

Ứng dụng lưu chất CO₂ siêu tới hạn trong nghiên cứu và sản xuất

Đoàn Thị Ngân¹, Lê Trần Thảo Nguyên¹, Hoàng Hồng Hạnh², Bùi Minh Quang³, Nguyễn Lê Tuyên³, Lê Văn Minh³

¹Khoa Hoá học - Thực phẩm - Môi Trường, ²Viện Kỹ thuật Công nghệ cao, Đại học Nguyễn Tất Thành

³Trung tâm Sâm và Dược liệu Tp. Hồ Chí Minh

lvminh05@gmail.com

Tóm tắt

Sử dụng công nghệ siêu tới hạn trong nghiên cứu và sản xuất đang được phát triển mạnh mẽ, Nhận 28.12.2017 đặc biệt đối với lưu chất carbon dioxide vì nhiều ưu điểm vượt trội của công nghệ và dung môi Được duyệt 18.01.2018 này. Một số công nghệ chiết tách truyền thống khó đạt được hiệu suất chiết cao và khó áp dụng Công bố 01.02.2018 vào các công thức phối chế trong các loại thực phẩm, dược phẩm hoặc ứng dụng trực tiếp vào sản phẩm mỹ phẩm cao cấp do hoạt chất bị phân hủy, lẫn tạp các sản phẩm phụ và cặn độc hại. Từ khóa Bài viết giới thiệu tổng quan những nghiên cứu gần đây và khả năng ứng dụng sản xuất trong CO₂ siêu tới hạn, công nghệ nước nhằm nâng cao giá trị các sản phẩm truyền thống đồng thời đáp ứng các yêu cầu đa dạng tách chiết, Bào chế được của thị trường hiện nay.

© 2018 Journal of Science and Technology - NTTU

1. Giới thiệu

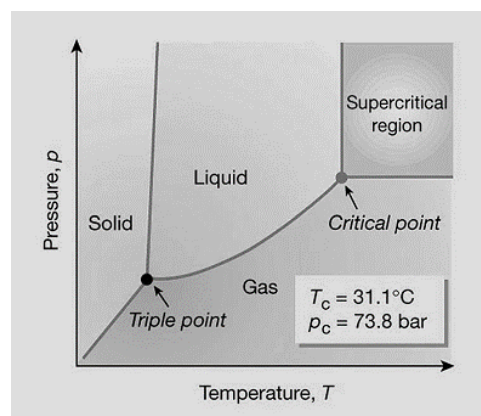
Những vấn đề được quan tâm nhất hiện nay là an toàn thực phẩm, dược phẩm: tiết kiệm năng lượng, hạn chế phế thải hoá chất độc hại. Trong các ngành công nghiệp hoá chất, vật liệu polymer hoặc công nghiệp thực phẩm, dược phẩm sử dụng nhiều loại dung môi hữu cơ để thực hiện các quá trình phản ứng hoá học hay ly trích thành phần mục tiêu. Các quá trình này thải ra nhiều hoá chất-phế thải độc hại, tiêu tốn tài nguyên nước và dung môi. Một số quá trình cần diễn ra ở nhiệt độ cao do đó tốn năng lượng và có thể gây hư cấu trúc hoặc phân hủy hoạt chất (protein, vitamin,...). Nhiều giải pháp được đưa ra nhằm khắc phục những hạn chế trên. Một trong những công nghệ nổi lên như một giải pháp lý tưởng cho vấn đề này và hứa hẹn nhiều tiềm năng là sử dụng lưu chất CO₂ siêu tới hạn (SCO₂).

