به‌نژادی و به‌زراعی گندم
امنیت غذایی در عصر تغییر اقلیم

نویسندگان:
متیو رینولدز
هانس- یوآخیم براون

مترجمان:
دکتر محمد کافی
(استاد دانشگاه فردوسی مشهد)
دکتر زهرا کیامرثی
مهندس عاطفه میرزائیان

۱۴۰۲

عنوان و نام پدیدآور:	به‌نژادی و به‌زراعی گندم/ نویسندگان [صحیح ویراستاران] متیو رینولدز، هانس‌یوآخیم براون؛ مترجمان محمد کافی، زهرا کیامرثی، عاطفه میرزائیان.
مشخصات نشر :	مشهد: جهاد دانشگاهی، واحد مشهد، انتشارات، ۱۴۰۲.
مشخصات ظاهری:	۶۱۵ص.
فروست:	انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد؛ ۶۰۰ص.
شابک:	978-964-324-523-8:۴۹۵۰۰۰۰ ریال
وضعیت فهرست نویسی:	فیپا
یادداشت:	عنوان اصلی: Wheat Improvement: Food Security in a Changing Climate, 2022
موضوع:	گندم -- کاشت Wheat -- Planting گندم -- اصلاح نژاد Wheat -- Breeding
شناسه افزوده:	رنلدز، متیو پی.، ویراستار
شناسه افزوده:	Reynolds, Matthew P.
شناسه افزوده:	براون، هانس-یوآخیم، ویراستار
شناسه افزوده:	Braun, H.-J. (Hans-Joachim)
شناسه افزوده:	کافی، محمد، ۱۳۳۶ -، مترجم
شناسه افزوده:	کیامرثی، زهرا، ۱۳۶۵ -، مترجم
شناسه افزوده:	میرزائیان، عاطفه، ۱۳۶۴-، مترجم
شناسه افزوده:	جهاد دانشگاهی. واحد مشهد. انتشارات
رده‌بندی کنگره:	SB ۱۹۱
رده‌بندی دیویی:	۶۳۳/۱۱
شماره کتابشناسی ملی:	۹۴۳۸۳۶۲
اطلاعات رکورد کتابشناسی:	فیپا

انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد

مشهد، میدان آزادی، پردیس دانشگاه، سازمان مرکزی جهاد دانشگاهی خراسان رضوی

ص.پ. ۱۳۷۶ـ ۹۱۷۷۵ تلفن: ۳۱۹۹۷۳۲۱ دفتر پخش: ۳۱۹۹۷۳۲۶

فروشگاه یک: ۳۸۴۱۸۰۷۰ فروشگاه دو: ۳۱۹۹۷۳۲۷ فروشگاه سه: ۳۱۹۹۷۲۲۰

www.jdmpress.com info@jdmpress.com

به‌نژادی و به‌زراعی گندم؛ امنیت غذایی در عصر تغییر اقلیم

نویسندگان: متیو رینولدز و هانس- یوآخیم براون

مترجمان: دکتر محمد کافی؛ دکتر زهرا کیامرثی؛ مهندس عاطفه میرزائیان

آماده‌سازی و صفحه‌آرایی: رضا نیک‌ذات؛ واحد فنی دفتر نشر/ چاپ و صحافی: من‌چاپ

چاپ اول / زمستان ۱۴۰۲ / ۱۰۰ نسخه / شماره نشر ۶۰۰

شابک ۸-۵۲۳-۳۲۴-۹۶۴-۹۷۸ ISBN: 978-964-324-523-8

تمامی حقوق نشر برای ناشر محفوظ است.

قیمت: ۴/۹۵۰/۰۰۰ ریال

به نام خداوند جان و خرد

انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد بر این باور است که نخستین گام در راه بهبود ساختارهای اقتصادی-اجتماعی و توسعهٔ کشور، دستیابی به تازه‌های دانش و نشر یافته‌های پژوهشگران است.

کتاب حاضر ششصدمین اثری است که با همین رویکرد منتشر می‌شود. رهنمودهای خوانندگان فرهیخته می‌تواند ما را در ارتقاء سطح کیفی و کمّی این آثار یاری نماید.

انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد

تقدیمیه نویسندگان:

این کتاب آموزشی به دکتر سانیا راجارام، یکی از بهترین محققان در زمینه گندم که در ۱۷ فوریه ۲۰۲۱ تسلیم کووید-۱۹ شد، تقدیم می‌شود. کسانی که او را می‌شناختند، می‌دانند «راج» ردای مربیان بزرگ خود، مثل نورمن بورلاگ و گلن اندرسون، نیروهای محرکه انقلاب گندم قرن بیستم را به دوش می‌کشید. او در اوایل دهه ۱۹۷۰ پروژه گندم نان در سیمیت را بر عهده گرفت و رهبر انقلاب سبز دوم در تولید گندم تا اوایل دهه ۲۰۰۰ بود که تا امروز نیز ادامه دارد. راج نه‌تنها به‌عنوان یک قهرمان شناخته می‌شود، بلکه نمونه‌ای از افرادی است که از فقر در دوران زندگی به رهبری بزرگ در حوزه خود تبدیل شده‌اند.

.

فهرست

سخن آغازین ۱۵
پیشگفتار مترجمان ۱۷
پیشگفتار مؤلفان ۱۹
۱. بهبودهای به‌نژادی و به‌زراعی گندم ۲۵
۱-۱ اهداف یادگیری ۲۶
۱-۲ تاریخچه اصلاح گیاهان زراعی ۲۶
۱-۳ به‌نژادی گیاهی در ماقبلِ تاریخ ۲۷
۱-۴ اصلاح نباتات در عصر صنعتی ۲۸
۱-۵ فناوری‌هایی که در دهه اخیر بر اصلاح گیاهان زراعی تأثیرگذار بوده‌اند ۲۹
۱-۶ تعامل رشته‌های تخصصی مرتبط ۳۰
۱-۷ شبکه‌سازی و مشارکت ۳۲
۱-۸ انتخاب رهیافت‌های بهبود گیاهان زراعی ۳۲
۱-۹ اهداف اصلی کتاب «به‌نژادی و به‌زراعی گندم؛ امنیت غذایی در عصر تغییراقلیم» ۳۴
۱-۱۰ مفاهیم کلیدی ۳۶
۱-۱۱ نتیجه‌گیری ۳۶
منابع ۳۷
۲. تاریخچه به‌نژادی گندم: یک دیدگاه شخصی ۳۹
۲-۱ اهداف یادگیری ۴۰
۲-۲ مقدمه ۴۰
۲-۳ پیشرفت‌های گذشته گندم در سطح مزرعه و در کرت‌های به‌نژادگران ۴۱
۲-۴ فعالیت‌های پیشین مرتبط با موفقیت و کارایی بیشتر به‌نژادی ۴۵
۲-۵ برخی از ملاحظات آتی برای به‌نژادی ۴۸
۲-۶ سازماندهی و تأمین مالی فعالیت‌های به‌نژادی گندم ۵۱
۲-۷ مفاهیم کلیدی ۵۳
منابع ۵۴
۳. توصیف محیط‌های هدف اصلاح گندم ۵۶
۳-۱ اهداف یادگیری ۵۷

۳-۲ مقدمه: تاریخچه اَبَرمناطق و زمینه اصلاح جهانی گندم ۵۷
۳-۳ عوامل مؤثردر تعریف محیط‌های هدف ۵۹
۳-۴ جمعیت هدف محیط‌های متفاوت ۶۲
۳-۵ آزمایشات چندناحیه‌ای و اثر متقابل محیط به ژنوتیپ ۶۳
۳-۶ مثالی از تعاریف جمعیت هدف در محیط ۶۵
۳-۷ مفاهیم کلیدی و نتیجه‌گیری ۶۸
منابع ۶۹
۴. روندهای جهانی در تولید، مصرف و تجارت گندم ۷۱
۴-۱ اهداف یادگیری ۷۱
۴-۲ مقدمه ۷۲
۴-۳ داده‌ها و روش‌ها ۷۲
۴-۴ روند تولید جهانی گندم ۷۳
۴-۵ روند مصرف جهانی گندم ۷۹
۴-۶ قیمت و تجارت گندم ۸۵
۴-۷ مفاهیم کلیدی ۸۹
۴-۸ نتیجه‌گیری ۸۹
منابع ۹۰
۵. روش‌های اصلاح نژادی: توسعه لاین خالص ۹۳
۵-۱ اهداف یادگیری ۹۳
۵-۲ مقدمه ۹۴
۵-۳ اصلاح شجره‌ای ۹۴
۵-۴ روش اصلاح نژادی مخلوط و ترکیبی ۹۶
۵-۵ نژاد تک‌بذری ۹۷
۵-۶ روش دابل هاپلوئید ۹۹
۵-۷ روش‌های تلاقی برگشتی ۱۰۰
۵-۸ اصلاح به روش جهش ۱۰۱
۵-۹ مولتی‌لاین‌ها ۱۰۳
۵-۱۰ مفاهیم کلیدی ۱۰۵
۵-۱۱ نتیجه‌گیری ۱۰۵
منابع ۱۰۵
۶. روش‌های اصلاح گندم: بهبود جمعیت و روش‌های انتخاب ۱۰۷
۶-۱ اهداف یادگیری ۱۰۷
۶-۲ اصلاح جمعیت ۱۰۸
۶-۳ روش‌های انتخاب ۱۱۱
۶-۴ مفاهیم کلیدی ۱۱۹
۶-۵ نتیجه‌گیری ۱۲۰
منابع ۱۲۰

۷. راهکارهای عملی برای رسیدن به ظرفیت‌های ژنتیکی ارقام گندم ۱۲۲
۷-۱ اهداف یادگیری ۱۲۳
۷-۲ مقدمه ۱۲۳
۷-۳ ایجاد پرونده تولید در پروژه‌های اصلاح نژادی ۱۲۴
۷-۴ انتخاب والدین و راهبردهای تلاقی ۱۲۶
۷-۵ نسل اولیه پیشرفته و راهکارهای انتخاب ۱۲۸
۷-۶ تصمیمات پیشرفته برای لاین‌های ممتاز و راهبردهای فنوتیپی ۱۳۱
۷-۷ خزانه‌های ارزیابی بین‌المللی و خصوصیات عملکرد برای تشخیص لاین‌های ممتاز ۱۳۶
۷-۸ ادغام انتخاب ژنومی ۱۳۹
۷-۹ برنامه‌های ملی مشارکتی برای شناسایی، آزادسازی و ترویج ارقام گندم ۱۳۹
۷-۱۰ چشم‌اندازی در افزایش سرعت دستیابی به ظرفیت ژنتیکی ۱۴۰
۷-۱۱ مفاهیم کلیدی ۱۴۳
۷-۱۲ نتیجه‌گیری ۱۴۳
منابع ۱۴۳
۸. زنگ گندم؛ وضعیت فعلی، چشم‌انداز کنترل ژنتیکی و رویکردهای یکپارچه به‌منظور افزایش دوام مقاومت ۱۴۶
۸-۱ اهداف یادگیری ۱۴۷
۸-۲ ارزش اقتصادی، اثرات تاریخی و وضعیت بیماری زنگ گندم ۱۴۷
۸-۳ شبکه جهانی فنوتیپ زنگ؛ ابزاری حیاتی برای درک مقاومت میزبان و تنوع پاتوژن در مقیاس جهانی ۱۵۱
۸-۴ شبکه پژوهش‌های بین‌المللی در کاهش تهدید نژادهای جدید در حال ظهور ۱۵۳
۸-۵ انواع مکانیسم‌های مختلف مقاومت به تنش به‌منظور دستیابی به پایایی مقاومت ۱۵۵
۸-۶ افزایش پایایی مقاومت از طریق موفقیت‌های اصلاح نژادی، شکست‌ها و تجربیات کسب‌شده ۱۵۸
۸-۷ استفاده از ابزارهای جدید در اصلاح مقاومتی، فرصت‌های مناسب برای بهبود گندم ۱۶۰
۸-۸ مفاهیم کلیدی ۱۶۱
۸-۹ نتیجه‌گیری ۱۶۱
منابع ۱۶۲
۹. بیماری‌های مهم جهانی گندم به‌جز زنگ‌ها ۱۶۴
۹-۱ اهداف یادگیری ۱۶۴
۹-۲ مقدمه ۱۶۴
۹-۳ بیماری‌های سنبله گندم ۱۶۵
۹-۴ بیماری‌های لکه‌برگی ۱۷۰
۹-۵ بیماری‌های ریشه ۱۷۶
۹-۶ مفاهیم کلیدی ۱۷۹
۹-۷ نتیجه‌گیری ۱۷۹
منابع ۱۸۰
۱۰. تنش‌های غیرزنده ۱۸۲
۱۰-۱ اهداف یادگیری ۱۸۲
۱۰-۲ مقدمه ۱۸۳

۱۰-۳ اصلاح به‌منظور افزایش سازگاری به کم‌آبی و تنش گرما ۱۸۵
۱۰-۴ نمونه‌هایی از تلفیق اصلاح فیزیولوژیکی در برنامه‌های اصلاح نژادی گندم ۱۹۳
۱۰-۵ مفاهیم کلیدی و نتیجه‌گیری ۱۹۷
منابع ۱۹۸
۱۱. کیفیت گندم ۲۰۰
۱۱-۱ اهداف یادگیری ۲۰۰
۱۱-۲ مقدمه؛ کیفیت گندم چیست؟ ۲۰۱
۱۱-۳ اهمیت کیفیت گندم؛ چرا به اصلاح کیفیت گندم نیاز داریم؟ ۲۰۲
۱۱-۴ صفات مهمی که کیفیت گندم را تعریف می‌کنند ۲۰۲
۱۱-۵ کنترل ژنتیکی صفات کیفی و اثرات محیطی ۲۰۶
۱۱-۶ اصلاح برای کیفیت ۲۱۰
۱۱-۷ مفاهیم کلیدی ۲۱۷
۱۱-۸ نتیجه‌گیری ۲۱۷
منابع ۲۱۸
۱۲. بهبود خواص تغذیه‌ای گندم با هدف ارتقای ایمنی غذایی و تغذیه‌ای ۲۱۹
۱۲-۱ اهداف یادگیری ۲۲۰
۱۲-۲ مقدمه ۲۲۰
۱۲-۳ ارتقای کیفیت تغذیه‌ای گیاهان زراعی ۲۲۴
۱۲-۴ توسعه و توزیع محصول ۲۳۴
۱۲-۵ مفاهیم کلیدی ۲۳۵
۱۲-۶ نتیجه‌گیری و چشم‌اندازهای آینده ۲۳۶
منابع ۲۳۷
۱۳. طرح آزمایشات در به‌نژادی گیاه ۲۳۹
۱۳-۱ اهداف یادگیری ۲۳۹
۱۳-۲ مقدمه ۲۳۹
۱۳-۳ مفاهیم اساسی طرح‌های آزمایشی ۲۴۰
۱۳-۴ طرح‌های کلاسیک ۲۴۴
۱۳-۵ طرح‌های مبتنی بر مدل ۲۵۰
۱۳-۶ خلاصه ۲۵۴
۱۳-۷ مفاهیم کلیدی ۲۵۶
۱۳-۸ سؤالات مروری ۲۵۶
منابع ۲۵۷
۱۴. سیستم‌های تولید بذر برای حمایت از پذیرش سریع ارقام اصلاح‌شده گندم ۲۵۹
۱۴-۱ اهداف یادگیری ۲۶۰
۱۴-۲ مقدمه؛ نیاز به سیستم کارآمد بذر گندم و عوامل مؤثر بر راندمان آن ۲۶۰
۱۴-۳ اهمیت بذر با کیفیت در کشاورزی مدرن ۲۶۱
۱۴-۴ سیستم‌های توزیع بذر گواهی‌شده ۲۶۲

۱۴-۵ انواع ارقام گندم و طبقه‌بندی کیفی بذر ۲۶۴
۱۴-۶ نحوه بررسی کیفیت بذر ۲۶۷
۱۴-۷ مراحل تولید بذر و حداقل استانداردهای بذر ۲۶۸
۱۴-۸ نیاز به توزیع سریع بذر و غلبه بر چالش‌های پذیرش سریع رقم جدید ۲۶۹
۱۴-۹ مطالعات موردی توزیع سریع بذر ۲۷۰
۱۴-۱۰ نیاز آینده به توزیع سریع بذر ۲۷۳
۱۴-۱۱ تغییر سیاست‌ها توسط کشورها برای اطمینان از سرعت آزادسازی بذر ارقام جدید ۲۷۴
۱۴-۱۲ احتساب سیستم تهیه و توزیع بذر در درون فرآیند اصلاح نژادی؛ حفاظت و استفاده پایدار از منابع ۲۷۵
۱۴-۱۳ ظرفیت‌سازی برای تضمین کیفیت بذر در کشورهای درحال‌توسعه ۲۷۶
۱۴-۱۴ مفاهیم کلیدی ۲۷۶
۱۴-۱۵ نتیجه‌گیری ۲۷۷
منابع ۲۷۷
۱۵. مدیریت زراعی در آزمایشات اصلاح نژادی ۲۷۹
۱۵-۱ اهداف یادگیری ۲۸۰
۱۵-۲ مقدمه ۲۸۰
۱۵-۳ انتخاب و مدیریت مکان مناسب مزرعه ۲۸۱
۱۵-۴ خطای آزمایشی ۲۸۸
۱۵-۵ خلاصه ۲۹۴
۱۵-۶ مفاهیم کلیدی ۲۹۵
۱۵-۷ مرور سؤالات ۲۹۵
۱۵-۸ نتیجه‌گیری ۲۹۶
منابع ۲۹۶
۱۶. یک قرن تجزیه‌وتحلیل ژنتیک سلولی و ژنوم: تأثیر بر بهبود عملکرد گندم ۲۹۸
۱۶-۱ اهداف یادگیری ۲۹۹
۱۶-۲ مقدمه ۲۹۹
۱۶-۳ اعتبارسنجی قوانین وراثت مندل در گندم، ایجادکننده پایه و اساس اصلاح نژاد علمی ۲۹۹
۱۶-۴ روش‌های آنالیز ژنوم، تکامل گندم و خزانه ژنی ۳۰۰
۱۶-۵ کروموزوم‌های غیرطبیعی گندم، نقشه کروموزومی و ژنتیک مقایسه‌ای ۳۰۴
۱۶-۶ دست‌ورزی کروموزومی ۳۰۵
۱۶-۷ تجزیه‌وتحلیل پلاسمون، تکامل گندم و گندم هیبرید ۳۰۵
۱۶-۸ نشانگرهای پروتئینی ۳۰۶
۱۶-۹ روش‌های سیتوژنتیک مولکولی و دیدگاه‌هایی درمورد زیرساختار کروموزوم و تجزیه‌وتحلیل سریع ۳۰۶
۱۶-۱۰ نقشه‌های پیوند فیزیکی کروموزوم و نشانگر DNA تمایز ساختاری و عملکردی کروموزوم گندم ۳۱۰
۱۶-۱۱ منابع توالی ژنوم گندم ۳۱۴
۱۶-۱۲ مفاهیم کلیدی ۳۱۵
۱۶-۱۳ نتیجه‌گیری ۳۱۵
منابع ۳۱۶

۱۷. حفظ ذخایر ژنتیکی گندم ۳۱۹
۱۷-۱ اهداف یادگیری ۳۲۰
۱۷-۲ مقدمه؛ ذخایر ژنتیکی گیاهی (PGR) و حفاظت از آنها ۳۲۰
۱۷-۳ ذخایر ژنتیکی گندم (WGR) ۳۲۲
۱۷-۴ حفاظت از ذخایر ژنتیکی گندم ۳۲۸
۱۷-۵ مفاهیم کلیدی ۳۳۷
۱۷-۶ نتیجه‌گیری ۳۳۸
منابع ۳۳۸
۱۸. شناسایی منابع ژنتیکی دست‌نخورده گندم با هدف افزایش امنیت غذایی ۳۴۰
۱۸-۱ اهداف یادگیری ۳۴۰
۱۸-۲ مقدمه ۳۴۱
۱۸-۳ ایجاد انتقال ژنتیکی ۳۴۵
۱۸-۴ ابزارهایی برای تشخیص انتقال ژن‌های گندم و خویشاوند وحشی ۳۵۱
۱۸-۵ کاهش اندازه ژن‌های انتقالی ۳۵۴
۱۸-۶ ایجاد فنوتیپ ۳۵۵
۱۸-۷ مطالعه موردی ۳۵۶
۱۸-۸ مفاهیم کلیدی ۳۵۸
۱۸-۹ نتیجه‌گیری ۳۵۸
منابع ۳۵۹
۱۹. مقاومت به بیماری ۳۶۲
۱۹-۱ اهداف یادگیری ۳۶۲
۱۹-۲ مطالعات نوین در مدل‌های پاتوسیستم پاتوژن‌های بیوتروفیک ۳۶۳
۱۹-۳ ژنتیک مقاومت به پاتوژن‌های بیوتروف گندم- زنگ و سفیدک ۳۶۶
۱۹-۴ ژنتیک مقاومت به عوامل بیماری‌زای نکروتروف گندم ۳۷۰
۱۹-۵ ژنتیک مقاومت به عوامل بیماری‌زای شبه‌بیوتروف (همی‌بیوتروف) ۳۷۶
۱۹-۶ توده‌های ژنی مقاومت؛ پیشرفت به سمت مقاومت با دوام ۳۷۷
۱۹-۷ مفاهیم کلیدی ۳۷۸
۱۹-۸ نتیجه‌گیری ۳۷۹
منابع ۳۷۹
۲۰. مقاومت به حشرات ۳۸۲
۲۰-۱ اهداف یادگیری ۳۸۲
۲۰-۲ مقدمه ۳۸۲
۲۰-۳ حشرات عمده آفت مزارع گندم، پراکنش جغرافیایی و اهمیت اقتصادی ۳۸۳
۲۰-۴ مکانیسم‌های مقاومت گندم به آفات ۳۸۷
۲۰-۵ تنوع ژنتیکی و استخراج ژن مقاومت در برابر حشرات ۳۸۹
۲۰-۶ اصلاح برای مقاومت در برابر حشرات ۳۹۵
۲۰-۷ خلاصه ۳۹۷

۲۰-۸ مرور سؤالات ۳۹۷
۲۰-۹ مفاهیم کلیدی ۳۹۷
۲۰-۱۰ نتیجه‌گیری ۳۹۸
منابع ۳۹۸
۲۱. پتانسیل عملکرد ۴۰۰
۲۱-۱ اهداف یادگیری ۴۰۰
۲۱-۲ دلایل افزایش پتانسیل عملکرد ۴۰۰
۲۱-۳ سرعت فعلی افزایش پتانسیل عملکرد و صفات مرتبط ۴۰۲
۲۱-۴ ایجاد فرصت‌هایی برای دستیابی به عملکرد بالقوه در آینده ۴۰۳
۲۱-۵ راهبردهای پیام‌دهی گیاه با هدف افزایش پتانسیل عملکرد ۴۱۰
۲۱-۶ اصلاح مبتنی بر صفت برای افزایش پتانسیل عملکرد ۴۱۱
۲۱-۷ تنظیم ژنتیکی تعداد دانه و پتانسیل عملکرد ۴۱۲
۲۱-۸ مفاهیم کلیدی ۴۱۳
۲۱-۹ خلاصه ۴۱۴
منابع ۴۱۵
۲۲. کاهش اثرات گرما و تغییرات اقلیمی ۴۱۸
۲۲-۱ اهداف یادگیری ۴۱۸
۲۲-۲ مقدمه ۴۱۹
۲۲-۳ عوامل مسئول کاهش عملکرد در تنش شوک گرمایی ۴۲۰
۲۲-۴ نقش اتیلن در تنظیم پاسخ به تنش گرما در گندم ۴۲۱
۲۲-۵ صفاتی که القای مسیر تنش را سرکوب می‌کنند ۴۲۳
۲۲-۶ تأثیر تنش گرما در شب روی عملکرد گندم ۴۲۵
۲۲-۷ کاهش اثرات تغییر اقلیم با تولید زیست‌توده ریشه بیشتر ۴۲۶
۲۲-۸ کاهش اثرات تغییر اقلیم و پتانسیل تولید ریشه بالا در محصولات دانه‌ای ۴۲۷
۲۲-۹ راهبردهای انتخاب فنوتیپ کارآمد برای واردکردن صفات چندگانه سازگار با تنش گرما ۴۲۹
۲۲-۱۰ انتخاب فنوتیپ با کارایی بالا برای ورود ژن‌های ریشه‌ها و ریزوم‌ها ۴۳۱
۲۲-۱۱ کاربرد رادار نفوذکننده به زمین در علوم زیستی ۴۳۲
۲۲-۱۲ ورود صفت از طریق هیبریداسیون در مقایسه با راهکارهای انتخاب عملکرد برای تحمل تنش گرما ۴۳۳
۲۲-۱۳ مفاهیم کلیدی ۴۳۳
۲۲-۱۴ خلاصه ۴۳۴
منابع ۴۳۵
۲۳. تنش خشکی ۴۳۸
۲۳-۱ اهداف یادگیری ۴۳۸
۲۳-۲ مقدمه ۴۳۹
۲۳-۳ اصلاح و انتخاب برای عملکرد در محیط‌های مواجه با کمبود آب ۴۴۲
۲۳-۴ انتخاب مستقیم عملکرد دانه یا انتخاب بر پایه صفات برای افزایش عملکرد در شرایط کمبود آب؟ ۴۴۲
۲۳-۵ کدام صفات فیزیولوژیک؟ ۴۴۴

