الفصل السادس

المزارع المائية وعمليات خدمة المحاليل المغذية لمختلف أنوع المزارع اللاأرضية

مقدمة

نناقش فى هذا الفصل — إلى جانب عمليات خدمة المحاليل المغذية لمختلف أنواع المزارع اللاأرضية — أنواع المزارع اللاأرضية التى تنمو فيها الجذور فى المحاليل المغذية مباشرة، ولا تستعمل فيها بيئات صلبة لدعم النبات وتثبيت جذوره. وتلك هى المزارع المائية Hydroponics الحقيقية من بين جميع أنواع المزارع اللاأرضية. وهى تعتبر من النظم المغلقة التى يستخدم فيها المحلول المغذى لمدة طويلة قبل التخلص منه وتحضير غيره من جديد. وفيها تسقى النباتات بالمحلول المغذى مباشرة، فلا حاجة إلى حقن محاليل سمادية مركزة فى ماء الرى، ولكن تكون هناك حاجة إلى خزانات كبيرة تتسع لضعف كمية المحلول المغذى التى تحتاج إليها جميع نباتات المزرعة يوميًا لتحقيق نوع من الأمان بالنسبة لتغذية النباتات، وتثبت النباتات فى مكانها فى هذه النوعية من المزارع بجعل منطقة التاج (قاعدة الساق) تستند إلى طبقة رقية من وسط صلب، يكون غالبًا هو غطاء المجرى أو المكان الذى تنمو فيه الجذور.

تشتق كلمة Hydroponics — كما أوضحنا فى الفصل السابق — من كلمتين يونانيتين، هما: Hydro بمعنى الماء، و ponos بمعنى عمل؛ فيكون المعنى الحرفى للكلمة هو "عمل الماء".

وتعتبر المزارع المائية — تاريخيًا — أسبق إلى الظهور من نوعيات المزارع اللاأرضية الأخرى التى أسلفنا بيانها فى الفصل الخامس، إلا أنه يتم — دائمًا — تحسينها وتطوير نوعيات جديدة منها، مثل مزارع تقنية الغشاء المغذى والمزارع الهوائية وغيرهما (يمكن الرجوع إلى تاريخ تطور المزارع المائية فى Cooper ١٩٨٢).

ولا تعد المزارع المائية أمرًا مستحدثًا؛ فمن أوائل الدراسات التى أجريت عليها تلك التى قام بها Woodward فى إنجلترا فى عام ١٦٩٩. ولقد طوِّرت طريقة لزراعة النباتات بدون تربة قبل منتصف القرن التاسع عشر بواسطة Sach & Knop اللذان كانا من الرواد فى هذا المجال.

وقد استخدم المصطلح hydroponics لأول مرة بواسطة W F. Gericks فى ثلاثينيات القرن العشرين لوصف طريقة لإنتاج النباتات تكون جذورها مغمورة فى محلول مهوى ومخفف من العناصر المغذية. وحاليًا .. تستخدم الـ hydroponics فى إنتاج الخضر فى الصوبات فى شتى بقاع العالم (Mart ١٩٩٤).

إن جميع نُظم المزارع المائية التى لا توجد بها بيئة صلبة لنمو الجذور liquid hydroponic systems (تسمى كذلك non-aggregate systems) هى بطبيعتها نظم مغلقة closed systems. وتكون فيها الجذور معرضة للمحلول المغذى دون وجود لأى نوع من بيئات الزراعة، ويستمر فيها دوران وإعادة استعمال المحلول المغذى.

وقد سبق التقديم للمزارع المائية، ومزاياها وعيوبها — بصورة عامة — ضمن المزارع اللاأرضية فى بداية الفصل الخامس الخاص بمزارع بيئات نمو الجذور الصلدة اللاأرضية؛ وذلك على أساس أن جميع أنواع المزارع المائية هى — فى واقع الأمر — مزارع لا أرضية كذلك.

وفى هذا الفصل نلقى مزيدًا من الضوء على كل ما يتعلق بالمزارع المائية وأهم أنواعها الشائعة الاستعمال.

شروط نجاح المزارع المائية

يلزم لنجاح المزارع المائية تحقيق الشروط التالية:

١- توفير الأكسجين الكافى لنمو الجذور؛ نظرًا لأنها تستنفذ ما يوجد بالمحلول المغذى من أكسجين خلال فترة قصيرة، فى حين يستمر استعماله لمدة طويلة وتختلف

طرق توفير احتياجات الأكسجين اللازمة لتنفس الجذور حسب نوع المزرعة. وسنناقش الطريقة المناسبة لكل نوع من المزارع فى حينها.

٢- حجب الضوء عن الجذور:

يمكن للنباتات أن تنمو بصورة طبيعية، بغض النظر عما إن كانت جذورها معرضة للضوء، أم أنها تنمو فى الظلام، لكن المهم هو أن تبقى جذورها دائمًا مغمورة فى الماء، أو أن يكون الجو المحيط بها مشبعًا تمامًا بالرطوبة. وترجع أهمية حجب الضوء إلى أن الظلام يمنع نمو الطحالب، بينما يساعدها الضوء على النمو. ويؤدى نموها إلى منافسة النباتات على العناصر الغذائية وإلى رفع pH المحلول المغذى، كما أنها تنافس النباتات على الأكسجين ليلاً. ويؤدى تحللها إلى إنتاج مواد سامة قد تتعارض مع النمو الطبيعى للنباتات.

٣- مداومة خدمة المحاليل المغذية:

تخدم المحاليل المغذية فى هذه المزارع – كما فى جميع النظم المغلقة – بالطرق نفسها التى سبق شرحها تحت مزارع الحصى فى الفصل الخامس، والتى نلقى بعض الضوء عليها تحت مزارع تقنية الغشاء المغذى فى هذا الفصل.

هذا .. ويمكن أن تستعمل المحاليل المغذية فى المزارع المائية المغلقة – مثل مزارع تقنية الغشاء المغذى ومزارع الحصى – إما لفترة قصيرة، وإما لفترة طويلة نسبيًا. وعند استخدام المحاليل المغذية لفترة قصيرة فإنها تستبدل بغيرها جديدة كل أسبوع واحد إلى أسبوعين. ويفترض هذا النظام أن امتصاص العناصر من المحلول المغذى لا يصل بها إلى مستوى النقص بالنسبة للنبات خلال تلك الفترة، طالما أنه تضاف كميات جديدة من المحلول المغذى كل أيام قليلة. وتلك طريقة عملية استعملت بنجاح، ولكن أكثر ما يعيبها هو كثرة كميات العناصر التى تُفقد جراء تجديد المحلول المغذى، فضلاً عن تسببها فى تلوث المياه الجوفية إن كانت التربة التى يُتخلص فيها من المحاليل المغذية مسامية.

أما الطريقة الثانية فيتم فيها استعمال المحلول المغذى لعدة أسابيع وربما لعدة

شهور. ويمكن لهذه الطريقة أن تكون ناجحة كذلك، ولكنها تتطلب مراقبة مستمرة لمستوى العناصر فى المحلول المغذى المستعمل لتجنب أى نقص للعناصر أو زيادتها إلى درجة السمية ونظرا لأن وضع العناصر المغذية فى المحاليل التى يستمر استعمالها لفترة طويلة متغير باستمرار بسبب امتصاص النباتات لها، فإنه يلزم تحليل هذه المحاليل بكثرة للمحافظة — قدر المستطاع — على المستويات الأصلية لتركيز مختلف العناصر فيه وكحد أدنى يلزم إجراء تحليل كامل كل ثلاثة أسابيع، مع إجراء تحاليل أخرى أسبوعية لكل من النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم، مع تقدير يومى لمستوى الأملاح الكلى (الـ EC)، وهو الذى يعطى تقديرًا مفيدًا لمستوى العناصر فى المحلول المغذى، لكن هذا التقدير لا يصلح بديلاً للتحليل الكامل (Johnson ٢٠٠٧).

إن اللجوء إلى تقدير EC المحاليل المغذية لا يفيد فى تقدير محتوى الأملاح الكلى. وفى تقنية الغشاء المغذى يفيد ذلك الاختبار فى المحافظة على تركيز عال من مجمل العناصر المغذية، وذلك بالمحافظة على الـ EC عند مستواه الابتدائى، إلاّ أن تركيز المغذيات الفردية سوف يتباين كثيرًا عن المستوى المرغوب فيه. كما لا يتأثر الـ EC — تقريبًا – بكمية العناصر الصغرى المتواجدة ولأجل ذلك .. يتم التخلص من المحلول المغذى أسبوعيًّا وتحضير محلول جديد.

كذلك يمكن أن يفيد اختبار الـ EC فى تحديد مدى احتمال حدوث أضرار جراء كثرة الأملاح فى البيئات الصلبة. وتؤدى زيادة أو خفض تركيز المغذيات على أساس نتائج قياس الـ EC إلى إحداث زيادة أو نقص فى كل المغذيات، الأمر الذى قد يتسبب فى حدوث تسمم من بعض العناصر، أو نقص فى بعضها الآخر، وخاصة فيما يتعلق بالعناصر الدقيقة.

وأفضل الطرق لمراقبة تركيز المحاليل المغذية هى بالتحليل المباشر لمختلف العناصر وتحديد الاحتياجات من كل عنصر على حدة بعد تحديد مستواه فى المحلول المستعمل بالجزء فى المليون، وما يلزم منه لتوصيل تركيزه إلى المستوى المرغوب فيه

وفى مزارع الصوف الصخرى والبرليت يجب ألاّ يتباين الـ EC فى الوسائد أو الأكياس بأكثر من وحدة EC واحدة أعلى أو أقل من EC المحلول المغذى المستعمل. فإذا كان الـ EC أعلى بأكثر من وحدة، فإن ذلك يعنى أننا نضيف مغذيات أكثر مما ينبغى فى الرى التسميدى، والعكس صحيح إذا كان EC بيئة الزراعة يقل بأكثر من وحدة EC عن EC المحلول السمادى المستعمل.

وإذا ما تبين أن EC الوسائد أو الأكياس أعلى عما ينبغى، فإن الحل الوحيد لذلك يكون بغسلها جيدًا بكميات كبيرة من الماء أو بمحلول سمادى مخفف (Hochmuth ٢٠٠١ب).

ويكون من الأفضل إجراء تحليل كيميائى كل ٢-٣ أسابيع للعناصر الكبرى (النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم)، وكل ٤-٦ أسابيع للعناصر الدقيقة (البورون والنحاس والحديد والمنجنيز والموليبدنم والزنك). ومن الضرورى إضافة تركيزات من الأسمدة إلى المحلول المغذى مساوية لتلك التى حصل عليها المحصول المزروع، وإلا فإن بعض العناصر تتراكم ويزداد تركيزها، بينما يستهلك بعضها الآخر. وقد يلزم عمل إضافات من الأسمدة أسبوعيًا أو حتى يوميًا.

ويتبع – عادة – فى المزارع الصغيرة الأسلوب التالى: تكون البداية بمحلول مغذ جيد، وفى نهاية الأسبوع يضاف له نصف كميات الأسمدة الابتدائية، وفى نهاية الأسبوع التالى يتم التخلص من الكمية المتبقية من المحلول المغذى، ويستعمل محلولاً جديدًا (Marr ١٩٩٤).

أما فى النظم المفتوحة فإن الرى بالمحاليل المغذية يكون كلما دعت الحاجة إلى ذلك؛ ولذا لا تكون هناك حاجة إلى مراقبة المحاليل المغذية أو تحليلها، كما أن نوعية المياه المستعملة تقل أهميتها طالما كان محتواها من الأملاح الذائبة فى الحدود التى يتحملها المحصول المزروع. هذا .. إلا إنه فى ظروف المناخ الحار وزيادة شدة الإضاءة يزداد النتح إلى درجة قد تؤدى إلى زيادة تركيز الأملاح فى بيئة نمو الجذور، لذا ..

يتعين فى حالات كهذه الرى بكميات زائدة من المحلول المغذى لكى يتم صرف جزء من الأملاح المتراكمة كما يجب تجميع ماء الصرف وتحليله على فترات وإذا ما وصل فيه تركيز الأملاح إلى ٣٠٠٠ جزء فى المليون يكون من الضرورى الرى بكميات زائدة من الماء فقط لحين غسيل كل الأملاح المتراكمة فى بيئة نمو الجذور، قبل الرى بالمحلول المغذى من جديد (Marr ١٩٩٤)

مميزات المزارع المائية

إلى جانب المميزات التى تشترك فيها المزارع المائية مع باقى أنواع المزارع اللاأرضية — والتى أسلفنا بيانها فى الفصل الخامس — فإن المزارع المائية تنفرد بميزات إضافية تتحقق — أساسًا — من خلال التحكم التام فى بيئة الجذور كما يلى

١- التحكم فى محتوى المحلول المغذى من العناصر المغذية؛ حيث يمكن تحضير المحلول المثالى الذى يناسب المحصول المزروع ومرحلة نموه النباتى، مع مراقبته وتعديل تركيبه فى أثناء الاستعمال كلما لزم الأمر.

وقد وجد أن استعمال محاليل مغذية تتباين فى درجة توصيلها الكهربائى (تركيز العناصر بها) بين النهار والليل (٢,٥ مللى سيمينز/سم من ٩صباحًا إلى الخامسة مساءً، و ٣,٥ مللى سيمنيز/سم من الخامسة مساءً إلى التاسعة صباحًا) كان أفضل لكمية محصول كل من الخس والخيار والطماطم فى مزارع تقنية الغشاء المغذى، مقارنة بالمحصول فى حالة استعمال تركيز ثابت للمحلول المغذى ليلاً ونهارًا (٢,٥، و ٣,٥ مللى سيمنز/سم). وقد أُرجع ذلك إلى خفض الشد المائى للأنسجة (Newton & Sahraoui ١٩٩٧).

٢- يمكن تحقيق عديد من المزايا بالتحكم فى حرارة المحلول المغذى، سواء أكان ذلك برفعها، أم بخفضها؛ فمثلاً . يمكن التوفير فى تدفئة البيوت المحمية شتاءً فى زراعات الطماطم بخفض حرارة البيت ليلاً إلى ١١-١٦°م مع رفع حرارة المحلول المغذى إلى ٢٣-٢٨°م من الشتل حتى بداية موسم الحصاد وعلى الرغم من أن

إجراء هذه المعاملة تسبب فى تأخير الحصاد، إلا أنها أدت إلى زيادة المحصول الكلى وعائد الزراعة. وقد ساعد الاستمرار فى رفع حرارة المحلول المغذى إلى نهاية موسم الحصاد (مع الحرارة المناسبة للنموات الخضرية) إلى زيادة المحصول بنحو ١٠٪. هذا .. مع العلم بأن تدفئة المحلول المغذى سهلة وميسورة وأقل تكلفة من تدفئة هواء الصوبة، كما أن الحرارة التى تفقد من المحلول المغذى تتسرب إلى هواء البيت؛ وهو الأمر الذى قد لا يتحقق عند تدفئة التربة (Resh ١٩٨٥).

