الباب الرابع

تلوث الهواء
Air Pollution

مقدمة :

يعتبر الهواء ركن أساسي فى هذه الحياة الدنيا، وهو مصدر طبيعي حيوي لكل الكائنات الحية سواء كانت نبات أو حيوان أو إنسان. ان التركيب الكيماوي للهواء بسيط جداً، ويعتبر النيتروجين المكون الأساسى للهواء حيث يكون نسبة ٧٨٪ من الهواء، ثم الاكسجين يدخل بنسبة ٢١٪. أما ثانى أكسيد الكربون وبخار الماء ومكونات أخرى تدخل بنسبة ١٪. منذ ملايين السنين فان تركيب الهواء هذا يختلف إختلافاً بسيطاً من منطقة الى اخرى ويحدث له تلوث في بعض المناطق ويبقى نقياً فى أخرى. تسمى الملوثات التى تطرأ على الهواء بدون تدخل الانسان ملوثات طبيعية Natural Pollutants . ومن أمثلة الملوثات الطبيعية أبخرة البراكين، الأتربة المحمولة بالهواء، حبوب اللقاح، جراثيم الكائنات الحية الدقيقة، الميثان الصادر من الاراضي الغدقة، كبرتيد الهيدروجين الناتج من الكائنات الحية الميتة والمتحللة ومواد هيدروكربونية ناتجة من أنواع من الأشجار المخروطية. إن أي من هذه الملوثات الطبيعية لم يرتفع مستواه في الهواء الجوي الى درجة أثر على حياة النبات تأثيراً مؤذياً.

إن التعقيدات التي ادخلها الانسان في الحياة على سطح الأرض أدت إلى احداث تلوثات كثيرة في الجو والهواء وأن اضرارها تفوق مئات المرات أضرار الملوثات الطبيعية. تنتج الملوثات التي تأتي عن طريق الانسان من مصادر الطاقة، من تصنيع البضائع، الفضلات الصناعية المترسبة والتي لسوء الحظ تخلق منتجات وملوثات غير مرغوبة تسمى صنع الانسان (Man- made) أو تسمى ملوثات غير طبيعية Unnatural Pollutants.

وجد أن هذه الملوثات تؤثر تأثيراً سيئاً وقادرة على التأثير على حياة النبات. تحدث الاضرار الناتجة عن التلوث بسبب أن كفاءة الهواء الذي يمر فوق منطقة معينة قد لا يكون كافياً لتخفيف كثافة هذه المواد الضارة. ولسوء الحظ فإن المناطق المعرضة الى تلوث مركز،

تكون الأضرار الناتجة فيها عالية في الكمية والنوعية. إن منظمة الصحة العالمية قد أعلنت أن أكثر من ٥٠٪ من سكان العالم يعيشون في مناطق ذات هواء ملوث.

يحدث التلوث الصناعي (غير الطبيعي) في الجو ويسبب اضراراً للنبات. يمكن تقسيم مصادر هذا النوع من التلوث الى أربعة مجموعات وهي :

١ – جزيئات (أجزاء) معلقة في الهواء.

٢ – غازات ناتجة من تفاعلات غير كيمو ضوئية.

٣ – غازات ناتجة من تفاعلات كيمو ضوئية.

٤ – ظواهر متنوعة غير حوية.

وسوف نتناول كل واحدة من تلك المجموعات بالتفصيل.

اولاً : – الجزيئات او الأجزاء الدقيقة المعلقة فى الهواء

Particulate Matter

لا يوجد خط فاصل واضح بين الغازات والجزيئات الصلبة الملوثة في الهواء . إن الجزيئات الدقيقة التي يصل قطرها ٠,٠١ ميكرون يمكن أن تصنف على أنها جزيئات هباء أو دقائق. أما الجزيئات ذات القطر من ٠,٠١ – ١٠٠ ميكرون تسمى غبار أو دخان. إن اصطلاح غبار يضاف الى الاجزاء الصلبة ، أما دخان فيستعمل ليدل على نواتج الاحتراق. كلما كبرت الدقائق في الحجم كلما كان سقوطها على الأرض أسهل وأسرع ويقل بقاؤها في الجو. أما الهباء والدقائق الصغيرة فتبقى معلقة في الجو مدة طويلة.

إن كلا النوعين يعتبر من ملوثات الجو وهي تشمل مركبات عديدة مثل جراثيم الفطريات والطحالب، حبوب اللقاح وغبار التربة وتشمل الدخان المتصاعد من المصانع والسيارات والاكاسيد الناتجة من تنقية المعادن.

إن المصادر الرئيسية للجزيئات الموجودة فى الجو يمكن حصرها في الآتي : ١) احتراق الفحم، البنزين وزيت الوقود (٢) مصانع الاسمنت والطوب (٣) عمليات إنتاج وإطفاء الجير

(٤) حرق المواد العضوية وتحويلها الى رماد (٥) النشاطات الزراعية جميعها وما تشمله من حرق المخلفات الزراعية المريضة. هناك وسائل تلوث أخرى سوف نذكرها بالشرح.

في المناطق القريبة من الشوارع المرصوفة والمسفلتة (التي تسير عليها السيارات بكثافة عالية) وجد أن الرصاص من العوامل الأساسية التي تلوث الجو، فقد وجد أن مادة تترا إيثايل الرصاص التي تضاف الى البنزين لتزيد من صفاته الحسنة وتمنع الخبط في محرك السيارة، تخرج مع عام السيارة بكميات كبيرة. وفي دراسة على النباتات النامية بجانب الشوارع التي تسير عليها السيارات وجد أن هناك ٣٠٠٠ جزء في المليون رصاص في رماد تلك النباتات الملاصقة للشوارع وأن هناك ٥٠ جزء في المليون في النباتات التي تبعد ٥٠٠ قدم عن الشارع وإن النباتات التي تبعد ٢٥ قدم كان متوسط ما تحتويه ٨٠ – ١١٥ جزء في المليون. لا يوجد دراسة مستوفية عن نسبة الرصاص في الأشجار المتقدمة بالسن الموجودة حول الطرق، ولكن يظهر عليها اضطرابات فسيولوجية دليل على تأثير الرصاص عليها. ومن الجزيئات التي درست هي:

ا – غبار مصانع الاسمنت : –

لقد تبين أن الغبار الصاعد من مصانع الاسمنت له تأثيرات ضارة على النباتات، حيث أن هذا الغبار يترسب على سطوح أنصال الاوراق ويشكل طبقة تحجب أشعة الشمس عن سطح الورقة وقد تقفل الثغور التي يتم عن طريقها تبادل الغازات. لذلك فان هذا الغبار يسبب شحوب الأوراق ثم موتها في كل من الاشجار متساقطة الاوراق والمخروطيات. كذلك فان نمو الأفرع الصغيرة يبقى محدوداً، وباستمرار تعرض الاشجار سنة بعد أخرى لهذا الغبار تتوقف الأشجار عن النمو وتبقى ضعيفة، تفقد اللون الأخضر الزاهي وتظهر عليها صبغات بنية أو حمراء وكثيراً ما تتساقط الأوراق مبكراً. أما في الخضروات مثل الخيار والكوسة والطماطم فان النباتات تتأثر ويقف نموها بعد شهرين وتأخذ اللون البني، تكون الثمار المتكونة صغيرة وتلونها غير طبيعي.

لقد وجد ان جزيئات غبار مصانع الاسمنت تدمص الغازات الملوثة الموجودة في الهواء وعندما تترسب هذه الجزيئات على سطح النبات يزيد تركيز الغازات الملوثة على سطح النبات وتكون كافية لاحداث اضرار للنبات.

إن لهذه الجزيئات تأثيراً على عقد الثمار وقد تبين هذ واضحاً في أشجار الكرز، الكمثرى والتفاح وقد انخفضت نسبة العقد من ٥٠٪ في النباتات العادية الى ٦٪ فقط في النباتات المعرضة للغبار، وذلك لتأثير الغبار على إنبات حبوب اللقاح حيث أنه عندما يسقط الغبار على الازهار فيدخل في افرازات الميسم وبالتالي عندما تسقط عليه حبوب اللقاح فأنها لا تنبت ولا تلقح البويضة.

كذلك فان الغبار الصاعد من أتونات مصانع الجير وغبار الطرق غير المرصوفة الذي تثيره السيارات باستمرار على جوانب الشوارع والغبار الناتج من الكسارات وأماكن تحضير مصانع البناء والطوب، كلها تسبب نفس الاضرار الناتجة عن غبار مصانع الاسمنت.

٢ - جزيئات منتجات القطران.

إن التأثيرات الضارة من بخار أو غبار مصانع القطران أو الشوارع الموضوع عليها القطران أو أنحنة اذابة مركبات القطران، هذه التأثيرت لوحظت على النباتات التي تكون معرضة لهذه الجزيئات. تكون التأثيرات مختلفة وذلك حسب صفات المنتجات وكمية الغبار أو البخار الواصل الاجزاء الهوائية من النبات. يكون أقل الاضرار الناتجة من هذه المواد هو ذبول وظهور لون باهت وتبقع على الاوراق، بينما الابخرة القوية تسبب اضراراً أكبر بحيث تتجعد الاوراق وتنكمش وتتحول الى اللون البني وتسقط. يظهر في الأنسجة المتضررة أن تتبلزم الخلايا ويختفي الكلوروفيل.

تتأثر نباتات الزينة كثيراً بالأبخرة المتصاعدة من القطران، وجد أن نباتات الفاوينا الحمراء قتلت تماماً وأن الورد والعليق والكشميش حدث فيها تشوهات كثيرة، بينما تقزمت نباتات البطاطس وإنخفض إنتاجها، بينما في الأشجار المعمرة تحدث الأضرار وتتراوح من اصفرار وإنخفاض نمو وصغر حجم الاوراق الى خفض الاثمار سنوياً.

تظهر على اوراق نبات البيجونيا إنخفاضات على البشرة العليا في البداية تكون على شكل مناطق صغيرة متفرقة وتعطي مظهر جيوب على الأوراق، تصبح هذه الجيوب مندمجة وتفقد الكلوروفيل كلية وتتحول الى اللون البني. أما على الأوراق الحديثة فتظهر اولى الاعراض على شكل بقع صفراء ٣ - ٦ ملم قطراً. تحاط هذه البقع بعديد من الخلايا الغدية، أما الاوراق المتقدمة بالسن فيتحول لون سطح الورقة الى اللون الاصفر وتسقط عن الساق.

إن تسلسل الأعراض هذه يختلف باختلاف الأنواع المعرضة لأبخرة القطران وحسب التركيزات المختلفة من الابخرة، تنوي النباتات وتموت إذا تعرضت لدرجات حرارة عالية.

أما في الجيرانيوم فان الأوراق القديمة السفلية تتحول الى اللون الأصفر، أما الأوراق متوسطة العمر تتحول الى اللون البني الغامق وخاصة السطح العلوي للورقة أما الاوراق الحديثة جداً والتي لم تنفرد بعد الا جزيئاً فتظهر على حواف الاوراق مناطق بنية سوداء. لقد تبين أن هذه الأعراض تكون نتيجة إختراق أبخرة القار لبشرة النبات عن طريق الثغور.

من النباتات الحساسة لأبخرة القار، البنجر، الكرنب ومحاصيل الجذور الأخرى، ولكن نباتات العائلة النجيلية أقل حساسية لاضرار بخار القار.

إن المكونات الاساسية لأبخرة القار التي تسبب الاضرار للنبات هي، الفينولات، أنالين، بايريدين، البايرول. لقد تبين أن الأضرار التي تحدث للنباتات المجاورة للشوارع تعتمد على كمية الفينول في المركبات المستعملة. في حين تبين أن البايريدين يسبب اضراراً شديدة على الاوراق المعرضة للابخرة وتسبب بشكل اساسي بلزمة للخلايا وتحول التنينات في الخلايا الى اللون البني ولكن بدون تحطيم الكلوروفيل. وقد تبين أن كلا المركبين (الفينول، البايريدين) هما الفعالان في احداث الاضرار على الاوراق المعرضة لابخرة القار.

٣ - الضباب الدخاني Smog

يتكون الضباب الدخاني من ضباب يحمل معه جزيئات الدخان ، هذا الدخان يكون قادماً من مصادر مختلفة كثيرة على سطح الأرض. أول ذكر لهذا المركب كان في اوائل الاربعينات في مدينة لوس أنجلوس حيث أن هذه المدينة قلعة كبيرة ومركزاً عظيماً للصناعات الثقيلة وإن

جو هذه المدينة هو من أكثر أجواء المدن تلوثاً. بدأت الدراسة على الضباب الدخاني منذ بداية الحرب العالمية الثانية ودرس تأثيره على الانسان والحيوان والنبات، والذي يهمنا هنا هو تأثيره على النبات. ينتشر هذا الضباب الدخاني في أجواء المدن الصناعية الكبرى لذلك فان اضراره تكون محددة في الأماكن المحيطة بهذه المدن فقط. يُحمل مع الضباب الدخاني أنواعاً من الغازات الضارة احياناً وسوف تدرس هذه الغازات بالتفصيل.

ثانياً : - غازات ملوثة ناتجة من تفاعلات غير كيموضوئية

Non-photochemically Produced Gaseous Pollutants

تختلف هذه الملوثات عن الغازات الملوثة الاخرى حيث أن منشأها يكون غالباً من مصدر سام للنبات وليس لها طرق تصنيع تتدخل فيها التفاعلات الضوئية. وأهم هذه المركبات هي :-

ا - مركبات الكبريت Sulphur Compunds

هناك عديداً من المركبات يدخل في تركيبها الكبريت وهي ملوثات هواء لها تأثير كبير جداً، من هذه المركبات ثاني أكسيد الكبريت، كبريتيد الهيدروجين - Mercaptans. إن أهم هذه المركبات هو مركب ثاني أكسيد الكبريت.

ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) Sulphur Dioxide :

يعتبر هذا المركب من أكثر مركبات الكبريت تلويثاً للهواء، وزيادة على ذلك فانه أكثر إنتشاراً وأكثر المركبات نال قسطاً من الدراسة. هناك مصادر كثيرة لثاني أكسيد الكبريت الا أن أكثرها أهمية (١) احتراق الفحم (٢) إنتاج وتنقية واستعمال منتجات البترول والغاز الطبيعي (٣) تصنيع وانتاج واستعمال حمض الكبريت (٤) اذابة وتنقية المعادن الخام خاصة النحاس، الرصاص، الزنك والنيكل.

الأعراض والاضرار : -

هناك ثلاثة أنواع مختلفة من الاضرار (١) اضرار شديدة عندما يزداد التركيز عن ٠.٥ جزء في المليون (٢) اضرار حادة عندما يصل التركيز ٠.١ - ٠.٠٣ جزء في المليون. تظهر الأعراض تحت هذا التركيز على الأنواع الحساسة وتحت الظروف المناسبة (٣) اضرار غير مرئية أو غير ملحوظة بالعين المجردة خاصة بالنسبة لإنخفاض نسبة النمو، ولكن نسبة خفض الانتاج تكون واضحة ويمكن ملاحظة تغيرات أخرى بالتحليل الكيمائي. هذه الملاحظات تظهر عندما تكون نسبة ثاني أكسيد الكبريت أقل من ٠.٠٣ جزء في المليون. لا يوجد حد فاصل بين الأضرار الشديدة والاضرار الحادة، ولكن الاضرار الحادة تظهر في البداية وتتميز بتغير في تركيب الكلوروفيل.

يدخل ثاني اكسيد الكبريت النبات عن طريق ثغور الورقة ثم ينتقل الى المسافات البينية في الميزوفيل حيث يكون هناك على إتصال ومدمص على جدر الخلية الرطبة. يتحد في هذه المنطقة مع الماء ليشكل حمض الكبريتوز والكبريتات.

