

به نام یزدان پاک

همه سوال های

دکترای تخصصی (Ph.D)

باغبانی

۱۴۰۴-۱۴۰۵

گردآورندگان

گروه مولفین پردازش

فهرست مطالب

جدول فراوانی

مقدمه تحلیلی

پیش گفتار ۷

آزمون دکترای علوم و مهندسی باغبانی ۱۴۰۴

۱۱	فیزیولوژی گیاهی و فیزیولوژی پس از برداشت.....
۱۳	پاسخ نامه فیزیولوژی گیاهی و فیزیولوژی پس از برداشت.....
۳۵	اصول تولید گیاهان باغبانی.....
۳۶	پاسخ نامه اصول تولید گیاهان باغبانی.....
۴۸	ژنتیک و اصلاح گیاهان باغبانی.....
۴۹	پاسخ نامه ژنتیک و اصلاح گیاهان باغبانی.....
۶۰	تغذیه و متابولیسم در گیاهان باغبانی.....
۶۱	پاسخ نامه تغذیه و متابولیسم در گیاهان باغبانی.....
۷۳	مواد تنظیم کننده رشد گیاهی.....
۷۴	پاسخ نامه مواد تنظیم کننده رشد گیاهی.....
۸۷	اثر تنش های محیطی بر رشد گیاهان.....
۸۸	پاسخ نامه اثر تنش های محیطی بر رشد گیاهان.....

آزمون دکترای علوم و مهندسی باغبانی ۱۴۰۵

۱۰۳	فیزیولوژی گیاهی و فیزیولوژی پس از برداشت.....
۱۰۵	پاسخ نامه فیزیولوژی گیاهی و فیزیولوژی پس از برداشت.....
۱۲۸	اصول تولید گیاهان باغبانی.....
۱۲۹	پاسخ نامه اصول تولید گیاهان باغبانی.....
۱۴۱	ژنتیک و اصلاح گیاهان باغبانی.....
۱۴۲	پاسخ نامه ژنتیک و اصلاح گیاهان باغبانی.....
۱۵۲	تغذیه و متابولیسم در گیاهان باغبانی.....
۱۵۴	پاسخ نامه تغذیه و متابولیسم در گیاهان باغبانی.....
۱۷۰	مواد تنظیم کننده رشد گیاهی.....
۱۷۱	پاسخ نامه مواد تنظیم کننده رشد گیاهی.....
۱۹۸	اثر تنش های محیطی بر رشد گیاهان.....
۲۰۰	پاسخ نامه اثر تنش های محیطی بر رشد گیاهان.....
۲۱۷	واژه نامه.....
۲۲۳	ضمایم.....
۲۳۵	نمایه موضوعی.....
۲۳۹	منابع.....

جدول ۱. توزیع فراوانی موضوعی سؤالات آزمون دکترای علوم و مهندسی باغبانی (۱۴۰۰ تا ۱۴۰۵)

حوزه اصلی / مبحث فرعی	۱۴۰۰	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۳	۱۴۰۴	۱۴۰۵	مجموع	درصد فراوانی
۱. فیزیولوژی گیاهی	۱۱	۱۱	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۶۲	۱۴.۰۹٪
- فتوسنتز، انتقال الکترون و فلورسانس	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۱۸	۴.۰۹٪
- روابط آبی، پتانسیل آب، آکوپورین و تعرق	۴	۴	۳	۳	۳	۳	۲۰	۴.۵۵٪
- تنفس سلولی، بازده تنفسی و RQ	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۱۲	۲.۷۳٪
- بیوفیزیک، جذب نور، هدایت هیدرولیکی و انتقال مواد در فلوئم	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۱۲	۲.۷۳٪
۲. فیزیولوژی پس از برداشت	۱۱	۱۱	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۶۲	۱۴.۰۹٪
- بیوسنتز، گیرنده‌ها و مهارکننده‌های اتیلن (۱-MCP و غیره)	۳	۳	۳	۳	۲	۳	۱۷	۳.۸۶٪
- رسیدگی، تنفس کلیماکتریک و متابولیسم دیواره سلولی/انرژی	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۱۸	۴.۰۹٪
- ناهنجاری‌های فیزیولوژیک انباری و آسیب سرمازدگی	۳	۲	۲	۲	۳	۲	۱۴	۳.۱۸٪
- ترکیبات فرار (آروما)، رنگیزه‌ها و ارزیابی کیفی تخریبی/غیرمخرب	۲	۳	۲	۲	۲	۲	۱۳	۲.۹۵٪
۳. اصول تولید گیاهان باغبانی	۱۳	۱۳	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۶۶	۱۵.۰۰٪
- میوه‌کاری (گرده‌افشانی، تمایز جوانه، هرس و تربیت)	۵	۵	۴	۴	۴	۴	۲۶	۵.۹۱٪
- سبزی‌کاری (روش‌های کشت و نشاکاری، فیزیولوژی سوخ/غده)	۴	۴	۳	۳	۳	۳	۲۰	۴.۵۵٪
- گلکاری و چمن (فتوپریودیسم، تنظیم گلدهی و اقلیم گلخانه)	۴	۴	۳	۳	۳	۳	۲۰	۴.۵۵٪

[illegible]

حوزه اصلی / مبحث فرعی	۱۴۰۰	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۳	۱۴۰۴	۱۴۰۵	مجموع	درصد فراوانی
- تنظیم کننده های نوین (پلی آمین ها، جاسمونات ها، سالیسیلات ها و براسینوئیدها)	۲	۲	۱	۱	۱	۱	۸	۱.۸۲٪
- کاربردهای تجاری هورمون ها (تنک کردن، تنظیم جنسیت، خواب و شکستن آن)	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۱۲	۲.۷۳٪
۷. اثر تنش های محیطی بر رشد گیاهان	۱۲	۱۲	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۶۴	۱۴.۵۵٪
- تنش های دمایی (سرمادگی، یخ زدگی، پروتئین های ضد یخ و شوک حرارتی)	۴	۴	۳	۳	۳	۳	۲۰	۴.۵۵٪
- تنش های خشکی، اسمزی و ترکیبات سازگار (پروکلین، بتائین، GABA)	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۱۸	۴.۰۹٪
- تنش شوری و مکانیسم های دفع یون (مسیر SOS و ناقلین غشایی)	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۱۲	۲.۷۳٪
- تنش اکسیداتیو، گونه های فعال اکسیژن (ROS) و دفاع آنتی اکسیدانی	۳	۳	۲	۲	۲	۲	۱۴	۳.۱۸٪
مجموع سؤالات سال	۸۰	۸۰	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۴۴۰	۱۰۰٪

گزارش تحلیلی و راهبردی آزمون دکتری تخصصی باغبانی

- تحلیل روند تغییر ساختار آزمون: در سال های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ آزمون با ۸۰ سؤال (هر مبحث اصلی بین ۱۱ تا ۱۳ سؤال) برگزار می شد. از سال ۱۴۰۲ به بعد، ساختار آزمون به ۷۰ سؤال تقلیل یافته و تثبیت شد که شامل سهمیه دقیق ۱۰ سؤال برای هر یک از ۷ سرفصل اصلی است. این توزیع یکنواخت نشان می دهد هیچ یک از دروس تخصصی هفت گانه قابل حذف نبوده و همه دارای ضریب اهمیت وزنی یکسان (هر کدام ۱۴.۳٪) هستند.

- مباحث کلیدی با بیشترین تراکم سؤال: ۱. مسیرهای بیوسنتز و انتقال قطبی هورمون ها: به ویژه پیش سازها، آنزیم های کلیدی و فرضیه رشد اسیدی (۵.۶۸٪ کل آزمون). ۲. تغذیه معدنی کلسیم، منیزیم، نیتروژن و پتاسیم: به خصوص ارتباط پویایی آن ها با عوارض فیزیولوژیک پس از برداشت مانند پوسیدگی گلگاه، لکه تلخ و سفیدی دیواره میوه (۵.۲۳٪). ۳. مکانیسم های فیزیولوژی تنش سرما و خشکی: تغییرات اشباع شدگی غشا، مسیر SOS، مکانیسم فرونشست غیرفتوشیمیایی

(NPQ) و تجمع اسمولیت‌های سازگار (GABA و پرولین) (%۴.۵۵). ۴. مسیرهای آنزیمی رسیدگی و مهار اتیلن: بررسی عملکرد آنزیم‌های پلی‌گالاکتوروناز، PME و مهارکننده‌هایی نظیر MCP-۱، یون نقره و آمینواتوکسی وینیل گلیسین (AVG) (%۳.۸۶).

- توصیه‌های راهبردی برای مطالعه داوطلبان: ۱. مطالعه ماتریسی و ترکیبی مباحث: مباحث تغذیه، مواد تنظیم‌کننده رشد و تنش‌های محیطی را مجزا از فیزیولوژی پس از برداشت نخوانید؛ زیرا بخش عمده سؤالات طراحان در سال‌های اخیر پیوند مستقیم بین رخدادهای مزرعه‌ای (پیش از برداشت) و افت کیفی در انبار (پس از برداشت) است. ۲. تمرکز بر حل مسائل ژنتیک کمی و محاسبات کودی: بخش‌های محاسباتی شامل پیشرفت ژنتیکی، وراثت‌پذیری عمومی/خصوصی، رقت‌سازی کودی، EC و تعادل اسید-باز در هیدروپونیک تست‌های قطعی و تفکیک‌کننده رتبه‌های برتر هستند. ۳. تسلط بر آناتومی و تمایزات ۴/C₃ و CAM: جدول مقایسه‌ای ویژگی‌های فتوسنتزی و ریخت‌شناسی چمن‌ها و سبزیجات به همراه سیستم‌های خودناسازگاری گامتوفیتی/اسپوروفیتی همه‌ساله سهم ثابت در آزمون دارند.



مقدمه تحلیلی: رمزگشایی از روند ۶ ساله آزمون دکترای علوم و مهندسی باغبانی (۱۴۰۰ تا ۱۴۰۵) و نقشه راه مطالعاتی

تحلیل جامع و موشکافانه سؤالات آزمون ورودی دکترای تخصصی علوم و مهندسی باغبانی در بازه زمانی سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۵ بیانگر یک دگردیسی ساختاری و پارادایمی عمیق در ذهنیت طراحان سازمان سنجش آموزش کشور است. نخستین تغییر ملموس در این دوره ۶ ساله، اصلاح ساختار شکلی آزمون از سال ۱۴۰۲ به بعد است که در آن، تعداد کل سؤالات دفترچه تخصصی از ۸۰ سؤال به ۷۰ سؤال و مدت زمان پاسخگویی به ۱۰۵ دقیقه تقلیل یافت و یک وزن‌بندی منسجم و استاندارد بر دروس حاکم گردید: درس «فیزیولوژی گیاهی و پس از برداشت» با اختصاص ۲۰ سؤال ثابت (حدود ۲۹ درصد از کل نمره تخصصی)، درس «اصول تولید و اصلاح گیاهان باغبانی» با ۲۰ سؤال، و ۳۰ سؤال پایانی به صورت مساوی (هر کدام ۱۰ سؤال) میان سه مبحث تخصصی «تغذیه و متابولیسم»، «مواد تنظیم‌کننده رشد» و «اثر تنش‌های محیطی» تقسیم شد. این ثبات ساختاری سبب شده است که داوطلب با یک فرمت پیش‌بینی‌پذیر روبرو باشد، اما در لایه‌های محتوایی و روش‌شناختی، روند آزمون دستخوش تحولات چشمگیری شده که شناخت دقیق آن تفاوت رتبه‌های برتر را با سایر داوطلبان رقم می‌زند.

۱. **هسته‌های دانشی پایدار و مباحث پرتکرار (سؤال خیزترین حوزه‌ها):** در طول این ۶ سال، مفاهیم بنیادین مشخصی پای ثابت آزمون بوده‌اند که هیچ‌گاه از تیررس طراحان خارج نشده‌اند. در صدر این مباحث، «روابط آبی سلول و پتانسیل آب» قرار دارد که در تمام دوره‌ها با تأکید بر محاسبات پتانسیل تورژسانس، اسمزی، ماتریک و نقش کانال‌های آکوپورین مطرح شده است. در بخش فتوسنتز، زنجیره انتقال الکترون تیلاکوئیدی (طرح Z)، بیوانرژی‌تیک، کمپلکس تجزیه‌کننده آب (کلاستر منگنز) و مسیرهای تثبیت کربن C_3 ، C_4 و CAM پیوسته مورد توجه بوده‌اند. در حوزه پس از برداشت، «متابولیسم اتیلن» با تأکید بر نقش آنزیم‌های ACC سنتاز و ACC اکسیداز، بازدارنده‌های عمل و گیرنده‌ها (به‌ویژه $MCP-1$ و ترکیبات نقره)، تغییرات پکتینی دیواره سلولی و آنزیم‌های پلی‌گالاکتوروناز و پکتین‌متیل‌استراز مهم‌ترین کانون‌های طرح سؤال بوده‌اند. در دروس هورمون‌شناسی و تغذیه، سازوکار انتقال قطبی اکسین (ناقلین PIN و فرضیه رشد اسیدی)، نقش پروتئین‌های بازدارنده DELLA در سیگنالینگ جیبرلین، و همچنین نقش ساختاری و انتقالی کلسیم و پتاسیم و عوارض بالینی ناشی از کمبود آن‌ها (نظیر پوسیدگی گلگاه، لکه تلخ و سفیدی بافت داخلی دیواره) سهم قابل توجهی از سؤالات ادوار مختلف را تشکیل داده‌اند. نهایتاً در مبحث تنش‌ها، سیالیت غشای سلولی در تنش سرما (نسبت اسیدهای چرب غیربهره‌مند به اشباع)، مسیر پیام‌رسانی کلسیمی SOS در تنش شوری و سنتز اسمولیت‌های سازگار به‌ویژه پرولین و چرخه گزانتوفیل همواره بالاترین بسامد تکرار را داشته‌اند.

۲. **تغییر جهت از حافظه‌محوری سنتی به سمت مدل‌های بیوشیمیایی و سلولی-مولکولی:** بررسی روند تاریخی سؤالات به‌وضوح نشان می‌دهد که تمرکز طراحان از سؤالات صرفاً توصیفی، باغبانی سنتی و حفظی محض (مانند نام پایه‌ها، ارقام یا فواصل کاشت سطحی) به سمت «فیزیولوژی مولکولی، بیوشیمی عملکردی و روش‌شناسی تحلیلی» تغییر جهت داده است. اگر در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ پرسش‌ها بیشتر معطوف به تعاریف ظاهری بودند، در سال‌های ۱۴۰۳ تا ۱۴۰۵ طراحان مستقیماً عملکرد دقیق کاتالیزوری آنزیم‌ها (مانند جایگاه شکست پیوندهای آلفا ۱-۴ توسط پلی‌گالاکتوروناز، بیوسنتز و تجزیه اکسیداتیو ABA به فازیک اسید توسط هیدروکسیلازهای سیتوکروم $P-450$) و مکانیسم‌های انتقال فعال ثانویه از طریق آنتی‌پورت‌ها و سیم‌پورت‌های پروتونی را هدف قرار داده‌اند. همچنین در مبحث اصلاح، تمرکز از روش‌های کلاسیک به سمت بهره‌گیری از ژنومیک عملکردی، تکنیک‌های دابل‌هاپلوئیدی (DH)، و نسل‌های سوم نشانگرهای مولکولی مبتنی بر توالی‌یابی تکنوکلونئیدی (SNP) سوق یافته است.

۳. مرجعیت علمی و دیدگاه شخصیت‌ها و مکاتب فکری غالب در آزمون:

خط فکری و ادبیات سؤالات طراحی‌شده در این دوره ۶ ساله تطابق شگفت‌انگیز و کاملی با مکاتب فکری و مراجع بین‌المللی شاخص علوم گیاهی و باغبانی دارد:

- **مکتب فیزیولوژی تیز و زایگر (Zeiger & Taiz):** بی‌شک پربسامدترین و غالب‌ترین آبشخور مفهومی طراحان در بخش‌های فیزیولوژی عمومی، روابط آبی، فتوسنتز، هورمون‌ها و تنش‌های محیطی، مباحث کتاب مرجع *Plant Physiology and Development* تألیف لینکلن تیز، ادواردو زایگر و همکاران است؛ به طوری که حتی نمودارها و شکل‌های مطرح‌شده در سؤالات سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۵ (نظیر فرضیه رشد اسیدی اکسین، تغییر فاز غشا، تنظیم اسمزی و واکنش به نیتروژن) مستقیماً از ویرایش‌های متأخر این اثر اقتباس شده‌اند.

- **مکتب فیزیولوژی پس از برداشت ویز اتکینز، کادر و والیز (Wills, Kader, Valero):** در مباحث پس از برداشت، ادبیات بیوشیمیایی دکتر عادل کادر (Adel Kader) و مایکل نیس پررنگ‌ترین جایگاه را دارد؛ تأکید بر سیستم‌های اتمسفر کنترل‌شده پویا (DCA)، فناوری MCP-۱، شاخص‌های تخریبی و غیرمخرب کیفیت (NIR) و رفراکتومتر) و تفکیک متابولیسم میوه‌های کلیماتریک از نافرزاگرا تماماً منطبق بر این مکتب است.

- **دیدگاه مکاتب اصلاحی و ژنتیک کلاسیک آلارد (Allard) و برنز:** در ژنتیک و اصلاح، مفاهیم اصلاح فرد در برابر جمعیت، واکنش به انتخاب با استفاده از معادله اصلاح‌گر، سیستم‌های خودناسازگاری اسپوروفیتی و گامتوفیتی و ژنتیک کمی مبتنی بر دیدگاه‌های کلاسیک و پایدار این مراجع تدوین شده است.

۴. **پیوندهای بین‌رشته‌ای؛ پاشنه آشیل داوطلبان و مزیت رقابتی:** یکی از برجسته‌ترین روندهای ۳ سال اخیر (۱۴۰۳ تا ۱۴۰۵)، تلفیق زنجیره‌وار حوزه‌های مختلف با یکدیگر است. طراحان دیگر تغذیه را جدا از پس از برداشت یا هورمون‌ها را مجزا از تنش‌ها نمی‌پرسند؛ بلکه داوطلب با سؤالاتی ترکیبی مواجه می‌شود که در آن، مصرف بیش از حد کود نیتروژنه در مزرعه با افت ضخامت واکس میوه و کاهش انبارمانی در سردخانه پیوند می‌خورد، یا اثر تنش غرقابی ریشه از طریق انتقال پیش‌ساز ACC در آوند چوبی و ظهور اپیناستی و ریزش در برگ‌های شاخساره تحلیل می‌گردد.

۵. **رهنمود استراتژیک برای مطالعه داوطلبان:** برای کسب رتبه برتر در آزمون پیش‌رو، اکیداً توصیه می‌شود داوطلبان از رویکرد حفظ طوطی‌وار جداول و نکات پراکنده اجتناب کرده و الگوی مطالعه خود را به صورت «مفهوم‌محور، فرایندی و زنجیره‌ای» تنظیم نمایند. تمرکز ویژه بر کالبدشکافی چرخه‌های بیوشیمیایی (بیوسنتز هورمون‌ها و مسیرهای ردوکس)، تحلیل پدیده‌های پس از برداشت از زاویه ساختار سلولی، تسلط بر مسائل محاسباتی ژنتیک کمی و کودآبیاری، و درک سازوکارهای ادراک و پیام‌رسانی تنش‌ها (Crosstalk)، مطمئن‌ترین مسیر برای تسلط همه‌جانبه بر این آزمون رقابتی خواهد بود.

