نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۷، ص. ۵۵۸-۵۴۷

Journal of Water and Soil
Vol. 32, No. 3, Jul.-Agu. 2018, p. 547-558

تأثیر کاربرد برخی اسیدهای آلی بر ویژگی‌های رشدی و غلظت عناصر غذایی ذرت علوفه‌ای

اکبر حسنی[1*]- مریم اعتمادیان[2]- مهدی نورزاده حداد[3]- مهرداد حنیفه‌ئی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۰۲

چکیده

کاربرد اسیدهای آلی و معدنی در کشاورزی در سال‌های اخیر رو به افزایش است اما به نظر می‌رسد تأثیر آنها بر رشد و عملکرد گیاهان در این زمینه به پژوهش بیشتری نیاز دارد. هدف از این پژوهش مطالعه تأثیر کاربرد اسیدهای آلی و معدنی بر رشد گیاه ذرت علوفه‌ای در یک خاک آهکی بود. این آزمایش در گلخانه علوفه‌ای در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی در ۹ تیمار و ۳ تکرار انجام شد. تیمارهای ۱ و ۲ کاربرد اسید سیتریک به ترتیب با غلظت ۵ و ۱۰میلی‌مولار، تیمار ۳ و ۴: کاربرد اسید استیک به ترتیب با غلظت ۵ و ۱۰ میلی‌مولار، تیمار ۵ و ۶: کاربرد اسید اگزالیک به ترتیب با غلظت ۵ و ۱۰ میلی‌مولار، تیمار ۷: کاربرد مخلوط سه اسید آلی هرکدام با غلظت ۳/۳۳ میلی‌مولار، تیمار ۸: کاربرد اسید سولفوریک با غلظت ۵ میلی‌مولار، تیمار ۹: بدون کاربرد اسید (شاهد) انجام شد. اسیدها با آب آبیاری در سه مرحله در طول فصل رشد اضافه شدند. طبق نتایج تیمار اسید سیتریک در هر دو سطح غلظتی نسبت به تیمار شاهد منجر به افزایش در وزن تر و خشک بخش هوایی شد. بیشترین غلظت نیتروژن در بخش هوایی در اسیدهای سیتریک، اگزالیک و اسید سولفوریک دیده شد. بیشترین غلظت پتاسیم (ریشه) و منگنز (بخش هوایی و ریشه) در تیمار اسید سولفوریک، بیشترین غلظت آهن (بخش هوایی) در تیمار اسید سیتریک و بیشترین غلظت روی (بخش هوایی و ریشه) در تیمار مخلوط اسیدهای آلی دیده شد.

واژه‌های کلیدی: اسیدهای آلی و معدنی، اسید سیتریک، خاک آهکی، ذرت

مقدمه

گیاهان به‌عنوان حلقه اول زنجیره اکولوژی، نقش حیاتی و حساسی در زندگی دیگر موجودات دارند. انسان نیز به‌دلیل نیازهای حیاتی خود، وابستگی بسیار زیادی به گیاهان داشته، از این‌رو به‌منظور تغذیه و رفع نیاز جمعیت رو به رشد جهان، افزایش کیفیت و عملکرد تولیدات زراعی از اهداف اولیه به‌شمار می‌آیند. در بین گیاهان زراعی، ذرت علوفه‌ای نقش بسیار مؤثری در تامین غذای دام ایفا می‌کند.

استفاده از انواع مختلف ترکیبات آلی و معدنی در مزارع برای افزایش رشد و همچنین بهبود کیفیت ذرت امری رایج می‌باشد. در خاک‌های آهکی ایران، کاربرد ترکیباتی که در طولانی‌مدت منجر به کاهش pH خاک شوند، در اولویت قرار دارند. کاهش pH در خاک های آهکی باعث افزایش غلظت عناصر غذایی ضروری مانند فسفر، آهن، روی، مس و منگنز در محلول خاک می‌شود. استفاده از اسیدهای آلی و معدنی در خاک‌های آهکی افزون بر کاهش تدریجی مقدار pH محلول خاک، ممکن است مزایای دیگری نیز داشته باشد. اسیدهای آلی قادر به کلی‌یت کردن عناصر فلزی هستند و از این طریق نیز قادر به افزایش قابلیت جذب آنها می‌باشند (۱۵). همچنین این اسیدها به‌عنوان یک منبع ساده کربن می‌توانند باعث افزایش جمعیت ریزجانداران خاک شوند (۲۸). در بین اسیدهای معدنی نیز اسید سولفوریک محتوی عنصر ضروری گوگرد است که به‌عنوان یک منبع زودجذب گوگرد مطرح می‌باشد. اسید سولفوریک همچنین به عنوان یک اصلاح کننده در خاک‌های آهکی مورد استفاده قرار می گیرد. این اسیدها در مقایسه با سایر نهاده‌های رایج مورد استفاده در کشاورزی مانند انواع کودها، قیمت بالایی ندارند و به‌عنوان یک نهاده که به‌طور بالقوه می‌توانند در افزایش عملکرد گیاهان مؤثر باشند مطرح می‌باشند.

در رابطه با تأثیر کاربرد اسیدهای آلی بر رشد و عملکرد گیاهان برخی پژوهش‌ها انجام شده است. معافپوریان (۲۳) گزارش داد کاربرد اسید سولفوریک باعث افزایش وزن خشک گیاه می‌گردد. طاهری‌پور و همکاران (۴۰) در تحقیقی به بررسی اثر اسید سیتریک بر برخی از پارامترهای رشدی سه رقم ذرت در یک خاک آلوده به مس و روی پرداختند و گزارش نمودند که کاربرد خاکی اسید سیتریک باعث

۱ و ۲- استادیار و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان
(*- نویسنده مسئول: Email: Akbar.hassani@znu.ac.ir)
۳- دانش‌آموخته دکتری فیزیک و حفاظت خاک، دانشگاه تربیت مدرس
۴- دانش‌آموخته دکتری اصلاح نباتات، دانشگاه تربیت مدرس
DOI: 10.22067/jsw.v32i3.68528

کاهش معنی‌دار شاخص کلروفیل برگ ولی افزایش معنی‌دار تعداد برگ در گیاهان تحت تأثیر تیمار گردید. پاچیکو و همکاران (۲۷) در بررسی تأثیر اسید سیتریک بر فعالیت پروتئولیتیک گیاه ذرت عنوان کردند، افزایش اسید سیتریک به‌طور معنی‌داری باعث افزایش چند برابری فعالیت آنزیم پروتئاز در گیاه ذرت و افزایش عملکرد دانه این گیاه گردید. لاباردا و همکاران (۲۰) نیز به بررسی تأثیر اسید سیتریک بر جذب مواد معدنی و کیفیت گوجه‌فرنگی پرداختند. نتایج، افزایش معنی‌دار غلظت عناصر روی، سدیم، کلسیم و نیتروژن را در برگ گیاه و منگنز، سدیم، منیزیم و فسفر را در میوه نشان داد. آنان بیان کردند به‌طورکلی افزایش اسید سیتریک، افزایش کیفیت گوجه‌فرنگی را به همراه دارد. خادمی و همکاران (۱۷) گزارش نمودند که اسیدهای آلی مانند اسید سیتریک و اسید اگزالیک در شرایط کمبود عناصر نسبت به بقیه اسیدها به‌مقدار نسبتاً زیادی از ریشه گیاهان آزاد شده و در افزایش حل‌پذیری عناصر غذایی در ریزوسفر مشارکت دارند. به‌نظر می‌رسد اسیدهای آلی با دو مکانیسم باعث افزایش حلالیت این عناصر می‌شوند. این اسیدها به علت داشتن گروه‌های کربوکسیلیک قادرند با این کاتیون‌های فلزی تشکیل کمپلکس محلول بدهند. همچنین اسیدهای آلی با کاهش مقدار pH خاک باعث افزایش حل‌پذیری ترکیبات نامحلول محتوی این عناصر می‌شوند.

