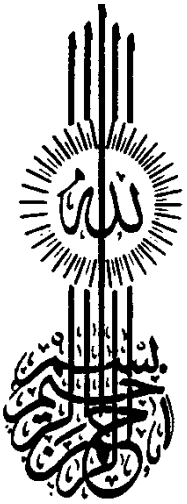
بسم الله الرحمن الرحيم

بيئة وفسيولوجيا المحاصيل الحقلية

تأليف

د. صلاح السيد الهنداوي
أستاذ المحاصيل المشارك

د. ناصر بن عبد الرحمن السحيباني
أستاذ المحاصيل

قسم الإنتاج النباتي- كلية علوم الأغذية والزراعة - جامعة الملك سعود

دار جامعة الملك سعود للنشر
KING SAUD UNIVERSITY PRESS
ص.ب ٦٨٩٥٣ - الرياض ١١٥٣٧ المملكة العربية السعودية

ح دار جامعة الملك سعود للنشر، ١٤٣٩ هـ – ٢٠١٧ م

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

الهنداوي ،صلاح السيد

بيئة وفسيولوجيا المحاصيل الحقلية./ صلاح السيد الهنداوي؛ ناصر بن عبدالرحمن السحيباني – الرياض ١٤٣٨هـ

٥٦١ ص؛ ١٧ × ٢٤سم

ردمك ٦-٥٩١-٥٠٧-٦٠٣-٩٧٨

١- انتاج المحاصيل ٢- فسيولوجيا المحاصيل ٣- الاتجاهات الحديثة

أ.صلاح الهنداوي (مؤلف) ب. ناصر السحيباني (مؤلف مشارك) ج. العنوان

ديوي ١ , ٥٨١ ١٤٣٨/٩٦٧١

رقم الإيداع : ١٤٣٨/٩٦٧١

ردمك : ٦ - ٥٩١ - ٥٠٧ - ٦٠٣- ٩٧٨

هذا كتاب مؤلف صادر عن عمادة البحث العلمي بالجامعة ضمن سلسلة كتب برنامج (دعم تأليف كتاب) وتم تحكيمه من قبل لجنة المطابقة بعمادة البحث العلمي وموافقة اللجنة الإشرافية للبرنامج على نشره في اجتماعها الثاني للعام الدراسي ١٤٢٨/١٤٢٧هـ المعقود بتاريخ ١٤٢٨/٢/٢هـ الموافق ٢٠١٦/١١/٢م.

جميع حقوق النشر محفوظة. لا يسمح بإعادة نشر أي جزء من الكتاب بأي شكل وبأي وسيلة سواء كانت إلكترونية أو آلية بما في ذلك التصوير والتسجيل أو الإدخال في أي نظام حفظ معلومات أو استعادتها بدون الحصول على موافقة كتابية من دار جامعة الملك سعود للنشر .

دار جامعة الملك سعود للنشر
KING SAUD UNIVERSITY PRESS

الإهداء

نهدي هذا العمل المتواضع

إلى خير الأنام

وإلى خير الأمم

المؤلفان

شكر وتقدير

يتقدم المؤلفان بجزيل الشكر وجميل العرفان لوكالة الجامعة للدراسات العليا والبحث العلمي ممثلة بوكالة عمادة البحث العلمي على دعمها لبرنامج "دعم تأليف كتاب"

المؤلفان

مقدمة المؤلفين

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على خاتم الأنبياء والمرسلين، المبعوث رحمة للعالمين، محمد وعلى آله وصحبه أجمعين. اللهم لا علم لنا إلا ما علمتنا إنك أنت العليم الحكيم، اللهم علمنا ما ينفعنا وانفعنا بما علمتنا وزدنا علماً. أما بعد:

