

反芻動物における消化と吸収

1. 反芻動物の消化器の特徴

1) 口腔:

(1) 歯: 上顎では切歯と犬歯、下顎では犬歯を欠く⇒牧草を下切歯と舌で挟んで引きちぎり、臼歯で磨り潰す

(2) 唾液: 常に多量分泌される(牛: 約 100 リットル/日、メノ羊: 約 10 リットル/日、 α -アミラーゼを含まない)

作用: ①咀嚼や嚥下を容易にし、食塊を湿潤する

②第一胃内水分含量を保持

③唾液中の(A. _____)が第一胃内の有機酸を中和し、微生物増殖に適する環境へ

④多量の分泌量によって胃内容物の代謝回転を促進(リサイクル窒素として尿素を含む)

2) 胃: 第一胃から第四胃まで4つの「胃囊*」から成る(図1参照) *囊とは「ふくろ」のこと

(1) 第一胃(ルーメン)と第二胃(蜂巢胃):

①第一胃は4つの胃の中で最も大きく、その容積は全消化管の50%以上(複胃の80%)を占める

②第一胃と第二胃は反芻と関係しており、両者間に機能的な差異はないので、あわせて(B. _____)という

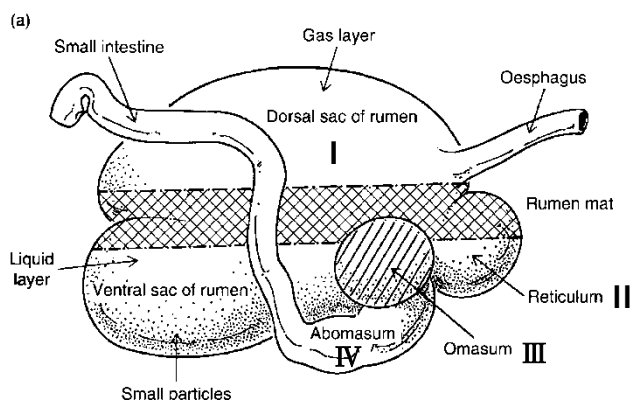
③反芻胃内には細菌やプロトゾアが多数生息する

④反芻胃の形態と機能は、食性によって異なる(図2, 3)

(2) 第三胃: 反芻胃からの内容物の移動調節、水分、VFAの吸収

(3) 第四胃: (C. _____)分泌。単胃動物の胃に相当

3) 腸: 十二指腸より下部の消化管における消化は単胃動物の消化と大差ない。



Rumen: 第一胃(ルーメン)

Reticulum: 第二胃

Omasum: 第三胃

Abomasum: 第四胃

図1. 反芻動物の胃(複胃)



第一胃内壁の乳頭突起(rumen papillae)



