الفصـــل السابع

الزراعة اللاأرضية في بيئات الألياف

Soilless Culture in Fibers Medium

obeikandl.com

obeikandl.com

الزراعة اللاأرضية فى بيئات الألياف

Soilless Culture in Fibers Medium

تعتبر الألياف المصنعة من المعادن والصخور أو المخلقة كيميائياً فى صورة خيوط Fibers على هيئة وشكل الصوف Wool من البيئات الجديدة فى عالم الزراعة اللاأرضية حيث تفيد فى زراعة كثير من النباتات بها حتى الحصول على المحصول بنجاح كبير، فبيئات النمو الجديدة هذه تعتبر نموذج للبيئات الصناعية المناسبة للمزارع اللاأرضية، حيث تقوم بالإضافة إلى تثبيت النباتات النامية فيها بتوفير مستوى مناسب من الأكسيجين وتحتفظ بقدر من الماء بالإضافة إلى تميزها بمعدل صرف جيد. ووجود كل هذه العوامل مجتمعة فى بيئة النمو يجعلها مثالية لنمو النبات وانتشار جذوره. بالإضافة إلى ذلك فإن هذه الألياف تعتبر مواد خامله Inert materials، والمادة الخاملة فضلاً عن أنها لاتتفاعل مع العناصر المغذية للنبات فإنها تعطى للمزارع الفرصة فى التحكم الكامل فى عملية التغذية. ومن هذه الألياف فى العالم اليوم بيئة الصوف الصخرى Rockwool ونوع من الألياف يعرف لأول مرة فى مصر هو صوف الخبث المصرى Slagwool بالإضافة إلى الصوف الزجاجى Glasswool والفوم Foam ونسيج صناعى مصنع من البولى استر يسمى فليس Fleece وسوف نحاول التعرف على هذه المواد وكيفية استخدامها فى الزراعة اللاأرضية.

أولاً: مزارع الصوف الصخرى
Rockwool Cultures

مزارع الصوف الصخرى أكتشفت فى الدانمارك سنة ١٩٦٩، وخلال عشر سنوات فقط أصبحت تستخدم على نطاق واسع وبشكل مكثف فى الصوب الزراعية لإنتاج العديد من الخضروات (الطماطم Tomato والخيارCucumber والباذنجان Eggplant والفلفل Sweet pepper والفراوله Strawberry... إلخ) ونباتات الزينة (الورد Rose والجربيرا Gerbera والإقحوان Chrysanthemum والقرنقل Carnation....إلخ) فى كل من الدانمارك وهولندا. وتوضح الأرقام المتاحة أن المساحة المنزرعة بالصوف الصخرى فى هولندا وحدها قد زادت من ١٨٠ هكتاراً سنة ١٩٨٠ إلى ٣٥٠٠ هكتار سنة ١٩٩٠ إلى ٤٠٠٠ هكتار سنة ١٩٩٤ كما أن ٨٠٪ من المزارع اللاأرضية فى العالم تستخدم الصوف الصخرى.

فما هو الصوف الصخرى؟

الصوف الصخرى عبارة عن خيوط أو ألياف مصنعة من الصخور البركانية Volcanic rocks وبصفة خاصة الـ Diabase (بنسبة ٦٠٪) مع الحجر الجيرى Lime stone (بنسبة ٢٠٪) وفحم الكوك Coke (بنسبة ٢٠٪). يتم صهر هذا الخليط على درجة حرارة تتراوح ما بين ١٥٠٠ – ٢٠٠٠ درجة مئوية حسب مكونات المخلوط، وعادة ما تكون درجة حرارة ١٦٠٠ درجة مئوية مناسبة لهذا الغرض. وهذه المادة المنصهرة تتحول عن طريق الطرد المركزى السريع والتبريد إلى خيوط رفيعة قطرها ٥ ميكرون يتم ضغطها إلى رقائق بالسمك المطلوب (شكل ٧ –١). وأثناء التبريد يتم إضافة الفينول لخفض التوتر السطحى والذى يعمل كمادة لاصقة لخيوط الصوف الصخرى مكونة بيئة إسفنجية أو مسامية Spongy material. والتركيب الكيميائى للصوف الصخرى يختلف باختلاف مناطق تصنيعه وإن كان متوسط مكوناته الأساسية عبارة عن أكسيد السليكون بنسبة ٤٥٪ وأكسيد الكالسيوم بنسبة ١٥٪ وأكسيد الألومنيوم بنسبة ١٥٪ وأكسيد الحديد بنسبة ١٠٪ وأكسيد المغنسيوم بنسبة ١٠٪ وأكاسيد أخرى بنسبة ٥٪.

شكل (٧-١): يوضح انصهار صخور Diabase مع الحجر الجيري والفحم لإنتاج خيوط الصوف الصخري.

والصوف الصخرى لاتشكل المادة الصلبة به سوى ٣٪ فقط وبالتالى فإن المسافات البينية التى تحوى الماء والهواء تمثل ٩٧٪ (تكون فى حالتها المثلى عند التشبع بالماء ورشح الزائد منه موزعة إلى ١٤٪ للهواء و٨٣٪ للماء) مما يجعله بيئة جيدة لنمو وانتشار الجذور.

ويجهز الصوف الصخرى فى عدة تجهيزات أو أشكال شكل (٧ – ٢) تختلف على حسب الغرض المطلوب من استخدامها. وسوف نستعرض أهم هذه الأشكال واستخداماتها فيما يلى:

أولاً: مكعبات الإنبات Propagation Cubes

ارتفاعها من ١,٥ – ٢,٥سم وقطر ٢,٥سم تقريبًا وتستخدم فى بداية إنبات كل من الخس والخضروات الورقية ونباتات الزينة وتوجد هذه المكعبات فى صورة فردية أو فى صورة مجمعة.

ثانياً: بلوكات الإنبات Propagation Blocks

وتنقل إليها مكعبات الإنبات الصغيرة وما بها من بادرات أو تنقل إليها الشتلات الصغيرة مباشرة. ووحداتها عبارة عن مكعبات توجد فى حجمين ٧,٥ × ٧,٥ × ٧,٥سم و١٠ × ١٠ × ٧,٥سم (والارتفاع فى كلاهما ٧,٥سم). وعندما تصل النباتات بها إلى الحجم المناسب يتم نقلها إلى وسائد النمو.

ثالثاً: وسائد النمو Growing slabs

وبها يكمل النبات فترة نموه حتى المحصول الكامل. وتوجد وسائد النمو في حجمين (الأطوال بالسم) ٧,٥ ارتفاع × ١٥ عرض × ٩٠– ١٥٠ طول وهى مناسبة لنباتات الطماطم والفلفل وكثير من محاصيل الخضر والزينة أو ٧,٥ ارتفاع × ٢٠ عرض × ٩٠ – ١٥٠ طول وتستخدم أكثر مع نباتات الخيار حيث تحتاج إلى حيز أكبر لنمو الجذور.

ويجب ملاحظة أن أحجام الثلاثة أشكال السابقة ليست ثابتة بل يمكن أن تتغير

من مكان لآخر حسب ظروف التصنيع وتطور البحوث وطلبات المزارعين.

رابعاً: الصوف الصخرى السائب

Rockwool Granulate or Loose-Wool

ويستخدم كبيئة معبأة فى أصص أو تخلط مع بعض البيئات الأخرى بنسبة الثلث حجمًا لتحسين خواص التهوية والاحتفاظ بالماء بها، كما يخلط مع التربة بنسب تتراوح ما بين ٢٥ – ٦٠٪ كمحسن.

وتتشكل خيوط الصوف الصخرى رأسيًا فى حالة مكعبات وبلوكات الإنبات للمساعدة على اختراق جذور البادرات لأسفل وأفقيا فى وسائد النمو لإتاحة الفرصة أمام جذور النباتات للإنتشار فى أكبر حيز ممكن. وهذا ما يوضحه (شكل٧– ٣).

ومما يجب التنبيه إليه أن مكعبات وبلوكات الإنبات تستخدم فى إعداد وتجهيز البادرات لكل أنواع المزارع اللاأرضية بنجاح. وفى حالة عدم تواجد مثل هذه المكعبات فإن الصوف الصخرى السائب يمكن استخدامه بديلاً عن مكعبات الإنبات وذلك بوضعه فى أصص صغيرة مثقبة من الأجناب والقاعدة (أنظر شكل ٦–٧ فى الفصل السابق والخاص بأوعية إعداد الشتلات) ثم نزرع فيه البذور أو تنقل إليه البادرات مثلما يتم مع مكعبات الإنبات وذلك حتى الحصول على شتلات قوية.

