

光解酶和藻蓝蛋白复合物在护肤品中的人体功效研究

王刚, 王玲, 廖知恒, 张家威, 赵晨媚

(四川爱莎健康管理有限公司 四川成都 610000)

[摘要]目的: 评价含光解酶和藻蓝蛋白复合物的护肤品减少紫外线造成红斑和黑色素生成以及美白和抗衰的功效。**方法:** 招募10名符合要求的志愿者通过紫外线灯照射手臂内侧皮肤试验, 采用Antera3D CS 多功能3D皮肤成像分析仪评价红斑和黑色素抑制率; 另招募30名符合要求的志愿者作为研究对象进行人体临床试验, 通过皮肤颜色测试探头 Colorimeter CL400、Antera3D CS多功能3D皮肤成像分析仪、VISIA评价使用测试产品前后各项指标的变化; 在使用配方1护肤精华液28 d后采用李克特5分制评分法调查志愿者对使用效果的满意度以及不良反应。**结果:** 使用含光解酶和藻蓝蛋白复合物的护肤品对紫外照射后24 h皮肤红斑的抑制率达到42.31%、黑色素抑制率达到37.78%; 人体临床试用14 d及28 d后, ITA° (个体皮肤类型角) 值分别增加10.72%及12.98%、色素沉着评分分别下降15.27%及20.83%、皱纹体积分别减少26.40%及55.63%、皱纹最深值分别下降13.63%及32.51%; VISIA图像对比显示皮肤棕色斑明显淡化和减少; 主观评价结果显示含光解酶和藻蓝蛋白复合物的护肤品具有均一肤色、减淡黄气、淡化色素沉着、提亮肤色的功效。**结论:** 含光解酶和藻蓝蛋白复合物的护肤品可以减少紫外线造成的皮肤损伤及黑色素增加, 具有美白、延缓肌肤老化的功效。

[关键词] 光解酶; 藻蓝蛋白; 红斑; 皮肤衰老; 美白; 黑色素

[中图分类号] TQ658 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1008-6455 (2025) 04-0010-07

Study on the Human Efficacy of Photolyase and Phycocyanin in Skin Care Products

WANG Gang, WANG Ling, LIAO Zhiheng, ZHANG Jiawei, ZHAO Chenmei

(Sichuan ASYA Wellness Management Co.,LTD., Chengdu 610000, Sichuan, China)

Abstract: Objective Conduct clinical efficacy tests on photolyase and phycocyanin skincare products to evaluate their effectiveness in reducing UV induced erythema and melanin production, whitening, and anti-aging effects. **Methods** Recruit 10 qualified volunteers to shine ultraviolet light on the inner skin of the arm test. Recruited 30 volunteers who meet the requirements as research subjects for human clinical trials, and evaluated the changes in various indicators, before and after using test products, through the skin color testing probe Colorimeter CL400, ANTERA 3D®, and VISIA®. After using Formula 1 skin care essence for 28 days, the volunteers' satisfaction and adverse reactions were investigated by using 5-point Likert scale. **Results** The results have showed that skincare products containing photolyase and phycocyanin has an inhibitory rate of 42.31% on skin erythema and 37.78% on melanin after 24 hours of ultraviolet radiation. After using skincare products containing photolyase and phycocyanin for 14 and 28 days, the ITA°(individual skin type angle) value increased by 10.72% and 12.98%, the pigmentation score decreased by 15.27% and 20.83%, the wrinkle volume decreased by 26.40% and 55.63%, and the deepest wrinkle value decreased by 13.63% and 32.51%, respectively. The comparison of VISIA® images shows that that skincare products containing photolyase and phycocyanin have the effects of unifying skin tone, reducing yellowing, reducing discoloration, and brightening skin tone. **Conclusion** The results indicate that skincare products containing photolyase and phycocyanin can reduce skin damage and melanin deposition caused by ultraviolet radiation, and have the effect of whitening and delaying skin aging.

