

# 家禽营养与饲料

吕于明 主编

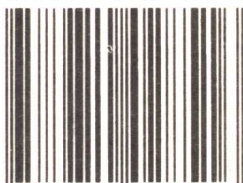
中国农业大学出版社

责任编辑 朱长玉

封面设计 郑川



ISBN 7-81002-851-0



9 787810 028516 >



定价:22.00元

# 家禽营养与饲料

吕于明 主 编

中国农业大学出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

家禽营养与饲料/芮于明主编. —北京: 中国农业大学出版社,  
1997. 6

ISBN 7-81002-851-0

I. 家… II. 芮… III. ①家禽-动物营养②家禽-饲料 IV. S83

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 08858 号

出版 中国农业大学出版社  
发行 新华书店  
经销 新华书店  
印刷 北京丰华印刷厂印刷  
版次 1997 年 6 月第 1 版  
印次 1997 年 6 月第 1 次印刷  
开本 1/32 10.375 印张 257 千字  
规格 850×1168 毫米  
印数 1~3000 册  
定价: 22.00 元

## 前 言

近 20 年来,随着家禽遗传育种工作的进步、优良新品种(系)的出现、营养与饲料科研的深入及生产管理新技术的应用,使得世界以及我国养禽业得到了迅速发展,人类动物食品结构中禽肉及蛋品所占比重正日益加大。根据我国家禽生产,教学及科研工作的需要,在整理自编《家禽营养》教学讲义的基础上,我们编写了这本《家禽营养与饲料》。其中,“脂肪营养”由杨彩霞编写,“营养与免疫”由吴建设编写,“饲料原料与日粮配制”由丁角立编写,其余章节由冯于明编写。本书为了系统深入地论述家禽营养,尽可能地汇集了当今在家禽营养领域所取得的新理论和新技术,譬如消化酶系发育生理、可消化氨基酸及理想蛋白概念、有效能体系、微量元素硒营养与脱碘酶活力及与碘的营养互动、维生素 D<sub>3</sub>的代谢产物与胫骨软骨发育不良、免疫营养学、营养与环境应激、肠道微生态调控、饲用酶制剂(如植酸酶、多糖酶)等等。但由于作者水平有限,时间仓促,难免有疏忽乃至错误之处,敬请读者见谅并指正。

另外,世界上集约化饲养的家禽品种在不断增加,但由于有些品种在我国的普及有限,故在本书中仅以鸡鸭营养为主。根据我国养禽的发展需要,随着家禽科研工作的展开与深入,我们将不断收集整理总结有关其它家禽品种的营养与饲料学知识,再版时进行扩充与修定。

编 者  
1997. 1

# 目 录

第一章 家禽的摄食与消化	( 1 )
一、消化系统解剖学特点	( 1 )
二、营养素的消化与吸收	( 3 )
三、消化道微生物及其营养作用	( 10 )
四、外源益生菌的作用	( 12 )
五、外源酶制剂的研制及应用	( 13 )
第二章 能量代谢及能量需要	( 15 )
一、饲料能量价值的评定	( 16 )
二、能量需要及影响因素	( 19 )
三、有效能 (EE) 体系	( 23 )
第三章 脂肪营养	( 26 )
一、脂类的概念	( 26 )
二、脂肪的消化与吸收	( 29 )
三、脂肪的生物合成	( 32 )
四、脂肪的降解	( 35 )
五、脂肪的变质与防止	( 36 )
六、脂肪的营养作用	( 38 )
七、家禽对脂肪的需要及利用	( 42 )
八、影响脂肪利用的因素	( 45 )
九、饲用脂肪	( 47 )
第四章 蛋白质和氨基酸营养	( 49 )
一、蛋白质的组成和作用	( 49 )
二、蛋白质的消化吸收	( 50 )
三、蛋白质、氨基酸的代谢及利用	( 51 )
四、氨基酸之间以及氨基酸与其它营养素间的互作	( 53 )

