

サイレージの調製法に関する研究 (第25報)

— 材料作物の生育段階にともなうリグニン含量ならびに乾物消化率の変化 —

内田仙二・石川正洋・堀米隆男
(家畜飼養学研究室)

Received November 1, 1982

Studies on Silage-Making (XXV) The Changes in Lignin Content and Dry Matter Digestibility During Growth Stages of Forage Crops

Senji UCHIDA, Masahiro ISHIKAWA and Takao HORIGOME
(Laboratory of Animal Nutrition)

This experiment was carried out to find the optimum harvesting stage of several forage crops used frequently for silage making. Of Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* LAM.), red clover (*Trifolium pratense* L.), corn fodder (*Zea mays* L.) and rhodes grass (*Chloris gayana* KUNTH), the lignin content and in vitro dry matter digestibility (IVDMD) were evaluated at different growth stages and then relationship between the lignin content and IVDMD of each sample was examined statistically.

As the growth stage progressed, the lignin content in dry matter of Italian ryegrass, red clover and rhodes grass increased and that of corn fodder decreased. On the other hand, the IVDMD of Italian ryegrass, red clover and rhodes grass decreased in proportion as maturity increases and that of corn fodder increased in proportion to age.

Significant negative correlations were found between the lignin content in dry matter and IVDMD of Italian ryegrass, of corn fodder and of rhodes grass, respectively. The correlation coefficient for relationship between the lignin content in dry matter and IVDMD of all samples was -0.822 ($P < 0.001$) and the equation for this linear regression was $Y = 99.61 - 3.60X$, where $Y = \text{IVDMD} (\%)$ and $X = \text{lignin content} (\%)$ in dry matter.

緒 言

高生産牛の基礎飼料としてサイレージは、ますます高栄養・高品質が要求されてきている^{1,4)}。当然のことながら、サイレージの栄養価は材料草のそれを強く反映するので、高栄養・高品質サイレージを確保するための前提として、高栄養・高品質材料の生産と、その有効利用が重要な課題となっている⁵⁾。

草類の品質や栄養価は、草種や栽培法などとともに、その生育段階によって大きく左右されるものであるので、著者らは埋蔵材料の刈取適期に関連する一連の研究を実施している。さきの実験⁹⁾においては、各材料草の生育段階と糖分や窒素含量などサイレージの発酵や品質を左右する因子との関係について検討した。本報の実験では、材料草類の生育にともなう消化性の変化を中心に検討したものである。すなわち、通常本邦西南暖地でサイレージ材料の中心として使用されているイタリアンライグラスとトウモロコシの2草種、ならびにマメ科草のレッドクローバー、さらに、暖地型草のローズグラスの4草種を対象とし、それらの生育にともなう乾物の人工消化率、ならびに消化性を支配する有力な因子とされているリグニン含量の変化を調査し、栄養価値の面から材料草の刈取適期について検討した。さらに、

乾物人工消化率とリグニン含量の相互関係についてもあわせて検討した。

材 料 と 方 法

1. 実験材料

本研究で調査対象とした草は、いずれも当研究室の実験圃場でサイレージ調製実験用として栽培されたものである。すなわち、冬作のイタリアンライグラス (*Lolium multiflorum* LAM.・品種ワセヒカリ) およびレッドクローバー (*Trifolium pratense* L.・品種ケンランド) は1975年10月28日に播種し、夏作のトウモロコシ (*Zea mays* L.・品種スノーデント2号) およびローズグラス (*Chloris gayana* KUNTH・品種パイオニア) は1976年5月30日に播種して、それぞれ常法(岡山県飼料作物耕種基準)によって栽培したものを供用した。イタリアンライグラスは伸長期の1976年4月20日から成熟期の6月22日までの間に、レッドクローバーは開花前の4月27日から開花後の6月29日までの間に、いずれもほぼ1週間隔で計10回試験試料を採取した。いっぽう、トウモロコシは伸長期の1976年7月14日から黄熟期の8月29日までの間、ローズグラスは伸長期の7月14日から成熟期の8月29日までの間に、それぞれ10~12日間隔で計5回試験試料を採取した。採取した試料は、それぞれカッターで約1 cmに細切したのち半減法で約500 gとし、60°Cの乾燥機で通風乾燥し、ウイレーの粉碎機で粉碎して孔径1 mmの篩を通して分析および測定に供した。

