

维生素A、C、D以及E缓解过敏性疾病的研究进展

杨萍^{1,2,3}, 高金燕^{2,3}, 佟平^{1,2,3*}

1. 南昌大学食品科学与资源挖掘全国重点实验室, 江西南昌 330047

2. 南昌大学食品学院, 江西南昌 330047

3. 江西省食物过敏重点实验室, 江西南昌 330047

摘要: 过敏是机体对环境普遍存在的物质产生异常的一种免疫反应, 是一个全球性的公共卫生问题。维生素是一类小分子有机化合物, 是机体必需的营养素之一, 对人体的生长发育、新陈代谢和健康起着重要作用。众多研究表明, 补充维生素有助于缓解过敏症状。该文综述了4种维生素A、C、D以及E对过敏性疾病的影响, 其中, 维生素A通过调节免疫细胞分化和抑制Th2型免疫反应缓解过敏; 维生素C凭借其抗氧化特性, 抑制炎症信号通路激活, 减少过敏介质释放; 维生素D可调节Th17/Treg平衡, 抑制IgE生成; 维生素E则通过抗氧化作用抑制促炎细胞因子产生, 减轻过敏症状。该文旨在为预防和缓解某些过敏性疾病提供理论参考和新思路。

关键词: 过敏; 维生素A; 维生素C; 维生素D; 维生素E; 缓解过敏

DOI: 10.20227/j.cnki.2096-3610.2025.02.006

Progress of four kinds vitamins A, C, D, and E in alleviating allergic diseases

YANG Ping^{1,2,3}, GAO Jinyan^{2,3}, TONG Ping^{1,2,3*}

1. State Key Laboratory of Food Science and Resource, School of Food Science and Technology, Nanchang University, Nanchang 330047, China

2. College of Food Science and Technology, Nanchang University, Nanchang 330047, China

3. Jiangxi Province Key Laboratory of Food Allergy, Nanchang 330047, China

Abstract: Allergy is an abnormal immune response to substances in the environment, and it is also a public health disease. Vitamins, essential small organic molecules for the human body, are crucial for growth, development, metabolism, and overall health. Studies have shown that supplementing with certain vitamins can help ease allergy symptoms. In this paper, the effects of vitamins A, C, D, and E on allergic diseases were reviewed. Vitamin A alleviates allergies by regulating immune cell differentiation and inhibiting Th2-type immune responses; Vitamin C, with its antioxidant properties, suppresses the activation of inflammatory signaling pathways and reduces the release of allergic mediators; Vitamin D modulates immune responses by balancing Th17/Treg cells and suppressing IgE production; And vitamin E mitigates allergy symptoms via its antioxidant effects, thereby can inhibit pro-inflammatory cytokine production. The purpose of this review is to provide theoretical references and new ideas for the prevention and alleviation of certain allergic diseases.

Key words: allergy disease; vitamin A; vitamin C; vitamin D; vitamin E; alleviating allergy

过敏是机体对环境普遍存在的物质产生异常的一种免疫反应, 在过去的几十年里, 过敏性疾病的患病率急剧增加, 例如食物过敏(FA)、过敏性鼻炎(AR)和过敏性哮喘(AA), 给社会带来沉重的负担^[1]。维生素是人类饮食中必不可少的微量有机

化合物和营养素, 同时也对机体免疫系统有着关键作用^[2]。例如, 维生素A、C、E可作为抗氧化剂抑制氧化应激和炎症反应^[3], 而这些症状也是过敏性疾病的主要临床表现^[4]; 维生素C与维生素E联合使用可能增强抗氧化作用; 维生素D则被认为是免疫系

收稿日期: 2024-12-19

基金项目: 江西省自然科学基金重点项目(20242BAB26104)

作者简介: 杨萍, 在读硕士研究生, E-mail: young7i@163.com

通信作者: 佟平, 博士, 研究员, E-mail: tongping@ncu.edu.cn

统调节的关键因子,能够调节免疫细胞的分化和功能,并减少炎症和过敏症状的发生^[5]。本文将对维生素A、C、D、E 4种维生素及其代谢物在预防和缓解过敏性疾病方面的潜力进行阐述,通过综述上述维生素对一些过敏性疾病的影响,以期过敏患者的维生素膳食补充提供参考。

1 4种维生素对过敏性疾病的影响

维生素在调节免疫系统功能和缓解过敏反应中起着重要作用。下文将分别针对维生素A、C、D、E 4种维生素及其代谢物对过敏性疾病的干预与影响进行阐述。

1.1 维生素A

维生素A是维持人体正常生理代谢所必需的脂溶性维生素,维生素A的活性形式包括视黄醇、视黄醛及视黄酸。膳食中的视黄醇及其前提物质胡萝卜素,可通过视黄酸(维生素A在体内的主要代谢产物之一)的形式表现出免疫调节作用^[6]。视黄酸可以促进固有免疫细胞的成熟,调节适应性免疫细胞的分化,并使受感染破坏的上皮屏障再生,上皮屏障的完整性可阻挡过敏原入侵,免疫细胞的正常分化有助于精准免疫应答,一旦视黄酸在这些方面的作用失调,就可能增加机体对过敏原的敏感性或免疫反应的紊乱^[7]。

