

発芽処理した粳米サイレージの飼料特性および発酵品質について

佐竹康明、岩田玲佳、三好大介*

要 約

粳米の消化率向上の一手段として、発芽処理した粳米をサイレージ調製し、飼料特性や発酵品質について調査した。発芽粳米の水分含量は、発芽処理に伴う水の浸漬によりサイレージ調製が可能な30%以上に増加した。また、0mm発芽区に比べ4mm発芽区の可溶性無窒素物(NFE)含量が低下し、相対的に粗蛋白質、粗脂肪および粗繊維含量が増加する傾向が認められた。発芽によるミネラル含量の差は認められなかった。発芽粳米サイレージの水分含量は、貯蔵日数の経過に伴い減少する傾向を示し、NFE含量の低下と、相対的に粗蛋白質および粗脂肪含量等が増加する傾向が認められた。無添加区の発酵品質は、緩やかな乳酸発酵を示したが、乳酸菌の添加により短期利用(開封)が可能となるとともに、添加の有無に関わらず貯蔵日数365日においても良好な品質を維持できた。

キーワード 発芽粳米、サイレージ、飼料成分、発酵品質

諸 言

近年、本県においても耕畜連携による水田活用の取り組みが増加し、専用収穫機を必要とする稲発酵粗飼料に比べ、耕種農家の既存収穫機を利用できる飼料米の作付面積が、2013年の104haから2017年の244haと飛躍的に増加している。

大家畜において飼料米を利用する場合、その固い殻が付着した粳米を給与すると消化率が低いため、蒸気圧片¹⁾、粉碎^{1,2)}、膨軟化²⁾、サイレージ化^{3,4)}、脱穀等の加工処理する利用形態が主流となっているが、処理経費の削減や専用破碎機の設備投資等が課題となっている。一方、粳米における「発芽」と言うプロセスは、外皮でリグニンを多く含む粳殻を破るため、粳米と比較して消化率の向上を図ることができるとともに、玄米では発芽処理によるγ-アミノ酪酸(GABA)の増加⁵⁾が知られており、家畜のストレス軽減効果⁶⁾も期待される。また、発芽処理に必要な設備は、各地域に存在する育苗センターやカントリーエレベーター等の既存設備を活用することができ、春季の水稲田植えシーズン

以外では稼働率が低い現状にある。

そこで、発芽処理した粳米をサイレージ調製し、その飼料特性やサイレージ発酵品質を調査するとともに、乳用牛への給与効果を検証することにより、飼料米の利用手段の拡充、並びに、酪農経営の安定化に資することを目的とした。

材料および方法

1) 発芽伸長による粳米の飼料成分の比較 [試験1]

2017年に栽培された品種「キヌヒカリ」の粳米をカントリーエレベーターより入手し、粳米4kg/袋を入れた収穫ネット(10kg容)3袋を80L容浸漬樽(水60L)に24時間浸漬した後、水中ポンプ(寺田ポンプ SL-52)を稼働し、発芽するまで24時間毎に水替えした。試験区分は0mm(粳米、発芽前)、1mm、4mm発芽の3水準、浸漬開始48時間後を1mm発芽、76時間終了時を4mm発芽とした。浸漬に要した平均気温積算は88.3°C、発芽率63.8%であり、発芽した試験区分の粳米をそれぞれ分析に供した。分析項目は、水分、粗蛋白質、粗脂肪、粗繊維、NFE、粗灰分

* 八幡浜市局地域農業育成室西予農業指導班

とし、分析サンプルは、通風乾燥機（アルプ社 GT-120HG）により 80℃、24 時間乾燥した後、カッティングミル（レッチェ社 SM100）および超遠心粉碎機（三田村理研工業(株) ZM-1）を用い、1mm に粉碎したものを分析に供した。水分を定法により、粗蛋白質をケルダール法（FOSS Kjelttec2200）、粗脂肪をジエチルエーテル抽出法（Gerhardt Soxtherm SOX416）、粗繊維を定法（Gerhardt Fibretherm FT12）、粗灰分を定法（ヤマト科学(株) マッフル炉 FP42）、ミネラルを湿式灰化法（原子吸光分光高度計 島津製作所 AA-7000F）により分析した。