Key words: photolyase; phycocyanin; erythema; skin aging; whitening; melanin

皮肤衰老主要表现为松弛、皱纹、晦暗斑点等。皮肤衰老分为年龄增长导致的内源性衰老和紫外线(UV)、吸烟等环境因素引起的外源性衰老^[1], 日光中UV引起的光老化

是导致皮肤衰老最重要的环境因素^[2], UV照射导致细胞外基质改变^[3], 引起DNA损伤最终导致细胞死亡、导致胶原蛋白损伤, 是光老化的主要原因, UV照射导致皮肤色素沉着

过度^[4]。UV诱导产生的环丁基嘧啶二聚体 (CPD) 是人体皮肤中主要的DNA损伤类型^[5-7]。

光解酶即CPD光解酶, 是一种DNA修复酶, 能修复UV引起的基因组损伤, 光解酶利用蓝光和近紫外 (320~480 nm) 能量将CPD转化为两个正常的胸腺嘧啶完成DNA修复^[8-9], 能阻止UVB及UVC诱导红斑和晒伤细胞的形成^[10-11], 光解酶能降低活性氧 (ROS) 产生, 通过抑制MAPK/AP-1信号通路抑制MMPs的表达, 防止胶原蛋白降解, 益于防止光老化^[9,12]。UV照射刺激ROS过度产生会导致DNA损伤^[13], 藻蓝蛋白是一种有效的抗氧化剂, 可清除受损细胞中产生的-OH和H₂O₂自由基, 避免ROS引起DNA氧化损伤^[14], 降低UV照射导致的成纤维细胞中DNA碎片率^[15], 其协同CPD光解酶防止DNA进一步损伤。因此, 光解酶和藻蓝蛋白复合物可修复DNA并消除UV的有害影响, 起到光防护和光修复作用, 达到延缓光老化及防止色素过度沉着等作用。

目前研究人员的注意力主要集中在对光解酶修护UV照射引发的DNA损伤上, 对藻蓝蛋白的研究主要集中在体外抗氧化、抗炎等机制研究上, 尚未发现有报道光解酶和藻蓝蛋白复合物用于护肤品中进行人体功效研究的。本研究通过UV灯照射前臂皮肤试验, 对局部使用含光解酶和藻蓝蛋白复合物的护肤品增强UV照射下皮肤DNA修复能力而减少红斑和黑色素的产生进行了评价。通过人体临床试用, 对面部使用含光解酶和藻蓝蛋白复合物护肤品的抗衰及美白功效进行了评价。

1 资料和方法

1.1 主要试剂与仪器: ALGAKTIV® GenoFix CPD, Greenaltech S.L company; 透明质酸钠, 华熙生物科技股份有限公司; 卡波姆, Lubrizol Advanced Materials, Inc.; 对羟基苯乙酮, 广州嘉瑜生物科技有限公司; 己二醇、精氨酸, 德之馨香精香料(南通)有限公司; 1,3-丙二醇, 美国杜邦公司。实验用水为去离子水, 25℃下的电导率约为0.65 s/cm。ALGAKTIV® GenoFix CPD是西班牙Greenaltech S.L company从极大螺旋藻中提取制备的富含光解酶和藻蓝蛋白的脂质包裹体, 化妆品原料标准中文名称为: 水、极大螺旋藻 (Spirulina Maxima) 提取物、卵磷脂、1,3-丙二醇, 其中极大螺旋藻提取物按质量百分比含量为20%。

皮肤颜色测试探头Colorimeter CL400, 德国CK公司;

Antera3D CS多功能3D皮肤成像分析仪, 爱尔兰Miravex公司; 紫外灯箱 (主波长范围: 300~420 nm, 功率: 6 W), 用有机玻璃板制成50 cm×40 cm×30 cm的避光紫外灯箱。

1.2 试验配方与制备工艺: 按照表1所示的配方, 分别制备配方1 (添加ALGAKTIV® GenoFix CPD即光解酶和藻蓝蛋白复合物) 和配方2 (未添加光解酶和藻蓝蛋白复合物) 的护肤精华液产品, 原料称量按照质量分数比例来计算 (%)。

表1 护肤精华液配方表 (%)

	原料名称	配方1护肤精华液	配方2护肤精华液
A	水	补足至100	补足至100
	卡波姆	0.20	0.20
	对羟基苯乙酮	0.50	0.50
B	透明质酸钠	0.02	0.02
	己二醇	0.50	0.50
	1,3-丙二醇	5.00	5.00
C	10%精氨酸溶液	2.00	2.00
D	ALGAKTIV® GenoFix CPD	1.00	0.00

护肤精华液制备工艺: 将A相水加热到80℃左右加入对羟基苯乙酮搅拌溶解均匀, 加入卡波姆搅拌溶胀均匀, 加入B相搅拌溶胀均匀, 冷却到40℃以下, 加入C相, 搅拌均匀, 加入D相搅拌分散均匀, 制备完成。

