

II 植物の生理を生かしておいしいエサ作り

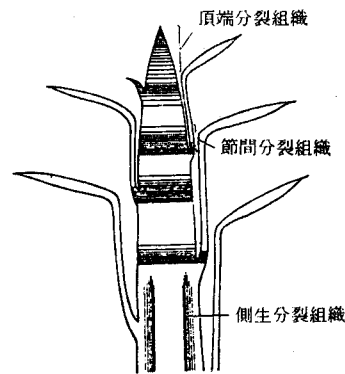
牧草は一定の法則にしたがって生育しています。どのようにして茎はのびるのか、どのようにして肥料分は吸収されるのか、どのようにして栄養分は作られ貯蔵されるのか……など基本的な生理を知ることが牧草管理や収穫作業に多くのヒントを与えてくれます。

1 牧草の生育

牧草は、細胞の分裂で細胞数が増え、更にその細胞が大きくなることで生長が起こります。細胞分裂はどこでも生じるのではなくその個所は限られています。

それは3箇所あります。植物の最先端部分（生長点という）と節間と形成層という茎の中にある組織です。イネ科牧草には茎の中の形成層という組織はありません。マメ科牧草には節間部での細胞分裂組織はありません。（図1）

茎が太くなるのは、細胞そのものが大きくなるからです。そのため、太くなるのは限度があります。分裂された細胞は、細胞そのものが大きく生長していくとともに分化といって、いろいろな目的を持った細胞に分かれていきます。



細胞の生長には膨大な栄養分が必要になります。そのため、図1. 茎の縦断面の模式図（分裂組織の所在）植物体内の栄養分の大半はその生育している組織の栄養分として移動していきます。

利用される栄養分は根から吸収されるちっ素やりん酸などの肥料分と太陽エネルギー・空気中の炭酸ガスそして根から吸い上げられた水を原料に、葉緑体という組織で作られる糖類です（光合成）。

根から吸収されるちっ素等の肥料分は土壌中の水に溶けた状態にあり、プラスの電気を持つイオンというかたちで土の小さな粒子に吸着しています。根が伸びてくるとそのイオンは根の表面に移動し根の中に吸収されていきます。

しかし、土の粒子に吸着している肥料分の吸着力はいろいろな条件で変化してきます。例えば干ばつになったりすると、吸着する力は強くなり、粒子から離れずらくなり、結果的には根に吸収される割合は少なくなってきます。

また、土のpH（酸度）が低くなると、今度は土の粒子に吸着できる量が少なくなり、根に吸収されずに流されてしまいます。ですから炭カルを散布しpHを下げないようにすることは肥料を無駄にさせないことから大切なことです。

根から吸収された栄養分は主に導管という管でそれぞれの組織に運ばれていきます。

光合成によってつくられた糖類は植物の生育中は主に分裂組織の方へ移動し、細胞の生育に利用されますが、生育が鈍化してくると生産された糖類は貯蔵養分として根や球茎（チモシーの茎の根もとにある球形状のもの）等に蓄えられます。

これらの栄養分のバランスが悪かったり欠乏すると当然、生育に必要な物質の合成される量が少なく細胞分裂のスピードが遅くなったり、細胞の肥大が不十分になってしまいます。

光合成に必要な太陽エネルギーや土壌水分の人為的な調整はなかなか難しいのですが、土壌への栄養の供給（堆肥、肥料等）や土壌環境の改善は人為的に調整ができます。

根の伸長も茎と同じように細胞分裂と細胞肥大で行なわれ、その細胞分裂組織（生長点）は根の先端にあります。根からの吸収のほとんどは新しく伸びた根毛から吸収が行なわれ、古い根からの吸収はわずかしかなかったりしません。新しい根を十分に伸ばすための土壌環境を作ることは牧草の生育にとって重要です。

その中で問題になるのが、土壌中の空気の不足です。牧草地には大型機械が走るため、どうしても牧草土壌が緊密化になりやすい状況にあります。新播草地や堆肥が多く入っている膨軟な牧草地で牧草の生育が良いという理由は土壌中に空気が十分にあるからなのです。その理由は呼吸作用の項で述べましょう。

2 2番草の生育

1番草が伸び続けている限り2番草はほとんど伸びてきません。それは1番草が伸長している時には、植物生長ホルモンは1番草の生長点に集中しており、2番草の源になる葉（原基と言われている）には、生長ホルモンがほとんどなく、分裂や生長がおこりません。

