



اصلاح گیاهان برای تحمل تنش‌های غیرزنده

ویراستاران

روبرتو فریچو نتو

آلوایزو بورم

مترجمان

دکتر سهیلا افکار

«عضو هیأت علمی دانشگاه پیام نور»

دکتر بتول مهدوی

«عضو هیأت علمی دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان»

امروزه کتاب‌خوانی و علم‌آموزی، نه تنها یک وظیفه‌ی ملی، که یک واجب دینی است.

مقام معظم رهبری

در عصر حاضر یکی از شاخصه‌های ارزیابی رشد، توسعه و پیشرفت فرهنگی هر کشوری میزان تولید کتاب، مطالعه و کتاب‌خوانی مردم آن مرز و بوم است. ایران اسلامی نیز از دیرباز تاکنون با داشتن تمدنی چندهزارساله و مراکز متعدد علمی، فرهنگی، کتابخانه‌های معتبر، علما و دانشمندان بزرگ با آثار ارزشمند تاریخی، سرآمد دولت‌ها و ملت‌های دیگر بوده و در عرصه‌ی فرهنگ و تمدن جهانی به‌سان خورشیدی تابناک همچنان می‌درخشد و با فرزندان نیک‌نهاد خویش هنرنمایی می‌کند. چه کسی است که در دنیا با دانشمندان فرزانه و نام‌آور ایرانی همچون ابوعلی سینا، ابوریحان بیرونی، فارابی، خوارزمی و ... همچنین شاعران برجسته‌ای نظیر فردوسی، سعدی، مولوی، حافظ و ... آشنا نباشد و در مقابل عظمت آنها سر تعظیم فرود نیاورد. تمامی این افتخارات ارزشمند، برگرفته از میزان عشق و علاقه فراوان ملت ما به فراگیری علم و دانش از طریق خواندن و مطالعه منابع و کتاب‌های گوناگون است. به شکرانه‌ی الهی، تاریخ و گذشته ما، همیشه درخشان و پربار است. ولی اکنون در این زمینه در چه جایگاهی قرار داریم؟ آمار و ارقام ارائه‌شده از سوی مجامع و سازمان‌های فرهنگی در مورد سرانه‌ی مطالعه‌ی هر ایرانی، برایمان چندان امیدوارکننده نمی‌باشد و رهبر معظم انقلاب اسلامی نیز از این وضعیت بارها اظهار گله و ناخشنودی نموده‌اند.

کتاب، دروازه‌ای به سوی گستره‌ی دانش و معرفت است و کتاب خوب، یکی از بهترین ابزارهای کمال بشری است. همه‌ی دستاوردهای بشر در سراسر عمر جهان تا آنجا که قابل کتابت بوده است، در میان دست‌نوشته‌هایی است که انسان‌ها پدید آورده و می‌آورند. در این مجموعه‌ی بی‌نظیر، تعالیم الهی، درس‌های پیامبران به بشر، و همچنین علوم مختلفی است که سعادت بشر بدون آگاهی از آنها امکان‌پذیر نیست. کسی که با دنیای زیبا و زندگی‌بخش کتاب ارتباط ندارد بی‌شک از مهم‌ترین دستاوردهای انسانی و نیز از بیشترین معارف الهی و بشری محروم است. با این دیدگاه، به‌روشنی می‌توان ارزش و مفهوم رمزی عمیق در این حقیقت تاریخی را دریافت که اولین خطاب خداوند متعال به پیامبر گرامی اسلام (ص) این است که «بخوان!» و در اولین

سوره‌ای که بر آن فرستاده‌ی عظیم‌الشان خداوند، فرود آمده، نام «قلم» به تجلیل یاد شده‌است: «إِقْرَأْ وَرَبُّكَ الْأَكْرَمُ. الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ» در اهمیت عنصر کتاب برای تکامل جامعه‌ی انسانی، همین بس که تمامی ادیان آسمانی و رجال بزرگ تاریخ بشری، از طریق کتاب جاودانه مانده‌اند.

دانشگاه پیام‌نور با گستره‌ی جغرافیایی ایران‌شمول خود با هدف آموزش برای همه، همه‌جا و همه‌وقت، به‌عنوان دانشگاهی کتاب‌محور در نظام آموزش عالی کشورمان، افتخار دارد جایگاه اندیشه‌سازی و خردورزی بخش عظیمی از جوانان جویای علم این مرز و بوم باشد. تلاش فراوانی در ایام طولانی فعالیت این دانشگاه انجام پذیرفته تا با بهره‌گیری از تجربه‌های گرانقدر استادان و صاحب‌نظران برجسته کشورمان، کتاب‌ها و منابع آموزشی درسی شاخص و خودآموز تولید شود. در آینده هم، این مهم با هدف ارتقای سطح علمی، روزآمدی و توجه بیشتر به نیازهای مخاطبان دانشگاه پیام‌نور با جدیت ادامه خواهد داشت. به‌طور قطع استفاده از نظرات استادان، صاحب‌نظران و دانشجویان محترم، ما را در انجام این وظیفه‌ی مهم و خطیر یاری‌رسان خواهد بود. پیشاپیش از تمامی عزیزانی که با نقد، تصحیح و پیشنهادهای خود ما را در انجام این وظیفه‌ی خطیر یاری می‌رسانند، سپاسگزاری می‌نماییم. لازم است از تمامی اندیشمندانی که تاکنون دانشگاه پیام‌نور را منزلگاه اندیشه‌سازی خود دانسته و ما را در تولید کتاب و محتوای آموزشی درسی یاری نموده‌اند، صمیمانه قدردانی گردد. موفقیت و بهروزی تمامی دانشجویان و دانش‌پژوهان عزیز آرزوی همیشگی ما است.

