Rafidain Journal of Science
https://rsci.mosuljournals.com

Vol. 31, No.1, pp. 43-52, 2022

Review Article

كفاءة الدقائق النانوية للأكاسيد في استحثاث تكوين مركبات الايض الثانوي في النباتات

رنا طارق يحيى
قسم الفيزياء الحياتية / كلية العلوم/ جامعة الموصل

Article information

p-ISSN: 1608-9391

e -ISSN: 2664-2786

Received :11/ 11/ 2021
Accepted: 8/ 1/ 2022

DOI:
10.33899/rjs.2022.172939

corresponding author:

رنا طارق يحيى
drranaaltaee@uomosul.edu.iq

الملخص

تطرقت الدراسة الى كشف اهمية استخدام تقنية النانو المتطورة في المجالات والتطبيقات المفيدة المختلفة، كونها تساهم في زيادة الإنتاج، تحسين النوعية، تخفض من التكاليف، منع استخدام المبيدات والاسمدة الكيمياوية الضارة وبيان دور الأبحاث المتعلقة بما يحقق قيمة مضافة جديدة للقطاع الزراعي وللحصول على بيئة نظيفة مثالية خالية من الملوثات واستغلالها بالاتجاه الايجابي للنمو لأنواع معينة من النباتات وتحسين القدرة النباتية للحصول على المواد الايضية النباتية ذات الفوائد الطبية والصيدلانية وتوجيه العمل لاستغلال هذه المواد في كافة نواحي الحياة لأهميتها وخلوها من أي تأثيرات جانبية ضارة. لهذا الغرض يتم استعمال عناصر كعوامل تحفيز مما يؤدي الى تعزيز التكوين الحيوي لمركبات الايض الثانوي في مزارع الخلايا النباتية مختبريا، تشتمل هذه العوامل على عناصر من مصادر حيوية وغير حيوية واهمها الجسيمات النانوية وهي عوامل محفزة غير حيوية تستعمل للحصول على المركبات الطبية المشتقة من النباتات.

الكلمات الدالة: الدقائق النانوية، الاكاسيد، مركبات الايض الثانوي.

This is an open access article under the CC BY 4.0 license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

المقدمة

النانو هي بادئة مأخوذة من اللغة اليونانية القديمة وتعني قزم (Nanos) وفي مجال العلوم يعني النانو جزءاً من مليار (10^{-9})، ويستخدم النانوميتر كوحدة لقياس أطوال الجزيئات الصغيرة جداً التي لا ترى إلا تحت المجهر الإلكتروني، كما يعتني بدراسة وتوصيف مواد النانو وتعيين خواصها الكيميائية، الفيزيائية والميكانيكية مع دراسة الظواهر المرتبطة الناشئة عن تصغير أحجامها، ويعتني علم النانو بتطبيق استخدامات المواد النانوية في مجالات العلوم المختلفة متضمنة الأنظمة البيولوجية والطبية لخلق مواد ذات مواصفات مميزة حديثة (Khan *et al*., 2019 ; Chichiriccó and Poma, 2015). ولتقانة النانو تطبيقات علمية متنوعة فهي اداة فعالة في مجال العلوم الانتاجية، استخدام نفايات الاغذية الزراعية في الطاقة الحيوية، تطوير اجهزة الاستشعار الحيوية الكيميائية، تنقية المياه، تطوير نمو النبات (Nair *et al*., 2010). والدقائق النانوية هي عبارة عن مواد صغيرة بما يكفي لتقع في نطاق قياس النانو بحيث تكون احد ابعادها اقل من بضع مئات من النانومترات، ولها خصائص فريدة مثل نسبة السطح الى الحجم العالي والسلوكيات البصرية الفريدة (Gonzalez-Melendi *et al*., 2008).

ويمكن تصنيف المواد النانوية الى عدة فئات نذكر ثلاث فئات فرعية منها (الجدول1):

1. الدقائق النانوية المعدنية Mineral Nanoparticles(MNPs): وهي مواد تم توظيفها الى حد كبير في انواع نباتية مختلفة، ودراسة تأثيرها على التلاعب الجيني، التخلص من المحتوى الميكروبي وغيرها ويعود ذلك لامتلاكها خصائص فريدة، تختلف فيها عن نظيراتها من المعادن مثل Co, Zn, Cu, Ag كما تم استخدامها كمحفزات النبات في انواع نباتية مختلفة (Rizzello and Pompa, 2014).

2. اكاسيد المعادن Oxide Nanoparticles(ONPs): وهي عبارة عن مجموعة متنوعة من اكاسيد المعادن النانوية تشمل كل من (, TiO_2 , Bi_2O , MoO_3 , CrO_2 ZnO ، SnO_2, CoO_2)، هذه السلسلة من الاكاسيد لها تطبيقات صناعية مثل قدرة حجب الاشعة فوق البنفسجية والمرئية، لذا يتم استخدام كل من TiO_2, ZnO على نطاق واسع في مستحضرات التجميل وكريم الشمس وطلاء الزجاجيات (Astruc, 2012).

3. الانابيب الكربونية النانوية Carbon Nanotubes (CNTs): منها الانابيب متعددة الجدران والانابيب النانوية الكربونية احادية الجدار Single Wall Carbon Nanotubes(SWCNTs)، كما يحتوي هذا التصنيف على فئات رئيسية من المواد النانوية : الكاربون والسيراميك (اكاسيد المعادن) والمركبات البوليميرية (Anjum *et al*., 2020).