لقد شهد علم البيئة النباتية وكذلك علم فسيولوجيا المحاصيل في الربع الأخير من القرن العشرين طفرة معلوماتية هائلة، حيث زاد اهتمام العلماء ورصدت الأموال الطائلة للبحث في كل فرع من فروع هذين العلمين، مما يدلل على الأهمية العلمية والتطبيقية لهذه العلوم. إذ يعد علم بيئة وفسيولوجيا المحاصيل الحقلية واحداً من أهم دعائم علم الزراعة وإنتاج المحاصيل، حيث يمثل المدخل الرئيس للفهم الجيد لمنظومة إنتاج المحاصيل الحقلية. لذلك نلاحظ أن كل تقدم في علم بيئة وفسيولوجيا المحاصيل الحقلية يتبعه حتماً تقدماً ملموساً في ميدان علم الزراعة وإنتاج المحاصيل الحقلية. فإذا تمعنا في العمليات الزراعية التي تجرى في الحقل من خدمة التربة قبل الزراعة وعمليات الخدمة أثناء نمو النباتات لوجدنا أنها عمليات يقصد منها تهيئة وإعداد بيئة مناسبة لنمو نباتات المحاصيل لتحقيق محصول وعائد مرتفع، وهذا لا يتأتى إلا بالفهم الجيد لبيئة المحاصيل. كذلك نجد أن التطور الهائل في كثيرٍ من العلوم الأخرى مثل علم الهندسة الوراثية وعلم الزراعة الدقيقة وعلم إدارة العمليات الزراعية والتي تهدف إلى تحسين القدرة الإنتاجية للمحاصيل وزيادة قدرة المحاصيل على التأقلم للظروف البيئية المعاكسة المختلفة وسرعة التدخل في الوقت المناسب لمعالجة المشاكل الناجمة عن تلك الظروف البيئية الطارئة، قد ارتبطت ارتباطاً مباشراً ووثيقاً بالفهم الجيد لعلم فسيولوجيا المحاصيل.

هذا الكتاب يتضمن قيمةً علميةً باللغة العربية في مجال بيئة وفسيولوجيا المحاصيل الحقلية لطلبة المرحلة الجامعية وطلبة الدراسات العليا وكذلك الباحثين بالجامعات والمراكز البحثية الزراعية في الدول الناطقة باللغة العربية. ونظراً لندرة المراجع العلمية باللغة العربية وخاصة لكثير من

المواضيع التي تم تناولها بهذا الكتاب، بالإضافة إلى التطور السريع والمتلاحق في علم فسيولوجيا المحاصيل، فقد كان هذا دافعاً للمؤلفين أن يقوما بتأليف هذا الكتاب بحيث يضم كثير من المواضيع الحديثة المرتبطة بهذا العلم، وكذلك إضافة كثير من المواضيع التي يندر إيجادها في كتاب واحد.

هذا الكتاب يتضمن سبعة أبواب مختلفة، يتناول الباب الأول العوامل البيئية المختلفة (عوامل جوية، عوامل أرضية وعوامل حيوية) ومدى ملاءمتها بظروف إنتاجية المحاصيل الحقلية. أما الباب الثاني فيتناول تأثير التغيرات المناخية الحالية والمستقبلية لهذه العوامل البيئية على توزيع وانتشار المحاصيل بالعالم. النمو في المحاصيل الحقلية ومراحله المختلفة وكذلك تقديره حقلياً وكمياً وأيضاً تطور الأعضاء المختلفة للنبات وتوازن النمو بين هذه الأعضاء وعلاقة ذلك بالناتج النهائي للمحصول تم تناوله في الباب الثالث. أما الباب الرابع والخامس فقد تناولا فسيولوجيا الإجهادات البيئية المختلفة وكيفية أقلمة المحاصيل الحقلية لهذه الإجهادات البيئية. أما الباب السادس فتناول الاستجابة الفسيولوجية لبعض العوامل المرتبطة بإنتاجية المحاصيل مثل طول فترة البناء الضوئي وهندسة الكساء الخضري والتثبيت الحيوي للنيتروجين وتركيز ثاني أكسيد الكربون والأوزون. أما الباب السابع والأخير وكذلك الجزء الأخير من الباب الرابع فتناولا بعض المواضيع الهامة والتي لم يتطرق إليها أحد من قبل في مؤلفات بيئة وفسيولوجيا المحاصيل الحقلية باللغة العربية مثل استخدام فحوصات الحقل عالية الدقة High-throughput في مراقبة الاستجابة الفسيولوجية للمحاصيل الحقلية لبعض العمليات الزراعية والإجهادات البيئية.

