



تأثیر اسید فولیک بر عملکرد و برخی از شاخص‌های کیفی گندم نان رقم گاسکوژن

عادل جوادی^۱ و *عزت‌اله اسفندیاری^۲

^۱دانش‌آموخته دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه مراغه،

^۲آستاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه مراغه

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۹/۱۲

چکیده

سابقه و هدف: سوء تغذیه یکی از مشکلات کنونی کشورهای در حال توسعه مانند ایران می‌باشد که پایین بودن میزان ریزمغذی‌ها در غلات و کاهش تنوع غذایی از دلایل آن است. با توجه به این‌که گندم در تغذیه مردم این قبیله کشورها از جایگاه خاصی برخوردار است، محققین تلاش می‌کنند با افزایش غلظت عناصری مانند آهن و روی و پروتئین دانه به‌همراه کاهش میزان اسید فیتیک و نسبت مولی اسید فیتیک به روی در دانه گندم، با تأمین مواد موردنیاز بدن به کاهش سوء تغذیه کمک نمایند. با توجه به نقش اسیدفولیک در انتقال بنیان‌های تک کربنه و تأثیر آن بر بهبود فرآیندهای متابولیسمی، در این پژوهش تأثیر روش‌های مختلف کاربرد اسیدفولیک بر عملکرد دانه و برخی از شاخص‌های کیفی گندم مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش رقم گندم گاسکوژن در آزمایش مزرعه‌ای با تراکم ۵۰۰ بذر در مترمربع و با فاصله ۲۰ سانتی‌متر بین ردیف‌ها در تاریخ ۲۳ مهرماه ۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار کشت گردید. فاکتورهای مورد مطالعه در این پژوهش شامل پیش‌تیمار بذور (با غلظت‌های صفر، ۲۵ و ۵۰ میکرومولار اسید فولیک به‌مدت ۱۲ ساعت) و اسپری برگ‌های ۵۰ میکرومولار ویتامین یاد شده در مراحل فنولوژیکی ساقه‌رفتن، سنبله‌رفتن، شیری شدن دانه، خمیری شدن دانه و تمامی مراحل یاد شده به‌عنوان فاکتور دوم بود. در این مطالعه عملیات محلول‌پاشی اسید فولیک در ساعات پایانی روز با استفاده از سمپاش پشته تلمبه‌ای به میزان ۱۰۰ میلی‌لیتر از محلول یاد شده به ازای هر متر مربع انجام گردید.

یافته‌ها: نتایج حاصل نشان داد که در رقم گاسکوژن با کاربرد خارجی اسید فولیک عملکرد دانه در مقایسه با شاهد افزایش یافت. همچنین، اسید فولیک سبب افزایش میزان پروتئین دانه، غلظت عناصر آهن و روی در دانه در مقایسه با شاهد شد. در مقابل میزان اسید فیتیک و نسبت مولی اسید فیتیک به روی در اثر کاربرد خارجی اسید فولیک در مقایسه با شاهد کاهش یافت.

نتیجه‌گیری: اگرچه در این مطالعه اثرات کاربرد خارجی اسیدفولیک روی دانه کامل مورد بررسی قرار گرفته است و بخشی از عناصر آهن و روی انباشته شده در دانه به‌همراه پروتئین در فرآیند آردسازی حذف می‌گردد، اما با توجه به اثرات مثبت اسیدفولیک بر عملکرد، میزان پروتئین دانه، تجمع آهن و روی در دانه گندم به‌همراه کاهش میزان اسید

*مسئول مکاتبه: esfand1977@yahoo.com

فیتیک و نسبت مولی اسید فیتیک به روی، می‌توان عنوان نمود که کاربرد اسید فولیک می‌تواند راهکاری کوتاه مدت، برای بهبود هر دو بعد کمی و کیفی امنیت غذایی و کاهش اثرات منفی سوء تغذیه به‌شمار آید.

واژه‌های کلیدی: آهن، اسید فیتیک، پروتئین دانه، روی، سوء تغذیه

مقدمه

در حال حاضر ایران با داشتن جمعیتی بیش از ۸۰ میلیون نفر، شانزدهمین کشور پرجمعیت جهان می‌باشد که پیش‌بینی می‌گردد جمعیت آن در سال ۱۴۰۵ شمسی به مرز ۸۵ میلیون نفر نزدیک گردد که به‌طور طبیعی افزایش تقاضا به مواد غذایی را در پی خواهد داشت. در این راستا محققین تلاش می‌کنند با استفاده از راهکارهایی بین رشد جمعیت و تولید محصولات تعادل ایجاد نمایند که از جمله اقدامات می‌توان به معرفی ارقام پرمحصول طی انقلاب سبز و کشت گسترده گیاهان زراعی با هدف توسعه مکانیزاسیون، افزایش تولید و نگاه اقتصادی به تولید محصولات کشاورزی اشاره کرد. در بین گیاهان زراعی گندم به‌دلیل نقش برجسته خود در تأمین انرژی و پروتئین موردنیاز روزانه مردم کشورهای در حال توسعه مانند ایران (به ترتیب ۷۰ و ۵۰ درصد)، از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است (۹). اما میزان عناصر کم مصرف در دانه غلات از جمله گندم پائین بوده و در مقابل میزان ترکیبات ضد تغذیه‌ای مانند اسید فیتیک در آن بالا می‌باشد. برآیند این عوامل سبب کاهش قابلیت جذب عناصر یاد شده در بدن انسان می‌گردد. از طرفی نگاه اقتصادی به تولید محصولات کشاورزی کاهش تنوع غذایی را به دنبال داشته است. به‌طوری‌که، امروزه از بین ۷۰۰۰ گونه گیاهی با قابلیت مصرف غذایی توسط انسان، تنها ۳۹ گونه گیاهی، ۹۵ درصد تولیدات کشاورزی را به خود اختصاص داده‌اند (۲۳). برآیند این عوامل سبب شیوع سوء

