ج- قد يؤدى القضاء على الآفات الهامة – مع عدم استعمال المبيدات فى المكافحة – إلى تكاثر آفات أخرى واستفحال أخطارها. ويؤدى استعمال المبيدات فى مكافحة هذه الآفات إلى فشل المكافحة الحيوية.

ممارسات خاصة لمكافحة الأمراض والآفات فى الزراعات اللاأرضية

تتميز الزراعات اللاأرضية – خاصة المائية منها – بإمكان تطبيق وسائل لمكافحة الآفات فيها بيسر وسهولة وفاعلية كبيرة يصعب – أو يستحيل – تطبيقها فى الزراعات المحمية العادية، ومن هذه الوسائل ما يلى:

تعقيم أو تطهير المحاليل المغذية فى النظم المغلقة

إن المحاليل المغذية المستعملة فى المزارع المائية ذوات النظم المغلقة – مثل تقنية الغشاء المغذى – تكون فى البداية خالية تمامًا من جميع المسببات المرضية. وإذا ما حدث وتلوثت تلك المحاليل بمسببات الأمراض فإنه يمكن تعقيمها بصورة أيسر مما فى حالة تعقيم التربة أو بيئات الزراعة الأخرى. وسبب هذه السهولة فى التعقيم أن المحلول الغذائى المستعمل يمر جميعه من خلال أنبوب واحد قبل تجميعه فى خزان المحلول.

ومن أهم الوسائل المستعملة فى تعقيم المحاليل المغذية فى النظم المغلقة ما يلى:

التعقيم بالأشعة فوق البنفسجية Utra-Violet:

تفيد هذه المعاملة – وحتى ٢٥٠ ميجا جول/ سم^{٢} – فى خفض أعداد الكائنات الدقيقة فى المحاليل المغذية. فمثلاً.. وجد Buyanovsky وآخرون (١٩٨١) أن معاملة التعريض للأشعة فوق البنفسجية (572 $Jm^{-2}h^{-1}$) – لمدة ٣ ساعات يوميًّا طوال فترة زراعة الطماطم – أحدث نقصًا فى عدد الكائنات الدقيقة بالمحلول المغذى من ٥٠٠– ٨٠٠ × ١٠^{٣} إلى ١٠–٥٠×١٠^{٣} / مل، لكن Collins & Jensen (١٩٨٣) يذكران أنه بينما كانت معاملة التعريض للأشعة فوق البنفسجية مجدية فى تقليل أعداد البكتيريا المسببة للأمراض فى تقنية الغشاء المغذى فى المملكة المتحدة، فإن هذه المعاملة لم تكن

مفيدة فى أريزونا؛ لأنها أحدثت نقصًا فى أعداد البكتيريا خلال اليومين الأولين فقط من المعاملة. أعقبته زيادة أعداد البكتيريا بعد ذلك إلى ما كانت عليه قبل الإشعاع، حتى مع استمرار الإشعاع. وبينما تسببت المعاملة فى قتل الجراثيم السابحة (zoospores) لفطر الـ *Pythium* فى المحاليل المغذية، إلا أنها تسببت أيضًا فى تحويل الحديد المخلوب إلى صورة غير ميسرة لامتصاص النبات؛ وهو الأمر الذى تطلب إضافة مزيد من الحديد بعد كل معاملة تعريض للأشعة.

ولكن وُجِدَ — لحسن الحظ — أن طرز الحديد المخلوبة تتباين فى مدى تأثرها بالأشعة فوق البنفسجية (عن Cooper ١٩٨٢).

وقد أثبتت دراسات Schwartzkopf وآخرون (١٩٨٧) على المزارع المائية للخس أن معاملة المحاليل المغذية بجرعات منخفضة من الأشعة فوق البنفسجية كانت وسيلة فعالة للتخلص من البكتيريافى المحلول المغذى، كما أحدثت المعاملة تحسنًا فى النمو النباتى. وعلى الرغم من أن الجرعات العالية من الأشعة أحدثت خفضًا قدره ٩٨٪ فى أعداد البكتيريا — مقارنة بخفض قدره ٨١٪ فقط فى حالة الجرعات المنخفضة — إلا أن الجرعات العالية أحدثت — كذلك — نقصًا جوهريًّا فى النمو النباتى.

التعقيم بالموجات فوق الصوتية Ultra-Sonic

تفيد هذه المعاملة — كذلك — فى خفض أعداد الكائنات الدقيقة فى المحلول المغذى، ولكن يعتقد أنها تؤدى — مثل معاملة الأشعة فوق البنفسجية — إلى التأثير على تيسر الحديد المخلبى فى المحلول المغذى.

المعاملة بفوق أكسيد الإيدروجين

تكون المعاملة بفوق أكسيد الأيدروجين بمعدل ١٠٠ جم/ م^{٣} مع منشط لمدة خمس دقائق. علمًا بأن هذه الطريقة تؤثر بالأكسدة، بما قد يؤثر على كل من الحديد والمنجنيز ويقلل من تيسرهما للنبات (عن Archer وآخرين ١٩٩٧).

