

فصل چهارم

ریشه و رشد آن

این فصل به ریشه و عوامل مؤثر بر رشد آن اختصاص یافته است. در ابتدا به بحث مختصری پیرامون وظایف ریشه‌ها که از اهمیتی معادل وظایف شاخه‌ها برخوردارند می‌پردازیم.

وظایف ریشه‌ها

سیستمهای ریشه‌ای چهار وظیفه مهم را برعهده دارند: جذب، لنگرگیاه، ذخیره و ساختن ترکیبات آلی گوناگون. در گیاهان خاك زی جذب آب و کلیه مواد غذائی عملاً از طریق ریشه صورت می‌گیرد. البته آب و اجسام حل شدنی از طریق برگها نیز جذب می‌شوند کما این که جذب شب‌نم و مه در ادامه حیات گیاه مؤثر است (دودوانی^۱، ۱۹۶۴؛ استون^۲، ۱۹۵۷؛ وادیا و وایزل^۳، ۱۹۶۳). ولی جذب از طریق شاخ و برگ در مقایسه با جذب از راه ریشه ناچیز است.

معمولاً تصور می‌شود نقش ریشه به عنوان لنگر مزیتی برای گیاه است ولی غالباً موفقیت انواع گیاهان بسته به عمود قرارگرفتن آنها

1— Duvdevani

2— Stone

3— Vaadia and Waisel

است. بین گیاهان از نظر مقاومت در مقابل سقوط بوسیله باد اختلافات زیادی وجود دارد. این مقاومت به مقدار، عمق و مقاومت مکانیکی ریشه‌ها وابسته است. هم چنین مقاومت مکانیکی یکی از عوامل مؤثر بر طاقت گندم در مقابل سرمای زمستان است. زیرا وجود ریشه‌های زبر موجب می‌شود گیاه با حداقل صدمه در مقابل بروز یخبندان ایستادگی نماید. مقدار مواد غذایی ذخیره شده در ریشه‌ها بخصوص در گیاهان دوساله یا دائمی قابل توجه است. این مواد نه تنها در بهار به هنگام شروع مجدد رشد مورد استفاده دارند بلکه غالباً از نظر اقتصادی نیز در گیاهانی مثل چغندر، هویج و سیب‌زمینی شیرین مهم می‌باشند.

گرچه معمولاً نقش سازندگی ریشه‌ها ناچیز شمرده می‌شود ولی این موضوع عملاً بسیار مهم است. در بسیاری از گونه‌ها ازت معدنی قبل از آن‌که به شاخه‌ها انتقال یابد در ریشه‌ها به ترکیبات آلی ازت تبدیل می‌گردد. هم چنین پیدایش ترکیبات آلی سولفور و فسفر در شیره آوندی نیز گزارش شده است (به فصل هفتم مراجعه شود).

نیکوتین در ریشه‌های تنباکو ساخته شده و به شاخه‌ها منتقل می‌شود. در گونه‌های دیگر نیز انواع آلکالوئید در ریشه‌ها تولید می‌شود. هم چنین ادعا شده است که هورمون‌هایی بنام کالوکالین^۴ در ریشه ساخته می‌شود که برای رشد شاخه‌ها الزامی است (ونت^۵، ۱۹۴۳). به عقیده جیب‌نال^۶ (۱۹۳۹) موادی که در ریشه‌ها تولید می‌شوند برای متابولیسم ازت در برگ‌ها ضروری است. کنده^۷ (۱۹۶۵)، اسکن و کریج^۸ (۱۹۶۷) و

4— Caulocaline

5— Went

6— Chibnall

7— Kende

8— Skene and Kerridge

دیگران گزارش کرده‌اند که سیتوکینین^۹ در ریشه ساخته می‌شود. فیلیپس^{۱۰} (۱۹۶۴) نیز پیشنهاد نموده است که ریشه‌ها مخزن انواع مواد تنظیم کننده رشد برای شاخه و برگ است. هم چنین گزارشاتی در دست است که اسید جیبرلیک^{۱۱} در قسمت‌های راس ریشه ساخته می‌شود (اسکن^{۱۲}، ۱۹۶۷). بنظر می‌رسد احتمالاً دلیل کاهش رشد شاخه و برگ به هنگامی که شرایط محیطی ریشه نامناسب است، اختلال در وظایف جذب و ساختن مواد در ریشه باشد. مثلاً اسکن و کریج (۱۹۶۷) گزارش کرده‌اند که مقدار سیتوکینین در ترشحات سیستم‌های ریشه موهای انگوری که در ۳۰ درجه حرارت سانتی‌گراد رشد داده شوند بیش از موهائی است که رشد آنها در ۲۰ درجه سانتی‌گراد صورت گرفته است. رشد شاخه و ریشه هر دو در درجات حرارت بالا صورت گرفته است. آزمایشات دیگر نشان داده‌اند گیاهانی که در ۳۰ درجه سانتی‌گراد رشد داده شوند مقدار میوه زیادتری تولید می‌کنند. اگرچه ثابت نشده است که اختلاف رشد و تولید محصول در اثر تولید مواد تنظیم کننده رشد در ریشه باشد ولی بنظر می‌رسد احتمالاً پژوهش‌های بیشتر این موضوع را تأیید نماید.

گرچه سلول‌های ریشه می‌توانند اغلب موادی که در شاخه‌ها تولید می‌شود از جمله کاربوپلاستها را تولید نمایند، ولی ساختن مواد مخصوص از قبیل تیامین^{۱۳}، نیاسین^{۱۴}، پیریدوکسین^{۱۵} و احتمالاً مواد دیگری

9— Cytokinins

10— Phillips

11— Gibberlic acid

12— Skene

13— thiamin

14— niacin

15— pyridoxin

(استریت^{۱۶}، ۱۹۶۶) که به مجموع آنها ریزوکالین^{۱۷} اطلاق می‌شود از وظایف شاخه‌هاست، ریشه‌ها نیز اکسین را از شاخه‌ها دریافت می‌دارند بورستروم^{۱۸} (۱۹۶۵) و استریت (۱۹۶۶) فعالیت‌های فیزیولوژیکی ریشه‌ها را مورد مطالعه قرار داده‌اند.

علاوه بر فعالیت‌های تولیدی ریشه‌ها، فعالیت‌های باکتری‌ها و موجودات ذره‌بینی مربوط به ریشه نیز باید در نظر گرفته شوند. تثبیت ازت بوسیله فعالیت‌های باکتری‌های مخصوص (ریزوبیوم^{۱۹}) که در غده‌های روی ریشه حبوبات رشد می‌کنند کاملاً شناخته شده‌است و مقدار ازت تثبیت شده بر رشد میزبان و گیاهان مجاور مؤثر است. مواد مترشحه ریشه بر انواع فعالیت‌های موجودات ذره‌بینی موجود در ریزوسفر^{۲۰} (منطقه انتشار ریشه) اثر گذاشته و احتمالاً موادی که موجودات زنده در ریزوسفر تولید می‌کنند بر ریشه‌ها مؤثر است (بورستروم^{۱۸}، ۱۹۶۵؛ روویرا^{۲۱}، ۱۹۶۵؛ زاک^{۲۲}، ۱۹۶۴).

رشد اولیه و ثانویه

میزان تأثیر ریشه‌ها بر جذب مواد بستگی به انتشار سیستم‌های ریشه‌ای و راندمان هریک از ریشه‌ها دارد. این خصوصیات با توانایی‌های ارثی و محیط رشد مرتبط است.

16— Street

17— rhizocaline

18— Burstrom

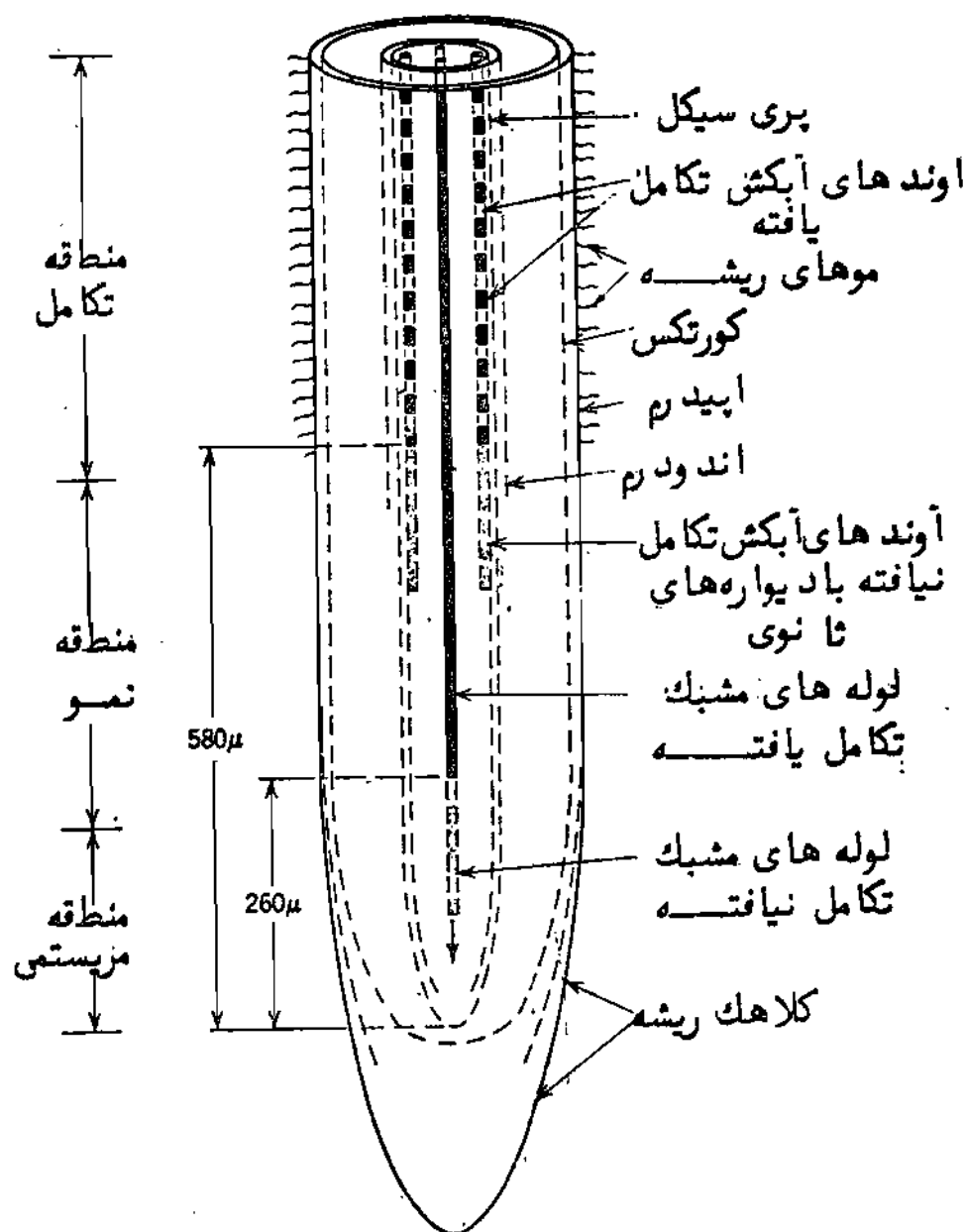
19— rizobium

20— rizosphere

21— Rovira

22— Zak

رشد اولیه ریشه‌ها:
ریشه‌ها در طی زمان رشد و تکامل تحت تغییرات آناتومیکی وسیعی



شکل ۱-۴: تصویر قسمت راس ریشه تنباکو که ترتیب تکامل یافته‌های مختلف را نشان می‌دهد. فاصله محل تکامل و مجزا شدن یافته‌های مختلف از راس ریشه بستگی به نوع ریشه و میزان رشد دارد (از اسانو^{۲۳}، ۱۹۴۱، با تصحیح)

قرار می‌گیرند که به مقدار زیادی بر نفوذ پذیری ریشه نسبت به آب و اجسام حل شدنی موثر است. برای توضیح بیشتر پیرامون رشد ریشه به کتاب اسائو^{۲۴} (۱۹۶۵) مراجعه شود. بزرگ شدن ریشه‌ها به وسیله چهار منطقه کلاهک ریشه، منطقه مریستمی^{۲۵}، منطقه بزرگ شدن سلولها و منطقه تکامل و تغییر تدریجی صورت می‌گیرد. (به شکل ۱-۱) مراجعه شود). مرز بین این مناطق در تمام موارد مشخص نیست. با وجودی که کلاهک ریشه از مجموعه سلولهای ناپایدار تشکیل یافته است از دیگر مناطق کاملاً متمایز است. البته در بعضی ریشه‌ها مثل ریشه‌های کوتاه کاج کلاهک دیده نمی‌شود. از جایی که کلاهک با سیستم آوندی مرتبط نیست احتمالاً در عمل جذب نیز نقشی به عهده ندارد.

منطقه مریستمی معمولاً از تعداد زیادی سلولهای کوچک، جدار نازک، تقریباً مواز سیتوپلاسم که بصورت کتابی روی همدیگر چیده شده‌اند تشکیل یافته است. به دلیل مقاومت زیاد سیتوپلاسم در برابر حرکت آب و نیز فقدان سیستم هدایتی، جذب آب و نمک در این منطقه نسبتاً کم است. طول این قسمت در ریشه‌های جوکه در محلولهای تهویه شده 23°C رشد داده شده بودند حدود $2/$ میلی‌متر بوده است (کرامرو و ایب^{۲۶}، ۱۹۵۲). منطقه مریستمی در ریشه‌های گیاه فلوم پراتنسی^{۲۷} ممکن است حدود $4/$ میلی‌متر راس ریشه را شامل گردد (گودوین و استپکا^{۲۸}، ۱۹۴۵). محتملاً ذخیره مواد غذایی می‌تواند رشد قسمتهای اولیه منطقه مریستمی را محدود سازد زیرا آوندهای چوبی از منطقه راس ریشه منشعب نشده و لازم است مواد غذایی به آن رسانده شود که

24— Esau

25— meristematic region

26— Kramer and Wiebe

27— Phleum pratense

28— Goodwin and Stepka

احتمالاً بطریقه پخشیدگی از داخل لایه‌های ضخیم سلولی صورت می‌پذیرد .

طولانی شدن ریشه در حوالی قسمت راس آن از طریق تقسیم سلولی است ولی بعد از قسمت راس منطقه‌ای است که در آن سلولها به سرعت بزرگ شده و اندازه واکوئولها گاهی به چند دهم میلی‌متر می‌رسد. مشکل است به توان به قسمت خاصی از ریشه ناحیه اشتقاق اطلاق کرد زیرا مجزاشدن انواع سلولها و بافتها، به فواصل مختلف از قسمت راس ریشه صورت می‌گیرد. اشتقاق لوله‌های مشبك آوندی از فاصله ۲۵۰ میکرونی راس یعنی از منطقه تقسیم سلولی صورت می‌گیرد در صورتی که آوندهای آبکش از فاصله ۱۰۰۰ میکرونی قسمت راس مشتق می‌شوند (گودوین و استپکا، ۱۹۴۵). فاصله بین راس ریشه تا محل جداشدن آوندهای چوبی در ریشه‌های پرتقال والنسیا^{۲۹} (هیوارد ولانگ^{۳۰}، ۱۹۴۲) و گلابی (اساوا^{۳۱}، ۱۹۴۳) بیش از فاصله آن تا محل مجزاشدن آوندهای آبکش است. احتمالاً وجود این شرایط حالتی معمولی است (و نیز مراجعه شود به اساوا^{۳۱} ۱۹۶۵ صفحه ۵۰۳).

نظر به این که تقسیم سلولی، بزرگ‌شدن و اشتقاق اعضاء پدیده‌هایی نسبتاً مستقلند، روشن است که کنترل رشد ریشه بسیار پیچیده است (بورسترم^{۳۲}، ۱۹۴۷، اساوا^{۳۱} ۱۹۶۵، استریت^{۳۳}، ۱۹۶۶، توری^{۳۴}، ویل کاکس^{۳۵}، ۱۹۶۲). مثلاً مجزاشدن سلولها و بافتها حتی پس از متوقف

29— Valencia

30— Hayward and Long

31— Esau

32— Burstrom

33— Street

34— Torrey

35— Wilcox

شدن رشد ریشه بخصوص اگر به دلیل نامناسب بودن شرایط باشد، نیز ادامه دارد. تولید ریشه‌های فرعی در اعماق پائین‌تر از راس ریشه اصلی نیز صورت می‌گیرد و این دلیل بر آن است که شرایط رشد برای ریشه‌های فرعی با شرایط ریشه اصلی متفاوت است. نتیجتاً متمایز ساختن منطقه رشد و اشتقاق از نظر فاصله آن تا راس ریشه غیرممکن است و موضع آن بیشتر بستگی به نوع گونه گیاهی و میزان بزرگ‌شدن ریشه دارد. فاصله محل جدا شدن بافتها تا راس ریشه در مورد ریشه‌های سریع‌الرشد بیش از ریشه‌هایی که رشد آنها کند است و اگر رشد ریشه متوقف شود محل مجزا شدن بافتها تقریباً راس ریشه بوده و ناحیه مریستمی بسیار کوچک خواهد شد. در ریشه‌های خواب رفته آبیس^{۳۶} پیدایش آوندهای جزئی کامل در فاصله ۵۰ میکرونی راس ریشه است ولی این فاصله در ریشه‌های فعال که بین طولانی شدن ریشه و پیدایش اعضا آنها هم‌آهنگی نیست، به ۵۰ میلی‌متر بالغ می‌گردد (ویل کاکس^{۳۷} ۱۹۵۴).

فرزنر^{۳۸} (۱۹۲)، ویل کاکس^{۳۷} (۱۹۶۲، ۱۹۵۴) و دیگران گزارش کرده‌اند طولانی شدن ریشه ریتمیک است ولی نه برم فیلد^{۳۹} (۱۹۴۲) و نه گودوین و استپکا^{۴۰} (۱۹۴۵) توانسته‌اند این حالت را مشاهده نمایند. هید^{۴۱} (۱۹۶۵) با عکس‌برداری ریشه‌های گیلان در زمانهای متعدد اظهار داشته‌است که رشد ریشه در شب بیش از روز است. ریشه‌های سیب به هنگام طولانی شدن دارای حرکاتی ریتمیک پائین رو است. شبیه این

36— Abies

37— Wilcox

38— Friesner

39— Brumfield

40— Goodwin and Stepka

41— Head

حرکات را داروین و ساچز^{۴۲} و اخیراً بولز^{۴۳} (۱۹۲۷) در گونه‌های دیگر نیز مشاهده کرده‌اند. بولز اظهار داشته‌است که نفوذ ریشه به داخل خاک به دلیل همین حرکات است. بافتهای سختی که از طرفین به وسیله خاک و از پشت بوسیله سلولهای قدیمی‌تر تقویت می‌شوند به ساولهای بزرگ شونده فشار می‌آورند تا به این ترتیب ریشه به طرف پائین حرکت نماید. سرعت این حرکت ۵ سانتی‌متر الی بیشتر در روز است. معمولاً مسیر حرکت ریشه به دلیل عبور از نقاط کم مقاومت خاک یا عبور از اطراف ریگها و موانع دیگر پیچاییج است. علی‌رغم این انحرافات موقتی رشد بعضی گونه‌های گیاهی معمولاً در مسیر يك خط مستقیم بوده و ریشه پس از عبور از مانع دوباره مسیر مستقیم اولیه خود را دنبال می‌کند. این حالت را که نول^{۴۴} (به ویلسون^{۴۵}، ۱۹۶۷ مراجعه شود) اکسوتروپی^{۴۶} نام نهاده‌است در ریشه‌های بسیار قوی چنار قرمز و بسیاری دیگر از گونه‌های درختی که طول مستقیم ریشه تا ۲۵ متر می‌رسد می‌توان مشاهده کرد.

طولانی و بزرگ شدن ریشه فشار زیادی تولید می‌کند و این را می‌توان از روی برآمدگی پیاده روها و ایجاد شکاف در سنگفرشها مشاهده نمود. کلارک^{۴۷} (۱۸۷۵) مثالهای متعددی را برای اثبات ایجاد فشار در اثر رشد ریشه ذکر کرده‌است. وی گزارش کرده‌است که گیاه کدو می‌تواند در مقابل وزنه ۵۰۰ پوندی مقاومت نماید که يك نمونه بارز

42— Darwin and Sachs

43— Bolz

44— Noll

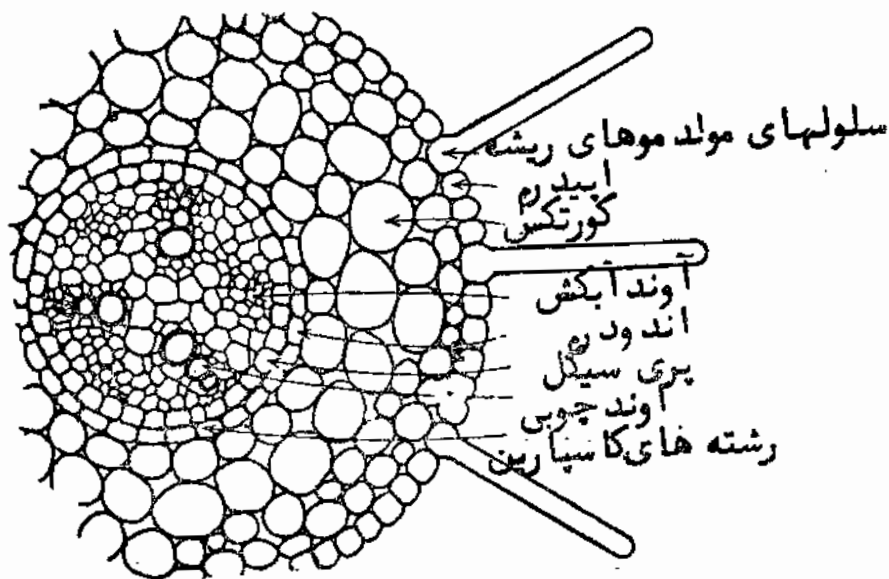
45— Wilson

46— Exotropy

47— Clark

قدرت سلولهای بزرگ شونده به شمار می آید. گیل و بولت^{۴۸} (۱۹۵۵) نیز آمارهائی در این زمینه ارائه داده اند.

سلولهای متسع شده جدار نازک واقع در قاعده منطقه رشد قدرت طولانی شدن خود را از دست داده و به صورت اپیدرم، کرتکس^{۴۹} و استل^{۵۰} که ساختمان اولیه ریشه را تشکیل می دهند در می آیند. ترتیب قرار گرفتن بافتها را می توان در شکل ۲-۴ که مقطع يك ریشه را نشان می دهد مشاهده کرد. بافتهای هادی ریشه، به جای آنکه مثل ساقه اکثر گیاهان علوفه ای دو هسته ای بصورت دستجاتی در اطراف مغز باشند توده جامدی را در مرکز ریشه تولید می نمایند. آوندهای چوبی اولیه از تعداد ویا بیشتر



شکل ۲-۴: مقطع عرضی ریشه کدو در منطقه حداکثر جذب آب و املاح

(از کرافتز و برویر^{۵۱} ۱۹۳۸)

48— Gill and Bolt

49— Cortex

50— Stele

51— Crafts and Broyer

رشته‌های شعاعی (به طرف خارج) تشکیل شده و آوندهای آبکش اولیه در بین آنها قرار گرفته است .

لایه‌های نازک سلولهای پارانشیمی که بین آوندهای چوبی و آبکش قرار گرفته است بعداً تبدیل به کامبیوم^{۵۲} شده آوندهای چوبی و آبکش ثانویه را تولید می‌کند . لایه آخرین استل^{۵۳} راپری سیکل^{۵۴} گویند که سلولهای آن قدرت تقسیم خود را حفظ کرده و نه تنها انشعابات ریشه بلکه بافتهای چوب پنبه‌ای کامبیوم را که در بسیاری از ریشه‌های پسر مشاهده می‌شود تولید می‌کند . اندودرم معمولاً از یک لایه سلول درست شده است ولی به دلیل ساختمان مشخص و مخصوصی که دارد مورد توجه زیاد متخصصین آناتومی و فیزیولوژی قرار گرفته است (اساو^{۵۵} ۱۹۶۵ ، صفحات ۴۹۳ - ۴۸۹ ، وان فلیت^{۵۶} ، ۱۹۶۱) . در اوایل تشکیل بافتهای چوب پنبه‌ای رشته‌هایی بنام کاسپارین^{۵۷} بصورت دیوارهای حلقوی تولید می‌شوند که نقش آنها احتمالاً غیر قابل نفوذ نمودن آنها به آب و اجسام حل شدنی است . در طی دوران تکامل اندودرم دیوارهای ظلی و حلقوی ضخیم‌تر شده و چوبی می‌گردند . اهمیت این مطلب در رابطه با جذب آب و املاح بعداً تشریح خواهد شد .

اپیدرم و ریشه‌های موئی

به دلیل اهمیتی که اپیدرم و ریشه‌های موئی به عنوان سطوح جذب کننده دارند توجه زیادی به آنها معطوف شده است . اپیدرم معمولاً از

52— Cambium

53— Stele

54— Pericycle

55— Esau

56— Van Fleet

57— Casparian

مجموعه سلولهای طویل با جدار نسبتاً نازک که به صورت فشرده روی یکدیگر قرار گرفته و جدار خارجی ریشه‌های جوان را می‌پوشاند تشکیل یافته‌است. گاهی اوقات در زیر اپیدرم لایه فشرده دیگری وجود دارد که به آن هیپودرم گویند. مهمترین علامت مشخصه سلولهای اپیدرم تولید ریشه‌های موئی است که از بیش رفتگی دیواره‌های خارجی ایجاد می‌شود. در تعداد معدودی از گیاهان از جمله مرکبات و کاج تولید ریشه‌های موئی ندرتاً از سلولهای کورتیکال^{۵۸} یا لایه‌های زیراپیدرم سر چشمه می‌گیرد. در بعضی گونه‌ها هر کدام از سلولهای اپیدرم و یا تمام آنها توانائی تولید موهای ریشه را دارند در صورتی که در برخی گونه‌های دیگر ابتدا سلولهای اولیه اپیدرم تقسیم شده و سلولهای طویل و کوچک بنام تریکو بلاست^{۵۹} که مواد موهای ریشه‌است تولید می‌کند سینوت^{۶۰}، ۱۹۳۹، سینوت و بلوچ^{۶۱}، ۱۹۳۹ کورمک^{۶۲} ۱۹۴۴، ۱۹۴۵. موهای ریشه معمولاً در سلولهای اپیدرمی راس ریشه تولید می‌شود زیرا در این قسمت دیواره‌ها به کندی پیرشده و طول آنها نیز بزرگتر است.