إن الاستجابات الاساسية لثاني أكسيد الكبريت هي نفسها لجميع الأنواع النباتية، ولكن بسبب الاختلاف في التشريح النباتي للأنواع النباتية المختلفة فانها تظهر أعراضاً مختلفة. بسبب الصفات التركيبية المختلفة فان الاختلافات الكبيرة تكون بين الأشجار ذات الأوراق الإبرية والأنواع ذات الأوراق العريضة.

الاضرار على الأنواع ذات الاوراق الابرية

Injuries on Needle-Leaved Species

إن أكثر الأعراض وضوحاً على الأوراق الابرية هي تلون الاوراق باللون البني المحمر، تكرمش الأنسجة وسقوط الأوراق المبكر والذي يعطي الشجرة مجموع خضري نحيف وضئيل مع وقف نمو الشجرة. يكون الضرر شديداً في كثير من المخروطيات ويكون واضحاً باللون الأحمر الخمري للأوراق الابرية، يكون التلوث احياناً على طول الورقة وأحياناً يكون مقتصر على قاعدة الورقة أو وسط الورقة أو قمتها، تتحول الأوراق الى اللون البني تتكرمش وتسقط

اذا كان تركيز الغاز عالياً. إن موت وتلون الأوراق يختلف وذلك حسب الأنواع وتركيز الغاز، ولكن بشكل عام تقصر حياة الأوراق. يمكن تلخيص الأضرار على الأشجار في الآتي : -

١ - قصر عمر الأوراق الابرية فيصبح عمر الورقة من ٢ - ٣ سنوات بدلاً من ٤ - ٥ سنوات وفي بعض أنواع الأشجار خاصة Fir ينخفض عمر الورقة من ١٠ - ١٢ سنة الى ٤ - ٥ سنوات.

٢ - ينخفض نمو الأشجار وتعطي حلقات خشبية ضيقة في الساق.

٣ - تصبح الأغصان الكبيرة عارية من القلف.

يمكن أن تسقط أوراق الصنوبر بعد ١ - ٣ سنوات في حين أنه في الوضع العادي تلتوي وتتجعد الأوراق بعد خمسة سنوات. تسقط الأوراق الابرية في شجرة الدوغلاس خلال بضع أيام أو بضع أسابيع من تعرضها لثاني أكسيد الكبريت.

عندما تتعرض النباتات الى تركيزات سامة من ثاني أكسيد الكبريت خلال شهور الصيف يبدأ موت وتحلل كثير من قمم الأوراق ويتجه هذا التحلل الى القاعدة ويمكن أن تتأثر جميع الورقة أو أجزاء منها ويظهر هذا خلال بضع أيام من تعرضها للغاز. اذا كان تركيز الغاز منخفضاً وفي بداية الاضرار، تتأثر خلايا الكلوروبلاست ولكنها لا تموت وعندئذ تظهر الأعراض على شكل شحوب حاد أو اصفرار في مناطق الورقة. كثيراً ما يتكشف شحوب وموت وتحلل مناطق صغيرة منتشرة على بعض الاوراق في العنقود الورقي ولا تظهر على جميع الاوراق. أما في الشتاء فتختلف استجابة النبات حيث الاضرار في الشتاء تأخذ مظهر الشحوب العام يتلوه ظهور حزم بنية مصفرة وبالتدريج بعد شهر أو شهرين فان الاجزاء الخضراء في الورقة تتحول الى اللون الاصفر، البني وأخيراً تلون بنى محمر. وهذا يختلف حسب الاستجابة الوراثية بين الأنواع لتأثير بالغاز.

تظهر الأعراض بشكل عام على الاوراق الابرية الحديثة او المتكونة في موسم النمو الذى تأثرت فيه الشجرة. أما الأوراق المتقدمة في السن والقريبة من قواعد الأفرع الكبيرة تكون ذات نشاط حيوي منخفض وتضررها يكون قليلاً. تظهر الأعراض اذا امتصت النباتات ١٠

جزء في المليون ثاني أكسيد الكبريت يومياً (بالنسبة لوزن الورقة الجاف). تكون الأضرار أقل حدة في شهور الشتاء عندما تكون الأوراق تقريباً ساكنة حيث يكون التبادل الغازي ضعيفاً. تكون النباتات أكثر حساسية وتأثراً خلال شهري ابريل ومايو عند إبتداء تكشف وتساقط الأوراق. تختلف أنواع الأوراق الإبرية في استجابتها لثانى أكسيد الكبريت وأكثر هذه الأشجار حساسية هي الدغلاس وأكثرها تحملاً العرعر Junipers وهناك قائمة بأسماء النباتات واستجابتها لثاني أكسيد الكبريت في كتاب Thomas *et al* سنة ١٩٥٠ مذكور فيها ٢٤ نبات حساس اولها البرسيم الحجازي ثم الشعير وتنتهي بالقمح وهناك حوالي ٢٢ نبات متوسط الحساسية تبدأ بالصنوبر الاصفر ثم الراندلون وتنتهي بالحور وهناك قائمة بها ٢٢ نبات مقاومة تبدأ بالجلاديولس وتنتهي ببراعم التفاح.

اضرار ثاني اكسيد الكبريت على النباتات ذات الأوراق العريضة:-

ا - البرسيم الحجازي : -

إن أكثر أنواع النباتات العريضة الأوراق حساسية لأضرار ثاني أكسيد الكبريت هو البرسيم الحجازي، ولقد درست الأعراض على هذا النبات جيداً. تكون الأعراض حادة أو متوسطة. اذا كانت الاضرار حادة تموت الخلايا. تتجمع كمية كبيرة من ثاني أكسيد الكبريت في خلايا الأنسجة وتفقد مقدرتها على الحصول على الماء وينتشر الماء الى المسافات بين الخلايا وتأخذ الأوراق مظهر اللون الأخضر الرمادي (شكل ٥٦) أو الغامق المائي، تجف هذه المناطق معطية الأوراق بقع ذات لون مبيض، أو اللون الاحوى الخفيف الى اللون العاجي تظهر مناطق ميتة متحللة تمتد خلال الورقة.

أما الأضرار المتوسطة فتظهر عند تعرض النبات الى تركيز يتراوح من ٠,٣ - ٠,٥ جزء في المليون من ثاني أكسيد الكبريت. تكون الأعراض على شكل أشرطة ضيقة متحللة من الأنسجة على طول حواف وقمة الوريقة ويمتد التحلل بدون إنتظام جهة حامل الورقة بين

العروق. اما إذا كان تركيز ثاني أكسيد الكبريت أكبر من ٠.٥ جزء في المليون وتحت أشعة شمس كثيفة ورطوبة نسبية عالية يميل التحلل لأن يمتد بين العروق. تمتد البقع داخليا من الحواف أو تكون محددة على شكل مناطق غير منتظمة فوق الوريقات. تختلف المناطق في الحجم والشكل من بثرات صغيرة الى مناطق كبيرة تتخلل جميع سطح الورقة. يتراوح الشحوب من اللون الأخضر العادي الى الاصفر الباهت على نفس الورقة ويكون أكثر كثافة إما على السطح العلوي أو السفلي للورقة. في بعض الحالات يكون الاصفرار فوق وعلى طول العروق معطياً الورقة شكل شجرة الميلاد Christmas Tree.

٢ - النباتات أحادية الفلقة : -

يمكن تمثيل الاضرار التي يحدثها ثاني أكسيد الكبريت على النباتات احادية الفلقة بالاضرار التي تظهر على نباتات الشعير الذى يعتبر أكثر محاصيل الحبوب حساسية لهذا الغاز. تحدث الاضرار اذا وصل تركيز الغاز الى (٠.٣ - ٠.٥) جزء في المليون. تظهر الاعراض على شكل إنتشار تلون أخضر رمادي على قمة الورقة، يتحطم الكلوروبلاست ويتوزع الكلوروفيل خلال السيتوبلازم. اذا تعرضت الأنسجة لأشعة الشمس فانها تصبح منهارة ومتهدلة وتنكمش بسرعة وتصبح مبيضة. إن التحلل الذي يظهر في قمة وحواف الأوراق يكون متبوعاً بالتبقع حيث يظهر بثرات أو بقعاً بين العرق الوسطي وحواف الورقة. إن أكثر أجزاء النبات حساسية هي قمة الورقة. اذا كان تركيز ثاني أكسيد الكبريت أقل من ٠.٣ جزء في المليون يظهر الشحوب فقط ولا يظهر التحلل. اذا تضررت نباتات القمح قبل الأزهار تظهر الأعراض على شكل احمرار قمة الورقة والتي فيما بعد تتحول الى اللون الأصفر وأخيراً الأبيض تماماً. إن هذا العرض نموذجي لبقية النجيليات والأعشاب النجيلية.

أما بالنسبة للابصال فانه بالاضافة الى صغر النبات وقلة حيويته وإنخفاض الانتاج، والنضج قبل الموعد المعروف للأبصال، فانها (أي الابصال) تعطي ازهاراً في السنة الاولى وينخفض تكوين الازهار في المواسم اللاحقة.

٣ - النباتات ثنائية الفلقة : -

أما في النباتات ثنائية الفلقة وخاصة في الأشجار متساقطة الاوراق والشجيرات، إن أكثر الأعراض إنتشاراً لاضرار ثاني أكسيد الكبريت هو المظهر البني المصفر الى البني الداكن لمناطق ميتة في نصل الورقة بين العروق، بينما أنسجة الميزوفيل الملاصقة للعروق تبقى خضراء لأطول وقت ممكن. بسبب وجود هذه المناطق الميتة بين العروق فيظهر على الأوراق أنواعاً مختلفة من التلون والاشكال. تظهر الاعراض على النباتات العشبية على شكل تغيرات تدريجية في اللون من البني المحمر الى الاسود تماماً أو من الأصفر الخفيف الى الأصفر المسود مع سيادة اللون الفاتح دائماً. تكون نباتات الكمثرى والحور الرجراج مسودة إذا أصيبت بأى كائن ممرض وذلك تحت تأثير ثاني أكسيد الكبريت. تظهر مناطق صغيرة عديدة بين العروق تكون ميتة ومتحللة ويتكون بقع بين العروق تكون محددة الحواف. تلتحم هذه البقع مع بعضها وتكون بقع متطاولة بين العروق الرئيسية. يمكن أن يبدأ التحل من حواف الورقة ويمتد الى الداخل بين العروق، في حالات نادرة يبدأ التحلل من العرق الوسطي ويمتد الى الخارج.

أما في الترمس فتبدو الأوراق مسودة كلية ويبدأ التلون من قمة الوريقات. اما في بنجر السكر يبدأ تلون الأوراق في مناطق بين العروق وتأخذ اللون البني المحمر. اما في البطاطس فتظهر صبغات ارجوانية محمرة وتلتف الاوراق، وهذه الاعراض يصعب تمييزها عن اعراض الاضرار الاخرى مثل الجفاف وسمطة الشمس واضرار التجمد. أما في الخس والكرنب فانها تنمو جيداً ولكن لا تكون رؤوس. اما ابرة الراعي يظهر عليها بقع منتشرة ثم تصبح مخططة.

أما بالنسبة للعنب وأشجار الفاكهة، يصغر حجم الثمار او لا يتكون ثمار وينخفض حجم العنقود في العنب وفي نهاية الموسم (أغسطس) يظهر بثرات بنية محمرة.

شكل رقم ٥٦: أعراض اضرار SO_2 بقع بيضاء، موت موضعي لحواف وبين العروق في اوراق البرسيم الحجازى

ميكانيكية الاضرار Mechanism of Injury

يدخل ثاني أكسيد الكبريت الأوراق عن طريق الثغور المفتوحة. اذا كانت الثغور مقفلة فانه يحتاج الى تركيزات عالية من الغاز لاحداث الضرر. بعد أن يدخل غاز SO_2 الى الورقة فانه يُمتص على السطح الرطب للنسيج الاسفنجى الميزوفيل والخلاي البلاستيدية، في هذا الموقع يتكون $S\bar{O}_2^-$ السلفايت وهذه المادة شديدة السمية للخلايا وبالتالي فان الخلايا تموت فوراً اذا كان تركيز السلفايت كاف، أما إذا كان تركيزها منخفضاً فانها (أى السلفايت) تتأكسد الى سلفيت $(SO_4)^{-2}$ والتي هي أقل سمية نسبياً من السلفايت. من الممكن اذا كان تركيز SO_2 الموجود غير عال فان اكسدة السلفايت تكون بنفس سرعة تشكيلها في النبات وبالتالي تقل الاضرار. لقد وجد في بعض الأبحاث أن ثاني أكسيد الكبريت يمكن أن يخفض سرعة النتح والتمثيل الضوئى في بعض النباتات.

حساسية النباتات لإضرار SO_2

تختلف النباتات في حساسيتها للتأثر بثاني أكسيد الكبريت. بعض الباحثين ذكر أن البرسيم الحجازي هو أكثر النباتات حساسية في حين أن البعض الآخر يذكر أن الترمس هو الأكثر حساسية. وكما ذكر سابقاً فان Thomas *et al* سنة ١٩٥٠ أخذ عن دراسات الباحث Stoklase سنة ١٩٢٣ وذكر ترتيب ٤٤ نوعاً من النباتات بالنسبة لحساسيتها لثاني أكسيد الكبريت وذكر أول القائمة الترمس وآخر القائمة الشيكوريا. وأن البقوليات في قمة النباتات الحساسة. أما النجيليات والأعشاب فتقع في منتصف القائمة وأما البنجر والبطاطس والكرنب فهي في أسفل القائمة اي قريبة من المقاومة. أما بالنسبة للأشجار فوجد أن المخروطيات أكثر حساسية من متساقطة الاوراق باستثناء *Fraxinus excelsior* الذي هو أقل حساسية. وذكر أن *Picea excelsa* أكثر الأشجار الدائمة الخضرة حساسية، بينما *Taxus bac-cata* أكثر مقاومة وأن القيقب *Acer campestre* أكثر الأشجار متساقطة الأوراق حساسية بينما أشجار الفاكهة مثل الكرز، التفاح، البرقوق والمشمش متوسطة الحساسية بين المخروطيات والأشجار متساقطة الأوراق.

٢ - مركبات الهالوجين Halogen Compounds

إن أكثر مركبات الهالوجين المعروفة في تلويث الجو هي فلوريد الهيدروجين (HF)، سليكون رباعي الفلورايد (SiF_4)، كلوريد الهيدروجين HCl، والكلور Cl_2. إن المصادر الاساسية لمركبات الهالوجين هي (١) عمليات إختزال الالومنيوم (٢) عمليات تصنيع الاسمدة الفسفاتية (٣) مصانع القرميد (الآجر) والمصانع الفخارية الاخرى (٤) مصانع الفولاذ (٥) تنقية وتصنيع المعادن الاخرى.

أما الكلور Cl_2 وحمض الكلور فان مصادرهما تصنيع وتنقية الزجاج، القرميد، حرق النفايات، أما احتراق كلوريد البولي فينايل يؤدى الى إطلاق HCl. إن إنتشار استعمال كلوريد البولي فينايل في التغليف يؤدي الى زيادة تكوين HCl (حمض الكلور) ملوث في الهواء.

١ - الفلورايد (الفلوريد) Fluoride

لقد عرف التأثير الضار للفلوريد على النبات والحيوان والانسان منذ مئات السنين، ولكن تأثيره الضار أصبح ملموساً عندما إنتشرت صناعات الالومنيوم والمعادن الاخرى الغنية بمركب الفلوريد. ينتشر الفلوريد في القشرة الارضية كمركب طبيعي للتربة، الصخور والمعادن مثل الكريولايت Cryolite، توباز Topaz، مايكا Micas وهورنبلندس Hornblends. عندما تسخن هذه المواد لأجل التنقية ينطلق منها كميات سامة من الفلوريد في الجو، وكذلك ينطلق الفلوريد من العمليات الصناعية والتي تكون فيها مركبات الفلوريد تصنع أو تستعمل كمساعدات أو مصهرات للمعادن.

