

پيامد کاربرد کود اوره فسفات بر وضعیت عناصر غذایی و عملکرد کمی و کیفی نیشکر

علی محوحي^{۱*}، حسنعلی خاتینزاده^۲، منصور نوری^۳، داریوش نیکفر^۲

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۶)

چکیده

اغلب خاک‌های مزارع تحت کشت نیشکر در استان خوزستان آهکی هستند و ماده آلی کمی دارند. فراهمی عناصر غذایی از جمله فسفر و همچنین کارایی مصرف کود فسفر در این خاک‌ها کم می‌باشد. در خاک‌های آهکی، بخش قابل توجهی از کودهای فسفره، بعد از ورود به خاک به حالت نامحلول تبدیل شده و از دسترس گیاهان خارج می‌شوند. هدف از این مطالعه، ارزیابی کاربرد کودهای فسفره، بر پایه محلول اسیدی آن‌ها، به منظور بررسی وضعیت عناصر غذایی و عملکرد کمی و کیفی نیشکر می‌باشد. بدین منظور، در پلات‌های یکصد متر مربعی مزرعه تحت کشت نیشکر واریته CP69-1062 با سن بازروئی دوم (R2)، تیمارهای ۰، ۱۰، ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم در هکتار از کود اوره فسفات اعمال گردید. نتایج نشان داد که کاربرد کود فسفره در مقایسه با شاهد، به طور معنی‌داری ($P \leq 0/05$) عملکرد کمی و کیفی نیشکر را افزایش داد، به طوری که بیش‌ترین عملکرد نی قابل آسیاب در تیمار ۲۰ کیلوگرم اوره فسفات (۶۱/۳ تن در هکتار با ۱۸/۲ درصد افزایش) مشاهده شد. اما در تیمار کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار اوره فسفات، تنها ۱۰/۵ درصد افزایش نسبت به شاهد مشاهده شد. از سوی دیگر، اثر منفی غلظت بالای فسفر بر غلظت نیتروژن در برگ‌ها، به ویژه در اوایل دوره رشد نمایان بود. نسبت غلظت نیتروژن به فسفر (N:P) در برگ، صرف نظر از نوع تیمار، به طور میانگین ۶/۹:۱ محاسبه شد. اما نسبت غلظت نیتروژن به پتاسیم (N:K) در برگ به طور میانگین ۲/۷:۱ بود که با مقادیر بهینه مورد نیاز برای رشد حداکثری نیشکر فاصله داشت. به طور کلی، نتایج نشان داد که مصرف کود اوره فسفات در خاک دارای کمبود فسفر قابل دسترس، بسته به شرایط خاک و گیاه، تا اندازه‌ای نقش قابل توجه در افزایش عملکرد نیشکر دارد. از سوی دیگر، برهم خوردن تعادل عناصر غذایی در اثر کمبود یا مازاد عناصر غذایی در گیاه، منجر به کاهش چشمگیر رشد و عملکرد کمی و کیفی نیشکر می‌شود.

واژه‌های کلیدی: خاک‌های آهکی، تعادل عناصر غذایی، کودهای فسفره، نسبت غلظت برگي N:P و N:K

محوحي، ع.، خاتینزاده، ح.ع.، نوری، م.، نیکفر، د. ۱۴۰۲. پيامد کاربرد کود اوره فسفات بر وضعیت عناصر غذایی و عملکرد کمی و کیفی نیشکر. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۱۱، شماره ۲. صفحه: ۱۳-۲۷.

۱- دکتری علوم خاک، تحقیقات کشاورزی، کشت و صنعت کارون، شوشتر، ایران

۲- کارشناسی علوم خاک، تحقیقات کشاورزی، کشت و صنعت کارون، شوشتر، ایران

۳- کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری، تحقیقات کشاورزی، کشت و صنعت کارون، شوشتر، ایران

* پست الکترونیک: alimahohi@yahoo.com

مقدمه

بنابراین، بهبود فراهمی فسفر در خاک‌های آهکی از اهمیت بالایی برخوردار است. حسین و همکاران (Hussain *et al.*, 2015) اثر مثبت کاربرد نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر طول و قطر ساقه، تعداد پنجه و عملکرد نیشکر قابل آسیاب گزارش کردند. مک ری و همکاران (McCray *et al.*, 2010)، اثر مصرف کود فسفوری را بر عملکرد نیشکر بررسی کرده و گزارش کردند که بیش‌ترین عملکرد گیاه مربوط به زمانی است که ۸۵ کیلوگرم در هکتار P_2O_5 مصرف شده بود.

از سوی دیگر، در شرایط بهینه رشد و تغذیه صحیح گیاه، نه تنها باید هر عنصر غذایی به اندازه کافی در دسترس گیاه قرار گیرد، بلکه ایجاد تعادل و رعایت نسبت میان همه عناصر غذایی از اهمیت خاصی برخوردار است، زیرا در حالت عدم تعادل تغذیه‌ای، نه تنها افزایش عملکردی رخ نمی‌دهد، بلکه حتی ممکن است اختلال در رشد گیاه و کاهش عملکرد نیز مشاهده شود (Sardas, 2006; Leite *et al.*, 2016; Kalra & Kiba, 2020; Pereira *et al.*, 2021). از این‌رو، مفهوم نسبت عناصر (نسبت‌های کمی بین عناصر) گیاه، به‌عنوان ابزاری برای بررسی عدم تعادل عناصر غذایی برای گیاهان مورد توجه قرار گرفته است. موازنه عناصر غذایی برای حفظ کارایی بافت‌های گیاهی و افزایش تثبیت کربن، رشد و افزایش مقدار قند در تولید نیشکر حائز اهمیت است (Allison *et al.*, 2007; Zhao *et al.*, 2014). عدم تعادل عناصر غذایی را می‌توان از طریق نسبت بین آن‌ها پیش‌بینی کرد، پیش از آنکه بتوان کمبود آن‌ها را با استفاده از مقادیر آستانه عناصر تشخیص داد (Leite *et al.*, 2016; Fan *et al.*, 2021). به طور مثال، سیامپیتی و واین (Ciampitti & Vyn, 2014) در گیاه ذرت، به ترتیب نسبت‌های ۵:۱ و ۱:۱ را برای N:P و N:K را در شرایط بهینه رشد گیاه گزارش کردند. سارداس (Sardas, 2006) نیز نسبت N:P برای دانه‌های روغنی را ۴:۱، چاودار، ۶:۱ و لگوم‌ها ۹:۱ گزارش کرد. نسبت‌های آستانه عناصر برای نیشکر نیز توسط پژوهش‌گران مختلف گزارش شده است (Leite *et al.*, 2016; Teixeira *et al.*, 2020; Pereira Da Silva & Lucas, 2021). لایت و همکاران (Leite *et al.*, 2016) نسبت N:P و N:K در بخش سرنی را به ترتیب ۶:۱ و ۵:۱ گزارش کردند.

اغلب کودهای شیمیایی فسفر دارای تحرک کمی در خاک بوده و بخش عمده فسفر آن‌ها پس از ورود به خاک به‌شکل

کشت نیشکر از سال ۱۳۴۰ خورشیدی در استان خوزستان ایران احیا شده و به دلیل نتایج خوب، به تدریج از شمال به جنوب این منطقه توسعه یافته است (Behravan *et al.*, 2013). در حال حاضر، نیشکر در حدود یکصد هزار هکتار از اراضی استان خوزستان زیر کشت می‌رود و تقریباً ۲۵ درصد تقاضای کشور برای شکر در این منطقه تولید می‌شود (Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran, 2019). فسفر (P) یک عنصر ضروری برای رشد و نمو گیاه است، که می‌تواند به‌طور مستقیم بر عملکرد محصولات کشاورزی تأثیر بگذارد (Zhao *et al.*, 2016; George *et al.*, 2016). این عنصر برای تقسیم سلولی که مسئول رشد طولی ریشه و ساقه یا همان رشد گیاه نیشکر می‌باشد، مورد نیاز است (Arruda *et al.*, 2016). مقدار کافی فسفر باعث افزایش عملکرد و رشد و نمو مناسب گیاه می‌شود و کمبود آن منجر به کاهش توده ریشه و در نتیجه، کاهش جذب آب و مواد غذایی نیز می‌گردد. به‌طور کلی، سیستم تولید نیشکر به دو دسته مزارع کشت جدید^۱ و بازروئی^۲ تقسیم می‌شود. مزارعی که در سال اول کشت می‌شوند، مزارع کشت و سنین بعدی مزارع بازروئی نامیده می‌شوند. به‌طور معمول، کودهای فسفره در طول دوره کشت جدید و سنین بازروئی تنها در یک مرحله و پیش از کشت مصرف می‌گردد. محوچی و همکاران (Mahohi *et al.*, 2018) وضعیت فسفر خاک و گیاه در سنین مختلف نیشکر را بررسی کرده و گزارش کردند که بخش قابل توجهی از فسفر مصرفی در سال اول کشت در خاک تثبیت می‌شود و با افزایش سن گیاه، فراهمی فسفر در خاک و غلظت آن در گیاه و به دنبال آن، عملکرد نیشکر کاهش می‌یابد. سیستم ریشه‌های گیاه در غلظت‌های کم فسفر قابل دسترس خاک، رشد ضعیفی خواهد داشت و به دلیل کم شدن سطح تماس ریشه با خاک و محلول آن، رشد ریشه‌های فرعی ثانویه محدود می‌شود. رشد ضعیف ریشه به معنی عدم دسترسی کافی هوا (برای تنفس)، آب و مواد غذایی برای رشد کامل گیاه می‌باشد. کمبود فسفر سبب کم شدن پنجه‌زنی شده و طول و قطر میانگره نیشکر را کاهش می‌دهد (Arruda *et al.*, 2016). مطالعات نشان داده است که در خاک‌های آهکی، تقاضا برای فسفر افزایش می‌یابد که از طریق استفاده از کودهای فسفات تأمین می‌شود (Mohammad *et al.*, 2008).

