ولتجنب حدوث هذه الحالات التى قد تقضى على المزرعة المائية . يفضل تغيير المحلول المغذى المستعمل كليًا بعد نحو ٣ أسابيع من الاستعمال (المصاحب بإضافات من المحلول المغذى تبعا لقراءة التوصيل الكهربائى). تنخفض إلى نحو أسبوع واحد فقط فى النباتات البالغة القوية النمو

أضرار نقص العناصر أو زيادة تركيزها عن المستويات الحرجة للنمو النباتى

ليس من بين أهداف هذا الكتاب استعراض العناصر الغذائية الضرورية وتأثيرها على نمو وتطور النبات. فذلك أمر تناولناه بالتفصيل فى كتاب "أساسيات وفسيولوجيا الخضر (حسن ١٩٩٧)" ونكتفى فى هذا المقام بتقديم عرض موجز لأعراض نقص مختلف العناصر. وكذلك أعراض التسمم بها.

أعراض نقص العناصر

أولا: العناصر الكبرى:

١ النيتروجين

يؤدى نقص العنصر إلى ظهور لون أصفر متجانس يشمل كل الورقة فى النباتات ذات الفلقتين. بينما يكون الاصفرار فى وسط نصل الورقة فقط، مع بقاء حوافها خضراء اللون فى ذوات الفلقة الواحدة وتظهر الأعراض فى كلتيهما على الأوراق السفلى أولاً، فالتى تليها وهكذا ويكون نمو النباتات بطيئًا ومتقزمًا. ثم يصبح النبات متخشبًا، وتكون جميع الأعضاء النباتية أصغر حجمًا من نظيراتها فى النباتات التى لا تعانى نقص النيتروجين

٢- الفوسفور.

يؤدى نقص الفوسفور فى النباتات ذوات الفلقتين إلى ظهور لون أحمر أو أرجوانى على العروق الرئيسية بانصال الأوراق – خاصة على الجانب السفلى للورقة – وأعناق الأوراق. والسيقان، بينما تبقى العروق الحديثة فى الأوراق خضراء اللون، إلا فى حالات

النقص الشديد، حيث تكتسب – هى الأخرى – لونًا أرجوانيًّا. أما فى ذوات الفلقة الواحدة، فإن نقص العنصر يؤدى إلى ظهور لون أحمر أو أرجوانى فى مناطق مختلفة من الورقة. وفى كلتيهما .. يكون ظهور الأعراض على الأوراق السفلى أولاً، فالتى تليها ... وهكذا. وعمومًا .. يكون النمو النباتى بطيئًا. ويتأخر النضج فى حالات نقص العنصر.

٣- البوتاسيوم:

تظهر أعراض نقص العنصر على الأوراق المسنة أولاً، وتكون فى ذوات الفلقتين فى صورة اصفرار خفيف على حواف الأوراق، يتبعه تقدم الاصفرار على امتداد العروق، ثم يتغير لون الحواف إلى اللون الرمادى، ثم إلى اللون البنى القاتم. وفى ذوات الفلقة الواحدة يبدأ الاصفرار من قمة الورقة، ثم يمتد إلى أسفل عبر الحواف، بينما يبقى مركز الورقة أخضر اللون. ويصاحب نقص العنصر عدم تجانس نضج الثمار وضعف قدرتها على التخزين.

٤- الكالسيوم:

تبدو الأوراق الحديثة بلون أخضر باهت، ثم تظهر عليها بقع متحللة، وتلتف حوافها إلى أسفل. وتكون حواف الأوراق الحديثة – أحيانًا – متموجة وغير منتظمة النمو، كما يكون النبات متخشبًا ومتقزمًا. ويصاحب نقص العنصر ظهور عديد من العيوب الفسيولوجية، مثل تعفن الطرف الزهرى فى الطماطم والفلفل.

٥- المغنيسيوم:

يظهر اصفرار بين العروق فى الأوراق السفلى للنبات، ثم يتغير لون هذه الأنسجة – تدريجيًا – إلى اللون البنى، بينما تبقى العروق خضراء اللون وتكون بداية ظهور الأعراض فى حواف الورقة، ثم تتجه – تدريجيًّا – نحو مركزها. كما يؤدى نقص العنصر إلى تأخر الإزهار

٦- الكبريت:

تبدو الأوراق الحديثة صفراء اللون، ويكون الاصفرار أكثر وضوحًا فى عروق الورقة، كما تظهر مناطق ميتة قرمزية اللون عند قواعد الأوراق.