تغذیه در بین مردم کشورهای در حال توسعه مانند ایران شده است که به کمبود آهن و روی در بین مردم کشور می‌توان اشاره نمود.

عملکرد گندم همانند سایر گیاهان زراعی تابع فاکتورهای محیطی و ژنتیکی است. برای حصول حداکثر عملکرد علاوه بر ایجاد شرایط مطلوب محیطی، بایستی محدودیت‌های متابولیسمی که به‌نوعی از ویژگی‌های ژنتیکی به‌شمار می‌آیند نیز رفع گردد. از جمله محدودیت‌های متابولیسمی می‌توان به میزان پایین ویتامین‌ها و کوآنزیم‌ها نظیر اسید فولیک اشاره نمود (۱۷). اسید فولیک یا ویتامین ب ۹ از جمله ویتامین‌های محلول در آب بوده که از ترکیب پتریدین، پارا آمینو بنزوات و L-گلوتامات حاصل می‌شود. فرم فعال این ویتامین در سلول‌های گیاهی تتراهیدرواسید فولیک بوده و در انتقال بنیان‌های تک کربنه متیل، فرمیل، متیلن، اکسی متیل، متیل و فرمیمینو در سلول‌های گیاهی ایفای نقش می‌کند (۱۰ و ۱۲). از مهمترین نقش‌های فیزیولوژیک اسید فولیک می‌توان به تبدیل هموسیستئین به متیونین و سیستم‌دین به تیمیدین اشاره نمود (۴ و ۵). تاکنون اثرات مفید ویتامین‌های مختلف بر رشد و تولید گیاهان زراعی و حتی افزایش تحمل به تنش‌های محیطی توسط محققان متعددی گزارش شده است (۱، ۲، ۶، ۱۷، ۱۸ و ۲۱). در همین راستا صادقی‌رازلیقی و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کرده‌اند که پیش‌تیمار بذور گندم با ۲۵ میکرومولار اسید فولیک سبب کاهش تنفس نگهداری در بذور در حال جوانه‌زنی شده و بنیه اولیه

آزمایشی در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ بر رقم گاسکوژن در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه با مشخصات عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۱۵۴۲ متر از سطح دریا انجام شد.

جهت آماده‌سازی زمین ابتدا محل موردنظر با گاوآهن برگردان‌دار در پائیز شخم زده شد و سپس بقیه عملیات تهیه بستر کشت شامل دیسک، تسطیح و کرت‌بندی انجام گرفت. بذور رقم گاسکوژن قبل از کاشت، با قارچ‌کش کاربندازیم (۰/۷ به ۱۰۰۰، وزنی-وزنی) ضدعفونی و به‌صورت دستی با فاصله یک سانتی‌متر روی ردیف‌ها و ۲۰ سانتی‌متر بین ردیف‌ها در عمق ۳ تا ۵ سانتی‌متری در تاریخ ۲۳ مهر ماه ۱۳۹۲ کشت و آبیاری شدند. به‌علاوه، با توجه به نتایج آزمون خاک و توصیه متداول کودی، علی‌رغم نیاز به عناصر فسفر، آهن و روی تنها ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره طی سه مرحله (یک سوم در هنگام کاشت، یک سوم در مرحله پنجه‌زنی و یک سوم باقیمانده در مرحله قبل از گلدهی) استفاده گردید و از اضافه نمودن سایر عناصر به خاک و یا کاربرد ریزمغذی‌ها به شکل‌های دیگر صرف نظر شد. زیرا یکی از فرضیه‌های مورد بررسی تأثیر اسید فولیک بر رهاسازی و جذب فرم غیرقابل جذب عناصر مورد اشاره بود. در جدول ۱ برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش آورده شده است. عملیات داشت شامل مبارزه با علف‌های هرز، آبیاری و مبارزه با آفات و بیماری‌ها متناسب با نیاز و به‌طور یکسان در کلیه کرت‌ها انجام شد.

