

千葉県で生産された稲発酵粗飼料の栽培・収穫条件の実態と品質に影響を与えた要因の解析〈Ⅱ〉専用収穫機体系

名取美貴・細谷 肇

Analysis of Factors Affecting Fermentative Quality
in Whole Crop Rice Silage made in Chiba Area
〈Ⅱ〉 In the Case of Harvest by Roll Balers for Paddy Rice

Miki NATORI and Hajime HOSOYA

要 約

千葉県において2008-2011年に生産された稲発酵粗飼料について、適切な収穫調製条件を明らかにすることを目的に、栽培・収穫条件と発酵品質の関連性を解析した。本報では、ダイレクト収穫方式の専用収穫機体系のロールベールを対象とした。解析の結果、乳酸菌添加を行っても酪酸含量が高くVスコアが不良評価のものが多く認められた。また、収穫時の熟期に起因する水分含量の違いが、発酵品質の安定性に影響を与えていた。水分含量が60%未満のものは黄熟期-完熟期刈りで占められ、Vスコアが80点以上の良評価が安定して得られた。水分75%以上であったのは全て出穂期刈りで、これらは乳酸菌添加を行ってもすべて不良評価であった。さらに水分60-75%では糊熟期-黄熟期刈りが中心で、乳酸菌添加でも良および不良評価の二極化傾向があった。

緒 言

稲発酵粗飼料（イネホールクロップサイレージ:以下イネWCSと表記）生産は、水田転作の中核のひとつに位置づけられ、水田農業と畜産経営の連携および飼料自給率向上を図る手段として推進されている。本県でもWCS用イネの作付面積は2008年103haから2012年399haと増加している¹⁾。

イネWCSを含むサイレージの発酵品質は牛の嗜好性に関わり、酪酸や酢酸含量が高いサイレージは採食量が低下するとされている²⁾。また、発酵品質はかびの発生や貯蔵性にも影響を与えるため、当センターでもイネWCSの品質に関する研究を行ってきた^{3,4,5)}。しかし、イネWCSを生産利用する現地では、かびの発生による廃棄などの品質の問題が散発し、生産されたロールベールの流通など耕畜の円滑な連携を阻害するケースもあった。今後、イネWCSの作付・利用を拡大する上では、給与上の安全性・嗜好性や廃棄量が少ないことなど安定し

た品質確保が重要である。

イネWCSの品質に関しては、稲発酵粗飼料生産・給与技術マニュアル⁶⁾に相当とされる生産条件がまとめられ、利用する機種と予乾の有無により牧草用機械体系と専用収穫機体系の二つの収穫方式が挙げられている。県内にはコントラクターや営農組合を中心としてダイレクト収穫方式の専用収穫機体系が普及しているが、各生産地域の収穫面積が拡大していく中、主食用米の収穫時期を避け作業分散したり、天候の影響等により適期に刈り取りを行うことが難しい状況が生じている。このように、県内産イネWCSは様々な条件で栽培・収穫されるために、その品質は多様であると考えられる。イネWCSの品質向上を図る上では、県内現場で実際に生産・利用されているイネWCSを解析し、特に劣質となってしまった場合の問題点や高品質が安定的に得られる収穫条件を明らかにする必要がある。

そこで、2008-2011年にダイレクト収穫方式の専用収穫機体系で調製した県内産イネWCSの発酵品質分析を行い、栽培・収穫条件と品質の関係について解析したので報告する。

平成25年 8月31日受付

材料および方法

1. 供試材料

専用収穫機体系で収穫した県内産イネWCS合計121点を県内各生産地域から収集し、併せて栽培・収穫条件などの情報を把握した。内訳は2008年産24点、2009年産36点、2010年産29点、2011年産32点である。

2. 発酵品質分析

イネWCSのサンプルは前報⁷⁾と同様に前処理し、各測定・分析に供した。

サイレージ抽出液のpH、有機酸含量、揮発性塩基態窒素 (VBN)、全窒素 (TN) の測定分析、VBN/TN比とVスコアの算出を前報⁷⁾と同様の方法で行った。Vスコアは点数により良、可、不良の3評価とした。

