مطالعه اثر کودهای اوره، فسفات کلسیم، سولفات پتاسیم و هم‌افزایی آنها بر تولید برگ و پاجوش در گیاه آلوئه‌ورا

محسن عباسی[۱]، احد مدنی (نویسنده مسئول)[۲*] و فرشید وزین[۳]

۱- کارشناس‌ارشد، گروه زراعت، واحد گناباد، دانشگاه آزاد اسلامی، گناباد، ایران، abbasi87@yahoo.com

*۲- استادیار، گروه زراعت، واحد گناباد، دانشگاه آزاد اسلامی، گناباد، ایران، madani_ahad@yahoo.com

۳- استادیار، گروه زراعت، واحد گناباد، دانشگاه آزاد اسلامی، گناباد، ایران، farshidvazin@yahoo.com

تاریخ دریافت: آبان ۱۴۰۰ تاریخ پذیرش: بهمن ۱۴۰۰

Study of the effect of urea fertilizers, calcium phosphate, potassium sulfate and their synergy on the production of leaves and cuttings in aloe vera

Mohsen Abbasi[1], Ahad Madani (Corresponding author)[2*] and Farshid Vazin[3]

1- M.Sc Student, Department of Agronomi, Gonabad Branch, Islamic Azad University, Gonabad, Iran, abbasi87@yahoo.com

2*- Assistant Professor, Department of Agronomi, Gonabad Branch, Islamic Azad University, Gonabad, Iran, madani_ahad@yahoo.com

3- Assistant Professor, Department of Agronomi, Gonabad Branch, Islamic Azad University, Gonabad, Iran, farshidvazin@yahoo.com

Received: October 2021 Accepted: January 2022

چکیده

آلوئه‌ورا (صبر زرد) یک گیاه دارویی با ارزش اقتصادی بسیار بالاست. با هدف فراهم کردن شرایط تغذیه‌ای مناسب برای بدست آوردن عملکرد بیشتر و تولید پاجوش‌هایی پرتعداد و با کیفیت، آزمایشی در سال ۱۳۹۵ در شهرستان مه ولات (استان خراسان رضوی) به صورت فاکتوریل با ۲۷ تیمار و ۳ تکرار در قالب بلوک‌های کامل تصادفی اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی سه کود اوره، فسفات کلسیم و سولفات پتاسیم و هر کدام با سه سطح صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم بودند. نتایج حاکی از اثر افزایشی مصرف همزمان نیتروژن و فسفر و همچنین نیتروژن و پتاسیم عمدتاً بر صفات تکثیری گیاه مانند وزن پاجوش، تعداد پاجوش و تعداد برگ و ارتفاع پاجوش بود، البته اثر افزایشی نیتروژن و فسفر بر طول و تعداد برگ به عنوان صفت مرتبط با عملکرد گیاه مادری نیز دیده شد. ۷۰-۸۰ درصد حداکثر وزن پاجوش، تعداد پاجوش، تعداد برگ پاجوش و پاجوش و همچنین حداکثر طول و تعداد برگ با مصرف ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن، توام با ۱۰۰ کیلوگرم فسفر و یا توام با ۱۰۰ کیلوگرم پتاسیم بدست آمد. افزایش بیشتر فسفر و پتاسیم در سطح ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن موجب دستیابی به حداکثر صفات مرتبط با پاجوش گردید و تاثیر چندانی بر صفات مرتبط با عملکرد گیاه مادری نداشت. نتایج این تحقیق پیشنهاد می‌دهد که توصیه کودی برای تولید پاجوش و عملکرد ژل متفاوت است، به نحوی که دستیابی به پاجوش‌های پر تعداد و با کیفیت در مقایسه با حصول بیشترین عملکرد گیاه مادری نیازمند مقدار مشابه نیتروژن و دو برابر فسفر و پتاسیم می‌باشد.

کلمات کلیدی: آلوئه‌ورا، پاجوش، تغذیه گیاهی، کوددهی.

Abstract

Aloe is a medicinal plant with very high economic value. With the aim of providing suitable nutritional conditions to achieve higher yield and produce large number of high-quality cuttings, an experiment was performed in Mahvalat city (Khorasan Razavi province) during 2016 growing season, a factorial design in the form of randomized complete blocks with 27 treatments and 3 replications. Experimental treatments were three fertilizers of urea, calcium phosphate and potassium sulfate, each with three levels of zero, 100 and 200 kg. The results showed the increasing effect of simultaneous consumption of nitrogen and phosphorus as well as nitrogen and potassium mainly on plant reproductive traits such as cuttings weight, number of cuttings and number of leaves per cuttings and cutting height, however, increasing effect of nitrogen and phosphorus on leaf length and number of leaves was also observed. Related to the yield of the mother plant was also seen. 70-80% of the maximum weight of cuttings, number of cuttings and number of leaves per cuttings and height of cuttings as well as maximum leaf length and number of leaves were obtained by consuming 100 kg of nitrogen, with 100 kg of phosphorus or with 100 kg of potassium. Further increase of phosphorus and potassium at the level of 100 kg of nitrogen led to the achievement of maximum traits related to cuttings and had little effect on traits related to the yield of the mother plant. The results of this study suggest that achieving a large number of quality cuttings in comparison with achieving the highest yield of the mother plant requires the same amount of nitrogen and double amounts of phosphorus and potassium.

Keywords: *Aloe vera*, Fertilization, Cuttings, Plant nutrition.