وقد وجد Takano (١٩٩١) أن رفع حرارة المحلول المغذى (فى مزارع تقنية الغشاء المغذى) إلى ٢٧°م أدى إلى زيادة المحصول المبكر والكلى للطماطم، حتى مع انخفاض حرارة هواء الصوبة ليلاً إلى ٥°م أو أقل. كما أدى رفع حرارة المحلول إلى ٢٥°م إلى زيادة الوزن الجاف لنباتات القاوون، وكذلك زيادة محتواها من عناصر النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم.

وأوضحت دراسة أجريت على بعض الخضر الصيفية الورقية والخس فى مزارع مائية كانت حرارة المحاليل المغذية فيها ١٥، أو ٢٠، أو ٢٥°م أن امتصاصها للماء كان غير كاف فى حرارة ١٥°م، وأن امتصاصها لعناصر البوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم والفوسفور كان أقل ما يمكن فى حرارة ٢٥°م، بينما كانت حرارة ٢٠°م هى الأفضل لامتصاص الماء والعناصر (Park وآخرون ١٩٩٥).

وكذلك وجد أن تبريد المحاليل المغذية فى المزارع المائية للخس يقلل — بشدة — من اتجاه النباتات نحو الإزهار، كما يقلل — كذلك — من الإصابة بالفطر *Pythium aphanidermatum*، وتبين لدى استعمال معاملات مختلفة للهواء والمحلول المغذى أن أعلى إنتاج كان عندما خفضت حرارة المحلول المغذى إلى ٢٤°م، سواء أكانت حرارة الهواء ٢٤، أم ٣١°م، بما يعنى إمكان الاكتفاء بتبريد المحلول المغذى للتغلب على الآثار السلبية لحرارة الهواء العالية (Thompson وآخرون ١٩٩٨).

ويمكن بالتحكم فى حرارة النمو الجذرى التأثير على جودة المحصول .. ففى دراسة

على تأثير حرارة الجذور على جودة الخضر، زرعت السبانخ فى مزرعة مائية حوفظ فيها على حرارة الجذور عند ٢٠°م حتى قبل الحصاد بأسبوع واحد، ثم خُفِّضت حرارة الجذور – فقط – إلى ٥°م أدت هذه المعاملة إلى إحداث زيادة جوهرية فى محتوى الأوراق من كل من السكريات وحامض الأسكوربيك والحديد Fe^{2+}، مع خفض شديد فى محتواها من كل من النترات وحامض الأكساليك؛ بما يعنى أن المعاملة كان لها تأثير كبير فى تحسين جودة السبانخ (Hıdaka وآخرون ٢٠٠٨).

٣- توفير وسائل عديدة ومتعددة لمكافحة الأمراض، يصعب أو يستحيل تطبيقها فى المزارع الأرضية أو حتى فى النوعيات الأخرى من المزارع اللاأرضية ومن بين هذه الوسائل ترشيح المحاليل المغذية للتخلص من مسببات الأمراض، وتعقيم المحاليل بالأشعة فوق البنفسجية أو بالموجات فوق الصوتية Ultra-Sonic، أو إضافة المبيدات الجهازية أو الكائنات المستعملة فى المكافحة البيولوجية إليها، وتزويد المحاليل المغذية بالمركبات التى تزيد المقاومة الطبيعية للنباتات ضد الأمراض، وغيرها من الوسائل التى نتناولها بالشرح فى الفصل الثامن.

ولقد أدى تعريض المحاليل المغذية لمزارع الشيكوريا – بصورة دائمة – للأشعة فوق البنفسجية بطول موجى ٢٥٤ نانوميتر، تنبعث من لمبات بقوة ٦٤ واط، بهدف تعقيمها إلى إحداث زيادة جوهرية فى وزن الجذور المغذية ووزن الرؤوس والمحصول الكلى، مقارنة بما حدث فى نباتات الكنترول (Babık & Szymańskı ١٩٩٨).

٤- يمكن التخلص من المركبات السامة التى تفرزها الجذور بإضافة مسحوق الفحم النباتى المُنشَّط إلى المحلول المغذى. وقد وجد Yu وآخرون (١٩٩٣) أن تركيز الكربون يرتفع تدريجيًا فى المحلول المغذى لمزارع الطماطم من ٣ أجزاء فى المليون إلى ٤٠ جزءًا فى المليون، بسبب إفرازات الجذور من المواد العضوية، وأن إضافة الفحم النباتى قللت جوهريًا من تلك الزيادة، وأدت إلى زيادة الوزن الجاف للنباتات ومحصولها الكلى.

وأمكن عزل مركبات فينولية من المحلول المغذى الخاص بالمزارع المائية للخيار، وكان

أحد تلك المركبات — وهو 2,4-dichlorobenzoic acid — أشدها تأثيرًا، حيث أدى بعد عزله وإضافته للمحاليل المغذية بتركيز ٢ ميكروليتر/لتر إلى إحداث خفض فى محصول الثمار وفترة الحصاد، وإن لم يكن مؤثرًا على النمو النباتى. وقد أمكن التخلص من ذلك التأثير بإضافة الفحم المُنشّط للمحلول المغذى (Asao وآخرون ١٩٩٩).

٥- قد يمكن تحسين القيمة الغذائية للخضر المنتجة بإضافة مركبات معينة إلى المحاليل المغذية. فمثلاً .. أدى استبدال المحلول المغذى للخس ذو الأوراق الدهنية المظهر فى مزارع الغشاء المغذى — قبل الحصاد بأربع وعشرين ساعة — بمحلول مغذٍ آخر غنى فى الحديد إلى زيادة تركيز الحديد فى الأوراق إلى ١٠٠ جزء فى المليون، أو نحو أربعة أضعاف تركيزه فى أوراق نباتات الكنترول، بينما لم يتأثر تركيز باقى العناصر بتلك المعاملة (Inoue وآخرون ١٩٩٤أ).

وفى دراسة أخرى مماثلة (Inoue وآخرون ١٩٩٤ب) على طرازين من خس الرؤوس (ذو الأوراق المتقصفة وذو الأوراق الدهنية المظهر) استبدل فيها المحلول المغذى المستعمل قبل الحصاد بفترة قصيرة بآخر يحتوى على ١٠٠٠ جزء فى المليون من حامض الأسكوربيك إلى زيادة تركيز الحامض بالأوراق إلى نحو أربعة أمثال تركيزه فى أوراق نباتات الكنترول.

وأمكن زيادة محتوى أوراق الخس (من مجموعة خس الرؤوس ذى الأوراق الدهنية المظهر) من حامض الأسكوربيك بإضافة أسكوربات الصوديوم إلى المحلول المغذى فى المزارع المائية بتركيز ١٠٠٠، و ٢٠٠٠ جزء فى المليون قبل الحصاد بأربع وعشرين ساعة. وذلك بمقدار ٣,٥، و ٤,٧ ضعف — على التوالى — مقارنة بمحتوى حامض الأسكوربيك فى أوراق النباتات التى لم تتلق تلك المعاملة؛ هذا .. إلاّ أن التركيز المرتفع تسبب فى نقص امتصاص الماء إلى درجة صاحبها ظهور ذبول بالأوراق. وجدير بالذكر أن المعاملة لم تكن مؤثرة على محتوى الأوراق من كل من البوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم، كما لم يتأثر محتوى الأوراق العالى من حامض الأسكوربيك أو مظهرها بعد التخزين على ٥°م لمدة ثلاثة أيام (Inoue وآخرون ١٩٩٥).

ولقد وجد Inoue وآخرون (٢٠٠٠) أن تغذية السبانخ والخس والبصل الأخضر فى المزارع المائية بسترات الأمونيوم والحديديك ammonium ferric citrate (١٠٠ مجم/لتر) لمدد تراوحت من ٣ إلى ١٥ ساعة صاحبتها زيادة خطية – تقريبا – فى محتوى أوراق تلك الأنواع النباتية من الحديد، ولكن ظهرت عليها أضرار زيادة الحديد بعد التغذية الزائدة بالعنصر لمدة ١٢ ساعة فى السبانخ. ولمدة ٩ ساعات فى كل من الخس والبصل الأخضر وعند تحليل العنصر فى الأوراق الخالية من أية أضرار ظاهرة بعد ٩ ساعات من التغذية بالعنصر فى السبانخ، وبعد ٦ ساعات فى كل من الخس والبصل الأخضر، وجد أن تركيز الحديد فيها (بالملليجرام/١٠٠ جم وزن طازج) ازداد فى السبانخ من ٠,٨٢ ± ٠,٠٦ فى الكنترول إلى ٦,٠٠ ± ٠,٩٢، وفى الخس من ٠,٨٢ ± ٠,٠٥ إلى ٣,٠٥ ± ٠,٤٠، وفى البصل الأخضر من ٠,٥٨ ± ٠,٠٤ إلى ٢,٠٠ ± ٠,٣٢ وعندما كانت التغذية بالحديد المخلبى EDTA-Fe ظهرت أضرار العنصر بعد ٦ ساعات – فقط – من المعاملة فى المحاصيل الثلاثة؛ وبذا لم تكن المعاملة واقعية، مقارنة بالمعاملة بالحديد فى صورة سترات الأمونيوم والحديديك

٦- يمكن بالتحكم فى مستوى النيتروجين فى المحلول المغذى التحكم فى مستوى النترات بالنباتات؛ فمثلاً أدى حذف النيتروجين من المحلول المغذى للخس بعد الزراعة بخمسين يومًا، ثم الحصاد بعد ذلك بثمانية عشر يومًا إلى نقص فى كل من المحصول ومحتوى الأوراق من النترات، حيث كان محصول النباتات التى تلقت محلولاً غذائيًا كاملاً حتى الحصاد يزيد بمقدار ٢٠٪، ومحتوى أوراقها من النترات يزيد بمقدار ٦٤٪، مقارنة بما حدث فى النباتات التى مُنع عنها النيتروجين قبل الحصاد بثمانية عشر يومًا. هذا .. إلا أن أعلى تركيز للنيتروجين بالأوراق فى هذه الدراسة كان ١٥٥٠ جزءًا فى المليون، وهو يقل عن الحد الأقصى المسموح به فى دول شمال أوروبا (Magnani & Oggiano ١٩٩٧)

٧- يمكن التأثير على النمو النباتى والمحصول وجودته بإذابة الأكسجين أو ثانى أكسيد الكربون فى المحلول المغذى وعلى سبيل المثال .. من المعروف أن جذور الطماطم تمتص

الأكسجين من المحاليل المغذية بيسر وسهولة، وتعد حساسة لتركيز الأكسجين المذاب فيها. ولقد وجد أن تشبيع المحاليل المغذية بالأكسجين المذاب حفز امتصاص الفوسفات. وعندما كان المحلول المغذى فقيرًا نسبيًا فى كل من النيتروجين والفوسفور، فإن تشبيع المحلول بالأكسجين ساهم فى زيادة أطوال النباتات، والوزن الطازج للسيقان والأوراق، ووزن الجذور، وتركيز الفوسفور فى كل من السيقان والأوراق والثمار، وذلك مقارنة بالوضع عندما لم يشبع ذلك المحلول المغذى بالأكسجين (Tanaka وآخرون ٢٠٠١).

ولقد أضحت دراسة أجريت على الطماطم فى مزرعة مائية قورن فيها تأثير الأكسجين فى المحلول المغذى (عالى: ١١٪-١٤٪، ومتوسط: ٥,٨٪-٧٪، ومنخفض: ٠,٨٪-١,٥٪) على النمو النباتى وإصابة الجذور بالفطر *Pythium* spp. مسبب مرض عفن الجذور أن تركيز الأكسجين العالى أحدث زيادة فى النمو النباتى الخضرى والجذرى، وخفضًا شديدًا فى استعمال الفطر للجذور. لدرجة أن النباتات التى أعطيت تلك المعاملة ظلت خالية من أية أعراض للإصابة بالفطر طوال فترة التجربة، بينما ظهرت أعراض الإصابة على النباتات التى لم تعط تلك المعاملة بعد ستة أيام من العدوى بالفطر. ولقد تبين أن نباتات الكنترول التى أعطيت معاملة التركيز المنخفض من الأكسجين فى المحلول المغذى ازداد فيها نشاط إنزيمات الليبوكسى جينيز lypoxygenase، مقارنة بالنباتات التى أعطيت معاملة التركيز المرتفع للأكسجين، وكانت تلك الاختلافات أكثر وضوحًا بعد العدوى بالفطر، ويعتقد أن تلك الزيادة فى نشاط إنزيمات الليبوكسى جينيز فى النباتات النامية تحت شد نقص إمدادات الأكسجين للجذور مع العدوى بالفطر ربما تؤدى إلى إحداث تحلل وخلل فى تركيب ووظائف ليبيدات الأغشية الخلوية، مما يسهل استعمار الفطر للجذور، وظهور أعراض الإصابة (Chérif وآخرون ١٩٩٧).