3. 栽培・収穫条件に基づく集計

前項の分析値を作物品種別、収穫時の熟期別、添加剤の種類別で集計した。また、ダイレクト収穫方式である収穫機体系では通常は予乾ができないため、収穫条件がサイレージ水分含量を大きく左右する。このため、サイレージ水分含量の違いとこれらの集計値の関係を中心に解析を加えた。

なお、収穫機種⁶⁾としては、切断長が長く結束がトワイン方式のコンバイン型専用収穫機、設定切断長が3cmで細かく結束がネット方式のコンバイン型専用収穫機、トワイン方式のフレール型専用収穫機、ネット方式のフレール型専用収穫機、および汎用型飼料収穫機等のダイレクト収穫機を調査対象とした。

なお、かびや細菌の抑制を目的に処理する尿素添加は、アンモニアの発生によりVBN含量が著しく高くなること、またサイレージ発酵を抑制することから、VBN/TNおよびVスコアといった発酵品質の評価基準を適用することができない⁸⁾。このためこれに該当するサンプルは、発酵品質の解析から除外した。また、利用した添加剤が不明の場合は、尿素添加などの添加剤を使用した可能性もあるため、同様に発酵品質の解析から除外した。

結 果

1. 栽培・収穫条件の実態

表1に品種別のサンプル数を示した。県内では、イネWCSとして主食用品種と飼料専用品種双方が作付けされており、全サンプル中、主食用品種は56.2%、飼料専用品種は31.4%であった。また飼料専用品種では、早生の「夢あおば」、中生の「ホシアオバ」、晩生の「はまさり」と「リーフスター」が作付けされており、早生から晩生まで幅広く利用されていた。

表1 品種別内訳

品種用途	サンプル数	品種	品種別 サンプル数
主 食 用	68	あきたこまち	6
		コシヒカリ	19
		ちば28号	29
		ふさおとめ	14
飼 料 専 用	38	夢あおば	21
		ホシアオバ	7
		はまさり	1
		リーフスター	9
不明			15

表2に収穫時の熟期別のサンプル数と平均水分含量を示した。熟期別では黄熟期刈りが最も多かったが、全体では出穂期から完熟期まで幅広く収穫されていた。水分含量の平均は出穂期が76.0%と高く、完熟期が56.4%と低かった。乳熟期-黄熟期の水分は、熟期が進むのに従って漸減傾向であった。

表2 収穫時の熟期別内訳および水分含量

収穫時の熟期	サンプル数	水分含量 (%)
出 穂 期	7	76.0±3.24
乳 熟 期	5	65.9±1.64
糊 熟 期	25	64.4±3.98
黄 熟 期	72	62.3±6.88
完 熟 期	12	56.4±3.13

水分含量は、平均値±標準偏差

添加剤の種類 (表3) については、乳酸菌添加が最も多く、殺菌効果により発酵そのものを抑制する尿素添加も実施されていた。その他として、イオウ化合物 (サイロ内の速やかな嫌気状態化) とアミラーゼ酵素 (炭水化物を単糖類や二糖類に分解) の混合製剤の利用があった。また、添加剤使用の有無が把握できていないケースも存在した。

表3 添加剤の種類別内訳

添加剤	サンプル数
乳 酸 菌	52
尿 素	20
無 添 加	28
そ の 他	2
不 明	19

2. 栽培・収穫条件と発酵品質の関係

飼料専用、主食用の別に、Vスコアと水分含量の関係を示した (図1)。水分含量の範囲は飼料専用品種で50.7-72.5%であるのに対し、主食用品種では48.1-77.5%で範囲が広がっていた。特に水分含量75%以上では、すべて主食用品種でVスコア60点未満の不良評価であった。一方、水分含量が60%未満の場合では、