مقدمه و کلیات

آلوئه‌ورا (صبر زرد) یک گیاه دارویی با نام علمی *Aloe Vera* از خانواده Liliaceae و دارای مسیر فتوسنتزی CAM (کراسولاسیک اسید متابولیسم) می‌باشد (Surjushe *et al.*, 2008). روش اصلی افزایش غیرجنسی صبر زرد، از طریق پاجوش است و به منظور تولید تجاری گیاهچه و افزایش عملکرد برگ از طریق افزایش سطح زیر کشت، روشهایی مورد نیاز است تا بتوان در مدت زمان کوتاه، تعداد زیادی گیاهچه تولید نمود (Perisa and Gobinno, 2021). فراهم کردن شرایط تغذیه ای مناسب برای بدست آوردن پاجوش هایی با اندازه درشت و با کیفیت بالا از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد (Khajeeyan *et al.*, 2019). دانش پیرامون نقش عناصر غذایی بر رشد گیاهان CAM بسیار اندک است (Kumar *et al.*, 2017). بنظر می رسد که واکنش این دسته از گیاهان به عناصر غذایی نسبت به سایر گیاهان (غیر CAM) کمتر درک شده است و لذا نیازمند مطالعات بیش تر می باشد. اما در مجموع گیاه آ آلوئه ورا به عنوان یک گیاه CAM پاسخ رشدی مناسبی به کود های نیتروژنه نشان می دهد. به طور مثال آزمایش Chowdhury *et al.*, (2020) نشان داد که دستیابی به حداکثر عملکرد ژل آلوئه ورا نیازمند مصرف ۲۰۰ کیلوگرم اوره یا دی فسفات آمونیوم می باشد، در حالی که مصرف به ترتیب ۷۵ یا ۹۰ کیلوگرم از این دو کود موجب دستیابی به ۸۰ درصد مقدار حداکثر عملکرد خواهد شد. تحقیق Sultan *et al.*, (2021) نشان داد که مصرف تا ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم موجب افزایش غلظت پتاسیم برگ در گیاه آلوورا شد، اما حداکثر عملکرد ژل و ۸۰ درصد حداکثر مقدار عمکلرد ژل به ترتیب از۱۲۰ و۷۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار حاصل می شود. آنها در تحقیق جداگانه ای نشان دادند که مصرف تا ۱۲۰ کیلوگرم فسفر در هکتار موجب افزایر محتوای فسفر گیاه و عملکرد ژل می شود اما برای دستیابی به ۸۰ درصد حداکثر مقدار عملکرد ٤٥ کیلوگرم فسفر کفایت می‌کند (Sultana *et al.*, 2021). تحقیقاتی نیز پیرامون استفاده توام نیتروژن، فسفر و پتاسیم با کودهای دامی وجود دارد، به طور مثال بر اساس گزارش Chowdhury *et al.*, (2021) مصرف ۵ تن کود مرغی توام با ٤٠ ، ۲۰ و ۳۰ کیلوگرم در هکتار NPK برای دست یافتن به حداکثر ماده خشک در آلوئه‌ورا کافی خواهد بود. تحقیقات پیرامون کاربرد کودهای زیستی مانند قارچ میاکوریزا برای تامین فسفر مورد نیاز آلوئه‌ورا حاکی از مفید بودن این روشها می باشد (Núñez-Colima *et al.*, 2018). گزارشاتی نیز از هم‌افزایی مصرف همزمان نیتروژن و پتاسیم (Olfati *et al.*, 2015)، مصرف همزمان نیتروژن و فسفر (Tawaraya *et al.*, 2007) و مصرف همزمان فسفر و پتاسیم (Ahmed *et al.*, 2011) بر عملکرد ژل در آوورا نسبت به مصرف هر کدام از آنها به تنهایی وجود دارد. هدف اصلی این تحقیق نیز بررسی هم افزایی ناشی از کاربرد همزمان این سه عنصر غذایی بر رشد و عملکرد آلوئه‌ورا و همچنین تعداد و کیفیت پاجوش های تولیدی و ارایه توصیه کودی مناسب می باشد. در این تحقیق چنین فرض شده است که نه تنها عملکرد بلکه توانایی تولید پاجوش های پر تعداد و با کیفیت تحت تاثیر

این عناصر غذایی و اثر متقابل آنها قرارمی‌گیرد، البته پاسخ به این سوال که آیا توصیه کودی مناسب برای دستیابی به حداکثر عملکرد ژل با توصیه کودی مناسب برای تولید پاجوش های پر تعداد و با کیفیت یکسان یا متفاوت خواهد بود، نیز هدف اصلی از اجرای این تحقیق می باشد.

فرآیند پژوهش

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۵ در مزرعه شخصی در اراضی روستای عبدل اباد شهرستان مه ولات اجرا شد. محل اجرای آزمایش در مختصات، طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ٦٦ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ٥٤ دقیقه و ارتفاع ۹۵۹ متری از سطح دریا واقع شده است. میانگین ۳۰ ساله آمار هواشناسی در منطقه مه ولات نشان میدهد که متوسط بارندگی سالیانه ۱۸۵ میلیمتر و حداقل سردترین و حداکثر گرمترین درجه حرارت هوا به ترتیب ۲۰- درجه سانتیگراد و ٤۰ درجه سانتیگراد می‌باشد. مشخصات خاکشناسی مزرعه در سال آزمایش در جدول۱ نشان داده شده است. این آزمایش بصورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک های کامل تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. هر یک از کودهای نیتروژن به فرم اوره، فسفر به فرم فسفات کلسیم و پتاسیم به فرم سولفات پتاسیم در سه سطح ۰ ، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در ۲۷ تیمار مورد آزمایش قرارگرفتند. در خرداد ماه پاجوش‌های یکنواخت با اندازه ۲۰-۱۸ سانتیمتر به صورت تصادفی انتخاب و به زمین منتقل کشت شدند. هرکرت فرعی شامل ٤ خط کاشت به طول ۳ متر و عرض ۵ متر و فاصله بوته‌ها در روی ردیف ٤۰ سانتیمتر و بین دو ردیف ۷۰ سانتیمتر در نظر گرفته شده است. هر سه کود نیتروژن، پتاسیم و فسفر به صورت تقسیط در سه مرحله ٦ برگی، پیش از تشکیل پاجوش و شروع تشکیل پاجوش بکار رفت. گیاهان بر اساس ظرفیت زراعی به صورت یکسان آبیاری شدند. بوته های برداشت شده از سطح مزرعه جمع آوری گردید و ارتفاع بوته، تعداد و پهنای برگ، تعداد برگ پاجوش، وزن، تعداد و ارتفاع پاجوش ۱۰ بوته از هر کرت کرت اندازه گیری شد. در هر کرت، ارتفاع بوته از سطح خاک تا نوک بلند ترین برگ به عنوان ارتفاع بوته اندازه گیری گردید برای اندازه گیری صفات مرتبط با پاجوش، ابتدا پاجوش ها از گیاه مادری جدا و تعداد آنها شمارش گردید. سپس خصوصیاتی از قبیل ارتفاع پاجوش، وزن پاجوش، تعداد برگ پاجوش اندازه گیری شد. تجزیه واریانس داده های آزمایش با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه میانگین ها به روش آزمون چند دامنه ای دانکن در سطوح ۵ درصد و ۱ درصد انجام گرفت. نمودارهای مربوطه با کمک نرم افزار Excel ترسیم شد.

