

## اثر کم آبیاری روی برخی صفات فیزیولوژیکی و عملکرد در دو رقم سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.)

### Effect of Deficit Irrigation on some Physiological Characteristics and Yield in Two Potato (*Solanum tuberosum* L.) Cultivars

رضا حمزه ئی<sup>۱\*</sup>، ویگو آراموویچ داوتین<sup>۲</sup>، محمد اقبال قبادی<sup>۳</sup>، خسرو پرویزی<sup>۴</sup> و علی قدمی فیروز آبادی<sup>۵</sup>

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۱/۰۳

#### چکیده

محصول سیب زمینی نیاز آبی بالایی داشته و به تنش آبی بسیار حساس می باشد، بنابراین مدیریت آب آبیاری در زراعت آن از اهمیت ویژه ای برخوردار است. برای مطالعه عملکرد و خصوصیات بیوشیمیایی برگ گیاه سیب زمینی در شرایط کم آبیاری، آزمایشی مزرعه ای به شکل کرت های خرد شده و در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. کرت اصلی، شامل شش رژیم آبیاری [۱۰۰٪، ۹۰٪، ۸۰٪، ۷۰٪، ۶۰٪، ۵۰٪ از نیاز آبی] و کرت های فرعی، شامل ارقام سانته و ساوالان بودند. تیمارهای آبیاری تأثیر معنی داری بر پروتئین و قندهای محلول برگ، محتوای نسبی آب برگ، عملکرد و وزن خشک غده در بوته داشتند. تنش شدید کم آبی، محتوای پروتئین های محلول برگ، محتوای نسبی آب برگ، عملکرد و وزن خشک غده در بوته را کاهش داد. اثر متقابل رژیم آبیاری و رقم روی غلظت پتاسیم و پرولین برگ معنی دار بود. هم چنین نتایج نشان دادند که بیشترین قند (۲/۸ میکرومول بر گرم وزن تر) و پروتئین محلول (سه میکرومول بر گرم وزن تر)، به ترتیب به رژیم آبیاری ۵۰٪ و ۸۰٪ مربوط بودند. کمترین عملکرد (۲۰۴/۹ گرم در بوته) و وزن خشک غده (۴۶/۸ گرم در بوته) در ۵۰٪ از آبیاری کامل دیده شد. بالاترین غلظت پتاسیم (۴۳ میلی گرم در گرم وزن خشک) و پرولین (۲/۲ میکرومول در گرم وزن تر) برگ به رژیم آبیاری ۵۰٪ و رقم سانته تعلق داشتند. نتایج این تحقیق نشان داد که در شرایط کم آبی با مدیریت صحیح آب (کم آبیاری) و نیز تغذیه مناسب، می توان اثرات سوء تنش خشکی را کاهش داده و به تولید مطلوبی دست یافت.

واژه های کلیدی: پتاسیم، پرولین، تنش آب، غده، قند محلول

۱. دانش آموخته ای دکترای زراعت از آکادمی ملی علوم ارمنستان

۲. پروفیسور، انستیتوی گیاه شناسی، آکادمی ملی علوم ارمنستان

۳. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

۴. استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران

۵. استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران

\*: نویسنده مسئول Email: ghamzehee@gmail.com

## مقدمه

خشکی، از مهم‌ترین و مرسوم‌ترین تنش‌های محیطی می‌باشد که تولید محصولات کشاورزی را با محدودیت‌هایی مواجه می‌سازد. با توجه به بحران کمبود آب در کشور، مدیریت آبیاری از جمله کم آبیاری می‌تواند نقش مهمی در دستیابی به عملکرد بهینه‌ی محصولات زراعی داشته باشد. در شرایط محدودیت آبی، از این روش می‌توان برای تولید بهینه‌ی محصولات با نیاز آبی بالا، استفاده کرد. یکی از این محصولات، گیاه سیب‌زمینی می‌باشد که به کم آبی بسیار حساس است (تاردیو<sup>۱</sup>، 2012). این حساسیت به سیستم ریشه‌ای کم حجم و سطحی آن برمی‌گردد که باعث کاهش کارایی این گیاه در جذب آب می‌شود. تحمل خشکی، ویژگی پیچیده‌ای است که در گیاه سیب‌زمینی بسیار مهم می‌باشد (مونه‌وکس<sup>۲</sup> و همکاران، 2013). عموماً با کاهش میزان آبیاری (ایجاد تنش خشکی)، تغییرات فیزیولوژیکی خاصی در گیاهان و بالتبع، سیب‌زمینی رخ می‌دهد. از جمله این تغییرات می‌توان به افزایش یا کاهش غلظت عناصر و یا مواد محلول در بخش‌های مختلف گیاه (به‌خصوص برگ) نام برد. یکی از نتایج اعمال تنش خشکی، افزایش غلظت یون پتاسیم در برگ گیاه است که این انباشتگی، مقاومت به خشکی و کارایی مصرف آب، فشار تورژسانس، محتوا، محتوای نسبی و پتانسیل آب برگ را در گیاهان زراعی افزایش داده و از طرف دیگر پتانسیل اسمزی برگ را کاهش می‌دهد. براساس گزارش قربانی‌جاوید و همکاران (۱۳۸۵) تنش شدید کم آبی، غلظت پتاسیم در برگ یونجه را افزایش داده که این افزایش می‌تواند باعث تنظیم اسمزی گیاه شود. هم‌چنین، کم آبی در سیب‌زمینی، فعالیت بعضی آنزیم‌ها را دست‌خوش تغییر کرده و انباشتگی قند و پروتئین را به سمت مقابله با تنش تعدیل می‌نماید (نادلر و هیوئر<sup>۳</sup>، 1995؛ ژو<sup>۴</sup> و همکاران، 2004؛ گونگ<sup>۵</sup> و همکاران، 2005). تحمل گیاه در برابر شرایط نامطلوب، به‌ویژه از نظر کم آبی با انباشتگی پرولین ارتباط داشته و با کاهش پتانسیل آب سلول می‌تواند یک مکانیسم تنظیم اتلاف آب و همین‌طور یک نشانه بیوشیمیایی برای تغییرات متابولیسمی ناشی از انواع تنش‌ها باشد (فیومیس و پداس<sup>۶</sup>، 2002). پرولین یک اسیدآمیننه است که عمدتاً در بافت برگ گیاهان و در شرایط کم آبی تشکیل می‌شود (کاملی و لوزل<sup>۷</sup>، 1993). نقش این اسیدآمیننه، حفاظت از تغییر ساختمان پروتئین‌های سلول

در شرایط تنش آبی و شوری می‌باشد که ناشی از حلالیت بالای آن در آب است (شویاکو<sup>۸</sup>، 1984). آبیاری محدود باعث افزایش غلظت پرولین و قندهای محلول در برگ‌ها می‌شود. هم‌چنین، بیش‌ترین محتوای پرولین و قندهای محلول می‌تواند با تیمار آبیاری در زمانی که پتانسیل آب خاک ۴۰ درصد از ظرفیت مزرعه بوده، مرتبط باشد (مسعودی- صدقیانی<sup>۹</sup>، 2011). سایر پژوهشگران گزارش کرده‌اند که تنش خشکی باعث کاهش قندها و پروتئین‌های محلول در برگ می‌شود (کروسکیول<sup>۱۰</sup> و همکاران، 2009). از دیگر صفاتی که تحت تأثیر تنش کم آبی قرار می‌گیرد، محتوای نسبی آب برگ است. در مطالعه‌ای که سیب‌زمینی در شرایط کم آبی ملایم قرارگرفت، کاهش معنی‌داری در محتوای نسبی آب برگ در گیاهان تیمار شده مشاهده شد و میزان آن با تجمع پرولین در برگ ارتباط مستقیم داشت (نیپ و هانرمایر<sup>۱۱</sup>، 2006).