Bảng 1. Tính chất vật lý của CO₂ ở dạng lỏng, khí và siêu tới hạn

Trạng thái	Tỉ trọng (g/ml)	Khả năng khuếch tán (cm ² /s)	Độ nhớt (g/cm/s)
Khí	1x10 ⁻³	1x10 ⁻¹	1x10 ⁻⁴
Lỏng	1.0	5x10 ⁻¹	1x10 ⁻²
Siêu tới hạn	3x10 ⁻¹	1x10 ⁻³	1x10 ⁻⁴

CO₂ siêu tới hạn là trạng thái lỏng của khí CO₂ tại điều kiện nhiệt độ và áp suất trên mức tới hạn (31,1 °C và 73,8 atm)[1], tính chất vật lý của CO₂ ở trạng thái này lại giữa thể khí và lỏng (Bảng 1). CO₂ siêu tới hạn có tỉ trọng tương

đối cao, xấp xỉ tỉ trọng của chất lỏng, vừa đủ để có thể dùng làm dung môi, nhưng vẫn giữ được khả năng khuếch tán mạnh, sức căng bề mặt thấp, độ linh động cao, độ nhớt thấp, khả năng hòa tan dễ điều chỉnh bằng nhiệt độ và áp suất (Hình 1). Ngoài ra, việc dễ dàng đạt được điều kiện siêu tới hạn của CO₂ cũng là lí do để CO₂ trở thành chất lỏng siêu tới hạn được sử dụng phổ biến nhất.



Hình 1. Giản đồ pha áp suất – nhiệt độ của CO₂. [2]

CO₂ ở trạng thái này mang đặc tính của cả chất khí và chất lỏng, nên vừa có khả năng hòa tan được các chất như pha lỏng, vừa có khả năng khuếch tán cao của pha khí. Bất kỳ dung môi nào cũng có thể đạt được trạng thái siêu tới hạn nếu tồn tại ở nhiệt độ và áp suất trên giá trị tới hạn. Tuy

hiện, CO₂ có các đặc tính như không độc, không bắt lửa, trơ hoặc khó phản ứng trong hầu hết các điều kiện, giá rẻ, có nguồn cung dồi dào và có thể tái sử dụng hoặc tuần hoàn sử dụng nên được sử dụng phổ biến nhất. Riêng trong công nghệ chiết xuất bằng CO₂ siêu tới hạn, sản phẩm có thể được ly trích ở nhiệt độ thấp nên giảm tiêu hao năng lượng, tránh các hoạt chất kém bền nhiệt bị phân huỷ, đảm bảo chất lượng sản phẩm. Dung môi dùng lưu trữ CO₂ siêu tới hạn có nhiều ưu điểm hơn so với dung môi truyền thống

(methanol, ethanol, acetone,...). Độ nhớt của CO₂ thấp nên cho phép dòng chảy qua với tốc độ lớn, và độ khuếch tán cao nên tăng được hiệu suất tách. Sau phản ứng, để thu hồi sản phẩm chỉ cần giảm áp suất thấp hơn áp suất tới hạn để CO₂ chuyển sang thể khí và bay ra ngoài, không để lại cặn độc hại. Các quá trình phản ứng, chiết tách sử dụng SCO₂ cũng khắc phục được nhiều hạn chế ở các phương pháp khác chưa thực hiện được (Bảng 2).

Bảng 2. So sánh ưu nhược điểm của phương pháp SCO₂ với các phương pháp truyền thống sử dụng dung môi hữu cơ.[3]