جدول۱- مشخصات خاکشناسی مزرعه در سال آزمایش

Table 1- Soil parameters of experimental field

عمق خاک (cm)	EC	pH	موادآلی(٪)	مواد غذایی			ذرات خاک(٪)		
				نیتروژن	فسفر	پتاس	رس	سیلت	شن
۵۰-۰	۱/٤	۷/۳	۰/٦۸	۰/۰٦۵	٦/۵	٦۰	۱۳	۳۷	۵۰

نتایج و بحث

اثر کود نیتروژن بر طول، عرض و تعداد برگ و تعداد پاجوش گیاه آلوئه ورا معنی دار بود (جدول ۲). تیمار $N_{۱۰۰}$ در مقایسه با N_0 موجب افزایش ارتفاع گیاه (۳۲/۷ ٪)، قطر ساقه (۷/۲۳ ٪)، تعداد برگ (۲۱/۹ ٪) و تعداد پاجوش (٦۲/۷ ٪) شد، با افزایش نیتروژن به ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار طول برگ بطور معنی داری کاهش یافت، ولی عرض برگ ، تعداد برگ و تعداد پا جوش تغییری نکرد (جدول ۲ و نمودار ۱). از نظر وزن پاجوش، تیمارهای $N_{۱۰۰}$ و N_0 اختلافی نداشتند، تنها پس از مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در نیتروژن هکتار ۸/۳٦ درصد افزایش معنی‌دار وزن پاجوش نسبت به شاهد دیده شد (جدول ۲ و نمودار ۱). در مورد ارتفاع پاجوش و تعداد برگ در پاجوش، بین هر سه سطح نیتروژن اختلاف معنی دار مشاهده شد، به نحوی که تیمار$N_{۱۰۰}$ در مقایسه با N_0 به ترتیب ۱۰٦/۵ و ۷۹ درصد افزایش ارتفاع پاجوش و تعداد برگ در پاجوش را در پی داشت، و تیمار $N_{۲۰۰}$ موجب افزایش ارتفاع پاجوش و تعداد برگ در پاجوش به میزان ۲٤/۸ و٤۸/۳ درصد در مقایسه با تیمار $N_{۱۰۰}$ گردید (جدول ۲ و نمودار ۱). نتیجه تحقیقاتی که در ایران پیرامون نقش نیتروژن بر عملکرد آلوئه ورا نجام شده است، بدون نظر گرفتن سیستم فتوسنتزی کراسولاسیک اسید متابولیسم در این گیاه گزارش شده است.

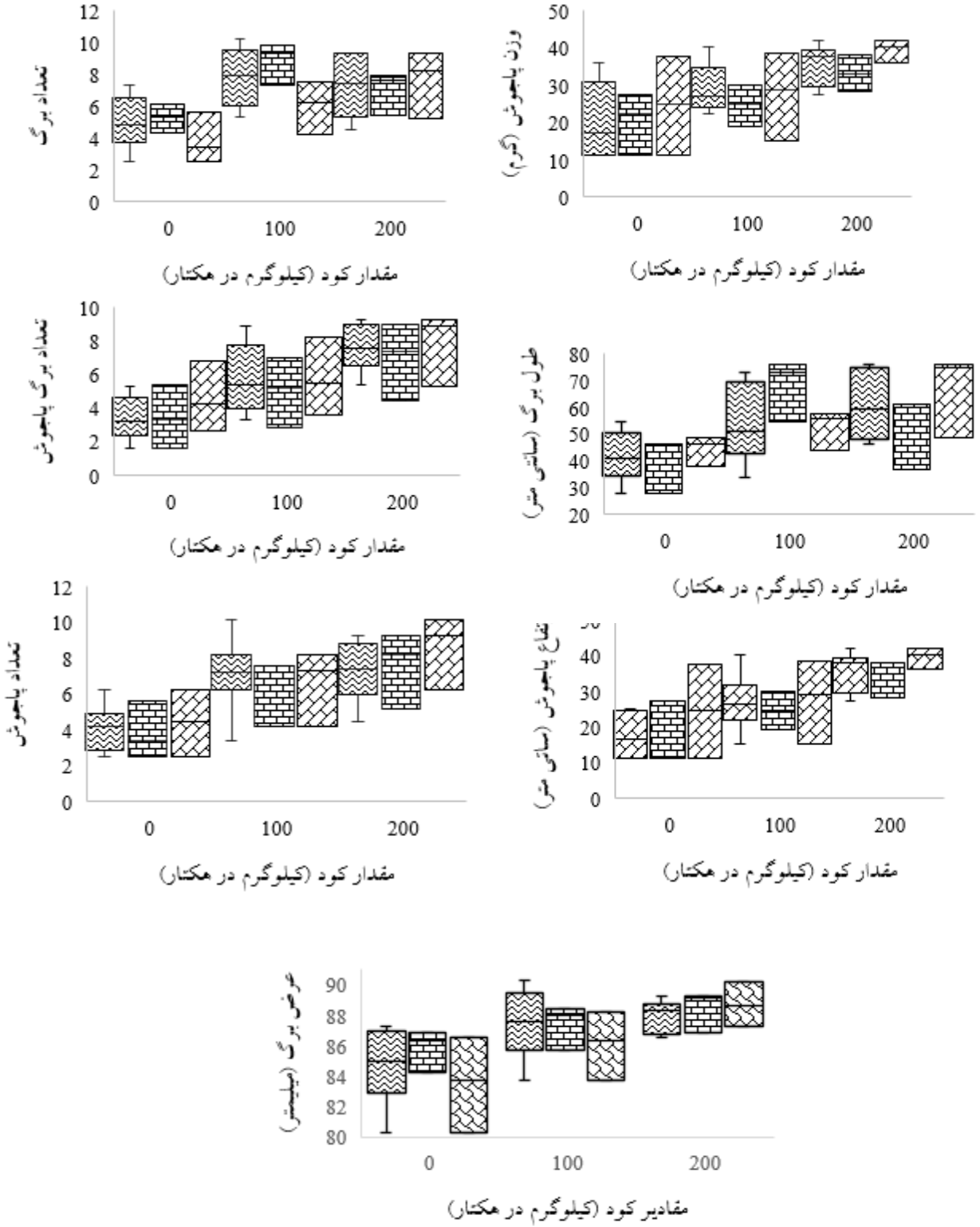
جدول ۲- میانگین مربعات اثر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و اثرات متقابل آنها بر صفات مورد مطالعه