علاوه بر تغییرات فیزیولوژیکی حاصل از کم آبی، فرآیند فتوسنتز نیز تحت‌الشعاع آن قرارگرفته که می‌تواند به کاهش تولید آسیمیلات و در نهایت، تغییر در اجزاء عملکرد منجر گردد. طبق گزارش محققان دیگر، تنش آبی، تعداد غده در بوته را به‌طور معنی‌داری کاهش داد و حجم آبیاری بیشتر، میانگین وزن تر غده را افزایش داد (شیری - جناقارد و همکاران، ۱۳۸۶؛ کوستا<sup>۱۲</sup> و همکاران، 1997). محققان دیگر در بررسی تأثیر تنش آبی بر عملکرد غده سیب‌زمینی، دریافتند که کمبود رطوبت خاک، عملکرد غده در بوته را به میزان ۳۳-۲۴ درصد کاهش داد و نیز عملکرد وزن تر غده در بوته‌های تنش دیده‌ی تمام ارقام سیب‌زمینی مورد تحقیق، به‌طور ثابت کاهش نیافت (کارافیلیدیس<sup>۱۳</sup> و همکاران، 1996).

سایر نتایج نشان می‌دهند که ماده‌خشک غده در کرت‌هایی که به میزان ۳۳ و ۶۶ درصد از تبخیر و تعرق حداکثر، آبیاری شدند در مقایسه با کرت‌هایی که آب بیشتری دریافت نمودند (۱۰۰ و ۱۳۳ درصد از تبخیر و تعرق حداکثر) به‌ترتیب چهار و ۲/۵ درصد کاهش داشت (فوتی<sup>۱۴</sup> و همکاران، 1995).

باتوجه به محدودیتی که در منابع آب کشاورزی کشور وجود دارد، به‌منظور دستیابی به روش صحیح مدیریت کم آبیاری در محصول سیب‌زمینی و نیز بهبود تولید در شرایط کمبود آب، این تحقیق با هدف بررسی تأثیر کم آبیاری و رقم بر غلظت

8. Shevyakova  
9. Masoudi-Sadaghiani  
10. Crusciol  
11. Knipp and Honermeier  
12. Costa  
13. Karafyllidis  
14. Foti

1. Tardieu  
2. Monneveux  
3. Nadler and Heuer  
4. Zhu  
5. Gong  
6. Fumis and Pedras  
7. Kameli and Losel

تاریخ ششم خرداد ماه انجام شد. اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه نیاز آبی گیاه از ایستگاه هواشناسی اکباتان مرکز همدان، اخذ و براساس فرمول پنمن - مانتیس محاسبه شد (خیرابی، ۱۳۸۱). ضریب گیاهی (Kc) براساس نسبت تبخیر و تعرق واقعی به تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع به روش لایسمتری در مرکز تحقیقات همدان، در سه مرحله از رشد شامل: رشد رویشی، شروع غده‌دهی تا حجیم شدن غده و حجیم شدن غده تا پایان رشد، به ترتیب، ۰/۵، ۱/۱۵ و ۰/۴ در نظر گرفته شد. آب آبیاری شاهد، براساس ۱۰۰ درصد نیازآبی تأمین و آب واردشده به هر کرت توسط کنتورهای حجمی اندازه‌گیری گردید. نیاز آبی سیب‌زمینی (ET<sub>c</sub>) در این تحقیق، از تأثیر ضریب گیاهی در تبخیر و تعرق پتانسیل (رابطه ۱) به‌دست آمد.

$$ET_0 = \frac{0.408 \left[ \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a) \right]}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (1)$$

ET<sub>0</sub>: تبخیر و تعرق پتانسیل (میلی‌متر در روز)، R<sub>n</sub>: تشعشع خالص در سطح کانوپی (مگاژول بر مترمربع در روز)، G: شدت انرژی گرمایی خاک (مگاژول بر مترمربع در روز)، T: میانگین درجه حرارت روزانه در ارتفاع دو متری (درجه سانتی‌گراد)، U<sub>2</sub>: سرعت باد در ارتفاع دو متری (متر بر ثانیه)، e<sub>s</sub>: فشار بخار اشباع (کیلو پاسکال)، e<sub>a</sub>: فشار بخار حقیقی (کیلو پاسکال)، Δ: شیب منحنی فشار بخار (کیلو پاسکال بر درجه سانتی‌گراد) و γ: ثابت سایکرومتریک (کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد).

پتاسیم (K<sup>+</sup>)، پرولین، پروتئین و قندهای محلول و محتوای نسبی آب برگ و عملکرد غده در بوته سیب‌زمینی انجام گردید.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۸۸ در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان (۳۲°۴۸' شرقی، ۵۲°۳۴' شمالی و ارتفاع ۱۳۲۰ متر از سطح دریا) با میانگین بارش سالانه ۳۰۰ میلی‌متر (معمولاً بدون بارش تابستانه) اجرا گردید. آزمایش مورد استفاده، کرت‌های خرد شده بود که با تیمارهای آبیاری در کرت اصلی و ارقام در کرت فرعی و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. کرت اصلی، شامل شش رژیم آبیاری [۱۰۰٪، ۹۰٪، ۸۰٪، ۷۰٪، ۶۰٪، ۵۰٪ از نیاز آبی] و کرت فرعی، شامل ارقام سانته و ساوالان بود. خصوصیات این ارقام مشابه و شامل: نیمه‌زودرسی، خواب غده‌ی نیمه‌بلند تا بلند، گوشت زرد، ظاهری گرد تا نیمه‌کشیده، اندازه غده‌ی متوسط تا بزرگ، عملکرد بالا، محتوای ماده خشک متوسط تا خوب و کیفیت پخت مناسب بودند. برای اعمال تیمارهای آبیاری از کنتورهای حجمی و سیستم آبیاری قطره‌ای نواری استفاده گردید. غده‌های بذری با میانگین وزن ۷۵ گرم در ردیف‌های ۷۵ سانتی‌متری و با فاصله ۲۵ سانتی‌متر روی ردیف و در عمق ۱۵ سانتی‌متری در چهار ردیف به طول ۱۰ متر کاشته شدند. مواد غذایی پرمصرف مورد نیاز مزرعه، براساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱) تعیین و تمامی کودهای فسفره، پتاسه و یک سوم کود ازته هم‌زمان با کاشت و مابقی کود ازته به‌صورت سرک در دو مرحله مصرف گردید. پس از عملیات کاشت، سیستم آبیاری قطره‌ای نواری اجرا و اولین آبیاری در

جدول ۱: خصوصیات خاک مزرعه

Table 1: Field soil characteristics

عمق (سانتی‌متر)	هدایت الکتریکی (میلی‌موس بر سانتی‌متر)	اسیدیته pH	ماده آلی (درصد) O.M (%)	مواد خنثی شونده (درصد) T.N.V (%)	کربن آلی (درصد) O.C (%)	فسفر قابل جذب (پی‌پی‌ام) Available P (ppm)	پتاسیم در دسترس (پی‌پی‌ام) Available K (ppm)	درصد رس Clay (%)	درصد سیلت Silt (%)	درصد شن Sand (%)	بافت Texture
0-30	0.45	8.2	0.6	7.14	0.62	7.6	298	12.9	31.0	56.1	SL

کلیه اندازه‌گیری‌ها، در آزمایشگاه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان انجام پذیرفت.