维生素A的免疫调节作用也会影响过敏性疾病的发展,辅助性T细胞Th1/Th2失衡是过敏性疾病的发病机制之一^[8]。过敏反应通常与Th2细胞的过度活跃有关,当Th2细胞过度反应时,它们会分泌过多的Th2型细胞因子如IL-4、IL-5、IL-9、IL-13等。其中,IL-4和IL-13等细胞因子可以促进B细胞分泌

IgE抗体,进而引发过敏反应^[9-11]。维生素A干预过敏的作用机制如图1所示^[12-13]。维生素A在干预过敏反应中的潜在作用机制主要包括:维生素A通过转化为视黄酸,激活调节性T细胞(Treg),促进抑制性细胞因子(如IL-10和TGF- β)的分泌,从而抑制Th2细胞分化和IL-4/IL-13的产生,减少B细胞生成IgE抗体,最终抑制肥大细胞释放组胺,缓解过敏反应。

维生素A对免疫反应具有调节作用,维生素A缺乏的急性期(血清中的全反式视黄醇为0.1 mg/L,低于维生素A充足水平10倍)则会导致干扰素- γ (IFN- γ)过度表达并破坏Th1/Th2的平衡,以Th1占主导,在慢性期会转向Th2,导致体内IgE水平升高^[14]。Cui等^[15]将哮喘模型雄鼠分成维生素A缺乏组和维生素A充足组进行研究,结果表明:由于缺乏维生素A,维生素A组的小鼠体内炎症细胞的浸润和Th2型细胞因子(如IL-5、IL-13)的水平会升高,加剧炎症反应;而维生素A充足组的小鼠,其肺部炎症和IgE水平都呈现减轻趋势。Pesonen等^[16]的研究结果也表明,在婴儿期和儿童早期阶段,AR、哮喘及食物过敏等免疫相关疾病也与维生素A缺乏相关。

同时,维生素A对保护皮肤和肠黏膜屏障功能也至关重要。摄入视黄酸可增加免疫球蛋白A(IgA)的产生,增强了肠道黏膜的免疫防御能力^[17];Scholz等^[18]发现视黄酸促进IgA的特异性应答,降低血清中IgE的浓度。Qi等^[19]也报道摄入维生素A会改善特应性皮炎(AD)症状,AD是最常见的皮肤慢性炎症性疾病,其特征是肠黏膜屏障功能异常。此外,在OVA诱导的过敏性鼻炎和哮喘雌鼠模型

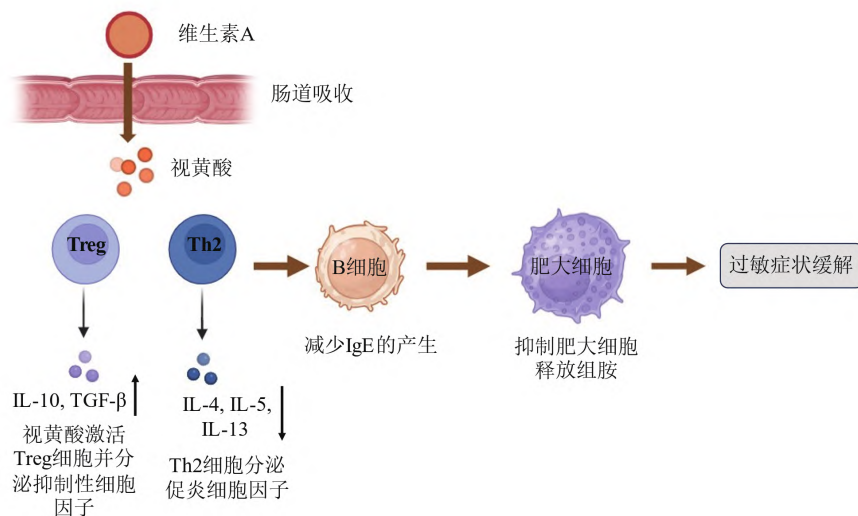


图1 维生素A干预过敏的作用机制

中,补充20 IU/(g·d)维生素A显著降低了小鼠体内的总IgE、IL-4和组胺水平,缓解了炎症反应;而未补充维生素A组的小鼠,其体内的IgE水平、炎症介质和细胞因子的产生均呈升高趋势^[20]。另外,一项针对正常孕妇的补充维生素A试验结果也表明,孕期补充维生素A(7 000 μg RE/w)虽未显著降低儿童哮喘发病率,但改善了子代的肺功能^[21-22]。因此,需补充维生素A对过敏性疾病进行干预和治疗。