لقد روعي في هذا الكتاب الدقة العلمية وسهولة العرض، كما زود الكتاب بكثير من الرسوم والأشكال التوضيحية والجداول والتي تربو على **١٨٧** رسماً وشكلاً توضيحياً **و٦٦** جدولاً. ولقد تم توثيق جميع الصور والأشكال الواردة بهذا الكتاب بأسفل كل صورة وشكل، ما عدا الصور والأشكال التي تم التقاطها وإعدادها من قبل المؤلفين. كما اعتمدنا فيما أورد في هذا الكتاب من بيانات ونتائج التجارب المختلفة على ما نُشر في المراجع والدوريات العلمية المتخصصة الحديثة وكذلك على المعلومات والخبرات العلمية المتوفرة لدينا. ولقد أشير إلى جميع هذه المصادر في متن الكتاب، والتي تربو على ثلاثمائة مرجع علمي باللغتين العربية والإنجليزية، وذكرت تفصيلاً في نهايته.

والله نسأل أن يكون هذا الكتاب إضافة جيدة للمكتبة العربية، وأن ينفع به كل من قرأه واطلع عليه.

المؤلفان

المحتويات

الإهداء ..... هـ

شكر وتقدير ..... ز

المقدمة ..... ط.

الفصل الأول : استجابة المحاصيل الحقلية للعوامل البيئية المختلفة ١

(١) بيئة المحاصيل الحقلية ١

(١ , ١) خصائص العوامل البيئية ١

(١ , ٢) المدى المثالي للعوامل البيئية ٣

(٢) العوامل الجوية ٣

(١ , ٢) درجة الحرارة ٣

(١ , ١ , ٢) التغيرات في درجة حرارة الهواء والتربة ٤

(٢ , ١ , ٢) المناطق الحرارية العامة على سطح الكرة الأرضية ٦

(٣ , ١ , ٢) درجة حرارة النبات ٨

(٤ , ١ , ٢) النطاق الحراري الذي تعيش فيه نباتات المحاصيل ١٠

(٥ , ١ , ٢) التواقت الحراري Thermoperiodism ١١

(٦ , ١ , ٢) كفاءة درجة الحرارة ١٣

(٢,١,٧) تقسيم نباتات المحاصيل حسب احتياجاتها الحرارية ١٧
(٢,١,٨) درجة الحرارة والتوزيع الجغرافي للنبات..... ١٨
(٢,١,٩)أضرار التعرض لدرجات حرارة غير ملائمة ١٩
(٢,١,١٠)التأثيرات المحفزة لدرجات الحرارة المنخفضة والمرتفعة..... ٢٣
(٢,٢) الضوء ٢٥
(٢,٢,١)تركيب وطبيعة الضوء ٢٥
(٢,٢,٢) امتصاص الضوء..... ٢٩
(٢,٢,٣) العوامل المؤثرة على كمية ونوع الضوء التي تستقبلها نباتات المحاصيل ٣٠
(٢,٢,٤) البناء الضوئي..... ٣٢
(٢,٢,٥)الحد الأدنى للضوء (العتبة الضوئية) ٣٥
(٢,٢,٦)نباتات الضوء والظل ٣٥
(٢,٢,٧) تحاشي الظل ٣٧
(٢,٢,٨)تأثير الضوء على بعض العمليات الحيوية بالنبات ٣٨
(٢,٢,٩)التواقت الضوئي Photoperiodism ٤١
(٢,٢,١٠) الأهمية العملية لدراسة الإضاءة ٤٢
(٢,٣) الماء..... ٤٣
(٢,٣,١) المطر كمصدر للماء ٤٤
(٢,٣,٢) الرطوبة الأرضية ٤٨
(٢,٣,٣) امتصاص نباتات المحاصيل للماء ٥١
(٢,٣,٤) العوامل المؤثرة في معدل امتصاص الماء ٥٥
(٢,٣,٥) حركة الماء الممتص من الجذر حتى الفقد بواسطة النتح ٦٠
(٢,٣,٦) القوى المسببة لامتصاص وانتقال الماء في النبات..... ٦٣
(٢,٤) الرطوبة الجوية ٦٤
(٢,٤,١) تأثير الرطوبة الجوية على نمو المحاصيل ٦٥

