

単胃動物における消化と吸収

1. 消化と吸収

表1. 摂食戦略および消化管生理による分類

Digestive tract physiology	Feeding strategy	Examples
Autoenzymatic digesters	A. Simple non-ruminants (mammalian species)	
Auto- 自己	i. Carnivores	Cats, mink
	ii. Omnivores	Pigs, humans
	iii. Herbivores	Giant panda
	iv. Granivores (seed and nut eaters)	Harvest mice
	v. Frugivores	Fruit-eating bats
	vi. Insectivores	Insectivorous bats
	B. Simple non-ruminants (avian species)	
	i. Carnivores (raptors)	Hawks, owls
	ii. Omnivores	Chickens
	iii. Herbivores	Geese, emu
	iv. Granivores (seed-eating birds)	Sparrow
	v. Frugivores (fruit-eating birds)	Toucans
	vi. Insectivores (insect-eating birds)	Swallow
Alloenzymatic digesters	A. Foregut fermenters	
Allo- 他の	i. Ruminants	
	a. Bulk and roughage eaters (grazers)	
	Fresh grass grazers	Cattle, buffalo
	Roughage grazers	Hartebeest, topi
	Dry region grazers	Camel, oryx
	b. Concentrate selectors (browsers)	Deer, giraffe
	c. Intermediate (mixed feeders)	Sheep, goats
	ii. Non-ruminants	
	a. Carnivores	Probably none
	b. Omnivores	Peccary
	c. Herbivores	Hyrax, hippopotamus, kangaroo
	B. Hindgut fermenters	
	i. Caecal fermenters	Rabbit, guinea pig, ostrich
	ii. Colon fermenters	Horse, donkey, zebra
	iii. Caeco-colon fermenters	Elephant

