

熊本県において飼料用米・WCS 兼用品種‘夢あおば’を籾米サイレージ 向けに利用する場合、栄養成分・発酵品質・作業効率面から 黄熟期以降の収穫が適している

In Kumamoto Prefecture, Rice for Feed and Whole-Crop Silage (WCS) Combined with the Variety ‘Yumeaoba’ for Rice Grain Silage is Harvested after the Yellow-Ripe Stage for the Best Results in Terms of Nutritional Components, Fermentative Quality, and Working Efficiency

林田雄大・大川夏貴*・角崎まき*・北浦日出世・鶴田 勉
(畜産研究所)

Yudai HAYASHIDA, Natsuki OOKAWA*, Maki TSUSAKI*, Hideyo KITAURA, Tsutomu TSURUTA
(Animal Husbandry Research Institute)

要 約

近年、主食用米の需要量減少を背景に飼料用米の生産が奨励され、飼料用米の更なる利用拡大に向けて低コストでの製造・保管が可能な籾米サイレージとしての利用が期待されている。籾米サイレージは、収穫時における籾米の状態がサイレージとしての栄養価・品質を決める大きな要因となる。飼料用米の籾米サイレージ化に適した登熟期を明らかにすることで、飼料価値の向上・収穫基準を明確化でき、飼料用米の利用拡大に寄与可能である。本研究では栄養成分、発酵品質および作業効率の観点から飼料用米（生籾）の籾米サイレージ調製に適した登熟期を検討した。飼料用米・WCS 兼用品種‘夢あおば’を供試し、栄養成分・発酵品質の検討のため、糊熟期（出穂 30 日後）、黄熟期（40 日後）、成熟期前期（50 日後）、成熟期後期（60 日後）、過熟期（90 日後）で収穫し、生籾の一般成分、収量性を調査した。また、水分 30 から 35%の籾米サイレージを調製し、一般成分を分析するとともに、発酵品質を評価した。さらに、実規模でのマルチコンパクター体系において糊熟期、黄熟期の生籾で籾米サイレージを製造し、登熟期の違いが作業効率に及ぼす影響を調査した。その結果、登熟期によらず安定した栄養成分・TDN 収量が得られ、発酵品質も良好であった。作業効率は、1 時間あたりの籾米サイレージ製造量が糊熟期と比較して黄熟期で 26%高かった。以上から、‘夢あおば’を収穫後直ちに籾米サイレージ調製する場合、黄熟期以降（概ね出穂期から 40 日以降）の収穫が適することが明らかになった。

キーワード：飼料用米，籾米サイレージ，登熟期，栄養成分，発酵品質，作業効率

I 緒言

我が国では、これまで水田営農においては主食用米が主要作物として生産され、人々の食料生産の基盤を担ってきた。しかし、近年では主食用米の需要量が年々減少しており、今後さらに主食用米の生産量も大きく減少することが懸念され、水田の利活用方法が模索されていた。そこで、水田の利活用のために戦略作物として飼料用米への転作が推奨され、国産穀物飼料として家畜へ給与するための飼料用米が生産されることとなった。

一方、畜産経営においては飼料自給率の低迷が大きな問題となっている。2018 年度の粗飼料自給率は 78%、濃厚飼料自給率は 12%、全体の飼料自給率は 25%と低く

¹⁾、今後も畜産経営が持続するためには、輸入飼料依存から脱却した経営の確立が強く求められている。その中で、飼料用米は国産飼料として子実は濃厚飼料、茎葉は粗飼料としての利用が可能で自給率向上の観点からも有用であり、今後の利用拡大が期待されている。

我が国における飼料用米の作付面積は、2008 年は約 1,000ha であったが、2017 年には約 92,000ha(約 50 万 t)と 9 年間で 92 倍に拡大している²⁾。熊本県においても、転作奨励に伴って飼料用米の作付面積は増加傾向にあり、2018 年の作付面積は 1,269ha であった³⁾。

飼料用米は一般的に収穫後、カントリーエレベーターで乾燥調製し、定温保管倉庫で保管され、乾燥籾米、乾

*熊本県農林水産部生産経営局畜産課

乾燥玄米または圧片粳米等に加工される。しかし、乾燥調製および保管にかかるコストが高く、畜産経営における利用拡大の制限要因となっており、更なる利用拡大に向けては飼料用米の低コストな利用方法の確立が喫緊の課題となっている。

最近では、低コストでの製造が可能で粳米サイレージの形態で肉用牛や乳用牛等の飼料に利用する取り組みが推進されている⁴⁾。粳米サイレージは飼料用米の収穫作業後、直ちにサイレージ調製することが可能であるため、乾燥工程が不要であること、また粳米サイレージは露天での保管が可能で保管専用の施設が不要であることから、低コストでの製造・保管が可能である⁵⁾。そのため、粳米サイレージは飼料用米の新たな利用形態として期待されている。

今後、粳米サイレージを広く利用するためには品質の均一化、すなわち濃厚飼料としての利用価値を高めることが重要と考えられる。肉用牛や乳用牛を飼養する畜産農家は飼料設計に基づいて餌を給与するため、飼料の成分、品質には変動が小さいことが望ましい。粳米サイレージとしての品質は、加工調製時の粳米の状態によって大きく左右すると考えられる。