کاربرد اسیدهای معدنی نیز در کشاورزی اگرچه نسبت به اسیدهای آلی رایج‌تر است اما به‌نظر می‌رسد به پژوهش بیشتری نیاز دارد. تأثیرات مثبت کاربرد اسیدهای معدنی بر رشد و عملکرد گیاهان توسط پژوهشگران مورد بررسی قرار گرفته است (۱، ۵، ۱۳ و ۳۶). محمودآبادی و همکاران (۲۱) گزارش نمودند که مصرف اسید سولفوریک در خاک‌های آهکی و سدیمی منجر به افزایش پتاسیم، کلسیم و منیزیم محلول در خاک می‌شود. همچنین، صدیق و همکاران (۳۶) گزارش نمودند که کاربرد اسید سولفوریک منجر به افزایش محصول و همچنین اصلاح سریع‌تر خاک‌های شور و سدیمی می‌شود.

با توجه به مطالعات انجام شده، به‌نظر می‌رسد تأثیر کاربرد اسیدهای آلی و معدنی بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی هنوز به بررسی بیشتری نیاز دارد. بین این اسیدها تاکنون مقایسه‌ای صورت نگرفته و تأثیر آنها بر مقدار جذب عناصر غذایی توسط گیاهان مورد مطالعه قرار نگرفته است. همچنین تأثیر آنها بر رشد و عملکرد بسیاری از گیاهان زراعی مانند ذرت علوفه‌ای بررسی نشده است. هدف از این تحقیق بررسی تأثیر کاربرد اسیدهای استیک، سیتریک، اگزالیک، سولفوریک بر رشد ذرت علوفه‌ای و غظت عناصر غذایی در اندام هوایی و ریشه آن در خاک‌های آهکی بود.

مواد و روش‌ها

طرح آماری و تیمارها

برای بررسی تأثیر کاربرد اسیدهای آلی و معدنی بر رشد و عملکرد ذرت علوفه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴، یک طرح آزمایشی آماری در قالب طرح کاملاً تصادفی در شرایط گلخانه و در گلدان با تیمارهای زیر انجام شد: تیمار ۱: اسید سیتریک با غلظت ۵ میلی‌مول بر لیتر (C_5)، تیمار ۲: اسید سیتریک با غلظت ۱۰ میلی‌مول بر لیتر (C_{10})، تیمار ۳: اسید استیک با غلظت ۵ میلی‌مول بر لیتر (A_5)، تیمار ۴: اسید استیک با غلظت ۱۰ میلی‌مول بر لیتر (A_{10})، تیمار ۵: اسید اگزالیک با غلظت ۵ میلی‌مول بر لیتر (O_5) ، تیمار ۶: اسید اگزالیک با غلظت ۱۰ میلی‌مول بر لیتر (O_{10})، تیمار ۷: کاربرد مخلوط اسیدهای آلی سیتریک، استیک و اگزالیک هرکدام با غلظت ۳/۳۳ میلی‌مول بر لیتر (Mix)، تیمار ۸: اسید سولفوریک با غلظت ۵ میلی‌مول بر لیتر (S)، تیمار ۹: شاهد بدون کاربرد اسید (Control). هر تیمار در سه تکرار مورد استفاده قرار گرفت و در نهایت جامعه آماری شامل ۲۷ گلدان بود. علت انتخاب این غلظت‌ها، اقتصادی بودن آنها از نظر اجرا در مزرعه، قابلیت مقایسه آنها با یکدیگر و عدم تأثیر ناگهانی آنها بر مقدار pH خاک بود که در پیش آزمایشات به‌دست آمد. محلول‌های مورد نیاز بر اساس تیمارهای تعیین شده ساخته شدند. اسید سیتریک، استیک و اگزالیک در دو سطح غلظتی ۵ و ۱۰ میلی‌مول بر لیتر و اسید سولفوریک با غلظت ۵ میلی‌مول بر لیتر تهیه شدند. حجم ساخت محلول‌ها به‌اندازه‌ای بود که رطوبت خاک گلدان‌ها را به ۸۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه برساند. کلیه محلول‌ها از مواد شیمیایی با درصد خلوص بالا و تهیه شده از شرکت مرک[1] آلمان ساخته شدند.

تهیه گلدان‌ها و کاشت گیاهان

این آزمایش در گلخانه و در گلدان انجام شد. گلدان‌های پلی اتیلنی برای کاشت گیاهان استفاده شد. خاک مورد استفاده از مزرعه تحقیقاتی متعلق به دانشگاه زنجان تهیه شد. یک نمونه از خاک برای تعیین برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مورد نیاز و تعیین سطح حاصلخیزی به آزمایشگاه خاکشناسی دانشگاه زنجان فرستاده شد (جدول ۱) و در آن برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی به روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند (۱۱، ۲۴ و ۴۱). گلدان‌ها با ۸ کیلوگرم خاک پر شدند و یک بار آبیاری شدند تا نشست لازم در آن صورت گیرد. در هر گلدان، تعداد ۱۰ بذر ذرت کاشته شد. پس از کاشت بذور در خاک، تیمارهای مورد نظر همراه با آب آبیاری اعمال شدند. آبیاری گلدان‌ها با آب شهری با مقدار EC برابر با ۴۰۰ µS/cm انجام شد. در این مورد به هر گلدان ۴۰۰ میلی‌لیتر محلول محتوی اسیدهای مورد

1- Merck

نظر اضافه شد. بعد از جوانه زدن بذور، سه گیاهچه نسبتاً قوی در خاک باقی‌مانده و بقیه گیاهچه‌ها حذف شدند. پس از گذشت چند روز، از بین سه گیاهچه باقیمانده یک گیاهچه جوان که نسبت به بقیه رشد بهتری داشت باقی ماند و دو گیاهچه دیگر نیز حذف شدند. ادامه آزمایش بر تک گیاه باقی‌مانده انجام شد. در مرحله چهاربرگی و هشت‌برگی یک بار دیگر نیز تیمارهای مورد نظر اعمال شدند. آبیاری برای همه گلدان‌ها به‌طور یکسان بود و به‌نحوی انجام شد که رطوبت خاک در سطح حداقل ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه قرار داشته باشد. مقدار رطوبت طرفیت زراعی ابتدا در آزمایشگاه با دستگاه صفحات فشاری تعیین شده و سپس در گلخانه این موضوع با وزن کردن گلدان‌ها قبل و بعد از آبیاری محقق شد. با توجه به تأثیر احتمالی کاربرد اسیدها بر افزایش قابلیت جذب فسفر، پتاسیم، آهن، روی، مس و منگنز، کوددهی فقط بر اساس نیاز نیتروژنی و به‌صورت ۰/۵۵ گرم اوره به گلدانها (معادل ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار) همراه با آب آبیاری و در سه مرحله و در هنگام اعمال تیمارهای اسید همراه با آب آبیاری انجام شد.

