

تأثیر کبالت، مولیبدن و نیتروژن بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris*) در کشت بدون خاک

نادر خادم مقدم ایگده لو^{۱*}، احمد گلچین^۲ و خدیجه فرهادی^۳

۱- دانشجوی سابق دکتری، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

۲-استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

۳-دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۷/۲۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۲۳

چکیده

به منظور بررسی تأثیر کبالت، مولیبدن و نیتروژن بر رشد لوبیا چیتی در کشت بدون خاک، آزمایشی گلدانی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳۶ تیمار و در سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ در تیر ماه و در دمای 25°C و شدت نور ۴۰۰۰۰ لوکس در گلخانه دانشگاه زنجان اجرا گردید. فاکتورهای آزمایش شامل چهار سطح نیتروژن (۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و 200 mg/l)، سه سطح مولیبدن ($0/2$ ، $0/0/6$ ، $0/6$) و سه سطح کبالت ($0/0/6$ ، $0/6$ و $0/3\text{ mg/l}$) بودند. سطوح فاکتورهای مورد آزمایش از طریق افزودن مقادیر مختلف نمک‌های نیترات آمونیوم، مولیبدات آمونیوم و کلرید کبالت به محلول غذایی پایه، تهیه گردیدند. نتایج صفات مورفولوژیکی نشان دادند که در تیمار $N_{100}Mo_{0.6}Co_{0.06}$ بیش‌ترین وزن خشک غلاف به دست آمد که بیشترین تفاوت ($47/9\%$) را با سایر تیمارها داشت. بیش‌ترین وزن خشک بوته نیز از تیمار $N_{150}Mo_{0.6}Co_{0.006}$ به دست آمد. بیش‌ترین وزن خشک ریشه در تیمارهای $N_{150}Mo_{0.6}$ و $N_{150}Co_{0.3}$ به دست آمد. همین‌طور بیش‌ترین تعداد غلاف نیز در تیمارهای $N_{150}Mo_{0.6}$ ، $N_{100}Co_{0.3}$ و $Mo_{0.6}Co_{0.3}$ به دست آمد. بررسی صفات فیزیولوژیکی هم نشان دادند که بیش‌ترین غلظت نیتروژن، مولیبدن و کبالت به ترتیب از تیمارهای $N_{200}Mo_{0.6}Co_{0.3}$ ، $N_{150}Mo_{0.6}Co_{0.3}$ و $N_{150}Mo_{0.067}Co_{0.006}$ حاصل شد. در کل می‌توان اظهار داشت که کاربرد تیمار $N_{100}Mo_{0.6}Co_{0.06}$ می‌تواند بر وزن خشک غلاف که اندامی بارده و اقتصادی است تأثیر مثبتی گذاشته و عملکرد لوبیا چیتی (رقم تلاش) را ارتقاء دهد.

کلیدواژه‌ها: رقم تلاش، عملکرد، وزن غلاف، گلخانه، محلول غذایی

The effect of Cobalt, Molybdenum, and Nitrogen on morphophysiological characteristics of *Phaseolus vulgaris* in soilless culture

Nader Khadem Moghadam Igdellou ^{1*}, Ahmad Golchin ², Khadije Farhadi ³

1-Former Ph.D. student, Soil Sciences Department, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

2-Professor of Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

3-Former M.Sc. Student, Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

Received: February 12, 2020

Accepted: October 19, 2022

Abstract

In order to study the effect of Cobalt, Molybdenum, and Nitrogen on the growth of *Phaseolus vulgaris* in soilless culture, a pot experiment was conducted in 2015-16 and in July, at 25°C and light intensity of 40,000 lux as a factorial based on a CRD with 36 treatments and three replications in the greenhouse of Zanjan University. The test factors consisted of four levels of Nitrogen (50, 100, 150, and 200 mg/l), three levels of Molybdenum (0.067, 0.2, and 0.6 mg/l) and, three levels of Cobalt (0.006, 0.06, and 0.3 mg/l). Factor levels were prepared by adding ammonium nitrate, ammonium molybdate, and cobalt chloride to a stock solution. Results of morphological traits showed that the highest pod dry weight was obtained in N₁₀₀Mo_{0.6}Co_{0.06} treatment which had a maximum difference of 47.9% with other treatments. The highest dry weight of shoots was obtained from N₁₅₀Mo_{0.6}Co_{0.006} treatment and the highest root dry weight was obtained from N₁₅₀Mo_{0.6} and N₁₅₀Co_{0.3} treatments. Also, the highest number of pods was obtained in N₁₅₀Mo_{0.6}, N₁₀₀Co_{0.3} and Mo_{0.6}Co_{0.3} treatments with values of 235.2, 266.4, and 220.8 g/pot, respectively. Investigation of physiological traits showed that the highest concentrations of Nitrogen, Molybdenum, and Cobalt were obtained from N₂₀₀Mo_{0.6}Co_{0.3}, N₁₅₀Mo_{0.6}Co_{0.3}, and N₁₅₀Mo_{0.067}Co_{0.006} treatments, respectively. Overall, it can be stated that the application of N₁₀₀Mo_{0.6}Co_{0.06} treatment can positively affect the dry weight of pods, which are economically productive and improve the performance of *P. vulgaris* (Talash cultivar).

Keywords: Greenhouse, nutrient solution, pod weight, Talash cultivar, yield

۱. مقدمه

تلفیق کشت‌های گلخانه‌ای با روش‌های جدید، نظیر آبکشت یا هیدروپونیک، امکان کنترل هر چه بهتر تغذیه گیاهان را فراهم آورده و تحول شگرفی را در عرصه تولید محصولات گلخانه‌ای ایجاد کرده است (Farzaneh et al., 2010). حبوبات با داشتن ۳۲-۱۸ درصد پروتئین، پس از غلات مهم‌ترین منبع تأمین غذای بشر است. در ایران، ارزش غذایی حبوبات پس از گندم و برنج در مقام سوم اهمیت قرار دارد (Gharajedaghi et al., 2017). این گیاهان با تثبیت زیستی نیتروژن در بهبود حاصلخیزی خاک موثر بوده و نقش مهمی در پایداری نظام‌های کشاورزی ایفا می‌نمایند (Martinez-Romero, 2003). لوبیا ۵۰ درصد حبوبات مورد استفاده در جهان را به خود اختصاص داده است (McClean et al., 2004). دانه لوبیا از نظر پروتئین و کربوهیدرات غنی می‌باشد. لوبیا نسبت به غلات نه تنها از نظر کمی مقادیر زیادی پروتئین دارد، بلکه پروتئین آن از نظر کیفی نیز بسیار غنی است (Gharajedaghi et al., 2017). از یک سو، این گیاهان دارای مقادیر بالایی پروتئین هستند، مقدار پروتئین حبوبات حدود دو تا چهار برابر غلات و ۱۰ تا ۲۰ برابر گیاهان غده‌ای است (Ahmadzadeh Ghavidel et al., 2016)، بنابراین برای رشد طبیعی، به مقدار کافی نیتروژن نیاز دارند (Farzaneh et al., 2010) و از سویی دیگر، کارایی تثبیت بیولوژیکی نیتروژن این گیاهان (15 kg/ha) نسبت به سایر لگوم‌ها مثل سویا (137 kg/ha) پایین است، بنابراین کاربرد کودهای نیتروژنه لازم و ضروری است (Peoples et al., 2009). نیاز نیتروژن لوبیا بین $80-100 \text{ kg/ha}$ متغیر است، اگرچه ممکن است 150 kg/ha نیز برای عملکرد بالا مورد نیاز باشد (Marschner, 2012). در تثبیت نیتروژن از طریق باکتری‌های ریزوبیوم، به مولیدن و کبالت نیاز است (Marschner, 2012). مولیدن نقش مهمی در متابولیسم نیتروژن در گیاهان و به‌ویژه لگوم‌ها بازی می‌کند. این عنصر به‌عنوان کوفاکتور آنزیم نیتروژناز و در احیای نیتروژن اتمسفری به آمونیوم و هم‌چنین به‌عنوان گروه پروستتیک (prosthetic) آنزیم نیترات‌رداکتاز ایفای نقش می‌کند، بنابراین متابولیسم نیتروژن گیاهان وابسته به مقدار مولیدن جذب شده از خاک است و این کار برای لگوم حائز اهمیت است (Majda et al., 2019). هر چند که بین ژنوتیپ‌های لوبیا از نظر پاسخ به مولیدن به دلیل اندازه دانه و غلظت مولیدن تفاوت‌هایی وجود دارد (Vieira et al., 2014). Araújo et al. (2009) طی تحقیقی مشاهده کردند که با افزایش مولیدن تا 80 g/ha ، عملکرد دانه لوبیا افزایش یافت. Fageria et al. (2015) گزارش کردند که کاربرد مولیدن به‌طور معنی‌داری عملکرد و اجزای عملکرد لوبیای رشد کرده در خاک‌های اکسی‌سول^۲ را افزایش داد. Biscaro et al. (2011) مشاهده کردند که در گیاه لوبیا چیتی محلول پاشی 80 g/ha مولیدن موجب افزایش کارایی مصرف کودهای حاوی نیتروژن شد. Johansen et al. (2007) نشان دادند که کاربرد 500 g/ha مولیدن رشد گیاه بهبود بخشید و منجر به افزایش ۵۸ تا ۱۷۳ درصدی عملکرد دانه لوبیا چیتی شد. کبالت نیز یک عنصر ضروری برای ریزجانداران تثبیت‌کننده نیتروژن اتمسفری است و کمبود آن فرایند تثبیت نیتروژن را مختل می‌کند، در چنین شرایطی سنتز متیونین کاهش یافته و منجر به کاهش سنتز پروتئین و در نهایت کاهش اندازه باکتری می‌شود (Broadley et al., 2012). این عنصر مخصوصاً برای لگوم‌ها خیلی ضروری است، بنابراین افزودن این عناصر به خاک می‌تواند عملکرد محصول را افزایش دهد (Gad, 2006). داده‌های زیادی در مورد کبالت موجود در گیاهان در منابع علمی وجود ندارد و داده‌های موجود نیز نشان دهنده وجود مقادیر کمی از این عنصر در گیاهان است (اغلب کمتر از 0.01 mg/100g) و کم‌ترین میزان آن در سبزیجات دیده می‌شود (Martínez-Ballesta et al., 2010). در کل قابلیت دسترسی مولیدن با افزایش pH، افزایش می‌یابد (Mengel & Kirkby, 2001). از این رو، در خاک‌های قلیایی با pH بیش از ۵-۴، مولیدن به‌اندازه کافی وجود خواهد داشت (Manuel et al., 2018)، ولی قابلیت دسترسی کبالت با افزایش pH خاک کاهش می‌یابد (Reyes et al., 2016)، اما ایجاد چنین شرایطی در خاک به‌سختی امکان‌پذیر است. اگرچه مولیدن در مقادیر بسیار کم مورد نیاز گیاه می‌باشد، ولی این عنصر بیش‌تر در فعل و انفعالات آنزیمی داخل گیاه دخالت دارد و در سنتز ترکیبات، ضروری محسوب

