doi:10.12301/spxb202201076 文章编号:2095-6002(2023)05-0001-13
引用格式:肖航,王彦淇,赵成英,等. 从农田到餐桌到营养:食物组分化学结构变化对健康效益的影响[J]. 食品科学技术学报,2023,41(5):1-13.
XIAO Hang, WANG Yanqi, ZHAO Chengying, et al. From farm to table and nutrition: effects of chemical structural changes of food components on health benefits[J]. Journal of Food Science and Technology, 2023,41(5):1-13.

从农田到餐桌到营养:食物组分化学结构变化对健康效益的影响

肖 航[1,*], 王彦淇[2], 赵成英[2], 韩彦慧[1,3], 郑金铠[2,4,*]
(1. 马萨诸塞大学阿默斯特分校 食品科学系, 美国 马萨诸塞州 阿默斯特 01003;
2. 中国农业科学院 农产品加工研究所, 北京 100193;
3. 陕西师范大学 食品工程与营养科学学院, 陕西 西安 710119;
4. 青岛农业大学 食品科学与工程学院, 山东 青岛 266109)

摘 要: 食物富含多种化学组分,食物组分经历了加工释放与降解和体内吸收与代谢等一系列过程,最终被机体利用。随着食品化学和食品营养学科的深入发展,食物组分从农田到餐桌到人体过程中的关键变化、影响因素和调控方法得到了高度关注和广泛研究。梳理了从农田到餐桌过程中食物营养组分的体外加工和体内消化吸收阶段的变化及对人体的健康效益,介绍了食物加工、人体摄入过程中营养组分的变化(化学结构氧化降解),包括食物基质的破碎、组分的释放、体内的消化吸收,以及营养与功能组分发挥的健康功效等;分析了食物组分从农田到餐桌到人体过程中的关键影响因素,包括食物加工的方法和条件、食物的原始状态、食物的种类、食物基质性质和人体健康状态等;总结了食物从农田到餐桌到人体变化过程的营养功能强化策略,包括加工方法优化、膳食来源选择、食物形式选择、烹饪方法优化以及营养与功能组分递送系统的选择等;对未来食品营养产业的健康和可持续化发展进行了展望。

关键词: 食物; 组分变化; 加工制造; 吸收代谢; 健康效益
中图分类号: TS201.2 **文献标志码:** A

近年来,人口老龄化、慢性病高发等社会问题日益突出,国民健康面临着巨大的威胁和挑战,"健康中国"上升为重要国家战略[1]。伴随科技进步和经济发展,我国居民对于食物的需求逐渐从"吃得饱"向"吃得好"、"吃得健康"转变,食品产业成为保障国民营养健康的重要产业基础。传统食品由于其营养与功能组分种类相对单调、存在形式不稳定,往往难以满足人们日益增长的、复杂的营养和健康需求。越来越多的研究表明,不同人群的营养和健康需求显著不同[2-3],开发特定功能食品尤其是个性化营养食品,已成为现代营养产业发展的新趋势。从农田到餐桌到人体,食物经历加工制造、消化吸收等多个过

收稿日期:2022-11-21
基金项目:国家自然科学基金资助项目(32072181;31901681)。
Foundation: National Natural Science Foundation of China(32072181;31901681).
第一作者:肖 航,男,教授,博士,主要从事食品生物活性成分的营养与健康研究。通信作者。
并列第一作者:王彦淇,女,博士研究生,研究方向为类胡萝卜素的递送与营养;
并列第一作者:赵成英,女,助理研究员,博士,主要从事果蔬营养健康机制研究;
*通信作者:郑金铠,男,研究员,博士,主要从事植物组分的高值化利用研究。

程,期间食物组分往往发生复杂的化学结构和功能的变化,这对功能食品的靶向设计和精准制造具有至关重要的意义。

食品加工是食品从农田走向餐桌的重要途径。加工方法多种多样,包括物理破碎、加热、冷却、干燥、高压、酸碱处理、发酵等[4]。研究表明,加工会显著影响食物组分的构成和结构(化学结构和多尺度结构)及其相互作用,从而影响其营养和健康效益[5-6]。在加工过程中,食物既有可能产生新的有益成分,也有可能产生有害成分。比如,橘皮在干燥过程中,多甲氧基黄酮会被转化为营养和健康效益更强的羟基化多甲氧基黄酮,从而显著提高橘皮的营养和药用价值[7];而在肉类的某些加工过程(烧烤等)中,则会产生杂环胺等对机体有害的化学组分[8]。食品加工过程对食物组分及其健康效益影响等方面的研究受到越来越多的关注。

从餐桌到人体,我们摄入的食物还将发生复杂的代谢过程[9]。在口腔咀嚼和胃部蠕动作用下,食物组分从基质中释放,部分营养与功能组分需经消化酶降解,以便于小肠吸收。被吸收的部分经门静脉进入肝脏,在不同酶系作用下发生广泛的 I 相代谢(氧化、还原、羟基化、氢化、甲基化等)和 II 相代谢(硫酸酯化、葡萄糖醛酸化等),生成多种化学结构不同的代谢产物;化学结构的转化,往往引起健康效益的不同[10-11]。食物中不能被小肠吸收的部分,会直接进入大肠。肠道,尤其是结肠中存在大量的肠道菌群,具有功能强大的复杂酶系统。肠道菌群的酶可能比宿主自身的酶,如蛋白酶、脂肪酶等,具有更强和独特的催化能力,可以将食物组分转化为具有不同功能和性质的各种代谢产物,进一步影响宿主的机体健康[12]。

食物组分的结构和性质在体外加工和体内代谢过程中发生着显著的变化,继而影响其健康效益的发挥。本文重点关注食品营养组分从农田到餐桌到人体等关键环节中的变化,确定影响营养与功能组分积累的控制点,并据此提出多维战略,希望为功能食品的靶向设计和精准制造提供科学指导。

1 加工制造过程中食品组分的变化

食物加工过程中的多个因素,包括加工方法、工艺参数以及食品基质本身都会影响食品营养与功能组分的结构和组成,继而影响其营养与健康功能的发挥。因此,探讨加工过程中食品营养与功能组分的变化规律和机制,对设计与制造具有特定品质和功能的食品具有重要的指导意义。

1.1 食物加工过程中营养与功能组分含量的变化

食物加工方式与食物营养组分的释放机理见图 1。食物加工主要有机械破碎、热加工、非热加工等手段[13],其中机械破碎是果蔬等植物型食物的常用前处理方式,可将果蔬制品处理成汁或浆等中间产品。热加工是食物加工中常用的杀菌手段,通过将食品加热至 70 ~ 120 ℃,并维持数秒或数分钟,从而达到杀菌、钝酶、延长货架期并产生独特香气等效果[14-15]。热加工处理不可避免地会对食品中热敏性营养与功能组分产生影响,导致其含量的变化。巴氏杀菌(90 ℃, 1 min)处理胡萝卜汁后,β-胡萝卜素和叶黄素含量显著上升,分别从 12.98 μg/mL 和 5.03 μg/mL 提升至 46.79 μg/mL 和 9.99 μg/mL[16]。但大部分情况下,热加工处理后,食品营养与功能组分会出现含量下降的现象,如巴氏杀菌(100 ℃、32 min)处理后,百香果汁中的玉米黄质、β-隐黄质和 β-胡萝卜素含量分别下降了 22.8%、25.4% 和 31.8%[17]。巴氏杀菌(80 ℃、2.5 min)处理后,西瓜汁和芒果汁中的维生素 C 含量分别下降了 10.2% 和 1.63%[18]。娃娃菜、芥蓝和芥菜经微波(1 000 W、1 min)处理后,β-胡萝卜素含量降低 36% ~ 40%[19]。灌装热杀菌(100 ℃、30 min)处理刺梨后,刺梨中总酚含量下降 81.3%,维生素 C 含量下降 42.0%[20]。适度的破碎和热加工能够提高食品营养与功能组分含量(这里指的是可被检测的,同时可为人体吸收的含量),而极端或过度的热加工会导致其含量的降低。