Table 2- Mean squares for the effect of nitrogen, phosphorus and potassium and the interaction on studied traits

منابع تغییرات	درجه آزادی	طول برگ سانتی متر	قطر ساقه سانتی متر	تعداد پاجوش	تعداد برگ	تعداد پاجوش	وزن برگ (گرم)	پاجوش
بلوک	۲	٤٦/۱۳ ns	۱٤/٦۲ns	۱/۲۸ns	۱/۳ns	۰/٤۰ns	٤۱/٤٤۷ns	
نیتروژن	۲	٦۱۸/۸**	۳۰/٦۲*	۷/۷۵**	۷/۱۸**	۵۰/۷۷**	۲۰٦۳/٤۲**	
خطاء a	٤	۲۸٤۲۸	٤٤۰/٦٦	۹/۹۰	۱۰/۳۳	۲۰/۳٦	۸۵۵۰۸/۱۲	
پتاسیم	۲	۱٦٤/٤٦**	۸۰/۳۵**	۱۱۰/۸۲**	٤۰/۷۱**	٦۵/۳۹**	۳٤۸۹/۵٤**	
فسفر	۲	۱۵۰/۵۰**	۵۰/٤۰**	۱٦۰/۹۰**	۵۱/۸۰**	۸۰/٤۰**	۲٦٤۹/٦۰**	
نیتروژن * پتاسیم	٤	۸۹/٤۸**	۱۸/۸ns	۱٤/۹۸**	۳/۲۰*	۱٦/۸۷**	٦۲٦/۹۳**	
نیتروژن * فسفر	٤	٦۵/۵۲**	۱۰/٦**	۱۰/۵۰**	۱/۸۵**	۱۳/۵۰**	۳٤۵/۵٦**	
پتاسیم * فسفر	٤	۵۲/۲۰ns	۵/۵۰ ns	٦/۳۰ns	۰/۹۰ns	۷/۳۲ns	۱۳٦/٤۳ns	
N×P×K	۸	۳۲/۱۰ ns	۲/۳۰ns	۲/۸۰ns	۰/۵۰ ns	۳/۲۰ns	۱۱۰/۲۰ns	
خطاء b	۲٤	۱۸/۳۵	۸/۲۷	۰/۹۳	۰/٦٤	۰/٤۰	۵۳/۸۵	
ضریب تغییرات		۱۰/۹٤	۵/۳۵	۰/٦۳	۲/۲	۱۰/۳۰	۲۷/۲۰	

