Iranian Journal of Horticultural Science
Vol 48, No 3, Autumn 2017 (623-633)
DOI: 10.22059/ijhs.2017.218315.1108

علوم باغبانی ایران
دورهٔ ۴۸، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۶ (ص ۶۳۳-۶۲۳)

تأثیر سولفات و سلنیوم بر برخی شاخص‌های ریخت‌شناختی و ویژگی‌های پاداکسندگی پیاز قرمز آذرشهر

شیوا بذل[۱]، فرشاد دشتی[۲*] و مجتبی دلشاد[۳]

۱ و ۲. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و دانشیار، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان

۳. دانشیار، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۷/۳۰ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۳/۲)

چکیده

پیاز خوراکی ازجمله سبزی‌های پرمصرف در زنجیرهٔ غذایی مردم جامعه بوده و محققان همواره در تلاش هستند تا کیفیت غذایی آن را بهبود بخشند. این پژوهش برای بررسی تأثیر سطوح مختلف گوگرد (۳۲، ٦٤ و ۱۲۸ میلی‌گرم در لیتر سولفات و سلنیوم (۰، ۱ و ۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات) بر صفات رشدی و ویژگی‌های پاداکسندگی (آنتی‌اکسیدانی) پیاز (*Allium cepa* L.) رقم قرمز آذرشهر در شرایط آبکشتی (هیدروپونیک) انجام شد. نتایج نشان داد، غلظت‌های سولفات و سلنات و همچنین اثر متقابل این دو بر بیشتر صفات رویشی در سوخ معنی‌دار بود؛ به‌طوری‌که بالاترین وزن تر و قطر سوخ (۳۵/۷۰ گرم و ۳۸/۲٤ میلی‌متر) در تیمار ۱۲۸ میلی‌گرم در لیتر سولفات در ترکیب با غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات مشاهده شد. بین افزایش سلنات و سولفات رابطهٔ مستقیم و مثبت با وزن تر و قطر سوخ به دست آمد. بیشترین درصد مادهٔ خشک سوخ (۱٦ درصد) در تیمار ٦٤ میلی‌گرم در لیتر سولفات در ترکیب با تیمار ۱ میلی‌گرم در لیتر سلنات به دست آمد. در همهٔ غلظت‌های سولفات همزمان با افزایش سطح سلنات ارتفاع بلندترین برگ کاهش یافت. همچنین با افزایش غلظت سلنات در همهٔ سطوح سولفات، تجمع سلنیوم در سوخ بیشتر شد. افزایش سلنیوم سبب افزایش خاصیت پاداکسندگی، فنول و فلاونوئید بافت سوخ، در شماری از تیمارهای مورد آزمایش شد.

واژه‌های کلیدی: آبکشت، سلنات، سولفات، فلاونوئید، فنول، ویژگی پاداکسندگی.

Effects of different levels of sulfur and selenium on some morphological and antioxidant properties of onion (*Allium cepa* L.) cv. Germez Azarshahr

Shiva Bazl[1], Farshad Dashti[2*] and Mojtaba Delshad[3]

1, 2. Former M. Sc. Student and Associate Professor, Faculty of Agriculture, BU-Ali Sina, University Hamadan, Iran
3. Associate Professor, University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

(Received: Oct. 21, 2016 - Accepted: May 23, 2017)

ABSTRACT

Onion is one of the vegetables greatly consumed in the food chain of people and researchers are always trying to improve itsnutritional quality. This study was conducted to investigate the effect of different levels of sulfur (32, 64 and 128 mg L^{-1} sulfate) and selenium (0, 1 and 2 mg L^{-1} selenate) on the growth and antioxidant properties of red onion cv. Azarshahr. The study was performed under hydroponic conditions. Results showed that the concentrations of sulfate and selenate and the interaction of them had a significant effect on the most of growth characteristics of onion plants. The highest fresh weight and diameter of bulb (35.70 g and 38.24 mm) was observed in 128 mg L^{-1} sulfur in combination with 2 mg L^{-1} selenate. There was a positive correlation between selenate and sulfate with the bulb fresh weight and diameter of onion. The highest percentage of bulb dry matter content (16%) was obtained in 64 mg L^{-1} sulfate combined with 1 mg L^{-1} selenate. At all concentrations of sulfate, the plant height was reduced by increasing of selenate. In addition, selenium accumulation was increased in the onion by increasing selenate concentrations in all levels of sulfate. By increasing selenium, antioxidant activity and phenol and flavonoid contents of bulb tissue was increased.

Keywords: Antioxidant activity, Flavonoid, Hydroponics, Phenol, Selenate, Sulfate.

* Corresponding author E-mail:dashti1350@yahoo.com

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

پیاز خوراکی یکی از گیاهان بومی ایران و جزء مهم‌ترین گیاهان خوراکی تیرهٔ *آلیاسه* (*Alliaceae*) است که اهمیت بالایی در زنجیره غذایی مردم دارد (Peyvast, 2009). ترکیب عنصرهای موجود در پیاز در میزان ارزش غذایی آن مؤثر است و ازجمله سبزی‌هایی است که قابلیت تجمع سلنیوم را دارد (Hasanuzzaman *et al*., 2010). سلنیوم عنصری شبه‌فلز و در گروه ششم جدول تناوبی پس از گوگرد قرار دارد و به علت نزدیکی به عنصر گوگرد گاهی رفتاری همسان با این عنصر را نشان می‌دهد (Freeman *et al*., 2006). در برخی از ترکیب‌های آلیپرشمار سلنیوم جایگزین گوگرد شده و ترکیب‌هایی واکنش‌پذیرتر نسبت به همتای گوگردی خود تولید می‌کند (Novozamsky & Vaneck, 1977).

سبزی‌های موجود در خانوادهٔ *آلیاسه* سلنیوم کانی را از خاک جذب کرده و آن را به شکل‌های آلی فعال تبدیل می‌کنند و درنهایت انواع مختلفی از سلنوآمینواسیدها را می‌سازند (Wrobel *et al*., 2004). برهمکنش سلنیوم و گوگرد به‌گونه‌ای است که استفاده از گوگرد در حضور سلنیوم منجر به کاهش سمیت سلنیوم شده و رشد گیاه را افزایش می‌دهد (Kopsell & Randle, 1997) به‌طوری‌کهکاربرد کودهای گوگردی منجر به افزایش خطی رشد، قطر سوخ و وزن خشک پیاز شده است (Abbey *et al*., 2002). فرم کانی سلنیوم به دو صورت سدیم سلنات و سدیم سلنیت است که در گیاه سیر برهمکنش گوگرد با عنصرهای سلنات و سلنیت در محیط هیدروپونیکمنجر به کاهش جذب سلنات شده است (Tsuneyoshi *et al*., 2006)، همچنین برای بررسی رقم‌های مختلف پیاز، پیازهای روز کوتاه تحت تأثیر تیمارهای مختلف سلنات و سولفات قرار گرفتند که نتایج نشان داد، تجمع و ذخیرهٔ سلنیوم در پیازها وابسته به رقم بوده و همبستگی معنی‌داری بین نوع پیاز و میزان تجمع سلنیوم وجود دارد (Kopsell & Randle, 1997). بررسی‌ها مؤید این است که سلنیوم بخش مهمی از ساختار آنزیم‌هایی است که از یاخته‌ها در برابر رادیکال‌های آزاد محافظت می‌کنند به‌طوری‌که با متصل شدن به ساختار پروتئین‌ها از بافت‌ها و غشاها در برابر آسیب اکسایشی (اکسیداتیو) محافظت می‌کنند (Terry *et al*., 2000; Turakainen *et al*., 2004). ترکیب سلنومتیل سیستئین انباشته‌شده در *آلیوم‌ها* می‌تواند به متیل سلنول که در برابر سرطان نقش محافظتی دارد تبدیل شود (Whanger, 2004).

