



نقش ریشه گیاه در تولید محصول

تألیف

ناند کومار فاگریا

ترجمه

دکتر رضا امیرنیا

(عضو هیئت علمی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی)

دکتر پیمان محمدزاده توتونچی

(دانش آموخته دکتری زراعت گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی)

دکتر بهناز سعادت

(دانش آموخته دکتری زراعت گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی)

مهدیه فلاح

(دانشجوی دکتری زراعت گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی)

فریده فقه نبی

(دانشجوی دکتری زراعت گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی)

Fageria,N.K.

فاجریا، ان.کی ۱۹۴۲- م

نقش ریشه گیاه در تولید محصول/ناند کومار فاگریا؛ ترجمه رضا امیرنیا ... [او دیگران]؛ --

QK

۶۴۴

ارومیه: دانشگاه ارومیه، ۱۳۹۹

ن ۲ف /

۵۴۷ص: مصور ، نمودار. - (انتشارات دانشگاه ارومیه، ۲۷۹)

۱۳۹۹

شابک: ۷-۸۶۸۱۷۱-۶۰۰-۹۷۸

نوع منبع: الکترونیکی.

کتابنامه.

۱. ریشه‌ها(گیاه‌شناسی)(Roots Botany) ۲. فرآورده‌های زراعی (Crop)

الف. امیرنیا، رضا، ۱۳۴۴ - مترجم . ب. محمدزاده توتونچی، پیمان - مترجم .

ج. سعادت، بهناز - ، مترجم . د. فلاح، مهدیه - مترجم . ه. فقه نقی، فریده - مترجم

و. عنوان . ز. فروست شماره کتابشناسی ملی ۶۱۱۸۲۲۳



عنوان: نقش ریشه گیاه در تولید محصول

عنوان اصلی: The role of plant roots in crop production

تالیف: ناند کومار فاگریا

ترجمه: دکتر رضا امیرنیا، دکتر پیمان محمدزاده توتونچی،

دکتر بهناز سعادت، مهدیه فلاح و فریده فقه نقی

ویراستار علمی: دکتر مهدی قیاسی ، ویراستار ادبی: دکتر فاطمه مدرسی

ناشر: دانشگاه ارومیه چاپ اول: ۱۳۹۹

پیشگفتار

مسئله تغذیه جمعیت رو به افزایش جهان، به ویژه در کشورهای در حال توسعه، یکی از چالش‌های اساسی جامعه علمی کشاورزی امروز است. پیش‌بینی می‌شود جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ به بیش از نه میلیارد نفر برسد که مردم کشورهای در حال توسعه سهم بزرگی از جمعیت جهان را شامل می‌شوند. تقاضای جهانی برای غذا احتمالاً در ۳۰ سال آینده ۵۰ درصد افزایش خواهد یافت. این افزایش در تقاضا در درجه اول ناشی از انفجار احتمالی جمعیت جهان خواهد بود و این در حالی است که تولید غلات کاهش یافته است. اُفت عملکرد دانه محصولات مهم غذایی طی سالیان اخیر در کشورهای توسعه یافته و هم‌چنین کشورهای در حال توسعه به افزایش شدید قیمت مواد غذایی کمک شایانی کرده است. از این رو، نیاز است در آینده جهت تغذیه جمعیت رو به افزایش جهان عملکرد دانه محصولات زراعی افزایش یابد. علاوه بر این، اختصاص زمین برای تولید سوخت‌های زیستی عملکرد دانه بیشتری نیاز دارد تا بتواند پاسخگوی نیاز جمعیت رو به افزایش جهان باشد. اگر تقاضا برای غذا برای مدت طولانی‌تری ادامه یابد، ممکن است باعث بحران جدی در سرتاسر جهان گردد. از این رو، افزایش تولید مواد غذایی در سراسر جهان در قرن بیست و یکم به یک مسئله مهم تبدیل شده است. کاهش تولید مواد غذایی و افزایش قیمت مواد غذایی باعث نگرانی دانشمندان و اقتصاددانان بخش کشاورزی می‌شود چرا که این عامل ممکن است در افزایش سالانه ۲/۵ درصدی تولید مواد غذایی مورد نیاز برای تغذیه جمعیت رو به رشد جهان، افزایش درآمد و کاهش سوءتغذیه جهانی ناموفق باشد. برای برطرف کردن این معضل، فناوری‌هایی که بهره‌وری را افزایش می‌دهند، ایمنی محیط زیست را تضمین می‌کنند و باعث صرفه‌جویی در مصرف منابع طبیعی می‌گردند، مورد توجه ویژه قرار می‌گیرند.

افزایش جمعیت و بالا رفتن سطح تغذیه سبب افزایش تقاضا برای تولید محصولات کشاورزی گردیده است، در حالی که سطح اراضی زراعی دنیا به دلیل شهرسازی و تخریب محیط زیست، کاهش یافته است. عملکرد محصولات زراعی بایستی از طریق بهبود کارایی استفاده از منابع مانند آب و عناصر

غذایی با هدف برآورد نیاز جوامع کشاورزی افزایش یابد. در حال حاضر، تقریباً یک میلیارد نفر از جمعیت دنیا در فقر کامل به سر می‌برند که از این میزان، ۸۰۰ میلیون نفر تحت شرایط ناامنی غذایی زندگی می‌کنند و عملکرد محصولات زراعی در کشورهای توسعه‌یافته به سطح ثابتی رسیده است. بنابراین، در کشورهای در حال توسعه سطح بالاتری از بهره‌وری به دست خواهد آمد و این امر از طریق مدیریت بهتر منابع طبیعی و به‌زراعی صورت خواهد گرفت. بهره‌وری برای رشد اقتصادی طولی‌مدت ضروری است اما در کوتاه‌مدت اهمیت این بهره‌وری برای حفظ ذخایر غذایی کافی برای جمعیت در حال افزایش جهان، بیشتر است. سطح اراضی قابل کشت دنیا به دلیل تخریب محیط

پیشگفتار

زیست و شهرسازی در حال کاهش است که این روند کاهشی در کشورهای در حال توسعه در مقایسه با کشورهای توسعه یافته قابل توجه است.

کتاب حاضر مرجع کاملی برای نشان دادن دانش فعلی ما پیرامون نقش عوامل محیطی در رشد و نمو ریشه و نیز اثرات این عوامل بر بهبود عملکرد گیاهان زراعی یکساله می باشد. من معتقدم که این کتاب برای دانشمندان گیاهی در سطح جهان مثمر ثمر خواهد بود و مورد اقبال دانشمندان علوم زراعت، باغبانی، فیزیولوژی گیاهی، خاک، اصلاح نباتات، گیاه پزشکی و نیز دانشمندانی که روی گیاهان زراعی یکساله تحقیق می کنند، قرار خواهد گرفت. به علاوه، این کتاب مجموعه ای متشکل از موضوعات و فناوری های پیشرفته ای است که رشد ریشه را تحت تأثیر قرار می دهند و مرجع کاملی برای تسهیل فرآیند تولید محصولات زراعی به شکل اقتصادی، پایدار، کارآمد و همسو با طبیعت می باشد. قسمت اعظم کار حرفه ای من در مرکز ملی تحقیقاتی برنج و لوبیا Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) برزیل سپری شده است، یعنی جایی که من اختیار ادامه مطالعات خود در زمینه تغذیه معدنی گیاهان زراعی را داشتم. من حجم زیادی از اطلاعات در زمینه رشد ریشه در گیاهان برنج، لوبیا، ذرت، گندم، سویا و لگوم های پوششی مناطق گرمسیری جمع آوری نمودم. این اطلاعات کمک شایانی در تدوین فصول این کتاب به من نموده است. من از تمام کارکنان مرکز ملی تحقیقاتی Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) که با همکاری صمیمانه خود محیط کاری دلنشینی را برای من فراهم نمودند تا بتوانم کار تحقیقاتی خود را انجام دهم و کتاب حاضر را به رشته تحریر درآورم، کمال قدردانی را دارم. هم چنین، از شورای تحقیقات علمی و فناوری برزیل به دلیل حمایت مالی دو پروژه تحقیقاتی اینجانب سپاسگزاری می نمایم. بسیاری از نتایج این پروژه های تحقیقاتی در فصول مختلف این کتاب گنجانده شده اند. از آقایان رندی لیگ برم و دیوید فوسل به خاطر تقبل زحمات فراوان مربوط به چاپ با کیفیت این کتاب تشکر صمیمانه دارم.

در پایان، از همسرم شانتی، دخترم ساویتا، عروسم نیرا، پسرانم راجش و ساتیپال و نوه هایم صوفیا، مایا و آنجیت به خاطر صبر، تشویق و درک عمیق شان تشکر می کنم، چرا که بدون حمایت آنها، بنده انرژی و زمان لازم برای نگارش کتاب حاضر را نداشتم.

ناند کومار فاگریا

به نام خدا

فهرست مطالب

پیشگفتار

فصل ۱ انواع ریشه در گیاه، اندازه‌گیری‌های مربوط به ریشه و ارتباط ریشه با عملکرد گیاه

۱-۱ مقدمه.....	۱
۲-۱ ریشه، غلات، لگوم‌ها و گراس‌ها.....	۴
۳-۱ نسبت ریشه به اندام هوایی.....	۱۱
۴-۱ سهم ریشه، اندام هوایی و دانه در مجموع وزن گیاه.....	۱۷
۵-۱ طول ریشه.....	۲۵
۶-۱ طول مخصوص ریشه.....	۳۴
۷-۱ وزن خشک ریشه.....	۳۵
۸-۱ مساحت سطح ریشه.....	۳۹
۹-۱ عمق و تراکم ریشه.....	۳۹
۱۰-۱ نمو ریشه نسبت به مرحله رشدی گیاه.....	۴۳
۱۱-۱ عملکرد گیاه در مقابل رشد ریشه.....	۵۲
۱۲-۱ نتایج.....	۵۳

منابع فصل ۱

فصل ۲ جذب مواد غذایی توسط ریشه

۱-۲ مقدمه.....	۶۷
۲-۲ اشکال جذب عناصر ضروری و نقش آن‌ها در گیاهان.....	۷۲
۳-۲ کمبود و بیش‌بود عناصر غذایی و تکنیک‌های تشخیص آن‌ها.....	۷۳
۱-۳-۲ نشانه‌های بصری.....	۷۷
۲-۳-۲ آزمون خاک.....	۸۱
۳-۳-۲ آنالیز گیاهی.....	۸۶
۴-۳-۲ پاسخ رشدی محصول.....	۸۸
۴-۲ جذب عناصر غذایی توسط گیاهان زراعی.....	۹۰
۵-۲ اثرات متقابل عناصر غذایی.....	۹۵

