

EFFECTIVENESS OF SOME ORGANIC AND INORGANIC AGENTS IN PREVENTING UVB

Nguyen Thi Yen Mai

University of Engineering and Technology - Vietnam National University, Hanoi

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received: 02/5/2024	Skincare products for protecting against ultraviolet radiation are always of interest to limit the aging effects of sunlight on the skin, especially nowadays consumers tend to look for products with natural origin. In this study, the ability of some organic and inorganic substances to block UVB was analyzed and evaluated through their transmittance spectra at the excitation wavelength range of 250 nm-400 nm. Seed oils such as almond oil and flaxseed oil are known to contain many skin-beneficial fatty acids that have been studied for their sun protection properties. Herbal powders such as turmeric powder, green tea powder, and Chinese medicine powder (Angelica Dahurica powder, Atractylodes Macrocephala Extract powder, Atractylodes Macrocephala Extract powder) with good antioxidant properties were also investigated. Besides, two oxides known for their good sun protection, TiO ₂ and ZnO, were also included in the research for comparison. The research aims to find suitable materials for developing products that combine sun protection and skin care. The results show that the seed oils such as flaxseed oil and almond oil block UV radiation worse than herbal powder samples. Among the powder samples, Chinese medicine powder shows the best sun blocking ability, with the highest SPF index, equivalent to the sun blocking ability of inorganic TiO ₂ .ZnO powders. This shows the potential of using Chinese medicine powder in developing products that combine sun protection and skincare.
Revised: 10/6/2024	
Published: 11/6/2024	
KEYWORDS	
UVB	
Sunscreen	
Skincare	
Anti-aging	
Spectrophotometric	

HIỆU QUẢ CẢN TIA UVB CỦA MỘT SỐ CHẤT HỮU CƠ VÀ VÔ CƠ

Nguyễn Thị Yến Mai

Trường Đại học Công nghệ - Đại học Quốc gia Hà Nội

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
Ngày nhận bài: 02/5/2024	Sản phẩm chăm sóc da với mục tiêu chống tia tử ngoại luôn được quan tâm nhằm hạn chế các tác hại lão hóa của ánh sáng mặt trời gây ra cho da, đặc biệt hiện nay người tiêu dùng có xu hướng tìm kiếm các sản phẩm có nguồn gốc tự nhiên. Trong nghiên cứu này, khả năng cản tia UVB của một số chất hữu cơ và vô cơ được phân tích đánh giá thông qua quang phổ truyền qua của chúng ở dải bước sóng kích thích 250 nm-400 nm. Các loại dầu hạt như dầu hạnh nhân, dầu hạt lanh được biết đến là chứa nhiều axit béo có lợi cho da được nghiên cứu khả năng chống nắng. Các loại bột thảo mộc như bột nghệ, bột trà xanh, bột thuốc bắc (gồm bột bạch chi, bột bạch truật, bột bạch phục linh) với tác dụng chống oxy hóa tốt cũng được khảo sát. Bên cạnh đó, hai loại oxit được biết đến với khả năng chống nắng tốt là TiO ₂ và ZnO cũng được khảo sát để so sánh. Các nghiên cứu nhằm tìm ra vật liệu thích hợp cho phát triển sản phẩm kết hợp chống nắng và dưỡng da. Kết quả cho thấy các mẫu dầu hạt như dầu hạt lanh và dầu hạnh nhân không có khả năng cản nắng tốt bằng các mẫu bột. Trong các mẫu bột, bột thuốc bắc đã thể hiện khả năng cản nắng tốt nhất, với chỉ số SPF cao nhất, tương đương với khả năng cản nắng của bột vô cơ TiO ₂ .ZnO. Điều này cho thấy tiềm năng của việc sử dụng bột thuốc bắc trong phát triển sản phẩm kết hợp chống nắng và dưỡng da.
Ngày hoàn thiện: 10/6/2024	
Ngày đăng: 11/6/2024	
TỪ KHÓA	
UVB	
Chống nắng	
Chăm sóc da	
Chống lão hóa	
Phổ truyền qua	