المعاملة بالأوزون

تكون المعاملة بالأوزون ozonation بمعدل ١٠ مجم أوزون/م^{3} لمدة ساعة، علمًا بأن هذه الطريقة – كذلك – تؤثر بالأكسدة.

لقد وجد أن ضخ الأوزون فى المحاليل المغذية بالزراعات المحمية على صورة فقاعات متناهية الصغر microbubbles يُساعد فى زيادة معدل ذوبانها وبقائها فى المحاليل لفترة أطول عما لو كان ضخه على صورة فقاعات أكبر millibubbles. وقد ساعد ذلك فى تطهير المحاليل من الفطر *F. oxysporum* f. sp. *melonis*، والبكتيريا *Pectobacterium carotovorum* اللذان تم تلويثها بهما (Kobayashi وآخرون ٢٠١١).

التعقيم بالحرارة

تبدو فكرة تعقيم المحاليل المغذية بالحرارة أمرًا ممكنًا، وكل ما تتطلبه هو توفير حل مناسب لضرورة برودة المحلول المغذى إلى درجة الحرارة العادية قبل إعادة ضخه فى المزرعة من جديد. ويمكن أن يتحقق ذلك إما بإجراء التعقيم فى بداية الليل حينما يتوقف ضخ المحلول المغذى بصورة طبيعية، وإما بتخصيص خزانين للمحلول يتم تعقيم المحلول فى أحدهما، بينما يستعمل المحلول فى الآخر، على أن يُعْكَس الأمر كلما دعت الضرورة إلى تكرار عملية التعقيم.

ويكفى تسخين المحلول المغذى لمدة ٣٠ ثانية على ٩٥ °م لأجل تطهيره بدرجة مقبولة (عن Archer وآخرين ١٩٩٧).

التعقيم بالترشيح فى المزارع المائية المغلقة

من السهولة بمكان تمرير المحلول المغذى على مرشحات (فلاتر) تعمل على منع مرور الكائنات المسببة للمرض قبل وصول المحلول المغذى إلى خزان التجميع. وقد استعمل Schwartzkopf وآخرون (١٩٨٧) فلاتر تحت ميكروسكوبية (ذات فتحات بقطر ٠,٢٢ مللى ميكرون) فى مزارع مائية للخس، أدت إلى التخلص من البكتيريا بنسبة وصلت إلى ٩٩٪، وأحدثت تحسنًا فى النمو النباتى مقارنة بمعاملة الشاهدة.

ويذكر Goldberg وآخرون (١٩٩٢) أن الفطر *Pythium aphanidermatum* يُحدث مشاكل كبيرة فى المزارع المائية المغلقة للخيار والطماطم؛ لأن جراثيمه السابحة تنتقل مع المحلول المغذى لتصيب جميع النباتات فى المزرعة. وقد أمكن مكافحة الفطر بصورة كاملة بإمرار المحلول المغذى الملوث بالجراثيم السابحة للفطر ثلاث مرات على مرشحين؛ أولهما ذو ثقوب بقطر ٢٠ ميكروميتر، وثانيهما ذو ثقوب بقطر ٧ ميكروميترات. ولم يكن المرشح الأول (ذو الثقوب الأوسع) — وحده — كافيًا للتخلص من الجراثيم السابحة للفطر.

هذا.. إلا أن Lillo وآخرون (١٩٩٣) وجدوا أن المحاليل المغذية المرشحة سرعان ما تلوثت مرة أخرى بالبكتيريا؛ حيث لم يجدوا فرقًا معنويًّا بين أعداد البكتيريا فى المحاليل المغذية المرشحة وغير المرشحة، وكل ما تأثر بعملية الترشيح هو تواجد المركبات العضوية (الكربونية) التى كان تركيزها الكلى ٢٣ جزءًا فى المليون فى المحاليل غير المرشحة، انخفض إلى ١٥ جزءًا فى المليون فى المحاليل المرشحة، وكانت جميعها من المركبات الشبيهة بالتانين واللجنين.

وكان الترشيح الرملى البطئ slow sand filter كافٍ للتخلص من نحو ٨٢٪–٩٥٪ من فطر *Fusarium oxysporum* غير المرض فى المحاليل المغذية بالمزارع المائية المغلقة للخس (Oberti ١٩٩٥).

ويتوقف مدى كفاءة التخلص من المسببات المرضية من المحاليل المغذية فى مزارع الصوف الصخرى المغلقة — باستعمال مرشحات رملية — على كل من دقة حبيبات الرمل فى المرشحات، وسرعة عملية الترشيح. ولقد قورنت مرشحات رملية من ثلاثة أحجام لحبيبات الرمل المستخدمة فيها: دقيقة (٠,١٥ — ٠,٢٠ مم)، ومتوسطة الدقة (٠,٢–٠,٨ مم)، وخشنة (٠,٥–١,٦ مم). مع سرعتين للترشيح، هما: ١٠٠، و٣٠٠ لتر/م^{٢} فى الساعة، وذلك على نفاذ كل من الفطرين *Phytophthora cinamomi*، و *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*، وفيرس موزايك الطماطم فى مزارع الصوف الصخرى للطماطم. وقد أوضحت الدراسة، ما يلى:

١- مُنع الفطر *P. cinamomi* – تمامًا – من النفاذ من خلال المرشحين الدقيق والمتوسط الدقة عندما كانت سرعة الترشيح ١٠٠ لتر/م^{٢} فى الساعة.