۲۳-۶ اعتبارسنجی صفات و انتقال آنها به برنامه‌های اصلاح نژادی ۴۴۷
۲۳-۷ مطالعه موردی تحقیقات انتقالی: اصلاح ارقام گندم با استفاده از تبعیض ایزوتوپ کربن ۴۴۸
۲۳-۸ عناصر موفقیت‌ها ۴۵۱
۲۳-۹ مفاهیم کلیدی ۴۵۲
۲۳-۱۰ خلاصه ۴۵۲
منابع ۴۵۳
۲۴. سمّیت و کمبود ریزمغذی‌ها در گندم ۴۵۴
۲۴-۱ اهداف یادگیری ۴۵۴
۲۴-۲ مقدمه ۴۵۵
۲۴-۳ کمبود عناصر ۴۵۶
۲۴-۴ مستعدترین مناطق جهان به کمبود یا سمّیت عناصر ریزمغذی ۴۵۷
۲۴-۵ اهمیت محتوای ریزمغذی دانه برای مصرف‌کنندگان نهایی ۴۵۹
۲۴-۶ راهبردهای زراعی در رفع کمبود عناصر مغذی ۴۵۹
۲۴-۷ رویکردهای ژنتیکی برای بهبود جذب مواد مغذی ۴۶۰
۲۴-۸ سمّیت ریزمغذی‌ها ۴۶۲
۲۴-۹ تمرین‌ها ۴۶۷
۲۴-۱۰ مفاهیم کلیدی ۴۶۸
۲۴-۱۱ نتیجه‌گیری ۴۶۸
منابع ۴۶۹
۲۵. راهبردهای پیش‌اصلاح نژادی ۴۷۱
۲۵-۱ اهداف یادگیری ۴۷۲
۲۵-۲ مقدمه ۴۷۲
۲۵-۳ تعاریف ۴۷۳
۲۵-۴ جنبه‌های عملی فعالیت‌های پیش‌اصلاح نژادی ۴۷۳
۲۵-۵ اثبات مفهوم راهبردهای مبتنی بر رایانه: شبیه‌سازی ۴۸۰
۲۵-۶ چالش‌های پیش‌اصلاح نژادی ۴۸۲
۲۵-۷ فناوریهای کمک‌کننده و تسریع‌کننده فرآیندهای پیشاصلاح نژادی ۴۸۳
۲۵-۸ پیوستگی فعالیت‌های پیش‌اصلاح نژادی با زراعت با هدف بهره‌برداری هم‌افزا از برهمکنش‌ها ۴۸۴
۲۵-۹ نکات کلیدی ۴۸۷
۲۵-۱۰ نتیجه‌گیری ۴۸۷
منابع ۴۸۸
۲۶. کاربردی‌کردن شبکه‌های پژوهشی ۴۹۱
۲۶-۱ اهداف یادگیری ۴۹۱
۲۶-۲ زنجیره تحقیقاتی از علم محض تا کاربردی ۴۹۲
۲۶-۳ شناسایی و اولویت‌بندی فرصت‌هایی که معرف گلوگاه‌های فعلی در بهبود گیاهان زراعی هستند ۴۹۴
۲۶-۴ ایجاد شبکه‌های مشارکتی در تکمیل مجموعه مهارت‌ها و زیرساخت‌های تحقیقاتی ۴۹۵
۲۶-۵ آنچه‌که برای ایجاد و تأمین مالی یک بستر همکاری بین‌المللی لازم است ۵۰۳

۲۶-۶ شبکه‌های بالادستی ۵۰۵
۲۶-۷ ارائه اثبات مفاهیم ایده‌های پژوهشی از طریق تحقیقات کاربردی و فعالیت‌های پیش‌اصلاح نژادی ۵۰۹
۲۶-۸ شبکه‌سازی برای تربیت نسل بعدی محققان گیاهان زراعی ۵۰۹
۲۶-۹ مفاهیم کلیدی ۵۱۰
۲۶-۱۰ نتیجه‌گیری ۵۱۰
منابع ۵۱۱
۲۷. ایجاد فنوتیپ مزرعه‌ای با پتانسیل بالا ۵۱۳
۲۷-۱ اهداف یادگیری ۵۱۳
۲۷-۲ مقدمه ۵۱۳
۲۷-۳ زیرساخت‌ها: از زمین تا آسمان ۵۱۷
۲۷-۴ فنوتیپ‌سازی فراتر از شگردهای پایش هستند ۵۲۰
۲۷-۵ تلفیق داده‌ها: از تیپ ایده‌آل تا مدل‌سازی و موارد دیگر ۵۲۰
۲۷-۶ رویکردهای فنوتیپ‌سازی مقرون‌به‌صرفه ۵۲۲
۲۷-۷ تصویربرداری فراطیفی برای فنوتیپ‌سازی گیاهان زراعی: مزایا و معایب ۵۲۴
۲۷-۸ پیاده‌سازی ایجاد فنوتیپ در عمل ۵۲۶
۲۷-۹ مفاهیم کلیدی ۵۲۸
۲۷-۱۰ نتیجه‌گیری ۵۲۹
منابع ۵۳۰
۲۸. انتخاب به کمک نشانگر مبتنی بر توالی بازها در گندم ۵۳۳
۲۸-۱ اهداف یادگیری ۵۳۴
۲۸-۲ مقدمه ۵۳۴
۲۸-۳ منابع ژنتیکی، رویکرد نقشه ژنی و پایگاه داده‌ها ۵۳۵
۲۸-۴ تشریح مکان‌های ژنی صفات کمّی گندم ۵۳۶
۲۸-۵ انتخاب صفات و مکان ژنی در مسیر انتخاب به کمک نشانگر ۵۳۸
۲۸-۶ تکنیک‌های نشانگرهای مولکولی برای انتخاب به کمک نشانگر ۵۴۲
۲۸-۷ مجموعه ژنوم مرجع ۵۴۳
۲۸-۸ مدیریت داده‌های توالی برای توسعه نشانگرهای کسپ ۵۴۳
۲۸-۹ مثال‌هایی از انتخاب به کمک نشانگر ۵۴۶
۲۸-۱۰ انتخاب به کمک نشانگر برای انتقال آلل‌های هم‌ردیف مفید از خویشاوندان وحشی گندم ۵۵۲
۲۸-۱۱ تکنولوژی‌های توالی‌یابی نسل جدید برای افزایش تأثیر انتخاب به کمک نشانگر ۵۵۳
۲۸-۱۲ تعامل بین انتخاب به کمک نشانگر و انتخاب ژنومی در پروژه‌های اصلاح نژاد گندم ۵۵۳
۲۸-۱۳ مفاهیم کلیدی ۵۵۴
۲۸-۱۴ نتیجه‌گیری ۵۵۵
منابع ۵۵۵
۲۹. کاربرد ویرایش ژنوم مبتنی بر نسخه‌برداری آرایه‌های مکانی ژن کریسپر-کاز برای اصلاح دقیق در گندم ۵۵۹
۲۹-۱ اهداف یادگیری ۵۵۹
۲۹-۲ مقدمه‌ای بر توسعه روش‌های ویرایش ژنوم ۵۵۹

۲۹-۳ جعبه‌ابزار ویرایش ژنومی مبتنی بر کریسپر ۵۶۲
۲۹-۴ کاربردهای اخیر ویرایش ژنوم برای بهبود صفات عمده زراعی و فناوری‌های اصلاح نژادی ۵۶۶
۲۹-۵ ویرایش ژنوم در گندم ۵۶۶
۲۹-۶ مفاهیم کلیدی ۵۷۳
۲۹-۷ نتیجه‌گیری ۵۷۴
منابع ۵۷۴
۳۰. تسریع دوره‌های اصلاح نژاد گندم ۵۷۷
۳۰-۱ اهداف یادگیری ۵۷۷
۳۰-۲ مقدمه ۵۷۸
۳۰-۳ راهکارهایی برای کوتاه‌کردن چرخه‌های اصلاح نژادی در گندم ۵۷۹
۳۰-۴ ادغام فناوری‌های اصلاح گندم ۵۸۷
۳۰-۵ مفاهیم کلیدی ۵۸۸
۳۰-۶ نتیجه‌گیری ۵۸۸
منابع ۵۸۹
۳۱. بهبود تولید و روش‌های اصلاح گندم با استفاده از مدل‌سازی گیاهان زراعی ۵۹۲
۳۱-۱ اهداف یادگیری ۵۹۲
۳۱-۲- مقدمه ۵۹۳
۳۱-۳ کمک به اصلاح نباتات با مدل‌سازی گیاهان زراعی ۵۹۴
۳۱-۴ محدودیت‌ها و پیشرفت‌ها در کارایی مدل گیاهان زراعی ۶۰۰
۳۱-۵ شبکه‌های همکاری جهانی مدل‌سازی زراعی ۶۰۴
۳۱-۶ مطالعه موردی؛ کاربرد مدل‌های زراعی در تخمین اثرات سازگاری ژنتیکی ۶۰۴
۳۱-۷ مفاهیم کلیدی ۶۰۵
۳۱-۸ نتیجه‌گیری ۶۰۶
منابع ۶۰۷
۳۲. شاخص‌های تئوری و عملی انتخابِ فنوتیپی و ژنومیکی ۶۱۰
۳۲-۱ اهداف یادگیری ۶۱۱
۳۲-۲ مقدمه ۶۱۱
۳۲-۳ تعاریف ۶۱۳
۳۲-۴ نکات کلیدی ۶۱۴
۳۲-۵ مفاهیم کلیدی ۶۱۴
۳۲-۶ نتیجه‌گیری ۶۱۴
منابع ۶۱۵
اختصارات ۶۱۶

توضیح: فایل رایگان تمام تصاویر رنگی از صفحه کتاب در سایت ناشر (www.jdmpress.com) قابل دریافت است.

سخن آغازین

در شرایطی که تازیانه‌های تغییر اقلیم و به‌هم‌ریختی الگوهای بارندگی و حکمرانی خشکسالی‌های مستمر پایایی و پایداری نظام‌های زراعی و به‌تبع آن پایداری تولید غذا را در عرصه کشاورزی جهان و به‌خصوص کشور ایران زمین مورد تهدید قرار داده و برنامه‌ریزی را برای مدیران بخش کشاورزی کشور بسیار دشوار نموده است، روشنای چراغ پیشرفت علم و تکنولوژی همچنان نویدبخش دل‌های کشاورزان و دغدغه‌داران نظام تولید غذا در کشور است و بدون شک زمزمه همراه با تبسم فرهیختگان بخش کشاورزی چه در نظام آموزش دانشگاهی و چه در نظام پژوهش‌های کاربردی کشور در عین فرودآوردن سر تعظیم و خشیّت در برابر عظمت و گوناگونی حیات و مقدرات الهی و رفتار طبیعت، نگاه به آسمان و ذکر «خدایا باران ببار» است و در عین حال تفکر عمیق که «چه باید کرد؟».

این سؤال همواره پیشِ روی بشر در بسیاری از عرصه‌های زندگی و جدال علم و تکنولوژی با چالش‌های عرصه‌های تولیدی است. علم اصلاح نباتات بر پایه علوم ژنتیک، فیزیولوژی، اکولوژی و علوم مهندسی امروز نقش انکارناپذیری در افزایش بهره‌وری و فشرده‌سازی نظام‌های تولید داشته طوری که صنعت بذر دنیا که خروجی هم‌نوازی علوم فوق‌الذکر قلمداد می‌شود، هم‌اکنون با گردش مالی بیش از ۵۰ میلیارد دلار گویای این نقش‌آفرینی است. در ایران نیز بهره‌گیری از علم اصلاح نباتات تولید غذا را در دهه‌های گذشته از ۲۰ تا ۳۰ میلیون تن در سال به ۱۲۰ میلیون تن در شرایط حاضر رسانیده و بدون شک ارقام و بذور اصلاح‌شده در این وادی نقش کلیدی داشته‌اند.

برای فائق‌آمدن بر چالش‌های حادث‌شده در عصر امروزی و «چنگ در چنگ» تغییر اقلیم انداختن، می‌طلبد که به علم روز دنیا مجهز بود و از تجربیات و خرد جمعی صاحب‌نظران عرصه اصلاح نباتات بهره گرفت. زراعت گندم همواره یکی از مقوله‌ها و ستون‌های ارزیابی نظام تولید غذا در ایران بوده و اصلاح گندم هیچ‌وقت کم‌اهمیت نبوده و به‌عبارتی همواره نماد خوداتکایی کشور در تولید غذا بوده است. مجموعه حاضر که نتایج پژوهش‌های بین‌المللی، تجربیات و آموزه‌های فاخر دانشمندان صاحب‌نام حوزه زراعت و اصلاح

گندم عصر حاضر را به تحریر درآورده و پیشِ روی دانشجویان و دانش‌پویان و علاقه‌مندان اصلاح گندم قرار می‌دهد کتاب وزینی است با سرفصل‌های متنوع که امید است با بهره‌گیری از مطالب آن فعالان حوزه آموزش، پژوهش و مدیریت زراعت و اصلاح گندم بتوانند خود را بهتر و به‌روزتر مجهز به سلاح علم و فناوری نمایند و این حقیر استفاده از آن را در همه این حوزه‌های ذکرشده توصیه می‌نمایم و از مترجمان و ناشر گران‌سنگ آن به سهم خود تقدیر و تشکر می‌نمایم.

گودرز نجفیان

به‌نژادگر گندم و رئیس سابق مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر

اسفند ۱۴۰۱

پیشگفتار مترجمان

گندم اگر برای دیگر مردم دنیا یک گیاه زراعی و ماده اولیه نان است و بیش از ۲۰ درصد کالری و پروتئین جیره غذایی انسان‌ها را تشکیل می‌دهد، برای ایرانیان نه‌تنها مهمترین ماده غذایی است بلکه مایه برکت سفره و مقدس است. گندم گیاهی است که نقش ایرانیان در اهلی‌کردن آن بسیار محتمل است و نه‌تنها سابقه طولانی استفاده ایرانیان از نان یکی از مهمترین مستندات است، بلکه در بقایای آثار باستانی و غارهای غرب ایران به وفور، یافت شده و هنوز هم اجداد اهلی و وحشی آن در غرب ایران رشد می‌کنند.

این گیاه زراعی مهم در کشور ما بیشترین سطح زیر کشت آبی و دیم را داراست و بیش از ۲۵ درصد کل سطح زیر کشت آبی و بیش از ۵۰ درصد سطح زیر کشت دیم کشور به زراعت گندم اختصاص یافته است و هنوز هم در اکثر نقاط کشور نان قوت اصلی مردم محسوب می‌شود. آنچه امروزه برای کل جهان و به‌ویژه ایران مهم است این است که با وجودِ تمام مشکلات موجود اعم از تغییر اقلیم، کاهش منابع تولید به‌ویژه آب و بروز تنش‌های زنده و غیرزنده، امنیت غذایی مردم تضمین شود و جمعیت بیش از ۹/۵ میلیارد نفری جهان در سال ۲۰۵۰ غذای کافی و باکیفیت دردسترس داشته باشند.

برای رسیدن به چنین شرایطی، تولید گیاهانی مانند گندم می‌باید بیش از ۶۰ درصد در مقیاس جهانی افزایش یابد و طبیعی است که در کشور ما که اکنون واردکننده گندم محسوب می‌شود، برای افزایش تولید این محصول نیاز به تلاش مضاعف می‌باشد، به‌ویژه اینکه مشاجرات جهانی اخیر و جنگ‌های جاری و احتمالی آینده، گندم را به یک محصول استراتژیک تبدیل کرده است.

نکته مهم در افزایش تولید محصولات زراعی از جمله گندم این است که به‌دلیل محدودیت آب و زمین مرغوب، افزایش سطح زیر کشت تقریباً غیرممکن است و تمام افزایش تولید می‌باید از طریق افزایش عملکرد در واحد سطح انجام شود. برای رسیدن به چنین هدفی نیاز به استفاده از روزآمدترین فناوری‌های دردسترس بشر می‌باشد. خوشبختانه در نیم قرن گذشته تحولات بزرگی در زمینه به‌زراعی و به‌نژادی گندم انجام شده است که باعث شده روند افزایش عملکرد گندم در مقیاس جهانی و در کشور ما همواره مثبت باشد و هر

چقدر ظرفیت‌های ژنتیکی ارقام پیشرفته گندم در محیط‌های تولید بیشتر محقق شده است به همان نسبت عملکرد گندم مثبت‌تر بوده است، لذا در این زمینه باید قدردان دانشمندان، مؤسسات تحقیقاتی و ترویجی و به‌ویژه کشاورزان بود.

کتابی که پیشِ روی شما است توسط تعداد زیادی از دانشمندان دست‌اندرکار اصلاح و بەزراعی گندم نوشته شده است که تعدادی از آنان تمام عمر تحقیقاتی خود را در زمینه اصلاح ارقام پرمحصول گندم و متحمل به عوامل نامساعد محیطی گذرانده‌اند و توسط دو تن از برجسته‌ترین دانشمندان شاغل در مرکز بین‌المللی تحقیقات گندم و ذرت (سیمیت) ویراستاری شده و انتشارات اشپرینگر آن را به چاپ رسانده است.

در این کتاب روزآمدترین روش‌های اصلاح و بەزراعی گندم توضیح داده شده و تا حد امکان آینده‌نگری نیز شده است که قطعاً برای دانشجویان، پژوهشگران، کارشناسان و سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان به‌منظور تأمین گندم مورد نیاز کشور مفید خواهد بود.

لازم می‌دانیم از ناشر محترم کتاب یعنی انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد به‌دلیل مساعدت‌های بی‌دریغی که در چاپ کتاب نموده‌اند قدردانی نماییم. همچنین از جناب آقای دکتر محمد بهزاد امیری دانشیار محترم مجتمع آموزش عالی گناباد و سرکار خانم اشرف کافی که با حوصله و دقت، کتاب را مطالعه و اشکالات ویرایشی آن را برطرف نموده‌اند سپاسگزاری می‌کنیم.

همچنین از دکتر متیو رینولدز و دکتر هانس‌ــیوآخیم براون ویراستاران و نویسندگان اصلی کتاب و انتشارات اشپرینگر سپاسگزاریم که نه‌تنها سخاوتمندانه از ترجمه کتاب به فارسی استقبال نمودند بلکه از هیچ کوششی برای بهبود کیفیت آن دریغ نکردند. موجب امتنان خواهد بود اگر همکاران دانشگاهی و محققین و کارشناسان ارجمند، پیشنهادات و نقاط ضعف این اثر را برای مترجمان ارسال کنند تا در چاپ‌های بعدی مورد استفاده قرار گیرد.

بهار ۱۴۰۲

دکتر محمد کافی (m.kafi@um.ac.ir)
دکتر زهرا کیامرثی (zkayamarsi@gmail.com)
مهندس عاطفه میرزائیان (mirzaeian.atefeh@um.ac.ir)

پیشگفتار مؤلفان

متیو پی. رینولدز، هانس - یوآخیم براون

پیشنهاد ناشر اشپرینگر برای تهیه یک کتاب مرجع در مورد پیشرفت‌ها و بهبود گندم، در عین حال که غیرمنتظره بود بسیار الهام‌بخش و آینده‌نگرانه بود. چالش‌های فزاینده امنیت غذایی بشر شاید امروزه از هر زمان دیگری در تاریخ مدرن بشر بیشتر محتمل است. البته قطعاً این چالش‌ها وابسته به جمعیت هر کشور یا محیط بوده ولی سیاست نیز در آن مؤثر است و امروزه شاهد هستیم چگونه بر تأمین غذا اثر گذاشته است. امیدواریم این کتاب بتواند ابزار بسیار ارزشمند و مفیدی برای دانشمندان، سیاست‌گذاران و کشاورزان که بیشترین نقش را در تأمین غذای بشر تا کنون داشته‌اند باشد و بتواند به تداوم نقش تحقیقات به‌نژادی و به‌زراعی در سطح ملی و بین‌المللی کمک کند. ما مراتب سپاس ویژه خود را از تمام نویسندگان که به‌رغم زمان محدود و برنامه‌ریزی شده‌شان، وقت ارزشمند خود را به نوشتن بخش‌هایی از این کتاب اختصاص دادند اعلام می‌داریم. همچنین قدردان هزاران دانشمندی هستیم که بهبود و پیشرفت گندم را محقق ساختند و با تأکید ویژه بر شبکه بین‌المللی اصلاح گندم، در ۵۰ سال گذشته سهم بی‌بدیلی در مشارکت جهانی بهبود گندم داشته‌اند و همچنین قدردان میلیون‌ها کشاورزی هستیم که سال به سال بردبارانه خطرها و چالش‌های تولید گندم را تحمل می‌کنند.

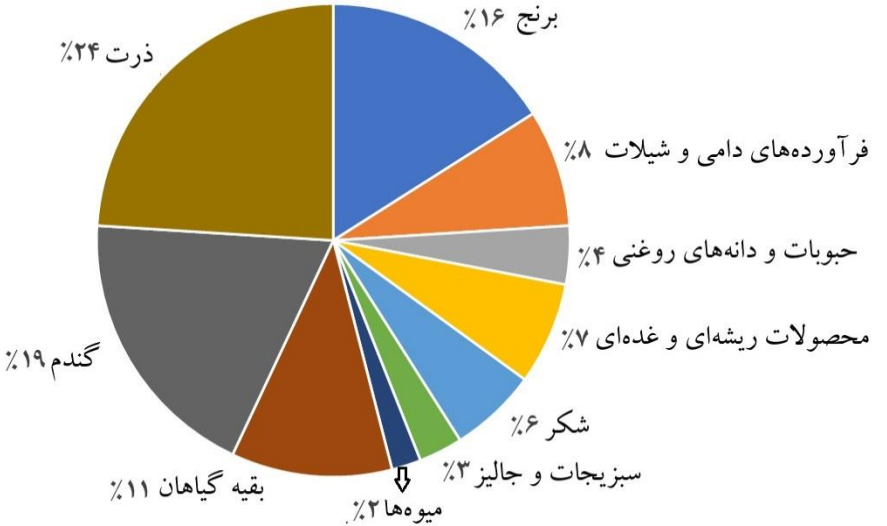
متیو رینولدز
هانس- یوآخیم براون
تکسوکوکو، مکزیک
جولای ۲۰۲۱

درباره ویراستاران و مؤلفان

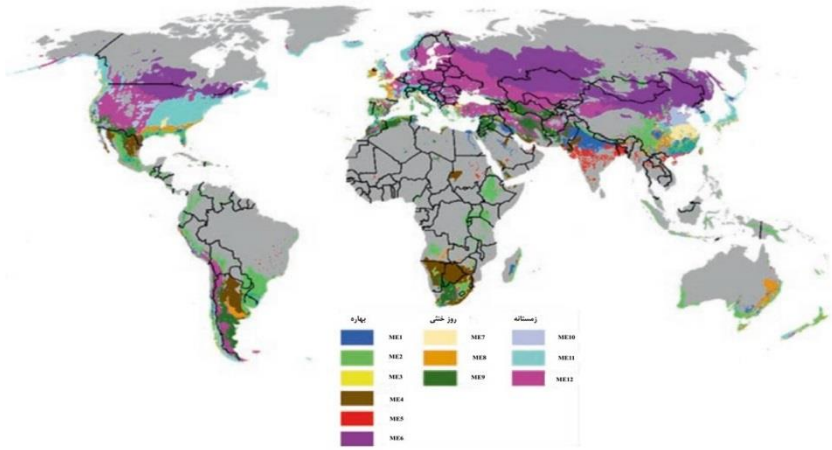
متیو پی. رینولدز (Matthew P. Reynolds) دانشمند برجسته مرکز بین‌المللی بهبود ذرت و گندم سیمیت و فارغ‌التحصیل دانشگاه‌های آکسفورد (کارشناسی)، ریدینگ (کارشناسی ارشد) و کرنل (دکتری) است. او درحالِ‌حاضر آزمایشگاه فیزیولوژی گندم را در سیمیت هدایت می‌کند و در کمیته مدیریت گروه مشاوره تحقیقات بین‌المللی کشاورزی (CGIAR)، فعالیت می‌کند و همچنین رهبری بخش عملی مدل‌سازی گیاهان زراعی را بر عهده دارد. او در توسعه همکاری‌های جهانی برای بهره‌گیری از تخصص دانشمندان گیاه‌شناسی در سراسر جهان مانند مشارکت بین‌المللی عملکرد گندم و انجمن‌های بهبود تحمل گرما و خشکی گندم، با هدف حمایت از امنیت غذایی از طریق بهبود عملکرد، با تمرکز ویژه بر روی کشورهای درحالِ‌توسعه فعالیت می‌کند. وی در زمینه‌های فیزیولوژی گیاهی، ژنومیک و فعالیت‌های پیش‌به‌نژادی مقالات فراوانی منتشر کرده است و از سال ۲۰۱۸ در زمینه علوم گیاهی و جانوری توسط Web of Science در بین دانشمندان یک درصد از محققان برتر جهان قرار گرفته است. او دارای حضور افتخاری در دانشگاه‌های ناتینگهام، تگزاس A&M و ایالت اوکلاهما و عضو هیئت مدیره شورای جهانی گیاهان و عضو هر دو انجمن علوم زراعی آمریکا و انجمن کشاورزی آمریکا است و در سال ۲۰۱۸ به عضویت آکادمی علوم مکزیک نیز درآمده است.

هانس- یوآخیم براون (Hans-Joachim Braun) اهل آلمان و دارای سوابق ارزشمند در به‌نژادی گندم، از سال ۲۰۰۴ تا سال ۲۰۲۰ که بازنشسته شد، پروژه جهانی گندم سیمیت را رهبری کرده است. او دبیر فنی و اجرایی پروژه و رهبر و مدیر ۴۰ دانشمند استخدام شده در سطح بین الملل بود که ژرم‌پلاسم گندم را توسعه می‌دادند و به کمک ۲۰۰ همکار در بیش از ۱۰۰ کشور مختلف و بیش از ۵۰ درصد از سطح زیر کشت گندم بهاره را در کشورهای درحالِ‌توسعه تأمین می‌کردند. او در مدت ۳۷ سال خدمت خود در بخش کشاورزی بین‌المللی، با تمام سیستم‌های اصلی تولید گندم در سطح جهان آشنا شد. او از سال ۱۹۸۵ تا سال ۲۰۰۵ در ترکیه زندگی کرد و راهنمای برنامه بین‌المللی بهبود گندم زمستانی سیمیت را در موسسه ایکاردای ترکیه بود. او در توسعه و معرفی بیش از ۴۰ رقم گندم زمستانه که عمدتاً در آسیای غربی و مرکزی استفاده و در بیش از ۲ میلیون هکتار کشت می‌شوند، مشارکت داشت. براون در شناخت کمبود روی و بیماری‌های منتقله از خاک که به‌عنوان محدودیت بزرگی در تولید گندم زمستانه در مناطق خشک آسیای غربی بود بسیار عالی عمل کرد. وی بیش از ۵۰ مقاله داوری‌شده، کتاب هاپتر و جوایز مختلفی از جمله جایزه دوستی چین برای کمک به توسعه لاین‌های گندم مقاوم در برابر بیماری برای استان گانسو، جایزه کمک هزینه علوم زراعی آمریکا، جایزه انجمن کشاورزی آمریکا و جایزه بین‌المللی زراعت را دریافت کرده است. براون دکترای خود را از دانشگاه هوهنهایم آلمان در سال ۱۹۸۳ دریافت کرد.