2) 添加剤および貯蔵日数による発芽籾米サイレージの発酵品質 [試験 2]

試験区分を添加剤 2 水準（無添加、乳酸菌添加）、貯蔵日数 4 水準（30, 60, 120, 365 日）とし、試験 1 と同様の条件で処理した発芽籾米に添加区では乳酸菌製剤である畜草 1 号（5g/原物 t）を添加し、ビニール袋を入れた 12L 容ポリタンクに約 12kg 梱包して、脱気した後密封、各水準 3 個をサイレージ調製した。開封したサイレージは、抽出液の pH、有機酸（乳酸、揮発性脂肪酸）、揮発性塩基態窒素（VBN）、全窒素（T-N）、有機酸（揮発性脂肪酸）および VBN/T-N により算出する V-SCORE を調査した。分析方法は、pH を pH メーター（HORIBA F-72）により、有機酸を液体クロマトグラフィー（日本分光 LC-2000Plus）を用いた BTB によるポストラベル法により計測した。VBN は微量拡散法（SIBATA コンウェイユニット）により、また、T-N はケルダール法（FOSS Kjelttec2200）により計測した。また、GABA（ γ -アミノ酪酸）は、（一社）日本食品分析センターへ分析依頼した。

3) 統計処理

統計処理は、一元配置分散分析により解析し、有意差がある場合に Tukey の多重比較により検定した。

結果および考察

1) 発芽伸長による籾米の飼料成分の比較 [試験 1]

表 1 に発芽伸長による籾米の飼料成分の比較を示した。

表1 発芽伸長による籾米飼料成分の比較(DM%)

試験区分	水分	粗蛋白質	粗脂肪	粗繊維	NFE
0mm	15.6	7.13	2.32 ^a	9.38	76.5
1mm	42.7	7.08	2.44 ^{ab}	9.40	76.6
4mm	46.6	7.22	2.63 ^b	9.83	75.8

※0mm:発芽前の籾米
 ※NFE:可溶性無窒素物
 ※異符号間に有意差あり(p<0.01)

試験区分	Ca	P	Mg	K
0mm	0.00	0.25	0.09	0.74 ^a
1mm	0.00	0.25	0.10	0.60 ^{ab}
4mm	0.00	0.25	0.10	0.50 ^b

※異符号間に有意差あり(p<0.01)

発芽籾米の水分含量は、0mm（発芽前）の 15.6% に比べ 1mm 発芽区が 42.7%、4mm 発芽区が 46.6% と高くなる傾向が認められた。また、4 mm 発芽区の NFE 含量は 75.8% であり、0mm 発芽区の 76.5% に比べ減少したため、相対的に粗蛋白質含量が 0mm 発芽区の 7.13% に比べ、4 mm 発芽区で 7.22% と増加する傾向が認められた。この傾向は、粗脂肪 (p<0.01) および粗繊維含量においても同様に認められた。また、ミネラル含量のうち Ca、P および Mg は、発芽前と同程度であったが、K は 0mm 発芽区の 0.74% に比べ 4 mm 発芽区で 0.50% と減少傾向 (p<0.01) にあった。

完熟期に収穫した籾米は水分含量が 15% 程度と低く、サイレージ発酵を促進させるためには、水分含量 30% 程度まで加水することが知られている¹⁾。今試験では、発芽処理に伴う水への浸漬により籾米が水分を吸収し、水分含量が 40% 程度に増加したため、加水せずにサイレージ調製に必要な水分域に調整することが可能であっ

た。「発芽」というプロセスは、種子（粳米）内に貯蔵していたデンプンが α -アミラーゼにより分解され、ショ糖に転換された後、芽や根に移行されると考えられている⁹⁾。よって本試験における4mm発芽区のNFE含量が0mm発芽区より減少したのは、発芽に伴う粳米のデンプン分解によりNFE含量(デンプンを含む)が低下し、相対的に粗蛋白質、粗脂肪および粗繊維含量の増加が認められたものと推察される。