٢- أمكن التخلص من الفطر *F. oxysporum* f. sp. *lcopersici* وفيرس موزايك الطماطم بنسبة ٩٩٪ خلال الأيام الثلاثة الأولى من الترشيح بسرعة ١٠٠ لتر/م^{٢} فى الساعة، ولكن استمر تواجدهما فى المحلول المغذى لفترة طويلة؛ أى أفادت المرشحات فى إبطاء حركتيهما، ولكنها لم تلغ تواجدهما.

٣- نفذت المسببات المرضية الثلاثة من جميع الفلاتر عندما كانت سرعة الترشيح ٣٠٠ لتر/ م^{٢} فى الساعة (Runia وآخرون ١٩٩٧).

وقد أفاد الترشيح البطئ فى الفلاتر الرملية فى تخليص المحاليل المغذية فى المزارع المائية المغلقة من مسببات بعض الأمراض، وتبين فى إحدى الدراسات أن كفاءة التخلص من مسببات الأمراض بلغت ٨٦٪. وقد أمكن باتباع تلك الطريقة إبطاء انتشار الإصابة بالذبول البكتيرى فى الطماطم بدرجة كبيرة (Mine وآخرون ٢٠٠٢).

كما نجح استعمال المرشحات المانعات للتسرب وذات الثقوب الدقيقة (leak-proof, micropore filters) فى التخلص من الجراثيم السابحة لفطر البثيم – مسبب مرض عفن بثيم الجذرى – من المحلول المغذى الدوار فى المزارع المائية للطماطم. استخدم لأجل ذلك نوعان من الفلاتر، هما:

أ- Membrane Module Filter ذات ثقوب سعة ٠,٠١ ميكروميتر يمكنه التخلص نهائيًا من الجراثيم السابحة والبكتيريا.

ب- Sediment Filter Cartridge ذات ثقوب سعة ٠,٥ ميكروميتر يمكنه التخلص من الجراثيم السابحة دون البكتيريا.

ويمكن لكلا النوعين من الفلاتر تحمل ضغط يصل إلى ٢,٥ كجم/ سم^{٢} وتسمح بإنسياب المحلول المغذى بمعدل ٥٠ لتر/ دقيقة.

تعد هذه الطريقة لتعقيم المحاليل المغذية أقل تكلفة من الطرق الأخرى، مثل المعاملة بالأشعة فوق البنفسجية، والتعقيم الحرارى، والتعريض للأوزون، والمعاملة بالموجات فوق الصوتية (Tu & Harwood ٢٠٠٥).

كما دُرس تأثير كل من الترشيح الفائق tangential ultrafiltration system، والترشيح البطئ خلال الرمل slow sand filtration فى التخلص من المسببات المرضية التى قد تتواجد فى المزارع المائية، واستخدام – كبديل لتلك المسببات – الفطر *Pythium oligandrum*، والبكتيريا *Bacillus subtilis*، علمًا بأنهما من الكائنات المفيدة وليستا من المسببات المرضية، ولكنهما اختيرا كموديلين للكائنات الدقيقة لسهولة زراعتهما فى البيئات الصناعية، ولعدم إضرارهما بالنباتات، ولتشابهما مع الفطريات البيضية العادية والمسببات المرضية البكتيرية. ولقد أوضحت الدراسة أن الترشيح الفائق شديد الفاعلية فى التخلص من كل من *P. oligandrum*، و *B. subtilis*، حيث لم يظهر أى أثر لهما باختبار الـ PCR فى المحاليل المغذية المرشحة. كذلك أدى الترشيح البطئ خلال الرمل إلى التخلص التام من *P. oligandrum*، ولكنه كان أقل كفاءة فى التخلص من *B. subtilis* (Belbahri وآخرون ٢٠٠٧).

ويُستدل من دراسة أجريت على انتشار جراثيم وأعضاء تكاثر الفطر *Phytophtora cactorum* مُسبب مرض عفن التاج فى المزارع المائية المغلقة للفراولة إمكان منعه بالترشيح البطئ للمحلول المغذى باستخدام الفلاتر الرملية (Martinez وآخرون ٢٠١٠).

معاملة المحاليل المغذية بغاز ثانى أكسيد الكربون

أدى حقن المحاليل المغذية بفقاعات دقيقة microbubbles من غاز ثانى أكسيد الكربون تحت ضغط منخفض إلى تثبيط كل من الفطر *F. oxysporum* f. sp. *melonis* والبكتيريا *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*. بدأ الحقن على ٤٠–٤٥ °م وضغط ٤ ميجاباسكال عند ملفات التسخين وانتهى بحرارة ١٥ °م وضغط

١,٥ ميجاباسكال عند وعاء الخلط. ولم يكن لهذه المعاملة أية تأثيرات سلبية على نمو الخس فى المحاليل المغذية المعاملة (Kobayashi وآخرون ٢٠١٣).

