

功能性食品中天然活性成分的营养价值与安全性评价

楚宁

渤海大学, 辽宁 锦州 121013

[摘要] 天然多酚、多糖、植物甾醇、类胡萝卜素及活性肽是功能性食品的重要物质基础, 具有调节氧化应激、脂质代谢和肠道环境等潜在价值。本文依据公开研究数据, 分析其营养作用、生物可及性及剂量安全性。结果表明, 天然成分的功能效应受食品基质、加工方式、摄入剂量和人群特征共同影响; 天然来源不等于绝对安全。构建成分鉴定、暴露评估、毒理试验和人体研究相衔接的评价体系, 是功能性食品科学开发的关键。

[关键词] 功能性食品; 天然活性成分; 营养价值; 安全性

DOI: 10.64635/ja.2026.1569

中图分类号: TS218

文献标识码: A

Evaluation of the Nutritional Value and Safety of Natural Bioactive Components in Functional Foods

Chu Ning

Bohai University, Jinzhou, Liaoning 121013, China

Abstract: Natural polyphenols, polysaccharides, phytosterols, carotenoids, and bioactive peptides constitute important material bases of functional foods and have potential benefits in regulating oxidative stress, lipid metabolism, and the intestinal environment. Based on publicly available research data, this study analyzes their nutritional functions, bioaccessibility, and dose-related safety. The results indicate that the functional effects of natural components are jointly influenced by the food matrix, processing methods, intake levels, and population characteristics, and that natural origin does not necessarily imply absolute safety. Establishing an evaluation system that integrates component identification, exposure assessment, toxicological testing, and human studies is essential for the scientific development of functional foods.

Keywords: functional foods; natural bioactive components; nutritional value; safety evaluation

引言

功能性食品除提供能量和基本营养素外, 还可借助特定活性成分对人体生理功能产生调节作用。天然活性成分广泛存在于果蔬、谷物、豆类、菌藻、茶叶及药食两用资源中。随着分离纯化和浓缩技术的发展, 同一种成分的摄入量可能由普通膳食水平提高到提取物或补充剂水平, 其营养价值和边界也随之发生改变。

公开资料显示, 2013 年至 2020 年完成注册备案的 4620 种保健食品共涉及 121 种功效成分^[1]。但成分存在并不等于功能声称成立, 体外抗氧化结果也不能直接推断人体疾病预防效果。因此, 天然活性成分评价应同时回答三个问题: 产品中实际含有多少、进入人体后能够利用多少、长期摄入是否安全。

1 天然活性成分的类型及功能基础

1.1 天然活性成分的主要类别

天然活性成分可分为多酚与类黄酮、多糖与膳食纤维、植物甾醇、类胡萝卜素、生物碱、皂苷、萜类、活性肽以及不饱和脂肪酸等。不同成分的作用基础并不相同: 多酚和类胡萝卜素主要参与氧化还原调节;

可溶性膳食纤维影响胃肠排空、胆汁酸代谢和肠道菌群; 植物甾醇可干预肠道胆固醇吸收; 活性肽则可能参与酶活性、免疫和矿物质吸收调节。

对已备案产品的分析发现, 仅约百分之 57 的功效成分具有相对明确的主要功能声称, 约百分之 43 对应两种以上声称, 原花青素和茶多酚甚至涉及 10 种以上声称^[1]。这一现象反映出天然成分研究中存在功能外推过度的问题。单一成分可能参与多条代谢通路, 但只有经过剂量明确、终点适宜的人体研究, 才能形成稳定的功能证据。

天然成分还存在结构差异。总多酚、总黄酮和总皂苷属于混合性指标, 相同总量下, 单体组成和活性可能明显不同。多糖的分子质量、支链程度和单糖组成会影响其溶解性及发酵特征; 活性肽的氨基酸序列和消化稳定性则决定其能否到达作用部位。因此, 功能性食品不能只标示笼统的“植物提取物”, 还应建立具有代表性的标志成分和组成指纹。

1.2 食品基质中的协同作用

完整食品中的天然活性成分与蛋白质、多糖、脂

质和矿物质共同存在。食品基质既可能保护活性成分免受氧化,也可能通过结合、包埋和沉淀降低其释放。脂溶性类胡萝卜素需要适量膳食脂肪参与乳化;部分多酚与乳蛋白或膳食纤维结合后,小肠吸收减少,却可能进入结肠并由肠道菌群转化。