۲. Oxisol

می‌شود (Kabala & Singh, 2001). از این رو، برای پایش بهتر اثرات نیتروژن، کبالت و مولیبدن بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و عملکرد گیاه لوبیا چیتی، استفاده از سیستم‌های کنترل شده‌ای مثل سیستم بدون خاک در شرایط گلخانه‌ای بهترین گزینه ممکن است. هدف از این مطالعه بررسی تأثیر عناصر نیتروژن، کبالت و مولیبدن بر برخی مورفولوژیکی (صفات عملکردی) و فیزیولوژیکی (غلظت عناصر نیتروژن، کبالت و مولیبدن) گیاه لوبیا چیتی می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر کبالت، مولیبدن و نیتروژن بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris*) در کشت بدون خاک، آزمایشی گلدانی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳۶ تیمار، در سه تکرار و با مجموع ۱۰۸ واحد آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ در تیرماه و در دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان، در گلخانه و در دمای 25°C و شدت نور ۴۰۰۰۰ لوکس اجرا گردید. عامل نیتروژن در چهار سطح (۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ mg/l از منبع نترات آمونیوم)، عامل مولیبدن در سه سطح (۰/۰۰۶، ۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۶ mg/l از منبع مولیبدات آمونیوم) و عامل کبالت در سه سطح (۰/۰۰۶، ۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۶ mg/l از منبع کلرید کبالت) عوامل آزمایش را تشکیل می‌دادند. در این آزمایش لوبیا چیتی رقم تلاش مورد استفاده قرار گرفت، بدین صورت که سه عدد بذر این رقم پس از ضدعفونی شدن، خیس‌انده شده و در داخل دستمال کاغذی مرطوب به مدت ۴۸ ساعت نگهداری شده تا جوانه‌دار شوند. سپس این بذور جوانه‌زده به داخل گلدان‌های ۲۱ cm (قطر دهانه ۲۱ cm، قطر ته ۱۶ cm و ارتفاع گلدان ۲۲ cm) حاوی ۵۰۰ گرم پرلیت منتقل شدند (شکل ۱) و بعد با محلول غذایی تهیه شده آبیاری شدند. برای تهیه محلول غذایی، ابتدا محلول‌های شماره یک، دو و سه به طور جداگانه به عنوان محلول‌های غذایی پایه تهیه شدند (Ferrer et al., 2010). بعد از تهیه این محلول‌ها، از هر یک از آن‌ها به اندازه ذکر شده در جدول (۱) برداشته و در نهایت محلول‌های مورد نیاز ساخته شدند.

جدول ۱. ترکیب محلول غذایی ساخته شده به روش سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (Ferrer et al., 2010)

نوع محلول	ترکیب	وزن مولکولی (g)	محلول ذخیره (g/l)	حجم محلول ذخیره در لیتر محلول نهایی (ml)
۱	K_2SO_4	۱۷۴/۲۷	۱۷۴/۲۷	۳
	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	۲۴۶/۴۸	۲۴۶/۴۸	۳
	$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	۱۴۷/۰۲	۱۴۷/۰۲	۲
	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	۲۳۶/۱۵	۲۳۶/۱۵	۲
	KH_2PO_4	۱۳۶/۰۹	۱۳۶/۰۹	۲
۲	Fe-EDTA	۳۴۸/۰۹۴۶۲	۱۰/۴۴۳	۱
	$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	۱۶۹/۰۰	۰/۷۶۰۵	
	$\text{Zn SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	۱۷۹/۴۵	۰/۸۰۷۵۲۵	
	$\text{Cu SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	۲۴۹/۶۸	۰/۳۷۴۵۲	۱
	H_3BO_3	۶۱/۸۳	۰/۶۱۸۳	
۳	$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	۲۳۷/۷۱	۰/۰۲۶۱۵	
	NH_4NO_3	۸۰/۰۴	۸۰/۰۴	۲

۱	۰/۱۲۳۵۸۶			
۱	۰/۳۷۰۷۵۸	۱۲۳۵/۸۶	$\text{Mo}_7\text{O}_{24}(\text{NH}_4)_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	B
۱	۱/۱۱۲۲۷۴			
۱	۰/۰۲۳۷۹۳			
۱	۰/۱۲۳۷۹۳	۲۳۷/۹۳	$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	C
۱	۱/۱۸۹۶۵			

رطوبت گلدان‌ها در طول دوره رشد پیوسته در ۰/۸ رطوبت ظرفیت مزرعه نگه داشته می‌شد، بدین صورت که ابتدا مقداری از پرلیت مورد استفاده آسیاب و از الک دو میلی‌متری عبور داده شد و سپس با استفاده از دستگاه صفحات فشاری رطوبت ظرفیت زراعی آن تعیین شد و بعد محلول غذایی معادل ۰/۸ رطوبت ظرفیت مزرعه به گلدان‌ها اضافه شده و وزن گلدان‌ها توزین شدند و در مراحل اولیه رشد گیاهان مقدار محلول غذایی مورد نیاز برای ثابت نگه داشتن وزن گلدان‌ها قبل از افزایش قابل توجه زیست‌توده گیاهان حاصل شد و به‌عنوان معیاری برای کنترل رطوبت گلدان‌ها در ظرفیت زراعی مورد نظر به‌کار گرفته شد. مراحل ابتدایی رشد گیاهان در شکل (۲) ارائه شده است. چهار ماه بعد از کشت گیاهان، اقدام به برداشت گیاهان گردید (شکل ۳)، بخش هوایی گیاهان از سطح پرلیت بریده شده و بعد از شستشو با آب مقطر در داخل پاکت‌های کاغذی قرار داده شده و در دمای 60°C به مدت ۷۲ ساعت خشک شده و ریشه‌ها نیز با احتیاط از پرلیت جدا شده و همانند بخش هوایی، خشک شده و توزین شدند. نمونه‌های برگ گیاه پس از آسیاب و الک شدن به‌وسیله اسید نیتریک غلیظ و آب اکسیژنه ۳۰ درصد در دمای 120°C هضم شدند (Tang & Miller, 1991). غلظت نیتروژن با استفاده از دستگاه کج‌دال (VELP Scientifica UDK 129-Europe) و غلظت‌های مولیبدن و کبالت به‌وسیله دستگاه جذب اتمی (Shimadzu AA-670-Japan) در مرحله انتهایی رشد گیاهان اندازه‌گیری شد (شکل ۳).



