الفصل السادس

المزارع المائية

مقدمة

نناقش فى هذا الفصل 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 يوميا لتحقيق نوع من الأمان بالنسبة لتغذية النباتات . وتثبت النباتات فى مكانها فى هذه النوعية من المزارع بجعل منطقة التاج (قاعدة الساق) تستند إلى طبقة رقيقة من وسط صلب ، يكون غالبًا هو غطاء المجرى أو المكان الذى تنمو فيه الجذور .

تشتق كلمة Hydroponics ـ كما أوضحنا فى الفصل السابق ـ من كلمتين يونانيتين ؛ هما : hydro بمعنى ماء ، و ponos بمعنى عمل ؛ فيكون المعنى الحرفى للكلمة هو « عمل الماء » .

وتعتبر المزارع المائية ـ تاريخيا ـ أسبق إلى الظهور من نوعيات المزارع اللاأرضية الأخرى التى أسلفنا بيانها فى الفصل الخامس ، إلا أنه يتم ـ دائمًا ـ تحسنيها وتطوير نوعيات جديدة منها ؛ مثل مزارع تقنية الغشاء المغذى والمزارع الهوائية وغيرهما (يمكن الرجوع إلى تاريخ تطور المزارع المائية فى Cooper ١٩٧٩) .

وقد سبق التقديم للمزارع المائية ، ومزاياها وعيوبها ـ بصورةٍ عامةٍ ـ ضمن المزارع اللاأرضية في بداية الفصل الخامس الخاص بمزارع بيئات نمو الجذور الصلدة اللاأرضية ؛ وذلك على أساس أن جميع أنواع المزارع المائية هى ـ فى واقع الأمر ـ 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 شرطين أساسيين ؛ هما :

١ ـ توفير الأكسجين الكافى لنمو الجذور ؛ نظرًا لأنها تستنفذ ما يوجد بالمحلول المغذى من أكسجين خلال فترةٍ قصيرةٍ ، فى حين يستمر استعماله لمدةٍ طويلة . وتختلف طرق توفير احتياجات الأكسجين اللازمة لتنفس الجذور حسب نوع المزرعة . وسنناقش الطريقة المناسبة لكل نوعٍ من المزارع فى حينها .

٢ ـ حجب الضوء عن الجذور:

يمكن للنباتات أن تنمو بصورةٍ طبيعيةٍ ، بغض النظر عما إن كانت جذورها معرضةً للضوء ، أم أنها تنمو فى الظلام ، لكن المهم هو أن تبقى جذورها دائمًا مغمورةً 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 سامةٍ قد تتعارض مع النمو الطبيعى للنباتات .

هذا . . وتخدم المحاليل المغذية فى هذه المزارع ـ كما فى جميع النظم المقفلة بالطرق نفسها التى سبق شرحها تحت مزارع الحصى فى الفصل الخامس .

مميزات وعيوب المزارع المائية

المميزات

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

١ ـ 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 (يراجع لذلك الفصل الرابع) .

٢ ـ يمكن التوفير فى تدفئة البيوت المحمية شتاءً فى زراعات الطماطم بخفض درجة حرارة البيت ليلاً إلى ١١ ـ ١٦°م ، مع رفع درجة حرارة المحلول المغذى إلى ٢٣ ـ ٢٨°م من الشتل حتى بداية موسم الحصاد . وعلى الرغم من أن إجراء هذه المعاملة تسبب فى تأخير الحصاد ، إلاّ أنها أدت إلى زيادة المحصول الكلى وعائد الزراعة . وقد ساعد الاستمرار فى رفع درجة 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 تكلفةً 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 .

٣ـ ـ توفير وسائل فريدةٍ ومتعددةٍ 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 السابع .

٤ ـ يمكن التخلص من المركبات السامة التى تفرزها الجذور بإضافة مسحوق الفحم النباتى المُنَشّط إلى المحلول المغذى . وقد وجد Yu وآخرون (١٩٩٣) أن تركيز الكربون يرتفع تدريجيا 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 جوهريا من تلك الزيادة ، وأدت إلى زيادة الوزن الجاف للنباتات ومحصولها الكلى .

٥ ـ قد يمكن تحسين القيمة الغذائية للخضر المنتجة بإضافة مركبات معينة إلى المحاليل المغذية . فمثلا . . تمكن Inoue وآخرون (١٩٩٥) من زيادة محتوى نباتات الخس من فيتامين جـ (حامض الأسكوربيك) بمقدار ٣٥٠ ٪ بإضافة أسكوربات الصوديوم Sodium Ascorbate إلى المحلول المغذى ـ بتركيز ١٠٠٠ جزء فى المليون لمدة يوم واحد قبل الحصاد مباشرة . وقد كان الخس المنتج ذا محتوى عادى من البوتاسيوم ، والكالسيوم ، والمغنيسيوم ، واحتفظ بمظهره الطبيعى وبمحتواه المرتفع من حامض الأسكوربيك عندما خزن لمدة ثلاثة أيام على ٥°م .

٦ ـ قد يمكن التأثير على النمو النباتى بإضافة مركبات معينة إلى المحلول المغذى ؛ فمثلا . . وجد Takahashi وآخرون (١٩٩٣) على الطماطم أن إضافة حامض الأبسيسك بتركيز ٠,١ جزءًا فى المليون إلى المحلول المغذى أدى إلى تنشيط النمو النباتى بقوة ؛ بسبب التأثيرات الإيجابية التى أحدثها منظم النمو ؛ وهى : زيادة النمو الجذرى ، وارتفاع درجة حرارة النموات 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 تأثيراتٍ عكسيةً على النمو النباتى .

وقد ترتب على ما تقدم بيانه أن حققت المزارع المائية أرقامًا قياسيةً فى الإنتاج ؛ فمثلا أمكن الحصول على ١٥ كجم من الطماطم/ نبات ، كما أمكن إنتاج أكثر من ٦٢٥٠٠ رأس من الخس / هكتار أسبوعيا (٢٥٠٠٠ رأس أسبوعيًا / فدان) مع ميكنة الإنتاج فى المزارع المائية (عن Jarvis ١٩٨٩) .

وبالنظر إلى النجاح الكبير الذى حققته المزارع المائية ومما تحققه من مميزاتٍ لا تتوفر فى المزارع الأرضية العادية ، فقد حاول البعض إنشاء مزارع مائيةٍ فى حقولٍ مكشوفة ؛ أى ليست داخل بيوتٍ محميةٍ كما جرت العادة على ذلك إلى الآن . جُرِّب ذلك ـ على سبيل المثال ـ فى ألمانيا ؛ حيث كانت نباتات الطماطم النامية فى مزرعةٍ مائيةٍ فى حقلٍ مكشوفٍ أقوى نموا ، وأعلى فى كلٍّ من المحصولين المبكر والكلى عن نظيرتها التى زرعت فى الأرض مباشرة (Vogel & Flogel ١٩٩٣ ، وVogel ١٩٩٤) .