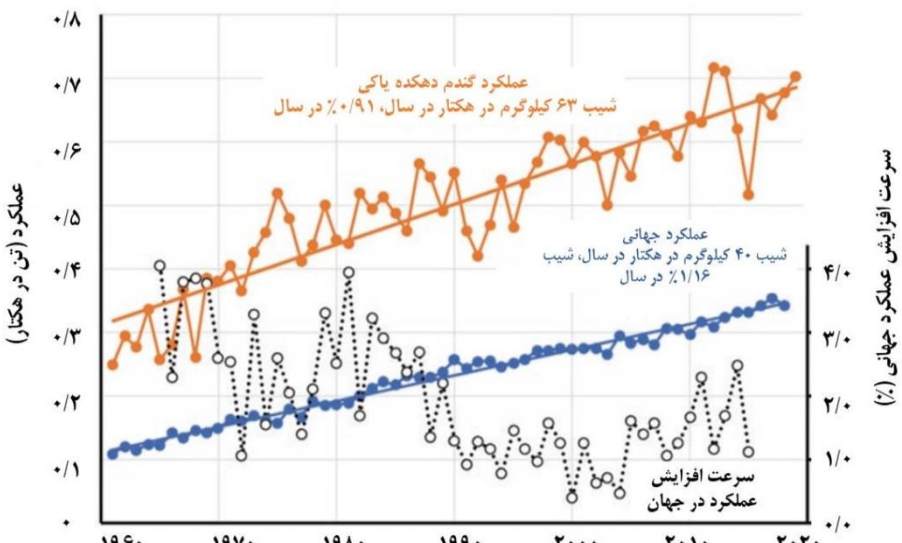
تصاویر رنگی کتاب



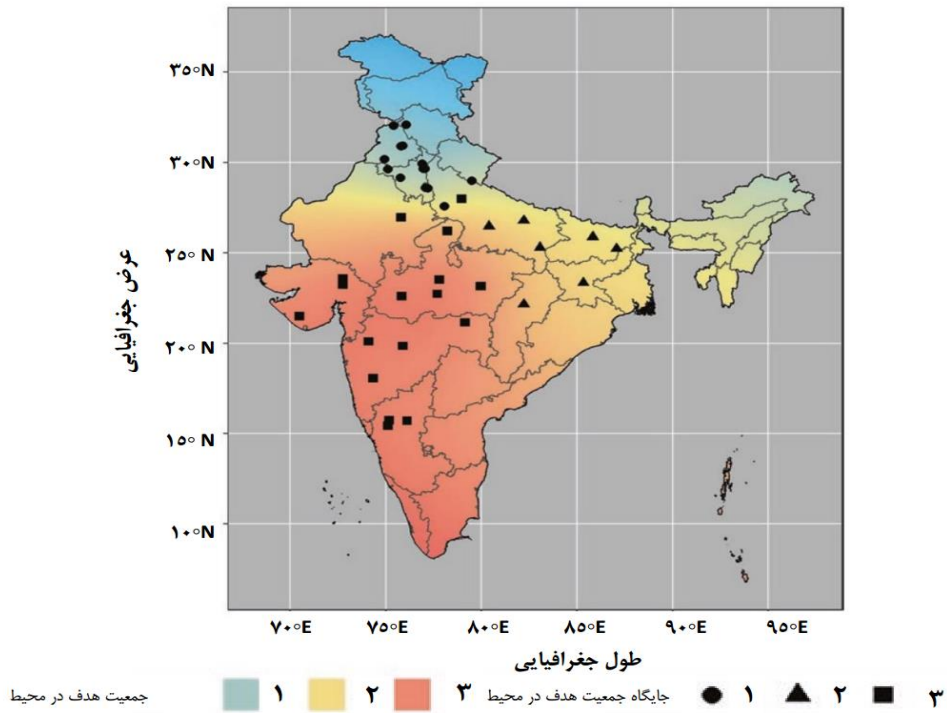
شکل۱-۱ سهم نسبی محصولات تولیدشده در سطح جهان به‌عنوان درصد کل ماده خشک آنها (تقریباً ۳میلیاردتن در سال)، شکل ترسیم‌شده توسط هانس-یوآخیم براون با داده‌های منبع [۱].



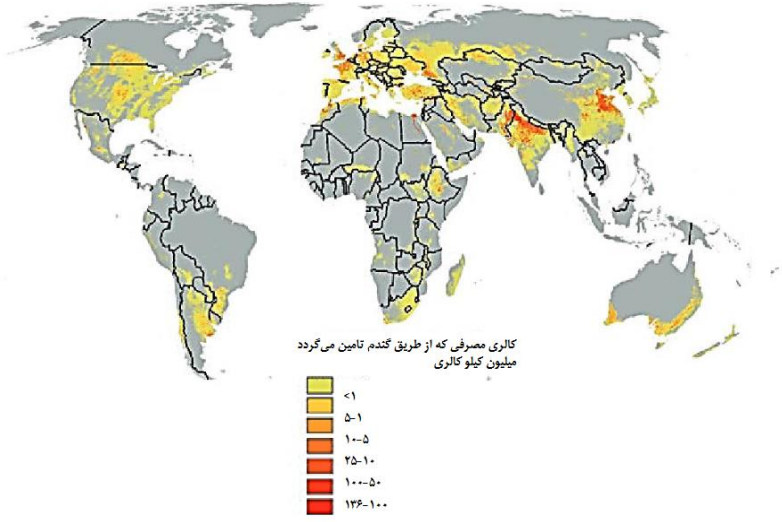
شکل ۱-۳ شبکه بین‌المللی بهبود گندم (IWIN) با همکاری دانشمندان متخصص گندم در سراسر جهان، تقریباً ۱۰۰۰ لاین گندم جدید با عملکرد بالا، سازگار با تنش و مقاوم به بیماری را هر سال آزمایش می‌کند. اصلاح به سمت افزایش عملکرد در ۱۲ فرا محیط (ME) مختلف هدایت می‌شود که پاسخ مناسب به طیفی از دما، رطوبت و بیماری‌ها می‌دهد. گندم بهاره: ME1 گندم زراعی آبی و پُرمحصول، ME2 محیط‌های مستعد بیماری با بارندگی بالا، ME3 خاک‌های اسیدی، ME4 محدودیت آبی، ME5 تنش گرمایی، ME6 اقلیم معتدل، عرض جغرافیایی بالا و گندم زراعی روزخنثی: ME7 گندم زراعت آبی و اقلیم نیمه‌سرد، ME8 بارندگی زیاد و اقلیم نیمه‌سرد، ME9 اقلیم کم‌باران، نیمه‌سرد و زراعت گندم زمستانه، ME10 سرمای شدید و زراعت آبی، ME11 بارندگی زیاد یا انجام آبیاری زیاد و سرمای شدید، ME12 اقلیم کم‌باران و سرمای شدید (تصویر توسط کای سوندر ترسیم‌شده و ازمنبع [۳] اقتباس شده است).



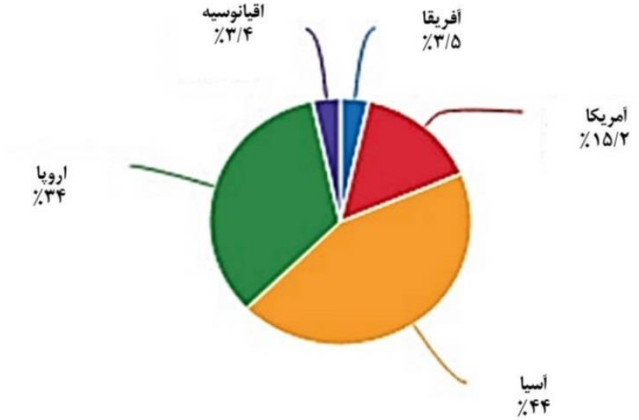
شکل۲-۱ عملکرد سالانه گندم از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۹ برای جهان و دره یاکی در شمال غربی مکزیک، همچنین، نرخ نسبی افزایش عملکرد جهانی گندم با پیشرفت زمان بر اساس میانگین متحرک ۷ ساله و در برابر سال میانی ترسیم شده است. توجه: درصد در سال شیب‌ها نسبت به بازده در پایان هر دوره بیان می‌شوند (منابع: عملکرد جهانی (fao.org/faostat/en/#data/QC، دستیابی در تاریخ ۱۷ سپتامبر ۲۰۲۰)؛ عملکرد دره یاکی (منابع رسمی مختلف در ایالت سونورا، مکزیک)).



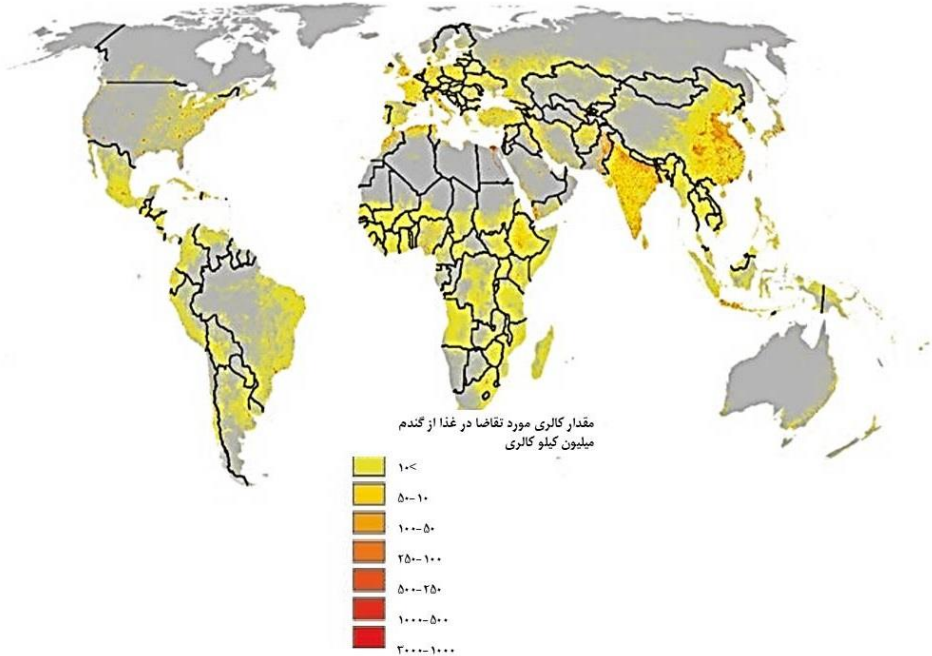
شکل۳-۱ طبقه‌بندی جمعیت هدف در محیط هند، از داده‌های محیطی به‌دست آمده است.



شکل۴-۲ ژئوگرافی تولید گندم (تخمین میلیون‌کیلوکالری انرژی تولیدشده توسط گندم در هر پیکسل (قطعه)، حدود ۱۰×۱۰ کیلومترمربع). با استفاده از مدل مکانی تخصیص تولید SPAM 2010 و منابع دیگر تهیه شده است (برای جزئیات بیشتر به بند ۴-۳ مراجعه شود).

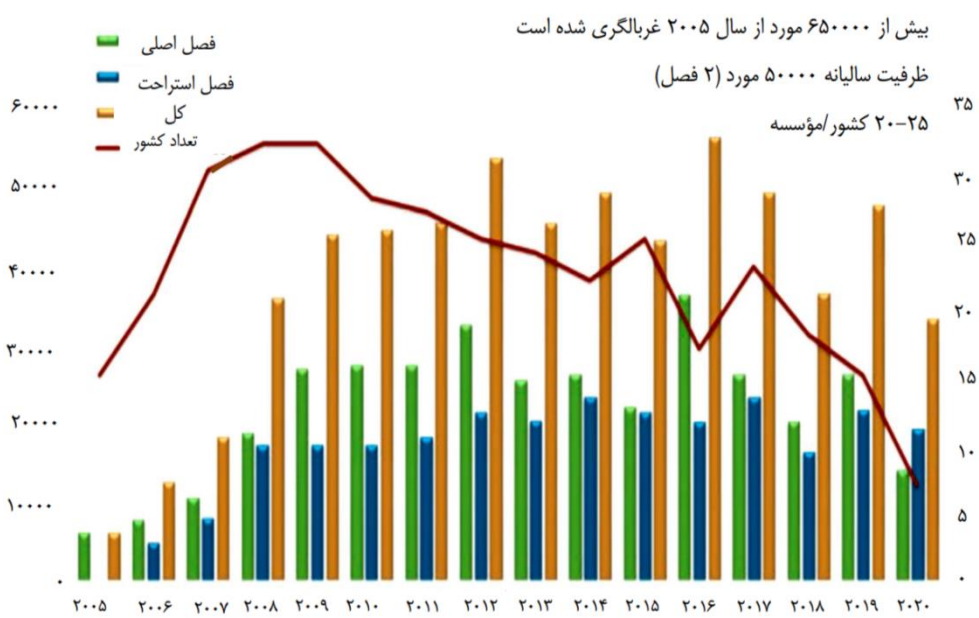


شکل۴-۳ سهم تولید گندم به تفکیک منطقه، سال ۲۰۱۸ (شکل با استفاده از داده‌های منبع [۴] ترسیم شده است).

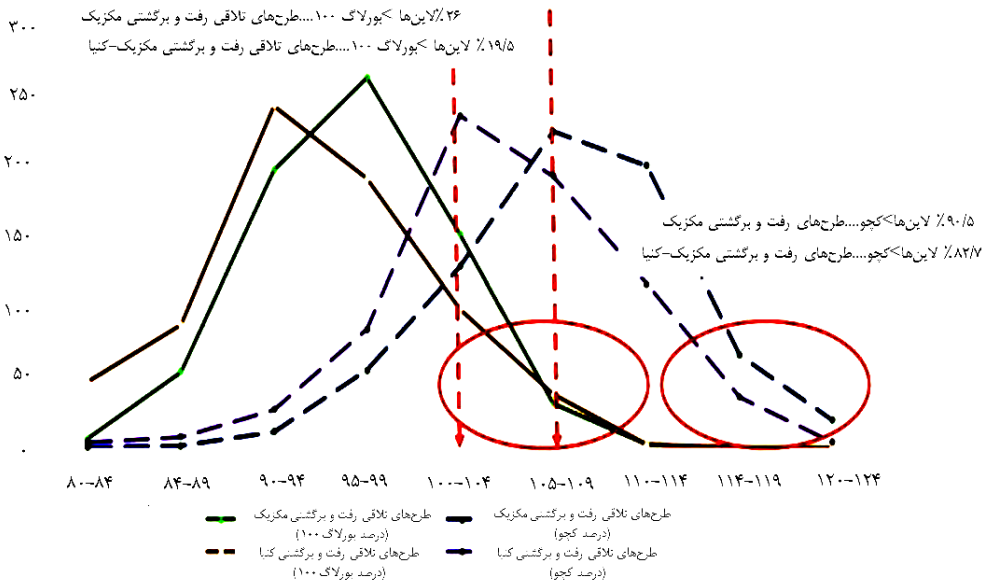


شکل۴-۵ توزیع جغرافیایی مصرف گندم (تخمینی میلیون‌کیلوکالری انرژی غذایی مصرف‌شده از گندم در هر پیکسل، حدود ۱۰×۱۰ کیلومترمربع). با استفاده از داده‌های منابع مختلف تهیه شده است (برای جزئیات به بند ۴-۳ مراجعه کنید)

شکل۸-۱ مراکز بین‌المللی فنوتیپ گندم در چندین کشور به‌رهبری NARS با همکاری ایکاردا و سیمیت گسترش یافته است.



شکل۸-۲ فنوتیپ‌های مرتبط گندم طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰ برای مقاومت یوجی۹۹ در انجورو (کنیا) و کشورهای شرکت‌کننده، با مشارکت سازمان تحقیقات دام کشاورزی کنیا، کنیا



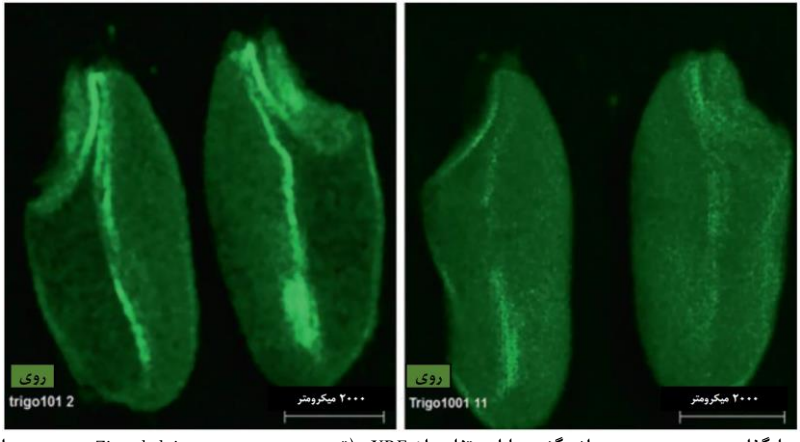
شکل۸-۳ عملکرد دانه ۶۹۷ لاین در ارزیابی عملکرد (مرحله ۲) ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹ برگرفته از اصلاح میانبر مکزیک و مکزیک-کنیا.

شکل۹-۱ علائم بیماری‌های (۱) فوزاریوم سنبله گندم، (۲) بلاست گندم، (۳) لکه خرمایی، (۴) لکه قهوه‌ای برگ، (۵) لکه‌برگی سپتوریایی و (۶) نماتدهای سیستی غلات[1]

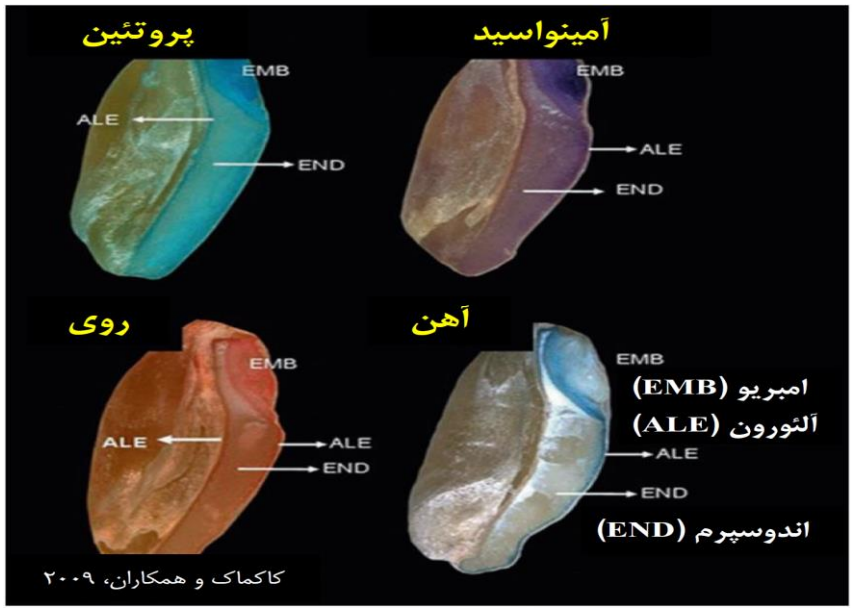
شکل۱۰-۲ محفظه‌های حرارتی مجهز به واحدهای تهویه مطبوع مستقر در مزرعه، نارابری، نیوسالت‌ولز، استرالیا.

شکل۱۱-۱ محصولات پرطرفدار گندم در سراسر جهان.

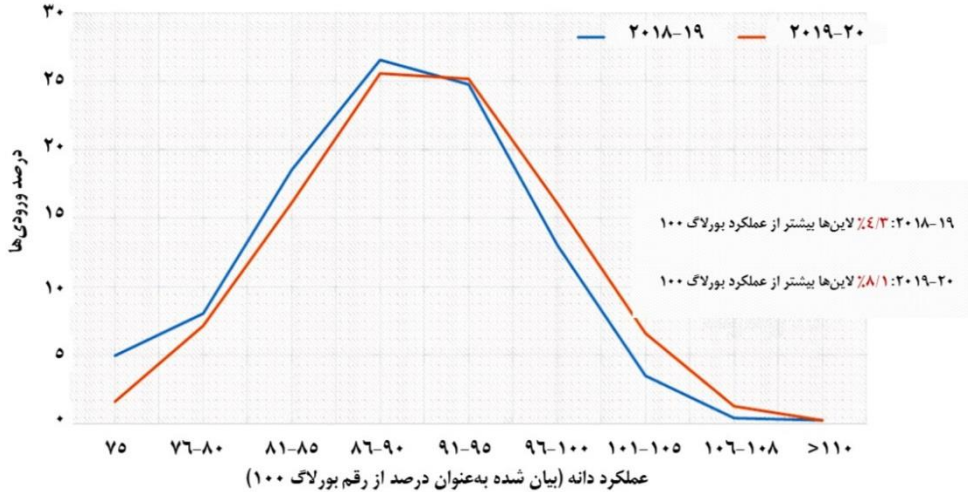
شکل۱۱-۳ خصوصیات کلی کیفیت دانه محصولات گندم.



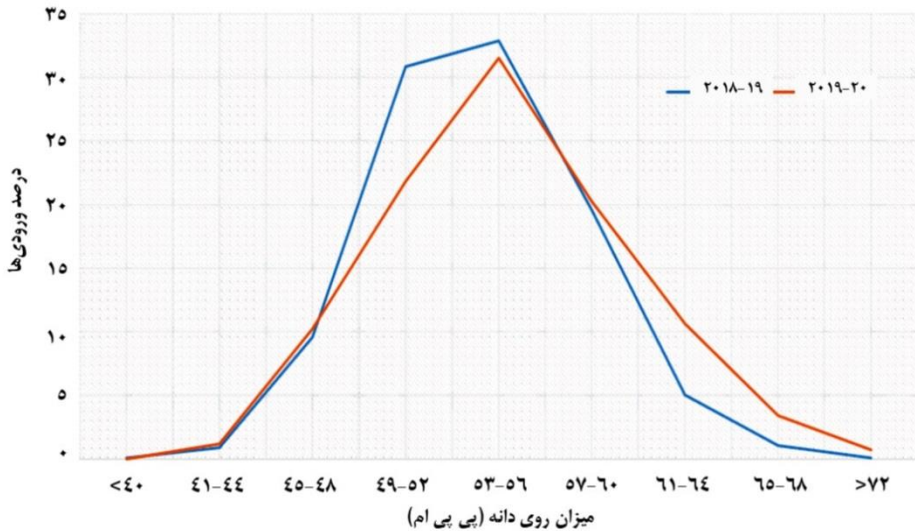
شکل۱۲-۱ جایگذاری روی بر روی دانه گندم با استفاده از µXRF (تصویر سمت چپ Zinc-shakti و سمت راست گندم سیمیت Baj به‌عنوان نمونه شاهد).



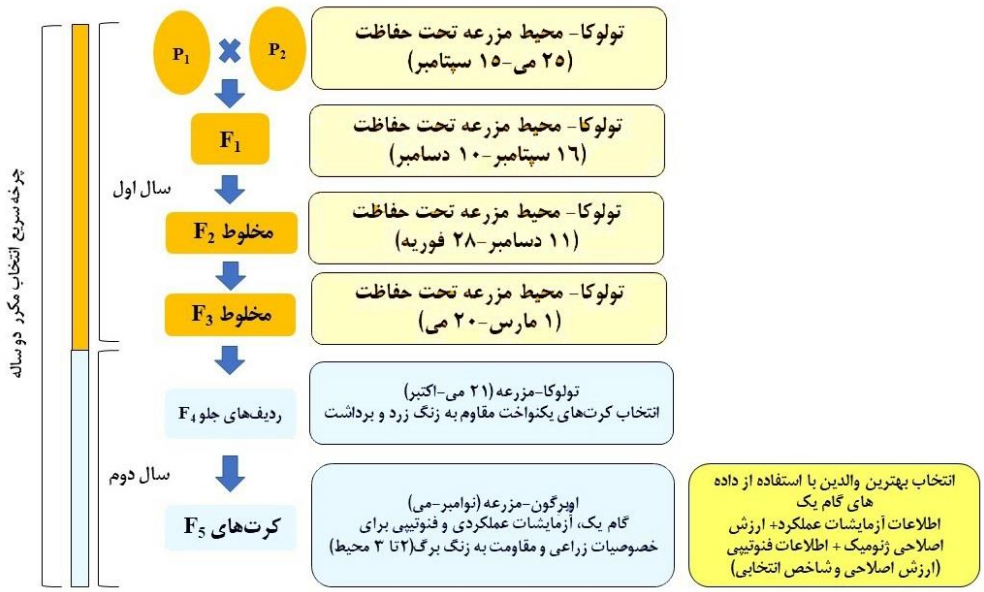
شکل۱۲-۳ بیان همزمان ژن‌های روی و آهن دانه با پروتئین و آمینواسیدها.



شکل۱۲-۴ روند عملکرد دانه لاین‌های گندم به دست آمده از دو گروه اصلاح نژادی حاوی روی و ارزیابی‌شده در آزمایشات عملکردی مرحله اول (۳ تکرار) در سیوداد اوبرگون طی سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۱۹ و ۲۰۱۹-۲۰۲۰.



