

烟酰胺浓度对皮肤黑色素转移的影响及机制研究

徐杰*

(东莞林熙电子科技有限公司, 东莞 528244)

摘要: 目的 探索烟酰胺浓度对皮肤黑色素转移的影响及其作用机理, 为开发和应用相关护肤品及美容科技提供科学依据。**方法** 阐述烟酰胺抑制黑色素形成的作用机理, 分析黑斑形成的主要影响因素, 进而控制黑色素的形成和转移过程。研究人员将熊果苷、苯基间苯二酚和维生素 C 及其衍生物等多种物质结合在一起进行研究。**结果** 烟酰胺能够通过阻断黑色素颗粒到达表皮细胞的转移过程, 有效抑制黑色素的扩散速率。当与熊果苷、苯基间苯二酚及维生素 C 等物质协同使用时, 其抑制效果更加明显。**结论** 烟酰胺及其与其他物质的协同作用可以有效抑制黑色素的转移和扩散, 为皮肤美白提供了新的途径。这一发现为相关护肤品和美容技术的应用和开发提供了重要参考。

关键词: 烟酰胺浓度; 皮肤黑色素; 影响机制

Effect of nicotinamide concentration on skin melanin transfer and its mechanism

XU Jie*

(Dongguan Linxi Electronic Technology Co., Ltd., Dongguan 528244, China)

ABSTRACT: Objective Exploring the effect of nicotinamide concentration on skin melanin transfer and its mechanism of action, to provide a scientific basis for the development and application of related skin care products and beauty technology. **Methods** The mechanism of nicotinamide inhibiting the formation of melanin was elucidated, and the main influencing factors of the formation of black spots were analyzed, so as to control the formation and transfer of melanin. The researchers then combined a variety of substances, including arbutin, phenylresorcinol, and vitamin C and its derivatives, to study. **Results** Nicotinamide was able to effectively inhibit the diffusion rate of melanin by blocking the transfer process of melanin particles to epidermal cells. When used in combination with arbutin, phenylethylresorcinol and vitamin C, its inhibitory effect is more obvious. **Conclusion** Niacinamide and its synergistic effect with other substances can effectively inhibit the transfer and diffusion of melanin, providing a new way for skin whitening. This discovery provides an important reference for the application and development of related skin care products and beauty technologies.

KEY WORDS: nicotinamide concentration; skin melanin; impact mechanism

0 引言

皮肤颜色的均匀性和光泽度一直是美容学和皮肤科学领域

研究的热点。主要由黑色素的分布和浓度决定皮肤的颜色, 而黑色素的产生、转移和代谢则与皮肤的健康状态和外在的美丽程度有着直接的关系。在众多的护肤成分中, 烟酰胺因其独特

*通信作者: 徐杰, 高级工程师, 研究方向: 抑制黑色素。E-mail: 949064600@qq.com

*Corresponding author: XU Jie, Senior Engineer, Dongguan Linxi Electronic Technology Co., Ltd., Dongguan 528244, China. E-mail: 949064600@qq.com

的生理活性，以及被广泛应用于护肤品中而受到人们的瞩目。烟酰胺作为维生素 B3 的一种衍生物，不仅参与体内多种生化反应，对皮肤的健康保养也有着不容忽视的作用。近年来，多项研究指出，烟酰胺具有显著地调节皮肤色素代谢和分布的潜力，这一发现提供了改善皮肤颜色和光泽的新思路。皮肤的颜色主要由黑色素的分布与浓度决定，黑色素的转移调控关系着肌肤的光泽和色彩均匀性。烟酰胺，也称为维生素 B3 衍生物，作为维生素家族中的一员，在护肤品和美容学领域被广泛应用。许多研究表明烟酰胺具有调节皮肤色素代谢和分布的潜力，但关于烟酰胺浓度对皮肤黑色素转移的具体影响及其机制的研究尚不完善。为了深入了解烟酰胺在皮肤黑色素转移中的作用，以及探索其机制，本研究旨在系统性地研究不同烟酰胺浓度对皮肤黑色素转移的影响，探究其作用机制。

