

ロールベールサイレージの発酵改善と安定貯蔵技術に関する研究

河本英憲*¹⁾

抄録：ロールベールサイレージ (RBS) の利用性と品質制御における不安定要因の改善を目的として、細切・高密度処理の適用効果を明らかにするとともに、貯蔵中のラップフィルム保護技術の検討を加え、RBSの発酵改善から安定貯蔵にいたる技術を検討した。まず、既存RBS体系において細切・高密度処理を活用するとともに、混合飼料給与法に対応させるため、RBSを細切し、気密性の優れたサイロに密度を高めて再貯蔵する方法を検討した。その結果、再貯蔵による細切・高密度処理の活用は牧草RBSの発酵と貯蔵性の改善に有効であることを明らかにした。次に、トウモロコシ用に開発された細断型ロールベアラを用いて発酵品質が劣質化しやすい飼料イネRBSへの細切・高密度処理の適用効果を検討した。その結果、細切・高密度処理は飼料イネに特徴的なエタノール発酵を抑制するが、乾物率40%未満では酪酸発酵を助長するために、発酵品質の改善には必ずしも有効ではないことを明らかにした。さらに飼料イネRBS貯蔵中のネズミからのラップフィルム保護方法について検討し、殺鼠剤や忌避剤等の化学物質、特別な機械・施設を必要としない有効なネズミ食害対策を提示した。

キーワード：細切、飼料イネ、ネズミ、発酵品質、密度、ロールベールサイレージ

Studies on Improvement of Fermentation and Stable Storage Method in Round-Baled Silage :
Hidenori KAWAMOTO*¹⁾

Abstract : To improve the availability, fermentative quality and stable storage of round-baled silage (RBS), we investigated the effect of fine chopping, and a high-density treatment and explored a method for protecting silage wrapping film. First, to use a chopping and high-density treatment in a conventional RBS system and adapt it to a total mixed ration feeding system, we investigated chopping and re-ensiling in airing silos of grass RBS. We found that chopping and high-density processing by re-ensiling was effective in improving the fermentative quality and stable storage of the silage. Second, we examined the effect of fine chopping and a high-density treatment by the round baler for chopped material to the RBS of forage paddy rice. We were able to clarify the applicability of the round baler for chopped material for ensilage of the forage paddy rice. In addition, we developed an effective method to protect the wrapping film of RBS from rat feeding damage that does not require the use of a rodenticide or special facilities.

Key Words : Chopping, Density, Fermentative quality, Forage paddy rice, Rat damage, Round-baled silage

目次

I 緒論	30	発酵品質に及ぼす影響	36
1 本研究の背景	30	2 再貯蔵による細切・高密度処理の活用が微生物相および好气的変敗に及ぼす影響	39
2 サイレージ調製における細切処理を中心とした発酵改善および安定貯蔵に関する既存の研究	32	3 再貯蔵時の濃厚飼料添加による品質改善	42
3 本研究の目的と概要	35	III 細切・高密度処理による飼料イネロールベールサイレージの発酵改善	46
II 再貯蔵による既存の牧草ロールベールサイレージ調製での細切・高密度処理の活用	36	1 細断型ロールベアラで調製した飼料イネロールベールサイレージの発酵品質	46
1 再貯蔵による細切・高密度処理の活用が			

* 1) 東北農業研究センター (National Agricultural Research Center for Tohoku Region, Morioka, Iwate 020-0198, JAPAN)

2009年8月5日受付、2009年12月3日受理

2	予乾体系における飼料イネ細断型ロール ベールサイレージの長期貯蔵性……………49
3	高水分域における飼料イネのサイレージ 発酵に及ぼす細切・高密度処理の影響……………53
IV	飼料イネロールベールサイレージ貯蔵中の ネズミからのラップフィルム保護……………57
1	ロールベール貯蔵場所に出現するネズミ 種と被害様相……………57
2	ロールベールの配置方法の変更がネズミ 害に及ぼす影響……………61
3	ロールベールの配置方法の変更によるネ ズミ害軽減効果の現地実証……………63

V	総合考察……………67
1	再貯蔵処理による既存の牧草ロールベールサ イレージ調製での細切・高密度処理の活用 ……67
2	細切・高密度処理による飼料イネロール ベールサイレージの発酵改善……………69
3	飼料イネロールベールサイレージ貯蔵中 のネズミからのラップフィルム保護……………71
VI	摘要……………72
	引用文献……………73
	Summary ……81

I 緒 論

1 本研究の背景

日本政府は平成11年7月に旧農業基本法に換わり、21世紀における食料・農業・農村に関する施策の基本的指針として食料・農業・農村基本法を制定し（農林水産省 1999）、それを的確に実施していくために平成12年3月、食料・農業・農村基本計画（以下、基本計画）を決定した（農林水産省 2000）。平成17年3月に見直された基本計画では、食料自給率（供給熱量ベース）を現状（平成15年度）の40%から45%（平成27年度）に、飼料自給率（TDN換算）を現状の24%から45%に引き上げることを目標としている。飼料作物では現状93万haから110万haへの作付け増産を目標としており、粗飼料自給率は現状76%から100%完全自給を目指している。この中での具体的な行動計画・技術開発において、汎用型の自走式ロールベアラの開発、ロールベールや混合飼料の梱包・流通技術の改良等による生産コストの3割程度低減が謳われている。すなわち、飼料自給率の向上策において、ロールベアラによる粗飼料収穫・調製貯蔵技術が重要な役割を担っている。

ロールベアラが日本に導入されたのは、道立新得畜産試験場で実施された「肉用牛の大規模経営における集団飼養技術に関する試験」（1975～1979）に供用されたのが始まりとされ、乾草調製を主体に利用が開始された（杉本ら 1990ab）。ロールベアラによる乾草調製は、従来のタイトベアラと比べると、梱包時間はそれほど減少していないが、タイトベールの20～30倍の梱包量にして機械でハンドリングできるため、詰込み、運搬、収納作業が約1/3に減少し、刈取りから収納までの合計作業時間が約半分になるなど大幅な省力化が達成できる（糸川ら

1992）。特に、我が国では乾草調製時の補助作業者としての婦人労働の軽減に果たす役割は非常に大きかった（糸川ら 1992）。このように乾草調製作業に大幅な省力化をもたらしたロールベアラではあるが、開発されたヨーロッパにおいても我が国においても、圃場での乾草調製中に雨にあたってしまうリスクは高く、多湿乾草や自然発火の問題が発生し、必然的にロールベールを密封してサイレージ化する試みが始まった（杉本ら 1990ab、萬田 1994）。このようにロールベール体系は、もともと乾草調製用途であったがサイレージ調製にも活用できることが知られるようになり、1986年頃のベールラップの導入とともに普及するに至った（市戸 1999）。現在ではロールベール体系はサイレージ調製が主要な用途となり、日本のサイレージ調製量のうち、ロールベールサイレージ（Round-baled silage、以下、RBS）の調製量が最も多いと推定されるに至っている（市戸 1999）。ただし、RBS体系を導入している経営での品質調査では、水分含量や発酵品質の個人差が大きいことが指摘されており（須藤・大竹 1993）、進展がめざましい繁殖技術、家畜改良技術および飼料給与技術に比べると、実際の現場においては、これらRBSの不良発酵や変質のリスクが依然と高く、品質制御や予測が難しい技術となっている（萬田 1994）。

サイレージ、すなわちサイロによって作物を貯蔵するためには、まず嫌気条件を達成して好氣的微生物の活性を抑え、次にその嫌気条件下における酪酸菌や腸内細菌のような望ましくない微生物の活性を乳酸発酵の促進によって抑えることである（McDonald *et al.* 1991）。サイロ内の嫌気条件が得られる効率は、材料草の圧縮（詰込み密度）の程度および被覆の有効性に左右される（McDonald *et*

al. 1991)。詰込み密度の増加は材料の間隙に残る空気の排除を意味しており、この密度増加は、概して発酵品質を改善する要因となる（大山・榎木 1968、1970）。特に材料草の細切は、詰込み密度を増加させる効果を持つ（須藤 1967）。埋蔵時の空気混入率が増加すると中水分域（60–70%）の予乾草では影響が小さいが（Zimmer・Gordon 1964、高橋 1968bc；大山・榎木 1970）、高水分域（70%以上）では低品質サイレージが調製されやすいことが報告されている（大山・榎木1970、大山ら 1970）。ただし、詰込み時にサイロ内の空気を酸素によって置換しても、発酵過程において外気の侵入がなければ発酵品質は保持される（大山・榎木 1968）。よって、高橋（1968b）が報告しているように、埋蔵時の空気混入率が高いものでもサイロへの加重が大きければ品質劣化は抑えられる。しかし、RBSにおいては、材料草は無切断か、カッティングロールベラを用いたとしても10cm以上の長切断である。このため、詰込み密度（梱包密度）は、施設型サイロよりも材料草の乾物率や材料草の茎の太さにより大きく依存するとともに、ベールチャンバでの成形、トワインでの結束、そしてハンドリングという機構上、詰込み密度や加重の程度は不十分とならざるを得ない（糸川ら 1992、1995）。また、被覆に用いるポリエチレン製ストレッチフィルムは、未延伸で8枚重ねの状態でも酸素透過率が1000 ml/m²/day/ATM程度と比較的高い（本田ら 1995）。このため、フィルムの被覆層数は2–3カ月の短期貯蔵では4層巻でも品質が保持されるが、1年間の長期貯蔵では6層巻でも品質低下が認められる（糸川ら 1995）。すなわち、RBSは固定サイロによる細切サイレージと比べて密度が低く、被覆しているラップフィルムが酸素を完全には遮断できない特性があるため、常に酸素の供給の危険にさらされていることから、特に長期貯蔵時の品質安定性は施設型サイロによる細切サイレージよりも劣ると考えられる。

多量の濃厚飼料が給与される泌乳牛においては、濃厚飼料のみが選り好みされないように細切された粗飼料と均質混合して完全混合飼料（Total mixed ration、以下、TMR）として給与することが推奨される（柴田 1987）。このTMR給与法は、各地に設立されたTMR供給センターによって、大規模酪農場に限らず、小規模酪農場や肉牛農家でも利用さ

れるようになってきた。そのTMRの粗飼料源として自給飼料であるRBSを積極的に利用することは、日本の飼料自給率を向上させると期待できる。ただし、RBSは未細切であるために、TMR材料としては利用しづらく（小川ら 1997）、乾乳牛や育成牛にのみ草架台で不断給与される場合が多い（佐々木・加藤 1992）。また、TMR給与法の効果を発揮させるためには、材料が成分的にも量的にも安定していることが条件として挙げられるが、RBSは個々のロールに品質のバラツキがみられ、長期貯蔵時の安定性が低いことからTMRへの適合性が低いことが指摘される（市戸 1999）。RBS体系は、粗飼料の収穫・調製貯蔵を省力的に行うことができることから、国内の大家畜生産にとって不可欠なものであり、今後も国内のサイレージ生産の基幹技術であると考えられる。一方で、TMRの普及に伴って安定した品質の細切サイレージの必要性が高まっていることから、RBSの貯蔵性やTMRへの適合性を高めるために、細切・再調製混合技術などを含めた高品質化が必要とされる（糸川ら 1992）。

現在、多種類のRBS切断・解体機が開発され、RBSを細切して利用できるようになっている（市戸 1995、1999）。また、細断されたトウモロコシなどの長大型作物を高密度なロールベールに成形できる細断型ロールベラが開発され、細切された材料草がロールベールに梱包できるようになった（志藤・山名 2002）。既存のRBS体系は施設型サイロで調製される細切サイレージと比べて、品質の安定性や利用性について欠点を持っている。これら欠点を補完する技術として、RBS切断・解体機や細断型ロールベラを活用する方策が考えられる。すなわち、既存のロールベール体系で収穫されたRBSを細切し、細切サイレージとして利用できるように再貯蔵する技術やトウモロコシ以外の材料草を細断型ロールベラで収穫する方策である。これらを検討するにあたって、本研究では、牧草とともに飼料イネを材料として取り上げた。前述の基本計画では、水田を活用した飼料イネの生産にも期待が掛けられ、今後の生産量拡大が見込まれている。ただし、堀口ら（1992）、永西・四十万谷（1998）、蔡（2001）の研究により、イネは乳酸発酵が促進されにくい素材であることが明らかにされており、ホールクロップサイレージの中でも乾物率がトウモロコシよりも高く、茎が中空なためにサイロ内に空気が残存しやす

く乳酸の生成・蓄積が抑えられ、酪酸やエタノールの生成量が多く、発酵品質が劣質化しやすいことが明らかとなっている。吉田 (2004) によれば、作付面積が5000haまでは牧草収穫体系の活用と一部地域の畜産農家による期間限定の給与にとどまっていたが、今後、作付面積を増加させて通年給与を可能とするためには、長期間安定して貯蔵できるサイレージ調製技術が必要であるとしている。この飼料イネにおいては、ほとんどがRBS体系で収穫されており、その発酵改善技術の開発が急務となっている。また、RBSは、長期貯蔵性が施設型サイロで調製貯蔵されるサイレージと比べて劣る原因として、ラップフィルムが容易に破損して品質劣化が生じやすい点が指摘されるが、飼料イネRBSにおいては、貯蔵中のラップフィルムの破損防止に特別な注意が必要となる。なぜなら、飼料イネRBSは籾を多量に含むことから、薄いラップフィルムに包まれた状態で圃場や牛舎脇の野外で貯蔵されると鳥獣による食害を受けやすい。生産現場において、カビ(糸状菌)に汚染された73個の飼料イネRBSの原因を調査した報告によれば、鳥獣害によるラップフィルム破損によるものが全体の40%で、鳥獣害のうち、ネズミ害によるものがその半分以上を占めていた(蔡 2004)。すなわち、飼料イネRBSは、鳥に加え、ネズミにとってもきわめて魅力的なエサであり、貯蔵中に籾を狙うネズミによって容易にラップフィルムが損傷されることが確認されている。かつては牧草のみがRBSの形態で貯蔵されていたため、その貯蔵中の鳥獣害対策はカラスなどの鳥の突つき(いたずら)に対するテグスや防鳥ネットの設置、およびコオロギなどの昆虫に対する殺虫剤の散布などが主な対策であった。よって、飼料イネRBSの貯蔵性を改善するためには、発酵品質を改善するのみでなく貯蔵中のネズミ食害への対策を検討する必要がある。

以上の背景から、本研究では、まず、RBS調製体系で収穫された粗飼料を安定した品質の細切サイレージとしてTMRの粗飼料源として活用できることを目的とし、既存の収穫体系で調製された未細切の牧草RBSへの細切・再貯蔵処理の活用方策を検討した。次いで、新開発された細断型ロールベアラを発酵品質が劣質化しやすい飼料イネRBSの収穫調製に適用した場合の改善効果を検討するとともに、飼料イネRBSにおける貯蔵中のネズミからのラップフィルムの保護技術に関する検討を行った。

2 サイレージ調製における細切処理を中心とした発酵改善および安定貯蔵に関する既存の研究

サイレージにおける乳酸発酵の促進は、材料草の乳酸菌数および発酵基質供給量に影響される(McDonald *et al.* 1991)。このうち、発酵基質供給量は、材料草への物理的処理(破碎や切断)の程度に左右される(Marsh 1978)。すなわち、材料草への物理的処理は、植物細胞からの草汁の滲出を促してサイレージにおける微生物の生育に少なからずの影響を与え、特に乳酸菌の生育を他の微生物よりも相対的に促進する(Gibson *et al.* 1961)。このため、サイレージの乳酸発酵には、まず植物の細胞液の放出が不可欠だとされ(須藤 1967)、埋蔵に先立つ材料草の細切によって乳酸発酵が促進され、酪酸発酵が抑制される(高野ら 1964、目谷 1970、須藤 1971、大山 1971)。ただし、単なる細切のみでは植物細胞液の放出が必ずしも十分ではなく、詰込み密度を上げることによって、はじめて植物細胞液の滲出が促され、乳酸含量が高まる(大山・柁木 1968)。そのことは、植物細胞液の滲出を促す材料草への物理的(機械的)処理のうち、細切よりも粉碎や圧潰の品質改善効果が高いことから理解できる(Gibson *et al.* 1961、須藤 1967)。埋蔵材料草が発酵を始めるために十分な細胞液は、乾物1gあたり2g以上であるという報告がある(須藤 1967)。機械作業によって比較的短い切断長で収穫された場合、たくさんの切断傷が表面につく(Gibson *et al.* 1961)。また、実規模作業における踏圧などの圧密を加える作業は、材料草の水分含量が低い場合を除き、植物組織の崩壊を促して細胞液の放出を促進させる(Greenhill 1964)。このため、実規模作業においてフォレンジハーベスタで収穫された細切材料草をサイロに踏圧を加えて詰め込む場合、発酵に必要な細胞液の放出量をクリアできると考えられる(McDonald *et al.* 1991)。RBSにおいては、材料草は細切されておらず、密度も低い。このため、RBS調製においては乳酸発酵促進のための細胞液の放出量が制限されていると推察される。よって、篠田・萬田の研究(1990ab)にみられるように、細切サイレージならば良好な発酵品質のサイレージが得られる材料草でも、無細切のRBSでは乳酸発酵が促進されず著しく劣質な発酵品質になる可能性が高い。RBSのように材料草に比較的傷が少ない条件の場合、植物体表面の栄養条件は乳酸菌が効

果的に他の微生物と競合できる条件に無く、乳酸生成は低くなる (Gibsonら 1961)。このため、RBSでの乳酸発酵条件は、細切して十分に踏圧を受ける施設型サイロによる調製と比べて不利とならざるを得ず、乳酸生成スピードが遅く、乳酸生成量も低くなることが示されている (萬田 1994)。ただし、本研究で取り上げたような、一旦、RBSとして未細切で調製されたサイレージが細切されて密度を高めて再貯蔵された場合の乳酸発酵促進効果や、サイレージ微生物相に及ぼす影響に関する知見は乏しい。また、RBSは、梱包単位が数百キロ程度であるので、開封後の好気的変敗よりも貯蔵中のラップフィルム破損等に起因する望ましくない好気的微生物による汚染 (Fenlon *et al.* 1989) がより重要な問題として検討されてきた。一方、細切・再貯蔵する場合、より調製単位が大きい施設型サイロの利用が考えられるため、開封後の好気的変敗についての検討が必要である。サイレージの好気的変敗に関しては、発酵品質との関係 (大山 1981、大山・柁木 1971、山下・山崎 1975、O'kiely・Muck 1992、Muck・O'kiely 1992)、サイロサイズとの関係 (Yokota *et al.* 2001)、化学物質の添加による抑制 (原・大山 1979ab、板東・出岡 1979、Cai・Ogawa 1998) および乳酸菌添加による抑制 (Driehuis *et al.* 1999、Zhang・Kumai 2000、Ranjit・kung 2000、Kung *et al.* 2001、Taylor *et al.* 2002、Danner *et al.* 2003) などが検討されているが、再貯蔵などによる一時的な空気導入の好気的変敗への影響に関する知見は乏しい。このため、再貯蔵されたサイレージの開封後の好気的変敗に関する影響を検討する必要がある。

サイレージ中の不良発酵菌である酪酸菌は、水分含量に対して感受性が高く、水分低下によって活性が抑制される。一方、乳酸菌は低水分条件に対して比較的高い抵抗力を有しており、低水分材料で発酵を支配することが可能である (Woolford 1984)。よって、乳酸発酵の促進が得られにくいRBS体系においては、予乾による水分低下が最も重要な不良発酵抑制の方法となる。一般的に固定サイロにおける細断サイレージでは中水分域と云われる水分70%以下への予乾処理によって、良好な発酵品質が得られやすくなる (McDonald *et al.* 1991、増子 1999)。ただし乳酸発酵条件に劣るRBSでは、酪酸発酵を抑制するために、より低い水分含量への調整が求められる (Jonsson *et al.* 1990)。このため、RBSの調

製技術では、材料草を予乾して水分調整を行うことが原則であり (野・安宅 1999)、水分含量40%から60%程度への調整が推奨されている (糸川ら 1992、萬田 1994)。しかし、日本は温帯湿潤気候に属するため収穫時に雨天に遭う可能性は常に高く、不十分な予乾がRBSの品質を不安定化させる最も大きな要因である。穀類の多量添加によって排汁の浸出が減少することが知られているように (McDonald *et al.* 1991)、穀類の添加は水分調整に有効である。また、高水分・低糖分のものや飼料価値が低い粗飼料への穀類や粕類などの濃厚飼料の混合による発酵品質の改善効果を認めた報告は多い (高野ら 1975、古賀・馬場 1990、林ら 1992、宮城ら 1993、永西ら 1996)。すなわち、RBSが高水分で調製されてしまった場合に、収穫後の早い段階で穀類と混合して再貯蔵する方法を活用することが考えられる。TMRは通常、家畜への給与直前に粗飼料と濃厚飼料が混合されるが、TMRの素材として利用するRBSに貯蔵中の品質劣化が懸念される場合、いわゆる発酵TMR (TMRサイレージ、コンプリートサイレージまたはオールインサイレージなど) と呼ばれる混合サイレージとして貯蔵して利用する方策が考えられる。濃厚飼料を添加物に用いる場合は、その濃厚飼料に発酵損失が発生する欠点が挙げられるが (永西ら 1996)、サイレージの発酵品質や嗜好性・採食量の改善効果がそれに勝る場合があるとされる (Moseley・Ramanathan 1989、高野・山下 1990)。発酵TMRの嗜好性に関しても、TMRと同様、混合する飼料個々の嗜好性の優劣によって差が生じやすいとされるが (小山ら 1982)、低質粗飼料である稲ワラなどの嗜好性を大幅に改善する効果が報告されている (垣内ら 1986、西川ら 1989、高野ら 1975)。よって、RBS再貯蔵時に濃厚飼料を添加して発酵TMR化することは、高水分RBSの品質劣化対策となるとともに、嗜好性の改善効果も期待できるが、この技術に関する知見は乏しい。

細切処理が飼料イネサイレージの発酵品質に及ぼす影響を調査した研究は、百瀬ら (2005) によって実施されている。もちろん、古くから飼料イネサイレージの発酵品質を調査した研究では、そのほとんどが細切してバックサイロ (原ら 1986)、筒型サイロ (箭原ら 1981、名久井ら 1988、堀口ら 1992) やボトルサイロ (永西・四十万谷 1998) に詰め込まれていた。しかし、これらの試験では切断長を変

えた処理区は設けられておらず、また、サイロ内での詰込み密度も明記されていない。単なる細切のみでは植物細胞液の放出が必ずしも十分ではなく、詰込み密度を上げることによってはじめて植物細胞液の滲出が促されて乳酸含量が高まることは前述した。先に挙げた密度が示されていない試験では、サイロ容量が小規模なサイロが多く、必ずしも十分な圧密度が確保されたとは考えにくいことから、細切と密度増加の効果を押し量ることはできない。これらの試験に対して百瀬ら (2005) は、切断長と詰込み密度との関係を検討し、切断長が短くなればサイロへの詰込み密度が増加して乳酸含量が高まることを報告した。また、百瀬ら (2006) は専用収穫機のうち、フレールモアで刈り取るタイプ (フレール型) とレシプロモアで刈り取るタイプ (コンバイン型) の発酵品質を比較し、平均切断長が75 mmのフレール型が平均切断長106 mmのコンバイン型よりも乳酸含量が高いことを明らかにした。ただし、百瀬らの研究 (2005、2006) では予乾収穫などで水分が60%以下のイネを用いたため、対照区でも酪酸含量が低かった。また、切断長の異なるロールベアラの比較試験 (百瀬ら 2006) ではダイレクトカットの材料であったが、対照区の酪酸含量は同じく非常に低かった。飼料イネサイレージは牧草収穫に用いられる汎用機体系か、浦川ら (2003ab、2004ab) の開発した専用収穫機体系でRBSに調製されている。これらの従来型ロールベアラは無切断か、またはカッティング機構付きのロールベアラを用いた場合でも10cm程度の長切断で梱包される。しかし、青刈りトウモロコシなどの長大型作物のRBS化を目的とした細断型ロールベアラ (志藤・山名 2002) が開発されたことによって、1 - 2 cmに細切された材料草でもロールベアラに梱包できるようになった。この細断型ロールベアラを牧草類の梱包へ応用した場合、従来型と比較して高密度なロールベアラを成形できることが報告されている (志藤・山名 2003、2005、松尾ら 2004)。すなわち、飼料イネにおいても細断されて高密度に梱包することが省力的に実施でき、生産現場での高品質なサイレージ調製が期待できる。しかし、細断型ロールベアラをトウモロコシ以外のサイレージ素材に適用した場合の発酵品質改善効果に関する知見は乏しい。細断型ロールベアラはクローラタイプの機種の販売も予定されている。よって、細断型ロールベアラを活用した高品質な飼料イネサイレージの調製方法が明らかになれば、水田での飼料イネ収穫調製にも適用できるタイプの細断型ロールベアラの普及を促し、飼料イネの収穫調製体系の選択肢を増やすことが期待できる。

RBSにおいては、水分含量40%から60%程度への調整が推奨されている (糸川ら 1992、萬田 1994)。後藤ら (2001) が三重県内で調査した生産現地での飼料イネロールベアラサイレージの平均乾物率は34.3%で、有機酸含量のなかでも酪酸含量の変動係数が最も高かった。よって、飼料イネにおいては、百瀬ら (2005) の研究で検討されなかった酪酸発酵の危険水分域での細切・高密度梱包の影響を明らかにする必要がある。飼料イネは嗜好性が高く、通年給与、夏期給与の要望も強いことから長期貯蔵に耐えうる調製貯蔵技術開発への期待が大きい (千田・鈴木 2005)。また、前述したように、飼料イネ生産量の増加に伴って、貯蔵期間が長期化することが予想される。サイレージ素材として乳酸発酵能に乏しい特徴を持つ飼料イネにおいて、細断型ロールベアラを用いて細切・高密度処理を施すことによって、乳酸発酵の促進を促す効果が期待できる。しかし、飼料イネにおける細切・高密度処理に関する知見は限られており、その品質安定化や栄養価に及ぼす影響は未解明である。

飼料イネRBSは籾を多量に含むことから、薄いラップフィルムに包まれた状態で圃場や牛舎脇の野外で貯蔵されると鳥獣による食害を受けやすい。RBS普及当初から貯蔵中の鳥獣や昆虫類などによるラップフィルム破損に注意すべきであることが示されていた (松本ら 1989、糸川ら 1992、須藤・大竹 1993、杉本ら 1990)。飼料イネRBSにおいては、鳥に加え、ネズミにとってもきわめて魅力的なエサであり、貯蔵中に籾を食害するネズミによって容易にラップフィルムが損傷されることが確認されている。飼料イネRBSの品質を保持するラップフィルム被覆層数は、一般的に6層以上が推奨され、長期貯蔵においてカビの発生程度を低下させるためには、8層巻きが必要とされる (斉藤・米本 2004)。しかし、鳥の嘴やネズミの歯に破られないようにするには、ラップフィルム層数の増加では対応できない。鳥獣害のうち、鳥に対してはテグスや防鳥ネットなどの効果的な対策が存在する (Gaillard・Mazoyer 1998、McNamara *et al.* 2002)。一方、牧草RBSでは、ネズミ害が深刻になることはなかったため

(McNamara *et al.* 2001)、有効なネズミ対策は存在しなかった。さらに、稲をRBSとして貯蔵することは日本が世界に先行する技術であるため、諸外国においても、RBSのネズミ対策は研究されていない。現在の農業分野におけるネズミへの主な対処法は、殺鼠剤を散布するか、それに罠を組み合わせる捕殺するかである (Wager-Pageら 1997)。殺鼠剤の「そ穴」(ネズミの穴)への投入や、一定の間隔で格子状に配置する、または、ネズミが出入りできる穴のあるエサ箱(バイトボックス)に収納して等間隔で配置するなどの方法がある(由井・阿部 1983)。ただし、ネズミの飼料イネに対する嗜好性が高いため、RBS周囲に殺鼠剤を配置しても、殺鼠剤の方を採食させるのは容易ではない(河本ら 2007)。通常、殺鼠剤は目的とする以外の生物に直接または二次的な被害をもたらすリスクを持つ(Wager-Page *et al.* 1997)。よって、このような毒性化学物質の使用は飼料生産の場にはふさわしくなく、牛舎周辺で使うのも避けるべきである。また、クマネズミのように殺鼠剤が必ずしも有効ではない種が存在する(川内・遠藤 2000)。ネズミに対処する他の方法としてカプサイシン(Mason *et al.* 1991, Shumake *et al.* 2000)、シベリアンバインニードルオイル(Wager-Page *et al.* 1997)および捕食者のニオイ(Burwash *et al.* 1998, Dielenberg *et al.* 1999)などの忌避剤が研究されている。しかし、これら化学物質を収穫してから次の収穫時までの長期間の貯蔵中に散布し続けるのは多額の費用を要する。また、どんな忌避剤にも慣れがみられるため(Dielenberg *et al.* 1999)、ネズミに警戒感を与え続けるためには、時間経過とともに忌避剤の種類を換えていかねばならない。よって、長期間、しかも野外に貯蔵される飼料イネRBSへの忌避剤の適用は難しいと考えられる。よって、貯蔵中のネズミ被害への対処法としては毒性物質などの化学薬剤の使用を避け、しかも低コストな方法が求められる。飼料イネは水稲生産組織(集団)が受委託によって生産から収穫調製までを担い、畜産農家へRBSとして流通させることが多い(小川 2006)。このため、畜産農家への供給のためにRBSの集積場が設けられる場面が各地で見られる。RBS集積場にネズミ害が発生した場合、破棄率は3割に達することが報告されている(押部ら 2005)。よって、大規模な集積場でネズミ害が発生するならば、その損耗は著しいものとなるだろう。我が国に

おけるネズミによる農作物の被害金額は、ここ数年1億3000万~1億8000万円で推移しているにすぎないが(農林水産省 2008)、生産量の拡大が予想される飼料イネおよびトウモロコシなどのホールクロップ飼料作物のRBSに対するネズミ害は今後拡大していくことが懸念される。以上のことから、RBSにおいては古くから保管中のラップフィルムの保護の重要性が指摘されているが、鳥獣害、特にネズミによるラップフィルム破損対策に関する研究はほとんどなされておらず、その知見に乏しいのが現状である。

3 本研究の目的と概要

本研究では、材料草が細切されていないことと低密度な発酵環境がRBSにおける品質制御の不安定要因であると考え、牧草と飼料イネを材料として、既存の体系で収穫されたRBSをサイロへ再貯蔵することによって細切・高密度処理を活用する方策や細断型ロールベールでの収穫によるRBSの発酵改善効果を明らかにするとともに、飼料イネRBSにおける貯蔵中のネズミからのラップフィルム保護技術の検討を加え、RBSの発酵改善から安定貯蔵技術までを検討した。研究成果の一部は既に公表済みであるが(河本ら 2005ab, 2007ab, 2009abcd)、本論文ではそれらに未発表データを加え、以下のようにとりまとめた。

1) 再貯蔵処理による既存の牧草RBSでの細切・高密度処理の活用

既存RBS体系において細切・高密度処理を活用するため、RBSを気密性の優れたサイロ(ドラム缶サイロ)に細切して密度を高めて再貯蔵する方法を検討した。乳酸発酵程度の乏しいイタリアンライグラス2番草RBSを細切して再貯蔵した場合の乳酸発酵促進効果(II-1)、発酵品質の良好なイタリアンライグラス1番草RBSを再貯蔵した場合の発酵品質、微生物相および好気的変敗への影響(II-2)、加えて、無予乾で収穫されたオーチャードグラスRBSから細切・再貯蔵時に濃厚飼料を添加して発酵TMR化した場合の発酵品質と嗜好性への影響(II-3)を検討した。