Tiêu chí	Phương pháp SCO ₂	Phương pháp truyền thống
Lượng chất có thể tan và tính chọn lọc	Có khả năng hoà tan tốt các chất tan hữu cơ ở thể rắn cũng như lỏng, đồng thời cũng hoà tan lẫn cả các chất thơm dễ bay hơi. Có sự chọn lọc khi hoà tan, không hoà tan các kim loại nặng và dễ điều chỉnh các thông số trạng thái để có thể lựa chọn các dung môi khác nhau. Tuy nhiên, khó hòa tan các chất phân cực mạnh hoặc hợp chất ion	Dung môi có sự chọn lọc lớn đối với các nhóm chất khác nhau
Khả năng kiểm soát độ hoà tan	Dễ dàng kiểm soát thông qua áp suất và nhiệt độ.	Khó kiểm soát
Khả năng bảo tồn hoạt chất kém bền	Đa số hoạt chất được bảo tồn toàn vẹn kể cả enzyme	Đa số các chất kém bền với nhiệt, dễ phân huỷ đều khó bảo tồn trong sản phẩm
Sản xuất quy mô lớn	Dễ dàng áp dụng tự động hoá	Tuỳ phương pháp
Tính kinh tế	Giá dung môi rẻ, nguồn cung dồi dào; Tiết kiệm tài nguyên – năng lượng.	Tiêu hao nước và dung môi nhiều trong quá trình sản xuất, một số dung môi giá thành cao
Tính an toàn, thân thiện môi trường	Không độc, không cháy nổ	Gây độc, dễ bay hơi, dễ cháy nổ, gây ô nhiễm
Ảnh hưởng tới sản phẩm	Ít ảnh hưởng đến sản phẩm	Ảnh hưởng nhiều đến cảm quang, cấu trúc và thành phần sản phẩm
Ưu điểm của dung môi	Trơ trong hầu hết các điều kiện, không ăn mòn thiết bị, không phản ứng cảm quang, tốc độ khuếch tán và phản ứng lớn; Vô trùng và ngăn ngừa sự phát triển của vi sinh vật; Không tồn dư, không ảnh hưởng màu, gây mùi cho sản phẩm	Dễ dàng phản ứng với cơ chất hoặc sản phẩm; Khó loại sạch khỏi sản phẩm
Yêu cầu thiết bị	Thiết bị chuyên dụng, đắt tiền; cần nghiên cứu tối ưu hoá điều kiện chiết đối với mẫu mới.	Thường không yêu cầu cao về thiết bị. Đa số đã có quy trình chuẩn.

2. Ứng dụng của CO₂ siêu tới hạn

2.1 Công nghệ chế biến thực phẩm

CO₂ siêu tới hạn có nhiều ưu điểm được ứng dụng ngày càng phổ biến trong nhiều quá trình công nghệ khác nhau, trong đó có công nghệ ép dầu. Công nghệ ép dầu sử dụng CO₂ siêu tới hạn được dùng chủ yếu ở một số nước trong chế biến và sản xuất nhựa. Tuy nhiên, với nhiều ưu điểm công nghệ này được dùng ngày càng nhiều trong công nghệ chế biến và sản xuất thực phẩm. Ưu điểm quan trọng của công nghệ là sản xuất ở nhiệt độ thấp, tạo ra sản phẩm có kết cấu xốp (bên trong xốp, bề mặt láng), kiểm soát được số lượng, kích thước sản phẩm, ít ảnh hưởng đến hoạt chất nhạy cảm với nhiệt độ, điều khiển được pH môi

trường,... Một số ứng dụng phổ biến của công nghệ SCO₂ trong thực phẩm như chiết hợp chất từ hoa Houblon trong sản xuất bia, loại cafein ra khỏi trà và cà phê. Với công nghệ này thì hàm lượng cafein có thể giảm xuống chỉ còn dưới 1% trong sản phẩm. Nhiều sản phẩm từ ngũ cốc, bánh mì, bánh kẹo, cà phê, protein sữa, khoai tây chiên được chế biến sử dụng công nghệ này vẫn giữ được đặc tính cũng như chất lượng dinh dưỡng của sản phẩm [1, 4-6]. Các nghiên cứu cho thấy nhiệt độ giảm khi sử dụng công nghệ CO₂ tới hạn trong sản xuất đã làm tăng đáng kể phẩm chất của sản phẩm bột ngô về kết cấu [7], về cảm quan (độ mịn, màu sắc,...), hạn chế bị oxy hoá [8, 9].

