

## الباب الخامس

# تطبيقات تكنولوجيا النانو في التصنيع الغذائي ومنتجاته



## الباب الخامس

### تطبيقات تكنولوجيا النانو

### في التصنيع الغذائي ومنتجاته

#### مقدمة

تتعدد تطبيقات النانوتكنولوجيا المتوقعة في مجال علوم وتكنولوجيا الأغذية لتشمل نواحي متعددة يمكن تقسيمها الي أربع مجالات رئيسية يندرج تحت كل منها مجالات فرعية علي النحو التالي:

#### ١- التصنيع Processing

١-١ انتقال الحرارة/انتقال الكتلة Heat/mass transfer

١-٢ هندسة التفاعلات علي المستوى النانو Nanoscale reaction engineering

١-٣ النانوتكنولوجيا الحيوية Nanobiotechnology

١-٤ التثبيد الجزيئي Molecular synthesis

#### ٢- الأنظمة

٢-١ حبيبات النانو nanoparticles

٢-٢ مستحلبات النانو nanoemulsions

٢-٣ مواد النانو المهندسة nanostructured materials

٢-٤ التركيبات النانو nanocomposites

### ٣- المنتجات

٣-١ التوصيل delivery

٣-٢ التعبئة packaging

٣-٣ التوليف formulation

### ٤- سلامة الغذاء والأمان الحيوي Food Safety and Biosecurity

٤-١ محسات النانو nanosensors

٤-٢ المتتبعات النانو nanotracers

وقد تناولنا في أبواب أخرى بعضاً من هذه التطبيقات لذلك فسوف نتناول في هذا الباب التطبيقات المباشرة لتكنولوجيا النانو في التصنيع الغذائي والتي لم يتم تناولها أو تم تناولها بصورة مختصرة في الأبواب الأخرى.

#### ١- تثبيت الأنزيمات علي حبيبات النانو الوظيفية Immobilization of Enzymes on Fuctionalized Nanoparticles.

تلعب الأنزيمات دوراً هاماً كعوامل مساعدة في كثير من الصناعات الغذائية. غير أن إرتفاع تكاليف إستخدامها كثيراً ما يقف عقبة في سبيل الاستخدام الصناعي لها. كذلك فإن سرعة تفاعلات الأنزيمات المضافة الي الغذاء علي صورتها الحرة يصعب التحكم فيها. لذلك أتجهت الدراسات الي محاولة تعظيم الاستفادة من الأنزيمات في التصنيع الغذائي لجعل إستخدامها له جدوي اقتصادياً.

وقد إستخدمت الأنزيمات المكبسلة في الليبوزومات في صناعة منتجات الألبان منذ ما يقرب من عقدين تقريباً. ففي عام ١٩٨٥ أضيفت الأنزيمات

المحللة للبروتين والمكبسلة في ليبوزومات متعددة الطبقات الي خثرة الجبن ووجد أنها تثبط التحلل السريع في بيتا-كازين مما ينتج عنه جبن له قوام أكثر صلابة بعد انتهاء فترة التسوية وفي دراسة أخرى أضيفت الأنزيمات المحللة للبروتين والمكبسلة في الليبوزومات تسرع من تسوية الجبن. كذلك أضيف أنزيم الليبوزومات في الليبوزومات في صناعة الجبن التشدر مما أسرع من تكون نكهة الجبن غير أن إضافة كميات كبيرة من الأنزيم أدت الي تدهور في خواص الناتج. من ناحية أخرى فقد أضيف أنزيم البيتا جلاكتوسيداز المكبسل في الليبوزومات الي اللبن لمعالجة مشاكل عدم تحمل اللاكتوز عند بعض الأشخاص. وقد وجد أن الأنزيم يحتفظ بكفائته لمدة أطول عن الأنزيم علي صورة حرة. وقد أعتمدت الدراسات السابقة علي الليبوزومات ذات الأحجام الميكرو ولم تتناول أي من الدراسات تحضير الأنزيمات المكبسلة في الليبوزومات النانو وهو إتجاه قد يكون له تأثيرات أكبر من الليبوزومات الميكرو.

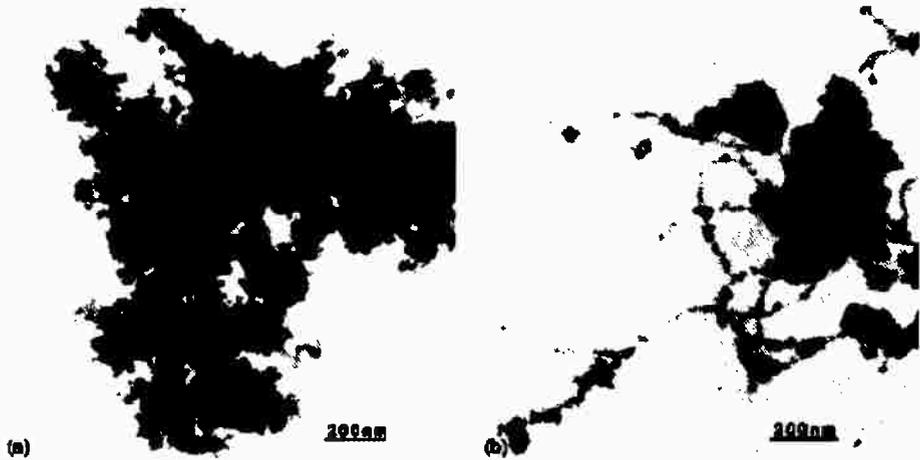
ومن الأساليب المستخدمة لتعظيم الاستفادة من الأنزيمات في التصنيع الغذائي تثبيتها علي مواد حاملة لكي يمكن إعادة استخدامها عدة مرات ويسهل فصلها من مواد التفاعل دون الحاجة الي معاملات خاصة لتخليصها من نواتج التفاعل.

وقد استخدمت المواد العضوية المتبلرة (الطبيعية والصناعية) كثيرا كمواد حاملة لتثبيت الأنزيمات. وبالرغم من الامكانيات الكبيرة للمواد العضوية المتبلرة من حيث تنوعها وسهولة تحضيرها نسبيا بالخواص المطلوبة والمناسبة لهذا الغرض الا أن بها بعض أوجه القصور من حيث ضعف ثباتها في مواجهة النيمات الميكروبية والمذيبات العضوية..الخ. لذلك أتجهت

المحاولات الي إستخدام المواد غير العضوية مثل جيل السليكا والألومينا والزيوليت كمواد حاملة نظرا لثباتها الحراري والميكانيكي العالين ومأمونيتها ومقاومتها العالية لمهاجمة الميكروبات أو المذيبات العضوية غير أن كثيرا من المواد الحاملة غير العضوية ذات مسطح نسبي منخفض بالإضافة الي إرتفاع تكاليفها. فعلي سبيل المثال تم حديثا تحضير جيل السليكا من مركبات السيلان العضوية organic silane و مواد السليكون MCM-41, SBA-15, mesocellular form (MCF) وأستخدمت في تحميل الأنزيمات غير أن صغر مسطحها النسبي يؤدي الي ضعف كمية الأنزيم التي يمكن تثبيتها عليه بالإضافة الي أن تحميل الأنزيمات علي هذه المواد يتم بأسلوب الاحتجاز entrapment وهو ما يعني تعرض الأنزيمات المحملة للفقء عن طريق الانتشار.

وحديثا تم تحضير سليكا وظيفية ذات مسام نانو functionalized nano silica dioxide (NSD) لها خواص ممتازة في تثبيت الأنزيمات. وقد طورت هذه المستحضرات للفادة من مسطحها النسبي العال و ذلك بادخال مجموعات سطحية فعالة عليها تزيد من كفاءة تثبيت الأنزيمات عن طريق التفاعلات الكيماوية التعاونية بدلا من أسلوب الاحتجاز. وقد تم تحضير ثلاث مشتقات من NSD تختلف في المجموعات الفعالة التي تحملها ومدى بعد هذه المجموعات عن سطح الحبيبة بما يتيح للأنزيم حرية الحركة في وسط التفاعل. واطلق علي هذه التحضيرات NSD1, NSD2, NSD3 تتدرج تزايدا في بعد المجموعة الفعالة عن سطح الحبيبة بمعنى أن المجموعات الفعالة تبعد عن سطح المستحضر NSD3 مسافة أبعد بالمقارنة بالمستحضرات الأخرى وكلها تحمل مجموعة ألدهيدية فعالة تتفاعل مع مجموعة الأمين في الأنزيم مكونة رابطة تعاونية تبعا لقاعدة شيف Shiff-base دون التأثير علي فعالية الأنزيم. وقد أستخدمت هذه

المواد في تثبيت أنزيم ليبيز البنكرياس. ويوضح شكل (١-٥) توزيع الأنزيم علي سطح حبيبات النانو المسامية



شكل (١-٥) الفحص بالميكروسكوب الأليكتروني للسليكا الوظيفية ذات المسام النانو المثبت عليها أنزيم ليبيز البنكرياس (a) NSD1 (b) NSD3 الأنزيم بلون فاتح عن جبل السليكا (Bai et al, 2006).