گیاهچه را بهبود می‌بخشد (۲۵). همچنین صادقی‌رازلقی و همکاران (۲۰۱۴) عنوان نموده‌اند که کاربرد برگگی ۲۵ میکرومولار اسید فولیک با تحت تأثیر قرار دادن شاخص‌های مرتبط با عملکرد توانست میزان عملکرد گندم را به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش دهد (۲۶). همچنین، جوادی و همکاران (۲۰۱۷a,b) در گندم و استخف و همکاران (۲۰۰۰) در جو و نخود افزایش عملکرد را با اثر کاربرد اسید فولیک گزارش کرده‌اند (۱۷، ۱۸ و ۲۸). این محققین اظهار نموده‌اند که اسید فولیک سبب افزایش پروتئین دانه شد. از طرفی تأثیر اسید فولیک بر افزایش میزان آهن دانه گندم توسط جوادی و همکاران (۲۰۱۷a) و محمد (۲۰۱۳) و در مقابل کاهش اسید فیتیک دانه توسط جوادی و همکاران (۲۰۱۷a) گزارش شده است (۱۷ و ۲۱).

با توجه به نقش قابل توجه گندم در تغذیه انسان تلاش در راستای افزایش عملکرد با هدف ایجاد تعادل بین میزان تولید این محصول با تقاضای آن امری انکارناپذیر است. از طرفی لازم است که بعد کیفی گندم تولید شده متناسب با تأمین نیازهای ضروری بدن انسان مانند غلظت عناصر کم مصرف مورد توجه قرار گیرد. براین اساس پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر روش‌های مختلف کاربرد اسیدفولیک بر عملکرد و برخی از شاخص‌های کیفی گندم مانند میزان عناصر آهن و روی و نسبت مولی اسید فیتیک به روی به مرحله اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی کاربرد اسیدفولیک بر عملکرد و برخی از شاخص‌های مؤثر در کیفیت گندم نان

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل انجام آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری.

Table 1. physical and chemical characteristics of the test locations soil at 0- 30 Cm.

هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	اسیدیته	آهن	مس	روی	پتاسیم	فسفر	نیتروژن کل	رس	سیلت	شن	بافت خاک
EC (dS.m ⁻¹)	pH	Available Iron	Available Copper	Available Zinc	Available Potassium	Available Phosphorous	Total Nitrogen (%)	Sand	Silt	Clay	(Soil Texture)
		(میلی گرم در کیلوگرم)					(درصد)	(درصد)			لوم (Lom)
		(mg.kg ⁻¹)						(%)			
0.49	6.81	2.39	0.5	0.41	102.16	8.43	0.1	47.6	35.2	17.2	لوم (Lom)

کرت‌های آزمایشی یک مترمربع توسط پلات ۱×۱ برداشت و شاخص‌های فوق اندازه‌گیری گشت. برای اندازه‌گیری عناصر آهن و روی، ۰/۵ گرم از دانه‌های کاملاً آسیاب شده توزین و به لوله هضم منتقل و ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ به آن‌ها اضافه شد و به مدت ۱ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید. پس از سرد شدن نمونه‌ها، ۲/۵ میلی‌لیتر اسید پرکلریک غلیظ اضافه شد و به مدت ۳ ساعت در دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید. پس از پایان زمان فوق و سرد شدن نمونه‌ها، با استفاده از کاغذ صافی نمونه‌ها صاف شده و با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. در نهایت با استفاده از دستگاه جذب اتمی (SHIMADZU مدل AA-63000، ساخت کشور ژاپن) میزان عناصر یاد شده اندازه‌گیری گردید (۱۱). میزان پروتئین دانه به روش کج‌دال اندازه‌گیری شد. بدین منظور ابتدا نیتروژن کل اندازه‌گیری و سپس درصد پروتئین نمونه‌ها با اعمال ضریب ۶/۲۵ (فاکتور پروتئین) محاسبه شد (۱۱).

برای تعیین میزان اسید فیتیک، ۶۰ میلی‌گرم از نمونه آردی خشک و آسیاب شده، با ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک (۰/۲ نرمال) در دمای اتاق به مدت ۲

آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتورهای مورد مطالعه در این پژوهش شامل پیش‌تیمار بذور (با غلظت‌های صفر، ۲۵ و ۵۰ میکرومولار اسید فولیک به مدت ۱۲ ساعت) و اسپری برگی ۵۰ میکرومولار اسید فولیک در مراحل فنولوژیکی ساقه‌رفتن (کد ۳۹-۳۰ زادوکس)، سنبله رفتن (کد ۵۹-۵۰ زادوکس)، شیری شدن دانه (کد ۷۹-۷۰ زادوکس)، خمیری شدن دانه (۸۹-۸۰ زادوکس) و تمامی مراحل یاد شده (مراحل چند گانه) بود. لازم به ذکر است که دوزهای اسید فولیک مورد استفاده از نتایج مطالعه صادقی و همکاران (۲۰۱۲) انتخاب شد (۲۵). به علاوه، برای جذب بهتر این ویتامین از سطح برگ ضمن اضافه نمودن چند قطره توئین به عنوان مویان به محلول مورد استفاده، عملیات محلول‌پاشی در ساعات پایانی روز به میزان ۱۰۰ میلی‌لیتر بر مترمربع با استفاده از سمپاش پستی تلمبه‌ای با نازل مخروط پاش (مدل B.P15) انجام گردید.