دانشگاه پیام‌نور

فهرست مطالب

مقدمه.....	پانزده
فصل اول. تنش‌های غیرزنده: چالشی برای اصلاح نباتات در دهه‌های آینده.....	۱
چکیده.....	۱
مقدمه.....	۲
۱-۱ عملکرد بالقوه محصول.....	۶
۲-۱ پرورش گیاه و مشکلات به وجود آمده ناشی از تغییرات آب‌وهوایی.....	۹
۳-۱ اصلاح نباتات و تنش‌های غیر زیستی خاک.....	۱۲
۴-۱ چشم‌انداز.....	۱۴
منابع.....	۱۵
فصل دوم. اصلاح برای تحمل به تنش یا راندمان استفاده از منابع.....	۱۹
چکیده.....	۱۹
مقدمه.....	۱۹
۱-۲ تحمل و راندمان به‌عنوان پاسخ به استرس‌های غیرزنده.....	۲۰
۲-۲ نتایج مشاهده‌شده.....	۲۳
منابع.....	۲۶
فصل سوم. فیزیولوژی تنش‌های غیرزنده.....	۲۹
چکیده.....	۲۹
مقدمه.....	۳۰
۱-۳ کمبود آب.....	۳۱
۱-۱-۳ استراتژی‌های گیاهان در مقابل کم‌آبی.....	۳۱

۳۲	۲-۱-۳ استراتژی‌های فیزیولوژیکی برای افزایش باروری تحت شرایط کم‌آبی
۳۵	۳-۱-۳ مزایا و معایب گسترش رقم‌های متحمل به خشکی
۳۶	۲-۳ شوری
۳۷	۱-۲-۳ تحمل شوری
۴۰	۳-۳ تنش حرارتی
۴۱	۱-۳-۳ پاسخ گیاهی و تغییرات مورفوفیزیولوژیکی به درجه حرارت‌های بالا
۴۴	۲-۳-۳ استراتژی‌هایی برای افزایش تحمل به گرما
۴۵	۴-۳ کمبود نیتروژن
۴۵	۱-۴-۳ استراتژی‌های فیزیولوژیکی برای افزایش NUE
۴۵	۱-۱-۴-۳ NUpE استراتژی‌های فیزیولوژیکی برای افزایش
۴۷	۲-۱-۴-۳ NUtE استراتژی‌های فیزیولوژیکی برای افزایش
۵۱	۵-۳ کمبود (P) فسفر
۵۲	۱-۵-۳ راهبردهای (استراتژی‌های) فیزیولوژیکی برای افزایش PUpE
۵۳	۲-۵-۳ راهبردهای فیزیولوژیکی برای افزایش PUtE
۵۵	۶-۳ سمیت آلومینیوم (Al)
۵۶	۱-۶-۳ تغییرات و پاسخ‌های مورفوفیزیولوژیکی به سمیت آلومینیوم
۵۸	۲-۶-۳ مکانیسم‌های فیزیولوژیکی تحمل آلومینیوم
۶۰	۳-۶-۳ شناسایی گیاهان متحمل به مقدار بالای آلومینیوم
۶۰	۷-۳ نتیجه‌گیری
۶۱	منابع
۷۳	فصل چهارم. اصلاح برای کارایی مصرف نیتروژن
۷۳	چکیده
۷۴	مقدمه
۷۵	۱-۴ ژرم پلاسماها و تنوع ژنتیکی
۷۶	۲-۴ توارث، اثرات مادری و روابط بین صفات
۸۰	۳-۴ القای تنش: مدت، شدت و یکنواختی
۸۱	۴-۴ استراتژی‌هایی برای انتخاب و اصلاح
۸۲	۵-۴ بیوتکنولوژی کاربردی برای بهبود NUE
۸۲	۱-۵-۴ ژن‌های کاندیدا (داوطلب) و جایگاه‌های ژنی صفات کمی
۸۴	۲-۵-۴ انتخاب ژنوم گسترده و وسیع
۸۵	۳-۵-۴ تراریخته‌ها برای NUE
۸۶	منابع
۹۱	فصل پنجم. اصلاح برای راندمان مصرف فسفر
۹۱	چکیده

مقدمه.....	۹۲
۱-۵ حرکت فسفر در خاک.....	۹۳
۲-۵ مفاهیم راندمان مصرف فسفر.....	۹۶
۳-۵ ژنتیک بازده فسفر.....	۹۸
۴-۵ مکانیسم‌های مرتبط با راندمان مصرف فسفر در گیاهان.....	۱۰۰
۵-۵ تحمیل و شدت فشار.....	۱۰۲
۶-۵ توصیف خاک مکان‌های آزمایشی.....	۱۰۲
۷-۵ شدت فشار.....	۱۰۴
۸-۵ استراتژی‌های اصلاح برای راندمان مصرف فسفر در ذرت.....	۱۰۵
۹-۵ شرایط آزمایشگاهی.....	۱۰۶
۱۰-۵ روش‌های ارزیابی راندمان استفاده از فسفر در گیاهان.....	۱۰۷
۱۱-۵ پیشرفت بیوتکنولوژی برای راندمان استفاده از فسفر.....	۱۱۱
منابع.....	۱۱۲
 فصل ششم. اصلاح برای کارایی مصرف آب.....	۱۱۷
چکیده.....	۱۱۷
مقدمه.....	۱۱۸
۱-۶ کارایی مصرف آب.....	۱۱۹
۲-۶ ژریپلاسم، تنوع ژنتیکی و رابطه بین ویژگی‌ها.....	۱۲۰
۳-۶ اثرات مادری و ارثی.....	۱۲۵
۴-۶ تنش اکسیداتیو.....	۱۲۶
۵-۶ القا تنش: مدت، شدت و یکنواختی.....	۱۲۷
۶-۶ استراتژی انتخاب و روش‌های اصلاح.....	۱۲۹
۷-۶ بیوتکنولوژی به‌کاررفته در اصلاح کارایی مصرف آب.....	۱۳۰
۱-۷-۶ صفات کمی جایگاه‌های ژنی.....	۱۳۰
۲-۷-۶ انتخاب با کمک مارکرها (نشانگرها).....	۱۳۱
۳-۷-۶ تراریخته‌ها.....	۱۳۲
منابع.....	۱۳۳
 فصل هفتم. اصلاح گیاهان برای تحمل به تنش شوری.....	۱۳۹
چکیده.....	۱۳۹
مقدمه.....	۱۴۰
۱-۷ ژرم پلاسم و تنوع ژنتیکی.....	۱۴۵
۲-۷ القا تنش و استراتژی انتخاب.....	۱۴۷
۳-۷ وراثت، تأثیر والدین و ارتباط میان صفات.....	۱۵۲
۴-۷ روش‌های اصلاح.....	۱۵۳

