بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده کشاورزی

گروه زراعت و اصلاح نباتات

تاثیر میکوریز بر مقاومت به خشکی در یونجه

استاد راهنما:

دکتر علی عبادی

استاد مشاور:

دکتر سدابه جهان بخش گده کهریز

توسط:

مهناز ظفری

دانشگاه محقق اردبیلی

تابستان ۱۳۹۰

تاثیر میکوریز بر مقاومت به خشکی در یونجه

توسط

مهنازظفری

پایان نامه برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته زراعت

از

دانشگاه محقق اردبیلی

اردبیل- ایران

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان نامه با درجه

دکتر علی عبادی(استاد راهنما و رئیس کمیته).....دانشیار

دکتر محمد صدقی (داور داخلی) . . . . . دانشیار

د کتر سدابه جهان بخش (استاد مشاور).....استادیار

تابستان ۹۱

«من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق»

بار الها! اکنون که مرحله ناچیزی از مراحل صعود در پله های علم و دانش را طی نموده‌ام، خود را کوچکتر از آن می‌بینم که حرکتی به خود نسبت دهم، چرا که اگر تو نمی‌خواستی من هیچ نبودم، اما اکنون که تو خواستی سپاس تو راست و امید آن را دارم که در راه تو قوی‌تر از همیشه گام بردارم و جز حقیقت و راستی نپویم.
سپاس بیکران بر همدلی و همراهی و همگامی مادر دلسوز و مهربانم که سجده ی ایثارش گل محبت را در وجودم پروراند و دامان گهربارش لحظه های مهربانی را به من آموخت. از خانواده مهربانم که با دیباچه روشن نگاهشان راه را بر من آسان و امید را بر من سرازیر کردند، صمیمانه تشکر می‌نمایم.

مراتب تشکر خالصانه خود را تقدیم می‌دارم به آقای دکتر علی عبادی که شاگردی ایشان افتخار همیشه من خواهد بود. از تمامی زحمات و راهنمایی‌های بی‌دریغ ایشان تشکر می‌کنم.

از استاد گرامی خانم دکتر سدابه جهان‌بخش که همواره از هیچ‌گونه کمکی دریغ نمی‌کردند، سپاسگذارم.

از جناب آقای دکتر محمد صدقی که زحمت بازخوانی و داوری پایان نامه را بر عهده داشتند، کمال تشکر را دارم.

از مسؤلین آزمایشگاه آقای آردن و آقای آقازاده که با صبر و حوصله در کارهای آزمایشگاهی یاری می‌کردند و

از دوستان محترم بخصوص آقای مهندس محسن سعدلو که در انجام این پژوهش در کارهای گلخانه و

آزمایشگاه نهایت زحمت را کشیدند کمال تشکر و قدردانی را دارم و از خداوند مهربان کامیابی این دوستان را

آرزومندم.

با آرزوی سعادت و شادکامی برای تمامی این عزیزان

نام خانوادگی دانشجو: ظفری نام: مهناز

عنوان پایان نامه: تاثیر قارچ میکوریز آربوسکولار در مقاومت به خشکی در یونجه

استاد راهنمای اول: دکتر علی عبادی استاد مشاور: دکتر سدابه جهان بخش گده کهریز

مقطع تحصیلی: کارشناسی‌ارشد رشته : مهندسی کشاورزی گرایش : زراعت دانشگاه : محقق‌اردبیلی

دانشکده: کشاورزی تاریخ فارغ التحصیلی : / ۱۳۹۱/۶ تعداد صفحه: ۹۳

کلید واژه ها: یونجه، خشکی، تلقیح بذر با میکوریز و ریزوبیوم، روابط آبی، عملکرد کوانتـومی، متابولیـت-های سازگاری

چکیده:

به منظور بررسی تاثیر قارچ میکوریز بر برخی از ویژگی‌های فیزیولوژیک ، مورفولوژیک و بیوشیمیایی یونجه رقم همدانی تحت شرایط کم‌آبی آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کاملا تصادفی در سه تکرار و به صورت گلدانی در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۰ اجرا شد. تنش کم‌آبی در سه سطح ۳۵، ۵۵ و ۷۵ درصد ظرفیت مزرعه‌ای و تیمارها در چهار سطح تلقیح شاهد(عدم تلقیح)، میکوریز، ریزوبیوم، میکوریز + ریزوبیوم (تلقیح دوگانه) روی بذور یونجه در گلدان اعمال گردید. نتایج نشان داد که با افزایش سطوح خشکی، میزان عناصر فسفر، آهن، پتاسیم، مقاومت روزنه‌ای، پتانسیل اسمزی، محتوای رطوبت نسبی، کلروفیل، فلورسانس کلروفیل، پایداری غشا، سطح برگ، طول ساقه، وزن خشک ریشه و اندام هوایی و حجم ریشه کاهش یافت، در صورتی‌که سدیم، میزان پرولین، قندهای محلول، درصد خسارت غشای سلول ، کارایی مصرف آب و طول ریشه به طور معنی‌داری افزایش نشان داد. بیشترین مقاومت به تنش کم‌آبی در حضور تلقیح دوگانه به دست آمد که به دلیل اثر سینرژیستی میکوریز و ریزوبیوم بود که با افزایش جذب آب و عناصر غذایی بخصوص N, P, K (که عناصر ضروری گیاه هستند) و افزایش تولید متابولیتهای سازگاری مانند پرولین و قندهای محلول (که به دو دلیل عمده اثر هورمونی و تاثیر عناصر می‌باشد)می‌تواند در برابر خشکی مقاومت کند.

