

汎用型飼料収穫機で調製した飼料イネ及びコムギサイレージの 発酵品質と長期貯蔵性

細谷 肇・鈴木一好・山田真希夫

Fermentative Quality and Long-term Storability of Rice and Wheat Whole Crop Silage Baled
by Self-propelled Harvesting Roll Baler

Hajime HOSOYA, Kazuyoshi SUZUKI and Makio YAMADA

要 約

多様な飼料作物に対応可能として開発された汎用型飼料収穫機を用い、水田での飼料生産拡大のために飼料イネ及び飼料ムギに適用した場合のロールベールサイレージの発酵品質と長期貯蔵性を検証した。飼料ムギは、コムギを取穫調製して2か月及び12か月貯蔵後にサイレージ発酵品質とかびの発生状況を調査した。飼料イネは、さらに23か月貯蔵を加え調査した。

コムギサイレージは、乳酸主体の発酵が12か月貯蔵まで維持され、V-スコアはいずれも60点以上で「可」の評価が得られた。12か月貯蔵のベールではVBN/TNと酢酸含量が増加傾向であったが品質劣化に至るものではなかった。収穫時にベール表層に土が付着したものは2か月貯蔵からn-酪酸含量が比較的高く、12か月貯蔵までその水準が持続したため、圃場の状態と収穫作業に留意して土の混入を避けることが必要であった。梱包フィルムにピンホールができた場合にかびの発生が認められたが、廃棄率は2%以下にとどまった。

飼料イネサイレージは、良質の乳酸発酵でかびによる廃棄もなく、12か月貯蔵までV-スコアが90点以上と最高品質の評価が得られた。23か月貯蔵でも有機酸組成に大きな変化はなく、V-スコアは89点で、梱包フィルムの破損がなければかび発生による廃棄も拡大しなかった。

ベールの乾物梱包密度はコムギが200kg/m³前後、飼料イネが260kg/m³前後であり、本機種で調製されたサイレージの良質発酵と長期貯蔵性には高密度梱包が寄与していた。

緒 言

輸入飼料の価格高騰と供給不安定化の情勢を契機に、自給飼料の増産が全国的に展開されている。しかし、関連する農業機械の購入・更新の必要、飼養管理以外の労力不足、あるいは経営規模や生産基盤の制限等から、乳牛・肉牛経営に携わる農家では自給飼料生産の必要性の認識とその実現が必ずしも一致していない。そこで飼料増産の新たな担い手としてコントラクタ組織が目ざされ、本県においても耕種農家による稲発酵粗飼料（以下、飼料イネサイレージ）の生産法人をはじめ、組織化事例が認められるようになった^{1, 2, 3)}。

一方では、飼料作物の種類で収穫体系が異なるため

別々の収穫機械を必要とし投資コストが膨らむこと、府県では圃場が分散傾向のうえ、水田活用の場合に軟弱圃場といった悪条件が重なることなどが、生産組織の設立運営を困難とする要因になる。その解決として、水田転作や裏作の活用を想定しつつ複数種の作物収穫に対応するため、自脱型コンバインをベースにロールベール成形の機能を備えた汎用型飼料収穫機が開発された⁴⁾。これは、収穫部のアタッチメントを着脱交換することにより、トウモロコシ用^{4, 5)}、飼料イネ用^{5, 6)}、予乾牧草用⁷⁾として、多様な飼料作物に対応することができる。

本県では自給飼料生産と水田有効活用のため飼料イネのホールクロップ利用が拡大しつつあり、2010年の作付面積実績は228haで、これは2009年比152%、2008年比221%となっている⁸⁾。さらに生産を高め、畜産農家での利用を推進するにはサイレージ発酵の高品質化と貯蔵性の向上が必須であり、新たな生産体系の開発に対してもその検証が実施されるべきである。

平成 23 年 8 月 31 日 受付

そこで本県における水田の畜産的利用の拡大を鑑み、飼料イネ用アタッチメントを装着した汎用型飼料収穫機により調製可能な作物として、飼料イネサイレージと本県の肉牛経営で一部利用されている飼料ムギサイレージについて発酵品質と長期貯蔵性の検証を行った。