ضرورت دگرگونی در شیوه مطالعه و گذار از محفوظات سطحی: به نام خداوند دانایی و رویش؛ آفریدگاری که نظم جهان طبیعت را در پرتو قوانین استوار زیستی و فرآیندهای هدفمند حیاتی رقم زد. آزمون ورودی دوره‌های دکتری تخصصی (Ph.D) در رشته علوم و مهندسی باغبانی (کد ۲۴۰۶)، آوردگاهی خطیر، سرنوشت‌ساز و نقطه عطفی در دوران دانشگاهی پژوهشگرانی است که رسالت توسعه دانش‌بنیان کشاورزی، مدیریت باغات و گلخانه‌ها و ارتقای امنیت زیستی و غذایی کشور را بر دوش دارند. بررسی کارشناسانه سیر تحولات این آزمون در طول دوره شش‌ساله (۱۴۰۰ تا ۱۴۰۵) و به‌ویژه تغییرات بارز محتوایی در آزمون‌های سال‌های ۱۴۰۴ و ۱۴۰۵ آشکار می‌سازد که روزگار مطالعه سطحی، تکیه بر محفوظات فرآر و گزینش شتاب‌زده پاسخ‌ها از طریق کلیدهای تستی خشک و بدون استدلال به پایان رسیده است. طراحان سازمان سنجش آموزش کشور در سال‌های اخیر رویکرد خود را از بازگویی تعاریف سنتی به سوی ارزیابی هوش تحلیلی، استدلال بیوشیمیایی، ادراک فرآیندهای فیزیولوژیک در مقیاس‌های سلولی و مولکولی و سنجش ارتباط متقابل زنجیره‌وار میان رخدادهای مزرعه‌ای و تحولات پس از برداشت سوق داده‌اند. بر این مینا، کتاب حاضر صرفاً مجموعه‌ای از پرسش و پاسخ‌های کنکوری نیست؛ بلکه به مثابه یک نظام‌نامه آموزشی پیوسته، دانشنامه روش‌شناختی و کارگاه جامع حل مسئله تدوین یافته است تا مرز میان تردید و تسلط قطعی را برای داوطلبان این مقطع تخصصی هموار سازد.

تبیین موضوع محوری و مکان‌یابی دانشی مسئله در تحلیل سؤالات ۱۴۰۴ و ۱۴۰۵: در گام نخست از پروتکل تحلیلی این کتاب، پیش از ورود به جزئیات گزینه‌ها، بستر بیولوژیکی و چارچوب مفهومی سؤال مشخص می‌شود تا ذهن داوطلب پیوند موضوع را با مبانی اصلی فیزیولوژی یا ژنتیک باغبانی کند و بداند مسئله در کدام مدار از سامانه‌های زیستی در حال رخ دادن است.

تشریح مستدل علمی و استدلال‌های بیوشیمیایی: در این لایه تحلیلی، گزاره صحیح نه بر مبنای ادعا، بلکه با اتکا به معادلات ترمودینامیکی (همچون پتانسیل آب و کسری فشار بخار)، واکنش‌های آنزیمی، چرخه‌های متابولیکی (نظیر فتوسنتز و یلاسینون غیرچرخه‌ای یا سنتز الیگوساکاریدها در مدل به‌دام‌افتادن پلیمری) و متون مرجع استاندارد جهانی با دقتی کم‌نظیر اثبات می‌گردد.

کالبدشکافی و آسیب‌شناسی گزینه‌های انحرافی: یکی از برجسته‌ترین نقاط قوت این مجموعه، نقد و رد علمی تک‌تک گزینه‌های نادرست است؛ در این بخش با بیانی مستند تبیین می‌شود که طراح سؤال از چه زاویه‌ای اقدام به ایجاد دام آموزشی نموده و گزاره‌های غلط به چه دلایلی از نظر قوانین فیزیولوژی و ژنتیک مردود هستند.

ارتباط‌سنجی زنجیره‌ای فرایندهای پیش و پس از برداشت: با توجه به این واقعیت فیزیولوژیک که رفتار انبارمانی محصولات مستقیماً در بستر مزرعه شکل می‌گیرد، در تحلیل سؤالات به تأثیر متقابل تغذیه معدنی (مانند پیامدهای مصرف مفرط نیتروژن بر ضخامت واکس و ماندگاری میوه)، تنش‌های آبی و نوری، برهم‌کنش‌های هورمونی و نسبت‌های کلسمی بر بروز عوارض فیزیولوژیک سردخانه پرداخته شده است.

چشم‌انداز کاربردی، صنعتی و فناوری‌های نوین: در این لایه، مبانی تئوریک به لبه تکنولوژی‌های تجاری پیوند می‌خورد؛ از جمله نحوه عملکرد سنسورهای غیرتخریبی NIR در خطوط بسته‌بندی، گازدهی با MCP-۱ در اتمسفر کنترل‌شده، مدیریت اقلیم گلخانه با سامانه کسری فشار بخار (VPD) و به کارگیری ابزارهای اصلاحی نوین نظیر دابل‌هاپلوئیدی و ویرایش ژنوم با کریسپر.

بومی‌سازی و مصادیق عینی باغبانی در ایران: مفاهیم تخصصی با آوردن مثال‌های عینی از اقلیم‌ها و محصولات استراتژیک کشور ملموس شده‌اند؛ رفتارهایی همچون فیزیولوژی تنش در باغات پسته و زیتون مناطق خشک، ماندگاری توت‌فرنگی کردستان، سازوکارهای انبارداری سیب دماوند و ارومیه و کیفیت خربزه‌های اقلیم گرم و خشک در این بخش مورد موشکافی قرار گرفته‌اند.

کادرهای مقایسه‌ای و ماتریس‌های تثبیت بصری داده‌ها: در پایان مباحث پیچیده و چندوجهی، ساختار مقایسه‌ای موضوعات در قالب جداول منظم سامان یافته تا حافظه بصری داوطلب در تثبیت تفکیک‌های دشوار (همچون انواع ناقلین غشایی، فرم‌های مختلف سایتوکینین و سامانه‌های خودسازگاری) به بالاترین بهره‌وری برسد.

شگردها و میان‌برهای تستی در جلسه آزمون: در فرجام هر تحلیل، سرنخ‌های کلیدی و ترفندهای تفکیک سریع گزینه‌ها آموزش داده می‌شود تا داوطلب در زمان محدود جلسه آزمون بتواند از طریق واژه‌شناسی تخصصی، پیشوندها و ردگزینه‌های مفهومی، مسیر دست‌یابی به پاسخ قطعی را در کوتاه‌ترین زمان طی نماید.

ساختار تکمیلی اثر و کلام پایانی مؤلفان: در کنار این ساختار تشریحی متمرکز بر سال‌های ۱۴۰۴ و ۱۴۰۵، کتاب حاضر با هدف پاسخگویی به تمامی نیازهای داوطلبان، دربرگیرنده جدول جامع توزیع فراوانی موضوعی ۶ ساله، تحلیل آماری روندهای آزمون، واژه‌نامه یکپارچه اصطلاحات تخصصی، ضمایم تکمیلی هفت‌گانه در زمینه هورمون‌ها، نشانگرها، متابولیت‌های ثانویه و گلخانه، فهرست استاندارد منابع بر پایه شیوه APA و نمایه موضوعی-تحلیلی دقیق صفحات است. امید واثق است که داوطلبان با به‌کارگیری راهبردهای این اثر و تکیه بر مطالعه زنجیره‌ای و مفهوم‌محور، نه تنها با اعتماد به نفس کامل در جلسه آزمون حاضر شوند و به رتبه‌های برتر دست یابند، بلکه این بینش نظام‌مند را به عنوان سرمایه‌ای ماندگار در فعالیتهای پژوهشی و رساله دکتری خویش به کار گیرند.

گروه مولفین پردازش

پاییز ۱۴۰۵

آزمون دکترای علوم و مهندسی باغبانی ۱۴۰۴

فیزیولوژی گیاهی و فیزیولوژی پس از برداشت



۱. احیای «NADP⁺» به «NADPH» در کجا انجام می‌شود؟
 - (۱) چرخه کلوین
 - (۲) فتوسیستم I
 - (۳) فتوسیستم II
 - (۴) فتوفسفریلاسیون غیر چرخه‌ای
۲. در مدل به دام افتادن پلیمری (Polymer trapping) بازگیری فلوئم، رافینوز و استاکیوز در کدام سلول‌ها سنتز می‌شود؟
 - (۱) حد واسط (Intermediary cell)
 - (۲) عناصر غربالی (Sieve element)
 - (۳) غلاف آوندی (Bundle sheath cell)
 - (۴) مزوفیلی (Mesophyll cell)
۳. کدام مورد معرف ضریب تنفسی (RQ) است؟
 - (۱) نسبت بین CO_2 تولید شده به O_2 مصرف شده در تنفس است و در سوختن چربی‌ها یک است.
 - (۲) نسبت بین CO_2 آزاد شده به O_2 مصرف شده در تنفس است و در سوختن چربی‌ها ۰.۷ است.
 - (۳) نسبت بین O_2 تولید شده به CO_2 مصرف شده در تنفس است و در سوختن قندها یک است.
 - (۴) نسبت بین O_2 آزاد شده به CO_2 مصرف شده در تنفس است و در سوختن قندها ۰.۷ است.
۴. اگر سلولی که با محیط اطراف خود در تعادل آبی (Flaccid cell) است در محلول هایپوتونیک قرار بگیرد چه سرنوشتی پیدا می‌کند؟
 - (۱) آب جذب می‌کند.
 - (۲) آب از سلول خارج می‌شود.
 - (۳) دچار پلاسمولیز می‌شود.
 - (۴) حرکت خالص آب به داخل یا خارج سلول اتفاق نمی‌افتد.
۵. کدام یک در انتقال الکترون‌ها از «PSII» به «PSI» نقش دارد؟
 - (۱) پلاستوسیانین و ATP سنتاز
 - (۲) پلاستوکوئینون و فرودوکسین
 - (۳) سیتوکروم b_6f و پلاستوسیانین
 - (۴) ATP سنتاز و پلاستوکوئینون
۶. در تنفس نوری کدام دسته از ترکیبات بین پراکسی‌زوم و میتوکندری منتقل می‌شود؟
 - (۱) گلیسین - گلیسرآت
 - (۲) گلیسین - سرین
 - (۳) گلیکولیک اسید - گلیسین
 - (۴) گلیکولیک اسید - گلیسرآت
۷. در صورت تاباندن نور سفید بر برگ فوتون‌های کدام طیف نوری در عمق بیشتری از برگ نفوذ می‌کنند؟
 - (۱) آبی و قرمز
 - (۲) قرمز و قرمز دور
 - (۳) سبز
 - (۴) آبی
۸. کدام مورد معرف آکواپورین (Aquaporin) است؟
 - (۱) ناقل‌های پروتئینی انتقال کاتیون‌ها و آنیون‌ها از غشاهای سلولی
 - (۲) حامل‌های پروتئینی انتقال آب و املاح از غشاهای سلولی
 - (۳) کانال‌های پروتئینی انتقال آب از غشاهای سلولی
 - (۴) پمپ‌های پروتئینی جذب آب در شرایط پسابیدیگی

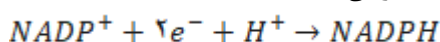


۹. مکانیسم خروج بخار آب از برگ و عامل محرک آن به ترتیب کدام است؟
(۱) انتشار - اختلاف فشار بخار برگ به هوا
(۲) انتقال فعال - مقاومت‌های روزنه‌ای و لایه مرزی
(۳) اسمز - مقاومت‌های روزنه‌ای و لایه مرزی
(۴) جریان توده‌ای - اختلاف فشار بخار برگ به هوا
۱۰. افزایش شدت مکش در زایلیم و خروج گازهای محلول از آن باعث کدام پدیده می‌شود؟
(۱) پسایدگی (Dehydration)
(۲) تعریق (Guttation)
(۳) فشار ریشه‌ای (Root pressure)
(۴) حفره‌سانی (Cavitation)
۱۱. عامل اصلی کدام نابسامانی فیزیولوژیک کمبود کلسیم نیست؟
(۱) پوسیدگی گلگاه گوجه‌فرنگی
(۲) چوب‌پنبه‌ای شدن درونی سیب
(۳) سیاه‌شدن قلب کرفس
(۴) نوک‌سوختگی کاهو
۱۲. بازه دمایی (درجه سلسیوس) مناسب برای نگهداری میوه‌های مقاوم به سرمازدگی کدام است؟
(۱) صفر الی -۵ (۲) صفر الی ۵ (۳) ۵ الی ۱۰ (۴) ۱۵ الی ۲۰
۱۳. دام ترکیب باعث افزایش اتصال اتیلن به گیرنده خود می‌شود؟
(۱) اکسیژن (۲) متیل سیکلوپروپین (۳) نقره (۴) نیتروژن
۱۴. به منظور اندازه‌گیری پارامترهای مرتبط با بلوغ و کیفیت پس از برداشت کدام فناوری تخریبی است؟
(۱) رفراکتومتر (۲) رزونانس مغناطیسی
(۳) سیستم اشعه ایکس (۴) فلورسانس کلروفیل
۱۵. کاربرد کدام ترکیب قبل و پس از برداشت سبب حفظ سفتی میوه‌ها می‌شود؟
(۱) اتیلن (۲) اکسین‌ها (۳) پلی‌آمین‌ها (۴) سالیسیلات‌ها
۱۶. اگر در تغذیه درختان میوه از نیتروژن زیاد استفاده شود در میزان ماندگاری پس از برداشت میوه و واکس سطح میوه چه تغییراتی رخ می‌دهد؟
(۱) ماندگاری در انبار تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد هر چند که واکس سطح میوه کاهش می‌یابد.
(۲) ماندگاری میوه در انبار و ضخامت واکس طبیعی مستقل از تغذیه نیتروژن است.
(۳) ماندگاری میوه در انبار و ضخامت واکس طبیعی هر دو افزایش می‌یابد.
(۴) ماندگاری میوه در انبار کم و ضخامت واکس طبیعی نیز کاهش می‌یابد.
۱۷. کدام مورد در خصوص تغییرات دیواره سلولی طی فرایند رسیدن میوه درست است؟
(۱) آنزیم بتاگالاکتوزیداز سبب هیدرولیز پیوند گلیکوزیدی بین گالاکترونیک اسید و رامنوز می‌شود.
(۲) آنزیم پلی‌گالاکتروناز سبب حذف گروه متیل از کربن شماره ۶ گالاکترونیک اسید می‌شود.
(۳) آنزیم گالاکتروناز پیوند (۱-۴) آلفا گالاکترونیک را کاتالیز می‌کند.
(۴) آنزیم بتاگالاکتوزیداز باعث کاهش گالاکتوز آزاد می‌شود.
۱۸. ۲،۶-نونادینال (Nonadienal) ماده فرار اصلی کدام محصول است؟
(۱) پرتقال تامسون ناول (۲) خیار (۳) قارچ خوراکی (۴) کلم پیچ
۱۹. کاروتنوئید غالب عمده زردآلو کدام است؟
(۱) بتاکاروتن (۲) بتاکریپتوزانتین (۳) لیکوپن (۴) وبولازانتین
۲۰. محل اصلی انجام تنفس غیر هوازی در میوه‌ها و سبزی‌ها کدام بخش سلول است؟
(۱) ابتدا میتوکندری و سپس سیتوپلاسم (۲) ابتدا سیتوپلاسم و سپس میتوکندری
(۳) سیتوپلاسم (۴) میتوکندری



موضوع سوال: موضوع اصلی این سؤال، مکانیسم واکنش‌های نوری فتوسنتز و الگوهای انتقال الکترون در غشای تیلاکوئید کلروپلاست است. گزینه چهارم به‌درستی به فرآیندی اشاره می‌کند که در آن انتقال یک‌طرفه و خطی الکترون‌ها، منجر به تأمین قدرت احیاکنندگی سلول گیاهی می‌گردد.

پاسخ تشریحی: در فاز نوری فتوسنتز، دو مسیر مجزا برای انتقال الکترون‌ها وجود دارد: انتقال چرخه‌ای و انتقال غیر چرخه‌ای (طرح Z). در فتوفسفریلاسیون غیر چرخه‌ای، دستگاه فتوسنتزی از هر دو فتوسیستم I و II بهره می‌برد. الکترون‌ها ابتدا از طریق فتولیز (تجزیه) مولکول‌های آب در مجاورت فتوسیستم II تأمین شده و پس از عبور از زنجیره انتقال الکترون (سیتوکروم‌ها و پلاستوسیانین) به فتوسیستم I می‌رسند. در فتوسیستم I، الکترون‌ها بار دیگر با دریافت انرژی فوتون‌های نوری برانگیخته شده و در نهایت به پروتئین فرودوکسین منتقل می‌گردند. در آخرین گام، آنزیم فرودوکسین-NADP ردوکتاز (FNR) مستقر در سطح استرومایی غشای تیلاکوئید، این الکترون‌ها را دریافت کرده و واکنش احیای زیر را کاتالیز می‌کند:



دلیل دقت علمی بالاتر عبارت «فتوفسفریلاسیون غیر چرخه‌ای» نسبت به سایر موارد این است که فرآیند انتقال الکترون چرخه‌ای نیز از فتوسیستم I استفاده می‌کند، اما در آن مسیر منحصراً ATP تولید شده و هیچ‌گونه احیای $NADP^{+}$ به $NADPH$ رخ نمی‌دهد.

ارتباط‌سنجی فرایندهای پیش و پس از برداشت اگرچه سنتز $NADPH$ یک رویداد فتوسنتزی و پیش از برداشت است، اما این کوآنزیم احیاشده، موتور محرک بیوسنتز ترکیبات ثانویه، اسیدهای چرب غشایی و سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی (مانند چرخه آسکوربات-گلوتاتیون) است. میوه‌هایی که روی درختان مادری با اختلال در فتوفسفریلاسیون غیر چرخه‌ای (به دلیل تنش‌های نوری یا گرمایی) رشد کرده‌اند، به دلیل ضعف در ذخایر آنتی‌اکسیدانی، ظرفیت بسیار پایینی در برابر تنش‌های اکسیداتیو سردخانه داشته و سریع‌تر دچار عوارضی نظیر سرمازدگی (Chilling Injury) و زوال بافت می‌شوند.