با توجه به نقش و اهمیت سلنیوم در پیشگیری از بیماری‌های سرطانی (Whanger, 2004) و همچنین تأثیر غلظت‌های مختلف سولفات در تجمع سلنیوم، بررسی برهمکنش عنصرهای گوگرد و سلنیوم در یکی از رقم‌های پیاز پرمصرف کشور ضروری به نظر ضروری می‌رسید. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر برهمکنش یون‌های سولفات و سلنات بر برخی صفات ریخت‌شناختی (مورفولوژیک) و ویژگی‌های پاداکسندگی (آنتی‌اکسیدانی) پیاز رقم قرمز آذرشهر و میزان تجمع سلنیوم، سولفات طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در گلخانهٔ تحقیقاتی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه بوعلی‌سینا همدان در دمای ۲±۲۵ درجهٔ سلسیوس در روز و دمای ۲±۱۸ درجهٔسلسیوس در شب با رطوبت ۷۰درصد، همراه با نور طبیعی و به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. کشت بذرها در اواخر فروردین ۱۳۹۱ در گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانهٔ ۲۵ سانتی‌متر و محتوای مخلوط خاک و ماسه (با نسبت حجمی یکسان) انجام شد. تغذیهٔ گیاهان بر پایهٔ حجم پس آب گلدان‌ها و به‌صورت روزانه انجام شد. دو ماه پس از کشت (خردادماه) در مرحلهٔ پنج‌برگی گیاهچه‌ها به گلدان با بستر کشت پرلیت منتقل و در هر گلدان سه نشا کشت شد. چهار روز اول نشاها با آب، سپس به مدت یک هفته با محلول غذایی هوگلند با غلظت یک‌چهارم، هفتهٔ دوم با غلظت نصف و هفتهٔ سوم با هوگلند کامل آبیاری شدند. با توجه به تغییر محیط کشت گیاه و انتقال از کشت خاکی به آبکشتی اعمال محلول کامل هوگلند سبب وارد شدن تنش به گیاهچه‌ها می‌شد لذا برای سازگاری گیاه با شرایط آزمایش، محلول در آغاز به‌صورت یک‌چهارم پس از آن نصف و درنهایت محلول کامل اعمال شد. پس از

Archive of SID

www.SID.ir

آماده‌سازی گیاهان اعمال تیمارها در تیرماه با سه غلظت ۰، ۱ و ۲ میلی‌گرم بر لیتر سلنیوم به‌صورت سدیم سلنات و سه غلظت ۳۲ (نصف غلظت هوگلند)، ۶۴ (غلظت هوگلند) و ۱۲۸ (دو برابر غلظت هوگلند) میلی‌گرم بر لیتر برای گوگردبه‌عنوان تیمارهای آزمایشی انتخاب شدند. غلظت گوگرد در محلول هوگلند ۶۴ میلی‌گرم در لیتر است. با توجه به هدف پژوهش که بررسی اثر متقابل بین سلنات و سولفات بود غلظت‌های کمتر و بیشتر از این میزان انتخاب شد (شکل ۱). با کاربرد کود سولفاتمنیزیم ($MgSO_4.7H_2O$) غلظت‌های مدنظر سولفات تنظیم شد. برای جبران کمبود منیزیم در غلظت ۳۲ میلی‌گرم در لیتر سولفات از نمک کلرید منیزیم استفاده شد. در غلظت ۱۲۸ میلی‌گرم بر لیتر سولفات نیز نمک سولفات سدیم در کنار منیزیم سولفات برای دو برابر کردن غلظت سولفات استفاده شد. دیگر غلظت‌ها و نمک‌های استفاده‌شده در تیمارهای آزمایشی بنابر فرمول استاندارد هوگلند بود. برداشت پیازها نیز در مهرماه و در مرحلۀ خمیدگی گردن انجام شد. با بررسی دقیق شاخص رسیدن مشخص شد که تیمارها تأثیر چندانی در زمان رسیدن سوخ‌ها نداشته‌اند و به همین دلیل در یک‌زمان برداشت شد و بی‌درنگ ارتفاع بلندترین برگ، وزن تر سوخ، قطر و طول سوخ اندازه‌گیری و ثبت شد. برای محاسبۀ درصد مادۀ خشک، دو گیاهچه از هر تیمار و تکرار به‌صورت تصادفی انتخاب و پس از توزین به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجۀ سلسیوس خشک و درصد مادۀ خشک محاسبه شد. میزان سلنیوم کل سوخ با روش Kapolna & Fodor (2006) توسط دستگاه آی‌سی‌پی‌مس (ICP-Mass، مدل ۷۵۰۰HP، ساخت کشور ژاپن) در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه تربیت مدرس و همچنین میزان گوگرد کل به روش کدرسنجی پس از رسوب به شکل سولفات باریم اندازه‌گیری شد (Novozamsky & Vaneck, 1977). برای عصاره‌گیری از نمونه‌های گیاهی میزان ۳/۵ گرم از پودر پیاز درون ظرف‌هایشیشه‌ای ریخته و آنگاه میزان ۳۵ میلی‌لیتر متانول (نسبت۱:۱۰) به آن اضافه شد و مدت ۴۸ ساعت روی دستگاه لرزا (شیکر) با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه گذاشته شد. پس از صاف کردن عصاره‌ها درون پتری‌های سترون(استریل)، برای خشک شدن در انکوباتور قرار داده شد. سپس عصارۀ خشک‌شده زیر هود تراشیده و درون فویل سترون قرار گرفت. تأثیر پاداکسندگی عصاره‌ها با استفاده از روش کاهش ظرفیت آنتی‌رادیکالی به کمک ۲،۲-دی فنیل-۱- پیکریل هیدرازیل (DPPH) اندازه‌گیری شد (Stojicevic *et al.*, 2008). برای اندازه‌گیری میزان فنول کل در عصاره‌های گیاهی از معرف فولین سیوکالتو (مرک) بنابر روش Mecdonald*et al.* (2001) استفاده شد. برای سنجش میزان فلاونوئید کل از روش رنگ‌سنجی کلرید آلومینیوم استفاده و جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۴۱۵ نانومتر توسط دستگاه طیف‌سنج نوری (اسپکتروفتومتر) تعیین شد (Chang *et al.*, 2002). تجزیه‌وتحلیل داده‌های آماری با استفاده از نرم‌افزارSAS نسخۀ ۹/۱و میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شد.

