Iranian Journal of Horticultural Science
Vol 53, No 3, Autumn 2022 (769-783)
DOI: 10.22059/ijhs.2021.314937.1880

علوم باغبانی ایران
دورهٔ ۵۳، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۴۰۱ (ص ۷۸۳-۷۶۹)

نشریه پژوهشی:

مطالعه تأثیر محرک‌های رشد گیاهی بر عملکرد غده کل و قابل‌فروش و صفات کیفی سیب‌زمینی رقم سانته

محمدرضا رفیع[1*]، عبدالستار دارابی[2] و مریم جوادزاده[3]
۱ و ۳. استادیار و محقق بخش تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، اهواز، ایران
۲. دانشیار بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، اهواز، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۳ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲)

چکیده

به‌منظور مطالعه اثر محرک‌های رشد گیاهی بر عملکرد و مشخصات کیفی سیب‌زمینی رقم سانته، آزمایشی براساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هشت تیمار و سه تکرار طی سال زراعی (۹۹-۱۳۹۸) در مزرعه تحقیقاتی ایستگاه تحقیقات کشاورزی بهبهان انجام شد. تیمارها عبارت بودند از شاهد (بدون مواد محرک رشد)، اسید هیومیک، اسید آمینه آزاد (L) ، اسید آمینه-روی، اسید آمینه-پتاسیم، اسید آمینه-کلسیم، اسید آمینه-پتاسیم-کلسیم، مصرف توأم اسید هیومیک، اسید آمینه-روی و اسید آمینه-پتاسیم-کلسیم. نتایج نشان داد محرک‌های رشد گیاهی (به‌جز اسید آمینه آزاد) باعث افزایش معنی‌دار عملکرد غده کل و قابل فروش نسبت به شاهد شدند. افزایش عملکرد غده کل و قابل فروش در تیمار مصرف توأم به‌طور معنی‌داری نسبت به کلیه تیمارها بیشتر بود. محرک‌های رشد باعث کاهش معنی‌دار درصد عملکرد غده غیرقابل فروش و اجزای تشکیل دهنده آن (غده‌های ریز، غده‌های ترک خورده و رشد ثانویه) نسبت به شاهد شدند. این مواد باعث افزایش معنی‌دار درصد پروتئین غده، غلظت‌های نیتروژن، فسفر (به‌جز اسید آمینه‌های پتاسیم و کلسیم‌دار) و پتاسیم غده (به‌جز اسید آمینه-کلسیم) در سطح احتمال پنج درصد شدند. تیمار اسید آمینه-کلسیم و تیمار مصرف توأم باعث افزایش معنی‌دار درصد ماده خشک غده شدند. کاربرد محرک-های رشد (به‌جز اسید آمینه-پتاسیم و اسید آمینه-کلسیم) سبب کاهش معنی‌دار نیترات غده شدند. بر اساس نتایج این پژوهش، کاربرد توأم محرک‌های رشد برای کشت رقم سانته توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اسید آمینه، اسید هیومیک، پروتئین، غیر قابل فروش، نیترات.

Study the effect of plant growth biostimulants on total tuber yield, marketable tuber yield and qualitative characteristics of potato (Sante cultivar)

Mohammad Reza Rafie[1*], Abulsttar Darabi[2] and Maryam Javadzadeh[3]
1, 3. Assistant Professor and Researcher, Soil and Water Research Department, Khouzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ahwaz, Iran
2. Associate Professor, Seed and Plant Improvement Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ahwaz, Iran
(Received: Dec. 23, 2020- Accepted: Dec. 22, 2021)

ABSTRACT

This research was conducted to investigate the influence of plant growth biostimulants on quantitative and qualitative characteristics of potato (*Solanum tubersom* cv. Sante) in randomized complete blocks design with eight treatments and three replications at Behbahan Agricultural Research Station in one year (2019-2020). Treatments included: control (no application of plant growth biostimulants), humic acid, free amino acid (L), amino acid-Zn, amino acid-K, amino acid-Ca, amino acid-K-Ca and combine application of humic acid, amino acid-Zn and amino acid-K-Ca. The results showed plant growth biostimulants (except free amino acid) significantly increased total and marketable tuber yield as compared with control. The treatment of combined significantly increased total and marketable yield in comparision to other treatments. Biostimulants significantly decreased unmarketable yield and its components (small tubers, cracked tubers and tubers with secondary growth) as compared with control. Application of biostimulants significantly increased the tuber protein percentage and concentrations of nitrogen, phosphorus (except amino acid-K, amino acid-Ca and amino acid-K-Ca) and potassium tubers (except amino acid-Ca). Amino acid-Ca and the treatment of combined significantly increased dry matter content. Application of growth biostimulants (except amino acid-K and amino acid-Ca) significantly decreased concentration of tuber nitrate. According to the results, application of combined plant growth biostimulants for cultivation of Sante cultivar is recommended.

Keywords: Amino acid, humic acid, nitrate, protein, unmarketable.

* Corresponding author E-mail: rafie1670@yahoo.com

مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) به‌دلیل داشتن هیدروکربن‌های قابل هضم، پروتئین‌های حاوی لیزین که یک اسید آمینه ضروری مهم بوده که غالباً در محصولاتی مانند غلات و سبزی‌ها وجود ندارد ارزش غذایی فراوانی دارد (Waglay *et al*., 2014). رشد سیب‌زمینی تحت تأثیر بسیاری از عوامل تنش‌زای زنده و غیر زنده است (Wadas & Dziugiel, 2019). زراعت زمستانه سیب‌زمینی در استان خوزستان از اواسط حجیم شدن غده با شرایط نامساعد آب و هوایی به ویژه با تنش حرارتی بالا مواجه است (Darabi, 2007). کاهش عملکرد غده سیب‌زمینی در شرایط تنش گرما توسط برخی از محققان گزارش شده است (Aien & Jalali, 2018; Aien, 2010; Levy & Veilleux, 2007). تنش گرما در خوزستان نه تنها سبب کاهش عملکرد کل سیب‌زمینی، بلکه سبب افزایش درصد عملکرد غده غیر قابل فروش در منطقه شده است. مهم‌ترین اجزای عملکرد غده غیر قابل فروش در منطقه، غده‌های ریز و ترک خورده و غده‌هایی با عارضه فیزیولوژی رشد ثانویه می‌باشند (Darabi, 2013). محرک‌های زیستی بر متابولیسم سلولی گیاهان موثر بوده و منجر به افزایش تحمل به تنش‌های غیر زنده، بهبود رشد گیاه و عملکرد محصول می‌شوند (Wadas & Dziugiel, 2019). بنابراین به‌نظر می‌رسد، استفاده از محرک‌های رشد در خوزستان و سایر مناطق نیمه گرمسیری سبب افزایش عملکرد غده و هم‌چنین کاهش درصد عملکرد غده غیر قابل فروش خواهند شد. در برخی از مطالعات، تأثیر کاربرد اسید هیومیک به عنوان محرک رشد گیاهی بر افزایش طول ریشه، جذب عناصر معدنی و افزایش وزن تر و خشک گیاهان زراعی گزارش شده است (Dziugieł & Wadas, 2020). در آزمایشی اسید هیومیک باعث افزایش معنی‌داری در رشد شاخ و برگ، تعداد غده و وزن غده و در نتیجه منجر به افزایش عملکرد گیاه سیب‌زمینی گردید (Sarhan, 2011). در آزمایشی دیگر پژوهشگران با مصرف اسید هیومیک در آب آبیاری سبب افزایش پارامترهای رشد، عملکرد و خواص فیزیکی و شیمیایی غده سیب‌زمینی شدند (Rizk *et al*., 2013). یکی دیگر از انواع محرک‌های رشد گیاهی اسیدهای آمینه است (Nardi *et al*., 2015). محققان گزارش کردند که محلول‌پاشی اسید آمینه در شرایط تنش باعث افزایش عملکرد، اجزای عملکرد و بهبود صفات کیفی محصولات مختلف از جمله پیاز و سیب‌زمینی می‌شود (Rafie *et al*., 2017; Shaheen *et al*., 2019). همچنین اسیدهای آمینه می‌توانند به طور مستقیم یا غیر مستقیم بر فعالیت‌های فیزیولوژیکی بر روی رشد و عملکرد گیاه تأثیر بگذارند (Mohamed, 2006).