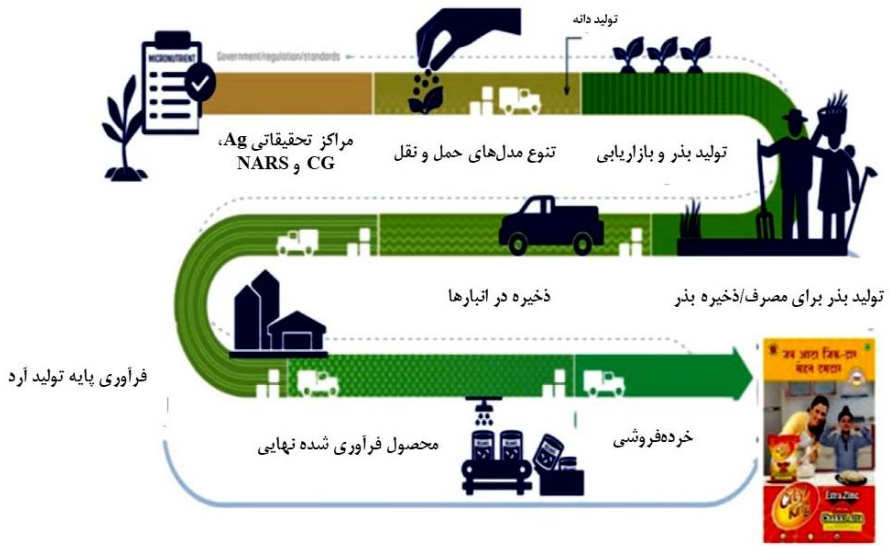
شکل۱۲-۵ غلظت عنصر روی در دانه لاین‌های گندم به دست آمده از دو گروه اصلاح نژادی حاوی روی و ارزیابی‌شده در آزمایشات عملکردی مرحله اول (۳ تکرار) در سیوداد اوبرگون طی سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۱۹ و ۲۰۱۹-۲۰۲۰.



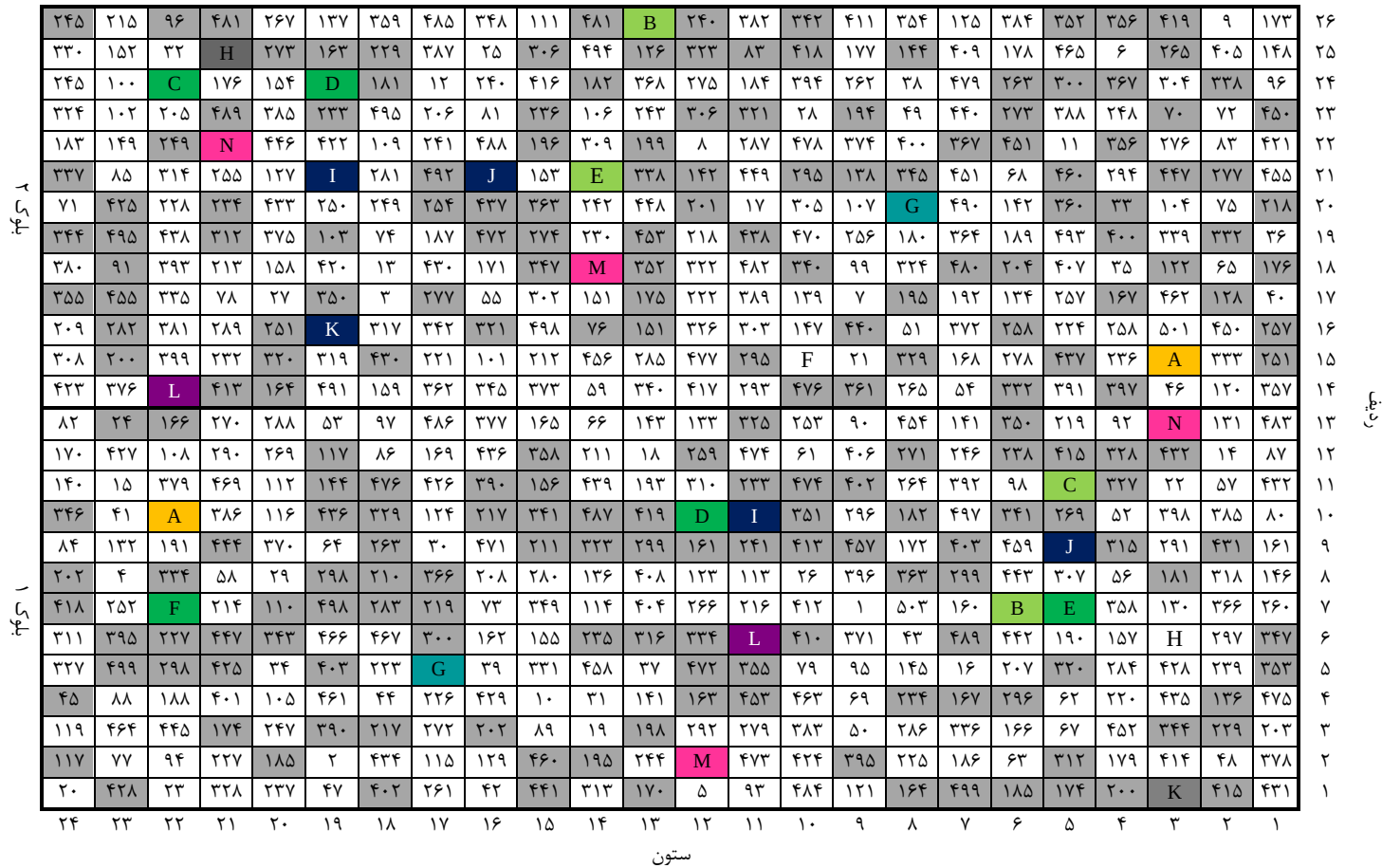
شکل۱۲-۶ برنامه اصلاح نژادی پیشنهادی RCRS با چرخه اصلاح نژادی دوساله.

شکل۱۲-۷ گیاهان سرحال گندم در گلخانه تحقیقاتی اصلاح میان‌بُر در سیمیت، تولوکا، مکزیک.

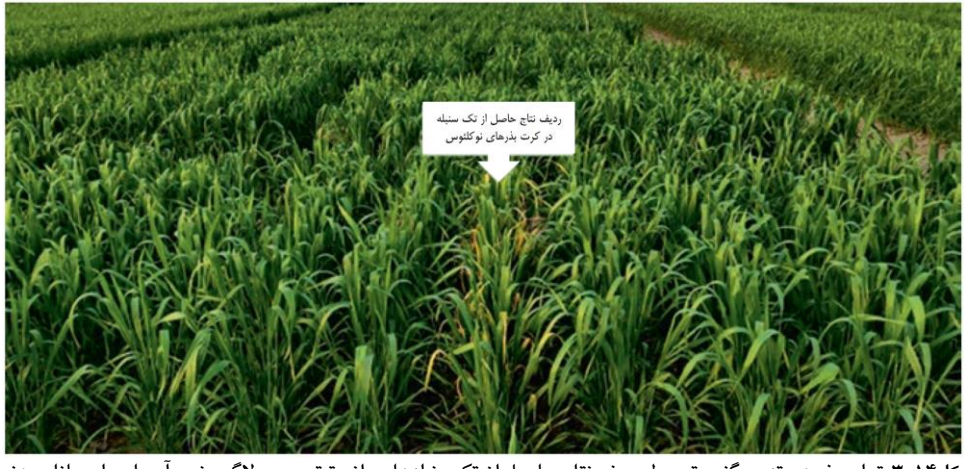
است و نیز مطالعاتی که برهمکنش ژنوتیپ و محیط را درنظرمی‌گیرند هنوز به‌طور کامل توسعه نیافته‌اند؛ نتایج تجزیه‌وتحلیل‌های پیشین انتخاب ژنومی حاکی از اهمیت کاربرد آن در برنامه‌های اصلاح نژادی می‌باشد.



شکل۱۲-۸ زنجیره ارزش گندم غنی‌شده.

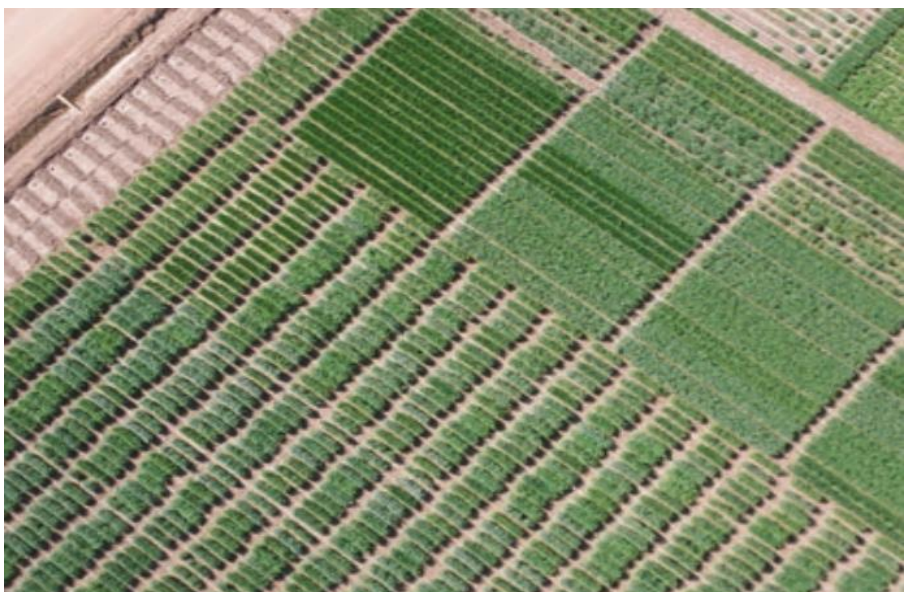


شکل۱۳-۵ طرح نیمه‌تکراری با v=۵۰۴ رقم در ۶۲۴ کرت که چیدمان در ۲۶ ردیف و ۲۴ ستون صورت گرفته است. خطوط پررنگ افقی بلوک را نشان می‌دهد. رنگ‌های مشخص شده لاین‌های چک هستند. کرت‌های خاکستری ارقامی هستند که دوبار تکرار شده‌اند



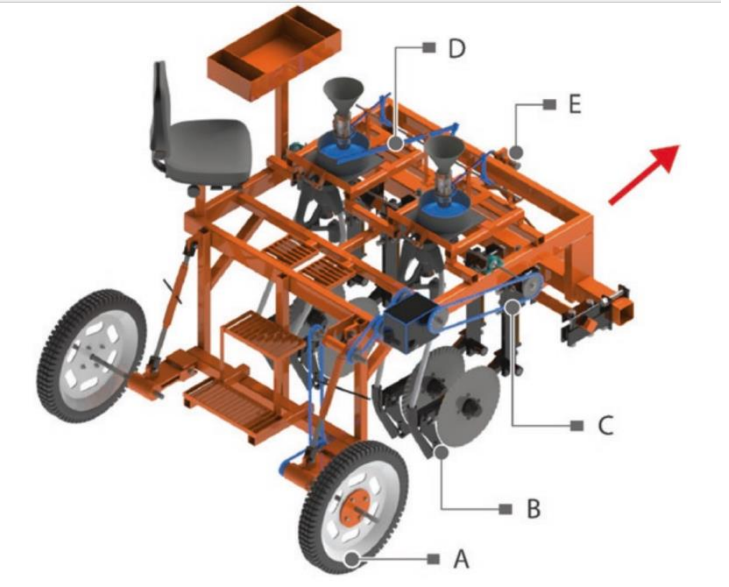
شکل۱۴-۳ تولید بذر هسته در گندم توسط ردیف نتاج حاصل از تک‌سنبله‌ها در انستیتوی بورلاگ جنوب آسیا در لودیانای، هند.

شکل۱۴–۵ رقم BARI Gom 33، رقمی غنی‌شده با روی و مقاوم در برابر بلاست که در بنگلادش عرضه شد.

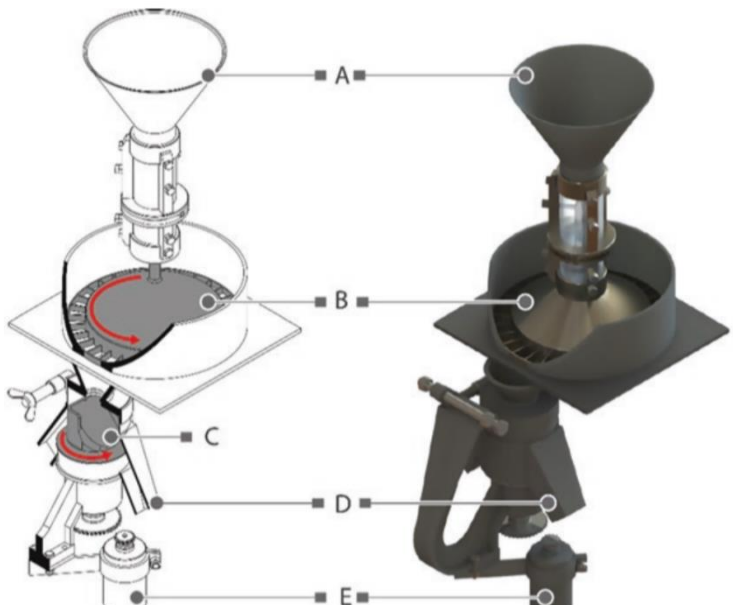


شکل۱۵-۱ کرت‌های آزمایشی در اندازه‌های مختلف در ایستگاه آزمایشی سیمیت در سیوداد اوبرگون، مکزیک. (تصویر توسط لورنا گونزالز/ سیمیت)

شکل۱۵-۲ محیط مرطوب مصنوعی ایجاد شده با استفاده از افشانه‌ها برای ایجاد شرایط بهینه به‌منظور غربالگری فوزاریوم در پایگاه سیمیت در ال‌باتان، مکزیک. (تصویر توسط پاوان کومار سینگ/سیمیت)

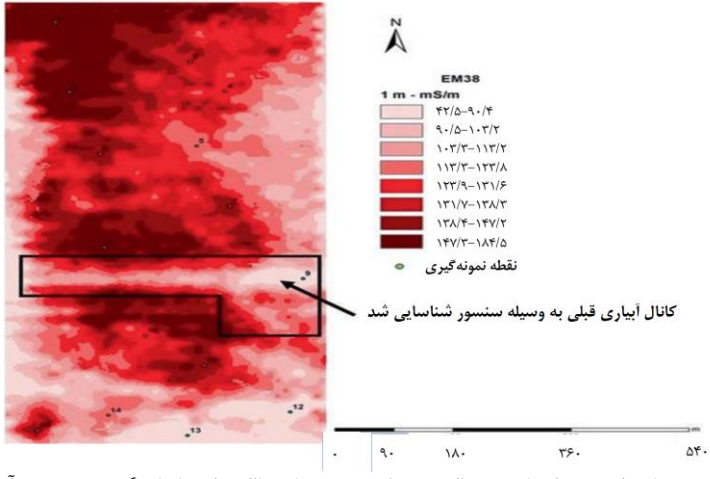


شکل۱۵-۳ دستگاه بذرکاری آزمایشی با دو واحد بذرکار مخروطی شکل و توزیع‌کننده مکانیکی (با علامت آبی،C) برای توزیع بذر، با حرکت (A) چرخ کششی، (B) دیسک شکافنده خاک (اختیاری در صورت باقیمانده محصول) و تسمه‌های تحویل بذر و (D) اهرم عامل برای رهاکردن دانه‌ها در دستگاه اندازه‌گیری مخروطی شکل انجام می‌گیرد، مکانیسم کالیبراسیون با جعبه‌دنده سیاه صورت گرفته و این مدل به‌گونه‌ای طراحی‌شده است که توسط یک تراکتور با اتصال سه‌نقطه‌ای (E) کشیده می‌شود، درحالی‌که مدل‌های خودکششی نیز وجود دارند. فلش قرمز جهت حرکت در حین کار را نشان می‌دهد.

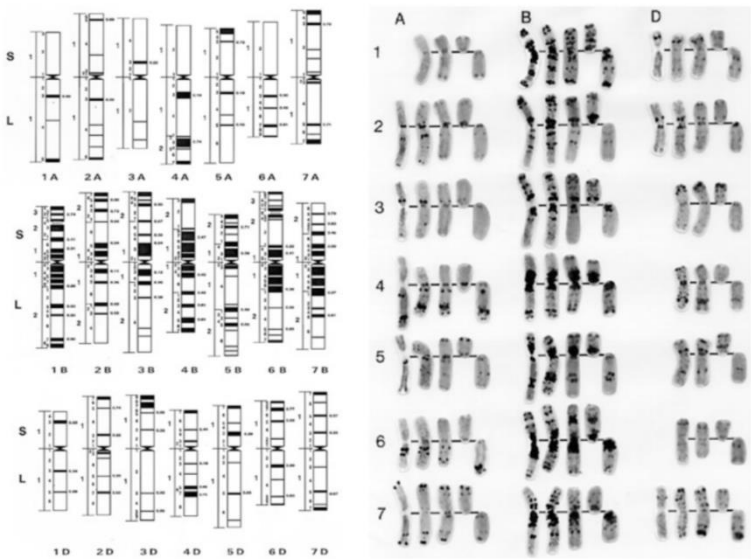


شکل۱۵-۴ نمایش شماتیک بذرکار مخروطی در موقعیت باز (چپ) و بسته (راست): (A) قیف قراردادن بذر، (B) صفحه توزیع بذر مخروطی‌شکل، (C) مکانیسم تقسیم بذر برای توزیع یکنواخت بذرها بین لوله‌ها، (D) ورود لوله‌های بذر، (E) موتور الکتریکی که سیستم تقسیم‌کننده را به‌حرکت درمی‌آورد. فلش‌های قرمز نشان‌دهنده حرکت چرخشی مخروط و مکانیسم تقسیم‌کننده در حین کار است

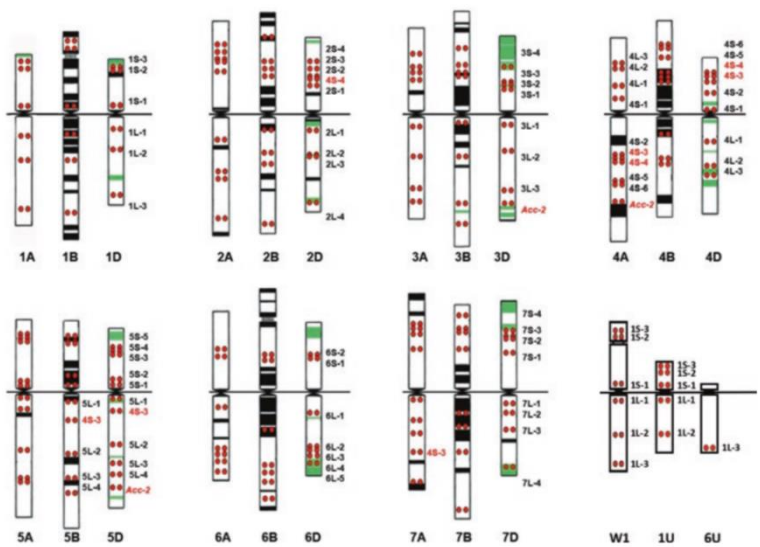
شکل۱۵-۵ کرت‌های ورس‌کرده در مرکز آزمایشی سیمیت، مکزیک که توسط قطعه‌های درحالِ‌رشد طبیعی احاطه شده‌اند.



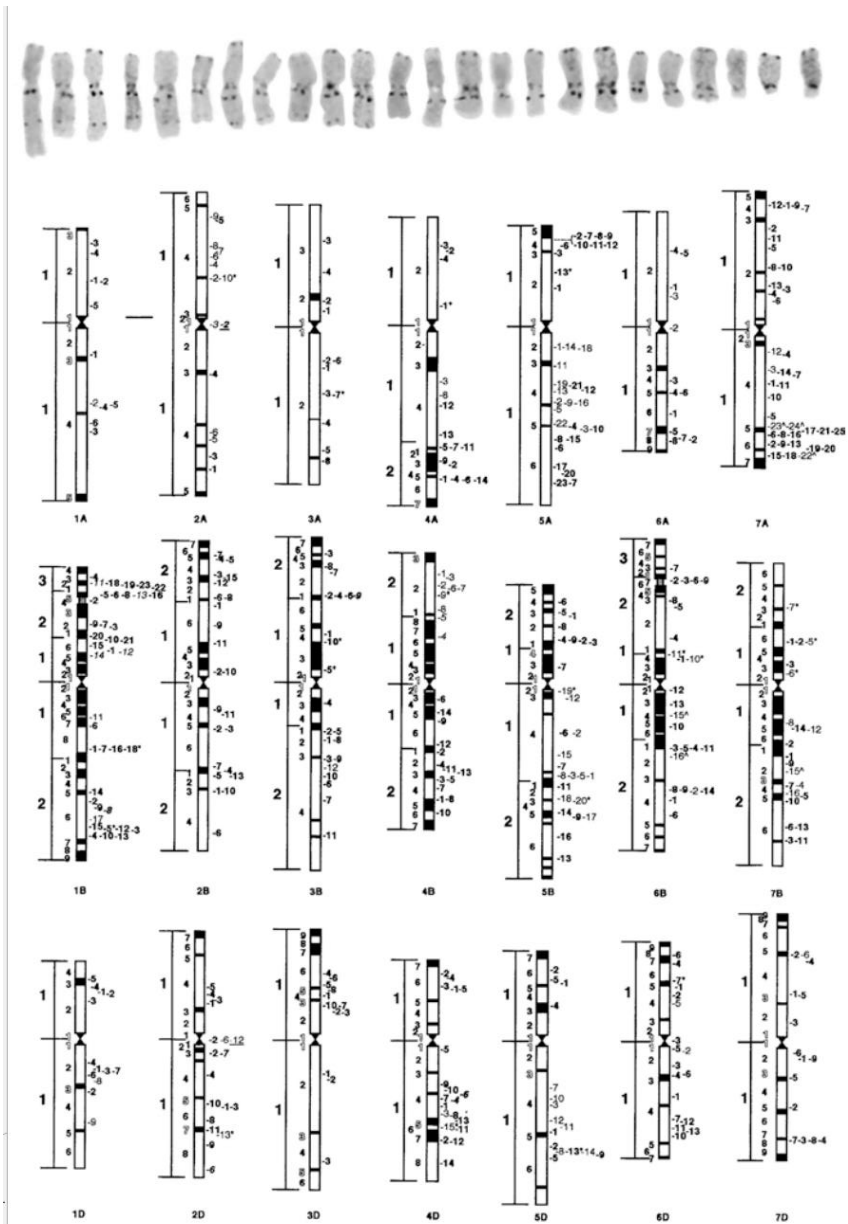
شکل۱۵–۶ نقشه مزرعه‌ای که غیریکنواختی خاک و تفاوت در هدایت الکتریکی اندازه‌گیری‌شده در آن با هدایت‌سنج EM-38 نشان داده شده است (اصلاح‌شده با اجازه از منبع [۱۶]).



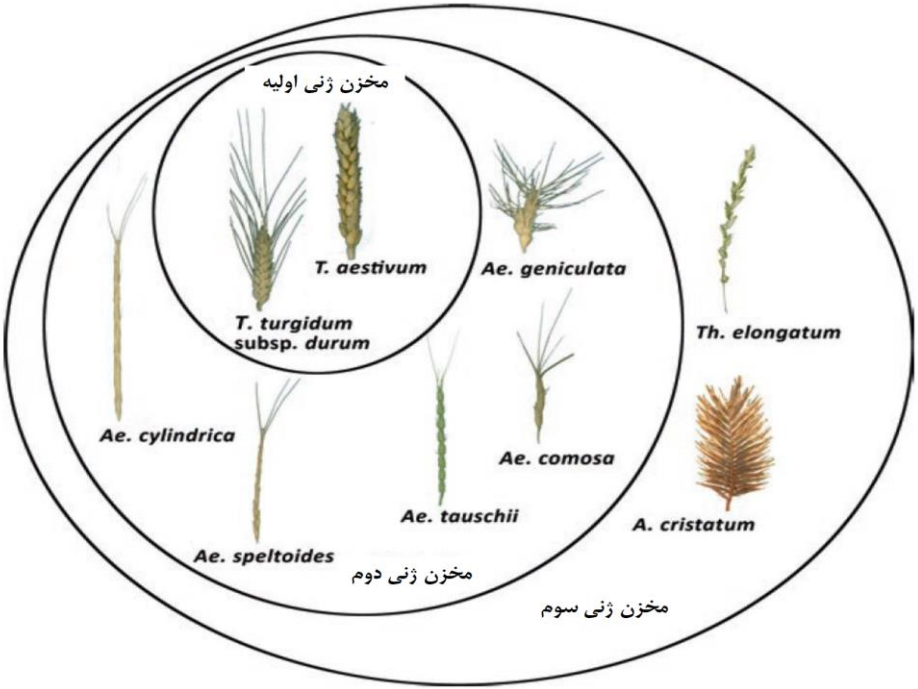
شکل۱۶-۳ سومین پیشرفت در تجزیه‌وتحلیل کروموزوم و ژنوم بر اساس شناسایی سیتوژنتیک، وضوح و توصیف زیرساختار مناطق هتروکروماتیک (رنگ‌آمیزی تیره) و یوکروماتیک (رنگ‌آمیزی روشن) ۲۱ کروموزوم گندم. (اصلاح‌شده با اجازه گیل و همکاران ۱۹۹۱[۱]).