ثانيا: العناصر النادرة:

إن طبيعة المزارع اللاأرضية تجعل من الممكن أن تظهر فيها أعراض نقص بعض العناصر النادرة بصورة أكثر وضوحًا مما فى الزراعات الحقلية، نظرًا لأن التربة نادرًا ما تكون خالية تمامًا من الصور الميسرة من هذه العناصر، بينما قد يحدث ذلك فى المزارع المائية أحيانا

ومن أهم أعراض نقص العناصر النادرة، خاصة الأعراض التى تكثر فى المزارع المائية ما يلى.

١- الحديد

يظهر لون أصفر بين العروق فى الأوراق العليا ومع استمرار نقص العنصر يتحول لون الأنسجة بين العروق إلى اللون الأبيض العاجى. بينما تبقى العروق خضراء اللون

٢- الزنك.

يظهر اصفرار بين العروق فى الأوراق. بينما تبقى العروق خضراء اللون، وتكون الأوراق صغيرة، وضيقة، ومشوهة، ومتزاحمة على أفرع قصيرة، والسيقان متقزمة

٣- النحاس.

يؤدى نقص العنصر إلى ظهور اصفرار وشحوب وبهتان فى لون الأوراق، يتبعه فقدان اللون الأخضر كلية فى قمة الأوراق، فتبدو وكأنها محترقة. ويؤدى نقص النحاس الميسر للامتصاص عن نصف جزء فى المليون إلى تفلق ثمار الطماطم — أحيانا - فى الحو الحار

٤ - البورون

يسبب نقص العنصر انهيارًا فى الأنسجة الميرستيمية النشطة فى الانقسام، وهى القمم النامية ومناطق الكامبيوم، فتموت القمم النامية، وتتشوه الأوراق

الحديثة، وتظهر بقع بنية أو سوداء فلينية فى أعضاء التخزين، ولكن أكثر الأعراض شيوعًا هى التفاف حواف الأوراق الصغيرة. وتكون سيقان النباتات التى تعانى نقص العنصر سهلة التكسر.

كما يؤدى نقص البورون إلى ظهور تشققات دائرية دقيقة وسطحية جدًا فى جلد ثمار الطماطم حول الأكتاف، وقد تظهر تشققات طولية مماثلة فى ثمار الفلفل تكون واضحة بصفة خاصة فى الصنف جالابينو Jalapeno.

٥- المنجنيز:

يظهر اصفرار بين العروق فى الأوراق الحديثة للنبات، ويلى ذلك ظهور بقع صغيرة ميتة ومتحللة على امتداد وسط الورقة، بينما تبقى العروق خضراء اللون.

٦- الموليبدنم:

يؤدى نقص العنصر إلى تشوه الأوراق الحديثة — حيث لا ينمو نصل الورقة بصورة منتظمة — مع موت البرعم الطرفى. وتقزم النمو.

أعراض التسمم الناشئ عن زيادة تركيز العناصر

لا تختلف أعراض التسمم النباتى الناشئة عن زيادة تركيز العناصر الغذائية فى المزارع اللاأرضية عما فى المزارع الحقلية، إلاّ أن طبيعة المزارع اللاأرضية واعتمادها على محاليل مغذية يتم تحضيرها أولاً بأول يزيد من احتمالات ظهور حالات التسمم النباتى بها، بسبب عامل الخطأ الإنسانى الذى قد يحدث فى تحضير المحاليل المغذية، أو عند تعديل تركيز العناصر فى الحالات التى يستمر فيها استعمال المحاليل نفسها لعدة أسابيع.

هذا .. ولا تظهر أعراض التسمم إلاّ بعد زيادة تركيز الأملاح السمادية إلى أكثر من ثلاثة إلى أربعة أضعاف التركيز المناسب. أما قبل ذلك، فإن الأعراض لا تتعدى ظهور علامات التقسية أو الأقلمة على النباتات على شكل تقزم وتخشب فى النمو، مع تلون الأوراق باللون الأخضر القاتم.

