

## التخليق الحيوي للجسيمات النانوية وتطبيقاتها في مجال مكافحة الآفات الزراعية: دراسة مرجعية

ميساء توفيق علوش

قسم الكيمياء الحيوية والأحياء الدقيقة، كلية الصيدلة، جامعة البعث،

حمص، سورية، البريد الإلكتروني: mysaa2006@hotmail.com

## الملخص

علوش، ميساء توفيق. 2020. التخليق الحيوي للجسيمات النانوية وتطبيقاتها في مجال مكافحة الآفات الزراعية: دراسة مرجعية. مجلة وقاية النبات العربية، 38(4): 267-280.

تعد تقانة النانو من التقانات الحديثة التي تدخل في مجالات عديدة منها الزراعة. يتم تخليق الجسيمات النانوية بطرائق عديدة، وتعد الطريقة الحيوية من الطرائق السهلة، السريعة، الرخيصة والأمنة بيئياً، والتي تتم باستخدام الكائنات الحية الدقيقة أو المستخلصات النباتية. تتناول هذه الدراسة المرجعية أحدث الدراسات حول التصنيع الحيوي للجسيمات النانوية المعدنية باستخدام المستخلصات النباتية. استخدم الباحثون مستخلصات أجزاء النبات المختلفة (جذور، سوق، أوراق، ثمار، قشور ثمار، بذور) لإنتاج الجسيمات النانوية للعديد من المعادن أهمها الفضة (Ag)، الذهب (Au) وأكاسيد بعض المعادن مثل أكسيد الزنك (ZnO)، وأكسيد النحاس (CuO)، وأكسيد الحديد (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) وغيرها من الأكاسيد المعدنية. كما تتناول الدراسة بعض الأمثلة حول استخدام المواد النانوية المعدنية في مكافحة الآفات الزراعية (البكتريا، الفطور، النيماطودا، الفيروسات، الحشرات).

كلمات مفتاحية: التصنيع الحيوي، الجسيمات النانوية، المستخلصات النباتية، مكافحة الآفات.

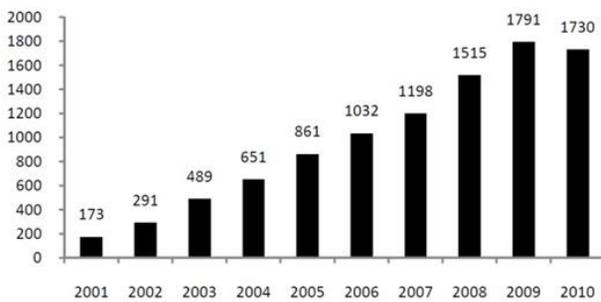
## المقدمة

يوضح فهرس الاقتباس العلمي الموسع (Science Citation

Index Expanded) خلال 2001-2010 نمواً مضطرباً في مجال تقانة

النانو، وتشير الأرقام في شكل 1 إلى زيادة أسية في الأبحاث المنشورة

في مجال تقانة النانو (Biglu *et al.*, 2011).



شكل 1. عدد الأبحاث المنشورة في مجال تقانة النانو خلال الفترة 2001-

2010 (Singh *et al.*, 2016)

**Figure 1.** Number of papers published in the nanotechnology field during the period 2001-2010 (Singh *et al.*, 2016).

تعود أهمية المواد النانوية بالدرجة الأولى إلى ارتفاع نسبة سطحها

إلى حجمها نظراً لتناهي صغرهما، وهذه الميزة تزيد من سطح تماسها مع

الأجسام الأخرى (Gahlawat *et al.*, 2016). يتم تخليق الجسيمات

اشتقت كلمة "نانو" من الكلمة الإغريقية "Nanos" والتي تعني "القرمز"، ويمثل النانو جزءاً من مليار، وعليه فإن النانومتر (nm) يُعادل 10<sup>-9</sup> م. ولتخيل الأمر فإن 1 نانومتر يقاس ثلاث ذرات كربون مصطفة بجانب بعضها البعض، وأن فيروس الرشح يقاس نحو 100 نانومتراً، ومتوسط قطر شعرة الإنسان يقاس نحو 10000 نانومتراً (Hulkoti & Taranath, 2014). ومن المتعارف عليه أن المواد تكون ضمن المقياس النانوي nanomaterials إذا كان أحد أبعادها لا يتجاوز 100 نانومتر. ويطلق على العلم الذي يتناول تطبيقات استخدام هذه المواد علم تقانة النانو Nanotechnology (Madkour, 2019).

تعد تقانة النانو من أهم التقانات التي تدخل في مجالات متعددة، إذ تعتمد على تخليق جسيمات بأبعاد نانوية (NPs) حيث تمتلك هذه الجسيمات خصائص مختلفة عن المعادن التي تكونت منها وذلك بناءً على هندسة جزيئات المعدن بأشكال وأحجام متنوعة (Rao & Gan, 2015)، وقد زاد الاهتمام في السنوات الأخيرة بإنتاج المواد المعدنية النانوية لما لها من استخدامات في مجالات متنوعة كالمجالات الطبية الحيوية والزراعية والبيئية والصناعية (Singh *et al.*, 2016).

النانوية بوحدة من طريقتين؛ البناء من الأسفل للأعلى، وذلك عبر هندسة بناء المواد النانوية بدءاً من أيوناتها، ويحدث هذا بالطرائق الكيميائية والحيوية، أو التحطيم من الأعلى للأسفل وهذا يحدث بالطرائق الفيزيائية كالطحن مثلاً (Shedbalkar et al., 2014). يُعاب على الطرائق الفيزيائية والكيميائية المستخدمة في تصنيع الجسيمات النانوية أنها تستغرق وقتاً أطول، وتستخدم مواد ضارة ومذيبات خطرة قد يصعب التخلص منها وتبقى آثارها في البيئة، بالإضافة لحاجتها لطاقة كبيرة (Irshad et al., 2020).

يتم التخليق الحيوي للجسيمات النانوية (biosynthesis) باستخدام نواتج أيض الكائنات الحية الدقيقة (فيروسات، بكتيريا، فطور شعاعية، فطور حقيقية بما فيها الخمائر، والطحالب) أو المستخلصات النباتية، ومن ميزات هذه الطريقة أنها صديقة للبيئة، لا تحتاج طاقة، رخيصة وسريعة. وتبعاً للدراسة التي قام بها Ribeiro et al. (2020). تحتوي قاعدة البيانات العلمية أكثر من 159 مقالة حول التخليق الحيوي للجسيمات النانوية، والتي تتوافق مع معايير البحث. كانت البداية عام 2003، واستمر الإنتاج العلمي في هذا المجال - ببطء - حتى عام 2009، وفي عام 2010 تضاعف عدد الأوراق العلمية المنشورة ثلاث مرات، وتم تسجيل أكبر عدد من الأبحاث المنشورة خلال الفترة 2015-2016، وبلغ ذروة الإنتاج العلمي في عام 2016 حيث سُجل 39 ورقة علمية.

سنتناول في هذه الدراسة المرجعية أحدث الأبحاث في مجال التخليق الحيوي لأهم المواد المعدنية النانوية باستخدام المستخلصات النباتية، وتطبيقات تقانة النانو في مجال مكافحة الآفات الزراعية.

**التخليق الحيوي للجسيمات النانوية باستخدام المستخلصات النباتية**

تحتوي النباتات على مركبات عضوية مثل الفلافونويدات والأحماض الأمينية والكربوكسيلية، الكيتونات، الفينولات والبروتينات (Attia & Elsheery, 2020). حيث تسهم هذه المواد بدورٍ مهم في إرجاع الأملاح المعدنية وإنتاج جسيمات نانوية بطرائق سهلة وسريعة وأمنة بيئياً.

#### الاصطناع الحيوي لجسيمات الفضة النانوية

أولى الباحثون جسيمات الفضة النانوية أهمية خاصة نظراً لما تمتلكه من خواص كالتوصيل الحراري والكهربائي العالي، الاستقرار الكيميائي، النشاط التحفيزي العالي، والأنشطة المضادة للميكروبات (Jeyaraj et al., 2013)، ولهذا السبب فقد استخدمت جسيمات الفضة النانوية في مجالات صناعية عدة منها ضمادات الجروح والملابس ومستحضرات التجميل والأحذية الرياضية وغيرها

أما أوراق النباتات، فقد استخدمت على نطاق واسع في مجال التصنيع الحيوي لجسيمات الفضة النانوية، حيث استخدم بعض الباحثين المستخلص المائي لأوراق الأزدرخت (*Melia azedarach* L.) في تصنيعها خلال 10 دقائق وكانت الجسيمات الناتجة كروية الشكل، تراوحت أبعادها في حدود 18-30 نانومتر، وكان لتلك الجسيمات نشاط مضاد للفطور (Jebriil & Dridi, 2020).