به‌نظر می‌رسد عناصر غذایی موثر در رفع تنش‌های غیر زنده (مانند پتاسیم، کلسیم و روی) به‌صورت کمپلکس‌های اسید آمینه-عنصر غذایی می‌توانند با افزایش تحمل سیب‌زمینی در برابر تنش‌های گرمایی و تنش‌های محیطی باعث افزایش عملکرد این محصول گردند. انتقال اسیدهای آمینه در گیاه یک فعالیت بسیار مهم به شمار می‌رود. بر خلاف کربن احیایی که تنها از طریق آوند آبکش منتقل می‌شود، اسیدهای آمینه از طریق آوند چوبی و آبکش در گیاه انتقال می‌یابند و این عمل منجر به بازچرخ نیتروژن بین ریشه و اندام هوایی و هم‌چنین افزایش سرعت نقل و انتقال عناصر در اندام‌های گیاهی می‌گردد (Ortiz-Lopez, 2000)، که این موضوع با توجه به پویایی کم برخی عناصر مانند روی و کلسیم حائز اهمیت است. در برخی مطالعات مشخص شده است که محلول‌پاشی عنصر کلسیم در کاهش خسارت گرما و در نتیجه افزایش عملکرد سیب‌زمینی موثر بوده است (Aien & Jalali, 2018). کلسیم در تنظیم تعدادی از فرایندهای فیزیولوژی گیاهان در سطح بافت، سلول و مولکول نقش مهمی دارد که هم رشد و هم پاسخ به تنش‌های محیطی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Waraich *et al*., 2011). کاربرد پتاسیم نیز موجب سازگاری گیاه به تنش‌های محیطی می‌شود (Malakuti *et al*., 2016; Omran *et al*., 1991). عنصر روی نیز با تأثیر بر ظرفیت جذب و انتقال آب سبب کاهش اثرات نامطلوب تنش گرمایی در گیاه می‌شود (Disante *et al*., 2010). یکی از مشکلات مهم کیفی غده سیب‌زمینی تجمع نیترات در غده

سیب‌زمینی است که در اثر فعل و انفعالات شیمیایی به ترکیباتی به نام نیتروز آمین، که سرطان‌زا هستند، تبدیل می‌شوند (Dehnavard *et al*., 2017). اسیدهای آمینه محصول پایانی مرحله جذب و احیای نیترات هستند. بنابراین، افزایش غلظت اسیدهای آمینه در بافت‌های گیاهی اثر ممانعت کننده‌ای بر جذب نیترات دارد (King *et al*., 1993).

یکی از مناطق نیمه گرمسیری مناسب برای کشت سیب‌زمینی استان خوزستان می‌باشد. زراعت این محصول در سال‌های اخیر مورد استقبال کشاورزان منطقه قرار گرفته به گونه‌ای که سطح زیرکشت آن از ۳۴۷ هکتار در سال زراعی ۶۴-۱۳۶۳ هم اکنون به ۴۴۹۱ هکتار رسیده است (Ahmedi *et al.*, 2019). در راستای پاسخگویی به نیاز کشاورزان تحقیقات فراوانی در ارتباط با به‌نژادی و به‌زراعی سیب‌زمینی در خوزستان انجام گرفته است. با توجه به کمبود اطلاعات کافی در ارتباط با نقش محرک‌های رشد گیاهی بر عملکرد غده کل و قابل فروش و به ویژه عملکرد غده غیر قابل فروش و خصوصیات کیفی این محصول در منطقه، در راستای کشاورزی پایدار این تحقیق به منظور مطالعه اثر محرک‌های رشد گیاهی بر عملکرد غده کل و قابل فروش و خصوصیات کیفی سیب زمینی رقم سانته اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این تحقیق بر اساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هشت تیمار و سه تکرار در سال زراعی (۹۹-۱۳۹۸) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی بهبهان با ´۳۶ :°۳۰ عرض شمالی و ´۱۴ :°۵۰ طول شرقی اجرا گردید. محل آزمایش دارای اقلیم گرم و نیمه خشک با ارتفاع ۳۲۰ متر از سطح دریا می‌باشد (جدول ۱). تیمارهای آزمایش عبارت بودند از: ۱- اسید هیومیک ۲- اسید آمینه-روی ۳- اسید آمینه-پتاسیم ۴- اسید آمینه-کلسیم ۵- اسید آمینه- پتاسیم-کلسیم ۶- مصرف توأم اسید هیومیک، اسید آمینه-روی، اسید آمینه-پتاسیم-کلسیم ۷- اسید آمینه و ۸- شاهد (بدون مواد محرک رشد). رقم مورد مطالعه در این آزمایش سانته بود. خصوصیات رقم مورد بررسی عبارت است از نیمه زودرس تا میان‌رس، شکل غده بیضوی رنگ، رنگ پوست و گوشت غده به ترتیب زرد و زرد روشن.

قبل از انجام آزمایش یک نمونه مرکب خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر از محل آزمایش تهیه و برخی از ویژگی‌های خاک اندازه‌گیری شد (جدول ۲). بافت خاک به روش هیدرومتری تعیین و قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع (ECe) اندازه‌گیری شد. pH خاک در سوسپانسیون خاک: آب ۱:۲/۵ با استفاده از pH متر رقومی و ماده آلی خاک (Walkley & Black, 1934) نیز اندازه‌گیری شد. میزان مصرف کود بر اساس نتایج تجزیه خاک (جدول ۲) و توصیه موسسه تحقیقات خاک و آب صورت گرفت و مقادیر آن ۴۶ کیلوگرم P_2O_5 و ۷۵ کیلوگرم K_2O در هکتار بود که در هنگام تهیه زمین به‌طور یکنواخت پخش و با خاک مخلوط شدند.

جدول ۱. میانگین ماهیانه پارامترهای هواشناسی در دوره رشد و نمو سیب‌زمینی.

Table 1. Monthly average of weather parameters during potato growth period.

Weather parameters	January	February	March	April	May
Average temperature (°C)	13.70	14.30	21.40	26.90	35.30
Maximum temperature (°C)	19.70	21.20	28.90	35.30	44.30
Minimum temperature (°C)	7.60	7.30	14.00	18.40	25.70
Absolute maximum temperature (°C)	25.50	26.10	35.70	41.10	48.20
Absolute minimum temperature (°C)	1.20	2.80	8.00	10.00	20.10
Precipitation (mm)	55.80	10.90	72.00	6.80	0.00

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش.

Table 2. Physical and chemical properties of the soil in the experiment site.

Soil Texture	EC ($dS\ m^{-1}$)	pH	TNV (%)	OC (%)	TN ($g\ kg^{-1}$)	P ($mg\ kg^{-1}$)	K ($mg\ kg^{-1}$)	Zn ($mg\ kg^{-1}$)	Fe ($mg\ kg^{-1}$)	Mn ($mg\ kg^{-1}$)	Cu ($mg\ kg^{-1}$)
Silty Clay Loam	2.2	7.7	53.5	0.74	1.0	7.8	200	0.5	6.5	10.5	0.8

کود نیتروژن نیز به میزان ۱۶۱ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار از منبع اوره، یک سوم، قبل از کاشت و مابقی به نسبت‌های مساوی در مراحل ابتدای حجیم شدن و ۲۰ روز بعد از شروع حجیم شدن غده مورد استفاده قرار گرفت. مصرف اسید هیومیک پس از سبز شدن غده‌ها به همراه آب آبیاری به میزان ۱۰ کیلوگرم در هکتار، محلول‌پاشی تیمارهای اسید آمینه و اسید آمینه-روی در دو مرحله (غده‌زایی و ابتدای حجیم شدن غده)، محلول‌پاشی اسید آمینه-پتاسیم و اسید آمینه-کلسیم در دو مرحله (ابتدا و اواسط مرحله حجیم شدن غده‌ها) صورت گرفت. محلول‌پاشی اسید آمینه با و بدون عنصر غذایی با غلظت ۵ در هزار بود. اسیدآمینه مصرفی در تمامی تیمارها در این آزمایش، اسیدآمینه شرکت پارس فروغ زاگرس است. کاشت غده‌های بذری جوانه‌دار در اوایل بهمن‌ماه صورت گرفت. در زمان کاشت، غده‌ها از نظر سن فیزیولوژی در شرایط سنی چند جوانه‌ای، دارای ۵-۳ جوانه سبز رنگ ۱/۵-۱ سانتی‌متری بودند. غده‌های کاشته شده در اسفندماه سبز شده و اندام‌های هوایی شروع به رشد رویشی نمودند. غده‌ها با تراکم ۵/۳ بوته در مترمربع (با رعایت فاصله ۷۵ سانتی‌متری بین ردیف‌های کاشت و رعایت فاصله ۲۵ سانتی‌متری بین غده‌ها در روی ردیف) کشت گردیدند. بین کرت‌ها یک ردیف نکاشت به منظور جلوگیری از انتقال نیتروژن از یک کرت به کرت مجاور منظور شد. یک هفته قبل از برداشت، اندام‌های هوایی قطع و غده‌ها در اواخر اردیبهشت ماه برداشت شدند. وزن خشک غده‌های سیب‌زمینی برداشت شده با قرار دادن این غده‌ها در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت تعیین شد (Darabi *et al*., 2018). نیتروژن غده با استفاده از روش کجلدال (Bremner & Mulvancy, 1982) و میزان نیترات غده با استفاده از روش کینی و نلسون (Keeney & Nelson, 1982) تعیین گردید. برای تعیین درصد پروتئین غده، میزان نیتروژن غده در عدد ۶/۵۲ ضرب شد (Darabi *et al*., 2018). فسفر قابل جذب گیاه به روش اولسن (Olsen & Sommers, 1982) با دستگاه اسپکترفتومتر و پتاسیم قابل جذب گیاه با روش استات آمونیوم نرمال اندازه‌گیری شدند. عناصر میکروی قابل دسترس با عصاره‌گیر DTPA به روش لیندزی و نورول و با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد (Lindsay & Norvell, 1978). در پایان تجزیه واریانس بر روی عملکرد غده کل و قابل فروش (عملکرد کل منهای عملکرد غده غیر قابل فروش)، وزن متوسط غده، درصد عملکرد غده غیرقابل فروش (درصد غده‌های ریز، غده‌های ترک خورده و رشد ثانویه)، غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم، غلظت نیترات غده، درصد ماده خشک غده و درصد پروتئین غده اندازه‌گیری شد و میانگین‌ها به روش LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند. برای رسم شکل‌ها از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