شکل ۲. لوبیا چیتی در مراحل اولیه رشد (مرحله هشت برگی) در شرایط کنترل شده (کشت بدون خاک)



شکل ۱. گلدان‌های پر شده با پرلیت جهت کشت لوبیا چیتی در شرایط کنترل شده (کشت بدون خاک)



شکل ۳. لوبیا چیتی در مراحل انتهایی رشد (قبل از برداشت) در شرایط کنترل شده (کشت بدون خاک)

تحلیل آماری داده‌ها با نرم افزار SPSS (نسخه ۱۷) و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($p \leq 0.05$) و ترسیم نمودارها با نرم افزار Excel انجام شد.

۳. نتایج و بحث

۱.۳. صفات مورفولوژیکی اندازه‌گیری شده

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل نیتروژن، مولیبدن و کبالت تأثیر معنی‌داری ($p \leq 0.05$) بر وزن خشک بوته و وزن خشک غلاف ($p \leq 0.01$) داشت. همچنین اثر متقابل دوگانه نیتروژن-مولیبدن ($p \leq 0.01$) و نیتروژن-کبالت ($p \leq 0.05$) بر وزن خشک ریشه و همین‌طور اثر متقابل نیتروژن-مولیبدن، نیتروژن-کبالت و کبالت-مولیبدن بر وزن خشک غلاف معنی‌دار بود ($p \leq 0.01$) (جدول ۲).

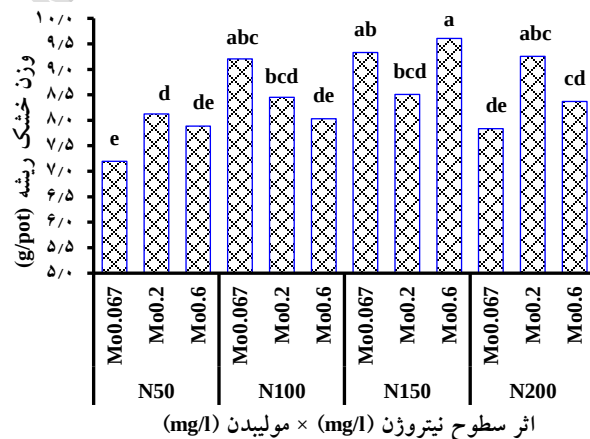
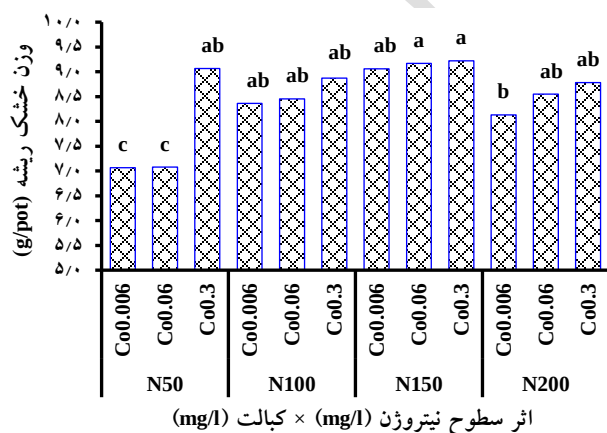
جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف نیتروژن، مولیبدن و کبالت بر صفات مورفولوژیکی لوبیا چیتی در شرایط کنترل شده (کشت بدون خاک)

میانگین مربعات					
منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک بوته	وزن خشک ریشه	وزن خشک غلاف	تعداد غلاف
نیتروژن (N)	۳	۱۳۷۰/۴۷**	۹/۰۶**	۲۳۴/۶۶**	۸۶۹۷۶/۴۵**
مولیبدن (Mo)	۲	۲۹/۱۳ns	۰/۳۳ns	۳۳/۵۵**	۳۵۲/۲۹ns
Mo × N	۶	۵۳/۵۲**	۴/۱۵**	۲۵/۱۵**	۱۳۸۲/۳۶**
کبالت (Co)	۲	۱۱۳/۰۷**	۷/۰۱**	۲۹۶/۷۲**	۲۸۹۶۴/۴۸**
Co × N	۶	۴۲/۴۴*	۲/۲۱*	۲/۴۹ns	۱۸۷۳/۵۹**
Co × Mo	۴	۱۳/۳۸ns	۰/۱۲ns	۱۴/۰۲**	۲۵۲۱/۴۴**
Co × Mo × N	۱۲	۳۹/۲۶*	۱/۱۷ns	۱۷/۷۰**	۳۹۷/۵۱ns
خطا	۷۲	۱۶/۸۱	۰/۷۷	۳/۰۱	۳۲۶/۷۵
ضریب تغییرات (%)		۷/۶۲	۱۰/۳۲	۶/۲۷	۱۰/۰۵

ns و ** و *** به ترتیب نشان دهنده معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم معنی‌داری است.

۱.۱.۳. وزن خشک ریشه

بررسی اثر متقابل نیتروژن و مولیبدن آشکار کرد که بیشترین و کمترین وزن خشک ریشه به ترتیب مربوط به تیمارهای $N_{150}Mo_{0.60}$ و $N_{50}Mo_{0.067}$ بود که اختلافی معنی داری برابر با ۲۵/۱ درصد داشتند ($p \leq 0.01$) (شکل ۴). همین طور بررسی اثر متقابل نیتروژن و کبالت مشخص کرد که بیشترین و کمترین وزن خشک ریشه به ترتیب مربوط به تیمارهای $N_{150}Co_{0.3}$ و $N_{50}Co_{0.006}$ بود که اختلاف معنی داری برابر با ۲۳/۳۲ درصد داشتند ($p \leq 0.05$) (شکل ۵). به طور کلی بررسی اثر متقابل $N \times Mo$ و $N \times Co$ آشکار کرد که در تیمارهای $N_{150}Co_{0.3}$ و $N_{150}Mo_{0.60}$ بیشترین وزن خشک ریشه حاصل شد که اختلافی برابر با ۴/۰۴ درصد داشتند. شایان ذکر است که اثر متقابل $N \times Mo$ وزن خشک ریشه را بیش تر از اثر متقابل $N \times Co$ تحت تأثیر قرار داد. از آنجایی که گیاه لوبیا چیتی نیاز بالایی به نیتروژن دارد و بیشترین مقدار نیتروژن جذب شده نیز در دانه های لوبیا و به صورت پروتئین ذخیره می شود، لذا در غلظت های پایین نیتروژن، اکثر نیتروژن جذب شده به اندام های هوایی فرستاده شده و سهم کمتری برای توسعه ریشه ها اختصاص می یابد (Farzaneh et al., 2010)، ولی در غلظت های بالا به دلیل عدم نیاز به نیتروژن، گره زایی لوبیا متوقف شده و توسعه ریشه ها نیز به دلیل وجود عناصری مثل نیتروژن در محیط کاهش می یابد. گیاهانی که در محیط غنی از نیتروژن کاشته شده باشند شاخ و برگ گسترده و فراوان تولید می کنند، ولی ریشه های آنها کم و محدود می باشد (Salardini, 2003). هم چنین فراهم بودن نیتروژن در محیط ریشه، در مراحل آغازین رشد، باعث طولی شدن بخش های هوایی گیاه می شود، ولی از رشد طولی ریشه ها جلوگیری می کند (Marschner, 2012). مولیبدن در گردش اسید آمینه ها و متابولیسم پورین (purine) و هم چنین در حذف ترکیبات ثانویه خطرناک (نیتروآمین ها) ایفای نقش می کند (Martínez-Ballesta et al., 2010). کبالت فرایندهای حیاتی بسیاری مانند تشکیل و توسعه ریشه، ساقه، گسترش و توسعه جوانه را ارتقاء می بخشد (Gad & Atta-Aly, 2006).



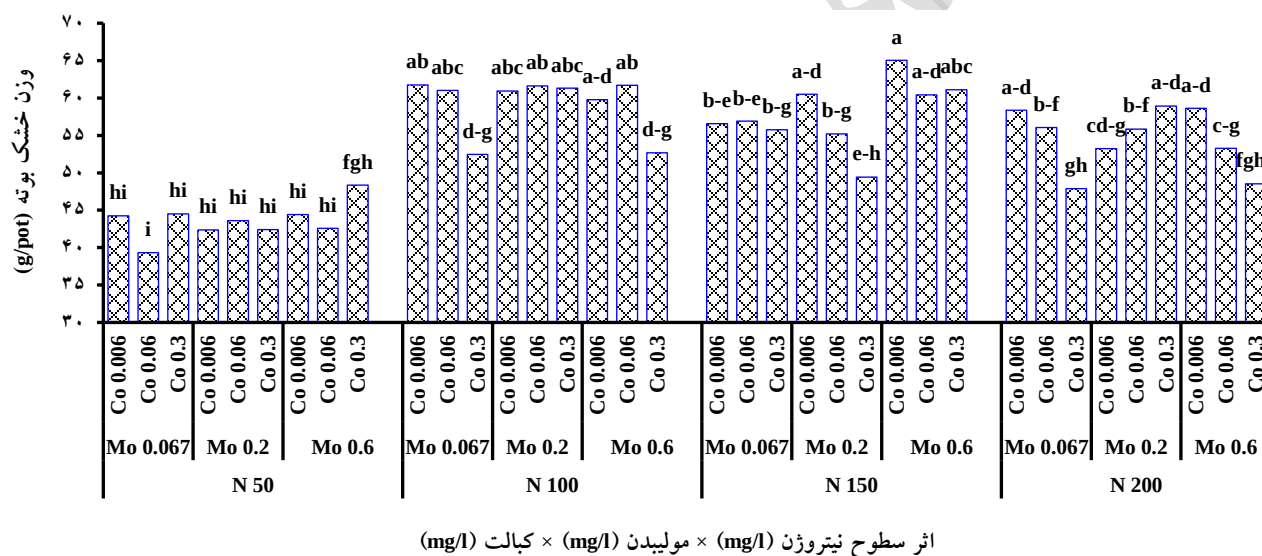
شکل ۴. اثر متقابل نیتروژن و مولیبدن بر وزن خشک بوته و ریشه در گیاه لوبیا چیتی در شرایط کنترل شده (کشت بدون خاک) حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار است.