Table 1. Biosynthesis of silver nanoparticles using different plant parts.

| المرجع<br>Reference                  | ظروف التصنيع<br>Synthesize conditions         | حجم الجسيمات<br>النانوية (نانومتر)<br>NPs size (nm) | الجزء النباتي<br>Plant's part | الاسم الشائع للنبات<br>Plant common<br>name | الاسم العلمي للنبات<br>Scientific name |
|--------------------------------------|---|---|-------------------------------|---|--|
| Danbature <i>et al.</i> , 2020       | 80°C، 30 د<br>80°C, 30 min.                   | غير محددة<br>Not determined                         | جذور<br>Roots                 | النخيل الأثيوبي<br>African fan palm         | <i>Borassus aethiopum</i> Mart         |
| Barman <i>et al.</i> , 2020          | 60°C، 3.5 سا<br>60°C, 3.5 hours               | 20.4  | جذور<br>Roots                 | الزنجبيل<br>Ginger                          | <i>Zingiber officinale</i> L.          |
| Bin-Jumah <i>et al.</i> , 2020       | حرارة الغرفة، 25 د<br>Room temp., 25 min.     | 52.4±3.6  | جذور<br>Roots                 | الثوندر/البنجر<br>Beet                      | <i>Beta vulgaris</i> L.                |
| Dawodu <i>et al.</i> , 2019          | حرارة الغرفة، 5 سا<br>Room temp., 5 hours     | ~ 25  | سوق<br>Stems                  | اللوبياء<br>Cowpea                          | <i>Vigna anguiculata</i> L.            |
| Balasubramanian <i>et al.</i> , 2019 | حرارة الغرفة، 2 سا<br>Room temp., 2 hours     | 10– 20  | سوق<br>Stems                  | الياسمين<br>Jasmin                          | <i>Jasminum auriculatum</i> Vahl       |
| Jebril & Dridi 2020                  | حرارة الغرفة، 10 د<br>Room temp., 10 min.     | 18– 30  | أوراق<br>Leaves               | ازدرخت<br>Chinaberry                        | <i>Melia azedarach</i> L.              |
| Shaikh <i>et al.</i> , 2020          | ضوء الشمس، 4 سا<br>Sun light, 4 hours         | 20–50   | أزهار<br>Flowers              | الحامول<br>Dodder                           | <i>Cascuta reflexa</i> Roxb            |
| Bindhu <i>et al.</i> , 2020          | ضوء الشمس، 30 د<br>Sun light, 30 min.         | 8   | أزهار<br>Flowers              | ذنب الحصان<br>Horseraddish                  | <i>Moringa oleifera</i> Lam.           |
| Kanniah <i>et al.</i> , 2020         | ضوء الشمس، 30 د<br>Sun light, 30 min.         | 90  | أزهار<br>Flowers              | عصا الراعي<br>Knotgrass                     | <i>Aerva lanata</i> L.                 |
| Odeniyi <i>et al.</i> , 2020         | ضوء الشمس، 24-72 سا<br>Sun light, 24-72 hours | 12  | ثمار<br>Fruits                | الخوخ الأفريقي<br>African peach             | <i>Nauclea Latifolia</i> Smith         |
| Mohseni <i>et al.</i> , 2020         | ضوء الشمس، 30 ثا<br>Sun light, 30 sec.        | 19–54   | بذور<br>Seeds                 | الرمان<br>Pomegranate                       | <i>Punica granatum</i> L.              |
| Gomathi <i>et al.</i> , 2020         | 45°C، 2 hours<br>45°C, 2 hours                | 20–52   | قشور الثمار<br>Fruit's peel   | تمر هندي<br>Tamarind                        | <i>Tamarindus indica</i> L.            |
| Soto <i>et al.</i> , 2019            | 90°C، 20 د<br>90°C, 20 min.                   | 50 -5   | قشور الثمار<br>Fruit's peel   | البرتقال<br>Orange                          | <i>Citrus sinensis</i> L.              |

العديد من الدراسات التصنيع الحيوي لجسيمات الذهب النانوية باستخدام المستخلصات النباتية (جدول 2)، فقد استخدم Wang *et al.* (2017) مستخلص جذور السرخس (*Cibotium barometz* L.). تم تحضير المستخلص النباتي وذلك بغسل الجذور عدة مرات بالماء المقطر وتجفيفها وطحنها للحصول على مسحوق، تم وزن 5 غ منه وأضيفت إلى 100 مل ماء مقطر ثم غليها لمدة 30 دقيقة، وبعد ترشيح المستخلص وتعريضه للتردد المركزي للتخلص من أي شوائب، أضيف محلول HAuCl<sub>4</sub>.3H<sub>2</sub>O إلى 5 مل من المستخلص النباتي للحصول على تركيز نهائي 1 مل/لتر، وتم تسخين المزيج عند 80°C حتى حدوث تغير في اللون. بدأ تغير لون المزيج تدريجياً حتى أصبح أحمر بعد 25 دقيقة، وقد بينت نتائج صور المجهر الإلكتروني أن جسيمات الذهب النانوية المتكونة كانت كروية الشكل أبعادها في حدود 5-20 نانومتر. وفي دراسة أخرى؛ استخدم مستخلص أوراق البوهينيا (*Bauhinia purpurea* L.) كعامل مساعد للحصول على جسيمات الذهب النانوية باستخدام أشعة الميكروويف، وانتهى التفاعل خلال 30 ثانية فقط ونتج عنه أجسام الذهب النانوية بأشكال متنوعة (سداسية ومثلثية وعصوية) أثبتت فعاليتها كأجسام مضادة للميكروبات والسرطان والأوكسدة (Vijayan *et al.*, 2019).

أما عن استخدام مستخلص البذور، ففي تجربة أجريت في إيران، تم استخدام المستخلص المائي لبذور الرمان (*Punica granatum* L.)، حيث تم تجفيف البذور لمدة 30 يوماً في الظل، ثم طحنها، وأضيف 8 غ من مسحوق البذور إلى 100 مل ماء مقطر ووضعت في حمام مائي عند 60°C لمدة 30 دقيقة ثم رُشحت وأضيف لها محلول نترات الفضة (1 مول/لتر) حديث التحضير بنسبة 9:1 وتُرك المزيج تحت أشعة الشمس مدة 10 دقائق، وقد لوحظ أن تشكل جسيمات الفضة النانوية تم بوقت قياسي (30 ثانية فقط)، وكان حجم الجسيمات الناتجة في حدود 19-54 نانومتر (Mohseni *et al.*, 2020).

#### الاصطناع الحيوي لجسيمات الذهب النانوية

يُعد التخليق الحيوي لجسيمات الذهب النانوية ذو أهمية كبيرة، نظراً لامتلاكها تطبيقات مهمة في مجال الطب الحيوي، أو ما بات يُعرف بالطب النانوي، وهذا يعود إلى فعاليتها كمضاد للبكتيريا والفطور، مضادة للسرطان، ومضادة للأكسدة (Stozhko *et al.*, 2019). كما تم استخدام جزيئات الذهب النانوية للكشف عن الأورام وتشخيص الأمراض الوراثية والاضطرابات الوراثية والتصوير الضوئي والعلاج الضوئي (Huang *et al.*, 2007؛ Khlebtsov & Dykman, 2011). تناولت

Table 2. Biosynthesis of gold nanoparticles using different plant parts.

| المرجع<br>Reference               | ظروف التصنيع<br>Synthesis conditions                                 | حجم الجسيمات<br>النانوية<br>(نانومتر)<br>NPs size (nm) | الجزء النباتي<br>Plant's<br>part | الاسم الشائع للنبات<br>Plant common<br>name        | الاسم العلمي للنبات<br>Scientific name |
|-----------------------------------|--|--|----------------------------------|--|--|
| Zhang <i>et al.</i> , 2020a       | حرارة الغرفة، في الظلام، بضع ساعات<br>Room temp., in dark, few hours | 60-20  | جذور<br>Roots                    | ايفوريبيا<br>Spurge                                | <i>Euphorbia fischeriana</i>           |
| Wang <i>et al.</i> , 2017         | 25 دقيقة<br>25 minutes   | 20 -5  | جذور<br>Roots                    | سرخس<br>Woolly fern                                | <i>Cibotium barometz</i> L.            |
| Poojary <i>et al.</i> , 2016      | 80°س<br>80°C   | 22   | جذور<br>Roots                    | نبات زهري موطنه<br>الأصلي الهند<br>Ceylon ironwood | <i>Mammea suriga</i> Buch.-Ham         |
| Vijayan <i>et al.</i> , 2019      | ميكروويف، 30 ثانية<br>Microwave, 30 sec.                             | 50 -20   | أوراق<br>Leaves                  | بوهينيا- قدم الفيل<br>Camel's foot                 | <i>Bauhinia purpurea</i> L.            |
| Dudhane <i>et al.</i> , 2019      | حرارة الغرفة، 15 دقيقة<br>Room temperature                           | 30-15  | أوراق<br>Leaves                  | أرجونا<br>Arjun tree                               | <i>Terminalia arjuna</i> Roxb          |
| Dobrucka <i>et al.</i> , 2020     | 80°س، 24 ساعة<br>80°C, 24 hours                                      | 10   | أزهار<br>Flowers                 | بيتونيا<br>common hedgenettle                      | <i>Betonica officinalis</i> L.         |
| Chokkalingam <i>et al.</i> , 2019 | 80°س، 75 ثانية<br>80°C, 75 seconds                                   | 100-20   | ثمار<br>Fruits                   | العوسج الصيني<br>Chinese wolfberry                 | <i>Lycium chinense</i> Mill            |

العطرة (*Plectranthus amboinicus*) (Vijayakumar *et al.*, 2015).  
يوضح جدول 3 أهم الدراسات حول استخدام المستخلصات النباتية في  
تصنيع أكسيد الزنك النانوي خلال الفترة 2018-2020.

استخدم Liu *et al.* (2020) جذور الفجل (*Raphanus sativus* L.)  
حيث تم تجفيف الجذر وطحنه ثم تعليقه في ماء مقطر وغليه لمدة  
30 دقيقة. تم تجهيز 50 مل من محلول ثنائي كلوريد الزنك (0.1  
مول/لتر) وأضيف له مستخلص جذور الفجل قطرة قطرة مع التحريك  
المستمر والتسخين عند 80°س حتى تشكل راسب خفيف. بينت صور  
المجهر الإلكتروني النافذ أن جسيمات أكسيد الزنك كروية الشكل بقطر  
في حدود 25-40 نانومتر ومجمعة في سلاسل. وفي دراسة أخرى  
جرت في باكستان، تم استخدام مستخلص أوراق وسوق وأزهار الريحان  
(*Ocimum basilicum* L.) في تصنيع جسيمات أكسيد الزنك، حيث تم  
تجفيف الأجزاء النباتية في الظل لتجهيز مسحوق منها، ثم أُضيف 10 غ  
من مسحوق الأجزاء المختلفة كلا على حده إلى 100 مل ماء مقطر وتم  
تسخينها عند حرارة 80°س لمدة ساعتين، وبعد التبريد والترشيح والطرْد  
المركزي للمستخلص النباتي تمت إضافة 230 مل من محلول ثنائي  
كلوريد الزنك 0.2 مول/لتر إلى 100 مل من المستخلص النباتي عند  
حرارة الغرفة (25°س)، بدأ ظهور التغير اللوني في المزيج سريعاً خلال  
ثواني مما يشير إلى تشكل جسيمات أكسيد الزنك، وكانت بنية الجسيمات  
الناجمة للوربية بحجم 30-40 نانومتر، وكان لهذه الجسيمات تأثيراً مثبطاً  
لنمو البكتيريا ايجابية وسلبية الغرام فاق تأثير الجنتاميسين، كما كان لها  
تأثيراً مثبطاً لنمو الفطر (*Aspergillus niger*) (Irshad *et al.*, 2020).

