

الباب السادس

تأثير الإجهاد الجافى على نمو ومحصول حاصلات الحقل

يتأثر نمو ومحصول حاصلات الحقل المختلفة بالتعرض لإجهاد الجفاف حيث تلعب عملية إضافة الماء بواسطة الري دوراً هاماً في نمو وإنتاج الحاصلات الزراعية على المستوى العالمى إذ يساهم ماء الري بنسبة ٤٠% من إنتاج الطعام والسلع الزراعية المنتجة من ١٧% من الأراضى الزراعية. وقد تضاعف الإنتاج فى العقود الماضية الحديثة بتزايد مساهمة مياه الري فى النمو والإنتاجية مقارنة بالخمسين عاماً الماضية. ويتم سحب ٧٠% من مياه الأنهار الموجودة على سطح الكرة الأرضية لاستعمالها فى الزراعة وقد تزيد عن ٨٠% بالبلدان النامية وتصل نسبة المياه المستغلة فى الزراعة بجمهورية مصر العربية من مجموع مواردها المائية ٨٠,٣%. ومن المتوقع زيادة المياه المستخدمة فى العالم للري لتوفير الاحتياجات المتزايدة لإنتاج الطعام بالأعوام القادمة مما سيعرض البشرية لمعاناة قاسية نتيجة لنقص الموارد المائية واستمرار التنافس الحاد على المياه النظيفة. ورغمما عن توافر المياه على مستوى العالم إلا أن هناك نقص حاد ومستمر بالمناطق الجافة وشبه الجافة نتيجة للاستغلال الشديد لمصادر المياه. وبذلك أصبح الاعتماد على المياه العذبة يمثل موقفاً حرجاً يهدد الإنتاج الزراعى مما سيؤدى إلى نقص الغذاء وانتشار الفقر.

من هنا كان التحدى الذى يقابل المشتغلين بالزراعة من أجل العمل على زيادة إنتاج الغذاء بأقل قدر من المياه وعلى الأخص بمناطق الموارد المائية المحدودة، بحيث يتم تقليص نسبة استخدام مياه الري فى الزراعة إلى ٣٠% دون الإخلال بكميات الغذاء المنتج والاعتماد على الأمطار بحلول عام ٢٠١٥.

لذلك تبرز أهمية معرفة أثر نقص المياه على نمو وإنتاجية محاصيل الحقل وكيفية مواجهة ذلك حيث يتأثر الإنتاج سلباً للمحاصيل المختلفة عند التعرض للإجهاد الرطوبي لذلك كان من الضروري بمكان استنباط محاصيل حقلية تستطيع أن تتواءم أو تقاوم أو تهرب من الجفاف ويتوقف ذلك على الصنف أو الأصل الوراثي وفترة نمو النبات التي تتعرض لنقص الماء.

إن العلاقة بين إجهاد الجفاف والنمو علاقة معقدة إذ أن النمو محصلة لجميع العمليات الفسيولوجية الدائرة بالنبات مثل التمثيل الضوئي والتنفس وامتصاص العناصر الغذائية وغير ذلك وهذه كلها عمليات تتأثر كثيراً بإجهاد الجفاف. ولما كان وزن النسيج النباتي أو العضو أو النبات جميعه محصلة لعدد الخلايا ومتوسط وزن الخلية الواحدة لذلك فهناك أهمية في فهم تأثير الإجهاد الجفافي على النمو. إن إنقسام الخلايا حساس للإجهاد الجفافي إلا أنه قد لوحظ أن خلايا أوراق النباتات التي تعرضت لفترات من الإجهاد يتمثل مع عدد الخلايا بأوراق النباتات التي لم تتعرض للإجهاد مما يشير للاحتفاظ بالكفاءة على استئناف النشاط بعد الشفاء من الإجهاد، وقد يستمر إنقسام الخلايا أثناء الإجهاد ولو كان بمعدل منخفض. ويسمح هذا بالاستئناف السريع النسبي للنمو عند إزالة الإجهاد. ويؤثر الإجهاد حتى المستويات البسيطة منه على حجم الخلية. وتأثر الحجم أول مظاهر نقص الماء ويعتبر السبب الرئيسي لتقزم النباتات تحت ظروف الحقل بالتعرض لإجهاد الجفاف. ويؤدي ذلك إلى نقص المساحة الكلية لأوراق النبات وبالتالي نقص سطح التمثيل الضوئي مما يعمل على قلة المواد الممتلئة بالنبات وحيث تحدث جميع العمليات الحيوية وتنتقل المواد الممتلئة والعناصر الغذائية والهرمونات وغيرها في وسط مائي. كذلك فإن نشأة وتخصص أصول الأنسجة الخضرية والتناسلية بالمرستيم القمي وزيادة أحجام الخلايا حساسة لإجهاد الجفاف. كما أن نقص الماء يؤثر على امتصاص العناصر وتمثيل البروتين والكربوهيدرات بنقص النشاط التكويني للخلايا من الأنسجة مما يؤثر بالسلب على نمو النباتات.

ويمثل تأثير نقص الرطوبة على الأنسجة البالغة تأثير الشيوخوخة، فيؤدي الإجهاد إلى هجرة الفوسفور من الأوراق المسنة إلى السوق والنسيج المرستيمي ويعقب ذلك

حركة النيتروجين مما يشير إلى تقليل البروتين وهدم الوظيفة العادية للخلية. وتميل الثغور إلى أن تظل مغلقة وتصبح غير مؤدية لوظيفتها.

يؤثر الإجهاد الجفافي على معدل استطالة الجذور وقد تقف استطالته قبل المجموع الهوائي في بعض الأحيان. وينقص سرعة استطالة الجذر تزيد سرعة السوبرة كما تقل المنطقة غير المسوبرة حتى تزال في الجذور التي لا تستطيل، وهذه ظاهرة عادية تحت ظروف الإجهاد الشديد وتقلل السطح الفعال للجذور.

وينبغي مراعاة تأثير نقص الماء على المحاصيل فمثلا في حالة محاصيل الحبوب يمكن معرفة التأثير على كمية المحصول في أطوار معينة وهي طور التهيئة للإزهار وتكوين النورة حيث يتحدد عدد الحبوب وفي طور الإزهار والإخصاب حيث يثبت عدد الحبوب بينما في طور إمتلاء الحبوب يزداد وزن الحبوب.

ويمكن الحصول على أكبر محصول بالمحافظة على مستوى مسائي وافر بالحاصلات النجيلية أثناء نموها، ويؤدي التعرض لإجهاد رطوبي خفيف أو لمدة قصيرة لنقص المحصول إلا أنه يمكن تعويض هذا التأثير بالنمو اللاحق تحت الظروف الملائمة. وفي هذا الصدد يبدو أن مرحلة تكوين النورات هي أكثر المراحل القابلة للتكيف وهو حقيقي أكثر في بعض الحاصلات عن البعض الآخر ويبدو أن مرحلة تفتح الإزهار هي أقل المراحل من حيث القابلية للتكيف.

ويقلل الإجهاد الجفافي حتى البسيط منه سرعة ظهور أصول الأزهار. ويلاحظ أن عدد الأصول أكثر استجابة للإجهاد الجفافي عن اكتمال الأصول في غالبية حاصلات الحبوب. وإذا تعرضت النباتات لإجهاد شديد أو لفترة طويلة تنقص السنبيلات بدرجة كبيرة. وفي طور التهيئة للإزهار يؤثر الإجهاد الجفافي على العدد الفعال للحبوب بالنورة. وفي مرحلة تكوين أصول السنبيلات إلى مرحلة الإخصاب تكون حساسة. وهكذا يعمل إجهاد الجفاف على نقص عدد الحبوب بالنورة أو يؤدي إلى نقص عدد السنبيلات الخصبة. يؤثر تعريض نباتات القمح للإجهاد الجفافي لفترة تمتد لنحو 3 أسابيع قبل وبعد طرد السنابل على كمية المحصول. ويكون الانخفاض أكبر عند التعرض قبل طرد السنابل للتأثيرات الكبيرة على عدد الحبوب المتكونة بالسنبيلة (أنظر الباب التاسع الخاص بإرواء المحاصيل).

يؤدى تعريض النباتات للإجهاد الجفافى أثناء تفتح الأزهار إلى نقص الإخصاب وعقد الحبوب فى معظم النجيليات ويبدو أن الذرة هو أكثر النباتات حساسية فى هذا الطور. ويرجع نقص الإخصاب إلى جفاف حبوب اللقاح وإلى إعاقة إنبات حبوب اللقاح أو نمو أنبوبة اللقاح من الميسم إلى البويضات. يتأثر متوسط وزن الحبة بظروف قبل الإزهار وظروف بعد الإزهار ويلاحظ أن ظروف بعد الإزهار أكثر أهمية فى غالبية الأحيان. من هنا يتضح تأثير كمية المحصول بالإجهاد الجفافى كما يؤثر على جودته.

العوامل المتحكمة فى التوازن الداخلى للماء بالخاصة:

إن التوازن الداخلى ودرجة انتفاخ خلايا النبات تتوقف على المعدل النسبى لامتناس و فقد الماء والذى يتأثر بعوامل معقدة من المناخ والأرض والنبات فالجهد المائى للورقة يقترب من الجهد المائى للأرض عند بطء معدل النتح حيث ينقص الجهد المائى للورقة بنقص الجهد المائى للأرض فى حالة جفاف الأرض أو احتواءها على الأملاح. تتم حركة الماء استجابة للتدرج فى الجهد فعندما تكون الجذور فى حالة إتزان مع جهد ماء الأرض ويكون الأخير قريب، من الصفر يصل مستوى انتفاخ الورقة أو النبات للجهد المائى المطلوب. يحدث ذلك عند انخفاض متطلبات عملية التبخير كما يحدث أثناء الليل أو فى الصباح الباكر قبل سطوع الشمس. وعند زيادة معدل النتح مواكبا لزيادة التبخير أثناء النهار ينقص ضغط انتفاخ الأوراق العليا ويتدرج الجهد المائى خلال النبات من سطح تبخير الأوراق حتى سطح امتصاص الجذور. وعادة ما يزيد معدل فقد الماء عن معدل امتصاصه مما يسبب نقص للماء داخل النبات، والى تؤثر بدورها على العمليات الفسيولوجية الدائرة بالنبات والمؤثرة مباشرة على النمو والمحصول.

إن الجهد المائى للخلية يعادل نقص ضغط الانتشار وعادة ما يكون الجهد المائى للخلية ذو قيمة سالبة وعندما يساوى مقداره صفراً تكون الخلية فى كامل انتفاخها، وعند وجود ميل لنقص ضغط انتشار الخلية بين الأرض والنبات لصالح النبات يقوم النبات بامتصاص الماء من الأرض كما هو واضح من الجدول السابق رقم ٥-١

بالباب الخامس) حيث يقل الجهد المائي للجو عن مثيله للورقة والذي بدوره يقل عن الجهد المائي للأرض مما يعمل على تحريك كتلة الماء من الأرض للنبات ومنه إلى الجو.

لقد وجد أن المحاصيل ثلاثية ورباعية الكربون المروية جيدا تستهلك قدرا كبيرا من الماء في الأوقات الحارة المشمسة يتراوح ما بين ٥٠-٨٠ طن للهكتار يوميا لتنتج المحصول الأقتصادي مما أثار حفيظة الباحثين لدراسة ما يحدث لهذه الكميات الكبيرة من المياه التي تمتصها الجذور وذلك بتقييم كميات المياه المستخدمة في العمليات الفسيولوجية المختلفة الدائرة بالنبات لكل وحدة من الكربوهيدرات الناتجة من صافي عملية التمثيل الضوئي (جدول ٦-١).