维生素A对于预防和缓解过敏性疾病具有重要意义。然而,尚需要研究揭示维生素A与过敏性疾病之间的精准关系,为通过维生素A缓解过敏性疾病提供更充分的科学依据。

1.2 维生素C

维生素C又称抗坏血酸,是一种水溶性维生素,具有抗氧化活性和保护上皮屏障的功能,并防止生物大分子免受氧化损伤^[4]。维生素C干预过敏机制如图2所示^[23-24]。维生素C可通过中和活性氧(ROS),抑制炎症信号通路的激活,减少肥大细胞脱颗粒和组胺等过敏介质的释放,从而缓解过敏反应;同时,其抗氧化作用保护细胞免受ROS引起的组织损伤,并调节免疫平衡,进一步减轻过敏症状。

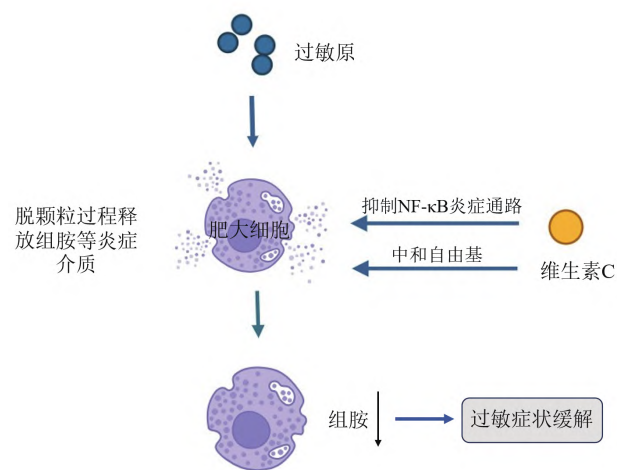


图2 维生素C干预过敏的作用机制

维生素C缺乏会加剧氧化损伤和炎症反应,促进肥大细胞释放组胺,Li等^[25]发现,未补充维生素C的OVA致敏小鼠,其血清中的IgE和组胺水平都显著升高,而按每千克身体质量补充50~200 mg/d维生素C能够显著降低小鼠体内IL-4的分泌和肿瘤坏死因子- α (TNF- α)的水平,并抑制组胺的释放,保持Th1/Th2免疫平衡。Pavlovic等^[26]以致敏豚鼠作为研究对象,发现豚鼠缺乏维生素C时,过敏性休克死亡率显著增加。

多项研究都发现,维生素C对过敏性疾病中的缓解作用。Sun等^[27]使用实验猪模型评估了口服维生素C补充剂对大豆球蛋白诱导的食物过敏的影响,发现维生素C会促进INF- γ 的合成,进而抑制IL-4的产生,导致IgE水平降低以及组胺释放,从而有助于减轻过敏反应。此外,在一项前瞻性对照研究中,对40名过敏性鼻炎患者进行了维生素C对症状改善效果的研究,与安慰剂组(服用糖丸)相比,服用维生素C组可改善过敏性鼻炎患者的症状,如打喷嚏、流泪、瘙痒和不适^[28]。维生素C无毒且几乎没有副作用,对于过敏性鼻炎患者,应每天至少服用2 g的剂量^[29]。Vollbracht等^[30]在治疗呼吸和皮肤过敏性疾病的患者时,表明给患者通过静脉注射较大剂量的维生素C(7.5 g/50 mL)可以有效地减轻其过敏相关的症状。

维生素C可作为一种减轻过敏反应的辅助因子,对于过敏症状具有缓解作用。但目前有关维生素C减缓过敏病症的研究较为有限,剂量—反应关系也尚不明确,需进一步研究。

1.3 维生素D

维生素D是一种脂溶性维生素,主要包括维生素D₂(骨化醇)和维生素D₃(胆钙化醇),二者需要在体内形成1,25-二羟基D₂或D₃活性形式发挥生理作用^[31]。维生素D可以与B淋巴细胞、T淋巴细胞、中性粒细胞、单核细胞以及树突状细胞上的维生素D受体(VDR)相互作用,并参与细胞的免疫调节作用^[32-33]。据报道,维生素D可以通过抑制Th1/Th17细胞和诱导Tregs稳定适应性免疫系统^[34-35]。关于维生素D在干预过敏中的可能机制如图3所示^[5, 36]。维生素D通过与免疫细胞上的维生素D受体结合,促进Treg细胞分化和抑制Th2细胞增殖,并且,维生素D可减少B细胞产生IgE,并调节IL-10和IL-12的分泌。