۱۵۴.....	۵-۷ استفاده از بیوتکنولوژی برای اصلاح ارقام متحمل به شوری.....
۱۵۶.....	۶-۷ روش های ترانسژنیک (تراریخته).....
۱۶۱.....	۷-۷ نتیجه گیری.....
۱۶۲.....	منابع.....

۱۶۷.....	فصل هشتم. اصلاح گیاهان برای تحمل به تنش آلومینیوم.....
۱۶۷.....	چکیده.....
۱۶۸.....	مقدمه.....
۱۷۱.....	۱-۸ ژرم پلاسما و تنوع ژنتیکی.....
۱۷۲.....	۲-۸ توارث تحمل به سمیت آلومینیوم.....
۱۷۵.....	۳-۸ اعمال تنش و بررسی تحمل به آلومینیوم.....
۱۷۵.....	۱-۳-۸ ارزیابی در محلول های غذایی.....
۱۷۸.....	۲-۳-۸ ارزیابی در مزرعه.....
۱۷۹.....	۴-۸ راهکارها و روش های انتخاب یا اصلاح.....
۱۸۰.....	۵-۸ بیوتکنولوژی: QTLها، انتخاب با استفاده از مارکر (نشانگر)، تراریخته ها.....
۱۸۲.....	منابع.....

۱۸۷.....	فصل نهم. اصلاح گیاهان برای افزایش تحمل به تنش گرمایی.....
۱۸۷.....	چکیده.....
۱۸۸.....	مقدمه.....
۱۸۹.....	۱-۹ ویژگی های تنش گرما.....
۱۹۱.....	۲-۹ مکانیسم های تنش گرمایی و ویژگی های مرتبط.....
۱۹۱.....	۱-۲-۹ مکانیسم های تحمل.....
۱۹۲.....	۲-۲-۹ ویژگی های مورداستفاده در برنامه های اصلاحی.....
۱۹۲.....	۱-۲-۲-۹ پایداری دمایی غشای سلولی.....
۱۹۳.....	۲-۲-۲-۹ فلوروسنس کلروفیل.....
۱۹۴.....	۳-۲-۲-۹ کاهش دمای کانوپی.....
۱۹۴.....	۴-۲-۲-۹ تست تری فنیل تترازولیوم.....
۱۹۵.....	۵-۲-۲-۹ ویژگی های مورفولوژیکی مربوط به تحمل به تنش گرما.....
۱۹۶.....	۶-۲-۲-۹ پروتئین های شوک گرمایی و عوامل رونویسی.....
۱۹۷.....	۳-۹ تنوع ژنتیکی و کنترل تحمل به تنش گرمایی.....
۱۹۸.....	۴-۹ محیط انتخاب برای تحمل به تنش گرما.....
۲۰۳.....	۵-۹ روش های اصلاحی و استراتژی های انتخاب.....
۲۰۳.....	۱-۵-۹ معرفی ژرم پلاسما.....
۲۰۴.....	۲-۵-۹ اصلاح توسط هیبریداسیون.....
۲۰۴.....	۱-۲-۵-۹ انتخاب والدین و به دست آوردن تفرق.....

۲۰۵.....	۳-۵-۹ اصلاح جمعیتی: انتخاب دوره‌ای.....
۲۰۸.....	۶-۹ بیوتکنولوژی و تحمل به تنش گرمایی.....
۲۱۱.....	۷-۹ نتیجه‌گیری.....
۲۱۱.....	منابع.....
۲۱۵.....	فصل دهم. اصلاح گونه‌های چندساله در برابر تنش غیرزیستی.....
۲۱۵.....	چکیده.....
۲۱۶.....	مقدمه.....
۲۱۷.....	۱-۱۰ ژرم پلاسما و تنوع ژنتیکی.....
۲۱۹.....	۲-۱۰ توارث، اثر مادری و روابط بین صفات.....
۲۲۵.....	۳-۱۰ الفا تنش.....
۲۲۹.....	۴-۱۰ استراتژی‌ها و روش‌های انتخاب و اصلاح.....
۲۳۰.....	۵-۱۰ کاربرد بیوتکنولوژی در اصلاح گونه‌های چندساله تحت شرایط تنش زیستی.....
۲۳۴.....	منابع.....