(٥ , ٢) الغازات ٦٧
(٦ , ٢) الرياح..... ٦٨
(٣) العوامل الأرضية ٦٩
(١ , ٣) قوام التربة ٧٠
(٢ , ٣) بناء التربة ٧٥
(٣ , ٣) لون التربة..... ٧٧
(٤ , ٣) درجة حرارة التربة..... ٧٨
(٥ , ٣) هواء التربة ٧٩
(٦ , ٣) دبال التربة..... ٨١
(٧ , ٣)حموضة التربة ٨٣
(٨ , ٣)السعة التبادلية الكاتيونية ٨٥
(٤)العوامل الحيوية ٨٨
(١ , ٤) العلاقات المختلفة بين المحصول والكائنات الحية بالبيئة ٨٨
(٢ , ٤)تأثير الكائنات الحية على نمو المحاصيل ٩٧
الفصل الثاني: تأثير العوامل البيئية على توزيع وانتشار المحاصيل الحقلية ٩٩
(١) المؤشرات الدالة على التغيرات المناخية ١٠٠
(٢) توقع المناخ المستقبلي ١٠١
(٣) العواقب المحتملة للتغيرات المناخية المستقبلية..... ١٠٦
(١ , ٣) الآثار السلبية المحتملة للتغيرات المناخية المستقبلية على توزيع وانتشار المحاصيل ١٠٧
(٢ , ٣) الآثار الإيجابية المتوقعة للتغيرات المناخية المستقبلية وتأثيرها بالتبعية على توزيع وانتشار المحاصيل..... ١١١
الفصل الثالث : النمو في المحاصيل الحقلية ١١٤
(١) الفرق بين النمو والتكشف..... ١١٤
(٢) القوانين والمبادئ العامة للنمو ١١٦

(٣) العوامل الأساسية للنمو ١١٦
أولاً: العوامل الخارجية (البيئية) الضرورية للنمو ١١٧
(١) الحرارة..... ١١٧
(١ , ١) تأثير درجات الحرارة على بعض العمليات الفسيولوجية الدائرة بالنبات ١١٩
(١ , ٢) أضرار درجات الحرارة المرتفعة على نمو المحاصيل..... ١٣٠
(١ , ٣) أضرار درجات الحرارة المنخفضة على نمو المحاصيل ١٣١
(٢) الإضاءة ١٣١
(١ , ٢) تأثير الضوء على بعض العمليات الفسيولوجية الدائرة بالنبات ١٣٤
(٢ , ٢) الأضرار الناجمة عن شدة الإضاءة غير الملائمة..... ١٤١
(٣) الرطوبة..... ١٤٢
(١ , ٣) تأثير الماء على بعض العمليات الفسيولوجية الدائرة بالنبات ١٤٣
(٤) العناصر الغذائية ١٥١
(١ , ٤)تأثير العناصر الغذائية على بعض العمليات الفسيولوجية الدائرة بالنبات ١٥١
ثانياً: العوامل الداخلية (الوراثية) الضرورية للنمو..... ١٥٤
(٤) التغيرات الفسيولوجية المصاحبة للنمو ١٥٦
(٥) كيفية تقدير مراحل النمو المختلفة حقلياً لبعض محاصيل الحقل ١٦٠
(١ , ٥) تحديد مراحل النمو لمحصول القمح..... ١٦١
(٢ , ٥) تحديد مراحل النمو لمحصول الذرة الشامية ١٦٣
(٣ , ٥) تحديد مراحل النمو لمحصول الأرز ١٦٦
(٤ , ٥) تحديد مراحل النمو لمحصول فول الصويا ١٦٦
(٥ , ٥)تحديد مراحل النمو لمحصول القطن ١٦٩
(٦)قياسات النمو والتقدير الكمي لها..... ١٧٠
(١ , ٦) القياسات النباتية التي يمكن الاعتماد عليها في تحليل النمو ١٧٣
(٢ , ٦)قياسات النمو المختلفة وكيفية حسابها ١٧٤