شکل ۱. بوته‌های پیاز در مراحل اولیۀ رشد (سمت چپ) و چگونگی محلول‌رسانی (سمت راست) در سیستم آبکشتی
Figure 1. Onion seedlings (left) and solution application (right) in hydroponic system

Archive of SID

www.SID.ir

نتایج و بحث

ارتفاع گیاه

ارزیابی نتایج نشان داد، غلظت‌های مختلف سولفات و سلنات بر ارتفاع گیاه تأثیرگذار بوده و اثر متقابل این دو عنصر در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). ارتفاع گیاه در این پژوهش معادل ارتفاع بلندترین برگ در نظر گرفته شده است. بر پایهٔ نتایج مقایسهٔ میانگین‌ها، بیشترین ارتفاع گیاه در تیمار ۶۴ میلی‌گرم در لیتر سولفات همراه با غلظت ۰ سلنات و کمترین میزان در تیمار ۱۲۸ میلی‌گرم در لیتر سولفات ترکیب با غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات مشاهده شد. نتایج مقایسهٔ میانگین نیز نشان داد، افزایش سطح سلنات در همهٔ غلظت‌های سولفات منجر به کاهش ارتفاع گیاه شد (جدول۲). دلیل کاهشارتفاع گیاه در نتیجهٔ افزایش سطح سلنات را می‌توان به دلیل افزایش ترکیب‌های فنلی و نیز کاربرد غلظت بالای سلنیوم نسبت داد، چراکه نتایج تحقیق‌های پیشین نشان داد، افزایش سلنیوم سبب دکربوکسیله شدن اکسین و کاهش آن درنهایت موجب کاهش طول ساقه می‌شود (Lyons *et al*., 2005). در پژوهش انجام‌شده روی پیازهای کشت خاکی سلنات منجر به کاهش ارتفاع گیاه شد (Xue *et al*., 2001).

طول، قطر و وزن‌تر سوخ

تجزیهٔ واریانس داده‌های مورد بررسی نشان داد، تأثیر سلنات و سولفات بر وزن تر سوخ در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده ولی اثر متقابل سلنات و سولفات در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار نیست (جدول ۱). بررسی نتایج همچنین نشان داد، سطوح مختلف سلنات و سولفات و اثر متقابل آن‌ها بر طول سوخ معنی‌دار نشد.تأثیر سلنات و سولفات بر قطر سوخ در سطح ۱ درصد معنی‌دار،اما اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نبود.

جدول ۱. تجزیهٔ واریانس تأثیر سلنات و سولفات بر برخی از صفات رویشی پیاز خوراکی

Table 1. Analysis of variance of effect of selenate and sulfate on morphological traits of onion ('Azarshahr')

SOV	df	Mean of Squares							
		Biomass	Bulb dry matter(%)	Bulb (FW)	Bulb diameter	Bulb length	Leaf (FW)	Number of leaf	Plant height
Sulfate	2	74.17**	1.91*	138.92**	14.86**	6.47**	35.89**	1.73**	29.1**
Selenate	2	46.00**	1.52^{ns}	47.07**	49.55**	27.57**	76.61**	2.91**	112.89**
Sulfate×Selenat	4	211.20**	3.52**	12.13*	0.84^{ns}	9.06^{ns}	117.14**	0.39*	3.46*
Error	18	3.27	0.52	0.76	1.62	8.57	3.39	0.096	0.97
CV (%)	-	3.25	5.85	3.31	3.71	8.56	7.13	2.89	1.9

**، *، ns: به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیر معنی‌دار.

*, **, ns: Significantly differenc at 5 and 1% probability levels (According to the Duncan`s multiple range test); and non-significance.

FW: fresh weight

جدول ۲.مقایسهٔمیانگین‌های صفات ریخت‌شناختیپیازخوراکی تحت تیمارهایآزمایشیسلنیوم و گوگرد

Table 2. Effect of selenium and sulfate levels on comparison of the mean morphological traits of Onion ('Azarshahr')

Treatments	Plant height (cm)	Number of Leaf	Leaf(FW) (g)	Bulb length (mm)	Bulb diameter (mm)	Bulb dry matter (%)	Bulb(FW) (g)	Freshbiomass (g)
$^{*}S_{32}$	51.84b	10.56b	24.28b	34.41a	33.10b	11.89b	24.73b	53.18b
$^{*}S_{64}$	53.83a	11.22a	28.09a	33.27a	34.01b	12.50ab	23.43c	54.95b
$^{*}S_{128}$	50.24c	10.39c	25.15b	34.93a	35.64a	12.79a	30.79a	58.79a
$^{*}Se_1$	55.93c	11.23a	29.13a	34.24ab	31.84c	12.17a	24.17c	56.23a
$^{*}Se_2$	50.87b	10.83b	23.55b	32.43b	34.39b	12.87a	26.06b	53.14b
$^{*}Se_3$	49.11c	10.11c	24.84b	35.93a	36.53a	12.14a	28.72a	57.55a
$S_{32}Se_1$	55.25b	11.43a	28.67b	35.15ab	30.43e	11.03c	22.58ef	54.46cd
$S_{32}Se_2$	50.70de	10.22bc	19.42d	33.87ab	33.13cd	11.83bc	25.04d	49.01e
$S_{32}Se_3$	49.59e	10.02cd	24.75c	34.20ab	35.75b	12.80ab	26.56c	56.05cd
$S_{64}Se_1$	59.14a	11.48a	35.51a	33.42ab	32.04ed	11.88bc	22.08f	60.79b
$S_{64}Se_2$	52.02cd	11.52a	29.1b	29.81b	34.41bc	13.78a	24.32d	57.23c
$S_{64}Se_3$	50.34ed	10.66b	19.68d	36.58a	35.59b	11.82bc	23.90ed	46.85e
$S_{128}Se_1$	53.41c	10.79b	23.21c	34.17ab	33.05cd	13.59a	27.85bc	53.44d
$S_{128}Se_2$	49.91e	10.74b	22.15cd	33.61ab	35.64b	12.99ab	28.82b	53.19d
$S_{128}Se_3$	47.41f	9.64d	30.10b	37.01a	38.24a	11.80bc	35.70a	69.75a

*S_{32}= ۳۲ میلی‌گرم در لیتر سولفات (شاهد)، S_{64} = ۶۴ میلی‌گرم در لیتر سولفات، S_{128} = ۱۲۸ میلی‌گرم در لیتر سولفاتSe_1 = غلظت ۰ سلنات، Se_2 = غلظت ۱ میلی‌گرم در لیتر سلنات، Se_3 = غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات. حرف‌های همسان در هر ستون و در هر تیمار بیانگر نبود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

Means within a column followed by the same letter are not significantly different at p<0.05 according to the Duncan`s test.

