به نام خداوند جان و خرد

انتشارات
۸۳۳

اپیدمیولوژی و خصوصیات فیتوپلاسماهای بیماری‌زا در گیاهان

گووینت پراتاپ رائو؛ آسونتا برتاکینی
نیکولا فیور؛ لیا دبلیو لیفتینگ

ترجمه:
دکتر سعید طریقی
استاد دانشگاه فردوسی مشهد
عباداله عبادی
دکتر مسعود صاحبی
دکتر مجتبی دهقان‌نیری

عنوان و نام پدیدآور: اپیدمیولوژی و خصوصیات فیتوپلاسماهای بیماری‌زا در گیاهان/[ویراستاران] گووینت‌پراتاپ رائو... [و دیگران] ؛ ترجمه سعید طریقی...[و دیگران] ؛ ویراستار ادبی هانیه اسدپور فعال مشهد.
مشخصات نشر: مشهد: دانشگاه فردوسی مشهد، انتشارات، ۱۴۰۱.
مشخصات ظاهری: ۳۸۴ ص.
فروست: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد؛ ۸۳۳.
شابک: ISBN: 978-964-386-526-9
وضعیت فهرست‌نویسی: فاپا.
یادداشت: عنوان اصلی: Phytoplasmas: plant pathogenic bacteria - I : characterisation and epidemiology of phytoplasma - associated diseases, 2018
یادداشت: نویسندگان گووینت‌پراتاپ‌رائو، آسونتا برتاکینی، نیکولا فیور، لیادبلیو لیفتینگ.
یادداشت: ترجمه سعید طریقی، عباداله عبادی، مسعود صاحبی، مجتبی دهقان‌نیری.
یادداشت: کتابنامه. نمایه.
موضوع: کشاورزی — Agriculture
گیاهان -- بوم‌شناسی — Plant ecology
گیاهان -- بیماری‌ها و آفت‌ها — Plant diseases
حفاظت خاک — Soil conservation
خاک‌شناسی — Soil science
آب -- آلودگی — Water -- Pollution
شناسه افزوده: رائو، گویند پی. — Rao, G. P. (Govind P.)
شناسه افزوده: طریقی، سعید، ۱۳۵۲-، مترجم — Tarighi, Saeed
شناسه افزوده: دانشگاه فردوسی مشهد، انتشارات.
رده‌بندی کنگره: SB۷۳۱
رده‌بندی دیویی: ۵۷۱/۹۲
شمارهٔ کتابشناسی ملّی: ۸۹۳۰۹۱۳

اپیدمیولوژی و خصوصیات فیتوپلاسماهای بیماری‌زا در گیاهان

پدیدآورندگان: گووینت پراتاپ رائو؛ آسونتا برتاکینی؛ نیکولا فیور؛ لیا دبلیو لیفتینگ
ترجمه: دکتر سعید طریقی؛ عباداله عبادی
دکتر مسعود صاحبی؛ دکتر مجتبی دهقان‌نیری
ویراستار ادبی: هانیه اسدپور فعال مشهد
مشخصات: وزیری، ۱۰۰ نسخه، چاپ دوم، زمستان ۱۴۰۴ (اوّل، ۱۴۰۱)
چاپ و صحافی: همیار
بها : ۴/۵۰۰/۰۰۰ ریال
حق چاپ برای انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد محفوظ است.

انتشارات
۸۳۳

مراکز پخش:

فروشگاه و نمایشگاه کتاب پردیس: مشهد، میدان آزادی، دانشگاه فردوسی مشهد، جنب سلف یاس
تلفن: ۳۸۸۰۲۶۶۶- ۳۸۸۳۳۷۲۷ (۰۵۱)
مؤسّسهٔ کتابیران: تهران، میدان انقلاب، خیابان کارگر جنوبی، بین روانمهر و وحید نظری، بن‌بست گشتاسب، پلاک ۸ تلفن: ۶۶۴۸۴۷۱۵ (۰۲۱)
مؤسّسهٔ دانشیران: تهران، خیابان انقلاب، خیابان منیری جاوید (اردیبهشت) نبش خیابان نظری، شمارهٔ ۱۴۲
تلفکس: ۶۶۴۰۰۲۲۰ – ۶۶۴۰۰۱۴۴ (۰۲۱)