الجدول 1: اصناف المواد النانوية (Abbas *et al*., 2016)

Classes of nanomaterial	Explanation of Nanoparticles
Nanoparticles	Nanoparticles are commonly accepted as materials with at least two dimensions between 1-1000 nm
Nanotubes and nanofibers	A fibers of less than 1μm in size. Nanometer size long linear material, optical materials micro conductors, microfibers, nanotubes.
Nanofilm	Nanofilms utilized as gas catalyst materials.
Nanoblock	Nanometer crystalline product produced by substantial accuracy, developing controlled crystallization or Nanoparticles
Nanocomposites	Composite nanomatererials, which use nanosize reinforcements instead of conventional fibers or particulates
Nanocrystalline solids	Polycrystals with the size of 1 to 10nm and 50% or more of solid consists of inherent interface between crystals and different orientations. The clusters that formed through homogenous nucleation and grow by coalescence and incorporation of atoms

وتمتلك المواد النانوية خصائص فريدة من نوعها، مثل الحجم المتناهي الصغر، القدرة على هندسة تبادل الالكترون وقدرات تفاعلية عالية على السطح، وهذه الدقائق يمكن ان تدخل بسهولة وتتفاعل مع العديد من مكونات الخلايا والانسجة النباتية. وتحتوي المواد النانوية المصممة هندسيا تحتوي على معادن مثل اكاسيد المعادن المختلفة (Anjum *et al*., 2020). وان الخصائص الفيزيائية والكيميائية للدقائق النانوية Nanoparticles (NPs) هي السبب الرئيسي للتأثيرات المتولدة والتشكل وشحنة السطح والتركيز وتوزيع الحجم، ومن المعروف ان انتاج مجاميع الاوكسجين التفاعلية(ROS) بواسطة NPs المعدنية تعتمد على الخصائص الهيكلية مثل الحجم والشكل ومساحة السطح (Abdal Dayem *et al*., 2017)، واحد الامثلة على ذلك هو خلايا نبات البصل *Allium cepa* التي اظهرت جيلا يعتمد على الجرعة والحجم من مجاميع الاوكسجين التفاعلية المتسببة في زيادة بيروكسيد الدهون وتفاعل الشعيرات الجذرية مع NPs الذهبية بأحجام مختلفة 15، 30، 40 نانومتر (Rajeshwari *et al*., 2016).

تطبيقات المواد النانوية

تتسارع عمليات مقاربة تقنيات النانو مع التقنيات الإحيائية والمعلوماتية بهدف أحداث تغيير جذري في الأنظمة الغذائية والزراعية الحالية. اذ ان لتقانة النانو العديد من التطبيقات الحيوية الواعدة المهمة منها الحصول على مركبات نانوية تدخل إلى جسم الإنسان وترصد مواقع الأمراض وتحقن الأدوية وتأمر الخلايا بإفراز الهرمونات المناسبة وترمم الأنسجة، وأشير الى أن هذه المركبات الذكية يمكن أن تدخل إلى الخلايا السرطانية لتفجرها من الداخل وتدعى بالقنابل المنمنمة (النانوية). تستخدم في المنسوجات ومستحضرات التجميل والمواد البدائية والاجهزة المنزلية وتطبيقات الغذاء والبيئة، كما تعمل داخل الانظمة البشرية بما في ذلك توصيل الادوية المستهدفة والعلاج الجيني وهندسة الانسجة وعلاج السرطان وعلاج الامراض المعدية والجينية، كما تستخدم في الخلايا الشمسية والمواد الانشائية والالكترونيات واشباه الموصلات (Cardoso *et al*., 2018).

واجريت مجموعة من الدراسات لتقييم الاثار المفيدة او السامة المحتملة لهذه الدقائق النانوية NPs على نمو النبات وتطوره ومعدل البناء الضوئي والايض، ولا سيما على الايض النباتي المتخصص الى جانب دورها في الية الدفاع عن النبات وتكيفه، وتستخدم النباتات المعاملة بها أيضا كمصدر للمركبات النشطة بيولوجيا في الصناعات البشرية كأدوية لعلاج الامراض المختلفة او المضافات الغذائية ومستحضرات التجميل (Cardoso *et al*., 2018). ومن الضروري فهم الية تعرض الجسيمات النانوية للكائنات الحية لضمان علاقة امنة بين تكنولوجية النانو والنظام البيئي، اذ ان زيادة الغلة والمتانة وزيادة العناصر الغذائية هي المزايا التي توفرها بعض المركبات النانوية المطبقة على النباتات، على غرار مبيدات الاعشاب (Kumar *et al*., 2019). وفي احدى الدراسات تم الكشف عن الدقائق النانوية لأوكسيد الزنك ZnO-NPs المنشط بالنحاس لتحلل مبيدات monocrotophos اذ يولد النحاس نطاقا وسيطا لأثارة الكترون من نطاق التكافؤ الى نطاق التوصيل مما يؤدي الى زيادة الامتصاص البصري واظهار تدهور شديد لهذه المبيدات وتم العثور على نتائج غير متوقعة في دراسات مختلفة حول تفاعل هذه الدقائق مع عمليات التمثيل الغذائي الاولية والمتخصصة للنباتات، اذ لوحظ ان له تأثيرا ايجابيا على معدل نمو زراعة الجذور الشعرية (Hanh *et al*., 2019).

اما التطبيقات الزراعية للمواد النانوية فان الزراعة وتبعاً للتصور النانوي الحديث فهي بحاجة الى ان تصبح اكثر اتساقاً والية على نحو أتم وفي المستقبل المعتمد على التنظيم والسيطرة على الجزيئات فان الحقل سيمثل معملاً بايولوجياً واسع المساحة بالإمكان مراقبته وأدارته بوساطة أجهزة الحاسوب المتنقلة وسيكون بالإمكان من إيصال الأغذية وبصورة فعالة الى جسم الكائن الحي عبر مواد مصممة لهذا الغرض لذا لابد من اجراء محاولات لتشخيص التقنيات النانوية الرئيسية التي تستهدف إعادة تنظيم وترتيب أنظمتنا الزراعية والغذائية. ان مثل هذه التقنيات تساعد في التوصل الى تحقيق انجازات مفيدة من خلال تطويع المواد على هذا المستوى المتناهي الصغر وفيما يتعلق بتقنيات النانو في الزراعة فهناك تحديات عديـــدة تواجه القطاع الزراعـــي تتضمن