PH، غلظت یونهای مختلف، حرارت، تهویه و حتی نور از عوامل مؤثر بر تولید ریشه‌های موئی بشمار می‌آیند ولی این عوامل بر حسب نوع گونه متغیر بوده و از یک قاعده کلی پیروی نمی‌کنند. معمولاً در اکثر گیاهان خاک زی اگر رطوبت خاک نزدیک ظرفیت زراعی بوده و تهویه به خوبی صورت گیرد تعداد ریشه‌های موئی به حداکثر خود رسیده و تولید آن در خاکهای مرطوب یا خشک یا پراز نمک متوقف می‌شود (هیوارد و

58— Cortical

59— trichoblast

60— Sinnott

61— Sinnott and Bloch

62— Cormack

بیر^{۶۳} (۱۹۴۲) . کورماک (۱۹۶۲) اطلاعات موجود در زمینه تولید ریشه‌های موئی را مورد بحث قرار داده است .

گونه‌های مختلف گیاهی از نظر تعداد ریشه‌های موئی بسیار متفاوتند . تعداد آنهادر ریشه گیاهان عاوفه‌ای بیش از گیاهان چوبی است . دیتمر^{۶۴} (۱۹۳۷) گزارش کرده‌است که تعداد موهای ریشه در چاودار زمستانی ۲۵۰۰ عدد در هرسانتی‌متر مربع سطح ریشه‌است در حالیکه این تعداد در ریشه‌های نهال افاقیای سیاه ۲۵۰ و در ریشه‌های کاج^{۶۵} (کزلوسکی و شولتز^{۶۶} ۱۹۴۸) ۲۱۷ عدد می‌باشد . موهای ریشه در بادام زمینی بسیار کم (رید^{۶۷} ، ۱۹۲۴) بوده و ریشه پیکان^{۶۸} (وودروف و وودروف^{۶۹} ۱۹۳۴) و بعضی انواع کاجها (با سجن و مانس^{۷۰} ، ۱۹۲۶) به دون مواست . نائمن گزارش کرده‌است که ریشه‌های موئی سطح جذب کننده مواد رادر گیاه قهوه عربی^{۷۱} ۸/۵ مرتبه افزایش می‌دهد ولی دیتمر (۱۹۳۷) این افزایش رادر ریشه‌های چاودار زمستانی فقط ۱/۶ مرتبه تخمین زده‌است . رجود ریشه‌های موئی موجب می‌شود مقدار خاکی که با ریشه تماس نزدیک دارد به حد زیادی افزایش یابد زیرا استوانه‌ای از خاک به شعاع تقریبی معادل طول ریشه که دور وبر ریشه را فراگرفته است مماو از ریشه‌های موئی است مثلاً قطر ریشه‌های چاودار که مورد مطالعه دیتمر^{۶۴} (۱۹۳۷) قرار گرفته ۱۲۰ تا ۲۵۰ میکرون و طول موهای

63— Hayward and Blair

64— Dittmer

65— loblolly pine

66— Kozlowski and Scholtes

67— Read

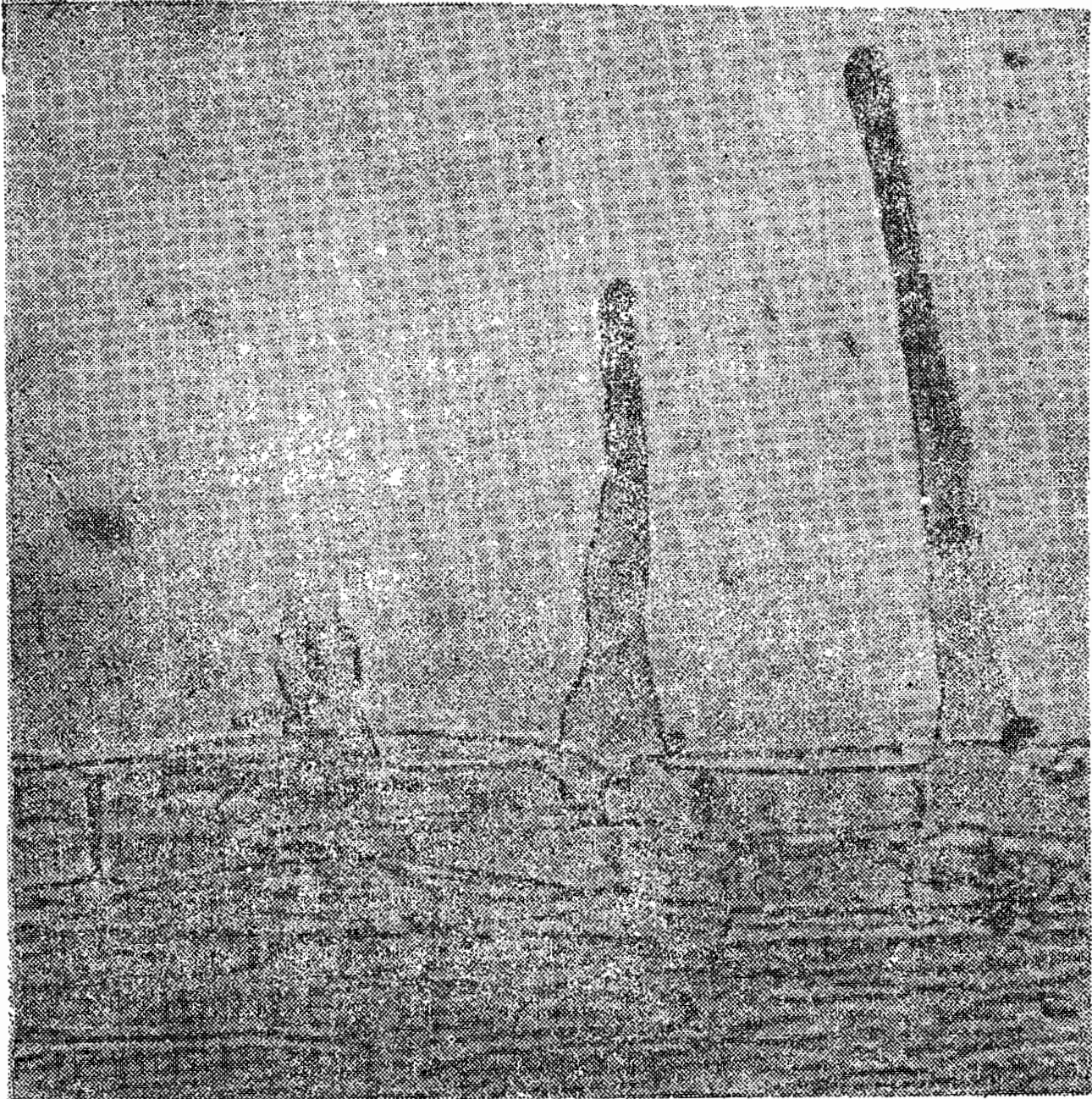
68— Pecan

69— Woodroof and Woodroof

70— Busgen and Munch

71— *Coffea arabia* L.

ریشه ۷۰۰ تا ۸۰۰ میکرون بود و است و به این ترتیب حجم خاکی که با ریشه تماس دارد استوانه‌ای به قطر ۲ میلی‌متر را تشکیل می‌دهد.



شکل ۳-۴: سلولهای اپیدومی و موهای ریشه (از وایز و فولر^{۷۲}، کتاب «علم گیاه شناسی»، کمپانی مک گرا هیل، نیویورک، ۱۹۶۲)

برای اثبات اثر ریشه‌های موئی افزایش جذب آب دلایل روشنی وجود ندارد ولی ریشه‌های موئی ممکن است در جذب یونها بخصوص یونهای که تحرک مثل فسفر دخالت داشته باشند.

تصور می‌رود عمر ریشه‌های موئی کوتاه باشد. این ریشه‌ها یا می‌میرند و یا به علت تغییرات ناشی از رشد ثانوی از بین می‌روند. البته این وضعیت در تمام موارد صحیح نیست زیرا گیاهان چهارماهه چاودار که مورد مطالعه دیتمر قرار گرفته بودند دارای ریشه‌های موئی سالمی بودند. ویور^{۷۳} (۱۹۲۵) دریافته است که ریشه‌های موئی گندم تا سنین ۷ هفتگی از بین نمی‌روند و حتی در بعضی موارد تا سنین ۱۰ هفتگی نیز زنده مانده‌اند. در بعضی گونه‌ها ریشه‌های موئی خشبی یا چوب پنبه‌ای تنده برای ماهها و سالها باقی می‌مانند اما بعید به نظر می‌رسد این نوع ریشه‌ها در جذب مواد اثر مهمی داشته باشند. در برخی گونه‌ها پوست ریشه پس از چند هفته افتاده در نتیجه ریشه‌های موئی نیز از بین می‌رود.

بنا به اظهار اسکات^{۷۴} (۱۹۶۳، ۱۹۶۵) سطح خارجی دیواره سلولهای اپیدرمی ریشه‌های جوان و هم‌چنین جدار ریشه‌های موئی از کوتین یا مواد لعابی پوشیده شده است. بعضی فعل و انفعالات شیمیائی بخصوص^{۷۵} نیز دلالت بر این دارند که جدار سلولها در فضاهای بین سلولی از کوتین یا مواد چربی شکل پوشیده شده است. به عقیده اسکات پیدایش لایه‌های چربی داخلی عکس‌العملی در مقابل جراحات ناشی از بزرگ‌شدن سلولها و ایجاد فضاهای بین سلولی است. علاوه بر این سلولهای ریشه، مشتمل بر جدار خارجی سلولهای اپیدرم و موهای ریشه، حفره‌ها و

73— Weaver

74— Scott

75— Staining reactions

رشته‌های پلاسما دزمتانیز وجود دارد (اسکات ۱۹۴۹، ۱۹۶۴، اسکات و همکاران^{۷۶} ۱۹۶۳). اهمیت پلاسما دزمتا و لایه‌های چربی و کوتینی در جذب آب و املاح ارزیابی نشده‌اند ولی این لایه‌ها بقدری نازک بوده و تعداد منافذ آنها بخدی زیاد است که مانع جدی در برابر حرکت آب و اجسام حل‌شدنی به شمار نمی‌آیند. از این گذشته احتمالاً سطوح آغشته به ژلاتین تماس بین خاک و ریشه را افزایش می‌دهد (جنی و گروسنباکر^{۷۷} ۱۹۶۲).

رشد ثانوی

رشد ثانوی موجب از بین رفتن اپیدرم و موهای ریشه می‌شود. گاهی اوقات سلولهای هیپودرمی چوب پنبه‌ای شده و در سطح خارجی پوست ریشه تولید فلوژن^{۷۸} یا کامبیوم چوب پنبه‌ای می‌کند. در پرتقال نوع والنسیا و برخی دیگر از گیاهان چوبی در سلولهای هیپودرمی موهای ریشه‌ای ثانوی بوجود می‌آید. با ایجاد عدسکها و مناطقی که از سلولهای سریع‌الرشد جدار نازک درست شده جذب آب سهولت از این محلها صورت می‌گیرد (هیوارد ولانگ^{۷۹}، ۱۹۴۲). معمولاً با افزایش قطر استل در اثر فعالیت‌های کامبیومی پوست ریشه و اپیدرم افتاده و از بین می‌روند. در بیشتر موارد کامبیوم چوب پنبه‌ای از پری سیکل سر چشمه گرفته و ریشه‌از بافتی چوب پنبه‌ای محتوی عدسکها پوشیده می‌شود. در ریشه‌های چوبی تولید کامبیوم چوب پنبه‌ای تا زمان از بین رفتن پوست ریشه ادامه پیدا کرده و ترتیب قرار گرفتن بافتها در ریشه‌های مسن شبیه ساقه‌های

76— Scott et al

77— Jenny and Grossenbacher

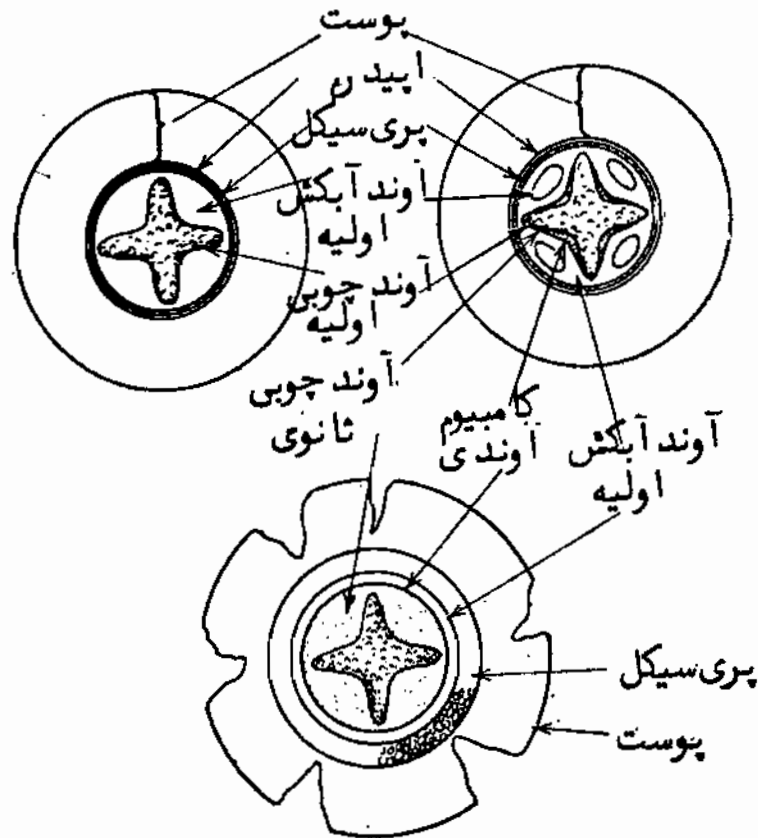
78— Phellogen

79— Hayward and Long

چربی است . ولی پوست ریشه نسبت به آب قابل نفوذ تر از پوست تنه درخت است .

منطقه جذب

مقاومت این مناطق در برابر عبور آب حداقل بوده و از این طریق آب به سرعت وارد ریشه می گردد . محل قرار گرفتن این مناطق بسته به نوع گونه گیاهی ، سن ، میزان رشد و مقدار تنش موجود در سیستم



شکل ۴-۴ : رشد ثانوی ریشه های چوبی . در شکل تشکیل کامبیوم آوندی و تولید آوندهای چوبی و آبکش مشاهده می شود . افزایش بافت های ثانوی آوندهای آبکش اولی و اندودرم را در هم شکسته و پوست ریشه را جدا می سازد (از اسائو^{۸۰} ، ۱۹۶۵)

هدایت آبی متفاوت است .

ریشه‌های جوان

تعدادی از پژوهشهای مربوط به مناطق جذب از طریق نصب پتومتر در فواصل مختلف از راس ریشه صورت گرفته است . بطوری که قبلاً گفته شد مقدار جذب آب در منطقه مریستمی بسیار اندک است زیرا وجود پروتوپلاسم غلیظ و فقدان سیستمهای هادی برای خروج آب مقاومت زیادی را تولید می کند . بنظر می رسد حداکثر جذب آب و نمک در منطقه تشکیل آوندهای چوبی ، قبل از تشکیل لایه های چوب پنبه ای و چوبی و کاهش نفوذ پذیری بوسیله آنها ، صورت می گیرد (هیوارد و اسپور^{۸۱}، ۱۹۴۳). این منطقه مکان حداکثر جذب املاح نیز می باشد (کرامروویب^{۸۲}، ۱۹۵۲ ، کانینگ و کرامر^{۸۳}، ۱۹۵۸ و نیز مراجعه شود به شکل ۸-۷)

پژوهشهایی که با استفاده از پتومتر بر روی جذب آب توسط ریشه های ذرت که طول آنها متجاوز از ۱۰ سانتی متر بوده صورت گرفته نشان داده است که جذب آب در فاصله ۱۰ سانتی متری از راس ریشه حداکثر بوده و هر چه به طرف قاعده ریشه برویم از مقدار جذب کاسته می شود (هیوارد، نیرواسکالینگ^{۸۴}، ۱۹۴۲) . در ریشه های ۷ سانتی متری پیاز حداکثر جذب در مکانی به فاصله ۴ تا ۶ سانتی متر از راس ریشه صورت می گیرد و هر چه بطرف راس ریشه یا قاعده آن برویم از مقدار جذب کاسته می شود ولی در ریشه هایی که طول آنها کمتر از ۵ سانتی متر بوده است افزایش مقدار جذب بطرف قاعده ریشه بیش از جذب در نواحی راس

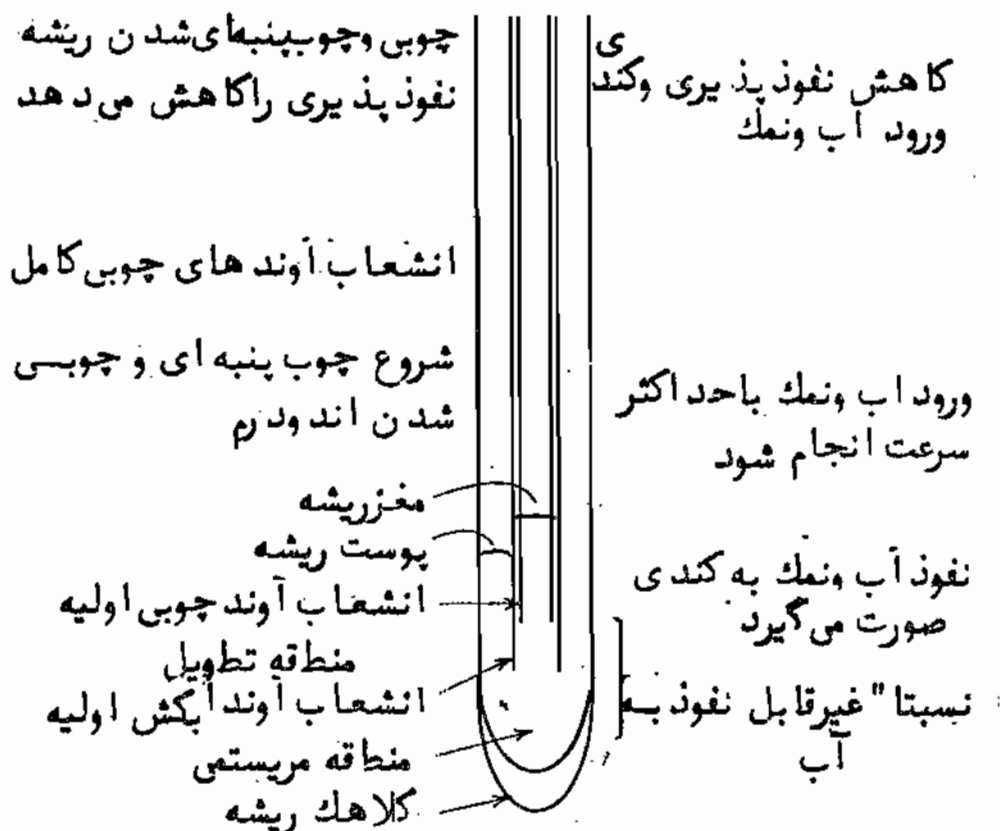
81— Hayward and Spurr

82— Kramer and Wiebe

83 Canning and Kramer

84— Hayward, Blair and skal'ng

ریشه بوده است (روزن^{۸۵} . ۱۹۳۷) .



شکل ۵-۴: تصویر يك ریشه جوان که در آن رابطه بین آناتومی و

مناطق جذب آب و املاح مشاهده می‌شود . تعیین مراحل اشتقاق و مناطق

حداکثر جذب آب براساس پژوهشهای هیوارد و اسپور^{۸۶} (۱۹۴۳) است که

برروی ریشه‌های ذرت انجام داده‌اند . منطقه حداکثر جذب نمک نیز بر مبنای

پژوهشهای ویب و کرامر^{۸۷} (۱۹۵۴) مشخص شده است .

85— Rosene

86— Hayward and Spurr

87— Wiebe and Kramer

سیرپ و برووینگ^{۸۸} (۱۹۳۵) مشخص کرده‌اند که حداکثر نفوذ آب به داخل ریشه‌های ۱۰ سانتی‌متری ویسیافابا^{۸۹} از منطقه‌ای صورت می‌گیرد که بین ۱/۵ تا ۸ سانتی‌متری از راس ریشه قرار گرفته‌است. هرچه بر میزان تعرق افزوده شود نه تنها بر وسعت منطقه جذب افزوده می‌شود بلکه منطقه حداکثر جذب نیز به طرف قاعده ریشه کشیده می‌شود. بروور^{۹۰} (۱۹۶۳) و سوران و کسما^{۹۱} (۱۹۶۳) مشاهده کرده‌اند که افزایش کشش آب نیز موجب می‌شود منطقه جذب به طرف قاعده ریشه سوق نماید. این موضوع در فصل ششم در قسمت نفوذ پذیری ریشه مورد بحث قرار خواهد گرفت (به شکل ۲-۶ مراجعه شود).

نقش ریشه‌های مسن

اکثر گفتگوهای پیرامون جذب مربوط به ریشه‌های جوان بوده و این تصور به وجود آمده‌است که ریشه‌های چوبی مسن نقشی در جذب مواد ندارند. در صورتی که در گیاهان چندساله قسمت اعظم آب و املاح از طریق ریشه‌هایی جذب می‌گردند که رشد ثانوی خود را طی نموده و سطوح آنها از لایه‌هایی متشکل از بافتهای چوبی پوشیده شده‌است. عده‌ای از پژوهشگران گزارش کرده‌اند که در خاکهای خشک یا سرد یا خاکهایی که غلظت محلول آنها زیاد است مقدار ریشه‌های چوبی فعال اندک و یا هیچ می‌باشد مک‌کویلکین^{۹۲} (۱۹۳۵) و رید^{۹۳} (۱۹۳۹) انواع گونه‌های کاج را که در هوای خشک یا سرد می‌رویند مطالعه نموده و

88— Sierp and Brewing

89— Vicia faba L.

90— Brouwer

91— Soran and Cosma

92— McQuilkin

93— Read

دریافته‌اند که تعداد ریشه‌های نازک و فعال آنها بسیار ناچیز است . در مرکبات نیز تعداد ریشه‌های غیر خشبی در طی زمستان بسیار کم یا هیچ است (چاپمن و پارکر^{۹۴}، ۱۹۴۲ ، رید و مک‌دوگال^{۹۵}، ۱۹۳۷) . کاجها و مرکبات در طی روزهای آفتابی زمستان مقدار زیادی آب به طریق تفرق از دست داده و مسلماً معادل آن را باید از طریق ریشه‌های خشبی خود جذب نمایند . کرایدر^{۹۶} (۱۹۳۳) و نایتینگال^{۹۷} (۱۹۳۵) نیز شواهدی را گزارش کرده‌اند که ریشه‌های چوبی غیر فعال توانسته‌اند آب و املاح را جذب نمایند . هید^{۹۸} (۱۹۶۷) مشخص کرده است که میزان تولید ریشه‌های جوان در سیب و آو درواوسط تابستان کاهش پیدامی‌کند و نتیجه گرفته است که می‌بایستی نسبت قابل توجهی از آب و املاح از طریق ریشه‌های مسن جذب گردد .