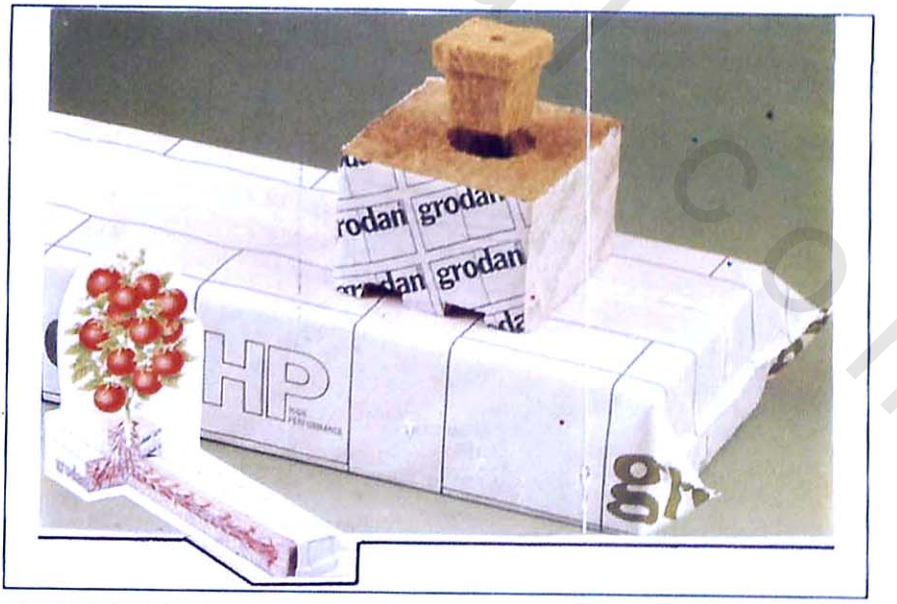
مزايا الصوف الصخرى المعد للاستخدام الزراعى :

يتميز الصوف الصخرى الزراعى بمزايا عديدة:

١ – مادة خاملة ممتازة لا تتحلل ولاتتكسر بيولوجياً مما يهيىء ظروف جيدة لنمو النباتات التى تمكث به لفترات طويلة مثل شجيرات الورد Roses التى تنمو به لعدة أعوام بنجاح.

٢ – مادة جافة وليس بها أى مواد سائلة مغذية أو غير مغذية ورقم الحموضة له pH يقع بين ٧–٨ درجات.

شكل (٧-٢): الصوف الصخري سائب ومعد فى صورة مكعبات الإنبات ووسائد النمو.



شكل (٧-٣) يوضح وضع مكعبات الإنبات على وسائد النمو وكيفية انتشار الجذور بينهما.

٣ – مادة معقمة وخالية تماماً من الآفات والحشرات والأمراض.

٤ – قدرته التنظيمية ضئيلة أو منعدمة وليس لأسطح خيوطه القدرة على امتصاص العناصر، ومن ثم فليس له أى تأثير على تغير خواص المحلول.

٥ – مادة خفيفة جداً (كثافتها ٠,٠٧٥ جرام/سم٣) وفى الوقت نفسه صلبة Rigid material مما يجعل التعامل معها سهلاً فى الإعداد والتجهيز والنقل بالإضافة إلى عدم حاجتها إلى تجهيزات أو قنوات خاصة مما يقلل استهلاك الوقت والجهد والمال.

٦ – مادة مناسبة جداً لنمو وانتشار الجذور نظراً لمساميتها الشديدة (٩٧٪ مسام) ولاتمثل ضغطاً على النبات Minimizing plant stress.

٧ – إختصار الوقت وتوفير الحيز المتاح من الأرض تحت الصوبة أو خارجها باستخدام مكعبات وبلوكات الإنبات في إعداد الشتلات.

٨ – سهولة التخلص من ترسيبات الأملاح فى حالة استخدام محلول به نسبة مرتفعة قليلاً من أملاح الصوديوم. وذلك بإضافة الماء وحده إلى وسائد النمو والذي يعمل علي إزالة وغسيل الأملاح في نظام مفتوح Leaching for the open system فيما يعرف بطريقة الإمرار حتى الفقد Run-to- waste ، ومما يساعد على إجراء هذه العملية بسهولة ويسر ما يتمتع به الصوف الصخرى من قدرة عالية على الصرف.

٩ – سهل التعقيم والاستخدام لأكثر من عام.

١٠– يمكن استخدم الصوف الصخرى السائب أو المحبب Granulates كمحسن طبيعى للتربة Soil conditioner فى حالة الأراضى الرملية.

عيوب الصوف الصخرى :

عيوب الصوف الصخرى قليلة وتتمثل فى:

١ – يجب الاحتياط عند التعامل مع الصوف الصخرى بلبس قفاز مع أكمام

طويلة، حيث يسبب إثارة للجلد، ويمكن التغلب على هذه المشكلة بترطيب الصوف الصخرى قبل التعامل معه أو استخدامه.

٢ – بعض المحاصيل حساسة للزراعة فى وسائد النمو التى سبق زراعة محاصيل بها من قبل مثل محصول الخيار، وفى هذه الحالة تستخدم الوسائد لسنة واحدة فقط.

استخدام الصوف الصخرى فى الزراعة بطريقة النظام المفتوح Open System

يمكن اتباع الخطوات التالية لتنفيذ مزرعة من الصوف الصخرى:

١ – ترطيب مكعبات الإنبات قبل الاستخدام بـ ٢٤ ساعة وتكون موضوعة على طاولات من البلاستيك ذات إطار غير مرتفع ٥ – ٨سم.

٢ – تزرع بذور النباتات فى المكعبات فى مكان دافىء رطب وتروى بالماء والمحلول المغذى عند الحاجة لذلك.

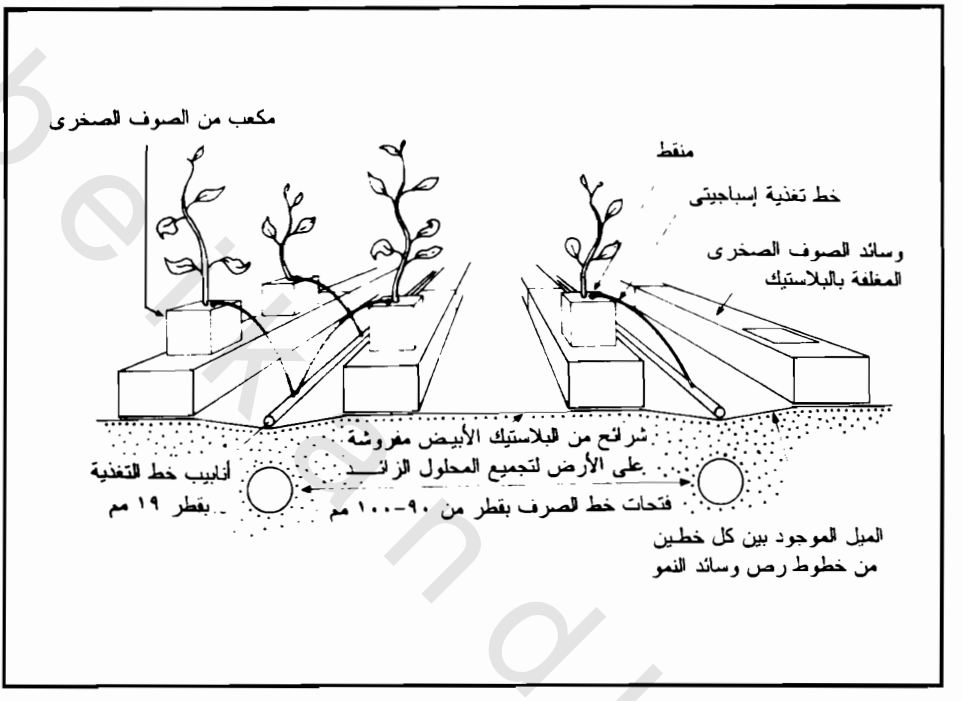
٣ – بعد خروج جذور البادرات خارج مكعبات الإنبات تنقل إلى بلوكات الإنبات حتى تأخذ حجمًا مناسبًا وتصبح جاهزة للنقل إلى وسائد النمو. وشكل (٧–٤) يوضح تتابع مراحل إعداد البادرات حتى وضعها فى مكانها المستديم على وسائد النمو فى الصوبة.

٤ – يتم تسوية أرض المزرعة فى شكل مصاطب بعرض ٧٠سم تنحدر للخارج قليلا ثم ترتفع مكونة مصطبة أخرى بعرض ٧٠سم فى حالة ما إذا كان عرض وسائد النمو ١٥ أو ٢٠سم، ثم تغطى الأرض بالبلاستيك الأبيض صيفًا ليخفف من حدة الحرارة والأسود شتاء للتدفئة وفى كل الأحوال فإن البلاستيك يمنع ظهور ونمو الحشائش بأرض المزرعة ونمو الفطريات ويمنع أيضًا وصول فاقد المحاليل المغذية إلى التربة ليتم تبخره من على أسطح البلاستيك فيخفف من حدة درجة الحرارة.

٥ – يتم رص وسائد النمو فى صفوف طولية على الحواف المائلة للمصاطب

شكل(٧-٤) : يوضح تتابع خطوات إعداد البادرات فى مكعبات الإنبات وكيفية نقلها إلي وسائد النمو في الصوبة.

بحيث يكون نهاية كل وسادة مع بداية التالية لها وهو ما يسمى End to End. وتوضع مواسير التغذية فى باطن المصاطب لتغذى زوج من وسائد النمو وتكون الممرات على قمة المصاطب بين زوج من الوسائد أيضًا، مما يسهل الحركة بعيداً عن رشح المحلول الزائد ومواسير الرى والتغذية شكل (٧ – ٥).



شكل (٧–٥) : رسم تخطيطى للشكل العام الذى تكون عليه مزرعة الصوف الصخرى وطريقة التغذية والصرف

فى حالة ما إذا كان النمو الخضرى للنباتات المراد تنميتها قصير مثل الخس والفراولة فيمكن تكثيف الزراعة بعمل مصاطب بعرض من ١٠٠ – ١١٠سم، ورص الوسائد التى عرضها ١٥ أو ٣٠سم فى زوجين من الصفوف على الحواف المائلة للمصاطب (٤ صفوف على المصطبة) بنفس الطريقة السابقة، ويعمل خط الرى والتغذية في هذه الحالة على رى وتغذية أربعة صفوف من وسائد النمو (وسادتان من كل جانب).