بررسی سایر گزینه‌ها:

گزینه ۱: چرخه کلون (واکنش‌های تاریکی) محل احیای دی‌اکسید کربن و سنتز قند است. در این چرخه، $NADPH$ ‌های تولید شده در واکنش‌های نوری مصرف و اکسید می‌شوند، بنابراین چرخه کلون محل مصرف است نه محل تولید. **بررسی گزینه ۲:** فتوسیستم I به تنهایی یک پاسخ ناقص و گمراه‌کننده است. این فتوسیستم در جریان انتقال الکترون چرخه‌ای نیز به تنهایی فعالیت دارد که در آن هیچ کوآنزیمی احیا نمی‌شود. تولید $NADPH$ نیازمند جریان خطی الکترون از آب به سمت گیرنده نهایی است. **بررسی گزینه ۳:** فتوسیستم II نقطه آغازین مسیر و محل اکسیداسیون آب و آزادسازی اکسیژن است و به طور مستقیم ارتباطی با احیای کوآنزیم‌های استرومایی ندارد.

چشم‌انداز کاربردی، صنعتی و فناوری‌های نوین در مطالعات نوین باغبانی و کشاورزی دقیق، کارایی فتوفسفریلاسیون غیر چرخه‌ای و انتقال الکترون با استفاده از فناوری غیرمخرب فلورسانس کلروفیل سنجیده می‌شود. با اندازه‌گیری پارامترهایی نظیر F_v/F_m ، پژوهشگران می‌توانند پیش از بروز علائم ظاهری افت کیفیت، تشخیص دهند که آیا دستگاه انتقال الکترون برگ در حال تولید بهینه $NADPH$ است یا گیاه دچار تنش نهان گشته است.

بومی‌سازی و مطالعات موردی در باغات پسته و بادام مناطق خشک ایران، هنگام بروز تنش‌های شدید خشکی و شوری، روزه‌ها به شدت بسته می‌شوند. این امر باعث توقف چرخه کلون و عدم مصرف $NADPH$ می‌گردد. در نتیجه، مولکول‌های $NADP^{+}$ در استروما کمیاب شده و الکترون‌های جریان غیر چرخه‌ای به جای احیای کوآنزیم، به سراغ مولکول اکسیژن می‌روند که منجر به تولید رادیکال‌های آزاد و در نهایت سوختگی و نکرز لبه برگ درختان در اواسط تابستان می‌شود.

راه حل تستی

تله اصلی طراح در این سؤال، قراردادن «فتوسیستم I» است تا داوطلبانی که فقط مکانیسم آنزیم ردوکتاز را در مجاورت این فتوسیستم به خاطر دارند، دچار خطا شوند. میان‌بر کلیدی: به محض مشاهده $NADPH$ به یاد بیاورید که مسیر چرخه‌ای صرفاً سازنده ATP است. مسیر غیر چرخه‌ای شامل پکیج کامل (تولید $ATP + NADPH$ + آزادسازی اکسیژن) است. بنابراین عبارت غیر چرخه‌ای کامل‌ترین و بی‌نقص‌ترین گزینه است.

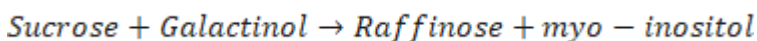


موضوع سوال: این سؤال به یکی از پیچیده‌ترین و کلیدی‌ترین مکانیسم‌های فیزیولوژیک در مبحث انتقال مواد پرورده (آسیمیلایون) در گیاهان، یعنی مدل «بارگیری سیمپلاستی فلوئم» می‌پردازد. گزینه اول به درستی سلول‌های واسط را به عنوان جایگاه دقیق و استراتژیک سنتز الیگوساکاریدهای درشت‌مولکول معرفی می‌کند تا منطق «به دام افتادن» در این مدل محقق شود.

پاسخ تشریحی:

در گیاهانی که از مدل به دام افتادن پلیمری (Polymer Trapping) برای بارگیری آوند آبکش استفاده می‌کنند، مسیر حرکت قندها کاملاً درون سلولی (سیمپلاستی) و از طریق پلاسمودسماتاست. فرآیند به این شکل آغاز می‌شود که ساکارز تولید شده در سلول‌های مزوفیل برگ، در امتداد شیب غلظت به سلول‌های غلاف آوندی و سپس به «سلول‌های واسط» (Intermediary cells) که نوعی سلول همراه تخصص‌یافته هستند) منتشر می‌شود.

درون سلول واسط، مجموعه‌ای از واکنش‌های بیوشیمیایی حیاتی رخ می‌دهد. ساکارز با مولکول‌های گالاکتوز (که از گالاکتینول تأمین می‌شوند) پیوند خورده و قندهای پلیمری بزرگ‌تری نظیر رافینوز (تری‌ساکارید) و استاکیوز (تتراساکارید) را می‌سازد. معادله ساده این پلیمریزاسیون به شرح زیر است:



قطر پلاسمودسماتاهای بین سلول واسط و سلول غلاف آوندی بسیار کوچک است. بنابراین، رافینوز و استاکیوز به دلیل اندازه بزرگ‌تری که نسبت به ساکارز دارند، نمی‌توانند به سلول‌های غلاف آوندی و مزوفیل به عقب بازگردند (در اینجا به دام می‌افتند). در مقابل، پلاسمودسماتاهای بین سلول واسط و «عنصر غربالی فلوئم» به اندازه کافی گشاد هستند که اجازه عبور این پلیمرهای بزرگ را بدهند. بدین ترتیب، جریان یک‌طرفه قندها به سمت آوند آبکش برای توزیع در سراسر گیاه تضمین می‌شود.

ارتباط‌سنجی فرایندهای پیش و پس از برداشت

کارایی بارگیری فلوئم در مزرعه (پیش از برداشت)، مستقیماً تعیین‌کننده قدرت مخزن (Sink strength) و تجمع مواد جامد محلول (TSS) در میوه است. جالب‌تر آنکه، الیگوساکاریدهایی نظیر رافینوز که از طریق این مدل وارد میوه می‌شوند، در دوره پس از برداشت (انبارداری) نقش اسموپروتکتانت (محافظت‌کننده اسمزی) و پاک‌کننده رادیکال‌های آزاد اکسیژن (ROS) را ایفا می‌کنند. تجمع بالای این قندها در بافت میوه، مقاومت محصول را در برابر تنش سرمازدگی (Chilling Injury) در سردخانه به شدت افزایش می‌دهد.

بررسی سایر گزینه‌ها:

گزینه ۲: عناصر غربالی (Sieve elements) در بلوغ کامل، اندامک‌های اصلی خود (نظیر هسته، ریبوزوم‌ها و دستگاه گلژی) را از دست می‌دهند تا مجرای باز برای انتقال شیره پرورده باشند. این سلول‌ها فاقد ماشین‌آلات بیوشیمیایی لازم برای سنتز پلیمرهای پیچیده‌ای نظیر رافینوز و استاکیوز هستند. **بررسی گزینه ۳:** سلول‌های غلاف آوندی صرفاً به عنوان یک مسیر عبوری (ترانزیت) برای ساکارز عمل می‌کنند. این سلول‌ها فاقد آنزیم‌های کلیدی مانند رافینوز سنتاز و استاکیوز سنتاز برای پلیمریزاسیون هستند. **بررسی گزینه ۴:** سلول‌های مزوفیلی محل اصلی فتوسنتز و سنتز اولیه قندهای ساده و ساکارز هستند، اما تبدیل ساکارز به رافینوز و استاکیوز در آن‌ها رخ نمی‌دهد؛ زیرا اگر این اتفاق در مزوفیل می‌افتاد، شیب غلظت و مکانیسم انتقال یک‌طرفه (به دام افتادن) کاملاً بی‌معنی می‌شد.

چشم‌انداز کاربردی، صنعتی و فناوری‌های نوین

درک مدل به دام افتادن پلیمری، پایه‌گذار بیوتکنولوژی مدرن در اصلاح کیفیت محصولات باغبانی است. امروزه با استفاده از تکنیک‌های ویرایش ژنوم (مانند CRISPR/Cas9)، بیان ژن‌های کدکننده آنزیم‌های مسیر بیوسنتز استاکیوز در سلول‌های واسط را دستکاری می‌کنند تا پروفایل قندی میوه‌ها را تغییر دهند. این امر نه تنها شاخص شیرینی را برای مصرف‌کننده بهبود می‌بخشد، بلکه قابلیت ماندگاری (Shelf-life) را با تنظیم پتانسیل اسمزی سلول‌ها ارتقا می‌دهد.

بومی‌سازی و مطالعات موردی گیاهان خانواده کدوئیان (Cucurbitaceae) بارزترین و معروف‌ترین مثال‌های طبیعت برای استفاده از مدل بارگیری پلیمری هستند. در ایران، تولید محصولاتی نظیر خربزه خاتونی، طالبی و خیار که از نظر اقتصادی بسیار



استراتژیک هستند، کاملاً به این مکانیسم وابسته است. دلیل اصلی شیرینی بالای خربزه‌های اقلیم‌های گرم و خشک ایران در اواخر فصل تابستان، فعالیت بهینه سلول‌های واسط در پلیمریزه کردن ساکارز به استاکیوز و پمپاژ بی‌وقفه آن به سمت میوه (مخزن) است.

کادرهای جمع‌بندی

ویژگی فیزیولوژیک	مدل آپوپلاستی (Apoplastic)	مدل به دام افتادن پلیمری (Symplastic)
مسیر انتقال	عبور از فضای خارج سلولی (دیواره)	عبور صرفاً از طریق پلاسمودسماتا
انرژی مصرفی	نیازمند پمپ‌های پروتون و مصرف ATP	مبتنی بر شیب غلظت و سنتز پلیمر
قند انتقالی غالب	ساکارز	رافینوز و استاکیوز
نوع سلول همراه	سلول همراه معمولی یا سلول ترانسفر	سلول واسط (Intermediary cell)
مثال گیاهی	سیب، گوجه‌فرنگی	خربزه، طالبی، خیار

راه حل تستی

کلمه کلیدی در این سؤال واژه «واسط» (Intermediary) است. در علم تجارت نیز، فرد «واسطه»، ارزی را می‌گیرد و به ارز دیگری تبدیل می‌کند تا معامله قطعی (به دام افتادن) شود. در گیاه نیز سلول واسط دقیقاً همین کار را می‌کند: ساکارز را می‌گیرد، به رافینوز تبدیل می‌کند و راه بازگشت را می‌بندد. عناصر غربالی لوله انتقال‌اند و مزوفیل کارخانه تولید؛ پس تنها گزینه منطقی برای عملیات تبدیل، سلول واسط است.

۳. گزینه ۲)

موضوع سؤال: موضوع محوری این سؤال، درک شاخص بیوشیمیایی به نام «ضریب تنفسی» یا Respiratory Quotient است که نوع سوسترا (پیش‌ماده) مصرفی در فرآیند تنفس سلولی گیاهان را مشخص می‌کند. گزینه دوم با ارائه تعریف دقیق از این نسبت (خروج دی‌اکسید کربن به مصرف اکسیژن) و همچنین ذکر عدد صحیح برای اکسیداسیون چربی‌ها، پاسخ علمی و بی‌نقص این پرسش است.

پاسخ تشریحی: تنفس سلولی یک فرآیند اکسایش-کاهش است که در آن، مواد آلی (مانند قندها، چربی‌ها و اسیدهای آلی) با مصرف اکسیژن، تجزیه شده و دی‌اکسید کربن، آب و انرژی آزاد می‌کنند. ضریب تنفسی (RQ) ابزاری برای تشخیص ماده‌ای است که گیاه در حال سوزاندن آن است و از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$RQ = \frac{\text{Volume of } CO_2 \text{ evolved}}{\text{Volume of } O_2 \text{ consumed}}$$

ارزش عددی RQ کاملاً به ترکیب شیمیایی و میزان اکسیژن درون مولکولی سوسترا بستگی دارد. کربوهیدرات‌ها (مانند گلوکز با فرمول $C_6H_{12}O_6$) در ساختار خود دارای مقادیر بالایی از اکسیژن هستند؛ بنابراین برای اکسیداسیون کامل به اکسیژن خارجی کمتری نیاز دارند و در نتیجه حجم CO_2 تولیدی دقیقاً برابر با O_2 مصرفی است ($RQ = 1$). در مقابل، لیپیدها (چربی‌ها) ترکیباتی بسیار احیاشده با حداقل اکسیژن درون مولکولی هستند. برای شکستن پیوندهای کربن-هیدروژن در اسیدهای چرب، سلول مجبور است مقادیر بسیار زیادی اکسیژن از محیط جذب کند. بزرگ شدن مخرج کسر (مصرف بالای اکسیژن) باعث می‌شود عدد ضریب تنفسی برای چربی‌ها و پروتئین‌ها همواره کمتر از یک باشد.

ارتباط‌سنجی فرایندهای پیش و پس از برداشت در حوزه فیزیولوژی پس از برداشت، پایش مستمر RQ به معنای خواندن ذهن فیزیولوژیک میوه است. در طول انبارداری، اگر RQ یک محصول برابر با یک باشد، نشان‌دهنده مصرف ذخایر قندی است. اما به محض اینکه میوه تحت تنش سرما یا کمبود اکسیژن قرار بگیرد و به سمت تنفس بی‌هوازی (تخمیر) حرکت کند، مصرف اکسیژن به شدت کاهش و تولید دی‌اکسید کربن افزایش می‌یابد. در این حالت عدد RQ به شدت از یک فراتر می‌رود (حتی تا ۳ یا ۴). بنابراین، جهش ناگهانی ضریب تنفسی، آژیر خطری برای سردخانه‌دار است که نشان‌دهنده اتمام اکسیژن و آغاز زوال بافت محصول می‌باشد.



چشم‌انداز کاربردی، صنعتی و فناوری‌های نوین

در پیشرفته‌ترین سردخانه‌های اتمسفر کنترل شده (DCA-RQ)، سنسورهای فوق حساس به طور لحظه‌ای ضریب تنفسی کل سالن را اندازه‌گیری می‌کنند. این سیستم‌های هوشمند، سطح اکسیژن سالن را تا مرز خفگی میوه (حدود ۵/۰ درصد) پایین می‌آورند. سیستم رایانه‌ای به محض اینکه مشاهده کند عدد RQ از یک به سمت اعداد بالاتر (مثلاً ۳/۱) میل می‌کند، متوجه آغاز تنفس بی‌هوازی شده و به صورت خودکار اندکی اکسیژن به سالن تزریق می‌کند تا میوه در کمترین سطح متابولیک ممکن، بدون ورود به فاز تخمیر، ماه‌ها زنده و شاداب بماند.

بومی‌سازی و مطالعات موردی

در ایران، تفاوت رفتار انبارداری محصولات غنی از چربی (مانند گردوی تویسرکان و زیتون طارم) در مقایسه با محصولات قندی (مانند سیب سمیرم) بسیار مشهود است. بذور روغنی و میوه‌های چرب به دلیل ضریب تنفسی پایین (۷/۰)، در صورت عدم تهویه مناسب در انبار، با سرعت بیشتری اکسیژن محیط را تخلیه کرده و دچار بدطعمی (Rancidity) و تندشدگی می‌شوند، در حالی که سیب با ضریب تنفسی یک، تعادل بهتری با اتمسفر سردخانه برقرار می‌کند.

۴. گزینه ۱)

موضوع سوال: این پرسش به یکی از بنیادی‌ترین مفاهیم فیزیولوژی گیاهی، یعنی «روابط آبی سلول» و مفهوم پتانسیل آب اختصاص دارد. گزینه اول به درستی بیان می‌کند که قرار گرفتن یک سلول شل (پلاسیده) در یک محیط رقیق‌تر (هایپوتونیک)، به دلیل اختلاف پتانسیل، منجر به ورود آب به درون سلول و ایجاد آماس (تورژسانس) خواهد شد.

پاسخ تشریحی:

حرکت آب در سیستم‌های گیاهی همواره تابع یک قانون ترمودینامیکی غیرقابل تخلف است: «آب از محیطی با پتانسیل آب بالاتر (منفی کمتر) به محیطی با پتانسیل آب پایین‌تر (منفی بیشتر) حرکت می‌کند».

پتانسیل آب (Ψ_w) در یک سلول گیاهی از مجموع پتانسیل اسمزی (Ψ_s) و پتانسیل فشار یا تورژسانس (Ψ_p) به دست می‌آید:

$$\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p$$

سلول Flaccid (شل) سلولی است که در حالت تعادل با یک محیط ایزوتونیک قرار داشته و فشار تورژسانس آن دقیقاً برابر با صفر است ($\Psi_p = 0$). در نتیجه، پتانسیل آب درون این سلول صرفاً معادل پتانسیل اسمزی آن (که عددی منفی است) خواهد بود. محلول «هایپوتونیک» (Hypotonic) محلولی است که غلظت املاح آن از شیر سلولی کمتر است؛ بنابراین پتانسیل آب بالاتری (نزدیک‌تر به صفر) نسبت به داخل سلول دارد. هنگامی که سلول شل در این محیط قرار می‌گیرد، به دلیل وجود شیب پتانسیل (از بیرون به داخل)، حرکت خالص آب به درون سلول آغاز می‌شود. با ورود آب، حجم واکوئل افزایش یافته، غشای پلاسمایی به دیواره سلولی فشار می‌آورد و سلول به حالت تورژسانس (آماسیده) می‌رسد.

ارتباطسنجی فرایندهای پیش و پس از برداشت

تردی (Crispness) و شادابی محصولات باغبانی، چه روی گیاه مادری و چه در سردخانه، مستقیماً به حفظ همین حالت تورژسانس سلولی بستگی دارد. در دوره پس از برداشت، به دلیل تعرق و از دست رفتن آب، سلول‌های میوه‌ها و سبزیجات به تدریج به سمت حالت Flaccid حرکت می‌کنند که نتیجه ظاهری آن چروکیدگی و پژمردگی است. اگر این محصولات پژمرده را در یک محیط هایپوتونیک (مانند آب خالص) قرار دهیم، سلول‌ها مجدداً آب جذب کرده و شادابی بافتی خود را باز می‌یابند.

بررسی سایر گزینه‌ها:

گزینه ۲: خروج آب از سلول زمانی رخ می‌دهد که سلول در یک محلول «هایپرتونیک» (Hypertonic) یا غلیظ‌تر از شیر سلولی قرار گیرد. **بررسی گزینه ۳:** پلاسمولیز (جدا شدن غشای پلاسمایی از دیواره سلولی) شدیدترین حالت از دست دادن آب است و منحصراً در محلول‌های به شدت هایپرتونیک اتفاق می‌افتد، نه در محیط رقیق هایپوتونیک. **بررسی گزینه ۴:** عدم حرکت خالص آب، ویژگی قرار گرفتن سلول در محلول «ایزوتونیک» (Isotonic) است که در آن پتانسیل آب درون و بیرون سلول کاملاً برابر است.



چشم‌انداز کاربردی، صنعتی و فناوری‌های نوین

در فروشگاه‌های زنجیره‌ای و صنعت توزیع سبزیجات تازه، از سیستم‌های مه‌پاش (Misting systems) بر روی قفسه‌ها استفاده می‌شود. قطرات ریز آب خالص (که به شدت هایپوتونیک هستند) روی سطح برگ‌ها می‌نشینند. از آنجا که سلول‌های اپیدرمی سبزیجات برداشت‌شده مقداری از آب خود را از دست داده و شل شده‌اند، این آب را جذب کرده و وزن تازه (Fresh weight) و تردی محصول به صورت مصنوعی در بازار حفظ می‌شود.

