نشریه علمی ـ پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد هفتم، شماره ۳(۲۷)، ۱۳۹۲، صفحه ۳۵۶-۳۴۱

اثر مقادیر مختلف پتاسیم بر عملکرد و شاخص‌های رشد سیب زمینی در شرایط آب و هوایی مشهد

علیرضا سبحانی[۱] و حسن حمیدی[۲]

چکیده

به منظور بررسی اثر مقادیر مختلف پتاسیم بر عملکرد غده و شاخص‌های رشد سیب‌زمینی آزمایشی در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی (مشهد) در سال زراعی۹۰-۱۳۸۹ انجام شد. در این تحقیق از اکسید پتاسیم (K_2O) در سطوح ۰، ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد. با افزایش میزان پتاسیم عملکرد غده سیب‌زمینی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در تیمارهای مصرف ۰، ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ کیلوگرم اکسید پتاسیم در هکتار عملکرد غده به ترتیب ۱۸/۹ ،۲۱/۵۹، ۲۲/۲۶ و ۲۴/۹۴ تن در هکتار بود. افزایش مصرف پتاسیم باعث بالا رفتن وزن خشک کل (TDM)، وزن خشک ساقه، برگ، ریشه و غده، شاخص سطح برگ (LAI)، دوام سطح برگ (LAD)، سرعت رشد محصول (CGR) و سرعت جذب خالص (NAR) سیب زمینی شد. مصرف ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار اکسید پتاسیم، بیشترین ماده خشک گیاه (۸۳۵ گرم در مترمربع) و عدم مصرف پتاسیم کمترین ماده خشک گیاهی (۷۷۸ گرم در مترمربع) را تولید نمود. حداکثر ماده خشک ساقه در۱۸۰۰ درجه روز رشد (GDD)، حداکثر ماده خشک ریشه در GDD ۱۶۰۰، حداکثر ماده خشک برگ در GDD ۱۵۰۰ و حداکثر ماده خشک غده در GDD ۲۳۰۰ به دست آمد. حداکثر وزن خشک ساقه ۳۲۴/۸۶ گرم در مترمربع، حداکثر وزن خشک برگ ۱۷۱ گرم در متر مربع، حداکثر وزن خشک ریشه ۲۶/۱ گرم در مترمربع و حد اکثر وزن خشک غده ۵۰۰ گرم در متر مربع در تیمار مصرف۲۷۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم به دست آمد. بیشترین مقدار LAD در تیمار ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار اکسید پتاسیم به میزان ۳۰۹/۳۷ متر مربع بر درجه روز رشد و در GDD۱۶۰۰ تولید شد. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که مصرف اکسید پتاسیم باعث بهبود روند تغییرات کلیه شاخص‌های رشد در سیب‌زمینی گردید.

واژگان کلیدی: پتاسیم، سیب‌زمینی، شاخص‌های رشد، عملکرد.

۱- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی

۲- کارشناس ارشد مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی (نگارنده‌ی مسئول) Hamidy1065@yahoo.com

دریافت: ۹۲/۲/۳۱

پذیرش: ۹۲/۱۰/۴

مقدمه

سطح زیر کشت سیب‌زمینی ایران در سال ۲۰۱۱ بر اساس آمارنامه فائو، ۱۵۰۳۱۷ هکتار و میانگین عملکرد آن ۳۲/۰۸ تن در هکتار بوده است (FAO, 2012). سطح زیر کشت این محصول در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در استان خراسان رضوی ۶۱۵۷ هکتار، میزان کل تولید محصول ۱۷۰۰۸۵ تن و میانگین عملکرد زراعت آبی ۲۷/۶۲۴ تن در هکتار بوده است (Anonymous, 2013).

مهم‌ترین عناصر غذایی مورد نیاز برای رشد سیب زمینی نیتروژن، پتاسیم و فسفر است. پتاسیم همیشه بر عملکرد مؤثر نبوده ولی تأثیر زیادی بر کیفیت محصول، درصد ماده خشک، لکه سیاهی و آسیب دیدگی سیب زمینی دارد (Beukema and Vanderzaag, 2004). پتاسیم، تقریباً در تمام فرایندهای متابولیسمی گیاه نقش دارد. همچنین، نقش مهمی در فتوسنتز و ساخت کربوهیدرات‌ها، احیای نیترات و کمک در مصرف یون‌های آمونیوم در ساخت اسیدهای آمینه و سنتز پروتئین دارد. علاوه بر این، در تعادل عناصر غذایی، افزایش غده‌بندی، جذب نیتروژن و فسفر در گیاه نیز مؤثر می‌باشد (Khan *et al*., 1994). پتاسیم به دلیل داشتن نقش مکمل با سایر عناصر پرمصرف نظیر نیتروژن، فسفر و کلسیم و نیز اثر مثبت بر فرایند تطابق اسمزی ریشه و اندام‌های هوایی گیاه با شرایط نامساعد خاک و اتمسفر از جمله شوری و خشکی، سبب جذب بیشتر آب و عناصر غذایی مورد نیاز گیاه شده و زمینه افزایش عملکرد را فراهم می‌آورد. به موازات تأمین عناصر غذایی از طریق مصرف کود برای محصولات زراعی پرتوقع، مقدار پتاسیم تکافوی نیاز فیزیولوژیک گیاه را ننموده و مصرف کود پتاسه را ایجاب می‌نماید (Ghanbari *et al*., 2007). واکنش گیاه به پتاسیم بسته به رقم، زمان، نحوه مصرف و منبع پتاسیم متفاوت است (Perrenoud, 1993). پتاسیم با تأثیر بر افزایش کارایی مصرف آب، افزایش رشد ریشه و افزایش تقسیم سلولی منجر به افزایش وزن خشک برگ و سایر اندام‌های هوایی می‌شود (Malakouti and Homaei, 2004). با افزایش میزان پتاسیم، میزان تثبیت دی‌اکسیدکربن به دلیل کارکرد مطلوب روزنه‌ها افزایش می‌یابد و در نتیجه میزان فتوسنتز افزایش یافته و بدین ترتیب تولید کربوهیدرات در برگ‌ها افزایش می‌یابد و این امر باعث افزایش در وزن خشک برگ می‌شود (Kholdbarin and Eslamzadeh, 2005).