جدول (٦-١): كميات المياه المستخدمة للعمليات المختلفة الدائرة بالنبات لوحدته واحدة من الكربوهيدرات ناتجة من صافي عملية التمثيل الضوئي (عدد طن مياه/ طن من ك يدأ)

العملية	عدد طن مياه/ طن من ك يدأ
البناء	٠,٦
تخزين داخل الخلية	٤
نتح من الأوراق	
نباتات ثلاثية الكربون	أكبر من ٤٠٠
نباتات رباعية الكربون	أكبر من ٢٠٠
نباتات كراسيلاسيا	أكبر من ٥٠

حيث يتضح أن معظم الماء الممتص بجذور النباتات قد أستهلك في عملية النتح بالأوراق وهذا يعني أن حركة الماء بمنظومة التربة-النبات-الغلاف الجوي يتم التحكم فيها بواسطة قمة النباتات.

الاتجاهات المستخدمة في الحد من المياه المستعملة في الزراعة:

يوجد إتجاه متنامي في وقتنا المعاصر يعتمد على تحسين إنتاجية المياه من خلال تقليل ماء الري وعدد الريات حتى يتم توفير مياه للمحصول تقل عن الحد الأمثل يؤدي إلى تعرضه إلى إجهاد مائي معتدل mild يسمح بالحصول على محصول يقل قليلا عن

المحصول الأمثل ويتميز بجدوى اقتصادية مرتفعة بالنسبة للجدوى الاقتصادية لوحدة الماء لمحصوله النامى تحت وفرة من المياه مما يتطلب دراية بمعرفة استجابة المحصول للموائمة للجفاف وكيف يختلف ذلك تبعاً لاختلاف الأنواع، الأصناف ومرحلة النمو. ويتوقف محصول النبات على الصفات المورفولوجية أو الفسيولوجية أو كليهما ومن ذلك يتطلب تعديل العمليات الزراعية بما يتواءم مع نقص ماء الري مثل إنقاص عدد النباتات بوحدة المساحة، تقليل إضافة الأسمدة، تبنى مواعيد زراعة مرنة واختيار أصناف قصيرة العمر على أن يكون الهدف رفع كفاءة استعمال الماء أى محاولة رفع كمية المحصول المنتج من وحدة الحجم من الماء بتعرض النبات لنقص ماء الري أثناء فترة معينة من النمو أو خلال فترة نموه بأكملها دون حدوث نقص معنى للمحصول مع تحقيق جدوى اقتصادية للمنطقة أو/و الدولة.

لقد درس الكثيرون الجدوى الاقتصادية لإنقاص ماء الري دون التأثير على المحصول معنوياً لتوفير المياه لزراعة محاصيل أخرى، فقد وجد (1982) Stegman أن محصول الذرة لم يتأثر معنوياً بزراعته تحت الري بالرش بإمداده بالماء بعد استنفاد 30-40% من الماء القابل للاستفادة مقارنة بزراعته تحت الري بالتقطيع مع الحفاظ على الرطوبة الأرضية عند مستوى جهد مائى يفرج من الصفر بمنطقة الجذور. وذكر (2000) Kang et al أن تنظيم نقص ماء الري فى فترات معينة أثناء نمو الذرة أدى إلى توفير الماء مع الحفاظ على كمية المحصول. وأضاف (1990) Stegman et al أن تعرض فول الصويا لفترة إجهاد رطوبى قصيرة أثناء الإزهار المبكر أدت إلى تساقط الأزهار والقرون إلا أن ذلك أمكن تعويضه بواسطة النبات بمجرد زوال الإجهاد الرطوبى حيث زاد عقد القرون على العقد العليا. وأوضح كل من (1976) Speck et al and Eck (1987) and Korte et al (1983) أن فول الصويا حساس لإضافة الماء لذلك ينبغي الحذر عند ريه. ولقد أوضح (1976) Thomas et al استطاعة القطن الحفاظ على الجهد المائى المنخفض والتنظيم الأسموزى لضغط انتفاخ الورقة عند التعرض لإجهاد مائى ضعيف أثناء فترة النمو الخضرى مما يؤدي إلى زيادة تحمل الجفاف إذا تعرض للإجهاد الرطوبى بعد ذلك. وسلك كل من بنجر السكر (1973) Oylukan (1980) Winter, ودوار الشمس (1983) Rawson and Turner (1982) Jana et al (1991) Karaata والقمح (1980) Musick and Dusck نفس الاتجاه. ويوضح جدول (٦-٢) حساسية بعض المحاصيل لنقص الماء.

جدول (٦-٢): حساسية بعض المحاصيل لنقص الماء

درجة الحساسية				المحصول
عالي	متوسط -عالي	منخفض-متوسط	منخفض	
الأرز، قصب السكر، بطاطس	الذرة، الفول، الشامية	البرسيم الحجازي، الفول السوداني، فول الصويا، بنجر السكر، دوار الشمس، القمح	الكسافا، القطن، الدخن، بسلة الطيور، الذرة الرفيعة	

وعلى ذلك يتطلب نقص الموارد المائية على مستوى المنطقة تبنى الحفاظ على معظمة إنتاج المحاصيل بها (Stegman et al,1990) بالسماح بنقص المحصول نقصا غير إقتصادي بزراعته تحت ظروف نقص ماء الري لتوفير المياه لزراعة محاصيل أخرى بما يتم توفيره من المياه بحيث يصبح العائد الإقتصادي مجزيا من المنطقة. ويطلق على هذه الطريقة عدة مصطلحات جديدة لجدولة الري مثل تنظيم نقص ماء الري، الخطة الإستباقية لنقص معدل النتج بخر، نقص ماء الري (English et al,1990).

إدارة نقص ماء الري

تختلف ممارسة هذه الطريقة عن الطريقة التقليدية لإمداد المحصول بالماء حيث يلزم التعرف على نقص النتج المسموح به والذي لا يؤثر معنويا على كمية المحصول اقتصاديا، مع الأخذ في الاعتبار كفاءة استعمال الماء بإنقاص الري بحيث يكون نقص المحصول غير معنوى وغير إقتصادي. بمعنى أن يكون الضرر الناتج من نقص المحصول أقل بالمقارنة بالفوائد التي تعود من توفير الماء لرى محاصيل أخرى. وقبل تطبيق هذه الطريقة ينبغي التعرف على استجابة المحصول للإجهاد الجفافى إما أثناء فترات معينة من النمو أو طول فترة نموه (Kirda and Kanber, 1999)، كذلك من المهم التعرف على كفاءة احتفاظ الأرض بالماء حيث يكون تأثير هذه الطريقة عكسيا بالأراضى الخفيفة عن الأراضى الثقيلة.

ويوضح جدول (٣-٦) الفترات الأكثر حساسية لنقص الماء لبعض المحاصيل.

جدول (٣-٦): الفترات الأكثر حساسية لنقص الماء لبعض المحاصيل

المحصول	الفترة الحساسة	لمحصول	الفترة الحساسة
البرسيم الحجازي للعلف الأخضر	بعد الحش مباشرة	القصب	النمو الخضري (تكوين الأشرطة واستطالة الساق)
البرسيم الحجازي لإنتاج البذور	الإزهار	دوار الشمن	الإزهار أكثر من تكوين المحصول
فول الحقل	الإزهار وامتلاء القرون	الدخان	فترة النمو السريع
القطن	الإزهار وتكوين اللوز	القمح	الإزهار أكثر من تكوين المحصول
الفول السوداني	الإزهار وتكوين القرون	الذرة	الإزهار وامتلاء الحبوب
الأرز	الإزهار وتكوين الداليات	الذرة الرفيعة	الإزهار وتكوين المحصول
فول الصويا	الإزهار وتكوين المحصول	بنجر السكر	شهر بعد الإنبات

جدولة نقص ماء الري

أجريت دراسة بواسطة Kirida et al (1999a) على عدة محاصيل عن جدولة ماء الري تحت ظروف نقص الماء بإقامة تجارب حقلية لمدة أربع سنوات تضمنت محاصيل القطن، القمح، بنجر السكر، فول الصويا، القصب، البطاطس والذرة وأوضحت نتائجها ملائمة بيانات استجابة المحصول لنقص ماء الري لمعادلة الخط المستقيم التي استخدمها Stewart et al (1977) لتقدير معامل استجابة محصول النبات (معادلة ١)

$$1 - \frac{Y_a}{Y_m} = k_y \times \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m}\right) \quad (1)$$

حيث أن:

Y_a = المحصول المتوقع النامي تحت نقص ماء الري (نقص معدل النتج بخر)

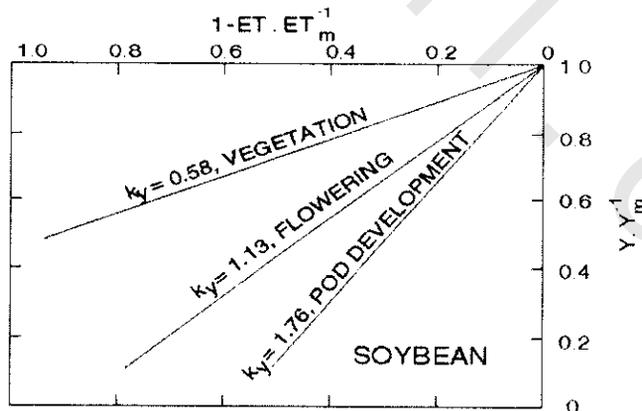
Y_m = المحصول النامي تحت وفرة ماء الري

ET_a = معدل النتج بخر الحقيقي (المنخفض)

ET_m = معدل النتج بخر الأكبر (الوفير)

K_y = معامل استجابة المحصول

ويختلف معامل استجابة المحصول تبعا للنوع النباتي، الصنف، طريقة الري، الإدارة ومرحلة النمو التي تعرضت لنقص مياه الري. وتعتبر قيمة معامل إستجابة المحصول على التحمل للإجهاد الجفافي، فإذا كانت أكبر من الوحدة دل ذلك على أن النقص النسبي للمحصول المتوقع أكبر من النقص النسبي لخفض النتج بخر أو إن شئت قل حدث نقص إقتصادي في المحصول بنقص ماء الري. والعكس صحيح حيث يدل معامل إستجابة المحصول الأقل من الوحدة على أن النقص النسبي للمحصول المتوقع أقل من النقص النسبي لخفض النتج بخر أو أن النقص في المحصول غير إقتصادي بخفض ماء الري. و قد أوضح Kirda et al (1999a) العلاقة النسبية بين إستجابة محصول بذور فول الصويا ونقص معدل النتج بخر بثلاث مراحل من النمو (شكل ٦-١).



شكل (٦-١): العلاقة النسبية بين استجابة محصول بذور فول الصويا ونقص معدل النتج بخر بثلاث مراحل من النمو

حيث يلاحظ أنه بالتعرض لنقص الماء أثناء مرحلة النمو الخضري ومرحلة الإزهار ومرحلة تكوين القرون يكون معامل استجابة المحصول في كل مرحلة ٠,٥٨، ١,١٣، ١,٧٦ على الترتيب. وبذلك يتضح أن التعرض لنقص ماء الري أثناء مرحلة النمو الخضري لايؤثر على محصول فول الصويا (معامل استجابة المحصول أقل من الوحدة) بقدر التعرض له أثناء الإزهار أو تكوين القرون (معامل استجابة المحصول أكبر من الوحدة) والمرحلة الأخيرة أكثرهم ضرراً.

