

•科普•

doi: 10.3866/PKU.DXHX202303052

www.dxhx.pku.edu.cn

脂溶性维生素联席会议

孙吉峻^{1,†}, 陈前², 赵全芹^{3,*}¹ 山东大学第二医院, 济南 250033² 济南护理职业学院, 济南 250102³ 山东大学化学与化工学院, 济南 250100

摘要: 运用拟人化手法, 生动形象地介绍人体必需维生素中各类脂溶性维生素的发现史、性质、特点及其对人体的重要作用, 旨在让读者在趣味阅读中了解有关脂溶性维生素的基础知识。

关键词: 必需维生素; 脂溶性维生素; 科普

中图分类号: G64; O6

Joint Conference of Fat-Soluble Vitamins

Jijun Sun^{1,†}, Qian Chen², Quanqin Zhao^{3,*}¹ The Second Hospital of Shandong University, Jinan 250033, China.² Jinan Vocational College of Nursing, Jinan 250102, China.³ School of Chemistry and Chemical Engineering, Shandong University, Jinan 250100, China.

Abstract: In this paper, the anthropomorphic means were used to demonstrate the discovery history, properties, characteristics and important roles to human beings of fat-soluble vitamins in essential vitamins. The purpose was to make readers better understand the basic knowledge of fat-soluble vitamins in fun.

Key Words: Essential vitamin; Fat-soluble vitamin; Popularization of science

1 会议开场

叩! 叩! 叩! 会议主席敲了三下手中的木槌, 随即开口说道:

“尊敬的各位代表, 下午好! 欢迎参加本次脂溶性维生素联席会议。作为脂溶性维生素中的一员, 能够负责本次会议的主持工作, 我感到非常荣幸。本次会议的议题是讨论并核定脂溶性维生素家族中各主要家庭成员的历史由来、性质和特点及其对人类的重要作用。与会人员有维生素A、D、E、K家庭成员代表和应邀参会的人类专家代表。

“下面请各位维生素家庭代表向大家介绍本家庭的基本情况, 发言期间若其他代表对有关问题存在疑问, 可随时举手提问, 发言代表及时做出解答。希望本次会议将为我们提供一个交流、学习、共享的平台, 从而促进脂溶性维生素各家庭之间以及与人类之间的合作与发展。”

收稿: 2023-03-15; 录用: 2023-06-05; 网络发表: 2023-07-03

[†] 2019 级本科生

*通讯作者, Email: zhaoqq@sdu.edu.cn

基金资助: 山东大学教育教学改革研究项目(2020Y228); 中华医学会医学化学学会教育教学重点立项项目(2019–2020, 30)

2 维生素A家庭代表发言

“我是维生素A家庭的代表，谈起我们家庭的历史，那可得追溯到1500年前的唐朝，孙思邈在《千金方》中就记载着‘青羊、沙牛、豚、兔’的肝‘主明目’，可以治疗夜盲症。1816年，弗朗索瓦·马里·路易·马根迪(François Marie Louis Magendie)对狗进行了营养剥夺实验，结果是狗出现角膜溃疡并且死亡率很高^[1]。1896年，乔纳斯·弗里德里希·埃克斯塔姆(Jonas Friedrich Ekström)在研究绿色蔬菜时发现一种对视觉有益的物质，并将其命名为视黄素(visual yellow)。1913年，埃尔默·维尔纳·麦科勒姆(Elmer Verner McCollum)和玛格丽特·贝尔·戴维斯(Margaret Bell Davies)，拉斐特·本尼迪克特·孟德尔(Lafayette Benedict Mendel)和托马斯·布尔·奥斯本(Thomas Burr Osborne)分别独立地发现在生长发育过程中起重要作用的脂类物质，最后这两篇交稿时间相差三周的论文在1913年的同一期《生物化学杂志》中发表。随着人们对我们家庭的研究不断深入，我们家庭的真实面貌也逐渐展现在了人们的面前……”

