

ارزیابی پاسخ‌های فیزیولوژیک پنبه‌باد به تاریخ کاشت و اقلیم مناطق گل‌مکان، خواف و فیض‌آباد

Evaluation of physiological responses of *Withania* spp. to planting date and climatic conditions in Golmakan, Feyzabad, and Khaf regions

حسین امجدی^{۱*}، ابراهیم گنجی مقدم^۲، احمد اصغر زاده^۱، محرم ولی زاده^۳

۱. گروه باغبانی و گیاهان دارویی، واحد شیروان، دانشگاه آزاد اسلامی، شیروان، ایران، (نگارنده مسئول)
۲. استاد، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات و آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
۳. استادیار، مرکز پژوهشی گیاهان دارویی و زینتی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۴/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۱۰ - شناسانه برنمود رقمی: 10.22092/mpt.2026.373273.1228

چکیده

امجدی، ح.، گنجی مقدم، ا.، اصغر زاده، ا.، ولی زاده، م.، . ارزیابی پاسخ‌های فیزیولوژیک پنبه‌باد به تاریخ کاشت و اقلیم مناطق گل‌مکان، خواف و فیض‌آباد

نشریه علمی فناوری گیاهان دارویی ایران، دوره ۷- شماره ۲- پیاوند ۱۳- پائیز و زمستان ۱۴۰۳ صفحه: ۱۶۰-۱۴۵

این پژوهش با هدف بررسی اثر موقعیت مکانی، تاریخ کاشت و گونه گیاهی بر صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه پنبه‌باد انجام شد. آزمایش به صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۰ در سه منطقه گل‌مکان، خواف و فیض‌آباد اجرا گردید. تیمارها شامل دو تاریخ کاشت (دهم اردیبهشت و دهم خردادماه) و دو گونه *Withania somnifera* و *Withania coagulans* بود. نتایج نشان داد تفاوت‌های اقلیمی میان مناطق منجر به تغییرات معنی‌دار در صفات گیاه شد. منطقه فیض‌آباد به دلیل دمای بالاتر و رطوبت کمتر، با افزایش قابل توجه پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی همراه بود؛ به‌طوری که میزان پرولین در گونه *W. somnifera* (تاریخ کاشت دهم خرداد، منطقه فیض‌آباد) نسبت به شرایط مشابه در خواف و گل‌مکان، به ترتیب ۲۴/۳ و ۵۷/۵ درصد بالاتر بود. همچنین بیشترین غلظت ویتافرین A در منطقه فیض‌آباد (۵/۹۳ میکروگرم بر گرم وزن تر) مشاهده شد که تاریخ کاشت دهم خرداد نسبت به اردیبهشت، ۱۱/۰ درصد برتری داشت. در مقابل، منطقه گل‌مکان از نظر ماده خشک شرایط مطلوب‌تری داشت اما کمترین میزان ماده موثره را تولید کرد. گونه *W. somnifera* در اغلب صفات فیزیولوژیک و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی نسبت به *W. coagulans* برتری داشت. در مجموع، با وجود رشد کمتر در فیض‌آباد، تولید بالاتر ویتافرین A این منطقه را به بهترین گزینه برای کشت دارویی تبدیل می‌کند. لذا کشت گونه *W. somnifera* در فیض‌آباد، به‌ویژه در تاریخ‌های کاشت دیرتر (اواسط خرداد)، برای دستیابی به کیفیت دارویی بالاتر توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، پرولین، پنبه‌باد، تنش اقلیمی، کشت دارویی

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: h.amjadi8057@iaui.ir

مقدمه

فاکتورهای اقلیمی از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده رشد و نمو گیاهان و امکان کشت آن‌ها در مناطق جغرافیایی مختلف هستند؛ ازاین‌رو، بررسی تأثیر اقلیم بر رشد گیاه، نخستین گام در شناسایی مناطق مناسب برای کشت و تولید گیاهان جدید به شمار می‌رود (Lashkari et al., 2010). انطباق نیازهای رشدی گیاه با شرایط محیطی، نقش مهمی در موفقیت تولید محصول دارد و تغییر اقلیم می‌تواند ویژگی‌های خاک، نوع گیاه و نحوه رشد آن را در مناطق مختلف تحت تأثیر قرار دهد (Pant et al., 2021). در گیاهان دارویی نیز تولید مواد مؤثره و متابولیت‌های ثانویه به‌شدت تحت تأثیر شرایط اقلیمی است (Azizi et al., 2018). این ترکیبات، اگرچه مستقیماً در فرآیندهای حیاتی گیاه نقش ندارند، عمدتاً در پاسخ به شرایط محیطی و برای سازگاری و مقابله با تنش‌ها تولید می‌شوند (Omidbeigi, 2005). در همین راستا، Nejad Mohammad Namqhi et al. (2022) گزارش کردند که میزان ماده مؤثره درمنه و آویشن در اقلیم خشک بیرجند بیشتر و در اقلیم نیمه‌مرطوب بجنورد کمتر بود. همچنین، (Azizi et al. 2018) در گیاه ماریتیغال (*Silybum marianum* L. Gaertn) نشان دادند که ارتفاع بوته در اقلیم معتدل خرم‌آباد بیشتر از اقلیم سردسیر الشتر، اما میزان ماده مؤثره سیلی‌بین در اقلیم معتدل کمتر بود. بسیاری از گیاهان موجود در عرصه‌های طبیعی ایران از پتانسیل دارویی و اقتصادی بالایی برخوردارند و شرایط اقلیمی کشور، ظرفیت مناسبی برای

تولید و صادرات گیاهان دارویی فراهم کرده است (Lashkari et al., 2010; Omidbeigi, 2005). بااین‌حال، نبود شناخت کافی از نیازهای اکولوژیک و اصول کاشت، داشت و برداشت این گیاهان، یکی از محدودیت‌های توسعه کشت آن‌ها محسوب می‌شود (Shubhra et al., 2004). پنیرباد (*Withania coagulans*) گیاهی دارویی از خانواده Solanaceae و دارای تیپ رشد درختچه‌ای است که می‌تواند چندساله باشد (Kavita & Pawan, 2019). از میان ۲۳ گونه جنس *Withania*، دو گونه *W. somnifera* و *W. coagulans* از اهمیت دارویی و اقتصادی بیشتری برخوردارند (Valizadeh, 2014). پنیرباد به دلیل سازگاری گسترده با شرایط دشوار اکولوژیکی، به‌ویژه گرما و خشکی، قابلیت رشد در مناطق خشک و کم‌بارش را دارد و در خاک‌های لوم‌شنی با هدایت الکتریکی متوسط نیز رشد مناسبی نشان می‌دهد (Valizadeh et al., 2015; Ghahremani, 2021). بخش‌های مختلف این گیاه دارای ترکیبات زیست‌فعال با خواص دارویی متنوع بوده و یکی از ترکیبات مهم آن، ویتافرین A، دارای اثرات ضدتکثیری و ضدتوموری گزارش شده است (Ram et al., 2012; Bagheri et al., 2016). رویشگاه اصلی پنیرباد در ایران استان سیستان و بلوچستان است و این گیاه در مناطقی از سراوان، ایرانشهر، سرباز، سوران، زابل و حوالی زاهدان، به‌ویژه منطقه اسکل‌آباد، مشاهده می‌شود (Ziaei & Jafari, 2022; Ghahremani, 2021). از سوی دیگر، با توجه به رواج کشت گیاهان دارویی در استان خراسان رضوی و وجود برخی شرایط