(٧) التوازن في النمو بين أعضاء النبات المختلفة وعلاقة ذلك بالمحصول النهائي ١٧٩
(٧,١) التوازن بين النمو الخضري والجذري ١٨١
(٧,٢) التوازن بين النمو الخضري والثمري ١٩٠
(٧,٣) التوازن بين النمو والتخصص ١٩٦
(٨) كيفية التحكم حقلياً في التوازن بين الأعضاء المختلفة للنبات ١٩٦
(٩) تطور المجموع الجذري وعلاقة ذلك بالمحصول النهائي ١٩٩
(٩,١) نشأة الجذور ونموها ١٩٩
(٩,٢) العوامل المؤثرة على نمو وتطور الجذور وعلاقة ذلك بالمحصول النهائي ٢٠١
(٩,٢,١) درجة حرارة التربة ٢٠١
(٩,٢,٢) محتوى التربة من الأكسجين ٢٠٣
(٩,٢,٣) ظروف الجفاف ٢٠٥
(٩,٢,٤) خصوبة التربة ٢٠٦
(٩,٢,٥) القوة الميكانيكية والفيزيائية للتربة ٢٠٩
(٩,٢,٦) العمليات الزراعية بين الصفوف ٢١٣
(٩,٢,٧) مكان وضع السماد ٢١٩
(٩,٢,٨) الري ٢٢٠
(٩,٢,٩) مورفولوجيا الجذر والمحصول ٢٢٣
(١٠) تطور المجموع الخضري وعلاقة ذلك بالمحصول النهائي ٢٢٦
(١٠,١) الأوراق Leaves ٢٢٧
(١٠,١,١) نشوء وظهور الأوراق ٢٢٨
(١٠,١,٢) عدد الأوراق ٢٣٠
(١٠,١,٣) العوامل المؤثرة على نمو الورقة ٢٣١
(١٠,١,٤) صفات الورقة المرتبطة بالمحصول النهائي ٢٣٤
(١٠,٢) السيقان ٢٤٢

(١ , ٢ , ١٠) العوامل المؤثرة على نمو السيقان ٢٤٣
(٢ , ٢ , ١٠) صفات الساق المرتبطة بالمحصول النهائي ٢٤٤
(١١) تطور التفريع وعلاقة ذلك بالمحصول النهائي ٢٤٨
(١ , ١١) العوامل المؤثرة على التفريع وعلاقة ذلك بالمحصول النهائي ٢٥٠
(١٢) تطور الجزء الثمري وعلاقة ذلك بالمحصول النهائي ٢٥٩
(١ , ١٢) العوامل المؤثرة على إزهار المحاصيل ٢٦٠
(١ , ١ , ١٢) الإضاءة ٢٦٠
(٢ , ١ , ١٢) الحرارة ٢٦٥
(٣ , ١ , ١٢) التوازن الغذائي ٢٦٧
(١٣) العلاقة بين المصدر والمصب وعلاقة ذلك بالمحصول النهائي ٢٦٩
الفصل الرابع : فسيولوجيا الإجهادات البيئية للمحاصيل الحقلية ٢٧٥
(١) تعريف الإجهاد البيئي ٢٧٦
(٢) أنواع الإجهادات البيئية ٢٨١
(٣) تقسيم الإجهادات البيئية حسب الشدة ٢٨٢
(٤) كيف يتم قياس الإجهاد البيئي في النباتات ٢٨٤
(١ , ٤) عد مساحات التبرقش بعد المعاملة بالإجهاد البيئي ٢٨٥
(٢ , ٤) امتصاص وتجمع النيتروال الأحمر في فجوات الخلايا التي لم يحدث بها ضرر ٢٨٦
(٣ , ٤) مقاومة انحلال السيتوبلازم Lasmolysis ٢٨٧
(٤ , ٤) قياس درجة التوصيل الكهربي Electrical conductivity ٢٨٧
(٥ , ٤) قياس التفلور للكلوروفيل Chlorophyll fluorescence ٢٨٩
(٦ , ٤) المحتوى النسبي للماء في الأوراق Relative water content ٢٩٠
(٧ , ٤) تعديل الضغط الأسموزي Osmotic adjustment ٢٩١
(٨ , ٤) الجهد المائي للنبات Plant water potential ٢٩١
(٩ , ٤) درجة التوصيل الثغري ونسبة البناء الضوئي إلى النتح A/E ٢٩٢