http://press.um.ac.ir Email: press@um.ac.ir

فهرست مطالب

پیشگفتار مترجمان ۱۱

فصل ۱. فیتوپلاسماها تا به امروز ۱۳

۱-۱ مقدّمه ۱۳

۱-۲ اصول زیست‌شناسی و مولکولی برای طبقه‌بندی ۱۵

۱-۳ طبقه‌بندی برپایهٔ DNA ریبوزومی 16S ۱۷

۱-۴ انتقال و همه‌گیرشناسی ۲۵

۱-۵ توالی ژنومی و ویژگی‌های متابولیکی ۲۵

۱-۶ کشت در محیط‌های کشت معمولی ۲۶

منابع ۲۸

فصل ۲. فیتوپلاسماهای آلوده‌کنندهٔ سبزیجات، حبوبات و گیاهان روغنی ۴۱

۲-۱ مقدّمه ۴۲

۲-۲ باقلا (*Vicia faba* L. ،Faba bean) ۴۳

۲-۳ کلم (*Brassica oleracea* L. var. capitat) ۴۳

۲-۴ هویج (*Daucus carota* L.) ۴۴

۲-۵ آفتاب‌گردان (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis*) ۴۶

۲-۶ کرفس (*Apium graveolens* L.) ۴۷

۲-۷ چایوت [*Sechium edule* (Jacq.) Sw.] ۴۸

۲-۸ نخود (*Cicer arietinum* L.) ۴۹

۲-۹ کاسنی معمولی (*Cichorium intybus* L.) ۵۰

۲-۱۰ بادمجان (*Solanum melongena* L.) ۵۱

۲-۱۱ بادام‌زمینی (Peanuts, *Arachis hypogaea* L.) ۵۲

۲-۱۲ کاهو (*Letuca sativa* L.) ۵۳

۲-۱۳ لوفا (*Luffa* spp.) ۵۴

۲-۱۴ خردل (*Brassica rapa* L.) ۵۵
۲-۱۵ پیاز (*Allium cepa* L.) ۵۵
۲-۱۶ فلفل (*Capsicum annuum* L.) ۵۶
۲-۱۷ نخود لپه (*Cajanus cajan* L.) ۵۸
۲-۱۸ سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) ۵۸
۲-۱۹ کنجد (*Sesamum indicum* L.) ۶۰
۲-۲۰ سویا (*Glacine max* L.) ۶۳
۲-۲۱ کدو (*C. moschata* Duchesne ex Poir) و کدومسمّایی (*C. pepo* L.) ۶۴
۲-۲۲ گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) ۶۵
۲-۲۳ نتیجه‌گیری ۶۷
منابع ۶۷

فصل ۳. جنبه‌های وقوع بیماری و اپیدمی فیتوپلاسماها در غلات ۸۱
۳-۱ مقدّمه ۸۱
۳-۲ جو (*Hordeum vulgare* L.) ۸۲
۳-۳ ذرّت (*Zea meys* L.) ۸۳
۳-۴ ارزن [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] ۹۱
۳-۵ علف فیل (*Pennisetum purpureum* L.) ۹۱
۳-۶ جوِ دوسر یا یولاف (*Avena sativa* L.) ۹۱
۳-۷ برنج (*Oryza sativa* L.) ۹۳
۳-۸ سورگوم ۹۶
۳-۹ تریتیکاله [Triticosecale Wittm. Ex A. Camus (*Triticum* L. × *Secale* L.)] ۹۷
۳-۱۰ گندم (*Triticum aestivum* L.) ۹۸
۳-۱۱ نتیجه‌گیری ۹۹
منابع ۱۰۰

فصل ۴. بیماری‌های فیتوپلاسمایی گیاهان صنعتی ۱۰۷
۴-۱ مقدّمه ۱۰۷
۴-۲ کاساوا یا مانیوکا ۱۰۸

۴-۳ پنبه ۱۱۶
۴-۴ چغندرقند ۱۱۷
۴-۵ نیشکر ۱۲۰
۴-۶ نتیجه‌گیری و دیدگاه‌ها ۱۳۲
منابع ۱۳۳

فصل ۵. فیتوپلاسماهای درخت انگور ۱۴۳
۵-۱ مقدّمه ۱۴۳
۵-۲ نشانه‌های زردی‌ها در انگور ۱۴۴
۵-۳ زردی‌های انگور در اروپا ۱۴۷
۵-۴ زردی‌های انگور در استرالیا ۱۵۵
۵-۵ زردی انگور در آمریکا ۱۵۹
۵-۶ زردی انگور در آفریقا و آسیا ۱۶۳
۵-۷ نتیجه‌گیری ۱۶۴
منابع ۱۶۴

فصل ۶. فیتوپلاسماهای درختان میوه ۱۷۵
۶-۱ مقدّمه ۱۷۵
۶-۲ فیتوپلاسماهای درختان دانه‌دار ۱۷۶
۶-۳ فیتوپلاسماهای درختان هسته‌دار ۱۸۲
۶-۴ فیتوپلاسماهای میوه‌های کوچک ۱۹۰
۶-۵ میوه‌های گرمسیری و نیمه‌گرمسیری ۱۹۷
۶-۶ میوه‌های فندقی ۲۰۱
۶-۷ نتیجه‌گیری ۲۰۳
منابع ۲۰۳

فصل ۷. فیتوپلاسماهای گیاهان زینتی ۲۱۹
۷-۱ مقدّمه ۲۱۹
۷-۲ گل دیواری اژه (*Erysimum linifolium* L.; sin. *Cheiranthus linifolium* L.) ۲۲۷

۷-۳ شیپور طلایی ۲۲۸
۷-۴ آلستومریا ۲۲۸
۷-۵ قلب خونین ۲۲۸
۷-۶ براکی کوم (*Brachyscome* spp.) ۲۲۸
۷-۷ بوتهٔ آتشین (*Dictamnus albus* L.) ۲۲۸
۷-۸ گل همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) ۲۲۸
۷-۹ ایبریس (*Iberis sempervirens* L.) ۲۲۹
۷-۱۰ گل مینای چینی ۲۲۹
۷-۱۱ گل‌ختمی چینی ۲۳۰
۷-۱۲ گل داوودی ۲۳۱
۷-۱۳ گل تاج‌خروس ۲۳۲
۷-۱۴ سرخس نخلی ۲۳۲
۷-۱۵ سیکلامن (*Cyclamen persicum* Mill.) ۲۳۲
۷-۱۶ گل رز صحرایی (*Adenium obesum* L.) ۲۳۳
۷-۱۷ گل ساعت چهار (*Mirabilis jalapa* L.) ۲۳۴
۷-۱۸ گل شاه‌اشرفی (*Cosmos bipinnatus* Cav.) ۲۳۴
۷-۱۹ کرچک هندی (*Codiaeum variegatum* L.) ۲۳۴
۷-۲۰ گلایول (*Gladiolus* spp.) ۲۳۴
۷-۲۱ گل ادریسی (*Hydrangea macrophylla* Thunb.) ۲۳۵
۷-۲۲ گیاه یخ (*Carpobrotus edulis* L.) ۲۳۶
۷-۲۳ گل یاس (*Jasminum sambac* L.) ۲۳۷
۷-۲۴ لاچنالیا (*Lachenalia aloides* L.) ۲۳۷
۷-۲۵ یاس بنفش (*Syringa* spp.) ۲۳۸
۷-۲۶ سوسن (*Lilium* spp.) ۲۳۸
۷-۲۷ لوپن (*Lupinus polyphyllus* Ltd.) ۲۳۸
۷-۲۸ ماگنولیا (*Magnolia* spp.) ۲۳۹
۷-۲۹ گل جعفری (*Tagetes erecta* L.) ۲۴۰
۷-۳۰ گونه‌های اپونتیا و کاکتوس ۲۴۰
۷-۳۱ بنفشهٔ سه‌رنگ (*Viola tricolor* L.) ۲۴۱