许多研究报道维生素D水平与过敏性疾病之间存在相关性,当体内维生素D水平正常时,有助于维持免疫系统的平衡,降低过敏性疾病的发生风险,维生素D缺乏则会增加过敏性疾病的发生率^[37-38]。Jung等^[39]对18岁以上的8 012名韩国成年人进行了一项大规模的全国性调查,体内25羟维生素D[25(OH)D]水平越低者,AR的患病率则越高。Kim等^[40]也发现体内维生素D水平较低者,食物过敏的发病率会相对较高,而补充适量维生素D可以有效提升体内维生素D水平,进而降低过敏性疾病的风险^[5]。有研究通过补充不同剂量维生素D对食

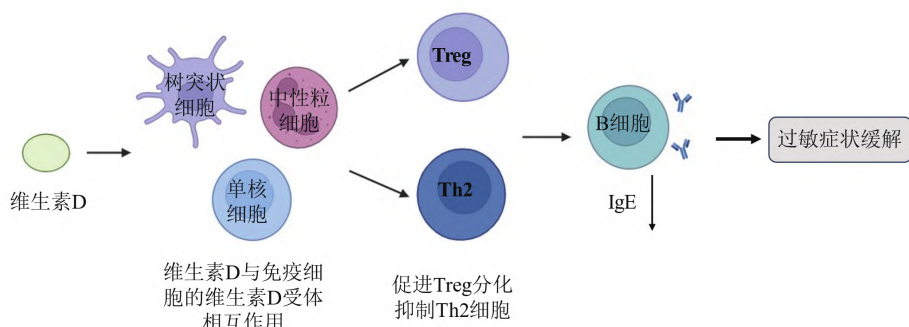


图3 维生素D干预过敏的作用机制

物过敏小鼠的干预结果表明,每千克身体质量补充10~50 $\mu\text{g/d}$ 剂量的维生素D时,可以减轻小鼠食物过敏的临床症状^[41]。

但维生素D过量也可能会导致过敏性疾病的发病率增加^[42]。有学者提出,维生素D的剂量与过敏性疾病之间可能是呈“U”型曲线^[43]。Rosendahl等^[44]的研究结果表明,如果儿童早期过量补充维生素D(1 200 IU/d),会增加他们患过敏性疾病的风险。Hyppönen等^[45]通过研究血清中25-羟基维生素D[25(OH)D]水平范围(25~135 nmol/L)与IgE水平的关联性,并设定25(OH)D<25 nmol/L为维生素D缺乏,25(OH)D $\geq$ 135 nmol/L为极端值(超出健康范围),结果显示:对于体内的25(OH)D水平低于25 nmol/L或高于135 nmol/L的人群,IgE水平均显著升高,表明维生素D水平过低或过高都可能与IgE水平的升高有关,从而均可能影响免疫反应。

有关维生素D状态与过敏风险相关性的数据,主要来自使用单一时间点血清浓度的研究,并没有监测维生素D的补充情况。因此,需要更多的研究来阐明,维生素D补充剂量的安全性和有效性、以及是否存在预防或减少过敏的风险的理想的血清25(OH)D水平范围等。

1.4 维生素E

维生素E是生育酚类物质的总称,天然存在的维生素E有4种生育酚(α 、 β 、 γ 、 δ -生育酚)和4种生育三烯酚(α 、 β 、 γ 和 δ -生育三烯酚)^[46]。在过敏性疾病研究中, α -生育酚和 γ -生育酚的临床意义更为广泛。据报道, α -生育酚与 γ -生育酚表现出的作用不同,在机体的过敏阶段中, α -生育酚具有抗炎功能,而 γ -生育酚则具有促炎作用^[47]。因此,在后续临床和动物研究中,需要甄别维生素E异构体的类别,以研究其对过敏性疾病的影响。维生素E缓解过敏症状的机制如同4所示^[48-49],维生素E通过其抗氧化作

用中和ROS,调节树突状细胞和T细胞功能,抑制Th2型免疫反应和促炎细胞因子产生。此外,维生素E抑制核因子 κB (NF- κB)和蛋白激酶C(PKC)的活性,减少炎症介质的释放,从而有效减轻过敏性疾病的症状。