非热加工能够替代热加工起到杀菌作用,也能够减少对食物营养与功能组分的破坏和损失。非热加工主要有高压均质、超高压、超临界二氧化碳、脉冲电场、超声波、冷等离子体等技术[21-23]。在高压均质处理(20 MPa、2 次,15 min)后,番茄汁中总类胡萝卜素含量和 β-胡萝卜素含量分别提高了 19.03% 和 18.52%[24]。类似地,超高压处理(500 MPa、5 min)的枸杞汁中,总类胡萝卜素含量由 24.59 mg/100 mL 提高至 26.58 mg/100 mL[25]。采用高压脉冲电场(30 kV/cm、500 μs)处理胡萝卜汁,可以将其中的总类胡萝卜素含量提高 55.66%[26]。巴西莓汁经高压(450 MPa、5 min)处理后,酚类物质花青素含量为 5.5 mg/g,相比于普通

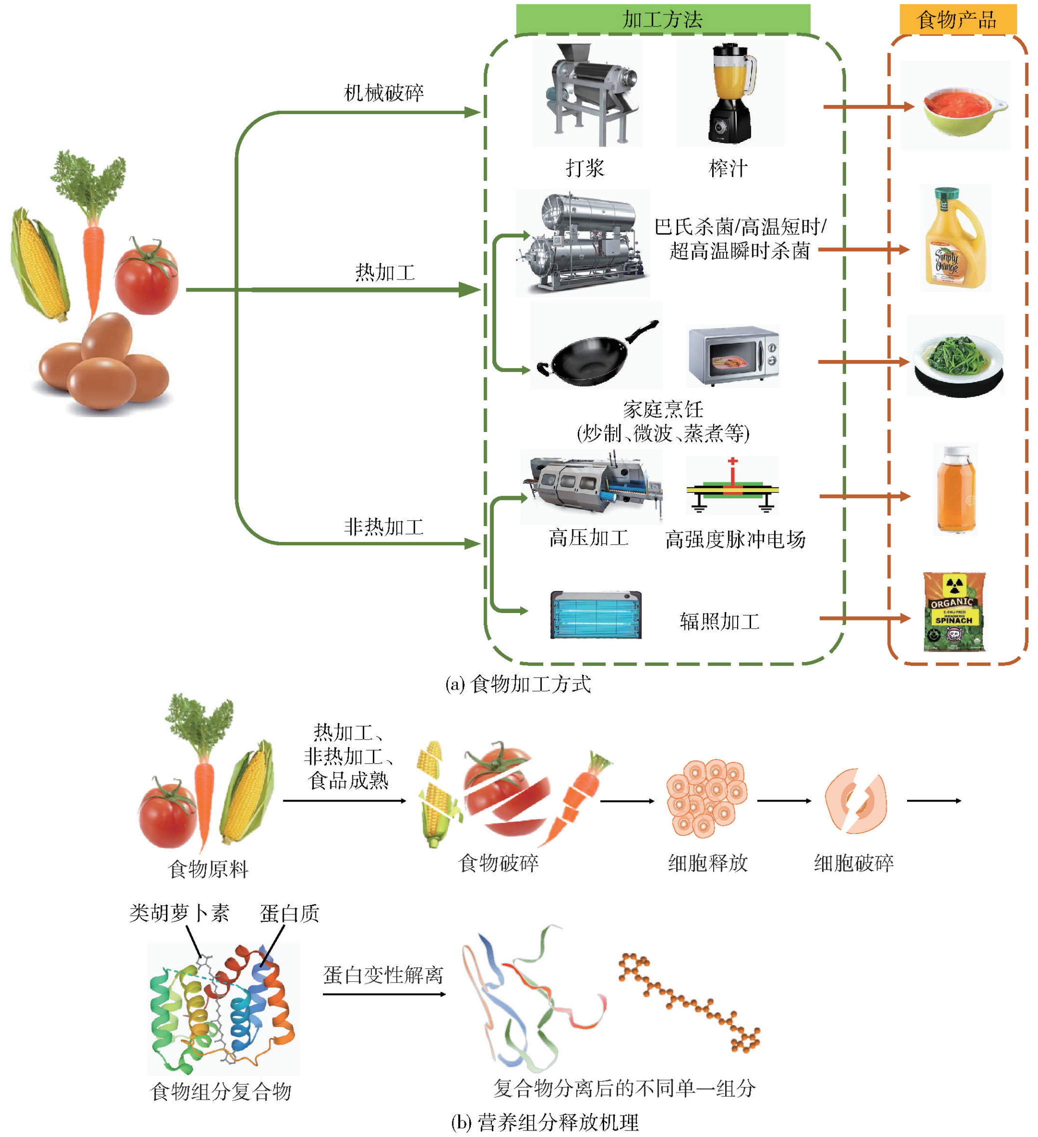


图 1　食物加工方式及食品营养与功能组分的释放机理

Fig. 1　Main food processing methods and release mechanism of nutritional and functional components in foods

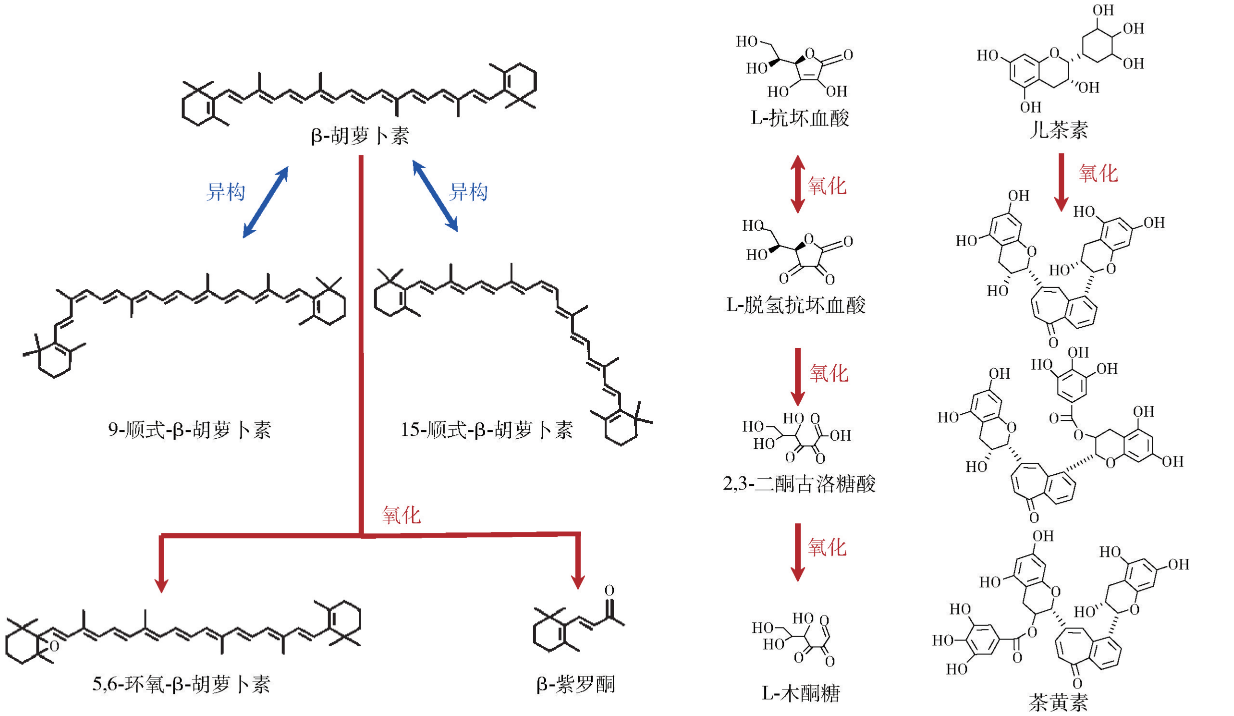
热加工(85 ℃、1 min)提高了 21.1%[27]。综合来看，非热加工对食品营养组分的提升和保护效果均优于热加工。除了加工方式，在加工过程中加入的其他组分如油，会提高食品中可检测的油溶性食品营养组分含量。这是因为，适当的油能够提高油溶性食品营养组分的溶解度，帮助其从细胞中释放出来。