اقلیمی مشابه با رویشگاه طبیعی پنیرباد، این استان می‌تواند ظرفیت توسعه کشت این گیاه را داشته باشد. از این رو، هدف از پژوهش حاضر، بررسی پاسخ دو گونه پنیرباد به شرایط اقلیمی سه شهرستان گلمکان، فیض‌آباد و خواف در استان خراسان رضوی، تحت دو تاریخ کاشت، با هدف شناسایی منطقه، گونه و تاریخ کاشت مناسب برای توسعه کشت این گیاه ارزشمند در استان بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۴۰۰ در سه مزرعه تحقیقاتی واقع در مناطق گلمکان، خواف و فیض‌آباد استان خراسان رضوی انجام شد. مزارع خواف و فیض‌آباد در هنرستان‌های کشاورزی این شهرستان‌ها و مزرعه گلمکان در یک مزرعه شخصی قرار داشتند. استان خراسان رضوی با وسعت بیش از ۱۲۷ هزار کیلومترمربع می‌باشد که بین مدار جغرافیایی ۳۳ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی از خط استوا و ۵۶ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی از نصف و نهار گرینویچ قرار گرفته و با وجود تنوع اقلیمی، عمدتاً در گروه مناطق نیمه‌خشک کشور قرار می‌گیرد (جدول ۱؛ Razavimet.ir, 2021). پیش از اجرای آزمایش، از عمق ۰ تا ۶۰ سانتی‌متری خاک هر سه منطقه نمونه‌برداری و نمونه‌ها برای تعیین خصوصیات خاک به آزمایشگاه ارسال شدند (جدول ۲).

تحقیق حاضر در سال ۱۴۰۰ به‌صورت کرت‌های خردشده با تجزیه مرکب در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار

انجام شد. مکان در سه سطح شامل گلمکان، خواف و فیض‌آباد و تاریخ کاشت در دو سطح شامل ۱۰ اردیبهشت و ۱۰ خرداد، به‌عنوان کرت اصلی و گونه گیاهی در دو سطح شامل *W. coagulans* و *W. somnifera* به‌عنوان کرت فرعی در نظر گرفته شدند. بذر دو گونه پنیرباد در خردادماه ۱۳۹۹ از زیستگاه طبیعی آن در استان سیستان و بلوچستان جمع‌آوری و پس از انتقال به آزمایشگاه مرکز تحقیقات خراسان رضوی، به‌منظور رفع رکود، به‌مدت ۱۰ روز در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سرمادهی و با ۷۵۰ پی‌پی‌ام جیبرلیک اسید تیمار شدند (Ganji Moghaddam et al., 2018). پس از آماده‌سازی زمین، بذرها در تاریخ‌های تعیین‌شده کشت شدند. پیش از کاشت، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود NPK مصرف شد. هر کرت فرعی شامل چهار ردیف پنج‌متری با فاصله ۵۰ سانتی‌متر بین ردیف‌ها و ۱۰ سانتی‌متر فاصله بوته‌ها روی ردیف بود که تراکم ۲۰ بوته در مترمربع و مساحت ۱۰ مترمربع را ایجاد کرد. عملیات آبیاری، کنترل علف‌های هرز و سله‌شکنی در تمامی تیمارها به‌صورت یکسان انجام شد. همچنین، در مراحل غنچه‌دهی و گرده‌افشانی، در هر مرحله ۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره مصرف شد. در اواسط گلدهی، محتوای نسبی آب برگ (RWC) با استفاده از یک برگ جوان کاملاً توسعه‌یافته از بخش بالایی بوته، بر اساس وزن تر، وزن اشباع پس از قرارگیری در آب مقطر به‌مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و وزن خشک پس از خشک کردن در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت، مطابق

جدول ۱. اطلاعات هواشناسی مناطق انجام آزمایش

ردیف	ایستگاه	T	P	M	اقلیم
۱	گلمکان	۱۵/۵	۲۳۳/۸	-۱/۷	خشک بیابانی سرد
۲	خواف	۱۸	۱۱۹/۹	-۲/۴	نیم خشک سرد
۳	فیض آباد	۱۷/۹	۱۸۵/۸	۰/۳	خشک بیابانی معتدل

M و P به ترتیب میانگین دمای سالانه بر حسب درجه سانتیگراد، میانگین بارندگی سالانه بر حسب میلیمتر و میانگین حداقل دما در سردترین ماه سال بر حسب درجه سانتیگراد (Razavimet.ir, 2021).

جدول ۲. خصوصیات خاک مناطق انجام آزمایش.

ردیف	ایستگاه	K (ppm)	P (ppm)	N (%)	کربن آلی (%)	pH	شوری (dS/m)	بافت خاک
۱	گلمکان	۱۴۸	۶/۰	۰/۰۷۰	۰/۷۰	۷/۸۰	۲/۲۵	لوم
۲	خواف	۱۵۲	۵/۰	۰/۰۳۲	۰/۳۰	۷/۷۴	۴/۳۰	لوم شنی
۳	فیض آباد	۱۵۱	۶/۲	۰/۰۴۶	۰/۴۵	۷/۷۸	۳/۶۵	لوم

روش (Ritchie & Nguyen 1990) محاسبه شد. میزان پرولین برگ نیز در همین مرحله بر اساس روش (Bates et al. 1973) تعیین شد. فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و کاتالاز به ترتیب با روش‌های Velikova et al. (2000)، Yamaguchi et al. (1995) و Dhindsa (1981) و میزان ویتافرین A بر اساس روش (Manwar et al. 2012) اندازه‌گیری شد. در پایان دوره رشد، ۱۰ بوته از نیمه پایینی هر کرت که به ارزیابی عملکرد اختصاص داشت، برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد. سپس نمونه‌ها در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک و ماده خشک بوته‌ها اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل آماری

تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Minitab 19 و مقایسه میانگینها به روش LSD و در سطح احتمال پنج درصد انجام شدند. قبل از انجام تجزیه مرکب داده‌ها، از نرمال بودن داده‌ها اطمینان حاصل و به منظور اطمینان از یکنواختی واریانس اشتباه آزمایشی، از آزمون بارتلت

استفاده گردید. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

محتوی نسبی آب (RWC)

اثر متقابل مکان × تاریخ کاشت × گونه گیاهی بر RWC برگ پنیرباد معنی‌دار شد (جدول ۳). بدین صورت که بیشترین میزان RWC در موقعیت مکانی گلمکان در تاریخ کاشت دهم اردیبهشت و در هر دو گونه گیاهی وجود داشت. به عبارت دیگر، تاریخ کاشت دهم اردیبهشت و دو گونه گیاهی *W. Samnifera* و *W. Coagulans* در منطقه گلمکان بیشترین مقدار RWC را از خود نشان دادند و فقط در این دو تیمار بود که میزان RWC به بیش از ۸۸ درصد رسید (جدول ۴). کمترین میزان RWC نیز در موقعیت مکانی منطقه فیض آباد در تاریخ کاشت دهم خرداد و در هر دو گونه گیاهی مشاهده شد و در این دو تیمار، مقدار RWC کمتر از ۸۱ درصد بود (جدول ۴). احتمالاً وجود دمای بیشتر در منطقه فیض آباد نسبت به دو منطقه

دیگر، سبب کاهش RWC در این منطقه شده است. بطور کلی پژوهشگران از RWC برگ به عنوان شاخص مناسبی برای ارزیابی وضعیت آب برگ ها یاد می کنند (Garg & Singla, 2009). تحقیقات انجام شده در مقیاس سلولی بازگوکننده آن هستند که گیاهان از طریق ایجاد تغییر در متابولیسم سلولی در جهت مقابله با تنش خشکی، تلاش می کنند تا خسارات ناشی از تنش را کاهش دهند. در این راستا، گیاهانی که بتوانند در زمان کاهش پتانسیل آب خاک، پتانسیل فشاری سلول های خود را در حد بالا حفظ کرده و تا حد امکان از کاهش آب سلول ها ممانعت کنند، در مقابله با تنش موفق تر خواهند بود (Bayoumi *et al.*, 2008). Rosales-Serna و همکاران (2004) طی بررسی پاسخ های فیزیولوژیک چهار رقم لوبیای معمولی (*Phaseolus vulgaris* L.) در دو منطقه کوتاکستلا و تکسکوکو در کشور مکزیک که به ترتیب دارای خشکسالی های انتهایی و متناوب بودند، دریافتند که میزان RWC در منطقه تکسکوکو با خشکسالی های متناوب بطور معنی داری کمتر بود.

پرولین

اثر متقابل مکان × تاریخ کاشت × گونه گیاهی بر میزان پرولین پنیرباد معنی دار بود (جدول ۳). بیشترین میزان پرولین در منطقه فیض آباد و تاریخ کاشت ۱۰ خرداد در هر دو گونه *W. somnifera* و *W. coagulans* مشاهده شد؛ به طوری که تنها در این دو تیمار، میزان پرولین از ۵/۳۴ میکرومول بر گرم وزن خشک

برگ بیشتر بود. کمترین میزان پرولین نیز در منطقه گلکان و در هر دو تاریخ کاشت و هر دو گونه مشاهده شد و در هیچ یک از این چهار تیمار به ۵/۱۶ میکرومول بر گرم وزن خشک برگ نرسید (جدول ۴). پرولین از متابولیت هایی است که در شرایط تنش محیطی، به ویژه خشکی، در برگ گیاه تجمع یافته و از طریق تنظیم اسمزی و حفاظت از غشاهای سلولی، در افزایش تحمل گیاه به تنش نقش دارد (Khoshoei, 2023; Shinde *et al.*, 2016). در پژوهش حاضر، تجمع بیشتر پرولین در فیض آباد نسبت به گلکان می تواند بیانگر شدت بیشتر تنش محیطی، احتمالاً گرمای بیشتر، در این منطقه باشد. با این حال، در مناطق خواف و فیض آباد، میزان پرولین در تاریخ کاشت ۱۰ خرداد در هر دو گونه کمتر از سایر تیمارهای همان مناطق بود؛ بنابراین، احتمالاً تأخیر در کاشت موجب کاهش مواجهه گیاه با دماهای بالاتر در زمان اندازه گیری و در نتیجه کاهش تجمع پرولین شده است.

کاتالاز

اثر متقابل مکان × تاریخ کاشت و مکان × گونه گیاهی بر فعالیت آنزیم کاتالاز معنی دار بود (جدول ۳). در اثر متقابل مکان × تاریخ کاشت، بیشترین فعالیت کاتالاز با ۷/۸۲ واحد آب اکسیژنه جذب شده در وزن تر برگ، در منطقه فیض آباد و تاریخ کاشت ۱۰ خرداد مشاهده شد. پس از آن، تیمارهای فیض آباد در تاریخ کاشت ۱۰ اردیبهشت و خواف در تاریخ کاشت ۱۰ خرداد، به ترتیب با ۶/۵۳ و ۶/۳۸

جدول ۳. تجزیه واریانس خصوصیات فیزیولوژیک دو گونه پنیرباد (*Withania spp*)

منابع تغییر	درجه آزادی	ماده خشک بوته	وینافرین A اندام هوایی	پراکسیداز	کاتالاز	آسکوربات پراکسیداز	RWC	میزان پرولین
مکان	۲	۱۲۵۷ **	۳۰/۲ **	۵/۹۱ **	۱۱/۴ **	۲/۷۹ **	۱۴۰ **	۱۰۲۲ **
تکرار × مکان	۶	۳/۷۰	۰/۱۶۵	۰/۳۶۷	۰/۴۴۶	۰/۱۲۰	۱/۳۹	۱۸/۰
تاریخ کاشت	۱	۱۱/۰ ns	۲/۳۳ **	۱/۵۹ **	۴/۱۱ **	۰/۸۴۳ **	۶/۰۰ **	۱۲۰ **
مکان × تاریخ کاشت	۲	۱۳/۶ ns	۰/۱۶۱ ns	۰/۸۵۸ **	۱/۱۴ **	۰/۳۵۶ **	۲/۲۳ **	۲۳/۸ **
گونه گیاهی	۱	۱۴۵۴۷۸ **	۱/۷۲ **	۰/۱۱۰ ns	۰/۱۴۱ ns	۰/۰۳۵ ns	۰/۰۰۱ ns	۸/۰۳ **
گونه گیاهی × مکان	۲	۲۰۴ **	۰/۲۲۳ ns	۰/۲۹۱ *	۰/۵۱۴ **	۰/۱۲۹ *	۰/۲۵۹ *	۲۳/۷ **
گونه گیاهی × تاریخ کاشت	۱	۳۱/۵ *	۰/۱۳۷ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۲۶ ns	۰/۰۰۶ ns	۲/۷۲ **	۰/۱۳۰ ns
گونه گیاهی × تاریخ کاشت × مکان	۲	۲۰/۰ *	۰/۴۵۰ ns	۰/۰۸۵ ns	۰/۱۲۶ ns	۰/۰۵۸ ns	۲/۴۹ **	۳/۵۸ *
خطا	۱۸	۵/۴۰	۰/۱۶۵	۰/۰۷۷	۰/۰۸۱	۰/۰۳۰	۰/۰۵۷	۰/۵۷۰
ضریب تغییرات (%)	-	۵/۲۳	۸/۵۰	۵/۷۳	۵/۶۹	۵/۴۸	۰/۲۷۴	۲/۹۸

