

技術指針 水田ほ場を活用した自給飼料増産

目 次

刊行にあたって

I.	自給飼料増産戦略の概要及び地域の推進状況	1
1.	自給飼料増産戦略の概要	2
2.	各地域における自給飼料増産戦略の推進状況	
1)	北海道地域における自給飼料増産戦略の推進状況	6
2)	東北地域における自給飼料生産の現状と増産戦略	10
3)	関東・東海・北陸地域における自給飼料増産戦略	13
4)	近畿・中国・四国地域における自給飼料戦略の概要と推進状況	18
5)	九州・沖縄地域における自給飼料増産の最近の概況	22
II.	水田ほ場を利用した自給飼料生産の技術解説	27
1.	飼料作物の耐湿性の草種・品種間差	28
2.	水田ほ場を活用した飼料作物の栽培	35
3.	堆肥等を利用した飼料作物の栽培と品質	44
4.	サイレージの調製貯蔵技術と品質管理	54
5.	自給飼料の調製利用と流通技術	64
6.	飼料生産作業体系	73
7.	トウモロコシ用ロールベール収穫調製技術	78
8.	酪農経営における自給飼料生産の経営的評価	84
III.	自給飼料生産に役立つ技術情報（草地飼料作研究成果最新情報より抜粋）	93
1.	草種・品種	
	サイレージ用とうもろこし茎葉高消化性早生品種「ナスホマレ」の育成	94
	暖地向き高消化性・耐倒伏性サイレージ用とうもろこし新品種「ゆめちから」	96
	サイレージ用ソルガム新品種「葉月」	98
	カラードギニアグラス新品種タミドリの育成	100
	アルファルファ耐湿・永続性新品種「ツユワカバ」の育成	102
2.	生理生態・栽培	
	出芽・初期生育時におけるサイレージ用とうもろこしの簡易な耐湿性検定法	104

湛水条件に対する飼料作物根の生理的適応反応	106
スラリー多量施用下における飼料作物作付体系の収量性と窒素吸収量	108
西南暖地における部分耕播種、	
表面播種攪拌によるスーダングラスの3作型生産技術	110
ミニマムティレッジによる	
イタリアンライグラス・トウモロコシの省力多収栽培法	112
3. 土壌肥料・肥培管理	
飼料用トウモロコシの窒素追肥要否判定法	114
品種選定を利用した黄熟期のトウモロコシの硝酸態窒素濃度の低減化	116
品種選定によるスーダングラスの硝酸態窒素濃度の低減効果	118
有機物還元容量増強のための飼料作物草種・品種の選定と栽培法	120
収量、品質、乾燥速度からみた	
ロールベール用スーダングラスの播種量及び施肥量	122
4. 調製・加工・品質	
野外サイレージの発酵品質と好気的変敗	124
稲ホールクロップサイレージの発酵特性	126
乳牛用飼料として優れる	
高消化性ソルガム品種「葉月」のロールベールサイレージ	128
泌乳牛におけるスーダングラスサイレージの飼料価値	130
近赤外分光法による無粉碎牧乾草の飼料成分分析	132
5. 機械作業	
長大型作物細断収穫用ロールベアラ	134
リバース走行トラクタと直装型フォレージハーベスタによる収穫技術	136
浅層に注入できる多条型スラリーインジェクタ	138
6. 経営・技術評価	
家畜糞尿負荷の大きな酪農経営における飼料生産	140
遊休農地の放牧及び牧乾草生産の経営経済性	142

執筆者（第1章、第2章）及び編者（第3章）

第1章

1. 畜産草地研究所飼料生産管理部長 舘野宏司
2.
 - 1) 北海道農業研究センター飼料作物育種研究室長 濃沼圭一
 - 2) 東北農業研究センター飼料生産研究室長 魚住 順
 - 3) 畜産草地研究所栽培生理研究室長 吉村義則
 - 4) 近畿中国四国農業研究センター飼料作物研究室長 佐藤節郎
 - 5) 九州沖縄農業研究センター飼料生産研究室長 佐藤健次

第2章

1. 東北農業研究センター飼料生産研究室長 魚住 順
2. 畜産草地研究所栽培生理研究室長 吉村義則
3. 畜産草地研究所作物栄養研究室長 畠中哲哉
4. 畜産草地研究所調製工学研究室長 村井 勝
5. 畜産草地研究所山地畜産研究部上席研究官 市戸万丈
6. 畜産草地研究所栽培工学研究室長 澤村 篤
7. 生物系特定産業技術研究推進機構農業機械化研究所
山名伸樹・澁谷幸憲・志藤博克
8. 畜産草地研究所体系技術評価研究室長 青木壽美男

第3章

1. 草種・品種
畜産草地研究所ヘテロシス育種研究室長 大同久明
2. 生理生態・栽培
畜産草地研究所栽培生理研究室長 吉村義則
3. 土壤肥料・肥培管理
畜産草地研究所作物栄養研究室長 畠中哲哉
4. 調製・加工・品質
畜産草地研究所調製工学研究室長 村井 勝
5. 機械作業
畜産草地研究所栽培工学研究室長 澤村 篤
6. 経営・技術評価
畜産草地研究所体系技術研究室長 青木壽美男

Ⅱ. 水田ほ場を利用した自給飼料生産の技術解説

1. 飼料作物の耐湿性の草種・品種間差

東北農業研究センター飼料生産研究室 魚住 順

はじめに

水田転換畑は、飼料作物の重要な生産基盤のひとつであるが、ここで大きな問題となっているのが、排水不良に伴う湿害の発生である。

飼料作物は換金作物と異なり、たとえ湿害が生じたとしてもその価値がすべて失われることがない。このため、換金作物の作付に適さない排水不良な転換畑、あるいは適切な営農排水を行わない転換畑に導入されることが多く、いわば湿害の最前線に立つ作物となっている。飼料作物の耐湿性は作物全体の中では強い方であるが、上記の様な作付の現状から湿害は避けて通れない大きな問題となっている。

ここでは湿害とはどのようなものかについての基礎知識を紹介するとともに、最近の試験研究の結果から、湿害の回避技術や耐湿性の草種・品種間差に関しての情報を提供したい。

1. 湿害の発生の機構とその症状

1) 湛水が土壤環境に及ぼす影響

一般的に畑作物の根は、土壤孔隙内の酸素を利用して呼吸を行なっている。土壤水分が過剰でなければ土壤孔隙は互いに連結しあって地上部とつながっており、大気とのガス交換によってその中の酸素濃度はほぼ一定値を保っている。しかしながら、一旦湛水すると、土壤孔隙内のガスの多くは水と置き換置わるうえ、ガスが残存する孔隙も地上部との通路を絶たれる。このため、好氣的微生物や根の呼吸によって酸素が消費されてしまうと、土壤中は酸欠状態に陥り根の呼吸が阻害されてくる。さらに湛水が長期にわたると、嫌氣性土壤微生物の還元作用により、有機酸、亜酸化鉄、硫化物、 Mn^{2+} など作物に有害な物質が生成され、土壤環境は決定的に悪化することになる。

このように湛水は、主に根の呼吸阻害や有害還元物質の生成を通じて生育を阻害する。また湿害にはこれ以外の要因も関与することが知られている。そのひとつが、植物ホルモンの一種であるエチレンの濃度増加である。エチレンの体内生成量は、湛水ストレスに感応して増加するうえ、エチレン自体が水に解けにくいいため、体外への拡散も

抑制される。また、土壤微生物由来のエチレンが根に進入することもある。このようにしてエチレンの体内濃度が増加すると、植物体は各種の異常な生育を示す様になる。また、冬作物では、過湿状態のまま土壤が凍結すると、水により根の中に炭酸ガスが封じ込められ、その有害作用が湿害に関与するとの報告もある。さらに、排水の良好な土壤においても、周辺圃場の流去水が集まるような低い場所では、実際の降水量の数倍の水が浸透水となり、肥料を流亡させたり、団粒構造を破壊したり、土壤空隙を押しつぶすなどの害作用を及ぼす。これも湿害のひとつといえよう。以上のように、湿害とは、単に酸素欠乏だけでなく、土壤環境全体の悪化により生ずる現象である。

2) 湿害の症状

湿害の最初の兆候は、多くの場合、葉の萎れである。葉の萎れは、主に根の水分吸収力の低下によって引き起こされるもので、気温が低い場合は発症しないこともあるが、高温になり蒸散量が増加すると顕著に現れてくる。梅雨時の長雨では、降雨中には症状が現れず、晴天になってから、急激に作物が萎れることがあるが、これはその端的な例である。また、エチレンの体内濃度の上昇も葉の上偏成長をもたらし、萎れを助長することも知られている。萎れに続いて起こる症状は、葉の黄化、アントシアンの発現、下葉の枯れ上がりなどがあげられる。これらの症状がでると生育速度は確実に低下し、収量への影響も懸念される。また病害抵抗力が低下するため、病気により枯死に至るケースも少なくない。作物によっては、茎の短化と肥大、不定根の発生など特異な症状を示すものもみられる。

これらの症状の発現の機構は複雑で、またその全貌は明らかにされていないが、最も大きな原因は、好氣的呼吸の制限によるエネルギーの不足である。酸素の欠乏した根は嫌氣的呼吸を強いられるが、これによって得られるエネルギーは好氣的呼吸の1/20にすぎず、これでは十分な養・水分の吸収を行なえないばかりか、根の生命を維持することさえ困難となる。また、嫌氣的呼吸の最終代謝産物であるエタノールは生命に有害であり、

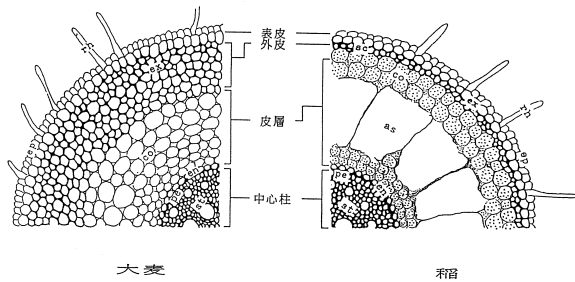


図1 大麦および稲の根基部の断面図
(1975. 有門原図)

この蓄積が、根に大きなダメージを与えるとする説もある。さらに、湛水はホルモンバランスの不均衡をもたらすが、これによる代謝障害や生長異常なども、湿害の兆候の一端を担っている。このような植物側の要因に土壤の物理性の悪化、養分の溶脱、有害還元物質の発生などが加わると、症状はより深刻なものとなる。

2. 過湿に対する作物の適応

1) 通気組織の発達

過湿に強い作物としてまず思い浮かぶのは、イネである。イネの根の構造を耐湿性の弱い大麦と比較して図1に示した。基本的な構造は両者とも同じで、養水分の通路となる中心柱、土壌と接する表皮、その内側の外皮、および外皮と中心柱に挟まれる皮層の4層構造になっているが、これらのうち皮層の状態がイネと大麦とでは大きく異なる。大麦ではこの部分は生きた細胞でびっしり埋められているのに対し、イネでは生きた細胞の代わりに多くの空隙がみられる。

この空隙は通気組織と呼ばれるもので、イネに限らず、耐湿性の強い作物の多くが同様の組織を発達させている。通気組織はその名の通り、酸欠状態に陥った根に、大気中や光合成由来の酸素を茎葉を経由して供給する役割を持つと考えられている。しかしながら、酸素がこの細い通路をどのようにして移動し、最も酸素を必要とする根端にまで達するのかについては、十分解明されていない。いまのところ、物理的な拡散や地上部と地下部の温度差が関与するのではないかと推測がなされているが、これを直接立証した研究はまだない。ただし、イネでは、酸素供給の絶たれた還元状態の土壌において、根の周辺に酸化層を発達させ、還元性有毒物質が根に進入するのを防いでいることがよく知られており、地上部から根に酸素が供給されることに疑いの余地はない。

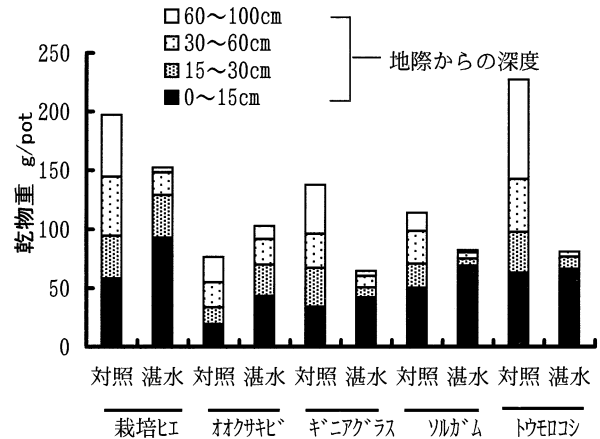


図2 湛水処理が根重に及ぼす影響

注. 深さ1mの無底ポットを用い、湛水区は播種後40日目より4週間、常時地際まで湛水した。

耐湿性の強い作物の通気組織は、過湿条件が加わることにさらに発達し、その機能を高めることが知られている。これは、湛水に適応して酸素の通道を容易にするとともに、根全体の生きた細胞を減少させて単位生体当たりの酸素消費量を減らす役割も果たすと考えられている。飼料作物においても根内空隙の発達程度と耐湿性の間に密接な関係があることが明らかになっている。

2) 表層根の発達

いくつかの作物は、土壌が酸素不足に陥ると、酸素を取り込みやすい地表付近に不定根を多く発達させる。地表付近の不定根を過湿に対して迅速に発達させる作物は、湿害を受けにくいと考えられる。図2には、いくつかの飼料作物について湛水処理が根の重量に及ぼす影響を示した。耐湿性の草種間差については後述するが、栽培ヒエとオオクサキビは耐湿性の強い草種で、ギニアグラス、ソルガム、トウモロコシは弱い草種である。栽培ヒエやオオクサキビは湛水処理すると表層根の量を増大させるが、他の3草種ではこの反応が弱いことが読みとれる。このように表層根の発達が湿害の回避に重要な役割を果たしていることは明らかであるが、表層の根圏だけで植物体を長期に維持していくことは困難である。図2には、表層根の発達の良い草種は、同時に湛水条件下でも中～下層根を維持する能力にすぐれることも示されている。表層根の発達は通気組織等に裏付けされた嫌気耐性の強さと相まって、はじめて耐湿性の強さに貢献するものと考えられる。

3) 呼吸代謝的適応

嫌氣的呼吸の最終代謝産物であるエタノールが

表 1 湛水処理を施したトウモロコシ、ソルガムに対する追肥の効果（飯田、1983 から）

草種	品種・系統	無湛水区の乾物重に対する湛水区の乾物重の比率（％）			
		標準栽培区		追肥処理区	
		3葉期湛水区	5葉期湛水区	3葉期湛水区	5葉期湛水区
トウモロコシ	カネホ	5.5	4.9	9.3	6.0
	X410	7.0	5.1	9.4	8.0
	RX77	6.3	5.1	9.3	6.2
	P3715	6.0	4.7	9.3	7.1
	PX77A	8.3	7.2	9.1	7.1
	平均	6.6	5.4	9.3	6.7
ソルガム	P988	8.3	4.2	12.0	6.9
	NK326	8.8	6.5	9.4	6.4
	スズホ	8.2	4.6	10.3	8.1
	平均	8.4	5.1	10.6	7.1

植物に有害であることは前述したが、作物の中には、最終代謝産物としてリンゴ酸など、より毒性の低い物質を生産したり、嫌気的狀態で生じる有害な物質を液胞内に閉じ込めたり、積極的に体外に排出するなどの適応を示すものもあることが報告されている。これらの呼吸代謝的適応は通気組織を持たない種子や発芽段階の植物体にとってはきわめて重要と考えられるが、この適応反応については、まだ未解明の部分が多い。

3. 湿害の回避技術

1) 耕種的対策

残念ながら耕種的には排水の促進以外に決定的な方法は見いだされていない。

ただし、トウモロコシとソルガムでは、窒素の追肥が湿害からの回復に有効であるとの報告がある。表 1 は、3葉期と 5葉期に湛水処理を加え、生育遅延が生じた後に排水と窒素の追肥を行った試験の結果である。この試験では 3葉期に湛水処理を行った場合、追肥による顕著な生育の回復がみられている。トウモロコシやソルガムの湿害兆候である黄化を伴う生育遅延は、窒素欠乏症に良く似ている。窒素が流亡しやすい要素であることと、その吸収にはエネルギーを多く必要とすることなどを考え合わせると、両作物については、湿害の一部は窒素欠乏で説明できるものと考えられる。

また図 3 には、幼植物の時に湿害を受けたソルガムを、好的な土壤に移植した場合の草丈の回復

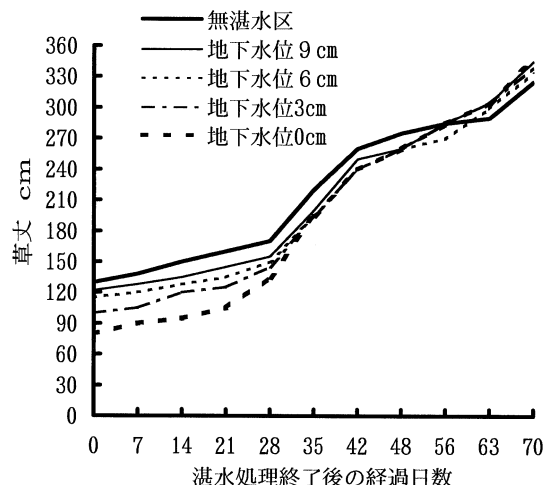


図 3 湛水処理後好適土壤に移植したソルガムの生育

程度を示した。この図からは、例え湿害を受けたとしても、その後の土壤環境が良好であれば収穫時には健康な植物体と遜色のない程に回復することがうかがえる。実際には、前述したように湿害を受けた土壤は、物理性にも化学性ともに環境が悪化しているため、水が引いただけで生育が回復できる訳ではない。植物が持っている回復力を湿害回避技術に結びつけるには、過湿状態でも肥料の流亡や物理性の悪化が起こらない土づくり、さらには、長期間効力を維持する肥料の開発・施用技術などの開発が必要と考えられる。

2) 耐湿性の強い草種・品種の導入

耕種的対策技術に多くを望めない現段階においては、耐湿性の強い草種の導入が湿害に対する最

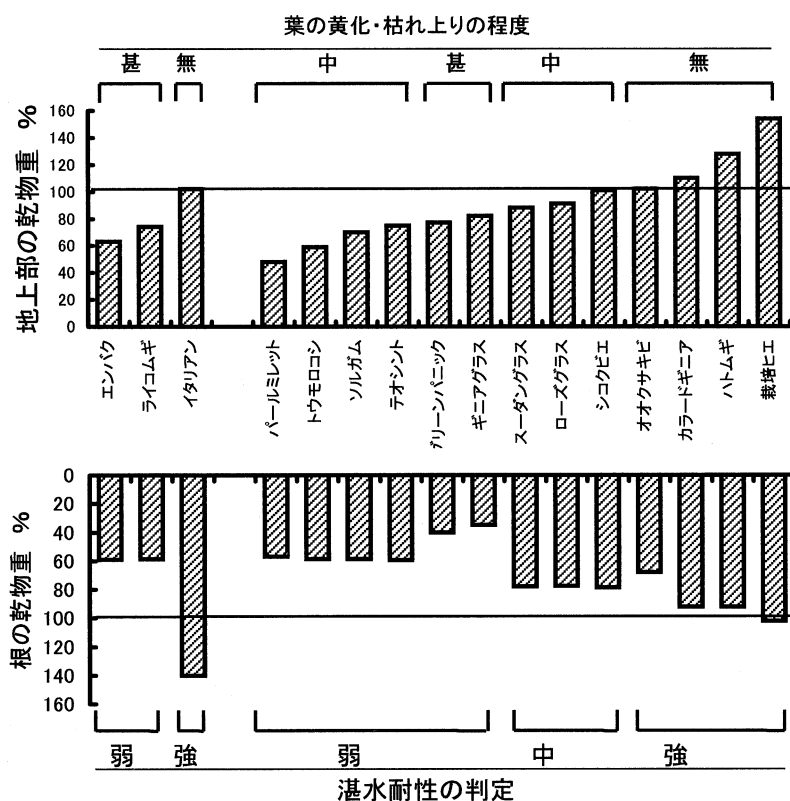


図 4 灌水処理が飼料作物の生育に及ぼす影響
(無灌水区に対する比率) 魚住、1994

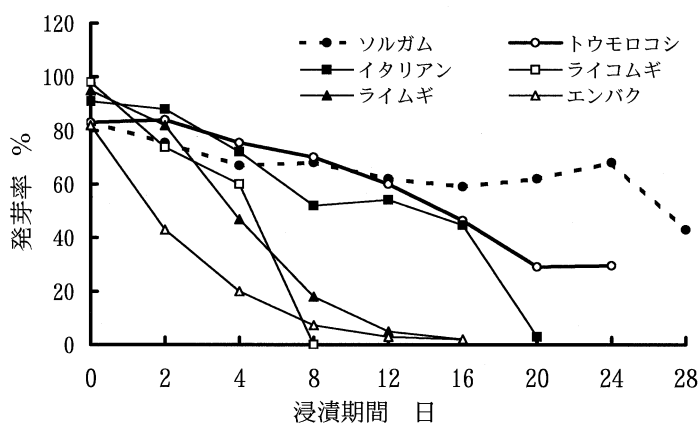


図 5 種子の浸漬耐性における草種間差 (魚住ら、1992年)
注. 水に浸漬した後種子を取り出して、25℃暗条件で発芽させた場合の発芽率。

も効果的かつ確実な方法である。

耐湿性の強い草種の選定については、これまでも多くの試験が実施されており、ほぼ統一した見解が得られている。草種間の灌水耐性比較に関する試験結果の一例を図4に示した。

図中の「灌水耐性の判定」において「強」とした草種、すなわち、冬作のイタリアンライグラス、夏作のオオクサキビ、カラードギニアグラス、ハトムギ、栽培ヒエは、他の多くの試験でも耐湿性

の強さが立証されており、ごく幼植物の時期を除いては、湿害の発生はまず無いと考えてよい。ただし、当然ながら肥料分の流亡に起因する養分欠乏症はこの限りではない。なお、この他にもカブラブラグラス、マカリカリグラス、リードカナリーグラスなどもほぼ同等の耐湿性を示すことが知られている。

逆に「弱」とした草種、すなわち冬作ではエンバク、ライコムギ、夏作ではギニアグラス、グ

リーンパニック、テオシント、ソルガム、トウモロコシ、パールミレットは過湿地では十分な収量は期待できない。とくにギニアグラスとグリーンパニックは湛水による根のダメージが大きく、水が引いた後の回復力が他の草種に比べ極端に悪い。また大麦とアルファルファは図中のすべての草種よりもさらに湿害を受けやすい。この2草種については、排水の良好な土地を選定して栽培することが安定多収の絶対条件と言える。なお、ソルガムの耐湿性はトウモロコシより強いとする一般認識があるが、湛水への耐性についてはこれを十分に裏付ける証拠は得られていないので、湿害回避のためだけにソルガムを導入するのは危険な選択といえる。

湿害は発芽段階においても生じる。飼料作物には、水中発芽するものはないので、播種後に湛水状態が長く続くと、不発芽のまま腐敗することになる。このような種子の浸漬耐性にも草種間差がみられる。図5は、水中浸漬の期間と発芽率の関係を見たものである。暖地型牧草のデータはないが、ソルガムはトウモロコシよりも、イタリアンライグラスはムギ類よりも耐性が高い。このような草種間差は主に代謝生理的な反応の違いに起因するものと思われるが、その詳細は不明である。またこのような種子の浸漬耐性の差が実際の湿害回避にどの程度有効かは十分に確認されていない。

3) 耐湿性の品種間差

草種間の耐湿性の違いについては前述したが、残念ながら耐湿性の強い草種は、飼料価値や調製適性の面でやや難のあるものが多い。

当然、過湿地に導入可能な良質な作物が欲しいとの声が上がってくる。この様な声に対応して、トウモロコシやソルガム類（ソルガム、スーダングラス、スーダン型ソルガム）の市販品種の中から耐湿性の強いものを選定しようとする試みは多くなされてきた。しかしながら、これに関しては

あまり再現性の高い結果は得られておらず、残念ながら実用技術として提供できるような情報はあまりない。これは、前述のように湿害の発生の機構が単純ではないことによると考えられる。また、トウモロコシについては品種の改廃のサイクルが3~5年と短いことも耐湿性品種の選定を難しくしている。このような経緯から最近では、市販品種間の耐湿性の差異についてはあまり検討されなくなったが、有用と思われる試験結果はいくつ得られているので紹介したい。

表2は、スーダングラスを湛水処理した場合に、生育量がどの程度低下するかを示したものである。供試した10品種の中ではトルーダンの耐湿性が群を抜いて強いことが判る。2年間の反復試験で同様の結果が得られていることから、この品種は過湿地での有望品種のひとつと考えられる。スーダングラスはトウモロコシと異なり、品種の改廃が少ないことも好材料といえる。

トウモロコシでは出芽~初期生育時の耐湿性に品種間差が認められる。表3は、過湿状態でも比較的良好的な出芽・初期生育を示した品種を、市販

表2 スーダングラスにおける耐湿性の品種間差
(館野ら、1994年、一部抜粋・加筆)

品種	対照区の乾物重に対する 湛水処理区の乾物重の比率 %	
	1992年	1993年
トルーダン	159	92
HS8S	91	87
パ ^o イ ^o -	84	72
HSK1	82	58
HS67	80	-
TR92	77	-
PC3079	74	-
HS38	65	-
KCS202	65	-
HS33	65	-

湛水区の土壤水分は地下水位5cm。

表3 加湿状態で出芽・初期成育への抑制が少なかった品種
(吉村ら、2001)

TH8913	G4742	SH0800
ZX2314	DK789	KD850
ナスホマレ	NS99A	ZX5486
TX330	G4655	
XE1031	GX0816	

注1. 供試品種数は97。

表中品種の順序は早晚順。

の97品種から選定して示したものである。トウモロコシではとくに初期生育時に湿害が多発することから、これらの品種の導入は湿害の回避にある程度有効であると考えられる。ただし、もともとトウモロコシは過湿地向きの作物ではないので、品種の選定によって湿害を完全に回避できる訳ではない。この点は十分に留意すべきである。また国内育成のナスホマレを除けば品種の販売期間は3~5年であり、導入可能な年限は限られるものと考えられる。

トウモロコシの発芽過程の湿害に関しては、購入種子の活力の影響が大きいことにも注意してほしい。排水良好な好的条件下では、80~90%の発芽率があれば実用上問題のない定着率が得られるが、過湿地で発芽率が90%をきるような種子を用いると定着不良の危険性が急激に高くなる。排水不良地ではできるだけ発芽率が高く、活力の高い種子を使用するよう心がけたい。

市販品種に多くを望めないという状況を打開するため、国内ではトウモロコシとアルファルファにおいて耐湿性品種の育成が進められている。現在、すでにアルファルファについては耐湿性の新品種「ツユワカバ」が作出され世に出ている。ただしアルファルファは、もともと湿害に弱い作物であり、「ツユワカバ」を導入すれば排水不良地でアルファルファが作れるようになる訳ではない。あくまでも既存品種との比較の上での耐湿性であ

ることは留意されたい。トウモロコシについてはまだ育成過程にあり、残念ながら品種の作出には至っていないが、近い将来、過湿地でも青々と育つトウモロコシの姿を見ることができると期待したい。

参 考 文 献

- 1) 有門博樹 (1975) 通気組織系と作物の耐湿性
- 2) L.A.C.J. Voesecek, A.J.M. van der Sman, F.J. M. Harren (1991) 植物の化学調節 26 (2)、156-171
- 3) Makoto Kawase (1981) Hort Science 16 (1) 30-34
- 4) 農林水産技術会議 (1992) 水田利用高度化のための高品質・高収量畑作物の開発と高位安定生産技術の確立研究成果
- 5) 農林水産技術会議 (1994) 小麦を主体とする水田畑作物の高品質化及び生産性向上技術の開発研究成果報告 (前期)
- 6) 農林水産技術会議 (1983) 転換畑研究成果集報 No. 1
- 7) P.J. Kramer 水環境と植物 (養賢堂)
- 8) 魚住 順 (1999) 草地飼料作研究成果最新情報 14
- 9) 魚住 順 (1994) 草地飼料作研究成果最新情報 9、39-40
- 10) 魚住 順 (1992) 日本草地学会誌 38 (別)、99-100

コラム

今後の技術開発課題

汎用水田を集団転作して土地を集約化し、適宜営農排水を行えば、大抵の飼料作物は普通畑と同程度の収量が得られます。しかしながら、土地集積ができない小区画の転作田や、水系やコストの関係で本格的な排水対策が難しい転作田に導入されることが多いのが飼料作物の現実です。このような小区画転作田では、湿害以上に耕作機械の稼働効率が問題になります。特にコーンハーベスタでは枕地刈ばかりに労力がかかり、何のための大型機械か判らなくなります。牧草類やムギ類では小回りの利くモアやモアコンを使用できるので中~大型機種での対応も可能ですが、小区画の転作田で

は収穫時に地面が乾いていない場合も多く、頻繁なトラクタ走行を行う予乾作業ができない場合も少なくありません。

コーンハーベスタ体系にもモア刈体系にも適さない転作田にどの様にして飼料作物を導入するかは今後の最も重要な研究課題といえます。このような場面に対応しうる技術として最も注目されるのが、ダイレクトカットによるロールベールサイレージ調製体系です。予乾作業の省略は、過湿対策に加え、作業時間の短縮、収穫ロスの低減、降雨や土壌混入による品質低下を防ぐ点でもメリットが大きく、土壌の湿潤の如何を問わず、小区画

転作田の基幹技術になりうるものと考えます。ダイレクトカット方式のロールベラーおよびその周辺機器については、飼料用イネを対象とした小区画圃場用システムが完成しています。これは麦類への応用が有望です。またこの手引きで別に紹介するトウモロコシ用のロールベラーも小区画用作業機として有望だと思います。

ダイレクトカット方式でロールベールサイレーズを調製するためには、立毛状態で少なくとも水

分70%、できれば60%以下まで水分を落とす必要がありますが、現在の慣行的な栽培法でこのレベルまで水分を下げうる作物は、トウモロコシと飼料用イネくらいしか見あたりません。この体系に組み込み可能な草種や、飼料価値を落とすことなく立毛状態で水分を減らす技術の開発も今後の重要な課題といえます。

(魚住 順)

2. 水田ほ場を活用した飼料作物の栽培

畜産草地研究所栽培生理研究室 吉村義則

1. 栽培条件の確保

1) 排水条件の確保

飼料作物を水田で栽培するにあたっては、他の作物と同様、順調な作物生育を維持し機械の作業性を確保するために、ほ場が過湿にならないようにすることが大切である。特に播種時や収穫時は、トラクタなどの大型機械での走行・作業が前提となるため排水可能なほ場条件が必要となる。

表1に、土地利用区分と地下水位との関係を示した。常時地下水位が50cmよりも高いところでは畑作物の栽培にはむいていない。しかし、水田を利用した飼料作物生産にともない排水条件が悪いところでも飼料作物を栽培せざるをなくなっている。

飼料作物生産において、雨の多い時期などはほ場に水が溜ってから浸透・排水させるのではほ場作業が間に合わない。ほ場に滞水させない、表面排水を速やかに行わせることが大切である。大きなほ場では、ほ場に緩やかな傾斜をもたせたり、作業の邪魔にならない程度の溝を切って滞水を防ぐことが効果的である。

