

封面设计：唐韵设计
TANGYUN DESIGN

早期教育、婴幼儿托育服务与管理专业系列教材

《蒙台梭利早期教育方法》



定价：45.00元

主编 / 韩卿卿 姜小燕 郑玉萍

首都师范大学出版社
CAPITAL NORMAL UNIVERSITY PRESS

早期教育、婴幼儿托育服务与管理专业系列教材
“互联网+”新形态一体化教材

营养与喂养

主编 / 韩卿卿
姜小燕
郑玉萍



扫一扫
学习资源库



- ▶ 学习资料
- ▶ 教学计划
- ▶ 教学课件



首都师范大学出版社
CAPITAL NORMAL UNIVERSITY PRESS

早期教育、婴幼儿托育服务与管理专业系列教材
“互联网+”新形态一体化教材

婴幼儿

营养与喂养

主编 / 韩卿卿
姜小燕
郑玉萍



首都师范大学出版社
CAPITAL NORMAL UNIVERSITY PRESS

图书在版编目（CIP）数据

婴幼儿营养与喂养 / 韩卿卿，姜小燕，郑玉萍主编.

北京：首都师范大学出版社，2024. 10. -- ISBN 978-7-5656-8673-3

I. R153.2; R174

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2024GT7157 号

YINGYOU'ER YINGYANG YU WEIYANG

婴幼儿营养与喂养

韩卿卿 姜小燕 郑玉萍 主编

责任编辑 凌 江

首都师范大学出版社出版发行

地 址 北京西三环北路 105 号

邮 编 100048

电 话 68418523（总编室） 68982468（发行部）

网 址 <http://cnupn.cnu.edu.cn>

印 刷 北京荣玉印刷有限公司

经 销 全国新华书店

版 次 2024 年 10 月第 1 版

印 次 2024 年 10 月第 1 次印刷

开 本 787mm × 1092mm 1/16

印 张 15

字 数 305 千

定 价 45.00 元

版权所有 违者必究

如有质量问题 请与出版社联系退换

前言

本教材以党的二十大精神为指导，遵循《“健康中国 2030”规划纲要》《国务院办公厅关于促进 3 岁以下婴幼儿照护服务发展的指导意见》《健康中国行动（2019—2030 年）》等政策文件要求，落实立德树人根本任务，注重培养德才兼备的高素质人才，旨在使学生较为系统地掌握婴幼儿营养与喂养的基础知识，具备开展婴幼儿科学喂养工作的能力，能够指导婴幼儿养育者进行科学喂养，让每一个婴幼儿都能得到科学、健康的养育，实现“幼有所育”的美好愿景。

本教材共七个专题，分别从婴幼儿营养学基础、婴幼儿生长发育与营养喂养、0～6 月龄婴儿营养与喂养、7～24 月龄婴幼儿营养与喂养、2～3 岁幼儿营养与喂养、婴幼儿营养不良、婴幼儿食育这几个方面进行讲解。前两个专题主要从营养学、生理学、心理学、儿科学等学科角度讲解与婴幼儿营养和喂养相关的基础知识。专题三至专题五，根据不同年龄段婴幼儿的特点讲解对应年龄段婴幼儿的营养需求与喂养知识。专题六讲解了婴幼儿喂养过程中，因喂养方式不当及其他原因可能造成的一系列常见的营养不良问题。专题七讲解了婴幼儿喂养过程中如何让婴幼儿感受、认识和享受食物，如何培养婴幼儿进食行为和饮食习惯，以及对婴幼儿进行中华饮食文化的启蒙。

本教材的突出特色如下。

（1）紧跟时代步伐，科学性与前瞻性并重。本教材吸纳了婴幼儿营养与喂养研究的最新知识，反映了该领域的最新进展，同时注重与学术前沿接轨，突出婴幼儿营养与喂养的前瞻性。

（2）突出应用性与实践性，贴合专业特色。本教材不仅讲述了婴幼儿营养与喂养的专业基础知识，同时编排了实践教学，提供了案例导入、阅读卡片、视点聚焦等栏目内容，旨在促进学生对本课程的宏观把握，提高学生的综合素质与能力。

（3）落实立德树人根本任务。本教材在编写过程中认真贯彻执行《高等学校课程思政建设指导纲要》精神，把思想政治教育贯穿教材各个专题，发挥本课程的育人作用。本教材从案例选择到内容编写都突出立德树人的目标，坚持知识传授和价值引领相统一，增强学生的职业认同感，培育学生尊重生命、甘于奉献、大爱无疆的职业素养。

（4）校企合作开发。本教材在编写过程中，注重与企业合作，企业专家的参与使教材内容更加符合行业对托育人才的要求，更有助于提高学生的实践能力。

本教材可作为早期教育专业、婴幼儿托育服务与管理专业的教材，也可作为托育机构从业人员的参考用书，同时适合婴幼儿的家长及其他照护者学习。

本教材在编写过程中引用了一些相关专著、教材和论文，在此谨向相关作者表示感谢！由于编者水平有限，书中难免出现一些缺点和错误，真诚希望专家、同行及广大读者批评指正。

此外，本教材还为广大一线教师提供了服务于本教材的教学资源库，有需要者可致电教学助手 13810412048 或发邮件至 2393867076@qq.com。

编 者

目 录

专题一 婴幼儿营养学基础.....001

第一讲 营养素与能量 003

- 一、营养素 003
- 二、能量 005
- 三、膳食营养素参考摄入量 006

第二讲 蛋白质 010

- 一、氨基酸 011
- 二、蛋白质的功能 013
- 三、蛋白质的消化、吸收 013
- 四、食物蛋白质的营养学评价 014
- 五、婴幼儿蛋白质的参考摄入量及食物来源 016
- 六、婴幼儿蛋白质的缺乏与过量 017

第三讲 脂类 017

- 一、脂类的分类 017
- 二、脂类的功能 019
- 三、脂类的消化、吸收 021
- 四、膳食脂肪的营养学评价 021
- 五、婴幼儿脂类的参考摄入量及食物来源 022
- 六、婴幼儿脂类的缺乏与过量 023

第四讲 碳水化合物 023

- 一、碳水化合物的分类 024

二、碳水化合物的功能	025
三、碳水化合物的消化、吸收	027
四、婴幼儿碳水化合物的参考摄入量及食物来源	027
五、婴幼儿碳水化合物的缺乏与过量	028

第五讲 维生素 029

一、脂溶性维生素	029
二、水溶性维生素	036

第六讲 矿物质 041

一、常量元素	042
二、微量元素	044

专题二 婴幼儿生长发育与营养喂养 052

第一讲 婴幼儿消化系统发育与营养喂养 053

一、消化系统构成	053
二、婴幼儿消化道发育与营养喂养	059
三、婴幼儿消化腺发育与营养喂养	063

第二讲 婴幼儿体格生长与营养喂养 063

一、婴幼儿体重、身长（高）与营养喂养	063
二、婴幼儿头围、胸围和上臂围与营养喂养	069

第三讲 婴幼儿心理发展与营养喂养 069

一、婴幼儿动作发展与营养喂养	069
二、婴幼儿感知觉发育与营养喂养	073

专题三 0 ~ 6 月龄婴儿营养与喂养 080

第一讲 0 ~ 6 月龄婴儿营养与喂养概述 081

一、0 ~ 6 月龄婴儿的营养需要	082
-------------------------	-----

二、0 ~ 6 月龄婴儿喂养指南	084
三、0 ~ 6 月龄婴儿回应式喂养	087
第二讲 母乳喂养	088
一、母乳的成分	089
二、母乳喂养的好处	094
三、母乳喂养的方法	095
四、母乳喂养常见问题	101
第三讲 人工喂养	104
一、婴幼儿配方奶粉	104
二、奶瓶奶嘴的选择	109
三、奶瓶奶嘴的清洁和消毒	111
四、人工喂养的开展	113
专题四 7 ~ 24 月龄婴幼儿营养与喂养	118
第一讲 7 ~ 24 月龄婴幼儿营养与喂养概述	119
一、7 ~ 24 月龄婴幼儿的营养需要与食物来源	119
二、7 ~ 24 月龄婴幼儿喂养指南	126
三、7 ~ 24 月龄婴幼儿的回应式喂养	130
第二讲 辅食添加	133
一、辅食添加的意义	133
二、辅食添加基本原则	136
三、分年龄段辅食添加	141
四、辅食制作与添加	143
第三讲 断奶	146
一、断奶的意义	147
二、断奶的过程	147
三、断奶的误区	148

专题五 2 ~ 3 岁幼儿营养与喂养 151**第一讲 2 ~ 3 岁幼儿营养与喂养概述 152**

- 一、2 ~ 3 岁幼儿的营养需要与食物来源 152
- 二、2 ~ 3 岁幼儿膳食指南 156
- 三、2 ~ 3 岁幼儿的回应式喂养 158

第二讲 2 ~ 3 岁幼儿合理膳食 160

- 一、2 ~ 3 岁幼儿的平衡膳食 161
- 二、2 ~ 3 岁幼儿的膳食制作 166

专题六 婴幼儿营养不良 175**第一讲 蛋白质—能量营养不良 176**

- 一、蛋白质—能量营养不良的原因 177
- 二、蛋白质—能量营养不良的表现 178
- 三、蛋白质—能量营养不良的预防 179

第二讲 儿童单纯性肥胖 180

- 一、婴幼儿期儿童单纯性肥胖的原因 180
- 二、婴幼儿期儿童单纯性肥胖的表现 182
- 三、婴幼儿期儿童单纯性肥胖的预防 183

第三讲 维生素缺乏 185

- 一、维生素 A 缺乏症 185
- 二、维生素 D 缺乏性佝偻病 187
- 三、巨幼细胞贫血 191

第四讲 微量元素缺乏 192

- 一、缺铁性贫血 193
- 二、锌缺乏病 194
- 三、碘缺乏病 196

专题七 婴幼儿食育..... 199

第一讲 感受、认识和享受食物 200

- 一、婴幼儿对食物的认知 200
- 二、婴幼儿感受、认识和享受食物的方法 202

第二讲 婴幼儿进食行为和饮食习惯培养 206

- 一、规律就餐 206
- 二、专注进食和自主进食 207
- 三、合理选择零食 208
- 四、从小培养淡口味 211
- 五、避免挑食和偏食 212

第三讲 中华饮食文化启蒙 213

- 一、用餐礼仪培养 214
- 二、体验中华饮食文化 216

参考文献..... 227



婴幼儿营养学基础

婴幼儿的健康离不开均衡营养与合理喂养。只有具备营养学基础知识，才能科学合理地开展婴幼儿喂养，使每一个婴幼儿得到均衡的营养保障，促进婴幼儿的健康成长与发育。本专题通过讲解婴幼儿营养学基础知识，分析各类营养素对婴幼儿成长的作用，为开展婴幼儿科学喂养提供理论依据。



学海导航

◇ 知识目标

1. 掌握各类营养素的功能、各类营养素的食物来源、缺乏与过量摄入营养素的危害。
2. 熟悉婴幼儿能量的消耗、各类营养素的膳食营养素参考摄入量。
3. 了解三大营养物质的消化和吸收、食物蛋白质和膳食脂肪的营养学评价。

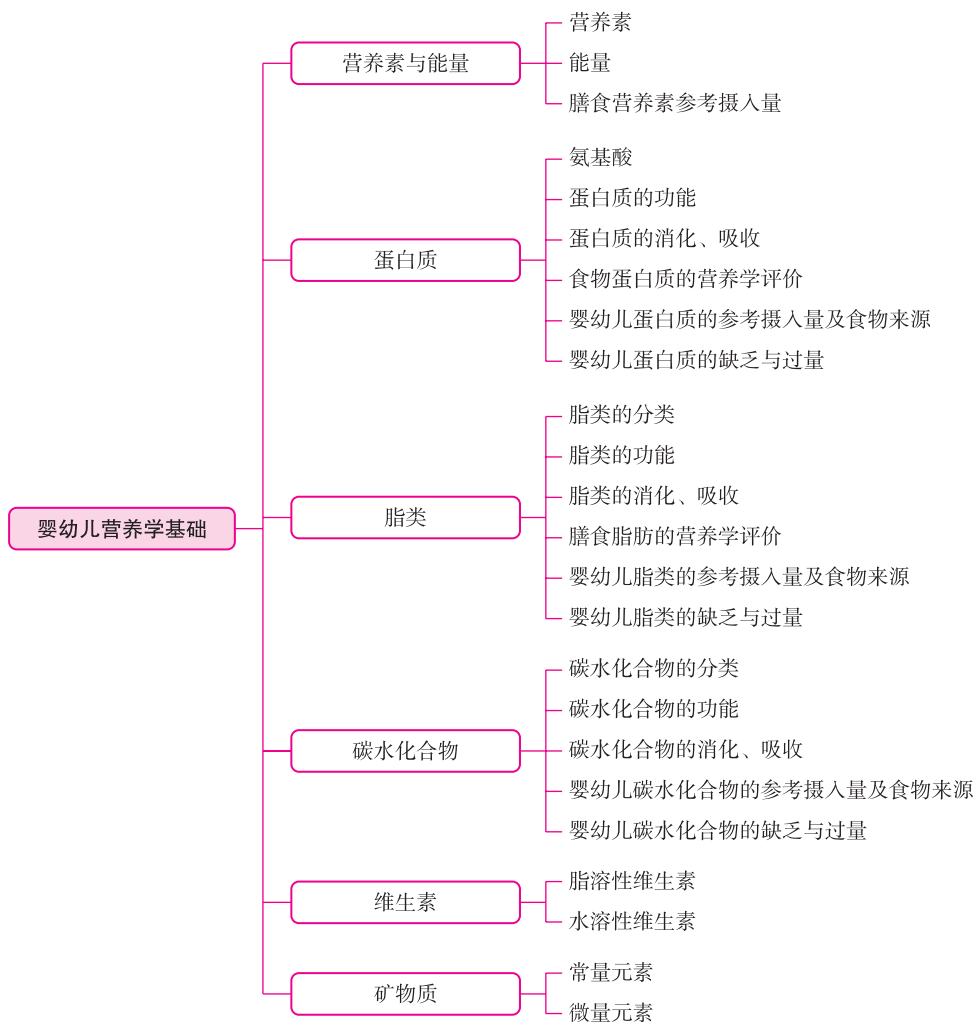
◇ 能力目标

1. 能够分析婴幼儿的营养需要。
2. 能够指导婴幼儿的膳食搭配。

◇ 素质目标

1. 深入了解婴幼儿的营养需求，为婴幼儿健康成长保驾护航。
2. 树立为婴幼儿健康服务的职业理想。
3. 提升科学素养，倡导科学喂养理念。

思维导图



案例导入

自从苗苗出生后，苗苗的父母就希望给她提供最好的营养，所以从网上下载了很多关于婴幼儿营养搭配的资料。但在看资料的时候，苗苗的父母经常会看到一些关于营养素的推荐摄入量、适宜摄入量等概念，二人感到很困惑。

第一讲 营养素与能量

人体从外界环境摄取食物，经过消化、吸收、代谢和排泄，利用食物中对身体有益的物质构成和修补身体组织、调节各种生理功能，维持正常生长发育和防病保健的过程被称为营养。食物中含有多种成分，这些成分具有特定生理作用，能维持机体正常的生长、发育、活动、生殖及代谢，包括蛋白质、脂类、碳水化合物、维生素及矿物质等，被统称为营养素。只有满足婴幼儿对各类营养素和能量的需要量，才能保证婴幼儿的正常生长发育。