مقدمه

آزمایش‌های کاربردی نشان می‌دهد که تنش‌های غیرزنده در شدت‌های کم‌وزیاد تقریباً در همه نواحی کشاورزی کره زمین رخ می‌دهند. در بعضی نواحی ممکن است در بعضی سال‌ها، تنش به علت گرما، خشکی و مواد غذایی معدنی یا حتی به علت سمیت آلومینیوم وجود نداشته باشد اما این می‌تواند در سال‌های بعد تغییر کند. نتیجه تغییرات اقلیمی برای کشاورزی یک موضوع داغ در بسیاری از محافل علمی شده است. نگرانی اصلی این است که جهان ممکن است نتواند تولید غذا را تحت شرایط تنش غیرزنده ناشی از گرمایش جهانی حفظ کند. هدف نویسندگان این کتاب جمع‌آوری بیشترین دستاوردهای علمی مناسب و بیان وضعیت اصلاح گیاهان و توسعه ارقام برای تنش‌های غیرزنده است.

با توجه به اینکه این کتاب توسط متخصصین تنش‌های غیرزنده و با بیان ساده نوشته شده است یک منبع ضروری برای علاقه‌مندان در زمینه اصلاح گیاهان و چالش‌های آینده کشاورزی در مواجهه با تغییرات اقلیمی است.

روبرتو فریچو نتو

آلوایزو بورم

فصل اول

تنش‌های غیرزنده:

چالشی برای اصلاح نباتات در دهه‌های آینده

(آلیوزو بورم، ماگنو آنتونیو پاتو رامالو و روبرتو فریچ-نتو)¹

چکیده

کشاورزی مدرن مواد غذایی، الیاف و به‌تازگی سوخت‌های زیستی را در پاسخ به تقاضای جهانی فراهم می‌کند. یکی از اصول کشاورزی مدرن بهبود رقم‌هایی با عملکرد بیشتر از اجدادشان است. اسناد علمی سهم قابل‌توجه اصلاح نباتات در کشاورزی و نهایتاً تولید مواد غذایی در سراسر جهان را نشان می‌دهد. در حال حاضر کشاورزی با چالش‌های بزرگی با توجه به رشد جمعیت و افزایش فشار بر کشاورزی جهت حفظ محیط‌زیست و تغییرات آب‌وهوایی مواجه است. بسیاری از برنامه‌های اصلاحی برای مقابله با این چالش‌های جدید و تحمل تنش‌ها اهداف اصلاحی‌شان را در سال‌های اخیر دوباره جهت‌دهی کرده‌اند. در این کتاب کارشناسان فیزیولوژی و اصلاح نباتات پیشرفت‌ها و نوآوری‌هایی بکار گرفته‌شده در تنش غیرزنده، بحث در مورد مفاهیم فیزیولوژیکی جدید، روش‌های اصلاحی و روش‌های بیولوژیکی مدرن برای گسترش و توسعه ارقام اصلاح‌شده، جهت تحمل انواع تنش‌های غیرزنده را ارائه می‌دهند.

کلیدواژه. تغییرات آب‌وهوایی، گرم‌شدن زمین، رقم‌های اصلاح‌شده، اصلاح برای خشکی، بیوتکنولوژی

1. Aluizio Borém, Magno Antonio Patto Ramalho and Roberto Fritsche-Neto

مقدمه

کشاورزی از مهم‌ترین رویدادها در تاریخ انسان برای تغییر شیوه زندگی عشایری (کوچ‌نشینی) بوده است. شواهد تاریخی نشان می‌دهد که کشاورزی حدود ۱۰۰۰۰ تا ۱۲۰۰۰ سال پیش آغاز شده است. با کشاورزی بشر به اثرگذاریش روی محیط شتاب داد به‌ویژه با جایگزینی ارقام بومی و فلور متنوع با گونه‌هایی که ترجیح می‌داد یا نیاز داشت. در آغاز قرن ۱۹ نگرانی فزاینده‌ای وجود داشت که رشد سریع جمعیت می‌تواند باعث کمبود مواد غذایی و فقر منابع شود که در نهایت منجر به قحطی می‌شود. مشهورترین نوشته (سند) مربوط به توماس مالتوس^۱ اقتصاددان است که گفته افزایش جمعیت براساس تصاعد هندسی است درحالی‌که عرضه مواد غذایی با تصاعد حسابی افزایش می‌یابد. نظریه توماس درست بود، او به توسعه تکنولوژی کشاورزی مثل استفاده از کودها و به‌ویژه تولید ارقام اصلاح‌شده ژنتیکی توجه کرده بود؛ بنابراین با افزایش جمعیت به ۴/۶۸ میلیارد نفر در قرن ۲۰، مواد غذایی لازم برای پاسخگویی به تقاضا فقط در دوره کوتاهی از زمان وجود داشت. گفته می‌شود امروزه گرسنگی به علت کمبود مواد غذایی نیست بلکه به خاطر توزیع ناعادلانه ثروت است. در کشاورزی مدرن با استفاده از ارقام اصلاح‌شده و مدیریت خوب محصولات می‌توان عملکرد محصولات را در تمام گونه‌های زراعی افزایش داد. پس از جنگ جهانی دوم این پیشرفت‌ها با تولید گسترده ارقام اصلاح‌شده، کوددهی، حشره‌کش‌ها و قارچ‌کش‌ها بیشتر مشهود بود. با موفقیت کشاورزی مدرن در تولید مواد غذایی از نظر کیفیت و کمیت، قیمت مواد غذایی در طول قرن ۲۰ کاهش یافت. فراوانی مواد غذایی به عنوان نتیجه تکنولوژی کشاورزی تلفات خودش را دارد به این معنی که کشاورزی در حال از دست دادن اهمیت خود است. تولید زیاد مواد غذایی باقیمت کم، توجه به جنبه‌های دیگر دانش بشری باعث کاهش قابل توجهی از سرمایه‌گذاری در بخش توسعه و تحقیق (R&D) شد و این یکی از معضلات بزرگ تحقیقات کشاورزی در زندگی امروزه است. چگونگی توسعه فناوری در دهه‌های آینده باوجود تغییرات آب‌وهوایی یکی از چالش‌های جدید است. از علائم کاهش سرمایه‌گذاری در بخش تحقیقات کشاورزی، تعداد کم اصلاح‌گرهای تازه آموزش‌دیده در دهه گذشته علیرغم سهم اصلاح نباتات در