تعیین عملکرد دانه و برخی از شاخص‌های کیفی: برای تعیین عملکرد دانه از بخش رقابت‌کننده

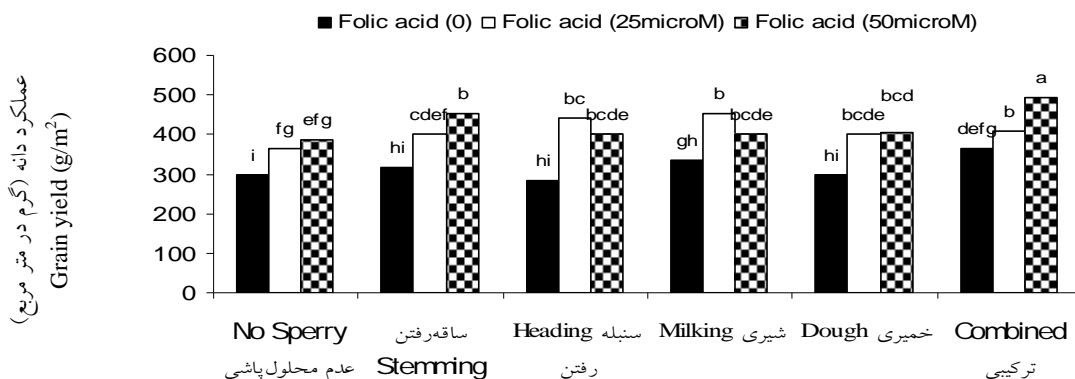
مختلف فنولوژی گندم در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (شکل ۱) که حاکی از نقش مؤثر این ویتامین در فرآیندهای متابولیسمی گندم و رفع محدودیت‌های موجود در اثر کاربرد آن است. همچنین، افزایش عملکرد رقم گاسکوژن در اثر کاربرد اسیدفولیک ناشی از افزایش شاخص‌های تأثیرگذار بر عملکرد مانند تعداد پنجه‌های بارور، تعداد سنبلچه در سنبله و تعداد دانه در سنبله می‌باشد (نتایج آورده نشده است). افزایش عملکرد دانه در اثر اسپری برگی اسیدفولیک توسط صادقی و همکاران (۲۰۱۴)، جوادی و همکاران (۲۰۱۷a,b) و محمد (۲۰۱۳) در گندم به‌همراه اعلایی (۲۰۱۵) در جو و استاخف و همکاران (۲۰۰۰) در نخود و جو گزارش شده است (۲۸، ۲۶، ۱۸، ۱۷ و ۳). صادقی‌رازیقی و همکاران (۲۰۱۴) و جوادی و همکاران (۲۰۱۷b) بهبود شاخص‌هایی نظیر تعداد پنجه‌های بارور و تعداد دانه در سنبله را عامل افزایش عملکرد دانه در اثر کاربرد برگی اسیدفولیک عنوان می‌کنند (۲۶ و ۱۸). در حالی‌که استاخف و همکاران (۲۰۰۰) دلیل افزایش عملکرد را ناشی از افزایش تعداد دانه در بوته و افزایش وزن هزار دانه در اثر کاربرد خارجی اسیدفولیک دانسته‌اند (۲۸).

ساعت به‌طور مداوم شیک گردید تا عصاره گیری شد. سپس ۰/۵ میلی‌لیتر از این عصاره به لوله‌های سانتریفیوژ منتقل و یک میلی‌لیتر از محلول سولفات آهن آمونیوم (۰/۴ میلی‌مولار، حل شده در محلول ۰/۲ نرمال اسید کلریدریک) به آن اضافه گردید. لوله‌های آزمایش محتوی ترکیب مورد اشاره، به مدت ۳۰ دقیقه در ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. پس از پایان این زمان، لوله‌ها در آب سرد به مدت ۱۵ دقیقه نگهداری و خنک شدند. پس از رسیدن به دمای اتاق، محتوای لوله‌ها مخلوط و در ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۳۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید. در نهایت با افزودن ۲ میلی‌لیتر محلول بی‌پیریدین، جذب در طول موج ۵۱۹ نانومتر با دستگاه الیزا (مدل BioTek, Powre Wave XS2) قرائت گردید. برای محاسبه میزان اسید فیتیک موجود در نمونه‌ها از منحنی استاندارد استفاده شد (۱۴).

تجزیه داده‌های حاصل با نرم‌افزار Genstate 12 و برای رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel 2013 انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

در این مطالعه عملکرد گندم در اثر کاربرد همزمان پیش‌تیمار بذور و اسپری برگی اسیدفولیک در مراحل



شکل ۱- تأثیر کاربرد خارجی اسیدفولیک بر عملکرد دانه گندم اعداد میانگین سه تکرار بوده و بودن حروف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون دانکن است.

Figure 1. The response of grain yield of wheat to exogenous application of FA. Values are mean of three replicates and the same letters are not significantly different at $P \leq 0.05$ according to Duncan test.

ناشی از بیوسنتز فیتوسیدروفراها باشد. زیرا متیونین سوبسترای اولیه بیوسنتز فیتوسیدروفراها بوده و میزان آن با کاربرد اسید فولیک افزایش یافت. غلات با ترشح فیتوسیدروفراها از ریشه خود امکان جذب عناصر کم مصرف را توسط گیاه افزایش می‌دهند. احتمال می‌رود افزایش میزان آهن و روی دانه ناشی از افزایش میزان متیونین در اثر کاربرد اسید فولیک باشد. البته برای رسیدن به جواب مناسب‌تر بررسی تأثیر اسید فولیک در بیوسنتز فیتوسیدروفراها الزامی است.