一、营养素

营养素是维持机体生长、发育、活动、生殖及正常代谢所需的物质。婴幼儿生长发育所需的营养素有 40 多种，根据其化学性质和生理作用可分为 5 大类，即蛋白质、脂类、碳水化合物、维生素和矿物质。根据人体的需要量或体内含量多少，可将营养素分为宏量营养素和微量营养素。水在自然界中广泛分布，人体几乎无缺乏的可能，一般不把水列为必需营养素，但从科学意义上讲，水也属于营养素。

（一）宏量营养素

人体对宏量营养素需要量较大。宏量营养素包括蛋白质、脂类（脂肪及类脂的总称）和碳水化合物，这 3 种营养素经体内氧化可以释放能量，又称为产能营养素、三大营养素、三大营养物质。蛋白质作为生命活动的主要承担者，是生命的物质基础。如果人体未从其他营养物质或体内储存的脂肪中获得足够能量，则会分解蛋白质以供能。脂肪作为能源物质，在婴幼儿的成长过程中，承担了重要作用，0～6 月龄的婴儿所需能量 48% 由脂肪提供。随着婴幼儿年龄的增加，脂肪提供的能量占比会逐渐下降。碳水化合物同样是机体能量的重要来源，1～3 岁幼儿所需能量的 50%～65% 由碳水化合物提供。

（二）微量营养素

相对宏量营养素来说，人体对微量营养素需要量较少。微量营养素包括维生素和矿物质两类。根据溶解性不同，维生素可分为脂溶性维生素和水溶性维生素。根据在体内的含量不同，矿物质可分为常量元素和微量元素。

(三) 水

水不仅是构成身体的主要成分，还具备调节生理功能的作用。人体离不开水，一旦失去体内水分的 10%，生理功能会发生严重紊乱；失去体内水分的 20%，人很快就会死亡。

我国 0～6 月龄婴儿的水适宜摄入量为 700 mL/d，均来源于母乳。7～12 月龄婴儿的水适宜摄入量约为 900 mL/d，按照平均摄入母乳 600 mL/d 计算，由母乳提供的水约为 540 mL/d，其余水分来自添加的辅食和饮品。1～2 岁幼儿的水适宜摄入量为 1300 mL/d。1～2 岁幼儿母乳平均摄入量约为 530 mL/d，由母乳提供的水约为 480 mL/d。由于我国缺少 3 岁幼儿水摄入量的数据，参考 1～2 岁幼儿数据，制定为 1300 mL/d。



阅读卡片

水的生理功能

水的生理功能主要包括以下 4 个方面。

一、构成细胞和体液的重要组成部分

成人体内水分约占体重的 65%，构成体内环境。婴幼儿体内水分占比比成人高，新生儿的体内水分总量约占体重的 80%，出生后一个月降为 75% 左右，再之后婴幼儿体内水分占比为 65%～70%。婴幼儿体格的生长也与水分的蓄积有很大关系，如婴幼儿每日体重增加 25 g，其中水分有 18 g，蛋白质及脂肪各 3 g，矿物质 1 g，糖原微量。

二、参与新陈代谢

水可以使水溶性物质以溶解状态和电解质离子状态存在，还可以协助营养素在体内的运送和代谢废物的排出。

三、调节体温

1 g 水升高 1℃ 需要吸收 4.2 J 的能量，在体温为 37℃ 时，蒸发 1 g 水可带走 2.4 kJ 的热量，因此在高温下，通过出汗可以借助皮肤散发体热以保持体温恒定。

四、润滑

在人体关节、胸腹腔和胃肠道等部位，均存在一定量水分，这些水分可对关节、器官、肌肉等人体组织起到缓冲和润滑的保护作用。

二、能量

能量是维持生命活动的必要条件，一切生命活动都需要能量，这些能量主要来源于食物。0～3岁的婴幼儿生长发育非常迅速，这时候需要为婴幼儿提供充足的能量，保证他们健康成长。

（一）能量单位

国际上通用的能量单位是焦耳（J）、千焦耳（kJ）和兆焦耳（MJ）。营养学领域习惯使用的能量单位是卡（cal）和千卡（kcal）。

这几种能量单位的换算如下：

$$1 \text{ kJ} = 1000 \text{ J} = 0.239 \text{ kcal}$$

$$1 \text{ kcal} = 1000 \text{ cal} = 4.184 \text{ kJ}$$

（二）婴幼儿的能量消耗

成年人的能量消耗主要用于维持基础代谢、身体活动与食物热效应3个方面。婴幼儿的能量还需要供给生长发育。

1. 基础代谢

基础代谢是指人体在基础状态下的能量代谢，即在不受精神紧张、肌肉活动、食物和环境温度等因素影响时的能量代谢。单位时间内每千克体重或每平方米体表面积的基础代谢称为基础代谢率，以 $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{h})$ 或 $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 为单位。

基础代谢是机体为维持生命存在和各器官最基本的生理功能所消耗的能量，也就是维持正常体温、呼吸、心跳、分泌等所需要的能量。基础代谢是维持人体最基本生命活动所必需的能量消耗，是人体能量消耗的主要部分，约占人体总能量消耗的60%～70%。婴幼儿阶段是基础代谢最活跃的阶段。

2. 身体活动

除了基础代谢，身体活动也是影响人体能量消耗的主要因素。通常婴幼儿各种身体活动所消耗的能量约占人体总能量消耗的15%～30%。生理情况相近的两个婴幼儿，基础代谢消耗的能量是相近的，而身体活动情况却相差很大。

身体活动消耗的能量取决于活动的性质、强度、持续时间与熟练程度。按身体活动的强度，一般分为低强度、中强度、高强度、极高强度。婴幼儿常见的低强度的身体活动有站立、搭积木、慢走等；中强度的身体活动有快走、下楼等；高强度的身体活动有跑步、上楼、球类运动、跳绳等。同一强度活动中，不同个体由于熟练程度

等不同，能量消耗也不同。

3. 食物热效应

食物热效应，也称作食物特殊动力作用，是人体摄食过程中引起的能量额外消耗现象，是摄食后人体在对营养素的一系列消化、吸收、合成、代谢转化过程中所引起的能量额外消耗。食物热效应的高低与食物营养成分、进食量和进食速度有关。

碳水化合物、脂类和蛋白质的食物热效应，分别为其本身产生能量的 5% ~ 10%、4% ~ 5% 和 20% ~ 30%。例如，某 2 岁幼儿的基础代谢是 4185.85 kJ，若进食含能量 4185.85 kJ 的碳水化合物类食物，则其能量代谢增高至 4437 kJ，比原来的基础代谢增高 6%；若进食含相等能量的脂类食物，则其能量代谢增高至 4353.29 kJ，比原来的基础代谢增高 4%；若进食含相等能量的蛋白质，则其能量代谢增高至 5441.61 kJ，比原来的基础代谢增高 30%；若进食含相等能量的混合膳食，则其能量代谢比原来的基础代谢增加约 10%。

4. 生长发育

0 ~ 3 岁的婴幼儿生长发育需要较多的能量，主要包括两方面：一是合成新组织所需的能量；二是储存在这些新组织中的能量。婴幼儿生长发育所需的能量在出生前 3 个月约占总能量需要量的 35%，在出生后 12 个月时迅速降到总能量需要量的 5%，出生后第 2 年约为总能量需要量的 3%，到青少年时期约为总能量需要量的 1% ~ 2%。

（三）产能营养素及其能量系数

人体所需要的能量主要来源于动物性和植物性食物中的碳水化合物、脂类和蛋白质 3 种产能营养素。每克产能营养素在体内氧化分解时所产生的能量值，称为能量系数，也称食物的热价或生理卡价。

3 种产能营养素的能量系数分别为碳水化合物 17 kJ/g、脂类 37 kJ/g、蛋白质 17 kJ/g。

三、膳食营养素参考摄入量

膳食营养素参考摄入量（dietary reference intakes, DRIs）是为了保证人体合理摄入营养素，避免缺乏和过量，在推荐膳食营养素供给量的基础上总结出来的每日平均膳食营养素摄入量的一组参考值，膳食营养素参考摄入量框架如图 1-1 所示。

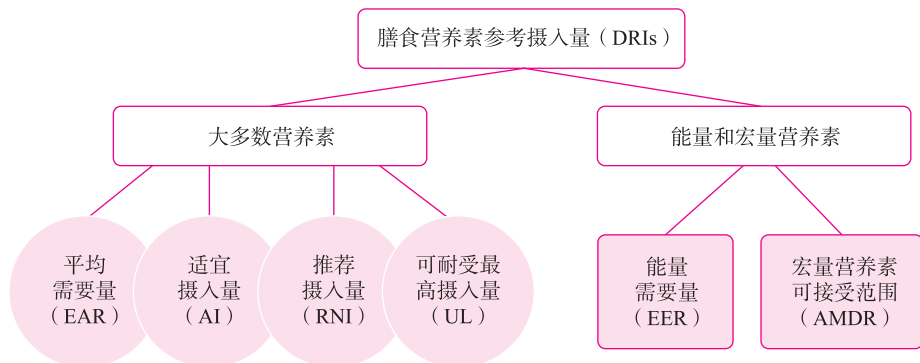


图 1-1 膳食营养素参考摄入量框架

（一）平均需要量

平均需要量（estimated average requirement, EAR）是指某一特定性别、年龄及生理状况群体中的个体对某营养素需要量的平均值。按照平均需要量水平摄入营养素，根据某些指标判断可以满足某一特定性别、年龄及生理状况群体中 50% 个体需要量的摄入水平，不能满足另外 50% 个体对该营养素的需要。

平均需要量是制定膳食营养素摄入量的基础，常用于判断个体某营养素摄入量不足的可能性。由于某些营养素的研究尚缺乏足够的个体需要量资料，因此，并非所有营养素都能制定出其平均需要量。

（二）适宜摄入量

当某种营养素的个体需要量因研究资料不足而不能得到平均需要量，从而无法推算推荐摄入量时，可以将适宜摄入量作为个体膳食营养素的参考摄入量。

适宜摄入量（adequate intake, AI）是通过观察或实验获得的健康群体对某种营养素的摄入量。例如，纯母乳喂养的足月产健康婴儿，从出生到 4～6 月龄，他们的营养素全部来自母乳，故摄入的母乳中的营养素量就是婴儿所需各种营养素的适宜摄入量。

适宜摄入量和推荐摄入量的相似之处是两者都可以作为目标人群中个体营养素摄入量的目标值，可以满足该群体中几乎所有个体的需要。但值得注意的是，适宜摄入量的准确性远不如推荐摄入量，可能高于推荐摄入量。因此，使用适宜摄入量作为推荐标准时要比使用推荐摄入量更加谨慎。

（三）推荐摄入量

推荐摄入量（recommended nutrient intake, RNI）一般是在研究确定的群体平均需要量基础上再加 2 个标准差计算得出，是可以满足某一特定性别、年龄及生理状况群体中绝大多数个体（97%～98%）需要量的营养素摄入水平。长期按照推荐摄入量水平摄入营养素，可以维持组织中适当的营养素储备和机体健康。推荐摄入量可以作为个体每日摄入该营养素的目标值。

推荐摄入量是根据某一特定人群中体重在正常范围内的个体需要量而设定的。对个别身高、体重超过此参考范围较多的个体，可能需要按每千克体重的需要量调整其推荐摄入量。

（四）可耐受最高摄入量

可耐受最高摄入量（tolerable upper intake level, UL）是指平均每日摄入营养素的最高限量。在制定个体和群体膳食时，应使营养素摄入量低于可耐受最高摄入量，以避免营养素摄入过量可能造成的危害。当摄入量超过可耐受最高摄入量并进一步增加时，损害健康的风险随之增大。有些营养素因尚未获得足够的资料，目前还没有制定可耐受最高摄入量。

（五）能量需要量

能量需要量（estimated energy requirement, EER）是指能使个体长期保持良好的健康状态，具有良好的体形、机体构成和活动水平，达到能量平衡并能胜任必要的经济和社会活动所需要的能量摄入量。

0～3 岁婴幼儿的膳食能量需要量如表 1-1 所示。

表 1-1 0～3 岁婴幼儿的膳食能量需要量（EER）

年龄 / 阶段	男性 PAL II ^b		女性 PAL II ^b	
0～0.5 岁	0.38 MJ/（kg·d）	90 kcal/（kg·d）	0.38 MJ/（kg·d）	90 kcal/（kg·d）
0.5～1 岁	0.31 MJ/（kg·d）	75 kcal/（kg·d）	0.31 MJ/（kg·d）	75 kcal/（kg·d）
1～2 岁	3.77 MJ/（kg·d）	900 MJ/（kg·d）	3.35 MJ/（kg·d）	800 MJ/（kg·d）
2～3 岁	4.60 MJ/（kg·d）	1100 MJ/（kg·d）	4.18 MJ/（kg·d）	1000 MJ/（kg·d）

注：PAL II^b 代表中等强度身体活动水平。

资料来源：中国营养学会. 中国居民膳食营养素参考摄入量（2023 版）[M]. 北京：人民卫生出版社，2023：628.

如果某一特定群体的膳食摄入能量平均值达到推荐的能量需要量水平，可以认为这一群体中50%个体的能量需要得到了满足。这时，随机个体摄入不足或过量的概率各占50%。

思考与讨论

膳食营养素参考摄入量在婴幼儿的喂养过程中有何指导意义？



视点聚焦

《中国居民膳食营养素参考摄入量（2023版）》新在哪儿？

时隔10年，中国居民膳食营养素参考摄入量更新。2023年9月，中国营养学会发布《中国居民膳食营养素参考摄入量（2023版）》。2023版触及更多年龄段、更多人群，也为营养科学研究提供了核心的理论和技术保障。

一、纳入更多新研究成果

我国在2013年发布了第八版膳食营养素参考摄入量，2023版为第九版。

2023版在膳食营养素参考摄入量的相关概念和数值制定程序方面进行了改进和完善。2023版纳入近10年国内外在营养素和其他膳食成分功能、评价、需要量、安全性、慢性病预防等领域新的研究成果，并且纳入更多以中国居民为研究对象的研究结果。与婴儿相关的膳食营养素推荐量，均来自中国疾病预防控制中心营养与健康所“中国母乳成分数据库”有关研究，更符合中国婴儿的实际情况。

二、贯彻精准营养理念

过去制定营养素需要量时主要关注预防营养素缺乏。现在除了预防缺乏以外，还注重预防慢性病。2023版修订了中国人群众的基础参考数值，包括年龄分组、体重代表值、母乳成分参考值、孕妇体重增长推荐值、身体活动水平等。不同人群对于钙、蛋白质、能量等营养素的需要量，不是直接算出来的，而是2023版在对这些基础数值进行分组分析、综合评估的基础上，提出了更符合国人体质的基础数值。

三、可应用在生活方方面面

2023版能指导公众做到合理膳食、平衡膳食，并且对食堂一日三餐的营养保障和膳食安排也有指导作用，包括指导营养从业人员如何在幼儿园、学校、养老院更好地安排膳食。

2023版对婴幼儿食品、营养素补充剂、保健食品等产品的研发和营养标签制定也有重要指导作用。2023版有一章为“营养状况评价”，在此可以找到每个营养素或者成分的相关指标。

（资料来源：《健康报》，2023年11月9日，有删改）

（六）宏量营养素可接受范围

宏量营养素可接受范围（acceptable macronutrient distribution range, AMDR），也称作可接受的宏量营养素分布范围，是指蛋白质、脂类和碳水化合物这三种营养素理想的摄入范围及三者之间的适宜比例，常以某种营养素摄入量占摄入总能量的比例来表示，在《中国居民膳食营养素参考摄入量（2023 版）》中，它的单位为“%E”。

AMDR 具有上限和下限。在该范围内摄入宏量营养素有利于降低慢性疾病发生的危险，同时又可提供必需的营养素。如果婴幼儿的膳食构成高于推荐范围，会增加发生慢性疾病的风险。如果婴幼儿的膳食结构低于推荐的范围，会增加必需营养素摄入不足的危险。

0～3 岁婴幼儿的膳食宏量营养素可接受范围如表 1-2 所示。

表 1-2 0～3 岁婴幼儿的膳食宏量营养素可接受范围（AMDR）

年龄 / 阶段	碳水化合物 / %E	总脂肪 / %E	蛋白质 / %E
0～0.5 岁	—	48 (AI)	—
0.5～1 岁	—	40 (AI)	—
1～3 岁	50～65	35 (AI)	—

注：“—”表示未制定。

资料来源：中国营养学会. 中国居民膳食营养素参考摄入量（2023 版）[M]. 北京：人民卫生出版社，2023：633.