五、家禽对蛋白质、氨基酸的需要 .....	( 55 )
六、饲料中蛋白质、氨基酸的品质及评价 .....	( 62 )
七、以可消化氨基酸进行日粮配制 .....	( 71 )
<b>第五章 碳水化合物营养</b> .....	( 72 )
一、碳水化合物及其种类 .....	( 72 )
二、碳水化合物的消化吸收 .....	( 74 )
三、碳水化合物的代谢利用 .....	( 78 )
四、碳水化合物的营养生理作用 .....	( 82 )
<b>第六章 矿物元素营养</b> .....	( 84 )
一、家禽必需的矿物元素与代谢特点 .....	( 84 )
二、钙、磷、镁营养及需要量 .....	( 90 )
三、钠、钾、氯与日粮电解质平衡 .....	( 105 )
四、微量矿物元素营养 .....	( 114 )
<b>第七章 维生素营养</b> .....	( 134 )
一、维生素的代谢作用、缺乏症及中毒症 .....	( 135 )
二、家禽对维生素的需要量与最适供给量 .....	( 161 )
<b>第八章 水</b> .....	( 170 )
一、水的作用 .....	( 170 )
二、饮水量 .....	( 171 )
三、水质 .....	( 172 )
<b>第九章 营养与环境、应激</b> .....	( 174 )
一、温热环境对家禽采食、消化、吸收及代谢的影响 .....	( 176 )
二、温热环境对家禽营养需要的影响 .....	( 178 )
三、应激反应及防治措施 .....	( 183 )
<b>第十章 营养与免疫</b> .....	( 192 )
一、禽类的免疫系统及免疫应答 .....	( 192 )
二、营养免疫学 .....	( 194 )
三、机体免疫功能的评价方法 .....	( 195 )

四、营养对免疫功能的影响 .....	(199)
五、免疫应激对营养需要量的影响 .....	(219)
六、结论 .....	(221)
第十一章 家禽生产中的营养问题.....	(223)
一、阶段饲喂 .....	(223)
二、蛋重 .....	(225)
三、蛋壳质量 .....	(226)
四、种蛋孵化率 .....	(229)
五、腿部健康 .....	(233)
六、采食量 .....	(238)
第十二章 饲料原料与日粮配制技术.....	(243)
一、饲料原料 .....	(243)
二、饲粮配合技术 .....	(294)
附表一 美国 NRC (1994) 家禽营养需要标准 .....	(298)
附表二 中国常用饲料成分及营养价值表 (1995) .....	(309)



# 第一章 家禽的摄食与消化

## 一、消化系统解剖学特点

禽类的消化系统由喙、口腔、嗉囊、腺胃、砂囊（肌胃）、十二指肠、空肠、回肠、盲肠、结肠等组成。消化道短，成年鸡的消化道长 150cm 左右，体长与消化道的长度比为 1 : 4。一般饲料在采食后 4h 可排出，24h 内可排泄不能消化的部分。

家禽口腔内无牙齿，靠喙采食饲料，鸭和鹅的喙呈扁平状，粗糙面上的小型角质齿具有切断饲料的微弱功能。饲料经在口腔内的粘液混合后经吞咽进入胃内消化。胃分肌胃和腺胃；粪尿与产蛋共用一个排泄口——泄殖腔；由于粪尿不能分开，所以消化试验不易进行。大肠短，鸡的大肠仅 3~4cm；家禽有成对的盲肠，家禽的盲肠最大长度可达 20cm，最大直径可达 1.5cm。鸡的盲肠长 3~5cm。

鸡的小肠淀粉酶及胰蛋白酶在 5 日龄后方达到较高水平；胰脂肪酶和糜蛋白酶分别在 7 日龄和 15 日龄后才达到较高水平。鸡的消化道无纤维素酶，故鸡不能消化利用纤维素。

家禽消化道的酸分泌能力很强，家禽单位体重胃的最大  $H^+$  分泌量可达每千克体重每小时 3.24mmol，人的为 0.48，鼠的为 0.75，猫的为 1.40，狗的为 1.82。家禽各段消化道和胆汁的 pH 值见表 1-1 表。

家禽的嗅觉和味觉远没有哺乳动物的发达，但喙端内有丰富而敏感的物理感受器，因此饲料的物理特性如颗粒的大小和硬度对家禽的摄食及消化影响很大。家禽对不同直径粒度大小的选择

表 1-1 几种家禽各段消化道和胆汁的 pH 值

	嗉囊	腺胃	肌胃	十二指肠	空肠	回肠	结肠	盲肠	胆汁
鸡	4.5	4.4	2.6	5.8~6.0	5.85	6.35	6.25	5.7	5.9
火鸡	6.1	4.7	2.2	5.8~6.5	6.8	6.85	6.45	5.9	6.0
鸭	4.9	3.4	2.3	6.0~6.2	6.1~6.7	6.85	6.75	5.9	6.1
野鸡	5.8	4.7	2.1	5.6~6.0	6.2~6.8	6.75	6.60	5.4	6.2
鸽	4.3	4.8	2.0	5.2~5.4	5.3~5.9	5.60	5.45		