材料及び方法

1. 収穫調製機種

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構生物系特定産業技術研究支援センター（生研センター）、株式会社タカキタ、及びヤンマー株式会社による汎用型飼料収穫機の開発機を用いた。収穫部に飼料イネ用アタッチメントのリールヘッド⁶⁾を装着した。本機成形室の寸法により、ロールベールの成形設定値は直径100cm、幅85cmとなる。

2. 飼料ムギの収穫調製

千葉県匝瑳市の転換畑4圃場計2haと、成田市の転作田3圃場計4haに作付けられたコムギを材料草とした。いずれも、品種は農林61号で、糊熟期にダイレクトカット方式にて収穫した。匝瑳市は2008年6月6日に収穫、開発機を回送し翌7日には成田市の収穫を実施し、これらを供試対象とした。

いずれについても、開発機の調整で材料草の設定切断長を30mmとした。添加剤処理は、繊維分解酵素入りサイレージ調製用乳酸菌スプレータイプ製剤（Y社製）を標準量（材料草原物10tに170g）添加した。刈取り・成形後は、圃場にて直ちに白色ストレッチフィルム6層巻きのラップサイロとした。

3. 飼料イネの収穫調製

千葉県旭市の水田15圃場計7.2haで実施した。2008年9月7日に飼料専用品種の夢あおばを、黄熟期にダイレクトカット方式で収穫したものを供試対象とした。

材料草の設定切断長は10mm、添加剤は無添加とした。刈取り・成形後は、圃場にて直ちに白色ストレッチフィルム6層巻きのラップサイロとした。

4. ロールベールの貯蔵、開封、サンプリング

コムギのベールは匝瑳市産、成田市産ともに6個ずつ、飼料イネのベールは8個を、それぞれの収穫後速やかに当センター（八街市）に運搬して屋外圃場に直置きし、縦置き1段で保管した。

コムギは、収穫2か月後（2008年8月11日）と同12か月後（2009年6月9日）に3個ずつ開封調査を行った。飼料イネは、収穫2か月後（2008年11月10日）と同12か月後（2009年9月8日）に3個ずつ、さらに同23か月後（2010年8月9日）に2個の開封調査を行った。

いずれもフィルムの破損状況などベール外観を確認した後に開封し、直ちに以下の処置を行った。目視に

より確認されたかびの発生部位は手作業で分離して廃棄部分とし、ストレッチフィルムとベール成形ネットを除いたロールベール正味原物重量に対する廃棄率を算出した。前報⁹⁾と同じ方法で、縦置きロールベールの上部、中央部、下部のかび発生が無い部分から等重量をサンプリングし、これを混合して分析試料とした。

5. 発酵品質及び飼料成分分析

サイレージの水抽出液調製、pH測定、揮発性塩基態窒素（VBN）及び全窒素（TN）の定量、TNに対するVBNの割合（VBN/TN）の算出、乳酸と揮発性脂肪酸（VFA）の同時定量、V-スコアとフリーク評点による評価、飼料分析用試料の調製、一般成分分析、デタージェント分析について、前報⁹⁾に準じて実施した。可消化養分総量（TDN）は日本標準飼料成分表（2009年版）に掲載の牛の消化率¹⁰⁾を用いて推定値を算出した。コムギサイレージの消化率は掲載されていないのでエンバクの値を流用した。

6. 統計処理

2産地のコムギ及び飼料イネのサイレージそれぞれの、収穫2か月後と12か月後の発酵品質及び飼料成分についてt検定により平均値の比較を行い¹¹⁾、貯蔵期間の影響を検証した。

結 果

1. コムギサイレージ

開封調査時のベールの状態は表1のとおりであった。

匝瑳市転換畑のベールは貯蔵期間2か月と12か月で大きな差がなく、正味重量が390kg、水分67%程度、ピンホール等のストレッチフィルム破損もなく、かびの発生や廃棄もほとんどなかった。