ففي الصورة (a) من الشكل ١-٥ والتي تمثل أنزيم الليباز المحمل علي NSD1 يظهر التوزيع المنتظم للأنزيم علي سطح مادة التحميل وللأنزيم المحمل علي NSD2 نفس الشكل أما الصورة (b) فتظهر ارتباط الأنزيم مع NSD3 وفيها يبدو الأنزيم محملا علي الذراع الممتد للمجموعة الفعالة وهذا الشكل هو الأكثر مناسبة لتثبيت الأنزيمات علي المجموعات الفعالة الجانبية والذي يسمح بحرية انتقال مادة التفاعل ونواتجة من والي وسط التفاعل كما أن تثبيت الأنزيمات من خلال تفاعل Schiff-base لا يسمح بانفصال الأنزيم عن المادة المحمل عليها.

وقد وجد أن نسبة الأنزيم المحمل تتوقف علي الكمية المضافة منه الي مادة التحميل وأن نشاط الأنزيم المحمل عند أفضل نسبة تحميل كان ٧٣، ٧٩، ١١٨% من نشاط الأنزيم الحر عند استخدام مواد التحميل NSD1, NSD2, NSD3 علي التوالي. وتفسر زيادة فعالية الأنزيم المحمل علي NSD3 عن الأنزيم الحر الي توفيره ظروف محيطية تزيد من فعالية الأنزيم أو تقلل من التأثير التراكمي المثبط لنواتج التفاعل.

كذلك وجد أن معدل تثبيت الأنزيم علي حبيبات النانو يزيد بزيادة مدة التفاعل حتي ٨ ساعات ثم يأخذ في التناقص بعد ذلك كما أن أفضل pH يتم تثبيت الأنزيم عندها كانت pH ٨. وقد جرب الأنزيم المثبت علي حبيبات النانو في تحليل زيت الزيتون ووجد أن أقصى درجة لفعالية الأنزيم كانت عند pH ٧ و٥ في حالة الأنزيم الحر، ٨ بالنسبة للأنزيم المحمل. أما بالنسبة لدرجة الحرارة المثلي للتفاعل فكانت ٣٥°م في حالة الأنزيم المضاف علي صورة حرة وترتفع الي ٥٠-٦٠°م في حالة الأنزيم المحمل علي حبيبات النانو وهو ما يعني زيادة مقاومة الأنزيم المحمل للحرارة العالية فقد وجد أنه يحتفظ بدرجة نشاط نسبي تزيد عن ٩٠% في مدي درجات الحرارة ٤٠-٦٠°م. كذلك وجد أن الأنزيم المحمل يحتفظ بنسبة عالية من نشاطه لمدة أطول علي درجات الحرارة العالية فبينما لا يحتفظ الأنزيم الحر بأكثر من ٣٠% من نشاطه علي درجة ٧٠°م لمدة ١٥ ساعة نجد أن الأنزيم المحمل يحتفظ بحوالي ٧٠% من نشاطه لمدة ساعتين تحت نفس الظروف. ولم توجد أختلافات واسعة في الثبات الحراري للأنزيم المحمل علي مواد التحميل الثلاث السابقة. وقد تميز الأنزيم المحمل علي حبيبات النانو بتعدد مرات استخدامه دون التأثير الكبير علي نشاطه

فقد وجد أن الأنزيم المحمل علي NSD3 يحتفظ بحوالي ٧٢% من نشاطه الأصلي بعد استخدامه ١٥ مرة.

ومن التطبيقات الواعدة للأنزيمات المحملة إستخدامها في مواد التعبئة النشطة Active packaging حيث تعمل الأنزيمات المحملة علي تثبيط الميكروبات غير المرغوبة في الغذاء المعرض. وبالرغم من إمكانية إستخدام الأنزيمات المحملة علي حبيبات النانو في مواد التعبئة الا أن هذا الاتجاه غير مقبول حاليا للمخاطر المحتملة من استخدام حبيبات النانو وأفضل طرق تحميل الأنزيمات حاليا علي مواد التعبئة هي التغطية متعددة الطبقات ذات السمك النانو لكل طبقة. فعلي سبيل المثال أمكن تحضير فيلم نانو من بوليمر حمض الجلوتاميك العديد والذي يحمل شحنة سالبة والليوزيم ذو الشحنة الموجبة في وسط حمضي وقد ذكر أن هذا الفيلم يثبط نمو بكتريا *Micrococcus luteus* مما يمكن استخدامه في تغطية الأسطح الداخلية للعبوات الغذائية.

ولاشك أن هذا الاتجاه سوف يفتح مجالا واسعا لتثبيت مختلف الأنزيمات بنفس الأسلوب ومواد التحميل مما قد يجعل من استخدام الأنزيمات المحملة علي حبيبات النانو غير العضوية له جدوي اقتصادية في كثير من الصناعات الغذائية.

## ٢- الكبسلة النانو لمضادات الأكسدة في الليبوزومات ودورها في الأغذية

تمثل تفاعلات الأكسدة أهمية كبيرة في التصنيع الغذائي وفي سلامة وصحة الجسم. فبالنسبة للأغذية فان تفاعلات الأكسدة تمثل الأساس في التغيرات غير المرغوبة في الزيوت والدهون والأغذية الغنية بالدهن وهو ما يؤدي الي عدم تقبل المستهلك للمنتج بالإضافة الي تدهور قيمته الغذائية. ومن ناحية أخرى

يعزي الي تفاعلات الأوكسدة في الجسم إرتباطها المباشر بكثير من الأمراض المزمنة المصاحبة للشيخوخة مثل السرطان وأمراض القلب والأوعية الدموية والكتاركت والسكري. وللوقاية من الآثار الضارة لتفاعلات الأوكسدة عادة ما تضاف مواد لها خواص مضادة للأوكسدة تعرف باسم مضادات الأوكسدة. وهناك العديد من مضادات الأوكسدة مثل فيتامين E وفيتامين C (حمض الأسكوربيك ومشتقاته) والمركبات الفينولية والتي تختلف في ميكانيكية عملها في تثبيط تفاعلات الأوكسدة. وعند إضافة مضادات الأوكسدة الي الأغذية فسان عملها لا يقتصر علي حماية الخواص الحسية والقيمة الغذائية للغذاء من التدهور بل قد يمتد عملها في الجسم اذا أمكنها الوصول الي الأنسجة أو الخلايا المستهدفة. وقد وضعت عدة إشتراطات في مضادات الأوكسدة المستخدمة في حفظ الأغذية علي النحو التالي:

- ١- أن تحتفظ بفعاليتها في تضاد الأوكسدة وحماية المنتج النهائي لفترة طويلة أثناء التخزين والتداول.
- ٢- الا تكسب المنتج لونا أو رائحة أو طعما غير مرغوب
- ٣- أن تتحمل المعاملات الحرارية
- ٤- أن تكون فعالة باضافة تركيزات قليلة منها
- ٥- سهولة إضافتها إلى الغذاء.

وبالرغم من أن معظم مضادات الأوكسدة المستخدمة لوقاية الجسم من التأثيرات الضارة لتفاعلات الأوكسدة تكون فعالة في التطبيقات المعملية الا أنها لا تعطي في التطبيق العملي سواء علي حيوانات التجارب أو الانسان الا نتائج متواضعة. وقد عزى ذلك أساسا الي عدم قدرة مضادات الأوكسدة علي عبور جدر الخلايا و/أو سرعة التخلص منها في الخلايا ولذلك فان الربط بين النشاط المضاد للأوكسدة للمركبات الحيوية والمقدر معمليا وتأثيرها عمليا في الجسم معقد

جدا نظرا لوجود كثير من النقاط الحاكمة والتي لم يتم حسمها بعد مثل إمتصاصها وفعاليتها الحيوية ونواتج تمثيلها في الجسم. فعلى سبيل المثال أظهرت دراسة حديثة أن ١٥ نوعا مختلفا من جلوكوزيدات الأنثوسيانين في ثمار التوت تمتص في الجسم ثم يعاد إفرازها دون أن يحدث لها أي تغير في الجسم سواء في الإنسان أو فئران التجارب. لذلك فمن الضروري تبني وسائل تسرع من توصيل مضادات الأكسدة الي مختلف أنسجة وخلايا الجسم. ومن المتوقع أن يؤدي تطبيق تكنولوجيا الكبسلة النانو في الليبوزومات الي تحقيق كل الاعتبارات السابقة.

وبالرغم من أن طرق الكبسلة الميكرو التي استخدمت سابقا لحماية مضادات الأكسدة في الأغذية أثبتت نجاحا في حماية المنتج الا أن امتداد عملها كموصل لمضادات الأكسدة الي الأماكن المختلفة في الجسم بهدف حمايته من كثير من الأمراض المزمنة مازال في مراحل تطويره الأولية.

وكما هو الحال في أساليب توصيل العقاقير الي مختلف أجزاء الجسم فان توصيل أي مادة فعالة ومنها مضادات الأكسدة الي مناطق الجسم المختلفة يتأثر مباشرة بحجم حبيبات النظام الموصل. وعلى ذلك فان الكبسلة النانو لها القدرة علي زيادة الإتاحة الحيوية وتحسين إنطلاق المواد الفعالة والمساعدة في دقة الوصول الي الأماكن المستهدفة في الجسم بدرجة أفضل من الكبسولات الأكبر حجما microencapsulation.