۷-۳۲ مارگریت [*Argyranthemum frutescens* (L.) Lch. Bip.] ۲۴۱
۷-۳۳ پروانش [*Catharanthus roseus* (L.) G. Don.] ۲۴۱
۷-۳۴ آلالهٔ ایرانی (*Ranunculus asiaticus* L.) ۲۴۲
۷-۳۵ گل اطلسی (*Petunia hybrida*) ۲۴۳
۷-۳۶ گل آتشی (*Phlox* spp.) ۲۴۳
۷-۳۷ سرخارگل (*Echinacea* spp.) ۲۴۴
۷-۳۸ هویج وحشی (*Daucus carota* L.) و پوکر استاتیس [*Psylliostachys suworowii* (Regel) Roshk] ۲۴۵
۷-۳۹ گل سرخ (*Rosa* spp.) ۲۴۵
۷-۴۰ گل حنا (*Impatiens balsamina* L.) ۲۴۶
۷-۴۱ گل ناز (*Portulaca grandiflora* L.) ۲۴۷
۷-۴۲ گل صابونی (*Saponaria officinalis* L.) ۲۴۷
۷-۴۳ جاروی اسکاتلندی (*Cytisus scoparius* L. sin. *Sarothamnus scoparius* L.) ۲۴۷
۷-۴۴ سیامی بوته‌درشت (*Streblus asper* Lour) ۲۴۷
۷-۴۵ طاووسی (*Spartium junceum* L.) ۲۴۸
۷-۴۶ اسپیره (*Spiraea* spp.) ۲۴۸
۷-۴۷ آفتاب‌گردان (*Helianthus annuus* L.) ۲۴۹
۷-۴۸ شب‌بوی معمولی (*Matthiola incana* R. Br.) ۲۴۹
۷-۴۹ گل آهار (*Zinnia elegans* L.) ۲۴۹
منابع ۲۵۰

فصل ۸. بیماری‌های فیتوپلاسمایی گیاهان دارویی ۲۶۳
۸-۱ مقدّمه ۲۶۳
۸-۲ گیاهان دارویی ۲۶۵
۸-۳ یونجه (*Medicago sativa* L.) ۲۶۷
۸-۴ نائین هاوندی (*Andrographis paniculata* (Burm. f.) Wall. ex Nee) ۲۶۷
۸-۵ علف برمودا [*Cynodon dactylon* (L.) Pers.] ۲۶۸
۸-۶ کدوی تلخ (*Momordica charantia* L.) ۲۶۸
۸-۷ قنطوریون (*Centaurium erythraea* L.) ۲۶۹
۸-۸ داتوره (*Datura* spp) ۲۶۹

۸-۹ اکالیپتوس (*Eucalyptus* spp.) ۲۷۰
۸-۱۰ سیر (*Allium sativum* L.) ۲۷۰
۸-۱۱ گرندلیا (*Grindelia robusta* Nutt.) ۲۷۱
۸-۱۲ شاهدانه (*Cannabis sativa* L.) ۲۷۲
۸-۱۳ ختمی چینی (*Hibiscus rosa-sinensis* L.) ۲۷۲
۸-۱۴ زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) ۲۷۳
۸-۱۵ جینسنگ هندی [*Withania somnifera* (L.) Dunal] ۲۷۴
۸-۱۶ علف لیمو (*Cymbopogon citratus* Stapf.) ۲۷۴
۸-۱۷ ریحان (*Ocimum* sp) ۲۷۵
۸-۱۸ پیاز (*Allium cepa* L.) ۲۷۵
۸-۱۹ گوش موش (*Parietaria* spp.) ۲۷۶
۸-۲۰ پروانش (*Catharanthus roseus*) ۲۷۶
۸-۲۱ بارهنگ (*Plantago* spp.) ۲۷۸
۸-۲۲ سنا [*Cassia italica* (Mill.) Spreng. Sin. *Senna italica* Mill.] ۲۷۹
۸-۲۳ همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) ۲۷۹
۸-۲۴ سرخارگل [*Echinacea purpurea* (L.) Moench.] ۲۸۰
۸-۲۵ مریم‌گلی (*Salvia miltiorrhiza* Bunge) ۲۸۰
۸-۲۶ رهمانیا (*Rehmannia glutinosa* (Gaertn.) Steud) ۲۸۱
۸-۲۷ رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) ۲۸۱
۸-۲۸ صندل (*Santalum album* L.) ۲۸۱
۸-۲۹ صابونی (*Saponaria officinalis* L.) ۲۸۲
۸-۳۰ طاووسی (*Spartium junceum* L.) ۲۸۲
۸-۳۱ گل راعی (*Hypericum perforatum* L.) ۲۸۳
۸-۳۲ آویشن (*Thymus vulgaris* L.) ۲۸۴
۸-۳۳ تیلوفورا (*Tylophora asthmatica* (L.F.) Wight and Arn.) ۲۸۵
۸-۳۴ سنبل‌الطیب (*Valeriana officinalis* L.) ۲۸۵
۸-۳۵ ورنونیا (*Vernonia cinerea* Less.) ۲۸۵
۸-۳۶ برگاموت وحشی (*Monarda fistulosa* L.) ۲۸۶
۸-۳۷ گل انگشتانهٔ کرک‌دار (*Digitalis lanata* Ehrh.) ۲۸۶