2. 実験方法

各試料の乾物含量は105~110°C乾燥法により定量し、リグニンは硫酸法(KLASON法)⁶⁾による直接定量をおこない、灰分を差し引く方法によって定量した。乾物の人工消化率(IVDMD)は炭酸ガス通気法²⁾により測定した。これら定量および調査結果に基づいて、各草種の各生育段階におけるリグニンおよびIVDMDの変化を追跡し、刈取適期について検討するとともに、リグニン含量とIVDMD値の関係についても若干検討を加えた。

結 果

1. 生育段階別リグニン含量ならびにIVDMDの変化

(1) イタリアンライグラス 伸長期から成熟期にいたる各生育段階において、ほぼ1週間隔で計10回にわたって採取した試料の調査結果より、それらのリグニン含量ならびにIVDMDの値を示すとTable 1のようである。

Table 1 Lignin content and in vitro dry matter digestibility at different growth stages of Italian ryegrass

Date	Growth stage	Plant height (cm)	Dry matter (%)	Lignin (% of dry matter)	IVDMD* (%)	
April	20	Leaf	48.4	13.90	7.21	80.4
	27	Booting	68.0	15.49	8.31	76.0
May	4	Early heading	78.9	15.65	9.78	68.4
	11	100% heading	91.5	21.41	11.22	65.5
	18	Early flowering	100.0	23.85	11.60	58.9
	26	100% flowering	102.5	22.93	12.61	53.3
June	1	Milk ripe	104.9	29.99	13.12	46.1
	8	Milk dough ripe	108.0	30.94	14.14	43.0
	15	Dough ripe	108.0	33.22	14.61	37.8
	22	Ripe	108.0	37.77	15.32	35.4

* In vitro dry matter digestibility.

Table 1 のように、この間の乾物中換算リグニン含量は約 7~16% の範囲にあり、生育の進行とともに増加の傾向にある。いっぽう、IVDMD は生育の進行とともに低下する傾向が明らかで、伸長期 80.4% の値が成熟期には 35.4 となっている。しかして、IVDMD の値が 60% を下回る段階は開花期頃に相当し、この段階における乾物中のリグニン含量は約 11% の水準であった。

(2) レッドクローバー 開花前から開花後までの各生育段階において、ほぼ 1 週間隔で採取した試料中のリグニン含量および IVDMD の値を Table 2 に示した。

Table 2 Lignin content and in vitro dry matter digestibility at different growth stages of red clover

Date	Growth stage	Plant height (cm)	Dry matter (%)	Lignin (% of dry matter)	IVDMD* (%)
April 27	Leaf	38.0	11.91	6.71	68.0
May 4		45.8	11.59	7.63	61.7
11	Early flowering	50.0	14.18	9.42	58.7
18	10% flowering	52.4	15.31	9.54	55.3
26	50% flowering	55.6	13.13	11.78	64.0
June 1	100% flowering	57.7	14.72	11.73	61.9
8		58.2	15.55	12.62	62.4
15		58.9	14.96	13.36	58.9
22	Late flowering	61.3	19.43	12.71	57.7
29		62.6	20.09	13.90	56.6

* In vitro dry matter digestibility.

すなわち乾物中リグニン含量は約 7~14% の範囲にあり、若干変動しながら生育の進行とともに増加する傾向を示している。いっぽう、IVDMD の値は開花前の 68.0% が最も高い値であるが、生育段階の進むとともに低下し開花初期頃 55.3% となっている。しかし、その後再び 64.0% に上昇し、満開花期の 3~4 週間は 60% 以上の水準を維持するが、開花終了後再び少しずつ下降している。

(3) トウモロコシ 伸長期より黄熟期にいたる各生育段階別の乾物中のリグニン含量ならびに IVDMD の値を約 10 日間隔で 5 回にわたり調査した結果は Table 3 のようである。

Table 3 Lignin content and in vitro dry matter digestibility at different growth stages of corn fodder

Date	Growth stage	Plant height (cm)	Dry matter (%)	Lignin (% of dry matter)	IVDMD* (%)
July 14	Leaf	195.4	13.76	10.83	64.9
24	Early earing	200.0	15.58	9.50	64.2
August 3	Earing	204.0	17.24	9.05	67.4
16	Milk ripe	215.0	17.29	8.96	68.0
29	Yellow ripe	226.0	22.51	7.02	75.2

* In vitro dry matter digestibility.

