إدارة المحصول والتربة والتربية لتحمل الجفاف

مدحت مجيد الساهوكي
قسم المحاصيل الحقلية
كلية الزراعة/جامعة بغداد

أيوب عبيد ألفلاحي
قسم المحاصيل الحقلية
كلية الزراعة/جامعة الانبار

علي فدعم المحمدي
قسم المحاصيل الحقلية
كلية الزراعة/جامعة الانبار

المستخلص

يؤدي عجز الماء دور العامل المحدد لتطور العديد من البلدان، كما يؤثر في كل من اقتصاد وإنتاج الغذاء في هذه البلدان. يقدر أن ما نسبته أربعة أعشار الأراضي الزراعية في العالم تقع ضمن المناطق الجافة وشبه الجافة وذات موجات جفاف تتسبب بهلاك قطعان الماشية والمجاعة وعدم الاستقرار الاجتماعي. يلعب الماء دوراً حاسماً في بقاء النباتات من خلال تأديته لدور المذيب والوسط الناقل ومبرد بخاري، فضلاً عن تجهيزه الطاقة اللازمة لعملية التمثيل الكاربوني، تلك العملية الطبيعية التي يتم فيها تصنيع الغذاء العضوي. إن فقد بروتوبلازم النبات للماء تحت ظروف الجفاف، الذي يمكن تعريفه على انه غياب الرطوبة الكافية الضرورية لنمو النبات بشكل طبيعي وإكماله لدورة حياته، يمكن أن يؤدي إلى ارتفاع تركيز الايونات في البروتوبلازم إلى مستويات سامة مما قد يؤدي إلى تحلل البروتين ودمج الأغشية، كما سيؤثر سلباً في العمليات الايضية في النبات. تتضمن التغيرات الايضية التي تحدث استجابة للشد المائي خفض كفاءة التمثيل الكاربوني وتراكم الحوامض العضوية مثل malate و citrate و lactate... وغيرها، التي ينتج عنها خفض تصنيع البروتين بشكل عام، ونتيجة لجميع هذه الأسباب يتسبب الجفاف بخفض معنوي للحاصل. تعتمد العديد من المناطق الزراعية على الري للمحافظة على الإنتاج. إن توفر مثل هذه المحاصيل التي بمقدورها استخدام الماء بكفاءة عالية والمحافظة على حاصل مقبول يجعلها ذات فائدة في مثل تلك المناطق. تستمر بحوث تحمل الجفاف واليات تحسين تحمله على الصعيد الدولي في محاولة لإيجاد حلول لمشكلة العجز المائي الأكثر تعقيداً التي سيواجهها العالم في السنوات القليلة القادمة. إن هذا من شأنه تقنين استخدام الماء في الزراعة ويؤمن تطور زراعة مستقرة. يتضمن ذلك أبحاثاً لفهم آليات تحمل ظروف الشد في النبات كالجفاف ، لذا لا زالت هناك حاجة إلى فهم المزيد من الأسس لتوضيح الآلية التي تخدم النباتات للبقاء والعطاء تحت ظروف العجز المائي. بالرغم من أن الأساس الوراثي حتى على المستوى الجزيئي لتحمل الشد المائي لا زال غير واضح، إلا انه بالإمكان الاستعانة بعمليات إدارة التربة والمحصول وبرامج التربية وأدوات البايولوجيا الجزيئية للبحث عن وتشخيص أجناس وأنواع نباتية جديدة متحملة للجفاف. كذلك التأكيد الشديد على اعتماد عمليات خدمة التربة والمحصول المتعددة والممكنة التي سيكون لها دور كبير للاقتصاد بالماء وزيادة الإنتاج والإنتاجية، والتي لابد أن تكون مستندة إلى قرارات إدارة علمية.

The Iraqi Journal of Agricultural Sciences 40 (2) : 1-28 (2009) Elsahookie et al.

CROP AND SOIL MANAGEMENT AND BREEDING FOR DROUGHT TOLERANCE

M. M. Elsahookie
Dept. of Field Crop Sciences
College of Agric. /Univ. of Baghdad

A. O. Alfalahi
Dept. of Field Crop Sciences
College of Agric. /Univ. of Alanbar

A. F. Almehemdi
Dept. of Field Crop Sciences
College of Agric. /Univ. of Alanbar

ABSTRACT

Water deficiency is a severe limiting factor in developing several countries and impacts on both economics and food production of these countries. Approximately four tenths of worlds agricultural land is under arid or semi-arid regions with transient droughts causing death of livestock, famine and social dislocation. Water plays a crucial role in the survival of plants by fulfilling the roles of solvent, transport medium and evaporative coolant as well as providing the energy necessary to drive photosynthesis, the natural plant process which synthesizes organic food. Under drought conditions; which can be defined as: the absence of adequate moisture necessary for plant to grow normally and complete its life cycle, the loss of water in the plant protoplasm may result in the concentration of ions in the protoplasm to toxic levels resulting in possible protein denaturation and membrane fusion and negatively impacting plant metabolism. Metabolic changes in response to water stress include reduction in photosynthetic activity, accumulation of organic acids such as malate, citrate and lactate…etc. and overall reduction in protein synthesis. For these entire reasons, drought can cause significant yield reduction. Several agricultural regions are reliant on irrigation to maintain yields. Crop plants which can make the most efficient use of water and maintain acceptable yields will give an advantage in those regions. Research on drought tolerance and mechanisms for improving drought tolerance are underway internationally trying to provide solutions to the problem of water deficiency, which is considered the most complicated problem facing the whole world in the few coming years. That's will save water used in agriculture and to ensure the development of sustainable agriculture. This includes studies into elucidating the mechanism of drought tolerance in different plants genera and species which have different genetic makeup and hence different abilities for drought tolerance. There are several mechanisms of stress and drought tolerance in plants, so additional studies still required to elucidate the mechanisms by which plants can survive under environments of water deficit. Although genetic basis even on the molecular level for plant tolerance under water stress remains unclear, crop and soil management, breeding programs and molecular biology tools can assist in the screening and identification of new drought tolerant genera and species plants. Also it's necessary to focus on adopting many new crop and soil service processes, which will have a major role in efficient water use, which in its turn leads to increase yield and productivity, and the later should based upon scientific management decisions.

المقدمة

قبل قرن من الزمان كانت الأنهار تخيف الناس من فيضانها، والماء الأرضي عالياً قلما يستخدم، وكثير من المحاصيل الشتوية في الأقل تنمو على مياه الأمطار،ولما ازداد السكان واتسعت الرقعة الزراعية وتطورت الصناعة أصبح استهلاك الماء أكبر من ميزانه المتوفر، فظهرت مشكلة المياه عالمياً. يعد نهرا دجلة والفرات حوضاً مائياً واحداً لأنهما يلتقيان عند القرنة قبل مصبهما في شط العرب. ينبع كلا النهرين من تركيا ويمر الفرات في سوريا قبل دخوله العراق. يعتمد العراق بصورة رئيسية على مياه هذين النهرين في الزراعة والصناعة. تقوم تركيا ببناء مشروع الأناضول على نهر الفرات الذي يتضمن بناء 21 سداً تستخدم لتوليد الطاقة ولري ما يقارب مليون هكتار من الأراضي الزراعية. إذا اكتمل هذا المشروع فانه سيحرم سوريا من حوالي 40% من الماء الذي تأخذه حالياً، فيما يحرم العراق من حوالي 90% من الماء!! وبذا فان مشكلة شحة الماء في العراق سوف تزداد في السنوات المقبلة إلى حالة حرجة جداً، ما لم تتخذ إجراءات هندسية وتقنية لخزن واستخدام الماء وابتكار تقنيات جديدة لخدمة التربة والمحصول. تختلف شدة مشكلة عجز الماء باختلاف مصادره وعدد السكان والتقانات المستخدمة في استهلاك الماء. إن ظهور الثورة الخضراء التي بدأت في السبعينات باستخدام تربية النبات والتسميد والمكافحة وتقنين الري قد خففت من مشكلة الماء والغذاء في العالم [15]. يتزايد السكان بمتوالية هندسية، فيما يزداد إنتاج الغذاء بمتوالية حسابية، وبذا تكون معضلة كبيرة أمام إنتاج الغذاء. يعتمد الغذاء على الإنتاج الزراعي، والأخير يعتمد على وفرة الماء للنبات والحيوان والإنسان. يلعب الماء الدور الأكبر في حياة النبات، وتزداد الحاجة إليه بتزايد السكان والرقعة الزراعية. تشير بعض الإحصاءات [65] إلى أن عدد سكان العالم كان عام 2000 حوالي 6 بلايين نسمة، وإذا استمرت الزيادة السكانية بنفس الاتجاه فمن المتوقع أن يكون العدد عام 2050 بحدود 14.4 بليون نسمة، فإذا افترضنا أن ثلثي الماء المتوفر يستخدم للأغراض الزراعية فان معضلة الماء سوف تتفاقم أكثر في السنوات المقبلة. إن حصة الفرد من الأرض الزراعية الاروائية في العالم هي بحدود 0.045 من الهكتار، فيما كانت حصة الفرد من الأرض الزراعية الكلية بمقدار 0.028 من الهكتار عام 1990، فإذا علمنا أن مجموع المساحة الزراعية الاروائية في العالم هي بحدود 263 مليون هكتار ومجموع المساحة الزراعية الكلية هي 1753 مليون هكتار، فان نسبة الأرض الزراعية الاروائية تشكل حوالي 15% فقط من مجموع الأرض الزراعية في العالم [65].

أشارت بعض المراجع إلى أن كمية ماء 2.5م^3/ثا يكفي لري 72 هـ من القطن و103 هـ من ألجت و136هـ لدورة زراعية. تتوقف مثل هذه الأرقام على المناخ، لاسيما مجموع توزيع المطر الموسمي وخصائص المحصول المختلفة وموسم نموه ومقدرة التربة على الاحتفاظ بالماء [1]. إن توفر الماء لا يتحكم فقط بتوزيع النبت على سطح الأرض فحسب، وإنما يحدد إنتاجية المحصول إذا ما قورن ذلك بفعل أي عامل آخر. إن الماء والهواء والطاقة والعناصر والكلوروفيل هي العوامل الخمسة المتحكمة بالحياة على كوكب الأرض بدرجة كبيرة. إن جاهزية الماء تعد عاملاً مهماً في توزيع وانتشار أنواع وكميات المجاميع النباتية الموجودة في أرجاء مختلفة من العالم، كما تؤكد هذه الأهمية الحضارات القديمة مثل حضارة بابل والنيل والصين والازتك في أميركا الجنوبية.

يسود اخضرار وازدهار مساحات معينة من الأرض في العالم في المناطق ذات الماء الوفير الذي يتوزع بتجانس خلال موسم النمو، كما في الغابات الاستوائية وشمال غرب الولايات المتحدة. أما الحشائش فتحل محل الغابات في المناطق ذات الجفاف المتكرر نسبياً في فصل الصيف. تتكون الصحارى نتيجة لانخفاض المعدل السنوي لسقوط الأمطار فيها فتنمو فيها نباتات صغيرة وشجيرات ذات نمو محدود. قد تتأثر علاقات الغطاء النباتي المائية نتيجة لدرجات الحرارة لان ذلك يؤدي إلى ارتفاع معدلات التبخر – نتح (ET)، وبذا فان الحشائش التي تنمو في المناطق الدافئة قد تلائمها كمية الأمطار الملائمة للغابات النامية تحت المناخ البارد لان معدل (ET) في المناخ الدافئ يكون مرتفعاً فيؤدي إلى اختلاف مفهوم نسبة الأمطار/التبخر [128]. طوّر بعض الباحثين [127] هذا المفهوم فوضع عدة أشكال تحوي على مقدار المطر والتبخر سميت بأشكال المناخ [131]. يؤثر الماء في نمو النبات من خلال تأثيره في العمليات الايضية المختلفة،

فهي قد تتأثر بصورة مباشرة أو غير مباشرة، كما إن عمليات البناء في الخلايا ترتبط بمحتواها من الماء [115]. من المسلم به أن معدلات سرعة انقسام الخلايا واستطالتها وتجهيز المادة العضوية وغير العضوية الضرورية لبناء جدر الخلايا والبروتوبلازم الجديد، هي المتحكمة في مقدار نمو النبات. إن اقل درجة من انتفاخ الخلية ينتج عنها قلة ماء الخلية، وان نقص الماء يحدد استطالة الساق واتساع الورقة [16]، كما إن قلة الماء تقلل عملية التمثيل الكاربوني [14]، وتزيد التنفس وما يترتب على ذلك من فعل للاوكسينات. إن أي انخفاض في المحتوى المائي يصاحبه فقدان في الانتفاخ ويؤدي إلى إيقاف نمو الخلايا أو زيادة حجمها وهذا يؤدي بدوره إلى غلق الثغور وانخفاض التمثيل الكاربوني، وبذا فان استمرار تعرض النبات للجفاف ينتج عنه اضطراب البروتوبلازم والعمليات المترتبة على ذلك. لذا كان الهدف من هذه المقالة استعراض بعض الأفكار والنتائج العملية التي درست سابقاً والتعليق عليها واستخلاص بعض المقترحات المفيدة لعمليات خدمة التربة والمحصول تحت ظروف الشد المائي، وبما يمكن مربي النبات من تربية محاصيل متحملة للجفاف، لاسيما إذا علمنا أن العالم اليوم يواجه مشكلة كبيرة تتعلق بالسخونة الكونية وقلة المياه لأغراض الزراعة مع ارتفاع درجات الحرارة وزيادة الأملاح في التربة، مما يؤدي إلى تفاقم مشكلة زحف الصحراء في بعض المناطق أو التغدق في مناطق أخرى، عليه لابد من إجراء أبحاث موسعة حول اختبار أنواع وأجناس نباتية مختلفة تتحمل الجفاف أو الحرارة العالية أو الملوحة سواء بانجاز أفضل لعمليات خدمة التربة والمحصول بما يحفظ ماء التربة، أو بالتربية، أو كلاهما معاً، وهو الأفضل.

الماء والإنتاجية وتقلبات المناخ

بلغ الإنتاج العالمي من الحبوب عام 1950 حوالي 630 مليون طن، لتغذي 2.5 بليون شخص في العالم، وبعد أربعين عاماً أنتج العالم 1770 مليون طن من الحبوب لمجموع 5.3 بليون نسمة، وسوف تزداد الحاجة إلى المياه والغذاء أكبر مع الزيادة السكانية الكبيرة التي هي اليوم (2008) بحدود 7 بليون نسمة، وبذا فأنه لأجل سد العجز في الغذاء، وبذا فلابد من زيادة إنتاج الغذاء بنسبة 50% للخمسين سنة المقبلة. إن ذلك يحتاج إلى كميات إضافية من الماء، حتى ولو زيدت معدلات الإنتاجية بالتقانات الحديثة، خصوصاً إذا علمنا أن ما يستهلك في الزراعة هو بحدود 85% من مجموع الماء المستهلك في العالم. تقع نسبة97.4%من مياه كوكب الأرض في البحار والمحيطات وهي محدودة الاستخدام جداً بدون معاملة، كما إن نسبة 2% تقريباً هي تحت الانجماد في القطبين، لتبقى نسبة 0.6% فقط لاستهلاك الإنسان والحيوان والنبات !! والتي قدرت بأنها تساوي 12500 كم^3 [46].

تواجه الدول العربية وكذلك بقية دول العالم عدة عقبات لزيادة النمو الزراعي لتحقيق الأمن الغذائي لسكان يتزايدون ضمن متوالية هندسية، فيما يعيش مئات الملايين من البشر دون خط الفقر، حيث يغيب من حياتهم معنى الصحة والتعليم والثقافة. تبلغ المساحة الأرضية للوطن العربي حوالي 14 مليون كم^2، ويقدر عدد سكانه بنحو 300 مليون نسمة، نصفهم في المناطق الريفية. تقدر مساحة الأراضي الزراعية في الوطن العربي التي تعتمد على الري المستديم والري بواسطة الأمطار بحدود 11 و 35 مليون هكتار، بالتتابع. يتصف الوطن العربي بقلة الأمطار وذلك لوقوع معظم أراضيه في بيئات جافة وشبه جافة، حيث تتلقى 66.5% من مساحته هطولاً سنويا يقل عن 100 ملم، وبذا تقع المساحات التي تتلقى هطولا سنويا يزيد عن 200 ملم في مناطق الأمطار الشتوية، و250 ملم في مناطق الأمطار الصيفية وهي مواقع هامشية للزراعة المطرية.

