



دانشگاه سیام نور

اکوفیزیولوژی کشت مخلوط در شرایط آبیاری جزئی ریشه

دکتر حمداله اسکندری

«امروزه کتاب‌خوانی و علم‌آموزی، نه تنها یک وظیفه‌ی ملی، که یک واجب دینی است.»^۱

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

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

۱. پیام مقام معظم رهبری به مناسبت آغاز هفته کتاب ۷۲/۱۰/۴

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

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

دانشگاه پیام‌نور

فهرست مطالب

پیشگفتار

۱	بخش اول. دورنمای کشت مخلوط
۳	فصل اول. اصول و مبانی کشت مخلوط
۳	۱-۱. مقدمه
۴	۲-۱. تعاریف
۶	۱-۲-۱- روابط مکملی و تسهیل سازی در کشت مخلوط
۱۰	۳-۱- روش های اجرای کشت مخلوط
۱۱	۱-۳-۱- کشت مخلوط ردیفی
۱۳	۲-۳-۱- کشت مخلوط نواری
۱۴	۳-۳-۱- کشت مخلوط درهم
۱۴	۴-۳-۱- کشت مخلوط تاخیری
۱۵	۵-۳-۱- اگرو فارستری
۱۵	۴-۱- روش های ارزیابی کشت مخلوط
۱۶	۱-۴-۱- نسبت برابری زمین
۱۷	۲-۴-۱- مجموع عملکرد نسبی
۱۷	۳-۴-۱- نسبت برابری زمان-سطح

۱۸	۱-۴-۴-روابط رقابتی
۱۸	۱-۴-۴-۱-ضریب ازدحام نسبی
۱۹	۱-۴-۴-۲-قدرت تهاجم
۲۰	۱-۴-۴-۳-نسبت رقابت
۲۰	۱-۴-۵-ارزیابی های اقتصادی کشت مخلوط
۲۳	فصل دوم. مزایا و محدودیت های کشت مخلوط
۲۳	۲-۱-مقدمه
۲۳	۲-۲-مزایای کشت مخلوط
۲۴	۲-۲-۱-حاصلخیزی خاک
۲۵	۲-۲-۲-کنترل آفات
۲۶	۲-۲-۲-۱-کنترل حشرات
۲۶	۲-۲-۲-۱-۱-سرخرطومی برگ یونجه
۲۸	۲-۲-۲-۲-۱-۲-شب پره مینوز برگ گوجه فرنگی
۲۹	۲-۲-۲-۲-۱-۳-شته سبز هلو (آفت تنباکو)
۳۰	۲-۲-۲-۲-۱-۳-مگس مینوز برگ
۳۱	۲-۲-۲-۲-۲-کنترل بیماری ها
۳۱	۲-۲-۲-۲-۱-۲-بوته میری و پوسیدگی ریشه
۳۲	۲-۲-۲-۲-۲-۲-زنگ نواری و سفیدک پودری گندم
۳۳	۲-۲-۲-۲-۳-سوختگی غلاف و بلایت برنج
۳۴	۲-۲-۳-افزایش و پایداری تولید
۳۹	۲-۲-۴-بهبود کیفیت علوفه
۴۲	۲-۲-۵-کنترل علف های هرز
۴۵	۲-۲-۵-۱-عوامل موثر بر کنترل علف های هرز در کشت مخلوط
۴۸	۲-۲-۵-۲-ارزیابی موفقیت کشت مخلوط در کنترل علف های هرز
۴۹	۲-۲-۶-بهبود شرایط رشد در شرایط تنش های محیطی
۵۵	بخش دوم. آبیاری جزئی ریشه در کشت مخلوط
۵۷	فصل اول. روش های اعمال آبیاری جزئی ریشه و اثر بر حاصلخیزی خاک
۵۷	۱-۱-مقدمه
۶۰	۱-۲-اثر آبیاری جزئی ریشه بر حاصلخیزی خاک
۶۵	فصل دوم. اکوفیزیولوژی رشد
۶۵	۱-۲-مقدمه
۶۵	۲-۲-ارزیابی و اندازه گیری شاخص های رشد گیاهان در کشت مخلوط