شکل ۵. اثر متقابل نیتروژن و کبالت بر وزن خشک بوته و ریشه در گیاه لوبیا چیتی در شرایط کنترل شده (کشت بدون خاک) حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار است.

۲.۱.۳. وزن خشک بوته

اثر متقابل نیتروژن، مولیبدن و کبالت نشان داد که بیشترین و کمترین وزن خشک بوته به ترتیب از تیمار $N_{150}Mo_{0.6}Co_{0.006}$ و $N_{50}Mo_{0.067}Co_{0.06}$ به دست آمد که اختلاف معنی داری برابر با ۳۹/۵ درصد داشتند ($p \leq 0.05$) (شکل ۶). مطابق با شکل (۶) در تیمارهای حاوی N_{50} و N_{200} وزن خشک بوته کمتری حاصل شده ولی در تیمارهای N_{100} و N_{150} وزن خشک بوته بیش تر بود و همین طور در این

دو تیمار هم با افزایش سطوح مولیبدن و هم کبالت وزن خشک بوته کاهش یافت. از آنجایی که لوبیا چیتی نیاز نیتروژنی نسبتاً بالایی دارد (N_{150}) (Farzaneh et al., 2010) و برای سوخت و ساز این مقدار نیتروژن، نیاز به مولیبدن زیادی است ($Mo_{0.6}$) (Majda et al., 2019)، از طرفی چون کبالت جزء عناصری ضروری گیاه نیست و به عنوان عنصر مفید برای گیاهان خانواده لگوم دسته بندی می شود (Bakkaus et al., 2005)، لذا همه این عوامل باعث شده در تیمار $N_{150}Mo_{0.6}Co_{0.006}$ بیشترین وزن خشک بوته حاصل شود. تحقیقات نشان داده اند که در گیاه لوبیا سبز ماده خشک بیشتری با استفاده از کود نیتروژن دار نسبت به عدم استفاده از این کودها تولید می شود (Nasri & Khalatbari, 2015). غلظت های نرمال کبالت در گیاهان بین ۰/۱ تا $10 \mu g/g$ ماده خشک ذکر شده است و نقش سودمند آن به عنوان یک عنصر کمیاب مفید برای فعالیت های متابولیکی گیاهان شرح داده شده است (Bakkaus et al., 2005)، اما غلظت های بالای این فلز ممکن است ایجاد مسمومیت کند و شدیداً با فعالیت های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه تداخل نماید (El-Sheekh et al., 2003; Jayakumar et al., 2008). اثرات مضر غلظت های بالای کبالت (بالای $750 \mu g/l$) در بعضی گیاهان گزارش شده است (Jayakumar & Vijayarengan, 2006). افزودن کبالت به خاک هایی با کمبود عنصر مذکور، موجب افزایش وزن و غلظت کبالت در گره ها و همین طور تعداد باکتریوئید و غلظت کوبالامین و لگ هموگلوبین در واحد وزن تر گره در لوپین های رشد یافته در این خاک ها شد (Broadley et al., 2012).

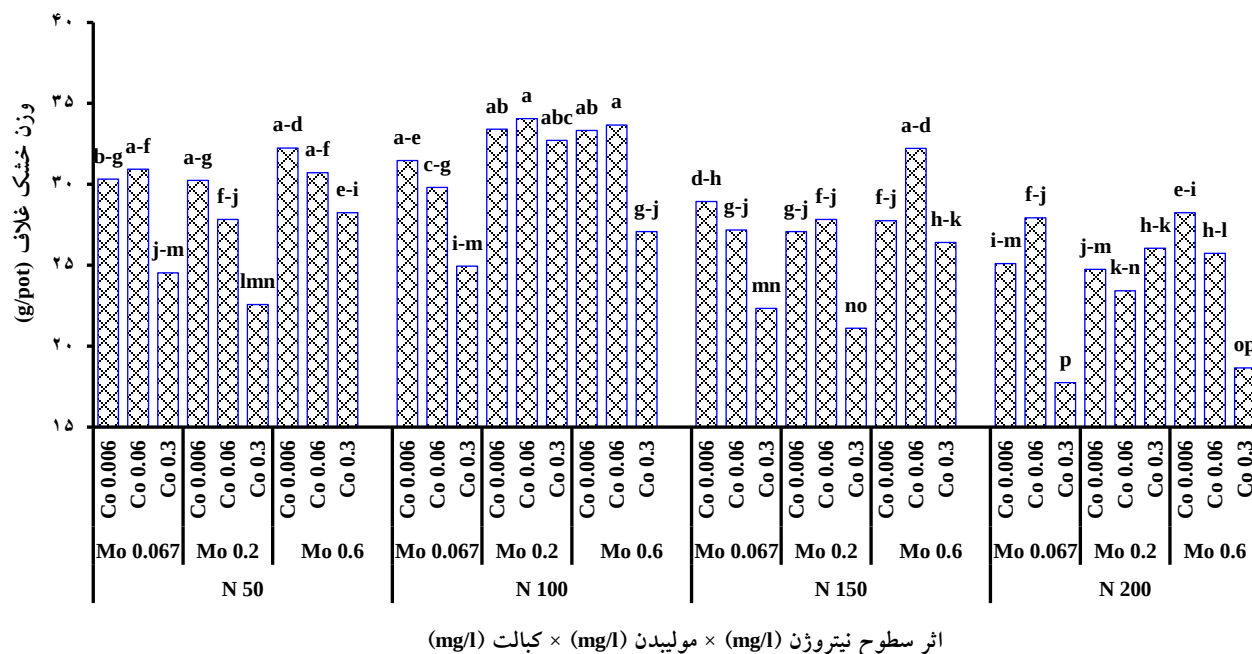


شکل ۶. اثر متقابل سطوح نیتروژن، مولیبدن و کبالت بر وزن خشک بوته لوبیا چیتی در شرایط کنترل شده (کشت بدون خاک). حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار است.

۳.۱.۳. وزن خشک غلاف

حداکثر وزن خشک غلاف در تیمار $N_{100}Mo_{0.2}Co_{0.06}$ به دست آمد که با تیمار $N_{100}Mo_{0.6}Co_{0.06}$ تفاوت معنی دار نداشت و حداقل آن در تیمار $N_{200}Mo_{0.067}Co_{0.3}$ اندازه گیری شد و بین حداکثر و حداقل وزن خشک غلاف اختلاف معنی داری برابر با ۴۷/۹ درصد مشاهده گردید (شکل ۷). مطابق با شکل (۷) به غیر از تیمار N_{100} در سایر تیمارها وزن خشک غلاف کم تر بود. کم ترین وزن خشک غلاف در تیمار $N_{200}Mo_{0.067}Co_{0.3}$ حاصل شد که دلیل آن را می توان به جذب بیش تر نیتروژن (N_{200}) و متعاقب آن کبالت ($Co_{0.3}$) نسبت داد که هر دو این عناصر (نیتروژن و کبالت) در بیش ترین سطح خود دیده شدند، با جذب بیش تر نیتروژن به شکل NO_3^- به دلیل به هم خوردن تعادل بار در درون سلول های گیاه، کبالت به شکل Co^{2+} برای ایجاد حالت حثی باری در سلول ها جذب می شود (Palit et al., 1994). در اثر مصرف نیتروژن، رشد رویشی، سطح برگ، تعداد شاخه های فرعی و سایر صفات مرتبط با عملکرد افزایش می یابد (Ahmadi et al., 2004). این امر