بومی‌سازی و مطالعات موردی

یک مثال بسیار ملموس و بومی برای این پدیده، آماده‌سازی «سبزی خوردن» (مانند ریحان، نعناع و تربچه) در خانوارهای ایرانی است. معمولاً سبزیجات خریداری‌شده پس از انتقال از بازار، تا حدودی حالت شل و پژمرده (Flaccid) دارند. قرار دادن این سبزیجات در یک ظرف آب خنک (محیط هایپوتونیک) به مدت چند دقیقه، باعث جذب سریع آب توسط سلول‌ها شده و سبزیجات کاملاً ترد و شکننده می‌شوند.

راه حل تستی

در مواجهه با پیشوندهای یونانی، از این شگرد ذهنی استفاده کنید: پیشوند «Hypo» به معنای کم و پایین است (یعنی املاح کم، پس آب زیاد). پیشوند «Hyper» به معنای زیاد و بالا است (یعنی املاح زیاد، پس آب کم). آب همیشه به سمتی می‌رود که املاح بیشتری آنجا جمع شده‌اند تا آن را رقیق کند. چون محیط ما Hypo (کم‌املاح) است، پس درون سلول نسبت به بیرون غلیظ‌تر است. آب بلافاصله برای رقیق کردن داخل سلول، به درون آن هجوم می‌برد (جذب آب).

۵. گزینه ۳

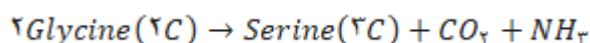
۶. گزینه ۲

موضوع سوال: موضوع محوری این سؤال، شناخت دقیق یکی از پرهزینه‌ترین و در عین حال حیاتی‌ترین مسیرهای بیوشیمیایی گیاهان، یعنی چرخه «تنفس نوری» (Photorespiration) یا چرخه C_4 است. این چرخه به دلیل پیچیدگی، نیازمند همکاری فیزیکی و شیمیایی سه اندامک مجزا در سلول گیاهی است. گزینه دوم با دقت کامل، دو اسید آمینه کلیدی که خط ارتباطی بین اندامک‌های پراکسی‌زوم و میتوکندری را برقرار می‌کنند، معرفی می‌نماید.

پاسخ تشریحی:

تنفس نوری زمانی آغاز می‌شود که آنزیم روبیسکو (Rubisco) به جای دی‌اکسید کربن، با اکسیژن واکنش دهد. این رویداد منجر به تولید یک مولکول سه‌کربنه (۳-PGA) و یک مولکول دوکربنه سمی به نام فسفوگلیکولات در کلروپلاست می‌شود. هدف چرخه تنفس نوری، بازیافت کربن از این ترکیب سمی است. این چرخه شامل یک تور بیوشیمیایی بین سه اندامک است:

۱. **کلروپلاست:** فسفوگلیکولات به گلیکولات (گلیکولیک اسید) تبدیل شده و از کلروپلاست خارج و به پراکسی‌زوم می‌رود.
۲. **پراکسی‌زوم:** گلیکولات اکسید شده و به گلیوکسیلات و سپس به اسید آمینه «گلیسین» تبدیل می‌شود. گلیسین ساخته شده در این مرحله، پراکسی‌زوم را ترک کرده و وارد میتوکندری می‌گردد.
۳. **میتوکندری:** در اینجا یک واکنش دکربوکسیلاسیون حیاتی رخ می‌دهد. دو مولکول گلیسین (دو کربنه) با هم ترکیب شده و یک مولکول «سَرین» (سه کربنه)، یک مولکول CO_2 و یک مولکول آمونیاک تولید می‌کنند:



مولکول سرین تولید شده، میتوکندری را ترک کرده و مجدداً به پراکسی‌زوم بازمی‌گردد.

۴. **بازگشت به پراکسی‌زوم و کلروپلاست:** در پراکسی‌زوم، سرین به هیدروکسی‌پروات و سپس به گلیسرات تبدیل می‌شود. نهایتاً، گلیسرات به کلروپلاست بازگشته تا وارد چرخه کلون شود.
- بنابراین، حد فاصل فیزیکی و شیمیایی بین پراکسی‌زوم و میتوکندری، عبور «گلیسین» (به سمت میتوکندری) و «سرین» (بازگشت به سمت پراکسی‌زوم) است.

ارتباط‌سنجی فرایندهای پیش و پس از برداشت اگرچه تنفس نوری یک پدیده کاملاً مزرع‌ای و پیش از برداشت است، اما تبعات آن مستقیماً در سردخانه خود را نشان می‌دهد. تنفس نوری یک فرآیند هدردهنده انرژی و کربن است. گیاهانی که در طول فصل رشد درگیر تنفس نوری شدید هستند (مثلاً به دلیل گرمای زیاد و بسته شدن روزنه‌ها)، کربوهیدرات کمتری در اندام‌های



مخزن (میوه‌ها) ذخیره می‌کنند. کاهش تجمع مواد جامد محلول (TSS) و ضعف اسکلت کربنی در میوه، به معنای کاهش ماندگاری پس از برداشت، افت سریع سفتی بافت و حساسیت بالا به پاتوژن‌های انباری است.

بررسی سایر گزینه‌ها:

گزینه ۱: گلیسین به درستی ذکر شده است، اما گلیسرات ترکیبی است که پراکسی‌زوم را ترک کرده و به کلروپلاست می‌رود، نه میتوکندری. **بررسی گزینه ۳:** گلیکولیک اسید (گلیکولات) اولین ترکیب انتقالی است که از کلروپلاست خارج شده و وارد پراکسی‌زوم می‌شود و هرگز به میتوکندری نمی‌رسد. **بررسی گزینه ۴:** هر دو ترکیب اشتباه جایگذاری شده‌اند. گلیکولیک اسید بین کلروپلاست و پراکسی‌زوم، و گلیسرات بین پراکسی‌زوم و کلروپلاست در حرکت هستند.

چشم‌انداز کاربردی، صنعتی و فناوری‌های نوین

در مدیریت نوین گلخانه‌های تجاری (به‌ویژه تولید محصولات گران‌قیمت مانند گوجه‌فرنگی و فلفل رنگی)، از فناوری غنی‌سازی اتمسفر با دی‌اکسید کربن (CO_2 Enrichment) استفاده می‌شود. با تزریق CO_2 تا غلظت‌های حدود ۸۰۰ الی ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام، کشاورزان رقابت بین اکسیژن و دی‌اکسید کربن در جایگاه فعال آنزیم روبیسکو را به نفع کربن تغییر می‌دهند. این کار عملاً چرخه پرهزینه تنفس نوری (و تبادل گلیسین-سربین) را سرکوب کرده و راندمان تولید ماده خشک و عملکرد محصول را بین ۲۰ تا ۳۰ درصد افزایش می‌دهد.

بومی‌سازی و مطالعات موردی

در مناطق گرمسیر و خشک ایران مانند مزارع گوجه‌فرنگی در استان‌های خوزستان، بوشهر و فارس، در اواسط روزهای گرم تابستان، گیاه برای جلوگیری از تبخیر شدید، روزنه‌های خود را می‌بندد. این امر باعث می‌شود غلظت CO_2 درون برگ به شدت افت کرده و غلظت O_2 (حاصل از فتوسنتز) بالا برود. در این شرایط، چرخه تنفس نوری به شدت فعال می‌شود. این پدیده یکی از دلایل اصلی افت عملکرد و کوچکی سبزی میوه‌ها در کشت‌های تابستانه مناطق گرمسیری است.

کادرهای جمع‌بندی

مبدأ حرکت	مقصد حرکت	ترکیب منتقل شده
کلروپلاست	پراکسی‌زوم	گلیکولات (گلیکولیک اسید)
پراکسی‌زوم	میتوکندری	گلیسین
میتوکندری	پراکسی‌زوم	سربین
پراکسی‌زوم	کلروپلاست	گلیسرات

راه حل تستی

در مواجهه با تست‌های تنفس نوری، یک شگرد ذهنی ساده وجود دارد: نام اندامک‌ها را به ترتیب الفبای انگلیسی حفظ کنید:

Mitochondrion → Peroxisome → Chloroplast

حالا برای حد فاصل پراکسی‌زوم (P) و میتوکندری (M)، به یاد داشته باشید که در میتوکندری همیشه یک اسید آمینه ساده می‌سوزد تا یک اسید آمینه پیچیده‌تر و دی‌اکسید کربن بدهد. گلیسین (ساده‌ترین اسید آمینه) می‌رود تو، و سربین (کمی بزرگ‌تر) می‌آید بیرون. با حفظ کردن جفت «گلیسین-سربین» برای میتوکندری، این سؤال در کمتر از سه ثانیه قابل پاسخگویی است.

گزینه ۳) .۷

موضوع سوال: این پرسش به یکی از مباحث جذاب بیوفیزیک گیاهی، یعنی «ویژگی‌های نوری برگ» (Leaf Optical Properties) و طیف‌های جذبی رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌پردازد. برخلاف تصور رایج که نور سبز را کاملاً برای گیاه بی‌فایده می‌داند، گزینه سوم به درستی اشاره می‌کند که فوتون‌های سبز رنگ، رکورددار نفوذ به عمیق‌ترین لایه‌های بافت برگ هستند.

پاسخ تشریحی:

هنگامی که نور سفید (شامل تمامی طیف‌های مرئی) به سطح برگ می‌تابد، سرنوشت فوتون‌ها توسط توزیع رنگیزه‌ها و ساختار آناتومیک برگ تعیین می‌شود. کلروفیل‌های a و b که رنگیزه‌های اصلی فتوسنتزی هستند، دارای دو قله جذبی بسیار قدرتمند در



نواحی آبی (حدود ۴۰۰ تا ۵۰۰ نانومتر) و قرمز (حدود ۶۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر) می‌باشند. به همین دلیل، فوتون‌های آبی و قرمز به محض ورود به برگ، توسط کلروپلاست‌های متراکم در بالاترین لایه (مزوفیل نردبانی یا پالیساد) به شدت و با کارایی نزدیک به ۹۰ درصد جذب می‌شوند و عملاً اجازه عبور به لایه‌های زیرین را پیدا نمی‌کنند.

در مقابل، کلروفیل‌ها تمایل بسیار کمی برای جذب نور سبز (۵۰۰ تا ۶۰۰ نانومتر) دارند. بخشی از این نور سبز از سطح برگ بازتاب می‌شود (که دلیل رنگ سبز گیاهان است)، اما بخش قابل توجهی از آن وارد بافت برگ می‌شود. به دلیل عدم جذب سریع، فوتون‌های سبز در پدیده‌ای به نام «اثر غربالی» (Sieve effect) و «هدایت نوری» (Light channeling)، بارها در فضاهای بین سلولی مزوفیل اسفنجی منعکس و پراکنده می‌شوند. این پراکنش متوالی باعث می‌شود نور سبز به عمیق‌ترین لایه‌های برگ و حتی به برگ‌های پایینی تاج پوشش نفوذ کرده و کلروپلاست‌های عمقی را برای انجام فتوسنتز تحریک کند. در واقع، در نورهای با شدت بالا، کارایی کوانتومی نور سبز برای کل برگ، از نور قرمز نیز بیشتر می‌شود.

ارتباط‌سنجی فرایندهای پیش و پس از برداشت

نفوذ نور سبز به اعماق تاج پوشش گیاه (پیش از برداشت)، نقش حیاتی در جلوگیری از پیری زودرس برگ‌های سایه‌انداز (Lower canopy leaves) دارد. فتوسنتز پایدار در این برگ‌های عمقی، باعث می‌شود جریان مواد پرورده (Photoassimilates) به سمت میوه‌هایی که در بخش‌های درونی درخت قرار دارند، قطع نشود. میوه‌هایی که در اعماق تاج پوشش رشد می‌کنند، به لطف فتوسنتز هدایت‌شده توسط نور سبز، می‌توانند ماده خشک و قند (TSS) کافی ذخیره کنند. این ذخیره کربوهیدراتی بالا، مستقیماً به کاهش افت وزن، حفظ سفتی بافت و افزایش عمر انبارداری محصول در سردخانه منجر می‌گردد.

بررسی سایر گزینه‌ها

بررسی گزینه‌های ۱ و ۴: همان‌طور که بیان شد، نورهای آبی و قرمز دارای بالاترین ضریب جذب توسط کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها هستند. بنابراین، این فوتون‌ها در همان میکرون‌های اولیه سطح برگ (لایه اپیدرم و اولین لایه پالیساد) به دام افتاده و کمترین میزان نفوذ را دارند.

بررسی گزینه ۲: هرچند نور قرمز دور (Far-red)، طول موج بالای ۷۰۰ نانومتر) قدرت نفوذ بالایی دارد و از برگ عبور می‌کند، اما نور قرمز (Red) که با آن همراه شده، به شدت در سطح برگ جذب می‌شود. علاوه بر این، در زمینه فتوسنتز فعال و طیف مرئی (نور سفید)، نور سبز نماینده اصلی نورهای نفوذکننده است.

چشم‌انداز کاربردی، صنعتی و فناوری‌های نوین

در صنعت کشاورزی عمودی (Vertical Farming) و گلخانه‌های مدرن، سال‌ها تصور بر این بود که استفاده از لامپ‌های LED ترکیبی آبی و قرمز (که نور بنفش یا صورتی تولید می‌کنند) برای رشد گیاه کافی است. اما امروزه مهندسان نورپردازی گلخانه، حتماً درصدی از LEDهای سبز را به سیستم‌های نوری اضافه می‌کنند. این فناوری نوین، دو مزیت بزرگ دارد: اول اینکه نور سبز به داخل تاج پوشش متراکم گیاهانی مانند گوجه‌فرنگی نفوذ کرده و عملکرد کل بوته را بالا می‌برد؛ و دوم اینکه رنگ طبیعی گیاه را برای سیستم‌های بینایی ماشین (Machine Vision) و کارگران گلخانه قابل رویت می‌سازد تا آفات و بیماری‌ها راحت‌تر تشخیص داده شوند.

کادرهای جمع‌بندی

طیف نوری	طول موج تقریبی (nm)	میزان جذب سطحی (توسط کلروفیل)	قدرت نفوذ در عمق بافت	نقش اصلی در برگ
آبی	۴۰۰ - ۵۰۰	بسیار بالا	بسیار کم	فتوسنتز سطح برگ، باز شدن روزنه‌ها
سبز	۵۰۰ - ۶۰۰	کم تا متوسط	بسیار بالا	فتوسنتز در مزوفیل عمقی، پراکنش نوری
قرمز	۶۰۰ - ۷۰۰	بسیار بالا	بسیار کم	فتوسنتز اصلی سطح برگ، فعال‌سازی فیتوکروم



راه حل تستی

یک استدلال ذهنی و فیزیکی بسیار ساده: چرا برگ را سبز می‌بینیم؟ چون نور سبز را جذب نمی‌کند. نوری که جذب نشود، دو راه بیشتر ندارد: یا منعکس می‌شود (به چشم ما می‌رسد)، یا از جسم عبور می‌کند (Transmittance). چون کلروفیل‌ها نورهای آبی و قرمز را مانند یک اسفنج حریصانه در همان لایه اول می‌بلعند، تنها نوری که اجازه ویزا گرفتن و عبور از مرزهای داخلی برگ را پیدا می‌کند، همان نور سبز است. بنابراین در تست‌های نفوذ نور، رنگ سبز همیشه کلید طلایی است.

۸. گزینه ۳)

موضوع سوال: این سؤال به یکی از کشفیات بنیادین در حوزه روابط آبی و فیزیولوژی غشا (که منجر به جایزه نوبل شیمی در سال ۲۰۰۳ شد) می‌پردازد. موضوع اصلی، مکانیسم انتقال سریع آب از عرض غشاهای زیستی است. گزینه سوم با ذکر دقیق واژه «کانال» و اختصاص آن به «انتقال آب»، ماهیت ساختاری و عملکردی آکوپورین‌ها را به درستی، بدون نقص و کاملاً علمی توصیف می‌کند.

پاسخ تشریحی:

غشاهای سلولی گیاهی به دلیل ماهیت لیپیدی (فسفولیپید دولایه)، ذاتاً سد محکمی در برابر عبور مولکول‌های قطبی مانند آب هستند. اگرچه مقداری آب می‌تواند از طریق انتشار ساده (Simple diffusion) از لابلای زنجیره‌های هیدروکربنی غشا عبور کند، اما این سرعت برای تأمین نیازهای اسمزی سلول گیاهی به هیچ وجه کافی نیست. در اینجا آکوپورین‌ها (Aquaporins) یا AQPها وارد عمل می‌شوند.

آکوپورین‌ها، پروتئین‌های انتگرال (سرتاسری) غشایی هستند که به شکل تترامر (چهار واحدی) در غشای پلاسمایی (PIPs) و غشای واکوئلی یا تونوپلاست (TIPs) مستقر می‌شوند. درون هر یک از این زیرواحدها، یک مجرای بسیار باریک با آرایش اسیدآمینینه خاص (به‌ویژه موتیف NPA) وجود دارد. این ساختار مهندسی‌شده، منحصراً اجازه عبور مولکول‌های آب (و در برخی انواع، مولکول‌های خنثی کوچک مانند گلیسرول یا اوره) را می‌دهد، اما به شدت از عبور یون‌ها (پروتون‌ها، کاتیون‌ها و آنیون‌ها) ممانعت می‌کند تا پتانسیل الکتروشیمیایی غشا دچار فروپاشی نشود.

انتقال آب از طریق آکوپورین‌ها یک فرآیند کاملاً غیرفعال (Passive) است و نیروی محرکه آن صرفاً اختلاف پتانسیل آب ($\Delta\Psi_w$) در دو سوی غشا است:

$$J_v = L_p \Delta\Psi_w$$

در این معادله، جریان حجم آب (J_v) مستقیماً به هدایت هیدرولیکی غشا (L_p) که توسط آکوپورین‌ها تنظیم می‌شود، و شیب پتانسیل آب بستگی دارد.

ارتباط‌سنجی فرایندهای پیش و پس از برداشت فعالیت آکوپورین‌ها حلقه اتصال مدیریت آب در مزرعه و رفتار میوه در سردخانه است. در پیش از برداشت، این کانال‌ها با تنظیم دقیق حجم واکوئلی، باز و بسته شدن روزنه‌ها را کنترل کرده و گیاه را در برابر تنش‌های محیطی سازگار می‌کنند. در دوره پس از برداشت (انبارداری)، غیرفعال شدن یا کاهش بیان آکوپورین‌های تونوپلاستی (TIPs) در سلول‌های میوه، مانع از خروج سریع آب از واکوئل به سیتوزول و سپس به فضای بین‌سلولی می‌شود. حفظ آب در واکوئل، معادل حفظ تورژسانس (آماس)، شادابی و تردی محصول (مانند سیب و کرفس) در طول دوره انبارداری طولانی مدت است.