ns, * و **: به ترتیب، غیر معنی دار و معنی دار در سطح پنج و یک درصد

جدول ۴. مقایسات میانگین اثر متقابل مکان، تاریخ کاشت و گونه گیاهی بر ماده خشک بوته، میزان پرولین پنیرباد (*Withania spp*)

مکان	تاریخ کاشت	گونه گیاهی	ماده خشک بوته (g/plant)	RWC (%)	پرولین (μM/g DW)
خواف	دهم اردیبهشت	<i>Samnifera</i>	۵۲/۵ ^d	۸۳/۳ ^d	۲۴/۸ ^f
	دهم اردیبهشت	<i>Coagulans</i>	۱۹/۹ ^{fg}	۸۵/۲ ^c	۲۵/۴ ^{ef}
	دهم خرداد	<i>Samnifera</i>	۵۰/۸ ^d	۸۵/۰ ^c	۲۸/۷ ^{de}
	دهم خرداد	<i>Coagulans</i>	۱۸/۹ ^g	۸۳/۸ ^d	۳۰/۷ ^{cd}
فیض آباد	دهم اردیبهشت	<i>Samnifera</i>	۵۸/۴ ^c	۸۱/۷ ^{ef}	۳۲/۸ ^{bc}
	دهم اردیبهشت	<i>Coagulans</i>	۲۳/۵ ^f	۸۱/۹ ^e	۲۷/۹ ^{d-f}
	دهم خرداد	<i>Samnifera</i>	۶۵/۵ ^b	۸۰/۶ ^{fg}	۳۷/۹ ^a
	دهم خرداد	<i>Coagulans</i>	۲۱/۲ ^{fg}	۸۰/۱ ^g	۳۴/۶ ^{ab}
گلمکان	دهم اردیبهشت	<i>Samnifera</i>	۷۸/۲ ^a	۸۸/۷ ^a	۱۴/۴ ^g
	دهم اردیبهشت	<i>Coagulans</i>	۳۰/۷ ^e	۸۸/۳ ^{ab}	۱۵/۵ ^g
	دهم خرداد	<i>Samnifera</i>	۸۱/۷ ^a	۸۷/۳ ^b	۱۶/۱ ^g
	دهم خرداد	<i>Coagulans</i>	۳۱/۸ ^e	۸۷/۴ ^b	۱۴/۸ ^g

RWC: محتوی نسبی آب. میانگین های دارای حرف مشترک، اختلاف معنی داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD با یکدیگر ندارند.

لیپیدهای غشایی و اختلال عملکرد سلول شود، درحالی که فعالیت کاتالاز با محدود کردن این فرایند، نقش حفاظتی دارد (Gill & Tuteja, 2010). بنابراین، فعالیت بیشتر کاتالاز در فیض آباد و کمتر آن در گلمکان می تواند نشان دهنده مواجهه بیشتر گیاه با تنش، احتمالاً تنش گرمایی، در فیض آباد باشد. همچنین، اثر متقابل مکان × گونه گیاهی معنی دار بود

واحد، قرار گرفتند. کمترین فعالیت کاتالاز در هر دو تاریخ کاشت در گلمکان مشاهده شد و مقدار آن در این منطقه کمتر از ۵/۳ واحد بود (جدول ۵). کاتالاز با حذف H_2O_2 از سیتوسول و اندامک های حساس، از تجمع گونه های فعال اکسیژن و بروز آسیب اکسیداتیو جلوگیری می کند (Dinakar et al., 2009). تجمع بیش از حد H_2O_2 می تواند موجب پراکسیداسیون

جدول ۵. مقایسات میانگین اثر متقابل مکان و تاریخ کاشت بر میزان فعالیت کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز در گیاه پنیرباد (*Withania spp*).

مکان	تاریخ کاشت	آسکوربات پراکسیداز (ROS absorbed in) (FW of leaf)	پراکسیداز (ROS absorbed in) (FW of leaf)	کاتالاز (H ₂ O ₂ absorbed in) (FW of leaf)
خواف	دهم اردیبهشت	۲/۹۴ ^c	۴/۴۸ ^c	۵/۷۱ ^c
	دهم خرداد	۳/۲۵ ^b	۴/۹۵ ^b	۶/۳۸ ^b
فیض آباد	دهم اردیبهشت	۳/۳۵ ^b	۵/۱۴ ^b	۶/۵۳ ^b
	دهم خرداد	۴/۰۰ ^a	۶/۰۷ ^a	۷/۸۲ ^a
گلمکان	دهم اردیبهشت	۲/۷۴ ^c	۴/۲۹ ^c	۵/۲۰ ^d
	دهم خرداد	۲/۶۹ ^c	۴/۱۵ ^c	۵/۲۶ ^{cd}

میانگین های دارای حرف مشترک، اختلاف معنی داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD با یکدیگر ندارند.

جدول ۶. مقایسات میانگین اثر متقابل مکان و گونه گیاهی بر میزان فعالیت کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز در گیاه پنیرباد (*Withania spp*).

مکان	گونه گیاهی	آسکوربات پراکسیداز (ROS absorbed in) (FW of leaf)	پراکسیداز (ROS absorbed in) (FW of leaf)	کاتالاز (H ₂ O ₂ absorbed in) (FW of leaf)
خواف	<i>Samnifera</i>	۳/۰۴ ^c	۴/۶۳ ^{bc}	۵/۹۶ ^c
	<i>Coagulans</i>	۳/۱۴ ^c	۴/۷۹ ^b	۶/۱۴ ^c
فیض آباد	<i>Samnifera</i>	۳/۸۲ ^a	۵/۸۳ ^a	۷/۴۷ ^a
	<i>Coagulans</i>	۳/۵۳ ^b	۵/۳۸ ^a	۶/۸۷ ^b
گلمکان	<i>Samnifera</i>	۲/۷۲ ^d	۴/۲۴ ^c	۵/۲۱ ^d
	<i>Coagulans</i>	۲/۷۲ ^d	۴/۲۰ ^c	۲/۲۵ ^d

میانگین های دارای حرف مشترک، اختلاف معنی داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD با یکدیگر ندارند.