الطلب المتزايد على الاغذية الصحية والامينة وتزايد مخاطـــر الامراض والتهديدات الكبيرة التي تواجه الانتاج الزراعـــي (Tripathi *et al*., 2017). علماً ان عمليات التحول نحو اقتصاد حيوي تمثل ايضاً تحدياً يتطلب طرائق معقدة تتضمن مقاربة ما بين تفرعات العلوم المختلفة، وتستخدم على نطاق واسع كمواد استخلاص غير حيوية في التكنولوجيا الحيوية النباتية لتعزيز انتاج المركبات الحيوية النشطة. والمواد النانوية NPs يمكن ان تدخل الخلايا النباتية من apoplast عبر غشاء البلازما عن طريق الأكل الخلوي، بعد ذلك يمكن نقلها من جزء الى اخر من خلال التدفق الخلوي (Rico *et al*., 2011). هناك أيضا دليل على نقل NPs الى عضيات تحت خلوية مثل النواة، البلاستيدات والفجوات، كما تم استخدام هذه الدقائق كأدوات فعالة لتحسين حماية النباتات من هجوم العوامل الممرضة (Durango *et al*., 2013). فعلى سبيل المثال تستخدم الجسيمات النانوية من اوكسيد التيتانيوم (TiO_2) على نطاق واسع في منتجات الحياة اليومية ولاسيما في المحاصيل الغذائية، اذ تظهر النباتات المقاومة للجسيمات النانوية لأوكسيد التيتانيوم 73% وزناً جافاً اكثر، ومعدلات بناء ضوئي اعلى بثلاث مرات وتحسنا في الكلوروفيل بنسبة 45%، ونظرا لكون القطاع الزراعي هو القطاع المحرك والمنشط للقطاعات والأنشطة الاقتصادية الأخرى، وكونه يسهم بنسبة كبيرة في الناتج المحلي الإجمالي للبلاد، مما يستدعي من كل الباحثين والعاملين والمسؤولين في هذا القطاع البحث الجدي واستخدام التقنيات الزراعية الحديثة، ومن ضمنها تقنية النانو، والتي تم استخدامها والإفادة منها في الكثير من المجالات، وفي كثير من الدول. ففي المجال الزراعي استخدمت الدقائق النانوية كبدائل للمواد الكيميائية الزراعية وكعوامل توصيل للمواد الغذائية لتحسين صفات النباتات والحصول على نباتات ذات صفات فريدة وأدى استغلال NPs بواسطة النباتات الى الكشف عنها وتأكيدها باستخدام اجهزة الميكروسكوبية مختلفة وتقنيات التحليل الطيفي مثل المجهر الالكتروني النافذ، المجهر الالكتروني الماسح، المجهر متحد البؤر، مطيافية تشتت الطاقة، الفحص المجهري بالأشعة السينية، مجهر القوة الذرية، المجهر الضوئي وثنائي فوتون التهيج الطيفي (Yang *et al*., 2006). وتستطيع النباتات استغلال NPs بواسطة ثلاثة طرق: خلال الاوراق، خلال التربة و خلال استخدام وسائط المغذيات المحضرة صناعيا للدخول في الخلايا والانسجة النباتية، اذ ان الدقائق النانوية يجب ان تعبر الحاجز الاول وهو جدار الخلية النباتية والذي تتراوح اقطار ثغوره عادة بين 5 الى 20 نانومتر في الحجم، والتي يمكن ان تشكل طريقة دخول بسيطة الى الخلايا النباتية لهذه الدقائق NPs لتقديم ابعاد اقل من قطر الثغرة. كما ذكرت بعض الدراسات الدخول للدقائق النانوية NPs الاكبر حجما من ثغرة جدار الخلية النباتية اما عن طريق تغيير حجم ثغرة جدار الخلية النباتية الموجودة او عن طريق تحريض انتاج ثغور لجدار الخلية النباتية جديدة وبحجم اكبر (Riaza *et al*., 2019).

وادى التطبيق الناجح للعديد من المواد النانوية في ظل الظروف المختبرية الى توليد الاهتمام بالتكنولوجيا النانوية في الزراعة حيث يمكن ان تساعد في تقليص الكلفة الاقتصادية الناجمة عن انعدام الامراض الوبائية التي تصيب مختلف المحاصيل مثل الحبوب وكذلك زيادة كفاءة الاسمدة المصنعة مع قلة كلفتها المادية ومقاومة المنتج الزراعي للظروف البيئية المختلفة وفي تسريع انبات العديد من النباتات وزيادة مقاومتها مزيلة لتأثير الشد غير الحيوي وتعزيز نمو النبات مع تقليل التأثير البيئي مقارنة بالطرق التقليدية اذ اظهرت احدى الدراسات انه يمكن استخدام المغذيات الدقيقة على شكل جسيمات نانوية لزيادة الانتاج والمحصول وتحسين صفاته. وان لتطبيقات تقنية النانو القدرة على تغيير قطاع الزراعة وسلسلة إنتاج الغذاء بالكامل، من عملية الإنتاج وحتى عملية الحفظ، التجهيز، التعبئة، النقل وحتى معالجة النفايات هذا بالإضافة إلى أن بعضاً من التحديات الرئيسية والمرتبطة بمجال الزراعة والتي يمكن مواجهتها من خلال التطبيقات المختلفة لتقنية النانو (Pascoli *et al*., 2018).

وتستخدم المواد النانوية في تقييم استجابات الاجهاد في مختلف النباتات ذات الاهمية الاقتصادية والطبية، وتستخدم أيضا كمواد استخلاص غير حيوية في التكنولوجية الحيوية النباتية لتعزيز انتاج المركبات الحيوية النشطة (Fakruddin *et al*., 2018)، ويمكن ان تساعد تطبيقات المواد النانوية في انبات النبات بشكل اسرع، وانتاج مقاومة النبات المحسنة للإجهاد اللأحيائي والحيوي، والاستخدام الفعال للمغذيات وتعزيز نمو النبات، مع تقليل التأثير البيئي مقارنة بالنهج التقليدية. وان جزيء الجسيمات النانوية، يؤدي دورا نشطا في تنظيم الاليات المختلفة التي يتم تطويرها في التعرف على الضغوط