شکل۱۶-۴ چهارمین پیشرفت در تجزیه‌وتحلیل کروموزوم و ژنوم نقشه‌برداری توالی‌های DNA روی کروموزوم‌ها بر اساس فلورسانس در هیبریداسیون درجا (FISH). هیبریداسیون درجا و مجموعه‌های کاوشگر ژنی منحصربه‌فرد (که به‌صورت نقاط قرمز نشان داده می‌شوند) امکان شناسایی سریع سیتوژنتیکی گندم و کروموزوم‌های بیگانه را فراهم می‌کنند. مجموعه پروب گروه ۱ گندم (W1) یک جابه‌جایی بین کروموزوم‌های 1 U و 6 U از *Ae. umbellulata* (پایین سمت راست) را نشان داد (اصلاح‌شده با اجازه از منبع [۳۴])

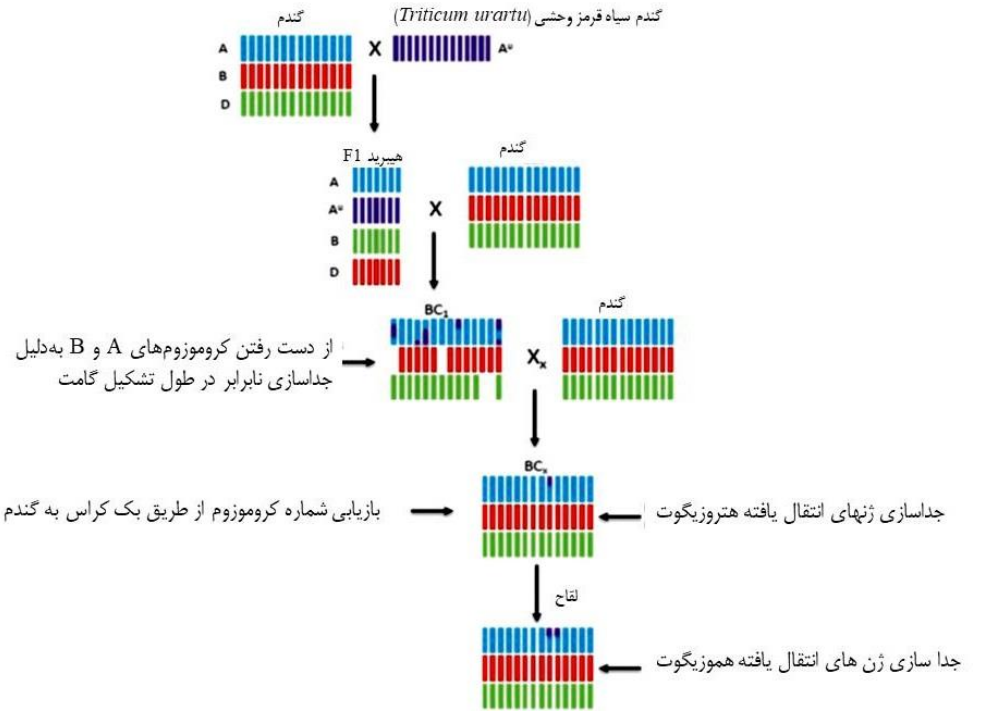


شکل۱۶–۵ پنجمین پیشرفت در تجزیه‌وتحلیل کروموزوم و ژنوم بر اساس بخش‌های حذف‌شده برای نقشه‌برداری هدفمند از ژن‌ها به مناطق خاص کروموزوم‌ها. بخش بالا کروموزوم نرمال 5A (چپ) و ۲۳ کروموزوم حذفی 5A رانشان می‌دهد که بازوی بلند را از کوچکترین تا بزرگترین حذف (از چپ به راست) درگیر می‌کند. این نقاط شکست حذف در ایدئوگرام 5 AL در سمت راست فهرست شده است. ژن Q به بخش کوچکی از حذف‌های دیستال ۷ و ۲۳ روی هم نگاشت شد که منجر به شبیه‌سازی Q و بسیاری از ژن‌های دیگر در گندم شد. نقاط شکست ۴۳۶ حذف به‌طور مشابه در ایدئوگرام ۲۱ کروموزوم گندم نشان داده شده است. (اصلاح‌شده با اجازه از منبع [۳۵]).

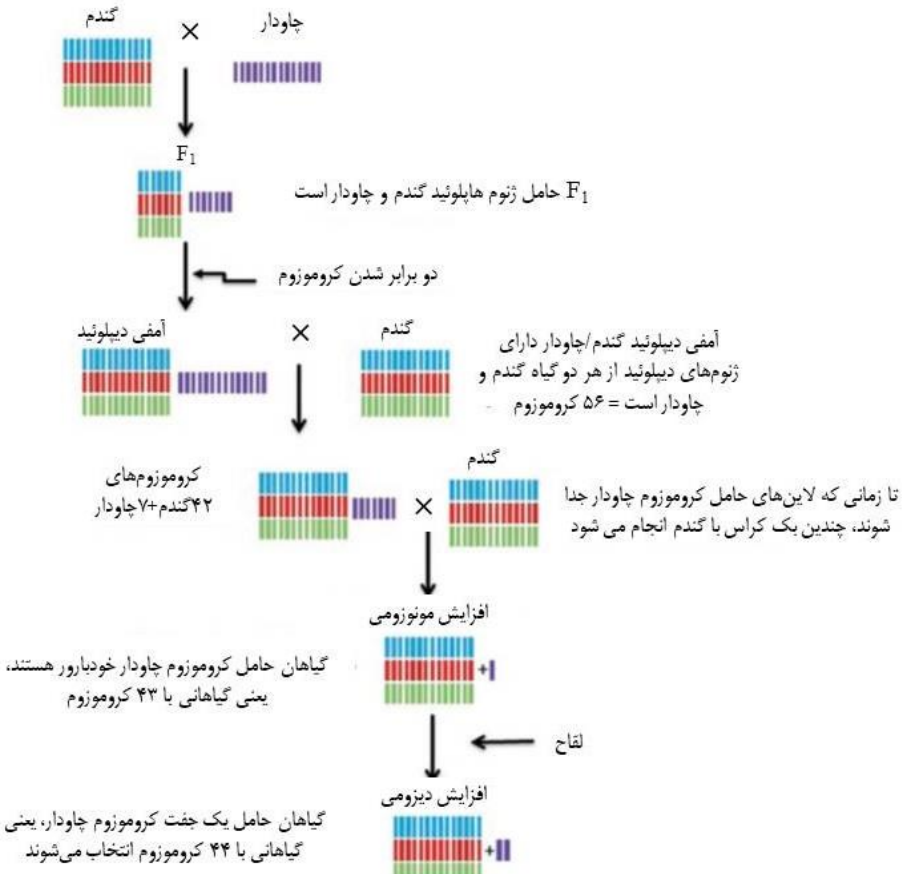


شکل۱۷-۱ نمایش نمادین مخزن ژنی گندم، تنها برخی از گونه‌ها نشان داده شده است.

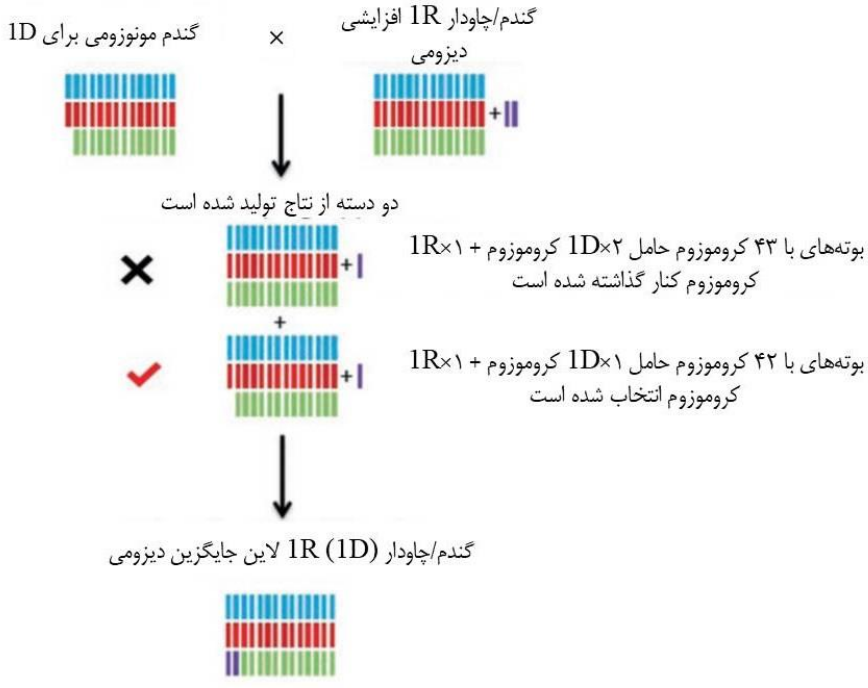
شکل۱۷-۲ نمونه‌هایی از اجداد وحشی گیاه زراعی گندم (WCWR): (a) *T. turgidum* subsp. dicoccoides در مرکز پایش سیمیت (تکسکوکو، مکزیک)؛ (b) *Ae. biuncialis*، جمعیت وحشی در سانترامو ایتالیا (Colle, Italy)؛ (c) *Ae. geniculate* (سمت چپ)، *Ae. Ventricosa* (سمت راست) که در گاردا (ایتالیا) باهم رشد می‌کنند؛ (d) *Ae. Tauschii* در مرکز پایش سیمیت (تکسکوکو، مکزیک)؛ (e) اسکن اشعه ایکس سنبلچهٔ *Ae. biuncialis*، یک جفت دو شکلی در قاعده سنبلچه بارور قابل‌مشاهده است؛ (f) اسکن اشعه ایکس سنبله *Ae. cylindrica* در برخی از سنبلچه‌های سنبله یک جفت دو شکلی دانه قابل‌مشاهده است.



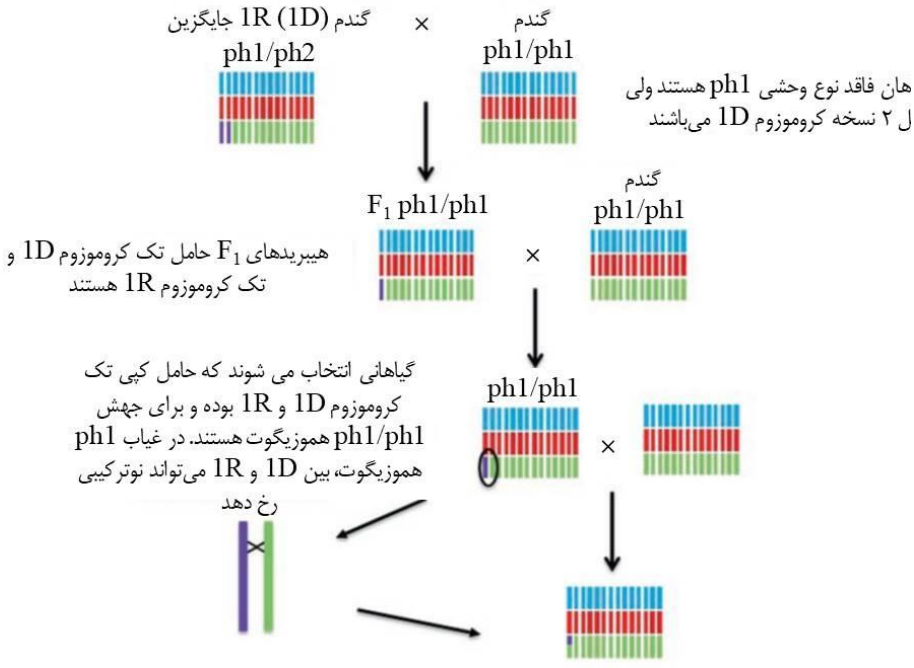
شکل۱۸-۱ راهبرد تلاقی گندم و خویشاوندان وحشی که در آن ژنوم خویشاوند وحشی با یکی از ژنوم‌های گندم هومولوگ است. مثال نشان‌داده‌شده از ژنوم A^u در *T. urartu* است که هومولوگ با ژنوم A گندم می‌باشد



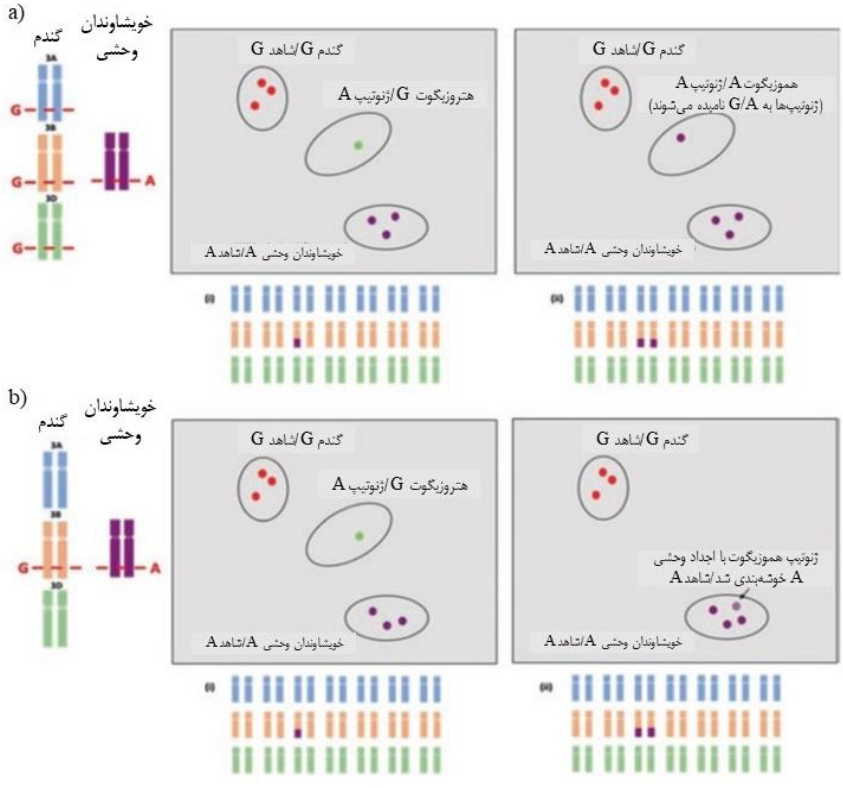
شکل۱۸-۲ راهبرد تولید یک لاین افزایشی دیزومی.



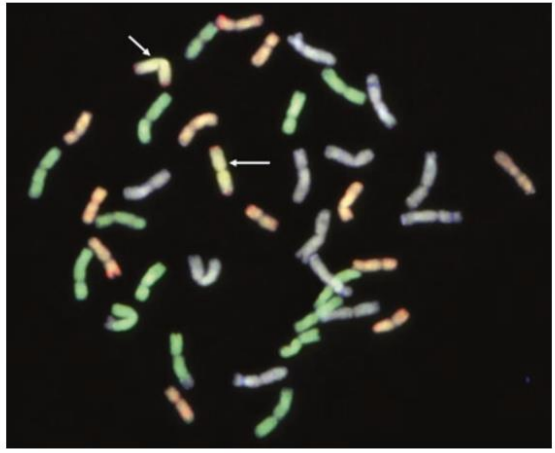
شکل۱۸-۳ راهبرد ارائه شده برای تولید یک لاین جایگزینی دیزومی.



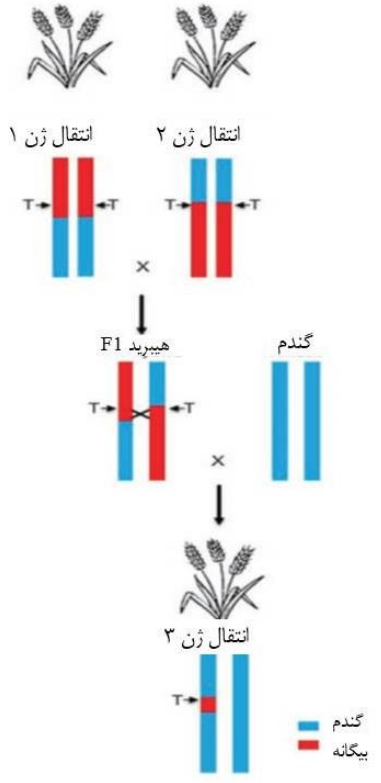
شکل۱۸-۴ لاین حاصل از انتقال ژن از یک لاین جایگزینی دیزومی.



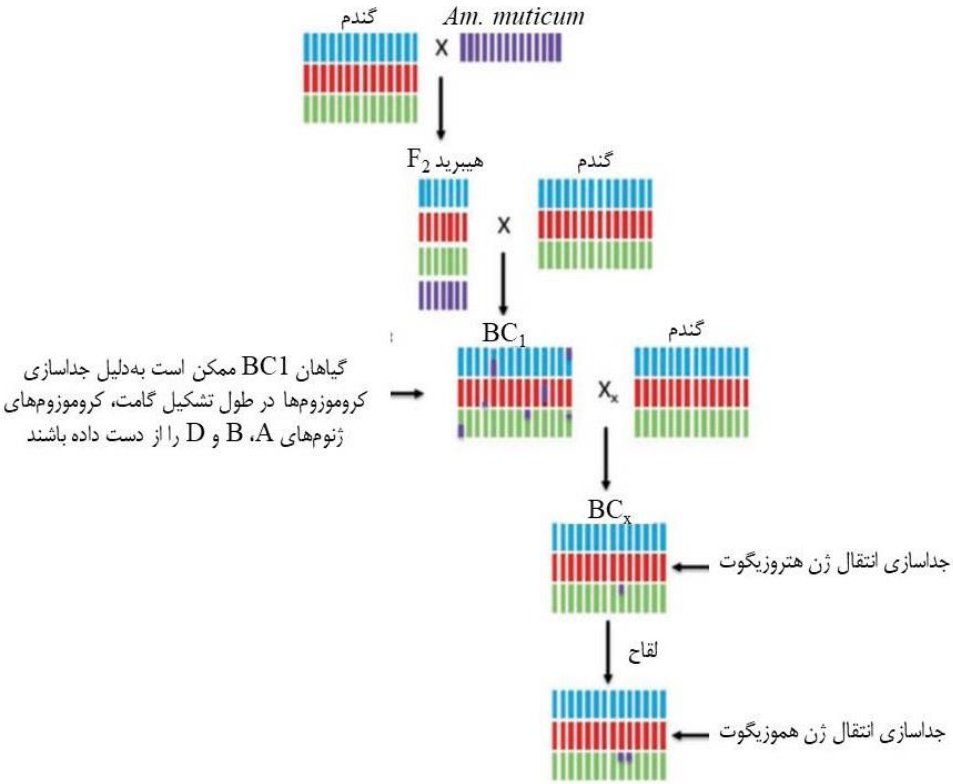
شکل۱۸-۵ (a) نشانگر KASP که برای یک SNP موجود در هر سه ژنوم گندم و یک خویشاوند وحشی چندشکلی طراحی شده است. سیگنال‌ها برای هر دو a (i) انتقال ژن هتروزیگوت و a (ii) انتقال ژن هموزیگوت بین سیگنال‌های نمونه شاهد گندم و شاهد خویشاوندان وحشی کلاستر شده‌اند؛ (b) نشانگر KASP که برای چندشکلی‌بودن بین SNP اختصاصی کروموزوم گندم (در این مثال SNP بر روی کروموزوم 3B رخ می‌دهد) و یک خویشاوند وحشی طراحی شده است. سیگنال برای انتقال ژن‌های هتروزیگوت (i) بین سیگنال‌های نمونه شاهد گندم و شاهد خویشاوندان وحشی کلاستر می‌شوند. سیگنال انتقال ژن هموزیگوت (ii) با نمونه‌های شاهد خویشاوندان وحشی کلاستر می‌شوند.



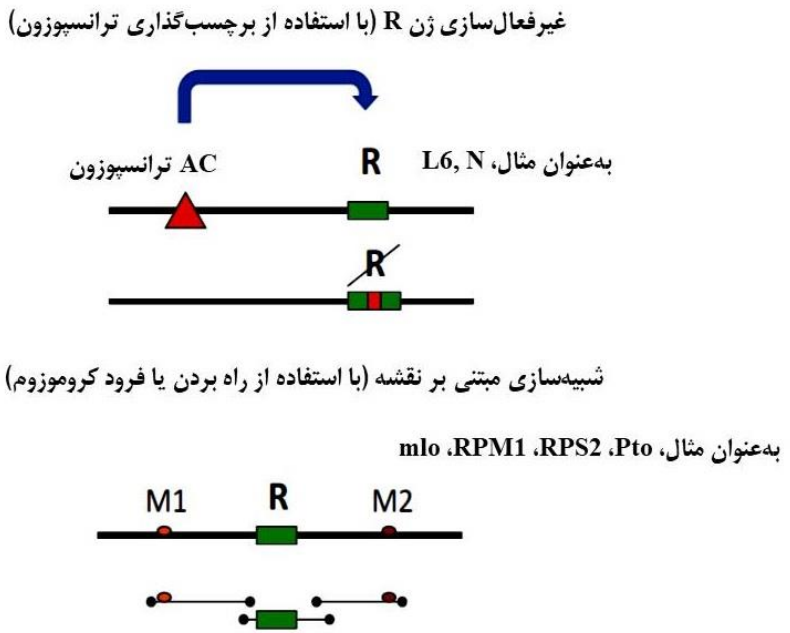
شکل۱۸-۶ تجزیه‌وتحلیل GISH چندرنگی یک لاین انتقال ژن هموزیگوت. کروموزوم‌های ژنوم A گندم به رنگ سبز، کروموزوم‌های ژنوم B گندم به رنگ آبی و کروموزوم‌های ژنوم D گندم با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند. انتقال ژن هموزیگوت از *Am. muticum* (فلش‌های سفید) با رنگ زرد نشان داده شده است. این انتقال ژن در هر دو انتها با ژنوم D بازترکیب شده است



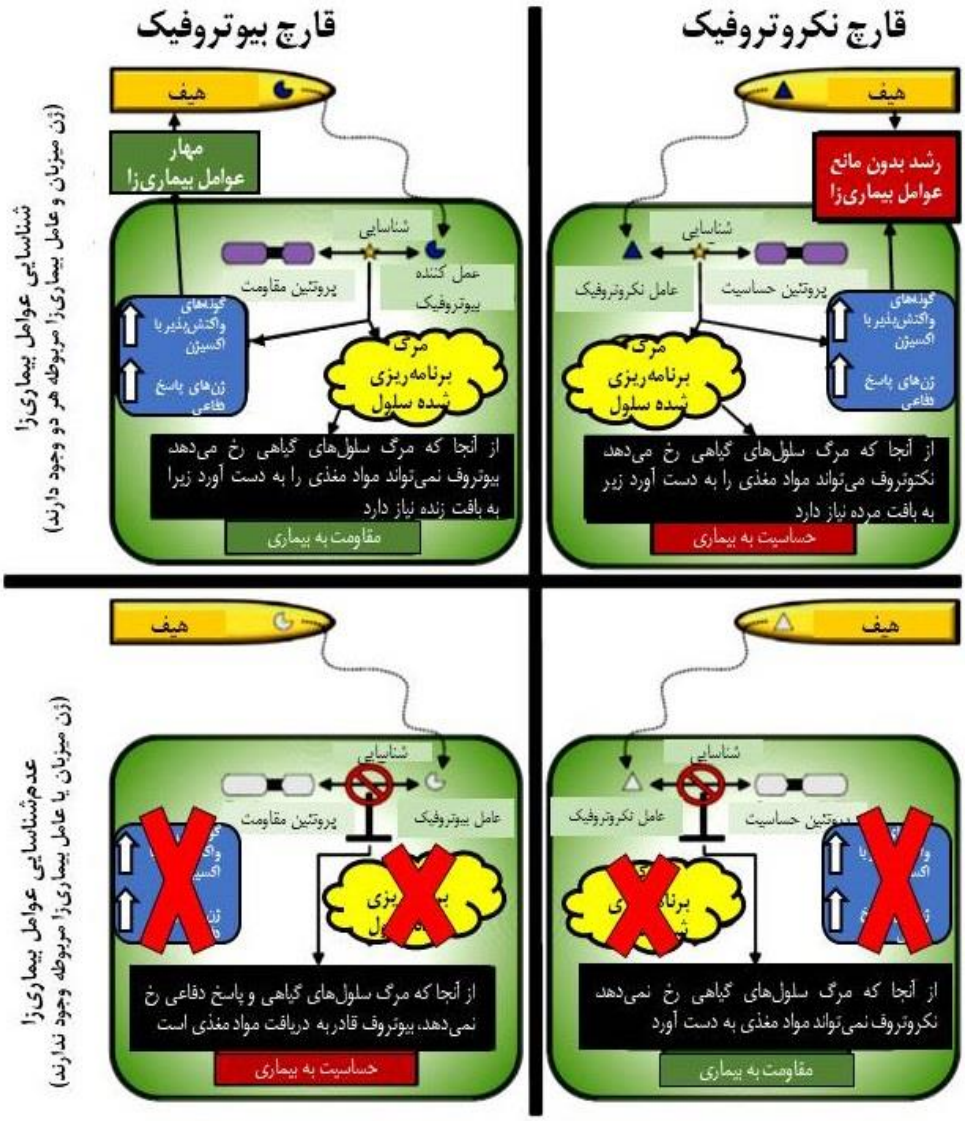
شکل۱۸-۷ راهبرد کاهش اندازه یک قطعه بزرگ از فرآیند انتقال ژن.