۶۹	۳-۲- آبیاری جزئی ریشه و شاخص‌های رشد در کشت مخلوط
۷۶	۴-۲- واکنش‌های آنتی‌اکسیدانی
۸۰	۵-۲- روابط آبی
۸۵	فصل سوم. اکوفیزیولوژی تولید
۸۵	۱-۳- مقدمه
۸۵	۲-۳- اثر آبیاری جزئی ریشه بر کمیت تولید (دانه و علوفه) در کشت مخلوط
۹۵	فصل چهارم. کارایی مصرف آب
۹۵	۱-۴- مقدمه
۹۶	۲-۴- بهبود کارایی مصرف آب
۱۰۵	فصل پنجم. آبیاری جزئی ریشه و کیفیت محصول
۱۰۵	۱-۵- مقدمه
۱۰۵	۲-۵- کیفیت بذر
۱۱۶	۳-۵- کیفیت علوفه
۱۲۰	۴-۵- سایر جنبه‌های کیفی تولید و آبیاری جزئی ریشه
۱۲۳	فهرست منابع

پیشگفتار

به دلیل کاهش منابع آب در دسترس برای فعالیت‌های زراعی، تلاش‌های زیادی برای حفاظت از آب در سیستم‌های زراعی انجام گرفته است که بر اساس روش‌های آبیاری استوار است. در این زمینه، الگوهای مناسبی مانند آبیاری محدود و افزایش سرعت آبیاری (نیز معرفی شده است. با این حال، در سال‌های اخیر مفاهیم خشکی جزئی منطقه ریشه در برنامه‌های آبیاری مورد توجه قرار گرفته است. در این روش، نیمی از سیستم ریشه‌ای آبیاری می‌شود و نیمی دیگر در معرض خاک خشک قرار دارد. خشکی جزئی سیستم ریشه‌ای در گیاهان مختلف مورد بررسی قرار گرفته است که در بیشتر موارد، این سیستم به افزایش کارایی مصرف آب منجر شده است. با این حال، خلا یک اثر علمی که اثر آبیاری جزئی ریشه بر جنبه‌های مختلف رشد و تولید گیاهان زراعی در کشت مخلوط را مورد توجه قرار دهد احساس می‌شود. بر این اساس، کتاب حاضر بر اساس آخرین یافته‌های علمی در این زمینه به رشته تحریر درآمده.

برای درک بهتر مطالب، کتاب حاضر در دو بخش ارائه شده است. در بخش اول، مطالب تکمیلی مرتبط با اصول و مبانی کشت مخلوط ارائه شده است. برای مثال، در مورد اثر کشت مخلوط بر کنترل آفات، ضمن معرفی حشرات و عوامل بیماری‌زا، مثال‌هایی از آخرین مطالب علمی منتشر شده در این زمینه مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. در بخش دوم، آبیاری جزئی ریشه و اثرات آن در کشت مخلوط از جنبه‌های مختلف اکوفیزیولوژیکی مورد توجه قرار گرفته است. در فصل اول از بخش دوم، روش‌های اعمال و اثرات آبیاری جزئی ریشه بر حاصلخیزی خاک بررسی شده است. در فصل دوم، اکوفیزیولوژی رشد گیاهان زراعی در کشت مخلوط و آبیاری جزئی ریشه بحث و بررسی شده است که برآیند آن در فصل بعدی (اکوفیزیولوژی تولید) مورد توجه قرار گرفته است. کارایی مصرف آب، به عنوان یک جنبه مهم در مدیریت-های کم‌آبیاری در فصل چهارم از بخش دوم ذکر شده است و عوامل مختلف در بهبود کارایی مصرف آب در کشت مخلوط و شرایط آبیاری جزئی ریشه مورد تحلیل قرار گرفته است. در نهایت و در فصل آخر، اثرات آبیاری جزئی ریشه بر کیفیت محصولات زراعی شامل کیفیت بذر، کیفیت دانه و جنبه‌هایی از جمله کیفیت روغن در گیاهان دانه روغنی و قند در گیاهان قندی بررسی شده است.

امید است این اثر علمی بتواند در راستای درک بهتر مدیریت‌های کم‌آبی در سیستم‌های به‌زراعی، بویژه در کشت مخلوط، مفید واقع شود. همچنین از کلیه صاحب‌نظران محترم تقاضا می‌شود جهت رفع اشکالات در چاپ‌های بعدی کتاب، نظرات ارزشمند خود را در اختیار نویسنده قرار دهند.