“那请问你们家庭包含哪些成员，你们各自又有哪些性质和作用呢？”人类代表不禁发问道。

“代表你好，我们的家庭成员主要有视黄醇、视黄醛、视黄酸，以及对人体而言没有生物学活性的维生素A原和视黄酯(酯型维生素A)。

“其中，维生素A₁(视黄醇)是我们家中的老大，他作为维生素A主要的储存和运输形式，主要定居在人类和动物(包括海水鱼类)的肝脏中，其活性也是我们中最高的；而维生素A₂(3-脱氢视黄醇)则主要定居在淡水鱼类的体内，其活性约为视黄醇的40%^[2]；视黄醛主要位于人体的眼睛中，有利于视力的维持；视黄酸可以在细胞内调节基因表达、控制细胞生命周期，维持人体正常的生殖和免疫功能。由于视黄醇的性质较不稳定，人们在食用动物性食品时，摄入的主要是维生素A的酯类形式(即视黄酯，如视黄醇乙酸酯、视黄醇棕榈酸酯)；而植物性食品中则没有这些成员的存在，取而代之的是维生素A原，其中尤以β-胡萝卜素闻名。

“胡萝卜中富含β-胡萝卜素，后者是视黄醇的二聚体形式，在小肠黏膜细胞或肝细胞中的β-胡萝卜素15,15'-加氧酶催化下β-胡萝卜素可以被打开生成全反式视黄醛(图1)。并且，人体内的视黄醇和

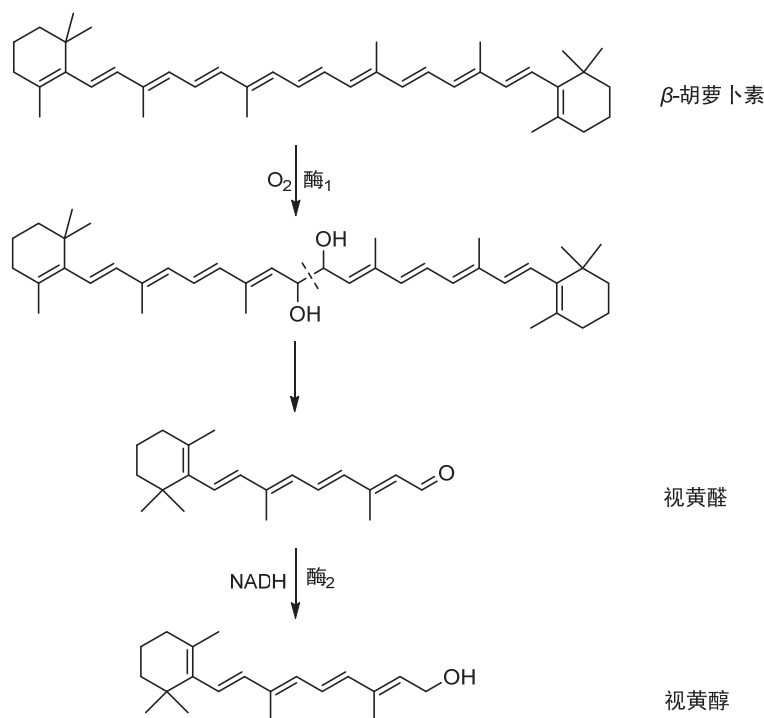


图1 β-胡萝卜素生成视黄醇

视黄醛可以相互转化, 视黄醛又可以转化成视黄酸(图2)。虽然, 人体对 β -胡萝卜素的吸收和利用能力较低, 每分解6分子 β -胡萝卜素仅能够获得1分子视黄醇^[3], 但多吃富含胡萝卜素的食物目前依旧被视为最安全的补充维生素A的途径。当然, 胡萝卜素也不能补充太多, 因为人体对胡萝卜素的利用、代谢速度较慢, 多余的 β -胡萝卜素会被储存在人体的脂肪组织中, 因而人体的白色脂肪多呈黄色, 如果 β -胡萝卜素摄入过多则会造成胡萝卜素血症, 虽然这种疾病对人体基本无害, 但人体的皮肤会变为橙色。”



图2 维生素A各成员的相互转化

3 维生素D家庭代表发言

“各位好！我们维生素D是在人们研究脂溶性A的过程中被发现的……”

“请问, 你所说的脂溶性A和刚刚发言的维生素A是否有什么关系？他们二者之间都有字母‘A’, 而你们家庭为什么又被排到‘D’了呢？”人类代表一开始就提出了自己的疑问。