ودُرس تأثير استعمال محاليل مغذية تحتوى على أكسجين بتركيز ٠,٥، و ٣,٥، و ١٠ مجم/لتر فى مزارع الصوف الصخرى للخيار، ووجد أن التركيز المنخفض أحدث نقصًا فى النموين الخضرى والجذرى، بينما كانت أكبر مساحة ورقية عندما استعمل التركيز المرتفع. كما وجد أن تركيز الأكسجين فى المحلول المغذى يُستهلك كلية فى

خلال ٣٠ دقيقة من ضخ المحلول فى الجو الدافئ؛ ولذا فإن من الضرورى إعادة ضخ المحلول المغذى على فترات متقاربة (Holtman وآخرون ٢٠٠٥)

كذلك دُرس تأثير زيادة محتوى المحاليل المغذية فى المزارع اللاأرضية للخيار والفلفل من الأكسجين، حيث كان تركيز الغاز فى المحاليل بالخزانات المستعملة إما أقل من العادى — كما فى المحاليل التى يتخللها الهواء ويذوب فيها الأكسجين بصورة طبيعية — (٢ مجم/لتر)، وإما عادى (٥–٦ مجم/لتر)، وإما متوسط (١٦ مجم/لتر)، وإما عالٍ (٣٠–٤٠ مجم/لتر) ولقد أدت زيادة تركيز الأكسجين إلى تحسين محصول الخيار فى تجربة واحدة، بينما لم يكن لأى من تركيزات الغاز — بما فى ذلك الأقل من العادى — أى تأثير فى تجربتين أخرتين ولم يظهر أى تأثير لزيادة تركيز الأكسجين على محصول الفلفل هذا . إلا إنه فى كلا المحصولين كانت لزيادة تركيز الغاز تأثيرات إيجابية على طول فترة تخزين الثمار. ولقد تبين أن محتوى المحلول المغذى من الأكسجين ينخفض عند النقاطات بمقدار ٢٠٪–٦٧٪ من محتواه فى خزانات المحلول، وذلك تبعاً للتركيز الابتدائى المستعمل للغاز فى الخزانات واستمر الانخفاض فى تركيز الغاز فى بيئة الزراعة إلى أن وصل إلى التركيز العادى فى المحلول المغذى المنصرف منها ولقد تحسن نمو نباتات الخيار عندما حُوفظ على تركيز الأكسجين عالياً بصورة دائمة بالرى الغزير (لمدة دقيقة من كل اثنتين) بمحلول مغذ عالٍ فى محتواه من الغاز. هذا إلا أن تلك المعدلات العالية للرى ليست عملية فى الإنتاج التجارى للخيار أو الفلفل (Ehret وآخرون ٢٠١٠)

وعندما عوملت المزارع المائية للطماطم بكلوريد الصوديوم بتركيز صفر أو ١٠٠ ملى مول، وبتهوية المحلول المغذى إما بالهواء الجوى العادى، وإما بالهواء المحمل بثانى أكسيد الكربون بتركيز ٥٠٠٠ ميكرومول/مول، فإن النباتات التى تلقت معاملة الملوحة العالية ازداد وزنها الجاف وازداد فيها تراكم النيتروجين عندما عوملت محاليلها المغذية بالهواء المحمل بثانى أكسيد الكربون بدرجة أكبر عما إذا كانت تلك المحاليل قد عوملت بالهواء الجوى العادى كذلك ازداد فى النباتات التى تلقت معاملة الملوحة

وثانى أكسيد الكربون — معًا — بالمحلول المغذى امتصاص النترات، كما ازداد انتقال النترات والنيتروجين المختزل فى عصير الخشب عما فى النباتات التى عوملت بالملوحة، ولكن دون زيادة لثانى أكسيد الكربون فى المحلول المغذى. ولقد تبين أن الكربون غير العضوى الذائب ازداد فى جذور النباتات التى كانت فى محلول مغذ غنى بثانى أكسيد الكربون، سواء أكان ذلك المحلول قد أعطى معاملة الملوحة أم لم يُعطاها. وتبين — كذلك — أن المحاليل المغذية المعاملة بالهواء الغنى بثانى أكسيد الكربون أمكنها امتصاص المزيد من النيتروجين وتوفير الكربون لتمثيل الأحماض الأمينية فى الجذور عند زيادة الملوحة. وبذا .. فإن معاملة المحاليل المغذية بالهواء الغنى بثانى أكسيد الكربون يمكن أن يخفف من النقص فى إمدادات الكربون التى تلزم لتمثيل الأمونيوم، وبالتالى فإنها تُحسِّن من تأثير الملوحة على كل من امتصاص النترات وتمثيلها وعلى النمو النباتى (Cramer & Lips ١٩٩٥).

هذا .. إلاّ أن زيادة تركيز الأكسجين الذائب فى المحلول المغذى للطماطم عن التركيز العادى — الذى يقدر بنحو ٨,٥ مجم/لتر — إلى ٤٠ مجم/لتر أثر سلبيًا — فى خلال أسبوعين من المعاملة — على النمو الجذرى ذاته، ومن ثم على النمو الخضرى. ولذا .. فإنه — وتجنبًا للآثار السلبية لكل من نقص الأكسجين الذائب وزيادته إلى ٤٠ مجم/لتر — فإن من المفضل زيادته حتى ٣٠ مجم فقط/لتر (Zheng وآخرون ٢٠٠٧).

٨- قد يمكن التأثير على النمو النباتى بإضافة مركبات أو كائنات معينة إلى المحلول المغذى؛ فمثلاً .. وجد Takahashi وآخرون (١٩٩٣) على الطماطم أن إضافة حامض الأبسيسك بتركيز ٠,١ جزءًا فى المليون فى المحلول المغذى أدى إلى تنشيط النمو النباتى بقوة؛ بسبب التأثيرات الإيجابية التى أحدثها منظم النمو؛ وهى: زيادة النمو الجذرى، وارتفاع درجة حرارة ألنموات الخضرية، وزيادة نشاط أكسدة الـ α-napthylamine فى الجذور، وزيادة تكوين الجذور العرضية. هذا .. إلا أن زيادة تركيز حامض الأبسيسك إلى ٥ أجزاء أو ١٠ أجزاء فى المليون. أحدثت تأثيرات عكسية على النمو النباتى.

وأدت إضافة السيليسم للمحاليل المغذية بتركيز ٥ ، و ١٠ مجم/لتر إلى زيادة تركيز العنصر بأوراق الشبكوريا والخس، وإلى زيادة المحصول وقد كان السيليكون فعالاً فى خفض إنتاج الإثيلين ونشط الإنزيم phenylalanine ammonia lyase، مما قد يعمل على تحسين القيمة الغذائية وتحسين جودة بعد الحصاد للمنتجات سابقة التجهيز من كلا المحصولين (Malorgio وآخرون ٢٠٠٩).

وأمكن بإضافة التحضير التجارى الحيوى EM-1 Agricultural إلى المحاليل المغذية فى المزارع المائية تحسين جودة المحاصيل وقدرتها التخزينية بعد الحصاد. ولقد حسنت هذه المعاملة قوة النمو النباتى وكثافة الأنسجة فى الطماطم والخس بفعل عديد من الإنزيمات، والأحماض العضوية، ومحفزات النمو، والمركبات الفلافونية الحيوية biolfavinoids، والأحماض الأمينية التى تنتج — جميعها — من النشاط الحيوى للكائنات الدقيقة التى تتواجد فى الـ EM-1. وهى التى تُمتص من خلال المجموع الجذرى للنباتات وتتركز تلك الكائنات الدقيقة على امتداد أسطح الجذور، لتكون علاقة تبادل منفعة مع النباتات تشبه تلك التى تتواجد مع الميكوريزا ويفيد الـ EM-1 فى زيادة كفاءة امتصاص النباتات للعناصر، فى الوقت الذى يقلل فيه من الشدّ الذى قد يُحدثه وجود تركيزات عالية من المغذيات فى المحاليل المغذية. ويضاف الـ EM-1 إلى المحاليل المغذية بنسبة ١ : ١٠٠٠ فى مزارع الطماطم، و ١ : ٢٠٠٠ فى مزارع الخس.

٩- يمكن تحسين جودة المنتج المزروع بالتحكم فى تركيز الأملاح فى المحاليل المغذية؛ فقد أدى تعريض نباتات الخس فى الزراعات المائية قبل حصادها لمحاليل مغذية بدرجة توصيل كهربائى مقدارها ٣,٨ أو ٤,٨ ملليسيمنز/سم إلى تحسين خصائص الخس المجهز للمستهلك، حيث انخفض فيه إنتاج ثانى أكسيد الكربون مع انخفاض فى عمليات التحلل. وقد كان الخس الناتج بعد معاملة الملوحة أقل فى نشاط الأوكسيديز. وانخفضت فيه ظاهرة التلون البنى أثناء التخزين، وقلّت فيه أعداد البكتيريا والفطريات والخمائر بالنسيج الوسطى mesophyl للأوراق، وازدادت قدرته على التخزين عما حدث فى خس معاملة الكنترول (Scuderi وآخرون ٢٠١١)

ودُرس تأثير تسميد الهندباء فى تقنية الغشاء المغذى بمحلول مغذٍ يحتوى على ٤٠ ملى مول كلوريد صوديوم لكل لتر أو ١٠ ملى مول كبريتات بوتاسيوم لكل لتر، أو يحتوى على كلا الملحين معًا، مع معاملة نباتات إضافية بالرش بمحلول نترات كالسيوم بتركيز ١٥ ملى مول/لتر، أو بالماء المقطر. ولقد وجد أن الملوحة أو المعاملة بالبوتاسيوم والكالسيوم أثرت — أساسًا — على الجزء العلوى من النباتات، وقللت مساحة الأوراق، إلاّ إنه عندما صاحبت معاملة الملوحة المعاملة بالبوتاسيوم أو الكالسيوم عُكِسَ التأثير السلبى للملوحة على النمو، فلم تختلف النباتات التى عُوملت بتلك الطريقة عن تلك التى عُوملت بالبوتاسيوم والكالسيوم فقط فى كل من الكتلة البيولوجية للنبات، ونسبة الأوراق إلى الجذور، والوزن الطازج للأوراق، وعدد الأوراق، وطول الجذور. ولم يكن للملوحة أى تأثير على معدل البناء الضوئى، أو درجة توصيل الثغور، أو تركيز ثانى أكسيد الكربون فى المسافات البينية. هذا .. بينما ازداد معدل البناء الضوئى وتوصيل الثغور عند الرش بالكالسيوم، وانخفضا عند إضافة البوتاسيوم. وقد انخفض امتصاص العناصر إلى الربع فى النباتات التى عُوملت بالملوحة، مقارنة بالامتصاص فى نباتات الكنترول. ويستفاد من تلك النتائج أنه بالتحكم المناسب فى تركيز الملح بالمحلول المغذى مع إضافات من البوتاسيوم أو الكالسيوم يمكن تحسين جودة المحاصيل الورقية دون التأثير كثيرًا على المحصول (Tzortzakis ٢٠١٠).

١٠- تزداد فى المحاليل المغذية أعداد بكتيريا المحيط الجذرى المفيدة للنباتات:

قُدرت أعداد الخلايا البكتيرية فى المحلول المغذى لمزارع الصوف الصخرى للطماطم بنحو $١٠^{٥}$-$١٠^{٦}$ خلية بكتيرية هوائية لكل ملليلتر، وذلك بعد ٢٤ ساعة — فقط — من زراعة الطماطم، مقارنة بنحو ٥٠٠-٩٠٠ خلية بكتيرية فى محلول مغذ مماثل ولكن بدون نباتات. وقد استمرت تركيزات البكتيريا ثابتة دون تغيرات جوهرية على مدى ١٢ أسبوعًا بعد ذلك.

وتبين لدى مقارنة عزلات تلك البكتيريا ما يلى:

١- كانت ٤٠٪ منها من الجنس *Pseudomonas*

٢- حوالى ٤٠٪ منها كانت من الأنواع *Agrobacterium*، و *Azospirillum*، و *Comamonas*، و *Entrobacter*، و *Xanthomonas*

٣- مثلت الأجناس *Alcaligenes*، و *Aureobacterium*، و *Cytophaga*، و *Falvobacterium*، و *Rhodococcus*، و *Yersinia* أقل من ٢٪ من العزلات

٤- لم يمكن تحديد حوالى ٢٠٪ من العزلات (Berkelmann وآخرون ١٩٩٤)

عيوب المزارع المائية

إلى جانب العيوب التى تشترك فيها المزارع المائية مع باقى أنواع المزارع اللاأرضية – والتى أسلفنا بيانها فى الفصل الخامس – فإن المزارع المائية تنفرد بعيوب إضافية نجملها فيما يلى

١- يعتقد أن استمرار استعمال المحاليل المغذية فى النظم المغلقة يؤدى إلى انتشار مسببات الأمراض التى يمكن أن تصيب النباتات عن طريق الجذور. وعلى الرغم من أن Cooper (١٩٨٢) أوضح أن هذا الأمر لم يتأيد حدوثه على أرض الواقع، فإن بعض الدراسات الحديثة تُلفت الانتباه إلى أهميته، كما يلى

أ- ذكر Larsen (١٩٨٢) أن الفطر *Pythium* أحدث خسائر كبيرة فى كل من الطماطم والخيار فى المزارع المائية المغلقة، مثل تقنية الغشاء المغذى ومزارع الحصى؛ وذلك عندما ارتفعت حرارة المحلول المغذى إلى ٣٠°م أو أكثر من ذلك. كذلك وجد Carrai (١٩٩٣) أن الفطر *Pythium aphanidermatum* – المسبب لعفن جذور الخس – انتشر فى مزارع تقنية الغشاء المغذى التى ارتفعت فيها حرارة المحلول المغذى إلى ٢٩-٣٩°م. ولكنه لم يظهر عندما بُرّد المحلول المغذى إلى ٢٠-٢٤°م.

وبالمقارنة لم ينتشر فطر البثيم فى المزارع الرملية الجيرية، علما بأن المزارع الرملية من النظم المفتوحة

ب- ينتقل عديد من الفيروسات إلى النباتات من خلال المحاليل المغذية الملوثة صناعيًا، أو التى تلوثت طبيعيًا بالفيرس. ومن أمثلة هذه الفيروسات ما يلى (عن Schuerger & Hammer ١٩٩٥).

فيرس موزايك الخيار المتبرقش الأخضر Cucumber Green Mosaic Virus.

مسبب العرق الكبير فى الخس Lettuce Big Vein.

فيرس بقع القاوون المتحللة Melon Necrotic Spot Virus.

فيرس إكس البطاطس Potato Virus X.

فيرس موزايك التبغ Tobacco Mosaic Virus.

فيرس تقزم الطماطم الشجيرى Tomato Bushy Stunt Virus.

فيرس موزايك الطماطم Tomato Mosaic Virus.

ولقد تبين أن كلا من النوعين البكتيريين *Pseudomonas corrugata*، و *Pseudomonas marginalis* – اللذان تكثر أعدادهما فى مزارع الصوف الصخرى – يرتبطان بظاهرة انهيار الطماطم فى تلك المزارع (Kudela وآخرون ٢٠١٠).

٢- ارتفاع حرارة المحلول المغذى:

إن أكثر مشاكل الماء شيوعًا هى الحرارة العالية جدًّا التى تصل إليها المحاليل المغذية صيفًا، حيث ترتفع حرارته أثناء دورانه فى قنوات النظام عندما تزيد حرارة هواء الصوبة عن ٣٢°م. ويحدث الضرر للنباتات عندما ترتفع حرارة المحلول المغذى عن ٢٧-٢٩°م؛ حيث يقل النمو النباتى. ولا يمكن للماء الدافئ أن يحمل الأكسجين بالقدر الكافى كما يحمله الماء الأبرد، كما أن ارتفاع حرارة بيئة الجذور يقود إلى مشاكل فى نمو الجذور وفى أدائها لوظائفها، كذلك تزداد مشاكل أعفان الجذور عند ارتفاع حرارة المحلول المغذى بشدة.