زيادة الضغط الأسموزى للمحاليل المغذية

وجد أن مساحة بقع البياض الزغبى الورقية فى الخيار (التى يسببها الفطر *Pseudoperonospora cubensis*) تنخفض بزيادة الضغط الأسموزى للعصير النباتى (النُّسغ)، وذلك من خلال تثبيط الضغط الأسموزى العالى لنمو الهيفات الفطرية، أيًّا كان تركيب المحلول المغذى الذى كان متباينًا فى ضغطه الأسموزى (Tanaka وآخرون ٢٠٠٢).

التحكم فى نسب ومستويات العناصر بالمحاليل المغذية

تلعب نسب ومستويات العناصر فى المحاليل المغذية – خاصة مستويات العناصر الكبرى. ونسبة البوتاسيوم إلى النيتروجين – دورًا هامًّا فى حماية النباتات من بعض الإصابات المرضية.

فمثلاً.. درس Dhanvantari & Papadopoulos (١٩٩٥) تأثير استعمال نسب مختلفة من البوتاسيوم إلى النيتروجين فى المحاليل المغذية (هى النسب: ٣٠٠: ٣٠٠، ٤٠٠: ٢٠٠، و ٤٨٠: ١٢٠) على إصابة الطماطم بمرض عفن الساق البكتيرى، الذى تسببه البكتيريا *Erwinia carotovara* subsp. *carotovora* فى مزارع الصوف الصخرى. وقد كان متوسط طول العفن الذى أحدثته البكتيريا على سيقان النباتات – عندما بلغت من العمر ١١ أسبوعًا – هو: ٤٣٥، و ٥٠٧، و ٦٣ ملليمترًا لمعاملات نسب البوتاسيوم إلى النيتروجين المنخفضة، والمتوسطة، والعالية (المبينة أعلاه)، على التوالى.

وبدراسة تأثير التباين فى مستوى مختلف العناصر فى المحاليل المغذية بمزارع الصوف الصخرى على شدة الإصابة بالفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* مسبب مرض عفن التاج والجذر الفيوزارى، وجد ما يلى:

١- ازدادت شدة الإصابة بالمرض جوهريًّا بزيادة تركيز أى من النيتروجين الأمونيومى (مثل سلفات النشادر)، وفوسفات أحادى الصوديوم، والحديد المخلبى، وسلفات المنجنيز، وسلفات الزنك.

٢- انخفضت شدة الإصابة بزيادة تركيز أى من النيتروجين النتراتى (مثل نترات الكالسيوم) وكبريتات النحاس.

٣- قللت المستويات المنخفضة من نترات النشادر (عند ٣٩ إلى ٧٩ جزء فى المليون من النيتروجين/ لتر) من شدة الإصابة، إلا أن المستويات العالية منها (أكثر من ١٠٠ جزء فى المليون نيتروجين/ لتر) أدت إلى زيادة الإصابة بالمرض.

٤- لم تتأثر شدة الإصابة بتركيز سلفات المغنيسيوم فى المحلول المغذى (Duffy & Défago ١٩٩٩).

وتؤدى زيادة النيتروجين فى الطماطم بزيادة تركيز العنصر فى المحلول المغذى إلى:

١- زيادة القابلية للإصابة بكل من البكتيريا *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* مسبب مرض النقط البكتيرية، والفطر *Oidium lycopersicum* مسبب مرض البياض الدقيقى.

٢- خفض القابلية للإصابة بالفطر *Botrytis cinerea*.

هذا بينما لم يكن لتركيز النيتروجين بالنبات تأثيرًا على قابليته للإصابة بالفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* مسبب مرض الذبول الفيوزارى (Hoffland وآخرون ٢٠٠٠).

كما تزداد قدرة نباتات الطماطم على مقاومة البكتيريا *Ralstonia solanacearum* مسببة مرض الذبول البكتيرى – فى كل من الأصناف المقاومة والقابلة للإصابة – بزيادة تركيز الكالسيوم فى المحاليل المغذية؛ علمًا بأن الأصناف ذات المقاومة العالية تتميز بالقدرة العالية على امتصاص الكالسيوم (Yamazaki ٢٠٠١).

لكن ليس من الممكن الحد من إصابة الخيار فى الزراعات المحمية بالبياض الزغبى عن طريق خفض تركيز النيتروجين فى المحاليل المغذية والتحكم فى محتوى الأوراق من العنصر (Tanaka وآخرون ٢٠٠٠).

إضافة المواد الناشرة إلى المحاليل المغذية فى المزارع المائية

تعتمد عديد من المسببات المرضية على الجراثيم السابحة zoospores فى إحداث الإصابة، حيث يعرف حوالى ١٤٣ نوعًا من تلك المسببات المرضية المكونة للجراثيم السابحة. والتى تتباين كثيرًا فى وضعها التقسيمى (جدول ٨–٤).