۸-۳۸ انتقال و مدیریت ۲۸۷
۸-۳۹ نتیجه‌گیری و چشم‌انداز ۲۸۸
منابع ۲۸۹

فصل ۹. بیماری‌های فیتوپلاسمایی نخل‌ها ۲۹۹
۹-۱ مقدّمه ۲۹۹
۹-۲ تاریخ و پراکنش ۳۰۰
۹-۳ ردیابی و تاکسونومی فیتوپلاسمای LY ۳۰۴
۹-۴ علائم LY در نارگیل ۳۰۶
۹-۵ طیف میزبانی فیتوپلاسمای LYD ۳۰۸
۹-۶ انتقال فیتوپلاسماهای LYD ۳۰۹
۹-۷ مدیریت LYD ۳۱۱
۹-۸ بیماری زردی غیرکشندهٔ نخل‌ها ۳۱۲
۹-۹ نتیجه‌گیری ۳۱۳
منابع ۳۱۴

فصل ۱۰. بیماری‌های مهم فیتوپلاسمایی درختان جنگلی و شهری ۳۲۱
۱۰-۱ مقدّمه ۳۲۲
۱۰-۲ توسکا ۳۲۳
۱۰-۳ زبان گنجشک ۳۲۴
۱۰-۴ مخروطیان ۳۲۶
۱۰-۵ نارون ۳۲۸
۱۰-۶ توت ۳۳۲
۱۰-۷ پالونیا ۳۳۲
۱۰-۸ صنوبر ۳۳۳
۱۰-۹ صندل ۳۳۵
۱۰-۱۰ بیماری‌های فیتوپلاسمایی درختان شهری در سابانادی‌بوگوتا: مطالعهٔ موردی ۳۳۵
۱۰-۱۱ تنوّع فیتوپلاسماهای آلوده‌کنندهٔ درختان جنگلی و شهری ۳۳۸

۱۰-۱۲ نتیجه‌گیری ۳۴۳
منابع ۳۴۳

فصل ۱۱. فیتوپلاسماها در علف‌های هرز و گیاهان وحشی ۳۴۹
۱۱-۱ مقدّمه ۳۴۹
۱۱-۲ فیتوپلاسماها در گروه 16SrI (زردی مینا) ۳۵۹
۱۱-۳ فیتوپلاسماهای گروه 16SrII (جاروک بادام‌زمینی) ۳۶۱
۱۱-۴ فیتوپلاسماها در گروه 16SrIII (بیماری‌ایکس) ۳۶۴
۱۱-۵ فیتوپلاسماها در گروه‌های 16SrIV (زردی کشندهٔ نارگیل)، 16SrV (زردی نارون)، 16SrVI (افژولش شبدر)، 16SrVII (زردی زبان گنجشک)، 16SrIX (جاروک نخود کبوتر) و 16SrX (افژولش سیب) ۳۶۴
۱۱-۶ فیتوپلاسماها در گروه 16SrXI (کوتولگی زرد برنج) ۳۶۵
۱۱-۷ فیتوپلاسماها در گروه 16SrXII-A (گروه استالبور) ۳۶۷
۱۱-۸ فیتوپلاسماها در گروه 16SrXIV (برگ‌سفیدی علف برمودا) ۳۶۹
۱۱-۹ فیتوپلاسماها در گروه 16SrXXII ۳۷۱
۱۱-۱۰ فیتوپلاسماها در گروه 16SrXXIX ۳۷۲
۱۱-۱۱ فیتوپلاسماها در گروه‌های نامشخص ۳۷۲
۱۱-۱۲پراکنش جغرافیایی ۳۷۲
۱۱-۱۳ نتیجه‌گیری ۳۷۳
منابع ۳۷۵

نمایه ۳۸۲

پیشگفتار مترجمان

سپاس و حمد خالق جهانیان را که باری دیگر توفیق ژرف‌اندیشی در یکی از نشانه‌های عظمت او را به‌دست آوردیم. فیتوپلاسماها پس از ویروس‌ها کوچک‌ترین عوامل بیماری‌زایی در گیاهان هستند. این باکتری‌ها شکل زندگی منحصربه‌فردی دارند که آن‌ها را قادر می‌سازد در میان گیاهان و حشرات زنده بمانند. اطلاعات به‌دست‌آمده از توالی‌یابی کامل ژنومی، به‌ویژه اطلاعات مربوط به مسیرهای متابولیکی نشان داده است که فیتوپلاسماها میکروارگانیسم‌های ویژه‌ای هستند؛ چراکه فاقد برخی از ویژگی‌های معمول در باکتری‌ها مانند دیوارهٔ سلولی، تحرک، آنزیم‌های کلیدی و مسیرهای متابولیکی هستند. باوجودِ داشتن کوچک‌ترین اندازهٔ ژنومی در میان باکتری‌ها، فیتوپلاسماها مسیرهای متابولیکی پیچیده‌ای را کد می‌کنند که به آن‌ها اجازهٔ هم‌کنش با میزبان‌هایشان را می‌دهد. بیماری‌های گیاهی ناشی از فیتوپلاسماها اغلب شدید بوده و به‌سرعت انتشار می‌یابند. علاوه‌براین، فیتوپلاسماها می‌توانند فعالیت متابولیکی میزبان خود را افزایش دهند، برازش حشرهٔ میزبان خود را تغییر دهند، تولید جوانه‌های گیاهی را افزایش و شکل و رنگ گل را تغییر دهند و در موارد دیگر بیماری‌های فیتوپلاسمایی موجب زوال شدید و مرگ گیاه می‌شوند.