2) 添加剤および貯蔵日数による発芽粳米サイレージの発酵品質 [試験2]

表2および2-1に添加剤および貯蔵日数による発芽粳米サイレージの飼料成分を示した。

表2 添加剤および貯蔵日数による発芽粳米サイレージの飼料成分 (DM%)

試験区分		水分	粗蛋白質	粗脂肪	粗繊維	NFE
添加剤	貯蔵日数					
貯蔵前(0日、発芽処理後)		46.6 ^a	7.22 ^a	2.63 ^a	9.83 ^a	75.8 ^a
無添加	30	44.9 ^{ab}	7.64 ^{bc}	3.19 ^{bc}	11.92 ^b	71.9 ^b
	60	43.3 ^{bc}	7.77 ^c	3.02 ^{bc}	11.64 ^b	72.4 ^b
	120	41.9 ^c	7.82 ^c	3.19 ^{bc}	11.18 ^{ab}	72.4 ^b
	365	41.6 ^c	7.83 ^c	3.31 ^c	11.14 ^{ab}	71.9 ^b
添加	30	43.5 ^{bc}	7.45 ^b	2.93 ^{ab}	11.32 ^{ab}	73.3 ^b
	60	43.1 ^{bc}	7.75 ^c	3.10 ^{bc}	12.20 ^b	71.7 ^b
	120	42.2 ^c	7.81 ^c	3.35 ^c	11.01 ^{ab}	72.3 ^b
	365	41.3 ^c	7.84 ^c	3.11 ^{bc}	10.88 ^{ab}	73.0 ^b

※NFE: 可溶性無窒素物
※異符号間に有意差あり(p<0.01)

表2-1 添加剤および貯蔵日数による発芽粳米サイレージの飼料成分(DM%)

試験区分		Ca	P	Mg	K
添加剤	貯蔵日数				
貯蔵前(0日、発芽処理後)		0.00	0.25 ^b	0.10	0.50 ^{ab}
無添加	30	0.01	0.27 ^b	0.10	0.69 ^b
	60	0.00	0.25 ^{ab}	0.10	0.48 ^{ab}
	120	0.00	0.25 ^b	0.10	0.34 ^a
	365	0.00	0.27 ^b	0.10	0.63 ^{ab}
添加	30	0.01	0.25 ^b	0.10	0.58 ^{ab}
	60	0.00	0.21 ^a	0.08	0.41 ^a
	120	0.00	0.26 ^b	0.11	0.48 ^{ab}
	365	0.00	0.27 ^b	0.11	0.47 ^{ab}

※NFE: 可溶性無窒素物
※異符号間に有意差あり(p<0.01)

無添加区および添加区によるサイレージの水分含量は、貯蔵前(0日貯蔵、発芽処理後)の46.6%に比べ、41.3%から44.9%と低く、貯蔵日数が経過するにしたがい減少する傾向が認め

られた。無添加区および添加区のNFE含量は、71.7から73.3%であり、貯蔵前の75.8%に比べ減少する傾向(p<0.01)が認められ、相対的に無添加区および添加区の粗蛋白質含量が、貯蔵前の7.22%に比べ7.45から7.84%と増加する傾向(p<0.01)にあった。この傾向は、粗脂肪(p<0.01ただし、添加貯蔵日数30日を除く)および粗繊維含量においても同様に認められた。無添加区および添加区のカリウム含量は、貯蔵前に比べ無添加の貯蔵日数60日区で有意に高く(p<0.01)、無添加の貯蔵日数120日区および添加の貯蔵日数60日区で有意に低かったが、貯蔵日数によりバラツキがあり、一定の傾向は認められなかった。その他のミネラル含量は、同程度であった。