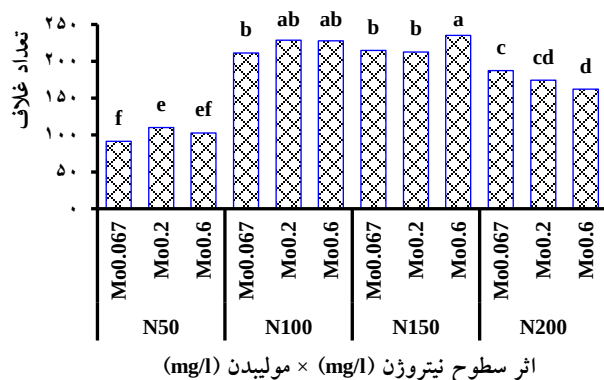
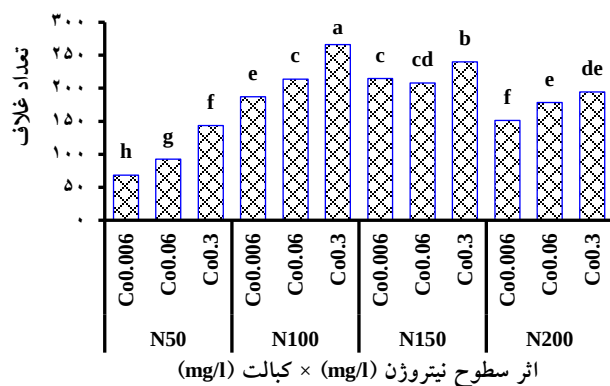
می‌تواند به دلیل تأثیر زیاد نیتروژن بر گسترش سطح برگ و تداوم بهتر آن باشد. در مقادیر بیش تر نیتروژن مواد فتوسنتزی در بخش‌های برگ و ساقه مصرف شده و در نهایت مواد تجمع یافته در غلاف‌ها کاهش می‌یابد.



شکل ۷. اثر متقابل سطوح نیتروژن، مولیبدن و کبالت بر وزن خشک غلاف لوبیا چیتی در شرایط کنترل شده (کشت بدون خاک). حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار است.

۴.۱.۳. تعداد غلاف

بررسی اثر متقابل نیتروژن و مولیبدن نشان داد که اختلاف بیش‌ترین ($N_{150}Mo_{0.6}$) و کم‌ترین ($N_{50}Mo_{0.067}$) تعداد غلاف به میزان ۶۱/۰۶ درصد بود (شکل ۸). به دلیل اثرات سینرژیستی موجود بین نیتروژن و مولیبدن، بیش‌ترین سطح از مولیبدن به همراه سطح نسبتاً بالایی از نیتروژن ($N_{150}Mo_{0.6}$) دیده شد (Manuel *et al.*, 2018). آزمایشی بر روی لوبیا سبز مشخص کرد که کاربرد نیتروژن باعث افزایش معنی‌دار پروتئین و عملکرد دانه شد (Nasri & Khalatbari, 2015). گزارش شده که نیتروژن باعث افزایش میزان گلدهی و تولید بیش‌تر غلاف می‌گردد (Lack *et al.*, 2015). بررسی اثر متقابل کبالت و نیتروژن نشان داد که بین بیش‌ترین ($N_{100}Co_{0.3}$) و کم‌ترین ($N_{50}Co_{0.006}$) تعداد غلاف اختلاف معنی‌داری برابر با ۷۴/۲۶ درصد وجود داشت (شکل ۹). مطابق با شکل (۱۰) بیش‌ترین تعداد غلاف در تیمارهای $Mo_{0.6}Co_{0.3}$ و $Mo_{0.2}Co_{0.3}$ به دست آمد و کم‌ترین تعداد غلاف نیز در تیمار $Mo_{0.6}Co_{0.006}$ حاصل شد که بین بیش‌ترین و کم‌ترین تعداد غلاف اختلاف معنی‌داری برابر با ۳۱/۱۱ درصد وجود داشت. دلیل این که بیش‌ترین تعداد غلاف در تیمارهای $N_{100}Co_{0.3}$ و $Mo_{0.6}Co_{0.3}$ حاصل شد، می‌توان به آنیون‌های همراه این عنصر (NO_3^- و MoO_4^{2-}) در تیمارهای مذکور ربط داد، که موجب تشدید جذب عنصر کبالت می‌شوند. با جذب NO_3^- و MoO_4^{2-} تعادل بار در داخل سلول‌های گیاه به هم خورده و گیاه برای تعادل بار، Co^{2+} را در سلول‌های خود تجمع می‌دهد (Palit *et al.*, 1994).

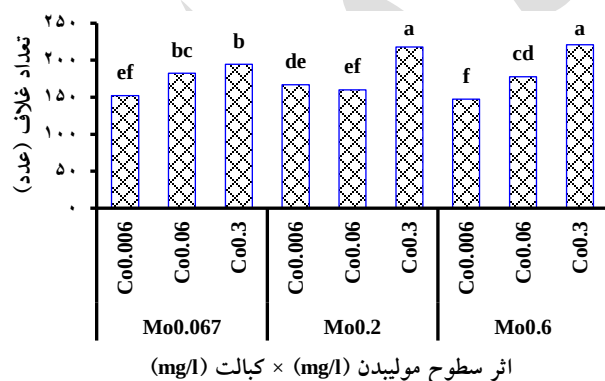


شکل ۹. اثر متقابل نیتروژن و کبالت بر تعداد غلاف در شرایط کنترل شده (کشت بدون خاک)

شکل ۸. اثر متقابل نیتروژن و مولیبدن بر تعداد غلاف در شرایط کنترل شده (کشت بدون خاک)

حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار است.

حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار است.



شکل ۱۰. اثر متقابل مولیبدن و کبالت بر تعداد غلاف گیاه لوبیا چیتی در شرایط کنترل شده (کشت بدون خاک)

تعداد غلاف در گیاه متغیرترین صفت در بین اجزای عملکرد حبوبات می‌باشد. توانایی حبوبات در تشکیل جوانه‌ها، گل‌ها و غلاف‌ها بسیار بالا است، اما دستیابی به این هدف به شرایط داخل گیاه و خصوصاً شرایط محیطی بستگی دارد که موجب تغییرپذیری زیادی در تعداد غلاف‌ها می‌شود. در بین اجزای عملکرد تعداد غلاف در هر گیاه بالاترین همبستگی را با عملکرد دارد (Pournajaf et al., 2006). از آنجا که تعداد غلاف یکی از عوامل مرتبط با عملکرد می‌باشد هر عاملی که باعث افزایش عملکرد دانه لوبیا می‌شود روی این عامل نیز تأثیر می‌گذارد. از علائم مشخص کمبود نیتروژن در حبوبات کاهش تعداد گل و غلاف است (Salardini, 2003). تحقیقات نشان داده‌اند که پرایمینگ بذرهای لوبیا با ۰/۱ درصد مولیبدن به مدت ۱۰ ساعت موجب افزایش جذب خالص دی‌اکسیدکربن، مقدار کلروفیل و افزایش ۶ برابری تثبیت نیتروژن (۶۵/۸ kg/ha) و ۱۱۵ درصد عملکرد دانه نسبت به شاهد گردید (Majda et al., 2019). این یافته‌ها با نتایج به‌دست آمده توسط Mathur et al. (2006) بر روی گیاه لوبیا مطابقت دارد. مطالعات نشان داده‌اند که کمبود مولیبدن موجب کاهش رشد لوبیا چیتی شده و هم‌چنین باعث کاهش تعداد غلاف و دانه شده و گیاه را به انواع آفت‌ها حساس می‌کند (Datnoff et al., 2007). Kandil (2007) افزایش همه پارامترهای رشد و عملکرد گیاه باقلا شامل ارتفاع، تعداد شاخه، تعداد گره، تعداد غلاف و تعداد دانه در گیاه، عملکرد دانه و وزن خشک بوته و ریشه را در اثر کاربرد کبالت گزارش نموده است.

۲.۳. صفات فیزیولوژیکی اندازه‌گیری شده

مطابق با جدول (۳) اثر متقابل نیتروژن، مولیبدن و کبالت بر غلظت‌های نیتروژن، مولیبدن و کبالت موجود در برگ لوبیا چیتی معنی‌دار شد ($p \leq 0.01$).