يعتمد أحد الإتجاهات الواعدة في الكبسلة النانو لمضادات الأكسدة علي الأنظمة ذات الأساس الدهني. فقد أشارت كثير من الدراسات الي أن كبسلة مضادات الأكسدة والمواد الأخرى الفعالة حيويا في مواد التحميل ذات الأساس الدهني تحسن من فعاليتها العلاجية من خلال تسهيل وصولها الي الأماكن

الداخلية في الجسم وزيادة مدة بقاءها في الخلايا. ويمكن تلخيص مزايا أساليب الكبسلة النانو ذات الأساس الدهني فيما يلي:

- ١- لها القدرة علي إحتجاز مواد مختلفة الذوبان.
- ٢- إستخدام مواد ذات أصل طبيعي في تحضيرها علي نطاق صناعي.
- ٣- وصولها الي الأماكن المستهدفة بسهولة وباستخدام ميكانيكيات مختلفة.
- ٤- تحمي المواد المكبسلة من وصول الشوارد الحرة أو أيونات المعادن أو الأنزيمات من الوصول اليها والتي قد تؤدي الي تثبيط عملها بصورة أو بأخري.
- ٥- الثبات في وجود المواد الذائبة في الماء وخاصة في الاستخدامات ذات النشاط المائي العالي.

وقد تم تطوير مواد تحميل ذات أساس دهني وتركيب نانو كأنظمة حاملة للعقاقير في صور أنابيب نانو Lipid nano tubes وكرات نانو دهنية Lipid nanospheres وحببيات نانو دهنية Lipid nanoparticles ومستحلبات غير أن إستخدام هذه الأنظمة في مجال تكنولوجيا الأغذية مازال في بداياته ويحتاج الي مزيد من التطوير.

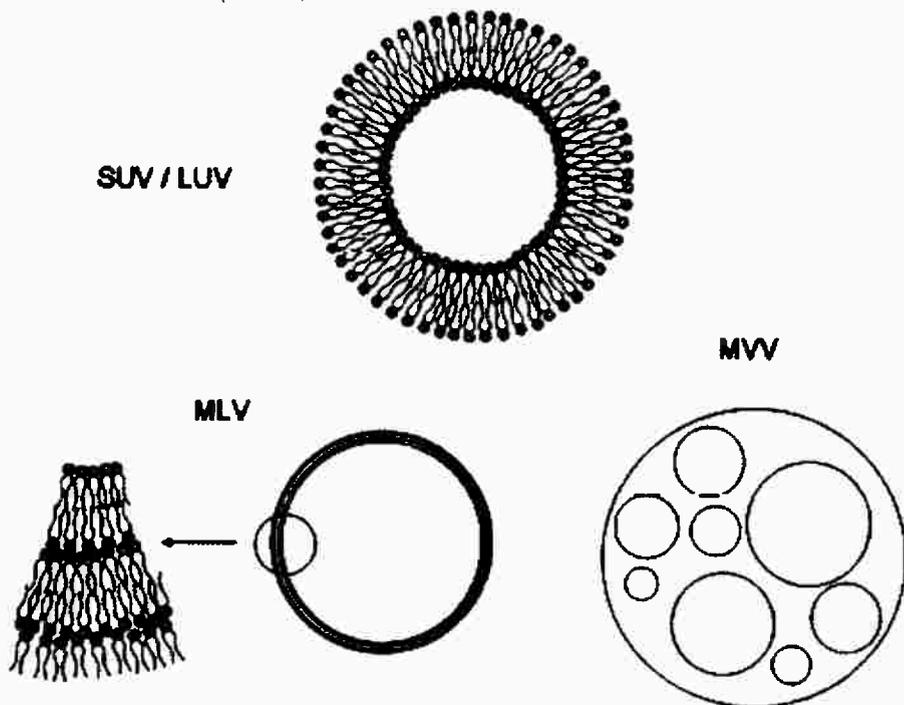
## ٢-١ الليبوزومات Liposomes

تتكون الليبوزومات من واحد أو أكثر من الليبيدات و/أو الفوسفوليبيدات ثنائية الطبقة وقد تحتوي علي جزيئات أخري مثل البروتينات في تركيبها. وهناك ثلاثة أنواع من الليبوزومات:

- ١- الليبوزومات متعددة الطبقات (MLV) multilamellar vesicle وتتكون من عدة حلقات مركزية ثنائية الطبقة.

٢- الليبوزومات متعددة الوحدات (MVV) وتتكون من عدد من الليبوزومات الأحادية غير المركزية ويضمها غلاف خارجي من طبقة ثنائية واحدة.

٣- الليبوزومات الأحادية unilamellar viscle شكل (٢-٥)



شكل ٢-٥: الأشكال المختلفة لليبوزومات MLV متعدد الطبقات، MVV متعدد الوحدات، SUV لليبوزومات أحادية.

ولا تختلف طرق تحضير الليبوزومات النانو عن الأكبر حجما غير أنها تحضر بحيث تحتفظ بدرجة مناسبة من الثبات لحجمها النانو.

## ٢-٢ الأركيوسوم Archaeosomes

هي مجموعة خاصة من الليبوزومات المحضرة باستخدام واحد أو أكثر من اللبيدات القطبية المستخلصة من بكتريا الأركيا والتي تعيش تحت ظروف غاية

في القسوة مثل الملوحة العالية أو ال pH المنخفض أو درجات الحرارة العالية. ولذلك فإن غشاء هذا النوع من البكتريا يحتوي علي أنواع فريدة من الليبيدات تساعدها علي تحمل العيش تحت هذه الظروف.

وبالمقارنة بالليبوزومات العادية (المحضرة باستخدام الفسفوليبيدات) فإن الأركيوزومات أكثر تحملا للحرارة ومقاومة للأكسدة والتحلل الأنزيمي كما أنها أكثر مقاومة لتأثير ال pH المنخفض بالمعدة وأملاح الصفراء في الأمعاء الدقيقة. وبالنظر الي أن بعض الأركيوزومات تحتفظ بشكلها البنائي وبكفاءة عالية للكبسلة بعد المعاملات الحرارية المستخدمة في التصنيع الغذائي فإنها تمثل أكثر الأنظمة النانو الناقلة كفاءة في نقل وتوصيل مضادات الأكسدة في الأغذية المصنعة.

وكما هو الحال في الليبوزومات فمن الممكن إدماج بعض المكونات مثل البوليمرات في الأركيوزومات لزيادة مدة بقاءها في الدورة الدموية. فقد وجد أن إدماج البولي أنيلين جليكول والأنزيم المساعد coenzyme Q10 في الأركيوزومات يغير من توزيعها في الأنسجة بعد الحقن الوريدي. كذلك وجد أن الحقن الوريدي أو تناول الأركيوزومات بالفم في حيوانات التجارب ليس له تأثير سام وهي نتائج مشجعة لاستخدام الأركيوزومات في كبسلة وتوصيل مضادات الأكسدة.

## ٢-٣ المخلبيات التعاونية النانو Nano co-chleates

هي مواد حاملة تحضر باستخدام لبيدات تحمل شحنة سالبة (مثل الفوسفاتيدل سيرين) وكاتيون ثنائي التكافؤ مثل الكالسيوم. وتأخذ هذه المركبات شكل السيجار المكون من عدة طبقات ليبيدية ثنائية صلبة ومطوية علي صورة حلزونية تحتجز بينها طبقة محدودة جدا من الوسط المائي وقد لا توجد هذه

الطبقة. ويمكن استخدام النانوكيلات التعاونية في توصيل المركبات غير القطبية أو ثنائية القطبية السالبة أو الموجبة. ونظرا لثباتها وحجمها النانو فان قدرة النانوكيلات التعاونية علي توصيل المركبات الحيوية عالية سواء عن طريق الفم أو الحقن بالاضافة الي مقاومتها للهدم في القناة الهضمية. ويرشح التركيب والخواص المميزين للنانوكيلات التعاونية استخدامها كأنظمة توصيل لمضادات الأكسدة.

وبالرغم من أهمية الطرق السابقة كأنظمة ناقلة لمضادات الأكسدة فهناك بعض العوامل التي تؤخر استخدامها في مجال الأغذية وهي:

١- تعتمد الطرق الشائعة لتحضير هذه الأنظمة علي استخدام مذيبات ومنظفات غير غذائية لإذابة المواد الليديية ولا يقتصر تأثير هذه الكيماويات علي التركيب البنائي وثبات المواد المحتجرة بل تظل في المنتج النهائي مما قد يساهم في سميته و التأثير علي ثباته.

٢- مدي إمكانية تطوير طرق التحضير اني النطاق الصناعي وبتكاليف اقتصادية

وهناك العديد من المحاولات للتغلب علي المشكلتين السابقتين وبعضها أعطي نتائج مشجعة ولذا من المنتظر أن يحتل هذا الاتجاه مكانا هاما في التصنيع الغذائي.

### ٣- الكبسلة النانو للملونات الطبيعية

يطلق أسم الكاروتينات علي مجموعة من الصبغات التي يتراوح لونها بين الأصفر والأحمر والتي توجد أساسا في الخضر والفاكهة وبدرجة أقل في

الأوراق النباتية الأخرى والأسماك وبعض الأغذية البحرية. ويختلف تركيب الكاروتينات كثيرا فبعضها ينتمي الي مجموعة الهيدروكربونات والبعض يحمل مجموعات جانبية فعالة مثل مجموعات الأيدروكسيل أو الكربوكسيل والتي تؤثر علي خواص وصفات تلك الصبغات. وللكاروتينات خواص غذائية وتأثيرات صحية متعددة تختلف باختلاف نوعها. ومن أكثر أنواع الكاروتينات دراسة بيتا-كاروتين لارتباطه بتكوين فيتامين أ في الجسم كما ذكرت كثير من الدراسات أهمية بيتا-كاروتين في الحد من مخاطر الإصابة بالأمراض المزمنة والذي يعزي أساسا لعمله كمضاد للأكسدة. ومن ناحية أخرى يعتبر بيتا-كاروتين أحد الملونات الطبيعية الهامة المستخدمة بكثرة في الأغذية المصنعة ويعتبر الجزر الأصفر أحد المصادر الغنية في بيتا-كاروتين.