اللأحيائية في النباتات والاستجابة لها فمثلا وجد ان للزنك دوراً مهماً في ادارة مجاميع الاوكسجين التفاعلية وحماية الخلايا النباتية من الاجهاد التأكسدي (Prasad *et al.*, 2012). وقد كشفت الابحاث التي اجريت بأن هناك انواعاً من النباتات ومنها نباتات زهرة الاندلس *Thlaspi caerulescens* ونباتات اذن الفار *Arabidopsis thaliana* لها القابلية على ان تتحمل مستويات عالية من العناصر النانوية الدقيقة دون ان تتأثر بسميتها. اضافة الى وجود انواع اخرى من النباتات تستطيع تجميع تراكيز عالية من العناصر الثقيلة Cu، Co، Hg، Zn،Cd والتي تعد ملوثات للتربة تمنع انتشار الغطاء النباتي عدا النباتات عالية التحمل والمراكمة لهذه العناصر Hyperaccumulator من دون ان تؤثر عليها، اذ ان الجسيمات النانوية من اوكسيد الزنك لها مجموعة واسعة من التطبيقات نظرا لخصائصها الضوئية الفريدة ومساحة السطح العالية الى نسبة الحجم وتمت دراسة تأثيرها على النباتات الصغيرة والمتوسطة في انواع نباتية مختلفة كما ان لتقنية النانو فوائد كبيرة في الزراعة للسيطرة على الامراض وانتاج المحاصيل ويمكن تطبيقها في انتاج الاسمدة النانوية ومبيدات الاعشاب النانوية ومبيدات الفطريات النانوية ومستشعرات النانو (De la Rosa *et al*., 2017).

فالأسمدة النانوية عبارة عن مواد طبيعية او صناعية تحتوي على العناصر الكيميائية اللازمة لتحسين نمو وانتاجية النباتات وكذلك تحسين الخصوبة الطبيعية من خلال التغلب على نقص المغذيات الدقيقة، وقد شجعت المواد النانوية المستخدمة كأسمدة من نمو محصول الارز *Oryza sativa* بإبطاء إطلاق النتروجين. كما تم استخدام NPs المهندسة حيوياً كمصدر لعنصر الزنك Zn من خلال اضافته لنبات الكرنب *Brassica oleracea* مما ادى الى كفاءة عالية للنمو وتواجده في البروتوبلاست (Rios *et al*., 2019). وتعمل الاسمدة النانوية على تعزيز النمو الجيد للمحصول من خلال المساعدة على الامتصاص الضروري للمغذيات الدقيقة لتنمية النبات بشكل سليم، ويمكن تصنيعها من الزنك والسيليكا وثاني اوكسيد التيتانيوم والدقائق النانوية للنحاس Cu-NPs وحتى NPs البوليميرية باعتبارها متشعبات تعمل كناقلات نانوية (Kah *et al* ., 2018). اما المبيدات النانوية فقد شهد النصف الثاني من القرن العشرين ازدياد استعمال المبيدات الكيميائية في مكافحة مختلف الآفات الزراعية وقد وجد ان العديد منها يمتلك سمية عالية ويؤثر على صحة الانسان والحيوان فضلا عن التأثيرات السلبية على كامل النظام البيئي تبعا لذلك تم منع تداول واستعمال العديد منها، وللحفاظ على المحاصيل والمزروعات المختلفة تم تطوير انظمة الادارة المتكاملة للآفات التي يتم خلالها استخدام المواد النانوية كبدائل عن الاسمدة والمبيدات اذ تهدف التركيبات النانوية الجديدة الى تقليل الاثار السلبية لمبيدات الاعشاب والمبيدات الحشرية على البيئة من خلال تدهورها عن طريق الاشعة فوق البنفسجية، فضلا عن انتقائية اكبر لحماية الانواع الاخرى من النباتات والكائنات الحية الدقيقة والحشرات(Li *et al*., 2007). ومن ناحية اخرى، ركز استخدام NPs المحفز ضوئياً على تحلل مبيدات الاعشاب، ويمكن ان تولد ZnO-NPs تمعدن مبيدات الاعشاب تحت اشعة الشمس وتقلل من 70% – 90% من مبيدات الاعشاب (Páez *et al*., 2019).

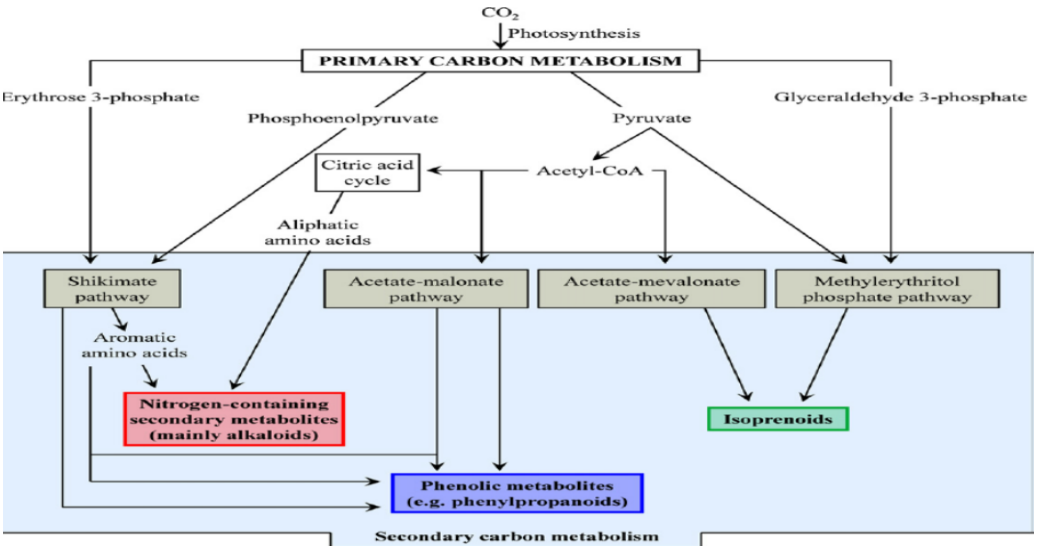
وفي احدى الدراسات اظهر ثاني اوكسيد التيتانيوم TiO_2-NPs معدل تحلل اعلى تحت الاشعاع الشمسي لمبيد الاعشاب imazethapyr اذ بلغت نسبة التدهور لهذا المبيد 100% بعد 120 دقيقة من التعرض للأشعة فوق البنفسجية (Jampílek and KráÍová, 2017 ; Ismail *et al*., 2016). وقد توفرت ادلة متعددة على تأثير CuO-NPs على النباتات وادى التطبيق الناجح للعديد من المنصات النانوية في ظل ظروف المختبر الى اثارة الاهتمام بتقنية النانو في الزراعة. اذ تولد مبيدات الآفات النانوية الحماية من ضغوط العوامل اللأحيائية وتحسين انتقائية المبيدات واستقرارها مما يسمح بتقليل نفقات المبيدات الحشرية وزيادة عمر المركب الكيميائي الفعال (Pascoli *et al*., 2018).