“人类代表提出的问题非常好。其实, 维生素的命名与编号问题可以追溯到1913年, 由于当时科技水平较为落后, 人们无法解析出新发现物质的结构, 麦科勒姆索性将新发现的两种物质分别称为脂溶性A和水溶性B, 后来又分别改称为维生素A和维生素B^[4]。虽然维生素A的字母排序第一, 但他并不是第一位被发现的维生素, ‘A’是德文中干眼病(Augendarre)的首字母。在后来的一段时间内, 我们的命名与编号是按字母表的顺序排列的, 比如水溶性C是第三位被发现的维生素, 而维生素D则是第四位被发现的。维生素K也是按照字母表的顺序排列的, 只不过其名称中的‘K’恰巧也是德文中‘Koagulation(凝血)’的首字母^[5]。后来, 人们发现当初的脂溶性A并不只是一种物质, 脂溶性A实际包含了维生素A、D、E, 水溶性B也是如此, 因而随着新维生素的发现以及旧维生素的重新分类, 维生素家族慢慢壮大, 变得复杂起来。如今, 一个维生素家庭可能居住了一种、一类甚至多类物质, 部分维生素之间还存在着重叠关系, 比如麦角钙化醇既是维生素D₂, 也存在于维生素D₁中; 叶酸既是维生素B₉, 也是维生素B_c, 还是维生素M。总的来说, 维生素的命名与编号比较混乱, 人们时常搞不清我们究竟叫什么名字。因而, 国际生化学会和国际营养科学联合会曾建议以化学命名法来统一我们的名称^[6]。但是由于人们的习惯, 有些维生素依旧保持着原有维生素的名称, 有些则使用着其通用名称, 比如人们经常谈论到维生素C, 但很少有人提起L-抗坏血酸; 人们常提到生物素, 而看到维生素B₇人们又摇摇头说不了解。

“请由我继续讲述我们家庭的发现史。起初, 爱德华·梅兰比(Edward Melanbee)发现用鱼肝油喂养狗可以阻止佝偻病的发生, 于是他认为维生素A可能有预防佝偻病的作用。然而, 1921年麦科勒姆破坏了鱼肝油中的维生素A成分, 他发现破坏后的鱼肝油依旧可以治愈患病的犬只, 因此麦科勒姆认为治愈佝偻病的是鱼肝油中另一种成分, 并将其称为维生素D。由于我们有治愈佝偻病的作用, 我们又被称为抗佝偻病维生素。

“我们维生素D是维生素D原经紫外线照射后形成的衍生物。虽然植物体内不含维生素D, 但植物与动物体内均存在维生素D原。我们家庭的主要成员是维生素D₂–D₅ (图3), 其中对人体最重要的成员被称为钙化醇, 他们是在真菌中被发现的维生素D₂ (麦角钙化醇)和在动物中被发现的维生素D₃ (胆钙化醇)。我们既属于维生素, 也是类固醇激素的前体, 人们通过饮食摄入和皮肤合成的维生素D缺乏生物活性, 其先后需要在人体肝脏和肾脏中通过蛋白质酶羟基化形成活性维生素D, 即1,25-(OH)₂-D₃ (1,25-二羟维生素D₃) (图4)。”

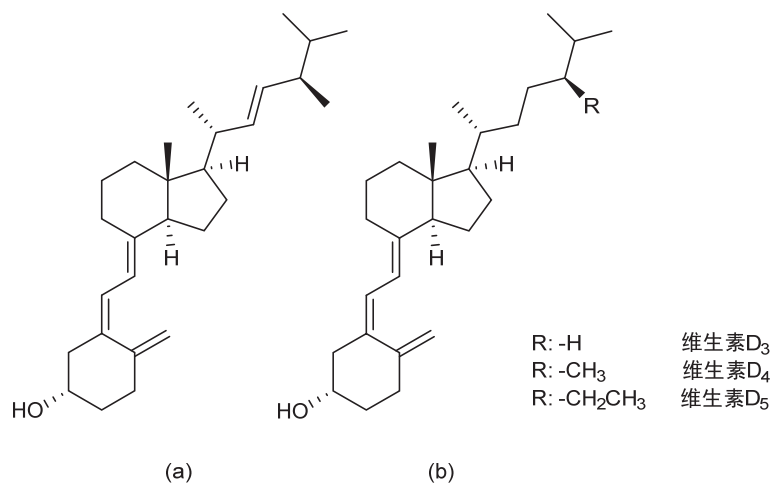
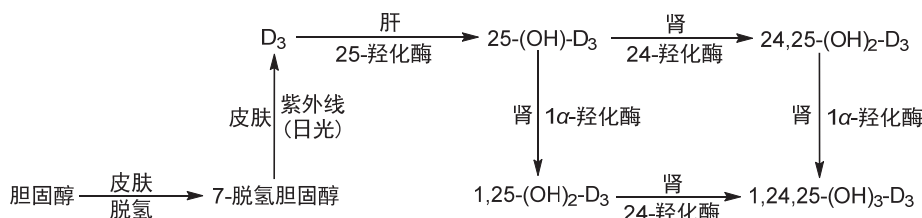