1.2　食物加工中营养与功能组分含量变化的机制

在食物加工处理后，部分食品中的营养与功能组分的含量会上升，部分下降。为了使加工方式在食物加工过程中对食品营养与功能组分的提高发挥最大作用，有必要对加工过程中营养与功能组分的变化机制进行分析，从而指导食物加工方法和条件的选择。加工对食品细胞的适度破坏，是导致食品中营养与功能组分释放并能被人体吸收的主要原因。营养与功能组分在动植物的生长发育阶段，主要在其细胞中合成。如类胡萝卜素主要合成和贮藏在植物细胞的色质体中，与多种大分子物质如蛋白或脂质相连接。因此，食物中的细胞壁、细胞膜和细胞器膜等是限制食品营养组分释放并发挥健康功效的第一道屏障。不同的食物加工方法能通过不同的机制来破坏屏障，起到释放食品营养组分的作用。热加工通过促进果胶的 β-消除降解反应，不仅能够软化细胞壁促进类胡萝卜素的释放，还能够使蛋白变性，促进类胡萝卜素与其脱离连接而提高含量[28]。超高压处理导致的食品体积压缩能够破坏细胞和蛋白质，起到与热加工类似的作用[29]。脉冲电场对细胞的电穿孔作

用、超声处理的冲洗波作用，均能够破坏细胞壁、细胞膜和蛋白复合物，促进营养组分的释放和吸收[30-31]。

虽然加工可以通过促进食品中营养与功能组分的释放而提高加工食品中的有效营养素含量，但食品中营养与功能组分通常对光、热等敏感，过度的加工条件会降解和氧化营养与功能组分，从而导致其含量的下降。食物加工过程中营养组分的主要变化途径见图 2。类胡萝卜素的化学降解途径主要包括可逆的异构变化和不可逆的氧化反应，多酚类物质中的羟基被氧化产生醛基、酮基或羧基，生成相应的不同氧化产物[图 2(a)]。自然状态下，类胡萝卜素以全反式存在于植物细胞中，在加工中的热、酸、光等处理后，容易出现顺式构象，导致其含量的降低[32]。以类胡萝卜素中的 β-胡萝卜素为例，主要有 4 种顺式构象，包括 9-顺式-β-胡萝卜素、13-顺式-β-胡萝卜素、15-顺式-β-胡萝卜素和 13,15′-顺式-β-胡萝卜素，类胡萝卜素的顺反式构象之间的变化是可逆的[33]。相比之下，过度的加工处理带来的氧化降解是不可逆的反应，包括自动氧化、热氧化和酶促氧化等，会显著降低食品中营养与功能组分的含量。以类胡萝卜素为例，氧化过程会先产生一级氧化产物环氧化合物等，进而产生多种二级降解产物[34-35]。维生素类物质如维生素 C(抗坏血酸)氧化转化成脱氢抗坏血酸，进而水解生成 2,3-二酮古洛糖酸和 L-木酮糖[图 2(b)][36]；而多酚类物质如儿茶素会被氧化成多种茶黄素，丧失部分生理活性[图 2(c)][37-38]。在加工过程中，氧化、降解等会导致食品中营养与功能组分的损失，因此降低食物组分的氧化降解率，保持其结构的完整，是提高加工食品营养与功能的主要途径。不同的加工温度、加工强度等会导致食品营养与功能组分产生不同程度的降解，这是其含量下降的主要原因。



(a) β-胡萝卜素(类胡萝卜素类) (b) L-抗坏血酸(维生素类) (c) 儿茶素(酚类)

图 2 食物加工过程中营养与功能组分的主要变化途径

Fig. 2 Chemical transformation pathways of food nutritional and functional components during food processing

1.3 食物加工中营养与功能组分含量变化的影响因素

食物加工中加工方法与食品基质的相互作用导致了营养与功能组分的变化，其中加工方法和条件是主要影响因素，被加工的食品原始状态是次要影响因素。首先，通过分析不同加工处理后食品中营养与功能组分的变化，可以发现热加工的处理条件相对激烈，如巴氏杀菌较长的处理时间等，通常会导致营养与功能组分含量的下降；而高温短时杀菌的较短处理时间、非热加工的较低处理温度都比较温和，通常能够促进营养与功能组分含量的上升[39]。另外，传统干燥处理会导致食品中营养与功能组分

的下降，而真空冷冻干燥由于杜绝了加热和氧气，能够有效减少营养与功能组分的降解和含量下降[40]。

加工参数包括加工时间、温度、压力、电场强度、超声功率等，是影响食品加工效果的主要因素。以高压脉冲电场处理胡萝卜为例，在固定脉冲数为 5 时，通过提高电场强度至 0.8、2.0、3.5 kV/cm，胡萝卜中可检测的总类胡萝卜素含量分别提升了 36.07%、60.66% 和 80.33%[41]。适当提高加工压力也有利于活性成分的释放，以 0.1～400 MPa 的压力处理绿茶，随着压力的增加，酚类物质表儿茶素的含量分别增加了 35% 和 61%[42]。然而过度加工会起到相反的效果，在 150 MPa 条件下高压微射流处理沙棘汁后，重复进行 2 次和 3 次处理分别使类胡萝卜素含量下降 5.05% 和 8.69%[43]。巴氏杀菌 80 ℃处理芒果汁和西瓜汁，随着加热时间的增加，维生素 C 含量下降量逐渐增加，分别为 10.2%～64.4% 和 1.6%～27.0%[44]。因此，根据所选加工对象，在适当范围内提高加工强度有利于提高营养与功能组分含量；相反，过高的加工强度会引起营养与功能组分含量的下降。另外，在较低温度、氧浓度、光照强度条件下贮藏食品，也有利于营养与功能组分的保持。草莓汁在高糖环境中贮藏时，由于高糖浓度减少了溶解氧的浓度，维生素 C 的保留率明显提高[45]。

食品在加工前存在多种状态，包括新鲜采摘的完整果蔬、机械粗破碎的果粒、粗榨的果粒果汁混合物、精制的果汁等。食品营养与功能组分的释放程度，主要受食品原始状态，即食品基质的完整度的影响。新鲜的果蔬中植物细胞完整，富含大量未被释放和破坏的营养与功能组分。经过食物加工后食品细胞基质被破坏，能够大量地释放营养与功能组分，使得可检测营养与功能组分的含量上升[46]；而果蔬汁、果蔬酱等食品基质的完整度较低，由于已有部分营养与功能组分释放，加工会造成已释放组分的氧化降解，从而导致营养与功能组分含量的下降。因此，根据食品的初始状态选择适合的加工方法和加工参数，对食品基质完整度高的食品适当提高加工强度，对食品基质完整度低的食品尽量降低加工强度，可以有效地保护和提升加工后食品的营养与功能组分含量。

2　消化吸收过程中食物组分的变化

人体特殊的生理环境使得摄入其中的食物及其组分发生复杂的生物转化，转变为具有不同化学结构和健康功能的代谢产物。因此，明确食物组分的消化吸收过程对特定功能食品的设计与构建乃至个性化营养的实现具有重要意义。