انخفضت مساحة إنتاج الحبوب في الوطن العربي بمقدار 18.2% والإنتاجية بمقدار 13.2% فأصبحت نسبة الاكتفاء الذاتي من الحبوب بمقدار 11.2%. يعتمد معظم إنتاج الحبوب على الزراعة الديمية في المناطق الجافة وشبه الجافة وتقدر بحدود 80% من إجمالي المساحات المزروعة بالحبوب في الوطن العربي. أما الإنتاج الإجمالي من المنتجات الحيوانية فكان 3.3 مليون طن من اللحوم الحمراء و18.7 مليون طن من الحليب و1.8 مليون طن من لحوم الدواجن و891 ألف طن من البيض والمعتمدة على مراعي المناطق الجافة وشبه الجافة [3]. تستلم بعض مناطق العالم مقدار 76.2 سم هطول سنوي أو ما يعادل 6167.5 بليون م^3 من الماء، تفقد 70% منها إلى الجو والباقي (13%) للاستخدام الزراعي واليومي، علماً انه لأجل إنتاج كغم واحد من خبز

الحنطة تحتاج 1363 لتر من الماء. نظراً لكون مناخ الوطن العربي يتميز بظاهرة الجفاف لمعظم شهور السنة لانخفاض معدلات الأمطار السنوية ولارتفاع معدلات الحرارة فقد انعكس ذلك على مصادر المياه وموسميتها وتدني نوعيتها وسوء توزيعها جغرافيا فضعف الغطاء النباتي الطبيعي وسيادة مجموعة الترب الجافة وغير المتطورة مثل الكلسية والجبسية والملحية والرملية.

الاحتياجات المائية:

يقدر الاستخدام العالمي للماء بحدود 70% من البحيرات والأنهار ولكن بالتقدم نحو عام 2025 سيكون كل ماء الأنهار قيد الاستخدام المباشر!! وهذه حالة خطيرة جداً والتي قد بدأت في عدة مناطق من العالم، إن ذلك ينعكس عل تخريب النظام البيئي، بما في ذلك التنوع النباتي وتلوث البيئة، وفقدان حوالي نصف الأراضي المبتلة في العالم (حيث يسير العالم بخطى متسارعة إلى عصر الجفاف)!!. إن من بين مظاهر قلة التنوع الحيوي التي حدثت لدينا في العراق (وفي دول أخرى من العالم) اختفاء أنواع وأعداد كثيرة من الأسماك في نهري دجلة والفرات، وذلك كله بسبب شحة المياه، وقلة مياه الأمطار التي تأتي بأغذية متنوعة للحياة المائية وتوفر الملجأ المناسب لها. يقدر حوالي 20% من الأسماك مهددة بالانقراض على المستوى العالمي!! فيما يقدر بعض الباحثين أن ما يقارب من ألف نوع من الطيور مهددة هي الأخرى بالانقراض، فضلاً عن العديد من الحيوانات البرية الأخرى كالغزلان والأرانب وغيرها والتي كان من السهل رؤيتها في المناطق الصحراوية في العراق. لقد حدثت تغيرات شديدة في النظام البيئي خلال نصف القرن الماضي والتي لم يحدث مثلها في تأريخ البشرية، وذلك بسبب تطور الاحتياجات اليومية للماء نتيجة تغير أنماط الحياة لدى الشعوب، والعملية لا زالت مستمرة في تعدد أنماط الاحتياجات [86]. إن ذلك سوف يؤثر سلباً في النظام البيئي والتنوع الحيوي وزيادة التلوث وتقلبات المناخ واستنزاف الموارد الطبيعية التي سوف تكون أكثر حدة في دول العالم الثالث لعدم وجود تقانات تعالج مشاكلهم، وكمثال على تفاقم مشكلة التلوث ما خلصت إليه إحدى الدراسات التي ضمت فحص 68 ألف بئر في 45 ولاية في الولايات المتحدة، وتبين أن آبار 42 ولاية فيها تلوث بالمبيدات. أما في العراق فتشير الأرقام إلى وضع متفاقم، حيث يتسلم نهر دجلة سنوياً معدل 163 مليون متر مكعب من مياه الصرف الصناعية من دون معالجة!! وكذلك 680 الف متر مكعب يومياً من مياه الصرف الصحي معظمها من دون معالجة! فيما يتسلم نهر الفرات سنوياً معدل 42 مليون متر مكعب من مياه الصرف الصحي، ومن روافد دهوك حتى المصب في البصرة، ترمى نفايات المصانع والمستشفيات من دون أية معالجة كذلك! لقد أدى ذلك إلى ارتفاع معدلات الزنك في مياه النهرين وارتفاع معدلات الكلور المستخدمة لتعقيم المياه. يسبب تلوث المياه انتشار حمى مالطة والتيفوئيد والكوليرا والزحار والتهاب الكبد الفايروسي، وحتى شلل الأطفال! كما أن إضافة الكلور بكميات كبيرة غير مدروسة بدقة، ومن دون تهيئة عوامل تضمن التخلص منه تؤدي إلى أمراض الشيخوخة المبكرة وأمراض القلب وسرطان كل من الكبد والمثانة والقولون، فضلاً عن تأثير ذلك في تصلب الشرايين وارتفاع ضغط الدم والحساسية المفرطة للكيمياويات والأغذية المختلفة وفقر الدم! وما أكثر انتشارها اليوم بين أبناء مجتمعنا الجاهل بمعظم هذه الأمور. استناداً لذلك فنحن أمام تحديات صحية كبيرة تتعلق بحياة إنساننا مباشرة ولابد من اتخاذ إجراءات فعالة للتخلص من مشكلة التلوث الكبيرة هذه في مياه دجلة والفرات.

ذكر Falkenmark و Rockstrom [46] أن كمية الماء المستخدمة من سطح الأرض أو الماء الأرضي (كم^3)في عام 1995 كانت بمقدار 2504 للزراعة و 344 للاستخدامات اليومية و 752 للصناعة و 188 فقد الخزن، واستخدم منها أقل من 2100. يقدر معدل استهلاك الفرد السنوي من الماء في العالم بحدود 1200م^3، فيما قدره المصدر المذكور بأقل من ذلك بكثير (18.2م^3). يشير المصدر ذاته إلى أن معدل استخدام الماء السنوي للاحتياجات اليومية في الولايات المتحدة الأميركية هو 366م^3 وفي أوربا 232م^3 وفي إفريقيا 25 م^3 ، وبذا نجد أن المستوى الحضاري يدفع إلى مضاعفة استخدام الماء بدرجة كبيرة. كذلك قسم نفس المرجع الأخير الحاجة إلى الماء في ثلاث مجاميع وأعطاها الرمز (Per capita PWR water resource) مقدرة بالمتر المكعب وهي 1700 فأكثر مكتفية الماء، واقل منها وأكثر من 1000 تعاني من قلة

الماء، واقل من 1000 وأكثر من 500 تعاني من ندرة الماء. كما إن الحصة اليومية للفرد في أوربا وأميركا الشمالية هي بين 500-800 لتر، وفي الدول النامية في آسيا وإفريقيا بين 50-100 لتر، و10-40 لتراً في بعض المناطق النادرة الماء [114]، فيما ذكر Gleick [54] أن حصة الفرد الأمريكي من الماء آخذة في النزول. إن نسبة السكان في العالم الذين لديهم حصة مائية اقل من 1700 م^3 سنوياً كانت عام 1995 بحدود 7.5%، لكنه من المتوقع أن ترتفع النسبة إلى 36% لغاية عام 2025. سوف يحتاج العالم معدلاً إضافيا بحدود 4600 كم^3 في العام لغاية عام 2025 لسد الاحتياجات المائية المختلفة، وستكون الكمية بحدود 7700 كم^3 في العام 2050، ويؤخذ في نظر الاعتبار التوسع الزراعي الأفقي لأراضي جديدة بما لا يزيد عن معدل 800 كم^3 في العام، فيما تكون كمية الماء المستخدمة للزراعة الديمية بحدود 1910 كم^3 سنوياً.

الميزان المائي وتبدل المناخ:

لا يوجد أدنى اختلاف في الآراء بين المختصين اليوم في أن مناخ كوكب الأرض أصبح أكثر سخونة!!. إن ذلك من دون شك سوف ينعكس مرة أخرى عل الميزان المائي في المنطقة سواء للزراعة أو حماية البيئة أو لاستخدامات الإنسان والحيوان. لحد الآن، لا يوجد توجه عملي له قيمة للحد من تقلبات المناخ باستثناء نماذج المناخ (Climate models) ومع ذلك فان التوقعات المستقبلية حول المناخ وعلاقة ذلك بالميزان المائي لا زالت غير دقيقة، لاسيما عند حدوث تقلبات شديدة في الحرارة أو الأمطار أو الرياح أو الغبار وغير ذلك. لقد أوجز Frederick [49] بعض تغيرات المناخ المستقبلية بالآتي:

1- زيادة درجة حرارة سطح الأرض بمعدل 1.4 إلى 5.8م° مع نهاية القرن الحادي والعشرين.
2- حدوث تقلبات شديدة في الأمطار، بحيث تنحسر عن مناطق وتزداد في مناطق أخرى بصورة كبيرة.
3- تفيد معادلات التنبؤ المناخي أن زيادة درجة حرارة الأرض بنسبة 3% إلى 15%!!، وسوف يتركز هذا في المناطق المرتفعة من العالم خاصة في موسم الشتاء.
4- زيادة معدلET بزيادة درجة الحرارة، سوف يقلل من معدل خزين الماء الأرضي.
5- زيادة حدة فيضانات الأنهار في بعض المناطق وشحة مائها في مناطق أخرى.
6- اتساع المساحات المعرضة للجفاف في العالم، بسبب زيادة ET وقلة سقوط الأمطار فيها(جدول 1 و 2).
7- حدوث تقلبات موسمية شديدة في المياه في المناطق المرتفعة لاسيما إذا سقطت الأمطار على شكل مياه وليست ثلوج، لان الماء سوف ينساب إلى الأنهار في وقت محدد فيسبب مشاكل الفيضان ورفع مناسيب البحيرات والبحار مما قد يتسبب في غرق بعض المدن (مثل البندقية)، بينما يذوب الثلج مع مرور الأيام فتكون تغذيته للأنهار أفضل، دون أن يتسبب بمشاكل الفيضان.
8- زيادة شدة تلوث المياه في عدة مناطق من العالم بسبب عدم وجود كميات كافية من الماء تضمن جريان وتبديل الماء.

جدول 1. معدلات ET والإنتاجية وكفاءة استخدام الماء WUE (كغم حاصل /م³ ماء).

نوع المحصول	التبخر- نتح (ملم)	الإنتاجية (طن/هـ)	كفاءة الاستهلاك المائي (كغم/ م³)
الحنطة	600 – 500	6 – 4	1 – 0.8
الشعير	500 – 400	5 – 3	1.1 – 1
الذرة الصفراء	800 – 700	12 – 6	1.6 – 0.6
الذرة البيضاء	600 – 500	6 – 3	1 – 0.5
القطن	13000 – 1000	6 – 3	0.6 – 0.4
التبغ	700 – 600	3 – 2	0.6 – 0.4
البنجر السكري	600 – 500	60 – 40	9 – 6
القصب السكري	2500 – 2000	150 – 100	8 – 5
زهرة الشمس	1000 –800	3 – 2	0.5 – 0.3
ألجت الأخضر	1600 – 1400	80 – 60	10 – 8
الطماطة	800 – 600	60 – 50	12 – 10
الحمضيات	1200 – 1000	60 – 30	5 – 2
الزيتون	800 – 600	30 – 20	2 – 1.5

جدول 2. حاصلات بعض أصناف فول الصويا (طن/هـ) ومعامل التحسس للجفاف ومعامل الجفاف للإنتاجية.

الصنف	معاملة جافة	مكتفية مائياً	DSI	PDI
1	1.2	1.9	%37	%54
2	1.6	2.6	%38.5	%70.3
3	1.6	2.1	%34	%87.1
4	1.2	1.8	%13	%57.2
المعدل	1.4	---	---	---

باستخدام معامل الجفاف للإنتاجية لهذه الأصناف نجد أن الصنف 3 هو الأفضل لأنه أعطى أعلى قيمة للمعامل المذكور بلغت %87.1

$$PDI = \frac{\text{dry plot yield}}{\text{Wet plot yield}} \text{ X } \frac{\text{dry plot yield}}{\text{mean of dry plot yield}} \text{ X } 100$$

$$= \frac{1.6}{2.1} \text{ X } \frac{1.6}{1.4} \text{ X } 100 = 87.1\%$$

والصنف (4) اقلها حساسية للجفاف

$$DSI = 1 - \frac{\text{Dry plot yield}}{\text{Wet plot yield}} \text{ X } 100$$

$$= 1- \frac{1-2}{1-8} \text{ X } 100 = 13\%$$

خزن المياه:

إن تصميم وتشغيل أنظمة ري كفوءة يتطلب دراية كافية بالآلية التي من خلالها التحكم بحركة وخزن الماء في التربة [119]. قدرت كمية المياه المستهلكة منزلياً في العالم بمعدل 344 كم^3 سنوياً وقدرت بأنها ستكون 600 كم^3 في عام 2025 [72]، وهي مع ذلك لازالت تقديرات أوطأ من المعتدلة. إذ انه لدى تقدير كمية الماء المستخدمة من قبل العديد من أفراد العوائل وجدت أنها تتراوح بين 300- 500 لتر من الماء للفرد الواحد يومياً، ناهيك عن استخدامات تحضير الطعام والتنظيف والأمور الأخرى. أما فيما يتعلق بكمية الماء المستخدمة للصناعة فيقدرها المصدر ذاته بأنها بحدود ألفي كم مكعب سنوياً في عام 2025، فيما كانت 725كم^3 عام 1995. إن كمية الماء المستخدمة في الحاجات المنزلية والصناعية فيها هدر كبير للماء، ربما يصل عدة أضعاف الحاجة الفعلية للاستخدام، وهذه النقطة لابد من الأخذ بها بنظر الاعتبار لترشيد استهلاك الماء، فضلاً عن تكرير المياه المستخدمة لغرض استخدامها مرة أخرى لأغراض مختلفة بحسب نوعية الماء المتحصل عليه.

إن طرائق فقد الماء في شتى استخداماته متعددة ، بل وحتى في طرائق خزنه في البحيرات. لقد قدرت كمية الماء المفقودة في العالم بالخزن عام 1995 بأنها بحدود 188كم^3 سنوياً، فيما قدرت كمية الماء المفقود من بحيرة ناصر في جمهورية مصر العربية بحدود 16% سنوياً، وهذا الرقم مرتفع جداً، غير أن نسبة معقولة منه لابد منها، وهذه النسبة المفقودة تعادل حوالي 20% من كمية الماء السنوية التي تستخدمها مصر[111].

التوسع الأفقي في الزراعة وكفاءة الري:

إن الزراعة الاروائية هي المعوّل عليها بصورة رئيسية في إنتاج الغذاء في العالم. عليه فان تطوير أنظمة الري سوف يوفر كميات كبيرة من مياه الري في العالم تمكنه من زراعة مساحات أخرى، كذلك فان رفع معدلات الإنتاجية في وحدة المساحة سوف يرفع من كفاءة استخدام الماء، وذلك يوفر كميات لا بأس بها من الماء. قد يكون ذلك بتغيير طريقة الري أو عمق الري أو اختزال مسافة نقل الماء من المصدر إلى الحقل أو على الأقل تقليل ضائعات النقل. أما الماء الذي يغور في الأرض من بعد الري فانه يمكن أن لا يعد فقداً لأنه يذهب إلى خزين الماء الأرضي الذي يمكن استخدامه مرة أخرى.

إن التوسع الأفقي في الزراعة له قيود وكلف، فقد تكون الأرض غير متوفرة للتوسع الأفقي، أو أن كلف استصلاحها وزراعتها عالية، أو إن الماء المتوفر للري لا يكفي لزراعة أراضي أخرى جديدة. استناداً لذلك فان البحث العلمي لابد أن يركز في مثل هذه الحالة على زيادة معدلات الإنتاجية للمحاصيل ليرفع بذلك من كفاءة استخدام الماء. يقدر Jury وVaux [72] نسبة الأراضي الجديدة في الزراعة بين عامي 2000 و 2003 بنسبة 0.3% فقط، بالمقارنة مع نسبة أعلى منها بكثير خلال ما يسمى بالثورة الخضراء (Green Revolution). قدّر Shiklamanov [113] كمية الماء للزراعة في عام 1995 بمعدل 685 كم^3 سنوياً وأنها ستصبح بحدود 3189 كم^3 في عام 2025، فيما قدر Rockstrom وآخرون [102] أن كمية الماء التي تزداد سنوياً للري هي بحدود 790كم^3 للمدة بين 2002 إلى 2030.