برتون (Burton, 1989) بیان داشت که عناصر غذایی از جمله پتاسیم باعث افزایش عملکرد غده، تولید بیشتر ماده خشک و رشد بیشتر سیب‌زمینی می‌شوند. هریس (Harris, 1978) بیان داشت که نیتروژن و پتاسیم باعث کاهش ماده خشک غده می‌شوند. نتایج آزمایش‌های آنانـدا و همکاران (Ananda *et al*., 1998) نشان داد که نیتروژن و پتاسیم عملکرد و ماده خشک کل گیاه را افزایش داده ولی فسفر تأثیری بر آن ندارد. ویرانا و کالاک (Veeranna and Khalak, 1997a) مشاهده کردند که افزایش پتاسیم تولید ماده خشک سیب‌زمینی را افزایش می‌دهد. عدم کافی بودن پتاسیم قابل دسترس برای گیاه، باعث حساسیت به پتانسیل آب پایین می‌شود. جذب پتاسیم، باعث بهبود رشد ریشه و افزایش آب قابل دسترس خاک می‌گردد. تعداد و میزان گسترش ریشه با توزیع خوب پتاسیم در خاک افزایش می‌یابد (Reeves and Mullins, 1995).

زراست و جوزل (Zrust and Juzl, 1997) با بررسی شاخص‌های رشد در ارقام مختلف سیب‌زمینی گزارش نمودند که سرعت رشد

محصول از توابع درجه دو تبعیت نموده و در مراحل ابتدایی رشد کم و پس از آن به حداکثر خود رسیده و در اواخر فصل رشد کاهش می‌یابد.

بررسی شاخص‌های رشد می‌تواند در تجزیه و تحلیل عملکرد و عوامل مؤثر بر آن مؤثر واقع گردد. با استفاده از توابع رگرسیون غیرخطی می‌توان رابطه وزن خشک و یا سطح برگ را با زمان یا با درجه روز رشد (GDD) تجمعی محاسبه کرد (Sarmadnia and Koochaki, 1989., Karimi and Azizi, 1994). به طور کلی، روند افزایش وزن خشک کل گیاه سیب‌زمینی به صورت منحنی سیگموییدی می‌باشد و از معادلات درجه دوم پیروی می‌کند (Khalghani *et al*., 1997., Sobhani, 1995).زراست و گپل (Zrust and Geple, 1992) گزارش کردند که دوام سطح برگ، تعداد برگ‌ها و شاخص سطح برگ با عملکرد همبستگی مثبت دارند.

کاربرد پتاسیم به صورت کلرید پتاسیم باعث افزایش معنی‌داری در ماده خشک کل تولیدی در گیاه جو شده است. افزایش مصرف پتاسیم، تراکم، ریشه، اندازه برگ، شاخص سطح برگ و سطح ویژه برگ را افزایش داد (Daneshian, 1999). سایکو (Saicu, 1978) مشاهده نمود که مصرف پتاسیم باعث افزایش فتوسنتز و شاخص سطح برگ سیب‌زمینی می‌شود. کاستیوک (Kostyuk, 1995) مصرف عناصر غذایی شیمیایی و حیوانی را در مورد سیب‌زمینی مناسب دانست. او همبستگی معنی‌داری بین عناصر غذایی با شاخص سطح برگ، عملکرد و کلروفیل برگ به‌دست آورد. ویرانا و کالاک (Veeranna and Khalak, 1997b) مشاهده کردند که افزایش عناصر غذایی باعث افزایش LAI، LAD و دیگر شاخص‌های رشد سیب‌زمینی شد. مک کلوم (MC Collum, 1978) در بررسی اثر عناصر غذایی، اظهار داشت که عناصر بر میزان CGR، LAI و NAR اثر می‌گذارند اما فسفر و پتاسیم اثرات کمتری را نسبت به نیتروژن نشان می‌دهند. هریس (Harris, 1978) نشان داد که مصرف پتاسیم باعث افزایش شاخص سطح برگ و تولید ماده خشک در سیب‌زمینی می‌شود. پتاسیم در مراحل ابتدایی رشد اثر کمی روی LAI دارد اما در اواخر فصل باعث افزایش قابل توجهی در LAI و تأخیر در پیری برگ‌ها می‌شود. برتون (Burton, 1989) نتیجه متفاوتی را در مورد اثر پتاسیم بر روی سیب‌زمینی به‌دست آورد. او مشاهده کرد که پتاسیم اثری روی LAI نداشت اما نیتروژن و فسفر LAI سیب‌زمینی را افزایش دادند.

کارل و همکاران (Karle *et al*., 1993) بیان داشتند که مقادیر مختلف پتاسیم و فسفر روی توزیع ماده خشک سیب‌زمینی تأثیری ندارند. سایکیا و همکاران (Saikia *et al*., 1987) اظهار داشتند که پتاسیم باعث افزایش LAI، LAD، کارایی برگ و ماده خشک غده می‌شود.

خسروی‌فر و همکاران (Khosravifar *et a*l., 2008) گزارش کردند که وزن تر و عملکرد غده سیب‌زمینی با افزایش فاصله دوره‌های آبیاری و افزایش مصرف کود پتاسه به‌ترتیب کاهش و افزایش یافتند ولی سطح برگ بوته به هنگام افزایش مصرف کود پتاسه از یک الگوی کلی افزایشی و کاهشی تبعیت ننمود.

عبدل‌حنان و همکاران (Abdul-Hannan *et al*., 2011) با مطالعه اثر مقادیر مختلف پتاسیم بر عملکرد و خصوصیات کیفی سیب‌زمینی در پاکستان نشان دادند که با مصرف ۱۳۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار، بالاترین عملکرد غده حاصل شد. در حالی‌که در تیمار ۱۵۷ کیلوگرم پتاسیم در

هکتار، خصوصیات کیفی از جمله ماده خشک غده بهبود یافت.

قنبری و همکاران (Ghanbari *et al*., 2007) اثر مقادیر مختلف کود سولفات پتاسیم (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) را بر خصوصیات کمی و کیفی سیب‌زمینی در منطقه میانه مورد مطالعه قرار دادند. آنها نشان دادند که با افزایش مصرف کود پتاسیم، وزن تر و خشک غده و وزن تر و خشک بوته به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.

بیک نژاد (Beiknejad, 2008) مقادیر ۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار را در سه ژنوتیپ سویا به‌کار برده و نشان داد که با افزایش مصرف پتاسیم، عملکرد دانه به طور معنی‌داری افزایش یافت. همچنین، مصرف کود پتاسیم اثر معنی‌داری بر شاخص‌های رشد از جمله CGR و RGR داشت، به طوری که بیشترین میزان CGR و RGR سویا با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم به‌دست آمد.