٦ – يتم عمل فتحات بأبعاد مكعبات الإنبات فى البلاستيك المغلف لوسائد النمو على أن تكون المسافة بين كل فتحة وأخرى هى نفس المسافة المطلوبة بين كل نبات وآخر.

٧ – يتم توصيل منقطات Dripers خط الرى والتغذية إلى الفتحات الموجودة فى وسائد النمو وتشبيعها بالمحلول المغذى قبل نقل البادرات بـ ٢٤–٤٨ ساعة مع ضرورة عدم عمل فتحات للصرف خلال هذه الفترة، حيث يرفع الصوف الصخرى رقم pH المحلول بمقدار درجة واحدة عند استخدامه لأول مرة فقط.

٨ – بعد ٢٤ – ٤٨ ساعة من تشبيع وسائد النمو يتم عمل فتحات الصرف فى أسفل الجانب المواجه لمواسير الرى فيتم التخص من المحلول الذى ارتفع رقم حموضته، ثم تنقل مكعبات الإنبات أو البادرات وتثبت فى المكان المجهز لها من قبل على وسائد النمو ويثبت بها المنقطات.

٩ – تتم التغذية من ٤ – ٦ مرات يوميًا فى فصل الشتاء ومن ٨ – ١٢ مرة فى فصل الصيف وذلك بمعدل ٢–٤ لتر/ساعة، وفى كل مرة ينتظر حتى يخرج المحلول من فتحة الصرف. وتستمر التغذية بهذا المعدل حتى نهاية المحصول .

ملحوظة : حجم الهواء فى وسائد النمو يزداد بارتفاع الوسادة، وغالبًا ما تكون التهوية فى حدود ٢٥ ٪ من حجم الوسائد التى ارتفاعها ٧,٥سم كافيا لمعظم أنواع النباتات إلا أنه ربما تحتاج بعض المحاصيل إلى حجم تهوية أكبر قد تصل إلى ٥٠ ٪ وفى هذه الحالة تستخدم وسائد ذات ارتفاع أكبر.

ما يتم عمله أثناء النمو :

١ – التأكد من ضبط المحلول المغذى يوميًا وذلك بأخذ عينة من المحلول المغذى الموجود فى وسائد النمو وليس المضاف إليها. ويتم أخذ العينة بواسطة سرنجة تغمس حتى منتصف الوسادة بين النباتات. ومكونات كل عينة يتم تجميعها من ١٥ – ٢٠ وسادة عشوائياً، وعلى هذه العينة يتم القياسات التالية:

أولا: الاختبارات اليومية:

قياس رقم الـ pH والتوصيل الكهربى Electrical Conductivity فى عينات

من المحلول المغذى الموجود فى وسائد النمو باستخدام أجهزة قياس الـ pH والتي تعرف بـ (pH Meter) وأجهزة قياس درجة التوصيل الكهربى EC Meter (شكل ٧ – ٦).

ثانيًا: الاختبارات الأسبوعية:

تقدير تركيز عناصر NH_4-N, NO_3-N, P, K, Mg and Fe مرة كل أسبوع بأجهزة القياس المعملية (Flame photometer, Spectrophotometer and Atomic adsorption)، حيث إن التغيرات التى تحدث للمحلول المغذى فى وسط النمو لاتكون كبيرة خلال هذه الفترة.

ثالثا: الاختبارات الشهرية:

تقدير عناصر Mn,Cu, Zn and B

رابعًا: اختبارات كل شهرين:

تقدير عناصر Na and Cl

٢ – إذا حدث تأثير لترسيب الأملاح أثناء نمو المحصول نتيجة لاستخدام ماء به نسبة مرتفعة نوعاً من كلوريد الصوديوم ، فإنه يتم الرى بماء فقط لمدة ٢ – ٣ أيام لتخفيف حدة تركيز الأملاح، ثم يعاد استخدام المحلول المغذى، وفى حالة إعادة استعمال وسائد النمو لسنة ثانية يتم الرى فى الأسبوع الأخير من عمر النباتات أيضاً بماء فقط للتخلص من الأملاح المترسبة بها.

٣ – تثبيت النباتات ذات المجموع الخضرى الكبير مثل الطماطم والخيار على الأسلاك أو الدعامات الخاصة بها.

٤ – مكافحة الآفات أو الحشرات إن وجد.

ونظراً لاستخدام الصوف الصخرى فى الزراعة على مساحات كبيرة لمحاصيل عالية القيمة الاقتصادية فإن الشركات المتخصصة فى تصنيع أنظمة الرى وفرت أجهزة ومعدات قياس فى غاية الدقة والنظام يتحكم فى عملها أجهزة الكمبيوتر المزودة ببرامج تعمل على قياس درجة الـ pH والـ EC، وتركيز العناصر الغذائية

وتصحيح قيم كل منها أو توماتيكياً إلى القيم المثلى مما يوفر الوقت والعمالة ومثالية بيئة النمو (شكل ٧ – ٧)، ومن هنا يظهر سر الإنتاجية العالية فى مثل هذه الأنظمة. وتعتبر محاصيل الخضر ونباتات الزينة من المحاصيل التى يتم زراعتها تجاريًا فى الصوف الصخرى بنجاح كبير، ولنأخذ لذلك مثالاً من بعض المزارع التجارية بهولندا خلال عام ١٩٩٤ والتى توضح احتياجات ومتطلبات الزراعة لبعض المحاصيل فى الصوف الصخرى وانتاجيتها (جدول ٧ – ١).

ويلاحظ أن احتياجات محصول الطماطم Tomato تماثل نفس الاحتياجات لمحصول الفلفل Pepper كما أن متطلبات محصول الخيار Cucumber تماثل ما تتطلبه محاصيل كل من القاوون Melon والباذنجان Egg Plant (Aubergine) والكوسة أو القرع Squash، فى حين أن ما تحتاجه محاصيل القرنفل Carnation والجربيرا Gerbera والأقحوان Chrysanthemum تقل قليلاً عن احتياجات شجيرات الورد Roses.

جدول (٧ –١): يوضح احتياجات بعض المحاصيل عند زراعتها فى الصوف الصخرى والإنتاج المتحصل منها.

احتياجات المحصول	الطماطم Tomato	الخيار Cucumber	الورد Rose
المساحة بالمتر المربع	١٠٠٠	١٠٠٠	١٠٠٠
كثافة النباتات فى المتر المربع	٢,٥	١,٥	١٠
عدد النباتات = عدد مكعبات الإنبات والنمو = عدد المنقطات	٣٠٠٠–٢٨٠٠	١٩٠٠–١٦٠٠	١١٠٠٠–٩٠٠٠
عدد وسائد النمو بطول ٧٥سم	٩٠٠	٩٠٠ – ٨٥٠	١٤٠٠–١٠٠٠
كمية الأسمدة بالكيلوجرام	١٠٠	١٠٠	١٠٠
استهلاك المياه بالمتر المكعب	١٥٠٠	١٨٠٠	٢٠٠٠
عمر النبات حتى المحصول بالشهر	١٠ – ١١	١٠	١٢
المحصول بالكيلوجرام للمتر المربع	٦٥	٢٨	٢٠٠ زهرة
العمالة اللازمة لكل ٤٠٠٠ متر مربع	١	١	١

شكل (٧-٦): القياس الدورى لرقم الـ PH وتركيز الأملاح E.C في المحلول المغذي داخل وسائد النمو.

شكل (٧-٧): مزرعة من مزارع الصوف الصخري التي يتم فيها قياس وضبط رقمي الـ PH والـ E.C وتركيز العناصر المغذية تلقائياً عن طريق التحكم الآلي باستخدام الكمبيوتر.

والشكل رقم (٧ – ٨) يوضح نمو شجيرات الورد فى الصوف الصخرى بالإضافة إلى نمو نباتات الجربيرا والقرنفل (شكل ٧ – ٩) وبعض نباتات الخضر من الطماطم والخيار والفلفل والباذنجان (شكل ٧ – ١٠).

استخدام الصوف الصخرى فى الزراعة بطريقة النظام المغلق أو الدائرى
Closed or Recirculatory Rockwool System

١ – يتم إتباع الخطوات من ١ – ٣ من الطريقة السابقة.

٢ – يتم وضع سائد النمو فى طاولات من البلاستيك Trays (طولها بطول ٢–٣ وسائد وعرضها عرض وسادة أو وسادتين)، ثم توضع طاولات البلاستيك على أرض الصوبة أو خارجها بميل ١ : ٢٠٠، وفى نهاية الطاولة البلاستيك توجد فتحة بقطر ١,٢٥ – ٣,٧٥سم يثبت عليها ماسورة بلاستيك بنفس قطر الفتحة، وتتصل بماسورة تحمل المحلول الزائد إلى تنك التغذية:

٣ – تتبع الخطوات من ٦ – ٨ فى الطريقة السابقة.

٤ – يتم التغذية باستخدام المنقطات وإعادة استخدام المحلول الزائد مرة أخرى وتستمر التغذية بهذا النظام حتى نهاية المحصول.

الرى تحت السطحى للصوف الصخرى
Sub-Irrigation Rockwool System

١ – فى هذا النظام يتم وضع وسائد الصوف الصخرى فى طاولات من البلاستيك كل منها يتسع لوسادتين أو ثلاثة على أن تزود هذه الوسائد بفتحات فى سطحها السفلى.