تعرف كفاءة الري بأنها نسبة الماء التي استهلكها النبات في وحدة المساحة إلى كمية الماء المسحوبة من المصدر. إن فقد الماء خلال النقل عن طريق التبخر أو الانسياب إلى الماء الأرضي ستكون كبيرة كلما بعدت المسافة بين مصدر الماء والحقل وعلاقة ذلك بدرجة الحرارة والرياح وطبيعة مجرى الماء الفيزياوية. انه وعلى الرغم من أن البعض يقول أن الماء الغائر إلى باطن الأرض ليس بفقد، إلا انه في الواقع لا يزال يحتاج إلى جهد إضافي حتى يمكن استخراجه، وبذا فهو فقد واضح، لان عدم الفقد هو أن يكون متوفراً للاستخدام مباشرة وكأنه لا يزال في المصدر. لقد قدر Seckler وآخرون [110] كفاءة الري في 118 دولة عام 1990 بأنها بحدود 43% فقط، وان رفع هذه النسبة إلى 70% مثلاً سوف يوفر حوالي 50% من الماء المطلوب للتوسع الأفقي، وبما يعادل

944 كم³ من الماء سنوياً. يوضح جدول (3) كميات الماء المطلوبة لري المساحة المزروعة في عدة مناطق من العالم.

جدول 3. كفاءة استخدام الري والمساحات المروية وكميات ماء الري [134].

المنطقة	المساحة المروية mha	كمية ماء الري(كم³)سنوياً	كفاءة الري %
أميركا الشمالية	21.6	202	53
أميركا اللاتينية	16.2	163	45
أوروبا	16.7	103	56
الشرق الأوسط	22.6	219	60
إفريقيا	6.1	068	48
الهند	45.1	484	40
الصين	48.0	463	39
بقية آسيا	61.3	377	32
العالم	243.0	2086	43

يمكن رفع كفاءة الري وترشيد استخدام الماء بعدة طرائق منها:

1. اعتماد تقنية المعلومات (Information Technology) (IT) في إدارة المياه، بما في ذلك برامج الحاسوب والمعدات الحديثة، التي تجعل من عملية إدارة المياه أكفأ وأسرع واقل كلفة [141]
2. تقليل الطفح (runoff) وضائعات ماء النقل، والعناية باستواء الحقل لتوزيع الماء بصورة منتظمة.
3. اعتماد الري بالتنقيط أو الرش، وخفض ارتفاع المرشات لتقليل تأثير الرياح، وعدم الري في الأيام الريحية.
4. إذا كانت الزراعة في مروز أو مصاطب، فيمكن اعتماد طريقة الري المتناوب (skip irrigation)، حيث يكون الري بين ساقية وأخرى، وفي المرة اللاحقة يكون بالعكس [43, 44].
5. الري بحسب حاجة المحصول بحسب المقنن المائي للمحصول في تلك الأرض في تلك المنطقة الجغرافية (جدول 4).
6. التربية لاستنباط محاصيل تتحمل الشد المائي واستخدام أنواع وأجناس من نباتات المراعي ذات كفاءة أعلى في استخدام الماء وتحمل الشد المائي [41, 40, 39, 38].
7. لدى زراعة الخضر يمكن اعتماد الأغطية على أكتاف المروز وعزق الأرض بالمعدات المتوفرة لتقليل الضائعات عبر التبخر.
8. إذا كانت هناك قنوات بعيدة لنقل الماء من المصدر إلى المصب فلابد من تبطينها بمواد لا تمتص الماء.
9. استخدام التعاقب المحصولي من موسم لآخر للاستفادة من الماء الموجود تحت سطح الأرض بحسب اختلاف جذر المحصول في التعمق والامتصاص.
10. التأكيد على زراعة المحاصيل الشتوية أكثر من الصيفية وذلك لقلة احتياجاتها المائية.

11. في المناطق التي تسقط فيها أمطار، لابد من وجود خزانات لجمع المياه والاستفادة منها بدلاً من أن تذهب إلى البحار والبحيرات أو حتى الأنهار [39].
12. محاولة التوسع في المحاصيل المعمرة وذات الإنتاجية الجيدة، لأن حاجتها للماء تكون أقل بسبب عمق وتشعب جذورها بالمقارنة مع نباتات المحاصيل الحولية لاسيما في المناطق التي يمكن للنبات أن يستفيد من الماء الأرضي فيها.
13. يمكن في بعض الحالات اللجوء إلى إجراءات بسيطة، كاستخدام علب الصفيح بوضعها حول الأشجار النامية في الصحراء لجمع ماء الندى والضباب في الليل [39].
14. كما يمكن ترشيد استهلاك الماء من خلال زيادة تربية الطيور الداجنة لإنتاج اللحوم بدلاً من التركيز على تربيه الأبقار والأغنام لقلة حاجتها للماء لإنتاج وحدات البروتين.

جدول 4. مقارنة كفاءة الري في الحنطة والذرة الصفراء في كل من سوريا والولايات المتحدة بتغيير كمية ماء الري [46].

معاملة الري	الحنطة/تكساس		الحنطة/سوريا		الذرة الصفراء/تكساس	
	طن/هـ	كغم/م^3	طن/هـ	كغم/م^3	طن/هـ	كغم/م^3
ري كامل	4.76	0.64	5.79	0.93	13.95	1.42
67 % من الكامل	4.74	0.76	5.24	1.19	11.36	1.53
33 % من الكامل	3.88	0.80	5.15	0.99	6.62	1.21
على الأمطار	2.19	0.61	3.27	0.93	1.36	0.43

تحسين إنتاجية الأراضي الديمية:

تشكل الأراضي الأروائية في العالم 17 % فقط من المساحة الكلية المزروعة، لكنها تنتج معدل 40 % من مجموع إنتاج الغذاء العالمي [48]، وبذا فأن إنتاج الأراضي الأروائية يعادل معدل 325% من إنتاج الديمية، مما يؤكد الفجوة الكبيرة في إنتاجية الأراضي الديمية والتي لابد من رفعها بأية وسيلة ممكنة، لأنها سوف تسد عجزاً كبيراً في إنتاج الغذاء للسكان المتزايد في السنوات المقبلة. من بين وسائل زيادة إنتاجية الأراضي الديمية اعتماد الري التكميلي، إما بجمع مياه الأمطار خلف السدود أو بحفر الآبار، والثانية بزيادة معدلات التسميد لرفع كفاءة استخدام الماء، فضلاً عن زراعة أنواع نباتية تتحمل الشد المائي، واعتماد طرائق ري اقل فقداً للماء، مع إدارة جيدة ترفع من مقدرة الأراضي الديمية في حفظ الماء بدلاً من الطفح، وربما استخدام بعض الأغطية من بقايا المحاصيل وغير ذلك.

تحلية المياه المالحة:

تدفعنا شحة الماء في العالم إلى تحلية الماء الأرضي المالح أو مياه البحيرات والبحار سواء لأغراض الشرب أو الري. لازالت كلفة تشغيل هذه المعامل تعد مرتفعة على الأقل في الدول الفقيرة، والسبب يعود إلى ارتفاع أسعار الوقود الذي تحتاجه. يذكر Jury و Vaux [72] أن هناك أكثر من 12500 مصنع لتحلية المياه في العالم، تعطي 6 بلايين غالون من الماء العذب يومياً، إلا أن ذلك لا يعادل سوى 1% من مجموع ماء الشرب في العالم. تختلف كلف تحلية المتر المكعب الواحد من الماء المالح بحسب درجة الملوحة، إلا أنها تقع بين 0.4 إلى 2.1 دولاراً أميركيا، مع ذلك لا يزال الباحثون

مستمرين في استنباط طرائق تقنية اقل كلفة لتحلية المياه بالمقارنة مع ما تم الحصول عليه والمستخدم حالياً.

أعطى الري المتبادل للذرة الصفراء المزروعة على مروز حاصل حبوب مماثل لحاصل حبوب الذرة المزروعة في ألواح والمروية أسبوعياً، أي أن الري المتبادل والزراعة على مروز قد خفضت كمية ماء الري إلى 50% بالمقارنة مع المزروعة في ألواح والمروية أسبوعياً. كذلك أعطى الري المتبادل لزهرة الشمس المزروعة على مروز نفس حاصل بذور تلك المزروعة في ألواح والمروية أسبوعياً، فوفرت هذه الطريقة معدل 50% من ماء الري اللازم للموسم الواحد [40 ,41].

يمكن أن يحدد محتوى الماء في التربة أو النبات إما على أساس حجمي ($م^3$ / $م^3$) أو (غم / غم) وزن رطب أو نسبة مئوية (%) من الوزن الرطب. كذلك يمكن استخدام (Gypsom block) أو (Tensiometer). أما لوصف حالة الشد المائي في النبات فان أفضل قياس هو المحتوى المائي النسبي (Relative Water Content = RWC).

RWC = (fresh wt.- dry wt.) / (turgid wt.- dry wt.) x 100

وكذلك معيار الشد المائي (Water potential) للجزء قيد الاختبار في النبات(ورقة أو ساق أو جذر)، فضلاً عن قياس ABA في الجذر أو قياس الأس الهيدروجيني (pH) في أوعية الخشب في الساق. أما القراءات غير المباشرة المتعلقة بتحمل الجفاف في النبات فتعتمد طرائق عديدة، منها عدد الأوراق الذابلة في النبات في وقت معين من النهار، كأن يكون عند الفجر(Predawn) أو منتصف النهار وكذلك وزن المادة الجافة المتكونة للنبات وغيرها، فضلاً عن عدد الرؤوس المتكونة في وحدة المساحة أو عدد بذور الرأس أو وزن البذرة وكذلك معدلات نمو النبات في أطوار نمو مختلفة. هنالك نباتات قد يكون فيها المحتوى المائي في أجزائها متماثلاً (Isohydric)، ولكن بعض النباتات تختلف أجزاؤها في المحتوى المائي (Anisohydric) ومنها زهرة الشمس (*Helianthus annuus* L.) [38, 35].

هناك ثلاثة أنواع من المجاميع النباتية لتحمل الجفاف وهي (Drought avoidance) وهو أن تنضج تلك الأنواع مبكراً قبل دخول موسم الجفاف، و (Drought escape) وهو أن بعض الأصناف يمكن أن تزرع مبكرة أو متأخرة فتهرب من الجفاف، فيما تمتلك المجموعة الثالثة آلية لتحمل الجفاف (Desiccation tolerant)، فقد تمتلك صفات مظهرية أو تشريحية مثل امتلاكها جذوراً أعمق أو شعيرات أو كيوتكل يغطي سطح النبات أو تكون ذات عصير خلوي كثيف (Glycophytes) تقاوم شد الجفاف أو إن أوراقها ذات ثغور صغيرة، وتمتلك آلية تحكم عالية أثناء تعرضها لعوامل الشد، وفي هذه الحالة ستكون النباتات ذات كفاءة عالية لاستخدام الماء.

الماء في حياة النبات:

البروتوبلازم هو الوسط الذي بداخله التفاعلات الحيوية، ويشكل الماء فيه 80% – 90%. إن من بين ابرز وظائف الماء في حياة النبات هي:

1- يحدث الامتصاص والتشرب والإنبات والنمو بوجود الماء.
2- يشترك في اغلب التفاعلات الحيوية التي تجري في الخلية مثل عمليات التنفس والبناء الحيوي وعمليات التحلل الإنزيمي..... [78, 33].
3- هو مصدر الطاقة خلال عملية التمثيل الكاربوني، كما انه مصدر الأوكسجين الناتج من نفس العملية.
4- مادة مذيبة وناقلة لأغلب المواد وان تلك الفعاليات الحيوية تجري في وسطه.
5- مادة هيدروليكية (Hydraulic agent) هامة في الحفاظ على الانتفاخ وهيكل النبات ومنح القوة للاتساع الخلوي لضمان التمثيل الكاربوني والتنفس وآلية عمل الثغور.
6- مادة منظمة ضد التغيرات المتطرفة في درجات الحرارة، لان الماء مادة للتبريد والتكييف البيئي من خلال عملية ET.

مفهوم الجفاف:

يحد الجفاف المؤقت أو الدائم من نمو وانتشار النبت الطبيعي وحاصل النباتات المنزرعة أكثر مما يفعله أي عامل بيئي آخر، عليه فان ثلث مساحة اليابسة تقع ضمن المناطق الجافة وشبه الجافة بسبب تعرضها للجفاف الدائم. كذلك فان معظم المناطق المعتدلة والرطبة تمتلك نفس الأهمية من ناحية

تعرضها للجفاف وهذه المنطقة هي التي تجهز اغلب دول العالم بالمتطلبات الغذائية. قد يكون الجفاف دائمياً، كما في المناطق الصحراوية وقد يكون فصلياً في مناطق أخرى، أو قد يكون عشوائياً كما في المناطق الرطبة. قد يوصف الجفاف على انه حدث بيئي يتعلق بعلم الأحوال الجوية ويمكن أن يعرف بأنه غياب الماء اللازم لحياة النبات لفترة زمنية معينة يحد فيها من عمليات النمو. يختلف ضرر الجفاف باختلاف نوع النبات ومرحلة نموه وقابلية التربة على حفظ الماء في منطقة الجذر والعوامل المؤثرة في معدل ET. ليس من السهولة وضع تعريف دقيق وشامل للجفاف، حيث أن مصطلح (Drought) غير دقيق بالمعنى المستخدم، غير انه يعبر عنه أحياناً بأنه ظاهرة قلة وفرة الماء نتيجة عناصر مناخية لأحوال جوية متعددة [74]. إن استخدام مصطلح الجفاف بشكل واسع الذي يشمل الظروف الجوية وظروف النبات قد يؤدي إلى بعض الإرباك في التعبير. هنالك مراجع تعرف الجفاف بأنه حصول عجز أساسي في الماء في التربة أو الجو أو النبات، فيما تعرفه مراجع أخرى على انه جفاف النبات الذي يكفي لإيقاف الزيادة الحاصلة في مساحته الورقية تحت شد يقع بين −20 إلى −40 dMPa، وهذا ما يطلق عليه بتحمل النبات للجفاف، أما تجنب النمو للجفاف فيعرف بأنه الفرق بين جفاف النبات وجفاف البيئة المحيطة بالجزء الخضري الذي له علاقة بمقاومة الانتشار الكلية للورقة والقابلية القصوى لامتصاص الماء من قبل المساحة الورقية [80]. أما بالنسبة للمفهوم الزراعي، فان الجفاف الزراعي (Agricultural drought) يكون طبقاً لنمو المحصول أو تشكله ويفترض انه يبدأ عندما يستنزف الماء الجاهز من المنطقة الجذرية [74].

يجب التمييز بين الجفاف والقحولة (Aridity)، فالقحولة تحدث نتيجة لانخفاض معدل المطر في منطقة معينة، فصحارى العالم هي قاحلة بشكل دائم مع معدلات مطرية سنوية اقل من 150 ملم. أما الجفاف فهو سمة مؤقتة تحدث عندما يكون تساقط المطر اقل من المعدل الطبيعي مع تأثير سلبي لظروف المناخ مثل درجة الحرارة العالية والرطوبة المنخفضة والرياح القوية. تعد القحولة غير ضرورية لحدوث الجفاف، فالمناطق التي تعد رطبة بشكل طبيعي قد تعاني من الجفاف من وقت لآخر. لقد حدثت بعض مظاهر الجفاف في مناطق تمتلك بعض درجات القحولة في تكوينها المناخي [58]. إن المشكلة ليست في الحد السنوي لمعدل الأمطار ولكن في تباينه، وبذا يشخص تباين الأمطار بأنه العامل الرئيسي في حدوث الجفاف. إن قلة تساقط المطر وغيض الماء الجاهز الضروري لنمو النبات تخضع لعوامل معقدة منها ما يتعلق بالإنسان ومنها ما يتعلق بعوامل البيئة، وان احتباس المطر قد يقابله الاحتباس الحراري.