2.1　食品中营养与功能组分在体内的消化和吸收

在人体食用食品后，食品中营养与功能组分会产生一系列动态变化。食品中的营养与功能组分在消化道中是逐渐释放的，经过口腔咀嚼、肠胃蠕动后，食物体积减小；消化道中的多种蛋白酶、脂肪酶促进了与营养与功能组分相结合的蛋白、脂质的降解，共同促进营养与功能组分的降解[47]。脂溶性食品营养组分的消化吸收，主要包括消化道中的消化和吸收、淋巴转运、肝中生物转化、血液循环和组织代谢等[48]；水溶性食品营养组分则主要是在消化道中被消化吸收，进而进入血液循环的，如图 3。在消化道中，脂溶性成分通过进入乳化的油滴中进而形成胶束被小肠上皮细胞吸收。在吸收阶段，人体中主要有肠细胞的顶端摄取、细胞内运输和基底外侧分泌三个阶段[49]。借助被动运输，大部分的营养与功能组分会进入小肠细胞，另外肠上皮的转运蛋白也会帮助主动运输部分营养与功能组分，这些蛋白的选择性是造成不同营养与功能组分吸收效率差异的主要原因。以类胡萝卜素为例，在被上皮细胞摄取后会被运输到高尔基体，从而结合形成乳糜微粒[50]。由于类胡萝卜素的疏水性，需要借助转运蛋白实现在肠细胞内的转运和分泌。之后大部分的类胡萝卜素通过淋巴进入血液，再被运输到目标组织和器官。肝脏是类胡萝卜素的主要贮存器官，会对类胡萝卜素进行生物转化和利用，并重新排泄到血液中在全身进行分配[51]。

除了在消化道被吸收的水溶性营养与功能组分，大部分脂溶性功能组分在小肠内部分吸收后，剩余的部分会进入结肠，进而被部分降解或与肠道菌群相互作用，起到调节肠道菌群的潜在健康效应。如胡萝卜素可能促进了黏膜和肠道屏障间的紧密连接，同时产生类似益生元的作用，导致肠道菌群产生健康效益[52]。益生元效应的机理主要是通过充当益生菌的营养物质，防止生态失调，从而将肠道菌群的组成朝着有利于人体健康的方向转变，从而改善宿主的健康和生理状况[53]。例如，乳酸菌和双歧杆菌发酵产生的乳酸可以防止有害细菌的过度生长，产生的短链脂肪酸又具有抗炎作用等[54]。又如，向胃部肿瘤中添加富含 β-胡萝卜素的油可以降低醋

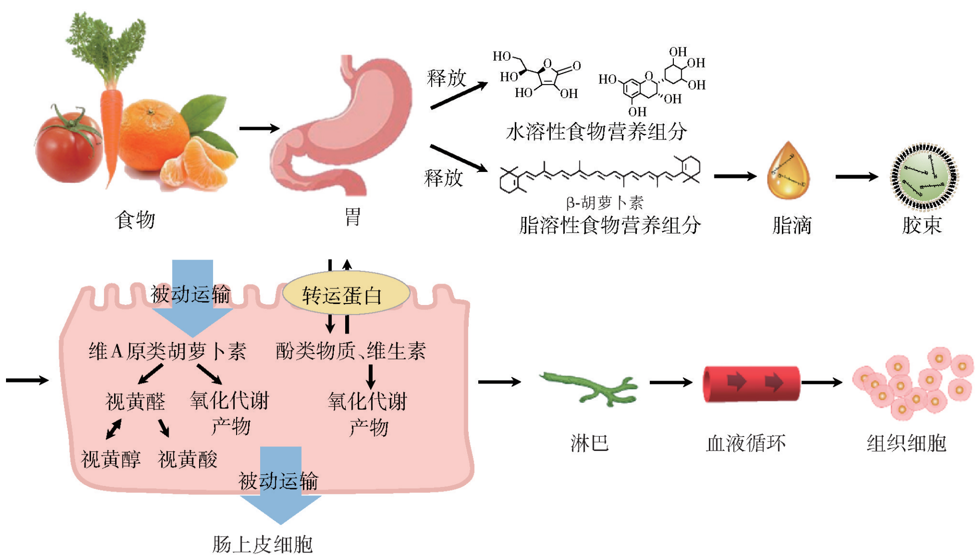


图 3　食品营养与功能组分在体内的消化、吸收和转运过程示意图

Fig. 3　Schematic illustration of digestion, absorption, and transport process of food nutritional and functional components in human body

酸盐含量从而提高丙酸盐的含量,提高机体的抗炎活性[55]。因此,除了在小肠被吸收的部分类胡萝卜素,在结肠与肠道菌群相互作用的类胡萝卜素产生的健康效益也不容忽视。

2.2　食品中营养与功能组分在体内的结构变化机制

营养与功能组分的营养功效与其在体内的生物转化密切相关,因此有必要深入了解其在体内的生物转化路径,从而有目的地调控以实现其健康功效。以类胡萝卜素为例,其生物转化主要发生在组织细胞中。食品中营养与功能组分的主要健康功效之一是抗氧化,大部分营养与功能组分在体内表现了高水平的抗氧化活性,通过自身氧化来清除自由基,起到抑制机体内氧化代谢的健康功效[56]。具体来说,不同的营养与功能组分通过抗氧化作用发挥多种健康功效,如 β-胡萝卜素能够有效预防乳腺癌和前列腺癌[57-58],番茄红素能够预防心血管疾病[59],叶黄素和玉米黄质的摄入与预防年龄相关性黄斑病变有关[60]。食品营养与功能组分发挥健康功效的抗氧化机制较为复杂,尚未完全阐明。食品营养与功能组分在人体内的化学转化途径见图 4。叶黄素的氧化机制开始于羟基脱氢和双键迁移,生成的酮类物质进一步生成二酮。在体内这些氧化反应发生迅速,能够快速清除体内的活性氧等,起到了对多种疾病的预防和控制效果[61]。类胡萝卜素的另一特殊生物功能是可以作为维生素 A 原,为人体提供必要的营养补充,这类类胡萝卜素又称维 A 原类胡萝卜素。具有维 A 原活性的类胡萝卜素需要满足含有至少一个未被取代的 β-环和一个 C11 多烯链。自然界中具有维 A 原活性的类胡萝卜素有 β-胡萝卜素、α-胡萝卜素、β-隐黄质等[62]。以 β-胡萝卜素为例,图 4(a)是产生维生素 A 的主要途径。每一分子的 β-胡萝卜可以在 15,15′-位断裂,生成两分子视黄醛,视黄醛可进一步转化为视黄醇、视黄酸等[63]。β-胡萝卜素也可以在 10′-位断裂,每分子生成 1 分子的 β-紫罗酮和 1 分子的 β-阿朴-10′-胡萝卜素,β-阿朴-10′-胡萝卜素可以进一步生成视黄醛,从而转化为视黄醇、视黄酸等[64]。由于人体不能合成维生素 A,所以富含维 A 原类胡萝卜素的胡萝卜等食品是人体补充维生素 A 的优良食物来源。

如图 4(b)所示,番茄红素从 1,2-和 5,6-位开始氧化,形成 1,2-环氧番茄红素和 5,6-环氧番茄红素,随后会生成一系列的环氧化物[65]。

维生素是维持人体细胞正常生理活动所必需的功能组分,按照生物功能可划分为 6 类,分别是具有抗氧化功能的维生素 E(α-生育酚)和维生素 C(抗坏血酸),具有激素功能的维生素 A(视黄醇)和维生素 D(钙化醇),促进细胞增殖的维生素 B9(叶酸)和 B12(钴胺素),参与凝血的维生素 K 和作为辅酶的 B1(硫胺素)、B2(核黄素)、B3(烟酸)、B5(泛酸)、B6(吡哆醇)和 B7(生物素)。由图 4(c)可知,维生素 E(α-生育酚)的氧化机理主要包括,首先氧化成自由基状态,之后发生碳链断裂、羟基被氧化成酮基等一系列反应,生成对应的多种氧化物[66]。

