الباب السادس

تأثير الإجهاد الجفافى على نمو ومحصول حاصلات الحقل

يتأثر نمو ومحصول حاصلات الحقل المختلفة بالتعرض لإجهاد الجفاف حيث تلعب عملية إضافة الماء بواسطة الرى دورًا هامًا فى نمو وإنتاج الحاصلات الزراعية على المستوى العالمى إذ يساهم ماء الرى بنسبة ٤٠% من إنتاج الطعام والسلع الزراعية المنتجة من ١٧% من الأراضى الزراعية. وقد تضاعف الإنتاج فى العقود الماضية الحديثة بتزايد مساهمة مياه الرى فى النمو والإنتاجية مقارنة بالخمسين عاما 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 للرى لتوفير الاحتياجات المتزايدة لإنتاج الطعام بالأعوام القادمة مما سيعرض البشرية لمعاناة قاسية نتيجة لنقص الموارد المائية واستمرار التنافس الحاد على المياه النظيفة. ورغما 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 موقفا حرجا 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 الرى 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 سلبًا للمحاصيل المختلفة عند التعرض للإجهاد الرطوبى لذلك كان من الضرورى بمكان استنباط محاصيل حقلية تستطيع أن تتوائم أو تقاوم أو تهرب من الجفاف ويتوقف ذلك على الصنف أو الأصل الوراثى وفترة نمو النبات التى تتعرض لنقص الماء.

إن العلاقة بين إجهاد الجفاف والنمو علاقة معقدة إذ أن النمو محصلة لجميع العمليات الفسيولوجية الدائرة بالنبات مثل التمثيل الضوئى والتنفس وامتصاص العناصر الغذائية وغير ذلك وهذه كلها عمليات تتأثر كثيراً بإجهاد الجفاف. ولما كان وزن النسيج النباتى أو العضو أو النبات جميعه محصلة لعدد الخلايا ومتوسط وزن الخلية الواحدة لذلك فهناك أهمية فى فهم تأثير الإجهاد الجفافى على النمو. إن إنقسام الخلايا حساس للإجهاد الجفافى إلا أنه قد لوحظ أن خلايا أوراق النباتات التى تعرضت لفترات من الإجهاد يتماثل مع عدد الخلايا بأوراق النباتات التى 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 الرئيسى لتقزم النباتات تحت ظروف الحقل بالتعرض لإجهاد الجفاف. ويؤدى ذلك إلى نقص المساحة الكلية لأوراق النبات وبالتالى نقص سطح التمثيل الضوئى مما يعمل على قلة المواد الممثلة بالنبات وحيث تحدث جميع العمليات الحيوية وتنتقل المواد الممثله والعناصر الغذائيه والهرمونات وغيرها فى وسط مائى. كذلك فإن نشأة وتخصص أصول الأنسجة الخضرية والتناسلية بالمرستيم القمى وزيادة أحجام الخلايا حساسة لإجهاد الجفاف. كما أن نقص الماء يؤثرعلى امتصاص العناصر وتمثيل البروتين والكربوهيدرات بنقص النشاط التكوينى للخلايا من الأنسجة مما يؤثر بالسلب على نمو النباتات.

ويماثل تأثير نقص الرطوبة على الأنسجة البالغة تأثير الشيخوخة، فيؤدى الإجهاد إلى هجرة الفوسفور من الأوراق المسنة إلى السوق والنسيج المرستيمى 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 الجفافى على معدل استطالة الجذور وقد تقف استطالته قبل المجموع الهوائى فى بعض الأحيان. وبنقص سرعة استطالة الجذر تزيد سرعة السوبرة كما تقل المنطقة غير المسوبرة حتى تزال فى الجذور التى لا تستطيل، وهذه ظاهرة عادية تحت ظروف الإجهاد الشديد وتقلل السطح الفعال للجذور.

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

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

ويقلل الإجهاد الجفافى حتى البسيط منه سرعة ظهور أصول الأزهار. ويلاحظ أن عدد الأصول أكثر استجابة للإجهاد الجفافى عن اكتمال الأصول فى غالبية حاصلات الحبوب. وإذا تعرضت النباتات لإجهاد شديد أو لفترة طويلة تنقص السنيبلات بدرجة كبيرة. وفى طور التهيئة للإزهار يؤثر الإجهاد الجفافى على العدد الفعال للحبوب بالنورة. وفى مرحلة تكوين أصول السنيبلات إلى مرحلة الإخصاب تكون حساسة. وهكذا يعمل إجهاد الجفاف على نقص عدد الحبوب بالنورة أو يؤدى إلى نقص عدد السنيبلات الخصبة. يؤثر تعريض نباتات القمح للإجهاد الجفافى لفترة تمتد لنحو ٣ أسابيع قبل وبعد طرد السنابل على كمية المحصول. ويكون الانخفاض أكبر عند التعرض قبل طرد السنابل للتأثيرات الكبيرة على عدد الحبوب المتكونة بالسنيبلة (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 تأثر كمية المحصول بالإجهاد الجفافى كما يؤثر على جودته.