پیشگفتار

۶-۲ کارایی مصرف عناصر غذایی ۹۹

- ۷-۲ مکانیسم‌های دخیل در جذب و کارایی مصرف مواد غذایی ۱۰۷
- ۱-۷-۲ بهینه بودن شکل هندسی ریشه ۱۰۸
- ۲-۷-۲ جذب مقدار زیادی ماده از محیط‌های کم غلظت خاک ۱۱۰
- ۳-۷-۲ توانایی گیاه برای انحلال مواد غذایی در محیط ریشه ۱۱۲
- ۴-۷-۲ جذب و مصرف بهینه مواد غذایی درون گیاه ۱۱۴
- ۵-۷-۲ تخصیص بهتر ماده خشک درون گیاه ۱۱۶
- ۶-۷-۲ رابطه متعادل منبع- مخزن ۱۱۷
- ۸-۲ نقش گیاهان زراعی در بهبود کارایی مصرف مواد غذایی تحت تنش‌های زنده و غیرزنده ۱۱۸
- ۹-۲ اصلاح برای بهبود کارایی مصرف ماده غذایی ۱۲۴
- ۱۰-۲ نیازهای غذایی گیاهان متداول و تراریخته ۱۲۷
- ۱۱-۲ نتایج ۱۲۹
- منابع فصل ۲

فصل ۳ جذب آب توسط ریشه

- ۱-۳ مقدمه ۱۵۱
- ۲-۳ آب مورد نیاز گیاهان یکساله ۱۵۹
- ۳-۳ برآورد مصرف آب در گیاه ۱۶۱
- ۴-۳ راندمان مصرف آب ۱۶۲
- ۱-۴-۳ شیوه‌های مدیریتی بهبود کارایی مصرف آب در گیاهان زراعی ۱۶۷
- ۱-۴-۳ ۱- حفظ ماده آلی خاک ۱۶۸
- ۲-۴-۳ ۲- شخم حفاظتی ۱۷۰
- ۳-۴-۳ ۳- تناوب زراعی ۱۷۳
- ۴-۴-۳ ۴- کشت مخلوط ۱۷۵
- ۵-۴-۳ ۵- ژنوتیپ‌ها/ گونه‌های گیاهی ۱۷۵
- ۶-۴-۳ ۶- حاصلخیزی مطلوب خاک ۱۷۶
- ۷-۴-۳ ۷- استفاده از گیاهان پوششی ۱۷۸
- ۸-۴-۳ ۸- کارایی آبیاری بهبود یافته ۱۷۹
- ۹-۴-۳ ۹- اتخاذ کم‌آبیاری کنترلی ۱۸۴
- ۵-۳ اهمیت آب برای تغذیه معدنی محصولات زراعی ۱۸۵
- ۶-۳ کمبود آب در مقابل شوری ۱۸۶
- ۷-۳ کمبود آب در مقابل میکروبیولوژی خاک ۱۸۷

۱۸۸	.....۸-۳ خشکسالی.....
۱۹۰	.....۱-۸-۳ بازده محصولات نسبت به تنش آب.....
۱۹۲	.....۲-۸-۳ مراحل حساس به خشکی رشد محصول.....
۱۹۷	.....۳-۸-۳ ویژگی‌های ریشه مرتبط با تنش خشکی.....
۱۹۹	.....۹-۳ راهکارهای مدیریتی برای تولید در شرایط خشکی.....
۲۰۴	.....۱۰-۳ نتایج.....
	منابع فصل ۳

فصل ۴ شیمی محیط اطراف ریشه

۲۲۹	.....۱-۴ مقدمه.....
۲۳۲	.....۲-۴ تأثیر اکسیژن بر رشد ریشه.....
۲۳۳	.....۳-۴ تغییرات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی.....
۲۳۳	.....۱-۳-۴ تغییرات فیزیکی.....
۲۳۴	.....۱-۱-۳-۴ دما.....
۲۳۶	.....۲-۱-۳-۴ ظرفیت نگهداری آب.....
۲۳۷	.....۳-۱-۳-۴ ساختار.....
۲۳۸	.....۲-۳-۴ تغییرات شیمیایی.....
۲۳۸	.....۱-۲-۳-۴ اسیدپتیک.....
۲۴۱	.....۲-۲-۳-۴ پتانسیل اکسیداسیون- احیا.....
۲۴۲	.....۳-۲-۳-۴ رهاسازی ترکیبات آلی.....
۲۴۳	.....۴-۲-۳-۴ تجمع و قابلیت دسترسی مواد غذایی.....
۲۴۴	.....۱-۴-۲-۳-۴ عناصر پرمصرف.....
۲۴۴	.....۱-۱-۴-۲-۳-۴ نیتروژن.....
۲۴۵	.....۲-۱-۴-۲-۳-۴ فسفر.....
۲۴۷	.....۳-۱-۴-۲-۳-۴ پتاسیم.....
۲۴۸	.....۴-۱-۴-۲-۳-۴ کلسیم و منیزیم.....
۲۴۸	.....۵-۱-۴-۲-۳-۴ گوگرد.....
۲۵۰	.....۲-۴-۲-۳-۴ ریزمغذی‌ها.....
۲۵۰	.....۱-۲-۴-۲-۳-۴ آهن.....
۲۵۱	.....۲-۲-۴-۲-۳-۴ روی، مس، منگنز.....
۲۵۲	.....۳-۲-۴-۲-۳-۴ بور و مولیبدن.....

۲۵۲	..... سمیت‌زدایی آلومینیوم ۱-۳-۲-۴-۲-۳-۴
۲۵۴	..... دگرآسیبی ۲-۳-۲-۴-۲-۳-۴
۲۵۵	..... انتشار گازهای گلخانه‌ای ۳-۳-۲-۴-۲-۳-۴
۲۶۰	..... تغییرات بیولوژیکی ۳-۳-۴
۲۶۱	..... تثبیت نیتروژن ۱-۳-۳-۴
۲۶۳	..... تثبیت نیتروژن توسط باکتری‌های آزادزی و هم‌زیست با ریشه ۲-۳-۳-۴
۲۶۴	..... باکتری‌های محرک رشد گیاه ۳-۳-۳-۴
۲۶۵	..... میکروارگانیسم‌های مضر ۴-۳-۳-۴
۲۶۶	..... نتایج ۴-۴

منابع فصل ۴

فصل ۵ شیمی محیط اطراف ریشه^۲ برنج غرقابی

۲۸۱	..... ۱-۵ مقدمه
۲۸۵	..... ۲-۵ اکوسیستم‌های برنج
۲۸۵	..... ۱-۲-۵ اکوسیستم برنج دیم مناطق مرتفع
۲۸۷	..... ۲-۲-۵ اکوسیستم برنج غرقاب
۲۸۸	..... ۳-۲-۵ اکوسیستم برنج شناور یا برنج آب‌های عمیق
۲۹۱	..... ۳-۵ انواع خاک مورد استفاده برای ارقام برنج غرقاب
۲۹۱	..... ۴-۵ تغییرات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی در خاک‌های سیلابی و غرقاب شده
۲۹۱	..... ۱-۴-۵ تغییرات فیزیکی
۲۹۴	..... ۲-۴-۵ تغییرات بیولوژیکی
۲۹۵	..... ۲-۴-۵ تغییرات شیمیایی
۲۹۵	..... ۱-۳-۴-۵ اسیدپته
۲۹۷	..... ۲-۳-۴-۵ پتانسیل اکسیداسیون- احیا
۲۹۸	..... ۳-۳-۴-۵ وضعیت اکسیداسیون-احیای خاک در برابر اختلاط بقایای گیاهی با خاک
۳۰۴	..... ۴-۳-۴-۵ قدرت یونی
۳۰۴	..... ۵-۳-۴-۵ فراهمی عناصر غذایی
۳۰۴	..... ۱-۵-۳-۴-۵ نیتروژن
۳۱۰	..... ۲-۵-۳-۴-۵ فسفر
۳۱۳	..... ۳-۵-۳-۴-۵ پتاسیم
۳۱۷	..... ۴-۵-۳-۴-۵ گوگرد

۳۱۷.....	۵-۳-۴-۵ کلسیم و منیزیم
۳۱۸.....	۶-۵-۳-۴-۵ ریزمغذی‌ها
۳۱۸.....	۱-۶-۵-۳-۴-۵ آهن و منگنز
۳۲۲.....	۲-۶-۵-۳-۴-۵ روی
۳۲۵.....	۳-۶-۵-۳-۴-۵ مس
۳۲۷.....	۴-۶-۵-۳-۴-۵ بر، مولیبدن و سیلیس
۳۲۸.....	۶-۳-۴-۵ تولید متان
۳۲۹.....	۵-۵ نتایج

منابع فصل ۵

فصل ۶ رابطهٔ مایکوریزایی در محیط اطراف ریشه ذ

۳۴۱.....	۱-۶ مقدمه
۳۴۳.....	۲-۶ رده‌بندی و بیولوژی قارچ‌های مایکوریزایی
۳۴۳.....	۱-۲-۶ مایکوریزای بینابینی
۳۴۳.....	۲-۲-۶ اکتو مایکوریزا
۳۴۴.....	۳-۲-۶ اندو مایکوریزا
۳۴۷.....	۳-۶ عوامل مؤثر بر کلونیزاسیون مایکوریزایی
۳۴۷.....	۱-۳-۶ میزبان
۳۴۸.....	۲-۳-۶ عوامل اقلیمی
۳۴۹.....	۳-۳-۶ عوامل خاکی
۳۵۰.....	۴-۳-۶ خاک‌ورزی و مواد شیمیایی کشاورزی
۳۵۲.....	۴-۶ فواید قارچ‌های مایکوریزا
۳۵۲.....	۱-۴-۶ بهبود جذب مواد مغذی
۳۵۵.....	۲-۴-۶ بهبود کارایی جذب و مصرف آب
۳۵۶.....	۳-۴-۶ حفاظت در برابر پاتوژن
۳۵۶.....	۴-۴-۶ افزایش تجمع کلروفیل
۳۵۷.....	۵-۴-۶ افزایش تحمل به شوری
۳۵۸.....	۶-۴-۶ ترسیب کربن و تثبیت خاکدانه‌ها
۳۵۸.....	۵-۶ کاربرد مایکوریزا در سیستم‌های کشت
۳۵۹.....	۶-۶ نتایج

منابع فصل ۶

فصل ۷ اثرات عناصر معدنی بر رشد ریشه گیاهان زراعی

۳۷۱	۱-۷ مقدمه.....
۳۷۶	۲-۷ درشت مغذی‌ها.....
۳۷۷	۱-۲-۷ نیتروژن.....
۳۹۰	۲-۲-۷ فسفر.....
۳۹۸	۳-۲-۷ پتاسیم.....
۴۰۱	۴-۲-۷ کلسیم.....
۴۰۳	۵-۲-۷ منیزیم.....
۴۰۵	۶-۲-۷ گوگرد.....
۴۰۷	۳-۷ ریزمغذی‌ها.....
۴۱۰	۱-۳-۷ روی.....
۴۱۱	۲-۳-۷ مس.....
۴۱۱	۳-۳-۷ بُر.....
۴۱۳	۴-۳-۷ آهن.....
۴۱۹	۵-۳-۷ دیگر عناصر کم‌مصرف.....
۴۲۱	۴-۷ نتایج.....