کتاب *فیتوپلاسما: باکتری‌های بیماری‌زای گیاهی* توسط تیمی از پژوهشگران برجستهٔ باکتری‌شناس جهان تهیه و تدوین شده است. کتاب حاضر با زیر عنوان *اپیدمیولوژی و خصوصیات فیتوپلاسماهای بیماری‌زا در گیاهان* به‌عنوان جلد اوّل مشتمل بر یازده فصل است. در فصل اوّل، خلاصه‌ای از پژوهش‌های صورت‌گرفته روی بیماری‌های همراه با فیتوپلاسماها در پنجاه سال اخیر ارائه شده است که بخش زیادی از این پژوهش‌ها به طبقه‌بندی و تمایزهای این دسته از پروکاریوت‌ها با استفاده از ابزارهای مولکولی و بیوانفورماتیکی اختصاص یافته است. در فصل‌های بعدی به‌ترتیب فیتوپلاسماهای آلوده‌کنندهٔ سبزیجات، حبوبات و گیاهان روغنی، جنبه‌های وقوع بیماری و همه‌گیرشناسی فیتوپلاسماها در غلات، بیماری‌های فیتوپلاسمایی گیاهان صنعتی، فیتوپلاسماهای درخت انگور، فیتوپلاسماهای درختان میوه، فیتوپلاسماهای گیاهان زینتی، بیماری‌های فیتوپلاسمایی گیاهان دارویی، بیماری‌های فیتوپلاسمایی نخل‌ها، بیماری‌های مهم فیتوپلاسمایی درختان جنگلی و شهری و فیتوپلاسماها در علف‌های هرز و گیاهان وحشی به‌طور دقیق بررسی شده است. جهت درک بهتر و روشن‌تر مطالب این کتاب، تصاویر متعدد رنگی و سیاه و سفید و همچنین جداول متعدد آورده شده است.

۱

فیتوپلاسماها تا به امروز

چکیده

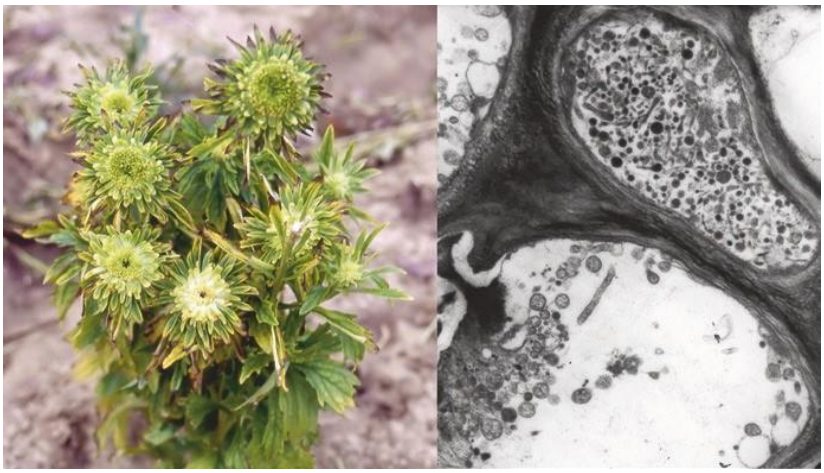
در این فصل خلاصه‌ای از پژوهش‌های صورت‌گرفته روی بیماری‌های همراه با فیتوپلاسماها در پنجاه سال اخیر ارائه شده است. بخش زیادی از این پژوهش‌ها به طبقه‌بندی و تمایزهای این دسته از پروکاریوت‌ها با استفاده از ابزارهای مولکولی و بیوانفورماتیکی اختصاص یافته است. دسترسی به یک سیستم طبقه‌بندی قوی، شناسایی بیماری‌های فیتوپلاسمایی را در سرتاسر دنیا تسهیل می‌کند. مطالعات زیست‌شناسی فیتوپلاسماها نیازمند بهبود است تا بدین‌وسیله بتوان راه‌حل‌های بهتری درجهت مدیریت، برای کاهش اثرات ناشی از این بیماری‌ها در کشاورزی و محیط‌زیست اتّخاذ کرد.

واژه‌های کلیدی: طبقه‌بندی، زیست‌شناسی، حشرهٔ ناقل، بیماری گیاهی، همه‌گیرشناسی

۱-۱ مقدّمه

اعتقاد بر این بود که بسیاری از بیماری‌های دارای علائم زردی مانند زردی مینا[1] و جاروک پالونیا[2] ناشی از ویروس‌هاست تا اینکه در سال ۱۹۶۷ گروهی از دانشمندان ژاپنی به‌وسیلهٔ میکروسکوپ الکترونی، میکروارگانیسم‌هایی شبیه به مایکوپلاسماهای جانوری را در عناصر آوند آبکشی گیاهان آلوده مشاهده کردند (دویی و همکاران[3]، ۱۹۶۷). سپس این باکتری‌های چندشکل[4] فاقد دیوارهٔ سلولی به‌عنوان ارگانیسم‌های شبه‌مایکوپلاسما (MLO[5]) نام‌گذاری شدند (شکل ۱-۱).