حاتمی و همکاران (Hatami *et al*., 2010) با مطالعه اثر کود پتاسیم بر رشد و عملکرد ارقام سویا در خراسان شمالی نشان دادند که با افزایش مصرف کود پتاسیم بر عملکرد دانه افزوده شد. علاوه بر این، مصرف کود پتاسیم باعث بهبود روند تغییرات کلیه پارامترهای رشد گیاه اعم از وزن خشک، سرعت رشد نسبی، سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ و سرعت جذب خالص در کلیه ارقام سویا شد. با توجه به اهمیت محصول سیب‌زمینی، در این تحقیق اثر مقادیر مختلف پتاسیم بر روی عملکرد و شاخص‌های رشد سیب زمینی رقم آئولا در استان خراسان رضوی مطالعه گردید.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به منظور بررسی اثر میزان پتاسیم بر عملکرد و شاخص‌های رشد سیب‌زمینی رقم آئولا در مزرعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی خراسان رضوی (طرق) در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ انجام شد. ایستگاه تحقیقات کشاورزی طرق در ۶ کیلومتری جنوب‌شرقی مشهد و در موقعیت جغرافیای ˚۵۹ و ´۳۸ طول شرقی و ˚۳۶ و ´۱۶ عرض شمالی و با ارتفاع ۹۸۰ متر از سطح دریا قرار دارد. خاک مورد مطالعه دارای بافت سیلت لوم با اسیدیته برابر با ۷/۹، پتاسیم قابل جذب ۱۵۰ ppm، فسفر قابل جذب ۱۲/۸ ppm و نیتروژن کل ۰/۰۶ درصد بود. میزان پتاسیم شامل مقادیر ۰، ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ کیلوگرم اکسید پتاسیم (K_2O) در هکتار بود. این آزمایش در قالب بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار اجرا شد و هر کرت دارای چهار ردیف به فواصل ۷۵ سانتی‌متر و به طول ۷ متر و مساحت ۲۱ مترمربع بود. برای به دست آوردن شاخص‌های رشد در طول فصل، هر ۱۰ روز یک‌بار، از هر کرت نمونه‌هایی از بوته سیب‌زمینی با درنظر گرفتن حاشیه انتخاب گردید. پس از جدا نمودن ریشه، ساقه، برگ و غده، هر کدام جداگانه در آون الکتریکی با درجه حرارت ۷۵ درجه سلسیوس خشک شدند. برای اندازه‌گیری سطح برگ در هر نمونه‌گیری از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Leaf Area Meter) 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)، شاخص حرارتی درجه روز رشد (GDD) و با استفاده از فرمول زیر، به‌کار گرفته شد:

$$GDD = \sum_{j=1}^{n} \left[\frac{T\max + T\min}{2} \right] - Tb$$

در این فرمول، n تعداد روزهای رشد، Tmax درجه حرارت حداکثر روزانه (درجه سلسیوس)، Tmin درجه حرارت حداقل روزانه (درجه سلسیوس) و Tb درجه حرارت پایه برای رشد سیب‌زمینی (۷ درجه سلسیوس) می‌باشد. در بررسی بهترین معادلات برای روند رشد، معادلات درجه دوم زیر به دست آمد:

$$\text{Ln TDM} = a + bt + ct^2$$
$$\text{Ln LAI} = a' + b't + c't^2$$

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:

$$CGR = \frac{d(LnTDM)}{dt} = TDM \times RGR$$
$$RGR = \frac{d(LnTDM)}{dt} \times \frac{1}{TDM} = b + 2Ct$$
$$NAR = \frac{CGR}{LAI}$$
$$LAD = \frac{(LAI_1 + LAI_2)(t_2 - t_1)}{2}$$

در روابط فوق، (dLnTDM) تغییرات وزن خشک کل گیاه و dt تغییرات درجه روز رشد تجمعی می‌باشد. پس از برداشت محصول، عملکرد غده سیب‌زمینی اندازه‌گیری شد.

کلیه داده‌های به‌دست آمده از آزمایش توسط نرم‌افزار کامپیوتری استات گرافیگ (Statgraphics) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و شکل‌های لازم توسط نرم افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که بین سطوح مختلف پتاسیم از نظر عملکرد غده سیب زمینی تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود دارد. نتایج مقایسه میانگین (جدول ۲) نشان داد که با افزایش مصرف پتاسیم، عملکرد غده سیب زمینی افزایش یافت به‌طوری که بالاترین عملکرد (۱۷/۹۴ تن در هکتار) مربوط به سطح ۲۷۰ کیلوگرم K_2O در هکتار بود که ۴۰ درصد افزایش نسبت به شاهد (عدم مصرف پتاسیم) داشت. اثر مثبت پتاسیم بر عملکرد غده سیب‌زمینی در بسیاری از گزارش‌ها تأیید شده است (Singh and Grawel, 1987; Singh, 1979; Burton, 1989; Ananda *et al*., 1998; Singh and Grawel, 1995).

مشابه آنچه در مورد تغییرات وزن خشک اندام‌های گیاهی مشاهده شد، منحنی وزن خشک کل گیاه حالت سیگموییدی داشت. روند تغییرات ماده خشک کل در سطوح پتاسیم در شکل ۱ نشان داده شده است. پس از یک مرحله رشد آهسته تا دریافت ۵۰۰ GDD گیاه رشد سریع خود را آغاز کرد. حداکثر تولید ماده خشک کل گیاه در ۲۳۰۰GDD بود که پس از آن کاهش تولید ماده خشک مشاهده شد. مصرف ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار اکسید پتاسیم بیشترین ماده خشک گیاه (۸۳۵ گرم در مترمربع) و عدم مصرف پتاسیم کمترین ماده خشک گیاهی (۷۷۸ گرم در مترمربع) را تولید نمود. حداکثر تولید ماده خشک کل گیاه در پتاسیم بیشتر (۱۸۰ و ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار) حدود ۱۰۰ GDD زودتر از مصرف پتاسیم کمتر (۰ و ۹۰ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. اختلافات سطوح پتاسیم در مراحل ابتدایی رشد کم و به تدریج پس از آغاز رشد غده (بین

۱۵۰۰ تا ۱۵۵۰ درجه روز رشد تجمعی) بیشتر شد (شکل ۱).

پتاسیم میزان تولید ماده خشک کل گیاه و نیز عملکرد غده را افزایش داده است. روند تغییرات ماده خشک اندام‌های گیاهی و کل ماده خشک توسط سبحانی (Sobhani, 1995) و خلقانی و همکاران (Khalghani *et al*., 1997) به‌دست آمده است. معادلات آنها نیز لگاریتمی درجه دوم بود و منحنی‌ها حالت سیگموییدی داشتند.

