含飼料用米)栽培における化学肥料の代替肥料として利用可能であり、消化液を水口から用水と混合して施用することにより、水田に入ることなく省力的な施肥が可能であることが実証できた。

なお、水口から水尻の距離が長い水田においては水尻付近で施用むらによる収量の低下が見られる可能性があるが、その場合は、水口の増設等である程度改善が可能であることもわかった。

また、消化液で栽培した飼料イネについては、カリウムや硝酸態窒素含有量の増加が懸念されたが、化学肥料を用いた慣行栽培法と同程度であり、施用量が適正であれば、家畜の給与上問題となる水準からははるかに低い値であった。

さらに、消化液で栽培した飼料イネから調製したサイ

レージは発酵品質、栄養価とも化学肥料を用いた慣行栽培と遜色なく良質なサイレージ調製可能であることが実証できた。

残された課題として、区画整理された複数の大規模な水田で実施する場合、貯留施設等も大規模となるため、設置方法やコストについて検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 渡部 敢 (2002)、バイオガスシステムによる家畜ふん尿の有効活用、酪農学園大学エクステンションセンター、48
- 2) 上岡啓之 (2010)、水稻栽培におけるメタン発酵消化液の効率的な基肥施用法、栃木県農業試験場研究成果集、28:39-40
- 3) 土井真也 (2007)、飼料イネ栽培におけるメタン発酵消化液の液肥利用、平成 19 年度近畿中国四国農業研究成果情報
- 4) 栃木県農政部 (2006)、農作物施肥基準、栃木県、8-9
- 5) 田中 治 (1995)、プラスチックフィルムを用いた小規模サイレージ発酵試験法(パウチ法)の開発、日本草地学会誌 41(1), 55-59
- 6) 押部明徳 (2005)、稲発酵粗飼料の嗜好性、月報「畜産の情報」(国内編)
- 7) 自給飼料品質評価研究会(2001)、粗飼料の品質評価ガイドブック、(社)日本草地畜産種子協会、142
- 8) 高野信雄 (1984)、サイレージの調製給与の理論と展開、(社)日本草地協会、36-37

Establishment of the application method of the methane fermentation digestion liquid in the rice cultivation for forage

In order to increase practical use of methane fermentation digestion liquid, the examination was done over two years.

The purpose of this examination is to perform development and the spread of the application methods of the digestion liquid in a real scale paddy field.

The application method of digestion liquid with irrigation water was tested in real scale paddy fields using a fertilizer supplier developed by "Institute of Livestock Industry's Environmental Technology".

The outline of a result is as follows.

- 1) Digestion liquid can be used as manure replaced with a chemical fertilizer in cultivation of forage rice. Moreover, using digestion liquid as manure can cut down materials expenses.
- 2) The application method (with irrigation water) of digestion liquid is useful method in laborsaving of work. So laborsaving of fertilization is possible without work in a paddy field.
- 3) In the paddy field where the distance from a water inlet to an end is long, extending a water inlet at the end of a paddy field can prevent reduction in crop yields.
- 4) The potassium (K) and nitrate nitrogen ($\text{NO}_3\text{-N}$) of the feed rice content that were grown with digestion liquid are comparable as the usual growing method (chemical fertilizer use). Therefore, it is satisfactory content as forage if the amount of application is proper.
- 5) It is equal even if the quality of the silage of the forage rice grown using digestion liquid compares with the usual cultivation method (chemical fertilizer use). Therefore, good silage manufacture is possible.