Table 3 のように乾物中換算リグニン含量は約 7~11% の範囲にあるが、前記 2 草種と異なり雌穂着生期以後生育段階の進行にともなって減少している。いっぽう、IVDMD の値は約 64~75% の範囲にあり、いずれも高い水準であるが生育の進行にともなって、しだいに上昇する傾向が認められる。とくに、雌穂着生期から黄熟期にいたる間のリグニン含量の低下と IVDMD 値の上昇は顕著である。

(4) ローズグラス 伸長期から成熟期にいたる各生育段階におけるリグニン含量と IVDMD 値をトウモロコシの場合に準じて調査した結果を Table 4 に示している。

Table 4 Lignin content and in vitro dry matter digestibility at different growth stages of rhodes grass

Date	Growth stage	Plant height (cm)	Dry matter (%)	Lignin (% of dry matter)	IVDMD* (%)
July	14	Leaf	80.2	21.48	61.3
	24	Booting	88.0	23.78	55.3
August	6	Heading	98.4	18.40	53.7
	16		105.0	22.81	51.0
	29	Ripe	112.0	22.48	50.9

* In vitro dry matter digestibility.

すなわち、乾物中換算リグニン含量は 11~13% の範囲にあり、伸長期に若干低い値であるが、生育段階別の含量差は少ない。いっぽう、IVDMD の値も伸長期の 61% を除き、いずれも 50% 台で生育の進行とともに明らかに低下の傾向が認められる。

2. リグニン含量と IVDMD の関係

供試した 4 草種の各生育段階別のそれぞれのリグニン含量と IVDMD との関係进行调查し、草種別ならびに全草種の両要因間の相関ならびにリグニン含量から IVDMD を推定する回帰式を求めた。それらの結果より両要因の関係を示すプロット、草種別の相関と回帰式ならびに全サンプルにおける相関および回帰を Fig. 1 に示した。

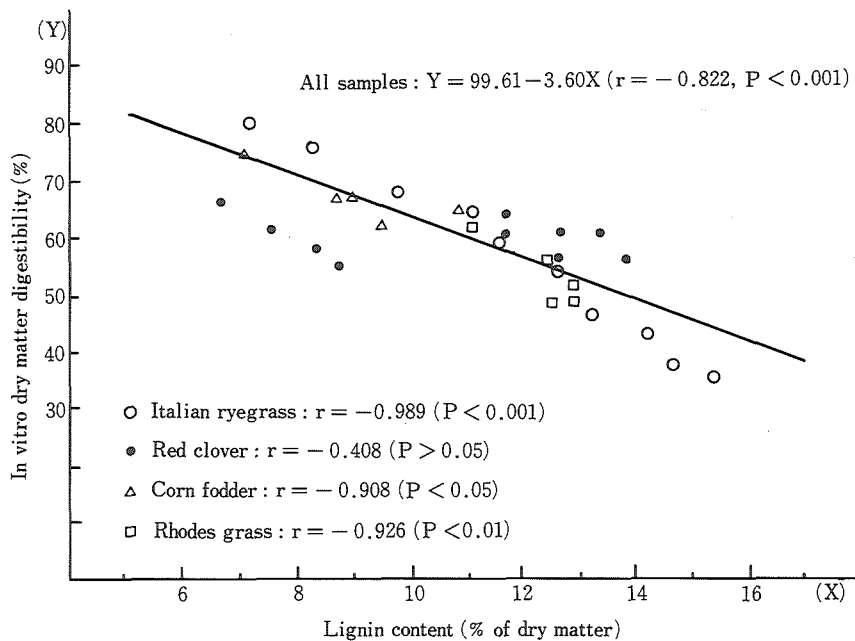


Fig. 1 Relationship between lignin content and in vitro dry matter digestibility of forage crops.