سلولی می شود؛ از این رو، افزایش فعالیت کاتالاز یکی از سازوکارهای دفاعی گیاه برای کنترل H₂O₂ و کاهش تنش اکسیداتیو است (Miller et al., 2010).

پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل مکان × تاریخ کاشت و مکان × گونه گیاهی بر فعالیت آنزیم های پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز معنی دار بود (جدول ۳). در اثر متقابل مکان × تاریخ کاشت، بیشترین فعالیت هر دو آنزیم در منطقه فیض آباد و تاریخ کاشت ۱۰ خرداد مشاهده شد؛ به طوری که فعالیت پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز به ترتیب

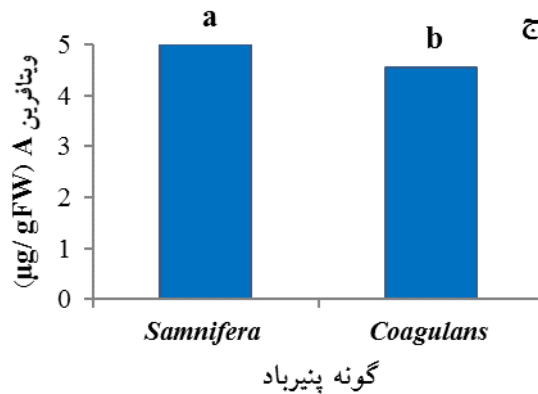
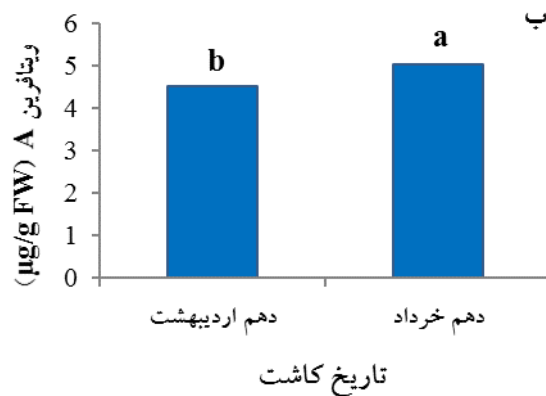
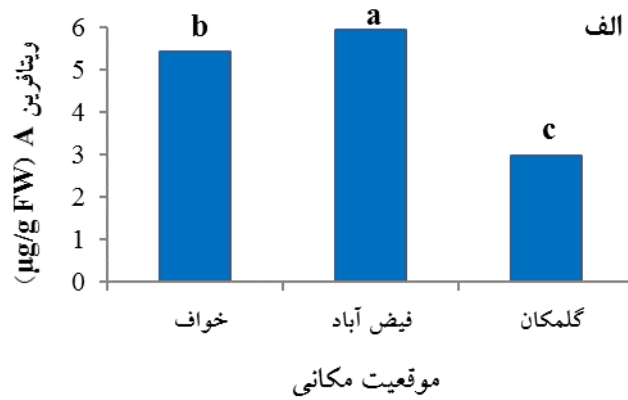
(جدول ۳). بیشترین فعالیت کاتالاز در فیض آباد و گونه *W. somnifera* با ۷/۴۷ واحد و پس از آن در فیض آباد و *W. coagulans* با ۶/۸۷ واحد مشاهده شد؛ در حالی که در گلمکان، فعالیت کاتالاز در هر دو گونه کمتر از ۵/۳ واحد بود (جدول ۶). کاهش فعالیت کاتالاز در گلمکان می تواند ناشی از دمای پایین تر و در نتیجه تولید کمتر ROS باشد. از سوی دیگر، افزایش دما و تنش محیطی در فیض آباد و خواف احتمالاً با افزایش تولید H₂O₂، فعالیت کاتالاز را در هر دو گونه تحریک کرده است. اگرچه H₂O₂ در غلظت های پایین می تواند به عنوان پیام رسان در القای پاسخ های دفاعی عمل کند، تجمع بیش از حد آن موجب آسیب اکسیداتیو و حتی مرگ

۶/۰۷ و ۴/۰۰ واحد آب اکسیژنه جذب شده در وزن تر برگ بود. پس از آن، تیمارهای فیض آباد در تاریخ کاشت ۱۰ اردیبهشت و خواف در تاریخ کاشت ۱۰ خرداد قرار گرفتند، درحالی که کمترین فعالیت هر دو آنزیم در تاریخ های کاشت ۱۰ اردیبهشت و ۱۰ خرداد در گلکمان و نیز تاریخ کاشت ۱۰ اردیبهشت در خواف مشاهده شد (جدول ۵). فعالیت بیشتر این آنزیم ها در فیض آباد احتمالاً با شرایط گرم تر این منطقه مرتبط است (جدول ۱). پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز از اجزای مهم سامانه دفاع آنتی اکسیدانی گیاه هستند که با افزایش تنش های محیطی و تجمع گونه های فعال اکسیژن (ROS)، فعالیت آن ها برای پاکسازی ROS و حفاظت از ساختارهای سلولی افزایش می یابد (Kapoor et al., 2020; Krasensky & Jonak, 2012). افزایش شدت تنش می تواند با تحریک بیان ژن های آنتی اکسیدانی، ظرفیت دفاعی گیاه را افزایش دهد (Navabpour et al., 2003). اثر متقابل مکان × گونه گیاهی نیز بر فعالیت هر دو آنزیم معنی دار بود (جدول ۳). بیشترین فعالیت پراکسیداز در منطقه فیض آباد و در هر دو گونه با مقادیر ۵/۸۳ و ۵/۳۸ واحد و کمترین آن در هر دو گونه در گلکمان، با مقدار کمتر از ۴/۲۵ واحد آب اکسیژنه جذب شده در وزن تر برگ، مشاهده شد (جدول ۶). در مورد آسکوربات پراکسیداز نیز بیشترین فعالیت در فیض آباد و گونه *W. somnifera* با ۳/۸۲ واحد و پس از آن در فیض آباد و *W. coagulans* با ۳/۵۳ واحد ثبت شد؛ کمترین فعالیت در هر دو گونه در گلکمان و کمتر از ۲/۷۵ واحد بود (جدول

۶). در مجموع، فعالیت بیشتر این آنزیم ها در فیض آباد و کمتر آن ها در گلکمان را می توان به تفاوت شرایط حرارتی و شدت تنش محیطی بین مناطق نسبت داد. همچنین، Ghahremani (2021)) گزارش کرد که افزایش تنش شوری از صفر تا ۲۵۰ میلی مولار کلرید سدیم، فعالیت پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز را در پنیرباد به طور معنی داری افزایش داد.