العوامل المتحكمة فى التوازن الداخلى للماء بالمحاصيل:

إن التوازن الداخلى ودرجة انتفاخ خلايا النبات تتوقف على المعدل النسبى لامتصاص وفقد 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، والتى 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 صفرًا 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 المائى للجو عن مثيله للورقة والذى بدوره يقل عن الجهد المائى للأرض مما يعمل على تحرك كتلة الماء من الأرض للنبات ومنه إلى الجو.

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

جدول (٦-١): كميات المياه المستخدمة للعمليات المختلفة الدائرة بالنبات لوحدة واحدة من الكربوهيدرات ناتجة من صافى عملية التمثيل الضوئى (عدد طن مياه/ طن من ك يدرأ)

العملية	عدد طن مياه/ طن من ك يدرأ
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 فى عملية النتح بالأوراق وهذا يعنى أن حركة الماء بمنظومة التربة-النبات-الغلاف الجوى يتم التحكم فيها بواسطة قمة النباتات.

الاتجاهات المستخدمة فى الحد من المياه المستعملة فى الزراعة:

يوجد إتجاه متنامى فى وقتنا المعاصر يعتمد على تحسين إنتاجية المياه من خلال تقليل ماء الرى وعدد الريات حتى يتم توفير مياه للمحصول تقل عن الحد الأمثل يؤدى إلى تعرضه إلى إجهاد مائى 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 تبعا لاختلاف الأنواع، الأصناف ومرحلة النمو. ويتوقف محصول النبات على الصفات المورفولوجية أو الفسيولوجية أو كليهما ومن ذلك يتطلب تعديل العمليات الزراعية بما يتوائم مع نقص ماء الرى 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 بتعريض النبات لنقص ماء الرى أثناء فترة معينة من النمو أو خلال فترة نموه بأكملها دون حدوث نقص معنوى للمحصول مع تحقيق جدوى إقتصادية للمنطقة أو/و الدولة.

لقد درس الكثيرون الجدوى الاقتصادية لإنقاص ماء الرى دون التأثير على المحصول معنويا لتوفير المياه لزراعة محاصيل أخرى، فقد وجد Stegman (1982) أن محصول الذرة لم يتأثر معنويا بزراعته تحت الرى بالرش بإمداده بالماء بعد استنفاذ ٣٠- ٤٠% من الماء القابل للاستفادة مقارنة بزراعته تحت الرى بالتنقيط مع الحفاظ على الرطوبة الأرضية عند مستوى جهد مائى يقرب من الصفر بمنطقة الجذور. وذكر Kang et al (2000) أن تنظيم نقص ماء الرى فى فترات معينة أثناء نمو الذرة أدى إلى توفير الماء مع الحفاظ على كمية المحصول. وأضاف Stegman et al (1990) أن تعريض 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 Speck et al (1989); Korte et al (1983) and Eck (1987) أن فول الصويا حساس لإضافة الماء لذلك ينبغى الحذر عند ريه. ولقد أوضح Thomas et al (1976) استطاعة القطن الحفاظ على الجهد المائى المنخفض والتنظيم الأسموزى لضغط انتفاخ الورقة عند التعرض لإجهاد مائى ضعيف أثناء فترة النمو الخضرى مما يؤدى إلى زيادة تحمل الجفاف إذا تعرض للإجهاد الرطوبى بعد ذلك. وسلك كل من بنجر السكر (Oylukan, 1973; Winter, 1980) ودوار الشمس (Jana et al, 1982; Rawson and Turner 1983; Karaata, 1991) والقمح (Musick and Dusek, 1980) نفس الاتجاه. ويوضح جدول (٦-٢) حساسية بعض المحاصيل لنقص الماء.