2) 土壌管理

水田の土壌は条件によって多様であるため、それらに応じた対策が必要である。例えば、プラウでの深耕による反転耕起や粗大有機物の施用、塩基の補給による酸性矯正、リン酸の補給などによっても、根圏の拡大などにより生育環境が改善される。

3) 作付けの団地化

点在して小区画で飼料作物を栽培するのではなく、排水条件、土壌条件、作業の効率化を考慮して用排水系に沿ってまとまった一定の区画で集団的に栽培することが効率的である。地域によって

社会条件が異なるが、ブロックローションなどによりまとまった面積のほ場が確保され、効率的な飼料作物生産が行われるのが最も効果的である。

4) 栽培面からの工夫

排水のためのほ場整備が進んでも、梅雨時や秋雨時には水田に隣接する部分では過湿になる場合がある。そのため、深耕などの耕種的な対応だけでなく、過湿となる時期の播種や収穫を避けた作型を選択するなどして、栽培面からも工夫する必要がある。

また、現在、各種の気象情報が整備されつつあり、短期予報だけでなく、中期・長期予報も生産計画に反映させ、飼料作物生産の安定化を図ることが大切である。

2. 飼料作物の選択

1) 飼料作物の種類

飼料作物は大きく分けて、草地において何年かにわたり利用される多年生牧草と、飼料畑を中心に春から夏に栽培される夏作飼料作物及び秋から翌春に栽培される冬作飼料作物がある。

多年生牧草には、寒地や寒冷地あるいは標高が比較的高い地域で栽培される寒地型牧草と、西南暖地等の温度条件に恵まれたところで栽培される暖地型牧草がある。寒地型牧草の10アール当たりの生草収量は概ね4~6tで、TDN含量は60%前後である。出穂後の乾物収量は増加するが、品質が低下し、TDN収量は横這いとなる。暖地型牧草の生草収量は、夏作利用では5~7t/10a、西南暖地等での周年栽培では12~15t/10aであるが、品質は寒地型牧草に比べてやや劣る。

表1 土地利用区分と地下水位との関係

土地利用区分	降雨後2~3日の地下水位	常時地下水位(降雨後7日以降)
水稲単作	地表面下 30 ~ 40cm	地表面下 40 ~ 50cm
牧草	" 40 ~ 50cm	" 50 ~ 60cm
田畑輪換	"	"
一般畑作物	"	"
永年作物	" 50 ~ 60cm	" 60 ~ 100cm

「土地改良事業計画設計基準（暗渠排水）」より

表 2 おもな飼料作物の TDN 含量と収量

草種	TDN 含量(乾物中%)	期待される生草収量 (t/10a)			
		寒地	寒冷地	温暖地	暖地
寒地型牧草	56.5(オーチャードグラス開花期) ～ 64.6(〃出穂期)	4～5	5～6	5～6	—
暖地型牧草	54.6(ギニアグラス出穂期)	—	—	5	5～7
		(西南暖地等での周年栽培では 12～15)			
サイレージ用トウモロコシ	65.9(黄熟期)	4～5	5	5～6	6～7
ソルガム類	54.5(スーダングラス出穂期) ～ 61.6(子実型ソルガム乳熟期)	—	5	6～7	6～7
イタリアンライグラス	57.6(開花期) ～ 66.6(出穂期)	—	5	5～6	6
飼料用ムギ類	60.0(エンバク出穂期)	3～4	3～4	4	4

TDN 含量はサイレージにした時の値である (資料: 飼料成分表より)

表 3 排水の程度と適用草種

排水の程度	主要な適用草種
良好	サイレージ用トウモロコシ、飼料用ムギ類
普通	ソルガム類、暖地型牧草 (ギニアグラス、ローズグラス)、 イタリアンライグラス、寒地型牧草
やや不良	栽培ヒエ、リードカナリーグラス、カラードギニアグラス
不良	飼料イネ

「草地管理指標－飼料作物生産利用技術編－」(農林水産省生産局,2001)より

夏作飼料作物にはサイレージ用トウモロコシ、ソルガム類(スーダングラスを含む)、暖地型牧草(ギニアグラス、ローズグラス等)及び栽培ヒエ等がある。サイレージ用トウモロコシの生草収量は4～7t/10aで、TDN含量は約65%である。ソルガム類は、サイレージ用トウモロコシとほぼ同レベルの収量があるが、品質はサイレージ用トウモロコシに比べて劣る。

冬作飼料作物にはイタリアンライグラスや飼料用ムギ類(エンバク、ライムギ、ライコムギ、オオムギ等)があり、地域によっては夏作、秋作として栽培される。イタリアンライグラスの生草収量は5～6t/10aで、品質に優れるが開花期以降の品質の低下が著しい。飼料用ムギ類の収量と品質はイタリアンライグラスよりも劣るが、寒い地域での栽培が可能である。

2) 排水条件にあった飼料作物の選択

飼料作物は畑作物の中では過湿に対して強い方だと言われるが、畑作物であることにはかわりはない。草種によって過湿に対する反応は異なり、ほ場の乾湿の程度や降雨後の排水の良否によって選択できる飼料作物の範囲は制限される。

ほ場の排水性は一般的には降雨後2～3日の地下水位が目安になるが、地下水位が40cmより低ければ良好で、サイレージ用トウモロコシの栽培

が可能である。それより過湿なほ場ではソルガム類など、さらに排水が不良なほ場では栽培ヒエなどの草種の栽培に限られてくる。

栄養収量性の面からは飼料用トウモロコシの中から耐湿性の高い品種を選ぶことができれば良いが、残念ながら草種間差を越えるような耐湿性をもった品種が育成されていないのが現状である。したがって、サイレージ用トウモロコシを栽培するには過湿すぎるほ場では、ソルガム類の栽培等を選択せざるをえない。

さらに排水が不良で、畑状態で飼料作物を栽培するよりも水田状態のまま飼料生産をするのであれば、今注目されている飼料イネの選択がある。飼料用の多収品種の育成、栽培法、家畜への給与法については現在試験が実施されている。詳しくは、「飼料イネ(水稻の飼料利用(稲発酵粗飼料)に関する生産・調製・利用技術の研究レビューと今後の技術開発方向)」(畜産草地研究所資料平13-12、平成14年3月)を参照されたい。

3) 利用を考慮した飼料作物の選択

水田に作付けされた飼料作物は、採草後、乾草またはサイレージとして調製され、家畜に給与される。そのため、作付けする草種の選定にあたっては、家畜に何を給与するかが大前提となる。

一方、中山間地の棚田などを利用して放牧利用

表 4 寒地型・暖地型牧草の特性概要

草 種	採草	放牧	兼用	保全	耐寒性	耐暑性	耐湿性	耐踏性
(寒地型牧草)								
チモシー	◎	○	○	△	◎	△	◎	○
オーチャードグラス	◎	◎	○	△	○	◎	○	○
トールフェスク	○	◎	○	○	○	◎	◎	○
メドフェスク	△	◎	○	△	◎	△	◎	○
ペレニアルライグラス	△	◎	○	△	○	○	◎	○
ケンタッキーブルーグラス	△	◎	△	◎	◎	○	○	◎
リードカナリーグラス	○	△	△	○	○	◎	◎	○
アカクローバ	◎	○	○	△	◎	○	○	△
シロクローバ	△	○	△	○	○	○	○	◎
アルファルファ	◎	△	○	△	◎	○	△	△
(暖地型牧草)								
ギニアグラス	○	○	-	-	△	◎	△	△
バヒアグラス	○	◎	-	-	○	◎	○	◎
ローズグラス	○	△	-	-	△	◎	○	○
バーミューダグラス	△	◎	-	-	○	◎	○	◎
ネピアグラス	◎	△	-	-	△	◎	△	○
ジャイアントスターグラス	○	◎	-	-	△	◎	○	◎

「草地管理指標－草地の維持管理編－」より ◎：優れる ○：普通 △：劣る

表 5 地域別の主要適応飼料作物

地 域	夏 作	冬 作
寒 地(北海道)	トウモロコシ、エンバク等	(多年生牧草)
寒冷地(東北・北陸)	トウモロコシ、ソルガム類、	飼料用ムギ類、(一部 地域でイタリアンライグラス)
温暖地(関東～中国)	トウモロコシ、ソルガム類、 暖地型牧草の一部、栽培ヒエ	イタリアンライグラス、 飼料用ムギ類
暖 地(四国・九州)	トウモロコシ、ソルガム類、 暖地型牧草、栽培ヒエ、	イタリアンライグラス、 飼料用ムギ類

「草地管理指標－飼料作物生産利用技術編－」(農林水産省生産局 2001)を一部修正

が行われるようになり、水田への放牧利用も徐々に増えてきている。この場合には、牧草のほかにシバなどの草丈の短い野草も用いられ、利用に応じて選択される草種も異なる。

3. 飼料作物の栽培

寒地型牧草には、イネ科のチモシー、オーチャードグラス、トールフェスク、ペレニアルライグラスやマメ科のアカクローバ、シロクローバ、アルファルファ等がある。オーチャードグラス等の寒地型牧草は、多くの場合マメ科牧草とともに数種を混播し(混播牧草)、採草や放牧に利用される。

また、飼料畑では表5に示したように基本的に年2作体系がとられる。飼料作物の生育適温は、夏作物で概ね15～30℃、冬作物で概ね5～20℃

で、寒い地域ほど年1作体系または多年生牧草の体系に、暖かい地域ほど年3作体系など夏作に重点を置いた作付体系がとられ、作付体系に合わせた草種選定を行う。

暖地型牧草は、九州地域等では夏作物として単年利用され、さらに暖かい沖縄地域等では多年利用が可能で、採草地では1年に数回刈取り利用される。

1) 寒地における飼料作物栽培

作物の生育期間が短いため夏作のみの作付けか、あるいは多年生の寒地型牧草の作付が中心となる。夏作のみの単作の場合、酪農地帯を中心に極早生・早生品種のサイレージ用トウモロコシが作付られる。多年生牧草ではチモシー、オーチャードグラス、アルファルファ、クローバ類等が利用される。

表 6 飼料作物の作付体系例（寒冷地）

作付草種	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12月
トウモロコシ +イタリアライグラス						////	////	////	////	////		~~~~
トウモロコシ +ライムギ						////	////	////	////	////		~~~~
ソルガム +イタリアライグラス						////	////	////	////	////		~~~~
多年生牧草		~~~~	~~~~	~~~~	~~~~	~~~~	~~~~	~~~~	~~~~	~~~~	~~~~	~~~~

表 7 飼料作物の作付体系例（温暖地）

作付草種	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12月
トウモロコシ +イタリアライグラスなど						////	////	////	////	////		~~~~
ソルガム +イタリアライグラス						////	////	////	////	////		~~~~
トウモロコシ・ソルガム混播 +エンバクなど						////	////	////	////	////		~~~~
トウモロコシ +エンバク						////	////	////	////	////		~~~~
多年生牧草		~~~~	~~~~	~~~~	~~~~	~~~~	~~~~	~~~~	~~~~	~~~~	~~~~	~~~~

2) 寒冷地における飼料作物栽培

北海道南部の一部と東北地域が該当し、サイレージ用トウモロコシの単作またはサイレージ用トウモロコシ+ライムギ（一部地域ではイタリアンライグラス）の作付体系がとられる。夏作でもって収量を確保することが大切であり、生育期間を有効に使うことが重要となる。冬作と組み合わせる場合には、播種及び収穫の時期に労力が集中するため計画的な作業が欠かせない。

高標高地では多年生牧草の利用が中心となり、耐湿性と硝酸態窒素含量が少ないことからリードカナリーグラスが再注目されている。

3) 温暖地における飼料作物栽培

飼料畑では、夏作にサイレージ用トウモロコシやソルガム類が、冬作にイタリアンライグラス、飼料用ムギ類が栽培される。東日本ではサイレージ用トウモロコシ+イタリアンライグラスの組合せが、西日本ではソルガム類+イタリアンライグラスまたは飼料用ムギ類の組合せの体系が多い。多収体系例としては、ソルガムの天高+ライコムギ（ライムギ×コムギ）で年間乾物収量 3t/10a 以上の体系がある。

この地域では夏作と冬作の間に時間的余裕が生まれてくるので、堆肥等のほ場還元が可能になる。また、地域によっては夏作を早播きすること

でエンバク等の秋作栽培が可能であり、この場合翌年夏作作付前の堆肥のは場還元が効果的にできる。

高標高地では、オーチャードグラス、トールフェスク、リードカナリーグラス等のイネ科の寒地型牧草やシロクロバ等との混播による多年生牧草が利用される。

4) 暖地における飼料作物栽培

九州の大部分及び四国の南部が含まれる暖地では、温度条件に恵まれているため年2~3作が可能で、様々な作付体系をとる。夏作はサイレージ用トウモロコシ、ソルガム類、暖地型牧草、冬作はイタリアンライグラス、エンバクの組合せが基本となり、沖縄県ではギニアグラス等の暖地型牧草の多年利用が中心になる。

恵まれた気候条件を活かして一部地域ではサイレージ用トウモロコシの二期作（4月播種、7月下旬~8月上旬収穫、8月播種、11~12月収穫）が可能である。

5) 適品種の利用

飼料作物の各草種について、都道府県ごとに奨励品種または優良品種が選定されており、これらの情報を参考に利用目的、栽培条件にあった品種を選択する。

6) 栽培のポイント

表 8 飼料作物の作付体系例（暖地）

作付草種	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12月
トウモロコシ +イタリアライグラス		~~~~~				//////					~~~~~	
トウモロコシ(二期作) +イタリアライグラス		~~~~~				//////		//////				~~~~~
ソルガム類 +イタリアライグラスなど		~~~~~				//////		//////				~~~~~
トウモロコシ・ソルガム混播 +エンバクなど		~~~~~				//////		//////				~~~~~
トウモロコシ +エンバク						//////					~~~~~	
暖地型牧草 +イタリアライグラス		~~~~~				//////						~~~~~

それぞれの地域の気温や降雪等の気象条件、土壌条件、他作物との競合及び経営形態・規模等から作付体系を決定し、外部委託も含めて播種時や収穫時の労力のピークをできるだけ小さくし、省力化を図り、効率的な飼料生産を行う必要がある。また、技術の向上を図り、収量と品質の高位安定化を図ることが大切である。

(1) 施肥・家畜ふん尿の適正利用

作物の生育を確保するためには施肥は不可欠である。土壌の肥沃度、理化学的特性、収量目標を考慮し、土壌診断等の結果を参考にして施肥量を定める。家畜ふん尿をほ場還元する場合には、その肥料成分特性を十分に把握して過剰施用にならないように施用量を決定し、資源として有効利用することが大切である。

特に窒素成分のほ場への過剰投入は、飼料作物体中の硝酸態窒素濃度を高めて収穫物の品質を損なう。サイレージ用トウモロコシでは、生育の進行に伴う乾物重の増加により収穫時にあたる黄熟期の硝酸態窒素濃度が問題になることは少ないが、茎葉部が多いスーダングラスやイタリアライグラス等では、窒素成分の多施用等により収穫時の硝酸態窒素濃度が高くなりやすい。収穫時の硝酸態窒素濃度が安全基準である乾物中0.2%を越えることがないように施用量を決める。

(2) 雑草の防除

メヒシバやエゾノギシギシ等の従来から草地・飼料畑で問題となる雑草に加えて、種子が輸入穀類等に混入して家畜の体内で消化されずに通過し未熟堆肥等に混ざって草地・飼料畑に侵入する外来雑草がある。外来雑草は、ほ場に一度侵入・定着すると多量の種子あるいは地下部でもって増殖する。

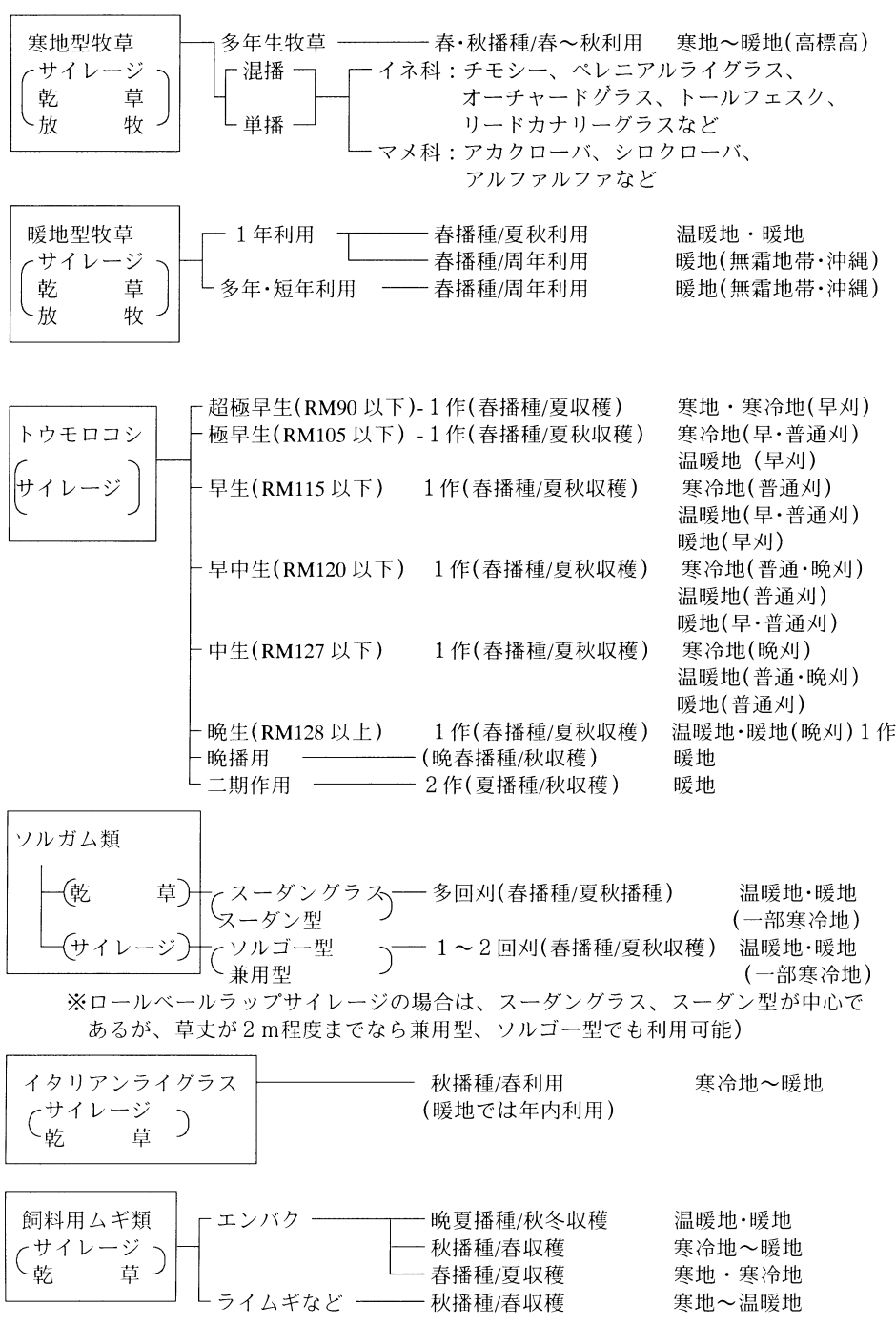
雑草の防除法には、ロータリ等の作業機等を用いた物理的（機械的）防除法、除草剤による化学的防除法、昆虫等による生物的防除法、雑草と作物の特性を利用した生態的（耕種的）防除法があり、これらを組み合わせて効率的に防除することが必要である。

エゾノギシギシの防除には、リードカナリーグラスの利用や更新時の牧草の多量播種、アシラム液剤の散布が効果的である。また、飼料畑での雑草防除には、夏作飼料作物では播種時の除草剤の土壌処理や出芽後の茎葉処理が一般に行われる。冬作飼料作物では、雑草防除は普段は行わないが、雑草の発生が危惧される場合には厚播きをする。

外来雑草を含めて雑草防除の基本は、ほ場に新たな雑草を持ち込まないことと、それを増やさないことにある。そのためには、家畜ふん尿の堆肥化等を徹底する（堆肥温度60℃で雑草種子の多くは死滅する）ことによりほ場に雑草種子を持ち込まないこと、根や地下茎で広がる雑草が発生したほ場で使用した作業機をそのまま他のほ場で使用しないこと、発生初期の段階で徹底した防除を行い種子の結実や地下部の増殖をさせないこと、結実する前に刈り取り収穫を行うこと等を心がける必要がある。

また、除草剤による防除を行う場合には、使用基準を遵守して対象作物の生育と使用時期を十分に考慮して土壌処理剤あるいは茎葉処理剤を適切に選択することが重要である。外来雑草に関する情報は極めて少ないが、研究機関での研究情報も含めて「写真で見る外来雑草」のインターネット版 (<http://nilgs.naro.affrc.go.jp/NASU/d-base/d-base.htm>) で紹介している。

表 9 栽培体系に応じた飼料作物の選択



「自給飼料生産利用の手引き(全農)」を一部修正して作成

(3) 適切な品種選択と播種作業

牧草・飼料作物の種子は草種によって形状、大きさが様々である。草種あるいは作業条件によって散播、条播等がとられ、それぞれの草種に適した播種量・栽植密度でもって機械播種する。

草種・季節・地域等によっては数多くの病虫害が発生し、栄養収量を減少させる場合がある。しかし、飼料作物栽培に使用できる登録農薬は限ら

れており、種子消毒等を除いて人畜に対する安全性と経済性の点から農薬は極力使用しない。耐病性品種の利用等により病虫害発生回避と被害軽減に努めることが重要である。

(4) 適期収穫

飼料作物の収穫適期は、単位面積当たりの栄養収量が最大で、収穫・調製による養分損失が最少であり、良好なサイレージ発酵品質あるは乾草が

見込まれ、家畜の消化性・嗜好性が優れている時期となる。ホールクロップ利用の場合、サイレーズ用トウモロコシでは黄熟期、イタリアンライグラスでは出穂期頃となる。

(5) 鳥獣害対策

鳥害としてカラス、ハト、ヒヨドリ、スズメ、カモ、ムクドリ等による被害がある。飼料作物の保護には薬剤や細糸の利用による対策が、またロールベールの穴開け防止にはネット等が効果的である。鳥の種類によっては、大規模経営では忌避剤等の労力のかからない手段の選択を考える必要がある。

また、獣害としては、イノシシ、シカ、サル等による被害がある。奥行きをもたせた障害物と電気柵の利用が効果的と言われている。爆音機、訓練した犬等を利用する防除技術があるが、音、光、臭い等は時間が経つと慣れてしまうため、いくつかの対策技術を組み合わせ効果をあげることが大切である。設置したあとも侵入防除技術等をしっかりと管理するとともに獣害発生の要因を放置しないよう心掛ける必要がある。

4. 主な飼料作物の栽培技術

1) サイレージ用トウモロコシ

飼料作物の中でサイレーズ用トウモロコシは、生草で6~10t/10a(乾物で1.5~2.0t/10a)の収量が可能で、栄養収量が高く、家畜の嗜好性に優れた飼料作物である。栄養収量が最も高くなる黄熟期に収穫される。

超極早生品種(RM 90日以下)から晩生品種(RM 128日以上)・二期作品種まで100品種以上の品種が市販されている。公的育成品種の「ナスホマレ」や「ゆめつよし」等の優れた品種が育成されている。

サイレーズ用トウモロコシは、施肥反応に優れた作物であり、吸収量に見合う肥料成分(例えば窒素で約20kg/10a)を化学肥料や堆肥でもって施用する必要がある。施肥と播種は、播種機により同時に行い、播種密度は約7,000株/10aを基準とし、早生品種では播種密度を高めにする。雑草防除のため、播種直後または出芽後2~3葉期に除草剤を土壌処理または茎葉処理する。

トウモロコシの病害には、ゴマ葉枯れ病、南方さび病、スジ萎縮病、スス紋病、紋枯病、黒穂病等がある。また、トウモロコシの害虫には、種子を食害するハリガネムシやタネバエ、幼植物を食

害するネキリムシ、茎内部を食害するアワノメイガ、葉を食害するアワヨトウがあるが、飼料作物の病虫害対策は、播種時以降は通常行わない。

収穫はコーンハーベスタによる。現在、ロールベールにしてラップサイレーズにする技術が研究開発中である。

2) ソルガム類

生育適温はサイレーズ用トウモロコシよりも高く、夏季の気温を有効に利用した栽培が行われる。ソルガム類は、子実型タイプから茎葉タイプまで幅広い形態を有し、子実の収量を目的とした子実型ソルガム、高収量を目的としサイレーズ向けのソルゴー型ソルガム、この2つの中間型の子実・サイレーズ兼用型ソルガム、茎葉タイプのスーダングラス、スーダングラスとソルゴー型ソルガムの中間型のスーダン型ソルガムがある。約100品種の市販品種があり、利用目的に応じた品種の選択が可能である。現在、公的育成機関では消化性に優れた品種の開発が進められており、高消化性遺伝子 bmr を導入した「葉月」や「秋立」が育成されている。

施肥はサイレーズ用トウモロコシに準ずるが、トウモロコシに比べて硝酸態窒素が蓄積しやすいため、過剰な窒素成分の施用は禁物である。ソルガムは再生利用が可能であり、多回刈りする場合には刈取りごとに追肥を行う。

播種は、暖地では4月から、温暖地と寒冷地では5月から可能である。播種量は3~5kg/10a程度で、散播する場合には多めにする。ソルガムの初期生育はサイレーズ用トウモロコシよりも遅いため、播種直後の除草剤散布が欠かせない。

収穫は、兼用型やソルゴー型をサイレーズ利用する場合は乾物収量を確保するために糊熟期に、スーダン型やスーダングラスを乾草として利用する場合には開花期前までに行う。ロールベール・ラップサイレーズ体系の普及に伴い、茎葉タイプ以外の品種もロールベールにしてラップサイレーズする技術開発が進められている。

3) イタリアンライグラス

東北から九州までの広い地域で栽培されている。極早生品種から極晩生品種まで多くの品種がある。現在約50品種が市販されている。機械収穫時の収穫ロス軽減するため、耐倒伏性の品種が広まりつつある。耐倒伏性の公的育成品種としてはニオウダチが育成されている。また、倒伏防止対策としてライコムギ等のムギ類との混播があ

る。乾草調製には立性の細茎の品種が適している。また、北陸など日本海側の積雪地帯では耐雪性や耐病性に優れる品種を選定する。

イタリアンライグラスは種子も大きく、鎮圧により良好な発芽、初期生育が確保される。施肥量は、各成分それぞれ概ね 10 kg/10 a が目安となる。播種量は 2~2.5 kg/10 a とし、遅播や春播ではやや多めに播種する。播種は、通常散播し、K 型ローラ等で鎮圧を行う。初期生育が旺盛であるため、雑草防除は通常必要としない。

出穂期以降、乾物収量は増加するが、TDN 収量は横ばいとなり、品質は低下する。そのため出

穂期頃の収穫を行う。

4) 牧草

寒地型牧草の施肥量は、基肥に石灰 100~200 kg/10 a、窒素とカリを 6~8 kg/10 a、リン酸を 10~12 kg/10 a、堆肥 5 t/10 a 前後とし、刈取りごとに窒素及びカリを 5~7 kg/10 a を追肥する。

寒地型牧草の栽培が難しい暖地、西南暖地を中心に暖地型牧草が栽培される。ギニアグラス、ローズグラス、バヒアグラス等の草種がある。最近、九州地域のロールベール・ラップサイレージ向けのギニアグラス品種としてナツコマキが育成された。

コラム

播種時期、収穫時期に変動が多い最近の天候

「最近の天気は少しおかしい」と感じる人は多いと思う。2002 年の東京の桜も 1953 年に観測を開始して以来最も早い満開となった。2002 年のこれからの天候が、飼料作物栽培にとってどのように推移するかが気になりである。

前年、2001 年の 1 年間の気温の変動を図に示した。図は、気象庁が気候系監視報告の中で整理し、作物統計にも記載されるもので、平年値に対する変動を 5 日間移動平均で示したものである。ここで、北日本は北海道地方及び東北地方、東日本は関東甲信地方、北陸地方及び東海地方、西日本は近畿地方、中国地方、四国地方及び九州地方のことである。

図を見て分かるように、2001 年の天候は、南西諸島以外では、春は 3 月上旬まで低温が続き、それ以降 4 月にかけて急激な気温の上昇と変動を繰り返している。その後、夏季は 7 月まで比較的高温で推移し、8 月頃から低温で推移している。秋の 10 月に比較的高い気温で推移するものの冬に入り平年より寒い 12 月となった。2001 年の気温は、北日本ほど平年値に対する変動が大きいように見える。

これを夏作飼料作物の代表格であるサイレージ用とうもろこしの栽培と照らして見ると、早播きのところでは播種したものの気温が上がらない日があって出芽が揃わなかったり、7 月に順調に出

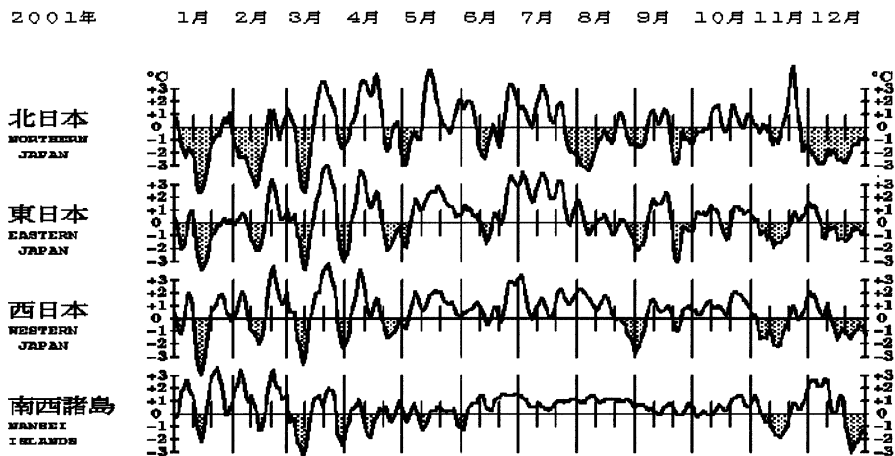


図 2001 年の地域平均気温平年差の 5 日移動平均経過図 (気象庁気候系監視報告より)

穂したものその後の天候が安定せず実入りが不十分であったり、収穫の時期に作業機が圃場に入れなかったり、苦勞されたことと思われる。

また、冬作飼料作物では、2月の低温から3月以降いきなり気温が上がって生育ステージは進むのに収量はそれほど上がらなかったり、品種の早晚性の差が例年と異なって作業スケジュールが間に合わなかったり、12月に気温が低くて例年がない積雪のため年内収穫が不可能となったりしたところがあったと思われる。

2001年以前の天候を見ても、例年の五月晴れが続かず、夏作で播種のタイミングを逃したり、

秋雨が長くて収穫作業が思うように進まない年が近年目立つ。秋作・冬作でも、播種時期に雨が続き、播種後の乾燥が続き出芽が揃わなかったりしている。

天候は図に示した気温の変動だけではない。日照時間、降水量の変動とも連動している。ここ10年の天候を見るに、5月晴が続かないこと、梅雨がはっきりとしないこと、夏らしい夏が継続しないこと、秋雨が長いこと、冬の訪れが遅いこと、暖冬であること等、作物を栽培する上で平年並とならない要因が多いのが気がかりである。