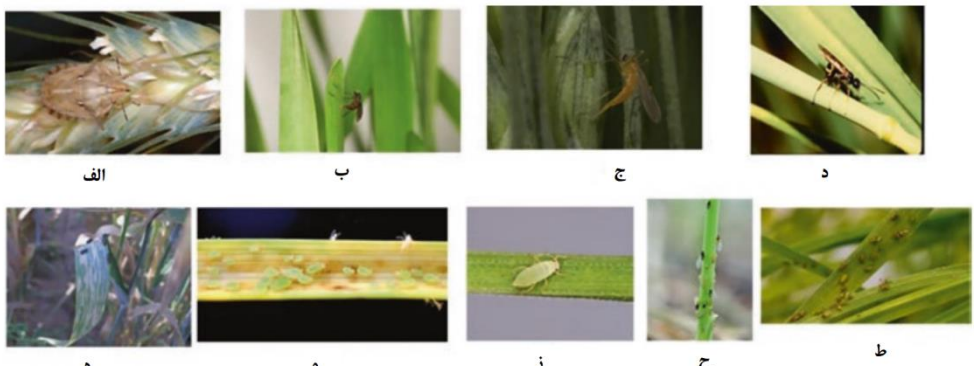
شکل۱۸-۸ مطالعه موردی: ایجاد لاین‌های انتقال ژن‌ها از *Am. muticum*



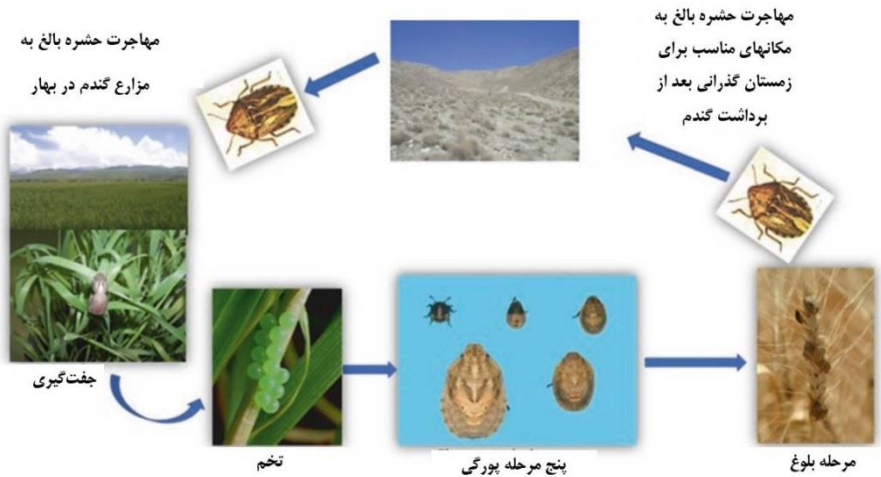
شکل۱۹-۱ روش‌های کلاسیک جداسازی ژن مقاومت. برچسب‌گذاری ترانسپوزون با استفاده از ترانسپوزون‌های هترولوژیک برای جداسازی تعدادی از ژن‌های مقاومت مانند ژن کتان L6، ژن توتون N و ژن ذرت Rp1 استفاده شد. جهش‌های مشکوک ناشی از درج ترانسپوزون در ژن R سببی از لاین ترانسپوزون فعال جستجو شدند، سپس درج ترانسپوزون به‌عنوان یک برچسب مولکولی عمل کرد تا جداسازی ژن R را ممکن سازد. یک روش جایگزین شبیه‌سازی مبتنی بر نقشه بود که در آن نشانگرهای نزدیک به ژن R جستجو می‌شدند. این نشانگرها سپس جداسازی قطعات بزرگ DNA از مکان را با غربالگری مجموعه‌های بزرگ BAC، PAC و YAC ممکن کردند. پیشرفت‌های فناوری روش‌های جدیدی از جداسازی ژن R بر اساس جذب اگزوم یا جداسازی کروموزوم معرفی کرده‌اند که جزئیات آن در جدول ۱۹-۱ آورده شده است



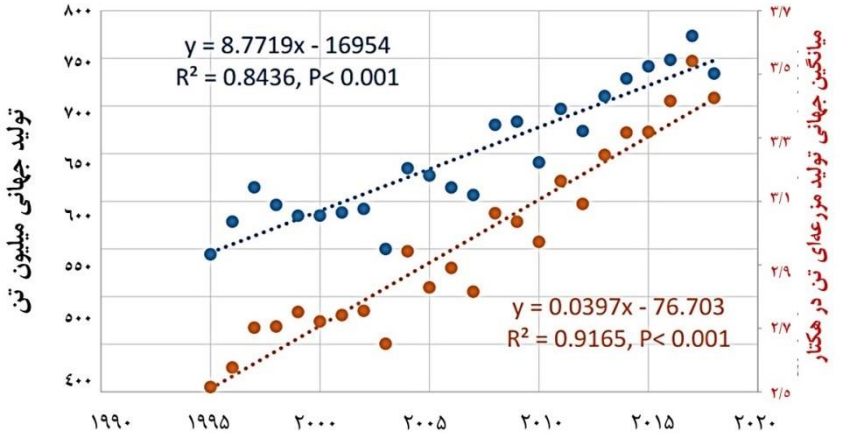
شکل۱۹-۲ برهمکنش‌های ژن برای ژن بین میزبان‌های گیاهی و عوامل بیماری‌زا بیوتروفیک و برهمکنش‌های معکوس ژن برای ژن با عوامل بیماری‌زا نکروتروفیک. (بالا، چپ) هنگامی که عامل بیماری‌زا بیوتروفیک عامل بیماری‌زای شناخته شده را به سلول گیاهی حاوی آن وارد می‌کند. ژن مقاومت مربوطه پاسخ دفاعی فعال شده و مانع از رشد بیشتر عامل بیماری‌زا می‌شود و می‌تواند منجر به مرگ برنامه‌ریزی شده سلول آلوده شود. (پایین، چپ) برعکس اگر گیاه میزبان فاقد ژن مقاومت مناسب و یا عامل بیماری‌زا بیوتروفیک فاقد عامل بیماری‌زای شناخته شده باشد، حساسیت به بیماری گیاهی رخ می‌دهد. (بالا، راست) در مقابل، برهمکنش عامل بیماری‌زا نکروتروفیک و عامل بیماری‌زای شناخته شده منجر به مرگ سلول می‌شود که برای توسعه عامل بیماری‌زا مورد نیاز است. در غیاب عامل بیماری‌زای مناسب یا پروتئین مقاومت گیاهی که در این مورد عامل حساسیت است، مقاومت در برابر عامل بیماری‌زا نکروتروفیک رخ می‌دهد.



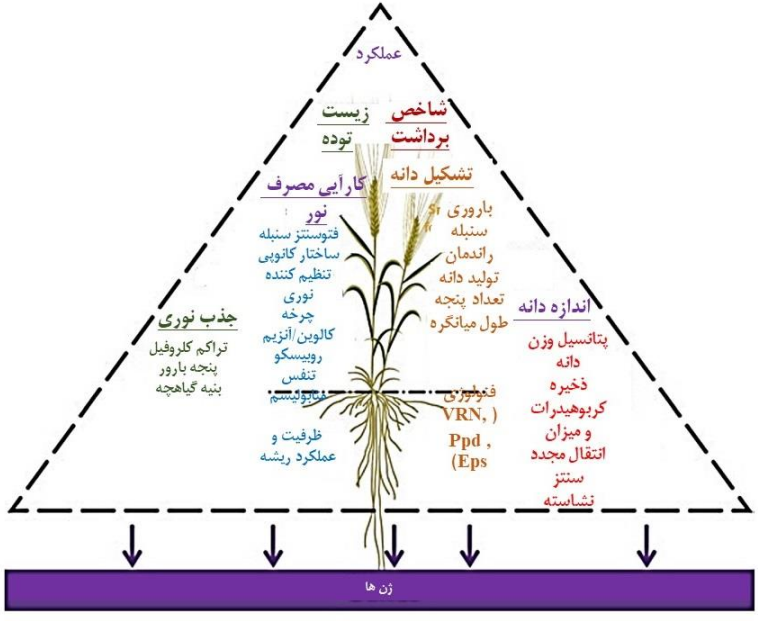
شکل۲۰-۱ حشرات آفت مزارع گندم: (الف) سن گندم، (ب) مگس گندم، (ج) سوسک برگ‌خوار غلات، (د) مگس ساقه گندم، (ه) شته روسی گندم، (و) شته سبز رنگ، (ز) شته برگ یولاف، (ح) شته انگلیسی دانه، (ط) پشه نارنجی سنبله گندم



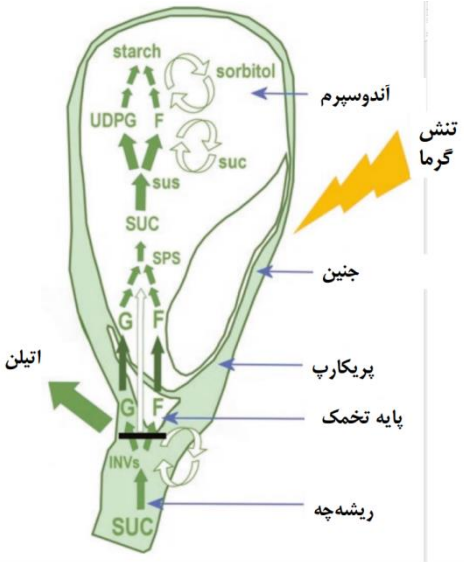
شکل ۲۰-۲ چرخه زندگی آفت سن گندم.



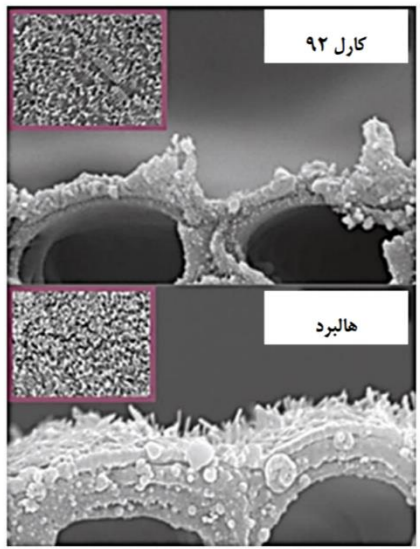
شکل ۲۱-۱ تولید جهانی و میانگین عملکرد گندم نان از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۸ (با استفاده از داده‌های منبع شماره [۱])



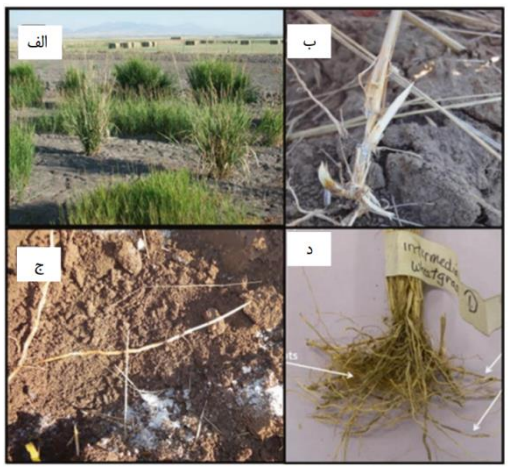
شکل۲۱-۴ سلسله‌مراتب صفات در رابطه با درجه تقریبی ادغام، برخی از محرک‌های زیست‌توده (مبدأ) در سمت چپ گیاه و شاخص برداشت (مقصد) را در سمت راست نشان می‌دهد. خلاصه: Int= interception (تجدیدچاپ با اجازه از نویسنده[۲۶])



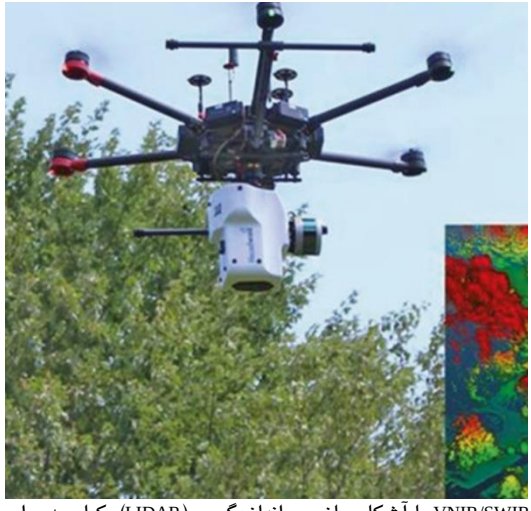
شکل۲۲-۱ فرضیه شانون (به رنگ سبز) با افزودن اتیلن ناشی از تنش گرمایی (به رنگ مشکی) پیشنهاد می‌کند که ساکاروز (SUC) ابتدا توسط اینورتازهای دیواره سلولی (INV) در دمگل، پایه تخمک و لایه انتقال آندوسپرم پایه شکسته شود. هگزوز گلوکز (G) و فروکتوز (F) از طریق لایه انتقال آندوسپرم وارد آندوسپرم می‌شود. در آندوسپرم و جنین، ساکاروز توسط ساکاروز فسفات سنتاز (SPS) دوباره سنتز می‌شود و به داخل آندوسپرم و جنین منتقل می‌شود و در آنجا توسط ساکاروز سنتاز (SUS) دوباره هیدرولیز می‌شود تا در پی متابولیسم به نشاسته تبدیل شود. کاهش اینورتازهای دیواره سلولی یا ساکاروز توسط تنش گرمایی در پایه تخمک، آندوسپرم یا جنین می‌تواند تولید اتیلن ناشی از گلوکز را کاهش دهد که توسط اسید آبسیزیک تنظیم می‌شود و منجر به بریدگی پایه تخمک و پیری زودرس در رشد آندوسپرم و جنین می‌شود (اصلاح‌شده با اجازه از منبع [۱۳])



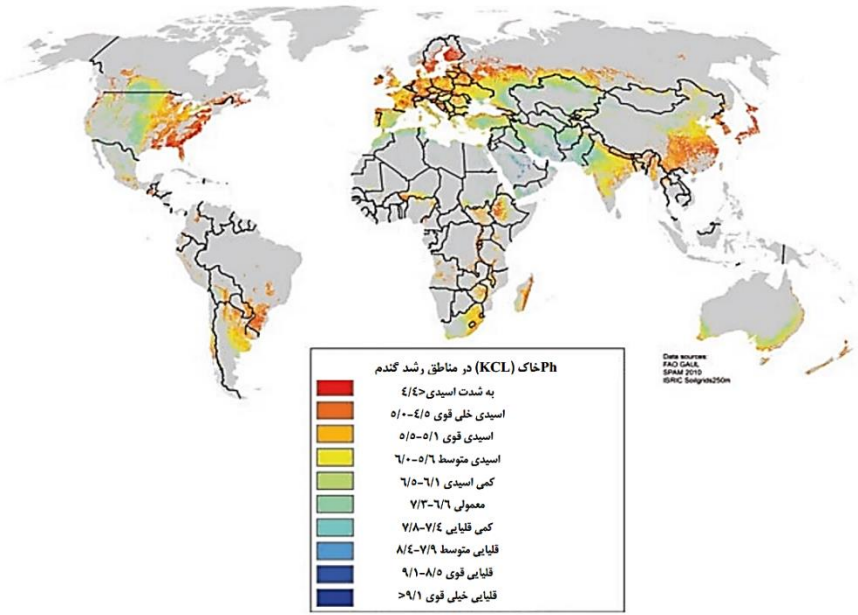
شکل۲۲-۲ برش سطح مقطع میکروسکوپ الکترونی برگ‌های دو لاین گندم سبز مایل به زرد با محتوای لایه مومی متفاوت در سطح برگ. رقم گندم سبز مایل به زرد شده «کارل ۹۲» با یک لایه سطحی موم نازک حساس به گرما است، درحالی‌که رقم گندم سبز مایل به زرد شده «هالبرد» با لایه سطحی ضخیم موم به گرما متحمل است.



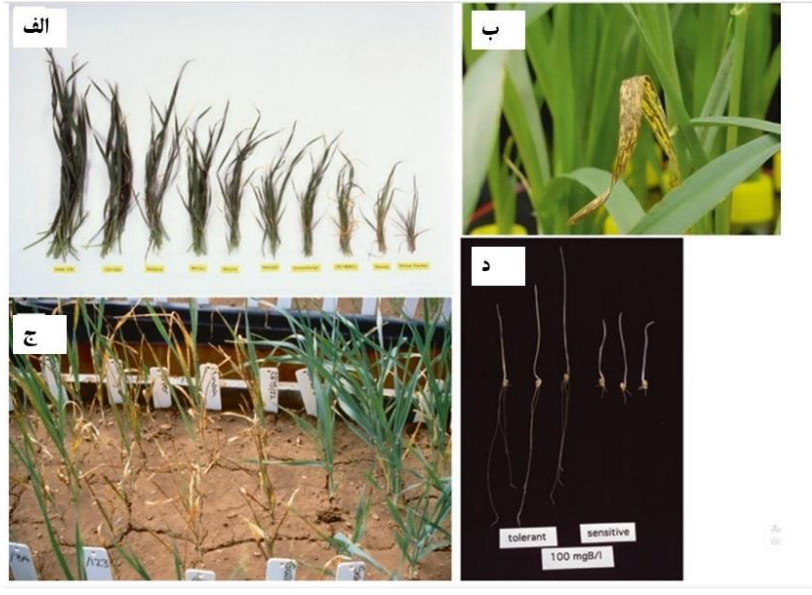
شکل۲۲-۳ (الف) کرت‌های چاودار وحشی *Leymus triticoides* و *Leymus cinereus*، (ب) ریزوم در هیبرید *L. triticoides* و *L. cinereus*، (ج) ریزوم در *L. triticoides*، (د) ریشه‌های *Thinopyrum intermedium* (علف گندم متوسط) با ریزوم‌های ضخیم‌تر (تصویر با اجازه از منبع [۳۶] چاپ‌شده است)



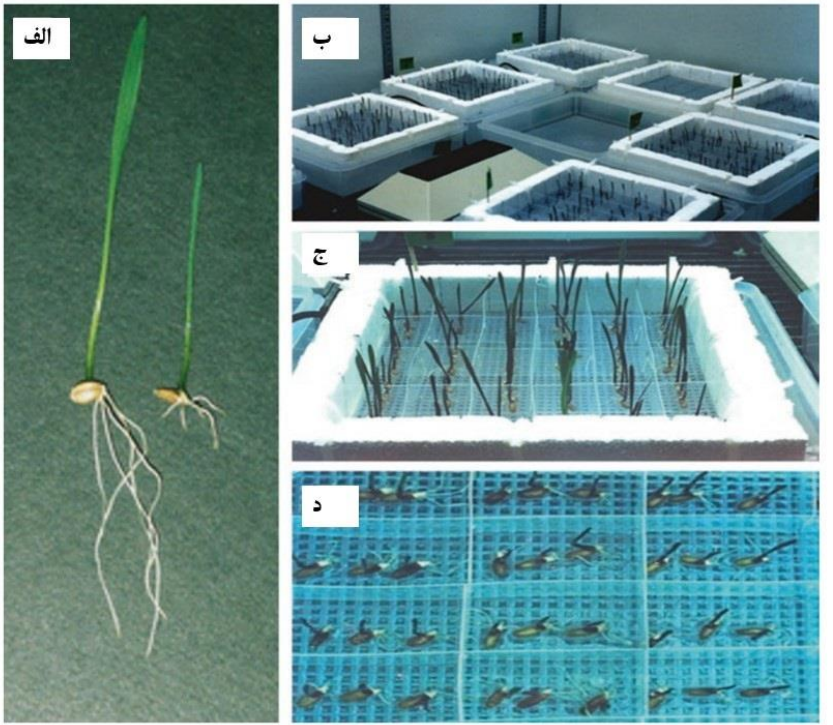
شکل۲۲-۴ طیف‌سنج فراطیفی VNIR/SWIR با آشکارسازی و اندازه‌گیری (LIDAR) یکپارچه برای تعیین کمیت موم برگ و سایر ویژگی‌های منحصربه‌فرد سازگار با تنش گرما



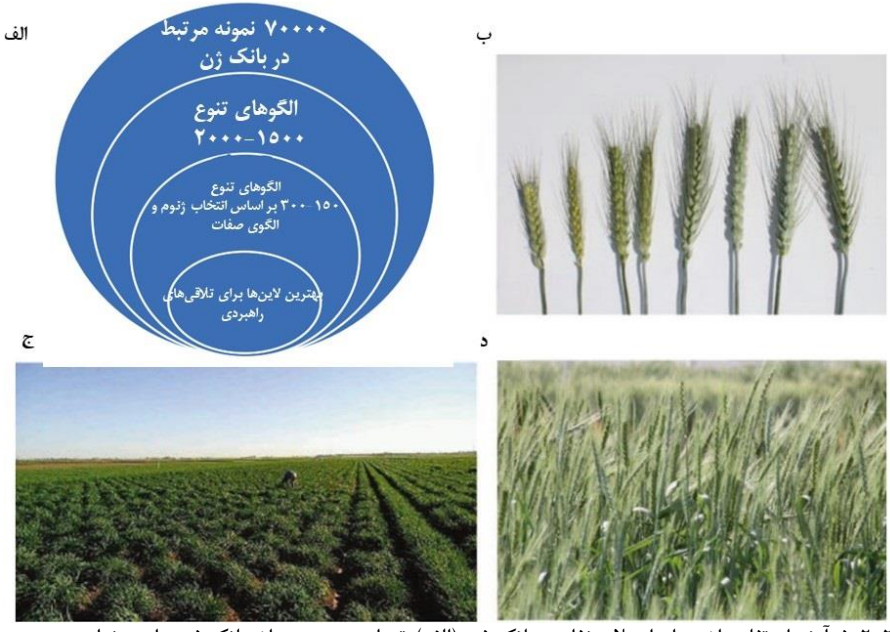
شکل۲۴-۲ پراکندگی اسیدیته خاک در مناطق مورد کشت گندم در مقیاس جهانی[۵ و ۶].



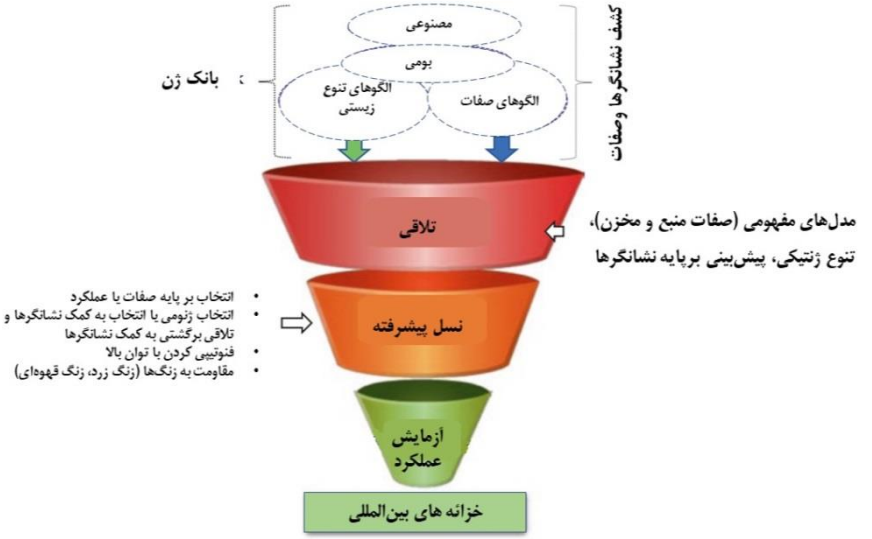
شکل۲۴-۳ علائم سمّیت بُر و ارزیابی آن: تصاویر برگ‌های گیاهان رشد یافته در خاک حاوی غلظت بالای بُر، تنوع ژنتیکی کافی در تحمل این عنصر (الف) نشان داده شده است. لاین‌های نشان داده شده، از چپ به راست، عبارتند از: India 126، G61450 (به‌ترتیب بومی هند و یونان)، ارقام استرالیایی Halberd، Moray، Wyona، Warigul، Schomburgk، WI*MMC، Reeves و یک نژاد بومی آفریقایی، Kenya Farmer. علائم سمّیت برگ (ب) با نکروزی که از نوک برگ به سمت داخل پیشروی کرده نشان داده شده است. پایش برای تحمل را می‌توان با رشد نهال‌ها در جعبه‌های خاکی با بّر بالا (ج) یا استفاده از غربال هیدروپونیک انجام داد. در لاین‌های حساس به بُر، غلظت بالای این عنصر رشد ریشه را کاهش می‌دهد (د).



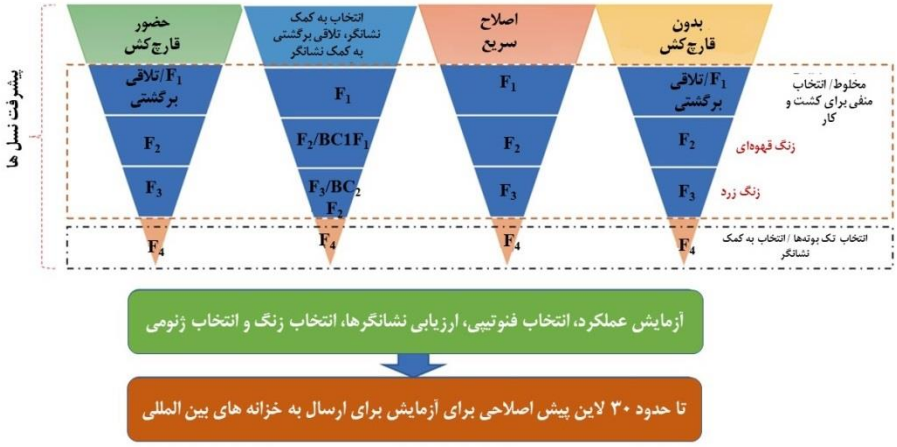
شکل۲۴-۴ علائم و غربالگری با هدف تحمل سمّیت آلومینیوم. اثر بازدارندگی شدید آلومینیوم بر رشد ریشه نشان داده شده است (الف). کاهش رشد گیاهچه نیز قابل‌مشاهده است. پایش بر اساس تحمل به آلومینیوم را می‌توان به‌سادگی و با استفاده از یک سیستم هیدروپونیک نشان داده شده در ب، ج و د انجام داد.



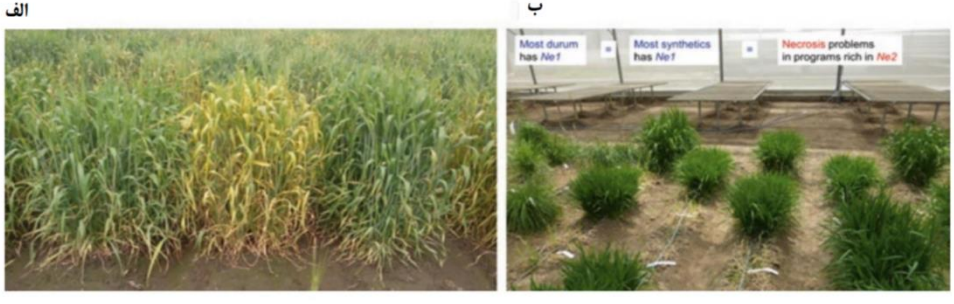
شکل۲۵-۲ فرآیند استفاده از مواد اصلاح نژادی بانک ژن (الف) تعدادی ورودی از بانک ژن را به‌عنوانِ مجموعه اولیه تعریف می‌کند و آن را به تعدادی کاهش می‌دهد که ایجاد فنوتیپ دقیق بر روی آنها انجام‌پذیر می‌شود؛ (بَ) نمونه‌هایی از تنوع صفات موجود در بانک ژن (مثلاً طول و اندازه سنبله)؛ (ج) تصویری فوری از شروع فنوتیپ تا گلدهی با رشد ۲۰۰۰ توده در مزرعه در سونورا، مکزیک؛ و (د) مجموعه هگزاپلوئید مصنوعی اولیه که از تلاقی گندم دوروم با آجیلوپس تشکیل شده است.



شکل۲۵-۴ مروری بر مجموعه لاین‌های فعلی شرکای بین‌المللی عملکرد گندم و کنسرسیوم بهبود تحمل به تنش خشکی و گرمای گندم، مورد استفاده در فعالیت‌های پیش‌اصلاح نژادی سیمیت.