第二讲 蛋白质



图 1-2 常见的富含蛋白质的食物

蛋白质是化学结构复杂的一类有机化合物，是人体的必需营养素。蛋白质是组成人体一切细胞、组织的重要成分之一，氨基酸是组成蛋白质的基本单位，人体的所有细胞组织都含有蛋白质。蛋白质是生命的物质基础，没有蛋白质就没有生命。常见的富含蛋白质的食物如图 1-2 所示。

一、氨基酸

氨基酸通过肽键连接在一起，并形成具有一定空间结构的蛋白质。人体含有 10 万种以上的蛋白质。

（一）氨基酸及其分类

自然界存在的氨基酸有 300 余种，但构成人体蛋白质的氨基酸只有 20 种，即异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸、蛋氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸、色氨酸、缬氨酸、组氨酸、丙氨酸、精氨酸、天门冬氨酸、天冬酰胺、谷氨酸、谷氨酰胺、甘氨酸、脯氨酸、丝氨酸、半胱氨酸、酪氨酸。根据人体需要程度划分，氨基酸可分为必需氨基酸、非必需氨基酸和条件必需氨基酸。

1. 必需氨基酸

必需氨基酸是指人体内不能合成或合成速度不能满足机体需要，必须从食物中直接获得的氨基酸。构成人体蛋白质的氨基酸中有 9 种氨基酸为必需氨基酸，即异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸、蛋氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸、色氨酸、缬氨酸和组氨酸。

2. 非必需氨基酸

非必需氨基酸是指人体自身可以合成，不需通过食物供给的氨基酸，如丙氨酸、精氨酸、天门冬氨酸、天冬酰胺、谷氨酸、谷氨酰胺、甘氨酸、脯氨酸、丝氨酸。食物中这些氨基酸的含量一般不作为衡量蛋白质营养价值的指标。

3. 条件必需氨基酸

条件必需氨基酸是指人体在创伤、感染及某些消耗性疾病状态下，一些本可自身合成的但不能满足机体需要、必须从食物中获得的氨基酸，如半胱氨酸和酪氨酸。这两种氨基酸可分别由蛋氨酸和苯丙氨酸转变而成，如果膳食能直接提供这两种氨基酸，则人体对蛋氨酸和苯丙氨酸的需要量可减少 30% ~ 50%。

（二）氨基酸模式

人体蛋白质及各种食物蛋白质在必需氨基酸的种类和含量上存在着差异，在营养学上用氨基酸模式来反映这种差异。所谓氨基酸模式，就是蛋白质中各种必需氨基酸的构成比例。其计算方法是将该种蛋白质中的色氨酸含量定为 1，分别计算出其他必需氨基酸的相应比值，这一系列的比值就是该种蛋白质的氨基酸模式。几种食物蛋白质和人体蛋白质氨基酸模式如表 1-3 所示。

表 1-3 几种食物蛋白质和人体蛋白质氨基酸模式

氨基酸	人体	全鸡蛋	牛奶	牛肉	大豆	面粉	大米
异亮氨酸	5.0	3.2	3.4	4.4	4.3	3.8	4.0
亮氨酸	9.8	5.1	6.8	6.8	5.7	6.4	6.3
赖氨酸	7.5	4.1	5.6	7.2	4.9	1.8	2.3
蛋氨酸 + 半胱氨酸	3.7	3.4	2.4	3.2	1.2	2.8	2.8
苯丙氨酸 + 酪氨酸	6.3	5.5	7.3	6.2	3.2	7.2	7.2
苏氨酸	3.8	2.8	3.1	3.6	2.8	2.5	2.5
缬氨酸	6.5	3.9	4.6	4.6	3.2	3.8	3.8
色氨酸	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

人体氨基酸模式摘自：WHO/FAO/UNU. Protein and Amino Acid Requirements in Human Nutrition. WHO World Health Organ Tech Rep Ser 935, 2007: 150.

资料来源：杨月欣. 中国食物成分表 2004[M]. 北京：北京大学医学出版社，2005：219.

人体所需蛋白质来源于多种食物，凡蛋白质氨基酸模式与人体蛋白质氨基酸模式接近的食物，其必需氨基酸在体内的利用率就高，反之则低。例如，动物蛋白质中的蛋、奶、肉、鱼等，以及大豆蛋白质的氨基酸模式与人体蛋白质氨基酸模式较接近，所含的必需氨基酸在体内的利用率就较高。

（三）限制氨基酸

食物蛋白质中一种或几种必需氨基酸含量相对较低，导致其他必需氨基酸在体内不能被充分利用而使蛋白质营养价值降低，这些含量相对较低的氨基酸被称为限制氨基酸。这些氨基酸由于含量不足，限制了其他氨基酸的利用。其中，含量最低的氨基酸被称为第一限制氨基酸，其余依次被称为第二限制氨基酸、第三限制氨基酸等。

（四）氨基酸的相互补充

为了提高食物蛋白质的营养价值，常将两种或两种以上的食物蛋白质混合食用，通过蛋白质中氨基酸的相互补充，提高蛋白质的营养价值。这种使食物蛋白质所含氨基酸种类之间取长补短、相互补充的作用，被称为蛋白质互补作用。如将大豆或其制品与米、面同时食用，大豆蛋白质中的赖氨酸可以补充米、面蛋白质赖氨酸的不足；而米、面蛋白质中的蛋氨酸在一定程度上也可以补充大豆蛋白质中蛋氨酸的不足。

为充分发挥食物的蛋白质互补作用，在为婴幼儿调配膳食时，应遵循以下 3 个原则。

(1) 食物的生物学种属越远越好，如动物性和植物性食物的混合膳食比单纯植物性食物的混合膳食要好。

(2) 搭配的种类越多越好。

(3) 食用时间越近越好，同时食用最好。因为单个氨基酸在血液中的停留时间约为 4 小时，然后到达各组织器官，再合成组织器官的蛋白质，而合成组织器官蛋白质的氨基酸必须同时到达才能发挥互补作用。

二、蛋白质的功能

蛋白质是细胞组分中含量最为丰富、功能最多的高分子物质，在生命活动过程中起着各种功能执行者的作用，从最简单到最复杂的生命活动，几乎没有一种生命活动能离开蛋白质。

(一) 构成和修复组织器官

蛋白质是构成机体组织、器官的重要成分，人体各组织、器官无一不含蛋白质，构成机体组织、器官是蛋白质最重要的生理功能。婴幼儿的生长发育可视为蛋白质不断积累的过程。皮肤和其他器官受伤需要蛋白质修复，伤口愈合也需要蛋白质。

(二) 供给能量

供给能量是蛋白质的次要功能。只有当机体能量供应严重不足，特别是碳水化合物严重不足时，蛋白质才被代谢分解，释放能量。1 g 蛋白质在体内被分解可产生约 16.7 kJ 的能量。当蛋白质摄入过多，机体不能储存，多余的蛋白质也会分解产生能量。

(三) 构成体内生理活性物质

蛋白质是构成体内多种重要生理活性物质的成分，如酶、抗体、激素、载体等。因此，蛋白质对维持机体健康、调节生理功能发挥着重要的作用。蛋白质还具有维持体液的渗透压和酸碱平衡的功能，当蛋白质丢失过多时，人体容易出现水肿。

三、蛋白质的消化、吸收

膳食中蛋白质的消化从胃开始，胃内消化蛋白质的酶是胃蛋白酶。对婴幼儿来

说，胃蛋白酶对乳液中的酪蛋白有凝乳作用，乳液凝成乳块后在胃中停留时间延长，有利于蛋白质被充分消化。

小肠内蛋白质的消化主要依赖胰腺分泌的各种蛋白酶。经过胃液和胰液中酶的消化后，蛋白质被水解为可以吸收的氨基酸和 2 ~ 3 个氨基酸组成的短肽，主要被小肠吸收。



阅读卡片

氮平衡

营养学上将摄入蛋白质的量和排出蛋白质的量之间的关系称为氮平衡。氮平衡关系式如下：

$$B=I-(U+F+S)$$

(B：氮平衡；I：摄入量；U：尿氮；F：粪氮；S：皮肤等氮损失)

当摄入氮和排出氮相等时为零氮平衡，即 $B=0$ ，健康的成人应该维持在零氮平衡并富裕 5%。如摄入氮多于排出氮则为正氮平衡，即 $B>0$ ，儿童处于生长发育阶段时、妇女怀孕时、疾病恢复时及运动和劳动需要增加肌肉时等情况下均应保证适当的正氮平衡，以满足机体对蛋白质额外的需要。而摄入氮少于排出氮时为负氮平衡，即 $B<0$ ，人在饥饿时、患有疾病时及老年时往往处于这种状况，应注意尽可能减轻或改变负氮平衡，以保持健康、促进疾病康复和延缓衰老。

四、食物蛋白质的营养学评价

各种食物的蛋白质含量、氨基酸模式等都不一样，婴幼儿对不同蛋白质的消化、吸收和利用程度也存在差异，营养学上主要从食物的蛋白质含量、蛋白质消化率和蛋白质利用率 3 个方面来评价食物蛋白质的营养价值。

(一) 蛋白质含量

蛋白质含量是评价食物蛋白质营养价值的基础。对同类食物而言，蛋白质含量越高，其营养价值相对越高。如大米的蛋白质含量为 7% ~ 8%，面粉的蛋白质含量为 10% ~ 12%。因此，从蛋白质含量来看，面粉的营养价值比大米要好。

(二) 蛋白质消化率

蛋白质消化率不仅反映了蛋白质在消化道内被分解的程度，同时还反映了消化后的氨基酸和肽被吸收的程度。由于蛋白质在食物中存在的形式结构各不相同，食物中

可能含有不利于蛋白质吸收的其他因素，等等，所以不同的食物或经不同方式加工的同一种食物，其蛋白质的消化率都有差异，如动物性食品中蛋白质的消化率一般高于植物性食物（表 1-4）。大豆整粒食用时，其蛋白质消化率仅为 78%，而加工成豆腐后，蛋白质的消化率提高到 90% 以上。这是因为加工后的制品去除了大豆中的纤维素和其他不利于蛋白质消化吸收的影响因素。

表 1-4 几种食物蛋白质的消化率

食物	消化率 /%	食物	消化率 /%
鸡蛋	97	大米	88
牛奶	95	面粉	96
肉、鱼	94	燕麦片	86
玉米	85	小米	79
大豆	78	花生	94

资料来源：杨月欣，葛可佑．中国营养科学全书（全 2 册）[M]．2 版．北京：人民卫生出版社，2019：541.

（三）蛋白质利用率

衡量蛋白质利用率的指标有很多，各指标分别从不同角度反映蛋白质被利用的程度，下面介绍几种常用的指标。

1. 蛋白质生物价

蛋白质生物价是反映食物蛋白质消化吸收后被机体利用程度的指标。蛋白质生物价的值越高表明其被机体利用的程度越高，最大值为 100%。例如，吸收 100 g 全鸡蛋蛋白质，在体内被利用 94 g，鸡蛋蛋白质的生物价就是 94%。常见食物的蛋白质生物价如表 1-5 所示。

表 1-5 常见食物的蛋白质生物价

食物	生物价 /%	食物	生物价 /%	食物	生物价 /%
鸡蛋蛋白质	94	牛肉	76	熟大豆	64
鸡蛋白	83	猪肉	74	白面粉	52
鸡蛋黄	96	大米	77	小米	57
脱脂牛奶	85	小麦	67	玉米	60
鱼	83	生大豆	57	花生	59

资料来源：杨月欣，葛可佑．中国营养科学全书（全 2 册）[M]．2 版．北京：人民卫生出版社，2019：543.

思考与讨论

全鸡蛋的消化率是97%，蛋白质生物价是94%，蛋白质净利用率是多少？

2. 蛋白质净利用率

蛋白质净利用率反映食物蛋白质被利用的程度，包括食物蛋白质的消化和利用两方面，消化率乘以蛋白质生物价即为蛋白质净利用率。

3. 蛋白质功效比值

蛋白质功效比值是用处于生长阶段中的幼年动物（一般用刚断奶的雄性大白鼠）在实验期内体重增加量（g）和摄入蛋白质的量（g）的比值来反映蛋白质营养价值的指标。由于所测蛋白质主要被用来满足生长的需要，所以该指标被广泛用于婴幼儿食品中蛋白质的评价。

五、婴幼儿蛋白质的参考摄入量及食物来源

（一）婴幼儿蛋白质的参考摄入量

0～6月龄婴儿多为纯母乳喂养。根据母乳蛋白质浓度及母乳摄入量可以得到0～6月龄婴儿膳食蛋白质的适宜摄入量为9 g/d，7～12月龄婴儿膳食蛋白质的适宜摄入量为17 g/d，1～3岁幼儿膳食蛋白质的推荐摄入量为25 g/d。

（二）蛋白质的食物来源

根据食物来源不同，蛋白质分为植物蛋白和动物蛋白。

1. 植物蛋白的食物来源

植物性食物中，谷类含蛋白质8%左右，蛋白质含量不算高。婴幼儿断奶后，谷类食物是婴幼儿的主食，是其膳食蛋白质的主要来源。

豆类含丰富的蛋白质，特别是大豆，蛋白质含量高达35%～40%，氨基酸组成也比较合理，在体内的净利用率较高，是植物蛋白质的优质来源。

2. 动物蛋白的食物来源

蛋类含蛋白质11%～14%，是优质蛋白质的重要来源。奶类（牛奶）一般含蛋白质3%～3.5%，对婴幼儿来说，奶类因蛋白质构成不同，其营养价值不如母乳。动物蛋白的营养价值优于植物蛋白，是婴幼儿蛋白质的重要来源。

婴幼儿的膳食中应保证有一定数量的优质蛋白质。一般要求动物蛋白和大豆蛋白质应占膳食蛋白质总量的30%～50%。

六、婴幼儿蛋白质的缺乏与过量

（一）婴幼儿蛋白质的缺乏

婴幼儿通过食物获取蛋白质，蛋白质的缺乏往往会伴随能量的缺乏，导致蛋白质—能量营养不良（一种由于蛋白质或能量摄入不足引起的营养缺乏病）。婴幼儿处于生长发育的阶段，对蛋白质、能量的不足更为敏感，因此比成年人更容易发生蛋白质—能量营养不良。蛋白质缺乏对所有的器官都有不利影响，婴幼儿出现蛋白质—能量营养不良，可能对大脑功能产生长期不利的影响。