ويوضح جدول (٤-٦) قيم معامل استجابة المحصول لعدد من المحاصيل المختلفة عندما تكون قيمته أقل من الوحدة مما يعني قبول ممارسة آلية نقص ماء الري وجدواها الاقتصادية بالتعرض خلال حياته وأثناء فترات محددة منها لنقص الرطوبة. كما يتضح أيضا اختلاف المحاصيل في استجابتها باختلاف مراحل النمو بالإضافة إلى طريقة الري.

جدول (٤-٦) قيم معامل استجابة المحصول لعدد من المحاصيل المختلفة

Crop	Specific growth stage	k_p	Irrigation method	Reference
Common bean	Vegetative; Yield formation	0.57	Furrow	Calvache and Reichardt (1999)
	Whole season	0.87	Sprinkler	
Cotton	Flowering and yield formation	0.99	Sprinkler	Bastug (1987)
	Whole season	0.86	Drip	Prieto and Angueira (1999)
	Bud formation; Flowering	0.75	Check	
	Flowering	0.48	Furrow	
Boll formation; Flowering; Vegetation	0.46	Furrow	Anac et al. (1999)	
		0.67		
		0.88		
Groundnut	Flowering	0.74	Furrow	Ahmad (1999)
Maize	Whole season	0.74	Sprinkler	Craciun and Craciun (1999)
Soybean	Vegetative	0.58	Furrow	Kirda et al. (1999a)
Sunflower	Whole season	0.91	Furrow	Karaata (1991)
	Vegetative and yielding	0.83	Furrow	

Crop	Specific growth stage	k_y	Irrigation method	Reference
Sugar beet	Whole season;	0.86	Furrow	Bazza and Tayaa (1999)
	Yield formation and ripening;	0.74	Furrow	
	Vegetative and yield formation	0.64		
Sugar cane	Tillering	0.40	Furrow	Penc and Edi (1999)
Potato	Vegetative;	0.40	Furrow	Iqbal et al. (1999)
	Flowering; Tuber formation	0.33 0.46		
	Whole season	0.83	Drip	Kovacs et al. (1999)
Wheat	Whole season;	0.76	Sprinkler Basin	Madanoglu (1977)
	Whole season	0.93		
	Flowering and grain filling	0.39	Basin	Waheed et al. (1999)

وعلى ذلك فمن المتوقع زيادة كفاءة استعمال الماء (WUE) في هذه الحالات حتى بنقص المحصول ويعبر عن كفاءة استعمال الماء للمحصول بالمعادلة (٢)

$$E_c = Y / Et_a \quad \text{Ö (2)}$$

حيث أن:

E_c = كفاءة استعمال الماء للمحصول

Y = المحصول (كيلوجرام/هكتار)

Et_a = معدل النتح بخر الحقيقي (مم)

من المعادلة (١) و(٢) يمكن استنباط المعادلة (٣) التالية لتقدير كفاءة استعمال الماء

$$E_c = \frac{Y}{ET_o} = \left[k_y - \frac{k_y - 1}{ET_o / ET_m} \right] \times \frac{Y_m}{ET_m} \quad \text{Ö (3)}$$

حيث أن:

E_c = كفاءة استعمال الماء (تتوقف على معامل إستجابة المحصول K_y)

وبذلك يمكن تعويض النقص فى المحصول بتوفير مياه للتوسع فى زراعة محاصيل أخرى تعوض وتزيد عن النقص الحادث اقتصاديا.

يوضح جدول (٦-٥) الزيادة المتوقعة النسبية للمحصول وكفاءة استعمال الماء النسبية بإنقاص ٢٥% من معدل النتج بخر لمحاصيل الحقل الرئيسية. ويتم ذلك حينما يكون النقص النسبى فى المحصول أقل من النقص النسبى للنتج بخر. ومثال على ذلك أنه فى حالة تعرض نباتات الذرة لإنقاص ٢٥% من معدل النتج بخر طول فترة نمو المحصول يتم الحصول على ٨٢% من المحصول كما هو موضح بالجدول وعندئذ تكون كفاءة استعمال الماء ١,٠٩ بالمقارنة بالمحصول الذى لم يخفص له معدل النتج بخر وهذا يعنى إمكانية زيادة الرقعة المنزرعة بتوفير مياه المحاصيل التى ترتفع كفاءة استعمالها للماء بنقص معدل النتج بخر. إلا أن ذلك يندرج على المحاصيل التى تتعرض لهذا النقص طول فترة حياتها وذلك لإمكانية حساب احتياجها المائى. وفى حالة تعرض النباتات لفترة معينة فيستوجب ذلك حساب كمية الماء الواجب توفيرها بمعرفة الاحتياج المائى الكلى (الاستهلاك المائى) خلال هذه المرحلة. حيث أنه فى حالة زيادة كفاءة استجابة معامل المحصول (K_p) يحدث نقص فى كفاءة استعمال الماء (E_c) مما يعنى أن العائد من نقص ماء الري قد يكون مختلفا تبعا لمرحلة النمو التى تتعرض لنقص المياه. ويمكن القول أن تعريض أربع مراحل فسيولوجية تكفى لوصف مدى حساسية المحصول للإجهاد المائى فى هذه المراحل. ويمكن إجمال هذه المراحل فى الآتى:

الأولى Initial stage فيها تغطى النباتات ١٠% من سطح الأرض.

الثانية Crop development تبدأ من نهاية المرحلة الأولى إلى اكتمال التغطية وبداية الإزهار.

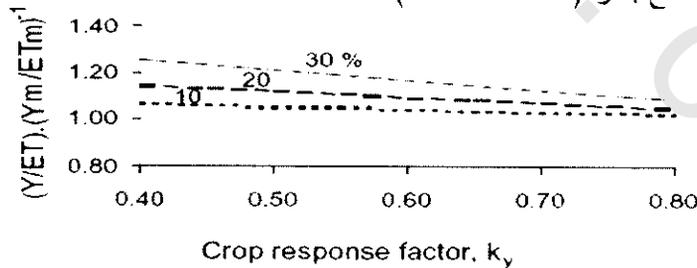
الثالثة Mid season تبدأ من نهاية المرحلة الثانية إلى بداية النضج.

الرابعة Late season تبدأ من نهاية المرحلة الثالثة إلى الحصاد.

جدول (٦-٥) الزيادة المتوقعة النسبية للمحصول وكفاءة استعمال الماء النسبية بإنقاص ٢٥% من معدل النتج بخر لمحاصيل الحقل الرئيسية

Crop	Stage when ET deficit occurred	k_y	Irrigation method	Expected relative yield	Relative water use efficiency
Common bean	Vegetative: Yield formation	0.57	Furrow	0.86	1.14
		0.87		0.78	1.04
Cotton	Whole season: Boll formation and flowering	0.86	Drip	0.79	1.05
		0.48	Furrow	0.88	1.17
Groundnut	Flowering	0.74	Furrow	0.82	1.09
Maize	Whole season	0.74	Sprinkler	0.82	1.09
Potato	Whole season: Vegetative	0.83	Drip	0.79	1.06
		0.40	Furrow	0.90	1.20
Soybean	Vegetative	0.58	Furrow	0.86	1.14
Sugar beet	Whole season, Mid-season	0.86	Furrow	0.79	1.05
		0.64		0.84	1.12
Sugar cane	Tillering	0.40	Furrow	0.90	1.20
Sunflower	Whole season: Vegetative yielding	0.91	Furrow	0.77	1.03
		0.83		0.79	1.06
Wheat	Whole season: Flowering and grain filling	0.76	Sprinkler	0.81	1.08
		0.39	Basin	0.90	1.20

ولتقييم الحساسية للماء تعرض النباتات لخفض مياه الري أثناء فترة واحدة معينة من النمو. ويوضح شكل (٦-٢) العلاقة بين كفاءة استعمال الماء الحقلى ومعامل استجابة المحصول عند خفض النتج بخر حيث يتضح أنه عند نقص معامل استجابة المحصول للماء عن الوحدة تزيد كفاءة استعمال الماء وذلك تحت النسب المختلفة من نقص معدل النتج بخر (١٠، ٢٠، ٣٠%).



شكل (٦-٢): العلاقة بين كفاءة استعمال الماء الحقلى ومعامل استجابة المحصول عند خفض معدل النتج بخر

ويمكن القول أن تعريض المحاصيل لنقص محدود من ماء الري فى مراحل نمو مختلفة يعمل على نقص المحصول بكمية قليلة تؤدى إلى قبول دراسات الجدوى الاقتصادية كما يحدث فى حالة التعرض لنقص ماء الري بمرحلة الإزهار وتكوين اللوز فى القطن، امتلاء الحبوب فى القمح، النمو الخضرى وتكوين المحصول فى دوار الشمس وبنجر السكر وفول الصويا.

وقد أقام عبد الجواد وآخرون (١٩٩٣) (Abd El-Gawad et al 1993a) دراسة حقلية عن تأثير تعطيش نباتات القمح فى المراحل المختلفة من العمر فوجد نقص نمو القمح بالتعطيش فى طور التفريع، طرد السنابل، النضج اللبنى والعجيني الأصفر بالإضافة إلى نقص عدد الثغور فى سطحى ورقة العلم. كما وجد أن كفاءة استخدام الماء تراوحت بين ٣١-١،١٩ كجم/م^٣ (عبد الجواد وآخرون ١٩٩٣) (Abd El-Gawad et al 1993b) عند حرمان نبات القمح من الري فى طور التفريع إلى طور النضج العجيني الأصفر على الترتيب.

وعند تعريض النباتات لإجهاد الجفاف يؤدى ذلك لتقليل معدل النتح بخر الذى يؤدى بدوره إلى غلق الثغور ونقص عملية التمثيل الكربونى مما يؤدى إلى نقص إنتاج الكتلة الحيوية الكلية Biomass ولا شك أن ذلك له تأثير طفيف على المحصول النهائى فى حالة المحاصيل التى تتميز بقدرة إنتاجية تعويضية عالية حيث يحفز نقص فترة النمو الخضرى العمليات الفسيولوجية التى تسبب زيادة فى المحصول مثل دفع النباتات لإزهار القطن، وزيادة تعمق المجموع الجذرى والنضج فى محاصيل الحبوب وتحسين الجودة والطعم فى ثمار الفاكهة على حين يؤدى تعريض النباتات لإجهاد الجفاف أثناء مرحلة الإثمار إلى التأثير على العقد فى محاصيل الحبوب مما يؤثر على المحصول.

ولقد أدى رش المجموع الخضرى بالبرولين اصنفين من الذرة الشامية عند عمر أسبوعين والنامية بالحقل تحت ظروف الإجهاد الرطوبى إلى تنشيط العديد من العمليات الفسيولوجية حيث أوضحت الدراسة زيادة تركيز المغذيات المعدنية بالسوق والجذور بأنسجة النباتات المعاملة عن غير المعاملة فزاد تركيز كل من البوتاسيوم، الكالسيوم، النيتروجين والفوسفور (Ali et al, 2008).

إن التطبيق الصحيح لإنقااص ماء الري يمكن من توفير الماء لرى محاصيل الحقل الأخرى. حيث أظهرت محاصيل الفول السودانى، فول الصويا، الفاصوليا

والقصب زيادة نسبية في نقص المحصول مقارنة بنقص النتج بخر النسبي الذى يتعرض له فى مراحل معينة من النمو، مما يعنى تأثرها بنقص ماء الرى. على حين أن محاصيل القطن، الذرة الشامية، القمح، دوار الشمس، بنجر السكر والبطاطس تتناسب مع تكتيك نقص كمية مياه الرى المضافة إما أثناء موسم النمو بأكمله أو عند مراحل النمو المحددة سابقا، حيث أن نقص مياه الرى بمرحلتى الإزهار وتكوين اللوز بالقطن وأثناء الإزهار بالقمح، مراحل النمو الخضرى لفول الصويا ودوار الشمس ومرحلة إنتاج الأقراص بدوار الشمس وتكوين الجذور بنجر السكر، قد أعطت نتائج مقبولة لدراسات الجدوى مما يعطى مؤشرات لممارسة تقنية إنقاص مياه الرى.