## اندازه‌گیری غلظت پتاسیم برگ

برگ‌های انتخابی، توزین گردیده و برای تعیین مقدار ماده‌ی خشک، در دمای ۶۵C° به مدت ۷۲ ساعت در آون خشک

برای اندازه‌گیری کلیه صفات، بوته‌های دو ردیف وسط، با حذف اثر حاشیه (حذف دو بوته از ابتدا و انتهای هر ردیف) انتخاب شدند. غلظت پتاسیم و محتوای مواد بیوشیمیایی برگ و نیز محتوای نسبی آب برگ، ۴۰ روز پس از خروج جوانه (پایان گل‌دهی)، اندازه‌گیری و بدین منظور، چهار بوته و از هر بوته چهار برگ (سومین برگ بالغ از انتهای بوته) انتخاب گردیدند.

رابطه (۲) برای محاسبه این صفت استفاده شد (د/ن)<sup>۸</sup> و همکاران، (2005):

$$RWC (\%) = [(FW - DW) / (TW - DW)] * 100 \quad (2)$$

### عملکرد غده

پس از آن که ساقه‌های سیب‌زمینی کاملاً خشک شدند، تعداد غده، میانگین وزن غده و عملکرد غده در بوته مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای این منظور، پس از خروج غده‌ها از خاک، آن‌ها با برس تمیز شده و بعد از شمارش، وزن گردیدند. برای تعیین وزن خشک، غده‌ها در عرض برش داده شد و به مدت ۷۲ ساعت در آون و در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد خشک گردیده و وزن شدند.

### تجزیه آماری

پس از ارزیابی نرمال بودن داده‌ها، برای تجزیه واریانس داده‌ها از نرم‌افزار SAS (سیستم SAS، 1996) و برای مقایسه میانگین‌ها از روش آزمون کم‌ترین اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

### نتایج و بحث

#### غلظت پتاسیم

اثر متقابل سطوح آبیاری و ارقام برای غلظت پتاسیم در برگ سیب‌زمینی معنی‌دار بود (جدول ۳). حداکثر غلظت پتاسیم برگ (۴۳ میلی‌گرم در گرم وزن خشک)، در آبیاری ۵۰٪ و رقم سانته دیده شد (شکل ۱ و جدول ۲). این نتیجه با مشاهدات قربانی جاوید و همکاران (۱۳۸۵) و عمر<sup>۹</sup> (2006) مطابقت داشت. عموماً با کاهش میزان آبیاری، غلظت یون پتاسیم در برگ گیاه افزایش می‌یابد که این انباشتگی، بیانگر واکنش معمول سیب‌زمینی به شرایط خشکی است. در حقیقت این ارقام نیز مانند سایر گیاهان، برای مقابله با تنش خشکی از سیستم سازگاری تبعیت نموده‌اند. بدین ترتیب که با افزایش غلظت پتاسیم در بافت خود، کارایی مصرف آب، فشار تورژسانس، محتوای نسبی و پتانسیل آب برگ را افزایش داده و از طرف دیگر، پتانسیل اسمزی برگ را کاهش داده تا بتوانند آب مورد نیاز برای فتوسنتز را حفظ و به بهترین وجه، آب را از خاک جذب نمایند. هم‌چنین از روند تغییرات غلظت پتاسیم در تیمارهای مختلف آبیاری می‌توان نتیجه گرفت که رابطه‌ای از نوع درجه دوم بین تجمع پتاسیم و افزایش تنش وجود دارد.

شدند. از نمونه‌های ۵۰ میلی‌گرمی پودر برگ سیب‌زمینی به روش بارآکیوا<sup>۱</sup> (1974) با ۱۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه<sup>۲</sup> و پس از ۳۰ دقیقه تکان دادن، عصاره‌گیری انجام‌گردید. غلظت پتاسیم با استفاده از دستگاه نشر شعله‌ای<sup>۳</sup> (مدل PFP7&PFP7/C)، استاندارد پتاسیم پنج میلی‌مول در لیتر و در ۷۶۸ نانومتر تعیین گردید.

### اندازه‌گیری محتوای مواد بیوشیمیایی

به‌منظور تعیین غلظت قندهای محلول، نمونه‌های ۰/۵ گرمی از برگ منجمد شده با نیتروژن مایع، در هاون چینی حاوی پنج میلی‌لیتر محلول بافر فسفات ۰/۲ مول در لیتر با اسیدیته ۶/۷ خرد شده و به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. عصاره جمع‌آوری شده، پس از یک ساعت با دستگاه اسپکتروفوتومتر (مدل Phamacia Biotech Novaspec II.UK) در طول موج ۴۸۵ نانومتر اندازه‌گیری شد (دوبویس<sup>۴</sup> و همکاران، 1956). غلظت پروتئین‌های محلول به روش برادفورد<sup>۵</sup> (1976) تعیین گردید. برای آماده‌سازی و استخراج پروتئین از نمونه‌های برگ که در ازت مایع نگهداری شده بودند، از محلول بافر تریس و برای سنجش آن از معرف بیوراد استفاده شد. برای تعیین غلظت پرولین، روش بیتس<sup>۶</sup> و همکاران (1973) به کار رفت. بدین ترتیب که برای استخراج آن، ۰/۴ گرم از برگ در اسید سولفوسالسیلیک ۳٪ هموژن شد. پس از ۷۲ ساعت این ماده به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. این محلول پس از ترکیب با اسید استیک و اسید نینهیدرین<sup>۷</sup>، به مدت یک ساعت در حمام آب گرم حرارت داده شد و سپس با دستگاه اسپکتروفوتومتر (مدل Phamacia Biotech Novaspec II.UK) با طول موج ۵۲۰ نانومتر مقدار پرولین قرائت شد.

### اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC)

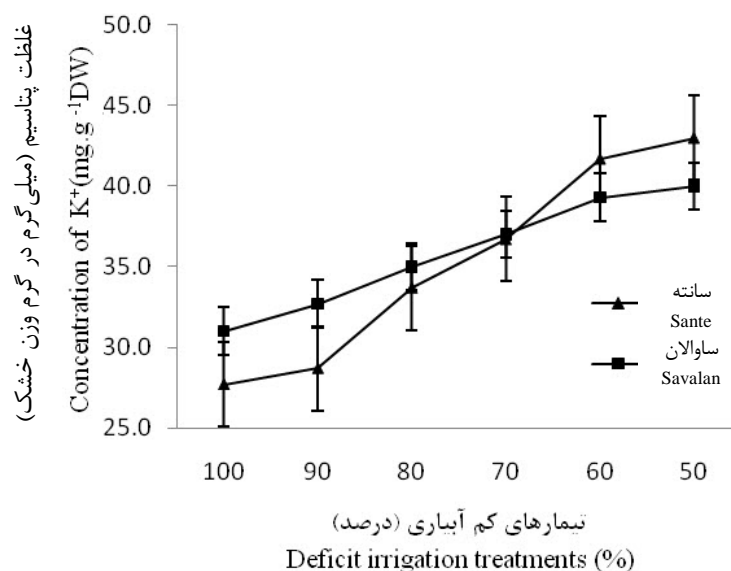
از برگ‌های انتخابی، قطعات یک سانتی‌مترمربعی را جدا نموده و وزن تر (FW) آن‌ها بلافاصله ثبت گردید. برای تعیین وزن تر برگ در حالت تورژسانس (TW) نیز قطعات برگ به مدت چهار ساعت در آب مقطر قرار داده شده و سپس به آرامی با کاغذ صافی خشک و مجدداً وزن شدند. در ادامه، قطعه‌های برگ به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردیدند تا وزن خشک (DW) آن‌ها تعیین شود. از

1. Bar Akiva
2. Deionized
3. Flame Photometer
4. Dubois
5. Bradford
6. Bates
7. Ninhydrin

8. Duan  
9. Umar

شاید بتوان گفت که پتانسیل ژنتیکی رقم سانه برای ایجاد تغییرات متابولیسمی در جهت سازگاری با شرایط تنش خشکی شدید، بالاتر از رقم ساوالان است. هم‌چنین طبق نتایج فوق، می‌توان گفت که در شرایط کم‌آبی مدیریت تغذیه مطلوب سیب‌زمینی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ چرا که افزایش غلظت پتاسیم منوط به تأمین آن از محیط ریشه می‌باشد.

به‌نحوی که در رقم سانه، در محدوده تنش خفیف (تیمار ۹۰ درصد) و شدید (تیمارهای ۶۰ و ۵۰ درصد) شیب افزایش غلظت پتاسیم کمتر از محدوده تنش‌های متوسط (تیمارهای ۸۰ و ۷۰ درصد) می‌باشد؛ اما در رقم ساوالان شاهد تغییر غلظت پتاسیم با شیبی یکنواخت هستیم که حتی در تنش شدید از میزان کمتری نسبت به رقم سانه برخوردار است.



شکل ۱: اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و ارقام بر غلظت پتاسیم برگ سیب‌زمینی (کم‌ترین اختلاف معنی‌دار = ۵/۱)

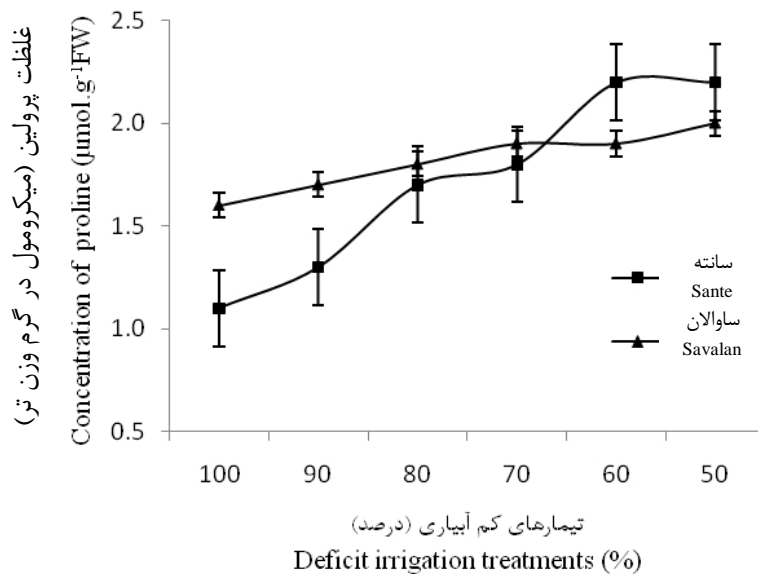
Fig. 1: Effect of interaction between irrigation regimes and cultivars on concentration of K<sup>+</sup> in potato leaves (LSD=5.1)

اندازه‌گیری غلظت پتاسیم و پرولین می‌توان دریافت که هر دو رقم مورد بررسی، در رابطه با این دو صفت، عکس‌العمل مشابهی داشته‌اند. به‌طوری‌که افزایش پرولین هم‌مانند پتاسیم، تابع رابطه درجه دوم می‌باشد؛ بدین ترتیب که برای رقم سانه، در محدوده تنش خفیف (تیمار ۹۰ درصد) و شدید (تیمارهای ۶۰ و ۵۰ درصد) شیب افزایش غلظت پرولین کمتر از محدوده تنش‌های متوسط (تیمارهای ۸۰ و ۷۰ درصد) بود؛ از طرف دیگر، برای رقم ساوالان، شاهد تغییر غلظت پرولین با شیبی یکنواخت هستیم که حتی در تنش شدید میزان پرولین کمتری نسبت به رقم سانه مشاهده شد. شاید بتوان گفت که پتانسیل ژنتیکی رقم سانه برای ایجاد تغییرات متابولیسمی در جهت سازگاری با شرایط تنش خشکی شدید، بالاتر از رقم ساوالان است.

### محتوای پرولین

نتایج آماری نشان داد که اثر متقابل سطوح آبیاری و ارقام برای محتوای پرولین در برگ سیب‌زمینی معنی‌دار بود (جدول ۳). حداکثر محتوای پرولین در برگ رقم سانه (۲/۲ میکرومول در گرم وزن تر) در آبیاری ۵۰٪ دیده شد (شکل ۲ و جدول ۲). این نتایج با گزارشات تحقیقی مسعودی‌صدقیانی و همکاران (۲۰۱۱)، مارتینز و مورنو<sup>۱</sup> (۱۹۹۲) و کای<sup>۲</sup> (۲۰۱۱) مشابهت داشت. تجمع پرولین در باشد گیاهان تحت تنش از دو مسیر کلی صورت می‌پذیرد که عبارتند از: افزایش بیان ژن‌های مسؤوول ساخت آنزیم‌های پرولین و جلوگیری از تخریب پرولین این امر منجر به پیدایش چرخه پرولین می‌شود؛ لذا می‌توان نتیجه گرفت که پاسخ متفاوت رقم‌های سیب‌زمینی در رژیم‌های مختلف آبیاری به میزان پرولین بیانگر این مهم که تجمع پرولین وابستگی نزدیکی با درجه تحمل رقم به کم آبیاری داشته و ارقام با تحمل بیشتر قادر به تنظیم سیگنال‌های لازم در بیوسنتز پرولین و فعال‌سازی ژن‌های دخیل در این فرآیند باشند. در این تحقیق، از مقایسه نتایج

1. Martinez and Moreno  
2. Kai



شکل ۲: اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و ارقام بر محتوای پرولین برگ سیب‌زمینی (کم‌ترین اختلاف معنی‌دار = ۰/۲)

Fig 2: Effect of interaction between irrigation regimes and cultivars on proline content in potato leaves (LSD=0.2)

جدول ۲: مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و رقم بر غلظت پتاسیم و محتوای پرولین برگ سیب‌زمینی

Table 2: Mean comparison of interaction effect of the irrigation regimes and cultivars on proline content in potato leaves

