

農場副産物の飼料化技術と利用評価

—アンモニア・尿素処理によるワラ類の飼料価値向上—

近 藤 恒 夫

(東北農業試験場)

Improvement of the feeding value of cereal straw by ammonia and urea treatments

Tsuneo KONDO

(Tohoku National Agricultural Experiment Station)

1. はじめに

主に食用の目的で栽培される作物に副産する茎葉類は、作物副産茎葉類と呼ばれる。カンショツル（イモツル）、馬鈴薯茎葉、根菜類茎葉、サトウキビ梢頭部、野菜外葉、ワラ類など、わが国で産出する茎葉類の種類は多い。もとより飼料として生産されるものではないが、家畜が利用できる栄養素を少なからず含むため、古くから飼料として用いられてきた。なかでも、ワラ類は牛用の飼料として年間170万トン程度が利用され、このほかにも25万トンほどが輸入されており、今日でもなお重要な繊維質飼料源として位置づけられている。ここでは、稲ワラや麦ワラの飼料価値を高

めるための技術としてのアンモニア処理および尿素処理の効果とその発現機構、ならびに尿素処理の実際について、当研究室での試験結果を中心に概説する。

2. アンモニア処理効果とその発現機構

稲ワラや麦ワラは一般に繊維成分が多く、粗タンパク質や粗脂肪は少なく、栄養価は低い。また、栄養価が低いことと呼応して嗜好性も悪いのが通例である。こうしたワラ類にアンモニアを添加し、水分条件を整え密封して一定期間おいておくと、ワラの家畜採食性が高まり、栄養価も向上する。これがアンモニア処理の効果である。効果

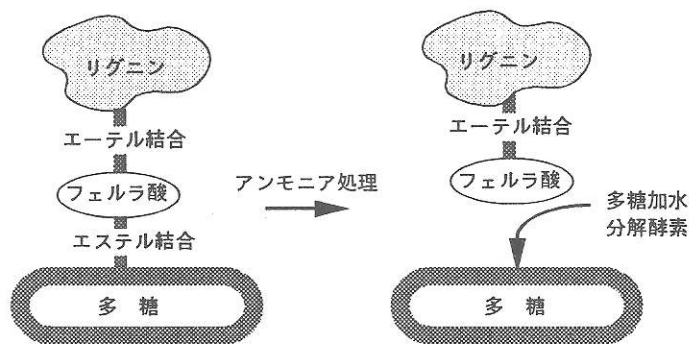


図-1 アンモニア処理によるワラ繊維の消化性向上モデル

の程度はワラの種類や処理条件にもよるが、稲ワラにアンモニアを1～3%添加するとTDN（可消化養分総量）含有率は4割～6割、家畜の乾物摂取量も2割～4割程度増加する。こうした飼料価値の改善の理由の一つは、アンモニア処理による非蛋白態窒素の付加で、非蛋白態窒素成分は反芻家畜のルーメン（反芻胃）に生息する微生物の働きにより有効に利用される。もう一つの主要な理由はワラ繊維の消化性の向上で、2割～4割ほど繊維の消化率が上昇することが確認された。

ワラ繊維は飼料作物繊維と同様、セルロースおよびヘミセルロースの構造的な多糖と芳香族化合物の重合体であるリグニンからできており、これらの高分子物質は物理的・化学的に相互に結びついて存在するとされる。反芻家畜はルーメン微生物の活動によりセルロースやヘミセルロースを分解・消化してエネルギーとして利用できるものの、共存するリグニンによりその分解が阻害されるため、利用が制限されてしまう。アンモニア処理をすることでこうした作用をするリグニンが溶脱するため、繊維の消化率が向上すると一般に考えられているが、詳細なメカニズムは不明のままであった。最近、当研究室でアンモニア処理によるワラ繊維の構造、とくにリグニンを中心とした化学構

造の変化をつぶさに解析した¹⁾。その結果、消化率向上のメカニズムの一つはつぎのように推定された（図－1）。

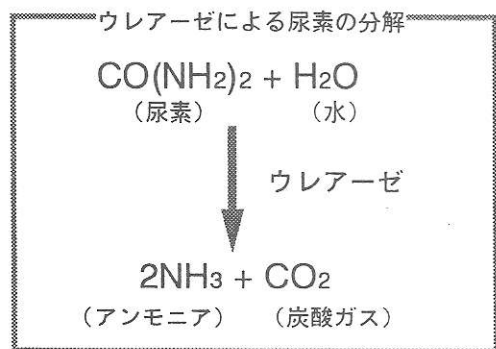
- ①アンモニア処理により繊維中の架橋結合が解裂する
- ②多糖の分解を阻害するリグニン－フェルラ酸複合体が解離する
- ③その結果、繊維の多糖は酵素分解を受けやすくなり、消化性が向上する