提取物与天然食物不能简单等同。在完整茶叶、果蔬和谷物中,活性成分通常分散于复杂基质,摄入速度较缓;经纯化浓缩后,单位剂量明显增加,吸收峰值和器官暴露水平也可能升高。与此同时,原料中微量的农药、重金属、真菌毒素或天然毒性成分也可能被同步浓缩。

食品加工可产生双向作用。粉碎、加热、发酵和酶解能够破坏细胞壁,释放结合态多酚和活性肽;过度加热、长时间光照及高氧环境则会促进花色苷、类胡萝卜素和不饱和脂质降解。因此,评价活性成分时应以最终产品而非原始原料的检测值为依据。

2 天然活性成分的营养价值

2.1 多酚及类黄酮的营养功能

多酚包括酚酸、黄酮、花色苷、儿茶素和原花青素等。其酚羟基结构能够参与电子转移和自由基清除,也可通过调节细胞信号、炎症介质和肠道菌群发挥作用。体外研究中较高的自由基清除率主要说明化学还原能力,并不代表摄入后能够以相同浓度到达人体组织。

多酚在体内通常经历糖苷水解、甲基化、葡萄糖醛酸化和硫酸化,血液及组织中的主要形式可能已不是食品中的原型成分。部分结合态多酚不能在小肠释放,而是在结肠中被微生物转化为较小的酚酸。因此,多酚的价值不仅来自其直接抗氧化作用,还包括代谢产物和肠道微生态效应。

需要注意的是,多酚对氧化反应具有浓度依赖性。在适宜膳食水平下,其主要表现为抗氧化和信号调节;在高浓度、存在金属离子或细胞还原能力不足时,部分多酚也可能表现出促氧化特征。功能性食品应避免把体外高剂量试验结果直接转换成产品推荐摄入量。

2.2 多糖、膳食纤维和植物甾醇的作用

天然多糖和膳食纤维可通过增加食物黏度、延缓胃排空、吸附胆汁酸及调节肠道菌群影响糖脂代谢。可发酵纤维进入结肠后可生成短链脂肪酸,为结肠上皮提供能量并参与代谢调节。但不同多糖的溶解性、黏度和可发酵程度差异较大,不能仅依据“多糖含量”推断功能强度。

摄入量过快增加时,膳食纤维可能引起腹胀、排气或排便习惯改变。高黏度纤维还可能影响药物和部

分矿物质的吸收。因此,功能性食品中的纤维添加量应结合普通膳食来源计算,并采用逐步增加摄入的方式改善耐受性。

植物甾醇与胆固醇结构相似,可在小肠中竞争性影响胆固醇进入混合胶束,从而减少其吸收。综合研究显示,每日摄入 1.5 至 2.4 克植物甾醇或植物甾烷醇,在适宜食品基质中持续 2 至 3 周,可使低密度脂蛋白胆固醇平均下降约百分之 7 至百分之 10.5^[3]。这一数据支持其营养调节价值,但降低某项血脂指标不等于已经证实减少心血管事件,且特殊脂质代谢异常人群不宜自行长期大量补充。

2.3 类胡萝卜素与活性肽的功能特征

类胡萝卜素包括胡萝卜素、番茄红素、叶黄素和玉米黄质等。部分成分可转化为维生素 A,部分参与光氧化防护及视觉组织营养。类胡萝卜素吸收依赖脂质乳化和胆汁分泌,生食、熟制、粉碎及添加油脂会显著改变其利用程度。

流行病学研究中,富含类胡萝卜素的果蔬摄入常与较低的慢性病风险相关,但这可能是膳食结构整体作用的结果,不能据此推断高剂量单体补充同样有益。对 29133 名男性吸烟者开展的随机对照试验显示,每日补充 20 毫克胡萝卜素并未降低肺癌风险,肺癌发生率反而增加百分之 18,可信区间为百分之 3 至百分之 36^[7]。该结果说明,从天然食物关联到浓缩补充剂功效之间存在明显证据鸿沟。