منابع فصل ۷

فصل ۸ اکوفیزبولوژی گیاهان ریشه‌ای اصلی

۴۲۹	۱-۸ مقدمه.....
۴۳۰	۲-۸ چغندر قند.....
۴۳۲	۱-۲-۸ نیازهای اقلیمی و خاکی.....
۴۳۲	۲-۲-۸ حشرات و بیماری‌ها.....
۴۳۳	۳-۲-۸ نیازهای غذایی.....
۴۳۴	۴-۲-۸ رشد و نمو.....
۴۳۵	۳-۸ کاساوا.....
۴۳۷	۱-۳-۸ آب و هوا و نیازهای خاکی.....
۴۳۸	۲-۳-۸ بیماری‌ها و حشرات.....
۴۳۸	۳-۳-۸ نیازهای غذایی.....
۴۳۹	۱-۳-۳-۸ غلظت مواد غذایی.....

۴۳۹	..... ۲-۳-۳-۸ تجمع مواد غذایی.....
۴۴۱	..... ۴-۳-۸ رشد و نمو
۴۴۱	..... ۱-۴-۳-۸ ریشه‌ها.....
۴۴۱	..... ۲-۴-۳-۸ اندام هوایی.....
۴۴۲	..... ۳-۴-۳-۸ شاخص سطح برگ
۴۴۲	..... ۴-۴-۳-۸ ماده خشک.....
۴۴۳	..... ۵-۴-۳-۸ شاخص برداشت
۴۴۳	..... ۴-۸ سیب‌زمینی شیرین.....
۴۴۴	..... ۱-۴-۸ نیازهای خاکی و اقلیمی.....
۴۴۴	..... ۲-۴-۸ بیماری‌ها و آفات.....
۴۴۵	..... ۳-۴-۸ نیازهای غذایی.....
۴۴۶	..... ۴-۴-۸ رشد و نمو.....
۴۴۸	..... ۵-۸ هویج.....
۴۴۹	..... ۱-۵-۸ احتیاجات آب و هوایی و خاک.....
۴۴۹	..... ۲-۵-۸ احتیاجات تغذیه‌ای.....
۴۵۱	..... ۳-۵-۸ بیماری‌ها و حشرات.....
۴۵۱	..... ۴-۵-۸ رشد و توسعه.....
۴۵۱	..... ۶-۸ نتایج.....

منابع فصل ۸

فصل ۹ راهبردهای مدیریتی برای حداکثرسازی رشد سیستم‌های ریشه‌ای

۴۵۷	..... ۱-۹ مقدمه.....
۴۵۸	..... ۲-۹ بهینه‌سازی ویژگی‌های فیزیکی خاک.....
۴۵۸	..... ۱-۲-۹ درجه حرارت.....
۴۶۲	..... ۲-۲-۹ میزان رطوبت.....
۴۶۳	..... ۳-۲-۹ ساختمان خاک.....
۴۶۶	..... ۴-۲-۹ وزن مخصوص ظاهری و تخلخل.....
۴۶۹	..... ۳-۹ بهینه‌سازی ویژگی‌های شیمیایی خاک.....
۴۷۰	..... ۱-۳-۹ آهک‌دهی خاک‌های معدنی.....
۴۷۵	..... ۲-۳-۹ اشباع بازی.....
۴۸۰	..... ۳-۳-۹ اشباع آلومینیومی.....

- ۴۸۳ کاربرد گچ ۴-۳-۹
- ۴۹۱ میزان ماده آلی خاک ۵-۳-۹
- ۴۹۲ حاصلخیزی خاک ۶-۳-۹
- ۴۹۷ شوری ۷-۳-۹
- ۵۰۳ ویژگی قلیائی خاک ۸-۳-۹
- ۵۰۵ بهینه‌سازی ویژگی‌های بیولوژیکی خاک ۴-۹
- ۵۰۵ بیوماس میکروبی ۱-۴-۹
- ۵۰۷ بیوپورها ۲-۴-۹
- ۵۰۷ کنترل علف‌های هرز ۳-۴-۹
- ۵۱۰ کنترل بیماری‌ها و حشرات ۴-۴-۹
- ۵۱۳ بهینه‌سازی روش‌های پرورشی ۵-۹
- ۵۱۴ شخم عمیق ۱-۵-۹
- ۵۱۴ خاکورزی حفاظتی ۲-۵-۹
- ۵۱۴ تناوب زراعی ۳-۵-۹
- ۵۱۵ استفاده از گونه‌ها/ ژنوتیپ‌های محصولات مقاوم به تنش ۴-۵-۹
- ۵۱۷ اصلاح واریته‌های زراعی برای سیستم‌های ریشه‌ای بهتر ۶-۹
- ۵۲۱ نتایج ۷-۹

۱

انواع ریشه در گیاه، اندازه‌گیری‌های مربوط به ریشه و ارتباط ریشه با عملکرد گیاه

۱-۱ مقدمه

ریشه اندام مهمی است که نقش به‌سزایی در رشد و نمو گیاهان بازی می‌کند. ریشه، نه‌تنها آب و مواد غذایی را تأمین می‌کند، بلکه نقش حفاظت از گیاه را از دوران گیاهچه تا رسیدگی و نمو ایفا می‌کند. به‌علاوه، هورمون‌های رشد توسط ریشه در اختیار گیاه قرار می‌گیرند تا به رشد و نمو بهتر آن کمک کنند. هم‌چنین، ریشه‌ها با تقویت میزان مادهٔ آلی خاک، سبب بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک می‌گردند که نتیجهٔ آن، افزایش عملکرد گیاه زراعی است. باربر (۱۹۷۹) برآورد کرد که ۸ الی ۱۱ درصد بقایای ساقهٔ ذرت به‌صورت کربن آلی وارد خاک می‌گردد. آل‌ماراس و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که تنها اندازه‌گیری کمیت ریشهٔ گیاه، نقش آن را در تشکیل کربن آلی خاک کم‌رنگ می‌کند. آن‌ها خاطر نشان کردند که بقایای ریشه در مزرعه، سهم زیادی در چرخهٔ کربن کل دارد و باید در آنالیز سطح مزرعه گنجانده شود. جانسون و همکاران (۲۰۰۶) مشارکت بخش‌های مختلف گیاه از گونه‌های مختلف گیاهی را در محتوای کربن آلی بررسی نمودند و راهنمای کاملی از سهم ریشهٔ گیاه و بقایای آن در چرخهٔ کربن کل را در صورت آنالیز تغییرات کربن آلی خاک، ارائه دادند. منبع مهم تجمع کربن آلی، احتمالاً ته‌نشست‌های زیرزمینی کربن تثبیت‌شده در زیست‌تودهٔ ساختار ریشه، ترشحات، موسیلاژ و سلول‌های پوسیده باشد (بوتنر و همکاران، ۱۹۹۹، آل‌ماراس و همکاران، ۲۰۰۴). بنجامین و همکاران (۲۰۱۱) عنوان کردند که سهم سیستم ریشه در تشکیل و افزایش کربن آلی خاک در زمان انتخاب تناوب در سیستم کشت، مهم است.

تأثیر ریشه‌ها در مخازن کربن آلی خاک به‌علت آزادسازی مداوم کربن از ریشه و پیچیدگی‌های ذاتی اثر متقابل ریزوسفر با خاک، می‌تواند تا حدودی نسبت به تأثیر ورودی‌های کربن بالای سطح زمین بیشتر باشد (میچالماس و همکاران، ۱۹۸۵؛ بون، ۱۹۹۴؛ نوروی و کوترافو، ۱۹۹۸). پاجت و درینک‌واتر (۲۰۰۱) به‌منظور تشخیص عوامل مؤثر بر هر گونه تفاوت در حفظ ورودی‌های کربن سطح بالا و پایین زمین، سرنوشت کربن منشأ گرفته از ریشهٔ ماشک (*Vicia villosa*) را با کربن منشأ گرفته از اندام هوایی مورد مطالعه قرار دادند. در پایان فصل رشد، نزدیک به نصف کربن منشأ گرفته از ریشه در خاک موجود بود، در حالی که تنها ۱۳ درصد از کربن منشأ گرفته از اندام هوایی، باقی مانده بود. تفاوت در سرعت تجزیهٔ مشتقات ریشه و اندام هوایی تا حدودی به قابلیت تجزیه‌پذیری بر می‌گردد. بقایای بخش هوایی ماشک با نسبت لیگنین به نیتروژن ۱:۱ در مقایسه با بقایای ریشه با نسبت لیگنین به نیتروژن ۶:۱ بسیار سریع‌تر و به مقدار بیشتری معدنی می‌شود (پاجت و درینک‌واتر، ۲۰۰۱).

ریشه‌ها به‌طور مستقیم با تلفیق با اجزای خاک و به‌طور غیرمستقیم با تحریک زیست‌توده میکروبی که سبب ساخت پلیمرها و پیوستگی خاک می‌شود، در پایداری توده خاک نقش دارند (تیسدال و ادز، ۱۹۷۹؛ جاستراو و همکاران، ۱۹۹۸).

خاک‌ها، بزرگترین مخزن کربن در جهان هستند (اسلسینجر، ۱۹۹۰؛ جوباگی و جکسون، ۲۰۰۰؛ اینتری و همکاران، ۲۰۰۲). مقدار کربن ذخیره شده در خاک، دو برابر مقدار آن در اتمسفر و سه برابر کربن ذخیره شده در گیاهان زنده است (اسلسینجر، ۱۹۹۰). بنابراین، تغییر در اندازه مخزن کربن خاک می‌تواند به‌طور عمده، غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفر را تغییر دهد (وانگ و همکاران، ۱۹۹۹). چندین مطالعه گزارش نموده‌اند که ریشه‌ها تأثیر نسبی بیشتری بر مخزن کربن خاک نسبت به اندام هوایی دارند و تا حدودی نگهداری بیشتر کربن منشأ گرفته از ریشه را به حفاظت فیزیکی در داخل توده خاک نسبت داده‌اند (گاله و همکاران، ۲۰۰۰؛ واندر و یانگ، ۲۰۰۰؛ پاجت و درینکواتر، ۲۰۰۱؛ کانگ و سیکس، ۲۰۱۰). پاجت و درینکواتر (۲۰۰۱) پیشنهاد کردند در سیستم‌های مبتنی بر لگوم، سهم کربن منشأ گرفته از ریشه در مقایسه با ذرات مواد آلی، سیلت و رس، بیشتر است که این امر نشان‌دهنده ماندگاری بیشتر کربن ریشه‌ای در خاک است. گال و همکاران (۲۰۰۰) گزارش نمودند نقش ماده آلی نشأت گرفته از بقایای ریشه نسبت به کربن نشأت گرفته از بقایای گیاهی در پایداری خاکدانه‌های خاک تحت شرایط بدون شخم، مهم بود. به‌علاوه، وندر و یانگ (۲۰۰۰) گزارش نمودند مواد ریشه‌ای نسبت به مواد بالای خاک در سیستم بدون شخم و خاک‌های شخم‌خورده با گاواهن برگردان‌دار به‌سرعت در توده خاک تثبیت می‌شوند. کانگ و سیکس (۲۰۱۰) در مرحله برداشت ذرت، مقدار کربن ریشه‌ای موجود در خاک را ۵۲ درصد در مقابل ۴ درصد کربن اندام هوایی گزارش نمودند. بالسدنت و بالابان (۱۹۹۶) نیز اعلام کردند با این‌که ورودی‌های سطح بالای زمین (۳۴۵ گرم کربن در متر در سال) نزدیک به ۳/۳ برابر بیش از زیر زمین (۱۵۲ گرم کربن در متر در سال) است، ولی سهم بخش زیرزمینی در انباشت مواد آلی، (۵۷ گرم کربن در متر در سال) بود.