与喙的口径大小有关。肉仔鸡能区分饲料粒度的细微差别，适度的颗粒大小及硬度都有助于提高肉仔鸡生产性能，颗粒大小变异越小，生产性能愈佳。如饲用颗粒料的肉仔鸡就比饲用粉料的有较快的生长速度和较好的饲料转化率。用辊压式粉碎机粉碎玉米的颗粒大于用锤片式粉碎机粉碎的玉米的颗粒，用前者配制的日粮的饲喂效果就优于用后者配制的日粮。粒度的效果与制粒的效果还具有可加性。

①制粒使饲料质地结实，单位时间内采食的营养素量增大，采食时间缩短，采食活动耗能减少，生产净能增加（可比粉料增加 30%，Reddy 等，1961），而且总的采食量或营养摄入量增加。

②粉化率高的饲料容易糊嘴，不利于采食及生长，且增加饮水量，因此在水槽等地方的饲料损耗量增加。

③饲料结构影响饲料通过胃肠道的速率。粉料比制粒料、粉料中细颗粒比中等或偏粗颗粒较快通过肌胃到小肠，导致肌胃萎缩，胃内 pH 上升，而小肠轻微肥大，肠内 pH 值下降。小肠食糜 pH 下降可能是由于过度的细菌发酵产生挥发性脂肪酸较多的结果。颗粒料在嗉囊里很快裂解，而大的原料颗粒在上消化道消化的速度要比小的原料细粉的消化速度慢些，因此加强胃肠蠕动，促进采食和饲料消化吸收，从而改善生产性能。

饲用颗粒料可以改善生产性能，但也能增加肉仔鸡猝死和腹水症发生。

## 二、营养素的消化与吸收

### 1. 消化

(1) 机械降解 禽类肌胃内壁衬有坚硬的角质层。胃借助胃部肌肉的运动力量将食物研磨碎成更小的颗粒或片段。磨碎后的食物颗粒或片段的表面积增加，有助于以后的化学降解。食入砂粒可增加肌胃的活动、帮助消化食物。

(2) 化学降解 经过化学降解，食物转变成其相应的化学组成物质，如单糖、氨基酸和脂肪酸等。化学降解也包括无机化学反应（如酸水解）和消化酶的酶促反应。

各种各样的消化酶由消化道的腺体结构及与消化道有关的分泌器官分泌。唾液腺除分泌粘液润滑食物外，还分泌 $\alpha$ -淀粉酶。

肝脏分泌胆汁，胆汁在未经胆管分泌入小肠前贮存在胆囊内。胆汁含有胆盐和排出的胆色素等代谢产物，胆汁可乳化脂肪。肝脏还可贮存和分配吸收的代谢产物，代谢产物在肝脏进行转化脱毒。

胰腺分泌的胰液含有大量的水解酶原（胰蛋白酶原、糜蛋白酶原、羧肽酶），淀粉酶、DNA 酶、RNA 酶、胆固醇酯酶、脂肪酶、磷脂酶以及碳酸氢钠等。碳酸氢钠中和从胃中下来食糜的酸度。

胃分泌盐酸，对食物进行化学消化，还激活一些消化酶原。胃还分泌胃蛋白酶、淀粉酶及脂肪酶等。

小肠分泌肽酶、二糖酶以及脂肪酶。哺乳动物的大肠可发酵纤维素、并合成水溶性维生素。

消化酶包括蛋白酶、碳水化合物酶和酯酶等几大类，但每一类都包括许多特异性的酶（见表 1-2）。

表 1-2 消化酶种类

---

蛋白酶：

- 内肽酶（蛋白质→多肽）
  - 胃蛋白酶（最适 pH1.5~2.5）
  - 胰蛋白酶（最适 pH>7）
- 外肽酶（多肽→肽、氨基酸）
  - 多肽酶
  - 三肽酶
  - 二肽酶

---

碳水化合物酶：

- 多糖酶（高分子碳水化合物→寡糖、二糖和单糖）
  - 淀粉酶
  - 纤维素酶
  - 几丁质酶
- 寡糖酶（三糖和二糖→单糖）
  - 葡糖苷酶（麦芽糖、蔗糖、葡糖苷、纤维二糖）
  - 半乳糖苷酶（蜜二糖、半乳糖苷、乳糖）
  - 果糖苷酶（蔗糖）