图3 维生素D

(a) 维生素D₂; (b) 维生素D₃-D₅图4 维生素D₃在体内的转变^[7]

人类代表打断了维生素D代表的发言，提问道：“大家都知道，成为必需维生素的条件之一是人体无法合成这种维生素，但人体是可以通过‘晒太阳’这种方式来补充维生素D的，那为什么维生素D依旧在必需维生素之列呢？”

维生素D代表尴尬地挠了挠头，答道：“最初人们并未意识到我们与其他维生素的不同，我们可以由人体通过暴露于紫外线下经皮肤合成并能满足人体自身需求，所以严格意义上我们并不属于维生素，但由于我们对人体的重要作用，我们依旧被划归为必需维生素。因此我们是唯一一类人体可以自身合成并在一定条件下能够自给自足的必需维生素。

“虽然紫外线可以促进我们的合成，但并非所有的紫外线都具有这种作用。这是因为紫外线可以分为UVA到UV D四个波段，由A到D，不同紫外线波段的波长依次变短，紫外线的波长越短其越接近分子层面，对分子影响越大，越容易改变分子。然而，对我们的合成起促进作用的只有UV B波段，其波长在275–320 nm，透明玻璃即可将其阻挡，因此人体在室内无法吸收到UV B波段，而波长更长的UVA波段可以透过透明玻璃，后者可以直达皮肤的真皮层，破坏其中的弹性纤维和胶原纤维，因而人体长时间地暴露在室内的阳光下，不但无法补充维生素D，还会将皮肤晒黑^[8]。当然，户外活动时间也不是越长越好，紫外线会加速皮肤衰老、伤害视网膜，过量的紫外线照射还会增加罹患皮肤癌的风险。因此，合理的日光照射方案是每周户外暴露手臂和腿部5–30 min两次^[9]。

“我们还可以促进先天性免疫、抑制适应性免疫。2020年，人们发现在许多COVID-19患病和死亡人数较多的国家中维生素D缺乏症也普遍存在，从而引起了人们对维生素D的再度关注，有些人认为维生素D缺乏可能是新冠病毒肺炎感染的危险因素，但维生素D缺乏症和COVID-19感染之间的关联强度还需要进一步被验证^[10]。”

4 维生素E家庭代表发言

“1922年，赫伯特·麦克林·伊文斯(Herbert McLean Evans)和凯瑟琳·毕晓普(Katharine Bishop)在研究大鼠生殖过程中发现了一种对大鼠正常繁育极为重要的脂溶性膳食因子^[11]。1924年这种因子被命名为维生素E，‘E’是来源于发现者伊文斯(Evans)的姓氏首字母。得益于我们在正常繁育过程中起到的重要作用，我们也被称为‘生育酚(tocopherol)’。这个单词源自希腊语‘τόκος(出生)’和‘φέρω(携带)’，而‘-ol’后缀则表示我们是一类化学醇。

“我们是苯并二氢吡喃的衍生物，主要分为生育酚和生育三烯酚两类，根据取代基团的不同，其中每类又分 α 、 β 、 γ 、 δ 四种(图5)。与生育酚不同，生育三烯酚的活性不会因为取代基不同而改变，但我们的当量是按照 α -生育酚计算的。