ومما تجدر الإشارة إليه أن النباتات تتحمل الزيادة فى تركيز عنصر ما عندما تكون بقية العناصر متوفرة بالتركيزات المناسبة بدرجة أكبر مما لو كان هناك نقص فى بعض هذه العناصر وكمثال على ذلك نجد أن الطماطم تتحمل زيادة تركيز عنصر النحاس حتى جزء واحد فى المليون عندما تتوفر العناصر الأخرى بالقدر المناسب، بينما تظهر أعراض التسمم بالنحاس عند تركيز ٢ ، جزءا فى المليون إن كان هناك نقص فى العناصر الأخرى

ومن أهم أعراض التسمم النباتى التى تنشأ عن زيادة تركيز العناصر فى المحاليل المغذية ما يلى:

١- تؤدى زيادة تركيز النيتروجين النتراتى فى المراحل الأولى من نمو نباتات الطماطم (حتى ما قبل مرحلة عقد الثمار) إلى وقف امتصاص عنصر البورون، وموت القمة النامية، وقصر السيقان بوضوح، وتضخم الأزهار، مع قلة أو انعدام تكوُّن حبوب اللقاح بها (Larsen ١٩٨٢).

٢- تؤدى زيادة عنصر الفوسفور إلى ترسيب الحديد، وظهور أعراض نقصه

٣- يؤثر البوتاسيوم والكالسيوم كل منهما فى الآخر، فتؤدى زيادة الكالسيوم إلى ظهور أعراض نقص البوتاسيوم. والعكس صحيح

٤- تؤدى زيادة عنصر الحديد إلى الإضرار بالجذور، وتقليل امتصاص المنجنيز وظهور أعراض نقصه كما قد يترسب الفوسفور. وتظهر أعراض نقصه كذلك

٥- تظهر أعراض التسمم من البورون عند زيادة تركيزه عن ٢٠ جزءًا فى المليون، ويكون ذلك بظهور مناطق شفافة بأنسجة الأوراق على امتداد العروق لا تلبث أن تتحول إلى اللون البنى.

٦- تظهر أعراض التسمم بالزنك على شكل تلون بين العروق باللون الأصفر

٧- تظهر أعراض التسمم بالنحاس إذا زاد تركيزه عن جزء واحد فى المليون، ويكون ذلك على شكل اصفرار بين العروق، مع تلون باقى أنسجة الورقة باللون الأخضر الفاتح

أما عنصر الكبريت والكلور، فإن النباتات تتحمل زيادة تركيزهما إلى حد كبير ولعلاج حالات زيادة تركيز الأملاح يجب خفض التركيز المستعمل، أو تحضير محاليل مغذية أخرى، أو غسل البيئة التى تنمو فيها الجذور بالماء لعدة أيام

كيما تعالج بعض الحالات الخاصة لزيادة العناصر كالتالى:

١- تعالج زيادة تركيز البورون بإضافة سليكات الصوديوم إلى الماء المستخدم فى غسل بيئة نمو الجذور بمعدل ١٢ جم لكل ٤٥٠ لتر ماء.

٢- تعالج زيادة تركيز عناصر الحديد، والمنجنيز، والزنك، بمعاملة بيئة نمو الجذور بمحلول ١٠٪ حامض كبريتيك لمدة ٢٤ ساعة.

العيوب الفسيولوجية التى تزداد فرصة ظهورها

لا توجد عيوب فسيولوجية خاصة بالمزارع المائية، ولكن تزداد فيها فرصة ظهور بعض العيوب الفسيولوجية التى يكون مردها إلى زيادة أو نقص تركيز بعض العناصر عن مداها المناسب للنمو النباتى، وخاصة فى النظام المغلق.

ومن أهم العيوب الفسيولوجية التى ترتبط بالعناصر المغذية، ما يلى:

١- تؤدى زيادة تركيز الأمونيوم إلى ظهور عدة عيوب فسيولوجية فى الطماطم، ويتم تجنبها بعدم زيادة نسبة الأمونيوم من الاحتياجات الكلية للنيتروجين عن ١٠٪.

٢- يؤدى انخفاض تركيز البوتاسيوم عن ١٠٠٠ جزء فى المليون إلى خفض حموضة ثمار الطماطم مما يؤثر سلبيًا على جودة الثمار.

٣- يؤدى انخفاض تركيز الكالسيوم إلى ظهور أعراض تعفن الطرف الزهرى فى الطماطم واحتراق حواف الأوراق فى الخس.

٤- يؤدى زيادة تركيز الزنك إلى تسمم النباتات، ويحدث ذلك جراء ذوبان العنصر من أنابيب المياه المجلفنة، ويتم تجنب ذلك باستعمال أنابيب من الـ PVC.

طرق التعبير عن تركيز العناصر فى المحاليل المغذية

يمكن التعبير عن تركيز العناصر فى المحاليل المغذية بإحدى الطرق التالية

١ - بالجزء فى المليون (part per million، واختصارا ppm)

يحضر محلول بتركيز جزء واحد فى المليون بإذابة جرام واحد من المادة فى ١٠٠٠ لتر من الماء

٢- بالملى مولار (mM).