---

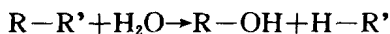
脂酶：

- 脂肪酶（甘油三酯→脂肪酶、甘油、甘油一酯）
- 酯酶（简单酯、复合磷脂、胆固醇酯及蜡质→羧酸乙醇、胆固醇、脂肪酸等）

---

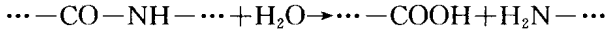
消化酶通过导管系统由外分泌腺分泌入肠道。肠及其它各有关器官还分泌激素。虽然激素不直接参与化学消化，但却是消化过程的重要调节物质。

所有的消化酶均是水解酶；通过水的加入而将化学键断裂。分子 R-R' 的水解反应式如下：

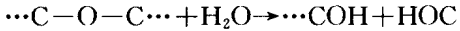


依此类推。

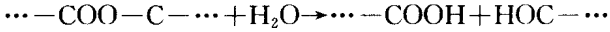
蛋白质肽键的水解反应式为：



多糖糖苷键的水解为：



脂肪酯键的水解为：



细胞代谢过程中的酶都具有针对于某一特定化学反应的作用特异性。但消化酶没有绝对的作用特异性，只具有物质种类特异性，亦即蛋白酶只水解蛋白质，对多糖及脂肪没有作用，但可以水解许多不同氨基酸间的肽键。但不管怎样，蛋白酶、碳水化合物酶及脂肪酶也有分类。如，外肽酶只从蛋白质分子的末端切掉氨基酸；而内肽酶是在蛋白质分子中切断肽键形成短的多肽。

1) 蛋白酶 蛋白酶水解氨基酸间的肽键。蛋白酶分内肽酶和外肽酶二类。内肽酶切断蛋白质分子内的肽键，外肽酶切断具有游离氨基的末端氨基酸（氨基肽酶）、具有游离羧基的末端氨基酸（羧基肽酶）或二肽（二肽酶）。内肽酶对能水解肽键两侧的化学基团具有较强的选择性，例如胃蛋白酶和糜蛋白酶在连接二羧酸的芳香族氨基酸处水解蛋白质，胃蛋白酶在氨基酸的游离氨基酸端切断肽键，而糜蛋白酶在氨基酸的游离羧基端切断肽键。胰蛋白酶作用于精氨酸和赖氨酸的羧基侧肽键。角蛋白酶水解相邻角蛋白分子单体间的二硫键。

分泌的蛋白酶都是无活性的酶原状态，因为以活性状态存在于细胞内会产生破坏作用。这些无活性的酶原由无机离子或特定的酶激活。例如  $\text{H}^+$  激活胃蛋白酶原，肠激酶激活胰蛋白酶原，胰蛋白酶激活糜蛋白酶原，胃蛋白酶和胰蛋白酶还能分别激活胃蛋白酶原和糜蛋白酶原。

2) 碳水化合物分解酶 碳水化合物的消化就是高分子聚合物的逐步水解，直到基本的单糖单位产生为止。碳水化合物分解酶有二类，包括多糖酶和寡糖酶。

淀粉酶是多糖酶，分解植物淀粉（直链淀粉和支链淀粉）以及动物糖原，这些均是通过 $\alpha$ -糖苷键组成的多糖。 $\alpha$ -1, 4和 $\alpha$ -1, 6淀粉酶水解除末端葡萄糖苷键以外的所有糖苷键，产生二糖和单糖（葡萄糖）。淀粉酶一般需要 $\text{Cl}^-$ 。

寡糖酶水解三糖如棉子糖、二糖如麦芽糖、蔗糖和乳糖等。如葡萄糖以 $\alpha$ -糖苷键与另一单糖联结，则需 $\alpha$ -葡萄糖苷酶如麦芽糖酶、蔗糖酶水解；如葡萄糖以 $\beta$ -糖苷键与另一单糖联结，则需 $\beta$ -葡萄糖苷酶如乳糖酶或 $\beta$ -半乳糖酶水解。