2) 細切・高密度処理による飼料イネRBSの発酵改善

トウモロコシのRBS化を目的として新規に開発さ

れた細断型ロールペーラを飼料イネの収穫・調製に適用して、調製された細断型RBSの発酵品質、化学成分および肥育牛による採食量を従来型RBSと比較し(Ⅲ-1)、予乾収穫体系における細断型飼料イネRBSの長期貯蔵時の品質安定性と栄養価(Ⅲ-2)、および実験室規模で高水分域における細切・高密度処理の発酵品質に対する効果を調査し(Ⅲ-3)、細断型ペーラによる細切・高密度処理の飼料イネRBS生産への導入効果を検討した。

3) 飼料イネRBS貯蔵中のネズミからのラップフィルム保護

飼料イネRBSの貯蔵過程において、糶を食害するネズミからのラップフィルム保護を検討した。ネズミ被害が発生しているRBS集積・貯蔵場所に出現するネズミ種の捕獲調査と被害様相の観察(Ⅳ-1)、RBSの配置方法の変更が食害被害に及ぼす影響の検討(Ⅳ-2)およびその現地実証(Ⅳ-3)を行い、飼料イネRBS貯蔵中のネズミによるラップフィルム破損防止対策を検討した。

本論文の作成に当たり、ご親切なるご教示とご高閲を賜った岡山大学農学部教授 坂口 英博士に心から深謝申し上げる。

本研究は、畜産草地研究所資源循環研究チーム加茂幹男上席研究官(現、畜産草地研究所草地研究監)のご指導のもとに開始したものであり、その遂行に当たっては、東北農業研究センター畜産草地部飼料生産研究室 魚住 順室長(現、寒冷地飼料資源研究チーム長)、同総合研究第1チーム 渡邊寛明チーム長(現、中央農業研究センター)および同東北飼料イネ研究チーム 押部明德チーム長にも格別の便宜とご指導を頂いた。また、畜産草地研究所張 建国支援研究員(現、華南農業大学教授)と青木康浩主任研究員、および東北農業研究センター畜産草地部 武政正明部長(現、畜産草地研究所長)、同総合研究第2チーム 近藤恒夫チーム長(現、研究調整役)および同東北水田輪作研究チーム 大谷隆二上席研究員には、常に多大なご教示とご指導を賜った。畜産草地研究所および東北農業研究センター業務科諸氏、森林総合研究所東北支所 島田卓哉主任研究員、東北農研センター畜産草地部飼料生産研究室 出口 新研究員(現、寒冷地飼料資源研究チーム)、同東北飼料イネ研究チーム 木村勝一フ

エロー、山口弘道主任研究員、関矢博幸主任研究員、田中 治主任研究員、小松篤司主任研究員、福重直樹主任研究員、藤森英樹上席研究員、寒冷地飼料資源研究チーム 嶺野英子主任研究員および岩手大学動物医科学系 出口義隆博士、熊谷智洋氏には実験の実施に当たり、多大なご支援を頂いた。また、畜産草地研究所非常勤職員 印南キヨ子氏、古川智子氏および東北農業研究センター非常勤職員 長牛和子氏、黒田あや子氏、佐藤幸子氏、飛沢道子氏には分析補助において、多大のご協力をいただいた。ここに記して深く感謝の意を表する。

II 再貯蔵処理による既存の牧草ロールペールサイレージ調製での細切・高密度処理の活用

1 再貯蔵による細切・高密度処理の活用が発酵品質に及ぼす影響

1) 目的

RBSは、材料草が未細切であること、低密度な発酵環境であること、および被覆ラップフィルムが破損しやすいことから、品質安定性を欠き、TMRへの適合性も低いなど発酵品質やサイレージ利用性について欠点を持っている。そこで、RBSとして収穫調製された後に細切して、気密性の優れたサイロに高密度で再貯蔵すれば、より安定した状態で貯蔵をすることが可能となり、TMRへの適用性などの利用性も向上すると考えられる。

そこで本節の試験では、牧草RBSを細切して気密性の優れたサイロ(ドラム缶サイロ)に再貯蔵した場合の発酵品質に及ぼす影響を調査した。

2) 材料と方法

(1) 収穫・調製

畜産草地研究所(栃木県那須塩原市)内圃場で栽培された出穂期のイタリアンライグラス(*Lolium multiflorum* Lam.、品種:ニオウダチ)2番草を供試した。1999年6月15日、供試草をモーアコンディショナ(ニューホランド株、KM281)で刈り取り、乾物率40%(軽予乾区)または50%(強予乾区)を目途に予乾した後、ロールペーラ(FERABOLI社、チャンバ径・幅1.2mタイプ、定型式)で各区3個ずつ梱包した。これらのペールはペールラップで4層(重複率50%)にラッピングし、重量を測定した後、積み重ねないで、テグスで鳥害を防いだ状態で

野外に貯蔵した。これらを貯蔵14日、30日および90日経過後にそれぞれ1個ずつ開封し、バールシュレッダ (Berni & A社製、SHARK150) で切断長10cm程度に細断してそれぞれ小型ドラム缶サイロ (35L容) 3個ずつに再貯蔵した。ドラム缶サイロへの詰込み密度はRBSと比べて軽予乾区で約8%増の450kg/m³程度、強予乾区で約5%増の370kg/m³程度で行った。これらドラム缶サイロは、いずれも14日間の屋内貯蔵を行った後に開封して発酵品質の分析を行った。

(2) 化学分析

分析用試料として、サイロ表面部分を除去した後に、サイロ毎に上部、中央部および下部の各表層部および中心部から採取してよく混合した後に縮分サンプルを得た。これら試料は60℃で48時間通風乾燥処理した後にメッシュサイズ1mmのふるいを通す粒度に粉碎し、135℃2時間の熱乾法による水分含量とケルダール法による全窒素含量を測定した。また、20gのサイレージ原物を秤量し、これに4倍量の蒸留水を加えて4℃下で一晩浸漬して作成した抽出液を用いて、ガラス複合電極pHメータによるpHおよび高速BTBポストラベル法による有機酸含量 (大桃ら 1993) ならびに微量拡散法による揮発性塩基態窒素 (VBN) 含量 (自給飼料品質評価研究会 2001) を測定した。

3) 結果

(1) RBSの発酵品質

RBSの発酵品質を表1に示した。軽予乾RBSの乾

物率は35-43%の範囲であり、強予乾RBSの乾物率は49-53%の範囲であった。軽予乾RBSは30日区と90日区で乳酸が2%程度生成され、pHが5程度に低下したが、強予乾RBSは乳酸が1%以下しか生成されず、90日区においてもpHは5.6までしか低下しなかった。酢酸の生成では両予乾RBSで大きな違いは認められず、酢酸含量は0.2-0.3%であった。酪酸は軽予乾RBSの30日区以降に生成が認められ、貯蔵期間を経るに従って増加する傾向があった。一方、強予乾RBSでは酪酸は検出されなかった。プロピオン酸はいずれのRBSからも検出されなかった。全窒素に占めるVBNの割合 (VBN/TN) は両予乾区とも90日区において値が高くなる傾向が認められた。

(2) 再貯蔵後の発酵品質

ドラム缶サイロへの再貯蔵後のサイレージ発酵品質を表2に示した。再貯蔵後の乳酸含量は軽予乾サイレージで平均4.7%、強予乾サイレージで平均2.9%であり、RBSに比べて大幅に増加した。これに伴い、14日区と30日区の再貯蔵後のpHは軽予乾区で4.1に、強予乾区では4.4程度に低下した。一方、両予乾とも90日区の再貯蔵後のpHはやや高く、軽予乾区で4.3、強予乾区では4.8であった。再貯蔵後の酢酸含量は両予乾区とも再貯蔵前に比べてやや増加する傾向が認められたが、最も増加した軽予乾・14日区でも1.3%に留まった。再貯蔵後の酪酸含量は、再貯蔵前に比べてほぼ変わらず、再貯蔵による影響は見られなかった。プロピオン酸は再貯蔵後においても検出されなかった。VBN/TNは両予乾区とも再貯蔵によってやや増加する傾向が認められたが、

Table 1 The fermentative quality of the round-baled silage at different storage period

	Dry matter (%)		Lactic acid -----(% of DM)-----	Acetic acid	Butyric acid	VBN /TN (%)
		pH				
Mild wilting						
14day	43.1	5.8	0.3	0.1	ND	1.0
30day	35.3	5.1	2.2	0.3	0.5	2.9
90day	35.6	4.9	2.3	0.3	0.7	7.5
Heavy wilting						
14day	51.3	5.8	0.3	0.1	ND	0.7
30day	53.1	5.6	0.8	0.2	ND	0.7
90day	48.9	5.6	0.2	0.1	ND	3.8

VBN : Volatile basic nitrogen, DM : Dry matter, TN : Total nitrogen, ND : not detected.

Table 2 The fermentation quality of the silage after re-ensiling from round bale in drum silo at different storage period by round bale

	Dry matter (%)		Lactic acid -----(% of DM)-----	Acetic acid	Butyric acid	VBN /TN (%)
		pH				
Mild wilting						
14day	42.8	4.1	4.5	1.3	ND	4.1
30day	37.0	4.1	4.4	0.5	0.5	5.6
90day	35.6	4.3	5.2	0.6	0.9	7.8
Heavy wilting						
14day	50.4	4.3	3.3	1.0	ND	1.6
30day	51.2	4.4	2.6	0.3	ND	1.9
90day	50.8	4.8	2.7	0.3	ND	3.9

VBN : Volatile basic nitrogen, DM : Dry matter, TN : Total nitrogen, ND : not detected.

増加割合が大きかった14日区、30日区ではRBSの90日区より低い値であった。

4) 考察

本実験でのRBSの平均乳酸含量は軽予乾区で1.6%、強予乾区で0.4%であった(表1)。Ohmomo *et al.* (2002) の乾物率が40%–50%の範囲の典型的な牧草サイレージでは乳酸が7%程度生成するという報告や増子ら(1988)のバックサイロを用いてイタリアンライグラスを無予乾、乳酸菌無添加で調製すると乳酸が6.6%生成されたとの報告に比べて、本実験でのRBSの乳酸含量は低いことから、乳酸発酵がかなり抑制されていたと推察される。従来からRBSは未細切、低密度で詰め込まれることから乳酸の生成速度が遅く、発酵程度も制限されると指摘されており(萬田 1994、増子 1999)、本実験の結果と一致する。特に、本実験では定径式ベアラを用いてベール成形を行ったため、可変径式ベアラ(芯ありタイプ)を用いた場合よりもベールの梱包密度が低く(増子 1999)、RBSでの乳酸発酵がより一層抑制されたと考えられる。一方、RBSを細断してドラム缶サイロへ再貯蔵した後は、すべての処理区において乳酸含量が増加して、pHが低下した(表2)。この結果は、乳酸発酵が抑制されていたRBSを細断して気密性の高いサイロに再貯蔵することによってサイレージ発酵が促進されることを示唆している。

熊井ら(2000)は、イタリアンライグラスから調製された乾物率50%程度のRBSでは、乳酸菌が無添加の場合、乳酸含量が1%に満たなかったが、選抜された乳酸菌を添加して調製すると4%程度に高まったことを報告している。よって、本実験に示された再貯蔵による発酵促進は、RBSに特有の未細切、低密度、ラップフィルムに由来する不完全な嫌気状態(本田ら 1995)および外気温の影響を受けやすい(野中・名久井 1995)などの不安定なサイロ内環境が、気密性の高いサイロへ再貯蔵することによって改善され、材料草に付着していた乳酸菌が活動できる状態になったことによると推察される。加えて、材料草に細切などの物理的破壊が加わると、植物細胞からの草汁の滲出が促され、乳酸菌の生育が他の微生物よりも相対的に促進されることから(Gibson *et al.* 1961)、再貯蔵処理によって乳酸菌への発酵基質の供給が促されたと考えられる。

RBSにおいては、酪酸発酵を完全に抑制するためには材料の乾物率を40%以上に調整する必要があると指摘されている(McDonald *et al.* 1991)。本実験においても乾物率が40%以下であった軽予乾RBSの30日区および90日区はpHが5程度で酪酸発酵を阻止することができていない(表1)。一方、細断して気密性の高いドラム缶サイロへ再貯蔵した30日区の場合、再貯蔵によって酪酸発酵を抑制するための目標pH値である4.2以下(増子 1999)を示した(表2)。しかし、90日区では再貯蔵を行ってもpHの低下割合が低かったことから、乾物率40%以下のRBSでは早めの再貯蔵処理がその後の酪酸発酵の抑制に有効であると推察される。したがって、本実験結果は、予乾不足などから適切な発酵が期待できない条件で調製されたRBSを長期貯蔵しなければならない場合、単に解体して利用するのではなく、細断して気密性の優れたサイロに再貯蔵して利用することによって、品質の劣化防止が期待でき、RBSの利用性が改善されることを示している。しかし、低い糖含量で30%に満たない乾物率であるなどの気密性の優れたサイロにおいても酪酸が生成されやすい劣悪な材料草条件での再貯蔵による品質改善効果は別途検討を要すると考えられる。

小野寺ら(1970–1972)は、遠距離にある草地の利用性を高めるために、スタックサイロを用いて一時現地にサイレージを調製し農閑期にスタックサイロに移動後、再貯蔵して利用する方法を検討し、再貯蔵後は乳酸含量の減少、酪酸含量の増加、pH上昇など、発酵品質が低下することを報告している。これに対して本実験では、RBSを気密性が高いドラム缶サイロへ細断、再貯蔵することによって乳酸含量の増加とpH低下が得られている。したがって、RBSの細断による乳酸発酵の促進効果を期待する場合には、スタックサイロやバンカーサイロなどの気密性が確保しにくい施設型サイロへの再貯蔵ではなく、本研究で用いたドラム缶サイロのような流通にも適する気密性の高いサイロによって調製しなければならない。以上のことから、イタリアンライグラス2番草を材料草としたRBS調製において、未細切で詰め込み密度が低く、しかもサイロの気密性が低くなりやすいために乳酸生成が抑制される場合があり、このようなRBSを細断して気密性の高いサイロへ再貯蔵することによって乳酸生成とpH低下が促進されることが明らかになった。本試験では、

再生草を用いて、再貯蔵期間を14日間とした結果であることから、1番草などのより高品質な材料草を用いた場合の適応性の検討および最適な再貯蔵期間、開封後の好気変敗に及ぼす影響を検討する必要がある。

2 再貯蔵による細切・高密度処理の活用が微生物相および好気的変敗に及ぼす影響

1) 目的

前節においては、イタリアンライグラス2番草を材料草としたRBS調製において、未細切で詰め込み密度が低く、しかもサイロの気密性が低くなりやすいため乳酸生成が抑制される場合があり、このようなRBSを細断して気密性の高いサイロへ再貯蔵することによって乳酸生成とpH低下が促進されることを明らかにした。しかし、1番草のように糖含量が高く良好なサイレージ発酵品質が得られやすい材料(大山・小川 1966)を用いた場合の細断・再貯蔵の影響については未検討であった。また、サイレージを再貯蔵する過程で一時的に好気条件下にさらすことになるために、好気的変敗が起こることが懸念される。そこで本節の試験では、イタリアンライグラス1番草を用い、良好な発酵品質が得られたRBSを細断・再貯蔵し、発酵品質および開封後の好気変敗への影響を検討した。

2) 材料と方法

(1) 収穫・調製

畜産草地研究所内圃場で栽培された出穂期のイタリアンライグラス1番草(品種：ニオウダチ)を供試した。2000年5月16日、供試草をモアコンディショナ(ニューホランド株、KM281)で刈り取り、乾物率40%を目途に予乾した後、ロールベラ(FERABOLI社製、チャンバ径・幅1.2mタイプ、定型式)で3個梱包した。これらベールはベールラップで4層(重複率50%)にラッピングし、重量を測定した後、積み重ねないでテグスで鳥害を防いだ状態で野外に貯蔵し、30日経過後に開封した。開封された各RBSは、それぞれベールシュレッタ(Berni & A社製、SHARK150)で切断長10cm程度に細断して、各8個の小型ドラム缶サイロ(35L容)に詰込んだ。ドラム缶サイロへの詰め込み密度はRBSの平均密度より約9%高い平均432kg/m³程度で行った。これらのドラム缶サイロは屋内に貯蔵し、1、3、

5、7、10、30、60、90日経過後に各処理区3個ずつ開封して以下に示す分析を実施した。

(2) サイレージの菌数計測

開封された各ドラム缶サイロは、表面部分を速やかに除去した後に、サイレージ以外からの微生物汚染に注意し、サイロ毎に上部、中央部および下部の各表層部および中心部から採取してよく混合した後サイレージ試料の縮分サンプルを得た。これらサイレージ原物10gずつを滅菌蒸留水90mlに浸漬し、良く振った後に抽出液中の菌数計測を以下に示す寒天平板法で実施した。乳酸菌は、MR S寒天培地で30℃2日間嫌気培養して計測した。好気性細菌は、普通寒天培地を用いて30℃2日間培養して計測した。糸状菌と酵母は、酒石酸を添加してpHを3.5に調節したポテトデキストロース寒天培地を用い、30℃2日間培養して計測した。好気性細菌は、普通寒天培地を用いて30℃2日間培養して計測した。これら各微生物の菌数は3反復で計測し、原物1g当たりのコロニー形成数(cfu/g)で示した。

(3) サイロ開封後の好気的変敗の測定

原らの方法(原ら 1979)に準じて、サイロ開封後のサイレージ品温の変化を測定することによって好気的変敗の発生を観察した。すなわち、RBS開封時と再貯蔵60日後及び90日後のサイレージを発泡スチロール製容器(5.8L容)に軽く詰め、気温を25℃に設定した室内に放置し、温度センサー(ティーアンドディー、TR-71S)によって1時間毎の温度変化を7日間記録した。

(4) 化学分析

収穫作業中、ウインドローから収穫梱包される直前の材料草を適時採取して、良く混合した後に縮分サンプルを得た。材料草の飼料成分分析用試料およびサイレージの乾物率測定と全窒素分析用試料は、60℃で48時間通風乾燥処理した後にメッシュサイズ1mmのふるいを通す粒度に粉碎した風乾物を用い、以下に示す分析に供試した。水分含量は135℃2時間の熱乾法で、粗蛋白質、粗脂肪、総繊維(OCW)、低消化性繊維(Ob)および粗灰分含量を常法(Abe *et al.* 1979、自給飼料品質評価研究会 2001)によって測定した。材料草については、スクロース、グルコースおよびフルクトースを秋山の方法(1999)に従って高速液体クロマトグラフ(HPLC)で測定し、これら3種類の糖の合計値をWSC含量として定量した。また、サイレージのpH、

有機酸含量およびVBN含量は前実験と同様の方法で測定した。

(5) 統計解析

サイレージのpH、有機酸含量、VBN/TN、V-SCOREおよび菌数の変化は、分散分析により有意性を判断し、LSD法によって平均値間の有意差の検定(新城 1996)を行った。

3) 結果

(1) サイレージ発酵品質

収穫調製時の材料草の成分組成を表3に示した。材料草のWSC含量は予乾サイレージで良好な発酵品質が得られやすいとされている乾物当たり5% (増子 1999) よりも高かった。

開封時のRBSの発酵品質を表4に示した。RBSのpHは4.3-4.4程度で有機酸は乳酸が主体であり、酢酸含量は平均1%以下と低く、プロピオン酸及びn-酪酸は検出されなかった。V-SCOREによる評価でも90点以上を示し、良好な発酵品質であった。

再貯蔵後のサイレージ発酵品質の経日的な変化を表5に示した。再貯蔵後においても、pHはロールベール開封時の値からほとんど変わらなかった。しかし、再貯蔵後30日以降、乳酸含量はやや減少する傾向を示す一方、酢酸含量は増加した(P < 0.01)。VBN/TNは再貯蔵後90日経過しても10%以下であった。V-SCOREは、再貯蔵中に酢酸含量の増加と

Table 3 Chemical composition of ensiling material

Dry matter (%)	Crude protein	Organic cell wall (% of DM)	Ob	WSC
43.8	9.7	61.6	50.1	8.1

DM : Dry matter, Ob : Cellulase-degradable fraction in organic cell wall, WSC : Water soluble carbohydrate.

Table 4 Fermentative quality of silage before re-storage

Bale No.	Dry matter (%)	pH	Lactic acid (%DM)	Acetic acid (%DM)	VBN (%TN)	V-SCORE
1	40.1	4.29	6.44	0.91	6.4	96
2	46.9	4.43	4.60	0.79	5.8	97
3	45.1	4.40	5.73	0.87	6.7	95

VBN : Volatile basic nitrogen, DM : Dry matter, TN : Total nitrogen.

VBN/TNの上昇によって10日目以降に低下(P < 0.01)したものの、再貯蔵期間を通じて「良」と評価される80点以上を維持していた。

(2) サイレージ微生物

RBS開封時の菌数を表6に示した。乳酸菌数は 10^7 - 10^8 cfu/gと高い値を示した。酵母も 10^4 - 10^5 cfu/gとやや高い値を示した。一方、カビは3個のRBSの内、1個から検出されたのみであった。

再貯蔵後の菌数の変化を表7に示した。乳酸菌数は再貯蔵期間中を通じて 10^7 - 10^8 cfu/gと高い値を示し、特に再貯蔵後30日以降に増加した(P < 0.01)。好気性細菌は再貯蔵直後に増加する傾向があったが、90日経過後の菌数は再貯蔵直後よりも低下する傾向にあった。酵母も好気性細菌と同様に再貯蔵直後にやや増加する傾向にあったが、再貯蔵後30日以

Table 5 Changes in fermentative quality of silage after re-storage

Days	pH	Lactic acid (%DM)	Acetic acid (%DM)	VBN (%TN)	V-SCORE
0	4.37	5.59	0.86 ^A	6.29 ^A	96 ^A
1	4.36	6.13	0.83 ^A	7.10 ^{AB}	95 ^{AB}
3	4.37	6.41	0.92 ^A	7.29 ^{AB}	94 ^{AB}
5	4.39	6.07	0.90 ^A	7.05 ^{AB}	94 ^{AB}
7	4.40	5.58	0.92 ^A	7.22 ^{AB}	94 ^{AB}
10	4.31	6.09	0.98 ^A	7.87 ^{BC}	93 ^{BC}
30	4.30	5.69	1.33 ^B	8.07 ^{BC}	91 ^C
60	4.31	5.35	2.57 ^C	7.76 ^{BC}	87 ^D
90	4.34	4.74	3.32 ^D	8.81 ^C	83 ^E
SEM	0.04	0.47	0.10	0.33	0.63
Significance	NS	NS	**	**	**

VBN : Volatile basic nitrogen, DM : Dry matter, TN : Total nitrogen, A, B, C, D, E : Values in the same column with different superscripts significantly different (P < 0.01), SEM : standard error of the mean (n=3), NS : not significant, ** : Significantly different (P < 0.01).

Table 6 Microbial cells of the silage before re-storage

Bale No.	Lactic acid bacteria	Aerobic bacteria	Yeast	Mold
----- (log cfu/gFM) -----				
1	7.8	4.6	4.4	ND
2	7.3	4.9	4.9	ND
3	8.0	6.3	6.2	4.4

cfu : colony forming unit, FM : Fresh matter, ND : not detected (<2).

降は減少し、特に60日以降は大きく減少した ($P < 0.01$)。糸状菌はロールRBSの開封時には若干存在していたが、再貯蔵3日後以降検出されなくなった。

RBS開封時及び再貯蔵90日後のサイレージ開封後の温度変化を図1に示した。RBSでは開封1日後以降顕著な温度上昇が認められ、2日後までに30℃以上に達した。再貯蔵したサイレージでは開封後7日間の測定期間中温度上昇は認められなかった。

4) 考察

再貯蔵に用いたRBSの乳酸含量は乾物中5 - 6%であり(表4)、前節の再貯蔵後のサイレージで得られた乳酸含量以上の値を示していた。このように乳酸含量が高く、サイレージ発酵品質の良好なRBSを細断して、気密性の高いサイロに再貯蔵すると、前節の実験で観察されたような著しい乳酸含量の増加は観察されなかった。しかし、90日間の再貯蔵後においてもpH上昇や酪酸生成等のサイレージ発酵品質の低下は認められなかった(表5)。また、再貯蔵後の特徴ある現象として、再貯蔵期間を経るに従って乳酸含量がやや低下し、酢酸含量が増加することが観察された。再貯蔵期間を14日間とした前節の実験においても酢酸含量の僅かな増加は観察されたが、再貯蔵90日後まで観察した当実験では、再貯

蔵30日後以降に酢酸の増加が顕著になることが認められた(表5)。

イネ科牧草のように糖の主成分がフルクトースである場合、ヘテロ型発酵乳酸菌がサイレージ発酵で優勢になると酢酸含量が高まることが報告されている(McDonald *et al.* 1991)。また、ヘテロ型発酵乳酸菌である*L. buchneri*が嫌気条件下で乳酸を代謝して酢酸を生成することが明らかにされており(Oude Elferink *et al.* 2001)、この*L. buchneri*の接

Table 7 Changes in microbial cells of the silage after re-storage

Days	Lactic acid bacteria	Aerobic bacteria	Yeast	Mold
	(log cfu/gFM)			
0	7.71 ^A	5.25 ^{AB}	5.18 ^{AC}	1.45
1	7.76 ^A	6.35 ^B	6.47 ^A	1.58
3	7.82 ^{AD}	6.48 ^B	6.58 ^A	ND
5	7.68 ^A	6.44 ^B	6.43 ^A	ND
7	7.67 ^A	5.99 ^{BCD}	6.25 ^A	ND
10	7.79 ^A	6.35 ^{BC}	6.49 ^A	ND
30	8.71 ^B	4.75 ^{AD}	4.51 ^{BC}	ND
60	8.59 ^{BC}	4.13 ^A	1.20 ^D	ND
90	8.24 ^{CD}	4.15 ^A	0.68 ^D	ND
SEM	0.10	0.31	0.40	-
Significance	**	**	**	-

cfu : colony forming unit, FM : Fresh matter, A, B, C, D : Values in the same column with different superscripts significantly different ($P < 0.01$), ND : not detected (< 2), SEM : standard error of the mean ($n=3$), **: Significantly different ($P < 0.01$).

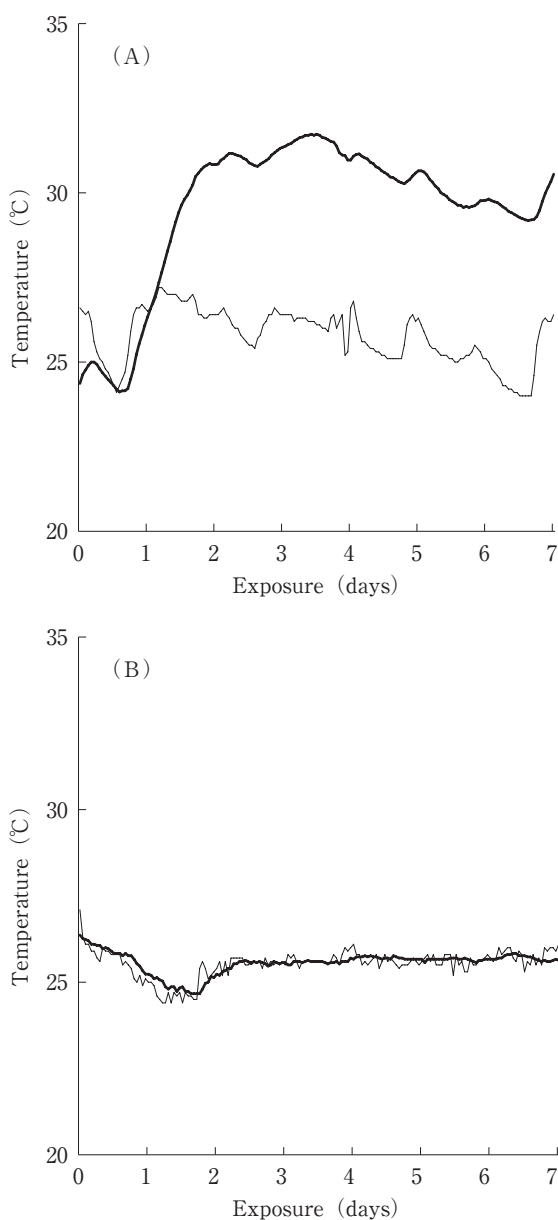


Fig. 1 Changes in temperature of the silage before (A) or after (B) re-storage during exposure to the air.

— ambient, — silage.