بررسی سایر گزینه‌ها:

گزینه ۱: آکوپورین‌ها به هیچ عنوان ناقل کاتیون‌ها و آنیون‌ها نیستند. عبور یون‌ها از طریق این پروتئین‌ها کاملاً مسدود است (توسط فیلترهای آرژنین-هیستیدین)؛ در غیر این صورت، شیب پروتون و پتانسیل غشا فوراً تخلیه می‌شود. **بررسی گزینه ۲:** استفاده از واژه «حامل» (Carrier) از نظر بیوفیزیکی غلط است. حامل‌ها پروتئین‌هایی هستند که برای انتقال ماده، تغییر شکل فضایی (Conformational change) می‌دهند که فرآیندی کند است. آکوپورین‌ها «کانال» هستند (مسیرهایی باز که آب با سرعت میلیون‌ها مولکول در ثانیه از آن عبور می‌کند). علاوه بر این، آکوپورین‌ها «املاح» باردار را منتقل نمی‌کنند. **بررسی گزینه ۴:** استفاده از واژه «پمپ» کاملاً اشتباه است. پمپ‌ها نیازمند مصرف انرژی (هیدرولیز ATP) برای انتقال فعال مواد برخلاف شیب غلظت هستند. در هیچ سیستم بیولوژیکی در کره زمین، پمپی برای انتقال فعال آب وجود ندارد؛ آب همیشه به صورت غیرفعال و در امتداد شیب پتانسیل خود حرکت می‌کند.



چشم انداز کاربردی، صنعتی و فناوری های نوین

امروزه در برنامه های اصلاح نوین و مهندسی ژنتیک گیاهان باغبانی، دستکاری ژن های خانواده آکوپورین (مانند ژن های خانواده PIP) یکی از استراتژی های اصلی برای تولید ارقام مقاوم به خشکی و شوری است. همچنین در صنعت پس از برداشت، استفاده از برخی تیمارهای شیمیایی نوین (مانند پلی آمین ها یا مشتقات اکسید نیتریک) با اثرگذاری بر وضعیت فسفوریلاسیون آکوپورین ها، باعث بسته شدن این کانال ها در سطح اپیدرم میوه شده و نرخ کاهش وزن (Weight loss) و چروکیدگی را در سردخانه به حداقل می رساند.

بومی سازی و مطالعات موردی

در باغات پسته و زیتون در مناطق خشک و نیمه خشک ایران، درختان در اواسط تابستان با تنش شدید پسابیدگی مواجه می شوند. یکی از مکانیسم های شگفت انگیز این گیاهان بومی، کاهش سریع هدایت هیدرولیکی ریشه است. گیاه با دفسفوریل کردن آکوپورین های ریشه، این کانال ها را می بندد تا از خروج و نشت آب از ریشه (که پتانسیل آب بالاتری دارد) به خاک خشک (که پتانسیل آب به شدت منفی دارد) جلوگیری کند و بدین ترتیب، آب با ارزش در درون بافت گیاه حفظ شود.

راه حل تستی

در سؤالات مربوط به انتقال آب، دو قانون طلایی را هرگز فراموش نکنید: قانون اول: سلول گیاهی هرگز برای جابجایی آب «انرژی (ATP)» خرج نمی کند؛ پس واژه «پمپ» برای آب همیشه غلط است (رد گزینه ۴). قانون دوم: آب از لوله هایی با سرعت سرسام آور عبور می کند، نه از طریق ماشین هایی که بار می زنند و خالی می کنند؛ پس واژه «حامل» غلط و واژه «کانال» درست است (رد گزینه ۲). همین دو قانون ساده، بدون نیاز به دانستن جزئیات دیگر، شما را مستقیماً به گزینه ۳ می رساند.

گزینه ۱) .۹

پاسخ تشریحی:

تغرق در برگ از دو مرحله اصلی تشکیل شده است: ابتدا تبخیر آب از دیواره سلول های مزوفیل به فضاهای بین سلولی، و سپس خروج این بخار آب از طریق روزنه ها به هوای بیرون. در فضاهای بین سلولی برگ، هوا تقریباً از بخار آب اشباع است (رطوبت نسبی نزدیک به ۱۰۰ درصد). در مقابل، هوای بیرون برگ معمولاً خشک تر است.

حرکت مولکول های گاز از محیطی با تراکم بالا به محیطی با تراکم پایین، «انتشار» (Diffusion) نامیده می شود که از قانون فیک (Fick's Law) پیروی می کند. در اینجا، نیروی پیش برنده این انتشار، «اختلاف فشار بخار» یا VPD (Vapor Pressure Deficit) بین داخل برگ و هوای مجاور آن است. رابطه فیزیکی تغرق برگ به شکل زیر توصیف می شود:

$$E = \frac{e_{leaf} - e_{air}}{r_s + r_b}$$

در این معادله، E نمایانگر شدت تغرق، e_{leaf} فشار بخار درون برگ، e_{air} فشار بخار هوای محیط، r_s مقاومت روزنه ای و r_b مقاومت لایه مرزی است. صورت این کسر ($e_{leaf} - e_{air}$) دقیقاً همان اختلاف فشار بخار برگ به هواست که عامل محرک (Driving force) تغرق محسوب می شود. مقاومتی که روزنه و لایه مرزی ایجاد می کنند (مخرج کسر)، سرعت این جریان را کند می کنند، اما به هیچ وجه «عامل محرک» آن نیستند.

ارتباطسنجی فرایندهای پیش و پس از برداشت مفهوم VPD تنها به مزرعه محدود نمی شود، بلکه پادشاه بلامنازع سردخانه هاست. در دوران پس از برداشت، محصولات باغبانی از طریق همین مکانیسم (انتشار بخار آب از طریق روزنه ها، عدسک ها و کوتیکول) آب خود را از دست می دهند. در یک سردخانه، اگر اختلاف فشار بخار بین بافت میوه و هوای سردخانه بالا باشد، پدیده از دست دادن وزن (Weight loss) و چروکیدگی با سرعت زیادی رخ می دهد. به همین دلیل، تنظیم رطوبت نسبی انبار روی اعداد بالا (۸۵ تا ۹۵ درصد) دقیقاً با هدف به حداقل رساندن اختلاف فشار بخار و توقف انتشار بخار آب انجام می گیرد.

بررسی سایر گزینه ها:

گزینه ۲: انتقال فعال فرآیندی بیولوژیکی است که برای جابجایی مواد برخلاف شیب غلظت نیازمند مصرف انرژی (ATP) است. حرکت بخار آب در هوا یک پدیده کاملاً فیزیکی و غیرفعال است. علاوه بر این، مقاومت ها (همان طور که از نامشان پیداست) موانع حرکت هستند، نه عامل محرک و پیش برنده. بررسی گزینه ۳: «اسمز» مختص حرکت آب در حالت «مایع» از طریق یک «غشای



نیمه‌تراوا» است. خروج آب از روزنه در فاز «گازی» (بخار) و در یک فضای باز رخ می‌دهد، بنابراین استفاده از واژه اسمز در اینجا از نظر علمی کاملاً مردود است. **بررسی گزینه ۴:** جریان توده‌ای (Bulk flow) ناشی از اختلاف «فشار هیدرواستاتیک» است (مانند حرکت آب در آوند چوبی یا شیره در آوند آبکش) که در آن همه مولکول‌ها با هم به صورت توده‌ای حرکت می‌کنند. اما حرکت بخار آب در هوا مبتنی بر شیب غلظت یا اختلاف فشار بخار جزئی آن گاز خاص است که انتشار نام دارد.

چشم‌انداز کاربردی، صنعتی و فناوری‌های نوین

در گلخانه‌های فوق‌پیشرفته، سیستم‌های اقلیم‌سنج هوشمند (Smart Climate Controllers) دیگر بر اساس دما یا رطوبت نسبی منفرد تصمیم‌گیری نمی‌کنند، بلکه سنسورها به طور لحظه‌ای عدد VPD را محاسبه می‌کنند. اگر VPD بسیار پایین باشد (هوای به شدت شرجی)، تعرق متوقف شده و جذب کلسیم مختل می‌گردد (عامل سوختگی گلگاه). اگر VPD بسیار بالا باشد، گیاه دچار تنش خشکی می‌شود. فناوری‌های نوین مه‌پاش (Fogging) با تزریق ذرات میکرونی آب، عدد VPD را روی نقطه بهینه (معمولاً ۸/۰ تا ۲/۱ کیلوپاسکال) قفل می‌کنند تا روزنه‌ها حداکثر تبادل گازی را بدون خطر پژمردگی داشته باشند.

بومی‌سازی و مطالعات موردی

در اقلیم‌های خشک و کویری ایران نظیر استان‌های یزد و کرمان، در ظهرهای تابستان، هوای محیط به شدت گرم و خشک است، در حالی که درون برگ رطوبت بالاست. این یعنی اختلاف فشار بخار (VPD) به وحشتناک‌ترین حالت ممکن می‌رسد. درختان پسته در این شرایط، به دلیل شدت بالای نیروی محرکه انتشار بخار آب، روزنه‌های خود را کاملاً می‌بندند (Midday closure) تا از تخلیه کامل آب بافت‌ها و خشکیدگی سرشاخه‌ها جلوگیری کنند.

راه حل تستی

برای تفکیک مکانیسم‌های حرکت آب در گیاه، این میان‌بر تستی را به خاطر بسپارید:

- اگر آب مایع از یک غشا رد شد = اسمز (رد گزینه ۳)
 - اگر آب مایع در یک لوله (آوند) به دلیل فشار حرکت کرد = جریان توده‌ای (رد گزینه ۴)
 - اگر آب به صورت گاز (بخار) در هوا پخش شد = انتشار
- همچنین «مقاومت» همیشه ترمز ماشین است، نه موتور محرک ماشین. موتور محرک خروج بخار آب، همان اختلاف غلظت (اختلاف فشار بخار) بین داخل و خارج است. با این دو قانون، بدون هیچ تردیدی به گزینه ۱ می‌رسید.

۱۰. گزینه ۴

۱۱. گزینه ۲

موضوع سوال: موضوع این پرسش، تشخیص و تفکیک عارضه‌های فیزیولوژیک ناشی از کمبود عناصر غذایی کم‌تحرك در گیاهان باغبانی است. طراح سؤال به دنبال شناسایی نابسامانی‌ای است که برخلاف سه گزینه دیگر، ریشه در کمبود کلسیم ندارد. گزینه دوم به درستی انتخاب شده است، زیرا «چوب‌پنبه‌ای شدن درونی» (Internal corking) در سیب، نشانه بارز و کلاسیک کمبود عنصر بور (Boron) است، نه کلسیم.

پاسخ تشریحی:

برای درک این عارضه‌ها، باید به ویژگی بنیادین کلسیم در گیاه توجه کرد: کلسیم در آوند آبکش (فلوئم) کاملاً غیرمتحرک است و منحصراً از طریق آوند چوبی (زایلیم) و به همراه جریان تعرق حرکت می‌کند. این عنصر نقش ساختاری حیاتی در اتصال زنجیره‌های پکتینی (تشکیل پکتات کلسیم) در تیغه میانی دیواره سلولی دارد. اندام‌هایی که تعرق پایینی دارند یا به سرعت در حال رشد هستند (مانند نوک برگ‌های جوان کاهو، قلب درونی کرفس و انتهای میوه گوجه‌فرنگی)، کلسیم کافی دریافت نمی‌کنند. کمبود کلسیم باعث فروپاشی دیواره سلولی، نشت محتویات سلول و در نهایت مرگ بافت (نکروز) می‌شود که به شکل لکه‌های سیاه و پوسیده ظاهر می‌گردد.

ضمیمه جامع تخصصی، کاربردی و محاسباتی آزمون‌های دکترای علوم و مهندسی باغبانی

۱. هندبوک جامع روابط ریاضی، پارامترهای بیوفیزیکی و فرمول‌های محاسباتی

عنوان فرمول / مفهوم	رابطه ریاضی / فرمول محاسباتی	تعریف متغیرها و یکایها	کاربرد بالینی و نکته تستی آزمون دکتری
پتانسیل آب سلول گیاهی	$\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p$	Ψ_w پتانسیل آب، اسمزی (همواره منفی)، Ψ_p فشاری/تورژسانس (مثبت یا صفر)	در سلول در حالت تعادل آبی (Flaccid) فشار تورژسانس صفر ($\Psi_p = 0$) و $\Psi_w = \Psi_s$ است؛ در محلول هایپوتونیک آب جذب شده و سلول به تورژسانس می‌رسد.
ضریب تنفسی (RQ)	$RQ = \frac{\text{Volume of } CO_2 \text{ evolved}}{\text{Volume of } O_2 \text{ consumed}}$	حجم CO_2 تولید و آزادشده تقسیم بر حجم O_2 مصرف‌شده در تنفس سلولی	در سوختن چربی‌ها برابر ۰٫۷، در قندها برابر ۱ و در اسیدهای آلی > 1 است؛ در سردخانه‌های اتمسفر کنترل‌شده پویا (DCA-RQ) جهش آن نشانه آغاز تخمیر بی‌هوازی است.
معادله اصلاح‌گر (پیشرفت ژنتیکی)	$R = h^2 \times S$	R پاسخ به انتخاب/پیشرفت ژنتیکی، h^2 وراثت‌پذیری صفت، $S = \mu_s - \mu_i$ دیفرانسیل انتخاب	پیش‌بینی میانگین نتاج نسل بعد ($\mu_1 = \mu_i + R$)؛ اگر میانگین اولیه ۴۰، انتخاب ۶۰ و وراثت‌پذیری ۰٫۵ باشد، میانگین نتاج ۵۰ گرم خواهد شد.
وراثت‌پذیری عمومی (H^2)	$H^2 = \frac{V_G}{V_D} = \frac{V_G}{V_G + V_E}$	V_G واریانس ژنوتیپی، V_E واریانس محیطی، V_D واریانس کل فنوتیپی	اگر واریانس محیطی ۴۵ درصد سهم فنوتیپ باشد ($V_E/V_D = 0.45$)، وراثت‌پذیری عمومی دقیقاً برابر با ۵۵ درصد (۰٫۵۵) است.



عنوان فرمول / مفهوم	رابطه ریاضی / فرمول محاسباتی	تعریف متغیرها و یکایها	کاربرد بالینی و نکته تستی آزمون دکتری
نسبت تزریق در کودآبیاری	$\text{Ratio} = \frac{V_{\text{stock}}}{V_{\text{irrigation}}}$	حجم محلول کودی غلیظ پایه تقسیم بر حجم کل آب آبیاری عبوری در لوله‌ها	تزریق ۴۰۰ لیتر محلول غلیظ در ۲۰,۰۰۰ لیتر آب معادل نسبت ۱:۵۰ است که مانع از رسوب املاح در تانک مادری می‌شود.
معادله بیلان آب در لایسیمتر	$ET_c = P + I - D \pm \Delta S$	ET_c تبخیر-تعرق، P بارندگی، I آبیاری، D زهاب خروجی، ΔS تغییر رطوبت ذخیره خاک	دقیق‌ترین روش وزنی در مدیریت باغات برای سنجش تلفات تبخیر و تعرق و تعیین نیاز آبی درختان میوه.
کسر کمبود اشباع آب بافت	$\frac{TW - FW}{TW - DW} \times 100$	TW وزن آماسیده (تورژسانس)، FW وزن تر، DW خشک بافت گیاه	شاخص سنجش شدت تنش خشکی در بافت و مکمل محتوای نسبی آب (RWC).

۲. ماتریس مقایسه‌ای عناصر غذایی، نشانگرهای بیوشیمیایی و عوارض تشخیصی

عنصر معدنی	تحرک در آوند آبکش	متالوآنزیم / نقش کلیدی بیوشیمیایی	نشانگر بیوشیمیایی / علامت اولیه کمبود	عارضه فیزیولوژیک شاخص در باغبانی
کلسیم (Ca)	کاملاً غیرمتحرک (انتقال با جریان تعرق زایلیم)	ساختار پکتات کلسیم تیغه میانی و پیام‌رسانی با کالمودولین	نکروز، سوختگی و فنجانی شدن در بافت‌های جوان و رشد جدید	پوسیدگی گلگاه گوجه‌فرنگی، لکه تلخ سیب، نوک‌سوختگی کاهو، قلب سیاه کرفس
بور (B)	غیرمتحرک	پیوند عرضی در شبکه رامونوگالاکتورونان II و متابولیسم فنل‌ها	مرگ مریستم انتهایی، شکندگی دم‌برگ و اختلال در لوله‌گرده	چوب‌پنبه‌ای شدن درونی (Internal corking) سیب، توخالی و قهوه‌ای شدن ساقه گل کلم

عنصر معدنی	تحرک در آوند آبکش	متالوآنزیم / نقش کلیدی بیوشیمیایی	نشانه‌گر بیوشیمیایی / علامت اولیه کمبود	عارضه فیزیولوژیک شاخص در باغبانی
پتاسیم (<i>K</i>)	بسیار متحرک	فعال‌سازی بیش از ۶۰ آنزیم، تنظیم اسمزی روزنه و سنتز لیکوپن	سوختگی و نکروز حاشیه برگ‌های پیر و مسن	عارضه دیواره خاکستری، لکه پشت‌سبز و سفیدی بافت داخلی در میوه گوجه‌فرنگی
نیتروژن (<i>N</i>)	بسیار متحرک	اسکلت اسیدهای آمینه، پروتئین‌ها، پورفیرین و کوآنزیم‌ها	زردی عمومی و کلروز یکنواخت در برگ‌های مسن و پایینی	بیش‌بود: کاهش ضخامت واکس و ماندگاری سردخانه‌ای، بافت پفکی، عارضه دوباره سبز شدن مرکبات (Regreening)
منیزیم (<i>Mg</i>)	بسیار متحرک	اتم مرکزی حلقه تراپیروکلروفیل و پایداری زیرواحدهای ریبوزوم	کلروز بین‌رگبری در برگ‌های پیر (طرح استخوان ماهی)	افت راندمان فتوسنتز، ریزش زود هنگام برگ‌های مسن در صورت آنتاگونیسم با پتاسیم
مس (<i>Cu</i>)	کم‌تحرک	مرکز فعال پلاستوسیانین فتوسنتزی و سیتوکروم اکسیداز	افت شدید فعالیت آنزیم آسکوربیک اسید اکسیداز (AAO)	عارضه اگزانتما و مرگ و زوال سرشاخه (Dieback) در درختان میوه و مرکبات
روی (<i>Zn</i>)	کم‌تحرک	بیوسنتز اسید آمینه تریپتوفان (پیش‌ساز اصلی IAA)	سنجش افت فعالیت آنزیم کربنیک آنهیدراز (CA)	نابسامانی ریزبریگی (Little leaf) و جارویی شدن در انتهای شاخه‌های درخت سیب
منگنز (<i>Mn</i>)	غیرمتحرک	کلاستر ۴ اتمی در کمپلکس تجزیه‌کننده آب (OEC) فتوسیستم II	کلروز نقطه‌ای برگ‌های جوان و بروز بازدارندگی نوری	توقف تولید الکترون و فتولیز آب در فتوسنتز، عارضه مارش اسپات
سدیم (<i>Na</i>)	متحرک در واکوئل	فعال‌سازی پیرووات پی‌دی‌کیناز در ۴C و عامل اسمزی واکوئلی	عنصر سودمند (Beneficial) محرک رشد در برخی گونه‌ها و	در شرایط شوری: تجمع بیش از حد سبب سمیت یونی، نکروز برگ و رقابت با پتاسیم



