نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۲، شماره ۲ ، تابستان ۱۳۹۳، ص. ۲۹۵-۲۸۳

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 12, No. 2, Summer. 2014, p. 283-295

ارزیابی عملکرد و شاخص‌های رشد سیب زمینی تحت سطوح مختلف تنش کم‌آبی

علیرضا سبحانی[۱] - حسن حمیدی[۲*]

تاریخ دریافت:۱۳۹۲/۲/۸
تاریخ پذیرش:۱۳۹۲/۸/۲۱

چکیده

به منظور بررسی اثر تنش کم‌آبی بر عملکرد و شاخص‌های رشد سیب‌زمینی رقم آئولا از روش آبیاری بارانی با حجم‌های مختلف آب در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی (مشهد) استفاده شد. در فواصل ۰/۷۵، ۳/۷۵، ۶/۷۵، ۹/۷۵ و ۱۲/۷۵ متر از خط لوله آبیاری میزان آب دریافتی اندازه‌گیری شد و به ترتیب تحت عنوان تیمار بدون تنش، تنش بسیار ملایم، تنش ملایم، تنش شدید و تنش بسیار شدید بررسی شدند. در این تحقیق، عملکرد در شاهد ۲۶/۴۷، تنش بسیار ملایم ۲۲/۳، در تنش ملایم ۱۷/۳۱، در تنش شدید ۹/۸۸ و در تنش بسیار شدید ۲/۰۴ تن در هکتار به دست آمد. اثرات تنش کم‌آبی بر روی تغییرات ماده خشک اندام‌های گیاهی، کل ماده خشک گیاه (TDM)، سرعت رشد نسبی (RGR)، سرعت رشد محصول (CGR)، شاخص سطح برگ (LAI) ، دوام سطح برگ (LAD) و سرعت جذب خالص (NAR) بسیار زیاد بود. حداکثر سرعت رشد نسبی در سطوح تنش کم‌آبی بین ۰/۰۰۴ تا ۰/۰۰۵ گرم بر گرم در GDD محاسبه شد. در تنش‌های شدید و بسیار شدید حداکثر سرعت رشد محصول زودتر انجام شد (به ترتیب در ۱۳۰۰ و ۱۲۰۰ درجه روز رشد) و سایر تیمارها دیرتر (در ۱۶۰۰ درجه روز رشد) به حداکثر سرعت رشد محصول رسیدند. بیشترین مقدار LAD در تیمار بدون تنش به میزان ۴۷۸ شاخص سطح برگ روز و در ۱۶۰۰GDD به دست آمد.

واژه های کلیدی : آبیاری بارانی، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی، شاخص سطح برگ، دوام سطح برگ

مقدمه

سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.) از محصولات غده‌ای است که نقش مهمی در تغذیه مردم جهان دارد. در سال زراعی ۱۳۹۰-۱۳۸۹، سطح زیر کشت سیب زمینی در ایران حدود ۱۸۶ هزار هکتار، میزان کل تولید محصول حدود ۵/۶ میلیون تن و میانگین عملکرد حدود ۳۰/۱ تن در هکتار بوده است که استان خراسان رضوی با داشتن سهم ۳/۲ درصد از تولید سیب زمینی کشور در جایگاه یازدهم قرار دارد (۱).

گیاهان در طول دوره رشد خود در معرض تنش‌های گوناگونی قرار دارند و در این میان کمبود آب بزرگ‌ترین چالش در تولید محصولات زراعی خصوصاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا از جمله ایران می‌باشد (۳۵). امروزه کم‌آبی یکی از مهمترین عوامل محدود کننده ازدیاد محصول در نواحی خشک و نیمه‌خشک می باشد و کاهش رشد در اثر تنش خشکی به مراتب بیشتر از سایر تنش‌های محیطی است (۳۸). تحت شرایط کم آبیاری، عملکرد سیب زمینی با میزان آب کاربردی رابطه خطی دارد (۴۲). تأثیر کمبود آب به عنوان یکی از مهمترین عوامل محدود کننده عملکرد در مراحل مختلف رشد متفاوت می‌باشد. در مرحله رشد غده که نیاز آبی آن زیاد است، کمبود آب می‌تواند روی تولید اسیمیلات اثر گذاشته و نه تنها عملکرد بلکه کیفیت آن را نیز کاهش دهد (۶). بنویت و گرانت (۱۷) همبستگی منفی را بین شاخص کمبود آب و عملکرد غده در یک دوره سی ساله بدست آوردند.

گارسیا و گاردلینو (۲۴) در بررسی تنش کم‌آبی با استفاده از سیستم آبیاری بارانی مشاهده کردند که با کاهش آب، عملکرد غده کاهش یافت و به ازاء ۱۰ میلی متر آبیاری ۱/۲۲۵ تن غده به دست آمد. کمترین تولید غده ۱۶ تن با ۳۵۰ میلی متر و بیشترین آن ۴۲/۷ تن به ازاء ۴۸۷ میلی متر آبیاری محاسبه گردید. جان کوئیرا و اولیویرا (۲۸) اظهار کردند که تنش کم‌آبی باعث کاهش عملکرد و متوسط وزن غده‌ها گردید. تنش آبی قبل از تشکیل غده‌ها بر روی رشد رویشی اثر می‌گذارد ولی بعد از غده‌دهی بر عملکرد و کیفیت غده تأثیر خواهد گذاشت (۱۲).

بررسی شاخص‌های رشد می‌تواند در تجزیه و تحلیل عملکرد و

۱ و ۲- به ترتیب عضو هیأت علمی و کارشناس ارشد بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی
(*- نویسنده مسئول: Email: Hamidy1065@yahoo.com)

عوامل مؤثر بر روی آن مؤثر واقع گردد. با استفاده از روش تابعی و رگرسیون غیرخطی می‌توان رابطه وزن خشک و یا سطح برگ را با زمان یا با درجه روز رشد (GDD) تجمعی محاسبه کرد (۸ و ۱۱). بطور کلی روند افزایش وزن خشک کل گیاه سیب زمینی به صورت منحنی سیگموئیدی می‌باشد و از معادلات درجه دوم پیروی می‌کند (۴ و ۷).

مکی و باربر (۳۳) مشاهده کردند که با افزایش میزان آب رشد ریشه افزایش پیدا می‌کند. جفریز (۲۶) نتیجه گرفت که تنش کم‌آبی باعث کاهش تولید ماده خشک کل گیاه و نیز نسبت ماده خشک اختصاص یافته به غده‌ها می‌گردد. تنش بسته به ارقام و شرایط محیطی اختصاص مواد به اجزاء گیاهی را تغییر داد و بطور کلی میزان اختصاص مواد به ساقه‌ها و ریشه‌ها و نیز نسبت ریشه به ساقه را افزایش داد.

تحقیقات متعدد نشان دهنده کاهش تولید ماده خشک کل و نیز اندام‌های مختلف در اثر کمبود آب می‌باشد (۳۰، ۳۲، ۳۴ و ۳۹). کاهش تولید در اثر کاهش فتوسنتز به علت پایین بودن رطوبت قابل دسترس می‌باشد (۲۰ و ۴۸).

زراست و گپل (۴۶) گزارش کردند که دوام سطح برگ، تعداد برگ و شاخص سطح برگ با عملکرد همبستگی مثبت دارند. با کاهش میزان آب، بسته به ارقام، حداکثر LAI و LAD و کل ماده خشک تولیدی سیب زمینی کاهش یافت.

سطح برگ نسبت به تنش کم آبی حساس بوده و حتی بیشتر از فتوسنتز و تنفس تحت تأثیر قرار می‌گیرد. تنش علاوه بر کاهش توسعه برگ از طریق ریزش برگ‌ها و پیری آن‌ها در مراحل رشد بر شاخص سطح برگ اثر می‌گذارد (۱۶، ۲۹ و ۴۵). دماگانت و همکاران (۲۲) دریافتند که تنش کم‌آبی باعث کاهش CGR می‌گردد و به همین علت است که حجیم شدن غده‌ها و عملکرد سیب زمینی نقصان می‌یابد. بطور کلی اثرات تنش بر روی شاخص‌های رشد بسته به شدت تنش و ارقام متفاوت است و نتایج تحقیقات حاکی از کاهش شاخص‌های رشد در اثر کمبود آب می‌باشد (۱۴ و ۳۶). حداکثر تولید سیب‌زمینی زمانی اتفاق می‌افتد که رطوبت خاک در حد بهینه باشد. حد بهینه رطوبت خاک بسته به مرحله نمو، بین ۶۰ (۳۱) تا ۷۰ (۳۷) درصد کل آب قابل دسترس می‌باشد.

حمزه‌ای و همکاران (۳) واکنش سه رقم سیب زمینی (آگریا، مورن و کوزیما) به مقادیر متفاوت آب آبیاری (۴۰۰، ۶۰۰ و ۸۰۰ میلیمتر) را مورد مطالعه قرار دادند. آنها گزارش کردند که آبیاری به میزان ۴۰۰ میلیمتر باعث کاهش ماده خشک قسمت هوایی گیاه، ماده خشک ریشه، ماده خشک غده و عملکرد غده شد. خورشیدی بنام و همکاران (۵) نشان دادند که با اعمال تنش خشکی از وزن خشک ریشه سیب زمینی کاسته شده و میزان این کاهش با شدت تنش همبستگی دارد.