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

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

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 إقتصادى بزراعته تحت ظروف نقص ماء الرى لتوفير المياه لزراعة محاصيل أخرى بما يتم توفيره من المياه بحيث يصبح العائد الإقتصادى مجزيا من المنطقة. ويطلق على هذه الطريقة عدة مصطلحات جديدة لجدولة الرى مثل تنظيم نقص ماء الرى، الخطة الإستباقية لنقص معدل النتح بخر، نقص ماء الرى (English et al,1990).

إدارة نقص ماء الرى

تختلف ممارسة هذه الطريقة عن الطريقة التقليدية لإمداد المحصول بالماء حيث يلزم التعرف على نقص النتح المسموح به والذى لا يؤثر معنويا على كمية المحصول اقتصاديا، مع الأخذ فى الاعتبار كفاءة استعمال الماء بإنقاص الرى بحيث يكون نقص المحصول غير معنوى وغير إقتصادى. بمعنى أن يكون الضرر الناتج من نقص المحصول أقل بالمقارنة بالفوائد التى تعود من توفير الماء لرى محاصيل أخرى. وقبل تطبيق هذه الطريقة ينبغى 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 (٦-٣) الفترات الأكثر حساسية لنقص الماء لبعض المحاصيل.

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

المحصول	الفترة الحساسة	لمحصول	الفترة الحساسة
البرسيم الحجازى للعلف الأخضر	بعد الحش مباشرة	القصب	النمو الخضرى (تكوين الأشطاء واستطالة الساق
البرسيم الحجازى لإنتاج البذور	الإزهار	دوار الشمس	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 السودانى	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 الرى

أجريت دراسة بواسطة Kirda et al (1999a) على عدة محاصيل عن جدولة ماء الرى 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 الرى لمعادلة الخط المستقيم التى استخدمها Stewart et al (1977) لتقدير معامل استجابة محصول النبات (معادلة ١)

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

حيث أن:

Y_a= المحصول المتوقع النامى تحت نقص ماء الرى (نقص معدل النتح بخر)

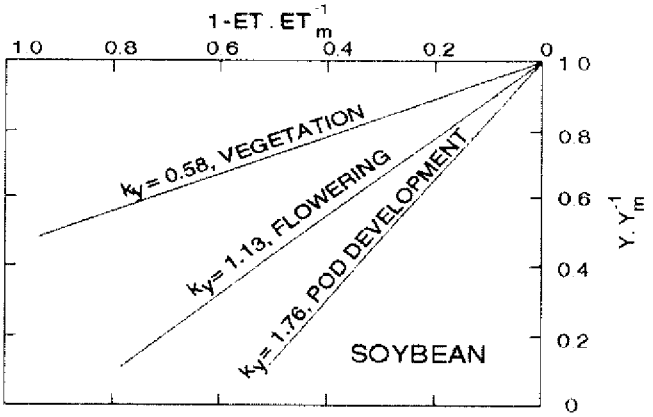
Y_m= المحصول النامى تحت وفرة ماء الرى

ET_a= معدل النتح بخر الحقيقى (المنخفض)

ET_m= معدل النتح بخر الأكبر (الوفير)

K_y= معامل استجابة المحصول

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



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

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

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

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

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

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

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

$$E_c = Y / Et_a \qquad Ö\ (2)$$

حيث أن:

E_c= كفاءة استعمال الماء للمحصول

Y= المحصول (كيلوجرام/هكتار)

Et_a= معدل النتح بخر الحقيقى (مم)

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

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

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 النتح بخر لمحاصيل الحقل الرئيسية. ويتم ذلك حينما يكون النقص النسبى فى المحصول أقل من النقص النسبى للنتح بخر. ومثال على ذلك أنه فى حالة تعرض نباتات الذرة لإنقاص ٢٥% من معدل النتح 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 يخفض له معدل النتح بخر وهذا يعنى إمكانية زيادة الرقعة المنزرعة بتوفير مياه المحاصيل التى ترتفع كفاءة استعمالها للماء بنقص معدل النتح 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_y) يحدث نقص فى كفاءة استعمال الماء (E_c) مما يعنى أن العائد من نقص ماء الرى 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.

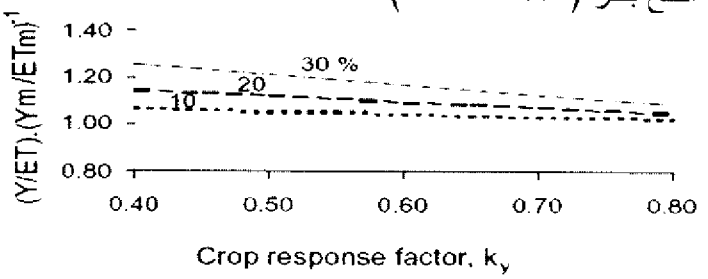
الثالثة Mid season تبدأ من نهاية المرحلة الثانية إلى بداية النضج.