1番草を収穫し生長点を刈取られたり、牧草の花がつき細胞の生長が止まってくると今度は植物生長ホルモンは、2番草の葉の源になる原基に集中し、そこの細胞分裂が急速に活発になり、栄養分もその組織に集中していき、2番草の生長が始まります。

よく親子草という言葉を目にしますが、それは1番草の生長が止まって生長ホルモンが移動して2番草が生長した牧草を言います。また、倒伏した1番草の牧草では2番草が伸びてくるといふ話も倒伏により1番草の生育が停滞し始めたため、生長ホルモンが移動して2番草の伸長が始まったと考えられます。

草が刈取られ再生するために、まず貯蔵養分が利用されます。その後は再生された茎葉によって光合成で糖類が生産され、それがエネルギー源となるのです。

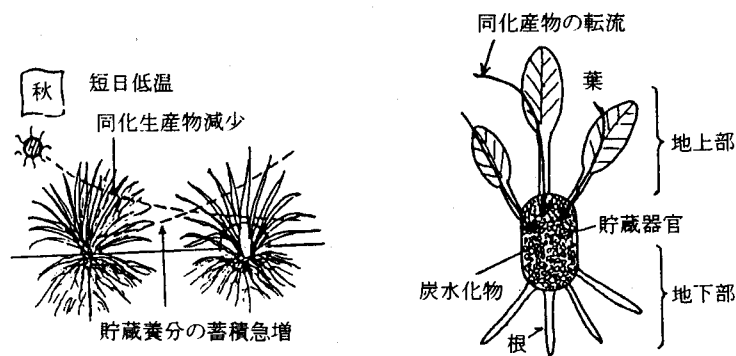


図2. 休眠期の養分の蓄積

貯蔵養分は越冬期間にも大切な栄養源となりますので貯蔵養分が少ないまま冬をむかえると栄養不足で冬を越すことができず、枯死することがよくあります（図2）。晩秋に刈取りを行い、その後再生のため貯蔵養分が利用された時点で越冬時期に入るとこのようなことが起きます。

再生のために消耗した貯蔵養分が再び元の水準までに回復するためには3～4週間の再生期間が必要と言われています。養分の貯蔵が始まる時期は品種によって違いがあり、チモシーのような刈取り後の再生が遅いものは貯蔵開始時期が早く、オーチャードグラスのように再生の早いものは遅い傾向

にあります。

チモシーは根際に球茎という貯蔵器官を持っていますし、8月の早い時期から養分の貯蔵が始まります。(図3) そのため、秋口には十分な貯蔵養分が蓄積され、いわゆる刈取り危険帯と言われる時期ははっきりとはありませんが、刈取り回数が増えたり過放牧等で貯蔵養分の蓄積が少なくなると再生が悪くなり、それが草生の衰退につながってきます。

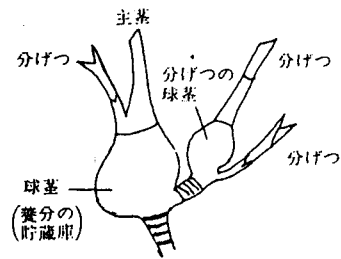


図3. チモシーの養分貯蔵器官

3 根からの水の吸収と移動

牧草の必要な水分のほとんどは根から吸収されます。水の吸収は細胞の圧力の差(浸透圧とか拡散圧とか言われている)によって、圧力の高い方へ移動が行なわれます。

ですから、土壌水分が極端に少なくなった時は圧力の逆転現象が起きて、吸収ができなくなります。吸収できない期間が長引けば、植物は死をむかえることになります。

別海地区でも干ばつがあるという人がいますが、それは表層だけの部分的な干ばつのようなのです。古い草地は表層に古い根が蓄積され(ルートマット)それが地下からの水分の上昇を妨げますし、保水性も悪いため、太陽熱で蒸散した表層の水分を補給できません。その上、古い草ほど根は表層部にありますから、ますます水分不足の影響を受けることになります。泥炭地帯でもよくこのような現象が起きます。

根から吸収された水は図4のようにAから順次、移動が行なわれますが、水の大移動は導管や葉脈の管によってなされます。

導管で重力にさからって運ぶのですから、その移動も圧力が作用しています。一つは根から養分を吸収して細胞液が増えたときに生ずる膨圧という押し力、もう一つは蒸散作用等で水分の不足した細胞の吸い上げようとする吸収力の圧力で行なわれます。