（二）婴幼儿蛋白质的过量

蛋白质摄入过量对机体健康的影响一直存在较大的争议，目前我国尚未制定婴幼儿蛋白质的可耐受最高摄入量。蛋白质，尤其是动物蛋白摄入过多，对婴幼儿同样有害。首先，过多摄入动物蛋白，就必定伴有较多的动物脂肪和胆固醇摄入；其次，蛋白质过多本身也会产生有害影响。正常情况下，人体不储存蛋白质，所以必须将过多的蛋白质脱氨分解，氮则由尿排出体外。这一过程需要大量水分，从而加重了肾脏的负荷，若肾功能已经受损，则危害更大。最后，婴幼儿摄入过多的动物蛋白，也容易造成含硫氨基酸摄入过多，加速骨骼中钙的流失，患上骨质疏松症。

第三讲 脂类

人体脂类总量约占体重的 10% ~ 20%。脂类也是膳食中重要的营养素，在烹调时可以赋予食物特殊的色、香、味，增进食欲，适量摄入对满足机体生理需要，促进维生素 A、维生素 E 等脂溶性维生素的吸收和利用，以及维持人体健康发挥着重要作用。常见的富含脂类的食物如图 1-3 所示。



图 1-3 富含脂类的食物

一、脂类的分类

脂类是脂肪和类脂的统称，是人体需要的重要营养素之一，供给机体所需的能量、提供机体所需的必需脂肪酸，是人体细胞组织的组成成分。

（一）脂肪

脂肪，是体内重要的储能和供能物质，约占体内脂类总量的 95%。脂肪又称甘油酯，是由 1 分子甘油和 3 分子脂肪酸所构成的酯，包括甘油一酯、甘油二酯、甘油三酯。脂肪在人体中的脂类中占比很高，因此，很多官方文件会将脂肪（而不是脂类）作为三大营养物质之一来研究，并提供了大量的研究数据。同样地，本教材在后文中也会使用此类数据，并将脂肪作为三大营养物质之一来介绍。

脂肪酸是脂肪的重要组成部分，根据不饱和度的不同，通常可分为饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸。脂肪酸可通过膳食摄入，部分脂肪酸也可由机体自身合成。机体自身无法合成，必须从食物中摄取的脂肪酸被称为必需脂肪酸，包括 α -亚麻酸和亚油酸。人体能够利用亚油酸合成花生四烯酸。 α -亚麻酸可衍生为二十碳五烯酸（eicosapentaenoic acid, EPA）和二十二碳六烯酸（docosahexaenoic acid, DHA）。



阅读卡片

反式脂肪酸

一、反式脂肪酸对健康有哪些危害？

反式脂肪酸进入体内不容易被消化吸收或降解，导致它一直在血液当中，增加低密度脂蛋白胆固醇，进一步导致疾病的发生，比如心脏病、高血压、高血脂、糖尿病等。反式脂肪酸对于记忆力的影响也是非常大的，尽可能少地摄入反式脂肪酸，可以延缓老年退行性病变的发生速度。

值得一提的是，天然的食物当中也有反式脂肪酸，如牛奶、牛羊肉等含有天然的反式脂肪酸。当然，科学研究认为天然的反式脂肪酸对于人体的危害远远没有人造的反式脂肪酸大。

二、反式脂肪酸从何而来？都以哪些面目出现？

植物油被氢化就会产生反式脂肪酸，我们把这样的植物叫作氢化植物油。

氢化植物油会以五花八门的名字出现在市场上，比如代可可脂、起酥油、人造奶油、人造黄油、植脂末等，这些都是由氢化植物油做成的。

我们看到一些食品外包装会标注零反式脂肪酸，但这并不能说明它们百分之百不含反式脂肪酸。

《预包装食品标签通则（GB 7718—2011）》规定，如果每 100 g 食品中反式脂肪酸的含量小于 0.3 g，就可以标为 0。所以还是要看配料表里是不是有人造黄油、植脂末、植物奶精这一类的配料。

三、不太健康的反式脂肪酸，为何广泛应用于加工食品中？

反式脂肪酸的熔点及稳定性都比不饱和脂肪酸高，它在室温下能够保持固体形状，而且由于稳定性比较好，它可以延长食品的货架期，保持食品的外形美观，所以才在食品中广泛应用。

四、每天摄入反式脂肪酸的上限是多少？

国家规定了反式脂肪酸的摄入量不超过每天热量的 1%，换算下来也就是每天不超过 2 g。

在日常生活当中我们烹饪食物时，油被加热到一定的程度也会产生反式脂肪酸，建议大家在烹饪时尽量低温，热锅冷油，尽量避免热锅热油。

（资料来源：央视网，2022 年 2 月 7 日，有删改）

（二）类脂

类脂指类似脂肪或油的有机化合物，包括磷脂、固醇类等，约占全身脂类总量的 5%，是生物膜、机体组织器官尤其是神经组织的重要组成部分。

磷脂是构成生物膜的重要成分和结构基础，对脂肪的吸收和运转及储存脂肪酸起着重要作用。固醇类为一些类固醇激素的前体，同时也是细胞膜的结构组分。胆固醇是机体内主要的固醇物质，广泛存在于全身各组织中。

二、脂类的功能

（一）脂肪的功能

脂肪主要指的是膳食脂肪。膳食脂肪主要为甘油三酯。来自动物性食物的甘油三酯，常温下呈固态，故称为脂；来自植物性食物中的甘油三酯，常温下呈液态，故称为油。人体内的甘油三酯主要分布在腹腔、皮下和肌肉纤维之间，具有重要的生理功能。

1. 构成人体成分，提供和储存能量

脂肪约占正常人体重的 10% ~ 20%，是构成人体成分的重要物质。脂肪是人体重要的能量来源，纯母乳喂养的婴幼儿，母乳中的脂肪能够提供婴幼儿所需能量的 48%。当人体摄入能量过多而不能被及时利用时，能量就会转变为脂肪储存于体内。机体需要时，可把脂肪组织所储存的脂肪动员出来，用于能量供应。

2. 促进脂溶性维生素的吸收

食物中脂溶性维生素常与脂肪并存，如动物肝脏脂肪富含维生素 A，麦胚油富含维生素 E。脂肪可刺激胆汁分泌，协助脂溶性维生素吸收和利用。膳食缺乏脂肪或脂肪吸收障碍时，会引起体内脂溶性维生素不足或缺乏。

3. 维持体温、保护脏器

脂肪可以阻止体热的散发，维持体温的恒定。脂肪可以防止或减少因震动造成的对脏器、组织、关节的损害，发挥对器官的保护作用。

4. 提供必需脂肪酸

必需脂肪酸亚油酸和 α -亚麻酸必须靠膳食脂肪提供，必需脂肪酸的衍生物具有多种生理功能。

(二) 类脂的功能

1. 维持生物膜的结构与功能

磷脂是构成生物膜的主要成分。磷脂中的多不饱和脂肪酸赋予生物膜流动性。

2. 参与脑和神经组织的构成

磷脂是脑和神经组织的结构脂。胆固醇作为神经纤维的重要绝缘体大量存在于神经髓鞘中，防止神经冲动从一条神经纤维向其他神经纤维扩散。

3. 运输脂肪

磷脂与蛋白质结合形成的脂蛋白，通过血液运输脂类至身体各组织器官。胆固醇与必需脂肪酸或其衍生物结合形成胆固醇酯，在体内运输代谢。如果脂类及衍生物在体内运输发生障碍，则会沉积于血管壁导致动脉粥样硬化。

4. 合成维生素和激素的前体

胆固醇是体内合成维生素 D 及胆汁酸的前体，维生素 D 调节钙磷代谢，胆汁酸能乳化脂类使之与消化酶混合，因此摄入胆固醇是脂溶性维生素和脂类消化与吸收的必需条件。胆固醇在体内还可以转变成多种激素，参与物质代谢。

三、脂类的消化、吸收

食物中的脂类在成人口腔和胃中不能被消化，这是由于口腔中没有消化脂类的酶，胃中虽有少量脂肪酶，但此酶只有在中性 pH 值环境中才有活性，因此在正常胃液中此酶几乎没有活性。但是婴儿时期，胃酸浓度低，胃中 pH 值接近中性，脂肪尤其是乳脂可被部分消化。脂类的消化与吸收主要在小肠中进行。消化脂类的酶主要来自胰液中的胰脂肪酶、胆固醇酯酶，以及肠液中的肠脂肪酶。胆汁首先将脂肪乳化，有利于脂肪的消化吸收。经过消化，甘油三酯水解为甘油单酯和游离脂肪酸后被机体吸收，磷脂水解为溶血磷脂和游离脂肪酸，胆固醇酯水解为游离胆固醇，然后被小肠吸收。

思考与讨论

脂肪和类脂有什么区别？两者功能有何不同？

四、膳食脂肪的营养学评价

膳食脂肪的营养价值可从脂肪消化率、必需脂肪酸含量、各种脂肪酸比例、脂溶性维生素含量等方面进行评价。

（一）脂肪消化率

脂肪消化率与其熔点密切相关。熔点低于体温的脂肪，消化率可高达 97% ~ 98%；高于体温的脂肪，消化率约为 90%。熔点高于 50℃ 的脂肪较难消化，多见于动物脂肪。含不饱和脂肪酸和短链脂肪酸越多的脂肪，熔点越低越容易消化，多见于植物脂肪。一般植物脂肪的消化率要高于动物脂肪。

（二）必需脂肪酸含量

一般植物油中亚油酸和 α -亚麻酸含量高于动物脂肪，其营养价值优于动物脂肪。但椰子油中亚油酸含量很低，其不饱和脂肪酸含量也少。

（三）各种脂肪酸比例

机体对饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸及多不饱和脂肪酸的摄入不仅要有一定的量，还应有一定的比例。

（四）脂溶性维生素含量

脂溶性维生素含量高的脂类，其营养价值也高。植物油中富含维生素 E，特别是

谷类种子的胚油（如麦胚油）。动物的皮下脂肪几乎不含维生素，器官脂肪如肝脏脂肪中含有丰富的维生素 A、维生素 D，某些海产鱼肝脏脂肪中维生素 A、维生素 D 含量更高。

五、婴幼儿脂类的参考摄入量及食物来源

（一）参考摄入量

婴儿期是人一生中生长发育最快的时期。充足的能量，特别是高能量密度脂肪的供给，是婴儿生长发育所必需的，也是适应婴儿胃肠道功能及渗透压的最佳选择。营养良好的母乳能满足 0～6 月龄婴儿的营养需要，0～6 月龄婴儿脂肪的适宜摄入量为 48%E。7～12 月龄婴儿膳食脂肪的适宜摄入量为 40%E。1～3 岁的幼儿膳食脂肪的适宜摄入量为 35%E。

（二）食物来源

人类膳食脂肪主要来源于动物脂肪组织、肉类及植物的种子。畜禽等动物脂肪中饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸含量较多，而多不饱和脂肪酸含量较少。水产品富含不饱和脂肪酸，如深海鱼、贝类食物含二十碳五烯酸（EPA）和二十二碳六烯酸（DHA）相对较多。植物脂肪（或油）富含不饱和脂肪酸。植物油中普遍含有亚油酸，如豆油、紫苏籽油、亚麻籽油中 α -亚麻酸较多。但是，可可油、椰子油和棕榈油等富含饱和脂肪酸。磷脂含量较多的食物有蛋黄、肝脏、大豆、麦胚和花生等。含胆固醇丰富的食物是动物的脑、肝、肾等内脏，蛋类、肉类和奶类也含有一定量的胆固醇。部分食物的脂肪含量如表 1-6 所示。

表 1-6 部分食物的脂肪含量

食物名称	脂肪含量 (g/100 g)	食物名称	脂肪含量 (g/100 g)
猪肉（肥）	88.6	鸡腿	13
猪肉（肥瘦）	37.0	鸭	19.7
猪肉（后臀尖）	30.8	草鱼	5.2
猪肉（后肘）	28.0	带鱼	4.9
猪肉（里脊）	7.9	黄鱼（大黄花鱼）	2.5
猪蹄	18.8	海鳗	5
猪肝	3.5	鲤鱼	4.1

续表

食物名称	脂肪含量 (g/100 g)	食物名称	脂肪含量 (g/100 g)
猪大肠	18.7	鸡蛋	8.8
牛肉 (瘦)	2.3	鸡蛋黄	28.2
羊肉 (瘦)	3.9	鸭蛋	13
鹌鹑	3.1	核桃 (干)	58.8
鸡	9.4	花生 (炒)	48
鸡翅	11.8	葵花籽 (炒)	52.8

资料来源：杨月欣，王光亚，潘兴昌. 中国食物成分表 [M]. 2 版. 北京：北京大学医学出版社，2009：128.

六、婴幼儿脂类的缺乏与过量

(一) 婴幼儿脂类的缺乏

脂类长期供给不足，会影响婴幼儿大脑的发育，使其营养不良、生长迟缓，还会患上各种脂溶性维生素缺乏症。同时，脂类长期摄入不足会导致必需脂肪酸缺乏，从而导致生长发育停滞、中枢神经系统功能异常、生殖功能丧失、眼及视网膜病变、肾衰竭和血小板功能异常。

(二) 婴幼儿脂类的过量

脂类摄入过量，容易导致婴幼儿出现肥胖、心血管疾病等病症。某些癌症的生成与脂类的摄入量有关，膳食脂肪总量增加，某些癌症的发生概率也增加。

第四讲 碳水化合物

碳水化合物是由碳、氢、氧 3 种元素组成的有机化合物，因为分子式中氢和氧的比例恰好和水相同（2：1），如同碳和水的化合物，因而得名。碳水化合物是最早被发现的营养素之一，广泛存在于动植物中，是人类膳食能量的主要来源，对人体营养有着重要作用。常见的富含碳水化合物的食物如图 1-4 所示。



图 1-4 富含碳水化合物的食物

一、碳水化合物的分类

碳水化合物有多种分类方法，联合国粮食及农业组织（FAO）和世界卫生组织（WHO）于1998年根据聚合度（糖最小单位）、化学性质和生理特性将碳水化合物分为糖、寡糖、多糖三类，分类如表1-7所示。

表 1-7 碳水化合物的分类

分类（聚合度）	亚组	组成
糖（1～2）	单糖	葡萄糖，半乳糖，果糖
	双糖	蔗糖，乳糖，麦芽糖，海藻糖
	糖醇	山梨醇，甘露醇
寡糖（3～9）	异麦芽低聚糖	麦芽糊精
	其他寡糖	棉籽糖，水苏糖，低聚果糖
多糖（≥10）	淀粉	直链淀粉，支链淀粉，变性淀粉
	非淀粉多糖	糖原，纤维素，半纤维素，果胶，亲水胶质物

资料来源：杨月欣，葛可佑．中国营养科学全书（全2册）[M]．2版．北京：人民卫生出版社，2019：77.