استخدام النمذجة فى محاكاة استجابة المحاصيل للماء:

إن تدهور مصادر الماء وزيادة متطلبات الغذاء تحتاج لزيادة كفاءة استعمال ماء الأمطار وماء الرى فى الزراعة كما سبق القول لذلك يلعب استخدام النمذجة دوراً مفيداً فى تطوير التوصيات العملية لتحقيق أمثل إنتاجية للمحاصيل تحت ظروف ندرة المياه وفى عام ١٩٩٢ تم تطوير النموذج CROPWAT (1998) بواسطة قسم تطوير الأراضى والمياه التابع لمنظمة الأغذية والزراعة الذى يوضح نموذج بسيط للتوازن المائى الذى يسمح بمحاكاة ظروف الإجهاد الرطوبى للمحاصيل مع تقدير النقص فى المحصول عن طريق قياس معدل النتج بخر للمحصول (منظمة الأغذية والزراعة التابعة للأمم المتحدة ١٩٩٨) حيث استخدم Kirda et al (1999b) بيانات ثلاث دراسات أقيمت لتقييم إمكانية استخدام هذا النموذج للرى بحساب النقص النسبى للمحصول منسوباً للنقص النسبى لمعدل النتج بخر وحساب معامل استجابة المحصول بتطبيق المعادلات العملية (FAO, 1979) Emperical والتي أمكن من خلالها تحليل مجموعة من قيم معامل استجابة المحصول لسنة وعشرون محصولاً خلال مراحل نمو مختلفة كما فى المعادلة التالية:

$$1 \hat{n} Y_a / Y_{\max} = K_y (1 \hat{n} E_t / ET_m)$$

حيث أن:

$1 \hat{n} Y_a / Y_{\max}$: مكونات النقص فى المحصول الناتج من نقص معدل النتج بخر

$1 \hat{n} E_t / ET_m$: نقص معدل النتج بخر

واتضح إمكانية محاكاة النموذج المذكور لنقص المحصول الناتج من التعرض للإجهاد المائى بالإضافة إلى تحديد حساسية مراحل النمو المختلفة التى يكون للإجهاد الرطوبى تأثير سالب على المحصول. مع إمكانية إمداد المزارعين ورجال الإرشاد الزراعى بالمعلومات التى تمكنهم من جدولة نقص ماء الرى تحت مختلف الظروف من الإمداد المائى وإدارة الأرض والمحصول.

الموائمة لظروف الرطوبة غير الملائمة:

تتعرض المحاصيل أثناء حياتها إلى ظروف من الرطوبة غير الموائمة فقد تتعرض للجفاف ويكون ذلك ناتج من نقص الأمطار أو تأخير الرى أو التعرض للرياح الحارة الجافة التى يتسبب عنها ارتفاع معدل النتج بخر المقارن الذى يسبب نقص فى أداء المحصول ممثلاً إما فى قدرة النبات على البقاء أو إنتاج المحصول الإقتصادى أو التأثير على جودة المحصول.

أقلمة المحاصيل للبيئات ذات المياه المحدودة

يعنى الجفاف جفاف الأرض الناتج من نقص الأمطار أو تأخير الرى أو التعرض للرياح الحارة الجافة (ارتفاع النتج بخر المقارن) الذى يسبب نقص فى أداء المحصول ممثلاً إما فى قدرة النبات على البقاء أو إنتاج المحصول الإقتصادى أو التأثير على جودة المحصول. أما آلية الأقلمة للجفاف فهى تتضمن كل من الهروب من الجفاف والمقاومة للجفاف.

١- الهروب من الجفاف: هو قدرة النبات على استكمال مراحل نموه الحساسة للجفاف (مراحل الإزهار، تكوين البذور، تكوين الثمار) فى الفترات التى لا يتعرض فيها للجفاف أثناء موسم النمو. والأمثلة على ذلك المحاصيل الحولية قصيرة العمر التى تنمو تحت الظروف المصرية بالساحل الشمالى الغربى حيث قلة سقوط الأمطار. فنجد أن الأصناف المؤقلمة جيداً للجفاف يتوافر لها الوقت الأمثل للإزهار وفترة كافية من الزراعة للحصاد تتوافق مع فترة سقوط الأمطار فعلى سبيل المثال فإن تعرض الأصناف طويلة العمر للجفاف أثناء مرحلة امتلاء الحبوب سيؤدى إلى نقص حجم الحبوب وأحياناً نقص حيويتها مما يعمل على نقص محصول الحبوب. وفى حالة إزهار الأصناف قصيرة العمر مبكراً جداً تحت وفرة المياه تنخفض

قدرة النباتات على إعطاء المحصول لصغر الحبوب عن الأصناف طويلة العمر. كذلك فإن الأصناف التي تزهر مبكرا جدا قد تعاني من الإصابة بالعفن نتيجة لزيادة الأمطار أثناء مرحلة الإثمار ونضج البذور وبذلك فإن تقدير وقت وطول فترة التزهير المثلى لمناخ معين لمنطقة بعينها يصبح شديد التعقيد لذلك تنشأ مشاكل عديدة نتيجة عدم انتظام سقوط الأمطار بالمواسم المختلفة.

٢- المقاومة للجفاف: تعرف بأنها قدرة أو ارتفاع قدرة صنف أو نوع على إنتاج

محصول إقتصادي مرتفع عند التعرض لجفاف التربة أو الجو. وتتباين المقاومة للجفاف في أنواع محاصيل الحقل المختلفة. فتعتمد مقاومة المحاصيل للجفاف على طبيعة المنتج الإقتصادي للأنواع المختلفة حيث أن مقاومة المحاصيل الورقية للجفاف ذات المنتج الإقتصادي الورقي منخفضة لتأثر كمية وجودة المحصول حتى لو كان الجفاف قليلا حيث يلزم أن تحافظ على ارتفاع انتفاخ الخلايا باستمرار إضافة الماء في بيئة تتخفض بها متطلبات عملية التبخير مثل المناطق الباردة أو الرطبة. وتكون المحاصيل الدرنية أكثر مقاومة للجفاف عن المحاصيل الورقية حيث تتأثر بالجفاف في المدى بين القليل-المتوسط. على حين أن محاصيل الدريس مثل البرسيم الحجازي يكون أكثر مقاومة للجفاف لتمييزه بالجذور المتعمقة بالأرض والتي تمكنه من استخلاص الماء تحت هذه الظروف دون معاناة من نقص المحصول، وتعتمد المحاصيل المثمرة في مقاومتها للجفاف على مرحلة النمو، نوع المنتج الإقتصادي وطبيعة النمو الخضري، فإذا كانت من المحاصيل محدودة النمو تكون مقاومة للجفاف في مرحلة النمو الخضري أكثر منه أثناء مراحل الإزهار المبكر أو الإثمار. وتقاوم المحاصيل المنتجة للحبوب الجافة التعرض للجفاف في نهاية الموسم عن المحاصيل المنتجة للثمار الغضة حيث يلزم احتفاظها بالماء للحفاظ على إنتفاخ خلاياها. أما المحاصيل غير محدودة النمو كالقطن واللوبيا فيمكن أن تقاوم جفاف منتصف الموسم عن المحدودة النمو كالذرة، الأرز، الذرة الرفيعة، القمح والدخن. وذلك لإمكان إنتاج المزيد من الأوراق والثمار والبذور على الساق الرئيسي عكس الحال في النباتات محدودة النمو ولقد وجد (Gwathmey and Hall (1992 إمكانية إنتاج دورة جديدة ثانية من الأوراق، الأزهار، الثمار والبذور لنبات اللوبيا بعد إزالة الجفاف الذي قضى على

الدورة الأولى. ويمكن للنباتات محدودة النمو مقاومة الجفاف أثناء مرحلة امتلاء الحبوب عن غير محدودة النمو لقدرتها على إكمال انتقال المواد الكربوهيدراتية إلى الحبوب لمساهمة المخزن منها قبل الإزهار بنسبة ٤٠% فى وزن الحبوب كما هو الحال فى القمح والشعير الذى تعرض للجفاف المتأخر.

ويمكن استخدام النموذج التالى لمعرفة تأثير الجفاف على المحاصيل الحولية محدودة النمو لاستخدامها فى تقدير الحساسية للجفاف بمراحل النمو المختلفة

$$Y_d = Y_w (1 - \bar{n} D_v S_v) (1 - \bar{n} D_f S_f) (1 - \bar{n} D_s S_s)$$

حيث أن:

Y_d : محصول الحبوب المنتج تحت ظروف الجفاف.

Y_w : محصول الحبوب المنتج تحت وفرة المياه.

D_v : شدة الجفاف أثناء مرحلة النمو الخضرى (v)

D_f : شدة الجفاف أثناء مرحلة الأزهار (f)

D_s : شدة الجفاف أثناء مرحلة امتلاء البذور (s)

S_v : الحساسية للجفاف بمرحلة النمو الخضرى (v)

S_f : الحساسية للجفاف بمرحلة الأزهار (f)

S_s : الحساسية للجفاف بمرحلة امتلاء الحبوب (s)

$$D = I - Et_d / Et_w \quad \text{علمًا بأن:}$$

وتتراوح قيم الحساسية ما بين ١ (عالي الحساسية) إلى صفر (عالي المقاومة). ويمكن حساب قيمة (S) من إقامة تجارب تحتوى على معاملات مختلفة للجفاف فى مراحل النمو المذكورة ثم تقاس قيمة النتج بخر (ET) لمعرفة قيمة (D) ثم حساب قيم Y_d و Y_w

ومن المعروف أن محصول الذرة الشامية حساس جدا للجفاف أثناء مرحلة الإثمار حيث يتأثر المحصول بالتعرض للجفاف أثناء مرحلة الإزهار والإثمار حتى لو

توافر الماء بقية مراحل النمو، فإذا تعرض لفترة قصيرة من الجفاف أثناء ظهور النورة المذكورة رغما عن توافر الماء بقية المراحل الأخرى فإنه يعطى مادة جافة معقولة إلا أن الكيزان تحتوى على القليل من الحبوب لبطء خروج النورة المؤنثة (الحريرة) عن النورة المذكورة مما يعمل على الإخلال بالتوافق الزمنى الذى يؤدى إلى قلة عدد الأزهار المؤنثة الملقحة رغما عن توافر أعداد حبوب اللقاح الحية وبذلك تنقص أعداد الحبوب بالكيزان وعادة ما تتساقط معظم حبوب اللقاح قبل ظهور النورة المؤنثة (Hall et al 1982). ولقد سلط (Herrero and Johnson 1981) الضوء على آلية التعرض للجفاف على النورة المؤنثة حيث ذكر أنه عند رى الذرة استطلت النورة المؤنثة بسرعة أثناء الليل ثم قلت الاستطالة لتصل إلى الصفر أثناء النهار حيث يكون الجهد المائى للورقة مرتفع السالبيهة وعند التعرض للجفاف تبطء استطالة النورة المؤنثة أثناء الليل وعند حلول النهار تنكمش حيث يكون الجهد المائى للورقة أكثر سالبية منه فى حالة النباتات المروية جيدا. وربما يفسر الفرق فى ضغط إنتفاخ الحريرة جزئيا الخلاف فى معدل الاستطالة فى حالة التعرض أو عدم التعرض للجفاف، حيث يكون معدل استطالة النورة المؤنثة أبطأ فى النباتات المعرضة للجفاف عن المروية والتي يكون الجهد المائى لورقة الكوز متماثلا فى الحالتين.