第二胃の蜂の巣様の内壁

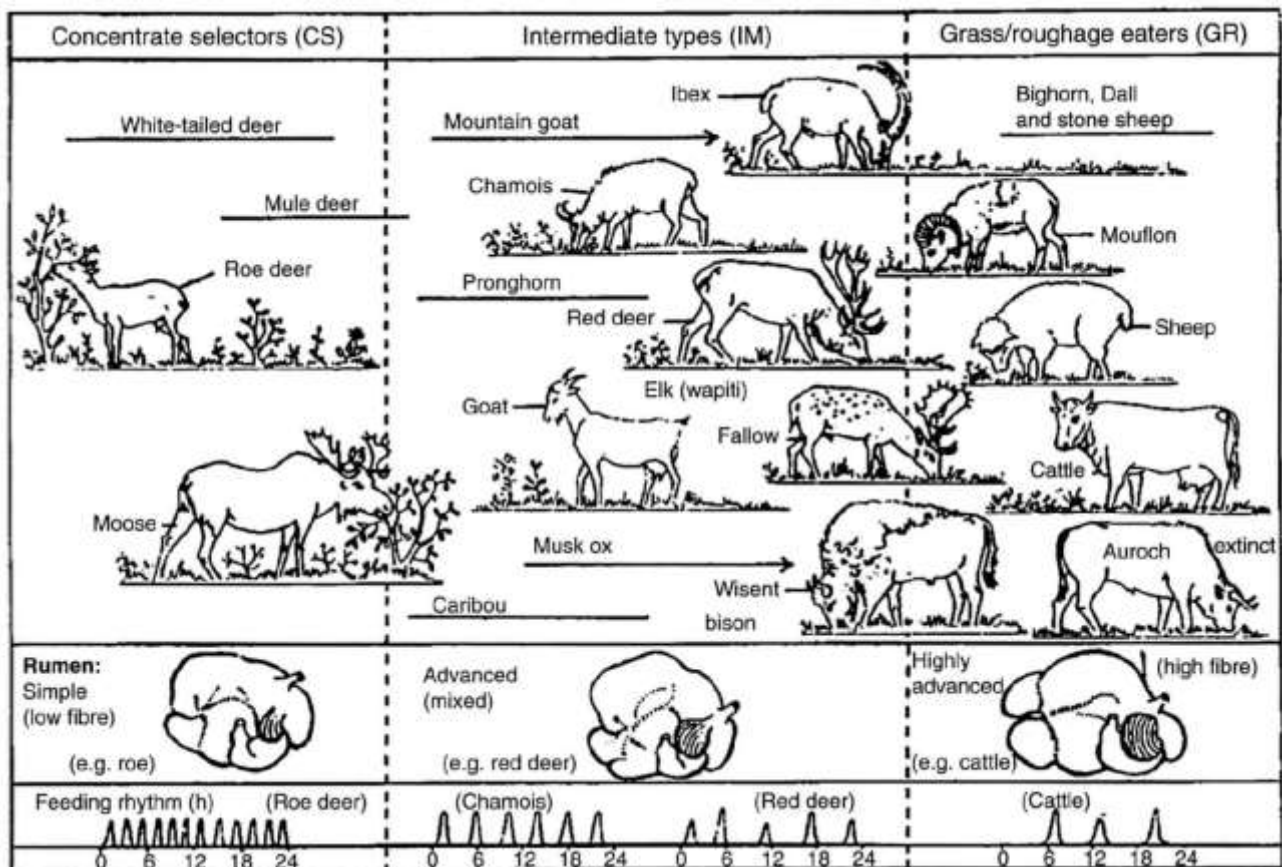
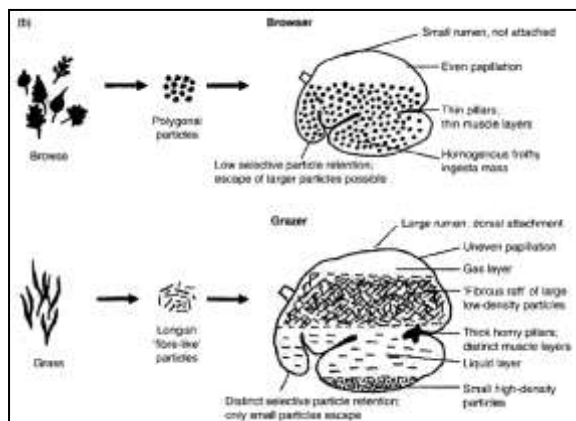
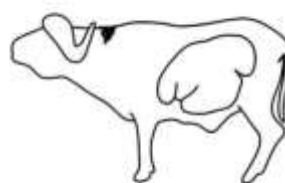


図2. ヨーロッパと北アメリカに棲む反芻動物の食性および形態生理による分類



Grazer or roughage eater



(Buffalo)

Browser or concentrate selector



(Roe deer)

Rumen size
Rumen pillars 胃柱⇒筋収縮
Rumen papillae 乳頭突起
Reticulum
Omasum
Parotid salivary glands 耳下腺
Food retention time
Fermentation rate
Cellulolytic bacteria
Protozoa (diversity)