種によって、サイレージ中の酢酸含量が顕著に増加することも報告されている (Danner *et al.* 2003、Driehuis *et al.* 1999)。本研究ではサイレージ中の乳酸菌種については調べていないが、4.3程度の低いpHでしかも嫌気的な条件下という乳酸菌以外の菌が活発に代謝を行いにいと考えられる条件 (McDonald *et al.* 1991) で乳酸含量が減少して酢酸含量が増加している点や上記の報告を考慮するならば、*L. buchneri*のような酢酸生成能の高いヘテロ型発酵乳酸菌が再貯蔵後にサイレージ中で優勢となり、酢酸含量が増加したと考えるのが最も妥当と思われる。

予乾した牧草を簡易なビニールスタックサイロで調製後、他のビニールスタックサイロに移し替えて再貯蔵した場合、開封後の好気的変敗が起りやすいことが報告されている (小野寺ら 1972)。これに対して本研究では、再貯蔵60日後および90日後のサイレージは、サイロ開封後7日間にわたり好気的微生物の増殖に伴うサイレージ品温の上昇 (原ら 1979) が認められず、好気的変敗が抑制されているのが認められた (図1、再貯蔵60日後のデータは表示せず)。この原因として、サイレージの好気的変敗に主要な役割を果たす酵母 (原ら 1979) が、再貯蔵中に減少したことが考えられる。酵母は好気条件下では酢酸を消費できるが、嫌気度の高いサイロ内では酢酸によって生育が抑制されるため (Woolford 1984)、サイレージ中の酢酸含量が増加すれば好気的変敗が抑制されることが報告されている (Danner *et al.* 2003、Pahlow and Zimmer 1985、Woolford 1984)。このことから当実験においても、RBSを気密性の高いドラム缶サイロへ再貯蔵することによって、まず糸状菌が速やかに減少し、その後、嫌気度の高い条件下で酢酸含量が増加することによって酵母が減少し、好気的変敗が抑制されたものと考えられた。酵母はRBS開封時から再貯蔵10日後までは 10^5 cfu/g以上の高い菌数を示したが、再貯蔵30日後以降は 10^5 cfu/g以下に減少し、特に再貯蔵60日後以降には著しく減少する事が観察された (表7)。サイレージ中の酵母数が 10^5 cfu/g以下ならば好気的変敗に対する安定性が向上するので (Pahlow・Zimmer 1985)、30-60日以上再貯蔵を行うことによって開封後の好気的変敗を防止でき得ることが示唆された。

以上のことから、良好な発酵品質のRBSを、気密

性の高いサイロに再貯蔵することによってサイレージ発酵品質が保持されるだけでなく、サイロ開封後の好気的変敗の防止も可能になることが明らかとなった。よって、バール毎に品質が変動しやすい欠点 (糸川ら 1995、増子 1999、名久井 1996) を持つRBSにおいても、様々な品質のRBSを細断・再貯蔵することによって発酵品質を安定させ、かつ開封後の好気的変敗が抑制された細切サイレージとして利用できると思われる。

3 再貯蔵時の濃厚飼料添加による品質改善

1) 目的

前節では、RBS調製において、未細切で詰め込み密度が低く、しかもサイロの気密性が低くなりやすいために乳酸生成が抑制される場合があり、このようなRBSを細切して気密性の高いサイロへ再貯蔵することによって乳酸生成とpH低下が促進されることが明らかになった。また、良好な発酵品質のRBSにおいても、細断・再貯蔵処理によって、サイレージ発酵品質が保持されるだけでなく、サイロ開封後の好気的変敗の防止も可能になることが示された。すなわち、バール毎に品質が変動しやすい欠点を持つRBSにおいても、様々な品質のRBSを細切・再貯蔵することによって発酵品質を安定させ、かつ開封後の好気的変敗が抑制された細切サイレージとなることから、TMRへの適合性が高まると考えられる。ただし、低い糖含量で70%を越える高水分であるなど、劣悪な発酵条件では細切・再貯蔵による品質改善効果は期待できないことから、添加物などの対策が別途必要と考えられる。

牧草サイレージをTMRの粗飼料源にする場合、通常は給与直前に濃厚飼料と混合する。TMR供給センターでは、一度に多量のTMRを調製して遠方に配送する場合、粗飼料と濃厚飼料を混合し、配送用のパッケージに密封することによって、TMRをサイレージ化 (発酵TMR化) して配送することが行われている (阿部 2000)。その濃厚飼料 (穀物) は、発酵品質改善と排汁を抑制する添加物として知られている (McDonald *et al.* 1991)。また、サイレージへの濃厚飼料の添加は、嗜好性を向上させる (高野・山下 1990)。よって、牧草サイレージが不十分な予乾条件で調製された場合、速やかに細断して多量の濃厚飼料を混合し、発酵TMRとして再貯蔵した場合、貯蔵中の品質劣化、特に嗜好性の低下

が抑えられると期待できる。当実験では、この仮説を検証するためにサイレージ材料に広く用いられる牧草のうち、オーチャードグラスを選んだ。オーチャードグラスは、他の寒地型牧草と比べて、サイレージ発酵に重要な可溶性炭水化物含量が低くなる傾向があり、再生草では特にその傾向が強くなると報告されている（大山・小川 1966）。そこで、オーチャードグラスから発酵品質が低いグレードのRBS（特に2番草では劣悪なRBS）を調製するために、無予乾で収穫して実験に用いた。そして、不十分な予乾によって調製された牧草RBSの細切・再貯蔵処理において、品質劣化防止対策としての穀物添加の効果を検討した。

2) 材料と方法

(1) TMR調製

畜産草地研究所（栃木県那須塩原市）の圃場で栽培されたオーチャードグラス（*Dactylis glomerata* L.、品種：ナツワカバ）を供試した。2002年6月5日に1番草（開花期）を、また7月30日に2番草（出穂期）をモーアコンディショナ（ニューホランド株、KM281）で刈り取り、無予乾でロールベラ（FERABOLI社製、チャンバ径・幅1.2mタイプ、定型式）で5個ずつ梱包収穫した。これらのRBSのうち収穫40日後に3個ずつをベールカッタ（berni. A・Figli社製、SHARK150）で約10cmに細断した後に、良く混合した。次に、これら細断サイレージは、粉状の濃厚飼料（トウモロコシ40%、大麦30%、フスマ16%、ヌカ6%、大豆粕6%および2%の炭酸カルシウムと塩）と混合した。混合比率は、混合物1kgあたりサイレージ750g（原物）に対して濃厚飼料250g（原物）とした。これら混合物は速やかに200L容ドラム缶サイロに密封し、嗜好性試験に用いるまで発酵TMRとして貯蔵した。この発酵TMR調製に用いたものを除いた残り2個のRBSを用いて、嗜好試験を開始する直前に発酵TMR調製と同様の方法でフレッシュTMRを調製した。両番草の嗜好試験の実施にあたり、同じ牛を用いて同一時期に行うことを目指した。このため、1番草では収穫132日後、2番草では収穫80日後となった。

(2) 嗜好性試験

6頭のホルスタイン種乾乳牛（平均体重583kg）を嗜好性試験に使用した。嗜好性試験は、林ら（1965）の「二者択一法」を修正して用いた。すなわち、そ

れぞれの牛の飼槽にフレッシュTMRおよび発酵TMRを乾物で4kgずつ入れた1組のコンテナを準備し、3日間、両TMRを午前9:00より120分間同時に採食させ、採食量を測定した。コンテナの右左の位置関係によるいかなる採食行動の抑制を避けるために、測定時間中10分ごとにコンテナの左右を入れ替えた。試験牛の120分間の総採食量は4-6kgであり、一方のTMRを120分以内に採食しきってしまった場合は、その時点で採食を終了させた。毎日の採食試験の後、オーチャードグラスサイレージと濃厚飼料を主体とするTMR、水および鉱塩を自由に摂取させて栄養要求を満たした。この嗜好試験で得られた総乾物摂取量に占める発酵TMRの割合を嗜好度（Bell 1959）として示した。嗜好度の程度は、Goatcher・Churchの方法（1970）によって判断した。すなわち、嗜好度の20%、40%、60%および80%を拒否閾値、下限拒否閾値、上限拒否閾値、嗜好閾値と定義し、20%以下、20%以上40%未満、40%以上60%未満、60%以上80%未満および80%以上をそれぞれ強い拒否範囲、弱い拒否範囲、未反応範囲、弱い嗜好範囲、強い嗜好範囲と定義した。なお、本実験の動物試験は、畜産草地研究所動物実験指針（2002年9月26日施行）に準じて実施した。

(3) 化学分析

RBSの分析サンプルは、それぞれのベールを解体・細切した後に採取した。TMRのサンプルは、嗜好性試験に用いるために良く混合した後に採取した。これらRBSとTMRサンプルは、70℃48時間の熱乾法によって乾物率を測定すると共に、メッシュサイズ1mmのふるいを通過する粒度に粉碎して、粗蛋白質、粗灰分、OCWとObおよびサイレージのpH、有機酸、VBN含量を前実験と同様に測定するとともに、V-SCORE（自給飼料品質評価研究会 2001）を計算した。

(4) 統計解析

RBSおよびTMRの化学成分および発酵品質のデータを二元配置分散分析によって解析した。嗜好度は、平均値と95%信頼限界で示した。これら統計解析は、StatMate III software program（株アトムス）によって行った。

3) 結果

RBSの飼料成分含量と発酵品質を表8に示した。乾物率を除いた化学成分において、1番草と2番草

で有意な差があった。開花期で収穫された1番草RBSは伸長期で収穫された2番草RBSよりも、有意に低い ($P < 0.01$) 粗蛋白質含量と有意に高い ($P < 0.01$) 細胞壁成分含量を持っていた。両番草とも、発酵TMR用に開封した時とフレッシュTMR用に開封したときとでは飼料成分含量に有意な差は無く、交互作用も認められなかった。ところが乳酸と酢酸の含量は、2番草が1番草よりも有意に高かった ($P < 0.01$)。特に2番草の乳酸は1番草の常に2倍以上の値であった。2番草の酪酸含量(新鮮物中%)

は、検出されないか0.03%と低く保たれていた。一方、1番草の酪酸含量は、発酵TMR調製時では0.05%と微量であったが、フレッシュTMR調製時には0.45%に高まった。VBN含量は1番草のフレッシュTMR調製時が最も高い傾向にあった ($P = 0.12$)。2番草のV-SCORE評価は、一貫して良 (> 80) に保たれていた。一方、1番草では貯蔵中に良 (> 80) から不可 (< 60) へと低下した。

発酵TMRとフレッシュTMRの飼料成分含量と発酵品質を表9に示した。1番草と2番草との間に、

Table 8 Feed compositions and fermentative characteristics of the round-baled silage of orchardgrass used for the processing of total mixed ration

	First cutting		Second cutting		Significance ^{††}		
	40-d	132-d	40-d	80-d	Cutting	Storage	Interaction
	storage [†]	storage [†]	storage [†]	storage [†]			
Dry matter (%)	36.5	34.9	31.5	29.8	NS	NS	NS
Crude protein (%DM)	9.1	9.0	17.1	17.9	**	NS	NS
Organic cell wall (%DM)	75.2	78.1	67.6	65.9	**	NS	NS
Organic b fraction (%DM)	65.0	67.9	57.0	56.7	**	NS	NS
Crude ash (%DM)	6.0	5.8	10.8	10.9	**	NS	NS
pH	4.46	4.47	4.57	4.37	NS	NS	NS
Lactic acid (%FM)	0.90	1.00	1.91	2.73	**	*	*
Acetic acid (%FM)	0.16	0.31	0.43	0.78	**	**	NS
n-Butyric acid (%FM)	0.05	0.45	ND	0.03	*	*	*
VBN (%TN)	9.06	13.04	8.81	7.44	NS	NS	NS
V-SCORE	88	43	90	89	**	**	**

The values shown are the means of the values for 2 or 3 round bales.

[†] 40-d storages were used for fermented TMR processing, and 132-d and 80-d storages were used for fresh TMR processing.

^{††} *: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$, NS: $P \geq 0.05$.

DM: dry matter, FM: fresh matter, VBN: volatile basic nitrogen, TN: total nitrogen, ND: not detected.

Table 9 Feed compositions and fermentative characteristics of fermented and fresh total mixed ration

	First cutting		Second cutting		Significance [†]		
	Fermented	Fresh	Fermented	Fresh	Cutting	TMR type	Interaction
	TMR	TMR	TMR	TMR			
Dry matter (%)	50.4	46.3	42.1	42.6	**	NS	NS
Crude protein (%DM)	10.6	9.2	16.4	14.6	**	NS	NS
Organic cell wall (%DM)	56.9	60.1	49.6	45.8	**	NS	*
Organic b fraction (%DM)	46.3	51.9	41.0	38.7	**	NS	*
Crude ash (%DM)	6.0	5.9	9.1	8.3	**	NS	NS
pH	4.05	5.34	4.06	5.02	NS	**	NS
Lactic acid (%FM)	4.53	0.85	5.38	2.65	**	**	NS
Acetic acid (%FM)	0.50	0.22	0.89	0.75	**	**	NS
n-Butyric acid (%FM)	0.18	0.27	0.03	0.04	**	NS	NS
VBN (%TN)	11.24	10.38	8.76	10.1	NS	NS	NS
V-SCORE	68	67	85	83	**	NS	NS

The values shown are the means of the results obtained for 2 repetitions.

[†] *: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$, NS: $P \geq 0.05$.

DM: dry matter, FM: fresh matter, VBN: volatile basic nitrogen, TN: total nitrogen, ND: not detected.

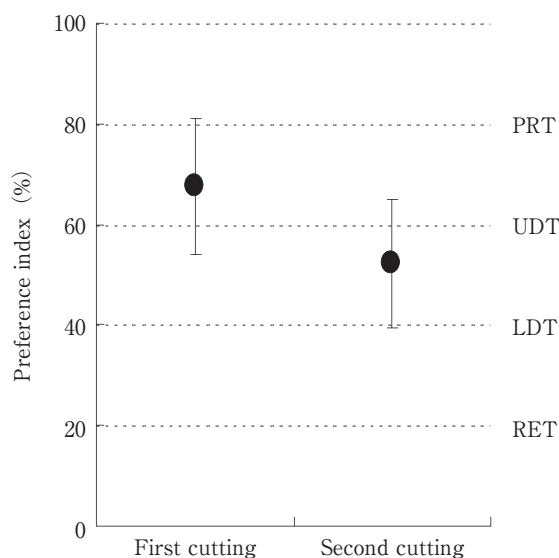


Fig. 2 Preference response of fermented TMR to non-fermented TMR by dry cow

PRT : Preference threshold.

UDT : Upper discrimination threshold.

LDT : Lower discrimination threshold.

RET : Rejection threshold.

Data represent means \pm 95% confidence interval of 6 animals.

すべての飼料成分含量に有意差が認められたが、発酵TMRとフレッシュTMRの間に、飼料成分組成に有意差は認められなかった。OCWとObには、交互作用が認められた。しかし、両番草とも発酵TMRとフレッシュTMRのOCWとOb含量の差は3 - 5%と小さかった。発酵産物に関しては、RBSと同様に乳酸、酢酸、酪酸含量およびV-SCORE評点について番草間に有意な差 ($P < 0.01$) が認められた。発酵TMRとフレッシュTMRの間では、両草種とも発酵TMRはフレッシュTMRと比べて、乳酸を2倍以上含み、pHが1程度低かった。1番草において、フレッシュTMRの酪酸含量が発酵TMRのものより高い傾向があった。これら発酵産物の差には交互作用が認められなかった。

発酵TMRの選好指数と95%信頼区間を図2に示した。1番草では、牛の発酵TMRに対する選好指数の平均値は67%であり、弱い嗜好反応を示したと判断された。2番草では発酵TMRの選好指数の平均値は52%であり、嗜好性の差が無いと判断された。

4) 考察

TMRの採食性は、混合される粗飼料の質に大きく支配されるため、その粗飼料には採食性の高さが

要求される (阿部 2000)。粗飼料の採食量は、家畜側の消化管の物理的容量とともに飼料特性によって制限を受ける (Conrad *et al.* 1964)。飼料特性とは、消化管の充満度に影響する繊維含量や消化速度や消化管通過速度と密接に関係している (Mertens 1987)。このため、牧草サイレージの採食量においても、繊維含量や消化率は最も重要な要因として挙げられている (Steen *et al.* 1998)。しかし、本研究では比較した対照TMRと発酵TMRでは総繊維や難消化性繊維含量の差が小さいこと (表9)、また、3日間の短期間における二者択一の選択採食量であることから、両TMRの採食性の差は、RBSとTMRの二つのサイレージ発酵が影響したと推測した。両実験とも、TMRのサイレージ発酵によって、乳酸と酢酸含量が増加してpHが低下した (表9)。これらの差は、両草種で同様の傾向であった。一方、TMRの粗飼料源であるRBSには発酵品質の差が認められた。2番草RBSは予想外に発酵品質が優れていたため、発酵品質が劣ったRBSは1番草のみであった (表8)。このため、RBSの乳酸含量と酪酸含量に差が見られた。特に、フレッシュTMR用のRBSで差が著しかったため (表8)、このRBSの嗜好性の差がTMRの嗜好性に影響を及ぼしたと考えられた。有機酸やpHのサイレージ採食量に及ぼす効果は多様である。乳酸は、有機酸中濃度として表示されるとき、採食量と正の相関があるが (Wilkins *et al.* 1971)、乳酸自身の含量は摂取量に影響しない (McDonald *et al.* 1991)。酢酸は採食量に抑制的に働くが (Wilkins *et al.* 1971)、乳酸の存在でその効果は容易に打ち消される (Buchanan-Smith 1990)。サイレージのpH値は単独では摂取量の規制要因とならず、その影響は間接的である (Wilkins *et al.* 1971)。酪酸の添加が採食量に及ぼす影響を調べたSenel・Owenの研究 (1966) によれば、1%の酪酸を添加してもジャージー牛の採食量は低下しなかった。また、羊を用いた実験では、1%を超える量の酪酸を添加しても嗜好性には影響しない結果が得られている (Buchanan-Smith 1990、Gherardi・Black 1991、中田ら 1997)。このように、サイレージ採食量とpH値や酪酸を含む有機酸含量自身との関係は有意ではあるが相対的に低い (Steen *et al.* 1998)。よって、TMRを発酵させることは採食性に悪影響を及ぼさないと考えられ、本研究結果からも発酵

TMRはフレッシュTMRと同等以上の嗜好性であることが示唆された。

当実験では、1番草の発酵TMRはフレッシュTMRよりも嗜好性が優れる傾向にあり、2番草では両TMRの嗜好性に差は認められなかった(図2)。1番草と2番草で最も大きく異なった点は、フレッシュTMR調製用のRBSの発酵品質であった。2番草RBSは、1番草よりも低い発酵品質のRBSが得られると予想した。しかしながら、2番草からは予想外にV-SCORAEの高いRBSが得られた。発酵TMR用の1番草RBSのV-SCOREは、2番草と同じであった(表8)。フレッシュTMR調製用RBSでは、1番草のV-SCOREが2番草よりも著しく低かった(表8)。よって、1番草のフレッシュTMRの嗜好性の低下は、フレッシュTMR調製用RBSの発酵品質の低下に起因することが示唆された。

神経薬理学的な効果がある様々な潜在的採食抑制剤であるアミン類やヒスタミンなどがサイレージ中に存在することが認められている(Clancy *et al.* 1977、Neumark・Tadmor 1968)。これらのアミン類やヒスタミンはサイレージ発酵におけるタンパク分解によって生じ、主に酪酸発酵サイレージにおいて検出される(Ohshima *et al.* 1979)。1番草においては、フレッシュTMR用の材料となったRBSは発酵TMR用に供したのものよりも酪酸含量と総窒素に占めるアンモニア態窒素が高い傾向があったことから(表8)、酪酸菌の活性が高く、タンパク分解が発生していたことが示唆される。本実験ではアミン類は測定していないが、1番草のフレッシュTMRの嗜好性を低下させた原因として、RBSの酪酸発酵に起因するアミン類の増加が考えられる。1番草のフレッシュTMR向けのRBSは、RBSとしての貯蔵中に酪酸発酵が助長されてタンパク分解が進み、嗜好性に悪影響を及ぼす窒素化合物を含むようになった。1番草の発酵TMR向けのRBSは早期にTMR化されることによって、濃厚飼料による水分調整と発酵基質の供給によって、その後の貯蔵中の酪酸発酵が抑制されたと推察される。これらの結果から、牧草サイレージが不十分な予乾条件で調製された場合、多量の濃厚飼料を混合し、発酵TMRとして速やかに保存された場合、貯蔵中の品質劣化、特に嗜好性の低下を抑える効果的な対策であることが明らかとなった。

III 細切・高密度処理による飼料イネロールベールサイレージの発酵改善

1 細断型ロールベラで調製した飼料イネロールベールサイレージの発酵品質

1) 目的

飼料イネは概してRBSに調製されているため、特にRBSにおける高品質サイレージ調製技術が重要である。しかしながら、飼料イネは乳酸の生成量が少ないことが知られており、劣質な発酵品質のサイレージが調製されやすい(後藤 2001)。このため添加物などによる乳酸発酵の促進なしには良好な飼料イネサイレージの貯蔵は困難とされる(蔡 2001)。材料草を細切して高密度に梱包した場合、植物細胞からの草汁の滲出が促され、乳酸菌の生育が他の微生物よりも相対的に促進される(Gibson *et al.* 1961)。飼料イネの収穫に用いられている従来型のロールベラでの調製では材料草は無細切または長い切断長であり、この条件では乳酸生成スピードが遅く、乳酸生成量も低くなることが示されている(萬田 1994)。一方、細切されたトウモロコシなどの長大型作物を高密度なロールベールに成形できる細断型ロールベラ(志藤・山名 2002)が開発され、普及が期待されている。この細断型ロールベラを飼料イネの収穫調製に用いれば、細切・高密度処理によって従来型のロールベラでは不十分であった草汁の滲出が促され、乳酸発酵が促進されることが期待される。

そこで本試験では、飼料イネのサイレージ調製に細断型ロールベラを適用し、調製された細断型RBSの発酵品質と化学成分、および肥育牛による採食量を従来型ベラによる無細切型RBSと比較し、飼料イネRBS調製における細切・高密度処理の効果を検討した。

2) 材料と方法

(1) 収穫・調製

東北農業研究センター(岩手県盛岡市)内圃場において直播栽培された黄熟期のイネ(*Oryza sativa* L.、品種:あきたこまち)を供試した。2003年9月24日にバインダー(ヤンマー製BE-65)で収穫した材料を圃場外に搬出し、2条刈りコーンアタッチメントを装着したシリンダ型フォレージハーベスタ(ニューホランド株、Mode 1790、設定切断長16m

m)に投入して、細断型ベアラ(タカキタ株、MR-810、チャンバ径0.80m・幅0.85m)の荷受ホッパに細断材料を吹き込んで細断型ベール2個(重量257kgおよび239kg)を調製した。また、同年9月29日には自脱型コンバイン(クボタ製AR-43)で刈り倒した材料をカッティング機構の無い自走式ロールベアラ(タカキタ株、SR1200、チャンバ径・幅1.2m、定径式)でピックアップして、従来型ベール2個(重量495kgおよび500kg)を調製した。これらベールはベールラッパで6層(重複率50%)にラッピングされた後、梱包密度を算出するために重量、周囲長および高さを計測して、積み重ねないでテグスで鳥害を防いだ状態で野外に貯蔵した。2004年2月9日に細断型RBS、同年2月23日に従来型RBSを開封し、以下に示す肥育牛による採食試験および化学分析に供試した。

(2) 採食試験

各RBSを25か月齢の去勢黒毛和種牛3頭(平均体重583kg)に1日当たりビタミンAを含まない肥育牛用配合飼料7kgとともに2週間飽食給与し、前半の1週間は馴致期、後半の1週間は本試験期として自由採食量を測定した。慣行法では肥育後期のこの時期には濃厚飼料を多給するが、本実験ではサイレージを飽食させるために配合飼料を7kgに制限したため、配合飼料はほぼ全量採食された。

(3) 化学分析

分析用試料はカビ汚染を確認した後に、ベール表面部分を除去し、ロール毎にベール上部、中央部および下部の各表層部および中心部から採取してよく混合した後に化学分析用の縮分サンプルを得た。これら試料は60℃で48時間通風乾燥処理した後にメッシュサイズ1mmのふるいを通過する粒度に粉碎し、以下の化学分析に供した。水分含量は135℃2時間の熱乾法で、粗蛋白質、粗脂肪、OCW、Ob、サイレージのpH、有機酸、VBN含量を前実験と同様に測定するとともに、V-SCOREを計算して発酵品質を評価した。

(4) 統計解析

肥育牛への採食試験において、回収された残飼からサイレージを分別し、各サイレージの代謝体重あたりの日乾物採食量を求め、t検定(新城 1996)によって有意性を検討した。

3) 結果

表10にRBSの乾物密度、発酵品質、飼料成分および肥育牛による採食量を示した。乾物密度は従来型RBSが157kg/m³であったのに対し、細断型RBSではその約1.2倍の193kg/m³となった。粗蛋白質や繊維含量等の飼料成分は、調製方法による違いは小さかった。また目視によるカビ汚染は両RBSともに認められなかった。化学成分値と異なり、発酵産物含量には調製方法間に大きな差が認められた。すなわち、従来型RBSは乳酸含量が新鮮物中0.2%と低いうえ、pHも5.7と高く、若干の酪酸生成が認められたのに対し、細断型RBSでは乳酸含量が0.9%に高まり、pHが4.1に低下して酪酸の生成も認められなかった。ただし、VBN/TNは両タイプとも3-3.5%と低い値であった。V-SCOREによる評価は両タイプとも、良(80<)と判定される品質であった。肉用牛における自由採食量は、両タイプ間に有意差は認められなかった。また、実験期間中に食滞などは観察されなかった。

Table 10 Dry matter density, chemical composition, fermentative quality, and of voluntary dry matter intake in beer cattle of forage paddy rice silage prepared using a round baler for chopped material (Chopped) or a conventional round baler (Conventional)

	Conventional	Chopped
Dry matter density (kg/m ³)	157	193
Dry matter (%)	42.8	42.4
Crude protein (%DM)	6.2	5.6
Ether extract (%DM)	2.5	2.2
Organic cell wall (%DM)	46.4	44.3
Ob (%DM)	41.6	39.3
Crude ash (%DM)	14.2	12.8
pH	5.7	4.1
Lactic acid (%FM)	0.18	0.87
Acetic acid (%FM)	0.12	0.12
Propionic acid (%FM)	ND	ND
n-Butyric acid (%FM)	0.02	ND
VBN/TN (%)	3.0	3.5
V-SCORE	98	100

Voluntary dry matter intake (g/W^{0.75})[†] 25.1 ± 2.2 25.9 ± 1.7

Mean of 2 round bales, DM : dry matter, Ob : Organic b fraction.

[†]Data represent means ± standard error of 3 animals. Mean values are not significantly different.

4) 考察

飼料イネは、付着乳酸菌やその発酵基質である可溶性炭水化物が少ないことから、良質サイレージの調製が難しい作物とされている(蔡 2001)。本実験における従来型RBSの乳酸含量の低さとpHの高さは、飼料イネのサイレージ調製における問題点を端的に示し、これとの比較における細断型RBSの乳酸含量の上昇とpHの低下は、細断された材料草を高密度に梱包可能である細断型ペーラの導入が飼料イネサイレージの乳酸発酵促進にきわめて効果的であることを示した。

上述のように細断型ロールペーラによる調製が乳酸発酵を促進させる効果をもつことは確認されたが、本実験においては従来型RBSにおいても酪酸含量が低かったことから、乳酸発酵の促進による酪酸発酵の抑制効果は明確ではなかった。本実験の材料イネは水分が低下した黄熟期に収穫されたものであった。酪酸菌は、水分に対する感受性が高く、水分低下によって活性が抑制されやすくなるため(Woolford 1984, Jonsson *et al.* 1990)、本実験での従来型RBSの低い酪酸含量は材料イネの水分含量に起因すると考えられた。一方、細断型RBSの乳酸含量は従来型よりも大幅に増加していた。乳酸菌は酪酸菌と異なり、低水分条件に対して比較的高い抵抗力を有しているため(Woolford 1984)、本実験の水分条件でも乳酸菌の増殖は妨げられなかったであろう。従来型ロールペーラによる調製は、乳酸発酵が促進されずpH低下が6程度であったが、細断型ロールペーラを用いた細切・高密度調製では乳酸発酵が促進されてpHが4.1にまで低下していた。飼料イネは茎が堅く中空であるために保有する空気量が多いことから、好気性微生物が増殖しやすい特性をもっており(永西・四十万谷 1998、蔡 2001)、蔡ら(2003)の報告に見られるようにpHが5程度の飼料イネRBSでは長期貯蔵時に糸状菌の増殖が認められるなど、その品質安定には十分なpHの低下が重要である。本実験は9月から翌年2月までの比較的短期間の貯蔵であったため、乳酸発酵が促進されなかった従来型RBSにおいてもカビ汚染は認められなかった。蔡ら(2004)が生産現場における飼料イネRBSを調査した報告によれば、乳酸発酵が不十分な場合、収穫翌年の夏に高頻度にカビに汚染されることが示されている。よって、pHが6程度と高く、細断型と比べて密度も低い従来型RBSにおいて

は、収穫翌春以降の高温期を経過するような長期貯蔵では、カビによる汚染が懸念される。

牛による自由採食量は従来型RBSと細断型RBSの間で差が認められなかった。細断型ロールペーラでトウモロコシを調製した場合、チャンバ内から材料が2%程度こぼれ落ちる梱包損失が発生することが報告されている(志藤 2003)。本実験では梱包損失を測定せず観察するに止まったが、トウモロコシと同様の低い損失程度で、特に子実の損失が多く見られることはなかった(データ表示せず)。化学成分値の比較においても、細断型RBSの繊維成分含量が従来型と比べて高い傾向はなく、細切による子実部分などの繊維成分が低い部位の損失は懸念する必要が無いと考えられた。サイレージの採食性を低下させる要因としては繊維含量の増加や消化率の低下が挙げられる(Steen *et al.* 1998)。よって、本実験では両サイレージ間の化学成分値、特に繊維含量にはほとんど差がなかったことから、採食量に対する収穫損失の影響は無かったと考えられる。サイレージにおいて、化学成分値以外に採食量に影響を及ぼすと考えられる要因として発酵過程で生じる生成物、特に蛋白質の分解によって生じるアミン類などが挙げられる(Clancy *et al.* 1977)。本実験における細断型と従来型RBSにおいて、乳酸含量にこそ大きな差がみられたが、従来型でも酪酸含量やVBN/TNが低かったので、蛋白質をはじめとする栄養成分の分解をもたらす不良な発酵も進まなかったものと推定される。萬田(1994)は切断サイレージでは密封初期に乳酸が多量に生成される材料草でも、無切断のRBSに調製すると乳酸生成が十分に行われず、酪酸が次第に生成されていくと報告している。酪酸はサイレージの熟成段階で特に高まりやすい(Woolford 1984)。実際、金谷ら(2008)の報告に見られるように、本実験と同程度の乾物率の生稲ワラRBSにおいて、貯蔵4ヶ月時点では酪酸含量が低かったが貯蔵8ヶ月および13ヶ月後には酪酸含量が高まる現象が示されている。本実験での従来型RBSは密度が低くpHが高いため、酪酸発酵が抑制されにくいと考えられ、長期貯蔵時の栄養価や採食性への悪影響が懸念される。一方、細断型RBSは密度が高く、pHは望ましくない微生物の増殖の阻止が可能とされる4.2(増子 1999)よりも低下しており、長期貯蔵時においても品質安定性が高いと考えられる。よって、収穫翌春以降の高温期を経過す

るような長期貯蔵では、本実験の従来型RBSのような高いpHではサイレージの品質保持は難しく、栄養価や採食性にまで悪影響を及ぼすと考えられ、その場合、細断型ロールベールによる細切・高密度処理が持つ乳酸発酵促進効果の有用性はさらに増すものと示唆される。

以上のことから、無細切の状態では乳酸発酵によるpH低下が十分に期待できない飼料イネのRBS調製においても、細切処理を適用することができる細断型ロールベールで調製することによって乳酸発酵を促進させて品質を安定化させることができることが明らかになった。また、細切処理による収損失など、飼料成分値や家畜の採食量を低下させる悪影響は認められなかった。本実験は水分が十分に低下した黄熟期の材料草を用い、9月から翌年2月までの比較的短期間の貯蔵であったことから従来型RBSにおいても良好な発酵品質と判定されるものであった。しかし、栽培現場ではより高水分で、さらに良好な発酵が得られにくい若い生育ステージでの収穫が多く見られること、また生産量が増加するにつれ、より長期的な貯蔵が必要になってくると考えられることから、細断型ロールベールは高水分域での調製や長期貯蔵時の発酵品質改善技術としても期待される。今後、気温上昇期を経た翌春以降までの長期貯蔵における発酵品質や栄養価に及ぼす影響および本実験に用いた材料草よりも高い水分域での調製での効果を検討する必要がある。

2 予乾体系における飼料イネ細断型ロールベールサイレージの長期貯蔵性

1) 目的

前実験において、細切された飼料イネを細断型ロールベールによって調製すると従来型と比べて梱包密度の高いRBSが得られることが確認された。また、飼料イネ細断型RBSは乳酸発酵が促進され非常にpHの低いサイレージであった。一方、従来型ロールベールで調製された飼料イネRBSは、乳酸がほとんど生成されなかったためにpHが6程度と高かった。しかし、冬季における短期間の貯蔵であったため、従来型RBSにおいても不良発酵やカビ汚染は認められなかった。よって、細切・高密度処理によって乳酸発酵が促進された細断型RBSの発酵品質に明確な有利性を確認することができなかった。そこで、本実験では飼料イネの細断型RBSと従来型