主食用と飼料専用品種の違いに関わらず、Vスコアは良評価である80点以上で安定していた。

次に、収穫時の熟期別にVスコアと水分含量の関係を示した(図2)。水分含量が75%以上となったのは出穂期刈りのみで、全てVスコア60点未満の不良評価だった。糊熟期および黄熟期刈りはVスコアにばらつきがあったが、その水分含量は60%以上75%未満が多かった。完熟期刈りは水分含量60%未満が多く、Vスコアは80点以上の良評価で安定していた。また完熟期刈りで1点のみVスコア61点で可評価となっていた。

出穂期刈りは他の熟期と比較して、乳酸含量が低く、酢酸、プロピオン酸およびn-酪酸の生成量が多くなっていた(図3)。一方、熟期が糊熟期から完熟期へと進むにつれ、酪酸含量が減り、乳酸含量が増えていた。

添加剤の種類別(表4)では、最もサンプル数の多かった乳酸菌添加と無添加のイネWCSについて、有機酸含量およびpHの平均値を比較したところ、pH、乳酸含量、n-酪酸含量、Vスコアは、無添加と乳酸菌添加ではほぼ同程度の値となっていた。その他に分類した製剤は、乳酸含量が高く酪酸含量が認められなかったが、サンプル数が2点のみで少ないため、この後の添加剤別の解析からは除外した。

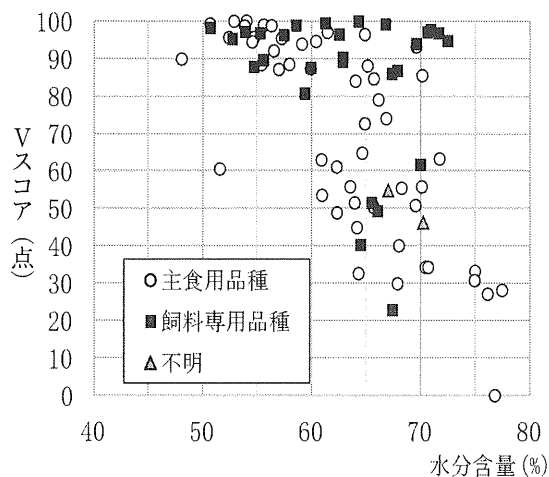


図1 飼料専用品種・主食用品種別にみたサイレージ水分含量とVスコアの関係

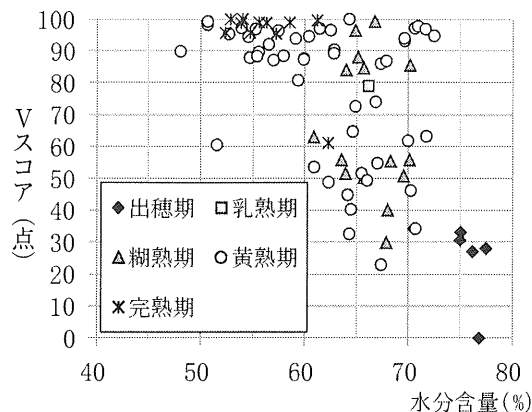


図2 収穫時の熟期別にみたサイレージ水分含量とVスコアの関係

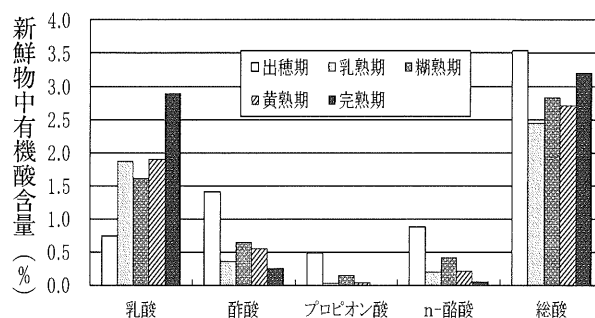


図3 収穫時の熟期別にみた平均有機酸含量

図4には乳酸菌添加の有無による水分含量とpHの関係を示したが、全体として水分含量とpHの相関は低かった ($r=0.28$, $P<0.05$)。乳酸菌添加は無添加よりもばらつきが大きく、pHが高いサンプルが認められた。