تیمارها Treatments												صفات Traits
I <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	I <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	I <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	I <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	I <sub>3</sub> C <sub>1</sub>	I <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	I <sub>4</sub> C <sub>1</sub>	I <sub>4</sub> C <sub>2</sub>	I <sub>5</sub> C <sub>1</sub>	I <sub>5</sub> C <sub>2</sub>	I <sub>6</sub> C <sub>1</sub>	I <sub>6</sub> C <sub>2</sub>	
27.7f	31.0ef	28.7f	32.7de	33.7cde	35.0cd	36.7bc	37.0bc	41.7a	39.3ab	43.0a	40.0ab	پتاسیم Potassium
1.10e	1.56d	1.30e	1.67cd	1.70cd	1.77cd	1.83bc	1.87bc	2.17a	1.90bc	2.23a	2.03ab	پرولین Proline

میانگین‌های با حروف مختلف، دارای اختلاف معنی‌دار هستند (سطح احتمال ۰/۰۵)

Means with different letters are significantly different (P<0.05)

I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>, I<sub>3</sub>, I<sub>4</sub>, I<sub>5</sub> و I<sub>6</sub>: به ترتیب رژیم‌های آبیاری شاهد، ۹۰٪، ۸۰٪، ۷۰٪، ۶۰٪ و ۵۰٪؛ C<sub>1</sub>: رقم سانت، و C<sub>2</sub>: رقم ساوالان

I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>, I<sub>3</sub>, I<sub>4</sub>, I<sub>5</sub> and I<sub>6</sub>: Irrigation regimes control, 90%, 80%, 70%, 60% and 50%, respectively, C<sub>1</sub>: Sante cultivar and C<sub>2</sub>: Savalan cultivar

قندهای محلول در تیمارهای کم‌آبیاری، رابطه‌ای مثبت و قوی بین تجمع این مواد و افزایش تنش دیده می‌شود که تابع معادله درجه دوم است؛ هم‌چنین، نتایج نشان می‌دهند که از آبیاری کامل تا تنش ۷۰٪، تغییر چشمگیری در غلظت قند محلول دیده نشده و از این مرحله به بعد است که شاهد افزایش چشمگیر آن هستیم. بنابراین به احتمال زیاد، در این دو رقم سیب‌زمینی، سیگنال‌های بیان ژن برای تغییرات متابولیکی، در تنش شدید، بیشتر دیده می‌شود.

#### محتوای پروتئین‌های محلول

بر اساس نتایج به‌دست آمده، محتوای پروتئین‌های محلول برگ به‌شدت تحت تأثیر رژیم آبیاری قرار گرفت (P<۰/۰۱) اما رقم بر آن تأثیری نداشت (جدول ۳). حداکثر محتوای پروتئین‌های

#### محتوای قندهای محلول

نتایج آماری نشان‌دادند که محتوای قندهای محلول به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر رژیم آبیاری قرار گرفت (P<۰/۰۱)؛ اما رقم تأثیری بر آن نداشت (جدول ۳). حداکثر محتوای قندهای محلول (۲/۸ میکرومول در گرم وزن‌تر) در رژیم آبیاری ۵۰٪ به‌دست آمد (جدول ۴). روند موجود، بیانگر افزایش محتوای قندهای محلول برگ، متناسب با افزایش تنش‌آبی است که مطابق با نتایج تحقیقی کروسکیول و همکاران (2009) و مسعودی‌صدقیانی و همکاران (2011) بود. این نتیجه نشان می‌دهد که تولید قندهای محلول، یک واکنش طبیعی سیب‌زمینی در شرایط خشکی است که می‌تواند از طریق تبدیل الیگوساکاریدها (ساکارز و گلوکز) به یکدیگر و یا شکسته شدن پلی‌ساکاریدها به الیگوساکاریدها صورت پذیرد. با بررسی غلظت

مورد صفات غلظت پتاسیم، پرولین و قندهای محلول در برگ، بیانگر این موضوع است که ارقام سانته و ساوالان، با افزایش این مواد در برگ خود، قادر به حفظ کارایی مصرف آب، فشار تورژسانس، محتوای نسبی و پتانسیل آب و از طرف دیگر، کاهش پتانسیل اسمزی در برگ بوده‌اند. همچنین، کاهش معنی‌دار و ملایم محتوای نسبی آب برگ از تأمین نیاز آبی ۸۰ درصد و به پائین (تنش شدید)، بیانگر این موضوع مهم می‌باشد که هرچند ممکن است سیب‌زمینی قادر به افزایش قدرت جذب آب در شرایط کم‌آبی باشد، اما این توانایی محدود بوده و در شرایطی از کم‌آبایی که آستانه بحرانی تنش می‌باشد، می‌تواند کاهش پیدا کرده و یا به ظرفیت نهایی خود برسد. در بین مواد تنظیم‌کننده، محتوای پرولین با پتانسیل آب و محتوای نسبی آب برگ بیش‌ترین ارتباط را دارد و پرولین می‌تواند در تنظیم اسمزی و حفظ محتوای نسبی آب برگ گیاه سیب‌زمینی نقش داشته‌باشد (تیپ و هانرمایر، ۲۰۰۶).

#### عملکرد غده

تعداد غده در بوته تحت تأثیر کم‌آبایی و رقم قرار نگر (جدول ۳). طبق نتایج برخی مطالعات دیگر، تنش آبی تأثیر معنی‌داری بر روی تعداد غده در بوته نداشته است (کروسکیول و همکاران، ۲۰۰۹). طبق نتایج سایر تحقیقات، حساس‌ترین مرحله رشد نمو سیب‌زمینی به تنش آبی، مرحله سوم رشد، یعنی حجیم شدن غده بوده و سیب‌زمینی در مرحله استولون‌زایی که تعیین‌کننده تعداد غده در بوته است از حساسیت کمتری برخوردار می‌باشد؛ هرچند که در این تحقیق علی‌رغم معنی‌دار نبودن، با افزایش شدت تنش آبی، در این صفت سیر نزولی مشاهده گردید و این کاهش در رقم سانته بیشتر از ساوالان بود. البته تعداد غده در بوته به دوره استولون‌زایی رقم نیز بستگی دارد که کوتاهی و محدودیت این دوره می‌تواند تأثیر پذیری این صفت را از تنش آبی پایین آورد و احتمالاً، یکی از دلایل عدم واکنش معنی‌دار تعداد غده به تنش آبی، می‌تواند این موضوع باشد.

هرچند که میانگین وزن غده، تحت تأثیر کم‌آبایی قرار نگر (جدول ۳) اما از آبیاری بدون تنش تا تنش شدید، ۵۶٪ کاهش یافت و برای رقم سانته ۱۲/۶٪ کمتر از ساوالان بود. شک<sup>۵</sup> و همکاران (۱۹۹۲) مشاهده نمودند که تنش آبی تأثیر معنی‌داری بر میانگین وزن غده نداشت.