تختلف كمية الفلوريد المنطلقة في الجو من بضع أمتار الى مئات الامتار المكعبة في اليوم الواحد في العالم وهذا يعتمد على حجم الانتاج وكمية الفلوريد في المواد الخام، ويمكن القول بأن نسبة الفلوريد تكون على بعد ميل واحد من المصانع حوالي ١٠٠ جزء في البليون وهذه حالة نادرة ولكن بشكل عام لا تزيد نسبة الفلوريد في الجو عن ١٠ جزء في البليون واذا زادت النسبة عن ١ - ٥ جزء في المليون تظهر الأعراض المرضية على النبات.

يدخل الفلوريد النبات بشكل أساسي عن طريق ثغور الورقة ويصل الى المسافات البينية ويصبح على إتصال مع الميزوفيل ويمتص الى داخل الخلية أو ينوب في الماء وينتقل خلال الأنسجة الوعائية الى قمم الاوراق والحواف حيث يتراكم هناك. كما وانه يمكن أن يتراكم الفلوريد في التربة وينتقل الى النبات.

الاضرار التي يسببها الفلوريد على النباتات : -

١ - الأوراق:

عندما تتعرض النباتات الى تركيزات عالية من الفلوريد لمدة كافية من الزمن تظهر الأعراض على النبات وتكون شدة الأعراض مختلفة حسب الأنواع المختلفة وحتى على الأوراق المختلفة في النبات الواحد. إن تراكم الفلوريد في اوراق الأنواع عريضة الأوراق، تتميز هذه الأعراض بوجود مناطق ميتة ومتحللة، شحوب أو كليهما. تكون الأعراض أكثر وضوحاً على قمة وحواف الورقة حيث يتراكم الفلوريد بتركيزات عالية. تتكشف ظاهرة التبرقش على حواف اوراق الحمضيات والحور والكرز. اما على العنب والمشمش (شكل ٥٧) والجلاديولس وهي

أكثر النباتات حساسية فيظهر على الأوراق مناطق مائية ذات لون أخضر رمادي غامق في الأنسجة على طول الحواف والقمة. يظهر على اوراق المشمش بقع شبه دائرية على حواف الورقة تكون بعرض ١/٤ - ١ إنش. يتكشف أحزمة منفصلة ضيقة محددة بنية الى محمرة، تنفصل المناطق المتحللة عن الأنسجة السليمة المجاورة، يمكن أن تسقط الأنسجة المتحللة تاركة الورقة مثقبة، ولكن الورقة نادراً ما تسقط حتى لو وصلت نسبة الفلوريد عدة مئات في المليون (في تجارب الصوبات الزجاجية). تكون الأوراق المتقدمة بالسن أكثر تحملاً من الأوراق الحديثة. تكون البراعم الورقية أكثر مقاومة ووجد أنها تستعيد كفاءتها لتنتج نموات جديدة حتى عندما يكون أكثر من ٥٠٪ من الورقة قد تحلل.

أما أعراض أضرار الفلوريد على النباتات احادية الفلقة يشابه الأضرار المذكورة في النباتات العريضة الأوراق. يظهر على الجلاديولس تموجات بنية حمراء تكون واضحة ومحددة. يظهر الموت والتحلل اولاً ويكون عادة شديداً على قمة الورقة ولكن يميل لأن يمتد الى أسفل باتجاه جانب واحد من الورقة أكثر منه في الجانب الثاني. عندما يتكشف آثاراً بسيطة من التحلل فانها تظهر بشكل عام على قمة الورقة أو على بعد إنش واحد من القمة.

تظهر الأعراض على السوسن والزنبق والنرجس والأنواع القريبة لها بأقل شدة مما سبق حيث أن هذه الأنواع متحملة، أما الأعراض على نباتات القمح والشعير فتميل لأن يكون اللون أبيض. اما في الذرة والسورجوم فيظهر أشرطة شاحبة أو مبرقشة، تتكشف بقع مصفرة على طول حواف الأوراق ويظهر الشحوب على شكل اشرطة متواصلة. وفي حالات الاضرار الشديدة تصبح الورقة كلها شاحبة وفي المراحل الاولى من التكشف يتكون بثرات خضراء صغيرة غير متضررة.

أما على الأوراق الابرية للمخروطيات فتظهر الأعراض على شكل تحلل يبدأ من قمة الأوراق الابرية المتكونة في نفس الموسم ويتقدم الى أسفل. تصبح الأنسجة المتضررة شاحبة وجلدية وأخيراً تصبح بنية ومحمرة. تكون الأوراق الابرية أكثر حساسية عندما تستطيل وتخرج في الربيع وكلما تقدم الموسم تصبح مقاومة. الأوراق الابرية المتكونة في السنوات اللاحقة تكون عالية المقاومة.

٢ - الأزهار والثمار : -

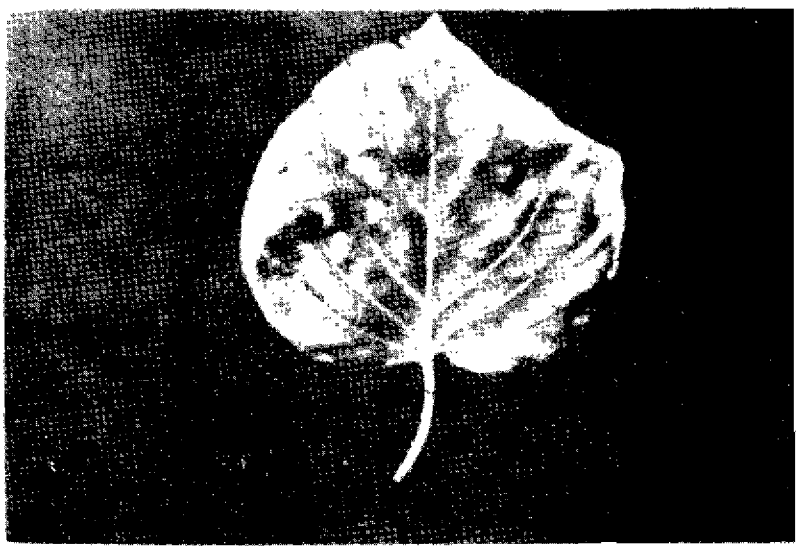
تكون الأزهار أكثر مقاومة للفلوريد ونادراً ما يظهر عليها اضراراً. ذكرت الاضرار على بتلات كل من ازهار البيتونيا وازهار بخور مريم حتى في غياب الاضرار على الاوراق. لم يلاحظ على أشجار المشمش أى أضرار حتى لو كانت الاضرار على الاوراق واضحة. أما الثمار فهي أكثر حساسية من الأوراق للفلوريد، والمثل المشهور للاضرار على الثمار هو ما يسمى مرض خيط الاتصال الطري في الخوخ Soft Suture (شكل ٥٨). يسمى هذا المرض احياناً باسم البقع الحمراء لخيط الاتصال. يتميز هذا المرض بظهور مواقع موضعية محمرة غير ناضجة على طول جانب خط الاتصال بين جزئي الثمرة باتجاه الثلث القاعدي من الثمرة، تميز المنطقة الحمراء عن المنطقة الصفراء الباهتة أو الخضراء المصفرة التي هي اساسية في الثمرة. أحياناً تنتفخ هذه المنطقة الحمراء وأحياناً تنضج هذه الأنسجة دون أن تستطيل وتتمدد الخلايا. وبالتالي تكون هذه المنطقة غائرة نوعا ما وناعمة. تظهر هذه الأعراض قبل جمع الثمار بحوالي ٢ - ٤ أسابيع. عندما تنضج الثمرة قد يتعفن هذا الجزء المحمر الطري. كذلك يتميز هذا المرض بانفصال لب الثمرة عن بعضه على طول خط الاتصال. يحدث الانفصال أيضاً تحت الجلد عندما تكون الحالة شديدة في الأصناف ذات الثمار الصفراء حيث تكون الأعراض واضحة تماماً. لقد درس هذا المرض دراسة مستفيضة في الكتب القديمة.

تختلف حساسية النباتات للفلوريد، فاكثرها حساسية الجلاديولس والمشمش والعنب، أما المتوسطة الحساسية فهي الجوز، الليمون، البرتقال، الورد، التفاح، السورجوم. اما النباتات المقاومة فتشمل الطماطم، القمح، الكمثرى، والعرعر.

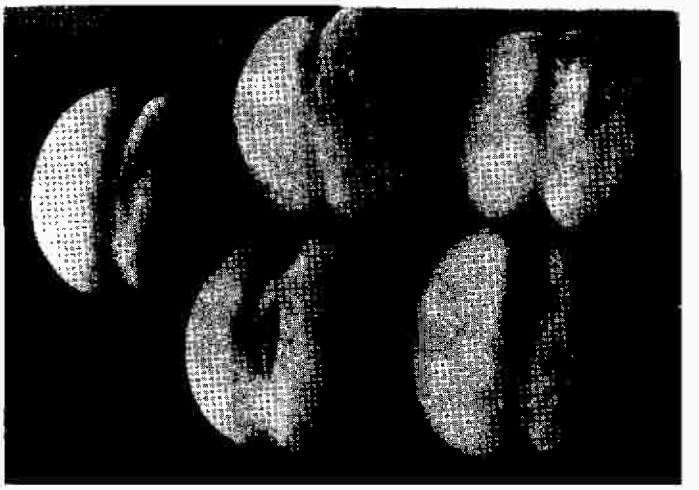
مشاكل تشخيص أعراض أضرار الفلوريد : -

تتشابه أعراض اضرار الفلوريد مع غيرها من الاضرار، مما يسبب مشاكل كبيرة في تمييز هذه الأعراض عن بعضها البعض، لذلك عند وجود مثل هذه المشاكل يجب استعمال النباتات الكاشفة على وجود الفلوريد للتأكد من سبب الاضرار، وكذلك التحليل الكيمائي للأوراق. يمكن أن تتشابه اضرار الفلوريد مع كل من : -

(١) اضرار الرطوبة الزائدة (٢) اضرار ثاني أكسيد الكبريت (٣) مع الاصابات الفيروسية (٤) مع اضرار نقص التغذية (٥) مع سمية البورون وخاصة في الحمضيات (٦) مع اعراض نقص الزنك على الذرة أو نقص البوتاسيوم.



شكل رقم ٥٧: أعراض أضرار إستعمال فلوريد الهيدروجين على أوراق المشمش.



شكل رقم ٥٨: اضرار الفلوريد. أعراض الشريط اللاحم الطري في ثمار الخوخ (البقعة الحمراء على خط إتصال مصراعي الثمرة).

ب - الكلور (الكلورايين) chlorine

ينطلق الكلور الى الجو من المصانع أثناء العمليات الصناعية أو من انكسار المواسير أو الصمامات التي تنقل الكلور إلى محطات تنقية المياه أو أثناء معاملة القمامة، كذلك ينطلق من مصانع الزجاج. لقد وجد أن التركيز الضار على نباتات الفجل والبرسيم الحجازي يصل الى ١٠ جزء في المائة مليون عند تعرضها له لمدة ساعتين، أما النباتات الأقل حساسية مثل الدخان، الزينيا، البصل، الذرة، المستردة، عباد الشمس حدث لها اضراراً عندما تعرضت الى ١٠ جزء في المائة مليون لمدة أربع ساعات. إن معظم النباتات التي درس تأثير الكلور عليها حدث لها اضراراً على ٥٠ - ٨٠ جزء في المائة مليون لمدة أربع ساعات. بينت الدراسة أن الاضرار الناتجة من الكلور تنحصر في أربعة أضرار اساسية هي - الشحوب، التبرقش أو التنقيط، الموت والتحلل والاحمرار.

تظهر الأعراض في الحالات المتوسطة على النباتات ذات الأوراق العريضة على شكل شحوب فقط يظهر هذا الشحوب غالباً على حواف الأوراق ولكن احياناً يمتد الى الداخل بين العروق. احياناً يكون الشحوب مترافقاً مع تبرقش أو أنه يتحول الى لون برنزي وأعراض موت وتحلل كما يظهر على البلوط.

إن أعراض التبرقش التي يسببها الكلور تذكرنا بأعراض الأوزون والتي هي أكثر تشابهاً بسمية الكلور. يتكون هذا التبرقش من جزر صغيرة مبيضة، خلايا ميتة تظهر بين أصغر العروق أو القصيبات. يكون التبرقش مركزاً على طول حواف الورقة وقمتها وعلى طول العروق، مع أن العروق نفسها تبقى خضراء بشكل مميز عن بقية أجزاء الورقة المبيضة (شكل ٥٩).

تكون أعراض الموت والتحلل مرتبطة بالتبرقش في الأنواع عريضة الأوراق واحياناً تظهر كأعراض مفردة، عندما يتكشف كلا العرضين فان الموت والتحلل يكون على حواف الأوراق ويكون التبرقش بين المناطق المتحللة والأنسجة السليمة. أما إذا تكشف التحلل لوحده فيكون غالباً على حواف الورقة ولكن يميل لأن يمتد الى الداخل بين العروق الكبيرة وأحياناً يتكون بقع بين العروق ذات لون أبيض يميل الى السواد أو تكون مبعثرة فوق نصل الورقة. يكون الابيضاض صفة مميزة لاضرار الكلور على الأعشاب (النجيليات) والحبوب ويكون شديداً على قمة الورقة ويمتد الى أسفل الحواف واحياناً على طول الورقة ليملأها.

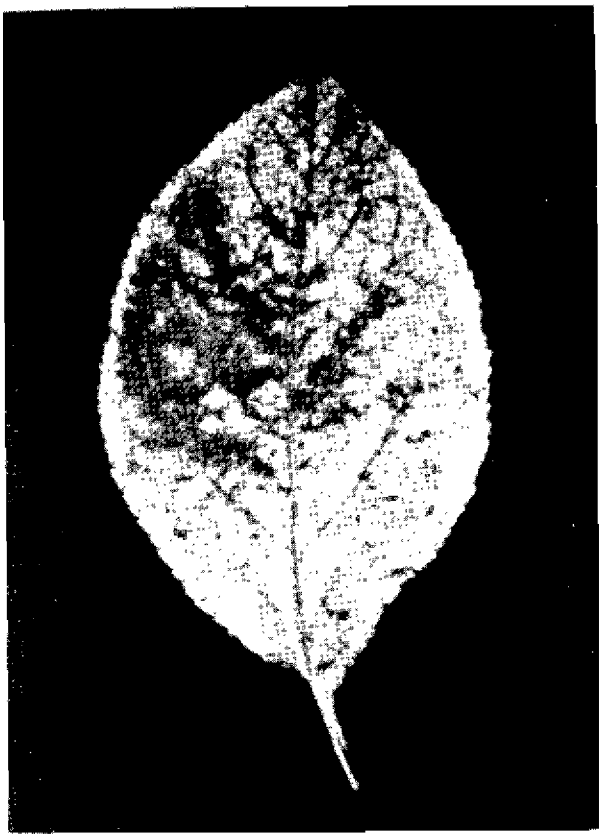
أما أعراض احمرار الورقة فيكون واضحاً على نباتات إبرة الراعي والهندباء البرية. تظهر الأعراض على شكل مناطق منتشرة على السطح العلوي للورقة خاصة باتجاه قمة الورقة والحافة، تكون هذه المناطق محمرة وغير منتظمة.

تكون الأعراض أكثر وضوحاً على الأوراق متوسطة العمر والمتقدمة بالسن وعادة ما تظهر على كلا سطحي الورقة. عندما تكون الأعراض مقصورة على وجه واحد فانها تكون غالباً على الوجه الأكثر ثغوراً. يكون هناك قابلية كبيرة للأوراق بأن تسقط حالاً بعد تعرضها للكلور.