1. Aster Yellows
2. Paulownia Witches Broom
3. Doi et al.
4. Pleomorphic
5. Mycoplamsa-Like Organisms



شکل ۱-۱ راست: شکل میکروسکوپ الکترونی از مقطع عرضی آوند آبکش و وجود فیتوپلاسما (۶۰۰۰ برابر)، چپ: علائم ناشی از فیتوپلاسما در گل مینا (*Callistephus chinensis*)

این باکتری‌ها شکل زندگی منحصربه‌فردی دارند که آن‌ها را قادر می‌سازد در میان گیاهان و حشرات زنده بمانند. در دهه‌های بعد، شناسایی فیتوپلاسماها بیشتر برپایهٔ تصاویر میکروسکوپ الکترونی از بافت‌های آوندی آلوده و ویژگی‌های زیست‌شناسی مانند علائم مربوط به بیماری، حشرات ناقل و دامنهٔ میزبانی گیاهی بود. در سال‌های بعد، پیشرفت ابزارهای مولکولی و سرولوژیکی مانند آنتی‌بادی‌های تک‌همسانه‌ای[1] و نشانگرهای DNA[2]، شناسایی فیتوپلاسماها را بهبود بخشید.

تکثیر اختصاصی DNA و تعیین توالی نشان داد که باکتری‌های MLO یک گروه بزرگ تک‌نیایی[3] را در ردهٔ مولیکوت‌ها[4] تشکیل می‌دهند؛ این گروه فیتوپلاسما نام‌گذاری و به‌عنوان جنس *Candidatus* Phytoplasma توصیف شد (برنامه پژوهشی بین المللی مایکوپلاسما شناسی مقایسه‌ای[5]، ۲۰۰۴). فیتوپلاسماها اندازه و اشکال متنوّعی دارند (شکل ۱-۱) و در محیط‌های ایزوتونیک[6] در آوندهای آبکش گیاه و هموفیل حشره زنده می‌مانند و تکثیر می‌شوند. توالی کامل ژنومی برای دو سویه از زردی مینا (*Candidatus* Phytoplasma asteris) دو سویه از *Ca*. P. australiense و یک سویه از *Ca*. P. mali انجام شده است (اوشیما و همکاران[7]، ۲۰۰۴؛ بایی و همکاران[8]، ۲۰۰۶؛ کوبه و همکاران[9]، ۲۰۰۸؛ ترن‌انگوین و همکاران[10]، ۲۰۰۸؛ اندرسن و همکاران[11]، ۲۰۱۳). پیش‌نویس توالی‌های ژنومی پیش‌نویس[12] تعدادی از فیتوپلاسماها نیز انجام شده است (ساکاردو و همکاران[13]، ۲۰۱۲؛ میتروویچ و همکاران[14]، ۲۰۱۴؛

1. Monoclonal Antibadies
2. DNA Probes
3. Monophyletic
4. *Mollicutes*
5. Interanational Research Program on Comparative Mycoplasmology (IRPCM)
6. Isotonic
7. Oshima et al.
8. Bai et al.
9. Kube et al.
10. Tran-Nguyen et al.
11. Andersen et al.
12. Draft Genome Sequences
13. Sacardo et al.
14. Mitrović et al.

زامورانو و فیور[1]، ۲۰۱۶). فیتوپلاسماها یکی از کوچک‌ترین اندازهٔ ژنومی را در بین موجودات زنده دارا هستند (مارکونه و همکاران[2]، ۱۹۹۹). بااین‌حال، مسیرهای متابولیکی پیچیده‌ای را کد می‌کنند که به آن‌ها اجازهٔ هم‌کنش با میزبان‌های گیاهی و جانوری را می‌دهد (هوگنهوت و همکاران[3]، ۲۰۰۸). بیماری‌های گیاهی ناشی از فیتوپلاسماها اغلب شدید هستند و به‌سرعت انتشار می‌یابند. علاوه‌براین، فیتوپلاسماها می‌توانند فعالیت متابولیکی میزبان خود را افزایش دهند، برازش[4] حشرهٔ میزبان خود را تغییر دهند، تولید جوانه‌های گیاهی را افزایش و شکل و رنگ گل را تغییر دهند (برتاکینی و همکاران[5]، ۲۰۱۴)، در موارد دیگر بیماری‌های فیتوپلاسمایی موجب زوال شدید و مرگ گیاه می‌شوند. اگرچه شناسایی فیتوپلاسماها در گیاهان فاقد علائم چندان غیرمعمول نیست.

۱-۲ اصول زیست‌شناسی و مولکولی برای طبقه‌بندی

پنجاه سال پس از کشف فیتوپلاسماها، نقش آن‌ها به‌عنوان بیمارگرهای گیاهی همچنان برپایهٔ اثبات زیست‌شناسی غیرمستقیم مانند مشاهدهٔ توسط میکروسکوپ الکترونی، تکثیر اختصاصی DNA و محدود شدن علائم بیماری پس از تیمار گیاه توسط تتراسایکلین استوار بود (ایشی و همکاران[6]، ۱۹۶۷). انتقال توسط حشره و گیاه سس ابزارهای کاربردی برای اثبات بیماری‌های گیاهی ناشی از فیتوپلاسماها هستند. گیاهان آلوده‌شده توسط فیتوپلاسماها اغلب دارای علائمی هستند که بیانگر برهم خوردن تعادل تنظیم‌کننده‌های رشدی در گیاهان می‌باشند. این علائم شامل گل‌سبزی[7] و برگ‌سانی[8] گل‌ها، عقیم شدن، کاهش چیرگی رأسی که به تکثیر جوانه‌های جانبی و حالت جاروک منجر می‌شود (شکل ۱-۱)، غیرطبیعی شدن فاصله میان گره‌ها و ایجاد حالت کوتولگی است. توصیف علائم بیماری برای شناسایی اوّلیه و محتمل بودن بیماری فیتوپلاسمایی قابل‌کاربرد است. برخی از فیتوپلاسماها به ایجاد خصوصیات مطلوبی در گیاه منجر می‌شوند، برای نمونه در گیاه بنت‌قنسول سویهٔ خاصی از فیتوپلاسما باعث می‌شود تا این گیاه به‌عنوان یک گیاه زینتی مورداستفاده قرار گیرد (برتاکینی و همکاران، ۱۹۹۶؛ لی و همکاران[9]، ۱۹۹۷).