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.10260>

Email: mainty@vnu.edu.vn

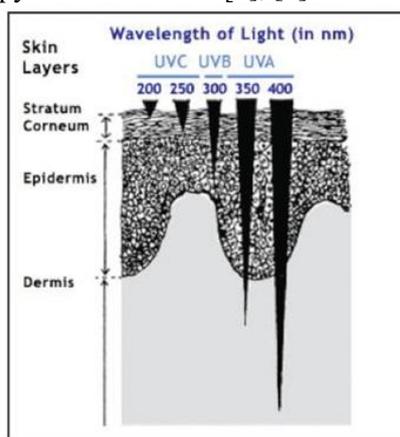
<http://jst.tnu.edu.vn>

189

Email: jst@tnu.edu.vn

1. Giới thiệu

Ánh sáng mặt trời là sóng điện từ có dải bước sóng gồm ba vùng chính: (a) Tử ngoại, (b) Khả kiến và (c) Hồng ngoại [1]. Bức xạ tử ngoại lại được chia thành ba vùng: (a) UV-A (315-400 nm), (b) UV-B (290-315 nm), (c) UV-C (100-290 nm) trong đó tia UV-A có bước sóng dài nhất và năng lượng thấp nhất, UV-C có năng lượng cao nhất và bước sóng ngắn nhất, UV-B nằm ở vùng giữa [2]. Khoảng 80-90% tia UV-A và 1-10% tia UV-B tới được bề mặt trái đất trong khi tia UV-C bị khí quyển trái đất hấp thụ. UV-A có thể thâm nhập sâu hơn vào lớp hạ bì của da và có thể làm hư hại DNA bằng phản ứng nhạy quang gián tiếp tạo ra các gốc oxy tự do. UV-B chỉ tới được lớp biểu bì (Hình 1) và bị hấp thụ bởi DNA dẫn đến sự sắp xếp lại phân tử tạo ra các sản phẩm như cyclobutene dimer và pyrimidine trên da [3], [4].



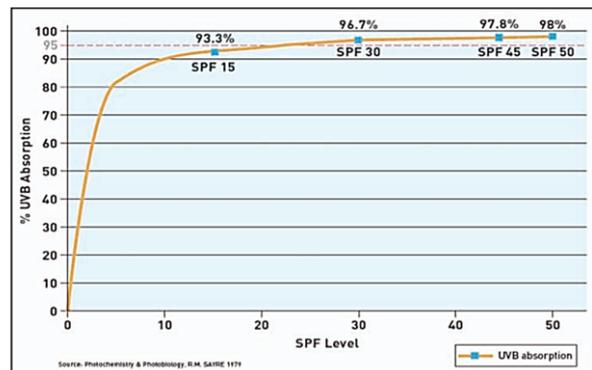
Hình 1. Sự thâm nhập của các bước sóng ánh sáng khác nhau vào da người [5]

Các báo cáo khoa học cho thấy phơi nắng ở mức độ vừa phải có một số tác dụng tốt cho sức khỏe như giúp sản sinh vitamin D, tác dụng kháng khuẩn và cải thiện chức năng tim mạch [3]; tuy nhiên, tiếp xúc với tia UV trong thời gian dài lại có thể gây ung thư da và các tổn thương cho mắt. Từ lâu khoa học đã chứng minh ảnh hưởng của bức xạ tử ngoại trong ánh sáng mặt trời tới sức khỏe của làn da và trong thập kỷ gần đây các sản phẩm chống nắng đã trở nên phổ biến ở dạng gel, lotion, kem dưỡng ẩm hoặc chống lão hóa, mà ở đây ta gọi chung là kem chống nắng. Nó kiểm soát những tác động có hại như lão hóa sớm, nhăn nheo, sạm và nám da liên quan với bức xạ UV. Các hoạt chất được sử dụng trong kem chống nắng chia ra hai loại hữu cơ và vô cơ có khả năng hấp thụ, tán xạ và phản xạ bức xạ UV. Các hoạt chất có khả năng chống nắng được nghiên cứu rất đa dạng, phổ biến nhất là Octyl methoxycinnamate (OMC), Oxybenzone, Octyl salicylate, Octocrylene, Avobenzone, TiO₂ và ZnO [6]. Gần đây, các hoạt chất có nguồn gốc thiên nhiên được nghiên cứu nhiều bao gồm các sản phẩm thủy sinh như tảo xoắn, tảo lục, tảo nâu, tảo đỏ, sinh vật phù du, và các sản phẩm trên cạn bao gồm hướng dương, đậu nành, hạt mè, quả bơ, hoa cúc, hoàng cầm, cam thảo, nha đam, dầu dừa, dương xỉ,... [7]. Trong nghiên cứu này, một số loại dầu hạt như dầu hạnh nhân, dầu hạt macca, dầu hạt lanh được khảo sát khả năng chống nắng dựa trên phép đo quang phổ truyền qua ở vùng bước sóng kích thích 250-400 nm. Các loại bột thảo mộc như bột nghệ, bột trà xanh, bột thuốc bắc (gồm bột bạch chỉ, bột bạch truật, bột bạch phục linh) cũng được khảo sát. Bên cạnh đó, hai loại oxit được biết đến với khả năng chống nắng tốt là TiO₂ và ZnO cũng được khảo sát để so sánh.