وبالرغم من أهمية الخضروات الطازجة والفاكهة كمصدر للكاروتينات في الغذاء إلا أن الاتاحة الحيوية لها محدودة حيث تقدر الاتاحة الحيوية للكاروتينات من مصادرها الطبيعية بأقل من ١٠% من محتوى هذه المصادر من الكاروتينات ويعزي ذلك في المقام الأول الي طبيعة الكاروتينات غير المحبة للماء مما يجعلها غير ذائبة في الوسط المائي وبالتالي إستفادة الجسم منها.

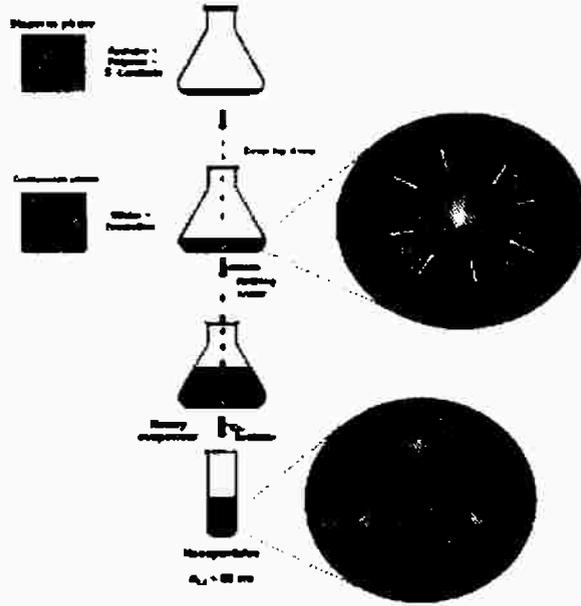
لذلك اهتمت الدراسات والتطبيقات العملية بتحويل الكاروتينات الي صور ذائبة في الماء مما يزيد من فرص إستفادة الجسم منها. وفي هذا المجال حظي تحميل بيتا-كاروتين في أحد أنظمة النانو باهتمام كبير بهدف جعله قابلا للذوبان والانتشار في الماء. ومن الدراسات التي اهتمت بتحويل بيتا-كاروتين الي أحجام النانو الآتي:

١- إذابة بيتا-كاروتين في الهكسان بنسبة ٣.٠% ثم خلطه مع محلول مائي (٥٠%) لمادة مستحلبة (توين ٢٠ Tween 20®) بنسبة ١ : ٩ : ٢ : ٨

وتجنيس المخلوط علي مرحلتين الأولى تجنيس مبدئي باستخدام خلاط عادي ثم تجنيس الناتج مباشرة بضغط عالي (١٤٠ ميغا باسكال 140 MPa) من ٣-١ مرات ثم إزالة مذيب الهكسان من الوسط بالتبخير تحت تفريغ. وقد وجد أن المحلول المائي المتبقي يحتوي علي مستحلب نانو لبيتا-كاروتين مع ثبات حجم حبيباته في وجود المادة المستحلبة في الوسط وأن أفضل أحجام تم التوصل اليها باستخدام خليط ١ : ٩ وأن حجم حبيبات المستحلب يقل بزيادة عدد مرات تعرض المستحلب للتجنيس (متوسط أقطار الحبيبات حوالي ٥٥ نانومتر/٣ مرات تجنيس) وقد وجد أن الناتج يحتفظ بحجم حبيبات النانو لمدة ١٢ أسبوع من التخزين علي درجة ٤°م ولكن يقل تركيز بيتا-كاروتين بالتخزين الي ٢٥-٤٠% من التركيز الأصلي بعد التحضير مباشرة.

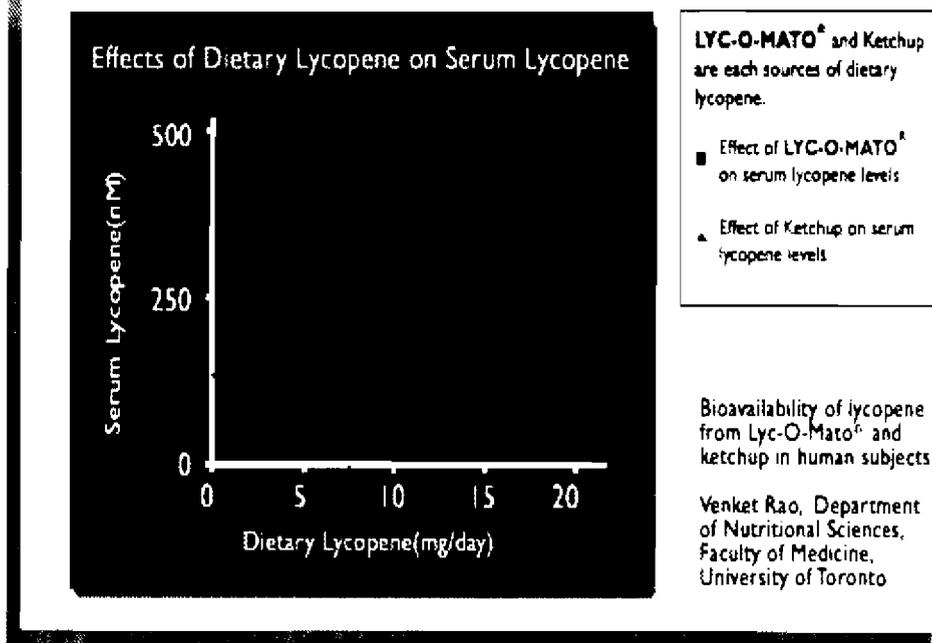
٢- تعتمد الطريقة الثانية علي تكوين حبيبات نانو من بوليمر حمض اللاكتيك العديد أو البوليمر التعاوني بين حمض اللاكتيك والجليكوليك مع جزيئات بيتاكاروتين وتثبيت حبيبات النانو المتكونة في الوسط باستخدام مادة مستحلبة (الجيلاتين/ توين ٢٠). وفي هذه الطريقة يتم خلط محلول من بيتا-كاروتين في الأسيتون مع محلول لبوليمر حمض اللاكتيك العديد أو البوليمر التعاوني له مع حمض الجليكوليك في الأسيتون ثم يضاف الخليط (٥ مل) الي محلول مائي (٣٠ مل) للمادة المستحلبة (١% جيلاتين أو توين ٢٠) مع التقليب المستمر ببطء لينتكون محلول رائق. يضاف الي المحلول السابق ٧٠ مل ماء يعمل علي إنتقال الأسيتون الي الوسط المائي تاركا حبيبات النانو المتكونة والمحتجز فيها بيتا-كاروتين. ويتم التخلص من الأسيتون من الوسط بالتبخير تحت تفريغ. ويوضح شكل (٣-٥) مراحل تحضير حبيبات نانو-بيتا-كاروتين بهذه الطريقة. وقد وجد أن متوسط قطر حبيبات بيتا-كاروتين

النانو الناتجة حوالي ٧٤، ٧٧ نانومتر في حالة استخدام الجيلاتين، توين ٢٠ علي التوالي وأن حجم الحبيبات لا يتغير لمدة ٦ أشهر من الحفظ علي درجة ٤م° وتتميز هذه الطريقة بالبساطة وعدم الحاجة الي التجنيس عالي الضغط غير أنه لم يحدد مدي ثبات الكاروتين أثناء التخزين.



شكل ٣-٥: خطوات تحضير حبيبات نانو بيتا كاروتين

وصناعيا أنتجت شركة باسف BASEF الليكوبين بتكنولوجيا النانو. ولهذا المنتج خاصية الذوبان في الماء. وقد وافقت هيئة الغذاء والدواء الأمريكية علي تداوله واعتبر من الدرجة الآمنة GRAS. وقد أظهرت الدراسات المقارنة علي إمتصاص الليكوبين من هذا المنتج مقارنة بالكتشب أن نسبة الليكوبين التي تظهر في الدم أعلي بكثير عند تناوله من الليكوبين المحضر بتكنولوجيا النانو (شكل ٤-٥).



شكل ٤-٥: منحنى تواجد الكاروتين في سيرم الدم بعد تناوله في صورة حبيبات نانو مقارنة بالكتشب.

#### ٤- تطبيقات تكنولوجيا النانو في مجال الزيوت

تتعرض الزيوت أثناء القلي الي تغيرات طبيعية وكيمائية بتأثير حرارة التسخين وتزداد شدة هذه التأثيرات بزيادة درجة حرارة التسخين والمدة التي يتعرض فيها الزيت الي درجة الحرارة العالية. وتنشأ عن تعرض الزيت لدرجة الحرارة العالية التغيرات الكيمائية التالية:

١- البلمرة وتنشأ عن إتحاد أكثر من جزيئ جليسردي من خلال الروابط غير المشبعة مكونة بلمرات ذات وزن جزيئي عالي تظهر في الزيت المسخن علي صورة تكتلات زيتية تعمل علي بطء الانتقال الحراري في الزيت وبالتالي زيادة المدة اللازمة للقلي. من ناحية أخرى فان تكون هذه البلمرات يزيد من لزوجة الزيت المسخن.

٢- حدوث هدم للجلسريدات في الزيت المسخن مكونة مركبات طيارة الدهيدية وكيثونية تظهر علي شكل دخان ويصحب ذلك فقد في الزيت المسخن. كما ينشأ عن هدم الجلسريدات تكون مواد قطبية.