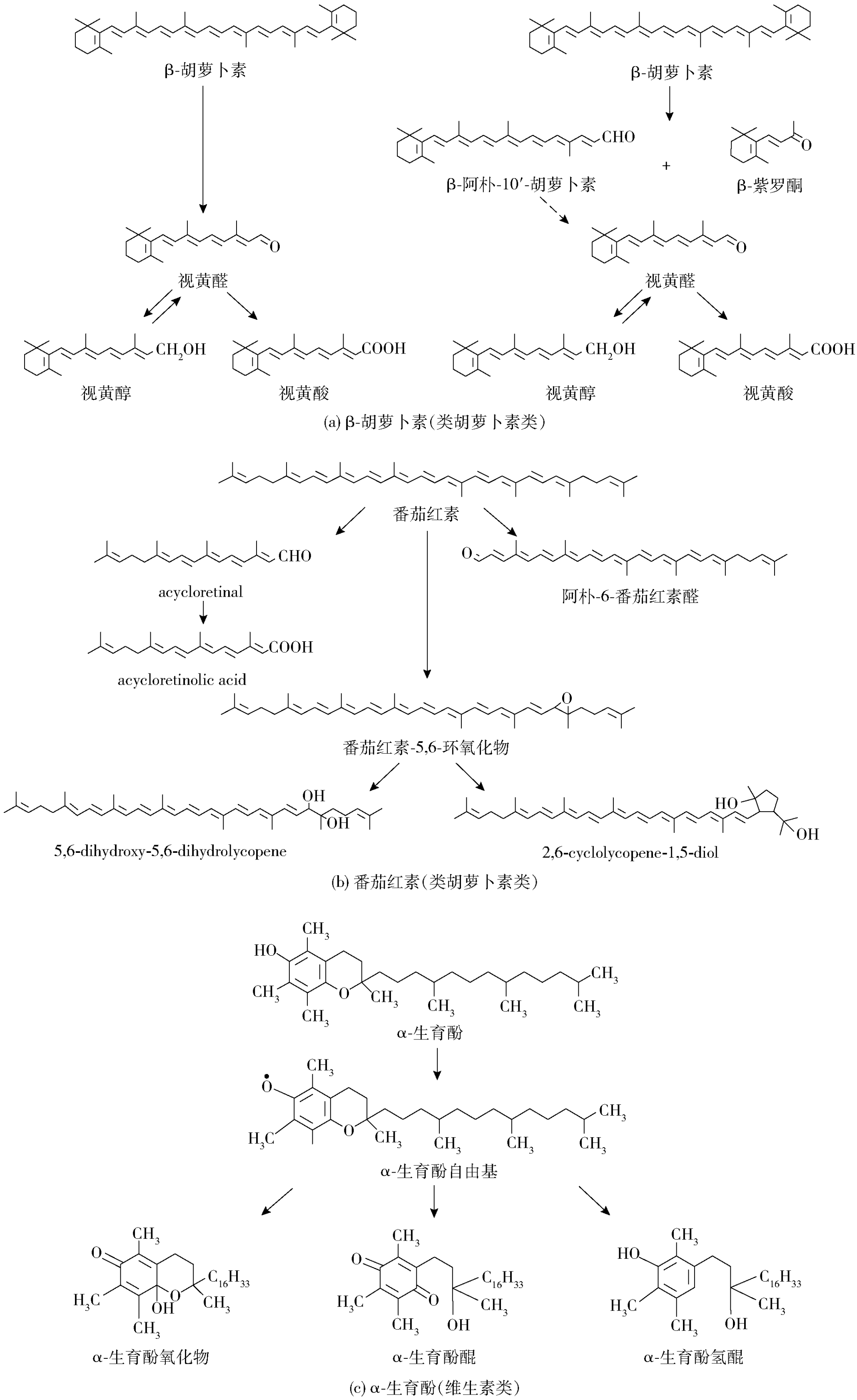


图 4　食品营养与功能组分在人体内的代谢途径

Fig. 4　Metabolic pathways of food nutitional and functional components in human body

2.3 食品中营养与功能组分在体内消化吸收的影响因素

食物被人体摄入后,营养与功能组分的代谢过程受到多种因素的影响,主要包括食物种类、食物基质的性质和人体健康状态等。食物的种类决定了营养与功能组分的含量和种类,如呈现彩色的食物中多富含花色苷、胡萝卜素、叶黄素、番茄红素等。绿色蔬菜,包括菠菜、西兰花、油菜等的叶绿体中含有大量的类胡萝卜素。不同的食物中富含的营养与功能组分种类不同,营养与功能组分的种类和化学结构决定了其在体内的吸收过程和健康功效。以类胡萝卜素为例,其主要有 4 种形式:全反式类胡萝卜素、全反式酯化类胡萝卜素、顺式类胡萝卜素和顺式酯化类胡萝卜素[67]。自然状态的食物中含有的类胡萝卜素以全反式为主,加工中的温度、酸性等条件会诱导其产生部分顺式异构,这些化学结构的变化会引起类胡萝卜素吸收效率的变化。通常来讲,顺式异构体的类胡萝卜素比反式异构体在体内更容易进入胶束,从而具有更高的生物利用度。类似地,叶黄素在加工后产生的酯化叶黄素更容易被吸收[68]。

食物基质的性质包括天然食物的结构、食物种类和组成,以及食物基质的完整性等。食物的天然结构是其营养与功能组分释放的物理屏障,如细胞壁、细胞器膜等。除食物的种类外,食物中其他组分的含量也会通过相互作用影响营养与功能组分的吸收和利用。如食物中的油可以促进脂溶性营养与功能组分的释放和体内吸收[69],食物中的膳食纤维会通过抑制脂溶性营养与功能组分的释放和扩散而抑制其吸收[70]。此外,食物基质的类型,如天然的、加工后的、熟制的等人为造成的差异也会影响营养与功能组分的释放和吸收。通常,适度加工后的食物中具有更多可为人体吸收而发挥健康功效的营养与功能组分。人体的状态,包括胃肠道健康、性别、年龄,都会直接或间接地影响营养与功能组分的吸收、代谢和功效[71]。

3 结论与展望——基于农田到餐桌到人体的营养与功能强化策略

在“从农田到餐桌”的过程中,食物组分经历了体外加工、体内消化吸收等一系列过程,其化学结构、理化性质以及健康功效也随之发生了复杂的变化,如图 5。不同个体对相同的食物及其组分的反应可能也会存在显著差异,精准营养被视为维护人类健康和预防疾病的一种有前景的策略。明确加工和膳食过程中食物及其组分的复杂变化,并以此为指导,可通过调节加工过程,实现对食物的定向调控,助推精准营养的实现[72-73]。恰当的加工或膳食结构是食品健康效益保持甚至提升的有力保障,而不恰当的加工或膳食会造成食品健康效益的减弱甚至消失[74]。基于加工制造和消化吸收过程中食品组分的化学变化规律和机制,选择或构建合适的策略从而实现食品营养与功能的强化,成为未来食品领域研究新的关注点。

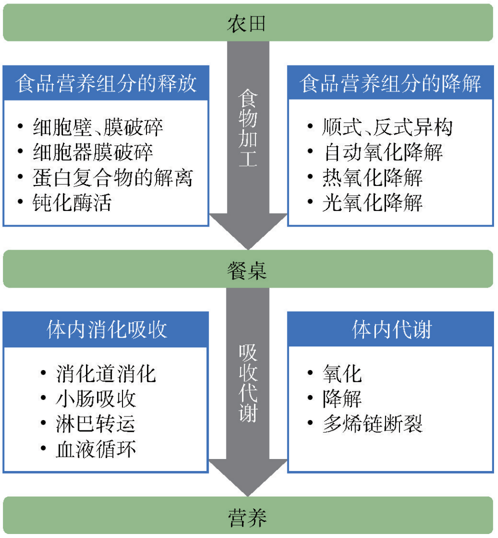


图 5 食品营养与功能组分从农田到餐桌的转化途径

Fig. 5 Transformation of food nutritional and function components from farm to table