برداشت و آنالیز گیاهان

اندام‌های هوایی نمونه‌های گیاهی پس از گذشت ۵۰ روز از محل طوقه جدا شده و ریشه‌ها نیز به دقت از خاک جدا شدند. برخی ویژگی‌های مرتبط با رشد مانند ارتفاع ساقه، وزن تر بخش هوایی و ریشه، وزن خشک بخش هوایی و ریشه، و درصد رطوبت بافت گیاهی اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری درصد رطوبت، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا کاملاً خشک شوند. سپس وزن خشک نمونه‌ها اندازه‌گیری و درصد رطوبت بافت گیاهی محاسبه شد (۲۹) برای اندازه‌گیری آنالیز عنصری، نمونه های خشک شده در آون با آسیاب پودر شدند. برای اندازه‌گیری غلظت عناصر نیتروژن، پتاسیم و فسفر در نمونه‌های مربوط به هر تیمار، هضم نمونه‌ها در لوله‌های مخصوص با روش اسید سولفوریک، اسید سالیسیلیک، آب اکسیژنه و سلنیم انجام شد (۱۶). غلظت نیتروژن در عصاره هضم شده به روش کجلدال، پتاسیم با دستگاه فلیم‌فتومتر و فسفر نیز به روش رنگ‌سنجی اندازه‌گیری شد (۱۶).

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک مورد استفاده در این پژوهش

Table 1- Some physical and chemical properties of soil samples used in this research

ویژگی خاک Soil property	مقدار Value	روش اندازه‌گیری (۱۱،۲٤ و ٤۱) Method of analysis
هدایت الکتریکی EC	0.86 dS m^{-1}	عصاره گل اشباع Saturated paste extract
اسیدیته pH	7.49	گل اشباع Saturated paste
کربنات کلسیم معادل ECC	172.5 g kg^{-1}	تیتراسیون Titartion
بافت texture	لوم Loam	هیدرومتر Hydrometer
کربن آلی Organic carbon	4.3 g kg^{-1}	والکلی بلک Walkley-Black
فسفر قابل جذب Available P	10.2 mg kg^{-1}	اولسن Olsen
پتاسیم قابل جذب Available K	187 mg kg^{-1}	استات آمونیوم Ammonium acetate
نیتروژن کل Total N	280 mg kg^{-1}	کجلدال Kjeldahl
آهن قابل جذب Available K	4.78 mg kg^{-1}	DTPA
روی قابل جذب Available Zn	0.83 mg kg^{-1}	DTPA
منگنز قابل جذب Available Mn	12.45 mg kg^{-1}	DTPA
مس قابل جذب Available Cu	1.27 mg kg^{-1}	DTPA
بور قابل جذب Available B	1.33 mg kg^{-1}	آب داغ Hot water

برای اندازه‌گیری غلظت عناصر آهن، روی، مس و منگنز، نمونه-های پودر شده به روش خشک سوزانی هضم شدند و غلظت عناصر آهن، روی، مس و منگنز در عصاره هضم شده با دستگاه جذب اتمی شعله‌ای اندازه‌گیری گردید (۲۹). فاکتور انتقال[1]، میزان انتقال عناصر را از بخش ریشه‌ای به بخش هوایی گیاه مشخص نموده (۱۸) و با تقسیم کردن غلظت عنصر در بخش هوایی گیاه بر غلظت عنصر در بخش ریشه‌ای گیاه به‌دست آمد. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد و جهت مقایسه میانگین‌ها آزمون LSD در سطح پنج درصد مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث

نتایج آنالیز واریانس تیمارهای مختلف اسیدهای آلی و معدنی که به منظور بررسی اثر آنها بر عملکرد کمّی و کیفی ذرت علوفه‌ای اعمال گردیدند در جدول ۲ آورده شده است. نتایج گویای تأثیر معنی دار تیمارها بر فاکتورهای کمّی رشد (وزن تر، وزن خشک و ارتفاع بوته) بود. درصد رطوبت در گروه‌های مختلف تیماری بدون اختلاف معنی‌دار بودند و دیگر فاکتورهای کمّی رشد (وزن تر، وزن خشک و ارتفاع بوته) در سطح یک درصد با هم اختلاف معنی‌داری داشتند.

نتایج مربوط به عناصر غذایی پر مصرف در اندام هوایی و زیرزمینی گیاه و همین‌طور فاکتور انتقال عنصر در جدول ۲ نشان دادند که غلظت پتاسیم ریشه، ساقه و فاکتور انتقال آن در گروه‌های مختلف تیماری در سطح پنج درصد با هم اختلاف معنی‌داری داشتند ولی این وضعیت برای دو عنصر پر مصرف فسفر و نیتروژن در سطح یک درصد برقرار بود که نشان‌دهنده تأثیر قطعی‌تر و معنی‌دار تیمارها بر غلظت عناصر فسفر و نیتروژن نسبت به پتاسیم بود.

در همین جدول، بر اساس نتایج مرتبط با کیفیت گیاه ذرت علوفه‌ای و غلظت عناصر کم‌مصرف در اندام هوایی و زیرزمینی و فاکتور انتقال آنها، به‌جز مس و فاکتور انتقال آن، بین غلظت دیگر عناصر (روی، آهن، منگنز) در ساقه، ریشه و فاکتور انتقال آنها در تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌دار وجود داشت. از این بخش از نتایج می‌توان چنین استنباط کرد که تیمارهای مختلف اسیدهای آلی و معدنی نتوانستند بر غلظت مس در گیاه و فاکتور انتقال آن تاثیر معنی‌داری بگذارند.

جدول ۳ میزان تأثیر هر تیمار بر صفات کمّی رشد (وزن تر، وزن خشک، درصد رطوبت و ارتفاع بوته) را نشان می‌دهد. فاکتورهای وزن تر و خشک گیاه بیشترین تأثیر را از تیمار اسید سیتریک گرفتند. به طوری‌که این تیمار باعث افزایش وزن تر و خشک گیاه گردید و با دیگر تیمارها اختلاف معنی‌دار داشت.

تأثیر مثبت اسید سیتریک در افزایش عملکرد ذرت را می‌توان احتمالاً به نقش آن در کاهش pH خاک و کلات نمودن عناصر غذایی و افزایش قابلیت جذب آنها نسبت داد. اعتمادیان و همکاران (۹) گزارش نمودند که کاربرد اسیدهای آلی و معدنی مشابه با این پژوهش در خاک آهکی موجب کاهش pH خاک‌ها و افزایش غلظت عناصر در محلول خاک می‌شود. اسید سیتریک همچنین به‌عنوان یک ماده غذایی برای میکروارگانیسم‌های خاک مطرح می‌باشد که افزودن آن منجر به افزایش جمعیت آنها شده و درنهایت این میکروارگانیسم ها به رشد گیاهان کمک می‌کنند. با این وجود اوسوریو و میکس (۲۶) اثر کاربرد اسید سیتریک و اگزالیک اسید هرکدام را در دو سطح غلظتی ۰/۱ و ۱۰۰ میلی‌مولار بر عملکرد گیاه بادمجان در دو نمونه خاک آهکی بررسی نموده و گزارش نمودند که کاربرد این اسیدها تأثیر معنی‌داری بر عملکرد بادمجان نداشت که با نتایج این پژوهش در تناقض می‌باشد.

تیمار اسید سیتریک ۱۰ و ۵ میلی‌مولار و اسید استیک ۱۰ میلی مولار مؤثرترین تیمار بر ارتفاع بوته بودند و دیگر تیمارها در درجات بعد قرار گرفتند.