RBSを調製し、気温上昇期を経た翌春以降までの長期貯蔵時における発酵品質やカビ汚染を比較することによって、細切・高密度処理を施された飼料イネRBSの品質安定性を検証した。また、予乾処理によって低水分化された細切材料イネのRBS化において、懸念される葉部や籾などの特定部位の損失発生に起因する飼料成分や消化率に及ぼす影響を調査した。

2) 材料と方法

(1) 収穫・調製

東北農研センター内圃場において、不耕起直播によって栽培されたイネ (*Oryza sativa* L.、品種：あきたこまち) を供試した。乾物収量レベルは糊熟期で約800 kg/10aであった。これら供試イネは出穂30日後(糊熟期)の2004年9月9日および出穂37日後(黄熟期)の9月16日に収穫を行った。イネの刈り倒しには自脱型コンバイン(クボタ製AR-43)を用い、大谷ら(2004)の方式に従って刈り程がフィードチェーンに供給されないようにカバーを装着する改造を行って実施した。刈り倒された糊熟期のイネは、反転作業を行わずに半日間(軽予乾区)または2日間(強予乾区)圃場に放置して予乾処理を行った。黄熟期のイネは、同様に反転作業を行わずに半日間の予乾処理(軽予乾区)のみを行った。予乾処理後、稲はピックアップユニットを装着したシリンダ型フォレージハーベスタ(ニューホランド製Model790、設定切断長13mm)で拾い上げ、細断型ロールベール(タカキタ製MR-810、チャンバ径0.80m・幅0.85m)に吹き込んで細断型RBSを成形した。ただし、フォレージハーベスタと細断型ロールベールは別々のトラクタに牽引されたために伴走体系での収穫であった。対照区としてカッティング機構の無い自走ロールベール(タカキタ製SR-1230、チャンバ径・幅1.2m、定径式)でピックアップして従来型RBSを成形した。これらロールベールはベールラップで6層にラッピングされた後、梱包密度を算出するために重量、周囲長および高さを計測した。なお、収納作業にあたり、ロールベールはラッピング後少なくとも重量測定時に2回、運搬車への積み卸し時に2回の合計4回、ロールベールグリッパで掴まれた。これらロールベールは積み重ねないで、テグスで鳥害を防いだ状態で野外に貯蔵された。

(2) 消化試験

貯蔵10カ月経過後の2005年6月に各処理3個ずつのバール重量を測定して開封した。これら開封後のサイレージは全糞採取法による見掛けの乾物消化率を測定するために、各処理区あたり4頭の去勢めん羊(平均体重75kg)に給与した。給与量は体重の1.5%を目途に、なるべく残飼が出ないように調整した。また、給与時に粗タンパク質含量として12%になるように尿素を添加した。試験期間は1週間の予備期と5日間の糞採取期間で実施した。なお、無細断で収穫された従来型RBSは、切断長13mmに設定したサイレージカッタによって細切した後にめん羊に給与した。

(3) 化学分析

収穫作業中、ウインドローから収穫梱包される直前の材料イネを適時採取した。これら採取された材料イネサンプルは、処理区毎に良く混合した後に縮分サンプルを得た。開封したRBSはカビに汚染されている部分を取り除いた後に、バール毎にバール上部、中央部および下部の各表層部および中心部から採取してよく混合した後に化学分析用の縮分サンプルを得た。また、開封時のバール全体に占めるカビに汚染された部分の重量割合をカビ破棄率として算出した。採取した材料イネ、サイレージおよび糞サンプルはすべて70℃48時間の熱乾法によって乾物率を測定すると共にメッシュサイズ1mmのふるいを通過する粒度に粉碎して前実験と同様に粗蛋白質、粗脂肪、粗灰分、OCWおよびOb含量を定法によって測定した。材料イネについてはスクロース、グルコースおよびフルクトースを秋山(1999)の方法に従って高速液体クロマトグラフ(HPLC)で測定し、

これら3種類の糖の合計値をWSC含量として定量した。サイレージのpH、有機酸含量およびV-SCOREを前実験と同様の方法で測定した。サイレージ中のアンモニア態窒素とエタノール含量は、酵素法(F-キットアンモニアおよびF-キットエタノール、JKインターナショナル株)によって測定した。

(4) 統計解析

同じ開封時期の同じ材料イネから得られた細断型と従来型の平均値の差をt検定(吉田 1992)によって解析した。

3) 結果

材料イネの飼料成分を表11に示した。材料イネの軽予乾区の乾物率は40%–45%であり、強予乾区は約65%であった。これら材料イネの2種類のRBS向けの材料イネ間の粗蛋白質、粗脂肪、粗灰分およびWSC含量に差は認められなかったが、強予乾区材料イネにおける糊熟期のOCWとOb含量が従来型RBSよりも細断型RBSの方が高い傾向があった。

RBSの乾物密度、カビ破棄率および発酵品質を表12に示した。概して、強予乾区RBSの方が軽予乾区RBSよりも乾物密度が高い傾向にあったが、常に細断型RBSが従来型RBSよりも高かった($P < 0.01$)。従来型RBSに比較して細断型RBSの乾物密度の増加程度は予乾程度や熟期によって異なるが、特に軽予乾区において大きかった。カビによる汚染は、従来型ではすべてのバールでカビの発生が認められた。一方、細断型では黄熟期のバールでは全くカビの発生が認められないなど、カビによる汚染バールの割合が低い傾向にあった。また、カビの発生部位は従

Table11 Chemical composition of material wilted forage paddy rice for the silage prepared using a round baler for chopped material (Chopped) or a conventional round baler (conventional)

	Dough-ripe stage				Yellow-ripe stage	
	Light wilting		Heavy wilting		Light wilting	
	Conventional	Chopped	Conventional	Chopped	Conventional	Chopped
Dry matter (% of FM)	44.7	40.4	65.8	63.7	45.0	44.6
Crude protein (% of DM)	5.6	5.4	5.3	5.7	5.0	5.2
Ether extracts (% of DM)	1.5	1.7	1.8	1.6	1.8	1.9
Crude ash (% of DM)	11.7	12.3	11.7	12.6	11.2	11.4
Organic cell wall (% of DM)	44.3	44.7	42.3	45.2	40.0	40.8
Organic matter b (% of DM)	38.4	38.7	37.2	39.3	34.6	33.9
Water-soluble carbohydrates (% of DM)	3.9	4.3	5.3	6.0	3.4	3.2

FM : fresh matter, DM : dry matter.

来型ではバール表面だけでなく表面から10cmよりも深部にも観察された。一方の細断型ではバール表面のみに観察された。カビが発生したバールにおけるカビ破棄率は細断型が従来型に比べて少ない傾向にあったが、有意な差ではなかった。発酵品質に関しては、VFAとアンモニア態窒素の生成は両タイプのRBSで低かった。このため、すべてのRBSの発酵品質はV-SCOREで「良」と判定される良好なものであった。しかしながら、乳酸含量は従来型RBSで新鮮物中0.2%以下と低く、pHが5程度と高かったが、細断型RBSでは乳酸含量が1%程度に高まり、4程度の低いpH値を示した。エタノール含量は従来型RBSが新鮮物中1.1%–2.5%と高い値を示した。

これに対して、細断型RBSのエタノール生成は1%以下に抑制されていた。よって、従来型RBSはエタノール発酵が優占し、細断型RBSは乳酸発酵が優占したことが示唆された。

RBSの飼料成分と見掛けの乾物消化率を表13に示した。軽予乾区では細断型RBSの黄熟期粗灰分含量と糊熟期OCW含量が従来型RBSよりも低かった ($P < 0.05$)。これに対して、強予乾区における細断型RBSの糊熟期OCWとOb含量は、従来型RBSよりも高かった ($P < 0.05$)。ただし、この傾向は材料イネにも認められた。両タイプのRBS間において、これら繊維成分含量の差は小さく、見掛けの乾物消化率に有意な差は認められなかった。

Table12 Apparent dry matter density of round bale[†], mold spoilage[‡], and fermentation quality[‡] of wilted forage paddy rice silage prepared using a round baler for chopped material (Chopped) or a conventional round baler (Conventional)

	Dough-ripe stage				Yellow-ripe stage	
	Light wilting		Heavy wilting		Light wilting	
	Conventional	Chopped	Conventional	Chopped	Conventional	Chopped
Apparent dry matter density (kg/m ³)	163±1.6	195±1.2**	218±1.6	250±2.9**	156±1.6	225±2.0**
Mold spoilage (% of FM)	6.3±3.5	4.6±2.5	6.7±4.0	5.3±2.9	4.8±1.4	ND
pH	4.8±0.0	4.0±0.0**	5.4±0.2	4.3±0.1**	4.9±0.2	4.0±0.0*
Lactic acid (% of FM)	0.14±0.02	0.97±0.02**	0.08±0.04	0.71±0.03**	0.17±0.03	0.94±0.03**
Acetic acid (% of FM)	0.25±0.01	0.18±0.02	0.10±0.02	0.20±0.02*	0.15±0.05	0.15±0.02
Butyric acid (% of FM)	0.04±0.01	ND	ND	ND	0.02±0.01	ND
NH ₃ -N/TN (%)	5.0±0.1	9.7±0.8**	2.6±0.1	4.4±0.2**	3.6±0.2	7.0±1.5
V-SCORE	96±0.5	90±2.1*	100±0.0	100±0.1	98±0.6	95±2.4
Ethanol (% of FM)	1.8±0.1	0.5±0.1**	1.1±0.1	0.6±0.1*	2.5±0.1	0.3±0.2**

[†]Mean ± standard error of six round bales, [‡]Mean ± standard error of three round bales, FM : fresh matter, NH₃-N : ammonia-nitrogen, TN : total nitrogen, ND : not detected, * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$.

Table13 Chemical composition[†] and apparent dry matter digestibility[‡] of wilted forage paddy rice silage prepared using a round baler for chopped material (Chopped) or a conventional round baler (Conventional)

	Dough-ripe stage				Yellow-ripe stage	
	Light wilting		Heavy wilting		Light wilting	
	Conventional	Chopped	Conventional	Chopped	Conventional	Chopped
Dry matter (% of FM)	40.2±0.9	38.5±0.2	61.6±1.3	57.0±1.4	38.9±0.5	40.2±0.8
Crude protein (% of DM)	5.6±0.2	5.7±0.2	5.6±0.1	5.6±0.3	5.1±0.2	5.7±0.2
Ether extracts (% of DM)	2.4±0.1	2.4±0.1	2.1±0.1	2.0±0.1	2.3±0.0	2.4±0.1
Organic cell wall (% of DM)	46.7±0.1	45.0±0.4*	44.0±0.3	46.9±1.0*	44.5±0.7	42.0±0.6
Organic matter b (% of DM)	40.5±0.6	38.8±0.7	38.1±0.3	41.2±0.8*	38.2±0.9	35.4±0.7
Crude ash (% of DM)	13.5±0.5	12.6±0.2	12.2±0.2	12.2±0.2	13.1±0.1	12.3±0.1**
Dry matter digestibility (%)	61.5±1.8	62.0±0.4	57.3±2.6	56.8±2.2	58.0±3.3	61.0±2.3

[†]Mean ± standard error of three round bales, [‡]Mean ± standard error of four castrated sheep, FM : fresh matter, DM : dry matter : * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$.

4) 考察

永西・四十万谷 (1998) は酵母によるエタノール発酵が乳酸含量の低い飼料イネにおいて容易に促進されることを報告している。それ故、当実験の従来型RBSにおける高いエタノール含量 (表12) は酵母の生育を示唆している。これに対して、低いエタノール含量であった細断型RBS (表12) においては酵母の生育が抑制されていたと考えられた。サイレージ中に検出される酵母の生育数は、サイレージのpH値よりもサイレージ中に残存する糖分含量に影響を受けやすいことが知られている (McDonald *et al.* 1991)。よって、当実験の細断型RBSにおいては活発な乳酸発酵によって材料イネ中の糖分が消費されることによって、酵母の生育が抑えられたと推察される。飼料イネにおいては、WSC含量が10%を超える場合においても乳酸発酵が促進しにくいことが報告されている (永西・四十万谷 1998)。よって、飼料イネにおいて乳酸発酵を促進させるためには、発酵基質であるWSCの効率的な利用を達成することが重要である。乳酸菌による発酵基質の利用性は、材料草に対する物理的ダメージ、例えば細断や摩砕の程度によって影響を受ける (McDonald *et al.* 1991)。材料草が物理的ダメージを受けた状態でサイレージ調製されると、植物細胞液が容易に植物組織から解放され、この状態によって乳酸菌が他の微生物と効果的に競合できるようになる (Gibson *et al.* 1961)。百瀬ら (2005、2006) は飼料イネの切断長を短くすると、乳酸含量が高まってサイレージ品質が改善することを報告しており、当実験結果とも一致する。すなわち、飼料イネにおいても細断型RBSは従来型RBSに比べて細断という物理的なダメージを植物組織に与えることによって、植物細胞液の利用性が高まり、乳酸発酵を促進させることができることが明らかとなった。

当実験においては、いずれのRBSにおいても揮発性脂肪酸やアンモニア態窒素の生成が低く (表12)、これら不良発酵の抑制の点に関して、乳酸発酵の促進の明確な影響を示すことはできなかった。しかしながら、細断型RBSにおける高密度梱包と乳酸発酵の促進によって酵母を主因とするエタノール発酵が抑制されていた (表12)。飼料イネサイレージ調製ではエタノール含量が高まること指摘されている (永西・四十万谷 1998)。このエタノール発酵は乾物損失を多く発生させるとともに (McDonald *et*

al. 1991)、エタノール自身はその高い揮発性のために給与時に揮散することから栄養的な価値は低いと考えられる。またエタノール発酵を行う酵母は好気的変敗を引き起こす主要な原因であるため (原ら 1979)、その増殖は望ましいものではない。酵母は特にサイレージの乾物含量が高まることで増殖が助長されることから (McDonald *et al.* 1991)、予乾サイレージで特に注意を払う必要がある。細断型ロールベアラによる調製は、予乾体系においても飼料イネサイレージにおけるエタノール発酵の抑制に効果的であることが示された。

本研究では、フォレージハーベスタと細断型ロールベアラを直装せずに伴走体系で収穫を行った。よって、フォレージハーベスタの先と細断型ロールベアラのホッパ (荷受け部) との間が離れているために、吹き上げられた細断物がホッパに入る前に風に流されることが懸念された。特に、予乾によって低水分化された葉部などがより多く損失する可能性が考えられる。本実験では、小片の一部が風に舞ってホッパに入らないことが観察された。しかしながら、材料草と調製されたRBSのOCWなどの成分値の差は小さく、従来型との間で消化率の差は認められなかった (表11、13)。よって、予乾体系においても、細断型ロールベアラでの収穫時の損失による成分や消化率への影響は小さいことが示された。

飼料イネの茎は中空構造であるために詰込み密度を上げることが難しいため、pH値の低下が十分でない場合、カビが容易に生育する環境となる (蔡 2001)。よって、飼料イネサイレージのpH値の低下は酪酸発酵などの不良発酵を抑制するだけでなく、カビの生育の抑制にも必要である。RBSにおいては、ラップフィルムからの空気の侵入がカビの発生原因であると考えられる (野中ら 1999)。特に飼料イネにおいては、栽培される水田地帯と利用される畜産地帯が地理的に離れている場合が多い。よって、飼料イネを利用する場合は牧草サイレージよりも輸送距離が長く、相対的にRBSの掴み回数が増加すると推察され、ラップフィルムのダメージ率も高いと考えられる。ラップフィルムがダメージを受けると、高い密度のRBSよりも低い密度のRBSがより容易にカビに汚染されることが報告されている (糸川ら 1995)。従来型ではすべてのベールにカビの発生が認められたことから、ラップフィルムのダメージによって長期貯蔵時には容易にカビに汚染されやすい

ことが示唆された。一方、細断型RBSにおいてはカビが全く認められないRBSがあり、カビの汚染部位も表面に限られていたことから、従来型よりもカビに対する抑制効果が高いことが示唆された。しかしながら、カビが発生していたベールにおける破棄率は細断型が低い傾向にあったが有意な差ではなかった(表12)。細断型RBS(直径が0.85m)は、本実験で比較した従来型RBS(直径が1.2m)とくらべて体積が小さいため、表面部分の占める割合がおおきく、カビ汚染が表面のみにとどまっても、破棄率は多くなってしまうことが示唆される。また、本実験では、それぞれのRBSにおけるラップフィルムのダメージ程度は考慮できなかった。すなわち、ラップフィルムのダメージの程度が様々であり、それがカビの発生程度の変動を大きくしたため、pH値やベール密度とカビによる破棄率との間に有意な関係を見いだすことができなかった。しかしながら、いかに高密度に梱包される細断型RBSといえども表面部分のカビ汚染は避けられず、ダメージを受けたラップフィルムは速やかに補修されることが強く推奨される。

以上の結果より、細断型ロールベールで飼料イネを調製すると予乾体系で低水分化された材料イネでも飼料成分や栄養価に及ぼすような損失は発生せず、従来型のロールベールよりも高密度に梱包されることが示された。また、従来型のロールベールによる調製では高いエタノール含量が認められたが、細断型RBSでは低水分域においても乳酸発酵が促進されて長期間にわたりエタノール生成を抑制できることが明らかになった。また、カビによる汚染防止にも一定の効果が認められた。本実験でも前節の実験と同様に、従来型においても酪酸含量が低く抑えられていたため、細切・高密度処理による酪酸発酵抑制効果は確認できなかった。よって、無予乾で調製されたより高い水分条件の飼料イネRBSにおいて、細切・高密度処理がエタノール発酵や酪酸発酵などの不良発酵に及ぼす影響を調査する必要がある。

3 高水分域における飼料イネのサイレージ発酵に及ぼす細切・高密度処理の影響

1) 目的

前節の実験では供試された飼料イネの乾物含量がすべて40%以上であり、細切されていない対照区においても酪酸の生成が低いものであった。飼料イネは排水不良で軟弱な水田で栽培されることが多く、

予乾処理によって水分を低下できる圃場条件であるとは限らない。後藤ら(2001)が三重県内で調査した生産現地での飼料イネRBSの平均乾物率は34%で、有機酸含量のなかでも酪酸含量の変動係数が最も高かった。よって、飼料イネのサイレージ調製においては酪酸発酵の危険がある高水分域における発酵品質の改善技術が重要であり、この水分域における細切・高密度詰込みの乳酸発酵促進効果を検討する必要がある。

そこで本実験では実験室規模のサイロを用い、高水分の飼料イネに対する細切や高密度詰込みによる物理的損傷がサイレージ発酵に及ぼす影響を検討した。

2) 材料と方法

(1) 収穫調製

2007年、東北農業研究センター内の圃場から早生である「奥羽飼403号」と「べこごのみ」、中生である「べこあおば」、晩生である「M645」の4種類の品種・系統を採取した。奥羽飼403号とM645号は移植によって、その他は直播によって栽培された。圃場への化学肥料の施用レベル(kg/10a)は窒素13kg、リン酸25kgおよびカリ13kgであった。表14に示したように出穂後約13-18日と26-29日の2回、これら各圃場(10-30a)内の3カ所を地際から高さ10cmで坪刈りした。

これら刈取られた材料イネは切断長13mmに設定したサイレージカッタ(コーワ製S-130)によって細切するか無細切のままサイレージに調製した。細切された材料イネは上蓋に3つの5mm径の穴を持つ300ml容ポリエチレン製ボトルに棒を使ってでき

Table 14 Heading and harvesting date (2007) of forage paddy rice for whole-crop silage

Variety	Heading	1st harvesting	2nd harvesting
Ouusi403	9 August	27 August (18) [†]	6 September (28)
Bekogonomi	12 August	27 August (15)	10 September (29)
Bekoaoba	22 August	6 September (15)	18 September (27)
M645	30 August	12 September (13)	25 September (26)

[†]Days after heading.

る限り圧縮して詰め込み、ボトルごとポリエチレン/ナイロンの積層フィルム製袋 (270mm × 400mm、旭化成パックス(株)、飛竜 BN-12) に入れ、吸気性能 - 500mmHgのバキュームシーラ (SHARP製 SQ-303) を用いて脱気・密封した (CH区)。無細切の材料イネは、細切された材料草の詰め込み量とはほぼ同じ量 (250g程度) を折り曲げて同じナイロン・ポリエチレン製袋に入れ、脱気・密封した (N区)。なお、べこごのみおよびべこあおばの2回目に刈取った材料イネの細切区では、ボトルへの詰め込み密度を次に示すように変えた処理を加えた：無圧 (C0区)、指で押し込む (CL区)、およびできる限り圧縮して詰め込んだ量の70%を棒で詰め込む (CM区)。また、切断・粉砕機 (タニナカO&K(株)、SW型) によって処理し、同様にナイロン・ポリエチレン製袋に脱気密封した処理区を加えた (L区)。この機械で処理された材料草は、切断長が5cm程度であるが、縦方向には細かく切り裂かれていた。これらサイレージは25℃に調温した室内に50日間放置した後に開封し、化学分析に供試した。

(2) 化学分析

材料イネおよびサイレージの乾物率を70℃48時間の熱乾法によって測定すると共に、メッシュサイズ1mmのふるいを通す粒度に粉砕して、粗蛋白質、粗脂肪、粗灰分、OCW、Ob、WSCおよびサイレージのpH、有機酸、VBN、V-SCORE、エタノール含量を前実験と同様の方法によって測定した。

(3) 統計解析

材料イネの化学成分とべこごのみおよびべこあおばの2回目刈取りサイレージの発酵品質の解析は一元配置分散分析法によって行い、Tukey法によって

処理区間の多重比較を行った。その他サイレージの発酵品質における無細断区と細断区の平均値の差は、スチューデントのt検定を用いて比較した。これらの統計処理にはStatMate III software program (株アトムス) を用いた。

3) 結果

材料イネの穂重割合と飼料成分組成を表15に示した。穂重割合は29% - 55%の範囲であった。いずれの品種・系統も刈取り1回目よりも熟期の進んだ2回目の方が高くなり、早生である奥羽飼403号とべこごのみは晩生であるべこあおばとM645よりも高かった。乾物率は24% - 39%の範囲であり、べこあおばを除いて穂重割合と同様の傾向があった。べこあおばの2回目の刈取りは前日に激しい降雨があり、圃場が水に浸かった状態で行われたため、刈取り1回目と2回目の乾物率に差が無かった。

WSC含量は、すべて5%に満たない含量であり、M645を除いて穂重割合とは逆に1回目よりも熟期が進んだ2回目が低くなる傾向があった。特に穂重割合が最も高かった2回目刈取りのべこごのみでは1.5%程度と他の品種・系統の半分以下であった。

サイレージの発酵品質を表16に示した。N区の乳酸含量は0.1%以下と微量であり、pHは4.4 - 5.8の範囲を示した。ただし、酢酸+プロピオン酸、n-酪酸およびVBN含量が高く、V-SCOREで不良 (60点以下) と判定される発酵品質であったのは乾物率24%のべこあおばサイレージのみであり、乾物率が30%以上のその他のサイレージでは、これら揮発性脂肪酸やVBN含量が低く、V-SCOREで可 (60点以上) または良 (80点以上) と判定された。細切材料

Table15 Panicle weight and chemical composition of forage paddy rice for whole-crop silage

Harvesting	Variety	Panicle weight (% of DM)	Dry matter (% of FM)	Crude protein	Ether extracts	Organic cell wall (% of DM)	Crude ash	WSC
1st	Ouusi403	38.4 ± 0.9 ^c	34.9 ± 0.5 ^{ab}	4.86 ± 0.33 ^b	1.32 ± 0.05 ^{bc}	50.9 ± 1.2 ^{bc}	12.4 ± 0.2 ^{bc}	4.97 ± 0.16 ^a
	Bekogonomi	36.5 ± 1.2 ^{cd}	30.4 ± 0.8 ^b	5.59 ± 0.29 ^{ab}	1.34 ± 0.11 ^{bc}	57.8 ± 0.9 ^{ab}	12.8 ± 0.3 ^b	4.08 ± 0.17 ^a
	Bekoaoba	31.0 ± 2.3 ^{de}	24.3 ± 1.8 ^d	6.78 ± 1.03 ^{ab}	1.17 ± 0.07 ^{bc}	54.3 ± 1.6 ^{abd}	14.0 ± 0.1 ^a	4.92 ± 0.29 ^a
	M645	28.9 ± 1.9 ^e	31.1 ± 0.7 ^{bc}	5.29 ± 0.19 ^{ab}	1.06 ± 0.05 ^c	60.0 ± 2.3 ^a	12.1 ± 0.1 ^{bc}	3.63 ± 1.04 ^a
2nd	Ouusi403	45.9 ± 0.8 ^b	39.2 ± 1.2 ^a	4.90 ± 0.16 ^b	1.41 ± 0.04 ^b	46.4 ± 2.2 ^c	11.9 ± 0.3 ^{bc}	3.93 ± 0.14 ^a
	Bekogonomi	54.7 ± 0.4 ^a	37.3 ± 0.3 ^a	5.09 ± 0.10 ^{ab}	1.77 ± 0.02 ^a	45.8 ± 1.4 ^c	11.8 ± 0.3 ^{bc}	1.51 ± 0.11 ^b
	Bekoaoba	40.9 ± 1.2 ^{bc}	24.0 ± 0.9 ^d	7.70 ± 0.61 ^a	1.27 ± 0.04 ^{bc}	49.7 ± 1.4 ^{cd}	14.3 ± 0.3 ^a	3.79 ± 0.26 ^a
	M645	37.7 ± 0.3 ^c	36.7 ± 1.4 ^a	5.44 ± 0.79 ^{ab}	1.13 ± 0.04 ^c	52.9 ± 0.8 ^{ac}	11.3 ± 0.2 ^c	4.66 ± 0.03 ^a

Each values is the mean ± standard error of three replicates.

Mean values with different letters in the same column are significantly different ($P < 0.05$).

DM : Dry matter, FM : Fresh matter, WSC : Water soluble carbohydrate.

を高圧で詰め込んだCH処理区の乾物密度は194–283 kg/m³で、細断型ロールバールで飼料イネを梱包した場合の193-250 kg/m³と同レベルの密度が得られた。このCH区の発酵品質は、N区よりも乳酸含量が高く、pHが低下する傾向にはあったが、べこあおばの2回目刈取りを除いて不良発酵を抑制するには至らず、揮発性脂肪酸やVBN含量が高まってV-SCOREが低下した。詰込み密度を変えた処理を加えたべこごのみの2回目刈取りでは、乳酸含量には変化がなかったが、密度が増加するに従って酢酸、n-酪酸およびVBN含量が増加してV-SCOREが低下していく傾向にあった。また、L区は、CH

区と比べて乳酸含量がやや高い傾向にあったが、V-SCOREはCH区とほぼ同様の低い値であった。べこあおばの2回目刈取りの細切処理区においては、乾物密度の増加につれて乳酸含量が増加し、酢酸、n-酪酸およびVBN含量が低下していった。特に、CH区ではn-酪酸が検出されなかった。また、L区はCH区より乳酸含量が高くなり、pHも低く、同様にn-酪酸が検出されなかった。このため、CH区とL区ではV-SCOREが良と判定された。エタノール生成はすべてのサイレージで認められ、特にN区で0.8-2%と高かった。CH区やL区のエタノール含量も1%を超える濃度のものがみられたが、N区

Table 16 Fermentation characteristics of forage paddy rice silage

Harvesting	Variety	Treatment ¹⁾	DM		Lactic acid	Acetic acid	Propionic acid	n-Butyric acid	VBN (% of TN)	V-SCORE	Ethanol (% of FM)	
			density (g/m ³)	pH	(% of FM)							
1st	Ouusi403	N	-	5.69±0.16	0.10±0.01	0.14±0.03	ND	0.08±0.02	3.2±0.4	94±1	1.97±0.15	
		CH	228±5	4.63±0.03**	0.21±0.01**	0.53±0.01**	0.02±0.00	0.67±0.04**	8.2±0.3**	51±1**	0.99±0.15*	
	Bekogonomi	N	-	4.69±0.05	ND	0.58±0.06	ND	0.24±0.05	7.1±0.9	74±6	1.37±0.05	
		CH	211±6	4.27±0.08*	0.62±0.36	1.03±0.23 ^{NS}	0.13±0.03	0.75±0.20 ^{NS}	11.4±2.0 ^{NS}	37±7*	0.84±0.05**	
	Bekoaoba	N	-	4.55±0.03	ND	1.16±0.02	0.03±0.01	0.65±0.02	14.1±3.3	25±12	1.11±0.21	
		CH	194±10	4.33±0.22 ^{NS}	0.44±0.37	0.39±0.11*	ND	0.69±0.31 ^{NS}	9.1±1.7 ^{NS}	60±16 ^{NS}	0.60±0.19 ^{NS}	
	M645	N	-	4.75±0.05	ND	0.61±0.05	ND	0.26±0.02	9.6±0.9	66±4	1.46±0.09	
		CH	231±8	4.61±0.03 ^{NS}	0.08±0.02	0.65±0.05 ^{NS}	ND	0.73±0.05**	9.2±0.2 ^{NS}	48±1**	0.93±0.11*	
	2nd	Ouusi403	N	-	5.38±0.19	0.02±0.01	0.25±0.05	ND	0.07±0.02	3.8±0.2	94±2	1.59±0.06
			CH	277±8	4.66±0.03*	0.12±0.03*	0.38±0.06 ^{NS}	ND	0.47±0.04**	6.1±0.3**	60±4**	0.76±0.16**
		M645	N	-	5.79±0.23	0.05±0.01	0.12±0.04	ND	0.03±0.01	2.5±0.1	98±1	1.69±0.05
			CH	269±8	4.51±0.15**	0.22±0.05*	0.44±0.06*	0.01±0.01	0.51±0.01**	7.5±1.6*	53±3**	1.14±0.17*
Bekogonomi			N	-	4.76±0.05 ^{ab}	ND	0.53±0.04	0.01±0.00	0.17±0.02 ^b	5.9±0.1 ^d	82±2 ^a	0.88±0.10
			C0	89±4 ^d	4.91±0.03 ^a	0.06±0.02	0.60±0.05	0.02±0.01	0.24±0.04 ^b	6.6±0.8 ^{cd}	75±5 ^{ab}	0.93±0.10
			CL	153±1 ^c	4.84±0.05 ^{ab}	0.02±0.02	0.77±0.04	0.04±0.00	0.38±0.02 ^{ab}	8.0±0.3 ^{bd}	59±2 ^{bc}	0.87±0.14
			CM	207±1 ^b	4.60±0.00 ^{ab}	0.02±0.00	0.78±0.10	0.03±0.01	0.43±0.03 ^{ab}	10.1±0.7 ^{ab}	50±5 ^{cd}	0.94±0.13
			CH	283±7 ^a	4.56±0.04 ^b	0.03±0.02	0.81±0.10	0.04±0.04	0.71±0.18 ^a	8.8±0.6 ^{abc}	50±4 ^{cd}	0.72±0.15
			L	-	4.57±0.14 ^b	0.16±0.08	0.83±0.14	0.03±0.01	0.47±0.00 ^{ab}	11.3±0.3 ^a	42±1 ^d	0.58±0.06
Bekoaoba		N	-	4.42±0.02 ^b	0.04±0.00 ^c	0.91±0.01 ^a	0.03±0.01	0.44±0.02 ^{ab}	23.5±1.1 ^{ab}	9±2 ^{bc}	0.83±0.13 ^a	
		C0	52±2 ^d	4.53±0.02 ^{ab}	0.37±0.16 ^{bc}	0.85±0.05 ^{ab}	0.05±0.00	0.59±0.09 ^{ab}	23.9±2.8 ^a	7±2 ^{bc}	0.68±0.09 ^{ab}	
		CL	91±6 ^c	4.62±0.02 ^a	0.14±0.05 ^c	0.71±0.02 ^b	0.06±0.02	0.77±0.06 ^a	25.0±0.2 ^a	6±0 ^c	0.56±0.06 ^{ab}	
		CM	165±11 ^b	4.46±0.06 ^{ab}	0.44±0.13 ^{bc}	0.40±0.08 ^c	0.01±0.01	0.30±0.20 ^b	15.8±2.5 ^{bc}	46±20 ^{ab}	0.62±0.16 ^{ab}	
		CH	232±10 ^a	4.14±0.04 ^c	0.76±0.04 ^b	0.34±0.01 ^c	0.05±0.00	ND	11.4±0.9 ^c	83±3 ^a	0.26±0.11 ^b	
		L	-	3.75±0.01 ^d	1.35±0.08 ^a	0.36±0.02 ^c	ND	ND	11.7±0.5 ^c	82±2 ^a	0.22±0.07 ^b	

¹⁾N : Ensiled no chopping material into bag silo, C0 : Ensiled chopping material into bottle silo without pressure, CL : Ensiled chopping material into bottle silo with low pressure, CM : Ensiled chopping material into bottle silo with middle pressure (70% of the amount of CH), CH : Ensiled chopping material into bottle silo with high pressure, L : Ensiled lacerating material into bag silo. Each value is the mean ± standard error of three replicates. Mean values with different letters in the same column are significantly different (P<0.05). DM : Dry matter, FM : Fresh matter, VBN : Volatile basic nitrogen, TN : total nitrogen, ND : not detected.