ولقد تبنى كل من (Westgate and Boter 1986) آلية أخرى حيث ذكروا أن منع عملية التمثيل بالذرة المعرضة للجفاف يؤدى إلى نقص المواد الكربوهيدراتية المسئول نقصها عن إجهاض الأجنة، فرغما عن إنبات حبوب اللقاح ونمو الأنبوبة اللقاحية وإخصاب البويضات بالكيس الجنينى يحدث إجهاض للأجنة. وقد أيد هذا الزعم (Boyel et al 1991) حيث تم منع إجهاض البويضات بإضافة السكروز للنباتات المعرضة للجفاف.

ونتيجة للرأى الأول فقد حاول مربوا المحصول تشجيع مقاومة الذرة للجفاف بانتخاب نباتات تكون الفترة بين ظهور الأزهار المذكورة وطرد النورة المؤنثة النامية تحت ظروف الجفاف قصيرة. حيث وجد أن الانتخاب التكرارى لهذه الصفة من 3-8 دورات أدى إلى زيادة فى محصول الحبوب بمقدار 30-50% دون حدوث تغيير فى المادة الجافة الكلية للسيقان عند تعرضها للجفاف أثناء الإزهار. لقد وجد أن هناك

إرتباط قوى وسالب بين هذه الفترة وعدم وجود علاقة للصفات المرفولوجية أو الفسيولوجية تشير لتحسين حالة الماء بالنبات (Bolanos and Edmeades,1996). ولقد أوصى الباحثون أنه لتربية الذرة لتشجيع المقاومة للجفاف عند التعرض له أثناء الإزهار ينبغي أن يكون من خلال إجراء الانتخاب من برنامجين الأول وفيه يتم الانتخاب لمحصول الحبوب تحت ظروف وفرة المياه والثانى للانتخاب للفترة بين طرد الأزهار المذكورة والأزهار المؤنثة، عدد كيزان النبات، ومحصول الحبوب تحت ظروف التعرض للإجهاد المائى الشديد أثناء مرحلة الإزهار (Bolanos and Edmeades, 1996).

ومحصول القمح حساس للجفاف عند التعرض للمرحلة المبكرة من الإزهار إلا أن آلية التأثير بالجفاف تختلف عما هو الحال فى الذرة. حيث أن عدد الحبوب فى سنبله القمح يقل بالتعرض للجفاف لفترة ٧ أيام قبل الإزهار. يكون عقم الزهرة مرتبط بعقم حبوب اللقاح على عكس الحال فى الذرة حيث لا تتلف حبوب اللقاح بالتعرض للجفاف كما سبق القول وربما يكون زيادة مستوى حمض الأبسيسيك هو المسئول عن العقم الذكرى للقمح. ويستخدم النموذج التالى لمعرفة تأثير الجفاف على محصول النباتات الحولية غير محدودة النمو:

$$Y_d = Y_w (I \bar{n} D_v S_v) \times (N_{r1} \bar{n} S_{r1}) + (N_{r2} \bar{n} D_{r2} S_{r2}) + \bar{O} \text{ etc.}$$

حيث أن:

r_1, r_2 : فترات الإثمار المنفصلة للنبات غير محدود النمو

N: نسبة محصول الحبوب الناتج من موجة واحدة من الثمار بالنسبة لمجموع

N_{r1}, N_{r2} ... إلخ وتساوى ١.

D: شدة الجفاف

S: الحساسية للجفاف

وعادة ما تكون S_v بالمحاصيل غير محدودة النمو أقل منها فى حالة المحاصيل محدودة النمو حيث تنتج الأولى أوراقا أكثر بمجرد انحسار الجفاف. ويصدق هذا النموذج فى حالة حدوث تلف جوهري لموجة الأزهار الأولى بحيث يتم تعويضها

جزئيا بالموجة الثانية والتي تزيد حتى عن الموجة الثانية فى النباتات التى تم ريهها جيدا. ويجدر الإشارة هنا إلى أن النموذج السابق لكي يحاكي الواقع قد يكون فى غاية التعقيد لوجوب احتوائه على الكثير من المدخلات الطارئة الضرورية.

وتختلف المحاصيل فى مقاومتها للجفاف حيث يتضح أن هناك محاصيل أكثر مقاومة للجفاف مقارنة بغيرها فنجد أن الذرة الرفيعة والدخن أكثر مقاومة من الذرة الشامية أكثر من الأرز. والشعير أكثر من القمح أكثر من البطاطس. والفول السوداني أكثر من فول الصويا أكثر من فول الحقل.

وكما توجد اختلافات بين الأنواع توجد أيضا اختلافات بين الأصناف والسلالات فى مقاومة الجفاف حيث أن أصناف القمح مثل جيزة ١٦٨، ياكورا (Habib et al, 2010) وسخا ٩٣ أكثر تحملا للجفاف من الأصناف الأخرى (Abdel kader et al, 2010) والصنف هجين صحراوى قادر على تحمل الجفاف فى الشعير مقارنة بالأصناف الأخرى.

ألية التحمل للجفاف

تختلف النباتات فى رطوبة الوسط الذى تنتشر فيه فبعضها ينتشر بوسط رطب والبعض ينتشر بوسط جاف. ويمكن تقسيم النباتات تقسيما بيئيا على أساس رطوبة الوسط الذى تنتشر فيه إلى ثلاثة أقسام رئيسية هى النباتات المائية، الوسطية الجفاف، والجفافية أو الصحراوية. ويتضمن كل قسم من هذه الأقسام عددا من الأنواع النباتية التى قد تكون بعيدة فى قرابتها وهذا التقسيم مثل ما فى كثير من التقسيمات البيولوجية يتضمن حدودا غير قاطعة بين المجاميع.

وتتضمن النباتات المائية عددا من النباتات التى تعيش فى الأرض المشبعة بالماء والتى يرتفع بها الماء بقدر غير ملائم لنمو النباتات العادية. والماء فى جميع هذه الظروف ليس ضارا فى حد ذاته، ولكن يودى إلى البطء الشديد لذوبان الأكسجين وانتشاره فى الماء وإلى وجود ظروف حرجة لا يمكن أن تواجهها أو تتغلب عليها سوى النباتات المتخصصة. ولا ينتمى إلى النباتات المائية أى من محاصيل الحقل. وتعتبر نباتات الأرز والدنيبة والنسيلة أقرب الحاصلات الزراعية لها. والقسم الثانى

وهو النباتات الوسطية الجفاف ولا تستطيع هذه النباتات استيطان الماء أو الأراضى المبتلة والأماكن الجافة والتي تنقص فيها كمية الماء بما لا يفي بالاحتياجات اللازمة لنمو النبات، وتنتمى معظم محاصيل الحقل كالذرة، القطن، والقمح إلى هذه المجموعة وتعيش فى مناخ معتدل الحرارة والرطوبة ولكي تنمو نموا جيدا وتغل محصولا وفيرا يلزم لها كمية معتدلة من الرطوبة وتهوية جيدة حول الجذور. والقسم الثالث وهو النباتات الجفافية أو الصحراوية وتوجد فى الظروف الجفافية التي لا تستطيع فيها الحصول على احتياجاتها المائية، وقد يرجع ذلك لنقص حقيقى للماء فى البيئات الجافة مثل الصحارى، أو لعدم تيسر الماء للنباتات رغم وجوده، ويعتبر ذلك نقصا فسيولوجيا للماء إذ أن الماء موجود إلا أنه غير قابل للامتصاص. وتوجد هذه الظاهرة حينما يرتفع تركيز محلول الأرض، كما ينشأ فى ظروف انخفاض درجة الحرارة لدرجة نقص معدل امتصاص جذور النباتات ونقص معدل انتقال الماء بالنبات. وتبدو مظاهر البيئة الجفافية فى الظروف التي تساعد على فقد الماء من النباتات بمعدل أكبر من امتصاصه كما فى حالة ارتفاع شدة الإضاءة ودرجة الحرارة.

تتوائم خصائص النباتات مع ظروف الرطوبة السائدة فإذا نجحت الموائمة نشأ التوازن المائى فى النباتات وإذا فشلت أخلت التوازن المائى وقضى على النبات.

وعموما يمكن مناقشة موضوع آلية التحمل للجفاف تحت عدة مواضيع مثل فقد الماء، تنظيم الأسموزية وسلوك المحاصيل.

فقد الماء:

يحدث أكبر فقد فى حركة الماء بمنظومة التربة-النبات-الغلاف الجوى من خلال عملية نتح الأوراق وتعتمد هذه العملية على التغيرات الحادثة فى ضغط انتفاخ الخلايا الحارسة الذى يتحكم فى فتح وغلق الثغور، وعند زيادة ضغط الانتفاخ يتم زيادة فتحات الثغور مما يعمل على زيادة فقد بخار الماء فى عملية النتح (تعتمد التغيرات الحادثة فى ضغط انتفاخ الخلية أساسا على التغيرات فى جهد محلول العصير الخلوى) وينخفض جهد محلول العصير الخلوى (Ψ_s) للخلايا الحارسة بضغط النبات كاتيون البوتاسيوم والعديد من الأيونات والسكريات الناتجة من تحول النشا إلى سكر مما يعمل على اندفاع الماء من الخلايا المجاورة وبالتالي رفع ضغط الانتفاخ بالخلايا الحارسة

مما يزيد من فتح الثغور ويزيد من فقد بخار الماء فى عملية النتح ويعمل ذلك على امتصاص الماء، بالإضافة إلى أن أى تغيير ولو بسيط يحدث فى ضغط انتفاخ الخلايا الحارسة قد يحدث نتيجة للتغيرات فى الجهد المائى للأوراق الناتج من التغييرات فى جهد الخلايا الحارسة.

ويشابه معدل انسياب الماء من التربة إلى النبات حركة بخار الماء فى عملية النتح أثناء النهار مما يوجد نقص فى محتوى النبات من الماء وعلى العكس فإن سريان الماء إلى وخلال النبات يمكن أن يزيد عما هو الحال فى فقد بخار الماء فى فترات النصف الثانى من اليوم وعلى الأخص أثناء الليل حيث ينخفض معدل النتح مما ينتج عنه بعض شفاء لحالة الماء بالنبات ويقاس سريان الماء مابين الأرض والأوراق بالفرق بين جهد الماء للأرض والجهد المائى للورقة.

وتتم حركة الماء من المناطق ذات الجهد المائى المرتفع (قريبة من الصفر) إلى المناطق ذات الجهد المائى المنخفض (أقل من الصفر أى سالبة القيمة) وتقف حركة الماء عندما يتساوى الجهد المائى للمنطقتين.

وتحدث عدة تغييرات لاستجابة معدل النتح للجهد المائى للورقة يمكن أجمالها فيما يلى:

1. يقل معدل النتح للنباتات التى تتعرض للجفاف عن النباتات المروية.
2. ينخفض الجهد المائى للورقة عند مستويات معينة من النتح وقبل الفجر predawn.
3. ينخفض معدل النتح عند إنخفاض جهد الورقة وقت الظهيرة عنه فى الصباح.