ولا تكون تلك المشكلة بنفس الحدة فى مزارع الصوف الصخرى أو البرليت أو الأكياس؛ نظرًا لأن المحلول الداخل إلى النظام يأتى من المصدر مباشرة، ولا يُعاد دورانه.

وللتحكم فى الحرارة العالية للمحاليل المغذية يجب أن تكون الأسطح الخارجية لأوعية بيئة الزراعة، والأكياس، والقنوات، والأنابيب بيضاء أو عاكسة للضوء، فذلك يحد من تراكم الحرارة فى البيئة.

أما فى تقنية الغشاء المغذى فإن المحاليل المغذية يجب إما تغييرها على فترات قصيرة أو تبريدها، علما بأن التبريد يمكن أن يتم باستعمال ملف تبريد يوضع فى تانك تجميع المحلول.

وأخيرًا فإن التحكم الجيد فى حرارة هواء الصوبة باستعمال المراوح الساحبة للهواء، والتظليل، ووسائد التبخير تُساعد فى خفض حرارة المحاليل المغذية (Hochmuth ٢٠٠١أ)

٣- قد يؤثر نقص الأكسجين فى المحاليل المغذية على النباتات النامية بها، الأمر الذى يتطلب توفير الوسائل التى تسمح بالمحافظة على تركيز عال من الأكسجين بالمحاليل

فمثلاً أدى التركيز المنخفض جدًا من الأكسجين فى المحلول المغذى بالمزارع المائية (٠,٠١ ملى مول) إلى إبطاء نمو الخس، مقارنة بالنمو فى التركيزات الأعلى (٠,١، و ٠,٢ ملى مول أكسجين)، وقد أُرجع ذلك إلى انخفاض امتلاء الأوراق فى تركيز الأكسجين المنخفض، بسبب ضعف قدرة الجذور على امتصاص الماء فى تلك الظروف (Yoshida وآخرون ١٩٩٧)

ولقد أوضحت دراسة استخدمت فيها تركيزات مختلفة من الأكسجين الذائب فى المحلول المغذى (٠,٠١، و ٠,١، و ٠,٢ ملى مول mM) للخيار أن خفض تركيز الأكسجين صاحبه خفض فى امتصاص الماء، والمساحة الورقية، والوزن الطازج والجاف للأوراق. دون التأثير على طول الساق أو عدد الأوراق. ولقد اقترح حدوث انخفاض فى نفاذية أغشية خلايا الجذر جراء انخفاض تركيز الأكسجين؛ بسبب تأثر عمليات حيوية تعتمد على توفر الغاز، وأن النمو تأثر سلبيًا بانخفاض امتلاء الخلايا، الذى حدث نتيجة نقص امتصاص الجذور للماء فى المحاليل التى نقص فيها تركيز الأكسجين (Yoshida وآخرون ١٩٩٧).

وعندما عرضت جذور شتلات الطماطم والخيار لمحاليل مغذية تحتوى على ١، أو

٢، أو ٤، أو ٨ أجزاء فى المليون من الأكسجين، مع ضبط حرارة المحلول المغذى على ٢٢ أو ٣٠°م للطماطم، و ٢٥ أو ٣٣°م للخيار، كان نمو نباتات الطماطم مترديًا فى تركيز ١، أو ٢ جزء فى المليون من الأكسجين مقارنة بنموها فى التركيز الأعلى، أيًا كانت حرارة المحلول المغذى. أما نمو نباتات الخيار فقد تأخر قليلاً فى تركيز جزء واحد فى المليون من الأكسجين على حرارة ٢٥°م، كما تردَّى النمو جوهريًا فى تركيز ١، أو ٢ جزء فى المليون على حرارة ٣٣°م (Rong & Tachibana ١٩٩٧).

وعندما دُرس تأثير نقص الأكسجين فى المحاليل المغذية للمزارع اللاأرضية على نمو نباتات الطماطم النامية بها، وجد أن لنقص الأكسجين تأثيرات فورية على امتصاص الماء والعناصر المغذية، ففى خلال ٤٨ ساعة حدث نقص قدره ٢٠٪-٣٠٪ فى امتصاص الماء، بينما توقف — تمامًا — امتصاص العناصر بعد ١٠ ساعات فقط، وذلك باستثناء النترات التى استمر امتصاصها. ولقد كان البوتاسيوم أكثر العناصر تأثرًا، حيث بدأ يقل امتصاصه بعد ٤ ساعات فقط من اختفاء الأكسجين من المحاليل المغذية (Morard وآخرون ٢٠٠٠).

وفى مزارع الصوف الصخرى للطماطم والخيار تبين أن المحلول المغذى يكون مشبعًا — تقريبًا — بالأكسجين لدى مروره فى الجزء العلوى من وسادة الصوف الصخرى بعد الرى مباشرة، ولكنه ينخفض سريعًا بمروره إلى أسفل حتى يصل إلى تركيز شبه ثابت قدره حوالى ٤ مجم/لتر (Rivière وآخرون ١٩٩٣).

وبالمقارنة .. لم تظهر أى اختلافات فى نمو الخس الورقى والجذرى فى مزرعة مائية بنظام الطفو floating system، قورن فيها تأثير مستويات الأكسجين التالية فى المحلول المغذى: ٢٥٪ تشبع على ٢٤°م (٢,١ مجم/لتر)، و ٥٠٪ تشبع (٤,٢ مجم/لتر)، وتشبع تام (٨,٤ مجم/لتر)، وتشبع زائد (١٦,٨ مجم/لتر). وكان المستوى الحرج للأكسجين للنمو الجيد للخس فى هذه الدراسة هو ٢,١ مجم/لتر (Goto وآخرون ١٩٩٧).

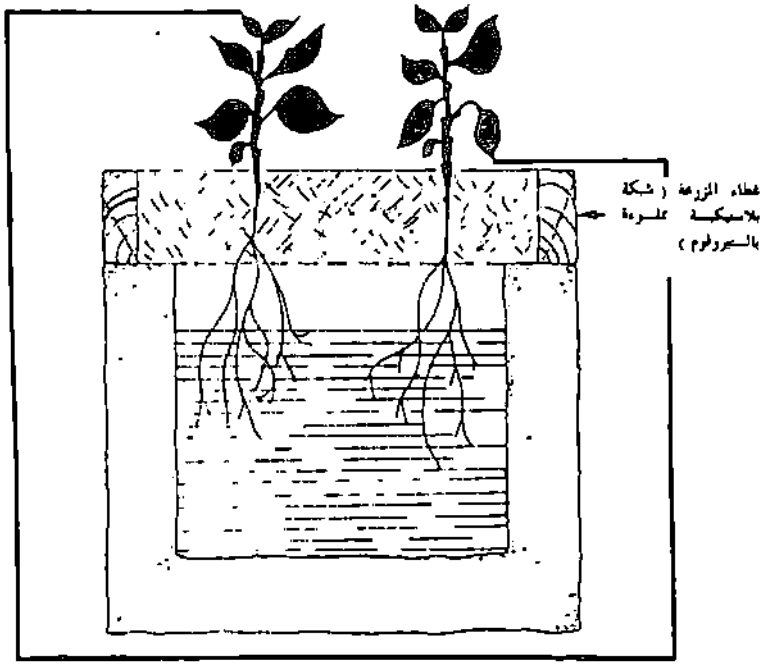
٤- تكون الخضر المنتجة فى المزارع المائية أقل فى قيمتها الغذائية عن تلك المنتجة فى التربة العادية تحت ظروف الحقل، وذلك بسبب سرعة النمو النباتى الكبيرة فى

المزارع المائية. مقارنة بسرعة النمو فى التربة. وعلى سبيل المثال . تكون السبانخ أقل فى محتواها من حامض الأسكوربيك عند إنتاجها فى المزارع المائية، مقارنة بالمحتوى فى السبانخ المنتجة فى التربة وعلى الرغم من ذلك، فإنه يمكن — كما أسلفنا — إدخال مركبات مغذية عضوية أو غير عضوية فى المحاليل المغذية فى الوقت المناسب لتمتصها النباتات، ويزداد محتواها منها مباشرة، مثل إدخال حامض الأسكوربيك والحديد والكالسيوم

٥- تزيد المزارع المائية من احتمالات سرعة التلوث بالميكروبات الضارة بصحة الإنسان، فقد أظهرت دراسة أجريت على الطماطم فى مزرعة مائية لوِّث فيها المحلول المغذى ببكتيريا السلمونيلا *Salmonella* بمعدل ٤,٤٦-٤,٦٥ لو (لوغاريتم) وحدة مكونة للمستعمرات CFU/مل أن البكتيريا يمكن أن تنتقل داخليًا فى نباتات الطماطم بعد دخولها عن طريق الجذور — سواء أكانت الجذور سليمة، أم مجروحة بقطع جزء منها — إلى الساق والأوراق. وقد وصلت أعداد البكتيريا فى السويقة الجينية السفلى والأوراق الفلقية والسيقان والأوراق الحقيقية لأكثر من ٣٨ ٣ لو CFU/جم من تلك الأنسجة، وذلك بعد ٩ أيام فى المزرعة التى لوِّث محلولها المغذى بالبكتيريا، أيًا كانت حالة جذورها (Guo وآخرون ٢٠٠٢).

مزارع المحاليل المغذية

تعتبر مزارع المحاليل المغذية Nutrient Solution Culture أول أنواع المزارع المائية استخدامًا على النطاقين البحثى والتجارى، وفيها تبقى الجذور فى المحلول المغذى داخل حيز مغلق قد يكون وعاءً بلاستيكيًا بحجم مناسب (للأغراض البحثية والتعليمية)، أو أحواضًا أسمنتية مطلية بالبيتومين (الزفت) تصلح للإنتاج التجارى. وتختلف الأحواض المستعملة لهذا الغرض فى العرض من ٣٠-١٠٠ سم، وفى الطول من ٦٠-٢٥٠ سم، وفى العمق من ١٥-٢٢,٥ سم، وهى تملأ بالمحلول لعمق ١٠-١٥ سم. وتترك مسافة ٥-٧,٥ سم حتى غطاء الحوض الذى يكون صالحًا لكل من زراعة البذور، أو تثبيت الشتلات حسب طريقة الزراعة المتبعة (شكل ٦-١).



شكل (٦-١): مقطع عرضى فى مزرعة محلول مغذ تجارية.

يتكون غطاء الحوض (يطلق عليه اسم طاولة مهاد الركام المبعثر litter tray) من شبكة بلاستيكية (بدلاً من شباك السلك المجلفن التى كانت تستعمل سابقًا، حتى يمكن تلافى مشكلة التسمم من الزنك) تملأ بالستيروفوم Styrofoam وجزيئات بلاستيكية أخرى (بدلاً من القش، وقُشارة الخشب، ونشارة الخشب، والبيت موس، وقشور الأرز، وهى المواد التى كانت تستعمل سابقًا)، تكون الشبكة بما فيها من مواد مالئة بسمك ٥-١٠ سم، ويمكن أن تزرع فيها البذور مباشرة أو تثبت فيها الشتلات.

ويفضل — حاليًا — استخدام غطاء بلاستيكى لأحواض الزراعة يتم تثقيبه على الأبعاد المناسبة للنباتات التى يُراد زراعتها. تكون هذه الثقوب بقطر يزيد قليلاً عن القطر المتوقع لقواعد سيقان النباتات البالغة. تمرر جذور الشتلات الصغيرة من هذه الثقوب، ثم تثبت سيقانها فى الغطاء باستعمال أسطوانات صغيرة من الاستيروفوم أو الصوف الصخرى تكون بقطر الثقوب التى فى الغطاء نفسه، ومقطوعة طوليًا؛ ليمكن

تركيبها حول سيقان "النباتات"، وبمركز كل منها ثقب طولى يسمح بمرور ساق النبات من خلاله

وفى البداية (بعد زراعة البذور أو الشتل) يكون مستوى المحلول المغذى فى الحوض مرتفعًا إلى ما يقرب من ١-٥ ٢ سم من الجانب السفلى لشبكة الغطاء، لكن دون أن يبللها ومع نمو الجذور يخفض مستوى المحلول المغذى تدريجيًا إلى أن تصبح المسافة بين الجانب السفلى للشبكة وسطح المحلول المغذى فى الحوض من ٥-٧,٥ سم ويمكن التحكم فى مستوى المحلول المغذى وإبقاؤه ثابتًا فى الحوض باستعمال أنبوب لتصريف المحلول الزائد عن المستوى المرغوب (Resh ١٩٨٥).

ويتم توفير الأكسجين اللازم لتنفس الجذور فى هذا النوع من المزارع بواسطة مضخة صغيرة تعمل بصفة دائمة، وتدفع الهواء من خلال ثقوب توجد فى أنبوب بقاع حوض الزراعة، فيخرج على شكل فقاقيع، فيذوب بذلك جزء من الأكسجين فى المحلول المغذى. ويتطلب ذلك مواصفات خاصة فى فوهة (بزبان) nozzle مدخل الهواء فى المحلول المغذى لأجل زيادة معدل ذوبان الأكسجين فى المحلول (Fang وآخرون ١٩٩٥).

وعلى الرغم من أن دراسات Yoshida & Eguchi (١٩٩٤) — التى استعملا فيها نظير الأكسجين O^{18} — أثبتت أن الأكسجين الهوائى يمكن أن ينتقل خلال الأوراق والمسافات الملوءة بالغازات فى الأنسجة النباتية إلى الجذور — حيث تستعمله فى التنفس – إلا أن ذلك حدث بمعدلات منخفضة، وتطلب زيادة تركيز الأكسجين الهوائى عن التركيز العادى، ولذا .. فإن حصول الجذور على الأكسجين مباشرة يعد أمرًا حيويًا فى المزارع المائية.

وقد حقق مركز بحوث وتطوير الخضر الأسيوى (AVRDC) تطورًا كبيرًا فى مجال هذا النوع من المزارع المائية بتوصله إلى طريقة لنمو النباتات فى محاليل مغذية، دون الحاجة إلى تهويتها وفى هذه الطريقة تربى النباتات بحيث تمتد جذورها خلال حيز هوائى عريض تحصل منه على احتياجاتها من الأكسجين قبل أن تمتد فى المحلول المغذى (Asian Veg. Res. Dev. Center ١٩٨٦).

ويعطى Kratky وآخرون (١٩٨٨) تفاصيل إنشاء مزرعة محلول مغذٍ من هذا القبيل. لم يختلف فيها محصول الطماطم جوهريًا عن محصول النباتات النامية فى التربة العادية.