يكون الموت والتحلل هو أكثر الأعراض شيوعاً على أشجار الصنوبر، التنوب والبيسيه. عندما تكون الأعراض حادة تظهر على شكل تحلل بني محمر يمتد من طول نصف الورقة

الابرية الى الأسفل. إن هذا التلون يصعب تمييزه كصفة مميزة لاضرار الكلور وذلك لتشابهه مع أعراض التلوث الاخرى ولكن وجود حزام ضيق من التبرقش حوالى ٤/١ إنش عرضاً محيطاً بالنسيج المتحلل هاماً في تشخيص اضرار الكلور. إذا كان تركيز الكلور منخفضاً فانه يسبب شحوب أكثر من تبرقش أو موت وتحلل.

إن أكثر النباتات حساسية للكلور هي البرسيم الحجازي، الفجل، الهندباء البرية، الكتلبه، كستناء الحصان، البيتونيا، الاقحوان، البيسيه وغيرها.



شكل رقم ٥٩: أعراض اضرار الكلور على اوراق البرقوق.

٣ - الايثيلين (Ethylene) CH2 = CH2

الإيثيلين مادة هيدروكربونية غير مشبعة من سلاسل الأولفين (Olefin Series) ولقد عرف على أنه ملوث هوائي منذ القدم حوالي سنة ١٨٧١ وكانت مصادر الايثيلين مقصورة على احتراق الفحم وانطلاق الغازات من المؤسسات ذات المنافع العامة. تطلق المصانع في الجو حوالي ٣٪ من غاز الايثيلين. كذلك يمكن أن تنكسر مواسير نقل الايثيلين في التربة وينتشر قرب جذور النباتات ويصل الى تركيز يقتل أشجار ونباتات الصوبات الزجاجية.

إن المصدر الرئيسي الان للإيثيلين كملوث للجو هو متورات السيارات، احتراق الغاز الطبيعي، احتراق الفحم أو الخشب، مصانع البتروكيماويات، الاحتراق غير الكامل لجميع المواد العضوية والاحتراق الكامل لبعض المواد العضوية، احتراق المواد الزراعية المعفنة، رماد البيوت والتفاعلات الاخرى. حتى إن الدخان الصادر من السيجار والسيجارة تبين أنه يحوي إيثيلين بمقدار ما. كذلك فان الايثيلين ينتجه النبات طبيعياً كمثبط للنمو (لزيادة معرفة دور الايثيلين في النبات يرجع الى كتاب منظمات النمو وعلاقتها بأمراض النبات سنة ١٩٨٠ للمؤلف).

ينتج الاثيلين طبيعياً بواسطة النبات ويقوم بمجموعة تأثيرات على النبات من ضمنها، الشحوب، سقوط الورقة، تدلى الورقة، تشجيع الجذور العرضية ونضج الثمار. يسبب الاثيلين زيادة فى نفاذية أغشية الخلية التى تصبح متأثرة بالاصابة. ومن ناحية أخرى فان الاثيلين يحث تكوين السموم النباتية (الفايتوالكسن) فى بعض الانسجة ويحث على بناء وتنشيط عديداً من الانزيمات التى من الممكن أن تلعب دوراً فى زيادة المقاومة للاصابة. ينتج الاثيلين بواسطة عديداً من الفطريات المرضة للنبات والبكتيريا. فى ثمار الموز المصابة بالبكتيريا المرضة (*Pseudomonas solanacearum*) فان محتواها من الاثيلين يزيد متناسباً مع (قبل النضج) اصفرار الثمار، بينما لم يمكن اكتشاف اثيلين فى الثمار السليمة، كذلك فان الاثيلين يدخل فى اظهار اعراض تدلى الاوراق وفى مظاهر الذبول الوعائى وفى تساقط الاوراق قبل الأوان الملاحظ فى أنواع عديدة من أمراض النبات.

اذا وصلت نسبة الإثيلين في الجو الى ٠,٢ جزء في المائة مليون تحدث اضراراً للنباتات.

الأمراض التي يسببها الإثيلين: -

(أ) مرض السبلة الجافة Dry sepal Disease

إن أول أعراض هذا المرض تظهر على شكل شحوب على السبلات البتلية لأزهار الاوركد ذات المنظر الرائع وتجف هذه السبلات إبتداءً من القمة ثم يتجه الى أسفل وتظهر الاعراض حال خروج الأوراق هذه من البرعم، غالباً ما يسقط البرعم قبل أن يتفتح ولكن اذا بقي وتفتح فان قمم السبلات تكون شفافة ومتحللة، لقد أمكن احداث هذا المرض صناعياً عند تعريض نباتات الأوركيد ٢٤ ساعة للاثيلين تركيز ٠.٢ جزء في المائة مليون أو ٥ جزء في المائة مليون لمدة ٦ ساعات. إن ٠.٢ جزء في المليون قللت القيمة التجارية للأزهار وإنخفض سعرها ٢٥٪. ولقد تبين أن هذا المرض يصيب أزهاراً أخرى غير الاوركيد، مثل القرنفل، الورد، الكاميليا، الاقحوان وفم السمكة.

(ب) مرض النوم في القرنفل والقطن Sleepiness

يصيب هذا المرض ازهار القرنفل ويتسبب عن الايثيلين. لقد سبب المرض خسائر تقدر ٧٠٠٠٠٠ دولار سنة ١٩٦٣ في لوس أنجلوس. تتحول بتلات الأزهار الى اللون الاصفر ثم تذوي، تبقى البراعم جزئياً أو كلياً مغلقة وتتفتح الأزهار ببطء أو لا تتفتح أبداً.

أما تأثير الايثيلين على نبات القطن فوجد أن المحصول يتحطم نهائياً في المناطق التي ترتفع فيها نسبة الايثيلين الى ٣٠٠ جزء في المائة مليون وتظهر الأعراض وكان النباتات رشت بمبيد الحشائش 2,4 - D. يظهر على النباتات جيوب ورقية، احمرار وشحوب، يحدث تشجيع للأزهار ولكن تسقط جميع الثمار. اذا ارتفعت نسبة الايثيلين الى ١٠ جزء في المليون فان أعراض ضرر الايثيلين تكون على شكل موت وتحلل في الأوراق السفلية، شحوب في براعم الأزهار، تثبيط نمو القمة وزيادة عدد العقد وقصر السلاميات وزيادة الأوراق الحديثة. هذه الاعراض يمكن معالجتها بوقف الايثيلين عن النباتات ولكن التشوهات التي حصلت على الأوراق لن تعود ثانية الى وضعها الطبيعي. في الحشائش والنجيليات يحدث سقوط الأوراق حتى في غياب الشحوب وتسقط الفريعات الصغيرة.

٤ - الأمونيا Ammonia

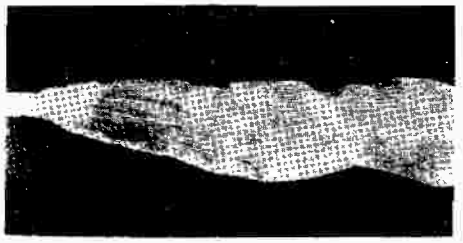
عرفت الأمونيا على أنها ملوثة للهواء منذ سنة ١٨٩٣. تتسرب الأمونيا الى الجو من عدة مصادر من أجهزة التبريد، من المخازن المبردة، من مصانع أسمدة الأمونيوم ومن مصانع حمض النيتريك، طرق الاحتراق وموتورات السيارات، يمكن أن يصل تركيز الأمونيا في الجو الى ٢٠ جزء في المائة مليون.

تظهر الاضرار التي تسببها الأمونيا على شكل بقع غامقة على الاوراق أو تصبح الأوراق سوداء كلية. تظهر اوراق الشعير والذرة بيضاء (شكل ٦٠)، بينما اوراق الراي والقمح يتكشف عليها بقع صدئة خاصة على طول الحواف. يظهر على أشجار الازلية والكستناء بقع بنية داكنة بين العروق لا تلبث أن تتحول الى اللون الاسود ثم تجف الورقة. يتكشف على ازهار الأزلية الحمراء بقع بيضاء ذات شكل اسفيني، اما الاصناف ذات الأزهار البيضاء فيتكشف عليها بقع بنية. يظهر على الاوراق الابرية لشجرة البيسيه لون أسود في حين أن الأوراق الحديثة تصبح صفراء محمرة.

إن كميات قليلة من الامونيا تسبب تغير في لون صبغات الثمار في الفواكه والخضار. تحدث أضرار لكل من التفاح، الكمثرى، الخوخ، البرقوق والبصل. يخترق الغاز الثغور أو يدخل خلال الشقوق في البشرة ويتفاعل هناك. هذا التفاعل القلوي يسبب تحطيم الصبغات وبالتالي تغير اللون.

وجد أن المستردة وعباد الشمس أكثر الأنواع حساسية فيتكشف عليها بقع متحللة ميتة عندما تتعرض لتركيز ٣ جزء في المليون أمونيا ووجد أن الأعراض النموذجية عند تبخير النباتات بالامونيا هو ظهور لون برنزي بني داكن معدني فاتح على البشرة العلوية، وبقع غير منتظمة بنية غامقة، احياناً تمتد على طول الورقة. تكثر البقع على قمة الورقة وعلى طول الحواف. اما على الخس تصبح الأوراق حمراء الى بنية على البشرة العليا بالقرب من الحواف وتبقى العروق الكبيرة خضراء.

تظهر الأعراض على البرسيم الحجازي على شكل مظهر مائي لامع الى أخضر فاتح يكون متبوع بشحوب بين العروق، اذا كانت الاضرار شديدة تبيض قمة وحواف الاوراق ويحدث فيها موت وتحلل يمتد بين العروق الكبيرة.



شكل رقم ٦٠: أعراض أضرار أبخرة الأمونيا على أوراق الذرة. تركيز ٤٠ جزء في المليون لمدة ساعتين.

٥ - اكاسيد النيتروجين Nitrogen oxides

إن كلاً من أكسيد النيتريك (NO) وثاني أكسيد النيتروجين (NO_2) ، رابع اكسيد النيتروجين (N_2O_4)، كلها ملوثات للهواء. إن حوالي ٧٪ من ثانى أكسيد النيتروجين في الجو ينشأ من احتراق البنزين في موتورات السيارات. هناك مصادر أخرى لثاني أكسيد النيتروجين وهي الأفران ومصادر توليد الطاقة ومصانع تكرير البترول ومصانع المطاط والصابون.

لقد كان أول ذكر للاضرار التي يحدثها ثاني أكسيد النيتروجين سنة ١٩٥٤ في ايطاليا حيث يسبب تبقع وموت موضعي للساق، تساقط الاوراق وموت القمم في أشجار الخوخ. تظهر الأعراض على اوراق الكرز والخوخ على شكل بقع متحللة صغيرة بين العروق.

في الدراسات المعملية على ثاني أكسيد النيتروجين تبين أن ١٠ - ٢٥٠ جزء في المليون لمدة تتراوح من ١٠ دقائق الى ثمانية ساعات، فان هذا الغاز سبب إنهيار سريع للأنسجة، موت موضعي وتساقط اوراق ١٠٠٪. ولقد تبين أن الخلايا البلاستيدية هي التي تتضرر بسرعة، يحدث تلون في الأنسجة بين العروق وموت موضعي.

تبين في بعض الدراسات أن أكاسيد النيتروجين تسبب مجموعتين رئيسيتين من الاضرار. المجموعة الاولى هي إنهيار، ظهور بقع متحللة صغيرة غير منتظمة الشكل بيضاء الى بيضاء مسودة تظهر بين العروق الثانوية الكبيرة بالقرب من حافة الورقة. اما المجموعة الثانية فهو ظهور غلاف أخضر لامع شمعي على اوراق بعض أنواع النباتات. إن هذا اللمعان يكون على كلا سطحي الورقة في نبات رجل الاوزة Pigweed، وعلى سطح الورقة العلوي في نبات المستردة. إن التركيزات العالية ٢٠ - ٥٠ جزء في المليون من (NO) تسبب اضراراً غير ملحوظة في الحقل، في حين أن ٤ - ٦ أجزاء في المليون من NO_2 كانت كافية لاحداث اضرار على نباتات البرسيم الحجازي والشوفان حيث جعلت الاوراق بيضاء بين العروق، هذا في ضوء الشمس اما في الظلام فكانت نسبة ٨ جزء في المليون كافية لاحداث اضراراً على الشوفان. اما على البرسيم الحجازي فكان ٢ جزء في المليون في الظلام تسبب ظهور الأعراض. وجد أن الثغور تغلق بسرعة في الظلام عند وجود NO_2 ولكن ثغور الاوراق في البرسيم الحجازي تبقى مفتوحة في وجود NO_2 حتى في النهار زادت نسبة سعة الثغور المفتوحة ٥٠٪ عند وجود NO_2 عنه في حالة الهواء النقي.

٦ - المطر الحمضي Acid Rain

إن المطر غير الملوث عادة يحتوي ماء نقي (H_2O) والذي من المحتمل أن يكون ذائباً فيه ثاني أكسيد الكربون CO_2، بعض الأمونيا NH_3 التي تكون نشأت من مادة عضوية موجودة في الماء على شكل NH_4 وكميات مختلفة صغيرة من الكاتيونات (Na^+، K^+ ، Mg^{++} ، Ca^{++}) واينونات سالبة مثل (Cl^- , SO_4^{--}). أيضاً فان حموضة الماء النقي متعادلة pH7. إن درجة حموضة المطر غير الملوث تكون عادة ٥.٦، يعني أنه يميل الى الحموضة قليلاً، مثل هذا

المطر يقال عنه أنه عادي، عندما تصبح حموضة المطر أو الثلج أقل من ٥.٦ عندها فقط يعتبر المطر حمضي.

ينتج المطر الحمضي من نشاطات الانسان، بقايا واحتراق الوقود (زيوت، فحم، غاز طبيعي) والغازات المتصاعدة من استخراج مركبات الكبريت والمعادن، هذه النشاطات تؤدي الى إنطلاق كميات كبيرة من الكبريت وأكاسيد النيتروجين في الجو، هذه الغازات عندما تتلامس مع الرطوبة الجوية تنقلب الى أقوى حامضين هما حمض الكبريت وحمض النيتريك وتسقط على الأرض مع المطر أو الثلج.

إن حموضة المطر والثلج فوق مساحات كبيرة من العالم تتراوح من ٤ - ٤.٥ pH والتي هي أكثر حموضة بمقدار خمسة الى ثلاثين ضعف منه في المناطق المنخفضة (٥.٦ pH) والتي لا تكون معرضة للتلوث. إن أقل درجة حموضة للمطر سجلت حتى الان هي ٢.٤ pH في اسكتلندا، ١.٥ pH في غرب فرجينيا، ١.٧ pH في لوس أنجلوس، وهي اكثر حموضة منها في الخل pH_3 ومن حمض عصير الليمون pH2.2. لقد قدرت هذه الحموضة في المطر الحمضي بأنها ٧٠٪ من حمض الكبريت وأن حمض النيتريك حوالي ٣٠٪. بالاضافة الى الكبريت الموجود في الحمض المحمول في المطر، من المعتقد أن كمية مساوية تقريباً من الكبريت تصل الى سطوح الاوراق عن طريق الترسيب الجاف لجزيئات الكبريت في الجو الرطب أو الملبد بالغيوم فان هذا الكبريت يتأكسد الى حمض الكبريت.

يمارس المطر الحمضي تأثيرات مختلفة وذلك عن طريق الزيادة الكبيرة في ذوبان جميع أنواع الجزيئات وعن طريق مباشر أو غير مباشر يؤثر على كثير من أنواع الحياة. الطريق المباشر من خلال خفض رقم الحموضة وسمية أيونات كل من NO_3^{--}, SO_4^{--}. أما الطريق غير المباشر هو ذوبان الجزيئات. إن التأثير غير الملائم للمطر الحمضي على الكائنات الحية الدقيقة، النباتات وعلى أسماك الأنهار والبحيرات قد تأكد جيداً. إن تأثيرات المطر الحمضي على نباتات المحاصيل هو أكثر صعوبة في التأكيد.