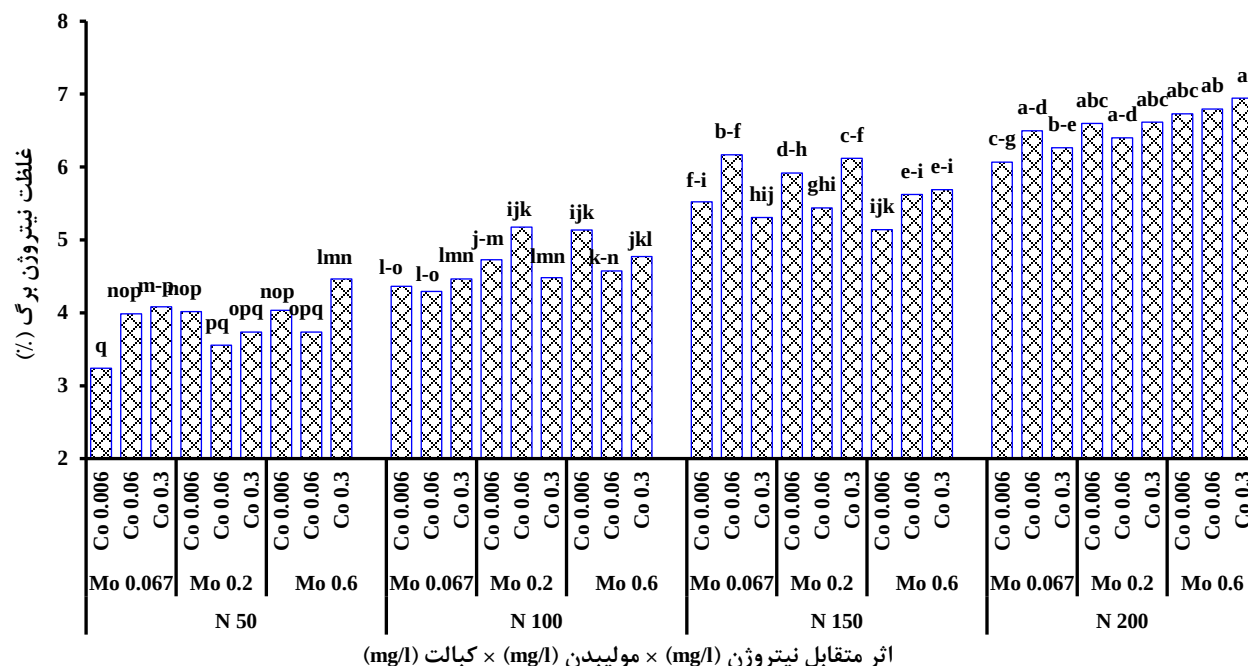
جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف نیتروژن، مولیبدن و کبالت بر صفات فیزیولوژیکی برگ لوبیا چیتی در شرایط کنترل شده (کشت بدون خاک)

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		نیتروژن	مولیبدن
نیتروژن (N)	۳	۳۶/۶۲**	۳۰۷۵۵۲/۵۴**
مولیبدن (Mo)	۲	۰/۷۷**	۹۸۵۷/۰۶**
Mo × N	۶	۰/۳۴*	۱۷۸۷/۳۷**
کبالت (Co)	۲	۰/۱۳ns	۲۵۹۷/۴۹**
Co × N	۶	۰/۱۵ns	۴۵۶۲/۵۱**
Co × Mo	۴	۰/۴۰*	۳۰۳/۲۷**
Co × Mo × N	۱۲	۰/۳۲**	۱۱۶۶/۸۱**
اشتباه	۷۲	۰/۱۲۵	۲۴/۰۰۱
ضریب تغییرات (%)		۶/۸۱	۳/۸۶
		۷/۸۰	

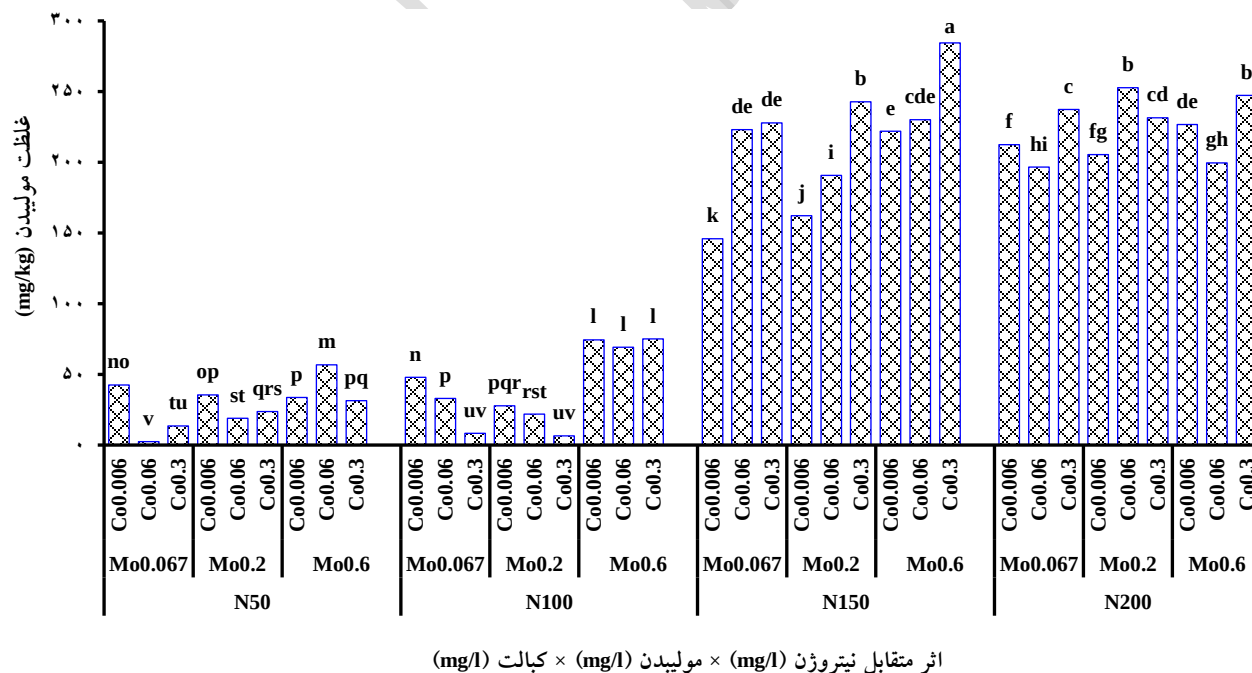
***، ** و ns به ترتیب نشان دهنده معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم معنی‌داری است.

۱.۲.۳. غلظت نیتروژن و مولیبدن برگ

حداکثر غلظت نیتروژن برگ در تیمار $N_{200}Mo_{0.6}Co_{0.3}$ و حداقل آن در تیمار $N_{50}Mo_{0.067}Co_{0.006}$ اندازه‌گیری شد که اختلافی برابر با ۵۳/۳۳ درصد داشتند (شکل ۱۱). با افزودن بیش‌ترین مقدار نیتروژن به محلول غذایی (N_{200})، غلظت عنصر نیتروژن برگ‌ها نیز به حداکثر مقدار خود در تیمار $N_{200}Mo_{0.6}Co_{0.3}$ رسید و همین امر باعث شد که در تیمارهایی که حاوی مقادیر بیش‌تری نیتروژن هست، بالاترین غلظت مولیبدن ($Mo_{0.6}$) نیز وجود داشته باشد مثل تیمار $N_{200}Mo_{0.6}Co_{0.3}$ که حاوی حداکثر غلظت مولیبدن موجود در برگ لوبیا است (شکل ۱۲). در تیمارهایی که بیش‌ترین غلظت نیتروژن وجود داشت، بیش‌ترین غلظت مولیبدن نیز گزارش شد. این امر می‌تواند به دلیل ناقلین مولیبدن موجود در گیاه باشد، ناقلین مولیبدن در گیاه پروتئین‌هایی هستند که عمدتاً از اسیدآمینوهای حاوی نیتروژن سنتز شده و معروف به MOT1 و MOT2 (Molybdate Transporters type 1 and 2) هستند، لذا با افزایش غلظت نیتروژن گیاه، سنتز این پروتئین‌های MOT1 و MOT2 بیش‌تر شده و انتقال مولیبدن به برگ‌ها نیز افزایش می‌یابد (Manuel et al., 2018). از سوی دیگر، در تیمارهای $N_{150}Mo_{0.6}Co_{0.3}$ و $N_{200}Mo_{0.6}Co_{0.3}$ که به ترتیب حداکثر غلظت نیتروژن و مولیبدن در برگ‌ها ثبت شد، عنصر کبالت نیز در حداکثر غلظت خود حضور دارد، این امر نیز می‌تواند به دلیل نقشی باشد که این عنصر در گره‌های لوبیا برای تثبیت بیولوژیک نیتروژن برعهده دارد (Hungria et al., 2013). غلظت‌های بالای عنصر مولیبدن برای سلامت مصرف‌کننده مضر می‌باشد (Anbuselvi et al., 2011). بنابراین افزایش مولیبدن محلول غذایی به بیش از ۰/۱ mg/l حالت سمیت ایجاد می‌کند. حداکثر غلظت مولیبدن برگ در تیمار $N_{150}Mo_{0.6}Co_{0.3}$ و حداقل آن در تیمار $N_{50}Mo_{0.067}Co_{0.06}$ به دست آمد (شکل ۱۲). محققین نشان داده‌اند که محلول‌پاشی مولیبدن در گیاه لوبیا باعث افزایش فعالیت نیتروژناز، طولانی‌تر شدن فعالیت آنزیم نیترات‌رداکتاز و در نتیجه افزایش نیتروژن در اندام‌های هوایی شد (Malakouti & Homaei, 2005).