روبرتز^{۹۹} (۱۹۴۸) گزارش کرده است که درصد ریشه‌های غیر خشبی کاج بسیار کم است . ویل‌کس^{۱۰۰} (۱۹۵۴) نیز اظهار نموده است که رشد شاخه‌های آبیژ^{۱۰۱} در هنگامی که گیاه فاقد ریشه‌های غیر خشبی بود سریع بوده است . کرامر و بول‌ک^{۱۰۲} (۱۹۶۶) ریشه‌های کاج و درختان جنگلی را در کارولینای شمالی مطالعه نموده و گزارش نموده‌اند که در

94— Chapman and Parker

95— Read and Mac Cougal

96-- Crider

97— Nightingale

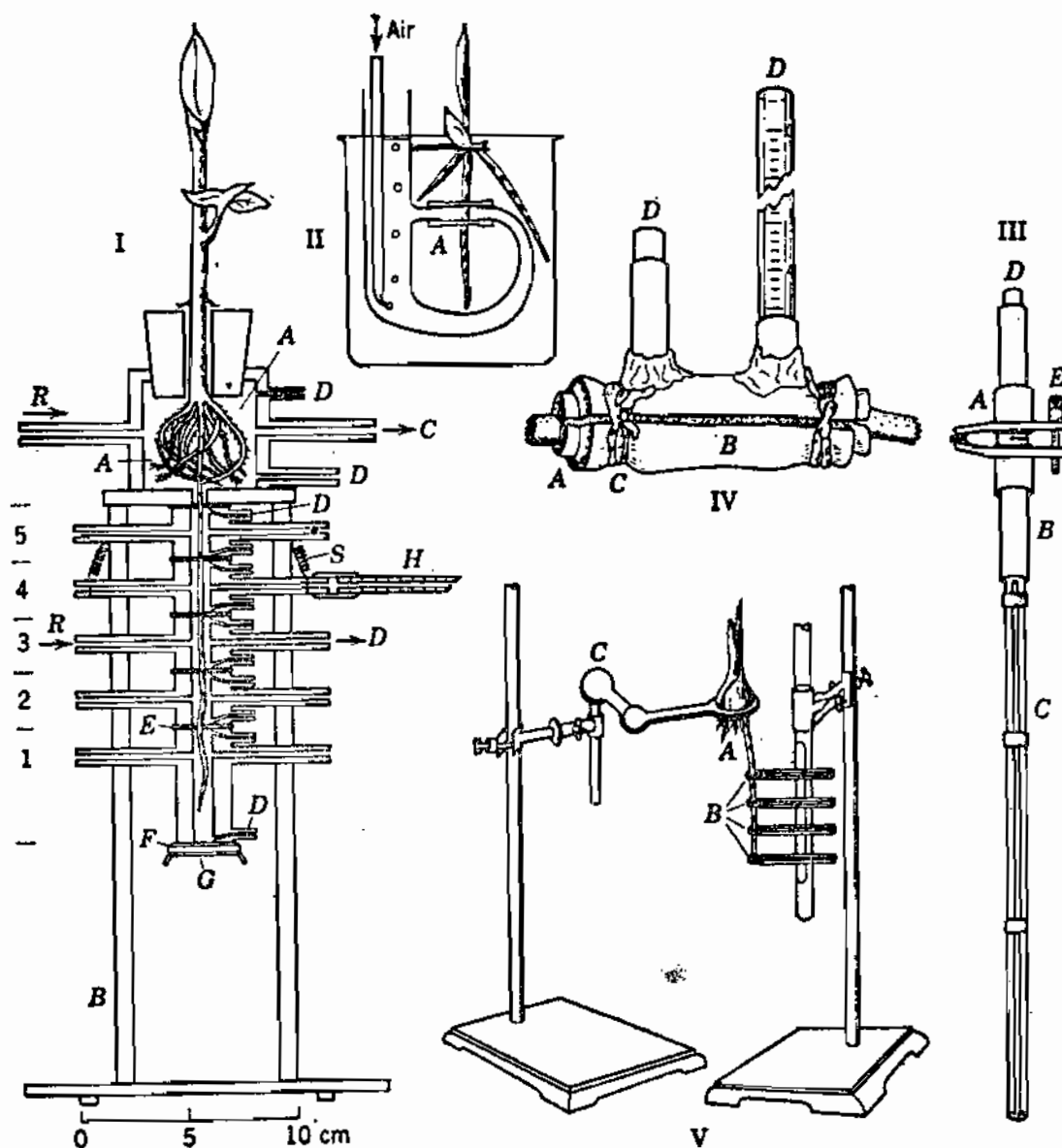
98— Head

99— Roberts

100— Wilcox

101— Abies

102— Kramer and Bullcock



شکل ۶-۴: انواع پتومترهایی که در اندازه‌گیری جذب آب و املاح از مناطق مختلف ریشه مورد استفاده دارد. شماره ۱ پتومتری است که توسط بروور^{۱۹۵۳} (۱۹۵۳) برای مطالعه روی جذب آب و نمک توسط ریشه‌های ویسیا قناری به‌کار برده شده است. این دستگاه از مجموعه اظافه‌های کوچک

از جنس لوسایت درست شده است . هریک از اطاقکها دارای لوله ورودی (R) و خروجی (C) برای تعویض محتویات آن می باشد . اطاقکها توسط فشاء لاستیکی از یکدیگر مجزا شده اند (E) در این فشاءها سوراخهایی تعبیه شده است که ریشه از آن عبور می نماید . شماره ۲ پتومتري را نشان می دهد که توسط ویب و کرامر^{۱۰۴} (۱۹۵۴) مورد استفاده قرار گرفته است . در این روش تعیین مناطق ریشه با استفاده از ایزوتوپهای رادیواکتیو صورت می گیرد . برای این منظور ریشه را از داخل سوراخی که به قطر معین در یک لوله لاستیک (A) تعبیه شده گذرانیده و اطراف آن بالانولین محکم می گردد . بادمیدن لوله هوا ایزوتوپ در داخل لوله و اطراف ریشه به چرخش در می آید . شماره ۳ پتومتري را نشان می دهد که هیوارد ، بلیر و اسکالینگ^{۱۰۵} (۱۹۴۲) استفاده کرده اند . یک لوله لاستیکی نرمی را (B) از شبکه های مسی (A) گذرانیده و به قلبی متصل می گردد . در این لوله سوراخی تعبیه نموده تا ریشه ها در آن جای گیرند . با پیچ (E) می توان ریشه را در محل خود تثبیت نمود . شماره ۴ برای ریشه های بزرگ و چوبی توسط کرامر^{۱۰۶} (۱۹۴۶) به کار رفته است . درب بندهای لاستیکی یک سوراخ (A) را دو نیم نموده و ریشه از آن عبور داده می شود . سپس دودرب بند بایک لوله لاستیکی به یکدیگر متصل شده و مطابق شکل با نخ پلاستیکی محکم می گردند . اطراف سوراخها نیز با سیمان مسدود می شود . لوله ورودی (D) و نیز لوله مدرج برای اندازه گیری مقدار جذب آب به لوله لاستیکی متصل شده و محل اتصال با استفاده از مواد مسدود کننده آب بندی می شود . شماره ۵ پتومتري است که روزن^{۱۰۷} (۱۹۴۱ ، ۱۹۴۷) برای اندازه گیری میزان جذب آب در مناطق

104—Wiebe and Kramer

105—Hayward, Blair and Skaling

106—Kramer

107—Rosene

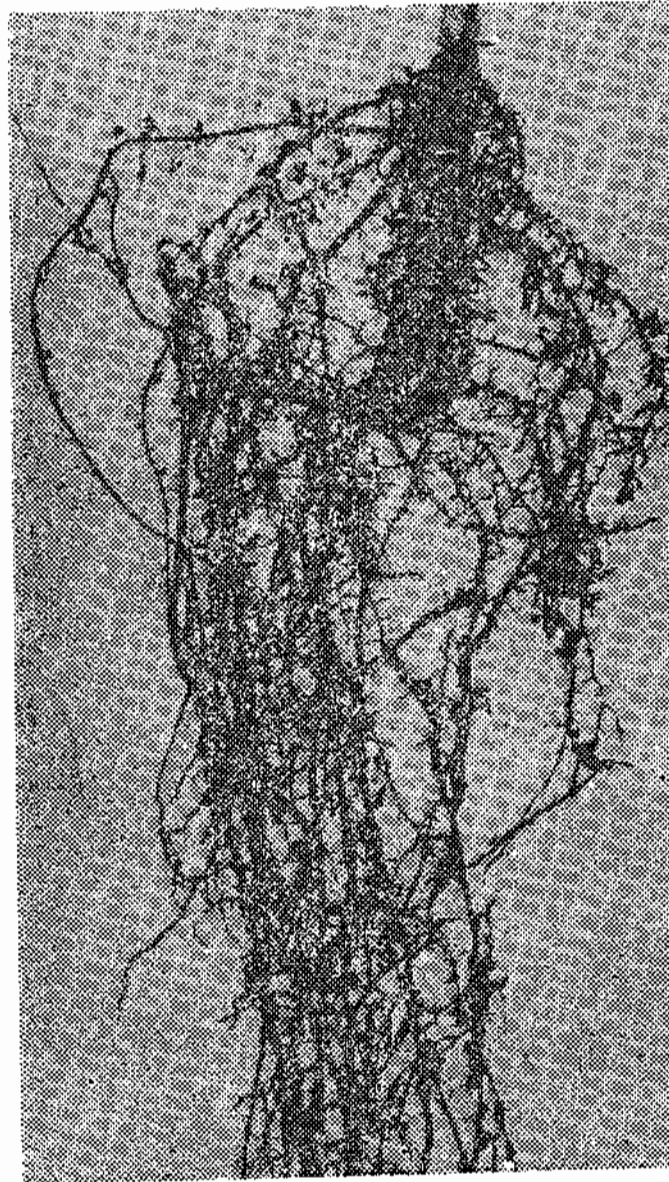
مختلف ریشه به‌کار برده است. ریشه‌ها از داخل سوراخهای تعبیه شده در قسمت سطح لوله‌های موئی (B) عبور نموده و مقدار جذب آب از روی انحنای سطح آب در هریک از لوله‌های موئی تعیین می‌گردد. کلیه دستگاه در داخل محفظه‌ای پلاستیکی قرار گرفته است تا هوای اطراف ریشه رطوبت زیادی دارا باشد.

گونه‌های پاینوس تدا^{۱۰۸}، لیریودندرون تولیپی‌فرا^{۱۰۹} فقط يك درصد از ریشه‌های تابستانی خشبی (چوبی) نبوده‌اند. درست است که نفوذپذیری ریشه‌های غیر خشبی بیش از ریشه‌های چوبی است ولی غیر ممکن است که جذب کایه آب و املاح را به حساب درصد کوچکی از ریشه‌های غیر خشبی گذاشت. زیرا ریشه‌های غیر خشبی فقط حجم کوچکی از خاک را اشغال نه‌وده و نمی‌توانند جوابگوی احتیاجات آب و املاح مورد نیاز گیاه باشند. لذا بنظر می‌رسد که جذب مواد به ریشه‌های غیر خشبی محدود نبوده بلکه سرتاسر سطح سیستمهای ریشه در آن دخالت دارند. در حقیقت قسمت اعظم آب و املاح در گیاهان چند ساله از طریق ریشه‌های چوبی جذب می‌گردد.

مسیر شعاعی حرکت آب

با بحثی که پیرامون مناطق جذب آب شد لازم است مسیر حرکت آب از سطح ریشه تا آوندهای چوبی مورد بررسی قرارگیرد. ابتدا به مطالعه مسیر حرکت در ریشه‌های جوان و سپس به ریشه‌هایی می‌پردازیم که رشد ثانوی خود را طی کرده‌اند.

در شکل ۲-۴ سطح مقطع يك ریشه جوان در گیاهان علوفه‌ای



شکل ۷-۴: تصویر سیستم ریشه‌ای دوکاج . بطوری‌که مشاهده می‌شود

قسمت اعظم سطوح ریشه‌ها چوبی شده‌اند .

مشاهده می‌شود . اپیدرم و هیپودرم ، اگر وجود داشته باشند ، از مجموعه سلولهای فشرده بدون فضای بین سلولی تشکیل شده و از این لحاظ حائز اهمیت می‌باشند . معمولاً بافت پارانشیم کلاهِک ریشه را سلولهای ناپایداری تشکیل می‌دهند که بین آنها تعداد زیادی حفره و

فضای بین سلولی وجود دارد. حرکت آب در این منطقه از طریق پروتوپلاسم و دیواره‌های سلولی صورت گرفته و فضاهای بین سلولی حتی در گیساهان آبی نیز از گاز پر شده است بطوریکه نفوذ آب به داخل این حفره‌ها مانع رشد گیاه می‌شود (بورستروم^{۱۱۰} ۱۹۶۵، ۱۹۵۹).

سلولهای اندودرمی در مقابل حرکت آب و نمکها موانع جدی به شمار می‌آیند زیرا رشته‌های کاسپارین موجود در دیوارهای شعاعی متشکل از سلولهای اندودرم نسبت به آب و املاح غیر قابل نفوذ است. بنابراین، در شرایطی که اندودرم سالم باشد، حرکت آب و کلیه املاح به طرف مفز ریشه بایستی از طریق پروتوپلاسم صورت گیرد. آرنولد^{۱۱۱} (۱۹۵۲) و دیگران عقیده دارند اندودرم کنترل کننده مقدار جذب آب است. البته از برخورد زوائد ریشه شکافهایی در اندودرم بوجود می‌آید که احتمالا راه عبور آب و مواد دیگر را باز می‌کند.

در گذشته تصور می‌شد حرکت آب در پوست ریشه از طریق واکوئولها صورت می‌گیرد یعنی آب از دیواره خارجی سلول گذشته و پس از عبور از لایه سیتوپلاسمی، واکوئول، لایه سیتوپلاسمی دیگر و دیواره داخلی به سلول دیگر منتقل می‌شود. باید توجه داشت که مسیر آب در جهتی است که با حداقل مقاومت روبرو باشد. بنظر می‌رسد مقاومت جدار سلول در مقابل حرکت آن کمتر از مقاومت سیتوپلاسم است. از این جهت مقدار قابل توجهی از جریان آب از طریق جدارهای سلول و از داخل واکوئولها انجام می‌شود. استراجر^{۱۱۲} (۱۹۴۹، ۱۹۴۳) با استفاده از مواد رنگی نورافشان در تجربیات خود این موضوع را

110— Burstrom

111— Arnold

112— Strugger

ثابت کرده است . راسل و وولی^{۱۱۳} (۱۹۶۱) نیز از روی ارقام مربوط به سطح مقطع ریشه و نفوذپذیری نسبی سیتوپلاسم و جدارهای سلولی محاسبه کرده‌اند که قسمت اعظم جریان آب به طرف آوندهای چوبی از طریق جدار ساولها صورت می‌گیرد . این موضوع بسیار پیچیده است زیرا پروتوپلاسم ساولهای ریشه با رشته‌های سیتوپلاسمی بنام پلاسماد زماتا به جدار سلولها مربوط بوده و سیستم واحدی بنام سیمپلاست را تشکیل می‌دهد (آریز^{۱۱۴}، ۱۹۵۶، مانش^{۱۱۵}، ۱۹۳۰، اسکات^{۱۱۶}، ۱۹۴۹). نتیجتاً حتی جذب غیر فعال آب نیز تحت تأثیر تهویه مواد جاوگیری کننده تنفس و عوامل دیگر مؤثر بر شرایط پروتوپلاسم قرار می‌گیرد .

یکی دیگر از دلایل متقاعدکننده برای اثبات این که آب در مسیر حرکت خود از سطح ریشه به مرکز آن می‌رود این است که برای تعادل بین آب و اکوئول و تربتیوم موجود در محلولی که ریشه در آن قرار گرفته مدت زمان زیادی دقت لازم است (بیدولف و همکاران^{۱۱۷}، ۱۹۶۱، کلاین^{۱۱۸}، ۱۹۵۳، رینی و وادیا^{۱۱۹}، ۱۹۶۵) . شواهدی موجود است که مواد معدنی بدون عبور از واکوئولها به قسمت مرکزی ریشه انتقال می‌یابند . این شواهد در فصل هفتم ذکر گردیده‌اند . مسیرهای احتمالی حرکت آب و مواد معدنی در شکل ۹-۷ نشان داده شده است .

مقاومت ریشه را در برابر حرکت آب به طرق گوناگون می‌توان نشان داد، برای مثال اگر ریشه‌های گیاه پرتعرقی قطع گردد جذب آب بلافاصله

113— Russell and Woolley

114— Arisz

115— Munch

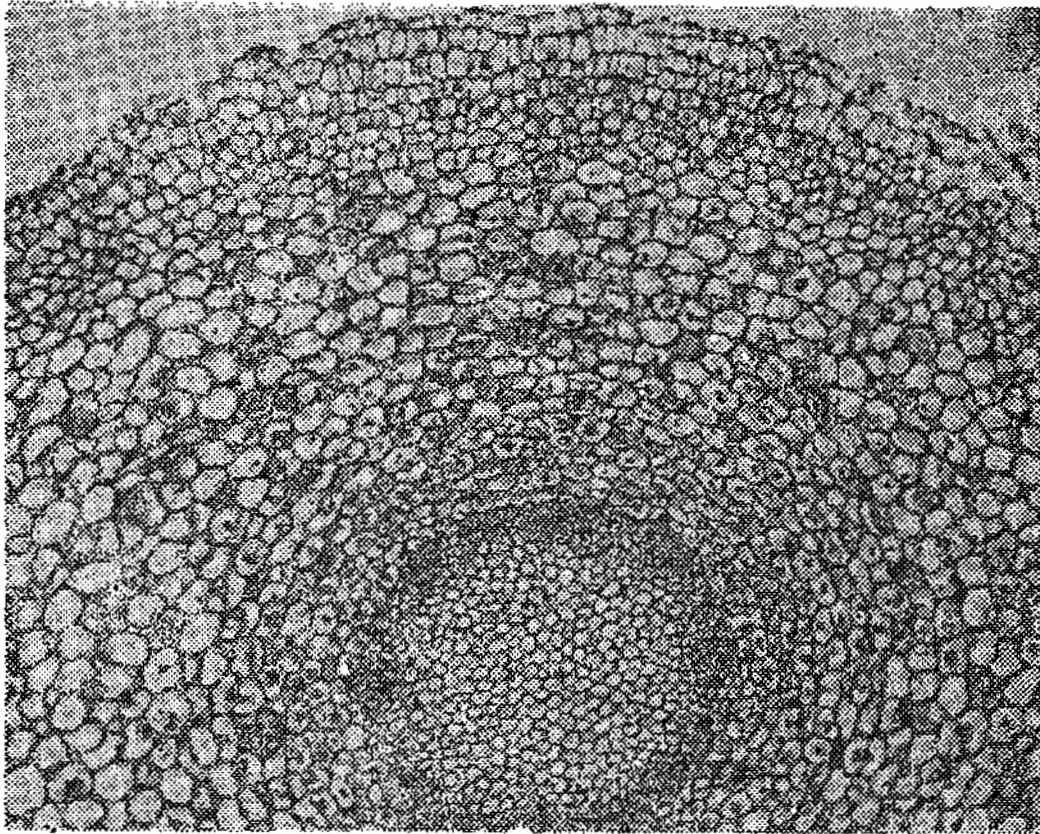
116— Scott

117— Biddulph et al

118— Cline

119— Raney and Vaadia

افزایش یافته و تأخیر زمانی بین جذب و تعرق از بین می‌رود (کرامر^{۱۲۰} ۱۹۳۸). باکشته شدن ریشه‌ها اکثر این مقاومتها از بین می‌رود (رنر^{۱۲۱}، ۱۹۲۹، کرامر^{۱۲۰}، ۱۹۳۲، اوردین و کرامر^{۱۲۲}، ۱۹۵۶). از طرف دیگر موارد بازدارنده تنفس، کمبود اکسیژن، زیادی اکسیدکربن همگی مقاومت ریشه را درمقابل حرکت آب افزایش می‌دهند (بروور^{۱۲۳}، ۱۹۵۴، کرامر^{۱۲۰}، ۱۹۴۹، لوپوشینسکی^{۱۲۴}، ۱۹۶۴، میز و ودرلی^{۱۲۵}، ۱۹۵۷).



شرح در صفحه روبرو

120— Kramer

121— Renner

122— Ordin and Kramer

123— Brouwer

124— Lopushinsky

125— Mees and Weatherly

شکل ۸-۴: سطح مقطع ریشه جوان لیریدندرون^{۱۲۶} (بزرگنمایی ۸۰)
 درفاصله ۰/۶ میلی متری از راس ریشه. توجه شود که مرکز ریشه از بافت
 متراکمی احاطه شده است (از پوپام^{۱۲۷} - آنتومی گیاهی تکاملی، ۱۹۵۲،
 کمپانی لانگز کالج، کلمبوس، اوهایو: با اجازه ناشر).

مقاومت ریشه های خشبی را درمقابل حرکت آب باید درلایه
 چوبی سطح خارجی ریشه، بافت چوب پنبه ای آوندهای ارتباطی و
 آوندهای آبکش آنها (به شکل ۸-۴ و ۹-۴ مراجعه شود) جستجو کرد.
 اهمیت نسبی این لایه ها را به عنوان مقاومتی در مسیر حرکت آب می توان
 با برداشتن نوبه ای هریک از لایه ها در زمایی که آب با فشار وارد ریشه
 می شود ارزیابی کرد ولی این کار تا بحال صورت نگرفته است.

مایکوریزا^{۱۲۸}

سیستمهای ریشه ای و سطوح جذب کننده در اکثر درختان،
 بوته ها و گیاهان علوفه ای تحت تأثیر مایکوریزا قرار می گیرند. تشکیلات
 ساختمانی مایکوریزا از ترکیب ریشه های جوان و تارهای گونه های
 مختلف قارچهایی که معمولا در خاکهای جنگلی می رویند درست شده
 است. در اندوتروفیک مایکوریزا^{۱۲۹} میسلیمهای قارچ به داخل بافتهای
 ریشه نفوذ کرده و در شکل ظاهری ریشه تغییر چندانی نمی دهد
 در صورتی که در اکتوتروفیک مایکوریزا^{۱۳۰} میسلیمهای قارچ وارد بافت

126— Liriodendron

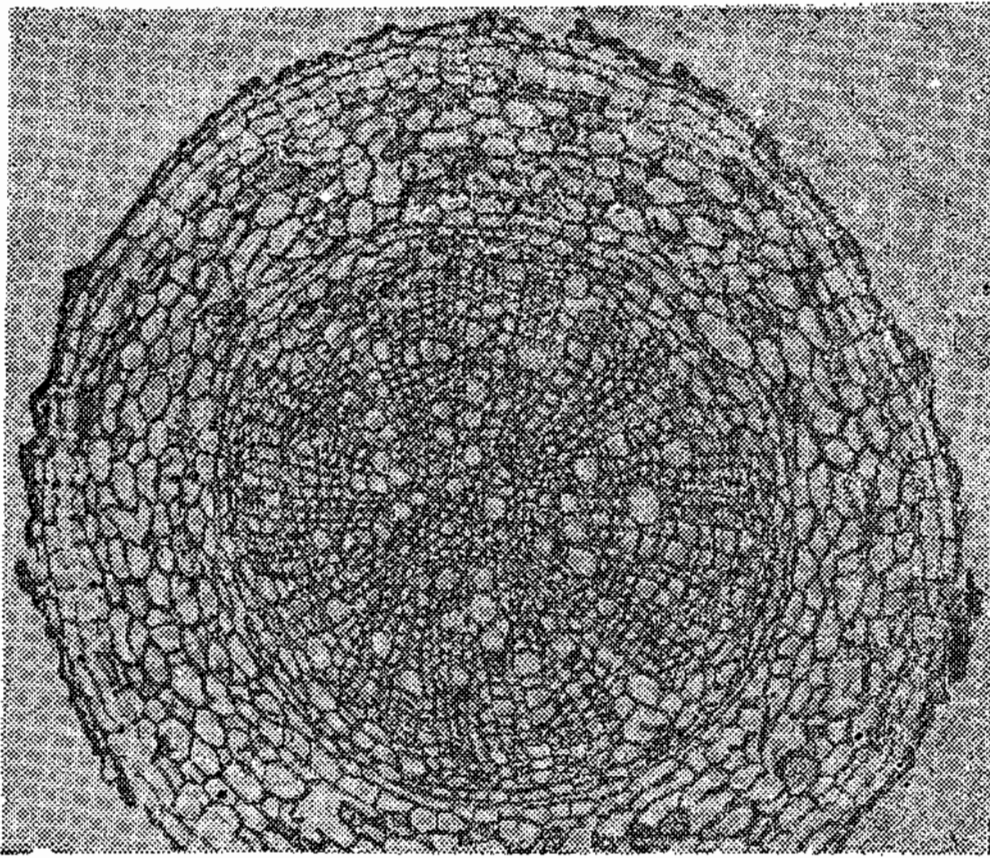
127— R. A. Popham

128— mycorrhizae

129—endotrophic mycorrhizae

130— ectotrophic mycorrhizae

پوست ریشه شده موجب بزرگ شدن بیش از حد ریشه و انشعابات متعدد آن می گردد. ریشه های لیریودندرم تولیپیفرا^{۱۳۱} نمونه از اندوتروفیک و ریشه های اغلب گونه های کاج نمونه اکتوتروفیک آن می باشند. گاهی اوقات ترکیب این دو نوع نیز وجود دارد. اغلب روی



شکل ۹-۴: سطح مقطع ریشه من لیریودندرون^{۱۳۲} (بزرگنمایی ۶۰)

بعد از آنکه قسمت اعظم بافت پارانسیم خارجی جدا شده و لایه های چوب-
پنبه ای جایگزین آن شده است (همان مأخذ شکل ۸-۴).

131—*Liriodendrom tulipifera* L.

132—*Liriodendron*

ریشه را پرده‌ای نمدی شکل که از ترکیب میسلیمها درست شده پوشانده و تارها یا ریشه‌هایی از این پرده خارج و در خاک فرومی‌روند . شکل ۱۰-۱ یک ریشه مایکوریزائی را نشان می‌دهد .



شکل ۱۰-۱ : تصویر مایکوریزا روی ریشه پاینوس ویرجینیانا^{۱۳۳} .

به رشته‌های میسلیم و ذرات خاک چسبیده به آن توجه شود (از ادوارد هاکسکیل^{۱۳۴} ، وزارت کشاورزی ایالات متحده) .

به نظر هاج و داک^{۱۳۵} (۱۹۳۳) و هاج^{۱۳۶} (۱۹۳۷) نوع سیستمهای ریشه‌ای و قارچها معرف نوع مایکوریزا می‌باشند . متمایز کردن درختانی از قبیل صمغ شیرین^{۱۳۷} ، صنوبرزرد^{۱۳۸} ، افرا^{۱۳۹} و درختان خانواده

133— Pinus Virginiana

135— Hatch and Doak

137— Sweet gum

139— maple

134— Edward Hacksaylo

136— Hatch

138— Yellow Poplar

اریکاسه^{۱۴۰} از روی دانه‌های ریز یا درشت اندوتروفیک مایکوریزای روی ریشه آنها صورت می‌گیرد. درختان خانواده آبیه تینه^{۱۴۱}، سالیکاسه^{۱۴۲}، بتولاسه^{۱۴۳}، فگاسه^{۱۴۴} و برخی دیگر از گیاهان دونوع ریشه‌های کوتاه و بلند تولید می‌کنند. از مشخصات ریشه‌های بلند رشد نسبتاً سریع، تولید ریشه‌های موئی که از لایه هیپودرمی سرچشمه می‌گیرد، انشعابات خوشه‌ای، عمر نسبتاً زیاد و ضخیم شدن ثانوی بوده و به دلیل رشد سریع و عدم فرصت کافی مورد حمله قارچها قرار نمی‌گیرند لذا به ندرت می‌توان در آنها مایکوریزا مشاهده کرد. از مشخصات ریشه‌های کوتاه رشد کند، محدود بودن تعداد موهای ریشه و عدم رشد ثانوی است. دوران عمر آنها يك فصل یا کمتر بوده و اکثراً در معرض حمله قارچها واقع شده و تولید مایکوریزا می‌نمایند. ریشه‌های مایکوریزائی اکثراً ضخیم و پهن می‌باشند. انشعابات مایکوریزا دوگانه و گاهی اوقات مطابق شکل ۱-۱. خوشه‌ای است. اسلانکیس^{۱۴۵} (۱۹۵۸) عقیده دارد که منشعب شدن مایکوریزا به دلیل ترشح اکسین توسط قارچها است ولی رشد ریشه‌های مایکوریزا به وجود کربوهیدراتها که از شاخه‌ها تأمین می‌شود نیز بستگی دارد.