1 黑孔斑点形成的影响因素分析

1.1 黑孔斑点形成的主要影响因素分析

第一，体内黑色素的产生以及代谢失去平衡是产生黑孔斑点的主要原因之一。黑色素是一种在皮肤中产生的天然色素，负责赋予皮肤、头发和眼睛颜色^[1]。当黑色素的产生和代谢失去平衡时，容易导致黑色素沉积到皮肤表层，形成黑孔斑点。这可能由于遗传因素、荷尔蒙变化、紫外线暴露、年龄等多种因素引起；

第二，紫外线照射也是导致黑孔斑点形成的重要因素之一^[2]。长期暴露在紫外线下，皮肤会受到光化学反应的影响，使黑色素细胞活跃并增加产生黑色素的反应，从而导致黑色素沉积成斑点；

第三，内部荷尔蒙的改变，也可能造成黑斑的产生。尤其在女性身上，激素水平（如妊娠、月经周期、更年期）的波动会影响黑色素的生成和分布，从而引起黑斑的产生。黑孔斑的形成，除了内在因素外在因素也会起到助推作用^[3]。使用不当的保养品、化妆品过敏、摩擦或刺激皮肤、气候变化等，都可能使黑色素沉积加剧，形成黑孔状的色斑。

1.2 黑色素形成与黑色素斑点形成的关系解析

黑色素是一种天然色素，负责给皮肤、头发和眼睛赋予颜色^[4]。黑色素形成是指黑色素细胞内酪氨酸（一种氨基酸）被酪氨酸酶催化生成多巴酪氨酸，然后通过多巴酪氨酸酶的作用生成多巴胺，最后经过酪氨酸羟化酶的介入生成黑色素的过程。

与黑色素形成相比，黑色素斑点的形成是由于黑色素在皮肤表面或深层的沉积所引起的。黑色素斑点的形成主要受到以下因素的影响：

(1) 黑色素细胞的数量和分布：黑色素细胞在皮肤表面和深层的分布不均匀会导致黑色素斑点的形成。当黑色素细胞聚集在特定区域时，就会形成黑斑。

(2) 紫外线照射：长时间受到紫外线照射，会刺激黑色素细胞的活跃，促使黑色素生成与沉积，造成黑色素色斑的产生。紫外线会刺激黑色素细胞的萌发与延伸，从而增加黑色素细胞的数量。

(3) 激素变化：内部荷尔蒙的改变，尤其是女性在特定时期荷尔蒙水平的波动，如月经周期、怀孕、更年期等，容易造成黑色素色斑的形成。这是由于荷尔蒙的改变会刺激黑色素的产生与沉淀物。

(4) 护肤品使用和外部刺激：错误使用护肤、受到外部刺激（如摩擦、刺激皮肤）等因素都可能导致黑色素沉积和黑色素斑点的形成。某些化妆品中的化学物质可能对黑色素细胞产生刺激，促进黑色素的产生和沉积，导致黑斑出现。

2 抑制黑色素形成的作用机制

2.1 烟酰胺与黑色素形成的关联性探究

针对黑色素形成的黑孔斑点与皮肤表面沉积造成的问题，为了能够达到皮肤美白的效果，就必须采用有效措施抑制黑色素的形成，烟酰胺可以通过多种方式调节黑色素生成的关键步骤^[4]。研究表明，烟酰胺可以抑制黑色素细胞内的酪氨酸酶活性，从而减少酪氨酸向多巴酪氨酸转化的速率^[5]。这是黑色素生成的重要环节。通过抑制酪氨酸酶的活性，烟酰胺可以减少多巴酪氨酸的生成，进而影响黑色素的形成。

培养黑色素细胞至适当密度。将黑色素细胞分为四组，其中三组分别加入不同浓度的烟酰胺（1%、3%、5%），另一组作为对照组（不加烟酰胺）。在加入烟酰胺后的特定时间点（如 24 小时、48 小时、72 小时），使用显微镜观察黑色素细胞内色素颗粒的聚集情况以及黑色素的扩散和转移情况。根据观察结果，对黑色素细胞内色素颗粒的聚集和黑色素的扩散转移情况进行评分或量化。