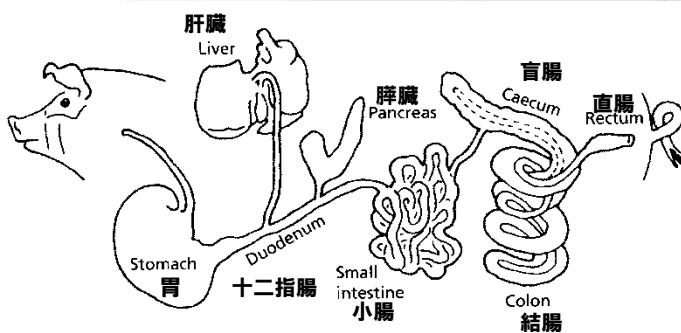


図1. ブタの消化管

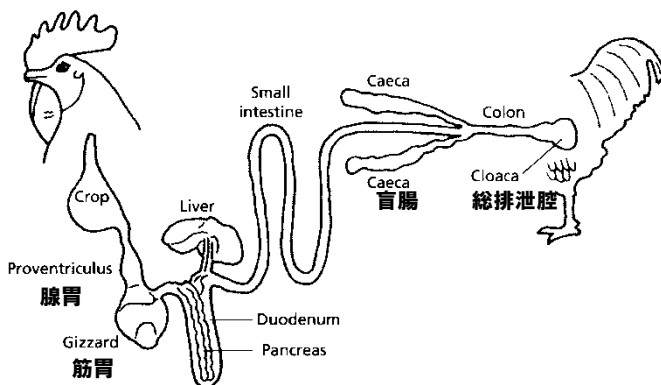


図2. ニワトリの消化管

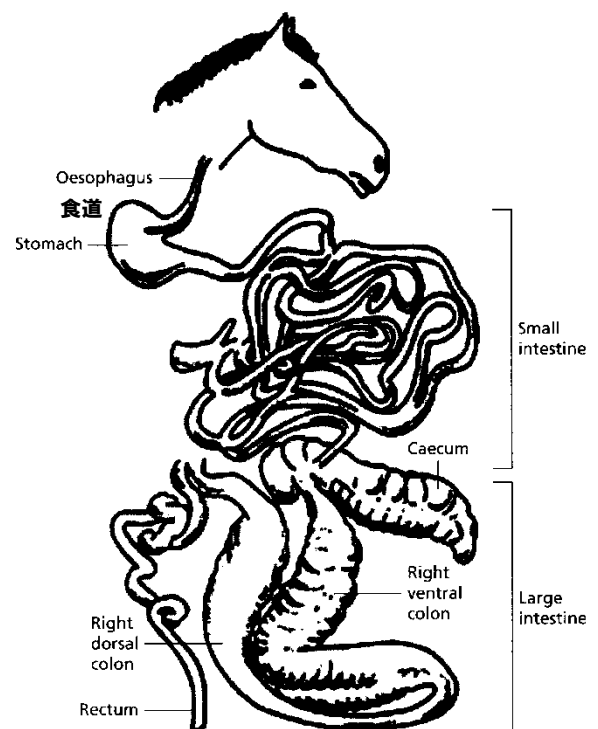


図3. ウマの消化管

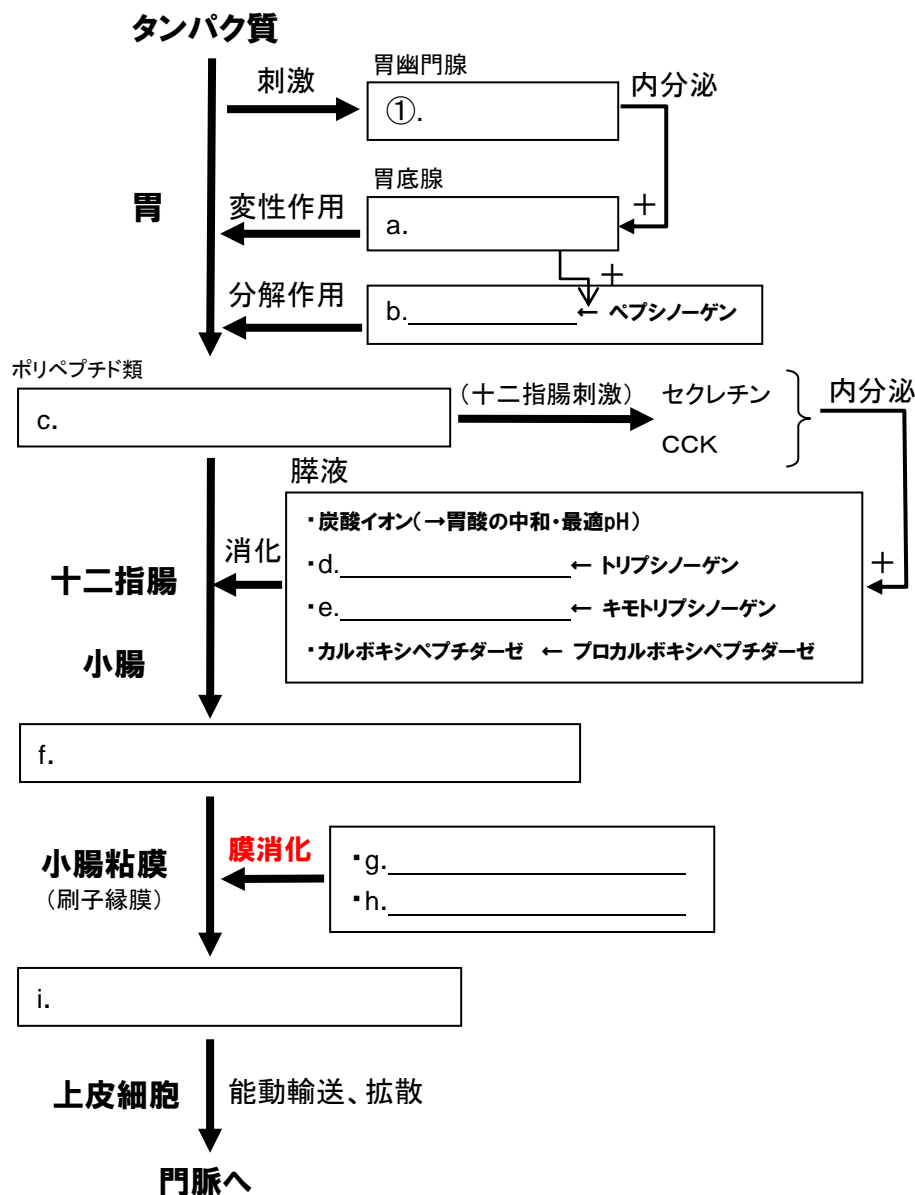
消化の目的 ⇒ _____

消化の分類

- ① _____
- ② _____
- ③ _____

1) タンパク質の消化

タンパク質の機能は、そのアミノ酸配列によって決定される。つまり、アミノ酸配列は情報を担っている。しかし、他の生物のタンパク質情報は、捕食者にとっては必要がないばかりか、有害ですらある。なぜなら、外部から入ってくる情報はノイズとして、自らの情報系に不必要な影響をもたらすからである。したがって、消化とは、食べ物を吸収しやすくするため細かくする、という機械的な作用よりも、もとの生物がもっていたタンパク質の情報をいったん解体して、自分の体内で自分に適合した形で情報を再構成するための出発点を作る、という重要な意味をもっているわけである。これが消化の生物学的意義である。 「もう牛を食べても安心か」 福岡伸一



家禽(ニワトリとシチメンチョウ)の胃は、**腺胃**と**筋胃**から成る。

腺胃では、(a)と(b)が分泌されるが、**滞留時間**が短く消化はほとんど進行しない。

筋胃には、食下した砂・小石が多量に存在するので砂嚢とも呼ばれる。強い収縮弛緩作用によって砂・小石と共に攪拌磨砕され、**腺胃**から分泌された(a)と(b)とよく混合されてタンパク質の消化が進行するが、**滞留時間**は短く、その程度は低い。

草類に含まれるタンパク質は量が少なく、アミノ酸組成が動物の要求する組成と異なる。そこで、ウサギのような小型の草食動物は、タンパク質要求量を満たすために微生物態タンパク質を有効利用する(図5)。微生物増殖の場としては、ほぼ例外なく盲腸が利用される(図4)。盲腸で増殖した微生物体は、(② _____)として肛門から排泄され、肛門から直接摂取される。

ウサギの結腸には、消化管内容物の固形繊維質と微生物や可溶性成分を含む液状部分を分離し、固形繊維質を速やかに排泄する一方、液状部分を盲腸内に逆送して、長時間滞留させる働きがある(図6)。