1.3 试验方法

1.3.1 人体皮肤斑贴试验: 选择10名18~60岁符合试验要求的志愿者作为受试对象, 进行皮肤封闭型斑贴试验, 选用合格的斑试器材, 以封闭式斑贴试验方法, 将受试物0.020~0.025 ml置于斑试器内, 外用低致敏胶带贴敷于志愿者背部, 48 h后去除受试物, 于去除后0.5、24、48 h观察皮肤反应, 按《化妆品安全技术规范》(2015年版) 中皮肤反应分级标准记录其结果。

1.3.2 紫外线灯照射手臂内侧皮肤试验

1.3.2.1 志愿者筛选: 选取合格志愿者10名, 纳入标准如下^[16]。①年龄18~60岁健康志愿者; ②前臂皮肤健康, 无皮肤病及影响试验的因素; ③前臂皮肤最近3个月内未经暴晒, 未使用过去角质产品; ④无过敏性疾病, 无紫外线、化妆品及其他外用制剂过敏史。

1.3.2.2 紫外照射试验: 符合要求的志愿者统一清洁前臂曲侧, 用纸巾轻轻吸干水分后, 前臂贴上有两个1 cm×1 cm方形小孔 (标记为A、B, 区域之间间隔2 cm) 的黑色防

表2 人体皮肤封闭型斑贴试验皮肤反应分级标准

反应程度	评分等级	皮肤反应
-	0	阴性反应
±	1	可疑反应, 仅有微弱红斑
+	2	弱阳性反应 (红斑反应); 红斑、浸润、水肿、可有丘疹
++	3	强阳性反应 (疱疹反应); 红斑、浸润、水肿、丘疹、疱疹; 反应可超出受试区
+++	4	极强阳性反应 (融合性疱疹反应); 明显红斑、严重浸润、水肿、融合性疱疹; 反应超出受试区

紫外线贴纸,小孔处皮肤裸露,A孔(试验组)按照为(2.0±0.1)mg/cm²用量涂抹配方1护肤精华液、B孔(空白对照组)等量涂抹配方2护肤精华液,胳膊置于避光的紫外灯箱中照射10 min(前期招募皮肤颜色深浅不一的种人进行紫外灯照射,探索辐照后能够引起皮肤清晰可见红斑或辐照后2~4 h在整个照射部位皮肤上产生轻微黑化所需要的最短辐照时间,最终确认照射10 min为最佳时间),不做任何处理,24 h后进行仪器测试及图像采集。

1.3.2.3 仪器测试及图像采集:采用Antera3D CS多功能3D皮肤成像分析仪对志愿者手臂内侧造模区进行成像。通过泛红评分、色素沉着评分数据^[17]与红斑抑制率、黑色素抑制率对空白对照和产品使用区域进行对比分析。

所有仪器检测均在温度为(21±2)℃、相对湿度为(50±10)%RH的环境下进行。

$$\text{红斑抑制率} = \frac{\text{空白对照组泛红评分} - \text{试验组泛红评分}}{\text{空白对照组泛红评分}} \times 100\%^{[18]}$$

$$\text{黑色素抑制率} = \frac{\text{空白对照组色素沉着评分} - \text{试验组色素沉着评分}}{\text{空白对照组色素沉着评分}} \times 100\%^{[18]}$$

1.3.3 人体功效评价试验

1.3.3.1 志愿者筛选:①纳入标准:30~60岁,健康男性或女性;测试部位肤色ITA°值在20°~41°者;面部任一区域有细纹或皱纹者;无过敏性疾病,无化妆品或其他外用制剂过敏史;既往无光感性疾病史,近期未使用影响光感性的药物;受试部位的皮肤应无炎症、瘢痕、色素痣、多毛等现象;能理解测试过程,自愿参加试验并签署书面知情同意书者。②排除标准:妊娠或哺乳期妇女,或近期有备孕计划者;患有银屑病、湿疹、异位性皮炎、严重痤疮等皮肤病史者;患有其他慢性系统性疾病者;近1个月内口服或外用过皮质类固醇激素等抗炎药物者;近2个月内使用过果酸、水杨酸等任何影响皮肤颜色的产品或药物(如氢醌类制剂)或医美治疗者;此外,试验负责人判断为不适合作为本次试验对象的人群。