عنصر معدنی	تحرک در آوند آبکش	متالوآنزیم / نقش کلیدی بیوشیمیایی	نشانه‌گر بیوشیمیایی / علامت اولیه کمبود	عارضه فیزیولوژیک شاخص در باغبانی
			هالوفیت‌ها	می‌شود

۳. ماتریس تنظیم‌کننده‌های رشد، گیرنده‌ها و برهم‌کنش‌های هورمونی (Crosstalk)

هورمون گیاهی	پیش‌ساز اصلی / مسیر بیوسنتز	فرم فعال فیزیولوژیک	فرم اصلی انتقالی در گیاه	گیرنده سلولی و آبخار پیام‌رسانی	کاربرد کلیدی در مدیریت باغ و پیس از برداشت
اکسین	تریپتوفان (عمدتاً) یا ایندول گلیسرول فسفات	ایندول-۳-استیک اسید (IAA) و فرم بسیار فعال طبیعی ۴- CI-IAA	انتقال قطبی سلول به سلول وابسته به پمپ پروتون و حامل‌های غشایی PIN	گیرنده درون‌سلولی AFB1/TIR؛ حذف و تخریب پروتئین‌های بازدارنده Aux/IAA	ریشه‌زایی قلمه‌ها (IBA/NAA)، ممانعت از ریزش میوه، تمایز آوند چوبی و انتقال کلسیم به میوه
جیبرلین	ژرانیل ژرانیل دی‌فسفات (GGPP) از مسیری ایزوپرنوئید	اسیدهای دی‌ترپنی ۲۰کربنه با اسکلت انت‌گیرلان (GA_1) و (GA_3)	جریان غیرقطبی از طریق آوندهای چوبی و آبکشی در سراسر گیاه	اتصال به گیرنده GID1 و تخریب پروتئین بازدارنده DELLA در پروتئازوم ۲۶S	فعال‌سازی آلفا-آمیلاز در لایه آلورون بذر، طولی شدن حبه انگور، القای گل‌های نر در خیار
سایتوکینین	DMAPP ترپنوئیدی + نوکلئوتید آدنین (آنیزم IPT)	ترانس‌زاتین (tZ) باز آزاد و ایزوپنتیل‌آدنین	ترانس‌زاتین ریبوزایید (tZR) از ریشه به شاخساره از طریق جریان زایلیم	گیرنده‌های غشایی هیستیدین کیناز AHK1/CRE؛ آبخار فسفوانتقال	افزایش تقسیم سلولی میوه (CPPU)، تأخیر در پیری برگ و کلروفیل، شکستن چیرگی انتهایی



هورمون گیاهی	پیش‌ساز اصلی / مسیر بیوسنتز	فرم فعال فیزیولوژیک	فرم اصلی انتقالی در گیاه	گیرنده سلولی و آبخار پیام‌رسانی	کاربرد کلیدی در مدیریت باغ و پسس از برداشت
آبسزیک اسید	شکستن کاروتنوئیدهای ۴۰ کربنه پلاستیدی (۹- ^۱ سس- ^۱ نئوگزانتین)	فرم آزاد (+)- cis-ABA	جریان آزاد در آپوپلاست و زایلیم؛ فرم موقت غیرفعال ABA- گلوکوزیل استر	گیرنده‌های سیتوزولی PYR/PYL/RCAR؛ مهار C ₂ PP و فعال‌سازی ۲SnRK	القای خواب بذر و جوانه، بستن روزنه‌ها در تنش خشکی؛ غیرفعال‌سازی با اکسیداسیون به فازئیک اسید (PA)
اتیلن	متیونین → SAM → ACC (چرخه یانگ)	گاز اتیلن (C ₂ H ₄)	ACC (حلقوی و محلول در آب) برای مسیره‌های بلند آوندی از ریشه به اندام هوایی	گیرنده‌های غشایی شبکه اندوپلاسمی ۱/ERS\ETR در حضور کوفاکتور مس	القای رسیدگی و ریزش، پاسخ به تنش مکانیکی و غرقاب (اپیناستی)؛ مهار با MCP-۱ و یون نقره

۴. راهنمای تطبیقی نشانگرهای مولکولی و روش‌های به‌نژادی در باغبانی

شاخص مقایسه‌ای	RFLP ۱PDF+	RAPD ۱PDF+	SSR (ریزماهوره) ۱PDF+	SNP (تک‌نوکلئوتیدی) ۱PDF+	دابل‌هاپلوئیدی ۱PDF+ (DH)
نسل و مبنای تکنیکی	نسل اول؛ مبتنی بر هیبریداسیون ساترن بلات با پروپ	نسل دوم اولیه؛ PCR با پرایمرهای تصادفی ده‌بازی	نسل دوم پیش‌رفته؛ PCR با پرایمرهای اختصاصی لوکوس	نسل سوم نوین؛ مبتنی بر فناوری‌های توالی‌یابی (NGS)	بیوتکنولوژی کشت میکروسپور/بساک و دوبرابر کردن کروموزوم با کلشی‌سین

شاخص مقایسه‌ای	RFLP ۱PDF+	RAPD ۱PDF+	SSR (ریزماهواره) ۱PDF+	SNP (تک‌نوکلئوتیدی) ۱PDF+	دابل‌هاپلوئیدی (DH) ۱PDF+
الگوی توارث آلی	هم‌غالب (تفکیک آسان هتروزیگوت از هموزیگوت)	غالب (عدم امکان تمایز هتروزیگوت‌ها)	هم‌غالب (چندشکلی بالا بر اساس طول قطعه تکراری)	هم‌غالب (شناسایی جهش‌های تک‌بازی ژنوم)	هموزیگوت مطلق (تولید نتاج ۱۰۰٪ خالص در تمام لوکوس‌ها)
تکرارپذیری آزمایشگاهی	بسیار بالا اما پرهزینه و نیازمند DNA فراوان	پایین و به شدت حساس به تغییرات دمایی واکنش	بسیار بالا و سازگار با سیستم‌های الکتروفورز مویین	فوق‌العاده بالا، دیجیتال و کاملاً اتوماتیک	خلوص ژنتیکی کامل و غیرقابل تفکیک در نسل‌های بعد
نقش در نقشه‌برداری ژنتیکی	لنگرگاه کلاسیک کروموزومی (Anchor)	پرکننده ارزان و سریع فواصل ژنتیکی (Filler)	لنگرگاه اصلی، پایدار و استاندارد در درختان میوه	لنگرگاه و پرکننده همزمان در نقشه‌برداری GWAS	ایجاد جمعیت‌های نقشه‌برداری دائمی و نامیرا
کاربرد عمده در باغبانی	شناسایی ارقام و بررسی روابط فیلوژنتیکی	غربالگری اولیه تنوع ژنتیکی ژرم‌پلاسماها	تعیین هویت کلون‌ها و انگشت‌نگاری ارقام	انتخاب به کمک نشانه‌گر (MAS) و پیش‌بینی ژنومی	سرعت‌بخشی به تولید والدین خالص بذور هیبرید F_1 فلفل، خیار و کلم

۵. ماتریس رفتارشناسی فیزیولوژی پس از برداشت و انبارداری محصولات باغبانی

گروه فیزیولوژیک محصول	رفتار تنفسی / کلیماکتریک	آستانه دمایی بهینه انبار	آسیب فیزیولوژیک در دمای اشتباه	ترکیبات بیوشیمیایی و شاخص‌های فرار
محصولات مقاوم به سرما (سیب، گلابی، گیلاس، آلو)	دارای جهش تنفسی (کلیماکتریک، به جز گیلاس)	صفر تا ۴ درجه سلسیوس (نزدیک به نقطه انجماد)	دمای بالاتر از ۵ درجه: تسریع تنفس، افت اسیدهای آلی، آردی شدن بافت و زوال پکتین	اسید غالب مالیک، قند غالب فروکتوز؛ حساسیت به نابسامانی لکه تلخ و اسکالد سطحی



ترکیبات بیوشیمیایی و شاخص‌های فرار	آسیب فیزیولوژیک در دمای اشتباه	آستانه دمایی بهینه انبار	رفتار تنفسی / کلیماکتریک	گروه فیزیولوژیک محصول
خیار: آلدئید ۲، ۶- نونادینال؛ مرکبات: ترین‌ها (دی-لیمونن)؛ گوجه‌فرنگی: رنگیزه لیکوپن	دمای زیر ۷ درجه: سرمازدگی، تغییر فاز لیپیدهای غشا از مایع به ژل، آب‌گزیدگی و لکه‌های تیره	۸ تا ۱۳ درجه سلسیوس (بالتر از دمای بحرانی)	موز و گوجه‌فرنگی کلیماکتریک؛ خیار و مرکبات نافرازگرا	محصولات حساس به سرما (موز، خیار، گوجه‌فرنگی، مرکبات)
مهار خواب غده‌های سیب‌زمینی با مالئیک‌هیدرازید (MH) و CIPC پیش یا حین انبارداری	دمای پایین در سیب‌زمینی: شیرین شدن ناشی از سرما؛ دمای بالا در سبزی: افت تورژسانس و زردی	صفر تا ۴ درجه (کاهو/کرفس)؛ ۷ تا ۱۰ درجه (سیب‌زمینی)	نافرازگرا با شدت تعرق بالا (کاهو) یا اندام‌های خفته زیرزمینی	سبزیجات برگ‌ری و ریشه‌ای (کاهو، کرفس، کلم، سیب‌زمینی)
تیمار پالسی‌نگ پیش از انبارداری با سوکروز و تیوسولفات نقره (STS) جهت بلوکه کردن گیرنده‌های اتیلن	آلودگی باکتریایی آوندها، پدیده آمبولی و حباب هوا، سقط غنچه‌ها در نور کم و دمای بالا	۱ تا ۳ درجه سلسیوس در محلول‌های حاوی باکتری‌کش	حساسیت بسیار بالا به اتیلن بیرونی (به‌ویژه در میخک)	گل‌های شاخه‌بریده (رز، میخک، لیلیوم، داوودی)

ضمیمه ۱: ماتریس جامع برهم کنش های هورمونی (Hormonal Crosstalk) و شبکه های بیوشیمیایی حاکم بر نمو گیاهان باغبانی

در سیستم های گیاهی، فرایندهای نمو توسط یک هورمون منفرد اداره نمی شوند، بلکه برآیند توازن یا تقابل هورمونی سرنوشت بافت ها را رقم می زند. در تمایز جنسی کدوئیان، جیبرلین در شرایط روز بلند و دمای بالا بیان ژن های سازنده اتیلن (خانواده ACS) را سرکوب کرده و پرچم زایی (گل های نر) را ارتقا می دهد، در حالی که اتیلن در روزهای کوتاه با مهار رشد پرچم، مادگی را تحریک می کند. در کنترل چیرگی انتهایی، اکسین انتقالی از مریستم راسی با تحریک ژن های بیوسنتز استریگولاکتون ها و مهار ژن های ساخت سایتوکینین (IPT)، جوانه جانبی را در خواب نگه می دارد، اما ورود سایتوکینین زایلمی (tZR) اثر بازدارنده اکسین را می شکند. در برهم کنش اتیلن و پلی آمین ها، هر دو مسیر برای تصاحب پیش ساز مشترک S-آدنوزیل متیونین (SAM) رقابت بیوشیمیایی دارند؛ فعال شدن مسیر اسپرمیدین و پوترسین باعث تخلیه ذخایر SAM و سرکوب تولید اتیلن و در نتیجه حفظ سفتی دیواره سلولی می گردد. در تعامل اکسین و جیبرلین، هورمون اکسین از طریق القای بیان ژن های GA_1 -oxidase و GA_3 -oxidase سبب تسریع ساخت جیبرلین های فعال فیزیولوژیک (GA_1 و GA_4) و همزمان مهار آنزیم کاتابولیکی GA_2 -oxidase می شود. در تنظیم خواب و جوانه زنی بذر، تعادل آنتاگونیستی بین ABA و GA حاکم است؛ اسید آسبیزیک با پایداری پروتئین های DELLA و القای پروتئین های LEA خواب را حفظ می کند، در حالی که جیبرلین با اتصال به گیرنده GID_1 پروتئین های DELLA را به سوی تخریب پروتئازومی $S26$ رانده و سنتز آنزیم های هیدرولیتیک نشاسته نظیر آلفا-آمیلاز در لایه آلورون را تحریک می نماید. در هنگام تنش غرقابی ریشه، فقدان اکسیژن واکنش نهایی تبدیل ACC به اتیلن توسط آنزیم ACC اکسیداز را متوقف کرده و ACC از طریق آوند چوبی به شاخساره منتقل می شود؛ در برگ، این پیش ساز بلافاصله به اتیلن تبدیل شده و با دستکاری انتقال قطبی اکسین در دمبرگ، عارضه روخمش (اپیناستی) را ایجاد می کند.

ضمیمه ۲: اطلس جامع شاخص ها، نشانگرها و فناوری های سنجش غیر تخریبی کیفیت پس از برداشت (Non-Destructive Postharvest Quality Assessment)

تکنولوژی های پس از برداشت به سرعت از آزمون های تخریبی (نظیر رفاکتومتر و پنترومتر بافتی) به سمت فناوری های اپتیکی و طیف سنجی غیرتهاجمی حرکت کرده اند:

- **طیف سنجی مادون قرمز نزدیک (NIR Spectroscopy):** بر مبنای جذب طول موج های 780 تا 2500 نانومتر توسط پیوندهای شیمیایی C-H، O-H و C-O؛ این روش غیرمخرب با ارسال نور و اندازه گیری ضربه بازتاب یا عبور، میزان مواد جامد محلول (TSS بر حسب بریکس)، قندهای کل و اسیدیته درونی میوه ها را در خطوط سورتینگ سرعت بالا بدون برش بافت تخمین می زند.
- **تصویربرداری تشدید مغناطیسی (MRI):** متکی بر تغییر جهت اسپین هسته پروتون های آب آزاد و پیوسته در میدان مغناطیسی قوی؛ ابزاری بی نظیر برای پایش غیرمخرب توزیع آب، کشف عوارض درونی پنهان نظیر آبگزیدگی (Watercore)، چوب پنبه ای شدن داخلی، آردی شدن سیب و فساد هسته بدون آسیب به بافت میوه.
- **پرتونگاری و توموگرافی کامپیوتری با اشعه ایکس (X-ray CT Imaging):** ارزیابی دانسیته و چگالی بافت بر اساس میزان تضعیف اشعه عبوری؛ برای غربالگری توخالی شدن قلب غده های سیب زمینی، پوکی میوه ها، پوسیدگی های درونی قارچی و شناسایی حضور لارو آفات قرنطینه ای در محموله های صادراتی.
- **سینتیک فلورسانس کلروفیل (F_v/F_m):** اندازه گیری بازده کوانتومی فتوسنتز II با تاباندن پالس های نوری کنترل شده؛ کاسته شدن این نسبت از مقدار پایه 0.83 بهترین و سریع ترین شناسه غیرمخرب برای کشف زودهنگام تنش سرمازدگی (Chilling Injury) در سردخانه، سال ها پیش از ظهور لکه های قهوه ای روی پوست مرکبات، خیار و موز.

- سامانه بینی الکترونیکی (Electronic Nose / E-Nose): حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی (MOS) متصل به الگوریتم‌های هوش مصنوعی که آرایش ترکیبات فرار گازی (مانند استرها، ترپن‌ها و آلدئیدهای ۹ کربنه نظیر ۲، ۶-نونادینال) را تفکیک کرده و مرحله دقیق رسیدگی، بلوغ تجاری و شروع تخمیر بی‌هوازی در اتمسفر کنترل‌شده را هشدار می‌دهند.

ضمیمه ۳: جدول مرجع متابولیت‌های ثانویه، ترکیبات فیتوشیمیایی و بیوشیمی رنگ، عطر و طعم در باغبانی
این جدول اجزای بیوشیمیایی عصاره، رایحه و ارزش سلامتی بخش مهم‌ترین محصولات باغبانی را مستند می‌سازد:

محصول باغبانی	دسته متابولیت ثانویه	ماده شاخص بیوشیمیایی	مسیر متابولیکی سنتز	عملکرد کیفی و اهمیت در انبارداری
خیار و طالبی	آلدئیدهای ۹ کربنه فرار	۲، ۶-نونادینال (Cucumber aldehyde)	مسیر آنزیمی لیپوکسیژناز (LOX)	عامل رایحه تازه و خنک؛ تخریب در سرمازدگی
قارچ خوراکی	الکل‌های ۸ کربنه آلیفاتیک	۱-کتتن-۳-اول (Mushroom alcohol)	شکست اسیدهای چرب غشایی	رایحه ویژه قارچ تازه و خاک باران‌خورده
پرتقال و لیمو	منوترین‌های هیدروکربنی	دی-لیمونن (d-Limonene)	مسیر ترپنوئیدی MEP در پلاستید	بیش از ۹۰ درصد ترکیبات روغنی پوست مرکبات
گریپ‌فروت	سسکوئتریپن‌های کتون‌دار	نوتاکاتن (Nootkatone)	مسیر موالونات / ایزوپرنوئید	عامل طعم و بوی گس و تلخ اختصاصی میوه
سیر و پیاز	ترکیبات ارگانوسولفور گوگردی	آلیسین و پروپیل دی‌سولفید	هیدرولیز اسیدهای آمینو توسط آلیناز	تندی، اشک‌آوری و خواص آنتی‌باکتریال طبیعی
گوجه‌فرنگی و هندوانه	کاروتنوئیدهای خطی غیرحلقوی	لیکوپن (Lycopene)	تراکم ژرانیل ژرانیل دی‌فسفات	پیگمانتاسیون قرمز تند، آنتی‌اکسیدان قوی
زردآلو و هویج	کاروتن‌های دارای دو حلقه بتا	بتا-کاروتن (β-Carotene)	چرخه کاروتنوئید و فعالیت لایکوپنز	پیش‌ساز اصلی ویتامین A و رنگ نارنجی درخشان
پرتقال و نارنگی	گزانتوفیل‌های اکسیژن‌دار	بتا-کریپتوزانتین	هیدروکسیلاسیون حلقه بتا-کاروتن	رنگدانه زرد-نارنجی پوست و گوشت مرکبات
سیب قرمز و گیلاس	فلاونوئیدها / آنتوسیانین‌ها	سیانیدین-۳-گالاکتوزید	مسیر فنیل پروپانوئید و فلاونوئید	رنگ قرمز سرخابی، نیازمند نور و دمای خنک



محصول باغبانی	دسته متابولیت ثانویه	ماده شاخص بیوشیمیایی	مسیر متابولیسم سنتز	عملکرد کیفی و اهمیت در انبارداری
کلم‌ها و بروکلی	ترکیبات تیوسیانات و نیتروژنه	ایزوتیوسیانات و سولفورافان	هیپودرولیز گلوکوزینولات‌ها با میروزیناز	طعم گوگردی تند، ترکیبات ضدسرطان بافت

ضمیمه ۴: ماتریس سیستم‌های گرده‌افشانی، فیزیولوژی لقاح و پدیده‌های دگرگشتی در باغبانی
موفقیت در باغبانی میوه و تولید بذر، متکی بر درک ساختار لقاح و رفتارهای دگرگشتی است:

- **خودناسازگاری گامتوفیتی (GSI):** واکنش عدم سازگاری در بافت خامه متوقف می‌شود. ژنوتیپ هاپلوئید گرده تعیین‌کننده است؛ ژن حامل آلل *s-RNase* را در خامه ترشح کرده و در صورت مشابهت با آلل لوله گرده، RNA لوله تخریب و متوقف می‌گردد (شاخص در بادام، گیلاس، سیب، گلابی و گوجه‌فرنگی).
- **خودناسازگاری اسپوروفیتی (SSI):** واکنش عدم سازگاری در همان سطح کلاله متوقف می‌شود. فنوتیپ گرده را پروتئین‌های مشتق از بافت دیپلوئید تایتوم والد نر (*SCR/SP11*) روی دیواره گرده تعیین می‌کنند و گیرنده‌های *SRK* کلاله آن را مهار می‌کنند (شاخص در کلم‌ها، تربچه، کاهو و فندق).
- **پدیده دایکواگامی (Dichogamy):** عدم همزمانی در رسیدن اندام‌های نر و ماده برای تضمین دگرگشتی؛ شامل پروتاندروس (پیش‌رسی پرچم‌ها نظیر گردو) و پروتوجینوس (پیش‌رسی کلاله‌ها نظیر پکان و آووکادو).
- **پلی‌گامی (Polygamy):** حضور همزمان گل‌های نر، ماده و دوجنسی روی یک گیاه (مانند پاپایا، خرما و ارقام خاص انار و خیار) که نحوه گرده‌افشانی و نیاز به درخت گرده‌دهنده را تعیین می‌کند.
- **زنیا (Xenia) و متازنیا (Metaxenia):** زنیا اثر مستقیم ژنتیکی گرده والد پدری بر صفات رویان و آندوسپرم (مثل رنگ بذر ذرت شیرین) است؛ در حالی که متازنیا تأثیر مستقیم گرده والد نر بر بافت‌های کاملاً مادری میوه از قبیل پریکارپ، زمان رسیدگی، اندازه و شکل میوه است که به طور کلاسیک در نخل خرما (*Phoenix dactylifera*) به اثبات رسیده است.
- **پارتنوکاری فیزیولوژیک در برابر بکرزایی (Parthenogenesis):** در پارتنوکاری، میوه بدون بذر تشکیل می‌شود (تحریک تخمدان توسط اکسین و جیبرلین دیواره)؛ در حالی که در پارتنوژنز، جنین بذری بدون لقاح سلول تخم‌زا منحصراً از گامت ماده تولید شده که خود شاخه‌ای از آپومیکسی (*Apomixis*) به شمار می‌رود.