کاربرد خارجی اسید فولیک میزان اسید فیتیک دانه گندم (به‌جز تیمار پیش‌تیمار بذور با اسید فولیک ۲۵ میکرومولار به‌همراه اسپری برگی ۵۰ میکرومولار اسید فولیک در مرحله خمیری شدن دانه) را در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش داد (جدول ۲). اسید فیتیک یک ترکیب ضد تغذیه‌ای می‌باشد که میزان آن در اثر کاربرد خارجی اسید فولیک کاهش یافت. بدین ترتیب که اسید فولیک میزان اسید فیتیک را توانست حداکثر در حدود ۲۳ درصد در مقایسه با شاهد کاهش دهد (جدول ۲). اسید فیتیک با کاتیون‌هایی مانند روی ترکیب شده و فیتات غیر محلول مانند فیتات روی را به‌وجود می‌آورد و بدین شکل زیست‌فراهمی روی دانه گندم را کاهش می‌دهد. اگرچه این ماده مهمترین فرم ذخیره فسفات در دانه گیاهان مانند گندم می‌باشد، ولی با توجه به اثرات منفی اسید فیتیک بر جذب عناصر ریزمغذی از جمله روی در بدن و نقش ویژه گندم در تغذیه مردم به‌خصوص کشورهای در حال توسعه، محققین تلاش می‌کنند میزان اسید فیتیک موجود در دانه را کاهش دهند. در این مطالعه کاهش اسید فیتیک در اثر کاربرد اسید فولیک می‌تواند ناشی از افزایش غلظت روی باشد. زیرا افزایش روی دانه منجر به کاهش میزان

نتایج نشان داد که کاربرد خارجی اسید فولیک منجر به افزایش معنی‌دار آهن انباشته شده در دانه گندم (به‌جز تیمارهای عدم پیش‌تیمار بذور با اسید فولیک به‌همراه اسپری برگی در مرحله ساقه‌روی و پیش‌تیمار بذور با اسید فولیک ۲۵ میکرومولار به‌همراه عدم اسپری برگی) در مقایسه با شاهد شد (جدول ۲). همچنین، میزان روی انباشته شده در دانه در اثر کاربرد خارجی اسید فولیک به‌غیر از تیمار عدم پیش‌تیمار با اسید فولیک به‌همراه اسپری برگی اسید فولیک ۵۰ میکرومولار در مرحله سنبله رفتن، در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌داری یافت (جدول ۲). میزان آهن و روی در دانه غلات به‌طور ذاتی پائین بوده و بین ۱۰ تا ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (۷). همچنین، میزان تجمع این عناصر در دانه گندم متأثر از میزان دسترسی به آن‌ها یا توان جذب توسط ارقام یا ژنوتیپ‌های گندم دارد. در این مطالعه اگرچه خاک محل اجرای آزمایش دارای روی و آهن قابل جذب کمی بود (جدول ۱)، اما از مصرف کودهای محتوی این عناصر صرف‌نظر گردید. زیرا یکی از سوالات این پژوهش مطالعه تأثیر کاربرد خارجی اسید فولیک بر توان جذب عناصر آهن و روی از خاک بود. در این مطالعه میزان روی دانه از ۱۳/۹۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در شاهد به ۳۲/۱۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار پیش‌تیمار بذور با اسید فولیک ۵۰ میکرومولار و اسپری برگی در مرحله سنبله رفتن افزایش یافت. همچنین، میزان آهن دانه از ۱۹/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم در شاهد به ۱۳۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار پیش‌تیمار بذور با اسید فولیک ۵۰ میکرومولار و اسپری برگی در مرحله سنبله رفتن رسید. افزایش غلظت آهن با کاربرد اسید فولیک توسط جوادی و همکاران (۲۰۱۷a,b) گزارش شده است (۱۷ و ۱۸). آن‌ها احتمال می‌دهند که افزایش میزان این عناصر

عنصر بر بیوستنز پروتئین دانه اشاره نمود. امروزه نقش روی در متابولیسم پروتئین اثبات شده است (۸). به طوری که در بسیاری از گیاهان، کمبود روی سبب اختلال در برخی از فرآیندهای متابولیکی مانند متابولیسم RNA و سنتز پروتئین می‌گردد (۸، ۱۹ و ۲۷). به علاوه، تجمع اسیدهای آمینه آزاد و آمیدها در اثر کمبود روی در مقایسه با شاهد گزارش شده است (۸، ۱۹ و ۲۴). در این ارتباط چاکماک و همکاران (۱۹۸۹) بیان کردند که اسیدهای آمینه تجمع یافته در بافت‌های گیاهی در اثر کمبود روی، با افزودن این عنصر به محیط از میزان اسیدهای آمینه آزاد در بافت‌ها کاسته می‌شود (۸). با توجه به افزایش میزان روی در دانه گندم در اثر کاربرد اسید فولیک و نقش آن در بیوستنز پروتئین، افزایش میزان پروتئین دانه در اثر کاربرد اسید فولیک در دانه گندم می‌تواند ناشی از اثر مثبت این ویتامین بر افزایش جذب عنصر روی باشد. افزایش میزان پروتئین دانه با کاربرد اسید فولیک توسط جوادی و همکاران (۲۰۱۷a) و استاخف و همکاران (۲۰۰۰) گزارش شده است. این محققین افزایش میزان اسیدهای آمینه را از دلایل بالا رفتن مقدار پروتئین دانه در حضور اسید فولیک عنوان می‌کنند (۱۷ و ۲۸).

