

## 付着水のあるイネへの添加剤の使用がホールクロップサイレージの 発酵品質に及ぼす影響

齊藤健一・米本貞夫

Influence of Fermentation Quality on Whole Crop Silage by Use of Additive to Rice which Added Water.

Ken-ichi SAITOH and Sadao YONEMOTO

### 要 約

降雨直後の付着水のあるイネを想定し、蒸留水添加により水分含量を51.1%から59.4%に高めた材料に、各種乳酸発酵促進剤を添加し発酵品質に及ぼす影響を簡易サイロを用いて検討した。試験区分は添加剤無添加の無添加区、7%グルコース液を添加する7%グルコース液区、市販の飼料イネ専用乳酸菌添加剤「畜草1号」を蒸留水に溶解し0.05%濃度とした溶液を添加する0.05%畜草1号区、イネをジューサーミキサーで磨砕後ろ過した緑汁液にグルコース、砂糖および糖蜜をそれぞれ別々に添加し30℃2日間培養し得られた付着乳酸事前発酵液（以下FJLB）を添加するFJLB+グルコース区、FJLB+砂糖区、FJLB+糖蜜区を設置した。添加剤の添加量は、詰込み材料草の1%量とし、室温下で97日間貯蔵後、発酵品質について調査を行い、以下の結果を得た。

1. 無添加区のpHは4.41と高く、Vスコアは53点であった。それに対して、FJLB+糖蜜区のpHは4.0と無添加区に比べ有意（ $P<0.05$ ）に低下し、Vスコアでは81点と高得点を示し、発酵品質が改善された。
2. 7%グルコース液区、0.05%畜草1号区、FJLB+グルコース区およびFJLB+砂糖区のpHは4.3から4.5程度と高く、Vスコアでは64点以下となり無添加区との間に有意差は認められず、発酵品質の改善は認められなかった。

### 結 言

千葉県内の水田はその大部分が湿田であり<sup>1,2)</sup>、特に9月中旬以降、秋雨前線や台風の影響により降水確率が高くなり、圃場硬度を確保することが難しい状況にある。そのため県内では、トラクタ等の大型機械による、いわゆる予乾体系での収穫作業が組み難い土壌条件となっている。

この問題に対応するため、近年クローラタイプで、立毛状態のイネを直接刈取り、さらに梱包までを同時に行う、専用収穫機が開発され<sup>3,4)</sup>、県内でもその導入が始まってきた。

しかし飼料イネの栽培面積の拡大に伴い収穫作業の長期化が進み、そのため台風等によるイネの倒伏を回避するため、作業の都合上、降雨直後の付着水のある高水分のイネ

であっても、専用収穫機を用いてサイレージ調製を行ってしまう場面が多く見られるようになってきた。

通常イネの水分含量が65%以上の場合、サイレージの発酵品質が低下する<sup>5)</sup>。これは、イネに含まれる糖含量がトウモロコシ等の飼料作物と比べ少なく<sup>6)</sup>、さらにイネに付着している乳酸菌数も少ないことから<sup>7)</sup>、サイレージ化した場合、乳酸発酵が進みにくくpHが低下しないため、酪酸発酵を招くことによるものと考えられる。

一方、これらの状況に対応するため、飼料イネ専用の乳酸菌製剤が開発され<sup>8)</sup>販売<sup>9)</sup>が行われている。また、牧草用の添加剤として考案され、自家調製可能な付着乳酸菌事前発酵液（以下FJLB）の飼料イネへの応用も試みられている<sup>10)</sup>。そこで今回、これら乳酸発酵促進剤の利用が、付着水のある高水分のイネをサイレージ化した場合の発酵品質に及ぼす影響について、簡易サイロを用いて検討をおこなったので報告する。

平成16年8月31日受付

## 材料および方法

### 1. 供試材料

試験に用いたイネは、平成15年5月3日に千葉県長生市内の現地圃場において移植栽培を行った、ふさおとめ(県奨励食用品種:早生系)を用いた。

サイレージ調製には、平成15年8月28日採取の完熟期のイネを用い、実際の生産現場で行なわれている地上10cm以上での高刈りと同条件にするため、地上10cm以上部を、農用細断機(スター農機社製FC13B)により長さ2.6cm(理論値)に細断した材料草(水分51.1%)を用いた。

また降雨直後の刈取り条件を想定し、イネ原物重量に対して20%相当の蒸留水を添加した。蒸留水の添加方法は、長さ2.6cmに細断したイネをポリエチレン製の袋(0.07mm×700mm×200m)に入れ、攪拌しながら噴霧器により添加し、約1時間放置したものをサイロに詰込んだ。この場合のイネ材料草の水分含量は59.4%であった。