ماده خشک بوته

اثر متقابل مکان × تاریخ کاشت × گونه گیاهی بر میزان ماده خشک پنیرباد معنی دار بود (جدول ۳). بیشترین ماده خشک بوته در منطقه گلکمان، در هر دو تاریخ کاشت و در گونه *W. somnifera* مشاهده شد؛ به طوری که تنها در این دو تیمار، ماده خشک از ۷۸ گرم در بوته بیشتر بود. پس از آن، تیمار فیض آباد، تاریخ کاشت ۱۰ خرداد و گونه *W. somnifera* با ۶۵/۵ گرم در بوته قرار گرفت و در سایر تیمارها مقدار ماده خشک کمتر از ۶۰ گرم در بوته بود (جدول ۴). کمترین مقدار ماده خشک در فیض آباد در هر دو تاریخ کاشت و گونه *W. coagulans* و نیز خواف در تاریخ کاشت ۱۰ خرداد و گونه *W. coagulans* مشاهده شد که در این سه تیمار، مقدار ماده خشک به ۲۱/۵ گرم در بوته نرسید. ماده خشک بیشتر در گلکمان احتمالاً به شرایط خنک تر این منطقه و کاهش تبخیر و تعرق و در نتیجه فراهم شدن شرایط مناسب تر برای رشد گیاه مرتبط است. همچنین، عملکرد بالاتر *W. somnifera* در مقایسه با *W. coagulans* می تواند نشان دهنده پتانسیل بیشتر این گونه در تولید



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر موقعیت مکانی، تاریخ کاشت و گونه گیاهی بر میزان ویتافرین A اندام هوایی گیاه پنیرباد (*Withania spp*).

الف، ب و ج به ترتیب مقایسات میانگین اثرات ساده موقعیت مکانی، تاریخ کاشت و گونه گیاهی بر میزان ویتافرین A اندام هوایی گیاه پنیرباد هستند.

میانگین های دارای حرف مشترک، اختلاف معنی داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD با یکدیگر ندارند.

چندساله نسبت به تاریخ های اسفند و اردیبهشت شد، هرچند این اثر در سال دوم معنی دار نبود. همچنین (۲۰۱۶) Arshadi با بررسی ۹ ژنوتیپ نخود (*Cicer arietinum* L.)، تفاوت معنی داری

ماده خشک باشد. در همین راستا، Khairkhah (2011) گزارش کرد که تاریخ کاشت فروردین در نخستین سال آزمایش موجب افزایش معنی دار وزن خشک اندام هوایی کاکوتی

در تولید ماده خشک بوته ژنوتیپ‌ها گزارش کرد و این تفاوت را بیانگر اختلاف پتانسیل ژنتیکی ارقام، حتی تحت شرایط رشدی مشابه، دانست.

ویتافرین A اندام هوایی

اثرات متقابل تیمارهای آزمایش بر میزان ویتافرین A اندام هوایی پنیرباد معنی‌دار نشدند (جدول ۳). اما اثرات ساده تیمارهای آزمایش (شامل موقعیت مکانی، تاریخ کاشت و گونه گیاهی) بر میزان ویتافرین A اندام هوایی پنیرباد معنی‌دار گردید (جدول ۳). در بررسی اثر موقعیت مکانی مشخص گردید که بیشترین ویتافرین A اندام هوایی در منطقه فیض‌آباد وجود داشت و منطقه گل‌مکان، از این نظر در پایین‌ترین رتبه قرار گرفت (شکل ۱، الف). بررسی اثر تاریخ کاشت بر میزان ویتافرین A اندام هوایی نشان داد که تاریخ کاشت دهم خرداد نسبت به تاریخ کاشت دهم اردیبهشت از این نظر برتری معنی‌داری داشت (شکل ۱، ب) و در ارتباط با اثر گونه گیاهی بر میزان ویتافرین A اندام هوایی مشخص گردید که گونه *W. samnifera* نسبت به *W. coagulans* از برتری معنی‌دار ۸ درصدی از نظر ویتافرین A اندام هوایی برخوردار بود (شکل ۱، ج). ویتافرین A از ترکیبات اصلی دارویی گیاه پنیرباد است. در تحقیق حاضر مشخص گردید که منطقه فیض‌آباد از پتانسیل بالاتری برای تولید این ماده ارزشمند برخوردار است. همچنین کشت گیاه پنیرباد در خردادماه نسبت به اردیبهشت ماه می‌تواند سبب افزایش ویتافرین A این گیاه گردد. ضمن آنکه به نظر می‌رسد که

گونه *W. samnifera* نسبت به *W. coagulans* از پتانسیل بالاتری برای تولید ویتافرین A برخوردار است. Ghahremani (2021) طی بررسی اثرات تنش‌های خشکی و شوری بر خصوصیات بیوشیمیایی گیاه پنیرباد، اظهار داشت که با افزایش شدت تنش، میزان ویتافرین A افزایش معنی‌داری پیدا کرد. Bagheri و همکاران (2016) طی بررسی محتوی ترکیب ویتافرین A در توده‌های مختلف پنیرباد، بذر گونه *W. coagulans* را از پنج منطقه مختلف در استان سیستان و بلوچستان (شامل مناطق کوهک، اسفندک، سیرکان، ناهوک و هیدوچ) جمع‌آوری کرده و در محیط کشت قرار دادند. آن‌ها دریافتند که علی‌رغم اینکه بذرهای جمع‌آوری شده پنیرباد، متعلق به یک گونه بوده و همگی در شرایط محیط کشت یکسانی قرار گرفتند، اما میزان ویتافرین A تولید شده از گیاهان حاصل از توده منطقه هیدوچ نسبت به چهار منطقه دیگر، بطور معنی‌داری بیشتر بود.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس یافته‌های پژوهش، پنیرباد در مناطق گرم‌تر، به‌ویژه فیض‌آباد، میزان پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی بیشتری داشت که می‌تواند بیانگر افزایش تنش گرمایی و خشکی و فعال‌شدن سازوکارهای دفاعی گیاه باشد. در مقابل، مقادیر کمتر پرولین و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز در گل‌مکان، احتمالاً ناشی از شرایط خنک‌تر و رطوبتی مطلوب‌تر و در نتیجه تنش کمتر بود. همچنین، RWC بالاتر در گل‌مکان نشان‌دهنده وضعیت آبی مناسب‌تر گیاه و کاهش تبخیر