من الناحية العملية فان المطاعم التي تستخدم القلي العميق عادة ما تحاول التغلب علي تلك المشاكل باستخدام الزيوت المهدرجة ونصف المهدرجة التي تتميز بتحملها للحرارة العالية بدرجة أكبر من الزيوت النباتية غير المشبعة غير أن الزيوت المهدرجة ونصف المهدرجة تحتوي علي نسب عالية من الأحماض الدهنية العابرة Trans Fatty Acids والتي ثبتت آثارها الصحية الضارة وهو ما دعا الهيئات المعنية بالرقابة علي الأغذية وصحة الانسان في كثير من دول العالم الي التوصية بخفض تلك الأحماض في الغذاء والي ضرورة الاعلان عن نسبها في الأغذية المسوقة اعتبارا من بداية عام ٢٠٠٦.

وقد الفت هذه التشريعات العبء علي مطاعم الوجبات السريعة ضرورة إستبدال الزيوت المهدرجة ونصف المهدرجة المستخدمة حاليا بالزيوت غير المشبعة ذات الجودة الصحية العالية (ذات محتوى منخفض من الأحماض الدهنية العابرة) بالرغم من تحملها الضعيف للمعاملات الحرارية العالية وهو ما يجعل البحث عن وسيلة لتقليل الآثار غير المرغوبة للحرارة العالية علي الزيوت أثناء القلي من الأهمية بمكان.

وبالرغم من أن الزيوت يتغير لونها مع الاستخدام المتكرر في القلي الا أن ذلك لا يعزي بالضرورة الي تأثير الحرارة علي الزيت وإنما يرجع في أغلب الأحيان الي إحتراق المواد الغذائية التي يتم قليها. وتعتمد المطاعم في برامج إستبدال الزيوت المستخدمة في القلي علي خبراتها المكتسبة من الممارسة العملية وبدرجة أقل علي المعايير الكيماوية والطبيعية.

وقد طورت شركة Oil Fresh الأمريكية وحدات تعتمد علي تكنولوجيا النانو تقدم حلولا عملية للتأثيرات غير المرغوبة التي تحدث في الزيوت أثناء القلي. وقد لخصت الشركة مزايا هذه الوحدات المبتكرة في الآتي:

١- توفير حوالي نصف تكاليف زيوت القلي المستخدمة وذلك باطالة مدة استخدام الزيت في القلي دون الحاجة الي تغييره بنسبة ١٠٠%.

٢- تحسين الانتاجية بتقليل الزمن اللازم للقلي بنسبة تزيد عن ٢٠%.

٣- توفير في تكاليف التشغيل وذلك بخفض درجة حرارة القلي حوالي ٧-١٠م°.

٤- تحسين جودة المنتج

**MODEL: OILFRESH 10008E**

**Standard Edition**



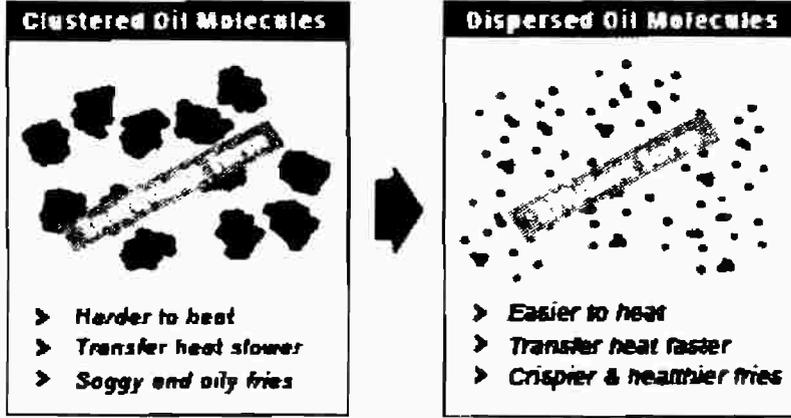
**MODEL: OILFRESH 1000FB**

**Flat Bottom Edition**



شكل (٥-٥) الانظمة المختلفة لوحدة معاملة الزيوت أثناء التسخين وتركيب السطح السيراميكي للوحدة.

تتكون الوحدة (شكل ٥-٥) من لوح شبكي من السيراميك النانو تنتشر علي سطحه بلايين المسام ذات الأقطار النانو والذي يعمل كعامل مساعد يوقف تكون تكتلات الزيت أثناء التسخين عند وضعه في وعاء التسخين (شكل ٥-٦) وبالتالي إسرار الانتقال الحراري، كما تعمل الوحدة علي منع حدوث هدم لجلسريدات الزيت وبالتالي إطالة مدة استخدامه.



شكل (٥-٦) تأثير التسخين علي درجة حرارة عالية علي تكون التكتلات في الزيت وتأثير وضع وحدة Oil Fresh علي منع تكونها (يمين) شكل تكتلات جزئيات الزيت المسخن في حالة استخدام الوحدة، (شمال) شكل تكتلات جزئيات الزيت المسخن بدون استخدام الوحدة.

ولا يتطلب استخدام الوحدة مصدر طاقة خارجي ولا تحتاج الي تحريك في الزيت أثناء التسخين. وتجب الإشارة هنا الي عدم السماح بجفاف الوحدة مطلقا بعد غمرها في الزيت واستخدامها حيث تسد بعض البقايا مسام النانو وتفقد الوحدة بعضا من فعاليتها. وعادة ما يتم تنظيف الوحدة مع كل تغير للزيت حيث يتم شطفها بالماء الدافئ أولا ثم غمرها في ماء يغلي لمدة ٣٠ دقيقة ثم التجفيف بورق ممتص للماء وترك فترة للتخلص من بقايا الماء قبل أن توضع مرة أخرى في وعاء القلي.

## ٥- تطبيقات تكنولوجيا النانو في مجال الألبان

### ٥-١ تطوير أنظمة نانو ناقلة من بروتينات اللبن

تمثل الأنظمة النانو الناقلة للمواد أهمية كبيرة للمركبات الحيوية في مجال تداولها والاستفادة منها للأغراض المختلفة فمن النادر استخدام المكونات الوظيفية في صورتها النقية بل غالبا ما يتم تداولها محملة أو مرتبطة بأحد الأنظمة الناقلة والموصلة لها delivery system والذي يجب أن تتحقق فيه الاشتراطات التالية:

- ١- أن يعمل كوعاء لنقل المكون الوظيفي الي المكان المستهدف لعمل المكون.
- ٢- حماية المكون الوظيفي من التحلل الكيماوي أو الحيوي أثناء التصنيع أو التخزين أو الاستعمال بما يحافظ علي المكون الوظيفي في صورته الفعالة.
- ٣- أن يكون قادرا علي التحكم في إنفراد المكون الفعال.
- ٤- أن يكون متوافقا مع باقي مكونات الغذاء أو المنتج الذي يتم تدعيمه بالمكون الوظيفي بحيث لا يؤثر في خواص الناتج الحسية والطبيعية المميزة له مثل المظهر والقوام والطعم ومدة الصلاحية.

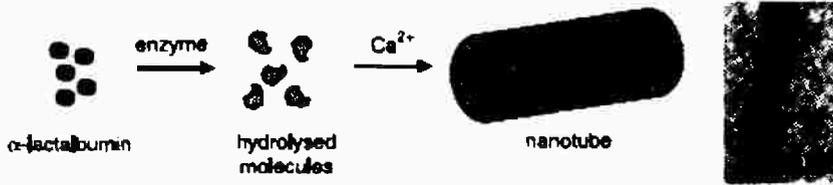
وعلي ذلك فخواص النظام الناقل/الموصل من أهم العوامل المحددة لفعالية المكونات الوظيفية في العديد من المنتجات المصنعة. وهناك العديد من الأنظمة الناقلة/الموصلة ولكل منها مزاياه ومحدداته في كبسلة وحماية وتوصيل المكون الوظيفي والتي تؤثر في إختيار أي منها بالاضافة الي تكاليف إستخدامة والتشريعات المنظمة للمضافات الغذائية وسهولة إستخدامه ومدي تحلله البيولوجي وتوافقه مع مكونات الغذاء الأخرى.