3.1 基于食物加工制造的营养与功能强化策略

3.1.1 合适的加工方法

加工方法对食品中营养与功能组分的含量变化起着决定性的作用,选择合适的加工方法能够促进食品中营养与功能组分的释放,并有效抑制其降解[75]。如在食品的杀菌处理时尽量选择非热加工,能够避免热加工的过度处理导致的营养与功能组分氧化降解[76];在食品干燥过程中选择真空和冷冻干燥处理,能够有效避免干燥过程中的氧化降解和热降解。目前也有研究发现,适当的热加工与非热加工联合处理,能起到较好的释放营养与功能组分与抑制组分降解的效果[77]。如,辐射处理(紫外线强度 75 $\mu W/cm^2$)联合热处理(50 ℃,10~30 min)后,橙汁中的类胡萝卜素含量提高了 0.20%~46.12%[78]。

3.1.2　优化的加工参数

根据加工目的和食品基质的状态，选择合适的加工参数，有利于对加工处理效果扬长避短。如在非热加工处理中，根据食品的特点适当提高加工强度（处理压力、超声功率等），能提高营养与功能组分的释放效率。在贮藏时，尽量选择低温、低氧、避光环境，对提高食品中类胡萝卜素的含量有较好的效果。

3.1.3　多样的食物形式

食品类型可用于指导食物加工方法和参数的选择，对于完整的食物，选择较高强度的加工方法有利于充分释放营养与功能组分，从而利于人体吸收；对于已经过一次加工的果蔬汁等，温和的加工方式能在达到杀菌目的等的同时减少营养与功能组分的损失。

3.2　基于食品消化吸收的营养功能强化策略

3.2.1　合理的膳食选择

为了摄入足量的营养与功能组分满足身体需要，果蔬等是很好的膳食来源，特别是彩色蔬菜如胡萝卜、柑橘、辣椒等。多种基因工程食品也是良好的营养与功能组分富集食品，如“黄金大米”、“黄金土豆”等，作为β-胡萝卜素的生物强化作物，在部分发展中国家中为人们补充类胡萝卜素发挥了重要的作用[79-80]。

3.2.2　恰当的烹饪方法

在家庭烹饪过程中，选择适当的加工方法处理食物，有利于对营养与功能组分的吸收和利用。如在烹饪食材时加入适当的油，有利于脂溶性组分的溶解和释放，以及被人体吸收[81]。

3.2.3　营养与功能组分递送系统

目前针对脂溶性组分不易被人体吸收的现状，已有多种递送体系应用于脂溶性物质的吸收，包括纳米颗粒、纳米乳剂、纳米水凝胶、纳米脂质体等[82-85]。选择合适的食用体系可以在食物消化过程中降低营养与功能组分的降解损失，在体内抵抗消化道的胃酸和酶的应力，同时有利于营养与功能组分在小肠的吸收，并到达全身各处器官组织，发挥健康功效。

参考文献：

[1] 国家卫生健康委疾病预防控制局. 中国居民营养与慢性病状况报告(2020年)[M]. 北京：人民卫生出版社，2021.
National Health Commission Bureau of Disease Control and Prevention. Report on nutrition and chronic disease status of Chinese residents (2020) [M]. Beijing: People's Health Publishing House, 2021.

[2] KIRK D, CATAL C, TEKINERDOGAN B. Precision nutrition: a systematic literature review[J]. Computers in Biology and Medicine, 2021,133:104365.

[3] ZEEVI D, KOREM T, ZMORA N, et al. Personalized nutrition by prediction of glycemic responses[J]. Cell, 2015,163(5):1079-1094.

[4] WANG Y, YANG F, LIU T, et al. Carotenoid fates in plant foods: chemical changes from farm to table and nutrition[J/OL]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. (2022-09-02) [2022-11-21]. https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2115002.

[5] BENCHAMAS G, HUANG S, HUANG G. The influence of traditional and new processing technologies on the structure and function of food polysaccharide[J]. Food Function, 2020,11(7):5718-5725.

[6] LIU X, LE BOURVELLEC C, YU J, et al. Trends and challenges on fruit and vegetable processing: insights into sustainable, traceable, precise, healthy, intelligent, personalized and local innovative food products[J]. Trends in Food Science & Technology, 2022,125:12-25.

[7] ZHANG H, TIAN G, ZHAO C, et al. Characterization of polymethoxyflavone demethylation during drying processes of citrus peels[J]. Food Function,2019,10(9):5707-5717.

[8] LU F, KUHNLE G K, CHENG Q. Heterocyclic amines and polycyclic aromatic hydrocarbons in commercial ready to-eat meat products on UK market[J]. Food Control, 2017,73:306-315.

[9] KARN A, ZHAO C, YANG F, et al. *In-vivo* biotransformation of citrus functional components and their effects on health[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition,2021,61(5):756-776.

[10] NECTOUX A M, ABE C, HUANG S W, et al. Absorption and metabolic behavior of hesperidin (rutinosylated hesperetin) after single oral administration to sprague-dawley rats[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry,2019,67(35):9812-9819.

[11] ZENG X, SU W, ZHENG Y, et al. Pharmacokinetics, tissue distribution, metabolism, and excretion of naringin in aged rats[J]. Frontiers in Pharmacology, 2019, 10:34.

[12] SENDER R, FUCHS S, MILO R. Revised estimates for the number of human and bacteria cells in the body[J]. PLoS Biology,2016,14(8):e1002533.

[13] SILVA E K, MEIRELES M A A, SALDAÑA M D A. Supercritical carbon dioxide technology: a promising technique for the non-thermal processing of freshly fruit

and vegetable juices[J]. Trends in Food Science & Technology, 2020,97:381-390.

[14] ALLAI F M, AZAD Z R A A, MIR N A, et al. Recent advances in non-thermal processing technologies for enhancing shelf life and improving food safety[J]. Applied Food Research, 2023,3(1):100258.

[15] BARBHUIYA R I, SINGHA P, SINGH S K. A comprehensive review on impact of non-thermal processing on the structural changes of food components[J]. Food Research International, 2021,149:110647.

[16] KOLEY T K, NISHAD J, KAUR C, et al. Effect of high-pressure microfluidization on nutritional quality of carrot (*Daucus carota* L.) juice[J]. Journal of Food Science and Technology, 2020,57(6):2159-2168.

[17] 牛慧慧, 张慧云, 邹文惠, 等. 不同杀菌方式对百香果汁感官和营养品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2022,48(20):145-151.
NIU H H, ZHANG H Y, ZOU W H, et al. Effects of sterilization methods on the sensory related characteristics and nutritional quality of passion fruit juice[J]. Food and Fermentation Industries,2022,48(20):145-151.

[18] MANDHA J, SHUMOY H, MATEMU A O, et al. Characterization of fruit juices and effect of pasteurization and storage conditions on their microbial, physicochemical, and nutritional quality[J]. Food Bioscience, 2023,51:102335.

[19] HE X, HE H, FAN Z, et al. Effect of cooking treatments on carotenoids and total flavonoid in three leafy vegetables[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2016,16(7):276-282.

[20] WANG M, LIN X, XU Y, et al. The fate of phenolic acids, flavonoids, vitamin C, antioxidant capacities of cili (*Rosa roxburghii*) fruits upon processing and sensory properties of the processed products[J]. Food Bioscience, 2023,53:102729.

[21] WANG X, CHEN F, MA L, et al. Non-volatile and volatile metabolic profiling of tomato juice processed by high-hydrostatic-pressure and high-temperature short-time[J]. Food Chemistry, 2022,371:131161.

[22] LIU L, DENG X, HUANG L, et al. Comparative effects of high hydrostatic pressure, pasteurization and nisin processing treatments on the quality of pickled radish [J]. LWT-Food Science and Technology, 2022,167:113833.

[23] PENG P, SONG H, ZHANG T, et al. Concentrated high intensity electric field (CHIEF) system for non-thermal pasteurization of liquid foods: modeling and simulation of fluid mechanics, electric analysis, and heat transfer [J]. Computers & Chemical Engineering, 2017,97:183-193.

[24] ZHANG W, YU Y, XIE F, et al. High pressure homogenization versus ultrasound treatment of tomato juice: effects on stability and *in vitro* bioaccessibility of carotenoids[J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 116:108597.