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 النتح 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 0.87	Furrow	0.86 0.78	1.14 1.04
Cotton	Whole season; Boll formation and flowering	0.86 0.48	Drip Furrow	0.79 0.88	1.05 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 0.40	Drip Furrow	0.79 0.90	1.06 1.20
Soybean	Vegetative	0.58	Furrow	0.86	1.14
Sugar beet	Whole season; Mid-season	0.86 0.64	Furrow	0.79 0.84	1.05 1.12
Sugar cane	Tillering	0.40	Furrow	0.90	1.20
Sunflower	Whole season; Vegetative yielding	0.91 0.83	Furrow	0.77 0.79	1.03 1.06
Wheat	Whole season; Flowering and grain filling	0.76 0.39	Sprinkler Basin	0.81 0.90	1.08 1.20

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



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

ويمكن القول أن تعريض المحاصيل لنقص محدود من ماء الرى فى مراحل نمو مختلفة يعمل على نقص المحصول بكمية قليلة تؤدى إلى قبول دراسات الجدوى الاقتصادية كما يحدث فى حالة التعرض لنقص ماء الرى 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 (١٩٩٣أ) 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 والعجينى الأصفر بالإضافة إلى نقص عدد الثغور فى سطحى ورقة العلم. كما وجد أن كفاءة استخدام الماء تراوحت بين ١,٣١-٣,١٩ كجم/م^{٣} (عبد الجواد وآخرون ١٩٩٣ب)Abd El-Gawad et al 1993b عند حرمان نبات القمح من الرى فى طور التفريع إلى طور النضج العجينى 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 لإنقاص ماء الرى يمكن من توفير الماء لرى محاصيل الحقل الأخرى. حيث أظهرت محاصيل الفول السودانى، فول الصويا، الفاصوليا

والقصب زيادة نسبية فى نقص المحصول مقارنة بنقص النتح بخر النسبى 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 تكنيك 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 ببنجر 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 دورًا مفيدًا 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 النتح بخر للمحصول (منظمة الأغذية والزراعة التابعة للأمم المتحدة ١٩٩٨) حيث استخدام Kirda et al (1999b) بيانات ثلاث دراسات أقيمت لتقييم أمكانية استخدام هذا النموذج للرى بحساب النقص النسبى للمحصول منسوبا للنقص النسبى لمعدل النتح بخر وحساب معامل استجابة المحصول بتطبيق المعادلات العملية Emperical (FAO, 1979) والتى أمكن من خلالها تحليل مجموعة من قيم معامل استجابة المحصول لستة وعشرون محصولاً خلال مراحل نمو مختلفة كما فى المعادلة التالية:

$$1ñ\ Y_a/Y_{max} = K_y\ (1ñ\ Et_a/ET_m)$$

حيث أن:

$1ñ\ Y_a/Y_{max}$: مكونات النقص فى المحصول الناتج من نقص معدل النتح بخر

$1ñ\ Et_a/ET_m$: نقص معدل النتح 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 النتح بخر المقارن الذى يسبب نقص فى أداء المحصول ممثلا 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 النتح بخر المقارن) الذى يسبب نقص فى أداء المحصول ممثلا 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 جيدا 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 وأحيانا نقص حيويتها مما يعمل على نقص محصول الحبوب. وفى حالة إزهار الأصناف قصيرة العمر مبكرا جدا تحت وفرة المياه تنخفض