أعراض الجفاف وأضراره:

يتأثر نمو النبات بدرجة كبيرة بانخفاض المحتوى الرطوبي في التربة دون الحد الحرج، علماً أن الذبول الدائم في النبات يحصل عندما يقل الشد الرطوبي عن −12 إلى −14 dMPa. لقد وجد أن معدل التمثيل الكاربوني ينخفض نتيجة الشد المائي في التربة والنبات مسبباً غلق الثغور وانخفاض تركيز CO_2 وتغير مكونات السايتوبلازم، لاسيما لزوجته مما يؤثر في انتقال CO_2 ونشاط الإنزيمات، كما تفقد الأغشية الخلوية مائها، إذ وجد أن نقص الرطوبة نتيجة الجفاف قلل من معدل التمثيل الكاربوني لمحصول الذرة الصفراء [132, 90]. يؤثر الجفاف سلبياً في صفات نمو النبات مثل ارتفاع النبات [104] وعدد الأيام حتى النضج وحاصل الحبوب [26]. كما أن نقص المحتوى المائي أدى إلى زيادة تجمع البرولين في محصول القطن [28]. إن تعرض النبات للجفاف خلال الإزهار يؤدي إلى اضطرابات فسلجية. إن منع الماء عن النبات بعد الازهار أدى إلى اختلافات معنوية في استجابة الذرة البيضاء لمستويات الجفاف [76]، إذ أن هناك أصنافاً عدلت الجهد المائي والجهد الازموزي، بينما لم تتمكن أصناف أخرى من التعديل. كما لاحظ Omanya وآخرون [92] وجود اختلافات واضحة في محتوى الأوراق من الماء ، وكثافة أطوال الجذور (Root bulk density) وايصالية الثغور، وان هذه الصفات قد ارتبطت بالحاصل[11]. قد تتكون بروتينات معينة لدى التعرض للجفاف، كما في فول الصويا، إذ وجدت هذه البروتينات بأوزان جزيئية مختلفة [105]. يؤدي انخفاض تثبيت N_2 تحت الجفاف إلى انخفاض إنتاج البروتين في البقوليات، لاسيما فول الصويا وهذا قد يختلف باختلاف الأصناف والأنواع، وبذا فان قلة الماء تؤثر في تجهيز O_2

إلى العقد مما ينتج عنه قلة فعالية العقد [77]. كما أن الجفاف يقلل من المادة الجافة للأوراق فضلاً عن انخفاض تركيز الكاربوهيدرات بعد 10 أيام من تعرض النبات للجفاف [73]. إن الفهم الجيد لكيفية تأثير شد الجفاف في تحديد حاصل فول الصويا قد يساعد في تطور استنباط الأصناف المحسنة لتحمل الجفاف، إذ قلل الجفاف من حاصل البذور لاختزال نمو الفروع الخضرية وتقليل عدد البذور بالفرع عند حدوث الشد خلال مرحلتي بداية الإزهار وامتلاء الحبة [50]. إن هجن الذرة البيضاء التي لا تمتلك خاصية البقاء خضراء (Stay-green) لا تتحمل الجفاف بعكس الهجن التي تمتلك هذه الخاصية [16]. لقد اخذ الباحثون حالة نقص ABA في النبات بنظر الاعتبار، فوجد أن له دوراً في تحديد إنتاج الاثيلين، إذ يتداخل الاثيلين مع تأثيرات ABA في نمو المجموع الخضري والجذري [67]، وبسبب الجفاف وملوحة التربة ودرجات الحرارة المنخفضة وبدرجة رئيسية الشد الازموزي للنبات، فالعجز الحاصل في الماء ينتج عنه انخفاض انتفاخ الخلية وتغير مكوناتها، مما يؤدي إلى اضطراب التنافذ وتجمع البروتين واختلاف الآيض الطبيعي [131].

يقلل الجفاف من حجم الخلايا وسمك جدرها وتكون شبكة العروق البارزة أكثف، فضلاً عن زيادة عدد الثغور وزيادة الضغط الازموزي لعصير الخلية مما ينعكس على مكونات الحاصل [55, 67, 85]. كذلك فان تعرض الجذور للشد المائي يؤثر في توزيعها داخل التربة وكثافتها مما يؤثر سلباً في امتصاص الماء [69]. يقلل الجفاف من معدلات التمثيل الكاربوني للأوراق لمختلف أنواع المحاصيل وانسداد الثغور والتفاف الأوراق تحت شد مائي بين -12.8 و -15.7 في الذرة الصفراء والبيضاء بالتتابع [101]. لقد وجد أن الشد الرطوبي قد خفض حاصل الحبوب في الذرة الصفراء بمقدار 25% عند تعرض النباتات له قبل تكوين الحريرة و 50% عند تكونها [27]، لان مراحل نمو النبات لها خاصية تحمل مختلفة لعجز الرطوبة في الذرة الصفراء [83] وهذا مرتبط بدرجة التأثير في معدل التمثيل الكاربوني [90] الذي انخفض بمعدل 50% [8] لاختزال مساحة الأوراق وانخفاض نسبة حاصل الحبوب إلى معدل ET [118].

تأثير الجفاف في الموارد المائية والنباتية والحيوانية:

تهبط مناسيب المياه الجوفية نتيجة تناقص كميات التغذية المائية وازدياد نسبة الماء المستهلك، كما يستنزف جزء من المخزون من المكامن المائية الجوفية المعرضة للجفاف. يختلف التأثير بالمصادر المائية بحسب نوعها وامتدادها ونظام تغذيتها، ويؤدي الجفاف إلى شحة بعض الينابيع والآبار المستثمرة للطبقات المائية العليا وانخفاض تصاريفها أو عدم استقرارها مما ينتج عنه تملح المياه. يزداد انجراف التربة تحت تأثير عوامل التعرية كنتيجة لانخفاض الغطاء النباتي والتبدلات التي تطرأ على استخدامات الأراضي. يؤثر الجفاف تأثيراً مباشراً في الإنتاج النباتي، إذ يتسم الأخير بالتذبذب في المناطق الجافة تبعاً لتذبذب معدل الماء المتوفر. إن معدل إنتاجية وحدة المساحة في المناطق الجافة تعد منخفضة جداً مقارنة بمثيلتها تحت ظروف الاكتفاء المائي ولكافة الأنواع والأجناس النباتية. يؤدي الجفاف الطويل والمتكرر الذي يصيب بعض المناطق الرعوية إلى تدهور الغطاء النباتي وقلة التنوع الحيوي فيها، إذ تنخفض أعداد وأنواع النباتات وكذلك الحيوانات البرية وبما يهدد وجودها بالانقراض. كذلك يزداد انجراف التربة الرملية والخفيفة بتأثير الجفاف الطويل المدى، مما ينتج عنه ظاهرة تدهور التربة فالتصحر، نتيجة فقدان التربة تماسكها لقلة مادتها العضوية وعدم صلاحيتها للإنتاج النباتي والحيواني. بشكل عام، تتراجع دخول الفلاحين المعتمدين على الزراعة الديمية المتذبذبة، مما يدفعهم إلى البحث عن مصادر هامشية لزيادة الدخل، أو قد يعانون من الفقر والهجرة إلى المناطق غير المتأثرة بالجفاف أو إلى المدن، بعد تركهم مهنة الزراعة، فينعكس ذلك على الخواص السكانية للبلد وتنامي مشكلة البطالة فيه.

دور خدمة التربة والمحصول في الحد من أضرر الجفاف:

عمق الزراعة:

يؤثر عمق الزراعة في زيادة ضمان وفرة الماء للإنبات والبزوغ والنمو، لاسيما في الحبوبيات ذات السويقة الوسطى القابلة للاستطالة، وهي ميزة مهمة جداً لنجاح بزوغ بادرات البذور المزروعة عميقاً [36, 37, 38, 130]، كما أن بذور الرز المزروعة عند سطح التربة لم تتأثر بعمق الماء، في حين ارتفع معدل بزوغ البادرات ونموها عندما زرعت تحت سطح

التربة، إلا أن إضافة بيروكسيد الكالسيوم أدّت إلى تحمل البادرات لمستويات الماء بعمقين 13 و 25 ملم [138]، وقد تبزغ من أعماق تصل إلى 45 سم ويعزى ذلك إلى قابلية السويقة الجنينية الوسطى لأصناف معينة على الاستطالة من تلك الأعماق [24 ,38]، وبذا فقد تأثرت نسبة البزوغ في الذرة الصفراء بمقدار 67% و 11% للنباتات المزروعة بذورها بعمق 20 و 30 سم بالتتابع [37]، غير أن Elsahookie و Wassom [38] حصلا على نسبة بزوغ 80% من هجن زرعت بعمق 40 سم. فضلاً عن إمكانية زيادة تحملها للجفاف أكثر فيما لو تم تمريزها لاحقاً أشارت دراسات أخرى إلى إمكانية الحصول على حاصل عال للنباتات المتعمقة الجذور تحت ظروف الجفاف مقارنة بمثيلتها ذات الجذور السطحية [125]. كما أن النباتات المزروعة بعمق 12 سم والمروية كل خمسة أيام، أعطت أعلى حاصل حبوب (11.9 طن/هـ) [36]، من جهة أخرى فقد كان هناك اختلاف في وزن الجذر وعدد العقد فيه وارتفاع النبات وقطر الساق وعدد أوراق النبات ومساحته الورقية بتأثير تداخل أعماق الزراعة x فترات الري. إن امتداد المنطقة الجذرية باتجاه العمق خلال استخدام المحاصيل العميقة التجذر مثل زهرة الشمس يزيد من كفاءة استخدام الماء المخزون في التربة [112]، عليه فان نمو الجذر إلى عمق اكبر في التربة يعد ضرورة لامتصاص الماء المخزون في تلك الأعماق وتجنب الجفاف في المحصول [122].

الكثافة النباتية:

تتوفر معلومات محدودة عن الاستجابات الوظيفية والمظهرية للمحاصيل تحت الكثافات النباتية ومستويات الجفاف. إن فهم تأثير الكثافة النباتية يساعد في وضع برامج تربية وتحسين المحاصيل بشكل جيد وتطوير إدارتها لزيادة إنتاجيتها [18, 17]، فقد وجد Tabo وآخرون [123] زيادة LAI فزيادة اعتراض الإشعاع مع زيادة الكثافة النباتية في الذرة البيضاء فزيادة حاصل حبوب بعض أصنافها. تميل الكثافة النباتية العالية إلى استنزاف اكبر كمية من ماء مقد التربة. أشار Ball وآخرون [9] إلى أن الكثافة العالية كانت فعالة في زيادة حاصل بذور فول الصويا مع زيادة LAI في الأصناف المبكرة النضج، لاسيما عند زراعتها بخطوط ضيقة (17 – 20 سم) [64]. كذلك لوحظ نجاح إنتاج فول الصويا قصيرة الموسم في بعض البيئات باعتماد الكثافات العالية والخطوط المتقاربة عندما تزرع في الربيع المبكر لتجنب الجفاف [63, 34].

الحراثة:

إن إتقان عملية الحراثة بالشكل السليم ينتج عنه سهولة في تنفيذ كافة العمليات اللاحقة كالتسوية والتنعيم مما يضمن بزوغاً ونمواً جيداً وبالتالي حاصلاً أفضل [36]. وجد Elmaeni و Elsahookie [35] أن الحراثة بأعماق مختلفة تزيد من إنتاجية الذرة الصفراء، إلا أنها قد تؤدي إلى اضطراب في الايصالية الشعرية وبالتالي تقييد حركة الماء إلى الأعلى [108]. أشار Mesfine وآخرون [88] إلى أن حراثة الأرض وزراعة البذور فيها وتحويلها إلى مروز ضيقة (Ridges)، تعد عملية واعدة وضرورية لإعطاء حاصل مقبول للذرة البيضاء في الظروف شبه القاحلة، خصوصاً إذا ما أضيف لها غطاء ببقايا المحاصيل. تعمل الحراثة العميقة على تشويه مقطع التربة، مما يؤدي إلى قلة احتفاظها بالماء يرافقها زيادة في ET [124]. تشجع الحراثة العميقة على الغيض العميق مما يزيد في شحة الماء الأرضي [137]. كما أن الحراثة العميقة مع التسميد الجيد واستخدام الأغطية تعد تقنيات مفيدة في زراعة الحنطة الشتوية [116].

أغطية التربة:

توجد طريقتان لتقنين استهلاك الماء في المحاصيل النامية في المناطق شبه الجافة، الأولى هي تجميع مياه الأمطار بما يسمى (حصاد المياه) واستخدامه، والثانية استخدام الأغطية (Mulches)، فقد وجد Du وآخرون [30] أن دليل الحصاد قد انخفض بتأثير الأغطية البلاستيكية مما يدل على حصول غزارة في النمو للحنطة الربيعية المغطاة، وبذا قد لا تكون الأغطية البلاستيكية الطريقة المفضلة في تغطية الحنطة على الرغم من زيادة حاصل الحبوب بمقدار 38.5%، لذا تعد مغطيات القش هي المفضلة ، إذ وجد أن التغطية بالقش تقلل من (ET) بمقدار 38.2% [98]. وجد Gent وآخرون [52] أن إضافة القش وبقايا المحاصيل لتغطية الأرض تزيد من جاهزية الماء للمحاصيل في المناطق الجافة. كما وجد Mesfine وآخرون [88] أن إضافة القش بتداخلها مع

الحراثة تزيد من حاصل الذرة البيضاء لكل وحدة ماء مستهلكة، وان إضافته زادت من محتوى التربة من الماء المخزون [116]. إن إضافة الرمل زادت من كثافة الجذور مع زيادة انتشارها الأفقي والعمودي [136]. توظف التغطية الحجرية (Lithic mulching) مثل الرماد البركاني والرماد النباتي والحصى والصخر إدارة جيدة لتحسين نمو النبات، فزادت من حاصل المحصول على أساس مستقر وقللت انخفاض الحاصل تحت شد الجفاف [81]. استخدم ألنعيمي وآخرون [2] مخلفات الورق الصناعي ومسحوق نبات الشمبلان لزيادة بزوغ ونمو الباميا واستنتجوا أن هذه الطريقة فعالة في زيادة الحاصل لكون هذه المخلفات زادت من تحسين خواص التربة الفيزياوية فانعكس ذلك على الحاصل.

التسميد:

تنتج عن إضافة السماد النتروجيني في الترب الفقيرة إليه، زيادة معنوية في حاصل الحبوب، فضلا عن ان زيادة الكميات المضافة منه تؤدي إلى زيادة النمو الخضري بشكل عام، وبذا فهو عامل مهم لنمو النبات. تضاف الأسمدة ذات المحتوى العالي من النايتروجين بمعدلات كبيرة جداً وبشكل دوري لحوالي 50% من المحاصيل الرئيسية في العالم [53]، فقد بلغ الاستهلاك العالمي من سماد N بين عامي 2005 – 2006 بحدود 90.86 مليون طن متري [66]. وجد Feil وآخرون [47] أن التسميد النايتروجيني قلل من عناصر Ca و Zn وزاد من Mn في حبوب الذرة الصفراء لدى تعرضها لظروف الجفاف قبل مرحلة التزهير الذكري، لذا فان زيادة تعرض النبات للجفاف ونقص N في التربة يسبب خسائر كبيرة في حاصل هذا المحصول. استنتج Betran وآخرون [13] أن هناك اختلافاً في الفعل الجيني تحت ظروف الجفاف وان الفعل الجيني السيادي هو أكثر أهمية لدى انخفاض مستوى N. عليه، فقد أمكن تقليل ضرر الجفاف في الحنطة من خلال تحسين كفاءة الاستهلاك المائي بالزراعة المبكرة وإضافة N بمستويات مناسبة [94]. كذلك وجد أن تحمل الجفاف مرتبط بتأخير شيخوخة الأوراق وعلاقته بمحتواها من النايتروجين [10]. إن دراسة استجابة أنواع وأصناف مختلفة من المحاصيل تحت قلة وكفاية النايتروجين مع قلة وكفاية الماء أمر بالغ الأهمية، لارتباط N بآلية تحمل الجفاف وبالمساحة الورقية [6, 5]، فضلاً عن علاقة تحمل الجفاف بالبوتاسيوم والصوديوم.