تطبيقات المواد النانوية كمحفزات بيولوجية لمواد الايض الثانوي

ان التقنيات النانوية بإمكانها تحسين مستوى معرفتنا عن المحاصيل المختلفة وبما يمكن توظيفها في زيادة الإنتاج او القيمة الغذائية فهو المضمار الاخر المتعلق بتطبيق المواد والدقائق النانوية في مجال النبات والمتمثل باستغلال هذه المواد كعوامل محفزة

للنمو والتمايز **bio elicitor** وصولا بالخلايا الى مرحلة انتاج مواد الايض الثانوي كالقلويدات والفينولات ومركبات اللكنان والتي هي مواد كيميائية نباتية قيمة ويمكن أيضا استخدامها كعلامات تصنيفية وتكون مسؤولة عن القيمة الطبية لبعض النباتات (Savithramma *et al.*, 2011).

وهذا ما يجري العمل عليه في عدد من الدراسات اذ تستخدم الدقائق النانوية كمحفزات نمو تساعد عمل منظمات النمو المضافة الى اوساط نمو المزارع الخلوية. اذ ينظر الى ان المواد النانوية على انها نواتج غير حيوية تحفز زيادة انتاج مواد الايض الثانوية على سبيل المثال في بعض البحوث كانت جزيئات الفضة النانوية الكيميائية قادرة على تحفيز انتاج اللكنان والنيولكنان في الكتان (Jumma and Yahya, 2021) واعتمادا على التركيز اظهرت العديد من التقارير انه عند استخدامها بتركيز قليلة يمكن ان تعزز نمو النبات وانتاج مواد الايض الثانوية وقد يكون ذلك بسبب تفاعلها مع بعض مكونات جدار الخلية النباتية للدخول الى الخلية واداء تأثيرها المباشر على مجمل الملامح الفيسيولوجية والكيمائية الحيوية وعملية انبات البذور، وتعزيز انتاج مواد الايض الثانوية النشطة بيولوجيا في النباتات الطبية كاستجابة شائعة للنباتات للتعرض للجسيمات النانوية وكإشارة تحفيزية لإنتاج مواد الايض الثانوية المضادة للتأكسد، ومن ابرز تطبيقاتها تحفيز عملية الايض المتخصصة لمواجهة العديد من الضغوط البيئية مما ادى الى انتاج فئات مختلفة من مواد الايض النباتية مثل القلويدات alkaloids ومركبات الفنيل بروبان phenylpropanoids. اذ اشارت احدى الدراسات الى استخدام الدقائق النانوية للفضة بالاشتراك مع منظمات نمو النبات (TDZ, 2,4-D) ادى الى زيادة انتاج الفينول في نبات القرع المر *Momordica charantia* ومنها hydroxy benzoic acids ، hydroxy cinnamic ، flavonoids كما يمكن استخدام Ag-NPs المصنعة باستخدام مستخلص نبات العفص *Thuja occidentalis* كمغذي للتربة ومحفز لنمو النبات واظهرت بعض الدراسات ان معالجة النباتات والكائنات الحية الدقيقة في التمثيل الضوئي باستخدام NPs ادت الى زيادة انتاج الفينولات (Das *et al.*, 2018) والتي قد تعمل كمضادات للأكسدة للبحث عن مجاميع الاوكسجين التفاعلية (ROS) ويتم استكشاف إمكانية NP والاضطراب الناجم في توازن هذه المجاميع ومسارات الاشارة المرتبطة به كعامل رئيسي وراء التغيرات في التمثيل الغذائي الثانوي للنبات في هذا المنظور (Večeřová *et al.*, 2016). وعلى الرغم من وجود هذه الدقائق النانوية في النباتات بتراكيز منخفضة يمكن استخدام العوامل المسببة للتوتر لتنشيط الية الدفاع للنبات لتحفيز وزيادة انتاج الايض الثانوي (Franklin *et al.*, 2008)، وأيضا تستخدم عدة جزيئات منها تسمى **elicitors** لتنشيط نظام الدفاع للنبات واجباره على انتاج الايض الثانوي المطلوب، والتي تسمى ايضاً بالمواد الكيميائية النباتية من خلال مسارات بنائية متنوعة الشكل(1) (Hatami *et al.*, 2019 ; Thakur *et al.*, 2019).