محلول برگ (سه میکرومول برگرم وزن تر) از رژیم آبیاری ۸۰٪ به‌دست آمد. میزان این صفت از ۸۰٪ تا ۵۰٪ کاهش یافت (جدول ۴). این روند نشان می‌دهد که تغییر در تولید پروتئین‌های محلول برگ، واکنش طبیعی گیاه سیب‌زمینی به شرایط خشکی است و به بیان ژن ارقام مربوط است. بدین ترتیب که با گذشت زمان، به علت افت شدید میزان فتوسنتز، مواد لازم برای سنتز پروتئین فراهم نگردیده و سنتز پروتئین کاهش چشمگیری یافته و محتوای پروتئین‌های محلول نیز کاهش داشته است. محمدخانی و حیدری<sup>۱</sup> (۲۰۰۸) نیز در تحقیقات خود به نتایج مشابه رسیدند. همچنین افزایش و کاهش پروتئین‌های محلول در شرایط خشکی با یافته‌های ریکاردی<sup>۲</sup> و همکاران (۱۹۹۸) و تی‌دا<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۶) برای ذرت هم‌خوانی داشت. ایشان گزارش نمودند که تنش خشکی باعث افزایش چندین پروتئین محلول و کاهش بیشتر در بقیه پروتئین‌ها می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که رابطه‌ای منفی و قوی بین تجمع این مواد و افزایش تنش وجود دارد که تابع معادله درجه دوم است؛ همچنین، نتایج نشان می‌دهند که از آبیاری کامل تا تنش ۷۰٪، تغییر چشمگیری در غلظت پروتئین محلول دیده نشده و از این مرحله به بعد است که شاهد کاهش چشمگیر آن هستیم.

#### محتوای نسبی آب برگ

تجزیه آماری نشان داد که اختلاف سطوح آبیاری در ارتباط با محتوای نسبی آب برگ معنی‌دار است (جدول ۳). حداکثر محتوای نسبی آب برگ (۷۴/۴٪) در رژیم آبیاری ۱۰۰٪ و حداقل آن (۶۳/۸٪) در رژیم آبیاری ۵۰٪ دیده شد (جدول ۴). همچنین، در تحقیق خورشیدی‌بنام<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۰) مشاهده گردید که دوره‌ی کوتاه تنش آبی برای ایجاد تغییرات در محتوای نسبی آب برگ کافی بوده و سطوح مختلف این تنش، محتوای نسبی آب برگ سیب‌زمینی را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. این صفت با افزایش کم‌آبی در دومین سطح تنش کم‌آبی کاهش یافته و رابطه آن از نوع درجه دوم بود. در تنش ملایم، کاهش شدید محتوای نسبی آب برگ (تنظیم اسمزی غیرفعال) ملاحظه گردید و این اولین مکانیسم طبیعی هر گیاه برای تنظیم اسمزی بافت خود است که ارقام مورد مطالعه نیز چنین عکس‌العملی نشان دادند؛ اما ادامه این واکنش ممکن نبوده و منجر به مرگ گیاه می‌گردد که تنظیم دیگری با عنوان تنظیم اسمزی فعال دیده می‌شود. مشاهدات به‌دست آمده در

1. Mohammadkhani and Heidari
2. Riccardi
3. Ti-da
4. Khorshidi-Benam

جدول ۳: تجزیه واریانس اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و رقم روی برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد غده در سیب‌زمینی

Table 3: Variance analysis of the effect of different irrigation regimes and potato cultivars on physiological characteristics and tuber yield

وزن خشک غده Tuber dry weight	عملکرد غده Tuber yield	میانگین وزن غده Tuber mean weight	تعداد غده Tuber No.	محتوای نسبی آب برگ Relative water content	پروتئین‌های محلول Soluble Proteins	قندهای محلول Soluble sugars	پرولین Proline	پتاسیم Potassium	درجه آزادی df	منبع تغییرات S.O.V.
11294.5 <sup>ns</sup>	16987.6 <sup>ns</sup>	364.3 <sup>ns</sup>	5.8 <sup>ns</sup>	71.9 <sup>ns</sup>	0.006 <sup>ns</sup>	0.075 <sup>ns</sup>	0.005 <sup>ns</sup>	1.4 <sup>ns</sup>	2	تکرار Repeat
4238.4 <sup>**</sup>	109490.8 <sup>**</sup>	1644.5 <sup>ns</sup>	2.5 <sup>ns</sup>	95.1 <sup>*</sup>	0.31 <sup>**</sup>	0.35 <sup>**</sup>	0.58 <sup>**</sup>	150.6 <sup>**</sup>	5	رژیم آبیاری Irrigation regime (I)
7326.1	9100.5	384.9	1.6	25.3	0.08	0.037	0.025	7.8	10	خطای اصلی Main error
42.0 <sup>ns</sup>	17884.6 <sup>ns</sup>	605.2 <sup>ns</sup>	1.2 <sup>ns</sup>	65.1 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	0.006 <sup>ns</sup>	0.05 <sup>ns</sup>	3.4 <sup>ns</sup>	1	رقم Cultivar (C)
1199.2 <sup>ns</sup>	21258.3 <sup>ns</sup>	214.1 <sup>ns</sup>	3.0 <sup>ns</sup>	9.0 <sup>ns</sup>	0.07 <sup>ns</sup>	0.082 <sup>ns</sup>	0.13 <sup>**</sup>	12.4 <sup>**</sup>	5	اثر متقابل (رژیم آبیاری × رقم) Interaction (I x C)
832.3	19687.9	576.6	2.0	30.1	0.05	0.032	0.013	2.1	12	خطای فرعی Sub error
22.1	23.7	29.0	20.4	8.2	7.8	7.3	6.5	2.4	-	درصد ضریب تغییرات CV (%)

\*\* معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱، \* معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵، ns، غیرمعنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵

\*\* \*: Significant at P<0.01, \*: Significant at P<0.05, ns: not significant at the 0.05 probability level

جدول ۴: مقایسه میانگین اثر رژیم‌های مختلف آبیاری روی برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد غده در سیب‌زمینی

Table 4: Mean comparison of the effect of different irrigation regimes on some biochemical and physiological characteristics and tuber yield in potato

وزن خشک غده (گرم در گیاه) Tuber dry weight (g. plant <sup>-1</sup> )	عملکرد غده (گرم در گیاه) Tuber yield (g. plant <sup>-1</sup> )	محتوای نسبی آب برگ (درصد) Relative water content (%)	پروتئین‌های محلول (میکرومول در گرم وزن تر) Soluble proteins (μmol g <sup>-1</sup> FW)	قندهای محلول (میکرومول در گرم وزن تر) Soluble sugars (μmol g <sup>-1</sup> FW)	رژیم‌های آبیاری Irrigation regimes
115.7a	565.1a	74.4a	2.9a	2.1c	شاهد (I <sub>1</sub> ) Control (I <sub>1</sub> )
108.8a	519.8ab	68.8ab	2.9a	2.2c	90% (I <sub>2</sub> )
104.0a	465.4ab	66.5b	3.0a	2.3c	80% (I <sub>3</sub> )
94.6ab	432.2bc	65.4b	2.7ab	2.4bc	70% (I <sub>4</sub> )
69.2bc	311.3cd	64.1b	2.5b	2.7ab	60% (I <sub>5</sub> )
46.8c	204.9d	63.8b	2.4b	2.8a	50% (I <sub>6</sub> )

میانگین‌های با حروف مختلف، دارای اختلاف معنی‌دار هستند (سطح احتمال ۰/۰۵)

Means with different letters are significantly different (P<0.05)



### نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه مشخص گردید که کلیه صفات اندازه‌گیری شده به‌جز تعداد و میانگین وزن غده در بوته، تحت تأثیر تیمارهای کم‌آبیاری قرار گرفته و سطوح آن اختلاف معنی‌دار داشتند اما بین ارقام سیب‌زمینی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. صفات غلظت پتاسیم، پرولین، قندها و پروتئین‌های محلول برگ و محتوای نسبی آب برگ شاخص‌های مناسبی برای مقایسه ارقام سیب‌زمینی از نظر تحمل خشکی بوده و در پروژه‌های به‌نژادی به‌خوبی قابل مطالعه خواهند بود. با توجه به بحران شدید کم‌آبی در بخش کشاورزی، طبق نتایج به‌دست آمده، هرچند که تا سطح تنش ۸۰٪ اختلاف معنی‌داری در کاهش عملکرد کمی غده دیده نشد؛ اما براساس تحقیقات دیگر پژوهشگران، مبنی بر اینکه تنش خشکی موجب افت کیفی عملکرد غده می‌گردد (تولید غده‌های با رشد ثانویه، شکافدار، زنجیری و غیره)، حداقل می‌توان کم‌آبیاری در حد ۹۰٪ نیاز آبی را به کشاورزان استان همدان توصیه نمود. براساس نتایج بررسی غلظت پتاسیم می‌توان نتیجه گرفت که این عنصر، نقشی حیاتی در مقابله با تنش خشکی ایفا می‌نماید و کشاورزان بایستی در مدیریت تغذیه محصول سیب‌زمینی، توجه ویژه‌ای به تأمین آن داشته‌باشند. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که میزان آب خاک عامل مهمی در عملکرد سیب‌زمینی است و با توجه به حساسیت سیب‌زمینی به کم‌آبی، در کشت این محصول باید برنامه دقیقی برای آبیاری داشت. در این برنامه می‌توان براساس شرایط اقلیمی، زمان و مقدار آبیاری را پیش‌بینی و تعیین نموده و با بهره‌گیری از تکنیک کم‌آبیاری به تولیدی بهینه دست‌یافت.

### سپاسگزاری

از حمایت‌های مادی و معنوی مسئولین و همکاران محترم در آکادمی بین‌المللی علوم جمهوری ارمنستان، دانشگاه رازی استان کرمانشاه، سازمان جهادکشاورزی و مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان و نیز سایر عزیزانی که به نوعی ما را یاری نموده‌اند، تشکر می‌گردد.

عملکرد غده در بوته، تحت تأثیر کم‌آبیاری قرار گرفت، هرچند که بین ارقام اختلاف معنی‌دار وجود نداشت (جدول ۳)؛ اما میزان آن برای رقم ساوالان ۱۰٪ بیشتر از سانته بود. این نتیجه با مشاهدات آندر<sup>۱</sup> و همکاران (2005) که بیان داشتند سطوح آبیاری، اختلاف معنی‌داری در عملکرد سیب‌زمینی داشته است مطابقت دارد. هرچند که تفاوت بین ارقام سیب‌زمینی معنی‌دار نبود؛ اما وزن خشک غده (گرم در بوته) تحت تأثیر کم‌آبیاری قرار گرفت (جدول ۲). در تأیید این نتیجه، تحقیقی دیگر نشان داده‌است که ماده‌ی خشک غده در کرت‌هایی که به میزان ۳۳٪ و ۶۶٪ از تبخیر و تعرق حداکثر، آبیاری شدند در مقایسه با آبیاری بیشتر (۱۰۰٪ و ۱۳۳٪) به ترتیب ۴٪ و ۲/۵٪ کاهش‌یافت (فوتی و همکاران (1995)). در این تحقیق، اجزاء عملکرد غده در بوته واکنش معنی‌داری به سطوح مختلف آبیاری نشان ندادند اما علی‌رغم معنی‌دار نبودن، از آبیاری بدون تنش تا تنش شدید، ۵۶٪ کاهش داشتند؛ شاید بتوان نتیجه گرفت، معنی‌دار شدن عملکرد تازه و خشک غده، ناشی از هم‌افزایی حاصل‌ضرب این اجزاء بوده که منجر به بروز اختلاف معنی‌دار در بین سطوح مختلف آبیاری گردیده است. کاهش عملکرد و ماده خشک غده ناشی از عوامل متعددی در طول دوره رویش می‌باشد که از آن جمله می‌توان به کاهش سطح و محتوای نسبی آب برگ، کاهش تعرق به دلیل بسته شدن روزنه‌ها، و کاهش فتوسنتز، تبدیل مواد ذخیره‌ای مانند نشاسته به الیگوساکاریدها یا سایر پلی‌ساکاریدها و نیز کاهش فعالیت آنزیم‌هایی چون ریبولوز بی‌فسفات کربوکسیلاز و فسفوانول پیروات کربوکسیلاز اشاره کرد. معمولاً درصد ماده خشک غده سیب‌زمینی صفتی ژنتیکی بوده و تحت تأثیر وراثت و ویژگی‌های رقم قرار داشته و کمتر تحت تأثیر بیان جدید ژن قرار می‌گیرد که در مقایسه میانگین‌های عملکرد تازه و خشک غده در اقام سانته و ساوالان، عدم تغییر در درصد ماده خشک غده مشهود می‌باشد. طبق نتایج، معنی‌دار شدن سطوح آبیاری در کاهش عملکرد غده، نسبت به عملکرد ماده خشک، یک سطح بالاتر اتفاق افتاده است (عملکرد غده از تنش ۸۰٪ و ماده خشک از تنش ۷۰٪) در حقیقت طبق عکس‌العملی طبیعی گیاهان غده‌ای، ارقام مورد مطالعه، برای مقابله با کم‌آبی و به‌منظور حفظ پتانسیل آب بافت‌های حیاتی (حفظ بقاء)، و برای برقراری توازن آب در بوته، آب مورد نیاز را از غده که ساقه‌ای تخصص یافته است به داخل برگ‌ها هدایت نموده است.