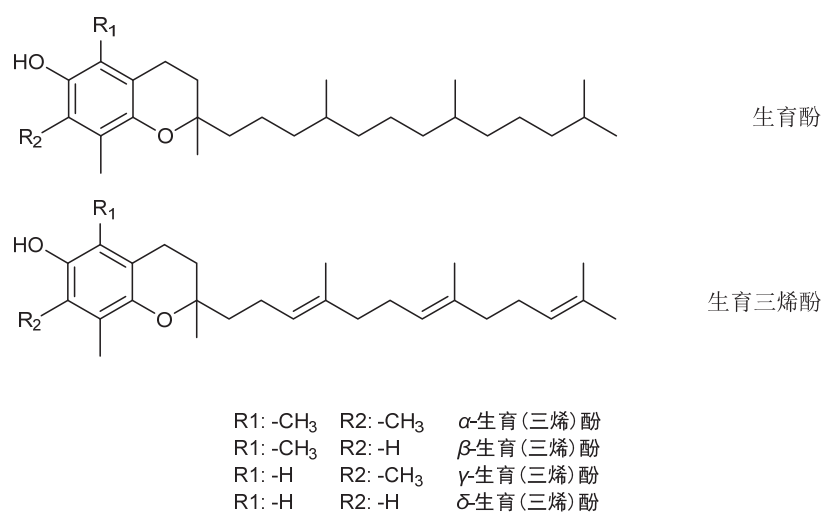


图5 生育酚和生育三烯酚

“我们的天然形式主要存在于油性种子和植物油中，以 α -生育酚分布最广、活性最高。在正常情况下，人体对 α -生育酚的吸收量可以占摄入量的20%–40%。在人体内，我们主要定居在细胞膜、血浆脂蛋白和脂肪组织中。由于我们对氧气极为敏感，天然和人工合成的维生素E都会被氧化，因此膳食补充剂中添加的是我们更稳定的酯化形式(如生育酚乙酸酯)。

“苯环上的酚羟基使得我们具有强大的还原性，作为护肤品中常用的抗氧化剂，我们能够在维生素C、谷胱甘肽(GSH)或NADPH的帮助下，捕捉自由基，形成还原型维生素E(生育醌)，保护人体细胞免受自由基损伤，促进免疫系统正常工作、维护皮肤健康状态。同时，我们还可以调节细胞基因表达，降低心血管疾病风险；促进性激素分泌，以及抑制晶状体内的脂质过氧化反应，防止近视的发生和发展^[12]。”

5 维生素K家庭代表发言

“我们是维生素K，也被叫做凝血维生素，顾名思义，我们在人体的血液凝固过程中发挥着重要作用。至于我们的发现历史，那可得以1928年说起，卡尔·彼得·亨里克·达姆(Carl Peter Henrik Dam)在研究胆固醇的过程中，发现缺乏胆固醇的小鸡会出现凝血功能障碍，从而意识到了我们的存在；1929年，达姆从动物肝脏和麻籽油中提取出了我们。起初，达姆在《德国化学学报》中将我们称为‘Koagulations vitamin (凝血维生素)’；1935年，他又希望将我们叫做‘vitamin K (维生素K)’^[13]。

“我们家庭的主要成员有维生素K₁–K₅(图6)，而维生素K₂又包含许多成员，后者在结构上的差异主要是C3位上的侧链长度不同。维生素K₁和K₂存在于自然界中，是脂溶性维生素，他们在胆汁的

帮助下被小肠吸收,随乳糜微粒进入肝内,与极低密度脂蛋白(VLDL)相结合,并通过低密度脂蛋白(LDL)运送至各组织。其中,维生素K₁又被称为植物甲萘醌或叶绿醌,主要存在于绿色蔬菜和植物油中,最早是在苜蓿中提取出的油状物;而维生素K₂则由大肠杆菌合成,最早是从腐败的鱼肉中提取出的。在自然状态下,人体摄入的维生素K₁主要来自食物,占人体总维生素K摄入量的40%–50%;而维生素K₂主要由肠道菌群合成,有些抗生素会抑制肠道菌群的生长,影响人体对维生素K₂的摄入。我们的化学性质都比较稳定,正常烹调过程中仅会损失一小部分。人体内维生素K的储存量有限,但人体可以通过维生素K循环对我们重复利用,因此人体一般不会缺乏我们。然而新生儿缺乏维生素K依旧时有发生。