1.3.3.2 试验步骤:本研究采用自身前后对照试验,志愿者每天早晚洁面后取适量配方1护肤精华液涂抹于面部,轻柔按摩至充分吸收,每日两次,持续28 d。分别于D0、D14、D28对志愿者进行人体功效测试。筛选合格的志愿者30名,于正式测试前用温水清洁面部并用无屑面巾纸擦干,在温度为(21±2)℃、相对湿度为(50±10)%RH的环境下静坐至少20 min后由专业人员进行初始值测试并记录测试数据,等待测试期间按照要求签署知情同意书,并分别于使用产品第14天、第28天后再次进行相同的测试并记录测试数据。①皮肤颜色测试:在各个访视时点,用皮肤颜色测试探头Colorimeter CL400测量测试区域的ITA°值,ITA°值越大,肤色越浅越白皙,反之肤色越深越晦暗^[19]。②色素沉着测试:利用Antera3D CS多功能3D皮肤成像分析仪测定局部黑色素具体数值,观察局部色素沉着使用产品前后的变化^[20],色素沉着评分值越低,则皮肤越白

皙。③皮肤皱纹测试:利用Antera3D CS多功能3D皮肤成像分析仪测定局部皱纹凹陷体积及皱纹最深值具体数值,观察局部皱纹使用产品前后的变化,凹陷体积及皱纹最深值越小,则皱纹改善效果越明显^[21]。④面部成像:通过VISIA拍摄志愿者使用产品前后的照片,对比产品使用前后的效果。

1.3.4 志愿者自我评估:本次研究按照1.3.3.1的要求筛选符合条件的志愿者126名,只进行问卷研究,在使用配方1护肤精华液28 d后采用李克特5分制评分法,调查志愿者对使用效果的满意度以及进行不良反应调查,5分为非常满意、4分为满意、3分为一般、2分为不满意、1分为非常不满意,统计满意率。满意率=(非常满意+满意)例数/总例数×100%。

1.3.5 统计学分析

1.3.5.1 紫外线灯照射手臂内侧皮肤试验和人体功效测试:利用SPSS 26统计软件进行数据分析。统计分析前对各参数进行正态分布检验。符合正态分布则采用独立t检验,否则采用秩和检验,统计分析为双尾检验,显著性水平为α=0.05。

1.3.5.2 满意度问卷:利用SPSS 26统计软件进行数据分析。产品使用后满意度结果统计方法:统计N≥4的满意度人数占比以及二项式分布显著性分析结果,显著性水平为α=0.05。

2 结果

2.1 斑贴测试结果:人体皮肤斑贴试验结果显示,10名志愿者中0例出现皮肤刺激性,由此说明光解酶和藻蓝蛋白复合物无皮肤刺激性,可用于人体临床功效评估。见表3。

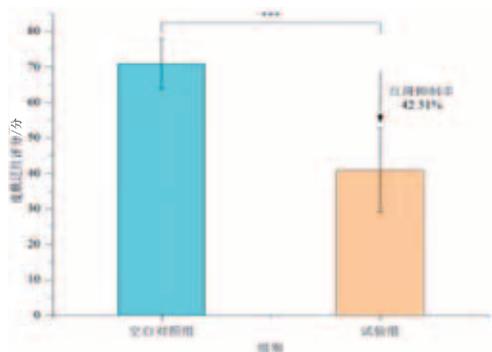
表3 皮肤斑贴试验结果汇总

组别	受试人数	观察时间	斑贴试验不同皮肤反应人数				
			0	1	2	3	4
配方1护肤精华液	10	0.5 h	10	0	0	0	0
		24 h	10	0	0	0	0
		48 h	10	0	0	0	0
配方2护肤精华液	10	0.5 h	10	0	0	0	0
		24 h	10	0	0	0	0
		48 h	10	0	0	0	0
阴性对照空白	10	0.5 h	10	0	0	0	0
		24 h	10	0	0	0	0
		48 h	10	0	0	0	0

2.2 紫外灯照射后24 h测试结果

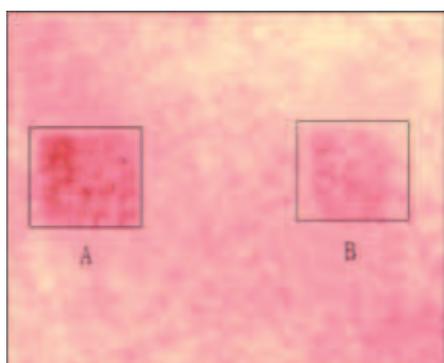
2.2.1 皮肤泛红评分:紫外线灯照射后24 h皮肤泛红评分结果显示,涂抹配方1的护肤精华液(试验组)的泛红评分值显著低于等量涂抹配方2的护肤精华液(空白对照组)的泛红评分值,差异有统计学意义(P<0.001),红斑抑