يحضر محلول بتركيز مولار واحد 1M (أو 1 molar) بإذابة الوزن الجزيئى للمادة فى لتر من الماء ويحضر محلول بتركيز واحد ملى مولار 1 mM بإذابة الوزن الجزيئى للمادة فى ١٠٠٠ لتر من الماء

٣- بالملى مكافئ لتر (milliequivalens/liter، واختصارًا me/l)

الوزن المكافئ بالجرام gram equivalent هو الوزن الجزيئى بالجرام مقسومًا على التكافؤ (عدد الإليكترونات التى يمكن أن تفقد أو تكتسب فى المدار الخارجى للذرة) فمثلا الوزن المكافئ لملح كلوريد البوتاسيوم الذى يتكون من أيونات أحادية هما البوتاسيوم (K^+) والكلور (Cl^-) هو نفسه الوزن الجزيئى أو المول. أما ملح كبريتات البوتاسيوم (K_2SO_4) الذى يوجد به أيون ثنائى الشحنة هو الكبريتات (SO_4^{--})، فإن وزنه المكافئ يكون مساويًا لنصف وزنه الجزيئى

وبناء على ما تقدم فإن محلولين من كلوريد البوتاسيوم وكبريتات البوتاسيوم لهما التركيز نفسه بالملى مكافئ/لتر سيكون بكل منهما التركيز نفسه من البوتاسيوم، لكن سيكون أيون الكلور فى أحدهما ضعف تركيز أيون الكبريتات فى الآخر

ويفضل التعبير عن التركيز بالملى مكافئ/لتر عند الرغبة فى مقارنة تركيز عنصر ما فى محاليل تحضر بإذابة أملاح مختلفة فى شحنات الأيونات المكونة لها.

ولمزيد من التوضيح .. فإن:

أ- الوزن المكافئ للعنصر يساوى وزنه الذرى مقسوما على تكافئه ويراعى أن العنصر

الواحد قد يكون له أكثر من تكافؤ. مثل الحديد (تكافؤ الحديدوز = ٢، بينما تكافؤ الحديديك = ٣).

ب- الوزن المكافئ للحامض يساوى وزنه الجزيئى مقسومًا على عدد ما يحتويه من ذرات الأيدروجين (ذرة أيدروجين واحدة – مثلاً – فى حامض الأيدروكلوريك، مقابل ذرتى أيدروجين فى حامض الكبريتيك، وثلاث ذرات فى حامض الفوسفوريك).

جـ- الوزن المكافئ للقلوى يساوى وزنه الجزيئى مقسومًا على عدد ما يحتويه من مجموعات الأيدروكسيل (مجموعة أيدروكسيل واحدة – مثلاً – فى أيدروكسيد البوتاسيوم، مقابل مجموعتى أيدروكسيل فى أيدروكسيد الكالسيوم، وثلاث مجموعات فى أيدروكسيد الحديديك).

د- الوزن المكافئ للملح (المركب) يساوى وزنه الجزيئى مقسومًا على عدد ذرات القاعدة التى توجد فى الملح مضروبًا فى تكافئها. فمثلاً .. يكون:

الوزن المكافئ لفوسفات أحادى البوتاسيوم KH_2PO_4 = $\frac{١٣٦}{١}$ = ١٣٦ جم.

الوزن المكافئ لفوسفات أحادى الكالسيوم $CaHPO_4$ = $\frac{١٣٦}{٢}$ = ٦٨ جم.

الوزن المكافئ لفوسفات ثلاثى الكالسيوم $Ca_3(PO_4)_2$ = $\frac{٣١٠}{٦}$ = ٥١,٧ جم.

٤- بالضغط الأسموزى:

يعبر عن الضغط الأسموزى بوحدات الضغط الجوى، علمًا بأن ١ ضغط جوى = ١٤,٧ رطلاً/بوصة مربعة = ١,٠٣٣ كجم/سم^2 (Resh ١٩٨٥، وحبيب وآخرون ١٩٩٣)

الرقم الأيدروجينى (pH) للمحاليل المغذية

يتراوح الرقم الأيدروجينى المناسب للمحاليل المغذية (فى كل من النُظُم المغلقة التى يُعاد فيها ضخ المحاليل، والنظم المفتوحة التى تستعمل فيها المحاليل المغذية مرة واحدة) بين ٥٥. و ٦٥. وهو يتأثر بدرجة كبيرة بالتوازن بين أيونى النترات NO_3^-، والأمونيوم NH_4^+ ويفضل دائما أن يكون النيتروجين الأمونيومى فى حدود ٢٥٪ من النيتروجين الكلى، وألاّ يقل عن ١٠٪