مكونات الجهد المائى الكلى Ψ

الجهد عبارة عن الطاقة الميكانيكية أو الكيماوية و التى فى وسعها أن تؤدى عملا معيناً بسبب وجودها فى وضع معين أو فى حالة كيماوية معينة. ويتكون الجهد المائى الكلى بالتربة والنبات من الآتى:

- 1- جهد المحلول Solute Potential $\{\Psi_s\}$ وهو الناشئ عن وجود الذائبات بالماء وتعمل على إنقاص الطاقة الحرة للمحلول مقارنة بالماء النقى. وعادة ما يكون التأثير سالبا بالتربة حيث تؤدى الأملاح إلى تقليل صلاحية الماء للإستفادة بالنبات.

٢- الجهد المهادى Matric Potential $\{\Psi_m\}$ ويؤدى إلى نقص الطاقة الحرة للماء نتيجة للقوى التى توجد بين الماء والمكونات الصلبة مثل التربة وجدار الخلية.

٣- جهد الضغط Pressure Potential $\{\Psi_p\}$ ويعبر عن الدرجة التى تزداد بها الطاقة الحرة بواسطة الضغط كما يحدث عند الإنتفاخ فى الخلية الحية أو النقص الذى يحدث بواسطة التوترات الناتجة فى عناصر النظم الكبرى مثل قصيبات عناصر الخشب.

تنظيم الأسموزية:

يخلط البعض بين مصطلح تنظيم الأسموزية الراجع إلى تجميع الذائبات والتى بزيادة تركيزاتها داخل الخلية تشجع تدفق الماء إلى الخلية مما يساعد النباتات على التأقلم لظروف الجفاف، وتغيير الأسموزية الراجع إلى تركيز الذائبات والتى قد تتطلب تراكم الذائبات التوافقية المحافظة على استمرارية بناء ووظيفة الجزيئات الكبيرة. ففى الحالة الأولى فإن العلاقات المائية للخلايا الحية تتأثر بدرجة كبيرة بتجميع الذائبات. ويحكم نمو الخلايا والأنسجة بوحدة الحجم والطول والمساحة المعادلة التالية:

$$d_v/d_t \text{ or } d_l/d_T \text{ or } d_A/d_T = k \times (\Psi_p \bar{n} \Psi_p)$$

حيث أن:

K: القابلية للتمدد

Ψ_p : بداية جهد الضغط

وهما يعتمدان على عملية البناء والتمثيل الضوئى وارتخاء جدر الخلايا وبالتالي على درجة الحرارة.

ويكون جهد الضغط للخلايا النشطة النامية حوالى ٨ بار مما يعنى أن يكون جهد المحاليل داخل الخلية أكثر سالبية من - ٨ بار. وينتج جهد المحاليل المنخفض من تراكم الذائبات إما بالحصول على أيونات غير عضوية مثل كاتيونات البوتاسيوم لأنيونات الكلوريد أو الجزيئات الصغيرة العضوية مثل السكريات، الأحماض العضوية أو الأحماض الأمينية. ولا ينبغى الاعتقاد بأن ذلك يحدث نتيجة لنقص جهد الضغط

حيث أن الدراسات أوضحت حدوث تغييرات لكل المتغيرات بالمعادلة السابقة في كثير من الأحيان ويظل جهد الضغط ثابتا في بعض الحالات حتى عند نقص معدل النمو.

وعند نقص الجهد المائي للخلية نتيجة لنقص الماء ينقص جهد الضغط أيضا في حالة حدوث تنظيم في الأسموزية نتيجة لتراكم الذائبات وليس نتيجة لتعديل الأسموزية. وعند تعرض النباتات لفترة طويلة من الجفاف تعمل الخلايا على تجميع الذائبات مما يستلزم حساب المحتوى النسبي للماء الذي يكون مفيدا في تقدير درجة تنظيم الأسموزية للنسيج النباتي من المعادلة التالية:

$$\text{المحتوى النسبي للماء بالنسيج} = \frac{\text{الوزن الغض للنسيج بعد غمره في الماء} \bar{n} \text{ الوزن الجاف للنسيج}}{\text{الوزن بعد غمر النسيج في الماء} \bar{n} \text{ الوزن الجاف}} \times 100$$

كذلك فإن المعادلة التالية تتبع للتعرف على ما إذا كان قد حدث تنظيم لأسموزية النسيج النباتي أم لا

$$\Psi_s \text{ full turgor} = \Psi \text{ symplast} \times (\text{RWC} \bar{n} \text{ apoplast \%}) / 100 \bar{n} \text{ apoplast \%}$$

وفيها يتم تقدير قيم جهد المحلول للسيمبلاست للنسيج وهو في كامل الانتفاخ قبل التعرض للجفاف ثم وهو في كامل الانتفاخ بعد التعرض للجفاف وكلما كانت قيمة جهد المحلول بعد التعرض للجفاف مرتفعة السالبة كلما دل ذلك على القدرة العالية للنسيج على تنظيم الأسموزية وبالتالي القدرة على التأقلم لظروف الجفاف. ويساعد تنظيم الأسموزية (تجمع الأملاح) الخلايا على الحفاظ على توازن مائي بالنبات عن طريق المحافظة على ضغط انتفاخ موجب بالخلايا وعندما تجف التربة يصبح جهد المائي أكثر سالبية مما يمكن النبات من استمرار امتصاص الماء طالما جهد النبات المائي أكثر من الجهد المائي للأرض.

ويعبر عن النسبة المئوية للماء بالورقة وهي في كامل انتفاخها والموجودة خارج الغشاء البلازمي (أى بالجدر الخلوية وقصبيات بأوعية الخشب) بالأبوبلاست Apoplast ويمكن الحصول على قيمتها إما عن طريق المراجع أو بقياسها بحجرات قياس الضغط للحصول على منحنى ضغط-حجم الورقة.

وتصبح الخطوة الأخيرة هى تطبيق المعادلة التالية لتصحيح التغييرات الحادثة فى حجم الخلية لتعديل جهد المحلول إلى حالة كامل الإنتفاخ

$$RWC = 100 \times \frac{FW - DW}{TW - DW}$$

حيث أن:

RWC: محتوى الماء النسبى

إن تنظيم الأسموزية بالفجوة العصارية التى هى المكون الأكبر للسيمبلاست يتطلب جمع الأيونات غير العضوية مثل كاتيونات البوتاسيوم، تمثيل الأحماض العضوية، تحويل السكريات العديدة إلى سكريات بسيطة. وتغيير الأسموزية للبروتوبلازم تتطلب تراكم الذائبات التوافقية المحافظة على إستمرارية بناء ووظيفة الجزيئات الكبيرة وأغشية الخلية وهذه تتضمن البرولين، جليسينبوتان، مانيتول وسوربيتول. هذه الجزيئات تتميز بقدرة عالية على الذوبان ولا تحمل شحنات عند رقم الحموضة الفسيولوجى وغير سامة عند تواجدها بتركيزات مرتفعة. بالإضافة إلى أنها تؤدي إلى ثبات البروتين والأغشية. ويحدث تعديل الأسموزية فى جميع الخلايا النامية وغير النامية كما هو الحال فى الثغور كآلية للحفاظ على ضغط الإنتفاخ كقوة ضرورية لدفع جدر الخلايا للخارج.

سلوك المحاصيل:

يمكن اعتبار أن مقاومة الجفاف تعتمد بقدر على تجنب فقد الماء Dehydration avoidance، الاستجابة للتغذية الأمامية أو إن شئت قل الاستجابة الإستباقية Feed-forward response، تحمل فقد الماء Dehydration tolerance وكفاءة استعمال الماء Water use efficiency. ويمكن أن تسلك المحاصيل تلك الآليات الأربعة لمقاومة الجفاف.

١- تجنب فقد الماء:

تشير المعادلة التى سبق التنويه عنها تحت عنوان تنظيم الأسموزية والمتعلقة بدرجة الحفاظ على محتوى الماء النسبى بالنبات عند التعرض للجفاف مقارنة

للمحاصيل الأخرى لإمكانية استخدامها فى الحكم على تجنب المحاصيل لفقد الماء. حيث يتجنب المحصول الجفاف بالحفاظ على جهد رطوبى مرتفع للورقة (Ψ) بحيث تقرب قيمته من الصفر عندما يتعرض للجفاف نتيجة لتميزه ببعض الصفات مثل قدرة جذوره على التعمق بالأرض لاستخلاص الماء من الأعماق البعيدة، بطء نمو الأوراق وغلغ الثغور عند التعرض للجفاف مبكرا مقارنة بغيره من الأصناف. وتختلف نوعية هذه المحاصيل فى سلوكها بتعرضها للجفاف حيث يحدث تغيير طفيف فى الجهد المائى للورقة (لا يصل إلى أقل من ٢n ميغاباسكال) كما فى اللوبيا إلى حدوث تغيير كبير يصل إلى أقل من ٥n ميغاباسكال كما فى الدخن (Petrie and Hall, 1992) والذرة الرفيعة ومجموعة ثالثة يتبعها القليل من الأنواع وفيها ينخفض الجهد المائى للورقة بشدة ليصل إلى ٩n ميغاباسكال، ويمكن لهذه المجموعة الاحتفاظ بمحتوى نسبى من الماء عند ضغط أسموزى مرتفع ونقص جهد العصير الخلوى. ويسعى مربو المحاصيل لإنتاج أصناف من القمح والذرة الرفيعة مرتفعة فى مقاومتها للجفاف بالانتخاب لزيادة التحكم فى أسموزية الأوراق.

٢- الاستجابة للتغذية الأمامية (الاستجابة الإستباقية):

لقد تزايدت الشواهد التى تبين إحساس الجذور بالظروف الصعبة التى تواجه النبات بالتربة مما يعمل على إمداد النبات مقدما بالتحذيرات لحدوث التغيير الذى يقى النبات من هذه الظروف، حيث ترسل الجذور إشارات للأفرع تودى إلى الغلق الجزئى للثغور وإبطاء نمو وتمدد الأوراق (Passioura and Straker, 1993) وتعرف هذه النظرية بالنظرية الأمامية أو الإستباقية وهى عكس نظرية التغذية الخلفية. وبذلك يتمكن النبات من تجنب الجفاف الشديد. وتكون استجابة المحصول قوية للغاية وملائمة بدرجة كبيرة لبقاء المحصول وللحفاظ على إنتاجيته فى أكثر البيئات المستهدفة.

٣- تحمل فقد الماء:

يشير هذا المصطلح لقدرة النبات على الحفاظ على وظائفه عند تعرضه للنقص النسبى فى محتواه من الرطوبة. وتتميز بعض النباتات بقدرة أوراقها على تحمل

فقد الماء ويذكر بعض الباحثين أن هناك صعوبة فى تفسير ذلك، ونظرا لأن بداية أو إيقاف العمليات المختلفة الدائرة بالنبات تتطلب وجود محتوى نسبي حرج للرطوبة إلا أنه وجد أن الكتلة الحية للخلاية (Symplast) للنباتات الراقية لا تستجيب أو تضار بفقد الماء مباشرة بل يؤثر المحتوى النسبى للماء على الحجم وبالتالي التغييرات الحادثة فى الحجم مما ينشأ عنها تغييرات فى ضغط انتفاخ الخلايا وليس مستوى فقد الماء. حيث وجد (Flower and Ludlow, 1986) أن محتوى الورقة النسبى من الماء ببسلة الطيور يبلغ فى العادة حوالى 80% عندما يساوى ضغط انتفاخ الخلية صفرًا ينقص ليصل إلى 32% عند حدوث تدهور داخلى غير رجعى فى الجذر الخلوية يصحبه انخفاض فى ضغط الانتفاخ ليصبح قيمة سالبة. ولقد ذكر آخرون عند حدوث نقص يومى للماء بالأرض تصدر إشارات هرمونية من الجذر تودى إلى عدم تحرك الذائبات من الأوراق المسنة إلى الأوراق صغيرة العمر مما يقلل من تركيز الذائبات بالأوراق الصغيرة فيقل ضغطها الأسموزى أى زيادة جهد المذيب مما يعمل على فقد الماء ويصبح ضغط الانتفاخ سالب وتتدهور الخلايا. ويعرف ذلك بعدم قدرة النبات على تدوير المغذيات (Hall, 1993) وفى البذور التى تجف عند النضج فإن التحمل لفقد الماء يعتبر هام للغاية حيث تتجمع مركبات مثل السكريات وبعض البروتينات التى تلعب دوراً فى تحمل فقد الماء.