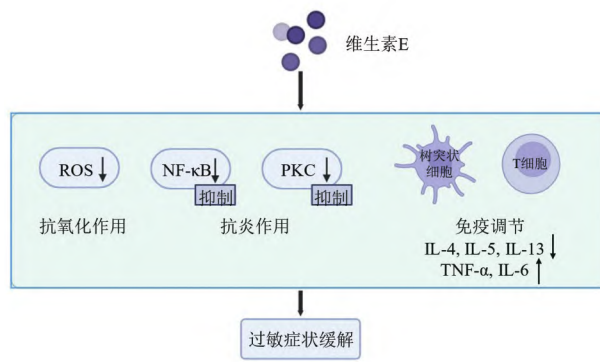


图4 维生素E干预过敏的作用机制

维生素E缺乏导致ROS积累和炎症介质释放增加,加剧过敏症状^[50]。Oh等^[51]报道,血清 α -生育酚水平低者特应性皮炎患病率升高。Cook-Mills等^[52]也指出患有哮喘的成人或儿童体内 α -生育酚水平较低。而补充维生素E可以减轻过敏性疾病的临床症状,减少血清中IgE浓度,降低组胺的释放。维生素E具有减缓AR的作用,在OVA诱导的AR小鼠模型中,小鼠在OVA致敏时口服维生素E(每千克身体质量100 mg/d)可减少其IL-33(超过50%)、IL-25以及Th2细胞因子IL-4、IL-5和IL-13的水平,并使其血清IgE降低50%以上,组胺降低78%以上^[53]。Wu等^[54]也在所建立的AR小鼠模型研究中,发现维生素E可以减少肥大细胞数量,抑制Th2细胞因子的表达。Jaffary等^[55]在维生素E对AD影响的研究中指出,摄入高剂量维生素E可改善特应性皮炎患者的症状和生活质量。另有研究调查了成年人膳食维生素E摄入量与血清IgE浓度之间的关系,发现维生素E摄入量与血清IgE和过敏原致敏频率呈

负相关^[56]。

维生素E作为一种重要的抗氧化剂和免疫调节营养因子,在人体健康中扮演着非常重要的角色。但维生素E所包括的8种结构的差异,可能会导致生物活性与作用机制的不同,这为研究工作带来了复杂度。值得注意的是,维生素E的最高摄入量为700 mg α -TE/d,在探讨维生素E缓解过敏性疾病时,还应考虑个体间的差异性以及维生素E剂量和异构体等因素,以确保安全有效。

2 结语

综上所述,有关维生素A、C、D、E及其代谢物在预防和缓解过敏性疾病的试验动物模型、实验剂量等相关信息的总结见表1。维生素A/D在免疫细胞调控深度上占优,但需严格监测血药浓度;维生素C/E在氧化应激管理中更具普适性,尤其适合长期低风险干预。临床决策时应结合过敏类型及患者基础状况,优先选择具有机制匹配优势的维生素,必要时可考虑维生素A、D与维生素C、E的联合应用以发挥协同效应。

过敏疾病会严重影响患者的生活质量。本文综述了维生素A、C、D、E 4种维生素在缓解过敏性疾病中的研究进展。由于4种维生素存在的理化和生理生化特性的差异性,具体而言,维生素A通过视黄酸激活Treg细胞,抑制Th2型细胞因子的分泌,减少IgE介导的过敏反应;维生素C具有抗氧化特性,可减少ROS积累,抑制NF- κ B通路激活,降低肥大细胞脱颗粒及组胺释放;维生素D通过结合VDR调节Th17/Treg平衡,但其作用呈剂量依赖性,过量或不足均可能加剧过敏风险;维生素E则通过

表1 不同维生素对过敏性疾病的影响及其营养功能和可耐受最高摄入量

维生素	对象	对过敏性疾病的影响			参考文献	可耐受最高摄入量
		剂量	方式	影响		
维生素A	过敏性鼻炎和哮喘的雌鼠模型	20 U/(g·d)	灌胃	总IgE、IL-4和组胺水平显著降低,炎症缓解	[20]	3 000 μ g RAE/d
	哮喘雌鼠模型	250 U/(g·d)	饮食	喂食高水平维生素A的小鼠增加了哮喘程度和炎症	[8]	
	雌鼠过敏模型	17 mg/(g·d)	饮食	增加IL-10和IFN- γ 水平,并改善食物过敏的严重程度	[57]	
	正常孕妇	7 000 μ g RE/周	口服补充剂	与儿童哮喘发病率无关,但补充后子代的肺功能得到改善	[21-22]	
维生素C	BALB/c雄鼠	每千克体质量130 mg/d	灌胃	IL-13和IgE的水平显著降低	[58]	2 000 mg/d
	过敏豚鼠模型	281 mg/d	腹腔注射	抑制严重过敏性休克,降低病死率	[26]	
	BALB/c雄鼠	每千克体质量50~200 mg/d	灌胃	小鼠血清中IgE和IgG1水平显著降低,血浆中组胺水平也显著降低	[25]	
维生素D	雌鼠过敏模型	每千克体质量10~100 μ g/d	灌胃	补充适量的维生素D可抑制小鼠的过敏症状,而高剂量却导致过敏加重	[41]	50 μ g/d
	哮喘雄鼠模型	50~100 μ g/L; 1 mL	灌胃	抑制NF- κ B通路介导的炎症,促进Th17/Treg平衡,缓解气道炎症	[59]	
	婴儿	1 200 U/d	口服补充剂	高剂量的维生素D与过敏性疾病发病率的增加有关	[44]	
维生素E	过敏性鼻炎雌鼠模型	20 μ L, 1 000 U/(g·d), α -生育酚	致敏前1 h鼻腔给药	嗜酸性粒细胞和肥大细胞数量减少,Th2细胞因子的表达受到抑制	[54]	700 mg α -TE/d
	过敏性哮喘雄鼠模型	每千克体质量100 mg/d	灌胃	降低Th2细胞因子、IgE和血清中组胺水平	[53]	
	18~70岁成人	6.2 mg/d	膳食摄入	维生素E的饮食摄入量与总IgE呈负相关,与过敏反应的发病呈反比关系	[56]	