إن التجارب التي استعمل فيها مطر حمضي (pH3) حيث أضيف الى النباتات تحت بعض الظروف، تكشف على الأوراق المعاملة نقر، تبقعات وتجعدات وأن النباتات المعاملة سواء

ظهر عليها أعراض ام لم يظهر فقد أظهرت هذه النباتات نقصاً في الوزن الجاف، أيضاً فان بذور بعض أنواع النباتات نبتت في التربة المعاملة بالمطر الحمضي أحسن من إنباتها في التربة غير المعاملة وحصل العكس بالنسبة لبعض الأنواع الاخرى. كذلك فان التجارب التي عملت لتحديد تأثير المطر الحمضي على إبتداء وتكشف امراض النبات قد أظهرت فى بعض الامراض مثل صدأ البلوط *Cronartium fusiforme* أن ١٤٪ من الجراثيم التيليتية تكونت تحت تأثير المطر الحمضي (pH3) عنها تحت تأثير مطر حمضي (pH6). وأن الفاصوليا المعاملة بمطر حمضي (pH3.2) كان عليها ٣٤٪ من كتل بيض النيماتودا عنه في حالة المعاملة بمطر حمضي (pH6). ومن ناحية أخرى فان كلاً من المرض البكتيري اللفحة الهالية وصدأ الفاصوليا كانا احياناً أكثر شدة على النباتات واحياناً معتدلة تحت تأثير المطر الحمضي (pH5.6)عنه في حالة المطر الحمضي (pH6) وبشكل عام وبالرغم من وجود بعض الدلائل على أن المطر الحمضي يسبب درجات متفاوتة من الاضرار لبعض النباتات على الأقل، الا أن المعلومات المؤكدة والكثيرة لا تزال غير واصلة إلينا وغير كافية لتحديد مدى هذا الضرر على المحاصيل المختلفة في المناطق التي يحدث فيها مثل هذا المطر.

وفى دراسة حديثة أجراها الدكتور أحمد عبد الوهاب أستاذ البيئة بكلية الزراعة (مشتهر) بجامعة الزقازيق.(مصر) إستمرت ثلاثة سنوات من ١٩٩٠ - ١٩٩٢ على الأمطار الحمضية فى مصر، أظهرت النتائج النهائية أن مياه الأمطار التى تتساقط على مصر تحتوى على كميات من الاحماض بحيث يصل رقم الحموضة فى المطر الى (pH 5.2) وهذا الرقم ارتفع الى (pH 5.8) بعد حرب الخليج.

لقد ثبت فى البحث أن الأمطار الحمضية الساقطة فى مصر تحتوى على بقايا مبيدات ومواد صلبة وهذه تؤثر على إمتصاص النباتات للمواد الغذائية وبالتالى تؤثر على صحة الانسان. لقد لاحظ الباحث أن الأمطار الحمضية الساقطة على بعض المناطق مثل منطقة الصالحية تسبب حدوث ذبول وحروق فى أطراف اوراق النباتات بعد سقوط الأمطار عليها مع تدهور شديد فى حالة النباتات. لقد أتضح من تحليل الأمطار المتساقطة على كل من القاهرة والاسكندرية أنها تحتوى على نسبة عالية من الأحماض والمواد الصلبة العالقة فى الماء وهى

عبارة عن أتربة وعناصر ثقيلة مثل الحديد، الرصاص والزنك وكذلك احتوت على الكبرتيات والبيكربونات، الصوديوم، البوتاسيوم، الكالسيوم والمنجنيز.

لقد كشفت النتائج عدة حقائق منها: - إن كمية الملوثات التى تحملها الأمطار تختلف من منطقة الى أخرى كما اختلفت كمية الملوثات طبقاً لعدد مرات الأمطار، فكانت أمطار المرة الأولى محتوية على نسبة عالية من الحموضة والمواد الملوثة أكثر منها فى المرات التالية.

تبين من الدراسة أن حموضة المياه الساقطة كانت تتراوح من (pH 5.1 - 5.6) فى القاهرة أما فى الاسكندرية فكانت pH 5.3. كما ثبت وجود مبيد اللندين بتركيز ٣٦ جزء فى البليون، ومبيد ال د د ت بتركيز يتراوح ١٠ - ٤٢ جزء في البليون.

ذكر الباحث أن نزول هذه الأمطار على الأرض يسهل عملية ذوبان العناصر الثقيلة التى قد يمتصها النبات وتصبح ضارة بصحة الانسان كما وانها تؤثر مباشرة على فسيولوجيا النبات حيث تسبب أحياناً فى خفض إنتاج المحاصيل خاصة الفول البلدى والحمضيات اذا تساقطت أثناء الأزهار.

ثالثاً : غازات ملوثة ناتجة عن تفاعلات كيموضوئية

Photochemically Produced Gaseous Pollutants

كان يعتقد قديماً أن الغازات غير الناتجة عن تفاعلات كيموضوئية هي أساساً ملوثات الهواء أو ملوثات البيئة وهي التي تسبب اضراراً للنبات، ولكن منذ حوالي عشرين سنة أمكن تمييز ملوثات أخرى في الجو وفي الهواء تسبب اضراراً للنبات، هذه الملوثات يحدث فيها بعض التغيرات بعد إنطلاقها من مصادرها الاساسية وتتفاعل مع أشعة الشمس أو العوامل الجوية الأخرى أو مع كليهما وتسبب أضراراً للنبات أو تكون سامة على النبات والحيوان. إن معظم هذه المواد السامة تنشأ عن مواد غير سامة وبعد تفاعلها تتكون المادة السامة.

من أهم المواد التي سنشرحها بالتفصيل (١) الأوزون (٢) بيروكسي أستيل نتريت PAN

ا - الأوزون OZONE (O_3)

الاوزون هو مركب طبيعي يوجد في الطبقات العليا من الجو حيث يلعب دوراً حيوياً في امتصاص وتنقية وحماية الغلاف الجوي من الأشعة فوق البنفسجية الضارة. كذلك فان الاوزون يتكون بكميات كبيرة نتيجة تفاعلات بقايا احتراق متورات السيارات مع أشعة الشمس. يزداد تركيز الاوزون في هذه الأيام وفي بعض المناطق الصناعية زيادة مخيفة تهدد صحة الانسان وإنتاج المحاصيل. لقد لوحظ ضرر الاوزون وسميته الكبيرة لأول مرة سنة ١٩٥٨ (Richards *et al*). لقد ذكر تأثيره الضار على النباتات الحولية وعلى المحاصيل الحقلية، الخضار الورقية، الحبوب، محاصيل العلف، محاصيل الالياف، الشجيرات، نباتات الزينة، أشجار الفاكهة وأشجار الغابات كلها تتضرر بالأوزون.

مصادر الأوزون:-

إن كميات قليلة من الأوزون تضاف الى الجو عن طريق الشحنات الكهربائية، مثل اضاءة الكشافات الكهربائية، كميات أخرى كبيرة يمكن أن تنزل من طبقات الجو العليا عن طريق الانسيال أو التدفق العمودي، ولكن الكميات الكبيرة من الاوزون الموجودة في البيئة المحيطة تتكون كيميائياً عن طريق تفاعل الأشعة الفوق بنفسجية مع أكاسيد النيتروجين.

يتكون الاوزون بكميات كبيرة في أجواء المدن الصناعية حيث تتوفر مواد التفاعل. إن طرق الاحتراق الوفيرة ومصادرها، خاصة موتورات الاحتراق الداخلي غير الكامل في السيارات تطلق يومياً اصنافاً من مخلفات هيدروكربونية واكاسيد نيتروجين في الجو. إن الحرارة الصادرة من اي لهب او توهج تسبب إتحاد الاكسجين مع النيتروجين الجوي (بدون الحرارة لا يتحدان وهذه الحرارة تتوفر في الافران وفي متورات السيارات) وتكون اكاسيد النيتروجين، كلما كانت حرارة اللهب أو التوهج عالية كلما كانت الكمية الناتجة من اكاسيد النيتريك كبيرة. يتاكسد اكسيد النيتريك (NO) الى ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2) مستعملاً الاكسجين الجوي ولكن الطاقة الصادرة من أشعة الشمس سرعان ما تحطم NO_2 وترجعه الى (NO) وينطلق ذرة اكسجين والتي تتحد مع جزيء الاكسجين الجوي لتشكل الاوزون. ويمكن توضيح ذلك بالمعادلات : -

١ – يتحد الاكسجين الجوي مع النيتروجين الجوي في وجود الحرارة سواء كانت من الافران أو من موتورات السيارات أو أي مصادر أخرى

$$N_2 + O_2 \xrightarrow{\text{حرارة عالية}} NO$$

٢ – في بعض المناطق تكون السيارات مسئولة عن ٧٠ – ٨٠٪ من كميات (NO) الموجودة. وجد أن أكسيد النيتريك يتدخل مع مخلفات صناعية أخرى في الهواء الطلق وبوجود الأشعة فوق البنفسجية ٢٩٠٠ – ٣٧٠٠ نانوميتر مع وجود الالوفينات مثل الإثيلين، Pro-pylene ، Isobutylene ، يتكون ثاني اكسيد النيتروجين

$$NO + O_2 \xrightarrow[UV/LIGHT]{\text{hydrocarbons}} NO_2$$

٣ – تحت تأثير أشعة الشمس فان ثاني أكسيد النيتروجين يفقد ذرة اكسجين والتي تتحد مع جزيء اكسجين لتكون الأوزون.

$$NO_2 + O2 \xrightarrow{UV/light} NO + \{O\}^-$$

$$\{O\}^- + O_2 \longrightarrow O_3$$

إن الأوزون غير ثابت ونظرياً يجب أن يتحطم ويرجع بالتفاعل العكسي الى أكسجين وأن يختفي الاوزون من الجو، ولكن لا يحدث هذا في الواقع وذلك لأن مركبات الهيدروكربون متوفرة بكثرة في الجو وخاصة أجواء المدن وتتفاعل مع NO وبالتالي توقف التفاعل العكسي وبذا يتراكم الاوزون. في حالة أشعة الشمس الساطعة وفي غياب التفاعل العكسي فان NO_2 يكون له فترة نصف حياة مقدارها ١ – ٢ دقيقة، أما في الظلام فان التفاعل يكون معكوساً بسرعة ويتجمع ثاني أكسيد النيتروجين على حساب الاوزون.

أما الطريقة الثانية التي يتوفر بها الاوزون في الهواء، فحيث أن الطبقات العليا الخارجية في الجو غنية بهذا الغاز فان الاوزون يمكن أن ينزل قريباً من الأرض تحت بعض الحالات الخاصة مثل تدفق إشعاعي من الجهات القطبية الباردة والاعاصير القوية المضادة.

وكذلك هناك طريقة أخرى يمكن بها أن يصل تركيز الاوزون الى حد ضار بالنبات وهي العواصف الرعدية والبرق الشديد.

لقد ذكر أن أعلى تركيز للأوزون كان في سماء مدينة لوس أنجلوس حيث وصل التركيز الى واحد جزء في المليون ويتراوح التركيز يومياً ٠,١٥ - ٠,٣٨ جزء في المليون صيفاً وتصل الى ٠,٠٥ - ٠,١ جزء في المليون شتاءً. يحدث اضراراً للنباتات اذا وصل تركيز الاوزون ٠,٠٥ جزء في المليون وهذا التركيز يمكن أن يوجد بالقرب من كثير من المدن الصناعية. لا يبقى الاوزون في الجو مدة طويلة وإنما يتفاعل مع كيماويات أخرى في الجو خاصة الغازات التي تكون منها وكذلك مع سطح الارض ومع سطوح النباتات وسرعان ما يتعادل.

عندما تتعرض اوراق النباتات الى الاوزون فان الخلايا الحارسة في البشرة سرعان ما تستجيب لذلك وتفقد إنتفاخها وسرعان ما تغلق فتحة الثغر. مع أن هذه الإستجابة وغلق الثغور تحمي النبات من الملوثات الاخرى، الا أنها تفشل في منع دخول كمية كافية من الاوزون تسبب اضراراً للنبات.

قبل أن تظهر سمية الأوزون على النبات هناك على الأقل خمسة عمليات فسيولوجية يحدث لها تغيير تحت تأثير الأوزون، من هذه التأثيرات : -

١) يؤثر الاوزون على الأغشية السيتوبلازمية من حيث التركيب والنفاذية.

٢) يؤثر الاوزون على الانزيمات الخلوية والعضيات ويحدث اضطرابات في عمليات البناء والهدم. إن هذا التغير يحدث في بناء المواد الكربوهيدراتية والأحماض الأمينية ويمكن أن يحدث اكسدة في المكونات الخلوية الاخرى مثل الكلوروبلاست وأغشية الميتوكندريا حيث أن الاوزون يتفاعل مع الروابط المزدوجة غير المشبعة في دهون غشاء الميتوكندريا ويمكن أن يثبط مجموعات (-SH) وبالتالي يثبط بناء دهون جديدة.

٣ – يثبط الاوزون نشاط الميتوكوندريا.

٤ – يثبط عملية البناء الضوئي وحيث أن عملية البناء والتمثيل والنمو في النبات تعتمد على الطاقة المأخوذة من السكريات والمركبات الوسيطة أثناء عملية البناء الضوئي، فلقد وجد أن الأوزون يؤثر على البناء الضوئي.

٥ – ينشط عملية التنفس. وجد أن التأثير المتوسط للأوزون على تمثيل الكربوهيدات يقع في تأثيره على التنفس. في اوراق الدخان يثبط الاوزون التنفس في البداية ولكن بعد أن تظهر الاعراض يزيد معدل التنفس. إن هذه الزيادة في التنفس تعني زيادة في معدل احتراق السكر وتستنزف الكربوهيدرات المخزنة.

هناك دراسات كثيرة على تأثير الاوزون على بناء الكربوهيدرات. إن أي تأثير للاوزون على تمثيل الكربوهيدرات يكون في نفس الوقت مؤثراً على تكوين جدر الخلية عن طريق تأثيره على السكر الضروري لها. وجد أن الاوزون على بعض المستويات يؤثر على نمو كل النبات فهو يوقف استطالة الخلية عن طريق تثبيط بناء السليلوز وبالتالي بناء جدار الخلية. يعزى هذا التثبيط بشكل اساسي الى التأثير المؤكسد للاوزون على مجموعات (-SH) في الانزيمات.

كذلك فان الاوزون يؤثر على إنتاجية النباتات الى حد ما وعلى نموها، إلا أن هذه الدراسات صعبة التحديد ولم أحصل على مراجع شافية تبين مدى تأثير الاوزون على إنتاج النباتات.

هناك دراسات عديدة على تأثير الاوزون على الناحية التشريحية للنبات. وهذا الموضوع لا نتطرق إليه في امراض النبات كثيراً.