العيوب

إلى جانب العيوب التى تشترك فيها المزارع المائية مع باقى أنواع المزارع اللاأرضية – والتى أسفلنا بيانها فى الفصل الخامس ـ فإن المزارع المائية تنفرد بعيوبٍ إضافيةٍ ، نجملها فيما يلى :

١ ـ 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 (١٩٧٩) أوضح أن هذا الأمر لم يتأيد حدوثه على أرض الواقع ، فإن بعض الدراسات الحديثة تُلفت الانتباه إلى أهميته ، كما يلى :

أ ـ ذكر Larsen (١٩٨٢) أن الفطر Pythium أحدث خسائر كبيرةً فى كلٍّ 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 وجد (١٩٩٣) أن الفطر Pythium aphanidermatum ـ المسبب لعفن جذور الخس ـ انتشر فى مزارع تقنية الغشاء المغذى التى ارتفعت فيها حرارة المحلول المغذى إلى ٢٩ ـ ٣٩م ، ولكنه لم يظهر عندما بُردّ المحلول المغذى إلى ٢٠ ـ ٢٤م.

وبالمقارنة . . لم ينتشر فطر البيثم فى المزارع الرملية الجيرية ، علمًا بأن المزارع الرملية من النظم المفتوحة .

ب ـ ينتقل عديد من الفيروسات إلى النباتات من خلال المحاليل المغذية الملوثة صناعيا ، أو التى تلوثت طبيعيا بالفيرس ، ومن أمثلة هذه الفيروسات ما يلى (عن Schuerger & Hammer ١٩٩٥) :

فيرس موزايك الخيار المتبرقش الأخضر Cucumber Green Mottle Mosaic Virus .

مسبب العرق الكبير فى الخس Lettuce Big Vein Agent .

فيرس بقع القاوون المتحللة Melon Necrotic Spot Virus.

فيرس إكس البطاطس Potato Virus X .

فيرس موزايك التبغ Tobacco Mosaic Virus .

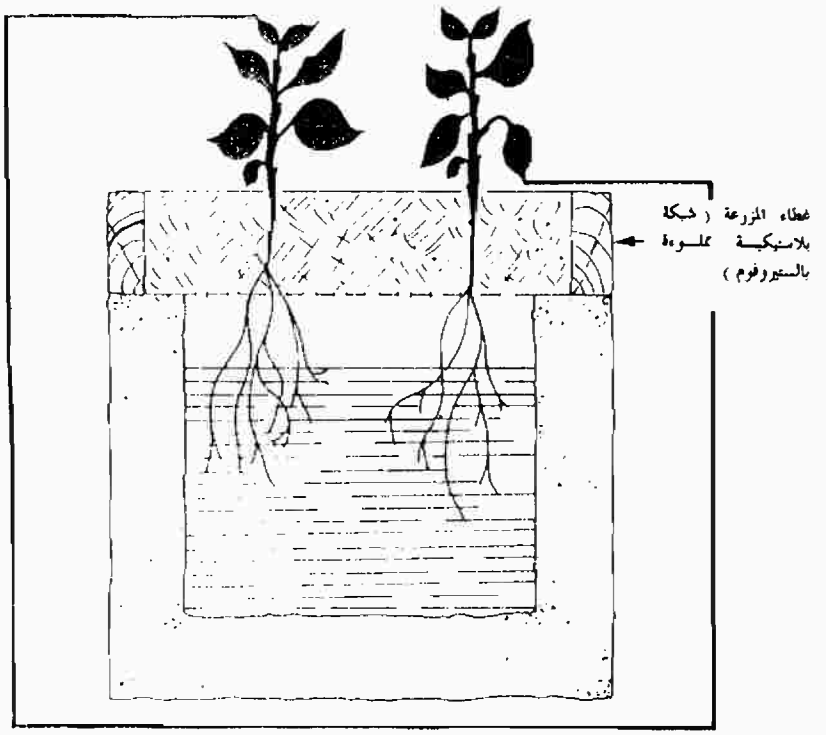
فيرس تقزم الطماطم الشجيرى Tomato Bushy Stunt Virus .

فيرس موزايك الطماطم Tomato Mosaic Virus.

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 حيزٍ مغلق قد يكون وعاءً بلاستيكيا بحجم مناسب (للأغراض البحثية والتعليمية) ، أو أحواضًا أسمنتيةً مطليّة بالبيتومين (الزفت) تصلح للإنتاج التجارى . وتختلف الأحواض المستعملة لهذا الغرض فى العرض من ٣٠ ـ ١٠٠ سم ، وفى الطول من ٦٠ ـ ٢٥٠ سم ، وفى العمق من ١٥ ـ ٢٢,٥ سم . وهى تملأ بالمحلول لعمق ١٠ ـ ١٥ سم ، وتترك مسافة ٥ ـ ٧,٥ سم حتى غطاء الحوض

الذى يكون صالحًا لكلٍّ من زراعة البذور ، أو تثبيت الشتلات حسب طريقة الزراعة المتبعة (شكل ٦ ـ ١) .



شكل (٦ ـ ١) : مقطع عرضى فى مزرعة محلول مغذٍ تجارية .

يتكون غطاء الحوض (يطلق عليه اسم طاولة مهاد الركام المبعثر litter tray) من شبكةٍ بلاستيكيةٍ (بدلاً من شباك السلك المجلفن التى كانت تستعمل سابقًا ، حتى يمكن تلافى مشكلة التسمم من الزنك) تملأ بالستيروفوم styrofoam وجزيئاتٍ بلاستيكيةٍ 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 ـ ١٠ سم ، ويمكن أن تزرع فيها البذور مباشرةً أو تثبت فيها الشتلات .

ويفضل ـ حاليًا ـ استخدام غطاءٍ بلاستيكيٍّ 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 صغيرةً من الاستيروفوم أو الصوف الصخرى تكون بقطر الثقوب التى فى الغطاء نفسه ، ومقطوعةً طوليا ؛ ليمكن تركيبها حول سيقان النباتات ، وبمركز كلٍّ 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 ـ ٢,٥ سم من الجانب السفلى لشبكة الغطاء ، لكن دون أن يبلها . ومع نمو الجذور يخفض مستوى المحلول المغذى تدريجيا إلى أن تصبح المسافة بين الجانب السفلى للشبكة وسطح المحلول المغذى فى الحوض من ٥ ـ ٧,٥ سم . ويمكن التحكم فى مستوى المحلول المغذى وإبقاؤه ثابتًا فى الحوض باستعمال أنبوبٍ لتصريف المحلول الزائد عن المستوى المرغوب (Resh ١٩٨٥) .