#### الاصطناع الحيوي لجسيمات الأكاسيد المعدنية النانوية

تحتل الأكاسيد المعدنية مكانة مهمة في تطبيقات النانو، نظراً لكونها  
أنصاف نواقل جيدة، وهي لذلك تستخدم على نطاق واسع في  
تركيب أجهزة الاستشعار، وخلايا الوقود، والدارات الإلكترونية،  
والأجهزة الكهرومغناطيسية، والطلاء ضد التآكل وكذلك المحفزات  
(Patil *et al.*, 2014).

أكسيد الزنك النانوي - اكتسب أكسيد الزنك اهتماماً كبيراً من قبل الباحثين  
بسبب خصائصه الكبيرة مثل التوصيلية الجيدة، والاستقرار الكيميائي،  
والخصائص التحفيزية؛ والأهم من ذلك الأنشطة المضادة للفطور  
والبكتيريا والفيروسات دون أن يسبب سمية، التي جعلت لجسيمات أكسيد  
الزنك تطبيقات طبية وصناعية (Ambika & Sundrarajan, 2015)؛  
(Reddy *et al.*, 2007). كما وجد أن أكسيد الزنك النانوي يمتلك  
اصطفائية في استهداف الخلايا السرطانية وكذلك بدائيات النوى، حيث  
يؤثر في البكتيريا السالبة والموجبة لغرام (Liu *et al.*, 2020).

أجريت دراسات عديدة استُخدمت فيها المستخلصات النباتية في  
تصنيع أكسيد الزنك النانوي مثل أوراق عسكار (*Calotropis procera*)  
(Gawade *et al.*, 2017)، الروبوس (*Aspalathus linearis*)  
(Diallo *et al.*, 2015)، أوراق الأزدرخت (*Azadirachta indica*)  
(Elumalai *et al.*, 2015)، (*Artocarpus gomezianus*)  
(Suresh *et al.*, 2015)، أوراق المورينغا (*Moringa oleifera*)  
(Prasad & Elumalai, 2011)، أوراق شجرة فيتكس الصينية  
(*Vitex negundo*) (Ambika & Sundrarajan 2015)، وأوراق زهر

جدول 3. التصنيع الحيوي لجسيمات أكسيد الزنك النانوية باستخدام مستخلصات أجزاء نباتية مختلفة.

Table 3. Biosynthesis of zinc oxide nanoparticles using different plant parts.

| المرجع<br>Reference           | ظروف التصنيع<br>Synthesis conditions   | حجم الجسيمات<br>النانوية      |                             | الاسم العلمي للنبات<br>Scientific name   |
|-------------------------------|--|-------------------------------|-----------------------------|--|
|                               |  | الجزء النباتي<br>Plant's part | NP's size (nm)              |  |
| Shaik <i>et al.</i> , 2020    | 60°س، 2 ساعة<br>60°C, 2 hours  | 80-65                         | جذور<br>Roots               | نبات عشبي مزهر استوائي<br>Singapore daisy<br><i>Sphagneticola trilobata</i> L. |
| Liu <i>et al.</i> , 2020      | 80°س<br>80°C   | 40-25                         | جذور<br>Roots               | الفجل<br>Radish<br><i>Raphanus sativus</i> L.                                  |
| Prachi & Negi 2019            | 60°س، 10 دقيقة<br>60°C, 10 min.  | 81.5                          | سوق<br>Stems                | شوجب هندي<br>Bearded premna<br><i>Premna barbata</i> Wall                      |
| Irshad <i>et al.</i> , 2020   | 25°س<br>25°C   | 40-30                         | أوراق<br>Leaves             | الريحان<br>Basil<br><i>Ocimum basilicum</i> L.                                 |
| Shreema <i>et al.</i> , 2020  | 1 ساعة<br>1 hour   | 21.19                         | أوراق<br>Leaves             | المريمية<br>Sage<br><i>Salvia officinalis</i> L.                               |
| Rafique <i>et al.</i> , 2020  | 60°س، 2 ساعة<br>60°C, 2 hours  | 78-64                         | أوراق<br>Leaves             | الباموزيا<br>Black plum<br><i>Syzygium cumini</i> L.                           |
| Karpagavinayagam & Vedhi 2019 | غير محدد<br>Not described  | 100-30                        | أزهار<br>Flowers            | القرم البحري<br>Mangrove<br><i>Avicennia marina</i> Forssk                     |
| Awwad <i>et al.</i> , 2020    | 70-80°س، 2 ساعة<br>70-80°C, 2 hours  | 18-5                          | ثمار<br>Fruits              | اليانطس<br>Tree of heaven<br><i>Ailanthus altissima</i> Mill                   |
| Sorbiun <i>et al.</i> , 2018  | 60°س، 4 ساعة، ثم حفظت عند حرارة المختبر طوال الليل<br>60 °C for 4 hours followed by room temp. overnight | 34                            | ثمار<br>Fruits              | السنديان<br>Oak<br><i>Quercus robur</i> L.                                     |
| Abdullah <i>et al.</i> , 2020 | 60°س، 3 ساعة<br>60°C, 3 hours  | 80-30                         | قشور الثمار<br>Fruit's peel | الموز القزم<br>Dwarf banana<br><i>Musa acuminata</i> Colla                     |
| Khan <i>et al.</i> , 2019     | 60°س، 3 ساعة<br>60°C, 3 hours  | 25-20                         | أبصال<br>Bulbs              | نبات عشبي استوائي<br>Indian head ginger<br><i>Costus woodsonii</i> Maas        |

جذور راوند (*Rheum palmatum*) (Bordbar *et al.*, 2017)، مستخلص أزهار (*Aglaia elaeagnoides*) (Manjari *et al.*, 2017)، مستخلص أوراق التفاح (*Malus domestica*) (Jadhav *et al.*, 2018). يشير جدول 4 إلى أحدث الدراسات حول استخدام مستخلصات أوراق وثمار وبذور بعض النباتات لتصنيع أكسيد النحاس النانوي وظروف تصنيعها وحجم الجسيمات الناتجة.

**أكسيد الحديد النانوي وأكاسيد معدنية نانوية أخرى** - تُستخدم جزيئات أكسيد الحديد النانوية لعلاج السرطان، وتوصيل الأدوية، وعلاج الأنسجة التالفة، ووضع العلامات على الخلايا لمراقبتها لاحقاً كما هو الحال في متابعة تطور الأورام، وإزالة السموم من السوائل البيولوجية، والتصوير بالرنين المغناطيسي (Iv *et al.*, 2015). استخدم المستخلص المائي لجذور *Chromolaena odorata* لتصنيع  $Fe_3O_4$ NPs (Nnadozie & Ajibade, 2020)، عُسلت الجذور بالماء وجُففت بالشمس لمدة 14 يوم، أُضيف 5 غ من مسحوق الجذور إلى 50 مل ماء مقطر وتم تسخين المزيج عند حرارة 85 °س مدة 2 ساعة مع التحريك المستمر، ثم تم ترشيح المستخلص وتعريضه للتردد المركزي لفصل الشوائب.

وفي دراسة أخرى، تم استخدام قشور الموز (*Musa acuminata* L.) في تصنيع جسيمات أكسيد الزنك، حيث تم تحضير المستخلص النباتي بإضافة 100 غ من مسحوق قشور الموز المجففة في الظل إلى 100 مل ماء مقطر وتسخينها لمدة 20 دقيقة عند حرارة 80 °س، وبعد التبريد تم ترشيح المستخلص النباتي مرتين. تم تحضير 50 مل من محلول ثنائي خلات الزنك وأُضيف له المستخلص النباتي قطرة قطرة مع التحريك المستمر لمدة 10 دقائق، كانت الجسيمات الناتجة مختلفة الأشكال تراوح حجمها بين 30 و 80 نانومتر (Abdullah *et al.*, 2020).

**أكسيد النحاس النانوي** - يُستخدم أكسيد النحاس النانوي في عدة مجالات منها صناعة البطاريات والبوليمرات وأجهزة البصريات (Nasrollahzadeh & Sajadi, 2015)، كما يُعد بديلاً رخيصاً للعناصر النبيلة كالذهب والفضة نظراً لامتلاكه تأثيرات شبيهة مثل التوصيل الدوائي، مضاد للسرطان، ومثبط ميكروبي (Buazar *et al.*, 2019). استُخدمت العديد من المستخلصات النباتية لتصنيع أكسيد النحاس النانوي، مثل مستخلص أوراق أبو طيلون الهندي (*Abutilon indicum*) (Ijaz *et al.*, 2017)، مستخلص أوراق ساراكة الشوكية (*Saraca indica*) (Prasad *et al.*, 2017)، مستخلص أوراق السدر الهندي (*Ziziphus mauritiana*) (Pansambal *et al.*, 2017)، مستخلص

Table 4. Biosynthesis of copper oxide nanoparticles using different plant parts.

| المرجع<br>Reference       | ظروف التصنيع<br>Synthesis conditions   | حجم الجسيمات<br>النانوية (نانومتر)<br>NPs size (nm) | الجزء النباتي<br>Plant part | الاسم الشائع للنبات<br>Common name       | الاسم العلمي للنبات<br>Scientific name |
|---------------------------|--|---|-----------------------------|--|--|
| Awwad & Amer 2020         | حرارة الغرفة، 4 ساعة<br>Room temp., 4 hours  | 20  | أوراق<br>Leaves             | الزئذرخ الصيني- ايلنطس<br>Tree of heaven | <i>Ailanthus altissima</i>             |
| Mari et al., 2020         | أشعة فوق بنفسجية<br>UV light   | غير محدد<br>Not determined                          | أوراق<br>Leaves             | نبات المقابر<br>Rose periwinkle          | <i>Catharanthus roseus</i>             |
| Nordin & Shamsuddin, 2019 | 60 دقيقة<br>60 min.  | 8.4   | أوراق<br>Leaves             | الكاري<br>Curry                          | <i>Murraya koenigii</i>                |
| Gebremedhn et al., 2019   | 60-50 °س، 6 دقيقة<br>50-60°C, 6 min.   | غير محدد<br>Not determined                          | أوراق<br>Leaves             | القات<br>Khat                            | <i>Catha edulis</i>                    |
| Singh et al., 2019        | 60 °س، 4 ساعة<br>60°C, 4 hours   | 2-6   | أوراق<br>Leaves             | الجوافة<br>Guava                         | <i>Psidium guajava</i>                 |
| Sorbiun et al., 2018      | غلي المزيج ثم التسخين عند<br>500 °س لمدة 4 ساعة<br>Boiling the mixture then heating<br>at 500 °C for 4 hours | 40  | ثمار<br>Fruits              | السنديان<br>Oak                          | <i>Quercus robur</i>                   |
| Sukumar et al., 2020      | 7 ساعات<br>7 hours   | 13.07   | بذور<br>Seeds               | الفاصولياء الرمادية<br>Bonduc nut        | <i>Caesalpinia bonducella</i>          |
| Buazar et al., 2019       | 25 °س، 1 ساعة<br>25°C, 1 hour  | 22±1.5  | بذور<br>Seeds               | القمح الطري<br>Bread wheat               | <i>Triticum aestivum</i>               |

المستخلص المائي لبذور الكوسا (*Cucurbita pepo* L.) لتصنيع جسيمات أكسيد التيتانيوم النانوية (Abisharani et al., 2019).