اعراض الاضرار التي يسببها الأوزون : –

يسبب الاوزون تبرقش وموزايك (تنقيط) شحوب الأوراق والذي يكون محدوداً غالباً في السطح العلوى للأوراق ويبدو أن هذا يكون لوجود البلاستيدات في هذا السطح والتي تكون حساسة جداً للأوزون. يمكن أن تكون البقع صغيرة أو كبيرة ويمكن أن تختلف في لونها من

الأبيض الى الاحوى (أبيض مائل للسواد) أو تكون بلون بني أو أسود يكون ذلك حسب نوع النبات وشدة الضرر. وجد في كثير من النباتات من بينها البرسيم الحجازي، الفاصوليا، الحبوب، البيتونيا، الصنوبر والحمضيات تتأثر كثيراً بالاوزون في الحقل. اما في الحمضيات والعنب فان الاوزون يسبب سقوط الأوراق قبل تمام نموها وتقزم النباتات. تظهر الاعراض على النباتات الحساسة بعد ٤ – ٨ ساعات من تعرضها لتركيز ٠.٠٢ جزء في المليون اوزون او بعد ١ – ٢ ساعة من تعرضها لتركيز ٠.٠٥ جزء في المليون. وفيما يلى شرح مفصل لأعراض الاوزون على نباتات مختلفة : –

ا – الاعشاب والنباتات عريضة الأوراق : –

تكتسب النباتات مظهر لامع وزيتي على السطح العلوي للورقة بعد تعرضها لجرعات سامة من الاوزون لمدة ساعتين، يختفي المظهر الزيتي اذا أزيل المسبب (الاوزون). تصبح المناطق المتأثرة مائية وتأخذ مظهر اللون الأخضر الرمادي أو الغامق وتدريجياً تصبح المناطق الغائرة شاحبة اللون الى بيضاء بسبب إنهيار الخلايا البلاستيدية. تتأثر اولاً مجموعات منعزلة من الخلايا بين العروق الصغيرة جداً معطية المظهر المميز لاعراض الاوزون وهو المظهر المثقب او البثرات على السطح العلوي للورقة، وهذا اول عرض يمكن التعرف عليه في الحقل. الأنسجة الدعامية المكونة للنسيج الوسطي في الورقة هي الأكثر حساسية للأوزون والتي تتضرر اولاً، ثم يأتى بعدها الخلايا الاسفنجية الوسطية وأخيراً خلايا الميزوفيل السفلية. الأنسجة الوعائية التي تضم اللحاء والخشب وخلايا أغلفة الحزم الوعائية هي أكثر تحملاً للأوزون وتتضرر فقط عندما تموت جميع الأنسجة الاخرى. هناك عرضان مميزان في الأعشاب والنباتات عريضة الاوراق، اولاهما ظهور مناطق غائرة منهارة منقطة أو بيضاء داكنة، والعرض الثاني يظهر بعد خمسة أيام حيث تتحول البقع السابقة الى اللون الاصفر الرمادى. أما في نباتات البنجر فان البقع تصبح محمرة. تظهر الأعراض بشدة على قمة وحواف الورقة ولكن هذا يتأثر الى حد ما بعمر الأنسجة.

٢ - أعراض اضرار الأوزون على البقوليات : -

تكون اعراض الاضرار على البقوليات وخاص البرسيم الحجازي مشابهة لتلك الاعراض المتسببة عن PAN و SO_2 . خلال عدة ساعات من تعرض النبات للأوزون فان المناطق المتضررة تصبح منقطة وذات لون أخضر رمادي غامق الى لون أخضر مصفر. يتركز اللون الشاحب على طول العروق ولكن اذا كانت الاضرار شديدة فان اللون الشاحب يمتد الى النسيج الداخلي وأخيراً على كلا سطحي الورقة. يمكن أن تبقى جزر من نسيج لونه أخضر طبيعي تصل الى قطر ١ ملم ودائرية في المناطق الشاحبة. يمكن أن يظهر لون رمادي فضي الى برنزى متحلل موضعياً ومبيض على السطح العلوي للورقة. تحت تركيزات الاوزون العالية تمتد البقع خلال نصل الورقة وحتى فوق العروق الثانوية. تجف الأنسجة المصابة تاركة بقع متحللة رقيقة جافة.

٣ - الهندباء والنجيليات : -

بالنسبة لهذه النباتات التي تفتقر الى الأنسجة الدعامية فان الاعراض تختلف قليلاً. إن الطبقة البعيدة من الميزوفيل هي التي تتضرر كثيراً وتتوزع الاعراض عشوائياً على كلا سطحي الورقة. تظهر الاعراض المعتدلة على العروق المتوازية.

في نباتات احادية الفلقة مثل الذرة، الشعير، الشوفان، القمح، الراي وأعشاب المروج تظهر الاعراض على شكل تنقط شاحب بين العروق الكبيرة، تكون النقط صغيرة وعندما تكون الاضرار اكثر شدة فان البثرات البيضاء تلتحم وتشكل خطوط طويلة شاحبة والتي غالباً ما تمتد خلال نصل الورقة، بعض البقع تمتد طولياً وغالباً ما تغطي العروق الصغيرة وتتميز باللون الباهت الى المبيض.

٤ - نباتات الزينة والأشجار متساقطة الأوراق : -

تختلف أعراض اضرار الأوزون على نباتات الزينة والأشجار قليلاً حيث تظهر الأوراق المتضررة غير منتظمة الشكل برنزية اللون. إن هذا اللون البرنزي ناشيء عن نقط صغيرة

صفراء داكنة الى برنزية. أو قد تكون الأعراض على شكل تنقيط بني على سطح الورقة العلوي. إن اللون البرنزي والشيخوخة المبكرة هي الاستجابة المميزة للأشجار للاوزون، حيث أن الشيخوخة المبكرة وتساقط الأوراق يظهران قبل ظهور اعراض أخرى مرئية. تظهر أعراض حادة على الأزهار وتبين أن ٠,٠٧ جزء في المليون اوزون لعدة أيام تثبط تكوين البراعم في القرنفل، اما احتراق القمة فيتكشف بعد ٥٦ يوم إبتداءً من تعرض النباتات لهذا التركيز من الاوزون.

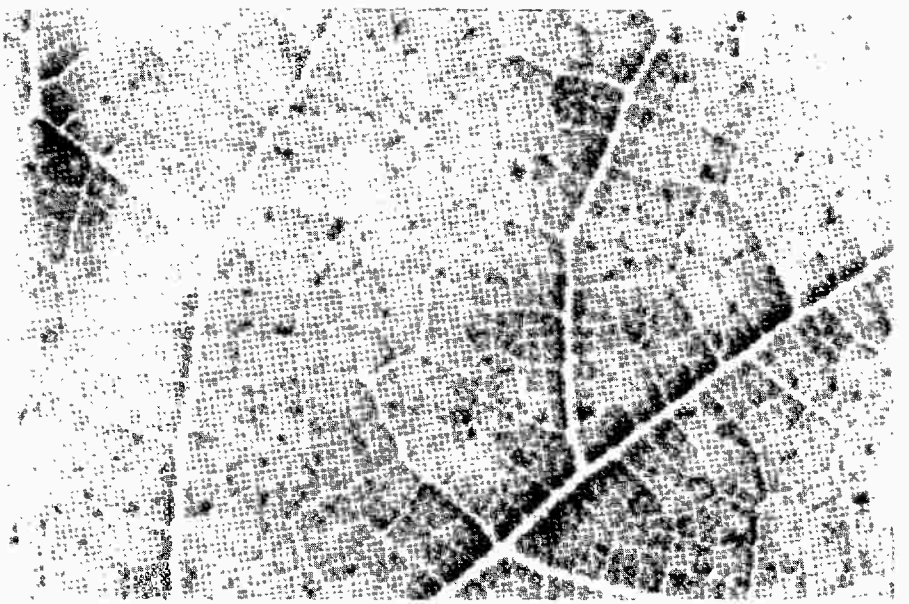
٥ - الإضرار على الثمار : -

تبين أن الثمار تتضرر أيضاً بتعريضها للأوزون ولكن على تركيزات عالية. إن ثمار التفاح المعرضة باستمرار الى تركيز ١,٨ جزء في المليون لمدة ثلاثة أيام على الأقل يتكشف عليها نقر صغيرة بنية حول العديسات. إن تغير لون السطح كثيراً ما يكون مترافقاً مع ظهور اللون البني وتكوين أنسجة فلينية.

أمراض النبات الناتجة عن الاوزون

١ - تنقيط العنب Grape Stipple

كان هذا المرض مخيفاً ومؤثراً على صناعة العنب في جنوب كاليفورنيا في اوائل الخمسينات وهو أول مرض يُعرف بأنه يتسبب عن الاوزون. تظهر الاعراض (شكل ٦١) على شكل تلون برنزي، اصفرار، شيخوخة مبكرة وسقوط اوراق. أما بداية ظهور الاعراض فيكون على شكل مجموعات من الخلايا العمادية منفصلة عن بعضها البعض ذات صبغات سوداء الى بنية ومشكلة تبقعات نموذجية ٠,١ - ٠,٥ ملم في القطر ومرتبطة مع العروق الصغيرة جداً. كلما التحمت هذه البقع يمكن أن تتكشف بثرات اكبر. تظهر البقع مبكراً في بداية موسم النمو على الاوراق الحديثة وخاصة المتفتحة حديثاً، لا يلبث أن يظهر عليها اللون البرنزي خاصة على الاوراق القديمة ثم يتبع ذلك الشيخوخة المبكرة وتساقط الاوراق.



شكل رقم ٦١: أعراض أضرار الأوزون على العنب.

٢ - لفحة البصل Onion blight

ظهر هذا المرض لأول مرة في سنة ١٩٠٣ ولكن لم تحدد أسبابه الا بعد عدة سنوات، عندها عرف أن المسبب الاساسي هو الاوزون. تتميز الاعراض على شكل احتراق في قمم الاوراق يكون متبوعاً بظهور بثرات ثم تتحطم الأنسجة وهذا نموذجاً لأضرار الاوزون. يمكن أن يظهر المرض بشدة لعدة سنوات على الأصناف عالية الحساسية في المناطق البعيدة غير الصناعية.

٣ - البثرات الجوية على الدخان Weather Fleck

هذا المرض خطير على الدخان في مناطق واسعة في القارة الأمريكية وكانت اول ملاحظة له في الثلاثينات واستمر في خطورته حتى عرف أنه يتسبب عن الاوزون في أواخر الخمسينات. تظهر الاعراض على شكل نقط على الورقة تؤثر على نوعيتها (شكل ٦٢) جاعلة اياها غير صالحة لأن تدخل في صناعة السيجار. تختلف الأعراض وذلك حسب الصنف ولكنها بشكل عام تكون في البداية على شكل بثرات ذات لون رمادي الى معدني على السطح العلوي للورقة، لا يلبث أن يظهر بقع مائية غير منتظمة وفي صباح اليوم التالي تصبح سوداء مزرقة وأخيراً بنية، تكون هذه البثرات بقطر يصل عدة مليمترات وتميل لأن تكون بين العروق الصغيرة، تكون البثرات غائرة الى حد ما ومحاطة بحزام ضيق من النسيج الشاحب يتكون من خلايا في مراحل إنهيار مختلفة.

٤ - لفحة الأوراق الإبرية في الصنوبر الأبيض

white Pine Needle Blight

يعرف هذا المرض باسم الشحوب والتقزم او احتراق القمة الحديثة. عرف هذا المرض في اوائل الستينات على أنه يتسبب عن الاوزون بتركيزات منخفضة. ينتشر هذا المرض في كندا وامريكا وفي مناطق جبال الاباالاش. في هذه المناطق كانت الأعراض تظهر منذ بداية هذا القرن ولكن بدون معرفة سبب المرض. ولقد استطاع بعض العلماء بالتجارب أن يثبتوا أن هذا المرض متسبب عن الاوزون وقد وجد أن هذا المرض يظهر عند تركيز ٠,٠٧ جزء في المليون اوزون.

تظهر الاعراض في بداية فصل الصيف، بينما لا تزال الاوراق الابرية في بداية خروجها وظهورها من النموات الجديدة الطويلة، تكون الاعراض على الأشجار الحساسة على شكل بقع ارجوانية، تتحد البقع مع بعضها على شكل أشرطة من الأنسجة الميتة، تموت قمة الابر التي تلي هذه المنطقة تدريجياً مسببة موت وتحلل موضعي في قمة الورقة الإبرية. أما الاصناف الأكثر تحملاً فتكون عليها الاعراض على شكل شحوب أو أشرطة متحللة او شحوب عام وتقزم

في الأوراق الإبرية في غياب الموت الموضعي ولهذا أعطي المرض اسم الشحوب والتقزم. يمكن ان تظهر الأعراض منتشرة على أشجار متفرقة وتكون على شكل موت وتحلل موضعي، تبرقش، شحوب عام وتقزم الأوراق، يعتمد ظهور هذه الأعراض على الصفات الوراثية للشجرة والظروف البيئية السائدة وملوثات الجو الاخرى.

٥ - مرض X أو الشحوب والتدهور في الصنوبر

X Disease or Chlorotic Decline In Pine

يسمى هذا المرض أحياناً تبرقش الأوراق الاوزوني Ozone Needle Mottle of Pine. ظهر هذا المرض في بداية الخمسينات وبدأ وصفه سنة ١٩٦٢. تظهر الأعراض على شكل بثرات دقيقة شاحبة على الاوراق الابرية. يصبح الشحوب تدريجياً أكثر كثافة بينما الأوراق المصابة تبهت في اللون وتصبح برنزية ثم يحدث موت موضعي وأخيراً تسقط الاوراق قبل تمام نموها وبالتالي فان جميع الاوراق باستثناء اوراق الموسم الحالي فانها تسقط. إن سقوط الاوراق هذه يعطي الشجرة مظهر تواجد الاوراق في قمم الفروع فقط وتكون بقية الاغصان عارية. بعد ذلك يحدث موت قمم في الأفرع وفي الورقة الابرية وينخفض نمو الاغصان وعدد وطول الاوراق الابرية حتى يبقى عدد قليل من الإبر على قمم الأشجار. في المراحل الاخيرة من تدهور الشجرة فان الاغصان الكبيرة السفلية الجانبية يحدث فيها موت قمم بعد مرور ٣ - ٥ سنوات.

حساسية النبات للأوزون : -

هناك قوائم طويلة موجودة في A. C. Hill *et al* سنة ١٩٦١ تشمل النباتات الحساسة ومتوسطة الحساسية والمقاومة للاوزون. تشمل النباتات الحساسة ٢٧ نوع تبدأ بالسبانخ ثم الدخان ثم البرسيم الحجازي وتنتهي Hopa crab، الدردار الأخضر واخرها Bridal Wreath. أما القائمة التي تشمل النباتات متوسطة الحساسية فهي ١١ نبات تبدأ باللفت ثم السلق ثم الجزر وتنتهي Sliver berry. أما النباتات المقاومة تشمل ١٥ نوعاً اولها البنجر، الجيرانيوم وتنتهي Bor Oak.

تقليل اضرار الاوزون

يمكن تقليل اضرار الاوزون باستعمال عدة طرق منها

١ - استعمال الاصناف المقاومة لهذا الغاز ، هذا الاجراء كان ناجحاً في نباتات الدخان حيث الاصناف المقاومة متوفرة خاصة في الأنواع التجارية.

٢ - رش النباتات الحساسة بمواد كيماوية حافظة مثل الكبريت والفحم النباتي أو مسحوق أكسيد الحديديك حيث وجد أنها فعالة في تحطيم الاوزون الجوي قبل أن يدخل الورقة.

٣ - استعمال بعض المبيدات الفطرية بالاضافة الى Antioxidants. إن أفضل المواد المستعملة هي مركبات الثيوكارباميت ومركبات Mercaptobenzothiozole ومشتقاتها.

إن تأثير هذه المواد موضعي وليس جهازي. تبقى الاوراق خالية من الاضرار طالما أن المواد الكيماوية موجودة على سطح الورقة وبالضبط الجزء المغطى منها.

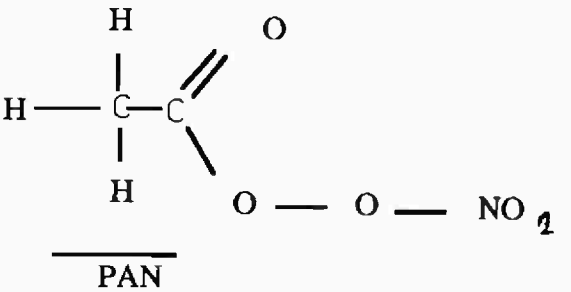
وجد أيضاً أن Manganous 1,2 naphthoqu inon 2-oxime فعال بشكل خاص لحفظ المجموع الخضري للطماطم وكذلك فان Manganous and Cobaltous chelates عالية الفعالية في هذا المجال.