دکتر حمداله اسکندری

عضو هیات علمی گروه کشاورزی دانشگاه پیام نور

بخش اول

دورنمای کشت مخلوط

فصل اول

اصول و مبانی کشت مخلوط

۱-۱- مقدمه

کشت مخلوط^۱ یکی از جنبه‌های کشاورزی پایدار است. در کشاورزی پایدار تلاش می‌شود ضمن به حداکثر رساندن تولید، منابع تولید از جمله آب و خاک حفظ شود. در واقع، در سیستم‌های تولید زراعی، فریندها و فعالیت‌های تولیدی باید به گونه‌ای طراحی و اجرا شود که اثرات تخریبی بر منابع تولید نداشته باشد. در سیستم‌های زراعی پایدار، تلاش می‌شود مدیریت کشت باید به گونه‌ای باشد که گیاهان از منابع محیطی به بهترین شکل استفاده کنند و روابط بین گیاهان (چه در بازه زمانی و چه در بازه مکانی) به بهبود تولید بیانجامد.

کشت مخلوط یکی از سیستم‌های کشت چندگانه^۲ است. در سیستم‌های کشت چندگانه، در طول فصل زراعی چندین محصول از یک قطعه زمین زراعی برداشت می‌شود. کشت‌های چندگانه می‌توانند در بعد زمان و یا مکان اجرا شوند. وقتی کشت-های چندگانه در بعد زمان اجرا می‌شوند به نام تناوب زراعی^۳ خوانده می‌شوند. در تناوب زراعی، بعد از برداشت یک گیاه از زمین، گیاه دیگر کشت می‌شوند. در این-صورت، در سیستم زراعی از نظر زمانی تنوع زیستی^۴ ایجاد می‌شود. برای مثال، در مناطق جنوبی کشور که دارای اقلیم گرم هستند، گندم در اواخر پاییز کشت می‌شود. بعد از برداشت گندم در اردیبهشت ماه، زمین به زیر کشت محصولات مختلف تابستان

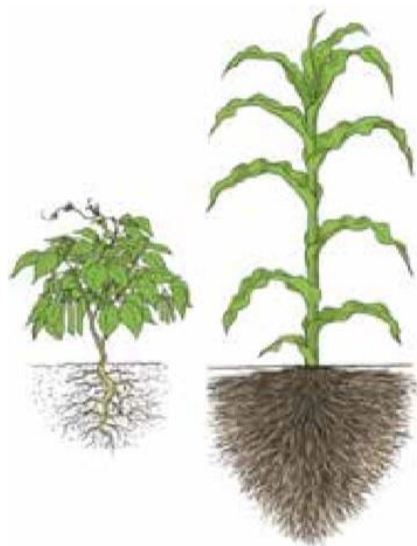
1. Intercropping
2. Multiple cropping
3. Crop rotation
4. Biodiversity

از جمله کنجد، ماش، لوبیا و ... می‌رود. در این حالت، در طول یک فصل زراعی (از مهر یکسال تا پایان شهریور سال بعد) دو محصول برداشت می‌شود که نوعی کشت چندگانه و ایجاد تنوع زیستی در بعد زمان است. طراحی مناسب تناوب زراعی باعث تأثیر مثبت گیاهان بر همدیگر شده و گیاهان بعدی می‌توانند از مزایای ایجاد شده توسط گیاه قبلی استفاده کنند. از جمله این اثرات مثبت می‌توان به افزایش فراهمی عناصر غذایی در خاک (مانند اضافه شدن نیتروژن به خاک طریق تثبیت بیولوژیکی ازت توسط گیاهان خانواده لگومینوز)، بهبود ساختار خاک، بهبود محتوای رطوبتی خاک (در مورد گیاهان پوششی) و کاهش آفات اشاره کرد.