مكافحة الأوبئة:

أمراض النبات:

يؤثر الجفاف في أمراض المحاصيل المزروعة على خطوط بعدة طرائق، فالعديد من الأمراض تصيب الأجزاء الخضرية فقط عندما تكون الأوراق رطبة، وبذا فان أمراض الصدأ وتبقع الأوراق لا تشكل خطراً تحت ظروف الجفاف. يتطلب العفن الأبيض على الباقلاء رطوبة في التربة لأجل إنتاج السبورات وإطالة مدة الابتلال ، لذا فهو لا يحدث تحت الري بالرش في السنوات الجافة. كما أن هناك نوعاً من الذبول في زهرة الشمس المحمول في التربة لا يصيب زهرة الشمس إلا بعد ترطيب التربة، لذا فان ظروف الجفاف تقلل من الإصابة بهذا الذبول. كما أن تعرض النباتات للجفاف ثم استلامها كميات جيدة من الأمطار خلال أسبوعين أو ثلاثة بعد تكون الحريرة يسبب الإصابة بتعفن الساق في الذرة الصفراء، فضلاً عن حدوث إصابة شديدة بالتفحم. تشجع ظروف الجفاف على إصابة البطاطا بالجرب الأسود بسبب بطء بزوغ أفرع النبات [79]. توجد آليتان قد تقللان من التمثيل الكاربوني على أساس النبات الكلي، إذ تقلل إحداهما المساحة الورقية عن طريق موت وإسقاط الأوراق أو الشيخوخة، وبذا ينخفض التمثيل الكاربوني لتقلص المساحة الورقية. بالاعتماد على قياسات التبادل الغازي للباذنجان في الحقل، فقد قلل المسبب المرضي *Verticillium dahliae* من المساحة الورقية وهذا أدى بدوره إلى تقليل التمثيل الكاربوني. يؤدي انسداد الثغور إلى زيادة مقاومة الميزوفيل الناتج عن شدة المسارات الايضية إلى تقليل التمثيل الكاربوني في وحدة المساحة أو كفاءة استخدام الإشعاع (RUE) نتيجة الإصابة بالمسبب السابق [52]. يصيب الفطر Neotyphodium الحشائش المعمرة مثل حشيش الشيلم تحت ظروف الجفاف صيفاً في بعض مناطق البحر الأبيض المتوسط [70].

الحشرات:

يعد ضرر الحشرات أحد أهم مشاكل الترب الفقيرة تحت ظروف الجفاف، إلا انه توجد معلومات محدودة عن مسبباتها وتأثيراتها. يرتبط هذا العامل مع عوامل إدارة المحصول والتربة

مثل التسميد والتغطية والكثافات النباتية، إذ أن زيادة إضافة السماد قد تزيد من وضع الحشرات لبيوضها على الورقة فضلاً عن زيادة عدد الحوريات على النباتات وموتها [133] ، بينما تقلل التغطية من كثافة الحوريات وموت النباتات، كما انها تزيد من محتوى التربة من الماء وهذا يؤدي إلى علاقة سالبة بين محتوى التربة من الماء وكثافة الحوريات لحشرة ذبابة الفاصوليا (*Ophiomyia sp.*). ترتبط بعض أضرار الحشرات بظروف الجفاف بصورة رئيسية عند نهاية الموسم، كما أن بعضها يقوم بنقل الفايروسات مثل المن [12]. يأتي تحسين الحاصل في الحنطة تحت ظروف الجفاف من تحسين إدارة المحصول والتربة (Agronomic improvement) والتحسين الوراثي (Genetic improvement)، ومن بينها تقليل ضرر الحشرات باستخدام المكافحة الحيوية بالمتطفلات والمفترسات [130]. يعد المن احد أهم الآفات الحشرية التي تصيب الحبوبيات في بعض مناطق البحر الأبيض المتوسط، إذ يختلف ضرر مستعمرات *Rhopalosiphum padi* و Sitobionavenea تحت ظروف الجفاف، فالجيل الأول لا يتأثر في حين تأثرت نسبة كبيرة في الجيل الثاني [96]. يمكن أن تتسبب بعض الحشرات التي تتغذى على الجذور بأضرار كبيرة في المجتمعات النباتية إذا ما ارتبطت بعوامل شد أخرى مثل الجفاف والرعي [14]. إن تسرب بعض الجينات إلى الأنواع البرية مثل أليلات المحاصيل التقليدية قد يزيد من تطور ظاهرة العشبية في المجتمعات البرية وبهذه الطريقة تسمح هذه الجينات (Transgenes) للنباتات بتحمل أنواع الشد الحيوي منها وغير الحيوي مثل الحشرات والجفاف بنفس التأثيرات [95]. قد تعتمد بعض النباتات تحت ظروف الجفاف على الفطريات المسماة (Endophyles) في الحصول على العناصر الغذائية [107].

الأدغال:

من المعلوم أن الأدغال تنافس المحاصيل على مدخلات النمو كالعناصر الغذائية والماء والضوء والمكان، فضلاً عن إفراز المواد المثبطة. عموماً يفضل استخدام المكافحة الحيوية للحد من تأثير الأدغال تحت ظروف الجفاف باستخدام آكلات الأعشاب أو الفطريات أو الحشرات ما أمكن [14]. قد تستخدم مبيدات الأدغال الكيماوية في المكافحة تحت ظروف الجفاف لتقليل تأثير شد آخر تسببه الأدغال وهو المنافسة، وبذا تزداد كفاءة النباتات الاقتصادية في استخدام مدخلات النمو [130]. وجد أن هناك اختلافاً في حاصل المادة الجافة لنباتات الأدغال تحت فترات الجفاف في المراعي بمقدار 3500 كغم/هـ [67]. على أية حال، فان تأثير الجفاف في الأدغال يكون في حاصل المادة الجافة الخضراء، على الرغم من تحمل الأدغال للبيئات القاسية من خلال عدة آليات تمتلكها. كما أن الأدغال تلعب دوراً مهماً في ظروف الجفاف، فليس هناك شك في دور كل من إدارة مكافحة الأدغال وتحسين تركيب الأنواع المرغوبة، لاسيما الأنواع الأساسية التي يعتقد أنها تتحمل الجفاف [99]. قد تحدد عوامل حيوية نمو جذور كثير من الأدغال مثل آكلات الأعشاب خصوصاً إذا ما ارتبطت بعامل الجفاف [14]. يقلل الجفاف من كثافات الأدغال، إذ قلل من كثافة نباتات بعض الأنواع من 5500 إلى 1000 نبات/م^2 [29]. عموماً، يتطلب تنفيذ برنامج قصير الأمد لمكافحة الأدغال لضمان انخفاض كثافتها تحت ظروف الجفاف لتكون نباتات المحصول المستفيد الرئيسي من الماء المتوفر لها.

بعض طرائق قياس تحمل الجفاف:

إن عدد الدراسات المنشورة التي تركز على قياسات الشد المائي على النباتات كثيرة، وقد تعاملت مع الجفاف كلياً أو جزئياً. عموماً فقد استخدم Williams وآخرون [134] ثلاث طرائق لمعرفة تحمل الذرة الصفراء للجفاف وهي:

1- تعريض البادرات إلى درجة حرارة 52 م° لمدة 6 ساعات ثم حساب الاسترداد (Recovery) بعد زراعتها.
2- تنبيت البذور في محلول Mannitol ذي ضغط ازموزي مقداره 15(dMPa) ثم انتخاب التراكيب ذات النسبة المئوية العالية للبزوغ.
3- إخضاع البادرات للذبول الدائم لمدة 14 يوماً في البيت الزجاجي، ثم ريها لمعرفة أدائها.

يمكن استخدام التحليل النظامي للبيانات المناخية الطويلة الأمد (50 سنة) كطريقة لتقدير تحمل الجفاف في المناطق المعتدلة بإدخالها في برامج التربية وإدارة المحصول، سيما إذا سلمنا بتقلبات المناخ والسخونة الكونية، كما أن الأمطار

الموسمية هي العامل المحدد للمحاصيل في المناطق غير الاروائية، وعلى احتمال 5% في كل يوم من السنة حدوث هبوط لدرجة الحرارة اقل من 5 م°، بذا يقدر عجز الماء بالفرق بين مجموع الأمطار الحاصلة في 7 أيام وجهد التبخر- نتح الفعلي (EP)، ويكون عجز الماء في 7 أيام أكثر من 50 ملم فيعرف بأنه جفاف [97].

قد يعبر عن الجفاف بالآتي:

1- محتوى الماء النسبي للورقة (Relative Water Content=RWC) .

أو الامتلاء النسبي (Relative turgidity) (RT).

$\overline{RWC} = \{(Fw-Dw) / (Tw-Dw)\} \times 100 = RT\%$

RWC= المحتوى النسبي لماء الورقة، Tw = وزن الجزء عند الامتلاء بعد وضعه بالماء لمدة ساعتين في الأقل، Dw= الوزن الجاف، Fw=الوزن الرطب، WD = عجز الماء. كذلك يمكن تقدير حالة النبات لتحمل الجفاف باختبار بعض اجزاءه في مقدار عجز الماء water deficit=WD، بحسب المعادلة:

$WD = \{(Tw-Fw) / (Tw-Dw)\} \times 100$

2- تبادل السائل (Liquid exchange).

تتضمن هذه الطريقة تغيرات في حجم وطول أشرطة نسيجية بعد إن تغطس في محاليل معلومة الجهد الازموزي. تتم القياسات من خلال التغير في التركيب بسبب الامتصاص أو الفقدان من الأنسجة، وتتضمن قياس دليل الانكسار (Refractive index) وطريقة الصبغة (Dye).

3- قياس ضغط البخار (Vapor pressure).

يستخدم فيه قياس (Thermocouple psychrometer) وقياس (Vapor pressure osmometer) ومنها تستخلص العلاقة بين الرطوبة النسبية والضغط البخاري وجهد الماء.

4- Pressure bomb

توضع الورقة بعد قطع بضع مليمترات من طرفها في اسطوانة في وعاء الضغط، فعندما يكون الجزء النباتي تحت الشد فان عصير الخشب يتراجع من القطع وعند انخفاض الضغط يرجع العصير إلى القطع.

5- دليل الحساسية للجفاف (Drought Sensitivity Index= DSI) [39].

$DSI = (1- \overline{Y/Yp}) / (\underline{1- X / \overline{X}p})$

Y = حاصل الصنف تحت الجفاف، Yp = حاصل نفس الصنف بدون جفاف، X = معدل حاصل كل الأصناف تحت ظروف الجفاف، Xp = معدل حاصل كل الأصناف بدون جفاف. تعد هذه الطريقة والطريقة الأولى من الطرائق البسيطة والناجحة للتعرف على مدى تحمل الصنف للجفاف.

قد يرتبط تحمل الجفاف بتعديل الحالة المائية العالية في النبات باعتماد عدد من المعايير الظاهرية والوظيفية مثل القيمة العالية لكثافة طول الجذر ومحتوى الماء النسبي للورقة والايصالية الثغرية تحت الجفاف [92]. قد تستخدم ثباتية التراكيب الوراثية للدلالة على تحمل الجفاف، إذ كان أداء أصناف من الحنطة ثابتاً تجاه الشدود البيئية لدى تحليل الثباتية فيها باستخدام الحاصل كمؤشر للجفاف [26].

كفاءة استخدام الماء:

تؤكد النتائج البحثية على ضرورة الحفاظ على المياه للزراعة والاستخدامات الصناعية والمنزلية الأخرى مع التأكيد على ضرورة تشخيص أصناف وأنواع وأجناس نباتية ذات تحمل عالٍ لقلة الماء لزيادة كفاءة استهلاكها له. إن تقنين الماء في المناطق الاروائية أصبح ضرورة ملحة، وتختلف كميات الاستهلاك المائي باختلاف أنواع المحاصيل (جدول 5).

جدول 5.معدلات الاستهلاك المائي لبعض المحاصيل والمقنن الحقلي وعدد الريات [39].

المحصول	الاستهلاك المائي ملم/موسم	المقنن الحقلي م^3/هـ/موسم	عدد الريات في الموسم
الحنطة	450	6000	8 -6
الشعير	400	5300	8 - 6
الباقلاء	430	5700	7
البرسيم	630	8400	12 - 10
ألجت	2300	32000	18
ألماش	460	6400	8
الذرة الصفراء	900	12600	12 - 10
الذرة البيضاء	850	12000	12 - 10

تتداخل كفاءة استخدام الماء مع عمليات إدارة المحصول، فقد وجد Tabo وآخرون [123] أن أصناف الذرة البيضاء المحلية في نايجيريا كانت أكثر كفاءة لاستخدام الماء وأفضل اعتراضاً للضوء تحت الكثافات العالية. استنتج أن المواعيد المبكرة للمحاصيل الصيفية تقلل الحاصل وكفاءة استخدام الماء عن المواعيد المتأخرة المزروعة تحت الكثافات العالية. كما أن للحراثة تأثيراً في كفاءة استهلاك الماء نتيجة تأثيرها في مكونات التوازن المائي في التربة [35, 137]. إذ أُحتُسِبَ التوازن المائي وسيلة لتقدير (ET) أثناء موسم النمو [124]. قد تزيد الحراثة مع تحسين غطاء الأرض ببقايا المحاصيل من جاهزية الماء للمحاصيل في المناطق شبه القاحلة [87]، وبالتالي تحسين كفاءة استخدام الماء معبراً عنه بالتبخر نتح (ET) محسوباً من الأمطار والتغير في المحتوى المائي لمقد التربة أو ماء التربة المخزون في عمق 90 سم ولمدد مختلفة من نمو المحصول. وجد Qin وآخرون [98] أن كفاءة استخدام الماء وكفاءة استخدام ماء الري بتأثير الزراعة المغمورة وأغطية القش هي أعلى من تأثير أغطية القش ثم المعاملة بدون تغطية، وهذا يعني أن معدل ET تحت التغطية بالقش هو اقل مما في الزراعة المغمورة والتغطية بدون قش. يمكن تحسين كفاءة استخدام الماء بإضافة N وإتباع الري التكميلي لأنه يسد ثلثي متطلبات الري مع الزراعة المبكرة في ظروف البحر الأبيض المتوسط [94].

إن الفهم الجيد للعوامل المحددة وتنظيم الحاصل يعطينا تشخيصاً للانتخاب على أساس المكونات والصفات الوظيفية والمظهرية [6] التي تزيد من كفاءة استخدام الماء والحاصل تحت الظروف المطرية [100]، كما في محصول الحنطة كمثال على الحبوبيات، إذ يرتبط بتداخل الوراثة x السنين أو الوراثة x المواقع أو الوراثة x السنين x المواقع. يمكن تحسين كفاءة استهلاك الماء في الحنطة بإتباع أنظمة الدورة الزراعية مع محصول عريض الأوراق، إذ أن زراعة الحنطة مع بزاليا الحمام (Pigeon pea) زادت من كفاءة استهلاك الماء بمقدار 18% – 55% [125]. راجع Purcell [97] عدة معادلات لتقدير المتغيرات الحيوية وحساب كفاءة الاستهلاك المائي منه، فقد اعتبر أن سبعة أيام عجز مائي اكبر من 50 ملم تعد جفافاً. وجد أن اختزال حجم الورقة وزيادة معدل نمو البذرة ينتج عنه انخفاض في الحاصل ونسبة حاصل الحبوب إلى معدل ET [118]، وهذا قد يعزى إلى انخفاض كفاءة استخدام الماء يرافقه انخفاض عمق الماء المستخلص، كما أن هناك ما يسمى بكفاءة استخدام الإشعاع (Radiation Use Efficiency = RUE) المرتبطة باعتراض الضوء، ولأجل زيادة كفاءة استهلاك الماء عند الزراعة الاروائية يتم زيادة المخرجات في وحدة الماء (مفاهيم إدارة المحصول الزراعية والهندسية) ومنها، تقليل خسائر الماء غير المقيد وتقليل تدهور الماء (المفاهيم البيئية)

وإعادة تخصيص الماء للاستخدامات الأولية العالية (المفاهيم الاجتماعية)، لذا فان كفاءة الاستهلاك المائي ذات مدى واسع مقارنة بالتطبيقات الزراعية التي يجب أن تؤخذ بنظر الاعتبار في مقاييس مسك الماء ومناطق إضافة الماء وعمليات الري [65]. قد ترتبط كفاءة استخدام الماء بكفاءة استخدام التساقط (Precipitation Use Efficiency = PUE) التي تتزايد لدى إتباع أنظمة زراعية صارمة في ظروف المناطق شبه القاحلة وزيادة الكثافة النباتية في ظروف المناطق المعتدلة والرطبة. إن تطور عمليات إدارة العناصر يمكن أن تزيد من كفاءة استهلاك الماء بمقدار 15%- 25%، فهي تزداد مع إتباع الإدارة الصحيحة، وان هذه التغيرات ذات تأثير ايجابي في الحاصل [61]، لذا فقد يعبر عن كفاءة الاستهلاك المائي بالمعادلة التالية:

$$WUE = Y / ET$$

حيث WUE= كفاءة استخدام الماء و Y = حاصل النبات.