なお、豆がらや大豆茎などイネ科作物以外の茎葉副産物では、アンモニア処理しても消化率の改善がほとんど認められない。これは易分解性の繊維構造をもたないか、乏しいためと考えられる。

既述のように、ワラ類の飼料価値向上に対するアンモニア処理の効果は極めて高く、また実用的な調製法も概ね確立されている。本処理技術が普及に移されたのは昭和57年頃であるが、平成5年度に実施された東北地域における粗飼料のアンモニア処理に関するアンケート結果²⁾によれば、東北地域では比較的最近になって導入した農家も多く見受けられる。しかし、一方で、アンモニア処理を中止する農家も増えており、その理由としてアンモニアガスの入手、労働力、ポンベの取り扱いなどの作業上の問題や処理コストの問題を挙げている例が多くみられた。そこで、アンモニア処理の応用技術として尿素処理に注目し、その具体的な処理方法ならびに処理ワラの飼料特性について検討した。

3. 尿素処理とその効果

尿素はカルバミドともいい、肥料あるいは牛用の非蛋白態窒素飼料として容易に入手できる資材である。微生物、高等動植物などに広く分布する酵素ウレアーゼの作用により常温で分解して、アンモニアと炭酸ガスになる（図－2）。計算上では、



図－2 ウレアーゼの作用

尿素 10 kg が分解すると 5.6 kg のアンモニアが発生する。ここで報告する尿素処理はこのウレアーゼを利用してアンモニアを発生させるものである。従って、尿素処理は基本的にはアンモニア処理の場合と同様、非蛋白態窒素の付加、ワラ繊維の構造変化とそれに基づく消化性の向上、貯蔵性の改善に有効と考えられる。尿素処理における最も重要な要件は、アンモニアができるだけ速やかに生成されることである。アンモニアが生成されなければ、処理効果が発現しないばかりか、残存する尿素で嗜好性が低下したり、もっと悪い場合には尿素中毒の発生の恐れもある。そこでまず、ワラ類のウレアーゼ活性とその変動について調べ、次に尿素的分解に対する温度、水分の影響を検討し、さらに尿素処理ワラの飼料特性を評価した³⁾。

(1) ワラ類のウレアーゼ活性

ワラ類のウレアーゼ活性の特性を明らかにするために、稲ワラ、麦ワラ（大麦、小麦、エン麦）、トウモロコシ、イネ科牧草（オーチャードグラス、チモシー、イタリアンライグラス）、マメ科牧草（アルファルファ）、野草類（ススキ、シバ、ヒメジョオン、クズ等）の粉碎試料について、ウレアーゼ活性を測定した。図-3に示す結果から明らかなように、稲ワラ、麦ワラのウレアーゼ活性は牧草類、飼料作物類、野草類に較べて高く、尿素処理に適した材料といえる。稲ワラ、麦ワラとも枯葉部で高い活性が認められたことから、植物体自体の活性よりも微生物の付着が関係するものと推察された。このことは、稲ワラでは数日間放置することによりウレアーゼ活性が高まることが観察されたこと（図-4）と矛盾しない。

大豆類は高いウレアーゼ活性を持つことが知られるので、分解促進のためこれを添加することもあると考えられる。実際、水分 40%、尿素 4% 添加の条

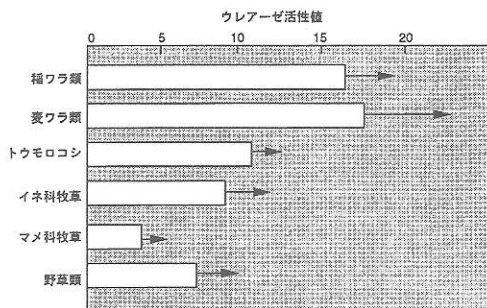


図-3 ワラ類、牧草類、野草類のウレアーゼ活性

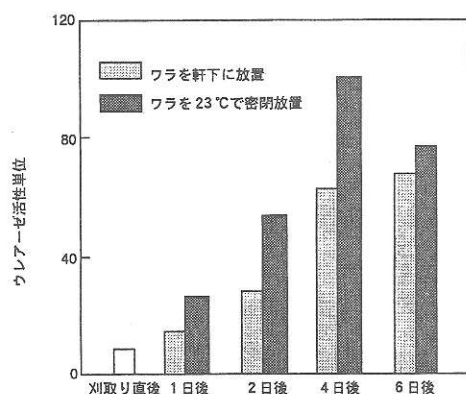


図-4 稲ワラ刈取り後のウレアーゼ活性の変化

件下では、生大豆を添加すると 5 日後で 100% 分解したのに対し、生大豆無添加では 43% の分解にとどまった。しかし、放置されたワラではウレアーゼ活性が充分高いので、こうした処理は特に必要ないと考えられる。