۱-۲- تعاریف

کشت مخلوط به صورت «کشت همزمان دو یا چند محصول زراعی در یک قطعه زمین زراعی در طول یک فصل» تعریف می‌شود. همانطور که قبلاً ذکر شد، کشت مخلوط یکی از جنبه‌های کشت‌های چندگانه است و باعث افزایش تنوع زیستی در بعد مکان می‌شود. در صورتی که اجزای کشت مخلوط به درستی انتخاب شوند، به طوری که از نظر فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی دارای تفاوت باشند، در این صورت در مصرف منابع محیطی به صورت مکمل هم عمل می‌کنند و با بهره‌برداری بیشتر از منابع محیطی، باعث افزایش تولید می‌شوند (شکل ۱-۱). ولی اگر اجزای کشت مخلوط از نظر خصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی مشابه و نزدیک به هم باشند، در این صورت رقابت بین‌گونه‌ای افزایش یافته (و بیشتر از رقابت درون گونه‌ای می‌شود) و در نهایت به کاهش تولید منجر می‌شود. بر این اساس، انتخاب و طراحی کشت مخلوط باید به کاهش رقابت بین‌گونه‌ای منجر شود. در شکل ۱-۱، ذرت در کنار لوبیا نشان داده شده است که با توجه به اختلافاتی که از نظر فیزیولوژیکی (ذرت یک گیاه چهار کرینه و لوبیا یک گیاه سه کرینه است) و مورفولوژیکی (تفاوت در سطح توسعه ریشه، ارتفاع بوته، سطح و زاویه برگ) بین این دو گیاه وجود دارد، رقابت بین‌گونه‌ای به حداقل می‌رسد که باعث می‌شود ترکیب این دو گیاه در کشت مخلوط باعث افزایش تولید شود. همانطور که در شکل ۱-۱ نشان داده شده است، عمق توسعه ریشه ذرت بیشتر از لوبیا می‌باشد. در این حالت، ذرت بیشتر از عناصر غذایی موجود در عمق خاک و لوبیا

بیشتر از عناصر غذایی موجود در سطح خاک استفاده می‌کنند. به عبارت دیگر، ذرت و لوبیا برای جذب عناصر غذایی از خاک، رقابت حادقلی با هم دارند.



شکل ۱-۱. تفاوت مورفولوژیکی ذرت و لوبیا از نظر ارتفاع بوته، سطح توسعه ریشه، سطح و زاویه برگ باعث مکمل بودن آنها در مصرف منابع طبیعی و در نتیجه افزایش تولید درکشت مخلوط می‌شود (باجی کویا وهمکاران، ۲۰۱۶).

تفاوت در ارتفاع بوته بین ذرت و لوبیا باعث می‌شود ذرت در بالای کانوپی قرار بگیرد و از تشعشعات فعال فتوسنتزی که به کانوپی وارد می‌شود بیشترین استفاده را ببرد. با این حال، با توجه به زاویه عمودی برگ‌های ذرت، تمام تشعشعات توسط ذرت جذب نمی‌شود و مقداری از آنها به پایین کانوپی می‌رسند. در این صورت، لوبیا از تشعشعات عبور کرده از کانوپی ذرت استفاده می‌کند. به علاوه، لوبیا-به عنوان یک گیاه از خانواده لگومینوز- قادر به تثبیت بیولوژیکی نیتروژن است که بخشی از این نیتروژن می‌تواند از طریق ترشحات ریشه‌ای به ذرت منتقل شود و باعث بهبود رشد ذرت شود.

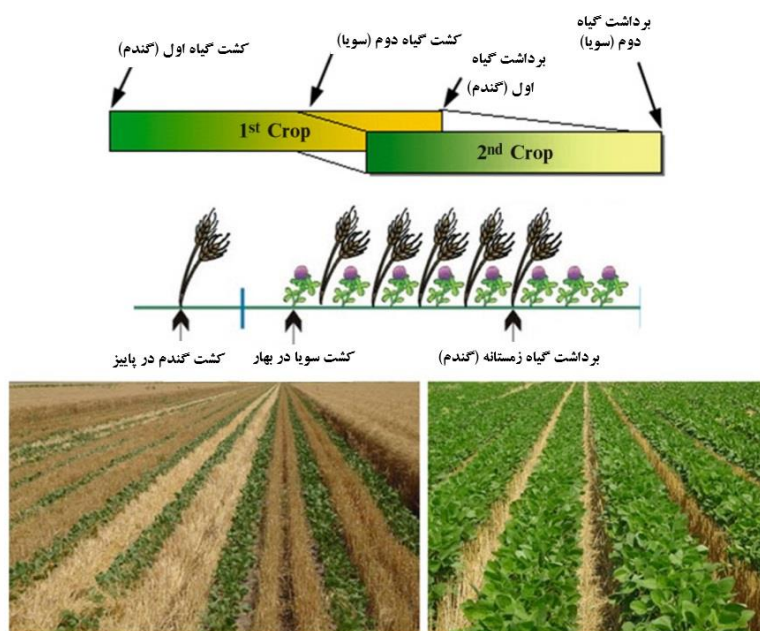
۱-۲-۱- روابط مکملی^۱ و تسهیل سازی^۲ در کشت مخلوط