Các sản phẩm kem chống nắng chứa các hoạt chất này được đánh giá hiệu quả chống tia UV thông qua các phương pháp:

Xác định chỉ số cản nắng Sun Protection Factor (SPF). Chỉ số SPF biểu thị khả năng bảo vệ da của kem chống nắng ngăn chặn sự phát triển của các nốt ban đỏ khi bị chiếu bức xạ UVB [8]. Chỉ số SPF được xác định bằng phương pháp thử nghiệm trực tiếp trên cơ thể hoặc phương pháp

đo quang phổ hoặc phương pháp mô phỏng trên máy tính để dự đoán chỉ số [9]. Phép đo SPF truyền thống thực hiện trên động vật thường là chuột không lông da trắng. Kem chống nắng được thoa cẩn thận với tỷ lệ 2 mg/cm^2 và để khô tự nhiên. Chỉ số SPF biểu thị tỉ số của liều lượng tối thiểu bức xạ để gây ra ban đỏ (Minimal Erythema Dose MED) trên da có sử dụng kem chống nắng và trên da không sử dụng kem chống nắng. $\text{SPF} = \text{MED}$ của da có bôi kem (2 mg/cm^2)/MED của da không sử dụng kem [9], [10]. Gần đây, các thử nghiệm trên động vật không được khuyến khích nên việc xác định chỉ số SPF có thể được thực hiện bằng phương pháp đo phổ hấp thụ và truyền qua của bức xạ UV. Lớp kem chống nắng mỏng bôi trên phiến thạch anh với định lượng chuẩn 2 mg/cm^2 sẽ được đo phổ hấp thụ hoặc truyền qua trong vùng bức xạ UV. Phép đo dễ thực hiện và giá không cao [10], [11]. Độ lớn của SPF cần thiết được sử dụng cho mỗi cá nhân trong các trường hợp khác nhau phụ thuộc vào tình hình thời tiết với cường độ bức xạ UV tương ứng, phụ thuộc hoạt động cụ thể và độ nhạy cảm trên da của người sử dụng kem chống nắng. Chỉ số SPF biểu thị khả năng hấp thụ tia UVB được phân loại từ thấp đến cao: Thấp: (SPF 2–15), Trung bình: (SPF 15–30) Cao: (SPF 30–50), Cao nhất: (SPF > 50). Công thức tính phần trăm bức xạ hấp thụ bởi kem chống nắng: phần trăm hấp thụ = $100 - (100/\text{SPF})$ [12], [13]. Dựa vào công thức trên, đồ thị phụ thuộc giữa phần trăm bức xạ hấp thụ và chỉ số SPF được đưa ra như trong Hình 2 [14]. Chỉ số SPF 15 tương ứng với 93,3% bức xạ UVB bị hấp thụ, trong khi SPF 30 ứng với 96,7%, SPF 45 tương ứng với 97,8% và SPF 50 ứng với 98% bức xạ UVB bị hấp thụ (Hình 2).