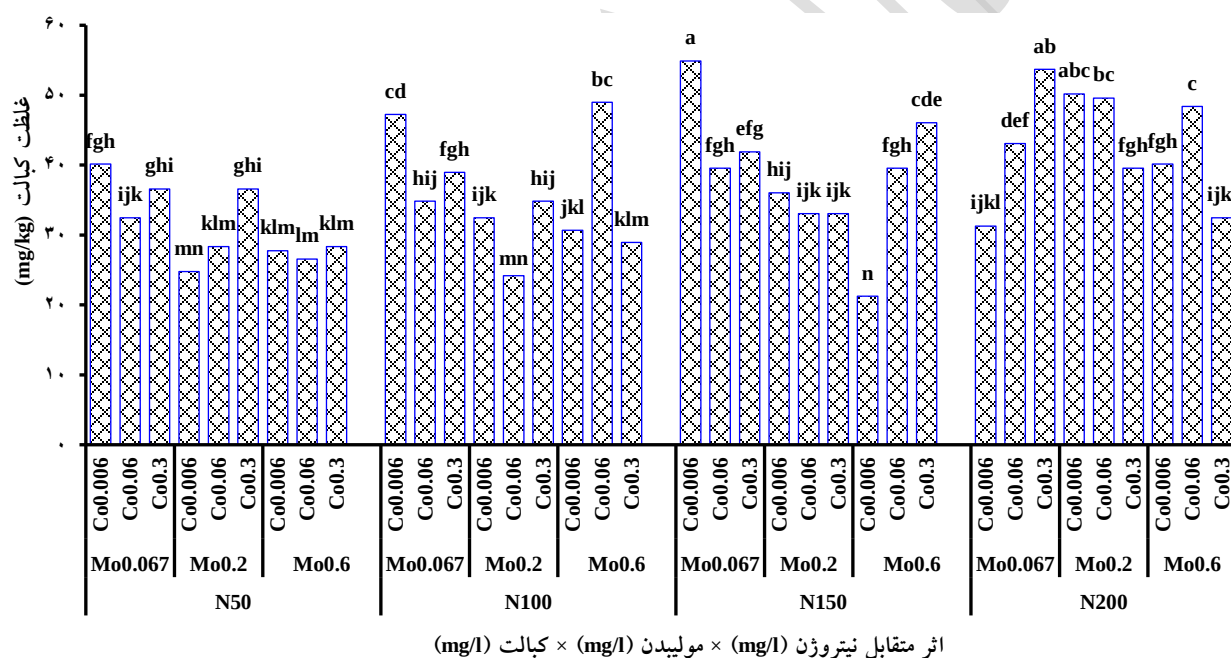
شکل ۱۱. اثر متقابل نیتروژن، مولیبدن و کبالت بر غلظت نیتروژن در برگ لوبیا چیتی در شرایط کنترل شده (کشت بدون خاک). حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار است.



شکل ۱۲. اثر متقابل نیتروژن، مولیبدن و کبالت بر غلظت مولیبدن در برگ لوبیا چیتی در شرایط کنترل شده (کشت بدون خاک). حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار است.

۲.۲.۳. غلظت کبالت برگ

حداکثر غلظت کبالت برگ در تیمار $N_{150}Mo_{0.067}Co_{0.006}$ و حداقل آن در تیمار $N_{150}Mo_{0.6}Co_{0.006}$ به دست آمد (شکل ۱۳). بین حداکثر و حداقل غلظت کبالت موجود در برگ، اختلاف معنی داری برابر با ۶۱/۲۹ درصد وجود داشت. بعد از تیمار $N_{150}Mo_{0.067}Co_{0.006}$ بیشترین غلظت کبالت در تیمار $N_{200}Mo_{0.067}Co_{0.03}$ حاصل شد که اختلافی برابر با ۲/۱۳ درصد بود که فاقد اختلاف معنی دار بود. با افزایش غلظت نیتروژن در محیط رشد گیاه و جذب بیش تر آن (N_{150} و N_{200}) و به تبع آن جهت سوخت و ساز نیتروژن جذب شده، جذب مولیبدن نیز بیش تر شده ($Mo_{0.067}$) و نهایتاً برای ایجاد تعادل بار در درون گیاه، جذب کبالت نیز افزایش می یابد ($Co_{0.006}$ و $Co_{0.3}$). پژوهش های زیادی نشان داده اند که کبالت خاک در غلظت های کم اثر مثبت و در غلظت های زیاد اثر منفی بر شاخص های رشد گیاهان لگوم می گذارد. مثلاً کاربرد غلظت کم کبالت ($0/05 \text{ mM}$) در محلول غذایی به مدت ۳۵ روز در لوبیا سبز وزن دانه، وزن زیست توده، طول ریشه و ساقه را افزایش، ولی غلظت بیش از $0/1 \text{ mM}$ کبالت در محلول غذایی در همین مدت موجب کاهش شاخص های رشد نسبت به شاهد شده است (Sharafi et al., 2013)، ولی در بلند مدت (در طول یک فصل رشد) به نظر می رسد که همین غلظت کم نیز ($0/05 \text{ mM}$) می تواند حالت مسمومیت برای گیاهان ایجاد کند.



شکل ۱۳. اثر متقابل نیتروژن، مولیبدن و کبالت بر غلظت کبالت در برگ لوبیا چیتی در شرایط کنترل شده (کشت بدون خاک) حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار است.

۴. نتیجه گیری

با کاربرد توأم نیتروژن و مولیبدن بیشترین وزن خشک ریشه در تیمار $N_{150}Mo_{0.6}Co_{0.06}$ به دست آمد. در تیمارهای $N_{100}Mo_{0.6}Co_{0.06}$ و $N_{200}Mo_{0.067}Co_{0.3}$ به ترتیب بیشترین و کمترین وزن خشک غلاف با اختلافی برابر با ۴۷/۹ درصد به دست آمد و بیشترین تعداد غلاف نیز در تیمارهای $N_{150}Mo_{0.6}$ ، $N_{100}Co_{0.3}$ و $Mo_{0.6}Co_{0.3}$ به دست آمد. در تیمارهای $N_{200}Mo_{0.6}Co_{0.3}$ و $N_{50}Mo_{0.067}Co_{0.006}$ به ترتیب بیشترین و کمترین غلظت نیتروژن برگ با اختلافی برابر با ۵۳/۳۳ درصد حاصل شد. هم چنین بررسی اثر متقابل سه گانه نیتروژن، مولیبدن و کبالت بر غلظت عنصر غذایی مولیبدن آشکار کرد که بیشترین و کمترین غلظت مولیبدن به ترتیب در تیمارهای $N_{150}Mo_{0.6}Co_{0.3}$ و $N_{50}Mo_{0.067}Co_{0.06}$ با اختلافی برابر با ۹۹/۱۷ درصد حاصل شد و برای کبالت هم بیشترین و کمترین غلظت در تیمارهای $N_{150}Mo_{0.067}Co_{0.006}$ و $N_{150}Mo_{0.6}Co_{0.006}$ با اختلافی برابر با ۶۱/۲۹ درصد به دست آمد. در کل، نتایج نشان داد که کاربرد 100 mg/l نیتروژن،

۰/۶ mg/l مولبدن به همراه ۰/۰۶ mg/l کبالت می‌تواند موجب افزایش وزن خشک غلاف شده و محصول گیاه لوبیا چیتی را در شرایط کشت بدون خاک در گلخانه افزایش دهد.

۵. تشکر و قدردانی

از دکتر احمد گلچین بابت حمایت‌های مالی و معنوی در انجام این تحقیق، تقدیر و تشکر می‌گردد.

۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع

- Ahmadi, A., Ehsanzadeh P. & Jabari, F. (2004). *Introduction to Plant Physiology*. Tehran University, Tehran, 653p. (In Persian)
- Ahmadzadeh Ghavidel, R., Asadi, G., Naseri Pour Yazdi, M. T., Ghorbani, R., & Khorramdel, S. (2016). Effects of plant density and cow manure levels on growth criteria of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Cultivars under Mashhad climatic conditions. *Agroecology*, 8(2), 296-317 (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jag.v8i2.51297>
- Anbuselvi, S., Sathish Kumar, M., Vikram, M. & Debi-Prasad, P. (2011). Effect of molybdenum on nitrogen fixing enzymes of blackgram using *anabaena azollae* sp treated coir waste manure under drought stress. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(4), 252-256.
- Araújo, P. R. D. A., Araújo, G. A. D. A., Rocha, P. R. R., & Carneiro, J. E. D. S. (2009). Combinações de doses de molibdênio e nitrogênio na adubação da cultura do feijoeiro-comum. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 31(2), 227-234. <http://dx.doi.org/10.1590/S1807-86212009000200007>.
- Bakkaus, E., Gouget, B., Gallien, J. P., Khodja, H., Carrot, F., Morel, J. L. & Collins, R. (2005). Concentration and distribution of cobalt in higher plants: the use of micro-PIXE spectroscopy. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 231(1-4), 350-356. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2005.01.082>
- Biscaro, G. A., Junior, F., Soratto, R. P., Kikuti, H., Junior, G., Roseiro, S. A., & Aguirre, W. M. (2011). Covering nitrogen and molybdenum via leaf in irrigated common bean cultivated in savannah soil. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 33 (4), 665-670. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v33i4.6387>.
- Broadley, M., Brown, P., Cakmak, I., Ma, J. F., Rengel, Z. & Zhao, F. (2012). Beneficial elements. p. 249-269. In P. Marschner (Ed.) *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Academic Press, Cambridge, UK.
- Datnoff, L. E., Elmer, W. H. & Huber, D. M. (2007). Mineral nutrition and plant disease. *American Phytopathological Society* (APS Press). p. 278.