ويتم توفير الأكسجين اللازم لتنفس الجذور فى هذا النوع من المزارع بواسطة مضخةٍ صغيرةٍ تعمل بصفةٍ دائمةٍ ، وتدفع الهواء من خلال ثقوبٍ توجد فى أنبوبٍ بقاع حوض الزراعة ، فيخرج على شكل فقاقيع ؛ فيذوب بذلك جزء من الأكسجين فى المحلول المغذى . ويتطلب ذلك مواصفات خاصة فى فوهة (بزبار) nozzle مدخل الهواء فى المحلول المغذى لأجل زيادة معدل ذوبان الأكسجين فى المحلول (Fang وآخرون ١٩٩٥) .

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

وقد حقق مركز بحوث وتطوير الخضر الأسيوى (AVRDC) تطورًا كبيرًا فى

مجـال هذا النـوع من المزارع المائية بتوصله إلى طريقة لنمو النباتات فى محاليل مغذية ، دون الحاجة إلى تهويتها. وفى هذه الطريقة تربى النباتات بحيث تمتد جذورها خلال حيزٍ هوائيٍ عريضٍ 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 محلولٍ مغذٍ من هذا القبيل ، لم يختلف فيها محصول الطماطم جوهريا 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 مرحلةٍ متأخرةٍ من النمو النباتى. وقد علل الباحثون ذلك بأن غاز الأكسجين المذاب فى المحلول المغذى كان أعلى تركيزًا عندما كان المحلول بعمق ٣,٥ سم مقارنةً بعمق ٨,٥ سم ، كما كانت جذور النباتات أكثر تعرضًا للهواء الجوى فى الحالة الأولى (بسبب انخفاض مستوى المحلول المغذى فى أحواض الزراعة) ، مقارنةً بالحالة الثانية التى كان فيها المحلول المغذى بعمق ٨,٥ سم .

كما ابتكر Kratky (١٩٩٣) مزرعةً مائيةً أخرى نمّا فيها نباتات الخس فى أوعيةٍ بلاستيكيةٍ مستدقةٍ بقطر ٤ سم من أعلى ، وبطول ٢١,٨ سم (ومملؤةٍ بمخلوط من الرمـل والبيت مـوس والفيرميكيولـيت بنسبة ١ : ١,٢ : ٠,٨) حتى عمر ١٨ يومًا ، ثم ثبّت هذه الأوعية فى ثقوبٍ مناسبةٍ عملت فى غطاء مزرعةٍ مائيةٍ كان فيها المحلول المغذى بعمق ٧,٥ سم ، وبحيث ظهر ٤,٧ سم من أوعية النباتات فوق غطاء المزرعة ، بينما غمر قاع الأوعية فى المحلول المغذى حتى عمق ٢,٥ سم ، وقد كان ذلك كافيًا لأن ينتشر المحلول المغذى فى تلك الأوعية بالخاصية الشعرية ، ومع نمو النباتات امتدت جذورها إلى المحلول المغذى وانتشرت فيه . وقد كان محصول

الخس المنتج بهذه الطريقة أعلى من محصول الخس المزروع فى التربة العادية بمقدار ٢٤ ٪ .

مزارع الأنابيب

تستعمل فى مزارع الأنابيب Tube Cultures أنابيب من البولى فينايل كلورايد (PVC) بقطر ٤ بوصات تشق طوليا إلى نصفين ، ويغطى مكان القطع بالبلاستيك الأسود لمنع نفاذ الضوء . وتستخدم هذه الأنصاف فى زراعة النباتات ذات النمو الخضرى والجذرى المحدودين ، كالخس والشليك . 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 دائما 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 ـ أحيانًا ـ اسم تقنية المحلول المغذى المتدفق Nutrient Flow Technique ، بالنظر إلى استمرار تدفق المحلول المغذى خلال المزرعة بصورةٍ دائمةٍ .

وقد قدم A. Cooper لهذه النوعية من المزارع ـ بالتفصيل ـ فى كتابة Nutrient Film Technique (Cooper ١٩٧٩) .

مميزات وعيوب تقنية الغشاء المغذى

المميزات

من أهم مميزات تقنية الغشاء المغذى ما يلى :

١ ـ 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 ـ التوفير فى الماء ؛ نظرًا لأن المحلول المغذى يمر فى نظامٍ مغلقٍ ؛ فلا يتعرض للتبخر .

٣ ـ أدت بساطة الفكرة التى يقوم عليها النظام إلى تطويره ؛ ليعمل بصورةٍ آليةٍ كليا تقريبًا .

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

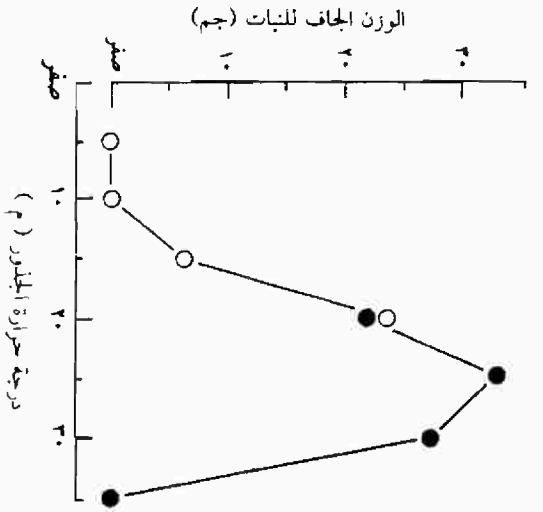
٥ ـ بسبب سهولة التحكم فى بيئة نمو الجذور فى هذا النظام ، فإنه يمكن التحكم فى النمو النباتى بصورةٍ أفضل ؛ ويتحقق ذلك من خلال التحكم فى درجة حرارة المحلول المغذى ، ودرجة توصيله الكهربائى (EC) ، والتدفق المتقطع intermittent flow للمحلول المغذى (عن Burrage ١٩٩٣) .

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

٧ ـ انحفاض التكلفة الإنشائية نسبيا .

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

٩ ـ مـن السهولة بمكانٍ تدفئة أو تبريد المحلول المغذى ؛ بحيث تبقى درجة حرارته ـ دائمًا ـ فى المدى المناسب للنمو النباتى ، والذى يبلغ حوالى ٢٦ ـ ٢٧° للطماطم ، و ٢٩°م للخيار . ففى الطماطم ـ على سبيل المثال ـ تغير نمو النباتات بتغير درجة حرارة المحلول المغذى من ٥° إلى ٣٥°م ، علمًا بأن درجة حرارة الهواء كانت ثابتةً 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 ثابتةً فى الأنسجة النباتية عند مختلف درجات الحرارة المستعملة .