قدمی فیروز آبادی و پرویزی (۱۰) با بررسی اثر کم‌آبیاری بر عملکرد و کارآیی مصرف آب کلون‌های جدید سیب زمینی در آبیاری قطره‌ای (تیپ) نشان دادند که عملکرد کل به شدت تحت تأثیر رژیم‌های رطوبتی و سطوح آبیاری قرار می‌گیرد. در این تحقیق با کاهش ۲۰ درصد آب مصرفی سیب زمینی مقدار ۰/۹ کیلوگرم در متر مربع کاهش عملکرد حاصل شد. علاوه بر این بیشترین درصد ماده خشک غده در تیمار آبیاری ۶۰ درصد بدست آمد و با تیمارهای آبیاری ۵۰، ۷۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی تفاوت معنی‌داری نشان داد.

زراست و جوزل (۴۷) با بررسی شاخص‌های رشد در ارقام مختلف سیب زمینی گزارش نمودند که سرعت رشد محصول در ابتدای رشد کم، پس از آن به حداکثر خود رسیده و در اواخر فصل رشد کاهش می‌یابد. با کاهش پتانسیل آب برگ، از میزان سرعت رشد محصول کاسته می‌شود. دلیل آن می‌تواند افزایش سرعت تنفس همراه با افزایش دمای گیاه و کاهش شدت فتوسنتز باشد (۱۵). شارما و همکاران (۴۰) گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش رشد سیب زمینی و شاخص‌های مربوط به آن می‌گردد. با کاهش مقدار آب میزان تجمع مواد فتوسنتزی و سرعت رشد نسبی کاهش می‌یابد و افت قابل توجه سرعت رشد نسبی بیانگر کاهش ماده خشک تولید شده در اثر کاهش رشد شاخ و برگ در مرحله رشد سبزینه‌ای است که می‌تواند یکی از علل کاهش عملکرد محصول باشد (۱۵).

با توجه به اهمیت محصول سیب زمینی و نیاز زیاد آن به آب، در این تحقیق اثر تنش کم‌آبی بر روی عملکرد و شاخص‌های رشد سیب زمینی رقم آئولا در استان خراسان رضوی با استفاده از سیستم آبیاری بارانی تک‌شاخه‌ای مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به منظور بررسی اثر تنش کم آبی بر عملکرد و شاخص‌های رشد سیب زمینی رقم آئولا در مزرعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی خراسان رضوی (طرق) با استفاده از روش آبیاری بارانی در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ انجام شد. رقم آئولا از ارقام وارداتی سیب زمینی است که منشأ آن کشور آلمان می‌باشد. این رقم دیررس و دارای رنگ پوست و گوشت غده زرد رنگ می‌باشد. همچنین غده آن تخم مرغی شکل و دارای خواب طولانی است. علاوه بر این رقم مزبور دارای ماده خشک بالا (۲۲-۲۰ درصد) بوده و تحمل به خشکی متوسطی دارد (۲). در روش آبیاری بارانی، با فاصله گرفتن از خط لوله آبیاری میزان آب دریافتی در هر خط کاهش می‌یابد. به‌منظور اعمال تیمارهای تنش، یک خط لوله آبیاری بارانی در وسط قطعه زمین آزمایشی به موازات ردیف‌های کاشت قرار گرفت. تیمارهای آبیاری با فاصله ۰/۷۵، ۳/۷۵، ۶/۷۵، ۹/۷۵ و ۱۲/۷۵ متر از خط لوله آبیاری در نظر گرفته شده بودند.

جدول ۱- میانگین میزان آب دریافتی (متر مکعب در هکتار) در طول فصل رشد در تیمارهای مختلف تنش

تیمار تنش	فاصله از خط لوله آبیاری (متر)	میزان آب (متر مکعب در هکتار)
بدون تنش	۰/۷۵	۷۵۰۰
تنش بسیار ملایم	۳/۷۵	۶۰۲۰
تنش ملایم	۶/۷۵	۴۳۵۵
تنش شدید	۹/۷۵	۳۰۵۰
تنش بسیار شدید	۱۲/۷۵	۱۵۵۵

این آزمایش در سه تکرار اجرا شد. همچنین هر کرت دارای چهار ردیف به فواصل ۷۵ سانتیمتر و به طول ۷ متر و مساحت ۲۱ مترمربع بود. خط لوله آبیاری از جنس پلی‌اتیلن و به قطر ۹۰ میلی‌متر بود و آب‌پاش‌ها روی آن به فاصله ۶ متر قرار گرفتند. میانگین میزان آب دریافتی در طول فصل رشد در تیمارهای مختلف تنش در جدول ۱ نشان داده شده است.

برای به دست آوردن شاخص‌های رشد در طول فصل، هر ۱۰ روز یکبار، از هر کرت نمونه‌هایی از بوته سیب زمینی با درنظر گرفتن حاشیه جدا گردید. پس از جدا نمودن ریشه، ساقه، برگ و غده، هر کدام جداگانه در آون الکتریکی با درجه حرارت ۷۵ درجه سانتیگراد خشک شدند. برای اندازه‌گیری سطح برگ در هر نمونه‌گیری از دستگاه اندازه گیری سطح برگ[1] استفاده گردید. با استفاده از نرم‌افزارهای کامپیوتری بهترین معادلات رگرسیونی برای تغییرات وزن خشک اندام‌های گیاهی، وزن خشک کل گیاه و شاخص سطح برگ برازش گردید. در این تحقیق به جای زمان (روز)، واحد درجه روز رشد (GDD) و با استفاده از معادله زیر، بکار گرفته شد:

$$GDD = \sum_{j=1}^{n}\left[\frac{T_{\max}+T_{\min}}{2}\right]-T_b \qquad (۱)$$

در فرمول بالا، n تعداد روزهای رشد، T_{max} درجه حرارت حداکثر روزانه (درجه سانتی‌گراد)، T_{min} درجه حرارت حداقل روزانه (درجه سانتی‌گراد) و T_b درجه حرارت پایه برای رشد سیب زمینی (۷ درجه سانتی گراد) می‌باشد (۴۳). در بررسی بهترین معادلات برای روند رشد، معادلات درجه دوم زیر به دست آمد:

$$L_n\,TDM = a + bt + ct^2 \qquad (۲)$$

$$L_n\,LAI = \acute{\alpha} + \acute{b}t + \acute{c}t^2 \qquad (۳)$$

در معادلات فوق، TDM کل ماده خشک، LAI شاخص سطح برگ و t درجه روز رشد (GDD) می‌باشد. جهت تعیین سرعت رشد محصول (CGR) از معادله وزن خشک کل گیاه مشتق گرفته شد و برای محاسبه سرعت رشد نسبی (RGR)، سرعت جذب خالص (NAR) و دوام سطح برگ (LAD) از روابط زیر استفاده شد:

$$CGR = \frac{d(L_nTDM)}{dt} = TDM \times RGR \qquad (۴)$$

$$RGR = \frac{d(L_nTDM)}{dt}\times\frac{1}{TDM} = b + 2Ct \qquad (۵)$$

$$NAR = \frac{CGR}{LAI} \qquad (۶)$$

$$LAD = \frac{(LAI_1 + LAI_2)(t_2 - t_1)}{2} \qquad (۷)$$

در روابط فوق، (dL_nTDM) تغییرات وزن خشک کل گیاه و dt تغییرات درجه روز رشد تجمعی می‌باشد.

کلیه داده‌های به دست آمده از آزمایش توسط نرم‌افزار کامپیوتری استات گراف[2] مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و نمودارهای لازم توسط نرم افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

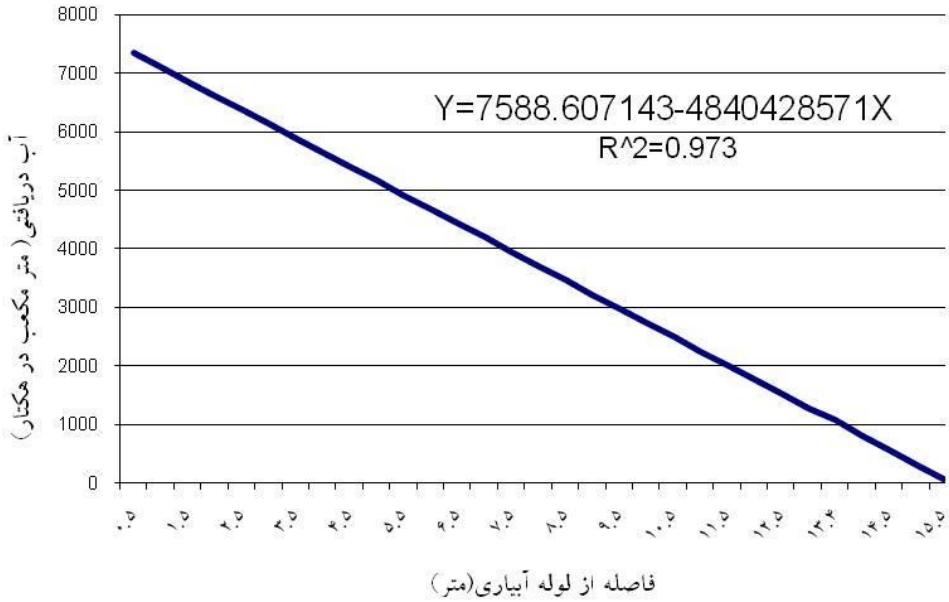
رابطه بین آب دریافتی (متر مکعب در هکتار) و فاصله از خط لوله آبیاری بارانی تک شاخه‌ای در شکل ۱ نشان داده شده است. این رابطه براساس اندازه‌گیری آب جمع شده در قوطی‌های جمع‌آوری آب به دست آمده است. کاهش عملکرد سیب‌زمینی با دور شدن از خط لوله آبیاری بارانی توسط دماگنت و همکاران (۲۱) گزارش شده است. رابطه رگرسیونی بین عملکرد (Y) و آب مصرفی (X) به صورت زیر می‌باشد:

$Y= -15.351252 + 0.009803X - 4.848679 \times 10^{-7} X^2$ $R^2= 0.85$ **

مقایسه میانگین عملکرد نشان داد که سطوح تنش باعث ایجاد اختلاف معنی‌داری در عملکرد غده شد. عملکرد در تنش بسیار ملایم (فاصله ۳/۷۵ متری از خط لوله آبیاری) ۲۲/۳، در تنش ملایم (فاصله ۶/۷۵ متری از خط لوله آبیاری) ۱۷/۳۱، در تنش شدید (فاصله ۹/۷۵ متری از خط لوله آبیاری) ۹/۸۸ و در تنش بسیار شدید (فاصله ۱۲/۷۵ متری از خط لوله آبیاری) ۲/۰۴ تن در هکتار به دست آمد.