- El-Sheekh, M. M., El-Naggar, A. H., Osman, M. E. H. & El-Mazaly, E. (2003). Effect of cobalt on growth, pigments and the photosynthetic electron transport in *Monoraphidium minutum* and *Nitzschia perminuta*. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 15(3), 159-166. <http://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202003000300005>
- Fageria, N. K., Stone, L. F., & Santos, A. B. (2015). Molybdenum requirements of dry bean with and without liming. *Communications in soil science and plant analysis*, 46(8), 965-978. <https://doi.org/10.1080/00103624.2015.1018523>
- Farzaneh, N., Golchin, A. & Hashemi Majd, K. (2010). The effect of nitrogen and boron on growth, yield and concentration of some nutrient elements of tomato. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 1(2), 19-29. (In Persian)
- Ferrer, I., Zweigenbaum, J. A. & Thurman, E. M. (2010). Analysis of 70 Environmental Protection Agency priority pharmaceuticals in water by EPA Method 1694. *Journal of Chromatography A*, 1217(36), 5674-5686. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2010.07.002>
- Gad, N. & Atta-Aly, M. A. (2006). Effect of cobalt on the formation, growth and development of adventitious roots in tomato and cucumber cuttings. *Journal of Applied Sciences Research*, 2(7), 423-429.
- Gad, N. (2006). Increasing the efficiency of nitrogen fertilization through cobalt application to pea plant. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 2, 433-442.
- Gharajedaghi, F., Bihamta, M. R., Peyghambari, S. A. & Rezaeinia, M. (2017). Evaluation of traits and drought tolerance in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes under well-watered and drought stress conditions. *Iranian journal of Pulses Research*, 8(2), 69-83. (In Persian)
- Hungria, M., Nogueira, M. A. & Araujo, R. S. (2013). Co-inoculation of soybeans and common beans with rhizobia and azospirilla: strategies to improve sustainability. *Biology and Fertility of Soils*, 49(7), 791-801.
- Jayakumar, K. & Vijayarengan, P. (2006). Influence of cobalt on seed germination and seedling growth of *Vigna mungo* (L.) Hepper. *Plant Archives*, 6(2), 681-682.
- Jayakumar, K., Vijayarengan, P., Changxing, Z., Gomathinayagam, M. & Jaleel, C. A. (2008). Soil applied cobalt alters the nodulation, leg-haemoglobin content and antioxidant status of *Glycine max* (L.) Merr. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 67(2), 272-275. DOI: 10.1016/j.colsurfb.2008.08.012
- Johansen, C., Musa, A. M., Kumar Rao, J. V. D. K., Harris, D., Yusuf Ali, M., Shahidullah, A. K. M., & Lauren, J. G. (2007). Correcting molybdenum deficiency of chickpea in the High Barind Tract of Bangladesh. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170(6), 752-761. <https://doi.org/10.1002/jpln.200700249>.
- Kabala, C. & Singh, B. R. (2001). Fractionation and mobility of copper, lead, and zinc in soil profiles in the vicinity of a copper smelter. *Journal of Environmental Quality*, 30(2), 485-492. DOI: 10.2134/jeq2001.302485x
- Kandil, H. (2007). Effect of cobalt fertilizer on growth, yield and nutrients status of faba bean (*Vicia faba* L.) plants. *Journal of Applied Sciences Research*, 3(9), 867-872.

- Lack, S., Kermanshahi, M. & Noryani, H. (2015). Variation trend of leaf area index, yield and yield components of green beans (*Phaseolous vulgaris* L.) by using zinc sulfate and nitrogen. *Journal of Crop Ecophysiology*, 3(3), 53-65. (In Persian)
- Majda, C., Khalid, D., Aziz, A., Rachid, B., Badr, A. S., Lotfi, A. & Mohamed, B. (2019). Nutri-priming as an efficient means to improve the agronomic performance of molybdenum in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Science of the Total Environment*, 661, 654-663. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.188>
- Malakouti, M. J. & Homaei, M. (2005). *Soil fertility of Arid and semi-Arid Regions difficulties and solutions*. 2nd Ed. Tarbiat Modares University, Tehran, 508p. (In Persian)
- Manuel, T. J., Alejandro, C. A., Angel, L., Aurora, G., and Emilio, F. (2018). Roles of molybdenum in plants and improvement of its acquisition and use efficiency. p. 137-159, In M. A. Hossain *et al.* (Eds.) *Plant Micronutrient Use Efficiency*. Academic Press, London, UK.
- Marschner, P. (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. 3rd Ed. Cambridge, United Kingdom: Academic Press.
- Martínez-Ballesta, M. C., Dominguez-Perles, R., Moreno, D. A., Muries, B., Alcaraz-López, C., Bastías, E., Grcia-Viguera, C. & Carvajal, M. (2010). Minerals in plant food: effect of agricultural practices and role in human health. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30(2), 295-309.
- Martinez-Romero, E. (2003). Diversity of Rhizobium-*Phaseolus vulgaris* symbiosis: overview and perspectives. *Plant and Soil*, 252(1), 11-23.
- Mathur, N., Singh, J., Bohra, S., Bohra, A. & Vyas, A. (2006). Effect of Soil Compaction, Potassium and Cobalt on Growth. *International Journal of Soil Science*, 1(3), 269-271.
- McClellan, P., Kami, J. & Gepts, P. (2004). Genomic and genetic diversity in common bean. p. 60-82. In R. F. Wilson *et al.* (Eds.). *Legume Crop Genomic*. AOCS Press, Champaign.
- Mengel, K. & Kirkby, E. (2001). *Principles of Plant Nutrition*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Nasri, M. & Khalatbari, M. (2015). The effect of different values of nitrogen, potassium and zinc fertilizers on physiological characteristics of Green Bean (*Phaseolous vulgaris* gen. Sunray) in Iran. *Biological Forum – An International Journal*, 7(2), 462-472.
- Palit, S., Sharma, A. & Talukder, G. (1994). Effects of cobalt on plants. *The botanical review*, 60(2), 149-181. DOI: 10.1007/BF02856575
- Peoples, M. B., Brockwell, J., Herridge, D. F., Rochester, I. J., Alves, B. J. R., Urquiaga, S., Boddey, R. M., Dakora, F. D., Bhattarai, S., Maskey, S. L., Sampet, C., Rerkasem, B., Khan, D. F., Hauggaard-Nielsen, H. & Jensen, E. S. (2009). The contributions of nitrogen-fixing crop legumes to the productivity of agricultural systems. *Symbiosis*, 48, 1–17. DOI: 10.1007/BF03179980

- Pournajaf, M. (2006). The effect of supplemental irrigation, inoculation with rhizobium bacteria, and application of nitrogen fertilizer on the amount and yield quality of the two cultivars chickpea (*Cicer arietinum* L.) under rainfed conditions. MSc thesis. Zanzan University. Zanzan, Iran.
- Reyes, J. O., Bendezú, S. G. & Joaquín, A. H. (2016). Molybdenum and Cobalt Application in Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) with Two Fertilization Systems under No-Tillage. *Journal of Agricultural Science and Technology B*, 72. DOI:10.17265/2161-6264/2016.02.002
- Salardini, A. A. (2003). *Soil fertility*. 3rd Ed. Tehran University, Tehran, 428p. (In Persian)
- Sharafi, M., Ranjbar, A., Beigi Harchegani, H. & Iranipour, R. (2013). Effect of soil cobalt concentrations on some growth indices of pinto bean. *Iranian Journal of Soil Research*, 27(1), 85-96. (In Persian)
- Sources and Solutions | Nutrient Pollution | US EPA. <https://www.epa.gov/nutrientpollution/sources-and-solutions>. Accessed: 2020-02-02.
- Tang, T. & D. M. Miller. (1991). Growth and tissue composition of rice grown in soil treated with inorganic copper, nickel, and arsenic. *Commun. Communications in soil science and plant analysis*, 22, 2037-2045. <https://doi.org/10.1080/00103629109368556>
- Vieira, R. F., Júnior, P., Carneiro, J. E. D. S., & Queiroz, M. V. (2014). Genotypic variability in seed accumulation of foliar-applied molybdenum to common bean. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38(1), 205-213. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000100020>