Hình 2. Mức hấp thụ bức xạ UVB tương ứng với chỉ số cản nắng SPF [14]

Đo sự hình thành sắc tố trên da persistent pigment darkening (PPD)

Phép đo này xác định khả năng bảo vệ của kem chống nắng chống lại bức xạ UVA [15] – [18]. Chỉ số bảo vệ được xác định là tỷ lệ giữa liều lượng bức xạ tối thiểu để gây ra ban đỏ Minimal Pigment Dose MPD trên da có bôi kem chống nắng và trên da không bôi kem. Chỉ số bảo vệ UVA = MPD (có bôi kem)/ MPD (không bôi kem).

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Chuẩn bị mẫu

Các mẫu dầu hạt hạnh nhân và dầu hạt lanh được thu thập từ siêu thị trong chai dầu nhập khẩu nhãn hiệu FUNCH. Các mẫu bột nghệ và bột thuốc bắc (gồm bột bạch chỉ, bạch truật và bạch phục linh với tỉ khối lượng 1:1:1), bột vỏ sò được mua từ cửa hàng dược liệu trong chợ địa phương. Bột thuốc bắc được nghiền bằng máy nghiền chuyên dụng từ nguyên liệu khô dạng miếng theo tỉ lệ khối lượng 1:1:1. Mẫu bột trà xanh được thu thập từ gói 250 g nhãn Dalatfarm.

Các mẫu dầu được trộn với bơ hạt mỡ ở tỉ lệ 1:1 trong cốc thủy tinh và đun nóng tới nhiệt độ 80°C , sau đó làm nguội về nhiệt độ phòng. Ba mẫu dầu được dán nhãn lần lượt là D1: dầu hạnh nhân, D2: dầu hạt lanh và D2b: dầu hạt lanh có trộn với bột vỏ sò 2,5%. Các mẫu bột được trộn với bơ hạt mỡ ở tỉ lệ khối lượng 2,5% trong cốc thủy tinh và đun nóng tới nhiệt độ 80°C , hỗn hợp được khuấy đều trong quá trình nguội về nhiệt độ phòng. Các mẫu bột được dán nhãn lần lượt là

B1: bột trà xanh, B2: bột nghệ, B3: bột thuốc bắc, B4: bột $\text{TiO}_2\cdot\text{ZnO}$. Bơ hạt mỡ sử dụng trong các hỗn hợp trên được thu thập từ nhà cung cấp Greenlab. Mục đích của việc trộn lẫn bơ hạt mỡ vào mẫu dầu và mẫu bột là để tăng độ nhớt của mẫu. Mẫu có độ nhớt cỡ độ nhớt của kem chống nắng thông dụng để dễ dàng có thể bôi được trên da một lớp mỏng.

2.2. Chụp ảnh SEM

Các mẫu bột TiO_2 và ZnO được khảo sát qua kính hiển vi điện tử quét. Kích thước hạt của các oxit vô cơ này được thể hiện trên ảnh với độ phân giải lớn.

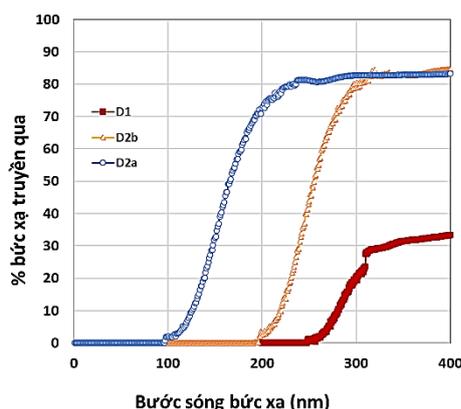
2.3. Đo quang phổ truyền qua

Các mẫu D1, D2a, D2b, B1, B2, B3 và B4 được bôi một lớp mỏng với định lượng 2 mg/cm^2 lên để lam kính loại nhám. Phép đo quang phổ truyền qua được thực hiện trên thiết bị quang phổ hấp thụ nguyên tử UV-Vis, model S80, hãng Biochorm, Mỹ với vùng bức xạ kích thích 250-400 nm. Chỉ số SPF được ngoại suy từ đồ thị trong Hình 2.