成田市転作田のベールも貯蔵期間による大きな差がなかったが、匝瑳市産ベールより水分が58%前後と低いため正味重量も350kg前後とやや軽かった。12か月貯蔵のベールでわずかにピンホールがあり、そこに若干のかびが認められ白及び赤のコロニーを形成していたが、これに起因する廃棄はごく少なく平均廃棄率は2%以下にとどまった。ベール成形後の排出時に圃場のぬかるみによって付着した土がベール表面に認められたが、2か月貯蔵と12か月貯蔵で腐敗の進行などの外観的な変化は全くなかった（図1）。

また、乾物梱包密度は両産地のいずれのベールも200kg/m³前後の高い値を示し、田畑双方の収穫でベール成形・梱包の状態に差異がなかった。貯蔵中のベールの変形はいずれも認められなかった。

発酵品質分析結果は表2のとおりで、いずれの産地、貯蔵期間でもpHが4以下で乳酸発酵主体であり、VBN/TNは15%以下に抑えられ問題はなく¹²⁾、V-スコアが「可」の評価¹²⁾、フリーク評点が「優」の評価¹²⁾であった。

細谷ら：汎用型飼料収穫機で調製した飼料イネ及びコムギサイレージの発酵品質と長期貯蔵性

匣瑛市産の12か月貯蔵でVBN/TNと酢酸の増加、V-スコアの低下が有意であったが、低品質評価の水準に至るものではなかった。成田市産は12か月貯蔵でpH低下、VBN/TN増加が有意であったが、V-スコアとフリーク評点には貯蔵期間による差はなかった。ま

た、成田市産はn-酪酸含量が比較的高いことが影響し、フリーク評点の平均値が匣瑛市産より10点以上低かった。一方、V-スコアは匣瑛市産のほうがVBN/TNがやや高めで減点されるため、総合して両産地のスコアに大きな差異が発生しなかった。

表1 開封時の供試ロールベールの状態 (各項目の上段：平均値、下段：標準偏差、n=3、飼料イネ23か月貯蔵のみn=2)

供試ロールベール	貯蔵期間(開封月日)	開封時正味重量(kg原物)	開封時ベール寸法		水分(%)	かび発生廃棄量(kg原物)	かび発生廃棄率(%)	ピンホール・破損(か所)	梱包密度(kg乾物/m ³)
			直径	幅(cm)					
コムギサイレージ(匣瑛市圃場)	2か月(08/8/11)	391	100	83	67.1	0.0	0.0	0	196
	12か月(09/6/9)	399	101	87	66.7	0.1	0.0	0	192
		15	2	1	0.3	0.2	0.1	0	13
コムギサイレージ(成田市圃場)	2か月(08/8/11)	347	102	87	57.6	0.2	0.1	0	207
	12か月(09/6/9)	359	100	87	59.1	6.8	1.9	0.7	214
		10	1	2	1.3	5.4	1.6	0.6	2
飼料イネサイレージ(旭市圃場)	2か月(08/11/10)	363	98	85	54.0	0.0	0.0	0	262
	12か月(09/9/8)	364	98	85	54.0	0.0	0.0	0	259
	23か月(10/8/9)	373	98	85	55.1	5.5	1.5	2	261
		4	0	0	0.6	5.2	1.4	1	6