(2) 尿素分解と水分、温度条件

稲ワラに添加した尿素的分解率は水分、温度によってかなり異なる（図-5）。一般に、水分が多いほど、また温度が高いほど分解率が高いが、水分 20% の場合、処理温度が高くても分解率は低いレベルのままであった。添加した尿素が 90% 分解する日数を図の結果から試算すると、水分 50% では 13℃ で 32 日、18℃ で 18 日、23℃ で 16 日、水分 30% では 13℃ で 54 日、18℃ で 35 日、23℃ で 38 日となった。

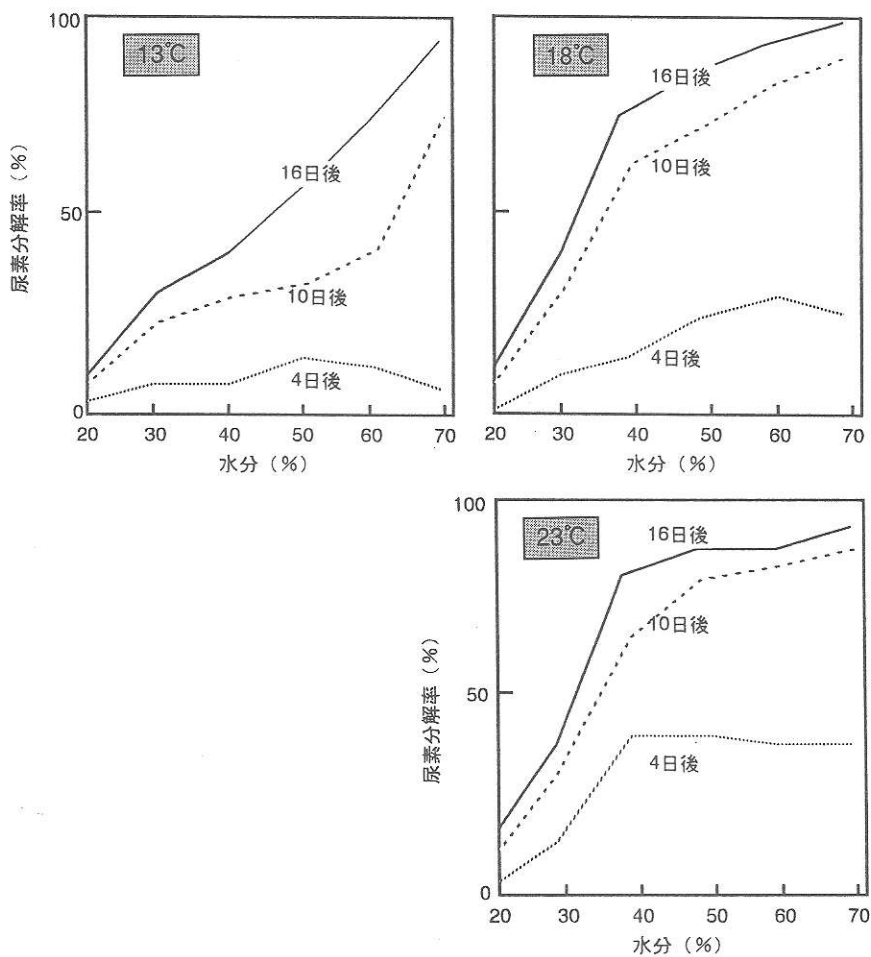


図-5 稲ワラ添加尿素の分解におよぼす水分および温度の影響

表-1 処理ワラの飼料成分および発酵品質

	飼料成分組成(%)				発酵性状			
	有機物	粗タンパク質	総繊維	高消化性繊維 維画分	pH	VBN ^{a)}	乳酸 ^{b)}	酢酸 ^{b)}
無処理	82.4	3.1	57.6	5.2				
サイレージ	78.1	3.9	63.6	6.5	4.38	10	1.04	0.48
尿素 2.3% 処理	80.3	10.8	60.0	13.6	7.87	79	0.49	3.54
尿素 4.6% 処理	81.6	12.7	55.6	15.3	8.76	66	0.83	1.82
アンモニア 3% 処理	83.0	11.3	43.5	26.2	8.37	40	0.58	0.02

a) 全窒素中の揮発性塩基窒素の割合, %.

b) 現物中%.