اسید فیتیک دانه می‌گردد (۱۵، ۱۶، ۲۰ و ۲۹). لازم به ذکر است که کاهش اسید فیتیک در اثر کاربرد اسید فولیک توسط جوادی و همکاران (۲۰۱۷a) در گندم گزارش شده است (۱۸).

در این مطالعه، کاربرد اسید فولیک به طور قابل توجهی نسبت مولی اسید فیتیک به روی را در دانه‌های گندم در مقایسه با شاهد کاهش داد. بدین ترتیب که با کاربرد خارجی اسید فولیک این نسبت به ترتیب در کمترین و بیشترین مقدار کاهش ۲۵ و ۶۴ درصد در مقایسه با شاهد بود (جدول ۲). نسبت مولی اسید فیتیک به روی برای ارزیابی زیست‌فراهمی^۱ روی در بدن مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مطالعه اگرچه نسبت مولی اسید فیتیک به روی هنوز بالا می‌باشد اما کاربرد اسید فولیک سبب کاهش این نسبت شده است که ناشی از کاهش همزمان میزان اسید فیتیک و افزایش روی در دانه بود. نان و همکاران (۲۰۰۲)، یانگ و همکاران (۲۰۱۱) و اسفندیاری و همکاران (۲۰۱۶) نیز کاهش نسبت مولی اسید فیتیک به روی را در پی افزایش میزان روی در دانه در روش‌های مختلف کاربرد روی گزارش کرده و دلیل آن را ناشی از افزایش همزمان روی انباشته شده در دانه و کاهش میزان اسید فیتیک عنوان نموده‌اند (۱۳، ۲۲ و ۲۹).

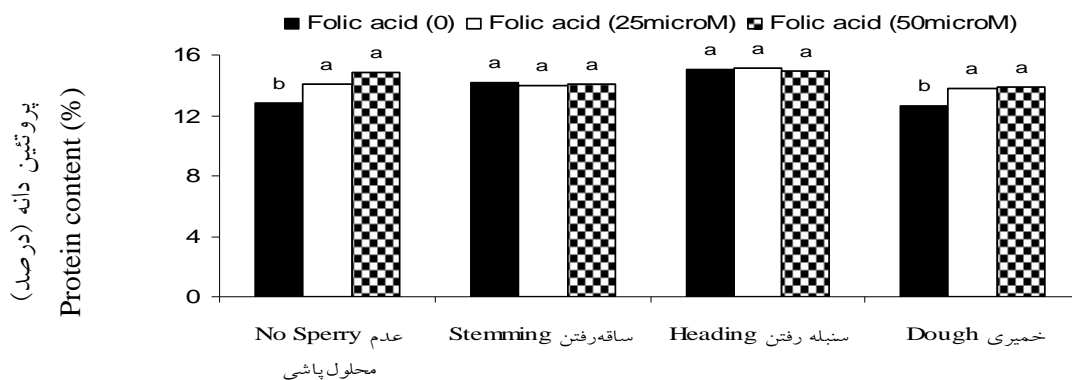
نتایج حاصل نشان داد که میزان پروتئین دانه گندم با کاربرد اسید فولیک در تمامی تیمارها، به غیر از تیمار عدم پیش‌تیمار بذور به همراه اسپری برگ ۵۰ میکرومولار اسید فولیک در مرحله خمیری شدن دانه، افزایش یافت (شکل ۲) که حاکی از تأثیر مثبت این ویتامین بر بیوستنز پروتئین می‌باشد. از دلایل افزایش میزان پروتئین دانه گندم می‌توان به افزایش غلظت روی دانه در اثر کاربرد اسید فولیک و تأثیر مثبت این

جدول ۲- تأثیر کاربرد خارجی اسید فولیک بر غلظت آهن، غلظت روی، میزان اسید فیتیک و نسبت مولی اسید فیتیک به روی در دانه گندم.
Table 2. The response of Fe concentration, Zn concentration, Phytic acid content and PA/Zn ratio to exogenous application of FA in wheat grain.