これまでに、粳米サイレージに関して一般的な栄養成分などに関する研究が行われてきた。しかしながら、飼料用米を収穫後直ちに粳米サイレージに調製する場合には、飼料用米の収穫時期に関して明確な指標がなく、収穫時期は個々の生産者の判断に委ねられるのが現状である。結果として粳米サイレージの成分、品質にばらつきが発生することが懸念される。しかし、飼料用米を収穫後直ちに粳米サイレージ調製するのに適した登熟期に関してはほとんど検討されていない。

飼料用米の粳米サイレージ製造に適した収穫時期を明確にすることにより、品質が安定した粳米サイレージの供給が可能になるとともに、耕種農家においては、飼料用米を乾燥粳米または乾燥玄米向けに収穫する体系と比較して、収穫作業期間を幅広く設定できる可能性があり、畜産・耕種双方に利点がある。また、実規模での粳米サイレージ製造体系における飼料用米の登熟期と作業効率の関係性を明らかにすることによって、粳米サイレージ製造の効率化による飼料の低コスト化にも寄与できる可能性がある。

そこで本研究では、玄米収量が高く、耐倒伏性が高いなどの特徴を持ち⁶⁾、熊本県内における飼料用米作付面積が最も多い飼料用米・WCS兼用早生系品種‘夢あおば’を用いて、異なる登熟期で調製した粳米サイレージが栄養成分、発酵品質および作業効率に及ぼす影響を調査し、収穫後直ちに粳米サイレージ向けに利用する場合に適し

た登熟期を検討した。

II 材料および方法

1 試験期間および供試品種

本試験は、2016年から2018年の3ヵ年にかけて熊本県農業研究センター農産園芸研究所の水稻栽培ほ場にて栽培された飼料用米・WCS兼用品種‘夢あおば’を供試した。

2 試験方法

1) 登熟期の違いが粳米サイレージの栄養成分に及ぼす影響

飼料用米の収穫は、出穂期を迎えた日から起算して30日（以下、「糊熟期」と定義）、40日（以下、「黄熟期」と定義）、50日（以下、「成熟期前期」と定義）、60日（以下、「成熟期後期」と定義）ならびに90日（以下、「過熟期」と定義）で収穫した（2017年は、過熟期は収穫せず）。収穫した生粳は、粉碎機（Retsch社SM1）を用いて粒度が5mm以下となるように粉碎後、水分が30から35%となるよう加水した。加水後、パウチ法により密閉し、粳米サイレージを調製した。いずれの登熟期においても乳酸菌は無添加とした。粳米サイレージは発酵期間を60日に設定し、発酵期間終了後に開封後、分析のための供試サンプルとした。

調査項目は、収穫直後の生粳では化学分析により水分、粗蛋白含有率（以下、CP）、粗脂肪含有率（以下、EE）、粗繊維含有率（以下、CF）および可溶性無窒素物含有率（以下、NFE）の一般成分を算出し、その分析値をもとに推定TDN^{注1}（%）を試算した。なお、水分は加熱乾燥法、CPは燃焼法、EEはジエチルエーテル抽出法、CFは濾過法により分析し、NFEは差し引き法により算出した。

各成分の消化率は、日本飼養標準飼料成分表（牛・モミ米）に記載された、CPの消化率=58（%）、EEの消化率=71（%）、CFの消化率=15（%）、NFEの消化率=92（%）を用いて算出した⁷⁾。また、生粳では刈り取りによって1m²あたりの実収量を測定し、収量(kgDM/10a)を調査した。また、収量に推定TDNを掛け合わせて単位面積あたりの栄養量を示すTDN収量(kgDM/10a)を算出した。

粳米サイレージについても生粳と同様に化学分析によって一般成分を測定した。推定TDNについては、粳米サイレージにおける各成分の消化率が明らかになっていないため、算出していない。

注1：TDN（Total Digestible Nutrients）は可消化養分総量の略称であり、家畜体に栄養として吸収される飼料成分の割合を示し、以下の式で算出される。

$$\text{TDN}(\%) = \text{CP}(\%) \times \text{CPの消化率} + 2.25 \times \text{EE}(\%)$$

×EEの消化率+NFE(%)×NFEの消化率+CF(%)×CFの消化率

2) 登熟期の違いが籾米サイレージの発酵品質に及ぼす影響

試験2)では、試験1)で調製したサンプルを用いて調査を実施した。

発酵品質の調査として、pH、有機酸組成およびVBN/T-N比(揮発性塩基態窒素/全窒素比)を測定した。有機酸は乳酸、酢酸(C2)+プロピオン酸(C3)および酪酸、吉草酸の各異性体を含む合計(C4以上)に3分画し、V-Score^{注2}を算出することで発酵品質を評価した⁸⁾。なお、pHはガラス電極法、有機酸組成は高速液体クロマトグラフ法、VBNは水蒸気蒸留法ならびに微量拡散法により分析した。

注2: V-Scoreは第1表に示した方法で点数を算出し、V-score≥80を「良」、80>V-score>60を「可」、V-score≤60を「不可」として判定した⁸⁾。