عملکرد کل و قابل فروش

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر محرک رشد گیاهی بر عملکرد غده کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). کمترین عملکرد غده کل به تیمار عدم مصرف محرک رشد گیاهی مربوط بود. کاربرد محرک رشد گیاهی همه تیمارها به‌جز تیمار اسید آمینه سبب افزایش معنی‌دار عملکرد غده کل نسبت به شاهد شد (جدول ۴). در بین کلیه تیمارها، بیشترین عملکرد غده کل مربوط به کاربرد توأم محرک‌های رشد (اسید هیومیک، اسید آمینه-روی و اسید آمینه–پتاسیم-کلسیم) (۲۹/۹۵ تن در هکتار) بود و از نظر این صفت بر کلیه تیمارهای آزمایشی برتری معنی‌داری داشت (جدول ۴). در سیب‌زمینی علاوه بر عملکرد غده کل، عملکرد غده قابل‌فروش نیز بسیار مهم است زیرا ممکن است درصد قابل توجهی از غده‌ها به‌علل گوناگون از جمله گندیدگی، ریز بودن و یا عارضه فیزیولوژی رشد ثانویه قابلیت عرضه به بازار را نداشته باشند، به همین دلیل در این پژوهش علاوه بر عملکرد غده کل، عملکرد غده قابل فروش و درصد عملکرد غده غیرقابل فروش نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس عملکرد غده قابل فروش مشخص نمود که بین تیمارهای مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود دارد (جدول ۳). کاربرد محرک‌های رشد گیاهی صرف نظر از نوع ماده مصرفی سبب افزایش معنی‌دار عملکرد غده قابل فروش شد

(شکل ۱). علت بالا بودن عملکرد غده قابل فروش را می‌توان به کاهش معنی‌دار درصد اجزای عملکرد غده غیر قابل فروش مانند غده‌های ریز و ترک خورده و غده‌هایی با عارضه فیزیولوژی رشد ثانویه (Darabi, 2013) که منجر به کاهش درصد عملکرد غده غیر قابل فروش گردید، نسبت داد (جدول ۴، شکل ۲). بیشترین عملکرد غده قابل فروش (۲۸/۴۲ تن در هکتار) مربوط به اثر کاربرد توأم محرک‌های رشد (اسید هیومیک، اسید آمینه-روی و اسید آمینه-پتاسیم-کلسیم) بود که در مقایسه با شاهد و سایر تیمارها برتری معنی‌داری پیدا کرد. علت بالا بودن عملکرد غده قابل فروش در تیمار کاربرد توأم محرک‌های رشد (اسید هیومیک، اسید آمینه-روی و اسید آمینه–پتاسیم-کلسیم) را می‌توان به تأثیر محرک‌های رشد بر کاهش معنی‌دار اجزای تشکیل دهنده عملکرد غده غیر قابل فروش که منجر به کاهش درصد عملکرد غده غیر قابل فروش گردید، نسبت داد (جدول ۴، شکل ۲). برای مقایسه تأثیر انفرادی محرک‌های رشد مصرفی بر عملکرد غده قابل فروش و غیر قابل فروش و هم‌چنین مشخص نمودن میزان تأثیر انفرادی محرک‌های رشد مصرفی در تیمار مصرف توأم، اثر انفرادی این ترکیبات نیز مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۴، شکل ۲). بین مصرف انفرادی محرک‌های رشد اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (شکل ۱). بطوری‌که اسید هیومیک (۲۴/۷۱ تن در هکتار) و اسید آمینه-روی (۲۴/۶۵ تن در هکتار) پس از تیمار مصرف توأم محرک‌های رشد (اسید هیومیک، اسید آمینه-روی و اسید آمینه-پتاسیم-کلسیم) بیشترین افزایش معنی‌دار را نسبت به شاهد (۱۵/۷۲ تن در هکتار) داشتند (شکل ۱).

مشابه با این نتایج Sarhan (2011) نیز گزارش نمود کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش معنی‌داری در رشد شاخ و برگ، تعداد غده و وزن غده و در نتیجه منجر به افزایش عملکرد گیاه سیب زمینی شده است. علت افزایش عملکرد کاربرد اسید هیومیک و اسید آمینه-روی را می‌توان به تأثیر مثبت اسید هیومیک و اسیدهای آمینه بر عملکرد غده کل و کاهش درصد عملکرد غده غیر قابل فروش نسبت داد (جدول ۴ و شکل ۲). تأثیر مثبت اسیدهای آمینه روی عملکرد و اجزای عملکرد به جهت اهمیت اسیدهای آمینه در گستره وسیعی از بیوسنتز انواع مختلفی از مواد نیتروژن‌دار مانند رنگدانه‌ها، ویتامین‌ها، کانسامین‌ها، پورین‌ها و پیریمیدین نسبت داده می‌شود (El-Said & Mahdy, 2016).

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثر محرک‌های رشد گیاهی بر عملکرد و صفات مرتبط با کیفیت غده‌های سیب زمینی.
Table 3. Results of variance analysis effect of plant growth biostimulants on yield and quality traits related to potato tubers.

Source of variation	d.f.	Means of squars						
		Total tuber yield	Marketable tuber yield	Mean tuber weight	Unmarketable yield	Secondary growth	Small tuber	Crack tuber
Replication	2	44.02	44.14	189.81	6.90	1.03	1.08	1.67
Plant growth stimulus	7	34.11**	42.07**	348.10**	35.56**	50.33**	1.85**	37.61**
Error	14	3.87	3.86	42.20	1.14	2.99	0.33	2.69
C.V (%)		8.11	8.77	8.37	13.18	16.26	18.63	20.06

ns، * و **: به ترتیب نبود تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.
ns, *, **: Non-significantly difference and significantly difference at 5 and 1% probability level, respectively.

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر محرک‌های رشد گیاهی بر عملکرد و صفات مرتبط با کیفیت غده‌های سیب زمینی.
Table 4. Means comparison effect of plant growth biostimulants on yield and quality-related traits to potato tubers.

Treatment	Total yield (ton.ha^{-1})	Mean tuber weight (gr)	Secondary growth (gr)	Small tuber (%)	Crack tuber (%)
Humic acid	26.09b	81.34bc	1.75d	2.96bc	0.58c
Amino acid-Zn	26.50b	83.04b	2.44cd	2.63bc	1.94b
Amino acid-K	24.20bc	77.26bc	2.03d	2.32c	2.32b
Amino acid-Ca	23.25bc	74.23bc	3.21bc	3.20bc	1.75b
Amino acid-K-Ca	23.48bc	71.58cd	3.29b	3.51b	2.03b
Combined	29.95a	98.68a	0.78e	2.79bc	1.55b
Amino acid	21.90cd	71.72bcd	3.24bc	2.44c	2.07b
Control	18.63d	62.32d	6.01a	4.76a	5.23a

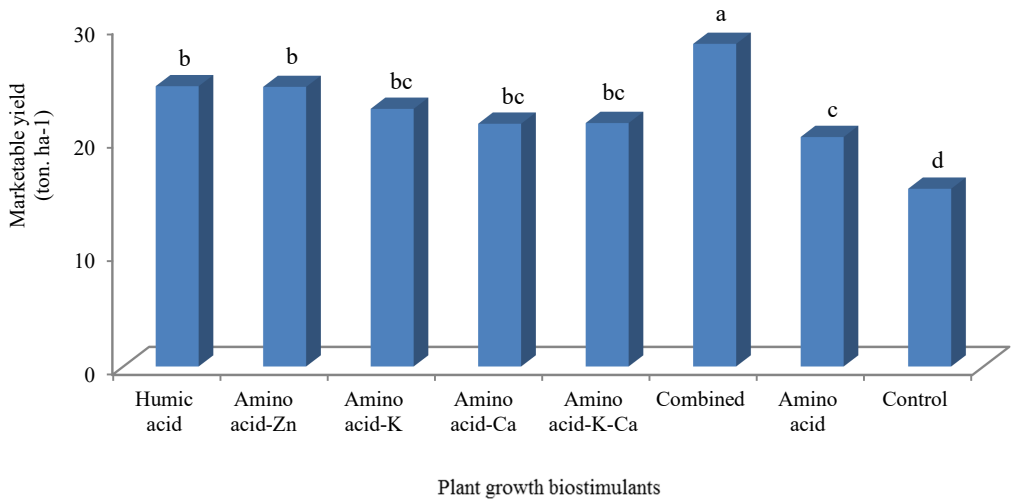
در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند.
In each column means followed by at least a common letter, are not significantly different at 5% probebility level.