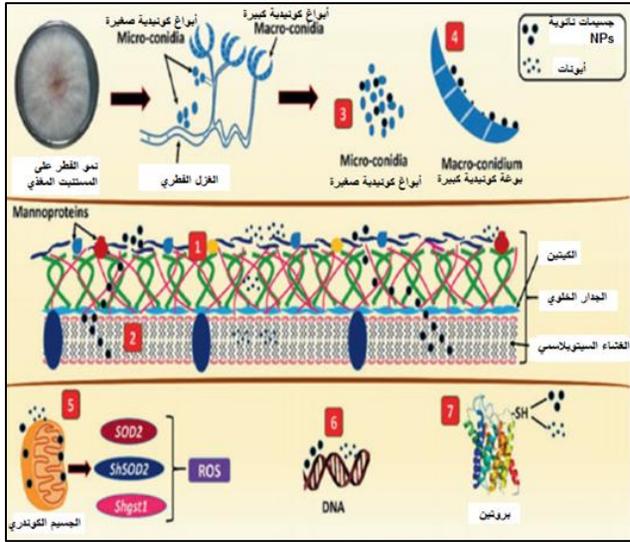
#### استخدام المواد النانوية في مكافحة الآفات الزراعية

تُعد الآفات الزراعية بكافة أنواعها من أكثر عوامل انخفاض الإنتاج في القطاع الزراعي، مما يؤدي إلى خسائر اقتصادية كبيرة، والذي يشكل بدوره خطراً على الأمن الغذائي العالمي (Ingale & Chaudhari, 2013). وللسيطرة على هذه الآفات؛ يلجأ المزارعون إلى استخدام المبيدات الزراعية ذات المنشأ الكيماوي والتي تستقر في النهاية في التربة ومصادر المياه فتلوثها (Purohit et al., 2019) ونظراً لاستخدام المبيدات النانوية بمعدل تطبيق يقل 10-15 مرة عن المبيدات التقليدية؛ لذلك تسهم المبيدات النانوية بدور اقتصادي وبيئي (Kah & Hofmann, 2014)، ويتوقع بحلول عام 2026 أن يصل الإنتاج العالمي للجسيمات النانوية المعدنية إلى 10000 طن، وإجمالي المبيعات إلى 50 مليار دولار (Ovais et al., 2018).

يُعد استخدام المواد النانوية في مجال مكافحة الآفات من الطرائق المفيدة بيئياً، حيث يتم تحلل تلك المواد في النظام البيئي من جهة كما يصعب على الآفات ذات النظام الغذائي المتنوع تشكيل سلالات مقاومة بسهولة وسرعة (El-Argawy et al., 2017). تتكون مبيدات الآفات النانوية من مكونات عضوية مثل البوليمرات و/أو غير عضوية (مثل أكاسيد المعادن) بأشكال مختلفة مثل المحببات، تشمل ميزات التركيبات النانوية: قابلية الذوبان الواضحة للمكونات النشطة ضعيفة الذوبان، وإطلاق المواد الفعالة منها بطريقة بطيئة وتدرجية، وتوفير الحماية للمواد

أضيفت أملاح الحديد إلى المستخلص النباتي وتم تسخين المزيج عند حرارة 70 °س، لوحظ تشكل جزيئات أكسيد الحديد النانوية في غضون ساعة واحدة، ودلت صور المجهر الإلكتروني أن الجسيمات الناتجة كانت كروية الشكل، أبعادها في حدود 5.6-18.6 نانومتر. كما وظف Rostamizadeh et al. (2020) المستخلص المائي لثمار القرانيا الأوروبية (*Cornus mas* L.) لتصنيع جزيئات أكسيد الحديد النانوية بطريقة سهلة وسريعة واقتصادية، كانت الجسيمات الناتجة كروية الشكل تراوحت أقطارها في حدود 20-40 نانومتر، وقد كان لهذه الجسيمات أثراً إيجابياً في زيادة الكتلة الحيوية لسوق وجذور بادرات الشعير عند سقايتها بتركيز 10-100 مغ/لتر، مما حدا بالباحث أن يوصي باستخدام جزيئات أكسيد الحديد النانوية في التسميد. وفي دراسة أخرى (Sandhya & Kalaiselvam 2020) استُخدمت قشور بذور النخيل المروحي (*Borassus flabellifer* L.) لتصنيع جزيئات أكسيد الحديد النانوية، وكانت الجسيمات الناتجة سداسية الشكل، أبعادها نحو 35 نانومتر. كما استُخدم المستخلص المائي لجذور الزنجبيل لإنتاج جسيمات أكسيد النيكل النانوية (16-52 نانومتر) (Haider et al., 2020)، وكان لهذه الجسيمات تأثيراً مثبطاً لنمو المكورات العنقودية الذهبية (*Staphylococcus aureus*) في المختبر. كما استخدم Ramesh et al. (2020) المستخلص المائي لبذور عباد الشمس (*Helianthus annuus* L.) لتصنيع جسيمات أكسيد المنغنيز النانوي (10-70 نانومتر). وفي دراسة أخرى استُخدم المستخلص المائي لبذور *Annona squamosa* لتكوين جسيمات أكسيد المغنيزيوم النانوية بحدود 27-86 nm (Sharma et al., 2020). كما استُخدم

الحيوية مما يزيد معدل النسخ والذي بدوره يؤدي إلى إجهاد تأكسدي في خلايا الفطر (شكل 2-5)، وقد تسبب الجسيمات النانوية للمركبات وأيوناتها إلى سمية جينية بسبب تخريبها للمادة الوراثية (DNA) للفطر (شكل 2-6)، كما قد ترتبط الجسيمات النانوية بمجموعة السلفوهيدرين (SH) مما يقود لتخرب البروتينات الناتجة (شكل 2-7) وتقود جميع الآليات السابقة إلى موت خلايا الفطر.



**شكل 2.** شكل تخطيطي يوضح الآليات المختلفة التي تسلكها الجسيمات النانوية كمضادة للفطور والتي تقود إلى موت الخلايا (Rai et al., 2018).

**Figure 2.** Diagram showing the different mechanisms of how nanoparticles act as an antifungal agents that lead to cell death (Rai et al., 2018).

استخدم باحثون (Khatami et al., 2019) جسيمات أكسيد النحاس النانوي ذي أبعاد أقل من 80 نانومتر في مكافحة الفطر *Fusarium solani* في المختبر، وقد أشارت النتائج أن استخدامها بتركيز 80 ميكروغرام/مل في الوسط الزراعي أدى إلى تثبيط نمو الفطر *F. solani* بنسبة 90% وفي دراسة أخرى تم توظيف ثلاثة أنواع من الفطور الشعاعية تتبع الجنس *Streptomyces* (*S. capillispiralis*، *S. zaomyceticus*، *S. pseudogriseolus*) في إنتاج جسيمات الفضة النانوية، وقد أبدت هذه الجسيمات نشاطاً مضاداً اتجاه الفطور التالية الممرضة للنبات: *Alternaria alternata*، *Fusarium oxysporum*، *Pythium ultimum* و *Aspergillus niger* (Fouda et al., 2019). كما دُرس تأثير الرش الورقي بتركيز مختلفة بكل من جسيمات أكسيد السيليكون وأكسيد التيتانيوم لمكافحة مرض البياض الدقيقي *Erysiphe* sp. والبياض الزغبي *Pseudoperonospora cubensis*.

الفعالة ضد التحلل، وما إلى ذلك (Thakur et al., 2018)، ولذا تسهم المركبات ذات الأبعاد النانوية بدو مهم في مكافحة الآفات على المدى البعيد (Singh et al., 2018). وبناءً على دراسة أخرى (El-Argawy et al., 2017) فقد وجد أن الجسيمات النانوية لها دور في تحسين نمو النبات إضافة لدورها في مقاومة الآفات.

### تأثير الجسيمات النانوية في مكافحة مسببات أمراض النبات

يُعد مرض لفحة الأوراق البكتيرية من أخطر الأمراض التي تصيب الأرز، الذي تسببه البكتيريا *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*. قامت مجموعة من الباحثين (Ahmed et al., 2020) بدراسة تأثير جسيمات الفضة النانوية المصنعة حيوياً (18-39 نانومتر) للسيطرة على المسبب المرضي في المختبر، فأظهرت تشبيهاً كبيراً للبكتيريا (1.01±24.21 مم). بالإضافة إلى ذلك، في تجربة الأصص، كانت جسيمات الفضة النانوية فعالة في السيطرة على لفحة الأوراق البكتيرية عن طريق زيادة الكتلة الحيوية للنبات بشكل كبير مع زيادة في تركيز إنزيم مضادات الأكسدة. كما أثبتت Noshad et al. (2019) فعالية جسيمات الفضة النانوية المصنعة حيوياً كمبيد للبكتيريا المسببة لتقرح البندورة/الطماطم *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* وذلك عند معاملة البذور قبل الزراعة بها بتركيز 0.088 مغ/لتر، وقد أدت هذه المعاملة إلى تثبيط البكتيريا ومنع حدوث العدوى تحت ظروف البيت المحمي. وفي دراسة أخرى (Noshad et al., 2020) أوصي بإنتاج جسيمات الفضة النانوية على مستوى تجاري لاستخدامها في مكافحة مرض التقرح البكتيري على البندورة/الطماطم وذلك بناءً على نتيجة التجارب المخبرية وتجارب الدفيئة.