Archive of SID

www.SID.ir

مقایسۀ میانگین اثر متقابل سطوح مختلف سلنات و سولفات بر وزن تر سوخ نشان داد، تیمار ۱۲۸ میلی‌گرم در لیتر سولفات در ترکیب با غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات بیشترین وزن تر سوخ را منجر شده، اما کمترین وزن‌تر سوخ در تیمار ۶۴ میلی‌گرم در لیتر سولفات در ترکیب با غلظت ۰ سلنات (شاهد) مشاهده شدکه با تیمار ۳۲ میلی‌گرم در لیتر سولفات در ترکیب با غلظت ۰ میلی‌گرم در لیتر سلنات تفاوت معنی‌داری نشان نداد.در غلظت‌های ۱۲۸ و ۳۲ میلی‌گرم در لیتر سولفات با کاهش غلظت سلنات وزن تر سوخ کاهش یافت. همان‌طور که از اثر ساده مشخص است با افزایش میزان سلنات وزن تر سوخ افزایش یافته است. معنی‌دار شدن اثر متقابل نشان می‌دهد، در سطوح مختلف سولفات کاربرد سلنات واکنش یکسان را ایجاد نمی‌کند (جدول ۲). در پژوهشی کاربرد سلنیوم در کاهو سبب افزایش وزن تر شدبه‌طوری‌که در این تحقیق بیان می‌شود، سلنیوم با تشکیل اسیدهای آمینه سلنیوم‌دار، موجب افزایش تولید اتیلن و در نتیجه تغییر ترکیب چربی(لیپید)های غشایی شده است. در نتیجۀ این تغییر افزایش نفوذپذیری غشا و نشت پتاسیم رخ داده که باعث افزایش آب در فضای بین‌یاخته‌ای و افزایش وزن تر بافت شده است (Whanger, 2004). همچنین مشخص شده است کاربرد سولفات در جذب عنصرهای غذایی و افزایش رشد تأثیرمثبت دارد (Machachova & Zmrhal, 1975; Randle *et al*., 1995 Jaggi & Dixit, 1999).

مقایسۀ میانگین داده‌های اثر سادۀ سطوح مختلف سلنات و سولفات بر قطر سوخ نیز نشان داد، بیشترین قطر سوخ در غلظت ۱۲۸ میلی‌گرم در لیتر و کمترین آن در غلظت ۳۲ میلی‌گرم در لیتر سولفات به دست آمد که البته با غلظت ۶۴ میلی‌گرم در لیتر سولفات اختلاف معنی‌داری نداشت. همچنین در بالاترین سطوح سلنات نیز بیشترین میزان قطر سوخ مشاهده شد (جدول ۲).نتایج پژوهش‌های همسان دیگر نیز نشان داده است، کاربرد کودهای حاوی سولفات منجر به افزایش قطر سوخ می‌شود (Abbey *et al*., 2002). در نتایج پژوهش دیگری گزارش شده است که به‌احتمال سلنات (تا غلظت ۰/۷۵ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم) با تنظیم آنزیم‌های دخیل در ساخت (سنتز) و آبکافت (هیدرولیز) ساکارز و آنزیم‌های آبکافت‌کنندۀ نشاسته در گیاه لوبیا میزان تولید ساکارز و آبکافت نشاسته را افزایش داده، که از این راه بستره (سوبسترا)های لازم برای رشد گیاه را فراهم می‌کند (Jahid *et al*., 2010) که احتمال داده می‌شود در این پژوهش نیز با تأثیر همسان منجر به افزایش وزن تر و قطر سوخ شده است.

درصد مادۀ خشک سوخ

نتایج به‌دست‌آمده از تجزیۀ واریانس داده‌های مورد بررسی نشان داد، تأثیر سولفات در سطح احتمال ۵ درصد و اثر متقابل سولفات و سلنات در سطح احتمال ۱ درصد بر درصد مادۀ خشک سوخ معنی‌دار شد، اما تیمار سلنات بر این صفت بی‌تأثیر بود (جدول ۱). مقایسۀ میانگین اثر متقابل سطوح مختلف سلنات و سولفات بر درصد مادۀ خشک سوخ نشان داد، در تیمارهای بدون سلنات، افزایش در غلظت سولفات به‌ویژه در سطح ۱۲۸ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش درصد مادۀ خشک سوخ شد (جدول ۲).

در برهمکنش کمترین سطح سولفات با غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات میزان مادۀ خشک افزایش یافت. به نظر می‌رسد سلنات در این سطح توانسته است کمبود سولفات را جبران کند. در بیشترین سطح سولفات (۱۲۸ میلی‌گرم در لیتر) سلنات در افزایش درصد مادۀ خشک نقشی نداشته به‌طوری‌که حتی در غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات باعث کاهش درصد مادۀ خشک نیز شده است. به نظر می‌رسد سولفات نقش اصلی در افزایش درصد مادۀ خشک سوخ دارد به‌طوری‌که اگر میزان این عنصر زیاد (۱۲۸ میلی‌گرم در لیتر) باشد نیازی به سلنیوم نیست ولی در سطوح متوسط سولفات (۶۴ میلی‌گرم در لیتر) حضور میزان کم سلنات تأثیر مثبت بر این صفت دارد که به‌احتمال دلیل آن جایگزینی سلنات به‌جای سولفات باشد. همسان نتایج این پژوهش، کاربرد گوگرد درصد مادۀ خشک را افزایش داده است (Abbey *et al*., 2002).

Archive of SID

www.SID.ir

زیست‌تودهٔ کل گیاه

نتایج تجزیهٔ واریانس زیست‌تودهٔ (بیوماس) کل گیاه نشان داد، تأثیر سلنات و سولفات و اثر متقابل آن‌ها بر زیست‌تودهٔ کل گیاه در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده (جدول ۱) و همچنین مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد، تیمار ۱۲۸ میلی‌گرم در لیتر سولفات در ترکیب با غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات بالاترین میزان زیست‌توده و تیمار ۶۴ میلی‌گرم در لیتر سولفات در ترکیب با غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات کمترین میزان زیست‌توده را سبب شده است (جدول ۲). بنا بر جدول مقایسهٔ میانگین‌ها در بدون کاربرد سلنات بالاترین میزان زیست‌توده در غلظت ۶۴ میلی‌گرم در لیتر سولفات به دست آمد که این زیست‌تودهٔ بالا ناشی از رشد برگ بوده است (جدول ۲). بیشترین میزان زیست‌توده در غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات و غلظت ۱۲۸ میلی‌گرم در لیتر سولفات مشاهده شد که این زیست‌تودهٔ بالا ناشی از افزایش وزن تر سوخ بوده است. با توجه به تأثیر سلنات در تغییرپذیری زیست‌تودهٔ اندام‌ها، به نظر می‌رسد سلنات در جزءبندی مواد نقش داشته و احتمال می‌رود در تیمارهایی که وزن سوخ بالایی دارند برگ‌ها به‌رغم زیست‌تودهٔ کمتر کارایی بیشتری داشته و یا به دلیل تولید برگ کمتر، انرژی گیاه صرف بزرگ شدن سوخ شده است (جدول ۲).