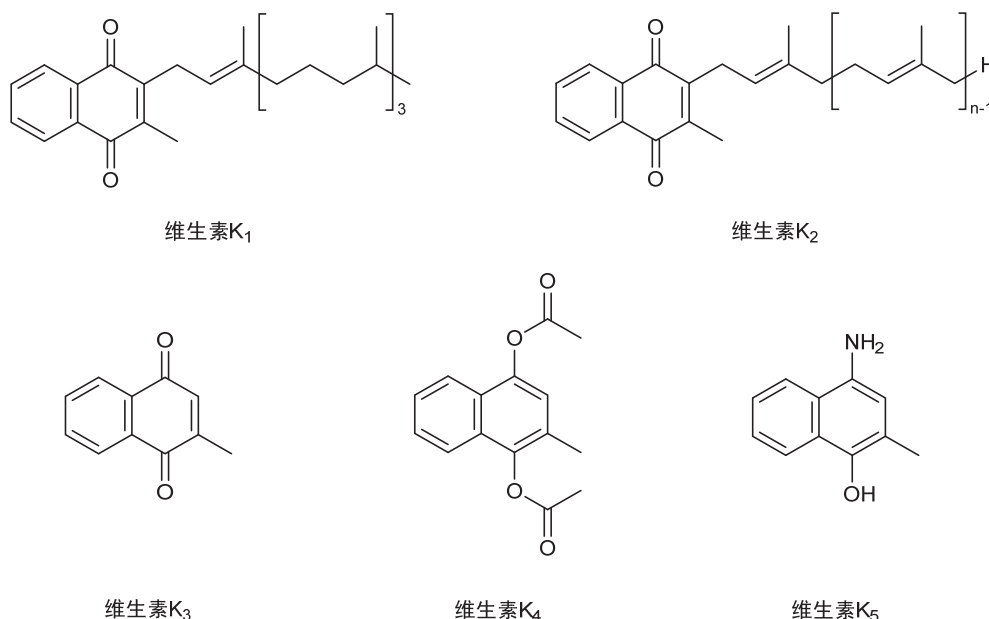


图6 维生素K₁–K₅

“为了让维生素K缺乏症患者更有效地补充我们,人工合成的维生素K₃和K₄便催生出来,他们分别是甲萘醌和2-甲基-1,4-萘二酚双醋酸酯。水溶性的特点让他们不需要胆汁的协助即可被人体吸收,但是后来人们发现他们会干扰GSH的功能,导致细胞膜氧化损伤,诱发新生儿出现溶血性黄疸,因此如今已不再使用这种方法来补充维生素K^[14],取而代之的是MK-7 (萘烯侧链上有35个C的维生素K₂)。人工合成的维生素K₅在UV A波段的照射下对许多细菌和真菌有一定的抑制作用,由于其毒性较低,已被提议作为一种食品防腐剂^[15]。并且,维生素K₂、K₃、K₅还有一定的抗肿瘤作用^[16]。

“除上述主要家庭成员外,我们家庭中还有人人工合成的维生素K₆,甚至可以一直追溯到维生素K₉,但如今已很少有人提起他们,一般也不再认为他们属于维生素K家庭的成员。”

“既然如此,请问你们将原本的家庭成员从家庭中除名的标准是什么?”人类代表问道。

“维生素家族大大小小的有几十个家庭,每个家庭中又有一位或数位成员,如维生素B₅家中只有泛酸一位,而维生素E家中有八位成员。这可能需要归因于在人们早期探索维生素的过程中,由于当时维生素家族成员的纳入标准并不是依靠结构,而是通过功能来界定的,从而导致许多物质被错误地界定为维生素。其一就是伪维生素,他们最初被界定为维生素,而后又被发现他们仅具有类似于维生素的结构和功能,但却不能被人体利用,不能满足人体对维生素的营养需求。其二是类维生素,他们是一些在结构或生理作用上与维生素有相似之处的化合物,其可以满足人体某些生理和代谢需求,但对人体而言并不是必需的。所以,我们家族更倾向于将这些维生素从家族名单中剔除。”