ماده خشک کل گیاه یا عملکرد بیولوژیک حاصل تجمع مواد فتوسنتزی می‌باشد. برای بررسی روند رشد گیاه، وزن خشک کلیه اندام‌های گیاهی به طور مجزا در طول فصل رشد تعیین شدند. در این تحقیق، چگونگی تغییرات ماده خشک برگ (شکل ۲)، ساقه (شکل ۳) و ریشه (شکل ۴) در سطوح مختلف پتاسیم نشان داده شده است. مصرف بیشتر پتاسیم باعث افزایش ماده خشک ساقه، ریشه و برگ شد. وزن خشک ساقه بیشتر تحت تأثیر پتاسیم قرار گرفت. حداکثر ماده خشک ساقه در GDD ۱۸۰۰، حداکثر ماده خشک ریشه در GDD ۱۶۰۰ و حداکثر ماده خشک برگ در GDD ۱۵۰۰ به‌دست آمد. حداکثر وزن خشک ساقه ۳۲۴/۸۶ گرم در مترمربع، حداکثر وزن خشک برگ ۱۷۱ گرم در مترمربع، حداکثر وزن خشک ریشه ۲۶/۱ گرم در مترمربع در تیمار مصرف ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم به‌دست آمد. ماده خشک اندام‌ها با گذشت زمان (بین ۱۵۰۰ تا ۱۸۰۰ درجه روز رشد تجمعی) کاهش یافت. علت آن انتقال مواد فتوسنتزی به غده‌ها می‌باشد.

شکل ۵ روند تغییرات ماده خشک غده را در طول فصل رشد در سطوح پتاسیم 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 GDD۱۸۰۰ ادامه داد. مصرف بیشتر پتاسیم توانست ماده خشک غده را به میزان کمی افزایش دهد. در عدم مصرف پتاسیم ۳۶۷ و در میزان ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار اکسید پتاسیم ۴۹۰ گرم ماده خشک غده در مترمربع تولید شد.

با افزایش سطح برگ‌ها که اندام‌های اصلی دریافت نور می‌باشند، میزان جذب تشعشع و فتوسنتز بیشتر می‌شود (Sarmadnia and Koochaki, 1989). شاخص سطح برگ که همبستگی خوبی با عملکرد دارد در این آزمایش مورد بررسی قرار گرفت. ضرایب معادلات درجه دوم (a، b و c) در تیمارهای پتاسیم در جدول ۳ ارایه شده‌اند. تغییرات شاخص سطح برگ در اثر سطوح پتاسیم در شکل ۶ 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 به حداکثر میزان خود می‌رسد. پس از آن به علت زرد شدن برگ‌ها و ریزش آنها تا پایان فصل رشد میزان آن کاهش می‌یابد. مطابق آنچه در مورد وزن خشک برگ مشاهده شد (شکل ۲) پتاسیم بر افزایش سطح برگ مؤثر می‌باشد. در سطوح پایین مصرف پتاسیم (۰ و ۹۰ کیلوگرم در هکتار) حداکثر شاخص سطح برگ ۲/۵۸ تا ۲/۷ و در سطوح بالای پتاسیم (۱۸۰ و ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار) حداکثر شاخص سطح برگ ۳ تا ۳/۱۵ بدست آمد (شکل ۶). این افزایش سطح برگ باعث بالا رفتن جذب تشعشع و فتوسنتز و در نتیجه افزایش تولید ماده خشک گردید.

مقادیر دوام سطح برگ (LAD) در سطوح مختلف پتاسیم در طول فصل رشد در جدول ۴

آمده است. با افزایش درجه روز رشد تجمعی، دوام سطح برگ زیاد شد و پس از رسیدن به حداکثر خود رو به کاهش نهاد. مصرف بیشتر پتاسیم دوام سطح برگ را افزایش داد و در تیمار ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار اکسید پتاسیم بیشترین مقدار آن به دست آمد که ۳۰۹/۳۷ متر مربع در GDD در ۱۶۰۰ درجه روز رشد تجمعی بود.

معمولاً همبستگی خوبی بین عملکرد غده 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 (Sarmadnia and Koochaki, 1989). اختلاف‌های 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.

همبستگی مثبت بین عملکرد غده با دوام سطح برگ، تعداد برگ‌ها و شاخص سطح برگ سیب‌زمینی توسط زراست و گپل (Zrust and Geple, 1992) گزارش شده است. مشابه نتایج این آزمایش، هریس (Harris, 1978) و ویرانا و کالاک (Veeranna and Khalak, 1997b) اثر مصرف پتاسیم را بر روی این دو شاخص مثبت دانستند. سبحانی (Sobhani, 1995) حداکثر شاخص سطح برگ سیب‌زمینی را ۳/۴ در GDD ۱۷۰۰ به دست آورد.

چگونگی تغییرات سرعت رشد نسبی گیاه بر اساس GDD در سطوح مختلف پتاسیم در شکل ۷ نشان داده شده است. سرعت رشد نسبی با تجمع GDD کاهش می‌یابد و در اواخر فصل رشد منفی می‌شود. سطوح پتاسیم تأثیر زیادی بر روند سرعت رشد نسبی نداشت. سطوح بالای پتاسیم نسبت به عدم مصرف آن، اختلاف محسوسی را در مورد تغییرات سرعت رشد نسبی نشان می‌دهند. علت آن هم سطح بیشتر برگ و دوام بیشتر آنها می‌باشد. تأثیر پتاسیم بر سرعت رشد نسبی متفاوت می‌باشد. در بعضی آزمایش‌ها اثر آن مثبت (Harris, 1978., Veeranna and Khalak, 1997b) بوده است و در بعضی دیگر (Burton, 1989 و MC Collum, 1978) تأثیری بر سرعت رشد نسبی نداشته است. 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 ولی شدت تنفس بالایی دارند و موجب هدر رفتن انرژی تولید شده می‌شوند (Sobhani, 1995).

روند تغییرات سرعت رشد محصول نسبت به GDD در تیمارهای مختلف پتاسیم در شکل ۸ آمده است. با گذشت زمان سرعت رشد محصول افزایش یافته و پس از رسیدن به حداکثر خود رو به کاهش نهاد. سطوح مختلف پتاسیم بر روی سرعت رشد محصول تأثیر گذاشتند. مصرف ۱۸۰ و ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار اکسید پتاسیم باعث بالا رفتن سرعت رشد محصول تا ۰/۷ گرم در مترمربع در هر GDD شد (شکل ۸).

بالا بودن سرعت رشد محصول در سطوح بالای پتاسیم نشان‌دهنده مناسب بودن این تیمارها برای تولید ماده خشک، عملکرد و اجزای 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 (Sobhani, 1995; Khalghani *et al*., 1997).

نتایج به دست آمده مشابه آزمایش‌های هریس (Harris, 1978) و ویرانا و کالاک (Veeranna and Khalak, 1997b) می باشد، به طوری‌که افزایش پتاسیم باعث بالا رفتن سرعت رشد محصول سیب‌زمینی گردید.

چگونگی تغییرات سرعت جذب خالص نسبت به GDD در سطوح مختلف پتاسیم در شکل ۹ 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.