制率为42.31%，结合皮肤红斑图说明光解酶和藻蓝蛋白复合物具有防止紫外线照射引发皮肤晒红晒伤的作用。见图1~2。



注：***表示与空白对照组比较， $P < 0.001$

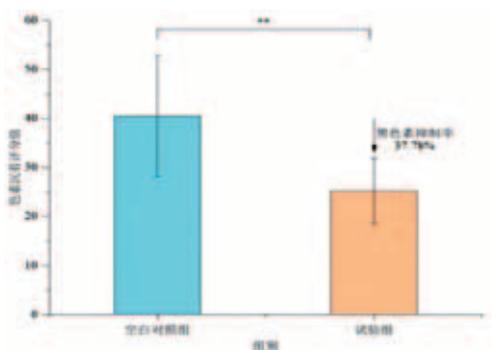
图1 皮肤泛红评分值结果



注：A. 空白对照组；B. 试验组

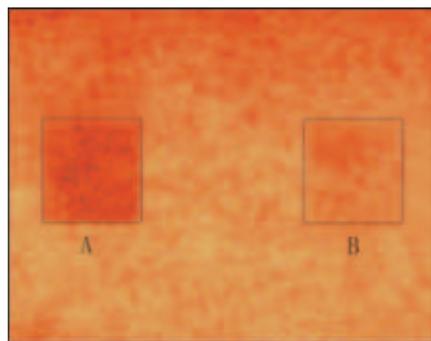
图2 试验组与空白对照组紫外照射后24 h皮肤红斑情况

2.2.2 皮肤色素沉着评分：紫外线灯照射后24 h皮肤色素沉着评分显示，涂抹配方1护肤精华液（试验组）的色素沉着评分值显著低于等量涂抹配方2护肤精华液（空白对照组）的色素沉着评分值，差异有统计学意义（ $P < 0.001$ ），黑色素抑制率为37.78%，结合皮肤色素沉着图说明光解酶和藻蓝蛋白复合物具有预防紫外线照射引发皮肤色素沉着的作用^[22]。见图3~4。



注：***表示与空白对照组比较， $P < 0.001$

图3 色素沉着评分值结果

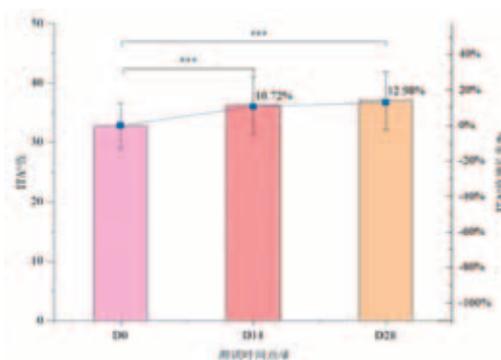


注：A. 空白对照组；B. 试验组

图4 试验组与空白对照组紫外照射后24 h皮肤色素沉着情况

2.3 人体试用功效测试结果：由2.2.2的试验研究结果可知，添加1%ALGAKTIV® GenoFix CPD的配方1护肤精华液具有延缓皮肤光老化以及防止皮肤色素沉着等功效。基于此，本研究将对配方1护肤精华液进行人体功效试用研究，研究其美白及抗衰功效，本次共计招募30名志愿者，最终统计30名，志愿者平均年龄为（34.04±6.91）岁。试验过程中，没有出现不良反应。

2.3.1 皮肤颜色测试结果：按照1.3.3.2的试验步骤对志愿者的皮肤ITA°值进行测试，具体结果见图5。30名志愿者经过14 d和28 d的产品试用，与产品试用之前相比，皮肤ITA°值均显著增加，差异有统计学意义（ $P < 0.001$ ），增长率分别为10.72%与12.98%，且随着产品使用时间的延长，ITA°值呈逐渐升高的趋势，ITA°值越高，皮肤颜色越浅，肤色越白哲^[19]，由此说明试验产品具有美白功效。