***: معنی دار در سطح ۵ درصد؛ **: معنی دار در سطح ۱ درصد؛ NS: غیر معنی دار**

در گیاهان CAM مانند آلوورا علاوه بر CO_2 ذخیره شده به فرم اسید مالیک در طول شب، تجزیه اوره به CO_2 و یون آمونیوم (NH^+_4) نیز میتواند تامین کننده CO_2 جهت فعالیت آنزیم PEP_C باشد، این ایده از آنجا مطرح می شود که تحت کمبود نیتروژن، فعالیت آنزیم PEP_C و تجمع اسید مالیک در گیاهان CAM افزایش می‌یابد (Hogewoning *et al.*, 2021). در آزمایشی گیاه آپارتمانی کالانکوئه، دارای مسیر فتوسنتزی CAM، به مدت ۱-۲ ماه در محلول غذایی حاوی ۵ میلی مولار نیترات سدیم یا ۲/۵ میلی مولار سولفات آمونیوم قرار داده شد و سپس گیاهان به محیط با مقدار اندک نیتروژن منتقل گردید، گیاهان منتقل شده به محیط دارای نیتروژن اندک، فعالیت آنزیمPEP_C و تجمع اسید مالیک بیشتری نسبت به گیاهان باقی مانده در محلول های تیماری نشان دادند (Pereira *et al.*, 2019). از جهتی در طی فرایند تنفس نوری در گیاهان C_3 هنگام تبدیل اسید آمینه گلایسین به سرین اگر چه یک ملکول CO_2 تلف می شود ولی در این میان یک یون آمونیوم نیز آزاد می گردد که می تواند در فرایند اسیمیلاسیون گیاهان C_3 نقش مثبت ایفا کند، اما در گیاهان CAM به دلیل عدم وجود تنفس نوری پدیده آزاد شدن یوم آمونیوم نیز وجود ندارد که ممکن است باعث شود تا پاسخ گیاهان CAM به فراهمی نیتروژن نسبت به گیاهان C_3 بیشتر باشد، به نحوی که به طور مثال آزمایش Chowdhury *et al.*, (2020) نشان داد که دستیابی به حداکثر عملکرد ژل آلوئه ورا نیازمند مصرف ۲۰۰ کیلوگرم اوره یا دی فسفات آمونیوم می باشد، در حالی که مصرف به ترتیب ۷۵ یا ۹۰ کیلوگرم از این دو کود به تنهایی موجب دستیابی به ۸۰ درصد حداکثر عملکرد خواهد شد. اثر کود فسفر نیز مانند نیتروژن بر تمام صفات مورد مطالعه معنی دار بود (جدول ۲). تیمار P_{100} در مقایسه با P_0 به ترتیب به ۶۱/۱، ۱۰/۱ و ۲۱/۶ درصد طول برگ، عرض برگ و تعداد برگ بیشتری داشت (جدول ۲ و نمودار ۱)، اما با افزایش مقدار فسفر به P_{200} تغییری در این صفات نسبت به تیمار P_{100} مشاهده نشد (جدول ۲ ونمودار ۱). بین تمام سطوح فسفر از نظر تعداد پاجوش، وزن پاجوش، ارتفاع پاجوش و تعداد برگ پاجوش اختلاف معنی دار دیده شد (جدول ۲ و نمودار ۱). به نحوی که تیمار P_{100} در مقایسه با P_0 افزایش تعداد پاجوش (۷۷/۳%)، وزن پاجوش (۲۰۳/۸%)، ارتفاع پاجوش(۱۸۲/۸%) و تعداد برگ پاجوش (۱۶۱/۳%) را در پی داشت (جدول ۲ و نمودار ۱) و تیمار P_{200} موجب افزایش تعداد پاجوش، وزن پاجوش، ارتفاع پاجوش و تعداد برگ پاجوش به ترتیب به میزان ۵۴/۹، ۳/۶، ۸/۲۰، ۳۰/۴۵ درصد در مقایسه با تیمار P_{100} گردید (جدول ۲ و نمودار ۱). Sultan *et al.*, (2020) نشان دادند که مصرف تا ۱۲۰ کیلوگرم فسفر در هکتار موجب افزایر محتوای فسفر گیاه و عملکرد ژل می شود اما برای دستیابی به ۸۰ درصد حداکثر مقدار عملکرد ۴۵ کیلوگرم فسفر کفایت می کند.



نمودار۱- اثرات ساده کودهای اوره، فسفات کلسیم و سولفات پتاسیم بر صفات مورد مطالعه در آوئه ورا

Figure 1- The simple effect of urea, calcium phosphate and potassium sulfate on traits

اثر کود پتاسیم مانند نیتروژن و فسفر بر تمام صفات مورد مطالعه معنی دار بود (جدول ۲)، البته در تمامی صفات به جز وزن پاجوش اختلاف معنی داری بین سطح $K_{۱۰۰}$ و $K_{۲۰۰}$ مشاهده نشد (جدول ۲ و نمودار ۱). در تیمار $K_{۱۰۰}$ در مقایسه با شاهد مقدار ارتفاع بوته ٤٨/٤ ، قطر ساقه ۱۰/۸ ، تعداد برگ ۲۱/۷، تعداد پاجوش ٥٦/٥ ارتفاع پاجوش٤٥/٢ و تعداد برگ ۵۵/۷ درصد بیشتر بود (جدول ۲ و نمودار۱). در مورد وزن پاجوش، اختلاف معنی داری بین هر سه سطح کود پتاسیم مشاهده شد به نحوی که وزن پاجوش ٤٥/٢ در تیمار$K_{۱۰۰}$ در مقایسه با K_0 بیشتر بود، و تیمار $K_{۲۰۰}$ موجب افزایش وزن ۲۲/۱۵ درصدی وزن پاجوش در مقایسه با تیمار$K_{۱۰۰}$ گردید (جدول ۲ و نمودار۱). Sultana *et al.*, (2020) نشان داد که مصرف تا ١٦٠ کیلوگرم در هکتار پتاسیم موجب افزایش غلظت پتاسیم برگ در گیاه آلوورا شد، اما حداکثر عملکرد ژل و ۸۰ درصد حداکثر مقدار عمکلرد ژل به ترتیب از ۱۲۰ و ۷۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار حاصل شد. از بین اثرات متقابل دو گانه، اثر پتاسیم × فسفر برای تمامی صفات غیر معنی دار و اثر متقابل نیتروژن × فسفر و نیتروژن × پتاسیم بر تمام صفات معنی دار بود (جدول ۲). همچنین اثر متقابل سه گانه نیتروژن × فسفر × پتاسیم برای هیچ یک از صفات معنی دار نبود (جدول ۲). مصرف پتاسیم در هر سه سطح نیتروژن موجب افزایش تمام صفات مورد مطالعه شد (جدول ۲ و جدول ۳)، تنها موارد استثنا پهنای ساقه و وزن پاجوش بود که مصرف پتاسیم در سطح $N_{۲۰۰}$ تاثیری بر مقدار این دو صفت نداشت (جدول ۳). بیشترین اثر افزایشی مصرف همزمان نیتروژن و پتاسیم برای تعداد پاجوش در سطح نیتروژن $N_{۱۰۰}$ و برای وزن پاجوش در سطح N_0 مشاهده گردید (جدول ۳). اثر هم افزایی نیتروژن و پتاسیم بر رشد و عملکرد گیاه مختلف از جمله سیب زمینی (Wang *et al*,. 2020) و لوبیا (Valdez *et al*., 2020) گزارش شده است. گزارشات محدودی (Olfati *et al.*, 2015) نیز از هم افزایی (سینرژی) مصرف همزمان نیتروژن و پتاسیم در آلوئه ورا وجود دارد. البته اثر متقابل کود سولفات پتاسیم و اوره می تواند ناشی از تاثیر مثبت سولفور بر کارایی مصرف نیتروژن نیز باشد (Tabak *et al*., 2020). مصرف فسفر در هر سه سطح نیتروژن موجب افزایش تمام صفات مورد مطالعه شد (جدول ۳). بیشترین اثر افزایشی مصرف همزمان فسفر و نیتروژن برای ارتفاع بوته، تعداد پاجوش، وزن پاجوش و تعداد برگ پاجوش و در سطح $N_{۱۰۰}$ دیده شد، به نحوی که در این سطح نیتروژن تفاوت معنی داری بین هر سه سطح فسفر در صفات مذکور مشاهده شد (جدول ۳). اثر هم افزایی نیتروژن و فسفر بر گیاه آلوئه ورا و سایر گیاهان دارویی بسیار محدود گزارش شده است (Tawaraya *et al*., 2007). اثر متقابل کودهای اوره و فسفات کلسیم می تواند ناشی از تاثیر مثبت کلسیم بر جذب و مصرف نیتروژن باشد، اثر هم افزایی کسیلم و نیتروژن در تحقیقات بسیاری از جمله سیر (Hanna *et al*., 2020) و کاهو (Di- Goia *et al*., 2017) گزارش شده است .اگر چه بیشترین تعداد برگ پاجوش و ارتفاع پاجوش با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن حاصل شد (نمودار ۱) اما با مصرف نصف