میزان تجمع سلنیوم در گیاه

نتایج تجزیهٔ واریانس تأثیر سلنات و سولفات پرتجمع سلنیوم در بافت سوخ نشان داده است، تجمع سلنیوم در سطح ۱ درصد به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر کاربرد سولفات و سلنات و اثر متقابل آن‌ها قرار می‌گیرد (جدول ۳).بیشترین میزان تجمع سلنیوم در تیمار ۳۲ میلی‌گرم در لیتر سولفات در ترکیب با غلظت ۲ میلی-گرم در لیتر سلنات مشاهده شد و کمترین میزان در تیمار ۱۲۸ میلی‌گرم در لیتر سولفات همراه با غلظت ۱ میلی‌گرم در لیتر سلنات مشاهده شد. در همهٔ سطوح سولفات همزمان با افزایش غلظت سلنات تجمع این عنصر افزایش می‌یابد. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد، با افزایش غلظت سولفات جذب سلنیوم و در نتیجهٔ تجمع آن در بافت سوخ کاهش می‌یابد (جدول ۴). با توجه به اینکه هر انسان به‌طور میانگین نیاز به۵۵ میکروگرم سلنیوم در روز دارد (Yong *et al.*, 2010)، میزان تجمع این عنصر در پژوهش ما در محدودهٔ سلامت انسان قرار دارد و سبب آلودگی محصول نشده است. نتایج به‌دست‌آمده همسان با نتایج تحقیق‌هایی است که روی پیاز، سیر (Barak & Goldman, 1997)، گوجه‌فرنگی (Goodson *et al.*, 2003)، علف تال یا آرابیدوبسیس (White *et al.*, 2004) و پیچک (Cruz *et al.*, 2005) انجام شده است. بنابر نتایج تحقیقات پیشین (Adhikari, 2012) مشخص شده است جذب سولفات و سلنات به‌وسیلهٔ انتقال‌دهنده‌های مشترک که به‌طور عمده در انتقال سولفات در گیاهان نقش دارند انجام می‌شود. به‌طوری‌که سولفات برای جذب و انتقال با سلنات رقابت می‌کند. در این آزمایش سلنات در حضور سطوح پایین سولفات توانسته بیشتر جذب شود، اما هنگامی‌که سطح سولفات بالا رفته توان رقابتی سلنیوم نیز کاهش یافته و کمتر جذب شده است.

جدول ۳. تجزیهٔ واریانس تأثیر سلنات و سولفات بر میزان گوگرد، سلنیوم، درصد مهار رادیکال‌های آزاد، فنول و فلاونوئید در بافت سوخ

Table 3. Variance Analysis effect of selenate and sulfate on sulfur, selenium, free radical scavengers percent, phenol and flavonoid in bulb

SOV	df	Mean of Squares				
		Sulfur	Selenium	DPPH (%)	Phenol	Flavonoid
Selenate	2	0.371*	1683.06**	21.09**	7.48**	0.054**
Sulfate	2	1.671**	287.90**	17.48**	3.49**	0.01*
Selenate×Sulfate	4	0.053ns	86.50**	4.15**	1.41**	0.007*
Error	18	0.082	0.85	0.52	0.23	0.002
CV (%)	_	5.60	6.22	1.14	6.46	9.62

**، *، ns: به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیر معنی‌دار.

*, **, ns: Significantly differenc at 5 and 1% probability levels (According to the Duncan`s multiple range test); and non-significance.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۴.مقایسۀمیانگین‌های میزان تجمع سلنیوم و گوگرد در بافت سوخ تحت تأثیر سلنات و سولفات

Table 4. Mean comparison effect of selenate and sulfate on selenium and sulfur accumulation in onion bulbs

Treatments	Sulfur (mg/g)	Selenium (mg/kg)
$^{*}S_{32}$	c4.73	a21.01
$^{*}S_{64}$	b5.08	b13.76
$^{*}S_{128}$	a5.58	c9.87
$^{*}Se_{1}$	b4.91	c0.0
$^{*}Se_{2}$	ab5.18	b17.76
$^{*}Se_{3}$	a5.30	a26.89
$S_{32}Se_{1}$	d4.49	f0.0
$S_{32}Se_{2}$	cd4.88	b28.94
$S_{32}Se_{3}$	cd4.81	a34.10
$S_{64}Se_{1}$	cd4.99	f0.0
$S_{64}Se_{2}$	cd5.03	d13.72
$S_{64}Se_{3}$	bc5.24	b27.58
$S_{128}Se_{1}$	bc5.25	f0.0
$S_{128}Se_{2}$	ab5.65	e10.63
$S_{128}Se_{3}$	a5.86	c18.98

*S_{32}= ۳۲ میلی‌گرم در لیتر سولفات (شاهد)، S_{64} = ۶۴ میلی‌گرم در لیتر سولفات، S_{128} = ۱۲۸ میلی‌گرم در لیتر سولفاتSe_1 = غلظت ۰ سلنات، Se_2= غلظت ۱ میلی‌گرم در لیتر سلنات، Se_3 = غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات. حرف‌های همسان در هر ستون و در هر تیمار بیانگر نبود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

S_{32}= 32mg/L sulfate (standard), S_{64}=64mg/L sulfate, S_{128}=128 mg/L sulfate, Se_1= 0 mg/L selenate, Se_2= 1 mg/L selenate, Se_3= 2 mg/L selenate. The numbers with the same letters in each column are not statistically different at 5 % probability levels.