در حال حاضر اهمیت ریشه‌های مایکوریزا به خوبی مشخص بوده و موارد مجهول آن از بین رفته است. پرورش درختان کاج در علفزارها، خاکهای حاصلخیز و مناطقی که قبلاً درخت کاج در آنها نروئیده باشد

140— Ericaceae

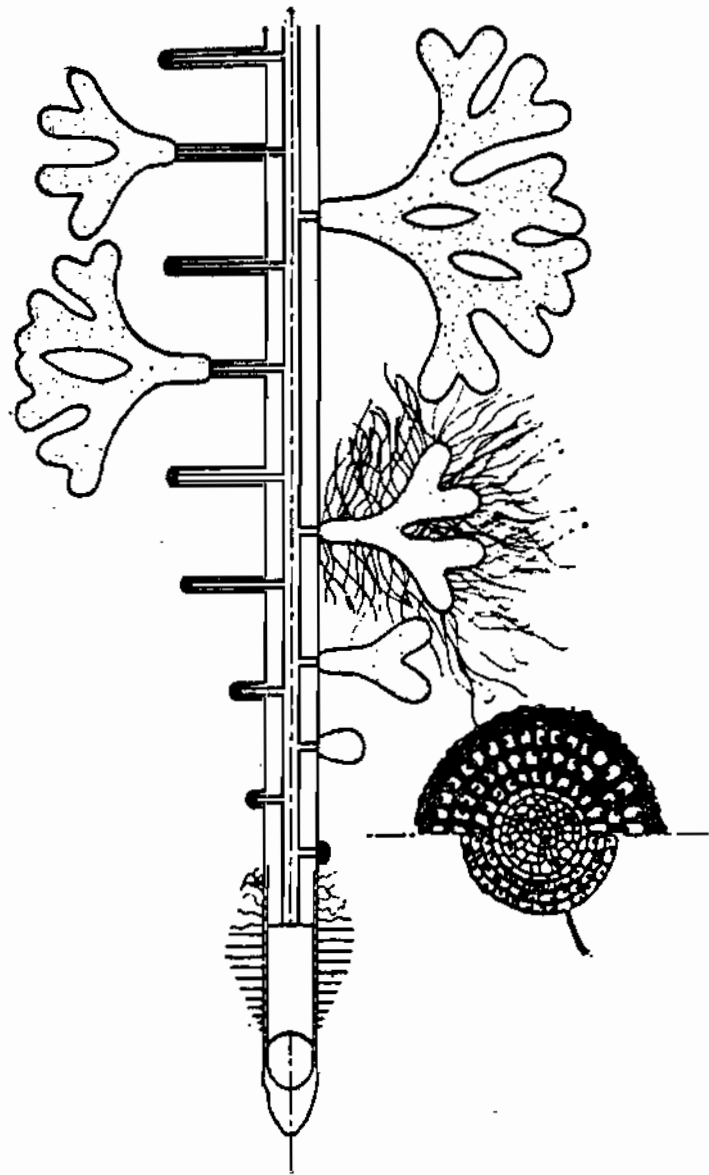
141— Abietineae

142— Salicaceae

143— Betulaceae

144— Fagaceae

145— Slankis



شکل ۱۱-۴: تصویر نمایش‌دهنده طرز تکامل مایکوریزا در ریشه‌های آج. محور اصلی عبارت است از یک ریشه طویل با کلاهک و موهای ریشه که در قسمت غیر خشبی بعد از منطقه مرستمی واقع شده‌اند. شاخه‌های مایکوریزا مطابق آنچه در شکل ۱۰-۴ دیده شد از ریشه‌های کوچک منشعب می‌گردند. در تصویر سطح مقطع بانیمه بالائی ریشه مایکوریزائی و نیمه پالین ریشه بدون آلودگی را نشان می‌دهد (از هاج^{۱۴۶}، ۱۹۳۷).

با شکست مواجه می‌شود ولی در مواردی که سعی شده است با افزایش مواد آلی قارچ‌دار به خاک امکان رشد میکوریزا فراهم آید پرورش درختان کاج نیز موفقیت‌آمیز بوده است. بعضی مأخذ مربوط به این موضوع بوسیله بوون^{۱۴۷} (۱۹۶۵) کرامروکوزلوسکی^{۱۴۸} (۱۹۶۰) و زاک^{۱۴۹} بررسی شده است. تعدادی از مقالات مربوط به میکوریزا نیز در نشریه چهاردهمین کنگره سازمان بین‌المللی تحقیقات جنگلداری که به سال ۱۹۶۷ برگزار گردید چاپ شده است.

به نظر می‌رسد اثر مفید ریشه‌های میکوریزا در نتیجه افزایش سطوح جذب‌کننده است که از گسترش تارهای قارچ و اینزومورفهای ریشه در داخل خاک حاصل می‌شود (هاچ^{۱۵۰}، ۱۹۳۷) گزارش شده است که میزان مواد معدنی در واحد وزن خشک ریشه‌های میکوریزا بیش از ریشه‌های غیر میکوریزا است (هارلی^{۱۵۱}، ۱۹۵۶، هاگسون^{۱۵۲}، ۱۹۵۴، کرامروویلبور^{۱۵۳}، ۱۹۴۹).

بوون و تئودور^{۱۵۴} (۱۹۶۷) مشخص کرده‌اند که سرعت جذب فسفات در منطقه سریع‌الرشد رأس ریشه معادل سرعت جذب در میکوریزا بیش از چند روز دوام ندارند. درحالی‌که ریشه‌های میکوریزا هفته‌ها انجام وظیفه می‌کنند. رشد زیاد میسلیم در خاک موجب افزایش سطوح جذب‌کننده می‌شود ولی اثر انتشار تارهای نازک قارچ برافزایش مقدار جذب روشن نشده است.

147— Bowen

148— Kramer and Kozłowski

149— Zak

150— Hatch

151— Harley

152— Hodgson

153— Kramer and Wilbur

154— Bowen and Theodorou

ماین و همکارانش ثابت کرده‌اند که مواد گوناگونی که در دسترس تارهای قارچی متصل به ریشه کاج قرار می‌گیرد به شاخه‌ها انتقال می‌یابند (ملین و نیلسن^{۱۵۵}، ۱۹۵۰، ۱۹۵۵، ماین و همکاران^{۱۵۶}، ۱۹۵۸). مک‌دوگال و دافرنوی^{۱۵۷} (۱۹۴۶، ۱۹۴۴) و مک‌کمب و گریفیت^{۱۵۸} (۱۹۴۶) پیشنهاد کرده‌اند که فعالیت‌های سازندگی قارچ‌های مایکوریزا حائز اهمیت است؛ زیرا این قارچ‌ها برای گیاه میزبان تولید ویتامین، مواد رشدزا و مواد غذایی آلی می‌کنند. این نظریه مفایر نتایجی است که در آزمایشگاه ماین بدست آمده است. به عقیده ملین قارچ‌های مولد مایکوریزا برخلاف دیگر قارچ‌های موجود در خاک‌های جنگلی احتیاج به مواد ساده کربوهیدراتی و مواد مورد لزوم دیگر دارند. زاک^{۱۹۶۴} پیشنهاد کرده است که یکی دیگر از فوائد قارچ‌های مایکوریزا ترشح آنتی بیوتیک و محافظت کردن ریشه‌های جوان در مقابل حمله موجودات ذره‌بینی است.

وجود قارچ‌های مناسب دلیل بر پیدایش همیشگی مایکوریزانخواهد بود. رینرو نیکسون - جونز^{۱۵۹} (۱۹۴۴) عقیده دارند عدم رشد سنوزنی ارگان در برخی از خاک‌های بایر انگلیس به دلیل کمبود اکسیژن و مواد سمی حاصله از بوته‌های موجود است که مانع رشد مایکوریزای گردند. پورکمان^{۱۶۰} (۱۹۴۲) عدم پیدایش مایکوریزا را کمبود مقدار

155— Melin and Nilsson

156— Melin et al

157— MacDougal and Dufrenoy

158— McComb and Griffiths

159— Rayner and Neikson - Jones

160— Hiorkman

کربوهیدراتهای ریشه می‌داند . وی گزارش کرده است که تراکم و سایه انداختن گیاهان روی یکدیگر رشد مایکوریزا را شدیداً کاهش می‌دهد . ونگر^{۱۶۱} (۱۹۵۵) نیز تشخیص داده است که رشد مایکوریزا بر روی ریشه‌های کاج استخری که در آفتاب پرورش داده می‌شوند به مراتب بیش از کاجهای سایه پرور است .

به نظر می‌رسد وجود مواد معدنی بخصوص ازت و فسفر به مقدار فراوان در خاک موجب می‌شوند کربوهیدراتهای ریشه به مصرف رشد گیاه رسیده و انگیزه‌ای برای توسعه قارچهای روی ریشه باقی نماند. کمبود جزئی ازت و فسفر مانع رشد زیاد ساقه‌ها شده در نتیجه تجمع کربوهیدراتهای ریشه تولید ریشه‌های مایکوریزا را تشدید می‌نماید . اگر کمبود مواد غذایی شدید بوده یا گیاه در سایه قرار گرفته و میزان فتوسنتز آن تقلیل پیدا نماید تجمع کربوهیدراتها صورت نگرفته تولید مایکوریزا نیز انجام نمی‌شود . هارلی^{۱۶۲} (۱۹۶۵) این توضیحات را يك ساده‌سازی بیش از حد دانسته و معتقد است که برخی ترشحات ریشه احتمالاً در تولید مایکوریزا دخالت دارند .

گرچه به نظر می‌رسد وجود ریشه‌های مایکوریزا در برخی از خاکها برای رشد گیاه الزامی باشد ولی اگر به گیاه مقدار کافی مواد غذایی داده شود وجود آنها لزومی نخواهد داشت . اگر مقدار مواد غذایی کافی باشد بدون ریشه‌های مایکوریزا نیز می‌توان نهالهای جوان را در داخل شن (آدومز^{۱۶۳} ، ۱۹۳۷ ، هاج^{۱۶۴} ، ۱۹۳۷) و بستر خزانه‌ها

161— Wenger

162— Harley

163— Addoms

164— Hatch

(میچل و همکاران^{۱۶۵} ، ۱۹۳۷ ، هاکسکیلو و پالمر^{۱۶۶} ، ۱۹۵۷) پرورش داد . اهمیت مایکوریزا را می‌توان در خاک‌هایی که با کمبود مواد غذایی بخصوص فسفر مواجه هستند بخوبی تشخیص داد .

خوانندگانی که بخواهند اطلاعات بیشتری در زمینه ریشه‌های مایکوریزا بدست آورند می‌توانند به مقالات یورکمان^{۱۶۷} (۱۹۴۹) ، بوون^{۱۶۸} (۱۹۶۸) ، هارلی^{۱۶۹} (۱۹۵۶ ، ۱۹۵۹ ، ۱۹۶۵) هاج^{۱۷۰} (۱۹۳۷) ، کنی^{۱۷۱} (۱۹۵۰) ملین^{۱۷۲} (۱۹۵۳) و میکولا^{۱۷۳} (۱۹۶۵) و نیز مقالات متعدد دیگر مندرج در نشریه چهاردهمین کنگره سازمان بین‌المللی تحقیقات جنگلداری مراجعه نمایند .

سیستمهای ریشه

تعیین مقدار آب و مواد غذایی معدنی قابل دسترسی برای گیاه از روی حجم خاکی که باریشه‌ها در تماس است انجام می‌گردد . حجم خاک نیز بستگی به انشعابات ریشه و میزان انتشار آن در جهات افقی و عمودی دارد . حرکت آب به طرف ریشه‌ها به‌کندی صورت گرفته و آن مقدار آبی که در دسترس فوری گیاه قرار می‌گیرد به فواصل چند میلی‌متر و یا حداکثر چند سانتی‌متر از ریشه واقع شده است (به فصل دوم مراجعه شود) . از این جهت انتشار افقی و عمودی سیستمهای ریشه و هم‌چنین مقدار انشعابات آن در رشد گیاه حائز اهمیت بسیار است .

165— Michell et al

166— HacsKaylo and Palmer

167— Hjorkman

168— Bowen

169— Harley

170— Hatch

171— Kelley

172— Melin.

173— Mikola

عدق و انتشار ریشه‌ها

مشهورترین پژوهشهایی که روی رشد سیستمهای ریشه انجام شده توسط ویورو همکارانش (ویور^{۱۷۴}، ۱۹۱۹؛ ویور، جین و کرایست^{۱۷۵}، ۱۹۲۲؛ ویورو و برنر^{۱۷۶}، ۱۹۲۷؛ ویورو و کامنتس^{۱۷۷}، ۱۹۳۸) بوده است. بیشتر این پژوهشها در خاکهای مرتعی عمیق تهویه شده که ریشه‌ها تا اعماق زیادی نفوذ می‌کنند انجام گرفته است. عمق ریشه‌های ذرت و ذرت خوشه‌ای معمولاً ۲ متر بوده و ریشه‌های یونجه تا اعماق ۱۰ متری نیز مشاهده شده‌اند. ویگان^{۱۷۸} (۱۹۳۶) گزارش کرده است که ریشه‌های درختان ۱۸ ساله سیب تا اعماق ۱۰ متر نفوذ کرده و تمام خاک بین ردیف‌های ۱۰ متری را پر می‌کند. پروبستینگ^{۱۷۹} (۱۹۴۳) دریافته است که حداقل نفوذ ریشه در انواع مختلف درختان میوه در خاکهای لومی عمیق کالیفرنیا ۵ متر بوده و حداکثر تراکم ریشه در عمق ۶/۰ تا ۱/۵ متری است. هاگ و همکاران^{۱۸۰} (۱۹۶۵) با جایگزاری I^{۱۳۱} در خاکهای جنگلی و اندازه‌گیری مقدار رادیو اکتیویته در درختان مجاور توانسته‌اند میزان انتشار ریشه‌ها را تعیین نمایند. مقدار جذب مواد رادیواکتیو قابل سنجش در مورد درخت کاج بلند برگ از فاصله ۱۷ متری و در مورد بلوط ترکی ۱۶/۵ متر بوده است. هال و همکاران^{۱۸۱} (۱۹۵۳) با استفاده از مواد رادیواکتیو فسفره توانسته‌اند میزان انتشار ریشه‌های

174— Weaver

175— Weaver, Jean and Crist

176— Weaver and Bruner

177— Weaver and Clements

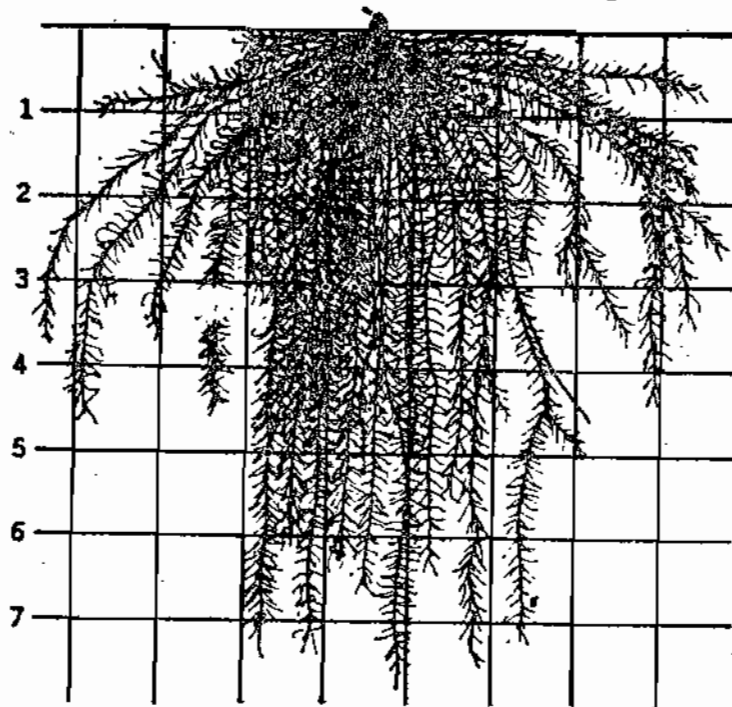
178— Wiggans

179— Froebsting

180— Hough et al

181— Hall et al

گونه‌های مختلف گیاهان زراعی را تعیین نمایند (به شکل ۴-۷ مراجعه شود) . دی‌رو^{۱۸۲} (۱۹۵۷) روشهای حفاری و اندازه‌گیری انتشار سیستمهای ریشه‌ای را بحث نموده و طریقه نفوذ ریشه‌ها را در لایه‌های فشرده خاک نشان داده است .



شکل ۱۲-۴ : سیستم ریشه‌ای در گیاه ذرت کامل در يك خاک عمیق و

تهویه شده. اضلاع مربعها يك فوت یا ۳۰ سانتی‌متر می‌باشد به‌دلیل فشردگی

زیادخاک و کمی تهویه ریشه‌ها نفوذ عمقی نکرده‌اند (ازوبور، جین و کرایست^{۱۸۳}) .

در مورد گیاهانی که در خاکهای سنگین می‌رویند شرایط با آنچه گفته شد متفاوت است . نود درصد ریشه‌های درختان گلابی که در خاکهای سنگین اورگان می‌رویند در يك متری لایه سطحی خاک جمع شده‌اند

182— DeRoo

183— Weaver, Jean and Crist

(آلدريج و همکاران^{۱۸۴}) (۱۹۳۵) . کوئل^{۱۸۵} (۱۹۳۷) دریافت کرده که در خاکهای سنگین پیدمونت کارولینای شمالی بیش از ۹۰ درصد ریشه‌های درختان کاج و بلوطی که قطرشان از ۲/۵ میلی متر کمتر است در لایه ۱۲/۵ سانتی متری سطح خاک وجود دارند . حتی در خاکهای ماسه‌ای نیز ریشه‌ها به شکل نم‌د در سطح جمع شده و دلیل آن تجمع مواد غذایی و رطوبت حاصله از بارانهای تابستانی است (وودز^{۱۸۶} ۱۹۵۷) . در شکل ۱۳-۱ نمونه‌ای از ممانعت رشد ریشه در اثر کفه‌های سخت^{۱۸۷} خاک مشاهده می‌شود .

انشعابات اولیه و ثانویه سیستمهای ریشه‌ای غالباً پدیددهای متعددی را در ریشه ایجاد می‌کنند . تعداد انشعابات ریشه در گیاهان علفی زیاد و در گونه‌های خشبی کمتر است . پاوالی چینکو^{۱۸۸} (۱۹۳۷) طول ریشه‌های گیاه دوساله چمن نوع گندمی را ۵۰۰۰۰ متر و حجم خاک اشغال شده را ۲/۵ متر مکعب تخمین زده است . ناتمن^{۱۸۹} (۱۹۳۴) طول ریشه‌های درخت سه ساله قهوه را که در فضای باز روئیده باشد ۲۸۰۰۰ متر تخمین زده است که ۸۰ درصد آن در استوانه‌ای از خاک به عمق ۱/۵ متر و قطر ۲/۱ متر واقع شده‌اند . کاله‌لا^{۱۹۰} (۱۹۵۴) گزارش کرده است که یک درخت کاج ۱۰۰ ساله تولید ۵۰۰۰۰ متر ریشه و ۵۰۰۰۰۰ کلاهک ریشه رامی‌کند . نهال ۶ ماهه گیاه ذغال آخته در شرایط خاک گخانه‌ای بالغ بر ۵ متر ریشه تولید می‌کند، در حالی که

184— Aldrich et al

185— Coile

186— Woods

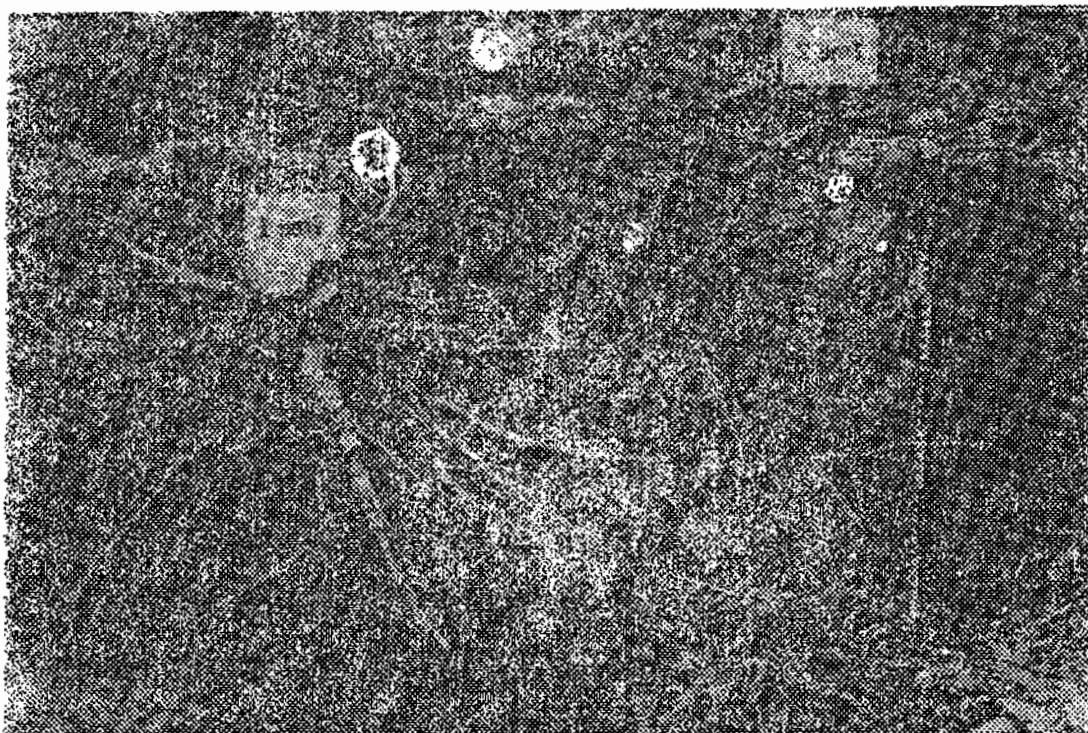
187— hard pan

188— Pavlychenko

189— Nutman

190— Kolela

طول ریشه‌های نیالهای کوچک کاج استخری فقط ۳۸/۰ متر است (کوزاوسکی و شولتز^{۱۹۱}، ۱۹۴۸). خلاصه اغلب اطلاعات موجود در زمینه انشعابات سیستمهای ریشه‌ای را می‌توان در کتب میلر^{۱۹۲} (۱۹۳۸)، صفحات ۱۴۸ - ۱۳۷ (و ویور^{۱۹۳} ۱۹۲۶) یافت.



شکل ۱۳-۴: سیستم ریشه‌ای درخت پاینوس رادیاتا^{۱۹۴} در خاکهای عمقی نوع سنک پالی در جنگلهای کائگارو^{۱۹۵} زلاند نو - بدشاخص ۶ فوتی (۱۸۰ سانتی‌متر) اندازه‌گیری دقت شود. خصوصیت نگهداری آب این نوع خاک (منحنی رطوبتی) در شکل ۶-۲ نشان داده شده است (از ویل^{۱۹۶} ۱۹۶۶).

191— Kozlowski and Scholts

192— Miller

193— Weaver

194— Pinus radiata

195— Kaingaroa

196— Will

عمق و انشعابات ریشه‌ای در انتخاب گیاه به منظور تثبیت خاک و پرشش حوضه‌های آبگیر حائز اهمیت است. گونه‌هایی که ریشه عمیق دارند برای تثبیت خاک مناسب به نظر می‌رسند ولی موجب خارج کردن آب از اعماق زیاد نیز می‌شوند. از این جهت اگر منظور کسب حداکثر محصول آبی حوضه است، گونه‌هایی که ریشه سطحی دارند ارجح می‌باشد (هلمرز و همکاران^{۱۹۲}، ۱۹۵۵). در قسمت خواص ارثی ریشه‌ها که بعداً در این فصل ذکر می‌شود پیرامون عمق ریشه‌ها بیشتر گفتگو خواهد شد.

قلمه‌های ریشه

از دیادانشعابات سیستمهای ریشه‌ای درخت‌گاهی اوقات از طریق قلمه‌های طبیعی صورت گرفته و به درخت مجاور متصل می‌گردد. بورمان و گراهام^{۱۹۸} (۱۹۵۹) در جنگلهای کاج سفید تعداد زیادی قلمه‌های ریشه را پیدا کرده و معتقدند که تمام این درختان سیستم فیزیولوژیکی واحدی را تشکیل می‌دهند. قلمه‌های ریشه برای انتقال آب، اجسام حل‌شدنی و حتی هاگهای قارچ از ریشه‌ای به سیستم ریشه‌ای دیگر مسیر فعالی به‌شمار می‌آیند (کونتز و ریکر^{۱۹۹}).

بورمان و گراهام^{۲۰۰} (۱۹۶۰) دریافته‌اند که در موقع تنک کردن درختان ۳۰ ساله کاج سفید با سولفامات آمونیم حدود ۴۳ درصد از درختانی که با سولفامات تماس نداشته‌اند از بین رفته‌اند. قلمه‌های ریشه در بین درختان کاج مونتری نیز معمول است (ویل^{۲۰۱}، ۱۹۶۶).

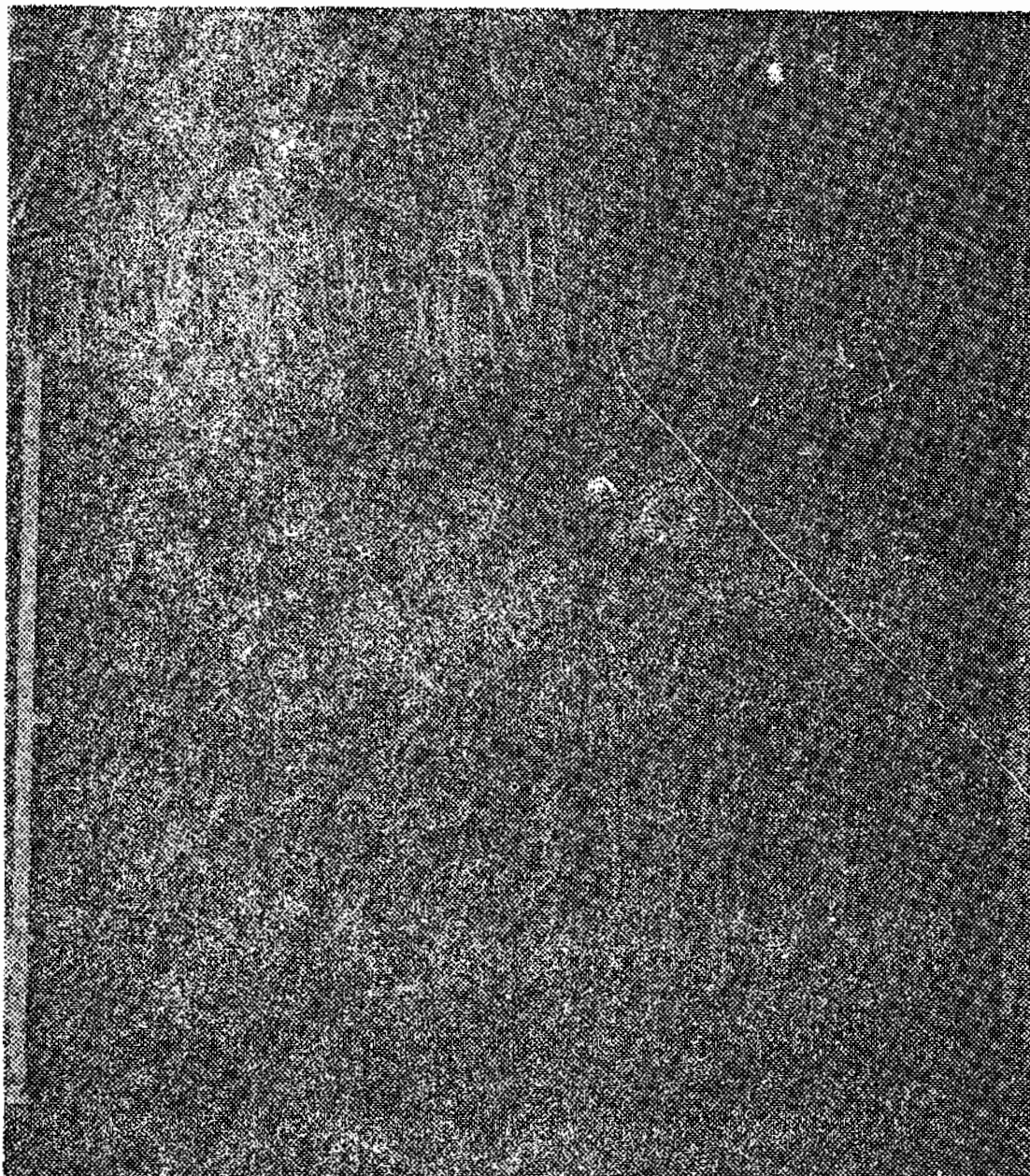
197— Hellmers et al

198— Bormann and Graham

199— Kuntz and Riker

200— Borman and Graham

201— Will



شکل ۱۳-۴: اثر لایه‌های فشرده خاک بر نفوذ ریشه‌های گیاه چاودار ۱۱ هفته‌ای. در سمت چپ خاک دست نخورده باتوده‌ای زیادی از ریشه‌ها در بالای لایه‌های فشرده و تعداد کمی ریشه در زیر لایه فشرده دیده می‌شود. در سمت راست نفوذ یکنواخت ریشه در خاکی که تا عمق ۲۰ اینچی (۵۰ سانتیمتر) بهم زده شده است مشاهده می‌گردد.