نتایج مرتبط با عنصر نیتروژن نیز نشان دهنده تأثیر مثبت اسید استیک، اسید اگزالیک و اسید سولفوریک بر افزایش غلظت نیتروژن اندام هوایی و تأثیر مثبت اسید سیتریک بر غلظت نیتروژن ریشه بود (جدول ۴). غلظت نیتروژن اندام هوایی حدوداً دو برابر اندام زیرزمینی گیاه بود و از آنجا که افزایش غلظت نیتروژن در خاک سبب بالا رفتن نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه می‌گردد (۲۵)، لذا نتیجه به دست آمده منطقی به‌نظر می‌رسد. اسیدهای به‌کار رفته احتمالاً در خاک موجب افزایش غلظت نیتروژن محلول در خاک می‌شوند و این عمل ممکن است با رهاسازی یون آمونیوم و یا نیترات جذب سطحی شده از سطح کانی‌های خاک رخ دهد (۹). در پژوهشی اعتمادیان و همکاران (۹) گزارش نمودند که کاربرد اسیدهای مشابه با این پژوهش در یک خاک آهکی موجب افزایش غلظت یون نیترات و آمونیوم در محلول خاک می‌شود. در مورد فاکتور انتقال نیتروژن نیز تیمارهای اسید استیک (هر دو غلظت)، اسید اگزالیک (هر دو غلظت)، اسید سولفوریک و تیمار تلفیقی اسیدهای آلی موثرترین بودند. به‌نظر می‌رسد حضور آنیون همراه این اسیدها به انتقال سریع‌تر نیتروژن جذب شده در گیاهان به سمت بخش هوایی کمک می‌کند. همچنین کاهش مقدار pH شیره سلولی ناشی از جذب یون پروتون نیز به انتقال نیتروژن در گیاهان کمک می‌کند (۳۹). پوزشی و همکاران (۳۱) نیز در بررسی عملکرد و غلظت عناصر در انگور، تیمار اسید استیک را مورد بهره‌گیری قرار دادند. بخشی از نتایج آنان نشان داد، این تیمار در افزایش غلظت نیتروژن تأثیر معنی‌دار داشته است.

1- Translocation Factor

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر اسیدهای آلی و معدنی بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی ذرت

Table 2– The analysis of variance (ANOVA) table of organic and inorganic acids effects on some quantitative and qualitative characteristics of corn

منابع تغییرات S.O.V	تیمار Treatment	بلوک Block	خطا Error	ضریب تغییرات CV
درجه آزادی (df)	8	2	16	
وزن تر (Fresh weight)	2.11 **	0.034 ns	0.11	14.3
وزن خشک (Dry weight)	2.82 **	0.017 ns	0.13	14.8
درصد رطوبت (Water content)	1437 ns	2.46 ns	2.43	1.72
ارتفاع بوته (Plant height)	138.8 **	37.56 ns	21.6	14.2
نیتروژن ریشه (N root)	0.057 **	0.002 ns	0.003	2.57
نیتروژن ساقه (N shoot)	0.421 **	0.001 ns	0.004	2.42
فاکتور انتقال نیتروژن (N TF)	0.047 **	0.001 ns	0.002	2.76
پتاسیم ریشه (K root)	0.18 *	0.003 ns	0.004	13.1
پتاسیم ساقه (K shoot)	0.36 *	0.037 ns	0.017	9.21
فاکتور انتقال پتاسیم (K TF)	0.42 *	0.18 ns	0.18	18.8
فسفر ریشه (P root)	0.073 **	0.0002 ns	0.0003	6.93
فسفر ساقه (P shoot)	0.013 **	0.004 ns	0.0003	6.11
فاکتور انتقال فسفر (P TF)	0.15 **	0.008 ns	0.008	10.25
آهن ریشه (Fe root)	366294 **	467.3 ns	14378	9.72
آهن ساقه (Fe shoot)	77516 **	85.45 ns	1031	18.3
فاکتور انتقال آهن (Fe TF)	0.005 **	0.0002 ns	0.001	19.5
منگنز ریشه (Mn root)	836.6 **	3.18 ns	6.82	2.17
منگنز ساقه (Mn shoot)	222.5 **	21.9 ns	21.3	3.16
فاکتور انتقال منگنز (Mn TF)	0.003 **	0.001 ns	0.001	3.21
روی ریشه (Zn root)	9926 **	3342 ns	1229	21.9
روی ساقه (Zn shoot)	4317**	2121 ns	987	18.3
فاکتور انتقال روی (Zn TF)	0.642 **	0.057 ns	0.074	18.9
مس ریشه (Cu root)	2.69 ns	1.46 ns	4.29	5.37
مس ساقه (Cu shoot)	2.86 ns	8.48 ns	1.87	6.61
فاکتور انتقال مس (Cu TF)	0.005 ns	0.002 ns	0.003	9.26

با در نظر گرفتن نقش این عنصر در ساخت اسیدهای آمینه، پروتئین، کلروفیل، نوکلئیک اسیدها و کوآنزیم‌ها، توجه به این بخش از نتایج جهت افزایش کمّی و کیفی عملکرد ذرت علوفه‌ای اجتناب ناپذیر است.

نتایج مربوط به اندازه‌گیری غلظت عنصر پتاسیم در بخش هوایی و ریشه ذرت در جدول ۴ نشان داد که تیمار اسیدهای آلی و سولفوریک تقریباً بر غلظت پتاسیم اندام هوایی تأثیر معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد نداشتند. غلظت پتاسیم موجود در ریشه گیاه نیز بیشترین تأثیر را از اسید سیتریک ۱۰ میلی‌مولار و اسید سولفوریک گرفته بود. فاکتور انتقال پتاسیم بیشترین تأثیرپذیری مثبت را از تیمار اسید اگزالیک ۱۰ میلی‌مولار داشت. با توجه به اینکه تنظیم فشار اسمزی، تنظیم pH سلول، ساخت پروتئین‌ها و شرکت در فعال کردن بسیاری از آنزیم‌ها، از جمله نقش‌های پتاسیم در گیاه می‌باشد (۲)، لذا بهره‌گیری از اسید اگزالیک و ترکیب اسیدهای آلی در بهبود عملکرد گیاه، باعث افزایش کیفی محصول می‌گردد.

نتایج نشان داده شده در جدول ۵ حاکی از تأثیر مثبت اسید سیتریک ۵ میلی‌مولار، اسید استیک، مخلوط اسیدها و اسید سولفوریک بر غلظت فسفر بخش هوایی و تأثیر مثبت اسید استیک و تیمار مخلوط اسیدها بر غلظت فسفر ریشه داشت. اسیدهای آلی و معدنی احتمالاً با کاهش مقدار pH خاک باعث افزایش انحلال فسفر

در خاک شده و به جذب بهتر آن کمک کرده‌اند. با توجه به اینکه عنصر فسفر فاقد منبع مشخصی در خاک می‌باشد (۱۰) و بر خلاف عناصر پرمصرف دیگر دارای حداقل تحرک در خاک است (۳۷)، لذا این بخش از نتایج به‌طور مؤثری می‌تواند جهت تأمین فسفر گیاهان مؤثر واقع شود.