٢ – يتم ضخ المحلول المغذى إلى الطاولات البلاستيك الحاوية لوسائد الصوف الصخرى حتى أقصى ارتفاع يجب أن يكون عليه المحلول فى الطاولة والوسادة والذى يوجد عنده فتحة جانبية لإعادة الزيادة إلى تنك التغذية.

٣ – يتم ضخ المحلول مرة واحدة يومياً فى المراحل الأولى للنمو ولمدة من ٥ – ١٠

دقائق تزاد بعد ذلك إلى ٣ – ٥ مرات شتاءً و٧–١٠ مرات صيفاً فى المراحل المتقدمة للنمو وحتى المحصول.

وتتميز هذه الطريقة بالاستخدام القليل للطاقة اللازمة لضخ المحلول، بالإضافة إلى تلافى مشاكل انسداد المنقطات.

إعادة استخدام وسائد الصوف الصخرى

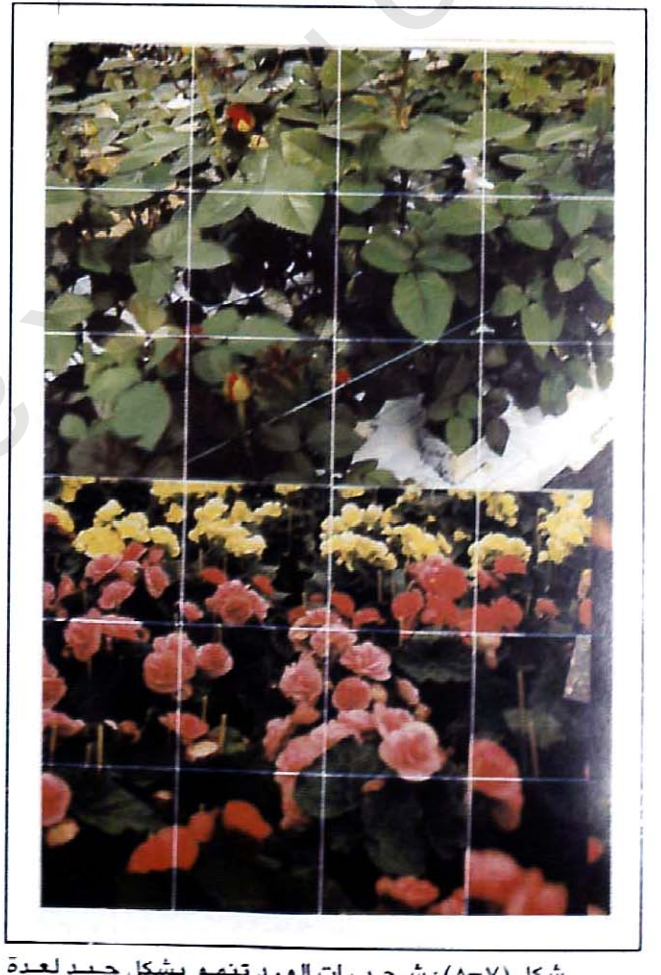
يمكن استخدام وسائد النمو لأكثر من عام، ولإعادة الاستخدام بشكل جيد يجب التخلص من الأملاح المترسبة بها من المحصول السابق أولاً ثم القضاء على الفطريات ثانياً.

التخلص من الأملاح المترسبة سبق الإشارة إليه أما القضاء على الفطريات فيتم كما يلى:

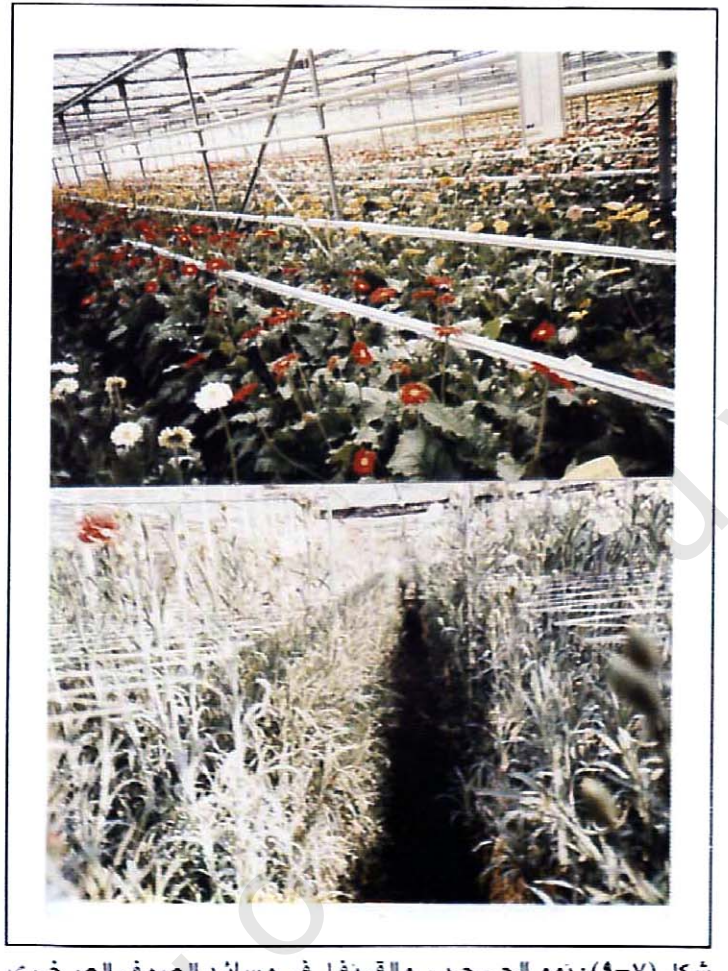
١ – يزال غطاء البلاستيك من على وسائد النمو وترص فوق بعضها فى شكل بالات ثم تغطى بإحكام بغطاء سميك من البلاستيك.

٢ – يمرر عليها بخار الماء لمدة ٣٠ دقيقة، وبعد أن تبرد يتم تغليفها بأغلفة البلاستيك وتكون بهذا جاهزة للاستخدام فى العام التالى.

فى بعض المناطق من العالم يستخدم بروميد الميثيل بدلاً من بخار الماء، وبنفس الخطوات السابقة وإن كان يفضل استخدام بخار الماء كمصدر طبيعي آمن عن استخدام بروميد المثيل كمركب كيماوي تؤدى زيادة تركيزاته إلي آثار جانبية ضارة.



شكل (٧-٨): شجيرات الورد تنمو بشكل جيد لعدة سنوات فى وسائد الصوف الصخري.



شكل (٧-٩): نمو الجرجير والقرنفل فى وسائد الصوف الصخري علي مساحات كبيرة تحت الصوب الزراعية بهولندا.

شكل (٧-١٠) النمو المتميز لبعض المحاصيل الخضر في وسائد الصوف الصخري.

ثانياً: صوف الخبث المصرى
Egyptian slagwool

ميلاد مادة نمو جديدة للمزارع اللاأرضية فى مصر

باستعراض المعلومات المتوفرة عن الصوف الصخرى ونجاح انتشاره واستخدامه كأفضل بيئة نمو وإنبات فى الزراعة اللاأرضية فى العالم حتي الآن، نجد أننا فى مصر فى حاجة إلى الصوف الصخرى أو أى بيئة نمو لها مثل خواصه ليشجع على انتشار هذه الزراعة على مستوى تجارى كبير. إلا أن أمر استيراد بيئة نمو لاستخدامها فى الزراعة لايكون إلا فى استخدامات خاصة لنباتات ذات عائد إقتصادى عالٍ وفى مساحات صغيرة مثلما يحدث مع مادة البيت موس Peat moss or peat compost التى تستخدم فى مشاتل الزينة والفاكهة. وأحسب أن هناك شيئاً ما ينتظر الزراعة اللاأرضية فى مصر باكتشاف مادة شبيهة تماماً للصوف الصخرى تنتج من أحد مصانعها الكبرى من مخلفات Waste materials محولات توماس والأفران العالية لاستخلاص الحديد، وهذه المخلفات تسبب مشكلة للمصنع فى تخزينها. هذه المخلفات بمصنع الحديد والصلب والتي تسمى جلخ محولات الصلب أو الخبث Slag لها بعض الاستخدامات البسيطة التى لاتستطيع استهلاك كل هذه الكميات الضخمة، ومن هذه الاستخدامات إضافتها إلى التربة الزراعية لزيادة نسبة الفوسفور الميسر بها، أو تستخدم فى بعض مصانع الطوب كمادة إضافية لتصنيع الطوب الأسمنتى، أو يتم إعادة تصنيعها Recycling فى مصانع الحديد والصلب ذاتها بصهرها على درجات حرارة عالية وتشكيلها فى صورة منتج جديد عبارة عن خيوط Fibers أو أصواف Woolتستخدم كعازل حرارى Insulation فى الأغراض الصناعية، هذا المنتج الجديد يسمى صوف الخبث المصرى Egyptian slagwool.

ويتركب خبث المعادن Slag (كمادة خام لصوف الخبث) من أكسيد الكالسيوم ٣٧٪ وأكسيد السليكون بنسبة ٣٤٪ وأكسيد الألومنيوم ١٣٪ وأكسيد المغنسيوم بنسبة ٥٪ وأكسيد الحديد بنسبة ١٪ وأكاسيد أخرى بنسبة ١٠٪.

وصوف الخبث Slagwool الناتج من الخبث يبلغ الحد الأقصى لقطر خيوطه ٨ ميكرون، ويمكن اعتباره بيئة نمو جيدة من خلال التجارب الأولية التى قام بها Sherif وآخرون سنة ١٩٩٣ مقارنة ببعض بيئات الزراعة اللاأرضية الأخرى مثل البرليت–الفيرميكوليت بالإضافة إلى الصوف الصخرى (شكل ٧ – ١١).