試験1)および試験2)では、収量ならびにTDN収量を除いて2016年から2018年の各年で栽培区画として2反復以上を設け、3カ年の平均値を算出した(2017年の過熟期を除く)。収量およびTDN収量は、2017年、2018年の2カ年の平均値を算出した(2017年の過熟期を除く)。統計処理は、統計処理プログラム「R」を用いて、多重比較のTukey-kramer法により年次を反復とし、各「登熟期」間における有意差検定を行った。

第1表 V-Scoreの算定方法および品質評価基準

VBN/T-N比(%)=A 点数A'	A≤5 50	5<A≤10 60-2A	10<A≤20 80-4A	20<A 0
C2+C3(FM%)=B 点数B'	B≤0.2 10	0.2<B≤1.5 (150-100B)/13	1.5<B 0	
C4-(FM%)=C 点数C'	C=0 40	0<C≤0.5 40-80C	0.5<C 0	
V-Score=A'+B'+C' 評価	100~80≥ 良	>80~60> 可	60≥ 不可	

C2+C3: 酢酸+プロピオン酸。

C4-: 酪酸, 吉草酸の合計(異性体含む)。

3) 登熟期の違いが籾米サイレージ製造における作業効率に及ぼす影響

本試験は、2017年、2018年の2カ年にかけて熊本県菊池郡大津町にあるネットワーク大津株式会社にて、飼料用米収穫および籾米サイレージ製造を行う9月下旬から10月上旬にかけて調査を実施した。2017年は糊熟期で飼料用米を収穫し、2018年は黄熟期で収穫した生籾を用いた。

籾米サイレージの製造は、一般的に破砕機で生籾を破

砕後に加水利、フレコンバッグで脱気(密封)・発酵する。しかしながら、当研究所では、実規模での籾米サイレージ梱包方法として、マルチコンパクター(Orkel社MC1000, 写真1)を用いた製造体系がフレコンバッグ体系より品質・作業効率ともに優れていることを明らかにしている^{9), 10)}。そこで今回は、マルチコンパクター体系での籾米サイレージ製造により、作業効率を調査した。

マルチコンパクター体系における籾米サイレージ製造システムの概略図を第1図に示した。コントラクターや集落営農法人等の経営体の実規模で飼料用米の収穫作業、籾米サイレージ製造作業を並行して行うことを想定している。本体系は、搬入・生籾投入工程、破砕工程、加水工程ならびに脱気(密封)・成型工程から構成される。原料籾米はフレコンバッグ(下部排出口)で持ち込まれることを想定した。

a. 搬入・生籾投入工程: フレコンバッグで搬入された原料生籾は、フォークリフトにより持ち上げ、フレコンバッグの下部排出口からバケットエレベーターに投入され、破砕機に供給される。なお、バケットエレベーターに投入する際に、加水量を決定するために穀物用水分計を用いて水分を測定する。

b. 破砕工程: 破砕機(Romill社S600: 破砕能力3~5t/hr, 破砕粒度: 概ね5mm)2台を用いて、設定した破砕粒度に破砕する。破砕生籾は、ベルトコンベアへ排出される。

c. 加水工程: マルチコンパクターへ投入される際に水分が30%程度となるよう生籾水分から加水量を決定し、シャワー方式で破砕生籾に均一に加水される。なお、乳酸菌は無添加とした。

d. 脱気(密封)・成型工程: マルチコンパクターに投入された破砕生籾は、自動でロール形成部へ投入され、高圧縮により脱気しながらロール形成することで、ロールペールサイレージが完成する。60日の発酵期間を経たのちに開封され、飼料利用される。

調査項目は、収穫時の生籾水分^{注3)}、1時間あたりの籾米サイレージ製造量^{注4)}、製造から60日後のV-Scoreをそれぞれ調査した。なお、V-Scoreは試験2)と同様に有機酸組成およびVBN/T-N比を分析し、第1表に従って発酵品質を評価した。

なお、各年3反復(3日)以上の調査日を設け、3日間の平均値を算出した。

注3: 第1図の概略図におけるa. 搬入・生籾投入工程での穀物用水分計での測定データ。

注4: 第1図の概略図におけるd. 脱気(密封)・成型工程での調査データ。1時間あたりの籾米サイレージ製造量は以下のように算出した。なお、フレコンバッグで搬

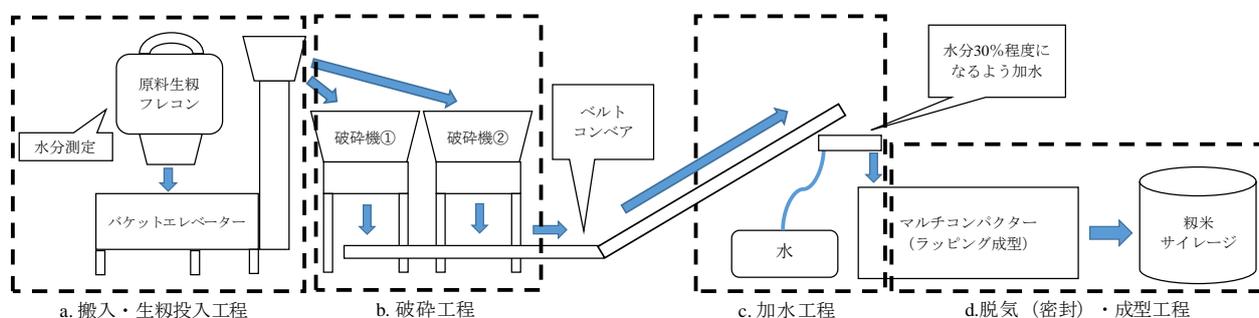
入された原料生粳は十分量準備されており、バケットエレベーターには生粳が常時充填されていた。

1 時間あたり粳米サイレージ製造量 (t/hr) = 1 日に製造

されたロールバールサイレージ総重量 (t) ÷ 1 日のマルチコンパクター体系製造プラント稼働時間 (hr)



写真1 マルチコンパクター (Orkel 社 MC1000) の外観



第1図 マルチコンパクター体系粳米サイレージ製造システムの概略図

→: 原料(生粳)の流れ.