هم‌چنین، ریشه‌ها به ترسیب کربن، که یک بحث داغ در قرن بیست‌ویک به‌دلیل تغییر اقلیم و اثرات مخرب آن روی محیط و به‌تبع آن، سلامت انسان و حیوان می‌باشد، کمک می‌کند. کربن آلی خاک به‌عنوان مؤلفه کلیدی در کاهش دی‌اکسیدکربن اتمسفر و جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و تعدیل تغییرات جهانی اقلیم لحاظ می‌شود (کریستوفر و همکاران، ۲۰۰۹). هینسینگر و همکاران (۲۰۰۹) گزارش نمودند که ریشه گیاهان عالی به‌عنوان مرکز ثقل تنوع زیستی اکوسیستم‌های زمینی تأمین‌کننده مقدار زیادی کربن برای تقویت خاک اکوسیستم‌ها می‌باشد. تولید ریشه منشعب به‌خصوص تحت شرایط استرس‌های محیطی، مثل خشکی و مواد غذایی، بسیار مهم است (فاگریا و همکاران، ۲۰۰۶؛ جلیل و همکاران، ۲۰۰۹). ثابت شده است که رشد اولیه ریشه‌های قوی می‌تواند یک عامل مهم در افزایش جذب نیتروژن در گندم باشد (لیو و همکاران، ۲۰۰۴؛ نولاس و همکاران، ۲۰۱۰). سیستم ریشه‌ای گسترده‌تر سبب افزایش تماس ریشه با خاک می‌گردد که به‌خصوص در جذب فسفر، بسیار مهم است (گاهونیا و نیلسون، ۲۰۰۴). مواد غذایی متحرک مثل نترات می‌تواند در تراکم اندک ریشه‌ها، تخلیه شود، در حالی که برای عناصر کم‌حرکی مثل فسفر و پتاسیم، میزان تخلیه، اغلب ارتباط نزدیکی با طول ریشه دارد (اتکینسون، ۱۹۹۱).

برای سال‌های طولانی (از اواسط قرن گذشته)، ریشه‌ها به‌عنوان نیمه پنهان گیاه در نظر گرفته می‌شدند (وایسل و همکاران، ۲۰۰۲) و همواره کمبود چشم‌گیری در تحقیقات در این زمینه در کل دنیا وجود داشته است (اتو و همکاران، ۲۰۰۹). علت فقدان اطلاعات در این زمینه، به‌دلیل مشکلاتی که در روش انجام کار به‌دلیل غیرقابل‌دسترس بودن سیستم ریشه به‌عنوان هدف تحقیق، پیچیدگی سه‌بعدی آن و تنوع زمانی و مکانی قابل‌توجه آن وجود دارد، نهفته است (وان نور و بیچ، ۱۹۹۳). مطالعه سیستم ریشه، بسیار دشوار و زمان‌بر است. به‌علاوه، زمان لازم برای ارزیابی کمی ریشه و عدم قطعیت نتایج، از عوامل مایوس‌کننده تحقیقات ریشه است (زونتا و همکاران، ۲۰۰۹). در حال حاضر، توافق بر اهمیت مطالعه سیستم ریشه، انواع مختلف ریشه‌های گیاهی، اندازه‌گیری آن و ارتباط با عملکرد که از ضروریات افزایش تولید است، وجود دارد. این اقدام می‌تواند منجر به استفاده مؤثر از مواد غذایی و آب توسط محصولات زراعی و کاهش اثرات منفی بر محیط زیست شود. با وجود این پتانسیل، ریشه‌ها در زمینه‌های ساختاری، تغذیه‌ای و هیدرولوژیکی، کمتر مورد توجه واقع شده‌اند. بخش هوایی گونه‌های گیاهی احتمالاً به‌دلیل قابل‌مشاهده بودن و سهولت اندازه‌گیری نسبی آن، بیشتر مورد مطالعه و توجه قرار می‌گیرد، در حالی که قسمت‌های زیرزمینی، مورد غفلت واقع می‌شوند (فاگریا و همکاران، ۲۰۰۶). بخشی از این غفلت، از غیر قابل‌دسترس بودن سیستم ریشه در زیر سطح خاک نشأت می‌گیرد. به‌علاوه، تشکیل و از بین رفتن سریع سیستم ریشه‌ای از عوامل پیچیدگی

مطالعه^۱ ریشه است. ریشه‌ها، به‌طور مداوم رشد می‌کنند، می‌میرند و تجزیه می‌شوند (جونز، ۱۹۸۵). به‌این دلایل، اطلاعات در مورد ساختار ریشه و دینامیک رشد آن به‌عنوان تابعی از عوامل محیطی در گیاهان زراعی، نادر و پراکنده است. در اوایل سال ۱۹۲۶، ویور (۱۹۲۶) در گزارشی، تفسیر اطلاعات ریشه را دشوار اعلام کرد. اندازه‌گیری واقعی سیستم ریشه‌ای مشکلات عملی زیادی دارد، به‌طوری‌که بسیاری از محققان این زمینه را به چالش کشیده‌اند (هود و همکاران، ۲۰۰۱). اگر چه در حال حاضر، روش‌های مناسبی برای اندازه‌گیری ریشه با استفاده از هسته‌ها یا لوله‌های قابل‌دسترسی دائمی وجود دارد، اما ممکن است اطلاعات جمع‌آوری شده بیانگر کل محصول نباشد (هود و همکاران، ۲۰۰۱). به‌علاوه، این روش‌ها (منافذ خاک، چاله‌ها و گودال‌ها) با در نظر گرفتن حجم خاک و سطح منطقه‌ای که می‌تواند ارزیابی شود، تخریبی هستند و نیازمند کاربر و دارای محدودیت‌اند. هم‌چنین، داده‌های به‌دست آمده از این روش‌ها، اطلاعات مربوط به توزیع ریشه در خاک را تأمین نمی‌کنند، ولی اطلاعاتی در مورد میانگین زیست‌توده ریشه در کرت‌ها یا تیمارها را به‌دست می‌دهد (بوتنر و همکاران، ۲۰۰۳).

این فصل، دانش کنونی را در مورد ریشه^۲ غلات، لگوم‌ها و گراس‌ها، نسبت ریشه به اندام هوایی، سهم ریشه در وزن کل گیاه، طول ریشه، وزن مخصوص ریشه (SRL)، وزن خشک ریشه، عمق ریشه‌دهی و تراکم، ارتباط رشد ریشه با عملکرد را خلاصه می‌کند. بیشتر بحث‌ها با نتایج تحقیقات محققان دیگر، تأیید می‌شود که می‌تواند برای کسانی که در زمینه^۳ تغذیه گیاه، استفاده آب، اصلاح و فیزیولوژی گیاهی مطالعه می‌کنند و کسانی که علاقمند به دست‌ورزی سیستم ریشه‌ای جهت رسیدن به عملکردهای بیشتر هستند، مفید باشد.

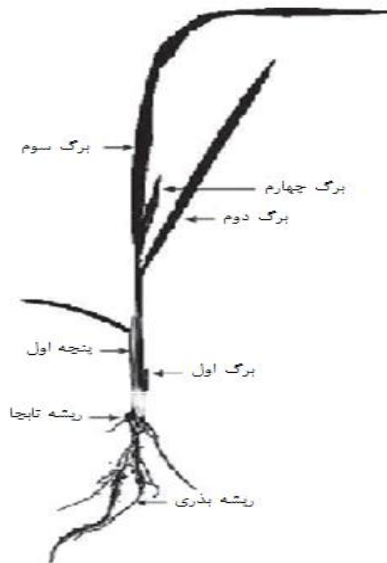
۱-۲ ریشه^۲ غلات، لگوم‌ها و گراس‌ها

دانه^۴ غلات و لگوم‌ها، حاوی ذخایر زیادی از کربوهیدرات‌ها و مواد غذایی است که سبب رشد اولیه^۵ سریع سیستم ریشه‌ای تا عمق قابل‌ملاحظه‌ای می‌شود (مارشور، ۱۹۹۸). انشعاب ریشه‌ها قبل از باز شدن برگ‌ها صورت می‌گیرد که ناشی از برخورد با خاک مرطوب است و نتیجه^۶ آن استقرار گیاه است (هود و همکاران، ۲۰۰۱). در حالت کلی، ریشه‌ها به چهار گروه ریشه^۷ عمودی، ریشه^۸ اصلی، ریشه^۹ جانبی و ریشه^{۱۰} ساقه‌زاد یا ریشه‌های نابه‌جا تقسیم می‌شوند (زوبل، ۲۰۰۵). زمانی گیاهان شاخه‌های ثانویه (پنجه‌ها) یا شاخه‌های ساقه تولید می‌کنند که ریشه‌ها توسعه یافته باشند که این ریشه‌ها معمولاً ریشه‌های نابه‌جا نامیده می‌شوند. برای نشان دادن منشأ صحیح این واژه، گاهی واژه^{۱۱} ساقه‌زاد استفاده می‌شود (زوبل، ۲۰۰۵a). نخستین عمل ریشه‌های عمودی، اصلی و نابه‌جا استقرار بهترین چارچوب می‌باشد که بر آغازش ریشه‌های جانبی کوچک که بر جذب آب و مواد غذایی تأثیر می‌گذارد (زوبل، ۲۰۰۵a). ریشه^{۱۲} عمودی برای اطمینان از منبع کافی آب خاک، نسبتاً عمیق نفوذ می‌کند. ریشه^{۱۳} اصلی برای اطمینان از ساختار ریشه‌های جانبی که در جذب فسفر و دیگر مواد غذایی که در سطوح پایین پروفیل خاک کمتر هستند، به‌صورت جانبی گسترش می‌یابد (زوبل، ۲۰۰۵a) و مقاومت تحمل بار، زمانی که گیاه بالغ شده یا تولید دانه می‌کند، ایجاد می‌کند (استوفلا و همکاران، ۱۹۷۹؛ بارلو، ۱۹۷۹). برای بسیاری از گراس‌ها و دیگر گونه‌ها که ضخیم‌شدن ریشه ثانویه مهم نیست، ریشه‌های ساقه‌زاد نقش ریشه‌های اصلی را ایفا می‌کنند. ریشه^{۱۴} ساقه‌زاد، ساخت چارچوب ریشه را با بزرگتر شدن ریشه‌های هدایت‌کننده ادامه می‌دهد که سبب افزایش اندازه گیاه می‌شود (زوبل، ۲۰۰۵b). ریشه‌های اصلی و ساقه‌زاد احتمالاً مقدار کمی آب و مواد غذایی را جذب می‌کنند (اس تی ایبن و همکاران، ۱۹۸۶).