سیستمهای ریشه درختان که قطع شده‌اند می‌توانند برای مدتی از طریق جذب کربوهیدراتهای موجود در درختان سالمی که از راه قلمه‌های ریشه باهم متصلند به حیات خود ادامه دهند، و ظاهراً این گونه سیستمهای ریشه‌ای تا حدودی به عنوان سطوح جذب‌کننده برای درختان سالم مجاور نیز انجام وظیفه می‌کنند.



شکل ۱۴-۴ تصویر قلمه‌ها در بین ریشه‌های سه درخت ۱۸ ساله

پاینوس رادیاتا^{۲۰۲} و ریشه‌های دودرختی که ۹ سال قبل قطع شده‌اند .
 قلمه‌های a تا g بین ریشه‌های درختان ۳ و ۴ و ریشه‌های درختان قطع‌شده
 c و d و قلمه‌های h تا k بین ریشه‌های درختان ۳ و ۴ یا بین درختان
 ۳ و ۴ و ریشه‌های X و y از درختان قطع شده واقع شده‌اند . قلمه‌های
 y و z و X بین ۲ ریشه از یک درخت قرار گرفته‌اند (از ویل ، ۱۹۶۶) .

میزان رشد و حالت تناوبی ریشه

میزان انتشار سیستمهای ریشه‌ای در بین گونه‌ها و شرایط گوناگون خاک بسیار متغیر است (به شکل ۱۷-۴ تا ۱۹-۴ مراجعه شود) . ریشه عمودی اصلی ذرت برای مدت ۳ الی ۴ هفته با سرعتی معادل ۵ تا ۶/۲۵ سانتی متر در روز به طرف پائین رشد می کند (ویور^{۲۰۳} ۱۹۲۵) در همین مدت احتمالاً ساقه‌ها با سرعتی دو برابر ریشه رشد می نمایند. سرعت رشد ۱/۲۵ سانتی متر در روز برای ریشه‌های چمن عادی است ونی رید^{۲۰۴} (۱۹۱۹) سرعت رشد ریشه‌های کاج را کم تر از ۲/۵ میلی متر در روز گزارش کرده است . بارنی^{۲۰۵} (۱۹۵۱) حداکثر رشد ریشه‌های نهال کاج استخری را در درجه حرارت مطلوب (۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی گراد) ۳/۴ تا ۵/۲ میلی متر در روز و راجرز^{۲۰۶} (۱۹۶۲) رشد ریشه‌های درخت سیب را ۳ میلی متر در روز گزارش کرده اند . بر طبق گزارش ویل کس^{۲۰۷} (۱۹۶۲) رشد ریشه‌های سرو معطر در پائیز ۱ تا ۲ میلی متر و در بهار ۳ تا ۵ میلی متر در روز و حداکثر سرعت رشد ۷ میلی متر در روز بوده است .

وجود حرکات رشدی ریتمیک و خود بخود ریشه هنوز مشخص نشده است زیرا روشن نیست که عامل دوره‌های رشد داخلی است یا خارجی . رامبرجر^{۲۰۸} (۱۹۶۳) و لیرو و هوفمان^{۲۰۹} (۱۹۶۷) اولین اطلاعات مربوط به این رشته را بررسی نموده اند . ترنر^{۲۱۰} (۱۹۳۶) رشد

203— Weaver

204— Read

205— Barney

206— Rogers

207— Wilcox

208— Romberger

209— Lyr and Hoffman

210— Turner

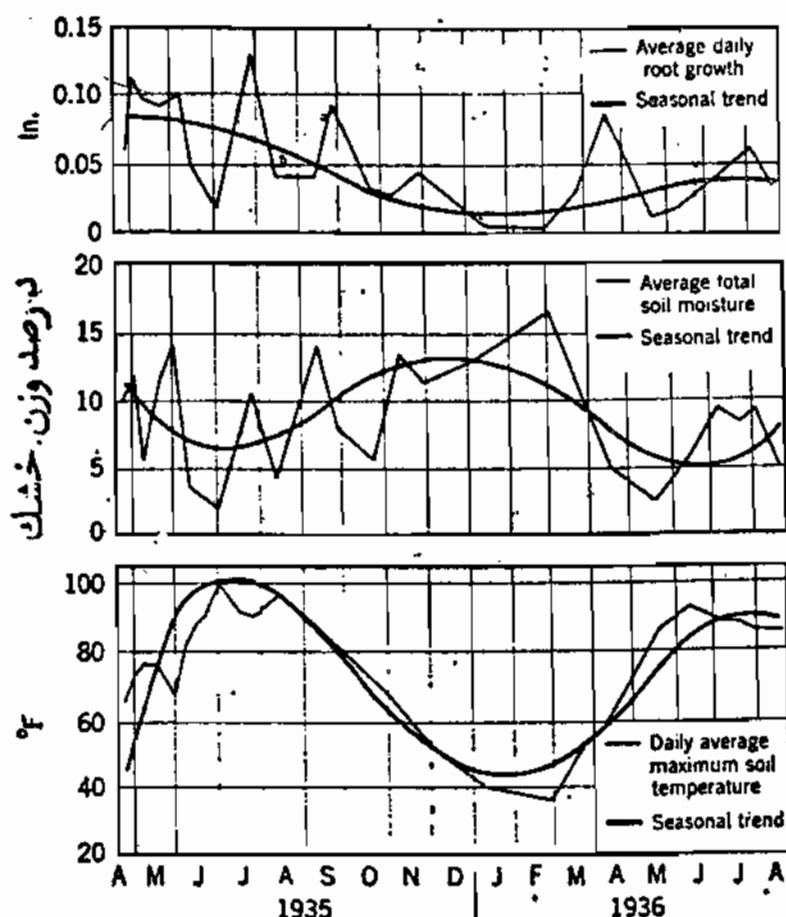
ماهیانه ریشه‌های کاج استخوری و کاج ریز برگه را در طول سال در آرکانزاس مشاهده کرده است. حداقل رشد در تابستان و حداکثر آن در بهار و پاییز بوده و مقدار رشد در ماههای خشک تابستان کمتر بوده است. این گونه‌ها در دورهام کارولینای شمالی همه ماهه رشد داشته ولی میزان رشد آنها در ماههای آوریل و مه حداکثر و در ماههای ژانویه و فوریه حداقل بوده است (ریس، ۱۹۳۹). دوره حداقل رشد در زمستان مصادف با حداقل درجه حرارت و در تابستان مصادف با حداقل رطوبت خاک می‌باشد. رشد ریشه در شرایط اقلیمی سرد در ماههای زمستان کاملاً متوقف می‌شود. ولی اگر نهالهای کوچک به داخل گلخانه آورده شوند رشد ریشه‌ها ادامه پیدا می‌کند (استیونس^{۲۱۱}، ۱۹۳۱). از طرف دیگر نهالهای کوچک سرو معتدل تحت شرایط مطلوب حرارت و نور نیز در ماه دسامبر تا آوریل رشد قابل ملاحظه‌ای نداشته‌اند (ویل ککس^{۲۱۲}، ۱۹۶۲). این مطلب دلیلی بر وجود عوامل کنترل کننده داخلی است.

اغلب شواهد موجود پیرامون رشد تناوبی را می‌توان براساس حرارت خاک، رطوبت و مقدار مواد غذایی تأمین شده از شاخه‌ها توجیه نمود. معمولاً در آب و هوای معتدل دو دوره رشد وجود دارد یکی در بهار موقعی که حرارت خاک گرم است و دیگری در پاییز موقعی که خاک ببارندگی مرطوب می‌گردد. خشکی تابستانه و سرمای زمستانه به شدت میزان رشد را کاهش می‌دهد (ویل ککس^{۲۱۲}، ۱۹۶۲). در اسرائیل اکثر رشد ریشه‌های کاج آلیپو^{۲۱۳} در زمستانهای سرد و پرباران صورت گرفته و در تابستانهای خشک رشد متوقف می‌شود. در اواخر تابستان قبل از شروع بارندگی رشد ریشه از سر گرفته می‌شود. رشد تابستانه ریشه با

211— Stevens

212— Wilcox

213— Aleppo pine



شکل ۱۵- اثر مقدار رطوبت و درجه حرارت خاک بر رشد ریشه‌های

کاج استخری در دورهام کارولینای شمالی (از رید^{۲۱۴}، ۱۹۳۹).

رشد شاخه‌ها ارتباطی ندارد ولی انگیزه آن شرایط داخلی است. رید و مک‌دوگال^{۲۱۵} (۱۹۳۷) نیز بر روی اهمیت شرایط داخلی در کنترل رشد ریشه تأکید کرده‌اند ولی لشم^{۲۱۶}، (۱۹۶۵) و ویسل‌کس (۱۹۶۲) هیچ‌کدام در کاج‌های تحت مطالعه خود رابطه‌ای بین رشد ریشه و ساقه نیافته‌اند. برعکس، هید^{۲۱۷} (۱۹۶۷) دریافته‌است که رشد زیاد ساقه تولید ریشه‌های جدید را در سیب و آلوکاهش می‌دهد (به شکل ۱۶-).

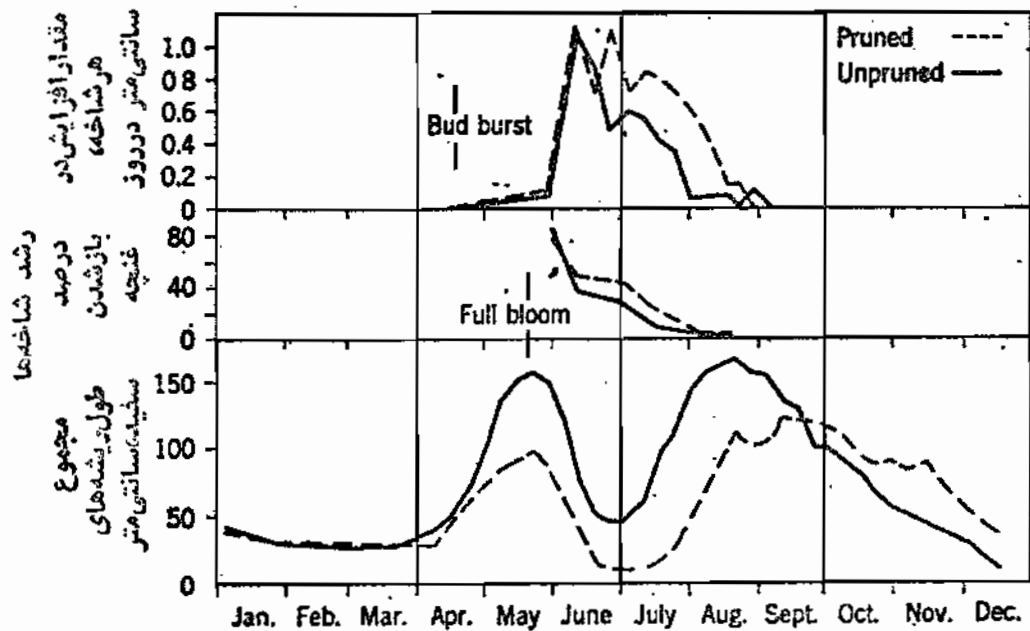
214— Read

215— Read and MacDougal

216— Leshem

217— Head

مراجعه شود).



شکل ۱۶-۴ رابطه بین رشد ریشه و ساقه در سیب . افزایش رشد ساقه (منحنیهای بالائی) موجب کاهش تولید ریشه‌های جدید می‌شود (منحنیهای پائینی) هرس درختان رشد شاخ و برگ را افزایش و رشد ریشه‌های تابستانی را کاهش می‌دهد (از هید، ۱۹۶۷).

رشد فصلی ریشه در رابطه با نشاء درختان و بوته‌ها از نظر تولید ریشه‌های جدید و انشعابات آن حائز اهمیت است زیرا زنده ماندن نشاء‌ها بسته به رشد سریع سیستم‌های ریشه‌ای جدید است . از این جهت نشاء موقعی موفقیت‌آمیز خواهد بود که در فصل حداکثر رشد ریشه صورت گرفته باشد. استون و شوپرت^{۲۱۸} (۱۹۵۹) گزارش کرده‌اند که دوران فصلی پیدایش ریشه‌های جدید و رشد آنها در کاج پاندروزا^{۲۱۹} کاملاً مشخص است . رشد ریشه در نهالهایی که در فصل تابستان و پاییز

نشاء شده اند هیچ یا بسیار ناچیز است و ریشه های جوان در نشاءهائی ظاهر می شود که در ماههای بین دسامبر تا ژوئن کاشته شده باشند . پژوهشگران فوق الذکر چنین نتیجه گیری کرده اند که نشاء این گونه ها در بهار که زمان حداکثر رشد تولید ریشه های جدید است بهترین نتیجه را عاید می دهد . بهر حال در فنوریدا نشاء کاج استخری و اسلاش^{۲۲۰} در اواخر بهار و اوایل تابستان با موفقیت انجام شده و این نشان می دهد که رشد تابستانی ریشه های این گونه ها زیاد است. اطلاعات موجود پیرامون میزان و دوران رشد ریشه ها از زمان ثوفراتوس^{۲۲۱} تا بحال توسط نیرو هو فمان^{۲۲۲} (۱۹۶۷) بررسی شده است .

طول عمر ریشه ها

معمولا تصور می شود ریشه گیاهان چند ساله دائمی است ولی این تصور همواره صحیح نمی باشد . البته طول عمر ریشه های بزرگ احتمالا به قدمت شاخه های درخت است ولی يك آزمایش ساده روشن می سازد که مرگ و میر ریشه های کوچک درختان میوه در فصل زمستان زیاد است . حتی در شرایط مناسب رشد نیز انشعابات کوچک ریشه های سیب و دیگر درختان میوه بیش از یکی دو هفته دوام ندارند (چایلدرز و وایت^{۲۲۳} ، ۱۹۴۲ ، کینمان^{۲۲۴} ، ۱۹۳۲ ، راجرز^{۲۲۵} ، ۱۹۲۹ . هید^{۲۲۶} (۱۹۶۶) گزارش کرده است که پوست ریشه های درخت سیب در تابستان پس از یکی دو هفته رنگ خود را از دست داده قهوه ای

220— Slash pine

221 Theophratus

222— Lyr and Haffman

223— Childers and White

224— Kinman

225— Rogers

226— Head

می‌گردید حال آنکه رنگ سفید آنها در زمستان به مدت سه ماه باقی می‌ماند.

طول عمر ریشه گیاهان علوفه‌ای نیز بسیار متغیر است. اغلب اظهار می‌شود که ریشه‌های اولیه غلات و حبوبات پس از چند هفته از بین رفته و ریشه‌های ثانوی جایگزین آنها می‌گردند. ولی عمومیت دادن این بیان بهیچ عنوان صحیح نیست. در تحت شرایط مخصوص ریشه‌های اولیه جو، چاودار، گندم و انواع چمنهای وحشی تنها ریشه‌های گیاه بوده و احتیاجات آن را در تمام فصل رشد برآورده می‌سازند. ویور و زینک^{۲۲۷} (۱۹۴۶) گزارش کرده‌اند که اکثر ریشه‌های چمنهای دائمی به مدت دو و برخی از آنها به مدت سه فصل زنده باقی می‌مانند. استاکی^{۲۲۸} (۱۹۴۱) مشاهده کرده است که بعضی گونه‌های چمن همه‌ساله تولید سیستم ریشه‌ای جدیدی را کرده ولی در برخی دیگر ریشه‌ها دائمی بوده و در سال دوم فقط تعدادی ریشه جدید به ریشه‌های قدیمی افزوده می‌شود. در حالت اخیر ریشه‌های قدیم نقش مهمی را در جذب مواد ایفا می‌کنند.

عوامل درونی مؤثر بر رشد ریشه

رشد سیستمهای ریشه‌ای توسط عوامل محیطی وارثی کنترل می‌گردد. در این قسمت نقش عوامل ارثی و تأثیر ساقه‌ها مورد بحث قرار گرفته و قسمت دیگر به نقش عوامل محیطی اختصاص یافته است.

خصوصیات ارثی

اهمیت عوامل ارثی در کنترل رشد ریشه موقعی ظاهر می‌شود که

نوع گونه‌ها در مجاور یکدیگر رشد داده شوند (شکل ۱۷-۴). سیستمهای ریشه‌ای در بعضی گونه عمودی و در برخی دیگر از گونه‌ها ریشه‌ها الیافی و در بعضی عمقی و عده‌ای ریشه سطحی دارند. بعضی از گونه‌ها در خاکهای مختلف ریشه‌های متنوعی (شکل ۱۸-۴) تولید می‌کنند (تومی^{۲۲۹}، ۱۹۲۹، ویوروکلمنتر^{۲۳۰}، ۱۹۳۸).

نوع سیستمهای ریشه‌ای در گیاهان کوچک به مقدار زیادی بر رشد و حیات آنها مؤثر است سیستمهای ریشه‌ای در بسال دسایپرس^{۲۳۱} و غان زرد^{۲۳۲} سطحی بوده و به دلیل عدم توانائی در مقابله با خشکی فقط در خاکهای مرطوب می‌توانند به حیات خود ادامه دهند. برعکس، گونه‌هایی که در اراضی مرتفع می‌رویند مثل بلوط و گردوی آمریکائی دارای ریشه عمودی بوده و با نفوذ عمقی حتی در تابستانهای خشک نیز آب مورد احتیاج خود را تأمین می‌نمایند (تومی^{۲۲۹}، ۱۹۲۹). در درخت باوط خاردار^{۲۳۳} که مخصوص مناطق خشک است نفوذ ریشه‌ها در فصل اول رویش ۱/۷ متر و در مورد نمدار^{۲۳۴} در همان خاک ۳/۰ متر می‌باشد. البته رشد جانبی ریشه‌های نمدار زیاد می‌باشد (هولچ^{۲۳۵}، ۱۹۳۱). در نتیجه این اختلاف اغلب نهالهای کوچک نمدار درختانهای جلگه‌ای در

229— 'Toumey

230— Weaver and Clements

231— Bald cypress 'Taxodiun distichum (L.) Rich.

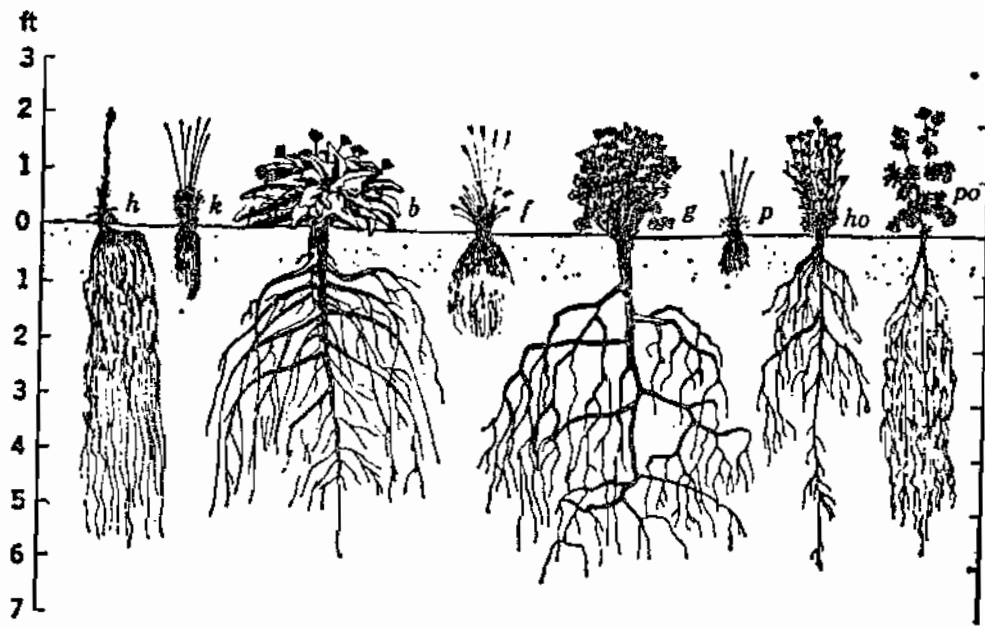
232— Betula alleghaniensis Britton

233— bur oak (Quercus macrocarpa Michx)

234— Linden (Tilia americana L.)

235— Helch

طول فصل تابستان به علت خشکی از بین می‌روند در صورتی که نهالهای باطوط آمریکائی با داشتن ریشه‌های عمقی به حیات خود ادامه می‌دهند. آلبرتس و ویور^{۲۳۶} (۱۹۴۵) نتیجه‌گیری کرده‌اند که زنده ماندن درختان



شکل ۱۷-۴ انواع مختلف سیستمهای ریشه‌ای از نظر عمق و انتشار

درگرفته‌های متنوع گیاهان جلگه‌ای h، هراسیوم اسکولری^{۲۳۷} k، کولریا
 کریستاتا^{۲۳۸} h، بالزامینا ساگیتاتا^{۲۳۹} g، فستوکا اوینا اینگراتا^{۲۴۰} g،
 جراینوم ویسکوسیزیم^{۲۴۱} p، پواساندبرجی^{۲۴۲} ho، هوره بکیارسیموزا^{۲۴۳}
 پوتنتیلا بلاسکه‌نا^{۲۴۴} (از ویور^{۲۴۵}، ۱۹۱۹).

236— Albertsen and Weaver

237— Hieracium Scouleri

238— Koeleria Cristata

239— Balsamina sagittata

240— Festuca ovina ingrata

241— Geraniura viscosissimum

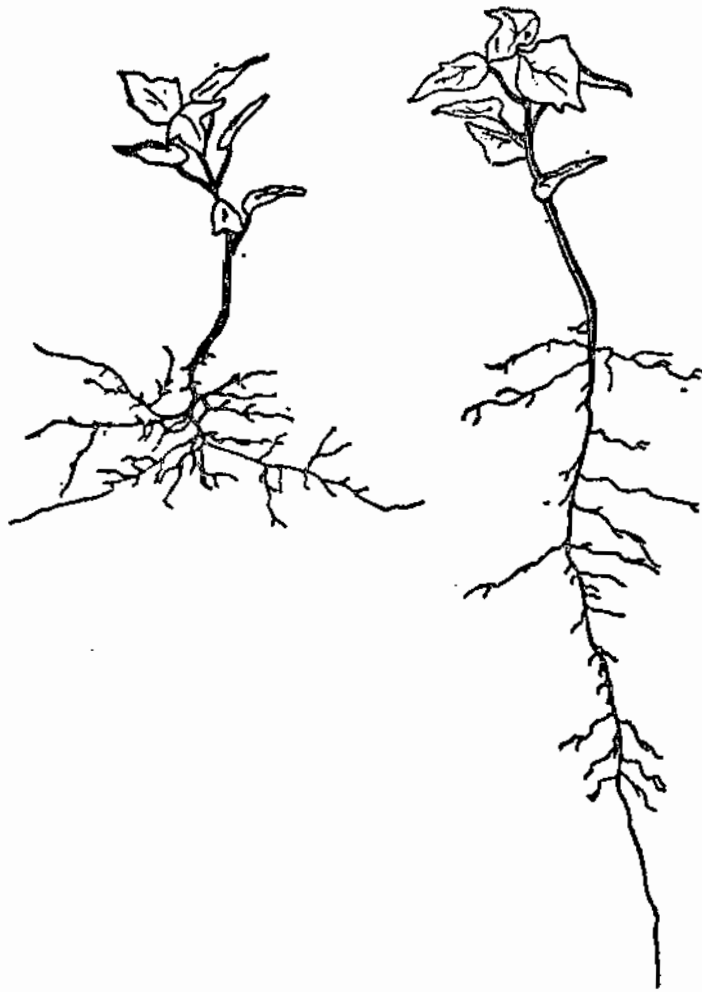
242— Poasandbergii

243— Hoorebekia racemosa

244— Potentilla blaschkeana

245— Weaver

در اراضی جاگه‌ای ایالات متحده پس از خشکی سخت سالهای ۱۹۳۰ به دلایل زیادی به عمق ریشه‌ها آنها وابسته بوده است .



شکل ۱۸-۴ اثر عوامل محیطی بر رشد سیستمهای ریشه‌ای نهالهای

آفرای قرمز^{۲۴۶} . در سمت چپ نهالی از یک باطلای و در سمت راست نهالی

از اراضی مرتفع مشاهده می‌شود (از تانی^{۲۴۷} ۱۹۲۹) .