(٤, ١٠) أكوابورنز Aquaporins ٢٩٣
(٤, ١١) انتاج الإيثيلين ٢٩٥
(٤, ١٢) دليل الحصاد ٢٩٥
(٤, ١٣) دلائل النمو ٢٩٥
(٥) البناء الضوئي والإجهادات البيئية ٢٩٥
(٥, ١) تأثير الإجهاد الجفافي على البناء الضوئي ٣٠٣
(٥, ١, ١) التأثير على صبغات البناء الضوئي ٣٠٣
(٥, ١, ٢) التأثير على تفاعلات الضوء ٣٠٤
(٥, ١, ٣) التأثير على تفاعلات الظلام ٣٠٤
(٥, ١, ٤) التأثير على تراكم نواتج البناء الضوئي ٣٠٥
(٥, ١, ٥) التأثير على درجة حرارة الأوراق وجفاف الكيوتيكل وخلايا البشرة ٣٠٥
(٥, ١, ٦) التأثير على تفلور أو توهج الكلوروفيل ٣٠٥
(٥, ١, ٧) التأثير على درجة التوصيل الثغري ٣٠٨
(٥, ٢) تأثير الإجهاد الملحي على البناء الضوئي ٣٠٩
(٥, ٢, ١) التأثير على صبغات البناء الضوئي ٣١١
(٥, ٢, ٢) التأثير على درجة التوصيل الثغري والتبادل الغازي ٣١٢
(٥, ٢, ٣) التأثير على تفلور أو توهج الكلوروفيل ٣١٤
(٥, ٢, ٤) التأثير على تراكم نواتج البناء الضوئي ٣١٤
(٥, ٢, ٥) التأثير على إنزيمات البناء الضوئي ٣١٦
(٥, ٣) تأثير الإجهاد الحراري على البناء الضوئي ٣١٦
(٥, ٣, ١) التأثير على صبغات البناء الضوئي ٣١٨
(٥, ٣, ٢) التأثير على أنظمة البناء الضوئي ٣١٨
(٥, ٣, ٣) التأثير على التبادل الغازي ٣١٩
(٥, ٣, ٤) التأثير على إنزيمات البناء الضوئي ٣٢٠

(٥,٣,٥) التأثير على تراكم نواتج البناء الضوئي ٣٢١
(٥,٣,٦)التأثير على التفاعلات الرئيسية بأنسجة الورقة ٣٢٢
(٥,٤) تأثير إجهاد نقص العناصر الغذائية على البناء الضوئي ٣٢٣
(٦) النمو والإجهادات البيئية ٣٢٧
(٦,١) تأثير الإجهاد الجفافي على النمو ٣٢٧
(٦,١,١) التأثير على نمو الجذور ٣٢٩
(٦,١,٢) التأثير على نمو المجموع الخضري ٣٣١
(٦,١,٣) التأثير على النمو الزهري والثمري ٣٣٣
(٦,٢) تأثير الإجهاد الملحي على النمو ٣٣٤
(٦,٢,١) التأثير على نمو الجذور ٣٣٦
(٦,٢,٢) التأثير على نمو المجموع الخضري ٣٣٨
(٦,٢,٣) التأثير على النمو الزهري والثمري ٣٤١
(٦,٣) تأثير الإجهاد الحراري على النمو ٣٤٢
(٦,٤) تأثير إجهاد نقص العناصر الغذائية على النمو ٣٤٧
(٦,٤,١) التأثير على نمو الجذور ٣٤٨
(٦,٤,٢) التأثير على نمو المجموع الخضري والثمري ٣٥٥
(٧) الإنبات والإجهادات البيئية ٣٥٧
(٧,١) تأثير الإجهاد الجفافي على الإنبات ٣٥٩
(٧,٢) تأثير الإجهاد الملحي على الإنبات ٣٦٢
(٧,٣) تأثير الإجهاد الحراري على الإنبات ٣٦٤
(٨) استخدام فحوصات الحقل عالية الدقة في مراقبة الإجهادات البيئية high-throughput field phenotyping ٣٦٥
(٨,١) أهم الدراسات التي أجريت على استخدام الفحوصات عالية الدقة في مراقبة بعض الإجهادات البيئية ٣٦٨