1- Leaf Area Meter

2- Statgraph



شکل ۱- رابطه بین فاصله از خط لوله آبیاری و میزان آب دریافتی در طول فصل رشد سیب زمینی

جدول ۲- مقایسه میانگین عملکرد غده سیب زمینی در سطوح مختلف تنش کم آبی

تیمار	عملکرد غده (تن در هکتار)
بدون تنش	۲۶/۴۷ a
تنش بسیار ملایم	۲۲/۳۰b
تنش ملایم	۱۷/۳۱ c
تنش شدید	۹/۸۸ d
تنش بسیار شدید	۲/۰۴ e

حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار بوسیله آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

این مقادیر برابر با ۱۶، ۳۵، ۳۷، ۶۳ و ۹۲ درصد کاهش عملکرد نسبت به شاهد (بدون تنش و فاصله ۰/۷۵ متری از خط لوله آبیاری) می‌باشد (جدول ۲).

نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج سایر محققان که نشان دهنده کاهش عملکرد سیب زمینی (۵، ۹ و ۱۳) در اثر تنش کم‌آبی می‌باشد، انطباق دارد.

در این آزمایش، ضرایب a، b و c و نیز ضریب تشخیص (R2) مربوط به کلیه معادلات بدست آمده در جدول ۳ نشان داده شده است.

ماده خشک کل گیاه یا عملکرد بیولوژیک حاصل تجمع مواد فتوسنتزی می‌باشد. روند تغییرات ماده خشک کل در سطوح مختلف تنش کم‌آبی در شکل ۲ نشان داده شده است. پس از یک مرحله رشد آهسته تا دریافت ۵۰۰GDD (۲۹ روز پس از کاشت) گیاه رشد سریع خود را از این مرحله آغاز کرد. حداکثر تولید ماده خشک کل گیاه در ۲۳۰۰GDD (۱۲۶ روز پس از کاشت) بود که پس از آن کاهش تولید ماده خشک مشاهده شد. سطوح تنش کم‌آبی نسبت به شاهد، به شدت تولید ماده خشک کل گیاه را کاهش دادند. در تیمار بدون تنش حداکثر ماده خشک در ۲۳۰۰GDD (۱۲۶ روز پس از کاشت) و در تنش شدید در ۱۹۰۰GDD (۹۹ روز پس از کاشت) به دست آمد. در تیمار تنش شدید حداکثر ماده خشک تولیدی ۴۱۱، در تیمار تنش ملایم ۶۸۶ در تیمار تنش بسیار ملایم ۹۴۵ و در تیمار بدون تنش ۱۰۶۶ گرم ماده خشک در مترمربع به دست آمد.

حداکثر ماده خشک ساقه در GDD ۱۸۰۰ (۹۳ روز پس از کاشت)، حداکثر ماده خشک ریشه در GDD ۱۶۰۰ (۸۳ روز پس از کاشت) و حداکثر ماده خشک برگ در GDD ۱۵۰۰ (۷۸ روز پس از کاشت) به دست آمد. تنش کم‌آبی بسته به شدت تنش اثرات کم تا خیلی زیاد بر روی روند تغییرات وزن خشک اندام‌ها داشت.

جدول ۳- ضریب R^2 و ضرایب معادله ($X = Exp\ (a + bt + ct^2)$ برای صفات مورد بررسی در سطوح تنش کم‌آبی

صفت (x)	ضریب	سطوح تنش کم‌آبی				
		بدون تنش	تنش بسیار ملایم	تنش ملایم	تنش شدید	تنش بسیار شدید
ماده خشک ریشه	a	۰/۴۲۲۹۷	۰/۲۳۴۶۱۲	۰/۴۴۰۳۴۱	۰/۳۵۶۸۴۸	۰/۴۳۰۱۱۳
	b	۰/۰۰۳۷۰۶	۰/۰۰۳۹۶۸	۰/۰۰۳۵۷۳	۰/۰۰۳۴۲	۰/۰۰۲۳۵۴
	c	$-۱/۱۳۰۱۷۱\times۱۰^{-۶}$	$-۱/۲۳۴۹۳۳\times۱۰^{-۶}$	$-۱/۱۳۳۹۵\times۱۰^{-۶}$	$-۱/۰۸۴۸۴۳\times۱۰^{-۶}$	$-۱/۰۳۲۳۷\times۱۰^{-۶}$
	R^2	۰/۹۸**	۰/۹۸**	۰/۹۹**	۰/۹۸**	۰/۹۱**
ماده خشک ساقه	a	−۱/۳۰۶۴۸۹	−۱/۴۲۷۶۶۹	−۱/۲۳۶۸۴۸	−۱/۱۰۰۸۲۴۹	−۲/۶۶۰۷۳۵
	b	۰/۰۰۸۳۹۸	۰/۰۰۸۴۸۱	۰/۰۰۷۹۱۲	۰/۰۰۷۰۸۴	۰/۰۱۰۸۸۷
	c	$-۲/۳۶۱۶۲۶\times۱۰^{-۶}$	$-۲/۴۳۰۳۱۶\times۱۰^{-۶}$	$-۲/۳۲۲۷۲\times۱۰^{-۶}$	$-۲/۱۸۵۵۹۴\times۱۰^{-۶}$	$-۴/۹۴۰۱۷۸\times۱۰^{-۶}$
	R^2	۰/۹۹**	۰/۹۸**	۰/۹۸**	۰/۹۶**	۰/۹۳**
ماده خشک برگ	a	۰/۷۶۱۲۱۲	۰/۷۶۰۲۷۶	۰/۷۶۰۲۵۴	۰/۷۶۱۴۳۲	۰/۵۵۸۱۹۸
	b	۰/۰۰۶۳۳۱	۰/۰۰۶۳۳	۰/۰۰۶۱۴۵	۰/۰۰۵۶۹۰۱	۰/۰۰۵۵۵
	c	$-۲/۱۵۹۵۵\times۱۰^{-۶}$	$-۲/۱۷۶۴۵\times۱۰^{-۶}$	$-۲/۱۴۳۱۵۹\times۱۰^{-۶}$	$-۲/۰۱۱۲۴۴\times۱۰^{-۶}$	$-۲/۶۳۳۲۲\times۱۰^{-۶}$
	R^2	۰/۸۹**	۰/۸۹**	۰/۹۲**	۰/۹۸**	۰/۹۲**
ماده خشک غده	a	−۳۹/۵۹۵۳۹۳	−۳۸/۹۴۲۶۰۷	−۳۸/۷۹۳۳۶۳	−۳۸/۲۹۹۶۱۳	−*
	b	۰/۰۴۰۵۸۳	۰/۰۳۹۸۱	۰/۰۳۹۶۹۴	۰/۰۳۹۰۷۸	−*
	c	$-۸/۹۳۵۷۹۲\times۱۰^{-۶}$	$-۸/۷۴۴۳۶۴\times۱۰^{-۶}$	$-۸/۷۴۶۰۸۱\times۱۰^{-۶}$	$-۸/۶۳۲۷۴۲\times۱۰^{-۶}$	−*
	R^2	۰/۹۴**	۰/۹۴**	۰/۹۳**	۰/۹۳**	−*
کل ماده خشک	a	۱/۷۳۲۱۶۴	۱/۷۳۱۱۱۴	۱/۵۳۲۵۹۴	۱/۲۹۱۸۱۹۸	۱/۳۲۰۶۵۷
	b	۰/۰۰۴۵۴۵	۰/۰۰۴۴۹۵	۰/۰۰۴۳۸۴	۰/۰۰۴۹۶۹	۰/۰۰۴۸۸۷
	c	$-۹/۸۵۶۴۲\times۱۰^{-۷}$	$-۹/۸۶۵۳۹\times۱۰^{-۷}$	$-۹/۶۱۱۵۹\times۱۰^{-۷}$	$-۱/۳۲۶۰۳۴\times۱۰^{-۷}$	$-۱/۵۵۸۲۵۹\times۱۰^{-۶}$
	R^2	۰/۹۹**	۰/۹۸**	۰/۹۹**	۰/۹۸**	۰/۹۳**
شاخص سطح برگ	a	−۳/۶۸۴۲۷۱	−۳/۷۲۲۲۵	−۳/۸۳۹۸۳۳	−۳/۸۴۸۱۳	−۳/۷۴۵۴۱
	b	۰/۰۰۶۵۱۲	۰/۰۰۶۳۱۹	۰/۰۰۶۴۵۶	۰/۰۰۶۲۸۲	۰/۰۰۵۲۲۴
	c	$-۲/۰۱۶۹۱۳\times۱۰^{-۶}$	$-۱/۹۳۲۶۸۲\times۱۰^{-۶}$	$-۲/۰۵۶۰۸۲\times۱۰^{-۶}$	$-۲/۴۵۳۴۲۵\times۱۰^{-۶}$	$-۲/۱۰۱۲۸۴\times۱۰^{-۶}$
	R^2	۰/۹۸**	۰/۹۸**	۰/۹۹**	۰/۹۵**	۰/۹۶**

*- در تنش بسیار شدید غده تولید نشد. **- در سطح ۱ درصد معنی دار می باشد.