+
+
-
-
+
-
+
-
+
+

-
-
+
+
-
+
-
+
-

図3. Roughage eaterとconcentrate eaterの胃の形態と機能の違い
+, 比較的大または発達; -, 比較的小または未発達

2. 反芻胃における栄養素の消化(代謝)と吸収

1) 炭水化物(糖質)の消化

反芻動物が摂取する草類には糖質として、繊維成分が多く含まれている。反芻家畜そのものは繊維成分を分解する酵素を分泌しない。反芻動物は出生後、母獣などとの接触により多種類の微生物がルーメン内に侵入する(図4)。子ウシでは、ルーメン内の細菌数は出生後に急激に増加する(図5)。乾草をかなり摂取できる3ヶ月齢では成牛とほぼ同じレベルになる。ルーメン内に棲息する微生物(細菌、プロトゾア、真菌類)には、セルロースやヘミセルロースを分解する酵素(β -グルカナーゼ、 β -キシラナーゼなど)を分泌するものが存在し、これらが摂取飼料の繊維分解を担う。

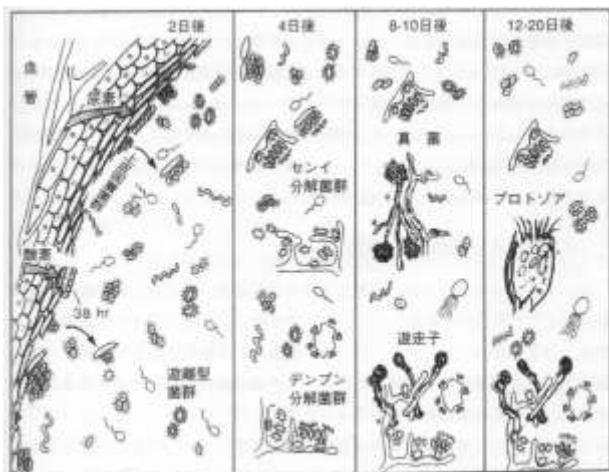


図4. ルーメン微生物の出現経過と存在様式

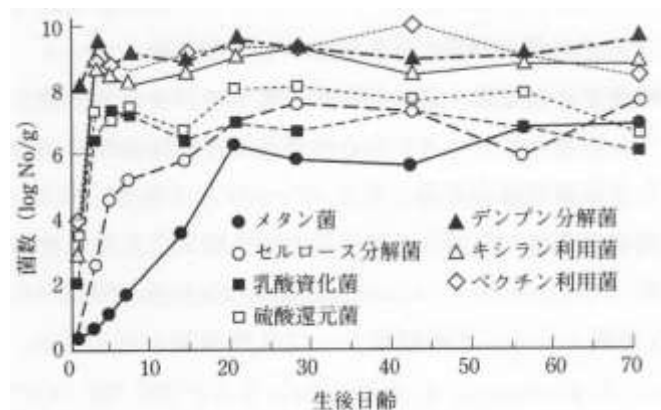


図5. 子ウシのルーメン生菌数の生後日齢に伴う変化

繊維分解菌は飼料片に付着し、植物組織との間の微小空間に繊維分解酵素複合体(セルロソーム)を分泌して効率的に繊維分解を行う(図6, 7)。植物体のリグニン(木質部)は繊維分解菌によってもほとんど分解されない。