许多植物的多糖和所有动物的多糖均是由单糖通过 $\alpha$ -糖苷键联结起来的。这些 $\alpha$ -键可被动物的淀粉酶（ $\alpha$ -淀粉酶）水解，但动物淀粉酶不能分解 $\beta$ -糖苷键。纤维素分子中含有 $\beta$ -糖苷键。半纤维素是木聚糖、阿拉伯糖、半乳糖、甘露糖和其它碳水化合物的复合聚合物，与木质素以二价键相结合后很难溶于水。木质素不是碳水化合物而是含有不定量角质、单宁、蛋白质和硅酸盐的苯基丙烷聚合物。草食动物（如鹿）的唾液中含有大量的脯氨酸。脯氨酸与单宁结合可以减轻单宁对细胞壁纤维素及半纤维素消化的抑制作用。

纤维素可被纤维素酶水解，其中必需三类碳水化合物酶，内- $\beta$ -葡萄糖酶分解多糖内的 $\beta$ -键，外- $\beta$ -葡萄糖酶切掉多糖分子末端的葡萄糖或纤维二糖， $\beta$ -葡萄糖苷酶将纤维二糖分解为葡萄糖。

无氮浸出物是易消化的细胞碳水化合物部分，粗纤维是难消化的部分。但后者未包括所有的纤维素、半纤维素和木质素，而前者却包括一些纤维素、半纤维素、木质素及果胶。酸性洗涤纤维（ADF）是细胞壁的纤维素——木质素部分，而中性洗涤剂纤维（NDF）是细胞壁部分，包括木质素、纤维素及半纤维素。

未被消化的碳水化合物吸收水分，增大肠道食糜的容积，于是增强了蠕动，增强了肠道的机械消化，减轻了便秘。

3) 脂肪酶和酯酶 脂肪酶分解甘油三酯，降解成为甘油二

酯和甘油一酯及脂肪酸。甘油一酯也可能继续裂解成甘油及脂肪酸。脂肪酶也能催化脂肪的合成反应。因此，要彻底降解脂肪就需要转移水解产物（甘油、甘油一酯或脂肪酸），打破合成与降解的平衡。

酯酶水解简单酯（如丁酸乙酯）和复合酯（磷脂、胆固醇脂、蜡）。脂肪酶也是一种酯酶，因为甘油三酯是由甘油及脂肪酸形成的酯；磷酸酯酶分解磷脂。

## 2. 吸 收

消化酶催化生成的氨基酸、单糖、甘油一酯、甘油和脂肪酸，以及离子、维生素及水，在它们进入体液前，首先要穿越肠上皮层后被肠细胞吸收。

吸收机制包括四个基本方面：①营养素分子从肠腔到肠壁的物理运动；②肠上皮细胞表面积的最大化；③营养素穿越上皮细胞膜进入细胞质；④营养素从肠上皮细胞移出转运到细胞外体液（血或淋巴）。

营养素分子的物理运动主要包括肠蠕动（混合运动）与上皮细胞吸收与分泌造成的液体流动引起的肠内容物的对流混合，以及上皮细胞界面层的扩散交换。扩散速度与在细胞表面、肠腔间的溶质浓度差异及交换表面积成正比，与界面层的厚度成反比。主动转运与扩散一样，与交换表面积及界面层厚度有关。肠道长度及卷曲度的增加扩大了吸收的表面积。小肠粘膜下层的皱褶将小肠的表面积增大3倍左右，粘膜和粘膜下层的指状突起——绒毛又将表面积增大了近10倍。上皮细胞顶端细胞膜高度褶皱形成的微绒毛或刷状缘将表面积扩大近20倍。

肠绒毛内有平滑肌细胞，绒毛的运动可促进混合及减小界面层的厚度。每个绒毛含有一个乳糜管，乳糜管是淋巴系统的末梢，是吸收脂肪和水的重要途径。绒毛内有血管，可以吸收转运营养

素。微绒毛表面覆盖粘多糖和蛋白片段形成的网状膜。该膜不被水解酶和粘液分解酶破坏，故具有保护作用。许多重要的消化酶，如胰淀粉酶、二糖酶和二肽酶就吸附在这一蛋白多糖网膜上。