جدول ۳- تأثیر کاربرد اسیدهای آلی و معدنی بر فاکتورهای کمی رشد ذرت

Table 3- Effect of organic and inorganic acids on quantitative growth factors of corn. (p<0.05)

تیمار Treatment	وزن تر بخش هوایی(گرم در گلدان) Fresh weight (g per pot)	وزن خشک بخش هوایی (گرم در گلدان) Dry weight (g per pot)	درصد رطوبت Water percentage	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)
C_5	7.79 a	0.90 a	88.3 a	31.17 abc
C_{10}	8.69 a	1.04 a	88.0 a	34.83 a
A_5	6.87 c	0.79 bc	88.2 a	27.17 bc
A_{10}	7.21 b	0.88 ab	87.8 a	32.67 ac
O_5	7.68 b	0.82 b	89.3 a	31.00 abc
O_{10}	7.03 c	0.84 b	88.1 a	29.33 bc
Mix	7.33 b	0.85 b	88.4 a	28.84 bc
S	7.64 b	0.81 b	89.1 a	29.33 bc
Control	7.34 b	0.86 b	88.3 a	28.67 bc

داده‌های با حروف مشابه در داخل هر ستون اختلاف آماری در سطح احتمال ۵ درصد نشان ندادند

Numbers followed by the same letter are not significantly differents

جدول ٤- تأثیر کاربرد اسیدهای آلی و معدنی بر فاکتور انتقال نیتروژن و پتاسیم و غلظت آنها در ریشه و بخش هوایی ذرت

Table 4- Effect of organic and inorganic acids on translocation factor of nitrogen and potassium and their concentrations in root and shoot of corn

تیمار Treatment	نیتروژن بخش هوایی (Shoot N g $(100g^{-1})$	نیتروژن ریشه Root(N g $(100g^{-1})$	فاکتور انتقال نیتروژن (N TF)	پتاسیم بخش هوایی Shoot K $(g\ 100g^{-1})$	پتاسیم ریشه Root K (g $100g^{-1}$)	فاکتور انتقال پتاسیم (K TF)
C_5	4.56 b	2.42 a	1.86 bc	1.35 a	0.55 ab	2.49 bdc
C_{10}	4.49 b	2.39 ab	1.88 bc	1.37 a	0.59 a	2.34 dc
A_5	4.79 a	2.29 c	2.09 a	1.07 b	0.50 abc	2.14 d
A_{10}	4.74 a	2.30 c	2.06 a	1.33 a	0.45 bc	2.97 abc
O_5	4.72 a	2.33 bc	2.02 a	1.36 a	0.48 abc	2.88 abcd
O_{10}	4.75 a	2.26 c	2.09 a	1.36 a	0.42 c	3.34 a
Mix	4.78 a	2.33 bc	2.05 a	1.33 a	0.45 bc	2.99 abc
S	4.82 a	2. 30 c	2.09 a	1.28 a	0.60 a	2.13 d
Control	4.17 c	2.31 bc	1.80 d	1.26 a	0.45 bc	2.80 abcd

داده‌های با حروف مشابه در داخل هر ستون اختلاف آماری در سطح احتمال ۵ درصد نشان ندادند

Means with different letters within the same column are significantly different (LSD, p≤0.05)

جدول ۵- تأثیر کاربرد اسیدهای آلی و معدنی بر فاکتور انتقال فسفر غلظت آن در ریشه و بخش هوایی ذرت

Table 5- Effect of organic and inorganic acids on translocation factor of phosphorous and its concentration in root and shoot of corn. p≤0.05)

تیمار Treatment	فسفر بخش هوایی Shoot P $(g\ 100g^{-1})$	فسفر ریشه Root P $(g\ 100g^{-1})$	فاکتور انتقال فسفر TF P
C5	0.26 a	0.34 b	0.76 de
C10	0.21 de	0.33 b	0.65 e
A5	0.24 abc	0.32 b	0.76 de
A10	0.26 a	0.41 a	0.64 e
O5	0.22 cde	0.24 c	0.92 cd
O10	0.23 bcd	0.26 c	0.88 cd
Mix	0.26 a	0.38 a	0.69 e
S	0.25 ab	0.25 c	1.03 bc
Control	0.20 e	0.16 d	1.23 a

داده‌های با حروف مشابه در داخل هر ستون اختلاف آماری در سطح احتمال ۵ درصد نشان ندادند

Means with different letters within the same column are significantly different (LSD, p≤0.05)

نکته قابل توجه این است که فاکتور انتقال فسفر در همه تیمارها، از گیاهان شاهد کمتر بود و تنها اسید سولفوریک تا حدودی توانست مقدار فاکتور انتقال این عنصر را افزایش دهد.

نتایج مربوط به عنصر آهن (جدول ۶) نشان داد که تیمارهای اسید سیتریک (هر دو غلظت) در افزایش غلظت آهن اندام هوایی و تیمارهای اسید سیتریک ۱۰ میلی‌مولار و تیمار تلفیقی اسیدهای آلی برای افزایش غلظت آهن ریشه مؤثرترین تیمارها بوده‌اند. دلیل نتایج فوق می‌تواند این باشد که اسیدهای آلی به‌طور مؤثری تحرک و حلالیت کاتیون‌های فلزی زیادی از جمله آهن را افزایش می‌دهند (۱۲ و ۱۵)، به‌طوری‌که اگر در ترکیب ترشحات ریشه گیاه عناصر غذایی کاهش پیدا کنند، اسیدهایی مثل سیتریک، مالیک و اگزالیک افزایش پیدا می‌کنند (۳۳). پژوهشگران به نقش اساسی اسیدهای آلی در انحلال آهن و سایر فلزات کم‌مصرف برای رشد گیاه اشاره کرده‌اند (۳۴، ۳۵ و ۴۲) ، به‌طوری‌که بسیاری از گیاهان با افزایش ترشحات ریشه‌ای به کمبود آهن واکنش نشان می‌دهند و اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم ترشح می‌کنند (۴۳). در واقع در تحقیق حاضر، اسیدهای آلی مثل سیتریک توانسته‌اند با آهن کمپلکس تشکیل دهند و سبب افزایش دسترسی این عنصر برای گیاه شوند. می‌توان اینچنین استنباط نمود که سیتریک و استیک اسید قدرت کلات‌کنندگی بیشتری نسبت به اگزالیک اسید دارند (۱۴)، لذا توانایی بالاتری برای جذب و تشکیل کمپلکس با آهن در آنها وجود دارد.

نتایج مربوط به عنصر منگنز نیز در جدول ۶ آورده شده است. تیمارهای اسید استیک (هر دو غلظت) و اسید سولفوریک بیش از دیگر تیمارها و به‌طور معنی‌داری در افزایش غلظت منگنز اندام هوایی گیاه نقش داشتند. اسید سولفوریک همچنین باعث افزایش معنی‌دار غلظت منگنز ریشه نسبت به سایر تیمارها گردید. این عنصر در فعال بودن آنزیم‌های مختلف در گیاهان نقش دارد (۳۸) و توزیع آن بین فاز جامد و محلول خاک یکی از عوامل مؤثر در قابلیت دسترسی آن برای گیاه است (۱۹) که این مهم می‌تواند توسط اسیدهای آلی به انجام برسد (۳۳). اختلاف معنی‌دار گیاهان تحت تیمار اسید استیک ۵ میلی مولار با گیاهان تحت تیمارهای دیگر از لحاظ فاکتور انتقال منگنز، می‌تواند اثباتی برای گفته فوق باشد. در گیاهان دارای کمبود منگنز، غلظت کلروفیل و برخی از مواد تشکیل‌دهنده غشاء کلروپلاست نظیر فسفولیپیدها و گلیکولیپیدها کاهش می‌یابد و علامت آن زردی بین رگبرگ‌ها است که تا حدی با زردی آهن اشتباه می‌شود، این کمبود باعث کاهش کمّی و کیفی عملکرد می‌گردد (۸). از طرفی کاهش کمّی و کیفی غلظت کلروفیل و گلیکولیپیدها در ذرت علوفه‌ای یک نکته منفی و غیرقابل‌اجتناب است زیرا موجب کاهش فتوسنتز و کاهش تولید محصول می‌شوند، لذا توجه به نتایج این بخش و بهره-گیری در پروسه تولید ذرت علوفه‌ای ضروری می‌باشد.