و تعرق در این منطقه است. گلمکان با شرایط اقلیمی خنک‌تر، محیط مناسب‌تری برای رشد رویشی و تولید ماده خشک پنیرباد فراهم کرد؛ به‌طوری که *W. somnifera* در این منطقه بیشترین ماده خشک بوته را تولید کرد. همچنین، تاریخ کاشت ۱۰ اردیبهشت، به دلیل برخورداری از فصل رشد طولانی‌تر، در مقایسه با ۱۰ خرداد شرایط مناسب‌تری برای رشد رویشی فراهم نمود. در مجموع، *W. somnifera* در بیشتر صفات مورد بررسی بر *W. coagulans* برتری نشان داد که احتمالاً به تفاوت‌های ژنتیکی و پاسخ متفاوت دو گونه به شرایط محیطی مربوط است؛ بنابراین، از پتانسیل بیشتری برای کشت تجاری و بهره‌برداری دارویی برخوردار است. از سوی دیگر، تولید ویتافرین A به شدت تحت تأثیر شرایط اقلیمی قرار گرفت و بیشترین مقدار آن در فیض‌آباد، به‌ویژه در تاریخ کاشت ۱۰ خرداد، مشاهده شد؛ درحالی که گلمکان کمترین مقدار را داشت. این الگو می‌تواند نشان‌دهنده نقش تنش گرمایی و خشکی در تحریک مسیرهای دفاعی و افزایش سنتز متابولیت‌های ثانویه باشد. در مجموع، نتایج حاکی از وجود رابطه‌ای تاحدی معکوس میان رشد رویشی و تولید برخی متابولیت‌های ثانویه است و برتری *W. somnifera* در تولید فنول‌ها و ویتافرین A، ظرفیت بیشتر این گونه را برای کشت با هدف تولید ترکیبات دارویی نشان می‌دهد.

References

- Arshadi, M.J. ۲۰۱۶. Investigation of the effect of seeds inoculation of chickpea (*Cicer arietinum* L.) with arbuscular mycorrhiza and pseudo-endomycorrhiza in response to drought stress. Ph.D. thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian) <https://doi.org/10.22067/IJPR.V8I2.47392>
- Azizi, Kh., Nazari Alam, J., Faizian, M., and Heydari, R. 2018. Effect of climate and density on different populations of Milk Thistle (*Silybum marianum* L.). Iranian Journal of Field Crop Science, 49(1): 65-75. (In Persian) <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2017.226910.654273>
- Bagheri, A., Valizadeh, M., Sharifi, A., and Senthil, K. 2016. Evaluation of withaferin A content in different accessions and in *in vitro* cultures of *Withania coagulans* (Stocks) Dunal. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 32(2): 231-244. (In Persian) <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2016.106558>
- Bates, L.S., Waldren, R.P., and Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil, 39(1): 205-207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
- Bayoumi, T.Y., Eid, M.H., and Metwali, E.M. 2008. Application of physiological and biochemical indices as a screening technique for drought tolerance in wheat genotypes. African Journal of Biotechnology, 7(14): 2341-2352. <https://doi.org/10.5897/AJB2008.000-5059>
- Dhindsa, R.S., Plumb-Dhindsa, P., and Thorpe, T.A. 1981. Leaf senescence: correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. Journal of Experimental Botany, 32(1): 93-101. <https://doi.org/10.1093/jxb/32.1.93>
- Dinakar, N., Nagajyothi, P.C., Suresh, S., Damodharam, T., and Suresh, C. 2009. Cadmium induced changes on proline, antioxidant enzymes, nitrate and nitrite reductases in *Arachis hypogaea* L. Journal of Environmental Biology, 30(2): 289-294.
- Ganji Moghaddam, E., Ghahremani, I., Tatari, M., and Khosrobar, S. 2018. Effect

- of chilling and chemical treatment on seed dormancy of *Withania somnifera*. Journal of Seed Research, 8(26): 47-59. (In Persian) <https://sanad.iau.ir/fa/Article/980969>
- Garg, N., and Singla, R. 2009. Variability in the response of chickpea cultivars to short-term salinity, in terms of water retention capacity, membrane permeability and osmo-protection. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 33(1): 1-7. <https://doi.org/10.3906/tar-0712-41>
- Ghahremani, I. 2021. Evaluation of tolerance to salinity and drought stress of *Withania* plant under *in vitro* conditions and investigation of their adaptation possibilities. Ph.D. thesis, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Shirvan Branch. (In Persian)
- Gill, S.S., and Tuteja, N. 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiology and Biochemistry, 48(12): 909-930. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>
- Kapoor, D., Bhardwaj, S., Landi, M., Sharma, A., Ramakrishnan, M., and Sharma, A. 2020. The impact of drought in plant metabolism: How to exploit tolerance mechanisms to increase crop production. Applied Sciences, 10(16): 5692. <https://doi.org/10.3390/app10165692>
- Kavita, D., and Pawan, K. 2019. Seed germination standardization techniques in *Withania coagulans* under *in-vitro* and *in-vivo* conditions, a critically endangered medicinal plant of Indian Thar desert. Plant Archives, 19(2): 2683-2688.
- Khairkhah, M. 2011. Evaluation of the ecological characteristics of perennial sedge (*Ziziphora clinopodioides* Lam.) in natural areas and feasibility of its domestication in low-input farming systems. Ph.D. thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian)
- Khorasan Razavi Meteorological Department. 2021. Meteorological Data and Statistics. (In Persian) <https://www.razavimet.ir/fa/>
- Khoshoei, Z. 2023. Effect of municipal waste compost, nitrogen fertilizer levels and management of irrigation on yield and physiological and agronomic indexes of peanut in Gilan province. Ph.D. thesis, Faculty of Agriculture,