سیستم ریشه‌ای تک‌لپه‌ای‌ها و دو لپه‌ای‌ها متفاوت است. سیستم ریشه‌ای در تک‌لپه‌ای‌ها افشان و در دو لپه‌ای‌ها اغلب عمودی است. سیستم ریشه در تک‌لپه‌ای‌ها شامل ریشه^{۱۵} اصلی، گره‌ای و جانبی است. ریشه^{۱۶} اصلی از پرموردیای داخل بذر و ریشه‌های گره‌ای به‌صورت نابه‌جا از گره‌های پایین ساقه، منشعب می‌شوند. برای تشخیص تمامی ریشه‌های نابه‌جای ساقه‌زاد از ریشه‌های به‌وجود آمده از مزوکوتیل یا سایر بخش‌های گیاه، این ریشه‌ها ریشه^{۱۷} گره‌ای نامیده می‌شوند. ریشه‌های گره‌ای توسط شماره گره‌ای که از آن منشأ گرفته‌اند، مشخص می‌شوند. ریشه‌های گره‌ای ممکن است دارای کارکرد یا بدون کارکرد باشند (توماس و کاسپار، ۱۹۹۷). ریشه‌های گره‌ای دارای کارکرد، به‌عنوان ریشه‌هایی که از گره‌های ساقه منشأ گرفته و داخل خاک می‌روند و ریشه‌های جانبی یا تارهای کشنده را توسعه می‌دهند، شناخته می‌شوند. ریشه‌های گره‌ای بدون کارکرد، از گره‌های ساقه روی خاک تشکیل می‌شوند و داخل خاک نمی‌روند و ریشه‌های جانبی تولید نمی‌کنند (توماس و کاسپار، ۱۹۹۷).

ریشه‌های اولیه یا ریشه‌های گره‌ای، ریشه‌های جانبی را گسترش می‌دهند که ریشه‌های درجه اول نامیده می‌شوند. ریشه‌های منشأگرفته از ریشه‌های درجه اول، تحت‌عنوان ریشه‌های درجه دوم و ریشه‌های جانبی بعدی به ترتیب سومین و چهارمین درجه ریشه را تشکیل می‌دهند (یاماچی و همکاران، ۱۹۹۷ a و b). هم‌چنین، ریشه‌های گره‌ای به‌عنوان ریشه‌های نابه‌جا، تاجی یا طوقه‌ای شناخته می‌شوند. ریشه غلاتی مثل برنج شامل مزوکوتیل، رادیکال، گره و ریشه‌های نابه‌جا است. ریشه‌های مزوکوتیل از محور بین گره کولتوپتیل و پایه رادیکال منشأ می‌گیرند و معمولاً زمانی که بذرها بسیار عمیق کشت شوند یا توسط مواد شیمیایی تیمار شوند، گسترش می‌یابند (یوشیدا، ۱۹۸۱). تا زمان گسترش ریشه‌های نابه‌جا گیاهچه‌ها ناگزیر باید از ریشه‌هایی که از میان‌گره‌های زیر کلتوپتیل روی بذر یا ریشه‌های اولیه زیر بذر آغاز می‌یابند، استفاده کنند. ریشه‌های نابه‌جا به‌دلیل توانایی هدایت آب بیشتر نسبت به ریشه‌های اصلی کم‌قطر، در استقرار گیاهچه نقش مهمی دارند. ریشه‌های نابه‌جا می‌توانند کمتر از دو هفته قبل از کاشت گسترش یابند. در صورتی که دسترسی به آب بیشتری توسط افزایش ریشه‌های نابه‌جا فراهم شود، بقای گیاهچه ممکن است با افزایش عمق کشت افزایش یابد (فاگریا و همکاران، ۲۰۰۶).

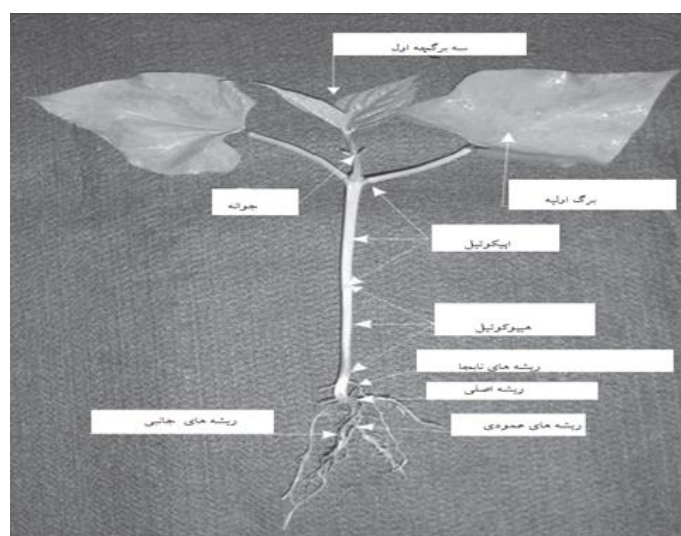
ریشه‌های پنجه‌ای در غلات تا زمانی که پنجه‌ها دو یا سه برگ داشته باشند، تشکیل نمی‌شوند (کلپر و همکاران، ۱۹۸۴) و تا زمان توسعه این ریشه‌ها، ساقه مولد، وظیفه تأمین آب و مواد غذایی را به‌عهده دارد. علاوه بر این، ساقه‌های مادری ممکن است کنترل هورمونی نیز داشته باشند که برای بقای پنجه‌ها ضروری است. ریشه‌دهی دیر هنگام پنجه‌ها ممکن است دلیل عدم بقای پنجه‌های آخری را توضیح دهد (کلپر و همکاران، ۱۹۸۴). شکل ۱-۱ ریشه‌چه و سیستم ریشه نابه‌جا را در برنج دیم مناطق مرتفع نشان می‌دهد (*Oryza sativa* L.) (غلات) و شکل ۲-۱ ریشه عمودی را در لوبیا نشان می‌دهد (*Phaseolus vulgaris* L.) (لگوم).



شکل ۱-۱ سیستم ریشه‌ای گیاهچه برنج دیم مناطق مرطوب (فاگریا، ان. کی. جی. مجله تغذیه گیاهی، ۳۰، ۸۴۳، ۲۰۰۷)

الگوی ریشه‌دهی بین غلات و لگومها متفاوت است که می‌تواند سبب شناسایی حجم خاک در سیستم‌های کشت مخلوط غله-لگوم شود (آنیل و همکاران، ۱۹۹۸). با این حال، زمانی که محدودیت نیتروژن وجود دارد، تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، منبع مهم این عنصر در سیستم‌های کشت مخلوط غله-لگوم است (فوجیتا و همکاران، ۱۹۹۲)، اما مقدار نیتروژن تثبیتی توسط لگومها عموماً با افزایش دسترسی به نیتروژن خاک کاهش می‌یابد (آنیل و همکاران، ۱۹۹۸) و اگر لگومها دائماً قابلیت تثبیت نیتروژن را کاهش دهند، آسیب بیشتر خواهد شد (واپلی، ۱۹۷۹؛ سامیگالسکی و آکر، ۲۰۰۶). استفاده از یک گیاه همراه دانه‌های غله در کشت ثابت لگوم در طول تاریخ در مراکز شمالی ایالات متحده مرسوم است و در ۸۵ درصد مزارع یونجه ایالت آیوا (Iowa)

استفاده می‌شود (بلسر و همکاران، ۲۰۰۶). جو دو سر بهاره گزینه دیگری برای گیاه همراه در این منطقه است. به‌علاوه، استفاده از یک غله دانه‌ای/ شبنم قرمز در تناوب ذرت - سویا یک سیستم تولیدی با محصولات جایگزین ایجاد می‌کند که سبب تنوع درآمد (اکسنر و کروزر، ۲۰۰۱)، افزایش عملکرد کشتهای پی در پی همراه با کاهش نهادهای ورودی (سینگر و کوکس، ۱۹۹۸)، بهبود کیفیت خاک (ریکوسکی و فرسلا، ۱۹۹۸) و اختلال در چرخه زیستی آفات می‌شود (کوک، ۱۹۸۸، بلسر و همکاران، ۲۰۰۶). تمامی این تغییرات می‌توانند سبب بهبود رشد ریشه گیاهان در تناوب و کشت مخلوط شوند و کارایی استفاده از منابعی مثل آب و مواد غذایی را افزایش دهند. ریشه لگوم‌های دانه‌ای در مقایسه با غلاتی مثل گندم و ذرت، قدرت کمی دارد. شکل ۱-۳ رشد ریشه لوبیا سفید و شکل ۱-۴ رشد ریشه برنج در مناطق مرتفع را در سطوح حاصل‌خیزی بالا و پایین نشان می‌دهند.



شکل ۱-۲ سیستم ریشه‌ای گیاهچه لوبیا

(فاگریا، ان. کا، و سانتوس، ای، بی،، مجله تغذیه گیاهی، ۳۱، ۹۸۳، ۲۰۰۷)

رشد ریشه هر دو گونه گیاهی در مرحله بلوغ فیزیولوژیکی در حاصل‌خیزی بالا در مقایسه با سطوح حاصل‌خیزی پایین، قوی‌تر بود. با این حال، رشد ریشه در برنج در مناطق مرتفع در سطح حاصل‌خیزی پایین مشابه حاصل‌خیزی بالا، بود و در هر دو سطح، بیشتر بود. معمولاً لگوم‌ها در مقایسه با غلات عملکرد پایینی دارند. رشد ضعیف ریشه لگوم‌ها در مقایسه با غلات یکی از فاکتورهای مرتبط با عملکرد پایین لگوم‌ها می‌باشد. عامل دیگری که عملکرد پایین لگوم‌ها را باعث می‌شود، تنفس نوری بالای آنها در مقایسه با غلات است (فاگریا، ۲۰۰۹). به‌علاوه، تثبیت مقدار زیادی از نیتروژن اتمسفر توسط لگوم‌ها و تبدیل بخش زیادی از این انرژی در این مرحله، دلیل کاهش عملکرد لگوم‌ها می‌باشد. این توضیحات در خصوص پایین بودن رشد ریشه لگوم‌ها در مقایسه با غلات تنها در مورد لگوم‌های پوششی گرمسیری صحیح است.



شکل ۱-۳ رشد ریشه لوبیا سفید رقم پرالو در سطوح حاصل خیزی بالا و حاصل خیزی پایین در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی



شکل ۱-۴ رشد ریشه برنج دیم مناطق مرتفع ژنوتیپ بی آر ای ۲۵۳۵ در سطوح حاصل خیزی پایین و بالا



شکل ۱-۵ رشد ریشه گیاه پوششی لوبیا گرمسیری در سطوح حاصل‌خیزی بالا و پایین

شکل ۱-۵ ریشه لوبیا چیتی را که یک لگوم گرمسیری پوششی است و در سطوح حاصل‌خیزی بالا و پایین دارای سیستم ریشه‌ای قوی است، نشان می‌دهد.

