

近赤外分析法による無粉碎稲発酵粗飼料(WCS)の飼料成分の推定

平井伸明*・武藤多佳子***・長尾伸一郎

Prediction of chemical composition of unground forage paddy rice silage using near-infrared reflectance spectroscopy

Nobuaki HIRAI, Takako MUTO, Shinichiro NAGAO

要 約

岡山県内産稲発酵粗飼料(WCS)230点の水分、一般成分、pH、有機酸含量の化学分析を行うとともに、無粉碎試料の近赤外分析(NIRS)を行い、化学分析(LAB)値とNIRS値の相関係数(r)および推定精度(RPD)を算出した。各試料のLAB値の幅は大きく、品種、収穫時期、収穫機械等の要因により、イネWCSの品質のバラツキが大きくなることが示された。無粉碎イネWCSのNIRS推定精度は、一般成分では水分、粗蛋白質(CP)、粗脂肪(EE)が $RPD < 2.0$ 、粗灰分(CA)、可溶性無窒素物(NFE)、粗灰分(CA)、中性デタージェント繊維(NDF)、酸性デタージェント繊維(ADF)は $RPD < 1.5$ と低い精度であった。一方でpH、乳酸、酢酸、酪酸含量について $r > 0.9$ 、 $RPD > 2.3$ の精度であり、発酵品質評価への有用性が示された。

キーワード：イネWCS、飼料成分、近赤外分析法(NIRS)

緒 言

自給飼料の増産、中山間地域および休耕水田の有効活用の手法として、岡山県内においても稲発酵粗飼料(WCS)の栽培、利用が近年急速に拡大している。これに伴い耕畜間での流通も増加しており、生産者側、利用者側の双方からイネWCSの品質を簡易で迅速に評価できる手法の確立が望まれている。

これに対応できる可能性を持つ分析法として近赤外分析(NIRS)法が実用化されている。通常のNIRS分析では前処理として試料を乾燥し微粉碎する必要がある、このための時間および労力はNIRSによる飼料分析の大きな部分を占めている¹⁾。イネWCS無粉碎試料を直接NIRS分析する手法が確立されれば、従来より大幅に簡易かつ迅速に品質評価を行うことが可能になる。

本研究では無粉碎イネWCS試料の飼料成分および発酵品質をNIRSにより評価する手法を確立することを目的として、県内産イネWCSの成分分析を行い、NIRSの精度を検討した。

材料及び方法

1 県内産イネWCSの成分分析

2010～2011年度に岡山県下全域から収集したイネWCS230点の一般成分(水分、粗蛋白質(CP)、粗脂肪(EE)、可溶性無窒素物(NFE)、粗灰分(CA)、中性デタージェント繊維(NDF)、酸性デタージェント繊維(ADF)、 β カロテン)及び発酵品質(pH、揮発性塩基態窒素(VBN)、乳酸、酢酸、プロピオン酸、酪酸)について化学分析を行った。

2 NIRSによる無粉碎イネWCSの成分分析

NIRS分析の測定機器はNIRSystems社6500型を用い、甘利の報告した無粉碎牧乾草のNIRS分析手法¹⁾に準じて成分分析を行った。試料は現物のまま高油分・高水分測定用セル((株)ニレコ)に間隙が少なくなるように詰め、1,100～2,500nmの範囲について反射スペクトルを測定した。1試料につき3回セルへの詰め替えを行いスペクトルを採取し、これらの実測スペクトルを平均化処理したスペクトルについて二次微分処理を行い、Partial Least Squares (PLS)回帰分析により検量線を作成した。更に作成した検量線群について、検量線検定用の未知試料群による成分分析を行い

統計処理により NIRS 値と化学分析 (LAB) 値の相関係数 (r) および推定精度 (RDP) を算出した。

結果及び考察

1 県内産イネ WCS の分析結果

一般成分及びサイレージ発酵品質を表 1 に示した。また NIRS 分析のための基礎データとして収集したイネ WCS の LAB 値であるが、その成分に影響する要因について検討した。