（一）糖

糖类是生命和各种运动过程的重要能源，根据水解状况，可分为单糖、双糖和糖醇。单糖是糖类中最简单的分子，不能再分解为更小的糖。单糖是可以直接吸收的糖的形式。食物中的单糖主要有葡萄糖、果糖和半乳糖。双糖是由2分子单糖脱水形成的碳水化合物。常见的天然存在于食品中的双糖有蔗糖、麦芽糖和乳糖等。糖醇是单糖或双糖的重要衍生物，常见的糖醇有山梨醇、甘露醇等。

（二）寡糖

寡糖又称低聚糖，是由3～9个单糖分子通过糖苷键构成的聚合物。常见的寡糖有棉籽糖、水苏糖、低聚果糖等。

（三）多糖

多糖是由10个及以上的同种单糖或异种单糖缩合而成的大分子化合物。食物中的多糖可分为淀粉和非淀粉多糖。淀粉是由葡萄糖单体组成的同聚糖，有直链淀粉和支链淀粉两种形式，此外，还有作为淀粉衍生物的变性淀粉。非淀粉多糖包括糖原、

纤维素、果胶等，即膳食纤维。糖原是由许多葡萄糖组成的带分支的大分子多糖。纤维素不能被人体消化吸收，但它可以刺激和促进胃肠道的蠕动，有利于其他食物的消化吸收及粪便的排泄。果胶是植物中的一种酸性多糖，还包括其他单糖组成的果胶类物质。

二、碳水化合物的功能

碳水化合物是生命细胞结构的主要成分及主要供能物质，并且有调节细胞活动的作用，它具有以下几个主要功能。

（一）提供和储存能量

食物中的碳水化合物是婴幼儿最主要的能量来源，1岁后的幼儿每日需要的能量有50%～65%由碳水化合物提供。糖原是肌肉和肝脏碳水化合物的储存形式。一旦机体需要，肝脏中的糖原即被分解为葡萄糖以提供能量。碳水化合物在体内释放能量较快，供能也快，是神经系统和心肌的主要能源，也是肌肉活动时的主要燃料，对维持神经系统和心脏的正常供能、增强耐力、提高工作效率都有重要意义。

（二）构成组织及参与重要生理功能

碳水化合物是构成机体组织细胞的重要物质，并参与细胞的组成和多种活动。碳水化合物主要以糖脂、糖蛋白和蛋白多糖的形式存在于细胞膜、细胞器、细胞质和细胞间质中。一些具有重要生理功能的物质如抗体、酶和激素的组成成分，也需要碳水化合物参与。

（三）调节血糖

食物中消化快的淀粉、糖等成分，可以很快在小肠被吸收并升高血糖水平；而一些寡糖或其他形式的膳食纤维则不能显著升高血糖，它们会使血糖缓慢而平稳地升高。因此，糖尿病人的膳食中需要合理搭配碳水化合物的种类及数量。



阅读卡片

血糖

血糖主要指血液中葡萄糖的含量。正常情况下，血糖总是保持在一定的恒定范围内，空腹全血浓度为3.9～6.1 mmol/L。当血糖低于8.88 mmol/L时，肾小管细胞几乎可以把滤入原尿中的葡萄糖全部重吸收，在这种情况下，一般检验尿糖的方法从尿中查不出糖。但是如果血糖高于8.9～10.0 mmol/L时，可出

现尿糖，因此，通常将 $8.9 \sim 10.0 \text{ mmol/L}$ 的血糖浓度称为肾糖阈。血糖保持相对恒定，是细胞进行正常代谢、维持器官正常功能的重要条件之一。特别是脑组织，因为糖原含量少，又主要靠糖氧化供能，因此，保持正常的血糖更显得重要。

血糖升高的来源主要为肠道吸收、肝糖原的分解和糖异生作用；降低的去路主要为有氧和无氧分解、合成糖原、转变为非糖物质及随尿排出。

血糖的高低，取决于来源和去路的相对速度，其速度的调控靠体内神经系统、激素以及某些组织器官等的共同作用。

胰岛素是由胰岛 β 细胞合成并分泌的一种活性蛋白，是体内唯一降低血糖的激素，也是重要的促进糖原、脂肪和蛋白质合成的激素。血糖降低或血内氨基酸水平升高可刺激胰高血糖素的分泌，胰高血糖素可以升高血糖。

（四）节约蛋白质

当膳食中碳水化合物供应不足时，机体会动用蛋白质满足自身对葡萄糖的需要。而当摄入充足的碳水化合物时，机体则不需要动用蛋白质来供能，进而减少蛋白质的消耗。所以，碳水化合物具有节约蛋白质的作用。

（五）抗生酮

脂肪的完全代谢分解需要葡萄糖的帮助。脂肪分解产生的乙酰基需要与草酰乙酸结合进入三羧酸循环（碳水化合物、脂肪、蛋白质在人体内产能或发挥其他生理作用的代谢途径）。碳水化合物摄入不足会导致草酰乙酸生成不足，结果会使脂肪酸不能彻底被氧化，进而产生酮体。酮体会导致酮血症和酮尿症。因此，碳水化合物具有抗生酮作用。

（六）增强肠道功能

纤维素和果胶虽不能在小肠被消化吸收，但可以刺激肠道蠕动，被肠道菌群发酵分解。肠道菌群主要为厌氧菌，通过发酵获得能量。某些不能被消化的碳水化合物可促进肠道有益菌群的增殖，如乳酸杆菌、双歧杆菌。益生菌不仅可以增强人体消化系统功能，还可以抑制有害菌的生长、清除有害菌产生的毒素等，降低肠道可能出现的健康风险，维持肠道健康。这些不能被消化的碳水化合物常被称为“益生元”。

三、碳水化合物的消化、吸收

碳水化合物的消化和吸收分为两个主要形式：小肠消化和结肠发酵。单糖直接在小肠消化吸收；双糖经酶水解后再吸收；一部分寡糖和多糖水解成葡萄糖后吸收。在小肠不能消化的部分到结肠经细菌发酵后再吸收。

碳水化合物的消化从口腔开始。口腔分泌的唾液中含有的 α -淀粉酶（唾液淀粉酶）可分解部分碳水化合物。碳水化合物的消化主要是在小肠进行，肠腔中的水解酶主要是来自胰液的胰淀粉酶。小肠内不被消化的碳水化合物到达结肠后被结肠菌群分解产生氢气、甲烷气、二氧化碳短链脂肪酸等，该过程称为发酵，发酵也是消化的一种方式，还可促进肠道一些特定菌群如双歧杆菌、乳酸杆菌等的生长繁殖。

碳水化合物经过消化变成单糖后才能被细胞吸收。糖被吸收的主要部位是小肠的空肠。单糖首先进入肠黏膜上皮细胞，再进入小肠壁的毛细血管，并混合于门静脉而进入肝脏，最后进入大循环，运送到全身各个器官。在各组织器官吸收过程中，少量单糖也可能经淋巴系统进入大循环。

思考与讨论

碳水化合物对婴幼儿的生长发育有何重要意义？

四、婴幼儿碳水化合物的参考摄入量及食物来源

（一）参考摄入量

母乳是出生后6个月内婴儿的最佳食物来源，能够满足婴儿全部的营养需要。母乳中碳水化合物含量基本稳定，与母亲膳食摄入量变化关系不大。母乳中的碳水化合物以乳糖为主，整个泌乳期乳糖含量为7.5～8.0 g/100 g（平均值大约为7.8 g/100 g），6个月内的婴儿平均每天摄取780 g的母乳，由此计算得出含有大约60 g（ $7.8 \times 780 \div 100$ ）的碳水化合物，故制定0～6月龄婴儿的碳水化合物的适宜摄入量为60 g/d，7～12月龄婴儿的碳水化合物的适宜摄入量为80 g/d，1～3岁幼儿的碳水化合物的平均需要量为120 g/d。1～3岁幼儿膳食碳水化合物的宏量营养素可接受范围为50%E～65%E。

（二）食物来源

富含碳水化合物的食物主要有面粉、大米、玉米、土豆、红薯等。粮谷类（谷物和豆类的原粮和成品粮）中碳水化合物的含量为60%～80%，薯类中碳水化合物的含量为15%～29%，豆类中碳水化合物的含量为40%～60%。单糖和双糖的来源是

白糖、糖果、甜食、糕点、水果、含糖饮料和蜂蜜等。全谷类、蔬菜水果等富含膳食纤维，一般含量在 3% 以上。常见食物碳水化合物含量如表 1-8 所示。

表 1-8 常见食物碳水化合物含量（可食部，g/100 g）

食物种类	碳水化合物	总膳食纤维	淀粉	糖
白糖	99.9	—	—	—
蜂蜜	75.6	—	—	—
小麦	75.2	12.6	61.8	2.1
玉米（黄）	73.0	11.0	7.1	1.6
小米	75.1	8.5	60.0	4.0
大麦	73.3	17.3	62.2	1.8
麸皮	61.4	31.6	75.9	—
粉条	84.2	—	—	—
藕粉	93.0	—	—	—
甘薯	25.2	15.6	50	—
土豆	17.2	0.6	16.6	—
芋头	26.2	2.5	1.1	—
黄豆	34.2	15.5	—	—
绿豆	62.0	6.4	—	—
赤小豆	63.4	7.7	—	—
花生	12.5	6.3	6.2	—

资料来源：杨月欣，葛可佑．中国营养科学全书（全 2 册）[M]．2 版．北京：人民卫生出版社，2014：161．

五、婴幼儿碳水化合物的缺乏与过量

（一）婴幼儿碳水化合物的缺乏

婴幼儿碳水化合物的缺乏大都发生在饥饿、禁食或某些病理状态下。当细胞中的碳水化合物储备（如糖原）耗竭时，为了维持血糖浓度的稳定、满足脑部的供能、激活机体内的糖异生反应、加强脂肪动员，大量的脂肪酸提供能量的同时也会产生酮体，容易导致婴幼儿酮症酸中毒。

（二）婴幼儿碳水化合物的过量

过量的碳水化合物摄入可引起机体碳水化合物氧化率增加。长期摄入高碳水化合物容易造成糖尿病的产生和发展。

第五讲 维生素

维生素是维持机体生命活动过程所必需的一类微量的低分子有机化合物。维生素的种类很多，化学结构各不相同，在生理上既不是构成各种组织的主要原料，也不是体内的能量来源，但在机体物质和能量的代谢过程中发挥着重要作用。富含维生素的食物如图 1-5 所示。



图 1-5 富含维生素的食物

目前所发现的维生素化学结构不同、生理功能各异，根据维生素的溶解性可将其分为两大类，即脂溶性维生素和水溶性维生素。

一、脂溶性维生素

脂溶性维生素指不溶于水而溶于脂肪及有机溶剂的维生素，包括维生素 A、维生素 D、维生素 E 和维生素 K。脂溶性维生素一般与脂类共存，脂溶性维生素的吸收与肠道中的脂类密切相关。脂溶性维生素易储存于体内，不易被排出体外，若摄入过多，容易在体内蓄积而产生毒性。婴幼儿脂溶性维生素的参考摄入量如表 1-9 所示。

表 1-9 婴幼儿脂溶性维生素的参考摄入量

年龄阶段	维生素 A ($\mu\text{gRAE/d}$)	维生素 D ($\mu\text{g/d}$)	维生素 E ($\text{mg}\alpha\text{-TE/d}$)	维生素 K ($\mu\text{g/d}$)
0 ~ 6 月龄	300 (AI)	10 (AI)	3 (AI)	2 (AI)
7 ~ 12 月龄	350 (AI)	10 (AI)	4 (AI)	10 (AI)
1 ~ 3 岁	340 (男, RNI) 330 (女, RNI)	10 (RNI)	6 (AI)	30 (AI)

RAE (视黄醇活性当量) = 膳食或补充剂来源全反式视黄醇 (μg) + 1/2 补充剂纯品全反式 β -胡萝卜素 (μg) + 1/12 膳食全反式 β -胡萝卜素 (μg) + 1/24 其他膳食维生素 A 原类胡萝卜素 (μg)

$\alpha\text{-TE}$ (α -生育酚当量) = $1 \times \alpha\text{-生育酚}(\text{mg}) + 0.5 \times \beta\text{-生育酚}(\text{mg}) + 0.1 \times \gamma\text{-生育酚}(\text{mg}) + 0.02 \times \delta\text{-生育酚}(\text{mg}) + 0.3 \times \alpha\text{-三烯生育酚}(\text{mg})$

资料来源：中国营养学会. 中国居民膳食营养素参考摄入量 (2023 版) [M]. 北京：人民卫生出版社，2023：636.

(一) 维生素 A

维生素 A 是一种脂溶性维生素，它包括 A1 和 A2，其中 A2 又叫视黄醇。植物中不含已形成的维生素 A，但在某些有色（黄、橙和红色）植物中含有类胡萝卜素。类胡萝卜素是广泛存在于微生物、植物、动物及人体内的一类黄色、橙色或红色的脂溶性色素。一小部分可在小肠和肝细胞内转变成视黄醇和视黄醛的类胡萝卜素被称为维生素 A 原，如 β -胡萝卜素、 α -胡萝卜素和 β -隐黄质。

1. 维生素 A 的生理功能

(1) 维持正常视觉功能。维生素 A 参与构成视觉细胞中感受弱光的视紫红质。人在亮处时，视紫红质消失。一旦进入暗处，人最初看不清任何物体，经过一段时间后，视紫红质再生到一定水平，人才逐渐恢复视觉，这一过程被称为暗适应。婴幼儿必须持续补充维生素 A 以满足机体需要，当维生素 A 不足时，婴幼儿的暗适应时间会延长。

(2) 维持皮肤黏膜层的完整性。维生素 A 对上皮细胞的细胞膜起稳定作用，对维持上皮细胞的形态完整和功能健全有着重要意义。维生素 A 充足时，皮肤才能维持正常的抗感染和抵御外来侵袭的天然屏障作用。

(3) 维持和提高免疫功能。维生素 A 可以促进免疫细胞产生抗体，也可以提高细胞免疫功能，还可以促进 T 淋巴细胞产生某些淋巴因子。维生素 A 缺乏时，婴幼儿的免疫功能会受到影响。

(4) 促进生长发育和维持生殖功能。维生素 A 参与细胞 RNA (核糖核酸)、DNA (脱氧核糖核酸) 的合成，对细胞的分化、组织的更新有一定影响；另外，维生素 A

还参与软骨内成骨的形成和发育。缺乏维生素 A 会对长骨的形成和牙齿的发育产生影响，同时也会对生殖功能产生影响。

2. 婴幼儿维生素 A 的食物来源

维生素 A 多存在于动物性食物中，如动物的内脏（其中以肝脏的含量最高）、鱼肝油、鱼卵、全脂牛奶、奶油、禽蛋等。

如果婴幼儿膳食中的动物性食物比较少，也可以通过食用植物性食物中的类胡萝卜素来获取所需的维生素 A。类胡萝卜素主要存在于深绿色、红色、橙色或黄色的蔬菜或水果中，如西兰花、菠菜、空心菜、芹菜叶、豌豆、胡萝卜、荠菜、西红柿、辣椒、芒果、杏子、柿子等。

3. 婴幼儿维生素 A 的缺乏与过量

（1）婴幼儿维生素 A 的缺乏。

维生素 A 缺乏病的发生率相当高，仍是许多发展中国家的一个主要公共卫生问题，而且，婴幼儿维生素 A 缺乏病的发生率远高于成人。根据世界卫生组织的报道，全球范围内超过 1/3 的学龄前儿童缺乏维生素 A。

维生素 A 缺乏病对婴幼儿的视力有着极大的损害，其最早的症状是暗适应能力下降，进一步就会使婴幼儿出现夜盲症和干眼症，甚至失明。

维生素 A 缺乏病还可引起机体不同的组织上皮干燥、增生及角化，易并发感染，容易引起婴幼儿呼吸道炎症，严重时可引起死亡。当维生素 A 缺乏时，婴幼儿易出现食欲降低、血红蛋白合成代谢障碍、免疫功能低下、生长发育迟缓等症状。