تیمارها Treatments	غلظت آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Fe Concentration (mg/kg)	غلظت روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Zn Concentration (mg/kg)	اسید فیتیک (میلی‌گرم بر گرم) Phytic acid (mg/g)	نسبت مولی اسید فیتیک به روی Phytic acid/Zn molar ratio	
پیش تیمار بندر با اسید فولیک (۰ میکرومولار) Without Priming with folic acid (0 μM)	No Sperry عدم اسپری	19.30f	13.95f	99.96a	71.35a
	Stemming ساقه رفتن	380ef	19.31cde	88.47cde	45.59cde
	Heading سنبله رفتن	26.80de	16.37ef	85.32e	52.62bc
	Milk شیری شدن دانه	48.40de	20.37cd	91.00bcde	44.52de
	Dough خمیری شدن دانه	48.10de	19.76cde	88.47cde	44.72de
	Combined ترکیبی	51.80cde	20.75cd	72.69g	34.72gh
پیش تیمار بندر با اسید فولیک (۲۵ میکرومولار) Priming with folic acid (25 μM)	No Sperry عدم اسپری	39.80ef	18.73cde	87.21 de	46.70bcde
	Stemming ساقه رفتن	113.60ab	19.59cde	93.40bc	47.74bcd
	Heading سنبله رفتن	107.40b	19.76cde	88.47cde	44.56de
	Milk شیری شدن دانه	55.00cde	29.60a	91.76bcd	30.81hi
	Dough خمیری شدن دانه	130.00ab	18.29cd	96.68ab	53.55b
	Combined ترکیبی	69.40cd	22.34bc	89.73cde	39.94efg
پیش تیمار بندر با اسید فولیک (۵۰ میکرومولار) Priming with folic acid (50 μM)	No Sperry عدم اسپری	45.30de	20.47cd	89.48cde	43.35def
	Stemming ساقه رفتن	64.40cde	24.84b	90.74cde	36.3fgh
	Heading سنبله رفتن	137.90a	32.11a	86.07de	26.75i
	Milk شیری شدن دانه	63.90cde	19.8cde	79.13f	39.57efg
	Dough خمیری شدن دانه	75.90c	20.92cd	87.46de	41.57defg
	Combined ترکیبی	120.50ab	29.69a	78.24fg	26.14i

اعداد میانگین سه تکرار بوده و بودن حروف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون دانکن است.

Values are mean of three replicates and the same letters are not significantly different at $P \leq 0.05$ according to Duncan test.



شکل ۲- تأثیر کاربرد خارجی اسید فولیک بر پروتئین دانه گندم. اعداد میانگین سه تکرار بوده و بودن حروف مشترک نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون دانکن است.

Figure 2. The response of protein content of wheat grain to exogenous application of FA. Values are mean of three replicates and the same letters are not significantly different at $P \leq 0.05$ according to Duncan test.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نقش گندم در تأمین انرژی و پروتئین موردنیاز مردم به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه و اثرات مثبت این ویتامین بر عملکرد کمی و کیفی گندم، کاربرد خارجی از این ویتامین می‌تواند به‌عنوان راهکاری کوتاه‌مدت برای مقابله با سوء تغذیه به‌ویژه در اقشار آسیب‌پذیر و کم درآمد استفاده گردد. به‌علاوه به‌دلیل نقش‌های فیزیولوژیک اسیدفولیک در سلول‌های گیاهی افزایش توان بیوسنتزی این ویتامین در ارقام و ژنوتیپ‌های گندم به‌عنوان راهکار بلند

مدت با هدف بهبود هر دو بعد کمی و کیفی امنیت غذایی و کاهش اثرات منفی سوء تغذیه پیشنهاد نمود.

سیاسگزاری

نتایج حاصل از این پژوهش بخشی از نتایج طرح غنی‌سازی گندم با آهن و روی مصوب وزارت علوم، تحقیقات و فناوری می‌باشد. بدین وسیله مؤلفین از حوزه معاونت پژوهشی وزارتخانه یاد شده بابت حمایت‌های مالی انجام گرفته تقدیر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

1. Abdoli, M., Esfandiari, E., Mosavi, S.B., and Sadeghzadeh, B. 2014. Effects of foliar application of zinc sulfate at different phenological stages on yield formation and grain zinc content of bread wheat (cv. Kohdasht). *Azarian J. Agri.* 1: 12-17.
2. Aciksoz, S., Yazici, A., Ozturk, L., and Cakmak, I. 2011. Biofortification of wheat with iron through soil and foliar application of nitrogen and iron fertilizers. *Plant Soil.*, 349: 215-225.
3. Alaei, I. 2015. The effects of various methods application of folic acid on yield and yield components on barley (*Hordeum vulgare* L.). A thesis, in Agronomy field. (In Persian)
4. Amornkul, Y., DeVries, J.W., Krishnan, P.G. 2013. 5-Methyltetrahydrofolate content of cereal-based processed foods. *J. Hum. Nutr. Food Sci.*, 1: 1010-1015.
5. Bekaert, S., Storozhenko, S., Mehrshahi, P., Bennett, M.J., Lambert, W., Gregory, J.F., Schubert, K., Hugenholtz, J., Straeten, D., and Hanson, A.D. 2013. Folate biofortification in food plants. *Trends in Plant Sci.*, 13: 28-35.
6. Blancquaert, D., De Steur, H., Gellynck, X., and Van Straeten, D. 2014. Present and future of folate biofortification of crop plants. *J. Exp. Bot.*, 65: 895-906.
7. Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant Soil.*, 302: 1-17.
8. Cakmak, I., Marschner, H., and Bangerth, F. 1989. Effect of zinc nutritional status on growth, protein metabolism and levels of Indole-3-acetic acid and other phytohormones in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Exp. Bot.*, 40: 405-412.
9. Cakmak, I., Torun, A., Millet, E., Feldman, M., Fahima, T., Korol, A., Nevo, E., Braun, H.J., and Ozkan, H. 2004. *Triticum dicoccoides*: an important genetic resource for increasing zinc and iron concentration in modern cultivated wheat. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 50: 1047-1054.
10. Deng, W.W., and Ashihara, H. 2010. Profiles of purine metabolism in leaves and roots of *Camellia sinensis* seedlings. *Plant Cell Physiol.*, 51: 2105-2118.
11. Emami, A. 1996. *Methods of Plant Analysis (Volume I)*. Ministry of Agriculture Press, 128p. (In Persian)
12. Esfandiari, E., and Mahboob, S. 2014. *Plant Biochemistry (Volume II)*. Tabriz University of Medical Science Press., 322p. (In Persian)
13. Esfandiari, E., Abdoli, M., Sadeghzadeh, B., and Mosavi, S.B. 2016. Impact of foliar zinc application on agronomic traits and grain quality parameters of wheat grown in zinc deficient soil. *Ind. J. Plant Physiol.*, 21: 263-270.
14. Haug, W., and Lantzsch, H.J. 1983. Sensitive method for the rapid determination of phytate in cereal products. *J. Sci. Food Agric.*, 34: 1423-1426.