- Islamic Azad University, Lahijan Branch. (In Persian)
- Krasensky, J., and Jonak, C. 2012. Drought, salt, and temperature stress-induced metabolic rearrangements and regulatory networks. *Journal of Experimental Botany*, 63(4): 1593-1608. <https://doi.org/10.1093/jxb/err460>
- Lashkari, A., Aishi Rezaei, A., and Banayan Awal, M. 2010. Climatic localization of medicinal plants: case study: pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). National Conference on Medicinal Plants, March 2010, Sari, Iran. (In Persian)
- Manwar, J., Mahadik, K.R., and Paradkar, A. 2012. Determination of withanolides from the roots and herbal formulation of *Withania somnifera* by HPLC using DAD and ELSD detector. *Der Pharmacia Sinica*, 3(1): 41-46.
- Miller, G., Suzuki, N., Ciftci-Yilmaz, S., and Mittler, R. 2010. Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. *Plant, Cell & Environment*, 33(4): 453-467. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.02041.x>
- Navabpour, S., Morris, K., Allen, R., Harrison, E., Mackerness, S.A.H., and Buchanan-Wollaston, V. 2003. Expression of senescence-enhanced genes in response to oxidative stress. *Journal of Experimental Botany*, 54(391): 2285-2292. <https://doi.org/10.1093/jxb/erg267>
- Nejad Mohammad Nameghi, A.R., Jahadipur, S., and Gholizadeh, Z. 2022. Investigating the effect of altitude and climate on the changes of secondary metabolites of medicinal plants of *Thymus* and *Artemisia*. *Journal of Medicinal Plants Biotechnology*, 7(2): 47-53. (In Persian) <https://doi.org/10.30470/jmpb.2022.701842>
- Omidbaigi, R. 2005. Production and Processing of Medicinal Plants. Volume 3. Third Edition. Astan Quds Razavi Publications, 397 pages. (In Persian)
- Pant, P., Pandey, S., and Dall'Acqua, S. 2021. The influence of environmental conditions on secondary metabolites in medicinal plants: A literature review. *Chemistry & Biodiversity*, 18(11): e2100345. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202100345>
- Ram, H., Kumar, A., Sharma, S.K., Ojha, A., and Rao, S.R. 2012. Meiotic studies in *Withania somnifera* (L.) Dunal.: A threatened medicinal herb of Indian

- Thar desert. American Journal of Plant Sciences, 3(2): 185-189. <https://doi.org/10.4236/ajps.2012.32022>
- Ritchie, S.W., and Nguyen, H.T. 1990. Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Science, 30(1): 105-111. <https://doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183X003000010025x>
- Rosales-Serna, R., Kohashi-Shibata, J., Acosta-Gallegos, J.A., Trejo-López, C., Ortiz-Cereceres, J., and Kelly, J.D. 2004. Biomass distribution, maturity acceleration and yield in drought-stressed common bean cultivars. Field Crops Research, 85(2-3): 203-211. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(03\)00161-8](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00161-8)
- Shinde, S., Villamor, J.G., Lin, W.D., Sharma, S., and Verslues, P.E. 2016. Proline coordination with fatty acid synthesis and redox metabolism of chloroplast and mitochondria. Plant Physiology, 172(2): 1074-1088. <https://doi.org/10.1104/pp.16.01097>
- Shubhra, K., Dayal, J., Goswami, C.L., and Munjal, R. 2004. Effects of water deficit on oil of calendula aerial parts. Biologia Plantarum, 48(3): 445-448. <https://doi.org/10.1007/s10544-004-0274-3>
- Valizadeh, M. 2014. Evaluation of different strains of the medicinal plant *Withania* sp. and investigation of *in vitro* production and anticancer potential of the pharmaceutical compound Withaferin A. [M.Sc.](#) thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian)
- Valizadeh, M., Bagheri, A., Valizadeh, J., Mirjalili, M.H., and Moshtaghi, N. 2015. Autecology of *Withania coagulans* (Stocks) Dunal in Sistan and Baluchestan province. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 31(1): 127-137. (In Persian) <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2015.101792>
- Velikova, V., Yordanov, I., and Edreva, A. 2000. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: Protective role of exogenous polyamines. Plant Science, 151(1): 59-66. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(99\)00197-1](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00197-1)
- Yamaguchi, K., Mori, H., and Nishimura, M. 1995. A novel isoenzyme of ascorbate

peroxidase localized on glyoxysomal and leaf peroxisomal membranes in pumpkin. *Plant and Cell Physiology*, 36(6): 1157–1162. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a078862>

Ziaei, S.M., and Jafari, M. 2022. Effect of different osmotic potential and seed priming levels on some germination characteristics of Paneer phool (*Withania coagulans*). *Plant Production and Genetics*, 3(2): 235-246. (In Persian) <https://doi.org/10.34785/J020.2022.004>

Evaluation of physiological responses of *Withania* spp. to planting date and climatic conditions in Golmakan, Feyzabad, and Khaf regions

Hossein Amjadi^{1*}, Ebrahim Ganjimoghaddam², Ahmad Asgharzadeh¹,
Moharram Valizadeh³

1. Department of Horticulture and Medicinal Plants, SHIR.C., Islamic Azad University, Shirvan, Iran .
(Corresponding author)
2. Professor, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran
3. Assistant Professor, Research Center for Medicinal and Ornamental Plants, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

Received: June 2026 Accepted: August 2026 - DOI: 10.22092/mpt.2026.373273.1228

Abstract

Amjadi, H., Ganjimoghaddam, E., Asgharzadeh, A., Valizadeh, M., Evaluation of physiological responses of *Withania* spp. to planting date and climatic conditions in Golmakan, Feyzabad, and Khaf regions

Iranian Medicinal Plants Technology, Vol 7, No. 2, 2025 21-22: 145-160 (in Persian)

Abstract

This study aimed to investigate the effects of location, sowing date, and species on the physiological and biochemical traits of *Withania* plants. The experiment was conducted in 2021 using a split-split-plot arrangement within a randomized complete block design (RCBD) with three replications at three locations, namely Golmakān, Khaf, and Feyzābād. The treatments consisted of two sowing dates (April 30 and May 31) and two species, *Withania somnifera* and *Withania coagulans*. The results showed that climatic differences among the locations significantly affected plant traits. The Feyzābād region, characterized by higher temperatures and lower humidity, was associated with a considerable increase in proline accumulation and antioxidant enzyme activity. In *W. somnifera* sown on May 31 in Feyzābād, proline content was 24.3% and 57.5% higher than that observed under the corresponding conditions in Khaf and Golmakān, respectively. Furthermore, the highest Withaferin A concentration (5.93 $\mu\text{g g}^{-1}$ fresh weight) was recorded in Feyzābād, where the May 31 sowing date resulted in an 11.0% higher concentration than the
Email address of the corresponding author: h.amjadi8057@iau.ir

April 30 sowing date. In contrast, although Golmakān provided more favorable conditions for dry matter accumulation, it resulted in the lowest concentration of active compounds. *W. somnifera* outperformed *W. coagulans* in most physiological traits and antioxidant compounds. Overall, despite the lower growth observed in Feyzābād, the higher production of Withaferin A makes this region a suitable location for medicinal cultivation. Therefore, cultivation of *W. somnifera* in Feyzābād, particularly using the later sowing date (May 31), is recommended for achieving higher medicinal quality

Keywords: Antioxidant enzymes, Proline, Withania, Climatic Stress, Medicinal cultivation,