فهرست اشکال

عنوان ..... **صفحه**

فصل اول

۱-۱-تاریخچه و خاستگاه یونجه: ۱

۱-۲- صفات گیاهشناسی یونجه: ۱

۱-۳- اهمیت یونجه: ۲

۱-۴- سازگاری با شرایط محیطی: ۳

۱-۵- نیازهای غذایی: ۴

۱-۶- شاخص های ارزیابی تحمل به خشکی: ۵

۱-۷- تاثیر تنش کم‌آبی در کیفیت علوفه: ۶

۱-۸- اثرتنش کم‌آبی برروی خصوصیات مرفولوژی یونجه: ۷

۱-۹- تنش کم‌آبی و تغییرات وضعیت آبی گیاه: ۹

۱-۹-۱- کارایی مصرف آب: ۹

۱-۹-۲- تغییرات محتوای نسبی آب در اثر کم آبی: ۱۰

۱-۱۰- تاثیر تنش کم آبی در پتانسیل اسمزی: ۱۱

۱-۱۱- اثر تنش کم آبی بر هدایت روزنه ای: ۱۲

۱-۱۲- تنش کم‌آبی و فلورسانس کلروفیل: ۱۳

۱-۱۳- تنش کم‌آبی و تغییرات در نشتی غشا: ۱۴

۱-۱۴- تنش کم‌آبی و انباشت متابولیتهای سازگاری: ۱۵

۱-۱۵- تغییرات میزان عناصر در شرایط تنش کم آبی: ۱۷

۱-۱۶- اثر کم آبی بر میزان کلروفیل: ۱۸

۱-۱۷- اثر تنش کم آبی در میزان پروتئینهای گیاه: ۱۹

۱-۱۸- روابط بین گیاه و قارچهای میکوریز: ۱۹

۱-۱۹- اثرات عوامل محیطی بر همزیستی میکوریزی ۲۱

۱-۲۰- سودمندی رابطه همزیستی میکوریزی برای گیاه ۲۳

۱-۲۱- نقش رابطه همزیستی میکوریزی در جذب عناصر غذایی ۲۵

۱-۲۲- تاثیر قارچهای وزیکولار آربوسکولار در مقابله با تنشهای محیطی ۲۶

۱-۲۳- باکتریهای محرک رشد گیاه ۲۹

فصل دوم : مواد و روش‌ها

۲-۱- آماده سازی خاک مورد آزمایش..... ۳۲
۲-۲- اندازه‌گیری صفات ریشه: ۳۲
۲-۳- سطح برگ..... ۳۳
۲-۴-کارایی مصرف آب گیاه: ۳۳
۲-۵- مقاومت روزنهای: ۳۳
۲-۶-فلورسانس کلروفیل:..... ۳۳
۲-۷-پتانسیل اسمزی: ۳۳
۲-۸-رطوبت نسبی:..... ۳۴
۲-۹- اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی: ۳۴
۲-۱۱-اندازه‌گیری میزان پرولین آزاد وکربوهیدراتهای محلول:..... ۳۷
۲-۱۲-اندازه‌گیری میزان عناصر اندامهای هوایی: ۳۸
فصل سوم: نتایج و بحث
۳-۱- اثر تلقیح بذر و تنش کمآبی بر روی غلظت عناصر در اندام هوایی یونجه ۴۰
۳-۲- اثر تلقیح بذر و تنش کمآبی بر روی صفات مورفولوژیک یونجه..... ۴۴
۳-۲-۱- سطح برگ و ارتفاع ساقه:..... ۴۴
۳-۲-۲- وزن خشک اندام هوایی: ۴۸
۳-۲-۳- وزن خشک ریشه:..... ۴۹
۳-۲-۴- حجم ریشه:..... ۵۰
۳-۲-۵- طول ریشه:..... ۵۱
۳-۳- اثر تلقیح بذر و تنش کمآبی بر روی صفات فیزیولوژیک یونجه ۵۳
۳-۳-۱- پتانسیل اسمزی، پرولین و قندهای محلول:..... ۵۴
۳-۳-۲- هدایت روزنه: ۵۹
۳-۳-۳- غلظت کلروفیل و رنگیزه‌های فتوسنتزی:..... ۶۰
۳-۳-۴- عملکرد کوانتومی :..... ۶۴
۳-۳-۵-RWC:..... ۶۵
۳-۳-۶- نشتی و پایداری غشا:..... ۶۶
۳-۳-۷-WUE :..... ۶۸
۳-۳-۸- پروتئینهای محلول برگ:..... ۶۹
نتیجه‌گیری کلی و پیشنهادها : ۷۱
منابع ۷۳

فهرست اشکال

عنوان ..... صفحه

شکل ۳- ۱- مقایسه میانگین ترکیب تلقیح بذر یونجه و سطوح تنش کم‌آبی در پتاسیم ۴۱
شکل ۳- ۲- مقایسه میانگین ترکیب تلقیح بذر یونجه و سطوح تنش کم‌آبی درفسفر ۴۲
شکل ۳- ۳ - مقایسه میانگین ترکیب تلقیح بذر یونجه و سطوح تنش کم‌آبی درآهن ۴۲
شکل ۳- ۴ -مقایسه میانگین ترکیب تلقیح بذر یونجه و سطوح تنش کم‌آبی درسدیم ۴۳
شکل ۳- ۵- مقایسه میانگین ترکیب تلقیح بذر یونجه و سطوح تنش کم‌آبی درسطح برگ ۴۷
شکل ۳- ۶- مقایسه میانگین ترکیب تلقیح بذر یونجه و سطوح تنش کم‌آبی در ارتفاع ۴۸
شکل ۳- ۷- مقایسه میانگین ترکیب تلقیح بذر یونجه و سطوح تنش کم‌آبی در وزن خشک اندام هوایی ۴۹
شکل ۳- ۸- مقایسه میانگین ترکیب تلقیح بذر یونجه و سطوح تنش کم‌آبی در وزن خشک ریشه ۵۰
شکل ۳- ۹- مقایسه میانگین ترکیب تلقیح بذر یونجه و سطوح تنش کم‌آبی درحجم ریشه ۵۱
شکل ۳- ۱۰- مقایسه میانگین ترکیب تلقیح بذر یونجه و سطوح تنش کم‌آبی در طول ریشه ۵۲
شکل ۳- ۱۱- مقایسه میانگین ترکیب تلقیح بذر یونجه و سطوح تنش کم‌آبی در قندهای محلول ۵۴
شکل ۳- ۱۲- مقایسه میانگین ترکیب تلقیح بذر یونجه و سطوح تنش کم‌آبی در پرولین ۵۶
شکل ۳- ۱۳- مقایسه میانگین تلقیح بذر یونجه و سطوح تنش کم‌آبی در پتانسیل اسمزی ۵۹
شکل ۳- ۱۴- مقایسه میانگین تلقیح بذر یونجه و سطوح تنش کم‌آبی در هدایت روزنه ۶۰
شکل ۳- ۱۵- مقایسه میانگین ترکیب اثرات اصلی تلقیح بذر یونجه و سطوح تنش کم‌آبی در غلظت کلروفیل ۶۲
شکل ۳- ۱۶- مقایسه میانگین ترکیب تلقیح بذر یونجه و سطوح تنش کم‌آبی در رنگیزه‌های فتوسنتزی و محتوای کلروفیل کل ۶۴
شکل ۳- ۱۷- مقایسه میانگین ترکیب تلقیح بذر یونجه و سطوح تنش کم‌آبی در عملکرد کوانتومی ۶۵
شکل ۳- ۱۸- مقایسه میانگین ترکیب تلقیح بذر یونجه و سطوح تنش کم‌آبی در آب نسبی برگ ۶۶
شکل ۳- ۱۹- مقایسه میانگین ترکیب تلقیح بذر یونجه و سطوح تنش کم‌آبی در پایداری غشا ۶۸
شکل ۳- ۲۰- مقایسه میانگین ترکیب تلقیح بذر یونجه و سطوح تنش کم‌آبی بر کارایی مصرف آب ۶۹
شکل ۳- ۲۱ -مقایسه میانگین ترکیب تلقیح بذر یونجه و سطوح تنش کم‌آبی درپروتئین محلول برگ ۷۰