3. Kết quả và bàn luận

Phần này trình bày các kết quả thu được từ phép đo phổ truyền qua và phân tích phổ để đưa ra giá trị SPF tương ứng.

3.1. Mẫu dầu

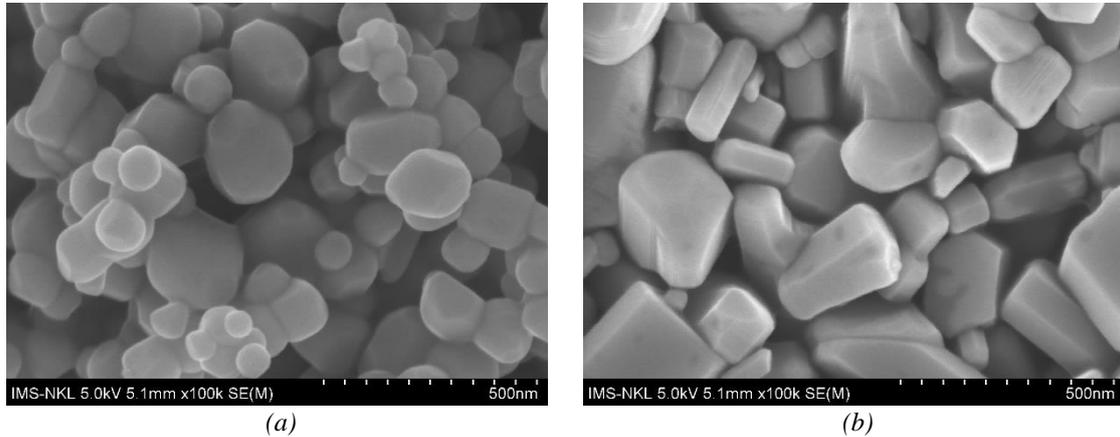


Hình 3. Phổ truyền qua của mẫu dầu hạnh nhân và mẫu dầu hạt lanh

Phổ truyền qua của các mẫu dầu hạt lanh, dầu hạnh nhân và mẫu dầu hạt lanh kèm bột vỏ sò được thể hiện trên Hình 3. Dựa vào phần trăm bức xạ truyền qua trên đồ thị của dầu hạnh nhân ta thấy khả năng truyền qua của ánh sáng tăng theo bước sóng và dần đạt đến giá trị bão hoà tương ứng với khả năng hấp thụ ánh sáng SU của các mẫu dầu giảm. Trong vùng ánh sáng UVC mẫu dầu hạnh nhân hấp thụ ánh sáng khá tốt nó đạt gần như 100% trong vùng bước sóng nhỏ hơn 250 nm. Hiệu suất hấp thụ ánh sáng của dầu hạnh nhân giảm dần khi bước sóng ánh sáng tăng và nó chỉ còn khoảng 80% khi ở vùng UVB với bước sóng 300 nm tương ứng với chỉ số SPF 5 và nó tiếp tục giảm và dần đạt đến giá trị bão hoà (khoảng 73%) khi bước sóng tăng đến vùng UVA. Tương tự với mẫu dầu hạt lanh có và không có sự góp mặt của bột vỏ sò. Tuy nhiên, từ phổ truyền qua ta thấy, khả năng truyền trong vùng UV của mẫu dầu hạt lanh lớn hơn nhiều so với dầu hạnh nhân trong tất cả các vùng UV. Trong vùng UVB ứng với bước sóng 300 nm thì phần trăm truyền qua của mẫu dầu hạt lanh lên đến 80%, tức là phần hấp thụ ánh sáng chỉ khoảng 20% ứng với chỉ số SPF 2. Khi có sự góp mặt của vỏ sò nó chỉ làm tăng khả năng hấp thụ và truyền qua trong vùng ánh sáng UVC mà gần như không ảnh hưởng đến vùng ánh sáng UVB và UVA nên nó cũng không có ý nghĩa khi làm mỹ phẩm chống lại tia UV. Qua phân tích ở trên ta thấy