وتجب الاشارة هنا إلى أن الأنظمة الناقلة والمستخدمة لتداول المواد الحيوية غالبا ما تكون ذات أحجام في نفس مدي أحجام النانو وتسلك نفس

سلوكها لكن ذلك لا يمنع من وجود البعض في أحجام أكبر من ذلك كثيرا. وقد استخدمت بروتينات اللبن في تحضير بعض الأنظمة الناقلة علي النحو التالي:

١- أنابيب النانو من ألفا-لاكتالبومين (Graveland-Bikkerd and Kruif, 2006)

بالتحلل الجزيئي لألفا-لاكتالبومين بالأنزيم الميكروبي المحلل للبروتين المنتج من بكتريا *Bacillus licheniformis* تحت ظروف محددة تتكون نواتج تحلل ذات وزن جزيئي ١٠-١٤ كيلودالتون لها القدرة علي التركيب البنائي الذاتي لتكون أنابيب نانو nono tubes في وجود كاتيون مناسب مثل الكالسيوم. ويبلغ طول الأنابيب المتكونة عدة ميكرونات وبقطر خارجي حوالي ٢٠ نانومتر وقطر داخلي ٨ نانومتر (شكل ٧-٥)

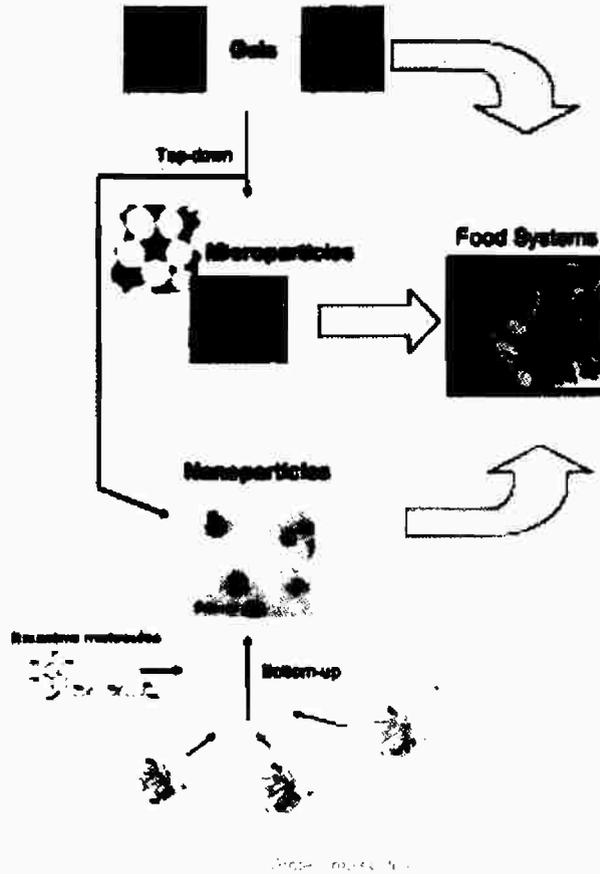


شكل ٧-٥ خطوات تحضير وشكل أنابيب نانو ألفالكتالبومين

والامكانيات المستقبلية لأنابيب النانو ألفا-لاكتالبومين في الأغذية والأدوية والصناعات الأخرى علي النحو التالي:

- زيادة اللزوجة viscosifier (كمية أقل من البروتين لزيادة اللزوجة)
- تكوين هلام gelation نظرا لاستقامة أنابيب النانو لألفالكتالبومين فانه يمكن تكون هلام ذو صلابة عالية وبتركيز بروتين أقل كما أن الهلام المتكون شفاف.

- الكبسلة لتجوير أنابيب النانو لألفالاكتالبيومين (٨ نانومتر) والطول المحدود لها يجعلها فراغا محددًا لاحتجاز جزيئات محددة. كما وأن التركيب البنائي المحدد يمكن التحكم من خلاله في خواصه بما يتيح التحكم في انفراد المواد المحتجزة فيه.
- يمكن ربط أنابيب نانو-ألفالاكتالبيومين بسطح صلب من خلال روابط مناعية antibody linkages مكونة بذلك نظام يصلح للاستخدام كمحس للجزيئات الموجودة في وسط سائل أو كهوائي لالتقاط الموجات الكهرومغناطيسية (Bittner, 2005)
- تصلح كإطار لبناء أسلاك نانو علي غرار تحضير أسلاك الفضة النانو في أنابيب نانو مجوفة من الببتيدات (Rechtes & Gazet, 2003)
- الترسيب الانتقائي selective precipitation للمعادن علي أسطح الخيوط البروتينية protein fibrils لتحضير أسلاك نانوية موصلة للتيار يمكن استخدامها في بناء دوائر موصلة, (Scheibel et al, 2003) conducting nanocircuits
- للعمل كدعامة ذات تركيب مفتوح لهندسة الأنسجة حيث تسمح بنمو الخلايا عليها.



شكل ٨-٥ المسويات المختلفة لمعد بيتالانكوجلوبولين والشيروزان

## ٢- معقدات بيتا-لاكتوجلوبولين مع الشيروزان

أمكن تحضير معقد بيتا-لاكتوجلوبولين مع الشيروزان بأحجام النانو بحيث يكون الشيروزان الجزء الداخلي من الحبيبة يحيط به غلاف من بروتين بيتسا لكتوجلوبولين وذلك بعدة طرق منها الآتي:

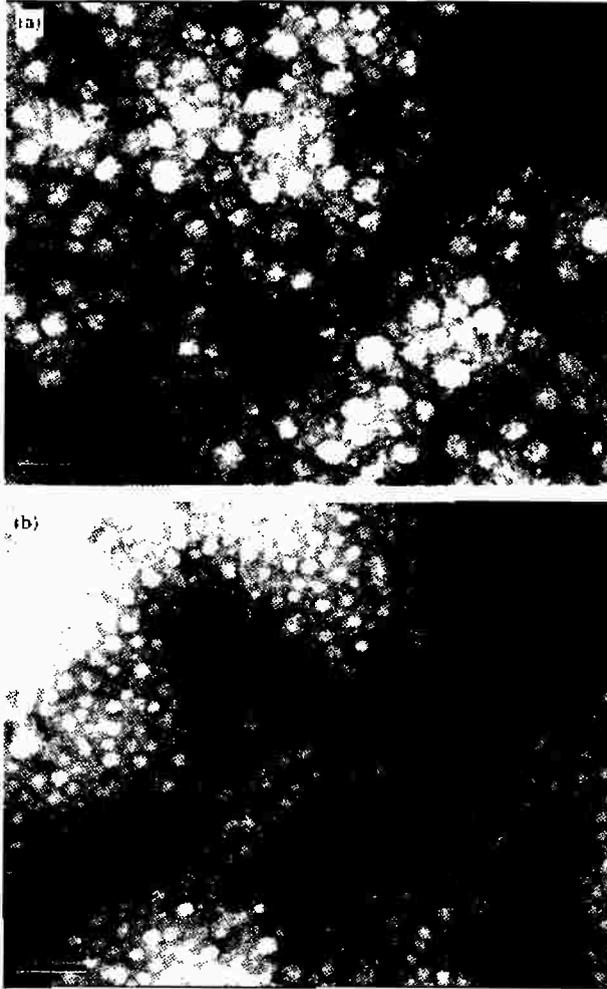
- بحضر محلول يحتوي علي ٥٠% بيتالانكوجلوبولين، ١٠% شيروزان عند pH ٤.٥ ويسخن علي درجة ٨٠°م لمدة ٢٠ دقيقة فتتكون حبيبات نانوية

ذات متوسط أقطار ١٤٠ نانومتر تقريبا ولها خواص كاثيونية (جهد زيتا أكبر من + ٢٠ ملي فولت (Hong & McClement, 2007). وتحفظ هذه الحبيبات بحجمها الأصلي في الوسط الحامضي المشابه للمعدة ولذلك فهي تصلح لكبسلة العديد من المركبات الوظيفية. وقد اقترح أن الحبيبات تتكون من شبكة من بروتين بيتا-لاكتوجلوبولين المدنترة تحتجز بينها جزيئات الشيتوزان. وتتميز حبيبات النانو المحضرة بهذه الطريقة بثباتها العالي ويمكن استخدامها كوسط تحميل للمكونات الحيوية علي أن ذلك يقتصر علي المكونات التي تتحمل المعاملة الحرارية ولا تصلح لتحميل المكونات الحساسة للمعاملات الحرارية.

- أمكن تحضير هلام hydrogel وحبيبات ميكرونية microparticles وحبيبات نانوية nanoparticles من بيتا-لاكتوجلوبولين والشيتوزان بتكوين جيل علي البارد باضافة محلول فوسفات ثلاثي عديد الي محلول يحتوي علي خليط من بيتا-لاكتوجلوبولين وشيتوزان (Chen & Subirade, 2005) ويوضح شكل ٨-٥ خطوات تحضير المستويات الثلاث من معقد بيتا-لاكتوجلوبولين والشيتوزان كما يوضح شكل ٩-٥ شكل حبيبات النانو المتكونة باستخدام بيتا-لاكتوجلوبولين الطبيعي والمدنتر.

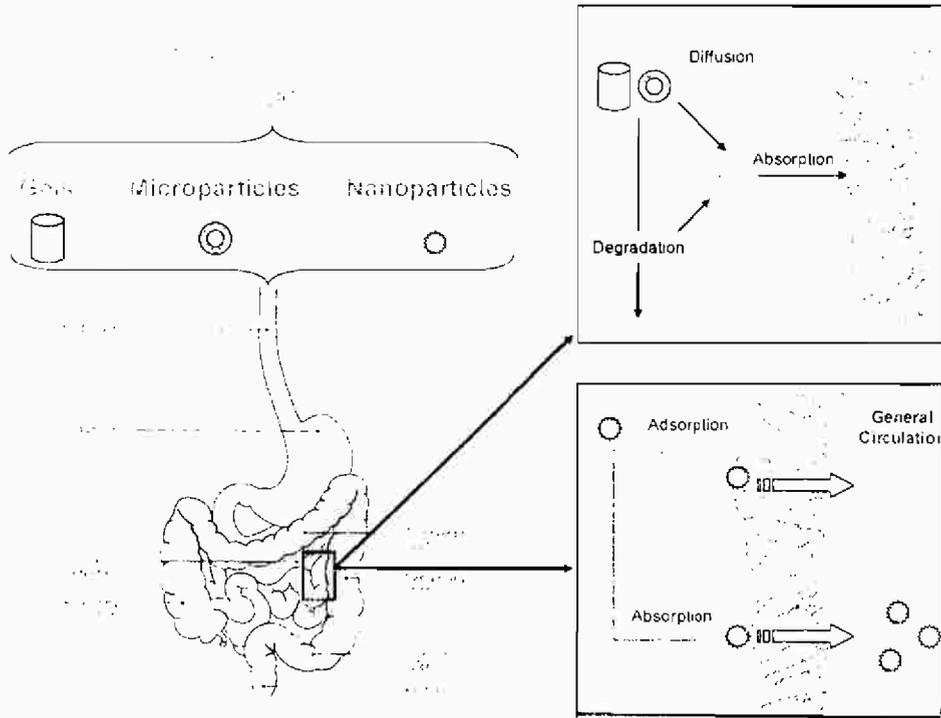
- أمكن تحضير حبيبات نانو من معقد بيتا-لاكتوجلوبولين مع البكتين يشكل البروتين الجزء الداخلي من الحبيبة ويحاط بغلاف من جزيئات البكتين (Statipanichwong *et al.*, 2008) وذلك بالطريقة التالية: يحضر أولا تجمعات بيتا-لاكتوجلوبولين بتسخين محلول ٥% بيتا-لاكتوجلوبولين عند درجة حرارة ٨٠م لمدة ١٥ دقيقة عند pH ٨ و٥ حيث تتكون تجمعات من البروتين المدنتر بأقطار ١٠٠-٣٠٠ نانومتر ثم يخلط المعلق مع محلول من بكتين البنجر عند pH ٧ ثم يضبط الـ pH الي ٤ وتركيز ٢٥ و٠% من بيتا-