乳源、豆类和水产蛋白经发酵或酶解后可释放活性肽,部分体外试验显示其具有抗氧化、矿物质结合或酶抑制能力。但活性肽进入消化道后可能被进一步水解。只有能够耐受消化、穿过肠屏障或在肠腔内发挥局部作用的肽,才具有较高的实际应用价值。

3 生物可及性对营养效应的制约

3.1 加工、消化和代谢过程的影响

食品中测得的活性成分总量不等于人体实际吸收量。生物可及性表示成分经消化后从食品基质中释放、可供肠道吸收的比例;生物利用度则进一步涉及吸收、分布、代谢和排泄。两者分别对应不同环节,不能混用^[4]。

多酚普遍存在溶解性不足、与蛋白质或纤维结合以及首过代谢明显等问题^[2]。加工提高溶出量后,也不一定同步提高体内有效暴露。例如,过度研磨可能增加释放,却也扩大与氧的接触面积;纳米化和乳递送能够提高难溶成分吸收,却可能改变组织分布并缩小安全范围。

体外模拟消化模型具有快速、成本较低和便于筛选的优势,但消化时间、酸碱度、酶浓度和固液比都会影响结果。不同静态和动态模型对同一样品可能给出显著不同的生物可及性数值^[4]。因此,体外结果适合用于配方比较,不宜直接替代动物和人体研究。

人体评价还应关注进食状态。空腹服用浓缩提取物通常产生更快、更高的血药峰值;与蛋白质、脂质和膳食纤维共同摄入,则可能改变吸收速度。产品研发应在接近实际食用方式的条件下开展消化和人体试验。

4 天然活性成分的安全风险

4.1 剂量、形态与长期摄入风险

“天然”描述的是来源,而不是安全结论。普通食品中的长期膳食摄入史可以提供基础安全证据,但提取、纯化和浓缩会改变暴露水平。安全评价必须区分完整食物、传统水提物、醇提物和高纯单体,不能以原料可食用推定其所有提取物均安全。

绿茶是典型案例。传统冲泡茶饮中的儿茶素通常被认为总体安全,但浓缩提取物的暴露方式不同。对人体研究的汇总显示,每日摄入不少于 800 毫克表没食子儿茶素没食子酸酯的补充剂时,部分受试者出现血清转氨酶升高;在摄入不少于 800 毫克的 880 名受试者中报告 84 例转氨酶升高,而每日摄入不超过 316 毫克的 756 名受试者中未报告此类病例^[6]。由于研究持续时间、提取物组成和人群差异较大,该结果不能被解释为“低于 800 毫克绝对安全”,而应视为高剂量肝损伤风险信号。

动物毒理学数据也不能直接按体重等比例换算为人体推荐量。某复合天然原料胶囊在 30 天喂养试验中未见明显毒性,无观察作用剂量为每公斤体重 5.0 克^[5]。这一数值只能说明特定样品在规定动物模型和观察期内的结果,不能证明其他批次、提取物或长期人体摄入同样安全。

慢性风险还可能来自代谢产物。植物甾醇、脂溶性色素和多酚在加工、储存或体内代谢过程中可形成氧化产物。若产品只检测原型成分,不监控降解物和氧化物,就可能高估营养价值并低估长期风险。

4.2 特殊人群、成分互动与污染风险

年龄、遗传背景、肝肾功能和用药状态会改变活性成分的风险。儿童、孕妇、哺乳期妇女及肾功能异常者通常缺少充分的人体安全数据,不宜直接沿用健康成年人的摄入量。吸烟者高剂量补充胡萝卜素导致肺癌风险升高的结果^[7],进一步说明同一成分在不

同人群中可能产生相反效应。

天然活性成分还可能与药物发生相互作用。高剂量多酚可能影响药物代谢酶和转运蛋白;具有抗凝倾向的成分与抗凝药合用时可能增加出血风险;高黏度膳食纤维则可能延迟部分口服药物吸收。标签应明确适用人群、每日用量、食用方法和必要警示。

原料污染属于另一类风险。植物原料可能带入重金属、农药、真菌毒素和微生物污染;药食两用资源还可能因物种混淆而引入天然毒素。浓缩提取会同时放大有效成分和污染物,因此应实施物种鉴定、产地追溯、污染物检测和生产过程控制。