上部に吸い上げられた水は根と同じようにそれぞれの細胞の圧力の差によって栄養の必要としている組織へと移動していきます。

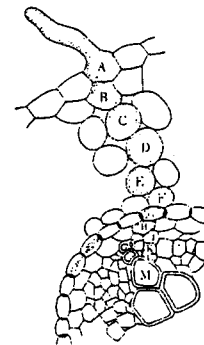


図4. 水の吸収経路(根毛Aから導管M)

4 肥料分の吸収

りん酸やカリ等の肥料分のほとんどは水に溶けたイオンという状態で根から吸収されます。水は細胞の圧力の差でどんどん吸収されていきますが、肥料分の吸収は電気的な吸着によるイオンの移動と交換という形で吸収が行なわれます（図5）。

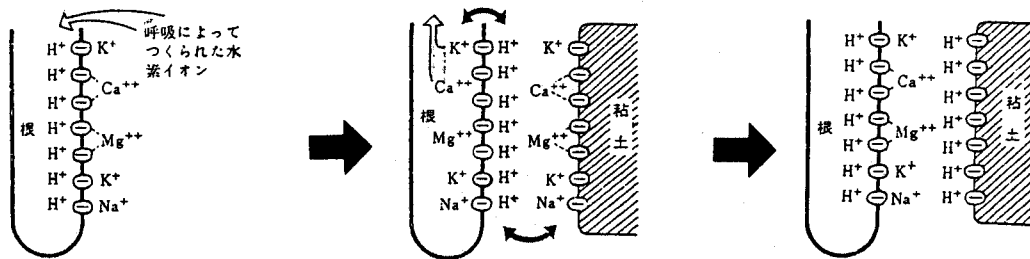


図5. 根による養分の交換吸収

しかし、細胞の膜にはイオンの種類によって通しやすくしたり通しづらくしたりする性質があります。そのため、イオンは植物の根によってみな同じように吸収されるのではなく、あるイオンは多く、あるイオンは少なく吸収され、またあるイオンはほとんど吸収されないというものもあります。

一般に電気を一つしか持たないイオン（カリなど）は電気を二つ持っているイオン（カルシウム、マグネシウムなど）より吸収される速度が大きく、多く細胞内に蓄積される傾向にあります。

また、イオンの移動にはエネルギーが必要になります。そのエネルギーは根の呼吸作用によって得られるため酸素が不足すると呼吸作用が十分に行なわれず、エネルギー不足となってしまう。

そのため、肥料分の移動がスムーズに行なわれず、結果的には養分吸収の悪い状態になってしまうことになります。古い草地の肥効が低い原因のほとんどは土壌中の酸素不足です。土壌を膨軟にし、酸素を十分に送り込める環境にしておくことは肥効を高める大きな手段となります。

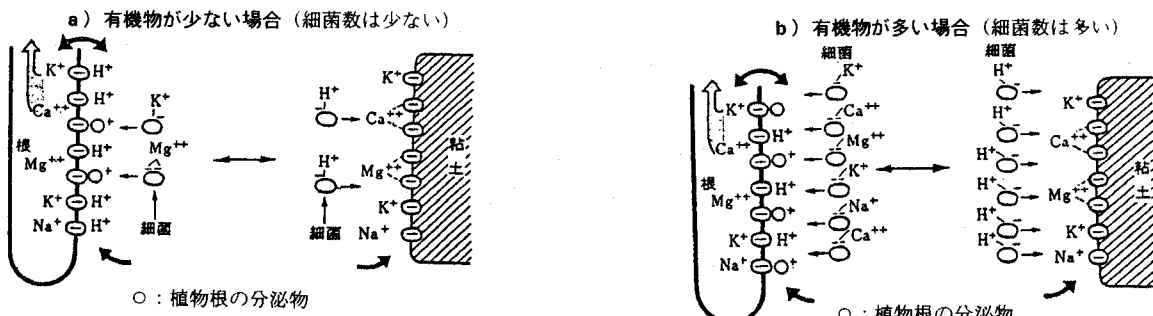


図6. 微生物の仲介による養分吸収

根の近くには沢山の微生物がいます。微生物は植物の根から分泌される物質をもとめて集まってくるのですが、その時に微生物の身体に肥料分がつき、運搬の役目をしたり吸収されやすい形に分解したりしているのです。