III 結果

1) 登熟期の違いが粳米サイレージの栄養成分に及ぼす影響

各登熟期における生粳の一般成分および推定 TDN, 粳米サイレージにおける一般成分を第2表に示した。

生粳において、水分は登熟が進むに伴って低下し、糊熟期と比較して成熟期後期および過熟期で有意に低かった。CP, EE, NFE および CF は登熟期の間で若干のばらつきがみられたものの、いずれも有意な差は認められなかった。しかし、CP および EE と比較して NFE ならびに CF は成分含有率の変化が大きく、NFE は最大で 3.1 ポイントの差がみられ、登熟が進むに伴って高くなる傾向にあり、CF は最大で 2.0 ポイントの差がみられ、登熟が進むに伴って低くなる傾向にあった。家畜体が利用可能な栄養価の割合を示した推定 TDN についても、最大で 1.9 ポイントの差がみられ、登熟が進むに伴って高くなる傾向にあったものの、各登熟期間に有意な差は認められなかった。

粳米サイレージにおける一般成分について、CP および EE は各登熟期間に有意な差は認められなかった。

NFE は糊熟期と比較して過熟期で有意に高く、CF は糊熟期と比較して過熟期で有意に低かった。登熟が進むに伴う成分変化の様子は、生粳における変化と近似していた。

各登熟期における収量 (kgDM/10a) および TDN 収量 (kgDM/10a) を第3表に示した。収量は一般的に収穫適期とされる成熟期前期および成熟期後期と比較して糊熟期で約 100kg/10a, 黄熟期ならびに過熟期で約 50kg/10a 低かったが、有意な差は認められなかった。TDN 収量についても収量と同様の傾向がみられており、成熟期前期および成熟期後期と比較して糊熟期で約 80kg/10a, 黄熟期ならびに過熟期で約 40kg/10a 低かったものの、有意な差は認められなかった。

2) 登熟期の違いが粳米サイレージの発酵品質に及ぼす影響

粳米サイレージの各登熟期における pH, 有機酸組成, VBN/T-N 比, V-Score および発酵品質評価を第4表に示した。pH は登熟期間で一定の傾向はみられず、有意差

は認められなかった。有機酸組成について、乳酸菌は無添加であったもののいずれの登熟期においても乳酸の生成が確認された。しかし、乳酸含有率に一定の傾向はみられず、有意な差は認められなかった。不良発酵の指標となる C2+C3 含有率, C4 以上含有率, VBN/T-N 比

は吉草酸を除いて生成が認められたが、登熟期の間で一定の傾向はみられず、有意な差は認められなかった。

サイレージにおける発酵品質の良否を示す指標となる V-Score は、いずれの登熟期においても 80 点以上であり、発酵品質はすべての登熟期で「良」と判定された。

第2表 登熟期毎の生籾における一般成分および推定 TDN, 籾米サイレージにおける一般成分の比較

登熟期	水分含有率 (%)	CP (DM%)	EE (DM%)	NFE (DM%)	CF (DM%)	推定TDN (DM%)	
生籾	糊熟期	31.7 ± 5.5 ^b	6.4 ± 0.6	2.4 ± 0.3	73.2 ± 2.0	11.8 ± 1.4	76.7 ± 1.6
	黄熟期	29.1 ± 1.9 ^{ab}	6.3 ± 0.3	2.2 ± 0.2	74.8 ± 1.2	10.7 ± 0.7	77.7 ± 0.8
	成熟期前期	24.4 ± 3.5 ^{ab}	6.4 ± 0.3	2.2 ± 0.1	75.9 ± 1.6	9.8 ± 0.9	78.4 ± 1.0
	成熟期後期	21.6 ± 2.9 ^a	6.4 ± 0.3	2.2 ± 0.2	75.4 ± 1.4	10.2 ± 0.9	78.1 ± 0.9
	過熟期	20.3 ± 3.5 ^a	6.5 ± 0.1	2.0 ± 0.1	76.3 ± 0.2	9.9 ± 0.4	78.6 ± 0.1
籾米サイレージ	糊熟期	-	6.6 ± 0.44	2.1 ± 0.4	72.8 ± 0.9 ^a	12.0 ± 0.6 ^b	-
	黄熟期	-	6.5 ± 0.12	1.9 ± 0.4	74.2 ± 0.8 ^{ab}	11.0 ± 1.4 ^{ab}	-
	成熟期前期	-	6.6 ± 0.11	1.8 ± 0.6	74.5 ± 1.6 ^{ab}	10.2 ± 0.6 ^{ab}	-
	成熟期後期	-	6.7 ± 0.04	1.9 ± 0.5	74.8 ± 1.0 ^{ab}	10.4 ± 0.5 ^{ab}	-
	過熟期	-	6.7 ± 0.01	1.7 ± 0.8	76.3 ± 0.7 ^b	9.5 ± 0.5 ^a	-