غلظت گوگرد در گیاه

نتایج نشان داد، غلظت گوگرد در بافت سوخ به‌طور معنی‌دار ($p\leq۰/۰۱$) تحت تأثیر مثبت سطوح مختلف سولفات قرار دارد. همچنین تأثیر سلنات بر میزان گوگرد در بافت سوخ نیز در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است. این در حالی است که اثر متقابل سلنات و سولفات بر میزان گوگرد موجود در سوخ معنی‌دار نیست (جدول ۳). با مقایسۀ اثر سادۀ بیشترین میزان گوگرد در سطح ۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات مشاهده شد که با سطح ۱ میلی‌گرم در لیتر سلنات اختلاف معنی‌داری نشان نداد. کمترین میزان گوگرد در بدون کاربرد سلنیوم مشاهده شد که با سطح ۱ میلی‌گرم در لیتر اختلاف معنی‌داری نداشت. به‌عبارت‌دیگر با افزایش سطح سلنات، میزان گوگرد در بافت افزایش می‌یابد. اگرچه اثر متقابل سولفات و سلنات بر میزان گوگرد در بافت سوخ معنی‌دار نیست اما مقایسۀ میانگین‌ها نشان می‌دهد، سطوح سولفات در ترکیب با بالاترین غلظت سلنات بیشترین میزان گوگرد را دارند. به نظر می‌رسد برای تحریک جذب سولفات سطح ۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات تأثیر بالاتری داشته باشد (جدول ۴). غلظت‌های ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات در پیاز گرانکس نیز جذب سولفات را افزایش داده است (Kapolna *et al*., 2007). در پژوهش دیگری تیمارهای ۰، ۲ و ۲۰ میلی‌گرم سلنیوم، غلظت گوگرد را در کلم بروکلی افزایش داده که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. تصور می‌شود تیمار سلنیوم غلظت ناقلین گوگرد (انتقال‌دهنده‌های گوگرد) را افزایش می‌دهد و انتقال آن را از ریشه به اندام‌های هوایی بیشتر می‌کند (Hsu *et al*., 2011).

تعیین میزان فعالیت پاداکسندگی(درصد مهار DPPH)

نتایج تجزیۀ واریانس نشان داد، تأثیر سلنات و سولفات و اثر متقابل این دو عنصر بر درصد مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد در سطح ۱درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بنا بر جدول مقایسۀ میانگین‌ها، تیمار ۳۲ میلی‌گرم در لیتر سولفات در ترکیب با غلظت ۱ میلی‌گرم در لیتر سلنات بیشترین درصد مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد (۶۶/۶٪) داشت که با تیمار ۳۲ میلی‌گرم در لیتر سولفات در ترکیب با غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۵). در غلظت‌های۱ و ۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات همزمان با افزایش سطح سولفات خاصیت پاداکسندگی کاهش یافت درحالی‌که در غلظت ۰ سلنات چنین روندی مشاهده نشد.در پیاز(Ip & Lisk, 1994)،کلم بروکلی (Finley *et al*., 2003) و کاهو (Xue *et al*., 2001) نیز افزایش سلنیوم سبب افزایش خاصیت پاداکسندگی شده است.

در غلظت‌های بالای سولفات، فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز و میزان پروتئین‌های محلول کاهش می‌یابد و ازآنجاکه این آنزیم یکی از عامل‌های کلیدی در ایجاد خاصیت پاداکسندگی است، به نظر می‌رسد که پروتئین کاهش یافته در نتیجۀ استفاده از سطوح بالای سولفاتیکی از نوار (باند)های پروتئینی مسئول در زیر واحدهای آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز باشد (Cartes, 2006)، که در نتیجه باعث کاهش این آنزیم و کاهش خاصیت پاداکسندگی شده است. به نظر می‌رسد فعالیت آنزیمی وابسته به سلنیوم به‌طور

Archive of SID

www.SID.ir

غیرمستقیم با کاربرد سولفات تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Cartes, 2006). در غلظت پایین سولفات میزان سلنیوم بیشتری جذب می‌شود و چون ترکیب‌های سلنیومی خاصیت پاداکسندگی بیشتری دارند بنابراین خاصیت پاداکسندگی افزایش می‌یابد. به همین دلیل برای افزایش خاصیت پاداکسندگی در نتیجهٔ کاربرد سلنیوم باید به میزان کاربرد سولفات نیز توجه شود و سطح این عنصر کاهش یابد.برابر با جدول همبستگی (جدول ۶) نیز بین خاصیت پاداکسندگی و میزان سلنیوم همبستگی قوی (r=۰/۸۷) وجود داشت.

ترکیب‌های فنلی

بنابر جدول تجزیهٔ واریانس، تأثیر سلنات و سولفاتو اثر متقابل این دو عنصر بر میزان ترکیب‌های فنولی در سطح ۱درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بیشترین فنول در تیمار ۳۲ میلی‌گرم در لیتر سولفات همراه با غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات وجود داشت که با تیمار ۳۲ میلی‌گرم در لیتر سولفات در ترکیب با غلظت ۱میلی‌گرم در لیتر سلنات اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۵). اگرچه در غلظت‌های۳۲ و ۱۲۸ میلی‌گرم در لیتر سولفات با افزایش سطح سلنیوم میزان فنول افزایشنشان داد، اما در سطح ۶۴ میلی‌گرم در لیتر سولفات روند خاصی مشاهده نشد. میزان فنول موجود در این بررسی متناسب با فعالیت پاداکسندگی در آن بود و بین این دو عامل همبستگی مثبت (r=۰/۸۰) در سطح ۵ درصد وجود داشت (جدول ۶). وجود همبستگی نشان‌دهندهٔ این موضوع است که فنول کل از اجزای مهم پاداکسندگی است. در این تحقیق بیشتر تیمارهایی که میزان فنول بالاتری داشتند، فعالیت پاداکسندگی بالاتری نیز دارند. میزان فنول کل در ده نوع سبزی مختلفنیز تحت تأثیرتیمار سلنیوم افزایش نشان داد (Robbins *et al*., 2005). همچنین در گندم کاربردسلنیوم، افزایش میزان ترکیب‌های فنولی را به همراه داشته است. احتمال دارد افزایش فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز (آنزیم ساخت‌کنندهٔ ترکیب‌های فنولی) دلیل این افزایش بوده باشد (Chu *et al*., 2010).

جدول۵.مقایسهٔمیانگین‌های درصد مهار رادیکال‌های آزاد، میزان فنول و فلاونوئید سوخ پیاز خوراکیتحت تأثیر کاربرد سلنات و سولفات

Table 5. Mean comparison of effect of selenate and sulfate on free radical scavengers percent, phenol and flavonoid in bulb

Treatments	DPPH(%)	Phenol	Flavonoid
$^{*}S_{32}$	a64.70	a8.17	0.490a
$^{*}S_{64}$	b63.06	b7.26	0.491a
$^{*}S_{128}$	c61.93	6.98b	0.432b
$^{*}Se_{1}$	b61.48	b6.42	0.383b
$^{*}Se_{2}$	a63.90	a7.96	0.521a
$^{*}Se_{3}$	a64.31	a8.03	0.499a
$S_{32}Se_{1}$	d61.49	e6.32	0.386d
$S_{32}Se_{2}$	a66.60	a8.87	0.537ab
$S_{32}Se_{3}$	a66.02	a9.33	0.547ab
$S_{64}Se_{1}$	cd62.04	ed6.5	0.385d
$S_{64}Se_{2}$	bc63.12	b7.98	0.610a
$S_{64}Se_{3}$	b64.01	bcd7.30	0.480bc
$S_{128}Se_{1}$	d60.91	ed6.44	0.380d
$S_{128}Se_{2}$	cd61.98	cde7.05	0.446cd
$S_{128}Se_{3}$	bc62.91	bc7.46	0.470bc