すなわち、草種ごとで両要因の関係を調査した結果、4 草種のうちレッドクローバーを除く 3 草種で有意な負の相関関係が認められた。いっぽう、全サンプル込みで両要因の関係を調査した結果、 $r = -0.822$ ($P < 0.001$) の相関が認められ、草中の乾物中換算リグニン含量

%(X) から IVDMD%(Y) を推算する回帰式は $Y = 99.61 - 3.60X$ であった。

考 察

リグニン含量ならびに IVDMD の草種別、生育段階別の変化を比較した結果、各草種により生育時期によって特徴的なパターンが認められた。

イタリアンライグラスの場合、リグニン含量は生育とともに、ほぼ直線的に増加することが知られた。いっぽう、IVDMD の値はリグニン含量の変化と対照的に、生育の進行にともなって直線的に下降していくことも認められた。一般にサイレージ用としての刈取適期は穂孕～出穂頃が推奨されているが、本実験の結果では、この時期の草の乾物中リグニン含量は約 10% であり、IVDMD は約 65% 程度となっている。この時期を過ぎ開花期に入ると、リグニン含量は 11% を越えてしだいに上昇、IVDMD は急速に低下し、いわゆる高栄養サイレージの材料として不十分なものとなる。ちなみに、穂孕期から開花期にいたる間に約 1 ヶ月を経過しているが、この間のリグニン増加量は 4.3% であり、また、この間に IVDMD は 23% 下降している。これを 1 日あたりの数値に換算するとリグニン含量は平均 0.14% の増加、IVDMD は 0.81% 低下したことになる。McCULLOUGH⁴⁾ は、近代的な酪農のための飼料中の粗飼料の乾物消化率は 60% の水準以下にならないことである、と酪農飼料中の粗飼料の消化率向上の重要性を主張しているが、その水準からいえば、イタリアンライグラスの高栄養サイレージ生産のための刈取適期は、出穂期またはそれ以前ということになる。

レッドクローバーの生育段階とリグニン含量ならびに IVDMD の変化の関係を調査した結果より、乾物中リグニン含量は生育の進行にともなって徐々に増加し、IVDMD 値は必ずしも直線ではなく、若干上下しつつ総体的には生育後期に下降することが認められた。マメ科草類の収穫適期とされている満開花期頃の生育段階についてみると、リグニン含量 10～12%、IVDMD 60～64% と比較的安定して推移しており、収穫適期の幅も比較的広いことが推定される。

トウモロコシの生育段階の進行にともなうリグニン含量および IVDMD の変化に関する調査結果より、乾物中リグニン含量は生育とともに減少する傾向にあること、IVDMD の値は生育の後期すなわちサイレージ適期の黄熟期にむけて上昇することが認められた。これらの傾向はグラス類のそれとはまったく逆の関係にある。これは本草種の場合、生育の後半に至って雌穂の着生・成熟の現象があり、それにより草全体の成分、栄養価が強く影響されることで説明される。サイレージ適期とされている黄熟期の乾物中リグニン含量は 7.02% と低く、IVDMD は 75.2% と高い水準にある。ちなみに、伸長期から黄熟期にいたる約 1.5 ヶ月間のリグニンと IVDMD の変化をみると、リグニン含量は乾物中で 3.81% の低下、IVDMD は 10.3% の上昇であり、1 日あたり前者は 0.08% 低下、後者は 0.23% 上昇したことになる。

ローズグラスは暖地型の代表的なイネ科牧草であるが、各生育段階のリグニン含量は伸長期からすでに 11% を越えており、イタリアンライグラスとかなり異なった傾向にある。その後生育の進行にともなって増加するが、その速度は比較的緩やかである。IVDMD は伸長期においてのみ 60% を越えているが、穂孕期以降は 50～55% の低い水準で推移している。暖地型牧草の特徴として、一般に木質化が進み易く、消化率が低下し易いことが知られているが、本研究結果でも一応それらのことが実証されている。しかして、これらの草種から高栄養サイレージを調製するためには、出穂以前の比較的若い生育段階で収穫した材料を供用する必要があることが明らかである。

以上各草種の生育にともなうリグニン含量と IVDMD の変化について考察したが、各草種それぞれ特異の変化のパターンを示しており、高栄養・高品質サイレージ材料を生産し利用