پیچیده‌ترین مکانیزمی که باعث بهبود عملکرد گیاهان زراعی^۳ در کشت مخلوط در ارتباط با مصرف منابع محیطی می‌شود، روابط مکملی بین گونه‌ای می‌باشد. اصل رابطه مکملی به این مفهوم است که گیاهان در کشت مخلوط در پیدا کردن و مصرف منابع محیطی متفاوت از هم عمل می‌کنند و در نتیجه باعث کاهش رقابت بین گونه‌ای می‌شوند. مکملی در مصرف منابع محیطی می‌تواند به مکملی در بعد زمان، در بعد مکان و تسهیم‌بندی شیمیایی طبقه‌بندی شود. در صورتی که بین گیاهان از نظر زمان استفاده از منابع محیطی تفاوت وجود داشته باشد، می‌توان گفت که گیاهان از نظر مصرف منابع محیطی به صورت مکمل عمل می‌کنند. کشت مخلوط تأخیری، نمونه‌ای از وجود چنین روابط مکملی در مصرف منابع محیطی است. برای مثال، وقتی شبدر به صورت تأخیری در انتهای فصل رشد گندم به سیستم کشت اضافه می‌شود، رشد گیاه اصلی (گندم) با شبدر تطابق زمانی و مکانی چندانی ندارد. در این حالت، رشد شبدر در طول دوره رشد گیاه اصلی (گندم) کم بوده و بعد از برداشت گندم، تسریع پیدا می‌کند (آموز و همکاران، ۲۰۱۳ به نقل از دوخن و همکاران، ۲۰۱۷). در کشت مخلوط گندم و سویا نیز چنین روندی دیده می‌شود (ردی، ۲۰۱۶). به عبارت دیگر، تفاوتی که بین گندم و سویا از نظر زمان استفاده از منابع محیطی وجود دارد باعث بروز رابطه مکملی بین این دو گیاه در سیستم کشت مخلوط می‌شود که به معنی استفاده بیشتر از منابع محیطی است.

رابطه مکملی از نظر مکانی نیز به این معنی است که منابع محیطی در مکان‌های مختلفی قرار دارند که امکان دسترسی به این منابع برای گیاهان کشت مخلوط وجود ندارد. به عبارت دیگر، گیاهان تشکیل دهنده کشت مخلوط، منابع محیطی مورد نیاز خود را از مکان‌های متفاوتی بدست می‌آورند. مطابق آنچه که در شکل ۱-۱ گفته شد، ذرت در بالای کانوپی و لوبیا در پایین کانوپی نور مورد نیاز خود را دریافت می‌کنند. از نظر عناصر غذایی نیز رابطه مکملی به این معنی است که ریشه گیاهان در کشت

1. Complementary effect
2. Facilitation
3. Crop performance

مخلوط، از مکان‌های مختلف، عناصر غذایی را جذب می‌کند. رابطه مکملی مکانی از نظر عناصر غذایی، به اثرات متقابل ناحیه ریزوسفر و ساختار ریشه‌ای گیاهان بستگی دارد. همانند آنچه که در شکل ۱-۱ نشان داده شده است، تفاوت در سطح و عمق توسعه ریشه ذرت و لوبیا باعث دریافت عناصر غذایی از مناطق مختلف خاک توسط دو گیاه می‌شود.



شکل ۱-۲. کشت مخلوط تأخیری گندم و سویا. روابط مکملی در استفاده از منابع محیطی به دلیل تفاوت در زمان استفاده دو گیاه از منابع محیطی (ردی، ۲۰۱۶).