اسیدهای آمینه دارای ویژگی کلات‌کنندگی عناصر غذایی نیز هستند و جذب و انتقال عناصر را به درون گیاه تسهیل می‌کنند. پژوهشگران گزارش کردند که اسیدهای آمینه با افزایش جذب عناصر غذایی و آب، باعث افزایش شدت فتوسنتز و توزیع ماده خشک و در نتیجه موجب بهبود عملکرد و کیفیت گیاه شدند (Sarojnee *et al*., 2009). عنصر روی با تأثیر بر ظرفیت جذب و انتقال آب (Disante *et al*., 2010) با کاهش اثر نامطلوب تنش گرمایی در گیاه سبب افزایش عملکرد می‌شود.

عنصر پتاسیم با سازگاری گیاه به تنش‌های محیطی (Omran *et al*., 1991) و عنصر کلسیم با تأثیر بر تعدیل گرما در انتهای فصل رشد سیب زمینی، باعث کاهش خسارت گرما و در نتیجه سبب افزایش عملکرد شده است. کاربرد کلسیم برای کاهش اثر گیاه تحت تنش گرما، ضروری است. کلسیم می‌تواند با بهبود فعالیت روزنه‌ها و توسعه پروتئین‌های شوک حرارتی (پروتئین‌های درگیر در پاسخ به تنش گرمایی)، تحمل گیاه را در برابر گرما افزایش دهد (Kleinhenz & Palta, 2002). به نظر می‌رسد که افزایش تنفس و کاهش تسهیم مواد پرورده به طرف غده‌ها در شرایط تنش گرما، باعث کاهش وزن غده‌ها و کاهش عملکرد غده می‌شود. کاهش عملکرد غده سیب‌زمینی در شرایط تنش گرما توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Levy & Li *et al*., 2019; Veilleux, 2007). در گزارشی محققان بیان کردند که کاربرد کلسیم باعث افزایش تحمل گیاه به تنش گرما می‌شود. کاربرد کلسیم قبل از تنش گرما با افزایش مقدار مالون دی آلدئید و تحریک فعالیت آنزیم‌های گایاکول پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز، باعث افزایش تحمل گیاه به گرما می‌شوند (Kolupaev *et al*., 2005).

وزن متوسط غده

وزن متوسط غده تحت تأثیر کاربرد محرک رشد گیاهی قرار گرفت. به‌طوری‌که اثر این مواد بر وزن متوسط غده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). در بین تیمارهای محرک رشد گیاهی بیشینه وزن متوسط غده (۹۸/۶۸ گرم) در تیمار مصرف توأم مشاهده گردید و از نظر این صفت بر کاربرد انفرادی محرک‌های رشد در سطح احتمال پنج درصد برتری پیدا کرد (جدول ۴). از نظر این صفت سایر محرک‌های رشد گیاهی به‌جز اسید آمینه-پتاسیم-کلسیم و اسید آمینه نیز در مقایسه با شاهد برتری معنی‌داری داشتند (جدول ۴). دمای بالا باعث جلوگیری از انتقال کربن از برگ به غده سیب‌زمینی شده و در نتیجه وزن غده را کاهش می‌دهد (Hancock *et al*., 2014).



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر محرک های رشد گیاهی بر عملکرد قابل فروش غده سیب زمینی.

Figure 1. Mean comparison effect of plant growth biostimulants on marketable yield of potato tubers.

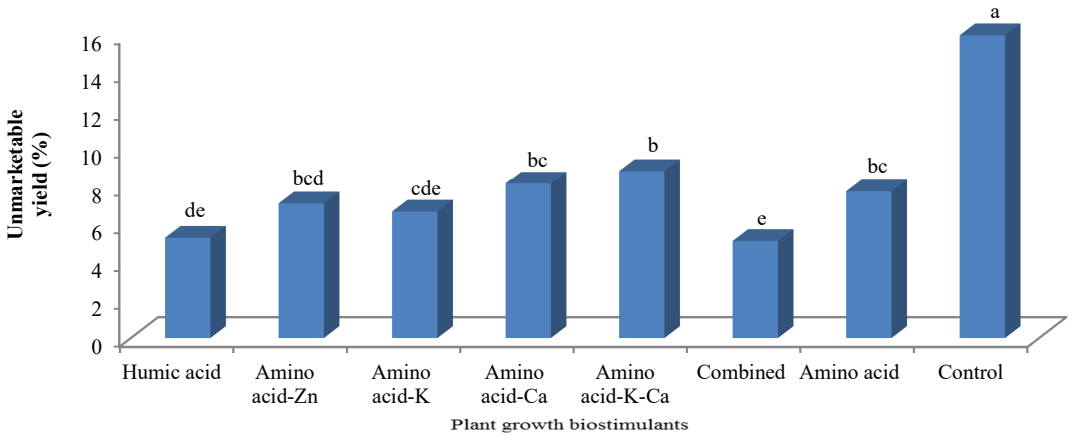
در درجه حرارت زیاد شب، کربن جذب شده بیشتر به قسمت‌های رویشی انتقال یافته در حالی‌که در درجه حرارت پایین شب، بیشتر کربن جذب شده به غده‌ها اختصاص می‌یابد (Wolf *et al*., 1990). پژوهشگران گزارش کردند که محرک‌های زیستی با افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش، فرآیندهای رشد گیاه را تحریک کرده و باعث رشد و نمو گیاهان می‌شوند و در نتیجه کیفیت و کمیت گیاه را بهبود می‌بخشند (Van Oosten *et al*., 2017).

درصد عملکرد غیرقابل فروش

در پژوهش حاضر کاهش معنی‌دار درصد عملکرد غده غیرقابل فروش در اثر کاربرد محرک‌های رشد گیاهی حائز اهمیت است. اثر محرک‌های رشد گیاهی بر درصد عملکرد غده غیرقابل فروش در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشینه درصد عملکرد غده غیر قابل فروش به شاهد تعلق داشت، به‌طوری‌که در شاهد ۱۵/۹۹ درصد محصول (معادل ۲/۹۸ تن در هکتار) قابلیت عرضع به بازار را نداشت. کاربرد محرک‌های رشد گیاهی صرف نظر از نوع ماده، درصد عملکرد غده غیر قابل فروش را بطور معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد نسبت به شاهد کاهش داد (شکل ۲).

در بین تیمارها، بیشترین کاهش درصد عملکرد غده غیرقابل فروش در تیمار کاربرد توأم محرک‌های رشد (اسید هیومیک، اسید آمینه-روی و اسید آمینه-پتاسیم-کلسیم) (۵/۱۲ درصد) تولید شد که دلیل آن را می‌توان به تأثیر بیشتر این تیمار بر کاهش عارضه فیزیولوژی رشد ثانویه غده‌ها توسط این تیمار مرتبط دانست. در بین تیمارهای کاربرد انفرادی محرک‌های رشد، اگرچه مهم‌ترین دلیل کاهش درصد عملکرد غده غیرقابل فروش، کاهش عارضه فیزیولوژی رشد ثانویه غده‌ها بود. ولی بعد از کاهش رشد ثانویه غده‌ها، تیمار اسید هیومیک بیشتر باعث کاهش ترک خوردگی غده‌ها گردید، در حالی‌که تأثیر مثبت اسید آمینه و اسید آمینه-پتاسیم در کاهش اجزای عملکرد غده غیر قابل فروش بیشتر مربوط به کاهش غده‌های ریز بود (جدول ۴).

علت افزایش درصد عملکرد غده غیر قابل فروش را می‌توان به افزایش درجه حرارت هوا و در نتیجه افزایش عارضه فیزیولوژی رشد ثانویه غده‌ها نسبت داد (Darabi, 2007). پژوهشگران گزارش نمودند که دمای بالا از طریق مهار سنتز کربن و انتقال آن به استولون، بر عملکرد و کیفیت غده سیب‌زمینی تأثیر منفی می‌گذارد (Li *et al*., 2019). به‌طوری‌که افزایش درجه حرارت هوا باعث کاهش کیفیت غده‌ها مانند ترک خوردن، رشد ثانویه و ناهنجاری‌های غده سیب‌زمینی می‌گردد (Li *et al*., 2019). در این پژوهش کاربرد اسید هیومیک و اسیدهای آمینه با و بدون عنصر غذایی با بهبود شرایط جذب عناصر غذایی و تعدیل تنش گرمایی باعث بهبود رشد گیاه شده و در نهایت باعث کاهش درصد عملکرد غده غیر قابل فروش شدند.



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر محرک های رشد گیاهی بر درصد عملکرد غیرقابل فروش غده سیب زمینی.

Figure 2. Mean comparison effect of plant growth biostimulants on unnmarketable yield percentage of potato tubers.