ويتميز صوف الخبث Slagwool بكل ما يتميز به الصوف الصخرى Rockwool من صفات مع بعض الفروق التى تظهر من خلال النقاط التالية:

١ – سعة احتفاظ صوف الخبث بالماء (بعد ٢٤ ساعة من التشبع بالماء ورشح الزائد) يبلغ ٩٣٦٪ مقابل ٦٥٤٪ للصوف الصخرى.

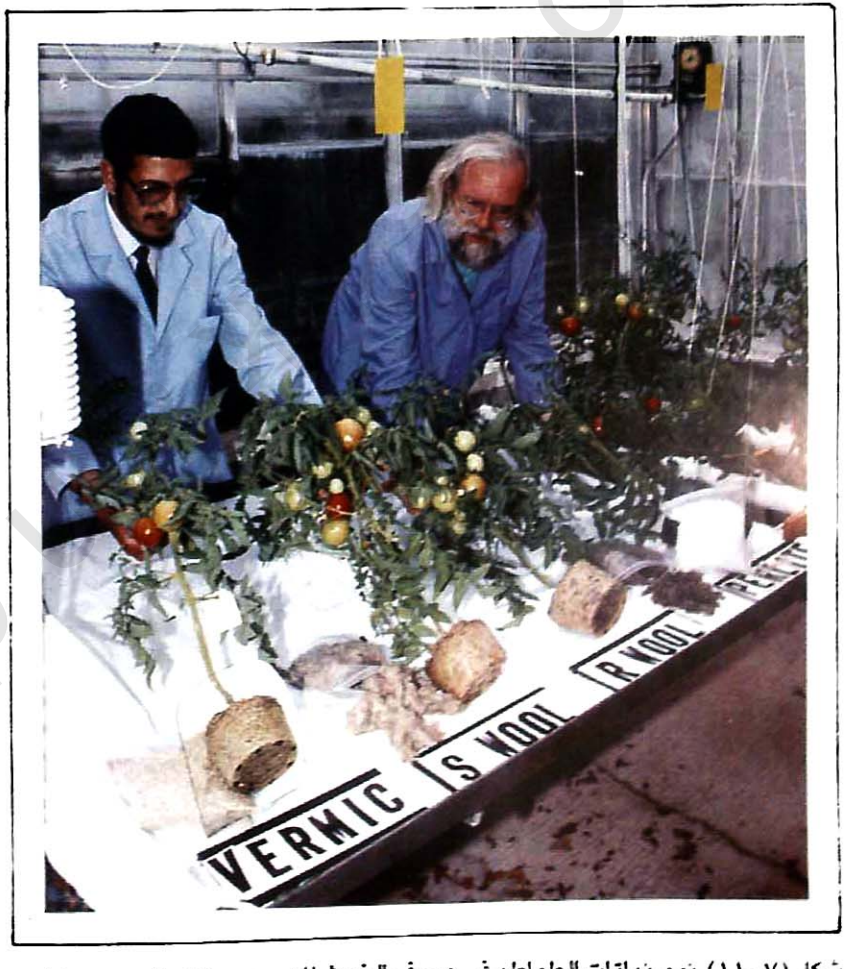
٢ – رقم الحموضة أو رقم الـ pH ٧,٤ فى مستخلص ١:٢٠ ماء مقطر (بعد ٤٨ ساعة) مقابل ٧,٨٥ للصوف الصخرى.

٣ – التوصيل الكهربى ٤٠ ميكروموز/سم مقابل ٢٠ ميكروموز/سم للصوف الصخرى.

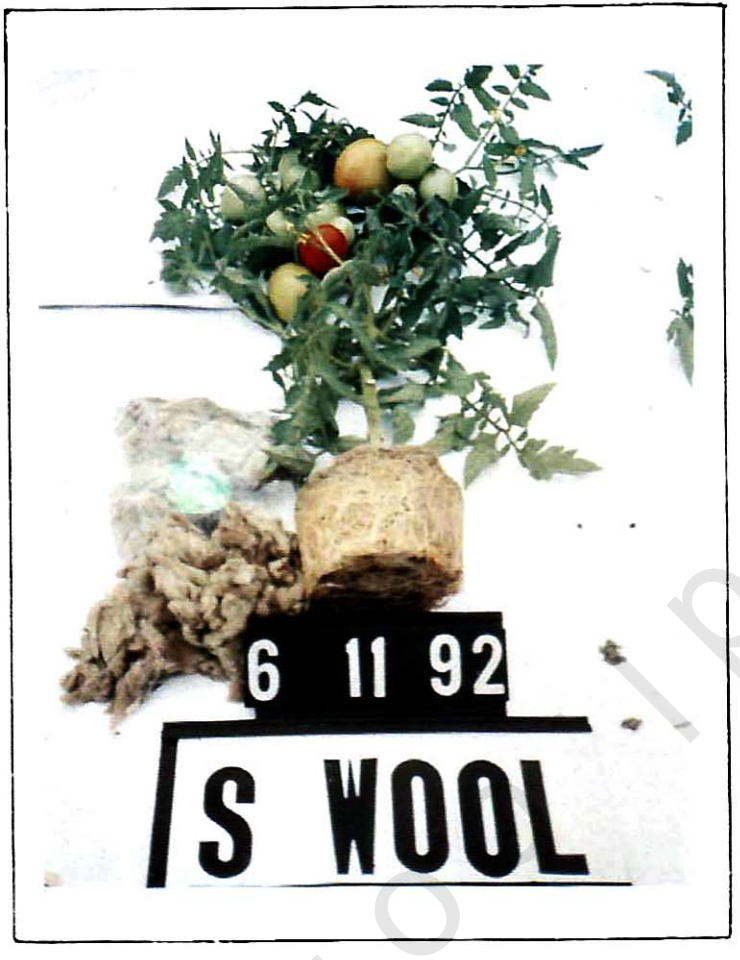
٤ – الكثافة الظاهرية ٠,٠٨٥ جم/سم٣ مقابل ٠,٠٧٥ جم/سم٣ للصوف الصخرى.

٥ – الفحص الميكروسكوبى وتحليل الاختلاف الحرارى أوضح أن خيوط صوف الخبث أكثر اندماجاً وأكثر ثباتاً من خيوط الصوف الصخرى.

ومما يشجع على الاهتمام بصوف الخبث المصرى كبيئة إنبات ونمو، ليس فقط نمو نباتات الطماطم به بشكل جيد (شكل ٧ – ١٢ أ)، وإنما أيضاً ما أظهره من تبكير فى نضج الثمار بمقدار أسبوعين إلى ثلاثة أسابيع مقارنة بنباتات الطماطم



شكل (٧-١١) نمو نباتات الطماطم في صوف الخبث المصري مقارنة بنموها في بيئات الصوف الصخري والفيرميكيوليت والبرليت.



شكل (٧-١٢أ) بيئة صوف الخبث المصري ونمو أول نبات طماطم بها.

شكل (٧-١٢ب): التبكير في نضج ثمار نباتات الطماطم النامية في صوف الخبث المصري مقارنة بمثيلتها النامية في الصوف الصخري.

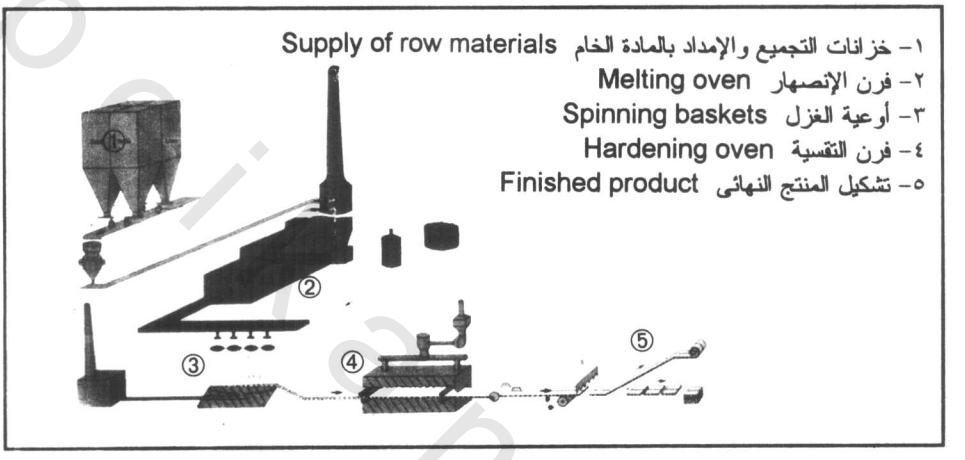
النامية فى الصوف الصخرى (شكل ٧ – ١٢ ب).