复配产品的风险更复杂。多个成分各自低于安全限量,并不代表组合后不存在叠加效应。若不同原料含有相同或作用相近的成分,总暴露量可能超过预期。复配评价应按共同靶器官和共同作用机制合并计算暴露,而不能逐项孤立判断。

5 营养价值与安全性的综合评价

5.1 多层级证据与全生命周期评价

天然活性成分评价应建立“成分明确、作用可证、剂量合理、风险可控”的技术链。第一层为原料和产品鉴定,包括物种、产地、加工方法、标志成分、批间差异及污染物;第二层为营养功能筛选,通过化学、细胞和动物试验确定潜在作用及剂量范围;第三层为消化吸收评价,测定生物可及性、代谢物及组织暴露;第四层为毒理评价,覆盖急性、亚慢性、遗传毒性及必要的生殖和慢性毒性试验;第五层为人体研究和上市后监测。

功能证据应遵循层级原则。化学自由基清除试验只能说明体外反应能力;细胞和动物结果可支持机制推测;随机对照人体试验才是验证实际营养效应的重要依据。人体研究应预先设定主要终点、样本量、干预剂量和持续时间,并记录不良事件,而不应只选择出现显著差异的次要指标。

安全评价需以实际暴露为核心。2013 年至 2020 年注册备案产品涉及 121 种功效成分^[1],说明单靠传统经验难以覆盖复杂配方。评价时应汇总普通膳食、强化食品、保健食品和其他补充剂来源,计算总摄入量,并设置高消费人群情景。

质量控制应从“测总量”转向“测组成和稳定性”。对于多酚、多糖等复杂混合物,可采用标志成分定量与指纹图谱结合的方法;对容易氧化的成分,应同时监测降解产物和货架期变化。上市后还应建立不良反应收集、风险信号分析和标签修订机制,使安全评价

覆盖产品全生命周期。

6 结语

天然活性成分作为功能性食品提供了重要营养和生理调节基础。多酚、膳食纤维、植物甾醇、类胡萝卜素及活性肽可通过氧化还原调节、胆固醇吸收、肠道菌群和蛋白质代谢等途径发挥作用，但其真实效果取决于成分结构、食品基质、加工方式、生物利用度和摄入人群。

现有证据同时揭示了明确的安全边界：植物甾醇在适宜剂量下可降低低密度脂蛋白胆固醇，而高剂量绿茶提取物可能引起肝酶升高；富含类胡萝卜素的食品有营养价值，却不能据此推断吸烟者使用高剂量胡萝卜素补充剂安全有效。由此可见，天然来源、体外活性和动物功效均不能替代人体安全与有效性证据。

【参考文献】

- [1] 兰韬, 吴琦, 赵琳, 等. 保健食品功效成分、功能声称及其检测标准现状研究 [J]. 食品工业科技, 2021, 42 (1) : 387-396.
- [2] 孙希云, 王静雯, 田思慧, 等. 食品基质及加工方式对多酚生物利用度影响的研究进展 [J]. 食品工业科技, 2021, 42 (21) : 400-407.
- [3] 文镜, 樊蓉. 植物甾醇和植物甾烷醇降胆固醇的功效和安全性 [J]. 食品科学, 2005, 26 (8) : 437-442.
- [4] 徐飞飞, 李跃麒, 林琚, 等. 生物可及性和生物利用度体外模型及其在食品污染物暴露评估中的应用 [J]. 食品工业科技, 2021, 42 (13) : 395-403.
- [5] 陈永壮, 王茵, 傅逸根. 垂盆草护肝胶囊的开发与研究 [J]. 食品科学, 2002, 23 (9) : 123-126.
- [6] EFSA PANEL ON FOOD ADDITIVES AND NUTRIENT SOURCES ADDED TO FOOD. Scientific Opinion on the Safety of Green Tea Catechins[J]. EFSA Journal, 2018, 16 (4) : 5239.
- [7] ALPHA-TOCOPHEROL, BETA CAROTENE CANCER PREVENTION STUDY GROUP. The Effect of Vitamin E and Beta Carotene on the Incidence of Lung Cancer and Other Cancers in Male Smokers[J]. New England Journal of Medicine, 1994, 330 (15) : 1029-1035.