تفاعل الاوزون مع الملوثات الاخرى : -

إن تلوث الجو بملوث واحد نادراً ما يحدث وانما هناك ملوثات كثيرة متنوعة تحدث وتتداخل مع بعضها البعض ومما يمكن أن يحدث تلوث من الاوزون ، PAN ، SO_2 ، NO_2 وكيماويات أخرى مع بعضها البعض.

بيروكسي أستيل نتريت (PAN) Peroxyacetyl Nitrate

إن درجات الحرارة العالية التي تحدث داخل موتورات السيارات تؤدي الى تحطيم بعض مركبات الهيدروكربون الموجودة في البنزين، ومن بين المواد المنطلقة مواد الألوفينات والمركبات الحلقية. هذه المواد تتأكسد في وجود اكاسيد النيتروجين والضوء فوراً بعد إنطلاقها. تتأكسد الالوفينات بسرعة ويبدو أن الرابطة المزدوجة تتحطم وتنتج مركبات غنية بالالدهيد aide-hydes. يحدث تفاعلات أخرى للألدهيد مع الاوزون ومركبات هيدروكربونية أخرى فيؤدي ذلك الى تكوين عديد من المركبات منها بيروكسي أستيل نتريت.



PAN

بالاضافة الى الاحتراق الداخلي للبنزين في متورات السيارات كمصدر لمادة PAN وجد أن التربنتينات المنطلقة من أشجار المخروطيات يمكن أن يحدث لها تغيرات كيموضوئية في وجود أكاسيد النيتروجين وتشكل PAN والاوزون. إن مركب PAN هو مركب واحد فقط من بين سلسلة المنتجات السامة التي تحدث من التفاعلات السابقة الذكر. هناك بعض المواد التي تنتج تكون سميتها ثمانية أضعاف سمية PAN.

ميكانيكية فعل PAN

تدخل مادة PAN ورقة النبات عن طريق الثغور، عندما يصل الى الغرفة تحت الثغرية فانه يهاجم خلايا الميزوفيل المحيطة بالمسافات البينية، ومن الدراسات الهستولوجية على الاجزاء النباتية المتضررة وجد أن PAN يؤثر على نشاط الأنزيمات، التنفس، البناء الضوئي، الامتصاص الايوني، بناء الكربوهيدرات والبروتين، كل هذه العمليات تضعف تحت تركيز من PAN أقل من التركيز الذي يؤدي الى ظهور أعراض مرئية. لقد لوحظت اولى علامات تحطيم الكلوروبلاست بواسطة الدراسة بالذرات المشعة، وقد فسر هذا التحطيم نتيجة الاضرار التي يحدثها PAN على الانزيمات الضرورية على الفسفرة الضوئية، لأن الفسفرة الضوئية اساسية لعمليات البناء الضوئي لتزويدها بالطاقة اللازمة لانشطار جزيء الماء. ولقد تبين أن PAN يثبط البناء الضوئي وتثبيت ثاني اكسيد الكربون في نباتات الفاصوليا. كذلك فان PAN ضار على اكسدة مجموعات (SH-) في بعض الانزيمات، ووجد أن الأنزيمات التي تحتوي مجموعات حرة من (SH-) كانت حساسة بشكل خاص لـ PAN وأن هناك علاقة بين محتوى الخلايا من (SH-) وحساسيتها لمركب PAN هذا وجد في نباتات الفاصوليا. يمكن اصلاح هذه الاضرار باضافة مجموعات من (SH-) تعوض المجموعات التي أثر عليها المركب. إن عملية التأثير على مجموعات (SH-) تؤثر على سلسلة أخرى من التفاعلات داخل الخلية حيث تؤثر على مجموعة الانزيمات الحيوية لبناء الجلوكوز وبقية أنواع السكريات الخماسية والسداسية والبليمرز لها والتي تدخل في بناء جزيئات جدارالخلية متضمنة السليلوز، وبالتالي يؤثر على استطالة جدار الخلية ونمو الخلية نتيجة تأثيره على كل الانزيمات الداخلة في ذلك من أهمها Phosphoglu-comutase ، Glucan hydrase.

اعراض الاضرار التي يسببها PAN

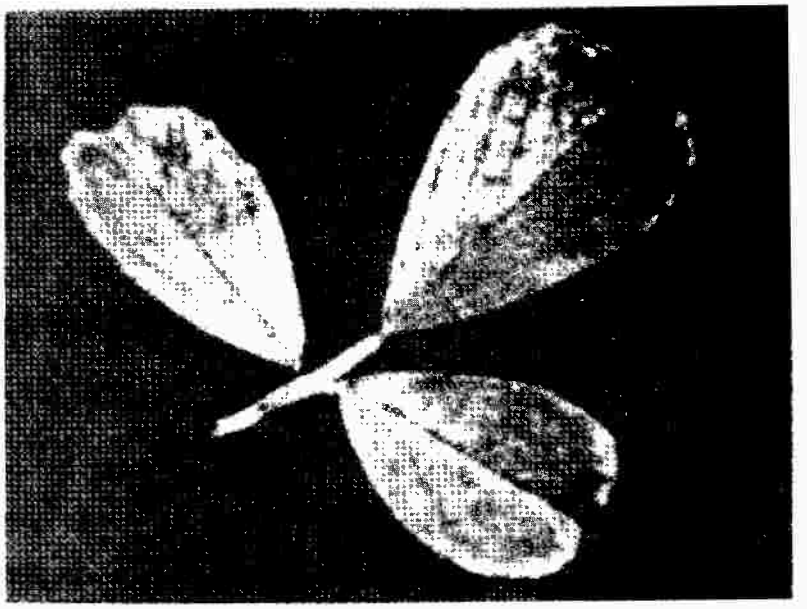
يسبب هذا الغاز اضطرابات في النبات ويؤدي الى ما يعرف باسم الورقة الفضية Sliver leaf والتي تنتج بقعاً على السطح السفلي للورقة لكثير من الاعشاب والمحاصيل، يتراوح لون البقع من الأبيض الى البرنزي. إن المظهر الفضي أو الزجاجي للسطح السفلي للأوراق نتيجة اضرار PAN يكون نتيجة Dehydration وانكماش في خلايا الميزوفيل وتنهار خلايا البشرة. مع أن الاضرار تكون محصورة في البرانشيما الإسفنجية في الأوراق، الا أن الطبقة العمادية يمكن أن تتأثر أيضاً. في هذه الحالة يظهر الشحوب وهو يشبه الشحوب المتسبب عن الاوزون ويمكن أن يظهر على السطح العلوي للورقة. إن حقيقة ظهور الاعراض على السطح السفلي اولاً تكون ميزة جيدة في تحديد ان الاضرار ناتجة عن PAN وليس عن الاوزون.

إن التركيزات المنخفضة من PAN التي أقل من ٠,٠٥ جزء في المليون تنتج احياناً أعراض التنقيط المشابهة للأوزون تماماً ولكن هذا الاختلاط يكون على بعض النباتات الحساسة مثل البرسيم الحجازي والبيتونيا اللذان هما حساسان للملوثين كليهما.

احياناً يظهر أعراض تشبه أعراض ال PAN تكون نتيجة الاصابة بالحَلَمْ او نطاطات الاوراق أو التربس والتمييز بين هذا وذاك يجب استعمال النباتات الحساسة للتجربة. وبشكل عام يمكن القول بأن بداية الاعراض على النباتات الحساسة هو ظهور أنسجة زيتية لامعة مائية القوام (شكل ٦٢) على السطح السفلى للورقة ثم يتبع ذلك ظهور إنتفاخات صغيرة جداً نتيجة إنتفاخ الخلايا الحارسة والخلايا المجاورة للثغر، هذه الميزة يجب الاعتماد عليها حين حدوث التباس في الاعراض وصعوبة تشخيص مسببات المرض.

النباتات الحساسة :

هناك في أبحاث Noble 1965 قائمة بالنباتات الحساسة والمقاومة، ذكر في هذه القائمة ٣٠ نبات حساس أولها السبانخ والشوفان والبرسيم الحجازي واخرها النعناع. أما النباتات المقاومة فذكر قائمة بها ٢٢ أولها الكرنب والقرنبيط والجزر وأخرها الزنبق



شكل رقم ٦٢: أضرار PAN على اوراق البرسيم الحجازى

رابعاً : ظواهر متنوعة غير حيوية

Miscellaneous Abiotic Phenomena

بالاضافة الى ما سبق ذكره من الملوثات يوجد هناك بعض الظواهر المتنوعة غير الحيوية والتي لها تأثيرات ضارة على النباتات، من هذه الظواهر (١) الاشعاعات (٢) الرش بالاملاح (٣) الغاز في الهواء (٤) الاضرار الكهربائية.

ا - الإشعاع Radiation

إن النظائر غير الثابتة تخضع لعدة عمليات فيزيائية وتفقد بعض الطاقة. إن مثل هذه النظائر يقال أنها نظائر مشعة حيث أنها تطلق بعض الاجزاء أو الاشعاعات وإن هذه الاجزاء التي تطلقها اما أن تكون واحداً أو أكثر من الثلاثة أنواع : جزيئات الفا وتتكون من ٢ بروتون و ٢ نيوترون ولها شحنة (+٢)، جزيئات بتا وتحتوي على مقدار عال من الطاقة ولها شحنة (-١) أو ذات الكترونات سريعة جداً بشحنة (+١) وفي هذه الحالة يطلق عليها بوزوترون Po-sitrons. اما جزيئات جاما فهى ذات طاقة عالية جداً ولا تحمل شحنة Bradshaw ١٩٦٦.

الجرعة والاعراض والميكانيكية اضرار الاشعاعات

إن وحدة جرعة الاشعاع تسمى رونتجن roentgen (r) والذى يمثل كمية الاشعاع التي سوف تنتج وحدة كهرباء ساكنة من كهرباء موجبة أو سالبة في اسم٣ من الهواء في درجة الحرارة العادية والضغط. إن جرعة من عدة عشرات من الرونتجن في السنة تشكل الاساس الاشعاعي الذي تتعرض له معظم النباتات والحيوانات. إن أشعة x المستعملة في طب الاسنان تتضمن عادة جرعة في مجال ١ - ٥ رونتجن. إن جسم الانسان اذا تعرض لاشعاعات ٥٠٠-١٠٠٠ رونتجن فانها تؤدي الى موته.

إن الميكانيكية الضارة التي يحدثها الاشعاع تدخل في تكوين الايونات. إن الجزيئات الثلاثة المذكورة سابقاً تحتوي على طاقة عالية وبالتالي قادرة على أن تسبب إنطلاق الالكترونات من الجزئيات والذرات التي تصطدم بها. إن هذا النوع من التفاعل يسبب تكوين أزواج من الايونات مع الجزء الباقي من الجزيء حاملاً شحنة موجبة. إن اصطلاح الاشعاعات المؤينة ينبع من هذه القدرة على تكوين أيون. إن الايون هو متفاعل كيماوي سريع جداً. اذا ما حدث وأن جزيء حيوي أصبح مؤيناً ionized بالطرق السابقة فانه يمكن أن يتفاعل مع مركبات أخرى ليشكل جزيئات شاذة او غير فعالة. اذا حدث هذا الشيء في جزيئات كثيرة وهامة في الخلية فان موت الخلية حادث لا محالة.

إن الأعراض التي يسببها الاشعاع تكون لافتة للنظر جداً وهي تشمل سرعة التحلل والموت. هناك بعض التجارب أجريت على بعض النباتات وجد فيها أن الصنوبر حساس بشكل خاص للاشعاعات ولقد ماتت بعض الأنواع بعد ستة شهور من تعرضها لاشعاعات ٢٠ - ٣٠ رونتجن في اليوم. إن عاريات البذور بشكل خاص أكثر حساسية من مغطاة البذور وخاصة الأشجار. لقد وجد أن هناك علاقة إيجابية بين Interphase chromosome volume والحساسية. إن حساسية الأشجار الخشبية ضعف حساسية الأعشاب وهناك تفسيرات عديدة لهذه الظواهر لا داعي للخوض فيها في مجال أمراض النبات.

٣ - الاملاح الزائدة Excess Salts

إن النباتات النامية بالقرب من سواحل البحار تتأثر بالاملاح المحمولة مع رذاذ الماء الذي تثيره العواصف الهوائية أو التيارات المائية. حيث أن قطرات الماء المحمولة تترسب على أجزاء النبات ويتبخر الماء وتبقى كمية الملح على الجزء النباتي وتشكل غشاء وبالتالي يرتفع تركيز الملح. أو أن الرذاذ أثناء إنتشاره في الهواء يتبخر منه الماء ويصبح الملح على شكل هباء يتساقط على النبات، هذه الظاهرة تكون واضحة عند حدوث العواصف والاعاصير الهوائية.

اولى اعراض الاضرار الناتجة عن الرش بالملح هو العرض اللافت للنظر وهي الاعضاء المقطعة والتي تسمى (sheared off) في الاجزاء النباتية الهوائية والنمو غير المتناسق للنبات نظراً لأن الجزء من النبات المواجه للتيارات الهوائية الحاملة للملح يكون نموه ضعيف وتتأثر أجزاؤه. الاعراض الاخرى تشمل موت موضعي للأوراق مع ظهور إحتراق اولي وتقرح الاغصان.

تظهر اضرار الرش بالملح بسبب تركيز الملح العالي الذي يحدث على الجزء النباتي وان سمية الملح ترجع الى تأثير (Cl^-) الذي يتواجد على سطح النبات. إن أيونات الكلور هذه تسبب اضطرابات في نمو الخلية في أنسجة الورقة. إن الكلوريد يتركز في حواف الأوراق الا أنه لا ينتقل من جهة الشجرة المعرضة لهواء البحر الى الجهة الاخرى. هناك قائمة بأسماء

أنواع الأشجار الحساسة والمتوسطة الحساسية والمقاومة لهذا النوع من الاضرار مذكورة في بعض الكتب القديمة Wallace and Moss سنة ١٩٣٩ ولم أحصل على أحدث منها لذلك لم اذكر منها شيئاً.

٣ - اضرار إنتشار الغاز في الهواء

Injury From Illuminating Gas In The Air

كنا قد ذكرنا في فصل تهوية التربة اضرار إنطلاق الغاز في التربة وأثره على النبات. أما ونحن في مجال شرح ملوثات الهواء فاننا نتكلم عن اضرار إنتشار الغاز في الهواء.

بالنسبة للنباتات التي تعيش في الهواء الطلق (حدائق وبساتين) فان إنطلاق الغاز في الهواء لا يحتمل أن يتجمع الى حد كاف بحيث يسبب لها اضراراً بطريق مباشر على المجموع الخضري، إن الاضرار التي يسببها إنطلاق الغاز في الهواء تكون شديدة على نباتات البيوت وفي الصوبات الزجاجية. لقد وجد أن غاز الايثيلين هو المشكلة الرئيسية حيث أنه سام ويسبب اضراراً للنبات إذا وجد بكميات صغيرة جداً.

لقد وجد أن نباتات القرنفل هي أكثر النباتات حساسية لتأثير الغاز حيث يتوقف تفتح البراعم اذا وجد الاثيلين في الهواء بنسبة ١ جزء في المليون. بينما ٠,٠٥ جزء في المليون يسبب غلق البراعم التي تفتحت. وكما هو معروف فانه تحت ظروف المنزل او الصوبا الزجاجية فان احتمال تسرب الغاز في الهواء يكون بكمية قليلة جداً ومع ذلك فان هناك كثير من نباتات الصوبات الزجاجية تتضرر كثيراً بهذه الكميات القليلة من الغاز.