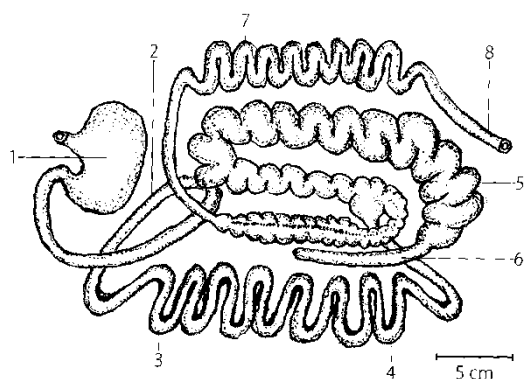


図4. ウサギの消化管

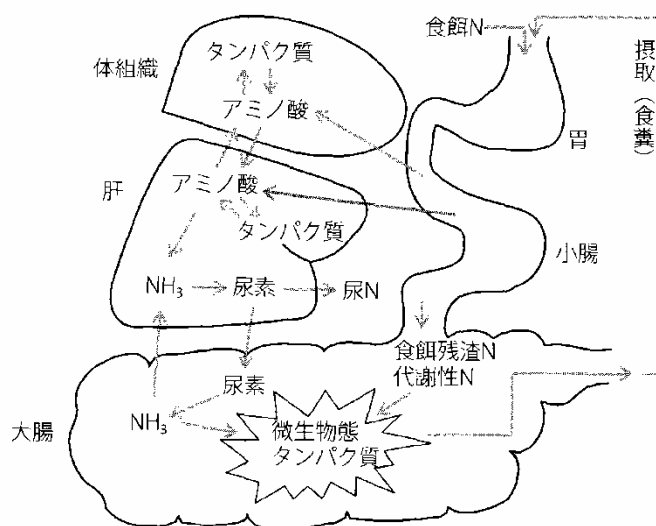


図5. 後腸発酵動物における大腸微生物が関与する窒素代謝と体内窒素の流動(教科書 P-165)

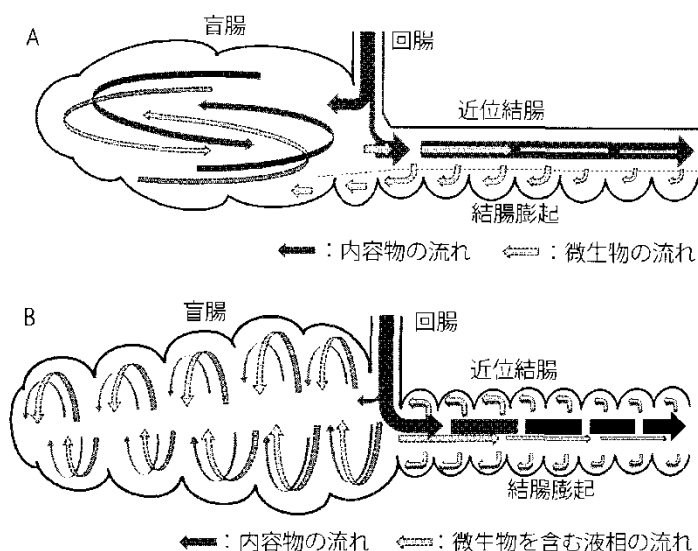
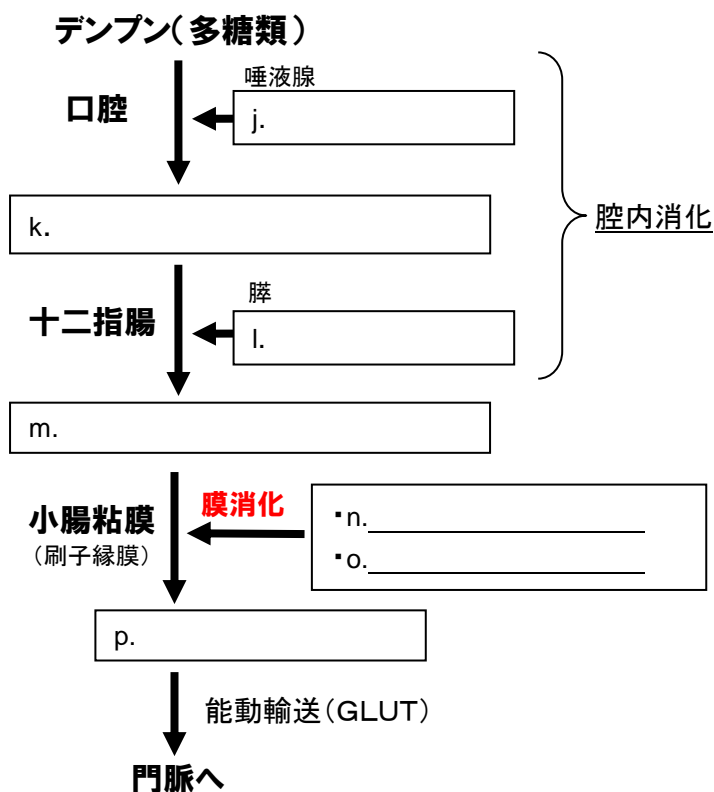


図6. 草食動物の大腸内容物移行モデル(教科書 P-166)