روی یکی از عناصر کم‌مصرف ضروری و مورد نیاز برای رشد و تولید محصولات زراعی است (۴). نتایج در جدول ۷ نشان‌دهنده تأثیر تیمارهای مختلف بر غلظت عناصر غذایی روی و مس اندام هوایی و ریشه و همین‌طور فاکتور انتقال آن است. از این بخش از نتایج به دست آمد که غلظت عنصر روی در ساقه و ریشه گیاه به‌طور معنی داری در تیمار تلفیقی اسیدهای آلی بالاترین بود. همچنین، غلظت عنصر روی در ساقه و ریشه در تمامی گیاهان تحت تیمارها از گیاهان شاهد بیشتر بود.

جدول ٦- تأثیر کاربرد اسیدهای آلی و معدنی بر فاکتور انتقال آهن و منگنز و غلظت آنها در ریشه و بخش هوایی ذرت

Table 6- Effect of organic and inorganic acids on translocation factor of Fe and Mn and their concentrations in root and shoot of corn

تیمار Treatment	آهن بخش هوایی Shoot Fe (mg kg^{-1})	آهن ریشه Root Fe (mg kg^{-1})	فاکتور انتقال آهن TF Fe	منگنز بخش هوایی Shoot Mn (mg kg^{-1})	منگنز ریشه Root Mn (mg kg^{-1})	فاکتور انتقال منگنز MnTF
C5	289.0 a	1429 c	0.20 ab	145.0 cd	172.0 c	0.84 ef
C10	281.7 a	1856 a	0.15 bc	144.7 d	174. 0 c	0.83 f
A5	156.0 b	1481 bc	0.10 dc	163.7 a	147.3 e	1.11 a
A10	181.3 b	847 e	0.21 a	162.0 a	152.0 d	1.06 ab
O5	136.7 b	1062 d	0.13 dc	145. 3 cd	141.3 f	1.02 bc
O10	167.2 b	1409 c	0.12 dc	143.7 d	143.0 ef	1.00 c
Mix	181.4 b	1918 a	0.09 d	157.3 ab	175.3 bc	0.90 ed
S	173.1 b	1414 c	0.12 dc	163.3 a	181.3 a	0.90 de
Control	160.0 b	864 de	0.18 ab	153.0 bc	142.3 f	1.07 ab

داده‌های با حروف مشابه در داخل هر ستون اختلاف آماری در سطح احتمال ۵ درصد نشان ندادند

Means with different letters within the same column are significantly different (LSD, $p \leq 0.05$)

جدول ۷- تأثیر کاربرد اسیدهای آلی و معدنی بر فاکتور انتقال روی و مس و غلظت آن در ریشه و شاخسار ذرت

Table 7- Effect of organic and inorganic acids on translocation factor of Zn and Cu and their concentrations in root and shoot of corn

تیمار Treatment	روی ساقه Shoot Zn (mg kg^{-1})	روی ریشه Root Zn (mg kg^{-1})	فاکتور انتقال روی TF Zn	مس ساقه Shoot Cu (mg kg^{-1})	مس ریشه Root Cu (mg kg^{-1})	فاکتور انتقال مس CuTF
C5	214.0 ab	105.7 d	2.01 a	21.1 a	35.4 a	0.59 a
C10	213.3 ab	120.3 d	1.73 ab	20.1 a	34.8 a	0.55 a
A5	174.7 bc	117.3 d	1.58 ab	21.4 a	36.4 a	0.58 a
A10	163.3 bc	214.0 b	0.77 e	20.3 a	34.4 a	0.59 a
O5	146.0 cd	202.3 bc	0.81 ed	20.8 a	35.2 a	0.58 a
O10	163.3 bcd	128.7 d	1.27 bcd	21.6 a	37.0 a	0.58 a
Mix	242.0 a	278.3 a	0.87 cde	22.9 a	36.1 a	0.63 a
S	139.7 cd	139.0 d	1.02 cde	22.3 a	35.1 a	0.63 a
Control	121.0 d	95.0 d	1.31bc	21.2 a	34.8 a	0.61 a

داده‌های با حروف مشابه در داخل هر ستون اختلاف آماری در سطح احتمال ۵ درصد نشان ندادند

Means with different letters within the same column are significantly different (LSD, $p \leq 0.05$)

بعد از تیمار تلفیقی می‌توان تیمار اسید سیتریک (هر دو غلظت) را در افزایش غلظت روی ساقه مؤثرترین تیمار دید اگرچه به لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با تیمار تلفیقی نداشتند. غلظت روی در محلول خاک و دسترسی آن برای گیاهان به وسیله واکنش‌های جذب در سطح مواد کلوئیدی خاک کنترل می‌شود (۳ و ۶) که بخشی از عملیات جذب و قابلیت دسترسی روی به وسیله مواد جذب کننده مثل اسیدهای آلی به انجام می‌رسد (۲۲)، به‌طوری‌که اسید سیتریک با تشکیل کمپلکس‌های محلول با روی موجب کاهش جذب توسط ذرات خاک و افزایش غلظت روی محلول خاک می‌شود (۳۰) و می توان این چنین استنباط کرد که در تحقیق حاضر ترکیب اسیدهای آلی به‌ویژه اسید سیتریک باعث جذب روی توسط گیاه و افزایش غلظت آن در اندام هوایی گیاه گردیده است. نکته قابل توجه این است که در تیمار اسید سیتریک (هر دو غلظت) کمترین غلظت عنصر روی در ریشه گیاه دیده شد ولی به معنای اثر کمتر آن نیست زیرا در این غلظت‌ها عمده جذب به اندام هوایی منتقل شده است.

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که در تمامی گیاهان تحت تیمارها، از لحاظ غلظت مس اندام هوایی، ریشه و فاکتور انتقال این عنصر اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و به‌عبارتی هیچ‌کدام از تیمارها تأثیر معنی‌داری بر غلظت این عنصر در گیاه نگذاشتند (جدول ۷). علاوه بر تأثیر عوامل محیطی متعدد در قابلیت استفاده و جذب روی و مس، غلظت هرکدام از این عناصر در خاک می‌تواند بر قابلیت استفاده و جذب دیگری تأثیر بگذارد (۴۴ و ۷). مطالعاتی در ارتباط با تأثیر روی و مس در کاهش جذب یکدیگر وجود دارد که اغلب علت آن را رقابت این دو عنصر در ریزوسفر ریشه و یا جلوگیری آنها در انتقال یکدیگر از ریشه به اندام هوایی گیاه گزارش نموده‌اند (۷، ۸، ۳۲ و ۴۲). این بخش از نتایج مشابه نتایج تحقیق زلفی‌باوریانی و مفتون (۴۵) می‌باشد. آنان نیز در تحقیقی به بررسی تأثیر روی و مس و شکل‌های شیمیایی آنها بر رشد و ترکیب شیمیایی برنج در یک خاک آهکی پرداختند. نتایج آنان حاکی از ارتباط منفی بین این دو عنصر در گیاه بود. به‌طوری‌که با افزایش رشد گیاه و غلظت و جذب کل روی، غلظت مس کاهش پیدا کرد.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی کاربرد اسیدهای آلی و معدنی در ذرت نشان داد که در بین تیمارهای مختلف، تیمار گیاهان با اسید سیتریک بیشترین تأثیر را بر رشد و عملکرد ذرت داشت. سایر تیمارها نسبت به تیمار شاهد تأثیر معنی‌داری بر عملکرد نداشتند. به‌طورکلی اسیدهای آلی و اسید سولفوریک باعث افزایش غلظت نیتروژن و فسفر در ریشه و بخش هوایی نسبت به تیمار شاهد شدند. تیمار با اسید سولفوریک همچنین منجر به افزایش غلظت پتاسیم و منگنز در بافت گیاهان نسبت به تیمار شاهد شد. تیمار با مخلوط اسیدهای آلی نیز منجر به افزایش غلظت آهن و روی در ساقه و ریشه نسبت به تیمار شاهد داشت. هیچ‌کدام از تیمارها تأثیر معنی‌داری بر غلظت مس در گیاه نگذاشتند. از نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان نتیجه‌گیری نمود که کاربرد اسید سیتریک در مزراع برای افزایش عملکرد کمی ذرت و غلظت عناصر غذایی در آن مفید می‌باشد. استفاده از سایر اسیدها نیز منجر به افزایش غلظت عناصر غذایی در اندام‌های گیاه ذرت می‌شود.