مقاومت گیاهان زراعتی در مقابل خشکی بسته به عمق و فراوانی انشعابات سیستمهای ریشه‌ای است تا بتوانند آب مورد نیاز گیاه را از توده بزرگتر خاک جذب نمایند. برتون و همکاران^{۲۴۸} (۱۹۵۴) اظهار داشته‌اند مقاومت برمودای ساحلی^{۲۴۹} (یکنوع چمن) در مقابل خشکی بیش از چمن برمودای معمولی^{۲۵۰} است و دلیل آن را عمقی بودن ریشه‌های برمودای ساحلی دانسته‌اند اسمیت^{۲۵۱} (۱۹۳۴) از تشخیص بین ذرتهای یک‌وارته نوعی رابدست آورده است که دارای انشعابات ریشه‌ای فراوان بوده و افزایش سطوح جذب‌کننده آن موجب بالارفتن راندمان جذب فسفر می‌گردد. اسلاچر^{۲۵۲} (۱۹۵۵) نشان داده است که ریشه‌های ذرت خوشه‌ای در مقایسه باریشه‌های بادام زمینی حجم زیادتری از خاک را اشغال نموده در نتیجه آثار نقش آب در آنها دیرتر ظاهر می‌گردد.

شناخت دلایل فیزیولوژیکی مربوط به اختلاف در عمق ریشه‌گونه‌ها و انواع مختلفی که در یک نوع خاک می‌رویند جانب توجه است. شاید دلیل این موضوع اختلاف مقاومت در مقابل کمبود اکسیژن خاک بین گونه‌هایی که ریشه سطحی دارند با گونه‌هایی است که ریشه‌های آنها عمقی است. دلیل دیگر احتمالاً نوعی محدودیت در انتقال مواد از شاخه‌ها به ریشه است. درک این مسئله جالب به پژوهشهای جدی نیازمند است.

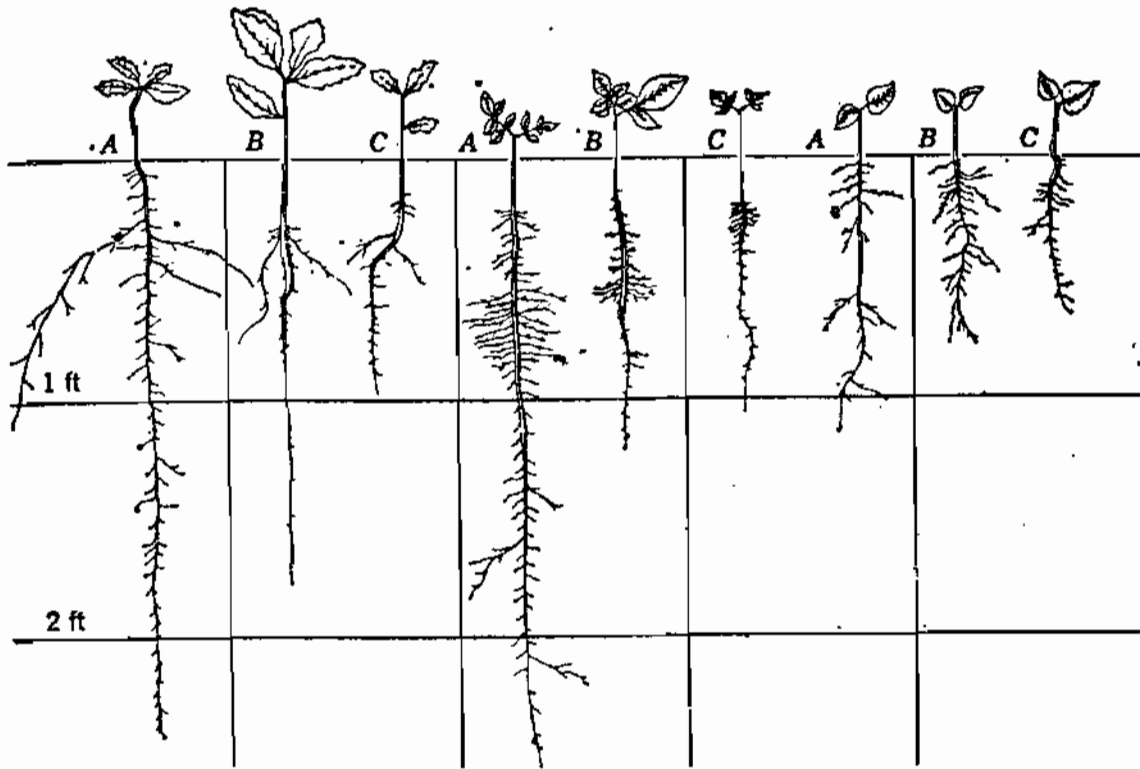
248—Burton et al

249—Bermuda

250—Cynodon dactylon pers.

251—Smith

252—Slatyer



شکل ۱۹-۴ تأثیر متقابل شرایط ارضی و محیطی بر میزان رشد نهالهای

کوچک سه گونه درختی در سه نوع شرایط محیطی مختلف . نهال سمت چپ
 ۲۵۳ کورکوس روبرا نهال وسطی هیکوریا اواتا ۲۵۴ و نهال سمت راست تیلیا
 ۲۵۵ آمریکانا است . نهال A در یک جلگه باز ، B در جنگل بلوط و C در
 جنگل تاریک و مرطوب نم‌دار روپانیده شده‌اند . نهالهای نم‌دار جلگه برای
 جلوگیری از خشک شدن آبیاری شده‌اند . رشد سیستمهای ریشه‌ای بلوط در
 هر سه محیط عمقی و زیاد و سیستم ریشه‌ای نم‌دار سطحی بوده است . سایه
 درختان در جنگل نم‌دار به مقدار زیادی رشد سیستمهای ریشه‌ای بلوط را
 ۲۵۶ کاهش داده است (از هولچ ، ۱۹۳۱) .

253— *Quercus rubra*

254— *Hicoria ouata*

255— *Tilia americana*

256— *Holch*

رابطه بین ریشه و ساقه

اطلاعات موجود پیرامون مقدار مواد خشك ریشه در مقایسه با وزن خشك ساقه بسیار محدود است. دلیل اصلی آن اشکال بدست آوردن تمام سیستم ریشه‌ای است. در جدول ۱-۴ ارقامی که توسط بری^{۲۵۷} (۱۹۶۳) بدست آمده نشان داده شده است. وی گزارش کرده است که بطور متوسط ۴۰ درصد وزن خشك ۲۸ گونه نباتات عاوفه‌ای که آزمایش کرده است در ریشه‌ها جمع شده‌اند. این درصد در مورد نباتات ریشه‌ای و غده‌ای مثل چغندر و سیب‌زمینی حداکثر بوده و در چهارگونه درختی فقط ۱۸ درصد مواد خشك آنها در ریشه بوده‌اند. ویل^{۲۵۸} (۱۹۶۶) گزارش کرده است که در درخت ۱۸ ساله کاج مانتری فقط ۱۰ درصد وزن خشك آن در ریشه‌ها است. این ارقام نشان می‌دهند که مطالعات مربوط به بارآوری اگر علاوه بر ساقه ریشه نیز مورد نظر قرارنگرفته باشد گمراه‌کننده است.

ساقه و ریشه از جهات مختلف با یکدیگر در ارتباطند و اگر چنانچه در رشد یکی از آنها تغییری حاصل آید در دیگری نیز چنین خواهد شد. ازجائی که رشد بستگی به تأمین کربوهیدراتهای مورد لزوم از شاخه‌ها دارد عواملی از قبیل سایه و سطح برگها (که موجب کاهش فتوسنتز می‌گردند) رشد ریشه را نیز تقلیل می‌دهند. چرای بیش از حد مراتع و قطع مداوم یونجه مقدار وزن خشك ریشه را در مقایسه با گیاهان شاهد

ده درصد کاهش می دهد (بیسول و ویور^{۲۵۹} ، ۱۹۳۳ ، و یورودارلند^{۲۶۰} ، ۱۹۴۷) .

معمولا سایه علاوه بر کاهش مقدار مطلق سیستمهای ریشه‌ای نسبت ریشه به ساقه را نیز کاهش می دهد و این در مورد بسیاری از گونه های درختی گزارش شده است (بارنی^{۲۶۱} ۱۹۵۱ ؛ کویل^{۲۶۲} ، ۱۹۴۰ ؛ گاست^{۲۶۳} ، ۱۹۳۷ ؛ کوزلوسکی^{۲۶۴} ، ۱۹۴۹ ؛ ریچاردسون^{۲۶۵} ، ۱۹۵۳) . البته عکس العمل تمام گونه ها در مقابل سایه یکنواخت نیست . کوزلوسکی^{۲۶۴} (۱۹۴۹) گزارش کرده است که اگر شدت نور کاهش یابد تغییرات سیستمهای ریشه ای در کویرکوس نیراتا^{۲۶۶} ناچیز است . در حالیکه باهمین کاهش نوروزن ریشه های پاینوس تدا^{۲۶۷} تا ۲۵ درصد درختان شاهد و نسبت ریشه به ساقه حدود ۳۰ درصد تقلیل می یابد .

259— Biswell and Weaver

260— Weaver and Darland

261— Barney

262— Coile

263— Gast

264— Kozlowski

265— Richardson

266— Quercus lyrata

267— Pinus taeda

جدول ۱-۴ : مقدار سالیانه مواد خشك موجود در ریشه وساقه انواع

مختلف گیاهان برحسب تن (مترك) در هكتار (از پری ۲۶۸ ، ۱۹۶۲)

نسبت ریشه به ساقه	ساقه ها	ریشه ها	گونه
۰/۱۵	۴	۰/۶	زیزانیا آکواتیکا ^{۲۶۹}
۰/۲۵	۱۲	۳	هوردام ^{۲۷۰}
۰/۲۵	۱۴/۲	۳/۵	آندروپوگن اسکوپاریوس ^{۲۷۱} (يك ساله)
۰/۲۹	۶/۸	۲	تریتیکوم (متوسط) ^{۲۷۲}
۰/۴۳	۷/۴	۳/۲	مدیکا گوساتیوا (متوسط) ^{۲۷۳}
۰/۵۲	۸/۷	۴/۵	زآمیز (متوسط) ^{۲۷۴}
۱/۵۴	۲/۶	۴	سولانم توبروسم (متوسط) ^{۲۷۵}
۳/۰۶	۳/۱	۹/۵	بتا (متوسط) ^{۲۷۶}
۰/۱۸	۸/۹	۱/۶	پاینوس سیلویستریس (متوسط) ^{۲۷۷}
۰/۱۷	۱۱/۹	۲/۱	پیشه آ ابیس (متوسط) ^{۲۷۸}
۰/۱۹	۸/۲	۱/۶	فاگوس سیلواتیکا (متوسط) ^{۲۷۹}
۲/۶	۲۱/۷	۰/۱۲	گانارین فارست ^{۲۸۰}

268— Bray

270— Hordeum

272— Triticum

274— Ziza mays

276— Beta

278— Picea abies

280— Ghanarain forest

269— Zizania aquatica

271— Andropogon scoparius

273— Medicago sativa

275— Solanum tuberosum

277— Pinus sylvestris

279— Fagus sylvatica

تولید میوه و بذرگاهی اوقات منجر به کاهش رشد ریشه می گردد .
 ناتمن^{۲۸۱} (۱۹۳۳) گزارش کرده است که کاهش ذخیره کربوهیدراتهای ریشه
 قهوه بحدی است که ممکن است به مرگ ریشه گیاه منجر شده و صدمات
 زیادی به گیاه وارد آید . ایتون^{۲۸۲} (۱۹۳۱) دریافته است که اگر از تولید
 انشعابات شاخه و غوزه پنبه جلوگیری شود وزن خشک و نیز نسبت
 ریشه به ساقه در پنبه سه برابر می شود. رشد ریشه های ذرت نیز به هنگام
 خوشه دادن متوقف می گردد ولی اگر خوشه ها از گیاه جدا گردد رشد
 آن تا شروع یخبندان بشدت ادامه پیدا می کند (لومیس^{۲۸۳} ، ۱۹۳۵) .
 هید^{۲۸۴} (۱۹۶۷) گزارش کرده است که رشد زیاد ساقه ها در سیب و آلو
 موجب کاهش رشد ریشه ها شده و دلیل احتمالی آن را عدم انتقال مقدار
 کافی کربوهیدرات به ریشه ها ذکر کرده اند (به شکل ۱۶-۴ مراجعه شود) .
 کوپر^{۲۸۵} (۱۹۵۸) ، هادسون^{۲۸۶} (۱۹۶۰) و لئونارد و هید^{۲۸۷} (۱۹۵۸)
 نیز دریافته اند که رشد ریشه های گوجه فرنگی به هنگام تشکیل میوه
 بشدت کاهش می یابد .

علاوه بر تأمین کربوهیدراتها ، شاخه ها هورمون مورد نیاز ریشه را
 نیز تأمین می کند (استریت^{۲۸۸} ، ۱۹۶۶ ؛ ویل کس^{۲۸۹} ، ۱۹۶۲) . به این
 هورمونهای گاهی اوقات ریزوکالین^{۲۹۰} هم اطلاق می گردد (ونت^{۲۹۱} ، ۱۹۳۸ ،
 ۱۹۴۳) . انتقال اکسین از شاخه ها به طرف ریشه بوده و پژوهشهایی که

281— Nutman

283— Loomis

285— Cooper

287— Leonard and Head

289— Wilcox

291— Went

282— Eaton

284— Head

286— Hudson

288— Street

290— Rhizocalines

بر روی رشد ریشه در محیطهای کشت صورت گرفته نشان داده اند که ریشه به تیامین^{۲۹۲}، نیاسین^{۲۹۳} و یا پیریدوکسین^{۳۹۴} ساقه نیز نیاز دارد. ریچاردسون^{۲۹۵} (۱۹۵۳) از آزمایشات خود چنین نتیجه گرفته است که رشد ریشه های آسرساکارینم^{۲۹۶} علاوه بر کربوهیدراتها به ذخیره مواد شیمیائی محرک برگها و جوانه ها نیز بستگی دارد. در قسمت مربوط به فعالیتهای سازندگی ریشه گفته شده که ریشه وظیفه تولید مواد آلی و احتمالاً هورمونهای مورد لزوم شاخه ها را دارد. برای شناخت وابستگیهای ریشه و ساقه پژوهشهای زیادتری مورد لزوم است.

ریشه ها (پایه ها) از نظر مقاومت در مقابل امراض، سرما، نمکها و سیل بایکدیگر متفاوتند درختانی که ریشه های آنها گوناگون است از لحاظ اندازه، محصول، طول عمر و بسیاری صفات نیز بایکدیگر متفاوتند. در یکی از انواع مرکبات وجود ریشه های مختلف موجب می شود مقدار مواد کانی و ترکیبات شیمیائی برگها و میوه ها تغییر نماید (کوپر و همکاران^{۲۹۷} ۱۹۵۲، هاس^{۲۹۸} ۱۹۴۸، سین کلو و بار تلولمیو^{۲۹۹}، ۱۹۴۴). متخصصین باغبانی به خوبی واقفند که در پیوند نوع سیستم ریشه ای پایه به چه میزان بر رشد و اندازه درخت مؤثر است. پاکوتاه شدن درخت سیب با پیوند مالینک شماره ۴ بر روی آن به خوبی مشخص است. معمولاً درختان گلابی نیز با پیوند بر روی ریشه های به پاکوتاه می شوند. ویویان^{۳۰۰}

292— Thiamin

293— Niacin

294— pyridoxin

295— Richardson

296— Acer saccharinum

297— Cooper et al

298— Haas

299— Sinclair and Bartholome

300— Vyvyan

(۱۹۵۵) اظهار داشته است که اثر پایه بر روی میزان رشد درخت سیب بیش از پیوندك است ولی ماگس^{۳۰۱} (۱۹۶۴) عقیده دارد که ساقه و ریشه هیچ کدام موجب محدود کردن رشد گیاه نمی شوند. آن^{۳۰۲} (۱۹۶۷) دریافته است که اگر کاج استخری بر روی کاج کوتاه برگ و کم رشد پیوند شود رشد شاخه ها کمتر از زمانی خواهد بود که بر روی نوع دیگر کاج استخری پیوند گردد. ولی هیچ گونه شواهدی دال بر عدم سازگاری بیوشیمیائی بین آن دو مشاهده نشده است. راجزوبیک^{۳۰۳} (۱۹۵۷) اطلاعات مربوط به روابط پایه - پیوندك را بررسی نموده و نتیجه گرفته اند که اطلاعات پیرامون این مسئله بسیار ناقص بوده و این رشته احتیاج به پژوهشهای زیادتری دارد.

عوامل محیطی مؤثر بر رشد ریشه

رشد مناسب ریشه ها و وظیفه آنها به عنوان سطوح جذب کننده مواد بسته به عوامل زیادی در محیط خاک می باشند که اهم آنها را عواملی تشکیل می دهند که بر مقاومت مکانیکی خاک در مقابل انتشار ریشه ها، ذخیره رطوبت، تهویه و ترکیبات شیمیائی محلول خاک موثرند. وجود لایه های غیر قابل نفوذ خاک و بالابودن سفره آب زیر زمینی غالباً نفوذ ریشه را محدود به لایه سطحی خاک می سازند. در خاکهای ریزبافت رشد ریشه غالباً با کمی تهویه تقلیل یافته و نیز کمبود لایه های زیرین از نظر مواد معدنی نفوذ ریشه ها را کاهش می دهد. مواد حاصله از ریشه ها و هم چنین موجودات ذره بینی مربوط به ریشه ممکن است رشد ریشه های

301— Maggs

302— Allen

303— Rogers and Beakbane

برخی از گیاهان را متوقف سازند. روابط بین عوامل مختلف خاک و رشد ریشه در کتاب «شرایط فیزیکی خاک و رشد گیاه» اثر شاو^{۳۰۴} (۱۹۵۲) به تفصیل بحث شده است. دانیلسون^{۳۰۵} (۱۹۶۷) نیز این موضوع را به خوبی بررسی کرده است. در این فصل برخی از عوامل محدود کننده معمولی مورد بحث قرار خواهد گرفت.

رطوبت خاک

کاهش و افزایش رطوبت خاک هر دو از عوامل محدود کننده رشد و انجام وظیفه ریشه، می باشند. بطوری که در محلولهای غذایی تهویه شده مشاهده می شود آب بطور مستقیم زبانی به گیاه وارد نمی سازد. اما در خاک رطوبت زیاد موجب تخلیه فضاهای غیر موئینه ای از هوا شده و کمبود اکسیژن حاصله مرگ بسیاری از ریشه ها را به دنبال دارد. این موضوع در قسمت مربوط به تهویه خاک بحث خواهد شد. کاهش رطوبت رشد ریشه را متوقف ساخته و احتمالاً در حد پژمردگی دائم میزان رشد ریشه صفر یا بسیار اندک است.

در یکی از چند مطالعه کمی که در مورد اثر تنش رطوبت خاک بر رشد ریشه صورت گرفته نیومن^{۳۰۶} (۱۹۶۶) مشاهده کرده است که در پتانسیل رطوبت ۷- بار رشد ریشه های کتان شدیداً کاهش پیدا کرده و در ۱۵- بار رشد آنها ۲۰ درصد یا کمتر از رشد ریشه گیاهان شاهد بوده است ولی در خاکهای خشک تر از ۲۰- بار نیز بعضی ریشه ها قادر به رشد بوده اند هم چنین به نظر می رسد که رشد ریشه در هر لایه ای از خاک مستقل از پتانسیل رطوبت در لایه های دیگر یا ساقه ها است. در یکی

304— Shaw

305— Danielson

306— Newman

از حالات که رشد ساقه ریشه‌های لایه سطحی خاک تقلیل پیدا کرده بود مشاهده شد که در رشد ریشه‌های لایه زیرین خاک هیچ گونه تغییری بوجود نیامده است. کوفمن^{۳۰۷} (۱۹۶۷) در یافته‌است که رشد ریشه‌های کاج استخری در خاکی که تنش رطوبت آن معادل ۶ - یا ۷ - بار باشد فقط معادل یک چهارم سرعت رشد ریشه در خاکی که رطوبت آن در حد ظرفیت زراعی است می‌باشد. هنگامی که ریشه‌ها در معرض دوره‌های متعدد خشکی قرار می‌گیرند، رشد آنها در دوره‌های دوم و سوم کمتر از اولین دوره است.

ظاهراً تنش زیاد رطوبت موجب می‌گردد ریشه‌ها کم و بیش بخواب رفته و رشد دوباره آنها پس از آبیاری مجدد کنداست. غالباً در فصل رویش هنگامی که درجه حرارت برای ریشه مناسب است کمبود رطوبت خاک رشد آنها را محدود می‌سازد (رید^{۳۰۸}، ۱۹۲۹، تورنر^{۳۰۹}، ۱۹۳۶).

در نواحی خشک، عمق خاکی که با باران خیس می‌شود عامل محدود کننده نفوذ ریشه است (کانون^{۳۱۰}، ۱۹۱۱، ویور^{۳۱۱}، ۱۹۲۰، ویور و کرایست^{۳۱۲}، ۱۹۲۲). کمبود آب نه تنها مایع بزرگ شدن ریشه شده بلکه باعث چوب پنبه‌ای شدن و کاهش توانائی آن در جذب مواد نیز می‌گردد. در نتیجه این عمل اگر گیاه در معرض خشکی قرار گیرد توانائی جذب آب را تا چندین روز پس از آبیاری نخواهد داشت (بریکس^{۳۱۳}، ۱۹۶۲، کرامر^{۳۱۴}، ۱۹۵۰، لشم^{۳۱۵}، ۱۹۶۵، اسلاچر^{۳۱۶}).

307— Kuffman

308— Read

309— Turner

310— Cannon

311— Weaver

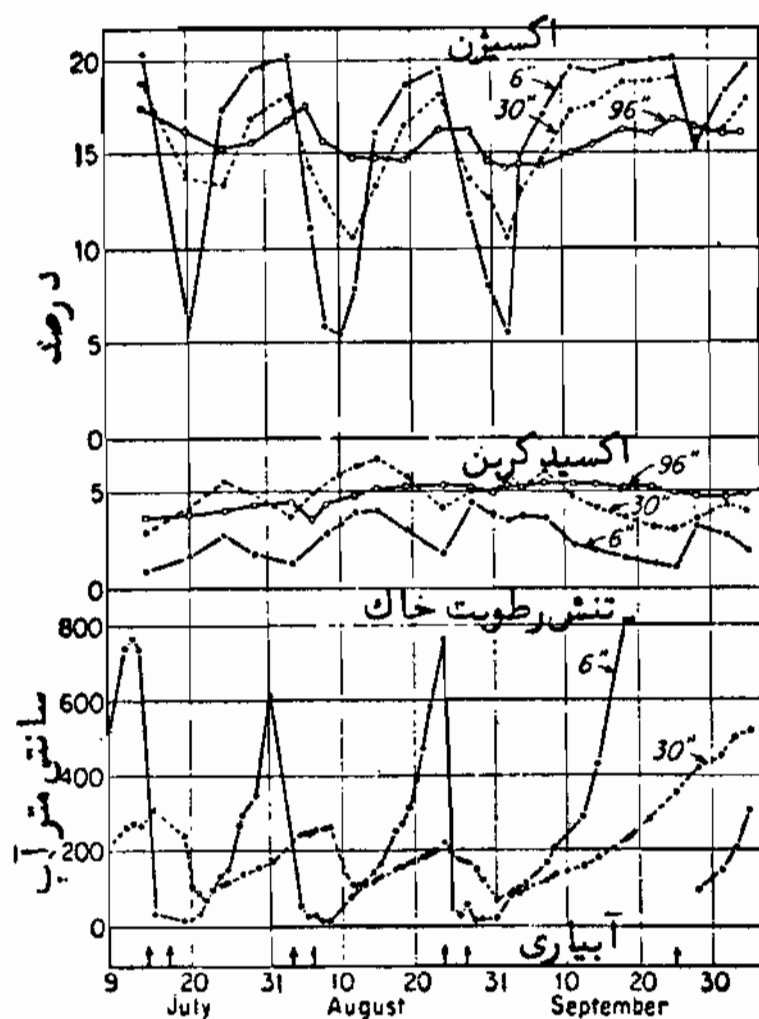
312— Weaver and Crist

313— Brix

314— Kramer

315— Leshem

316— Slatyer



شکل ۲۰-۴: تغییرات اکسیژن، اکسیدوگرم و تنش رطوبت خاک

در اعماق مختلف، افزایش تنش با تقلیل مقدار رطوبت خاک و نیز افزایش مقدار اکسیژن همراه است (از فور و آلدریج^{۳۱۷}، ۱۹۴۳).

تهویه خاک

تهویه محیط ریشه نیز یکی از عوامل محدودکننده رشد و انجام وظیفه ریشه است. تنفس ریشه و موجودات ذره‌بینی خاک باعث تقلیل اکسیژن و افزایش غلظت اکسید دوکربن می‌گردند. از جایی که شدت این

فعالیتها با افزایش درجه حرارت بالا می‌رود، تغییرات اکسیژن و اکسید کربن در فصل تابستان بیش از زمستان است (به شکل ۴۰-۴۱) مراجعه شود).

هم چنین این تغییرات در خاکهای پراز مواد آلی (به دلیل فعالیت میکروبی زیاد) بیش از خاکهایی است که مقدار مواد آلی آنها کم است. بین خاک و هوا به طریق پخشیدگی تبادل گازی قابل ملاحظه‌ای صورت می‌گیرد. وولی^{۳۱۸} (۱۹۶۶) تخمین زده‌است که اگر حدود ۴ درصد حجم فضای خاک را منافذ متصل پراز هوا تشکیل دهند با پخشیدن اکسیژن مورد لزوم آن تا عمق یک متری تامین خواهد شد. البته به نظر می‌رسد این تخمین خوش بینانه صورت گرفته‌است. عواملی از قبیل تغییرات درجه حرارت، تغییرات فشار اتمسفر در نتیجه حرکات مخلی هوا و نیز آب به داخل خاک بر مقدار اکسیژن پخش شده و موثر باشند (شرودر و همکاران^{۳۱۹} ۱۹۶۵).

بافت و ساختمان خاک بر فعالیت‌های تبادل گازی اثر فراوان دارند. در خاکهای ماسه‌ای تهویه بندرت عامل محدودکننده به شمار می‌رود ولی در خاکهای ریزبافت بخصوص در آنهایی که فضاهای غیر موئینه‌ای کمتر از ۱۰ تا ۱۲ درصد حجمشان را تشکیل می‌دهد تهویه بحد کافی صورت نمی‌گیرد (رابینسون^{۳۲۰}، ۱۹۶۴، و موسیل و فلاکر^{۳۲۱} ۱۹۶۱). فشردن خاک با غلطک، ساختن پیاده‌رو و خاکریزی‌ها به مقدار زیادی تبادل گازی را کاهش داده که نتیجه حاصله از آن تقلیل اکسیژن و بالا بردن اکسید

317— Furr and Aldrich

318— Woolley

319— Schroeder et al

320— Robinson

321— Vomocil and Flocker

کربن در اتمسفر خاک است (یاونسکی^{۳۲۲} ۱۹۶۴). متمایز ساختن اثرات مکانیکی فشردن خاک بر توسعه ریشه از اثرات ذخیره اکسیژن مشکل بوده و احتمالاً هردوی آنها در عمل دخالت دارند (ریکمان و همکاران^{۳۲۳}، ۱۹۶۶؛ روزنبرگ^{۳۲۴}، ۱۹۶۴؛ تاکت و پیرسن^{۳۲۵}، ۱۹۶۴).