ضمیمه ۵: راهنمای کاربردی کنترل اقلیم و مدیریت فیزیولوژیک گلخانه‌های مدرن و کشتهای بدون خاک تنظیم شرایط محیطی گلخانه مستقیماً بر مبنای فیزیولوژی گیاهی هدایت می‌شود:

- **تنظیم کسری فشار بخار (VPD):** در گلخانه‌ها پایش مجزای دما یا رطوبت منسوخ است؛ عدد بهینه VPD باید در دامنه ۰.۸ تا ۱.۲ کیلوپاسکال حفظ گردد. اگر VPD به زیر ۰.۵ کیلوپاسکال بیفتد (هوای اشباع و شرجی)، تعرق متوقف شده و با قطع جریان آوند چوبی، انتقال عنصر بی‌حرک کلسیم به میوه مختل و عارضه پوسیدگی گلگاه گوجه‌فرنگی و سوختگی برگ کاهو رخ می‌دهد. اگر VPD از ۱.۵ کیلوپاسکال بالاتر رود، روزنه‌ها به سرعت بسته شده و تنش خشکی پنهان آغاز می‌شود.



- غنی‌سازی با دی‌اکسید کربن (CO_2 Enrichment): تزریق دی‌اکسید کربن تا سطح ۸۰۰ الی ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام در حضور نور کافی، نسبت تمایل جایگاه فعال روبیسکو را به نفع کربوکسیلاسیون تغییر داده و تنفس نوری پرهزینه (C_2) را در سبزیجات گلخانه‌ای (C_3) تا ۶۰ درصد سرکوب و عملکرد فتوسنتز خالص را تا ۳۰ درصد ارتقا می‌دهد.
 - تغذیه تفکیکی در مخازن کودی (A/B Tank Strategy): به منظور پیشگیری از واکنش‌های ترسیبی نامحلول شیمیایی، کودهای حاوی کلسیم (نترات کلسیم) منحصراً در تانک A حل می‌شوند و کودهای حاوی سولفات و فسفات (سولفات پتاسیم، مونوپتاسیم فسفات و سولفات منیزیم) در تانک B قرار می‌گیرند تا از تشکیل رسوب‌های مسدودکننده گچ ($CaSO_4$) و فسفات کلسیم جلوگیری گردد.
 - مدیریت دینامیک هدایت الکتریکی (EC) و اسیدیته (pH): دامنه بهینه pH در محلول غذایی هیدروپونیک بین ۵.۵ تا ۶.۵ است؛ در pH بالاتر از ۶.۵ حلالیت فسفر و عناصر میکرو (آهن، منگنز، روی) به دلیل ترسیب به شدت افت می‌کند. افزایش عمدی EC در اواخر نمو گوجه‌فرنگی با افزودن سولفات پتاسیم، با کاهش پتانسیل آب محیط ریشه سبب تغلیظ شیره میوه و بالا رفتن قند (TSS) و اسیدیته طعم می‌گردد.
- ضمیمه ۶: دانشنامه نشانگرهای مبتنی بر توالی‌یابی، ژنومیکس و ابزارهای ویرایش ژن در باغبانی مدرن توسعه روش‌های مولکولی در شناسایی ژن‌ها و به‌نژادی ارقام باغبانی ابعاد نوینی یافته است:
- نشانگرهای ریزماهوره (SSR) در برابر SNP: ریزماهوره‌ها نواحی تکراری دی‌ان‌ای (۱ تا ۶ جفت‌باز) هم‌غالب و متکی بر واکنش PCR هستند که ساختار اسکلتي نقشه‌های لینکاژی را پی‌ریزی می‌کنند؛ در حالی که پلی‌مورفیسم تک‌نوکلئوتیدی (SNP) ناشی از جهش تک‌بازها در ژنوم بوده و به کمک فناوری‌های نسل جدید توالی‌یابی (NGS) با تراکم میلیونی در سطح ژنوم برای گزینش به کمک نشانگر (MAS) و مطالعات پویش سرتاسری ژنوم (GWAS) استفاده می‌شود.
 - فناوری ژنوتیپینگ از طریق توالی‌یابی (GBS): متدی مدرن که در آن با استفاده از آنزیم‌های برشی حساس به متیلاسیون، نواحی فعال ژنومی غنی از ژن هضم شده و همزمان توالی‌یابی می‌گردند؛ این روش هزینه‌های گزینش ژنومی برای صفات کمی و چندژنی مانند عملکرد میوه را به شدت کاهش داده است.
 - خاموشی ژن القا شده توسط ویروس (VIGS): راهکاری کارآمد برای ژنومیکس عملکردی در درختان میوه و سبزیجات؛ با بارگذاری قطعه‌ای از ژن هدف در ژنوم ناقل ویروسی اصلاح‌شده (مانند ویروس جفجه تنباکو - TRV)، مکانیسم دفاعی تداخل RNA گیاه فعال شده و بدون تراریزش ژنتیکی پایدار، ژن درون‌زا موقتاً خاموش و عملکرد آن بررسی می‌شود.
 - سامانه ویرایش ژنوم کریسپر (CRISPR/Cas9): دقیق‌ترین تکنولوژی زیست‌مولکولی که با هدایت sgRNA به جایگاه ژن هدف، امکان جهش‌زایی هدایت‌شده را فراهم می‌آورد؛ این تکنیک در اصلاح باغبانی برای خاموش‌سازی ژن‌های کلیدی نرمی میوه (نظیر ژن پلی‌گالاکتورناز و پکتین متیل‌استراز)، القای نرعیمی پایدار، و ایجاد ارقام بدون بذر پارتنوکارپ بدون برجا ماندن ژن تراریخته به کار گرفته می‌شود.

ضمیمه ۷: چک‌لیست استراتژیک دام‌های تستی، گزینه‌های همراه‌کننده و کلمات کلیدی طراحان آزمون دکتری این راهنما به داوطلب آموزش می‌دهد چگونه عبارات انحرافی متداول را در کمترین زمان تفکیک و خنثی سازد:



دام تستی / عبارت گمراه‌کننده صورت سؤال	پاسخ انحرافی متداول (تله طراح)	پاسخ صحیح و علمی	نکته کلیدی تفکیک‌کننده و میان‌بر مفهومی
احیای $NADP^+$ به $NADPH$ در کجاست؟	فتوسیستم I	فتوفسفریلاسیون غیر چرخه‌ای	فتوسیستم I در انتقال چرخه‌ای نیز فعال است که در آن هیچ کوآنزیمی احیا نمی‌شود.
بارگیری رافینوز و استاکیز در فلوئم کدوئیان	عناصر غربالی یا مزوفیل	سلول‌های واسط (Intermediary)	تبدیل قند فقط در سلول‌های واسط جهت به‌دام‌افتادن پلیمری رخ می‌دهد.
عامل اصلی خروج بخار آب در تعرق	مقاومت روزنه‌ای و لایه مرزی	اختلاف فشار بخار برگ به هوا (VPD)	مقاومت‌ها مانع جریان هستند؛ موتور محرک اصلی همواره شیب غلظت یا اختلاف فشار است.
چوب‌پنبه‌ای شدن درونی سبب (Internal (Corking)	کمبود کلسیم	کمبود بور	لکه تلخ مربوط به کلسیم است؛ هر جا واژه «چوب‌پنبه‌ای» آمد امضای عنصر بور است.
نقش اگزوزن پلی‌آمین‌ها در کیفیت پس از برداشت	تحریک اتیلن یا نرمی بافت	حفظ سفتی و تثبیت پکتین دیواره	پلی‌آمین‌ها بارهای مثبت پلی‌کاتیونی دارند و سیمان دیواره پکتینی منفی هستند.
نتیجه کاربرد مفرط کودهای ازته در اواخر فصل	افزایش انبارمانی و ضخامت واکس	کاهش انبارمانی و کاهش واکس	ازت زیاد سلول‌ها را پفکی و رقیق کرده و سنتز موم‌های اپیکوتیکولار را سرکوب می‌کند.
ژنوتیپ آندوسپرم حاصل از تلاقی والد هتروزیگوت	انتخاب گزینه‌های دیپلوئید ($2n$)	گزینه تریپلوئید ($3n$) با دو سهم مادری	آندوسپرم نهاندانگان همواره حاصل ترکیب دو هسته قطبی ماده با یک اسپرم نر است.
خلوص ژنتیکی ۱۰۰ درصد در برنامه‌های اصلاحی	خودگشتی مکرر یا تلاقی برگشتی	دابل‌هاپلوئیدی (Doubled Haploidy)	روش‌های تلاقی به طور مجانبی به خلوص نزدیک می‌شوند؛ خلوص ۱۰۰٪ مطلق فقط با دابل‌هاپلوئیدی است.
هورمون پاسخ‌دهنده به استرس مکانیکی یا لمس	آبسزیک اسید (ABA)	اتیلن (تیگمومورفوزن)	استرس اسمزی مربوط به ABA است، اما فشار فیزیکی، لمس و باد در انحصار گاز اتیلن است.
فرم انتقالی هورمون سایتوکینین در آوند چوبی	ترانس‌زاتین آزاد یا بنزیدل‌آدنین	ترانس‌زاتین ریپوزاید (tZR)	فرم آزاد در سلول مقصد فعال است؛ فرم مسافر در زایلیم حتماً پسوند «ریپوزاید» دارد.

فهرست تحلیلی-موضوعی دقیق (نمایه کلیدواژه‌ها، اصطلاحات و مفاهیم تخصصی)

- **آبسیزیک اسید (ABA):** بیوسنتز و برش کاروتنوئیدها؛ مسیر کاتابولیسم و تجزیه اکسیداتیو به فازئیک اسید (PA)؛ ذخیره واکوئلی به فرم گلوکوزیل استر؛ سازوکار بستن روزنه‌ها در تنش خشکی و برهم‌کنش با کلسیم؛ القای خواب بذر و جوانه و جهش‌یافته Viviparous؛ تقابل هورمونی با جیبرلین در جوانه زنی؛ ص ۱۱، ۱۹، ۳۱، ۳۶، ۴۸، ۷۷، ۷۸، ۸۳، ۱۳۴، ۱۳۵، ۱۴۰.
- **آکواپورین‌ها (Aquaporins):** ماهیت بیوفیزیکی کانال‌های پروتئینی انتقال آب (PIPs و TIPs)؛ تسهیل انتشار آب و هدایت هیدرولیکی بدون مصرف ATP؛ نقش در حفظ تورژسانس پس از برداشت و انبارداری؛ واکنش به تنش خشکی در باغات پسته و زیتون؛ ص ۳، ۱۶، ۲۰، ۳۰، ۷۸، ۷۹.
- **آمبولی و کاویتاسیون (Embolism & Cavitation):** مکش شدید در آوندهای چوبی و انسداد جریان هیدرولیکی؛ پیامدها در ماندگاری گل‌های شاخه‌بریده؛ تفکیک انسداد فیزیولوژیک از انسداد باکتریایی؛ ص ۳، ۱۹، ۴۴، ۷۹.
- **آناتومی کرانز (Kranz Anatomy):** ساختار تخصص‌یافته سلول‌های مزوفیل و غلاف آوندی در گیاهان C_4 ؛ تثبیت اولیه توسط PEP کربوکسیلاز و سرکوب تنش نوری؛ ویژگی فتوسنتزی چمن‌های فصل گرم (برموداگراس و زویسیا)؛ ص ۴، ۴۳، ۱۰۰.
- **آنتوسیانین‌ها:** بیوسنتز از پیش‌ساز فنیل‌آلانین و تیروزین؛ سیانیدین در پیاز قرمز؛ مالویدین و سیانیدین در بلوبری و بلک‌بری؛ دلفینیدین حاصل از تراریختی ژن H^5F در گل رز؛ پئونین و پتونین؛ ص ۱۱، ۱۳، ۴۳، ۵۵.
- **اتیلن (C_2H_4):** چرخه یانگ و بیوسنتز از متیونین و SAM؛ فرم انتقالی مسیر بلند به شکل ACC در تنش غرقابی؛ گیرنده‌های شبکه اندوپلاسمی (ETR) و نقش یون مس و اکسیژن در اتصال هورمون؛ مهارکننده‌های عمل و گیرنده (MCP-1)، یون نقره، نوربورنادین؛ القای مادگی در خیار و تقابل با جیبرلین؛ ص ۳، ۷، ۱۱، ۱۵، ۲۰، ۲۴، ۲۵، ۵۶، ۸۰، ۸۳، ۸۴، ۱۳۷، ۱۴۱.
- **اسیدهای چرب و سیالیت غشا:** تغییر فاز غشای سلولی از مایع بلوری به ژل در تنش سرمازدگی؛ نقش اسیدهای چرب غیراشباع (لینولئیک و لینولنیک) در مقاومت به سرما؛ پراکسیداسیون لیپیدها و سنجش مالون‌دی‌آلدهید (MDA)؛ ص ۱۲، ۱۶، ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۳۸، ۴۹، ۶۱، ۶۲، ۸۲.
- **اسمولیت‌های سازگار (Compatible Solutes):** تنظیم اسمزی در تنش‌های خشکی و شوری؛ بیوسنتز پرولین از گلوتامات توسط آنزیم‌های CS Δ P و CR Δ P؛ گلاپسین‌بتائین و ترکیبات آمونیوم چهارتایی؛ مانیتول و سوربیتول؛ ص ۸، ۱۶، ۳۹، ۶۱، ۷۲.
- **اکسین‌ها:** ایندول-۳-استیک اسید (IAA) و مشتق بسیار فعال ۴-Cl-IAA؛ فرضیه رشد اسیدی و فعالیت پمپ‌های H^+ -ATPase؛ سازوکار انتقال قطبی وابسته به ناقلین غشایی PIN و AUX Δ ؛ کشاندن کلسیم به میوه و تمایز آوند چوبی؛ القای اپیناستی در برگ؛ ص ۷، ۱۰، ۱۵، ۲۵، ۳۵، ۳۶، ۳۷، ۴۸، ۵۴، ۶۰، ۷۴، ۷۷، ۸۴، ۱۳۱، ۱۳۳، ۱۴۱.