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

يلاحظ من شكل (٦ ـ ٢) أن نمو نباتات الطماطم يتوقف عندما تبلغ حرارة المحلول المغذى ١٠م أو ٣٥م ، وأن درجة الحرارة المثلى للنمو تقع بين ٢٦م و ٢٧م . ولكن يجب إما أن تبقى درجة الحرارة المحلول المغذى ثابتة ليلاً ونهارًا ، وإما أن تكون أعلى نهارًا منها ليلاً ؛ لأن عكس ذلك يكون له تأثير سيئ على النمو النباتى . ولكل محصولٍ درجة الحرارة المثلى والعظمى الخاصة به .

١٠ ـ كذلك قد تفيد تدفئة المحاليل المغذية فى توفير قدرٍ ـ ولو ضئيل ـ 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 سخانٍ كهربائيٍ ـ يتصل بمنظم حرارة ـ مغمورًا فى خزان المحلول (على ألا يكون السخان من النحاس) ولكن تكلفة التشغيل بهذه الطريقة تكون عاليةً ، ويفضل عليها استعمال ملفاتٍ من الصلب غير القابل للصدأ يمر فيها ماء ساخن أو بخار مع استعمال الزيت أو الغاز كمصدرٍ للطاقة ويكفى نحو ١٢ مترًا من ملفات بقطر ٥ سنتيمترات لتدفئة المحلول المغذى اللازم لكل هكتار من مزارع تقنية الغشاء المغذى .

١١ ـ قد يمكن الاستفادة من قدرة البكتريا التابعة للجنس Rhizobium على تثبيت آزوت الهواء الجوى فى جذور البقوليات فى إمداد النباتات غير البقولية باحتياجاتها من هذا العنصر ؛ وذلك بزراعتها مع النباتات البقولية ـ بنسبةٍ معينةٍ من كلٍ منهما ـ فى مزرعةٍ واحدةٍ ؛ 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 حدٍ معين .

١٢ - قد يكون من الممكن إقامة مزارع تقنية الغشاء المغذى بجانب الأنهار مع استعمال مياه النهر ـ مباشرة ـ ودون أية إضافات من العناصر المغذية . ومما يؤيد

ذلك أن مياه الأنهار تستعمل بالفعل فى إنتاج محصولٍ قوىّ النمو من الكرسون المائى بطريقة تتدفق فيها مياه النهر على مزارع الكرسون المائى ـ بصورةٍ مستمرة ـ لتعود المياه إلى النهر مرةً أخرى بعد مرورها على طولٍ معين ـ لا تتعداه ـ من المزرعة . كذلك تنمو الأعشاب المائية بغزارةٍ على مياه الأنهار ، وتعتمد فى نموها على العناصر المغذية التى تتوفر فى هذه المياه .

وليس بمستغربٍ أن تكفى التركيزات المنخفضة من العناصر الضرورية ـ التى تتوفر فى مياه الأنهار ـ حاجة النباتات من تلك العناصر ما دامت هذه المياه متجددةً على الدوام كما فى حالتى الأعشاب المائية ومزارع كرسون الماء ؛ وهو الشرط الذى يجب أن يتحقق ـ كذلك ـ فى مزارع تقنية الغشاء المغذى . فمياه النهر يجب أن تتدفق مرةً واحدةً خلال المزرعة ، ثم تعود إلى النهر مرةً أخرى ، كما يجب ألا يزيد طول قنوات المزرعة عن حدٍّ معين ، وإلا تعرضت النباتات التى توجد فى نهاياتها لنقصٍ فى العناصر المغذية .

وجدير بالذكر أن الزراعة بهذه الطريقة لا تحتاج إلى أكثر من قنوات تقنية الغشاء المغذى ؛ فالماء يمكن رفعه إلى خزاناتٍ بالوسائل البدائية ، ويُتْرَك لينساب من خلال قنوات الزراعة دون أية إضافاتٍ من الأسمدة ، أو تعديلٍ للـ pH ، أو ضخٍّ . . . إلخ .

١٣ ـ الاستفادة من مزارع تقنية الغشاء المغذى فى تنقية مياه المزارع السمكية :

نجد فى المزارع السمكية أن براز السمك يجعل الماء غنيا بالعناصر الغذائية ، ولكنه يُفسد الماء بالنسبة للسمك ، الأمر الذى يتطلب تغيير الماء على فتراتٍ 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 حاجةٍ إلى معالجتها قبل التخلص منها ، بل إنه قد يمكن إعادة استعمالها من جديدٍ 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 مجاورةً 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 النباتات إلى الماء آنذاك .

وقد جُرّبت هذه الطريقة فى إنتاج عشب grass لتغذية الحيوانات ، اعتمد فى نموه على العناصر التى كانت متوفرةً فى مياه تربية الأسماك ، والتى كانت كما يلى بالجزء فى المليون (عن Cooper ١٩٧٩) :

الكالسيوم : ٢٢ ـ ٢٦	المغنيسيوم : ٣,٤ ـ ٧,١	السيليكون : ٣,٧ ـ ٤,٢
الكلوريد : ١٨ ـ ٢٥	النيتروجين : ٠,٦ ـ ٠,٩	الصوديوم : ٩ ـ ١٠
النحاس : أقل من ٠,٠١	الفوسفور : ٠,٢ ـ ٠,٥	الزنك : أقل من ٠,٠١
الحديد : ٠,٣ ـ ٠,٦	البوتاسيوم : ٢,٥ ـ ٢,٨	

وقد أثبتت دراسات McMurtry وآخرين (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 بيئىّ واحد مغلق أمكن فيه التوفير فى مياه تربية الأسماك ، وتوفير الأسمدة اللازمة للنمو النباتى ، وتجنب التلوث البيئى . وقد زود النظام بالبكتريا من خلال فلتر حيوىّ احتوى على البكتريا

المرغوبة ، ووضع بين حوض تربية السمك ومزرعة الطماطم . وكانت نتائج هذه الدراسة مرضيةً ؛ حيث ثبت مستوى المركبات النيتروجينية ـ خاصة النترات ـ 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 ـ سرعة انتشار الأمراض التى تصيب النباتات عن طريق الجذور ، ولكن يفترض دائمًا اتخاذ الاحتياطات اللازمة لمنع وصول هذه الأمراض إلى المزرعة ، خاصة أنها تكون فى البداية خاليةً تمامًا منها .

٢ ـ 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 إلاّ 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 .