コムギ(農林61号)は2008年6月6日(匣瑛市)と6月7日(成田市)に収穫
飼料イネ(夢あおば)は2008年9月7日収穫

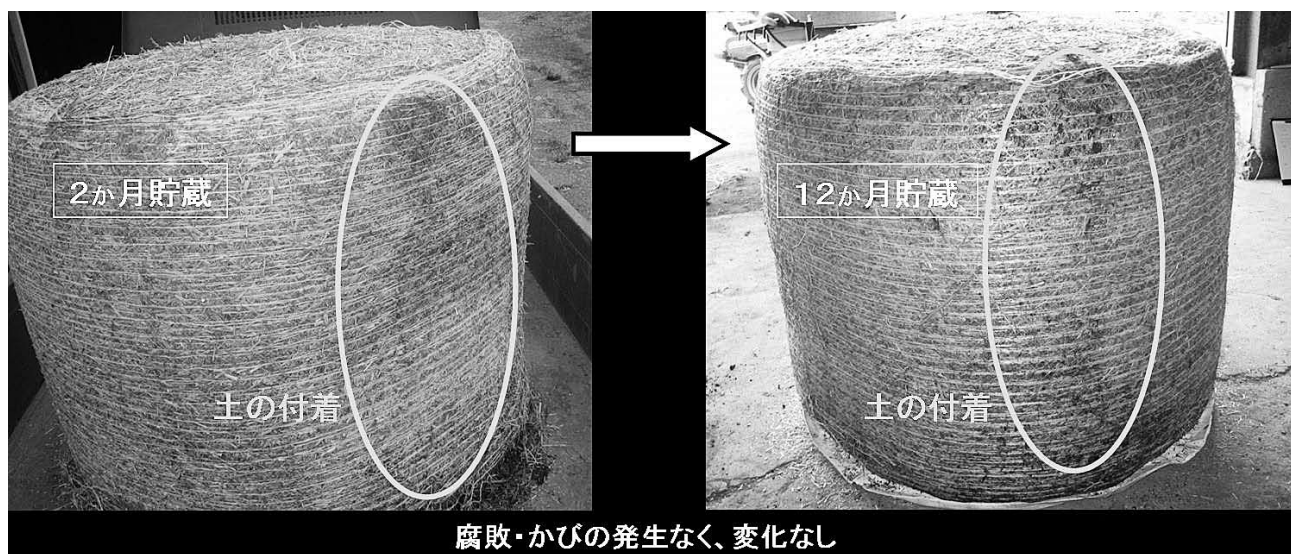


図1 収穫時に土が付着したコムギロールベールサイレージの開封時の外観

表2 サイレージ発酵品質 (各項目の上段：平均値、下段：標準偏差、n=3、飼料イネ23か月貯蔵のみn=2)

供試ロールベール	貯蔵期間(開封月日)	pH	VBN/TN(%)	有機酸含量(新鮮物中%)						発酵品質判定(点)	
				乳酸	酢酸	プロピオン酸	n-酪酸	総酸	V-スコア	フリーク評点	
コムギサイレージ(匣瑛市圃場)	2か月(08/8/11)	3.91	13.6 ^a	3.86	0.75 ^a	0.08	0.01	4.70	70 ^b	99	
	12か月(09/6/9)	3.84	14.7 ^b	3.84	0.83 ^b	0.12	0.03	4.82	63 ^a	98	
		0.02	0.2	0.15	0.01	0.00	0.01	0.16	1	1	
コムギサイレージ(成田市圃場)	2か月(08/8/11)	3.97 ^b	10.2 ^a	3.38	0.56	0.15	0.13	4.23	74	86	
	12か月(09/6/9)	3.75 ^a	12.3 ^b	3.99	0.65	0.17	0.13	4.94	66	81	
		0.04	0.4	0.13	0.02	0.03	0.01	0.15	1	0	
飼料イネサイレージ(旭市圃場)	2か月(08/11/10)	3.85	5.0	2.97	0.31	0.01	0.01	3.29	98	100	
	12か月(09/9/8)	3.95	5.7	2.62	0.20	0.03	0.00	3.01	96	100	
	23か月(10/8/9)	3.97	7.9	2.83	0.39	0.04	0.03	3.31	89	90	
		0.04	0.4	0.07	0.01	0.01	0.01	0.06	1	14	

各サイレージの縦列異符号間に有意差あり(P<0.05)、飼料イネ23か月貯蔵を除く
コムギは繊維分解酵素入り乳酸菌製剤を標準量添加、飼料イネは無添加

表3 飼料成分 (各項目の上段：平均値、下段：標準偏差、n=3、飼料イネ 23か月貯蔵のみ n=2)