الشكل 1: النموذج المبسط للمسارات المشتركة في البناء الحيوي لمركبات الايض الثانوي

وفي دراسة حديثة تم الكشف عن الاثار المعتمدة على الجرعة للدقائق النانوية للفضة Ag-NPs وتأثيرها في انتاج التربينات في النباتات لنبات الزعتر *Thymus kotschyanus* مثلاً زيادة انتاج terpinyl acetate وزيادة انتاج الزيوت الاساسية من زراعة الكالس لنبات الاقحوان *Calendula officinalis* وتم التحقيق في التأثير Ag-NPs على معدل انبات البذور وانتاج الفينولات لنبات الخروع *Ricinus communis* والتوصل الى التركيز المثالي لزيادة كل مقاييس النمو والانتاج للمواد الفينولية وعلى العكس تماماً لوحظ تحفيز انتاج المركبات الفينولية المضادة للأكسدة دون اثار سامة شديدة في الزراعة المائية لنبات زوفا الماء *Bacopa monnieri* المعامل بتراكيز من Ag-NPs في حين ادت اضافته الى زيادة في تراكم الانثوسيانين دون اي تأثير سلبي على نمو الجذر مثلاً التأثير على زراعة الجذر لنبات الفانيلا *Vanilla planifolia*، اذ عززت هذه الدقائق بشكل كبير من انتاج المركبات الفينولية بالمقارنة مع الجسيمات النانوية الاكبر حجماً، واظهر تحليل كروماتوغرافيا السائل عالي الاداء (HPLC) لمستخلص اوراق نبات العبعب *Withania somnifera* ان العديد من المركبات الفينولية الموجودة في المستخلص تم احتجازها بشكل انتقائي في معقدات مرتبطة مع الدقائق النانوية لاوكسيد الفضة Ag-NPs وعلى اساس اطيافها المميزة للأشعة فوق البنفسجية تم تحديد هذه المركبات على انها-7-p-catechin, coumaric acid, luteolin (Marslin *et al*., 2015). glucosid وان الدقائق النانوية للنحاس، الفضة، الذهب لها القدرة على تحسين تراكم الفينولات والفلافونويد والبروتين في مزارع الكالس نبات عشب النجار *Prunella vulgaris* ونبات القرع المر *Momordica charantia* وأيضا تستطيع ان تنشط الية دفاع النبات مع انتاج محسن لمركبات (glucosinolates) و مركبات الفينول والفلافونويد وادى ذلك الى زيادة محتوى مكونات الزيت العطري مثل coryophyllene، citronelly formate و geraniol في انسجة نبات عطر الشاي *Pelargonium graveolen* كما ان استخدام تركيزات مختلفة من CuO-NPs بشكل فعال اثبت فعالية في تعزيز انتاج مركبات الايض الثانوي وهي phenolics ، flavonoids و gymnemic acid في زراعة الخلية (Jamwal *et al*., ; Marslin *et al*., 2015 ; 2018 Chung *et al*., 2018).

واشير الى تراكم المواد الايضية وامكانية احداث التغيرات الفسيولوجية البيوكيميائية في نباتات الكرنب البري *Brassica napa* التي خضعت للمعاملة بالدقائق النانوية لأوكسيد النحاس CuO-NPs وادى العلاج بهذه الدقائق الى زيادة كبيرة في الانثوسيانين والفينول مع تحفيز انتاج مجاميع الاوكسجين التفاعلية . وتم تأكيد هذه النتيجة في زراعة الجذور الشعرية لنفس النبات المعامل بها والتي اظهرت زيادة كبيرة في انتاج المركبات الفينولية (احماض هيدروكسي سينامك، فلافونويدات، حامض الهيدروكسي بنزويك). لوحظت زيادة معنوية في اجمالي محتويات الفينول والفلافونويد بعد 20 يوما من المعاملة بهذه الجسيمات النانوية، بينما كانت محتويات التانين اعلى في 10 ايام (Rios *et al*., 2019). وتمت زيادة محتويات الفلافونويد الكلية في زراعة انسجة كالس نبات *Echinnaca purpurea* استجابة للمعاملة بالدقائق النانوية لأوكسيد الزنك ZnO-NPs. وبالمثل، وجد ان هذه الدقائق تزيد من اجمالي الفينول والانثوسيانين لنباتات البطاطس *Solanum tuberosum* عند وضعها بتركيز معين في الوسط وتم الكشف عن انتاج اعلى من glycosides steriol، phenolics و flavonoid فيها استجابة للدقائق النانوية لأوكسيد الزنك ZnO-NPs. على سبيل المثال، تأثر اجمالي محتويات الفينول والانثوسيانين والفلافونويد الكلي بطريقة تعتمد على الجرعة استجابة لثلاثة انواع مختلفة من اكاسيد المعادن النانوية ومنها (NiO-NPs, ZnO-NPs, CuO-NPs). ومن المحتمل ان تكون استجابة النبات الاولية ل NPs عبارة عن تبادل نشط للأيونات، على سبيل المثال تدفقات $Na^+/K^+/Cl^-$ وتدفق Ca^{+2}/H^+ عبر غشاء البلازما الى العصارة الخلوية ولوحظ في احدى الدراسات زيادة كبيرة في نمو النبات وتركيز الديوسجنين في نبات الحلبة *Trigonella foenum-graecum* بعد المعاملة بتركيز 2.0 مايكروغرام/ كغم من Ag-NPs وتمت زيادة Ferulic acid, isovitexin في نباتات الشعير *Hordeum vulgare* المعرضة للدقائق النانوية لاوكسيد الكادميوم CdO-NPs (Das *et al*., 2018) في نبات اذن الفار *A.thaliana* تم زيادة محتوى الانثوسيانين وتم تنظيم جينات

الفلافونويد التخليقية الحيوية في استجابة حقيقية للدقائق النانوية للفضة (Ahammed *et al*., 2016 ; Garcia-Sanchez *et al*., 2015 ; Elumalai *et al*., 2010).

الاستنتاج

نستنتج من هذه الدراسة ان جميع الدراسات التي تم ذكرها تقدم دليلاً على تعديل مسارات الايض الثانوي بواسطة NPs من خلال الرابط غير المباشر بين ROS والايض الثانوي، والتي يمكن ان تخفف الاجهاد التأكسدي الناجم عن ZnO-NPs عن طريق تحسين امكانات مضادات الاكسدة واستباب الاكسدة والاختزال ومن الممكن أيضا اختراق الجسيمات النانوية داخل الخلايا والتدخل في الفوسفور والكبريت في DNA والبروتينات لذا من الضروري تقليل فقد المغذيات في التربة ، وزيادة المحصول وانتاج مواد الايض الثانوي المهمة من خلال استخدام التطبيقات الجديدة لتقنية النانو والمواد النانوية.

المصادر

Abbas, S.S.; Haneef, M.; Lohani, M.; Tabassum, H.; Khan, A.F. (2016). Nanomaterials used as a plant's growth enhancer: An update. *Internat. J. Pharma Res. Review*, **5**(7), 17-23.