٤- كفاءة استعمال الماء:

يعبر عن كفاءة استعمال الماء بأنها النسبة بين المادة الجافة الكلية إلى عملية النتج. وتختلف الأنواع فى كفاءة استعمال الماء حيث تقل فى المحاصيل ثلاثية الكربون عن المحاصيل رباعية الكربون النامية فى البيئات الحارة فى المواسم الدافئة (حيث أن السبب هو إنتاج مادة جافة بواسطة النباتات ثلاثية الكربون بقدر أقل من المادة الجافة الناتجة فى اليوم عن النباتات الرباعية الكربون) مما هدى مربى المحصول لمحاولة تربية أصناف تابعة للمحاصيل الثلاثية الكربون مختلفة فى كفاءة إستعمال الماء تكون أكثر مقاومة للجفاف (Hall et al, 1994; Condon and Hall, 1997)

التحمل للجفاف ومقاومة الجفاف

ينبغي التمييز بين تحمل المحصول للجفاف Drought adaptation ومقاومة الجفاف Drought resistance حيث يعتمد التحمل للجفاف على التأثيرات الإضافية للهروب من الجفاف بالإضافة إلى مقاومة الجفاف. على حين أن مقاومة الجفاف لا تعتمد على التأثيرات الإضافية وقد تسلك النباتات ذات الآليات المختلفة مسلكاً متساوياً في التحمل لظروف البيئات الجافة ونصف الجافة. ومثال ذلك اكتساب أوراق النجيليات جهد مائي منخفض شديد السالبية بالتحكم في الأسموزية لتجنب فقد الماء بالتعرض لجفاف الأرض مما يؤدي إلى فتح الثغور جزئياً واستمرار عملية التمثيل الضوئي والحفاظ على جهد مائي منخفض للورقة وبذلك يتسنى للجذور الحصول على الماء من الأرض. وفي بعض المحاصيل البقولية النامية تحت نفس الظروف فإنها تتجنب فقد الماء بالإغلاق الجزئي للثغور وبحركة الأوراق العاكسة للضوء مما يقلل النتح مما يؤدي لنقص طفيف لجهد الورقة المائي بجفاف الأرض. وينبغي التنويه هنا إلى أن الجهد المائي عادة ما يكون أقل من الصفر في النظم الطبيعية ويكون أقل أي ذو قيمة أكثر سالبية في النبات عن الأرض ويكون أقل تحت ظروف الجفاف كما يقل في النهار عن الليل.

علاقة إجهاد الجفاف بمضادات الأكسدة الإنزيمية وغير الإنزيمية

إن استجابة المحاصيل لإجهاد الجفاف يختلف معنوياً تبعاً لعدة مستويات تعتمد على كثافة وفترة الإجهاد ونوع ومرحلة نمو المحصول (Chaves et al, 2003) لذلك فقد درس العديد من الباحثين أثر إجهاد الجفاف على العديد من المحاصيل.

ولقد وجد أنه هناك علاقة بين إجهاد الجفاف ومضادات الأكسدة الإنزيمية وغير الإنزيمية لذلك كان من الضروري التحدث عن لمحة بسيطة عن كيفية نشأة مضادات الأكسدة والإجهاد التأكسدي.

ينشأ الإجهاد التأكسدي نتيجة الظروف التي تشجع تكوين أنواع نشطة من الأكسجين الأحادي، يدعى، أنيون السوبر أوكسيد وشق الهيدروكسيد الحر خلال تفاعلات أكسدة واختزال معينة. تتولد تفاعلات أنواع الأكسجين (ROS) Reactive oxygen species في

خلايا النبات أثناء عمليات البناء الطبيعى ويعتبر إنتاج نظام إلكترون عملية التمثيل الضوئى المصدر الأكبر للأكسجين النشط وتكون له القدرة على توليد الأكسجين المفرد والسوبر أوكسيد ولا يمكن الحد من إنتاجه حيث لا يمكن تجنب تسلسل عملية انتقال الإلكترون فى عملية التمثيل الضوئى إلى الجو المحيط. إن أكبر عمليات استهلاك الأكسجين تنحصر فى بادئ تفاعل مسار التنفس الضوئى والتفاعل المباشر لجزئ الأكسجين فى النظام الضوئى الأول (PSI) والنظام الضوئى الثانى (PSII) القادر على تحويل جزئ الأكسجين إلى أكسجين مفرد ذو طاقة مرتفعة. وهناك بعض الأنظمة التى تنافس الإلكترون المنقل فى عملية التمثيل بالكلوروبلاست مما يعمل على تقايل جزئ الأكسجين. ويحدد مقدار الضرر الواقع على النبات بعملية تنظيم الاتزان بين الأكسدة ومضادات الأكسدة تحت الظروف الطبيعية (عدم الإجهاد). حينئذ فإن مضادات الأكسدة تمد النبات بحماية كافية ضد الأكسجين النشط و الشقائق الحرة. وأثناء عملية التمثيل الضوئى ينتج جزئ أكسجين من أكسدة الماء الذى يستعمل فيما بعد كمستقبل للإلكترون، هذا الجزئ (الأكسجين المستخدم فى عملية التنفس الضوئى) بدوره ينتج فوسفو جليكولات. هذين التفاعلين لهما آثار سلبية و آثار إيجابية حيث ينتقل الإلكترون إلى الأكسجين لينتج سوبر أوكسيد الذى يكون غير متوافقا مع عملية البناء لذلك فعلى مضادات الأكسدة التخلص منه، على حين أن مركب الفوسفوجلوكولات يعاد تدويره إلى فوسفوليسيرات للدخول مرة أخرى فى دائرة تفاعل كلفن ليؤدى إلى فقد الكربون الممثل فى نفس الوقت- فإن كميات كبيرة من فوق أوكسيد الهيدروجين (يد^٢) تنتج أثناء أكسدة الجليكولات فى البيروكسيسوم ورغم أن تلف الكثير منه بواسطة إنزيم الكتاليز إلا أن عملية decarboxylation للأحماض الكيتونية تستمر بواسطته. ومع وجود العديد من فوائد عملية التمثيل الضوئى إلا أن التنفس الضوئى يحمى غشاء التمثيل الضوئى ضد أضرار الضوء الساقط عندما يكون تمثيل الكربون محدود. وربما تعتبر هذه النقطة الوظيفة الرئيسية الهامة فى الحماية ضد نقص الإضاءة مقارنة بانتقال الإلكترون إلى الأكسجين.

تعتبر استجابة المحاصيل للجفاف ظاهرة معقدة يبدو أنها تتضمن العديد من المجموعات الجديدة الممتلئة مثل البروتينات والأمينات المتعددة غير معروفة الوظيفة. ويعتبر حمض الأبسيسك ذو دور أساسى فى استجابة المحاصيل للجفاف حيث يحث

غلق الخلايا الحارسة التي تعمل على تقليل فقد الماء وأيضا تقليل ثاني أكسيد الكربون القابل للاستفادة في عملية التمثيل الضوئي الذي يؤدي إلى تكوين تفاعل أنواع أكسجين فاقد التوجه الإلكتروني في عملية التمثيل الضوئي، هذه الميكانيكية تعمل على نقص إجهاد الأكسدة والذي بدوره يؤدي إلى تحمل الجفاف.

يؤثر محتوى الماء الأرضي تأثيرا كبيرا على المحتوى الكيماوي للخلايا حيث وجد (Sairam and Saxena, 2000) نقص في محتوى الكلوروفيل عند تعرض محصول القمح للإجهاد الجفافي لكل الأصناف المختبرة. ولقد وجد أن نقص الماء بالأرض يؤدي إلى زيادة النسبة المئوية لتسرب إليكتروليونات أوراق النبات ويتوقف ذلك على أنواع وأصناف المحاصيل ففي حالة الأصناف المتحملة للجفاف يقل تسرب الإليكتروليونات مقارنة بالأصناف الأقل تحملا أو الحساسة للجفاف كما هو الحال في صنف القمح سخا ٩٣ (المتحمل للجفاف) مقارنة بصنف جيزة ١٦٨ (عبدالقادر وآخرون ٢٠١٠) Abd El-kader et al 2010 كذلك وجد أن الصنف جيزة ١٦٨ تتميز أوراقه بقلة تسرب الإليكتروليونات بالنسبة لصنف سخا ٩٣ تحت ظروف توافر الرطوبة الأرضية وهذه النتائج تتوافق مع ما حصل عليه (Sibet and Birol (2007). ويعتبر التسرب الإليكتروليني مؤشر مهم على الوظائف الفسيولوجية للخلايا حين التعرض للجفاف والملوحة وكل من الحرارة المنخفضة أو المرتفعة والتي تؤثر بالضرر على محتويات الخلايا. وعموما يحمي الغشاء البلازمي نفسه من أضرار الجفاف بتوفير محاليل مثل السكريات والأحماض الأمينية التي تعمل على تنظيم الأسموزية مما يعمل على حماية الغشاء البلازمي (Liley and Ludlow (1996. ويمكن القول أن استمرارية الغشاء الخلوي في الحفاظ على تكامله ووظائفه تحت مستويات إجهاد الجفاف تستخدم كمقياس لتحمل المحصول للجفاف. حيث ذكر (Sairam and Saxena (2000 أن جهد الأكسدة الذي يضر ببناء الخلية تحت الإجهاد المائي يؤدي إلى زيادة محتواها من ليبيدات البيروكسيدز التي تتراكم بكميات كبيرة في أنواع المحاصيل النشطة للأكسجين (AOS) activated oxygen species مما ينتج عنها تلف كبير لغشاء الخلية. كما ويلعب التعرض للجفاف دورا في زيادة محتوى مالون داي الدهيد (MDA) الذي يعتبر مقياسا لليبيدات البيروكسيدز. وعلى ذلك فإن انخفاض (MDA) تعني قدرة مرتفعة لمقاومة كبيرة للجفاف وهذا يكون مرتبطا بقدرة مرتفعة لوجود مضادات