لاكتوجلوبولين، ٣% بكتين وقد تميزت الحبيبات المحضرة بالثبات في مدى pH ٤-٦ أو التركيز الملحي ٢٥٠ ملليمول كلوريد صوديوم وذكرت الدراسة امكانية استخدام الحبيبات المتكونة كوسيلة نقل وتوصيل لمكونات الغذاء ذات النشاط الحيوي.



شكل ٩-٥ شكل حبيبات نانو معقد بيتا-لاكتوجلوبولين (a) الطبيعي (b) المدنتر مع الشيتوزان

وحبيبات نانو معقد بيتا لاکتوجلوبولين الطبيعي مع الشيتوزان تقاوم التحلل بالببسين ولكن تتحلل بواسطة أنزيمات الأمعاء المحللة للبروتين وتعتبر من الأنظمة الواعدة لنقل المواد الفعالة حيويًا. وقد أشار Chen et al, 2006 الي أن حبيبات نانو بروتينات الشرش يمكنها النفاذ الي الخلايا الداخلية لتتحلل مطلقة المغذيات الوظيفية التي تحملها وهو ما يعمل علي تحسين الاتاحة الحيوية لتلك المغذيات بصورة ملحوظة (شكل ١٠-٥)



شكل ١٠-٥ نفاذية حبيبات نانو معقد بيتا لاکتوجلوبولين والشيتوزان في الجسم

### ٣- جسيمات الكازين المعاد تكوينها معمليا.

أوضحت دراسة حديثة (Samo et al, 2007) إمكانية استخدام جسيمات الكازين في الكبسلة النانوية للمغذيات الوظيفية غير المحبة للماء hydrophobic nutraceuticals لاماكان استخدامها في تدعيم المنتجات الفقيرة في الدهون أو الخالية منه. وقد حضرت جسيمات الكازين معمليا من كازينات الصوديوم باستخدام محاليل منظمة مشابهة للوسط المائي للبن وفي وجود فيتامين D2 كنموذج للمغذيات الوظيفية غير المحبة للماء. وقد أمكن احتجاز ٢٧% من فيتامين د في جسيمات الكازين المعاد تكوينها بأحجام النانو وهو ما يعادل ٥٥ مرة تركيزه في المحلول المائي المحيط بالجسيمات وفسر ذلك علي أساس ارتباط الفيتامين بالمناطق غير المحبة للماء في الكازين، اشارت الدراسة الي أن الجسيمات المحضرة تقي الفيتامين المحتجز من الأكسدة الضوئية.

### ٤- تحضير حبيبات نانو من جسيمات الكازين الطبيعية. (Huppertz and de Kruif, 2008)

يوجد معظم الكازين في اللبن (٩٤% من الكازين الكلي) علي صورة جسيمات من تجمع حوالي ٩٠٠ جزيئ من شقوق الكازين (الفاس ١، الفاس ٢، بيتا، كابا-كازين) مع فوسفات الكالسيوم الغروي بمتوسط أحجام ١٠٠ نانومتر تقريبا وهو ما يقع في مدي أحجام النانو. بمعاملة جسيمات الكازين بأنزيم transglutaminase تتكون روابط داخلية بين مجموعات الكربوكسيل والأمين الجانبية المنفردة مما يساعد علي ثبات التركيب البنائي للجسيمات ومقاومتها للنفك والترسيب بالحموضة. وقد أمكن إزالة فوسفات الكالسيوم كلية من الجسيمات المعاملة بالأنزيم دون التأثير علي التركيب البنائي لها وهو ما يؤدي الي الحصول علي حبيبات نانو من جسيمات الكازين الطبيعية وبالرغم من أن

إستخدام حبيبات النانو المحضرة كنظام حامل وموصل للمكونات الحيوية الا أنه من المنتظر أن يلقي المستحضر الجديد تطبيقات عديدة في مجال الأغذية الوظيفية.

٥- إستخدام مركبات بروتينات الشرش في تحضير مستحلبات نانو (Safari et al, 2007)

تم استحلاب كل من الليمونين وزيت السمك باستخدام مصادر من المكونات المستحلبة وهي النشا المحور وكازينات الصوديوم ونواتج تحلل بروتينات الشرش ومركبات بروتينات الشرش وباستخدام الاسالة الميكرونية. وقد تميزت المستحلبات المحضرة باستخدام مركبات بروتينات الشرش بأقطار أصغر (~٢٠٠ نانومتر) مقارنة بالمحضرة بباقي المستحضرات غير أنه يعيبها اتساع مدي حجم الحبيبات المتكونة.

#### ٥-٢ تطوير منتجات لبنية

اللبن سائل معقد يحتوي علي عدد كبير جدا من أنواع مختلفة من الجزيئات والمركبات التي تتوزع ما بين ثلاثة أوساط علي النحو التالي:

١- المواد المعلقة (المستحلبات) يوجد دهن اللبن علي صورة حبيبات يتراوح قطرها بين ١-٢٠ ميكرون بمتوسط ٤ ميكرون.

٢- الوسط الغروي ويحتوي علي بروتينات اللبن والصورة الغروية لأملاح الكالسيوم. يوجد كل الكازين تقريبا (حوالي ٩٥%) في اللبن علي صورة جسيمات ذات أقطار بمتوسط ١٢٠ نانومتر وبذلك تعتبر حبيبات نانو طبيعية بينما توجد بروتينات الشرش بأحجام أقل (٥-١٠ نانومتر).

٣- المحلول الحقيقي ويحتوي علي اللاكتوز والأملاح والفيتامينات الذائبة في الماء وأحجام هذه الجزيئات أقل من ١ نانومتر.

إلا أن سلوك اللبن كمستحلب يتحكم في كثير من خطواته التصنيعية والمنتجات المصنعة منه. وعادة ما يجنس اللبن بضغط متوسطة (أقل من ٣٠٠ بار) في الصناعة بهدف تصغير حجم حبيبات الدهن الي أقل من ١ ميكرون لمنع تكون طبقة القشدة أثناء تخزين اللبن المعامل حراريا لمدة طويلة.

ويستخدم في تكنولوجيا النانو التجنيس بضغط عالٍ أو الاسالة الميكرونية أو الاستحلاب الغشائي لتحضير مستحلبات نانو ومن الناحية النظرية يمكن استخدام هذه الطرق لتصغير حجم حبيبات الدهن في اللبن وتحويله الي مستحلب نانو. وقد أجريت دراسات محدودة علي استخدام الطريقتين، التجنيس بضغط عالٍ والاسالة الميكرونية في معاملة اللبن وبها يمكن ادماج المركبات الحيوية في الوسط الدهني للبن. وقد أمكن باستخدام ضغط ٢٠٠٠ بار تصغير حجم حبيبات دهن اللبن بالاسالة الميكرونية الي حوالي ٢٠٠ نانومتر والذي يقع في المدى المقبول للمستحلبات النانو. غير أن زيادة الضغط عن ٢٠٠٠ بار لم تزد من تصغير حجم الحبيبات بل أدى ذلك الي تجمع الحبيبات المفتته. وقد أمكن بإعادة تجنيس اللبن المبستر ٥مرات عند ضغط ٢٠٠٠ بار من خفض حجم حبيبات الدهن الي ١٠٠ نانومتر وبالإضافة الي ذلك فان حجم جسيمات الكازين ينخفض بهذه المعاملة من ٣٠٠-٤٠٠ نانومتر الي حوالي ١٢٠ نانومتر. (Kheader *et al.*, 2002) ويمكن استخدام اللبن بعد معاملته بالضغط العالي أو الاسالة الميكرونية في الآتي:

١- تحضير أنواع جديدة من الجبن ذات خواص ريولوجية مختلفة عن الجبن المصنعة من اللبن الطبيعي دون تجنيس أو المجنس بضغط منخفض كما أن هذه المعاملة تؤدي الي زيادة تصافي الجبن الطرية غير أن الدراسات المحدودة التي اجريت في هذا المجال لم تشر الي تأثير هذه المعاملة علي تسوية الجبن الناتج.