*S_{32}= ۳۲ میلی‌گرم در لیتر سولفات (شاهد)، S_{64} = ۶۴ میلی‌گرم در لیتر سولفات، S_{128} = ۱۲۸ میلی‌گرم در لیتر سولفاتSe_1 = غلظت ۰ سلنات، Se_2 = غلظت ۱ میلی‌گرم در لیتر سلنات، Se_3 = غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات. حرف‌های همسان در هر ستون و در هر تیمار بیانگر نبود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

S_{32}= 32mg/L sulfate (standard), S_{64}=64mg/L sulfate, S_{128}=128 mg/L sulfate, Se_1= 0 mg/L selenate, Se_2= 1 mg/L selenate, Se_3= 2 mg/L selenate. The numbers with the same letters in each column are not statistically different at 5 % probability levels.

جدول ۶. همبستگی بین فنول و فلاونوئید، پاداکسنده، سلنیوم و گوگرد سوخ پیاز خوراکی

Table 6. Corelation between phenol. flavonoid, antioxidant,selenium and sulfur of onion bulb

	Selenium	Sulfur	Phenol	Flavonoid	Antioxidant
Selenium	1				
Sulfur	0.04	1			
Phenol	0.81**	-0.02	1		
Flavonoid	0.64**	0.01	0.73**	1	
Antioxidant	0.87**	-0.16	0.80*	0.62**	1

**، *، ns: به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیر معنی‌دار.

*, **, ns: Significantly differenc at 5 and 1% probability levels (According to the Duncan`s multiple range test); and non-significance.

Archive of SID

www.SID.ir

فلاونوئید

غلظت فلاونوئیدها به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر سلنات، سولفات و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفت (جدول ۳). در غلظت‌های ۳۲ و ۱۲۸ میلی‌گرم در لیتر سولفات با افزایش سطح سلنات میزان فلاونوئید افزایش یافت اما این روند در سطح ۶۴ میلی‌گرم در لیتر سولفات منظم نبود (جدول ۵).

در پژوهشی افزایش میزان فلاونوئید در گل داوودی تحت تأثیر کاربرد سلنیوم قرار گرفت (Yong-Ming *et al.*, 2010). ازآنجاکه مهم‌ترین و شناخته‌شده‌ترین خاصیت هر گروه از فلاونوئیدها، قابلیت پاداکسندگی آن‌ها است به‌طوری‌که فلاونوئیدها در به دام انداختن رادیکال‌های آزاد ناشیاز اکسیژن نقش دارند (Hanasaki *et al.*, 1994)، همبستگی بین فلاونوئید و پاداکسنده منطقی به نظر می‌رسد. همچنین با توجه به نقش سلنیوم در افزایش خاصیت پاداکسندگی و میزان فلاونوئید همبستگی بین سلنیوم و فلاونوئید دور از انتظار نبود (جدول ۶).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد، تأثیر غلظت‌های مختلف عنصرهای سلنیوم و گوگرد بر صفت‌های مختلف رشدی پیاز خوراکی معنی‌دار بود. با افزایش سطوح گوگرد و سلنیوم بر وزن تر و قطر سوخ افزوده شد، به‌طوری‌که بالاترین غلظت تیمارها (۱۲۸ میلی‌گرم در لیتر سولفات به همراه ۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات) منجر به بالاترین میزان صفت‌های یادشده شد. نتایج این پژوهش همچنین نشان داد، همزمان با افزایش سلنات، جذب سولفات افزایش پیدا کرد اما افزایش غلظت سولفات منجر به کاهش جذب سلنات شد. افزایش سلنات سبب افزایش خاصیت پاداکسندگی شد به‌طوری‌که حضور سلنیوم به‌عنوان عنصر دارای خاصیت پاداکسندگی در سطوح به‌کاربرده شدۀ سولفات سبب افزایش درصد مهار رادیکال‌های آزاد شد.در غلظت‌های۳۲ و ۱۲۸ میلی‌گرم در لیتر سولفات با افزایش سطح سلنات میزان فنول و فلاونوئید افزایشنشان داد. با عنایت به تأثیر تیمارهای آزمایشی روی عملکرد کمی و کیفی سوخ و با توجه به نیاز ۵۵ میکروگرم سلنیوم مورد نیاز بدن انسان در روز، تیمار ۱۲۸ میلی‌گرم در لیتر سولفات در ترکیب ۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات در محلول هوگلند در نظام آبکشت پیاز توصیه می‌شود.

REFERENCES

1. Abbey, L., Joyce, D. C., Aked, J. & Smith, B. (2002). Genotype, sulphur nutrition and soil type effects on growth and dry–matter production of spring onion. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 77*(3)*, 340-345.
2. Adhikari, P. (2012). *Biofortification of selenium in broccoli (Brassica oleracea L. var italic) and onion* (*Allium cepa* L.). Master Thesis. Faculty of Plant Science Norwegian University, Norway.
3. Barak, P. & Goldman, I. L. (1997). Antagonistic relationship between selenate and sulfate uptake in onion (*Allium cepa*): Implication for the production of organosulfur and organoselenium compounds in plants. *Agriculture and Food Chemistry*, 45(4),1290-1294.
4. Cartes, P. (2006). Selenium distribution in ryegrass and its antioxidant role as affected by sulfur fertilization. *Plant Soil*, 285, 187-195.
5. Chang, C., Yang, M., Wen, H. & Chern, J. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 10(3), 178- 182.
6. Chu, J., Xiaoqin, Y. & Zhuona, Z. (2010). Responses of wheat seedlings to exogenous selenium supply under cold stress. *Biology Trace Element Research*, 136,355-363.
7. Cruz-Jimenez, G., Jose, R. P. V., Guadalupe, D. R., Meitzner, G., Jason, G. P. & Gardea-Torresdey, J. L. (2005). Effect of sulfate on selenium uptake and chemical speciation in *Convolvolus arvensis* L. *Environmental Chemistry*, 2(2), 100 -107.
8. Diego, A. M., Gemma, V. & Maria, T. S. (2005). Sulfur, chromium and selenium accumulated in chines cabbage under direct covers. *Enviroment management*, 74(1), 89-96.
9. Finley, J. W. (2003). Reduction of cancer risk by consumption of selenium-enriched plants: enrichment of broccoli with selenium increases the anticarcinogenic properties of broccoli. *Journal of Medicinal Food*, 6, 19-27.