### 2. 試験区分および添加剤の調製

試験区分および試験に用いた添加剤の調製方法を表1に示した。

添加剤無添加で調製を行った区分を無添加区。蒸留水に対して7%相当の飼料添加用グルコース(以下グルコース)を溶解し添加する7%グルコース液区。市販で飼料イネ専用の乳酸菌添加剤「畜草1号」を蒸留水に対して0.05%相当溶解し添加する0.05%畜草1号液区。グルコースを原料に調製したFJLBを添加するFJLB+グルコース区。調理用白糖(以下砂糖)を原料に調製したFJLBを添加するFJLB+砂糖区。飼料添加用糖蜜(以下糖蜜)を原料に調製したFJLBを添加するFJLB+糖蜜区。また、蒸留水無添加で水分含量51.1%の無処理のイネを、そのままサイレージに調製した無処理区の合計7区分を設置した。

FJLBの調製方法については、大島らの方法<sup>11)</sup>に準じておこなった。すなわち平成15年8月26日採取のイネ(完熟期:水分55.0%)の地上20cm以上部を、蒸留水5に対して1の重量割合で混合し、ミキサー磨砕し得られた緑汁液を二重ガーゼでろ過後、そのろ液に対してグルコース、砂糖、糖蜜の3種類の糖原料を液量に対して2%づつ、それぞれ別々に添加して、糖原料が異なる3種類の混合液を作成した。その後これら混合液を30℃の恒温培養器

で2日間嫌気培養し、さらにイネ添加直前に液量当たり5%相当の糖原料をそれぞれ加えて3種類のFJLBとした。

サイロには1リットル容量の簡易サイロを用い、材料草詰込量は500gとし、無処理区については420gを詰め込んだ。

添加剤の添加量は、詰込み材料草の1%量とし、各区分とも3反復づつ作成し、室温下で97日間貯蔵した。

### 3. 調査項目と分析方法

サイレージの発酵品質は、品質評価ガイドブック<sup>12)</sup>に基づき、原物サンプル70gに蒸留水300mlを加え、保冷庫(4℃)で24時間浸漬して調製した抽出液を用いた。pH値はガラス電極pHメータ(東亜電波工業社製IF-20E)により測定した。乳酸および揮発性脂肪酸(酢酸、プロピオン酸、酪酸)については渡辺ら<sup>13)</sup>の方法に準じて、高速液体クロマトグラフ(カラム:島津SCR102-H、7mm×25mm)による、揮発性脂肪酸(以下VFA)と乳酸の同時定量法で行った。揮発性塩基態窒素(VBN)は水蒸気蒸留法、全窒素量(TN)はケルダール法でそれぞれ定量し、発酵品質の評価は、VBN/TNとVFA含有量から求めるVスコアにより判定した。

またFJLBの発酵品質は、培養液そのものを供試して分析した。

試験に用いたイネ材料草と、サイレージ中の水分含量は、70℃・72hrの熱風乾燥法により測定をおこなった。

統計処理は一元配置の分散分析により各処理間の有意性を検討した。

## 結 果

試験に用いたFJLBのpH及び有機酸組成を表2に示した。糖原料を変えて調製をおこなったFJLBのpHは3種類とも3.6以下まで低下し、特にグルコースを用いて調製をおこなったFJLBが3.18と最もpHが低下した。

FJLB中の乳酸含量は3種類の中では糖蜜を原料に作成したFJLBが最も多く、他の2種類のFJLB区と比べて2倍以上の乳酸生成量であった。総酸に対する乳酸割合はグルコース及び糖蜜を用いて調製をおこなったものが約94%と高く、また酢酸・プロピオン酸および酪酸については、わずかないしは無検出で、総酸中の大部分を乳酸が占めていた。

一方、砂糖を用いて調製を行ったFJLBの総酸中に対する

表1 試験区分および添加剤の調製方法

試験区分	イネ材料草の処理	添加剤の調製方法	
無添加区(対照区)	イネ原物重量 当り20%相当の 蒸留水を添加	-	
7%グルコース液区		蒸留水に対しグルコース7%相当を溶かした液	
FJLB+グルコース区		蒸留水とイネを原物重量 当たり5:1の割合で 混合しミキサー磨砕 ↓ ガーゼでろ過しろ液を 採取	ろ液に対しグルコース2%相当を添加 →30℃で2日間培養 → 培養液に対しグルコース5%相当を添加
FJLB+砂糖区			ろ液に対し砂糖2%相当を添加 →30℃で2日間培養 → 培養液に対し砂糖5%相当を添加
FJLB+糖蜜区			ろ液に対し糖蜜2%相当を添加 →30℃で2日間培養 → 培養液に対し糖蜜5%相当を添加
0.05%畜草1号液区			蒸留水に対し畜草1号0.05%相当を溶かした液
無処理区	無処理	-	