- **بارگیری فلوئم:** مدل به دام افتادن پلیمری (Polymer Trapping) در تیره کدوئیان؛ سنتز رافینوز و استاکیوز در سلول‌های حد واسط (Intermediary cells)؛ مقایسه بارگیری سیمپلاستی و آپوپلاستی با مصرف ATP؛ ص ۲، ص ۱۱، ص ۷۲، ص ۷۳.
- **پلوئیدی و دستکاری کروموزومی:** سری‌های پلوئیدی در جنس توت‌فرنگی (از دیپلوئید تا دکاپلوئید)؛ پلی‌پلوئیدی در کیوی و درختان میوه؛ لاین‌های دابل‌هاپلوئید (DH) با کشت میکروسپور و ماده کلشی‌سین؛ پنتازومی و اثر ژینگاس؛ ص ۴، ص ۶، ص ۲۱، ص ۲۲، ص ۳۴، ص ۵۸، ص ۹۴، ص ۱۱۵.
- **پلی‌آمین‌ها:** ساختار پلی‌کاتیونی و اتصال به گروه‌های کربوکسیل پکتین دیواره؛ رقابت بیوشیمیایی با اتیلن بر سر پیش‌ساز مشترک SAM؛ کاربرد پوترسین و اسپرمیدین در حفظ سفتی میوه و تأخیر در پیری؛ ص ۳، ص ۲۸، ص ۵۶، ص ۸۵، ص ۱۴۴.
- **پلی‌گالاکتوروناز (PG) و تغییرات دیواره:** هیدرولیز پیوندهای گلیکوزیدی $\alpha - (1,4)$ هوموگالاکتورونان؛ نقش متقابل با پکتین‌متیل‌استراز (PME) و بتاگالاکتوزیداز؛ گوجه‌فرنگی تراخیخت Flavr Savr با روش آنتی‌سنس RNA؛ ص ۳، ص ۲۰، ص ۳۱، ص ۳۲، ص ۸۷.
- **ترکیبات فرار و عطر (Volatiles):** سنتز ۲، ۶-نونادینال (آلدئید خیار) از مسیر لیپواکسیژناز (LOX)؛ ۱-اکتن-۳-اول در قارچ‌های خوراکی؛ ترپن‌ها (دی-لیمونن) در مرکبات؛ گلوکوزینولات‌ها در کلم‌ها؛ ص ۴، ص ۳۱، ص ۸۸.
- **تغذیه معدنی و عوارض بالینی:** کمبود کلسیم و پوسیدگی گلگاه، لکه تلخ سیب و نوک‌سوختگی کاهو؛ کمبود بور و چوب‌پنبه‌ای شدن درونی سیب؛ کمبود پتاسیم و عارضه دیواره خاکستری گوجه‌فرنگی؛ بیش‌بود نیتروژن و عارضه دوباره سبز شدن (Regreening)؛ کلروز القاشده توسط فسفر؛ ص ۳، ص ۴، ص ۶، ص ۱۴، ص ۲۰، ص ۲۳، ص ۷۰، ص ۸۰، ص ۱۰۱، ص ۱۲۷.
- **تنفس سلولی و تخمیر:** مسیر گلیکولیز و فرضیه pH-stat؛ توالی فعال‌سازی لاکتات‌دهیدروژناز (LDH) و پیرووات‌دکربوکسیلاز (PDC)؛ تولید اتانول در سیتوپلاسم در شرایط هایپوکسی و کمبود اکسیژن؛ ص ۴، ص ۷، ص ۱۲، ص ۳۴، ص ۸۸، ص ۱۴۵.
- **تنفس نوری (C₂Cycle):** نقش کاتالیزوری آنزیم روبیسکو با اکسیژن و تولید فسفوگلیکولات؛ توالی عبور متابولیت‌ها میان کلروپلاست، پراکسی‌زوم و میتوکندری؛ تبادل جفت اسیدهای آمینه گلیسین و سرین؛ غنی‌سازی CO_2 در گلخانه‌ها جهت سرکوب تنفس نوری؛ ص ۲، ص ۱۸، ص ۷۵، ص ۷۶.
- **جیبرلین‌ها (GAs):** اسکلت انت‌گیبرلان و بیوسنتز از GGPP؛ برهم‌کنش با پروتئین بازدارنده DELLA و تجزیه پروتئازومی؛ تحریک رونویسی آلفا-آمیلاز در لایه آلورون بذر؛ تنظیم جنسیت گل‌های نر در خیار و ذرت؛ ص ۷، ص ۱۲، ص ۱۵، ص ۲۴، ص ۳۷، ص ۴۸، ص ۶۰، ص ۷۹، ص ۸۳، ص ۱۳۶، ص ۱۴۰، ص ۱۴۳.
- **خودناسازگاری (Self-Incompatibility):** خودناسازگاری اسپوروفیتی (SSI) در تیره‌های شب‌بوین (تربچه، کلم) و کاسنیان؛ پروتئین‌های SCR/SP ۱۱ و کینازهای SRK کلاله؛ خودناسازگاری گامتوفیتی (GSI) مبتنی بر S-RNase در بادجانچیان و گل‌سرخیان؛ کاربرد در تولید بذور هیبرید F_1 ؛ ص ۵، ص ۱۳، ص ۲۱، ص ۳۴، ص ۵۷، ص ۱۱۴، ص ۱۱۵.

- دیفرانسیل انتخاب و پیشرفت ژنتیکی: رابطه $R = h^2 \times S$ در معادله اصلاح گر؛ محاسبه پاسخ به گزینش صفات کمی (وزن میوه)؛ اثرات ژنتیکی افزایشی، غالبیت و اپیستازی؛ ص ۵، ص ۵۴، ص ۵۷، ص ۱۱۱، ص ۱۱۳.
- روابط آبی و پتانسیل آب: فرمول $\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p$ ؛ رفتار سلول در محلول های هاپوتونیک، ایزوتونیک و هایپرتونیک (پلاسمولیز)؛ تعادل آبی سلول شل؛ نقش کسری فشار بخار (VPD) در تعرق برگ و جذب کلسیم؛ ص ۲، ص ۱۰، ص ۱۸، ص ۳۰، ص ۴۲، ص ۵۴، ص ۷۴، ص ۷۹.
- سایتوکینین ها: بیوسنتز با آنزیم ایزوپنتنیل ترانسفراز (IPT)؛ فرم بسیار فعال ترانس زاتین (tZ)؛ فرم انتقالی در آوند چوبی به صورت ترانس زاتین ریوزاید (tZR)؛ جایگاه سنتز در مریستم ریشه، میوه و دانه جوان؛ القای تقسیم سلولی و اثر ضدپیری بر کلروفیل؛ ص ۷، ص ۱۵، ص ۲۴، ص ۴۸، ص ۷۵، ص ۸۱، ص ۱۳۲، ص ۱۳۸.
- سیستم SOS (Salt Overly Sensitive): مسیر پیام رسانی تنظیم هموستازی یون سدیم در تنش شوری؛ نقش حسگری کلسیم توسط SOS۳، فعال سازی کیناز SOS۲ و عملکرد آنتی پورت پلاسمایی SOS۱ (Na^+/H^+)؛ ص ۱۶، ص ۲۶، ص ۳۸.
- فتوسنتز و واکنش های نوری: فتوفسفریلاسیون غیر چرخه ای و احیای $NADP^+$ به NADPH توسط آنزیم FNR؛ نقش کوفاکتورهای فلزی منگنز (تجزیه آب در PSII)، آهن و گوگرد (سیتوکروم b_6f) و مس (پلاستوسیانین)؛ ویژگی های اپتیکی برگ و نفوذ بیشینه نور سبز به عمق مزوفیل؛ ص ۲، ص ۶، ص ۱۰، ص ۱۸، ص ۳۰، ص ۴۲، ص ۵۴، ص ۶۴، ص ۷۱، ص ۷۷، ص ۱۲۱.
- فرونشست غیر فتوشیمیایی (NPQ): مکانیسم دفاعی کلروپلاست در برابر شدت نور زیاد؛ تبدیل ویولازانتین به آنترازانتین و زنازانتین در چرخه گزانتوفیل؛ دفع انرژی مازاد نوری به صورت گرما؛ ص ۸، ص ۱۶، ص ۴۳، ص ۴۹، ص ۵۴.
- فیتوهورمون های جدید: نقش براسینوئیدها در رشد و مقاومت؛ سالیسیلیک اسید و القای مقاومت سیستمیک اکتسابی (SAR) و تولید پروتئین های PR؛ جاسمونات ها در پیام رسانی دفاع در برابر پاتوژن های نکروتروف؛ استریگولاکتون ها در کنترل شاخه زایی و همزیستی میکوریزایی؛ ص ۷، ص ۲۴، ص ۳۶، ص ۳۷، ص ۴۸، ص ۸۵، ص ۱۴۳.
- کاروتنوئیدها: رنگیزه های تتراترینی 4^0 کربنه در کروموپلاست ها؛ بتاکاروتن در زردآلو و هویج؛ بتاکریپتوزانتین در مرکبات؛ لیکوپن در گوجه فرنگی و هندوانه؛ نقش آنتی اکسیدانی در مهار اکسیژن یگانه؛ ص ۴، ص ۳۲، ص ۸۹.
- کودآبیاری و سیستم های هیدروپونیک: نسبت تزریق پمپ های انژکتوری (۱:۵۰)؛ حد حلالیت و سیستم دو تانکی (A و B)؛ تفکیک بافری کربنیک اسید و بی کربنات در $pH = 6.36$ ؛ اولویت اسیدها در تنظیم اسیدیته؛ ص ۶، ص ۱۴، ص ۴۷، ص ۵۸، ص ۱۲۰، ص ۱۲۴.
- متالوآنزیم ها: آسکوربیک اسید اکسیداز با کوفاکتور مس؛ کربنیک آنهیدراز و الکل دهیدروژناز با روی؛ نیتрат ردوکتاز با مولیبدن؛ اوره آز با نیکل؛ سوپراکسید دیسموتاز (Cu/Zn-SOD و Mn-SOD)؛ ص ۶، ص ۳۲، ص ۳۵، ص ۴۶، ص ۴۷، ص ۵۹، ص ۶۲، ص ۶۳، ص ۱۱۹، ص ۱۲۰.



- ناقلین غشایی (آنتی پورت و سیمپورت): انتقال فعال ثانویه با شیب الکتروشیمیایی پروتون؛ سیمپورتهای ورودی مواد مغذی نظیر NO_3^-/H^+ و ساکارز/ H^+ ؛ آنتی پورتهای خروجی یون‌های سمی یا تنظیمی نظیر Na^+/H^+ و Ca^{2+}/H^+ ؛ ص ۶، ص ۱۹، ص ۶۵، ص ۱۲۲.
- نشانگرهای مولکولی: نسل اول هیبریداسیونی (RFLP)؛ نسل دوم مبتنی بر PCR با پرایمر تصادفی (RAPD) و اختصاصی (SSR)؛ نسل سوم توالی‌یابی تکنوکلونوتیدی (SNP)؛ راهبرد انتخاب نشانگرهای لنگرگاه (Anchor) و پرکننده (Filler) در نقشه‌برداری لینکاژی؛ ص ۵، ص ۲۲، ص ۳۴، ص ۵۲، ص ۵۵، ص ۱۱۰، ص ۱۱۲.



فهرست منابع

References (English Sources)

- Allard, R. W. (1999). *Principles of plant breeding*. John Wiley & Sons (2nd ed.).
- Arteca, R. N. (1996). *Introduction to plant growth regulators: Concepts and applications*. Hall & Chapman.
- Barker, A. V. & Pilbeam, D. J. (Eds.) (2015). *Handbook of plant nutrition*. CRC Press (2nd ed.).
- Basra, A. S. (Ed.) (2000). *Plant growth regulators in agriculture and horticulture: Their role and commercial uses*. CRC Press.
- Caligari, P. & Brown, J. (2008). *An introduction to plant breeding*. Blackwell Publishing.
- Buchanan, B. B., Gruissem, W. & Jones, R. L. (Eds.) (2015). *Biochemistry and molecular biology of plants*. Wiley-Blackwell (2nd ed.).
- Davies, P. J. (Ed.) (2010). *Plant hormones: Biosynthesis, signal transduction, action*. Springer (3rd ed.).
- Dole, J. M. & Wilkins, H. F. (2005). *Floriculture: Principles and species*. Prentice Hall (2nd ed.).
- Epstein, E. & Bloom, A. J. (2005). *Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives*. Sinauer Associates (2nd ed.).
- Falconer, D. S. & Mackay, T. F. C. (1996). *Introduction to quantitative genetics*. Longman (4th ed.).
- Geneve, R. L. & Hartmann, H. T., Kester, D. E., Davies, F. T. (2011). *Kester's plant propagation: Principles and practices*. Prentice Hall (8th ed.).
- Hüner, N. P. & Hopkins, W. G. (2008). *Introduction to plant physiology*. John Wiley & Sons (4th ed.).
- Jenks, M. A. & Hasegawa, P. M. (Eds.) (2005). *Plant abiotic stress*. Blackwell Publishing.
- Kader, A. A. (Ed.) (2002). *Postharvest technology of horticultural crops*. Publication 3311. University of California, Agriculture and Natural Resources (UC ANR).
- Kays, S. J. & Paull, R. E. (2004). *Postharvest biology*. Exon Press.

- *Responses of plants to environmental stresses: Water, radiation, salt, and other* .(۱۹۸۰) Levitt, J
•). Academic Press۲nd ed., Vol. ۲(*stresses*
- rd ed.). ۲(P. Marschner, Ed.; *Marschner's mineral nutrition of higher plants* .(۲۰۱۲) Marschner, H
• .Academic Press
- th ed.). John Δ(*Knott's handbook for vegetable growers* .(۲۰۰۷) Hochmuth, G. J & ,Maynard, D. N
• .Sons & Wiley
- th ed.). Academic Δ(*Physicochemical and environmental plant physiology* .(۲۰۲۰) Nobel, P. S
• .Press
- .*The physiology of plants under stress: Soil and biotic factors* .(۲۰۰۰) Nilsen, E. T & ,Orcutt, D. M
• .Sons & John Wiley
- *Hydroponic food production: A definitive guidebook for the advanced home* .(۲۰۲۲) Resh, H. M
• .th ed.). CRC PressΔ(*gardener and the commercial hydroponic grower*
- .Hall & nd ed.). Chapman۲(*Plant breeding systems* .(۱۹۹۷) Richards, A. J
- *World vegetables: Principles, production, and nutritive* .(۱۹۹۷) Yamaguchi, M & ,Rubatzky, V. E
• .Hall & nd ed.). Chapman۲(*values*
- .th ed.). Wadsworth Publishing۴(*Plant physiology* .(۱۹۹۲) Ross, C. W & ,Salisbury, F. B
- .nd ed.). CABI Publishing۳(*Plant stress physiology* .(۲۰۱۷) Shabala, S. (Ed.)
- .th ed.). Blackwell PublishingΔ(*Breeding field crops* .(۲۰۰۶) Poehlman, J. M & ,Sleper, D. A
- th ۴(*Plant physiology and development* .(۲۰۱۵) Murphy, A & ,Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M
• .ed.). Sinauer Associates / Oxford University Press
- .th ed.). Prentice Hall۹(*Turfgrass management* .(۲۰۱۲) Turgeon, A. J
- *General introduction to the examination of distinctness, uniformity and stability* .(۲۰۲۲) UPOV
•). International ۳/۱(TG/ *and the development of harmonized descriptions of new varieties of plants*
• .Union for the Protection of New Varieties of Plants
- rd ed.). Timber ۳(*Temperate-zone pomology: Physiology and culture* .(۱۹۹۳) Westwood, M. N
• .Press

• Golding, J & Wills, R. B. H. (۲۰۱۶). *Postharvest: An introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals*. 4th ed.). CABI Publishing

• Xu, Y (۲۰۱۰). *Molecular plant breeding*. CABI Publishing

• Yahia, E. M. (Ed.) (۲۰۱۱). *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits*. 1-4 (Vols.). Woodhead Publishing

کتاب‌شناسی منابع فارسی (تألیفات و ترجمه‌های معتبر دانشگاهی)

- ابراهیم‌زاده، ح. (۱۳۸۵). فیزیولوژی گیاهی: فتوسنتز، تنفس، روابط آب و مواد پرورده (چاپ چهارم). انتشارات دانشگاه تهران.
- احسان‌نژاد، ع. ا.، کجباف، م. ب.، و سلیمانی، ع. (۱۳۹۰). هورمون‌های گیاهی و تنظیم‌کننده‌های رشد. انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان.
- احمدی، م. ر.، و حسینی، س. م. (مترجمان). (۱۳۸۸). *اصلاح نباتات زراعی و باغی* (تألیف د. ا. اسلیپر و ج. م. پوهلمن). انتشارات دانشگاه تهران.
- اصغری، ح. ر. (۱۳۹۴). مکانیسم‌های فیزیولوژیک سازگاری گیاهان با تنش‌های محیطی. انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.
- پیوست، غ. ع. (مترجم). (۱۳۹۵). تولید محصولات هیدروپونیک (تألیف ه. م. رش). انتشارات دانشگاه گیلان.
- خوش‌خوی، م. (۱۳۸۷). *اصول باغبانی و میوه‌کاری*. انتشارات دانشگاه شیراز.
- خوش‌خوی، م. (۱۳۹۲). *گل‌کاری: پرورش گیاهان زینتی در ایران* (دوره ۴ جلدی). انتشارات دانشگاه شیراز.
- خوش‌خوی، م. (مترجم). (۱۳۹۶). *تکثیر گیاهان: اصول و روش‌ها* (تألیف ه. ت. هارتمن، د. ا. کستر، ف. ت. دیویس، و ر. ل. ژنو؛ ویرایش هشتم). انتشارات دانشگاه شیراز.
- راحمی، م. (۱۳۹۰). *فیزیولوژی پس از برداشت: فیزیولوژی و بیوشیمی رسیدن و پیری میوه‌ها و گل‌ها*. انتشارات دانشگاه شیراز.
- راحمی، م. (۱۳۹۳). *تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در باغبانی (هورمون‌شناسی گیاهی)*. انتشارات دانشگاه شیراز.
- رسول‌زادگان، ی. (مترجم). (۱۳۸۳). *میوه‌کاری مناطق معتدله* (تألیف م. ن. وست‌وود). انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان.
- سالاردینی، ع. ا.، مجتهدی، م.، و سرمدنی، ع. (مترجمان). (۱۳۸۰). *تغذیه معدنی گیاهان عالی* (تألیف ه. مارشنر). انتشارات دانشگاه تهران.
- سازمان سنجش آموزش کشور. (۱۴۰۰-۱۴۰۵). *دفترچه‌های رسمی سؤالات آزمون نیمه‌متمرکز ورود به دوره‌های دکتری تخصصی: مجموعه علوم و مهندسی باغبانی* (کد ۲۴۰۶). وزارت علوم، تحقیقات و فناوری.
- سروستانی، ع.، و همکاران (مترجمان). (۱۳۹۲). *فیزیولوژی پس از برداشت: مقدمه‌ای بر فیزیولوژی و جابه‌جایی میوه‌ها، سبزی‌ها و گیاهان زینتی* (تألیف ر. بی. اچ. ویلز و ج. گلدینگ). انتشارات دانشگاه شیراز.

- عبادی، ع. و ناخدا، ب. (۱۳۹۶). فیزیولوژی تنش‌های محیطی در درختان میوه. انتشارات دانشگاه تهران.
- عبادی، ع.، فتاحی، ر.، و زمانی، ز. (۱۳۹۳). ژنتیک و اصلاح میوه‌ها. انتشارات دانشگاه تهران.
- فتوحی قزوینی، ع. و فتاحی مقدم، ج. (۱۳۸۹). پرورش مرکبات در ایران. انتشارات دانشگاه گیلان.
- فیضی، ح. و مسعودی‌نژاد، ع. (مترجمان). (۱۳۹۱). فیزیولوژی گیاهی سالزبوری و راس (تألیف ف. ب. سالزبوری و ک. و. راس). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- کافی، م.، زند، ا.، کامکار، ب.، شریفی، ح. ر. و گلدانی، م. (مترجمان). (۱۳۹۳). فیزیولوژی گیاهان در شرایط تنش (تألیف د. م. اورکات و ا. ت. نیلسن). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- لاهوتی، م.، ابریشمچی، پ.، نظامی، ا. و حسینی، ب. (مترجمان). (۱۳۹۸). فیزیولوژی و نمو گیاهی تایز و زایگر (تألیف ل. تایز، ا. زایگر، ا. م. مولر، و ا. مورفی؛ ویرایش ششم). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- مبلی، م. و آذری‌وند، ق. (۱۳۹۴). سبزی‌کاری عمومی و تخصصی. انتشارات ارکان دانش / دانشگاه صنعتی اصفهان.
- مصطفوی، م. و مستوفی، ی. (۱۳۹۰). کنترل کیفیت و انبارداری محصولات باغبانی. انتشارات دانشگاه تهران.
- مسیحا، س. (۱۳۸۶). اصلاح سبزی‌ها. انتشارات دانشگاه تبریز.
- ملکوتی، م. ج. و دادپور، م. ر. (۱۳۸۴). اصول تغذیه گیاهان باغبانی. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس.
- یزدی صمدی، ب. و پیغمبردوست، س. ع. (۱۳۸۸). سیئوزنتیک گیاهی. انتشارات دانشگاه تهران.
- یزدی صمدی، ب.، رضایی، ع. و مقدم، م. (۱۳۹۱). اصول ژنتیک و اصلاح گیاهان باغبانی. انتشارات دانشگاه تهران.