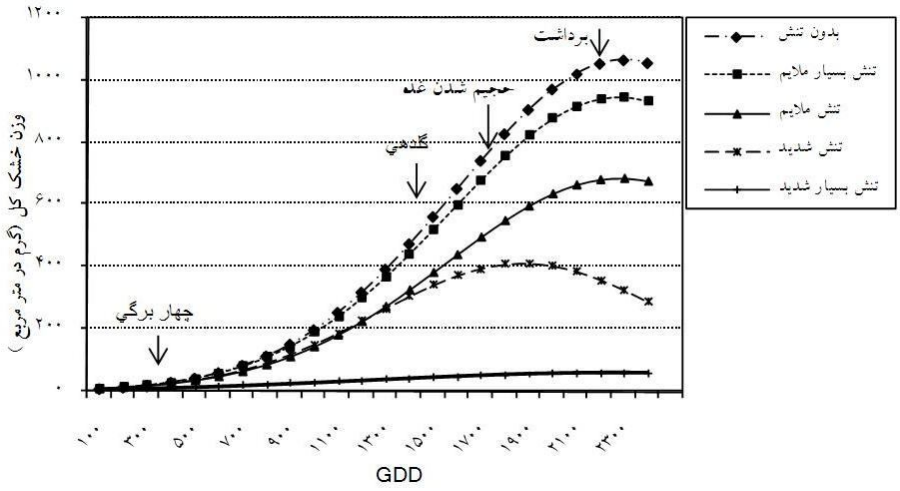
وزن خشک همه اندام‌ها بر اثر سطوح مختلف تنش کم‌آبی، کاهش یافت. کمترین وزن خشک اندام‌ها در تنش بسیار شدید تولید شد. تنش شدید و بسیار شدید باعث شد که گیاه زودتر به حداکثر ماده خشک ساقه و ریشه برسد. به علت کاهش میزان آب، تولید وزن خشک (بیوماس) کم شده و در نتیجه وزن خشک اندام‌های گیاهی کاهش یافت و با افزایش میزان آب حداکثر تولید ماده خشک بیشتر و در زمان دیرتری به دست آمد (شکل ۳، ۴ و ۵). ماده خشک اندام‌ها با گذشت زمان (بین ۱۵۰۰ تا ۱۸۰۰ درجه روز رشد تجمعی) کاهش یافت. علت آن انتقال مواد فتوسنتزی به غده‌ها می‌باشد. در تیمار تنش شدید و بسیار شدید این افت ماده خشک سریع‌تر است. در تنش بسیار شدید به علت آنکه گیاهان تا مرحله چهار برگی آب کافی دریافت کرده بودند در ابتدا رشد خوبی داشتند اما به علت اینکه پس از آن آب بسیار کمی را دریافت می‌کردند (در فاصله ۱۲/۷۵ متری از خط لوله آبیاری) کاهش وزن خشک اندام‌های خود را سریع آغاز نمودند و حتی تولید غده آنها بسیار ناچیز بود.

شکل ۶ روند تغییرات ماده خشک غده در طول فصل رشد در سطوح تنش کم‌آبی را نشان می‌دهد. آغاز رشد غده برابر با کاهش رشد سایر اندام‌های گیاهی می‌باشد. ماده خشک غده از درجه روز رشد تجمعی ۱۵۰۰ تا ۱۵۵۰ آغاز شد و رشد سریع خود را از GDD ۱۸۰۰ (۹۳ روز پس از کاشت) ادامه داد. تنش کم‌آبی بسته به شدت خود، تولید ماده خشک غده را کاهش داد. در تیمار بدون تنش ۶۴۹ و در تنش شدید ۳۷۰ گرم ماده خشک غده در هکتار به دست آمد.

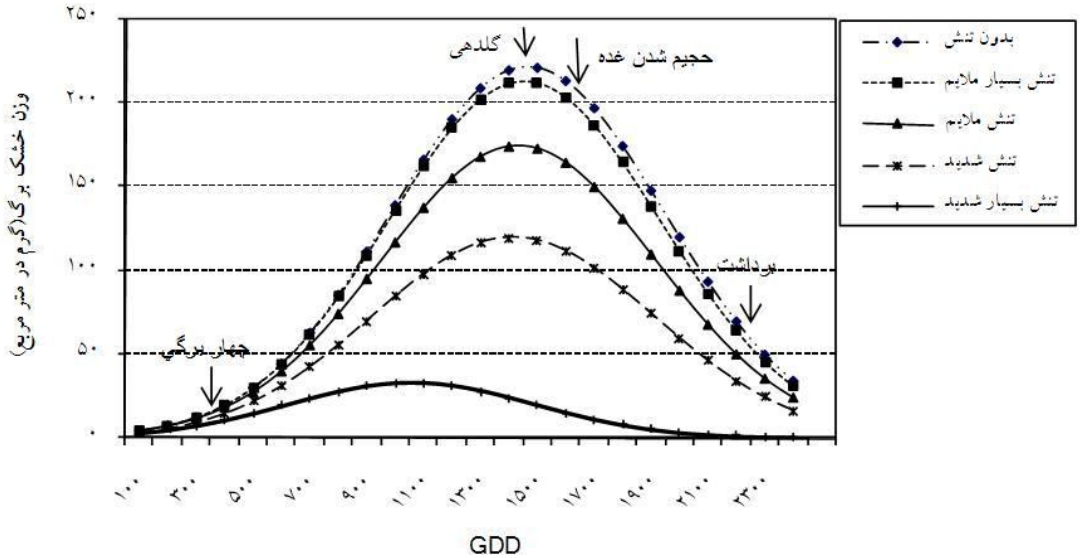
به علت کاهش میزان فتوسنتز و رشد کمتر ریشه و امکان جذب کمتر عناصر غذایی، میزان ماده خشک تحت شرایط تنش کم‌آبی افت می‌نماید (۲۰ و ۲۱). نتایج به دست آمده در مورد اثرات تنش کم‌آبی با نتایج آزمایشات کارافیلی دیس و همکاران (۳۰)، لینچ و تای (۳۲)،

مکرون و پنگ (۳۴) و روسائو و واگ مارا (۳۹) مطابقت دارد. روند تغییرات ماده خشک اندام‌های گیاهی و کل ماده خشک توسط سبحانی (۷) و خلقانی (۴) به دست آمده است. معادلات آنها نیز لگاریتمی درجه دوم بود و منحنی‌ها حالت سیگموئیدی داشتند. آزمایشات جفریز (۲۶) نشان داد که تنش کم‌آبی کل ماده خشک تولیدی و نیز اختصاص مواد به غده‌ها را کاهش می‌دهد.

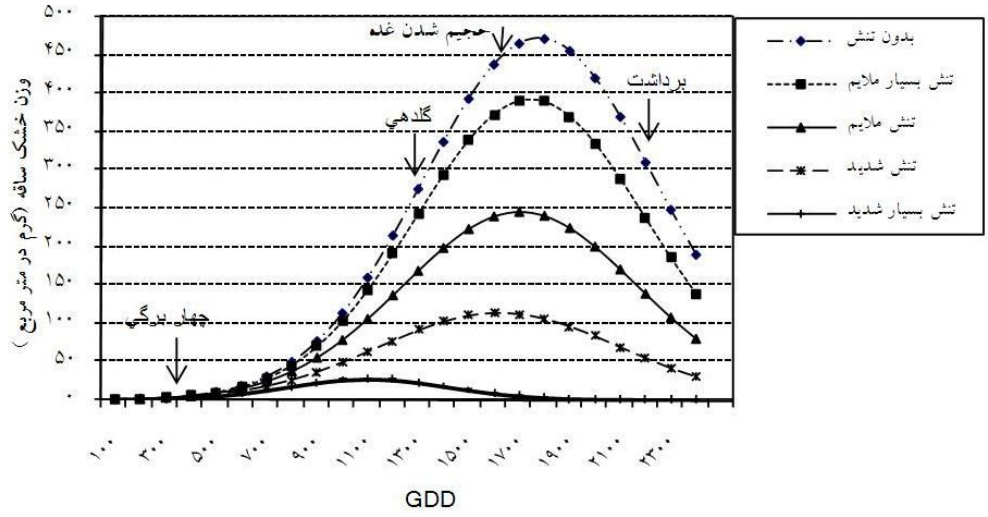
تغییرات شاخص سطح برگ در اثر سطوح مختلف تنش در شکل ۷ مشخص می‌باشد. در ابتدای رشد گیاه شاخص سطح برگ تا GDD ۳۵۰ کم می‌باشد اما با گذشت زمان و افزایش GDD تجمعی، شاخص سطح برگ زیاد می‌شود و در GDD ۱۶۰۰ (۸۳ روز پس از کاشت) به حداکثر میزان خود می‌رسد. پس از آن به علت زرد شدن برگ‌ها و ریزش آنها تا پایان فصل رشد میزان آن کاهش می‌یابد. تنش کم‌آبی اثر قابل توجهی بر روی میزان شاخص سطح برگ سیب‌زمینی داشت.