表 1 イネ WCS の化学分析 (LAB) 値

	数	最小値	最大値	平均値	標準偏差
水分 (%)	230	42.06	84.23	65.79	6.45
粗蛋白質 (乾物中%)	230	3.14	11.27	6.36	1.10
粗脂肪 (")	230	1.82	4.37	3.02	0.52
NFE (")	230	40.77	69.54	56.92	5.42
粗繊維 (")	230	10.88	33.29	20.44	3.57
粗灰分 (")	230	6.04	23.43	13.26	2.65
NDF (")	230	36.16	66.61	51.71	6.02
ADF (")	230	24.79	42.61	32.76	3.37
β カロテン (mg/kg 乾物)	48	0.005	17	6.06	4.09
pH	222	4.57	9.82	6.09	0.80
T-N	222	0.14	0.63	0.35	0.083
VBN	222	0	0.38	0.02	0.035
乳酸 (新鮮物中%)	216	0	5.72	1.64	1.06
酢酸 (")	216	0	1.30	0.37	0.26
プロピオン酸 (")	216	0	0.34	0.02	0.052
酪酸 (")	216	0	1.42	0.15	0.21
吉草酸 (")	216	0	0.54	0.01	0.057
総有機酸 (")	216	0	6.17	2.31	0.97

一般に飼料用イネサイレージの水分は糊熟期 63.6%、黄熟期 61.0%、完熟期 59.0%とされているが²⁾、今回の試料群では水分含量が高く、また 50%未満から 80%以上まで広く分布するなど、最小値と最大値の差が大きく、試料ごとの分析値の幅が大きかった (図 1)

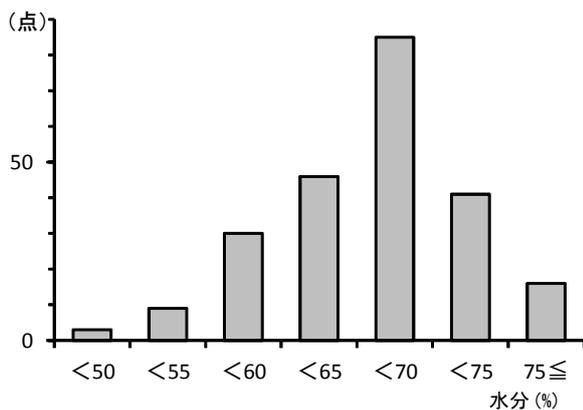


図 1 イネ WCS の水分の度数分布

収穫期別に試料の水分含量を比較すると、熟期が進むにつれて水分が低下しており (図 2)、糊熟期から黄熟期にかけて収穫された試料が多かったことなど収穫期が早い傾向があったため、水分の分布が高くなったとみられる。

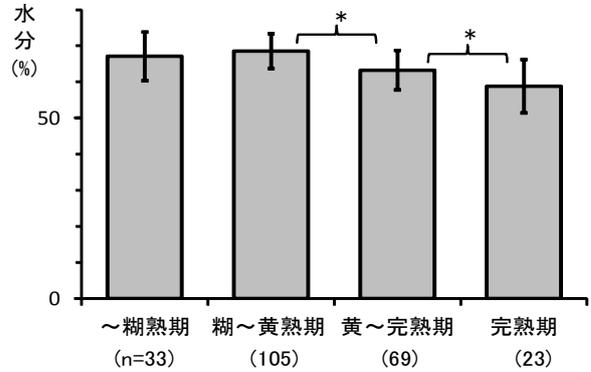


図 2 収穫期別水分含量 (%)

*: p < 0.01 で有意差

熟期が進むにつれて、CP が低下し、NFE が増加する傾向がみられた (図 3、4)。この傾向は日本標準飼料成分表においても示されており、収穫時期の違いが一般成分値に大きく影響していると考えられる。