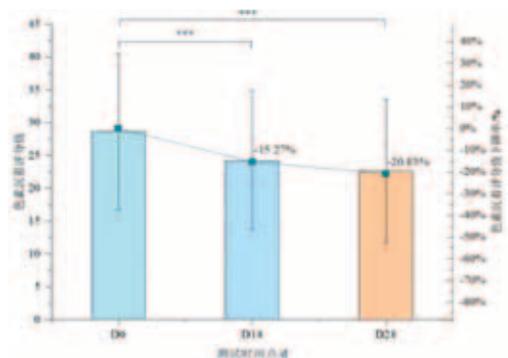


注：产品使用前前后比较，***表示 $P < 0.001$

图5 不同测试时间点皮肤ITA°值测试结果

2.3.2 皮肤色素沉着测试结果：按照1.3.3.2的试验步骤测试志愿者的皮肤色素沉着，具体结果见图6。

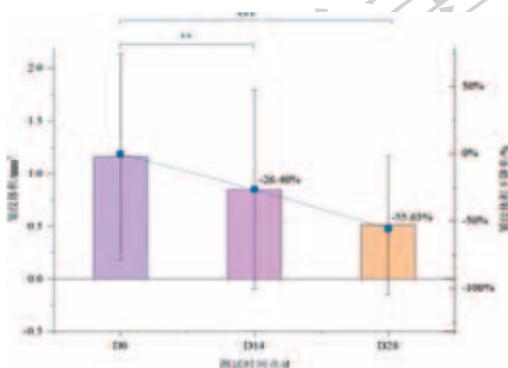
2.3.3 皮肤皱纹测试结果：按照1.3.3.2的试验步骤测试志愿者的皱纹体积及皱纹最深值，具体结果见图7~9。30名志愿者经过14 d的产品试用，与产品试用之前相比，皱纹体积明显下降，差异有统计学意义（ $P < 0.01$ ），下降率为26.40%；30名志愿者经过28 d的产品试用，与产品试用之前相比皱纹体积明显下降，差异有统计学意义（ P



注: ***表示与D0比较, $P < 0.001$

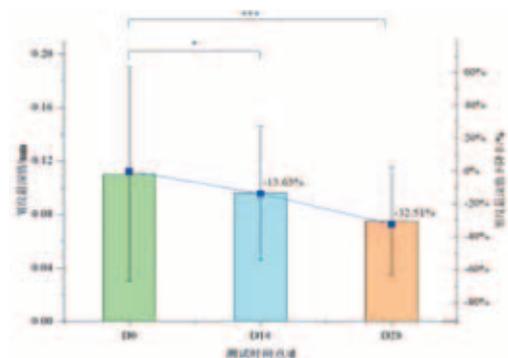
图6 不同测试时间点皮肤色素沉着评分值测试结果

($P < 0.001$), 下降率为55.63%, 且随着产品使用时间的延长, 皱纹体积呈逐渐减少的趋势。见图7。由产品使用前皱纹变化图可知, 30名志愿者经过14 d的产品试用, 与产品试用之前相比, 皱纹最深值明显下降, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 下降率为13.63%; 30名志愿者经过28 d的产品试用, 与产品试用之前相比皱纹最深值明显下降, 差异有统计学意义 ($P < 0.001$), 下降率为32.51%, 且随着产品使用时间的延长, 皱纹最深值呈逐渐降低的趋势。见图8~9。



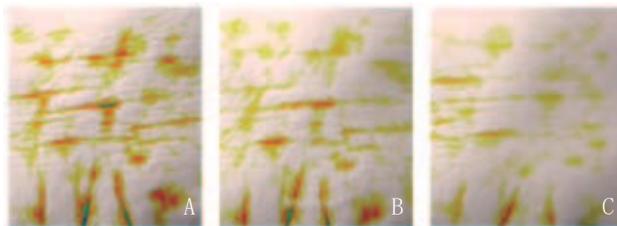
注: 与D0比较, ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$