α -生育酚等异构体抑制 Th2 型免疫反应及炎症介质释放,但其异构体的差异性效应需进一步明确。4 种维生素的作用机制虽然不同,但均通过调控免疫稳态与减轻氧化损伤,为过敏性疾病的干预提供了参考价值。然而,有关通过补充维生素干预过敏性疾病的研究仍存在不足,需要更大规模、随机对照的临床试验,验证维生素对过敏疾病的预防和缓解作用,以评估不同维生素补充策略对过敏患者的实际效果。此外,不同个体对维生素的需求和反应可能存在差异,但目前的研究往往没有充分考虑个体差异。在后续研究中,应开发个性化的维生素补充方案,以适应不同患者的特定需求,为过敏患者提供更精准的预防和治疗策略。

参考文献:

- [1] TURNER A V, SMEEKENS J M. Environmental exposure to foods as a risk factor for food allergy[J]. *Curr Allergy Asthma Rep*, 2023, 23(8): 427-433.
- [2] ROSENBERG I. Challenges and opportunities in the translation of the science of vitamins[J]. *Am J Clin Nutr*, 2007, 85(1): 325-327.
- [3] 王典, 周克, 李颖丽, 等. 维生素 C 的功能及其在奶牛养殖中的应用[J]. *中国奶牛*, 2023(5): 4-8.
- [4] MORENO-MACIAS H, ROMIEU I. Effects of antioxidant supplements and nutrients on patients with asthma and allergies[J]. *J Allergy Clin Immunol*, 2014, 133(5): 1237-1245.
- [5] ZHANG P, XU Q, ZHU R. Vitamin D and allergic diseases [J]. *Front Immunol*, 2024, 15: 1420883.
- [6] GÜRBÜZ M, AKTAÇ S. Understanding the role of vitamin A and its precursors in the immune system[J]. *Nutr Clin Metab*, 2022, 36(2): 89-98.
- [7] LARANGE A, CHEROUTRE H. Retinoic acid and retinoic acid receptors as pleiotropic modulators of the immune system[J]. *Annu Rev Immunol*, 2016, 34: 369-394.
- [8] SCHUSTER G, KENYON N, STEPHENSEN C. Vitamin A deficiency decreases and high dietary vitamin A increases disease severity in the mouse model of asthma[J]. *J Immunol*, 2008, 180(3): 1834-1842.
- [9] LEE D, KRISHNASWAMY J, GOWTHAMAN U. Common and distinct roles for TH2 and TFH cells in shaping the spectrum of allergic diseases[J]. *J Allergy Clin Immunol*, 2022, 150(5): 1050-1052.
- [10] BARSHOW S, TIRUMALASETHY J, SAMPATH V, et al. The immunobiology and treatment of food allergy[J]. *Annu Rev Immunol*, 2024, 42(1): 401-425.
- [11] GOETZL E. Th2 cells in rapid immune responses and protective avoidance reactions[J]. *FASEB J*, 2024, 38(4): e23485.
- [12] HUFNAGL K, JENSEN-JAROLIM E. Vitamin A and D in allergy: from experimental animal models and cellular studies to human disease[J]. *Allergo J Int*, 2018, 27(3): 72-78.
- [13] ZHANG W X, DAI W W, XIE Y D, et al. Retinoic acid regulates allergic inflammation via limiting mast cell activation[J]. *Food Sci Nutr*, 2025, 13(1): e4727.
- [14] CANTORNA M, NASHOLD F, HAYES C. Vitamin A deficiency results in a priming environment conducive for Th1 cell development[J]. *Eur J Immunol*, 1995, 25(6): 1673-1679.
- [15] CUI W, ZHANG P, GU J M, et al. Vitamin A deficiency promotes inflammation by induction of type 2 cytokines in experimental ovalbumin-induced asthma murine model [J]. *Inflammation*, 2016, 39(5): 1798-1804.
- [16] PESONEN M, KALLIO M J T, SIIMES M A, et al. Retinol concentrations after birth are inversely associated with atopic manifestations in children and young adults[J]. *Clin Exp Allergy*, 2007, 37(1): 54-61.
- [17] LI Y, GAO Y, CUI T, et al. Retinoic acid facilitates toll-like receptor 4 expression to improve intestinal barrier function through retinoic acid receptor beta[J]. *Cell Physiol Biochem*, 2017, 42: 1390-1406.
- [18] SCHOLZ J, KUHLAU J, HEINRICH F, et al. Vitamin A controls the allergic response through T follicular helper cell as well as plasmablast differentiation[J]. *Allergy*, 2021, 76(4): 1109-1122.
- [19] QI C, TU H, ZHAO Y, et al. Breast milk-derived *limosilactobacillus reuteri* prevents atopic dermatitis in mice via activating retinol absorption and metabolism in Peyer's patches[J]. *Mol Nutr Food Res*, 2023, 67(2): e2200444.
- [20] FENG L, SUN F, CHEN Y, et al. Studying the effects of vitamin A on the severity of allergic rhinitis and asthma [J]. *Iran J Allergy Asthma Immunol*, 2021, 20(6): 684-692.
- [21] CHECKLEY W, WEST K, WISE R, et al. Maternal vitamin A supplementation and lung function in offspring[J]. *N Engl J Med*, 2010, 362(19): 1784-1794.
- [22] CHECKLEY W, WEST K, WISE R, et al. Supplementation with vitamin A early in life and subsequent risk of asthma[J]. *Eur Respir J*, 2011, 38(6): 1310-1319.
- [23] CARR A C, MAGGINI S. Vitamin C and immune function [J]. *Nutrients*, 2017, 9(11): 1211.
- [24] KAZAMA I, SATO Y, TAMADA T. Pyridoxine synergistically potentiates mast cell-stabilizing property of ascorbic acid[J]. *Cell Physiol Biochem*, 2022, 56(3): 282-292.
- [25] LI Q, TANG X, HUANG L, et al. Anti-allergic effect of vitamin C through inhibiting degranulation and regulating TH1/TH2 cell polarization[J]. *J Sci Food Agric*, 2024, 104(10): 5955-5963.
- [26] PAVLOVIC S, FRASER R. Effects of different levels of