کیفی نیشکر در سن بازروئی دوم، اجرا گردید. همچنین نسبت عناصر غذایی نیتروژن به فسفر و پتاسیم در طول دوره رشد نیشکر و اثر آن بر عملکرد نیشکر مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در شرایط مزرعه‌ای در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸، در یکی از مزارع شرکت کشت و صنعت کارون، واقع در ۱۷ کیلومتری غرب شوشتر (با مختصات ۴۸ درجه و ۴۱ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه ۷ دقیقه عرض شمالی) واقع در استان خوزستان، انجام شد. از نظر اقلیمی بر مبنای داده‌های هواشناسی خوزستان، منطقه مورد مطالعه دارای متوسط بارندگی سالیانه در حدود ۲۵۰-۳۰۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه در حدود ۲۳-۳۱ درجه سلسیوس است. به منظور بررسی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک، نمونه مرکب خاک از عمق ۳۰ سانتی‌متری سطح خاک برای تعیین هدایت الکتریکی (EC) (Rhoades, 1986) و pH (Thomas, 1996) در عصاره اشباع خاک، بافت، درصد کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی با هیدروکسید سدیم صورت گرفت (Loeppert & Suarez, 1996)، ازت کل (Bremner & Mulvaney, 1982)، نیترات خاک (Bremner, 1996)، فسفر قابل دسترس (Olsen *et al.*, 1954)، پتاسیم قابل دسترس خاک (Rowell, 1994) و کربن آلی خاک به روش اکسیداسیون تر (Nelson & Sommers, 1996) خاک تهیه گردید. بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee & Bauder, 1986) اندازه‌گیری و کلاس بافت خاک به کمک مثلث بافت خاک وزارت کشاورزی ایالات متحده (USDA) تعیین شد. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. بافت خاک در محدوده کلاس لومی رسی سیلتی و دارای pH نسبتاً قلیایی و مقدار کربنات کلسیم زیاد می‌باشد. از سوی دیگر، غلظت فسفر قابل دسترس، پتاسیم قابل دسترس و محتوای کربن آلی خاک ناچیز بوده که از ویژگی‌های معمول خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد (جدول ۱). پلات‌های ۱۰۰ متر مربعی (چهار فارو به طول ۱۵/۵ و عرض ۱/۶ متر برای هر تکرار)، تحت کشت نیشکر تک ردیفه (رقم CP69-1062، سن بازروئی (Ratoon) دوم (R2)) برای بررسی مقدار مصرف کود اوره فسفات در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تیمار

ترکیب‌های نامحلول در خاک تثبیت می‌گردد، به طوری که در خاک‌های آهکی به ترکیب‌های نامحلول کلسیم و در خاک‌های اسیدی به فسفات آهن و آلومینیوم تبدیل شده و از دسترس گیاهان خارج شده و کارآیی مصرف آن‌ها کاهش می‌یابد (Mahidi *et al.*, 2011). علاوه بر این، با مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی، اکثر خاک‌های کشاورزی غالباً دارای مقادیر زیادی از ذخایر فسفر نامحلول می‌باشند (Hussain *et al.*, 2017). کاهش pH خاک، حلالیت عناصر غذایی از جمله فسفر را در خاک بهبود می‌بخشد و نقشی اساسی در بهبود جذب فسفر توسط گیاهان در خاک‌های آهکی دارد. بنابراین، یافتن کودی با منبع فسفره که مدت زمان بیشتری به شکل محلول در خاک باقی بماند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اوره فسفات (UP)، $(H_3PO_4 \cdot CO(NH_2)_2)$ دارای ۱۸ درصد نیتروژن (N) و ۴۴ درصد پنتوکسید فسفر (P_2O_5) می‌باشد و با فرمول تجاری (۱۸-۴۴-۰) در بازار در دسترس می‌باشد. این کود یک ترکیب ساختاری اسیدی است که با واکنش اسید فسفریک با اوره تهیه شده و می‌تواند نه تنها به عنوان افزودنی خوراک نشخوارکنندگان به کار رود، بلکه به عنوان کود فسفر با کارایی بالا، مورد استفاده قرار گیرد (Soares *et al.*, 2012). استفاده از اوره فسفات می‌تواند مقدار pH خاک و اثر تثبیت فسفر در خاک را کاهش دهد (Yang *et al.*, 2020). از طرف دیگر، اوره فسفات کود بالقوه‌ای برای تأمین نیتروژن و فسفر به عنوان عناصر غذایی ضروری مورد نیاز گیاه بوده که توانایی ممانعت از هدررفت ناشی از تصعید آمونیوم را دارد (Akhtar & Naeem, 2012). هدررفت نیتروژن به دلیل تصعید آمونیوم ناشی از هیدرولیز اوره موجود در اوره فسفات بسیار کم‌تر از تلفات مشابه در اوره کود است (Akhtar & Naeem, 2012; Soares *et al.*, 2012; Julien *et al.*, 2020). دلیل آن اثر مهارکننده فسفات بر روی آنزیم اوره‌آز (آنزیم مسئول هیدرولیز اوره) است (Soares *et al.*, 2012). با توجه به اینکه مطالعات اندکی در مورد تغذیه فسفر در مزارع تحت کشت نیشکر ایران انجام شده (Chorom & Ahmadpor, 2007; Mahohi *et al.*, 2018; Behravan *et al.*, 2019) و همچنین تاکنون مطالعه‌ای در مورد اثر کاربرد کود-اوره فسفات در خاک‌های آهکی و به ویژه ارتباط بین عناصر غذایی و اثر آنها بر عملکرد نیشکر گزارش نشده است، این مطالعه با اهداف ارزیابی اثر مصرف کود فسفره اوره فسفات (۱۸-۴۴) بر ویژگی‌های شیمیایی یک خاک آهکی، وضعیت عناصر غذایی در خاک و گیاه و عملکرد کمی و

نی در واحد سطح، وزن تک ساقه، درصد مواد جامد محلول (بریکس) و مواد قندی (پل) شربت، درصد فرآوری (استحصالی) شکر^۳ (RS) و عملکرد نیشکر قابل آسیاب و شکر ارزیابی شد (Meade & Chen, 1977). پس از حذف سرنی، محصول اقتصادی ساقه تعیین و شربت ساقه‌ها به- وسیله آسیاب مدل کوبایی استحصال شد. مقدار ساکارز و ماده خشک محصول شربت برحسب بریکس به ترتیب با استفاده از ساکاریمتر^۴ و رفراکتومتر^۵ در دمای ۲۰ درجه سلسیوس تعیین گردید. پل واقعی شربت با استفاده از جدول استاندارد و ضریب اصلاحی مربوطه محاسبه و خلوص شربت، از نسبت درصد ساکارز به درصد ماده خشک محلول تعیین شد. میزان ساکارز قابل استحصال با استفاده از فرمول‌های استاندارد محاسبه شد (Rice & Hebert, 1972; Meade & Chen, 1977).

$$\text{Sucrose (\%)} = \frac{\text{POL} \times 26}{105.811 + [(\text{Brix} - 15) \times 0.44]}$$

$$\text{CBrix} = \text{Brix} + (\text{Temperature} - 20) \times 0.075$$

$$96^\circ \text{ sugar} = [(\text{Sucrose} \times 21.058) - (\text{CBrix} \times 6.15)] \times \text{VCF}$$

که در آن Pol: پولاریزاسیون واقعی شربت برحسب درصد، CBrix: بریکس اصلاحی براساس دمای ۲۰ °C، 96° Sugar: شکر قابل استحصال (kg sugar per ton cane) و VCF: فاکتور تصحیح واریته‌ای است (Rice & Hebert, 1972). پیش از انجام تجزیه‌های آماری، ابتدا پیش فرض‌های تجزیه واریانس از قبیل همگنی واریانس و توزیع نرمال داده‌های خام بررسی شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از مدل خطی جامع توسط نرم‌افزار SAS 9.1 انجام گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. به منظور بررسی ارتباط بین متغیرها، ضریب همبستگی پیرسون^۷ در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 محاسبه و گزارش گردید.