٢- تحضير قشدة منخفضة الدهون ذات خواص ريولوجية وحسية مماثلة للقشدة ذات نسب الدهون العالية. فزيادة ضغط التجنيس يزيد من لزوجة القشدة الناتجة ويحسن من قوامها وبالتالي يمكن استخدام التجنيس لتعويض النقص في نسبة الدهون.

٣- الاستخدام المشترك لتكنولوجيا الترشيح الفائق والتجنيس بضغط عالي لتحضير مفروقات Dairy spreads لبنية جديدة.

٤- يؤدي استخدام الضغط العالي لمخاليط الأيس كريم الي منتج ذو خواص حسية مميزة.

وبالرغم من أهمية هذه الاتجاهات الا أن ارتفاع تكاليف استخدام الضغط العالي في صناعة الألبان مازال يقف عقبة في سبيل التوسع في استخدامه بالرغم من أنه يضيف ميزة تحسين الخواص الميكروبيولوجية للمنتج نتيجة لتنشيطه الجزئي للكانينات الدقيقة. وكما ذكرنا في الفصل الثالث أن استحداث صمام تجنيس جديد Nanovalve يعمل علي توفير الطاقة في مجنسات الضغط العالي بنسبة ٣٠% وهو ما ينتظر أن يعمل علي تشجيع استخدام هذه التكنولوجيا في صناعة الألبان. ولم تتناول أي من الدراسات تجنيس اللبن بالأغشية وهو مجال يحتاج الي كثير من الدراسات نظرا لمزايا هذه الطرق في تكوين مستحلبات نانو.

### ٣-٥ تطبيقات أخرى

إستخدام حديثا طلاء يحتوي علي حبيبات نانو Nansulate® لطلاء الأسطح الخارجية لتتكات وخطوط أحد مصانع الألبان بالولايات المتحدة بهدف تقليل الفقد في الحرارة وحماية أسطح المعدات من التآكل. وقد ذكر أن المعاملة المستخدمة ساهمت في خفض نفقات الطاقة المستخدمة في المصنع وكذلك نفقات صيانة المعدات.

## ٦- أمثلة لمنتجات ومضافات ومكملات غذائية يدخل في تركيبها مواد نانو

من الصعب حصر المنتجات التي يدخل في تركيبها مواد نانو ذلك لأن كثيرا من الشركات المنتجة تحجم عن ذكر ذلك ضمن البيانات المدونة علي العبوات تجنباً لما يثيره ذلك من جدل وعدم وجود تشريعات ملزمة للشركات بالإعلان عن وجود مواد نانو في تلك المنتجات. لذلك فسوف نقتصر في التالي علي ذكر بعض الأمثلة للمنتجات التي يوضح المنتج وجود مواد نانو في تركيبها.

### ١- أغذية ومشروبات

١- شاي أخضر نانو Nano green tea إنتاج شركة Shenzhen Become Industry & Trading, China وتذكر الشركة أنه محضر تبعا لبراءة الاختراع رقم ٠٢١٠٠٣١٤ عام ٢٠٠٢ والذي يعتمد علي طحن المنتج علي ثلاث مراحل المرحلة الأولى الطحن في مطحنة تقليدية بحيث تمر الجزيئات المطحونة من منخل سعة تقويه ٨٠ مش وتستخدم مطحنة هوائية في المرحلة الثانية لإعطاء حبيبات ناعمة جدا (١٠ ميكرون) وفي المرحلة الثالثة يتم الطحن الي حجم حبيبات النانو (١٦٠ نانومتر) أو باستخدام مطحنة كرات خاصة تبعا لبراءة الاختراع ٠٠٢٤٤٢٩٥ وقد ذكر أن للمنتج المزايا التالية:

- أن كل مكونات الشاي الأخضر في هذا المنتج قابلة تماما للامتصاص.
- يحسن من أداء النشاط المناعي للجسم.
- يدعم سلامة ضغط الدم ومستوي السكر والليبيدات في الدم.
- يدعم الانسجة الضامة ومرونة المفاصل.
- يمد الجسم بحوالي ١٠٥ ملجم من البولي فينول/المرّة مقارنة بأقل من ١٠ ملجم من الشاي الأخضر العادي.

ويمكن تطبيق هذا التكنولوجيا علي جميع أنواع الشاي.

٢- Nano Slim™ وتنتجه شركة Nano Slim محضر علي أساس تكنولوجيا خاصة بالشركة Nano-Diffuse™ Technology ويحتوي المنتج علي حمض الأورزوليك (derived from *Lagerstroemia speciosa* ( <http://www.nanoslim.com> plant)

٣- مخفوق الشيكولاته ومخفوق الفانيليا Nanoceuticals Slim Shake Chocolate and Nanoceuticals Slim shake vanilla وتنتجه شركة RBC lifesciences ( <http://www.rbcifesciences.com>) محضر علي أساس تكنولوجيا خاصة بالشركة Nanoclusters™

٤- عصير فواكه مدعم وتنتجه شركة High Vive. Com ( <http://www.highvive.com/sunactiveiron.htm>) ويحتوي المنتج علي حبيبات حديد غذائي بقطر ٣٠٠ نانومتر (Sunactive Fe)

٥- عصير فواكه مدعم تنتجه شركة Jamba Juice Hawaii ( <http://jambajuicehawaii.co>) تحت أسم (Daily Vitamin Boost) ويحتوي علي حبيبات الحديد النانو (SunActive Fe, 300 nm iron) بالاضافة الي ٢٢ مكون من الفيتامينات والمعادن الضرورية منها ١٨ بتركيزات تفي باحتياجات الجسم اليومية بنسبة ١٠٠%

٦- مشروب الشيكولاته والشوفان ومشروب الفانيليا والشوفان الصحي للأطفال oat chocolate and oat vanilla nutritional drink mixes وتنتجها شركة Toddler Health ( <http://www.toddlerhealth.net>) وتحتوي علي حبيبات الحديد النانو (SunActive Fe) وذكر أن هذين المنتجين يمدان الأطفال من سن ١٣ شهر الي ٥ سنين باحتياجاتهم اليومية من الفيتامينات والمعادن والبروتين.

٧- زيت الكانولا النشط Canola Active Oil وتنتجه شركة Shemen الاسرائيلية مدعما بالفيتوستيرولات الحرة علي صورة ميسلات نانو وذكر أنه يساعد علي خفض مستوي الكولستيرول في الدم

## ٢- المضافات الغذائية

وكلها تقع تحت المضافات العامة Generic Food Additives

١- AdNano وتنتجه شركة [www.Advancednanomaterials.com](http://www.Advancednanomaterials.com) (Degussa) Evonik وهو أكسيد زنك نانو من الدرجة الغذائية.

٢- Aerosil Sipernat وتنتجه الشركة السابقة وهو عبارة عن سيلكا نانو من الدرجة الغذائية للاستخدام كمادة مساعدة علي تدفق المساحيق المستخدمة في الصناعات الغذائية.

٣- Aquanova Nova Sol وتنتجه شركة Aquanova (<http://www.aquanova.de>) والمنتج ميسلات لمواد غير محبة للماء ويشار اليه علي أنه مواد خاملة مثالية للمواد غير المحبة للماء بهدف الامتصاص الأعلى والأسرع لها في القناة الهضمية.

٤- Bioral™Omega-3 nanocochleates وتنتجها شركة Bio Delivery Sciences International (<http://www.biodeliverysciences.com>) وهي عبارة عن نانوكوكولات بأحجام ٥٠ نانومتر تستخدم لتحميل حمض الاوميغا-٣ في تحضير المنتجات الغذائية المختلفة.

٥- NanoCoQ10® وتنتجه شركة Pharmanex (<http://www.pharmanex.com>) وقد ذكر أن الإتاحة الحيوية للمادة الفعالة في هذا المنتج تبلغ ١٠ أضعاف الإتاحة الحيوية له علي الصورة العادية.

٦- Nano-self assembled structured liquids (NSSL) وتنتجه شركة Nutralease (<http://www.nutralease.com/technology.asp>) والمنتج عبارة عن ميسلات نانو تستخدم لكبسلة العديد من المركبات الغذائية لتحسين الإتاحة الحيوية لها.

٧- Solu<sup>TM</sup>E200 وتنتجه شركة (<http://www.human-nutrition.basef.com>) BASF وهو عبارة عن فيتامين E علي صورة محلول نانو محمل علي Novasol ويستخدم لتحميل الفيتامينات الذائبة في الدهن.

٨- ليكوبين مشيد تنتجه شركة (<http://www.human-nutrition.basef.com>) BASF ويحتوي علي ليكوبين مشيد (أقل من ٢٠٠ نانومتر) محلول ١٠%.

### ٣- المكملات الغذائية

١- تنتج شركة RBC Lifesciences (<http://www.RBCLifescience.com>) عدة مكملات غذائية علي صورة النانو منها hydracel (خليط غير محدد من المعادن والأحماض الأمينية والأنزيمات) و Mycrohydrin و Nanoceuticals و silver22 و Nanoceuticals Spirolina Nanoclusters.

٢- تنتج شركة Pharmanex كل من Life Pak Nano (CR-6 liponutrient), Lifepak®nano, multivitamin

٣- Lipo-spheric<sup>TM</sup>Vitamin C وتنتجه شركة Powell Productions (<http://healthspotlight.com>) ويحتوي ليبوزومات نانو ١٠٠-١٥٠ نانومتر محمل عليها فيتامين ج.