Đồng thời, quá trình sản xuất thực phẩm bằng công nghệ SCO_2 giữ được nhiều các chất dinh dưỡng hơn so với công nghệ truyền thống. Nghiên cứu của Singkhornart và cộng sự chỉ ra rằng các tính chất vật lý của chất ép từ lúa mì được cải thiện đáng kể về màu sắc, hàm lượng dinh dưỡng, tổng đường khử của sản phẩm [10]. Cùng năm, Sharif và cộng sự nghiên cứu về đặc tính của công nghệ ép đùn chất lỏng siêu tới hạn trong chế biến sản phẩm rice-soy crisps có bổ sung vi chất dinh dưỡng và protein đậu nành. Kết quả hàm lượng protein đậu nành tăng từ 25 – 40 g/100 g, tăng độ mảnh, khối lượng và độ giòn của sản phẩm. Ngoài ra, hàm lượng các protein khác, chất xơ, khoáng chất và hàm lượng vitamin A và C cũng tăng so với không sử dụng SCO_2 [11]. Nghiên cứu của Paraman và cộng sự trên bánh phồng gạo cũng cho thấy SCO_2 tăng cường ổn định protein, chất xơ, vi chất dinh dưỡng. Quá trình khuếch tán siêu tới hạn cho phép giữ lại hàm lượng cao các chất khoáng, vitamin như 55 – 58% vitamin A, 64 – 76% vitamin C, các acid amin thiết yếu như lysin có hàm lượng đặc biệt cao 98,6%. Đồng thời, chất lượng sản phẩm từ công nghệ này được đảm bảo và không bị ảnh hưởng bởi các quá trình oxy hóa [12].

2.2 Công nghệ hoá - vật liệu

Lưu chất siêu tới hạn CO_2 được dùng trong phân tích, xúc tác phản ứng đóng vai trò là dung môi, dung môi tạo kết tủa (antisolvent), dung môi ả (cosolvent), chất tan, môi trường phản ứng (reaction medium). Trong phân tích cấu trúc thì thường sử dụng kỹ thuật sắc ký lỏng siêu tới hạn. Trong xúc tác thì thường dùng xúc tác phản ứng tổng hợp hydrogen hoá. Trong vật liệu thường dùng kỹ thuật này để điều chế các hạt có cấu trúc nano (nanoparticles) hoặc tạo lớp phủ bề mặt [13].

Bouchaour và cộng sự nghiên cứu về vai trò của CO_2 siêu tới hạn trong sấy khô một vật liệu bán dẫn là silicon xốp. Kỹ thuật CO_2 siêu tới hạn đáp ứng mục tiêu tạo ra vật liệu silicon nhiều lỗ tốt hơn dùng dung môi axit (hydrofluoric acid), vật liệu với bề mặt phẳng, cấu trúc xốp đồng nhất, độ dày, độ xốp cao lên đến 95%, cải thiện thuộc tính quang học của vật liệu. Vì vậy, CO_2 siêu tới hạn là một kỹ thuật tiềm năng trong làm khô vật liệu bán dẫn silicon thân thiện với môi trường và đảm bảo an toàn sức khỏe cho con người [14].

Một nghiên cứu thú vị khác về ứng dụng SCO_2 để sấy khô trong sản xuất polymer nguồn gốc thực vật cho ngành dược phẩm. Iman Akbari và cộng sự dùng SCO_2 sấy khô chất nhầy hạt húng quế để tạo thành polymer cấu trúc nano. Nghiên cứu chứng minh được hình thái và độ đồng đều của sản phẩm có thể điều khiển được. Tính bám dính sinh học tốt và nhiều hoạt chất có thể được tải vào vật liệu nano nhằm tăng phóng thích thuốc tại chỗ [15].

Ngoài ra, với một phần đặc tính vật lý của chất lỏng, CO_2 siêu tới hạn có khả năng được tận dụng vào quá trình giặt

khô, giảm tiêu thụ hóa chất trong quá trình giặt nhằm bảo vệ môi trường. Nhiều nghiên cứu đã được tiến hành về ý tưởng này, trong đó nghiên cứu của Ying Lin và cộng sự, cho thấy CO_2 siêu tới hạn có khả năng đạt được mức độ tẩy rửa 0,01 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ đối với chất bẩn kỵ nước. Hệ thống này có tiềm năng được ứng dụng cho các dự án vũ trụ trong tương lai [16].