فهرست جداول

عنوان..... صفحه

جدول ۳- ۱- تجزیه واریانس اثر تیمار و تنش کم‌آبی در برخی عناصر اندام هوایی یونجه..... ۴۰
جدول ۳- ۲- تجزیه واریانس اثر تیمار و تنش کم‌آبی در برخی صفات مورفولوژیک یونجه..... ۴۴
جدول ۳- ۳- تجزیه واریانس اثر تیمار و تنش کم‌آبی در برخی صفات فیزیولوژیک یونجه..... ۵۰

فصل اول

مقدمه و مروری بر منابع

۱-۱-تاریخچه و خاستگاه یونجه:

یونجه (*Medicago sativa* L.) یکی از قدیمی‌ترین گیاهان علوفه‌ای روی زمین است که مرکز اولیه پیدایش آن جنوب شرقی آسیا و احتمالا ایران می‌باشد. یونجه‌های مناطق معتدل و گرم مربوط به مناطق مرکزی جنوبی ایران بوده و یونجه‌های مخصوص مناطق سرد از مناطق شمالی و شمال غربی ایران قدیم به وجود آمده است (ترکیه و قفقاز). یونجه در زمان خشایار شاه از ایران ابتدا به یونان و سپس به سایر مناطق جهان انتقال یافت (کریمی، ۱۳۷۹). سطح زیر کشت این گیاه در دنیا بالغ بر ۲۰ میلیون هکتار است که تقریبا نصف آن در آمریکا است (یزدی صمدی و عبدمیشانی، ۱۳۷۰).

۱-۲- صفات گیاهشناسی یونجه:

یونجه از گیاهان علوفه‌ای تیره بقولات (پروانه آسا) است (خلیلی، ۱۳۷۰). این تیره مشتمل بر ۶۰۰ جنس و ۱۸۰۰۰ گونه است. جنس یونجه از گیاهان علفی بوده و بیش از ۶۰ گونه دارد که یک سوم آنها چندساله و دو سوم آنها یکساله می‌باشد (هانسون و همکاران، ۱۹۸۸). یونجه گیاهی است دائمی و دارای ریشه عمیق و اصلی که می‌تواند تا عمق ۳۰۰-۲۵۰ سانتی‌متری خاک نفوذ کند (کوچکی، ۱۳۷۲). ریشه یونجه به حالت عمودی و با سرعت رشد زیاد است. متوسط طول ریشه یونجه‌های چندساله حدود ۵/۵ تا ۵/۷ متراست. برگ‌های یونجه از نوع سه برگچه‌ای و هر سه برگچه بوسیله یک دمبرگ نسبتا طویل به نام دمبرگ اصلی به شاخه متصل می‌شود. برگچه در این گیاه تقریبا بیضی و برگچه‌های پایینی دارای دمبرگ فرعی کوتاه و برابر می‌باشند. گل آذین در این گیاه نسبتا کشیده یا دراز بوده و از نوع خوشه‌ای مرکب است. در هر گل آذین تعداد گلها متفاوت بوده و ممکن است از ۱۰ تا ۲۰ عدد تجاوز نماید. رنگ گل‌ها در یونجه‌های چندساله صورتی تا بنفش و در یونجه‌های یکساله زرد می‌باشد. یونجه گیاهی است دگر گرده افشان و گرده افشانی در این گیاه به وسیله زنبورهای عسل و مگاشیل انجام می‌شود. میوه‌های بوجود آمده از این گیاه از نوع نیام بوده و میوه‌ها کوچک به رنگ‌های زرد یا قهوه‌ای است (کریمی، ۱۳۷۹). بذر معمولا زرد یا زرد مایل به قهوه‌ای است. یک کیلوگرم بذر یونجه حدود ۴۸۰ هزار دانه یونجه را شامل می‌شود و وزن هزاردانه آن حدود ۱/۵ تا ۲/۲۵ گرم است (کوچکی، ۱۳۷۲).

۱-۳- اهمیت یونجه:

یونجه ملکه نباتات علوفه‌ای مشهور است. این گیاه به دلیل عملکرد بالا، سازگاری با شرایط مختلف آب و هوایی، غنی بودن از نظر مواد غذایی و افزایش مقدار قابل توجه نیتروژن به خاک، از مهم‌ترین نباتات علوفه‌ای است (کریمی، ۱۳۶۹). به نظر می‌رسد یونجه یکی از مناسبترین گیاهانی است که می‌تواند در مزارع دیم کم بازده و مراتع فقیر استفاده شود (پیمانی فرد و ملک پور، ۱۳۷۳). به طور کلی این گیاه به دلیل دارا بودن خصوصیات زیر حائز اهمیت می‌باشد:

۱- یونجه به دلیل داشتن ریشه‌های عمیق و اینکه پس از استقرار مقاومت ویژه‌ای نسبت به خشکی نشان می‌دهد، بخوبی برای برخی از مناطق دیمزار کشور جهت احیاء و اصلاح مراتع سازگاری دارد (کریمی، ۱۳۶۲).

۲- یونجه علاوه بر تولید علوفه مرغوب به دلیل ویژگی‌هایی مانند قدمت کشت و کار، سطح زیرکشت گسترده آن در دنیا، سازگاری به شرایط ادافیک و اقلیمی مختلف نظیر تحمل دوره‌های خشکسالی طولانی، خاک‌های شور، دماهای بسیار کم و زیاد، تامین نیتروژن مورد نیاز گیاه و افزایش حاصلخیزی خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد (اچ پی ال تی و لق و همکاران، ۱۹۸۸).

۳- ازآنجائیکه یونجه از اقلیم‌هایی با زمستانهای سرد، تابستانهای گرم و خشک و خاک‌های زهکش‌دار و اسیدیته خنثی منشاء گرفته است می‌تواند برای تولید ارقام مقاوم به سرما، گرما، خشکی، شوری و ... منبع خوبی باشد (بحرانی، ۱۳۸۰).

۴- میزان پروتئین یونجه نسبت به سایر علوفه‌ها، بسیار زیاد بوده و به همین دلیل منبع خوب پروتئینی بشمار می‌آید. علاوه بر پروتئین، این گیاه سرشار از انواع ویتامینها و ترکیبات معدنی از قبیل کلسیم است (زرگری، ۱۳۷۰).