الفصل الخامس : أقلمة المحاصيل الحقلية للإجهادات البيئية ٣٧٣
(١) احتمالات مواجهة النباتات للإجهادات البيئية ٣٧٣
(١ , ١) تجنب الإجهاد البيئي Stress avoidance ٣٧٤
(١ , ٢) تحمل الإجهاد البيئي Stress tolerance ٣٧٤
(١ , ٣) الأقلمة مع الإجهاد البيئي Stress adaptation ٣٧٤
(١ , ٤) التقسية للإجهاد البيئي Stress hardening ٣٧٥
(٢) الأقلمة لإجهاد الجفاف ٣٧٥
(١ , ٢) الهروب من الجفاف Drought scape ٣٧٩
(١ , ١ , ٢) التطور الفينولوجي السريع ٣٨٠
(٢ , ١ , ٢) التطور المرن ٣٨١
(٢ , ٢) تحمل الجفاف Drought tolerance ٣٨٣
(١ , ٢ , ٢) تجنب الإجهاد الجفافي Water stress avoidance ٣٨٣
(٢ , ٢ , ٢) تحمل الإجهاد الجفافي Water stress tolerance ٣٩٢
(٣) الأقلمة للإجهاد الملحي ٤٠٧
(١ , ٣) آليات التأقلم للإجهاد الملحي ٤١٢
(١ , ١ , ٣) الإشارات الخلوية واستراتجيات استبعاد الصوديوم ٤١٨
(٢ , ١ , ٣) الإشارات بين المجموع الجذري والخضري ٤٢١
(٣ , ١ , ٣) تراكم أيونات الصوديوم في الأجزاء الخضرية ٤٢٣
(٤ , ١ , ٣) استبعاد أيونات الصوديوم خارج الخلية ٤٢٤
(٥ , ١ , ٣) تحمل الأنسجة لأيونات الصوديوم ٤٢٦
(٦ , ١ , ٣) التوزيع الأيوني على مستوى الخلية وأعضاء النبات ٤٢٧
(٧ , ١ , ٣) تعديل الأسموزية ٤٢٩
(٨ , ١ , ٣) تخليق البروتينات الوقائية ٤٣٩
(٤) الأقلمة للإجهاد الحراري ٤٤١

(١ , ٤) الأقلمة لدرجات الحرارة المرتفعة ٤٤١
(١ , ١ , ٤) توازن طاقة الأوراق ٤٤٣
(٢ , ١ , ٤) تغير في سطح الورقة ٤٤٦
(٣ , ١ , ٤) تغير في حجم الورقة ٤٤٧
(٤ , ١ , ٤) تغير في زاوية الورقة..... ٤٤٧
(٥ , ١ , ٤) التظليل..... ٤٤٧
(٦ , ١ , ٤) تغير في النتح ٤٤٧
(٧ , ١ , ٤) التقسية Hardening..... ٤٤٨
(٢ , ٤) الأقلمة لدرجات الحرارة المنخفضة..... ٤٥٠
(٥) الأقلمة لإجهاد الإضاءة غير الملائمة ٤٥٢
(٦) الأقلمة لظروف التهوية غير الملائمة ٤٥٧
(٧) الأقلمة لمواجهة غزو الكائنات الحية ٤٦٥
(١ , ٧) آكلات العشب Herbivory ٤٦٥
(٢ , ٧) الأمراض Pathogen attack..... ٤٦٦
(٣ , ٧) سبل أقلمة النباتات لمواجهة كل من آكلات العشب والمسببات المرضية ٤٦٧
(٤ , ٧) العلاقات الأليلوباثية Allelopathy..... ٤٧٢
الفصل السادس : الاستجابة الفسيولوجية لبعض العوامل المرتبطة بإنتاجية المحاصيل الحقلية . ٤٧٥
(١) طول فترة البناء الضوئي Duration of photosynthesis..... ٤٧٥
(٢) هندسة الكساء الخضري للنبات Plant architecture ٤٧٦
(١ , ٢) بعض الأمثلة لهندسة الكساء الخضري لبعض المحاصيل..... ٤٧٨
(١ , ١ , ٢) هندسة الكساء الخضري للأرز ٤٧٨
(٢ , ١ , ٢) هندسة الكساء الخضري للذرة الرفيعة للحبوب..... ٤٧٨
(٣ , ١ , ٢) هندسة الكساء الخضري للذرة الشامية..... ٤٧٩
(٣) التثبيت الحيوي للنيتروجين Biological Nitrogen Fixation..... ٤٧٩