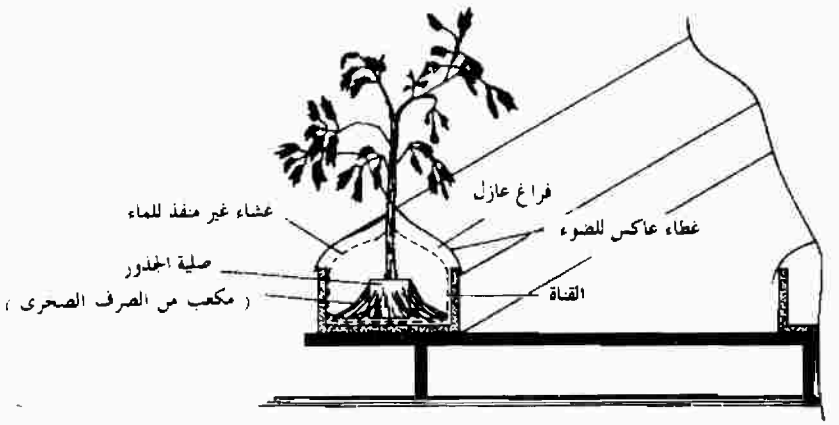
٣ ـ احتمال توقف مضخة المحلول المغذى عن العمل ؛ إما بسبب انقطاع التيار الكهربائى ، وإما بسبب خلل بالمضخة ذاتها ، ويتطلب ذلك توفر مولد كهربائى يعمل تلقائيا عند انقطاع التيار الكهربائى ، وتواجد مضختين تعملان بالتبادل لتأمين استمرار ضخّ المحلول المغذى فى حالة تَعَطُّل إحداهما عن العمل .

٤ ـ الحاجة إلى أفراد ذوى مستوى عالٍ من الخبرة والكفاءة لإدارة هذه المزارع .

تصميم مزارع تقنية الغشاء المغذى

يتم أولاً إعداد قنواتٍ مستويةٍ تمامًا وخاليةٍ من أية تعرجاتٍ، وتوضع على أرضيةٍ من الأسمنت تميل بمقدار ١ ٪ وتصنع هذه القنوات من الخشب ، أو البلاستيك، أو

المعدن ، أو الأسمنت (شكل ٦ ـ ٢). وترجع أهمية استواء القنوات إلى عدم إعطاء أية فرصة لتوقف المحلول المغذى بأية انخفاضات قد توجد بها ؛ نظرًا لأن البقع الراكدة تصبح خاليةً من الأكسجين بعد فترةٍ قصيرةٍ من تنفس الجذور



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

يبلغ عرض القنوات ـ عادة ـ ٢٣ سم ، وارتفاعها ٥ سم فى مزارع الطماطم والخيار ، أما طولها ، فيجب ألا يزيد على ٣٠ ـ ٤٠ مترًا كحدٍّ أقصى ، ويجب أن تكون غير منفذة للماء . وفى حالة صنعها من مواد منفذةٍ للماء ، فإنه يلزم تبطينها بغشاءٍ بلاستيكيٍّ . 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 منفذةٍ للماء ، فإنها لا تحتاج إلى تبطين ، ولكنها تحتاج إلى غطاء ، وقد يكون هذا الغطاء من البلاستيك أو أية مادةٍ غير صلبة .

وترجع أهمية أغطية القنوات إلى كونها :

١ ـ تمنع فقد الماء بالتبخر .

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

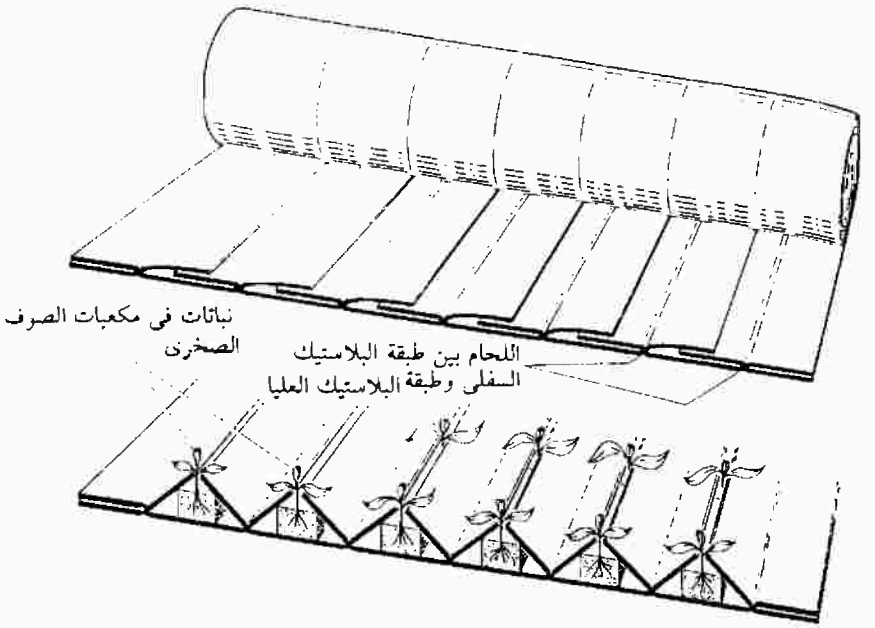
٣ ـ تساعد على التحكم فى درجة حرارة الجذور .

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 بحاجةٍ 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 لونٍ 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 ـ ٤ أ) ، كما تتوفر قنوات متعددة غير مطويةٍ (شكل ٦ ـ ٤ ب) .

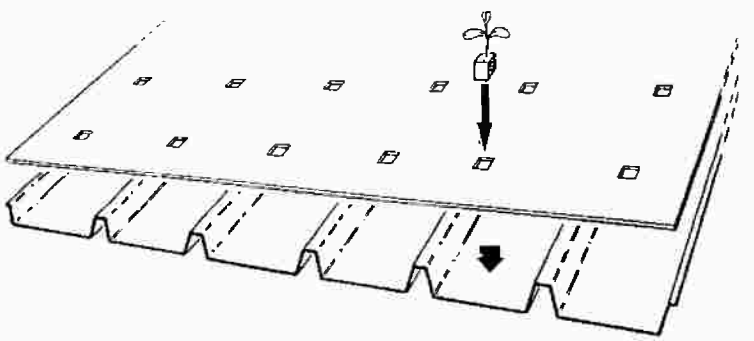
وأيا كانت المواد المواد المستخدمة فى تبطين أو تغطية القنوات ، فإنها يجب ألا تكون سامةً للنباتات ، ويعرف هذا التسمم باسم "Phytotoxicity" ، وهو قد يكون شديدًا للغاية ويؤدى إلى سرعة تدهور النباتات وموتها ، أو أقل تأثيرًا ؛ حيث تعانى النباتات ضعف النمو بدرجاتٍ متفاوتة .

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 دقيقةٍ ؛ مثل النحاس ، والزنك ؛ حتى لا تتراكم بتركيزاتٍ عاليةٍ سامةٍ فى المحلول المغذى .