(吉村義則)

3. 堆肥等を利用した飼料作物の栽培と品質

畜産草地研究所作物栄養研究室 畠中哲哉

1. はじめに

平成 11 年 7 月に施行された新農基法を受けて、畜産草地部門では自給飼料の増産が大きな命題となっており、その着実な推進を図るために「飼料増産推進計画」が策定された。なかでも水田での飼料作物の生産に注目が集まっているが、転換畑での飼料生産はこれまでも実施され、平成 13 年度（見込み）には 11 万 1 千 ha（転作面積の 19%）に達している。転換畑では牧草やトウモロコシやソルガム等の飼料作物が作付けされており、関東以西の地域ではトウモロコシ等の飼料作物の作付けが転換飼料作の約 50% となっている。最近では飼料イネの作付けが 2 万 ha 強（平成 13 年度）と伸びている。

一方、酪農および肉用牛経営では、近年、飼養規模の拡大、飼料基盤や労働力の不足、円高基調を反映した輸入粗飼料との価格・品質の競合等から飼料作物の作付け等自給飼料の生産利用が停滞する傾向にある⁶⁾。飼養規模の拡大や家畜飼養密度の高い地域等を中心に、家畜ふん尿による環境汚染問題の発生、家畜ふん尿処理労力の不足、処理コストの増大、農地へのふん尿過剰施用による飼料作物への悪影響等から、畜産経営の存続問題にも発展している場合がみられる。

そこで、堆肥等を利用した飼料作物の栽培とそこで生産される作物の品質について考えてみる。

2. 転換畑土壌の特徴と土づくり

1) 転換畑土壌の特徴

水田はある期間湛水状態で過ごし、畑は年間を通して非湛水状態で経過するので、水田は湛水できるように逆に畑は湛水を回避するように作られている。転換畑は地表面が均平化され、透水性を小さくするとともに機械の走行を可能にするために地耐力のある難透水層が存在する。したがって、水田と畑には表 1 に示すような違いがある。

土壌の物理性をみると、土壌の構造は粘土の質と量、乾燥の程度、耕起と有機物の施用などの栽培管理などに影響されるが、おおまかには単粒構造から粒状構造、さらには団粒構造へと変化し、透水性、通気性が増し、保水性は低下する。化学性についてみると、水田ではかんがい水から養分の補給があり、また還元的土壌からリン酸などの放出があるため比較的肥よくである。転換後は有機物の分解が促進されるため窒素の放出があるが、しだいに消耗し肥よく度は低下する。塩基類の溶脱も促進され、土壌は急速に酸性化する。

2) 転換畑における施肥法と土壌管理対策

水田を畑に転換して畑作物を栽培するためには土壌環境を良好に維持する必要がある。物理的には排水性、化学的には窒素およびリン酸が主体で、土壌管理の考え方は表 2 に示されている。転換畑での施肥量については普通畑の施肥基準量を

表 1 転換畑と普通畑の違い¹⁾

項 目	普通畑	転換畑
湛水・冠水の危険性	一般に少ない	低地では湛水、冠水の危険性多い
地下水位	低い	高いものが多い
浸 水	ほとんどない	隣接田からの浸水がある
表面排水	自然に容易	一般には困難である
水の地下浸透	大きい	地下水位が高く、耕盤層があるため小さい
根の伸長	普通	耕盤層で妨げられることが多い
耕うん碎土	容易	土壌水分が多く、やや困難なことがある
養分状態	酸性土壌が多い	転換当初は普通畑より豊富
干ばつ	受けやすい	一般には少ないが、碎土性や耕盤層による毛管水の遮断により受けることもある

表 2 転換後の土壌管理の基本的な考え方

管理方法	基本的な考え方	内容(目標)
土壌破碎	①水田の畑利用の初期に当たっては、土壌構造が果粒状ないし塊状で土壌を形成しやすく、播種精度や出芽率を下げるので、碎土を十分に実施する。 ②とくに土性が細粒質で大土塊が形成しやすい水田では耕起して土塊を十分乾燥させてから、入念な碎土を行う。	各種ハローによる碎土の実施 碎土率：60～70%以上
粗大有機物の施用	①堆肥等の粗大有機物の施用は、土壌構造の発達を促進し、通気性、保水性等物理性の改善効果が大きいので、泥炭土等を除き大部分の水田で行なうことが望ましい。 ②排水不良なグライ土等については、未熟な堆肥は施用せず、施用量も1t/10a程度とする。	堆肥等粗大有機物の施用2t/10a以上（グライ土等1t/10a）
塩基の補給による酸性矯正	水稻に比べ畑作物は一般に微酸性～中性を好むが、畑利用によって土壌は酸性化する傾向があるので、水田の畑利用に当たっては、事前に土壌診断を行ない、炭カル、苦土石灰等を施用する。	石灰飽和度：50%以上 交換性石灰：200mg/100g以上、交換性苦土：25mg/100g以上
リン酸の補給	黒ボク土、泥炭土等はリン酸固定力が強い上に、畑地利用によってその傾向が増長されるので、水田の畑利用に当たっては、事前に土壌診断を行ない、リン酸等を施用する。	ようりん等の施用 有効態リン酸：10mg/100g以上
その他	砂礫質な土壌等については、 ①礫が表土に混入する場合の除礫や客土。 ②土壌養分の流亡を防ぐための分施や緩効性肥料等の施用。 ③微量元素が欠乏する場合は、施用を行なう。 ④過干に対する畑地かんがい等に留意する。	除礫や客土分施や緩効性肥料の施用 微量元素の施用 畑地かんがい

注) 農林水産省の「水田農業確立のための技術指針」より

適用しても差し支えないが¹⁾、転換転作1～2年目は土壌中の有機物が急速に分解して肥効の大きい場合が多いので、普通畑よりも減肥する必要がある。しかし、多収性の長大型飼料作物を栽培すると肥料成分の持ち出しが多いので、堆肥の施用など収奪量に見合った施肥量が必要である。堆肥等の有機物は通気性、透水性、保水性等の土壌物理性を改善し、しかも緩効的な養分供給効果が期待できるので、泥炭土等を除く大部分の転換畑で施用することが望ましい。ただし、グライ土等の排水不良な転換畑では、未熟な堆肥を施用すると土壌の還元化を促進して有害なガスを発生して作物に悪影響を与えるので、十分腐熟させた堆肥を用いることが重要である。また、一般に堆肥の分解は緩やかで土壌への蓄積が大きいので、施用量は10aあたり2t程度が適正とされている。また、飼料作物の確保と堆肥等の利用及び環境保全のため

に、冬作の作付けによる周年栽培も励行したい。

3. 転作畑における堆肥の利用

1) 堆肥施用の考え方

堆肥を適量施用すれば作物へ養分を供給するだけでなく、土壌の物理性、化学性および生物性を改善する効果も期待できる。しかし、過剰に施用すればさまざまな悪影響をもたらす。飼料作物の品質・収量を維持しつつ、しかも環境汚染を起こさないためには適正施用が基本である。堆肥にはいろいろな肥料成分が含まれており、最近の堆肥は従来よりも肥料成分濃度が高くなっているが(表3、表9)、それらのバランスは作物が要求するそれと必ずしも一致しているわけではない(表4)。堆肥中には窒素など無機化速度のきわめて遅いものもあり、堆肥のみ施用すると作物の初期生育が不良となる場合がある一方、養分濃度の高い

表 3 オガクズ入り堆肥の肥料成分濃度に関する既存データとの比較¹²⁾

機 関	畜種	含水率 *	T-N **	P ₂ O ₅ **	K ₂ O **	CaO **	MgO **	T-C **	C/N比	試料数
草地試験場 (1978年)	牛	65.5	1.7	1.8	2.0	3.0	0.7	39.9	23.3	151
	豚	57.2	2.2	3.3	1.5	3.0	1.0	39.9	18.0	227
農産園芸局 (1982年)	牛	65.4	1.7	1.6	1.7	1.9	0.8	38.5	24.6	292
	豚	55.7	2.1	3.4	1.8	3.4	1.1	36.5	19.3	173
農研センター (1996年)	牛	57.8	1.9	2.3	2.6	2.7	1.1	37.0	21.0	130
	豚	43.8	2.5	5.4	2.6	5.1	1.6	30.7	14.2	44

注) *: 現物% **: 乾物%

表 4 有機物資材中の窒素に対する他の養分比率³⁾

		N P ₂ O ₅ K ₂ O CaO MgO (全窒素量に対する割合)					N P ₂ O ₅ K ₂ O CaO MgO (有効化窒素量に対する割合)						
		稲	ワ	ラ	10	0.2	5.1	1.6	2.2				
稲	ワ	ラ	堆肥	10	0.4	3.2	3.6	0.7					
牛	ふん	堆肥	10	5.4	5.6	3.6	3.6	10	53.6	55.7	35.6	36.1	
豚	ふん	堆肥	10	6.1	1.6	10.7	3.1	10	12.8	3.1	21.5	6.1	
野草	堆肥	10	3.8	0.6	11.1	3.1	10	22.3	5.5	37.4	10.6		

表 5 堆肥化のメリット (千葉農試)⁷⁾

1. 有機質資材の炭素率を下げる。
→腐熟化し、生育不良や窒素の後効きを避ける。
2. ガス害を避ける。
→炭酸ガスなど有害ガス発生による発芽障害・生育不良を避ける。
3. 扱いやすく、汚物感がなくなる。
→臭気をなくし、水分を低減する。
4. 有害な生物 (病原菌・虫卵・ウジ) や雑草の種子を死滅させる。
→安全な製品として取り扱える。
5. 長期にわたって養分を供給する。
→窒素の後効きなど一時的な養分過剰を避ける。
6. 土壌の物理性を改善する。
→団粒構造を作る。

堆肥と化学肥料を併用すると、養分が過剰となって作物の品質・収量を低下させることに加えて環境汚染を引き起こすことがある。

そこで、堆肥の施用量を決定する場合、化学肥料との併用によって養分のバランスをとるとともに、堆肥からもたらされる肥料量とその累積効果を考慮しつつ、場合によっては減肥を行うなど適正な肥培管理を基本とすべきである¹²⁾。

2) 堆肥化の必要性およびメリット

堆肥化した家畜ふん尿は土壤還元することで土壌の肥よく度維持や作物栽培に役立つとともに、リサイクルしやすくなる。堆肥化の必要性は、①家畜ふん尿の汚物感を除去し、②病原菌などを死滅させ、③土壌や作物に対して有効で安全な、④利用者にとって取り扱いやすく安全な有機資材とする、ことにある (表5)。しかしながら、現状では

すべての堆肥に共通する腐熟度の判定基準は定められていないという問題を抱えているが、生産現場でできる堆肥の腐熟判定基準も提案されている¹⁷⁾。

堆肥窒素の無機化パターンは緩行的である (図1)。したがって、一時的な養分過剰を回避でき、作物への利用率が高まるため環境汚染の軽減につながりやすい。

3) 飼料作物生産における堆肥の適正施用量

草地・飼料畑に対する堆肥等の施用基準は「昭和58年度家畜ふん尿処理利用研究会報告書」(草地試験場)⁹⁾としてまとめられた (表6)。この施用基準の策定にあたっては、①生ふんでは衛生的にも取り扱い的にも問題があり、しかも作物の生育にも悪影響があるので、一定期間堆積あるいは貯留した腐熟物を用いること、②ふん尿は毎日排出

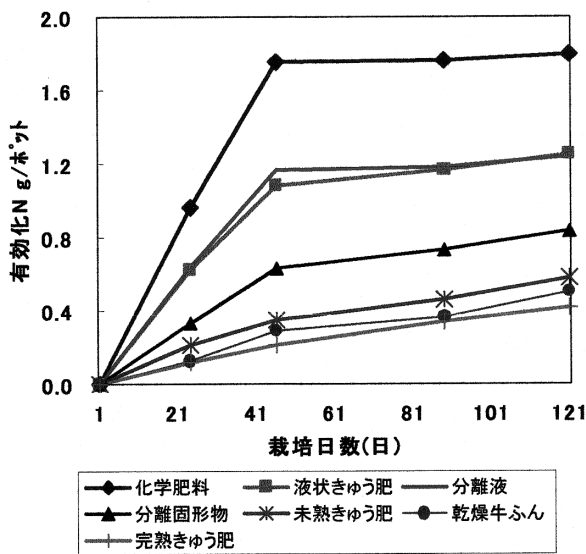


図 1 各種牛ふん尿処理物の窒素供給パターン (畠中)⁴⁾
(有効化窒素量は作物による吸収量と土層からの流出量の合量)

されるため連続施用を目標としていること、③施用量は有効肥料成分量 (肥料成分含有率 × 肥効率) が過剰にならない量にとどめ、不足する成分量を化学肥料で補うことを前提とし、堆肥等の施用量 (表 6) と併用する化学肥料の施用量 (表 7) を算出したものである。また、計算に用いた肥料三要素の必要量、堆肥等の肥料成分含有率および成分の肥効率をそれぞれ表 8~10 に示す。ふん尿施用量はこれらの数値を用い、次式から求める。

$$\begin{aligned} \text{ふん尿施用量 (t/10a)} = & \frac{\text{必要窒素量 (kg/10a)} \times \text{代替率 (\%)} / 100 \times 100 / \text{ふん尿の窒素含有率 (\%)} \times 100 / \text{肥効率 (\%)} \times 10^{-3}} \end{aligned}$$

ここで代替率とは、飼料作物の予想収量を得るのに必要な肥料量のうち、ふん尿によって代替する割合を示しており、牛ふん堆肥では 30%、その他のふん尿処理物では 60% という値を用いている。また、牛ふんでは窒素やリン酸に比べてカリウムの含有率が高く、しかも肥効率も高いため、

表 6 草地・飼料畑における家畜ふん尿処理物の施用基準⁹⁾ (t/10a)

草種	予想収量 (生草重)	牛			豚	鶏
		堆肥	液状ふん尿	堆肥	乾燥ふん	
牧草 イネ科草地	5~6	3~4	5~6	2~3	0.5	
	混播草地	3~4	5~6	2~3	0.5	
トウモロコシ	5~6	3~4	5~6	2~3	0.5	
イタリアンライグラス	4~5	3	4~5	2	0.5	

表 7 家畜ふん尿処理物と併用する化学肥料の必要量⁹⁾ (kg/10a)

草種	牛ふん堆肥	牛液状ふん尿			豚ふん堆肥			乾燥鶏ふん				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O		
牧草 イネ科草地	14	0	0	8	3	0	8	3	5	8	0	8
	混播草地	6	0	0	0	3	0	0	0	5	0	0
トウモロコシ	14	7	0	8	11	0	8	0	5	8	0	8
イタリアンライグラス	11	0	0	6	5	0	6	0	4	6	0	6

表 8 予想収量に対する肥料三要素の必要量⁹⁾

草種	予想収量 (生草重)	化学肥料必要量 (kg/10a)			備考
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
牧草 イネ科草地	5~6	20	10	20	造成後の年間施用量
	混播草地	12	10	20	3~4回刈り
トウモロコシ	5~6	20	18	20	
イタリアンライグラス	4~5	16	10	16	裏作1~2回刈り

注) 1) 本表は一般的な土壌で化学肥料のみで栽培する場合の必要量を示す。

2) 予想収量は生草重である。乾物率は牧草、イタリアンライグラスでは約 17%、トウモロコシでは約 27% として試算した。

表 9 家畜ふん尿処理物の肥料成分含有率（現物中%）⁹⁾

	水分	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
牛ふん堆肥	72.8	0.57	0.52	0.64	0.61	0.23
液状牛ふん尿	91.0	0.38	0.20	0.42	0.26	0.11
豚ふん堆肥	62.1	1.00	1.33	0.65	0.93	0.38
乾燥鶏ふん	16.6	3.20	5.30	2.69	10.17	1.20

注) 含有率は農水省技会資料(1974), 栃木農試研報(1977), 愛知農試研報(1987), 全国調査(尾形1987), 畜産の研究(田代1976)等に示されたデータの平均値である。

表 10 家畜ふん尿処理物中成分の肥効率（%）⁹⁾

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
牛ふん堆肥	30	60	90
液状牛ふん尿	55	60	95
豚ふん堆肥	50	60	90
乾燥鶏ふん	70	70	90

注) 化学肥料の肥効を100とした場合のふん尿成分の肥効率を示す。

ふん尿処理物の肥効は腐熟度や処理に用いた副資材の量、質によって異なるが、各種成績や資料に示されたデータを参考に本表を作成した。

飼料作物が必要とするカリウムの全量をふん尿処理物から供給し、不足する窒素とリン酸を化学肥料で補給するようになっている。豚ふんと鶏ふんではリン酸の含有率が高いので、必要とするリン酸の全量をふん尿処理物で供給し、不足する窒素とカリウムを化学肥料で補給することとなっている。

ただ注意したいことは、本施用量は連年施用による養分の累積効果について指摘してはいるものの、具体的な対策指針を示すまで至っていないことである¹⁶⁾。今後、環境保全も加味しつつ利用するためには、各作目について連年施用を基本とし、累積効果も評価した基準値の整備が必要となる。また、ふん尿処理物の肥料成分含有率、気象条件や土壌などの違いもあるので、地域ごとの施用量については各都道府県で作成されている施用基準を参照する必要がある。

4) 土壌への影響

ふん尿処理物には、土壌中での分解が緩慢で土壌中に蓄積する性質がある。このようなふん尿処理物は土壌の地力を増進するために有効な処理物であるが、連年施用すると土壌中で無機化される養分量が増大してくる(図2)。窒素を例にとると、毎年一定量を施用し続けた場合、最終的には施用量と同量の窒素が毎年無機化されたとみることができる。ふん尿処理物に含まれる塩基の中ではカリの含有率が高く、多量施用すると土壌中に

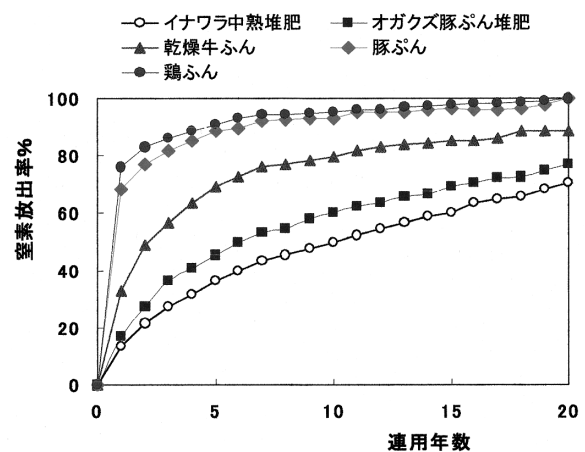


図 2 有機物を連用した場合の窒素の放出率の年次変化⁵⁾

注) 毎年連用する有機物中の窒素量を 100 とした場合

多量に蓄積する。したがって、家畜ふん尿の施用量を決定する場合、化学肥料との併用によって養分のバランスをとるとともに、ふん尿処理物中の養分量と累積効果を考慮し適切な減肥を行うような考え方を基本とすべきである。

5) 環境への影響

家畜ふん尿の処理過程および圃場へ施用した家畜ふん尿からは二酸化炭素、アンモニア態窒素、メタン、亜酸化窒素などの温室効果ガスの発生があり、しかも作物の窒素吸収量を上回る家畜ふん尿の還元は、ふん尿由来の硝酸態窒素による地下

水等、水系の窒素汚染を引き起こすので注意が必要である。EU諸国では「窒素およびリンの投入量－作物吸収量＝環境への負荷」という考えられており、「養分収支」が環境に負荷を与える程度を判断する指標のひとつとされている。

4. 飼料物の品質におよぼす影響

近年、畜産経営の規模拡大に伴い農耕地へのふん尿投入量も過剰となり、過剰施用による自給飼料の品質悪化が叫ばれている。したがって、連用する堆肥等の質や量に留意して適正に利用することが大切である。以下、堆肥等の多量施用による肥料成分の過剰施用が飼料作物の品質に及ぼす影響について述べる。

肥料成分としては窒素とカリウムが多く含まれる。窒素の過剰施用は飼料作物の発芽不良、過繁茂、倒伏、成熟の遅延、稔実不良、病害虫の多発、収量および品質の低下に結びつきやすい。また、作物体中の全窒素や硝酸態窒素濃度を高める一方

で、可溶性糖類（WSC）を低下させるので、サイレージ発酵品質が低下しやすい。発酵品質の悪いサイレージでは硝酸態窒素は除去されるが、良好なサイレージでは硝酸態窒素の除去は大きくない。とくに硝酸態窒素は反芻家畜に対して硝酸中毒といわれる酸素欠乏を生じさせ、家畜を死に至らせる原因物質である。硝酸中毒（急性中毒）をもたらす飼料中の硝酸態窒素濃度の許容限界は0.2%（乾物%）以内⁸⁾と考えられているが、最近ではむしろ硝酸態窒素による慢性中毒の危険性に対する危惧が高まっている。しかし、慢性中毒に対する許容限界に対してはまだ明らかでない。

神奈川畜試で行われた牛ふん尿多量試験結果によれば、作物体中の粗繊維含量はトウモロコシでは低下したが、イタリアンライグラスでは差がみられない²⁾。

ふん尿処理物に含まれる塩基の中ではカリウムの含有率が高く、多量施用すると土壤中に多量に蓄積する。土壤中のカリウムは作物によって過剰

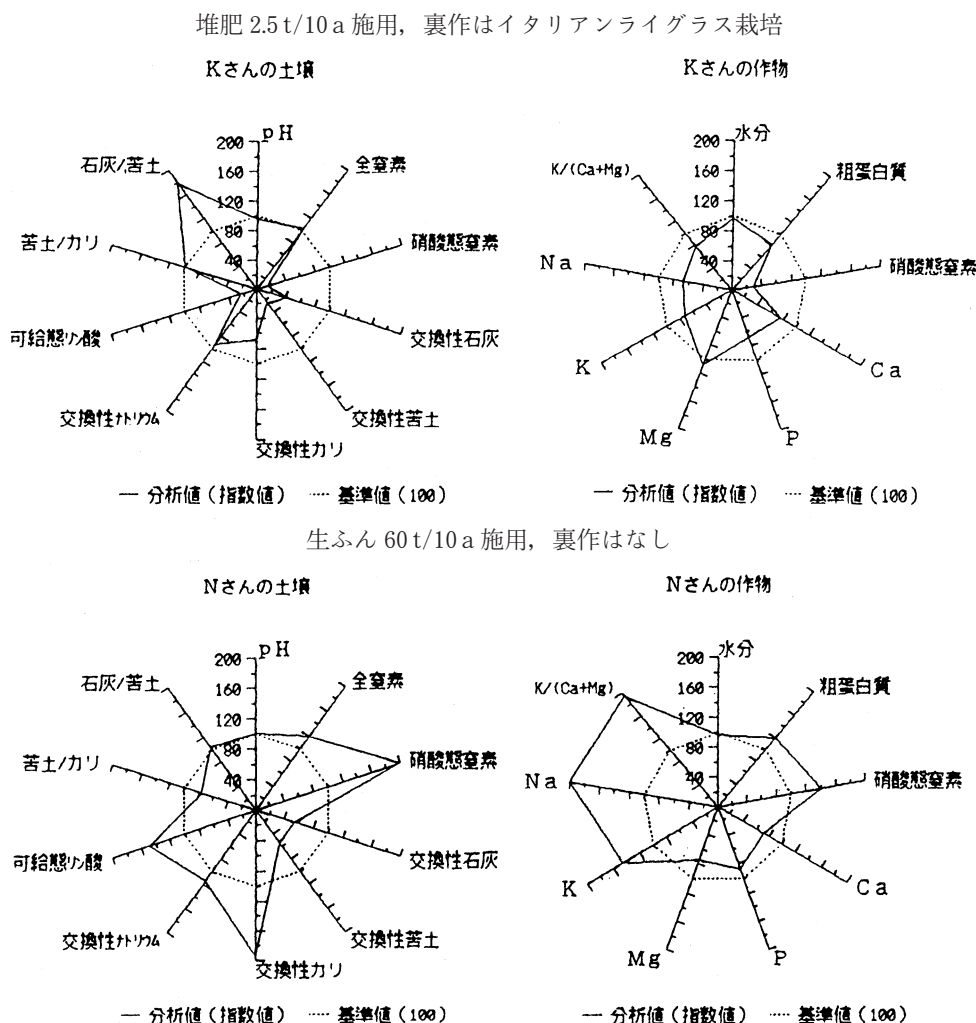


図3 ふん尿処理物の施用が土壤化学性と作物品質におよぼす影響（千葉県）⁷⁾

表 11 イオンバランスの計算例¹⁸⁾

ミネラル	NRC推奨%	乾草中% ¹⁾	配合中% ²⁾	飼料中% ³⁾
Na	0.10	0.15	0.28	0.19
K	0.65	2.10	1.16	1.82
Cl	0.20	0.64	0.38	0.56
S	0.16	0.21	0.10	0.21

1) Kの値は北海道の平均的な分析値, その他は文献値
 2) 一般的な乳配を用い, その原料からの計算値
 3) 現物量で, 乾草を10kg, 配合を4kg供与したときの値
 この給与飼料中のDCADを計算すると,
 $DCAD = ((0.19/23.0 + 1.82/39.1) - (0.56/35.5 + 0.21/16.0)) \times 1000$
 = 26.0m当量/100g乾物

表 12 ふん尿を多量施用した粗飼料の給与が乳牛に及ぼす影響 (新得畜試)¹³⁾

牛群	乾物摂取量 (kg/日)	乳量 (kg/日)	尿pH	血液中BUN (mg/dl)
A群	19.2	24.9	8.24**	17.0**
C群	19.6	24.2	8.00	7.5

注) A群: ふん尿を多量施用した牧草地から収穫した牧草サイレージを給与
 C群: 対照群
 血液中BUN: 血液中の尿素態窒素, ** 1%水準で有意差あり

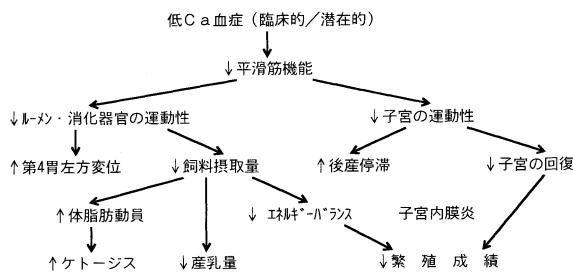


図 4 分娩後初期の低Ca血症連鎖関係¹⁸⁾

吸収されるが、カルシウムおよびマグネシウムの吸収はカリウム吸収と拮抗するので、土壌中のカリウム濃度が高いほどそれらの吸収は低下する。したがって、カリウムの過剰吸収による作物体内の塩基バランス ($K/(Ca+Mg)$) 比は上昇し、家畜のグラスタニー (低マグネシウム血症) の危険性を高めることになる。グラスタニーとは、ミネラル代謝の異常、とりわけ反すう胃内でのMg吸収が阻害されて血液中のMg濃度が低下する低Mg血症を起こし、家畜が興奮やけいれんなどの神経症状をあらわす疾病である。一般的には ($K/(Ca+Mg)$) 比が2.2以上とならないように、堆肥等の施用量やカルシウムおよびマグネシウム資材の施用などの肥培管理が必要である。飼料作物の品質低下の調査事例を図3に示す。

また、最近注目されているのがイオンバラン

ス・DCAD (Dietary Cation-Anion Difference) であるが、これは飼料中の陽イオンと陰イオンの差 (イオンバランス) を示す値である。この値は飼料中の $(K+Na) - (Cl+S)$ から求めるが、その計算例を表11に示す。ここでポイントとなる成分はやはりKで、乳牛の乾乳後期において陽イオンである高K濃度の飼料の給与はCaの代謝に悪影響を及ぼし、乳熱や起立不能などの疾病を引き起こす要因となるとされる (図4)。

5. 家畜の生産性におよぼす影響

乳牛の高泌乳化で粗飼料の給与割合が低下しているためか、堆肥等を多量施用した飼料の給与が直接的な代謝性疾病をもたらしたという報告はほとんど聞かない。しかし、新得畜試での試験例では、多量施用により高カリウム・高DCADとなったサイレージの給与により家畜の血液・尿性状への影響が確認されており (表12)、酸塩基平衡や肝機能へ負担を与えていることは十分考えられる。高泌乳牛のように恒常的に代謝機能に負担がかかっている家畜に対し、こういった粗飼料を給与すると代謝障害・生産性低下の遠因になりうるといふ指摘がある。

宮崎¹⁵⁾ は硝酸態窒素による牛への影響についてレビューしている。とくに慢性中毒に関する見

解を述べているが、これまで行われた実験的検討結果からは硝酸塩による慢性中毒を確信させるデータは得られていないという。

6. 良質な飼料作物生産のための対策

飼料作物の品質への悪影響は、堆肥施用が原因ではなく、肥料成分の過剰施用が原因であると考えらるべきである。換言すれば、堆肥施用にあたって適正施用量と標準施肥量を遵守すれば、品質悪化は避けられることを十分認識する必要がある。

とくにスラリーでは経営内での圃場へ土壌還元せざるを得ないので、産出されるふん尿量に見合うだけの耕地を確保する必要があるが、堆肥化施設の導入により堆肥化して経営外へ持ち出すことも必要である。

最近、家畜ふん尿の施用量をトウモロコシの1作で吸収する窒素量の1/2に制限することにより、過剰蓄積した土壌中のカリウムが3年ほどで適正量となり、トウモロコシ体中の(K/(Ca+Mg))比が適正化することが報告されている(図5)。ふん尿処理物を適正量施用することで品質の高い飼料作物が栽培できることを示している。

また、硝酸態窒素濃度の低い飼料作物を得るために、トウモロコシやソルガムなどの草種や品種選定を活用することが有効な試験成績も得られているので¹¹⁾、この対策も有効である。さらに、乾物収量の多い作付け体系を導入して作物の品質を

低下させることなく養分吸収量を増加させる対策も効果を上げている(いずれもデータは省略)。

これからは、土壌診断を行って飼料畑土壌の性状を科学的に把握し、これに加えて作物の栄養診断を適宜行いながら飼料作物の生育および品質を適正に確保し、しかも環境に対する負荷を与えないような酪農経営が望まれる。神奈川県¹⁰⁾では土壌診断を行い、土壌養分の適正化に効果を上げた事例もみられる。

7. むすび

転換畑における土壌の理化学的特徴、施肥の考え方および具体的施肥管理法、堆肥等の有機物の肥料的特徴とその利用法、有機物を利用した時の飼料作物の品質について述べた。紹介した内容には目新しいものはなく、これまで知られている基本的技術を列挙した。飼料作物の品質は、家畜の餌としての評価が必要である。すなわち家畜に採食されて評価されるものである。したがって、家畜による評価基準が示されてはじめて品質目標が得られるわけである。最近ではとくに養分含量そのものに加えて、養分間のバランスが問題とされてきているので、家畜サイドからの評価基準作りへのアプローチが望まれよう。また、今回ほとんど触れなかったが、微量元素に関する評価基準作りも求められよう。