علاوه بر تفاوت‌های مورفولوژیکی آن‌ها، ریشه‌های غلات و لگوم‌ها خصوصیات فیزیکی‌شیمیایی متفاوتی دارند. سطح ریشه گیاهان به دلیل وجود گروه‌های کربوکسیل در پکتین دیواره، دارای بار الکتریکی منفی است. اندازه این بار منفی به عنوان ظرفیت تبادل کاتیونی تعریف می‌شود (CEC) (تاکناگا، ۱۹۹۵). CEC غلاتی مثل برنج، جو و ذرت معمولاً پایین‌تر از CEC لگوم‌هایی مثل لوبیا سفید و باقلا است. ریشه‌هایی با CEC بالا کاتیون‌های دو ظرفیتی مثل کلسیم و منیزیم را بیش از کاتیون‌های تک‌ظرفیتی مثل پتاسیم و آمونیم جذب می‌کنند. بنابراین، در کشت مخلوط غله-لگوم، لگوم‌ها معمولاً به علت جذب بالای پتاسیم توسط گراس‌ها، از کمبود این عنصر رنج می‌برند. ایسو (۱۹۷۷)، کلپر (۱۹۹۲)، لسکوآرانت و استوفلا (۱۹۹۵)، اتل و بلند (۱۹۸۷)، زوبل (۱۹۹۱ a و b، ۲۰۰۵) و فاگرا و همکاران (۲۰۰۶) به‌طور گسترده با انواع ریشه‌های دو لپه‌ای‌ها، تک‌لپه‌ای‌ها، ریشه‌های مویی و رشد و مورفولوژی آن‌ها سر و کار داشتند.

گراس‌ها، مهم‌ترین منبع علوفه در مراتع دنیا هستند. در کل دنیا، مراتع به صورت قابل‌ملاحظه‌ای با زمین‌های کشاورزی مقایسه می‌شوند. *Brachiaria spp.* مهم‌ترین گراس علوفه‌ای در مراتع برزیل است. گراس‌های علوفه‌ای مهم‌ترین منبع سلولزی برای توسعه صنعت انرژی زیستی هستند (کولینز و همکاران، ۲۰۱۰). از مهم‌ترین گراس‌های مولد انرژی زیستی، می‌توان علف فیل (*Pennisetum purpureum* Schumach.)، علف فناری (*Phalaris arundinacea* L.)، *(Miscanthus spp.)*، ریشه‌آبی بزرگ (*Andropogon gerardii* Vitman)، علف هندی (*Sorghastrum nutans* L.)، *(Panicum maximum)*، سوئیچ‌گراس (*Panicum virgatum* L.) را نام برد. گراس‌های دائمی مولد انرژی زیستی، سبب بهبود کیفیت خاک، تقویت چرخه‌های غذایی، بهبود زیستگاه‌های حیات وحش و ترسیب کربن می‌شوند (لموس و همکاران، ۲۰۰۵؛ مک لاگالین و کوزوس، ۲۰۰۵). سیستم ریشه‌های گراس‌های علوفه‌ای افشان و حجیم است. از آنجایی که سیستم ریشه گراس‌ها اندام‌های غیرانتزهایی هستند و آزادانه شاخه‌دهی می‌کنند در شرایط مطلوب محیطی، بسیار سریع رشد می‌کنند (جونز، ۱۹۸۵). مک‌گالین و والش (۱۹۹۸) گزارش نمودند سیستم ریشه‌های گراس‌های فصل گرم با سیستم ریشه‌های توسعه‌یافته‌تر و بیوماس ریشه‌ای که با زیست‌توده تولیدی سالانه بالای سطح زمین، قابل‌مقایسه است، مشخص می‌شوند. ما و همکاران (۲۰۰۰) گزارش نمودند که ۵۰ درصد توزیع ریشه سوئیچ‌گراس، ۶ سال پس از رشد در عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک متمرکز بودند. زان و همکاران (۲۰۰۱) گزارش نمودند که سوئیچ‌گراس، بیوماس ریشه‌های ۴-۵ برابر ذرت داشت و ۲/۲ تن کربن در هکتار در سال را ذخیره کرد. تفکیوگلا و همکاران (۲۰۰۳) متوجه شدند که در ریشه سوئیچ‌گراس بالغ، ۶-۷ برابر کربن نسبت به ذرت وجود دارد. کالینز و همکاران (۲۰۱۰) طی

گزارشی اعلام کردند مجموع کربن آلی خاک حاصل شده از ریشه‌های سوئیچ‌گراس با احتساب کربن ذخیره شده در ریشه، یک منبع زیرزمینی ۸-۶/۵ تن در هکتار بسته به نوع رقم را ایجاد می‌کند.

۱-۳ نسبت ریشه به اندام هوایی

نسبت ریشه به اندام هوایی به صورت وزن ریشه تقسیم بر اندام هوایی تعریف می‌شود. اطلاع در مورد این نسبت برای اظهار نظر در مورد توزیع محصولات فتوسنتزی در ریشه و بخش هوایی گیاه اهمیت دارد. به علاوه، نسبت زیست‌توده ریشه به اندام هوایی به عنوان بخشی ضروری برای ارزیابی و مقایسه زیست‌توده زیرزمینی، شامل ترشحات ریشه و دیگر مواد ته‌نشین شده ریشه به عنوان کارکرد بخش هوایی مثل دانه بیان می‌شود (آل‌ماراس و همکاران، ۲۰۰۴). به علاوه، نسبت بالای ریشه به اندام هوایی در ژنوتیپ‌های گیاهان اصلاحی به عنوان فاکتور مقاومت به خشکی استفاده می‌شود (بونس و همکاران، ۲۰۰۴؛ کرکر و همکاران، ۲۰۰۸). بونس و کوواکر توانستند به ترتیب به ۸۱ و ۳۳ درصد نسبت ریشه به اندام هوایی در دو نسل وارسته‌های فستوک بلند چمنی (*Festuca arundinacea* Schreb) و علف قناری دائمی (*Lolium perenne* L.) دست یابند.

بسته به کارکرد، ریشه‌ها آب و مواد غذایی را جذب می‌کنند و لنگرگاه گیاه هستند، در حالی که، بخش هوایی، فتوسنتز و تعرق انجام می‌دهد و محل تولید مثل جنسی است (گروف و کاپلن، ۱۹۹۸). گیاهان معمولاً هماهنگی تنگاتنگی از نظر تقسیم زیست‌توده بین ریشه و اندام هوایی دارند (داویدسن، ۱۹۶۹؛ ماکلا و سیوانن، ۱۹۸۷). پورتر و ناگل (۲۰۰۰) تخصیص زیست‌توده بین ریشه و اندام هوایی را چنین توضیح دادند که نسبت زیست‌توده اندام هوایی به ریشه پس از هرس بخش بزرگی از ریشه یا برگ‌ها، ترمیم می‌شود. تخصیص ماده خشک در ریشه نسبت به اندام هوایی در مرحله جوانه‌زنی و استقرار گیاه بیشتر می‌باشد و در طول نمو کاهش می‌یابد (ایوانز و واردلا، ۱۹۷۶). به‌طور کلی، نسبت ریشه به اندام هوایی با افزایش سن گیاه کاهش می‌یابد که نشان‌دهنده انجام بخش عمده فتوسنتز در اندام هوایی است. در اوایل رشد رویشی ۱۰ درصد آسمیلاسیون کربن به ریشه‌ها انتقال می‌یابد که از این مقدار ۵۰ درصد آن صرف تنفس ریشه می‌گردد و یا به‌صورت ترشحات گیاه و مواد ریشه‌ای از دست می‌رود (گرگوری، ۱۹۹۴). تخصیص منابع با کاهش قابل‌ملاحظه‌ای در انتقال آسمیلاتها به ریشه در مرحله گل‌دهی کاهش می‌یابد. بعد از گل‌دهی مقدار آسمیلات‌های انتقالی به ریشه بسیار اندک است و اندازه واقعی ریشه به‌ندرت افزایش می‌یابد و حتی کاهش به حدی است که به‌نظر می‌رسد ریشه در حال مرگ می‌باشد (گرگوری، ۱۹۹۴). فاگریا (۱۹۹۲) کاهش نسبت ریشه به اندام هوایی را با افزایش سن گیاه در لوبیا سفید، برنج، گندم و لوبیا چشم‌بلبلی گزارش نمود. عوامل محیطی مثل دما، تابش خورشیدی، محتوای رطوبتی خاک، حاصل‌خیزی، شوری، بافت و ساختمان خاک بر نسبت ریشه به بخش هوایی تأثیر می‌گذارند (واردلا، ۱۹۹۰). علاوه بر این، گونه‌های گیاهی و ژنوتیپ‌های درون‌گونه‌ای نیز بر این نسبت تأثیر گذارند (فاگریا و همکاران، ۲۰۰۶).

مواد غذایی معدنی مثل نیتروژن و پتاسیم تأثیر به‌سزایی روی مواد فتوسنتزی و تخصیص ماده خشک بین ریشه و اندام هوایی دارند (کوستا و همکاران، ۲۰۰۲). گیاهانی که با کمبود این عناصر مواجه هستند، توزیع ماده خشک آن‌ها در ریشه، بیش از بخش هوایی است که احتمالاً این امر به دلیل افزایش سرعت فتوسنتز ریشه باشد. به‌خوبی مشخص شده است که توسعه برگ به تجمع کم فسفر در بافت حساس می‌باشد که این امر به دلیل کاهش تقاضا در برگ‌های دارای کمبود فسفر است که سبب تجمع بالای نشاسته و ساکارز می‌شود (فریدین و همکاران، ۱۹۸۹). بنابراین ریشه برای به‌دست آوردن مواد فتوسنتزی با بخش هوایی رقابت می‌کند که نتیجه آن صدور کربوهیدرات به ریشه‌ها و کاهش وزن خشک اندام هوایی نسبت به ریشه خواهد بود (رافتی و همکاران، ۱۹۹۳). کاکمک و همکاران (۱۹۹۴) عنوان کردند که توزیع ماده خشک بین اندام هوایی و ریشه در لوبیای معمولی به گونه‌ای متفاوت از کمبود منابع فسفر، پتاسیم و منیزیم تأثیر می‌پذیرد. اگر چه کل تولید ماده خشک در گیاهان دارای نیتروژن، پتاسیم و منیزیم، کم و بیش مشابه بود، در شرایط کمبود فسفر سهم بیشتری از ماده خشک به ریشه اختصاص یافته بود، در حالی که در گیاهان دارای کمبود پتاسیم و به‌خصوص کمبود منیزیم بخش هوایی رشد بیشتری نسبت به ریشه نشان داد (کاکمک و همکاران، ۱۹۹۴). نسبت وزن اندام هوایی به ریشه در گیاه با کمبود فسفر ۱/۸، در شاهد ۴/۹، در گیاه با کمبود پتاسیم ۶/۹ و در گیاه با کمبود منیزیم ۱۰/۲ بود. یاسین و مالهی (۲۰۱۱) گزارش نمودند که ژنوتیپ‌های گندم به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای در توزیع ماده خشک بین ریشه و بخش هوایی متفاوت عمل می‌کنند، بخشی از این تفاوت ممکن است به دلیل