وتمشيًا مع هذا الاتجاه .. وجد Fujime وآخرون (١٩٩١) أن خفض عمق المحلول المغذى (ارتفاعه فى قاع حوض الزراعة) إلى ٣.٥ سم فقط خلال المراحل المتوسطة لنمو نباتات الطماطم كان أفضل من استمرار المحلول المغذى بعمق ٨,٥ سم، أو تأجيل خفض عمقه إلى ٣,٥ سم حتى مرحلة متأخرة من النمو النباتى. وقد علل الباحثون ذلك بأن غاز الأكسجين المذاب فى المحلول المغذى كان أعلى تركيزًا عندما كان المحلول بعمق ٣,٥ سم مقارنة بعمق ٨,٥ سم، كما كانت جذور النباتات أكثر تعرضًا للهواء الجوى فى الحالة الأولى (بسبب انخفاض مستوى المحلول المغذى فى أحواض الزراعة)، مقارنة بالحالة الثانية التى كان فيها المحلول المغذى بعمق ٨,٥ سم.

مزارع الأنابيب

تستعمل فى مزارع الأنابيب Tube Cultures أنابيب من البولى فينايل كلورايد (PVC) بقطر ٤ بوصات تشق طوليًا إلى نصفين، ويغطى مكان القطع بالبلاستيك الأسود لمنع نفاذ الضوء. وتستخدم هذه الأنصاف فى زراعة النباتات ذات النمو الخضرى والجذرى المحدودين، كالخس والفراولة. ويتم عمل ثقوب فى البلاستيك تثبت فيها النباتات، وتبقى الجذور داخل الأنبوبة التى يمر فيها المحلول المغذى بصورة دائمة؛ ولهذا .. فإنها يجب أن تكون مائلة بمقدار ٧,٥ سم كل ٣٠ مترًا؛ لتعمل على حسن انسيابه فيها. هذا .. ويعاد استعمال هذه الأنابيب فى الزراعة بعد تعقيمها بهيبوكلوريد الصوديوم. لكن يستعمل معها غطاء بلاستيكى جديد.

وتتحقق التهوية اللازمة للمحلول المغذى فى هذه النوعية من المزارع أثناء مروره من الأنابيب إلى خزان المحلول. ويساعد وضع عدد من الحواجز فى طريقه إلى زيادة اختلاطه بالهواء (Resh ١٩٨٥).

تقنية الغشاء المغذى

تتواجد جذور النباتات فى تقنية الغشاء المغذى Nutrient Film Technique (اختصارًا NFT) فى قناة ضيقة مغلقة، ينساب فيها المحلول المغذى بصورة دائمة على شكل غشاء بسمك حوالى ثلاثة ملليمترات، بحيث تبلل الجذور — على الدوام — بمحلول مغذ متجدد، فى الوقت الذى يبقى فيه جل المجموع الجذرى للنبات معرضًا للهواء فى مستوى أعلى من مستوى المحلول المغذى، الذى لا ينغمر فيه سوى نسبة يسيرة من جذور النباتات. ولأن الجذور التى فى الهواء تكون دائمًا محاطة بغشاء من المحلول المغذى، لذا . كان الاسم "تقنية الغشاء المغذى".

وقد ابتكر هذه النوعية من المزارع المائية العالم Allen Cooper فى المملكة المتحدة عام ١٩٦٥ ومنذ ذلك الحين انتشرت تقنية الغشاء المغذى فى أنحاء عديدة من العالم، خاصة فى أوروبا، وأمريكا الشمالية، وبعض دول جنوب شرق آسيا مثل اليابان وكوريا الجنوبية

ويطلق على هذه المزارع — أحيانًا — اسم تقنية المحلول المغذى المتدفق Nutrient Flow Technique، بالنظر إلى استمرار تدفق المحلول المغذى خلال المزرعة بصورة دائمة

وقد قدم A Cooper لهذه النوعية من المزارع — بالتفصيل — فى كتابه Nutrient Film Technique (Cooper ١٩٨٢).

مميزات وعيوب تقنية الغشاء المغذى

المميزات

من أهم مميزات تقنية الغشاء المغذى ما يلى:

١- لا حاجة إلى التعقيم بين الزراعات المتتالية، نظرًا لأن الأغشية البلاستيكية لا يعاد استعمالها وفى ذلك توفير فى الطاقة والجهد والوقت، بالإضافة إلى تقليل احتمالات تلوث البيئة ومصادر المياه بالمبيدات المستخدمة فى التعقيم. ويكفى مجرد

غسل قنوات الزراعة وخزان المحلول المغذى والأنابيب بالفورمالين بتركيز ٢٪ بين الزراعات المتتالية.

٢- التوفير فى الماء، نظرًا لأن المحلول المغذى يمر فى نظام مغلق؛ فلا يتعرض للتبخر.

٣- أدت بساطة الفكرة التى يقوم عليها النظام إلى تطويره؛ ليعمل بصورة آلية كليًا تقريبًا

٤- يناسب النظام عديد من المحاصيل، ويتميز بالإنتاجية العالية مع الجودة.

٥- بسبب سهولة التحكم فى بيئة نمو الجذور فى هذا النظام، فإنه يمكن التحكم فى النمو النباتى بصورة أفضل؛ ويتحقق ذلك من خلال التحكم فى درجة حرارة المحلول المغذى، ودرجة توصيله الكهربائى (EC)، والتدفق المتقطع intermittent flow للمحلول المغذى (عن Burrage ١٩٩٣).

٦- يمكن مكافحة الأمراض والآفات بسهولة بإضافة المبيدات الجهازية التى تُمتص عن طريق الجذور إلى المحلول المغذى.

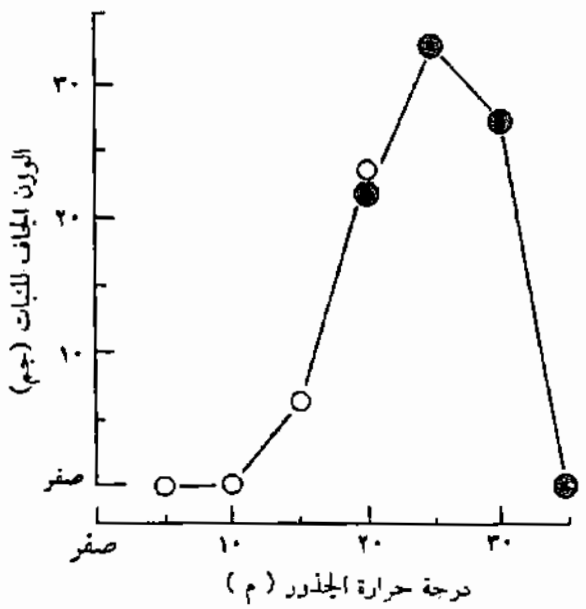
٧- انخفاض التكلفة الإنشائية نسبيًا.

٨- تعد من أنسب أنواع المزارع المائية لدول الشرق الأوسط التى تكون أراضيها الرملية جيرية. أو تقل فيها المياه الصالحة للزراعة.

٩- من السهولة بمكان تدفئة أو تبريد المحلول المغذى؛ بحيث تبقى درجة حرارته — دائمًا — فى المدى المناسب للنمو النباتى؛ والذى يبلغ حوالى ٢٦-٢٧°م للطماطم، و ٢٩°م للخيار؛ مما يقلل الحاجة إلى تدفئة أو تبريد هواء البيت المحمى. ففى الطماطم — على سبيل المثال — تغير نمو النباتات بتغير درجة حرارة المحلول المغذى من ٥°م إلى ٣٥°م، علمًا بأن درجة حرارة الهواء كانت ثابتة عند ٢٠°م (شكل ٦-٢). وقد صاحبت هذه الزيادة فى النمو النباتى زيادة مماثلة فى امتصاص النباتات من العناصر، على الرغم من أن نسبة العناصر ظلت ثابتة فى الأنسجة النباتية عند مختلف درجات الحرارة المستعملة.

ويلاحظ من شكل (٦-٢) أن نمو نباتات الطماطم يتوقف عندما تبلغ حرارة المحلول

المغذى ١٠°م أو ٣٥°م، وأن درجة الحرارة المثلى للنمو تقع بين ٢٦°م و ٢٧°م ولكن يجب إما أن تبقى درجة حرارة المحلول المغذى ثابتة ليلاً ونهارًا، وإما أن تكون أعلى نهارًا منها ليلاً؛ لأن عكس ذلك يكون له تأثير سيئ على النمو النباتى. ولكل محصول درجة الحرارة المثلى والعظمى الخاصة به.



شكل (٦-٢) تأثير درجة حرارة المحلول المغذى — فى مزرعة تقنية الغشاء المغذى — على الوزن الجاف لنباتات الطماطم عند ثبات درجة حرارة الهواء — ليلاً ونهارًا — عند ٢٠°م تمثل الدوائر البيضاء والسوداء فى الشكل قيمًا حُصِلَ عليها فى تجربتين مختلفتين.

وفى الخس يقلل تبريد المحلول المغذى صيفًا من اتجاه الخس نحو التزهير (الحنبطة). ومن إصابة الخس والخيار والطماطم بالفطر *Pythum aphanidermatum*.

١٠- كذلك تفيد تدفئة المحاليل المغذية فى توفير قدر — ولو ضئيل — من الحرارة للنموات الخضرية قد يحميها من أضرار الصقيع، خاصة عندما تقام مزارع تقنية الغشاء المغذى خارج البيوت المحمية فى المناطق التى تقترب فيها الحرارة ليلاً من درجة التجمد.

وأبسط الوسائل لتدفئة المحاليل المغذية هى بوضع سخان كهربائى — يتصل بمنظم حرارة — مغمورًا فى خزان المحلول (على ألا يكون السخان من النحاس) ولكن تكلفة التشغيل بهذه الطريقة تكون عالية، ويفضل عليها استعمال ملفات من الصلب غير القابل للصدأ يمر فيها ماء ساخن أو بخار مع استعمال الزيت أو الغاز كمصدر للطاقة. ويكفى نحو ١٢ مترًا من ملفات بقطر ٥ سنتيمترات لتدفئة المحلول المغذى اللازم لكل هكتار من مزارع تقنية الغشاء المغذى.

١١– قد يمكن الاستفادة من قدرة البكتيريا التابعة للجنس *Rhizobium* على تثبيت أزوت الهواء الجوى فى جذور البقوليات فى إمداد النباتات غير البقولية باحتياجاتها من هذا العنصر ؛ وذلك بزراعتها مع النباتات البقولية — بنسبة معينة من كل منهما — فى مزرعة واحدة؛ حيث يؤدى تسرب النيتروجين من جذور النباتات البقولية إلى توفره فى المحلول المغذى؛ لكى تستفيد منه النباتات غير البقولية. وعلى الرغم من أن تركيز الآزوت يكون فى هذه الحالة منخفضًا، إلاّ أن المهم هو تأمين استمرار تواجده بألا تنخفض نسبة النباتات البقولية فى المزرعة عن حد معين.

١٢– قد يكون من الممكن إقامة تقنية الغشاء المغذى بجانب الأنهار مع استعمال مياه النهر — مباشرة — ودون أية إضافات من العناصر المغذية. ومما يؤيد ذلك أن مياه الأنهار تستعمل بالفعل فى إنتاج محصول قوى النمو من الكرسون المائى بطريقة تتدفق فيها مياه النهر على مزارع الكرسون المائى — بصورة مستمرة — لتعود المياه إلى النهر مرة أخرى بعد مرورها على طول معين — لا تتعداه — من المزرعة. كذلك تنمو الأعشاب المائية بغزارة على مياه الأنهار، وتعتمد فى نموها على العناصر المغذية التى تتوفر فى هذه المياه.

وليس بمستغرب أن تكفى التركيزات المنخفضة من العناصر الضرورية — التى تتوفر فى مياه الأنهار — حاجة النباتات من تلك العناصر ما دامت هذه المياه متجددة على الدوام كما فى حالتى الأعشاب المائية ومزارع كرسون الماء؛ وهو الشرط الذى يجب أن يتحقق — كذلك — فى مزارع تقنية الغشاء المغذى. فمياه النهر يجب أن تتدفق مرة

واحدة خلال المزرعة، ثم تعود إلى النهر مرة أخرى، كما يجب ألا يزيد طول قنوات المزرعة عن حد معين. وإلا تعرضت النباتات التى توجد فى نهاياتها لنقص فى العناصر المغذية.

وجدير بالذكر أن الزراعة بهذه الطريقة لا تحتاج إلى أكثر من قنوات تقنية الغشاء المغذى، فالماء يمكن رفعه إلى خزانات بالوسائل البدائية، ويُتْرَك لينساب من خلال قنوات الزراعة دون أية إضافات من الأسمدة، أو تعديل للـ pH، أو ضخ . إلخ

١٣- الاستفادة من مزارع تقنية الغشاء المغذى فى تقنية مياه المزارع السمكية.

نجد فى المزارع السمكية أن براز السمك يجعل الماء غنيًا بالعناصر الغذائية، ولكنه يُفسد الماء بالنسبة للسمك، الأمر الذى يتطلب تغيير الماء على فترات متقاربة وإذا لم تتم معالجة هذا الماء قبل التخلص منه فإنه قد يؤدى إلى تلوث البيئة ولكن من حسن الحظ أن الـ pH ودرجة الحرارة المناسبتين للماء المستعمل فى تربية الأسماك يناسبان كذلك مزارع تقنية الغشاء المغذى، الأمر الذى قد يمكن معه استعمال هذه المياه فى تلك المزارع دونما حاجة إلى معالجتها قبل التخلص منها، بل إنه قد يمكن إعادة استعمالها من جديد فى مزارع الأسماك بعد تنقيتها فى مزارع تقنية الغشاء المغذى

ولكى تتم عملية تنقية المياه بصورة سليمة يجب أن يُضخ الماء لمرة واحدة فى مزارع تقنية الغشاء المغذى بمعدل ثابت ليلاً ونهارًا، وهو ما يتطلب وجود تلك المزارع مجاورة للمزارع السمكية وبمساحات تتناسب مع كمية المياه الناتجة من المزارع السمكية والتى يُراد معالجتها وقد يتطلب الأمر زيادة مساحة مزارع تقنية الغشاء المغذى شتاءً، نظرًا لبطء النمو النباتى خلال فترة انخفاض درجة الحرارة شتاءً، وقلة حاجة النبتات إلى الماء آنذاك

وقد أثبتت دراسات McMurtry وآخرون (١٩٩٣) التى جمعوا فيها بين مزارع الأسماك ومزارع الطماطم المائية (بتمرير مياه الأسماك على مزارع الطماطم فى نظام مغلق) أن النواتج الأيضية لكل كيلو جرام واحد زيادة فى النمو السمكى كانت كافية لتغذية

نباتين من الطماطم لمدة ثلاثة شهور. علمًا بأن الأسماك كانت تعطى غذاءً يحتوى على ٣٢٪ بروتينًا

كذلك قام Quilleré وآخرون (١٩٩٣) بالجمع بين السمك (من النوع *Oreochromis niloticus*). والنباتات (الطماطم)، والبكتيريا (التى تقوم بتحليل براز السمك ليناسب النباتات) فى نظام بيئى واحد مغلق أمكن فيه التوفير فى مياه تربية الأسماك، وتوفير الأسمدة اللازمة للنمو النباتى، وتجنب التلوث البيئى. وقد زود النظام بالبكتيريا من خلال فلتر حبيبى احتوى على البكتيريا المرغوبة، ووضع بين حوض تربية السمك ومزرعة الطماطم. وكانت نتائج هذه الدراسة مرضية؛ حيث ثبت مستوى المركبات النيتروجينة — خاصة النترات — فى مياه تربية الأسماك عند مستوى منخفض، فى الوقت الذى تكوّن فيه نمو نباتى جيد.