منابع

1- Akhtar M., Yaqub M., Naeem A., Ashraf M., and Hernandez V.E. 2016. Improving phosphorus uptake and wheat productivity by phosphoric acid application in alkaline calcareous soils. Journal of the Science of Food and

Agriculture, 96:3701-3707.
2- Azizabadi E., Golchin A., and Delavar M.A. 2014. Effect of potassium and drought stress on growth indices and mineral content of safflower leaf. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture, 5: 65-80. (In Persian with English abstract).
3- Backes C.A., McLaren R.G., Rate A.W., and Shift R.S. 1995. Kinetic of cadmium and cobalt desorption from iron and manganese oxides. Soil Science Society of America Journal, 59: 778-785.
4- Broadley M.R., White P.J., Hammond J.P., Zelko I., and Lux A. 2007. Zinc in plants. New Phytologist, 173:677-702.
5- Broschat T. K. 2006. Effects of Phosphorous and Phosphoric Acids on Growth and Phosphorus Concentrations in Container-grown Tropical Ornamental Plants. Technology and Product Reports, 16 (1):105-108.
6- Cayton M. T., Royes E. D., and Neve H. V. 1985. Effect of zinc fertilization on the mineral nutrition of rice differing in tolerance to zinc deficiency. Plant Soil, 87: 319– 327.
7- Choudhary F. M., and Loneragan J.F. 1970. Effect of nitrogen, copper and zinc fertilizers on the copper and zinc nutrition of wheat plants. Australian Journal of Agricultural Research, 21: 865–879.
8- Entezari M., Shariatmadari H., Jalalian A., and Taban M. 2012. Zinc and manganese nutrition of acacia, elm and plane trees in Isfahan landscape through hole mulching. Iranian Journal of Soil and Water Research, 43: 175-182. (In Persian with English abstract)
9- Etemadian M., Hassani A., Nourzadeh Haddad M., and Hanifei M. 2017. Effect of organic and inorganic acids on the release of nutrients in calcareous soils. Journal of Water and Soil Conservation, 24(5):73-91. (In Persian with English abstract)
10- Ezawa T., Smith S.E., and Smith F.A. 2002. P metabolism and transport in AM fungi. Plant and Soil, 244:221-230.
11- Gee G.W., and Or D. 2002. Particle-size analysis. In: Dane J.H., Topp G.C. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 4. Physical Methods. Soil Science Society of America Book Series.
12- Gerke J., Römer W., and Jungk A. 1994. The excretion of citric and malic acid by proteoid roots of *Lupinus albus* L.; effects on soil solution concentrations of phosphate, iron, and aluminum in the proteoid rhizosphere in samples of an oxisol and a luvisol. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 157(4):289-94.
13- Hashmi Z.U.H., Khan M.J., Akhtar M., Sarwar T., and Khan M.J. 2017. Enhancing phosphorus uptake and yield of wheat with phosphoric acid application in calcareous soil. Journal of the Science of Food and Agriculture, 97:1733-1739.
14- Jiang Y.D., He Z.L., and Yang X.E. 2007. Effect of pH, organic acids, and competitive cations on mercury desorption in soils. Chemosphere, 69:1662-1669.
15- Jones D.L., and Darrah P.R. 1994. Role of root derived organic-acid in the mobilization of nutrient from the rhizosphere. Plant and Soil, 166:247-257.
16- Kalra Y. 1997. Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. CRC press, London.
17- Khademi Z., Jones D. L., Malakouti M. J., Asadi F., and Ardebili M. 2009. Organic acid mediated nutrient extraction efficiency in three calcareous soils. Australian Journal of Soil Research, 47:213-220.
18- Ma L.Q., Komar K.M., Tu C., Zhang W., Cai Y., and Kennelley E.D. 2001. A fern that hyperaccumulates arsenic. Nature, 409(6820):579-579
19- Korte N., Skopp J., Fuller W., Niebla E., and Alesii B. 1976. Trace element movement in soils: Influence of soil physical and chemical properties. Soil Science, 122:350-359.
20- Labrada F. P., Mendoza A. B., Aguilar L. A. V., and Torres V. R. 2016. Citric acid in the nutrient solution increases the mineral absorption in potted tomato grown in calcareous soil, Pakistan Journal of Botany, 48 (1):67-74.
21- Mahmoodabadi M., Yazdanpanah N., Sinobas L.R., Pazira E., and Neshat A. 2013. Reclamation of calcareous saline sodic soil with different amendments (I): Redistribution of soluble cations within the soil profile. Agricultural Water Management, 120:30-38. (In Persian with English abstract)
22- Mesquite M.E., and Vierira J.M. 1996. Zinc adsorption by a calcareous soil. Copper interaction. Ceoderma, 69: 137-146.
23- Moafpourian G. 1995. The effect of zinc sources and sulfuric acid on growth and zinc uptake of maize plants and the chemical forms in the soil. MS thesis, Shiraz University, Iran. (In Persian)
24- Motsara M.R., and Roy R.N. 2008. Guide to laboratory establishment for plant nutrient analysis (Vol. 19). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
25- Najafi N., Parsazadeh M., Tabatabaei S.J., and Oustan S. 2010. Effects of nitrogen form and pH of nutrient solution on the uptake and concentrations of potassium, calcium, magnesium and sodium in root and shoot of spinach plant. Water and Soil Science, 20: 111-131. (In Persian with English abstract)
26- Osorio D., and Mix K. 2016. Effects of organic acids application on olsen-extractable P and eggplant (*Solanum melongena*) yield. International Journal of Plant & Soil Science, 10(35):1-12.
27- Pacheco M. M. M., Garcia A. F., Gonzalez E. V., and Villegas M. A. C. 2011. Effect of citric acid on the

