Plant Prod., 2022, 45(2), 215-228
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/PPD.2022.38615.1994
Received: 3 October 2021
Accepted: 1 May 2022

Plant Productions
Research Article

Evaluation of the Effect of Bio-Priming and Seed Coating on Seed Germination and Seedling Growth Indices of *Chenopodium Quinoa* in Cadmium Stress

Zahra Hajizadeh[1], Hamidreza Balouchi[2]*, Amin Salehi[3], Ali Moradi[4], Rasool Rezaei[5]

1- M.Sc. student of Seed Science and Technology, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran
2- Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran
3- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran
4- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran
5- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran

Citation: Hajizadeh, Z., Balouchi, H., Salehi, A., Moradi, A., & Rezaei, R. (2022). Evaluation of the effect of bio-priming and seed coating on seed germination and seedling growth indices of *Chenopodium quinoa* in cadmium stress. *Plant Productions,* 45(2), 215-228.

Abstract

Introduction

Cadmium contamination limits biodiversity, the activity of microbes and enzymes in the soil, and threatens human health through the food chain. Seed pretreatment is a common way to improve seed germination under stress conditions such as heavy metal stress, which increases seedling resistance. This study aimed to investigate the effect of bio-priming with *Bacillus subtilis* and seed coating on seed germination and seedling growth indices of quinoa under cadmium stress.

Materials and Methods

This study was conducted in laboratory and greenhouse conditions in three separate factorial experiments by two factors in a completely randomized design with 4 replications at laboratory and greenhouse of Yasouj University in 2019. In the first experiment, the first factor is bio-priming with *Bacillus subtilis* bacteria in two levels of presence and absence of bacteria and the

* **Corresponding Author:** Hamidreza Balouchi
E-mail: balouchi@yu.ac.ir

© 2022 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

second factor is cadmium stress in three levels of zero, 0.3, and 0.6 mM cadmium nitrate, in the second experiment, the first factor is the coating on three levels of seed inoculation with bio-priming treatment, then coating them, mixing bacteria with coating materials, then coating the seeds and coating alone and the second factor is three levels of treatment a combination coating of vermiculite (V), kaolin (K) and perlite (P) including V10K2.5P5, V8K2P4, and V12K3P6. In the third experiment, the first factor is Uncoated ± bio-priming and coated ± bio-priming and the second factor is cadmium stress factor at three levels of 0, 100 and 200 mM was cadmium nitrate.

Results and Discussion

The results showed that cadmium stress decreased germination indices and this downward trend increased with increasing stress intensity. Seed bio-priming increased the longitudinal index of quinoa seedling vigor and improved seedling growth. Seed coverage somewhat reduced germination indices, but in many cases, the presence of bacteria improved this downward trend and increased the number of quinoa germination indices. Also, increasing cadmium in soil caused a 72% increase in root cadmium content and a decrease in seed rate and germination percentage. Cadmium inhibits water absorption in seeds and reduces the amount of water in seedlings, which affects seed germination. Exposure to cadmium prevents seed germination, seedling growth, etc. The most important disorders caused by cadmium were reduced growth of roots and leaves and damage to DNA, which subsequently disrupted the cell cycle and changed the structure of cell walls and even cell death. Bacillus subtilis activates systemic induction resistance (ISR) in many plant products, thereby increasing disease resistance caused by pathogenic organisms and plant growth. This bacterium acts as a PGPR and protects the plant against stress.

Conclusion

Consequently, cadmium did not prevent quinoa germination, but its destructive effects were visible in other traits and caused a decrease in seedling length and weight, as well as seedling stem length and weight vigur index. Also, the coating of quinoa seeds caused a decrease in the germination rate, which by increasing the compounds surrounding the seed mixed with bacteria and coating materials, it was able to increase the germination rate by 8% in the combination of V10K2.5P5 and 16% in the combination of V12K3P6 rather than without bacteria treatment.