استخدام صوف الخبث فى الزراعة:

إن صوف الخبث الموجود فى مصر الآن يوجد فى الصورة السائبة أو المفككة Loose - wool، وهذه يمكن استخدامها فى صورتها الحالية كمادة إنبات بوضعها فى أصص صغيرة مثقبة قطر ٥ – ٨سم وارتفاع ٤ – ٥سم واستخدام هذه الأصص والبادرات فى مزارع الأغشية المغذيةNFT ومزارع المحاليل المغذية الساكنة SNSC أو استخدامها كبيئة نمو لزراعة بعض النباتات الاقتصادية فى أصص وغيرها من نظم الزراعة اللاأرضية، وهذا كله يمكن أن يتم بصورة مبدئية إلى جانب استخدامها كمحسن لصفات الأراضي الرملية، إلا أن الأمر يتطلب تصنيع هذه المادة الجديدة فى كل صور وأشكال الصوف الصخرى من مكعبات وبلوكات الإنبات Propagation cubes and blocks ووسائد النمو Growing slabs بالمقاسات المتداولة من الصوف الصخرى حتى يمكن الاستفادة من صوف الخبث بأقصى طاقة ممكنة ليتسنى لنا استخدامه بالطريقة التى يستخدم بها الصوف الصخرى، وهذا ما نتطلع إليه فى المستقبل القريب بالتعاون مع مصنع الحديد والصلب بحلوان الذى ينتج من صوف الخبث حاليًا ٥٠٠٠ طن فى السنه للاستخدام الصناعى بسعر ٢٥٠٠ جنيه مصرى للطن ، ومن المؤكد أن ظهور استخدامات زراعية لهذا المنتج سوف يزيد من معدل تصنيعه فإذا زاد الطلب وأمكن تحويل كل مخلفات الخبث إلى صوف خبث والقضاء على مشكلة تخزينة بالمصنع فإن ذلك يعد مكسبًا فى حد ذاته إلى جانب ما سوف يدره من عائد اقتصادى كبير، بل يمكن أن يؤدي الأمر إلي تصنيع الصوف الصخرى نفسه فى مصر، حيث إن طريقة تصنيع الصوف الصخرى وصوف الخبث واحدة والفرق فقط فى المادة المحولة ولدينا من الصخور الكثير.

ثالثاً: مزارع الصوف الزجاجى
Glasswool Cultures

يصنع الصوف الزجاجى من رمل الكوارتز النقى Pure quartz sand الموجود فى كثير من صحارى العالم.. وتتم عمليات التصنيع من خلال خمسة مراحل محددة (شكل ٧ – ١٣).



شكل (٧-١٣) : خطوات تصنيع الصوف الزجاجى من رمل الكوارتز النقى

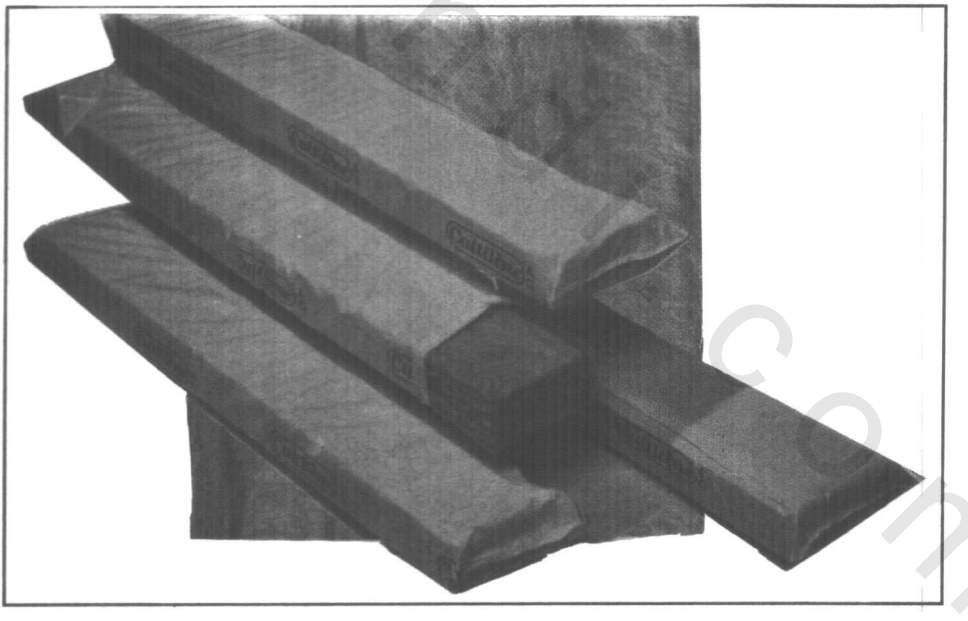
١ – يتم تجميع المادة الخام وتوضع فى حاويات خاصة متصلة بفرن الانصهار.

٢ – تنتقل المادة الخام بعد التخلص من أى شوائب عالقة بها إلى فرن الانصهار، حيث تخلط بالحجر الجيرى ويتم صهرها على درجة حرارة ١٤٠٠ درجة مئوية.

٣ – ينتقل هذا الخليط المنصهر إلى أوعية الغزل Spinning baskets ذات الجدر المثقبة والتى تدور بسرعة دوران عالية محدثة طرداً مركزيًا قوياً، يدفع المادة المنصهرة إلى الخارج من ثقوبها مكونة خيوط الصوف الزجاجى اللينة فى صورة سهلة التشكيل Flexible glasswool fibers، وفى هذه المرحلة أيضًا تتعرض هذه الخيوط إلى ضغط مرتفع من الغاز يعمل على استطالة الخيوط وجعل كل منها فى صورة فردية.

٤ – تنقل الخيوط الفردية اللينة المتكونة من المرحلة السابقة من خلال سير ناقل متحرك Conveyer belt إلى فرن التقسية Hardening oven الذى يعمل على تقوية الخيوط وتجفيفها على درجة ٢٥٠ درجة مئوية. ثم بعد ذلك يحدث إندماج للخيوط بعضها ببعض مكونة حصيرة من الصوف الزجاجى. وتتحكم أجهزة الكمبيوتر فى المسافة بين ٢ من السيور الناقلة لخيوط الصوف الزجاجى داخل فرن التقسية (أحدهما سفلى والآخر علوى) وفى سرعتيهما وهو ما يحدد سمك وكثافة حصيرة الصوف الزجاجى الناتج.

٥ – تنتقل حصيرة الصوف الزجاجى إلى حيث المرحلة الأخيرة من مراحل التصنيع، وفيها يتم تقطيع حصيرة الصوف الزجاجى إلى الأشكال والمقاسات المطلوبة ومنها مكعبات وبلوكات الإنبات ووسائد النمو (شكل ٧ – ١٤)، ثم يتم بعد ذلك تغليف هذه المنتجات تمهيداً لعمليات التسويق والاستغلال الزراعي.



شكل (٧–١٤) : وسائد الصوف الزجاجى مغلفة وجاهزة للاستخدام بنفس طريقة الصوف الصخرى

وللصوف الزجاجى مميزات عديدة تجعله بيئة نمو جيدة لكثير من النباتات التى تم زراعتها به مثل الطماطم والخيار والفلفل والباذنجان والخس والجربيرا والورد والقرنفل والأعشاب الطبية والعطرية. ومن مميزات الصوف الزجاجى مايلى:

١ - يمكن التحكم فى إنتاج الصوف الزجاجى بدرجات مختلفة متدرجاً من الصوف الزجاجى الجاف إلى الرطب جداً على حسب متطلبات السوق.

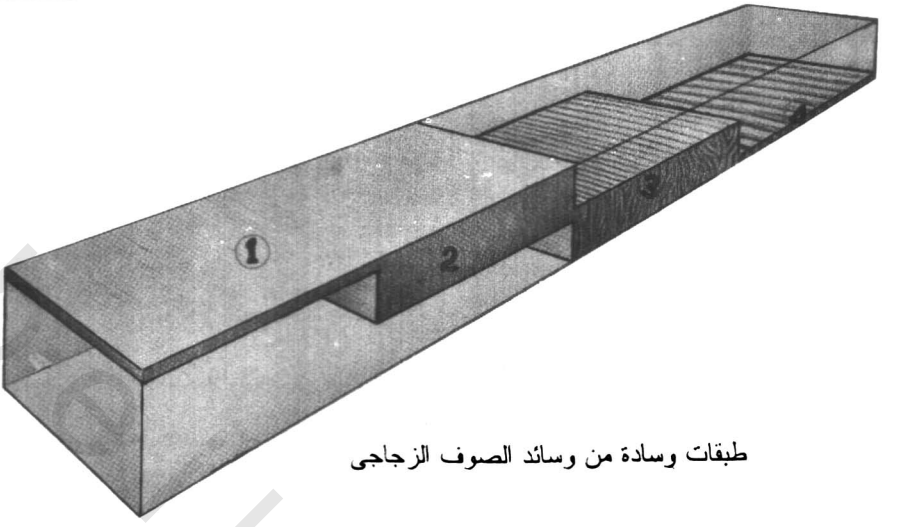
٢ - التوزيع الجيد للماء فى الصوف الزجاجى وبشكل متجانس يساعد جذور النباتات على الإنتشار أفقيًا ورأسيًا معطية قوة وكفاءة للمجموع الجذرى.

٣ - يحتوى الصوف الزجاجى على قدر جيد من الهواء مع قدرة تنظيمية كافية Sufficient buffering capacity، وهذا يعنى كفاية فى الأكسيجين ومقاومة للتغير السريع فى رقم pH المحلول مما يوفر بيئة مناسبة لنمو الجذور وامتصاص العناصر الغذائية من المحلول.

٤ - الصوف الزجاجى خفيف الوزن سهل الاستخدام مما يوفر الجهد والمال.

٥ - يمكن إعادة استغلال الصوف الزجاجى بعد استخدامه فى الزراعة Recycling خاصة فى المزارع التى تستخدم هذه البيئة على نطاق واسع، حيث يتم طحن وسائد ومكعبات النمو ثم يتم تسخينها على درجة حرارة قدرها ٥٠٠ درجة مئوية، وخلال عمليات التسخين هذه تنطلق بعض الغازات التى تتميز بقابليتها للاشتعال Inflammable والتى تستخدم فى تدفئة الصوبة وفى تعقيم وسائد النمو الأخرى التى مازالت قابلة للاستخدام فى الزراعة.