供試 ロール ベール	貯蔵期間 (開封月日)	乾物中成分値 (%)									乾物中 推定 TDN (%)						
		粗蛋白質 CP	粗脂肪 EE	可溶無窒素物 NFE	粗繊維 C-Fib	粗灰分 C-Ash	酸性デター ジェント繊維 ADF	中性デター ジェント繊維 NDF									
コムギ サイレージ (匝瑳市圃場)	2か月 (08/8/11)	9.5	1.4	2.4 ^a	0.2	51.6	0.3	26.7	0.8	9.8	1.0	30.2	1.4	49.0	2.2	52.9 ^a	0.4
	12か月 (09/6/9)	9.2	0.6	3.4 ^b	0.2	50.7	0.5	26.8	0.3	9.8	0.2	30.8	0.8	49.7	1.0	54.0 ^b	0.3
コムギ サイレージ (成田市圃場)	2か月 (08/8/11)	6.6	0.7	2.1 ^a	0.3	55.0 ^b	1.0	27.5	1.5	8.8	0.2	30.8	1.7	52.8	2.9	53.2 ^a	0.3
	12か月 (09/6/9)	7.7	0.4	3.3 ^b	0.4	53.0 ^a	0.5	26.8	1.2	9.2	0.3	31.4	1.0	50.4	1.6	54.3 ^b	0.5
飼料イネ サイレージ (旭市圃場)	2か月 (08/11/10)	4.7	0.3	3.4 ^b	0.3	56.5 ^a	0.5	22.3 ^b	0.3	13.0	0.2	25.8 ^b	0.2	40.7 ^b	0.9	56.3	0.1
	12か月 (09/9/8)	4.7	0.1	2.1 ^a	0.2	59.5 ^b	0.9	20.8 ^a	0.6	12.9	0.4	23.3 ^a	0.9	36.9 ^a	1.2	55.6	0.4
	23か月 (10/8/9)	5.1	0.4	2.8	0.1	58.9	0.9	20.4	0.2	12.7	0.2	24.0	1.9	38.2	1.9	56.2	0.2

各サイレージの縦列異符号間に有意差あり (P<0.05)、飼料イネ 23か月貯蔵を除く
TDNは日本標準飼料成分表 (2009年版) 掲載のエンバク (糊熟期) 並びにイネ (飼料用品種・黄熟期) の消化率を用いて算出

飼料成分分析結果は表3のとおりで、両産地とも12か月貯蔵で粗脂肪及びTDNが有意に増加し、また成田市産ではNFEが有意に低下した。産地別では、成田市産のCP含量が匝瑳市産より低かった。

2. 飼料イネサイレージ

開封調査時のベールの状態 (表1) は、貯蔵期間2か月と12か月では正味重量が360kg程度、水分54%で変化なく、ピンホールの存在やかびの発生による廃棄も全くなかった。23か月貯蔵も正味重量と水分の変化はほとんどないが、フィルム破損2か所の位置に赤及び緑のコロニーを形成するかびがベール表層からごく浅い範囲に認められ、平均廃棄率が1.5%であった。

また、乾物梱包密度はいずれのベールも260kg/m³前後の非常に高い値を示し、貯蔵中のベールの変形はいずれも認められなかった。

発酵品質 (表2) は、2か月貯蔵と12か月貯蔵ですべての項目について有意差がなかった。pHが4以下、乳酸発酵主体で、VBN/TNと酢酸含量が低く、n-酪酸がごく微量で、V-スコアとフリーク評点はいずれも高品質評価の水準¹²⁾にあった。23か月貯蔵の結果は統計処理を行っていないが特に大きな品質劣化は認められず、VBN/TN及び酢酸、プロピオン酸、n-酪酸含量の平均値が若干上がったが、V-スコアとフリーク評点はいずれも高品質評価の水準に維持されていた。

飼料成分 (表3) は、2か月に対する12か月貯蔵で粗脂肪と各繊維成分の低下及びNFEの増加に有意性が認められたが、23か月貯蔵の場合を含めてTDNはいずれも56%前後であった。