Keywords: *Bacillus subtilis*, Cadmium nitrate, Germination percentage, Titicaca

تولیدات گیاهی، ۱۴۰۱، ۴۵(۲)، ۲۲۸-۲۱۵
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/PPD.2022.38615.1994
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۱۱

تولیدات گیاهی
مقاله پژوهشی

بررسی اثر بیوپرایمینگ و پوشش‌دار کردن بذر بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه کینوا (*Chenopodium quinoa*) در تنش کادمیوم

زهرا حاجی‌زاده[۱]، حمیدرضا بلوچی[۲]*، امین صالحی[۳]، علی مرادی[۴]، رسول رضایی[۵]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و تکنولوژی بذر، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
۲- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
۳- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
۴- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
۵- دانشیار، گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی اثر بیوپرایمینگ با باکتری باسیلوس سابتلیس و پوشش‌دهی بذر بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه کینوا تحت تنش کادمیوم در سه آزمایش جداگانه به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با ۴ تکرار در آزمایشگاه و گلخانه دانشگاه یاسوج در سال ۱۳۹۸ اجرا شد. در آزمایش نخست فاکتور اول بیوپرایمینگ (وجود باکتری و عدم وجود باکتری) و فاکتور دوم تنش کادمیوم (صفر، ۰/۳ و ۰/۶ میلی‌مولار نیترات کادمیوم) بود و آزمایش دوم شامل روش‌های پوشش‌دار کردن بذر با باکتری (به‌صورت بذرهای بیوپرایم شده و بدون بیوپرایم و مخلوط باکتری با ترکیبات پوشش‌دهی) و فاکتور دوم مقادیر متفاوت از ورمی‌کولایت (V)، کائولن (K) و پرلیت (P) در پوشش بذر شامل V10K2.5P5, V8K2P4 و V12K3P6 بود و در آزمایش سوم فاکتور اول شامل چهار حالت مختلف استفاده از بیوپرایمینگ و پوشش بذر و فاکتور دوم تنش کادمیوم (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار نیترات کادمیوم) بود. نتایج نشان داد که تنش کادمیوم باعث کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی شده و این روند نزولی با افزایش شدت تنش بیشتر گردید. هم‌چنین افزایش کادمیوم در خاک باعث افزایش ۷۲ درصدی محتوای کادمیوم ریشه، کاهش در سرعت و درصد سبز شدن بذر گردید. بیوپرایمینگ بذرها منجر به افزایش شاخص طولی بنیه گیاهچه کینوا و بهبود روند رشد گیاهچه شد. پوشش‌دهی بذر تا حدودی باعث کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی شد اما در بسیاری از موارد وجود باکتری این روند نزولی را بهبود و تعدادی از شاخص‌های جوانه‌زنی کینوا را افزایش داد.