و سه تکرار در نظر گرفته شد. تیمارهای کودی شامل مصرف کود اوره فسفات در چهار سطح ۰، ۱۰، ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم اوره فسفات در هکتار، اعمال گردید. به‌طور مرسوم در مزارع بازروئی، مقدار چهارصد کیلوگرم کود اوره در سه نوبت با مقادیر ۱۰۰، ۱۵۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار با فواصل یک ماهه، از ابتدای اردیبهشت ماه، به‌روش آب‌کود استفاده می- گردد. اما با توجه به برنامه‌ریزی‌های شرکت، دریافت کود نوبت اول این مزرعه در اواخر اردیبهشت ماه صورت گرفت. کود تجاری اوره فسفات، یک روز پیش از دریافت نوبت اول کود اوره، پس از انحلال کامل به‌وسیله آب‌پاش، پای بوته گیاه و حاشیه پشته‌ها، محلول‌پاشی شد. نمونه‌برداری‌های گیاهی با فواصل یک ماهه از زمان کوددهی به‌مدت سه ماه (تیر، مرداد و شهریور) انجام شد. در نمونه‌های گیاهی، ازت کل پهنک برگ، رطوبت غلاف و غلظت فسفر و پتاسیم در پهنک و غلاف مورد ارزیابی قرار گرفت. به‌منظور اندازه‌گیری درصد نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ‌ها، پهنک برگ‌های شماره ۳، ۴، ۵، ۶ جدا شده و پس از شستشو و خشک شدن (۸۵ درجه سانتی‌گراد) این نمونه‌ها آسیاب شدند. غلظت نیتروژن در نمونه‌ها با استفاده از روش کج‌لدال و غلظت فسفر و پتاسیم در نمونه‌های هضم شده اندازه‌گیری شد (Kalra, 1998). همچنین، تغییرات غلظت برگ‌گی نیتروژن، فسفر و پتاسیم و نسبت‌های نیتروژن به فسفر (N:P) و پتاسیم (N:K)، طی سه دوره نمونه‌برداری اشاره شده در قالب طرح فاکتوریل شامل دو فاکتور زمان (در سه سطح) و تیمار (در چهار سطح) مورد بررسی قرار گرفت. علاوه بر این، در ماه اول پس از کوددهی نمونه‌برداری خاک از عمق ۳۰ سانتی‌متری از حاشیه پشته (محل کودپاشی) انجام و درصد آهک، کربن آلی و غلظت فسفر قابل دسترس خاک مورد ارزیابی قرار گرفت. در پایان دوره رشد گیاه، فاکتورهای کمی و کیفی نیشکر شامل ارتفاع، قطر، تراکم

5. Refractometer
6. General Linear Model
7. Pearson's Correlation

1. Brix
2. Polarity
3. Recoverable Sucrose
4. Saccharimeter

جدول ۱- ویژگی‌های خاک مورد مطالعه
Table 1. Characteristics of the studied soil

Property	Soil texture	Bulk Density	pH	Electrical conductivity	CaCO ₃	Soil organic carbon	Total N	Soil NO ₃ ⁻	Soil available K	Soil available P
Unit	-	(g cm ⁻³)	-	(dS m ⁻¹)		(%)			(mg kg ⁻¹)	
Amount	Silty Clay Loam	1.7	7.76	1.56	38.0	0.64	0.05	12.1	128	6.80

نتایج و بحث

اثر اوره فسفات بر غلظت برخی عناصر در خاک و گیاه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر کاربرد اوره فسفات بر فسفر قابل دسترس خاک (در نمونه‌های یک ماه پس از کوددهی) معنی‌دار ($P \leq 0.001$) بود، اما تأثیری بر کربن آلی و کربنات کلسیم خاک نداشت (جدول ۲). فسفر قابل دسترس خاک در تمام تیمارهای کود اوره فسفات به‌طور

معنی‌داری نسبت به شاهد بیش‌تر (۲۱ تا ۶۵ درصد افزایش) بود و با افزایش مقدار اوره فسفات روند افزایشی نشان داد (جدول ۳). با این وجود، اوره فسفات (در نمونه‌برداری خاک با فاصله یک ماه پس از کوددهی) اثر معنی‌داری ($P > 0.05$) بر pH خاک نشان نداد (جدول ۲). اما نیترات خاک به‌طور معنی‌داری ($P \leq 0.001$) تحت تأثیر کاربرد کود اوره فسفات قرار گرفت، به نحوی که با افزایش غلظت فسفر خاک، غلظت نیترات خاک کاهش یافت.

جدول ۲- آنالیز واریانس اثر اوره فسفات بر ویژگی‌های شیمیایی خاک و گیاه نمونه‌برداری شده در ماه اول پس از اعمال تیمار

Table 2. ANOVA results for the influence of Urea-phosphate on some soil and sugarcane properties

Property	MS _T	Mse	C.V.
df	3	6	-
Soil organic carbon	0.166 ^{ns}	0.004	11.3
Soil pH	0.002 ^{ns}	0.002	0.53
Soil NO ₃ ⁻	95.3 ^{***}	0.67	1.62
CaCO ₃	0.032 ^{ns}	0.680	1.92
Soil available P	11.6 ^{***}	0.153	4.04
Sheath P concentration	0.0008 ^{***}	0.000002	2.14
Leaf P concentration	0.0007 ^{***}	0.00001	1.09

ns: نامعنی‌دار در سطح پنج درصد ($P > 0.05$), *: معنی‌دار در سطح پنج درصد ($P \leq 0.05$), **: معنی‌دار در سطح یک درصد ($P \leq 0.01$) و ***: معنی‌دار در سطح یک دهم درصد ($P \leq 0.001$). C.V.: ضریب تغییر، Mse: میانگین مربع‌های خطا.

Ns, *, **: not significant and significant at $P < 0.05$, $P < 0.01$ and $P < 0.001$, respectively. Df: Degree of freedom; MS_T: mean square of treatment; Mse: mean square error; C.V.: coefficient of variation.

اثر کاربرد اوره فسفات بر غلظت فسفر برگ و غلاف نیشکر معنی‌دار ($P \leq 0.001$) بود، به‌طوری‌که غلظت فسفر در برگ و غلاف نیشکر در ماه اول پس از کوددهی در تیمارهای کاربرد ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم در هکتار آن، به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد بیش‌تر بود، اما در تیمار ۱۰ کیلوگرم اوره فسفات در هکتار، تفاوت معنی‌داری با شاهد مشاهده

نشد (جدول ۳). همچنین، نتایج نشان‌دهنده همبستگی مثبت و معنی‌دار ($P \leq 0.001$) غلظت فسفر برگ ($r = 0.944$) و غلاف نیشکر ($r = 0.948$) با غلظت فسفر قابل دسترس خاک بود (جدول ۴) که نشان می‌دهد غلظت فسفر در گیاه، تابعی از غلظت فسفر قابل دسترس در خاک است (Hajeb *et al.*, 2017; Mahohi *et al.*, 2018).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر اوره فسفات بر برخی ویژگی‌های خاک و گیاه نیشکر (واریته CP69-1062) (یک ماه پس از کوددهی)
Table 3. The interaction of Urea phosphate (UP) on some soil and sugarcane plant (CP69-1062) properties (1 Month after fertilization)

Property	Unit	T1	T2	T3	T4
Soil organic carbon	(%)	0.642 ± 0.03 a	0.777 ± 0.05 a	0.793 ± 0.05 a	0.710 ± 0.05 a
Soil pH (1:5)	-	8.12 ± 0.04 a	8.08 ± 0.02 a	8.06 ± 0.03 a	8.06 ± 0.02 a
Soil NO ₃ ⁻	(mg kg ⁻¹)	53.8 ± 0.58 a	52.0 ± 0.35 a	47.3 ± 0.58 b	41.2 ± 0.32 c
CaCO ₃	(%)	38.19 ± 0.44 a	38.04 ± 0.39 a	37.94 ± 0.38 a	38.06 ± 0.49 a
Soil available P	(mg kg ⁻¹)	6.80 ± 0.31 d	8.26 ± 0.07 c	10.20 ± 0.31 b	11.20 ± 0.12 a
Sheath P concentration	(mg kg ⁻¹)	0.113 ± 0.000 b	0.120 ± 0.004 b	0.142 ± 0.001 a	0.146 ± 0.001 a
Leaf P concentration	(mg kg ⁻¹)	0.253 ± 0.002 b	0.262 ± 0.001 b	0.278 ± 0.000 a	0.288 ± 0.004 a

حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارهاست ($P \leq 0.05$). \pm : نشان‌دهنده خطای استاندارد از میانگین (n=3). T1: شاهد بدون کوددهی، T2: تیمار ۱۰ کیلوگرم UP در هکتار و T3: تیمار ۲۰ کیلوگرم UP در هکتار و T4: تیمار ۴۰ کیلوگرم UP در هکتار.

Different letters above each column indicated significant difference among treatments (Duncan's test, $P < 0.05$). \pm : indicated standard error (n=3). T1: Control without fertilization, T2: 10 kg ha⁻¹ UP, 20 kg ha⁻¹ UP, 40 kg ha⁻¹ UP.