と比べて低下する傾向にあった。

4) 考察

植物細胞からの草汁の滲出を促す材料草への機械的処理は、サイレージにおける微生物の成育に少なからずの影響を与え、特に乳酸菌の生育を他の微生物よりも相対的に促進する (Gibson *et al.* 1961)。このため、材料草の切断により、総じてサイレージ発酵品質が改善されるが、この傾向は高水分材料で高くなるとされる (萬田 1994)。一方、本研究では乾物率が30%以上の無細切区サイレージでは乳酸生成が低いにもかかわらず、酪酸やVBNの生成も低かったため、V-SCOREで高い評価を得た (表16)。ただし、これらサイレージにはエタノールが多量に生成されていた。飼料イネのサイレージ発酵においてエタノールが盛んに生成されることが報告されている (永西・四十万谷 1998、Nishino・Shinde 2007)。本研究でも、すべてのサイレージでエタノール生成が認められたが、細切・高密度詰込みによって生成量が低下する傾向にあった (表16)。エタノール生成は酵母の増殖に由来すると考えられ、これら真菌類は様々な細胞外酵素を分泌して複雑な有機物を細胞壁から吸収可能な単量体へ分解して利用できることから (McDonald *et al.* 1991)、酵母による発酵は材料草の物理的破壊にあまり依存しないと推察される。よって、飼料イネが無細切でサイレージに調製される場合、低い草汁利用性によって乳酸菌が効果的に増殖できない状況においても酵母は盛んに増殖できると考えられる。酵母はサイレージ開封後の好気的変敗に関与する (原ら 1979) とともにエタノール発酵は乾物損失を多く発生させるので (Driehuris・Wikselaar 2000)、その増殖は望ましいことではない。無細切の飼料イネを汎用型ロールペーラで調製すると2.5%ものエタノール生成が認められる場合でも、細切されて細断型ロールペーラで調製すると0.3%に抑えられることは前節の実験で明らかにされている。本実験のCH処理区の乾物密度は194-269kg/m³で (表16)、前の実験で得られた細断型ロールペーラで梱包した場合の193-250kg/m³と同レベルの密度が得られた。すなわち、本研究のCH区では細切・高密度詰込みによって嫌気条件が向上し、酵母の生育がある程度抑えられたと推察される。また、乳酸発酵が促進されたべこあおばのCH区のエタノール含量が特に低いレベルに

まで低下した。同様にべこあおばL区においてもエタノール含量が低いレベルに低下していた (表16)。本実験での飼料イネ中のWSCは5%に満たない量であった (表15)。サイレージ中に検出される酵母の生育数は、サイレージのpH値よりもサイレージ中に残存する糖分含量に影響を受けやすいことが知られている (McDonald *et al.* 1991)。よって、飼料イネにおいては活発な乳酸発酵によって材料イネ中の糖分が消費されることは、高い密度処理による酸素の排除と同様に酵母の生育を抑制する効果が高いことが示唆される。

無細切区においては、乳酸生成が認められない場合においても酢酸生成が認められた (表16)。サイレージ中の酢酸生成は、乳酸菌以外では腸内細菌、酪酸菌および酢酸菌等に起因している (McDonald *et al.* 1991)。腸内細菌は人や動物に有害な病原菌を含み、酪酸菌はタンパク質の分解、酢酸菌は好気的変敗に関与している (McDonald *et al.* 1991)。よって、これらの増殖は酵母同様に望ましいものではない。よって、乳酸発酵が促進されなかった無細切区では、有害と考えられる酵母や細菌類が増殖していたことが示唆される。特にエタノール生成量はV-SCORE評点に考慮されないことから、飼料イネにおいてはV-SCORE評点が高いといっても、乳酸発酵よりもエタノール発酵が優勢となっている可能性があることを考慮すべきであろう。

萬田 (1994) は、切断サイレージでは密封初期に乳酸が多量に生成される材料草でも、無切断サイレージ (RBS) に調製すると乳酸生成スピードが遅く、酪酸が次第に生成されていくと報告している。また、金谷ら (2008) は、貯蔵4ヶ月時点のV-SCOREが良 (89点) と判定された乾物率35%の生稲ワラRBSが貯蔵8および13ヶ月後では酪酸含量が高まり、不良 (60点以下) になったと報告している。本研究の乾物率が30%以上の無細切区では、pHが酪酸発酵抑制のための目標とされる4.2 (増子 1999) まで低下していなかった (表16)。よって、本研究での50日間程度の貯蔵において、無細切の状態ではエタノール発酵が促進されたが、やがて酪酸発酵も促進される可能性が高いことが示唆される。

日野ら (2005) は、乾物率33%の飼料イネを細断型ロールペーラで調製すると、従来型ロールペーラで調製したものよりも酪酸含量が高くなったことを報告している。本研究の飼料イネも同様に、その多

くは細切・高密度の詰込みによって酪酸含量が大幅に増加し、かえって劣質なサイレージとなった。すなわち、乾物率が40%に満たない飼料イネにおいては、細切・高密度詰込みに起因する草汁の利用性向上によって、酪酸発酵がすぐさま助長されてしまう可能性が高まることが示唆される。WSC含量が乾物中6.5%以下の高水分材料草では、V-SCOREで良(80点)以上の発酵品質は得られにくい(増子1999)。よって、本研究の飼料イネのWSC含量が5%に満たないことから、発酵基質の不足によって細切・高密度区の草汁利用性が高まっても乳酸発酵が促進されにくかったことがその原因の一つとして推察される。また、良質な発酵品質のためには材料草に 10^6 レベルの付着乳酸菌数が望ましいとされ(McDonald *et al.* 1991)、発酵基質の供給量と共に材料草に付着する乳酸菌の状態もサイレージ発酵に大きく影響する。蔡ら(2003)は、良好な発酵品質のためには耐酸性の低い乳酸球菌よりも耐酸性の高い乳酸桿菌の存在が必要であるが、飼料イネでは 10^3 – 10^4 レベルの付着乳酸球菌数に対して、乳酸桿菌数については検出できない場合があると報告している。したがって、飼料イネにおける付着乳酸桿菌数の不足が草汁の利用性が向上しても乳酸発酵が促進されないもう一つの理由と推察される。一方、乾物率が40%以上の飼料イネにおいては、細切・高密度詰込みによって乳酸発酵が促進し、発酵品質が改善されることが前節の実験および百瀬ら(2005)の実験で確認されている。材料草の乾物率が高くなると、より低いWSC含量でも良質の発酵品質を得ることができる(増子1999)。乾物率が高い場合、乳酸菌と競合する酪酸菌が浸透圧の増加によって生育が抑制されるため(Wieringa 1958)、飼料イネの付着乳酸菌でも草汁の利用性向上を利用して乳酸発酵の促進が可能となるのであろう。ただし、本研究でも一例ではあるが、べこあおばの2回目刈取りは細切・高密度詰込みによって大幅に乳酸発酵が促進され、酪酸発酵が抑制された(表16)。本研究では、付着乳酸菌を調査していない。しかし、べこあおばの2回目刈取りは他の品種・系統と比べて特別にWSCが高いわけではなかったことから(表16)、この乳酸発酵の促進は付着乳酸菌の状態に起因したと推察される。

山本ら(2004)は、飼料イネに付着乳酸菌発酵液を添加すると乳酸発酵が促進されるが、エクストル

ーダ処理による物理的破壊を加えると乳酸発酵の促進効果が増幅されることを報告した。よって、細切・高密度詰込みの場合、適切な乳酸菌製剤を添加すれば、無細切よりも添加効果を高めると期待できる。また、べこあおば2回目刈取りで酪酸発酵が抑制できたのは、細切して $232\text{kg}/\text{m}^3$ の高い密度で詰込むか激しく圧傷した場合のみであった(表16)。すなわち、飼料イネを細切するのみでは、乳酸菌による草汁利用性を高めることはできず、高密度に詰込んでこそ、乳酸発酵が促進されて発酵品質が改善する効果が得られると考えられる。

以上のことから、乾物率が40%に満たない飼料イネを細切して高密度に詰込むと、エタノール発酵はある程度抑制されるが、だからといって直ちに乳酸発酵が促進されて良好な発酵品質に導かれる訳ではなく、自然発酵に依存すると酪酸発酵が促進し、短期貯蔵においても劣質サイレージになる可能性が高くなることが明らかとなった。よって、細断型ロールベールでの調製など、細切・高密度詰込みされる乾物率が40%に満たない飼料イネにおいては、乳酸菌製剤の使用などの品質改善技術を検討する必要がある。

IV 飼料イネロールベールサイレージ貯蔵中のネズミからのラップフィルム保護

1 ロールベール貯蔵場所に出現するネズミ種と被害様相

1) 目的

本実験では、RBS貯蔵中のネズミ対策技術の開発に資する目的で、岩手県内のネズミ被害を受けている飼料イネRBSの集積・貯蔵場所に生け捕り用わなを定期的に設置・回収してネズミの捕獲と被害様相の観察を行うとともに、一部、赤外線カメラを用いてネズミの行動観察を行い、加害ネズミ種の特定およびその被害の及ぼし方を調査した。

2) 材料と方法

(1) 実験地

前年度、岩手県内のネズミによる被害が確認された東北農業研究センター施設内2カ所(盛岡市下厨川字赤平)、K飼料生産組合のRBS集積・貯蔵場所2カ所(一関市萩荘)、およびS氏牛舎脇のRBS集積・貯蔵場所1カ所(一関市巖美町)の計5カ所で行った。2006年度の盛岡地域の年平均気温は、 10.2°C (1月： -2.9°C 、8月： 24.8°C)で年降水量は

1143mmであった。一関地域の年平均気温は11.5℃(1月: -1.1℃、8月: 25.2℃)で年降水量は1313mmであった。東北農研センター内の実験場所は、2つの畜舎脇のRBS集積・貯蔵場所で、1カ所は畜舎の他に林地に接していた。他の1カ所は、畜舎と牧草地に接していた。K飼料生産組合のRBS集積・貯蔵場所は、水田、農機具庫および人家に面した1カ所と山間部の水田と林に面した1カ所であった。S氏牛舎脇のRBS集積・貯蔵場所は牛舎や農機具庫に囲まれた場所であった。各RBS集積・貯蔵場所の貯蔵RBS数は、東北農研センターでは各場所1m径のRBSが約30個ずつ(うち1カ所の16個は50cm径の小型タイプ)、K飼料生産組合とS氏牛舎脇では50cm径の小型タイプが各100個程度ずつ貯蔵されていた。また、すべての場所は未舗装であり、K飼料生産組合の水田、農機具庫および人家に面した1カ所では、RBSの下に木製パレットが敷かれていた。また、S氏牛舎脇では、RBSが直接地面に接触しないように、竹を並べた上にRBSが置かれていた。

(2) 捕獲調査

2006年11月から2007年5月までの間、生け捕り用わな(北海道森林保全協会製折り畳み式捕そ器、長さ29cm、幅7cm、高さ9cm)を毎月1回3日間ずつ各場所20個ずつ玄米を誘因エサとして仕掛けた。設置箇所は、RBS脇に加え、RBS周辺に坑道(“そ穴”とも呼ばれるネズミによって形成されたトンネル)の出入り口がみられた場合は、その周りに仕掛けた。捕獲したネズミは日本の哺乳類改訂版(阿部ら 2005)によって外観から種を特定した後、に放獣し、一部の個体は標本用に採取した。これらわなの設置について、盛岡地方振興局および岩手県南広域振興局から鳥獣捕獲許可証(第7078-109号、総保第91-26号)を得て実施した。また、捕獲ネズ

ミの処理は、日本哺乳類学会による哺乳類の取り扱いガイドラインに沿って行った。

(3) 行動観察

東北農研センター内の牛舎と林地に接する1カ所においては、2006年10月2日に16個の小型RBS(径50cm、高さ60cm)を並べ、前述したわなの設置とネズミがRBS群に食害を加える経過を観察するとともに赤外線カメラによるネズミの行動観察を行った。これら、RBS群の上には、テグスを張り巡らせて、鳥害を防止した。食害経過の観察は、貯蔵後1週間毎にRBSのラップフィルムの損傷およびRBS下の坑道の形成の有無を調査した。赤外線カメラによる行動観察は、RBS下に坑道が形成された後の2006年10月30日から11月2日の4日間にかけて行い、坑道の出入り口を中心に録画し、ネズミの出現数と時間を調査した。

3) 結果

(1) 捕獲調査

表17に、各RBS貯蔵場所において捕獲されたネズミ種とその数を示した。捕獲された種は、アカネズミ(*A.speciosus*)、ハタネズミ(*M.montebelli*)、ドブネズミ(*R.norvegicus*)およびクマネズミ(*R.rattus*)の4種であった。捕獲数は森林や農耕地を主に生息域とするアカネズミやハタネズミなどのノネズミ類が多かった。イエネズミ類であるドブネズミとクマネズミの捕獲数は少なかった。表には示してはいないが、イエネズミ類はすべてRBS脇で捕獲されたが、ノネズミ類はそのほとんどがRBS周辺に形成された坑道の出入り口周りで捕獲される傾向であった。また、ネズミの他にイタチの捕獲や猫によるわなの破損がみられた。ドブネズミが捕獲されたS氏牛舎脇では、貯蔵後1-2カ月の間に被害

Table17 The species and numbers of rat captured in the storage place of whole-crop rice silage

	National Agricultural Research Center for Tohoku Region		Ichinoseki (Iwate Pref.)		
	Adjacent to livestock barn and woods	Adjacent to livestock barn and grass land	Adjacent to private house and paddy fields	Adjacent to woods and paddy fields	Adjacent to livestock barn
Large Japanese Field Mouse (<i>A. speciosus</i>)	28	0	7	21	5
Japanese Grass Vole (<i>M. montebelli</i>)	5	4	0	1	0
Brown Rat (<i>R. norvegicus</i>)	1	0	0	1	1
Roof rat (<i>R. rattus</i>)	0	0	1	0	0
Oters	Weasel (<i>M. itatsi</i>), Cat				

を受けたが、被害は、二段積みされたRBSの下段のみであった。ノネズミやドブネズミが捕獲された場所では、RBS下にそ穴や坑道が観察され、地面に糞が引き込まれていることが観察された（写真1）。また、被害を受けたRBSは地面に接しているもののみであった。一方、クマネズミが捕獲されたK飼料生産組合の人家と農器具庫に接している貯蔵場所の場合、貯蔵後1カ月以内に食害が観察され、被害は積み重ねた二段目のRBSにまで及び、RBS間に巣らしきものが形成されるなど、著しい被害であった（写真2）。

(2) 行動観察

図3に16個のRBS群への食害経過の観察結果（貯蔵7週間後まで）を示した。貯蔵2週間後にはネズミによる被害が確認された。食害の経過は、まず、いくつかのRBS側面のラップフィルムにネズミによる損傷が確認され、その後、速やかにそれら損傷が確認されたRBS下にネズミの坑道が形成されてRBS

底部のラップフィルムが損傷を受けた。坑道は、底部に被害を受けたRBS以外の下部にも急速に広がっていったが、被害は一部のRBSに集中し、下に坑道が形成された他のRBSへの被害は徐々に広がって行く様子が観察された。貯蔵7週間後以降の被害RBS経過は、底部に被害を受けた一部RBSへの被害集中が続き、新たにラップフィルムに損傷を受けたRBSの増加は1個であった。貯蔵2週間後のRBS下の坑道の観察時にイエネズミと思われる大型のネズミ個体を確認した。また、わなの最初の設置日にこれらRBS脇において、ドブネズミが捕獲された。赤外線カメラで観察されたネズミの行動を図4に示した。複数のネズミ（イエネズミと思われる大型の個体）がそ穴から出入りすることが観察され、その行動は夜間に限られていた。

4) 考察

本研究では、アカネズミ、ハタネズミ、クマネズミおよびドブネズミの4種類のネズミ種が捕獲され



Photo1 Tunnel under round-baled silage and brown rice dragged in there



Photo2 Rat feeding damage observed in the storage place of round-baled silage

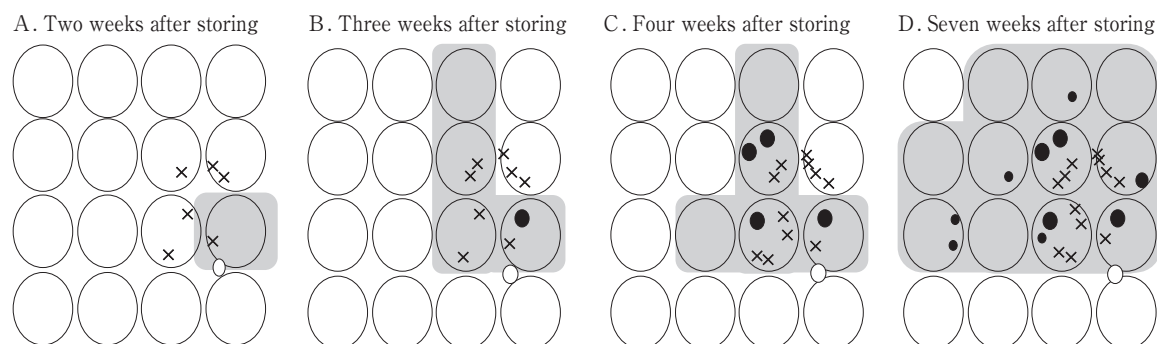
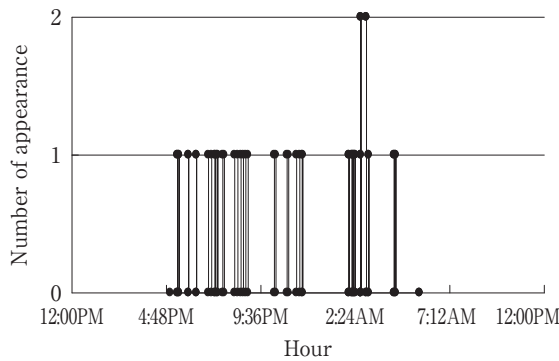


Fig. 3 3 Damage process to RBS group by rat

× : Hole of bale flank, ● : Hole of bale bottom, ○ : Beginning of rat tunnel, Gray coating : RBS with rat tunnel formed in bottom.



業であることが示唆される。これらの特徴から、積み重ねられたRBSの生息環境はクマネズミにとって適していると考えられた。一方、ドブネズミの登はん力はクマネズミに劣り、天井裏に棲みつきやすいクマネズミに対し、床下に棲みつきやすい(由井・阿部 1983)。このため、積み重ねた上段のロールベールに被害を広げるクマネズミに対して、ドブネズミは下段に被害を集中させることが示唆される。また、クマネズミの定住および加害は人家付近を除いては希であるが、ドブネズミは野外にまで広く採餌行動が拡大されることから(阿部・大矢 1974)、ドブネズミ被害地はクマネズミ被害地よりも広範囲に及ぶ可能性が示唆される。

図4のネズミの行動観察の実験において、RBS脇でドブネズミが捕獲されたこと、RBS下の坑道の観察で大型のネズミ個体を確認したことから、この加害種はドブネズミであることが示唆された。ドブネズミは体が大きく、性質がどう猛であるとされるが(由井・阿部 1983)、このドブネズミでさえも坑道から出てくるのは夜間に限られていた(図4)。また、被害が開始された当初はRBSの側面に被害がみられたが、RBS下に坑道が形成された後は、坑道からRBS底部への食害に集中した様子が伺われた(図3)。捕獲調査から、被害を受けているRBS周辺には、イタチや猫などのネズミの捕食者の出現が観察された(表17)。これらのことを鑑みると、ネズミは捕食者を警戒しつつRBSに食害を与えていることが示唆される。日本におけるネズミの主要な捕食者は、イタチや猫の他にキツネ、テン、ヘビおよびフクロウなどである(中田ら 2000)。飼料イネが収穫されるような郊外の田園地帯や牛舎脇において、これら捕食者が全くいない状況は考えにくい。しかし、ヘビを除いて、これら捕食者達が密着して積み重ねられたRBS間の狭い空間でネズミを捕食するのは困難であろう。通常、RBSは密着して積み重ねられて貯蔵される。この貯蔵形態はネズミに捕食者からの隠れ場所を与えて、被害を助長する可能性が示唆される。また、寒冷地におけるネズミ被害を調査した押部ら(2005)によれば、人為的に雪に埋設したRBSは被害を受けやすいことが報告されている。よって、密着・積み重ね配置や雪による遮蔽状況下を作らないようなRBS配置方法が飼料イネのネズミ被害を防ぐ上で必要であろうと考えられた。また、RBS下にネズミの坑道形成とともに被害が拡大しや

すいことと、RBSが直接地面に触れるのを避けるためにパレットなどを敷いた集積・貯蔵場所ではRBSと地面との間に作られた空間がネズミの通路となって被害が助長されたことから、未舗装地でのRBS貯蔵は避けるべきであると考えられた。

本研究結果から、ネズミ被害を受けている飼料イネRBSの集積・貯蔵場所では日本全国で普通にみられるネズミ種であるアカネズミ、ハタネズミ、ドブネズミおよびクマネズミの4種が捕獲され、これらすべてのネズミ種がRBSに加害する可能性が示唆された。アカネズミやハタネズミなどのノネズミ類やドブネズミによる被害は、RBSの地面に接した部分に被害が集中し、一方、クマネズミによる被害は、積み重ねた二段目のRBSにまで及ぶなど被害が拡大しやすいことが観察された。また、ネズミは常に捕食者を警戒しつつRBSへ食害を与えていることが示唆され、ネズミの隠れ場所を作らないようなRBS配置方法が必要であると考えられた。

2 ロールベールの配置方法の変更がネズミ害に及ぼす影響

1) 目的

前節の研究から、ネズミは常に捕食者を警戒しつつRBSへ食害を与えていることが示唆された。通常、RBSに調製された飼料イネは密着され、かつ積み重ねて置かれる。このような配置はネズミにとって捕食者からの格好の隠れ場所になることから、ネズミの隠れ場所をなくすような配置によればネズミの警戒感が高まって、食害が軽減されるのではと考えられる。そこで、本研究ではRBS間の間隔を空けてネズミの隠れ場所をなくすように配置する場合と、RBS間に陰ができるように配置した場合のネズミによる食害程度を比較した。

2) 材料と方法

(1) 実験地

2007年4月23日から6月20日の間、岩手県一関市に位置するRBS集積・貯蔵場所において実験を実施した。この貯蔵場所には、K飼料生産組合(飼料イネの作付面積620a)が収穫した飼料イネ小型RBS(経50cm×高さ60cm)の一部、約400個が3段から4段に積み重ねられて牛に給与されるまで貯蔵されており、数年来、ネズミによる食害被害を被っていた。この貯蔵場所の面積は325m²で舗装されておら

ず、南に小水路を挟んで林に囲まれた民家、西に農機具倉庫、北と東は農道を挟んで水田に接している。この近辺の年平均気温は11℃、最低月（1月）の平均気温は-4.1℃、最高月（8月）の平均気温は20.3℃で、年間降水量は1200mmである。試験期間中の日平均気温は14.8℃で、累計降水量は246mmであった。

(2) 試験設計

貯蔵されていた飼料イネRBSのうち、ネズミ害の無い23個を選び出し、その他のRBSをすべて貯蔵場所から取り除いた。実験に用いた飼料イネRBSは、予乾体系によって収穫されたもので、平均乾物率が71%であった。また、平均糶割合（乾物中%）は29%であった。これらの低水分RBSは、4層のラップフィルムで梱包されていた。これら23個のRBSを対照配置区と間隔空け配置区の2つに分けて配置し、両群の食害を比較した。すべてのRBSは縦置きとした。対照配置は、RBSを密着させその上にRBSが積み重ねられていると同様の遮蔽効果を得るために、上部をブルーシートで覆った。その配置は、通常の積み上げ貯蔵を想定したものであった。間隔空けた配置（広々配置区）は、RBS間に人でも何とか通れるように20cm-30cmの間隔で配置した。RBS間に間隔を空けることによって、ネズミの隠れ場所を取り除いた。両区のWCS群の間は2m以上空けた。位置とバール数の影響を避けるために試験を2期行い、試験期が変わる毎に、二つの配置区の間で場所の入れ替えとRBS数を変えて、これらの影響を排除した。食害被害の確認は、第1期、第2期それぞれの最終日に加えて各期の途中（4月27日および6月5日）の計4回行った。その被害確認時にラップフィルムが一部でも食い破かれていたRBSは、その破損程度に関わらず、被害RBSとしてその数を記録した。それら被害が確認されたRBSは、各観察日にラップフィルム専用の補修テープによって被害部分を補修して再配置した。

(3) ワナの設置

玄米を誘因エサとする生け捕り用ワナ（北海道森林保全協会製折り畳み式捕そ器、長さ29cm、幅7cm、高さ9cm）を用いて食害を及ぼしていたであろうネズミの捕獲を行った。第2期の終了後、すべてのRBSを対照配置にし、シートを被せてRBS間に7個のワナを仕掛けた。ただし、最初の28日間は、ワナにネズミを慣れさせるために蓋を開放状態に

し、続く3日間、ネズミが捕まえられるようにセットした。ワナの設置は、岩手県南振興局からの許可を得て行った。捕らえたネズミの取り扱い、日本哺乳類学会の哺乳類の取り扱いに関するガイドラインに従った。

(4) 統計解析

試験期間を通じた食害RBSの割合を χ^2 分布（吉田 1992）で解析した。

3) 結果

(1) 食害被害RBS数

各観察日における被害RBSの数を表18に示した。すべての観察日において対照区では食害バールが観察された。これらのバールでは、食害部位が側面の下部から上部にわたっていた。対照区の2つの被害バールは、ネズミによって径5cm程度の深い穴が観察されるほどダメージが大きかった。一方、広々配置区の3個のバールにおいて、側面の底から約20cmの範囲に食害が観察された。ただし、広々配置区では、対照区のような深い穴は観察されず、被害程度は軽微であった。対照RBS群の被害率80%に対して、広々配置区の被害率は7%程度と有意に（ $P < 0.01$ ）低下した。

(2) 捕獲調査

第2期の終了後に仕掛けた罠によって、計4匹のネズミを捕まえた。これらネズミは、体系的特徴

Table 18 Number of rat-damaged and non-damaged round-baled silages and proportion of damaged bales in the control and spacious layouts

	Control layout		Spacious layout	
	Damage	No damage	Damage	No damage
First period				
April 27	13	3	0	7
May 22	13	3	0	7
Second period				
June 5	8	1	3	11
June 20	6	3	0	14
Total number	40	10	3	39
Proportion of damaged bales (%) [†]	80.0		7.1	

[†]Statistical difference was found between the control and spacious layout ($P < 0.01$).