العيوب

من أهم عيوب تقنية الغشاء المغذى ما يلى:

١- سرعة انتشار الأمراض التى تصيب النباتات عن طريق الجذور، ولكن يفترض دائمًا اتخاذ الاحتياطات اللازمة لمنع وصول الأمراض إلى المزرعة، خاصة أنها تكون فى البداية خالية تمامًا منها.

٢- احتمال إصابة قاعدة ساق النبات بما يشبه الاحتراق، نتيجة تراكم الملح على قاعدة النبات بالقرب من مكان تلامس الساق مع غشاء المحلول المغذى. ولا يحدث ذلك إلا إذا كان المحلول راكدًا فى هذه المنطقة (وهو الأمر الذى يحدث إن كان بها انخفاض)، أو إن كان غشاء المحلول المغذى أكبر سمكًا من اللازم. وتعالج هذه المشكلة بالاهتمام بهندسة النظام لضمان تدفق المحلول المغذى فى غشاء بالسمك المناسب.

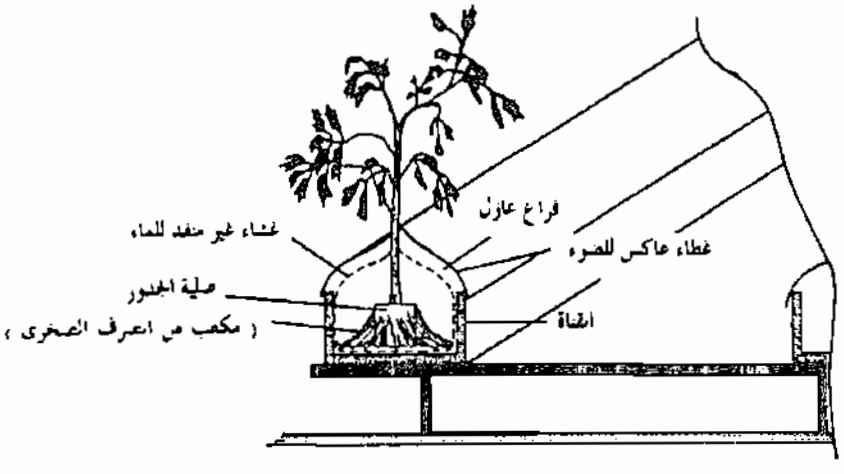
٣- احتمال توقف مضخة المحلول المغذى عن العمل، إما بسبب انقطاع التيار الكهربائى، وإما بسبب خلل بالمضخة ذاتها. ويتطلب ذلك توفر مولد كهربائى يعمل

تلقائيًا عند انقطاع التيار الكهربائى، وتواجد مضختين تعملان بالتبادل لتأمين استمرار ضخ المحلول المغذى فى حالة تعطُل إحداهما عن العمل

٤- الحاجة إلى أفراد ذوى مستوى عال من الخبرة والكفاءة لإدارة هذه المزارع

تصميم مزارع تقنية الغشاء المغذى

يتم أولاً إعداد قنوات مستوية تماما وخالية من أية تعرجات، وتوضع على أرضية من الأسمنت تميل بمقدار ١٪. وتصنع هذه القنوات من الخشب، أو البلاستيك، أو المعدن، أو الأسمنت (شكل ٦-٣) وترجع أهمية استواء القنوات إلى عدم إعطاء أية فرصة لتوقف المحلول المغذى بأية انخفاضات قد توجد بها، نظرًا لأن البقع الراكدة تصبح خالية من الأكسجين بعد فترة قصيرة من تنفس الجذور.



شكل (٦-٣): قناة تقنية الغشاء المغذى، وقد بطنت بالبوليثيلين

يبلغ عرض القنوات — عادة — ٢٣ سم، وارتفاعها ٥ سم فى مزارع الطماطم والخيار، أما طولها، فيجب ألا يزيد على ٣٠-٤٠ مترًا كحد أقصى، ويجب أن تكون غير منفذة للماء وفى حالة صنعها من مواد منفذة للماء، فإنه يلزم تبطينها بغشاء بلاستيكى وفى هذه الحالة يجب أن يكون الغشاء عريضًا بالقدر الذى يكفى

لتغطية قمة القناة ومكعبات إكثار الشتلات. ويستعمل لذلك الغرض غشاء بلاستيكى بسمك ١٣٠ ميكرونًا على الأقل؛ لأن الأغشية الأقل سمكًا من ذلك يمكن أن تلتصق بها الجذور وتتشابك؛ مما يجعل المحلول المغذى يمر من حول الجذور، بدلاً من أن يمر من خلالها. أما القنوات التى تصنع من مواد غير منفذة للماء، فإنها لا تحتاج إلى تبطين، ولكنها تحتاج إلى غطاء، وقد يكون هذا الغطاء من البلاستيك أو أية مادة غير صلبة.

وترجع أهمية أغطية القنوات إلى كونها:

١- تمنع فقد الماء بالتبخر.

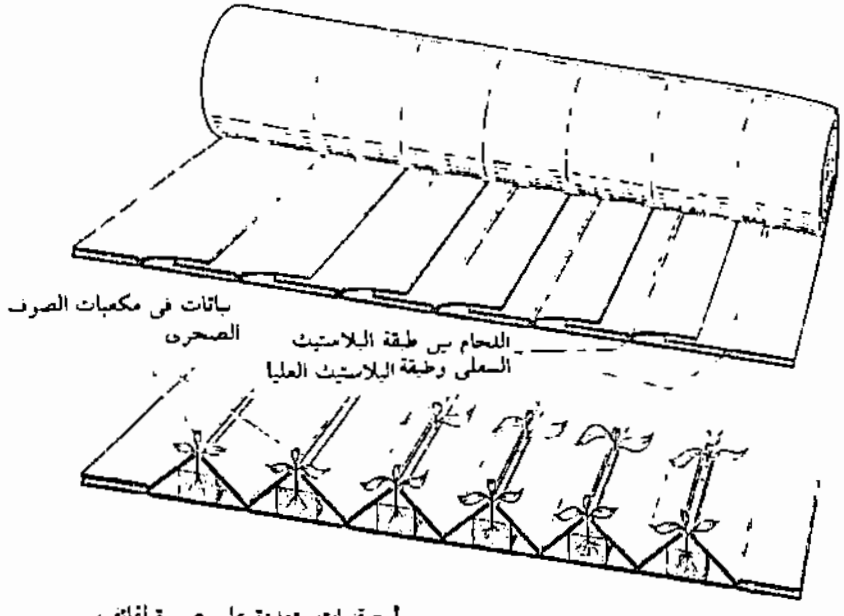
٢- تحجب الضوء عن القنوات؛ فتمنع بذلك نمو الطحالب التى تمتص الغذاء وتؤدى إلى بط انسياب غشاء المحلول المغذى.

٣- تساعد على التحكم فى درجة حرارة الجذور.

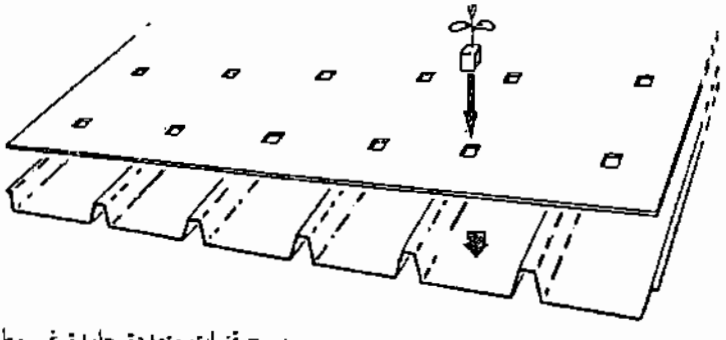
ومن المفضل أن يكون السطح الخارجى لأغطية القنوات أبيض أو فضى اللون؛ لتقليل اكتساب الحرارة، وللعمل على عكس الضوء وتشتيته حول النباتات التى قد تكون بحاجة إليه فى المناطق والظروف التى تقل فيها شدة الإضاءة . هذا .. بينما يؤدى الغطاء الأسود إلى رفع درجة حرارة الهواء كثيرًا داخل القنوات فى الأيام الحارة صيفًا إلى القدر الذى قد يضر بالجذور. أما الغطاء البلاستيكى الأبيض فإنه لا يحجب الضوء بالقدر الكافى؛ وعليه .. فإن الغشاء البلاستيكى المستعمل فى تغطية القنوات يكون ذا لون أسود من الداخل وأبيض من الخارج. وقد تستعمل فى المناطق الشديدة الحرارة أغطية للقنوات عازلة للحرارة تتكون من غشاءين من البلاستيك بينهما مسافة من الهواء الساكن. هذا .. وتتوفر بالأسواق لفائف بوليثيلين جاهزة للاستعمال فى تقنية الغشاء المغذى (شكل ٦-٤أ). كما تتوفر قنوات متعددة غير مطوية (شكل ٦-٤ب).

وأيًا كانت المواد المستخدمة فى تبطين أو تغطية القنوات، فإنها يجب ألا تكون سامة للنباتات، ويعرف هذا التسمم باسم "Phytotoxicity"، وهو قد يكون شديدًا للغاية

ويؤدى إلى سرعة تدهور النباتات وموتها، أو أقل تأثيرًا، حيث تعانى النباتات ضعف النمو بدرجات متفاوتة.



أ - قنوات متعددة على صورة لفائف



ب - قنوات متعددة جامدة غير مطوية

شكل (٦-٤) قنوات مزارع تقنية الغشاء المغذى الجاهزة التحضير على صورة لفائف يتم فردها Flexble(أ)، وأخرى غير مطوية Rigid (ب).

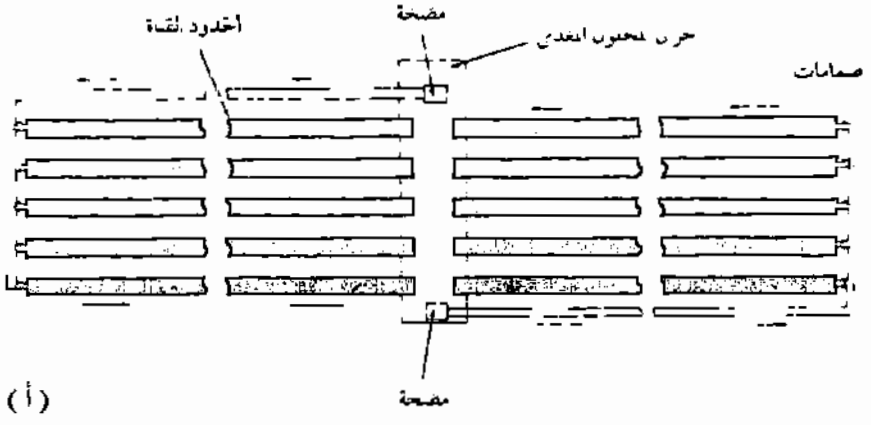
ومن المواد المأمونة الاستعمال فى تبطين القنوات وتغطيتها البوليثيلين، والبولى

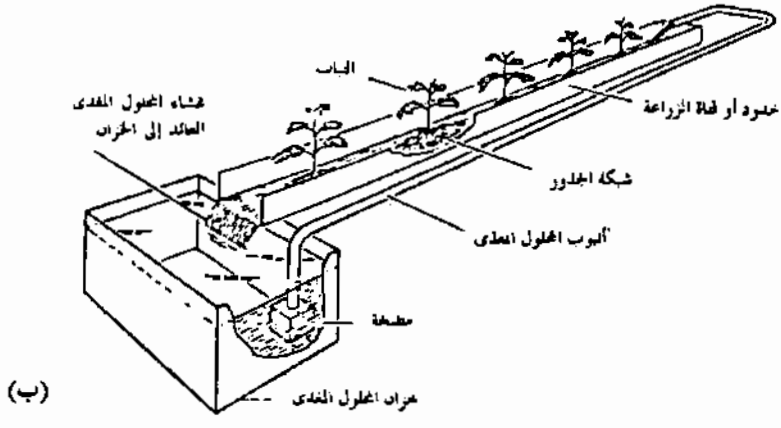
بروبلين والـ Acrylonitrile Butadine Styrene (اختصارًا: ABS)، والبولى فينايل كلورايد الجامد Rigid PVC

ومن المواد التى أحدث استعمالها تسممًا للنباتات: البولى فينايل كلورايد المرن Flexible PVC، والمطاط كما يجب تجنب استعمال المعادن التى تحتوى على عناصر دقيقة؛ مثل النحاس، والزنك، حتى لا تتراكم بتركيزات عالية سامة فى المحلول المغذى.

يتجمع المحلول المغذى بالجاذبية الأرضية فى خزان يوضع فى نهاية القنوات، ثم يعاد ضخه من الخزان إلى قناة رئيسية تكون متعامدة على النهايات العلوية للقنوات، وتزودها بالمحلول من خلال أنابيب رفيعة أو صمامات خاصة (شكل ٦-٥). ويتم ضبط معدل تدفق المحلول المغذى بحيث يكون على صورة غشاء بسمك ٣ مم على امتداد قاع القناة؛ لأن زيادة سمكه عن ذلك تؤدى إلى حجب الأكسجين عن الجذور. ولتحقيق ذلك يفضل أن يكون معدل تدفق المحلول المغذى حوالى لترين/دقيقة بكل قناة. ويستمر تدفق المحلول طول الوقت أحيانًا. أو لمدة ١٠ دقائق كل ١٥ دقيقة فى أحيان أخرى. هذا .. وتخدم كل مضخة مساحة من المزرعة تتراوح بين ١٩٠٠-٢٠٠٠ متر مربع (Wittwer & Honma ١٩٧٩، و Nelson ١٩٨٥. ومجلة الزراعة فى الشرق الأوسط — العدد الرابع ١٩٨٥).