Abdal Dayem, A.; Hossain, M.; LEE, S.B.; Kim, K.; Saha, S.; Yang, G. M.; Cho, S. G. (2017). The role of reactive oxygen species (ROS) in the biologylical activities of metallic nanoparticles. *Int. J. Mol. Sci*., **18**, 120.

Ahammed, G. J.; Li, C.; Bao, X.; Yu, J.; Huang, C. (2016). Brassinosteroid ameliorates zinc oxide nanoparticles-induced oxidative stress by improving antioxidant potential and redox homeostasis in tomato seedling. *Front. Plant Sci*., **7**, 615.

Anjum, S.; Anjum, I.; Hano, C.; Kousar, S. (2020). Advances in nanomaterials as novel elicitors of pharmacologically active plant specialized metabolites: current status and future outlooks. *HAL archives*., **9**(69), 40404-40423.

Astruc, D. (2012). Electron-transfer processes in dendrimers and their implications in biology, catalysis, sensing and nanotechnology. *Nature Chem.*, **4**(4), 255-267.

Cardoso, V.F.; Francesko, A.; Ribeiro, M.; Bañobre-López, M.; Martins, P.; Lanceros-Mendez, S. (2018). Advances in magnetic nanoparticles for biomedical applications. Adv. *Healthcare Mater*., **7**, 1700845.

Chichiriccó, G.; Poma, A. (2015). Penetration and toxicity of nanomaterials in higher plants. *Nanomaterials*., **5**, 851-873.

Chung, I.M.; Rekha, K.; Rajakumar, G.; Thiruvengadam, M. (2018). Elicitation of silver nanoparticles enhanced the secondary metabolites and pharmacological activities in cell suspension cultures of bitter gourd. *Biotech.*, **10**, 412.

Das, P.; Barua, S.; Sarkar, S.; Karak, N.; Bhattacharyya, P.; Raza, N.; Kim, K.H.; Bhattacharya, S.S. (2018). Plant extract-mediated green silver nanoparticles: Efficacy as soil conditioner and plant growth promoter. *J. Hazard. Mater*., **346**, 62-72.

De la Rosa, G.; García-Castañeda, C.; Vázquez-Núñez, E.; Alonso-Castro, Á. J.; Basurto-Islas, G.; Mendoza, Á.; Cruz-Jiménez, G.; Molina, C. (2017). Physiological and biochemical response of plants to engineered NMs: Implications on future design. *Plant Physiol. Biochem*., **110**, 226-235.

Durango, D.; Pulgarin, N.; Echeverri, F.; Escobar, G.; Quiñones, W. (2013). Effect of salicylic acid and structurally related compounds in the accumulation of phytoalexins in cotyledons of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *Molecules*; **18**, 10609-10628.

Elumalai, E.K.; Prasad T.N.; Kambala, V.; Nagajyothi, P.C.; David, E. (2010). Green synthesis of silver nanoparticle using *Euphorbia hirta* L and their antifungal activities. *Archives of Appl. Sci. Research*., **6**, 76-81.

Fakruddin, M.D.; Hossain, Z.; Afroz, H. (2018). Prospects and applications of nanobiotechnology: A medical perspective. *J. Nanobiotechnol*., **10**, 1-8.

Franklin, G.; Conceição, L. F. R.; Kombrink, E.; Dias, A. C. P. (2008). Xanthine biosynthesis in *Hypericum perforatum* cells provides antioxidant and antimicrobial protection upon biotic stress. *Phytochem*., **70**, 60-68.

Garcia-Sanchez, S.; Bernales, I.; Cristobal, S. (2015). Early response to nanoparticles in the *Arabidopsis* transcriptase compromises plant defines and root-hair development through salicylic acid signaling. *BMC Genomics*., **16**, 341.

Gonzalez-Melendi, P.; Fernandez-Pacheco, R.; Coronado, M.J.; Corredor, E.; Testillano, P.S.; Risueno, M.C.; Maequina, C.; Ibarra, M.R.; Rubiales, D.; Perez-de-luqe, A. (2008). Nanoparticles as smart treatment-delivery systems in plants: Assessment of different techniques of microscopy for their visualization in plant tissues. *Annals of Botany.*, **101**, 187-195.

Hanh, N.T.; Le Minh Tri, N.; Van Thuan, D.; Thanh Tung, M.H.; Pham, T.D.; Minh, T.D.; Trang, H.T.; Binh, M.T.; Nguyen, M.V. (2019). Monocrotophos pesticide effectively removed by novel visible light driven Cu doped ZnO photocatalyst. *J. Photochem. Photobiol. Chem*., **382**, 111923.

Hatami, M.; Naghdi, B. H.; Ghorbanpour, M. (2019). Nano-elicitation of secondary pharmaceutical metabolites in plant cells: a review. *J. Med. Plants*., **18(**71**),** 6-36.

Ismail, A.A.; Abdelfattah, I.; Helal, A.; Al-Sayari, S.A.; Robben, L.; Bahnemann, D.W. (2016). Ease synthesis of mesoporous WO3-TiO2 nanocomposites with enhanced photocatalytic performance for photodegradation of herbicide imazapyr under visible light and UV illumination. *J. Hazard. Mater*., **307**, 43-54.

Jampílek, J.; KráĺovÁ, K. (2017). "Nanopesticides: Preparation, Targeting, and Controlled Release". In New Pesticides and Soil Sensors; Academic Press: Cambridge, MA, USA. pp.81-127.

Jamwal, K.; Bhattacharya, S.; Puri, S. (2018). Plant growth regulator mediated consequences of secondary metabolites in medicinal plants. *J. Ap. Res. Med. Aromat. Plants*, **9**, 26-38.

Jumma, A.M.K.; Yahya, R. T. (2021). Efficiency of ZnO-NPs added in Culture Medium in Lignan Content in Callus of Flax *Linum usitatissimum* L. Plants. Master Thesis, College of Science, University of Mosul, Iraq.