图7 不同测试时间点皱纹体积测试结果



注: 与D0比较, ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$

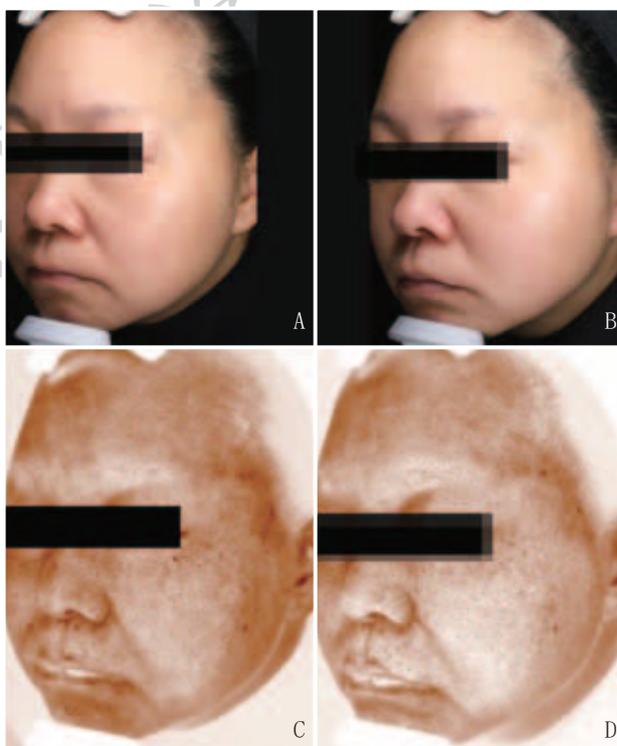
图8 不同测试时间点皱纹最深值测试结果



注: A. D0; B. D14; C. D28

图9 产品使用前皱纹变化

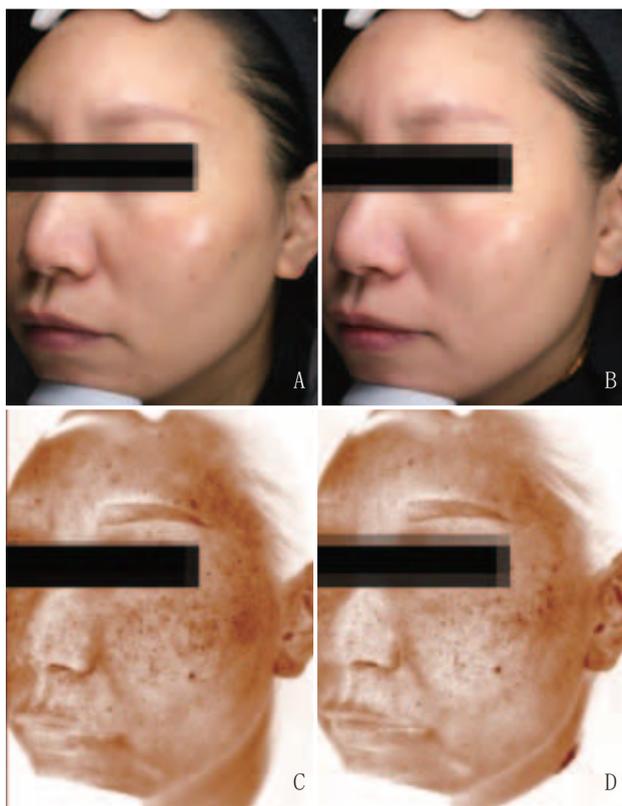
2.3.4 VISIA面部成像结果: 由VISIA面部成像图片显示, 在使用产品28 d后, 志愿者皮肤表面色斑及棕色斑点与未使用产品前相比明显淡化和减少, 肤色变得更为均匀和亮白; 由此说明试验产品具有美白功效^[24]。见图10~11。



注: A、C. D0; B、D. D28

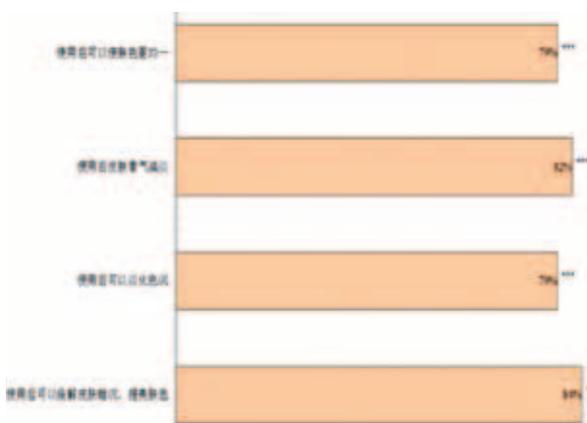
图10 志愿者1 产品使用前皮肤表面色斑及棕色斑变化

2.4 志愿者自我评价结果: 根据1.3.5.2的统计分析方法, 统计分析志愿者对各项指标的满意率以及对产品使用过程中是否出现不良反应进行统计, 结果见图12、表4。126名志愿者在使用添加1%ALGAKTIV® GenoFix CPD的配方1护肤精华液28 d后, 79%的志愿者认为产品使用后肤色更均匀, 82%的志愿者认为产品使用后皮肤黄气减淡, 79%的志愿者认为产品使用后可以淡化色素沉着, 84%的志愿者认为产品使用后可以缓解皮肤暗沉、提亮肤色, 各项指标均具有统计学意义 ($P < 0.001$)。由此说明测试产品具有均匀肤色、减淡黄气、淡化色素沉着、提亮肤色的功效。由表4可知, 126名志愿者进行人体功效评价试验研究, 未见任何皮肤不良反应。