إن معدل تدفق المحاليل المغذية فى مزارع تقنية الغشاء المغذى لهو من الأهمية بمكان نظرًا لأن ما يتبقى منه بالقنوات يكون قليلاً جدًّا بعد توقف المضخة، وخاصة فى المراحل الأولى للمزرعة — حيث يقل ما يتبقى من المحلول عالقًا بالجذور — ثم بعد ذلك عندما يبدأ النمو الجذرى الغزير فى ملئ قاع القنوات أو الأنابيب ويحد من تدفق المحلول وانصرافه. وفى هذا الوقت تكون الجذور حساسة لأضرار الغدق إذا ما ظلت مغمورة بالمحلول ولو لفترات قصيرة.





شكل (٦–٥) (أ) – تصميم مزرعة تقنية الغشاء المغذى، ب– التصور العام لكيفية تصميم قناة الزراعة فى تقنية الغشاء المغذى، وحركة المحلول المغذى على شكل غشاء رقيق فيها

ولذا . يتعين التحكم فى معدل التدفق، وفى دورات عمل وتوقف المضخات خلال موسم النمو لتجنب الأضرار المحتملة وعادة يكون معدل التدفق فى أنظمة أنابيب الـ PVC حوالى ٥ ٠–٧٥ ٠ لتر فى الدقيقة لكل أنبوب خلال دورة التشغيل. ويجب التأكد من أن جميع الأنابيب بالبيت المحمى الواحد تتلقى نفس التدفق للمحلول المغذى وإذا وجد اختلاف بينها فإن ذلك يكون دليلاً على عدم تجانس الضغط أو حدوث انسداد فى الأنابيب الموزِّعة للمحلول المغذى

وفى بداية الموسم يتعين ضبط ساعة التشغيل (الـ timer) على ٩–١٠ دقائق تشغيل مع ٥–٦ دقائق توقف. ومع نمو المجموع الجذرى قد يحتاج الأمر إلى تعديل الساعة إلى ٨ دقائق تشغيل، و ٧ دقائق توقف للسماح بمزيد من الصرف. وإذا أصبح النمو الجذرى غزيرًا جدًا قد يحتاج الأمر إلى تعديل الساعة إلى ٥ دقائق تشغيل، و ١٠ دقائق توقف؛ لأجل تجنب تراكم المحلول المغذى فى نهايات الأنابيب.

إن تدفق المحلول المغذى من نهاية أنبوب الـ PVC يجب ألا يكون أكثر من مجرد التنقيط عندما تبدأ المضخة فى العمل فى بداية دورة التشغيل الجديدة. وفى معظم الحالات يفضل — عادة — التشغيل لمدة ٥ أو ٦ دقائق، مع التوقف لمدة ٩ أو ١٠ دقائق لتحقيق صرف مناسب. هذا .. علمًا بأن سوء الصرف يعنى تعرض الجذور لنقص فى الأكسجين المتاح لها؛ فتقل كفاءتها فى امتصاص الماء والعناصر، ثم ضعفها، وزيادة قابليتها للإصابة بالأمراض، وموتها.

وأهم وسائل تجنب مشكلة الغدق وسوء الصرف هى بإطالة فترة توقف المضخة فى كل دورة تشغيل، وخفض معدل التدفق إلى ٠,٥ لتر/دقيقة، وكذلك زيادة انحدار الأنابيب لجعل المحاليل أسرع تدفقًا فيها. وقد يتطلب الأمر تصميم النظام بطريقة تسمح بالتحكم فى زاوية انحدار الأنابيب خلال موسم النمو. هذا بالإضافة إلى أن الأنابيب يجب ألا يزيد طولها عن ٧,٥–٩ أمتار (Hochmuth ٢٠٠١أ).

وقد دُرس Evans-McLeod (١٩٩٣) تأثير استعمال محاليل مغذية تباينت فى التركيز الكلى للأملاح فيها بين ٠,٢ ، و ٢,٠ ملليموز/سم. بمعدلات تدفق تراوحت بين لترين، أو ١٢ لترًا/دقيقة على نمو عدة أصناف من الخس، ووجد أن تركيزات الأيونات الكلية العالية (١,٢–٢,٠ ملليموز/سم) ومعدلات التدفق المنخفضة إلى المتوسطة (لترين إلى ستة لترات/دقيقة) أعطت أفضل النتائج.

ويذكر El-Behairy وآخرون (١٩٩١) أن ضخ المحلول المغذى على فترات (لمدة ١٥ دقيقة كلما تجمع ٠,٣ ميجاجول MJ من الأشعة القصيرة الموجة/م^{٢} داخل الصوبة) فى

مزرعة الطماطم أدى إلى زيادة كفاءة استخدام الماء، وزيادة المحصول المبكر، ونقص النمو الجذرى، دون التأثير جوهريًا على المحصول الكلى، مقارنة بضخ المحلول المغذى بشكل عادى على صورة غشاء مستمر.

كذلك وجد Economakis (١٩٩٣) أن تدفئة المحلول المغذى إلى ٢٢°م مع ضخه على فترات (لمدة ١٥ دقيقة متواصلة فى كل نصف ساعة أو ساعة) أدت إلى زيادة محصول الطماطم المبكر خلال الشهر الأول من الحصاد، ولكن تلك المعاملة أدت إلى نقص المحصول الكلى مقارنة بمعاملة التدفق المستمر للمحلول المغذى مع عدم تدفئته.

المحاليل المغذية وخدمتها

تحضير المحاليل المغذية

اقترح A. Cooper استعمال المحلول المغذى المبينة مكوناته فى جدول (٦-١)، والذى يبلغ تركيز مختلف العناصر به كما فى جدول (٦-٢). وقد استعمله Cooper مع أكثر من ٥٠ نوعًا من الخضر ونباتات الزينة لمدة ثلاث سنوات دون أية مشاكل. هذا .. وتتوفر تحضيرات تجارية جاهزة من أملاح المحاليل المغذية خاصة بتقنية الغشاء المغذى، وتباع — عادة — فى مخلوطين منفصلين يضاف كل منهما منفردًا إلى خزان المحلول لمنع ترسب الأملاح. وفيما عدا ذلك .. فإن المحاليل المستعملة فى تقنية الغشاء المغذى لا تخرج فى جوهرها عما سبق بيانه فى الفصل الرابع.

وعمليًا يفضل تحضير محلولين قياسيين مركزين؛ يحتوى أحدهما على نترات الكالسيوم والحديد المخلبى فقط، بينما يحتوى الثانى على جميع الأملاح الأخرى المبينة فى جدول (٦-١) ويجرى ذلك بإذابة عشرة أمثال الكميات الموضحة من كل ملح سمادى فى جدول (٦-١) فى ٤٥ لترًا من الماء لكل محلول قياسى مركز فمثلاً .. يلزم لتحضير المحلول الأول ١٠٠٣ جرامًا من نترات الكالسيوم، و ٧٩ جرامًا من الحديد المخلبى تُذاب فى ٤٥ لترًا من الماء .. وهكذا بالنسبة للمحلول القياسى المركز الثانى،

مع أخذ نسبة نقاوة كل ملح فى الحسبان؛ لأن الكميات الموضحة فى جدول (٦-١) حسبت على أساس أن نسبة النقاوة ١٠٠٪.

جدول (٦-١): كميات الأملاح اللازمة لتحضير المحلول المغذى المثالى لمزارع تقنية الغشاء المغذى.

المركب	التركيب الكيميائى	الكمية اللازمة بالجرام/١٠٠٠ لتر
فوسفات البوتاسيوم ثنائى الأيدروجين		
Potassium dihdrogen phosphate	KH_2PO_4	٢٦٣
نترات البوتاسيوم	KNO_3	٥٨٣
نترات الكالسيوم	$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	١٠٠٣
كبريتات المغنيسيوم	$MgSO_4.7H_2O$	٥١٣
الحديد الخلبى EDTA iron	$[CH_2N(CH_2.COO)_2)]_2FeNa$	٧٩
كبريتات المنجنيز	$MnSO_4.H_2O$	٦,١
حامض البوريك	H_2BO_3	١,٧
كبريتات النحاس	$CuSO_4.5H_2O$	٠,٣٩
موليبدات الأمونيوم	$(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$	٠,٣٧
كبريتات الزنك	$ZnSO_4.7H_2O$	٠,٤٤

جدول (٦-٢): التركيزات المناسبة للعناصر فى المحاليل المغذية التى تستعمل فى تقنية الغشاء المغذى.

العنصر	الرمز	التركيز (جزء فى المليون)
النيتروجين	N	٢٠٠
الفوسفور	P	٦٠
البوتاسيوم	K	٣٠٠
الكالسيوم	Ca	١٧٠
المغنيسيوم	Mg	٥٠

تابع جدول (٦-٢)

العنصر	الرمز	التركيز (جزء فى المليون)
الحديد	Fe	١٢
المنجنيز	Mn	٢
البورون	B	٠,٣
النحاس	Cu	٠,١
الموليبدنم	Mo	٠,٢
الزنك	Zn	٠,١

ونظرًا لأن تركيز الأملاح فى المحلولين القياسيين المركزين يبلغ ١٠ أمثال التركيز المطلوب فى المحلول المغذى، لذا . فإن المحلول المغذى يحضر بإضافة المحلولين القياسيين المركزين إلى الماء بمعدل ٤,٥ لترًا من كل منهما لكل ١٠٠٠ لتر من الماء.

ولتجنب حدوث أية ترسبات يتعين بداية — إذ لزم الأمر — تعديل pH الماء المستخدم فى تحضير المحلول إلى ٦,٠، ثم إضافة محلول نترات الكالسيوم مع الحديد المخلبى والانتظار لفترة (مع تشغيل طلمبة تقليب الماء)؛ لحين اكتمال خلط المحلول المركز مع الماء، ثم إضافة المحلول القياسى المركز الثانى، واستمرار التقليب لفترة أخرى قصيرة.

تجدر الإشارة إلى أن كل النيتروجين المستعمل فى تحضير المحاليل المغذية للمزارع المائية (مثل تقنية الغشاء المغذى) يجب أن يكون فى صورة نتراتية، ويرجع ذلك إلى أن استعمال الصورة الأمونيومية للنيتروجين يؤدى إلى تحليق سيقان نباتات الطماطم أعلى مستوى سطح المحلول المغذى مباشرة؛ حيث تظهر الأنسجة الخارجية للساق عند هذه النقطة وقد تحللت وأخذت لونًا بنيًا، وعلى الرغم من أن سيقان النباتات البالغة تكون أكثر تحملاً للنيتروجين الأمونيومى، إلا أنه يضر جذورها بشدة. وحتى لو خفضت نسبة النيتروجين الأمونيومى إلى ٢٠٪ من النيتروجين الكلى فإن نباتات الطماطم الصغيرة تذبل قليلاً خلال الفترات التى ترتفع فيها درجة الحرارة.

ويتعين مع ذلك إلقاء مزيد من الضوء على هذه الظاهرة فى المناطق التى تكون مياهها قلوية، والتى يناسبها استعمال الصورة الأمونيومية للنيتروجين؛ لتجنب الارتفاع الشديد فى pH المحلول المغذى، خاصة وأن ظاهرة التحليق التى أسلفنا بيانها لم تُشاهَدْ على المحاصيل الأخرى غير الطماطم. كما يجب — مع الطماطم — تحديد أعلى نسبة من النيتروجين الأمونيومى يمكن استخدامها بأمان مع كل مرحلة من مراحل نمو النباتات.

ويستدل من الدراسات التى أجريت فى اليابان (عن Etoh ١٩٩٤) على أن معظم الخضروات تعطى نموًّا ممتازًا عندما تكون النترات هى المصدر الوحيد للنيتروجين فى المحاليل المغذية، بعكس ما إن كانت الأمونيا هى المصدر الوحيد للنيتروجين. وقد تأثر مدى سمية الأمونيوم على النباتات بكل من المحلول المغذى وتركيز الأمونيوم فيه. وأدت إضافة كميات قليلة من النترات إلى الحد من سمية الأمونيوم، وتحسن النمو النباتى باستعمال مخلوط من النترات والأمونيوم. وكان أيون الأمونيوم أفضل للنمو النباتى من أيون النترات تحت ظروف الإضاءة العالية والتركيزات المرتفعة من غاز ثانى أكسيد الكربون.

ويتبين من دراسات Jung وآخرين (١٩٩٤) على الفلفل فى مزارع تقنية الغشاء المغذى أن زيادة نسبة النيتروجين الأمونيومى: النيتروجين النتراتى فى المحلول المغذى من صفر : ١٠ إلى ٢ : ٨ أدت إلى نقص مساحة الأوراق الكلية ووزنها الجاف فى النباتات التى عرضت للإشعاع الشمسى القوى، كما كان ذلك مصاحبًا بنقص فى معدل البناء الضوئى، ولكن حدث العكس فى النباتات التى عُرِّضت لتظليل جزئى؛ ولذا .. أوصى الباحثون باستعمال نيتروجين نتراتى فقط — عند التغذية بالمحاليل المغذية — فى ظروف الإضاءة القوية، واستعمال نسبة ١ : ٩ أو ٢ : ٨ نيتروجينًا أمونيوميًّا : نيتروجينا نتراتيًا فى ظروف الإضاءة الضعيفة.

خدمة المحاليل المغذية

تستعمل المحاليل المغذية — عادة — لمدة أسبوعين، ثم يستغنى عنها وتحضر محاليل جديدة، وقد تستعمل لمدة أطول من ذلك. وفى كل الحالات يلزم تعويض الماء المفقود بالنتح يوميًّا، حتى يظل حجم المحلول ثابتًا. ويمكن أن يتم ذلك بأن يركب

على مصدر الماء الذى يصب فى خزان المحلول صمام يفتح ويغلق آليًا بواسطة عوامة خاصة

المحافظة على pH المحلول المغذى فى المجال المناسب

سواء استعمل المحلول المغذى لمدة أسبوعين أم لمدة أطول من ذلك، فإنه يلزم اختباره يوميًا لتقدير الـ pH، ودرجة التوصيل الكهربائى (EC) فالـ pH يجب أن يظل دائمًا فى حدود ٦-٦,٥، ويعدل عند الضرورة بإضافة أيدروكسيد البوتاسيوم فى حالة انخفاض الـ pH عن ٦، أو حامض الكبريتيك عند ارتفاعه عن ٦.٥

وقد وجد أن بالإمكان استخدام حامض الأيدروكلوريك بدلاً من أى من حامضى النيتريك أو الفوسفوريك فى خفض pH المحلول المغذى فى مزارع تقنية الغشاء المغذى التى يرتفع فيها pH المحلول المغذى مع استمرار استعماله، علمًا بأن حامض الأيدروكلوريك أرخص سعرًا، ولم تكن له تأثيرات سلبية على كمية محصول الطماطم وجودة ثمارها عندما استعمل لهذا الغرض (Papadopoulos & Pararajasingham ١٩٩٨)

المحافظة على التركيز المناسب للعناصر المغذية والأملاح بالمحلول المغذى

إن درجة التوصيل الكهربائى للمحلول المغذى المقترح استعماله (جدول ٦-١) تقدر بنحو ٣ ملليموز، فإذا انخفضت مع الاستعمال إلى ٢ ملليموز لزمت إضافة جميع المركبات المستعملة فى تحضير المحلول بالقدر الذى يكفى لإعادة القراءة إلى ٣ ملليموز، ويمكن أن يتم ذلك كله آليًا.