2.3 Công nghệ chiết tách - bào chế dược

Thông thường, các dung môi hữu cơ được sử dụng nhiều trong quá trình chiết tách hợp chất thiên nhiên từ dược liệu dựa vào nguyên tắc hòa tan khác nhau của các phân tử khác nhau. Tuy nhiên, trong quá trình này có thể tạo thành các sản phẩm phụ (thường là ester hoặc ether với methanol hoặc ethanol) hoặc tồn dư dung môi. Dẫn đến quá trình tinh sạch và xử lý sản phẩm phức tạp, thời gian sản xuất kéo dài và tiêu tốn thêm năng lượng.

Jin-Zhe He và cộng sự ứng dụng SCO_2 trong chiết xuất flavonoid từ vỏ bưởi (*Citrus grandis* (L.) Osbeck). Với điều kiện chiết xuất đã được tối ưu, sản lượng flavonoid thu được là cao nhất đạt 2,37%, đồng thời hoạt tính kháng oxy hoá bằng phép thử DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) và ABTS (2,2'-azino-bis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) của flavonoid chiết bằng SCO_2 cao hơn so với chiết bằng phương pháp truyền thống [17].

Nhiều nghiên cứu cũng cho thấy, SCO_2 thích hợp sử dụng trong chiết xuất dầu và tinh dầu chất lượng cao từ nguồn thực vật. Tinh dầu là hỗn hợp nhiều thành phần không tan trong nước và thường có mùi thơm được chiết xuất từ các bộ phận khác nhau của thực vật như: lá, thân, hoa, rễ,...Tinh dầu được sử dụng rộng rãi trong các lĩnh vực dược phẩm, trị liệu, chăm sóc sức khỏe, làm đẹp trên toàn thế giới.

Năm 2007, một nghiên cứu so sánh chiết tinh dầu chòai đình hương của phương pháp SCO_2 với ba phương pháp chiết truyền thống (chưng cất, chưng cất lôi cuốn hơi nước và chiết Soxhlet). Kết quả cho thấy hiệu suất chiết bằng SCO_2 đạt 19,6% so với phương pháp chưng cất (11,5%) và chưng cất lôi cuốn hơi nước (10,1%). Ngoài ra, thời gian chiết cũng ngắn hơn nhiều, chỉ 2 giờ so với từ 4 - 10 giờ của các phương pháp thông thường [18].

Một thí dụ điển hình về hiệu quả kinh tế của công nghệ SCO_2 mang lại là ngành công nghiệp dầu cọ của Malaysia. Theo báo cáo tình hình xuất nhập khẩu dầu thế giới, Malaysia là quốc gia sản xuất dầu cọ lớn đứng thứ 2 thế giới, đóng góp khoảng 48 triệu tấn chiếm 30% tổng sản phẩm từ mỡ và dầu thế giới (dầu đậu chỉ chiếm 23%). Việc sử dụng công nghệ SCO_2 đã mang lại hiệu quả đáng kể về hiệu suất và kinh tế trong ngành sản xuất dầu cọ, dầu hạt cọ và các thành phần thứ cấp như carotenes, tocopherols của nước này. Ngoài việc nâng cao hiệu suất chiết, SCO_2 còn đóng vai trò là một máy khử trùng cho sợi dầu cọ (palm

fiber oil), là một loại sản phẩm phụ trong quá trình chiết này [19].

Gần đây ứng dụng SCO_2 trong chiết xuất dược chất và tinh dầu từ dược liệu thiên nhiên ở Việt Nam phát triển mạnh mẽ. Phan Tại Huân và cộng sự sử dụng SCO_2 để ly trích tinh dầu gấc. Kết quả cho thấy tinh dầu thu được chứa hàm lượng vi chất (vitamin E, β -caroten, lycopene) cao hơn gấp nhiều lần so với công nghệ truyền thống (ép gia nhiệt hoặc sử dụng dung môi hữu cơ), hiệu quả trích ly dầu gấc lên đến 91,5 % [20]. Một nghiên cứu về khảo sát thành phần hoá học của tinh dầu tiêu chiết bằng SCO_2 cũng cho thấy ưu điểm của phương pháp này là thời gian chiết ngắn, thành phẩm tương tự với tinh dầu tự nhiên và có thể thông qua điều khiển áp suất chiết để thu được cấu tử mong muốn [21]. Năm 2014, Viện công nghệ hoá học đã chế tạo thành công thiết bị phục vụ sản xuất tinh dầu Trầm từ cây Dó dung tích 50 lít sử dụng công nghệ SCO_2 . Cho thấy khả năng ứng dụng công nghệ này ở Việt Nam là rất lớn [22].