قدرة النباتات على إعطاء المحصول لصغر الحبوب عن الأصناف طويلة العمر. كذلك فإن الأصناف التى تزهر مبكرا جدا قد تعانى 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 إقتصادى مرتفع عند التعرض لجفاف التربة أو الجو. وتتباين المقاومة للجفاف فى أنواع محاصيل الحقل المختلفة. فتعتمد مقاومة المحاصيل للجفاف على طبيعة المنتج الإقتصادى للأنواع المختلفة حيث أن مقاومة المحاصيل الورقية للجفاف ذات المنتج الإقتصادى الورقى منخفضة لتأثر كمية وجودة المحصول حتى لو كان الجفاف قليلا حيث يلزم أن تحافظ على ارتفاع انتفاخ الخلايا باستمرار إضافة الماء فى بيئة تنخفض بها متطلبات عملية التبخير مثل المناطق الباردة أو الرطبة. وتكون المحاصيل الدرنية أكثر مقاومة للجفاف عن المحاصيل الورقية حيث تتأثر بالجفاف فى المدى بين القليل-المتوسط. على حين أن محاصيل الدريس مثل البرسيم الحجازى يكون أكثر مقاومة للجفاف لتميزه بالجذور المتعمقة بالأرض والتى تمكنه من استخلاص الماء تحت هذه الظروف دون معاناة من نقص المحصول، وتعتمد المحاصيل المثمرة فى مقاومتها للجفاف على مرحلة النمو، نوع المنتج الإقتصادى وطبيعة النمو الخضرى، فإذا كانت من المحاصيل محدودة النمو تكون مقاومة للجفاف فى مرحلة النمو الخضرى أكثر منه أثناء مراحل الإزهار المبكر أو الإثمار. وتقاوم المحاصيل المنتجة للحبوب الجافة التعرض للجفاف فى 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 الرئيسى عكس الحال فى النباتات محدودة النمو ولقد وجد Gwathmey and Hall (1992) إمكانية إنتاج دورة جديدة ثانية من الأوراق، الأزهار، الثمار والبذور لنبات اللوبيا بعد إزالة الجفاف الذى 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

$$Y_d = Y_w (1 - D_v S_v) (1 - D_f S_f)(1 - D_s S_s)$$

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)

علمًا بأن: $D = I - Et_d/Et_w$

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

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 المذكرة 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 المذكرة 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 استطالت النورة المؤنثة بسرعة أثناء الليل ثم قلت الاستطالة لتصل إلى الصفر أثناء النهار حيث يكون الجهد المائى للورقة مرتفع السالبية 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 والتى 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 المذكرة وطرد النورة المؤنثة النامية تحت ظروف الجفاف قصيرة.حيث وجد أن الانتخاب التكرارى لهذه الصفة من ٣-٨ دورات أدى إلى زيادة فى محصول الحبوب بمقدار ٣٠-٥٠% 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 ينبغى أن يكون من خلال إجراء الانتخاب من برنامجين الأول وفيه يتم الانتخاب لمحصول الحبوب تحت ظروف وفرة المياه والثانى للانتخاب للفترة بين طرد الأزهار المذكرة 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 التأثر بالجفاف تختلف عما هو الحال فى الذرة. حيث أن عدد الحبوب فى سنبلة 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:

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

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 جوهرى لموجة الأزهار الأولى بحيث يتم تعويضها

جزئيا بالموجة الثانية والتى تزيد حتى عن الموجة الثانية فى النباتات التى تم ريها جيدا. ويجدر الإشارة هنا إلى أن النموذج السابق لكي يحاكى 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 السودانى 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) وسخا٩٣ أكثر تحملا للجفاف من الأصناف الأخرى (Abdel kader et al, 2010) والصنف هجين صحراوى قادر على تحمل الجفاف فى الشعير مقارنة بالأصناف الأخرى.

آلية 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 يؤدى 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 المـــاء أو الأراضـــى المبتلة والأماكن الجافة والتى تنقص فيها كمية الماء بما لا يفى بالاحتياجات اللازمـــة لنمو النبات، وتنتمى معظم محاصيل الحقل كالذرة، القطن، والقمح إلى هذه المجموعة وتعيش فى مناخ معتدل الحرارة والرطوبة ولكى تنمو نموا جيدا وتغل محصولا وفيرا يلزم لها كمية معتدلة من الرطوبة وتهوية جيدة حول الجذور. والقـــسم الثالـــث وهـــو النباتات الجفافية أو الصحراوية وتوجد فى الظروف الجفافية التى لاتستطيع فيها الحصول على احتياجاتها المائية، وقد يرجع ذلك لنقص حقيقى للماء فى البيئـــات الجافـــة مثـــل الصحارى، أو لعدم تيسر الماء للنباتات رغم وجوده، ويعتبر ذلك نقصا فسيولوجيا للمـــاء إذ أن الماء موجود إلا أنه غير قابل للامتصاص. وتوجد هذه الظاهرة حينمـــا يرتفـــع تركيز محلول الأرض، كما ينشأ فى ظروف انخفاض درجة الحرارة لدرجة نقـــص معـــدل امتصاص جذور النباتات ونقص معدل انتقال الماء بالنبات. وتبدو مظاهر البيئة الجفافية فى الظروف التى 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 الموائمـــة نـــشأ التوازن المائى فى النباتات وإذا فشلت أختل التوازن المائى وقضى على النبات.