考 察

汎用型飼料収穫機により調製したコムギ及び飼料イネのサイレージ発酵品質は、V-スコア等の評点によって良質サイレージの調製が可能と判断され、本研究の貯蔵期

間の設定からコムギはほぼ1年間、飼料イネはほぼ2年間にわたり大幅な劣化なく品質を維持できることが証明された。

コムギサイレージにおける乳酸菌製剤の添加効果については対照区 (無添加区) の設定がないため不明であるが、高品質サイレージの基本である乳酸菌主体の発酵を導くことができ、乳酸の生成量は飼料イネサイレージより多かった。しかし、飼料イネに比べVBN/TNと酢酸含量が高いことが総合的な評価ではやや負に作用していた。また、12か月貯蔵でこの2項目が有意に増加していることから、これらはコムギサイレージの長期貯蔵における品質劣化の指標的な項目でもありと考えられる。飼料イネとの相違からみれば、以上についてはコムギという材料草の特性である可能性と、コムギのほうが切斷長を長く調製した影響の可能性があり、結果として飼料イネより低いV-スコアになっていた。

さらに産地別にみれば、成田市の圃場は谷津田での転作であるため、ぬかるみの存在が熟畑化した匝瑳市転換畑より状況的に不利である。成田市産ベールで貯蔵期間にかかわらずn-酪酸含量が比較的高かったことは、ベール表面に付着した土の影響が考えられる。土中に存在する嫌気性菌の酪酸菌が、高密度梱包とラッピングの条件下で増殖したと考えられる。汎用型飼料収穫機で調製したベールは高密度で気密性が高いため、収穫時に付着した土は外観上ほとんどそのままの状態で長期間維持され、12か月经過しても好気性微生物による腐敗は生じにくいと考えられる。しかし調製時に土の付着があれば、酪酸発酵で品質低下を招く余地があり、標準偏差からみてもベールにより品質にばらつきが生じやすく、また産生したn-酪酸の含量は12か月貯蔵までほぼ維持されているため、収穫調製にあたって留意が必要である。

一方、飼料イネサイレージは、12か月貯蔵までかびの発生が皆無であり、良質の乳酸発酵かつn-酪酸含量がごくわずかで、最高品質の評価が得られた。基盤整備

を終え排水が比較的良好な圃場であったことと、切断長を10mmと短く調製したことも影響していると考えられるが、乳酸菌製剤の添加がなくても高い品質が得られたことは特筆される。有機酸組成は2か月貯蔵から12か月貯蔵までほぼ変化がなく、1年にわたり品質が維持されると考えられる。23か月貯蔵でも基本的に大きな組成変化がなく優れた長期貯蔵性が示され、ピンホールなどフィルム破損がなければ大規模なかび発生や腐敗の懸念もないと考えられるが、さらに、長期貯蔵ペールについては家畜による嗜好性の検証が今後の課題として残される。

飼料成分については、コムギ、飼料イネともに多少の変動はあるが貯蔵による成分組成の著しい変化は認められず、コムギと飼料イネに共通の一定の傾向も認めがたい。推定TDN含量も長期貯蔵による減少はなく、エネルギー価の損失がないと判断される。以上から、飼料イネサイレージの23か月貯蔵も含め、汎用型飼料収穫機によるペールの長期貯蔵は、フィルム破損等による腐敗がなければ飼料成分組成と栄養価への影響がごく少ないと考えられる。

ここまで示した汎用型飼料収穫機によるペールサイレージの高品質発酵と優れた長期貯蔵性は、コムギで200kg乾物/m³前後、飼料イネで260kg乾物/m³前後が得られた高い梱包密度が第一に寄与していると考えられる。ロールペール開封時の直径と幅の実測値はペール成形設定値の±3cmにおおむね収まっており、23か月貯蔵の飼料イネも例外ではなかった。貯蔵中のペール変形がほとんど認められないことが高密度梱包の効果を示している。