表－2 処理ワラの採食量および栄養価

	採食量 (g) ^{a)}	有機物消化率 (%)	TDN (%) ^{b)}
無処理	18.5	48.2	39.2
サイレージ	22.6	48.4	40.8
尿素 2.3 % 処理	25.5	57.4	48.6
尿素 4.6 % 処理	25.9	59.2	49.7
アンモニア 3 % 処理	38.2	68.8	58.8

a) メン羊代謝体重当たりの採食量.

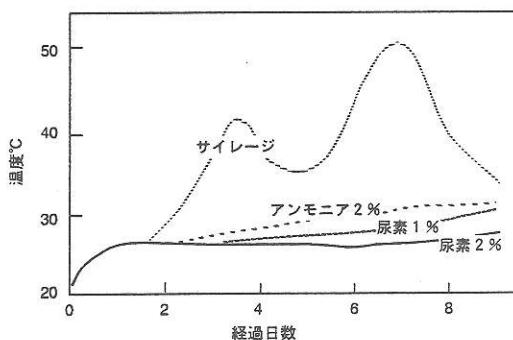
b) 可消化養分総量.

(3) 尿素処理ワラの飼料特性

尿素処理ワラの飼料特性を明らかにするために、所定の濃度になるよう尿素有添加した生稲ワラロールバールをビニールバッグに密閉・貯蔵し、一定期間後開封して飼料成分、発酵状態、栄養価、採食量を調べた。比較のため、アンモニア処理稲ワラについても同様に実施した。なお、栄養価、採食量は綿羊を用いた動物試験により測定した。

表－1に示すように、尿素処理ワラは粗タンパク質（窒素）含有率、易消化性繊維含有率が高く、発酵生成産物の有機酸中に占める酢酸の割合が高いのが特徴的であった。尿素処理ワラの採食量はアンモニア処理ワラに較べて少ないものの、乾燥稲ワラやサイレージより多かった。TDN（可消化養分総量）含有率についても（表－2），尿素処理ワラはアンモニア処理ワラには及ばないが、無処理ワラより約10%高くなった。

尿素処理ワラの開封後の保存性を見るために、発熱状態を調べた結果を図－6に示す。尿素処理ワラではワラサイレージにみられる開封後の発熱が起こらず、かびも全く発生しないなど、開封後の変敗はほとんど認められなかった。



図－6 処理稲ワラの開封後の発熱曲線

4. 尿素処理の実際

尿素処理の具体的な目安は、これまでの結果をもとにすると以下のようにまとめられる。

- ・ 処理材料：生ワラあるいは半乾のワラ
- ・ 材料水分：尿素液添加後で40～60%に調製
- ・ 尿素添加量：原物重量当たり2～3%
- ・ 貯蔵方法：バッグサイロ，スタックサイロなどで密封
- ・ 貯蔵期間：夏期で1ヶ月，秋期で2ヶ月，晩秋以降では翌春まで
- ・ 尿素分解の確認：アンモニア臭，ワラが黄色を呈する

1トンの稲ワラを処理する場合，約20kgの尿

素を60リットルの水に溶かして、ワラに均一に散布して踏圧する。詰め込みはバッグサイロかスタックサイロで行ない、密閉し、処理時期に応じて一定期間貯蔵する。開封時にはアンモニア臭の有無で尿素の分解を確認する。

5. おわりに

尿素は価格がアンモニアベースでアンモニアガ

スの約1/4と安く、取り扱いも容易である。上述のように、尿素処理はサイレージ調製とほぼ同じ手順で行なえるので、ワラ類の採食性、栄養価、保存性を改善できる低コストで簡易な調製・貯蔵方法といえる。これまで、圃場などに放置されたままであった稲ワラの飼料利用に活用できる処理法と考えられる。

引用文献

- 1) Kondo, T.; Ohshita, T.; Kyuma, T. 1992. Comparison of characteristics of soluble lignins from untreated and ammonia-treated wheat straw. *Anim. Feed Sci. Technol.* 39: 253-263.
- 2) 久馬 忠, 近藤恒夫, 大下友子. 1993. 東北地域における粗飼料のアンモニア処理の実態. *東北農試研究資料* 16 143-155.
- 3) 久馬 忠. 1994. ワラ類の尿素処理による貯蔵性と飼料価値の改善. *牧草と園芸* 42 1-5.