۵- توانایی خوبی برای تثبیت بیولوژیک نیتروژن هوا دارد به طوریکه تخمین‌های متفاوتی در مورد سهم تثبیت نیتروژن مولکولی در چرخه نیتروژن از ۴۴ تا ۲۰۰ میلیون تن نیتروژن در سال و با متوسط ۱۴۰ میلیون تن در سال گزارش شده است (شانتارام و ماتو و همکاران، ۱۹۹۷).

۶- با توجه به توانایی این گیاه در ایجاد رابطه همزیستی با ریزوبیومها (سینوریزوبیوم ملیلوتی) و تثبیت نیتروژن در خاک سبب افزایش سطح حاصلخیزی خاک می‌شود، به‌طوریکه معمولا گیاهی که در تناوب زراعی بعد از یونجه قرار گیرد، بازده اقتصادی بسیار خوبی خواهد داشت و جهت افزایش تولید غلات و علوفه در تناوب غلات (Ley- Farming) مورد استفاده قرار می‌گیرند (حیدری شریف آباد، ۱۳۷۶).

۷- در بین نباتات علوفه‌ای، یونجه از نظر کیفیت علوفه و مواد غذایی و میزان انرژی، مطلوب و از گیاهان بسیار خوش‌خوراک می‌باشد و علاوه بر چرای مستقیم دامها، می‌توان به صورت سیلو جهت تامین علوفه زمستانه از آن استفاده کرد (کوکز، ۱۹۹۲).

۱-۴- سازگاری با شرایط محیطی:

یونجه از گیاهان بومی ایران است (کریمی، ۱۳۷۲) و در شرایط آب و هوایی کشور ارقام مختلفی از آن مورد کشت و کار قرار گرفته است که خود بیانگر سازگاری وسیع این گیاه به شرایط کشوراست. گیاه یونجه از سیستم ریشه‌ای قوی برخوردار است که عامل موفقیت آن در مقاومت به کلیه عوامل نامساعد و همچنین استفاده از مواد غذایی زمین به شمار می‌آید. کاشت این گیاه تأثیر مهمی در اصلاح زمین زراعی از راه تهویه، برقراری تناوب و پایین بردن آب سطحی (زهکشی)، افزایش مواد آلی و ازدیاد نیتروژن خاک دارد. یونجه به دلیل داشتن ریشه‌های عمیق و اینکه پس از استقرار مقاومت ویژه‌ای نسبت به خشکی نشان می‌دهد، بخوبی برای برخی از مناطق دیمزار کشور جهت احیاء و اصلاح مراتع سازگاری دارد (کریمی، ۱۳۶۲). یونجه به شرایط نامساعد خاک از جمله خاک‌های اسیدی که کمبود آهک دارند حساس بوده و به مرور از حساسیت آن کاسته می‌شود. یونجه گیاهی است که ریشه آن احتیاج به اکسیژن زیاد خاک دارد، در خاک‌هایی که محدودیت تهویه دارد، خلل و فرج و فضای آن عاری از اکسیژن بوده و رشد این گیاه در چنین خاکی مطلوب نخواهد بود (کریمی، ۱۳۶۹). حداقل دما۷-۳ درجه سانتی‌گراد، حداکثر دمای لازم ۳۵-۳۰ درجه سانتی گراد با pH ۷/۵-۶/۵ و میزان بارندگی بین ۶۰۰-۳۰۰ میلیمتر، شرایطی است که مناطق توسعه یونجه باید از آن برخوردار باشند (بونجمیت و همکاران، ۱۹۹۲). مقاومت گونه‌های مختلف این گیاه در برابر تغییرات دما بسیار زیاد بوده ولی تمامی گونه‌ها در زمان تولید جوانه نسبت به سرما حساس می‌باشند. صفر فیزیولوژیکی آنها در حدود ۱۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. یونجه-هاییکه در مناطق سرد رشد می‌کنند سرمای تا ۶۵ درجه سانتی‌گراد را تحمل می‌کنند. البته در دماهای بسیار پایین ریشه یا طوقه زنده می‌ماند. همچنین یونجه‌هایی که در مناطق گرم رشد می‌نمایند قادر به تحمل گرمای تا ۵۵ درجه سانتیگراد هستند. یونجه در دوران رشد به نور نسبتا زیادی نیاز دارد در صورتی که در محیط کم نور یا سایه قرار گیرند رشد چندانی نخواهد داشت. یونجه گیاهی است روز بلند و تغییر ارتفاع از سطح دریا در رشد ارقام مختلف این گیاه تاثیر چندانی نداشته و تا ارتفاع ۳۰۰۰ متری می‌توانند رشد نمایند (کریمی، ۱۳۷۹). یونجه در مرحله جوانه زنی به شوری حساس است، ولی بعد از رشد و نمو و توسعه ریشه ، مقاومت خوبی نسبت به شوری خاک از خود نشان می‌دهد. خاک‌های لومی-رسی و لومی‌شنی، بهترین خاک‌ها برای یونجه هستند (کریمی، ۱۳۶۹). یونجه را هم در پائیز و هم در بهار می‌توان کشت کرد. در پائیز بایستی زودتر نسبت به کاشت گیاه اقدام نمود تا قبل از رسیدن سرمای

زمستان گیاه به خوبی در خاک مستقر شود. در مناطقی که زمستان‌های سرد دارند بهتر است یونجه در بهار کاشته شود.

۱-۵- نیازهای غذایی:

نیتروژن: یونجه از گیاهانی است که مانند سایر گیاهان این تیره بر روی ریشه آن باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن فعالیت می‌نمایند. در صورت وجود یا فعال بودن این باکتری‌ها در دوران رشد نیازی به افزایش نیتروژن نخواهد بود. یونجه به طور متوسط در هر سال می‌تواند حدود ۷۰ تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به خاک اضافه نماید. با توجه به شرایط محیطی و خاک هنگام کاشت یونجه تا زمان بوجود آمدن و فعال شدن باکتری‌ها حدود ۱۰-۳۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در خاک لازم است.

فسفر: یونجه در دوران رشد به فسفر نیاز زیادی دارد. وجود این ماده مقاومت گیاه را در برابر گرما افزایش داده و در مورد یونجه‌های بذری به افزایش دانه‌های گرده کمک می‌نماید. نیاز سالانه یونجه به فسفر تابع شرایط محیط بوده و ممکن است به ۲۰۰-۱۰۰ کیلوگرم P_2O_5 برسدکه لازم است هر سال در اواخر فصل پائیز به خاک اضافه نمود. این گیاه در برابر کمبود فسفر بسیار حساس بوده و برگ‌های آن به سرعت صورتی شده و پس از مدتی قسمت زیادی از اندام هوایی به رنگ صورتی در می‌آید. این پدیده در مناطق گرم معمولا بیشتر اتفاق می‌افتد.