自給飼料の生産においては、堆肥等の施用に伴う肥培管理の仕方によってさまざまな品質の粗飼

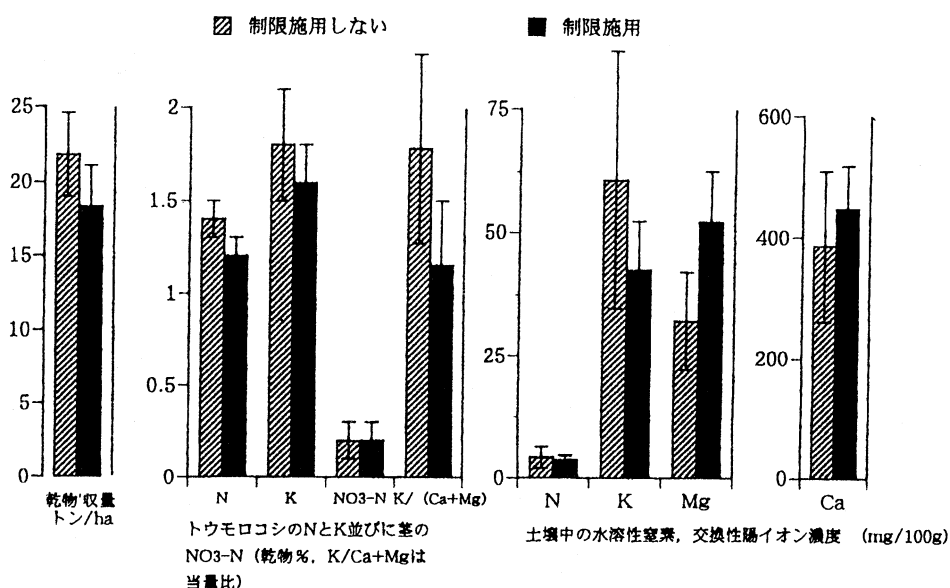


図5 ふん尿施用量を制限して3年経過後のトウモロコシ収量とその無機成分ならびに土壌の無機成分(九州農試)¹⁴⁾
(施用を制限しない圃場6枚、制限した圃場10枚、6農家の平均、図中の棒線は標準誤差を示す)

料が生産されるが、それらの品質を正確に把握し、家畜にあった的確な給与設計を立てることが酪農経営の安定・発展につながるであろう。

引用および参考文献

- 1) 石川 実：水田転換畑土壌の診断、農業技術大系、土壌施肥編、4、実際 213～228、養賢堂（1985）
- 2) 奥 保男：家畜ふん尿多量施用による飼料作物の生育等への影響・問題点、昭和 62 年度関東地域草地・飼料作研究会「家畜ふん尿多量施用による飼料作物の生産と利用上の問題点」p 7～16、農業研究センター・草地試験場・茨城県畜産試験場（1987）
- 3) 久保研一：環境保全型農業における施肥、p6～10、農業と科学（1995）
- 4) 倉島健次・斉藤元也・畠中哲哉・木村 武：ふん尿施用土壌における窒素および有機物の動態、耕地生態系における水質保全に関する研究、p 169～177、農林水産技術会議事務局（1987）
- 5) 志賀一一：農耕地の有機物受け入れ容量と畜産廃棄物、p1～88、酪総研（1994）
- 6) 全農：酪農及び肉牛経営における自給飼料生産利用の課題と展開方向（1996）
- 7) 千葉県農林部畜産課編：有機的飼料生産強化技術指針一家畜ふん尿のあり方と自給飼料生産の健全化、pp72（1996）
- 8) 照井信一：飼料作物品質の悪化による家畜の健康等への影響・問題点、昭和 62 年度関東地域草地・飼料作研究会「家畜ふん尿多量施用による

飼料作物の生産と利用上の問題点」p 17～24、農業研究センター・草地試験場・茨城県畜産試験場（1987）

- 9) 農林水産省草地試験場：昭和 58 年度家畜ふん尿処理利用研究会会議資料、p45～61（1983）
- 10) 農林水産省生産局：草地管理指標—飼料作物生産利用技術編、p53（2001）
- 11) 原田久富美・畠中哲哉・杉原 進：窒素多量施用条件下におけるトウモロコシの硝酸態窒素含量、日草誌（別）42、178～179（1996）
- 12) 原田靖生：家畜ふん尿処理物の施用量、家畜ふん尿処理・利用の手引き、p57～63、p68～73、畜産環境整備機構（1998）
- 13) 北海道立農業・畜産試験場家畜糞尿プロジェクト研究チーム編：家畜糞尿処理・利用の手引き 1999（1999）
- 14) 正岡淑邦・荒川祐介・増田泰三：乳牛ふん尿の制限施用による飼料作物と土壌の無機養分バランスの修復、九州農試研報、36、91～100（1999）
- 15) 宮崎 茂：硝酸塩の摂取が乳牛の生産に及ぼす影響、平成 9 年度自給飼料品質評価研究会資料、p36～45（1997）
- 16) 山本克巳：家畜ふん堆肥の環境保全的施用基準の考え方（1）草地、平成 8 年度家畜ふん尿処理利用研究会報告書、p7～10（1997）
- 17) 山本富三：栽培現場における有機物利用の問題点 有機物資材の分解特性の評価と利用技術に関する研究会資料、p1-1～1-8、九農試（1998）
- 18) 酪農総合研究所：自給飼料シリーズ No. 3 目で見える牧草と草地、p86～87（1999）

コラム

堆肥活用のアドバルーンが欲しい！

平成 11 年に「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」が成立し、耕種部門と畜産部門との連携強化による家畜ふん尿のリサイクル促進が求められている。しかし、現状においては堆肥の生産と需要の間には質的、量的、季節的条件や価格に対するニーズが異なり、流通・利用が必ずしも進んではいない。どちらかといえば土づくり資材へのニーズが多い耕種農家と堆肥を生産供給する畜産農家との間で乖離が起きている。今後「環境 3 法」の関連で堆肥生産の急増が予想されるが、生産された堆肥の利用促進の見通

しは必ずしも明確ではなく、条件によっては耕種農家で利用されずに大量に滞留することが懸念される。

堆肥は肥料成分を適当に含有し、併せて物理的・生物的な効果を示すことから総合的な効果を有する資材である。堆肥などを適量施用すれば作物へ養分を供給するだけでなく、土壌の物理性、化学性および生物性を改善する効果も期待できる。しかし、最近の堆肥は従来の土づくり資材的な性格（肥料成分含量が低く、土壌の物理性の改善効果が大きい）に加えて、肥料成分含量も高く

なっており、従来の堆肥と性格が異なって来ている。したがって、堆肥の肥料成分含量と肥効率から肥料成分量を評価して化学肥料としての減肥量を推定すること、適正な施用量に留めることが重要である。

すべての作物が有機物の施用によって一様に成分品質が向上するとは限らないが、ホウレンソウやチンゲンサイでは有機物の施用によって生育が良好となり、体内の硝酸含量が低下し、アスコルビン酸含量が増加し、成分品質が向上する。一方、ニンジンやキャベツでは、有機物の施用によって収量は低下するが全糖含量は増加する。有機農産物がもてはやされる昨今であるが、堆肥施用による作物の品質向上のメリットをもっと打ち出すべきではないか。堆肥の利用を促進するアドバルーンが欲しい。一方、飼料作物では堆肥等主体の栽培で肥料成分の過剰投入が多く、①乾物率の低下、②高蛋白-低カロリー、③NO₃-N集積、④K過剰、CaやMgの欠乏などが挙げられ、家畜の硝酸中毒、グラスタニー、繁殖障害、産後起立不能症などの因果関係が取りざたされている。当然ながら、堆肥等の施用量が適正であれば、こ

のような品質の劣化は解消される。

堆肥といえども多量に施用すれば、また連年施用するほど土壌での蓄積量が増え、肥料成分の過剰が問題となる。蓄積された土壌窒素が作物の生育してない時期に分解されれば、作物に吸収されることなく地下へ浸透し、環境への負荷となる。したがって、環境への負荷低減のためには適正な施用量と年間を通した作物の作付けがポイントとなる。

堆肥の利用がうまくいっている優良事例は、利用者の堆肥に対するニーズを把握すること、土壌診断などをおこないながら需給量および必要量を算出・把握すること、堆肥の運搬や散布作業などのサービスをおこなうこと（場合によってはコントラクターの組織化）、土づくり協議会などを組織して地域全体で取り組むこと等、重要な示唆を与える。今後、このような優良事例から学べる良い点を取り入れて、生産者側と利用者側が連携して循環活用を、しかも地域全体で取り組むことが肝要であると痛感している。

（畠中哲哉）

4. サイレージの調製貯蔵技術と品質管理

畜産草地研究所調製工学研究室 村井 勝

1. 収穫・調製方法の選択

どのような飼料（例えば、高栄養粗飼料とか、繊維源としての粗飼料等々）を目的とするかによって、対象作物種や刈り取り時期が大きく変わるので、事前に作物の特徴（生育特性、生育ステージによる栄養価・家畜の嗜好性の変化）を的確に把握しておく。一般的に長大型飼料作物（トウモロコシ、ソルガム）、麦類、牧草等は、サイレージ調製・利用が主である。イタリアンライグラス、オーチャードグラス、えん麦、暖地型牧草やソルガムの一部（スーダン型）の品種等では、好天が続く様な場合には乾草調製も行う。最近の乾草調製は、省力作業という点からコンパクトベールよりロールベール乾草が多い。また、小規模の肉牛繁殖経営の一部で青刈り利用も行われる場合もあるが、貯蔵施設は必要ないものの毎日の刈り取り・運搬・給与作業等、多労である。

(1) サイレージ調製・利用上の特徴

サイレージ利用が乾草、青刈り利用に比べて有利な点は、以下の通りである。

- ① どのような作物種でも、効率的な調製貯蔵ができる。
- ② 天候による調製作業の制約が乾草より小さく、適期収穫がし易い。
- ③ 相対的には、収穫時の圃場損失が少ない。
- ④ 調製時に目的に応じた資材の添加ができ、飼料価値や貯蔵性の改善が容易である。
- ⑤ 藁、圃場茎葉残渣物等の低・未利用資源が有効利用できる。
- ⑥ 乾草より、貯蔵施設の容積は小さくて良い。

一方、サイレージ調製・利用上の問題点として、以下の事が挙げられる。

- ① 長期間にわたって空気を遮断し機密性を保ち、嫌気状態を保持しなければならない。
- ② 排汁がでないように、詰め込み時に材料水分含量の調整に留意しなければならない（材料水分含量は70%以下にする）。材料水分含量が70%以上の場合、排汁処理口が付いたサイロに埋草する。もし、排汁が発生した場合は、回収できるように垂れ

流し状態にはしない（環境汚染の防止）。

- ③ 貯蔵中あるいはサイロ開封・取り出し給与中における好気的変敗による変質・発カビを防ぐ管理技術が重要である。
- ④ 収穫作業中の土砂の混入をなるべく防ぎ、発酵品質の低下を小さくすることが大事である（作物の倒伏や泥濘化した圃場等の悪条件下での収穫作業は避ける）。
- ⑤ 衣類・身体への吸着性のある特有の臭いがあり、貯蔵管理・給与作業上、その点を考慮する必要がある。

2. 飼料作物の収穫適期

作物の生育と可消化養分含量との関係は、図1の通りである。

(1) 収穫適期の判定基準

- ① 単位面積当たりの栄養収量が最大である。

飼料作物の生育時期別栄養収量を表1に示したが、気象条件や品種・栽培法等により変動するので一応の目安としての参考値である。栄養収量の最大値となる生育時期は、ホールクropp利用の場合、トウモロコシ、ソルガムが黄熟期に、大麦、えん麦は糊熟期～黄熟期である。なお、牧草類では出穂期付近～開花期頃までである。

- ② 家畜の消化性・採食性が優れている。

ホールクropp用作物の栄養価は、登熟につれて子実割合が増加するため、牧草のような茎葉型

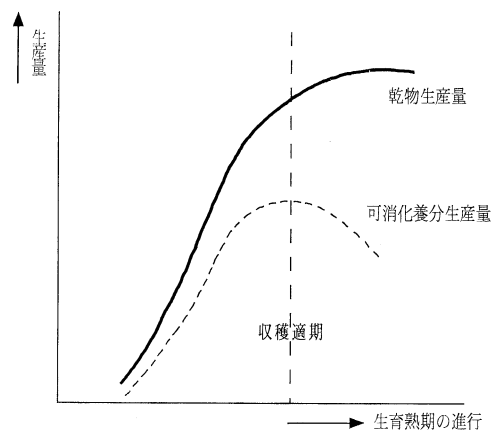


図1 生育段階と乾物生産量・可消化養分生産量の関係

表 1 飼料作物の生育時期別にみた単位面積当たりの栄養 (TDN) 収量 (kg/10 a)

作物種	生育時期			
	乳熟期	糊熟期	黄熟期	完熟期
トウモロコシ*	818	964	1,285	1,095
ソルガム**	454	597	772	-
大麦*	621	677	679	615
エン麦***	349	394	-	399

イタリアンライグラス	穂ばらみ期	出穂期	開花期	
1番草****	264	324	312	

*東北農試 **九州農試 ***北農試 ****草地試 (名久井, 1990)

表 2 作物別にみた利用目的タイプの収穫適期

作物種	飼料の利用目的	
	ホールクロップ型	良質繊維重視型
(ホールクロップ作物)		
トウモロコシ	黄熟期	乳熟期
ソルガム	糊熟期	乳～糊熟期
大麦	黄熟期	糊熟期
ライ麦	-	生育～乳熟期
エン麦	糊熟期	生育～乳熟期
ヒエ	糊熟期	生育～乳熟期
イネ	黄熟期	生育～乳熟期

(牧草)		
イタリアンライグラス	出穂始め	出穂期
暖地型牧草	出穂始め	出穂期
スーダン型ソルガム	生育期	出穂始め

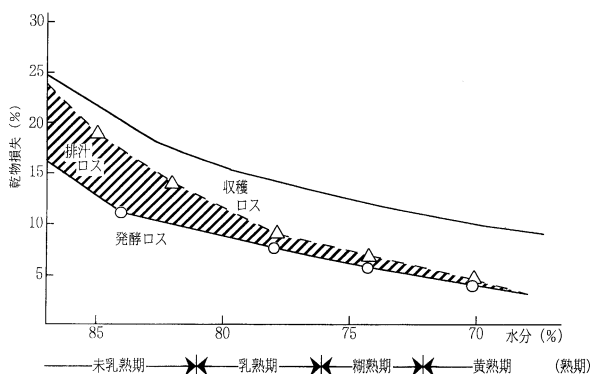


図 2 生育時期に伴うトウモロコシサイレージの乾物ロスの推移 (大容積タワーサイロの場合) (名久井, 1987)

作物のように急激には低下しない。あくまでも可消化成分含量の推移から、養分収量・養分損失・発酵品質を総合的に判断して収穫時期が決まる。可消化養分総量 (TDN) の収量をみると、トウモロコシ 68%、大麦 60%、ソルガム 58% 前後が最大値であり、この値の時期が収穫適期と言える。同様の判断基準から、牧草のような茎葉型作物も収穫時期 (出穂始め～開花期) が決められるが、収量よりも高い栄養価の粗飼料を望む場合には、刈取り時期をさらに早める必要がある。しかし、その適期期間は短く作業上困難が多い。一般的に、この最大栄養収量が期待される生育時期は、家畜の採食性も悪くない。なお、ホールクロップサイレージでは、そのまま家畜に給与した場合に

未消化子実が5~20%排泄される可能性があり、その排泄割合を減ずるような処理が必要である(例えば、微細断あるいは圧扁等々)。

③ 収穫・調製による養分損失を小さくし易い。

サイレージ調製の場合：サイレージ調製による養分損失を大別すると、圃場での収穫ロス、積み込み後の排汁ロス、発酵によるロス、とになる。図2はトウモロコシの場合について示したが、乳熟期以前は排汁及び発酵ロスが大きく、黄熟期に全体のロスが小さくなるのがわかる。一方、給与中(サイロ開封後)にはサイレージの好気的変敗が生じ易く、サイロの密封管理が悪いと養分の損失が大きいことも見逃せない点である。また、ホールクロップ用の作物では、収穫作業時の脱粒子実割合を少なくすること、も重要なことである。

④ 良好な発酵品質が期待できる。

一般的に材料の可溶性炭水化物(主に糖類)含量が10%(乾物中)以上あると、サイレージ調製で良好な乳酸発酵が期待できる。例えば、トウモロコシ・ソルガム・麦類は穀実が充実してくる乳熟期~黄熟期に糖含量が高く、茎葉型作物の場合は出穂前~開花期頃が比較的糖含量が高い。他方、暖地型牧草類を材料とした場合は概ね糖含量が少なく、通常乳酸発酵は不十分で酢酸生成が主体となり易い。なお、刈り遅れの材料をサイレージ調製した場合は、発酵が抑制され開封後に発熱し易くなる傾向がある。

(2) 作物別収穫適期

作物別の利用目的にあった収穫適期は、表2に示す熟期のとおりである。同じ作物でも利用目的によって、その収穫の生育ステージが大きく異なってくる。

3. サイレージ調製の基本技術

良質なサイレージとは、調製時の養分ロス(発酵ロスやタンパク質等の分解)が小さく、嫌気状態での雑菌の繁殖がなく、かつ家畜の嗜好性が良い酸性(pH 4.0~5.0前後)保蔵されている多湿飼料である。具体的には、以下の事を励行する。

① 早期にサイロ密封を完全にする。

サイレージは空気を抜いた条件下(嫌氣的)で、貯蔵しなければならない。従って、刈り取った材料は速やかに詰め込み、素早く脱気・密封することがポイントである。空気が入ると、カビが生え

たり酪酸等が増えて飼料品質が劣化する。

② 詰め込み材料の水分含量は、70%以下にする。

材料水分含量が70%以上の場合、酪酸の生成量が増え発酵品質が劣ると同時に、排汁量が多く乾物のロスも大きくなる(図3)。しかし、70%以下では発酵品質も安定し乾物ロスも少ない。従っ

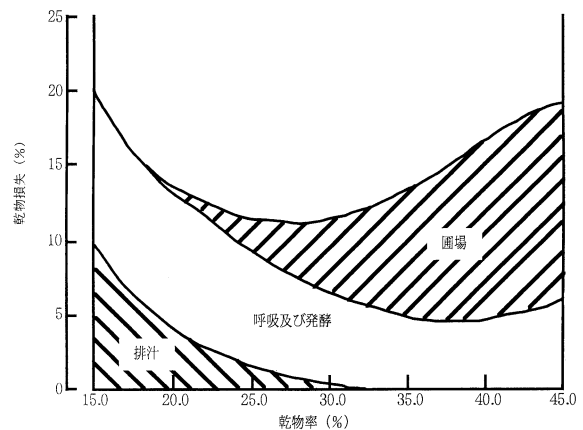


図3 良く管理されたサイレージ体系における乾物損失のモデル (Zimmer, Wilkinson, 1988)

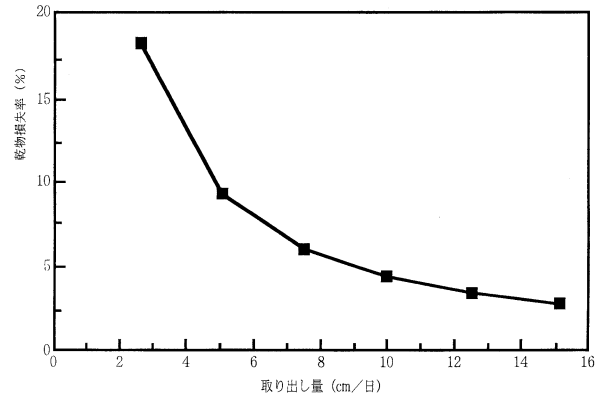


図4 サイレージの取り出し量と廃棄ロスとの関係 (バンカーサイロの場合) (Pitt and Muck, 1993)

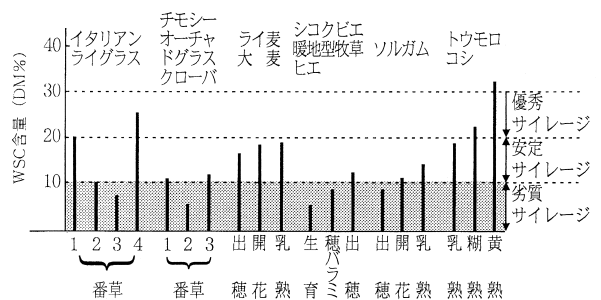


図5 作物別、刈取期別の乾物中WSC含量とサイレージ品質 (高野)

て、サイレージ調製・管理作業上は、40～60%が適水分含量といえるが、これより低水分でも開封後の好気的変敗防止管理が十分であれば、問題ない。

③ 材料の細切等で、サイロ内の詰め込み密度を高める。

材料を切断することの意味は3つある。a) 材料の汁液が浸出して、乳酸発酵を促進すること。b) 空気を追い出して、サイロ内の材料密度が高まること。c) 開封後、空気が入りにくいので発熱(好気的変敗)が起こりにくいこと、である(図4)。

④ 材料の糖分含量は多いほど良い(乾物比で10%以上が理想)。

乳酸菌は、材料の可溶性炭水化物を栄養源にして、乳酸を生成しpHを下げる。その結果、不良発酵が抑制され、良質なサイレージができる。図5に作物別にサイレージの作り易さを示した。作物種や生育ステージ等により可溶性炭水化物(主に糖類)含量は著しく異なり、糖分が少ない材料では、後述にあるように低水分化や糖蜜などの添加物を使用することも考えられる。

⑤ 環境温度は、高温より低い方が発酵に好都合である。

サイレージ貯蔵中の環境温度も品質に影響し、材料の糖分含量が多いときは影響は小さいが、少ないときに環境温度が30℃以上になると、不良サイレージになり易い。高温時にはサイロの気密性が大切で、暖地においては特に留意する。

4. 各種作物のサイレージ調製技術

目的とする粗飼料の質に応じて、作物種(品種)の選定、収穫の時期・調製作業方法等が特定されるので、栽培作物の生育特性と栄養価を把握しておく。

(1) ホールクロップサイレージ調製

「ホールクロップサイレージ」とは、穀実作物を材料として、子実が充実した熟期に茎葉と一緒に収穫・調製したサイレージである。ホールクロップサイレージの利点は、①単位面積当たりの栄養収量が高い、②飼料価値が高い、③可溶性炭水化物含量が高く、良質サイレージが作り易い、④家畜の嗜好性が良い、等である。

a. トウモロコシサイレージ

収穫・調製時の子実割合が高く(40～45%以上)、全体の乾物収量が高いとともに、被霜しない

収穫時期や耐倒伏性のある品種を選択する。

サイレージ調製のポイント：収穫適期は、子実粒の頂部に凹みができ雌穂の断面観察から、ミルクラインがほぼ1/2の部分に達する黄熟期(水分含量65～70%)に行うこと。ハーベスタで10～15mmの切断長で細切し、早期に密封することがポイントである。こうして調製された場合は、TDN含量は68～70%である。

b. 大麦サイレージ

ビール麦(2条種)が、ホールクロップサイレージ用に利用される。暖地では秋播きをするので、越冬管理が大切である。

サイレージ調製のポイント：収穫は水分含量65%前後の糊熟～黄熟期に行い、10mm程度に細断して詰め込む。大麦は糖含量が比較的少なく、早期密封を心掛ける。また、開封後は好気的変敗も起こし易いので、詰め込み密度を高めることが重要である。こうして調製した大麦サイレージは、TDN含量が60～63%前後である。

c. 飼料イネサイレージ

粗飼料源とする場合は乾物収量に優れ茎葉比の高い品種を選び、栄養(TDN)収量を重視する場合は子実割合が50%以上の品種を選択して、できるだけ減農薬栽培を志向する。また、圃場の機械作業が容易な地耐力となるように、水落とし時期に注意する。

サイレージ調製のポイント：収穫適期は黄熟期で、水分含量は55～65%に低下している。籾殻の破壊・裂傷を進めるため、切断長は10mm以下が良く、乳酸発酵も促進される。黄熟期に調製したサイレージのTDN含量は、55～60%である。最近、軟弱圃場で立毛イネを圃場に落とさずに、収穫・ロールボール成型の一貫作業ができる機械が実用化され、刈り取って直接にラップサイレージに調製する作業体系が確立しつつある。なお、茎葉比の高い品種の場合は、圃場予乾を行って水分を調整する場合がある。

d. ソルガムサイレージ

グレイン型あるいは兼用型と言われ、子実割合が高く糖分含量が多い品種ほど乾物消化率が高い。基本的な栽培管理については、別章を参照。倒伏を避けることが大事である。

サイレージ調製のポイント：収穫は乳熟～糊熟期である。刈り遅れると家畜の嗜好が著しく低下する。この時期は水分含量が80%前後なので、水分調整材の添加か排汁処理のできるサイロに詰め

る。また、蟻酸添加も有効である。切断長は、10 mm 程度が望ましく、サイレーズの TDN 含量は、55～60% である。

(2) 牧草サイレーズ調製

地域ごとにそれぞれ栽培に適した牧草種・品種があり、収穫時期・収量性等から、その選定には十分な検討が必要である。

a. オーチャードグラスサイレーズ

関東・東北以北の冷涼地の代表的な草種である。欠点としては、乾物収量は増加するものの出穂期前後からの栄養価の減少が大きく、一日当たりの TDN 含量が乾物ベースで実数値 0.5% ずつ低下するので、収穫適期を逃さないことが肝要である。

サイレーズ調製のポイント：収穫適期の材料で 70% 以下の水分含量に調整した場合は、サイレーズ調製の原則通りの作業で、特に問題は無い。

b. イタリアンライグラスサイレーズ

南東北以南の地域では、収量も多く重要な草種である。トウモロコシと組み合わせた作付体系では、早生系品種の選択が有利である。積雪地帯では雪腐れ病に強い品種を選ぶ。

サイレーズ調製のポイント：収穫時期は出穂期（全体の 50% 出穂）である。予乾を必要とするが、出穂期の TDN 含量は、66% 前後と高い。

c. 暖地型牧草サイレーズ

暖地型牧草には、ローズグラス、スーダングラス、ギニアグラスシコクビエ、ネピアグラス等がある。これらは可溶性炭水化物含量が少なく（10% 以下が多い）、良質な乳酸発酵サイレーズは出来にくい。また、一般に繊維質が多く、嗜好性が劣るものが多い。

サイレーズ調製のポイント：可溶性炭水化物が少ないため、水分含量 60% を目標に予乾し、それを 10 mm 程度に細断してサイロに詰める。予乾ができないときは、糖類や水分調整材を添加する。また、蟻酸添加も効果がある。こうして調製したサイレーズは、TDN 含量が 55～60% のものが多く、寒地型牧草の遅刈り草に近い栄養価と考えて良い。

以上のような馴染みの草種に加えて、ライグラスとフェスク類との属間雑種や新しい牧草種もサイレーズ材料として登場しつつある。

(3) 茎葉型飼料作物サイレーズ調製

多収性の繊維源作物も求められており、ソルガムは収量が高い代表的な飼料作物である。また、

ライ麦類も、そんな作物として有望である。

a. ソルガムサイレーズ

ソルガムの中で、ソルゴー型とスーダン型品種が茎葉利用目的に叶っているが、糖含量が高い品種ほど乾物消化率が高い。分けつ性や再生力あるいは耐倒伏性に品種間差があるので、品種選択が重要である。基本的な栽培管理は、別章を参照。

サイレーズ調製のポイント：収穫は出穂～乳熟期である。刈り遅れると嗜好性が低下する。この時期の水分含量は 80% 以上なので、水分調整材を添加するか排汁処理のできるサイロに詰める。また、蟻酸添加も有効である。圃場予乾をからの調製が望ましいが、天候次第である。切断長は 10 mm 程度が望ましく、調製されたサイレーズの TDN 含量は、55～60% である。

b. ライ麦サイレーズ

麦類の中では耐寒性が優れており、積雪・寒冷地において利用される。極早生から早生品種が栽培・利用し易い。

サイレーズ調製のポイント：収穫適期は穂孕み～糊熟期で、それ以降は茎の木質化が進み、家畜の嗜好性が著しく低下する。切断長は 10～15 mm で、排汁処理ができるサイロに詰め込む。この収穫時期は、まだ蛋白質含量が多いため、不良発酵し易い。水分含量 60～70% に予乾したり、添加剤等により良質サイレーズができる。サイレーズの TDN 含量は、50～55% 程度で、他のホールクロップ利用の麦類より低くなる。

c. ヒエサイレーズ

ヒエは耐湿性に優れていることから、転換畑の湿田用作物として栽培される。赤ヒエなど早生～中生品種を用いる。窒素の多肥は、倒伏を避けるために注意を要する。

サイレーズ調製のポイント：収穫適期は水分含量 70～75% の糊熟～黄熟期である。糖含量が少ないので、細断（10 mm）、早期密封、踏圧（700 kg/m³ 以上）が決め手になる。このまま給与すると未消化子実が排泄されるので、子実を破碎して調製することを心掛ける。TDN 含量は、55～60% である。

5. ロールベールサイレーズ調製技術のポイント

牧草の収穫・調製に対応したロールベールサイレーズ調製は、天候不順に対応し易く、すべてを機械作業で刈り取りから収穫・調製・給与までの一人作業が可能である。ロールベールは、芯巻き

(可変径式)と芯無し(定径式)があり、芯巻きタイプは梱包密度が高くなる。ロールベールの大きさは直径0.5~1.8mで、ラッピングマシンによるラップサイロ方式がほとんどである。

(1) ロールベールサイレージ調製の特徴

ロールベールサイレージの長所は、以下の通りである。

- ① すべての作業が機械操作による一人作業が可能で、労働力集中が緩和される(特にラップサイロの場合)。
- ② 固定サイロ等の施設投資が不用であるため、低コスト生産も可能。
- ③ 天候不順に対応し易い(高い機動性)。
- ④ 運搬・移動が容易で、流通し易い形状である。
- ⑤ パドックで不断給餌することにより、給与の労力を省力化できる。
- ⑥ サイロガスによる人身事故の心配がない。
- ⑦ 草地の状況に応じて、バラエティーに富んだ栄養価のサイレージが調製できる。育成牛、乾乳牛、泌乳牛等の畜種に応じた飼料給与ができる。

なお、短所としては、以下のような事が挙げられる。

- ① ロールベールは転がりやすいので、傾斜地でのベール成型作業には注意が必要である。
- ② 他の資材をロールベール成型途上で添加することが困難である。
- ③ ハーベスタによる収穫方式に比べると、材料の適水分含量域はラップフィルム密封で

40~60%(バック密封は50~60%)と、排汗がない水分含量である方が良い。

- ④ 材料水分が高いと、直径1.5m以上のベールでは1t前後の重量となり、大馬力のトラクタが必要となる。
- ⑤ トワイン、ストレッチフィルム等、使い捨てとなる消耗品経費がかかり、大量調製の場合は相当な負担である。
- ⑥ ラップ用ストレッチフィルムあるいはポリ袋によるサイロ貯蔵なので、カラス・ネズミ・コオロギ等の鳥・虫によって穴を空けられ易く、保管中に空気が入ってカビや腐敗で廃棄する場合がある。
- ⑦ ロールベールサイレージでは、上・下・表面・深部等で部位による水分ムラが生じ易い。
- ⑧ 開封後は数日で給与が終了するようにして、好気的変敗を生じないようにする必要がある。
- ⑨ 給与時にベール解体等で、ハンドリング上に難がある。
- ⑩ サイレージ開封後の使用済みストレッチフィルム等は、産業廃棄物処理法に則って処理しなければならない。