（2）婴幼儿维生素 A 的过量。

一次或多次连续摄入大量的维生素 A（推荐摄入量的 20 倍及以上），人就可能发生急性中毒，主要表现为嗜睡、过度兴奋、头痛、呕吐等。婴幼儿以高颅压为主要临床特征，颅内压力增高可能会使囟门未闭的婴幼儿出现前囟隆起的现象。

婴幼儿每天摄入 15 ~ 30 mg（5 万 ~ 10 万 IU）维生素 A，摄入时长超过 6 个月即可引起慢性中毒。鱼肝油中不仅含有维生素 D 也含有大量维生素 A，过量补充易造成婴幼儿的慢性中毒。慢性中毒表现为头痛、食欲降低、脱发、皮肤干燥瘙痒等。

大剂量类胡萝卜素的摄入可导致胡萝卜素血症，表现为皮肤黄染，以鼻尖、鼻唇皱襞、前额、手掌和足底部位明显。当停止大量摄入富含胡萝卜素的食物后，胡萝卜素血症可在 2 ~ 6 周内逐渐消退。胡萝卜素血症一般不会造成生命危险，患病者无需特殊治疗。



医学效价单位

医学效价单位，简称效价单位，是用于衡量某些药物（如维生素、激素、抗生素等生物制品）生物效能的标准。这些药物的化学成分不恒定或还不能用理化方法检定其质量规格，往往采用生物实验方法并与标准品加以比较来检定其效价。通过这种生物检定，具有一定生物效能的最小效价单元就叫“单位”（U）。经由国际协商规定出的标准单位，称为“国际单位”（IU）。

1931年，国际联盟卫生组织的维生素委员会首先规定了各种维生素的国际单位。随着科学研究和工业的发展，对于某些药物的效价单位有了更明确的规定和换算方法。医学效价单位的使用有助于确保药物的准确性和安全性。通过采用统一的计量单位，可以方便地比较不同药物之间的生物活性差异，为临床用药提供科学依据。同时，也有助于规范药品的生产和流通环节，保障患者的用药安全。

常用的医学效价单位换算如下：

1 IU 维生素 A = 0.3 μg 全反式视黄醇 = 0.6 μg 全反式 β -胡萝卜素

1 IU 维生素 D = 0.025 μg 维生素 D

1 μg 维生素 D = 40 IU 维生素 D

1 IU 维生素 E = 1 mg DL- α -生育酚乙酸酯 = 0.67 mg D- α -生育酚

（二）维生素 D

维生素 D 是人类必需的一种脂溶性维生素。从维生素 D 被发现至今的一百年里，科学家对维生素 D 功能的认识不断完善。维生素 D 在温度高、碱性的环境中较为稳定，在光照和酸性的环境中不太稳定，所以需要避光保存。

1. 维生素 D 的生理功能

维生素 D 能够维持机体钙、磷平衡。维生素 D 通过促进骨骼及牙齿的矿化、促进小肠钙吸收、促进肾脏对钙和磷的重吸收等，调节机体钙、磷代谢。当血钙过高时，维生素 D 通过促进甲状旁腺产生降钙素，阻止钙从骨骼中动员，增加从尿中排出的钙和磷。此外，维生素 D 还具有激素样作用，在机体免疫调节中起重要作用。

2. 婴幼儿维生素 D 的食物来源

人体中的维生素 D 主要通过皮肤接受紫外线照射而合成或从膳食中获得。日光照射是获取维生素 D 的主要来源，通过日光照射获取的维生素 D 占体内维生素 D 的 78% ~ 80%。

大多数天然食物中维生素 D 含量低。动物性食物中只有含脂肪高的海鱼（虹鳟鱼、大马哈鱼等）、动物肝脏、蛋黄和奶油中有相对含量较多的维生素 D。植物性食物如蕈类含有维生素 D，而牛乳和人乳的维生素 D 含量较低，蔬菜、谷物和水果中几乎不含维生素 D。维生素 D 补充剂也是维生素 D 的重要来源。

3. 婴幼儿维生素 D 的缺乏与过量

（1）婴幼儿维生素 D 的缺乏。

婴幼儿维生素 D 缺乏会引起佝偻病，尤其是日照不足、喂养不当的婴儿以及出生生长较快的早产儿。婴幼儿佝偻病表现为方颅、鸡胸、漏斗胸、“念珠肋”、“O”形腿和“X”形腿等。佝偻病一般多见于 6 个月以内的婴儿，以骨质软化为主要表现，由于低血钙，患儿可能出现惊厥和抽搐的现象。

（2）婴幼儿维生素 D 的过量。

天然食物中维生素 D 含量通常很低，因此，天然食物引起的维生素 D 中毒极少发生。经常接受阳光照射的婴幼儿几乎不可能发生维生素 D 中毒，但长期摄入大量维生素 D 补充剂的婴幼儿有可能因为维生素 D 过量而出现中毒。因此，婴幼儿服用维生素 D 制剂时应遵循医生的要求。

维生素 D 中毒最早出现的症状是食欲减退、厌食、烦躁、哭闹、多汗、恶心、呕吐、腹泻或便秘，逐渐出现烦渴、尿频、夜尿多的症状，偶有脱水和酸中毒的发生。维生素 D 中毒者可能出现精神抑郁、肌张力低下、运动失调，甚至昏迷、惊厥、肾衰竭等现象。长期慢性中毒可致骨骼、肾、血管、皮肤出现相应的钙化，严重者可能因肾衰竭而死亡。



阅读卡片

维生素 D 的形式

维生素 D 至少有五种形式，但最具有生物学意义的形式有两种，即麦角钙化醇（维生素 D₂）和胆钙化醇（维生素 D₃）。维生素 D₂ 是由紫外线照射植物中的麦角固醇产生，但它在自然界的存量很少，因此照射麦角固醇的方法是人工

合成维生素 D₂ 的主要方式。维生素 D₃ 则由大多数高级动物的表皮和真皮内含有的 7-脱氢胆固醇经日光中紫外线（波长 265 ~ 228 nm）照射转变而成。维生素 D₂ 和维生素 D₃ 在结构、理化性质、生化和生理上仅有细小的差别，并且对人体的作用和作用机制完全相同，哺乳动物和人类对两者的利用亦无区别，因此习惯统称为维生素 D。

（三）维生素 E

维生素 E 又名生育酚，包括生育酚和三烯生育酚两类共 8 种化合物，即 α 、 β 、 γ 、 δ 生育酚和 α 、 β 、 γ 、 δ 三烯生育酚，其中 α -生育酚是自然界中分布最广泛、含量最丰富、活性最高的维生素 E。维生素 E 在常温下为油状液体，呈橙黄色或淡黄色，可溶于脂肪及脂溶剂。

1. 维生素 E 的生理功能

（1）抗氧化功能。维生素 E 是一种强抗氧化剂，能清除体内的自由基，保护生物膜，预防溶血。

（2）抗动脉粥样硬化功能。维生素 E 能够抑制血小板在血管表面凝集，具有保护血管内皮的作用，能够预防动脉粥样硬化和心血管疾病。

（3）维持和促进免疫功能。维生素 E 对维持正常的免疫功能，特别是对 T 淋巴细胞的功能很重要，也对肿瘤的防治起到一定作用。

（4）保护神经系统和骨骼肌的功能。维生素 E 有保护神经系统、骨骼肌、视网膜免受氧化损伤的作用。

2. 婴幼儿维生素 E 的食物来源

维生素 E 只在光合自养植物中合成。所有的高等植物的叶子和其他绿色部分均含有维生素 E，尤以种子为多。绿色植物中维生素 E 的含量高于黄色植物，几乎所有绿叶蔬菜中都有维生素 E。植物油是人类膳食中维生素 E 的主要来源，坚果则是维生素 E 的优质来源。

3. 婴幼儿维生素 E 的缺乏与过量

（1）婴幼儿维生素 E 的缺乏。

维生素 E 缺乏较少见，但可出现在低体重的早产儿中。机体存在脂肪吸收不良或某些疾病时，可导致维生素 E 缺乏。婴幼儿发育中的神经系统对维生素 E 缺乏很敏感，当维生素 E 缺乏时，如不及时使用维生素 E 补充治疗，婴幼儿可能很快就会

出现神经系统异常的症状,并产生认知能力低下和运动发育迟缓的症状。早产儿出生时,因血浆和组织中维生素 E 水平很低,而且消化器官不成熟,大多存在对维生素 E 吸收的障碍,往往容易出现溶血性贫血。

(2) 婴幼儿维生素 E 的过量。

在脂溶性维生素中,维生素 E 的毒性相对较小。但摄入大剂量维生素 E 有可能出现中毒症状,如肌无力、视觉模糊、恶心、腹泻以及维生素 K 的吸收和利用障碍。

(四) 维生素 K

维生素 K 是黄色晶体,通常呈油状液体或固体。维生素 K 包括 K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 等几种形式,其中 K_1 、 K_2 是天然存在的,属于脂溶性维生素;而 K_3 、 K_4 是通过人工合成的,属于水溶性的维生素。天然形式的维生素 K 在温度高的环境中较为稳定,但易遭酸、碱、氧化剂和光(特别是紫外线)的破坏。在正常的烹调过程中,天然形式的维生素 K 只会损失很少部分。

1. 维生素 K 的生理功能

维生素 K 能够促进肝脏合成凝血因子,参与血液凝固;还能促进成骨细胞,抑制破骨细胞,从而促进骨骼钙化。

2. 维生素 K 的食物来源

维生素 K 含量丰富的食物包括豆类、麦麸、绿色蔬菜、动物肝脏、鱼类等。在常见的绿色蔬菜中,维生素 K 含量较高的有羽衣甘蓝、黄瓜、菠菜等,维生素 K 含量较低的为嫩茎类、瓜果类、根茎类蔬菜。蔬菜叶中维生素 K_1 的含量比茎中高,而且叶子的绿色越深,维生素 K_1 含量也越高。

3. 婴幼儿维生素 K 的缺乏与过量

(1) 婴幼儿维生素 K 的缺乏。

维生素 K 缺乏可引起凝血缺陷和出血。新生儿是需要维生素 K 营养的一个特殊群体,有许多婴儿容易患新生儿出血症,一般见于出生后 1~7 天,表现为皮肤、胃肠道、胸腔内出血,严重的甚至会颅内出血。迟发性出血症多见于出生后 1~3 个月的婴儿。早产婴儿比足月婴儿对维生素 K 缺乏更为敏感。在世界范围内,维生素 K 缺乏仍是婴儿发病和死亡的重要原因。

(2) 婴幼儿维生素 K 的过量。

天然形式的维生素 K_1 和维生素 K_2 不产生毒性,即

思考与讨论

脂溶性维生素有哪些?缺乏脂溶性维生素会有什么表现?

使大量服用也无毒。但是，婴儿如果大量服用维生素 K₃，容易引起溶血性贫血、高胆红素血症和核黄疸症。

二、水溶性维生素

水溶性维生素是指可溶于水的维生素，包括 B 族维生素（维生素 B₁、维生素 B₂、维生素 B₃、维生素 B₆、烟酸、叶酸、维生素 B₁₂、泛酸、生物素等）和维生素 C。水溶性维生素在体内较易自尿液中排出。当机体需要量饱和后，多摄入的水溶性维生素从尿液中排出；若组织中水溶性维生素耗竭，则摄入的维生素将大量被组织摄取利用，故从尿液中排出量减少。水溶性维生素一般不含有毒性，但过量摄入也可能出现毒性；若摄入过少，人体会较快地出现缺乏症状。婴幼儿常见水溶性维生素的参考摄入量（部分）如表 1-10 所示。

表 1-10 婴幼儿水溶性维生素的参考摄入量（部分）

年龄阶段	维生素 B ₁ (mg/d)	维生素 B ₂ (mg/d)	维生素 C (mg/d)	烟酸 (mgNE/d)	叶酸 (μgDFE/d)
0 ~ 6 月龄	0.1 (AI)	0.4 (AI)	40 (AI)	1 (AI)	65 (AI)
7 ~ 12 月龄	0.3 (AI)	0.6 (AI)	40 (AI)	2 (AI)	100 (AI)
1 ~ 3 岁	0.6 (RNI)	0.7 (男, RNI) 0.6 (女, RNI)	40 (RNI)	6 (男, RNI) 5 (女, RNI)	160 (RNI)

DFE (叶酸当量) = 天然食物来源叶酸 (μg) + 1.7 × 合成叶酸 (μg)

NE (烟酸当量) = 烟酸 (mg) + 1/60 色氨酸 (mg)

资料来源：中国营养学会. 中国居民膳食营养素参考摄入量（2023 版）[M]. 北京：人民卫生出版社，2023：636.

（一）维生素 B₁

维生素 B₁ 又称硫胺素、抗脚气病因子、抗神经炎因子。我国古代的医书《黄帝内经》曾对脚气病进行过详细讲解，但直到 19 世纪末和 20 世纪初，西方生物学家才发现维生素 B₁ 是一种必需的营养物质。

1. 维生素 B₁ 的生理功能

维生素 B₁ 的主要功能是参与能量代谢。维生素 B₁ 是胆碱酯酶的抑制剂，当维生素 B₁ 缺乏时，胆碱酯酶的活性增强，乙酰胆碱分解加速，导致胃肠蠕动变慢，消化液分泌减少。

2. 婴幼儿维生素 B₁ 的食物来源

维生素 B₁ 广泛存在于天然食物中，含量丰富的食物有谷类、豆类及干果类。动

物内脏（肝、心、肾）、瘦肉、禽蛋中含量也较多。日常膳食中，维生素 B₁ 主要来自谷类食物，多存在于表皮和胚芽中，因此米、面等碾磨过于精细的食物可造成维生素 B₁ 大量损失。由于维生素 B₁ 具有易溶于水且在碱性条件下易受热分解的特性，所以，过分淘米或烹调中加碱也可导致维生素 B₁ 大量损失。一般温度下烹调食物时维生素 B₁ 损失不多，高温烹调时损失可达 30% ~ 40%。

3. 婴幼儿维生素 B₁ 的缺乏与过量

（1）婴幼儿维生素 B₁ 的缺乏。

维生素 B₁ 缺乏症又称脚气病，主要损害神经—血管系统。2 ~ 5 月龄的婴儿出现维生素 B₁ 缺乏症的情况较多，一般是母乳维生素 B₁ 缺乏所致。这种病症具有发病突然、病情急的特点。初期，婴儿会出现食欲缺乏、呕吐、兴奋、心跳快、呼吸急促和困难等症状；晚期有发绀、水肿、心脏扩大、心力衰竭和强直性痉挛等症状，常在症状出现 1 ~ 2 天后突然死亡。

（2）婴幼儿维生素 B₁ 的过量。

由于摄入过量的维生素 B₁ 很容易从肾脏排出，因此，很少出现人体维生素 B₁ 中毒的情况。但是，如果短时间服用超过推荐摄入量 100 倍的剂量，婴幼儿有可能出现头痛、惊厥和心律失常等症状。

（二）维生素 B₂

维生素 B₂ 又称核黄素。早在 19 世纪后期，人们发现在天然乳清中存在一种可溶于水的能产生黄色荧光的物质，可预防皮肤炎症，也就是维生素 B₂。维生素 B₂ 在酸性及中性环境中不易被高温破坏，在碱性环境中易被高温和紫外线破坏。