کلیدواژه‌ها: باسیلوس سابتلیس، تیتیکاکا، درصد جوانه‌زنی، نیترات کادمیوم

* **نویسنده مسئول:** حمیدرضا بلوچی
رایانامه: balouchi@yu.ac.ir

© 2022 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

مقدمه

کینوا *Chenopodium quinoa* یک گیاه متحمل به تنش از خانواده Chenopodiaceae است که در ۷۰۰۰ سال گذشته در امتداد کوه‌های آند کشت شده است. ارزش غذایی دانه‌ی آن بیشتر از غلات معمول است و منبعی سرشار از آهن، فسفر، منیزیم، پروتئین، فیبر و ویتامین B_2 بوده از این رو گیاه مفیدی برای تغذیه انسان است. کینوا به دلایل گیاه‌شناسی و هم‌چنین به خاطر ترکیب غیرمعمول و تعادل استثنایی بین روغن، پروتئین و چربی یک شبه غله نامیده می‌شود و یک نمونه بسیار عالی از غذای کاربردی با هدف کاهش خطر ابتلا به بیماری‌های گوناگون است (Bagheri, 2019). کینوا گیاهی است که مقامت بسیار زیادی در برابر طیف وسیعی از تنش‌ها مانند خشکی، شوری و سرما دارد و هم‌چنین قابلیت رشد بسیاری در خاک‌های حاشیه‌ای دارد و در حال حاضر به دلیل کیفیت بالای آن در شرایط سخت، در بیشتر مناطق جهان مورد کشت و کار قرار می‌گیرد. آلودگی با کادمیوم، تنوع زیستی و فعالیت میکروب‌ها و آنزیم‌ها را در خاک محدود می‌کند و حتی سلامت انسان را از طریق زنجیره غذایی تهدید می‌کند (Ju et al., 2020). نوع و میزان تأثیرات ناشی از کادمیوم به شدت به عواملی چون گونه گیاهی، اندام، نوع سلول، غلظت کادمیوم و مدت زمان قرار گرفتن در معرض آن بستگی دارد (Huybrechts et al., 2019). به گفته‌ی محققان تنش کادمیوم عملکرد دانه و برخی از صفات مرتبط با کیفیت دانه مثل غلظت کادمیوم دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. هم‌چنین این عنصر به‌طور متفاوت در ریشه‌ها، اندام هوایی و بذر انباشته می‌گردد (Larki et al., 2015). Carvalho et al. (2018) نشان دادند که قرار گرفتن گوجه‌فرنگی (*S. lycopersicum*) در معرض کادمیوم منجر به تجمع این عنصر در بذرها می‌شود که باعث کاهش پروفیل مواد مغذی آن‌ها و کاهش شاخص میتوز در نوک ریشه می‌شود. محققان گزارش کردند که افزودن ۱ میلی‌مولار کلرید کادمیوم، از جوانه‌زنی بذر برنج *O. sativa Hwayeong* به‌طور کامل جلوگیری می‌کند (Ahsan et al., 2007). اما بذرهای جو *H. vulgare* ظاهراً نسبت به کادمیوم تحمل بیشتری داشتند و سرعت جوانه‌زنی آن‌ها در حدود ۹/۵ میلی‌مولار کلرید کادمیوم به‌طور کامل مهار شد (Munzuroglu et al., 2002).

امروزه پیش تیمار بذر روشی معمول برای بهبود بخشیدن به جوانه‌زنی و سبز شدن بذرها در شرایط تنش مانند تنش فلزات سنگین است که موجب افزایش مقاومت گیاهچه می‌شود (Zanganeh et al., 2018). در دهه گذشته، با افزایش مطالعات در مورد میکروارگانیسم‌های محرک رشد، علاقه به ارزیابی این میکروارگانیسم‌های بالقوه برای افزایش جوانه‌زنی و قدرت بذر افزایش‌یافته است (Tavanti et al., 2020). باکتری باسیلوس سابتلیس از طریق رقابت با باکتری‌ها و قارچ‌های مضر باعث بیشتر شدن رشد گیاه شده و با تغییر فعالیت هورمونی و افزایش رشد، به‌ویژه رشد ریشه، موجب افزایش سطح جذب، افزایش رشد گیاه، جلوگیری از بیماری‌های مختلف و افزایش عملکرد می‌گردد (Mckeen et al., 1986). این باکتری رشد گیاه را تحریک کرده و گیاه میزبان را در برابر تنش مقاوم می‌کند (Allard et al., 2016). به گفته‌ی Sun et al. (2020) در استفاده از باکتری‌ها برای خاک آلوده به فلزات سنگین، فرایندهای بیوشیمیایی از جمله تبادل مواد و تبدیل انرژی به‌طور مداوم در میان میکروب‌ها، ریشه‌های گیاهان و محیط ریزوسفر انجام می‌شود. Jan et al. (2019) نشان دادند که بذر تلقیح‌شده با جدایه‌های باکتریایی متحمل کادمیوم باعث کاهش جذب کادمیوم در اندام هوایی گیاه برنج شد.

پوشش بذر به‌عنوان ابزاری امیدوارکننده برای تلقیح بذرهای مختلف پیشنهاد شده است (Accinelli et al., 2018). Saadat and Ehteshami (2017) گزارش کردند که کاربرد باکتری‌های محرک رشد به‌صورت تیمار پوششی روی بذر تا حدی سبب افزایش در شاخص‌های جوانه‌زنی ذرت شد. پوشش بذر با پراکسید کلسیم و Bacillus sp در مقایسه با شاهد بدون پوشش، به‌طور قابل توجهی باعث افزایش ظهور، قدرت و عملکرد برنج شد. عملکرد بذرهای برنج پوشش داده شده با افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها و کاهش محتوای قند و هم‌چنین افزایش در میزان اکسیژن قابل دسترس، کاهش رشد علف‌های هرز و در نتیجه رشد زودرس محصول و عملکرد بالاتر همراه بود (Javed et al., 2021). بنابراین این پژوهش با هدف بررسی اثر بیوپرایمینگ با باکتری باسیلوس سابتلیس و پوشش‌دار کردن بذر بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه کینوا (*Chenopodium quinoa*) تحت تنش کادمیوم در شرایط آزمایشگاه و گلخانه انجام گردید.