\* FJLBの調製に用いたイネは、地上20cm以上部を用いた。

表2 糖原料を変えて調製した付着乳酸事前発酵液のpHおよび有機酸組成

種類	pH	有機酸組成				
		総酸	乳酸	酢酸 (mg/ml)	プロピオン酸	酪酸
FJLB+グルコース区	3.18	1.01	0.95 (94.0)	0.06 (6.0)	0.00 (0.0)	0.00 (0.0)
FJLB+砂糖区	3.34	0.87	0.60 (69.1)	0.13 (14.9)	0.00 (0.0)	0.14 (16.0)
FJLB+糖蜜区	3.55	2.09	1.96 (93.8)	0.12 (5.9)	0.01 (0.4)	0.00 (0.0)

\* ( ) 内は、総酸に対する各酸の割合を示す

表3 乳酸発酵促進剤の添加がイネホールクroppサイレージの発酵品質に及ぼす影響

処理区分	水分(%)	pH	VBN/T-N (%)	有機酸含量(新鮮物中%)				Vスコア(点)
				乳酸	酢酸	プロピオン酸	酪酸	
無添加区(対照区)	64.2 ab	4.41 b	7.9 ac	0.30 b	0.66 a	0.01	0.47 ab	53 b
7%グルコース液区	64.6 a	4.42 b	8.5 a	0.23 b	0.72 a	0.01	0.46 ab	53 b
FJLB+グルコース区	64.6 a	4.34 b	5.7 de	0.36 b	0.50 a	0.00	0.49 ab	59 b
FJLB+砂糖区	64.6 a	4.46 b	6.2 be	0.21 b	0.52 a	0.01	0.55 a	55 b
FJLB+糖蜜区	62.4 b	4.00 c	4.8 f	0.95 a	0.19 b	0.01	0.23 d	81 a
0.05%畜草1号液区	63.7 ab	4.32 b	7.2 bc	0.42 b	0.62 a	0.01	0.36 bc	64 b
無処理区	56.6 c	5.15 a	3.8 f	0.26 b	0.10 b	0.05	0.13 d	89 a

\* 縦列異符号間に5%水準で有意差あり

乳酸の割合は69%と、他のFJLBに比べてその生成割合が低く、酢酸および酪酸については、14.9%および16.0%と高くなっていた。

サイレージの発酵品質を表3に示した。サイレージの水分含量は無処理区が56.6%で、他の区と比べて有意(P<0.05)に低くなった。これに対し、蒸留水添加処理をおこなった無添加区および各種添加剤添加区で62~65%と水分含量が高くなっていた。

pH値は無処理区に比べ他の区が有意(P<0.05)に低くなり、特にFJLB+糖蜜区のpHは4.0と区間中最も低い値を示し、他の区に比べ有意(P<0.05)に低くなった。

VBN/TNは全ての区で10%以下に低下していたが、7%グルコース液区が8.5と他の区に比べ有意(P<0.05)に高かった。逆に無処理区及びFJLB+糖蜜区では3.8および4.8と5%以下まで低下し他の区に比べ有意(P<0.05)に低くなった。乳酸含量はpHが最も低下していたFJLB+糖蜜区が0.95%と他区に比べ有意(P<0.05)に高くなり、その他の区については0.23~0.42と乳酸含量は低く、それらの区間中には差はみられなかった。

一方、酢酸および酪酸含量はVBN/TNの低かった無処理区およびFJLB+糖蜜区が、他の区間と比べて有意(P<0.05)に低くなり、その結果Vスコアでは無処理区が89点、FJLB+糖蜜区で81と高得点を示し、他の区に比べ有意(P<0.05)に高くなった。

## 考 察

イネホールクroppサイレージの調製技術として、予乾体系において尿素液を添加することで、品質的に安定したサイレージ生産が可能であり<sup>14)</sup>、長期貯蔵にも対応した技術として普及している。しかし千葉県内に多い軟弱圃場では、専用収穫機に頼らざるを得ない状況が多く、高水分状態のイネをサイレージ化する場面が多く見られ、発酵品質の低下が懸念される。