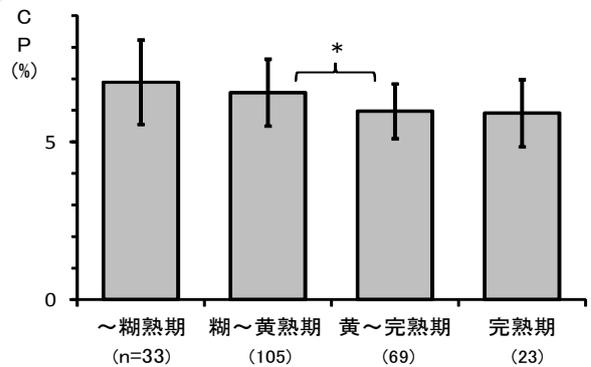


図 3 収穫期別粗蛋白質 (CP) 含量 (乾物中%)

*: p < 0.01 で有意差

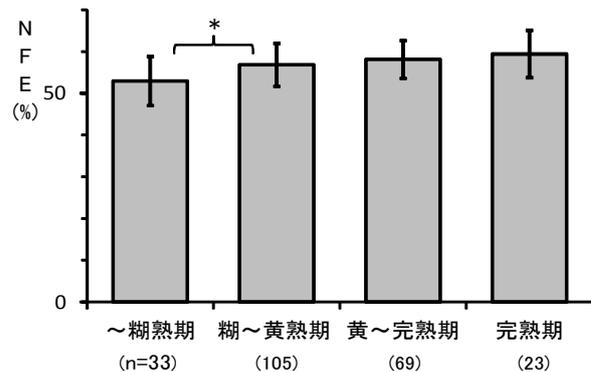


図 4 収穫期別可溶性無窒素物 (NFE) 含量 (乾物中%)

*: p < 0.01 で有意差

品種別では、飼料用品種の中で茎葉多収の品種である「たちすずか」³⁾「たちあやか」⁴⁾はNFE値が高く、NDF、ADFが低い傾向がみられ、他品種との相違が特徴的であった(表2)。これらの品種では粗が少なく茎葉中に可溶性糖類が蓄積されやすいことが、今回の分析結果にも表れているとみられる。

表2 品種別一般成分値(乾物中%)

	数	CP	EE	NFE	CA	NDF	ADF
食用品種	91	6.2±1.2	3.0±0.4	56.0±5.9	13.9±3.3	53.7±5.7	33.1±3.5
ホシアオバ	73	6.8±1.0	3.5±0.4	56.5±4.6	13.3±1.6	49.5±5.5	32.4±3.2
クサノホシ	8	5.8±0.8	2.7±0.4	58.7±3.3	11.9±1.8	49.0±4.5	31.1±2.3
モミロマン	7	7.0±1.0	3.0±0.4	52.6±2.2	14.1±0.9	62.5±2.9	38.1±2.3
たちすずか	16	6.1±0.7	2.4±0.4	62.2±4.4	11.0±1.6	48.6±2.9	30.9±1.8
たちあやか	9	6.7±0.5	2.5±0.5	61.6±4.5	12.6±3.0	46.7±1.5	30.8±1.1
その他の飼料用品種	26	7.8±1.2	2.7±0.8	57.9±4.8	12.6±2.1	50.8±4.3	32.9±2.9
全試料	230	6.4±1.1	3.0±0.5	56.9±5.4	13.3±2.6	51.7±6.0	32.8±3.4

(平均値±標準偏差)

品種別に非繊維性炭水化物(NFC)含量を比較すると、茎葉多収の「たちすずか」「たちあやか」および飼料用品種の中で子実と茎葉の両方が多収の「ホシアオバ」「クサノホシ」⁵⁾が食用品種より有意に高かった($p < 0.01$)。極穂重型の「モミロマン」⁵⁾は、食用品種および他の飼料用品種よりCP含量が高くNFC含量は低かった($p < 0.01$) (表2、図5)。今回分析したモミロマンは7点と少数であり、いずれも糊熟期に収穫されたものであったため、収穫時期の影響が大きく現れた結果と考えられる。