وخيوط الصوف الزجاجى تنتج فى شكل خيوط رفيعة وناعمة Fine and thin fibers وأخرى خشنة وأكثر سمكاً Coarse and thick fibers (شكل ٧ - ١٥).



طبقات وسادة من وسائد الصوف الزجاجى

شكل (٧- ١٥): إعداد وسائد نمو الصوف الزجاجى بتوليفات من الصوف الزجاجى الناعم والخشن

والخيوط الرفيعة لها قدرة أكبر على الاحتفاظ بالماء (٨٥٪ ماء، ١٠٪ هواء، ٥٪ لخيوط الصوف الزجاجى) أكثر من الخيوط الخشنة (٨٠٪ ماء، ١٥٪ هواء، ٥٪ لخيوط الصوف الزجاجى) مما يجعل الخيوط الرفيعة تقوم بدور تحسين خواص الاحتفاظ بالماء، بينما الخيوط الخشنة تعمل على تحسين خاصية التهوية والصرف الجيد. كما أن الخيوط الخشنة تعمل على تحسين الخواص الميكانيكية لوسائد الصوف الزجاجى، حيث يمكنها من مقاومة الضغط الواقع عليها ويقلل من انضغاطها. فعند وضع ثقل قدره ١ كيلوجرام على وسادة من الصوف الزجاجى ذات الخيوط السميكة والخشنة فإنها تنضغط وينخفض ارتفاعها بمقدار ٠,٥ سم، بينما نفس الثقل على وسادة من وسائد الصوف الزجاجى ذات الخيوط الرفيعة والناعمة تنضغط أكثر ويقل ارتفاعها بمقدار ١,٥ سم.

ومن هذه الخصائص الخاصة بخيوط الصوف الزجاجى أمكن تصنيع وسائد للنمو بطريقة تجمع كلاً من الخيوط الرفيعة والخشنة ليس مزجًا كاملاً بينهما ولكن بترتيب معين يجعل الوسادة مكونة من ٤ طبقات (شكل ٧ – ١٥) وهى:

١ – **الطبقة الأولى**: هى الطبقة السطحية وتتكون فقط من الخيوط الرفيعة ذات المسام الصغيرة والضيقة Only fine fibers with small pores وسمكها قليل والتى تساعد على تحسين توزيع المياه أفقياً بنسبة ٢٠٪ تقريباً.

٢ – **الطبقة الثانية**: وهى الطبقة التى تلى الطبقة السطحية وتتكون من الخيوط الرفيعة والسميكة Mixture of fine and coarse fibers مع زيادة نسبية فى نسبة الخيوط الرفيعة فى اتجاه السطح العلوى مما يحسن من توزيع وانتشار الماء رأسيا، ويجعل الاختلاف فى كمية الماء فى وسائد النمو فيما بين القمة والقاعدة قليل.

٣ – **الطبقة الثالثة**: وهى تلى الطبقة السابقة وتتكون أيضًا من الخيوط الرفيعة والسميكة مع زيادة نسبية فى نسبة الخيوط الخشنة والسميكة فى اتجاه السطح السفلى.

٤ – **الطبقة الرابعة**: وهى الطبقة السفلية والأخيرة وتتكون فقط من الخيوط الخشنة

فى وجود ثقوب واسعة Only coarse fibers with big pores وسمكها قليل، حيث تساعد على سرعة الصرف وزيادة نسبة الهواء (الأكسيجين) فى الطبقة السفلى والذى وجد أن نسبته بها حوالى ٤٠ ٪ تحت ضغط – ٣,٧٥سم، فى حين أن هذه النسبة فى وجود الخيوط الرفيعة تبلغ حوالى ١٥ ٪ فقط تحت ظروف التشبع والصرف.

وبهذه التوليفة من خيوط الصوف الزجاجى الرفيعة الناعمة والسميكة الخشنة أمكن الحصول على وسائد للنمو ذات مواصفات جيدة ومثالية لنمو النباتات بها.

طريقة الزراعة والتغذية فى الصوف الزجاجى:

لاستخدام الصوف الزجاجى Glasswool فى الزراعة تتبع نفس طرق إعداد البادرات وزراعتها وخدمتها وتغذيتها فى الصوف الصخرى Rockwool.

opeikandl.com

رابعاً: الزراعة فى ألياف الفوم
Foam Fibers Culture

سبق الحديث عن الفوم فى الفصل السادس، ولكن ليس فى صورة الألياف وإنما فى صورة الحبيبات أو Granules فيما يعرف بالبلاستيك المتمدد Expanded plastic كأحد البيئات الصلبة المستخدمة فى الزراعة اللاأرضية.

ويتم تصنيع أليـاف الفـوم Foam fibers من مـركـبـات البـولى يوريثان Polyurethane بواسطة إحدى الشركات العاملة فى مجال الزراعة اللاأرضية بهولندا . والفوم الناتج عبارة عن ألياف تشبه القطن أو الصوف Flocks خاملة كيميائيًا، خفيفة الوزن، ثابتة التركيب والتكوين، لها القدرة على حفظ الماء والتخلص من الزيادة منه بنفس الدرجة (شكل ٧ – ١٦).

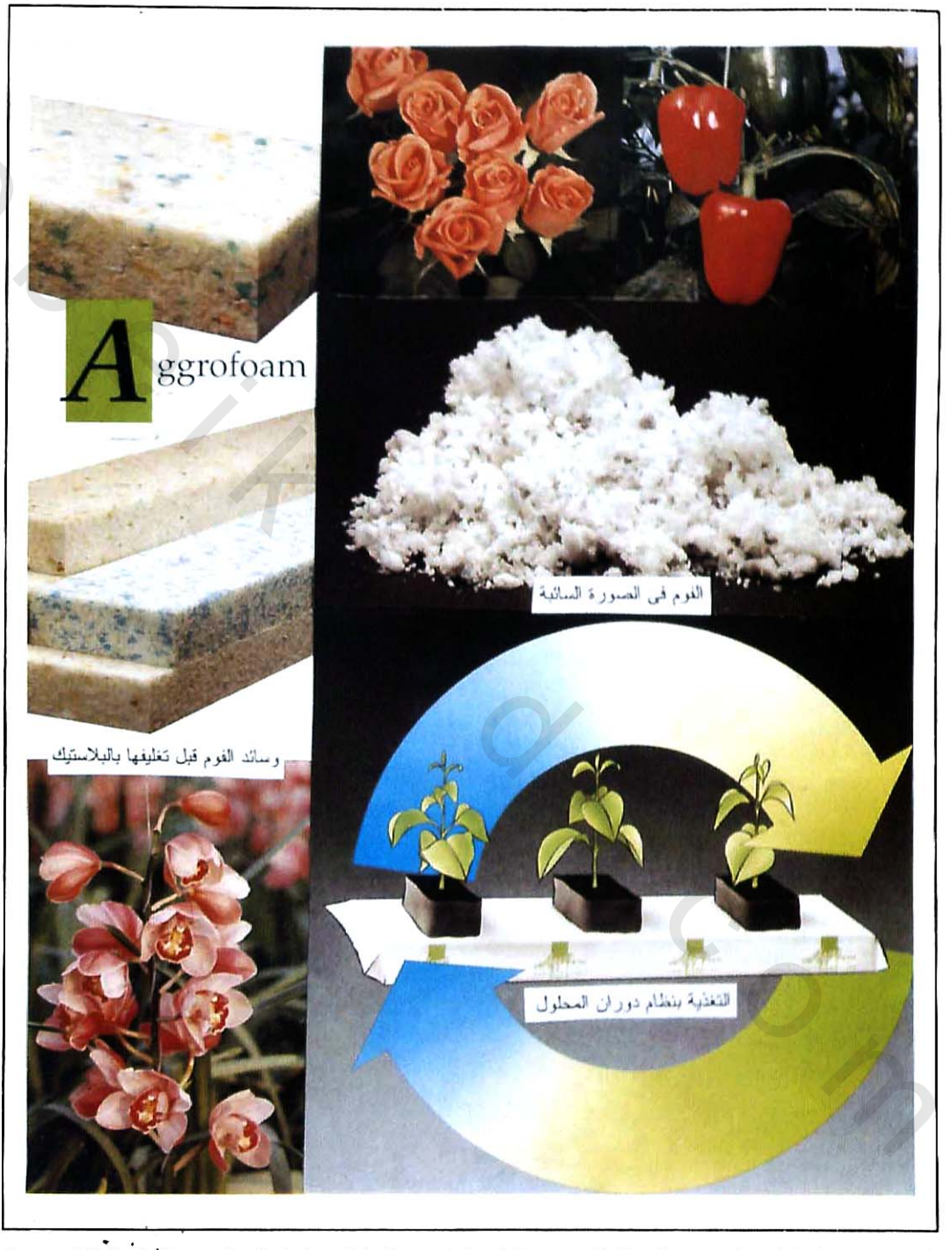
وهذا المنتج فى الصورة السائبة والمفككة يتم ضغطه فى صورة بلوكات متجانسة ذات كثافة محددة. وأثناء هذه العملية تتعرض خيوط الفوم لتيار من بخار الماء على درجة حرارة قدرها ١٢٠ درجة مئوية، حيث تعمل على تعقيم البلوكات المجهزة من ناحية والعمل على ثبات بنائها من ناحية أخرى.