غده‌های با رشد ثانویه

یکی از اجزای مهم تشکیل دهنده عملکرد غده غیرقابل فروش در استان خوزستان عارضه فیزیولوژیکی رشد ثانویه است. علت این عارضه را می‌توان به بالا بودن درجه حرارت خاک و تنش آب در هنگام غده‌بندی و حجیم شدن غده‌ها نسبت داد (Ewing, 1997). اثر محرک‌های رشد گیاهی بر رشد ثانویه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشینه درصد غده‌های با رشد ثانویه مربوط به شاهد (۶/۰۱ درصد) بود. به‌طوری‌که در اثر این عارضه ۶/۰۱ درصد محصول (معادل ۱/۱۲ تن در هکتار) قابلیت عرضه به بازار را نداشت. کمترین درصد رشد ثانویه به تیمار مصرف توأم تعلق (۰/۷۸ درصد) داشت که تیمار مزبور از لحاظ این صفت نسبت به سایر محرک‌های رشد کاهش معنی‌داری داشت. میزان غده‌های با رشد ثانویه در کلیه تیمارهای محرک رشد نسبت به شاهد در سطح احتمال پنج درصد کمتر بود (جدول ۴). برای بروز رشد ثانویه علل متعددی از جمله حساسیت متفاوت ارقام، تنش خشکی و گرما و مصرف زیاد نیتروژن ذکر شده است (Ewing, 1997). در این بررسی مهم‌ترین علت بروز این عارضه تنش گرما (از اواسط اردیبهشت‌ماه) بود (جدول ۱). اگر درجه حرارت خاک ۲۷ درجه سانتی‌گراد یا بیشتر باشد عارضه فیزیولوژیکی رشد ثانویه در غده‌ها مشاهده می‌شود (Hiller *et al*., 1985). بین نتایج این پژوهش و مشاهدات Darabi (2007) مبنی بر اینکه رشد ثانویه غده‌های سیب‌زمینی در شرایط آب و هوایی خوزستان مهم‌ترین جزء عملکرد غده غیر قابل فروش است، هماهنگی وجود دارد. محققان گزارش کردند که افزایش درجه حرارت هوا می‌تواند تعادل بین منبع و مخزن را بر هم بزند، روند تشکیل غده و حجیم شدن آن را به تأخیر بیندازد و در نهایت منجر به تغییر شکل غده سیب‌زمینی شود (Levy & Veilleux, 2007). در این پژوهش محرک‌های رشد گیاهی احتمالاً با تعدیل تنش گرمایی سبب جلوگیری از روند اختلال در تشکیل و حجیم شدن غده و باعث افزایش تشکیل غده و تکامل آن شده و در نتیجه موجب کاهش رشد ثانویه غده‌های سیب‌زمینی گردیدند (جدول ۴).

غده‌های ریز

نتایج تجزیه واریانس مشخص نمود که اثر محرک‌های رشد گیاهی بر درصد غده‌های ریز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشینه درصد غده‌های ریز مربوط به شاهد (۴/۷۶ درصد) بود. به‌طوری‌که شاهد از نظر این صفت در مقایسه با سایر محرک‌های رشد گیاهی افزایش معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد داشت (جدول ۴). علت افزایش درصد غده‌های ریز در شاهد را می‌توان چنین توجیه کرد که غده‌های تشکیل شده با دمای بالا مواجه شده و نتوانسته‌اند از نظر وزن و حجم تکامل یابند. تنش گرمایی از طریق اختلال در انتقال ساکارز به غده باعث جلوگیری از غده سازی می‌شود (Li *et al*., 2019). پژوهشگران گزارش کردند که محرک‌های زیستی با افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش، فرآیندهای رشد را تحریک و باعث افزایش رشد و نمو گیاهان می‌شوند و در نتیجه کیفیت و کمیت گیاهان را بهبود می‌بخشند (Van Oosten *et al*., 2017). در این بررسی کاربرد محرک‌های رشد گیاهی در شرایط تنش گرمایی، با بهبود شرایط رشد گیاه، ضمن تکامل وزن و حجم غده، باعث افزایش وزن متوسط غده گردیدند. بدین علت تعداد غده‌های ریز در این تیمارها کمتر شدند (جدول ۴).

غده‌های ترک خورده

ترک خوردگی غده‌ها جزء دیگری از عملکرد غده غیر قابل فروش است که از مشکلات عمده کشت سیب‌زمینی بوده و دلیل آن تغییرات عوامل محیطی (به‌ویژه تنش‌های دمایی) است (Darabi, 2007). در این پژوهش تأثیر محرک‌های رشد گیاهی بر درصد غده‌های ترک خورده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). کلیه محرک‌های رشد گیاهی باعث کاهش معنی‌دار میزان ترک خوردگی غده‌ها نسبت به شاهد شدند. ترک‌های غده به دلیل نوسانات شرایط محیطی، مانند نوسانات رطوبت خاک، دمای خاک و هوا، جذب سریع آب و رشد غده، تشکیل می‌شود (Jefferies & MacKerron, 1987). ترک‌های غده سیب‌زمینی زمانی افزایش می‌یابند که شرایط

رشد درجه حرارت بالا اتفاق بیفتد (Li *et al*., 2019). در این پژوهش کاربرد محرک‌های رشد با افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های دمایی توانستند باعث کاهش غده‌های ترک خورده شوند (جدول ۴).

صفات کیفی غده

عناصر غذایی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کاربرد محرک‌های رشد بر غلظت عناصر نیتروژن، پتاسیم، و فسفر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های عنصر نیتروژن در غده حاکی از آن بود که بیشترین غلظت نیتروژن کل غده (۱/۵۷ درصد) در تیمار مصرف توأم مشاهده شد که نسبت به تیمارهای اسید آمینه-کلسیم (۱/۴۳ درصد)، اسید آمینه (۱/۴۳ درصد) و شاهد (۱/۲۵ درصد) برتری معنی‌داری پیدا کرد (جدول ۶). افزایش نیتروژن کل غده در تیمار مصرف توأم (۱/۵۷ درصد) باعث افزایش ۲۶ درصدی نیتروژن کل غده نسبت به شاهد (۱/۲۵ درصد) شد. تیمارهای کاربرد انفرادی محرک‌های رشد نیز باعث افزایش معنی‌دار نیتروژن غده نسبت به شاهد شدند. بیشترین افزایش نیتروژن کل غده در تیمارهای کاربرد انفرادی محرک‌های رشد مربوط به اسید هیومیک (۱/۵۴ درصد) و کمترین افزایش معنی‌دار مربوط به اسید آمینه (۱/۴۳ درصد) بود. اسید هیومیک به عنوان ترکیبات ماکرومولکول آلی، می‌تواند نیتروژن را به طور مستقیم از طریق واکنش‌های شیمیایی یا غیر مستقیم از طریق فعالیت میکروبی و پس از تجزیه زیست توده میکروبی در داخل ساختارش ترکیب کند (Clinton *et al*., 1995). اسید هیومیک پتانسیل بالایی برای بازگرداندن فعالیتهای میکروبی و قابلیت دسترسی عناصر غذایی و جذب نیتروژن به وسیله گیاه دارد (Ahmad *et al*., 2007). اسید آمینه نیز از طریق تغییر در مورفولوژی ریشه (Walch-Liu *et al*., 2006) یا افزایش فعالیت آنزیم‌های جذب نیترات (Schiavon *et al*., 2008) باعث افزایش غلظت نیتروژن در غده شده است. مشابه نتایج این پژوهش، محققان گزارش کردند که محلول‌پاشی اسید آمینه باعث افزایش معنی‌دار درصد نیتروژن غده سیب‌زمینی نسبت به شاهد شد (Shaheen *et al*., 2019). این پژوهشگران اظهار نمودند که مصرف اسیدهای آمینه جذب نیتروژن را توسط ریشه‌ها افزایش داده است. لذا به نظر می‌رسد افزایش درصد نیتروژن غده در سایر تیمارهای اسید آمینه-عنصر غذایی نیز تحت تأثیر اسید آمینه همراه عنصر مصرفی باشد.

در مورد جذب پتاسیم توسط غده نتایج (جدول ۶) نشان می‌دهد که بیشترین غلظت پتاسیم غده در تیمارهای مصرف توأم، اسید هیومیک و اسید آمینه-پتاسیم بدست آمد. به‌طوری‌که تیمارهای مزبور نسبت به تیمار اسید آمینه-کلسیم و شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان دادند (جدول ۶). کاربرد اسید هیومیک نفوذپذیری غشای زیستی برای الکترولیت‌ها را افزایش داده که دلیلی برای افزایش جذب پتاسیم می‌باشد (Samson & visser, 1989). Sarhan (2011) گزارش کرد که اسید هیومیک باعث افزایش جذب عناصر توسط سیستم ریشه‌زایی می‌شود، در نتیجه باعث افزایش غلظت عناصر در اندام‌های گیاهی می‌گردد. تحریک جذب یون‌ها با استفاده از مصرف مواد اسید هیومیک ممکن است به اثر اسید هیومیک بر نفوذ پذیری غشا و سیستم ریشه‌ای بهتر توسعه یافته نسبت داده شود. البته مقدار جذب عناصر غذایی با میزان اسید هیومیک مصرفی ارتباط دارد. به طورکلی، افزایش غلظت و جذب عناصر غذایی با افزایش سطح اسید هیومیک افزایش می‌یابد (Manzoor *et al*., 2014). این نتیجه با یافته‌های به‌دست آمده توسط Rizk *et al*. (2013) که گزارش کردند مصرف اسید هیومیک به‌طور قابل توجهی مقدار پتاسیم غده سیب زمینی را بهبود می‌دهد مطابقت دارد.