[25] ZHAO F, MEI X, ZHANG Y, et al. Effect of high hydrostatic pressure and heat sterilization on the quality of lyceum barbarum juice[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2018,18(3):169-178.

[26] CHEN T, YANG R, ZHANG S, et al. Effects of pulsed electric fields on the sterilization and carotenoid content of carrot juice[J]. Food and Fermentation Industries, 2010,36(7):41-44.

[27] DA SILVEIRA T F F, CRISTIANINI M, KUHNLE G G, et al. Anthocyanins, non-anthocyanin phenolics, tocopherols and antioxidant capacity of açaí juice (*Euterpe oleracea*) as affected by high pressure processing and thermal pasteurization[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2019,55:88-96.

[28] CHRISTIAENS S, MBONG V B, VAN BUGGENHOUT S, et al. Influence of processing on the pectin structure-function relationship in broccoli purée[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2012, 15: 57-65.

[29] ABDELKADER M, SALEH S, MOKBEL T, et al. Beneficial effects of vincamine with thioctic acid and lutein on retinal and optic nerve functions in an opaque media [J]. International Journal of Ophthalmology, 2019,12(9):1450-1455.

[30] LEITE B, CROGUENNEC T, HALABI A, et al. Comparing different methods for estimating kinetic parameters of whey protein heat-induced denaturation in infant milk formulas[J]. Journal of Food Engineering, 2021, 292:110272.

[31] BOCKER R, SILVA E K. Pulsed electric field assisted extraction of natural food pigments and colorings from plant matrices[J/OL]. Food Chemistry: X, 2022,15: 100398.

[32] MELÉNDEZ-MARTÍNEZ A J, VICARIO I M, HEREDIA F J. Stability of carotenoid pigments in foods[J]. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 2004,54(2): 209-215.

[33] PÉNICAUD C, ACHIR N, DHUIQUE-MAYER C, et al. Degradation of β-carotene during fruit and vegetable processing or storage: reaction mechanisms and kinetic aspects: a review[J]. Fruits, 2011,66(6):417-440.

[34] BOON C S, MCCLEMENTS D J, WEISS J, et al. Factors influencing the chemical stability of carotenoids in

foods[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2010,50(6):515－532.

[35] KANASAWUD P, CROUZET J C. Mechanism of formation of volatile compounds by thermal degradation of carotenoids in aqueous medium. 1. β-Carotene degradation[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1990,38(1):237－243.

[36] LI J, LI C, SHU J, et al. Research progress on degradation mechanism of ascorbic acid and effects of dehydroascorbic acid on food properties[J]. Modern Food Science and Technology, 2022,38(10):329－336.

[37] ELGAMAL R, SONG C, RAYAN A M, et al. Thermal degradation of bioactive compounds during drying process of horticultural and agronomic products: a comprehensive overview[J]. Agronomy, 2023, 13(6): 1580.

[38] SHARMA K, BARI S S, SINGH H P. Biotransformation of tea catechins into theaflavins with immobilized polyphenol oxidase[J]. Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic, 2009,56(4):253－258.

[39] YAN B, MARTINEZ-MONTEAGUDO S, COOPERSTONE J, et al. Impact of thermal and pressure-based technologies on carotenoid retention and quality attributes in tomato juice[J]. Food and Bioprocess Technology, 2017,10:808－818.

[40] WANG B, SUN P, CHEN B, et al. Influence of the process parameters on the energy conservation and quality of the kiwi fruit subjected to vacuum freeze-drying [J]. Case Studies in Thermal Engineering, 2022,33: 101935.

[41] LÓPEZ-GÁMEZ G, ELEZ-MARTÍNEZ P, MARTÍN-BELLOSO O, et al. Changes of carotenoid content in carrots after application of pulsed electric field treatments[J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 147:111408.

[42] LIU H, UENO S, ARAKI T. Effect of high-hydrostatic-pressure processing on catechin content in green tea leaves[J]. High Pressure Research, 2023,43(2):97－105.

[43] ABLIZ A, LIU J, MAO L, et al. Effect of dynamic high pressure microfluidization treatment on physical stability, microstructure and carotenoids release of sea buckthorn juice[J]. LWT-Food Science and Technology, 2021,135:110277.

[44] MANDHA J, SHUMOY H, MATEMU A O, et al. Characterization of fruit juices and effect of pasteurization and storage conditions on their microbial, physicochemical, and nutritional quality[J]. Food Bioscience, 2023,51:102335.

[45] SAPEI L, HWA L. Study on the kinetics of vitamin C degradation in fresh strawberry juices[J]. Procedia Chemistry, 2014,9:62－68.

[46] FENG L, WU J, SONG J, et al. Effect of particle size distribution on the carotenoids release, physicochemical properties and 3D printing characteristics of carrot pulp [J]. LWT-Food Science and Technology, 2021,139: 110576.

[47] VON LINTIG J, MOON J, LEE J, et al. Carotenoid metabolism at the intestinal barrier[J]. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular and Cell Biology of Lipids, 2020,1865(11):158580.

[48] GENG T, BAO S, SUN X, et al. A clarification of concepts related to the digestion and absorption of carotenoids and a new standardized carotenoids bioavailability evaluation system[J]. Food Chemistry, 2023, 400: 134060.

[49] HARRISON E H. Mechanisms involved in the intestinal absorption of dietary vitamin A and provitamin A carotenoids[J]. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular and Cell Biology of Lipids, 2012, 1821(1): 70－77.

[50] REBOUL E. Proteins involved in fat-soluble vitamin and carotenoid transport across the intestinal cells: new insights from the past decade[J]. Progress in Lipid Research, 2023,89:101208.

[51] REBOUL E. Absorption of vitamin a and carotenoids by the enterocyte: focus on transport proteins[J]. Nutrients, 2013,5(9):3563－3581.

[52] EROGLU A, AL ABRI I, KOPEC R E, et al. Carotenoids and their health benefits as derived via their interactions with gut microbiota[J]. Advances in Nutrition, 2023,14(2):238－255.

[53] HUTKINS R W, KRUMBECK J A, BINDELS L B, et al. Prebiotics: why definitions matter[J]. Current Opinion Biotechnology, 2016,37:1－7.

[54] SHOKRI D, KHORASGANI M R, MOHKAM M, et al. The inhibition effect of lactobacilli against growth and biofilm formation of *Pseudomonas aeruginosa*[J]. Probiotics Antimicrob Proteins, 2018,10(1):34－42.

[55] RAMOS A, TERRY S A, HOLMAN D B, et al. Tucumã oil shifted ruminal fermentation, reducing methane production and altering the microbiome but decreased substrate digestibility within a RUSITEC fed a mixed hay-concentrate diet[J]. Front Microbiol, 2018, 9:1647.

[56] ZHENG X J, XIAO H, ZENG Z, et al. Composition and serum antioxidation of the main flavonoids from fermented vine tea (*Ampelopsis grossedentata*)[J]. Journal of Functional Foods, 2014,9:290－294.

[57] MAHROUS G R, ELKHOLY N S, SAFWAT G, et al.

Enhanced cytotoxic activity of beta carotene conjugated liposomes towards breast cancer cell line: comparative studies with cyclophosphamide[J]. Anti-Cancer Drugs, 2022,33(1):e462 – e476.

[58] LIM J E, HUANG J, MÄNNISTÖ S, et al. Hair dye use and prostate cancer risk: a prospective analysis in the Alpha-tocopherol, Beta-carotene cancer prevention study cohort[J]. Cancer, 2022,128(6):1260 – 1266.

[59] HSIEH M J, HUANG C Y, KIEFER R, et al. Cardiovascular disease and possible ways in which lycopene acts as an efficient cardio-protectant against different cardiovascular risk factors[J]. Molecules, 2022, 27(10):3235.