15. Hussain, S., Maqsood, M.A., Rengel, Z., Aziz, T., and Abid, M. 2013. Estimated zinc bioavailability in milling fractions of biofortified wheat grains and in flours of different extraction rates. *Int. J. Agric. Biol.*, 15: 921-926.
16. Imran, M., Kanwal, S., Hussain, S., Aziz, T., and Aamer-Maqsood, M. 2015. Efficacy of zinc application methods for concentration and estimated bioavailability of zinc in grains of rice grown on a calcareous soil. *Pak. J. Agric. Sci.*, 52: 169-175.
17. Javadi, A., Esfandiari, E., Pourmohammad, A., and Avanes, A. 2017a. Evaluation of seed yield variation, amino acids composition and proteins content of wheat grains by folic acid application. *J. Crop Production.*, 10: 115-128 (In Persian)
18. Javadi, A., Esfandiari, E., Pourmohammad, A., and Avanes, A. 2017b. Effects of the Folate foliar application at different growth stages on quantitative and qualitative wheat yield. *J. Crop Production.*, 9: 57-70. (In Persian)
19. Kitagishi, K., and Obata, H. 1986. Effects of zinc deficiency on the nitrogen metabolism of meristematic tissues of rice plants with reference to protein synthesis. *Soil Sci. Plant Nutrit.*, 32: 397-405.
20. Mabesa, R.L., Impa, S.M., Grewal, D., and Johnson-Beebout, S.E. 2013. Contrasting grain-Zn response of biofortification rice (*Oryza sativa* L.) breeding lines to foliar Zn application. *Field Crops Res.*, 149: 223-233.
21. Mohamed, N. 2013. Behaviour of wheat cv. Masr-1 plants to foliar application of some vitamins. *Nature and Sci.*, 11: 1-5.
22. Nan, Z., Li, J., Zhang, J., and Cheng, G. 2002. Cadmium and zinc interactions and their transfer in soil-crop system under actual field conditions. *Sci. Total Environ.*, 285: 187-195.
23. Ortiz, I., Palacios, N., Meng, E., Pixley, K., Trethowan, R., and Pena, R. 2007. Enhancing the mineral and vitamin content of wheat and maize through plant breeding. *J. Cereal Sci.*, 46: 293-307.
24. Possingham, J.V. 1956. The effect of mineral nutrition on the content of free amino acids and amides in tomato plants. I: A comparison of the effects of deficiencies of copper, zinc, manganese, iron, and molybdenum. *Aust. J. Biol. Sci.*, 10: 539-551.
25. Sadeghi Razlighi, Sh., Allahdadi, I., and Esfandiari, E. 2012. The effect of folic acid on seed reserve partitioning and early vigor of wheat seedling. *Iran. J. Dryland Agri.*, 1: 70-82. (In Persian)
26. Sadeghi Razlighi, Sh., Esfandiari, E., and Allahdadi, I. 2014. The effect of folic acid application on yield of wheat. 1th Conference on New Finding in Environment and Agricultural Ecosystems. Theran, Iran. (In Persian)
27. Sharma, C.P., Gupta, J.P., and Agarwala, S.C. 1981. Metabolic changes in *Citrullus* subjected to zinc stress. *J. Plant Nutr.*, 3: 337-344.
28. Stakhova, L.N., Stakhov, L., and Ladygin, A. 2000. Effects of exogenous folic acid on the yield and amino acid content of the seed of *Pisum sativum* L. and *Hordeum vulgare* L. *Appl. Biochem. Micro.* 36: 85-89.
29. Yang, X.W., Tian, X.H., Gale, W.J., Cao, X.Y., Lu, X.C., and Zhao, A.Q. 2011. Effect of soil and foliar zinc application on zinc concentration and bioavailability in wheat grain on potentially zinc deficient soil. *Cereal Res. Commun.*, 39: 535-543.