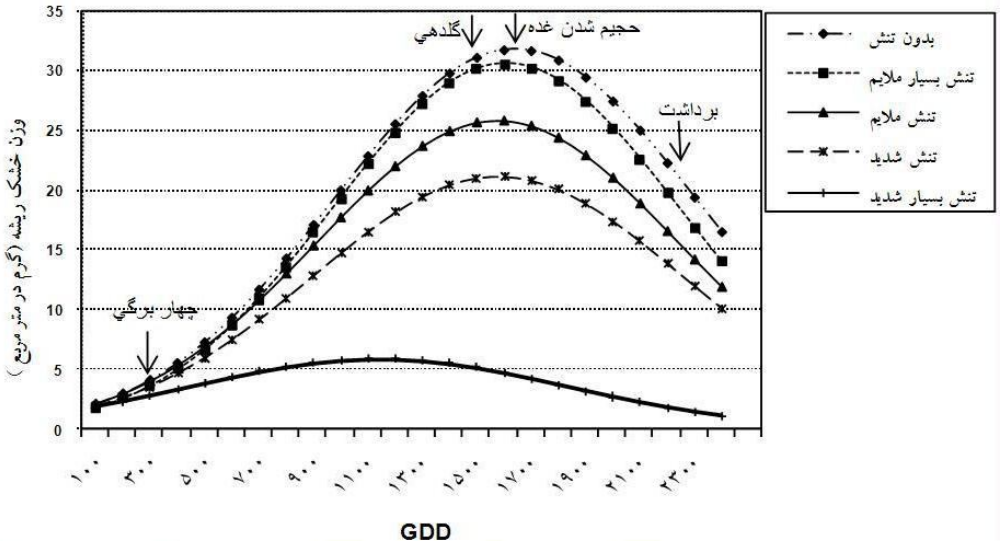
شکل ۲- روند تغییرات وزن خشک کل گیاه سیب زمینی در طول فصل رشد در سطوح مختلف تنش کم آبی



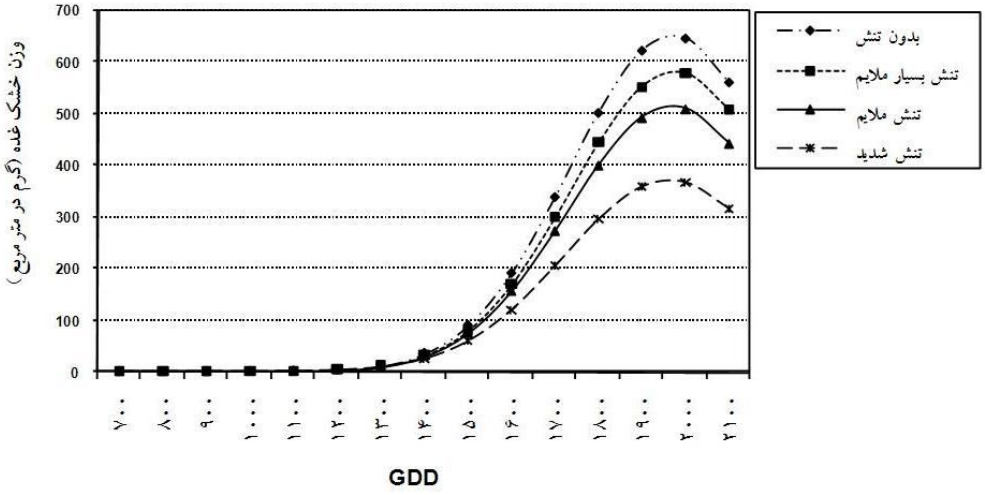
شکل ۳- روند تغییرات وزن خشک برگ سیب زمینی در طول فصل رشد در سطوح مختلف تنش کم آبی



شکل ٤- روند تغییرات وزن خشک ساقه سیب زمینی در طول فصل رشد در سطوح مختلف تنش کم آبی



شکل ٥- روند تغییرات وزن خشک ریشه سیب زمینی در طول فصل رشد در سطوح مختلف تنش کم آبی



شکل ٦- روند تغییرات وزن خشک غده سیب زمینی در طول فصل رشد در سطوح مختلف تنش کم آبی

در تیمار بدون تنش حداکثر شاخص سطح برگ (۴/۸) در GDD۱۶۰۰ (۸۳ روز پس از کاشت) به دست آمد. حداکثر شاخص سطح برگ در تنش بسیار ملایم ۲/۴، در تنش ملایم ۳/۴، در تنش شدید ۱/۲ و در تنش بسیار شدید ۰/۶ بود (شکل ۷). در تیمار تنش بسیار شدید وجود شاخص سطح برگ اندک در نتیجه دریافت آب بسیار کم (۱۵۴۰ متر مکعب در هکتار در طول فصل رشد) می‌باشد و همان رشد ناچیز برگ هم بیشتر به علت آب کافی دریافتی تا زمان استقرار گیاه می‌باشد. کاهش بسیار شدید سطح برگ و عدم جذب تشعشع کافی و نیز کاهش تولیدات فتوسنتزی، باعث افت ماده خشک تولیدی و عملکرد تحت شرایط تنش کم‌آبی شد.

مطابق آنچه در مورد تغییرات وزن خشک برگ (شکل ۳) مشاهده شد در تنش شدید و بسیار شدید گیاه سریع‌تر به حداکثر شاخص سطح برگ خود رسید و زودتر افت پیدا نمود. این امر باعث می‌شود که گیاه مدت کمتری از تشعشع استفاده نموده و در نتیجه تولید مواد فتوسنتزی آن کاهش یابد. در حقیقت مدت زمانی که گیاه در حداکثر شاخص سطح برگ می‌باشد در تیمارهای تنش شدید و بسیار شدید بیشتر از تنش‌های ملایم و بسیار ملایم است اما پایین بودن شاخص سطح برگ مانع تولید کافی مواد فتوسنتزی شده است (شکل ۷). لازم به ذکر است که گرچه گیاه زودتر به حداکثر شاخص سطح برگ خود رسیده، اما باید توجه داشت که این حداکثر از پتانسیل گیاه بسیار کمتر است و در واقع گیاه به حداکثر شاخص سطح برگ خود نرسیده است.

اثر تنش کم‌آبی بر دوام سطح برگ (LAD) در روزهای مختلف رشد در شکل ۸ نشان داده شده است. با افزایش درجه روز رشد تجمعی و یا با گذشت زمان، دوام سطح برگ زیاد شد و پس از رسیدن به حداکثر خود رو به کاهش نهاد. سطوح مختلف تنش دوام سطح برگ را کاهش دادند. بیشترین مقدار آن در تیمار بدون تنش به میزان ۴۷۸ شاخص سطح برگ درجه روز رشد و در GDD ۱۶۰۰ به دست آمد. با گذشت زمان دوام سطح برگ کاهش یافت و در تنش‌های شدید و بسیار شدید این مقادیر بسیار افت داشتند.

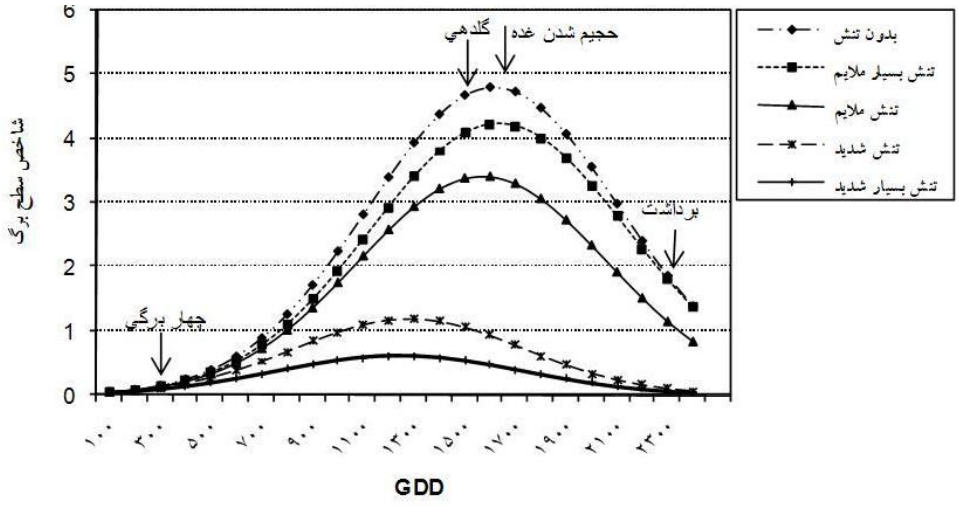
با افزایش سطح برگ که اندام اصلی دریافت نور می‌باشد، میزان جذب تشعشع و فتوسنتز بیشتر می‌شود (۸). معمولاً همبستگی خوبی بین عملکرد و دوام سطح برگ وجود دارد. زیرا هرچه دریافت انرژی خورشیدی در طول زمان زیادتر باشد به معنای آن است که تولید ماده خشک هم بیشتر خواهد بود (۸). اختلافات زیادی که در عملکرد کل ماده خشک دیده می‌شود علاوه بر اینکه در نتیجه اختلاف در سرعت فتوسنتز آنها می‌باشد، می‌تواند به علت تفاوت در مدت زمانی که فتوسنتز در آنها ادامه دارد نیز باشد. تنش کم‌آبی باعث کاهش سطح برگ و دوام آن شده است. کاهش پتانسیل آب با تأثیر بر روی آماس سلول‌ها، مانع بزرگ شدن سلول‌ها و باعث کوچک ماندن سطح برگ شد. با کاهش میزان سطح برگ و دوام آن فتوسنتز و در نتیجه عملکرد غده کاهش یافت.