أ - قنوات متعددة على صورة لفائف

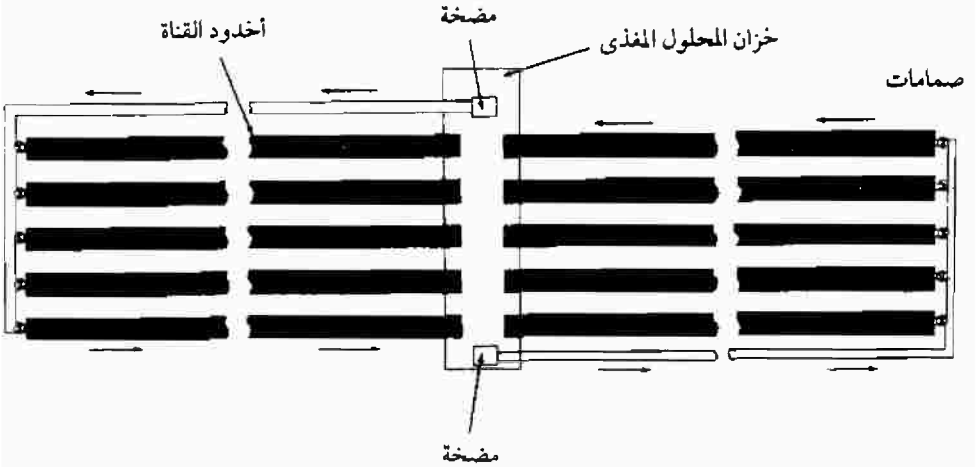


ب - قنوات متعددة جامدة غير مطوية

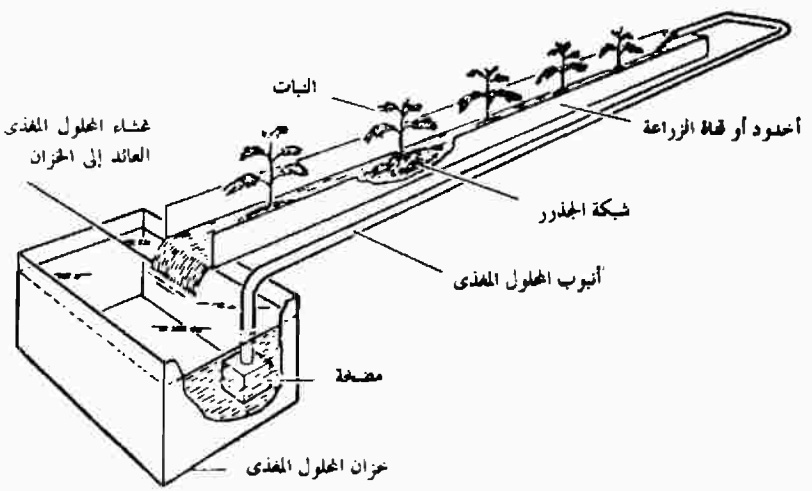
شكل (٦ ـ ٤) : قنوات مزارع تقنية الغشاء المغذى الجاهزة التحضير على صورة لفائف يتم فردها flexible (أ) ، وأخرى غيرمطوية Rigid (ب) .

يتجمع المحلول المغذى بالجاذبية الأرضية فى خزان يوضع فى نهاية القنوات ، ثم يعاد ضَخُّه من الخزان إلى قناة رئيسية تكون متعامدة على النهايات العلوية للقنوات ، وتزودها بالمحلول من خلال أنابيب رفيعة أو صمامات خاصة (شكلا ٦ ـ ٥ ، ٦ ـ ٦) . 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 طوال الوقت أحيانًا ، أو لمدة ١٠ دقائق كل ١٥ دقيقةً فى أحيان أخرى . هـذا . . وتخـدم كـل مضخة مساحة مـن المزرعة تتراوح بين ١٩٠٠ ـ ٢٠٠٠ متر مربع (Wittwer & Honma ١٩٧٩ ، وNelson ١٩٨٥) ، مجلة الزراعة فى الشرق الأوسط ـ العدد الرابع ١٩٨٥) .



شكل (٦ ـ ٥) : تصميم مزرعة تقنية الغشاء المغذى .



شكل (٦ ـ ٦) : التصور العام لكيفية تصميم قناة الزراعة فى تقنية الغشاء المغذى ، وحركة المحلول المغذى على شكل غشاء رقيق فيها .

وقد درس 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 ، و ١٢ لترًا / دقيقة على نمو عدة أصناف من الخس ، ووجد أن تركيزات الأيونات الكلية العالية (١,٢ ـ 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 دقيقةً كلما تجمع ٠,٣ ميجاجول MJ من الأشعة القصيرة الموجة /م٢ داخل الصوبة) فى مزرعة الطماطم أدى إلى زيادة كفاءة استخدام الماء ، وزيادة المحصول المبكر ، ونقص النمو الجذرى ، دون التأثير جوهريا على المحصول الكلى مقارنةً بضخ المحلول المغذى بشكلٍ عاديٍّ على صورة غشاءٍ مستمر .

كذلك وجد Economakis (١٩٩٣) أن تدفئة المحلول المغذى إلى ٢٢ْم مع ضخه على فتراتٍ (لمدة ١٥ دقيقةً متواصلةً 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 مقارنةً 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 ـ ١)، والذى يبلغ تركيز مختلف العناصر به كما فى جدول (٦ ـ ٢) . وقد استعمله Cooper مع أكثر من ٥٠ نوعًا من الخضر ونباتات الزينة لمدة ثلاث سنواتٍ متصلةٍ دون أية مشاكل . هذا . . وتتوفر تحضيرات تجارية جاهزة من أملاح المحاليل المغذية خاصة بتقنية الغشاء المغذى ، وتباع ـ عادةً ـ 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 .

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

المركب	التركيب الكيميائى	الكمية اللازمة بالجرام / ١٠٠٠ لتر
فوسفات البوتاسوم ثنائى الأيدروجين		٢٦٣
Potassium dihydrogen phosphate	KH_2PO_4	
نترات البوتاسيوم	KNO_3	٥٨٣
نترات الكالسيوم	$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	١٠٠٣
كبريتات المغنيسيوم	$MgSO_4.7H_2O$	٥١٣
الحديد المخلبى EDTA iron	$[CH_2N(CH_2.COO)_2]_2FeNa$	٧٩
كبريتات المنجنيز	$MnSO_4.H_2O$	٦,١
حامض البوريك	H_3BO_3	١,٧
كبريتات النحاس	$CuSo_4.5H_2O$	٠,٣٩
موليبدات الأمونيوم	$(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$	٠,٣٧
كبريتات الزنك	$ZnSO_47H_2o$	٠,٤٤

وعمليا . . يفضل تحضير محلولين قياسيين مركزين ؛ يحتوى أحدهما على نترات الكالسيوم والحديد المخلبى فقط ، بينما يحتوى الثانى على جميع الأملاح الأخرى المبينة فى جدول (٦ ـ ١) . ويجرى ذلك بإذابة عشرة أمثال الكميات الموضحة من كل ملحٍ سماديٍّ فى جدول (٦ ـ ١) فى ٤٥ لترًا من الماء لكل محلولٍ قياسيٍّ مركز . فمثلا . . يلزم لتحضير المحلول الأول ١٠٠٣ جرامًا من نترات

الكالسيوم ، و٧٩ 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 ـ ١) حسبت على أساس أن نسبة النقاوة ١٠٠ ٪ .