روش‌های سرولوژیکی برای شناسایی فیتوپلاسماها در دههٔ ۱۹۸۰ میلادی، زمانی‌که آنتی‌بادی‌های چندهمسانه‌ای[10] و تک‌همسانه‌ای تولیدشده مورد استفاده قرار گرفتند، توسعه یافت (لی و همکاران، ۱۹۹۳ ب؛ چن و همکاران[11]، ۱۹۹۳؛ سعید و همکاران[12]، ۱۹۹۴). روش سرولوژیکی برای بافت‌های گیاهی و زنجرک‌های ناقل یا ناقلین مستعد به‌وسیلهٔ رنگ ایمنوفلورسنت[13] (هرمینیر و همکاران[14]، ۱۹۹۰)، میکروسکوپ الکترونی ایمنوسوربنت[15] (سینا[16]، ۱۹۷۹؛ سینا و بنهامو[17]، ۱۹۸۳) و روش دات بلات[18] یا

1. Zamorano and Fiore
2. Marcone et al.
3. Hogenhout et al.
4. Fitness
5. Bertaccini et al.
6. Ishiie
7. Virescence
8. Phyllody
9. Lee et al.
10. Polyclonal Antibodies
11. Chen et al.
12. Saeed et al.
13. Immunofluorescence
14. Lherminier et al.
15. Immunosorbent Electron Microscopy
16. Sinha
17. Sinha and Benhamou
18. Dot Blot

الیزا[1] مورداستفاده قرار گرفتند (بودون-پادیو و همکاران[2]، ۱۹۸۹). در سایر روش‌ها، از لکه‌گذاری بافت گیاهی با آنتی‌ژن به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم برای شناسایی اختصاصی فیتوپلاسما استفاده شده است (لی و چن، ۱۹۸۵). در سال‌های بعد، آنتی‌بادی‌ها براساس بخشی از توالی پروتئین‌های ایمنودومیننت[3] برخی از فیتوپلاسماها تهیه شدند (برگ و همکاران[4]، ۱۹۹۹؛ بلومکوئیست و همکاران[5]، ۲۰۰۱؛ هونگ و همکاران[6]، ۲۰۰۱؛ کاکیزاوا و همکاران[7]، ۲۰۰۱؛ مرگنتالرو همکاران[8]، ۲۰۰۱، وی و همکاران[9]، ۲۰۰۴؛ آراشیدا و همکاران[10]، ۲۰۰۸؛ سیامپور و همکاران[11]، ۲۰۱۲). از آغاز دهۀ ۱۹۹۰، استفاده از شناساگرهای مولکولی (لی و دیویس[12]، ۱۹۸۸؛ لی و همکاران، ۱۹۹۲، برتاکینی و همکاران، ۱۹۹۳)، واکنش زنجیره‌ای پلیمراز (PCR[13]) (آرنس و سیمولر[14]، ۱۹۹۲؛ اشنایدر وهمکاران[15]، ۱۹۹۳؛ لی و همکاران، ۱۹۹۳ أ؛ نامبا و همکاران[16]، ۱۹۹۳)، به‌همراه آنالیز چندشکلی قطعات ایجادشده توسط آنزیم‌های برشگر آنالیز چندشکلی طول قطعات برشی (RFLP[17]) یا تعیین توالی موجب توسعۀ روش‌های شناسایی فیتوپلاسماها شد (لی و همکاران، ۱۹۹۸ أ). رایج شدن روش PCR کمّی[18] نشان داد که این روش با حساسیت بیشتر و خطر آلودگی کمتر در مقایسه با PCR آشیانه‌ای، تکنیکی قابل‌اتکا در شناسایی فیتوپلاسماهاست (بیانکو و همکاران[19]، ۲۰۰۴؛ تورس و همکاران[20]، ۲۰۰۵؛ کراسلین و همکاران[21]،۲۰۰۶؛ بریک و همکاران[22]، ۲۰۰۶؛ آنجلینی و همکاران[23]، ۲۰۰۷؛ هرن و همکاران[24]، ۲۰۰۷؛ ؛ الداغی و همکاران[25]، ۲۰۰۹؛ برگر و همکاران[26]، ۲۰۰۹؛ پلتیر و همکاران[27]، ۲۰۰۹؛ هوگتس و همکاران[28]، ۲۰۰۹؛ نجات و همکاران[29]، ۲۰۱۰؛ مونتی و همکاران[30]، ۲۰۱۳؛ کوردوا و همکاران[31]، ۲۰۱۴؛ ایکتن و همکاران[32]، ۲۰۱۶؛ ساتا و همکاران[33]، ۲۰۱۷؛ لینک و همکاران[34]، ۲۰۱۷)). روش‌های ریزآرایه[35] (برتاکینی و نیکولایسن[36]، ۲۰۰۷؛ لنز و همکاران[37]، ۲۰۱۵) ، تعیین توالی عمیق[38] (نیکولایسن و همکاران، ۲۰۰۱) و تکثیر هم‌دمای وابسته به حلقه (LAMP[39]) (تاملینسون و همکاران[40]، ۲۰۱۰؛ بکل و همکاران[41]، ۲۰۱۱؛ اوبورا و همکاران[42]، ۲۰۱۱؛