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های عنصر فسفر در غده حاکی از آن بود که بیشترین غلظت فسفرغده (۰/۲۳ درصد) در تیمار اسید آمینه مشاهده شد که به همراه تیمارهای مصرف توأم و اسید هیومیک در گروه آماری a قرار گرفته و نسبت به شاهد و سایر تیمارها به‌جز اسید آمینه-روی برتری معنی‌داری پیدا کردند (جدول۶). پژوهشگران گزارش کردند که کاربرد اسیدآمینه باعث افزایش معنی‌دار میزان فسفر غده سیب‌زمینی نسبت به شاهد شد (Shaheen *et al*., 2019).

جدول ۵. تجزیه واریانس اثر محرک‌های رشد گیاهی بر غلظت عناصر نیتروژن کل، فسفر، پتاسیم، نیترات، پروتئین و ماده خشک غده سیب زمینی.

Table 5. Results of variance analysis effect of plant growth biostimulants on concentrations of total nitrogen, phosphorus, potassium, nitrate, protein and dry matter of potato tubers.

Source of variation	d.f.	Means of squars					
		Nitrogen	Phosphorus	Potassium	Protein	Nitrate	Dry matter
Replication	2	0.00087	0.0004	0.0002	0.037	23.75	9.60
Plant growth stimulus	7	0.0306**	0.0012**	0.0337**	1.30**	510.69**	5.04*
Error	14	0.17	0.00016	0.0072	0.17	64.09	1.52
C.V (%)		4.36	6.06	4.26	4.36	9.16	6.33

ns، * و **: به ترتیب نبود تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, *, **: Non-significantly difference and significantly difference at 5 and 1% probability level, respectively.

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر محرک‌های رشد گیاهی بر غلظت عناصر نیتروژن کل، فسفر، پتاسیم و ماده خشک غده سیب زمینی.

Table 6. Means comparison effect of plant growth biostimulants on concentrations of total nitrogen, phosphorus, potassium and dry matter of potato tubers.

Treatment	Nitrogen (%)	Phosphorus (%)	Potassium (%)	Dry matter (%)
Humic acid	1.53ab	0.227a	2.07a	19.23bc
Amino acid-Zn	1.50ab	0.220ab	1.99ab	19.06bc
Amino acid-K	1.48ab	0.193c	2.06a	19.38bc
Amino acid-Ca	1.43b	0.190c	1.91bc	20.86ab
Amino acid-K-Ca	1.54ab	0.200bc	2.04ab	19.70abc
Combined	1.57a	0.230a	2.07a	21.65a
Amino acid	1.43b	0.233a	2.03ab	18.01c
Control	1.25c	0.183c	1.76c	17.84c

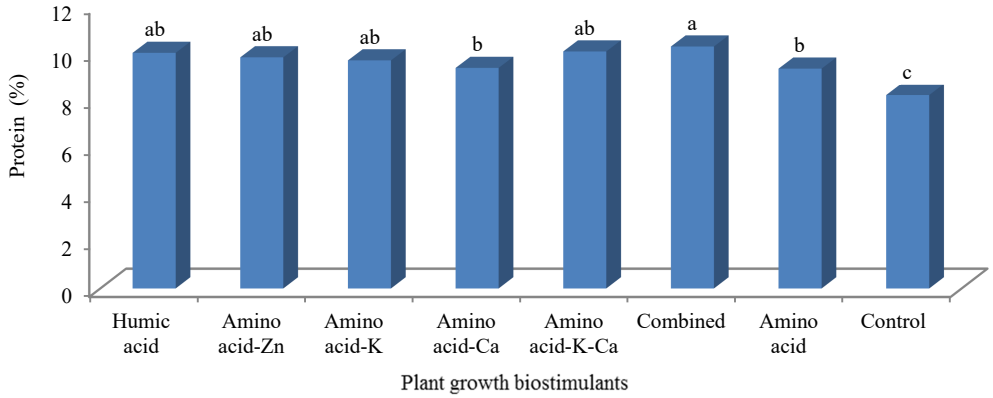
در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند.

In each column means followed by at least a common letter, are not significantly different at 5% probebility level.

آنها اظهار کردند که مصرف اسیدهای آمینه جذب عناصر مختلف از جمله فسفر را توسط ریشه‌ها افزایش دادند. افزایش جذب فسفر غده تحت تأثیر اسید هیومیک را می‌توان به کاهش ظرفیت تثبیت فسفر خاک توسط اسید هیومیک نسبت داد. اسید هیومیک معمولاً ظرفیت تثبیت فسفر را کاهش داده، جذب و حلالیت فسفر غیرمحلول در خاک‌ها را افزایش می‌دهد (Heng, 1989). پژوهشگران گزارش نمودند که افزایش نیتروژن و فسفر تحت تأثیر کاربرد اسید هیومیک خالص به دلیل افزایش ماده آلی، کربن کل و CEC خاک است (Amini *et al*., 2017). گروه‌های عاملی موجود در اسید هیومیک به عنوان سایت تبادلی عمل کرده و CEC خاک را افزایش می‌دهد. اسید هیومیک نگهداری عناصر غذایی را افزایش داده و رهاسازی عناصر در محلول خاک آهسته‌تر صورت گرفته است. در این پژوهش، احتمالاً بالا بودن میزان فسفر غده سیب‌زمینی در تیمارهای اسید هیومیک، اسید آمینه و اسید آمینه-روی نسبت به کمپلکس‌های اسید آمینه-پتاسیم، اسید آمینه-کلسیم و اسید آمینه-پتاسیم-کلسیم مربوط به زمان مصرف محرک‌های رشد باشد. به‌طوری‌که در جدول ۶ ملاحظه می‌شود، تیمارهای اسید هیومیک، اسید آمینه و اسید آمینه-روی که در زمان‌های پیش‌تر مصرف شده‌اند میزان فسفر بالاتری جذب نموده‌اند.

پروتئین غده

مصرف محرک‌های رشد گیاهی می‌تواند با افزایش درصد نیتروژن غده‌ها و تبدیل آنها به پروتئین موجب بهبود ارزش غذایی غده‌ها شود. با توجه به این‌که درصد پروتئین غده ضریبی از درصد نیتروژن غده است، روند تغییرات پروتئین‌های غده کاملاً مشابه با روند تغییرات نیتروژن غده بود. نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های عنصر نیتروژن در پروتئین‌های غده نشان داد که بیشترین مقدار پروتئین‌های غده (۱۰/۲۶ درصد) در تیمار مصرف توأم مشاهده شد که نسبت به تیمارهای اسید آمینه-کلسیم، اسید آمینه و شاهد برتری معنی‌داری پیدا کرد (شکل ۳). تیمارهای کاربرد انفرادی محرک‌های رشد نیز باعث افزایش معنی‌دار پروتئین‌های غده نسبت به شاهد شدند. به‌طوری‌که بیشترین افزایش پروتئین‌های غده مربوط به اسید هیومیک (۹/۹۹ درصد) و کمترین افزایش معنی‌دار مربوط به اسید آمینه (۹/۳۲ درصد) بود.



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر محرک های رشد گیاهی بر پروتئین غده سیب زمینی.

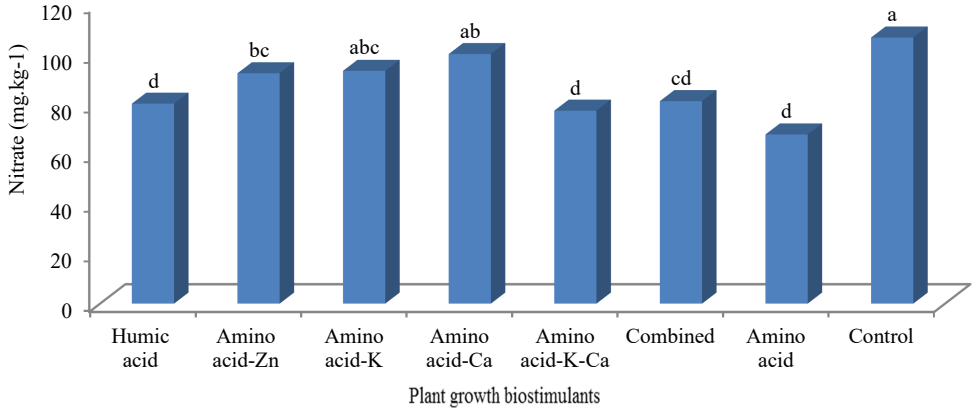
Figure 3. Mean comparison effect of plant growth biostimulants on protein of potato tubers.