本試験での降雨直後を想定した水分含量59.4%(地上10cm以上部+蒸留水)のイネについて、サイレージ調製を行った場合、Vスコアは53点となり、また、糖蜜を原料に調製した

FJLB以外の添加剤添加区でも、Vスコアは63点以下と、その発酵品質は劣っていた。

通常サイレージ詰込みイネの水分含量を65%以下にすることで、良質の発酵品質に確保できるとされている<sup>15)</sup>。本試験で用いたイネ材料草の水分含量は65%を大きく下回っており、さらに乳酸発酵を促す添加剤の添加を行ったにもかかわらず、多くの区間で発酵品質が低下していた。この点についての詳細な原因は不明であるが、植物体自体にもともと含まれる水分と、植物表面に付着している水分とでは、発酵に及ぼすメカニズムが違ってくる可能性が考えられ、今後この点については、さらに検討を行う必要があるものと考えられ、イネ自体の水分含量が低下していても、付着水のある場合には、水分含量が65%以下であっても発酵品質が低下する可能性が示唆された。

また、糖蜜以外の糖原料を用いて調製したFJLB、畜草1号およびグルコースのみの添加では発酵品質の改善は認められなかった。これに対して糖蜜を原料に調製したFJLBを添加しサイレージ調製を行うことで、Vスコアは81点と発酵品質が改善され、その実用性が示唆された。このFJLBについて平岡らは<sup>10)</sup>、黄熟期のイネを用いてFJLB調製を行う場合、培養日数が30℃・2日間のものを用いた場合、最もサイレージの発酵品質が良好であったとしており、この場合のFJLB中乳酸含量が9.3mg/mlと報告している。これに対して本試験で調製したFJLB中乳酸含量はグルコースを用いて調製した場合0.95mg/ml、砂糖を原料に調製した場合が0.6mg/mlであり、培養時間を同条件にして調製したにもかかわらず、その含有量はかなり低くなっていた。これは今回、イネに付着する乳酸菌数の測定を行わなかったが、作物に付着する乳酸菌数は熟期や地域によって異なってくるとされていることから<sup>7,16)</sup>、本試験でFJLB調製に用いたイネに付着していた乳酸菌数が、平岡らの用いたイネよりも少なかった可能性が考えられ、これにより乳酸含量が低下していたものと推測された。そのため、千葉県内において、登熟が進んでいる完熟期のイネをグルコースや砂糖を用いてFJLB調製を行う場合、2日以上培養を行い、乳酸含量を高める必要があるものと考えられた。

また完熟期のイネに付着する乳酸菌数が少なかったと仮

定しても、糖蜜を用いて調製を行うことで2日間程度の培養日数でも、発酵品質の改善に効果があるFJLBに調製可能であることを示唆する結果であった。この糖蜜を原料として調製したFJLBのみがサイレージの発酵品質を高めた理由として、2つの要因が考えられた。

まず一つは糖蜜を用いて調製したFJLB中の乳酸含量がグルコースや砂糖を用いて調製したFJLB中の乳酸含量より2倍以上多かったことから、乳酸発酵が早く進んでいたものと思われる。この乳酸生成量の違いは培養時間が同じだったことから、乳酸菌の菌数の違いによるものと考えられ、この乳酸菌数の違いは、FJLB調製当初から乳酸菌が多かったか、もしくは乳酸菌の増殖速度が早かったことにより、乳酸菌数が違ってきたものと推測された。糖蜜は、サトウキビもしくはテンサイから砂糖を抽出する際に副産物として製造されているが、それらの原材料に付着している乳酸菌が製造過程で糖蜜中に移行し混在していた可能性が考えられた。さらに糖蜜中にはミネラルやアミノ酸などの栄養分も多く含まれていることから<sup>17)</sup>、乳酸菌が増殖するのに適した栄養条件であった可能性も考えられ、今後糖蜜自体がFJLBの発酵品質に及ぼす影響について、さらに検討する必要がある。

他方、もう一つの要因としては乳酸菌の活性力の違いが考えられた。乳酸菌の最適活動pHは菌種によっても違ってくるが、3.8から4.8程度の範囲とされている<sup>18)</sup>。