- vitamin C intake on the vitamin C concentration in guinea pigs plasma and the effect of vitamin C intake on anaphylaxis[J]. *Med Interne*, 1988, 26(3): 235-244.
- [27] SUN P, LI D, DONG B, et al. Vitamin C: an immunomodulator that attenuates anaphylactic reactions to soybean glycinin hypersensitivity in a swine model[J]. *Food Chem*, 2009, 113(4): 914-918.
- [28] TONGTAKO W, KLAEWSONGKRAM J, MICKLEBOROUGH T D, et al. Effects of aerobic exercise and vitamin C supplementation on rhinitis symptoms in allergic rhinitis patients[J]. *Asian Pac J Allergy Immunol*, 2018, 36(4): 222-231.
- [29] THORNHILL S M, KELLY A M. Natural treatment of perennial allergic rhinitis[J]. *Altern Med Rev*, 2000, 5(5): 448-454.
- [30] VOLBRACHT C, RAITHEL M, KRICK B, et al. Intravenous vitamin C in the treatment of allergies: an interim subgroup analysis of a long-term observational study[J]. *J Int Med Res*, 2018, 46(9): 3640-3655.
- [31] 张惠群, 甘兵. 维生素D、IFN- γ 与哮喘的相关性研究进展[J]. *广东医科大学学报*, 2023, 41(5): 584-588.
- [32] SUAINI N, ZHANG Y, VUILLERMIN P, et al. Immune modulation by vitamin D and its relevance to food allergy[J]. *Nutrients*, 2015, 7(8): 6088-6108.
- [33] 宋雪. 食物过敏相关消化道疾病婴幼儿血清25-(OH)D的水平分析[D]. 合肥:安徽医科大学, 2022.
- [34] DI T, CHEN L. A narrative review of vitamin D and food allergy in infants and children[J]. *Transl Pediatr*, 2021, 10(10): 2614-2620.
- [35] WANG Y, YANG L, CUI Y. Update on mechanisms of T-regulatory (Treg) cell functions in allergic immune responses and their roles during allergen specific immunotherapy[J]. *J Pathog*, 2013, 8(8): 765.
- [36] YANG H, QU Y, GAO Y, et al. Role of the dietary components in food allergy: a comprehensive review[J]. *Food Chem*, 2022, 386: 132762.
- [37] PSAROULAKI E, KATSARAS G N, SAMARTZI P, et al. Association of food allergy in children with vitamin D insufficiency: a systematic review and meta-analysis[J]. *Eur J Pediatr*, 2023, 182(4): 1533-1554.
- [38] 唐磊. 婴幼儿牛奶蛋白过敏与维生素D水平相关性及其联合双歧杆菌后共同作用影响分析[D]. 南充:川北医学院, 2024.
- [39] JUNG J W, KIM J Y, CHO S H, et al. Allergic rhinitis and serum 25-hydroxyvitamin D level in Korean adults[J]. *Ann Allergy Asthma Immunol*, 2013, 111(5): 352-357.
- [40] KIM S, BAN G, PARK H, et al. Regional differences in vitamin D levels and incidence of food-induced anaphylaxis in South Korea[J]. *Ann Allergy Asthma Immunol*, 2016, 116(3): 237-243.
- [41] 房瑛娇, 衣明纪, 张秋业, 等. 1,25-二羟维生素D₃对小鼠食物过敏的影响[J]. *中华实用儿科临床杂志*, 2019, 9: 693-697.
- [42] CAIRNCROSS C, GRANT C, STONEHOUSE W, et al. The relationship between vitamin D status and allergic diseases in New Zealand preschool children[J]. *Nutrients*, 2016, 8(6): 326.
- [43] SONG H, YANG L, JIA C. Maternal vitamin D status during pregnancy and risk of childhood asthma: a meta-analysis of prospective studies[J]. *Mol Nutr Food Res*, 2017, 61(5): 10.
- [44] ROSENDAHL J, PEKKONEN A, HELVE O, et al. High-dose vitamin D supplementation does not prevent allergic sensitization of infants[J]. *J Pediatr*, 2019, 209: 139-145.
- [45] HYPPÖNEN E, BERRY D J, WJST M, et al. Serum 25-hydroxyvitamin D and IgE—a significant but nonlinear relationship[J]. *Allergy*, 2009, 64(4): 613-620.
- [46] JIANG Q. Natural forms of vitamin E: metabolism, antioxidant, and anti-inflammatory activities and their role in disease prevention and therapy[J]. *Free Radic Biol Med*, 2014, 72: 76-90.
- [47] COOK-MILLS J, AVERILL S, LAJINESSE J. Asthma, allergy and vitamin E: current and future perspectives[J]. *Free Radic Biol Med*, 2022, 179: 388-402.
- [48] SHAMS M H, JAFARI R, ESKANDARI N, et al. Anti-allergic effects of vitamin E in allergic diseases: an updated review[J]. *Int Immunopharmacol*, 2021, 90: 107196.
- [49] LEWIS E D, MEYDANI S N, WU D. Regulatory role of vitamin E in the immune system and inflammation[J]. *IUBMB Life*, 2019, 71(4): 487-494.
- [50] BISHOPP A, SATHYAMURTHY R, MANNEY S, et al. Biomarkers of oxidative stress and antioxidants in severe asthma: a prospective case-control study[J]. *Ann Allergy Asthma Immunol*, 2017, 118(4): 445-451.
- [51] OH S Y, CHUNG J, KIM M K, et al. Antioxidant nutrient intakes and corresponding biomarkers associated with the risk of atopic dermatitis in young children[J]. *Eur J Clin Nutr*, 2010, 64(3): 245-252.
- [52] COOK-MILLS J M, ABDALA-VALENCIA H, HARTERT T. Two faces of vitamin E in the lung[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2013, 188(3): 279-284.
- [53] JIANG J A, NASAB E M, ATHARI S M, et al. Effects of vitamin E and selenium on allergic rhinitis and asthma pathophysiology[J]. *Respir Physiol Neurobiol*, 2021, 286: 103614.
- [54] WU G, ZHU H, WU X, et al. Anti-allergic function of α -Tocopherol is mediated by suppression of PI3K-PKB