値は、平均値±標準偏差。

3 ヶ年の平均値 (過熟期のみ 2 ヶ年の平均値)。

生籾, 籾米サイレージそれぞれの同列異符号間に有意差あり, P<0.05 (Tukey-kramer 法)。

CP: 粗蛋白質, EE: 粗脂肪, NFE: 可溶性無窒素物, CF: 粗繊維, TDN: 可消化養分総量。

第3表 各登熟期における収量および TDN 収量の比較

登熟期	収量 (kgDM/10a)	TDN収量 (kgDM/10a)
糊熟期	629 ± 63	487 ± 42
黄熟期	684 ± 53	533 ± 37
成熟期前期	735 ± 58	578 ± 37
成熟期後期	724 ± 68	566 ± 45
過熟期	675	531

値は、平均値±標準偏差。

2 ヶ年の平均値 (過熟期のみ, 単年のデータ)。

有意差なし (Tukey-kramer 法)。

第4表 各登熟期における籾米サイレージの pH, 有機酸組成, VBN/T-N 比, V-Score の比較

登熟期	pH	有機酸組成 (FM%)			VBN/T-N (%)	V-Score (点)	評価
		乳酸	C2+C3	C4-			
糊熟期	5.0 ± 0.5	0.59 ± 0.47	0.08 ± 0.04	0.13 ± 0.12	6.4 ± 2.1	86 ± 10	良
黄熟期	4.9 ± 0.2	0.62 ± 0.09	0.11 ± 0.06	0.04 ± 0.05	6.6 ± 1.4	94 ± 8	良
成熟期前期	5.0 ± 0.3	0.47 ± 0.13	0.12 ± 0.02	0.10 ± 0.06	5.3 ± 1.1	91 ± 6	良
成熟期後期	5.0 ± 0.3	0.55 ± 0.10	0.07 ± 0.03	0.14 ± 0.13	5.9 ± 2.2	86 ± 14	良
過熟期	5.4 ± 0.4	0.42 ± 0.09	0.03 ± 0.01	0.11 ± 0.14	5.0 ± 0.2	91 ± 12	良

値は、平均値±標準偏差。

3 ヶ年の平均値 (過熟期のみ 2 ヶ年の平均値)。

有意差なし (Tukey-kramer 法)。

C2+C3: 酢酸+プロピオン酸。

C4-: 酪酸, 吉草酸の合計 (異性体含む)。

3) 登熟期の違いが籾米サイレージ製造における作業効率に及ぼす影響

マルチコンパクター体系での籾米サイレージ製造における2017年(糊熟期)および2018年(黄熟期)での収穫時の生籾水分、1時間あたりの籾米サイレージの製造量および60日間発酵後の籾米サイレージのV-Scoreおよび発酵品質評価を第5表に示した。生籾水分は2017年が31.2%、2018年は28.8%と登熟期の差異によって2.4ポイントの差がみられた。1時間あたりの籾米サイレージ製造量は2017年が5.4t/hr、2018年は7.3t/hrであり、マルチコンパクター体系においては、黄熟期収穫の原料を用いた籾米サイレージ製造は糊熟期収穫の原料を用いた場合と比較して、作業効率は26%高かった。発酵後の籾米サイレージにおけるV-Scoreは、2ヵ年とも80点以上であり、発酵品質はいずれの登熟期においても良好であったことが示された。

第5表 籾米サイレージ製造における登熟期の違いによる作業効率の比較

処理区分 (登熟期)	籾水分 (%)	製造能力 (t/hr)	V-Score (点)	評価
2017年(糊熟期)	31.2 ± 0.1	5.4 ± 1.7	95 ± 4	良
2018年(黄熟期)	28.8 ± 0.3	7.3 ± 0.2	94 ± 2	良

値は、平均値±標準偏差。
それぞれ、各3日間の平均値。

IV 考察

1) 登熟期の違いが籾米サイレージの栄養成分に及ぼす影響

試験1)では、飼料用米を収穫後直ちに籾米サイレージ調製する際の登熟期の違いによる栄養成分の差異を検討した。

生籾の水分は、登熟が進むに伴って大きく低下することが示された。CP、EE、NFEおよびCFについて各登熟期の間には有意な差は認められなかった。したがって、登熟に伴った子実の充実による一般成分の変化は小さいことが明らかになった。

籾米サイレージの一般成分については、生籾における同一登熟期の一般成分に近似した含有率であった。サイレージの栄養価は、発酵前の原料の成分に大きく依存する。今回の試験で籾米サイレージと生籾の同一登熟期で成分値が近似していたことは、サイレージ化の過程において、発酵による栄養損失が少なかったためと推察された。

しかし、生籾および籾米サイレージにおいて、NFEは登熟が進むに伴って含有率が高くなる傾向にあり、CFは登熟が進むに伴って含有率が低くなる傾向がみられた。

水稻は出穂後、日数の経過に伴って子実が充実するため、デンプン含量が増加する。NFEの主構成要素であるデンプン含有量の増加に伴ってCFの主構成要素である籾殻の重量比が相対的に低下するため、著しい変化ではないものの、登熟が進むに伴ってNFEが増加し、CFが減少したものと推察された。