إن مقدار نمو المجموع الخضري يتأثر بدرجة جاهزية رطوبة التربة ضمن مدى قريب من التشبع إلى أن يقترب من الذبول الدائم [62]. هناك بعض الأنواع النباتية لها المقدرة على امتصاص الماء من أعماق مختلفة، فالبرسيم الأبيض قلل من محتوى ماء التربة بعد انقضاء 30 يوماً من الجفاف وعلى أعماق 20 و 60 و 90 سم، وكذلك حشيش الشيلم والقنبو الطويل، إلا انه حافظ على مخزون الكاربوهيدرات بعد عشرة أيام من الاسترداد [73]. ارتبطت كفاءة استهلاك الماء بالمساحة الورقية ومقياس الكلوروفيل بحسب جهاز (SPAD)، لذا اقترحت هاتان الصفتان للانتخاب لكفاءة الاستهلاك المائي في فستق الحقل[93]. كما وجد Sow وآخرون [121] أن كفاءة استهلاك الماء تزداد بعمل الحواجز الرملية على الأخاديد التي تحسن خزن الماء المتساقط بتقليل الطفح السطحي وزيادة الارتشاح، مما ينعكس على زيادة حاصل الذرة البيضاء. قد يرتبط استهلاك الماء باستهلاك المطر، لاسيما في الأراضي غير الاروائية، فقد لاحظ Bennie وآخرون [12] أن زراعة الذرة الصفراء والحنطة باستمرار تحت حراثة تقليدية أعطت أعلى كفاءة لاستهلاك المطر. اقترح Sadras [103] استخدام أنموذج البعد المتعدد في دراسة مكونات ترشيد استهلاك الماء لمحصول الحنطة بتأثير معدل المطر والطفح والبزل عن المنطقة الجذرية ومعدل (ET).

آليات تحمل الجفاف

هناك العديد من الآليات التي تبين تحمل شد الجفاف في النبات ولا زالت البحوث جارية لشرح الآليات التي تبقي النبات حياً أثناء تعرضه لفترات عجز الماء.

أولاً: الأساس الوراثي لتحمل الجفاف:

حصل تقدم بسيط جداً في تشخيص المحددات الوراثية لتحمل الجفاف بسبب كونها ظاهرة معقدة ومؤلفة من عدد من العمليات الكيموحيوية- الوظيفية على مستوى مختلف من مراحل تشكل الخلايا والأنسجة [129]. بينت دراسة مواقع الصفات الكمية (QTL) أن 27 موقعاً اختصت بسبع صفات لأداء الملائمة (Fitness) والحاصل وست مواقع خاصة بخمس صفات للجذر و38 موقعاً لسبع صفات للجذر تحت ظروف الجفاف موضحة بذلك تعقد الأساس الوراثي لآلية تحمل الجفاف [139]. كما تتضمن دراسة (QTL) الأساس الوراثي لمعظم الصفات المرتبطة بتحمل الجفاف مثل التعديل الازموزي [143,142] وثبات جدار الخلية [129] ومحتوى حامض ABA وتنظيم عمل الثغور وحالة الورقة المائية وشكل الجذر، وتسيطر هذه المواقع على الصفات الوظيفية المعقدة [139]. لأجل فهم الآليات الجزيئية لتحمل الجفاف في سلالات المحاصيل المحسنة يجب استخدام الأدوات الجينومية للأصناف، فالطرائق التي تعتمد على تحديد مواقع التعبير الجيني والمعالم الجزيئية تعطي فرصاً لتوجيه برامج التربية نحو هذا الهدف [19]. لقد حدد Harris وآخرون [59] عدداً من (QTL) لصفة بقاء الأوراق خضراء (Stay green) في الذرة البيضاء، منها stg1 و stg2 و stg3 و stg4 التي تمثل نقطة البداية للتحليل الأكثر عمقاً لهذه الصفة بالتداخل مع المواقع وعزل الجينات المسؤولة عن هذه الصفة. تعد تقنيات الهندسة الوراثية من أسرع الطرائق لتحسين تحمل المحاصيل للشد المائي مقارنة بطرائق التربية التقليدية. كما أن هناك تعقيداً كبيراً في الآليات الجزيئية لاستجابة النبات للشد [89]، لاسيما آلية التزهير.

ثانياً: الأساس الوظيفي لتحمل الجفاف:

يعد المجموع الخضري الجزء الأكثر حساسية للجفاف مقارنة بالمجموع الجذري، وهناك فهم غير ناضج بما يتعلق بالعمليات الوظيفية المسؤولة عن صفات بقاء النبات مخضراً [4]. وجد Borrell وآخرون [16] أن هجن الذرة البيضاء ذات الاخضرار المتأخر كان لها أعلى حاصل عند تعرضها للجفاف بعد التزهير، مقارنة بالهجن التي لا تمتلك هذه الصفة. إن أقلمة الذرة البيضاء للجفاف بعد التزهير يرتبط بالطراز الوراثي [59]. كما أن تجزئة المادة الجافة للرأس ينتج عنه تقليل عدد السنيبلات المتكونة عليه مما يسهل عقد البذور الكلي بتقليل عوائق الماء والكاربون بالسنيبلة [19]. يعد اقل انخفاض في محتوى الماء للذرة البيضاء عندما ينخفض جهد ماء الورقة، وهي سمة الأنواع النباتية المتحملة للجفاف [67, 106]. تبين من خلال عدد من الدراسات أن البذور التي تتشكل تحت ظروف الجفاف يزداد محتواها من أنواع محددة من البروتينات، كما قد يتسبب انخفاض المحتوى المائي بزيادة تركيز البرولين [28]. وجد Harrak وآخرون [58] أن هناك تجمعاً لبعض البروتينات يحدث في خشب الجذور تحت ظروف الجفاف، وتحتوي تلك البروتينات على عدد من الأحماض الامينية مثل Proline و Threonine و Glycine، كذلك فأن لحامض ABA دوراً مهماً في تحمل الجفاف، إذ وجد أن الأنواع المتحملة للجفاف تحتوي على الحامض المذكور بمستويات معينة، فضلاً عن أن هناك تداخلاً بينه وبين إنتاج الاثيلين وهذا التداخل على علاقة وثيقة بحالة ABA وتأثيره في نمو المجموع الخضري والجذري [20]. اتضح أيضاً أن الجهد الازموزي له آلية واعدة من خلال تداخله مع التأثيرات السريعة المؤدية إلى انخفاض جهد الورقة المائي [51].

ثالثاً: الأساس المظهري:

إن السبب الرئيسي في بطء تقدم برامج التربية لتحمل الجفاف في بعض المحاصيل هو تعقد ظروف الجفاف. هنالك ثلاثة أنواع من الجفاف هي: المبكر الذي يسبب تأخر موعد الزراعة، والمتوسط الذي يكون قاسياً وذو فعل تراكمي، والمتأخر الذي يظهر تأثيره جلياً في التراكيب المتأخرة النضج، لذا يمكن القول أن الآليات الشكلية لتحمل الجفاف تعتمد على الصفات المظهرية مثل ارتفاع النبات وشكل الورقة وزاوية ميلها وانبساطها وصفات الجذر [43, 44, 109]. تتميز الصفات المظهرية بأنها أكثر أهمية كونها تجمع بين نمو المحصول وتشكله مع حالة الماء، فتعمق الجذور وكثافتها العالية عند عمق معين يغير من المقدرة على استخلاص الماء لكنه لن يكون ذا فائدة تحت الظروف المطرية. تنمو التراكيب الوراثية التي تعدل اكبر جهد مائي للورقة بشكل أفضل تحت الظروف المحدودة الماء [45]. قد يتأثر عدد من الصفات المظهرية بمعاملات الشد المائي، إذ تبين من خلال الدراسة التي أعدها Ivandic وآخرون [68] أن هناك درجة عالية من التباين المظهري في المجتمع لدى دراسة تداخل التركيب الوراثي x الشد المائي و التربة x الشد المائي، وان أول ثلاث مكونات رئيسية = (Principal component analysis (PCA فسرت 88.8% من التباين الموجود في المجتمع. يتحدد إنتاج الحبوب والبروتين في فول الصويا بنقص تثبيت N2 تحت ظروف الجفاف مع وجود تباين بين الأصناف في حساسيتها للجفاف أثناء عملية التثبيت [50, 77]، عموماً يمكن إيجاز آليات تحمل الجفاف بما تم ذكره آنفاً.

التربية لتحمل الجفاف:

تمت غربلة النباتات المتحملة للجفاف بشكل ضئيل، إلا أن هناك محاولات عديدة للانتخاب للصفات المظهرية مثل نظام جذري كثيف وثغور اقل، فقد ميّز Muleba وآخرون [91] تراكيب وراثية عالية الحاصل باستخدام الانتخاب التكراري لمحصول اللوبيا، إذ أظهرت بعض التراكيب ثباتاً في الحاصل بأقلمة النباتات لظروف المناطق شبه القاحلة. استخدم Opadhyaya [93] تحليل المكون الرئيسي (PCA) لتحديد السلالات من فستق الحقل المجهدة مائياً في برامج الانتخاب وأشار إلى أن هناك اختلافاً بين السلالات المنتخبة عن سلالات المقارنة ويمكن أن تستخدم في برامج تحسين هذا المحصول لاستنباط أصناف بقاعدة وراثية واسعة لتحمل الجفاف. أظهرت بعض أصناف ألنوع من محاصيل الحبوب فروقاً معنوية فيما بينها في حاصل الحبوب وعدد الأيام حتى النضج وارتفاع النبات ووزن الحبة، وان كلاً من الوزن الجاف وارتفاع النبات ووزن الحبة قد ارتبط ايجابياً مع حاصل الحبوب، مما يدل على أنها ساهمت بشكل مباشر أو غير مباشر في حاصل الحبوب تحت ظروف الرطوبة المنخفضة،

لذا يمكن أن تدخل هذه الصفات كمعايير في الانتخاب لتحمل الجفاف [26 ,120]. إن استخدام ظروف الشد الحراري قد أظهرت تبايناً وراثياً لصفات حاصل الحبوب وعدد الأيام حتى 50% تزهير ذكري والمدة بين التزهير الذكري والأنثوي وعدد العرانيص الخصبة وعدد حبوب العرنوص في أوقات محددة خلال مراحل تشكل نباتات الذرة الصفراء قيد الانتخاب [21]. قد يعزى تحسين التحمل للجفاف إلى الانتخاب في الظروف الجيدة للماء وتحت الشد المائي المدار بشكل جيد عند الإزهار، مما قد ينتج عنه تجزئة اكبر للمادة الجافة باتجاه العرنوص وبالتالي زيادة دليل الحصاد [32]. لاحظ Mahmood وآخرون [84] أن لبعض التراكيب الوراثية في الحنطة اختلافات معنوية في شكل تعرق الورقة وعدد الثغور وحجم خلايا البشرة ومساحة ورقة العلم وحاصل الحبوب ومكوناته، وتبين من خلال تحليل البيانات أن جميع الصفات تخضع لفعل ألجين المضيف ما عدا مساحة ورقة العلم التي تقع تحت سيطرة الفعل الجيني المتفوق. كما افترض أن تكون العوامل الوراثية تحت سيطرة الجينات المتعددة بتأثير التفوق السيادي والمتنحي، لذا فان تقديرات نسبة التوريث تشير إلى إمكانية استخدام بعض تضريبات سلالات الذرة البيضاء كآباء لتحسين حالة النبات المائية. وجد ارتباط بين تجمع المادة الجافة وجهد الماء ونسبة فقدان الرطوبة ومحتوى الماء النسبي وجهد الماء بفعل الانتخاب غير المباشر لتحسين تحمل الجفاف [76]. إن استخدام معايير الثبات التي أطلقها كل من Eberhart و Russel تجاه البيئة كانت b=1.04 (S^2=0.13) للأصناف المحسنة و b=0.65 (S^2=0.22) للصنف المحلي تحت ظروف الجفاف. اقترح Basel وآخرون [11] أن معايير الجذر ومحتوى الماء الأولي وفقدان ماء الورقة يمكن أن تعتمد كمعايير في الانتخاب لتحمل الجفاف وان سلالات القطن المحايدة للضوء يمكن أن تستخدم كمصدر للتباين الوراثي في برامج تحسين التحمل للجفاف. زاد الانتخاب لتحمل الجفاف من المادة الجافة والنايتروجين عند النضج، فضلاً عن ارتباط دورات الانتخاب بتأخير شيخوخة الأوراق، مما يشير إلى أن نايتروجين الورقة قد استخدم بفعالية عالية لإنتاج الحبوب[10]. إن الفائدة من الانتخاب غير المباشر هو أن الانتخاب لظروف الشد الرطوبي تحسن الحاصل تحت الشد أفضل من الانتخاب تحت ظروف الرطوبة الطبيعية (بدون شد)[56]. إن خطط التربية المعتمدة على الانتخاب على المتوسط الهندسي المتبوع بالانتخاب على أساس الحاصل تحت الشد، يعد أسلوباً فعالاً في تحسين تحمل الجفاف لمحصول الباقلاء [108]. قد يحسن الانتخاب في التجارب الاروائية (بدون شد) من الحاصل في ظروف الجفاف بشكل أفضل من الانتخاب في تجارب متعرضة للشد لبعض المحاصيل مثل فول الصويا [94]. استعرض Elsahookie [40] عدة أفكار ونتائج لعدد من المحاصيل باستخدام طرائق التربية والتحسين في المحاصيل الحقلية، وهي بالانتخاب أو بالتهجين أو كلاهما معاً، ولأجل الاستفادة من تغايرات المكونات الوراثية الفسلجية – المظهرية لإنتاج المحصول تحت الشد المائي، وبذا فان التغايرات في الأجناس أوسع مما في الأنواع والتغايرات في الأخيرة أوسع من تغايرات أصناف النوع الواحد. بيّن Elsahookie [40] أسس وآفاق تربية المحاصيل البقولية البذرية لتحمل الاجهادات البيئية المختلفة لضمان إنتاجية جيدة وبثبات مظهري عال من موسم لآخر وفي مواقع مختلفة، كما استعرض عدة آراء للعديد من الباحثين حول وراثة وتحسين هذه المحاصيل كفول الصويا و ألماش والعدس والحمص، فضلاً عن استعراض طرائق التربية بالمعلّمات الجزيئية مثل RFLP و AFLP و RAPD و SNP [42]، التي توفر الكثير من الوقت والجهد والمال اللازم في برامج التربية التقليدية، كما تساهم في فهم آليات تحمل الجفاف.

عمد عدة باحثين بطرائق مختلفة إلى تحديد آلية الجفاف والجينات المسؤولة عنها في عدة أجناس نباتية [140, 87, 83, 82, 75, 60, 57, 25, 23, 22, 7]. لأجل وضع برنامج لاستنباط أو تطوير مواد وراثية تتحمل الجفاف لابد من الآتي:

1- زراعة عدة أصناف عالية التغاير وذات قيمة توريث عالية لآليات تحمل الجفاف.
2- زراعة مساحات واسعة لتقييم عشرات الآلاف من النباتات لكل صنف أو تركيب وراثي تحت شد مائي معين، يحدد إما بفترة الري أو بالشد المائي.

3- تكون الزراعة والانتخاب ببرنامج خلية النحل (Honeycomb) وتنتخب النباتات المتحملة للجفاف ويقاس معدل نموها وحاصلها وكافة القياسات العلمية المتعلقة بآليات تحمل الجفاف.
4- إذا كان بالإمكان تشخيص QTL جزيئياً لتلك التراكيب وبعدها يصار إلى عملية تضريب بين التراكيب المتكاملة الصفات في التحمل للاستفادة من فعل الجين المضيف أولاً ثم التفوق ثانياً..
5- زراعة التضريبات وانعزالاتها مرة أخرى وتجرى عليها عملية التلقيح الذاتي والانتخاب تحت ظروف محددة من الشد المائي، وتحدد معدلات النمو والحاصل ودليل الحصاد ومعدل (RWC) الذي كانت تحته وكذلك قياس معدل الشد المائي (dMPa).