1. 维生素 B₂ 的生理功能

维生素 B₂ 可以维持蛋白质、脂肪和碳水化合物的正常代谢，促进正常的生长发育，维护皮肤和黏膜的完整性。

2. 婴幼儿维生素 B₂ 的食物来源

维生素 B₂ 广泛存在于动植物食品中，动物性食物较植物性食物含量高。动物肝脏、肾脏、心脏、乳汁及蛋类含量尤为丰富，植物性食物以绿色蔬菜、豆类含量较高，谷类含量较少。维生素 B₂ 在碱性溶液中易分解，对光敏感，所以食品加工过程中加碱、储存和运输过程中不避光等均会导致维生素 B₂ 损失。食物烹调方法不同，维生素 B₂ 损失也不同，如碗蒸米饭比捞米饭损失少；在烹调肉类时，油炸和红烧会导致维生素 B₂ 损失较多。

3. 婴幼儿维生素 B₂ 的缺乏与过量

(1) 婴幼儿维生素 B₂ 的缺乏。

维生素 B₂ 缺乏最常见的原因因为膳食供应不足、限制食物的供应、储存和加工不当。维生素 B₂ 缺乏主要表现为眼、口、唇、舌、皮肤和黏膜的炎症反应，早期表现为疲倦、乏力，口腔疼痛，眼睛出现瘙痒、烧灼感，继而出现口腔病变，包括唇炎、口角炎、舌炎等。

(2) 婴幼儿维生素 B₂ 的过量。

机体对维生素 B₂ 的吸收有上限，大剂量摄入并不能无限增加机体对维生素 B₂ 的吸收，因此维生素 B₂ 一般不会引起中毒，过量吸收的维生素 B₂ 也会很快随尿液排出体外。

(三) 维生素 C

维生素 C 是人体必需的微量物质，参与人体多种生化反应，对维持机体生长有着至关重要的作用。

1. 维生素 C 的生理功能

维生素 C 能够促进胶原蛋白合成，促进钙、铁、锌的吸收与利用，具有抗氧化作用，能够延缓衰老，增强免疫力。维生素 C 还可以防止或延缓维生素 A、维生素 E 和不饱和脂肪酸的氧化，阻止某些氧化物的形成，降低心血管疾病发生的风险。

2. 婴幼儿维生素 C 的食物来源

人体所需要的维生素 C 要靠食物提供。维生素 C 的主要食物来源是新鲜蔬菜与水果。例如茼蒿、苦瓜、白菜、豆角、菠菜、土豆、韭菜等蔬菜和酸枣、红枣、草莓、柑橘、柠檬等水果，都含有丰富的维生素 C。如果能经常摄入丰富的新鲜蔬菜和水果，并选择合理的烹调方式，人们一般能获得足够的维生素 C。

3. 婴幼儿维生素 C 的缺乏与过量

(1) 婴幼儿维生素 C 的缺乏。

维生素 C 缺乏容易引起坏血病，成年人一般表现为全身乏力、食欲减退。婴幼儿维生素 C 缺乏表现为生长迟缓、烦躁和消化不良。此外，还可能出现全身点状出血、牙龈炎、骨质疏松等症状。

(2) 婴幼儿维生素 C 的过量。

尽管维生素 C 的过量毒性很小，但服用量过多仍可产生一些不良反应。维生素 C 的分解代谢产物之一是草酸盐。过量摄取维生素 C 时，草酸盐排泄量增加，可能会导致泌尿系统结石。婴幼儿在生长时期过量服用，容易患骨骼疾病。

（四）烟酸

烟酸又称为尼克酸、抗癞皮病因子，在体内以烟酰胺（尼克酰胺）形式存在。烟酸和烟酰胺总称为维生素 PP。

1. 烟酸的生理功能

烟酸参与物质和能量代谢，与核酸的合成有关，能够降低血液胆固醇水平，参与蛋白质等物质的转化，起到保护心血管的作用。

2. 婴幼儿烟酸的食物来源

烟酸和烟酰胺广泛存在于食物中。烟酸主要存在于植物性食物中，烟酰胺主要存在于动物性食物中。烟酸和烟酰胺在肝、肾、瘦畜肉、鱼以及坚果类中含量丰富；乳、蛋中的含量虽然不高，但色氨酸较多，可转化为烟酸。谷类中 80% ~ 90% 的烟酸存在于它们的种子皮中，故加工谷类食物对烟酸的影响较大。玉米中的烟酸含量较高，但以玉米为主食的人群却容易发生癞皮病。这是因为玉米中的烟酸为结合型，不能被人体吸收利用。如果用碱（小苏打）处理玉米，可将结合型的烟酸水解成游离型的烟酸，易被机体利用。

3. 婴幼儿烟酸的缺乏与过量

（1）婴幼儿烟酸的缺乏。

烟酸缺乏引起的全身性疾病被称为糙皮病或癞皮病。此病起病缓慢，前期出现体重减轻、疲劳乏力、记忆力差、容易兴奋、注意力不集中、失眠等症状。随着病情加重，可能出现较典型的症状，如皮炎、腹泻和痴呆。

（2）婴幼儿烟酸的过量。

过量摄入烟酸可导致血管舒张，出现颜面潮红、皮肤红肿、头晕眼花、皮肤瘙痒等症状。大剂量服用烟酰胺常出现消化不良、腹泻、便秘、恶心和呕吐等症状。

（五）叶酸

叶酸属于 B 族维生素。1941 年，哈特穆特·米歇尔在研究微生物生长条件时，从菠菜叶中分离出一种可以促进乳酸杆菌生长的因子，并把它称为叶酸。

1. 叶酸的生理功能

叶酸参与 DNA 和 RNA 的合成，参与氨基酸之间的相互转化，参与血红蛋白的合成，参与神经递质的合成。叶酸可以和维生素 B₁₂ 一起促进骨髓红细胞生成，预防巨幼细胞贫血。叶酸还能够提高机体免疫力，对于细胞分裂和组织生长具有极其重要的作用。

2. 婴幼儿叶酸的食物来源

自然界中叶酸多由微生物和植物合成，广泛存在于各种动、植物食品中。肠道功能正常时肠道细菌能合成叶酸。富含叶酸的食物为动物肝肾、鸡蛋、豆类、酵母、绿叶蔬菜、水果及坚果类等。

3. 婴幼儿叶酸的缺乏与过量

(1) 婴幼儿叶酸的缺乏。

叶酸缺乏时，会导致红细胞成熟受阻，细胞体积增大，形成巨幼细胞。叶酸缺乏也会引起血红蛋白合成减少，形成巨幼细胞贫血。叶酸缺乏尤其是患有巨幼细胞贫血的孕妇，易出现胎儿宫内发育迟缓、早产儿和低出生体重儿等现象。

(2) 婴幼儿叶酸的过量。

大量服用叶酸会影响机体对锌的吸收，导致锌缺乏，还会使胎儿发育迟缓、低出生体重儿数量增加。



阅读卡片

维生素缺乏的原因

在营养素缺乏中以维生素缺乏比较多见，维生素缺乏一般有以下几个原因。

一、摄入不足

食物中维生素含量少。常见于喂养不当，偏食挑食，食物加工烹饪不当，维生素补充剂储存保管不当等。

二、吸收下降

一方面，胃肠道吸收功能障碍可引起维生素吸收障碍。另一方面，由于脂肪摄入过少，导致脂溶性维生素吸收减少。

三、产生减少

少数维生素如维生素K等，可以由肠道细菌合成。如果滥用广谱抗生素，将肠道益生菌杀灭，可导致部分维生素缺乏。

四、需要量增加

在婴幼儿阶段和青春期，人体生长发育较快，身体活动较多，维生素需要量增加，若没有及时补充，可导致维生素缺乏。

五、消耗增加

过度劳累和一些消耗性疾病（如结核、恶性肿瘤晚期）导致机体营养素过度消耗也可引起维生素缺乏。

六、额外损失

腹泻、大量出汗、小便排泄过多，都易造成水溶性维生素缺乏。

第六讲 矿物质

人体含有的元素中，已知有 20 多种元素为维持机体正常生物功能所必需的元素，除碳、氢、氧、氮这些主要构成蛋白质、脂类、碳水化合物等有机化合物及水的元素外，其余元素统称为矿物质（图 1-6）。

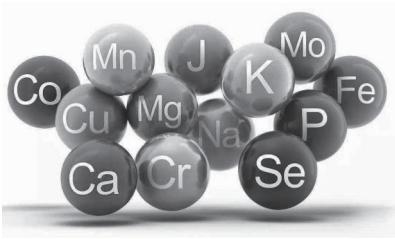


图 1-6 矿物质

婴幼儿常见矿物质的参考摄入量如表 1-11 所示。

表 1-11 婴幼儿常见矿物质的参考摄入量（部分）

年龄阶段	钙 (mg/d)	磷 (mg/d)	铁 (mg/d)	锌 (mg/d)	碘 (μg/d)	硒 (μg/d)
0～6 月龄	200 (AI)	105 (AI)	0.3 (AI)	1.5 (AI)	85 (AI)	15 (AI)
7～12 月龄	350 (AI)	180 (AI)	10 (RNI)	3.2 (RNI)	115 (AI)	20 (AI)
1～3 岁	500 (RNI)	300 (RNI)	10 (RNI)	4.0 (RNI)	90 (RNI)	25 (RNI)

资料来源：中国营养学会. 中国居民膳食营养素参考摄入量（2023 版）[M]. 北京：人民卫生出版社，2023：635.

人体内含量大于 0.01% 的矿物质，被称为常量元素。常量元素是人体组成的必需元素，包括钙、镁、钾、钠、磷、硫、氯 7 种元素。

常量元素占体重的 4%～5%。钙、钾、钠、镁属于金属元素，磷、硫、氯为非金属元素。

人体内含量小于 0.01% 的矿物质，被称为微量元素。常见的微量元素有铁、锌、碘、硒、铜、钼、铬、钴等。

矿物质在体内不能合成，必须从外界摄取。除了食物，天然水中也含有大量的矿物质，且天然水中的矿物质很容易被机体吸收。

一、常量元素

常量元素是构成人体的必需元素，几乎遍布身体各个部分，发挥着多种多样的作用。本部分将从生理功能、婴幼儿的食物来源、婴幼儿缺乏与过量三方面详细介绍钙和磷。

（一）钙

钙是人体中含量最多的矿物质元素，普通健康成人体内的钙占体重的 1.5% ~ 2%，其中，99% 的钙分布于骨骼和牙齿，1% 的钙分布于软组织、细胞外液和血液中。生命周期的各个阶段机体对钙的吸收情况不同。婴儿时期对钙的需要量大，吸收率可高达 60%，儿童时期约为 40%。维生素 D、乳糖、酸性氨基酸、低磷等能够促进钙的吸收。植酸、草酸、膳食纤维与脂肪酸会降低钙的吸收。

1. 钙的生理功能

（1）构成骨骼和牙齿的成分。人体骨骼和牙齿中无机物的主要成分是钙的磷酸盐。钙对保证骨骼的正常生长发育和维持骨健康有着至关重要的作用。

（2）维持神经和肌肉的活动。钙可以维持神经和肌肉的正常生理功能，包括神经和肌肉的兴奋性、神经冲动的传导、心脏的搏动等。当血浆中钙离子浓度明显下降时，可引起手足抽搐和惊厥，而血浆中钙离子浓度过高，则可引起心力衰竭和呼吸衰竭。

（3）促进细胞信息传递。在细胞受到刺激后，胞浆内的钙离子浓度升高，引起细胞内的系列反应。

（4）促进血液凝固。凝血因子Ⅳ就是钙离子，能够促进血液凝固。如果血液中没有钙离子，血液就不能凝固。

（5）调节机体酶的活性。钙离子对许多参与细胞代谢的酶具有重要的调节作用。

（6）维持细胞膜的稳定性。钙可以使细胞膜结构发生变化，使细胞膜的疏水性增强，维持和发挥细胞膜正常的生理功能。

（7）其他功能。钙参与激素的分泌，具有维持体液酸碱平衡及调节细胞的正常生理功能的作用。

2. 婴幼儿钙的食物来源

奶中含钙量丰富且便于婴幼儿吸收，是婴幼儿获得钙元素的最好来源。牛奶中钙含量一般约为 100 mg/100 g。

豆制品也是钙的优质来源，如豆腐含钙量为 $110 \sim 140 \text{ mg}/100 \text{ g}$ ，但因婴幼儿对豆制品的吸收率较低（约 15%），要从中吸收近 100 mg 的钙，大约需要摄入 350 g 的大豆。一些深绿色蔬菜类中钙含量也较丰富，含量在 $50 \sim 130 \text{ mg}/100 \text{ g}$ 。但在选用蔬菜时，应注意其中草酸和植酸含量。可采用适当措施去除妨碍钙吸收和利用的因素。例如，蔬菜可以先焯后炒，使部分草酸溶于水；洗大米时加以浸泡以使植酸酶活跃；面粉经过发酵，可减少植酸含量。此外，还应采用合理烹调方法，避免食物中钙的损失。硬水中也含有一定的钙，同样可作为钙的来源。

3. 婴幼儿钙的缺乏与过量

（1）婴幼儿钙的缺乏。

婴幼儿生长发育旺盛，对钙需要量较多。婴幼儿如果长期摄入钙不足，并常伴随蛋白质和维生素 D 缺乏，会导致生长迟缓、新骨结构异常、骨钙化不良、骨骼变形等症状，从而出现佝偻病。钙缺乏常多见于 2 岁以下婴幼儿，特别是早产儿和孪生儿，因此，孕妇、乳母以及婴幼儿应该补充足量的钙和维生素 D。此外，钙摄入不足者易患龋齿，影响牙齿质量。

（2）婴幼儿钙的过量。

过量摄入钙也可能产生不良影响，会导致高钙血症、高钙尿、血管和软组织钙化，患上肾结石等相对危险疾病的风险增加。

（二）磷

磷是机体重要的元素，它是细胞膜和核酸的组成成分，也是骨骼的必需构成物质。体内的磷约有 $85\% \sim 90\%$ 存在于骨骼和牙齿中，其余 $10\% \sim 15\%$ 与蛋白质、脂肪、糖及其他有机物结合，分布在细胞膜、骨骼肌、皮肤、神经组织及体液中。磷广泛存在于动物性食物和植物性食物中，且合理膳食中的磷含量往往超过人体的需要，不易引起缺乏。

以母乳喂养的婴幼儿，磷吸收率为 $85\% \sim 90\%$ ，学龄儿童或成年人对磷的吸收率为 $50\% \sim 70\%$ 。维生素 D 可促进小肠对磷的吸收。钙、镁、铁、铝等金属离子及植酸可与磷酸形成难溶性盐类而影响磷的吸收。

1. 磷的生理功能

磷是骨骼和牙齿的重要构成成分，人体中 85% 以上的磷存在于骨骼和牙齿中。磷参与能量的储存和释放。磷参与组成体内磷酸盐缓冲体系，调节体液的酸碱平衡。磷脂是一类含有磷酸的脂类，是细胞膜的组成成分。磷脂存在于血小板膜上，可黏附

凝血因子，加速凝血过程。

磷酸基团是 RNA 和 DNA 的组成成分。磷脂参与脂蛋白组成。磷酸基团是组成体内许多辅酶或辅基的成分。

2. 婴幼儿磷的食物来源

磷在食物中分布很广，无论动物性食物还是植物性食物都含有丰富的磷，由于磷与蛋白质并存，瘦肉、蛋、奶、动物的肝肾中磷含量都很高；海带、紫菜、芝麻酱、花生、干豆类、坚果、粗粮中的磷含量也较丰富。但粮谷中的磷为植酸磷，吸收利用率低。