شکل۲۵-۵ روش‌های پیش‌بینی‌شده فعالیت‌های پیش-اصلاح نژادی توسط سیمیت.



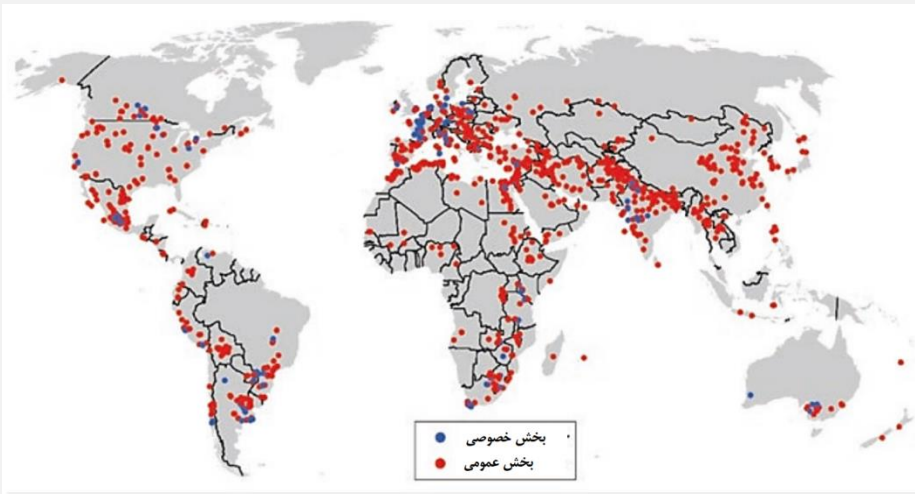
شکل۲۵-۶ دو فرصت و چالش اصلی هنگام استفاده از مواد مصنوعی یا پیش‌اصلاح نژادی (الف) لاین‌های جدید مقاوم در برابر زنگ زرد و (ب) نکروز در تلاقی لاین سینتتیک جدید × تلاقی لاین‌های ممتاز.

شکل۲۵-۹ یک طرح کلی از مسیرهای فیزیولوژیکی پیش‌اصلاح نژادی، با اندکی تغییرات از منبع [۵].

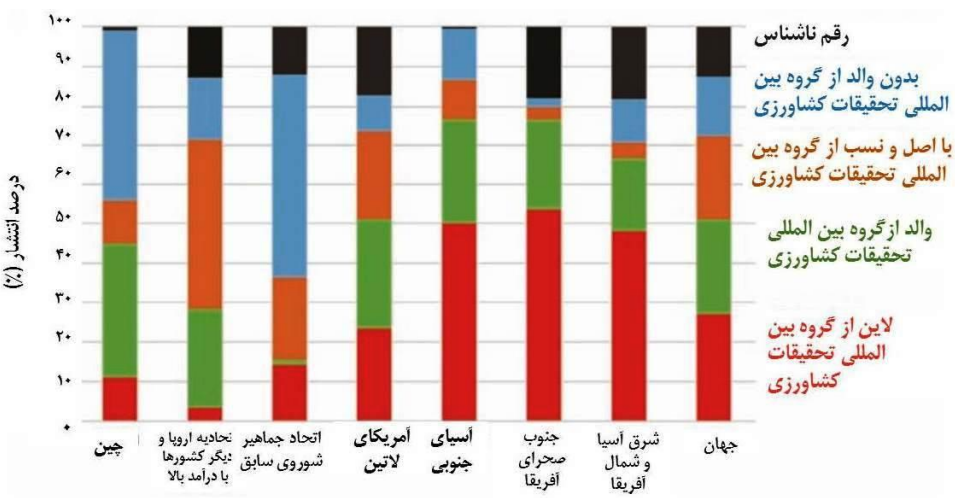
کادر۲۶-۱ مکان‌های آزمایشی شبکه بین‌المللی بهبود گندم در سطح جهانی

شبکه بین‌المللی بهبود گندم با همکاری جهانی دانشمندان متخصص در این زمینه، هرساله تقریباً ۱۰۰۰ لاین جدید گندم با عملکرد بالا، سازگار با تنش و مقاوم به بیماری را در حدود ۱۸۰۰ مجموعه خزانه در ۲۵۰ منطقه مورد آزمایش قرار می‌دهند که در نهایت به مجموعه داده‌های فنوتیپی گسترده منتهی می‌شود[۱۸ و ۱۹].

تا به امروز، شبکه بین‌المللی بهبود گندم سالانه بیش از ۱۰ میلیون داده فنوتیپی خام را جمع‌آوری کرده و ژرم‌پلاسم‌های جدید را ارائه داده است که حدود چندین میلیارد دلار بهره‌وری مازاد در بیش از ۱۰۰ میلیون کشاورز در کشورهای کمتر توسعه یافته به همراه داشته است[۲۰] که این افزایش عملکرد، باعث صرفه‌جویی در بیش از ۲۰ میلیون هکتار زمین زیر کشت شده است[۲۱].



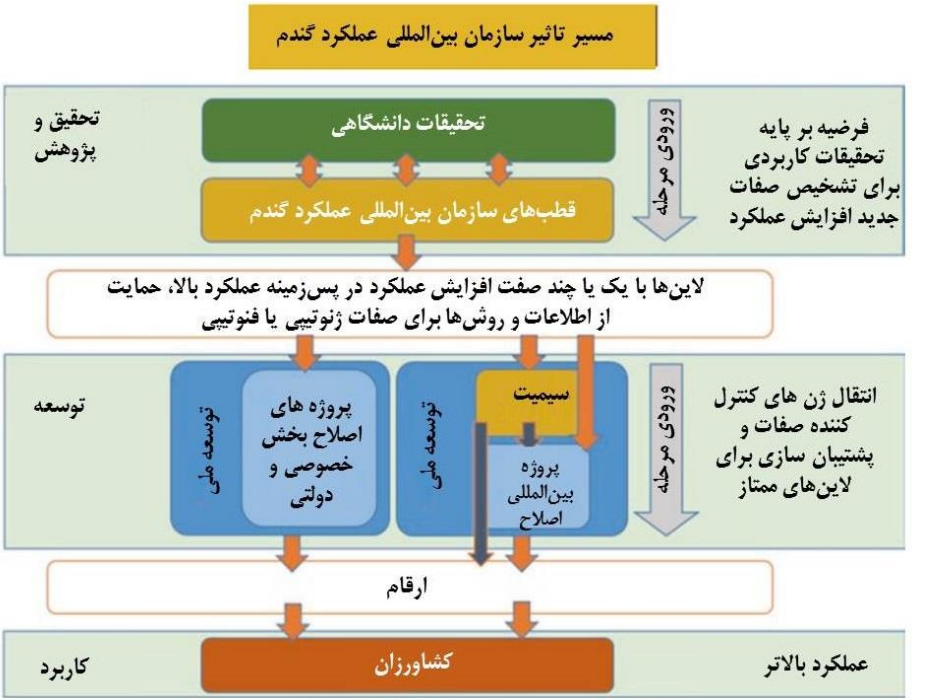
برنامه‌های اصلاح نژادی عمومی و خصوصی تحت نظارت شبکه بین‌المللی بهبود گندم و دریافت ژرم‌پلاسم‌های جدید (تهیه شکل توسط کای سوندر، سیمیت)



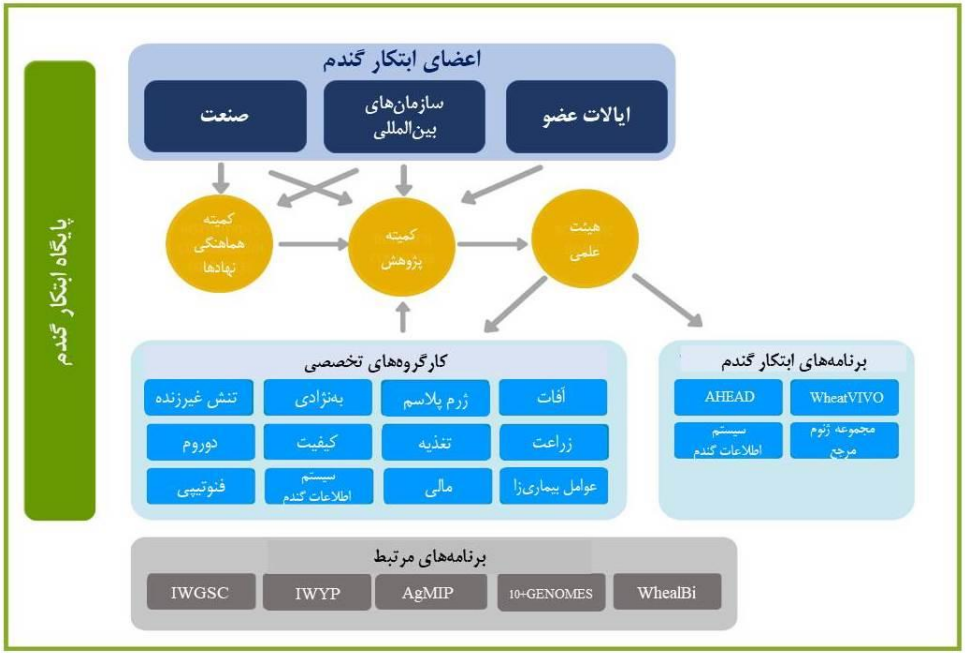
شکل۲۶-۱ گندم‌های نان بهاره آزادشده بر اساس منطقه/منشأ از طریق شبکه بین‌المللی توسعه گندم در سال‌های ۱۹۹۴-۲۰۱۴ (تجدید چاپ با اجازه از منبع[۲۲])

کاربرد پژوهش‌های ترجمه‌ای در شبکه جهانی به‌نژادی گندم در شرایط تغییر اقلیم: شکاف‌های تحقیقاتی، اهداف مشترک و نتایج

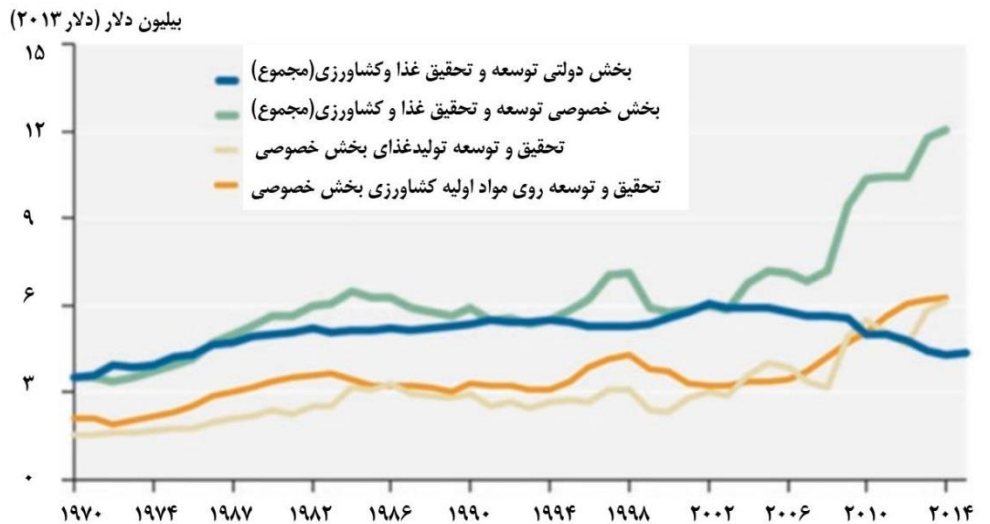
شکل۲۶-۲ تحقیقات انجام‌شده در سراسر شبکه جهانی بهبود گندم برای انعطاف‌پذیری آب‌وهوا: شکاف‌های تحقیقاتی، اهداف تعاملی و نتایج.



شکل۲۶-۳ ائتلاف بین‌المللی عملکرد گندم مدلی را ارائه می‌دهد که در آن مجموعه‌ای از مراکز سرمایه‌گذاری عمومی از تحقیقات مشترک در سطح جهانی حمایت می‌شود. این مراکز که سیستم توسعه مرکزی را پشتیبانی و صفات و ژرم‌پلاسم‌های جدید را به برنامه‌های اصلاح نژادی در سراسر جهان معرفی می‌کنند. این شبکه‌ها نوآوری‌های مرتبط با سازمان بین‌المللی عملکرد گندم را افزایش و ارقام جدید با عملکرد بالاتر را به کشاورزان در سراسر جهان تحویل می‌دهند.



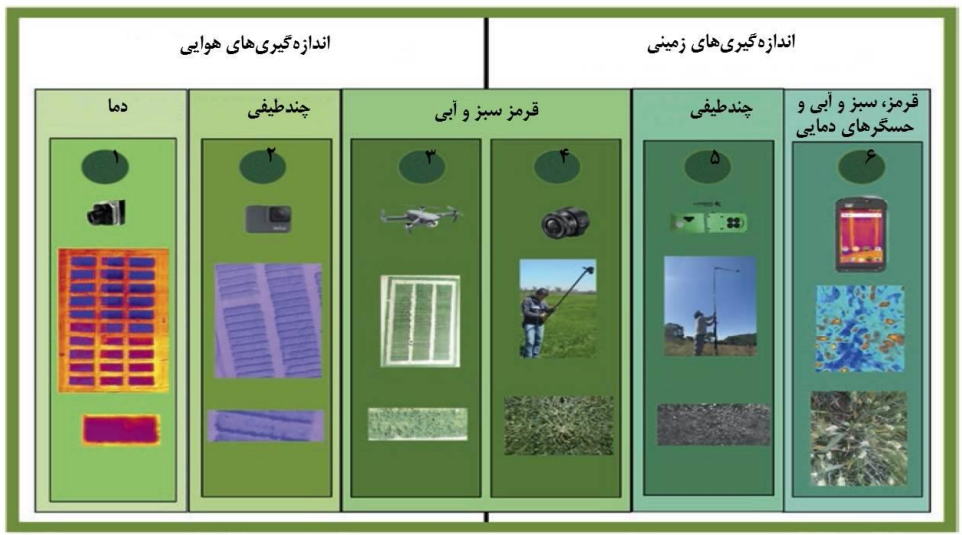
شکل۲۶-۴ سازمان‌دهی و مدیریت ابتکار گندم



شکل۲۶-۵ مقایسه بودجه تحقیقات کشاورزی دولتی و خصوصی در طول زمان در سال‌های ۱۹۷۰-۲۰۱۵، دلار واقعی (تعدیل‌شده با تورم)، توجه: داده‌های بودجه مربوط به تحقیقات کشاورزی خصوصی تا سال ۲۰۱۴ است. تحقیقات عمومی کشاورزی تا سال ۲۰۱۵ دردسترس بود (تجدید چاپ با مجوز از منبع [۲۳]).

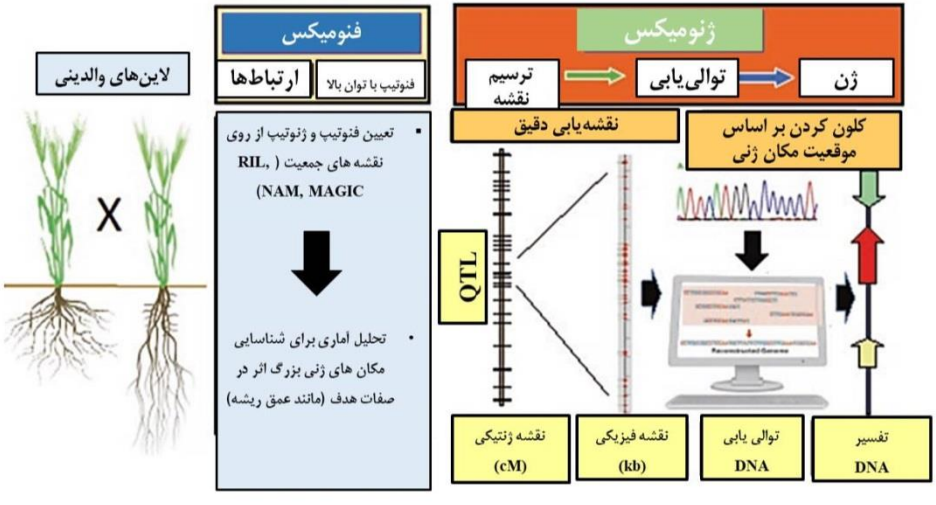
شکل۲۷-۲ طبقه‌بندی‌های مختلف زیرساخت‌های فنوتیپ‌سازی زمینی و هوایی. سطح زمین: از حسگرهای دستی (در این مورد فقط شخصی که موبایل در دست دارد) تا فنوپول‌ها[1]، فنوموبایل‌ها، زیرساخت‌های ثابت را شامل می‌شود. از ۱۰ تا ۱۰۰ متر: وسایل نقلیه هوایی بدون سرنشین، به‌عنوان پهپادهای با اندازه‌های مختلف و کم و بیش فشرده، پهپاد بادی ثابت. وسایل نقلیه هوایی سرنشین‌دار از ۱۰۰ تا ۴۰۰۰ متر به‌عنوان هواپیما یا هلیکوپتر. در آینده نزدیک دسته‌بندی‌های مختلف ماهواره (نانوماهواره، ریزماهواره و ماهواره) از ۵۰ تا ۷۰۰ کیلومتر را شامل خواهد شد.

شکل۲۷-۳ نمونه انواع مختلف زیرساخت‌ها و حسگرهای هوایی مقرون‌به‌صرفه (کمتر از ۵۰۰۰ دلار آمریکا). (A) سکوهای هوایی: (۱) فانتوم ۴ چندطیفی (https://www.dji.com/es/p4– چندطیفی)؛ (۲) (https://www.dji.com/es/mavic-2) Mavic 2 Pro؛ (۳) و (۴) متعلق به یک شرکت با نام Sentera هستند که یک دوربین چندطیفی را به Phantom و Mavic می‌افزاید (https://sentera.com)؛ (۵) AgroCam Mapper QC؛ (۶) AgroCam Mapper FW که نمونه‌های اخیر آن دارای دوربین‌های NDVI هستند (https://www.agrocam.eu/uav-system). (B) حسگرهای مقرون‌به‌صرفه قابل‌استفاده در فنوپول یا پهپاد؛ (۷) Sony Qx1 RGB (https://www.sony.es)؛ (۸) Olympus OM-D E-M10 MKII RGB (https://www.olympus.es)؛ (۹) GoPro و یک دوربین RGB که برای محاسبه NDVI می‌تواند تغییریابد؛ (۱۰) دوربین چندطیفی Parrot Sequoia (https://www.parrot.com)؛ (۱۱) دوربین AgroCam NDVI، (https://www.agrocam.eu)؛ (۱۲) تلفن هوشمند CatS60 با دوربین RGB و Thermal (https://www.catphones.com)



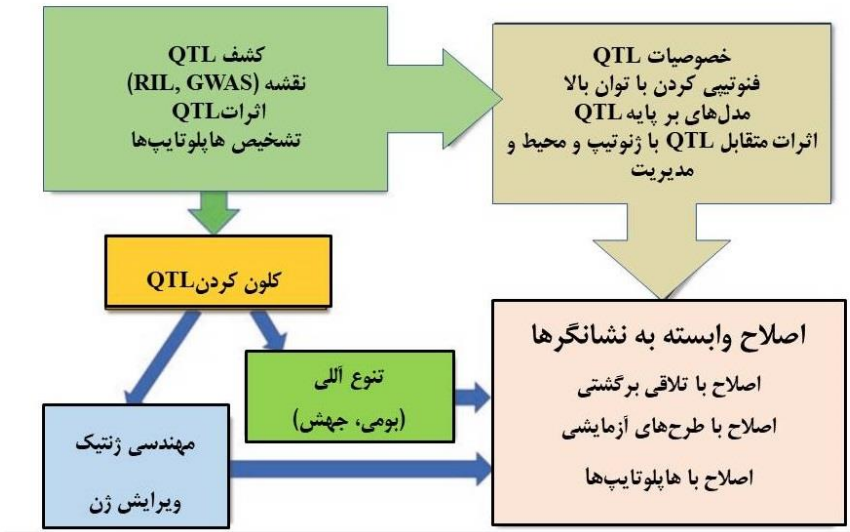
شکل۲۷-۴ نمونه‌های مختلف از دانشگاه بارسلون با استفاده از سیستم‌عامل‌ها و حسگرهای مختلف و عمدتاً مقرون‌به‌صرفه: (۱) دوربین حرارتی: FLIR Tau 640 با تصویربرداری حرارتی؛ (۲) GoPro اصلاح‌شده با NDVI که در Mavic pro 2 نصب‌شده است؛ (۳) Mavic 2 Pro با دوربین RGB؛ (۴) Sony Qx1 از زمین برای شمارش سنبله‌ها استفاده می‌شود؛ (۵) دوربین MultiSPEC 4C که دارای چهار کانال از شرکت AIRINOV در فنوپول پنج متری است. این دوربین چند طیفی از نظر ظرفیت و هزینه کاملاً مشابه Parrot Sequoia است؛ (۶) تلفن همراه Cat s60 که تصاویر حرارتی و RGB را تهیه می‌کند.

شکل۲۸-۱ پانل جهانی گندم دوروم (GDP؛ [۷]) و مجموعه جهانی گندم تتراپلوئید (TGC؛[۸]) ابزاری برای استخراج تنوع زیستی گسترده موجود در ژنوم گندم تتراپلوئید A و B هستند. تنوع ژنتیکی بالاتر همراه با عدم تعادل پیوستگی (LD) پایین‌تر در مجموعه جهانی گندم تتراپلوئید نشان دهنده عدم پایداری آن برای کشف و کلون‌کردن مکان‌های ژنی صفات کمّی است درحالی‌که داده‌های پانل جهانی گندم دوروم پایدارتر و برای اهداف اصلاح نژادی مناسب‌تر است.

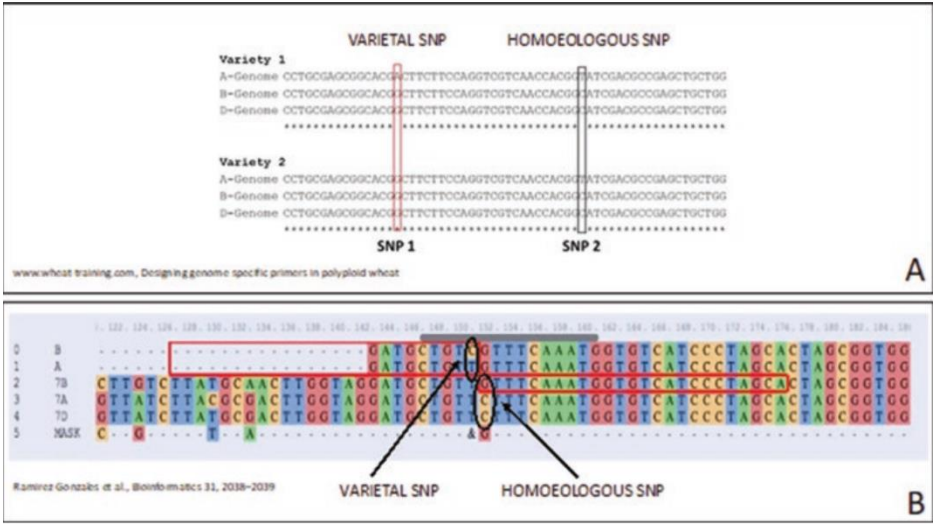


شکل۲۸-۲ کلون‌کردن موقعیت مبتنی بر نقشه یک مکان ژنی صفات کمّی اصلی برای یک صفت هدف به‌عنوانِ مثال، (عمق ریشه) نیازمند (۱) فنوتیپ و ژنوتیپ از روی نقشه ژنوم جمعیت برای این صفت تفکیک شده باشد (۲) تجزیه‌وتحلیل آماری برای نقشه مکان‌های ژنی صفات کمی و تخمین اثر افزایشی آنها، (۳) نقشه مناسب با وضوح ژنتیکی بالا (احتمالاً <۰٫۱ سانتی‌متر) که معمولاً با فنوتیپ‌کردن یک جمعیت بسیار بزرگ (از ۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ گیاه بسته به وراثت‌پذیری صفت) حاصل از تلاقی دو لاین ایزوژنیک نزدیک به هم که برای آلل‌های مکان‌های ژنی صفات کمی متضاد هستند به دست می‌آید. (اصلاح‌شده با اجازه از منبع [۱۶])

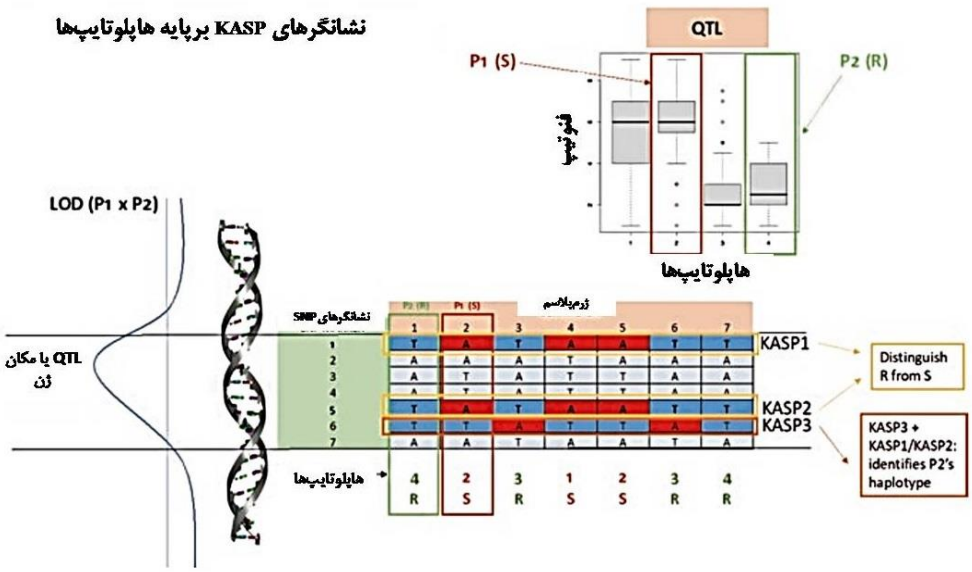
شکل۲۸-۳ بررسی جامع صفات کمّی گندم نشان‌دهنده بخشی از مکان‌های ژنی صفات کمّی با اثر افزایشی به‌اندازه کافی قوی است که نقشه‌برداری و انتخاب آلل‌های مفید آنها را از طریق انتخاب به کمک نشانگر ممکن می‌سازد. تنها بخش کوچکی از این مکان‌های ژنی صفات کمّی اصلی را می‌توان کلون کرد، ازاین‌رو امکان استفاده از فناوری‌های اصلاح نژادی جدید (NBT؛ به‌عنوانِ مثال، ویرایش ژن) و/یا مهندسی ژنتیک (GE) وجود دارد. اکثریت قریب به‌اتفاق مکان‌های ژنی صفات کمّی دارای اثرات افزایشی بسیار کوچکی هستند که امکان تهیه نقشه آنها فراهم نیست. انتخاب آنها از طریق انتخاب ژنوم (GS) امکان‌پذیر است.