افزایش مصرف پتاسیم باعث بالا رفتن سرعت جذب خالص می‌شود. این امر نشان‌دهنده اثر مثبت پتاسیم در فتوسنتز و تولید ماده خشک و عملکرد غده می‌باشد (شکل ۹). با مصرف پتاسیم به میزان ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار، سرعت جذب خالص ۰/۴۵گرم در متر مربع سطح برگ در GDD و در عدم مصرف پتاسیم ۰/۷ گرم در مترمربع در GDD بود.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که با افزایش مصرف پتاسیم، عملکرد غده سیب زمینی افزایش می یابد به طوری‌که با مصرف۲۷۰ کیلوگرم K_2O در هکتار بیشترین عملکرد غده حاصل شد. علاوه بر این، کلیه شاخص‌های رشد مورد مطالعه نیز تحت تأثیر سطوح مختلف پتاسیم قرار گرفتند. مصرف بیشتر پتاسیم باعث افزایش ماده خشک ساقه، ریشه و برگ شد. با افزایش مصرف پتاسیم کلیه شاخص‌های رشد مورد مطالعه سیب‌زمینی نیز افزایش یافت. بیشترین و کمترین ماده خشک گیاه به ترتیب با مصرف ۲۷۰ و ۰ کیلوگرم در هکتار اکسید پتاسیم حاصل شد. حداکثر ماده خشک ساقه، ریشه، برگ و غده به ترتیب در ۱۸۰۰، ۱۶۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۳۰۰ GDD به‌دست آمد. بیشترین وزن خشک ساقه، برگ، ریشه و غده نیز در تیمار مصرف ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم حاصل گردید. علاوه بر این بیشترین مقدار LAD در تیمار ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار اکسید پتاسیم و در ۱۶۰۰GDD مشاهده شد.

جدول ۱- تجزیه واریانس عملکرد غده سیب زمینی در سطوح مختلف پتاسیم

Table1- Analysis of variances of potato tuber yield in differents potassium levels

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی D.f.	میانگین مربعات Mean squars
تکرار Rep.	2	0.749 ns
اکسید پتاسیم (K_2O)	3	18.465 **
خطای آزمایش Error	6	0.998
ضریب تغییرات (%) Coefficient of Variation		4.55

** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و غیر معنی‌دار.

**, ns: Significant at 0.01 probability level and non significant, respectively.

جدول ۲- مقایسه میانگین عملکرد غده سیب زمینی در سطوح مختلف پتاسیم

Table 2- Means comparison of potato tuber yield in different potassium levels

اکسید پتاسیم K_2O (kg/ha)	عملکرد غده Tuber yield (t/ha)
0	18.90 c
90	21.59 b
180	22.26 b
270	24.94 a

میانگین‌ها با حروف مشابه به روش دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارد.

Means followed by similar letters are not significant at α=0.05 according to DMRT.

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

Table 3- R^2 coefficient and coefficients of $X= Exp\ (a+bt+ct^2)$ equation for studied traits in differents potassium levels

صفت (x) Trait	ضریب Coefficient	اکسید پتاسیم K_2O (kg/ha)			
		0	180	90	180
ماده خشک ریشه Root dry matter	a	0.257953	0.176194	0.207471	0.171098
	b	0.003806	0.003964	0.003951	0.003966
	c	-1.259721×10^{-6}	-1.29300×10^{-6}	-1.296548×10^{-6}	-1.271787×10^{-6}
	R^2	0.99 **	0.98 **	0.98 **	0.99 **
ماده خشک ساقه Stem dry matter	a	-1.057971	-1.048371	-1.038716	-1.038146
	b	0.007628	0.007615	0.007587	0.007599
	c	-2.20715×10^{-6}	-2.16101×10^{-6}	-1.038146×10^{-6}	-2.11625×10^{-6}
	R^2	0.97 **	0.98 **	0.98 **	0.97 **
ماده خشک برگ Leaf dry matter	a	1.003449	1.00954	1.00135	1.003825
	b	0.005711	0.005731	0.005756	0.005761
	c	-2.005131×10^{-6}	-2.003434×10^{-6}	-2.002817×10^{-6}	-2.00167×10^{-6}
	R^2	0.95 **	0.96 **	0.96 **	0.97 **
ماده خشک غده Tuber dry matter	a	-37.256709	-38.121803	-37.769041	-38.040467
	b	0.037399	0.038418	0.03802	0.038369
	c	-8.101273×10^{-6}	-8.35514×10^{-6}	-8.237903×10^{-6}	-8.320099×10^{-6}
	R^2	0.97 **	0.96 **	0.96 **	0.96 **
ماده خشک کل Total dry matter	a	1.509854	1.515411	1.510435	1.511005
	b	0.004536	0.004541	0.004551	0.004561
	c	-9.9925×10^{-7}	-9.9850×10^{-7}	-9.9651×10^{-7}	-9.9689×10^{-7}
	R^2	0.99 **	0.99 **	0.98 **	0.98 **
شاخص سطح برگ Leaf area index	a	-3.744507	-3.423762	-3.235952	-3.236404
	b	0.005825	0.00551	0.005618	0.005651
	c	-1.807456×10^{-6}	-1.71807×10^{-6}	-1.816647×10^{-6}	-1.819643×10^{-6}
	R^2	0.93 **	0.95 **	0.95 **	0.96 **

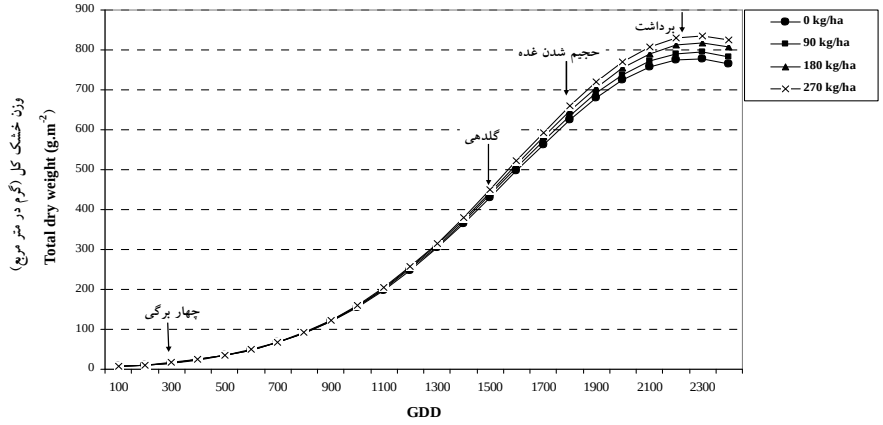
**: significant at 1% levels of probability