جدول (٦ ـ 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
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 لترا من كلٍّ منهما لكل ١٠٠٠ لتر من الماء .

ولتجنب حدوث أية ترسبات يتعين بداية ـ إذا لزم الأمر ـ 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 مباشرةً ؛ حيث تظهر الأنسجة الخارجية للساق عند هذه النقطة وقد تحللت وأخذت لونًا بنيا ، 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 قلويةً ، والتى يناسبها استعمال الصورة الأمونيومية للنيتروجين ؛ لتجنب الارتفاع الشديد فى pH المحلول المغذى ، خاصة وأن ظاهرة التحليق التى أسلفنا بيانها لم تُشَاهَدْ على المحاصيل الأخرى غير الطماطم . كما يجب ـ مع الطماطم ـ تحديد أعلى نسبة من النيتروجين الأمونيومى يمكن استخدامها بأمان مع كل مرحلة من مراحل نمو النباتات .

وتمشيا مع هذا الاتجاه وجد Aminuddin (١٩٩٣) أن اليوريا يمكن أن تستعمل كمصدر للنيتروجين فى مزارع الطماطم كبديل للنيتروجين النتراتى ، علما بأن تحلل اليوريا إلى أمونيوم فى هذه الدراسة كان سريعًا ؛ ابتداءً من اليوم الرابع لإضافة اليوريا وحتى اليوم العشرين ؛ حيث بلغ تركيز أيون الأمونيوم أعلى مستوى له ، وكان ذلك مصاحبًا بزيادة فى تركيز الأمونيوم فى أوراق وجذور النباتات .

ويستدل من الدراسات التى أجريت فى اليابان (عن Etoh ١٩٩٤) على أن معظم الخضروات تعطى نموا 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 ، وتحسّن 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 عُرضّت للإشعاع الشمسى القوى ، كما كان ذلك مصاحبًا بنقص فى معدل البناء الضوئى ، ولكن حدث العكس فى النباتات التى عُرّضت لتظليل جزئى ؛ ولذا . . أوصى الباحثون باستعمال نيتروجين نتراتى فقط ـ عند التغذية بالمحاليل المغذية ـ فى ظروف الإضاءة القوية ، واستعمال نسبة ١ : ٩ أو ٢ : ٨ نيتروجينًا أمونيوميا : نيتروجينًا نتراتيا فى ظروف الإضاءة الضعيفة .

وفى الخس . . وجد Gunes وآخرون (١٩٩٤) أن استبدال اليوريا ، أو سماد البروتينيت Proteinate (وهو سماد تركى يحتوى على نيتروجين بنسبة ٨ ٪ على صورة أحماض أمينية ، و ٨ ٪ أخرى على صورة نيتراتية) بـ ٢٠ ٪ من النيتروجين النتراتى فى محلول مغذّ يحتوى على ١٣,٤ ملّلى مولار نيتروجين (بنسبة ٩٤ نيتروجينًا نتراتيا إلى ٦ ٪ نيتروجينًا أمونيوميا) لم يكن له تأثيرات معنوية على الوزن الطازج الكلى للنباتات عند الحصاد ، أو على محتوى النباتات الكلى من النيتروجين ، ولكن معاملتى اليوريا وسماد البروتينيت أحدثتا نقصًا كبيرًا فى محتوى النباتات من النيتروجين النتراتى .

خدمة المحاليل المغذية

تستعمل المحاليل المغذية ـ عادةً ـ لمدة أسبوعين ، ثم يستغنى عنها وتحضر محاليل جديدة ، وقد تستعمل لمدد أطول من ذلك . وفى كل الحالات يلزم تعويض الماء

المفقود بالنتح يوميا ؛ حتى يظل حجم المحلول ثابتًا . ويمكن أن يتم ذلك بأن يركب على مصدر الماء الذى يصب فى خزان المحلول صمام يفتح ويغلق آليا بواسطة عوامة خاصة .

وسواء استعمل المحلول المغذى لمدة أسبوعين أم لمدة أطول من ذلك ، فإنه يلزم اختباره يوميا لتقدير الـ pH ، ودرجة التوصيل الكهربائى (EC). فالـ pH يجب أن يظل دائمًا فى حدود ٦ ـ ٦,٥ ، ويعدل عند الضرورة بإضافة أيدروكسيد البوتاسيوم فى حالة انخفاض الـ pH عن ٦ ، أو حامض الكبريتيك عند ارتفاعه عن ٦,٥ . كما أن درجة التوصيل الكهربائى للمحلول المغذى المقترح استعماله (جدول ٦ ـ 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 آليا .

وتجدر الإشارة ـ فى هذا المقام ـ إلى أن النباتات يناسبها مدى واسع للغاية من تركيز العناصر فى مزارع تقنية الغشاء المغذى ؛ فبالنسبة للطماطم ـ مثلاً ـ لم يختلف النمو النباتى ، والمحصول ، أو حتى امتصاص العناصر عندما تراوح مدى النيتروجين بين ١٠ أجزاء فى المليون و٣٢٠ جزءًا فى المليون ، ومدى الفوسفور بين ٥ أجزاء فى المليون و ٢٠٠ جزءًا 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 كافيا للتعرف على محتواه من العناصر المغذية .

وقد أوضحت دراسات Schacht & Schenk (١٩٩٥) على الخيار ـ فى مزرعة مائية مغلقة ـ أن النسبة ظلت ثابتةً بين معدل امتصاص النباتات للنيتروجين ومعدل امتصاصها من كلٍ 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 .

أما بالنسبة لتوفر الأكسجين اللازم لتنفس الجذور ، فإنه 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 مباشرةً 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 بحريةٍ 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 ، والإيثيلين ، وأكسيد ثنائى النيتروجين dinitrogen oxide .

وقد وجد بالفعل أن الأصص المحتوية على بيئاتٍ قوامها البيت والرمل ، والتى استخدمت فى تثبيت النباتات فى تقنية الغشاء المغذى كانت سيئة التهوية ، وقلّ فيها كثيرًا تركيز الأكسجين . وقد أدى استبدال هذه البيئات بأخرى غير عضويةٍ أكثر مساميةً ـ مثل البرليت ، أو الصوف الصخرى ـ 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 نقصٍ فى الأكسجين فى المحلول الموجود فى المنطقة المحيطة بالجذور مباشرة ، إلا أن وجود المحلول المغذى على صورة غشاءٍ ـ لا يزيد سمكه على ٣ مم ـ يجعل معظم الجذور معرضةً دائمًا للهواء ؛ ولذلك تحصل منه على حاجتها من الأكسجين ؛ ولذا . . فإن وجود المحلول المغذى على صورة غشاءً بهذا السمك يعد شرطًا أساسيا لنمو النباتات بصورةٍ طبيعيةٍ 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 .