するためには、それぞれの特徴を十分考慮して栽培、収穫、調製することが重要であることが知られた。

ところで、本実験で重点的に検討した2つ因子、すなわちリグニン含量と乾物消化率との間には、かなり強い関連性があるとする実験結果が報告されているが、本実験において調査した結果から、これは草種によってかなり差があることが実証された。イタリアンライグラスのように両因子間に極めて高い相関の存在する草種、レッドクローバーのように比較的両因子間の関係の弱い草種、さらにトウモロコシのように全生育期を通じてリグニン含量が低く、逆にIVDMDが高い水準で経過するもの、ローズグラスのようにリグニン含量が総体的に高くIVDMDが低い水準で経過する草種など、草種による差は著しい。しかし、全草種、全生育期を通じての両因子の関係の調査結果より、両者間に相当高い負の相関関係が算出され、従来報告されている研究結果^{5,7)}と比較的よく一致している。ちなみに、16試料を使用して実施したJoshi³⁾の実験結果では、両因子間に $r=0.808$ ($P<0.001$)の相関ならびにリグニン含量からIVDMDを推定する回帰式 $Y=85.4-4.12X$ が認められている。対象草、リグニン定量法およびIVDMD測定法の差によって、これらの数値は当然異なってくると考えられるが、リグニンが飼料の消化率に強くかかわっていることを実証し再確認するための資料といえる。ところで、前述のようにMcCOLLOUGH⁴⁾は乳牛飼料中の飼草の乾物消化率は60%以上の水準であるべきことを提案しているが、いまかりに高栄養サイレージの材料条件としてIVDMDの水準を60%に合わせて考えるとすれば、本実験結果より得られた回帰式より、高栄養サイレージの材料中の硫酸リグニン含量は乾物中約11%以下ということになる。

摘 要

サイレージ材料の刈取適期を栄養的な面から検討するために、イタリアンライグラス、レッドクローバー、トウモロコシおよびローズグラスの生育にともなうリグニン含量ならびに乾物の人工消化率を調査し、両者の関係についても解析した。

乾物中のリグニン含量は、生育の進行とともにイタリアンライグラス、レッドクローバー、ローズグラスで増加し、トウモロコシで減少する傾向があり、乾物の消化率は、生育の進行とともにトウモロコシで上昇し、イタリアンライグラス、レッドクローバー、ローズグラスで下降する傾向があった。

乾物中のリグニン含量と乾物の消化率との間に、レッドクローバー以外の草種において有意な負の相関が認められた。全試料について両因子の関係を調査した結果、 $r=-0.822$ ($P<0.001$)の相関があり、リグニン含量(X)から乾物消化率(Y)を推定する回帰式は $Y=99.61-3.60X$ であった。

文 献

- 1) GORDON, F. J. and J. C. MURDOCH: J. Br. Grassld Soc. 33, 5-11 (1978)
- 2) 堀井 聰: 栽培植物分析測定法 (作物分析法委員会編・初版) 486-488, 養賢堂・東京 (1975)
- 3) JOSHI, D. C.: Acta Agriculture Scandinavia 22, 243-247 (1972)
- 4) McCOLLOUGH, M. E.: Optimum Feeding of Dairy Animals (2nd Ed.) 30-61, The University of Georgia Press, Athens (1973)
- 5) McLEOD, M. N. and D. J. MINSON: J. Br. Grassld Soc. 26, 251-256 (1971)
- 6) 宮崎 信: 栽培植物分析測定法 (作物分析法委員会編・初版) 401-402, 養賢堂・東京 (1975)
- 7) SIMKINS, K. L. and B. R. BAUMGARDT: J. Dairy Sci. 45, 338-340 (1962)
- 8) 須藤 浩: サイレージと乾草 (初版) 12-15, 養賢堂・東京 (1971)
- 9) 内田仙二・須藤 浩: 岡山大農学報 41, 53-60 (1973)

正 誤 表 (Errata)

頁 (Page)	行 (Line)	誤 (Erratum)	正 (Correct)
目 次	15	調整法	調製法
34	28	HDL	HDL-Cho 38頁まで同様
34	28	LDL	LDL-Cho 38頁まで同様
55	3	35.4	35.4%