烟酰胺对黑色素细胞内聚集和转移影响的实验数据见表 1。

烟酰胺能增加色素微粒在黑色素细胞内的聚合力和固定性。研究发现，烟酰胺能改善色素颗粒在黑色素细胞内的聚集和黏稠度，使其扩散和转移的速度降低^[6]。这一机制与能增加基质中胶原蛋白合成与稳定性，改善细胞间连结，从而提升色素微粒聚集与固定的烟酰胺对细胞外基质的调节有关。

2.2 烟酰胺对黑色素形成原料酪氨酸酶活性的影响

烟酰胺对黑色素形成原料酪氨酸酶活性的影响是技术性较高的问题。酪氨酸酶是一种关键酶，参与了黑色素形成过程中的多个关键步骤，因此研究烟酰胺对酪氨酸酶活性的调节具有重要的意义^[7]。烟酰胺能对酪氨酸酶的活性进行多种调节。烟酰胺可作为辅酶 NAD⁺/NADH 的酪氨酸酶的催化过程。在酪氨酸酶催化反应中，辅酶 NAD⁺ 发挥辅助剂作用，参与酪氨酸酶的还原和氧化反应，通过供给氢原子。通过调节酪氨酸酶

的基因表达水平, 烟酰胺能够对其活性产生影响。烟酰胺和 NAD⁺ 能促进络氨酸酶基因的转录和表达, 通过激活细胞内的 SIRT1(去乙酰化酶) 信号通路。这意味着烟酰胺能提高络氨酸酶的合成和表达量, 使络氨酸酶的活性进一步增强。

表 1 烟酰胺对黑色素细胞内聚集和转移影响的实验数据

Table 1 Experimental data on the effect of nicotinamide on intra-melanocyte aggregation and metastasis

研究组	烟酰胺浓度	观察时间点	黑色素细胞内色素颗粒聚集情况评分	黑色素扩散和转移情况评分
对照组	0% 烟酰胺	24 小时	1 (低聚集)	4 (高扩散)
		48 小时	1 (低聚集)	4 (高扩散)
		72 小时	1 (低聚集)	4 (高扩散)
试验组 1	1% 烟酰胺	24 小时	2 (轻度聚集)	3 (中度扩散)
		48 小时	3 (中度聚集)	2 (低扩散)
		72 小时	3.5 (中度至高度聚集)	1.5 (较低扩散)
试验组 2	3% 烟酰胺	24 小时	4 (显著聚集)	2 (低扩散)
		48 小时	5 (高度聚集)	1 (极低扩散)
		72 小时	5.5 (高度至极高聚集)	1 (极低扩散)
试验组 3	5% 烟酰胺	24 小时	5 (高度聚集)	1 (极低扩散)
		48 小时	6 (极高聚集)	0.5 (几乎无扩散)
		72 小时	6.5 (极高聚集加强)	0.5 (几乎无扩散)

表 2 烟酰胺浓度对黑色素细胞内聚集和转移的影响

Table 2 Effect of nicotinamide concentration on intracellular aggregation and metastasis in melanocytes

研究组	烟酰胺浓度	黑色素细胞内色素颗粒聚集情况	扩散和转移情况
试验组 1	1% 烟酰胺	聚集增加	减少
试验组 2	3% 烟酰胺	更显著聚集	进一步减少
试验组 3	5% 烟酰胺	进一步增加聚集效果	达到饱和

2.3 烟酰胺抑制产生黑色素的氧化反应的机制研究

烟酰胺在抑制黑色素的转移过程中发挥了重要作用, 并且可以通过搭配其他化合物进一步增强其抑制效果。在研究中, 能够观察到不同浓度的烟酰胺对黑色素转移的阻止情况, 其中 1% 浓度能够阻止 45% 的黑色素转移, 3% 浓度能够抑制 80%, 5% 浓度能够抑制 95%。需要注意的是, 当浓度超过 5% 时, 皮肤无法吸收多余的烟酰胺, 即达到吸收饱和度。当烟酰胺浓度增加到 6% 时, 黑色素转移抑制率出现稍微降低, 为 94.9%^[8]。这进一步表明了当超过 5% 这一吸收饱和浓度后, 进一步增加烟酰胺浓度并不会显著提高抑制率, 超过这个浓度皮肤也无法吸收多余黑色素。