همبستگی مثبت بین عملکرد با دوام سطح برگ، تعداد برگ‌ها و شاخص سطح برگ سیب‌زمینی توسط زراست و گپل (۴۶) گزارش شده است. آنان مشاهده کردند که کاهش آب مصرفی باعث کم شدن حداکثر شاخص سطح برگ، حداکثر دوام سطح برگ و کل ماده خشک سیب‌زمینی شد. نتایج این آزمایش در مورد اثرات تنش کم‌آبی بر روی دوام و شاخص سطح برگ با بررسی‌های کالودزیج (۲۹) و وایز و همکاران (۴۵) مطابقت دارد.

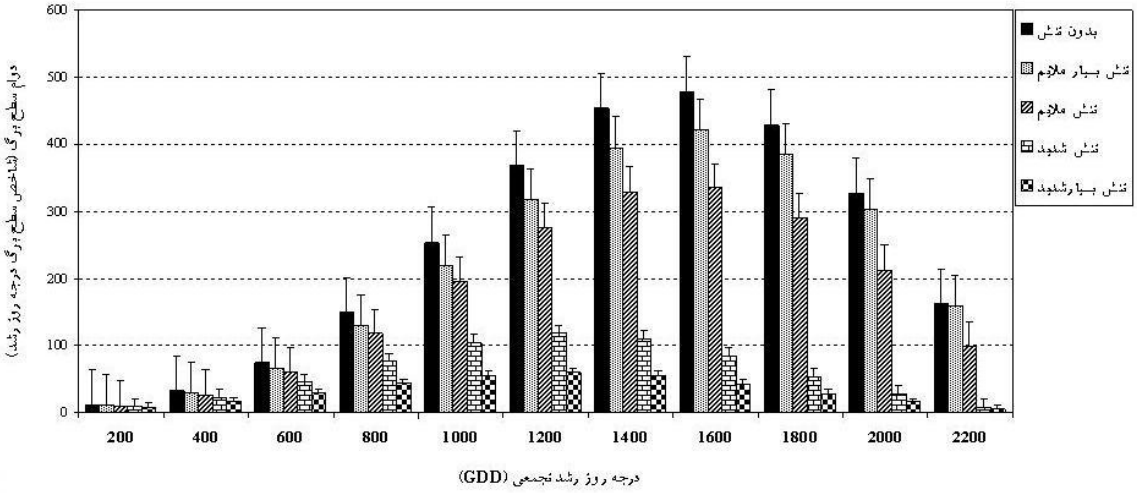
با گذشت زمان و بالا رفتن سن گیاه سرعت رشد نسبی کاهش می‌یابد. کاهش مشاهده شده به علت افزایش بافت‌های ساختمانی که از نظر متابولیکی فعال نیستند و سهمی در رشد ندارند و نیز به سبب افزایش سن برگ‌های پایین‌تر و در سایه قرار گرفتن برگ‌های پایین کانوپی می‌باشد که فتوسنتز نمی‌کنند و دارای تنفس بالا هستند و موجب هدر رفتن انرژی تولید شده می‌شوند (۷).

چگونگی تغییرات سرعت رشد نسبی گیاه بر اساس GDD در سطوح تنش کم‌آبی در شکل ۹ نشان داده شده است. سرعت رشد نسبی با تجمع GDD کاهش می‌یابد و در اواخر فصل رشد منفی می‌شود. سطوح تنش کم‌آبی باعث اختلافات زیادی بر روی آن شده است. با کاهش میزان آب دریافتی در تنشهای ملایم، شدید و بسیار شدید نسبت به تیمار بدون تنش و تنش بسیار ملایم سرعت رشد نسبی کاهش یافته است و در تنش بسیار شدید میزان آن بسیار اندک بوده است و از ۰/۰۰۲ گرم بر گرم در GDD که حداکثر آن بوده است، کاهش خود را آغاز نموده است. حداکثر سرعت رشد نسبی در سطوح دیگر تنش کم‌آبی بین ۰/۰۰۴ تا ۰/۰۰۵ گرم بر گرم در GDD محاسبه شد.

به طور کلی تنش کم‌آبی میزان شاخص های رشد و نیز سرعت رشد نسبی را کاهش می‌دهد. این کاهش بستگی زیادی به شدت تنش و ارقام مورد بررسی دارد (۱۴ و ۳۶). همانطور که ملاحظه می‌شود در تنش بسیار شدید منحنی RGR کمتر از تیمارهای دیگر می باشد. به نظر می‌رسد که دلیل کمتر بودن شاخص سطح برگ در این تیمار و در نتیجه سایه اندازی کم و رقابت کمتر برگ‌ها برای نور، برگ‌های پایین کانوپی کمتر به حالت مصرف کنندگی رسیده و در نتیجه سرعت کاهش میزان رشد نسبی کمتر بوده است. با توجه به اینکه تیمارهای مورد بررسی تا حدود ۵۰۰ درجه روز رشد تنش چندان زیادی ندیده‌اند، در ابتدای رشد تفاوت زیادی در سرعت رشد نسبی مشاهده نمی‌شود ولی پس از آنکه اثرات تنش و در حقیقت طول مدت تنش افزایش یافت اختلاف بیشتری در سرعت رشد نسبی تیمارهای تنش مشاهده شد.



شکل۷- روند تغییرات شاخص سطح برگ سیب زمینی در طول فصل رشد در سطوح مختلف تنش کم آبی



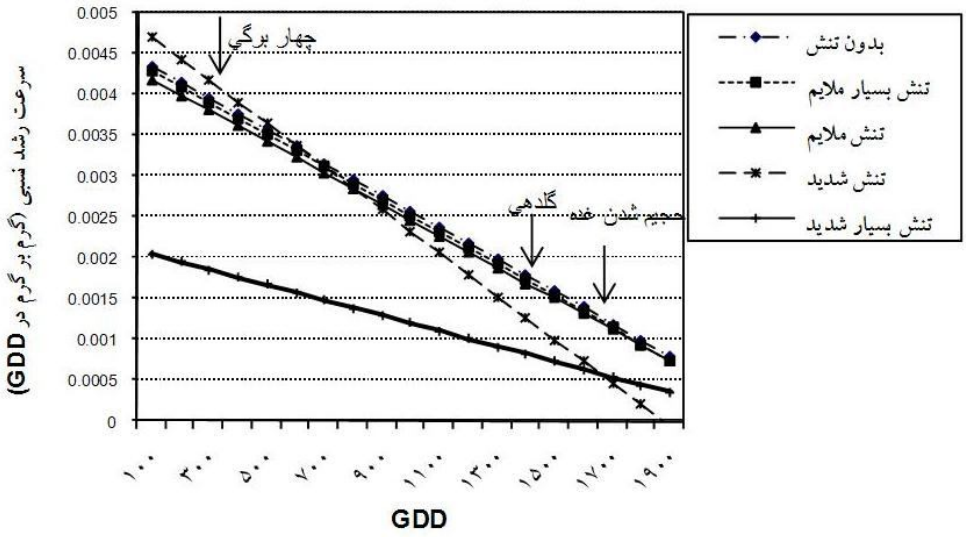
شکل ۸- اثر تنش کم آبی بر دوام سطح برگ (LAD) در طول فصل رشد سیب زمینی

روند تغییرات سرعت رشد محصول نسبت به GDD در تیمارهای مختلف تنش کم‌آبی در شکل ۱۰ آمده است. با گذشت زمان سرعت رشد محصول افزایش یافته و پس از رسیدن به حداکثر خود رو به کاهش نهاد. حداکثر سرعت رشد محصول در تیمار بدون تنش در ۱۶۰۰ درجه روز رشد تجمعی محاسبه شد. در سطوح تنش کم‌آبی اختلافات زیادی در سرعت رشد محصول مشاهده می‌شود. در تنش‌های شدید و بسیار شدید حداکثر سرعت رشد محصول زودتر انجام شد (به ترتیب در ۱۳۰۰ و ۱۲۰۰ درجه روز رشد) و سایر تیمارها دیرتر (در ۱۶۰۰ درجه روز رشد) به حداکثر سرعت رشد محصول رسیدند. به ترتیب در تیمارهای بدون تنش، تنش بسیار ملایم، تنش ملایم، تنش شدید و تنش بسیار شدید حداکثر سرعت رشد محصول ۰/۹، ۰/۸، ۰/۶، ۰/۴ و ۰/۰۳ گرم در مترمربع در GDD بود (شکل ۱۰).