proteolytic activity of *Zea mays* L., Ciência e Agrotecnologia, 5 (35):908.915. (In Spanish with English abstract)
28- Paul E.A. 2007. Soil Microbiology and Biochemistry. Third edithion. Linacre House, Jordan Hill, Oxford.
29- Paech K., and Tracey M.V. 2013. Modern Methods of Plant Analysis. Springer Science & Business Media. Verlag Berlin Heidelberg.
30- Piry M., and Sepehr E. 2015. Effect of citric acid on characteristics of zinc sorption in calcareous soils. Iranian Journal of Soil and Water Research, 46: 781-790. (In Persian with English abstract)
31- Poozeshi R., Zabihi H.R., Ramazani Moghadam M.R., Rajabzadeh M., and Mokhtari A. 2011. Yield and yield components of grape (Vitis vinefera cv.peykani) as affected by foliar application of zinc, humic acid and acetic acid. Journal of Horticulture Science, 25: 351-360. (In Persian with English abstract)
32- Rashid A., Choudhary F.M., and Sharif M. 1976. Micronutrient availability to cereals from calcareous soils. III. Zinc absorption by rice and its inhibition by important ions in submerged soils. Plant and Soil, 45:613– 623.
33- Rasouli-Sadaghiani M., Dareghayedi B., Khodaverdiloo H., and Moradi N. 2015. Effect of organic acids on sorption and immobilization of Fe in acidic and calcareous soils. Journal of Soil Management and Sustainable Production, 5:215-228. (In Persian with English abstract)
34- Rengel Z., and Romheld V. 2000. Root exudation and Fe uptake and transport in wheat genotypes differing in tolerance to Zn deficiency. Plant and Soil, 222:25-34.
35- Romheld V., and Awad F. 2000. Signicance of root exudates in acquisition of heavy metal from a contaminated calcareous soil by graminaceous species. Journal of Plant Nutrition, 23:1857-1866.
36- Sadiq M., Hassan G., Mehdi S., Hussain N., and Jamil M. 2007. Amelioration of saline-sodic soils with tillage implements and sulfuric acid application. Pedosphere, 17:182-190.
37- Sarikhani M.R., Malboubi M.A., and Ebrahimi M. 2014. Phosphate solubilizing bacteria: Isolation of bacteria and phosphate solubilizing genes, mechanism and genetics of phosphate solubilization. Journal of Agricultural Biotechnology, 6:77-110. (In Persian with English abstract)
38- Shao J.F., Yamaji N., Shen R.F., and Ma J.F. 2017. The Key to Mn homeostasis in plants: regulation of Mn transporters. Trends in Plant Science, 22(3):215-224
39- Simpson R.J. 1986. Translocation and metabolism of nitrogen: whole plant aspects. In: Lambers H., Neeteson J.J., Stulen I. (eds) Fundamental, Ecological and Agricultural Aspects of Nitrogen Metabolism in Higher Plants. Developments in Plant and Soil Sciences, vol 19. Springer, Dordrecht.
40- Taheripur A., Kiani S., and Hosseinpur A. 2015. Effect of EDTA and citric acid on phytoextraction of copper and zinc from a naturally contaminated soil by maize (*Zea mays* L.) cultivars. Journal of Water and Soil, 29:1493-1505. (In Persian with English abstract)
41- Tomas G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. In: Sparks D.L., Page A.L., Helmke P.A., Loeppert R.H. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 3. Chemical Methods. Soil Science Society of America Book Series.
42- Wallace A., Romney E.M., and Clark R.B. 1980. Corn inbreds differing in efficiency to Zn. Journal of Plant Nutrition, 2: 225–229.
43- Yang C.H., and Crowley D.E. 2000. Rhizosphere microbial community structure in relation to root location and plant iron nutritional status. Applied and Environmental Microbiology, 66:345-351.
44- Zhang F.S., Treeby M., Romheld V., and Marschner H. 1991. Mobilization of iron by phytosiderophores as affected by other micronutrients. Plant and Soil, 130:173-178.
45- Zolfi Baveryani M., and Maftoon M. 2011. Effect of zinc, copper and their chemical forms on growth and chemical composition of rice in a calcareous soil. Journal of Water and Soil Science, 14: 111-120. (In Persian with English abstract)

Journal of Water and Soil
Vol. 32, No. 3, Jul.-Agu. 2018, p. 547-558

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۷، ص. ۵۵۸-۵۴۷

Application Effects of Organic Acids on Growth of Forage Corn and Concentration of Nutritional Elements in Shoots and Roots

A. Hassani[1]*- M. Etemadian[2]- M. Nourzadeh Haddad[3]- M. Hanifei[4]

Received: 04-12-2017
Accepted: 23-06-2018

Introduction: In calcareous soils of Iran, using fertilizers that reduce soil pH over long periods are prioritized. Reducing pH in calcareous soils increases the concentration of essential nutrients such as phosphorus, iron, zinc, copper and manganese in the soil solution. The use of organic and inorganic acids in calcareous soils may also have other advantages in addition to gradually decreasing the soil solution pH. The effect of organic and minerals acids on plant growth and uptake of essential nutrients has not been studied. The aim of this study was to evaluate the effect of organic acids like acetic, citric and oxalic acid and mineral acids like sulfuric on the growth of forage corn.

Materials and Methods: The experiment was based on randomized complete block design and carried out in pots in a greenhouse. A calcareous soil with electrical conductivity of 0.86 dS m^{-1} and organic matter of 4.3 g kg^{-1} was collected from research farm of University of Zanjan. Treatments were T1 & T2: citric acid with concentration of 5 and 10 mM (C_5 & C_{10}), T3 & T4: acetic acid at a concentration of 5 and 10 mM (A_5 & A_{10}), T5 & T6: oxalic acid at a concentration of 5 and 10 mM (O_5 & O_{10}), T7: mixture of citric, acetic and oxalic acid each at a concentration of 3.33 mM (mix):, T8: sulfuric acid at a concentration of 5 mM (S), and T9: control. Treatments were applied in three stages: immediately after sowing, four-leaf and eight-leaf stages. Irrigation of pots was done with water with EC value of 400 µS /cm. Considering the possible effect of acids on increasing the availability of phosphorus, potassium, iron, zinc, copper and manganese, fertilization was done only based on nitrogen demand and 0.55 g urea was added to each pot (equivalent to 200 kg ha^{-1}) with irrigation water in three steps. The shoots of plant samples were harvested after 50 days and the roots were carefully removed from the soil. Some growth related characteristics such as stem height, fresh weight, dry weight, and moisture content of vegetable tissue were also measured. Concentration of nitrogen, potassium, phosphorous, iron, zinc, manganese and copper in roots and shoots was measured. Translocation factor (TF) indicating the transfer rate of the elements from root to shoot was obtained by dividing the concentration of the element in the shoot by that in the root.

Results and Discussion: The results showed the significant effects of the treatments on the growth factor (fresh weight, dry weight and plant height). The percentage of moisture content was the same in all treatments. Citric acid treatment (T2) significantly increased fresh weight of shoot (18.3 percent) and dry weight (20.9 percent) of the plant. Organic acids also increased the concentration of nitrogen in shoots and roots. The concentration of nitrogen in the shoots was roughly twice as compared with that in the plant root. As for the potassium treatments, except for A_{10} treatment (T4) (the lowest concentration), other treatments did not show a significant difference with control. The highest concentration of potassium in roots was observed in sulfuric acid treatment (T8). The highest translocation factor of potassium (3.34) was observed in O_{10} treatment (T6). The results indicated a positive effect of 5 mM citric acid, acetic acid, mix treatment and sulfuric acid on shoot phosphorus and the positive effect of acetic acid and mix treatment on the phosphorus root. Citric acid treatments (T1 and T2) were the most effective treatments in increasing the concentration of iron (289 mg kg^{-1}) in shoots. For roots, C_{10} treatment (T2) and Mix treatment (T7) showed the highest iron concentration. The highest TF for iron was observed in A_{10} treatment (T4). Acetic acid treatments (both concentrations), and sulfuric acid were more effective than other treatments and significantly increased the manganese concentration of the shoots. Sulfuric acid also caused a significant increase in the manganese concentration of the root. Acetic acid treatment (T5) showed the highest amount of TF for manganese. The amount of zinc element in shoots and roots was significantly affected by the mix treatment (T7). There was no significant difference between all Cu treatments.

1 and 2- Assistant Professor and M.Sc. Graduate, Department of Soil Science, University of Zanjan
(*- Corresponding Author Email: Akbar.hassani@znu.ac.ir)
3- Ph.D. Graduate, Department of Soil Science, Tarbiat Modares University
4- Ph.D. Graduate, Department of Plant Breeding, Tarbiat Modares University

Conclusions: In general, application of citric acid in both concentrations is useful to increase the biological yield and product quantity in maize farms. These treatments increased fresh and dry weight of shoots and roots. Acetic acid seems to improve translocation of elements in plants. The use of other acids is likely to enhance concentration of nutritional elements in roots and shoots.

Keywords: Calcareous soil, Citric, Corn, Organic and mineral acids