جدول (٨–٤): المسببات المرضية الهامة المنتجة للجراثيم السابحة (عن Stanghellini & Miller ١٩٩٧).

الجنس	العائلة	الرتبة	الصنف
Albugo	Albuginaceae	Peronosporales	Oomycetes
Peronophythora	Pythiaceae		
phytophthora			
Pythium			
Plasmopara	Peronosporaceae		
Pseudoperonospora			
Sclerophthora			
Sclerospora			
Aphanomyces	Saprolegniaceae	Saprolegniales	
Synchytrium	Synchytriaceae	Chytridales	Chytridiomycetes
Olpidium	Olpidiaceae	Spizellomycetales	
Physoderma	Physodermataceae	Blastocladiales	
Plasmodiophora	Plasmodiophoraceae	Plasmodiophorales	Plasmodiophoromycetes
Polymyxa			
Spongospora			

تشترك تلك المسببات المرضية فى صفة مشتركة وهى إنتاجها لجراثيم غير جنسية وحيدة الخلية متحركة ذات هدب واحد أو هدبين تعرف باسم الجراثيم السابحة، وهى تُنتج إما داخل أوعية بها vesicles، وإما فى أكياس اسبورانجية sporangia. وبعد انطلاقها من أوعيتها – وفى وجود الرطوبة الحرة – فإنها تسبح لفترة قصيرة تختلف من دقائق إلى ساعات إلى أن تتمكن من خلال آلية كيميائية من رصد عائلها المناسب. وتعد الجراثيم السابحة هى المسئول الأول عن انتشار المسبب المرضى المنتج لها والتعرف على عائله المناسب.

يتبين مما تقدم أن مسببات الأمراض المنتجة للجراثيم السابحة zoospores تُحدث أخطر أمراض الجذور فى الزراعات المائية المغلقة؛ حيث تتسبب الجراثيم السابحة – التى تُحدث الإصابات الأولية – فى الانتشار السريع جدًّا للمرض عن طريق المحلول المغذى الدوّار.

وقد وجد أن المواد البيولوجية الناشرة biosurfacts – مثل الرامنوليبيدات rhamnolipids، والسابونين saponin – كان لها تأثير قوى فى مكافحة أحد تلك المسببات المرضية – وهو: *phytophthora capsici* – فى الفلفل؛ فقد أدت إضافة الرامنوليبيد إلى المحلول المغذى بتركيز ١٥٠ ميكروجرام مادة فعالة/ مل، أو السابونين بتركيز ٢٠٠ ميكروجرام مادة فعالة / مل إلى قتل الجراثيم السابحة للفطر، ومنع انتشار الفطر بنسبة ١٠٠٪. سواء استخدم الصوف الصخرى، أم مخلوط مجهز كبيئة للزراعة. وفى غياب المعاملة بأى من المادتين الناشرتين، فإن جميع نباتات المزرعة ماتت فى خلال ٦–٧ أسابيع من عدوى السويقة الجنينية السفلى لنبات واحد بالفطر، وهو النبات الذى كان المصدر الذى حدثت منه الإصابات الثانوية. كذلك فإن حقن الرامنوليبيد فى خط الرى – فى كل رية – أدى إلى مكافحة المرض بنسبة ١٠٠٪. ويعنى ذلك أن الناشرات الحيوية يمكن أن تكون بدائل مناسبة للمواد الناشرة الصناعية وميكروبات المكافحة الحيوية المستخدمة فى مكافحة المسببات المرضية المنتجة للجراثيم السابحة فى نظم الزراعات المائية المغلقة (Nielsen وآخرون ٢٠٠٦).

ولقد استخدمت المواد الناشرة المحضرة صناعيًّا synthetic biosurfactancts – التى تقلل من التوتر السطحى – فى مكافحة الأمراض التى تنتشر بواسطة الجراثيم السابحة. وكان أول استعمال لهذا الغرض فى مكافحة فيرس العرق الكبير فى الخس الذى ينتقل للخس بواسطة الجراثيم السابحة للفطر *Olpidium brassicae*؛ الأمر الذى اكتشف دون قصد حين وجد أن بعض المبيدات – مثل benzimidazole – تكافح الفطر، ثم تبين أن المواد الخاملة inert material التى توجد فى هذا المبيد – وفى عدد كبير غيره – تعد مواد ناشرة، وأنها هى التى تؤثر فى الجراثيم السابحة للفطر. وقد استخدمت بعد ذلك مادة ناشرة غير أيونية هى أجرال ٩٠ Agral 90 (إنتاج ICI) فى مكافحة المرض فى المزارع المائية التجارية للخس، ثم ثبتت فاعليته فى مكافحة فيرس بقع الكنتالوب المتحللة melon necrotic spot virus فى الخيار، والذى ينقله نفس الفطر.

وقد أعقب ذلك استخدام المواد الناشرة المصنعة فى مكافحة بعض المسببات المرضية لأمراض الجذور، مثل: *Pythium aphanidermatum*، و *Phytophthora parasitica*، و *Phytophthora capsici*.