本試験におけるサイレージ梱包形態は、排汁機能を有していないポリタンクであり、開封時、サンプル採取したタンク中部より底部で排汁の貯留が認められたことから、貯蔵日数の経過に伴う水分含量の低下は、ポリタンク下部へ水分が移動したことに伴う減少であると推察された。また、サイレージの調製過程では、有機酸生成に伴う可溶性画分の損失、いわゆる発酵による養分損失や排汁による養分損失が知られている。本試験の有機酸(総酸)は1%未満であり、一般的なサイレージの有機酸に比べ低い数値で、発酵による損失は僅かであると考えられ、ポリタンク底部への水分移動に伴い、粳米中のデンプンを含む可溶性画分が溶出したのではないかと推察される。ただし、本試験における排汁やデンプンの動態については未分析であるため、今後は、発芽処理やサイレージ調製に伴うデンプン含量の動態把握が必要であると考えられる。

表3に発芽伸長、貯蔵日数および添加剤によるGABA含量を示した。

発芽粳米のGABAは、0mm発芽(粳米)の2mg/100gに比べ、1mm発芽で19mg/100g、4mm発芽で23mg/100gと伸長するにしたがい増加する傾向を示した。また、貯蔵日数0日に比べ貯蔵日数60日の無添加区が40mg/100g、添加区が

表3 発芽伸長、貯蔵日数および添加剤によるGABA

試験区分			GABA (mg/100g)
発芽伸長	添加剤	貯蔵日数	
0mm	-	-	2
1mm	-	0	19
	-	0	23
4mm	無添加	60	40
	添加		36

※GABA:遊離γ-アミノ酪酸
※各区n=2

36mg/100g であり、貯蔵により増加する傾向が認められた。GABA は、発芽に伴う L-グルタミン酸デカルボキシラーゼの酵素活性によりグルタミン酸から生成される非蛋白質性アミノ酸であることが知られているとともに⁷⁾、津志田ら⁸⁾は茶葉を嫌気条件下に置くことより GABA 含量が増加することを報告している。また、佐藤ら⁹⁾は、発芽玄米の GABA 生産量が 30 日間の密封保存することにより増加したと報告しており、本試験結果と一致する。よって、本試験における GABA 含量の増加は、発芽およびサイレージ発酵に伴うサイロ内の嫌気化の 2 段階で酵素活性が進んだことにより増加したものと推察された。

表 4 に添加剤および貯蔵日数による発芽籾米サイレージの発酵品質を示した。

表4 添加剤および貯蔵日数による発芽籾米サイレージの発酵品質

試験区分	pH	有機酸 (FM%)			VBN/T-N (%)	V-SCORE	
		添加剤	貯蔵日数	乳酸			酢酸
無添加	30	4.60 ^a	0.07 ^a	0.20 ^{cd}	0.19 ^a	1.83 ^{bc}	85 ^a
	60	4.56 ^a	0.13 ^a	0.21 ^d	0.17 ^a	2.03 ^c	86 ^{ab}
	120	4.01 ^c	0.78 ^d	0.08 ^a	0.07 ^c	1.57 ^b	94 ^d
	365	4.15 ^c	0.50 ^{bc}	0.15 ^b	0.03 ^d	1.99 ^c	98 ^e
添加	30	3.94 ^d	0.66 ^{cd}	0.15 ^{bc}	0.14 ^b	1.14 ^a	89 ^c
	60	4.36 ^b	0.34 ^b	0.16 ^{bcd}	0.13 ^b	1.76 ^{bc}	90 ^c
	120	3.94 ^d	0.75 ^d	0.09 ^a	0.08 ^c	1.57 ^b	94 ^d
	365	4.11 ^c	0.57 ^c	0.15 ^{bc}	0.03 ^d	2.12 ^c	98 ^e

※VBN/T-N:揮発性塩基態窒素/全窒素
※異符号間に有意差あり(p<0.01)

貯蔵日数 30 および 60 日における添加区の乳酸含量はそれぞれ 0.66%、0.34%であり、無添加の 0.07%、0.13%に比べ顕著に高かった (p<0.01)。しかし、貯蔵日数 120 日および 365 日の乳酸含量は、無添加と同程度であった。サ