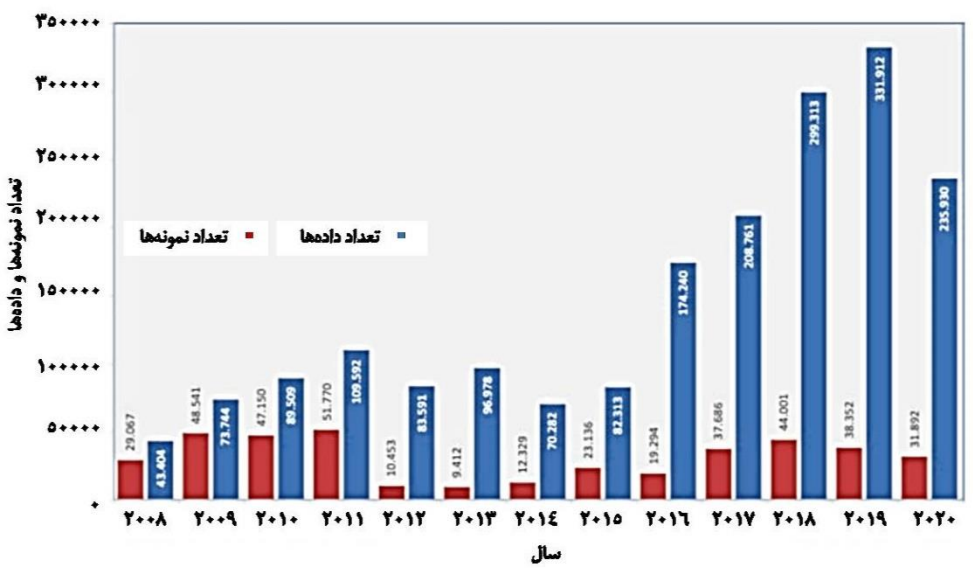
شکل۲۸-۴ چگونه با کمک اصلاح ژنومیک، آلل‌های مفید مکان ژنی صفات کمّی را شناسایی کرده و انتخاب به کمک نشانگر (MAS) را گسترش داده و ویرایش ژنوم و یا مهندسی ژنتیک (GE) را برای افزایش فراوانی انواع آلی مفید در خزانه اصلاح‌گران استفاده کرد.



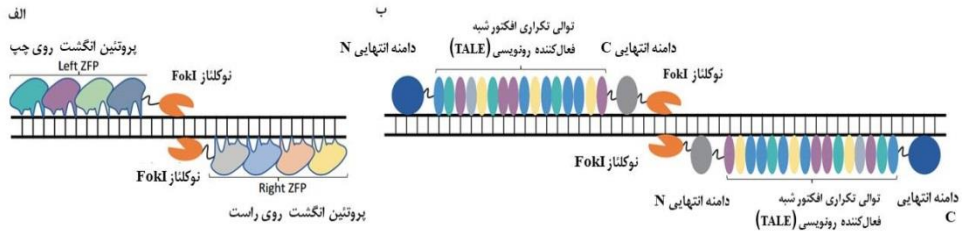
شکل۲۸-۶ (الف) نمونه‌ای از توالی گندم هگزاپلوئید حاوی SNPهای رقمی (SNP 1) و هومولوگ (SNP 2) از SNPهای www.wheat-training.com SNPهای واریته‌ای بین واریته‌ها پلی‌مورفیسم هستند درحالی‌که SNPهای هومولوگ پلی‌مورفیسم بین ژنوم‌های یک فرد پلی‌پلوئید حتی با وجود هتروزیگوت، معمولاً چندشکلی نیست. تنها خواندن معتبر NGS Illumina در ناحیه چندشکلی (به‌عنوانِ مثال، بیش از ۸ خواندن) می‌توان یک ژنوتیپ قابل‌اعتماد را به دست آورد. (ب) نمونه‌ای از تراز انجام‌شده توسط PolyMarker در مسیر طراحی پرایمر برای پلی‌پلوئیدها. آغازگرهای اختصاصی آلل کسپ بر اساس SNP واریته طراحی‌شده‌اند، درحالی‌که پرایمر معمولی بر اساس SNP هومولوگ است و ویژگی ژنومی را به سنجش کسپ می‌دهد. (اصلاح‌شده با اجازه از منبع [۳۷]).



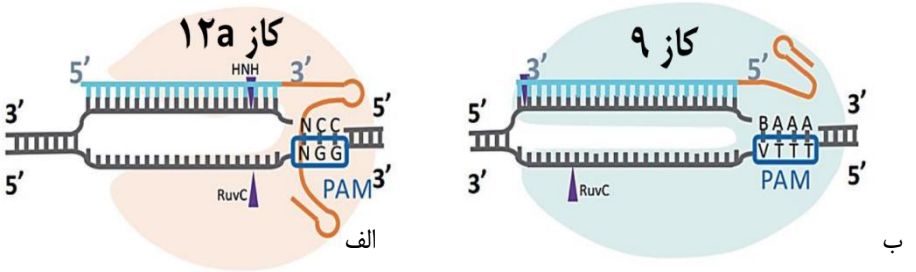
شکل۲۸-۷ توسعه سنجش KASP مبتنی بر آلل‌های هم‌ردیف برای QTL مقاومت به بیماری. آلل‌های هم‌ردیف‌های لاین‌های والدین مقاوم یا مستعد را می‌توان برای توسعه سنجش‌های تشخیصی KASP که پیش‌بینی آلل‌های هم‌ردیف‌های چند آللی هستند استفاده کرد (چهار آلل‌های هم‌ردیف نشان داده شده است). P1 لاین والدین ۱، P2 لاین والدین ۲، مقاوم، حساس.



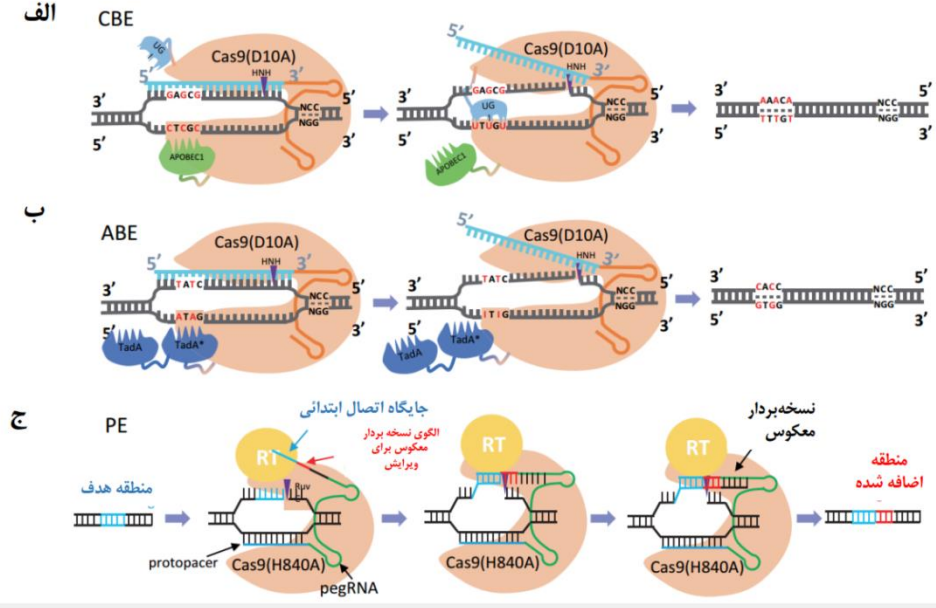
شکل۲۸-۸ تعداد نمونه‌های DNA و سنجش‌های نشانگر مولکولی مورد استفاده برای انتخاب به کمک نشانگر توسط برنامه جهانی گندم سیمیت از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۲۰.



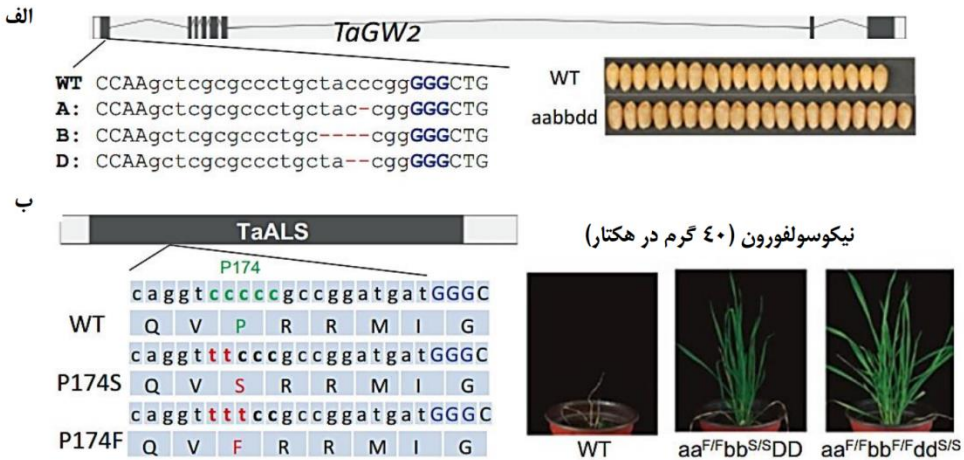
شکل۲۹-۱ تصویر شماتیک سیستم‌های ویرایش ژنوم نوکلئازهای انگشت روی (ZFN) و نوکلئازهای افکتور شبه‌فعال‌کننده رونویسی (TALEN). (الف) نوکلئازهای انگشت روی از واحدهای اتصال DNA تکراری و پشت سر هم تشکیل شده است که به یک دامنه نوکلئاز از اندونوکلئاز برش دهنده FokI متصل شده است. هر واحد اتصال DNA سه جفت باز DNA را تشخیص می‌دهد. نوکلئازهای انگشت روی چپ و راست به‌صورت جفت برای ایجاد شکاف دو رشته‌ای عمل می‌کنند. (ب) TALEN (نوکلئازهای افکتور شبه‌فعال‌کننده رونویسی) از واحدهای تکراری (افکتور شبه‌فعال‌کننده رونویسی)TALE، دامنه‌های انتهایی N و C که با نوکلئاز FokI ترکیب شده‌اند، تشکیل شده است. هر واحد تکرار TALE یک جفت باز DNA را تشخیص می‌دهد. نوکلئازهای افکتور شبه‌فعال‌کننده رونویسی به‌صورت جفت برای ایجاد شکاف دورشته‌ای عمل می‌کنند.



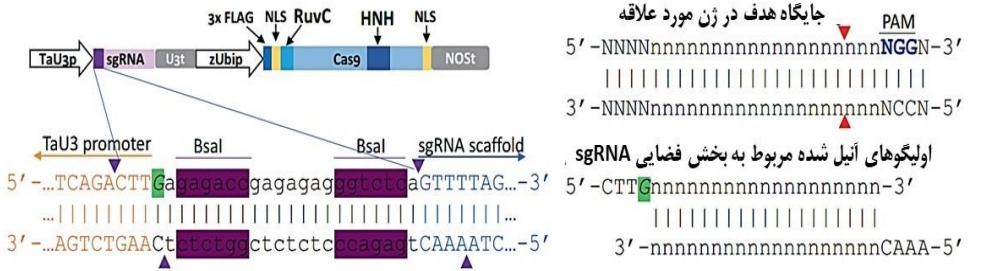
شکل۲۹-۲ تصویر شماتیک سیستم‌های کریسپر-کاز۹ و کریسپر-کاز۱۲a (الف) نوکلئاز کریسپر-کاز۹ دو رشته DNA را از ۳ جفت باز در بالادست موتیف مجاور NGG با توالی PAMبرش داده و شکاف دو رشته‌ای انتهایی را تشکیل می‌دهد. برش‌های DNA که توسط دو دامنه نوکلئاز Cas9 کاتالیز می‌شوند با فلش‌های بنفش نشان داده می‌شوند. NGG PAM با مستطیل آبی نشان داده شده است. جهش‌های تغییر اسید آمینه در کاز۹ (D10A) در حوزه RucV و H840A در حوزه (HNH) منجر به انواعی می‌شوند که یا قادر به برش فقط روی یک رشتهDNA (nCas9) هستند یا قادر به برش DNA (dCas9) نیستند. (ب) کریسپر-کاز۱۲a دارای یک دامنه نوکلئاز RuvC و یک دامنه نوکلئاز جدید است که به‌صورت فلش‌های بنفش نشان داده شده‌اند. کریسپر-کاز۱۲a دارای توالی PAM متفاوتی است (V = A, C, G) TTTV یا TTV) و باعث شکسته‌شدن ۴ تا ۵ نوکلئوتید از DNA دو رشته‌ای در انتهای دورتر از پروتوسپیسر می‌شود.



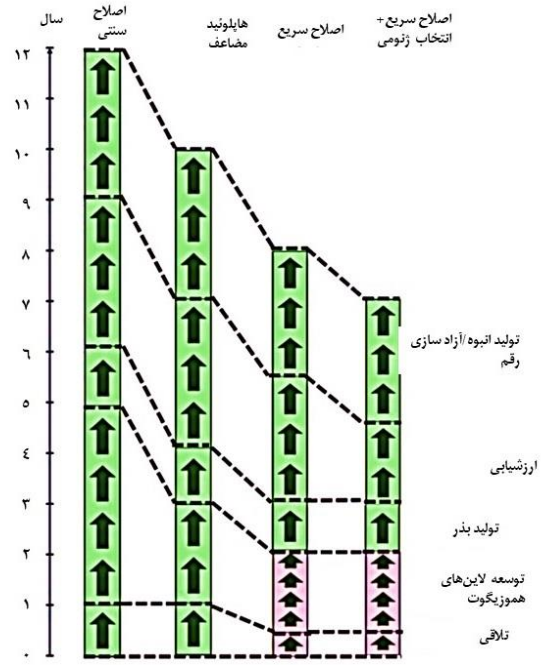
شکل۲۹-۳ مکانیسم‌های ویرایش پایه و ویرایش اولیه. (الف) ویرایشگر پایه سیتوزین‌BE3 (CBE) و (ب) ویرایشگر پایه آدنین‌ABE7.10 (ABE) بر پایه نیکاز Cas9 (D10A) ترکیب شده با دآمینازها است. (ج) ویرایشگر اولیه (PE). این شکل نشان می‌دهد که چگونه دامنه ویرایشگر اولیه (با رنگ قرمز نشان داده شده) را در پایین‌دست مکان مورد نظر (به رنگ آبی نشان داده شده) وارد می‌کند. ویرایشگر اولیه تلفیقی از کاز۹ با ترانس کریپتاز معکوس (RT) است. pegRNA حاوی فاصله توالی هدف، توالی اتصال آغازگر و الگوی مورد استفاده توسط ترانس کریپتاز معکوس برای ایجاد تغییرات مورد نظر در محل مورد هدف است.



شکل۲۹-۴ انتخاب روش‌های ویرایش ژنوم و طراحی هدف. (الف) نمونه‌ای از ژن تنظیم‌کننده منفی صفت زراعی. جهش‌های دگرقالب ناشی از کریسپر- کاز۹ در هومولوگ‌های ژن TaGW2 باعث افزایش اندازه و وزن دانه شد. (ب) نمونه‌ای از کاربرد ویرایشگر پایه سیتوزین CBE برای ژنتیکال گندم. ویرایشگر پایه سیتوزین CBE برای معرفی جهش‌های نقطه‌ای در ژن TaALS و ایجاد لاین‌های گندم مقاوم در برابر علف‌کش استفاده شد[۲۹]. بخش ویرایش ژنوم ویرایشگر پایه سیتوزین CBE و باقی مانده اسید آمینه مورد نظر با رنگ سبز نشان داده شده است، جهش‌های ناشی از CRISPRC با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند.



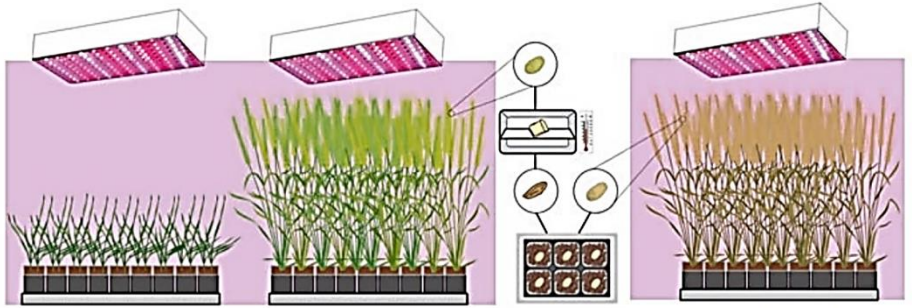
شکل۲۹-۵ تصویری از کریسپر-کاز۹ مورد استفاده برای ویرایش ژنوم گندم. بیان sgRNA توسط پروموتر U3 از گندم (TaU3p) هدایت می‌شود و با انتهای U3 خاتمه می‌یابد(U3t). بیان کاز۹ از پروموتر یوبیکوئیتین ذرت (zUbip) آغاز و با انتهای NOS خاتمه می‌یابد. یک 3xFLAG، دو سیگنال مکان هسته‌ای (NLS) و دامنه‌های نوکلئازی RuvC و HNH مارک شده‌اند. محل شروع رونویسی sgRNA با رنگ سبز مشخص شده است. محل‌های برش BsaI برای واردکردن بخش فاصله دهنده sgRNA که با آنیلی‌کردن الیگونوکلئوتیدهای سنتز شده استفاده می‌شود. محل برش کاز۹ روی هدف با مثلث‌های قرمز نشان داده‌شده است. محل هدف ویرایش ژنوم و توالی الیگونوکلئوتیدهای مکمل محل مورد نظر با حروف کوچک n نشان داده شده است.



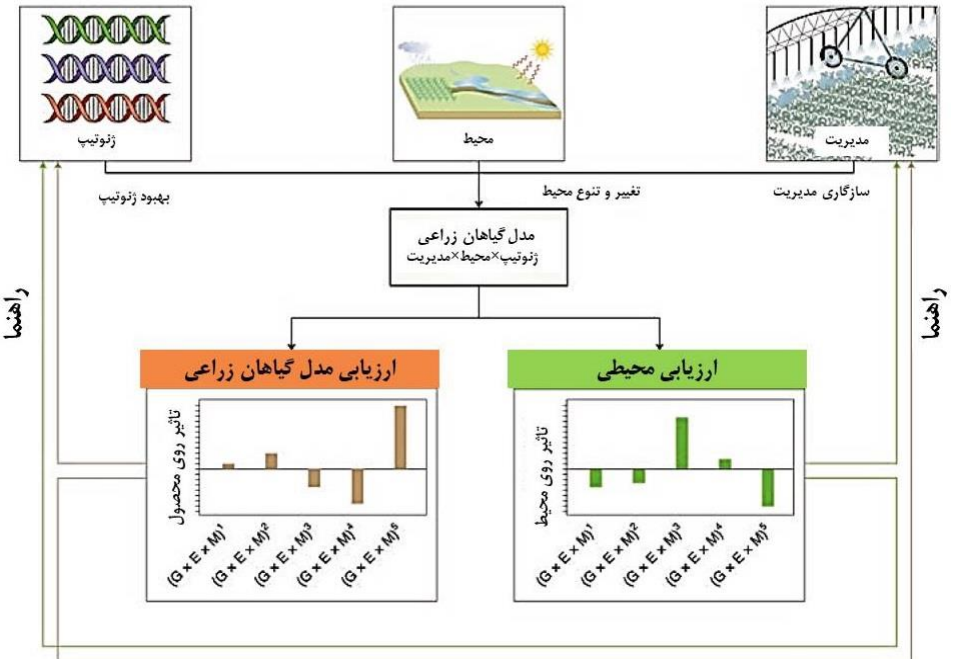
شکل ۳۰-۱ تصویری از فناوری‌های مختلف اصلاح گندم (هاپلوئید مضاعف، اصلاح سریع، و انتخاب ژنومی سریع) و تأثیر آنها بر طول چرخه اصلاح نژادی. ترکیب اصلاح سریع و انتخاب ژنومی (SpeedGS) با کاهش نیاز به فنوتیپی‌سازی گسترده، طول چرخه اصلاح نژادی را بیشتر کاهش می‌دهد. فلش‌های سیاه نشان‌دهنده یک نسل گیاهی است. سبز نشان‌دهنده مراحل انجام شده در شرایط رشد معمولی است، درحالی‌که صورتی نشان‌دهنده مراحل انجام شده در شرایط رشد سریع است. (اصلاح‌شده با اجازه از منبع [۸]).

شکل ۳۰-۲ مروری بر راهکارهای اصلاح میانبر توسعه‌یافته توسط دکتر نورمن بورلاگ در سیمیت، مکزیک. فلش‌ها نشان‌دهنده جابه‌جایی مواد ژنتیکی بین محیط‌های متفاوت شمال غربی و جنوب شرقی مکزیک در طول فصل‌های زمستان و تابستان است.

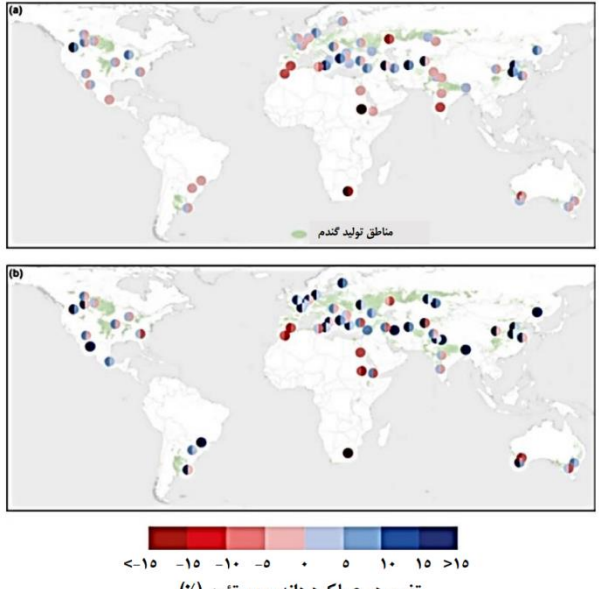
شکل ۳۰-۳ مروری بر مراحل تولید لاین‌های هاپلوئید مضاعف شده گندم با استفاده از روش کشت بساک، (الف) برداشت بساک از گیاهان گندم منتخب؛ ب) کشت بساک؛ (ج) شروع کالوس؛ (د) انتقال جنین به محیط ریشه زا و (ه) انتقال گیاهان ریشه‌دار به خاک



شکل ۳۰-۴ تصویری از جمعیت اصلاح نژادی گندم در حال رشد با تراکم بالا در شرایط اصلاح سریع. هفت‌تا ده روز پس از کاشت، گیاهچه گندم به مرحله رشد ۲ تا ۳ برگی می‌رسد. زمان گلدهی معمولاً برای اکثر ژنوتیپ‌های گندم بهاره بین ۴ تا ۶ هفته است. برای تکمیل تولید گیاه در مدت هشت هفته، سنبله گندم را می‌توان دو هفته پس از گلدهی زودرس برداشت و در دستگاه خشک‌کننده هوای گرم در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد به مدت سه روز خشک کرد. بذرهایی که کمی چروکیده شده‌اند به شرطی که تحت تیمار سرما قرار بگیرند به‌خوبی جوانه می‌زنند و می‌توان از آنها برای دسترسی سریع چرخه تولید پیش‌اصلاح و کاربردهای تحقیقاتی استفاده کرد. روش دیگر، برای کاربردهای اصلاح نژادی که شامل جمعیت‌های بزرگتر و متنوع‌تر می‌شود، پس از گلدهی می‌توان آبیاری را کاهش داد تا بلوغ تسریع شود و برداشت دانه‌های بالغ و کامل پرشده چهار هفته بعد امکان‌پذیر شود.



شکل ۳۱-۲ مثالی برای استفاده از مدل‌های زراعی به‌منظور شبیه‌سازی تعاملات G (ژنوتیپ) × E (محیط) × M (مدیریت) برای ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم. در هنگام بهینه‌سازی و طراحی روش‌های سازگاری کشاورزی جدید، اطلاعاتی از ارزیابی‌های میزان تولید محصول و پایداری زیست‌محیطی باید به‌عنوانِ راهنما استفاده شود. خطوط و فلش‌های قهوه‌ای راهنمای ارزیابی عملکرد محصول و خطوط و فلش‌های سبز نشان‌دهنده راهنمای ارزیابی محیط است (بازنشر با اجازه از منبع [۸]).



شکل۳۱-۴ پیش‌بینی مونتاژ چند مدلی شبیه‌سازی عملکرد جهانی دانه گندم تحت تغییر اقلیم (نیمه سمت چپ) و عملکرد پروتئین (نیمه سمت راست)، (الف) بدون سازگاری ژنوتیپی و (ب) با سازگاری ژنوتیپی. تأثیرات نسبی تغییر اقلیم برای سال‌های ۲۰۳۶–۲۰۶۵ تحت RCP8.5 در مقایسه با ۱۹۸۱–۲۰۱۰ به‌عنوانِ پایه. تأثیرات با استفاده از میانه‌ها در ۳۲ مدل (یا ۱۸ مدل برای برآورد عملکرد پروتئین) و ۵ مدل اقلیم جهانی (دایره رنگیَ) و میانگین عملکرد بیش از ۳۰ سال با استفاده از خاک‌ها، ارقام و مدیریت زراعی خاص منطقه محاسبه شد. (بازنشر با اجازه از منبع [۷]).