(阿部ら 2005) から、亜成体のクマネズミ (*R.rattus*) であると判定された。試験直後に、食害RBS間で捕獲されたことから、これらのクマネズミが食害を与えていたと考えられた。

4) 考察

本研究結果から、飼料イネRBSに対してクマネズミが甚大な被害を与え得ることが強く示唆された。クマネズミは人の生活圏において普通に見られるイエネズミであるため(川内・遠藤 2000)、実験地に隣接する人家や農機具庫などが発生源であると考えられた。このように、クマネズミが生息する人家や畜舎に飼料イネRBSの集積・貯蔵場所が隣接する場合、クマネズミによる被害が発生しやすいと考えられる。クマネズミは登はん能力に優れ、垂直な側面でも登ることがができる(川内・遠藤 2000)。本研究結果では、RBSの側面上部にも被害が見られた。すなわち、登はん能力に優れるクマネズミにとって、RBSの側面を自由に動き回ることができることから、RBSが積み重ねられている状況は行動の制約を受けず、採餌に適した環境であると考えられる。

本実験では、広々配置区の被害を完全に防ぐことができなかったが、被害率が有意に低下した。ネズミ類の捕食者としては、キツネ、イタチ・テン類、ヘビ類、ワシ・タカ・フクロウ類が考えられる(中田ら 2000)。これら捕食者は、ヘビ類を除き、本研究の対照区のRBS間に潜り込んネズミを発見し、捕食することは難しいと考えられる。ただし、本実験では、薄いブルーシートを使って積み重ね貯蔵を再現したので、積み重ね貯蔵と全く同じ状況とは異なる可能性がある。よって、今後は、多数のロールベールを使ってこの積み重ね状況を再現する必要がある。一方、広々配置区においては、RBS間に見通しが確保され、捕食者らは容易にネズミを発見し、またRBS間のネズミを捕食することができる状況であろう。捕食者への警戒が必要な状況下ではネズミの警戒行動が増加するために、探索行動の効率が低下し、採食時間が減少する(Brown・Kotler 2007)。加えて、いくつかの齧歯類では、開かれた空間では捕食者警戒が概して高まるために、このような状況では採食を避ける傾向があることが報告されている(Newman・Caraco 1987, Brown *et al.* 1988, Sone 2002)。本研究でも、ベール間隔を空けた広々配置区では、クマネズミに同様の現象が観察さ

れた。本研究地点での捕食者の有無は調べていないので、間隔を空けた配置におけるクマネズミの捕食者警戒がどれほどのものであったか不明である。しかし、郊外の田園地帯や牛舎脇において、イタチやヘビなどの捕食者が全くいない状況は考えにくい。よって、隠れる場所を少なくする配置方法は、クマネズミの捕食者警戒を高め、食害を軽減するのに有効であろうと考えられる。こうしたネズミの行動生態を巧みに利用した本技術の特徴は、殺鼠剤や忌避剤などの化学物質に頼ることなく、また、ネズミ自身を殺すこともなく、特別な技術や機械等を必要としないことから、適用できる範囲が極めて広いと考えられる。

以上のことから、クマネズミは飼料イネRBSに対して容易に食害を及ぼしやすく、特にRBS間にネズミの隠れ場所ができるような配置で貯蔵を行うと被害が拡大しやすいことが示された。よって、RBSを積み重ねずに間隔を空け、隠れ場所を取り除くような配置を行うとクマネズミの捕食者警戒を高め、食害を軽減できることが明らかとなった。

3 ロールベールの配置方法の変更によるネズミ害軽減効果の現地実証

1) 目的

通常、RBSに調製された飼料イネは密着され、かつ積み重ねて置かれる。このような配置はネズミにとって捕食者からの格好の隠れ場所になることから、飼料イネRBSを密集させずに空間を空けて広々と配置(広々配置法)すればネズミが天敵を警戒して食害が軽減されることを前節の研究において明らかにした。しかし、前節では、夏季の短期間における効果を確認したのみであった。飼料イネは収穫後、翌春にかけて多量に貯蔵されることから、冬季の長期にわたる広々配置法の効果を検証する必要がある。また、先の研究結果から、地面下の坑道を利用して加害するドブネズミやノネズミ種が存在するため、これらクマネズミ以外のネズミ種に対する広々配置の効果を検証することも必要である。このため、本節では、実際に生産者が集積した実規模でのRBS数で広々配置を行った場合の効果を、クマネズミ被害地およびノネズミ類による底部からの加害が確認された被害地の2カ所において検証すると共に、RBS底部を守る対策として金網を敷く方法とカプサイシン濃縮液散布の効果を調査した。

2) 材料と方法

(1) 実験1 クマネズミ被害地における冬季の 広々配置法の効果

IV-2の実験と同じRBS集積・貯蔵場所で行った。2007年9月24日に汎用ロールベアラによって予乾収穫されたRBS（小型タイプ、直径約50cm）496個を267m²の面積に積み重ねずに間隔を空けて並べた。貯蔵場所1m²あたりのRBS数は約1.9個で、間隔が20cmに満たない場所が多々みられた。貯蔵後から4月まで、毎月1回被害を受けたRBS数を調査した。11月の下旬以降、積雪によってRBS間に雪のブリッジが発生した（写真4）。観察日にはその都度、RBS間に架かった雪のブリッジを除去してRBSのネズミ被害を確認した。一関地域の降雪期間は11月22日から3月22日までであり、試験期間中の総積雪量は205cm、日降雪の最大値は29cm、積雪期間中の平均積雪量は13.4cmであった。



Photo4 The snow masking between the bales

(2) 実験2 ノネズミ被害地における冬季の 広々配置法と補助資材の効果

IV-1のネズミの捕獲調査結果において、アカネズミとドブネズミが捕獲された岩手県一関市内のRBS集積・貯蔵場所において試験を行った。毎年および先の捕獲調査時においてもRBSにネズミ被害がみられ、被害RBS下にはネズミの坑道が観察された。この貯蔵場所に、実験1と同様の予乾収穫されたRBS（小型タイプ、直径約50cm）388個を137m²の面積に積み重ねずに間隔を空けて並べた。貯蔵場所1m²あたりのRBS数は約2.8個で、平均間隔は20cmに満たなかった。これらRBSの貯蔵直後からの食害被害を観察すると共に、2008年1月18日に以下に示

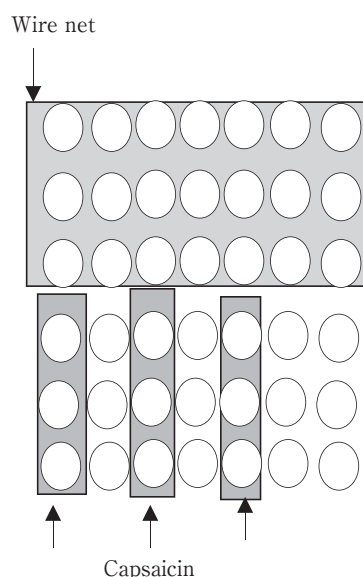


Fig. 5 The design for the wire net and capsaicin treatment in this study

す試験区を設置し、2月28日、4月11日および5月13日に各処理区の被害RBSの数を記録した。試験区は42個のRBSを用い、21個の下にビニール被覆亀甲金網（線径1.8mm、網目10mm）を敷き、また一部RBSの下に、カプサイシン濃縮液（商品名：L-トップ1000、株式会社A&B）の10倍希釈液を約700CC/m²の割合で散布した（図5）。統計解析は、各試験区における被害率を χ^2 分布（吉田 1992）と比較した。

3) 結果

(1) 実験1 クマネズミ被害地における冬季の 広々配置法の効果

被害を受けたRBS数の推移を図6に示した。9月から11月まで、RBSはネズミ被害を受けなかった。11月19日から降雪が始まり、12月20日の観察時には、間隔が20cm程度以下と狭いRBS間には、雪のブリッジが架かり、遮蔽状況となっていた。それら場所においてネズミ被害の発生を確認した。雪のブリッジが消失した後は被害の発生は減少した。ネズミによる加害部位は、RBS側面の下部に集中しており、底部への加害は認められなかった。雪のブリッジは、1月の観察日に除去して以降、発生は認められなかった。この雪のブリッジが消失した後は、被害の発生は減少した。

2) 実験2 ノネズミ被害地における冬季の広々配置法と補助資材の効果

被害を受けたRBS数の推移を図7に示した。貯蔵2ヶ月後の11月15日に一部RBS下にネズミの坑道の形成が認められたが、積雪状況下の12月20日においても食害被害は認められなかった。しかし、翌年1月18日には、ネズミがRBS底部へ食害を与え始めていることが確認された。ネズミ被害は、実験1のクマネズミ被害地とは異なり、主に地面下の坑道からRBS底面部への加害であり、雪が消失した後も被害が続いた。

表19に底部の金網の有無が各観察日における被害RBSの個数に及ぼす影響を示した。対照区の被害率は24%であった。一方、金網区では、金網の端に位置した1個のRBSの底部側面に軽微な被害が認めら

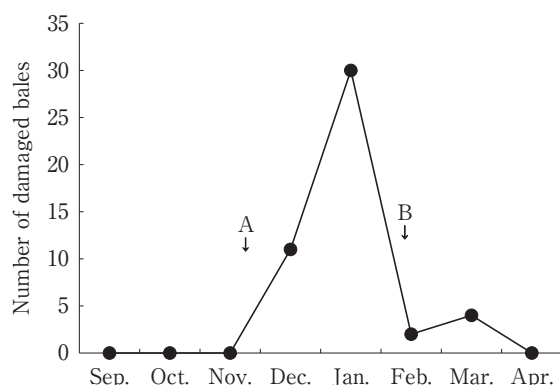


Fig. 6 The masking effect by snow on the number of rat-damaged round-baled silages in spacious layout

↓ A: Onset of the snow masking between the bales.
 ↓ B: Disappearance of the snow masking between the bales.

Table19 Observed number of feeding-damaged round bales in the control and wire net treatment on the assessment day and propotion of the damaged bales

	Control		Wire net	
	No damage	Damage	No damage	Damage
Feb 28	15	6	20	1
Apr 11	13	8	21	0
May 13	20	1	21	0
	48	15	62	1
Proportion of damaged bales [†]	23.8**		1.6**	

[†]Staistical difference was found between the control and spacious layout ($P<0.01$).

れたのみで、対照区に比べて被害率が大きく低下した。また、試験終了時に金網区のRBS下の坑道形成状況を観察したところ、21個中9個の下に形成されていた。表20には、カプサイシン濃縮液の散布の有無が各観察日における被害バールの個数に及ぼす影響を示した。カプサイシン散布の有無に関わらず、両区とも被害率は20%を越えた。この濃縮液の散布は、被害率に大きく影響を及ぼさなかった。

4) 考察

実験1を行ったクマネズミ被害地の飼料イネRBS集積・貯蔵場所では、本実験前年の2006年は密着し2-3段に積み重ねられたRBS群に貯蔵1ヶ月以内にネズミ被害が発生していた(IV-1)。一方、広々配置を行った本実験1では、貯蔵から11月までの3

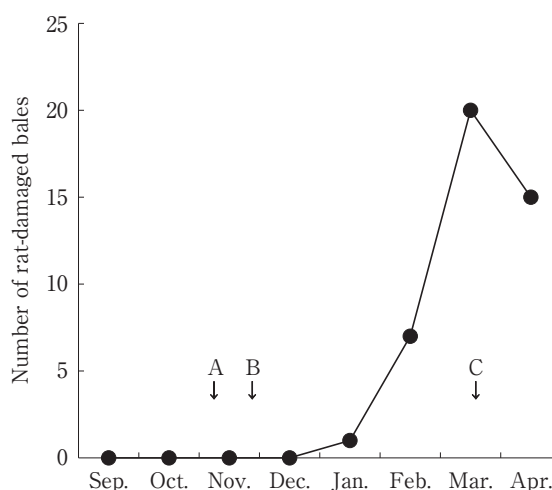


Fig. 7 Effect of spacious layout on the number of feeding-damaged round-bales silages by field mouse

↓ A: Tunnel formation by rat.
 ↓ B: Start of snowfall, ↓ C: End of snowfall.

Table20 Observed number of feeding-damaged round bales in the control and capsaicin treatment on the assessment day and propotion of the damaged bales

	Control		Capsaicin	
	No damage	Damage	No damage	Damage
Feb 28	9	3	6	3
Apr 11	7	5	6	3
May 13	11	1	9	0
	27	9	21	6
Proportion of damaged bales	25.0		22.2	

カ月間での被害発生は防がれた(図6)。よって、多数個のRBSが貯蔵された場合でも、広々配置によってネズミ被害が防がれることが明らかとなった。ただし、RBS間に雪のブリッジによる遮蔽状況(写真4)が現れた12月以降は、ネズミ被害の発生を認めた(図6)。本実験地では、先の研究(Ⅳ-1およびⅣ-2)においてクマネズミの出現が確認され、かつその加害が確認されている。また、本実験での被害状況は、ドブネズミやノネズミ類の加害で特徴的な坑道を形成してRBS底部へ加えられたものではなく、側面下部への加害であったため、加害種はクマネズミであったことが示唆される。すなわち、たとえ広々配置されていても、積雪によってRBS間の空間が遮蔽状況になると、密集されて積み重ねられた通常の配置と同様、捕食者からの発見・捕食の可能性が低下したために、RBSへのクマネズミ被害が発生したと推察された。本実験では、貯蔵場所1m²あたりのRBS数は約1.9個で、間隔が20cmに満たない場所が多々みられた。このような狭い間隔では、積雪による遮蔽状況が発生しやすく、クマネズミによる被害が助長されることが示唆された。ノネズミ被害地で行った実験2においては、RBS間の間隔がクマネズミ被害地で行った実験1より狭く、時間経過に伴うバール変形によって大部分のRBSが積雪中に接触してしまう配置であった。50cm径のRBSを30cmの間隔を空けて並べるためには、密着させて平積みした場合よりも約2.6倍の面積を必要とする。積み重ね貯蔵された通常の配置と比べるとその差は、より大きく広がる。すなわち、RBS間を広く空けるためにはRBSの集積・保管場所を分散させて十分なスペースを確保する必要がある。本研究では、様々な積雪状況下において、RBS間の間隔をどの程度にすればRBS間の遮蔽状況が避けられるかの検討はしていない。よって積雪地帯においては、より広い間隔を空けることや除雪を行うなどの対策が考えられ、今後の検討課題である。

実験2の試験地は、第1節の調査から、ノネズミが数多く出現する場所で、地面下にネズミによって掘られた坑道から主にRBS底部に食害が加えられることが観察されている。本実験では、11月にはすでにRBS下に坑道が認められていたが、その後1カ月経過後も被害が認められず、RBS下に形成された坑道から食害が始まったのは貯蔵翌年1月からであった。地面下の坑道からRBS底部に加害を加える特徴

から、ドブネズミかノネズミ類による被害であることが示唆された。第1節のドブネズミによる被害経過の観察結果では、被害発生と坑道の形成はほとんど同時であったが、本実験では、地面下での坑道形成が認められてから加害するまでに時間を要した。よって、加害種はドブネズミではなく、ノネズミ類であることが示唆された。本試験地では周囲の至る所にネズミの坑道がみられ、先の捕獲調査(Ⅳ-1)ではアカネズミが多数捕獲された。よって、アカネズミによる加害であることが示唆された。本実験結果から、ノネズミ類の加害の特徴として、積雪が根雪になって周辺での食物採取が困難となるとRBSへの食害を始めるのではないかと推察される。本実験では、積雪が消失後も被害が続いた。本実験の広々配置はRBS間の間隔が狭い箇所が見受けられたが、たとえRBS間に十分な空間が空けられていたとしても、地面下の坑道からRBS底部に加害を加えるネズミの場合は、クマネズミが加害する場合に認められたような捕食者警戒が働くとは考えにくい。ノネズミであるハタネズミやアカネズミは地下に複雑な坑道を掘ることが知られている(由井・阿部 1983)。よって、ノネズミ類が生息する未舗装地においては、ネズミは地面下の坑道から直接にRBSの底部に食害を与えることができるため、広々配置を行っても食害を防止効果が必ずしも高くないことが示唆される。このため、ノネズミが出現する未舗装地にRBSを貯蔵する場合には、底部を何らかの方法で守る必要があると考えられる。コンバイン型の専用収穫機によって収穫されたRBSならば、穂がバールの一方に偏るため、穂を上配置すれば底部から進入するネズミへの対策となるとされる。このため、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・日本草地畜産種子協会2006)では、下段バールの穂部を上、上段バールの穂部を下になるように配置する「穂あわせ」が鳥獣害対策になると紹介されている。しかしながら、本実験で用いたような汎用ロールベアラで予乾収穫されたRBSでは、穂が偏ることがないため、別の対策が必要である。本実験では、このノネズミ対策として、金網と底部へのカプサイシン散布の効果を検証した。その結果、金網を敷いた区は、下に坑道が形成されたのにも関わらず食害被害が少なく、底部から進入するネズミ類に対して効果が高いと考えられた(表19)。一方、カプサイシン濃縮液を散布しても、食害を防止する

ことはできなかった(表20)。本研究で用いた製剤は芝生地へのカラス・モグラの忌避効果を目的とするものであり、カプサイシン濃度自体は明らかではないが、メーカー推奨値(カラス：原液2-3CC/m²を1000倍希釈液で散布、モグラ：原液100倍希釈液をモグラ穴に散布)よりも多い量を散布した。ネズミ類は鳥類よりもカプサイシンに対する感受性が高いとされ(Masonら 1991)、Shumakeら(2000)はケーブルの被覆にカプサイシンを施用するとネズミの咬害防止に効果があることを報告している。ただし、本研究ではカプサイシンをラップフィルムに展着させたわけではなく、ネズミの口に入る状態ではなかったのであろう。よってカプサイシン濃縮液をRBS下の土壤に散布し、数ヶ月に及ぶ貯蔵期間にわたって忌避効果を期待することは難しいと考えられた。

本研究の実験2では、アカネズミが加害種であることが示唆された。アカネズミは日本全土の低地から高山帯まで広く分布し、森林、河川敷の下生えが密生しているところや水田の畦や畑に普通に見られる種である(阿部ら 2005)。すなわち、本試験地のようにアカネズミの生息域にRBSを貯蔵することは決して特殊な状況ではないと考えられる。これらノネズミ類は、坑道を掘ってRBS下に潜むことから、RBSの間隔を空けて配置しても、被害の軽減効果は低いと考えられた。よってノネズミの出現が予想される集積場では、坑道を掘って底部から進入する食害パターンへの対策が必要となる。その場合、RBS下に金網を敷くことが効果的な食害防止対策になり得ると考えられた。ただし、このようなノネズミ類の生息域においても、イエネズミであるクマネズミやドブネズミが出現する場合はIV-1で確認されている。よって、広々配置を行った上で底部を守る対策を組み合わせることが推奨される。

V 総合考察

1 再貯蔵処理による既存の牧草ロールベールサイレージ調製での細切・高密度処理の活用

本研究において、RBSを開封して細切後にドラム缶サイロに再貯蔵すると、乳酸発酵が促進され、pHが大きく低下することが明らかになった(II-1)。この現象は、収穫14日後の短期貯蔵のRBSのみならず収穫90日後のRBSにおいても観察されたことから(II-1)、細切して詰め込むだけで良好な乳酸発酵が促進される材料草でも、RBSの条件下で

は乳酸発酵を促進させることが極めて困難な場合があることが確認された。よって、細切・再貯蔵処理によって、乳酸発酵が容易に促進され、大幅なpH低下が可能となることから、細切・再貯蔵処理がRBSの貯蔵性の改善に有効であると判断される。RBSはトラクタでの移動・運搬が可能であることから、流通にも適する形態ではあるが、フィルム破損が起こった場合に急速なカビ汚染が発生するために(萬田 1994、野中ら 1999)、流通するには乾草と比べてリスクが高い。このため、国内におけるRBSの流通は一部にとどまっている(野中ら 1999)。よって、RBSとして収穫調製された後に細切して、より流通に向く形態で高密度梱包すれば、乳酸発酵が誘起されて発酵品質がより安定した状態で貯蔵・流通でき、TMRへの適用性も向上すると考えられる。本研究では、これに適した可搬サイロとしてドラム缶サイロを利用した(II-1、2、3)。このようなサイロを利用するならば、ラップフィルム損傷などの気密性の低下などの問題は発生せず、再利用が可能でもある。本研究では、RBSに検出されたカビ数が再貯蔵後には、急速に低下することが観察された(II-2)。よって、この細切・再貯蔵処理は、カビ毒汚染のリスクをも下げられる可能性がある。

固定施設型のサイロを用いてサイレージの給飼体系が確立している場合、例えば関東地域で普及している地下角型サイロとサイレージ取り出し装置であるサイロクレーンを組み合わせた事例(市戸 1999)などでは非常に省力的にサイレージの給飼作業を行うことができる反面、サイロの増設を容易に行うことはできないのが現状である。よって、施設型サイロの容量不足を補完する目的でRBSを利用している農場が少なからず存在している(杉本ら 1990ab)。このような固定施設型サイロを用いたサイレージの給飼体系が確立している場面で飼料自給率を向上させるためには省力的に利用可能な補助サイロを活用していくことが考えられる。事実バンカーサイロを補助サイロとして使い、地下角型サイロが空いた時点でバンカーサイロから地下角型サイロにサイレージを移し替えて利用することによって飼料自給率を向上させている事例が見られる(川名 2002)。RBSを補助サイロとして活用し、農閑期にRBSを細断して空になった固定施設型サイロに再貯蔵できれば、遠隔地の分散圃場での収穫・調製作業を省力的に行うことができ、しかも地域内でRBSを流通させ

る場合などにも既存のサイレージ給与体系を変えることなく対応できると考えられる。また、RBSの細断作業をある時期に集中的に行うことができるために、RBS細断機の共同所有・利用体制の構築が可能となる。このように、より調製単位が大きい施設型サイロへ細切・再貯蔵する場合が想定される。RBSは、梱包単位が数百キロ程度であるので、開封後の好気的変敗よりも、貯蔵中のラップフィルム破損等に起因する望ましくない好気的微生物による汚染 (Fenlon *et al.* 1989) がより重要な問題として検討されてきた。Mowrey (1998) は、サイレージをサイロ間で移し替えて再貯蔵する場合、最初のサイロで良好なサイレージ発酵品質を確保し、気温の低い時期に速やかに移動させ、移動後の気密性を高めることが重要であると指摘している。すなわち、サイレージを再貯蔵する過程で一時的に好気条件下にさらすことになるために、好気的変敗が起こることが懸念される。本研究では、再貯蔵後の好気的変敗の程度を検討し、再貯蔵中に酵母数が減少するために、開封後の好気的変敗が抑制されることを明らかにした。したがって、細切されたRBSをより調製単位が大きい施設型サイロへ再貯蔵する技術は、広く普及しているRBS体系の利用性を向上させるための有効な技術と考えられる。

本研究において、細切・高密度梱包による乳酸発酵の促進効果は、乾物率約40%から60%程度までの範囲で認められた (Ⅲ-1、2)。一方、これより高い水分域の材料草では、WCS含量や付着乳酸菌数が低い場合は、細切・高密度梱包は逆に発酵品質を悪化させてしまう場合があることが明らかとなった (Ⅲ-3)。もちろん、この高い水分域では、RBSで保存していたとしても酪酸発酵が助長される。トウモロコシなどのホールクロップサイレージ用作物では、登熟によって水分含量が低下し、栄養価からみた収穫適期とサイレージの発酵品質からみた収穫適期がほぼ一致するが (名久井ら 1981)、牧草では栄養価が高い時期には水分含量も高いため、材料草の水分調整はより重要な技術となる。このため、予乾処理は牧草サイレージ調製の基本技術として定着するに至っており (増子 1999)、草種や刈り取りステージを問わずに酪酸発酵が抑制される水分60%以下の低水分域 (大下ら 1992、樋渡 1988、馬場ら 1997) への省力的効率的な水分調整法が求められている。これを受け、牧草を刈り取っ

た直後にフォレージマットメーカーと称される機械で圧碎 (摩碎) してマット状にし、乾燥を促進させる新しい調製技術の開発が世界各地で進められている (糸川ら 2001)。我が国でもフォレージマットメーカーのプロトタイプが開発されている (西崎ら 1998)。このように、予乾調製技術が進歩してはいるが、今後はコントラクターやTMR供給センター組合などの大規模な飼料生産組織が収穫調製を担っていく割合が高まると予想される。その場合は、短時間での大量調製が基本となるため、収穫時の天候に合わせたきめ細やかな予乾調製はできにくい状況と考えられる。我が国の属する温帯湿潤気候を考えると牧草収穫時は雨天になる可能性が高く、大規模な飼料生産組織の多量調製状況では、予乾不足の牧草サイレージが調製されることは珍しいことではない。本研究では、この対策として細切・再貯蔵時に濃厚飼料の添加を行って発酵品質の改善を試みた (Ⅱ-3)。その結果、速やかに多量の濃厚飼料を混合し、発酵TMRとして速やかに保存された場合、貯蔵中の発酵品質の悪化、特に嗜好性の低下が抑えられることが明らかとなった。TMR供給センターでは、内袋付きトランスバックによる発酵TMRの調製を行っている場合がある。よって、TMR供給センターで不十分な予乾によって調製されてしまったRBSを利用する場面において、濃厚飼料混合による再貯蔵技術の活用によって、品質のリカバリが期待できる。

圃場での天日による予乾処理によらずに水分調整を行う手段として、収穫調製時に吸水性資材を添加・混合する方法が検討されている。家畜用飼料として利用されるものの中で、取扱性が高く、そのまま保存可能な乾燥物ならば吸水性資材として活用でき、稲ワラ (高野ら 1975、高野・山下 1990)、穀類 (永西ら 1996)、ビートパルプ (高野 1975、1990、宮城ら 1993、山田ら 1986)、フスマ (永西ら 1996; Yokotaら 1995)、米ヌカ (丹羽ら 1985、Yokotaら 1995)、醤油粕 (丹羽ら 1985)、バガス (宮城ら 1993) およびミカン粕 (宮城ら 1993) 等の粗飼料から製造粕類までもが水分調整資材として検討されている。また、水分調整を兼ねながら、家畜の要求する栄養成分に合わせて調製する場合には牧乾草や配合飼料も活用できる (坂出 1989、高井ら 1993、高野ら 1975-1993)。特に吸水性資材の中で糖含量が高い配合飼料やビートパルプは、水分調整とともに発酵基質の添加効果が期

待でき、糖含量が低い稲ワラ、発酵粕類やマメ科農産物などよりも発酵品質改善効果が高いことが示されている（片山ら 1994）。これら吸水性資材の保水能は稲ワラや牧乾草などの繊維質飼料で高く、穀類や製造粕類はやや劣ることが示されているが（片山ら 1994）、吸水性資材の10%添加は全体で約7%程度水分含量を低下させる（高野ら 1975）。これら吸水性資材の添加は、添加量が多い場合には圃場での作業は通常では困難であるが、細断型ベールの利用によって可能と考えられる。すなわち、細断型ベールは、大容量の荷受けホッパに収穫材料をためてから梱包する構造を持つため、収穫時に水分調整資材との混合が比較的容易にできるという側面を持つ（青木ら 2008b）。その特性を生かし、青木ら（2008a、2008b）は、濃厚飼料およびビートパルプを細断ベールでの飼料作物収穫時に混合添加することで発酵品質の改善が可能であることを報告している。サイレージ発酵に関与する微生物の活動は、水分含量に強く影響されることから、発酵の場である材料作物の水分を適切に調整することはサイレージ調製の基本であり（内田 1999）、細切処理などの品質改善技術の可能性を高めることにもなる。今後増加するであろうコントラクターやTMRセンター組合などの大規模な飼料生産組織が短時間で大量収穫する場合には、収穫時の天候に合わせたきめ細やかな予乾調製を行にくい状況であることは前述した。また、細断型ベールは、発酵TMR調製に利用できることが報告されており（越川ら 2008、平久保ら 2008）、TMR供給センターにおいて細断型ベールを定置使用することによって、前述した既存のロールベール体系で調製された未細切ベールを細切・発酵TMR化する作業に有効活用できると考えられる。したがって、既存のベールに細断型ベールを組み合わせた収穫調製作業に水分調整をも念頭においた発酵TMR化技術を導入した細切・再貯蔵システムによって、いかなる天候状況にも対応できるサイレージ調製体系が構築できると考えられる。

以上のことから、既存の機械で収穫された牧草RBSにおいても、細切・再貯蔵処理によって、TMR給与法にも利用しやすい品質の安定した細切サイレージとして活用することができ、また、再貯蔵時に濃厚飼料混合による発酵TMR化によって、予乾不足のRBSの品質劣化防止対策が可能であることが明らかとなった。

2 細切・高密度処理による飼料イネロールベールサイレージの発酵改善

飼料イネサイレージは、アルコールが生成されやすいことが報告されている（永西・四十万谷 1998、Nishino・Shinde 2007）。本研究でも、発酵生成物の88%がエタノールで占められるサイレージが観察されるなど、無細切で調製された飼料イネサイレージでは高いエタノール生成が認められた（Ⅲ-2、3）。予乾された乾物率の高い牧草サイレージにおいても、エタノール発酵が優占する場合があることが報告されており、酵母の増殖が原因と考えられている（Driehuris・Wikselaar 2000）。硬く中空の茎を持つイネは、サイレージ調製時に空気が排除されにくく（永西・四十万谷 1998、蔡ら 2001）、加えて無細切や切断長が長い状態では密度が上がりにくいことが気密性の低い環境をつくり、酵母の増殖を促すと考えられる。また、無細切や切断長が長い状態では、植物体表面に比較的傷が少なく乳酸菌などの付着細菌類が効果的に増殖できない（Gibson *et al.* 1961）ことから、飼料イネの少ない糖分の利用において、酵母の競合微生物が少ないことも理由であろう。本研究ではエタノールが新鮮物中1%を超える高濃度のサイレージにおいて、酢酸生成が1%を超えるサイレージが認められた（Ⅲ-3）。このサイレージでは、乳酸生成が全く見られなかったことから、酢酸生成は家畜に病原性を持つ腸内細菌等の増殖に由来するものと考えられ、エタノール発酵が盛んに行われた場合、他の望ましくない微生物も増殖している可能性が示唆された。牧草において、エタノールが多量に生成されるサイレージの存在を報告したDriehuris・Wikselaar（2000）によれば、このエタノール発酵型サイレージは予乾処理された乾物率の高いサイレージに観察されるとしている。本研究では、酪酸発酵の可能性のある乾物率40%以下の飼料イネサイレージでも、50日程度の貯蔵では酪酸含量よりもエタノール含量の方が高まることが観察された（Ⅲ-3）。酪酸発酵型サイレージでは酵母の生育が抑制されるとされるが（McDonaldら 1991）、無細切などで比較的傷が少ない条件の場合、イネの植物体表面の栄養条件は酪酸菌にとっても増殖に時間を要するであろうから、貯蔵の初期段階では酪酸発酵よりもエタノール発酵が優占しやすいと考えられた。ただし、エタノールとともに酪酸含量も高い飼料イネサイレージもみら

れたことから、高水分の飼料イネにおいてはエタノール発酵が優占したからといって酪酸発酵が抑制され続けるわけではないことが示された。エタノールは殺菌作用を持つことが知られているが、エタノール発酵型サイレージの微生物動態を詳細に研究した報告はなく、サイレージ中エタノール含量の不良微生物に対する抑制効果は不明である (Driehuris・Wikselaar 2000)。しかし、飼料イネサイレージにおいては、本研究結果から生成されるエタノール自体は、他の不良微生物の増殖の抑制には効果的でないことが示された。また、本研究でみられたようにエタノール発酵が盛んに行われてもサイレージのpHは高いままに保たれる (Ⅲ-2、3)。pHの高いRBSでは、リステリアなどの病原性菌や糸状菌等の好気的な不良微生物が増殖しやすいことが指摘されている (Ruxton・Gibson 1995、蔡ら 2004)。よって、エタノール発酵型サイレージは品質安定性が低いことが示唆される。

サイレージの発酵品質は、生成された有機酸中の乳酸が占める割合によって評価するフリーク法 (大山・白田 1972) が古くから使われていた。そして乳酸発酵が抑制されがちな低水分サイレージでは、低い含水率自体が酪酸発酵を抑制するために、フリーク法による評価では低水分サイレージの発酵品質を過小評価してしまう問題点を抱えていた。一方、不良発酵に由来するVFAとVBNの生成のみを分析項目とするV-SCORE (自給飼料評価研究会 2001) では、予乾サイレージなどの低水分サイレージにおいて乳酸発酵が促進されなかった場合でも酪酸発酵の抑制程度を評価できる。このため、予乾調製が前提であるRBSが増加した現在においては、V-SCOREによる評価法が日本の生産現場において最もよく使われている。V-SCOREは、飼料イネRBSの生産現場に対しても発酵品質の評価法として推奨されているが (畜産草地研究所 2001)、VFAやVBNの生成がなければ、エタノールが生成され、pHが高くても発酵品質が良好と評価する。本研究においても従来型・無細切型にみられたエタノール発酵型サイレージのほとんどを良好な発酵品質であると高評価を与えた (Ⅲ-2、3)。エタノール発酵サイレージは乾物損失率が高く (Driehuris・Wikselaar 2000)、不良微生物の増殖が抑制されにくい。よって、飼料イネにおけるエタノール発酵型サイレージは、V-SCOREで良好と判断されるが、

品質安定性が保証されたわけでは無いことを認識すべきである。

細断型ロールペーラで調製されたトウモロコシの発酵品質は、良好であることが報告されている (志藤ら 2005)。トウモロコシにはサイレージ発酵に重要な耐酸性の高い乳酸桿菌の付着が多いが、飼料イネには、それらの付着が他の牧草類と同様に少ないことが指摘されている (蔡 2001)。本研究結果から、細断型ロールペーラによってもたらされる細切・高密度梱包処理は、付着乳酸菌が少ない飼料イネにおいても、乾物率が40%を越える水分範囲では乳酸発酵を促進させてpHを低下させる有効な手段であることが示された (Ⅲ-1、2)。飼料イネには、好気性細菌、バチルス、糸状菌および酵母が高い菌数レベルで存在するが、これらの不良微生物はpH4.2以下の条件で生育を抑制できるとされる (蔡 2004)。細切・高密度処理によって乳酸発酵が促進された飼料イネサイレージのpHは、ほぼこの低いpH値に到達していた (Ⅲ-1-3)。また、飼料イネを無細切でサイレージに調製するとエタノール発酵型サイレージが調製されるが、細切・高密度処理によって乳酸発酵が促進されるとエタノール生成が低いレベルに抑制された (Ⅲ-2、3)。このため、細切・高密度処理による草汁の利用性向上と40%を越える乾物率は、飼料イネの付着乳酸菌においても他の微生物と十分に競合できる環境であると考えられた。従来型RBSでは、収穫翌年の暑熱期間での貯蔵では、すべてのRBSでカビ破棄が発生したが、細断型ではカビの発生が防がれたRBSがみられ、またカビが発生した場合も破棄率が低下する傾向にあった (Ⅲ-2)。すなわち細切・高密度による酸素の排除と低いpHは、長期貯蔵時のカビ汚染のリスクも低下することが示された。