رابطه مکملی شیمیایی به این معنی است که گونه‌های کشت مخلوط قادرند فرم‌های مختلف شیمیایی را به حالت متحرک دریاورند (دوخن و همکاران، ۲۰۱۷). قابلیت تثبیت بیولوژیکی ازت توسط گیاهان خانواده لگومینوز نوعی از رابطه مکملی شیمیایی است که حتی گاهی منظور از رابطه مکملی شیمیایی، رخ دادن این فرایند است (دوخن و همکاران، ۲۰۱۷). علی‌رغم وجود انواع مختلف رابطه مکملی، باید توجه داشت که

این سه روش معمولاً همراه با یکدیگر رخ می‌دهند و وقوع هر کدام از آنها به تنهایی به ندرت اتفاق می‌افتد.

با در نظر گرفتن نحوه تقسیم منابع محیطی بین اجزای کشت مخلوط، رابطه مکملی نمی‌تواند اثرات متقابل مثبتی-بویژه اثرات متقابل مثبتی که در زیر خاک اتفاق می‌افتد- که در مزرعه رخ می‌دهد را توصیف کند. مطالعات نشان داده است که کشت مخلوط غلات-لگوم می‌تواند باعث ایجاد اثرات متقابل مثبتی شود که بر رقابت احتمالی غلبه کند و باعث بهبود رشد و حتی کیفیت گیاهان در کشت مخلوط شود (قنبری بنجار، ۲۰۰۰). برخی از این اثرات متقابل مثبت در جدول ۱-۱ درج شده است.

جدول ۱-۱. برخی اثرات متقابل مثبت که در کشت مخلوط غلات-لگوم رخ می‌دهد و از طریق رابطه مکملی قابل توصیف نمی‌باشد و به عنوان تسهیل سازی در نظر گرفته می‌شوند.

سیستم کشت مخلوط	نوع اثرات متقابل مثبت	منبع
گندم-لگوم	افزایش پروتئین دانه	جنسن و همکاران (۲۰۰۶)
غلات-لگوم	افزایش فراهمی فسفر	لاتاتی و همکاران، ۲۰۱۴
غلات-لگوم	افزایش فعالیت میکروبی خاک و افزایش تولید بیوماس	تانگ و همکاران، ۲۰۱۴
غلات-لگوم	اسیدی کردن ریزوسفر خاک و در نتیجه افزایش آزاد سازی عناصر غذایی به محلول خاک	لی و همکاران، ۲۰۰۷
ذرت-لگوم	افزایش فراهمی فسفر و افزایش کارایی تولید نیتروژن ریزوبیومی	لاتاتی و همکاران، ۲۰۱۶

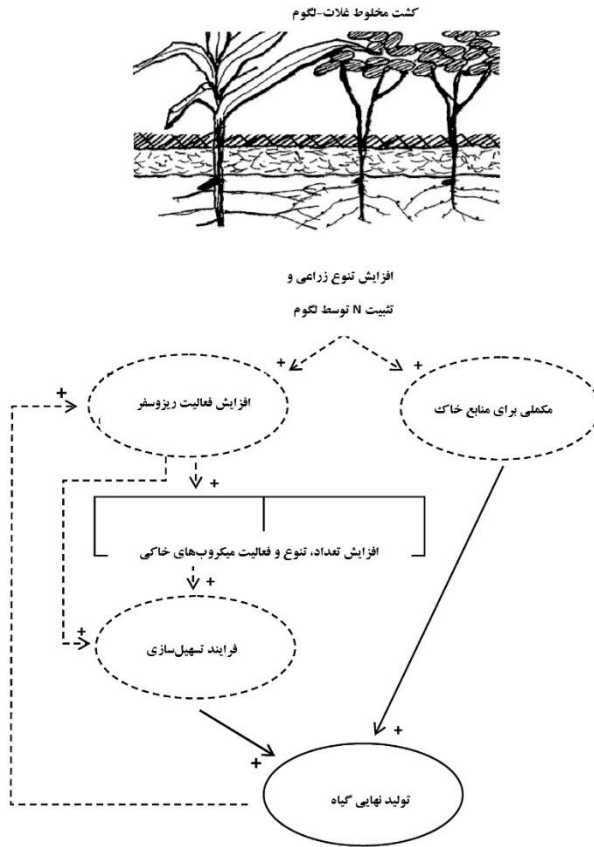
اثرات متقابل مثبتی که در جدول ۱-۱ آمده است نشان دهنده بهبود شرایط رشد- حداقل برای یکی از اجزای کشت مخلوط- می‌باشد. این موضوع تحت عنوان تسهیل- سازی^۱ در کشت مخلوط خوانده می‌شود. این اثرات متقابل مثبت، اهمیت تسهیل سازی در سیستم‌های زارعی را نشان می‌دهد که امکان تولید ذخائر جدیدی از منابع محیطی را فراهم می‌سازد که به تبع آن، رشد گیاهان نیز بهبود پیدا می‌کند.