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

جدول ۴- دوام سطح برگ (LAD) در طول فصل رشد سیب زمینی در سطوح مختلف پتاسیم

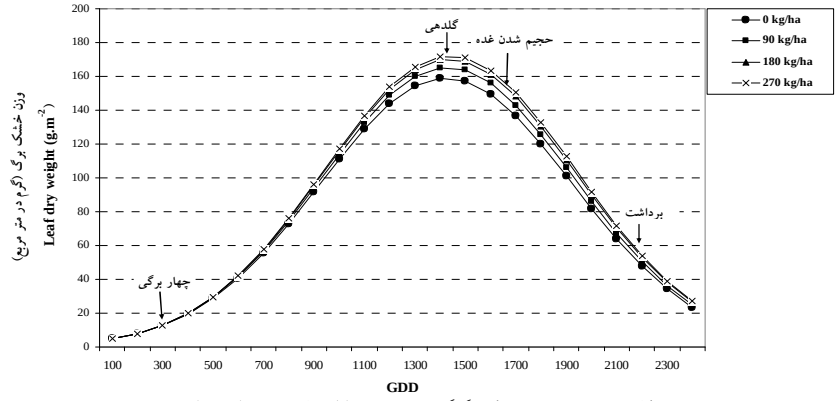
Table 4- Leaf area duration (LAD) in growing season in differents potassium levels

درجه روز رشد Growing degree day (GDD)	**دوام سطح برگ** Leaf area duration (LAD)			
	اکسید پتاسیم K_2O (kg/ha)			
	0	90	180	270
200	9.29	11.87	14.63	14.75
400	22.95	27.89	34.61	35.12
600	49.10	57.17	70.96	2.39
800	91.01	102.27	125.89	121.16
1000	146.18	159.65	193.04	199.50
1200	203.44	217.45	257.27	266.74
1400	245.34	258.46	296.32	308.75
1600	256.37	268.06	295.52	309.37
1800	232.12	242.60	255.19	268.35
2000	182.13	191.59	190.18	201.50
2200	96.74	104.14	94.15	100.04
2300	92.35	96.76	91.23	95.81



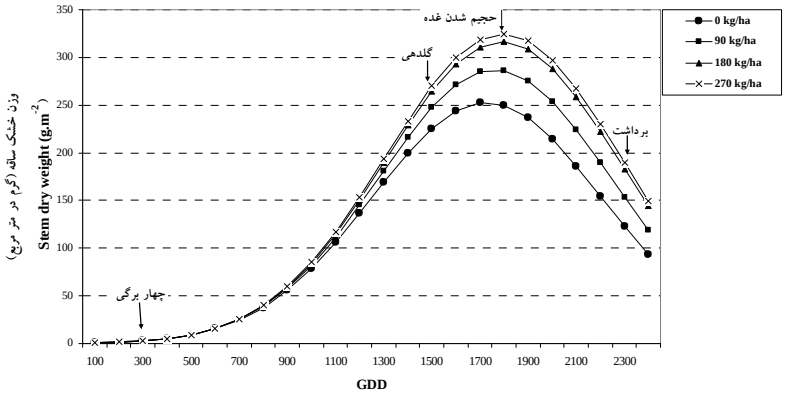
شکل ۱- روند تغییرات وزن خشک کل سیب‌زمینی در طول فصل رشد در سطوح مختلف پتاسیم

Figure 1- Potato total dry weight trend in growing season in different potassium levels

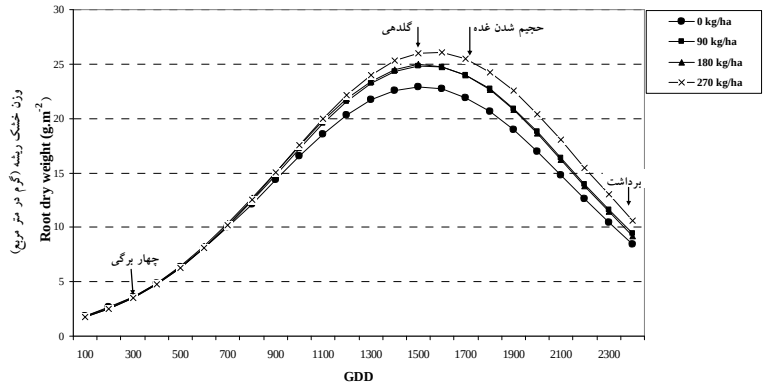


شکل ۲- روند تغییرات وزن خشک برگ سیب‌زمینی در طول فصل رشد در سطوح مختلف پتاسیم

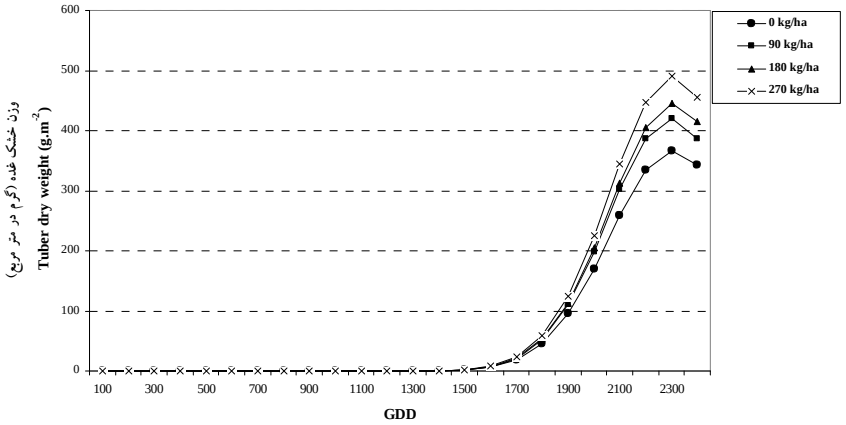
Figure 2- Potato leaf dry weight trend in growing season in different potassium levels



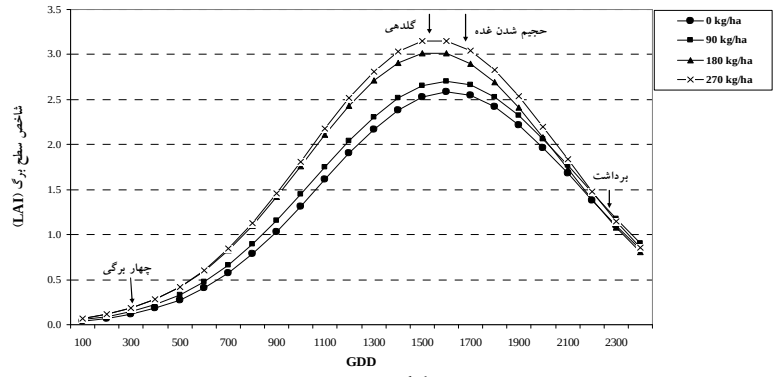
شکل ۳- روند تغییرات وزن خشک ساقه برگ سیب‌زمینی در طول فصل رشد در سطوح مختلف پتاسیم
Figure 3- Potato stem dry weight trend in growing season in different potassium levels