食糞について

憩室が備わった大きな盲腸を持つ動物の多くは盲腸糞食を行なう。盲腸糞は、通常の糞と比べてタンパク質が多く、繊維含量が少なく、水分含量が多い。もっとも効果的な盲腸糞食を行なう動物として、ウサギと有袋類のリングテイルポッサムがいる。食糞の意義は微生物態タンパク質、微生物が合成したビタミンB群とビタミンKを獲得できることである。

2)炭水化物(糖質)の消化



家禽には、嘴があるが、唇と歯がない。咀嚼しないので、口腔内通過速度が早い。摂取された飼料は物理的な作用を受けず、唾液腺からのアミラーゼの作用を受けず、**嗉囊**(そのう)に運ばれる。嗉囊は食道の一部が拡張したもので分泌腺はない。

嗉囊の役割

- (1) 飼料の一時貯留
- (2) 飼料の膨化・軟化
- (3) 内容物の胃への移行調節

ウマの胃は小さく、一度に多量の飼料を摂取できない。胃の中に入ってから濃縮するようなデンプン質の多い飼料は、ウマの胃に大きな負担となる。よって、与える飼料中の繊維含量が大切である。胃液は、蛋白質分解酵素としてペプシン、カテプシンおよびキモシンを含み、胃粘膜にはわずかにリパーゼも含まれる。胃液の主要な作用は蛋白質の分解である。胃液の分泌は持続的であるが、飼料摂取量の影響を受ける。ウマの胃では、唾液中にアミラーゼを欠いているにもかかわらず糖分解が行なわれていて、バクテリアと飼料中に含まれている酵素の働きによるというのが通説である。易消化性の糖質を食べた後の胃では乳酸の生成が見られることから、糖類の一部は微生物の分解によって乳酸に転換され、エネルギー源になると考えられる。

ウマは、盲腸だけでなく結腸も容量が大きい(図3、図7)。そこでは微生物発酵が盛んに行なわれる。胃や小腸での消化を免れた非構造成分や繊維成分は大腸で微生物消化を受け、酢酸、プロピオン酸などの短鎖脂肪酸(VFA)が生成する(図8)。大腸で生成したVFAのエネルギーは、基礎代謝エネルギー量の70%以上、可消化エネルギー摂取量の30%程度に達するため、VFAはウマにとって重要なエネルギー源である。

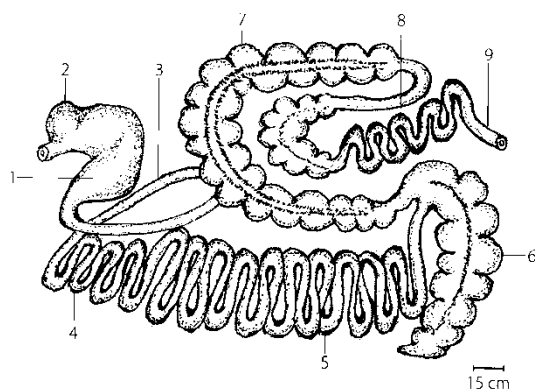


図7. ウマの消化管

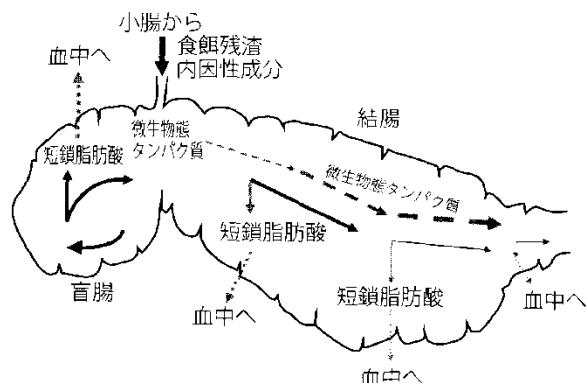


図8. ウマの大腸内容物の動きと微生物消化(教科書 P-156)