Archive of SID

www.SID.ir

10. Freeman, J. L., Lihong, Z., Matthew, A. M., Sirine, F., Steve, P. M. & Pilon-Smits, E. A. H. (2006). Spatial imaging, speciation, and quantification of selenium in the hyperaccumulator plants *Astragalus bisulcatus* and *Stanleya pinnata*. *Plant Physiology*, 142(1), 124-134.
11. Goodson, C. C., Parker, D. R., Amrhein, C. & Zhang, Y. (2003). Soil selenium uptake and root system development in plant taxa differing in Se-accumulating capability. *New Phytologist*, 159(2), 391-401.
12. Hanasaki, Y. Ogawa, S. & Fukui, S. (1994). The correlation between active oxygens scavenging and antioxidative effects of flavonoids. *Free Radical Biology and Medicine*, 16, 845-50.
13. Hasanuzzaman, M., Anwar, H. M. & Masayuki, F. (2010). Selenium in higher plants: physiological role, antioxidant metabolism and abiotic stress tolerance. *Journal of Plant Science*, 5(4), 354-375.
14. Hsu, F. U. C., Wirtz, M., Heppel, S. C., Bogs, J., Kramer, U., Khan, M. S., Bub, A., Hell, R. & Rauch, T. (2011). Generation of Se fortified broccoli as functional food: impact of Se fertilization on S metabolism. *Plant cell and environment*, 34(2), 192-207.
15. Ip, C. & Lisk, D. J. (1994). Enrichment of selenium in allium vegetables for cancer prevention. *Carcinogenesis*, 15, 1881-1885.
16. Jaggi, R. C. & Dixit, S. P. (1999). Onion (*Allium ce*pa L.) responses to sulphur in representative vegetable growing soils of Kanger Valley of Himachal Pardesh. *Indian Journal Agriculture Science*, 69, 289-291.
17. Jahid, A. M., Kumar, S., Thakur, P., Sharma, S. K., Raman, P. N., Kaur, D. P., Bhandhari, K., Kaushal, N., Singh, K., Srivastav, A. & Nayyar, H. (2010). Promotion of growth in mungbean (*Phaseolus aureus* Roxb.) by selenium is associated with stimulation of carbohydrate metabolism. *Biology Trace Element Research*, 143(1), 530-539.
18. Kapolna, E. & Fodor, P. (2006). Speciation analysis of selenium enriched green onions (*Allium fistulosum*) by HPLCICP-MS. *Microchemical Journal*, 84, 56-62.
19. Kapolna, E., Shah, M., Caruso, J. A. & Fodor, P. (2007). Selenium speciation studies in Se-enriched chives (*Allium schoenoprasum*) by HPLC-ICP–MS. *Food Chemistry*, 101(4), 1398-1406.
20. Kopsell, D. A. & Randle, W. M. (1997). Selenat concentration affects selenium and sulfur uptake and accumulation by 'Granex 33' onions. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 122(5), 721-726.
21. Lyons, G. H., Stangoulis, J. & Graham, R. (2005). Tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.) to high soil and solution selenium levels. *Plant Soil*, 270(1), 179-188.
22. Machackova, I. & Zmrhal, Z. (1975). The role of proxidase in the metabolism of indole-3-acetic acid and phenols in wheat. *Phytochemistry*, 14(5), 1251-1254.
23. Mecdonald, S., Prenzier, P. D., Autolovich, M. & Robards, K. (2001). Phenolic content and antioxidant activity of olive extracts. *Food Chemistry*, 73, 73-84.
24. Novozamsky, I. & Vaneck, R. (1977). Total sulfur determination in plant material. *Analytical Chemistry*, 286(5), 367-368.
25. Peyvast, Gh. (2009). *Oloriculture*. (5thd.). Guilan University.
26. Randle, W., Lancaster, E. J., Shaw, M. L., Sutton, K. H. & Hay, R. L. (1995). Quantifying onion flavor compounds responding to sulfur fertility-sulfur increases levels of Alk(en)yl Cysteine Sulfoxides and biosynthetic intermediates. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 120(6), 1075-1081.
27. Robbins, R. J., Keck, A. S., Banuelos, G. & Finley, J. W. (2005). Cultivation conditions and selenium fertilization alter the phenolic profile, glucosinolate, and sulforaphane content of broccoli. *Journal of medicinal food*, 8(2), 204-214.
28. Stojicevic, S. S., stanisavljevic, I. T., Velickovic, D. T., Veljkovic, V. B. & Lazic, M. L. (2008). Comparative screening of the antioxidant and antimicrobial activities of *Sempervivum marmoreum* L. extracts obtained by various extraction techniques. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 73(6), 597-607.
29. Terry, N., Zayed, A. M., De Souza, M. P. & Tarun, A. S. (2000). Selenium in higher plants. *Annuals Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 51, 401-32.
30. Tsuneyoshi, T., Yoshida, J. & Sasaoka, T. (2006). Hydroponic Cultivation Offers a Practical Means of Producing Selenium-Enriched Garlic1–3. *American Society for Nutrition*, 136(3), 870-872.
31. Turakainen, M., Hartikainen, H. & Mervi, M. S. N. (2004). Effects of selenium treatments on potato (*Solanum tuberosum* L.) growth and concentrations of soluble sugars and starch. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 52, 5378-5382.
32. Whanger, P. D. (2004). Selenium and its relationship to cancer: an update. *British Journal of Nutrition*, 91(1), 11-38.

Archive of SID

www.SID.ir

33. White, P. J., Bowen, H. C., Parmaguru, P., Fritz, M., Spracklen, W. P., Spiby, R. E., Mecham, M. C., Mead, A., Harriman, M., Trueman, L. J., Smith, B. M., Thomas, B. & Broadley, M. R. (2004). Interaction between selenium and sulphur nutrition in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Physiology*, 55(404), 1927-1937.
34. Wrobel, K., Wrobel, K., Kannamkumarath, S. S., Caruso, J. A., Wysocka, I. A., Bulska, E., Swiatek, J. & Wierzbicka, M. (2004). HPLC-ICP-MS speciation of selenium in enriched onion leaves a potential dietary source of Se-methylselenocysteine. *Food Chemistry*, 86(4), 617-623.
35. Xue, T., Hartikainen, H. & Piironen, V. (2001). Antioxidative and growth promoting effect of selenium on senescing lettuce. *Plant and Soil*, 237(1), 55 61.
36. Yong, F., Brittany, C., Yaofang, Z., Liyan, Z., Caruso, J. A. & Qiuhui, H. (2010). Distribution and in vitro availability of selenium in selenium-containingstorage protein from selenium-enriched rice utilizing optimized extraction. *Agricultural Food Chemistry*, 58, 9731-9738.
37. Yong-ming, L., Yu-xin, S. & De-hui, L. (2010). Effects of applying selenium on contents of total flavonoid, chlorogenic acid and selenium in flower of *Chrysanthemum morifolium*. *National Science Library*, 42(4), 618-623. (Abstract)

Archive of SID

www.SID.ir