وعموما يمكن مناقشة موضوع آلية التحمل للجفاف تحت عدة مواضيع مثل فقـــد 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 التغييرات الحادثة فى ضغط انتفاخ الخلايا الحارسة الذى يتحكم فى فتح وغلق الثغور، وعند زيادة ضغط الانتفـــاخ يـــتم زيـــادة فتحات الثغور مما يعمل على زيادة فقد بخار الماء فى عملية النتح (تعتمـــد التغيـــرات الحادثة فى ضغط انتفاخ الخلية أساسا على التغيرات فى جهد محلول العصير الخلوى) وينخفض جهد محلول العصير الخلوى (Ψs) للخلايا الحارسة بضخ النبـــات كـــاتيون البوتاسيوم والعديد من الأيونات والسكريات الناتجة من تحول النشا إلى سكر مما يعمل على اندفاع الماء من الخلايا المجاورة وبالتالى رفع ضغط الانتفاخ بالخلايا الحارســـة

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:

١. يقل معدل النتح للنباتات التى تتعرض للجفاف عن النباتات المروية.
٢. ينخفض الجهد المائى للورقة عند مستويات معينة من النتح وقبل الفجر predawn.
٣. 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 معينا بسبب وجودها فى وضع معين أو فى حالة كيماوية معينة. و يتكون الجهد المائى الكلى بالتربة والنبات من الآتى:

١- 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 {Ψ_m} ويؤدى إلى نقص الطاقة الحرة للماء نتيجة للقوى التى توجد بين الماء والمكونات الصلبة مثل التربة وجدار الخلية.

٣- جهد الضغط Pressure Potential {Ψ_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 الأسموزيه 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:

$$dV/dt \text{ or } dl/dT \text{ or } dA/dT = k \times (\Psi_p \tilde{n} \Psi_p)$$

حيث أن:

K: القابلية للتمدد

Ψ_p: بداية جهد الضغط

وهما يعتمدان على عملية البناء والتمثيل الضوئى وارتخاء جدر الخلايا وبالتالى 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 فى كثير من الأحيان ويظل جهد الضغط ثابتا فى بعض الحالات حتى عند نقص معدل النمو.

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

$$\text{المحتوى النسبى للماء بالنسيج} = \frac{\text{(الوزن الغض للنسيج بعد غمره فى الماء ñ الوزن الجاف للنسيج بعد التجفيف فى الفرن للتخلص من الماء النقى)}}{\text{الوزن بعد غمر النسيج فى الماء ñ الوزن الجاف)}} \times ١٠٠$$

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

$$\Psi s \text{ full turgor} = \Psi \text{ symplast X (RWC ñ apoplast \%)/ 100 ñ apoplast \%}$$

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

ويعبر عن النسبة المئوية للماء بالورقة وهى فى كامل انتفاخها والموجودة خارج الغشاء البلازمى (أى بالجدر الخلوية وقصيبات 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

$$RWC= 100xFW\tilde{n}\ DW/TW\tilde{n}\ DW$$

حيث أن:

RWC: محتوى الماء النسبى

إن تنظيم الأسموزية بالفجوة العصارية التى هى المكون الأكبر للسيمبلاست يتطلب تجمع 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 تؤدى إلى ثبات البروتين والأغشية. ويحدث تعديل الأسموزية فى جميع الخلايا النامية وغير النامية كما هو الحال فى الثغور كآلية للحفاظ على ضغط الانتفاخ 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 الأربع 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 وغلق 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 ٢ñ ميجابسكال) كما فى اللوبيا إلى حدوث تغيير كبير يصل الى أقل من٥ñ ميجابسكال كما فى الدخن (Petrie and Hall, 1992) والذرة الرفيعة ومجموعة ثالثة يتبعها القليل من الأنواع وفيها ينخفض الجهد المائى للورقة بشدة ليصل إلى ٩ñ ميجابسكال، 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 تؤدى إلى الغلق الجزئى للثغور وإبطاء نمو وتمدد الأوراق (Passioura and Stiraker, 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 نسبى حرج للرطوبة إلا أنه وجد أن الكتلة الحية للخلية (Symplast) للنباتات الراقية لا تستجيب أو تضار بفقد الماء مباشرة بل يؤثر المحتوى النسبى للماء على الحجم وبالتالى 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 ٨٠% عندما يساوى ضغط انتفاخ الخلية صفرًا ينقص ليصل إلى ٣٢% عند حدوث تدهور داخلى غير رجعى فى الجدر الخلوية يصحبه انخفاض فى ضغط الانتفاخ ليصبح قيمة سالبة. ولقد ذكر آخرون عند حدوث نقص يومى للماء بالأرض تصدر إشارات هرمونية من الجذر تؤدى 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 دورًا فى تحمل فقد الماء.