収量およびTDN収量については、登熟期の違いによって有意な差は認められなかったが、収量は一般的な収穫適期である成熟期前期および成熟期後期の約730kg/10aと比較して糊熟期で約100kg/10a、黄熟期ならびに過熟期で約50kg/10a低かった。TDN収量においても成熟期前期および成熟期後期の約570kg/10aと比較して、糊熟期で約80kg/10a、黄熟期で約40kg/10a低くなる結果が得られた。糊熟期および黄熟期で収量ならびにTDN収量が低かったことは、子実が完全に充実していなかったことに起因する可能性が推察された。過熟期で低かったことは、収穫適期を大幅に超過して収穫したため、栽培ほ場内で脱粒が発生していた可能性が推察された。成熟期前期および成熟期後期と他の登熟期を比較すると、他の登熟期は収量ならびにTDN収量について若干劣る可能性があるものの、飼料価値を著しく低下させるほどの大きな差異ではなかったものと推察された。

以上の結果から、飼料用米を収穫後直ちに籾米サイレージに調製する場合、一般成分、推定TDN、収量およびTDN収量の面から、登熟期の違いによらず安定した栄養成分を得られることが明らかになった。

今回の試験では、籾米サイレージの一般成分の各消化率が明らかとなっていないため、籾米サイレージの推定TDNについて言及していないものの、サイレージ化することによって、生籾と比較して消化率は向上する可能性が推察される。

今後、籾米サイレージにおける一般成分の各消化率に関して知見を得ることで、籾米サイレージの推定TDNが明らかになるとともに、それらを飼料設計に活用することも期待できる。

2) 登熟期の違いが籾米サイレージの発酵品質に及ぼす影響

試験2)では、飼料用米を収穫後直ちに籾米サイレージ調製する際の登熟期の違いによる発酵品質の差異を検討した。

第4表に示したとおり、いずれの調査項目においても有意な差は認められず、V-Scoreによる発酵品質の評価は「良」であった。

サイレージのpHは一般的には4.2以下まで低下することが良質サイレージの基準とされるが、低水分サイレ

ージは発酵自体が抑制されるため、乳酸発酵に依存せずとも良質なサイレージが得られるとされる¹¹⁾。本試験で調製した籾米サイレージの pH は 4.9 から 5.4 と良質サイレージの基準と比較すると高かったものの、水分を 30 から 35% に調製した籾米サイレージは低水分サイレージに区分されるため、乳酸発酵が抑制され、pH が十分に低下しなかったものと推察された。

乳酸含有率については、良質サイレージの基準となる含有率は原物で 1.5 から 2.5% であるとされる¹¹⁾ が、低水分サイレージで乳酸発酵が抑制されていることから、籾米サイレージの乳酸含有率は最大で 0.62% にとどまったものと推察された。しかし、乳酸の生成が認められていることから、乳酸菌無添加でも良質な発酵品質を得られる可能性が推察された。

C2+C3 含有率は、最小で過熟期の 0.03%、最大で成熟前期の 0.12% となっていた。酢酸およびプロピオン酸は発酵初期に乳酸菌が糖から産生した副産物であることが多い¹²⁾ とされる。適切な含有率であればカビの発生防止や二次発酵による変敗防止に寄与する¹³⁾ が、C2+C3 含有率が高い場合、好気条件での発酵により、発酵品質が低下するとされる¹²⁾。しかし、本試験における C2+C3 含有率は最大で 0.12% であり、V-Score における発酵品質で減点対象となる 0.2% には達していないため、適切な C2+C3 含有率の範囲内であったことが示唆された。

C4 以上含有率については、最小で黄熟期の 0.04%、最大で成熟後期の 0.14% であった。C4 以上含有率が高いサイレージは、採食量の低減、下痢、ケトosis、繁殖障害の直接的・間接的原因となるため¹¹⁾、発酵品質の評価、特に不良発酵の度合いを示す指標として、大きな比重を占めている。V-Score による評価では、酪酸および吉草酸の発生が確認されれば減点の対象となる。本試験ではいずれの登熟期においても酪酸の発生が確認されたが、V-score の評価がいずれの登熟期においても「良」であったことから、登熟期の違いが酪酸発酵による発酵品質の著しい低下につながるリスクは低いものと推察された。

同様に VBN/T-N 比についても、V-Score による評価では 5% 以上で減点の対象となる。VBN/T-N 比は酪酸発酵による分解程度を反映しており、VBN/T-N 比が高い場合には嗜好性に影響し、採食量の低下につながる可能性がある¹¹⁾。本試験では、いずれの登熟期においても VBN/T-N 比は 5% 以上であったものの、発酵品質の著しい低下の要因ではなかったものと推察された。

以上の結果から、飼料用米を収穫後直ちに籾米サイレ

ージに調製する場合、pH、有機酸組成、VBN/T-N 比および V-Score の面から登熟期の違いによらず良好な発酵品質を得られることが明らかとなった。

ただし、今回の試験は籾米サイレージの水分を 30 から 35% に調製した際の結果である。発酵品質は水分含有率にも大きく左右される可能性があるため、留意が必要である。また、いずれの登熟期においても酢酸、プロピオン酸ならびに酪酸の発生が確認されていることから、籾米サイレージ調製作業において、嫌気状態での不良発酵を起こさないよう留意が必要である。