وتجدر الإشارة — فى هذا المقام — إلى أن النباتات يناسبها مدى واسع للغاية من تركيز العناصر فى مزارع تقنية الغشاء المغذى، فبالنسبة للطماطم — مثلاً — لم يختلف النمو النباتى، والمحصول، أو حتى امتصاص العناصر عندما تراوح مدى النيتروجين بين ١٠ أجزاء فى المليون و ٣٢٠ جزءا فى المليون، ومدى الفوسفور بين ٥ أجزاء فى المليون و ٢٠٠ جزءا فى المليون، ومدى البوتاسيوم بين ٢٠ جزءًا فى المليون و ٣٧٥ جزءًا فى

المليون، ويرجع ذلك إلى أن المحلول المغذى يتدفق باستمرار حول الجذور، ولا تعانى النباتات مشكلة نقص العناصر أو زيادة تركيزها؛ ولذا .. كان مجرد قياس درجة التوصيل الكهربائى للمحلول المغذى كافيًا للتعرف على محتواه من العناصر المغذية.

وقد أوضحت دراسات Schacht & Schenk (١٩٩٥) على الخيار – فى مزرعة مائية مغلقة — أن النسبة ظلت ثابتة بين معدل امتصاص النباتات للنيتروجين ومعدل امتصاصها من كل من الفوسفور والبوتاسيوم خلال مختلف مراحل النمو؛ الأمر الذى يمكن معه الاستدلال على معدل استنفاذ العناصر من المحلول المغذى بقياس مدى استنفاذ النيتروجين منه على فترات.

وقد قورنت طريقتان لتعديل المحلول المغذى للكنتالوب فى مزارع تقنية الغشاء المغذى، هما: بتعديل درجة التوصيل الكهربائى (EC) للمحلول، وبإضافة العناصر المغذية، وذلك تأسيسًا على معرفة مسبقة بالاحتياجات الأسبوعية للمحصول من كل من النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم، دون أى محاولة للمحافظة على قيمة ثابتة لتركيز المحلول المغذى أو درجة توصيله الكهربائى. وقد تبين عدم وجود أى فرق بين الطريقتين على المحصول أو جودة الثمار، إلاّ أن الطريقة الثانية قللت من استهلاك المحصول من كل من الماء والنيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم بنسبة ٤٠٪–٦٠٪ مقارنة بطريقة ضبط درجة التوصيل الكهربائى (Pardossi وآخرون ٢٠٠٢).

وجد أن إضافة الحجر الرخامى السُماقى quartz porphyry للمحلول المغذى أدت إلى خفض التأثيرات الضارة لكل من أيونات الصوديوم، والكلوريد، والنيتريت، والكبريتات بخفضه لتركيزاتها فى المحلول المغذى (Azad وآخرون ٢٠١٠).

المحافظة على مستوى مناسب من الأكسجين فى المحاليل المغذية

يعد الأكسجين عنصرًا ضروريًا لعمل الجذور بكفاءة. ولذا .. يجب أن تكون المحاليل المغذية قادرة على مد الجذور بالأكسجين، أو أن تُعدل دورة تشغيل وإيقاف مضخة ضخ المحلول المغذى بحيث تُزود الجذور باحتياجاتها من الغاز. ويجب عدم السماح بغمر نسبه

تزيد عن ٢٪ إلى ٣٪ المجموع الجذرى — فى مزارع تقنية الغشاء المغذى — بالمحلول المغذى أثناء دورة تشغيل المضخة كما يجب فحص الجذور بانتظام لتحديد ما إذا كانت هناك تهوية مناسبة من عدمه ومن مشاكل تقنية الغشاء المغذى أن كتلة النمو الجذرى تكون — عادة — سطحية ولا يريد سمكها عن ١.٢٥–٢.٥ سم، الأمر الذى يجعل من الصعوبة الالتزام بقاعدة عدم غمر ٣٣٪–٥٠٪ من النمو الجذرى بالمحلول المغذى.

وللمساعدة فى تحسين تهوية المحلول المغذى يجب أن يكون المحلول المتجمع فى خزان المحلول المنصرف مهوى جيدا ولتحقيق ذلك يجب إمرار المحلول المنصرف عند دخوله خزان التجميع — على حاجز مثقب يقوم بنثره قبل سقوطه فى الخزان، حيث يبقى معرض للهواء لفترة أطول كما يمكن تهوية المحلول المتجمع من خلال أنابيب PVC بسمك نصف بوصة مثقبة ومسدودة من طرفها الذى يغمر فى قاع خزان تجميع المحلول المغذى المنصرف، ويدفع فيها الهواء النظيف المرشح (غير الملوث) بواسطة مضخة (Hochmuth ٢٠٠١أ)

وعموما فإن توفر الأكسجين اللازم لتنفس الجذور لا يقل فى تقنية الغشاء المغذى عما فى الأراضى الجيدة الصرف، لأن المحلول المغذى يتعرض دائمًا للهواء، كما أنه يتدفق ويختلط بالهواء فى أماكن تساقط المحلول فى الخزان وفى الغشاء المغذى الذى ينحدر قليلاً على امتداد قاع القناة.

وبينما نجد أن الأكسجين يصل إلى جذور النباتات النامية فى التربة مباشرة من فراغات التربة المملوءة بالهواء، فإنه يصل إلى جذور النباتات النامية فى المحلول المغذى مع تيار المحلول المحتوى على الأكسجين الذائب؛ وعليه . فإن المحلول المغذى يجب أن يتحرك بحرية حول الجذور، حتى يمدها بحاجاتها من الغاز فإذا توقفت حركة المحلول بين تفرعات الجذور الكثيفة، فإن الأكسجين يقل كثيرًا حولها، بينما يزداد تركيز الغازات الناتجة من نشاط وتنفس الجذور، مثل ثانى أكسيد الكربون، والإثيلين، وأكسيد ثنائى النيتروجين dinitrogen oxide.

وقد وجد بالفعل أن الأصص المحتوية على بيئات قوامها البيت والرمل، والتى استخدمت فى تثبيت النباتات فى تقنية الغشاء المغذى كانت سيئة التهوية، وقل فيها كثيرًا تركيز الأكسجين. وقد أدى استبدال هذه البيئات بأخرى غير عضوية أكثر مسامية — مثل البرليت. أو الصوف الصخرى — إلى التخلص تمامًا تقريبًا من أعراض سوء التهوية (Jackson وآخرون ١٩٨٤).

وعلى الرغم من أن كثافة النمو الجذرى فى مجرى القناة قد تحول دون سرعة انسياب المحلول المغذى من خلالها؛ مما يؤدى إلى حدوث نقص فى الأكسجين فى المحلول الموجود فى المنطقة المحيطة بالجذور مباشرة، إلا أن وجود المحلول المغذى على صورة غشاء — لا يزيد سمكه على ٣ مم — يجعل معظم الجذور معرضة دائمًا للهواء؛ ولذلك تحصل منه على حاجتها من الأكسجين؛ ولذا .. فإن وجود المحلول المغذى على صورة غشاءٍ بهذا السمك يعد شرطًا أساسيًا لنمو النباتات بصورة طبيعية فى هذه النوعية من المزارع؛ فبدون توفر هذا الشرط يكون الأكسجين الذائب فى المحلول المغذى هو المصدر الوحيد للأكسجين اللازم لتنفس الجذور، وبينما تحصل عليه النباتات التى فى بداية خط الزراعة، فإن باقى النباتات فى الخط تعانى نقص الغاز.

خدمة نظام تقنية الغشاء المغذى

لتأمين تواجد المحلول فى صورة غشاء رقيق تتعين مراعاة ما يلى:

١- أن يكون قاع القناة المنحدرة خاليًا تمامًا من أية انخفاضات — ولو لعدة ملليمترات — حتى لا يَرْكد فيها جزء من المحلول المغذى.

٢- أن يكون معدل ضخ المحلول المغذى فى القناة معتدلاً؛ حتى لا تؤدى سرعة تدفقه إلى تواجده بعمق كبير غير مناسب.

٣- ألا تكون القنوات ضيقة أكثر من اللازم؛ حتى لا تنحصر فيها الجذور بصورة تعوق تدفق المحلول المغذى.

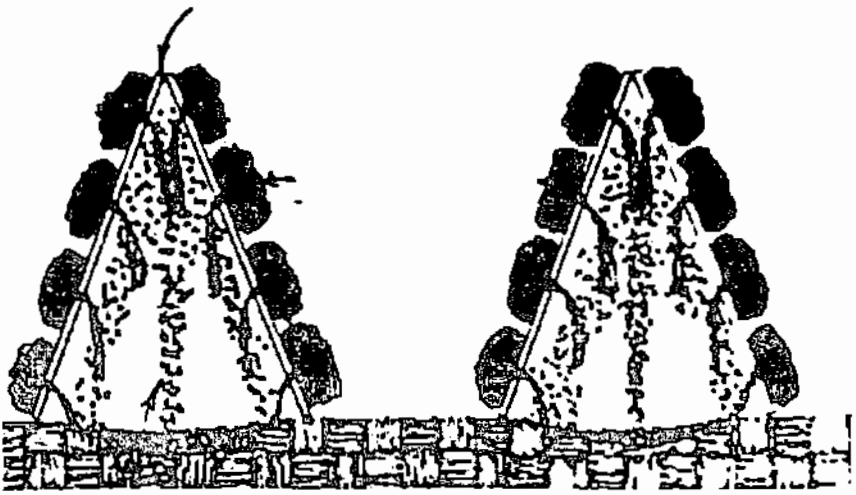
٤- أن تكون قاعدة القناة مستوية وليست مقوسة؛ حتى لا يتواجد المحلول المغذى بعمق زائد فى منتصف القناة

ويلزم قبل تغيير المحاليل المغذية فى مزارع تقنية الغشاء المغذى غسيل خزانات تجميع المحلول المغذى والتخلص مما قد يوجد بها من مادة عضوية وجذور نباتية ويتم الغسيل فى نهاية اليوم بتفريغها مما قد يكون فيها من محلول مغذٍ، ثم ملئها بماء عُدِّل فيه الـ pH إلى ٨ ٥-٦ وأضيف إليه الكالسيوم بتركيز ٢٥-٥٠ جزءًا فى المليون، مع تمريره فى المزرعة خلال الليل بنفس دورة التشغيل المستعملة مع المحلول ويضاف الكالسيوم لأجل المحافظة على قمة الجذور سليمة أثناء عملية الغسيل وفى الصباح الباكر يفرغ التنك ويملأ من جديد بمحلول غذائى كامل كالمستعمل فى تانك المحلول الغذائى القياسى

هذا . وليس من الضرورى ترشيح المحاليل المغذية المستعملة فى نظام تقنية الغشاء المغذى؛ نظرًا لأن خزان تجميع المحلول (sump tank) يتم شطفه أسبوعيًّا وغالبًا ما تتجمع فيه بعض النموات الطحلبية وبعض الجذور النباتية، إلا أنه يتم التخلص منها بعملية الشطف كما يجب وضع شبكة حول مكان سحب المحلول المغذى المتجمع حتى لا تدخل المواد الصلبة — مثل الأوراق والجذور — فى مضخة السحب (عن Hochmuth ٢٠٠١أ)

المزارع الهوائية

تظل جذور النباتات فى المزارع الهوائية Aeroponics عالقة فى حيز مغلق، مع تعريضها بصورة منتظمة للمحلول المغذى فى صورة رذاذ (مست)؛ وبذلك تحصل النباتات على حاجتها من الماء والغذاء والأكسجين اللازم لتنفس الجذور التى تبقى فى هواء تبلغ رطوبته النسبية ١٠٠٪ ويحقق هذا النظام أكبر استفادة ممكنة من المساحة المتوفرة من البيوت المحمية؛ نظرًا لأن النباتات تثبت فى ثقوب على جانبى هيكل على شكل حرف A (شكل ٦-٦)



شكل (٦-٦): مقطع فى مزرعة هوائية تزرع فيها النباتات على جانبى هياكل بشكل حرف A، وتروى بضخ المحلول المغذى على جذورها فى صورة رذاذ (مست).

توفر المزارع الهوائية أفضل تهوية ممكنة للجذور، علمًا بأن النسبة الطبيعية للأكسجين فى الهواء الجوى (٢٠٪) هى أفضل نسبة للنمو النباتى. ففى دراسة أجراها Yand & Yang (١٩٩١) على الطماطم فى مزرعة هوائية، عُرّضت فيها الجذور للأكسجين بنسبة ١٠٪ أو ٢٠٪، أو ٣٠٪، أو ٤٠٪، كان أفضل نمو خضرى عندما عرضت الجذور لـ ٢٠٪ أو ٣٠٪ أوكسجينًا، علمًا بأن معدل البناء الضوئى تضاعف فى هذه الظروف مقارنة بمعاملة تعريض الجذور لنسبة ١٠٪ أو ٤٠٪ أوكسجينًا، كما تأثر النمو الجذرى سلبيًا بمعاملة التعريض لـ ٤٠٪ أوكسجينًا.

وتناسب المزارع الهوائية محصول الخس إلى حد كبير مقارنة بالمزارع المائية. فمثلاً .. وجد Ha وآخرون (١٩٩٣) أن الوزن الطازج والجاف للأوراق فى مزرعة هوائية كان أكثر من ضعف وزنها فى مزرعة مائية، وازداد الفارق بينهما عندما استعملت تركيزات مخففة من المحلول المغذى — وصلت إلى ربع التركيز العادى — حيث بلغ الوزن الطازج للأوراق فى المزرعة الهوائية أكثر من أربعة أمثال وزنها فى المزرعة المائية.