٤- كفاءة استعمال الماء:

يعبر عن كفاءة استعمال الماء بأنها النسبة بين المادة الجافة الكلية إلى عملية النتح. 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 مسلكا متساوى فى التحمل لظروف البيئات الجافة ونصف الجافة. ومثال ذلك اكتساب أوراق النجيليات جهد مائى منخفض شديد السالبية بالتحكم فى الأسموزية لتجنب فقد الماء بالتعرض لجفاف الأرض مما يؤدى إلى فتح الثغور جزئيا واستمرار عملية التمثيل الضوئى والحفاظ على جهد مائى منخفض للورقة وبذلك يتسنى للجذور الحصول على الماء من الأرض. وفى بعض المحاصيل البقولية النامية تحت نفس الظروف فإنها تتجنب فقد الماء بالإغلاق الجزئى للثغور وبحركة الأوراق العاكسة للضوء مما يقلل النتح مما يؤدى لنقص طفيف لجهد الورقة المائى بجفاف الأرض. وينبغي التنويه هنا إلى أن الجهد المائى عادة ما يكون أقل من الصفر فى النظم الطبيعية ويكون أقل أى ذو قيمة أكثر سالبية فى النبات عن الأرض ويكون أقل تحت ظروف الجفاف كما يقل فى النهار عن الليل.

علاقة إجهاد الجفاف بمضادات الأكسدة الإنزيمية وغير الإنزيمية

إن استجابة المحاصيل لإجهاد الجفاف يختلف معنويا تبعا 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 الضرورى التحدث عن لمحة بسيطة عن كيفية نشأة مضادات الأكسدة والإجهاد التأكسدى.

ينشأ الإجهاد التأكسدى نتيجة الظروف التى تشجع تكوين أنواع نشطة من الأكسجين الأحادى، يد٢أ٢، أنيون السوبر أوكسيد وشق الهيدروكسيد الحر خلال تفاعلات أكسدة واختزال معينة. تتولد تفاعلات أنواع الأكسجين (ROS) Reactive oxygen species فى

خلايا النبات أثناء عمليات البناء الطبيعى ويعتبر إنتاج نظام إليكترون 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 المنتقل فى عملية التمثيل بالكلوروبلاست مما يعمل على تقليل 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 وآثار إيجابية حيث ينتقل الإليكترون إلى الأكسجين لينتج سوبر أوكسيد والذى يكون غير متوافقا مع عملية البناء لذلك فعلى مضادات الأكسدة التخلص منه، على حين أن مركب الفوسفوجليكولات يعاد تدويره إلى فوسفوجلسيرات للدخول مرة أخرى فى دائرة تفاعل كلفن ليؤدى إلى فقد الكربون الممثل –فى نفس الوقت– فإن كميات كبيرة من فوق أوكسيد الهيدروجين (H_2O_2) تنتج أثناء أكسدة الجليكولات فى البيروكسيسوم ورغما عن تلف الكثير منه بواسطة إنزيم الكتاليز إلا أن عملية decarboxylation للأحماض الكيتونيه 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 الإليكترون إلى الأكسجين.

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

غلق الخلايا الحارسة التى تعمل على تقليل فقد الماء وأيضا تقليل ثانى أكسيد الكربون القابل للاستفادة فى عملية التمثيل الضوئى الذى يؤدى إلى تكوين تفاعل أنواع أكسجين فاقد التوجه الإلكترونى فى عملية التمثيل الضوئى، هذه الميكانيكية تعمل على نقص إجهاد الأكسدة والذى بدوره يؤدى إلى تحمل الجفاف.