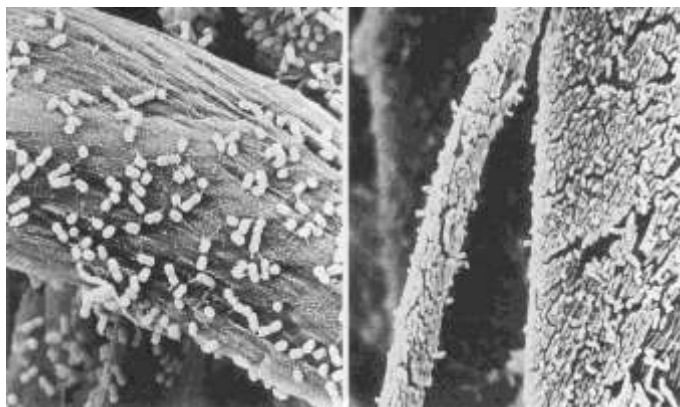


図6. 反芻動物のルーメン内における細菌によるセルロース分解

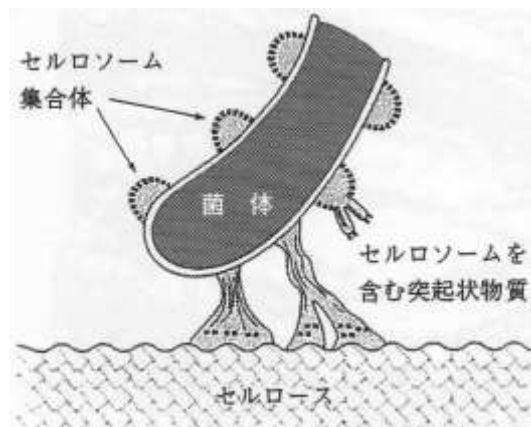


図7. 繊維質分解酵素複合体(セルロソーム)の菌体表面における局在性

ウシの反芻行動(一度食べたものを口腔に戻し、噛み直して、また飲み込むこと)には、草を可能な限り細断・磨砕して切断面を増やし、微生物による消化を高める効果がある。微生物は、繊維分解酵素の作用によって生じたグルコースを体内に取り入れてエネルギー源にすると同時に、(①_____)、(②_____)、(③_____)などの揮発性脂肪酸(VFA)を作り出し体外に放出する(図8)。ウシはこれらの短鎖脂肪酸をルーメン壁から吸収してエネルギー源(利用するエネルギー総量の70%以上)として利用する。