أجريت مؤخراً العديد من الأبحاث حول استخدام الجسيمات النانوية كمبيدات لمسببات أمراض النبات الفطرية (Rai et al., 2018) حيث أشير إلى دور الجسيمات النانوية في مكافحة مسببات أعفان الجذور على الزنجبيل (*Zingiber officinale*) التي تسببها فطور من الأنواع التابعة لجنس *Pythium* spp. و *Fusarium* spp. يوضح شكل 2 الآليات المختلفة للجسيمات النانوية كمبيد فطري على *Fusarium* spp؛ حيث تقوم الجسيمات النانوية بتخريب الجدار الخلوي من خلال إحداث فتحات فيه تقود إلى تدفق المركبات الداخلية للغزل الفطري مما يؤدي لانكماشه (شكل 2-1)، وقد تهاجم الجسيمات النانوية الطبقات الدهنية في الغشاء الخلوي مما يؤدي لتغيير بنيته (شكل 2-2)، كما تؤثر الجسيمات النانوية في إنبات الأبواغ الكونيدية وتمنع تطورها (شكل 2-3)، كما يؤثر التفاعل بين الجسيمات النانوية والجدار الخلوي للبوغ الكونيدية الكبيرة إلى تخريب الغشاء السيتوبلازمي مما يؤثر في التبادل الغازي الضروري لإنباتها (شكل 2-4). تؤثر الجسيمات النانوية في أغشية المصورات



**شكل 3.** تأثير المعاملة بجسيمات الفضة النانوية في التبغ *Nicotiana glutinosa* (a) نبات ملقح بفيروس موزايك التبغ TMV (شاهد)، (b) نبات معاملة بمزيج من لقاح الفيروس TMV و جسيمات الفضة النانوية. تبين معاملة الشاهد أقصى ضرر ناتج عن العدوى بالفيروس TMV بينما يبدي النبات المعالج بجسيمات الفضة النانوية انخفاضاً ملحوظاً في عدد ومساحة البقع الناتجة عن الإصابة بالفيروس (Ahsan, 2020).

**Figure 3.** Control effect of the AgNPs on *Nicotiana glutinosa*, (a) represents the control, treated only with TMV inoculum, whereas (b) treated with AgNPs first and then inoculated with TMV. Control shows maximum number of TMV local lesions but the treated plant shows significant reduction in TMV local lesions (Ahsan, 2020)

### تأثير الجسيمات النانوية في الآفات الحشرية

تعد سوسة النخيل الحمراء *Rhynchophorus ferrugineus* واحدة من أكثر الآفات الحشرية تدميراً لأشجار النخيل. استُخدمت مؤخراً المبيدات النانوية لمكافحة هذه الآفة، فقد قامت مجموعة من الباحثين (Abd El-Fattah *et al.*, 2020) بدراسة مقارنة تأثير الشكل التقليدي والنانوي لمبيد الإيميداكلوبريد والكلوروبروفوس في أنسجة كل من يرقات وبالغات سوسة النخيل الحمراء.

أظهرت النتائج التأثيرات المرضية والسمية للمبيدات على كل من اليرقات والحشرات البالغة، وتفوق الشكل النانوي لمبيد الكلوروبروفوس على بقية المعاملات في التأثير في الآفة وبخاصة في طورها اليرقي، وتمثل الضرر بتخريب سيتوبلازم ونواة الخلايا الظهارية للحشرة. وفي دراسة أخرى (Hassan *et al.*, 2019)، أثبت تأثير جسيمات النحاس النانوية المصنعة حيويًا في مكافحة الذباب المنزلي (*Musca domestica*) والبعوض (*Culex pipiens*) حيث بلغ معدل النفوق عند الذباب 66.6% بعد 24 ساعة، وزادت نسبة النفوق بزيادة كل من الوقت والتركيز حتى بلغت 100% بعد 96 ساعة بتركيز 10 مول/لتر. وكذلك تبين أن جسيمات الفضة النانوية المصنعة حيويًا لها تأثير قاتل لكل من الذباب المنزلي والبعوض. كما أشارت مجموعة من الباحثين (Danbature *et al.*, 2020) إلى فعالية استخدام المركب النانوي لمزيج الفضة مع الكوبالت (Ag-Co) في مكافحة يرقات البعوض (*Culex quinquefasciatus*)؛ وتراوح التركيز القاتل النصفية LC<sub>50</sub> في

على الكوسا (*Cucurbita pepo* L.) (Soubeih & Agha, 2019) ومقارنة النتائج بالممارسات التقليدية (الرش بأوكسي كلور النحاس بمعدل 5000 جزء بالمليون، وقد أظهرت النتائج انخفاضاً معنوياً في نسبة وشدة الإصابة بكلتا المرضين عند الرش بمزيج جسيمات أكسيد السيليكون النانوية بتركيز 50 جزء بالمليون مع جسيمات أكسيد التيتانيوم النانوية بتركيز 50 جزء بالمليون مقارنة مع الرش بالمبيد التقليدي، وقد أشارت صور المجهر الضوئي لأوراق الكوسا بعد 75 يوماً من المعاملة بالمركبات النانوية إلى زيادة سماكة الأوراق وطبقات البشرة العلوية والسفلية مقارنةً بالشاهد. كما بينت الدراسة التي أجراها Hassan *et al.* (2019) قدرة جسيمات أكسيد النحاس النانوية المصنعة حيويًا على تثبيط نمو بعض مسببات أمراض النبات الفطرية *Fusarium oxysporum*، *Alternaria alternata*، *Aspergillus niger*، *Pythium ultimum* مختبرياً مقارنةً بالشاهد (المعاملة بسلفات النحاس  $(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})$ ).

وفي مجال مكافحة النيماتودا، استُخدم المستخلص المائي لأوراق اكليل الجبل (*Rosmarinus officinalis*) لتصنيع جسيمات الكبريت النانوي تحت ظروف حرارة الغرفة، بحجم 5-80 نانومتر، ودرُس تأثير تركيزين (30 و 60 جزء بالمليون) منها في فقس البيض وفي نسبة موت الطور اليرقي الثاني لدى نيماتودا تعقد الجذور على الخيار *Meloidogyne javanica*، وقد بينت النتائج انخفاضاً معنوياً في معدل فقس البيض المعامل بعد 7 أيام من حضن البيض عند حرارة 25°س، حيث بلغ عدد البيض الفاقس 113 و 181 عند المعاملة بالتركيزين 30 و 60 جزء بالمليون، على التوالي مقارنةً بالشاهد (450 بيضة فاقسة)، كما كانت نسبة موت يرقات الطور الثاني 100% لدى المعاملة بكلتا التركيزين (Al Banna *et al.*, 2020).

تعد الأمراض الفيروسية من بين أصعب أمراض النبات من حيث المكافحة. أثبت Ahsan (2020) تأثير جسيمات الفضة النانوية ضد فيروس موزايك التبغ (*Tobacco mosaic virus, TMV*)، حيث تم إجراء البحث على شتلات التبغ *Nicotiana glutinosa* (مرحلة 5-6 أوراق) بمعاملتين: الأولى معالجة النبات بـ 100 ميكرو لتر من جسيمات الفضة النانوية قبل 24 ساعة من إعداء الأوراق بالفيروس TMV، الثانية خلط 100 ميكرو لتر من جسيمات الفضة النانوية بـ TMV وإلقاح النبات بالمخلوط. أظهرت النتائج أن نسبة تثبيط المرض كانت 92.70 و 86.54% بالمعاملتين، على التوالي. وتشير هذه النتائج إلى تفوق المعاملة الأولى (شكل 3)، لأنها تمت قبل دخول الفيروس إلى النبات، مما يعني أن العلاج باستخدام جسيمات الفضة النانوية يجب أن يكون علاجاً وقائياً.

الزراعية نظراً لاستخدامها بمعدل تطبيق يقل 10-15 مرة عن المبيدات التقليدية. ومع الفوائد الكبيرة لاستخدام المواد النانوية، إلا أنه يجب قياس المخاطر البيئية لهذه المواد قبل اعتماد تطبيقها على نطاق واسع. وفي هذا السياق، أشارت إحدى الدراسات التي تناولت مقارنة تأثير كل من مبيد هيدروكسيد النحاس النانوي  $\text{Cu(OH)}_2$  بأشكاله المختلفة والمركب الأيوني سلفات النحاس في المجتمعات البكتيرية في التربة على مدار 21 يوماً، أن المبيدات النانوية قللت من وفرة بكتيريا التربة خلال فترة الاستخدام المقترحة (Zhang et al., 2020b). تلقي هذه النتيجة الضوء على المخاطر البيئية المحتملة لاستخدام مبيدات الآفات النانوية على المدى الطويل.

حدود 5.24-13.63 جزء في المليون. كما درس Aswini et al. (2020) تأثير جسيمات أكسيد التيتانيوم النانوية (بقياس 47 نانومتراً) في يرقات بعوض الأنوفيل *Anopheles stephensi* الناقل الرئيس للملاريا، وقد أوضحت النتائج أن جسيمات التيتانيوم النانوية لها نشاط مبيد لليرقات، وكانت قيمة  $\text{LC}_{50}$  تساوي 18.96 مغ/مل و  $\text{LC}_{90}$  تساوي 77 مغ/مل. وفي دراسة أخرى (Salem et al., 2020) استعملت جسيمات السيلينيوم النانوية المصنعة حيوياً باستخدام *Penicillium corylophilum* للسيطرة على يرقات بعوض الأنوفيل وأعطت نتائج مشجعة.

مما تقدم يمكننا أن نستنتج بأن استخدام المستخلصات النباتية في التخليق الحيوي للجسيمات النانوية من الطرائق السهلة والسريعة والاقتصادية والأمنة بيئياً، والتي تسهم بدور واعد في مجال مكافحة الآفات

## Abstract

**Alloosh, M.T. 2020. Biosynthesis of nanoparticles and their applications for the control of agricultural pests: A review. Arab Journal of Plant Protection, 38(4): 267-280.**

Nanotechnology is one of the modern technologies used recently in many fields, including agriculture. Nanoparticles are synthesized in many ways, including the biological method, which is an easy, fast, inexpensive and environmentally safe method and depends on using microorganisms or plant extracts. This review addresses the most recent studies on biosynthesis of metal nanoparticles using plant extracts. Extracts of different plant parts (roots, stems, leaves, fruits, fruit peels, seeds) are used to produce nanoparticles for many minerals, the most important of which are silver and gold and oxides of some minerals such as zinc oxide (ZnO), copper oxide (CuO), ferric oxide (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), in addition to other metals oxides. The review also covers some examples of using metallic nano-materials in controlling agricultural pests (bacteria, fungi, nematodes, viruses and insects).