1. Thomas Malthus

افزایش تولید مواد غذایی در سرتاسر جهان است (Vencovsky and Ramalho 2006; Du Vick et al. 2004). اگرچه در ۵۰ سال گذشته جمعیتی که با گرسنگی مواجه هستند کاهش یافته اما شواهدی وجود دارد که گرسنگی می‌تواند در متوسط و بلندمدت پایان یابد. در حال حاضر حدود ۹۲۵ میلیون نفر به حداقل روزانه مواد غذایی که توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO) به عنوان درشت مغذی‌ها (کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و لیپیدها) توصیه شده، دسترسی ندارند. تخمین زده شده که حدود ۱ میلیارد نفر با گرسنگی پنهان روبه‌رو هستند که تغذیه بد، کمبود ویتامین‌ها و مواد معدنی دارند (Evans, 1998; Borém and Rios 2011). از طرف دیگر نزدیک به ۱ میلیارد نفر در اثر استفاده بیش از حد مواد غذایی با خطر ابتلا به چاقی و دیابت روبه‌رو هستند.

امروزه کشاورزی چالش‌های جدید و بزرگی دارد که حتی در سال‌های آینده بزرگ‌تر می‌شود. این به‌خاطر این واقعیت است که جمعیت تا ۲۰۵۰ قرار است همچنان افزایش یابد و بر طبق سازمان خواربار و کشاورزی (FAO) جمعیت جهان در ۹/۱ میلیارد تثبیت خواهد شد. افزایش جمعیت پیامدهای ژرفی برای سیاره ما خواهد داشت. این تعجب‌آور است حتی قبل از اینکه این جمله کامل شود سه ساکن دیگر به زمین اضافه خواهد شد، هر ۳ ثانیه یک انسان و در هر روز ۲۵۹۰۰۰ ساکن جدید و ۷ میلیون نفر در هرامه متولد می‌شود. شایان‌ذکر است که چندین میلیون سال طول کشیده که جمعیت زمین به دو میلیارد برسد و فقط در طی ۲۵ سال آینده دو میلیارد دیگر اضافه خواهد شد. به‌تازگی نیمی از جمعیت جهان در شهرها و شهرستان‌ها زندگی می‌کنند اما این تعداد با فرض اینکه ۲۶ شهر با جمعیتی بالاتر از ۱۰ میلیون نفر وجود دارد به ۶۰٪ تا سال ۲۰۳۰ افزایش می‌یابد (Beddington 2010). مشکلاتی که بشر در دهه‌های آینده به‌علت افزایش جمعیت با آن مواجه است متفاوت و اغلب چالش‌برانگیز است. در جدول ۱-۱ تولید و تقاضا جهانی برای غذا در سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۲۵ آورده شده است.

افزایش تقاضا برای غذا فقط به‌علت افزایش جمعیت نیست بلکه فاکتورهای دیگری هم در این مسئله دخالت دارد از جمله افزایش ثروت جامعه به‌ویژه در کشورهای نوظهور که BRICS (برزیل، روسیه، هند، چین و آفریقای شمالی) نامیده می‌شوند که موجب افزایش تقاضا برای رژیم غذایی متنوع‌تر و غنی‌تر می‌شود (شکل ۱-۱، FAO 2009, 2010). به‌خوبی مشخص است که افزایش درآمد سرانه باعث

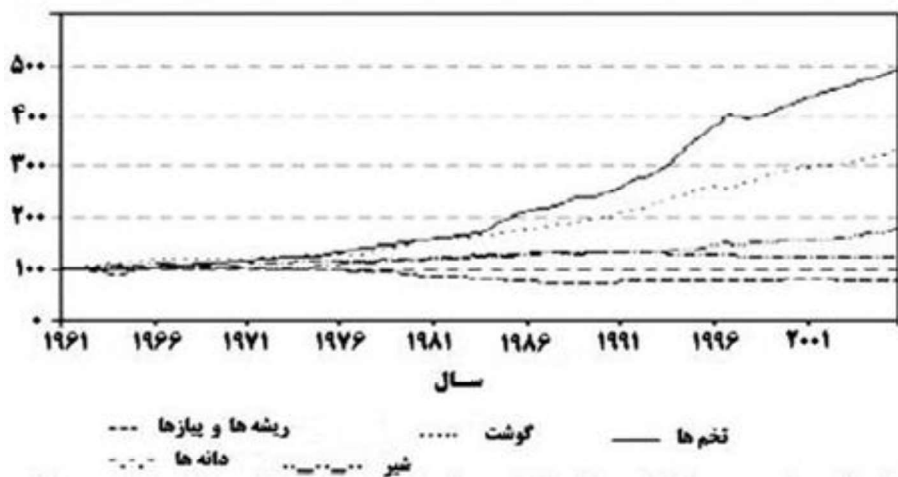
۴ اصلاح گیاهان برای تحمل تنش‌های غیرزنده

افزایش تقاضا برای غذا می‌شود و کشورهای BRICS با داشتن ۴۰٪ از جمعیت جهان تقریباً ۱۸٪ از اقتصاد جهانی را به خود اختصاص داده‌اند. یکی دیگر از عوامل فشار بر تولید مواد غذایی، رقابت بین مناطق طراحی‌شده برای تولید سوخت‌های زیستی است. تقاضا برای انرژی‌های زیستی در طی ۲۵ سال آینده ۴۵٪ افزایش خواهد یافت و مناطق در حال رشد از نیشکر، جاتروفا و سایر محصولات انرژی‌زا استفاده خواهند کرد (Mitchel 2008; Beddington 2010).