ولتأمين تواجد المحلول فى صورة غشاءٍ رقيق تتعين مراعاة ما يلى :

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

٢ ـ أن يكون معدل ضخ المحلول المغذى فى القناة معتدلاً ؛ حتى لا تؤدى سرعة تدفقه إلى تواجده بعمقٍ كبيرٍ غير مناسب .

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

٤ ـ أن تكون قاعدة القناة مستويةً وليست مقوسةً ؛ حتى لا يتواجد المحلول المغذى بعمقٍ زائدٍ فى منتصف القناة .

طريقة الزراعة فى مزارع تقنية الغشاء المغذى

تكثر النباتات التى يراد زراعتها فى مزارع تقنية الغشاء المغذى فى أوعيةٍ خاصةٍ ؛ مثل : أصص البيت ، أو مكعبات الصوف الصخرى ، أو أقراص الجفى. ويفضل استعمال مكعبات الصوف الصخرى ؛ حتى لا يؤدى البيت موس الموجود فى الأوعية الأخرى إلى انسداد قنوات الزراعة وسوء التهوية كما سبق بيانه . وتوضع الأصص فى القناة ، ويحافظ على النباتات فى مكانها بضم البلاستيك بمشابك الغسيل أو بالدبابيس (شكل ٦ ـ ٧) مع ربطها من قاعدتها فى خيوط تتدلى من الأسلاك العلوية لتبقى ناميةً رأسيا (شكل ٦ ـ ٨) ، يوجد فى آخر الكتاب) .

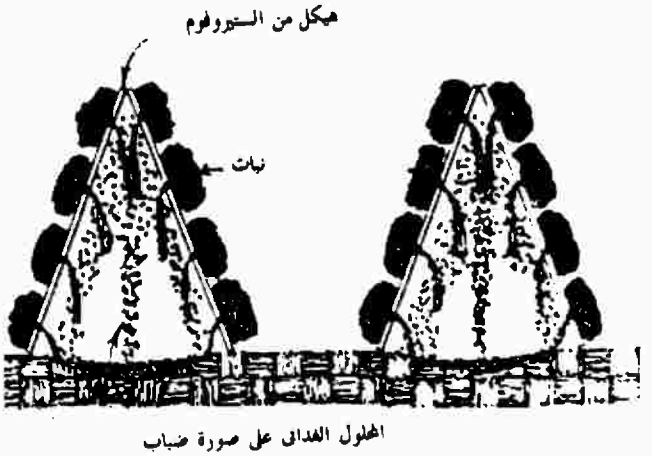
شكل (٦ ـ ٧) : وضع شتلات الطماطم على المسافات المرغوبة فى قاع قناة تقنية الغشاء المغذى ، ثم ضم البلاستيك عليها باستعمال دباسة (مجلة الزراعة فى الشرق الأوسط) .

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

المزارع الهوائية

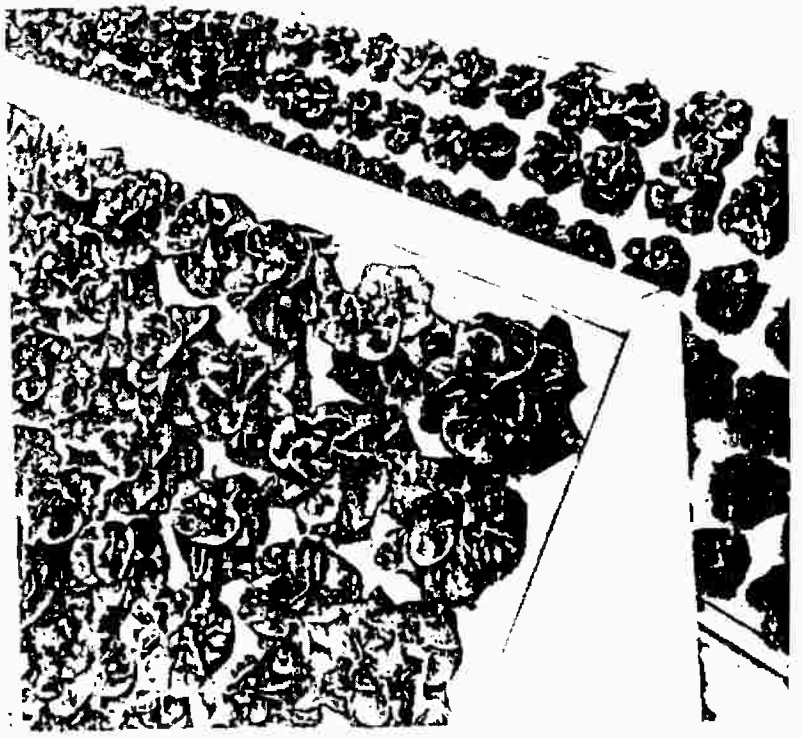
تظل جذور النباتات فى المزارع الهوائية Aeroponics عالقةً فى حيزٍ مغلق، مع تعريضها بصورةٍ منتظمةٍ للمحلول المغذى فى صورة رذاذٍ (مست) ؛ وبذلك تحصل

النباتات على حاجتها من الماء والغذاء والأكسجين اللازم لتنفس الجذور التى تبقى فى هواءٍ تبلغ رطوبته النسبية ١٠٠ ٪ . ويحقق هذا النظام أكبر استفادةٍ ممكنةٍ من المساحة المتوفرة من البيوت المحمية ؛ نظرًا لأن النباتات تثبت فى ثقوبٍ على جانبى هيكلٍ على شكل حرف A (شكل ٦ ـ ٩) . وقد استخدمت هذه المزارع فى إنتاج الخس (شكل ٦ ـ ١٠) (Collins & Jensen ١٩٨٣) .



شكل (٦ ـ ٩) : مقطع فى مزرعةٍ هوائيةٍ تزرع فيها النباتات على جانبى هياكل بشكل حرف A ، وتروى بضخ المحلول المغذى على جذورها فى صورة رذاذ (مست) .

وتناسب المزارع الهوائية محصول الخس إلى حدٍّ كبيرٍ مقارنةً بالمزارع المائية . فمثلا . . وجد Ha وآخرون (١٩٩٣) أن الوزن الطازج والجاف للأوراق فى مزرعةٍ هوائيةٍ كان أكثر من ضعف وزنها فى مزرعةٍ مائيةٍ ، وازداد الفارق بينهما عندما استعملت تركيزات مخففة من المحلول المغذى ـ وصلت إلى ربع التركيز العادى ـ حيث بلغ الوزن الطازج للأوراق فى المزرعة الهوائية أكثر من أربعة أمثال وزنها فى المزرعة المائية .



شكل (٦ ـ ١٠) : إنتاج الخس فى المزارع الهوائية .