これは重要なことで微生物がいなければ、根は土壌粒子に吸着されている肥料分だけの範囲でしか吸収できませんが、微生物が活発に活動している土壌であれば、その何倍もの範囲から肥料分を吸収できることになります。

ここにも土壌環境の改善が牧草生長に大きな影響を与えていることが判ります(図6)。

5 光合成で生産された糖類とその移動

太陽エネルギーと空気中の炭酸ガスと根から吸われた水とで糖類が作られることを光合成ということは先に述べました。その光合成は葉緑体のある組織で行なわれます。生産される糖類は太陽エネルギーの量や気温の違いで変化してきます。

その糖類は牧草の生長に関係する組織(分裂組織etc)で生長反応のためエネルギーとして消費されますが余った糖類は貯蔵物質として貯蔵器官(根や球茎、子実etc)に移動します。生長が止まる時期に貯蔵物質は急速に増えます(図7)。

葉緑体で生産された糖類の移動は細胞間を通過して篩管に入りその養分の必要な組織へ運ばれて行きます。

光合成で生産された糖類の余剰分は細胞組織に貯蔵澱粉という形で保存され、生産が足りなければ、すぐに栄養分として利用される体制になっています。不足するとまず植物体の生長への影響がでてきます。

太陽エネルギーが不足すると生産量は減りますが、根室地域では、夏期の昼間の時間が長く、太陽エネルギーの不足による減少は考えられません。

もう一つは糖類を生産する組織である葉緑素の不足です。葉緑素はマグネシウムをはじめリン、鉄などから構成されており、これらの栄養分が不足した時に葉緑素含量が少なくなり(葉の色は黄緑色になる)糖類の生産量は減ってきます。

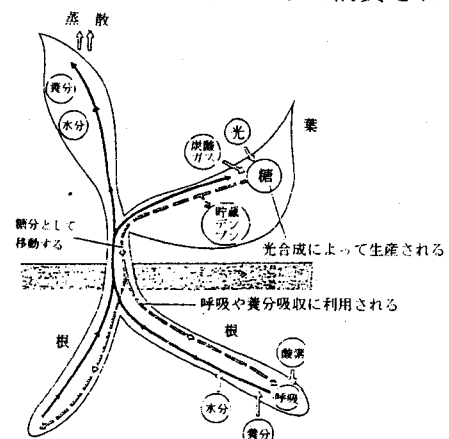


図7. 光合成・呼吸作用・養分吸収の相互関係

6 呼吸作用による糖類の消費とエネルギーの発生

生命を維持し生長するためには必ずエネルギーが必要になります。そのエネルギーは呼吸作用によって生じます。呼吸作用とは、牧草体内の糖類を燃焼(酸化)しエネルギーを生産し、体外に炭酸ガスと水とを排出する現象をいいます。

呼吸作用は昼夜を問わず一日中行なわれますが、牧草の生育が旺盛な時には、呼吸作用はもっとも活発になってきます。

また、呼吸作用は温度と酸素の濃度の違いによっても大きな影響を受けます。気温が高くなると呼吸作用は活発になります。これは、温度が高くなれば生理反応が活発になるためで呼吸作用もこの反応に合わせて活発になってくるからです(図8)。

地上では酸素濃度が問題になることはありませんが、大きく影響するのは地下部の根の呼吸作用で

す。

土の中は酸素不足と炭酸ガス過剰の状態になりやすく、根の呼吸が阻害されるため、地上部の茎葉が大気中で正常な呼吸をしていますが、肥料分や水の吸収が減退し、結果的には牧草全体の生長が衰えてきます。