1. Elisa
2. Boudon-Padieu et al.
3. Immunodominan Protein
4. Berg et al.
5. Blomquist et al.
6. Hong et al.
7. Kakizawa et al.
8. Mergenthaler et al.
9. Wei et al.
10. Arashida et al.
11. Siampour et al.
12. Davis
13. Polymerase Chain Reaction
14. Ahrens and Seemüller
15. Schneider et al.
16. Namba et al.
17. Restriction Fragment Length Polymorphism
18. Quantitative PCR
19. Bianco et al.
20. Torres et al.
21. Crosslin et al.
22. Baric et al.
23. Angelini et al.
24. Hren et al.
25. Aldaghi et al.
26. Berger et al.
27. Pelletier et al.
28. Hodgetts et al.
29. Nejat et al.
30. Monti et al.
31. Córdova et al.
32. Ikten et al.
33. Satta et al.
34. Linck et al.
35. Microarray
36. Nicolaisen
37. Lenz et al.
38. Deep Sequencing
39. Loop-Mediate Isothermal Amplification
40. Tomlinson et al.
41. Bekele et al.
42. Obura et al.

سوگاوارا و همکاران[1]، ۲۰۱۲؛ کوگووسک و همکاران[2]، ۲۰۱۵؛ وو همکاران[3]، ۲۰۱۶)، تکنیک‌های دیگری برای شناسایی فیتوپلاسماها هستند، اما تاکنون به‌دلیل فقدان اختصاصیت یا حساسیت بالا به‌طور کامل مورداستفاده قرار نگرفته‌اند.

۱-۳ طبقه‌بندی برپایهٔ DNA ریبوزومی 16S

سیستم نسبتاً فراگیر طبقه‌بندی برپایهٔ توالی ژن ریبوزومی 16S (لی و همکاران، ۱۹۹۸ أ) و استفاده از توالی لوکوس‌های ژنی دیگر که دارای تنوّع در بین گونه‌های *Candidatus* Phytoplasma هستند، توسعه یافت (برتاکینی، ۲۰۱۵). براساس نظام طبقه‌بندی برنامه پژوهشی بین المللی مایکوپلاسما شناسی مقایسه‌ای در سال ۲۰۰۴ برای نام‌گذاری فیتوپلاسماها، گونه‌های *Candidatus* Phytoplamsa برپایهٔ توالی منحصربه‌فرد خود در ژن 16S rRNA (توالی بیش از ۱۲۰۰ جفت باز) توصیف می‌شوند، همچنین یک سویهٔ جدید از گونه‌های *Candidatus* Phytoplasma برپایهٔ تشابه بیش از ۹۷/۵ درصدی توالی ژن 16S rRNA با هریک از گونه‌های *Candidatus* Phytoplasma توصیف می‌شود. طبقه‌بندی فیتوپلاسماها همچنان برپایهٔ این قوانین انجام می‌شود، ولی به‌دلیل فقدان خصوصیات فنوتیپیک[4] این گروه از باکتری‌ها در جنس‌ها و گونه‌های غیررسمی طبقه‌بندی می‌شوند. برخی از سویه‌های فیتوپلاسما که قابلیت توصیف به‌عنوان یک تاکسون[5] جدید را دارند، اما فاقد شباهت بیش از ۹۷/۵ درصدی با سایر *Ca*. Phytoplamaها هستند، با استفاده از سایر خصوصیات زیست‌شناسی منحصربه‌فرد مانند اختصاصیت آنتی‌بادی، دامنهٔ میزبانی و اختصاصیت در انتقال توسط ناقل، قابل‌توصیف و گروه‌بندی می‌باشند (سیمولر و اشنایدر، ۲۰۰۴).

ژن‌های 16S rRNA فیتوپلاسماها حفظ شدگی بالایی دارند، هرچند برای استفاده در طبقه‌بندی به‌اندازهٔ کافی دارای تنوّع هستند. فیتوپلاسماها برپایهٔ درصد توالی به‌عنوان گونه‌های *Candidatus* Phytoplasma طبقه‌بندی (برنامه پژوهشی بین المللی مایکوپلاسما شناسی مقایسه‌ای، ۲۰۰۴) یا برپایهٔ وجود نواحی برشی به گروه‌ها و زیرگروه‌های ریبوزومی تقسیم‌بندی می‌شوند (لی و همکاران، ۱۹۹۸ أ، وی و همکاران، ۲۰۰۷، ژائو و همکاران[6]، ۲۰۰۹ ب). تعداد گونه‌های *Candidatus* Phytoplasma و گروه‌های و زیرگروه‌های ریبوزومی همچنان توسعه می‌یابند که دلیل آن اهمیت این بیمارگرهای گیاهی در کشاورزی و محیط‌زیست در سراسر دنیاست (برتاکینی و همکاران، ۲۰۱۴؛ ماجیما و همکاران[7]، ۲۰۱۴). درمورد تعدادی از بیماری‌های فیتوپلاسمایی که به‌خوبی شناخته شده‌اند، مانند فلاویسنس دوری در درخت مو و بیماری‌های زردی کشنده، ولی عامل بیماری هنوز در گروه‌ها و زیرگروه‌های ریبوزومی قرار نگرفته است، برای فیتوپلاسمای همراه با بیماری به توصیف‌های جداگانه‌ای نیاز است (جدول ۱-۱).

1. Sugawara et al.
2. Kogovšek et al.
3. Vu et al.
4. Phenotypic
5. Taxon
6. Zhao et al.
7. Maejima et al.