- activity in mast cells in mouse model of allergic rhinitis [J]. *Allergol Immunopathol*, 2020, 48(4): 395-400.
- [55] JAFFARY F, FAGHIHI G, MOKHTARIAN A, et al. Effects of oral vitamin E on treatment of atopic dermatitis: a randomized controlled trial[J]. *J Res Med Sci*, 2015, 20(11): 1053-1057.
- [56] FOGARTY A, LEWIS S, WEISS S, et al. Dietary vitamin E, IgE concentrations, and atopy[J]. *Lancet*, 2000, 356(9241): 1573-1574.
- [57] MAETA A, MATSUSHIMA M, KATAHIRA R, et al. Retinoic acid ameliorates the severity of food allergy under allergen exposure in a mouse model with food allergy[J]. *J Nutr Sci Vitaminol*, 2020, 66(4): 375-380.
- [58] KIANIAN F, KARIMIAN S M, KADKHODAEE M, et al. Protective effects of ascorbic acid and calcitriol combination on airway remodelling in ovalbumin-induced chronic asthma[J]. *Pharm Biol*, 2020, 58(1): 107-115.
- [59] MA J G, WU G J, XIAO H L, et al. Vitamin D has an effect on airway inflammation and Th17/Treg balance in asthmatic mice[J]. *Kaohsiung J Med Sci*, 2021, 37(12): 1113-1121.
- (责任编辑:刘建滔)