تفاوت‌های ژنتیکی باشد. همچنین، آن‌ها عنوان کردند که نسبت ریشه به اندام هوایی در ژنوتیپ‌های گندم تحت‌تأثیر ژنوتیپ، مقدار فسفر و اثر متقابل بین آن‌ها می‌باشد. این مطلب، الگوی توزیع زیست‌توده بین ریشه و اندام هوایی را نشان می‌دهد. تفاوت‌های عمده‌ای در نسبت ریشه به اندام هوایی در تیمار تنش فسفر مشاهده شده است. این تفاوت‌ها کم‌اهمیت هستند و در تیمار فسفر کافی، معنیدار نبودند (یاسین و مالهی، ۲۰۱۱). نسبت ریشه به اندام هوایی در تنش فسفر حدود ۴ برابر بیشتر از فسفر کافی بود، که می‌توان نتیجه گرفت رشد بالای ریشه در کمبود فسفر اتفاق می‌افتد. احتمالاً دلیل کاهش نسبت ریشه به اندام هوایی با افزایش سطح فسفر، انتقال محصولات فتوسنتزی بیشتر به بخش هوایی در سطوح بالای فسفر می‌باشد. تنش‌های محیطی مثل آب و نیتروژن، وزن نسبی ریشه‌ها را در مقایسه با بخش هوایی افزایش می‌دهد (ویلسون، ۱۹۸۸؛ اقبال و ماران ویل، ۱۹۹۳). افزایش رشد ریشه در تنش آبی در آفتابگردان (طاهر و همکاران، ۲۰۰۲) و گیاه پیچ‌تلگرافی (جلیل و همکاران، ۲۰۰۹) گزارش شده است. افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی در شرایط خشکی، بستگی به محتوای اسید آسبیزیک ریشه و اندام هوایی دارد (شارپ و لی نوبل، ۲۰۰۲؛ مانیوانان و همکاران، ۲۰۰۲). نسبت ریشه به اندام هوایی ۱۴ گیاه لگوم گرمسیری که در شرایط کمبود فسفر قرار گرفته‌اند، در جدول ۱-۱ آورده شده است. تأثیر معنی‌داری در سطوح فسفر، گیاهان پوششی و اثرات متقابل آن‌ها وجود داشت. نسبت ریشه به اندام هوایی تا ۱۰۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم افزایش و سپس کاهش یافت. این موضوع بیانگر افزایش وزن ریشه تا ۱۰۰ میلی‌گرم فسفر و سپس کاهش آن است.

جدول ۱-۱ نسبت ریشه به اندام هوایی ۱۴ لگوم گرمسیری پوششی تحت‌تأثیر کود فسفر

گیاهان پوششی	۲۰۰ میلی‌گرم فسفر	۱۰۰ میلی‌گرم فسفر	صفر میلی‌گرم فسفر	میانگین
	در کیلوگرم	در کیلوگرم	در کیلوگرم	
<i>Crotalaria</i>	۰/۲۷ab	۰/۱۲d	۰/۲۵ab	۰/۲۱a
<i>(Crotalaria breviflora)</i>				
Sunn hemp	۰/۱۴bc	۰/۲۵abcd	۰/۱۴ abc	۰/۱۷ab
<i>Crotalaria</i>	۰/۳۰ab	۰/۲۴abcd	۰/۰۴c	۰/۱۸ab
<i>(Crotalaria mucronata)</i>				
<i>Crotalaria</i>	۱۰c	۰/۳۳a	۰/۱۳abc	۰/۱۸ab
<i>(Crotalaria spectabilis)</i>				
<i>Crotalaria</i>	۰/۲۱abc	۰/۲۹ab	۰/۰۵c	۰/۱۸ab
<i>(Crotalaria ochroleuca)</i>				
Calopogonium	۰/۳۴a	۰/۱۴cd	۰/۱۳abc	۰/۲۰ab
Pueraria	۰/۰۹c	۰/۲۱abcd	۰/۰۷bc	۰/۱۲b
Pigeon pea (black)	۰/۰۷c	۰/۲۷abcd	۰/۲۸a	۰/۲۰ab
Pigeon pea (mixed color)	۰/۱۶bc	۰/۲۹abc	۰/۲۰abc	۰/۲۱a
Lablab	۰/۱۷abc	۰/۲۹abc	۰/۱۵abc	۰/۲۰ab

Mucuna bean ana	۰/۲۵ab	۰/۱۸bcd	۰/۱۵bc	۰/۱۹ab
Black mucuna bean	۰/۱۷abc	۰/۳۴a	۰/۲۰abc	۰/۲۳a
Gray mucuna bean	۰/۱۳abc	۰/۱۶bcd	۰/۲۰abc	۰/۱۶ab
White jack bean	۰/۱۳bc	۰/۱۳d	۰/۱۰c	۰/۱۲b
میانگین	۰/۱۵b	۰/۲۳a	۰/۱۸b	۰/۱۸
			**	F آزمون
			**	سطوح فسفر (P)
			**	گیاهان پوششی (C)
			**	P×C

** در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار می باشد. میانگین های دارای حروف مشابه در همان ستون یا ردیف در سطح احتمال ۵ درصد توسط آزمون توکی معنی دار نشده اند.

کاهش وزن ریشه گیاهان در سطوح بالای مواد غذایی توسط فاگریا (۲۰۰۹) و فاگریا و موریرا (۲۰۱۱) نیز گزارش شده است. در تمام سطوح فسفر، نسبت ریشه به اندام هوایی در محدوده ۰/۲۳-۰/۱۲ با مقدار میانگین ۰/۱۸ معنی دار و متفاوت بود. در اینجا می توان وجود تغییرات معنی دار در وزن خشک ریشه همانند ساقه بین گیاهان پوششی را نتیجه گیری کرد. شکل ۱-۶ و ۱-۷ رشد بخش هوایی گیاهان پوششی لوبیای سودانی و لوبیا چشم بلبلی را در سه سطح فسفر نشان می دهد. هر دو گونه گیاهی به کود فسفر واکنش نشان دادند.



شکل ۱-۶ رشد اندام هوایی گیاه پوششی لوبیای سودانی در سه سطح فسفر



شکل ۱-۷ رشد اندام هوایی گیاه پوششی لوبیا چشم بلبلی در سه سطح فسفر

با این حال، تولید زیست توده^۱ هوایی در سه سطح فسفر متفاوت بود. مشابه آن گیاهان پوششی، *Ochroleuca*، *Crotalaria Calopogonium*، و باقلای هندی سفید در سه سطح متفاوت فسفر رشد کردند (شکل‌های ۱-۸ تا ۱-۱۰). گیاه پوششی *C. ochroleuca* کمترین رشد ریشه را در مقایسه با دو گونه^۲ دیگر در سطح صفر میلی گرم فسفر در کیلوگرم داشتند. فاگریا و موریرا (۲۰۱۱) تفاوت معنی دار رشد بخش هوایی و ریشه را در گیاهان پوششی در سطوح مختلف فسفر گزارش نمودند. این محققان نسبت ریشه به اندام هوایی در برنج دیم مناطق مرتفع، ذرت، گندم، سویا و لوبیای سفید را در طول چرخه^۳ رشد این گیاهان که در خاک‌های اُکسی سول برزیل رشد کرده بودند، مطالعه کرده‌اند (جدول ۱-۲). نسبت ریشه به بخش هوایی هر پنج گیاه تحت تأثیر سن گیاه قرار گرفت. مقادیر به دست آمده در مرحله^۴ رشد رویشی، بیشتر بودند و در مرحله^۵ زایشی و پر شدن دانه کاهش یافتند. بالاترین نسبت ریشه به بخش هوایی در اوایل رشد گیاه (۴۰-۲۱ روز دوره رشد) نشان می‌دهد که تولیدات فتوسنتزی بیشتری به ریشه‌ها انتقال یافته است. پس از این مرحله به دنبال افزایش سرعت کسب ماده^۶ خشک بیشتر توسط بخش هوایی، نسبت ریشه به بخش هوایی کاهش می‌یابد. کاهش نسبت ریشه به بخش هوایی در مرحله^۷ تولید مثلی و پر شدن دانه، ممکن است به علت انتقال مواد فتوسنتزی بیشتر به بخش هوایی در مقایسه با ریشه باشد.

هنگین و فوکاس (۱۹۹۷) تنها با اندازه‌گیری زیست توده^۸ ساختمانی ریشه، نسبت ریشه به اندام هوایی را در ذرت ۰/۲۵ و باینواسکی و وانگر (۱۹۹۷) این نسبت را برای گندم ۰/۰۲۸، ذرت ۰/۰۲۱ و سویا ۰/۰۲۳ محاسبه نمودند. هم‌چنین، باینواسکی و وانگر (۱۹۹۷) نسبت ریشه به اندام هوایی (مرحله^۹ رویشی + دانه‌بندی) را ۰/۰۴۸، ۰/۰۳۵ و ۰/۰۳۸ به ترتیب برای گندم، ذرت و سویا به همراه مواد ته‌نشست شده^{۱۰} ریشه اعلام کردند. بولیندر و همکاران (۱۹۹۹) نسبت میانگین ۰/۰۱۹ را برای ذرت فقط در صورت محاسبه^{۱۱} زیست توده^{۱۲} گیاه در مرحله^{۱۳} رویشی و دانه‌بندی و نسبت ۰/۰۳۸ با لحاظ کردن کربن زیر زمین، به دست آوردند. نسبت ریشه به اندام هوایی در برنج‌های آبی کشت شده در مناطق سیل‌گیر با رشد گیاه کاهش چشم‌گیری داشت، به طوری که نسبت ریشه به اندام هوایی ۰/۰۲۳ در طول رشد رویشی و ۰/۰۱۳ در ۰/۰۵ درصد خوشه‌دهی بود (تئو و همکاران، ۱۹۹۵b). نسبت ریشه به بخش هوایی در تک‌کشتی مزارع برنج در زمان رسیدگی فیزیولوژیکی ۰/۰۱۴ بود (اسلاتون و بیروتی، ۱۹۹۲). نسبت ریشه به اندام هوایی، علاوه بر فاکتورهای محیطی، تحت کنترل عوامل ژنتیکی قرار دارد (فیشر و دان‌هام، ۱۹۸۴). هم‌چنین، تفاوت‌های بین نسبت ریشه به اندام هوایی توسط محققان مختلف در بین گونه‌های گیاهی گزارش شده است، که علت این تفاوت‌ها ممکن است به عوامل فوق بستگی داشته باشد.



شکل ۸-۱ رشد ریشه گیاه پوششی *Crotalaria* در سه سطح فسفر



شکل ۹-۱ رشد ریشه گیاه پوششی *Calopogonium* در سه سطح فسفر

جدول ۲-۱ نسبت ریشه به اندام هوایی در برنج دیم مناطق مرتفع، ذرت، گندم، سویا و لوبیا سفید در طول چرخه رشد

سن گیاه به روز	برنج دیم مناطق مرتفع	ذرت	گندم	سویا	لوبیا سفید
۲۱	۰/۰۴	۰/۲۶	۰/۵۷	۰/۲۰	۰/۱۱
۴۰	۰/۳۱	۰/۲۷	۰/۲۹	۰/۱۳	۰/۳۹
۶۱	۰/۲۸	۰/۲۰	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۱۶
۷۸	۰/۲۳	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۶

۹۷	۰/۲۱	۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۵
۱۱۸	۰/۱۶	۰/۰۸			

تجزیه رگرسیونی

سن گیاه برنج دیم مناطق مرتفع در مقابل نسبت ریشه به اندام هوایی
 $(Y) = -0.0926 + 0.0106X - 0.000073X^2$, $R^2 = 0.5757^{**}$

سن ریشه گیاه ذرت در مقابل نسبت ریشه به اندام هوایی
 $(Y) = 0.3482 - 0.0031X + 0.0000064X^2$, $R^2 = 0.7588^{**}$

سن ریشه گیاه گندم در مقابل نسبت ریشه به اندام هوایی
 $(Y) = 0.9625 - 0.0215X + 0.00013X^2$, $R^2 = 0.9357^{**}$

سن ریشه گیاه ذرت در مقابل نسبت ریشه به اندام هوایی
 $(Y) = 0.3075 - 0.0060X + 0.000038X^2$, $R^2 = 0.9626^{**}$

سن ریشه گیاه ذرت در مقابل نسبت ریشه به اندام هوایی
 $(Y) = 0.0460 + 0.0082X - 0.000089X^2$, $R^2 = 0.4018^*$

پنج آزمایش به طور همزمان اجرا شدند و گیاهان در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک برداشت شدند. برنج دیم مناطق مرتفع و ذرت پس از ۱۱۸ روز و سایر گیاهان پس از ۹۷ روز پس از کاشت برداشت شدند.