مواد و روش‌ها

برای بررسی اثر بیوپرایمینگ و پوشش‌دار کردن بذر با باکتری *Bacillus subtilis* و ترکیبات معدنی بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر کینوا رقم تیتیکاکا تحت تنش کادمیوم، سه آزمایش جداگانه فاکتوریل دو عاملی در قالب یک طرح کامل تصادفی در دانشگاه یاسوج اجرا شد که در آزمایش نخست فاکتور اول بیوپرایمینگ با باکتری *Bacillus subtilis* در دو سطح وجود باکتری و عدم وجود باکتری و فاکتور دوم تنش کادمیوم در سه سطح صفر، ۰/۳ و ۰/۶ میلی‌مولار نیترات

کادمیوم، بود و آزمایش دوم شامل روش‌های پوشش‌دار کردن بذر با باکتری (به‌صورت بذرهای بیوپرایم شده و بدون بیوپرایم و مخلوط باکتری با ترکیبات پوشش‌دهی) و فاکتور دوم مقادیر متفاوت از ورمیکولایت (V)، کائولن (K) و پرلیت (P) در پوشش بذر شامل V10K2.5P5، V8K2P4 و V12K3P6 بود و در آزمایش سوم فاکتور اول شامل چهار حالت مختلف استفاده از بیوپرایمینگ و پوشش بذر و فاکتور دوم تنش کادمیوم (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار نیترات کادمیوم) بود. برای انجام آزمایش نخست در آزمایشگاه، بذرهای کینوا یک ساعت در دمای اتاق درون سوسپانسیون باکتریایی باسیلوس سابتلیس برای تیمار تلقیحی و یا درون آب‌مقطر برای تیمار بدون پرایمینگ قرار گرفتند. پس از تلقیح به منظور آزمون جوانه‌زنی استاندارد، نمونه‌های ۵۰ عددی بذر در چهار تکرار در دمای ۲۵ درجه سلسیوس به روش روی کاغذ درون ژرمیناتور به‌مدت هفت روز قرار گرفت و شاخص‌های مربوط به جوانه‌زنی (رابطه ۴-۱) محاسبه گردید. در آزمایش دوم بذرهای کینوا با دستگاه پلیت‌کننده بذر مدل coating pan (Atlas Bazar Pooshan Co.) پوشش‌دار شده و پس از خارج شدن بذرها از دستگاه، به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق و جریان هوای آزاد خشک شدند. سپس بذرهای خشک شده در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در ۴ تکرار ۲۵ بذری به روش روی کاغذ (Tp) در شرایط جوانه‌زنی قرار گرفتند و پس از گذشت ۷ روز، صفات مربوط به جوانه‌زنی ارزیابی شد. در آزمایش سوم، کادمیوم در سه سطح صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک نیترات کادمیوم با اسپری کردن کامل با خاک ضدعفونی شده هر گلدان مخلوط شد. پس از یکنواخت و همگن شدن فلز سنگین با خاک، ۲۰ بذر کینوا با ترکیب پوششی V8K2P4 که از آزمایش دوم انتخاب گردیده بودند، در عمق یک سانتی‌متری حاوی مخلوط خاک سبک مزرعه و ماسه به نسبت ۱:۳ کاشته به‌مدت ۴۵ روز در گلخانه نگهداری شدند. سپس صفات مربوط به سبز شدن (رابطه ۵، ۶ و ۷) و برخی صفات مانند محتوای کلروفیل برگ، غلظت کادمیوم ریشه و اندام هوایی، فاکتور انتقال کادمیوم از ریشه به اندام هوایی (رابطه ۸) و طول ریشه محاسبه شدند.