2.4 Ứng dụng khác

Công nghệ sử dụng lưu chất CO_2 siêu tới hạn còn được ứng dụng trong các lĩnh vực khác như trong công nghệ mạ, khử trùng thiết bị y tế, dùng làm chất tẩy rửa, công nghệ nhuộm, dung môi trong phản ứng hạt nhân, tách ion kim loại, tạo micelle và vi nhũ trong chất siêu tới hạn,...

Nghiên cứu của Nguyễn Văn Cường, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh ứng dụng công nghệ mạ nickel trong môi trường siêu tới hạn CO_2 ở Việt Nam. Các kết quả nghiên cứu ban đầu cho thấy lớp mạ sáng bóng, nhẵn, độ hạt của lớp mạ nickel có thể đạt đến nhỏ hơn 10 nm, độ cứng có thể đạt đến 800Hv. Độ hạt và độ cứng của lớp mạ nickel này chưa bao giờ đạt được bằng các phương pháp mạ truyền thống, cho dù sử dụng trong điều kiện thực nghiệm lí tưởng và có sử dụng các chất phụ gia. So với lớp mạ truyền thống, độ cứng của lớp mạ nickel trong môi trường siêu tới hạn CO_2 cao gấp đôi, ứng suất bền, độ chịu mài mòn và chịu ăn mòn hóa học cao hơn. Áp dụng công nghệ mạ trong môi trường siêu tới hạn CO_2 vào công nghiệp ở Việt Nam sẽ góp phần tạo điều kiện cho các nhà nghiên cứu Việt Nam

tiếp cận công nghệ mới nhằm áp dụng nâng cao chất lượng và hiệu quả sản xuất [23].

Craig S. Turchi nghiên cứu ứng dụng CO_2 siêu tới hạn trong tập trung năng lượng mặt trời. Việc các nhà máy sử dụng dầu hoặc hơi nước để chuyển năng lượng mặt trời thành năng lượng điện với giới hạn nhiệt độ cao hơn mức thích hợp làm giảm hiệu suất nhà máy. Nghiên cứu cho rằng CO_2 siêu tới hạn thể hiện tiềm năng trong tập trung năng lượng mặt trời, tăng hiệu quả làm việc của hệ thống bằng cách loại bỏ trao đổi nhiệt và giảm kích thước các thiết bị [24].

3. Triển vọng và kết luận

Công nghệ sử dụng lưu chất CO_2 siêu tới hạn là một kĩ thuật hiện đại có triển vọng ứng dụng trong nghiên cứu và sản xuất ở nhiều lĩnh vực khác nhau đã được chứng minh là mang lại hiệu quả cao. Công nghệ này đã có những bước phát triển đáng kể, và thích hợp ứng dụng cho nhiều lĩnh vực khác nhau như thực phẩm, y dược, bào chế, hóa học, vật liệu, môi trường... Ứng dụng sớm và rộng rãi nhất của công nghệ này là trong ngành công nghiệp thực phẩm. Công nghệ này cho phép sản xuất một loạt sản phẩm đồng nhất, chất lượng cao về cảm quan và hàm lượng chất dinh dưỡng, hạn chế hình thành các sản phẩm phụ và tiết kiệm năng lượng. Gần đây, trong lĩnh vực chăm sóc sức khỏe cộng đồng, nhu cầu phát triển các loại thuốc, chế phẩm mới có nguồn gốc thảo dược sử dụng trong điều trị và hỗ trợ điều trị bệnh ngày càng được quan tâm. Tuy nhiên, để phân tách được các thành phần có hoạt tính cao từ các bộ phận khác nhau của dược liệu với hiệu suất và độ tinh sạch cao, đồng thời lưu giữ tối đa hoạt tính là vấn đề nan giải đối với công nghệ truyền thống. Các dung môi hữu cơ sử dụng trong chiết tách thường khó loại sạch và có nguy cơ ảnh hưởng đến sức khỏe người dùng. Do đó, lưu chất CO_2 siêu tới hạn được xem là dung môi xanh sạch và hứa hẹn mang lại cuộc cách mạng cho công nghiệp chiết xuất cũng như phương pháp sản xuất hoạt chất thiên nhiên mới.