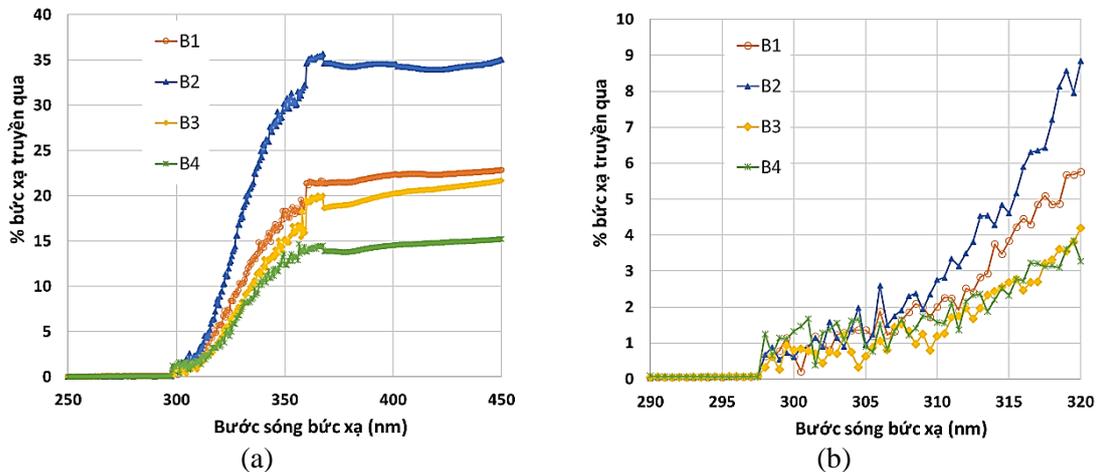
hiệu suất hấp thụ của mẫu dầu hạnh nhân tốt hơn rất nhiều so với dầu hạt lanh. Tuy nhiên, giá trị này cũng chỉ đạt được 80% trong vùng UVB ứng với bước sóng 300 nm. Để tìm ra sản phẩm có công dụng chống tia UV tốt hơn, ngăn cản sự lão hoá da chúng tôi tiếp tục làm thí nghiệm với các mẫu bột. Kết quả được chỉ ra ở phần bên dưới.

3.2. Mẫu bột



Hình 4. Ảnh chụp SEM của mẫu bột hai oxit vô cơ (a) TiO_2 và (b) ZnO

Kết quả phân tích hình thái của các mẫu bột hai oxit vô cơ TiO_2 và ZnO từ ảnh chụp SEM thu được trong Hình 4 cho thấy kích thước hạt của hai oxit này không đồng đều và nó nằm trong vùng kích thước nano mét. Bột TiO_2 gồm các hạt dạng hình cầu có kích thước đường kính cỡ 50-200 nm. Bột ZnO gồm các hạt có nhiều hình dạng khác nhau nằm xen kẽ. Các hạt này có kích thước ứng với cạnh dài của hạt cỡ 150-250 nm. Mặc dù kích thước của cả hai mẫu TiO_2 và ZnO không đồng nhất nhưng chúng đều có kích thước nano. Với kích thước nhỏ nano mét các hạt của mẫu bột này dễ dàng tạo nên cấu trúc mịn mượt cho các sản phẩm ứng dụng.



Hình 5. Phổ truyền qua của các mẫu bột trong dải bước sóng 250-450 nm (a) và trong dải bước sóng 290-320 nm (b)

Phổ truyền qua của các mẫu bột được trình bày trên Hình 5. Từ phổ truyền qua ta thấy, bức xạ truyền qua tăng dần theo bước sóng sau đó dần đạt tới giá trị bão hoà. Tuy nhiên khả năng hấp thụ trong vùng UV của các mẫu khá tốt. Hiệu suất của tất cả các mẫu đạt 100% trong vùng bức xạ UVC sau đó có giảm chút trong vùng bức xạ UVB. Các mẫu bột cần tốt bức xạ UVB ở bước sóng 300 nm. Tất cả các mẫu bột trà xanh, bột nghệ, bột thuốc bắc, bột TiO_2 , ZnO đều cần tới 99% bức xạ ở bước sóng 300 nm. Ở bước sóng 315 nm, các mẫu bột cần trên 95% bức xạ: mẫu