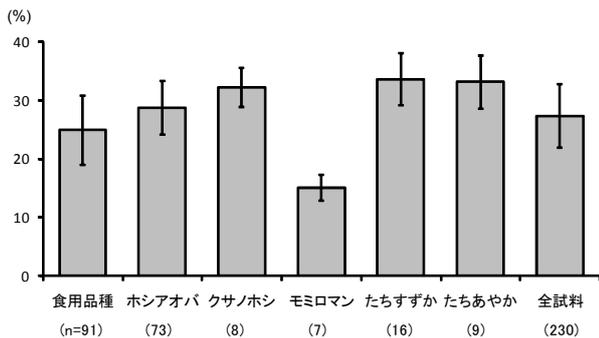


図5 品種別非繊維性炭水化物(NFC)含量(乾物中%)

収穫機械別および水分含量別にイネWCSの乳酸含量を比較した結果、いずれの収穫機で収穫した試料でも高水分試料では乳酸含量が低下していた。また水分65%未満、および65%以上75%未満の試料においてフレール型および汎用型で収穫した試料は細断型収穫機で収穫した試料より乳酸含量が

高かった(図6)。フレール型および汎用型で収穫された試料では収穫時に叩いてつぶす工程が入るため、サイレージ調製時の詰め込み密度が上がるのと同時に茎葉からの排汁が促され、乳酸発酵が進みやすくなっているためと考えられる。^{6,7)}

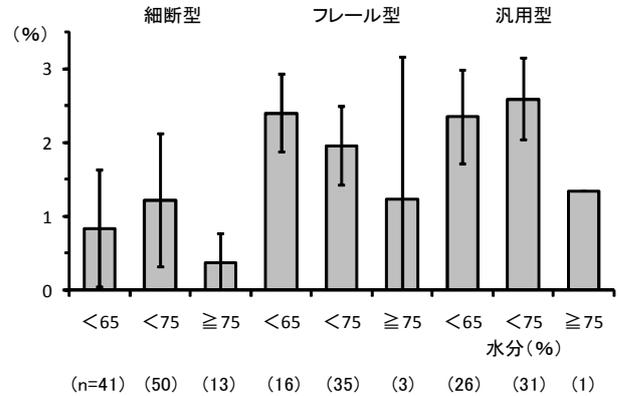


図6 収穫機械および水分含量別乳酸含量

以上のように分析に用いたイネWCSは、品種、収穫時期、収穫機械等が多様であり、これら複数の要因が関与した結果、試料ごとの各成分の分析値の幅が極めて大きくなったと考えられる。

2 無粉碎イネWCS試料のNIRS分析精度

NIRSによる検量線作成結果を表3に示した。NIRSにおいて、水の吸収波長が1450 nmおよび1940 nmの波長に存在し¹⁾、未乾燥の高水分試料では水の吸収波長の影響を大きく受ける場合がある。このため、水分以外の各成分について、水の吸収波長を含む1350~1550 nm、1800~2050 nmの波長域を除いた波長域を用いてPLS分析を行った結果、全ての測定波長域を用いた場合に比べて若干の分析精度向上がみられた。

一般成分の分析精度は水分、CP、EE、CAが推定精度(RPD) < 2.0、NFE、NDF、ADFはRPD < 1.5であり、スクリーニングに応用可能な精度に達しない低い分析精度¹⁾であった(表3)。一方で発酵品質の指標となるpH、乳酸、酢酸、酪酸については相関係数(r) > 0.9、RPD > 2.3であり(表3)、一般成分と比較して精度の高い検量線が作成され、無粉碎イネWCS試料のNIRS分析について、発酵品質評価への有用性が示された。