يؤدى استعمال تلك المواد الناشرة إلى فقدان الغشاء البلازمى للجراثيم السابحة لنفاذيتها؛ ومن ثم فقدها لقدرتها على الحركة، ثم موتها (Stanghellini & Miller ١٩٩٧).

وقد أمكن مكافحة الفطر *Olpidium brassicae* الناقل لمرض تحلل الخس الحلقى lettuce ring necrosis disease فى مزارع الغشاء المغذى للخس، وذلك بمعاملة المحلول المغذى بكل من الـ thiophenate-methyl والزنك مجتمعين، علمًا بأن المعاملة بأى منهما منفردًا لم تُعط نفس المستوى من المكافحة (Vanachter ١٩٩٥).

كما أمكن مكافحة الفطر *Phytophthora nicotianae* فى المزارع اللاأرضية للطماطم باستعمال المواد الناشرة الـ non-ionic alcohol alkoxylate (مثل MBA 1301،

و MBA 1303). أدت تلك المركبات إلى موت الجراثيم السابحة كلية وخفض إنتاج الأكياس الجرثومية الاسبورانجية لدى استعمالها بتركيز ٥ ميكروجرام/ مل. إلا أنها لم تكن مؤثرة على النمو الميسيليومى عندما استعملت بتركيز ١٠٠ ميكروجرام/ مل (De Jonghe وآخرون ٢٠٠٧).

المعاملة بالسيليكون

عرفت أهمية السيليكون فى زيادة مقاومة النباتات للأمراض منذ أواخر السبعينيات، عندما وجد أنه يفيد فى مكافحة أمراض عصفة الأرز Rice Blast، ولفحة الغمد Sheath Blight فى الأرز، والبياض الدقيقى فى الشعير، والقمح، والخيار.

وفى البداية كان يضاف السيليكون إلى التربة بكميات كبيرة وصلت إلى ٤,٥ طنًا من SiO_2/ هكتار لمكافحة البياض الدقيقى فى القمح، بينما تطلبت مقاومة البياض الدقيقى فى الخيار إضافة ٢–٤ أطنان من سيليكات الكالسيوم، أو ٢,٢٥–٤,٥ طنًا من سيليكات البوتاسيوم للهكتار.

وتَلَتْ ذلك محاولة إضافة السيليكون إلى النباتات بطريقة الرش على النموات الخضرية؛ حيث استعملت كل من ميتاسيليكات الصوديوم sodium metasilicate بتركيز ٤٤٠ جزءًا فى المليون، وإيثوكسى سيلاتران 1-ethoxysilatran بتركيز ١٨٠ جزءًا فى المليون فى مكافحة مرض عصفة الأرز.

وقد وجد Menzies وآخرون (١٩٩٢) أن رش نباتات الخيار، والكنتالوب، والكوسة بمحلول سيليكات البوتاسيوم بتركيز ١٧ مللى مولار سيليكون، أو إضافة السيليكون – بالتركيز نفسه– إلى المحاليل المغذية للمزارع المائية التى تنمو فيها النباتات – قبل يوم من حقنها بالفطر *Sphaerotheca fuliginea* (المسبب للبياض الدقيقى فى الخيار والكنتالوب). أو بالفطر *Erysiphe cichoracearum* (المسبب للبياض الدقيقى فى الكوسة) – أحدث نقصًا معنويًّا فى إصابتها بالبياض الدقيقى

مقارنة بمعاملة الشاهد. وأوضحت الدراسة أن السيليكون – وليس البوتاسيوم فى معاملة سيليكات البوتاسيوم – كان هو المسئول عن المقاومة للبياض الدقيقى.

كذلك وجد أن إضافة السيليكون إلى المحاليل المغذية فى المزارع المائية يحد كثيرًا من الإصابة بالفطرين *Pythium ultimum*، و *Pythium aphanidermatum* فى الخيار، وكلاهما من الفطريات الخطيرة التى يمكن أن تنتشر بسرعة كبيرة فى المزارع المائية فى الظروف البيئية المناسبة. ويتبين من دراسات Cherif & Belanger (١٩٩٢)، Cherif وآخرين ١٩٩٤) أن إضافة السيليكون بتركيز ١٠٠ جزء فى المليون (١,٧ مللى مولار) إلى المحاليل المغذية أحدثت نقصًا جوهريًّا فى الإصابة بالفطر *P. aphanidermatum* (عند حقن المزارع به)، مع زيادة المحصول الكلى للخيار، والمحصول الصالح للتسويق، والوزن الجاف للنباتات مقارنة بمعاملة الحقن بالفطر دون إضافة للسيليكون. كما أوضحت الدراسة أن معاملة السيليكون وحدها – دون الحقن بالفطر – لم يكن لها تأثيرات إيجابية على النباتات.