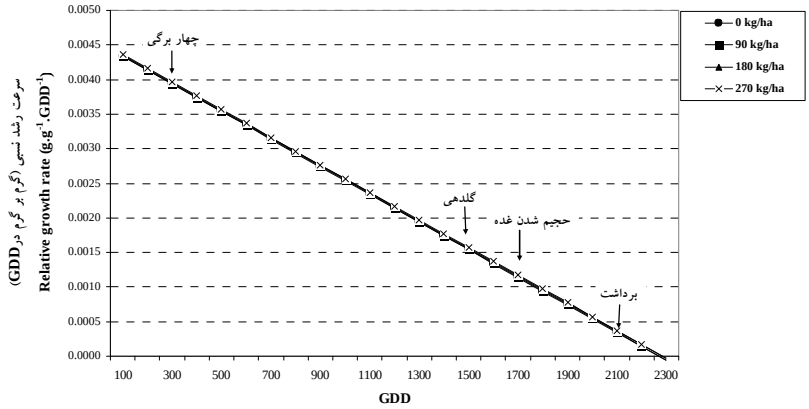
شکل ۴- روند تغییرات وزن خشک ریشه برگ سیب‌زمینی در طول فصل رشد در سطوح مختلف پتاسیم
Figure 4- Potato root dry weight trend in growing season in different potassium levels



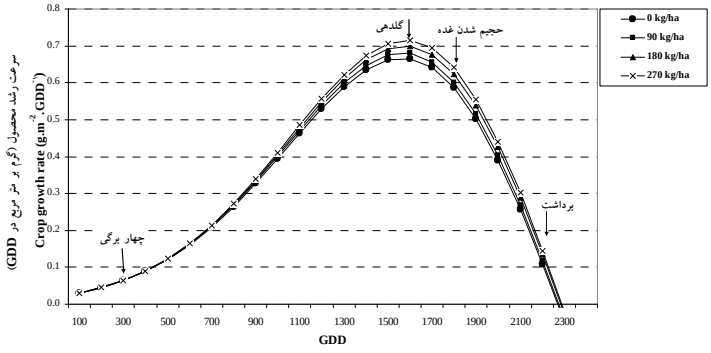
شکل ۵- روند تغییرات وزن خشک غده سیب‌زمینی در طول فصل رشد در سطوح مختلف پتاسیم
Figure 5- Potato tuber dry weight trend in growing season in different potassium levels



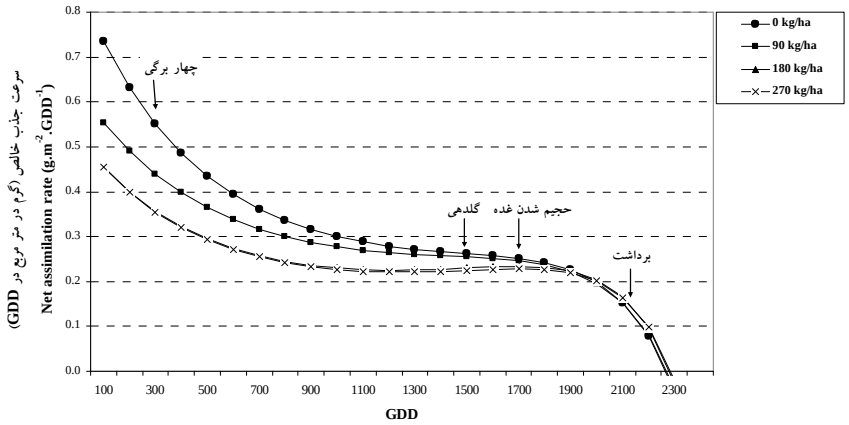
شکل ۶- روند تغییرات شاخص سطح برگ سیب‌زمینی در طول فصل رشد در سطوح مختلف پتاسیم
Figure 6- Potato leaf area index trend in growing season in different potassium levels



شکل ۷- روند تغییرات سرعت رشد نسبی سیب‌زمینی در طول فصل رشد در سطوح مختلف پتاسیم
Figure 7- Potato relarive growth rate trend in growing season in different potassium levels



شکل ۸- روند تغییرات سرعت رشد محصول سیب‌زمینی در طول فصل رشد در سطوح مختلف پتاسیم
Figure 8- Potato crop growth rate trend in growing season in different potassium levels



شکل ۹- روند تغییرات سرعت جذب خالص سیب‌زمینی در طول فصل رشد در سطوح مختلف پتاسیم

Figure 9- Potato net assimilation rate trend in growing season in different potassium levels

References منابع مورد استفاده

- Abdul Hannan, A., M. Arif, A.M. Ranjha, A. Abid, X.H. Fan, and Y.C. Li. 2011. Using soil potassium adsorption and yield response models to determine potassium fertilizer rates for potato crop on a calcareous soil in Pakistan. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 42 (6): 645-655.
- Ananda, T.S., K.S. Krishnappa., and M. Anjanappa.1998. Dry matter production in potato crop raised from TPS transplants as influenced by spacing and nutrition. *Current Research.* 27(7-8): 151-152
- Anonymous. 2013. Statistical yearbook of Khorasan-e-Razavi Province 2012. Department of Agricultural Statistics. Jihad-e-Agriculture Organization in Khorasan-e-Razavi Province. (In Persian).
- Beiknejad, M. 2008. Effect of plant density on agronomic characteristics and yield of soybean cultivars in Bojnourd. MSc. Thesis in Agronomy. Islamic Azad University, Bojnourd Branch. 62 pp. (In Persian).
- Beukema, H.P., and D.E. Vanderzaag. 2004. Introduction to Potato Production. Translated by Rezaei, A.M. and A. Soltani. Fourth Edition. Jehad University Press, Mashad. 179 pp. (In Persian).
- Burton, W.G. 1989 .The potato. Longman Scientific and Technical. pp: 85-320.