جدول ۴- ضریب همبستگی پیرسون (r) بین برخی ویژگی‌های خاک و گیاه در کشت نیشکر (واریته CP69-1062) (n=12)
Table 4. Pearson correlation coefficient (r) between some soil and plant properties in sugarcane (CP69-1062) cultivation (n=12)

Property	Stalk number	Millable cane weight	Millable cane height	Millable cane diameter	Millable cane yield	Sugar yield	Soil NO ₃ ⁻	Soil available P	Sheath P	Leaf P
Stalk number	1									
Millable cane weight	0.804***	1								
Millable cane height	0.205 ^{ns}	0.599*	1							
Millable cane diameter	0.709**	0.839***	0.556 ^{ns}	1						
Millable cane yield	0.940***	0.895***	0.770**	0.404 ^{ns}	1					
Sugar yield	0.889***	0.808***	0.778**	0.494 ^{ns}	0.951***	1				
Soil NO ₃ ⁻	-0.508 ^{ns}	-0.367 ^{ns}	0.253 ^{ns}	0.777**	-0.419 ^{ns}	-0.464 ^{ns}	1			
Soil available P	0.709***	0.443 ^{ns}	0.651*	0.850***	0.587*	0.600*	-0.945***	1		
Sheath P	0.712**	0.473 ^{ns}	0.649*	0.788***	0.642*	0.640*	-0.915***	0.948***	1	
Leaf P	0.671**	0.416 ^{ns}	0.577*	0.800***	0.577*	0.610*	-0.939***	0.944***	0.941***	1
Soil organic carbon	0.534 ^{ns}	0.728***	0.542 ^{ns}	0.021 ^{ns}	0.573*	0.398 ^{ns}	-0.194 ^{ns}	0.360 ^{ns}	0.398 ^{ns}	0.242 ^{ns}

ns: نامعنی‌دار در سطح پنج درصد ($P > 0.05$), *: معنی‌دار در سطح پنج درصد ($P \leq 0.05$), **: معنی‌دار در سطح یک درصد ($P \leq 0.01$) و ***: معنی‌دار در سطح یک‌دهم درصد ($P \leq 0.001$).

ns, *, **: not significant and significant at $P < 0.05$, $P < 0.01$ and $P < 0.001$, respectively.

اثر اوره فسفات نسبت به شاهد بیش‌تر (به‌طور میانگین ۴ درصد) بود که با نتایج کینگستون (Kingston, 2014) در مورد نیشکر مطابقت داشت، اما به‌لحاظ آماری، تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای اوره فسفات مشاهده نشد. با این وجود، میانگین تعداد ساقه در متر مربع در تیمارهای ۱۰ و ۲۰ کیلوگرم روند افزایشی داشته و در تیمار ۴۰ کیلوگرم اوره فسفات کاهش یافت (جدول ۶). وزن و طول ساقه قابل

اثر اوره فسفات بر عملکرد کمی و کیفی نیشکر نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که کاربرد اوره فسفات بر تعداد ساقه در متر مربع ($P \leq 0.05$)، وزن ($P \leq 0.001$)، طول ($P \leq 0.001$) و قطر ساقه ($P \leq 0.05$) و همچنین، عملکرد نیشکر قابل آسیاب ($P \leq 0.05$) و عملکرد شکر ($P \leq 0.05$) معنی‌دار بود، اما اثر آن بر فاکتورهای پل، بریکس و درصد استحصال قند شربت معنی‌دار نبود (جدول ۵). تعداد ساقه در واحد سطح در تمام تیمارهای کاربرد کود

($P \leq 0.01$) و وزن ساقه نی قابل آسیاب ($P \leq 0.001$) بوده (جدول ۴) و بنابراین، روند مشابهی را در نتیجه کاربرد کود اوره فسفات نشان داد. به طوری که بیشترین عملکرد نی قابل آسیاب در تیمار ۲۰ کاربرد کیلوگرم اوره فسفات (۶۱/۳ تن در هکتار) مشاهده شد که نشان دهنده افزایش ۱۸/۶ درصدی عملکرد در مقایسه با شاهد بود، در حالی که در مقادیر بیش تر اوره فسفات، افزایش عملکرد نی قابل آسیاب به ۱۰/۴ درصد کاهش یافت. متین و همکاران (Matin et al, 1997) نیز نتایج مشابهی از عملکرد نیشکر را در نتیجه کاربرد کودهای فسفاته گزارش کرده اند.

آسیاب نیز روندی مشابه تعداد ساقه را دنبال کردند، به طوری که تا ۲۰ کیلوگرم در هکتار اوره فسفات، روند افزایشی و پس از آن کاهشی را نشان دادند، به طوری که تفاوت معنی داری بین تیمارهای ۱۰ و ۴۰ کیلوگرم اوره فسفات مشاهده نشد. قطر ساقه قابل آسیاب در تیمار ۱۰ کیلوگرم اوره فسفات، تفاوتی با شاهد نداشت، اما با افزایش مقدار کاربرد کود تا ۴۰ کیلوگرم افزایش یافت. اگرچه به لحاظ آماری، تفاوت معنی داری بین تیمارهای کاربرد ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم اوره فسفات بر قطر ساقه قابل آسیاب مشاهده نشد. عملکرد نیشکر قابل آسیاب به طور مستقیم و معنی دار، تابع تعداد ساقه در واحد سطح ($P \leq 0.001$)، طول

جدول ۵- آنالیز واریانس اثر اوره فسفات بر ویژگی‌های کمی و کیفی نیشکر (CP69-1062)

Table 5. ANOVA results for the influence of Urea-phosphate on qualitative and quantitative properties of sugarcane (CP69-1062)

Property	MS _t	MS _e	C.V.
df	3	6	-
Stalk number per m ²	3.39*	0.746	3.17
Millable cane weight	0.0015***	0.00007	2.51
Millable cane height	89.2***	3.11	1.49
Millable cane diameter	0.091**	0.008	2.50
Millable cane yield	46.5*	6.26	3.98
Brix	0.041 ^{ns}	0.138	1.80
Polarity	0.026 ^{ns}	0.118	2.12
Recoverable Sucrose	0.016 ^{ns}	0.066	2.58
Sugar yield	0.652*	0.083	3.40

ns: نامعنی دار در سطح پنج درصد ($P > 0.05$); * معنی دار در سطح پنج درصد ($P \leq 0.05$); ** معنی دار در سطح یک درصد ($P \leq 0.01$) و *** معنی دار در سطح یک دهم درصد ($P \leq 0.001$). C.V.: ضریب تغییر، MS_e: میانگین مربع‌های خطا.

ns, *, **, not significant and significant at $P < 0.05$, $P < 0.01$ and $P < 0.001$, respectively. Df: Degree of freedom; MS_T: mean square of treatment; MS_e: mean square error; C.V.: coefficient of variation.

افزایش غلظت فسفر قابل دسترس در خاک، اگرچه عملکرد گیاهان مختلف را افزایش می‌دهد، ولی چنانچه این غلظت از حد معینی تجاوز کند، باعث کاهش عملکرد می‌شود (Matin et al, 1997; Karimian, 2000). سالازار و سانچز (Salazar & Sanchez, 2010) افزایش عملکرد نیشکر در کاربرد ۳۰ تا ۶۰ کیلوگرمی (P_2O_5) در هکتار را گزارش کرده‌اند.

افزایش عملکرد نی قابل آسیاب شده است. از آنجایی که تیمارهای اوره فسفات بر ویژگی‌های کیفی قند نیشکر، شامل پل و بریکس شربت و درصد فرآوری (استحصال) شکر معنی دار نبود، بنابراین عملکرد شکر نیز مشابه عملکرد نی قابل آسیاب مشاهده شد (جدول ۶). نتایج همبستگی پیرسون نیز همبستگی معنی دار بین عملکرد شکر و نی قابل آسیاب ($P \leq 0.01$) و بریکس ($P \leq 0.05$) را نشان داد. از سوی دیگر، با وجود اینکه کاربرد اوره فسفات به لحاظ آماری فاکتورهای کیفی نیشکر شامل بریکس و درصد فرآوری شکر را تحت تأثیر قرار نداد، به طور کلی، روند افزایشی بریکس و درصد فرآوری با افزایش کاربرد اوره فسفات مشاهده شد، هر چند که این افزایش معنی دار نبود (جدول ۶)، اما اثر این دو فاکتور بر عملکرد شکر به طور مستقیم

افزایش غلظت فسفر قابل دسترس در خاک، اگرچه عملکرد گیاهان مختلف را افزایش می‌دهد، ولی چنانچه این غلظت از حد معینی تجاوز کند، باعث کاهش عملکرد می‌شود (Matin et al, 1997; Karimian, 2000). سالازار و سانچز (Salazar & Sanchez, 2010) افزایش عملکرد نیشکر در کاربرد ۳۰ تا ۶۰ کیلوگرمی (P_2O_5) در هکتار را گزارش کرده‌اند.

غلظت فسفر قابل دسترس خاک همبستگی مثبتی با عملکرد نی قابل آسیاب داشت که با همبستگی بین فسفر قابل دسترس خاک و غلظت فسفر برگ و غلاف، تعداد نی، طول و قطر ساقه همخوانی داشت. به عبارت دیگر، فسفر قابل دسترس خاک از طریق اثر مثبت بر غلظت فسفر گیاه و به ویژه تعداد نی در واحد سطح، قطر و طول ساقه، موجب

تیمارهای اوره فسفات بر دو فاکتور بریکس و درصد استحصال شکر (با وجود معنی‌دار نبودن) در افزایش عملکرد شکر مثبت بوده است (جدول ۶).