وبلوكات ووسائد الفوم تتميز بأنها:

١ – بيئة جافة Dry substrate تحتوى على نسبة مناسبة من الهواء إلى الماء Air-Water ratio مما يشجع على تكوين مجموع جذرى قوى.

٢ – ذات خواص صرف ممتازة بما يسمح بالتخلص من أى ترسيبات للأملاح بسهولة، وفى نفس الوقت تجعل منها بيئة مناسبة لاستخدام طريقة التغذية بالمحلول الدائر Recirculation system أو فيما يعرف بالنظام المغلق Close system.

٣ – بيئة متعادلة ولاتتأثر بتغير رقم الـ pH أو درجة التوصيل الكهربى E.C مما يجعلها بيئة مثلى للنمو.



شكل (٧-١٦): الفوم فى صورة سائبة ومجهزة في شكل وسائد للاستخدام الزراعي بالأنظمة المفتوحة open systems **والمغلقة** Closed systems.

٤ – تستخدم لفترات طويلة (من ٥ – ١٠ سنوات).

٥ – سهلة التعقيم بالبخار ولايحدث أى تغير فى الخواص أو فى الكفاءة نتيجة الاستخدام أو التعقيم.

٦ – بعد استخدامها فى الزراعة يمكن إعادة تصنيعها Recycling مرة أخرى.

الزراعة فى ألياف الفوم:

بنفس الوسائل المتبعة فى الزراعة مع الصوف الصخرى تتم الزراعة فى وسائد ألياف الفوم.

obeikandl.com

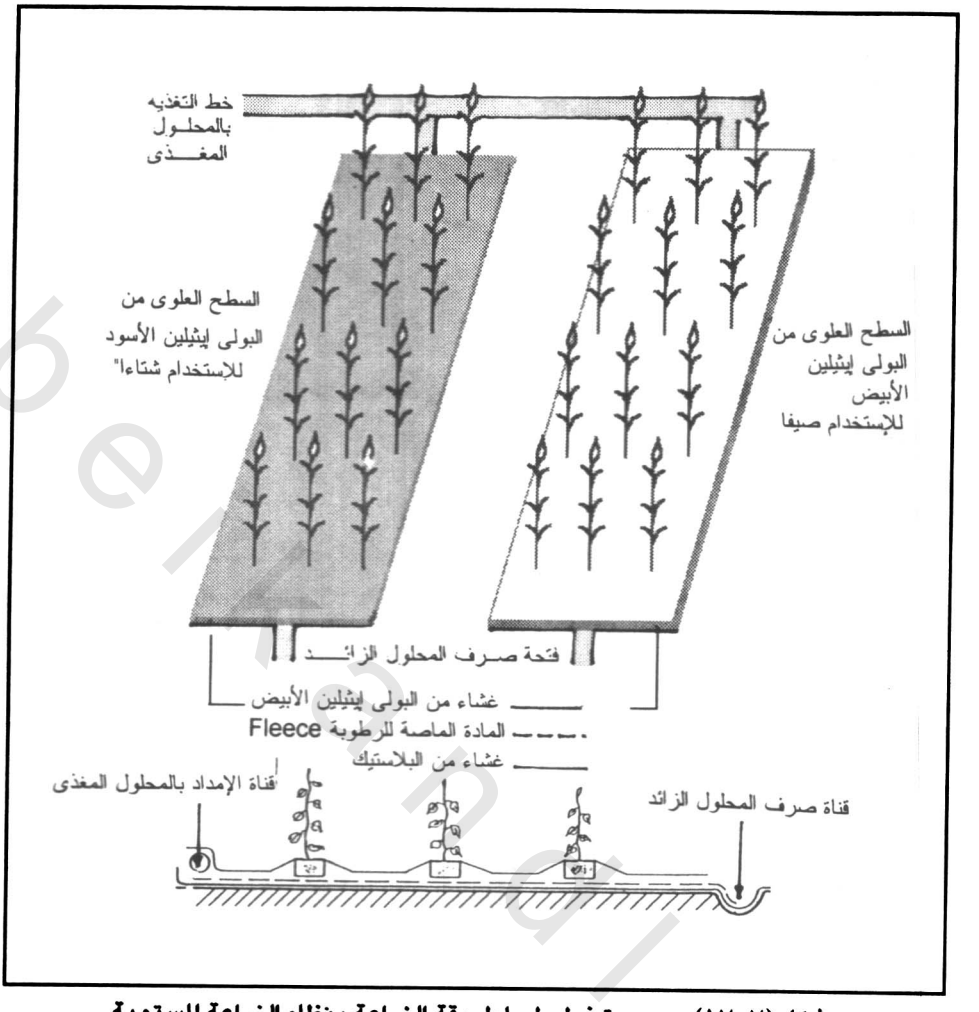
خامساً: زراعة النباتات المستوية
Plant Plane Culture

هذا النظام من نظم الزراعة اللاأرضية يعتمد على استخدام مادة مخلقة صناعيًا من البوليمرات فيما يشبه الأقمشة الصوفية والتى تعرف باسم الفليس Fleece والسلسلة الكيميائية له من البولى ايستر Polyester، ولذلك يسمى بولى إيستر فليس Polyester fleece وهو من النوع المحب للماء، ويعتبر بيئة للنمو وتم إجراء التجارب عليه منذ سنة ١٩٨٧ بواسطة Fritz Schroder بأحد معاهد إنتاج الخضر بألمانيا، فكيف يستخدم هذا القماش الصناعى أو هذه البيئة فى الزراعة؟

تتلخص طريقة الزراعة بهذا النظام فيما يلى:

١ – فرد القماش الصناعى أو الفليس بين طبقتين من شرائح البلاستيك فيما يشبه السندوتش Sandwich حيث تعمل الطبقة السفلى على منع تسرب الماء والمحلول المغذى والطبقة العليا تمنع البخر وتمنع نمو الطحالب، كما تعمل شرائح البلاستيك على حماية الجذور من أشعة الشمس صيفاً (وهذا يوجب استخدام البلاستيك ذو اللون الأبيض) وتدفئتها شتاءً (باستخدام البلاستيك ذو اللون الأسود).

٢ – تجهز أرض الصوبة جيداً بحيث تكون مستوية وبميل ١–٢ ٪ ثم يفرد عليها سندوتشات البلاستيك بالفليس لتعطى طبقة مسطحة وغير سميكة، ويتم توصيل أنابيب المحلول المغذى بها من أحد الأجناب القريبة من تنك التغذية (شكل ٧ – ١٧).



شكل (٧-١٧) : رسم تخطيطى لطريقة الزراعة بنظام الزراعة المستوية

٣ – يتم تشبيع الفليس بالماء ثم تنقل إليه بادرات النباتات النامية فى مكعبات الصوف الصخرى من خلال فتحات فى طبقة البلاستيك العلوية وعلى مسافات تتناسب مع مسافات الزراعة لكل محصول لتلامس مباشرة طبقة الفليس.

٤ – يعمل النظام بطريقتين:

النظام المفتوح Open system حيث يتم التخلص من المحلول الزائد عن طريق فتحات فى الجانب المقابل لإتجاه دخول المحلول المغذى.

النظام المغلق Closed system وفيه يتم تجميع المحلول وإعادته إلى خزان التغذية لإعادة ضخه مرة أخرى.

وفى كل الأحوال فإن معدل ضخ المحلول يتوقف على نوع وعمر النبات والحالة الجوية السائدة.

ولقد استخدم هذا النظام فى زراعة عدد من محاصيل الخضر منها الطماطم والخيار والفلفل والباذنجان والشمام وأنواع مختلفة من الخس والبسلة والفجل بالإضافة إلى بعض حوليات نباتات الزينة مثل الأقحوان والقرنفل. وكان المحصول المتحصل عليه من الطماطم ٣٥,٣ كيلوجرام للمتر المربع (١٤٨,٣ طن للفدان) ومن الخيار ٤٨,٩ كيلوجرام للمتر المربع (٢٠٥,٤ طن للفدان) ومن الفلفل ١٦,٣ كيلوجرام للمتر المربع (٦٨,٥ طن للفدان)، ومن الباذنجان ٥,١ كيلوجرام للمتر المربع (٢١,٤ طن للفدان) ومن البسلة ١,٥ كيلوجرام للمتر المربع (٦,٣ طن للفدان) ومن الشمام ٤,١ كيلوجرام للمتر المربع (١٧,٢ طن للفدان) ومن الخس ٥,٦ كيلوجرام للمتر المربع (٢٣,٥ طن للفدان).

والنظام بهذه النتائج يعتبر من الأنظمة الجيدة فى الزراعة اللاأرضية، هذا فضلاً على:

١ – إنه نظام اقتصادى حيث يوفر نحو ٣٠٪ من التكاليف الإنشائية مقارنة بأنظمة الزراعة اللاأرضية الأخرى.

٢ – المادة تستخدم من ٢ – ٥ مرات.

٣ – لاتحتاج إلى مهارة عالية فى التنفيذ.

ويمكن استخدام أى مادة شبيهة مسطحة ورقيقة مثل ورق البيتPeat paper والفسكوس فليس Viscose Fleece، بالإضافة إلى أى مخلفات معدنية أو عضوية يمكن تشكيلها فى طبقات رقيقة جداً وتستخدم بنفس الطريقة. وفى مصر يمكن أن تستخدم أجولة الخيش المصنعة من خيوط الكتان فى الزراعة بنظام Plant plane، ويمكن أن نصل –إن شاء الله– إلى نتائج إيجابية خلال عام ١٩٩٥ حيث يقوم Sherif وآخرون بإجراء بعض التجارب حول هذا الموضوع.