پتاسیم: یکی از مواد نسبتا ضروری برای این گیاه است. زیرا به افزایش مقاومت گیاه در برابر عوامل بیماری‌زا کمک نموده و همچنین به افزایش قند گیاه کمک خواهد نمود که نتیجه آن خوش خوراکی برای گیاهان خواهد بود. کمبود پتاسیم در این گیاه باعث می‌شود که اطراف برگ‌ها به سرعت تغییررنگ داده و ابتدا زرد و به تدریج به رنگ قهوه‌ای در خواهد آمد و نتیجه آن کاهش فتوسنتز می‌باشد. هر هکتار یونجه در هر سال به ۱۰۰-۷۵ کیلوگرم پتاسیم خالص نیاز دارد. این ماده را نیز همه ساله در فصل پاییز باید به خاک اضافه نمود.

آهک (کربنات کلسیم): در اندام‌های هوایی گیاه مقدار زیاد کلیسم ذخیره می‌گردد. همچنین یونجه گیاهی است که در دوران رشد به آب نسبتا زیادی به خصوص در مناطق گرم نیاز دارد. آبیاری زیاد موجب تغییر pH خاک یا کاهش آن شده که برای تنظیم pH مصرف آهک لازم است. هر هکتار یونجه (یونجه‌های چندساله) تابع شرایط خاک و عوامل محیطی به حدود ۳-۱ تن در هکتار آهک نیاز دارند که قبل از کاشت بذر بایستی این ماده را به طور یکسان در عمق حدود ۲۰ سانتی‌متری در خاک مدفون نمود (کریمی، ۱۳۷۹).

۱-۶- شاخص های ارزیابی تحمل به خشکی:

اغلب در بحث واکنش گیاه در مقابل تنش خشکی از واژه‌هایی نظیر گریز از خشکی، اجتناب از خشکی و تحمل خشکی استفاده می‌گردد و مقاومت گیاه در برابر خشکی توسط بعضی از مکانیسم‌های فوق ایجاد می‌شود. مقاومت‌های متفاوت در مقابل خشکی ناشی از تنوع ژنتیکی گیاهان می‌باشد و انتخاب بر اساس یک عامل، معیار مناسبی در ارزیابی مقاومت نخواهد بود. بنابراین در انتخاب ارقام مقاوم لازم است به شاخص‌های مقاومت به خشکی که موجب تغییراتی در فیزیولوژی، آناتومی و مورفولوژی ارقام می‌گردد توجه شود (عبادی، ۱۳۷۸). تنشهای محیطی از مهمترین فاکتورهای تعیین کننده الگوهای پراکنش گیاهی در سطح جهان می‌باشد و تنش خشکی نیز به سهم خود تعیین کننده بخشی از این پراکنش می-باشد. مقدار آب موجود در خاک برای رشد گیاه دارای یک حد بهینه است و چنانچه آب خاک از این حد کمتر یا بیشتر شود رشد گیاه را کاهش خواهد داد. در بخش وسیعی از جهان که در محدوده مناطق خشک و نیمه خشک قرار دارند، کمبود آب مهمترین عامل محدود کننده رشد گیاهان و تولید محصول به حساب می‌آید (میرحسینی، ۱۹۹۴). کاهش تعداد و سطح برگ در مراحل اول رشد، عامل بسیار مهم برای مصرف آب در مواقع خشکسالی و کم آبی است. تغییر زاویه ی برگ، وضعیت قرار گرفتن آن در مقابل تابش نور، لوله شدن و پژمرده شدن همگی عکس العمل‌هایی به منظور کاهش بار حرارتی و تلفات آب می‌باشد، که نوعی سازش در مقابل شرایط نامساعد محیطی محسوب می‌شود که در تیره گندمیان، کدوئیان و بقولات دیده می‌شود (بالی، ۲۰۰۳). به نظر می‌رسد از جمله تغییراتی که در نتیجه تنش خشکی حاصل می‌شود حجم سلولی کوچکتر، کاهش سطح برگ و افزایش ضخامت برگ است (پسرکلی، ۱۹۹۳). خصوصیات ریشه از مهمترین صفات اولیه در تعیین عکس العمل به خشکی می‌باشد (ازهیری، ۲۰۰۰). نسبت وزن خشک ریشه به بخش هوایی به عنوان یک شاخص مقاومت به خشکی در برنج، سویا و یونجه به کار برده شده است (پالومو و همکاران، ۲۰۰۲). مطالعات زیادی در مورد اثرات تنش خشکی بر روی گیاهان انجام شده است. تغییراتی که در رشد گیاه هنگام خشکی رخ می‌دهد ناشی از تغییرات کاهش پتانسیل آب می‌باشد. کمبود آب سبب کاهش پتانسیل تورگر می‌شود و از آنجاییکه توسعه و رشد سلول وابسته به پتانسیل تورگر می‌باشد، نمو سلولها کاهش و اندازه سلولها کوچکتر می‌گردد (نونامی و همکاران، ۱۹۹۷). پتانسیل اسمزی و تورگر بیشترین تاثیر را بر نحوه عکس العمل گیاه نسبت به کمبود رطوبت دارند. طویل شدن سلول نیاز به فشار تورگر زیادی دارد. در شرایط کمبود آب فعالیت برخی از آنزیمهای هیدرولیز کننده مانند آمیلاز افزایش می‌یابد که این آنزیم باعث تجزیه مولکول‌های پلیمر ذخیره‌ای شده و از طریق ازدیاد میزان مواد محلول در سلول پتانسیل اسمزی را کاهش می‌دهد که باعث می‌شود سلول فشار آماس خود را در سطح بالایی حفظ نماید. این فرآیند، تنظیم اسمزی نامیده می‌شود. توانایی گیاه از نظر تنظیم اسمزی عمدتاً تحت تاثیر محیط رشد قرار می‌گیرد. تنظیم اسمزی یکی از مهمترین مولفه‌های تحمل به خشکی است (لوس و همکاران، ۱۹۹۴). تغییرات کمی و کیفی پروتئین‌ها

در شرایط تنش آب گزارش شده است و شواهد زیادی نشان دهنده ارتباط و تجمع پروتئین‌های ناشی از خشکی و سازگاری فیزیولوژیکی با محدودیت آب می‌باشد (کوراتاوا و همکاران، ۲۰۰۳).