飼料イネの収穫適期は、籾の消化性と脱粒性を考慮してTDN含量が最大となる黄熟期 (出穂後30日頃) とされ、その際の乾物率は40%程度となる (吉田 2004)。よって、適期収穫される限りにおいて、細断型ロールペーラの飼料イネ収穫調製への適用は、添加物を用いずとも良好な発酵品質のサイレージを得るための効果的な手段と判断される。しかし、飼料イネは、食用米との作業競合を避けるために収穫作業が前倒しで行われる場合が多く、加えて生育期間が限られる東北地域以北向けの早刈りが可能な早生品種が限られる (根本 2004) ことから、必ず

しも黄熟期の適期収穫が確保されているわけではない。材料イネの乾物率が40%に満たない場合は、細切・高密度処理による酸素の排除効果によってエタノール発酵はある程度抑制されるが、その発酵環境は酪酸菌に好適となるために、付着乳酸菌では効果的に酪酸発酵を抑制することは困難となる(Ⅲ-3)。蔡ら(2003)は、飼料作物サイレージから選抜した低pH耐性と乳酸生成能が優れる乳酸菌株(*L.plantarum*、畜草1号)を乾物率が30%程度と低い飼料イネRBS調製時に添加し、pH4.2以下の速やかな低下に成功している。この実験に用いられたロールベールは、フレールタイプの刈取り部を持つため、植物体に傷が付きやすいタイプ(百瀬ら2006)であった。蔡ら(2003)の選抜した乳酸菌を、長切断タイプの飼料イネRBS調製時に添加した場合は、無添加に比べて乳酸生成が高まるものの、pHが4.2以下には到達しにくく、長期貯蔵時にはカビの発生を完全には抑制できない場合がみられる(平久保ら2005)。Driehuis・Wiksehaar(2000)や山本ら(2004)も無細切や長切断状態よりも細切処理など植物体に傷を付けた状態の方が乳酸菌の添加効果が高まることを示している。よって、高水分域の飼料イネが細切・高密度処理によって調製される場合は、乳酸菌製剤の添加が不可欠であるが、その添加効果をより確実なものにすると考えられる。

本研究結果から、細断型ロールベールを活用し、添加物に頼らずとも良好な発酵品質の飼料イネRBSを得ようとするならば、予乾収穫体系が望まれる。細断型ロールベールを用いた予乾体系で飼料イネを収穫調製する場合、飼料成分や栄養価に影響する物理的な圃場損失は認められなかった。水田における予乾処理に関して、大谷ら(2004、2006)は刈取りに自脱型コンバインを活用し、走行部にクローラを持つロールベールと組み合わせれば、軟弱水田においても低コストに予乾体系が組める方法を提案している。また、細断型ベールによる収穫調製では、刈り倒された材料を、フォレージハーベスタによって細切・吹き上げる作業が必要であるが、水田でのフォレージハーベスタでの収穫作業を可能とする方法として、リバース走行可能なクローラ型トラクタを用いた収穫作業が提案されている(澤村2004)。現在市販されている細断型ロールベールは、水田走行を前提としたものではないためにクローラを走行部に持たないが、現在、刈取り細切機構を内蔵し、

湿田での作業も可能とするゴムクローラの走行部を備えた細断型ロールベールの開発が進められている(農林水産技術会議事務局2003)。よって、細断型ロールベールを基軸とする予乾収穫体系を構築することは現在でも可能であり、今後はさらに容易になると考えられる。

本研究によって、飼料イネを無細切や切断長が長い状態でRBSに調製した場合、飼料イネの構造上、酸素が排除されにくいことと細菌類による草汁の利用性が劣ることから、水分含量の高低に関わらず、エタノール発酵が優占しやすいことが明らかになった。また、エタノール発酵型飼料イネサイレージは、その後の貯蔵過程で細菌類が増殖を始め、乾物率40%を越える場合は腸内細菌等の酢酸生成菌の増殖が起りやすく、乾物率40%に達しない場合では酪酸発酵が促進されやすく品質安定性が低いことが示された。細切・高密度処理は乳酸発酵の促進に効果的であるとされるが、細切・高密度処理を飼料イネのサイレージ調製に適用する場合は、水分条件によって異なる効果が得られることが明らかになった。すなわち、乾物率40%を越える場合は添加物を用いずとも付着乳酸菌による乳酸発酵が促進され、不良微生物を抑制するのに十分なpH低下が得られるが、乾物率40%に達しない場合は逆に酪酸発酵を促進してしまうことが明らかとなった。このため、飼料イネのRBS調製において、細切・高密度処理を可能とする細断型ロールベールを適用する場合は、材料草の水分条件に注意する必要があると結論された。

3 飼料イネロールベールサイレージ貯蔵中のネズミからのラップフィルム保護

ラップフィルム破損が起こったRBSは、内部まで急速にカビ(糸状菌)に汚染されるため(萬田1994、野中ら1999)、ラップフィルムの取り扱いには注意を要する。ラップフィルムの破損に由来するカビ汚染は、発酵品質の良否に関わらずに発生するため(蔡2003)、いくら良好な発酵品質のRBSが調製されても、その後の保管管理状況によって良品が確保され続けるとは限らない。本研究結果より、高密度に梱包され乳酸発酵が促進される細断型RBSは従来型RBSよりもカビの発生程度は低いものの、ラップフィルム破損によるカビ汚染は避けられないことが示された(Ⅲ-2)。近年、乳牛の生産性が増加するに従って、カビ毒に由来する生産性の低下が問

題となっている(菊池 2004)。カビが発生したサイレージは、給与時に目視でカビ部分を破棄して給与するなどの対策がとられるが、目視で確認できるようなカビが発生していない部分においても、カビ毒が含まれることは珍しくない(菊池 2004)。よって、RBSの品質安定性を保つには、調製時の不良発酵防止対策のみでは不十分で、保管中のラップフィルムの破損防止対策が不可欠となる。本研究結果から、日本中に広く分布し、人の生活圏に普通にみられるネズミ種が飼料イネRBSのラップフィルムに損傷を与えることが明らかにされた(IV-1-3)。よって、飼料イネRBSのラップフィルムは保管中に獣害による損傷の可能性が牧草RBSよりも高いことが示された。ラップフィルムに破損を発見したら速やかに補修するか、早期に給与しなければならない。破損したRBS数が多く、給与するまでに長期貯蔵せざるを得ない場合には再ラッピングすることが推奨されている(全国飼料増産行動会議・日本草地畜産種子協会 2006)。運搬時など、RBSを掴む際に発生するラップフィルム破損や鳥害による損傷は容易に破損部を発見しやすいことから、再ラッピングなどの対策が容易であると考えられる。一方、密着され、積み上げられたRBS群の内側でネズミがラップフィルムの損傷を行っても容易に破損部を確認できないので、破損の補修もままならない。特に、積み上げられたRBS群では、登はん能力の高いクマネズミが被害を与えやすいことが示唆され(IV-1、2)、被害が甚大になる可能性が示唆される。本研究では、この密着され積み上げられたRBS群はネズミにとって捕食者からの隠れ場所が豊富にあると考え、この隠れ場所をなくすような配置にすれば被害が軽減することを明らかにした(IV-2)。ただし、積雪に注意せねばならぬことと地面下にトンネルを掘って潜むノネズミ類に対しては、RBS間に間隔を空けても隠れ場所をなくすことにはならず、底部を守る対策が別途必要であることも明らかにした(IV-3)。この配置方法の変更による対策は、ネズミ害を軽減できるだけでなく、RBS間を見回ることができ、貯蔵されているすべてのRBSのラップフィルム破損などの異常を発見しやすい利点を併せ持つ。この対策を行うためには広い貯蔵場所が必要であるが、特別な機械や施設を必要とせず、毒物を使わないことから牛舎脇でも安心して実施することができ、ネズミを含む生物をむやみに殺傷しないなどの利点もあ

り、汎用性が極めて高いと考えられる。

以上から、再貯蔵による細切・高密度処理の活用は、牧草RBSの発酵と貯蔵性の改善に有効であること、また、飼料イネの収穫・調製における細断型ロールベアラの適用条件が明確に示された。さらに、殺鼠剤や忌避剤等の化学物質、特別な機械・施設を必要としない有効なネズミ食害対策が提示された。これらの技術は、RBS活用の拡大、細断型ロールベアラの飼料イネへの適用と対応機種開発の促進、飼料イネRBSの生産拡大をもたらし原動力になるものと考えられる。

VI 摘 要

ロールベールサイレージ(RBS)体系は、粗飼料の収穫・調製貯蔵を省力的に行うことができることから、国内の大家畜生産にとって不可欠なものとなっている。しかし、RBSは材料草が未細切であること、低密度の発酵環境であること、および被覆ラップフィルムが破損しやすいことから、不良発酵や貯蔵中に変質するリスクが高いという問題点を抱える。近年、RBSの細断・解体機や細断型ロールベアラの開発によって、RBS体系においても省力的な収穫方法を活かしつつ、細切処理を組み込むことができる体制が整ってきた。そこで本研究では、牧草と飼料イネを材料として、RBSの利用性と品質制御における不安定要因の改善を目的として、細切・高密度処理の適用効果を明らかにするとともに、貯蔵中のネズミからのラップフィルムの保護技術の検討を加え、RBSの発酵改善から安定貯蔵にいたる技術を体系的に検討した。

既存RBS体系において細切・高密度処理を活用するため、RBSを細切し、気密性の優れたサイロに密度を高めて再貯蔵する方法を検討した。その結果、RBSを細切して密度を5-8%高めて再貯蔵するのみで、乳酸発酵が促進され、pHが乾物率38%の場合は5.3から4.2に、乾物率51%では5.7から4.5に大きく低下することが明らかになった。また、再貯蔵後は酵母が減少して開封後の好氣的安定性が高まることが確認された。加えて、RBSが高水分のために酪酸発酵が助長される場合、再貯蔵処理時に穀物を添加することによって、貯蔵中の酪酸発酵を防止して嗜好性が改善されることが明らかになった。よって、細切・高密度処理を活用した再貯蔵技術は既存RBS体系の欠点を補完する技術として活用できることを示した。

トウモロコシ用に開発された細断型ロールベールを用い、発酵品質が劣質化しやすい飼料イネRBSへの細切・高密度処理の効果を検討した。その結果、飼料イネRBSの特徴として、低水分から高水分域まで、乳酸発酵よりもエタノール発酵が促進されやすいことが示され、このような特徴を持つ飼料イネに対して、細切・高密度処理は、乳酸発酵を促進させてエタノール発酵を抑制することに有効であることが明らかになった。ただし、高水分域（乾物率40%未満）では発酵品質の改善に必ずしも有効ではなく、飼料イネのサイレージ発酵に対する細断・高密度処理の効果は材料イネの乾物率に依存することが明らかになった。

飼料イネRBSの貯蔵中のラップフィルム保護の方法について検討した。飼料イネRBSでは糶を狙うネズミによるラップフィルムの損傷被害が各地で顕在化している。そこで、加害ネズミ種の捕獲調査や行動観察を行い、RBSを密着させ、積み重ねて配置する従来のRBS貯蔵方法がネズミ被害を助長する要因であることを突き止め、間隔を空けてネズミの隠れ場所を作らないようにRBSを配置することによってネズミ被害を大幅に軽減できることを明らかにした。これは、ネズミが常に捕食者（イタチ、ヘビ、猛禽類、猫など）を警戒しつつ餌を探している習性を巧みに利用したものである。

以上から、再貯蔵による細切・高密度処理の活用は、牧草RBSの発酵と貯蔵性の改善に有効であること、また、飼料イネの収穫・調製における細断型ロールベールの適用条件が明確に示された。さらに、殺鼠剤や忌避剤等の化学物質、特別な機械・施設を必要としない有効なネズミ食害対策が提示された。

引用文献

- 1) 阿部 亮. 2000. 食品製造副産物利用とTMRセンター. 酪農総合研究所. 札幌. p1-80.
- 2) Abe, A.; Horii, S.; Kameoka, K. 1979. Application of enzymatic analysis with glucoamylase, pronase and cellulase to various feeds for cattle. *J. Anim. Sci.* 48 : 1483-1490.
- 3) 阿部 永, 石井信夫, 伊藤徹魯, 金子之史, 前田善四雄, 三浦慎悟, 米田政明. 2005. 日本の哺乳類 改訂版. 東海大学出版会. 神奈川. p131-143.
- 4) 阿部 禎, 大矢剛毅. 1974. 岩手県の農耕地に生息するノネズミの種類と食性. *岩手農試研報* 18 : 23-29.
- 5) 秋山典昭. 1999. 飼料作物に含まれる単少糖類の高速液体クロマトグラフィ (HPLC) を用いた定量法における試料調製法の検討. *草地試研報* 58 : 17-25.
- 6) 青木康浩, 宮地 慎, 大下友子, 秋山典昭. 2008a. 細断型ロールベールによる飼料用トウモロコシと濃厚飼料の混合調製サイレージの翌夏における発酵品質, 嗜好性および栄養価. *日草誌* 54 (別) : 366-367.
- 7) 青木康浩, 宮地 慎, 大下友子, 秋山典昭. 2008b. チモシー主体牧草の細断ロールベールサイレージの飼料特性に対する水分調整の影響. *日草誌* 54 (別) : 368-369.
- 8) 馬場武志, 太田 剛, 大石登志雄. 1997. イタリアンライグラスラップサイレージの発酵品質に及ぼす材料草の水分, 刈取りステージ及び貯蔵場所, 貯蔵期間の影響. *福岡農総試研報* 16 : 117-120.
- 9) 板東 健, 出岡謙太郎. 1979. 好気的変敗ならびにプロピオン酸添加とうもろこしサイレージの産乳価値. *新得畜試研報* 10 : 25-31.
- 10) Bell, F.R. 1959. Preference thresholds for taste discrimination in goats. *J. Agri. Sci.* 52 : 125-128.
- 11) Brown, J.S.; Kotler, B.P.; Smith, J.R.; Wirtz II, W.O. 1988. The effects of owl predation on the foraging behavior of heteromyid rodents. *Oecologia* 76 : 408-415.
- 12) Brown, J.S.; Kotler, B.P. 2007. Foraging and the ecology of fear. (StepHens, D.W.; Brown, J.S.; Ydenberg, R.C. eds., *Foraging, Behavior and Ecology*). The University of Chicago Press. Chicago. p437-480.
- 13) Buchanan-Smith, J.G. 1990. An investigation into palatability as a factor responsible for reduced intake of silage by sheep. *Anim. Prod.* 50 : 253-260.
- 14) Burwash, M.D.; Tobin, M.E.; Woolhouse, A.D.; Sullivan, T.P. 1998. Laboratory evaluation of predator odors for eliciting an avoidance response in roof rats, *Rattus rattus*. *J. Chem. Eco.* 24: 49-66.

- 15) Cai, Y; Ogawa, M. 1998. Effect of ammonium tetraformate on the aerobic deterioration of corn silage. *Grassl. Sci.* 44 : 90-92.
- 16) 蔡 義民. 2001. サイレージ乳酸菌の役割と高品質化の調製. *日草誌* 47 : 527-533.
- 17) 蔡 義民, 藤田泰仁, 村井 勝, 小川増弘, 吉田宣夫, 北村 亨, 三浦俊治. 2003. 飼料イネサイレージ調製への乳酸菌 (*Lactobacillus plantarum* 畜草1号) の利用. *日草誌* 49 : 477-485.
- 18) 蔡 義民. 2004. 稲発酵粗飼料の高品質調製技術. *畜産の研究* 58 : 661-669.
- 19) Clancy, M.; Wangsness, P.J.; Baumgardt, B.R. 1977. Effect of silage extract on voluntary intake, rumen fluid constituents, and rumen motility. *J. Dairy Sci.* 60 : 580-590.
- 20) Conrad, H.R.; Pratt, A.D.; Hibbs, J.W. 1964. Regulation of feed intake in dairy cows. I. Change in importance of physical and physiological factors with increasing digestibility. *J. Dairy Sci.* 47 : 54-62.
- 21) Danner, H.; Holzer, M.; Mayrhuber, E.; Braun, R. 2003. Acetic acid increases stability of silage under aerobic conditions. *Appl. Environ. Microbiol.* 69 : 562-567.
- 22) Dielenberg, R.A.; McGregor, I.S. 1999. Habituation of the hiding response to cat odor in rats. *Rattus norvegicus*. *Journal of Comparative Psychology* 113 : 376-387.
- 23) Driehuis, F; Oude Elferink, S.J.W.H.; Spoelstra, S.F. 1999. An aerobic lactic acid degradation during ensilage of whole crop maize inoculated with *lactobacillus buchneri* inhibits yeast growth and improves aerobic stability. *J. Appl. Microbiol.* 87 : 583-594.
- 24) Driehuis, F.; Wikselaar, P.G. 2000. The occurrence and prevention of ethanol fermentation in high-dry-matter grass silage. *J. Sci. Food. Agric.* 80 : 711-718.
- 25) 永西 修, 四十万谷吉郎, 仮屋喜弘, 池田健児, 村井 勝. 1996. 濃厚飼料あるいは青刈りトウモロコシの混合がセスバニアロストラータ (*Sesbania rostrata*) サイレージの発酵品質に及ぼす影響. *日草誌* 42 : 146-149.
- 26) 永西 修, 四十万谷吉郎. 1998. 稲ホールクロップサイレージの発酵特性. *日草誌* 44 : 79-181.
- 27) Fenlon, D.R.; Wilson, J.; Weddel, J.R. 1989. The relationship between spoilage and *Listeria monocytogenes* contamination in bagged and wrapped big bale silage. *Grass and Forage Science* 44 : 97-100.
- 28) Gaillard, F. ; Mazoyer, J. 1998. Protection of wrapped round bales. *Fourrages* 155 : 345-347.
- 29) Gherardi, S.G.; Black, J.L. 1991. Effect of palatability on voluntary feed intake by sheep. I. Identification of chemicals that alter the palatability of a forage. *Aust. J. Agric. Res.* 42 : 571-584.
- 30) Gibson, T.; Stirling, A.C.; Keddie, R.M.; Rosenberger, R.F. 1961. Bacteriological changes in silage as affected by laceration of the fresh grass. *J. Appl. Bact.* 24 : 60-70.
- 31) Goatcher, W.D.; Church, D.C. 1970. Taste responses in ruminants. I. Reactions of sheep to sugars, saccharin, ethanol and salts. *J. Anim. Sci.* 30 : 784-790.
- 32) 後藤正和, 山本泰也, 水谷将也. 2001. 飼料イネの調製技術と飼料特性. *畜産の研究* 55 : 242-248.
- 33) Greenhill, W.L. 1964. Plant juices in relation to silage fermentation. II. Factors affecting the release of juices. *J. Brit. Grassl. Soc.* 19 : 231-236.
- 34) 原 慎一郎, 大山嘉信. 1979a. トウモロコシサイレージの好気的変敗と微生物相—プロピオン酸の変敗防止効果との関連—. *日畜会報* 50 : 288-295.
- 35) 原 慎一郎, 大山嘉信. 1979b. トウモロコシサイレージの好気的変敗に關与する酵母および糸状菌—カブロン酸による変敗防止効果との関連—. *日畜会報* 50 : 375-385.
- 36) 原 慎一郎, 伊藤 稔, 大山嘉信. 1979. サイレージの好気的変敗の際の品温, ガス代謝量および熱発生量と微生物相の相互関係. *日畜会報* 50 : 549-556.
- 37) 原 悟志, 江川勇雄, 伊東季春, 出岡謙太郎, 板東 健, 岡本全弘. 1986. 北海道産水稻の熟期別ホールクロップサイレージの飼料価値. *新得畜試研報* 15 : 19-27.
- 38) 林 秀幸, 吉田茂昭, 竹本紀行. 1992. アルファルファの栽培利用に関する研究. *福井畜試研報*

- 12 : 1-10.
- 39) 林 兼六, 伊沢 健, 太田 実. 1965. 草類嗜好性の測定方法に関する研究第1報 給与草の嗜好性に対する数種測定方法の比較. 日草誌 11 : 168-173.
- 40) 日野直子, 蔡 義民, 徐 春城, 澤村 篤, 住田憲俊, 喜田環樹, 松尾守展, 吉田宣夫, 小川増弘. 2005. 飼料イネの収穫, 調製法の違いがサイレージの発酵品質に及ぼす影響. 日草誌 51 (別) : 152-153.
- 41) 平久保友美, 川畑茂樹, 小田中温美, 増田隆晴, 砂子田 哲. 2005. 岩手県紫波町における飼料イネホールクroppサイレージの発酵品質とその改善対策. 東北農業研究 58 : 89-90.
- 42) 平久保友美, 越川志津, 山口はる美, 河本英憲. 2008. 細断型ロールベラで調製した自給飼料主体発酵TMRの貯蔵後の短期間の発酵品質, 生菌数の変化. 日草誌 54 (別) : 364-365.
- 43) 本田善文, 糸川信弘, 馬場武志. 1995. ラップサイロの気密性に関する研究 (第1報). 日草誌 41 (別) : 209-210.
- 44) 堀口健一, 高橋敏能, 萱場猛夫, 笹原健夫. 1992. V字葉型水稻と他の飼料作物のホールクroppサイレージにおける栄養価の比較. 日草誌 38 : 242-245.
- 45) 市戸万丈. 1995. ロールベールサイレージ解体機. 機械化農業10月号. p25-28.
- 46) 市戸万丈. 1999. サイロ施設の進歩. サイレージ科学の進歩. 内田仙二 編. デーリイ, ジャパン社. 東京. p250-272.
- 47) 糸川信弘, 本田善文, 加藤明治. 1992. ロールベールサイレージ体系の現状と課題. I. 収穫調製作業について. 畜産の研究 46 : 263-270.
- 48) 糸川信弘, 本田善文, 小林亮英. 1995. ラップフィルムの特性および調製貯蔵条件と発酵品質. 日草誌 40 : 478-487.
- 49) 糸川信弘, 池田哲也. 2001. フォレージマットメーカーで摩砕したアルファルファの圃場乾燥特性. 日草誌 47 : 415-417.
- 50) 自給飼料品質評価研究会. 2001. 改訂 粗飼料の品質評価ガイドブック. 日本草地畜産種子協会. 東京. 196p.
- 51) Jonsson, A.; Lindberg, H.; Sundas, S.; Lingvall, P.; Lindgren, S. 1990. Effect of additives on the quality of big-bale silage. Anim. Feed. Sci. Technol. 31 : 139-155.
- 52) 垣内秀志, 柿本 祐, 高島孝一, 吉田茂昭, 渡辺清武, 高野信雄. 1986. 肥育牛に対するオールインサイレージの調製と給与効果に関する研究. 福井畜試研報 10 : 1-10.
- 53) 金谷千津子, 高平寧子, 中島麻希子, 丸山富美子, 紺 博昭. 2008. 生稲わらロールベールサイレージの発酵品質と β -カロテンおよび α -トコフェロール含量. 日草誌 (別) 54 : 192-193.
- 54) 片山信也, 古橋 正, 池田博保. 1994. 未利用資源のサイレージ化技術 I. 高品質粕類サイレージ調製のための副資材の検討 a. TMRサイレージ調製用副資材の発酵適性. 静岡畜試研報 20 : 33-36.
- 55) 河本英憲, 佐竹康明, 張 建国, 青木康浩, 加茂幹男. 2003a. ロールベールサイレージの細断, 再貯蔵がその後の発酵品質に及ぼす影響. 畜草研研報 3 : 9-13.
- 56) 河本英憲, 張 建国, 青木康浩, 加茂幹男. 2003b. ロールベールサイレージの再貯蔵処理が発酵品質, 微生物相および好気的変敗に及ぼす影響. 畜草研研報 4 : 33-38.
- 57) 河本英憲, 大谷隆二, 押部明德, 出口 新, 田中治, 魚住 順. 2005. 細断型ロールベラによって調製された飼料イネサイレージの発酵品質. 日草誌 51 : 199-201.
- 58) Kawamoto, H.; Otani, R.; Oshibe, A.; Yamaguchi, H.; Deguchi, S.; Tanaka, O.; Uozumi, S.; Watanabe, H. 2007. Ensilage of wilted whole crop rice. *Oriza sativa* L. using a roll baler for chopped material: Silage quality in long-term storage. Grassl. Sci. 53 : 85-90.
- 59) 河本英憲, 木村勝一, 押部明德, 田中 治, 小松篤司, 大谷隆二, 矢治幸夫, 島田卓哉. 2007. 東北地域における稲発酵粗飼料の野そ被害の様相. 日草誌 53 (別) : 356-357.
- 60) 河本英憲, 山口弘道, 小松篤司, 田中 治, 押部明德. 2009. 飼料イネのサイレージ発酵に及ぼす細切, 高密度詰込みの影響. 日草誌 54 : 323-327.
- 61) Kawamoto, H.; Zhang, J.; Aoki, Y.; Kamo, M. 2009a. Preventing a decrease in the palatability of round-baled silage by preserving it as

- fermented total mixed ration. Grassl. Sci. 55 : 52-56.
- 62) Kawamoto, H.; Kimura, S.; Komatsu, T.; Oshibe, A.; Shimada, T. 2009b. Reduction of rat damage to forage paddy rice stored as round-baled silage by modifying the storage layout. Grassl. Sci. 55 : 110-112.
- 63) 川名正幸. 2002. 自給飼料高度活用型群飼養システムの経営事例. 1. 循環型酪農を目指して. 第5回資源循環を基本とした乳牛の群飼養に関する研究会資料. 畜産草地研究所平14-2資料. p49-53.
- 64) 川内 博, 遠藤秀紀. 2000. カラスとネズミ. 岩谷書店. 東京. p75-138.
- 65) 菊池 実. 2004. 飼料のマイコトキシン汚染～その予防と対策. 臨床獣医 22 : 18-20.
- 66) 古賀芳文, 馬場元司. 1990. 青刈大豆のサイレージ調製技術について. 九州農業研究 52 : 146.
- 67) 越川志津, 平久保友美, 茂呂勇悦, 加藤英悦. 2008. 細断型ロールベアラを利用して調製した粗飼料主体発酵TMRの泌乳牛への給与. 日草誌 54 (別) : 362-263.
- 68) 熊井清雄, 蔡 義民, 佐竹康明, 服部育男. 2000. 添加乳酸菌の種類がイタリアンライグラスロールベールサイレージの発酵品質ならびに嗜好性に及ぼす影響. 日草誌 46 (別) : 238-239.
- 69) Kung Jr, L.; Ranjit, N.K. 2001. The effect of *lactobacillus buchneri* and other additives on the fermentation and aerobic stability of barley silage. J. Dairy Sci. 84 : 1149-1155.
- 70) 萬田富治. 1994. ロールベールサイレージシステムの基本と実際. 酪農総合研究所. 札幌. p1-128.
- 71) Marsh, R. 1978. A review of the effects of mechanical treatment of foreges on fermentation in the silo and on the feeding vlue of the silages. NZ Journal of Experimental Agriculture 6 : 271-278.
- 72) Martens, D.R. 1987. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. J. Anim. Sci. 64 : 1548-1558.
- 73) 増子孝義, 内村 泰, 岡田早苗, 渋谷恭蔵. 1988. 乳酸菌製剤の添加がイタリアンライグラスサイレージの発酵品質および乳酸菌の分布に及ぼす影響. 日草誌 34 (別) : 163-164.
- 74) 増子孝義. 1999. サイレージの発酵. (内田仙二編. サイレージ科学の進歩). デーリィ・ジャパン社. 東京. p86-131.
- 75) Mason, J.R.; Bean, N.J.; Shah, P.S.; Clark, L. 1991. Taxonspecific differences in resposniveness to capsaicin and several analogues: Correlates between chemical structure and behavioral aversiveness. J. Chem. Ecol. 17 : 2539-2551.
- 76) 松尾守展, 喜田環樹, 重田一人, 村井 勝, 志藤博克, 山名伸樹. 2004. 細断型ロールベアラにより調製したスーダングラスや飼料イネサイレージの発酵品質. 日草誌 50 (別) : 164-165.
- 77) 松本博紀, 伊藤成宏, 唯野雅之, 中島 廣, 篠田満, 萬田富治. 1989. ロールベールラッパーによるサイレージ調製試験. 畜産の研究 43 : 605-610.
- 78) McDonald, P.; Henderson, A.R.; Heron, S.J.E. 1991. The Biochemistry of Silage. Second Edition. Chalcombe Publications. Marlow. 340p.
- 79) McNamara, K.; O'Kiely, P.; Whelan, J.; Forristal, P.D.; Fuller, H.; Lenehan, J.J. 2001. Vertebrate pest damage to wrapped, baled silage in Ireland. International Journal of Pest Management 47: 167-172.
- 80) McNamara, K.; O'Kiely, P.; Whelan, J.; Forristal, P.D.; Lenehan, J.J. 2002. Preventing bird damage to wrapped baled silage during short- and long-term storage. Wildlife Society Bulletin 30 : 809-815.
- 81) 目谷義大. 1970. サイレージ発酵に関する研究 I : 高水分サイレージ発酵における経時変化. 日草誌 16 : 275-278.
- 82) 宮城悦生, 川本康博, 古謝瑞幸, 増田泰久, 五斗一郎. 1993. ネピアグラスサイレージの発酵品質と嗜好性に及ぼす各種調製処理の影響. 日草誌 39 : 57-65.
- 83) 百瀬義男, 原 拓夫, 土屋 学, 中澤伸夫. 2005. 飼料イネサイレージの詰込み密度と発酵品質に及ぼす細切の影響. 日草誌 51 : 190-194.
- 84) 百瀬義男, 原 拓夫, 土屋 学, 袖山栄次, 渡辺晴彦. 2006. 飼料イネロールベールサイレージの発酵品質に及ぼす刈取り方法の影響. 日草誌 51 : 408-411.