今回の糖蜜由来のFJLB中のpHは他の糖原料で調製したFJLBに比べて、総酸含量が高かったにもかかわらず、pH値はさほど低下せず3.55であった。これは最適pH値より若干低い値ではあるが、今回用いた3種類のFJLB中では最も高いpHであり最適活動環境に近い値であったと言え、糖蜜を用いて調製したFJLB中の乳酸菌の活性力が高かったことにより、発酵品質の改善につながった可能性が考えられた。この糖蜜により調製したFJLBのpH値が、他の糖で調製したものより低下していなかった原因は、おそらく糖蜜中に多く含まれるミネラルの緩衝作用によるものと考えられる。そこで糖蜜を用いてFJLB調製を行うことで、pHが低下しにくく乳酸菌の活性力を維持し易い可能性が示唆され、また、その他の糖原料を用いる場合についても、pHが3.8以下に低下する場合は、緩衝材の添加によってはサイレージ発酵の改善効果が高める可能性が考えられた。

一方、畜草1号の添加効果については発酵品質の改善が認められなかった。これまで畜草1号については多くの研究が行われ、その効果についての報告<sup>19,20)</sup>がある。しかし本試験結果からみて畜草1号の効力は万能では無く、サイレージ調製時の水分条件によって、その効果が違ってくると考えられた。特に付着水等による高水分条件下では、添加効果が現れにくいものと考えられ、この場合畜草1号のみの単独添加ではなく、糖との同時併用による添加を行い、発酵品質の改善を行う必要があると考えられた。

なお実際の降雨直後の付着水による高水分状態のイネ収穫に際しては、糖蜜を原料に調整したFJLBの利用による品

質改善効果に期待があるが、FJLBについては、その準備に2日間以上の調製時間がかかることや、大量の調製には手間と労力がかかる。このことから、FJLBについては今後長期貯蔵できるような、保存技術等の検討や、少量のイネでかつ簡易に培養できる技術などの検討を行う必要がある。また、畜草1号については市販で、なおかつ水道水等に溶解して直ぐ利用可能なことから、とっさの状況に対応しやすいため、イネ水分含量と有効添加範囲の関係や、糖との同時添加による、品質改善効果についてさらに検討を行う必要がある、これら生産現場での場面場面に応じた添加剤の利用方法の確立を行う必要があると考えられる。

## 謝 辞

本試験の実施に際し、貴重なご助言をいただいた三重県科学技術振興センター畜産研究部の平岡啓司氏に深く感謝致します。さらには、サイレージ調製用イネをご提供いただいた生産農家の皆様、ならびに農家との調整に御協力いただきました長生農業改良普及センター農畜産科の皆様によりお礼申し上げます。

## 参 考 文 献

- 1) 地力保全基本調査総合成績書(1978):千葉県農業試験場: 208-219
- 2) 八槨敦・岡本勝男・川島博之・安西徹郎(2000)土肥誌(71) 27-34
- 3) 浦川修司(1995)三重県農業技術センター特別研究報告3: 1-34
- 4) 浦川修司・吉村雄志(2003)日本草地学会誌49(1):43-48
- 5) 日本草地畜産種子協会編(2001)平成13年度稲発酵粗飼料生産・給与技術研修会資料: 41-48
- 6) Grass Vol16 (2003):全国農業共同組合連合会、40-42
- 7) 蔡義民・大桃定洋・熊井清雄(1994)日草誌39(4)420-428
- 8) 蔡義民・藤田泰仁・徐春城・吉田宣夫・小川増弘(2002)日本草地学会誌48:別号190-191
- 9) 北村 亨(2003)牧草と園芸51(4):9-12
- 10) 平岡啓司・山本泰也・浦川修司・水谷将也・山田陽稔・乾清人・荻田修一・後藤正和(2003)日草誌49(5)460-464
- 11) Ohshima, M., Cao, L., Kimura, E. and Yokota, H. (1997) Grassland Science, 43: 56-58
- 12) 自給飼料品質評価研究会編(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
- 13) 渡辺晴生・堀田正樹・高梨 勝・佐藤公明(1998)千葉畜七研報22:49-57
- 14) 吉田宣夫・清水博之・山井英喜・並木勝治(1998)埼玉県畜産センター研究報告2:87-91
- 15) 農業技術研究機構編(2002)稲発酵粗飼料生産・給与マニュアル

- 16) 蔡義民・熊井清雄・福見良平(1991)日草誌37(2)246-252
- 17) 日本科学飼料協会編(1973)科学飼料:37-40 東京
- 18) 須藤浩(1971):サイレージと乾草 養賢堂 東京
- 19) 蔡義民・徐春城・村井勝・小川増弘・吉田宣夫・北村亨・三浦俊治(2004)日本草地学会誌50:別号422-423
- 20) 北村亨・三浦俊治・石井耕・蔡義民・吉田宣夫 (2003)日本草地学会誌49:別号252-253