イレージの乳酸発酵は、乳酸菌の活動による pH の低下に伴い乳酸含量が増加し、貯蔵日数 30 日程度で安定すると言われている⁸⁾。本試験における添加区の乳酸含量は、貯蔵日数 60 日まで無添加区より高く 120 日以降で同程度となった。このことから、無添加区は、乳酸発酵が緩やかに進行すると推察されるが、乳酸菌の添加により乳酸発酵が促進され、貯蔵日数 60 日頃に利用可能なサイレージになることが明らかになった。無添加区および添加区の酪酸含量は、貯蔵日数が経過するにしたがい、それぞれ 0.19 から 0.03%に、0.14 から 0.03%に減少する傾向 (p<0.01) が認められた。一般的に、サイレージ発酵は、嫌気条件下の乳酸菌の活動による pH の低下により発酵が促進され乳酸含量が増加するが、発酵による乳酸含量の増加が高ければ高いほど、その後の酪酸菌の活動を抑制すると言われている。本試験における貯蔵日数の経過に伴う酪酸含量の減少は、発芽籾米サイレージの発酵が緩やかであり、それに伴う乳酸含量の緩やかな増加により酪酸発酵が抑制されたものと推察される。無添加区および添加区の V-SCORE は、何れの貯蔵日数においても 80 以上を示し、365 日貯蔵でも良好な発酵品質を維持できることが認められた。

以上のことから、発芽籾米は、発芽や排汁ロスにより若干飼料成分含量が変動し、無添加サイレージの発酵が緩やかであるため、乳酸菌の添加により短期利用（開封）が可能となり、添加の有無に関わらず貯蔵日数 365 日においても良好な発酵品質を維持できることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 宮地 慎、野中和久、松山裕城、細田謙次、小林良次、品種および加工法が異なる飼料米の第一胃内分解特性、日本草地学会誌、56 巻 1 号、p13-19、2010
- 2) 渡邊 潤、佐藤寛子、加藤真姫子、酒出淳一、秋田県で給与されるイネソフトグレインサイレ

- ージの飼料特性、秋田畜試研報、第27号、p1-6、
2013
- 3) 矢内清恭、イネソフトグレインサイレージの
収穫調製技術、福島県畜産試験場研究報告、13
号、p27-31、2005
- 4) 井上秀彦、上垣隆一、遠野雅徳、小林寿美、
松尾守展、伊吹敏彦、完熟期収穫の飼料用米の
調製処理がサイレージの発酵特性におよぼす影
響、日本草地学会誌、58巻3号、p153-165、2012
- 5) 間野康男、発芽玄米の食品学的機能、北海道
文教大学研究紀要、第30号、37-43、2006
- 6) 植竹勝治、中谷治奈、増田尚子、吉田善廣、
江口祐輔、田中智夫、ヒト社会に貢献する動物
に対するGABAのストレス軽減効果の検証、麻布
大学雑誌、第17・18巻、p191-193、2008
- 7) 大久長範、大能俊久、森 勝美、発芽玄米と
籾発芽玄米の γ -アミノ酪酸および遊離アミノ
酸含量、日本食品科学工学会誌、第50巻、第7
号、p316-318、2003
- 8) 津志田藤二郎、村井敏信、大森正司、岡本順
子、 γ -アミノ酪酸を蓄積させた茶の製造とその
特徴、日本農芸化学会誌、第61巻、7号、p
817-822、1987
- 9) 佐藤智之、石川敬之、村田文彦、肥育豚のス
トレス低減管理技術の検討(第2報)、福井県畜
産試験場研究報告、第28号、2015
- 10) 大山義信、サイレージ調製と微生物、化学と
生物、15巻7号、434-442、
- 11) 三ツ井敏明、稲種子発芽制御の分子メカニズ
ム、日本農芸化学会誌、Vol173、No. 12、1273-1281、
1999