## منابع

- خیرابی، ج. ۱۳۸۱. بررسی و مقایسه تطبیقی روش پمنن - مانتیس با روش‌های فائو ۲۴ در ایران. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۲۱۶ صفحه.
- شیری‌جنافرد، م.، توبه، ا.، اصغری‌زکریا، ر.، نوری قنبلانی، ق. و دهدارمسجدلو، ب. ۱۳۸۶. تأثیر سطوح مختلف آبیاری قطره‌ای و الگوهای مختلف کشت بر عملکرد و اجزای عملکرد سیب‌زمینی رقم آگریا. پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی، ۷۵: ۱۴۹-۱۵۷.
- قربانی جاوید، م.، مرادی، ف.، اکبری، غ. و الله‌دادی، ا. ۱۳۸۵. نقش برخی متابولیت‌ها در ساز و کار تنظیم اسمزی در یونجه یکساله برگ‌بریده (*Medicago laciniata* L. Mill) در تنش خشکی. مجله علوم زراعی ایران، ۸ (۲): ۹۰-۱۰۵.
- Bar Akiva, A. 1974. Nitrate estimation in *Citrus* leaves as a means of evaluating nitrogen fertilizer requirement of citrus trees. International Citrus Congress (Murcia-Valencia), 1: 159-164.
- Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the qualify cation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding. Analytical Biochemistry, 72: 248-254.
- Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant Soil, 39: 205-207.
- Crusciol, C. A. C., Pulz, A. L., Lemos, L. B., Soratto, R. P. and Lima, G. P. P. 2009. Effects of silicon and drought stress on tuber yield and leaf biochemical characteristics in potato. Crop Science, 49: 949-954.
- Costa, L. D., Vedove, G. D., Gianquinto, G., Giovanardi, R. and Peressotti, A. 1997. Yield, water use efficiency, and nitrogen uptake in potato: Influence of drought stress. Potato Research, 40: 19-34.
- Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A. and Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Analytical Biochemistry, 28: 350-356.
- Duan, B., Lu, Y., Yin, C., Junttila, C. and Li, C. 2005. Physiological responses to drought and shade in two contrasting *Picea asperata* populations. Physiologia Plantarum, 124: 476-484.
- Foti, S., Mauromicale, G. and Ierna, A. 1995. Influence of irrigation regimes on growth and yield of potato cv. Spunta. Potato Research, 38: 307-318.
- Fumis, T. F. and Pedras, J. F. 2002. Variação nos níveis de prolina, diamina e poliaminas em cultivares de trigo submetidas a défi cits hídricos. Pesquisa Agropecu Brasil, 37: 449-459.
- Gong, H., Zhu, X., Chen, K., Wang, S. and Zhang, C. 2005. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. Plant Science, 169: 313-321.
- Kai, Y. 2011. Effect of drought stress on physiological and biochemical characteristics of sweet potato in different habitats. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 4: 59-69.
- Kameli, A. and Losel, D.M. 1993. Carbohydrates and water status in wheat plants under water stress. New Phytologist, 125: 609-614.
- Karafyllidis, D. I., Stavropoulos, N. and Georgakis, D. 1996. The effect of water stress on the yielding capacity of potato crops and subsequent performance of seed tubers. Potato Research, 39: 153-163.
- Khorshidi-Benam, M. B., Rahimzadeh-Khoei, F., Mir-hadi, M. J. and Noor-mohammadi, Gh. 2002. Study of drought stress effects in different growth stages on potato cultivars. Iranian Journal of Crop Sciences, 4: 48-58.
- Knipp, G. and Honermeier, B. 2006. Effect of water stress on proline accumulation of genetically modified potatoes (*Solanum tuberosum* L.) generating fructans. Journal of Plant Physiology, 163 (4): 392-397.
- Martinez, C. A. and Moreno, U. 1992. Expresiones fisiologicas de resistencia a la sequia en dos variedades de papa sometidas a estres hidrico. Review Brasil Fisiologicas Vegetal, 4: 33-38.
- Masoudi-Sadaghiani, F., Abdollahi- Mandoulakani, B., Zardoshti, M. R., Rasouli-Sadaghiani, M. H. and Tavakoli, A. 2011. Response of proline, soluble sugars, photosynthetic pigments and antioxidant enzymes in potato (*Solanum tuberosum* L.) to different irrigation regimes in greenhouse condition. Australian Journal of Crop Science, 5 (1): 55-60.
- Mohammadkhani, N. and Heidari, R. 2008. Effects of drought stress on soluble proteins in two maize varieties. Turk Journal of Biology, 32: 23-30.
- Monneveux, P., Rmirez, D. A. and Pino, M. T. 2013. Drought tolerance in potato (*Solanum tuberosum* L.): Can we learn from drought tolerance research in cereals?. Plant Science, 205-206: 76-86.
- Nadler, A. and Heuer, B. 1995. Effect of saline irrigation and water deficit on tuber quality. Potato Research, 38: 119-123.
- Onder, S., Caliskan, M. E., Onder, D. and Caliskan, S. 2005. Different irrigation methods and water stress effects on potato yield and yield components. Agricultural Water Management, 73: 73-86.
- Riccardi, F., Gazeau, P. and Vienne, D. 1998. Protein changes in response to progressive water deficit in maize, quantitative variation and polypeptide identification. Plant Physiology, 117: 1253-1263.
- Shevyakova, N. I. 1984. Metabolism and the physiological role of proline in plants under conditions of water and salt stress. Soviet Plant Physiology, 30: 597-608.
- Shock, C. C., Zalewski, J. C., Stieber, T. D. and Burnett, D. S. 1992. Impact of early-season water deficits on Russet Burbank plant development, tuber yield and quality. American Potato Journal, 69: 793-803.
- Tardieu, F. 2012. Any trait or trait-related allele can confer drought tolerance: Just design the right drought scenario. Journal of Experimental Botany, 63: 25-31.

- Ti-Da, G. E., Fang-Gong, S. U. I. and Ping, B. A. 2006. Effects of water stress on the protective enzymes and lipid peroxidation in roots and leaves of summer maize. *Agricultural Sciences in China*, 5: 291-298.
- Umar, S. 2006. Alleviating adverse effects of water stress on yield of sorghum, mustard and groundnut by potassium application. *Pakistan Journal Botany*, 38 (5): 1373-1380.
- Zhu, Z., Wei, G., Li, J., Qian, Q. and Yuet, J. 2004. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Plant Science*, 167: 527-533.

## Effect of Deficit Irrigation on some Physiological Characteristics and Yield in Two Potato (*Solanum tuberosum* L.) Cultivars

Hamzehei<sup>1\*</sup>, R., Davtyan<sup>2</sup>, V. A., Ghobadi<sup>3</sup>, M. E., Parvizi<sup>4</sup>, Kh. and Ghadami-Firoozabadi<sup>5</sup>, A.

### Abstract

Potato crop requires substantial amount of water and is extremely susceptible to water stress. Therefore, irrigation management is particularly important for its cultivation. In order to study of yield and biochemical properties of potato leaves under deficit irrigation, a field split-plot experiment was carried out based on a completely randomized block design with three replications. Main plot included six irrigation regimes [100%, 90%, 80%, 70%, 60%, and 50% of water requirement] and sub-plots included cultivars Sante and Savalan. Irrigation treatments had significant effects on leaf soluble proteins and sugar, leaf relative water content, and yields and dry weights of tubers per plant. Severe water deficit stress reduced leaf soluble proteins content, leaf relative water content, yields and dry weights of tubers per plant. Irrigation regime  $\times$  cultivar interaction was significant for concentrations of leaf potassium and proline. Results also indicated that the highest values of soluble sugar ( $2.8 \mu\text{mol.g}^{-1}$  of FW) and soluble proteins ( $3 \mu\text{mol.gr}^{-1}$  of FW) were related to 50% and 80% irrigation regimes, respectively. The lowest yield ( $204.9 \text{ gr.plant}^{-1}$ ) and dry weight ( $46.8 \text{ gr.plant}^{-1}$ ) of tubers were observed in 50% of complete irrigation. Maximum concentrations of potassium ( $43 \text{ mg.gr}^{-1}$  of DW) and proline ( $2.2 \mu\text{mol.gr}^{-1}$  of FW) in leaves belonged to 50% irrigation regime in cv. Sante. Result from the present research indicated that, under drought conditions, adverse effects of water stress can be reduced and desirable product can be attained by managing irrigation (deficit irrigation) appropriately.

**Keywords:** Potassium, Proline, Water stress, Tuber, Soluble sugar

- 
1. PhD Graduate of National Academy of Sciences of Armenia
  2. Professor, Institute of Botany, National Academy of Sciences of Armenia
  3. Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah
  4. Assistant Professor, Department of Seed and Pant Improvement, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamadan, Iran
  5. Assistant Professor, Department of Agricultural Engineering Research, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamadan, Iran
- \*: Corresponding author                      Email: ghamzehee@gmail.com