مشاهده شد. به عبارت دیگر، افزایش عملکرد نی قابل آسیاب نسبت به شاهد در سه تیمار ۱۰، ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم اوره فسفات به ترتیب ۱۱/۰، ۱۸/۶ و ۱۰/۴ درصد بود، در حالی که این افزایش در عملکرد شکر به ترتیب ۱۱/۵، ۱۹/۷ و ۱۱/۹ و اختلاف افزایش درصد بین عملکرد نی و شکر به ترتیب ۰/۴۵، ۱/۱۰ و ۱/۴۱ درصد بود که نشان می‌دهد اثر

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر اوره فسفات بر ویژگی‌های کمی و کیفی نیشکر (CP69-1062)

Table 6. The interaction of Urea phosphate (UP) on qualitative and quantitative properties of sugarcane (CP69-1062)

Property	Unit	T1	T2	T3	T4
Stalk number per m ²	N m ⁻²	12.85 ± 0.34 b	13.30 ± 0.06 a	13.54 ± 0.12 a	13.33 ± 0.29 a
Millable cane weight	g	0.401 ± 0.005 c	0.431 ± 0.008 ab	0.453 ± 0.005 a	0.428 ± 0.010 b
Millable cane height	cm	112.7 ± 1.4 c	119.0 ± 0.6 b	126.0 ± 1.2 a	118.7 ± 0.9 b
Millable cane diameter	mm	20.73 ± 0.04 b	20.81 ± 0.10 b	21.02 ± 0.04 a	21.09 ± 0.05 a
Millable cane yield	ton ha ⁻¹	51.6 ± 1.9 c	57.3 ± 1.4 b	61.3 ± 0.6 a	57.0 ± 1.2 b
Brix	%	19.23 ± 0.34 a	19.30 ± 0.17 a	19.50 ± 0.10 a	19.40 ± 0.15 a
Polarity	%	17.52 ± 0.28 a	17.60 ± 0.25 a	17.72 ± 0.09 a	17.70 ± 0.24 a
Recoverable Sucrose	%	11.10 ± 0.18 a	11.17 ± 0.19 a	11.22 ± 0.05 a	11.27 ± 0.25 a
Sugar yield	ton ha ⁻¹	5.73 ± 0.29 c	6.39 ± 0.08 b	6.87 ± 0.04 a	6.41 ± 0.06 b

حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارهاست ($P \leq 0.05$). \pm نشان دهنده خطای استاندارد از میانگین ($n=3$). T1: شاهد بدون کوددهی، T2: تیمار ۱۰ کیلوگرم UP در هکتار و T2: تیمار ۲۰ کیلوگرم UP در هکتار و T4: تیمار ۴۰ کیلوگرم UP در هکتار.

Different letters above each column indicated significant difference among treatments (Duncan's test. $P < 0.05$). \pm : indicated standard error ($n=3$). T1: Control without fertilization, T2: 10 kg ha⁻¹ UP, 20 kg ha⁻¹ UP, 40 kg ha⁻¹ UP.

کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار اوره فسفات نداشت. با این حال، کم‌ترین غلظت نیتروژن در تیمار کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار اوره فسفات و شاهد مشاهده شد. علاوه بر این، تفاوت غلظت نیتروژن برگ در بین تیمارها در نمونه‌برداری ماه دوم (مرداد) و سوم (شهریور) پس از کوددهی اوره فسفات کاهش یافت، به طوری که در شهریور ماه، تفاوت معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد. متین و همکاران (Matin et al., 1997) اثر سطوح مختلف فسفر بر عملکرد نیشکر را بررسی کرده و کاهش غلظت نیتروژن را در غلظت‌های بالای کود سوپرفسفات تریپل ($150 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$) در زمان ۲۴۰ روز پس از کشت نیشکر را گزارش کردند، در حالی که در زمان ۳۵۵ روز پس از کشت، افزایش غلظت نیتروژن توسط آن‌ها گزارش شد. از سوی دیگر فاصله نمونه‌برداری از زمان کوددهی اوره و همچنین، ترجیح گیاه نیشکر به تأمین نیتروژن به شکل آمونیومی در مقایسه با شکل نیتراتی (Joris et al., 2014) ممکن است از جمله عوامل مؤثر بر نتایج بدست آمده به حساب آیند. نتایج مشابه در مورد اثر منفی غلظت بالای فسفر در جذب نیترات توسط مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (Matin et al., 1997;

اثر اوره فسفات بر تغییرات غلظت عناصر گیاه در طول زمان

نتایج نشان داد که اثر جداگانه تیمار و زمان بر نیتروژن برگ و فسفر و پتاسیم برگ و غلاف و همچنین رشد نی معنی‌دار بود، اما بر رطوبت غلاف معنی‌دار نبود. همچنین نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد غلظت نیتروژن همزمان با رشد گیاه متغیر بود، به طوری که تا ماه دوم پس از کوددهی روند افزایشی داشته و پس از آن کاهش یافت. روند افزایش غلظت نیتروژن در حضور فسفر در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (Fageria, 2001; Krouk & Kiba, 2020). اما برخی مطالعات دیگر در ماه اول پس از کوددهی، غلظت نیتروژن در تیمارهای ۱۰ و ۲۰ کیلوگرم در هکتار اوره فسفات تفاوتی با شاهد نداشتند، در حالی که کم‌ترین غلظت نیتروژن در تیمار ۴۰ کیلوگرم در هکتار اوره فسفات مشاهده شد. به نظر می‌رسد این روند در ارتباط با کاهش غلظت نیترات خاک در تیمار کاربرد ۴۰ کیلوگرم اوره فسفات باشد (جدول ۳). در ماه دوم پس از کوددهی، غلظت نیتروژن در تیمار کاربرد ۱۰ کیلوگرم در هکتار اوره فسفات نسبت به شاهد بیش‌تر بود، اما تفاوت معنی‌دار با تیمار

فسفات، این افزایش نسبت به شاهد معنی‌دار نبود. از سوی دیگر غلظت فسفر برگ و غلاف در تیمارهای کاربرد ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم در هکتار اوره فسفات، در تمام دوره رشد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۱). این احتمال وجود دارد که جذب بیش از حد فسفر معدنی و بالا رفتن غلظت آن در بافت‌های گیاهی باعث بهم زدن تعادل عناصر غذایی در گیاه شده، متابولیسم عناصر در درون گیاه را مختل کرده و موجب بروز علائمی گردد که اصطلاحاً مسمومیت فسفوری نامیده می‌شود. این علائم ممکن است حتی شباهت‌هایی ظاهری با کمبود فسفر در گیاه داشته و سبب گمراهی شود (Karimian, 2000; Welch, 2003).

(Güsewell, 2005; Krouk & Kiba, 2020). همچنین نشان داده شده است که مصرف فسفر اگرچه باعث افزایش عملکرد ذرت علوفه‌ای می‌شود، اما غلظت نیتروژن (و در نتیجه غلظت پروتئین) آن را کاهش می‌دهد (Karimian, 2000).

روند تغییرات فسفر در گیاه نیز، اثر منفی غلظت‌های بالای فسفر بر جذب نیتروژن را نشان می‌دهد (شکل ۱). کاهش غلظت فسفر برگ در ماه دوم پس از کوددهی، با افزایش غلظت نیتروژن برگی همراه بود. از سوی دیگر، غلظت فسفر برگ و غلاف در تمام تیمارهای کودی نسبت به شاهد بیش‌تر بود. اما در تیمار کاربرد ۱۰ کیلوگرم در هکتار اوره

جدول ۷- آنالیز واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمار اوره فسفات بر غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در طول زمان دوره رشد نیشکر (CP69-1062)

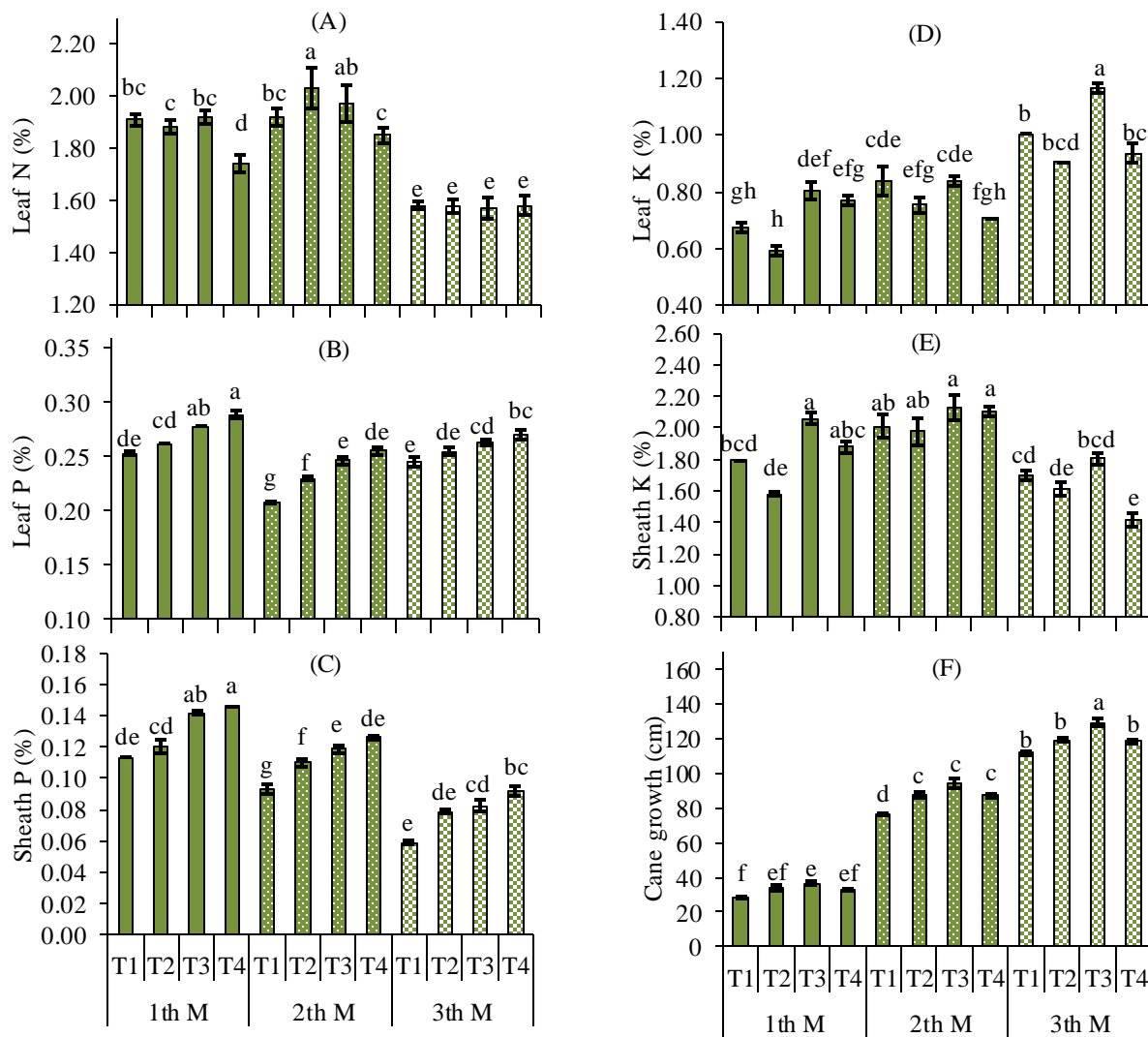
Table 7. ANOVA results (mean squares) for the influence of urea-phosphate treatment on N, P and K concentration in the plant during sugarcane growth time (CP69-1062)