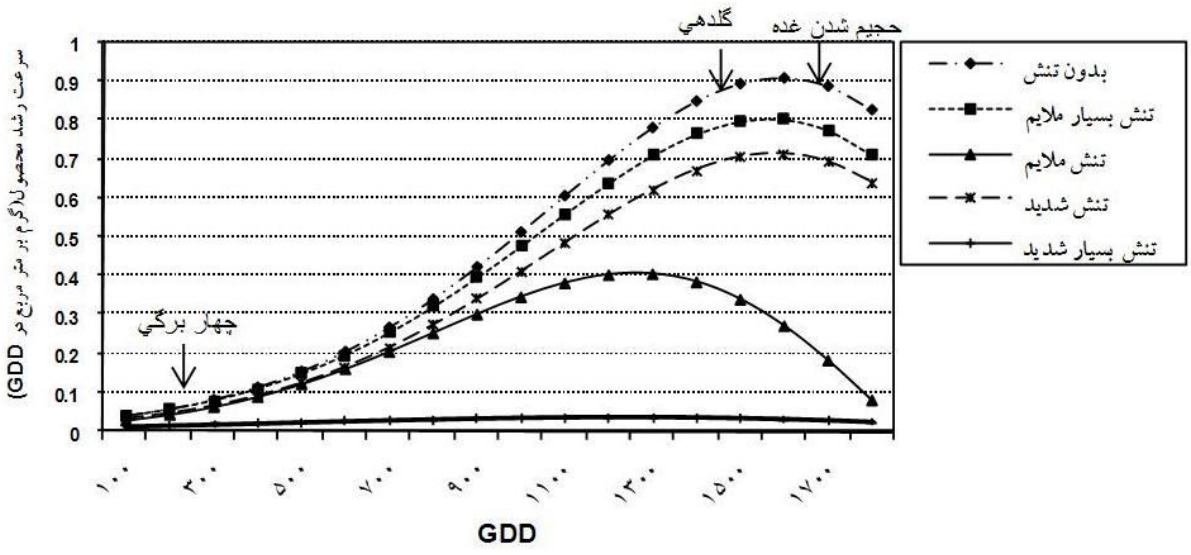
بالا بودن سرعت رشد محصول در سطوح پایین تنش نشان دهنده مناسب بودن این تیمارها برای تولید ماده خشک، عملکرد و اجزاء عملکرد بالا می‌باشد. بالاتر بودن شاخص سطح برگ و جذب کافی تشعشع باعث تولید بیشتر و سرعت رشد بالاتر شده است. حداکثر سرعت رشد محصول زمانی به دست می‌آید که کانوپی گیاه به اندازه کافی توسعه یافته و از منابع محیطی حداکثر استفاده صورت گیرد. در مراحل اولیه رشد به علت کامل نبودن پوشش گیاهی و پایین بودن سطح برگ درصد جذب نور کم می‌باشد اما با توسعه جامعه گیاهی جذب نور و در نتیجه تولید مواد فتوسنتزی افزایش می‌یابد. در انتهای فصل رشد به دلیل کاهش و یا توقف رشد، از بین رفتن و پیر شدن برگ‌ها سرعت رشد محصول کاهش می‌یابد (۴ و ۷).

نتایج به دست آمده مشابه آزمایشات خلقانی و همکاران (۴)، سبحانی (۷) و دماگانت و همکاران (۲۲) می‌باشد. تنش کم‌آبی میزان سرعت رشد محصول سیب‌زمینی را کاهش داد (۲۲).

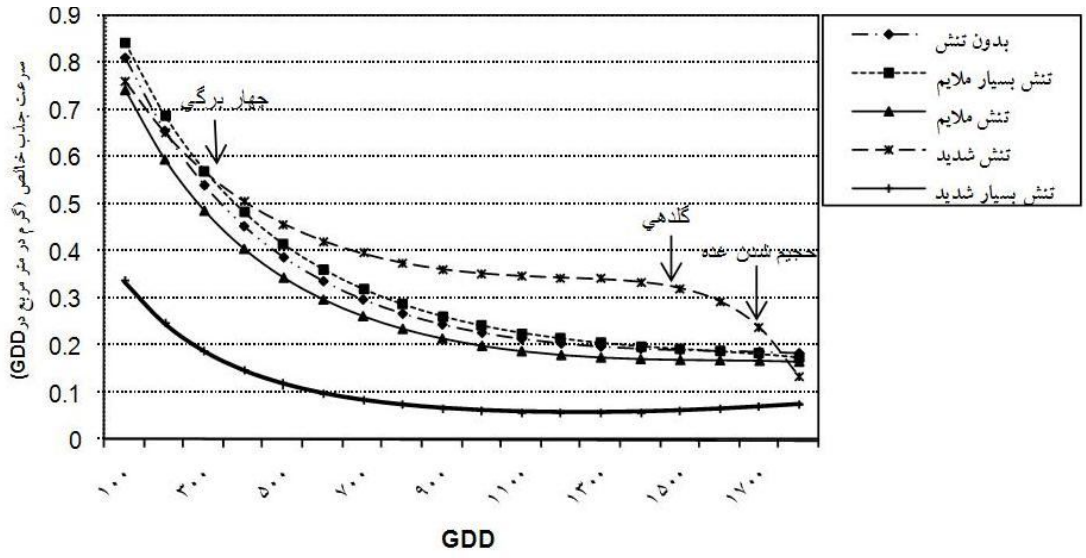
چگونگی تغییرات سرعت جذب خالص نسبت به GDD در سطوح تنش کم‌آبی در شکل ۱۱ نشان داده شده است. روند کلی تغییرات حالت نزولی دارد. شیب کاهش ابتدا تند است سپس ملایم می‌شود و پس از آن دوباره شدت می‌گیرد. سرعت جذب خالص زمانی به حداکثر مقدار خود می‌رسد که تمام برگ‌ها در برابر تشعشع کامل خورشید قرار بگیرند. با افزایش سن برگ‌ها که راندمان جذب خالص کاهش می‌یابد و برگ‌ها بیشتر در سایه قرار می‌گیرند، سرعت جذب خالص کاهش می‌یابد. سرعت جذب خالص در اثر تنش کم‌آبی به شدت تحت تأثیر قرار می گیرد. بالاترین سرعت جذب خالص در تیمار بدون تنش و تنش بسیار ملایم و کمترین آن در تنش بسیار شدید به دست آمد. با کاهش پتانسیل آب برگ، سطح برگ کاهش یافته و روزنه‌ها بسته می‌شوند. بدین ترتیب تثبیت کربن کم شده و فتوسنتز افت می‌نماید. با شدت یافتن تنش، فعالیت‌های فتوسنتزی بیشتر کاهش یافته و رشد گیاه و در نتیجه تولید ماده خشک و عملکرد به شدت نقصان می‌یابد. در تیمار بدون تنش و تنش بسیار ملایم حداکثر سرعت جذب خالص ۰/۸، در تیمار تنش ملایم ۰/۷۴، در تنش شدید ۰/۷۶ و در تنش بسیار شدید ۰/۳ گرم در مترمربع سطح برگ در GDD بود. در اواخر فصل رشد سرعت جذب خالص به زیر صفر رسید (شکل ۱۱).



شکل ۹- روند تغییرات سرعت رشد نسبی سیب زمینی در طول فصل رشد در سطوح مختلف تنش کم آبی



شکل ۱۰- روند تغییرات سرعت رشد محصول سیب زمینی در طول فصل رشد در سطوح مختلف تنش کم آبی



شکل ۱۱- روند تغییرات سرعت جذب خالص سیب زمینی در طول فصل رشد در سطوح مختلف تنش کم آبی

نتیجه گیری

به طور کلی نتایج نشان داد که ماده خشک اندام‌های گیاهی، کل ماده خشک گیاه (TDM)، سرعت رشد نسبی (RGR)، سرعت رشد محصول (CGR)، شاخص سطح برگ (LAI) ، دوام سطح برگ (LAD) و سرعت جذب خالص (NAR) به شدت تحت تأثیر تنش کم آبی قرار گرفت. حداکثر سرعت رشد نسبی نیز در سطوح تنش کم‌آبی بین ۰/۰۰۴ تا ۰/۰۰۵ گرم بر گرم در GDD محاسبه گردید. علاوه بر این حداکثر سرعت رشد محصول در تنش‌های شدید و بسیار شدید، زودتر انجام شد (به ترتیب در ۱۳۰۰ و ۱۲۰۰ درجه روز رشد) و سایر تیمارها دیرتر (در ۱۶۰۰ درجه روز رشد) به حداکثر سرعت رشد محصول رسیدند. بیشترین مقدار دوام سطح برگ در تیمار بدون تنش به میزان ۴۷۸ شاخص سطح برگ روز و در ۱۶۰۰GDD (۸۲ روز پس از کشت) حاصل شد.

منابع

۱- بی نام. ۱۳۹۱. آمار نامه کشاورزی سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹، وزارت کشاورزی، اداره کل آمار و اطلاعات.

۲- حسن آبادی، ح. ۱۳۸۳. جمع آوری و تهیه کلکسیون ژرم پلاسم های داخلی و خارجی سیب زمینی. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.

۳- حمزه‌ای، ج.، ف. رحیم زاده خویی، ک. گلعذانی و م. مقدم. ۱۳۸۴. واکنش سه رقم سیب زمینی به مقادیر متفاوت آب آبیاری. دانش کشاورزی. ۱۵ (۲): ۷۵-۶۵.