يؤثر محتوى الماء الأرضى تأثيرا كبيرا على المحتوى الكيماوى للخلايا حيث وجد (Sairam and Saxena, 2000) نقص فى محتوى الكلوروفيل عند تعرض محصول القمح للإجهاد الجفافى لكل الأصناف المختبرة. ولقد وجد أن نقص الماء بالأرض يؤدى إلى زيادة النسبة المئوية لتسرب إليكتروليتات أوراق النبات ويتوقف ذلك على أنواع وأصناف المحاصيل ففى حالة الأصناف المتحملة للجفاف يقل تسرب الإليكتروليتات مقارنة بالأصناف الأقل تحملا أو الحساسة للجفاف كما هو الحال فى 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 الإليكتروليتات بالنسبة لصنف سخا ٩٣ تحت ظروف توافر الرطوبة الأرضية وهذه النتائج تتوافق مع ما حصل عليه Sibet and Birol (2007). ويعتبر التسرب الإليكتروليتى مؤشر مهم على الوظائف الفسيولوجية للخلايا حين التعرض للجفاف والملوحة وكل من الحرارة المنخفضة أو المرتفعة والتى تؤثر بالضرر على محتويات الخلايا. وعموما يحمى الغشاء البلازمى نفسه من أضرار الجفاف بتوفير محاليل مثل السكريات والأحماض الأمينية التى تعمل على تنظيم الأسموزية مما يعمل على حماية الغشاء البلازمى Liley and Ludlow (1996). ويمكن القول أن استمرارية الغشاء الخلوى فى الحفاظ على تكامله ووظائفه تحت مستويات إجهاد الجفاف تستخدم كمقياس لتحمل المحصول للجفاف. حيث ذكر Sairam and Saxena (2000) أن جهد الأكسدة الذى يضر ببناء الخلية تحت الإجهاد المائى يؤدى إلى زيادة محتواها من ليبيدات البيروكسيديز التى تتراكم بكميات كبيرة فى أنواع المحاصيل النشطة للأكسجين activated oxygen species (AOS) وما ينتج عنها تلف كبير لغشاء الخلية. كما ويلعب التعرض للجفاف دورا فى زيادة محتوى مالون داى الدهيد (MDA) الذى يعتبر مقياس لليبيدات البيروكسيديز. وعلى ذلك فإن انخفاض (MDA) تعنى قدرة مرتفعة لمقاومة كبيرة للجفاف وهذا يكون مرتبط بقدرة مرتفعة لوجود مضادات

الأكسدة (Zhao etal, 2005; Saneoka et al, 2004). وتزيد فينولات الأوراق النامى تحت ظروف إجهاد الجفاف (Lason and Hester, 1993) . تعتبر الشقائق الحرة Free Radicalsوغيرها 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 دفاعى يتميز بوجود جزيئات مختلفة من مضادات الأكسدة والإنزيمات مثل إنزيمات سوبر أوكسيد ديسميوتيز (SOD)، أسكوربات بيروكسيديز (APX)، بيروكسيديز (POD)، كاتاليز (CAT) ومن الأفعال التى تؤثر بالسلب على أغشية الخلايا وجود الشقائق الحرة التى تحث 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 فى الحد من التلف الناشئ عن الأكسدة وإتلاف الأكسجين النشط الذى ينتج بكميات أكبر من حاجة عمليات البناء الطبيعى. يعتبر دليل Indicator 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 بيروكسيدبز أسكوربات مسئولا عن عدم سمية أكسيد الأيدروجين فى الأوراق الخضراء (Chaudiere and Ferrari-Iliou, 1999). يزيد تركيز فينولات أوراق النبات النامى تحت ظروف الإجهاد (Lason and Hester 1993). ويلعب محتوى البرولين دورا فى أنسجة النباتات التى تتعرض للجفاف وعلى الأخص الأوراق نتيجة لتكسير البروتين باستمرار نقص تمثيل البروتين ويعتبر تجمع البرولين مفيد فى الأنسجة كمؤشر على أضرار الجفاف وليس كدوره فى 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. I n: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, H. 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 Efficiciency 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 Water 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 ñ Habbal, M.S., Noureldin 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. 198:. 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 Sorensen, 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. Cropyield Response to Deficit Irrigation, Dordrecht, The Netherlands Kluwer Academic Publishers.
- Lason , G.R. and Hester , A.J. 1993. J. Ecol. 81:75-80.
- Liley, 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 - Ormaetexe, I., Frechilla, S. Klucas, R. V. and Aparicio-Tejo , P. 1994. Planta , 194:346-352.
- Musick , J. I. and Dusek, D. A. 1980 Agron. J.,72:45-52.
- Oylukan , S.1973. Eskisehir B0lge Topraksu Arastirma Eskisehir,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.
- Pene C.B.G. and Edi, G. K. 1999. In:C Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D. R. Nilsen, eds. Cropyield 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. Cropyield 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.
- Sancoka, H., Moghaieb, 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.
- Sibet ,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. Cropyield 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. Cropyield 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.