3)脂質の消化

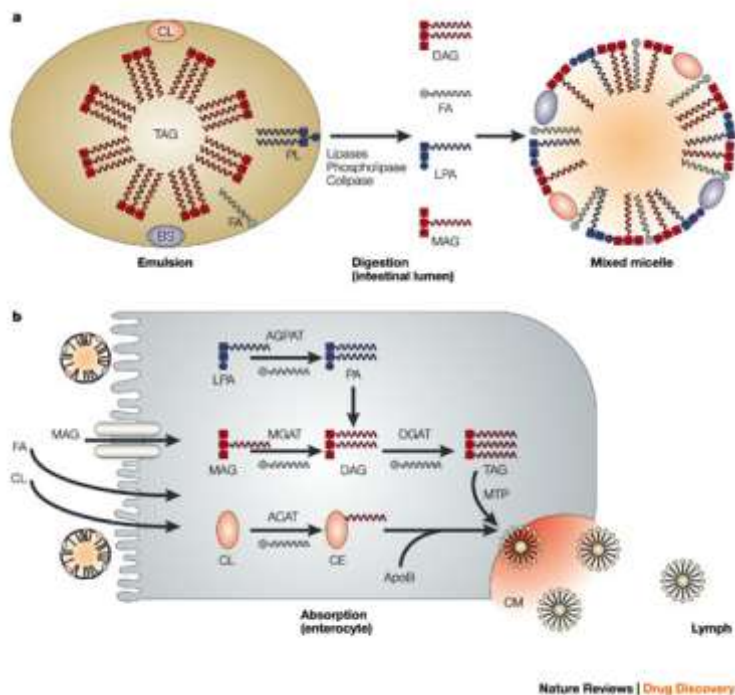
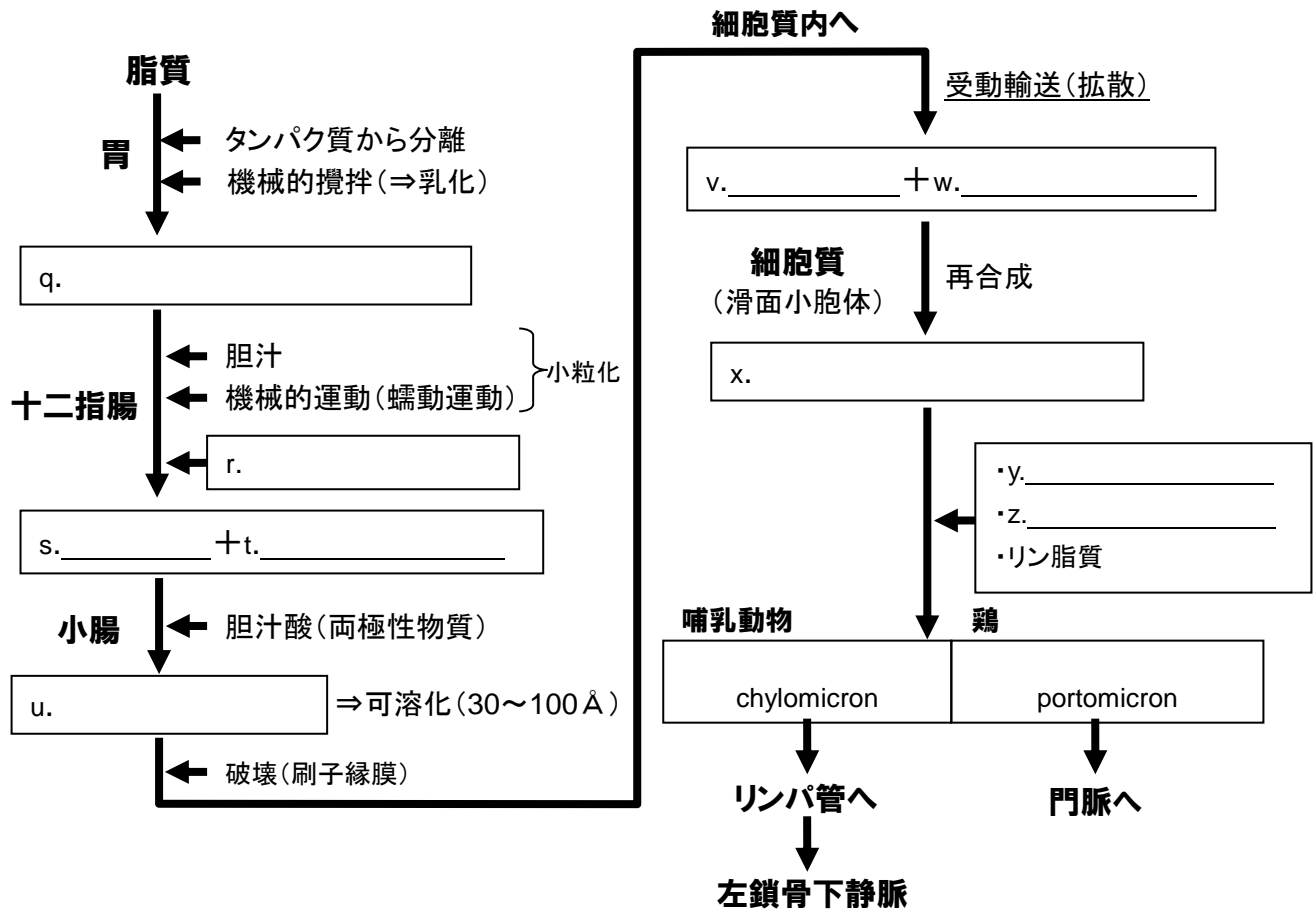