علائم کمبود هوا: هرکسی به پژمردگی، زردشدن برگها و کاهش رشد و سرانجام مرگ گیاهانی که در خاکهای اشباع شده از آب می‌رویند واقف است. گرچه همین علائم در اثر کاهش مقدار جذب آب به دلایل زخمی‌شدن یا از بین رفتن ریشه‌ها (نیز ظاهر می‌شوند ولی این‌گونه ظواهر جوابگوی دلایل پیدایش برخی حالات بخصوص گیاه و یا به وجود آمدن ریشه‌های نابجا نبوده و هیچ کدام ازین نشانه‌ها نتیجه کاهش آماس نمی‌باشند. پیدایش تفاوت در بین قسمت‌های مختلف گیاه مشابه اثرات حاصله از اتلین است (ویلیامسن^{۳۲۶}، ۱۹۵۰). در حقیقت، علائم خسارات ناشی از استغراق غالباً مشابه قسمتی از علائم بیماری پلاسیدگی حاصله از زیان اتیلن به بافتهای گیاه است (ساداسیوان^{۳۲۷}، ۱۹۶۱). زردی برگها علامت پیری زودرس است که احتمالاً به دلیل خسارات وارده به ریشه تولید هورمون آنها زودتر از زمان معمول متوقف می‌گردد. به محض آن که ریشه‌های غیر ارثی در سطح آب اراضی غرقاب شده ظاهر شدند رشد ساقه‌ها از سر گرفته می‌شود. این می‌رساند که ریشه‌های جدید علاوه بر آب و مواد غذایی معدی مواد الزامی دیگری را نیز تامین

322— Yelensky

323— Rickman et al

324— Rosenberg

325— Tackett and Pearson

326— Williamson

327— Sadasivan

می‌نمایند. تولید ریشه‌های غیر ارثی در ساقه گیاهان مستغرق ممکن است به دلیل عدم انتقال کربوهیدراتها و مواد تنظیم‌کننده رشد به طرف ریشه باشد.

اختلاف مقاومت در مقابل استغراق: بین گیاهان از نظر مقاومت در مقابل سیلابی شدن زمین و عدم تهویه کافی بسته به مدت زمان استغراق، مرحله رشد و نوع گونه گیاهی تفاوت‌های فاحشی وجود دارد. درختان خواب رفته در زمستان می‌توانند با حداقل و یابدون وارد آمدن خسارت برای هفته‌ها در مقابل سیلابی بودن زمین مقاومت کنند. ولی حتی يك روز غرقاب شدن زمین در فصل رویش برای برخی از گونه‌ها زیان آور است. گونه‌های مختلف چمنها نیز در مقابل استغراق استقامتهای مختلف داشته و مقاومت آنها در موقع خواب بیش از زمان بیداری است اروادس^{۳۲۸}، ۱۹۶۴). به استناداریکسون^{۳۲۹} (۱۹۶۵) اگر در اوایل رشد گوجه فرنگی مقدار اکسیژن برای مدت يك روز کاهش یابد مقدار محصول بشدت کاهش پیدا می‌کند. هم‌چنین کمبود اکسیژن برای يك روز در مرحله شکوفه دادن نخود مقدار محصول را شدیداً تقلیل می‌دهد. زیان استغراق در روزهای آفتابی بیش از روزهای ابری است. پژمردگی تنباکو در روزهای آفتابی پس از اشباع زمین با باران به حدی است که زارعین به آن فلوپینگ^{۳۳۰} گویند. این نشانه‌ها بیش از آنکه تأثیر بر رشد گیاه را نشان دهند علائم کاهش مقدار جذب آب می‌باشند.

گرچه اکثر خوانندگان نسبت به تنوع مقاومت گونه‌های مختلف گیاهان در برابر بدی تهویه خاک آگاهی دارند ولی دلایل وجود این

328— Rhoades

329— Erickson

330— Flopping

اختلافات بخوبی روشن نشده است. درخت سرو و بید، برنج، دم‌گره‌ای^{۳۳۱}، و بسیاری دیگر از گیاهان آبی به خوبی در خاکهای اشباع رشد می‌نمایند در حالیکه رشد کاج، ذغال اخته، ذرت و تنباکو متوقف شده و منجر به مرگ گیاه می‌گردد. هنوز مشخص نشده است که چه مقدار از این اختلافات مربوط به توانایی ریشه در مقابل شرایط غیر هوازی و چقدر مربوط به حرکت اکسیژن از شاخه‌ها به ریشه است. احتمالاً ریشه‌های برخی از گیاهان آبی مثل نوفار^{۳۳۲} (ویور و هیمل^{۳۳۳}، ۱۹۳۰؛ لینگ^{۳۳۴} a-1940، 1940) و برنج قادر به تنفس در شرایط غیر هوازی می‌باشند در صورتی که ذرت در مقابل کمبود اکسیژن بسیار حساس می‌باشد (وولی^{۳۳۴}، ۱۹۶۶).

لینگ^{۳۳۵} (b-1940) وجود الکل را در ساقه‌های زیرزمینی نوفار و دیگر گیاهان آبی گزارش کرده است. اخیراً فولتن و اریکسون^{۳۳۶} (۱۹۶۴) گزارش نموده‌اند که کاهش پخشیدن اکسیژن خاك موجب بالا رفتن مقدار اتانول در شیره آوندی گوجه‌فرنگی می‌شود. کنفیک^{۳۳۷} (۱۹۶۲) وجود اتانول را در چفندره‌های قندی که در شرایط غیر هوازی رشد نموده‌اند گزارش کرده است. تجمع الکل و ترکیبات نیمه اکسید شده حاصله از تنفس غیر هوازی احتمالاً یکی از علل خسارات ناشی از تهویه ناکافی ریشه‌ها است. ظاهراً ریشه‌های نوفار نسبت به الکل بسیار مقاومند ولی احتمالاً ریشه‌های بسیاری از گونه‌های گیاهان این مقاومت را ندارند.

331— Cattail

332— Nuphar

333— Weaver and Himmel

334— Woolley

335— Laing

336— Fulton and Erickson

337— Kenefick

عده زیادی از پژوهشگران پیشنهاد کرده‌اند که اکسیژن حاصله از ستوستنز درشاخه‌ها به ریشه انتقال می‌یابد (آریکادو^{۳۳۸}، ۱۹۵۵؛ براون^{۳۳۹} ۱۹۴۷؛ کانون^{۳۴۰}، ۱۹۳۹؛ کونوی^{۳۴۱}، ۱۹۴۰؛ کوات^{۳۴۲}، ۱۹۶۴؛ گلاستون^{۳۴۳}، ۱۹۴۲؛ لینگ^{۳۴۴}، ۱۹۴۰؛ لیتون و روسو^{۳۴۴}، ۱۹۵۸؛ شولاندر و همکاران^{۳۴۵}، ۱۹۵۵؛ و دیگران). لینگ (۱۹۴۰b) گزارش کرده‌است که در روزهای آفتابی بین برگ‌ها و ساقه‌های زیرزمینی نوفار شیب غلظت اکسیژن و بین ساقه‌های زیرزمینی و برگ‌ها شیب غلظت اکسید دوکربن وجود دارد. به هنگام تیره‌رنگی برگ‌ها غلظت اکسیژن در دورترین نقطه ساقه زیرزمینی کمتر از یک درصد بوده‌است. آزمایشات وان‌رالت^{۳۴۶} (۱۹۴۰)، (۱۹۴۴)؛ و لامیس و دیویس^{۳۴۷} (۱۹۴۴) و باربر و همکاران^{۳۴۸} (۱۹۶۲) مشخص ساخته‌است که مقدار اکسیژن انتقالی از ساقه‌ها به طرف ریشه‌های برنج قابل توجه است. این حرکت در مورد ذرت و جو نیز به میزان کمتر مشاهده شده‌است (جنسن و همکاران^{۳۴۹} ۱۹۶۷، ۱۹۶۴) و وولی^{۳۵۰} (۱۹۶۵) محاسبه کرده‌است که تأمین ذخیره اکسیژن مورد نیاز تنفس ریشه‌ها با عمل پخشیدن فقط تا عمق ده سانتی‌متری از طریق منافذ خالی درون ریشه امکان‌پذیر است. مقدار منافذ بین سلولی که وی در نظر گرفته

338— Arikado

339— Brown

340— Cannon

341— Conway

342— Coult

343— Glasstone

344— Leyton and Rousseau

345— Scholander et al

346— Van Raalte

347— Vlamis and Davis

348— Barber et al

349— Jensen et al

350— Woolley

بود حداقل یعنی ۸ درصد بوده است. آلبردا^{۳۵۱} (۱۹۵۳) اظهار داشته است که حرکت نزولی اکسیژن در برنج پس از قد کشیدن ساقه متوقف شده و ذخیره اکسیژن مورد نیاز ریشه های عمقی از طریق ریشه های نمدی شکل مجاور سطح آب تأمین می گردد یکی از نمونه های واضح حرکت اکسیژن از ساقه به ریشه آناناس است که در آن گازهای متصاعد شده از ریشه های نهالهایی که در محلول غذایی قرار گرفته اند محتوی ۸۰ درصد اکسیژن می باشند (اکرن^{۳۵۲}، ۱۹۶۵). ظاهراً این اکسیژن حاصل از فتوسنتز بوده و فقط زمانی متصاعد می شود که گیاه در معرض نور قرار گرفته باشد و احتمالاً به این دلیل است که روزه های آناناس در بیشتر اوقات روز کاملاً بسته بوده و اکسیژن ایجاد شده نمی تواند مسیر عادی خود را طی نماید. ضمناً انتقال صعودی اکسید کربن از ریشه ها به ساقه یکی از عوامل مهم مؤثر بر فتوسنتز در برخی گیاهان است (بیلینگ و گادفری^{۳۵۳}، ۱۹۶۷).

غلظت محدود کننده اکسیژن: بطوری که وولی (۱۹۶۶) اشاره کرده است تعداد گزارشات مربوط به سطح غلظت اکسیژن و اکسید کربن به عنوان عوامل محدود کننده رشد ریشه زیاد و متناقض می باشد. بادر نظر گرفتن حقیقتی که این آزمایشات بر روی گونه های مختلف گیاهان در مراحل رشد گوناگون و در محیط های متنوعی از خاکهای ریزبافت گرفته تا محلولهای غذایی انجام شده اند وجود چنین تناقضاتی تعجب آور نیست. روشهای تهویه ریشه متفاوت بوده و این خود نتایج کاملاً متفاوتی را به بار می آورد. مثلاً مقدار غلظت واقعی اکسیژن در سطح ریشه در محلولهای غذایی با خاکهایی که تهویه آنها با چرخش مخلوط گاز صورت گرفته و یا خاکهایی که

351— Alberda

352— Ekern

353— Billing and Godfrey

تهویه‌شان به‌طریقه پخشیدنی انجام شده متفاوت است. از آن گذشته دلیلی نیست که اندازه‌گیری مقدار اکسیژن گازهای متصاعد شده از خاک نشانه غلظت اکسیژن در سطح ریشه باشد. ریشه‌ها را لایه نازکی از آب پوشانیده‌است که میزان پخش اکسیژن از آن به‌مراتب کندتر از پخش اکسیژن در هوا می‌باشد. درحقیقت ضریب پخشیدگی اکسیژن در آب حدوداً $10^{-5} \times 2/6$ سانتی‌متر مربع در ثانیه و در هوا $10^{-1} \times 1/9$ است. بنابراین به‌نظر می‌رسد پخشیدن اکسیژن از لایه آب سطح ریشه یکی از عوامل محدودکننده ذخیره اکسیژن است.

کوششهایی صورت گرفته است تا بتوان منبع اکسیژن ریشه از روی سرعت پخشیدگی اکسیژن به‌سمت الکتروود پلاتینی که با فرو بردن در خاک نقش ریشه را بازی می‌کند اندازه‌گیری گردد (لمون و اریکسون^{۳۵۴}، ۱۹۵۲). اتی و استولزی^{۳۵۵} (۱۹۶۴) این روش را به‌تفصیل مورد بحث قرار داده‌اند. روشهای متعدد دیگر اندازه‌گیری تهویه خاک نیز بوسیله لتی^{۳۵۶} (۱۹۶۶) تشریح شده‌است. معمولاً به‌نظر می‌رسد سرعتهای پخشیدگی کمتر از $2.0 \text{ mg}/(\text{cm}^2) (\text{min})$ برای ریشه کافی نبوده و مقادیر بزرگتر از $4.0 \text{ mg}/(\text{cm}^2) (\text{min})$ بیش از حد مورد لزوم برای رشد مطابوب گیاه است. اما ویلیامسون^{۳۵۷} (۱۹۶۴) گزارش کرده‌است که در سرعت پخشیدگی $15.0 \text{ ng}/(\text{cm}^2) (\text{min})$ نیز تولید محصول در تعداد کثیری از محصولات زراعی خوب بوده‌است. گیاهان مورد آزمایش ویلیامسون در گلدانهای به‌مراتب بزرگتر از دیگر پژوهشگران رشد داده شده بودند. وی پیشنهاد کرده‌است که سرعت پخشیدگی برای توده متراکم ریشه بیش از سرعت-

354— Lemon and Erickson

355— Letey and Stolzy

356— Letey

357— Williamson

بخشیدگی اکسیژن درمورد ریشه‌هایی است که حجم زیادی از خاک را اشغال کرده باشند. پیدا کردن رابطه همبستگی بین سرعت بخشیدگی و درصد حجمی اکسیژن خاک مشکل است زیرا سرعت بخشیدگی در خاکهای مختلف متفاوت است. به نظر می‌رسد غلظتهای بالاتر از ۱۰ درصد اکسیژن احتمالاً برای رشد کافی باشد (کرامر^{۳۵۸}، ۱۹۴۹ صفحه ۱۴۷) و نیز پیشنهاد شده است که تهویه زیاد خاک با هوایی که مقدار اکسیژن آن بیش از ۲۰ درصد باشد مانع رشد ریشه خواهد شد. (لووینگ^{۳۵۹}، ۱۹۳۴؛ لنی، گفتگوهای شخصی).

اکسید کربن: در مورد اثر غلظتهای زیاد اکسید کربن بر رشد ریشه تردیدهای فراوانی موجود است. مطالعات انجام شده در باغات میوه نیویورک نشان می‌دهند که غلظت اکسید کربن به‌ندرت بیش از ۱۲ درصد بوده (بوینتن و کامپتن^{۳۶۰}، ۱۹۴۴) و معمولاً کمتر از این مقدار است. ادعا شده است که غلظت یک درصد اکسید کربن برای گیاه زیان‌آور است (ستواویک و تیمان^{۳۶۱}، ۱۹۵۷) در حالی که عده‌ای دیگر گزارش کرده‌اند غلظتهای ۲۰ درصد نیز برای پنبه (لئونارد و پنکارد^{۳۶۲}، ۱۹۴۶) و ۲۰ درصد یابیشتر برای ذرت و سویا (گرابل و دانیلسون^{۳۶۳}، ۱۹۶۵) و حداقل ۶/۸ درصد درمورد گوجه‌فرنگی (اریکسون^{۳۶۴}، ۱۹۴۶) زیان‌آور نیست. به نظر می‌رسد که غلظت اکسید دو کربن خاک معمولاً به‌اندازه‌ای زیاد نیست که به گیاه صدمه وارد سازد در حالی که غلظت اکسیژن اغلب به‌اندازه‌ای کم

358— Kramer

359— Loehwing

360— Boynton and Compton

361— Stolwijk and Thiman

362— Leonard and Pinckard

363— Grable and Danielson

364— Erickson

است که رشد گیاه را متوقف می‌سازد.

تهویه و ساختمان ریشه: کمبود هوای خاک نه تنها موجب کاهش رشد ریشه شده بلکه ساختمان آن را نیز تغییر می‌دهد. ریشه گیاهانی که در محیطهای تهویه نشده بخصوص محلولهای کشت می‌رویند از نظر قطر بزرگتر و حاوی تعداد منافذ بزرگ فراوانتر از ریشه‌هایی است که در خاکهای تهویه شده رشد می‌نمایند. (براینت^{۳۶۵}، ۱۹۳۴، مک‌فرسون^{۳۶۶}، ۱۹۳۹، شرآم^{۳۶۷}، ۱۹۶۰). مک‌فرسون پیشنهاد می‌کند که وجود منافذ بزرگ در ریشه‌هایی که در خاکهای تهویه نشده می‌رویند به دلیل از بین رفتن سلولها در نتیجه نرسیدن اکسیژن است ولی شرآم^{۳۶۷} (۱۹۶۰)، عقیده دارد که تشکیل این منافذ به دلیل جابجا شدن سلولهای تهویه شده جدار خارجی ریشه است. والوراس و لتی^{۳۶۸} (۱۹۶۶) پیشنهاد می‌کنند که آب به تنهایی مستقل از تهویه بر آناتومی ریشه مؤثر است. این پژوهشگران دریافته‌اند که اگر ریشه‌های برنج خاکهای زهکشی شده مستغرق گردند به گیاه تازمان تولید ریشه‌های غیر ارثی (کاذب) صدماتی وارد می‌آید. این حالت در برخی دیگر از گونه‌های گیاهی نیز مشاهده شده (جاکسون^{۳۶۹}، ۱۹۵۵، کرامر^{۳۷۰}، ۱۹۵۱) و احتمالاً می‌توان صحت آن را عمومیت داد. مشاهدات صحرایی نشان داده‌اند که سطح ثابت آب زیر زمینی حتی اگر بالا باشد زیان آن به محصولات زراعی کمتر از استفراق گاهگاهی خاک است.

365— Bryant

366— McPherson

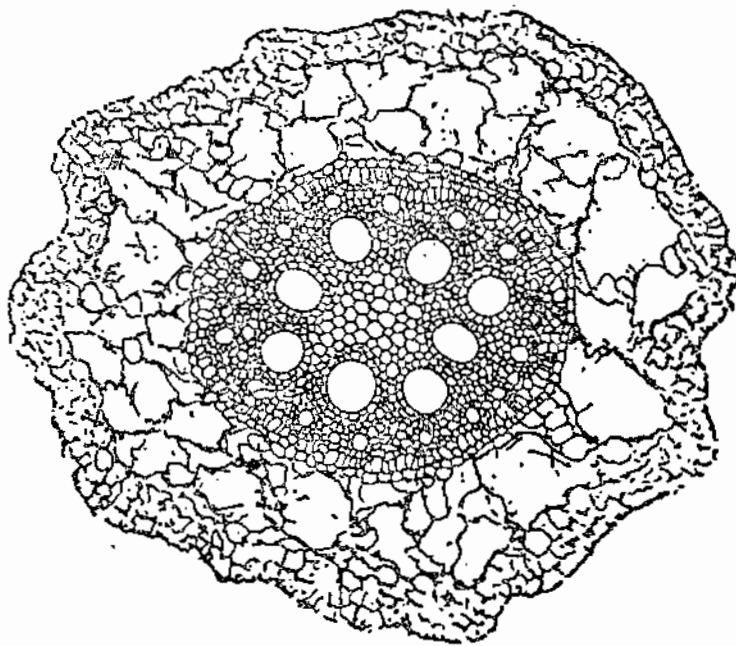
367— Schramm

368— Valoras and Letey

369— Jackson

370— Kramer

به عقیده گیسلر^{۳۷۱} (۱۹۶۵، ۱۹۶۲) کاهش مقدار اکسیژن و افزایش میزان اکسید کربن هردو موجب تقلیل نمو ریشه شده ولی مانع از ایجاد انشعابات آن نمی گردند. در نتیجه مقدار انشعابات در واحد طول ریشه در مورد گیاهان تحت آزمایش بیش از گیاهان شاهد بوده است. با تعجب می توان دریافت که مقاومت مریستم انشعابات ریشه در مقابل غلظت های نامناسب اکسیژن و اکسید کربن بیش از مریستم ریشه اصلی است. بروور و هوگلاند^{۳۷۲} (۱۹۶۴) متذکر شده اند که اگر چه در درجه حرارت ۳۵ سانتی گراد طولانی شدن ریشه های لوبیا متوقف می گردد ولی تولید انشعابات ریشه در سرتاسر آن متوقف نمی گردد.



شکل ۲۱-۴: تصویر يك مقطع ریشه ذرت كه نمايشگر خصوصيات منافذ هوای حاصله از كمبود تهويه خاک است. (از مك فرسون^{۳۷۳}، ۱۹۳۹).

371— Geisler

372— Brouwer and Hoogland

373— McPherson

اثرات دیگر کمبود تهویه: علاوه بر اثرات مستقیم تهویه بر روی رشد ریشه، کمبود هوای خاک بر بیلان آبی، فتوسنتز و حساسیت ریشه به امراض نیز مؤثر است. اثرات کمبود تهویه بر جذب آب در فصل ششم و اثرات آن بر جذب املاح در فصل هفتم مورد بحث قرار گرفته است. به طوری که قبلاً گفته شد کاهش سریع تهویه مثل استغراق خاک، جذب آب را متوقف ساخته موجب پژمردگی و کمبود آب در برگها می گردد. در نتیجه این عمل میزان فتوسنتز در سیب (چایلدرز و وایت^{۳۷۴} ۱۹۴۲) و گوجه فرنگی (استولزی و همکاران^{۳۷۵}، ۱۹۶۴) و احتمالاً گونه های دیگر تقلیل پیدا می کند. کمبود تهویه موجب کاهش حساسیت گیاه به خسارات ناشی از آوزن می شود (استولزی و همکاران^{۳۷۵}، ۱۹۶۴) و دلیل آن احتمالاً انسداد روزنه ها ذکر گردیده است.

بدی تهویه خاک حساسیت ریشه را در مقابل حمله قارچها و دیگر موجودات ذره بینی خاک افزایش می دهد. تعدادی از گونه های بیماری زا در خاکهای تهویه نشده به خوبی رشد کرده و بادر نظر گرفتن رشد ضعیف ریشه خساراتی را به مرکبات، آوکادو^{۳۷۶}، کاج و برخی دیگر از گونه های گیاهی که در این خاکها می رویند وارد می سازد. برعکس در پاناما یکی از طرق جلوگیری پژمردگی موز غرقاب کردن زمین و ممانعت از رشد قارچها است. اخیراً زنتمایر^{۳۷۷} (۱۹۶۶) اطلاعات موجود در این زمینه را بررسی نموده و جنبه های مختلف این موضوع نیز در صورت جلسه کنفرانس «عوامل بیماری زای گیاهی که منشاء زمینی دارند» تألیف و توسط بیکر

374— Childers and White

375— Stolzy et al

376— avecado

377— Zentmyer

و اشنایدر^{۳۷۸} (۱۹۶۵) به چاپ رسیده است.

دمای خاک

غالباً دمای کم یکی از عوامل محدودکننده رشد ریشه است. گاهی اوقات نیز بالا رفتن درجه حرارت سطح خاک موجب متوقف شدن رشد آن می گردد. گرچه دمای مطاب بر حسب نوع گونه ها، مرحله رشد و ذخیره اکسیژن متغیر است ولی مقدار آن برای اکثر گونه ها احتمالاً بین ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی گراد است. رشد ریشه درختان سیب در درجات ۴/۵ تا ۷/۰ درجه سانتی گراد متوقف یا بسیار کند می گردد (باجر و همکاران^{۳۷۹} ۱۹۳۹). رشد ریشه های درخت گردوی امریکائی نیز در این دامنه حرارت کاهش یافته و در ۲- از بین می روند. (وودروف و وودروف^{۳۸۰}، ۱۹۳۴). بارنی^{۳۸۱} (۱۹۵۱) دریافته است که رشد ریشه های نهال کاج استخری در حرارت ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی گراد حداکثر بوده و رشد آن در حرارتهای ۵ و ۳۵ کمتر از ۱۰ درصد مقدار ماکزیم بوده است (شکل ۲۲-۴). بورستروم^{۳۸۲} ۱۹۵۶ اثر دما را بر روی رشد ریشه در سطح سلوای مورد مطالعه قرار داده است.

درجه حرارت متوقف کننده نموریشه در گونه های گرمسیر بالاتر از گونه های بومی نواحی سردسیر است. گیرتون^{۳۸۳} (۱۹۲۷) حداقل درجه حرارت محلولهای غذایی را برای رشد ریشه های توسرخ، پرتقال شیرین و ترش ۱۲ درجه سانتی گراد، حد مطاب آنرا ۲۶ و حداکثر آنرا ۳۷ درجه

378— Baker and Snyder

379— Batjer et al

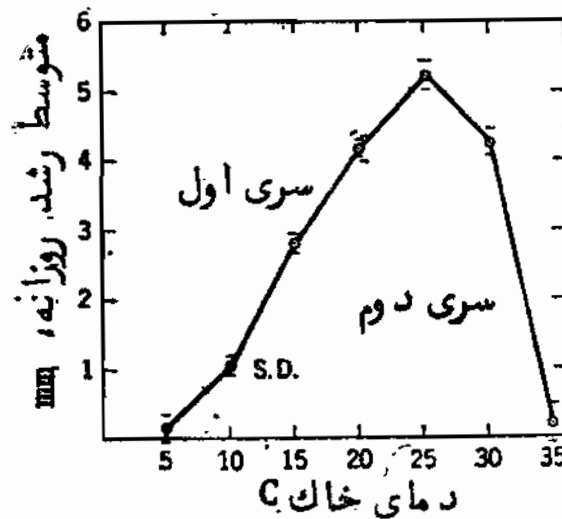
380— Woodroof and woodroof

381— Barney

382— Burstrom

383— Girton

سانتی گراد گزارش داده است. در منطقه لوس آنجلس دمای خاک هرگز به نقطه مطلوب رشد ریشه نرسیده و طی مدت چهارماه از سال درجه حرارت به حدی پائین است که رشد ریشه را به شدت محدود می سازد (نورث و والاس^{۳۸۴}، ۱۹۵۵). بنابه گفته آرن^{۳۸۵} (۱۹۴۵) حداقل درجه حرارت لازم برای رشد ریشه های پنبه ۱۶ تا ۱۷ سانتی گراد و حد مطلوب آن با رشد نزولی ریشه از ۳۶-۳۳ به ۲۷ کاهش می یابد. آزمایشات براون^{۳۸۶} (۱۹۳۹) نشان داده است که رشد ریشه های چمن نوع برمودا در ۴/۵ درجه سانتی گراد هیچ، در ۱۰ درجه اندک و با افزایش درجه حرارت تا ۳۸ به رشد ریشه ها نیز افزوده می گردد. برعکس ریشه های چمن آبی رنگ کانادا و کنتاکی در ۴/۵ درجه به خوبی به رشد خود ادامه داده و حد مطلوب آن برای چمن نوع کانادائی ۱۰ و برای نوع کنتاکی ۱۵ درجه سانتی گراد است و دمائی که برای رشد چمن برمودا حد مطلوب به شمار می رود به این نوع



شکل ۲۲-۴: رابطه بین درجه حرارت و رشد ریشه های کاج استخری
(از بارنی^{۳۸۷}، ۱۹۵۱).