また水分含量とVスコアの間を乳酸菌添加の有無別に示した(図5)。水分含量75%以上の場合、乳酸菌添加でもVスコアが不良評価となっていた。また水分含量が60-75%の場合、乳酸菌添加は良評価から不良評価まで品質にばらつきが認められ、無添加では可評価以下がほとんどで不良評価も認められた。一方、水分が60%未満になると、乳酸菌添加および無添加の双方ともVスコアが良評価で安定していた。

さらに、水分含量と有機酸含量の関係を図6(乳酸)および図7(n-酪酸)に示した。乳酸含量は、乳酸菌

表4 添加剤の種類別にみた発酵品質

	水分含量 (%)	pH	新鮮物中有機酸含量 (%)					VBN/TN (%)	Vスコア
			乳酸	酢酸	プロピオン酸	n-酪酸	総酸		
無添加	60.6	4.19	2.04	0.53	0.05	0.31	2.94	6.80	75
	6.9	0.29	0.86	0.33	0.13	0.40	0.43	2.57	23
乳酸菌	64.2	4.28	1.78	0.63	0.11	0.26	2.78	7.11	73
	6.6	0.38	0.84	0.52	0.22	0.32	0.78	4.52	27
その他	71.0	3.83	2.98	0.36	0.01	0.00	3.36	7.00	94
	2.0	0.03	0.21	0.04	0.00	0.00	0.25	0.15	1