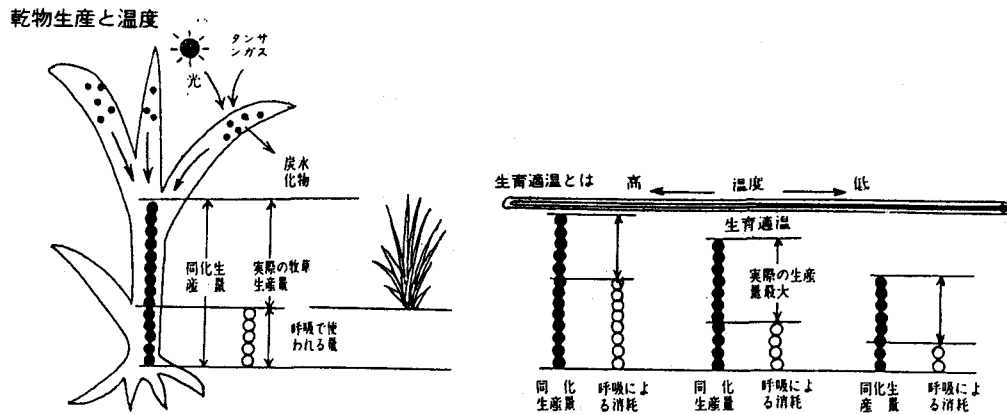


図8. 牧草生育と温度の関係

7 牧草のおいしさを左右する物質

1) 糖類

牧草中の糖類含量の多少は牛の好みに大きく影響するようです。糖類含量が高いほど牛は好んで食べる傾向にあります。

糖類が作られる過程は前述したように葉緑体組織でおこなわれる光合成によって作られます。しかし、その糖類は牧草体内の生理反応にエネルギーとしても消費されます。

牧草に糖類を多く蓄積させるには、できるだけ光合成を活発にさせるか又は、できるだけ糖類の消費量を少なくするかのどちらかになります。人為的な調整はほとんど不可能でしょう。

それならば、どの時期に糖類含量が高くなっているかを知り、その時期の利用方法を考えた方が得策と思います。

2) 季節における変化

春の気温は低くそのため牧草の生長のスピードは早くありません。しかし、日照時間が長くなっていくため光合成による糖類の同化量は増えてきます。

反面、気温が低いため、呼吸による消費量は大きくありません。その上、生育にともなうエネルギーの消費も小さいため牧草に糖類の蓄積量が増えてきます。

夏の太陽エネルギーは春より強くなりますが、気温も高くなってきます。生長のスピードも当然早くなってきますから、生長のために多量のエネルギーが消費され、かつ、気温上昇による呼吸量（30℃くらいまでは、気温上昇とともに呼吸量が増える）が増えてきます。そのため夏の草は生育量は旺盛ですが、牧草の糖類の蓄積量は全体的には少なくなってきます。

秋になると日照時間はだんだん短くなってきますし、気温も低くなってきます。しかも、2番草の葉は直立のものが少なく、太陽エネルギーの受光態勢は弱くなってきます。これらの条件からこの時期の牧草の糖類蓄積量は春の牧草より少ないのですが、夏の牧草よりは多くなります。

3) 日中における糖類変化

呼吸作用は昼も夜も行なわれていますが、光合成は太陽光線のある日中しか行なわれていません。日中に生産された多くの糖類は夜間の呼吸作用で消費されてしまいます。そのため、午前中は糖類含有率は低く、午後からその含有率が高くなるのが普通です。呼吸作用は気温が高くなると活発になりますから、夜間の気温が高い時はその含有率の低下はますます大きくなります。(図9)

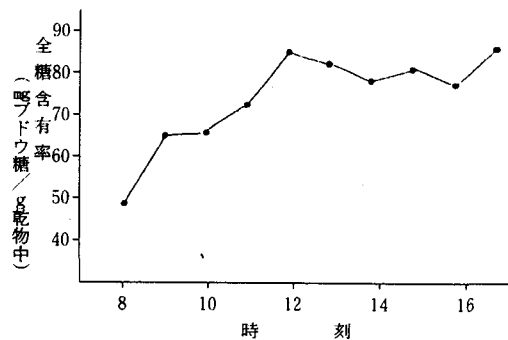


図9. イネ科牧草中における全糖含有率の日変化

日中の気温が高くなるとある程度までは光合成の糖類の生産量も多くなりますが、それ以上に呼吸作用による消費が多くなるため、全体的には糖類含有量は少なくなります。

4) 植物体の部位による変化

光合成による糖類の生産は若い葉の方が活発に行なわれます。そして糖類の消費は細胞分裂や物質の合成・貯蔵などの生理反応の時に多く消費されます。そして糖類は消費が盛んな組織にどんどん移動していきます。そのため、その部位では糖類含量は高くなります。植物全体では生長している若い茎葉に糖類含量が高くなってきます。

8 硝酸態窒素の吸収

肥料や堆肥を多く投入している草地の色は濃い緑色を呈してきます。これらの牧草は確実に硝酸態窒素の濃度が高くなっています。硝酸態窒素の濃度の高い牧草は乳牛にとっては不快な味がするようで摂食量を著しく落としてしまいます。