3) 登熟期の違いが籾米サイレージ製造における作業効率に及ぼす影響

試験 3) では、登熟期の違いが実規模のマルチコンパクター体系での籾米サイレージ製造における作業効率に及ぼす影響を比較検討した。

糊熟期（水分：31.2%）で収穫した生籾を用いて籾米サイレージを製造した場合、子実のデンプン質が糊状であり、第 1 図の概略図における作業 b：破碎工程の際に破碎機内に詰まりが発生し、破碎作業が停滞した。破碎作業停滞が要因となり、作業 c：加水工程および作業 d：マルチコンパクターによる脱気・成型工程へと十分量の破碎籾米が供給されず、稼働時間あたりの籾米サイレージ製造量が少なくなった。一方、黄熟期（水分：28.8%）に到達した生籾を用いた場合には、子実のデンプン質はろう状になっており、破碎機での詰まりによる作業効率の低下はみられず、作業 a から作業 d までの一連の作業がスムーズに進行した。マルチコンパクターは破碎・加水工程が終了した籾米が機械内に一定量充填されることにより、自動で脱気・成型を開始するため、効率的な作業のためには、破碎籾米をスムーズにマルチコンパクターへ搬入することが重要となる。糊熟期と黄熟期では、1 時間あたりの籾米サイレージ製造量に 1.9t/hr の差がみられ、作業効率は糊熟期と比較して黄熟期で 26% 高くなる結果となった。

なお、成熟前期、成熟後期および過熟期で収穫した生籾を用いた作業効率の調査は、該当する登熟期で収穫作業を行うことが困難であったため調査していない。しかしながら、黄熟期以降は子実のデンプン質がろう状になっており、成熟前期、成熟後期ならびに過熟期においても破碎作業が停滞する可能性は低いと考えられる。そのため、黄熟期以降に収穫した生籾を用いた場合の籾米サイレージ製造における作業効率は、黄熟期の作業効率と同等程度であると推測できる。

また、発酵期間終了後の籾米サイレージで発酵品質を調査したところ、V-Score は糊熟期、黄熟期ともに 80 点

以上と発酵品質の評価は「良」であった。試験 3) で製造した粃米サイレージは、試験 2) で調製した粃米サイレージと同等の水分含有率となるよう加水している。試験 2) で得られた結果を勘案すれば、マルチコンパクター体系における粃米サイレージ製造においても、いずれの登熟期の生粃を原料として使用しても良好な発酵品質が得られると考えられた。

以上の結果から、マルチコンパクター体系において生粃を原料として粃米サイレージを製造する場合、糊熟期の生粃を用いることは、作業効率が著しく低下する可能性が懸念されることから、黄熟期以降の生粃を原料として利用することで高い作業効率を得られることが示唆された。

4) 総合考察

試験 1) ~試験 3) の結果から、栄養成分および発酵品質の観点からは登熟期の違いが与える影響は小さいことが明らかとなった。実規模のマルチコンパクター体系における作業効率は、糊熟期の生粃を用いることで作業効率が著しく低下し、黄熟期以降の生粃を用いることで高い作業効率を得られることが示唆された。

以上のことから、熊本県において飼料用米・WCS 兼用品種「夢あおば」を収穫後直ちに粃米サイレージの原料に利用する場合に適した登熟期は、黄熟期以降（出穂期から約 40 日以降）であることが明らかとなった。したがって、乾燥粃米や乾燥玄米向けに飼料用米を収穫する体系よりも収穫時期を幅広く設定可能であるとともに、成分・品質が安定した低コスト飼料として畜産農家に供給が可能であることも示唆された。

最後に、本試験では熟期を出穂からの日数で便宜上定義し、比較・検討を行った。しかし、福罵ら¹⁴⁾は、飼料用稲において、出穂から収穫までの日数が同じであっても、年次によって、乾物特性や飼料成分がやや異なる可能性があるため、留意が必要であると報告している。また、水稻は施肥条件、積算温度ならびに日照条件などの要因によって登熟速度は変化する。飼料用稲において、出穂期以降の積算気温 600°C で糊熟期に到達し、積算気温 850°C で黄熟期に到達する¹⁵⁾と報告されており、気象条件を考慮しながら必要に応じて目視や生粃の水分測定により熟期を判断する必要がある。収穫時期が成熟期よりも極端に遅くなる場合には、病気や害虫の発生、ほ場内での脱粒に留意が必要である。

V 謝辞

本研究の遂行にあたって、飼料用米を栽培し、粃米を提供して頂いた熊本県農業研究センター農産園芸研究

所作物研究室の皆様、粃米サイレージのマルチコンパクター体系における作業効率の比較試験にご協力頂いたネットワーク大津株式会社の皆様には多大なご協力を賜った。また、本論文を執筆するにあたり、多くの関係者の皆様にご校閲頂いた。ここに記して謝意を表する。