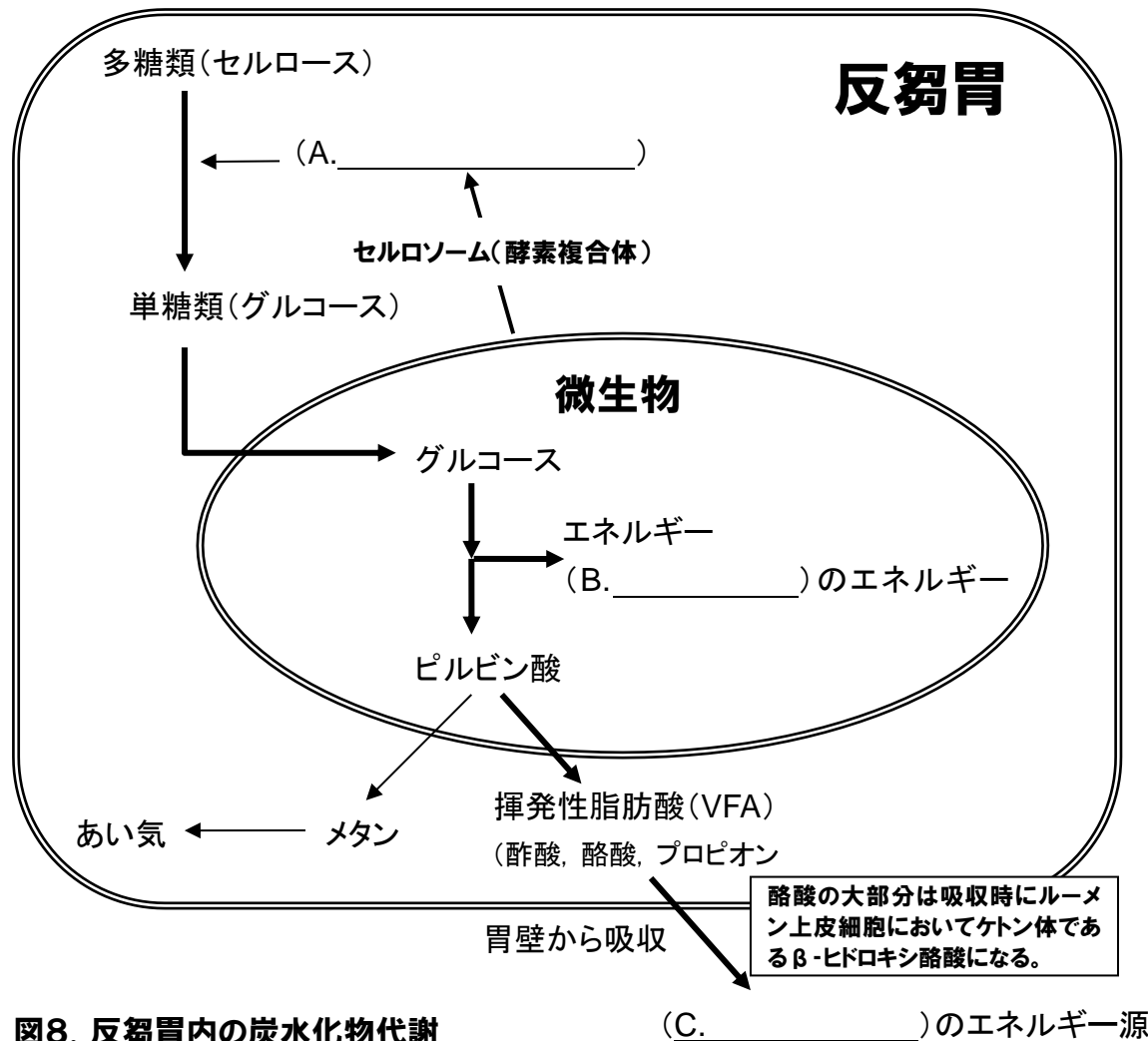


図8. 反芻胃内の炭水化物代謝

反芻動物では、摂取された可消化炭水化物の大部分が揮発性脂肪酸となるので、腸管から吸収される(④_____)はきわめて限定される。反芻動物では揮発性脂肪酸以外に(④)を獲得する主要な手段がないので、主に肝臓において持続的に(⑤_____)が行なわれている。

粗飼料を主体に給与したときのルーメン発酵は酢酸優勢の発酵を示す。穀類を主体とした発酵性の高い濃厚飼料の多給は、ルーメン内 pH を低下させて(⑥_____)を引き起こす。pH6 以下が長時間持続するとプロトゾアの数が増加し、細菌の増殖を促してさらなる pH の低下をもたらす。しかし、プロトゾアと共生関係にあるメタン細菌は減少し、ルーメン内の酸化還元バランスが影響を受けるため、酢酸優勢からプロピオン酸産生へとルーメン発酵パターンがシフトする。プロピオン酸の増加は、乳牛では低乳脂を引き起こすと共に、セルロース分解菌の増殖を抑制することで繊維消化率を低下させ、それが飼料摂取量および乳生産の減少へとつながる。

問題1. 単胃動物と反芻動物による炭水化物の消化・吸収において大きく異なる点を説明しなさい。

2) 窒素化合物の消化(図9参照)

タンパク質は、細菌やプロトゾアのタンパク質分解酵素によってアミノ酸に分解される。アミノ酸や非タンパク態窒素(NPN)は速やかに分解され(⑦ _____)となる。これらのアミノ酸の一部と(⑦)は、微生物の増殖に利用される。微生物態タンパク質の40～100%は(⑦)に由来するので、飼料のタンパク質のアミノ酸組成に関わりなく、別のアミノ酸組成をもつタンパク質が合成される。また、NPN からタンパク質を生合成できる。

微生物体タンパク質のアミノ酸組成は、植物由来のタンパク質より宿主動物が必要とするアミノ酸の組成に近い。やがて、微生物は、反芻胃から第三胃を経て第四胃に送られ、ここで胃酸の影響を受け、さらに小腸に送られ、小腸内に分泌されたタンパク質分解酵素によってアミノ酸まで分解され吸収される。

微生物に利用されなかった(⑦)は、第一胃上皮から吸収され、肝臓で(⑧ _____)となる。血中の(⑧)の多くは腎臓から尿中へ排泄されるが、一部は唾液や第一胃壁から第一胃に戻される。高泌乳牛では、第一胃で生合成される微生物タンパク質では要求量を充足できないため非分解性タンパク質への依存度が高い。