* و ** به ترتیب معنی دار بودن در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد را نشان می‌دهند.

۱-۴ سهم ریشه، اندام هوایی و دانه در مجموع وزن گیاه

سهم ریشه، اندام هوایی و دانه در کل وزن گیاه، یک ویژگی مهم در توزیع مواد فتوسنتزی است که عملکرد اقتصادی گونه‌های زراعی را تعیین می‌کند. یک سیستم ریشه‌ای قوی و بزرگ نه تنها در جذب آب و مواد غذایی نقش عمده‌ای دارد، بلکه به دلیل زیست‌توده بالایی که پس از برداشت محصول به جا می‌گذارد، کیفیت خاک را بهبود می‌بخشد. هم‌چنین، وزن بالای اندام هوایی در صورتی که بقایا پس از برداشت وارد خاک شوند، در بهبود کیفیت خاک مؤثر است. اطلاعات جدول ۱-۳ سهم ریشه، اندام هوایی و دانه را در وزن گیاه در ۲۰ ژنوتیپ برنج دیم مناطق مرتفع در خاک‌های اُکسی‌سول برزیل نشان می‌دهد. سهم ریشه بین ۱۱/۵۹ درصد تا ۳۰/۴۶ درصد در میزان نیتروژن پایین با مقدار میانگین حدود ۲۲ درصد و در میزان نیتروژن بالا بین ۲۰/۴۸ درصد تا ۲۰/۲۸ درصد با مقدار میانگین حدود ۱۴ درصد متغیر است. سهم اندام هوایی در میزان نیتروژن پایین بین ۷۵/۷۸-۳۵/۶۸ درصد و با مقدار میانگین ۴۹ درصد و بین ۵۶/۴۴-۳۳/۰۵ درصد با مقدار میانگین ۳۹ درصد در میزان نیتروژن بالا بود. سهم دانه در کل وزن گیاه بین ۴۱/۰۴-۸/۲۷ درصد و میانگین ۲۹ درصد در میزان نیتروژن پایین و بین ۶۲/۳۴-۲۲/۲۸ درصد با مقدار میانگین ۴۸ درصد در میزان نیتروژن بالا متغیر بود.



شکل ۱-۱۰ رشد ریشه گیاه پوششی لوبیا جک سفید

در سه سطح فسفر

جدول ۱-۳ سهم ریشه، اندام هوایی و دانه در وزن کل گیاه در ۲۰ ژنوتیپ برنج دیم مناطق مرتفع تحت تأثیر کود نیتروژن

وزن دانه (درصد)		وزن اندام هوایی (درصد)		وزن ریشه (درصد)		ژنوتیپ
N _{r..}	N.	N _{r..}	N.	N _{r..}	N.	
۶۲/۳۴a	۳۹/۴۴ab	۳۵/۱۷cd	۴۳/۰۱e	۲/۴۸g	۱۷/۵۶a-d	BRA-۰۱۵۰۶
۶۲/۰۳a	۳۵/۷a-c	۳۵/۱۹cd	۴۶/۱۸de	۲/۷۸g	۱۸/۰۸a-d	BRA-۰۱۵۹۶
۵۸/۳۸ab	۳۴a-d	۳۵/۷۴cd	۴۲/۹۳e	۵/۸۷fg	۲۳/۰۶a-d	BRA-۰۱۶۰۰
۴۱/۶۱d	۲۰/۷۴d-f	۴۴/۰۲bc	۵۴/۶۳cd	۱۴/۳۷c-e	۲۴/۶۳a-d	BRA-۰۲۵۳۵
۴۳/۳۸cd	۳۱/۹۰a-d	۳۸/۰۷cd	۵۴/۳۴de	۱۸/۵۵a-d	۲۲/۷۶a-d	BRA-۰۲۶۰۱
۴۸/۴۳b-d	۳۷/۴۰ab	۳۶/۲۸cd	۴۲/۲۵e	۱۵/۲۹b-e	۲۰/۳۶a-d	BRA-۰۳۲۰۳۳
۲۷/۴۸e	۱۲/۴۹ef	۵۱/۹۷ab	۷۳/۲۳ab	۲۰/۵۵ab	۱۴/۲۹cd	BRA-۰۳۲۰۳۹

ادامه جدول ۱-۳

۴۷/۸۶b-d	۲۲/۴۰c-f	۳۲/۷۰d	۶۶/۰۱abc	۱۹/۴۴a-c	۱۱/۵۹d	BRA-۰۳۲۰۴۸
۵۳/۴۰a-cd	۳۰/۹۲a-d	۳۲/۵۶d	۴۵/۷۰de	۱۴/۰۵c-e	۲۳/۳۹a-d	BRA-۰۳۲۰۵۱
۴۷/۳۲b-d	۲۹/۰۵a-d	۴۰/۴۰cd	۴۵/۸۳de	۱۲/۲۸e	۲۵/۱۲a-d	BRA-۰۴۲۰۹۴
۴۸/۲۸b-d	۳۱/۱۶a-d	۳۷/۰۶cd	۴۵/۲۱de	۱۴/۶۶c-e	۲۳/۶۲a-d	BRA-۰۴۲۰۹۴

۴۴/۷۲cd	۲۶/۱۰b-e	۴۰/۶۸cd	۴۶/۳۵de	۱۴/۵۹c-e	۲۷/۵۴a-c	BRA ۰۴۲۱۶۰
۵۳/۶۰a-d	۲۰/۸۳d-f	۳۳/۰۵d	۶۲/۳۸bc	۱۳/۳۴de	۱۶/۷۸a-d	BRA ۰۵۲۰۱۵
۲۲/۲۸e	۸/۲۷f	۵۶/۴۴a	۷۵/۷۸a	۲۱/۲۸a	۱۵/۹۵b-d	BRA ۰۵۲۰۲۳
۴۵/۹۷cd	۴۱/۰۴a	۳۸/۷۲cd	۳۵/۶۸e	۱۵/۳۱b-e	۲۲/۲۸a-d	BRA ۰۵۲۰۳۳
۵۰/۱۶a-d	۲۹/۹۴a-d	۳۷/۵۱cd	۳۹/۶۰e	۱۲/۳۳e	۳۰/۴۶a	BRA ۰۵۲۰۳۴
۴۹/۵۰b-d	۳۳/۴۸a-d	۳۳/۸۴d	۳۰/۶۹e	۱۶/۶۶a-e	۲۶/۸۳a-c	BRA ۰۵۲۰۴۵
۵۵/۵۴a-c	۲۹/۲۰a-d	۳۳/۴۱d	۴۱/۴۲e	۱۱/۰۴ed	۲۹/۳۸ab	BRA ۰۵۲۰۵۳
۵۳/۱۵a-d	۳۰/۷۱a-d	۳۴/۶۲cd	۴۱/۷۵e	۱۲/۲۳e	۲۷/۵۴a-c	BRS Primavera
۴۲/۴۰d	۳۱/۴۳a-d	۴۳/۹۷bc	۴۲/۹۴e	۱۳/۶۳de	۲۵/۶۳a-c	BRS Sertaneja
۴۷/۸۹a	۲۸/۸۱b	۳۸/۵۷b	۴۸/۸۵a	۱۳/۵۴b	۲۲/۳۴a	میانگین

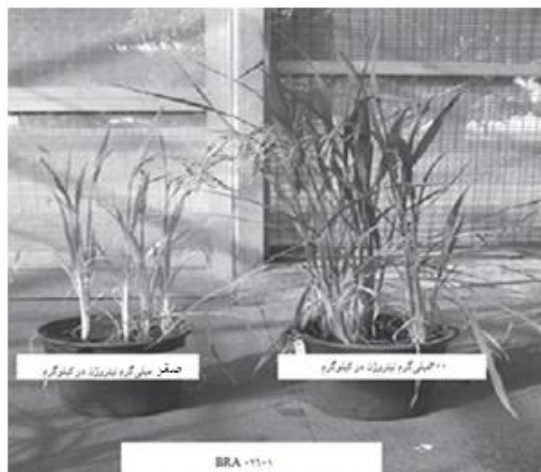
آزمون F

*	*	*	سطوح نیتروژن (N)
**	**	**	ژنوتیپ (G)
**	**	**	نیتروژن × ژنوتیپ

سطوح نیتروژن صفر و ۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک بود.

* و ** به ترتیب در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد معنی دار بود. میانگین‌های مشابه در همان ستون یا ردیف در سطح احتمال ۵ درصد در آزمون توکی معنی دار نبود. مقادیر میانگین‌ها در همان ردیف با پارامترهای سطوح بالا و پایین نیتروژن مقایسه شدند.

اثر متقابل معنی دار ژنوتیپ × نیتروژن در صفات وزن ریشه، وزن ساقه و وزن دانه، پاسخ متفاوت ژنوتیپ‌ها را به دو سطح نیتروژن نشان می‌دهد. کاهش سهم ریشه و اندام هوایی در میزان بالای نیتروژن نشان‌دهنده انتقال مواد فتوسنتزی به دانه با بهبود جذب نیتروژن می‌باشد. علاوه بر این، وزن ریشه و اندام هوایی به‌طور معنی داری در میزان نیتروژن بالا در مقایسه با میزان نیتروژن پایین، بیشتر است که این امر ممکن است دلیل سهم کم آن‌ها باشد. این یافته‌ها مورد تأیید فاگریا و بالیکو (۲۰۰۵) و فاگریا (۲۰۰۹) نیز می‌باشد که در صورت جذب نیتروژن کافی توسط گیاه، قسمت عمده مواد فتوسنتزی به دانه می‌رود. شکل ۱۱-۱ و ۱۲-۱ رشد ژنوتیپ‌های BRA۲۶۰۱ و BRA۰۳۲۰۳۹ برنج دیم مناطق مرتفع را در میزان نیتروژن بالا و پایین نشان می‌دهد. مشابه آن شکل ۱۳-۱ تا ۱۵-۱ رشد سه ژنوتیپ برنج دیم مناطق مرتفع را تحت تأثیر کود نیتروژن نشان می‌دهد.



شکل ۱- ۱۱ رشد اندام هوایی برنج دیم مناطق مرتفع ژنوتیپ بی آر ای ۲۵۳۵ در دو سطح نیتروژن



شکل ۱- ۱۲ رشد اندام هوایی برنج دیم مناطق مرتفع ژنوتیپ بی آر ای ۳۲۰۳۹ در دو سطح نیتروژن