أنواع إستجابة النبات للغاز الموجود في الهواء : -

يمكن تلخيص أنواع الاضرار التي يحدثها الغاز الموجود في الهواء على النباتات في النقاط الآتية : -

١ - اصفرار أو تساقط الأوراق. إن وجود كميات صغيرة من الغاز في هواء البيت أو الصوبا الزجاجية يؤدي الى اصفرار الأوراق، ولكن إذا إرتفع التركيز فان هذا يؤدي الى سقوط الاوراق دون ظهور الاصفرار عليها مسبقاً . تكون النباتات المتقدمة في السن اكثر حساسية من النباتات الحديثة. تسقط الأوراق القديمة بسرعة أكثر من سقوط الأوراق الحديثة. إن سقوط الاوراق يسبقه تكوين طبقة إنفصال بين الورقة والفرع Abscission Layer.

٢ - تتيبس (تتصلب) الأنسجة وتفقد استجابتها الحيوية السليمة.

٣ - أما بالنسبة للاضرار على البراعم والازهار، يمكن أن تفشل البراعم في التفتح واذا تفتحت فان بتلات الازهار (كما في الورد) تسقط، او أن الازهار المتفتحة يمكن أن تغلق ثانية وتلتفح.

٤ - سقوط البتلات. إن سقوط أو التواء البتلات في الزهرة يكون ملاحظاً بوضوح في بعض الأنواع تحت تركيزات معينة من الغاز. وجد في نباتات جنسي *Salvia* ، *Lycopersicum* فان البتلات تلتوي وتلتف حول نفسها.

٥ - يتكون أنسجة متوالدة كثيرة غير طبيعية ويتكون نسيج اسفنجي طري على العديسات في بعض الأنواع النباتية أو عند ندبة الورقة كما هو في جنس *Lycopersicum* او تظهر هذه الأنسجة على مناطق من الساق.

٦ - تتبيه البراعم الساكنة وهذه الاستجابة ذكرت على أنها تحدث في الورد.

تستعمل عدة نباتات كاشفة لوجود الغاز في الجو وتكون هذه النباتات حساسة وتظهر عليها الأعراض النموذجية من هذه النباتات الطماطم، نباتات الخروع وعشبة Jimson وهي تزرع في الصوبات الزجاجية لملاحظة إحتمال تسرب الغاز من الانابيب او الاسطوانات، حيث أن استجابة هذه النباتات للغاز تكون سريعة وواضحة ولا يمكن حدوث خطأ في تشخيصها. لقد وجد أن نسبة ٥٠ جزء في المليون من الغاز في الهواء

يسبب تدلى قمة الساق وتوقف نموها لجميع هذه النباتات. تزرع النباتات الكاشفة في أوعية بحيث يكون النبات حاملاً ٦ - ١٢ ورقة أو أكثر وتوضع في أماكن مختلفة من الصوبا الزجاجية بحيث تكون قريبة من مصادر الغاز وتترك لمدة ٢٤ - ٤٨ ساعة بتهوية ضعيفة جداً.

كذلك فان بادرات بسلة الزهور تستعمل للكشف عن آثار الغاز في الصوبا الزجاجية وتكون استجابتها عند وجود نسبة بسيطة من الغاز تتدلى الأوراق بوضوح إذا ما قورنت مع النباتات التي في الهواء الطلق، يزداد هذا التدلي كلما زاد تركيز الغاز في جو الصوبا الزجاجية. تسقط اوراق النباتات الكاشفة قبل أن يصل تركيز الغاز الى درجة يمكن أن يشمها الانسان. تسقط الأوراق القديمة أما الأوراق الحديثة فانها لا تسقط حتى لو وصل تركيز الغاز الى واحد جزء في الألف.

٤ - الاضرار الناتجة عن الكهرباء Electrical Injuries

إن استعمال الكهرباء سواء كان في الاضاءة او في ابراج الضغط العالي حيث تنتقل بالأسلاك او في اي وسيلة أخرى قد دخلت كمسبب مرضي وخطير على الأشجار سواء كان ذلك في المدن أو القرى. من الملاحظ كثيراً الاضرار التي تحدث للأشجار العالية التي تكون قريبة من مصابيح الاضاءة، بينما اضرار الاضاءة بالكهرباء على المحاصيل الحقلية مسجلة في مراكز البحوث. يبدو أنه من الصعوبة بمكان أن نعرف أو نفهم كيف أن الأشجار تقاسي من الشحنات الكهربائية التي تمر في خطوط التوصيل الهوائية عندما تكون قريبة من الأشجار. إن التيار المباشر يمكن أن يسبب اضراراً حيث يؤثر على النبات عند قوة معينة وأن ادنى تأثير له هو أنه يسبب إثارة للشجرة يمكن ادراكها وتتأثر بها قليلاً. أما اذا كان التيار شديداً وقريباً من الشجرة فان العمليات الحيوية في الشجرة تتثبط وتموت الشجرة. إن شدة التيار التي تسبب موت قمم الأشجار هذه تختلف كثيراً حسب أنواع الأشجار ومدى قربها من سلك التوصيل.

وكما هو معروف فان الأشجار موصلة ضعيفة للتيار الكهربائي، الا أنه يحدث لها ضرراً شديداً اذا ما لامست الأوراق أو جذع الشجرة سلك فيه تيار كهربائي فان الكامبيوم وطبقة الخلايا المحتوية على بروتوبلازم نشيط تعطى أقل مقاومة، بينما الطبقات الخارجية الجافة والفلينية وطبقة القلف تظهر أعلى مقاومة، بينما اللحاء والقلف الداخلي والخشب الطري والخشب الصلب تحتل مركز متوسط من المقاومة للكهرباء.

تحدث الاضرار في الطقس الرطب عندما يكون هناك طبقة من الرطوبة على الشجرة (ماء ، ندى)، فان التيار الكهربائي ينتقل من السلك الى طبقة الرطوبة الى الشجرة ومنها الى الأرض وهذا ما يسبب احتراق الفرع نتيجة التفريغ الكهربائي. تتضرر الطبقة الحيوية ويتضرر الخشب في نقطة التلامس مؤدياً الى ظهور قرحة بشعة واحياناً يتحطم الجذع او الفرع.

إن تغيير نظام التيار المستخدم للاضاءة لجعله يستخدم في العمليات الصناعية وبالتالي تتغير قوته وهذا يؤدي الى إضرار قمة الشجرة. إن تيار ١١٠ فولت لا يؤثر على الأشجار وكلما زادت قوة وشدة التيار الكهربائي كلما زادت الاضرار على الأشجار وظهرت آثار الحروق على قمة الشجرة. يمكن أن لا تموت الشجرة ولكن تُظهر الأغصان الكبيرة تقرحات كبيرة واجزاء جافة كثيرة وخاصة بالقرب من الاسلاك.

يمكن تلخيص اضرار الكهرباء على الأشجار إبتداءً من التيار الضعيف الى التيار ١٠٠٠٠٠ فولت يموت الكامبيوم، يتفكك القلف عن الساق، يسقط القلف، تموت الشجرة، تسقط الأوراق، تتصلب الشجرة وتبقى كعمود خشب. هذه الأعراض الأخيرة تلاحظ في أشجار الغابات عندما يمر التيار الكهربائي القوي بالقرب منها. أما الاعراض الاولى فهي تلاحظ في الأشجار التي على جوانب الشوارع والقريبة من اسلاك الاضاءة الكهربائية.

هناك طرق توصية كثيرة لحفظ الأشجار من اضرار الكهرباء وكلها تتعلق بالأمور الصناعية لا داعي لذكرها في مجال امراض النبات.

مراجع

PAN, Smog

Bobrov, Ruth Ann, 1952. The effect of smog on the anatomy of oat leaves. *Phtopathol.* 42 : 558 - 563

Drley, E.E. and *et al.* 1963. Plant damage by pollution derived from automobiles. *Arch. Env. Health.* 6 : 761-770

----------, C.W. Nichols, and J.T. Middleton, 1966. Identification of air pollution damage to agriculture crops. *Bull. Dept. Agr. Calif.* 55 (1) : 11 - 19

Heggestad, H. E. 1968. Disease of crops and ornamental plants incited by air pollutants. *Phytopat.* 56:1089 - 1097.

Jaffe, L. S., 1966. Effects of photochemical air pollution on vegetation *59th Annu.Meet.Air Pollut. Contr.Assoc.* Paper 66 - 43, pp. 1 - 31

Middleton, J. T., J.B. Kendrick, Jr., and H. W. Schwalm, 1950. Injury to herbaceous plants by smog or air pollution. *Plant Dis Rep.* 34 : 245 - 252

Mudd, J. B. 1963. Enzyme inactivation by peroxyacetyl nitrate. *Arch. Biochem. Biophys.* 102 : 59 - 65

Nelson, B. 1967. Air pollution. Science, 157 : 1018 - 1021

Noble, W., 1965. Smog damage to plants. *Lasca Leaves* 15 : 24.

Thomson, W. W., W. M. Dugger, Jr., and R.L. Palmer, 1965. Effects of peroxyacetyl nitrate on ultrastructure of chloroplasts. *Bot. Gaz.* 126 : 66 - 72

Todd, G. W., J. T. Middleton, and R. F. Brewer, 1956. Effects of air pollutions *Calif. Agr.* 9 : 7 - 8, 14

مراجع الغبار

Czaja, A. T., 1966. The effect of dust, especially cement dust, upon plants. *Angew. Bot.* 40 : 106 - 120.

Steinhubel, G., 1963. Resistance of evergreens to various dusts. *Acta* Bot. Acad Sci. Hung (Budapest) 9 : 433 - 435

الكلورايـن

Brennan, Eileen, Ida A.Leone, and R.H. Daines, 1966. Response of pine trees to chlorine in the atomosphere. *Forest. Sci* 12 : 386 - 390

Miller, E. J., and F.C.strong, 1940. A case of chlorine gas injury to shrubs, viens, grass and weeds. Arborists News 5, p. 73

الاثيلـين

Crocker, W., and L. I. knight, 1908. Effect of illuminating gas and ethylene upon flowering carnations. Bot. Gaz. 46 : 259 - 276

Davidson, O.W., 1949. Effects of ethylene on orchid flowers. *proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 53 : 440 - 446

Heck, W. W., and E. G. Pires, 1962. Effect of ethylene on horticultural and agronomic plants. *Tex. Agr. Exp. Sta* MP - 613, pp. 3 - 11

Herrero, F. A., and W. C. Hall, 1960. General effects of ethylene on enzyme systems in the cotton leaf. *Physiol Plant.* 13 : 736 - 750

Rohrbauch, P.W., 1943. Measurement of small concentrations of ethylene and automobile exhaust gases and their relation to lemon storage. *Plant Physiol.* 18 : 79 - 89

أكاسـيد النيتروجيـن

Fait, W. L., 1956. Nitrogen oxides. *Chem Eng. Prog* 52 : 342 - 344

Janon e, G., 1954. Agriculture and industry in Liguria with special reference to a case of NO_2 injury. *Humus* 10 : 17 - 19

Maclean, D. C., L. H. Weinstein and R. H. Mandle, 1967. Effects of acute hydrogen fluoride and nitrogen dioxide exposures on citrus and ornamental plants of central Florida *60the both. Annu. Meet. Air pollut. Contr. Assoc.* Paper no 67, p. 158

Taylor, O. C., and F. M. Eaton, 1966. Suppression of plant growth by nitrogen dioxide. *Plant physiol.* 41 : 132 - 135

الامونيا والكبريت

Ramsey, G. B., 1953. Mechanical and chemical injuries in, "Plant disease" U. S. D. A Yearbook, pp. 835 - 837

Thornton, N.C. and C. Setterstrom, 1940. Toxicity of ammonia, chlorine, hydrogen sulfide and sulfur dioxide gases on green plants *Contrib. Boyce. Thompson Inst.* 11 : 343 - 356

Thomas, M.D. *et al*, 1950 The sulfer metabolism of plants. *Ind. Eng. chem.* 42 : 2231 - 2235.

الاشعاع

Eisenbud, Merril, 1964. " Environmental radiation" McGraw-Hill, New York 430 pp.

Hillman, W. S., 1956. Injury of tomato plants by continuous light and unfavorable photoperiodic cycle. *Amer. J. Bot.* 43 : 89 - 96.

MacMillan, G. H., 1923. Cause of sunscald of bean. *Phytopathol.* 13 : 376 - 380.

Shirley, H. L., 1929. The influence of light intensity and light quality upon the growth of plants. *Amer.* J. Bot. 16 : 354 - 390.

Woodwell, G. M., 1963. The ecological effect of radiation. *Sci. Amer.* 208 : 40 - 49.

----------, 1962. Effects of ionizing radiation on terrestrial ecosystems. *Science.* 138 : 572 - 577.

Sparrow, R. C. *et al.* 1968. Radiation. Botany. 8 : 149 - 186.

الاملاح

Boyce, S. G. 1954. The Salt Spray Community. *Ecol.* Monographe, 25 : 29 - 67.

Rich, A. E. 1968. Effect of de-icing chemicals on woody Plants. *Proc. Symp. Pollutants Roadside Environ Univ, Conn.* pp. 46 - 47.

Wallace, R. H. and Moss, A. E. 1939. Salt spray damage from recent New England hurricane. *Proc 15th Natl.* Shade Tree conf. *Aug.* 1939 New York, N. Y, p. 112 - 119.

الكهـرباء

Stone, G. E. 1914. Electrical injuries to tree. *Mass. Agr. Exp. Sta. Bull.* 156 : 1 - 19.

الاوزون والملوثات الاخرى

Brandt, C. S., and Heck, W. W. 1967. Effects of air pollutants on vegetation in "Air Pollution" 2nd ed. Vol I pp 401 - 443 (A. C. Stern).

Darley, E. F. and J. T. Middleton, 1966. Problems of air pollution in plant pathology. *Ann. Rev. Plant Pathol.* 4 : 103 - 118.

----------, E. W. Nichols, and J. T. Middleton, 1966. Identification of air pollution damage to agricultural crops. *Bull.* Dept. Agr. Calif. 55, pp. 11 - 19.

Hepting, G. H. and C. R. Berry, 1961. Differentiating needle blights of white pine in the interpretation of fume damage. Int. J. Air Water Pollut. 4 : 101 - 105.

----------, 1964. Damage to forests from air pollution. J. Forest. 62 (9) : 630 - 634.

Hill, A. C. *et al* 1961. Plant injury induced by ozone. *Phytopathol.* 51 : 356 - 363.

Jacobson, J. S., and A. C. Hill (eds). 1970. Recognition of air pollution injury to vegetation. In "Air Pollution Control" 650 pp. Pittsburgh, Penn.

Jones, J. L., 1963. Ozone damage : protection for plants. Science 140 : 1317 - 18.

Levitt, J. 1973. "Responses of Plants to Environmental Stresses" Academic Press New York, 697 pp.

Menser, H. A, 1964. Response of plants. Ann. Rev. Phytopathol 2 : 253 - 266.

Rich, S., 1964. Ozone damage to plants. *Ann. Rev. Phytopath.* 2 : 253-266.

Stephens, S., 1966. Reactions of oxygen atoms and ozone in air pollution *Int. J. Air Water Pollut.* 10 : 649 - 663.

الغـــاز

Crocker, W. 1929. A delicate method for detecting illuminating gas in a greenhouse. *Prof. Paper Boyce Thompson Inst.* Noll.

Deuber, C. G. 1936. Effects on trees of an illuminating gas in the soil. *Plant Physiol.* 11 : 401 - 412.

Doubt, S. H. 1917. The response of plants to illuminating gas. *Bot Gas.* 63 : 209 - 224.

Hitchcock, A. E., *et al.* 1932. Effect of illuminating gas on the lily, narcissus tulip, and hyacinth. *Contrib. Boyce Thompson Inst.* 4 : 155 - 176.

Zimmerman, P. W. *et al.* 1931. The movement of gas into and through plants. Ibid. 3 : 313 - 320.

---------- *et al.* 1931. The effect of ethylene and illuminating gases on roses. *Ibid.* 3 : 459 - 481.