図9. 脂質の消化吸収過程

Dietary lipid digestion begins in the stomach, where lipids are subjected to partial digestion by gastric lipase and form large fat globules with hydrophobic triacylglycerol (TAG) cores surrounded by polar molecules, including phospholipids (PLs), cholesterol (CL), fatty acids (FAs) and ionized proteins. The digestive processes are completed in the intestinal lumen, where large emulsions of fat globules are mixed with bile salts (BS) and pancreatic juice containing lipid digestive enzymes to form an aqueous suspension of small fatty droplets to maximize exposure to the pancreatic lipases for lipid hydrolysis. Monoacylglycerol (MAG), diacylglycerol (DAG) and free FAs that are released by lipid hydrolysis join BS, CL, lysophosphatidic acid (LPA) and fat-soluble vitamins to form mixed micelles that provide a continuous source of digested dietary products for absorption at the brush-border membranes of the enterocytes. **b** | FAs and MAG enter the enterocytes by passive diffusion and are facilitated by transporters, such as intestinal FA-binding protein (IFABP), CD36 and FA-transport protein-4 (FATP4). They are then re-esterified sequentially inside the endoplasmic reticulum by MAG acyltransferase (MGAT) and diacylglycerol acyltransferase (DGAT) to form TAG. Phospholipids from the diet as well as bile — mainly LPA — are acylated by 1-acylglycerol-3-phosphate acyltransferase (AGPAT) to form phosphatidic acid (PA), which is also converted into TAG. Dietary CL is acylated by acyl-CoA:cholesterol acyltransferase (ACAT) to cholesterol esters (CE). Facilitated by microsomal triglyceride transfer protein (MTP), TAG joins CE and apolipoprotein B (ApoB) to form chylomicrons (CM) that enter circulation through the lymph.