۱-۷- تاثیر تنش کم‌آبی در کیفیت علوفه:

عملکرد وکیفیت علوفه یونجه، تحت تاثیر عوامل ژنتیکی و محیطی قرار می‌گیرد. فاکتورهای ژنتیکی ممکن است تحت تاثیر تنشهای محیطی که از محلی به محل دیگر تغییر می‌کنند، پوشیده بمانند. این تنش‌ها شامل دما، رطوبت، آفات و بیماریها، عناصر سنگین و غیره می‌باشند. مرسوم است که عملکرد را بر حسب وزن ماده خشک (معمولا با درصد رطوبت معین) در هکتار و سال اندازه می گیرند. از جنبه تجاری از خصوصیات ظاهری نظیر رنگ، عاری بودن از بیماری‌ها و همچنین کل مواد قابل هضم (TDN[1]) و درصد پروتئین برای درجه‌بندی و تعیین ارزش علوفه خشک یونجه استفاده شده است. محدودیت‌های بسیاری برای عملکرد این گیاه وجود دارد و عوامل کوتاه‌مدت و بلندمدت محیطی حاکم بر منطقه تولید، شدیدا بر عملکرد و کیفیت علوفه تاثیرگذار می‌باشند. شرایط اقلیمی محل تولید، عملیات زراعی، مرحله رشد، فصل رویش، واریته و خصوصیات گیاه، بر روابط داخلی بین عملکرد و کیفیت یونجه به عنوان یک گیاه علوفه‌ای تاثیر می‌گذارند. به‌طور کلی بین عملکرد و کیفیت رابطه منفی وجود دارد. امروزه پیشرفت‌های زیادی در زمینه اصلاح یونجه برای افزایش عملکرد علوفه انجام شده است و در آینده‌ای نزدیک، به‌نژادی برای افزایش کمیت و کیفیت علوفه به طور توام منجر به بهره‌برداری بیشتر از تولید این گیاه علوفه‌ای خواهد شد (رضایی، ۱۳۷۲). در تعدادی از بررسی‌ها روی تاثیر خشکی در علوفه یونجه، به افزایش کیفیت علوفه اشاره شده است (حلیم و همکاران ۱۹۸۹)، ولی کیفیت علوفه و عملکرد بستگی به مرحله‌ای از رشد گیاه دارد که تحت تنش خشکی قرار می‌گیرد. ویلسون و ان جی (۱۹۷۵) اظهار کردند که تنش خشکی در طی مراحل اولیه رشد سبزینه‌ای، ممکن است از طریق تاخیر در رشد طولی ساقه و گلدهی، اثر سودمندی در کیفیت علوفه گراس‌ها داشته باشد، اما در صورتیکه ساقه‌های در حال گلدهی در زمان شروع تنش رشد کافی کرده باشند، ممکن است تنش، کیفیت علوفه آنها را از طریق تسریع در رسیدن، کاهش دهد. پترسون و همکاران (۱۹۹۲) اثر خشکی را بر روی عملکرد و کیفیت علوفه یونجه، شبدر پای پرنده (*Lotus. corniculatus*)، شبدرقرمز و *Astragalus cicer* بررسی کرده و نتیجه گرفتند زمانی که پتانسیل آب ساقه در نیمروز در گیاهان تحت تنش از ۱/۳- تا ۳/۸- مگاپاسکال کاهش یافت عملکرد ۴ گیاه فوق به ترتیب ۳۳، ۲۱، ۱۹و۱۳ درصد علوفه گیاهان بدون تنش بود. در هر ۴ گونه گیاهی در اثر تنش خشکی نسبت برگ به ساقه بطور متوسط از ۱/۷ در تیمار بدون تنش به ۵/۱ در تیمار تنش افزایش یافت.

[1] -Total digestibl nutrients

۱-۸- اثرتنش کم‌آبی برروی خصوصیات مرفولوژی یونجه:

بر اثر کمبود آب، رشد سلول‌ها تحت تأثیر قرار گرفته و باعث کاهش سطح برگ می‌شود (کرافورل و همکاران، ۱۹۹۰). رشد برگ اولین فرآیندی است که به کمبود آب واکنش نشان می‌دهد و درنتیجه سطح برگ در گیاه کاهش می‌یابد (پای، ۲۰۰۰). کاهش ماده خشک برگ در گیاه یونجه به دلیل ریزش و یا کاهش سطح آنها در اثر خشکی در منابع مختلف گزارش شده است (حسین و همکاران، ۱۹۹۰). براساس گزارش گی و همکاران (۲۰۰۶) در گندم پائیزه، درکر و همکاران (۲۰۰۳) در کلزا و تورچی و همکاران (۲۰۰۲) در برنج وزن خشک ریشه بر اثر تنش کمبود آب افزایش می‌یابد. لق و همکاران (۱۹۷۹) نشان دادند که کاهش زیست توده جو در شرایط مزرعه ناشی از کاهش سطح برگ و دوام برگ در شرایط تنش خشکی بوده است. هال (۱۹۷۸) پژمردگی برگها و کاهش هدایت روزنه‌ای یونجه را هنگامی که پتانسیل آب برگ از ۱/۶- مگاپاسکال در صبح به ۲- مگاپاسکال در نیمروز رسید، گزارش کرده است. روزنه‌های یونجه در واکنش به تنش آب به منظور کنترل تعرق بسته می‌شوند و این بسته شدن به بهای کاهش و توقف فتوسنتز تمام می‌شود زیرا بین تولید ماده خشک یونجه و میزان تبخیر و تعرق و یا تعرق تجمعی، رابطه خطی وجود دارد (بود و همکاران، ۱۹۷۸). کک و همکاران (۱۹۸۴) اظهار کردند که رشد اندام‌های هوایی یونجه تحت تاثیر شوری و خشکی خاک قرار می‌گیرد و تنش آبی شدید هم گره‌زایی و هم وزن کل گره‌ها را کاهش می‌دهد. پنی پاکر و همکاران (۱۹۹۰) با مشابه‌سازی تنش مزرعه‌ای در شرایط گلخانه گزارش دادند که یونجه‌های تحت تنش آبی کوتاه‌تر از گیاهان آبیاری مطلوب بودند و وزن خشک برگ و ساقه، زیست توده اندام‌های هوایی، پتانسیل آبی برگ، هدایت روزنه‌ای و پتانسیل اسمزی پائین‌تری داشتند. پژوهشگران دیگر نیزگزارش کرده‌اند که تنش آبی باعث کاهش وزن خشک اندام هوایی در گیاه می‌شود و این مورد در گیاهان ماش، نخود، سویا، یونجه و شبدر زیرزمینی گزارش شده است (مرما و همکاران، ۱۹۹۷). دلیل این امر کاهش سطح برگ بوده که باعث کاهش دریافت نور و میزان فتوسنتز می‌شود (اورکوت و همکاران، ۲۰۰۰). در بررسی ارقام مختلف یونجه مشاهده شد که با کاهش پتانسیل آب وزن خشک آن‌ها نیز کاهش می‌یابد (حاجبی و همکاران، ۱۳۸۴). دلیل مهم کاهش سطح برگ در تنش خشکی نیز می‌تواند کاهش آماس سلولی باشد که موجب کاهش تقسیم سلولی و تمایز زودرس می‌شود (فهیمی، ۱۹۹۶). ونگ و همکاران (۲۰۰۱) کاهش سطح برگ گیاه لوبیا را در شرایط تنش خشکی گزارش کردند. با افزایش میزان نیتروژن سطح برگ افزایش یافت ولی البته این افزایش تا محدوده مشخصی از کود نیتروژن دیده می‌شود مشخص شده است که در شرایط تنش رطوبتی شدید، غالبا نسبت وزن برگها به ساقه افزایش می‌یابد و این خصوصیت می‌تواند با کمتر شدن فواصل بین گره‌ها و قطر ساقه همراه باشد. به عبارت دیگر، در گیاهان تحت تنش، وزن بافتهای ساقه نسبت به وزن برگ کاهش می‌یابد. افزایش نسبت برگ، ناشی از توقف رشد و نه به دلیل تأثیر کمتر تنش بر روی برگها نسبت به ساقه است (صدر آبادی، ۱۳۶۸). همچنین در بررسی رشد یونجه در برابر