从肠腔及蛋白多糖网膜将营养素转运过上皮细胞顶端膜吸收进入细胞质的机制有4种，分别是：①被动扩散；②易化扩散；③主动转运；④胞饮作用。其中主动转运是最普遍的。

(1) 氨基酸的吸收 氨基酸的吸收是主动转运过程、常同时伴随  $\text{Na}^+$  的转运。肠上皮细胞吸收氨基酸需要消耗能量。但此部分能量并非由位于上皮细胞顶端表面的氨基酸载体所消耗，而是由上皮细胞嗜碱侧面的  $\text{Na}^+-\text{K}^+-\text{ATP}$  酶所消耗， $\text{Na}^+-\text{K}^+-\text{ATP}$  酶主要维持细胞膜两侧的  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$  浓度梯度。细胞内的低  $\text{Na}^+$  浓度使  $\text{Na}^+$  从肠腔通过转运氨基酸的载体被动扩散到细胞内。实际上有4种氨基酸/ $\text{Na}^+$  载体。每一种只转运一种特定的氨基酸：中性氨基酸、酸性氨基酸、碱性氨基酸以及甘氨酸、脯氨酸、羟脯氨酸类。载体也可将二肽和三肽转运到细胞内。在细胞质内，二肽和三肽水解成氨基酸。大的多肽甚至完整的蛋白只能通过胞饮作用吸收。吸收的氨基酸不在上皮细胞内代谢，而要首先进入循环系统。吸收的蛋白能进入淋巴系统而后进入循环系统。

(2) 碳水化合物的吸收 碳水化合物的吸收与氨基酸的吸收很相似，至少葡萄糖和乳糖是如此。也是需要载体并消耗 ATP 的与  $\text{Na}^+$  转运相联的主动过程。葡萄糖、半乳糖及其它主动转运的单糖均竞争同一载体分子，而果糖通过易化扩散进入细胞内。易化扩散有载体参与，但不需消耗 ATP，也不与  $\text{Na}^+$  转运相联。上皮细胞内的单糖经过嗜碱侧面而转运出上皮细胞时不依赖  $\text{Na}^+$  或能量，与易化扩散系统相似。

(3) 脂类的吸收 脂肪不溶于水，在水中凝结成大脂肪滴。若脂肪滴的面积体积比很小，则不利于脂肪酶催化脂肪的有效消化。因此，乳化对脂肪消化来讲就极为重要。肝脏分泌的胆汁是胆固



醇与氨基酸结合形成的甘氨酸和牛磺酸。它们具有中度的乳化作用，若与极性脂肪（如卵磷脂、溶血卵磷脂、甘油一酯）配合，其乳化作用会增强很多。若摄入的脂肪在正常体温下是固体则脂肪很难乳化和消化，但若将这些高熔点的脂肪与低熔点的脂肪混合，则可使其易于乳化和消化。

脂肪酶接触乳化的脂肪滴而将甘油三酯水解为甘油一酯、甘油和脂肪酸。甘油一酯与胆盐形成4~6nm的微粒，微粒也含有其它脂溶性成分，如胆固醇、溶血卵磷脂及脂溶性维生素。微粒在上皮细胞膜的脂质双层结构中可溶性很好，可以直接穿过细胞膜进入细胞内，而不需要载体，也不需消耗能量。胆盐可重循环回到肠腔继续形成微粒。

在上皮细胞内，经过酰基转移酶的催化，游离脂肪酸与甘油一酯重新合成甘油三酯。脂肪酸转变成脂酰基辅酶A酯，这一反应需要消耗能量。如果微粒中只有脂肪酸而无甘油一酯，机体就要重新合成甘油。在上皮细胞内溶血卵磷脂重新转变成卵磷脂，胆固醇主要与油酸形成酯。磷脂（日粮磷脂和内源磷脂）以及脂蛋白将这些重新合成的复合脂类稳定化，形成乳糜微粒。乳糜微粒（0.1~4nm）中80%~95%是甘油三酯，其外由含有少量蛋白、胆固醇的磷脂层包被。乳糜微粒由上皮细胞释放进入乳糜管。短链脂肪酸是水溶性的，可以直接扩散进入毛细血管。

(4) 离子和水的吸收 单价离子很易通过主动转运从肠道吸收。钠离子可以逆着电化学梯度通过主动转运吸收到上皮细胞内；如果电化学梯度合适，钠离子也可通过被动扩散到上皮细胞内。从肠腔主动吸收钠，形成一个自肠腔到上皮细胞内的从负到正的化学梯度，这有利于Cl<sup>-</sup>的被动吸收。

泄殖腔主要是输尿管尿的贮存场所，相当于膀胱的功能，而结肠能主动调节尿和食糜中水和电解质的含量。结肠—泄殖腔段能吸收输尿管尿中10%~15%的水和65%的氯化钠。对氯化钠的