وأدت إضافة السيليكون إلى المحلول المغذى – فى مزارع الصوف الصخرى – بتركيز ٠,٧٥ مللى مولار باستعمال ميتاسيليكات البوتاسيوم إلى زيادة محصول الخيار بنسبة ٣,٢٪، مقارنة بمعاملة عدم إضافة السيليكون. كما أحدثت إضافة السيليكون انخفاضًا فى معدل الإصابة بالفطر *Fulvia fulva*، ولكن إضافته لم يكن لها أى تأثير على القدرة التخزينية للثمار المنتجة (Tanis ١٩٩١).

وقد أدى نمو نباتات الخيار فى محلول مغذٍ يحتوى على السيليكون إلى سرعة ترسيب العنصر فى أنسجة الورقة، وخاصة فى قواعد الشعيرات، مع زيادة فى مقاومة النباتات للفطر *Sphaerotheca fuliginea* مسبب مرض البياض الدقيقى، مع تركيز العنصر فى نسيج البشرة حول مواقع الإصابة بالفطر (Samuels وآخرون ١٩٩١).

وفى مقابل مزايا إضافة السيليكون إلى المحاليل المغذية، فإنه – بتركيز ١٠٠ جزء فى المليون – يُكْسِبُ الثمار لونًا شاحبًا غير عادى (Samules وآخرون ١٩٩٣).

وأمكن فى المزارع المائية مكافحة البياض الدقيقى فى كل من الخيار، والكنتالوب، والكوسة بإضافة سيليكات البوتاسيوم إلى المحلول المغذى بتركيز ١,٧ مللى مولارًا من السيليكون، أو رش النباتات بمحلول من المركب ذاته بتركيز ٠,١٧ مللى مولارًا من السيليكون قبل سبعة أيام من عدواها بالفطر المسبب للمرض، حيث أدت أى من هاتين المعاملتين إلى تقليل ظهور الإصابة بالمرض (Menzies وآخرون ١٩٩٢).

وقد برهنت دراسات Fawe وآخرون (١٩٩٨) على أن السيليكون يعمل على زيادة مقاومة نباتات الخيار للفطر المسبب للبياض الدقيقى، وذلك بتحفيزه للنشاط الأيضى المضاد للفطر فى الأوراق المصابة، بتكوينه لنواتج أيضية ذات وزن جزيئى منخفض. وقد عزلت إحدى تلك المركبات — التى اعتبرت من الفيتوألاكسينات Phytialexins– وعُرِّفت بأنها فلافونول أجليكون flavonol aglycone، وتم تحديد تركيبها الكيميائى.

المعاملة بالمركبات الشيتينية

المركبات الشيتينية Chitinic هى مركبات مستخلصة من الجدر الخارجية الصلدة للكائنات البحرية. ويصنع من هذه المركبات تحضيرات تجارية تفيد فى مكافحة الأمراض النباتية؛ مثل تحضير الشيتوسان Chitosan.

وقد وجد El-Ghaouth وآخرون (١٩٩٤) أن إضافة الشيتوسان إلى المحاليل المغذية — فى مزارع تقنية الغشاء المغذى — بتركيز ١٠٠ أو ٤٠٠ جزء فى المليون — أدى إلى حماية نباتات الخيار من الإصابة بالفطر *Pythium aphanidermatum*، ونشَّط فى النباتات عدة استجابات دفاعية؛ منها: تكوين موانع فيزيائية تركيبية structural barriers فى أنسجة الجذر، وتحفيز تكوين الإنزيمات المضادة للفطريات Chitinase، و Chitosanase، و β-1,3-glucanase فى كل من الجذور، والأوراق. وبينما لم يكن للشيتوسان تأثيرات ضارة على الخيار، فإنه أثر سلبيًّا على نمو الفطر المسبب للمرض؛ حيث أحدث تورمات فى جدره الخلوية، وأدى إلى تكوين فجوات بخلاياه، وتسبب — أحيانًا — فى تحلل البروتوبلازم فيه.

وأحدثت معاملة بيئات زراعة الطماطم بالشيتوسان chitosan بمعدل ١٢,٥–٣٧,٥ مجم/لتر نقصًا جوهريًّا فى الإصابة بالفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis- lycopersici* وما يحدثه من أضرار بالنمو الجذرى وموت للنباتات، وكان التركيز الأعلى هو الأفضل فى تقليل الإصابة حيث انخفض معها معدل موت النباتات بأكثر من ٩٠٪، وكان محصول الثمار معادلاً للمحصول فى حالة غياب الفطر المرض. وقد أثر الشيتوسان من خلال زيادته مقاومة النباتات لاستعمار الفطر لها، حيث ظل الفطر فى النباتات المعاملة بالشيتوسان محصورًا فى طبقتى البشرة والقشرة، وظهر بالهيفات الفطرية اضطرابات خلوية على صورة زيادة فى الفجوات وغياب كامل للبروتوبلازم، كما تكون بالعائل حواجز تركيبية عند أماكن محاولة اختراق الفطر له، كذلك حدث فيه انسداد للأوعية الخشبية بتكوين تيلوزات tylosis، وفقاقيع، ومواد osmophilic (Lafontaine & Benharmou ١٩٩٦).