与此形成抑制作用的烟酰胺可通过多种机制实现抑制作用。作为一种抗氧化剂, 烟酰胺能降低因氧化应激而产生的黑色素。黑色素的形成主要涉及氧化氧化反应会导致自由基的产生细胞产生氧化应激, 最终促使黑色素发生转移。而作为抗氧化剂的

烟酰胺, 则能中和自由基, 使氧化应激程度降低, 从而使黑色素的生成与转移减少。

在黑色素生成过程中, 酪氨酸酶和多巴酪氨酸酶是两个重要的氧化酶, 这两种物质催化了黑色素的形成。研究发现, 烟酰胺可以抑制这些酶的活性, 降低黑色素的生成和转移量。烟酰胺还可以通过影响其他参与黑色素生成的因子来抑制黑色素的转移, 抑制黑素小体的生成和还原已经形成黑色素的成分^[9]。例如, 熊果苷、苯乙基间苯二酚、光甘草定、氨甲环酸等成分可以抑制黑素小体的生成, 而维生素 C 及其衍生物则能够还原已经形成的黑色素, 该效应也被称作氧化还原反应, 能够将已经变黑的多巴醌还原成多巴, 褪去黑色素的沉淀, 这样就能让皮肤表层得到显著的美白效果。除此之外, 该物质还能够加快皮肤的新陈代谢, 让黑色素沉积的角质层自然脱落, 让新生的角质层能够自然恢复成自然肤色。这样的组合可以在多个关键环节同时发挥作用, 最大程度地抑制黑色素转移。

烟酰胺通过熊果苷、苯基间苯二酚、维生素 C 及其衍生物等多种物质的配合使用,对黑色素的传递过程起到抑制作用^[10]。这些机制涉及氧化反应的活性酶的抑制、参与因子的调控等诸多方面,为相关抑制剂的进一步研发提供了重要的理论依据。在使用烟酰胺美白肌肤的过程中,要注意适当控制浓度及使用方法,结合其他成分的特性,才能达到较佳的美白效果。还有很多未解决的问题有待进一步深入研究,以揭示更多产品的美白机制。

3 皮肤美白效果的实现

3.1 综合控制黑色素形成与转移的策略讨论

控制黑色素的形成和转移是美白和减少色斑的关键策略之一^[3]。为了达到综合控制黑色素的目的,可以采取多种策略,结合抑制黑色素生成和阻止黑色素转移的方法。

抑制黑色素生成作为防止黑色素形成和堆积的重要策略^[11]。黑色素的生成主要涉及酪氨酸代谢途径中的酶催化反应。通过调节这些酶的活性或基因表达,可以有效抑制黑色素的生成。一种常用的方法是在美白产品中摄入烟酰胺成分抑制酪氨酸酶的催化活性,有效隔断外界黑色素的生成机制,减少皮肤长年累月造成的皮肤暗黄、肤色不均等问题^[12]。另一种方法则是考虑使用其他天然植物提取物或抗氧化剂来调节黑色素生成途径中的其他关键酶的活性,例如熊果苷、苯乙基间苯二酚等^[13]。

熊果苷和苯乙基间苯二酚是两种具有美白效果的活性成分,这两种成分与烟酰胺组合具有相辅相成的功效^[14]。能够充分调节黑色素生成途径中的关键酶的活性,发挥作用于皮肤的美白作用。

熊果苷又名熊果素,化学式为 $C_{12}H_{16}O_7$,是一种由杜鹃花科植物熊果叶中提取的成分。熊果苷组成如图 1 所示。它能够抑制体内酪氨酸酶的活性,从而阻止黑色素的生成。黑色素是导致皮肤色斑和雀斑形成的原因之一,熊果苷的应用可以减少皮肤色素沉积,祛除色斑和雀斑。此外,熊果苷还具有杀菌和消炎的作用,对于改善肌肤状况也具有一定的帮助。