ومع توجد النيتروجين فى صورة نترات يرتفع pH المحلول المغذى تدريجيًا، بسبب امتصاص النبات لأيون النترات، واستبداله بأيون البيكربونات HCO_3^-، الذى يكوّن جزئ الكربونات، الأمر الذى يؤدى إلى إزالة أيونات الأيدروجين، وبذا يرتفع الـ pH

ويؤثر pH المحاليل المغذية على امتصاص العناصر الدقيقة؛ فيؤدى انخفاض الـ pH عن ٥ إلى زيادة امتصاص بعض العناصر إلى درجة السمية، كما يؤدى ارتفاع الـ pH عن ٥ ٧ إلى ترسيب الفوسفور، والكالسيوم، والمغنيسيوم، والحديد، والمنجنيز، وجعلهم فى صورة غير ميسرة لامتصاص النبات

وتحدث أضرار شديدة لجذور النباتات إذا انخفض pH المحاليل المغذية عن ٤،٠

هذا ويلزم فى حالة المزارع اللاأرضية التى تستخدم فيها بيئات صلدة النمو الجذور وتستعد فيها المحاليل المغذية لإعادة استعمالها من جديد — إمرار المحلول المغذى فى الزرعة لمدة ٥ ١٠ دقائق بعد تحضيره، ثم استعادته وقياس رقمه الأيدروجينى مرة أخرى، وتعديله إلى المجال المناسب إن لزم الأمر(Collins & Jensen ١٩٨٣) وتجدر الاشارة إلى أن pH المحاليل المغذية سريع التغير، نظرًا لعدم وجود أى قدرة تنظيمية به buffering capacity

ومع استمرار استعمال المحلول المغذى يقاس رقمه الأيدروجينى يوميًا، ويعدل عند الضرورة إما بحامض الكبريتيك (أو النيتريك)، وأما بأيدروكسيد الصوديوم (أو الأمونيوم) وقد تجرى أتمتة عملية المحافظة على الرقم الأيدروجينى فى مجال معين

(يكون عادة من ٦,٠ إلى ٦,٢)؛ بحيث يجرى القياس ويتم إجراء التعديل اللازم تلقائيًا أولاً بأول.

ويتم القياس اليدوى للرقم الأيدروجينى – يوميًا – بأخذ عينة من خزان المحلول بعد إضافات الماء والعناصر المغذية إليه. ويجرى القياس إما باستعمال جهاز قياس الرقم الأيدروجينى pH meter، وإما باستعمال دليل لونى يتغير لونه حسب الرقم الأيدروجينى فى مدى pH من ٥ إلى ٧ يُضاف الدليل إلى عينة من المحلول المغذى، ويقارن اللون بلوحات لونية قياسية توضح اللون فى مختلف مستويات الـ pH (عن Wilcox ١٩٨٢).

خطوات تحضير المحاليل المغذية

الأمور التى تجب مراعاتها عند تحضير المحاليل المغذية

توجد أمور عامة تلزم مراعاتها عند تحضير المحاليل المغذية نوجزها فيما يلى

١- يفضل استعمال الأسمدة التجارية العادية كمصدر للعناصر الأولية (النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم) لرخص ثمنها.

٢- يفضل استعمال مساحيق الأسمدة، مع تجنب استعمال الأسمدة المحببة granular لصعوبة إذابتها.

٣- يمكن الاسترشاد بالقاعدة التالية عند تحضر محلول العناصر المغذية الكبرى (وهى: النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم، والكالسيوم، والمغنيسيوم، والكبريت) تستعمل نترات الكالسيوم كمصدر للكالسيوم، كما أنها توفر جزءًا من الآزوت فى صورة نترات. وتضاف الاحتياجات المتبقية من النترات فى صورة نترات البوتاسيوم التى توفر أيضًا بعضًا من احتياجات البوتاسيوم أما باقى البوتاسيوم اللازم، فيمكن الحصول عليه من كبريتات البوتاسيوم التى توفر أيضًا بعض الكبريت أما باقى الكبريت اللازم، فيحصل عليه من أملاح الكبريتات الأخرى. مثل كبريتات المغنيسيوم التى يمكن استعمالها كمصدر للمغنيسيوم.