前述のように、栄養分のほとんどは水にイオンという形で溶けて吸収されます。蛋白源の窒素は硝酸態やアンモニア態のイオンとなって水に溶けています。

栄養分の吸収はその物質によって吸収スピードが違いますが、ちっ素のイオンは積極的に吸収が行なわれるイオンなので、ちっ素養分が土壌中に多いと牧草は必要以上の量を吸収するようになります。

通常量であれば、それらのちっ素イオンはすぐにタンパク質に合成されることとなりますが、過剰に吸収されるとそれは硝酸態イオンという形で牧草に存在しています。ある濃度以上の牧草を牛が食べると牛の代謝活動に影響するようになってきます。

硝酸態窒素が牧草に過剰に蓄積されるには、いろいろな条件によって異なってきます。マメ科牧草よりイネ科牧草に高く蓄積されます。また、生育の初期に含量は高くなりますし、部位では葉よりも茎に多いようです。

また、日照時間が短いと硝酸の分解が進まず、結果的には硝酸イオンが蓄積されたようになります。いろいろな場面で硝酸態窒素の含量は違ってきますが、直接的に関係するのは何と云ってもちっ素肥料の施用量です。

9 細胞膜の肥厚と繊維物質の蓄積

植物の柔らかさや堅さに大きく影響するものに細胞膜を構成する物質があります。セルロースとカリグニンとか言われているものです。

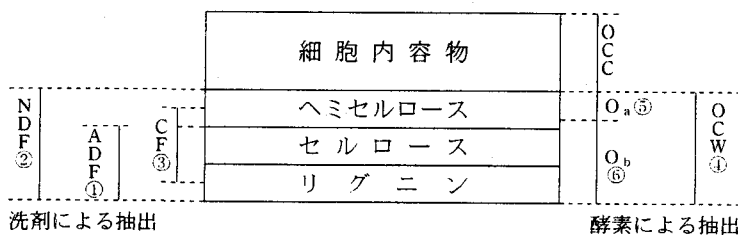
細胞の分裂したばかりのものには細胞膜はほんのわずかしかなかったりませんが、時間が経つとともに細胞膜にセルロースやリグニンが蓄積され、細胞膜が肥厚してきます。どのような過程で蓄積されるのかは、ほとんど判っていませんが、古い茎葉ほどその蓄積が多くそれが牛の好みに影響しているようです。

1) 組織の柔らかさや堅さ

細胞は細胞壁と細胞内容物の二つに大きく分けることができ、柔らかさや堅さに大きく影響するのは細胞壁という物質です。細胞壁は繊維よりできています。繊維には消化不能のリグニンと消化速度の遅いセルロース、消化速度の早いヘミセルロースがあります。

細胞内容物にはペクチン、蛋白、デンプン、有機物から構成されています。

2) 繊維は分析する方法の違いにより分画の表現方法が違う。



(注) 分析機関により繊維の抽出方法が異なっているのが現状ですが、繊維分析値を駆使し栄養設計を行なうことにより、まだまだ高い産乳が期待できます。

図10. 繊維の成分

- ① ADFは酸性洗剤を用いて分析します。消化されないリグニンを含み、分析値の高いほどエネルギー価(TDN)が下がります。
- ② NDFは中性洗剤を使って分析し全ての繊維を含みます。この数字はガサと嗜好性を表します。数値が高い程ガサばり、味を落とします。乳牛の産乳状態により丁度よいNDFは違ってきます。NDFが多くなるとルーメン内における滞留が長くなり乾物摂取量は低下します。
- ③ CF(粗繊維)は酸にもアルカリにも溶解しない繊維の分画でセルロースの全部とヘミセルロースとリグニンの一部を含み、可消化部分と不消化部分をはっきり区別できない欠点があります。
- ④ OCWはNDFとほぼ同じものです。早刈り牧草はNDFが低く乾物摂取量を最大化するために働きます。
- ⑤ O_aは高消化性繊維といえます(消化の早い繊維)。
- ⑥ O_bは低消化性繊維といえます(消化の遅い繊維)。

3) 根室地域では、春先から低温状態でゆっくりと生長しながら細胞内容物が充実した1番草を高品質のまま収穫・貯蔵し給与することが高い産乳量を確保するために重要なカギになります。

施肥

～施肥技術は味に大きな差をつけます～