384— North and Wallace

385— Arndt

386— Brown

387— Barney

چمن خسارات زیادی وارد می‌آورد.

دمای زیاد رشد ریشه‌ها به شدت محدود ساخته و حرارت خاک ممکن است به حدی بالا رود که ریشه‌ها و انتهای ساقه از بین رفته یا موجب وارد آمدن خسارات زیاد به آنها گردد (بیتز^{۳۸۸}، ۱۹۲۴؛ کورستیان و فدرولوف^{۳۸۹}، ۱۹۲۱؛ پیرسون^{۳۹۰}، ۱۹۳۱؛ شیرلی^{۳۹۱}، ۱۹۳۶) گفته می‌شود تأثیر دمای زیاد خاک بر سطوح ریشه‌های توت فرنگی به حدی است که قسمتهای هوایی گیاه را نیز از نظر فقدان آب تحت تأثیر قرار می‌دهد. پروبستینگ^{۳۹۲} (۱۹۴۳) کاهش تعداد ریشه‌های کوچک را در لایه سطحی ۲۰ سانتی‌متر خاک باغستانهای کالیفرنیا به دلیل افزایش دمای خاک در تابستان می‌داند.

خسارات وارده به ریشه در اثر تورم حاصله از یخ‌بندان یکی دیگر از اثرات غیر مستقیم کاهش دمای خاک است. انجماد و ذوب مکرر خاک در زمستان موجب قطع ریشه‌های زیرزمینی یونجه، غلات زمستانی و نهالهای درختان می‌گردد. احتمالاً مقاومت مکانیکی ریشه‌ها یکی از عوامل مهم در حفاظت زمستانی آنها است (لمب^{۳۹۳}، ۱۹۳۶).

بروور و همکارانش اثر دمای خاک بر رشد گیاهان را در واگنینگن مورد مطالعه دقیق قرار داده‌اند. گزارش شده است که حد اعلای رشد ریشه و ساقه لوبیا^{۳۹۴} در درجات بین ۲۰ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد بوده و میزان رشد در درجات ۵، ۱۰ و ۳۵ اندک بوده است. کاهش رشد ریشه

388— Bates

389— Korstian and Fetherolf

390— Pearson

391— Shirley

392— Proebsting

393— Lamb

394— Phaseolus vulgaris

در درجات حرارت پائین یا بالا به دلیل تنش آب حاصله از تقلیل سطوح جذب کننده است (بروور^{۳۹۵}، ۱۹۶۴). از طرف دیگر دیویس و لینگل^{۳۹۶} (۱۹۶۱) عقیده دارند که کاهش رشد ریشه در حرارت های پائین به دلیل کاهش جذب آب و مواد غذایی معدنی نیست. نامبردگان گزارش کرده اند که دمای کم موجب کاهش انتقال مواد از شاخه ها به ریشه می گردد و در نتیجه تجمع مواد در شاخه ها مانع فعالیت های متابولیکی می شود. به احتمال زیاد تقلیل درجه حرارت علاوه بر کاهش جذب آب موجب پائین آمدن میزان فعالیت های سازندگی ریشه ها نیز می گردد. این مطلب در بخش مربوط به فعالیت های سازندگی ریشه بحث گردیده است.

دمای نامناسب هم چنین بر آناتومی و اشتقاق قسمتهای مختلف ریشه مؤثر است در لوبیسا نو ریشه ها محدود گشته و اشتقاق از قسمت راس ریشه صورت می پذیرد و انشعابات ریشه نیز به منطقه رأس منحصر می گردد. دیواره سلول های اندودرمی و سلول های تشکیل دهنده جدار خارجی ریشه بیش از حد چوب پنبه ای گشته و قابلیت نفوذ آنها نسبت به آب و املاح کاهش می یابد. برگ های گیاهانی که در شرایط دمای نامناسب از نظر ریشه واقع شده اند نیز شکل زیرومرفیک^{۳۹۷} بخود گرفته و این به دلیل ایجاد تنش آب زیاد در گیاه است (بروور و هوگلاند^{۳۹۸}، ۱۹۶۴). لیرو هوفمن^{۳۹۹} (۱۹۶۷) شواهدی را ذکر کرده اند که در آنها اختلاف درجه حرارت موجب بوجود آمدن تغییراتی در شکل ظاهری ریشه ها گردیده است نامبردگان فوق هم چنین گزارش کرده اند که در حقیقت درجه حرارت

395—Brouwer

396— Davis and Lingle

397— Xeromorphic

398— Brouwer and Hoogland

399—Lye and Hoffman

مطلوب رشد ریشه در آزمایشات کوتاه مدت ($20^{\circ}C$) به مراتب بالاتر از درجه حرارت معمولی خاک است. به عقیده هلمرز^{۴۰۰} (۱۹۶۳) درکاج جفری^{۴۰۱} درجه حرارت مطلوب برای رشد ریشه کمتر از حرارت مطلوب برای رشد ساقه است.

ریچاردز و همکاران در کتاب شاو^{۴۰۲} (۱۹۵۲) خلاصه‌ای از اطلاعات اولیه موجود پیرامون رشد ریشه را ارائه داده‌اند.

مواد معدنی، غلظت املاح و اسیدیته:

اهمیت تأثیر اسیدیته و غلظت انواع یونها بر رشد ریشه به خوبی روشن است. فراوانی بعضی عناصر الزامی از قبیل فسفر و ازت رشد ریشه را تشدید می‌کند ولی چون تأثیر این عناصر بر رشد شاخ و برگ بیشتر است لذا نسبت ساقه به ریشه در اراضی حاصلخیز کمتر از اراضی نامرغوب است. گرچه تأثیر برخی یونهای بخصوص به حد کافی شناخته نشده است ولی معلوم شده است که فسفر رشد ریشه را تشدید نموده و کمبود بروکلسیم در محیط ریشه موجب پیدایش انشعابات خشبی و از بین رفتن قسمت رأس ریشه‌ها می‌گردد. عدم نفوذ عمقی ریشه‌ها در برخی از خاکها بیش از آنکه به دلیل مقاومت مکانیکی و یا تهویه ناکافی باشد بستگی به کمبود مواد غذایی دارد. بنابراین، اغلب اتفاق می‌افتد که شخم زیرزمینی (بهم زدن خاک در لایه‌های زیرین) نفوذ ریشه‌ها را افزایش نخواهد داد مگر آنکه همراه با افزایش مواد غذایی باشد (بوشنل^{۴۰۳}، ۱۹۴۱؛ دی‌رو^{۴۰۴}، ۱۹۶۱؛ پولمن^{۴۰۵}، ۱۹۴۶).

400— Hellmers

401— Jeffrey pine

402— Shaw

403— Bushnell

404— De Roo

405— Pohlman

تأثیر کلسیم و بربر رشد ریشه مستقیم است و برای رشد گیاه لازم است که این عناصر مستقیماً در محیط ریشه وجود داشته باشند. هینس و رابینز^{۴۰۶} (۱۹۴۸) دریافته‌اند که اگر قسمتی از سیستمهای ریشه در محلول غذایی کامل و قسمت دیگر در محلولی که فاقد کلسیم است قرار گیرد ریشه‌های قسمت اخیر از بین می‌روند. اگر به یک قسمت از سیستمهای ریشه‌ای بر افزوده گردد قسمت دیگر بدون آنکه رشدی داشته باشد به حیات خود ادامه می‌دهد. ظاهراً کلسیم و بر قادر نیستند در سیستم ریشه‌ای از نقطه‌ای به نقطه دیگر انتقال یابند. علاوه بر تأثیر بخصوص هریک از یونها مسأله تأثیر اسمتیک آنها نیز در میان است. با افزایش پتانسیل اسمتیک محیط تقسیم و رشد سلولی کاهش یافته و در نتیجه رشد ریشه نیز تقلیل پیدامی‌کند (گزنالس - برنالdez و همکاران^{۴۰۷}، ۱۹۶۸).

در مناطق خشك سراسر جهان که آبیاری مرسوم است تجمع نمك در خاك تاحدی پیش می‌رود که غلظت آن بیش از مقدار مورد نیاز برای رشد مغاوب گیاه گردد (به فصل سوم مراجعه شود). در نتیجه اراضی زیادی غیر بارور گشته و یا مبدل به کویر می‌گردند.

اثرات مستقیم زیادی نمك بر جذب آب در فصل ششم بحث شده است ولی تأثیر آن بر رشد ریشه نیز قابل توجه است. غلظت زیاد نمك رشد ریشه را کند و یا متوقف و تکامل گیاه را به تأخیر می‌اندازد. این حالت در ریشه‌های خواب رفته که قسمت رأس آنها چوب‌پنبه‌ای شده اتفاق می‌افتد (هیوارد و بلیر^{۴۰۸}، ۱۹۴۲). بین گونه‌های مختلف از نظر

406— Haynes and Robbins

407— Gonzalez - Bernaldez et al

408— Hapward and Blair

مقاومت در مقابل نمکها تفاوتهای فراوان وجود دارد. وادلایت، گوش و استرونک^{۴۰۹} (۱۹۴۷) گیاهان-زراعتی را در خاکهایی بامقادیر متفاوت نمک رویانده و مشاهده کرده‌اند که تعداد ریشه‌های لوبیا که در خاکهای باغلظت ۲/۰ درصد نفوذ کرده‌اند اندک بوده‌است ولی بعضی ریشه‌های یونجه در خاکهای حاوی ۲۵/۰ درصد کلرور سدیم نیز نفوذ کرده و تعداد ریشه‌های پنبه در این خاکها زیاد بوده‌است. دلایل فیزیولوژیکی این تفاوتها هنوز روشن نشده‌است.

گرچه به اسیدیتة خاک توجه زیادی مبذول می‌گردد ولی از نظر ترتیب عوامل دیگر مهمتر به‌شمار می‌آیند. احتمالاً اثر مستقیم اسیدیتة بر رشد ریشه اندک است. البته این تاجائی است که موجب نشود مواد غذایی برای گیاه غیر قابل دسترس شده و یا با افزایش قابلیت حل عناصری از قبیل آلومینیم و منگنز غلظت آنها به حدی برسد که برای گیاه سمی گردند. هوول^{۴۱۰} (۱۹۳۲) دریافته‌است که کاج پاندروزا از pH معادل ۲/۷ تا ۱۱ به رشد خود ادامه داده و حد مطلوب آن ۳ تا ۶ می‌باشد گس و چپمن^{۴۱۱} (۱۹۴۴) گزارش کرده‌اند pH کمتر ۴ تا بالاتر ۹ خساراتی به ریشه‌های پرتقال شیرین وارد می‌سازد. البته اثرات غیر مستقیم آن را در این دو حد مشاهده کرده‌اند. آرنون و جانسون^{۴۱۲} (۱۹۴۲) نیز نتیجه گرفته‌اند که هر pH بین ۴ تا ۸ بر رشد گیاه اثرات ناچیز دارد.

نور

باتوجه به این که اکثر ریشه‌ها در تاریکی رشد می‌نمایند. نور از

409— Wadleigh, Gauch and strong

410— Howell

411— Guest and Chapman

412— Arnon and Johnson

عوامل مؤثر در محیط ریشه به شمار نمی آید. البته وجود نور ضعیف در محیطهای کشت برای رشد انواع ریشهها الزامی است و این ظاهراً به این دلیل است که نور برای ساختن مواد تنظیم کننده رشد ضروری است. کاج از این قاعده مستثنی بوده و ریشههای آن در تاریکی بهتر رشد می نمایند (بارنس و نیلور^{۴۱۳} ۱۹۵۹). معمولاً تأثیر نور بر ریشههای فرعی هیچ یا بسیار جزئی است. هنگامی که ریشهها در معرض نور قرار گیرند در آنها کاروفیل بوجود آمده و حتی عمل فتوسنتز را نیز انجام می دهند (فادیل^{۴۱۴}، ۱۹۶۳).

رقابت و واکنشهای ریشه

اندازه سیستمهای ریشهای به هنگام رقابت با سیستمهای دیگر به شدت تقلیل پیدا می کند برای مثال، پاولیچنکو^{۴۱۵} (۱۹۳۷) گزارش کرده است که سیستمهای ریشهای گندم و جو که در محیطهای باز کاشته شوند ۱۰۰ برابر سیستمهای ریشهای گیاهانی است که در ردیفهای ۱۵ سانتی متری کشت گردند. به نظر می رسد اثر رقابت بر رشد ریشهها بیش از ساقهها است. چمن و گونههای دیگر نباتات علوفه ای احتمالاً به دلیل رقابت ازت موجب کاهش رشد سیستمهای ریشهای درختان می گردند (ریچاردسون^{۴۱۶} ۱۹۵۳). هم چنین گزارش شده است که چمن موجب تخلیه اکسیژن و افزایش اکسید کربن خاک شده و به این ترتیب مانع رشد ریشههای درختان می گردند (هوارد^{۴۱۷}، ۱۹۲۵؛ مک کمپ و لومیس^{۴۱۸}،

413— Barness and Naylor

414— Fadeel

415— Pavlychenko

416— Richardson

417— Howard

418— McComp and Loomis

(۱۹۴۴). مشاهدات لی فورد و ویلسون^{۴۱۹} (۱۹۶۴) و دیگران دلالت بر این دارند که وجود برخی مکانیسمها موجب می گردد عده ای از گونه ها نتوانند خیلی مجاور یکدیگر رشد نمایند.

قرنها تصور می شد برخی گونه ها رشد گیاهان مجاور را تشدید و برخی دیگر رشد آنها را کاهش می دهد. قبلاً گفته می شد رشد تاکهای انگور در مجاورت ناوون قرمز بهتر صورت می گیرد یا این که کشت مخلوط انواع غلات بهتر از کشت جداگانه هر کدام از آنها است. در صورتی که گردوی سیاه^{۴۲۰} موجب عدم رشد گیاهان مجاور می گردد. اثر منفی حبوبات در مجاورت گیاهان دیگر را می توان به دلیل افزایش ذخیره ازت دانست ولی برخی اثرات دیگر را مشکل بتوان توضیح داد. ایوناری^{۴۲۱} (۱۹۶۱)؛ لوهوینک^{۴۲۲} (۱۹۳۷)؛ میلر^{۴۲۳} (۱۹۳۸)، صفحات ۹۶۴ تا ۱۷۴؛ اورلند^{۴۲۴} (۱۹۶۶)؛ پاتریک و همکاران^{۴۲۵} (۱۹۶۴) و وودز^{۴۲۶} (۱۹۶۰) مطالب بسیار زیادی را که در این مورد نوشته شده است بررسی کرده اند. هم چنین بیکر و اشنایدر^{۴۲۷} (۱۹۶۵) مقالات سمپوزیمی در این مورد را گردآوری کرده اند که می توان از آن به عنوان مرجعی در برخی مسائل استفاده کرد.

تأثیر مضر گیاهان یا نباتات زراعتی بر روی گیاهانی که در مجاورت

419— Lyford and Wilson

420— black walnut (*Juglans nigra* L.)

421— Evenari

422— Loehwing

423— Miller

424— Overland

425— Patrick et al

426— Woods

427— Baker and Snyder

یا پس از آنها کشت گردد به دلایل زیر است . (۱) جذب آب و مواد غذایی به وسیله گیاهان اول ، (۲) ترشح مواد سمی از ریشه و برگهای گیاهان اول و (۳) تولید مواد سمی در طی زمان پوسیدگی . در کانزاس ، در مناطقی که رطوبت خاک کم است ، مقدار محصول گندمهای زمستانی که در تناوب پس از ذرت خوشه‌ای کشت شده باشند کمتر از محصول گندمی است که پس از ذرت کشت شده باشند . مایرز و هالستد^{۴۲۸} (۱۹۴۲) دلیل این موضوع را تخلیه زیاد آب توسط ذرت خوشه‌ای ذکر کرده‌اند . گرچه تخلیه ازت و مواد غذایی دیگر ممکن است در برخی موارد عوامل محدودکننده رشد باشد ولی بعید بنظر می‌رسد که کاهش محصول در تناوب فقط به دلیل تخلیه مواد غذایی باشد .

برخی بر این عقیده‌اند که مواد حاصله از پوسیدگی بقایای محصول برای گیاهانی که در آن خاکها می‌رویند سمی است . این وضعیت ممکن است به عنوان تأثیر مستقیم مواد سمی حاصله از پوسیدگی و یا به عنوان تأثیر غیر مستقیم در اثر تخلیه ازت توسط موجودات ذره‌بین که عمل پوسیدگی را انجام می‌دهند در نظر گرفته شود . هم‌چنین بنظر می‌رسد در این مورد بین گونه‌های مختلف تفاوت‌های فاحش وجود داشته باشد . مثلاً جینز^{۴۲۹} (۱۹۵۵) گزارش کرده است که ریشه‌های کاهو رپیاز که بعد از ذرت شیرین کشت می‌شوند به سختی صدمه دیده و به این جهت رشد گیاه متوقف می‌گردد در صورتی که در مورد چغندر ریشه‌ها طبیعی بوده است مثال دیگر می‌توان کاهش رشد چمن دروغی^{۴۳۰} را ذکر کرد (زولبانک^{۴۳۱} ، ۱۹۶۳) . ازجائی که

428— Myers and Hallsted

429— Janes

430— Quack grass (*Agropyron repens* L.)

431— Welbank

بقایای محصولات مختلف رشد موجودات ذره‌بینی مختلفی را تشدید می‌نماید (پاتریک و توسون^{۴۳۲}، ۱۹۶۵) خود می‌تواند یکی از عوامل مؤثر بر افزایش محصولات در تناوب باشد.

در مورد این که برخی گیاهان موادی را تولید نمایند که برای گیاهان مجاور سمی باشد گزارشات متعددی منتشر شده است. پلینی گزارش کرده است که درخت گردو برای سبزیجات مجاور زیان‌آور است گفته می‌شود این وضعیت به دلیل تولید ماده‌ای بنام جوگون^{۴۳۳} در ریشه‌های گردو است (گریس^{۴۳۴}، ۱۹۴۳). بونر^{۴۳۵} (۱۹۴۶) دریافته است که موادمترشحه از درختان گیول^{۴۳۶} برای نهال جوان همین‌گونه سمی است. همیلتن و بوچهولت^{۴۳۷} (۱۹۵۵) گزارش کرده‌اند که ریشه‌های زنده در ریزوم چمن دروغی با تولید مواد سمی مانع رشد علفهای دیگر می‌گردند. بامثالهای فوق و مشاهدات مشابه دیگر می‌توان نتیجه گرفت که رقابت در موارد گوناگون از طریق تولید مواد سمی صورت می‌گیرد (به‌کیور^{۴۳۸}، ۱۹۵۰ و مولر^{۴۳۹}، ۱۹۶۶ مراجعه شود).

یکی از مشکلات مربوط به این حالت جایگزینی درختان میوه است. مثلاً هنگامی که مرکبات یا هلو جایگزین درختان فرسوده می‌گردند رشد آنها چندان رضایت‌بخش نیست (مارتین^{۴۴۰}، ۱۹۵۰؛ پاتریک و توسون^{۴۴۱}،

432— Patrick and toussoun 433— juglone

434— Gries 435— Bonner

436— Guayule plants (Parthenium argentatum L.)

437— Hamilton and Buchholtz 438— Keever

439— Muller 440— Martin

441— Patrick and toussoun

۱۹۶۵). ضد عفونی خاک برعایه نماتد و دیگر آفات تا اندازه‌ای موجب بهبود رشد گیاه گشته ولی مشکل را به‌طور کامل برطرف نمی‌سازد. پروبستینگ و گیامور^{۴۴۲} (۱۹۴۱) عقیده دارند که پوسیدگی ریشه‌های هلو موجب تولید مواد سمی می‌گردد. این مسأله پیچیده از نظر اهمیت اکولوژیکی بیماری‌زائی آن نیاز به پژوهشهای بیشتری دارد.

حتی ریشه‌های سالم نیز مقادیر زیادی مواد آلی درخاک تولید می‌نمایند (استریت^{۴۴۳}، ۱۹۶۶). ترشح برخی مواد به‌طور مستقیم بوده و برخی دیگر از طریق مرگ و پوسیدگی کلاهک ریشه‌های نازک و ساوئلهای پوستی یا اپیدرمی که به‌هنگام رشد ثانوی از ریشه جدا می‌شوند به‌وجود می‌آیند (بورستروم^{۴۴۴}، ۱۹۶۵ لاندیگراد و استنلید^{۴۴۵}، ۱۹۴۶).

روویرا^{۴۴۶} (۱۹۶۵) لیستی از مواد مترشح ریشه را تنظیم کرده است که شامل ۱۰ نوع قند، ۲۳ نوع اسیدآمین، ۱۰ نوع ویتامین و اسید آلی مختلف، مواد بیرنگ و آنزیم است، گرچه ریشه فاقد ساختمان غده‌ای شبیه آنچه در برگها مشاهده می‌شود می‌باشد ولی می‌تواند قطرات مایع را که احتمالاً محتوی اجسام حل‌شدنی است ترشح نماید (هید^{۴۴۷}، ۱۹۶۵) مواد مختلفی که از ریشه ترشح شده و وارد ریزوسفر می‌گردند بر روی موجودات ذره‌بینی اثر قابل ملاحظه‌ای داشته و به‌توبه خود بر محیط ریشه مؤثر است (کاتزنلسون و همکاران^{۴۴۸}، ۱۹۶۲، روویرا^{۴۴۹}، ۱۹۶۵). هنگامی که مقدار مواد معدنی خاک محدود باشد این موجودات

442— Proebsting and Gilmore

443— Street

444— Burstrom

445— Lundegradh and Stenlid

446— Rovira

447— head

448— Katznelson et al

449— Rovira

از نظر جذب مواد غذایی مورد لزوم باریشه‌های گیاه به رقابت برمی‌خیزند.

خلاصه

نقش ریشه‌ها در جذب آب و مواد معدنی و تکیه‌گاهی گیاه به‌خوبی شناخته شده‌است ولی به‌نقش سازندگی آن باید توجه بیشتری مبذول گردد. در ریشه بعضی از گونه‌ها ازت معدنی به‌ازت آلی تبدیل می‌گردد. علاوه براین در ریشه مواد آلی دیگر از جمله آلکالوئیدها مثل نیکوتین، آکسین، سیتوکینین، جیبرلین و احتمالاً هورمونهای مورد نیاز ساقه‌ها تولید می‌گردد. در عوض رشد ریشه بسته به تأمین کربوهیدراتها، آکسین و برخی از ویتامینهای ساقه‌است.

اکثر دانشمندان گیاه‌شناس براین عقیده‌اند که اهم سطوح جذب کننده در ریشه‌های جوان متمرکز است ولی ریشه‌های چندساله خشبی نیز دارای سطوح جذب کننده می‌باشند قبلاً تصور می‌شد که ورود آب و نمک به‌داخل ریشه از طریق واکوئولها صورت می‌گیرد ولی به‌نظر می‌رسد حداقل در لایه اندودرمی، ورود آب و مواد معدنی به‌داخل ریشه از مسیر جدارهای سلولی انجام می‌شود. از ترکیب سیستمهای ریشه‌ای و قارچ مایکوریزا تولید می‌شود که قدرت ریشه را در جذب مواد معدنی بخصوص فسفر بهتر می‌سازد.

نوع سیستم ریشه‌ای در هر گونه بستگی به توانائی ارثی آن گونه دارد. در نتیجه گونه‌های مختلفی که در یک نوع خاک می‌رویند سیستمهای ریشه‌ای متفاوتی مثل ریشه‌های عمودی، ریشه منشعب درشت و ریشه‌های فیبری سطحی پیدا می‌نمایند. در نواحی معتدل رشد ریشه در خاکهای نهویه‌شده به‌وسیله رطوبت و دمای خاک کنترل می‌گردد. قسمت اعظم رشد ریشه در بهار و اوایل تابستان که رطوبت در حد مطلوب است و یا

در اوایل پاییز پس از بارندگی صورت می‌گیرد. کمبود آب در اواسط تابستان و سردی خاک در زمستان رشد ریشه را متوقف می‌سازد. شواهد موجود نشان می‌دهند که صرف نظر از عوامل محیطی برخی از عوامل درونی نیز بر دوره‌ای بودن رشد ریشه مؤثرند. شواهدی نیز در دست است که ریشه‌های يك نوع گیاه با ترشح مواد سمی بر رشد ریشه‌های گیاهان مجاور مؤثر است. گیاهانی که در تناوب جانشین همدیگر می‌شوند نیز با تولید مواد سمی در طی زمان پوسیدگی یا تخلیه مواد غذایی بر رشد همدیگر مؤثرند.

تعداد سؤالات بی‌جواب نیز زیاد است. برای مثال عامل کنترل‌کننده عمق ریشه کدام است؟ آیا گونه‌هائی که ریشه عمقی دارند در مقابل کمبود هوای خاک مقاوم‌تر از گونه‌هائی هستند که ریشه‌شان سطحی است؟ دلیل رشد شعاعی ریشه چیست و چرا برخی ریشه گیاهان تولید انشعابات صعودی نموده و سپس در سطح خاک توده‌ای نمدی شکل از ریشه‌های کوچک به وجود می‌آید؟ در مورد نحوه تولید ریشه در گیاهانی نشائی اطلاعات زیادتری مورد نیاز است. این موضوع بستگی به چه زمانی از سال دارد و آیا نوع مواد غذایی معدنی و یا عملیات داشت قبل از نشاکاری تا چه میزان بر آن مؤثرند؟ آیا مواد تنظیم‌کننده رشد ساقه از قبیل سیتوکینینها و جیبرلینها از ریشه تأمین می‌گردند؟ و اگر چنین است قسمتی از اثرات نامطلوب دمای خاک و کمبود تهویه ممکن است بر فعالیت‌های سازندگی ریشه مؤثر باشند.