جدول ۱-۱. تقاضا و تولید جهانی فیبر و غذا در سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۲۵ (میلیون تن)

تولیدات اضافی	تقاضای ۲۰۲۵	تولید در ۲۰۰۵	تولید
۹۲۱	۳/۱۴۰۴۰	۲/۲۱۹۴۰	غلات و حبوبات
۱۵۵/۹۶	۷۵۰/۹۷	۵۹۵/۰۵	دانه‌های روغنی
۷۰/۱۸	۳۲۱/۹۹	۲۴۲/۸۱	محصولات چندساله
۸۵/۷۸	۴۳۷/۹۸	۳۵۲/۲	محصولات یک‌ساله
۱/۶۸	۹/۴	۷/۷۲	قهوه
۷/۸۷	۳۶/۳۷	۲۸/۵	الیاف
۷۴۶/۵	۴/۱۴۸۴۰	۳/۴۰۱/۹۰	چوب

منبع: اقتباس گرفته‌شده از (Agroanalysis 2007)



شکل ۱-۱. سرانه مصرف پنج محصول غذایی در کشورهای توسعه‌یافته از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۱.

منبع: Agroanalysis 2011

تنش‌های غیرزنده ۵

افزایش فشار به کشاورزی با توجه به نقش زیستی آن حتی بیشتر خواهد شد. در میان جنبه‌های زیست‌محیطی آب استفاده‌شده در کشاورزی نیازمند توجه ویژه است. تخمین زده‌شده که به‌نازگی ۷۰٪ آب آشامیدنی برای کشاورزی استفاده می‌شود؛ بنابراین آب باید به‌صورت مؤثرتری استفاده شود (Chris and Briscoe 2001). علاوه بر این احتمال داده می‌شود که خیلی از مناطق جهان با کمبود آب خاک مواجه هستند و این نیاز به آبیاری گسترده‌تر و شدیدتر در مناطق در حال رشد را باعث می‌شود. استفاده از منابع کشاورزی تجدیدپذیر نیز کمیاب و پرهزینه است به‌عنوان مثال برزیل ۲/۵ میلیون از نیتروژن و ۳/۷ میلیون از K_2O استفاده می‌کند که به ترتیب ۲/۵٪ و ۱۳/۹٪ مصرف جهانی است. این سناریو پیچیده‌تر می‌شود وقتی فشار زیادی برای کاهش انتشار CO_2 وجود دارد (Wright 2010) و این کشاورزی را بیشتر دچار مشکل می‌کند (Lobell et al. 2003; Assad and Pelegriño 2007). برای مقابله با این سناریو بسیاری از مناطق حاشیه‌ای را باید به سیستم کشاورزی اضافه کرد. خیلی از این مناطق حاشیه‌ای تنش‌هایی مانند سمیت آلومینیوم، شوری یا تنش‌های غیرزنده دیگری دارند که خواستار رقم‌های سازگار با این محدودیت‌ها هستند. بسیاری از سیستم‌های کشاورزی پایدار نبوده که به‌طور عمده به‌علت استفاده شدید از منابع غیرقابل تجدید جهت تقویت تغذیه رقم‌های متحمل‌تر به تنش است. این عدم پایداری بر اثر حشرات، بیماری‌ها، علف‌های هرز و تنش‌های زنده که شایع‌تر و شدیدتر است ایجاد خواهد شد. برای مقابله با این چالش‌ها برنامه‌ریزی منسجم‌تر و استفاده از فناوری‌های جدید ضروری است. به‌علاوه روش‌های سنتی، روش‌های اصلاحی، بیوتکنولوژی (Quam 2009; Borém and Almeida 2011) و دیگر فناوری‌های نوظهور مثل نانوتکنولوژی (Alexandratos 2006; Bruinsma 2009) بایستی استفاده شود. سهم اصلاح نباتات برای افزایش تولید مواد غذایی، خوراکی، فیبر و سوخت‌های زیستی به‌خوبی به اثبات رسیده است (Vencovsky and Ramalho 2006; DuVick et al. 2004). بهر حال آنچه در دهه‌های آینده رخ می‌دهد این است که اصلاح‌گران مجبور هستند تعهد و دانش تخصصی خود را جهت همگام‌شدن با افزایش تقاضا در یک جهان گرسنه اختصاص بدهند. هدف اصلی این فصل مشخص کردن دامنه تنش‌های غیرزنده برای کشاورزی و چگونگی مقابله با آن‌ها برای کمک به اصلاح‌گران جهت تعیین اولویت‌های درست و توسعه ارقام مناسب است.