bột trà xanh cản 96% bức xạ tương ứng với SPF 30, mẫu bột nghệ cản 95% bức xạ, mẫu bột thuốc bắc cản 97,5% bức xạ tương ứng SPF 45, mẫu bột $\text{TiO}_2\text{.ZnO}$ cản 97,5% bức xạ tương ứng SPF 45. Bảng 1 tổng kết số liệu phần trăm bức xạ hấp thụ của các mẫu dầu và mẫu bột ở bước sóng 315 nm và chỉ số SPF tương ứng. Khi bước sóng tăng lên đến vùng UVA thì nó tiếp tục giảm và đạt đến giá trị bão hoà ứng với bước sóng 370 nm. Ứng với bước sóng này giá trị hấp thụ của các mẫu bột trà xanh, bột nghệ, bột thuốc bắc, bột $\text{TiO}_2\text{.ZnO}$ tương ứng là 77,5%; 65%; 78% và 90%.

Bảng 1. Chỉ số SPF của các mẫu dầu và mẫu bột ứng với bước sóng 315 nm

Mẫu thí nghiệm	Ký hiệu	% bức xạ truyền qua	SPF
Dầu hạnh nhân	D1	25	5
Dầu hạt lanh	D2a	82	2
Dầu hạt lanh + bột vỏ sò	D2b	82	2
Bột trà xanh	B1	4	30
Bột nghệ	B2	5	30
Bột thuốc bắc	B3	2.5	45
Bột $\text{TiO}_2\text{.ZnO}$	B4	2.5	45

Từ các kết quả trên có thể thấy rằng các mẫu dầu có khả năng cản nắng không ưu việt như các mẫu bột. Trong các mẫu bột thì bột thuốc bắc cho kết quả cản nắng tốt nhất và tương đương với khả năng cản nắng của bột vô cơ $\text{TiO}_2\text{.ZnO}$ trong vùng UVC và UVB; hiệu suất có kém hơn chút khi ở vùng UVA.

4. Kết luận

Phổ truyền qua của các mẫu dầu hạnh nhân, dầu hạt lanh và các mẫu bột trà xanh, bột nghệ, bột thuốc bắc, bột $\text{TiO}_2\text{.ZnO}$ trong dải bước sóng 250-400 nm đã được nghiên cứu và khảo sát. Từ việc phân tích phổ dựa vào phần trăm bức xạ truyền qua, khả năng hấp thụ bức xạ UVB của các mẫu vật liệu được đánh giá và đưa ra giá trị SPF tương ứng. Kết quả nghiên cứu cho thấy các mẫu dầu như dầu hạt lanh và dầu hạnh nhân không có khả năng cản nắng bằng các mẫu bột. Trong số các mẫu bột, bột thuốc bắc đã thể hiện khả năng cản nắng tốt nhất, với chỉ số SPF cao nhất, tương đương với khả năng cản nắng của bột vô cơ $\text{TiO}_2\text{.ZnO}$. Điều này cho thấy tiềm năng của việc sử dụng bột thuốc bắc trong phát triển sản phẩm kết hợp chống nắng và dưỡng da.

Lời cảm ơn

Tác giả chân thành gửi lời cảm ơn PGS. TS. Ứng Diệu Thúy, TS. Tống Quang Công và Nguyễn Thị Xuyên, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam đã hỗ trợ chụp ảnh kính hiển vi điện tử và thực hiện phép đo phổ cho nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] H. Hidaka, S. Horikoshi, N. Serpone, and J. Knowland, "In vitro photochemical damage to DNA, RNA and their bases by an inorganic sunscreen agent on exposure to UVA and UVB radiation," *J. Photochem. Photobiol. A Chem.*, vol. 111, pp. 205–213, 1997.
- [2] J. D'Orazio, S. Jarrett, A. Amaro-Ortiz, and T. Scott, "UV radiation and the skin," *Int. J. Mol. Sci.*, vol. 14, pp. 12222–12248, 2013.
- [3] L. T. N. Ngọc, V. V. Tran, J. Y. Moon, M. Chae, D. Park, and Y. C. Lee, "Recent Trends of Sunscreen Cosmetic: An Update Review," *Cosmetics*, vol. 6, no. 4, p. 64, 2019.
- [4] N. Fleury, S. Geldenhuys, and S. Gorman, "Sun exposure and its effects on human health: Mechanisms through which sun exposure could reduce the risk of developing obesity and cardiometabolic dysfunction," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 13, p. 999, 2016.