Kah, M.; Kookana, R.S.; Gogos, A.; Bucheli, T.D. (2018). A critical evaluation of nanopesticides and nanofertilizers against their conventional analogues. *Nat. Nanotechnol*., **13**, 677-684.

Khan, I.; Saeed, K.; Khan, I. (2019). Nanoparticles: properties, applications and toxicities. *Arab. J. Chem*., **12**, 908-931.

Kumar, S.; Nehra, M.; Dilbaghi, N.; Marrazza, G.; Hassan, A.A.; Kim, K.H. (2019). Nano-based smart pesticide formulations: Emerging opportunities for agriculture. *J. Control. Release*, 131-153.

Li, Z.Z.; Chen, J.F.; Liu, F.; Liu, A.Q.; Wang, Q.; Sun, H.Y.; Wen, L.X. (2007). Study of UV-shielding properties of novel porous hollow silica nanoparticle carriers for ivermectin. *Pest. Manag. Sci*., **63**, 241-246.

Marslin, G.; Selvakesavan, R.K.; Franklin, G.; Sarmento, B.; Dias, A.C. (2015). Antimicrobial activity of cream incorporated with silver nanoparticles biosynthesized from *Withania somnifera*. *Int. J. Nanomed*., **10**, 5955-5963.

Nair, R.; Varghese, S.H.; Nair, B.G.; Maekawa, T.; Yoshida, Y.; Kumar, D.S. (2010). Nanoparticlate: material delivery to plants. *Plant Sci.*, **179,** 154-163.

Páez, M.R.; Ochoa-Muñoz, Y.; Rodriguez-Páez, J.E. (2019). Efficient removal of a glyphosate-based herbicide from water using ZnO nanoparticles (ZnO-NPs). *Biocatal. Agric. Biotechnol*., **22**, 101434.

Pascoli, M.; Lopes-Oliveira, P.J.; Fraceto, L.F.; Seabra, A.B.; Oliveira, H.C. (2018). State of the art of polymeric nanoparticles as carrier systems with agricultural applications: A minireview. *Energy Ecol. Environ.*, **3**, 137-148.

Prasad, T.; Sudhakar, P.; Sreenivasulu, Y.; Latha, P.; Munaswamy, V.; Raja Reddy, K. Sreeprasad, T.S.; Sajanlal, P.R.; Pradeep, T. (2012). Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. *J. Plant. Nutr*., **35**(6), 905-27.

Rajeshwari, A.; Suresh, S.; Chandrasekaran, N.; Mukherjee, A. (2016). Toxicity evaluation of gold nanoparticles using an *Allium cepa* bioassay. *RSC Adv*., **6**, 24000-24009.

Riaza, M.S.; Ullaha, N.; Alid, H.; Nadhmane, A. (2019). Analysis, fate, and toxicity of engineered nanomaterials in plants., *J. Nanobiotechnol*., **84**, 23.

Rico, C. M.; Majumdar, S.; Duarte-Gardea, M.; Peralta-Videa, J. R.; Gardea- Torresdey, J. L. (2011). Interaction of nanoparticles with edible plants and their possible implications in the food chain. *J. Agric. Food Chem.*, **59**, 3485-3498.

Rios, J.J.; Garcia-Ibañez, P.; Carvajal, M. (2019). The use of biovesicles to improve the efficiency of Zn foliar fertilization. *Colloids Surf. Biointerf.*, **173**, 899-905.

Rizzello, L.; Pompa, P.P. (2014). Nanosilver-based antibacterial drugs and devices: mechanisms, methodological drawbacks, and guidelines. *Chem. Soc. Rev.*, **43**(5), 1501-1518.

Savithramma, N.; LinoRao, M.; RukminiK, Suvarnalathadevi, P. (2011). Antimicrobial activity of silver nanoparticles synthesized by using medicinal plants. *Int. J. Chem. Tech. Res.*; **3**,1394-1402.

Thakur, M.; Bhattacharya, S.; Khosla, P.K.; Puri, S. (2019). Improving production of plant secondary metabolites through biotic and abiotic elicitation. *J. Appl. Res. Med. Aromat. Plants*, **12**, 1-12.

Tripathi, D.K.; Shweta, S.; Singh, S.; Singh, S.; Pandey, R.; Singh, V.P.; Sharma, N.C.; Prasad, S.M.; Dubey, N.K.; Chauhan, D.K. (2017). An overview on manufactured nanoparticles in plants: Uptake, translocation, accumulation and phytotoxicity. *Plant Physiol. Biochem*., **110**, 2-12.

Večeřová, K.; Večeřa, Z.; Dočekal, B.; Oravec, M.; Pompeiano, A.; Tříska, J. (2016). Changes of primary and secondary metabolites in barley plants exposed to CdO nanoparticles. *Environ. Pollut*. **218**, 207-218.

Yang, F.; Hong, F.; You, W. (2006). Influences of nano-anatase TiO2 on the nitrogen metabolism of growing spinach. *Biolog. Trace Element Research*, **110**(2), 179-190.

The Efficiency of Nanoparticles Oxides in the Promoting the Formation of Secondary Metabolites Compounds in Plants

Rana T. Yahya

Department of Biophysics/ College of Science/ University of Mosul

ABSTRACT

The study impressed on the necessary of using advanced nanotechnology in different fields and applications, as it contributes in the increasing of production, improving quality, reducing costs, preventing the use of harmful pesticides and chemical fertilizers, and explain the role of research related to completing new added value for the agricultural section and for obtain an clean environment free from nano-pollutants and manipulating them in a positive direction for the growth of certain types of accumulated plants, improving the plant's ability to obtain plant metabolic materials with medical and pharmaceutical benefits and directing work to exploit these materials in all aspects of life because of their importance and empty from any harmful side effects**.** For this purpose elements are used as stimulation factors, which leads to enhancing the bio- formation of these compounds in plant cell cultures in vitro. These factors include elements from biotic and non-biotic sources, the most important of which are nanoparticles, which are non-biotic extract materials used to obtain medicinal compounds derived from plants.

Keywords: Nanoparticles, The oxides, Secondary metabolites.