3. 婴幼儿磷的缺乏与过量

（1）婴幼儿磷的缺乏。

几乎所有的食物都含有磷，所以磷缺乏症较为少见。由于乳汁含磷量较低，早产儿如果仅被喂以母乳，则不能满足骨磷沉积的需要，容易导致磷缺乏症，出现佝偻病等。

患有磷缺乏症的婴幼儿，初始可能没有症状，随后会逐渐出现厌食、全身乏力等症状，可致低磷血症。重者可能出现肌无力、骨骼疼痛、佝偻病、病理性骨折、易激动、感觉异常、精神错乱、抽搐、昏迷等症状，甚至死亡。

（2）婴幼儿磷的过量。

一般情况下，婴幼儿不易发生由膳食摄入过量磷的问题，但过量摄入多种磷酸盐的食品添加剂、过多使用含磷制剂、肾功能降低时，可能导致体内的磷过量。过量的磷在体内可能会对骨骼产生不良影响，还会引起非骨组织的钙化、低血钙症，导致婴幼儿出现神经兴奋、手足抽搐和惊厥的症状。

二、微量元素

人体的必需微量元素在体内的含量极少，甚至仅有痕量，但它们却有十分重要的生理功能。本部分将从生理功能、婴幼儿食物来源、婴幼儿缺乏与过量三方面详细介绍铁、锌、碘、硒这 4 种微量元素。

（一）铁

铁是人体内含量最多的一种必需微量元素。人体中有 65% ~ 70% 的铁存在于血红蛋白及一些含铁酶中，这部分铁被称为功能性铁，其余 25% ~ 30% 被称为储存铁，主要储存在肝、脾和骨骼中，起到储备作用。

食物中的铁分为血红素铁和非血红素铁两种。血红素铁主要存在于动物的血液、肌肉、内脏中，是血红素的构成成分，人体对这类铁的吸收率可达 15% ~ 35%。非血红素铁主要存在于植物性食物和乳制品中，主要为三价铁，占膳食中铁的绝大部分，其有效吸收率为 2% ~ 20%，非血红素铁的吸收率受膳食因素影响较大。

体内铁储备充足时，铁吸收率降低；体内铁缺乏，铁需要量增加时，铁吸收率升高。维生素 C 和某些氨基酸、维生素 B₂ 可促进铁的吸收、转运与储存。肠道微生物的某些分解产物可抑制铁的吸收。



影响铁吸收的因素

1. 铁的生理功能

(1) 参与体内氧的运送和组织呼吸过程。铁是血红蛋白、肌红蛋白、细胞色素等的组成成分。血红蛋白可与氧发生可逆性结合，使血红蛋白具有携氧功能，参与机体内氧的交换及组织呼吸。肌红蛋白主要在肌肉组织中起转运和储存氧的作用。

(2) 维持正常的造血功能。机体中的铁大多存在于红细胞中。缺铁可影响血红蛋白的合成，甚至影响 DNA 的合成。

(3) 参与其他重要功能。铁参与维持正常的免疫功能，缺铁可能造成机体感染性增加。但过量的铁也会导致细菌的生长，降低人体抵抗感染的能力。铁可以催化胡萝卜素，使之转化为维生素 A。

2. 婴幼儿铁的食物来源

铁广泛存在于各种食物中，但分布极不均衡，吸收率相差也极大，从小于 1% 到大于 50% 不等。混合膳食中铁的平均吸收率为 10% ~ 20%。动物性食物含有丰富且易吸收的血红素铁，主要来源为动物肝脏（如猪肝 22.6 mg/100 g）、动物全血（如鸭血 30.5 mg/100 g）、动物瘦肉（如牛肉 3.4 mg/100 g）、海产品类（如虾皮 11.0 mg/100 g）、蛋类（如鸡蛋黄 6.5 mg/100 g）等；而蔬菜中含铁量不高且生物利用率低，大多数蔬菜含铁量小于 5 mg/100 g。

3. 婴幼儿铁的缺乏与过量

(1) 婴幼儿铁的缺乏。

婴幼儿出现铁缺乏症的主要原因包括铁摄入不足、膳食中铁的生物利用率低、机体对铁的需求量增加或某些疾病所致。

婴幼儿长期无法在膳食中摄入足够的铁时，可能引起铁缺乏症或缺铁性贫血。缺乏铁的婴幼儿易烦躁，对周围不感兴趣。缺铁严重者，则容易出现面色苍白，口唇黏膜和眼结膜苍白的表现，以及疲劳乏力、头晕、心悸、指甲脆薄、反甲等症状。婴幼

儿缺铁，可能会使身体发育受阻，出现体力下降、注意力与记忆力调节过程障碍，从而导致学习能力降低。

（2）婴幼儿铁的过量。

人体具有较强的维持铁平衡、控制铁吸收的能力，所以铁过量的情况比较少见。

有的婴幼儿将包装美观的糖衣或糖浆铁剂当糖吃，稍有不慎就会造成铁中毒，当一次摄食铁量与体重的比例达到或超过 20 mg/kg 时，就可能出现急性铁中毒。急性铁中毒最明显的表现是恶心、呕吐和血性腹泻，这主要是铁局部作用引起胃肠道出血性坏死的结果。全身性的影响则有凝血不良、代谢性酸中毒和休克等。

（二）锌

锌是维持机体正常生长、认知行为、创伤愈合、味觉、免疫调节及 200 余种金属酶发挥功能所必需的一种微量元素。锌作为酶的成分之一，分布于人体大部分组织、器官和体液中。锌含量较高的有骨骼肌、皮肤、肝脏、脑等，血液和毛发中的锌含量很少。新生儿体内锌的总量约为 60 mg。

1. 锌的生理功能

锌参与蛋白质合成、细胞生长、分裂和分化等过程，可以促进生长发育。锌缺乏可引起 RNA、DNA 及蛋白质的合成障碍，导致生长停滞。

锌可促进机体免疫功能，维持细胞膜结构，促进脑发育与维持认知功能，促进伤口愈合。锌与唾液蛋白结合成味觉素可增进食欲，而缺锌便会影响味觉和食欲，甚至发生异食癖。锌对皮肤和视力具有保护作用，缺锌则可能造成皮肤粗糙和上皮角化。

2. 婴幼儿锌的食物来源

锌在食物中广泛存在，但含量差别很大，吸收利用率也不尽相同。贝壳类海产品、畜肉类、动物内脏等动物性食物都是锌的良好来源，按 100 g 可食用部分的含量计算，生蚝、海蛎肉、扇贝的锌含量分别为 71.20 mg、47.05 mg 和 11.69 mg；干果类、谷类胚芽和麦麸也富含锌；干酪、虾、燕麦、花生酱、花生等均为锌的良好来源。而植物性食物含锌较低，过细的加工过程会导致大量的锌丢失，如小麦加工成精面粉大约丢失 80% 的锌。

3. 婴幼儿锌的缺乏与过量

（1）婴幼儿锌的缺乏。

婴幼儿锌缺乏的常见原因有锌的膳食摄入量降低、锌的吸收利用减少、锌的排泄增加或生长等生理因素导致需要量增加。锌缺乏的首要表现就是生长缓慢。

婴幼儿常见的缺锌症状包括：①味觉障碍、偏食、厌食或异食；②生长发育不良、矮小、瘦弱，腹泻；③皮肤干燥、皮疹、伤口愈合不良、反复性口腔溃疡；④免疫功能减退、反复感染；⑤认知能力差、精神萎靡、精神发育迟缓等。

（2）婴幼儿锌的过量。

一般来说婴幼儿不易发生锌中毒。盲目过量补锌或食用因镀锌罐头而被污染的食物和饮料可引起锌过量或锌中毒。摄入过量的锌会干扰铜、铁和其他微量元素的吸收和利用，进而损害免疫功能。

（三）碘

碘是人体必需的微量元素，是合成甲状腺激素的主要原料。一般人体摄取的碘主要来自食物（80%～90%），其次是水（10%～20%）和空气（<5%）。人体总含碘量为30 mg（20～50 mg）。甲状腺摄碘能力强，其碘浓度比血浆高20～50倍，健康成人甲状腺组织内含碘量为8～15 mg。



视点聚焦

防治碘缺乏病日

2023年5月15日是我国第30个“防治碘缺乏病日”。2023年的活动主题是“科学补碘三十年，利国利民保健康”，宣传核心信息主要包括：碘是人体新陈代谢和生长发育必不可少的微量营养素；食用碘盐是预防碘缺乏病最简便、安全、有效的方式；目前没有直接证据表明食用碘盐或碘摄入量增加与甲状腺癌的发生相关。

（资料来源：人民网，2023年4月19日，有删改）

1. 碘的生理功能

碘在人体内主要参与甲状腺素合成，其生理功能主要通过甲状腺素的生理作用显示出来。

甲状腺素是人体重要的激素，能够促进体格生长发育和神经功能的健全，促进三大营养物质和胆固醇代谢，调节组织中的水盐代谢，促进维生素的吸收和利用。

2. 婴幼儿碘的食物来源

人类所需的碘主要来自食物，来自食物的碘含量为一日总摄入量的80%～90%。食物中的碘含量随地球化学环境变化会出现较大差异，同时也受食物烹调加工方式的影响。

海洋是自然界的碘库，海洋生物含碘量很高，如海带、紫菜、鲜海鱼、蚶干、蛤干、干贝、淡菜、海参、海蜇、龙虾等，其中干海带含碘可达 362 mg/kg。陆地食物中，动物性食物含碘量高于植物性食物，蛋、奶含碘量相对稍高（40 ~ 90 μg/kg），其次为肉类。淡水鱼的含碘量低于肉类。植物含碘量是最低的，特别是水果和蔬菜。

3. 婴幼儿碘的缺乏与过量

（1）婴幼儿碘的缺乏。

饮食中碘长期供应不足或婴幼儿对碘的生理需要增加，可引起碘缺乏，从而导致甲状腺功能减退。

碘缺乏的典型症状为甲状腺肿大。婴幼儿缺碘可表现为生长发育迟缓、智力低下，严重者会出现呆小症（克汀病）。



阅读卡片

瘰病与碘缺乏

《山海经》中就有关于“瘰”的记载。公元前 5 世纪，古希腊名医希波克拉底尝试用海藻治疗甲状腺肿。公元前 3 世纪的《吕氏春秋·尽数篇》中提出瘰病（碘缺乏病）与地理环境密切相关。《三国志·魏书》记载了手术治疗瘰病。东晋葛洪（4 世纪）的《肘后方》提出昆布和海带浸酒治疗瘰病；隋代巢元方（7 世纪）提出瘰病与水、土有关的学说。

（2）婴幼儿碘的过量。

长期高碘摄入可导致高碘性甲状腺肿。高碘地区的居民多因饮用高碘水，或食用高碘食物造成高碘性甲状腺肿。

（四）硒



向“克山病”
宣战——纪念
于维汉院士
百年诞辰

1979 年我国发表的克山病防治研究成果中，首次发现克山病地区的人群均处于低硒状态，补硒能有效预防克山病，从而揭示了硒缺乏是克山病发病的最主要因素。

人体内硒总量约 14 ~ 21 mg。硒存在于所有细胞与组织器官中，在肝脏、肾脏、胰腺、心脏、脾脏、牙釉质和指甲中浓度较高，肌肉、骨骼和血液中次之，脂肪组织中最低。体内大部分硒主要以两种形式存在：一种是来自膳食的硒蛋氨酸，它在体内不能

合成，作为一种非调节性储存形式存在，当膳食中硒供给中断时，硒蛋氨酸可向机体提供硒；另一种是硒蛋白中的硒半胱氨酸，为具有生物活性的化合物。

1. 硒的生理功能

进入体内的硒绝大部分与蛋白质结合形成硒蛋白，硒的生理作用主要是通过硒蛋白发挥的。硒具有抗氧化的功能，可以保护细胞膜及组织免受过氧化物损伤，维持细胞的正常功能。硒有助于保护心血管和心肌的健康，因此高硒地区人群中的心血管病发病率较低。硒还可以增加免疫细胞活性，提高人体免疫功能。此外，硒能与体内的重金属（汞、镉、铅等）结合，发挥解毒作用，并加速有毒金属排出体外。硒还有促生长、抗肿瘤的作用。

2. 婴幼儿硒的食物来源

海产品和动物内脏是硒的良好食物来源，如鱼子酱、海参、牡蛎、蛤蜊和猪肾等。食物中的含硒量随地域不同而异，特别是植物性食物的硒含量与地表土壤层中硒元素的水平有关。

3. 婴幼儿硒的缺乏与过量

硒在地壳中分布的不均匀性，导致出现地域性的高硒或低硒，从而得到含硒量较高或较低的粮食和畜禽产品；又由于硒的吸收率相对高，导致硒的摄入量过高或过低，形成与硒相关的“地方病”。

（1）婴幼儿硒的缺乏。

婴幼儿因“单纯性硒缺乏”导致的疾病还未见报道，但已有相当多的报道是集中在与硒缺乏相关的克山病和大骨节病。这些疾病只出现在我国沿着东北到西南的一条很宽的低硒地带，而在硒水平适宜地区，还未见克山病和大骨节病的发生。

（2）婴幼儿硒的过量。

过量的硒可能引起中毒。20世纪60年代，湖北省恩施地区水土中含硒量高，以致该地区生长的植物含有大量的硒，当时那里的居民平均每天从膳食中摄入的硒高达300 mg，从而导致慢性硒中毒。

婴幼儿硒摄入过多可导致中毒，主要症状表现为头发和指甲脱落，皮肤损伤及神经系统异常，肢端麻木、抽搐等，严重者可致死亡。

思考与讨论

婴幼儿缺乏常见的微量元素会有什么表现？



实训操作

分析幼儿一日食谱

► 实训目标

1. 根据本专题学习内容，分析幼儿食品营养。
2. 养成科学严谨的工作态度。

► 实训用品

1. 2～3岁幼儿一日食谱。
2. 教材《中国居民膳食营养素参考摄入量（2023版）》。
3. 电子版教材《中国食物成分表》。

► 实训内容

请分析表1-12中幼儿一日食谱提供了哪些营养素？提供了多少营养素？

表1-12 2～3岁幼儿一日食谱

早餐	山药大米猪肝粥：大米 25 g、山药 10 g、猪肝 5 g
	黄瓜炒鸡蛋：鸡蛋 30 g、黄瓜 30 g
	牛奶：高钙牛奶 100 g
上午加餐	牛奶及水果：高钙牛奶 100 g、香蕉 60 g
午餐	番茄牛肉饭：大米 40 g、牛肉（前腱）10 g、番茄 50 g、红薯 30 g、胡萝卜 20 g、青豆 10 g
	鲜蘑菠菜汤：鲜蘑菇 20 g、菠菜 50 g、紫菜 3 g
	清蒸黄花鱼：小黄花鱼 20 g
下午加餐	牛奶及水果：高钙牛奶 100 g、草莓 60 g
晚餐	彩色焖饭：大米 40 g、去骨鸡腿肉 10 g、玉米（鲜）20 g、豌豆 20 g
	牛奶南瓜羹：南瓜 30 g、高钙牛奶 50 g
晚加餐	牛奶：高钙牛奶 150 g
全天	植物油：15～20 g、食用加碘盐 <2 g

实训评价

实训结束后根据自己的表现进行评价（表 1-13）。

表 1-13 实训评价表

实训题目	
实训分工	
实训过程	
实训评价	