۱-۱ عملکرد بالقوه محصول

قبل از بحث در مورد آنچه عملکرد بالقوه خوانده می‌شود به تعریفی از بهره‌وری بیولوژیک نیازمندیم. مفهوم بهره‌وری بیولوژیک با توجه به گونه زراعی و شرایط متفاوت است. برای مثال برای غذا، تغذیه و فیبر بهره‌وری و کارایی بیولوژیکی به تبدیل انرژی خورشیدی بستگی دارد. عملکرد باید واحدی از تولید را در هر واحد انرژی خورشیدی جذب‌شده منعکس کند. متخصصین زراعت و اقتصاددانان مرتبط‌کردن بهره‌وری بیولوژیک به واحد سطح مثل مقدار تولید (Kg/ tons) در واحد سطح (هکتار) را ترجیح می‌دهند. در این کتاب و بیشتر مواقع اصلاح‌گران، بهره‌وری بیولوژیکی با مقدار تولید در واحد منابع استفاده‌شده اندازه‌گیری می‌کنند. در بسیاری از موارد هر واحد از منابع شامل زمین، آب، انرژی، کود، آفت‌کش، سرمایه و ماشین‌آلات تخمین زده می‌شود. از آنجایی که بهره‌وری نسبی است و با محیط و رقم تغییر می‌کند، بنابراین استفاده از شاخص بیولوژیکی می‌تواند به اصلاح‌گر برای توسعه ارقامی با کارایی بیشتر برای استفاده از منابع طبیعی کمک کند.

وقتی رقم در محیط مناسب، در غیاب فاکتورهای محدودکننده و جایی که کاملاً سازگار شده رشد می‌کند عملکرد بالقوه تولید ماکزیمم است. در این محیط عناصر معدنی و آب فاکتورهای محدودکننده عملکرد نبوده و آفات و علف‌های هرز به‌طور مؤثری کنترل می‌شوند به‌عنوان مثال رشد گیاه بدون استرس انجام می‌شود (Evans and Fisher, 1999). به‌طور کلی رشدکردن گیاه تحت این شرایط برای به‌دست آوردن حداکثر عملکرد مشکل یا حتی غیرممکن است. باین‌حال گزارش‌های زیادی در مورد حداکثر عملکرد بسیاری از گونه‌های زراعی وجود دارد و عملکرد بالقوه در تابع تابش خورشیدی وجود دارد. همه آن‌هایی که تخمین‌زده شده‌اند بسیار بالاتر از آن‌هایی هستند که در عمل به‌دست آمده‌اند (جدول ۱-۲).

عملکرد بالقوه به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای از عملکرد بیولوژیکی در واحد زمین است مثل عملکرد تن/هکتار که این واحد اغلب توسط کارشناسان زراعت استفاده می‌شود، بنابراین پتانسیل ژنتیکی رقم بسیار بیشتر از مقداری است که در واقعیت به‌دست می‌آید. چرا این چنین است؟ همان‌طوری که قبلاً گفته شد هر عامل محیطی که تأثیر منفی روی رشد گیاه داشته باشد تنش نامیده می‌شود. فاکتورهای محیطی و مدیریتی زیادی وجود دارد که تأثیر ژرفی بر رشد گیاه دارند و محدودیت یک یا تعدادی از این عوامل باعث

تنش‌های غیرزنده ۷

جدول ۱-۲. گزارش عملکرد دانه (tonha^{-1}) در گونه‌های زراعی متفاوت

موضوع	تولیدات	منبع
برنج	$10/5(15/9)^a$	Boyer (1987)
ذرت	۲۳/۲	Dwick and Cassman (1999)
گندم	۱۴/۱	Tollenaar and Lee (2002)
سورگوم	۲۰/۱	Ort and Long (2003)
سویا	$7/3(22/5)^b$	Ort and Long (2003)

a عملکرد تخمین زده شده در تابع تابش خورشیدی در طول فصل رشد (Peng et al., 1999)

b عملکرد تخمین زده شده در تابع کارآمدی فتوسنتز (Spednt et al., 1999)

کاهش بهره‌وری بیولوژیکی با بازتاب آن در تولید می‌شود. در قرن گذشته بهبود ژنتیکی اکثر محصولات (نه همه) به دلیل انتخاب بر اساس تحمل به تنش بجای عملکرد بالقوه بالاتر بوده است (Tollenaar and Wu 1999; Tollenaar and Lee 2002) و این اعتقاد وجود دارد که استراتژی مشابهی توسط اصلاحگران برای اصلاح در آینده نزدیک استفاده خواهد شد.

جدول ۱-۳. دلایل اصلی از بین رفتن محصولات، در درصد که عطا شده بود در USA

دلایل اصلی از بین رفتن	درصد از بین رفتن
خشکی	۴۰/۸
جاری شدن سیل	۱۸/۲
سرما	۱۳/۸
تگرگ	۱۱/۳
باد	۷/۰
آفات	۴/۵
بیماری‌ها	۲/۷
سایر موارد	۱/۵

منبع: اقتباس گرفته شده از Ort and Long, (2003)

در سال ۱۹۸۲ بویر^۱ عوامل اصلی از بین رفتن محصولات در امریکا را گزارش کرد. مشخص شده که تنش‌های غیرزنده مسئول بیشتر از ۸۹٪ از بین رفتن محصولات