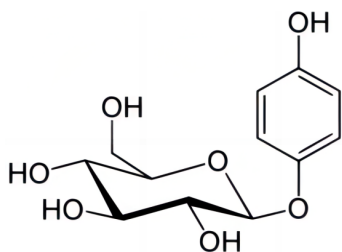


图 1 熊果苷组成

Fig.1 Arbutin composition

苯乙基间苯二酚是一种有机化合物,又可被称为 377,化学式为 $C_{14}H_{14}O_2$,外观为白色到淡棕色粉末^[15]。苯乙基间苯二酚如图 2 所示。该物质同样具有抑制酪氨酸酶活性的功效,能够抑制黑色素的分泌,抗皮肤氧化、改善皮肤色泽不均的情况,

具有改善皮肤光泽度的作用^[16]。并且,苯乙基间苯二酚是活性最高的酪氨酸酶抑制剂之一^[17]。因此,该物质在各种美白、祛斑和抗衰老产品中得到广泛应用。

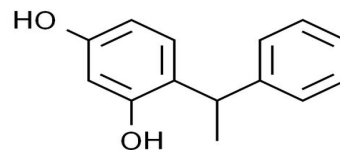


图 2 苯乙基间苯二酚

Fig.2 Phenylethylresorcinol

上述抑制成分都具有良好的黑色素抑制成分,同时搭配协同维生素 C 及其衍生物的氧化还原机制,就能够有效促成人体美白肌肤的光滑水润,让人们远离皮肤暗黄、大面积的黑色素沉淀。但是,此类抑制成分的选择与使用需要根据具体需求和研究目的来确定合适的组合和浓度。

综合以上内容,在实际应用过程中,熊果苷和苯基间苯二酚是具有美白功效的两种活性成分,而这两种美白成分与烟酰胺等组合应用,能够在黑色素生成途径中更全面地调节多个关键酶的活性,达到更好的美白效果^[18]。值得注意的是,单独套用一种战术未必能取得最好的效果。不同策略的组合综合运用,效果会更好。烟酰胺、熊果苷和苯基间苯二酚生成抑制剂可实现同时介入黑色素生成和转移两大关键环节,能够最大程度减少黑色素的生成与转移,获得更佳的美白效果。

3.2 烟酰胺浓度与美白效果的关联性探究

烟酰胺时常在美白产品中用到,该物质与美白效果之间确实存在关联性^[19]。在探讨烟酰胺浓度与美白效果之间的关系时,其抑制黑色素生成与转移的作用机理,以及恰当地使用浓度,都是需要考虑到。

烟酰胺作为维生素 B3 的衍生物,美白效果是有目共睹的。烟酰胺能减少黑色素的生成和转移,并能通过多种途径中和自由基,使黑色素合成受到的氧化应激影响降低。烟酰胺对黑色素生成途径中关键酶的活性起到调节作用,对黑色素合成起到抑制作用。

烟酰胺浓度的高低与美白效果有一定的相关性,但并非线性关系。在浓度较低的范围内,烟酰胺对黑色素的生成和转移都有有效的抑制作用,对美白也有一定的作用^[20]。烟酰胺增白效果的增强在超过一定浓度后会逐渐减弱,额外的烟酰胺在达到吸收饱和度后不能被肌肤吸收。选择烟酰胺类美白产品时,需要将产品配方和使用方法相结合,再搭配其他成分,才能使美白效果进一步加强。

4 结束语

整体而言,烟酰胺具有抑制黑色素转移的潜力,并可达到美白肌肤的功效。对于烟酰胺美白成分的使用机理,以及确定

烟酰胺更精确有效的浓度范围,以达到更理想的美白效果,在研究领域仍需进一步深入探讨。也需要配合其他成分使用,如效果极佳的熊果苷、苯基间苯二酚等美白成分,才能使美白效果进一步加强。因此设计师在制作美白产品时,建议结合肤质及日常使用习惯,针对广大消费者的面部状况进行产品更换,制定合理的美白护肤方案,以科学的依据应用开发相关护肤品及美容科技。