回答完人类代表的疑问，维生素K家庭代表清了清嗓子，又继续介绍起自己家庭的基本情况，“我们是2-甲基-1,4-萘醌的衍生物，但2-甲基-1,4-萘醌才是我们的活性形式。凝血因子前体II、VII、IX、X (FII、FVII、FIX、FX)分子中存在谷氨酸残基，其需要在 γ -谷氨酸羧化酶(GGCX)的帮助下羧化形成 γ -羧基谷氨酸残基，从而使得凝血因子前体转变为有生物活性的凝血因子(表1)，而维生素K则是GGCX的辅基。如果人体缺乏维生素K，则肝脏合成的上述四种凝血因子均为异常蛋白质分子，促进凝血作用的能力将大幅下降。

表1 需要维生素K的凝血因子

凝血因子	名称	作用
FII	凝血酶原	可被激活转化为凝血酶
FVII	前转变素稳定因子	与FIII结合，可激活FIX和FX
FIX	血浆凝血活酶	与FVIII结合，可激活FX
FX	Stuart-Prower因子	与FV结合，可激活FII

“除了促进凝血，我们还通过相同的原理参与骨钙素的合成，从而参与人体钙的代谢。老年人的骨密度和维生素K呈正相关，老年群体经常摄入含维生素K的绿色蔬菜，能有效降低骨折的风险。但要注意的是绿色蔬菜同时也含有草酸，草酸会与可溶性的钙、镁、铁盐生成人体无法吸收的草酸盐沉淀，抑制人体对微量元素的吸收。所以，人们可以选择一些草酸含量较低绿色蔬菜，或通过焯水的烹饪手法去除蔬菜中大部分的草酸。”

6 人类代表发言

“尊敬的会议主席、各位脂溶性维生素家庭代表，大家好！首先，非常感谢各位代表对各自家庭情况做出了报告，以及细致解答了我提出的问题。

“维生素是一类非常特殊的营养素，你们既不参与人体构成，也不参与新陈代谢；你们虽然在人体内的含量很低，但却不可或缺并且发挥着举足轻重的作用。与水溶性维生素相比，你们脂溶性维生素家族可以溶解并储存在脂肪中，使得你们在人体中的存储量更加充足，在一定程度上避免了人体脂溶性维生素缺乏。但是，也正因如此，你们在人体内不会被迅速代谢，过量摄入会带来更大的健康风险(表2)。这也提醒我们不能一味追求维生素的含量，适量摄入才是最好的选择。

表2 脂溶性维生素与疾病的关系^[17,18]

成员名称	参考摄入量(男/女)	摄入过多症状	摄入不足症状	食物来源
维生素A	800/700 $\mu\text{g RAE}\cdot\text{d}^{-1}$	皮肤脱屑、骨质疏松	干眼病、夜盲症	鱼肝油、动物肝脏
维生素D	10 $\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$	烦渴多尿、高钙血症	佝偻病、骨质疏松	地衣、三文鱼
维生素E	14 mg $\alpha\text{-TE}\cdot\text{d}^{-1}$	高脂血症、血栓形成	溶血性贫血症、神经功能障碍	麦芽油、榛子油
维生素K	80 $\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$	很少出现	凝血障碍	菠菜、甘蓝

视黄醇活性当量(RAE, μg) = 膳食或补充剂来源全反式视黄醇(μg) + $1/2 \times$ 补充剂纯品全反式 β -胡萝卜素(μg) + $1/12 \times$ 膳食全反式 β -胡萝卜素(μg) + $1/24 \times$ 其他膳食维生素A类胡萝卜素(μg); α -生育酚当量($\alpha\text{-TE}$, mg) = α -生育酚(mg) + $1/2 \times \beta$ -生育酚 + $1/10 \times \gamma$ -生育酚(mg) + $1/50 \times \delta$ -生育酚(mg) + $3/10 \times \alpha$ -生育三烯酚(mg)

“自19世纪以来，人们就投身于维生素的研究，期间至少有十项诺贝尔奖与维生素有关，如今，我们对于维生素的研究仍旧在继续。在此过程中，不排除有些人为了达到自己的目的，故意夸大或歪曲维生素的作用，但我相信，随着探索的不断深入，错误将被纠正，曲解将被澄清，未知将