خشکی مشخص شد که با افزایش تنش خشکی، طول ریشه و ساقه کاهش می‌یابد و کاهش در جوانه‌ها و شاخه‌ها نیز دیده می‌شود. همچنین افزایش تنش آب، اندازه برگ، طول میان گره، و وزن ماده خشک یونجه را در طی ۱۴ روز بعد از ایجاد تنش کاهش می‌دهد (ایریگوین، ۱۹۹۲).

صفر نژاد و همکاران (۱۹۹۶) با مطالعه چند ژنوتیپ یونجه گزارش دادند که با افزایش غلظت PEG طول ریشه و ساقه کاهش می‌یابد، درحالیکه نسبت طول ریشه به ساقه افزایش می‌یابد. کاهش طول ریشه و ساقه می‌تواند به علت محدودیت فشار تورگر باشد. ایجاد استحکام و سختی در دیواره سلولهای برگهای در حال رشد می‌تواند برای زنده ماندن و بقاء رشد گیاه زراعی در شرایط کمبود آب سودمند باشد. بوسو و همکاران (۱۹۹۸) گزارش کردند که رشد اندام هوایی یونجه *(Medicage minima)* نسبت به ریشه از حساسیت بیشتری به تنش آب برخوردار است .آنها همچنین نشان دادند که در اثر افزایش تنش آب نسبت رشد ریشه به ساقه افزایش می‌یابد، درحالیکه پارامترهای دیگر از قبیل تعداد کل برگ، تعداد برگهای سبز، طول گیاه، طول برگ سبز و برگچه، طول انشعابات ثانویه، تعداد گلها و میوه‌ها کاهش می-یابد. لاین‌های یونجه با بیشترین عملکرد برای انتخاب مقاومت به خشکی در ۴۰ تا ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای بدست می‌آیند (کریر و همکاران، ۱۹۸۳). یونجه گیاهی است که نیاز آبی بالایی دارد (کول و همکاران، ۱۹۷۰). بر اساس گزارش سمیس (۱۹۸۱) بین میزان مصرف آب در یونجه و عملکرد علوفه یک رابطه خطی وجود دارد. برون و وورکستر (۱۹۷۵) و مقاومت ظاهری یونجه را مربوط به سیستم ریشه‌های عمیق و وسیع و توانایی مقاومت در طی دوره‌های تنش و توان رشد مجدد پس از تامین دوباره رطوبت دانسته‌اند و بر این اساس بسیاری از محققین صفات ریشه یونجه را بیشتر مورد ارزیابی قرار داده‌اند. کارتر و همکاران (۱۹۸۳) اثر متقابل معنی‌داری بین رقم و توده و رژیم رطوبتی بدست آوردند و دریافتند که در شرایط تنش رطوبتی ارقام با طویل‌ترین ریشه‌ها، پتانسیل آبی پائین‌تری داشته و عملکرد علوفه آن‌ها بیشتر از ارقامی بود که ریشه‌های کوتاه‌تر داشتند. کلیه ارقام یونجه‌ای که به منظور چرا برای دیمزارها معرفی کرده، ریشه‌های زیادی داشتند (روموباگ، ۱۹۸۲). هال و همکاران (۱۹۸۸) مشاهده کردند که تنش آبی (پتانسیل آبی ۱/۵- مگاپاسکال) عملکرد علوفه خشک را کاهش داد ولی در وزن ریشه‌ها تغییری حاصل نشد. به نظر می‌رسد که در شرایط تنش آبی مواد آلی بیشتری به ریشه تخصیص داده می‌شود (عبادی، ۱۳۷۸). افزایش غلظت ساکارز برگ پتانسیل اسمزی را در یونجه تحت تنش آبی پائین می‌آورد (استوت، ۱۹۸۰) و بدین وسیله سازگاری گیاه به کمبود آب افزایش می‌یابد (کوهن و همکاران، ۱۹۷۲). بسیاری از محققین بر این باورند که یکی از عوامل مهم رشد و نمو گیاهان میزان آب مورد نیاز است، اما زیاد و کم بودن بیش از حد آب در هر مرحله از رشد ممکن است برای گیاهان زیان آور باشد (سولیوان و همکاران، ۲۰۰۱).

۱-۹- تنش کم‌آبی و تغییرات وضعیت آبی گیاه:

غیر از روش‌های مستقیم اندازه‌گیری وضعیت آبی گیاهان تحت تنش، از چند روش غیرمستقیم نیز برای تخمین وضعیت آبی گیاهان استفاده می‌شود: پژمردگی قابل رویت، تغییر رنگ و لوله شدن که تخمین‌های بصری از وضعیت آبی گیاه بدست می‌دهند (ترنر، ۱۹۸۱). اندازه گیری دمای برگ بوسیله حرارت سنجی مادون قرمز (هاتندروف و همکاران، ۱۹۸۸)، ضخامت برگ توسط B-gauging (جرویس و اسلاتایر، ۱۹۶۶)، قطر ساقه (سو و همکاران، ۱۹۷۹)، هدایت روزنه‌ای بوسیله پرومتر (فیشر و همکاران، ۱۹۷۷) همگی روش‌های غیر مستقیمی هستند که می‌توانند با پتانسیل آب برگ همبستگی داشته باشند.