این مقدار نیز ۸۰٪ تا ۷۰٪ حداکثر تعداد برگ پاجوش و ارتفاع پاجوش مشاهده شد (نمودار۱)، کاهش ۵۰ درصدی مقدار مصرف کود نیتروژن و کاهش ۲۰ تا ۳۰ درصدی تعداد برگ پاجوش و ارتفاع پاجوش به معنای ۳ تا ۳/۵ برابر افزایش کارایی مصرف نیتروژن برای این دو صفت می باشد. در مورد اثر کوهای فسفر و پتاسیم بر تعداد پاجوش نتیجه مشابه تعداد برگ پاجوش و ارتفاع پاجوش حاصل شد (نمودار ۱)، اما برای دستیابی به حداکثر تعداد پاجوش مصرف ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن کفایت کرد و عدم مصرف نیتروژن، کاهش ۵۰ درصدی تعداد پاجوش نسبت به مقدار حداکثر قابل حصول را در پی داشت (نمودار ۱). از آنجایی که تعداد برگ پاجوش، تعداد پاجوش و ارتفاع پاجوش توانایی تولید پاجوش های پرتعداد و با کیفیت را نشان میدهد، لذا این نتایج حاکی از آن است که ۱۰۰ کیلوگرم کود (هر یک از سه عنصر) اقتصادی ترین مقدار برای تولید پاجوش می باشد. صفات تعداد برگ، ارتفاع برگ و پهنای برگ تعیین کننده مقدار عملکرد ژل هستند. در این تحقیق اگر چه پهنای برگ اندکی تحت تاثیر مصرف کودها به ویژه پتاسیم قرار گرفته است (نمودار ۱) اما این صفت در مقایسه با تعداد برگ و طول برگ اهمیت چندانی ندارد، به ویژه اینکه در این تحقیق دامنه تغییرات این صفت اندک و بین ۸ تا ۹ سانتی متر می باشد (نمودار ۱).

جدول ۳ – اثرات متقابل نیتروژن در فسفر و همچنین نیتروژن در پتاسیم برای صفات مورد مطالعه