各項目の上段:平均値, 下段:標準偏差

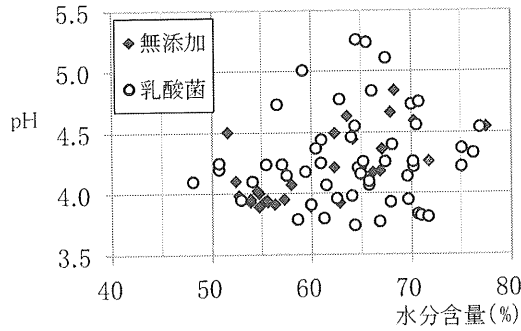


図4 乳酸菌添加の有無によるサイレージ水分含量とpHの関係

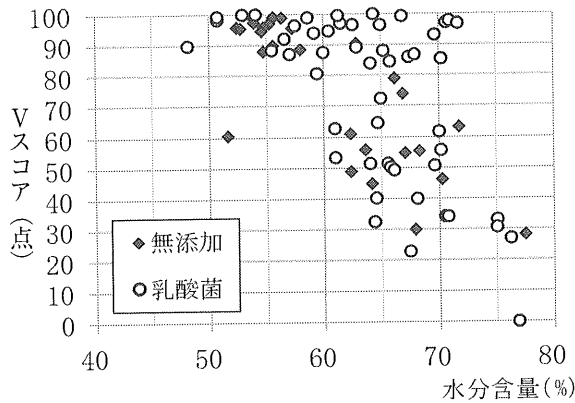


図5 乳酸菌添加の有無によるサイレージ水分含量とVスコアの関係

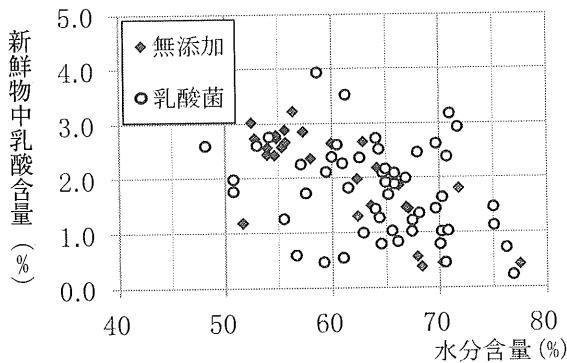


図6 乳酸菌添加の有無によるサイレージ水分と乳酸含量の関係

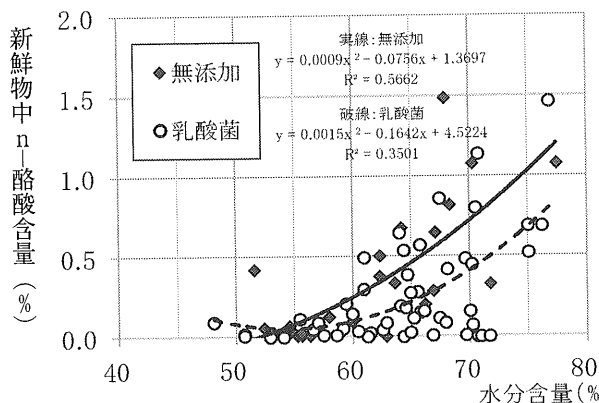


図7 乳酸菌添加の有無によるサイレージ水分と酪酸含量の関係

添加しても無添加より少ないケースが認められ、特に水分60%未満の場合に目立った。また、相関係数は必ずしも高くないが、添加の有無に関わらず水分とn-酪酸の含量に弱い相関が得られ(無添加: $R^2=0.57$, $P<0.05$ 、乳酸菌添加: $R^2=0.35$, $P<0.05$)、水分60%未満の場合、それ以上の水分含量のサンプルと比較して酪酸含量が低い傾向があった。

考 察

1. 専用収穫機体系における県内産イネWCSの栽培・収穫条件の実態

本報のサンプル収集の範囲では、県内では主食用品種作付の方が多く、飼料専用品種は31.4%の利用であった。既に報告した牧草収穫体系の実態では、飼料専用品種の利用は限られており、その理由として県下は早場米地帯として農業用水利用が早期栽培に合わせた期間に限定される管理体制が地域に定着していることが要因の一つとして報告した⁷⁾。ダイレクト方式の専用収穫機体系でも主食用品種の作付が多いのは、牧草収穫体系と同様の理由が考えられる。

収穫時の熟期は、イネWCSにおいて適期とされる黄熟期が半数以上を占めていたものの、出穂期から完熟期まで幅広く刈り取り時期が分散していた。牧草収穫体系でも同様な傾向が認められており⁷⁾、県内で定着している早期栽培向けの管理体制により主食用米収穫の前に早刈りせざるを得ない状況であること、酪農家の需要として繊維の消化性が高い早刈りを意図的に行っていること、あるいは肥育農家がより低い β -カロテン含量のために刈り遅れを求める傾向があることなどに起因すると考えられる。

2. 専用収穫機体系における県内産イネWCSの栽培・収穫条件と発酵品質の関係

サイレージにおいて水分含量は、発酵品質を左右する要因となる⁹⁾。図1で示した水分含量の範囲は、飼料専用品種より主食用品種の方が広く分布しており、特に水分75%以上でVスコアが不良評価となったイネWCSは、すべて主食用品種であった。稲発酵粗飼料生産・給与技術マニュアルにおいて、イネWCSの最適な水分含量は65%程度とされ、高水分を避けるため、刈り取り時期や付着水に関する留意点が挙げられている⁶⁾。本研究で水分75%以上のサンプルは、全て早刈りである出穂期刈りであり、酢酸、プロピオン酸およびn-酪酸の量が多く、Vスコアは全て不良評価となっていた。イネは熟期が進むにつれ水分含量が低下し、ダイレクト収穫方式におけるイネWCSの収穫では、適正な水分含量である65%には糊熟期-黄熟期が該当するとされる⁶⁾。水分75%以上となった主食用品種のイネWCSは、出穂期刈りで高水分であったため、不良発酵しやすくなり品質が劣っていたと考えられた。

一方で、水分が75%未満では主食用と飼料専用品種ともVスコアで80点以上の良評価のイネWCSが得られていた。以上のことから、飼料専用・主食用のいずれの品種でも、乳熟期以降での刈り取りにより高品質のイネWCSを生産可能であると考えられた。