VI 引用文献

- 1) 農林水産省 (2020) : 飼料をめぐる情勢. 農林水産省生産局畜産部飼料課, 東京, 2.
- 2) 農林水産省 (2019) : 飼料用米の推進について. 農林水産省政策統括官, 東京, 2-10.
- 3) 熊本県 (2019) : 令和元年度熊本県畜産統計. 熊本県農林水産部生産経営局畜産課, 熊本. https://www.pref.kumamoto.jp/kiji_29903.html (2020年5月1日閲覧)
- 4) 農林水産省 (2015) : 飼料用米コスト低減マニュアル. 農林水産省, 東京, 32.
- 5) 井上秀彦・松尾守展・川出哲夫・恒川磯雄・浦川修司 (2016) : 粃米サイレージ調製作業システムの構築およびコストシミュレーション. 農業食料工学会誌第78巻第1号, 86-94.
- 6) 農林水産省 (2009) : 新しい多収米品種—加工用米及び飼料用米等, 新規需要米の生産に向けて—. 農林水産省農林水産技術会議事務局 研究開発官 (食料戦略室, 東京, 24-25.
- 7) 中央畜産会 (2009) : 独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構編 日本標準飼料成分表 (2009年版), 82-83.
- 8) 社団法人日本草地畜産種子協会 (2009) : 三訂版 粗飼料の品質評価ガイドブック 自給飼料利用研究会編, 74-77.
- 9) 中村寿男・大川夏貴・上島磯喜・下田茂穂・鶴田克之 (2016) : マルチコンパクターを用いた粃米サイレージの調製. 日本草地学会誌第62巻別号, 60 (講演要旨).
- 10) 大川夏貴・北川まき・中村寿男・下田茂穂・鶴田克之・鶴田 勉 (2017) : 粃米サイレージの梱包形態と調製方法が発酵品質に及ぼす影響. 日本草地学会誌別号, 59 (講演要旨).
- 11) デーリイマン社 (1989) : 最新サイレージ〜調製と給与の決め手〜, DAIRYMAN 臨時増刊号, 105-109.
- 12) 酪農学園大学エクステンションセンター (2012) : 最新サイレージバイブル〜サイレージと TMR の調製と給与〜, 酪農ジャーナル臨時増刊号, 130-134.
- 13) 安宅一夫 (1976) : プロピオン酸添加サイレージの調製法とその給与が家畜におよぼす影響, 牧草と園芸,

- 第 24 卷 12 号, 6-9.
- 14) 福嶋 陽・太田久稔・横上晴郁・津田直人 (2017) : 東北地域におけるイネ WCS 用水稲品種の乾物特性および飼料成分. 日本作物学会紀事, 第 86 卷第 1 号, 1-6.
- 15) (独)九州沖縄農業研究センター畜産飼料作研究部・熊本県農業研究センター畜産研究所・熊本県農業研究センター農産園芸研究所・大分県畜産試験場・大分県農業技術センター・宮崎県畜産試験場・鹿児島県畜産試験場 (2004) : 飼料イネの栽培・技術マニュアル (九州中南部版), 26-31.

Summary

In Kumamoto Prefecture, Rice for Feed and Whole-Crop Silage (WCS) Combined with the Variety 'Yumeaoba' for Rice Grain Silage is Harvested after the Yellow-Ripe Stage for the Best Results in Terms of Nutritional Components, Fermentative Quality, and Working Efficiency

Yudai HAYASHIDA, Natsuki OOKAWA*, Maki TSUSAKI*, Hideyo KITAURA, Tsutomu TSURUTA
(Animal Husbandry Research Institute)

In recent years, the production of rice for feed has been encouraged against the backdrop of a decrease in the demand for edible rice, and rice for feed is expected to be used as rice grain silage that can be produced and stored at low cost in order to further expand the use of rice for feed. In rice grain silage, the condition of the paddy rice at the time of harvest is a major factor in determining the nutritive value and quality of the silage. By clarifying the ripe stage that is the most suitable for the rice grain silage of rice for feed, it is possible to improve the feeding value and clarify the harvesting criteria, which can contribute to the expansion of the use of rice for feed. In this study, focusing on nutritional components, fermentative quality and working efficiency, we investigated which ripe stage is the most suitable for the silage making of rice for feed (raw paddy). Rice for feed and WCS combined varieties 'Yumeaoba', In order to examine the nutritional components and fermentative quality, during the dough-ripe stage (30 days after the heading stage), the yellow-ripe stage (40 days later), the early full-ripe stage (50 days later), the late full-ripe stage (60 days later), and the over-ripe stage (90 days later), we harvested each type of rice, and the feed component and yield of raw paddy were analyzed. We also created rice grain silage with a water content of 30%–35%; we analyzed the feed component and the fermentative quality. With the use of a multi-compactor on a site scale, rice grain silage was produced from the dough-ripe stage and yellow-ripe stage raw paddy, and the effects of the ripe stage on working efficiency were investigated. The results revealed that stable nutritional components and a stable total digestible nutrients (TDN) yield were obtained regardless of the ripe stage, and the fermentative quality was also good. Regarding the working efficiency, the amount of rice grain silage produced per hour was 26% higher in the yellow-ripe stage than in the dough-ripe stage. These findings clarified that when rice grain silage made of 'Yumeaoba' is performed immediately after harvesting, ingathering after the yellow-ripe stage (generally 40 days after the heading stage) is suitable.

key words : rice for feed, rice grain silage, ripe stage, nutritional components, fermentative quality, working efficiency