-
- [5] N. A. Shaath, *Sunscreens, development, evaluation, and regulatory aspects*, New York, USA: Marcel Dekker, Inc, 1997, pp. 211–233.
- [6] F. P. Gasparro, M. Mitchnick, and J. F. Nash, “A Review of Sunscreen Safety and Efficacy,” *Photochemistry and Photobiology*, vol. 68, no. 3, pp. 243–56, 1998.
- [7] D. I. S. P. Resende, A. Jesus, J. M. S. Lobo, E. Sousa, M. T. Cruz, H. Cidade, and I. F. Almeida, “Up-to-Date Overview of the Use of Natural Ingredients in Sunscreens,” *Pharmaceuticals*, vol. 15, no. 3, p. 372, 2022.
- [8] P. T. Mpiana, “Determination of Sun Protection Factor (SPF) of Some Body Creams and Lotions Marketed in Kinshasa by Ultraviolet Spectrophotometry,” *Int. J. Adv. Res. Chem. Sci.*, vol. 1, pp. 7–13, 2014.
- [9] U. Osterwalder and B. Herzog, “Sun protection factors: world wide confusion,” *Br. J. Dermatol.*, vol. 161, pp. 13–24, 2009.
- [10] K. Geoffrey, A. N. Mwangi, and S. M. Maru, “Sunscreen products: Rationale for use, formulation development and regulatory considerations,” *Saudi Pharmaceutical Journal*, vol. 27, pp. 1009–1018, 2019.
- [11] C. Walters, A. Keeney, C. T. Wigal, C. R. Johnston, and R. D. Cornelius, “The spectrophotometric analysis and modeling of sunscreens,” *J. Chem. Educ.*, vol. 74, p. 99, 1997.
- [12] S. E. Wolverson, *Comprehensive Dermatologic Drug Therapy*, 2nd ed. Saunders, 2007.
- [13] S. B. Levy, “Sunscreen for photoprotection,” *Dermatol Ther.*, vol. 4, pp. 59–71, 1997.
- [14] B. D. Wilson, S. Moon, and F. Armstrong, “Comprehensive Review of Ultraviolet Radiation and the Current Status on Sunscreens,” *J. Clin. Aesthet Dermatol.*, vol. 5, no. 9, pp. 18–23, 2012.
- [15] D. Moyal, A. Chardon, N. Kollias, K. Geoffrey, *et al.*, “UVA protection efficacy of sunscreens can be determined by the persistent pigment darkening (PPD) method,” *Photodermatol. Photoimmunol. Photomed.*, vol. 16, pp. 250–255, 2000.
- [16] P. J. Matts, V. Alard, M. W. Brown, L. Ferrero, H. Gers-Barlag, N. Issachar, D. Moyal, and R. Wolber, “The COLIPA in vitro UVA method: a standard and reproducible measure of sunscreen UVA protection,” *Int. J. Cosmet. Sci.*, vol. 32, pp. 35–46, 2010.
- [17] J. F. Nash, P. R. Tanner, and P. J. Matts, “Ultraviolet A radiation: testing and labeling for sunscreen products,” *Dermatol. Clin.*, vol. 24, pp. 63–74, 2006.
- [18] D. Moyal, K. Wichrowski, and C. Tricaud, “In vivo persistent pigment darkening method: a demonstration of the reproducibility of the UVA protection factors results at several testing laboratories,” *Photodermatol. Photoimmunol. Photomed.*, vol. 22, pp. 124–128, 2006.