以上のようなメリット・デメリットがあるものの、順当に調製された場合は固定型サイロの場合と同等の飼料品質が得られる。

(2) ロールベールラップサイレージ調製・貯蔵上の留意点

以下のような調製・貯蔵上の留意点を遵守することが望ましい。

表3 ラップフィルムの巻層とサイレージの品質

試験区	水分 (%)	pH	有機酸組成 (%、FM)			VBN/TN (%)	備考
			乳酸	酢酸	酪酸		
2層 外側	56.4	4.05	1.89	0.18	0.05	7.6	周囲に白カビ、下側水分多 上表層褐変
2層 内側	49.4	4.28	1.57	0.33	-	6.7	
4層 外側	55.4	4.19	1.49	0.15	-	7.1	表層に白カビ、酵母
4層 内側	58.0	4.03	1.87	0.23	0.06	7.5	
6層 外側	58.3	4.00	1.19	0.15	-	7.0	酵母若干
6層 内側	49.0	4.10	1.32	0.17	-	5.6	
8層 外側	46.9	4.15	1.67	0.20	-	5.1	
8層 内側	51.6	4.05	1.75	0.14	-	5.7	

注1) 原料草はイタリアンライグラス、ただし8層区のみ約10%のエン麦混入

2) 表層はフィルム面から15cm、内部は15~60cm深までの平均

3) VBN/TN: 全窒素中の揮発性窒素化合物の割合

(糸川, 1995)

- ① ベール材料水分含量は60%以下になってから、ベール成型作業を開始する。
- ② ベール成型後の密封作業は速やかに行う(当日中に)。
- ③ ラップフィルムの選択は、性能(復元性・均一性・粘着性・耐候性)の優れたものを選び、ベールラップのフィルム繰り出し装置との適合性に留意する。
- ④ ラップフィルムの巻き方は、50%重ね巻きで4層巻き以上とする。
- ⑤ ラップサイレージの移動では、フィルムの破損・穿孔に十分な注意が必要。
- ⑥ ラップサイレージの保管では、縦置きで2段重ねを基準とすると保管中の変形が少ない。また、保管場所は平坦で水はけの良い場所であるとともに、鳥害防止ネットや直射日光を受けないような処置も必要(表3)。

なお、最近では牧草のみばかりではなく、長大型作物あるいはホークロップ作物用のロールベール成型機の開発が進んでおり、一部実用レベルの段階に達しつつある。また、作業時間の短縮(トワイン作業時の停止運転なし)、ベールの高密度化、細切してベールにする機構(細断型ロールベアラ)、トワイン作業の改善(ネット化)等の開発も進んでおり、一層の省力化が目指されている。さらに、ベールの形状でもタイトベールのサイズを大きくし、梱包密度の高いベール(角形ビックベール)成型機も市販され、貯蔵スペースの縮小化も図られている。

6. 不良材料のサイレージ調製

① 高水分材料の場合：

水分含量75%以上の高水分材料をサイレージ調製すると排汁が大量に生じるので、サイロには排汁処理口のあるものを使用する。また、酪酸発酵しないように水分調節資材としてフスマ、ビートパルプ等を添加して全体の水分含量を下げたり、あるいは蟻酸を0.5%(原料当たり)添加することも効果的である。

② 倒伏した材料の場合：

倒伏材料を収穫・調製する場合、倒伏の姿(挫折形、転び形)によって収穫のロスが大きく異なり、場合によっては30%以上の圃場ロスにもなる。また、サイレージ調製作業時には、圃場の泥や腐食茎葉などが多く混じることから酪酸発酵し

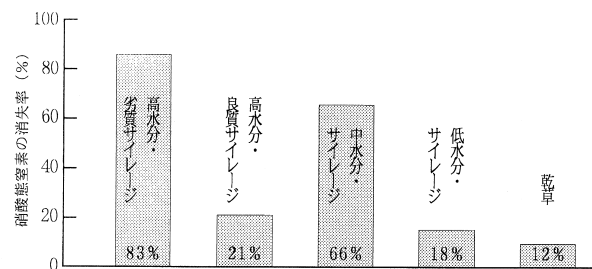


図6 調製法の違いが牧草の硝酸態窒素の消失に及ぼす影響(増子、1990、安宅、1974)

易く、糖類の添加等により発酵品質の改善を促す処置が大切である。

③ 被霜した材料の場合：

トウモロコシ・ソルガム等が被霜すると、水分含量が低下するが糖含量も大きく減少するため発酵が抑制されてpHの低下が緩慢になる。そのため、サイロ開封後の発熱が起こり易くなることから、詰め込み密度を高める、仕切りを入れる、好気的変敗防止剤を添加する、等の工夫を行って調製する必要がある。

④ 硝酸態窒素などが多い材料：

化成肥料・堆肥等で窒素成分を大量に投与して栽培した飼料作物は、茎葉部に高い濃度の硝酸態窒素を蓄積し、その硝酸態窒素の多い材料をサイレージ調製すると、24時間以内にNO₂ガスが発生する。これは大変な有毒ガスでありサイロへの入室では、換気を十分にする等の注意が必要である。このようにサイレージ調製により、材料中の硝酸態窒素量を減少させることができるが、調製条件によりその程度は大きく変動する(図6)。

7. サイレージ添加剤の利用法とその種類・特徴

不良材料を用いたサイレージ調製やサイロ開封後の品質管理上、添加物が有効な場合がある。添加物は、目的に応じて適正な使用をした時のみ効果が発揮される。現在、いろいろな用途の添加資材があり、この主な種類と使い方を表4に示した。

使用目的から大別すると、①乳酸発酵を促進するもの、②不良発酵を抑制するもの、③好気的変敗を抑制・防止するもの、④栄養価を改善するもの、となる。

8. サイロの種類と特徴

サイロが備えるべき条件は、①密封が容易なこと、②安全に作業ができること、③作業能率が高

表 4 サイレージ添加物の種類

発酵促進剤		発酵抑制剤		好気的変敗抑制剤	栄養素*	吸着剤
菌接種物	炭水化物源*	酸類	その他			
乳酸菌	グルコース	無機酸類	ホルムアルデヒド	乳酸菌	尿素	オオムキ
	スクロース	ギ酸	パラホルムアルデヒド	プロピオン酸	アンモニア	ワラ
	糖蜜	酢酸	ゲルタルアルデヒド	カプロン酸	ビウレット	ビートパルプ
	穀類	乳酸	亜硝酸ナトリウム	ソルビン酸	ミネラル	重合体
	ホエー	安息香酸	二酸化イオウ	ヒマリン		ベントナイト
	ビートパルプ	アクリル酸	メタ重亜硫酸ナトリウム	アンモニア		
	サイトラスパルプ	ケリコール酸	重硫酸アンモニウム			
	バレイショ	スルファミン酸	塩化ナトリウム			
	細胞壁分解酵素	クエン酸	抗生物質			
		ソルビン酸	二酸化炭素			
			二硫化炭素			
			ヘキサメチレンテトラミン			
			プロノール			
			水酸化ナトリウム			

*炭水化物源にリストした大部分の物質は、また栄養素にリストされている。

いこと、④サイレーズ取り出しが、容易であること、⑤排汁処理が可能なこと、⑥経済的であること、等である。サイロの選択に当たっては、立地条件に合わせてサイロ基の大きさ、詰め込み作業・踏圧方法、密封方法並びに取り出し作業、付属作業機械等から総合的に判断する。

サイロの種類は、色々な別け方があるが、一つは固定施設型サイロと仮設・可搬型サイロに大別される。固定サイロとしては、塔型サイロ、地下角型サイロ、気密サイロ（スチール、FRP）及びバンカーサイロがある。また、仮設サイロとしては、トレンチサイロ、スタックサイロが一般的で、可搬サイロとしては、ラップサイロ、バッグサイロ、チューブバックサイロ等が利用されている。

一方、サイロの材料詰め込み密度は、サイレーズ発酵やサイロ開封後のサイレーズ品質管理上疎かにできない。サイロ1m³当たりの乾物詰め込み密度を知ることが重要であり、通常大型タワーサイロでは700kg/m³以上の場合に、サイレーズの品質は安定している（表5）。

9. サイレージ貯蔵中及びサイロ開封後の管理

サイレーズ貯蔵中で最も重要なことは、サイロの気密性の保持である。しかし、調製材料の条件により、酪酸発酵やくん炭化が生じることもある。サイロ開封後には好気的変敗が起こるので、これらの損失を防止するために十分な管理上の注

意が必要である。

(1) 好気的変敗

「好気的変敗」とは、サイレーズ貯蔵中あるいはサイロを開封してサイレーズを家畜に給与している間に発熱して、カビが生えたり腐敗したりすることをいう。これはサイレーズ中の酵母やカビが空気の侵入によって増殖したからである。好気的変敗を防ぐには、以下のことを心掛ける必要がある。

①密封を完全にする。②密度を700kg/m³以上にする。③不良原料にはあらかじめプロピオン酸を添加する。④サイロに中仕切りをする。⑤刈り遅れた原料草は使わない。⑥サイロ開封後は、サイレーズ取り出し量を多くしたり、取り出し後の密封管理を十分に行う。

好気的変敗を助長する要因について、表6に示した。

(2) くん炭化

「くん炭化」とは、サイレーズや乾草が貯蔵中に著しく好気的発酵発熱して、最終的には焦げつき・黒褐色を呈する状態をいい、さらに進むとサイロ火災となる。発生条件としては、①牧草の材料水分含量が30～40%で調製、②サイロ詰め込み密度が低い、ムラがある、③気密性の低下による空気の侵入、等が重なった場合で、くん炭化により消化率・栄養価の低下が著しい。

防止策としては、以下の点を励行する。①短期

表 5 主要サイロの特徴

型 式	垂直型サイロ		水平型サイロ		可搬式サイロ
形 態	円 型	角 型	バンカー	スタック	ラップサイロ
長 所	①気密性、詰め込み・取り出しなどの機能に優れる。 ②気密サイロは追い詰めによる多回転利用が可能な機種もある。	①特に地下型は詰め込み作業が容易である。 ②地下型はサイレージ発酵が安定する。 ③建設費が比較的安い。 ④地下型は圧密作業が容易。 ⑤追い詰め可能。	①規模拡大に対応しやすい。 ②建設費が比較的安い。 ③詰め込み作業が容易である。 ④機械力を利用して圧密しやすい。	①必要に応じて設置できる。 ②価格が安い。	①圃場調製可能。 ②作業能率高い。 ③一人作業可能。 ④圃場で調製後放置して運搬収納作業を分離できる。 ⑤機械化体系が確立している。 ⑥乾草調製から切り替え可能。
	アンローダを複数のサイロで共用できる。				
短 所	①建設費が高い。 ②ブローワ、アンローダなど高価な付属機械を必要とする。 ③アンローダの保守管理煩雑。	①サイロ隅が変敗しやすい。 ②コンクリートはひび割れ、酸腐食が生じやすい。 ③地下型は地下水位の高い場所では難しい。	①サイロの密閉が不良になりやすい。 ②取り出し期間のサイレージ品質低下を招きやすい。	①～②同じ。 ③被覆材が破損する危険性が高い。	①サイロごとの品質不安定。 ②フィルム破損による品質低下多い。 ③使用済みフィルムの処理難。 ④置き場面積大。
利用上の注意	①材料水分60%以下、切断長は10mm以下。 ②ボトムアンローダの日常点検を行う。 ③トップアンローダの作動状態に注意する。	①重石を乗せて圧密を十分に行う。 ②夏期取り出し量は毎日20cm以上また、再密封を励行する。 ③地下型は酸欠に注意する。	①圧密を十分に行い、密封に注意。 ②サイロ周囲の排水に注意し、雨水の侵入を防ぐ。 ③被覆ビニールフィルムの破損に注意する。 ④夏期は15cm以上の厚さで取り出す。 ⑤圧密や取り出しにはトラクタが利用できるようにサイロの構造や配置を考える。		①材料水分は60%以下。 ②形状の良いベール作り。 ③直ちに包装すること。 ④フィルム破損を防止する。 ⑤縦積みによること。

(市戸, 1999)

間に詰め込み、密封を完了する。②細断（10～15mm）して詰め込み密度を高くする。③サイロの気密性を点検する。

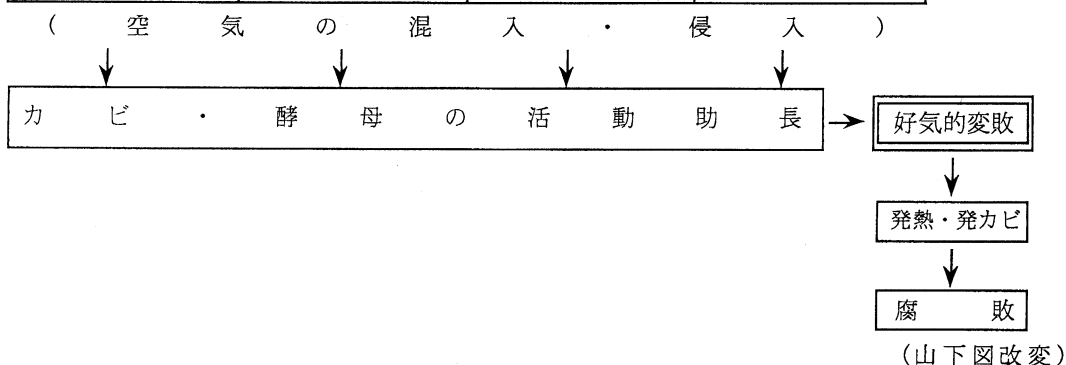
10. サイレージの品質評価

サイレージの品質は、飼料としての栄養価と発酵状態そして採食性から評価される。厳密には化学分析と給与成績に基づき、化学成分、発酵品質、栄養価さらに採食量が測定される。現在、上記の

分析法に基づくこれまでの蓄積データを用いて、サンプルの飼料品質を非破壊で迅速に推定する近赤外分析法（NIRS）による飼料診断（フォーレンジテスト）体制が整備されてきている。一方、現場で分析作業なしに簡易に官能による評価ができる基準が提案されている。例えば、トウモロコシサイレージの場合は、pH・水分含量・子実割合・熟期・色沢・香味等々について、それぞれ重み付けして100点満点とする配分をした基準が利

表 6 サイレージの好気的変敗を生じ易くする要因

原 料	詰 め 込 み 時	貯 蔵 時	取 り 出 し 時
<ul style="list-style-type: none"> 刈り遅れ 低水分 (40%以下) 霜当たり 	<ul style="list-style-type: none"> サイロ型式 切断長が長い 均平化が悪い 密封の遅れ 加重不足 土砂の混入が多い 詰め込み日数が2日以上 	<ul style="list-style-type: none"> 空気の侵入 (気密性が破れる) 短期貯蔵 (10日以内) 凍結 (冬期) 高温 (夏期) 	<ul style="list-style-type: none"> 夏季の取り出し 取り出し量不足 乱雑な取り出し 取り出し面が広い



用されており、80点以上がAクラス、75～79点がBクラス、70～74点がCクラスにランクされる。D、Eランクは、飼料として何らかの問題点があると判定してよい。また、牧草サイレージでは、原料草によって大きく栄養価が変わるため、原料草自体の評価持ち点(60)+発酵品質の評価持ち点(40)の割合で配分して、両者合わせて100点満点からの減点法で採点する。原料草の品質では、刈り取り時期・マメ科牧草割合・葉部割合・枯葉割合がそれぞれ点数となり、発酵品質の点数を加算して、全体の飼料品質となる。これは1989年に北海道で採用された基準で、現在利用されて

いる。Aクラスは81点以上、Bクラスは61～80点、Cクラスは41～60点である。C、D、Eは原料草か、発酵過程で何らかの問題があると判定する。

参 考 資 料

- サイレージ科学の進歩(内田仙二編)、デリー・ジャパン社、東京、1999。
- 草地管理指標—飼料作物生産利用技術編—(農林水産省生産局)、日本草地畜産種子協会、東京、2001。

5. 自給飼料の調製利用と流通技術

畜産草地研究所山地畜産研究部・上席研究官 市戸万丈

1. 乾草

1) 乾草の価値

乾草の最大のメリットは、基本的にシンプルなことである。刈り取って乾かすだけであるから。そして乾いてしまえば、サイレージと違って変質のリスクも小さい。しかし、この「シンプルなこと」が「何時でも・どこでも・誰にでも」そうである、とは言えない。

表1に示すのは、我が国において乾草調製が困難な3大理由である。元々モンスーン気候地帯にあるため、宿命とも言える。その高温多湿であることは圃場生産力が高い、と言えるが乾草づくりには不利であって、我が国では「乾草づくりがシンプル」とは、とても言えない。しかし後にも述べるように、貯蔵素飼料（本章では「粗」飼料ではなく「素飼料」と表記する）として、さらに流通素飼料として乾草の価値が高いことは間違いなく、その需要の大きさから、多くの「人工乾燥」「人工仕上げ乾燥」の研究が行われた¹⁾が、現在では自給貯蔵飼料の主役の座をサイレージに譲っている。そして乾草の需要は円高を背景にした輸入に依存している。

2) 乾草調製技術の進歩

一方、世界的に見れば現在も乾草調製方法はどんどん進歩している。それはまず刈り取り方法の進歩であり、トラクタの大型化による能率向上であり、乾燥促進方法・成形方法の進歩である。これら「乾草の進歩」を、表2に示す。

最初にレシプロモータを駆動したのは馬である

表1 日本で乾草調製が困難な理由

① 草の生産に季節的な偏りが大きい
② 収穫適期に雨が多い
③ 草種構成を維持しにくい

が、表に示す刈り取り方法とトラクタ出力・梱包方法は、正確に上下対応している訳ではなく、目安である。またロールベアラが全てビッグスクウェアベアラに取って代わるのは考え難いが、今後も乾草調製には多くの工夫が行われるであろう。また明確な差がないので記載しないが「④」として、この間の「梱包密度の向上」がある。これは乾草が単なる「貯蔵飼料」から「流通飼料」へ進歩できたことの重要な要素であって、本章後段（5-1）でもう一度触れる。この意味で現状最も進歩している乾草がヘイキューブである。これはアルファルファを主体とした高栄養の牧草を収穫して、ただちに人工乾燥し、高密度成形までを行う方式で、そのための専用施設型加工機械が「ヘイキューバ」と呼ばれ、一時期日本にも導入された。現在この機械を目にすることはできないが、これは最初から流通を目指した「究極の乾草」と言えるものである。

3) 乾草づくりは飼料調製の基本

乾草・「干し草」は、最古にして最善の貯蔵飼料である。そもそも「貯蔵」飼料という概念を作ったのが乾草であり「人類文明史 2000 年間で最大の発明」とする見解もある²⁾。また「最善」の意味はその利用者である牛から見てもそうなので、だからこそ輸入乾草が増える、とも言える。さらに良質乾草を作る「技術」があってこそ、後述する良質サイレージも調製できるのである。その理由は次項目で述べる。

図1に、現在我が国で行われている圃場乾草の生産体系を示す。個々の機械と作業方法については次章で説明する。

4) 良質乾草生産のために

高品質な乾草生産の基本・前提は、「良い草」が「均一に」生育していることである。まず生育にムラがあると均一な圃場乾燥ができない。次に草が

表2 乾草調製方法の進歩

①刈り取り	レシプロモータ→ディスクモータ→ドラムモータ→モータコンディショナ
②トラクタ馬力	50馬力以下 50~80馬力 50~100馬力 100馬力以上
③梱包方法	ルースベアラ→コンパクトベアラ→ロールベアラ→ビッグスクウェアベアラ
(一個重量)	10~15kg 15~20kg 100~200kg 200kg以上

(本章では「馬力」とか「重量」といった馴染みやすい表現を用いる)

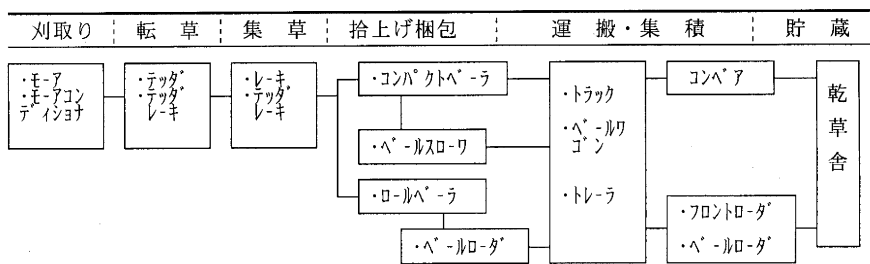


図 1. 乾草生産体系

表 3 良い乾草をつくるための条件

①良い圃場……それなりの広さも必要
②良い草を……裸地や雑草があると困る
③良い時期……最も良い栄養条件で
④良い時刻……乾燥の速度に影響する
⑤良い機械……ふだんの手入れが肝心
⑥良い腕前……一朝一夕にはできない
⑦良い所に……貯蔵中の吸湿にも注意

生えていない裸地があると、そこから反転・集草作業時に土を掻き込んで、乾燥遅れ・品質低下の原因になる。刈り取りは朝、露が落ちた頃を見計らって行う必要がある。この「露が落ちた頃」も、圃場条件に左右されるため、排水の良い土地であることも望まれる。

良い圃場に良い草が均一に生育しているとしても、それだけでは良い乾草が生産される十分条件とは言えない。その次に作業機械も良く手入れされていることが必要である。切れ味の劣るモーターでは草を痛める。これは永年牧草の再生に悪影響を及ぼすことになる。次に作業機とトラクタの能力の組み合わせが適切でなければならない。そしてさらに重要な要件が作業者の技量、腕前である。腕前の中身、そこに求められるのはまず乾燥過程の材料含水率を見極める技術である。これも個々のサンプル含水率推定のみならず、圃場全体の含水率の推定ができないといけない。次に同じく圃場全体の草量を推定できなければならない。そして作業機の圃場走行距離を可能な限り短く合理的に、かつムラなく刈取り・転草・集草を行える運転技量が求められる。これは単に作業効率を高めるだけでなく、草の収穫ロスを少なくすること、さらに草を痛めず良好な再生を促すために、どうしても必要な技術なのである。草地は経年的に用いることが必要で、それが草地のメリットだからである。これらを纏めたのが表3である。そしてここまで説明した技術は、表の⑦の「貯蔵中

の吸湿」を除いて、すべてサイレージにも共通するのである。さらに言えば、飼料稲にも共通する。この項目の題名「良質乾草生産のために」は、「良質自給飼料生産のために」と、ほとんど同意義である。

5) 水田での乾草調製

ここまで述べてきた「乾草づくり」が、「そうすると元々水田は乾草づくりに適していないのではないか」と読みとれた人は、既に乾草づくりの基本を理解できたと言えよう。確かにこれまで図・表に示した代表的な大型機械体系で、現在の一般区画の水田で牧草を作付けして、その乾草を調製するには多くの困難を伴う。

乾田化ができ、区画を統合し、畦を取り除いた圃場でも、もともと水抜きの悪い土地基盤では乾燥が遅いという難しさが残る。これらのための対策として ①小型機械の利用、②耐湿性の高い草種の選択、③人工仕上げ乾燥の導入、など多くの試みが行われたが、しかし広く普及するには至っていない。そこで困難な乾草生産からサイレージへの転換が進み、さらに「飼料稲」の栽培利用も考えられるようになり、「稲醱酵素飼料」と称するサイレージ利用がメインターゲットとして奨励されるに至っているのである。

2. サイレージ調製作業の要点

1) サイレージの本質

サイレージの具体的価値、その過程の仕組みや製品の品質評価は、ロールバールサイレージまで含め、別項で詳述する。ここではその考え方と作業上の4要点のみを述べる。

飼料のみならず、人間の食料を含め、その貯蔵方法は表4に示すように5つに分類できる。貯蔵の本来の目的は食物を他に奪われないようにすることである。奪う「他」は戦争・泥棒まで可能性が存在するが、ここで問題となる「他」の主体は微生物であり、微生物による略奪、つまり腐敗に

対する防止戦争である。そのような意味で上記の5つの手法を見直すと、①は皆殺し・再侵略防止であり、②～④は水分不足・過剰浸透圧・低温等で微生物の活性を奪う手法となる。そして⑤は乳酸菌等、特定微生物との共存を図ることにより、その他微生物からの略奪を防ぐという、最も平和的・エレガントな手法であると言える。

飼料の最も基本的な貯蔵方法は、現在においても前述のように②による乾草であり、一時、①の滅菌密封手法としてのアンモニア処理が奨励された。しかし前述のように我が国の気象条件下においては、その主体はサイレージが合理的なのである。

2) サイレージ調製作業の4条件

いくつかある飼料の貯蔵方式のうち、サイレージは最も日本の気象条件に適している。その調製方法はラップサイロを含めた、サイロの構造と機能により異なるものの、現在の技術水準におけるサイレージ調製作業の要点は、表5に示すとおり、重要な順に①圧密・②気密・③予乾・④細断である。

この4項目全てが要点であるが、しかし必ずしも4条件全てが必要ではない。またその重みづけも調製方法とサイロの種類により選択される。なお用語も進歩し「圧密」は、かつては「踏圧」とされ、文字どおり足で踏んだ。現在でも「踏圧」を好んで用いる人がいて、しかし間違いとは言えない。これらの条件を満たすために、すべてに機械力が用いられるようになった。

牧草を対象とした良質サイレージ調製のための

表 4. 食料・飼料の貯蔵技術

基本手法	食料の例	飼料の例
①滅菌密封……	缶詰、レトルト食品	アンモニア処理
②乾物化……	干物、味付け海苔	乾 草
③塩 漬……	塩鮭・酢づけ	な し
④冷蔵・冷凍……	何でも色々	な し
⑤発 酵 ……	納豆・チーズ	サイレージ

手順として示されるのは、③予乾を行い、④細断作業を行い、①圧密が行われ、②気密処理が行われる、と言う固定式サイロを対象とした作業方法である。なお材料がトウモロコシを対象とした場合、③の予乾が省略される。また材料が十分に④細断されていて、気密サイロに代表される十分な詰め込み高さがあれば、自重での圧力に任せて①圧密は省略される場合がある。ただしこの場合逆に言えば「十分な詰め込み高さ」を確保できない詰め込み量では、サイレージ調製が行われないことを意味する。このことが、鳴り物入りで奨励された大型気密サイロが用いられなくなった理由のひとつである。

3. 稲藁利用の課題と展望

1) 稲藁利用衰退の経緯

国産稲藁が利用されなくなった理由については、生産者側の作業上の問題と、利用者（畜産農家）側の問題に整理して考える必要がある。さらにその物理的な分離の問題、社会的理由もある。国内産稲藁の利用が低下する一方で、北朝鮮を主体とする輸入は1997年で25万トンに及んでいる³⁾。

我が国の気象条件下では、乾草の調製がなかなか困難なことは冒頭で述べた。それに対して「豊芦原瑞穂の国」に最も適するのは水稻である。日本人が米を食べ、家畜が穀類・稲藁を食べてくれるのが理想であり、一時稲藁の多くは飼料になっていたが、現在はその関係が崩れている。ここでは飼料稲の利用まで含めて、現状と見通しを述べる。

表6に、稲藁利用率低下の要因を整理して示したが、ここに共通するのは経済成長・所得向上による労力不足、と言う絶対的な背景である。さらに1987（昭和62）年、生乳の取引基準がそれまでの乳脂率3.2%から3.5%へ引き上げられたことも大きく影響している。なおこの利用者側の課題は稲藁だけではなく、ビール粕・豆腐粕もその利

表 5 サイレージ調製作業の要点

要点	要 否	理 由	コメント・その他
圧 密	……絶対必要	空気排除・侵入防止	ただし、気密サイロは詰め込み高さの自重による圧密のみ。
気 密	……絶対必要	空気侵入防止	ただし、昔はできなかった。その表面部分の相当量を廃棄した。
予 乾	……省略可能	水分・糖分含量調整	トウモロコシ等糖分の高いもの、適切な添加物が添加されれば不要。
細 断	……省略可能	圧密効果・発酵促進	従来のロールペーラでは略。

表 6 稲藁利用率低下の要因

主 体	
生産者	①コンバインの普及→切断散布→集めにくい→圃場へすきこみ ②兼業・日曜稲作→他産業へ勤務 ③その乾燥に手間がかかる→利用者側も集めに来ない
畜産農家	①畜産農家の多頭化→専業化、集めに行けない ②乳脂率3.2%から3.5%へ引き上げ
社会的理由	①円高による輸入物の値下がり ②畜産農家の減少による稲作地帯と畜産地帯の分離

用量が減少した、という問題も含んでいる。

酪農家が稲藁を利用しなくなった一方で、輸入を促進したのが肉牛農家である。肉牛にはやはり稲藁が必要とされ、円高が進む中、まず台湾・韓国からの稲藁が九州の肉牛地帯を中心に輸入された。その増加に伴って価格も安くなり、品質も向上したと伝えられる。北朝鮮では穂刈りした後の水稲を、泥が付かないように人海戦術で稲藁を集め、乾燥し、成形梱包して日本に輸出している。

2) 流通を考慮した稲藁利用の展望

上記のような「稲藁が使われなくなった」理由の他に、需要があっても国内産稲藁が利用されにくい、もう一つの理由に「流通しにくい」と言う点がある。牧草なども含めた流通の問題はまた後述(5「自給飼料流通とコントラクタ」-1) 2)) するが、流通しにくい最大の理由は軽すぎるから、乾物密度を高くできにくいからである。輸入稲藁のように成形梱包できなければ流通は困難なのである。コンバインやバインダから結束して放出された状態では、トラックに積載して長距離を運搬するには容積的に空気を運ぶようなものである。また別な面での稲藁輸送の障害として、トラックの積載高さ制限がある。さらに「近所だから良いだろう」とトラックに積んでも、橋梁や、近頃増えた歩道橋の類による物理的積載高さ制限には抵抗できない。

上記のように、酪農家では自分の水田の稲藁も利用されない場合までであるのが実態であり、肉牛農家でも自分の水田からの稲藁より輸入物の方が品質が良い、とも言われるのも現在日本の実態である。

この現状では、また現在の為替レートでは、耕種農家と畜産農家の直接の連携だけではその利用促進は困難といわなければならない。藁を生産する側の近くに、それを収集して一部は乾燥してさらに成形梱包する施設があれば、だいぶ見通しが

得られるものと思われる。しかし、その場合もその施設・機械の運営、稼働率の問題が残る。つまり稲藁を対象に年1回しか稼働しないのでは引き合わない(5-「自給飼料流通とコントラクタ」2)、3) で、また述べる) のである。

4. TMRの基本と利用

1) 新しい技術としてのTMR

新しい飼料として、流通も可能な飼料の新しい形態として、我々「畜産関係者」の間で定着した感のある用語の「TMR」は、「乳牛が要求する飼料成分がほぼ適正に混ぜ合わされていて、牛が混合材料ごとに選択採食しにくいようにした飼料」といった程度の意味で用いられ、ほぼ技術としての市民権を得ている。しかしTMRに限らず、新しい技術の導入にあたってはそのメリット・デメリットを見極める必要がある。またその合理的な利用のためには、給飼の自動化もあわせて検討する必要がある。

2) TMRの本来の定義・意味、そこでの効果

TMR (Total Mixed Rations) の本来の定義とされるのは、「乳牛が要求する飼料成分がすべて適正に混ぜ合わされていて、牛が混合材料ごとに選択採食できないようにした飼料」といったものである。さらに不断給飼・自由採食を条件としている。そうなる厳密な意味でのTMRは試験場レベルでしか通用しない、とも言えるが、そこで得られた効果は図2に示すようなものである。