الأكسدة (Zhao et al, 2005; Saneoka et al, 2004). وتزيد فينبولات الأوراق النامي تحت ظروف إجهاد الجفاف (Lason and Hester, 1993). تعتبر الشقائق الحرة Free Radicals وغيرها من المشتقات النشطة من الأكسجين ناتجات حتمية ثانوية لتفاعلات الأكسدة والإختزال (Redox) البيولوجية، حيث تثبط تفاعلات أنواع الأكسجين (ROS) الإنزيمات كما تتلف أهم مكونات الخلية وتعتبر زيادة إنتاج مشتقات الأكسجين السامة مظهرا شائعا لظروف الإجهاد وتتميز المحاصيل وغيرها من الكائنات بوجود ميكانيكية ذات مدى واسع لمواجهة هذه المشكلة حيث تتضمن المحاصيل نظام دفاعي يتميز بوجود جزيئات مختلفة من مضادات الأكسدة والإنزيمات مثل إنزيمات سوبر أوكسيد ديسميوتيز (SOD)، أسكورات بيروكسيديز (APX)، بيروكسيديز (POD)، كاتاليز (CAT) ومن الأفعال التي تؤثر بالسلب على أغشية الخلايا وجود الشقائق الحرة التي تحت تكوين بيروكسيد الليبدات والأحماض الدهنية غير الأستيرية وكذلك تمثيل الإثيلين حيث يبدو أن تدهور غشاء الخلية له علاقة بانطلاق الشقائق الحرة رغما عن عدم فهم كيفية إنتاجه حتى هذه اللحظة. ومن الواضح أن كفاءة ونشاط نظام مضادات الأكسدة مهم في الحد من التلف الناشئ عن الأكسدة وإتلاف الأكسجين النشط الذي ينتج بكميات أكبر من حاجة عمليات البناء الطبيعي. يعتبر دليل إنزيم البيروكسيديز خط الدفاع الأول ضد تفاعل أنواع الأكسجين كما يتغير نشاطه وكميته كدليل لحالة تفاعل الأكسدة والإختزال تحت الظروف المختلفة لإجهادات الجفاف (Moran et al, 1994; Schwanz and Polle, 2001). ويختلف نشاط هذا الإنزيم تحت ظروف إجهاد الجفاف تبعا لمقاومة أصناف القمح للجفاف ودرجة الإجهاد (Ge et al, 2006). ويعتبر بيروكسيديز أسكورات مسؤولا عن عدم سمية أكسيد الأيدروجين في الأوراق الخضراء (Chaudiere and Ferrari-Iliou, 1999). يزيد تركيز فينبولات أوراق النبات النامي تحت ظروف الإجهاد (Lason and Hester 1993). ويلعب محتوى البرولين دورا في أنسجة النباتات التي تتعرض للجفاف وعلى الأخص الأوراق نتيجة لتكسير البروتين باستمرار نقص تمثيل البروتين ويعتبر تجمع البرولين مفيد في الأنسجة كمؤشر على أضرار الجفاف وليس كدوره في ميكانيكية مقاومة الإجهاد (Zlatev and Stoyanov, 2005)

قائمة المراجع

- Abd El-Gawad A.A., Noureldin Nemat A., Ashoub M.A. and Kashaba M. A. 1993 (a). *Annals Agric. Sci. , Ain Shams Univ.* 38 (1); 161- 172.
- Abd El-Gawad A.A., Noureldin Nemat A., Ashoub M.A. and Kashaba M. A. 1993 (b). *Annals Agric. Sci. , Ain Shams Univ. ,* 38 (1) :183-192.
- Abdel kader , M.A.; Noureldin Nemat A.; M.F. Hamed and Luka Bechini 2010. *Arab Univ. J. of Agric. Sci. , Cairo , Egypt.* (18) : 2 p : 273-282.
- Ahmad, A.1999. In: C.Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nelsen, eds. *Cropyield Response to Deficit Irrigation, Dordrecht, The Netherland, Kluwer Academic Publishers.*
- Ali,Q., Ashraf, M., Shahbaz, M. and Humera, II. 2008. *Pakistan, J. Bot.,* 40:1,211-219.
- Anac, M. S., Ali UI, M., Tuzel, I. H., Anac, D., Okur, B. and Hakerlerler, H. 1999. In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nelsen, eds. *Cropyield Response to Deficit Irrigation, Dordrecht, The Netherland, Kluwer Academic Publishers*
- Bastug, R. 1987. A study on Determining the Water Production Function of Cotton under Cukuorova Conditions (Ph. D. Thesis Turkish) Adana, Turkey, Cukurova University, Faculty of Agriculture.
- Bazza, M. and Tayaa, M. 1999. In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nelsen, eds. *Cropyield Response to Deficit Irrigation, Dordrecht, The Netherland , Kluwer Academic Publishers*
- Bol anos, J. and Edmeades, G. O. 1996. *Field Crops Res.,* 48:65-80
- Boyle , M.G. , Boyer, J.S. and Morgan , P.W.1991. *Crop Sci.,* 31:1246-1252.
- Calvache, M. and Reichardt,, K. 1999. In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nelsen, eds. *Cropyield Response to Deficit Irrigation, Dordrecht, The Netherland, Kluwer Academic Publishers*
- Chaudiere, J. and Ferriari-lliou, R.1999. *Food Chem. Toxicol.,* 37:949-962.
- Chaves , M. M., Maroco, J.P. and Pirira, J. 2003. *Func. Plant Biol. ,* 30:239-264.
- Condon, A.H. and Hall, A.E. 1997. *Adaptation to Diverse Environments: Variation in Water Use Efficiency Within Crop Species.* pp. 79- 116: In L. E. Jackson (ed) *Ecology in Agriculture, Academic Press, San Diego, California.*
- Craciun, L. and Craciun, M. 1999. In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nelsen, eds. *Cropyield Response to Deficit Irrigation, Dordrecht, The Netherland, Kluwer Academic Publishers.*
- CROPWAT Programme (Version 4.2), FAO-Penman-Monteith method .1998.

- Eck , H.V., Mathers , A.C. and Musick, J.T.1987. Field Crops Res., 17:1-16.
- English, M.J., Musick, J. T. and Murty, V. V. 1990. Deficit Irrigation .In G. J. Hoffman, T. A. Towell and K. H. Solomon, eds. Management of Farm Irrigation Systems, St. Joseph, Michigan, U.S.A.
- FAO. 1979 .Yield Response to Wate: by J. Doorenbos and A. H. Kassam. Irrigation and Drainage Paper No. 33. FAO, Rome.
- Flower, D. J. and Ludlow M. M. 1986 . Plant Cell Environ., 9:33-4o.
- Ge, T. D. , SUI , G. , Bai , L.P. , Lu, Y. Y. and Zhou,G.S.2006 Sci. Agric. 3:291-298.
- Gwathmey, C.O. and Hall A.E. 1992. Crop Sci., 32:773-778.
- Habib, E. S., El n Habbal, M.S., Neureldin Nemat A. And Mechamer, K. I. 2010. Res. Bull. No. 43, Fac. Agric. Ain Shams Univ. Cairo, Egypt.
- Hall, A. J. F. Vilella , N. Trapani. N. and Chementi, C. 1982. Field Crops Res., 5:349-363.
- Hall, A. E. 1993. Current Topics in Plant Pysiology, Vol. 10, American Society of Plant Physiologists, Rockville, Maryland, USA.
- Hall A. E., Richards R.A., Condon A.G., Wright G.C. and Farquhar G. D. 1994. Breeding Rev., 12:81-113.
- Herrero, M. P. and Johnson R. R. 1981. Crop Sci., 21:105-110.
- Iqbal, M. M. Saha, S. M., Mohhamad, W. and Nawaz, H. 1999.. In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nilsen, eds. Cropyield Response to Deficit Irrigation, Dordrecht, The Netherlands Kluwer Academic Publishers
- Jana, P.K., Misra, B. and Kar, P.K. 1982. Indian Agriculturist, 26:39-42.
- Kang, S., Shi, W. and Zhang, J. 2000. Field Crops Res., 67:207-214.
- Karaata, H. 1991 Koy Hizmetleri Arastirma Enst. Kirklareli, Turkey (Turkish) .Report No.24 (Ph D Thesis).
- Kirda, C., Kanber, R. and Tulucu, K. 1999a. In: C. Kirda, P.Moutonnet, C. Hera and D. R. Nilsen, eds. Cropyield Response to Deficit Irrigation, Dordrecht, The Netherlands Kluwer Academic Publishers.
- Kirda, C., 1999 b. In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nilsen, eds. Cropyield Response to Deficit Irrigation, Dordrecht, The Netherlands Kluwer Academic Publishers
- Kirda, C. and Kanber, R. 1999. In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nilsen, eds. Cropyield Response to Deficit Irrigation, Dordrecht, The Netherlands Kluwer Academic Publishers.
- Korte, L. L., Williams, J. H. and Sorencen, R.C.1983. Crop Sci., 23:521-527.

- Kovacs, T. Kovacs, G. and Szito, J. 1999. In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nilsen, eds. Crop yield Response to Deficit Irrigation, Dordrecht, The Netherlands Kluwer Academic Publishers.
- Lason, G.R. and Hester, A.J. 1993. J. Ecol. 81:75-80.
- Lilley, J.M. and Ludlow, M. M. 1996. Field Crop Res. , 48:185-197.
- Madanoglu, K. 1977. Publications No 52. Ankara. Ankara Central Topraksu Research Institute p.67.
- Moran, J. F., Becana, M., Iturbe - Ormaetxe, I., Frechilla, S. Klucas, R. V. and Aparicio-Tejo, P. 1994. Planta , 194:346-352.
- Musick, J. I. and Dusck, D. A. 1980 Agron. J., 72:45-52.
- Oylukan, S. 1973. Eskişehir Bölge Topraksu Arastirma Eskişehir, Turkey.
- Passioura J. B. and Stirzaker R. J. 1993: In D. R. Buxton, etal. (eds.) International Crop Science I, Crop Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, pp 715-719.
- Penc C.B.G. and Edi, G. K. 1999. In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nilsen, eds. Crop yield Response to Deficit Irrigation, Dordrecht. The Netherlands Kluwer Academic Publishers
- Petrie, C. L. and Hall, A. E. 1992. Austral. J. Plant Physiol. 19:577-589.
- Prieto, D. and Angueir, C. 1999. In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nilsen, eds. Crop yield Response to Deficit Irrigation. Dordrecht. The Netherlands Kluwer Academic Publishers.
- Rawson, H. M. and Turner, N.C. 1983. Irrigation Science, 4:167-175.
- Sairam, R. K. and Saxena, D. C. 2000. J. Agron. Crop Sci., 184 (1) : 56-61.
- Saneoka, H., Moghaib, R. E. A., Premachangra, G. S. and Fujita, K., 2004. Environ. Exp. Bot. , 52:131-138.
- Schwanz, P. and Polle, A. 2001. J. Exper. Bot. , 52:133-143.
- Sibat, T. and Birol T. 2007. World J. Agric. Sci. , 3 (2):178-183.
- Speck, J. E., Elmore, R.W., Eisenhauer, D. E. and Klocke, N. W. 1989. Irrigation Science 10:99-111. In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nilsen, eds. Crop yield Response to Deficit Irrigation. Dordrecht, The Netherlands Kluwer Academic Publishers.
- Stegman, E. C. 1982. Irrigation Science, 3:75-87.
- Stegman, E. C., Schatz B.G. and Gardner, J. C., 1990 Irrigation Science, 11:111-119.
- Stewart J. I., Cuenca, R. H., Pruitt, W. O., Hegan, R. M. and Tosso, J. 1977. W-67 California Contributing Project Report Davis, USA of California
- Thomas, J. C., Brown, K. W. and Jordan, J. R. 1976. Agron. J., 68:706-708.

- Waheed R. A. Naqvi, H. H., Tahir, G. R. and Naqvi, S. H. M. 1999. In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nilsen, eds. Crop yield Response to Deficit Irrigation, Dordrecht, The Netherlands Kluwer Academic Publishers.
- Westgate, M.E. and Boter J.S. 1986. Crop Sci., 26:951-956.
- Winter, S. R. 1980. Agron. J. 1972:649-653.-
- Zhao, L., Dong, X. P. and Shan, L. 2005. Acta Bot. Boreal - Occident Sin., 25: 413-418.
- Zlatev, Z. and Stoyanov, Z. 2005. J. Central Eur. Agric., 6 (1):5 ñ 14.