**Keywords:** Biosynthesis, nanoparticles, plant extracts, pest control.

**Corresponding author:** Maysaa Toufic Alloosh, Email: malloosh@albaath-univ.edu.sy

## References

- Abd El-Fattah, A.Y., A.S. Abd El-Wahab, Z.A. Jamal, and A.A. El-Helaly. 2020. Histopathological studies of red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus*, (Olivier) larvae and adults to evaluate certain nano pesticides. Brazilian Journal of Biology, 1-7. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.227621>
- Abdullah, F.H., N.A. Bakar and M.A. Bakar. 2020. Low temperature biosynthesis of crystalline zinc oxide nanoparticles from *Musa acuminata* peel extract for visible-light degradation of methylene blue. Optik, 206: 1-30. <https://doi.org/10.1016/j.jjleo.2020.164279>
- Abisharani, J.M., S. Devikala, R.D. Kumar, M. Arthanareeswari and P. Kamaraj. 2019. Green synthesis of TiO<sub>2</sub> Nanoparticles using *Cucurbita pepo* seeds extract. Materials Today: Proceedings, 14: 302-307.
- Ahmed, T., M. Shahid, M. Noman, M.B.K. Niazi, F. Mahmood, I. Manzoor, Y. Zhang, B. Li, Y. Yang, and C. Yan. 2020. Silver Nanoparticles Synthesized by Using *Bacillus cereus* SZT1 Ameliorated the Damage of Bacterial Leaf Blight Pathogen in Rice. Pathogens, 9: 1-17. <https://doi.org/doi:10.3390/pathogens9030160>
- Ahsan, T. 2020. Biofabrication of silver nanoparticles from *Pseudomonas fluorescens* to control tobacco mosaic virus. Egyptian Journal of Biological Pest Control, 30: 1-4. <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00268-3>
- Al Banna, L.S., N.M. Salem, G.A. Jaleel and A.M. Awwad. 2020. Green synthesis of sulfur nanoparticles using *Rosmarinus officinalis* leaves extract and nematocidal activity against *Meloidogyne javanica*. Chemistry International, 6: 137-143. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3528019>
- Ambika, S. and M. Sundrarajan. 2015. Green biosynthesis of ZnO nanoparticles using *Vitex negundo* L. extract: Spectroscopic investigation of interaction between ZnO nanoparticles and human serum albumin. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 149: 143-148. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2015.05.004>
- Aswini, R., S. Murugesan and K. Kannan. 2020. Bio-engineered TiO<sub>2</sub> nanoparticles using *Ledebouria revoluta* extract: Larvicidal, histopathological, antibacterial and anticancer activity. International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 1-11. <https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1718668>

## المراجع

- Attia, T.M.S. and N.I. Elsheery.** 2020. Nanomaterials: Scope, Applications, and Challenges in Agriculture and Soil Reclamation. In S. Hayat, J. Pichtel, M. Faizan and Q. Fariduddin, eds., Sustainable Agriculture Reviews 41. Springer International Publishing, Cham, 1-39.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-33996-8>
- Awwad, A.M. and M.W. Amer.** 2020. Biosynthesis of copper oxide nanoparticles using *Ailanthus altissima* leaf extract and antibacterial activity. Chemistry International, 6: 210-217.  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.3670918>
- Awwad, A.M., M.W. Amer, N.M. Salem and A.O. Abdeen.** 2020. Green synthesis of zinc oxide nanoparticles (ZnO-NPs) using *Ailanthus altissima* fruit extracts and antibacterial activity. Chemistry International 6: 151-159.  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.3559520>
- Azarbani, F. and S. Shiravand.** 2020. Green synthesis of silver nanoparticles by *Ferulago macrocarpa* flowers extract and their antibacterial, antifungal and toxic effects. Green Chemistry Letters and Reviews, 13: 41-49. <https://doi.org/10.1080/17518253.2020.1726504>
- Balasubramanian, S., U. Jeyapaul and S.M.J. Kala.** 2019. Antibacterial activity of silver nanoparticles using *Jasminum auriculatum* stem extract. International Journal of Nanoscience, 18: 1850011  
<https://doi.org/10.1142/S0219581X18500114>
- Barman, K., D. Chowdhury and P.K. Baruah.** 2020. Biosynthesized silver nanoparticles using *Zingiber officinale* rhizome extract as efficient catalyst for the degradation of environmental pollutants. Inorganic and Nano-Metal Chemistry, 50: 57–65.  
<https://doi.org/10.1080/24701556.2019.1661468>
- Biglu, M.-H., F. Eskandari and A. Asgharzadeh.** 2011. Scientometric analysis of nanotechnology in MEDLINE. BioImpacts: BI, 1: 193-198.  
<https://doi.org/10.5681/bi.2011.027>
- Bindhu, M.R., M. Umadevi, G.A. Esmail, N.A. Al-Dhabi and M.V. Arasu.** 2020. Green synthesis and characterization of silver nanoparticles from *Moringa oleifera* flower and assessment of antimicrobial and sensing properties. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 1-28.  
<https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2020.111836>
- Bin-Jumah, M., A.-A. Monera, G. Albasher and S. Alarifi.** 2020. Effects of Green Silver Nanoparticles on Apoptosis and Oxidative Stress in Normal and Cancerous Human Hepatic Cells in vitro. International Journal of Nanomedicine, 15: 1537-1548.
- Bordbar, M., Z. Sharifi-Zarchi and B. Khodadadi.** 2017. Green synthesis of copper oxide nanoparticles/clinoptilolite using *Rheum palmatum* L. root extract: high catalytic activity for reduction of 4-nitro phenol, rhodamine B, and methylene blue. Journal of Sol-Gel Science and Technology, 81: 724-733.  
<https://doi.org/10.1007/s10971-016-4239-1>
- Buazar, F., S. Sweidi, M. Badri and F. Kroushawi.** 2019. Biofabrication of highly pure copper oxide nanoparticles using wheat seed extract and their catalytic activity: A mechanistic approach. Green Processing and Synthesis, 8: 691-702.  
<https://doi.org/10.1515/gps-2019-0040>
- Chokkalingam, M., P. Singh, Y. Huo, V. Soshnikova, S. Ahn, J. Kang, R. Mathiyalagan, Y.J. Kim and D.C. Yang.** 2019. Facile synthesis of Au and Ag nanoparticles using fruit extract of *Lycium chinense* and their anticancer activity. Journal of Drug Delivery Science and Technology, 49: 308-315.  
<https://doi.org/10.1016/j.jddst.2018.11.025>
- Danbature, W.L., Z. Shehu, M. Yoro and M.M. Adam.** 2020. Nanolarvicidal Effect of Green Synthesized Ag-Co Bimetallic Nanoparticles on *Culex quinquefasciatus* Mosquito. Advances in Biological Chemistry, 10: 16-23.  
<https://doi.org/10.4236/abc.2020.101002>
- Dawodu, F.A., C.U. Onuh, K.G. Akpomie and E.I. Unuabonah.** 2019. Synthesis of silver nanoparticle from *vigna unguiculata* stem as adsorbent for malachite green in a batch system. SN Applied Sciences, 1: 1-10.  
<https://doi.org/10.1007/s42452-019-0353-3>
- Diallo, A., B.D. Ngom, E. Park and M. Maaza.** 2015. Green synthesis of ZnO nanoparticles by *Aspalathus linearis*: structural & optical properties. Journal of Alloys and Compounds, 646: 425-430.  
<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2015.05.242>
- Dobrucka, R., M. Szymanski, and R. Przekop.** 2020. Phytotoxic effects of biosynthesized ZnO nanoparticles using *Betonica officinalis* extract. Environmental Technology (in press): 1–20.  
<https://doi.org/10.1080/09593330.2020.1740331>
- Dudhane, A.A., S.R. Waghmode, L.B. Dama, V.P. Mhaindarkar, A. Sonawane and S. Katariya.** 2019. Synthesis and characterization of gold nanoparticles using plant extract of *Terminalia arjuna* with antibacterial activity. International Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 15: 75-82.
- El-Argawy, E., M.M.H. Rahhal, A. El-Korany, E.M. Elshabrawy, and R.M. Eltahan.** 2017. Efficacy of some nanoparticles to control damping-off and root rot of sugar beet in El-Behiera Governorate. Asian Journal of Plant Pathology, 11: 35-47.  
<https://doi.org/10.3923/ajppaj.2017.35.47>
- Elumalai, K., S. Velmurugan, S. Ravi, V. Kathiravan, and S. Ashokkumar.** 2015. RETRACTED: Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using *Moringa oleifera* leaf extract and evaluation of its antimicrobial activity. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 143: 158-164.  
<https://doi.org/10.1016/j.saa.2015.02.011>
- Fouda, A., S.E.-D. Hassan, A.M. Abdo and M.S. El-Gamal.** 2019. Antimicrobial, Antioxidant and Larvicidal Activities of Spherical Silver Nanoparticles Synthesized by Endophytic *Streptomyces* spp. Biological Trace Element Research, 1–18.  
<https://doi.org/10.1007/s12011-019-01883-4>
- Gahlawat, G., S. Shikha, B.S. Chaddha, S.R. Chaudhuri, S. Mayilraj and A.R. Choudhury.** 2016. Microbial glycolipoprotein-capped silver nanoparticles as