しかしVBN、プロピオン酸のように分析精度が低い指標もみられたため、発酵品質評価への応用にあって、検査項目および評価基準を考慮する必要があると考えられる。

表3 無粉碎イネ WCS 試料の NIRS 推定精度

	波長域	検量線 (n=150)			検量線検定 (n=40)		
		F	r	SEC	r	SEP	RPD
水分	1150~2500	16	0.957	1.973	0.835	1.989	1.670
	1150~1350						
粗蛋白質	1550~1800	16	0.932	0.396	0.865	0.398	1.842
	2050~2500						
粗脂肪	"	15	0.920	0.211	0.863	0.214	1.894
NFE	"	15	0.905	2.466	0.768	2.538	1.456
粗灰分	"	16	0.923	1.002	0.784	1.017	1.581
NDF	"	13	0.888	3.092	0.717	3.184	1.067
ADF	"	15	0.851	1.781	0.597	1.811	0.964
pH	"	16	0.936	0.260	0.919	0.270	2.363
VBN	"	11	0.898	0.005	0.636	0.007	1.161
乳酸	"	14	0.956	0.245	0.934	0.253	2.452
酢酸	"	16	0.956	0.076	0.943	0.083	2.465
プロピオン酸	"	14	0.794	0.037	0.596	0.038	0.967
酪酸	"	12	0.923	0.081	0.901	0.082	2.332
総有機酸	"	13	0.961	0.260	0.912	0.265	2.051

F: PLS解析に用いたファクター数

r: 化学分析値とNIRSによる推定値の相関係数

SEC: 検量線の標準誤差、SEP: 検量線検定の標準誤差

RPD: 推定精度(検定飼料群のSD/SEP)

当研究所が平成22年度から24年度に構成員として参加した、農林水産省委託プロジェクト研究(国産飼料プロ6系)－自給飼料の簡易・迅速評価技術の確立－では、イネ WCS ロールの飼料成分を直接測定することが可能な可搬型 NIRS 装置(写真1)の開発に取り組んできた。



写真1 可搬型 NIRS 装置試作機によるイネ WCS の成分分析

本研究では、その基礎データとなる無粉碎イネ WCS 試料の飼料成分および発酵品質を NIRS により評価する手法について検討したが、特に一般成分分析精度について実用的な精度を得るには至らなかった。今回、実際に流通、利用されているイネ WCS の品質のバラツキが大きいことが示されたことは、イネ WCS の利用拡大を図る上で、

品質評価という課題が避けて通れないことを示している。またイネ WCS の簡易、迅速評価技術の潜在的ニーズが高いことも示唆しており、更なる検討が求められる。

謝辞

本研究は農林水産省委託プロジェクト研究「自給飼料を基盤とした国産畜産物の高付加価値化技術の開発(国産飼料プロ)」(6系)－自給飼料の簡易・迅速評価技術の確立－により実施したものである。

ご指導、ご協力いただいた農林水産技術会議、(独)農業・食品産業技術総合研究機構 畜産草地研究所、(株)相馬光学の諸先生方に深謝する。

引用文献

- 1) 甘利雅拓(2009): 近赤外分析法. 三訂版 粗飼料の品質評価ガイドブック. 45-63. (社)日本草地畜産種子協会
- 2) 日本標準飼料成分表(2009年度版)(独)農業・食品産業技術総合研究機構(2009). 60-61.
- 3) 松下景・飯田修一・出田収・春原嘉弘・前田英郎・田村泰章(2012): 茎葉多収で消化性に優れた高糖分含量の飼料用水稲品種「たちすずか」の育成. 近中四農研報, 11, 1-13.
- 4) 松下景(2011): 茎葉多収で中生の稲発酵粗飼料用水稲新品種「たちあやか」. 近中四農研研究成果情報.
- 5) 稲発酵粗飼料生産・給与技術マニュアル. (社)日本草地畜産種子協会(2012).
- 6) 浦川修司(2009): WCS 用イネ収穫機械と効率的作業法. 最新農業技術 畜産 vol.2. 58-64. (社)農山漁村文化協会
- 7) 山名伸樹(2002): ホールクroppサイレージ用収穫機. 酪農機械最前線～その特徴と効率作業への使用方法～. 128-132. デーリィマン社.