まるで「夢のような技術」である。しかし世の中はそんなに甘くない。これはあくまで理想条件下での試験結果にすぎない。現実には、以下のようなことであろう。

3) 現実的な定義、そこでの効果

ここではTMRを冒頭のような、一般的・広い意味で使用する。この意味でのTMRは、現在乳牛・肉牛あわせて30%ほどの農家が利用してい

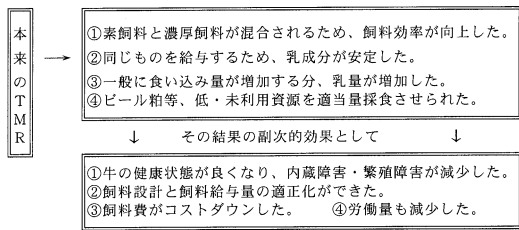


図 2 TMR の効果（理想条件）

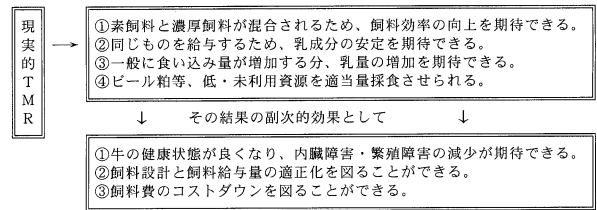


図 3 TMR の効果（現実的条件）

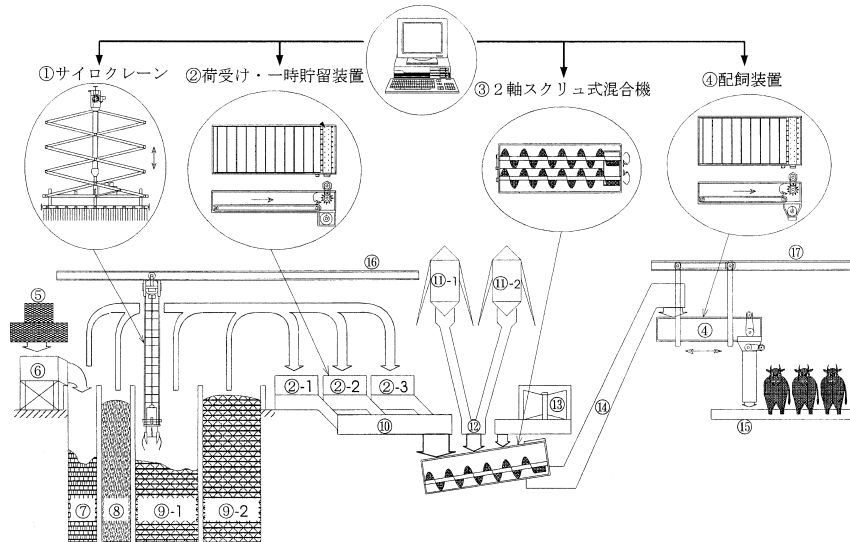


図 4 装置の基本構造と機能概要（原図・佐々木）

- ① サイロクレーン……複数基設置の牧場もある。一列の地下角形サイロに一基設置。
- ② 荷受け・一時貯留装置……材料種類の設定等により、2～4 基が設置される。
- ③ 2 軸スクリュ式混合機……図のように物流にあわせ、地下に設置される場合も多い。
- ④ 配飼装置……図下の矢印は TMR 荷受け時の往復動作を示す。
- ⑤ 梱包乾草……利用する農家が多い。⑥ 梱包乾草切断機……数種類の形式がある。
- ⑦～⑨ 地下角形サイロ……この図では 4 基を図示しているが実際には 8～10 基の設置が多い。横幅はサイロクレーンに合わせて 3m がほとんどで、材料により縦幅が狭いサイロもある。⑦は細断乾草、⑨はサイレーズ、⑧は混合サイレーズをイメージして示した。
- ⑩ 素飼料計量器……1 号装置には付いていない。
- ⑪ 飼料タンク……実際には 3～5 基設置が多い。ヘイキューブもここから供給される。
- ⑫ 濃厚飼料計量装置付き混合機……濃厚飼料を一度ここで混合後、供給する。
- ⑬ サプリメント供給・混合装置……ここへの材料投入は手作業である。
- ⑭ 搬送コンベヤ……畜舎配置・構造に合わせて様々である。
- ⑮ 飼槽……群ごとに配飼される。
- ⑯ サイロクレーン用ホイストレール……この末端に荷受け・一時貯留装置が配置される。
- ⑰ 配飼装置用ホイストレール……給飼場の全長にわたって必要。

ると推定する。多くの奨励資料や利用の手引きなども発行されているが、理想と現実の格差は以下のようなものである。

図 2 と 3 を比較されたい。本来の意味で用いた結果の効果と、拡大解釈した意味で用いた結果の効果が異なるのは当然である。もともと成分の安定しない素材どうしの混合を前提とする以上、「乳牛が要求する飼料成分がすべて適正に混ぜ合

わせ」られること自体が、なかなか困難である。さらにこれらの効果を「期待する」ための前提条件として、以下の「4 つの安定」が必要となる。

- ① 材料が量的に安定して確保できること。
⇒これはわかりやすい。
- ② 材料の成分が安定していること。
⇒飼料設計の前提条件。
- ③ 材料の性状（形・含水率）の安定。

- ⇒適切な混合を行うための条件。
④ 牛群も安定していること。

⇒繋ぎ飼いなら問題は少ない。

ここで注意が必要なのは、これら前提条件を考慮することなく「副次的効果」までを実現できる、と受け取られる恐れがあることである。特に図2の「④労働量も減少した」は削除した。その理由は次項で説明する。労働の減少を確実に実現できるのは製品 TMR を全量購入する場合に限定される。そのための TMR 調製配給センターは増加しているが、まだまだ限られた地域でしか利用できない。

4) 適切に利用するために・給飼の完全自動化

TMR の給与は、素飼料と濃厚飼料の分離給与に比較すれば、単純に2種類が1種類、との意味での省力になるのだが、その調製過程で「搬送・計量・混合」という作業が追加されるために、その作業と給飼作業を合理化できなければ、逆に作業量を増加させるだけになりかねない。農家事例調査では「多少作業量が増加しても、TMR 採用の効果は大きい」とする回答もあり、その判断を否定することはできないものの、作業合理化への取り組みは必要である。

定置式の混合機は多くの農家に普及しているが「計量・混合・配餌」のための作業機としては、それらを連続して行う機械であるミキシングフィーダが用いられる。トラクタ牽引型の普及数が多いが、エンジン付きで自走能力を有する大型の機種まで多くの形式があり⁴⁾、肉牛農家も含め日本でも2,000台以上が利用されている。しかしなお大多数を占める繋ぎ飼いの牛舎では、ミキシングフィーダが走行できない場合が多く、これを定置混合機として用い、猫車で運び給飼している事例も、かなりの数になる。

そして放し飼いの牛舎でミキシングフィーダによ

る給飼ができる牛舎でも、毎日毎回のその運転作業が必要である。これではまだ完全な自動化、とはいえない。

図4に示す「自給飼料を主体とした全自動 TMR 調製給飼装置」は草地試が開発⁵⁾した。図に示すとおり、地下角形サイロを起点とするサイレージ・切断乾草などの素飼料の取り出しから計量・混合・配飼装置を経て、牛の口まで完全全自動で、「作業開始」の操作も必要とせず設定に従って1日4~8回の多回給飼を実現している。欧米の酪農先進地における「給飼の完全自動化」が、バンカーサイロを起点として研究段階であるのに対して、これは世界的に見ても最も省力的・実用的な装置である。現在北海道から九州まで、研究機関・農業高校も含むものの一般農家を主体に全国30数か所で稼働している。詳しい解説^{6~8)}もあるので、御検討・お問い合わせいただきたい。

5. 自給飼料流通とコントラクタ

1) 流通のカギは密度向上

「自給飼料の流通」は、古くて新しい課題である。1962年の旧農業基本法の制定後、「振興」の対象とされた畜産の中でも、酪農は養鶏とともにその飼料のすべてを国内で買うことは困難、穀実等濃厚飼料の輸入はやむを得ない、とされた。もともと稲藁の他には素飼料資源が乏しく、しかも偏在している我が国では、草地の開発とともに「自給素飼料の流通」が必要と考えられ、当時の欧米の最新技術として1-2)でも述べたヘイクューバを含め「粗飼料成形施設」が導入された。しかし
① 日本では材料草の生産期間に偏りが大きく年間稼働できない ② そのモデルが利用するアルファルファは上手く栽培されない ③ その結果品質不安定 ④ ……といったことから、挫折している。

表 7 素飼料の形態別容積と乾物換算密度

	乾 草 単位：m ³ /t (水分15%換算)	稲 わ ら	麦 わ ら	牧草乾物換算密度 kg/m ³
ば ら 積 み	1 8	- ¹⁾	- ¹⁾	5 5
束 (結 束) 積 み	- ¹⁾	1 4	1 9	-
梱 包	ルースベール	1 4	2 6	1 0 0
	タイトベール	8	1 2	1 2 0 ~ 1 5 0
	ハイプレス	3 ~ 4	-	2 5 0 ~ 3 0 0
	ロールベール	7	8	1 4 0 ~ 1 6 0
細 断 積 み	10 (6~3cm) ²⁾	12 (2 cm)	18 (2 cm)	1 0 0

注1 ……信頼に値するデータが見当たらない

2 …… () は材料切断長を示す

表7に、牧草・藁など素飼料の成形方法別単位重量（トン）あたり容積（ m^3 ）と、牧草の乾物換算密度を示した。素材のまま素飼料を流通させるためには、現状では輸入梱包乾草に勝る流通形態はない。その第一の理由は「稲藁利用」でも述べたが、ある程度圧密梱包成形されて「空気を運ぶ」のではない状態にしないといけないからである。「流通」「物流」の基本は、まず経済的に見合うことである。一定程度以上の経済的価値があること、手間暇がかからないことが必要で、この点でまず「ばら積み乾草」などはその積載・荷下ろしの手間暇だけ考えても、まず失格である。この密度をあげて、さらに手間暇をフォークリフトの利用など、機械化・合理化してやっているのである。そのコンテナによる陸上輸送の場合、合理的な容積密度の目安が $1m^3$ あたりの重量（表の乾物換算密度）が300kg程度である。表に示した「ハイプレス」による梱包が唯一それをクリアしていて、これが輸入梱包乾草である。それでも荷下ろしの手間暇まで含めると、日本国内の現状の輸送費は「地上100km移動10円高」になる（例えばコンテナ港渡し価格40円が50円）。これも大きな金額である。

またこの「ハイプレス」とは専用の定置式圧縮成型機で、圃場を走り回るベアラでは目安の半分、150kg程度にしかならないのである。これがロールベールサイレージの場合では同程度の密度に加えて、円柱形状であるため隙間が空いてトラックなどに積載しても容積効率が良くないのである。さらにフィルム破損の恐れもあって単位あたり輸送費が割高になる。それでも一部に流通している事例はあるものの、その範囲もかなり限定されているのが現状である。

なお、配合飼料の場合は密度がさらに倍以上（800kgほど）になるためと、流動物として扱えるのでタンクで運んで来てタンクに詰め替えられるために、手間暇も少なく「地上100km移動10円高」といったことにはならない。

2) TMR・セミTMRとしての流通

このように自給素飼料を素材のまま流通させるのはなかなか困難である。そこで考えられるのはその付加価値を高めることである。その一つの方法がTMR調製後の流通であり、セミTMR調製段階での流通である。その流通形態としてはコンテナ・バッグなどが考えられ、これらはもともと飼料生産基盤の脆弱な我が国において、食品製造

粕などの流通用に用いられてきた実績もあり、その意味からもTMR調製供給センターの普及が奨励されている。

このセンターからの輸送にあたっては、バッグへ詰込み後、抜気して再度サイレージ発酵を促す方式を採用しているセンターがあり、抜気を行わないバッグのTMRに比較して、品質が安定する・貯蔵に耐えるなど、高い評価を受けている⁹⁾。

3) コントラクタと地域産業複合体

現在、いわゆる「畜産環境3法」の施行により野積み堆肥の調製が不可能となったことで、その共同処理施設・機関の設立も望まれている。これまで説明した飼料流通の困難な状況を解決するためにも、TMR調製供給センターと共に、糞尿処理も含めたコントラクタとの「地域産業複合体」に期待が寄せられている。

圃場作業受託を主たる機能とする組織であるコントラクタは、オランダなど酪農先進国において家族経営における飼養規模拡大にあわせて、またその飼養頭数限界が明らかになるにつれて発展し、経産牛飼養頭数平均が40頭を越えた段階で急速に普及したとされている。現在ではオランダの頭数が50頭を越え、80%ほどの農家が飼料作の作付けをコントラクタに委託している（なお「日本の酪農家平均飼養頭数は50頭を越えた」と言われるが、後継・育成牛を含めた水増し数字である。混同されないよう）。早晚日本にもその限界が見えてくることと思われる。

全農の調査³⁾によれば、1999年には全国で約150のコントラクタが活動しているとされている。その利用農家は畜産に限ったものではないが、約15,000戸に及び、5万haの飼料収穫作業を請け負っていて、さらに増加すると見込まれている。

日大阿部教授（元畜産試験場栄養部長）は、酪農を頂点とする、多岐にわたる技術の集約の場である畜産について、既に個々の農家のみで飼料作付けから糞尿利用まで全ての課題に対応するのは不合理であり「地域産業コンプレックス（地域産業複合体）」と名付けた共同体の必要性を説いている¹⁰⁾。そしてその具体的イメージ、前駆形態・組織としてTMR調製供給センターをあげている。ここでは①前述の稲藁利用の場としてその成形施設を持ち、他期間には他の素飼料の成形を行う、といったことや、②直接TMRに用いる場合の他にも、素材の一括大量購入、集積、幹旋機

関・組織として活動する、③ 社会問題化している糞尿処理についても、その処理センター機能を持つこと、などがあり、これはいわゆる「畜産環境3法」の施行前の提案であって、その卓見には刮目すべきものがある。実際にそのような取り組みを始めた組織もあり、従来の行政や、統合が進む農協組織とは異なる、より現場に近い組織として、地域の条件に適合した活動を行うことが可能である。これらが上手く機能できれば、例えば表6に示した「飼料稲の克服すべき課題」についても、その解決に繋がるのが期待される。

参 考 文 献

- 1) 市戸万丈：自給素飼料を生産しましょう [Ⅲ]—自給飼料生産の原点、乾草調製と提言—、畜産会経営情報 No. 115、1～7、1999. 6
- 2) ジョン・ブロックマン編：2000年間で最大の発明は何か（原題：The Greatest Inventions of The Past 2000 Years, 邦訳・高橋健次、草思社）、2000. 1
- 3) 千葉寿夫監修：飼料作物流通体制強化推進事業、飼料作物生産・流通の実態（事例）、全農畜

- 産生産部、2000. 2
- 4) 家畜飼料新給与システム普及推進事業平成8年度報告書マニュアルⅢ（原案）、102～122、畜産技術協会、1997. 3
- 5) 瀬川 敬・加藤明治・佐々木泰弘・天羽弘一：飼料の自動混合調製・給餌方法、日本国特許第2560240号、1996. 9
- 6) 市戸万丈：先端的なTMRと完熟堆肥の自動調製装置、農林水産技術研究ジャーナル23(2)、23～26、2000. 2
- 7) 市戸万丈：フリーストール牛舎における飼料の自動給飼システム、環境保全と新しい畜産、55～71、農林水産技術情報協会、1997. 9
- 8) 市戸万丈：サイロクレーンを基軸とした全自動混合飼料調製給飼システム、畜産の研究53-1、161～166、1999. 1
- 9) 阿部 亮：安定した発酵飼料を供給するTMRセンター、畜産コンサルタント386、26～31、11～16、1997. 2
- 10) 阿部 亮：都府県酪農経営の現状と課題、農林水産技術研究ジャーナル23(2)、17～22、2000. 2

コラム

自給飼料の位置づけ

30年ほど前、日本最初の高層建築物として注目された「霞ヶ関ビル」を器として、ビールの消費量を表現したことがスマートである、として話題を集めた。最近ではゴミの量を表現するのに東京ドームが使われている。なお西日本新聞では福岡ドームが使われている言う。

さて、自給飼料生産は、減少傾向にあるとは言え、100万ヘクタールの基盤を有している。その面積は日本国土の約3%となり、これを維持活用している、と言い換えることができる。次に、その物理的な量はどの位か？ ビールやゴミに対抗して、その容積を計算してみた。

「国内産素飼料50杯」は、現在日本での牧草の調製貯蔵方法として最も多くを占めるロールベールサイレージ換算である。当然施設型サイロの利用もあり、乾草・放牧・生草利用もあって、常に日本中に素飼料50杯分が貯蔵されている訳ではないが、それでも輸入乾草等は含まないし、以下

の理由による控えめな換算数字である。

① 中～高水分でのロールベールサイレージは、乾物換算密度150kgに満たない場合が多い

② ロールベールは円柱形であって、積み重ねた場合の容積効率が低い

③ 肉用牛での利用が多く、酪農での利用が少ない稲藁等は含めていない

とにかく米は10杯、飼料作物50杯である。当然「稲」としてその植物体全体を考えればもっと増えて素飼料に肉薄するのだが、単位面積当たり収量に限界があって47杯程度の計算となる。なお表でふん尿が上回るが、これは日本国民との比較で「全家畜」を示したもので、このうち牛は約50杯であり、乳牛が30杯である。この表についてのみ収支を言えば、国内産素飼料50杯の多くは乳牛の腹におさまり、7杯の生乳と30杯の糞尿を排出していることになる。

私達がここでまず「容積」「物理量」を言うの

表 東京ドーム (124 万 m³) 換算関連物質容量表

品名	杯数	算出基礎・出典
国内産素飼料	50	乾物換算密度 150kg = 1 m ³
全家畜の糞尿	73	現物約9000万ト、1ト = 1 m ³
比 米	10	1000万ト、精米の容積計算
車交 牛乳	7	国内産生乳 1ト = 1 m ³
文才 ビール	6	平成6年約700万キリットル
照 東京都区部のゴミ	12	平成7年5月26日朝日新聞
日本全国民の糞尿	48	現物約6000万ト、1ト = 1 m ³

は、それが現実に額に汗して収穫され、貯蔵され、また取り出して運ばれ、牛の口まで届けられるからである。このような「量」を基準に、機械・設備投資や作業計画が成立していて、例えば飼槽の大きさが決められているからである。これだけの物理量を、とにかく運搬しなければ牛飼いは成り立たないからである。この「とにかく右から左に動かさなければならない」ことについて、「今日のでない」とか「何とか減らせないか」と工夫しよ

うにも、その「量を減らす」ことについては「IT革命」などの出番はなく、誠実に毎日の作業を積み重ねるしかないのである。

ただ、この自給飼料が、「金額」「価額」としてどうなのか、については涙なくして語れない現実があり、それは別の機会に譲る。自給飼料生産は、減少傾向にあるとは言え、100万ヘクタールの基盤を有しているのである。

(市戸万丈)

6. 飼料生産作業体系

畜産草地研究所栽培工学研究室 澤村 篤

1. 飼料生産体系の概要

飼料生産では、主としてトウモロコシ、牧草類が生産されているが、生産作業体系を飼料作物生産指標より、地域性（温暖地及び暖地、寒冷地及び寒地）、作業類型（単独、共同、作業受託）、生産利用類型などで示した（表1）。

表1の目標指標とは別に、現状ではロールベールを主体としたラップサイレージ技術の急速な普及に伴うトウモロコシ栽培の減少や、共同作業型より単独作業型へ技術的要求が強まっていると思われる。さらに、暖地及び温暖地の5ha規模での牧草作業体系では、あるいは5ha規模以下の中山間地の飼料作を考えると、乗用トラクタの体系だけでなく、従来からの小型歩行用作業体系が未だに必要と思われる。

さらには、食料自給率の向上のための自給飼料の確保、口蹄疫等の伝染病の発生や水田の転作作

物としての飼料作物の作付け強化、さらにはイネの子実の利用だけではなく、子実、わらの両方を利用したホールクロップサイレージ用イネ（飼料イネ）の技術開発による水田利用による生産指標の目標の設定が必要と考える。

2. 飼料生産作業体系の概要

飼料生産のための作業体系は、トウモロコシの作業体系と牧草の作業体系に大きく分けることができる。調製作業に着目しても同様な分類に分けることができると思われるが、いずれにしても自然条件や経営条件等の影響を大きく受けるので、一概に適応することは困難である。

トウモロコシ（長大作物）作業体系と牧草作業体系は、基本的な作業体系は同じであるが、播種方法、収穫方法に違いがある（図1）。

播種方法の違いは、トウモロコシではコーンブ

表1 飼料作物の生産に係る指標（平成22年度目標）

区 分		温暖地及び暖地（多毛作型）			寒地及び寒冷地（永年草地・1年1作型）			
		単 独 作 業	共 同 作 業	コ ン トラ ク タ	単 独 作 業	共 同 作 業	共 同 作 業	コ ン トラ ク タ
生 産 利 用 類 型	作付体系	イタリアン スーグァン	イタリアン トウモロコシ	イタリアン トウモロコシ	混播牧草 トウモロコシ	混播牧草 トウモロコシ	混 播 牧 草 トウモロコシ	混 播 牧 草 トウモロコシ
	作付規模	5ha	30ha	200ha	20ha	60ha	120ha	1000ha
	調製、利 用形態	ラップサイレー ジ 乾草	サイレージ 乾草	サイレージ	サイレージ 乾草	サイレージ 乾草	ラップサイレー ジ 乾草	サイレージ
	機械体系	小 型 (30-50)	中 型 (50-70)	大 型 (70-100)	小 型 (30-50)	中 型 (50-70)	大 型 (70-100)	特 大 型 (130)
生産利用の特 記事項		稲わら を活用	水田裏 を活用	品 種 を 組 み 合 わ せ て トウモロコシを 二期作	米の生産 調整を行 っている 水田活用	一部をT MRとし て利用	一部を 流通向 け粗飼 料に利 用	広 範 囲 の 作 業 を受託
生産体系の特 徴		ロールベール 体系 南 関 東 以 西	フォレーシ ハ ー ベ ス タ 体 系 南 関 東 以 西	自 走 式 フ ォ レ ー シ ハ ー ベ ス タ 九 州	フ ォ レ ー シ ハ ー ベ ス タ 東 北 ~ 北 関 東	フ ォ レ ー シ ハ ー ベ ス タ 東 北 ~ 北 関 東	角 形 ビ ッ ク グ ラ フ 北 海 道	自 走 式 フ ォ レ ー シ ハ ー ベ ス タ 北 海 道

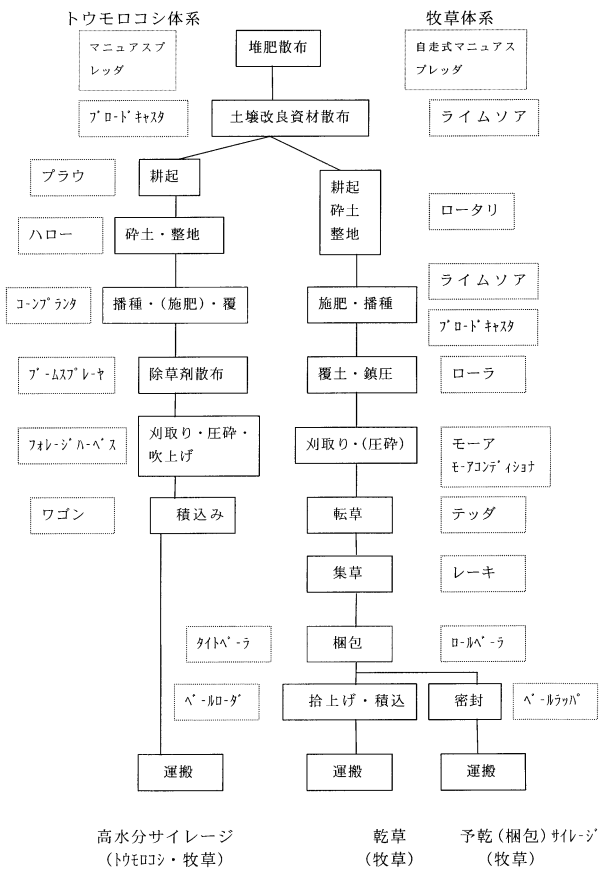


図1 トウモロコシ、牧草の作業体系

ランタ等の条播機、牧草ではブロードキャスト等の散播機が用いられる。牧草ではドリルシーダのような条播機も用いられることがある。条播は、散播に比べて、大型のトラクタを必要とし、作業効率も低く、播種機も高額となる。

収穫方法ではトウモロコシではフォレンジハーベスタ、牧草ではモーア等が用いられる。収穫方法の違いは、調製・貯蔵方法の違いや品質の保持、給餌方法の相違等、収穫後の作業で多くの点で違いを引き起こすこととなる。例えば、フォレンジハーベスタでは細断された飼料と、ロールベアラ体系でカッティングロールベアラで細断されてもフォレンジハーベスタの細断長さはかなり短いものである。

図1で示した機械は、播種や収穫以外にも含めてトウモロコシや牧草に限定されるものではなく、地域の作付け体系、経営規模、圃場条件により使用される機械が決まるのであるが、本稿では比較的大型の機種をトウモロコシ体系に小型の機種を牧草で分類して説明することとした。

3. トウモロコシ（長大型飼料作物）作業体系

トウモロコシの作付面積は、近年減少してきて

おり、昭和60年の12万haから平成10年の10万haと減少の一途を辿っている。トウモロコシは、高栄養で多収であることから、水田転作にも利用したい作物であるが、湿害による発芽不良や収穫量が多く、比較的高馬力の機械を狭い区画に対して必要とすることから、収穫時の機械化作業が問題となる。

特に、トウモロコシ作業体系では収穫作業には歩行用作業機の動力では対応できないため乗用のトラクタ作業機が必須であり、牧草作業体系のような小規模、中山間地での歩行用小型機械化体系では作業がきついこともあげられる。

体系としては、図1で右側に示した高水分サイレージに相当し、マニュアルスプレッダ、不耕起播種機、フォレンジハーベスタについて紹介する。

1) マニュアルスプレッダ

堆肥の圃場還元は、今日の畜産において重要な課題であり、特に水田への還元は土壌改良といった機能面だけでなく耕畜連携の具体的な方策としても重要な位置付けを持つと考える。特に、転作田への堆肥の散布は軟弱な圃場条件でも走行が可能なこと、旋回半径を小さくすることが必要である。

走行性の向上のためには、広幅大径タイヤの1軸4輪装着した機種(図2)や、旋回性をよくするためにドロバの長さを短くすることや倍角ヒッチを持つ機種もある。

走行部については、クローラ走行部を持つマニュアルスプレッダが市販化され、スラリーインジェクタでクローラ走行部を持つ機種も北海道農試で開発されていることもあり、低接地圧を持つ走行部の採用により堆肥散布で圃場面が荒れることも防ぐことができると考える。

2) 不耕起播種機

トウモロコシの播種作業では、的確な時期に播種作業を行うことが重要な要件であり、慣行の耕起、砕土、整地の後に播種作業を行うとなると、耕起日を含めて少なくとも2~3日の晴天日が必要となり、特に転換田では湿潤となりがちなため、播種作業体系の改善が必要である。不耕起播種は、不耕起のため表面水が流出し雨上がりの乾燥が早く従来の体系より播種時期を逃さず播種できることや耕起、砕土、整地を行わないことから作業時間の大幅な削減ができる。一方で雑草の処理方法を間違えると雑草の繁茂や粘土質の圃場において降雨等で排水が悪い条件では湿害が起きやす



図 2 マニュアルスプレッドによる堆肥散布 (タカキタ)



図 5 角形ビッグベアラ (スター農機)



図 3 リバース走行トラクタと直装型フォレージハーベスタによる作業



図 6 歩行型収穫機 (スター農機)



図 4 乗用型自走積み込みマニュアルスプレッド (スター農機)



図 7 飼料イネ専用収穫機 (タカキタ)

いなど、適用面で転換田のどのような条件でもできるとは言えない。しかし、雑草については除草剤の的確な利用でかなり防げ、また畝間除草等もできれば雑草問題は十分に克服できる。

3) フォレージハーベスタ

トラクタ直装型のフォレージハーベスタでは、特に転換田ではトラクタ後方に直装して作業者が振り向きながらトラクタを後進させて枕地を刈り取った後、サイドマウント型にして前進作業を行っている。狭い転換田では農家は後ろ向きでの作業が大部分を占めることも多く、作業能率、作業性、作業の快適さで問題がある。

これらの問題を解決するため、国の特別研究「自給飼料基盤」では、直装型のフォレージハーベスタと作業者が後ろ向きに座りトラクタが後進しながら収穫作業ができる作業方法²⁾を組み立てた(図3)。この方法では、直装専用の3条用のフォレージハーベスタとトラクタが後ろ向きに走る時、座席やハンドルを後方に付け替えることができるいわゆるリバーストラクタに特徴がある。リバース走行はハンドルの後方への付け替えと座席を回転させることで、非常に簡単に切り替え可能であり、前進走行の場合に比べて若干足元が狭いが、ブレーキ、クラッチも後方についており、前進走行と代わりなく後ろ向きにトラクタを走らせることができる。

刈り取ったトウモロコシは、トラクタのボンネットワゴンに積み込み、ボンネットワゴンから農道に置いたトラックやワゴンへ積み替える。ボンネットワゴンの使用により従来のワゴンのけん引にくらべて、枕地の刈り取りが不要で旋回半径も小さく、しかも走行性も優れている。特に、フォレージハーベスタの3条用では機体幅が2.4 m 近くあり作業者が振り向いてトラクタを後進させながら作業を行うことは視界も狭く、安全面からも問題があり、リバーストラクタは必須の技術である。

このシステムは、20 a 圃場においても十分作業ができ、作業能率は17分/10a以下で2条用に比べて約2/3程度であるが、倒伏したトウモロコシに関しては馬力的に余裕があるので倒伏等に関しても適応性が高いシステムである。

4. 牧草作業体系

牧草作業体系では、図1に示した高水分サイレージ、乾草、予乾サイレージのどちらの方法も

用いられているが、我が国の高温多湿な気象条件では乾草を安定して得るのは難しいため、予乾サイレージの利用が多く見られる。特に、ロールベアラの普及は、めざましくトウモロコシ作付面積の減少の原因ともなっている。

播種までの耕起、砕土、整地作業はプラウ、ハローかロータリのどちらも利用できるが、狭小な転作田ではロータリが多く用いられている。また、播種作業では牧草の細粒種子を効率よく播種するためにブロードキャストが用いられる。

牧草作業体系では、自走式マニュアルプレッダ、角形ビッグベアラ、歩行型収穫機について紹介する。

1) 自走式マニュアルプレッダ

マニュアルプレッダ1台で積み込み、運搬、散布作業ができる自走式機械がある。この機械は、歩行型で6 ps、乗用型で16 psのエンジンを搭載(図4)し、積み込みのためのローダが不要で、圃場まで予め堆肥を運搬しておけば、後はこの機械1台で堆肥散布ができる。歩行型は積載量500 kg、散布能力50分/10a程度、乗用型は積載量1,000 kg、散布能力15分/10a程度である。走行部がクローラタイプであるので、転換田で利用できる。もちろん大型の作業機に比べると能率が落ちるが、1台で積み込みから散布までできることから、こういった特徴を利用した堆肥の散布作業体系を考慮すれば、堆肥の圃場還元が進むものと考えられる。