Property	Main effect		Interaction effect	MSe	C.V. (%)
	Treatment	Time	Treat. * Time		
df	3	2	6	24	-
Leaf N concentration	0.021*	0.443***	0.009 ^{ns}	0.005	3.98
Sheath moisture content	1.42 ^{ns}	17.8 ^{ns}	0.722 ^{ns}	5.90	2.96
Leaf P concentration	90.1***	156***	3.43*	0.00002	1.95
Sheath P concentration	104***	471***	3.78*	0.00002	3.97
Leaf K concentration	33.7***	168***	8.21***	0.002	4.66
Sheath K concentration	16.5**	73.7***	6.59***	0.007	4.85
Cane growth	310***	34080***	18.7*	6.4	3.63
N/P ratio	27.8***	134***	2.91**	0.112	4.02
N/K ratio	24.7**	239***	10.2***	0.017	4.15

ns: نامعنی‌دار در سطح پنج درصد ($P > 0.05$); * معنی‌دار در سطح پنج درصد ($P \leq 0.05$); ** معنی‌دار در سطح یک درصد ($P \leq 0.01$); *** معنی‌دار در سطح یک دهم درصد ($P \leq 0.001$). C.V.: ضریب تغییر، MSe: میانگین مربع‌های خطا. N/P: نسبت غلظت نیتروژن به فسفر برگ، N/K: نسبت غلظت نیتروژن به پتاسیم برگ. ns, *, **, not significant and significant at $P < 0.05$, $P < 0.01$ and $P < 0.001$, respectively. Df: Degree of freedom; MSe: mean square error; C.V.: coefficient of variation. N/P: concentration of Leaf N to Leaf P; N/K concentration of Leaf N to Leaf K.

پتاسیم برگی تفاوتی با ماه‌های قبل نشان نداد که احتمالاً به دلیل انتقال فسفر و پتاسیم از بخش غلاف به پهنک برگ باشد. از سوی دیگر، بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار پتاسیم برگ و غلاف در طول دوره رشد، به ترتیب در تیمارهای کاربرد ۲۰ و ۱۰ کیلوگرمی اوره فسفات در هکتار مشاهده شد (شکل ۱). همچنین رشد نی در تیمار اوره فسفات در مقایسه با شاهد به‌ویژه در تیمار ۲۰ کیلوگرم اوره فسفات بیش‌تر بود، اگرچه تفاوت بین دیگر تیمارها، به‌ویژه در اوایل دوره رشد گیاه معنی‌دار نبود (شکل ۱).

به‌طور کلی، نتایج نشان داد که غلظت پتاسیم برگ از حد نرمال گزارش شده برای نیشکر (حدود ۱/۵ درصد) توسط دیگر پژوهش‌گران کمتر بود (Munson & Filho, 1985; Almeida *et al.*, 2015; Matin *et al.*, 1997). با این وجود، تغییرات پتاسیم برگ و غلاف نیشکر در طول دوره رشد از روند مشابهی تبعیت نکرد و اغلب تیمارها تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (شکل ۱). اما غلظت پتاسیم غلاف، مشابه غلظت فسفر غلاف، در ماه سوم پس از کوددهی نسبت به دو ماه قبل کمتر بود، در حالی که غلظت فسفر و



شکل ۱- اثر متقابل تیمار اوره فسفات و زمان بر روند تغییرات نیتروژن برگ (A)، فسفر برگ (B)، فسفر غلاف (C)، پتاسیم برگ (D)، پتاسیم غلاف (E) و رشد نیشکر (CP69-1062) (F) در طول دوره رشد. حروف ناهمانند بالای هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی دار بین تیمارهاست (آزمون دانکن، $P \leq 0.05$). خطوط عمودی نشان دهنده خطای استاندارد از میانگین هستند ($n=3$)

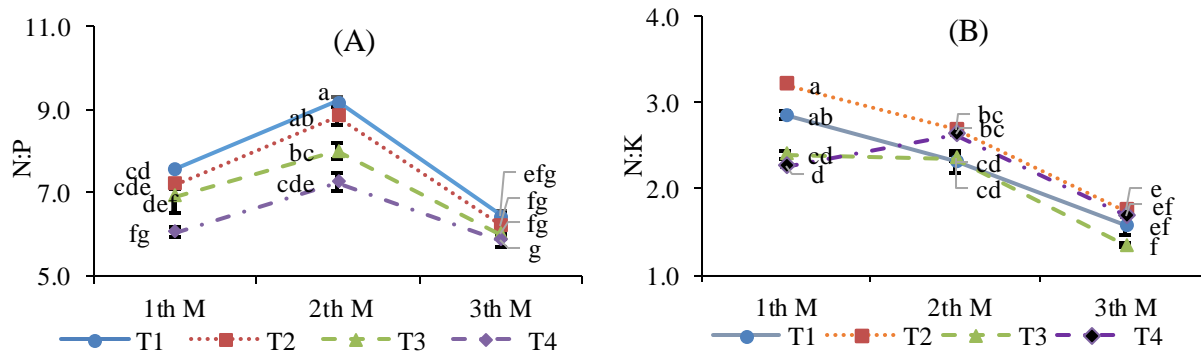
Figure 1. Interaction of urea phosphate treatment and time on the trend of leaf nitrogen (A), leaf phosphorus (B), sheath phosphorus (C), leaf potassium (D), sheath potassium (E) and growth of sugarcane (CP69-1062) (F) in growth period. The dissimilar letters above each column indicated significant difference between the treatments (Duncan's test, $P \leq 0.05$). vertical lines indicate standard error of the mean ($n=3$)

هوایی نیشکر که محل فعالیت برگ‌های جوان است، نسبت-های عناصر غذایی در مقایسه با دیگر اندام‌های گیاه مانند ساقه، ریشه و یا برگ‌های پیر (به‌منظور حفظ رشد بهینه گیاه) متعادل‌تر است (Groot *et al.*, 2003; Güsewell, 2004; Leite *et al.*, 2016). نسبت نیتروژن به فسفر و نیتروژن به پتاسیم در بخش‌های مختلف گیاه نیشکر شامل برگ‌های خشک، ساقه و بخش بالایی نی بررسی کرده و مقادیر مختلفی از نسبت-های نیتروژن به فسفر (به‌ترتیب ۱۹/۴، ۵/۵ و ۶/۷۵) و

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد نسبت‌های نیتروژن به فسفر (N:P) و نیتروژن به پتاسیم (N:K) تحت تأثیر کاربرد اوره فسفات و زمان نمونه‌برداری قرار گرفتند. روند تغییرات N:P و N:K در شکل ۲ نمایش داده شده است. نسبت N:P در برگ گیاه در ماه اول پس از کوددهی، صرف نظر از نوع تیمار، به‌طور میانگین ۶/۹:۱ بود. این نسبت‌ها تا حدودی در دامنه گزارش شده برای نیشکر قرار داشت (Leite *et al.*, 2016; Teixeira *et al.*, 2020; Pereira Da Silva & Lucas, 2021). گزارش شده است که در رأس اندام

است که نسبت‌های N:P و N:K طی دوره رشد نیشکر تغییر می‌کند (Leite *et al.*, 2016; Teixeira *et al.*, 2020). این تغییرات ناشی از اثرات متقابل پیچیده و پویایی این عنصر در سیستم خاک-گیاه می‌باشد (Leite *et al.*, 2016; Shukla *et al.*, 2009; Mariano *et al.*, 2016; Teixeira *et al.*, 2020). نسبت N:K در برگ گیاه در ماه اول پس از کوددهی، صرف نظر از نوع تیمار، به‌طور میانگین ۲/۷:۱ بود و در طول دوره رشد، روند نزولی داشت. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار این نسبت به‌ترتیب در تیمارهای کاربرد ۱۰ و ۴۰ کیلوگرم اوره فسفات در هکتار مشاهده شد. از آنجایی که میانگین غلظت نیتروژن برگ بین تیمارهای کودی، در ماه سوم (شهریور ماه) معنی‌دار نبود، کاهش معنی‌دار نسبت N:K را می‌توان به افزایش غلظت پتاسیم برگی در این دوره نسبت داد (شکل ۱ و ۲). دامنه گسترده‌ای از نسبت‌های عناصر غذایی برای نیشکر را گزارش شده است که با نوع خاک، واریته و سن گیاه تغییر می‌کنند (Leite *et al.*, 2016; Teixeira *et al.*, 2020).