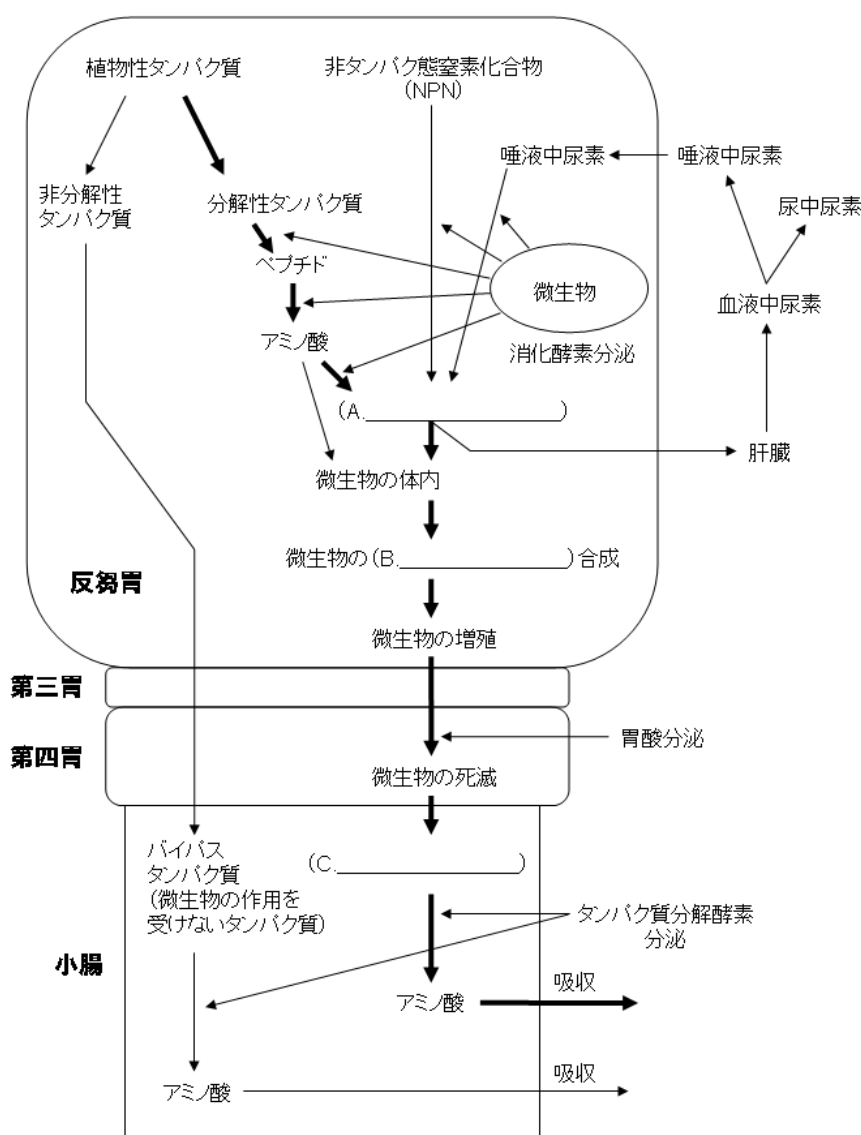


図9. 反芻胃から小腸に至る窒素化合物(タンパク質)の消化

問題2. 反芻動物が非タンパク態窒素化合物(アミノ酸を含まない)から必須アミノ酸を合成するしくみを説明しなさい。

3) 脂質の消化(図 10 参照)