- 85) Moseley, C.; Ramanathan, V. 1989. The effect of dry feed additives on the nutritive value of silage. *Grass and Forage Sci* 44 : 391-397.
- 86) Mowrey, C. 1998. You can move bagged silage to an upright silo. *Hoard's Dairyman* 143 : 784.
- 87) Muck, R.; O'kiely, P. 1992. Aerobic deterioration of lucerne (*Medicago sativa*) and Maize (*Zea mays*) silages -Effects of fermentation products. *J. Sci. Food. Agric.* 59 : 145-149.
- 88) 中田順子, 渡部千鶴, 高橋敏能, 萱場猛夫. 1997. めん羊における酪酸および乳酸を添加した飼料の嗜好性. *日緬研会誌* 34 : 20-24.
- 89) 中田圭亮, 佐々木 満, 松尾 巖. 2000. 施業, 環境因子による野ネズミ被害の数値予測. *北海道立林試報* 37 : 41-49.
- 90) 名久井 忠. 1996. ロールベールサイレージ調製と利用. 酪農ジャーナル特集別刷1996, 酪農学園大学エクステンションセンター. p29-35.
- 91) 名久井 忠, 柗木茂彦, 粟飯原友子, 箭原信男, 高井慎二. 1988. 稲ホールクロップサイレージの調製と飼料価値の評価. *東北農試研報* 78 : 161-174.
- 92) 名久井 忠, 岩崎 薫, 早川政市. 1981. ホールクロップサイレージ用トウモロコシの収穫適期の検討. *日草誌* 26 : 412-417.
- 93) 根本 博. 2004. 飼料イネの新品種と特徴. *畜産の研究* 58: 848-852.
- 94) Neumark, H.; Tadmor, A. 1968. The effect of histamine combined with formic or acetic acid on food intake and rumen motility, when infused into the omasum of a ram. *J. Agric. Sci. Camb.* 71 : 267-270.
- 95) Newman, J.A.; Caraco, T. 1987. Foraging, predation hazard and patch use in grey squirrels. *Anim. Behav.* 35 : 1804-1813.
- 96) 西川昭平, 谷津直子, 西城 健, 渡辺雅弘. 1989. 稲わらとソルガム混合サイレージの品質. *東北農業研究* 42 : 193-194.
- 97) Nishino, N.; Shinde, S. 2007. Etanol and 2, 3-butanediol production in whole-crop rice silage. *Grassl. Sci.* 53 : 196-198.
- 98) 西崎邦夫, 柴田洋一, 横地康宏. 1998. フォレージマットメーカーの開発. *農業機械学会誌* 60 : 129-131.
- 99) 丹羽美次, 中西五十, 森本 宏. 1985. 醤油粕の添加が高水分サイレージの品質に及ぼす影響. *日大農獣報* 42 : 145-150.
- 100) 野 英二, 安宅一夫. 1999. ロールベールサイレージ. (内田仙二 編. サイレージ化学の進歩). デーリィ・ジャパン社. 東京. p225-226.
- 101) 野中和久, 名久井 忠. 1995. ストレッチフィルムの色が低水分ロールベールサイレージの発酵品質, 結合蛋白質に及ぼす影響. *北草研報* 29 : 68-72.
- 102) 野中和久, 名久井 忠, 大下友子. 1999. フィルム被覆数および水分含量がチモシー低水分ラップサイレージの品質, 貯蔵性に及ぼす影響. *日草誌* 45 : 270-277.
- 103) 農林水産省. 1999. 食料, 農業, 農村基本法. 平成十一年七月十六日法律第百六号. , [http://www.maff.go.jp/soshiki/kambou/kikaku/NewBLaw/newkihon.html, 2008年7月18日参照]
- 104) 農林水産省. 2000. 食料, 農業, 農村基本計画. [http://www.maff.go.jp/keikaku/20050325/20050325honbun.pdf, 2008年7月18日参照]
- 105) 農林水産省. 2008. 野生鳥獣による農作物被害状況の推移. [http://www.maff.go.jp/soshiki/seisan/cyoju/h18higai/ref_data03.pdf 2008年7月22日参照]
- 106) 農林水産技術会議. 2003. 新鮮でおいしい「ブランド, ニッポン」農産物提供のための総合研究3系: 畜産. 平成15年度研究推進会議資料. p134-135.
- 107) 小川増弘, 早坂貴代史, 須藤純一, 千場信司, 杉若輝夫, 本松秀俊, 圓山 繁, 小川泰一. 1997. わが国の乳牛の群飼養管理と資源循環研究. 2. 畜産の研究 51 : 600-606.
- 108) 小川増弘. 2006. 飼料イネ-水稲の飼料利用(稲発酵粗飼料)に関する生産, 調製, 流通, 利用技術の研究レビューと今後の技術開発方向. 畜産草地研究所. p1-5.
- 109) 押部明德, 島田卓哉, 河本英憲, 小松篤司, 田中治, 大谷隆二, 矢治幸夫. 2005. 積雪地における稲発酵粗飼料貯蔵中の獣害の事例. *東北畜産学会報* 56 : 46.
- 110) 大桃定洋, 田中 治, 北本宏子. 1993. 高速液体クロマトグラフィーによるサイレージ中の有機酸の定量. *草地試研報* 48 : 51~56.

- 111) Ohmomo, S.; Tanaka, O.; Kitamoto, H.; Cai, Y. 2002. Silage and Microbial Performance, Old Story but New Problems. JARQ 36 : 59-71.
- 112) 大下友子, 名久井 忠, 柁木茂彦. 1992. 原料草の水分含量がアルファルファサイレージの発酵品質及び飼料価値に及ぼす影響. 東北農試研報 84 : 159-171.
- 113) Ohshima, M.; McDonald, P.; Acamovic, T. 1979. Changes during ensilage in the nitrogenous components of fresh and additive treated ryegrass and lucerne. J. Sci. Food. Agric. 30: 97-106.
- 114) 大山嘉信, 小川キミエ. 1966. イネ科草類の生育にともなう炭水化物組成の変化. 日畜会報 37 : 336-343.
- 115) 大山嘉信, 柁木茂彦. 1968. サイレージ発酵に影響する諸要因に関する研究. III. 材料の水分含量, 詰込み密度およびサイロ内の気体の置換の影響. 日畜会報 39 : 168-174.
- 116) 大山嘉信, 柁木茂彦. 1970. サイレージ発酵に影響する諸要因に関する研究. VI. 踏圧処理が発酵に及ぼす影響の解析. 日畜会報 41 : 557-562.
- 117) 大山嘉信, 柁木茂彦, 滝川明宏. 1970. サイレージ発酵に影響する諸要因に関する研究. VII. 詰込み後の空気導入がサイレージの品温に及ぼす影響. 日畜会報 41 : 620-624.
- 118) 大山嘉信. 1971. サイレージ発酵に関連する諸問題. 日畜会報 42 : 301-317.
- 119) 大山嘉信, 柁木茂彦. 1971. サイロ開封後のサイレージの変敗. 第1報 予乾サイレージにおける温度と有機酸組成の変化ならびに薬剤添加の影響. 日草誌 17 : 176-183.
- 120) 大山嘉信, 白田 尚. 1972. フリーク法によるサイレージの有機酸分析法の検討. 日草誌 18 : 260-266.
- 121) 大山嘉信. 1981. サイレージの好気的変敗とその防止対策 (I) . 畜産の研究 35 : 997-1002.
- 122) O'kiely, P.; Muck, R. 1992. Aerobic deterioration of lucerne (*Medicago sativa*) and Maize (*Zea mays*) silages -Effects of Yeasts. J. Sci. Food. Agric. 59 : 139-144.
- 123) 小野寺幸雄, 川村五郎, 苫米地勇作, 木下善之, 花坂昭吾, 月館鉄夫, 山内敏雄, 安部真三, 高井慎二. 1970. グラスサイレージの移動再貯蔵に関する研究 (第1報) . 東北農試研究速報 11 : 10-20.
- 124) 小野寺幸雄, 花坂昭吾, 木下善之, 川村五郎, 高井慎二, 苫米地勇作. 1971. グラスサイレージの移動再貯蔵 (第2報). 東北農業研究 12 : 214-216.
- 125) 小野寺幸男, 木下善之, 花坂昭吾. 1972. グラスサイレージの移動再貯蔵に関する研究. 東北農試研究速報 13 : 25-33.
- 126) 大谷隆二, 天羽弘一, 西脇健太郎, 河本英憲, 押部明德, 渡辺寛明, 荻原 均, 中山有二. 2004. 機械の汎用利用による稲発酵粗飼料の低コスト生産技術の開発. 農機学会東北支部報 51 : 15-18.
- 127) 大谷隆二. 2006. 自脱コンバインで飼料稲を収穫する. 機械化農業 1 : 11-15.
- 128) Oude Elferink, S.J.W.H.; Krooneman, J.; Gottschal, J.C.; Spoelstra, S.F.; Faber, F.; Driehuis, F. 2001. Anaerobic conversion of lactic acid to acetic acid and 1, 2-propanediol by *Lactobacillus buchneri*. Appl. Environ. Microbiol. 67 : 125-132.
- 129) 小山 弘, 知久幹夫, 大元良晃. 1982. みかん果皮のサイレージ化における水分調整用添加物が品質におよぼす効果. 静岡畜試研報 8 : 194-197.
- 130) Pahlow, G.; Zimmer, E. 1985. Lactobacillus Inoculant on Fermentation and Aerobic Stability of Grass Silage. Proc. 15th Int. Grass. Congr. p877-879.
- 131) Ranjit, N.K.; Kung Jr, L. 2000. The effect of *Lactobacillus buchneri*, *Lactobacillus plantarum*, or a chemical preservative on the fermentation and aerobic stability of corn silage. J. Dairy Sci. 83 : 526-535.
- 132) Ruxton, G.D.; Gibson, G.J. 1995. A mathematical model of the aerobic deterioration of big-bale silage and its implications for the growth of *Listeria monocytogenes*. Grass and Forage Science 50 : 331-344.
- 133) 斎藤健一, 米本貞夫. 2004. ラップフィルムの巻き数が飼料イネサイレージの長期貯蔵性に及ぼす影響. 千葉畜セ研報 6 : 63-64.
- 134) 酒出淳一, 千田惣浩, 加納睦雄, 伊藤盛徳, 倉知武志. 1989a. 肉牛肥育におけるオールインサイレージの飼養効果試験. 秋田畜試研報 3 : 41-45.
- 135) 酒出淳一, 加納睦雄, 倉知武志. 1989b. 肉牛肥育

- におけるオールインサイレージの飼養効果試験. 第2報. 秋田畜試研報 4 : 25-28.
- 136) 佐々木泰弘, 加藤明治. 1992. ロールペールサイレージ体系の現状と課題. 2. 畜産の研究 46 : 375-382.
- 137) 澤村 篤. 2004. 飼料イネの収穫作業技術. 機械化農業 8: 8-12.
- 138) 千田雅之, 鈴木一好. 2005. 食用米高収益地帯における飼料イネ広域流通システム存続の課題と対応. 中央農研経営研究 56: 31-34.
- 139) Senel, S.H.; Owen, F.G. 1966. Relation of dietary acetate and lactates to dry matter intake and volatile fatty acid metabolism. J. Dairy Sci. 49: 1075.
- 140) 柴田章夫. 1987. 混合給与と分離給与. (津田恒之, 柴田章夫編. 新乳牛の科学). 農文協. 東京. p284.
- 141) 新城明久. 1996. 新版 生物統計学入門. 朝倉書店. 東京. p46-55.
- 142) 志藤博克, 山名伸樹. 2002. 試作細断型ロールペーラを基軸とした長大型作物収穫調製技術の開発. 日草誌 47 : 610-614.
- 143) 志藤博克. 2003. 細断型ロールペーラを基軸とした新しい収穫調製技術. 畜産の研究 57 : 245-250.
- 144) 志藤博克, 山名伸樹. 2003. 試作細断型ロールペーラの牧草収穫調製への試用. 日草誌 49 : 514-515.
- 145) 志藤博克, 高橋仁康, 澁谷幸憲, 山名伸樹. 2005. 細断型ロールペーラで調製したサイレージの発酵品質. 日草誌 51 : 87-92.
- 146) Shumake, S.A.; Sterner, R.T.; Gaddis, S.E. 2000. Repellents to reduce cable gnawing by wild Norway rats. Journal of Wildlife Management 64 : 1009-1013.
- 147) 篠田 満, 萬田富治. 1990a. サイレージの発酵品質および多湿乾草のアンモニア処理が子めん羊の成長および消化生理に及ぼす影響. 日草誌 35 : 309-317.
- 148) 篠田 満, 萬田富治. 1990b. 不良発酵サイレージの給与が泌乳牛の第一胃液性状, 血液代謝像および肝機能に及ぼす影響. 北農試研報 153 : 41-51.
- 149) Sone, K. 2002. Changes in foraging behavior of two species of field mice, *Apodemus speciosus* Temminck and *A. argenteus* Temminck (Rodentia: Muridae), in the response to artificial illumination. J. For. Res. 7 : 17-21.
- 150) Steen, R.W.J.; Gordon, F.J.; Dawson, L.E.R.; Park, R.S.; Mayne, C.S.; Agnew, R.E.; Kilpatrick, D.J.; Porter, M.G. 1998. Factors affecting the intake of grass silage by cattle and prediction of silage intake. Animal Science 66 : 115-127.
- 151) 杉本亘之, 峰崎康裕, 高橋圭二, 坂本洋一. 1990a. ロールペールサイレージの調製とその利用法. 畜産の研究 44 : 823-827.
- 152) 杉本亘之, 峰崎康裕, 高橋圭二, 坂本洋一. 1990b. ロールペールサイレージの調製とその利用法(2). 畜産の研究 44 : 947-953.
- 153) 須藤 浩. 1967. サイレージに関する最近の研究. 日畜会報 38 : 233-244.
- 154) 須藤 浩. 1971. サイレージと乾草. 養賢堂, 東京, p8-72.
- 155) 須藤正次, 大竹浩二. 1993. ロールペール体系による効率的な粗飼料調製技術. 第1報 貯蔵方法の違いがロールペールサイレージの品質に及ぼす影響. 東北農業研究 46 : 167-168.
- 156) 高橋正行. 1968a. サイレージの品質に及ぼす埋蔵時の空気混入率の影響. I 高水分サイレージについて. 日草誌 14 : 32-37.
- 157) 高橋正行. 1968b. サイレージの品質に及ぼす埋蔵時の空気混入率の影響. II 水分含量および埋蔵方式が異なる場合の影響. 日草誌 14 : 38-43.
- 158) 高井尚治, 向島幸司, 和田研一, 服部浩三, 赤尾長昌, 生田徳男. 1993. コンプリートフィード給与技術の確立. 第2報. -オールインサイレージ給与試験-. 岐阜畜試研報 19 : 15-21.
- 159) 高野信雄, 三股正年, 渡会 弘, 厚海忠夫, 宮下昭光, 山下良弘, 河野敬三郎. 1964. ビニール水蓋によるサイロの密封加圧の方法と効果. 畜産の研究 18 : 1169-1172.
- 160) 高野信雄, 正岡淑邦, 萬田富治. 1975. 低質粗飼料の調製利用技術開発に関する研究 I. オールインワンサイレージ. 草地試研報 7 : 64-70.
- 161) 高野信雄. 1984. 新しいサイレージ領域の開発. 自給飼料 1 : 20-22.
- 162) 高野信雄, 山下良弘. 1990. 和牛経営の技術革新とサイレージ戦略. 築地書館, 東京, p1-263.

- 163) 高野信雄, 大桃定洋, 瀬川 敬, 土屋忠雄, 荒 智. 1993. サイレージ用ドラム缶サイロの活用と効果. 3. 畜産の研究 47 : 52-56.
- 164) Taylor, C.C.; Ranjit, N.J.; Mills, J.A.; Neylon, J. M.; Kung Jr, L. 2002. The effect of treating whole-plant barley with *lactobacillus buchneri* 40788 on silage fermentation, aerobic stability, and nutritive value for dairy cows. J. Dairy Sci. 85 : 1793-1800.
- 165) 畜産草地研究所. 2001. 飼料イネの評価法および最近の飼料評価法関係の研究トピックス. 畜産草地研究所平13-3資料. p1-6.
- 166) 樋渡 隆, 恒吉利彦, 原田満弘, 黒江秀雄, 西 俊彦. 1988. 暖地におけるイネ科牧草の良質サイレージ調製利用技術. 鹿児島畜試研報 20 : 38-48.
- 167) 内田仙二. 1999. 1. サイレージ研究の進展と課題. サイレージ科学の進歩. 内田仙二編. . テーリイ, ジャパン社, 東京, p16-32.
- 168) 浦川修司, 吉村雄志. 2003a. 飼料イネ用カッティングロールベアラの開発. 日草誌 49 : 43-48.
- 169) 浦川修司, 吉村雄志. 2003b. 飼料イネ用自走式ベールラップの開発. 日草誌 49 : 248-253.
- 170) 浦川修司, 吉村雄志, 平岡啓司, 奥村政信. 2004a. 自走式ベールラップに装着するラップサイロの縦置き荷降ろし装置の開発. 日草誌 50 : 211-213.
- 171) 浦川修司, 吉村雄志, 平岡啓司, 奥村政信. 2004b. 高能率作業を目的とした飼料イネ用自走式ベールラップの改良. 日草誌 50 : 304-309.
- 172) Wager-page, S.A.; Epple, G.; Mason, J.R. 1997. Variation in Avoidance of siberian pine needle oil by rodent and avian species. J. Wildl. Manage. 61 : 235-241.
- 173) Wieringa, G.W. 1958. The effect of wilting on butyric acid fermentation in silage. Neth J. Agric. Sci. 6 : 204-210.
- 174) Wilkins, R.; Hutchinson, K.J.; Wilson, R.F.; Harris, C.E. 1971. The voluntary intake of silage composition and intake. J. Agric. Sci. Camb 77 : 531-537.
- 175) Woolford, M.K. 1984. The silage fermentation, Marcel Dekker. New York. p213-298.
- 176) Yabe, T.; Boonsong, P.; Hongnark, S. 1998. The structure of the pawpad lamellae of four Rattus species. Mammal Study 23 : 129-132.
- 177) 箭原信男, 高井慎二, 沼川武雄. 1981. 水稲ホールクroppサイレージの調製利用に関する研究. 東北農試研報 63 : 151-159.
- 178) 山田盛生. 井上真一. 桑原政司. 1986. 転換畑における高栄養飼料作物の多収生産と調製技術(第1報). 2. 中小規模サイロ利用によるサイレージ調製技術. 添加物利用によるサイレージ調製技術. 徳島畜試研報 27 : 41-43.
- 179) 山下良弘, 山崎昭夫. 1975. 予乾サイレージにおける2次発酵誘発の条件について. 北農試研報 110: 81-95.
- 180) 山本泰也, 出口祐二, 水谷将也, 浦川修司, 山田陽稔, 平岡啓司, 乾 清人, 河野省一, 後藤正和. 2004. 付着乳酸菌発酵液およびエクストルーダ処理による飼料イネサイレージの発酵品質と消化性の改善効果. 日草誌 49 : 665-668.
- 181) Yokota, H.; Okajima, T.; Ohshima, M. 1995. The effect of wheat-mill-run addition to napier grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) at ensiling on its nutritive value for goats. J. Jpn. Grassl. Sci. 40 : 420-428.
- 182) Yokota, H.; Kim, J.H.; Kita, K. 2001. Aerobic deterioration of Napiergrass (*Pennisetum purpureum* Schum.) ensiled with molasses after opening the silo. Anim. Sci. J. 72 : 416-420.
- 183) 吉田宣夫. 2004. 「稲発酵粗飼料生産技術に求められる新技術」の連載にあたって. 畜産の研究 58 : 845-847.
- 184) 吉田 実. 1992. 畜産を中心とする実験計画法. 養賢堂, 東京, p46-67.
- 185) 由井正敏, 阿部 禎. 1983. 鳥獣害の防ぎ方. 農山漁村文化協会, 東京, p216-246.
- 186) 全国飼料増産行動会議, 日本草地畜産種子協会. 2006. 稲発酵粗飼料生産, 給与技術マニュアル. 日本草地畜産種子協会. 東京. P28.
- 187) Zhang, J.; Kumai, S. 2000. Effluent and aerobic stability of cellulase and LAB-treated silage of Napier grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) Asian-Aus. J. Anim. Sci. 13 : 1063-1067.
- 188) Zimmer, E.; Gordon, C.H. 1964. Effects of wilting, grinding, and aerating on losses and quality in alfalfa silage. J. Dairy Sci. 47 : 652-653.

Studies on Improvement of Fermentation and Stable Storage Method in Round-Baled Silage.

Hidenori KAWAMOTO

Summary

The production of round-baled silage (RBS) is a technology that involves packing the forage without fine chopping and keeping the airtight condition by enclosing it with a thin wrapping film. Since the RBS system can achieve labor saving in harvesting of roughage, it is indispensable for a domestic livestock industry. On the other hand, the necessity of producing finely chopped silage of a steady quality has risen as the total mixed ration (TMR) feeding method spreads. It is expected that positive utilization of RBS as a roughage source for TMR will contribute to an increase in feed self-sufficiency in Japan. However, in addition to the lack of fine chopping in the RBS process, because the silage quality is unstable as a result of its low density and because the wrapping films are easily broken, RBS is not suitable as TMR material in comparison with the fine-chopped silage made and stored in airtight silos.

In recent years, a fine-chopping treatment has been introduced to the RBS system by the development of the RBS shredder and the round baler for chopped material. Therefore, to improve the availability, fermentative quality and stable storage of RBS, the following studies were conducted: (1) Examination of the effects of chopping and high-density treatment on the conventional RBS system by re-ensiling; (2) Evaluation of silage quality of the chopped RBS ensiled by the round baler for chopped material; (3) Exploration of preventive measures to lessen rat damage to wrapping film during storage of RBS.

1. Improvement of silage quality of the conventional RBS system by chopping and high-density treatment introduced by re-ensiling.

(1) Effect of chopping and re-ensiling of RBS on the subsequent silage fermentation.

The RBS was chopped and stored in highly airtight silos to improve its availability and fermentative quality. The RBS made from 2nd cut Italian ryegrass with an average dry matter content of 38% (Mild wilting) and 51% (Heavy wilting) was chopped to a length of about 10 cm and stored in drum silos. The results were as follows: the concentrations of lactic acid (% dry matter) were increased by re-ensiling from 1.6% to 4.6% (Mild wilting) and from 0.4% to 2.9% (Heavy wilting). With the increase in lactic acid content, the silage pH value declined from 5.3 to 4.2 (Mild wilting) and from 5.7 to 4.5 (Heavy wilting). The stimulation of lactic acid fermentation by re-ensiling was observed in the RBS at not only 14 days after harvest but also at 90 days after harvest. These results indicate that lactic acid fermentation is suppressed under the unstable fermentation conditions of conventional RBS, such as the lack of fine chopping, low-density storage and low levels of airtightness in some cases. We found that storing the chopped silage from a round bale in a highly airtight silo improved the fermentation condition and accelerated lactic acid fermentation, accompanied by a decline in the pH value. Re-ensiling can help prevent deterioration of RBS that must be preserved over a long period.

(2) Effects of re-ensiling of RBS on fermentative quality, microflora and aerobic deterioration.

Well-preserved RBS was made from first-cut Italian ryegrass with a moisture content of 53-60%. The RBS was stored in drum silos after chopping on day 30 of fermentation. The drum silos were opened and fermentative quality, microflora and aerobic deterioration of the silage were examined on days 0, 1, 3, 5, 7, 10, 30, 60 and 90 of fermentation. The results were as follows: the acetic acid content in the silage increased after re-ensiling, whereas the lactic acid content decreased slightly. However, degradation of fermentative quality such as rise of pH value and production of butyric acid was not observed. The number of yeasts in silage decreased gradually after re-storage, and increased silage temperature after opening of the silos was prevented. In well-preserved RBS, chopping and re-ensiling can maintain the fermentative quality and prevent aerobic deterioration after silos are opened.

(3) Preventing a decrease in the palatability of RBS by preserving it as fermented TMR.

Two kinds of RBS prepared from direct-cut Orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.) were chopped and mixed with concentrate and preserved in 200-L drum silos as fermented TMR on day 40 after the harvest. The palatability of the fermented TMR was compared with that of fresh TMR, which was prepared from the same lot of RBS a day before the palatability test was conducted for 6 Holstein dry cows (80 d or 132 d after the harvest). The results were as follows: although both kinds of RBS had excellent fermentative qualities when used for the fermented TMR preparation, the butyric acid and volatile basic nitrogen contents of the RBS in experiment 1 increased while it was stored for fresh TMR preparation. The lactic acid contents of both kinds of fermented TMR were twice as great as those of fresh TMR, and the pH was decreased from approximately 5 in fresh TMR to approximately 4 in fermented TMR. A difference in palatability was not detected between the fermented TMR and fresh TMR prepared from RBS that was preserved with an excellent fermentative quality (experiment 2). In contrast, the palatability of fermented TMR was superior to that of the fresh TMR prepared from RBS whose fermentative quality was deteriorated during storage (experiment 1). Therefore, the palatability of fermented TMR was more than equal to that of fresh TMR and, when the base RBS for TMR had a drawback with regard to the fermentative quality, the decrease in palatability could be suppressed by immediately preserving it as fermented TMR.

2. Improvement of silage quality of RBS by fine chopping and a high-density treatment introduced by the round baler for chopped material.

(1) Fermentation quality and dry-matter intake of forage paddy rice stored as RBS ensiled by a round baler for chopped material.

We compared the fermentative quality and voluntary dry-matter intake of forage paddy rice RBS ensiled by a roll baler for chopped material and the conventional roll baler. The dry-matter density of the ensiled RBS composed of chopped RBS and non-chopped RBS (conventional RBS) was 157 kg/m³ and 193 kg/m³, respectively. The lactic acid production in the conventional RBS was low (0.41% fresh matter), whereas that in the chopped RBS was high (2.05% fresh matter). The formation of butyric acid was observed only in the conventional RBS. There were no significant differences in the dry-matter intake of the two types of RBS by beef cattle. Therefore, fine chopping and high-density ensiling performed by a round baler for chopped material is effective in promoting lactic acid fermentation of forage paddy rice stored as RBS. Additionally, the harvesting loss of nutrients, such as grains, that influence the voluntary dry-matter intake at the harvesting of chopped RBS was not observed.

(2) Ensilage of wilted forage paddy rice using a round baler for chopped material: silage quality after long-term storage.

We examined the effects of long-term storage on the fermentation quality, chemical composition and digestibility of wilted forage paddy rice RBS prepared using a round baler for chopped material (set chop length, 13 mm) and compared the results with those obtained by using a conventional round baler. The round balers were used for ensiling forage paddy rice of three types: (i) dough-ripe stage with light wilting (45% dry matter), (ii) dough-ripe stage with heavy wilting (65% dry matter) and (iii) yellow-ripe stage with light wilting (45% dry matter). The apparent dry-matter density was higher in the ensiled round bales composed of chopped forage paddy rice (chopped RBS) than in those composed of non-chopped forage paddy rice (conventional RBS) (195–250 kg/m³ versus 156–218 kg/m³, respectively). The formation of volatile fatty acids and ammonia-nitrogen was low in all types of silage. Further, no marked differences in the chemical composition or apparent dry-matter digestibility were observed between RBS from the two types of baler. However, there were significant differences in their lactic acid and ethanol contents. The lactic acid production in the conventional RBS was low (0.08%–0.14% fresh matter), whereas that in the chopped RBS was high (0.71%–0.97% fresh matter). A lower pH value (pH 4.0–4.3) was retained in the chopped RBS after 10 months of storage. High ethanol production (1.1%–2.5% fresh matter) was observed in the conventional RBS, whereas ethanol production decreased to less than 1% in the chopped RBS. These results indicate that although the ethanol fermentation is readily enhanced in the ensilage of wilted forage paddy rice performed by a conventional baler, the ensilage performed by a baler for chopped material encourages lactic acid fermentation and suppresses ethanol production over a wide moisture range throughout the long-term storage.

(3) Effect of chopping and high-density ensiling on the silage fermentation of forage paddy rice in the high-moisture range.

The forage paddy rice of 4 cultivars was mowed approximately 15 days and 28 days after heading. The dry matter (DM) content of the forage paddy rice was within the range of 24–39%, and its water-soluble carbohydrate content was within the range of 1.5–5%. The rice plants were packed into polyethylene/nylon bags (270 mm × 400 mm) without chopping (control silage) or into bottle silos (capacity, 300 ml) with high DM density (194–283 kg/m³) after chopping into lengths of approximately 13 mm (chopped silage). The fermentative quality of the whole-crop rice silage was evaluated after 50 days of storage. In the control silage, lactic acid production was always low, while the butyric acid and volatile basic nitrogen (VBN) productions were low when the DM content was 30% or higher. Ethanol production by the chopped silage tended to be lower than that by the control silage. However, butyric acid and VBN productions by the chopped silage were high even when the DM content was 30% or higher. Thus, the results show that fine chopping and high-density ensiling are not effective in improving the fermentative quality of ensiled forage paddy rice with a DM content of less than 40%.

3. Prevention of rat damage to wrapping film during storage of RBS.

The storage of forage paddy rice as RBS in fields is attractive food for rats. RBS must be discarded because of aerobic deterioration if the wrapping film is damaged by rats, so a method for protecting forage paddy rice RBS from feeding damage caused by rats is needed.

(1) Investigation of rat species that appear in storage places of forage paddy rice RBS.

Large Japanese field mice (*A. speciosus*), Japanese grass voles (*M. montebelli*), brown rat (*R.*

norvegicus) and roof rats (*R. rattus*) were captured by using live traps at the five RBS storage places of Iwate Pref. Large Japanese field mice, Japanese grass voles and brown rats dig tunnels in the ground, and they damaged mainly the bottom of the wrapping film around RBS. On the other hand, the roof rats damaged the upper portion of the wrapping film around RBS in stacked bales. Based on our observation of rat behavior, we believe the usual stacking storage pattern of RBS provides rats with hiding spaces from predators, and thus this type of layout promotes damage by rats.

(2) Reduction of rat damage to forage paddy rice RBS by modifying the storage layout.

RBS bales are usually stacked in close proximity to each other when many bales are stored together. This type of storage layout is thought to produce a masking situation that affords many hiding places for rats, thereby protecting them from predators. Therefore, we hypothesized that if the storage layout could be modified so that open spaces would be produced between the bales, fewer hiding places would be available for rats, and the damage caused by rats to these bales would be prevented or decreased. To test the hypothesis, we divided 23 RBS bales (diameter of each bale, 50 cm) into 2 groups. In the control layout group, the bales were placed in close proximity to each other and the top part was covered by a blue plastic sheet in order to produce a masking effect of vertically stacked RBS. In the spacious layout group, the RBS bales were placed 20–30 cm apart from each other. The percentage of damaged RBS by rat feeding in the control layout was 80%, while that of damaged RBS in the spacious layout was only 7%. Therefore, creating open spaces between the stored RBS bales (spacious layout) would increase the predation hazard of rats and reduce the damage caused to the RBS.

(3) Reduction of rat damage to RBS by modifying the storage layout: effects of long-term storage.

Four hundred small RBS bales (diameter of each bale, 50 cm) were stored from September to April using the spacious layout in two places, an area where roof rats had previously caused damage and an area where field mice had previously caused damage, in Iwate Prefecture. In the roof rat damage area, RBS damage was prevented during the non-snow period. However, RBS damage was observed when the snowfall provided masking from December to January. In the field mouse damage area, though damage occurred as the snowfall increased, it was then prevented by paving the bottoms of bales with wire net. The results confirmed that rat damage can be decreased by the spacious layout of bales while noting the snowfall and by paving bales with wire net.

4. Conclusion

The chopping and high-density condition introduced by the re-ensiling treatment was effective for improving silage fermentation quality and stability of grass RBS. Studies indicated that the re-ensiling treatment complemented the defects of the conventional RBS system. The effectiveness of chopping and high-density treatment in improving the quality of forage paddy rice RBS was dependent on the silage dry-matter content, and our studies revealed the optimum conditions for forage paddy rice ensiling by the round baler for chopped material. Moreover, we proposed an effective method against the rat feeding damage to RBS that requires neither chemicals nor special machines or facilities by taking advantage of the habits of rats.