Tài liệu tham khảo

1. J. P. Balentić, Đ. Aćkar, A. Jozinović, J. Babić, B. Miličević, S. Jokić, B. Pajin, D. Šubarić, Application of supercritical carbon dioxide extrusion in food processing technology, *Hemijiska Industrija*, 71 (2017) 127–134.
2. X. Zhang, S. Heinonen, E. Levänen, Applications of supercritical carbon dioxide in materials processing and synthesis, *RSC Advances*, 4 (2014) 61137–61152.
3. E.J. Beckman, Supercritical and near-critical CO_2 in green chemical synthesis and processing, *The Journal of Supercritical Fluids*, 28 (2004) 121–191.
4. K. Ruttarattanamongkol, M.E. Wagner, S.S.H. Rizvi, Properties of yeast free bread produced by supercritical fluid extrusion (SCFX) and vacuum baking, *Innov. Food Sci. Emerg.* 12 (2011) 542–550.
5. B. Bilgi Boyacı, J.Y. Han, M.T. Masatcioglu, E. Yalcin, S.Celik, G.H. Ryu, H. Koksel, Effects of cold extrusion process on thiamine and riboflavin contents of fortified corn extrudates, *Food Chem.* 132 (2012) 2165–2170.
6. S. Singkhornart, S. Edou Ondo, G.H. Ryu, Influence of germination and extrusion with CO_2 injection on