- emerging antibacterial agents against cholera. *Microbial Cell Factories*, 15: 25.  
<https://doi.org/10.1186/s12934-016-0422-x>
- Gawade, V.V., N.L. Gavade, H.M. Shinde, S.B. Babar, A.N. Kadam and K.M. Garadkar.** 2017. Green synthesis of ZnO nanoparticles by using *Calotropis procera* leaves for the photodegradation of methyl orange. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 28: 14033-14039.  
<https://doi.org/10.1007/s10854-017-7254-2>
- Gebremedhn, K., M.H. Kahsay and M. Aklilu.** 2019. Green synthesis of CuO nanoparticles using leaf extract of *Catha edulis* and its antibacterial activity. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 7: 327-342.  
<https://doi.org/10.17265/2328-2150/2019.06.007>
- Gomathi, A.C., S.X. Rajarathinam, A.M. Sadiq and S. Rajeshkumar.** 2020. Anticancer activity of silver nanoparticles synthesized using aqueous fruit shell extract of *Tamarindus indica* on MCF-7 human breast cancer cell line. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 55: 1-8.  
<https://doi.org/10.1016/j.jddst.2019.101376>
- Haider, A., M. Ijaz, S. Ali, J. Haider, M. Imran, H. Majeed, I. Shahzadi, M.M. Ali, J.A. Khan and M. Ikram.** 2020. Green Synthesized Phytochemically (*Zingiber officinale* and *Allium sativum*) Reduced Nickel Oxide Nanoparticles Confirmed Bactericidal and Catalytic Potential. *Nanoscale Research Letters*, 15: 1-11.  
<https://doi.org/10.1186/s11671-020-3283-5>
- Hassan, S.E.-D., A. Fouda, A.A. Radwan, S.S. Salem, M.G. Barghoth, M.A. Awad, A.M. Abdo and M.S. El-Gamal.** 2019. Endophytic actinomycetes *Streptomyces* spp mediated biosynthesis of copper oxide nanoparticles as a promising tool for biotechnological applications. *Journal of Biological Inorganic Chemistry*, 24: 377-393.  
<https://doi.org/10.1007/s00775-019-01654-5>
- Huang, X., P.K. Jain, I.H. El-Sayed and M.A. El-Sayed.** 2007. Gold nanoparticles: interesting optical properties and recent applications in cancer diagnostics and therapy. *Nanomedicine*, 2: 681-693.  
<https://doi.org/10.2217/17435889.2.5.681>
- Hulkoti, N.I. and T.C. Taranath.** 2014. Biosynthesis of nanoparticles using microbes—a review. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 121: 474-483.  
<https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2014.05.027>
- Ijaz, F., S. Shahid, S.A. Khan, W. Ahmad and S. Zaman.** 2017. Green synthesis of copper oxide nanoparticles using *Abutilon indicum* leaf extract: Antimicrobial, antioxidant and photocatalytic dye degradation activities. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 16: 743-753.  
<https://doi.org/10.4314/tjpr.v16i4.2>
- Ingale, A.G. and A.N. Chaudhari.** 2013. Biogenic synthesis of nanoparticles and potential applications: an eco-friendly approach. *Journal of Nanomedicine and Nanotechnology*, 4: 1-7.  
<https://doi.org/10.4172/2157-7439.1000165>
- Irshad, S., M. Riaz, A.A. Anjum, S. Sana, R.S.Z. Saleem and A. Shaukat.** 2020. Biosynthesis of ZnO Nanoparticles Using *Ocimum basilicum* and Determination of Its Antimicrobial Activity. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 30: 185-191.  
<https://doi.org/10.36899/>
- Iv, M., N. Telischak, D. Feng, S.J. Holdsworth, K.W. Yeom and H.E. Daldrop-Link.** 2015. Clinical applications of iron oxide nanoparticles for magnetic resonance imaging of brain tumors. *Nanomedicine*, 10: 993-1018.
- Jadhav, M.S., S. Kulkarni, P. Raikar, D.A. Barretto, S.K. Vootla and U.S. Raikar.** 2018. Green biosynthesis of CuO & Ag-CuO nanoparticles from *Malus domestica* leaf extract and evaluation of antibacterial, antioxidant and DNA cleavage activities. *New Journal of Chemistry*, 42: 204-213.
- Jebril, S. and C. Dridi.** 2020. Green synthesis of silver nanoparticles using *Melia azedarach* leaf extract and their antifungal activities: in vitro and in vivo. *Materials Chemistry and Physics*, 248.  
<https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.122898>
- Jeyaraj, M., M. Rajesh, R. Arun, D. MubarakAli, G. Sathishkumar, G. Sivanandhan, G.K. Dev, M. Manickavasagam, K. Premkumar and N. Thajuddin.** 2013. An investigation on the cytotoxicity and caspase-mediated apoptotic effect of biologically synthesized silver nanoparticles using *Podophyllum hexandrum* on human cervical carcinoma cells. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 102: 708-717.  
<https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2012.09.042>
- Kah, M. and T. Hofmann.** 2014. Nanopesticide research: current trends and future priorities. *Environment international*, 63: 224-235.  
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.11.015>
- Kanniah, P., J. Radhamani, P. Chelliah, N. Muthusamy, E. Joshua Jebasingh Sathiya Balasingh Thangapandi, J. Reeta Thangapandi, S. Balakrishnan and R. Shanmugam.** 2020. Green synthesis of multifaceted silver nanoparticles using the flower extract of *Aerva lanata* and evaluation of its biological and environmental applications. *ChemistrySelect*, 5: 2322-2331.  
<https://doi.org/10.1002/slct.201903228>
- Karpagavinayagam, P. and C. Vedhi.** 2019. Green synthesis of iron oxide nanoparticles using *Avicennia marina* flower extract. *Vacuum*, 160: 286-292.  
<https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2018.11.043>
- Khan, M.M., N.H. Saadah, M.E. Khan, M.H. Harunsani, A.L. Tan and M.H. Cho.** 2019. Phytogetic synthesis of band gap-narrowed ZnO nanoparticles using the bulb extract of *Costus woodsonii*. *Bio Nano Science*, 9: 334-344. <https://doi.org/10.1007/s12668-019-00616-0>
- Khatami, M., R.S. Varma, M. Heydari, M. Peydayesh, A. Sedighi, H. Agha Askari, M. Rohani, M. Baniasadi, S. Arkia and F. Seyedi.** 2019. Copper oxide nanoparticles greener synthesis using tea and its antifungal efficiency on *Fusarium solani*. *Geomicrobiology Journal*, 36: 777-781.  
<https://doi.org/10.1080/01490451.2019.1621963>

- Khlebtsov, N. and L. Dykman.** 2011. Biodistribution and toxicity of engineered gold nanoparticles: a review of in vitro and in vivo studies. *Chemical Society Reviews*, 40: 1647-1671. <https://doi.org/10.1039/c0cs00018c>
- Liu, D., L. Liu, L. Yao, X. Peng, Y. Li, T. Jiang and H. Kuang.** 2020. Synthesis of ZnO nanoparticles using radish root extract for effective wound dressing agents for diabetic foot ulcers in nursing care. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 55: 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2019.101364>
- Madkour, L.H.** 2019. *Nanoelectronic Materials: Fundamentals and Applications*. Springer. 814 pp.
- Manjari, G., S. Saran, T. Arun, A.V.B. Rao and S.P. Devipriya.** 2017. Catalytic and recyclability properties of phytogetic copper oxide nanoparticles derived from *Aglaiia elaeagnoides* flower extract. *Journal of Saudi Chemical Society*, 21: 610-618. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2017.02.004>
- Mari, A., M.V. Vincent, R. Mookkaiah, R. Subramani and K. Nadesan.** 2020. *Catharanthus roseus* leaf extract mediated facile green synthesis of copper oxide nanoparticles and its photocatalytic activity. *Chemical Methodologies*, 4: 424-436. <https://doi.org/10.33945/SAMI/CHEMM.2020.4.5>
- Mohseni, M.S., M.A. Khalilzadeh, M. Mohseni, F.Z. Hargalani, M.I. Getso, V. Raissi and O. Raiesi.** 2020. Green synthesis of Ag nanoparticles from pomegranate seeds extract and synthesis of Ag-Starch nanocomposite and characterization of mechanical properties of the films. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, (In press). <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101569>
- Nasrollahzadeh, M. and S.M. Sajadi.** 2015. Green synthesis of copper nanoparticles using *Ginkgo biloba* L. leaf extract and their catalytic activity for the Huisgen [3+ 2] cycloaddition of azides and alkynes at room temperature. *Journal of Colloid and Interface Science*, 457: 141-147. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2015.07.004>
- Nnadozie, E.C. and P.A. Ajibade.** 2020. Green synthesis and characterization of magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) nanoparticles using *Chromolaena odorata* root extract for smart nanocomposite. *Materials Letters*, 263: 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.127145>
- Nordin, N.R. and M. Shamsuddin.** 2019. Biosynthesis of copper (II) oxide nanoparticles using *Murayya koeniggi* aqueous leaf extract and its catalytic activity in 4-nitrophenol reduction. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 15: 218-224.
- Noshad, A., C. Hetherington and M. Iqbal.** 2019. Impact of AgNPs on Seed Germination and Seedling Growth: A Focus Study on Its Antibacterial Potential against *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* Infection in *Solanum lycopersicum*. *Journal of Nanomaterials*, 2019: 1-12. <https://doi.org/10.1155/2019/6316094>
- Noshad, A., M. Iqbal, C. Hetherington and H. Wahab.** 2020. Biogenic AgNPs—A Nano Weapon against Bacterial Canker of Tomato (BCT). *Advances in Agriculture*, 2020: 1–10. <https://doi.org/10.1155/2020/9630785>
- Odeniyi, M.A., V.C. Okumah, B.C. Adebayo-Tayo and O.A. Odeniyi.** 2020. Green synthesis and cream formulations of silver nanoparticles of *Nauclea latifolia* (African peach) fruit extracts and evaluation of antimicrobial and antioxidant activities. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 15: 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2019.100197>
- Ovais, M., A.T. Khalil, A. Raza, N.U. Islam, M. Ayaz, M. Saravanan, M. Ali, I. Ahmad, M. Shahid and Z.K. Shinwari.** 2018. Multifunctional theranostic applications of biocompatible green-synthesized colloidal nanoparticles. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102: 4393–4408. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-8928-2>
- Pansambal, S., S. Gavande, S. Ghotekar, R. Oza and K. Deshmukh.** 2017. Green Synthesis of CuO Nanoparticles using *Ziziphus Mauritiana* L. Extract and Its Characterizations. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, 3: 1388-1392.
- Patil, R.S., M.R. Kokate, D.V. Shinde, S.S. Kolekar and S.H. Han.** 2014. Synthesis and enhancement of photocatalytic activities of ZnO by silver nanoparticles. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 122: 113-117.
- Poojary, M.M., P. Passamonti and A.V. Adhikari.** 2016. Green synthesis of silver and gold nanoparticles using root bark extract of *Mammea suriga*: characterization, process optimization, and their antibacterial activity. *Bio Nano Science*, 6: 110-120. <https://doi.org/10.1007/s12668-016-0199-8>
- Prachi, A.N. and D.S. Negi.** 2019. Plant Mediated Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles Using Leaf and Twig Extract of *Premna barbata*: A Comparative Approach on Its Physical Characteristic and Antibacterial Property. *Plant Archives*, 19: 2469-2475.
- Prasad, K.S., A. Patra, G. Shruthi and S. Chandan.** 2017. Aqueous extract of *Saraca indica* leaves in the synthesis of copper oxide nanoparticles: finding a way towards going green. *Journal of Nanotechnology*, 2017: <https://doi.org/10.1155/2017/7502610>
- Prasad, T. and E. Elumalai.** 2011. Biofabrication of Ag nanoparticles using *Moringa oleifera* leaf extract and their antimicrobial activity. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 1: 439-442. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(11\)60096-8](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(11)60096-8)
- Purohit, J., A. Chattopadhyay and N.K. Singh.** 2019. Green synthesis of microbial nanoparticle: approaches to application. *Microbial Nanobionics* (Springer), 35-60. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-16534-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-16534-5_3)
- Rafique, M., R. Tahir, S.S.A. Gillani, M.B. Tahir, M. Shakil, T. Iqbal and M.O. Abdellahi.** 2020. Plant-mediated green synthesis of zinc oxide nanoparticles from *Syzygium cumini* for seed germination and wastewater purification. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 1–16. <https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1715379>