ظرفیت گیاهان برای بهره‌گیری از اثرات مثبت روابط متقابل در کشت مخلوط برای جذب منابع محیطی به وجود روابط مکملی و تسهیل سازی بستگی دارد. روابط مکملی باعث کاهش رقابت گیاهان در کشت مخلوط برای دریافت منابع محیطی می‌شود در حالی که تسهیل سازی خدمات اضافه‌ای برای گیاهان فراهم می‌کند که به بهبود رشد آنها در کشت مخلوط منجر می‌شود (شکل ۱-۳).

باید توجه داشت که تسهیل سازی می‌تواند به صورت مستقیم و یا غیرمستقیم رخ دهد. برای تسهیل سازی مستقیم، می‌توان ترشحات ریشه‌ای که شامل آزادسازی ترکیبات آلی و غیرآلی از ریشه‌های زنده به خاک می‌باشد را مثال زد. این مواد می‌توانند سلول‌های اپیدرمی ریشه، رها سازی تارهای کشنده ریشه و یا سایر مواد مانند موسیلاژ، آنزیم‌ها و یا یون‌ها باشد (دوخن و همکاران، ۲۰۱۷). در این حالت، ترشحات ریشه‌ای باعث غنای خاک از نظر نیتروژن می‌شود. به علاوه، نیتروژنی که از طریق باکتری‌های همزیست ریزوبیوم تثبیت شده است نیز به صورت مستقیم از طریق ترشحات ریشه‌ای به خاک اضافه می‌شود. چنین شرایطی که در آن موادی به طور مستقیم در اختیار گیاهان قرار می‌گیرد و باعث بهبود رشد آنها می‌شود به نام تسهیل سازی مستقیم خوانده می‌شود.

در تسهیل سازی غیرمستقیم، شرایط رشد به صورت غیرمستقیم برای گیاهان بهبود پیدا می‌کند. در واقع، تغییر شرایط رشد از طرق مختلف (مانند افزایش دسترسی به منابع غذایی خاک) باعث رخ دادن فرایند تسهیل سازی می‌شود. کاهش رشد علف‌های هرز و یا آفات، روش غیرمستقیم تسهیل سازی برای بهبود رشد گیاهان در کشت مخلوط است. چرا که با کاهش رشد علف‌های هرز، منابع خاکی (شامل رطوبت و عناصر غذایی) بیشتری در اختیار گیاهان قرار خواهد داشت. همچنین، کاهش آلودگی به آفات در کشت مخلوط نیز یک نوع تغییر محیط است که باعث بهبود رشد گیاهان می‌شود. افزایش فعالیت ریشه‌ای در خاک در شرایط کشت مخلوط نیز از دیگر مثال‌های تسهیل سازی غیرمستقیم است چرا که با افزایش تراکم و فعالیت ریشه‌ها در خاک، مقاومت خاک نیز کاهش پیدا می‌کند که در این صورت، شرایط خاک برای رشد سایر گیاهان بهبود می‌یابد. این موضوع بخصوص در شرایط کشت گیاهان پوششی دیده می‌-

شود. گیاهان پوششی نقش مهمی در حفظ ساختار و رطوبت خاک ایفا می‌کنند (کاروف، ۲۰۰۶ به نقل از دوخن و همکاران، ۲۰۱۷).



شکل ۱-۳. روابط مکملی و تسهیل‌سازی برای افزایش تولید گیاهان در کشت مخلوط (دوخن و همکاران، ۲۰۱۷).

۱-۳-روش‌های اجرای کشت مخلوط

در مقایسه با کشت خالص که در آن یک گونه کشت می‌شود، کشت مخلوط شامل کشت دو یا چند گونه زراعی می‌باشد. کشت مخلوط می‌تواند شامل کشت مخلوط

گیاهان یکساله با چند ساله، یکساله با یکساله و یا کشت گیاهان چندساله با دیگر گیاهان چند ساله باشد.