- physicochemical properties of wheat extrudates, *Food Chem.* 143 (2014) 122–131
7. S.E. Ondo, S. Singkhornart, G.-H. Ryu, Effects of die temperature, alkalized cocoa powder content and CO₂ gas injection on physical properties of extruded cornmeal, *Journal of Food Engineering*, 117 (2013) 173-182.
 8. Y.-Y. Wang, G.-H. Ryu, Physical properties of extruded corn grits with corn fibre by CO₂ injection extrusion, *Journal of Food Engineering*, 116 (2013) 14-20.
 9. Y.-Y. Wang, G.-H. Ryu, Physicochemical and antioxidant properties of extruded corn grits with corn fiber by CO₂ injection extrusion process, *Journal of Cereal Science*, 58 (2013) 110-116.
 10. S. Singkhornart, S. Edou-ondo, G.-H. Ryu, Influence of germination and extrusion with CO₂ injection on physicochemical properties of wheat extrudates, *Food chemistry*, 143 (2014) 122-131.
 11. M.K. Sharif, S.S. Rizvi, I. Paraman, Characterization of supercritical fluid extrusion processed rice–soy crisps fortified with micronutrients and soy protein, *LWT-Food Science and Technology*, 56 (2014) 414-420.
 12. I. Paraman, M.E. Wagner, S.S. Rizvi, Micronutrient and protein-fortified whole grain puffed rice made by supercritical fluid extrusion, *Journal of agricultural and food chemistry*, 60 (2012) 11188-11194.
 13. E.K. Silva, M.A.A. Meireles, Encapsulation of food compounds using supercritical technologies: applications of supercritical carbon dioxide as an antisolvent, *Food and Public Health*, 4 (2014) 247-258.
 14. M. Bouchaour, N. Diaf, A. Ould-Abbas, M. Benosman, L. Merad, N. Chabane-Sari, The Role of Supercritical CO₂ in the Drying of Porous Silicon, *Revue des énergies renouvelables*, (2003) 99-102.
 15. I. Akbari, S.M. Ghoreishi, N. Habibi, Supercritical CO₂ Generation of Nanometric Structure from Ocimum basilicum Mucilage Prepared for Pharmaceutical Applications, *AAPS PharmSciTech*, 16 (2015) 428-434.
 16. Y. Lin, F. Zhong, D. Aveline, M. Anderson, S. Chung, J. Mennella, W. Schubert, Supercritical CO₂ Cleaning for planetary protection and contamination control, *Aerospace Conference*, 2010 IEEE, IEEE, 2010, pp. 16.
 17. J.-Z. He, P. Shao, J.-H. Liu, Q.-M. Ru, Supercritical carbon dioxide extraction of flavonoids from pomelo (*citrus grandis* (L.) osbeck) peel and their antioxidant activity, *International journal of molecular sciences*, 13 (2012) 13065-13078.
 18. W. Guan, S. Li, R. Yan, S. Tang, C. Quan, Comparison of essential oils of clove buds extracted with supercritical carbon dioxide and other three traditional extraction methods, *Food Chemistry*, 101 (2007) 1558-1564.
 19. M.J.H. Akanda, M.Z.I. Sarker, S. Ferdosh, M.Y.A. Manap, N.N.N. Ab Rahman, M.O. Ab Kadir, Applications of supercritical fluid extraction (SFE) of palm oil and oil from natural sources, *Molecules*, 17 (2012) 1764-1794.
 20. H. MI, Công nghệ trích ly sử dụng CO₂ siêu tới hạn nâng giá trị quả gấc, *Stinfo* 2014.
 21. M.T.C. Phan Nhật Minh, Phùng Văn Trung, Bùi Trọng Đạt, Nguyễn Ngọc Hạnh, Khảo sát thành phần hóa học của tinh dầu tiêu (*Piper nigrum* L.) chiết xuất bằng phương pháp carbon dioxide lỏng siêu tới hạn, *Tạp chí Nghiên cứu Khoa học*, 2006 (2006) 97-102.
 22. Nghiên cứu chiết xuất tinh dầu bằng công nghệ CO₂ siêu tới hạn từ cây cỏ thiên nhiên của Việt Nam, (2014). <http://vast.ac.vn/tin-tuc-su-kien/tin-khoa-hoc/trong-nuoc/2004-nghien-cuu-chiet-xuat-tinh-dau-bang-cong-nghe-co2-sieu-toi-han-tu-cay-co-thien-nhien-cua-viet-nam> cập nhật ngày 25/6/2014.
 23. N.V. Cường, Nghiên cứu ứng dụng công nghệ mạ Nickel trong môi trường siêu tới hạn CO₂ ở Việt Nam, *Trường Đại học Sư phạm kỹ thuật Vinh*, (2014).
 24. C.S. Turchi, Z. Ma, J. Dyreby, Supercritical CO₂ for application in concentrating solar power systems, *SCC CO₂ Power Cycle Symposium*, RPI, Troy, NY, 2009, pp. 1-5

Applications of supercritical carbon dioxide in research and manufacturing industries

Doan Thi Ngan¹, Le Tran Thao Nguyen¹, Hoang Hong Hanh², Bui Minh Quang³, Nguyen Le Tuyen³, Le Van Minh³

¹Faculty of Food, Chemical & Environmental Sciences, ²Institute of High Tech, Nguyen Tat Thanh University,

³Research Center of Ginseng and Medicinal Materials, Ho Chi Minh City.

Abstract A wide range of technologies is available for the extraction of active components. Traditional extraction technologies are difficult to achieve high extraction efficiency. In addition, the products of these extractions might be not suitable for using in food, medicine or direct applications to luxury cosmetic products due to decomposed substance, byproducts and residues of toxic. Therefore, many extraction technologies are developed. The choice of appropriate technique depends on the economic feasibility and suitability of the process to the particular situation. Among of these, supercritical technology, a modern technology, which has been widely used in the research and production, especially for the fluid carbon dioxide (CO₂). This solvent shows many important advantages, such as without solvent residue, nontoxicity and green solution. In this article, we reviewed the recent studies and potential applications of supercritical fluid CO₂ in research and industrial scale. This might be useful to improving the quality of products. It is especially important in the competitive market during the global integration.

Keywords supercritical CO₂, extraction technology, pharmaceuticals