- Rai, M., A.P. Ingle, P. Paralikar, N. Anasane, R. Gade and P. Ingle.** 2018. Effective management of soft rot of ginger caused by *Pythium* spp. and *Fusarium* spp.: emerging role of nanotechnology. Applied Microbiology and Biotechnology, 102: 6827–6839. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9145-8>
- Ramesh, R., G. Catherine, S. John Sundaram, F. Liakath Ali Khan and K. Kaviyarasu.** 2020. Synthesis of Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nano complex using aqueous extract of *Helianthus annuus* seed cake and its effect on biological growth of *Vigna radiata*. Materials Today: Proceedings (In press). <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.883>
- Rao, P.V. and S.H. Gan.** 2015. Recent advances in nanotechnology-based diagnosis and treatments of diabetes. Current Drug Metabolism, 16: 371-375.
- Reddy, K.M., K. Feris, J. Bell, D.G. Wingett, C. Hanley, and A. Punnoose.** 2007. Selective toxicity of zinc oxide nanoparticles to prokaryotic and eukaryotic systems. Applied Physics Letters, 90: 213902. <https://doi.org/10.1063/1.2742324>
- Ribeiro, J.J.K., P.S. da Silva Porto, R.D. Pereira and E.P. Muniz.** 2020. Green synthesis of nanomaterials: most cited papers and research trends. Research, Society and Development, 9(1): <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i1.1593>
- Rostamizadeh, E., A. Iranbakhsh, A. Majd, S. Arbabian and I. Mehregan.** 2020. Green synthesis of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles using fruit extract of *Cornus mas* L. and its growth-promoting roles in Barley. Journal of Nanostructure in Chemistry 1–6. <https://doi.org/10.1007/s40097-020-00335-z>
- Salem, S.S., M.M. Fouda, A. Fouda, M.A. Awad, E.M. Al-Olayan, A.A. Allam and T.I. Shaheen.** 2020. Antibacterial, cytotoxicity and larvicidal activity of green synthesized selenium nanoparticles using *Penicillium corylophilum*. Journal of Cluster Science, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s10876-020-01794-8>
- Sandhya, J. and S. Kalaiselvam.** 2020. Biogenic synthesis of magnetic iron oxide nanoparticles using inedible *Borassus flabellifer* seed coat: characterization, antimicrobial, antioxidant activity and in vitro cytotoxicity analysis. Materials Research Express, 7(1): <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab6642>
- Shaik, A.M., M. David Raju and D. Rama Sekhara Reddy.** 2020. Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using aqueous root extract of *Sphagneticola trilobata* Lin and investigate its role in toxic metal removal, sowing germination and fostering of plant growth. Inorganic and Nano-Metal Chemistry 1–11. <https://doi.org/10.1080/24701556.2020.1722694>
- Shaikh, N.S., R.S. Shaikh and S. Kashid.** 2020. In vitro bio-synthesis of silver nanoparticles using flower extract of parasitic plant *Cascuta reflexa* and evaluation of its biological properties. Asian Journal of Nanosciences and Materials, 3: 121-130.
- Sharma, S.K., A.U. Khan, M. Khan, M. Gupta, A. Gehlot, S. Park and M. Alam.** 2020. Biosynthesis of MgO nanoparticles using *Annona squamosa* seeds and its catalytic activity and antibacterial screening. Micro & Nano Letters, 15: 30-34.
- Shedbalkar, U., R. Singh, S. Wadhvani, S. Gaidhani, and B.A. Chopade.** 2014. Microbial synthesis of gold nanoparticles: Current status and future prospects. Advances in Colloid and Interface Science, 209: 40-48. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2013.12.011>
- Shreema, K., K. Priyadharshini, R. Mathammal and V. Kalaiselvi.** 2020. Green synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles Using Leaf Extract of *Salvia officinalis*. Studies in Indian Place Names, 40: 1175-1187.
- Singh, J., V. Kumar, K.-H. Kim and M. Rawat.** 2019. Biogenic synthesis of copper oxide nanoparticles using plant extract and its prodigious potential for photocatalytic degradation of dyes. Environmental Research, 177: 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108569>
- Singh, P., K. Kumari, V.K. Vishvakarma, S. Aggarwal, R. Chandra and A. Yadav.** 2018. Nanotechnology and Its Impact on Insects in Agriculture. In D. Kumar and C. Gong, eds., Trends in Insect Molecular Biology and Biotechnology. Springer International Publishing, Cham, 353–378.
- Singh, P., Y.-J. Kim, D. Zhang and D.-C. Yang.** 2016. Biological synthesis of nanoparticles from plants and microorganisms. Trends in biotechnology, 34: 588–599.
- Sorbiun, M., E.S. Mehr, A. Ramazani and S.T. Fardood.** 2018. Green synthesis of zinc oxide and copper oxide nanoparticles using aqueous extract of oak fruit hull (jaft) and comparing their photocatalytic degradation of basic violet 3. International Journal of Environmental Research, 12: 29-37.
- Soto, K.M., C.T. Quezada-Cervantes, M. Hernández-Iturriaga, G. Luna-Bárceñas, R. Vazquez-Duhalt and S. Mendoza.** 2019. Fruit peels waste for the green synthesis of silver nanoparticles with antimicrobial activity against foodborne pathogens. LWT- Food Science and Technology, 103: 293-300.
- Soubeih, K.A. and M.K. Agha.** 2019. Comparative Studies Using Nanotechnology on Fungal Diseases Defense to Productivity Improvement of Squash Crop. Alexandria Science Exchange Journal, 40: 143–155.
- Stozhko, N.Y., M.A. Bukharinova, E.I. Khamzina, A.V. Tarasov, M.B. Vidrevich and K.Z. Brainina.** 2019. The Effect of the Antioxidant Activity of Plant Extracts on the Properties of Gold Nanoparticles. Nanomaterials, 9: 1-16. <https://doi.org/10.3390/nano9121655>
- Sukumar, S., A. Rudrasenan and D. Padmanabhan Nambiar.** 2020. Green-Synthesized Rice-Shaped Copper Oxide Nanoparticles Using *Caesalpinia bonducella* Seed Extract and Their Applications. ACS Omega, 1-12. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b02857>
- Suresh, D., R.M. Shobharani, P.C. Nethravathi, M.P. Kumar, H. Nagabhushana and S.C. Sharma.** 2015. *Artocarpus gomezianus* aided green synthesis of ZnO nanoparticles: luminescence, photocatalytic and antioxidant properties. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 141: 128-134. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2015.01.048>

- Thakur, S., S. Thakur and R. Kumar.** 2018. Bio-nanotechnology and its role in agriculture and food industry. *Journal of Molecular and Genetic Medicine*, 12: 1747-0862.
- Vijayakumar, S., G. Vinoj, B. Malaikozhundan, S. Shanthi and B. Vaseeharan.** 2015. *Plectranthus amboinicus* leaf extract mediated synthesis of zinc oxide nanoparticles and its control of methicillin resistant *Staphylococcus aureus* biofilm and blood sucking mosquito larvae. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 137: 886–89. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2014.08.064>
- Vijayan, R., S. Joseph and B. Mathew.** 2019. Anticancer, antimicrobial, antioxidant, and catalytic activities of green-synthesized silver and gold nanoparticles using *Bauhinia purpurea* leaf extract. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 42: 305-319. <https://doi.org/10.1007/s00449-018-2035-8>
- Wang, D., J. Markus, C. Wang, Y.-J. Kim, R. Mathiyalagan, V.C. Aceituno, S. Ahn and D.C. Yang.** 2017. Green synthesis of gold and silver nanoparticles using aqueous extract of *Cibotium barometz* root. *Artificial cells, nanomedicine, and biotechnology*, 45: 1548-1555. <https://doi.org/10.1080/21691401.2016.1260580>
- Zhang, T., M. Dang, W. Zhang and X. Lin.** 2020a. Gold nanoparticles synthesized from *Euphorbia fischeriana* root by green route method alleviates the isoprenaline hydrochloride induced myocardial infarction in rats. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 202: 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2019.111705>
- Zhang, X., Z. Xu, X. Qian, D. Lin, T. Zeng, J. Filser, L. Li and M. Kah.** 2020b. Assessing the Impacts of Cu (OH)<sub>2</sub> Nanopesticide and Ionic Copper on the Soil Enzyme Activity and Bacterial Community. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68: 3372–3381. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b06325>

Received: September 21, 2020; Accepted: October 17, 2020

تاريخ الاستلام: 2020/9/21؛ تاريخ الموافقة على النشر: 2020/10/17