نیترات غده

نتایج تجزیه واریانس مشخص نمود اثر کاربرد محرک رشد گیاهی بر میزان نیترات غده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). در این آزمایش کاربرد محرک‌های رشد اسید هیومیک، اسید آمینه-روی، اسید آمینه-پتاسیم-کلسیم و اسید آمینه باعث کاهش معنی‌دار نیترات غده شدند. کمینه نیترات غده در اثر کاربرد اسید آمینه (۶۷/۷۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) بدست آمد (شکل ۴). در غده سیب‌زمینی نیتروژن می‌تواند به اشکال مضر همانند نیترات و یا گیلیکوآلکالوئید (سولانین) تجمع یابند (Hamouz *et al.*, 2005). نیترات تحت تاثیر آنزیم‌های هضم کننده به نیتریت تبدیل شده که نیتریت نیز می‌تواند به ترکیبات ان- نیترو تبدیل شود. این ترکیبات سبب تبدیل هموگلوبین به متهموگلوبین می‌شوند. میزان مجاز جذب نیترات و نیتریت برای یک فرد بالغ ۷۰ کیلوگرمی در روز به‌ترتیب ۲۶۰ و ۴۹ میلی‌گرم می‌باشد. چنانچه میزان جذب نیترات از ۱۱-۸ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن افزایش یابد، کشنده است (Burt *et al.*, 1993). از نظر تجمع نیترات در بین سبزی‌ها، سیب‌زمینی یک محصول خطرناک تلقی می‌شود (Murawa *et al.*, 2008). مقدار مجاز نیترات در غده سیب‌زمینی ۱۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (Noorbaksh *et al.*, 2003). دو عامل مهم و تاثیر گذار بر میزان نیترات، رقم و کوددهی می‌باشند. برخی از محققان نشان داده‌اند که تعدادی از اسیدهای آمینه می‌توانند مانع جذب نیترات به‌وسیله ریشه گیاه شوند (Aslam *et al.*, 2001). اسیدهای آمینه محصول پایانی مرحله جذب و احیای نیترات هستند. بنابراین، افزایش غلظت اسیدهای آمینه در بافت‌های گیاهی اثر ممانعت کننده‌ای بر جذب نیترات دارد (King *et al.*, 1993). Roder *et al.* (2018) گزارش کردند که کاربرد اسیدهای آمینه فعالیت نیترات رداکتاز و نیتریت رداکتاز را افزایش داده و از این طریق، انباشتگی نیترات در برگ‌های سیب‌زمینی را کاهش می‌دهند. اثر مثبت کاربرد اسیدهای آمینه در کاهش غلظت نیترات پیاز نیز نشان داده شده است (Gunes *et al.*, 1996; Rafie *et al.*, 2017). کاهش میزان نیترات در سیب‌زمینی با مصرف اسید هیومیک توسط پژوهشگران نیز گزارش شده است (Fazlzadeh *et al.*, 2017).

درصد ماده خشک

در این تحقیق اثر محرک‌های رشد گیاهی بر درصد ماده خشک غده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). بیشینه درصد ماده خشک غده مربوط به کاربرد توأم محرک‌های رشد (اسید هیومیک، اسید آمینه-روی و اسید آمینه-پتاسیم-کلسیم) (۲۱/۶۵ درصد) بود و اختلاف این تیمار به همراه تیمار اسید آمینه-کلسیم نسبت به تیمار اسید آمینه و شاهد معنی‌دار شدند، ولی کاهش درصد ماده خشک در تیمار اسید آمینه-کلسیم نسبت به کاربرد توأم محرک‌های رشد معنی‌دار نبود (جدول ۶).



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر محرک های رشد گیاهی بر نیترات غده سیب زمینی.

Figure 4. Mean comparison effect of plant growth biostimulants on nitrate of potato tubers.

البته بالا بودن درصد ماده خشک در تیمار کاربرد توأم محرک‌های رشد را می‌توان به نقش کلسیم نسبت داد. در واقع کلسیم بلوغ غده‌ها و تبدیل نشاسته به قندها را به تأخیر می‌اندازد (Afrasiab & Iqbal, 2012). این عنصر باعث تنظیم فرآیند غده‌زایی در سیب‌زمینی می‌شود (Jackson, 1999). کلسیم احتمالاً در پیام‌های هورمونی غده‌زایی در سیب‌زمینی نقش داشته و باعث تحریک و تسریع غده‌زایی و حجیم شدن غده‌های اولیه می‌شود (Palta & Kleinhenz, 2003). از طرف دیگر، تیمار کاربرد توأم محرک‌های رشد بیشترین عملکرد را تولید نموده است (جدول ۶)، به همین دلیل چنین به‌نظر می‌رسد این تیمار حداکثر سطح برگ را نیز به خود اختصاص داده باشد. لذا ذخیره سازی اسیمیلات‌ها در این تیمار از سایر تیمارها بیشتر بوده و در نتیجه حداکثر ماده خشک غده در تیمار مزبور مشاهده شده است. هماهنگ با نتایج این آزمایش، پژوهشگران نیز تأثیر مثبت کلسیم در افزایش درصد ماده خشک غده را گزارش نموده‌اند (Hamdi *et al.*, 2015).

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش مصرف محرک‌های رشد در شرایط تنش گرمایی سبب کاهش معنی‌دار درصد عملکرد غده غیر قابل فروش نسبت به شاهد و در نتیجه باعث افزایش معنی‌دار عملکرد غده قابل فروش گردید. از نظر افزایش غلظت عناصر غذایی، درصد پروتئین و کاهش نیترات غده بهترین تیمار مصرف توأم تیمارها بود. در بین کاربرد تکی محرک‌های رشد نیز بیشترین غلظت عناصر غذایی مربوط به اسید هیومیک و اسید آمینه-روی بود. هم‌چنین کاربرد اسید آمینه-روی، اسید هیومیک، اسید آمینه-پتاسیم-کلسیم و اسید آمینه باعث کاهش نیترات غده (از ۱۴/۳ تا ۳۹/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم) شدند. در این پژوهش کاربرد توأم محرک‌های رشد یعنی اسید هیومیک به‌صورت کود آبیاری به همراه دومین آبیاری و محلول‌پاشی اسید آمینه-روی در مراحل غده‌زایی و ابتدای حجیم شدن غده و محلول‌پاشی اسید آمینه-پتاسیم-کلسیم در مراحل ابتدا و اواسط مرحله حجیم شدن غده‌ها توصیه می‌شود.

REFERENCES

1. Afrasiab, H., & Iqbal, J. (2012). Biochemical and molecular characterization of somaclonal variants and induced mutants of potato (*Solanum tuberosum* L.) Cv. Desiree. *Pakistan Journal Botany*, 44(5), 1503-1508.
2. Ahmad, R., Jilani, G., Arshad, M., Zahir, Z. A., & Khalid, A. (2007). Bio-conversion of organic wastes for their recycling in agriculture: an overview of perspectives and prospects. *Annals of Microbiology*, 57(4), 471-479.

3. Ahmadi, K., Abadzadeh, H., Hatemi, P., Abdeshah, H. & Kazemian, H. (2019). *Agricultural statistics, first volume-horticultural and field crop*, 2016-2017. Ministry of Jihad-e-Agriculture, Programing and Economic Deputy, Statistics and Information Technology Office. pp.68. (In Farsi).
4. Aien, A. (2010). *Impact of high temperature and CO2 on physiological and biochemical characteristics of potato cultivars*. Ph.D. Thesis. Indian Agricultural Research Institute, New Delhi, India.
5. Aien, A., & Jalali, A. (2018). Effect of foliar application of calcium nitrate application on yield of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars under terminal heat stress condition in south of Kerman province. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 20(3), 193-208. (In Farsi).
6. Amini, B., Farahbakhsh, M., & Kianirad, M. (2017). Study on the effects of humic acid-urea fertilizers application on some agronomic characteristics of maize (*Zea Mays* L.). *Applied Soil Research*, 5(2), 31-40. (In Farsi).
7. Aslam, M., Travis, R. L., & Rains, D. W. (2001). Differential effect of amino acids on nitrate uptake and reduction systems in barley roots. *Plant Science*, 160, 219–228.
8. Bremner, J.M. & Mulvaney, C.S. (1982). Nitrogen-total. In: A.L.Page, Miller, R. H. & Keeney, D. R. (Eds), *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. (pp. 595-624.) American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
9. Burt, T. P., Heathwaite, A. L. & Trudgill, S. T. (1993). *Nitrate: Process, pattern and management*. Jhon Wiley & Sons, Chichester, England.
10. Clinton P. W. Newman R. H., & Allen R. B. (1995). Immobilization of 15N in forest litter studied by 15N CPMAS NMR spectroscopy. *European Journal of Soil Science*, 46(4), 551-556.
11. Darabi, A. S. (2007). Effects of autumn and winter planting and temperature stress on total yield, marketable yield and yield components of some potato cultivars. *Seed and Plant production Journal*, 23, 373-386. (In Farsi).
12. Darabi, A. (2013). Effect of planting date on total and marketable yield of potato cultivars in Khuzestan province in Iran. *Seed and Plant Production Journal*, 29-2(3), 369-386. (In Farsi).
13. Darabi, A., Omidvari, S., Shafiezargar, A. R., Rafie, M. R., & Javadzadeha, M. (2018). Impact of integrated management of nitrogen fertilizers on yield and nutritional quality of potato. *Journal of Plant Nutrition*, 41(19), 2482-2494.
14. Dehnavard, S., Souri, M. K. & Mardanlu, S. (2017). Tomato growth responses to foliar application of ammonium sulfate in hydroponic culture. *Journal of Plant Nutrition*, 40(3), 315-323.
15. Disante, K. B., Fuentes, D., & Cortina, J. (2010). Sensitivity to zinc of Mediterranean woody species important for restoration. *Science of The Total Environment*, 408, 2216-2225.
16. Dziugieł, T., & Wadas, W. (2020). Effect of plant biostimulants on macronutrient content in early crop potato tubers. *Agronomy*, 10, 1202: 1-11.
17. El-Said, M. A. A., & Mahdy, A. Y. (2016). Response of two wheat cultivars to foliar application with amino acids under low levels of nitrogen fertilization. *Middle East Journal of Agriculture Research*, 5(4), 462-472.
18. Ewing, E. E. (1997). Potato. In: Wien, H. C. (Ed.), *The physiology of vegetable crops*. CAB International, New York.
19. Fazlzadeh, M., Serajamani, R., Rostamy, R., Rezaei, M., Shahriari, R., & Sadeghi, H. (2017). Comparing the effect of conventional inorganic and humic fertilizers' use on nitrate levels of potatoes: a case study of agricultural lands in Ardabil city. *Journal of Health*, 8(4), 416-424.
20. Gunes, A., Inal, A., & Aktas, M. (1996). Reducing nitrate content of NFT grown winteronion plants (*Allium cepa*) by partial replacement of NO_3 with amino acid innutrient solution. *Scientia Horticulturae*, 65, 203-208.
21. Hamdi, W., Helali, L, Beji, R., & Zhani, K. (2015). Effect of levels calcium nitrate addition on potatoes fertilizer. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2(3), 2006-2013.
22. Hamouz, K., Lachman, J., Dvorak, P., & Pivec, V. (2005). The effect of ecological growing on the potatoes yield and quality. *Plant, Soil and Environment*, 51(9), 397-402.
23. Hancock, R. D., Morris, W. L., Ducreux, L. J., Morris, J. A., Usman, M., & Verrall, S. R. (2014). Physiological, biochemical and molecular responses of the potato (*Solanum tuberosum* L.) plant to moderately elevated temperature. *Plant Cell Environment*, 37, 439–450.
24. Heng L. C. (1989). Influence of some humic substances on P-sorption in some Malaysian soils under rubber. *Natural Rubber Resources*, 4, 186-194.
25. Hiller, L. K., Koller, D. C., & Thornton, R. E. (1985). *Physilogical disorders of potato tubers.* In: H. Li.Paul (Ed.) *Potato physiology*. Acadamic Press, Inc. New York.
26. Jackson, S. D. (1999). Multiple signaling pathways control tuber induction in potato. *Plant Physiology*, 119, 1-8.