نیتروژن به پتاسیم (به‌ترتیب ۱/۷۴، ۰/۳۲ و ۰/۵۰) را گزارش کردند. اما بیش‌ترین همبستگی عملکرد نیشکر را با نسبت غلظت‌های عناصر غذایی در بخش رأس نی (به‌ترتیب ۶:۱ و ۰/۵:۱ را برای نسبت‌های N:P و N:K) گزارش کردند. با این وجود، نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش مقدار اوره فسفات مصرفی، نسبت نیتروژن به فسفر کاهش یافت (شکل ۲). این اثر در تمام طول دوره رشد مشاهده شد. از سوی دیگر، نسبت نیتروژن به فسفر در ماه دوم پس از کوددهی، افزایش و پس از آن کاهش یافت. به‌نظر می‌رسد که این روند ناشی از به‌ترتیب افزایش و کاهش غلظت نیتروژن و فسفر برگ در ماه دوم پس از کوددهی باشد. بخشی از این افزایش، ناشی از دریافت دو نوبت کود اوره (براساس برنامه کودی) تا ماه دوم پس از تیمار است، این درحالی است که تیمارهای اعمال شده تنها در یک نوبت و ابتدای دوره داشت اعمال گردید. اما در ماه سوم پس از کوددهی (شهریورماه)، نسبت نیتروژن به فسفر کاهش یافت. این کاهش ناشی از به‌ترتیب کاهش و افزایش غلظت نیتروژن و فسفر برگی است (شکل ۱ و ۲). گزارش شده



شکل ۲- اثر متقابل تیمار اوره فسفات و زمان بر روند تغییرات نسبت غلظت برگی نیتروژن به فسفر (A) و پتاسیم (B) در طول دوره رشد نیشکر (CP69-1062). حروف ناهم‌اند بالایی هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارهاست (آزمون دانکن، $P \leq 0.05$). خطوط عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد از میانگین هستند ($n=3$)

Figure 2. Interaction of urea phosphate treatment and time on changes of nitrogen to phosphorus (A) and potassium (B) leaf concentration ratio during sugarcane (CP69-1062) growth period. The dissimilar letters at the top of each column indicate a significant difference between the treatments (Duncan test, $P \leq 0.05$). Vertical lines indicated standard error of the mean ($n=3$)

این وجود، اثر مثبت اوره فسفات تا مقدار کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار مشهود بود و در مقادیر بیش‌تر، از اثر مثبت آن کاسته شد، به‌نحوی که تفاوتی با شاهد نداشت. البته مقدار کاربرد کود با توجه به فراهمی فسفر خاک، سن

نتیجه‌گیری کلی

کاربرد کود فسفاته اوره فسفات منجر بر افزایش معنی‌دار رشد و عملکرد کمی و کیفی نیشکر شد. حلالیت بالا، امکان استفاده به‌روش آب‌کود در اختلاط با کود اوره، کاربرد اوره فسفات را در مزارع تحت کشت نیشکر به‌صرفه می‌کند. با

گیاه و عدم توجه به نیاز پتاسیم، منجر به عدم تعادل این نسبت‌ها و بهم‌زدن تعادل عناصر غذایی در گیاه شده، متابولیسم عناصر در درون گیاه را مختل می‌کند و در نتیجه، کاهش قابل توجه رشد و عملکرد کمی و کیفی نیشکر را به دنبال دارد. با این وجود، بررسی وضعیت عناصر غذایی و نسبت‌های آنها در طول دوره رشد ارقام مرسوم نیشکر در ایران در مطالعات دیگر باید بیش‌تر مورد توجه قرار گیرد.

و وارسته نیشکر ممکن است تا حدودی متفاوت باشد. نسبت-های غلظت برگ‌گی عناصر (N:P و N:K)، صرف نظر از نوع تیمار، به‌طور میانگین به‌ترتیب ۶/۹:۱ و ۲/۷:۱ بود. به-طور کلی، نتایج نشان داد که غلظت پتاسیم برگ از حد نرمال گزارش شده برای نیشکر (حدود ۱/۵ درصد) توسط مطالعات دیگر کم‌تر بود. در هر حال، نتایج این پژوهش نشان داد که روش مرسوم کوددهی در شرکت‌های نیشکری مبتنی بر تأمین یک یا دو عنصر نیتروژن و فسفر مورد نیاز

Reference

- Akhtar M and Naeem A. 2012. Reduction in Ammonia Loss by Applying Urea in Combination with Phosphate Sources. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 43:2043-2049
- Allison J.C.S., Pammenter N.W., and Haslam R.J. 2007. Why does sugarcane (*Saccharum* sp. hybrid) grow slowly? *South African Journal of Botany* 73: 546-551.
- Almeida H.J., Cruz F.J.R., Pancelli M.A., Flores R.A., Vasconcelos R.L., and Prado R.M. 2015. Decreased potassium fertilization in sugarcane ratoons grown under straw in different soils. *Australian Journal of Crop Science* 9(7): 596-604.
- Arruda B., Rodrigues M., Soltangheisi A., Richardson A.E., Andreote F.D. and Pavinato P.S. 2016. Biological and morphological traits of sugarcane roots in relation to phosphorus uptake. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 16 (4): 901-915.
- Beaufils E.R., and Sumner M.E. 1976. Application of the DRIS approach for calibrating soil, plant yield and plant quality factors of sugarcane. *South African Sugar Technologists' Association* 50: 118-124.
- Behravan H.R., Zand E., and Shafiei Baftee F. 2013. Good management practices manual for the cane sugar industry. *Kerdegar press (Ahvaz)* 386p. (In Persian)
- Behravan H.R., Khorassani R., Fotovat A., Moezei A.A. and Taghavi M. 2019. The Effect of Humic Acid and Phosphorus Fertilizer on Phosphatase Enzymes, Active Carbon and Available Phosphorus in Sugarcane Rhizosphere. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 50(10): 2571-2581. (In Persian)
- Bremner J.M., and Douglas L.A. 1984. Decomposition of urea phosphate in soils. *Soil Science Society of America Journal* 35(4): 575-578.
- Bremner J.M. (1996). Methods of soil analysis. Part3. Chemical Methods. SSSA, Madison, WI, USA, pp. 1085-1121.
- Bremner J.M. and Mulvaney C.S. 1982. Nitrogen total. pp. 595- 624. In: Page A.L., Miller R.H. and Keeney D.R. (Eds.). Methods of soil analysis. Part 2. Chemical analysis. American Society of Agronomy and Soil Science Society of American, Madison, Wisconsin.
- Ciampitti I.A., and Vyn T.J. 2014. Understanding global and historical nutrient use efficiencies for closing maize yield gaps. *Agronomy Journal* 106: 2107-2117.
- Chorom M., Ahmadpor D.A. 2007. Study of phosphorus adsorption characteristics of soils under shoeibieh sugarcane farms in Khuzestan. *Agricultural Research* 7(3): 103-114. (In Persian)
- Fageria V.D. 2001. Nutrient interactions in crop plants. *Journal of Plant Nutrition* 24(8): 1269-1290.
- Fan X., Zhou X., Chen H., Tang M. and Xie X. 2021. Cross-talks between macro- and micronutrient uptake and signaling in plants. *Frontiers in Plant Science* 12: 663477.
- Gee G.W. and Bauder J.W. 1986. Particle-size analysis. In: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis 1: Physical and Mineralogical Methods, 2nd Ed. *American Society of Agronomy*, Madison pp. 383-411.
- George T.S., Hinsinger P., and Turner B.L. 2016. Phosphorus in soils and plants - facing phosphorus scarcity. *Plant and Soil* 401:1-6.
- Groot C.C., Marcelis L.F.M., Boogard R.V.D., Kaiser W.M., and Lambers H. 2003. Interaction of nitrogen and phosphorus in determining growth. *Plant and Soil* 248: 257-268.