1. Boyer

۸ اصلاح گیاهان برای تحمل تنش‌های غیرزنده

است و در بین آن‌ها خشکی مسئول از بین رفتن ۴۰٪ از محصولات است (جدول ۱-۳). باید توجه کرد که تنش‌ها در مناطق گرمسیری بسیار شایع‌تر و شدیدتر از مناطق معتدل هستند. پیترنیایی^۱ (۱۹۹۰) ویژگی‌های ذرت رشد یافته در مناطق آب‌وهوایی متفاوت را با هم مقایسه کرد (جدول ۱-۴). قابل توجه است که تنش‌ها برای کشاورزی به‌طور قابل ملاحظه‌ای در مناطق گرمسیری نسبت به معتدل مضرتر است. نویسنده برای مثال مقایسه‌ای برای میزان بارش در پیراسیکایا (Piracicaba)، ایالت سائوپائولو برزیل و ایمز (Ames) در ایالت آیووا آمریکا انجام داد. در ایمز باران در ماه‌های ژوئیه و اوت، وقتی محصول به گل می‌رود به‌طور متوسط $92/6 \text{ mm} \pm 35/5$ و $97/6 \text{ mm} \pm 40/7$ به ترتیب بود. در پیراسیکایا در طول ماه‌هایی که محصولات به گل می‌روند مثل دسامبر و ژانویه متوسط بارش به ترتیب $218/9 \text{ mm} \pm 75/9$ و $216 \text{ mm} \pm 94/1$ است. در ابتدا این برآوردها نشان می‌دهد که در پیراسیکایا دسترسی با آب بسیار مطلوب‌تر بوده هرچند که توزیع بارش در آن نامنظم‌تر است. در این مناطق دوره‌های کوتاهی بارش شدید با تجمع پایین آب در خاک رخ می‌دهد. به دنبال این دوره‌های کوتاه باران سنگین، دوره‌های بلند بدون باران است. نویسنده به فاکتورهای محیطی مثل مواد معدنی که

جدول ۱-۴. خصوصیات و ویژگی‌های ذرت رشد یافته در مناطق گرمسیری و معتدل

ویژگی‌ها	معتدل	گرمسیری (حاره‌ای)
تغییرات آب‌وهوایی سالیانه	به نسبت پایدار	غیر قابل پیش‌بینی پیش‌بینی
تغییرات بارندگی سالیانه	به نسبت یکنواخت	متغیر
باران در میان مناطق	به نسبت یکنواخت	متغیر
فتو پرود	روزهای بلند	روزهای کوتاه
دمای شب	سرما	گرم
شرایط خاک	معمولاً نامناسب	معمولاً نامطلوب
دوره کاشت	به خوبی تعریف شده	بسیار متغیر/تمام طول سال
دوره رشد	به خوبی تعریف شده	بسیار متغیر
شرایط جوانه‌زنی	خاک سرد/قارچ‌های حاضر در خاک	حضور آفات در خاک
آلودگی علف‌های هرز	هجوم متوسط	آلودگی بالا
آفات دانه	هجوم پایین	شروع آلودگی بالا در خاک

منبع: اقتباس گرفته شده از Paterniani, 1999

ممکن است توسط کشاورز کنترل شود توجه نکرده است. اهمیت تنش‌های غیرزنده در مناطقی از جهان جایی که تولید غذا با سرعت بالاتری در حال گسترش است شایان ذکر است. هدف اصلی اصلاح نباتات توسعه ارقام اصلاح شده است و معمولاً آن‌ها ارقامی متحمل‌تر به خشکی و مقاومت به سایر تنش‌ها گسترش می‌دهند اما الآن اصلاحگران در تلاش برای توسعه ارقام کارآمدتر در استفاده از فاکتورهای محیطی محدود هستند.

۲-۱ پرورش گیاه و مشکلات به وجود آمده ناشی از تغییرات آب‌وهوایی

تجربه عملی نشان می‌دهد که در همه مناطق در حال رشد از لحاظ زلزله کشاورزی در سراسر جهان تنش‌های غیرزنده در شدت بالا و پایین رخ می‌دهد. در برخی نواحی تنش به علت خشک‌سالی، گرما و مواد معدنی یا حتی به علت مسمومیت آلومینیوم خاک مختص یک سال خاص نیست و در سال‌های پیش رو دستخوش تغییرات خواهد بود. توالی تغییرات آب‌وهوایی در کشاورزی موجب نگرانی بسیار از سیاست‌گذاران شده و یکی از موضوعات داغ گروه‌های علمی است (Ramalho et al. 2009). نگرانی اصلی این است که ممکن است جهان با افزایش تنش‌های غیرزنده همراه با گرم شدن جهانی توانایی کمی جهت نگه داشتن تولیدات غذایی داشته باشد. انتظار می‌رود تغییرات آب‌وهوایی آب‌وهوایی تحت فشار تولید بیشتر برای برآورد تقاضای بالای مواد غذایی، چالش‌های کشاورزی زیادی به دنبال داشته باشد. تغییرات آب‌وهوایی توسعه ارقام جدید را تحت تأثیر قرار می‌دهد. باران‌های سنگین، خشک‌سالی‌های طولانی و گرمای شدید به حداکثر خود خواهد رسید و موجب کاهش تولید محصولات و امنیت غذایی می‌شود، همچنین انتظار می‌رود محصولات غذایی تحت تأثیر دمای اقیانوس‌ها و دریاها قرار گیرند. یک دیدگاه می‌تواند این باشد که افزایش CO₂ به عنوان ماده اولیه برای رشد گیاه موجب افزایش عملکرد شود. به هر حال افزایش در مقدار CO₂ اتمسفر هرگونه سودمندی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. سیاست‌های عمومی برای کاهش تغییرات آب‌وهوایی آب‌وهوایی، چگونگی روند کشاورزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تخمین زده می‌شود کشاورزی عامل انتشار تقریباً ۱۲٪-۱۰٪ گازهای گلخانه‌ای باشد. بر اساس یافته‌های بین‌المللی تا سال ۲۰۵۰ سطح کنونی گازهای گلخانه‌ای باید به ۵۰-۶۰٪ کاهش یابد تا تأثیرات بدتری روی محیط نداشته باشد (Garnett 2008; Fuchs et al. 2009). قبل از انقلاب صنعتی غلظت CO₂ اتمسفر ۲۸۰ ppm بوده و امروز ۳۸۴ ppm است