被探明。”

7 会议结束

“感谢各位代表的发言，根据各位的发言情况及大家的投票结果，作为本次会议的会议主席，我宣布，维生素A、维生素D、维生素E、维生素K家庭的情况报告均已核定完毕并予以通过。

“于脂溶性维生素而言，我们应认识到彼此之间不是独立的，而是各司其职、相互配合，共同起作用的，人体不能缺乏任何一种维生素，但也没有哪一种维生素对人体而言是最重要的。

“于人类代表而言，你们也应充分认识到脂溶性维生素的重要作用。随着时代的进步，你们可能迫于学习或工作的压力，没有良好的生活作息及合理的饮食结构，没有充足的户外运动时间，导致人体内部分维生素出现不同程度的缺乏状况。鉴于这种情况，我们更推荐人们通过规范生活习惯来调整体内维生素的含量，而不是单纯通过药物补充。人类当前的工作重点应在于宣传多数人不了解的基础常识，纠正少数人的错误认识，重视脂溶性维生素在人体中的重要作用，继续探究有关维生素更深层次的性质，开发更广泛的用途。

“当然，有关脂溶性维生素的内容并不是一场会议就可以讨论完毕的，人类与维生素之间需要更多的讨论机会、更全的讨论内容，期待下次会议我们对彼此能有更深入的了解。再次感谢各位代表参加本次会议，希望我们下次再会！”

参 考 文 献

- [1] Semba, R. D. *Ann. Nutr. Metab.* **2012**, 61 (3), 192.
- [2] 陶宁萍, 王锡昌. 食品营养与健康. 第2版. 北京: 中国轻工业出版社, 2015.
- [3] Sareen, S. G.; Jack, L. S.; Timothy, P. C. *Advanced Nutrition and Human Metabolism*, 7th ed.; Cengage Learning: Boston, USA, 2018.
- [4] 汪之頔. 维生素A//中国营养学会第二次膳食营养素参考摄入量研讨会汇编. 中国营养学会第二次膳食营养素参考摄入量研讨会, 北京, 2011年11月17日. 北京, 2011: 82-107.
- [5] The Nobel Prize and the Discovery of Vitamins. [2023-03-03].
<https://www.nobelprize.org/prizes/themes/the-nobel-prize-and-the-discovery-of-vitamins>
- [6] 陈远飞. 生物学通报, **2001**, 36 (8), 36.
- [7] 周春燕, 药立波. 生物化学与分子生物学. 第9版. 北京: 人民卫生出版社, 2018.
- [8] 刘哲宇. 中国眼镜科技杂志, **2020**, 328 (6), 56.
- [9] Holick, M. F. *N. Engl. J. Med.* **2007**, 357 (3), 266.
- [10] Ali, N. *J. Infect. Public Health* **2020**, 13 (10), 1373.
- [11] 郎楠. 维生素E对蜕膜化和妊娠的影响及相关机制的研究[硕士学位论文]. 北京: 北京协和医学院, 2013.
- [12] 黄旭. 食品安全导刊, **2015**, 97 (6), 83.
- [13] Dam, H. *Nature* **1935**, 135, 652.
- [14] Vitamin K. [2023-03-03]. <https://lpi.oregonstate.edu/mic/vitamins/vitamin-K>
- [15] Xu, F.; Li, Y.; Ahmad, J.; Wang, Y. G.; Scott, D. E.; Vostal, J. G. *FEMS Microbiol. Lett.* **2018**, 365 (4), fny005.
- [16] Ogawa, M.; Nakai, S.; Deguchi, A.; Nonomura, T.; Masaki, T.; Uchida, N.; Yoshiji, H.; Kuriyama, S. *Int. J. Oncol.* **2017**, 31 (2), 323.
- [17] 中国营养学会. 中国居民膳食营养素参考摄入量. 2013版. 北京: 科学出版社, 2014.
- [18] Institute of Medicine (US) Panel on Dietary Antioxidants and Related Compounds. In *Dietary Reference Intakes for Vitamin C, Vitamin E, Selenium, and Carotenoids*; National Academies Press: Washington, D.C., USA, 2000.