Table 3- The interaction effect of nitrogen, phosphorus and potassium on traits

		طول برگ (cm)	عرض برگ (cm)	تعداد پاجوش	تعداد برگ	تعداد برگ پاجوش	وزن پاجوش (g)	ارتفاع پاجوش (cm)
N0	P0	۳/۲۷^{c}	^{b}۸۸/۲۳	۲/۵ ^{c}	٤/۳ ^{c}	۱/٦٥ ^{c}	۱۱/۲ ^{c}	۱۱/۳۲ ^{b}
	P100	۳٦/۳۲ ^{c}	^{b}۷۵/۷۲	^{b}٤/۲	^{b}۵/٤۵	^{c}۲/۸۵	^{b}۱۹/۲	^{b}۱۷/۵
	P200	۵٤/۲۵ ^{b}	^{b}۸٦/۸٦	^{b}۵/۲	^{b}۷/۳۲	^{b}٤/٦۵	^{a}۲۹/۲٤	^{a}۱۵/۲۱
N100	P0	۳۳/۳۵ ^{c}	^{b}۸٦/۳٦	^{c}۳/٤	^{c}۵/۳۲	^{c}۳/۲۸	^{b}۲۲/۳۵	^{b}۱۵/۲۳
	P100	٤۵/۲۳ ^{b}	^{b}۸۸/۰۳	^{b}٦/۲	^{b}۷/٦۲	^{b}۵/۲۵	^{b}۲٤/۷۹	^{a}۲٤/۳۵
	P200	۷۲/۳۲ ^{a}	^{a}۸۹/۱٦	^{a}۸/۲	^{a}۹/۳۲	^{a}۷/۳۵	^{a}۳۳/۲٤	^{a}۲۸/۳۲
N200	P0	٤۵/ ٤ ^{b}	^{b}۸٦/۸٦	^{b}۵/٦	^{b}٦/۱۲	^{b}۵/٤۲	^{b}۲۷/۵	^{b}۲۲/۲۱
	P100	٦۰/ ۳۲^{b}	^{b}۸۸/۲۸	^{a}۷/۵٦	^{a}۷/۹	^{b}٦/۹۸	^{b}۲۳/۳۰	^{a}۲۷/۳۲
	P200	۷۵/۳۲ ^{a}	^{a}۸۹/۲۵	^{a}۹/۳۲	^{a}۸/۸۵	^{a}۸/۹٦	^{a}۳۸/۲	^{a}۳۰/۲۱
K0	K0	۳٦/۷۵ ^{c}	^{b}۸۰/۵۰	^{c}۲/۵	^{c}۵/۳	^{c}۲/٦۵	^{c}۱۱/۵	^{b}۱۱/۵۲
N0	K100	٤۲/٦ ^{b}	^{b}۸۳/۷۵	^{c}٤/۲	^{b}٦/۳۲	^{b}۳/۵٦	^{c}۱۵/۲	^{b}۱٦/۲
	K200	٤۸/۳۲ ^{b}	^{a}۸۷/۳۲	^{b}٦/۲۳	^{b}۷/٤	^{b}۵/۳۲	^{a}۳/۰۲	^{a}۲٤/۵۲
N100	K0	٤۵/۵٤ ^{b}	^{b}۸۳/۷۵	^{c}٤/۵	^{b}٦/۳	^{b}٤/۲۵	^{b}۲٤/۷۹	^{b}۱۷/۳۲
	K100	۵٤/٦ ^{b}	^{b}۸٦/۳٤	^{b}۷/۳۲	^{b}۷/۳۲	^{b}۵/٤٦	^{b}۲۹/۰۲	^{b}۲۲/٦۵
	K200	٦٦/۷۱ ^{a}	^{a}۹۰/۵	^{a}۹/۳۲	^{a}۱۰/۲۵	^{a}۸/۹۵	^{a}٤۰/۳۲	^{a}۲۹/۳۵
N200	K0	٤۸/۳۲ ^{b}	^{a}۸٦/۵	^{b}٦/۳	^{b}۸/۲۳	^{b}٦/۵۸	^{a}۳۷/٦۲	^{b}۲۳/۲۲
	K100	۵۷/۲ ^{b}	^{a}۸۸/۲۵	^{a}۸/۲۵	^{b}۹/۳۲	^{a}۸/۲۵	^{a}۳۸/۵۲	^{a}۲۷/۳۲
	K200	۷۹/۹٦^{a}	^{a}۸۸/٦۲	^{a}۱۰/۲	^{a}۱۲/۵٤	^{a}۹/۳۵	^{a}٤۲/۲۸	۳۱/۲۵ ^{a}

در مورد تعداد برگ و ارتفاع بوته، بر خلاف صفات ٪) و ارتفاع از ٦٠ به ٣٨ سانتی متر (٣٦٪) گردید مرتبط با تعداد و کیفیت پاجوش، افزایش مصرف کود پتاسیم از ۱۰۰ به ۲۰۰ موجب کاهش این دو صفت شده است (نمودار ۱)، به نحوی که ۲۰۰ کیلوگرم کود پتاسیم در مقایسه با سطح ۱۰۰ کیلوگرم این کود موجب کاهش تعداد برگ از ۹/۳ به ۷/٦ (۱۸ (نمودار ۱). در تحقیق حاضر، پتاسیم به فرم سولفات پتاسیم حاوی ۵۰٪ پتاسیم و ۱۸٪ سولفات (گوگرد) استفاده شده است، لذا مصرف این کود در مقادیر ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم به ترتیب ۳۵ و ۷۰ کیلوگرم در هکتار سولفات وارد خاک کرده است. تحقیق نشان می دهد که برای دستیابی به ۸۰ ٪ مقدار حداکثر عملکرد آلوئه ورا مصرف ۲۵ کیلوگرم سولفات کفایت می کند (*et al.*, Chowdhury 2020). در نتیجه کاهش تعداد برگ و طول برگ در سطح ۲۰۰ کیلوگرم پتاسیم ناشی از اثر سوء سولفات مازاد به دلیل افزایش اسیدیته خاک و کاهش برخی عناصر میکرو مانند مولیبدن (Głowacka *et al.*, 2019)، در این تیمار باشد. درمورد نیتروژن و فسفات، سطح کودی ۲۰۰ کیلوگرم هر یک از این کودها نسبت به سطح ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار موجب افزایش قابل توجهی در تعداد برگ و ارتفاع برگ نشد (نمودار ۱).

نتیجه‌گیری کلی

در کل این نتایج حاکی از آن است که چه برای عملکرد بیشتر ژل و چه دستیابی به پاجوش های پرتعداد و با کیفیت، مصرف ۱۰۰ کیلوگرم کود (هر یک از سه عنصر به تنهایی) مناسب و مقرون به صرفه خواهد بود. نتایج حاکی از اثر افزایشی مصرف همزمان نیتروژن و فسفر و همچنین نیتروژن و پتاسیم بر صفات مورد مطالعه است، که این اثرات افزایشی عمدتا مرتبط با صفات تکثیری گیاه مانند وزن و تعداد پاجوش و تعداد برگ پاجوش مشاهده شد، البته اثر افزایشی نیتروژن و فسفر بر طول برگ به عنوان صفت مرتبط با عملکرد گیاه مادری نیز دیده شد. واکنش تعداد پاجوش به فسفر و پتاسیم بیشتر از واکنش آن به نیتروژن بوده است. علی رغم معنی دار بودن اثرات متقابل نیتروژن در پتاسیم و نیتروژن در فسفر برای وزن پاجوش و ارتفاع پاجوش، طول برگ و عرض برگ بین نیتروژن و فسفر و همچنین بین نیتروژن و پتاسیم اثر هم افزایی دیده نشد، به نحوی که مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفر یا پتاسیم بدون مصرف نیتروژن (N_0) موجب دستیابی به حداکثر تعداد پاجوش گردید. در مورد تعداد پاجوش، هم افزایی نیتروژن و فسفر و همچنین نیتروژن و پتاسیم نتیجه متفاوتی مشاهده شد، نحوی که در این سطح ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، مصرف ۲۰۰ کیلوگر فسفر یا پتاسیم موجب حصول بیشترین تعداد پاجوش گردید، به نحوی که در سطح شاهد نیتروژن حتی مصرف ۲۰۰ کیلوگرم فسفر اگر چه موجب افزایش تعداد پاجوش شد ولی حداکثر تعداد پاجوش حاصل نگردید. در مورد تعداد برگ پاجوش و تعداد برگ در بوته، هم افزایی نیتروژن و پتاسیم مشاهده شد، نحوی که در سطح ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، مصرف ۲۰۰ کیلوگر پتاسیم موجب حصول بیشترین تعداد برگ پاجوش گردید، در حالی که در سطح صفر کیلوگرم نیتروژن