تزويد المحاليل المغذية ببكتيريا وفطريات المكافحة الحيوية

أدى إدخال أى من عدد من الكائنات الدقيقة المستخدمة فى المكافحة الحيوية للفطر *Pythium aphanidermatum* فى المحاليل المغذية للمزارع المائية للخيار إلى الحد من الإصابة بالفطر، وكانت الكائنات الدقيقة المستعملة هى:

Pseudomonas fluorescens *Streptomoces griseoviridis*

Pythium oligandrum *Trichoderma harzianum*

وقد ارتبطت شدة تثبيط الفطر المرض إيجابيًّا بعدد الأكتينوميسيتات الخيطية المتواجدة فى المحلول المغذى بوسائد الصوف الصخرى. وقد أوصى بعدم تطهير المحاليل المغذية فى النظام المغلق حتى لا يتم التخلص من تلك الأكتينوميسيات، علمًا بأن أعداءها انخفضت قليلاً بعد المعاملة بالأشعة فوق البنفسجية، وأصبحت وسطًا بعد الترشيح البطئ، بينما كانت أعلى ما يمكن فى الكنترول (Postma وآخرون ٢٠٠١).

وقد أمكن عزل سلالات من كل من البكتيريا *seudomomonas* sp.، و *Azospirillum* sp.، و *Bacillus* sp. من المحيط الجذرى لنباتات الطماطم والخيار فى الزراعات المائية

كانت مضادة لكل من المسببات المرضية *Fusarium* sp.، و *Pythium* sp.، و *Rhizoctonia* sp. (Chao وآخرون ١٩٩٧).

ومن أمثلة وسائل المكافحة الحيوية التى يسهل تطبيقها فى المزارع المائية المغلقة ما يلى:

إضافة بكتيريا الـ Pseudomonads

تعرف عدة أنواع بكتيرية مفيدة للنباتات تتبع الجنس *Pseudomonas*. تعيش هذه البكتيريا فى التربة فى محيط النمو الجذرى (الـ Rhizosphere) للنباتات، وتعمل على تحفيز النمو النباتى. كما تُضاد نمو وتكاثر بعض الأنواع الميكروبية الأخرى المرضة للنباتات.

وقد وجد Buysens وآخرون (١٩٩٣) أن تزويد مزارع الطماطم المائية (تقنية الغشاء المغذى) بالسلالة 7NSK2 من البكتيريا *Pseudomonas aeruginosa* أعطى مكافحة جيدة للفطر *Pythium* spp.. وأمكن التغلب على الذبول الطرى لبادرات الطماطم بمعاملة البذور بالفطر *P. aeruginosa*، ووفرت حماية إضافية من الإصابة بالفطر؛ وذلك بإضافة البكتيريا إلى المحلول المغذى ذاته.

كذلك درس Rankin & Paulitz (١٩٩٤) تأثير إضافة عدد من عزلات النوعين البكتيريين *Pseudomonas corrugata*، و *P. fluorescens* على نمو نباتات الخيار وحمايتها من الإصابة بالفطر *Pythium aphanidermatum* فى مزارع الصوف الصخرى. وعلى الرغم من تباين العزلات فى مدى تأثيرها، إلا أن كلا النوعين البكتيريين أحدثا زيادة كبيرة فى الوزن الجاف للنبات، وزيادة بنسبة ٣٢٪–٤١٪ فى عدد الثمار فى غياب الفطر. بينما كانت الزيادة فى عدد الثمار الصالحة للتسويق عند إضافة البكتيريا — مقارنة بمعاملة الشاهد — أكثر من ٦٠٠٪ فى وجود الفطر.

إضافة فطريات الميكوريزا

توفر فطريات الميكوريزا Mycorhizae — التى تعيش وهى متصلة اتصالاً بيولوجيًّا وثيقًا بجذور النباتات — عدة فوائد للنباتات، لعل من أبرزها توفير العناصر المغذية

للنبات، خاصة عنصر الفوسفور، ومساعدة النبات على تحمل الظروف البيئية القاسية – خاصة ظروف الجفاف – وتوفير الحماية للنباتات من الإصابة ببعض الأمراض التى تعيش مسبباتها فى التربة، خاصة تلك التى تحدث فيها الإصابة عن طريق الجذور.

وقد وجد Rattink (١٩٩٣) إن إضافة فطر الميكوريزا *Trichoderma harzianum* إلى مزارع تقنية الغشاء المغذى أدت إلى حماية نباتات الطماطم من الإصابة بمرض عفن التاج والجذر الفيوزارى الذى يسببه الفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*؛ حيث انخفضت نسبة النباتات المصابة – نتيجة لإضافة فطر الميكوريزا بنحو ٧٠٪ أو أكثر. وبالمقارنة ٠٠ فإن معاملة المزرعة المائية – بعزلة من *Streptomyces griseoviridis* أو بعزلتين غير ممرضتين non-pathogenic من الفطر *F. oxysporum*– لم تنجح فى مقاومة مرض عفن التاج والجذر الفيوزارى بكفاءة فطر الميكوريزا.