参考文献

- [1] 方婷欢,蒋晴,唐礼荣. 烟酰胺与茶多酚复配对抑制 PIG1 细胞黑色素的影响 [J]. 日用化学工业, 2022, 52(06): 632-637.
- [2] 何梦蝶,陈家铃,罗丹,等. 苯乙基间苯二酚/烟酰胺/海茴香提取物经皮共输送纳米载体美白功效研究 [J]. 当代化工研究, 2023, (05): 161-163.
- [3] 刘露,白利强,李场. 烟酰胺单核苷酸在化妆品中的应用研究进展 [J]. 日用化学品科学, 2023, 46(04): 40-45.
- [4] 卢文玲,刘家玲. 外用抗氧化剂联用视黄醇复合物对皮肤肤质改善的作用研究 [J]. 中文科技期刊数据库(引文版)医药卫生, 2022, (01): 3.
- [5] 刘娟,贾雪婷,杨丽,等. 应用共聚焦拉曼光谱法对烟酰胺在人体皮肤角质层渗透性的研究 [J]. 日用化学工业, 2021, 51(02): 104-108.
- [6] 陈旭,牛悦青. 一种含氮甲环酸,烟酰胺和曲酸的外用配方治疗黄褐斑的疗效 [J]. 中华皮肤科杂志, 2022, 55(03): 1.
- [7] 黎小兰,蔡良平,付小蓉,等. 液质联用法同时测定特殊医学用途配方食品中泛酸烟酰胺和左旋肉碱的含量 [J]. 农产品加工, 2022, (08): 66-70.
- [8] 轩辕欣阳,王雨桐,刘健航,等. 外用大麦蛋白和烟酰胺复方制剂促进面部年轻化的疗效 [J]. 组织工程与重建外科, 2023, 19(01): 49-53.
- [9] 王静,姚娜. 烟酰胺在面霜中的保湿性能探索 [J]. 中文科技期刊数据库(全文版)自然科学, 2022, (09): 4.
- [10] 崔苏霞,孟根花,蔺婷娟,等. 超高效液相色谱法同时测定配方乳粉中的烟酸,烟酰胺和 VB6 [J]. 乳业科学与技术, 2023, 46(06): 29-33.
- [11] 方婷欢,蒋晴,唐礼荣. 烟酰胺与茶多酚复配对抑制 PIG1 细胞黑色素的影响 [J]. 日用化学工业, 2022, (06): 52.
- [12] 董栋,刘天一. 皮肤恶性黑色素瘤淋巴转移机制研究进展 [J]. 中华整形外科杂志, 2022, 38(10): 6.
- [13] 胡露,郑德义,李伟人. 皮肤恶性黑色素瘤的外科治疗进展 [J]. 医学综述, 2022, 28(09): 6.
- [14] 邵珊珊,黄俊星,张虎,等. CXCLs 通过免疫浸润对皮肤黑色素瘤患者预后的影响 [J]. 中国医药科学, 2022, 12(21): 42-47.
- [15] 杨婷婷,易路遥,李杰,等. HPLC-MS/MS 法同时测定美白化妆品中 4-甲氧基水杨酸钾和苯乙基间苯二酚的含量 [J]. 香料香精化妆品, 2022, (01): 28-32.
- [16] 何梦蝶,陈家铃,罗丹,等. 苯乙基间苯二酚/烟酰胺/海茴香提取物经皮共输送纳米载体美白功效研究 [J]. 当代化工研究, 2023, (05): 161-163.
- [17] 黄传峰,林思静,刘慧锦,等. 美白类化妆品中功效成分苯乙基间苯二酚的使用情况调查 [J]. 日用化学品科学, 2022, 45(09): 43-46.
- [18] 刘亚,张娅娟. 多基因组合荧光原位杂交技术鉴别皮肤黑色素瘤良恶性的价值 [J]. 深圳中西医结合杂志, 2022, (06): 032.
- [19] 蓝芳柏. 科学认识黑色素,美白其实很简单 [J]. 中国化妆品, 2022, (08): 4.
- [20] 陈柯君,叶茜,方圣. 热激蛋白与皮肤恶性黑色素瘤的研究进展 [J]. 医学综述, 2022, 28(02): 279-284.

作者简介

徐杰,高级工程师,研究方向:抑制黑色素。