飼料イネのロールペールサイレージ調製のために必要な梱包密度は150kg乾物/m³以上¹³⁾とされるが、汎用型飼料収穫機の密度水準まで達している専用収穫機はこれまでない¹⁴⁾。細断型ロールペーラとフォーレージハーベスタによる収穫体系で同等水準の梱包密度¹⁵⁾を得ているが軟弱な水田での収穫向きとはいえず、現状ではこの機種のみが持つ能力といえる。本機種による飼料イネサイレージの発酵品質と長期貯蔵性の高さは開発者からも示されているが⁶⁾、飼料ムギに関しても品質と貯蔵性において実用的価値が認められた。本県は湿田もしくは半湿田の面積が8割を超えるため¹⁶⁾、圃場の状態に配慮しながら材料草への土付着を避けることで本機種の能力が十分に発揮されると考えられる。

本報告は生研センターによる汎用型飼料収穫機開発促進評価試験の中で、千葉県における実証委託試験として実施された。試験の実施にあたり様々なご指導と開発機の運用に便宜をいただいた生研センター基礎技術研究部の志藤主任研究員、同畜産工学研究部の橋主任研究員と川出研究員に深く感謝いたします。前出の志藤氏には本

稿の校閲の労をいただき深謝いたします。また、開発機による供試ペールの調製と提供に協力いただいた農事組合法人八万石（代表若梅繁由氏）及び（社）千葉県農業協会肉用牛部会長山崎巖氏に御礼申し上げます。

引用文献

- 1) 鈴木一好・井口元夫・内田賢一 (2005)、千葉畜セ研報5:23-27
- 2) 鈴木一好・染井英夫 (2006)、千葉畜セ研報6:59-60
- 3) 鈴木一好・染井英夫 (2007)、千葉畜セ研報7:41-45
- 4) 志藤博克・橋保宏・川出哲生・高橋仁康・岡嶋弘・北中敬久・正田幹彦・古田東司・和田俊郎・安藤和登 (2010)、日草誌56(3):187-193
- 5) 志藤博克・橋保宏・川出哲生・岡嶋弘・北中敬久・正田幹彦・古田東司・和田俊郎・安藤和登 (2011)、日草誌57(1):13-20
- 6) 橋保宏・志藤博克・川出哲生・高橋仁康・岡嶋弘・北中敬久・正田幹彦・古田東司・和田俊郎・安藤和登 (2011)、日草誌57(1):21-26
- 7) 橋保宏・志藤博克・川出哲生・高橋仁康・岡嶋弘・北中敬久・正田幹彦・古田東司・和田俊郎・安藤和登 (2011)、日草誌57(1):27-33
- 8) 千葉県 (2011)、http://www.pref.chiba.lg.jp/nousui/toukeidata/nourin/documents/23_p017_018.pdf [2011年8月29日参照]
- 9) 細谷肇・斉藤健一・反町裕・米本貞夫 (2008)、千葉畜セ研報8:71-76
- 10) (独) 農業・食品産業技術総合研究機構編 (2010)、日本標準飼料成分表 (2009年版)、(社) 中央畜産会:58-61
- 11) 吉田実・阿部猛夫監修 (1982)、畜産における統計的方法、中央畜産会:26-35
- 12) 自給飼料利用研究会編 (2009)、三訂版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:74-78
- 13) 全国飼料増産行動会議編 (2011)、稲発酵粗飼料生産・給与技術マニュアル、全国飼料増産行動会議:41
- 14) 百瀬義男・原拓夫・土屋学・袖山栄次・渡辺晴彦 (2006)、日草誌51(4):408-411
- 15) 喜田環樹・松尾守展・重田一人・守谷直子・蔡義民・吉田宣夫・山井英喜・畑原昌明・設楽秀幸 (2005)、<http://www.nilgs.affrc.go.jp/SEIKA/2005/nilgs/ch05002.html> [2011年8月29日参照]
- 16) 千葉県・千葉県農林技術会議 (2001)、稲作標準技術体系:39-46