[60] GARCÍA-ROMERA M C, SILVA-VIGUERA M C, LÓPEZ-IZQUIERDO I, et al. Effect of macular pigment carotenoids on cognitive functions: a systematic review [J]. Physiology and Behavior, 2022,254:113891.

[61] UPDIKE A A, SCHWARTZ S J. Thermal processing of vegetables increases cis isomers of lutein and zeaxanthin [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(21):6184 – 6190.

[62] NKHATA S G, CHILUNGO S, MEMBA A, et al. Biofortification of maize and sweetpotatoes with provitamin A carotenoids and implication on eradicating vitamin A deficiency in developing countries[J]. Journal of Agriculture and Food Research, 2020,2:100068.

[63] EROGLU A, HARRISON E H. Carotenoid metabolism in mammals, including man: formation, occurrence, and function of apocarotenoids: thematic review series: fat-soluble vitamins: vitamin A[J]. Journal of Lipid Research, 2013,54(7):1719 – 1730.

[64] OLSON J A. Provitamin A function of carotenoids: the conversion of β-ccarotene into vitamin A[J]. Journal of Nutrition, 1989,119:105 – 108.

[65] XIANQUAN S, SHI J, KAKUDA Y, et al. Stability of lycopene during food processing and storage[J]. Journal of Medicinal Food, 2005,8(4):413 – 422.

[66] RATHOD N B, ELABED N, PUNIA S, et al. Recent developments in polyphenol applications on human health: a review with current knowledge[J]. Plants (Basel), 2023,12(6):1217.

[67] MELENDEZ-MARTINEZ A J, STINCO C M, LIU C, et al. A simple HPLC method for the comprehensive analysis of *cis/trans* (*Z/E*) geometrical isomers of carotenoids for nutritional studies[J]. Food Chemistry, 2013, 138(2):1341 – 1350.

[68] TYSSANDIER V, REBOUL E, DUMAS J F, et al. Processing of vegetable-borne carotenoids in the human stomach and duodenum[J]. American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology, 2003, 284(6):G913 – G923.

[69] LÓPEZ-GÁMEZ G, ELEZ-MARTÍNEZ P, MARTÍN-BELLOSO O, et al. Pulsed electric field treatment strategies to increase bioaccessibility of phenolic and carotenoid compounds in oil-added carrot purees[J]. Food Chemistry, 2021,364:130377.

[70] CABEZAS-TERÁN K, GROOTAERT C, ORTIZ J, et al. *In vitro* bioaccessibility and uptake of β-carotene from encapsulated carotenoids from mango by-products in a coupled gastrointestinal digestion/Caco-2 cell model [J]. Food Research International, 2023,164:112301.

[71] LYU Y, WU L, WANG F, et al. Carotenoid supplementation and retinoic acid in immunoglobulin a regulation of the gut microbiota dysbiosis[J]. Experimental Biology and Medicine, 2018,243(7):613 – 620.

[72] DESMARCHELIER C, BOREL P. Overview of carotenoid bioavailability determinants: from dietary factors to host genetic variations[J]. Trends in Food Science & Technology, 2017,69:270 – 280.

[73] CARA K, GOLDMAN D, KOLLMAN B, et al. Commonalities among dietary guidelines for chronic disease prevention and health promotion: a meta-epidemiological study from the american college of lifestyle medicine [J]. Current Developments in Nutrition, 2022, 6: 350 – 350.

[74] FRASER P D, ENFISSI E M, BRAMLEY P M. Genetic engineering of carotenoid formation in tomato fruit and the potential application of systems and synthetic biology approaches [J]. Archives Biochemistry Biophysics, 2009,483(2):196 – 204.

[75] PRAVALLIKA K, CHAKRABORTY S. Effect of nonthermal technologies on the shelf life of fruits and their products: a review on the recent trends[J]. Applied Food Research, 2022,2(2):100229.

[76] NOWACKA M, DADAN M, JANOWICZ M, et al. Effect of nonthermal treatments on selected natural food pigments and color changes in plant material[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2021,20(5):5097 – 5144.

[77] DE ANCOS B, SÁNCHEZ-MORENO C, ZACARÍAS L, et al. Effects of two different drying methods (freeze-drying and hot air-drying) on the phenolic and carotenoid profile of 'Ataulfo' mango by-products[J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2018,12(3): 2145 – 2157.

[78] GAO R, LIU S, WU Z. Effect of ultraviolet-C combined with heat treatments on the quality properties of orange juice[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022,43(9):79 – 86.

[79] PAINE J A, SHIPTON C A, CHAGGAR S, et al. Im-

proving the nutritional value of golden rice through increased pro-vitamin A content[J]. Nature Biotechnology, 2005,23(4):482－487.

[80] CHITCHUMROONCHOKCHAI C, DIRETTO G, PARISI B, et al. Potential of golden potatoes to improve vitamin A and vitamin E status in developing countries[J]. PLoS One, 2017,12(11):e0187102.

[81] DIAMANTE M S, VANZ BORGES C, MINATEL I O, et al. Domestic cooking practices influence the carotenoid and tocopherol content in colored cauliflower[J]. Food Chemistry, 2021,340:127901.

[82] BOONLAO N, RUKTANONCHAI U R, ANAL A K. Enhancing bioaccessibility and bioavailability of carotenoids using emulsion-based delivery systems [J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2022, 209: 112211.

[83] ALGAN A H, GUNGOR-AK A, KARATAS A. Nanoscale delivery systems of lutein: an updated review from a pharmaceutical perspective[J]. Pharmaceutics, 2022,14(9):1852.

[84] LUANA CARVALHO DE QUEIROZ J, MEDEIROS I, COSTA TRAJANO A, et al. Encapsulation techniques perfect the antioxidant action of carotenoids: a systematic review of how this effect is promoted[J]. Food Chemistry, 2022,385:132593.

[85] LUIZA KOOP B, NASCIMENTO DA SILVA M, DINIZ DA SILVA F, et al. Flavonoids, anthocyanins, betalains, curcumin, and carotenoids: sources, classification and enhanced stabilization by encapsulation and adsorption[J]. Food Research International, 2022, 153: 110929.

From Farm to Table and Nutrition: Effects of Chemical Structural Changes of Food Components on Health Benefits

XIAO Hang[1,*], WANG Yanqi[2], ZHAO Chengying[2], HAN Yanhui[1,3], ZHENG Jinkai[2,4,*]

(1. *Department of Food Science*, *University of Massachusetts*, *Amherst*, *MA* 01003, *United States*;
2. *Institute of Food Science and Technology*, *Chinese Academy of Agricultural Sciences*, *Beijing* 100193, *China*;
3. *College of Food Engineering and Nutritional Science*, *Shaanxi Normal University*, *Xi'an* 710119, *China*;
4. *College of Food Science and Engineering*, *Qingdao Agricultural University*, *Qingdao* 266109, *China*)

Abstract: Food is rich in a variety of chemical components, which have undergone a series of processes such as processing, release, degradation, *in vivo* absorption and metabolism, and are finally utilized by the body. With the in-depth development of food chemistry and food nutrition, the key changes, influencing factors and regulation methods of food components in the process from farm to table and human body have been highly concerned and widely studied. In this paper, the changes of food nutritional components in food processing *in vitro* and digestion and absorption *in vivo* as well as the health benefits to human body were reviewed. The changes of nutrient components during food processing and human intake were introduced, including the breaking of food matrix, the release of components, digestion and absorption in the body, and the healthy function of nutrient functional components (chemical structure oxidation and degradation). The key influencing factors in the process from farm to table and human body were analyzed, including the methods and conditions of food processing, the original state of food, the types of food, the properties of food matrix and the state of human health. The strategies for strengthening nutritional function of food from farm to table and human body were summarized, including optimization of processing methods, selection of dietary sources, selection of food forms, optimization of cooking methods and selection of delivery system of nutritional functional components. The sustainable development of food nutrition industry in the future is prospected.

Keywords: food; component change; processing and manufacturing; absorption and metabolism; health benefits

(责任编辑:叶红波)