الجفاف متلازمة حيوية – فيزيائية معقدة تتأثر بعوامل المناخ، وتخضع لنماذج معقدة الأبعاد بحسب المنحنى الخطي. يدعم المفهوم المناخي رؤى تجنب الجفاف في إدارة وتربية المحاصيل، إذ أن تحمل الجفاف والهروب منه ليس له أساس وراثي مطلق، وهذا ما أكدته الدراسات التي طبقت بالاستعانة بالمعلمات الجزيئية لدراسة المواقع (QTL)، ويستغل هذا المفهوم في مجالات فسلجة ووراثة وتربية النبات. قد تكون بعض عمليات إدارة المحصول مفيدة في التغلب على الجفاف مثل استخدام الأغطية المختلفة والحراثة وأعماق الزراعة ومنظمات النمو النباتية لأنها تتأثر بالعوامل المحيطة بالمحصول التي قد يزداد الحاصل بها جزئياً أو كلياً. تشير دراسة الحساسية للجفاف إلى ارتباط تحمل الجفاف بتعديل الحالة المائية للنبات. إن قياس بعض المعايير المناخية له أهمية بالغة في دراسة الجفاف مثل كفاءة استخدام الإشعاع وكفاءة استخدام ماء المطر وكفاءة استخدام ماء الري. يلعب الانتخاب دوراً مهماً في تعقب ذريات المحاصيل التي تمتلك استجابة في أجيالها المنعزلة بسرعة للانتخاب تحت ظروف الجفاف، إذ يحسن الانتخاب من دليل الحصاد. تزيد درجات الحرارة العالية من قلة تحمل المحاصيل للجفاف بسبب انخفاض إنتاج المادة الجافة، لذا فان النباتات تتخذ عدة آليات منها تجنب الجفاف وتحمل الجفاف لكي تتغلب على عجز الماء. إن من الضروري أن تتمتع السلالات الأبوية بمستويات جيدة لتحمل الجفاف، وذلك لإعطاء فرصة اكبر للهجين الناتج من التضريب فيما بينها كي يمتلك أداءً مقبولاً تحت ظروف شد الجفاف القاسي. فإطالة عمر الورقة بطرائق التربية للهجن الجديدة يرتبط اكثر بعلاقة المصدر والمصب أثناء امتلاء الحبة، لذا فان كفاءة الاستهلاك المائي يمكن أن تزداد بإدارة صحيحة مع تحليل نظام صفات الثباتية لزيادة حاصل الحبوب تحت قلة تجهيز الماء. إن الطرائق الرئيسية لزيادة كفاءة الاستهلاك المائي تتم بزيادة النواتج بوحدة الماء وتقليل خسائر الماء غير المستخدم وتقليل تدهور الماء وإعادة تخصيص الماء للاستخدامات ذات الأولوية العالية. إن مكونات الحاصل الوراثية – الفسلجية هي صفة مرتبطة بالوراثة من جهة وتتأثر بمدخلات النمو من جهة أخرى.

يجب أن تتم دراسة المواصفات الوراثية بنوع من الجدية تحت ظروف الجفاف، لان كفاءة الاستهلاك المائي تتحسن بتقنين عمليات الري ومستويات مناسبة من N2 مع الزراعة بمواعيد مبكرة نوعاً ما ضمن برامج تربية محكمة. يؤدي الانتخاب إلى تغايرات مظهرية ووظيفية وتميز في تحمل شد النايتروجين، كما يؤدي إلى اكبر تجزئة للمادة الجافة للعرنوص وزيادة دليل الحصاد. إن لتحليل الثباتية أهمية بالغة في معرفة أداء التراكيب الوراثية المستقر تجاه ظروف الشد المائي، إذ أن ثبات الحاصل يعد من أهم أساسيات التربية لتحمل الجفاف. لكل مرحلة من مراحل نمو المحصول أهميتها الخاصة في أداء المحصول تحت الجفاف، لذا يجب عدم إغفال أي منها، لاسيما مرحلة ما قبل التزهير ومرحلة النضج الفسلجي. إن تضافر الجهود وتكامل الدراسات الوراثية – الفسلجية – المظهرية – البيئية التي ترافقها تقانات إحصائية فعالة، سوف تساهم في إيضاح فسلجة الشد وكفاءة برامج التربية في تشخيص واستنباط التراكيب الوراثية لتحمل الجفاف، كما لا يفوتنا ذكر الطرائق التي تتضمن استخدام المعلمات الجزيئية في تربية النبات، التي يمكن من خلالها الحصول على نتائج أسرع وأدق واقل كلفة مما هي عليه في السابق. تحتاج التربة لتقليل ضرر الجفاف إلى مسك ماء المطر وتخزينه بأكبر كمية ممكنة للاستخدام المستقبلي للنبات والسماح لجذور النبات بالاختراق والانتشار، وبذا يمكن زيادة المادة العضوية التي تزيد من مخزون الماء لكل متر مربع من الأرض، كما

أن التغطية الأرضية تزيد من معدل ارتشاح الماء وتقلل تبخر ماء التربة، لذا فان جمع هذه المدخلات معاً تحت إدارة مثلى وبرامج تربية فعالة سوف تقلل من اثر الجفاف في حاصلات المحاصيل، والحصول على إنتاجية أعلى بنفس المدخلات المائية المستخدمة لتلك المحاصيل، أو الحصول على إنتاجية اقل بقليل تحت ظروف الشد المائي. إن ذلك لن يكون في أي دولة ما لم تضمن ثلاثة عوامل أساسية، عمق البحث العلمي المتخصص ودقة القرارات الزراعية المتخذة إدارياً ودقة التنفيذ من قبل المتعاقد معهم من الشركات لتنفيذ بنود ذلك الاتفاق أو العقد.

المصـــادر

1-إسماعيل، حميد نشأت. 1990. الري والبزل والملوحة. المصدر العالمي للمعلومات. الجزء الثاني. كتاب مترجم. كلية الهندسة. جامعة بغداد. ص 647-648.

2-ألنعيمي، واثب شكري. بسام الدين الخطيب، هشام الخطيب. 2008. تأثير مخلفات الورق الصناعي ومسحوق الشنبلان في تحسين بعض خصائص التربة الفيزيائية ونمو حاصل الباميا. مجلة العلوم الزراعية العراقية. 39(1):1-13.

3-المنظمة العربية للتنمية الزراعية. 2000. ظاهرة الجفاف وتأثيرها على الإنتاج الزراعي والتقانات المستخدمة لدرئها. مجلة الزراعة والتنمية في الوطن العربي. 2: 24-35.

4. Alalousi, A.A. and M.M. Elsahookie. 2006. Maize hybrid-inbred response to sufficient and in sufficient water. I. Genetic-physiologic yield components. J. Tikrit Univ. Agric Sci. 6(3):116-129.

5. Alalousi, A.A. and M.M. Elsahookie.2006. Hybrid-inbred response of maize under sufficient and insufficient nitrogen: II. Genetic-morphologic yield components. The Iraqi. J. Agric. Sci. 37(3):67-74.

6. Alalousi, A. A. and M. M. Elsahookie. 2006. Hybrid-inbred response of maize under sufficient and insufficient nitrogen: III. Genetic-physiologic yield components. Iraqi. J. Agric. Sci. 37(3):75-84.

7. Atlin, G. N., H. R. Lafitte, D. Tao, M. Laza, M. Amante and B. Courtois. 2006. Developing rice cultivars for high fertility upland systems in the Asian tropics. Field Crops Res. 97: 43-52.

8. Baker, D. N. and R. B. Musgrave. l964. The effect of low level moisture stresses on the rate of apparent photosynthesis in corn. Crop Sci.4:249-253.

9. Ball, R. A., L. C. Purcell and E. D. Vories. 2000. Optimizing soybean plant population for a short- season production system in the southern USA. Agron. J. 4:603-611.

10. Banziger, M., G. O. Edmeades and H. R. Lafitte. 1999. Selection for drought tolerance increases maize yields across a range of nitrogen levels. Crop Sci. 39: 1035 - 1040.

11. Basel, H., C. W. Smith, P. S. Thaxtony and K. Hemphill. 2005. Seedling drought in upland cotton. Crop Sci. 4:766-771.

12. Bennie, A. T., J. E. Hoffman and M. J. Coetzee. 1995. Sustainable crop production on Aeolian sandy semi-arid soils in South Africa. Crop Sci. 3(1): 67- 72.

13. Betran, F. J., D. Beck, M. Banziger and G.O. Edmeades. 2003. Genetic analysis of inbred and hybrid grain yield under stress and non stress environments in tropical maize. Crop Sci. 43: 807-817.

14. Blossey, B. and T. R. Hunt-Joshi. 2003. Belowground and aboveground herbivores. Ann. Rev. Entomol. 48:521-547.

15. Borlaug, N. 2002. The Green Revolution Revisited and the Road Ahead, Nobel Peace Prize Anniversary Lecture. Online at htt://nobelprize,org/nobel-prizes/peace/articles/boraug/index.html.

16. Borrell, A. K., G. L. Hammer and R. G. Henzel. 2000. Does maintaining green leaf area in sorghum improve yield under drought? III. Dry matter production and yield. Crop Sci: 40:1037-1048.

17. Boyer, J. S. 1970. Differing sensitivity of photosynthesis to low leaf water potentials in corn and soybean. Plant Plysiol. 46:236-239.

18. Boyer, J. S. 1970. A Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean and sunflower at various leaf water potentials. Plant Plysiol. 46:233-235.

19. Bruce, W. B., G. O. Edmeades and T. C. Barker. 2002. Molecular and physiologic approaches to maize improvement for drought tolerance. J. Exp. Bot. 53(366):13-25.

20. Cellier, F., G. Coneyer, O.J. Breitler and F. Casse. 1998. Molecular and physiological responses to water deficit in drought-tolerant and drought sensitive lines of sunflower. Plant Physiol. 116:319-328.

21. Chappman, S.C. and G.O. Edmeades. 2001. Selection improves drought tolerance in tropical maize populations:II. Direct and correlated responses among secondary traits. Crop Sci.39:1315-1324.

22. Chen Z.Z., X.H. Hong, H.R. Zhang, Y.Q. Wang, X. Li, J.K. Zhu and Z.Z. Gong. 2005. Disruption of the cellulose synthase gene, AtCesA8/IRX1, enhance drought and osmotic stress tolerance in Arabidopsis. The Plant J. 43: 273-283.

23. Chini, A., J.J. Grant, M. Seki, K. Shinozaki and G.J. Looke. 2004. Drought tolerance established by enhanced expression of the CC-MBS-LRR gene, ADR, requires salicylic acid, EDSI and ABII. The Plant J. 38: 810-822.

24. Collins, G. N. 1948. A drought resisting adaptation in seedling of Hopi maize. J. Agric. Res. 42: 243-302.

25. Condon, A.G., R.A. Richards, G.J. Rebetzke and G.D. Fraquhar. 2004. Breeding for high water-use efiiciency. J. Exptl. Bot. 55: 2447-2450.

26. Debelo, D., B. Girma, Z.A.Yehu and S. Gelalcha. 2001. Drought tolerance of some bread wheat genotypes in Ethiopia. Afric. Crop Sci. 9(2):385.391.

27. Denmeadl, D.T. and R.H. Shaw.1960. The effect of moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn. Byron J. 52:277-274.

28. DeRonde, J.A., A.V. Mescht and H.S.F. Steyn. 2000. Proline accumulation in response to drought and heat stress in cotton. Afric. Crop Sci.8(1):82-91.

29. Dowling, P.M., A.R. Leys, B. Verbeek, G.D. Miller, D. Lemerle and H.I.Nicol.2004. Effect of annual pasture composition, plant density, soil fertility and drought on vulpia (Vulpia bromoides L.). Aust. J. Agric. Res. 55:1097-1107.

30. Du, Y.J., Z.Z. Li and W.L. Li.2005. Effect of water control and plastic-film mulch on growth and the range of size inequalities in spring wheat (*Triticurm aestivum*) populations. New Zealand J.Crop & Hort.Sci. 33:251-260.

31. Dungan, H.G. 1950. Responses of corn to extremely deep planting. Agron.J. 42:256-257.

32. Edmeades, G.O., J. Bolanos, S.C. Chapman, H.R. Lafitte and M.Banziger.1999.Selection improves drought tolerance in tropical maize population: I. Gains biomass, grain yield and harvest index. Crop Sci. 39:1306-1315.

33. Edsall, J.T. and H.A. Mckenzie.1978. Water and protein .I. The significance and structure of water: Its interaction with electrolytes and non - electrolytes. Adv. Biophys.10:137-207.

34. Edwards, J.T. and L.C. Purcell. 2005. Soybean yield and biomass responses to increasing plant population among diverse maturity groups I .Agronomic characteristics. Crop Sci.45:1770-1777.

35. Elmaeni, A.H. and M.M Elsahookie.1987. Response of maize to plowing depth and listing. The Iraqi J.Agric.Sci.5(2): 167-180.

36. Elmuttalibi, S.A. and M.M .Elsahookie.1990. Impact of irrigation interval and planting depth on growth and yield of maize. Grain yield and components. The Iraqi J. Agric. Sci. 21(2):274-294.

37. Elmuttalibi, S.A. and M.M. Elsahookie.1992. Impact of irrigation interval &planting depth on growth of root, stem & leaves of maize. The Iraqi J.Agric.Sci.23(2):71-81.

38. Elsahookie, M.M. and C.W. Wassom. 1984. Genotypic responses of corn (*Zea mays* L.) to deep planting. Iraqi J. Agric. Sci.(Zanco)2(3):15-32.

39. Elsahookie, M.M. 1993. Farming on Degraded Lands.

40. Elsahookie, M.M. 1999. Bases and approaches of seed legumes breeding. The Iraqi J. Agric. Sci.30(2):289-308.

41. Elsahookie, M.M. 2004. Approaches of selection and breeding for higher yield crops. The Iraqi J. Agric. Sci. 35(1):71-78.

42. Elsahookie, M.M. 2006. Molecular markers assisted plant breeding. The Iraqi J. Agric. Sci. 37(4):67-72.

43. Elsahookie, M.M., A. Mahmood and F. Oraha. 2006. Skip irrigation, variability of tassel and silk, and leaf removal relationship to maize grain yield. The Iraqi J. Agric. Sci. 37(1): 123-182.

44. Elsahookie, M.M., F. Oraha, and A. Mahmood. 2006. Role of skip irrigation, males: females rows, and location in sunflower performance. The Iraqi J. Agric. Sci. 37(1): 177- 122.

45. Elsharkawy, M.A. and J.D. Hsketh.1964. Effects of temperature and water deficit on leaf photosynthetic rates of different species. Crop Sci. 4: 14-518.

46. Falkenmark, M. and J. Rockstrom. 2004. Balancing Water Humans and Nature. Earthscan, U.K, London.

47. Feil, B., S.B. Moser, S. Jampatony and P.Stamp.2005. Mineral composition of grains of tropical maize varieties as affected by pre-anthesis is drought and rate of nitrogen fertilization. Crop Sci. 45:516-527.

48. Fereres, E. and M.A. Soriano. 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. J. Exp. Bot. 58: 147-159.

49. Frederick, K. 1997. Water Resources and Climate Change. Climate Issues Brief No.3, Resources for the future, Washington, D.C., U.S.A.

50. Frederick. G.R., C.R. Camp and P.J. Bauer. 2001. Drought stress effects on branch and main stem seed yield and yield components of determinate soybean. Crop Sci.41:759-763.

51. Fukai, S. and M. Cooper.1995. Development of drought-resistant cultivars using physiomorphological traits in rice. Field Crops Res.40:67-86.

52. Gent, M.P.N., J.A. LaMondia, F.J. Ferrandino, W.H. Elmer and K.A. Stoner.1999. The influence of compost amendment or straw mulch on the reduction of gas exchange in potato by *Verticillium dahliae* and *Pratylenchus penetrans*. Plant Dis.83:371-376.

53. Gheysari, M., M.S. Mirlatifi, M.E Asadi., M. Homaee, G. Hoogenboom. 2007. The impact of different levels of nitrogen fertigation and irrigation on nitrogen leaching of corn silage. ASABE Annual International Meeting. Minneapolis, Minnesota. USA.

54. Gleick, P. 2006. The World Water (2006 -2007): The Biennial Report on Freshwater Reso., Island Press, USA, Washington, D.C.

55. Glover ,G.1960. The apparent behavior of maize and sorghum stomata during and after drought .Agron .Sci. 53: 412 -117.

56. Golabadi, M., A. Arzani and S.A.M. Mirmohammadi.2006. Assessment of drought tolerance segregating populations in durum wheat. Afric. J. Agric. Res. 1(5):162-171.

57. Hall, N.M., H. Griffith, J.A. Corlett, H.G. Jones, J. Lynn and G.J. King.2005. Relationships between water-use traits and photosynthesis in *Brassica oleracea* resolved by quantitative genetic analysis. Plant Breeding. 124: 557-564.