هاتندروف و همکاران (۱۹۸۸) از روابط دمای تاج (کانوپی) یونجه برای برآورد تنش آبی استفاده کردند. بسته شدن روزنه‌ها با کاهش تعرق، موجب بالا رفتن دمای تاج در اثر تنش‌آبی می‌گردد. بنابراین دمای تاج یک معیار حساس واکنش به تنش در گیاه است. سامونس و همکاران (۱۹۷۹) در آزمایشی به منظور مقایسه ارقام سویا از نظر مقاومت به خشکی براساس عکس العمل هر یک از ارقام در برابر تنش نسبت به میانگین عکس العمل همه ارقام، آنها را به سه گروه مقاوم، نیمه مقاوم و حساس به خشکی تقسیم بندی کردند. نتایج آنها نشان داد که در شرایط تنش خشکی طولانی مدت، سرعت رشد گیاه و توسعه سطح برگ شدیدا تحت تاثیر قرار گرفت. گزارش شده است که در ذرت، واکنش گیاهان جوان از نظر تحمل خشکی، با عکس العمل گیاهان بالغ یکسان بوده است (ویلیامز و همکاران، ۱۹۶۷).

۱-۹-۱- کارایی مصرف آب:

واژه کارایی مصرف آب (WUE) برای نشان دادن رابطه کمی میان رشد ومصرف آب به کاربرده می‌شود.

آگرونومیست‌ها معمولاً کارایی مصرف آب[1] را با معادله زیر تعریف می‌کنند:

$$WUE = \frac{\text{عملکرد واحد سطح}}{\text{مقدار آب مصرف شده برای تولید عملکرد}}$$

در مطالعات فصلی معادله WUE را می‌توان بصورت WUE=(N/T)/1+(E/T) در نظر گرفت که در آن N ماده خشک کل اندام‌های هوایی،T مقدار آب تعرق یافته و E آب تبخیر شده می‌باشد. از این معادله می‌توان نقش عوامل موثر بر کارایی مصرف آب را بهتر ارزیابی کرد، بطوریکه افزایش N/T (کارایی تعرق) و یا نسبت آب تعرق یافته (T) به سایر راه‌های اتلاف آب، هر دو باعث افزایش WUE خواهد شد (هاشمی

[1] -Water Use Efficiency

دزفولی، ۱۳۷۳). لازمه افزایش کل ماده خشک تولید شده، فراهم بودن شرایط رشد برای گیاه است، در حالیکه تحت شرایط کمبود آب بسیاری از این شرایط تحت تاثیر تنش قرار می‌گیرند. برای نیل به حداکثر عملکرد، لازم است گیاهان در شرایط بهینه رشد کنند. این شرایط در بین گیاهان مختلف متفاوت است و زمانیکه یک یا چند تا از این شرایط خارج از حد مناسب باشند، رشد و عملکرد کاهش می‌یابد و در نتیجه گیاه تحت تنش قرار می‌گیرد (لاولور وهمکاران، ۱۹۸۱). مهم‌ترین عامل رشد گیاه و تولید محصول قابل دسترسی به آب است. آب یکی از اجزای اصلی تشکیل دهنده گیاهان به شمار می‌آید که بر حسب گونه و نوع بافت ممکن است تا ۹۵٪ وزن تر آن را تشکیل دهد (سوت کلیف، ۱۹۷۹). هسیائو (۱۹۷۳) و هیسیائو و آسه ودو (۱۹۷۴) نشان دادند که رشد سلول نسبت به کمبود آب بسیار حساس است، بطوریکه حتی با کاهش جزیی در قابلیت دسترسی آب سرعت رشد سلول کاهش می‌یابد. برون و تانر (۱۹۸۳) دریافتند که توسعه برگ رشد طولی ساقه یونجه بستگی به پتانسیل آب برگ، پتانسیل ماتریک خاک و هدایت روزنه‌ای دارد.

۱-۹-۲- تغییرات محتوای نسبی آب[1] در اثر کم آبی:

از محتوای نسبی آب به عنوان شاخصی مناسب از وضعیت آب برگ‌ها یاد می‌شود که در صورت پیشرفت تنش خشکی، کاهش یافته و سبب تغییرهایی در غشاء یاخته‌ای و در نتیجه افزایش نشت الکترولیت از یاخته‌ها می‌گردد (فو و همکاران،۲۰۰۴). سینکلر و لودلاو (۱۹۸۵) مقدار مناسب محتوای نسبی آب برگ، برای گیاهان را معادل ۸۵ تا ۹۵ % بیان کردند، به عقیده آنان در این حالت جذب آب توسط ریشه با میزان تلفات آب به وسیله تعرق برابری می‌کند، بنابراین گیاه می‌تواند کارایی طبیعی خود را ادامه دهد. اما بیشتر وقت‌ها، زمانی که محتوای نسبی آب برگ به کمتر از ۵۰ % برسد به تدریج کارکردهای فیزیولوژیک گیاه مختل می‌شود و در پایان مرگ یاخته رخ خواهد داد (کافی وهمکاران، ۱۳۷۸). لودلاو (۱۹۸۹) سازوکارهای مقاومت به خشکی را بر اساس محتوای نسبی آب برگ، به سه دسته تقسیم کرد: الف) گیاهانی که تحت تنش خشکی، محتوای نسبی آب کمتر از ٪۲۵ را نشان دهند دارای مکانیزم تحمل بوده، ب) آن‌هایی که محتوای نسبی آب بیشتر از ٪۵۰ دارند دارای ساز و کار گریز از خشکی می‌باشند و پ) چنانچه بین این دو مقدار باشد به صورت میانه عمل خواهند کرد. کایسر (۱۹۸۷) اثرات احتمالی افزایش تنش خشکی را به سه گروه طبقه بندی کرد: ۱- در صورتی که RWC بین ۱۰۰-۷۰ درصد باشد: فتوسنتز به علت بسته شدن روزنه‌ها کاهش می‌یابد ولی به سرعت قابل برگشت است. ۲- در صورتی که مقدار RWC بین ۷۰-۳۵ درصد باشد: در شدت نور بالا ظرفیت فتوسنتزی کاهش می‌یابد و در صورت آبگیری مجدد، به کندی بهبود می‌یابد. علت اصلی می‌تواند اثر بازدارندگی نوری باشد، از آنجائیکه کربوکسیلاسیون، چرخه کالوین و تنفس نوری همگی کاهش می‌یابد، انتقال الکترون ظاهرا عامل

[1] -Relative Water Content