- Daneshian, J. 1999. Study of ecophysiologic of water deficit effects in soybean. PhD. Thesis in Agronomy. Islamic Azad University. Karaj Branch. Iran. (In Persian).
- FAO.2012.http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx.
- Ghanbari, A., M. Farboudi, R. Alimohammadi, A. Faramarzi, S. Jamshidi, and S. Shamspour. 2007. Effects of potassium sulfate (K_2SO_4) on quantity and quality of Agria and Satina potato cultivars in Miyaneh region, Iran. *Journal of New Agricultural Science*. 3(6): 69-79. (In Persian).
- Harris, P.M. 1978. The potato crop; the scientific basis for improvement. London. Chapman and Hall. pp: 210-273.
- Hatami, H., A. Aynehband, M. Azizi, A. Soltani, and A.R. Dadkhah. 2010. Effect of potassium fertilizer on growth and yield of soybean cultivars in North Khorasan. *Journal of Crop Ecophysiology*. 2(2): 75-90. (In Persian).
- Iwama, K. 1988. Differences in root growth of potato plants among years and cropping season. *Japanes Journal of Crop Science*. 57 (2): 346-354.
- Karimi, M., and M. Azizi. 1994. Growth analysis of crops. Jehad University Press, Mashad. (In Persian).
- Karle, A.S., J.T. Nankar, and A.V. Solanke. 1993. Percent contribution of plant parts in total dry matter accumulation of potato. *Field Crop Abst*. 46: 11.
- Khalghani, J., F. Rahimzadeh Khoei, M. Moghaddam, and H. Rahimian Mashhadi. 1997. Analysis of potato growth process at different levels of nitrogen and plant density. *Agricultural Science.* 7(1,2): 32-58. (In Persian).
- Khan, H.R., S. Elahi, M.S. Hussain, and T. Adachi. 1994. Soil characteristics and behavior of potassium under various moisture regimes. *Soil Science and Plant Nutrition*. 40(2): 234-254.
- Kholdbarin, B., and T. Eslamzadeh. 2005. Mineral nutrition of organic plants, Volume 1, Shiraz University Press. (In Persian).
- Khosravifar, S., M. Yarnia, M.B. Khorshidi Benam, and A.H. Hosseinzadeh Moghbeli. 2008. Effect of potassium on drought tolerance in potato cv. Agria. Proceedings of the10th Congress of Agronomy and Plant Breeding. Iran. Pp: 358. (In Persian).
- Kostyuk, V.I. 1995. Optimization of potato nutrition in Northern Kolsky. *Agrokhimiya*. 3: 15-24.
- Malakouti, M. J., and M. Homaei. 2004. Fertility of soils in arid and semi-arid, problems and solutions, Tarbiat Modarres University Press. 482 pp. (In Persian).
- MC Collum, R.E. 1978. Analysis of potato growth under different P regimes 2-time by P-status interactions for growht and leaf efficiency. *Agron. J*. 70: 58-66.
- Motamed, A. 1992. Potato: Soil, water and fertilizer. Soil and Water Research, Mazandaran. Mazandaran Agricultural Research Center. (In Persian).

- Perrenoud, S. 1993. Fertilizing for high yield potato. IPI Bulletin 8. 2nd Edition. International Potash Institute, Basal, Switzerland.
- Reeves, D.W., and G.L. Mullins. 1995. Subsoiling and potassium placement effects on water relations and yield of cotton. *Agron. J.* 87: 847-852.
- Beukema, H.P., and D.E. Vanderzaag. 2004. Introduction to potato production. Translated by Rezaei, A.M. and A. Soltani. Fourth Edition. Jehad University Press, Mashad. 179 pp. (In Persian).
- Saicu, C. 1978. The use of chemical fertilizers in the irrigated potato crop on the Suceava Plateau. Cercetari Agronomice in Moldova. 3: 61-65.
- Saikia, L., D.K. Patgiri, and T.C. Mahanta. 1987. Effect of levels of potash on the growth of potato varieties. *Journal of Potassium Research*. 3(2): 80-84.
- Sarmadnia, G., and A.R. Koochaki. 1989. Crops physiology. Jehad University Press. Mashhad. (In Persian).
- Singh, J.P., and J.S. Grewal. 1987. Response of potato to potassium under intensive cropping and changes in soil potassium with time. *Journal of Potassium Research*. 3(3): 107-114.
- Singh, J.P., and J.S. Grewal. 1995. Requirement of potassium to potato crop and effect of some agrotechniques on yield and fertilizer use efficiency. *Journal of Potassium Research*. 11(2): 160-165.
- Singh, P. 1979. Dry matter accumulation and nutrient uptake by the potato crop harvested at different intervals. *Journal of Research Punjab Agricultural University*. 16 (1): 19-23.
- Sobhani, A. R. 1995. Effects of date of planting and pre germination of seed tubers on growth index and yield of three potato cultivars. MSc. Thesis in Agronomy. Tarbiat Modarres University. (In Persian).
- Veeranna, H.K., and A. Khalak. 1997a. Bulking rates, gradwise and total yield of tubers as influenced by spacing and fertilizer levels in potato crop raised from TPS seedlings. *Mysore Journal of Agricultural Science*. 31(1): 60-65.
- Veeranna, H.K., and A. Khalak. 1997b. Effect of spacing and fertilizer levels on growth parameters and dry matter production of potato crop raised from TPS seedlings. *Crop Research*. 14(1): 119-126.
- Zahedi Aval, M.H. 1996. Effects of density and different amounts of potassium on the quantity and quality of two potato cultivars. MSc. Thesis in Agronomy. Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian).
- Zrust, J., and J. Geple. 1992. Dependence of yield of early potato on some growth characteristics. *Field Crop Abst*. 45 (10): 922.
- Zrust, J., and M. Juzl. 1997. Rates of photosynthesis and dry matter accumulation of very early potato varieties. *Field Crop Abstracts*. 50 (3): 264.

Effect of Different Potassium Levels on Yield and Growth Indices of Potato in Mashad Climate Condition

Sobhani, A.[1], and H. Hamidi[2]*

Received: May 2013, Accepted: 25 December 2013

Abstract

To study the yield and growth indices of potato under different potassium levels an experiment was conducted in Agricultural and Natural Resource Research Center, Khorasan Razavi province, Iran during 2010. Potassium levels 0, 90, 180 and 270 kg K_2O per hectare were included. In the experiment the tuber yields were 18.90, 21.59, 22.26 and 24.94 t/ha in 0, 90, 180 and 270 kg K_2O per hectare, respectively. Potassium increased total dry matter (TuDM), root dry matter (RDM), stem dry matter (SDM), leaf dry matter (LDM), tuber dry matter (TDM), crop growth rate (CGR), leaf area index (LAI), leaf area duration (LAD), and net assimilation rate (NAR).The maximum TDM (835 $g.m^2$) was obtained in 270 kg K_2O per hectare and lowest TDM (778 $g.m^2$) was taken in 0 kg K_2O per hectare. The maximum RDM, SDM, LDM and TDM were in 1600 GDD, 1800 GDD, 1500 GDD and 2300 GDD, respectively. The maximum RDM, SDM, LDM and TDM obtained in 270 kg K_2O per hectare and were 26.1, 324.86, 171 and 500 $g.m^2$, respectively. The maximum LAD (309.37 $m^2.GDD^{-1}$) was obtained in 270 kg K_2O per hectare in 1600 GDD. In the general potassium increased all of the growth indices in potato.

Keywords: Growth indices, Potassium, Potato, Yield.

1- Assistant Prof., Khorasan Razavi, Agricultural and Natural Resources Research Center, Mashhad, Iran.
2- Ms.C. of Khorasan Razavi, Agricultural and Natural Resources Research Center, Mashhad, Iran.
***Corresponding Author:** Hamidy1065@yahoo.com*