2. 吸収

1) 吸収のしくみ

小腸では栄養素の吸収がおもに行なわれ、大腸では(①)の吸収と(②)の形成が主に行なわれている。小腸での栄養素の吸収は、微絨毛膜を通過して、上皮細胞内から毛細血管やリンパ管に移行する機構が働く。この機構には、エネルギー消費量と栄養素に対する特異的輸送体により膜内外の濃度勾配に逆らって吸収を行なう(③)輸送とエネルギー消費を伴わない(④)輸送がある(表2)。また、(④)輸送には(⑤)拡散と(⑥)拡散がある。(⑤)拡散は、高濃度から低濃度へと膜内外の濃度勾配に従って吸収が行なわれる。(⑥)拡散は、細胞膜にある特異的輸送体と細胞外で結合して細胞膜を通過し吸収が行なわれる。小腸で吸収された単糖類とアミノ酸は(⑦)に入り、(⑧)に運ばれる。一方、トリグリセリドは(⑨)の作用で(⑩)と2-モノグリセリドとなり小腸で吸収され、再度、粘膜上皮細胞でトリグリセリドに合成された後、キロミクロンというリポタンパク質となって(⑪)に入るが、短鎖脂肪酸や中鎖脂肪酸は(⑦)に入り、(⑧)に運ばれる。水溶性ビタミンは、小腸で吸収されると(⑦)に入り輸送されるが、脂溶性ビタミンは脂質と同様に(⑪)に入り輸送される。

表2. 能動輸送と受動輸送(拡散)の違い

	能動輸送	受動輸送(拡散)
基質濃度	濃度勾配に逆行	濃度勾配に依存
エネルギー	依存	非依存
担体	依存	非依存
飽和現象	あり	促進拡散では担体に依存
具体例	グルコース ある種のアミノ酸	脂肪酸 フルクトース(促進拡散)

2) 水とミネラルの吸収

水の吸収には(⑫)が関与している。(⑫)の細胞内への移動に伴い静電的引力によって(中性を保つため)Cl⁻が一緒に移動する。その結果、粘膜細胞内NaCl濃度が上昇するので浸透圧を保つために水の吸収が促進すると考えられている。ミネラルは一般に(⑬)性に変えられた後吸収され、2価イオンの吸収は、1価イオンのそれより遅い。炭酸カルシウムやリン酸カルシウムのような不溶性の塩類は、胃液の(⑭)によって可溶化され、吸収可能となるが、(⑮)分泌が十分でなかったり、多量の有機酸などによって小腸内のpHが低下したり、ミネラル相互や他の飼料成分との相互反応で沈殿・不溶化すると、吸収が阻害されることもある。水溶性となったミネラルは陰陽両イオンに解離し、膜内外の濃度勾配などによって吸収される。またカルシウムのように特殊な吸収機構をもつミネラルもある(図10)。

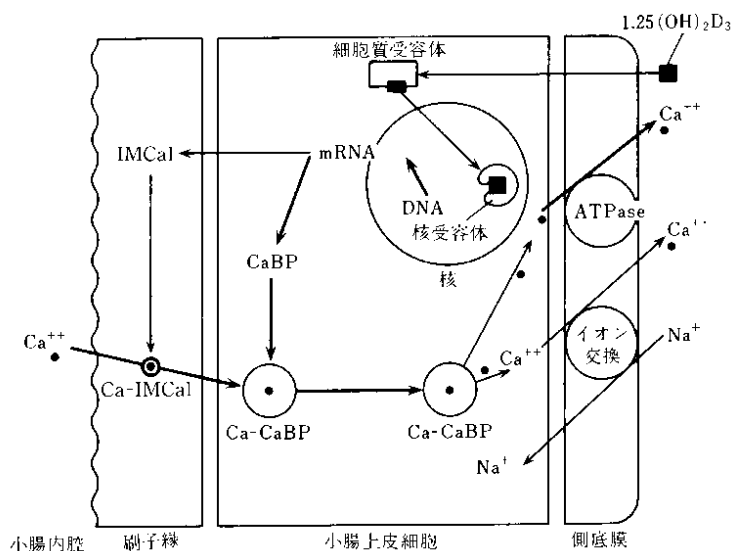


図10. 小腸上皮細胞によるCaの吸収

問題: 小腸上皮細胞刷子縁膜で行なわれる膜消化の生物学的意義を説明しなさい。