58. Harrak, H., H. Chamberland, M. plante, G. Bellemere, J.G. Lafontaine and Z. Tabaeizadeh. A proline, threonine and glycine-rich protein down-regulated by drought is localized in the cell wall of xylem elements. Plant Physiol. 121: 557-564.

59. Harris, K., P.K. Subudhi, A. Borrehl, D. Jordan, D. Rosenow, H. Nguyen, P. Klein, R. Klein and J. Mullet.2007.Sorghum stay-green QTL individually reduce post-flowering drought-induced leaf senesces. J. ExP. Bot. 58(2):327-338.

60. Hartug, R., A. Sauter, and E. Hose. 2002. Abscisic acid in xylem: Where dose it come from, where does it go to? J. Exptl. Bot. 53:27-32.

61. Hatfield, J.L., T.J. Sauer and J.H. Prueger.2001. Managing soils to achieve greater water use efficiency: A review. Agron. J. 93:271-280.

62. Haynes, J.I. 1948. The effect of availability of soil moisture upon vegetative growth and water use in corn. Amer. Soc. Agron. 40:385-395.

63. Heatherly, L.G.1999. Early soybean production system. In J.T. Edwards and L.C. Purcell. Soybean yield and biomass responses

64. Holshouster, D.L. and J.P. Whittaker.2002. Plant population and row spacing effect on early soybean production system in the mid-Atlantic USA. Agron. J. 94:603-611.

65. Howell, T.A. 2001. Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. Agron. J. 93:281 -289.

66. IFA.2007.Online:http://www.fertilizer.org/ifa/statistics/indicators/tablen. asp.

67. Iljin, W.S. 1957. Drought resistance in plants and physiological processes. Ann. Rev. Plant Physiol. 8:257-274.

68. Ivandic, V., C.A. Haekett, Z.J. Zhang, J.E. Staub, E. Nevo, W.T.B. Thomas, and B.P. Forster. 2000. Phenotypic responses of wild barley to experimentally imposed water stress. Experint. Bot. 51(353):2021-2029.

69. Jameison, P.D. and F. Ewert.1999. The role of roots in controlling soil water extraction during drought: An analysis by simulation. Field Crops Res. 60:267-280.

70. Jensen, A.M.D. and N. Roulund. 2004. Occurrence of Neotyphodium endophytes in permanent grassland with perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) in Denmark. Agric. Ecosyst. Environ. 104: 419-427.

71. Jones, H. G. 2006. Monitoring plant and soil water status: Established and novel methods revisited and their relevance to studies of drought tolerance. Div. Applied and Environment of Biology, Univ. of Dundee, U.K., h.g, jones@ Dundee. ac.uk.

72. Jury, W.A. and H.J. Vaux. 2007. The emerging global water crisis: Managing scarcity and conflict between water uses. Adv. Agron. 95:1-76.

73. Karsten, H.D. and J.W. MacAdam.2001. Effect of drought on growth, carbohydrates and soil water use by perennial ryegrass, tall fescue and white clover. Crop sci.41:156-166.

74. Katz, R.W. and M.H. Glantz, 1977.In (M.H. Glantz, ed) Desertification: Environmental degradation in and around arid lands, , West View Press, Boulder, Co., USA.

75. Kawaguchi, R., T. Girke, E.A. Bray and J. Bailey-Serres. 2004. Differential mRNA translation contributes to gene regulation under non-stress and dehydration stress conditions in *Arabidopsis thaliana*. The Plant J. 38: 823-839.

76. Khizzah, B.W., F.R. Miller and R.G .Newton .1995. Genetic and physiological components of post-flowering drought tolerance in sorghum. Afric. Crop Sci: 3(1): 15-21.

77. King, C.A. and L.C. Purcell.2001. Soybean nodule size and relationship to nitrogen response to water deficit. Crop Sci. 41:1099-1 107.

78. Kunt, I.D. and W. Kauzmann.1974. Hydration of proteins and polypeptides. Adv. Proteins Chem. 28:239-245.

79. Lamey, H.A. and C.A. Bradley. 2003. Managing row crop diseases in drought years. NDSU Extension service, North Dakota state University. www.Ag.ndsu.edu.

80. Levitt, H.J. 1990. Responses of Plants to Environmental Stress. (2nd edr) vol.2. Academic Press, N.Y., USA, p.187.

81. Lightfoot, D.R.1994. Morphology and ecology of lithic-mulch agriculture. Geograph. Rev. 84(2):172-185.

82. Longberger, P.S., C.W. Smith, P.S. Thaxton and B.L. McMichael. 2006. Development of a screening method for drought toleranc in cotton seedling. Crop Sci. 46: 2104-2110.

83. Maccaferri, M., M.C. Sanguineti. 2008. Quantitative trait loci for grain yield and adaptation of durum wheat across a wide range of water availability. Genetics. 178: 489-511.

84. Mahmood, N., M.A. Chowdhry and M. Kashif. 2003. Genetic analysis of some physio-morphfic traits of wheat under drought condition. J. Genet. of Breed. 27:385-392.

85. Martin, J.H.1930. The comparative drought resistance of sorghum and corn. Amer. Soc. Agron. 22: 993-1003.

86. McCafferty, S. 1998. Water, politics, and international law. In P. Gleick (edr.), Water in Crisis: A Guide to the Worlds Fresh Water Resources, Oxford Univ. Press, U.K.

87. Meseka, S.K., A. Menkir, A.E. Ibrahim and S.O. Ajala. 2006. Genetic analysis of performance of maize inbred lines selected for to increasing plant population among diverse maturity groups I. Agronomic characteristics. Crop Sci.45:1770-1777.

tolerance to drought under low nitrogen. Maydica. 51: 487-495.

88. Mesfine, T., G. Abebe and A.M. Al-Tamaha.2005. Effect of reduced tillage and crop residue ground cover on yield and water use efficiency of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) under semi-arid conditions of Ethiopia World. J.Agric.Sci.1(2): 152-160.

89. Moreno, A., V. Lumbreras and M. Payes.2005. Drought tolerance in maize. Maydica, 50:549-558.

90. Moss, D.N., R.B. Musgrave and E.R. Lemon.1961. Photosynthesis under field conditions, some effects of lights, C02, temperature and soil moisture on photosynthesis, respiration and transpiration of corn. Crop Sci.1(2):83-87.

91. Muleba, N., J.T. Ouedraoyo, I. Drubo and C. Dabire. 1997. Improving the efficiency in breeding cowpea for adaptation in semi-arid tropics. Afric. Crop Sci.5(4):325-340.

92. Omanya, G.O., P.O. Ayiecho and J.O. Nyabundi.1996. Variation for adaptability to conditions in sorghum. Afric. Crop Sci. 4(2):127-138.

93. Opadhyaya, H.d.2005. Variability for drought resistance related traits in the minicore collection of peanut. Crop Sci.45: 1432-1440.

94. Oweis, T., H. Zhang and M. Pala.2000. Water use efficiency of rainfed and irrigated bread wheat in a Mediterranean environment. Agron. J. 92:231-238.

95. Pilson, D. and H.R. Prendeville.2004. Ecological effects of transgenic crops and the escape of transgenes into wild population. Ann.Rev.Ecol.Syst.35: 149-174.

96. Pons, X. and G.M. Tatchell.1995. Drought stress and cereal aphid performance. Ann.Appl.Biol. 126: 19-31.

97. Purcell, L.C., T.R. Sinclair and R.W. McNew.2003. Drought avoidance assessment for summer annual crops using long-term weather data. Agron. J. 95:1566-1576.

98. Qin, J.T., H. Feng, L.H. Xin, W.V. Ping, H.F. Quan and H.H. Xiang.2006. Effects of non-flooded cultivation with straw mulching on rice agronomic traits and water use efficiency. Rice Sci. 13(1):59-66.

99. Reeve, I.J., G. Kaine, J.W. Lees and E. Barclay.2000. Producer perception decline and grazing management. Aust. J. Experim. Agric. 40:331-341.

100. Richards, R.A., G.J. Rebeetzke, A.G. Condon and A.F. Van Hewaarden. 2002. Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. Crop Sci. 42:111-121.

101. Robins, J.S. and C.E. Domings.1953. Some effects of severe soil moisture deficits at specific growth stages in corn. Agron. J. 45:618-621.

102. Rockstrom, J., M. Lannerstad, and M. Falkenmark. 2007. Assessing the water challenge of a new green revolution in developing countries. Proc. Natl. Acad. Sci. (USA) 104: 6253-6260

103. Sadras, V.O. 2003. Influence of size of rainfall events on water-driver processes I. Water budget of wheat crop in south-eastern Australia. Aust. J. Agric. Res. 54:341-351.

104. Sallah, P.Y.K., K. Obeng-Antwi and M.B. Ewool.2002. Potential of elite maize components for drought tolerance in stress and non-drought stress environments. Afric. Crop Sci. 10(1): 1-9.

105. Samarah, N.H., R.E. Mullen, S.R. Cianio and P. Scoh.2006. Dehydrin-like proteins in soybean seeds in response to drought stress during seed filling .Crop Sci. 46:2441-2150.

106. Sanchez-Diaz, M.F. and P.J. Kramer.1971. Behavior of corn and sorghum under water stress and during recovery. Plant Physiol. 48:613-616.

107. Schardl, C.L., A. Leuchtmann and M.J. Spiering. 2004. Symbioses of grasses with seedborne fungal endophytes. Ann.Rev.Plant Biol. 55:315-340.

108. Schillinger, W.F. 2005. Tillage method and sowing rate relations for dryland spring wheat, barley, and oat. Crop Sci. 45:2636-2643.

109. Schneider, K.A., R. Rosales-Serna, F. Ibarra-Perez, B. Caizares-Entriquez, J.A. Acosta-Gallagose, P. Ramirez-Vallejo, N. Wassimi and J.B. Kelly. 1997. Improving common bean performance under drought stress. Crop Sci.37:43-50.

110. Seckler, D., U. Amarasinghe, D. Molden, R. de Silva and R. Barker. 1998.

World Water Demand and Supply 1990 to 2025. Intl. Water Management Institute, Res. Rep. 9, Intl. Water Management Institute, Colombo, Srilanka.

111. Shaltout, M. and T. Elhousry. 1996. Estimating the evaporation over Nasser Lake from METEOSAT observations. In T.D. Guyene (edr.). ESA SP-394; Space Mission Operations and Ground Data Systems. European Space Agency, Paris, France.

112. Sharpley, A., J.J. Meisinger, A. Breenwsma, J.T. Sims, T.C. Daniel and J.S. Sehepas.1998. Impacts of animal manure management on ground and surface water quality. In Stone et.al., 2001. Rooting front and water depletion depths in grain sorghum and sunflower. Agron. J. 93:1105-1110.

113. Shiklamanov, I.A. 2000. Appraisal and assessment of world water resources. Water Int. 25: 11-32.

114. Shiklamanov, I. A. 2006. Appraisal and assessment of old water resources. Water Int. 25: 11- 32.

115. Shirk, H.G.1942. Freezable water content and the oxygen respiration in wheat and ryegrain of different stages of ripening. Am.J.Bot.29:105-109.

116. Shunqing, A., L. Genghan and G. Anhoung.2003. Consumption of available soil water stored at planting by winter wheat. Agric. Water Manag.63:99-107.

117. Sigin, W.S. 1957. Drought resistance in plants and physiological process. Ann. Rev .plant physiol. 8:257-274.

118. Sinclair, T.R. and R.C. Muchow.2001.System analysis of plant traits to increase grain yield on limited water supplies. Agron. J. 93(2):263-270.

119. Smith, R.E. 2007. Design and Operation of Farm Irrigation Systems. (2nd ed.) Chap.6. American Society of Agricultural and Biological Engineers. pp. 120-159.

120. Sneller, C.H. and D. Domberk.1947. Use of irrigation in selection for soybean yield potential under drought. Crop Sci.37: 1141-1147.

121. Sow, A.A., L.R. Hossner, P.W. Unger and B.A. Stewapt.1996. Effects of furrow disking and tillage on water storage, plant water use efficiency and yield of sorghum. Afric. Crop Sci. 4(4):433-440.

122. Stone, L.R., D.E. Goodrum, M.N. Jaafar and A.H. Khan. 2001. Rooting front and water depletion in depths in grain sorghum and sunflower. Agron.J.43:1105-1110.

123. Tabo, R., O.G. Olabanji, O. Ajayi and D.J. Flower.2002. Effect of plant population density on the growth and yield of sorghum varieties grown on a vertisols. Afric. Crop Sci:10(1):31-38.

124. Tan, C.S., C.F. Duxbury, J.D. Gaynor, T.W. Welacky and W.D. Reynolds. 2002. Effect of tillage and water table control on evapotranspiration, surface runoff, tile drainages and soil water content under maize on a clay loam soil. Agric. Water Manag.54:173-188.

125. Tanaka, D.L., Anderson and S.C. Rao.2005. Crop sequencing to improve use of precipitation and synergize crop growth. Agron.97:385-390.

126. Taylor, H.M. and B. Klepper.1973. Rooting density and water excretion pattern of corn (*Zea mays* L.). Agron. J. 62:962-968.

127. Thornthwaite, C.W. 1948. An approach toward rational classification of climate. Geogr. Rev.38:55-94.

128. Transeau, E.N. 1905. Forest centers of eastern North America, Am. Nat.39,875-881

129. Tripathy, J.N., J. Zhang, S. Robin and H.T. Nguyen.2000. QTLs for cell-membrane stability mapped in rice (*Oryza sative* L.) under drought stress. Theor.Appl.Genet.100:1197-1202.

130. Turner, F.T. Chen, C.C and Bolich, C.N. 1982. Coleoptile and mesocotyl lengths in semi dwarf rice seedlings. Crop Sci.22:43-46.

131. Walters, C., J.M. Farrant, N.W. Pammanter and P. Berjak. 2002. Desiccation stress and damage. (cited from Moreno, A.,V. Lumbrenas and M. Pages. Drought tolerance in maize. Maydica, 50:549- 558.

132. Wardlaw, I.F. 1969. The effect of water stress on translocation in relation to photosynthesis and growth. I. Effect during leaf development in *Lolium temelentum*. Aust.J.Biol.Sci.22:1-16.

133. Wightman, J.A. and A.S. Wightman.1994. An insect, agronomic and

sociological survey of groundnut fields in South Africa. Agric. Ecosyst. Environ.51 :311-331.

134. Williams, T.V., R.S. Snell and J.F. Ellis.1967. Methods of measuring drought tolerance in corn. Crop Sci. 7:179-181.

135. Wood, S., K. Sebastian, and S.J. Scherr. 2001. Pilot Analysis of Global Ecosystems: Agroecosystems, World Resources Institute, U.S.A, Washington, D.C.

136. Xie, Z.K., Y.J. Wany, X.H. Wei and Z.S. Zhang.2006. Impacts of a gravel-sand mulch and supplemental drip irrigation on water melon (*citrullus lanatus*) root distribution and yield. Soil & Till. Res. 89(1):35-44.

137. Xh, D. and A. Mernioud.2003. Modeling the soil water balance based on time-dependent hydraulic conductivity water different tillage practices. Agric. Water Manag.63:139-151.

138. Yamauchi, M. and P.V Chuong.1995. Rice seedling establishment as effected by cultivar, seed coating with calcium peroxide, sowing depth, and water level. Field Crop Res.41:123-134.

139. Yeo, A.1998. Molecular biology of tolerance in the context of whole-plant physiology. J. Exp. Bot. 49(323):915-929.

140. Yue, B., W. Xue, L. Xiong, X. Yu, K. Cui, D. Jin, Y. Xing, and Q.Zhang. 2006. Genetic basis of drought resistance at reproduction stage in rice: Separation of drought tolerance from drought avoidance. Genetics. 172:1213-1228.

141. Zazueta, F.S., J. Xin, L.S. Pereira and A. Musy. 2006. CIGIAR Handbook of Agricultural Engineering. American Society of Agricultural and Biological Engineers. Sec.6. Chap.6. p.401-414.

142. Zhang, J., H.T. Nguyen and A. Blum.1999. Genetic analysis of osmotic adjustment in crop plants. J.Exp.Bot.50:291-302.

143. Zhang, J., H.G. Zheng, A. Aarti, G. Pantuwan and T.T. Nguyen. 2001. Locating genomic regions associated with components of drought resistance in rice comparative mapping within and across species. Theor.Appl.Genet.103: 19-29.