一般にウシの飼料には脂質が 2～5%含まれており、これは構造脂質と貯蔵脂質からなっている。構造脂質は葉の表面のロウや細胞膜の糖脂質やリン脂質として存在する。貯蔵脂質は主に種実に含まれ、この多くは中性脂肪である。脂質の大部分は反芻胃微生物により分解されるが、ロウだけは分解されない。通常のウシの給与飼料では、脂質の 43%は脂肪酸であり、オレイン酸、リノール酸、リノレン酸などの(⑨_____)が多く含まれる。飼料中の脂質は反芻胃微生物の(⑩_____)によって加水分解され、遊離された(⑨)は水素添加される。水素添加は反芻胃微生物にとって有害な代謝性水素の除去に寄与し、嫌気的な環境で生息している反芻胃微生物の増殖を高める。(⑨)が多いと、疎水性の皮膜で微生物を覆い、また繊維質などの基質に微生物が付着できなくなるので、ルーメン発酵は阻害される。加水分解では長鎖脂肪酸とグリセロールやガラクトースが生成し、長鎖脂肪酸は揮発性脂肪酸や二酸化炭素への異化などはほとんどなく、ルーメン粘膜からは吸収されずに(⑪_____)から吸収される。グリセロールからは(⑫_____)や(⑬_____)が生成される。分解された脂肪成分の一部は微生物に取り込まれ、細胞膜や体成分の構成材となる。細菌の脂質は飼料中の脂質を取り込んだものと合成したものからなり、その割合は飼料の脂肪割合と細菌の種類により異なる。プロトゾアもグルコースを細胞内に取り込み脂肪酸合成を行っている。ルーメン微生物が合成する脂質は、乳牛では1日に 140gにもなるが、その半分以上はプロトゾア由来とされている。水素添加では各種の脂肪酸の異性体も生じるが、これらはミルクの重要な香気成分になる。泌乳初期や暑熱期には乳牛のエネルギー摂取量の不足を補うために(⑭_____)が利用されることがある。これには脂肪酸のカルシウム塩がよく用いられるが、ルーメン発酵には影響を与えないで乳量や乳脂率を高めることができる。牧草主体の乳牛では、乾草やサイレージ給与に比べて、乳中の共役リノール酸(CLA)が増加する。これは、牧草にリノール酸やリノレン酸が多く含まれているからである。

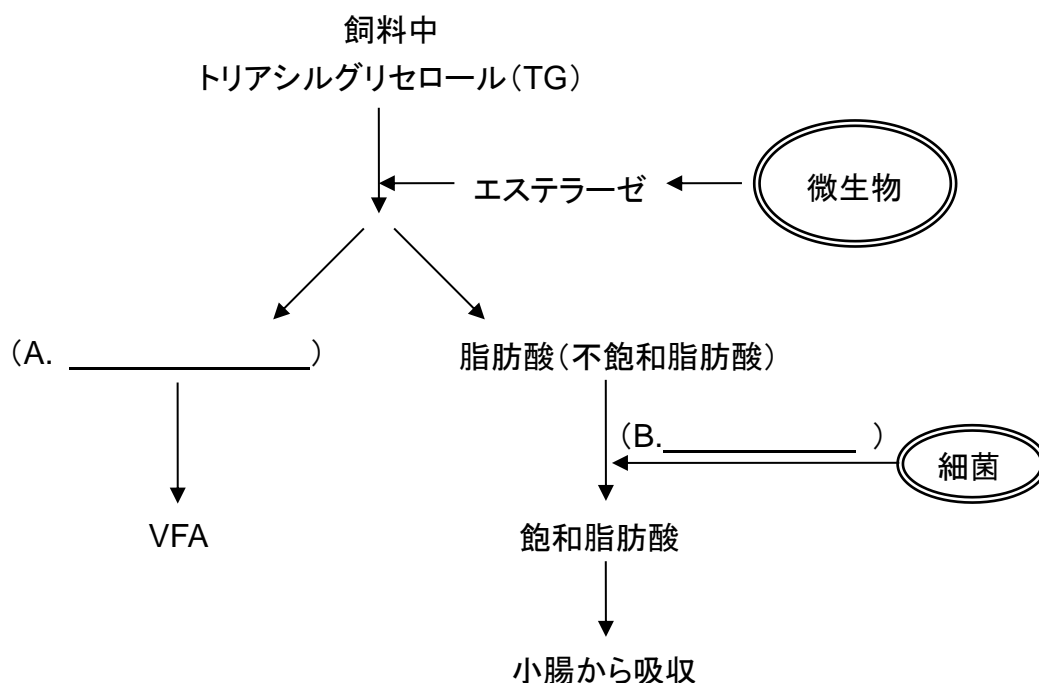


図10. 反芻胃における脂質の消化

問題3. ルーメン内における長鎖脂肪酸の水素添加の意義について説明しなさい。