مصرف ۲۰۰ کیلوگرم پتاسیم، اگر چه موجب افزایش تعداد پاجوش شد، ولی حداکثر تعداد پاجوش حاصل نگردید. اثرهم افزایی نیتروژن و فسفر برای تعداد برگ پاجوش دیده نشد، نحوی که مصرف ۲۰۰ کیلوگر در هکتار فسفر بدون مصرف نیتروژن (N_0) موجب دستیابی به حداکثر گردید.

منابع

1) Ahmed, S.K. 2011. Response of Aloe vera L. to phosphorus and potassium fertilization. Advances in Environmental Biology, 452-461.
2) Chowdhury, M. A. H., Sultana, T., Rahman, M. A., Chowdhury, T., Enyoh, C. E., Saha, B. K. and W, Qingyue. 2020. Nitrogen use efficiency and critical leaf N concentration of Aloe vera in urea and diammonium phosphate amended soil. Heliyon, 6(12): 57.
3) Chowdhury, T., Chowdhury, M. A. H., Qingyue, W., Enyoh, C. E., Wang, W. and M, Khan. S. I. (2021). Nutrient uptake and pharmaceutical compounds of Aloe vera as influenced by integration of inorganic fertilizer and poultry manure in soil. Heliyon, 7(7): 64.
4) Di-Gioia, F., Gonnella, M., Buono, V., Ayala, O., Cacchiarelli, J. and P, Santamaria. 2017. Calcium cyanamide effects on nitrogen use efficiency, yield, nitrates, and dry matter content of lettuce. Agronomy Journal, 109(1), 354-362.
5) Głowacka, A., Gruszecki, T., Szostak, B. and S, Michałek. 2019. The response of common bean to sulphur and molybdenum fertilization. International Journal of Agronomy.
6) Hanaa, S. H., El-Shal, M. A., El-Fattah, A. and M, Feleafel. 2017. Studies on Effect of Nitrogen Fertilization and Foliar Feeding of Calcium and Bio Stimulants on the Growth, Yield and Post-Harvest Quality of Garlic II. Effects of Nitrogen, Chitosan and Storage Durations on Post-Harvest Quality of Garlic. Alexandria Journal of Agricultural Sciences, 62(6): 383-394.
7) Hogewoning, S. W., van den Boogaart, S. A., van Tongerlo, E. and G, Trouwborst. 2021. CAM physiology and carbon gain of the orchid Phalaenopsis in response to light culture system. South African Journal of Plant and Soil, 32(4): 249-252.
8) Prisa, D. and M, Gobbino. 2021. Biological treatments for quality improvement and production of Aloe vera gel. GSC Advanced Research and Reviews, 9(1): 054-063. intensity, light integral and CO2. Plant, Cell & Environment, 44(3): 762-774.
9) Khajeeyan, R., Salehi, A., Dehnavi, M. M., Farajee, H. and MA, Kohanmoo. 2019. Physiological and yield responses of Aloe vera plant to biofertilizers under different irrigation regimes. Agricultural Water Management, 225: 105768.
10) Núñez-Colima, J. A., Pedroza-Sandoval, A., Trejo-Calzada, R., Sánchez-Cohen, I. and R, Mata-González. 2018. Effect of biofertilizers on growth of aloe (Aloe barbadensis Miller) and gel quality under different soil moisture contents. Revista Chapingo. Serie horticultura, 24(1), 27.
11) Olfati, J. A., Saadatian, M. and E, Moqbeli. 2015. Optimisation of nitrogen and potass ium for *Aloe vera* (L.) Burm. f. in a soilless.
12) Surjushe, A., Vasani, R. and D. G, Saple. 2008. Aloe vera: a short review. Indian journal of dermatology, 53(4): 163.
13) Sultana, T., Chowdhury, A. H., Saha, B. K., Rahman, A., Chowdhury, T. and R, Sultana. 2021. Response of Aloe vera to potassium fertilization in relation to leaf biomass yield, its uptake and requirement, critical concentration and use efficiency. Journal of Plant Nutrition, 1-15.
14) Sultana, T., Chowdhury, A. H., Rahman, A., Saha, B. K., Chowdhury, T., Islam, M. A. and R, Fancy. 2021. Phosphorous use efficiency and its requirement for aloe vera cultivated on silty loam soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 52(3): 268-285.

15) Turjaman, M. and H. A, Ekamawanti. 2007. Effect of arbuscular mycorrhizal colonization on nitrogen and phosphorus uptake and growth of Aloe vera. Hortscience, 42(7): 1737-1739.
16) Tabak, M., Lepiarczyk, A. and B, Filipek-Mazur. 2020. Supply. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 51(2): 175-185.
17) Valdez, M. 2021. Nitrogen and Potassium concentration in the nutrient solution affects growth, yield and physiology in bush snap beans. International Journal of Agriculture Forestry and Life Sciences, 5(1): 15-20.
18) Wang, S., Li, H., Liu, Q., Hu, S. and Y, Shi. 2020. Nitrogen uptake, growth and yield response of orange-fleshed sweet potato (*Ipomoea Batatas* L.) To Potassium.