2) 角形ビッグベアラ³⁾

列状に集められた牧草を拾い上げながら、圧縮、成形、梱包する機械をベアラと呼ぶが、我が国ではロールベアラが多く用いられており、ロールベアラをフィルムで梱包するラップサイレージが一般的に用いられている。ロールベアラの場合、結束時に拾い上げを停止して作業を行うことが必要で、円筒のロールであるため積み込み効率が悪く、運搬作業の改善が求められている。

角形ビッグベアラは、タイトベアラを大型にしたもので、ベアラの大きさが高さ50×幅80×長さ70~200 cmであり、ベアラ長さ200 cmの乾草で約200 kg、サイレージで300 kgであり、ロールベアラより梱包密度を高めて成形できることが特徴である(図5)。

また、結束機構がタイトベアラと同じで、梱包作業をしながらトワイン結束、ベアラ放出ができるので、作業能率は高い。さらに収納効率はロー

ルベアラの2倍あり、収納スペースを少なくでき、加えて端から順に解していくことができるので給餌作業が容易になる。しかし、機械が大型で価格が高く、100 ps 前後のトラクタを必要とする。

3) 歩行型収穫機

8 ps の歩行型トラクタの前部に施肥、刈り取り、反転・集草可能なそれぞれの作業機を容易に取り替えできる歩行型の収穫機が古くから市販されている(図6)。施肥にはライムソワー、ブロードキャスト、刈り取りにはロータリモア、レシプロモアを選択でき、狭小な転換田では安価な装備で機械化作業ができる。作業能率は作業にもよるが、大凡10~20 a/hr である。ロータリモアにアタッチメントを取り付けることによりトウモロコシの刈り取りもできる。

4) 飼料イネ用収穫機械

稲の飼料への利用は、食用の場合と同様に収穫後、乾燥して子実を利用する場合(飼料米)と子実とわらを利用する場合(青刈り、乾草、サイレージ)に分けられる。飼料イネ(ホールクロップサイレージ)は、糊熟期から黄熟期にかけて収穫することが推奨されており、収穫までは通常の稲作技術で栽培できる。収穫・調製も牧草用のロールベアラップサイレージ作業技術が利用で

きるが、転換田特有の畦畔、軟弱な圃場条件、農道との段差などの問題がある。

飼料イネ用の小型専用機械化体系としては、自脱コンバインのヘッダを用いた機種、フレール型モアを用いた2機種が市販されている(図7)。どちらの機種も自脱コンバインの走行部をベースに持ち、脱穀機構部にロールベアラを搭載している。刈り取り条数はともに5条に対応でき、作業速度は1.3~1.4 m/s と高速作業が可能である。

また、大型・高能率作業については、前述のフォレージハーベスタとボンネットワゴンを用いた体系の利用も考えられるが、ダイレクトカットを行うためのヘッダの開発が必要である。一方、刈り取り後のピックアップ体系については、トラクタをクローラ型トラクタにすればさらに適応性が広がるものと考えられる。

参 考 文 献

- 1) 草地管理指標—飼料作物生産利用技術編一、農林水産省生産局、平成13年
- 2) リバース走行トラクタと直装型フォレージハーベスタによる収穫技術、草地試験場主要成果集、2001年
- 3) 我が国における角形ビッグベアラサイレージ体系の現状と課題、畜産の研究52(7)、1998年

コラム

多品種少量販売の悲しさ

飼料用機械は、水田等の機械に比べて非常に高額である。たとえば、水田機械ではトラクタ、田植機、コンバインを合わせても500万から1,000万円もあればほとんど揃ってしまうが、飼料イネ専用収穫機は本体だけでほぼ1,000万円する。

大量に生産し売れる機械と少数しか売れない機械の違いをまざまざと感じさせられる。このことは、私が20年前に読んだ本に、これからの日本の製造業は国際商品を開発しなければ生き残れないと書いてあったことも、この分野に係わって身近に感じる事となった。つまり、我が国のこの分野の主な製造は2社に集約され、過去に製造していた機械も海外から輸入した方が安い機械については製造を中止しているのが現状である。このこ

とは、国際商品として大量に生産すれば、ヨーロッパやアメリカから運送賃やメンテナンス費用も含めて安くあがることを端的に示している。

コスト意識を持って研究をすれば、既存の機械をもとに作業技術的に小規模な改造や使用場面の設定などが、実用的で役立つと考えるが、研究のオリジナリティは？と凄まじると、時間があれば十分に説明し多くの方には理解していただくと考えるが、限られた時間では理解していただけない場面や聞く耳を持たない方に合うこともある。

特に、この分野は過去に多くの機種が市販され、今は絶滅もしくは細々と市販されているだけの機種や型式、海外で見たなども、誤解を生じさせていると考えている。(澤村 篤)

7. トウモロコシ用ロールベール収穫調製技術

生物系特定産業技術研究推進機構農業機械化研究所
山名伸樹・澁谷幸憲・志藤博克

はじめに

平成元年まで増加してきた青刈りトウモロコシの作付面積は、平成元年の約12.5万haを上限にその後減少傾向に転じ、図1に示すように平成2年からこの10年間で約3万ha減少した。平成元年の作付面積の3/4になったことになる¹⁴⁾。

平成元年までの青刈りトウモロコシ作付け面積増加の背景には、耐倒伏性に優れた品種の登場、コーンハーベスタによる省力的な収穫作業体系の普及¹⁾などがある。しかしながら、それ以降、作業面から見ると目立った進展はなく、他面、現在では

- ① フォレージハーベスタで収穫すると同時に伴走するワゴンあるいはトラック等の運搬車に積み込み、サイロ詰めする作業は組み作業が前提であり、組作業を行うための労力確保が困難になってきた
- ② 一般に炎天下での作業となる場合が多く、フォレージハーベスタを中心としてサイロ詰めを行う慣行作業の体系は単純ではあるものの、サイロ調製作業までを考えると労働負担が大きい

などの問題点も指摘されており、これらが都府県を中心にトウモロコシ離れが進んできた原因にもなっている。青刈りトウモロコシの単位面積当たりのTDN収量は牧草の2倍を越える。従って、青刈りトウモロコシ収穫作業の軽労化、快適化を図ることとは、作付け面積の減少傾向に歯止めをかけ、ひいては粗飼料自給率を向上させるために大変重要な課題である。

一方、牧草の作付面積はここ数年82万ha前後

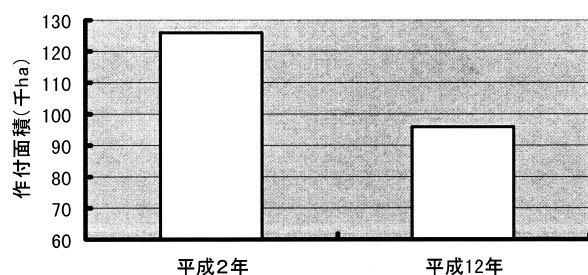


図1 青刈りトウモロコシ作付面積の推移

を推移しており、青刈りトウモロコシのように顕著な面積減少は見られない。牧草収穫・調製の作業はロールベアラとベールラップの普及により組み作業が回避され、機械力による大量・効率的ハンドリングが可能になるなど、大幅な省力化と軽労化が実現した²⁾。加えて、天候にあまり左右されない牧草収穫作業も可能になり、これらによって作付面積の減少をくい止めることができたと評価されている。飼料生産分野の革新的技術の一例として位置づけられる。

ロールベアラとベールラップを中心にした作業体系がトウモロコシ収穫作業にも適用できれば、青刈りトウモロコシ収穫・調製作業の大幅な省力化が期待できる。トウモロコシ細断収穫用ロールベアラの開発の発端はそこにある。生研機構では、草地試験場(現:畜産草地研究所)の委託を受けて平成8年度より総合的開発研究「新用途畑作物」に、平成11年度よりプロジェクト研究「21世紀プロ」に参画する機会を得てその開発研究に取り組んできた。ここでは、機械開発研究の現状等の概要を紹介する。

1. 収穫方式と成形方式の検討

1) 収穫方式の検討

青刈りトウモロコシをロールベアラを使用して収穫する際の作業方式にはいくつかの方式が想定される。これらを3つに整理して表1に示した。所要動力、ロス等の面からは、タイプⅠの長もの方式またはタイプⅡの荒切り方式がタイプⅢの細断方式より有利である。しかしながら、最終出口はトウモロコシの飼料価値を生かした高品質貯蔵であり、そのためには細断が必須との判断から、開発を進めるにあたっては、タイプⅢの細断方式を取り入れることとした。ただし細断方式では、ロスやベールとしての形状保持の可能性が最も大きな問題になる。

2) 成形方式の検討

ロールベアラの成形方式には可変径式と定径式がある。構造を比較すると一般的に定径式のロールベアラの構造のほうが可変径式より簡単であ

表 1 想定される作業方式と得失

タイプ	収穫方式	具体的方法	想定される得失
I	長もの	長いまま収穫・梱包。給与時に細断。	①所要動力が小 ②ロスが少 ③別途細断装置が必要 ④梱包密度が低 ⑤発酵品質に疑問 ⑥再切断の労力必要
II	荒切り	数10cmの長さに切断して収穫・梱包。給与時に再切断。	①所要動力が小 ②ロスが少 ③刈取りと梱包の作業の分離が可能（分離作業の場合土砂の混入対策が必要）④再切断が難 ⑤梱包密度が低 ⑥発酵品質に疑問
III	細断	細断して収穫・梱包。	①所要動力が大 ②ロスが心配 ③再切断の必要なし ④形状保持？ ⑤梱包密度が大 ⑥高品質が期待

る。試作は、構造が簡単な方が有利との考えから、定径式のベアラをベースとすることとした。そして、定径式でもローラ式はローラの間からのこぼれが問題になる可能性が大きいとの判断から、まずベール直径が50cmのバッチェーン式小型ロールベアラのタイトバーにベルトを張って成形室を構成し、切断牧草（オーチャードグラス）を供試して梱包試験を行った⁴⁾（図2）。その結果、設定切断長3.5cmの時でロスが4～8%生じたものの、紐以外の結束方法を用いることによってロスの減少は可能で、成形方式としての「バッチェーン+ベルト」は希望が持てるとの判断を下すに至った。

宮崎らは小区画圃場におけるトウモロコシの省力的な収穫調製技術の確立をねらいとして小型ロールベアラと小型ベールラップによる収穫体系を組み立てた³⁾。ここで試行された小型ロールベアラを用いると、容量が小さいために出来上がるベールの質量は50kg前後と小形にならざるを得ず、頻繁に刈取作業を一旦中止して結束を行う必要が生じる。また10aで100個以上のベールが出来ると推定されるなど、高能率で省力的な収穫・運搬作業等を前提として考えるとまだ解決しなければならない問題を多く含んでいると思われる。筆者らは、これを解決するには中型以上のロールベアラをベースにして開発を進めるのが得策であると判断した。

2. 試作機の概要

1) 第1期（～平成10年度）試作機の概要と性能⁵⁾⁶⁾

(1) 試作機の概要

試験用小型ロールベアラによる試験結果をもとに、ベール直径90cmのバッチェーン式ロール

表 2 試作機的主要諸元

細断部	刈取条数	1
	カッタハット [°] の型式	シリンダ [°] 型
	カッタハット [°] 幅 (mm)	265
	設定切断長 (mm)	15
ベアラ	呼称ベール直径 (m)	0.9
	全長 (m)	3,555 ^a
	全幅 (m)	1,475
	全高 (m)	2,335 ^{a,b}
	全質量 (kg)	1,020 ^c

a：収穫作業時 b：エクステンションホッパ[°]を含まず c：ネットなし

ベアラのタイトバーにベルトを取り付けて成形室を構成したトウモロコシ細断収穫用ロールベアラを試作した。ベルトは、当初タイトバーの表面にねじ止めしたが、試験の結果この止め方ではベルトの耐久性に問題が生じることがわかったので、ねじ等による固定を避けてタイトバーを編むように組み付けた。試作機（1号機）の主要諸元等を表2に示す。フォレンジハーベスタ（1条刈）をベースにした細断部で刈取・細断されたトウモロコシはホッパに吹き込まれ、供給コンベヤにより成形室に送り込まれて成形される。成形室が一杯になるとネットを繰り出して結束するが、本ベアラにおいてはベールの崩れを防止するため、ベール幅よりも幅広いネット（1.2m幅）によってベールの肩の部分をしっかり保護するように巻き付ける。ホッパには仕切り板を設け、吹き込まれたトウモロコシがベアラ左右に均等に配分されるように配慮した。また、ベアラからトウモロコシがこぼれやすい部分にはカバーを取り付けている。

細断部はトラクタの三点リンクヒッチに装着し、その後方にベアラをけん引して作業を行う。

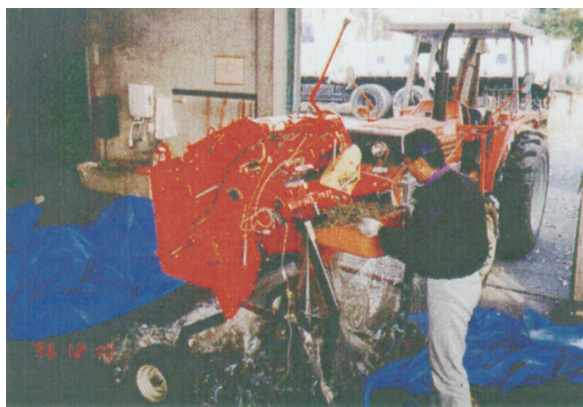


図 2 ベルトを取り付けた試験用小型ロールベアラによるテスト風景



図 5 ベールラッパによる密封作業



図 3 作業風景（供試トラクタ：22 kW）



図 6 試作機による収穫作業（トラクタ 44 kW）



図 4 ベアラから放出されたベール（ベール呼び直径：90 cm）

試作機を 22 kW（30PS）のトラクタに装着して作業を行っている時の風景を図 3 に示す。

(2) 試験結果

所要動力：収穫作業に要する動力は、作業速度が速くなるにつれて大きくなる。平成 10 年度に生研機構内圃場の青刈りトウモロコシ（KD772）

を供試して測定した結果では、走行速度 0.6 m/s の時でベアラの所要動力は 15 kW（20PS）、細断部も含めた全所要動力は 22 kW（30PS）となり、このときの毎時処理量は 6 t/h（現物）であった。この時の材料の含水率は 60% 以下と低かったことを考えあわせると、毎時処理量を 5 t/h 程度に押さえれば、30PS クラスのトラクタでも作業が可能と推定された。なお、今回の試験ではベアラの能力にはまだ余力がある様子がかげえ、能率向上のためには、処理能力の高い細断部の選定も重要であると思われた。

収穫・密封作業とロス：本機で作られたベールを図 4 に示す。設定切断長を 15 mm で収穫したものであるが、ベアラにこぼれ防止カバーを装着したことにより、収穫作業時のロスはほとんど確認されなかった。ネット掛けしたベールを放出したときに生じるロス（「梱包ロス」と呼ぶことにする）は、供試材料の含水率が増えるに従って増加する傾向を示し、含水率 65～70% では 6～8% の値となった。この梱包ロスは、放出時の落下衝撃

でベール両端よりこぼれ落ちるものがほとんどを占めていた。この時のベールの乾物密度は150～190 kg/m³であったことから、ベールをさらに高密度に成形・梱包することによって梱包ロスを少なくすることは可能ではないかと思われた。できあがったベールは滑り止めの板を装着したフロントローダで挟んで市販ベールラップ（ターンテーブル式）に載せ、密封した（図5）。フロントローダでベールラップに載せる時からラッピングが終了するまでにこぼれ落ちるロス（「ラップロス」と呼ぶことにする）はほぼ2%以下であった。

2) 第2期（平成11年度～）試作機の概要と性能⁷⁾⁻¹¹⁾¹⁴⁾¹⁵⁾

(1) 試作機の概要

試作機の取扱性を改善するため、ハーベスタをベースにした細断部をベラ右側面にオフセットして取り付け、実作業に供試した。その結果、取扱性作業性を含めた取扱性改善効果は認められたが、細断部の能力的限界から作業能率向上面で問題点を残したため、新たにS社製の1条ロックロップアタッチメント付フォレージハーベスタ（1条、表3）を用いることにした。それに伴い、機体バランスを考慮したハーベスタ（細断部）とベラ（梱包部）の一体化方式を廃止し、ハーベスタをトラクタ三点リンクヒッチに装着してその後方にベラをけん引する方式とした。

また、ベラ本体では、バーチェーンレールへの細断物の詰まり防止のためのスクレーパ装備、タイトバーのサイズアップ、チェーンプレートの厚み増等の改善を行うとともに、ネットの供給が円滑にできるようネット供給補助装置を取り付けるなどの改良を加えた。

試作機による作業風景を図6に示す。

できあがった細断ロールベールをフロントローダでベールラップに積み込んで密封を行う方式で

表3 ハーベスタの主な仕様

細断形式	シリンダ型
ナイフ形式	直線刃
シリンダ直径	460mm
設定切断長 ^a	11mm
全質量 ^b	400kg
装着ユニット	ロップ（1条） ヒックアップ ^c （80cm）

a：標準

b：アタッチメントを含まず

能率的に作業を行うには、2台のトラクタと2人のオペレータが必要になる。収穫作業を併行して行うことを考えると、さらに1台、1名が加わることになり、本ベラを基軸としたシステムの省人化に及ぼす効果は甚だ小さくなる。市販ロールベラによる拾い上げ・密封の作業を試みたが、ベールが細断材料で成型されているために崩れやすく、サイズに比較して質量が大きいことから円滑な作業は不可能であった。そこで、細断ロールベールの拾い上げと密封作業が1台で行うことのできる細断ロールベール対応型ベールラップを試作した。このベールラップは、ダンプ式の市販ターンテーブル型ベールラップをベースに、滑り止めのついたサイドアームでベールの両端を保持して拾い上げるようにしたもので、トラクタの三点リンクヒッチに装着して作業を行う。

作業手順を図7に示す。まずアッパーアームとサイドアームで構成されたベールラップのアーム部を持ち上げてターンテーブルを後方に90°ダンプする（図7-a）。その状態でベールラップをベールに押し当て、アーム部をおろすとともに、サイドアームを閉じてベールの側面を両側から挟む

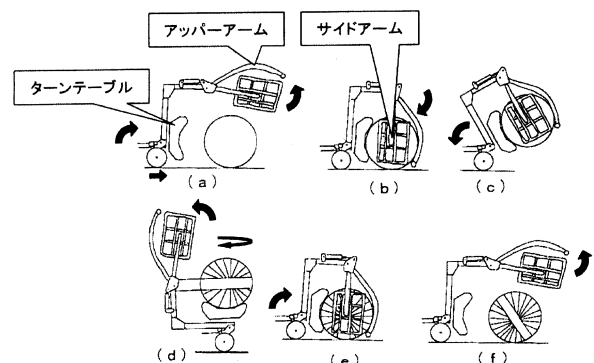


図7 試作細断ロールベール対応型ベールラップによる作業手順¹³⁾

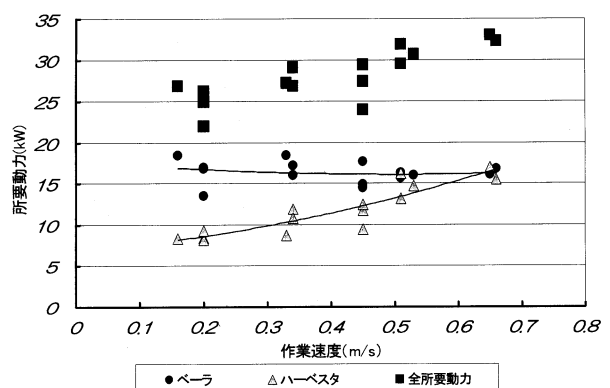


図8 収穫作業時の所要動力測定結果

表 4 ベールの質量と密度

材料の含水率	平均湿潤質量	平均密度	
		現物	乾物
65~74%	419kg (393~451kg)	674kg/m ³ (609~733kg/m ³)	205kg/m ³ (177~234kg/m ³)

(図 7-b)。ターンテーブルを起し (図 7-c)、サイドアームを開いて持ち上げ、ラッピング作業を行う (図 7-d)。ラッピングが終了するとアームをおろしてベールを保持し (サイドアームは閉じない)、ターンテーブルをダンプする (図 7-e)。ベールが地面につくとアーム部を起してベールから離れる (図 7-f)。

(2) 試作機の性能

所要動力¹⁴⁾：① 細断型ロールベアラ：平成 13 年度に、ナスホマレ (平均草丈：337 cm、乾物収量：1.31 kg/作物列長さ 1 m・1 条、作業時含水率：71%) を供試して測定した収穫作業時の所要動力を図 8 に示す。

作業速度が速くなるにつれて収穫作業に必要な動力は大きくなり、0.65 m/s の時で平均 32.7 kW となった。これを細断部 (ハーベスタ)・梱包部 (ベアラ) 別に見ると、細断部は作業速度が速くなるにつれて所要動力は増加して作業速度 0.65 m/s の時に平均 16.4 kW となったのに対し、梱包部の所要動力は作業速度が変わっても大きな変化はなく、16 kW 前後で推移した。これ以上の作業速度ではハーベスタに詰まりを生じて、円滑な作業ができなかった。平成 12 年度にセシリアを供試した試験では、トウモロコシの倒伏がなければ 1 m/s での作業が可能であった。平成 12 年度に供試したセシリアに比較して茎径が太く、草丈も高かったためにハーベスタへの負担が大きくなり、この結果となったものと判断された。

② 細断ロールベール対応型ベールラップ：試作ベールラップの所要動力は細断ベールの積載時で最大 1.6 kW、密封作業時で 0.7 kW と僅かであった。

ベール密度と作業時のロス：平成 12 年度にセシリアを供試した試験におけるベール質量・密度を表 4 に、ロスの測定結果を図 9 に示した。

ベアラ部材の強度向上やスクレーパの設置等の効果が現れ、乾物密度は平均で 200 kg/m³ を上回った。梱包密度は作業速度 0.2~0.7 m/s ではほぼ一定となった。試験では、作業時に成形室が満量になったことを示すブザーが鳴った後、各速度区

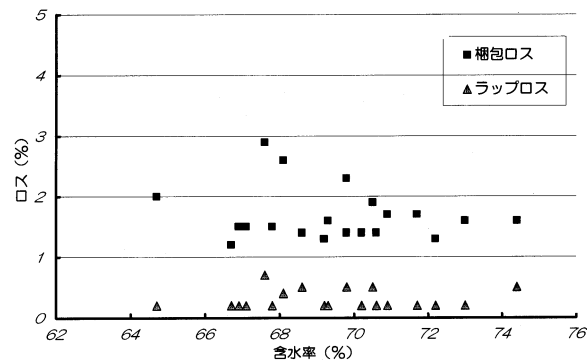


図 9 ロスの測定結果

で一様に数 m 程度収穫作業を続けた。これが梱包密度を一定化する要因になったものと思われる。

ロスは梱包ロスが 3% 以下 (平均で 1.7%)、ラップロスが 1% 以下 (平均 0.3%) と少なく、ベアラ、ベールラップともにロスの面からは実用レベルの安定した性能が得られたと判断された。

作業能率：試作ベアラ及び試作ベールラップをそれぞれ 44 kW、22 kW トラクタに装着し、約 25 a 区画に仕切った圃場 (ナスホマレを作付け) を供試して作業能率を測定した。試作ベアラでの作業能率は約 9 a/h で、総作業時間のうち 58% が刈取時間で、結束+放出時間は約 11%、空走時間は 31% となった。また、試作ベールラップによるベール 1 個あたりの作業時間は、積込み時間が 34 秒、密封時間が 1 分 33 秒、荷下ろし時間が 25 秒となり、約 2 分 30 秒でベール 1 個の密封作業ができることがわかった。

3. まとめと今後の展開

試作ベアラと試作ベールラップにより、これまで 5~6 名必要とされていたトウモロコシの収穫調製作業が 2 名で行うことのできる体系の見通しが得られた。今後実用化に向けては、機体強度、取扱性、メンテナンス性等の向上を図るとともに、農家からの意見も聞きながら機械をまとめていく必要がある。

本試作機は、10 mm 前後と非常に短い切断長での梱包ができる。従って、例えば飼料イネのよう

に子実の消化率が問題になるような場合でも、収穫・梱包時に籾殻を破碎する確率が高くなることから、有望な作業機として期待されよう。長大作物に限定されない汎用利用への拡大も今後の課題であろう。

本システムで作ったラップサイレージは品質が良く、均質であることが実証されている。また、材料の含水率が一定であれば、ベール質量のばらつきも少ない。これらのことは、単に自給粗飼料の確保としてだけではなく、地域内でのサイレージ流通にも新たな道を開くことにもつながると思われる。

各方面のご協力をいただきながら、新しい収穫機械化システムとして1日でも速い実用化に向けて完成度を高めていきたいと考えている。

参考文献等

- 1) 北村 誠：畜産用機械，'79 農業機械カタログ集、H17-18、(株)新農林社、1979
- 2) 諏澤健三：ベールラッパーの効用と機能、機械化農業 1990・5、10-19、新農林社、1990
- 3) 宮崎昌宏ら：ミニロールベールラッピング処理技術の開発（第1報）、農作業研究 28(2)、109-114、1993
- 4) 山名伸樹ら：微細断型カッティングロールベールの開発（第1報）、第57回農機学会 年次大会講要、39-40、1998
- 5) 志藤博克ら：長大型作物用カッティングロールベールの開発（第1報）、日草誌 45(別)、250-251、1999
- 6) 志藤博克ら：微細断型カッティングロールベールの開発（第2報）、第58回農機学会年次大会講要、1-2、1999
- 7) 志藤博克ら：微細断型カッティングロールベールの開発（第3報）、第59回農機学会年次大会講要、139-140、2000
- 8) 志藤博克ら：トウモロコシ収穫用カッティングロールベールの開発、農機誌 62(3)、157-159、2000
- 9) 山名伸樹ら：微細断型ロールベールによる長大型作物梱包技術の開発（第2報）、プロジェクト研究「転作作物」平成12年度受託研究報告書、2001
- 10) 志藤博克ら：長大型作物用カッティングロールベールの開発（第2報）、日草誌 47(別)、376-377、2001
- 11) 志藤博克ら：微細断型カッティングロールベールの開発（第4報）、第60回農機学会年次大会講要、57-58、2001
- 12) 畜産局自給飼料課：飼料作物関係資料、2001
- 13) 山名伸樹ら：細断ロールベール用ベールラッパーの開発、農機誌 64(1)、136-138、2002
- 14) 志藤博克ら：試作細断型ロールベールを基軸とした長大型作物収穫調製技術の開発、日草誌 47(6)、610-614、2002
- 15) 澁谷幸憲ら：微細断型ロールベールによる長大型作物梱包技術の開発（第3報）、プロジェクト研究「転作作物」平成12年度受託研究報告書、2002

8. 酪農経営における自給飼料生産の経営的評価

畜産草地研究所体系技術評価研究室 青木壽美男

はじめに

酪農経営における自給飼料生産の重要性が指摘されている。飼料費が生乳生産費の40%強、物材費中の60%も占め、収益に大きく影響を与えているからである。しかし、我が国の場合飼料穀物の自給生産は無に等しく、飼料生産と言えば粗飼料生産と同義語と言っても過言ではないが、その粗飼料もTDNで71.2%（都府県49.2、北海道93.4）の自給でしかない。したがって濃厚飼料も含めた飼料自給率は33.7%（都府県17.3、北海道55.5）、中小家畜の飼料も含めた畜産全体の飼料自給率は25%と極めて低い水準にある。

平成12年3月、新農基法推進に向けた食糧・農業・農村基本計画が決定され、10年後の平成22年に達成すべき食糧（熱量）自給率の目標値を45%に設定された。現在40%弱であるので約5%の引き上げとなるが、これには飼料生産の拡大に大きな期待が寄せられている。飼料作物作付け面積の拡大（97万ha→110万ha）と単収の向上（4,040kg→4,461kg）を図ることで飼料のTND自給率を現状の25%から35%に引き上げる目標である。これは、現状の酪農展開からは極めて高いハードルと言わざるを得ず、目標の達成には可成りの困難が伴うと思われ、相当の覚悟も必要である。

個々の酪農経営が、技術革新を図りつつ安定した経営を達成するために給与飼料の確保をどう考え、その中で飼料生産をどう進めようとしているかの検討は重要である。その延長に飼料生産増強の展望があると言えよう。

1. 酪農経営における飼料作物生産と自給率

米作中心の我が国農業では、耕地特に水田への家畜のエサの作付けは困難でその生産拡大も難しい条件にあったが、戦後畜農業の推進に伴って生産飼料を主体とした畜産を構築するために、飼料政策は一貫して耕地への飼料作物作付け条件の整備、草地開発と作付けの拡大、生産効率の向上を中心に進められてきたと言える。その結果、草地造成や飼料用作物の導入・栽培が行われ、また、飼料作は施設化・機械化され酪農家の飼料生産は急速に進められる。昭和62年には、有畜農業が本格化した40年頃の約3倍に当たる105.4万haもの飼料作物が作付けられている。（表1）

しかし、飼料作拡大以上の早さで飼養頭数の多頭化が進められ、また、農場副産物の利用も行われなくなる等、耕地における飼料生産の拡大がそのまま酪農経営における飼料自給率の上昇とはならなかった。特に近年の多頭化の推進は、濃厚飼料への依存を強め、土地面積と飼養頭数のバランスを崩すことで糞尿問題を惹起させている。また、肥育経営の重要な粗飼料源となっている輸入稲ワラが、口蹄疫の発生元との疑われ肉骨粉の給与がBSEを発生させる等輸入飼料をめぐる問題は大きい。

図1・2で、酪農経営における飼料TDN自給率の変化を示した。都府県でも、飼料生産政策の後押しを受けた牧草類の作付け面積増加によって、牧草の給与量は増え牧草による粗飼料の自給率は昭和40年の49%から50年には73%に引き上げられた。しかし、全給与粗飼料の自給率は逆に94%から77%に低下している。地域の飼料資

表1 大家畜飼養と飼料作物作付け（千ha、千頭）

年次	①飼料作物作付け面積			②大家畜飼養頭数			①/② a
	計	牧草	その他	計	乳牛	肉用牛	
1965	509.0	297.7	211.3	—	1,281	—	
1970	665.9	472.6	193.3	3,564	1,804	1,760	18.7
1975	839.5	687.6	151.9	3,644	1,787	1,857	23.0
1980	1,003.1	785.9	217.2	4,385	2,104	2,281	22.9
1985	1,019.0	813.0	206.0	4,698	2,111	2,587	21.7
1990	1,046.0	837.2	208.8	4,760	2,058	2,702	22.0
1995	980.2	827.4	152.8	4,916	1,951	2,965	19.9
2000	960.5	820.1	140.4	4,588	1,765	2,823	20.9