(١ ,٣) كميات النيتروجين المثبتة بيولوجياً بواسطة النباتات البقولية ٤٨١
(٢ ,٣) البكتريا المثبتة للنيتروجين ٤٨١
(٣ ,٣) العوامل المؤثرة على تثبيت النيتروجين بيولوجياً ٤٨٣
(٤ ,٣)علاقات الطاقة في تثبيت النيتروجين ٤٨٧
(٥ ,٣) تكوين العقدة الجذرية ٤٨٧
(٦ ,٣) العقد الجذرية النشطة ٤٨٩
(٧ ,٣) ميكانيكية التثبيت البيولوجي للنيتروجين ٤٩٥
(٨ ,٣) أهمية العقدة الجذرية ٤٩١
(٩ ,٣) الملقحات التجارية Commercial inoculants ٤٩١
(٤) تركيز ثاني أكسيد الكربون ٤٩٣
(٥) تركيز غاز الأوزون Ozone ٤٩٦
(٦) التنافس Competition ٤٩٨
(١ ,٦) التنافس في مخاليط الأنواع المختلفة ٥٠٤
(٧) التحميل intercropping ٥٠٦
(١ ,٧) مميزات التحميل ٥٠٦
(٢ ,٧) صور التحميل ٥١٠
(٨) الحصاد ٥١٠
(٩) إعداد المحصول للتخزين ٥١١
(١٠) التخزين ٥١٤
الفصل السابع : استخدام فحوصات الحقل عالية الدقة High-throughput في مراقبة الاستجابة الفسيولوجية للمحاصيل الحقلية لبعض العمليات الزراعية ٥١٧
(١) أنواع تقنيات الاستشعار عن بعد ٥١٨
(٢) سمات الاستشعار عن بعد في فهم العمليات الزراعية ٥١٩

(٣) الأجهزة التي تساعد في تطبيق الزراعة الدقيقة وفهم استجابة النبات للعمليات الزراعية المختلفة ٥٢٠
(٤) الأساس العلمي الذي تعتمد عليها بعض أجهزة الاستشعار عن بعد في تقدير استجابة نباتات المحاصيل الفسيولوجية للعمليات الزراعية ٥٢١
(٥) تقدير الاستجابة الفسيولوجية للكثافة النباتية ٥٢٣
(١ , ٥) الآثار السيئة المترتبة عن الكثافة النباتية المرتفعة ٥٢٣
(٢ , ٥) الآثار السيئة المترتبة عن الكثافة النباتية المنخفضة ٥٢٣
(٦) تقدير الاستجابة الفسيولوجية للتسميد النيتروجيني ٥٢٨
(٧) تقدير الاستجابة الفسيولوجية لمنافسة الحشائش ٥٣٣
(٨) تقدير الاستجابة الفسيولوجية للأمراض ٥٣٧
المراجع ٥٣٩
أولاً: المراجع العربية ٥٣٩
ثانياً: المراجع الأجنبية ٥٤٠
نبذة عن المؤلفين ٥٦٢