注：A、C. D0； B、D. D28

图11 志愿者2 产品使用前后皮肤表面色斑及棕色斑变化



注：***表示与治疗前比较， $P < 0.001$

图12 126名志愿者使用测试产品28 d后对各项指标的满意率

表4 人体试用试验皮肤不良反应

皮肤反应	分级	D28
无反应	0	126例
微弱红斑	1	0例
红斑、浸润、丘疹	2	0例
红斑、水肿、丘疹、水疱	3	0例
红斑、水肿、大疱	4	0例

3 讨论

通过紫外灯照射试验，Antera3D CS多功能3D皮肤成像

分析仪测试结果表明光解酶和藻蓝蛋白复合物具有显著减少紫外照射下红斑和黑色素产生的作用，说明光解酶和藻蓝蛋白复合物具有光防护和修复的效果，能有效避免紫外线长期照射皮肤诱发的皮肤衰老以及皮肤黑色素过度沉着等问题。

皮肤ITA°值是评估化妆品美白功效的必要指标，采用皮肤颜色测试探头Colorimeter CL400采集并分析皮肤的ITA°值，结果显示：使用添加光解酶和藻蓝蛋白复合物的化妆品4周后，与使用前相比，皮肤ITA°值显著增加，差异有统计学意义 ($P < 0.001$)，说明试验产品具有美白功效。Antera3D CS多功能3D皮肤成像分析仪采集并分析的皮肤色素沉着评分值结果显示：使用添加光解酶和藻蓝蛋白复合物的化妆品4周后，与产品试用之前相比，皮肤色素沉着评分值显著下降，差异有统计学意义 ($P < 0.001$)，说明试验产品具有美白功效。结合VISIA棕色斑典型案例成像可以看出，试验产品具有淡化面部斑点和棕色斑的作用，提亮并均一肤色。以上试验结果进一步证实了光解酶和藻蓝蛋白复合物通过DNA修复和抗自由基直接或间接减少紫外损伤，可达到减少色素沉着的作用，从而美白皮肤。

通过Antera3D CS多功能3D皮肤成像分析仪测试分析皮肤的皱纹体积、皱纹最深值，结果显示：使用添加光解酶和藻蓝蛋白复合物的化妆品4周后，与使用前相比，皮肤皱纹体积及皱纹最深值均显著降低，差异有统计学意义 ($P < 0.001$)，说明试验产品具有抗衰功效。以上试验结果进一步证实了光解酶和藻蓝蛋白复合物通过刺激皮肤再生和抗自由基，防止胶原蛋白降解，有助于改善皱纹和防止光老化。

126名志愿者使用添加光解酶和藻蓝蛋白复合物的化妆品28 d后认为产品具有均一肤色、减淡黄气、淡化色素沉着、提亮肤色的功效，差异有统计学意义 ($P < 0.001$)，进一步证实了试验产品具有美白功效，且产品试用过程中未见任何皮肤不良反应。

本课题通过人体功效研究添加光解酶和藻蓝蛋白复合物的化妆品的人体功效，可以为高校及企业等提供临床研究参考依据。另外，轻医美光电美容后需特别注重紫外线防护，否则会造成损伤加重和黑色素沉着，本研究结果表明光解酶和藻蓝蛋白复合物具有减少紫外照射下红斑和黑色素产生的作用且具有美白和抗衰效果，可考虑将其应用于轻医美光电美容后的防护和增强美白及抗衰效果的产品中。

[参考文献]

[1]赵文倩, 郭砚. 防治皮肤光老化的研究进展[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)医药卫生, 2021,13(10):365-367.
 [2]李建丹, 文龙, 王佩茹, 等. 肥大细胞在皮肤光老化中作用及机制的研究进展[J]. 国际免疫学杂志, 2021,44(6):663-668..
 [3]Oh J H, Joo Y H, Karadeniz F, et al. Syringaresinol inhibits UVA-induced MMP-1 expression by suppression of MAPK/AP-1 signaling in hacat keratinocytes and human dermal fibroblasts[J]. Int J Mol Sci, 2020,21(11):3981-3992.
 [4]Kuznetsova E V, Snarskaya E S, Zavalishina L E, et al. (本文未完, 下转第31页)