また、イネWCSにおいて乳酸菌は、pHの低下と乳酸生成量の増加により発酵品質を向上させることを目的として添加される。また、無添加と比較して、乳酸菌数を高め、不良発酵の原因となる好気性細菌および酪酸菌の増殖と活動を抑制する⁶⁾。今回、水分75%以上のイネWCSでは、乳酸菌添加をしたものが大半であった(図5)が、サイレージ発酵の場合、水分が高いと酪酸発酵などの不良発酵を起こしやすいため、水分70%以下に調製することが好ましいとされている⁹⁾。このことから、水分75%以上の場合には、乳酸菌添加をしても酪酸発酵が抑制されなかったことが考えられた。

水分含量60%未満では完熟期刈りが多く(図2)、乳酸菌添加の有無に関わらずVスコアが良評価で安定し酪酸含量が低い傾向があった(図5、7)。一般に水分60%以下のサイレージでは乳酸の生成に関わらず酪酸発酵は抑制される⁹⁾。また、乳酸菌添加でも無添加よりpHが高く、乳酸含量が少ないケースが認められた(図4、6)。これらのことから完熟期刈りは、必ずしも乳酸菌添加の効果が得られるとは限らないが、酪酸発酵が抑制される水分含量となることから、安定して良評価のイネWCSが生産可能であることが考えられた。なお、水分60%未満で1点のみ可評価となったものは、収穫当日の降雨と土砂混入があったサンプルであった。土砂の混入はイネWCSの品質を劣化させる要因であり^{6,7)}、専用収穫機体系においても土砂混入は避けるべきである。

一方、水分含量が60%以上75%未満では、乳熟期および黄熟期刈りが多く(図2)、乳酸菌添加の有無に関わらず、Vスコアにはばらつきが認められた(図5)。また乳酸菌を添加した場合のpHは、無添加と比較して高いケースが認められ、ばらつきも大きかった(図4)。水分含量が65%付近でもpHやVスコアのばらつきが大きかったことから、県内産の糊熟期および黄熟期刈りイネWCSでは、乳酸菌を添加しても効果が得られない要因が水分含量以外に存在しており、収穫調製時になんらかの不備があったと推測される。今回の専

用収穫機体系の集計では、水分含量60-75%で調製するケースが最も多かった。本研究では、サンプリングの偏りがあったことと、収穫時における諸条件の情報が不足していたため明らかにならなかったが、この水分含量領域内において乳酸菌製剤の効果を発揮可能な条件を整理することが重要と考えられる。

最後に、本報告に供したイネWCSのサンプル収集に協力いただいた県内各地域の農業事務所担当の方々に感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 千葉県(2012)、千葉県農林水産業の動向 平成25年度版:38
- 2) 古川 修(2011)、不良発酵サイレージの給与上の注意点—発酵品質を把握した給与と栄養管理—、牧草と園芸59(3):13-16
- 3) 細谷 肇・山田真希夫・反町 裕(2009)、自走細断型専用収穫機で調製した飼料イネサイレージの発酵品質と長期貯蔵性、千葉畜セ研報9:37-42
- 4) 細谷 肇・斉藤健一・反町 裕・米本貞夫(2008)、乳酸菌と尿素添加が梱包密度の低い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8:71-76
- 5) 細谷 肇・斉藤健一・反町 裕・米本貞夫(2008)、早場米地帯における収穫時期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8:77-82
- 6) 社団法人日本草地畜産種子協会(2012)、収穫・調製・輸送/稲発酵粗飼料の給与、稲発酵粗飼料生産・給与技術マニュアル:52-92
- 7) 名取美貴・細谷 肇(2012)、千葉県で生産された稲発酵粗飼料の栽培・収穫条件の実態と品質に影響を与えた要因の解析〈I〉牧草用機械体系、千葉畜セ研報12:43-48
- 8) 蔡 義民(2004)、飼料イネサイレージの高品質調製と貯蔵管理、畜産の研究58(9):957-966
- 9) 安宅一夫監修(2012)、サイレージ発酵の制御、最新サイレージバイブル—サイレージとTMRの調製と給与—、酪農学園大学エクステンションセンター:24-27