畜産統計, 作物統計

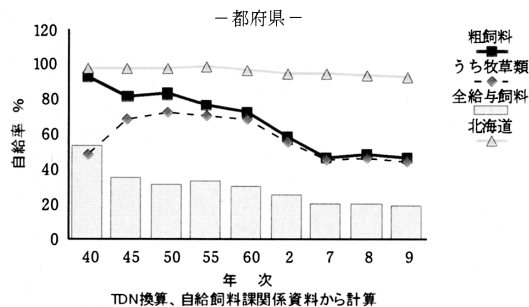


図 1 酪農経営における飼料自給率

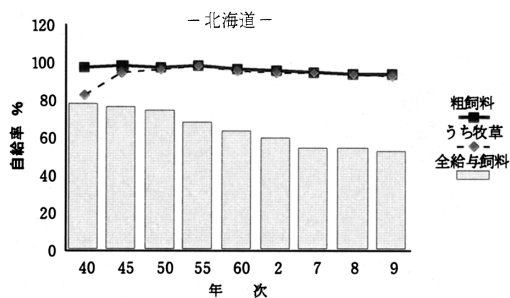


図 2 酪農経営における飼料自給率

表 2 酪農経営における飼料自給率の変化 (%)

年次	S40	45	50	55	60	H2	7	9
都府県	54.3	36.2	31.8	33.3	30.6	26.1	20.5	19.5
北海道	78.4	77.2	74.8	68.8	63.8	60.7	55.4	53.3

平成11年8月 自給飼料課関係資料

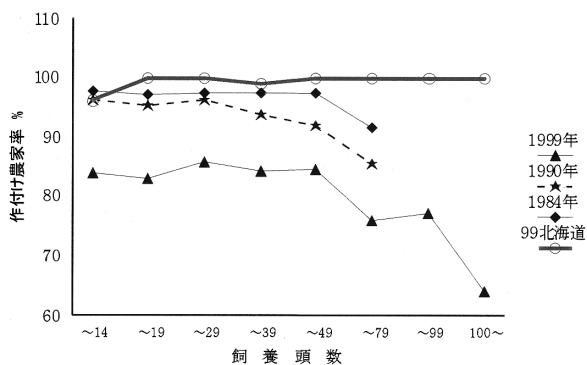


図 3 酪農経営における飼料生産農家率

源と言われる野草や稲ワラ、農場残渣など従来から利用されてきた粗飼料が、良質でしかも比較的安定した生産が望める飼料作物に替わる給与飼料の質的变化の結果であり、現在は給与されている粗飼料のほとんどが飼料作物となった。

ところが、飼料作物の作付け面積も昭和62年をピークに減少に転ずる。平成6年には100万haを割り込み、11年は飼料作物作付け面積は牧草82万haとトウモロコシなどの飼料作物14万haを合わせた96万haである。この10年間に約9万haの飼料作物の作付けが減少したことになるが、北海道では草地を中心として62万haの飼料作面積が維持・確保されているので、このほとんどが都府県での減少である。その結果、都府県の酪農経営においては表2のように、飼料自給率は20%弱に落ち込むことになる。飼料生産優等生の北海道でも、多頭化と固体産乳量向上指向によって飼料自給率は年々下がり、50%強である。

図3は、飼養規模別の飼料作物作付け状況を表したものである。北海道では全ての酪農家で飼料

生産が行なわれている。しかし、都府県では表示した1984年(昭和59)、1990年、1999年のどの年次についても、飼養頭数規模が大きくなるほど飼料生産を行わない経営が多くなる。しかも、84年頃は50頭以上飼養の農家でも飼料作物の作付けのない農家は8%でしかなかったのに、90年には飼養頭数30頭程度でも飼料作物を作付けない農家が増えて、99年には飼養頭数10頭以下の農家も含めて全ての階層で飼料作物を作付けない農家が急増している。15頭程度の少頭数飼養農家でも15%程度の農家が飼料生産を行わず、100頭を越える大規模農家に至っては、実に飼料生産を行わない農家が36%も占める状態である。

農水省は、平成11月1月「飼料生産に関するアンケート調査」を行い、飼料生産が拡大しない要因の分析を行っている。アンケート回答は複数回答であったが①「高齢化・規模拡大による飼料生産労働力の不足」が73.0% (都府県75.4)、②「コスト、利便性の点で輸入飼料が有利」が47.0% (同60.9)、③「畜産農家に農地集積が進まない」が30.5% (21.9)、④「乳質維持には均質な輸入飼料に依存」が20.5% (24.6)、⑤「中間生産物で直ちに収入増にならないが」13.0% (14.0)、⑥「その他」6.0%と言う結果であった。

回答には、経営耕地の広い北海道と都府県ではかなり違っており、都府県の酪農経営が北海道と比較して特に「コストと利便性」を強調している点は、都府県における飼料生産のあり方を検討する上で注目される。

表 3 酪農経営における作業労働時間（時間、a）

飼養規模	飼養管理		飼料生産	作業時間計		参考、牧草地面積	
	経営当	1人当	経営当	経営当	1人当		
都府県	1～10	1,744	918	141	1,903	1,001	55
	10～20	2,462	1,368	168	2,653	1,474	89
	20～30	3,317	1,442	270	3,632	1,579	207
	30～50	4,371	1,619	335	4,760	1,763	219
	50～80	5,914	1,971	379	6,352	2,117	606
	80～	6,877	3,126	14	6,956	3,162	201
北海道	1～10	1,779	988	143	1,942	1,079	701
	10～20	2,670	1,161	330	3,035	1,320	883
	20～30	3,514	1,464	327	3,917	1,632	1,447
	30～50	4,370	1,681	415	4,843	1,863	2,814
	50～80	5,041	1,867	562	5,675	2,102	4,355
	80～	6,056	2,163	730	6,846	2,445	5,321

平成11年牛乳生産費調査より算出

2. 粗飼料生産の経営的評価

酪農経営における自給飼料の経営的な評価は、単に飼料の生産コストの問題ではなく経営全体の労働力構成、飼養頭数と経営耕地面積、土地条件、飼養管理方式と飼料の給与、生産力水準、家畜糞尿利用等が総合されて評価される。

1) 酪農経営における労働時間

飼料生産を行ったり拡大しようとする時に、まず初めに問題点として上げられる「労働の力不足」について検討する。酪農経営における作業時間を、平成10年度牛乳生産費から計算してみたのが表3である。労働の質や条件を全く考慮しない単なる時間としてだけで見ると、酪農家1人当たりの労働時間は、飼料生産労働を入れても80頭程度の飼養までは、おおよそ年間2,000時間以下の労働時間である。この数字からは労働過重は読みとれない。また、表4は栃木県北部地域の酪農家の年間乳牛飼養管理作業時間である。当農家の飼料生産は捨て作り状態で、生産された粗飼料はもっぱら育成牛のみに使用され、搾乳牛に全く利用されていない。しかし、当農家の年間総飼養管理作業時間は4,721時間、1人当たりでは1,600時間弱である。この時間は、牛舎内作業のみで、育成や飼料生産の作業時間を入れていないので全体の作業時間はこれよりも多くなると思われるが、当経営が労働力不足、飼料生産を行う時間がないことで飼料生産に不熱心であったり、6haある全耕地への飼料生産の拡大を消極的になっているとは考えにくい。

以上のことから、労働（力）に係わって飼料生産が問題にされるのは、経営全体の労働時間も考

表 4 W 農家の年間飼養管理作業時間

労働力(人)	3	
耕地面積(a)	600(採草地270)	
成牛頭数(頭)	94	
搾乳頭数(頭)	70	
	総作業時間	1人当り
搾乳作業	3,674	1,225
飼料給餌	140	47
糞尿処理	274	91
バットメイク	49	16
計	4,721	1,574

栃木県塩原町

フリ-ストール、バ-ラ、自動給餌機等

慮されているとは思いますが、飼養管理作業の体系と労働力の係わり方や、飼料の生産過程特に天候に大きく影響される飼料作物収穫時の厳しい作業適期等からの要因が大きいと考えられる。

天候や土地条件に大きく影響される飼料生産においては、少ない作業時間でも適期を逃せば良質の粗飼料生産はおろか生産そのものが無に帰することにもなりかねない。なんとしても、良質粗飼料の確保には適期に作業を行わざるを得ず、収穫調整作業の時には「牛のこと等かまっていられない」と言う状況に置かれることは常である。その事が乳牛の飼養管理にも影響を与え、一時の飼養管理の「手抜き」が牛の健康・牛乳生産そのものを不安定にさせることも多々ある。飼料生産が敬遠されるのは、飼料生産への密度の高い良質な労働に対応することが難しいということではないかと考える。

2) 飼料給与技術の高度化と飼料作
飼料の生産・確保は、給与方法と深く係わって

いる。飼料給与技術については、近年、乳牛の能力向上に伴って極めて緻密な給餌が行われるようになってきた。資本集約的な我が国の酪農経営においては当然の方向ともいえるが、乳牛の個体管理を的確に行い、乳牛個々の持つ能力を可能な限り引き出して個体産乳量を高め、収益の向上を図る技術としての展開である。この飼料給与技術は、正確な飼料設計に基づいて調整された餌を乳牛の状態に合わせて給与することが基本になっている。給与される飼料の調整には品質のばらつきが少ない栄養成分の明確な「材料」が要求されてくるのは当然と言えよう。

このことは、農家の飼料評価が生産費用や購入価格での評価だけでなく、それに加えて給与した飼料が酪農収益にいかに関与したか、具体的にはどれだけ産乳量上げ得たかという評価になってきたことを意味する。

図4は、個体産乳量・乳質と濃厚飼料・乾牧草の給与の変化を見たものであるが、産乳量の急激

な上昇、乳脂肪率の緩やかな上昇、給与濃厚飼料の漸増に対して86年～90年の乾牧草の給与量の突出した上昇が目される。この乾牧草給与の上昇は、87年に基準乳脂肪率を3.2%から3.5%へ引き上げたことによる飼養管理の変化に伴うものと言われている。脂肪率を上げ産乳量を増やして行くには、良質な乾牧草の給与が重要になったのであろう。その結果、乾牧草の輸入量は急増しているのである(図5)。

こうした生産性向上、それを可能にさせる給餌技術の向上に対応する飼料として、自給飼料は必ずしも応えられる飼料ではなくなっている。栄養成分や品質は飼料作物の品種によって違うのは当然としても、同一品種でも生産される圃場によってあるいはサイロごとロールごとに違っているのが現実である。しかも、品質は収穫時の気象条件や調整、貯蔵条件などによって必ずしも安定していない。また、生産される自給飼料の量も少なく通年的に同一飼料を給与することは困難であるこ

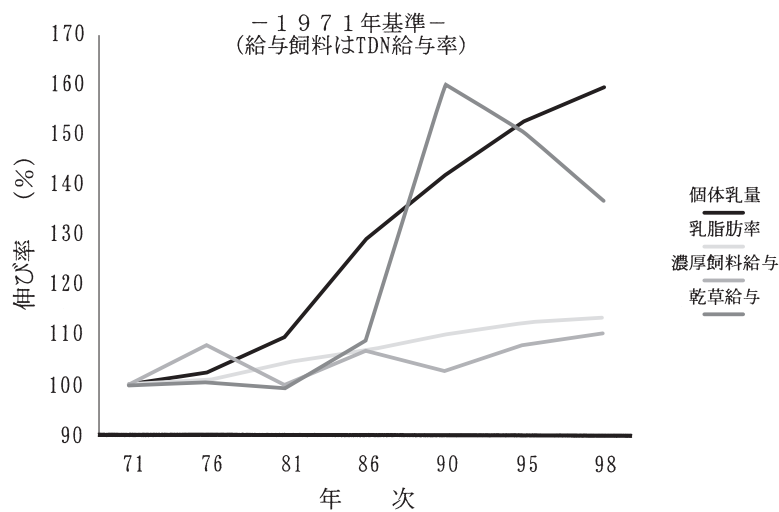


図4 飼料給与と乳量・乳質

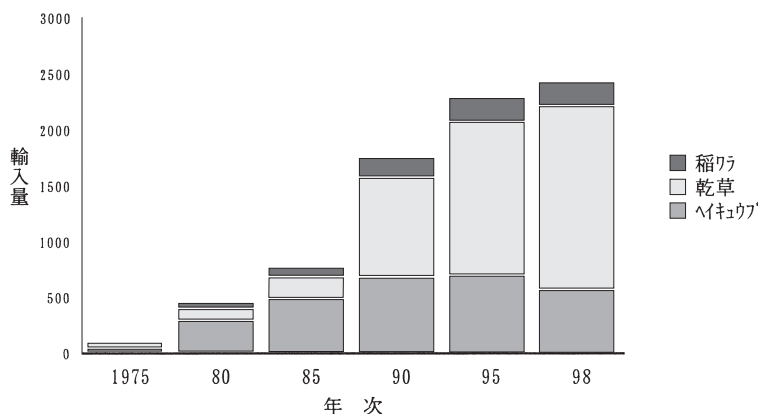


図5 粗飼料の輸入量の推移

表 5 搾乳牛 1 日 1 頭当たり飼料給与量 (kg)

1977年 (M)	1998年 (M)	1998年 (W)
成牛29、育成牛21 (w550, mlk20kg/d)	成牛103, 育成牛10 (w、mlk40kg/d、 fat. %)	成牛83、育成牛40 (w630, mlk30kg/d、 fat. 3.7%)
サイレージ 30.0	コーンサイレージ 12.0	ルーサンハイ 6.0
ハイキューブ 2.5	グラスサイレージ 11.0	フェスキュストロウ 0.5
稲ワラ 1.0	ハイキューブ 2.5	ハ ^o ミューダ ^o グ ^o ラス 3.0
ビートパ ^o ルブ ^o 2.0	ビートパ ^o ルブ ^o 2.5	ビートパ ^o ルブ ^o 3.0
		カウミット 3.5
配合飼料 7.0	配合飼料 11.0	配合 X2 4.0
	大豆・魚粉 1.3	コーンフレーク 2.0
ミネラル	ミネラル +α	mix 2 1.4
飼料自給 39.0%	飼料自給 22.2%	飼料自給 0%
粗飼料自給 63.9%	粗飼料自給 57.6%	粗飼料自給 0%
耕地面積 600a	耕地面積 1050a	耕地面積 600a

那須地域酪農家調査
Wは飼料会社が飼料設計
粗飼料自給は、粗飼料のTDN自給率

と等から、正確な飼料設計に基づく高産乳飼料給与と技術には、むしろ自給飼料は「問題飼料」「あつかいにくい飼料」になっているのではと思われる。とくに、大規模経営では投資額が大ききこともあって、牛舎から生産される絶対乳量増加への要求が大きく、その達成に向けた技術導入には意欲的で高度な給餌を行い省力化のための自動給餌機の導入も進んで、大規模経営ほど「設計しやすい飼料」への要求は高いと言える。

表 5 は、那須地域の搾乳牛への給与の実態を、当地域で規模拡大の始まった 20 年前の飼料給与と比較したものである。M 農家は現在も 10 ha の耕地に年 2 作飼料作物を作付けし、地域でも飼料自給に力を入れている農家であるが、多頭化と個体産乳量の向上を推進した結果、配合飼料給与量の増加と自給飼料給与量の減少で飼料自給率は 39% から 22% に低下している。また、W 農家は前述の労働時間の所で紹介した農家であるが、搾乳牛には全く自給飼料を給与せず購入飼料の混合飼料の給餌である。近年、中・大規模の農家では W 農家に近い飼料給与を行っている農家が増えており、こうした農家の多くは、酪農協や飼料会社が運営する TMR センターからの飼料供給を受けている。しかし、その TMR センターでも、品質が安定した大量に確保できる輸入飼料や食品工業からの供給される粕類を原料として利用し、自給飼料や地域に多様に賦存する飼料資源は敬遠され利用されていないのが実態である。

表 6 飼料作物の地代を算入した費用価

	イタリアン	コーン	2 作
資材費	17,614	27,831	45,445
10a 労働費	12,018	17,264	29,282
費用	固定費 12,415	10,617	11,516
小作料	8,521	8,521	8,521
計	47,254	62,550	94,765
現物/kg	15.5	12.6	11.8
乾物/kg	47.0	46.4	40.2
TDN/kg	70.6	68.5	59.9
単収	3,058	4,961	8,019
乾物単収	1,006	1,349	2,355
TDN単収	670	913	1,583
参考TDN単価	39.9	40.3	36.0

平成10年牛乳生産費調査（小作料は関東）
参考単価は労賃・小作料を考慮しないコスト
2作の固定費は1/2で計算

3) 自給飼料のコスト

酪農家が飼料生産を行うか否かは、生産コストも重要な要因である。表 6 は平成 10 年のイタリアンライグラスサイレージとデントコーンサイレージの単作の場合と同一圃場で 2 作した場合の小作料込み費用価で表しものである。デントコーンサイレージの 10 a 当たり費用はイタリアンライグラスサイレージの 1.3 倍ほどになるが、単位当たり収量が多いことから、現物・乾物・TDN それぞれの生産単価は低くなっている。また、年 2 作作付けを行った場合は、小作料は半額、機械やサイロの使用回数が増えることから、コストは低下する。さらに、酪農家が自作地で自家労働のみで飼料生産を行うと、飼料生産に直接支出され

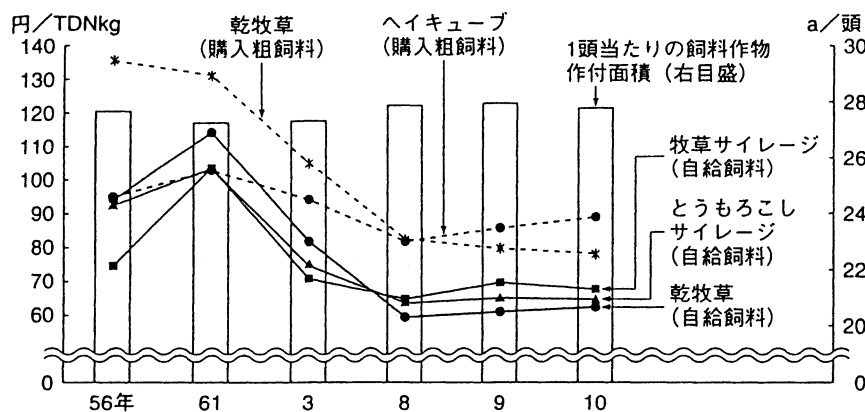


図 6 自給飼料生産コストと購入粗飼料価格の推移（試算）等

資料：農林水産省「農業経営統計調査（畜産物生産費統計）」、「日本標準飼料成分表」
「畜産基本調査」、全国農業会議所「小作料に関する調査結果」

- 注：1) 自給飼料生産コストは、牧草（飼料作物）の重量当たり費用価に対し、地代（小作料に必要な飼料作物畑の面積を乗じて算出）と自己資本利子（費用価の4%と仮定）を加えて算出した重量当たり生産コストを、各種飼料の平均的な可消化養分総量（TDN）含有率で除して算出した試算値である。
2) 購入粗飼料価格は、搾乳牛1頭当たりの購入飼料の重量単価を、各種飼料の平均的な可消化養分総量（TDN）含有率で除して算出した試算値である。
3) 1頭当たりの飼料作物作付面積は、成畜飼養頭数10頭以上の酪農経営の値である。

表 7 粗飼料輸入及び価格

		1975	80	85	90	95	98
輸入量 (MT)	ヘイキューブ*	52.6	294.6	491.5	695.0	701.4	576.8
	乾草	43.3	114.5	200.2	885.0	1383.1	1651.6
	稲ワラ	0.7	48.2	87.0	180.9	214.0	216.9
価格 (¥/kg)	ヘイキューブ*	39.0	45.9	36.5	31.3	22.1	24.6
	乾草	42.3	51.1	39.6	34.9	26.2	28.0
費用価 (¥/kg)	稲ワラ		38.4	29.9	32.0	23.3	22.0
	国産イタリアンライグラス(サイレー)		64.1	46.2	59.5	33.8	40.0
	牧乾草(稲科主体混)		36.6	51.4	55.9	33.9	22.8
	デントコーン(サイレージ)		51.0	67.2	73.1	42.7	40.5

輸入飼料の価格はCIF価格

国産飼料は都府県（風乾物換算・イタリ：2.9倍・乾草1.0倍：・デントコーン：3.6倍）

るのは資材費と償却費（固定費）だけになり、これを狭い意味での「費用」として計算したのが、参考 TDN 単価として表示した。イタリアンライグラスサイレージ 40 円/kg、デントコーンサイレージも 40 円/kg、2 作した場合のサイレージは平均で 36 円/kg で生産できることになる。

購入粗飼料との比較（図 6）でも、TDN 換算では、労賃、小作料を入れた生産費用で見ても、自給飼料は可成りの低コストで生産されている。

しかし、乾物での比較は表 8 のようになった。輸入のヘイキューブ、乾草、稲ワラ価格のどれよりも低コストで生産された自給飼料は、昭和 55 年と平成 10 年生産の稲科主体混播牧乾草のみである。ただし、2 作体系で生産費から労賃・小作料を差し引いた場合、その自給飼料は輸入粗飼料に対抗できるようにはなる。

表 8 は地域別に畑の栽培作物別小作料を表した

表 8 作物別畑小作料（平成 9 年 円/10 a）

地区	北海道	都府県	東北	関東	中国	九州
露地野菜	7,975	12,021	12,004	14,229	10,367	13,983
施設野菜	10,351	14,441	9,545	15,890	11,261	18,398
麦豆類	7,606	10,096	11,444	9,788	9,361	9,623
飼料作物	3,456	6,472	5,316	8,521	5,872	6,781

全国農業会議所「畑の小作料実態に関する調査資料」

ものである。各地域とも小作料の最も安い作物は、飼料作物である。これは、逆に言えば他の作物と比較して飼料作物の栽培ではこの程度の小作料しか支払えないということでもある。

4) 自給飼料生産の経営的評価

以上、飼料生産における労働、飼料の給与技術、飼料生産コストと輸入粗飼料等についてみてきた。土地面積やその条件には触れなかったが、それも含めてこうした要因の総合によって自給飼料は評価されることは前述のとおりで、畜産農家がそれを判断し実行している姿が、現状の飼料自給

率の低い畜産経営になっているということである。

しかし、水稻の作付け制限や農業者の高齢化、条件不利な中山間地域からの人口流出などによって、耕作放棄地や不作付け農地が急増しており、こうした耕作されない農地は今後さらに増加することが予想されている。その面積は今後10年間に最大80万haに達するとも言われている。

また、耕地の拡大を伴わない乳牛飼養の多頭化によって、家畜ふん尿が問題視され、その処理を巡って酪農経営には重い負担となっている。都府県では乳牛1頭あたりの飼料作面積は10アール強である。乳牛1頭から排出される糞尿量は年間20トン前後、飼料作を年2毛作したとしてもそれに利用できる最大糞尿量は10アールあたり12トンでしかない。従って、酪農専業農家では、1頭あたり8トン程の家畜糞尿が余る計算になる。しかし、多くの農家は施用限界以上の糞尿を畑に還元し、生産飼料の質を悪化させ糞尿を野積みして環境問題を引き起こしたりしている。家畜の糞尿は、従来有機質肥料として経営に有効利用されてきたが、現在では耕種作物への利用は極端に減少し、畜産農家では有り余った糞尿を費用を掛けて処理しなければならなくなっている。

表9は、栃木県北部地域で先進的に糞尿処理を行っているM酪農家の処理費用を関沢が試算したものである。この数字は若干旧く、現在糞尿処理施設を新設すると、施設の規模と内容にもよるが3~5千万程度の投資が必要である。最近、100頭規模のフリーストール牛舎の建設に合わせてM農家と同程度の処理能力を持つ堆肥発酵施設と乾燥施設、さらに堆肥を移動させるロードを導入した農家の糞尿処理関連投資額は、4,000万円強であった。この投資額で糞尿処理費用を再計算したのが「試算」部分で、搾乳牛1頭当たり46,500円の処理コストとなった。固体産乳量9,000kgとして生産牛乳1kg当たり処理経費は5.16円であ

表9 搾乳牛1頭当たり糞尿処理費用

	M農家	試算
搾乳牛頭数	100頭	100頭
機械施設償却	13,624	24,550
燃料費	455	455
電気代	5,006	5,006
水分調整材	14,925	14,925
労賃	1,520	1,520
計	35,530	46,456

る。ちなみにM農家は3.95円になる。

労働力をどう振り分け、資材をどう調達し、機械化施設化を図りながら作業効率を高めて安定した所得を確保するための営農は、農家個々の経営条件で判断されることではある。しかし、みてきたように飼料評価は、酪農経営では、高泌乳化、高乳脂肪率への乳牛飼養の「高度化」を推進する飼養管理技術の変化の中で、いかに「乳の出せるエサ」かということである。前述のように、この評価基準に自給飼料が合わなくなっていること。良質で均質な飼料生産を行うには、時間だけではない気配りと拘束という計算できない要因を乗り越える余裕が酪農家にはないということではなかろうか。労働力不足と言われながら、時間はなくはない。生産コストも輸入粗飼料より若干高いかむしろTDN比較では安いくらいである。また、乳価低下傾向の一方で、糞尿処理コストは生乳1kg当たりで4~5円もかかるのである。

こうした現状をふまえれば、糞尿を圃場に還元し、飼料生産を行うことで今後ますます厳しくなる畜産環境を乗り越えていくことへの対応は重要である。自給飼料が安心して利用できる給与技術、自給飼料生産や調整技術の開発・向上や、畜産農家への土地集積・集団化等の課題を早急に克服し、自給飼料をしっかりと畜産経営の中に位置づけることで、土地の制約はあったにしても飼料生産の拡大は可能であろう。もちろん、耕種農家や中小酪農家が担うコントラクターへの生産委託の選択もある。

3. 自給飼料の経営経済的評価手法

農畜作物は、一般的に取引によって決まる「市場価格」で評価されているが、米や牛乳のように政策的に決められるものもある。しかし、市場流通しない自家利用の農作物は価格がないことから、何らかの方法で一般的に共通する評価方法を適応してそれを評価することになる。

自給飼料作物はこうした市場評価されない作物で、家畜に給与され牛乳や肉等の畜産物として販売されて初めて評価される。しかし、それは飼料作物そのものの評価ではない。畜産物の価格から中間生産物である飼料作物の評価を類推することによって、経営経済的に評価することになる。その評価が収益に大きく影響を及ぼし、より自給飼料の生産拡大を図るか生産を縮小して購入していくかの判断要因にもなることから、評価方法につ

表 10 自給飼料の評価目的別経営経済的評価方法

評価の目的	評価方法	適応対象	提唱者
飼料作物相互の有利性比較	費用価法 (線形計画法)	共通	阿部, 甲斐
他作物のと有利性比較	費用価法 収益価法 (線形計画法)	複合経営	児玉、小栗、甲斐 阿部、堀尾
購入飼料との有利性比較	機会費用価法 (線形計画法)	専業経営	堀尾、小栗
その他	市価法 (成分価法)	共通	

いて知っておくことは重要なことで、常に自給飼料の評価に心がけておくことは大切である。

そこで、表3に示したように評価の目的によっていろいろな評価方法が提起されているので、その内容を概説して参考に処したい。

1) 市価法

自給飼料と同等に近い流通飼料の市場価格を基準に行う評価法である。しかし、自給飼料と同等の流通飼料はないに等しい。そこで両者に共通する要素 (DM、TDN など) に換算して、流通飼料の要素当たりの単価 (たとえば TDN) を算定し、自給飼料のそれに相当する要素 (TDN) 生産量を乗じて評価する。これは一般に行われている方法であるが、対象とする流通飼料を何にするかで評価は大きく変わることがある。

2) 費用価法

生産費用 (あるいは経営費) で評価する方法である。生産費用は一般に農水省の「生産費調査」の概念と言う費用合計 (物材費 (流動・固定) + 労働費) である。経営費 = 生産費 - 家族労働費

3) 機会費用価法

機会費用とは、一般的には「代替的用途をもつ生産要素をある用途 (生産部門) に投入した場合、他の用途において実現されるであろう収益を断念しなければならない。そのため、その収益を前者の生産部門の費用の一部とみなすこと」である。

自家労働の一部をデントコーンの生産に用いると、その労働を家畜飼養に向けて得られるであろう収益が断念される。この断念された収益をデントコーンの費用の一部 (機会費用) とみなして計上する。例えば、デントコーンサイレージ単位当たりの評価は、労働費以外の生産費 + 機会費用 (飼料生産労働時間 × 家畜飼養労働 1 時間当たり所得) で以下のように算出される。条件を以下の

ように設定した場合、デントコーンサイレージの評価額は 1,052 円である。

デントコーンサイレージ 100 kg 当たり

労働時間 ; 0.14 時間

生産費用 ; 1,005 円 (うち労賃 229 円)

乳牛飼養 1 時間当たり労働報酬 ; 1,970 円

$$(1,005 - 229) + (0.14 \times 1,970) = 1,052$$

4) 帰属収益価法

自給飼料の経済的価値を、最終生産物の販売を通じて評価する方法である。具体的には、畜産物の粗収入 (総収入) の中から、自給飼料に帰属する収益部分を算出し、自給飼料の価値を算定する方法である。この計算方法は諸説が提案されており、評価結果はそれぞれ異なる。飼料作物の評価額を X として代表的な方式を示すと以下のとおりである。

(1) 児玉賀典 (自給飼料作物の経済的評価方法、「畜産の研究」11 巻 10 号、1957)

$$X = \text{畜産物粗収入} \times \frac{\text{飼料作物10a当り養分生産量}}{\text{乳牛の年間必要養分量}}$$

(2) 阿部広雄 (水田酪農における飼料転換の経済性(2)「畜産の研究」18 巻 2 号、1964)

$$X = \{ \text{畜産物粗収入} - \text{飼料作を除くその他の生産費} \} \times \frac{\text{飼料作物10a当り養分生産量}}{\text{飼料作物の養分量}}$$

(3) 堀尾房造 (水田転換における飼料栽培の経済性、「畜産の研究」32 巻 6 号、1978)

$$X = \text{畜産物粗収入} \times \frac{\text{飼料作物費用}}{\text{畜産物費用}} \times \frac{\text{飼料作物10a当り養分量}}{\text{乳牛の年間必要養分量}}$$

(4) 小栗克之（飼料作物の経営経済的評価法の検討、「農業経営研究」20巻1号、1982）

$$X = \text{畜産物粗収入} \times \frac{\text{自給飼料費}}{\text{畜産物費用}} \\ \times \frac{\text{飼料作物10a当り養分量}}{\text{飼料作物の養分量}}$$

各氏の評価方法を現実の数字を当てはめて、デントコーンについて検討してみると以下のようになる。

条件は搾乳牛規模40頭、デントコーン面積2ha、反収5.5t、現物TDN含量15.5%

畜産物粗収入；2,896万円（74.2万円/頭×40）

牛乳生産費用；2,680万円（（67万円、うち購入飼料27、自給飼料3.2）/頭×40）

飼料費；1,208万円（購入27＋自給3.2）/頭×40頭

乳牛年間必要TDN（4t/頭×40）160t、飼料作TDN生産量853kg/10a×20=17.1t

デントコーン生産費用（6.3万円/10a）×20=126万円、同経営費3.3万円/10a

各方式別評価額は

① 児玉	121,393円	2,896万×(0.853t/160t)－3.3万
② 阿部	137,600円	(2,896万－(2,680万－126万)) ×(0.853t/17.1t)－3.3万
③ 堀尾	36,592円	2,896万×(1,208万/2,680万) ×(0.853t/160t)－3.3万
④ 小栗	34,918円	2,896万×(126万/2,680万) ×(0.853t/17.1t)－3.3万

(5) 線形計画法（LP）

LPは数理計画法の一つである。投入量に対して生産が比例的に増加することを前提に、作目の収益係数（所得等）や技術係数と経営の制約条件を設定し、所得最大（費用最小など）の最適解を得る方法である。

現在は多くのソフトが開発され、簡単にパソコンで利用できる。