به طور کلی کشت مخلوط به روش‌های زیر اجرا می‌شود:

۱-۳-۱- کشت مخلوط ردیفی^۱

در کشت مخلوط ردیفی، حداقل یکی از گیاهان در ردیف‌های منظم و مشخصی کاشته شده و گیاه یا گیاهان دیگر ممکن است به صورت ردیفی و یا تصادفی با گیاه اول به صورت همزمان کشت شود. با این حال، معمولاً در کشت مخلوط ردیفی، کلیه گیاهان در ردیف‌هایی منظم قرار می‌گیرند (شکل ۱-۴). گاهی ممکن است که تراکم یک و یا همه گیاهان در کشت مخلوط ردیفی نزدیک و یا مشابه تراکم آنها در کشت خالص باشد.

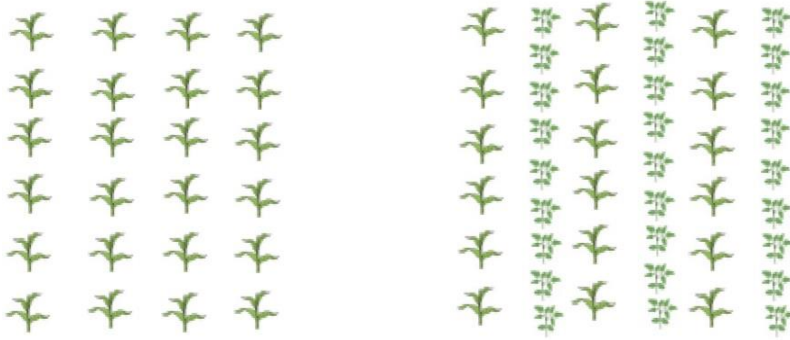
کشت مخلوط ردیفی ممکن است به صورت کشت مخلوط روی ردیف‌های جداگانه^۲ و یا کشت مخلوط روی یک ردیف^۳ اجرا شود. در کشت مخلوط روی ردیف‌های جداگانه، هر ردیف کشت به یک گیاه اختصاص پیدا می‌کند. در حالی که در کشت مخلوط روی یک ردیف، در هر ردیف کاشت، همه گیاهان ترکیب کننده کشت مخلوط قرار می‌گیرند. با این حال، تراکم کشت گیاهان در کشت مخلوط روی یک ردیف می‌تواند بر اساس طرح‌های جایگزینی و یا افزایشی باشد. برای مثال، اگر ذرت و لوبیا به صورت کشت مخلوط روی یک ردیف و به صورت جایگزینی کشت شوند، در این صورت برای طراحی گیاهان در ردیف‌های کشت مخلوط، باید به تراکم آنها در کشت خالص توجه نمود. چنانچه تراکم ذرت در کشت خالص را ۸۰ هزار بوته در هکتار و تراکم لوبیا در کشت خالص را ۲۵۰ هزار بوته در هکتار در نظر بگیریم، در این صورت نسبت تراکم دو گیاه ۱ به ۳ می‌شود. در این حالت، در کشت مخلوط روی یک ردیف، ذرت در ابتدا با تراکم خود در کشت خالص در نظر گرفته می‌شود و سپس برای قراردادن لوبیا در ردیف‌های کاشت به این صورت عمل می‌شود که بذره‌های ذرت

1. Row intercropping

2. Between-row intercropping

3. Within-row intercropping

به صورت یک درمیان حذف می‌شوند و با حذف هر بذر ذرت، سه بذر لوبیا جایگزین آن می‌شود (شکل ۱-۵) (اسکندری، ۱۳۸۳، اسکندری و قنبری، ۱۳۸۹).



شکل ۱-۴. کشت خالص ذرت (سمت چپ) و کشت مخلوط روی ردیف‌های جداگانه (سمت راست) ذرت و لوبیا. ردیف‌های کاشت به صورت جنوبی-شمالی می‌باشد (باجوکیا و همکاران، ۲۰۱۶).



شکل ۱-۵. کشت مخلوط ذرت و لوبیا روی یک ردیف. با درنظر گرفتن تراکم هر گیاه در کشت خالص، روش کاشت روی یک ردیف به صور حذف یک درمیان بذره‌های ذرت و قراردادن سه بذر لوبیا در محل بذور حذف شده ذرت می‌باشد. ردیف‌های کشت به صورت جنوبی-شمالی می‌باشد (اسکندری و قنبری، ۱۳۸۹).