۴- خلقانی، ج.، ف. رحیم‌زاده خویی، م. مقدم، و ح. رحیمیان مشهدی. ۱۳۷۶. تجزیه فرآیند رشد سیب زمینی در سطوح مختلف ازت و تراکم بوته. دانش کشاورزی. ۷ (۱ و ۲): ۵۸-۳۲.

۵- خورشیدی بنام، م. ب.، ف. رحیم زاده خویی، م. ج. میرهادی، و ق. نورمحمدی. ۱۳۸۵. تأثیر تنش خشکی بر وزن خشک ریشه سه رقم سیب زمینی. مجله دانش نوین کشاورزی. سال دوم. ۳: ۴۹-۳۹.

۶- رضایی، ع. و ا. سلطانی. ۱۳۷۵. زراعت سیب زمینی. ترجمه .انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۱۷۹ ص.

۷- سبحانی، ع. ر. ۱۳۷۴. اثر تاریخ کاشت و پیش جوانه‌زنی غده‌های بذری بر روی شاخص های رشد و عملکرد سه رقم سیب زمینی. پایان نامه کارشناسی ارشد زراعت. دانشگاه تربیت مدرس.

۸- سرمدنیا، غ. و ع. کوچکی. ۱۳۶۸. فیزیولوژی گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۴۶۷ ص.

۹- شایان نژاد، م. و ع. محرری. ۱۳۸۹. تأثیر تنش آبی بر خصوصیات کیفی گندم و سیب زمینی در شهرکرد. مجله پژوهش آب در کشاورزی. ۲۴ (۱): ۶۵. -۷۱

۱۰- قدمی فیروزآبادی، ع. و خ. پرویزی. ۱۳۸۹. اثر کم‌آبیاری بر عملکرد و کارآیی مصرف آب کلون‌های جدید سیب زمینی در آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ). مجله پژوهش آب در کشاورزی. ۲۴ (۲): ۱۴۴-۱۳۳.

۱۱- کریمی، م. و م. عزیزی. ۱۳۷۳. آنالیزهای رشد گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۱۱۲ ص.

۱۲- کوچکی، ع.، م. حسینی، و م. نصیری محلاتی. ۱۳۷۲. رابطه آب و خاک در گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۵۰۶ ص.

۱۳- مرتضوی بک، ا.، ر. امین پور، و س. ف. موسوی. ۱۳۸۷. تأثیر کم آبیاری در مراحل اولیه رشد بر عملکرد رقم های تجاری سیب زمینی. مجله علوم و فنون باغبانی ایران. ۹ (۱): ۱۰-۱.

۱۴- معتمد، ا. ۱۳۷۱. سیب‌زمینی: خاک، آب، کود. تحقیقات خاک و آب مازندران. مرکز تحقیقات کشاورزی مازندران. ۲۸ ص.

۱۵- مودب شبستری، م. و م. مجتهدی. ۱۳۶۹. فیزیولوژی گیاهان زراعی. انتشارات مرکز نشر دانشگاهی تهران. ۴۳۱ ص.

۱۶- ناخدا، ب. ۱۳۷۵. بررسی اثر تنش کم آبی و برش بر شاخص های رشد و عملکرد کمی و کیفی ارزن علوفه‌ای نوتریفید. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته زراعت. دانشگاه تربیت مدرس.

17- Benoit, G. R., and W. J. Grant. 1980. Plant water deficit effects on Aroostook county potato yield. Agronomy Journal. 56: 377-381.

18- Beukema, H. P., and D. E. Vander Zaag. 1990. Introduction to potato production. Pudoc Wageningen. PP: 40-110.

19- Boisvert, J. B., L. M. Dwyer, and M. Lemay. 1992. Estimation of water use by four potato cultivars for irrigation scheduling. Canadian Agricultural Engineering. 34(4): 319-324.

20- Chen, C. Y., and H. S. Chang. 1972. Studies on the relationship between several biological functions of plants and the diffusion pressure deficit of leaves and soil moisture stress. Journal of the Agricultural Association of China. 80: 26-41.

21- Demagante, A. L., P. M. Harris, and P. Vander Zaag. 1995. A promising method for screening drought tolerance in potato using apical cuttings. American Potato Journal. 72: 577-588.

22- Demagante, A. L., G. B. Opena, and P. Vander Zaag. 1989. Influence of soil moisture on sweet potato growth and yield. Los Banos. Laguna.

23- Franke, A., O. Koing, P.L.C. Martini, E. J. Pozzebon, and R. Linerasso. 1994. Water consumption in potato crop at three management levels of soil available moisture. Ciencia Rural. 24 (1): 29-33

24- Garicia, F., and G. Gardellino. 1981. Response in growth and production of the potato crop to water application. Faculted de Agronomia universidad de la Republica, Monte veideo, Uruguay. PP: 55-56.

25- Hanks, R. J., D.V. Vission, R.L. Hurst, and K.G. Hubbard. 1980. Statistical analysis of results from irrigation experiments using the line-source sprinkler system. Soil Science Society of America Journal. 44: 880-888.

26- Jefferies, R. A. 1993. Cultivar responses to water stress in potato: effects of shoot and roots. New Phytologist. 123 (3): 491-498.

27- Jensen, L., C. C. Shock, T. Stieber, and E. P. Eldredge. 1988. Comparison of sprinkler and furrow irrigation on Ruset Barbank potato stem-end fry color. American Potato Journal. 65(8): 485.

28- Junqueira, A. M. R., and C.A.S. O'liveria. 1997. Determination of optimum date for commencement and cessation of irrigation for potato. Field Crop Abstract. 50 (9): 911.

29- Kalodziej, Z. 1993. The effect of variety and environment factors on physico-chemical properties of potato starch. Polish Journal of Food and Nutrition Sciences. 2(2): 43-49.

30- Karafyllidis, D. I., N. Stavropouloso, and D. Georgakis. 1996. The effect of water stress on the yielding capacity of potato crops and subsequent performance of seed tubers. Potato Research. 39: 153-163.

31-King, B. A., and G. C. Stark. 1997. Potato irrigation management. Bulletin University of Idaho. College of Agriculture, no. 789.

32- Lynch, D. R., and G. C. C. Tai. 1989. Yield and yield component response of eight potato genotypes to water stress. Crop Science. Society of American. 29 (5):1207-1211.

33- Mackay, A., and S.A. Barber. 1985. Soil moisture effect on potassium uptake by corn. Agronomy Journal. 77: 524-527.

34- Mackerron D.K.L., and Z. Y. Peng. 1989. Genotypic comparisons of potato root growth and yield in response to drought. Aspects of Applied Biology. 22: 199-206.

35-Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress Trop. Agric., 25: 239-250.

36- Nishibe, S., M. Mori, A. Isoda, and K. Nakaseka. 1987. Growth pattern and tuber yield in potatoes under contrasting climatic conditions between two years. Japanese Journal of Crop Science. 56(1): 1-7.

37- Ojala, J. C., J. C. Stark, and G. E. Kleinkopf. 1990. Influence of irrigation and nitrogen management on potato yield and quality. American Potato Journal. 67: 29-43.

38- Rodriguez, L. 2006. Drought and drought stress on south taxas landscape plants. San. Antonio Express News. Avilable at (http: bexar-Tx.T.Tamu.edu).

39- Rossouw, F. T., and J. Waghmarae. 1995. The effect of drought on growth and yield of two south African potato cultivars. South African Journal of Science. 91(3): 149-150.
40- Sharma, B. D., U. C. Sharma, and H. N. Kaul. 1990. Physiological traits for high yield in potato. Indian Journal of Hill Farming. 3 (1): 41-46.
41- Shimshi, D., and M. Susnoschi. 1985. Growth and yield studies of potato development in a semi-arid regions. 3. Effect of water stress and amounts of nitrogen top dressing of physiological indices and on tuber yield and quality of several cultivars. Potato Research. 28: 177-191.
42- Shock, C. C., and E. B. G. Feibert. 2002. Deficit irrigation on potato. In deficit irrigation practices. FAO. Rome. pp: 47-56.
43- Streck, N. A., I. Lago, F. L. Matielo de Paula, D. A. Bisognin, A. B. Heldwein. 2007. Improving predictions of leaf appearance in field growth potato. Science Agriculrure. 64 (1): 12-18.
44- Susnoschi, M., and D. Shimshi. 1985. Growth and yield studies of potato development in a semi-arid region. 2. Effect of water stress and amounts of nitrogen top dressing on growth of several cultivars. Potato Research. 28: 161-176.
45- Weisz, R., J. Kaminski, and Z. Smilowitz. 1994. Water deficit effects on potato leaf growth and transpiration: Utilizing fraction extractable soil water for comparison with other crops. American Potato Journal. 71: 829-840.
46- Zrust, J., and J. Geple. 1992. Dependence of yield of early potato on some growth characteristics. Field Crop Abstracts. 45 (10): 922.
47- Zrust, J., and M. Juzl. 1997. Rates of photosynthesis and dry matter accumulation of very early potato. Field Crop Abstracts. 50 (3): 264.
48- Zrust, J., K. Vacek, J. Hala, I. Janackova, F. Adamec, M. Amborz, J. Dian, and M. Vacha. 1994. Influence of water stress on photosynthesis and variable chlorophyll Fluorescence of potato leaves. Biologia Plantarum. 36 (2): 209-214.