- Güsewell S. 2004. N:P ratios in terrestrial plants: variation and functional significance. *New Phytologist* 164: 243-266.
- Güsewell S. 2005. Responses of wetland graminoids to the relative supply of nitrogen and phosphorus. *Plant Ecology* 176: 35–55.
- Hussain S., Anwar-ul-Haq M., Hussain S., Akram Z., Afzal M., and Shabbir I. 2017. Best suited timing schedule of inorganic NPK fertilizers and its effect on qualitative and quantitative attributes of spring sown sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 16(1): 66-71.
- Karimian N. 2000. Excessive consequences of phosphorus fertilizer application. *Journal of Water and Soil* 12 (4): 1-15. (In Persian)
- Kingston G. 2014. Mineral nutrition of sugarcane, in sugarcane: physiology, biochemistry, and functional biology, Eds P.H. Moore and F.C. Botha (Oxford: John Wiley&Sons) 85-120.
- Kalra Y.P. 1998. Handbook of Methods for Plant Analysis. Soil and Plant Analysis Council, Inc. CRC Press. Boca Raton Boston London New York Washington, D.C.
- Krouk G., and Kiba T. 2020. Nitrogen and Phosphorus interactions in plants: from agronomic to physiological and molecular insights. *Current Opinion in Plant Biology* 57:1-6.
- Joris H.A.W., Souza T.R., Montezano Z.F., Vargas V.P. and Cantarella H. 2014. Evaluating Nitrogen Behavior in Sugarcane after Fertilization Using Leaf and Sap Extract Analyzes. *American Journal of Plant Sciences* 5: 2655-2664.
- Julien P.A., Germann L.S., Titi H.M., Etter M., Dinnebier R.E., Lohit Sharma L., Baltrusaitis J. and Tomislav Frišci T. 2020. In situ monitoring of mechanochemical synthesis of calcium urea phosphate fertilizer cocrystal reveals highly effective water-based autocatalysis. *Chemical Science journal* 11: 2350.
- Leite J.M., Ciampitti I.A., Mariano E., Vieira-Megda M.X., and Trivelin P.C.O. 2016. Nutrient Partitioning and Stoichiometry in Unburnt Sugarcane Ratoon at Varying Yield Levels. *Frontiers in Plant Science* 7:466.
- Loeppert R.H. and Suarez D.L. 1996. Carbonate and gypsum. In: Sparks, D.L. (Ed.). Methods of Soil Analysis. SSSA Madison. pp. 437-474.
- Lucas R.E., and Davis J.F. 1961. Relationships between pH values of organic soils and availabilities of 12 plant nutrients. *Soil Science* 92: 177-182.
- Mahidi S.S., Hassan G.I. Hussain and Faisal-ur-Rasool A. 2011. Phosphorus availability issue-its fixation and role of phosphate solubilizing bacteria in phosphate solubilization-case study. *Agricultural Science Research Journal* 2: 174-179
- Mahohi A., Nouri M., Emam A. Kahiesh M. 2018. Study of phosphorus status in soil and plant at different ages of Sugarcane cultivation. *16th Iranian Soil Science Congress*. (In Persian)
- Mariano E., Leite J.M., Vieira-Megda M.X., Ciampitti I.A., Vitti A.C., Faroni C.E., et al. 2016. Biomass and Nutrient Content by Sugarcane as Affected by Fertilizer Nitrogen Sources. *Crop Science* 56(3): 1234.
- Matin M.A., Oya K., Shinjo T. and Horiguchi T. 1997. Phosphorus Nutrition of Sugarcane: Growth, Yield and Quality of Sugarcane as Affected by Soil Phosphorus Levels. *Japanese Society for Tropical Agriculture* 41(2): 52-59.
- McCray J.M., Rice R.W., Luo Y. and Ji S. 2010. Sugarcane Response to Phosphorus Fertilizer on Everglades Histosols. *Agronomy Journal* 102: 68-77.
- Meade G.P. and Chen J.C.F. 1977. Cane sugar handbook. John Wiley and Sons, NY.
- Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran, 2019. *Annual agricultural statistics*. www.maj.ir.
- Mohammad M., Shibli R., Ajlouni M., and Nimri L. 2008. Tomato root and shoot responses to salt stress under different levels of phosphorus nutrition. *Journal of Plant Nutrition* 21: 1667-1680.
- Munson R.D., and Filho J.O. 1985. Potassium Nutrition of Sugarcane. *ACSESS Publications* 1045-1061 doi:10.2134/1985.potassium.c44.
- Nelson D.W. and Sommers L.E. 1996. Total carbon organic carbon and organic matter. In: Sparks, D.L. (Ed.). Methods of Soil Analysis part 3 Chemical Methods. *Soil Science Society of America: Madison WI SSSA Book Serie*. pp. 153-188.
- Olsen S.R., Cole C.V., Watanabe F.S. and Dean L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. *USDA. Circ. 939. U. S. GOV. Print Office Washington DC*.

- Pereira Da Silva G. and Lucas Justino Chiaia H. 2021. Limitation due to nutritional deficiency and excess in sugarcane using the integral diagnosis and recommendation system (DRIS) and nutritional composition diagnosis (CND). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. DOI: 10.1080/00103624.2021.1885690
- Rhoades J. 1986. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. In: Sparks, D.L. (Ed.). *Methods of soil Analysis. Part 3: Chemical Properties*. Soil Science Society of America. *Madison Wisconsin*. pp. 417- 435.
- Rice E.R. and Hebert L.P. 1972. Sugarcane variety tests in Florida during the 1971-72 season. *USDA Agricultural Research Service S-2*.
- Rowell D.L.(1994) *Soil Science: Methods and Applications*. Longman Group, Harlow. 345p.
- Sadras V.O. 2006. The N:P stoichiometry of cereal, grain, legume and oil seed crops. *Field Crops Research* 95: 13-29.
- Shukla S.K., Yadav R.L., Singh P.N., and Singh I. 2009. Potassium nutrition for improving stubble buds sprouting, dry matter partitioning, nutrient uptake and winter initiated sugarcane (*Saccharum* spp. hybrid complex) ratoon yield. *European Journal of Agronomy* 30: 27-33.
- Soares J.R., Cantarella H., Menegale M.L. 2012. Ammonia volatilization losses from surface-applied urea with urease and nitrification inhibitors. *Soil Biology and Biochemistry* 52: 82-89.
- Teixeira G.C.M., Prado R.D.M., Rocha A.M.S. and Piccolo M.D.C. 2020. Root- and foliar-applied silicon modifies C: N: P ratio and increases the nutritional efficiency of pre-sprouted sugarcane seedlings under water deficit. *PLOS ONE* 15(10): e0240847.
- Thomas G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. In: Sparks, D.L. (Ed.). *Methods of Soil Analysis*. SSSA Madison. pp. 475-490.
- Welch M. 2003. Farming for nutritious foods: Agricultural technologies for improved human health. *IFA-FAO Agricultural Conference*, Rome, Italy.
- Yang G., Zhao H., Chen Q., Yu X., Li Z., Liu K., Zhang M. and Liu Zh. 2020. Potassium Chloride - Modified Urea Phosphate with response surface ptimization and its application effect on Maize in saline-alkali Soil. *ACS Omega* 5(28): 17255–17265.
- Zhao D., Glaz B., and Comstock J.C. 2014. Physiological and growth responses of sugarcane genotypes to nitrogen N rate on a sand soil. *Journal of Agronomy and Crop Science* 200: 290-301.

Consequences of Urea Phosphate Fertilizer Application on the Nutrient Status and Quantitative and Qualitative Yield of Sugarcane

Ali Mahohi^{1*}, Hasan Ali Khatinzadeh², Mansour Nouri³, Dariush Nikfar²

(Received: September 2021 Accepted: June 2022)

Abstract

Most of the soils of sugarcane fields in the Khuzestan province are calcareous and have little organic matter. The availability of nutrients such as phosphorus and the efficiency of phosphorus fertilizer application are low in these soils. In calcareous soils, a significant part of phosphorus fertilizers, becomes insoluble after entering the soil and are out of reach of plants. This study aimed to evaluate the application of phosphorus fertilizers, based on their acidic solution, in order to evaluate the status of nutrients and quantitative and qualitative yield of sugarcane. For this purpose, treatments of 0, 10, 20 and 40 kg ha⁻¹ of urea phosphate fertilizer were applied in 100 m² square plots of cultivated sugarcane cultivar with second regrowth age (R2). The results showed that the application of phosphorus fertilizer compared to the control, significantly ($P \leq 0.05$) increased the quantitative and qualitative yield of sugarcane, so that the highest yield of millable cane was observed in 20 kg ha⁻¹ of urea phosphate treatment (61.3 ton ha⁻¹ with 18.2% increase). However, applying of 40 kg ha⁻¹ of urea phosphate, only a 10.5% increase was observed compared to the control. On the other hand, the negative effect of high phosphorus concentrations on nitrogen concentration in leaves was evident, especially in the early growth period. The leaf ratio of nitrogen to phosphorus (N:P), regardless of the type of treatment, averaged 1:6.9. But the average leaf ratio of nitrogen to potassium (N/K) was 2.7:1, which was significantly different from the optimal values required for maximum growth of sugarcane. In general, the results showed that urea phosphate application in available phosphorus-deficient soils, depending on soil and plant conditions, has a significant role in increasing sugarcane yield. On the other hand, disturbance of the balance of nutrients by deficiency or excess of nutrients in the plant, leads to a significant reduction in growth and quantitative and qualitative yield in sugarcane.

Key words: Calcareous soils, Balance of nutrients, Phosphate fertilizers, N:P, N:K leaf ratios

Mahohi A., Khatinzadeh H.A., Nouri M., Dariush Nikfar D. 2023. Consequences of urea phosphate fertilizer application on the nutrient status and quantitative and qualitative yield of sugarcane. *Applied Soil Research*, 11(2): 13-27.

1. PhD Graduate in Soil Sciences, Agricultural Researches Department, Karun Agro Industrial, Inc, Shushtar, Iran

2. BSc Graduate in Soil Sciences, Agricultural Researches Department, Karun Agro Industrial, Inc, Shushtar, Iran

3. MSc Graduate in Irrigation Engineering, Agricultural Researches Department, Karun Agro Industrial, Inc, Shushtar, Iran

* Corresponding Author Email: alimahohi@yahoo.com