27. Jefferies, R. A., & MacKerron, D. K. L. (1987). Observations on the incidence of tuber growth cracking in relation to weather patterns. *Potato Research*, 30(4), 613-623.
28. Keeney, D. R. & Nelson, D. W. (1982). Nitrogen-inorganic forms. In: R. H. Miller & Keeney, R. H. (Eds), *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy.
29. King, B. J., Siddiqi, M. Y., Ruth, T. J., Warner, R. L., & Glass, A. D., (1993). Feed back regulation of nitrate influx in barley roots by nitrate, nitrite, and ammonium. *Plant Physiology*, 102, 1279-1286.
30. Kleinhenz, M. D., & Palta, J. P. (2002). Root zone calcium modulates the response of potato plants to heat stress. *Physiologia Plantarum*, 115, 111-118.
31. Kolupaev, Y., Akinina, G., & Mokrousov, A. (2005). Induction of heat tolerance in wheat coleoptiles by calcium ions and its relation to oxidative stress. *Journal of Plant Physiology*, 52, 199-204.
32. Levy, D. & Veilleux, R. E. (2007). Adaptation of potato to high temperatures and salinity. A Review. *American Journal of Potato Research*, 84, 487-506.
33. Li, X. Q., Tai, H., Creelman, A., & Bizimungu, B. (2019). Improving potato stress tolerance and tuber yield under a climate change scenario –a current overview. *Frontiers in Plant Science*, 10(563), 1-16.
34. Lindsay, W. L., & Norvell, W. A. (1978). Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society America Journal*, 42, 421-428.
35. Malakouti, M. J., Shahabi, A. S., & Bazargan, K. (2016). *Potassium in agriculture: The role of potassium in the production of healthy agricultural* (2th ed). Tehran, Iran. Moballeghan. (In Farsi).
36. Manzoor, A., Khattak, R. A., & Dost, M. (2014). Humic acid and micronutrient effects on wheat yield and nutrients uptake in salt affected soils. *International Journal of Agriculture and Biology*, 16, 991-995.
37. Mohamed, A. M., (2006). *Effect of some bio-chemical fertilization regimes on yield of maize*. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, University of Zagazig, Egypt.
38. Murawa, D., Banaszkiewicz, T., Majewska, E., Błaszczuk, B., & Sulima, J. (2008). Nitrate and nitrite content in selected vegetables and potatoes commercially available in Olsztyn. *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna*, 41(1), 67-71.
39. Nardi, S., Pizzeghello, D., Schiavon, M., & Ertani, A. (2015). Plant biostimulants: physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism. *Scientia Agricola*, 73(1), 18-23.
40. Nourbakhsh, R., Mireki, GH., Aghdami, A., Razavi, M., Shejaei Aliabadi, M., Nowroozad, M., Ghanbarzadeh Alamdari, N., & Besharati, H. (2003). *Maxim levels for nitrate in agricultural.* Iranian Natioal Standardization Organization. 4 p. (In Farsi).
1. 41. Olsen, S.R. & Sommers, L.E. (1982). Phosphorus. In A.L. Page (Ed.), *Methods of soil analysis* Part 2 *Chemical and microbiological properties.* American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison.
41. Omran, M. S., Taysee, M., El-Shinnawi, M. M., & El-Sayed, M. M. (1991). Effect of macro– and micro-nutrients application on yield and nutrients content of potatoes. *Egyptian Journal of Soil Science*, 31(1), 27-42.
42. Ortiz-Lopez, A., Chang, H. C., & Bush, D. R. (2000). Amino acid transporters in plants. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1465, 275-280.
43. Palta, J. P., & Kleinhenz, M. D. (2003). Influence of supplemental calcium fertilization on potato tuber size and tuber number. *Acta Horticulturae*, 619, 329-336.
44. Rafie, M., Khoshgoftarmanesh, A. M., Shariatmadari, H., Darabi, A., & Dalir, N. (2017). Influence of foliar-applied zinc in the form of mineral and complexedwith amino acids on yield and nutritional quality of onion under fieldconditions. *Scientia Horticulturae*, 216, 160–168.
45. Rizk, F. A., Shaheen, A. M., Singer, S. M., & Sawan, O. A. (2013). The productivity of potato plants affected by urea fertilizer as foliar spraying and humic acid added with irrigation water. *Middle East Journal of Agriculture Research*, 2(2), 76-83.
46. Roder, C., Mogor, A. F., Szilagyi-Zecchin, V. J., Gemin, L. G., & Mogor, G. (2018). Potato yield and metabolic changes by use of biofertilizer containing L-glutamic acid. *Comunicata Scientiae*, 9(2), 211-218.
47. Samson, G., & Visser S. A. (1989). Surface-active effects of humic acids on potato cell membrane properties. *Soil Biology and Biochemistry*, 21(3), 343-347.
48. Sarhan, T. Z. (2011). Effect of humic acid and seaweed extracts on growth and yield of potato plant (*Solomun tubersum* L.). Desirce cv. *Mesopotamia Journal of Agriculture*, 39(2), 19-27.
49. Sarojnee, D. Y., Navindra, B., & Chandrabose, S. (2009). Effect of naturally occurring amino acid stimulants on the growth and yield of hot peppers (*Capsicum annum* L.). *Journal of Animal and Plant Sciences*, 5(1), 414-424.

50. Schiavon, M., Ertani, A., & Nardi, S. (2008). Effects of an alfalfa protein hydrolysate on the gene expression and activity of enzymes of the tricarboxylic acid (TCA) cycle and nitrogen metabolism in Zea mays L. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 11800-11808.
51. Shaheen, A. M., Ragab, M. E., Rizk, A., Mahmoud, S. H., Soliman, M. M., & Omar, N. M. (2019). Efeect of some active stimulants on plant growth, tubers yield and nutritional values of potato plants grown in newly reclaimed soil. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 29(1), 215-225.
52. Van Oosten, M. J., Pepe, O., De Pascale, S., Silletti, S., & Maggio, A. (2017). The role of biostimulants and bioe_ectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 4, 1-12.
53. Wadas, W., & Dziugiel, T. (2019). Growth and marketable potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber yield in response to foliar application of seaweed extract and humic acids. *Applied Ecology Environmental Research*, 19, 557-570.
54. Waglay, A., Karboune, S., & Alli, I. (2014). Potato protein isolates: recovery and characterization of their properties. *Food Chemistery*, 142, 373-382.
55. Walch-Liu, P., Liu, L. H., Remans, T., Tester, M., & Forde, B. G. (2006). Evidence that L-glutamate can act as an exogenous signal to modulate root growth and branching in Arabidopsis thaliana. *Plant and Cell Physiology*, 47, 1045–1057.
56. Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, 29-38.
57. Waraich, E. A., Ahmad, R., Ashraf, M. Y., & Saifullah Ahmad, M. (2011). Improving agricultural water use efficiency by nutrient management in crop plants. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B–Soil and Plant Science*, 61(4), 291-304.
58. Wolf S, Marani A, & Rudich J. (1990). Effects of temperature and photoperiod on assimilate partitioning in potato plants. *Annals of Botany-London*, 66, 513-520.