رابطه (۱): درصد جوانه‌زنی (GP) (Maguire, 1962)

$$GP= (n / N) \times 100$$

n: تعداد بذرهای جوانه‌زده

N: تعداد کل بذرها

رابطه (۲): سرعت جوانه‌زنی (GR) (Maguire, 1962)

$$GR= \sum (ni / ti)$$

ni: تعداد بذرهای جوانه‌زده در هر روز

ti: تعداد روزها از زمان شروع آزمایش

رابطه (۳): شاخص طولی بنیه بذر (Vi) (Abdul-baki and Anderson, 1973)

$$Vi= (GP \times SS) / 100$$

SS: طول گیاهچه بر حسب میلی‌متر

رابطه (۴): شاخص وزنی بنیه بذر (Abdul-baki and Anderson, 1973)

$$Vi= (GP \times SDW) / 100$$

SDW: وزن خشک گیاهچه بر حسب میلی‌گرم

رابطه (۵): درصد سبز شدن (Ikic et al., 2012)

(تعداد کل بذرها / تعداد بذرهای سبز شده) = درصد سبز شدن × ۱۰۰

رابطه (۶): میانگین زمان سبز شدن (MTE) (Ellis and Roberts, 1981)

$$MTE= \sum(ni \times di) / N$$

N: تعدادکل بذرهای سبز شده

di: تعداد روز پیش از شروع سبز شدن

d: روز

ni: تعداد جوانه‌های ظاهر شده در هر روز

رابطه (۷): سرعت سبز شدن گیاهچه (RES) (Maguire, 1962)

$$RES=\sum(ni / di)$$

رابطه (۸): فاکتور انتقال از ریشه به اندام هوایی (Jolly et al., 2013)

فاکتور انتقال از ریشه به اندام هوایی = غلظت کادمیوم ریشه / غلظت کادمیوم اندام هوایی

روش اندازه‌گیری محتوای کادمیوم

نمونه‌های اندام‌هوایی و ریشه در پاکت‌های کاغذی به‌مدت ۲۴ ساعت درون آون با دمای ۷۵ درجه سلسیوس خشک‌شده سپس به وسیله هاون‌های چینی پودر و از الک با مش ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. یک گرم پودر از هر نمونه وزن و در کروسیبل ریخته و به کوره با حرارت ۲۵۰ درجه سلسیوس انتقال یافت. پس از گذشت چند دقیقه به منظور خاکستر شدن نمونه‌ها حرارت کوره به ۵۵۰ درجه سلسیوس افزایش یافت. پس از خنک شدن ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال به ازای هرگرم پودرگیاهی به نمونه‌ها اضافه و با میله شیشه‌ای حل شد. محتویات کروسیبل به ظرف‌های ۵۰ میلی‌لیتری انتقال یافت و به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد پس از تهیه عصاره گیاهی میزان کادمیوم به کمک دستگاه جذب اتمی مدل Hitachi Z 2300 اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD انجام شد هم‌چنین برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

آزمایش اول: بررسی اثرات بیوپرایمینگ بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذرهای کینوا تحت تنش کادمیوم

درصد جوانه‌زنی: با توجه به معنی‌داری برهمکنش کاربرد

باکتری و تنش کادمیوم در سطح احتمال خطای پنج درصد بر اساس شکل ۱ مشخص شد که در غلظت‌های ۰/۳ و ۰/۶ میلی‌مولار کادمیوم اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای وجود و عدم وجود باکتری برای درصد جوانه‌زنی وجود نداشت اما در سطح صفر میلی‌مولار کادمیوم، این صفت در حضور باکتری ۵/۵ درصد افزایش یافت. می‌توان گفت به‌طورکلی با افزایش میزان کادمیوم درصد جوانه‌زنی حتی در حضور باکتری محرک رشد باسیلوس سابتلیس تغییر چشمگیری نداشت. اما بر اساس گزارش‌ها، پرایمینگ باعث می‌شود تا بذرها زودتر جوانه‌زنی خود را آغاز کنند و سریع‌تر از شاهد وارد فاز دوم جوانه‌زنی گردند. فاز دوم جوانه‌زنی مرحله‌ای است که فعالیت‌های متابولیکی مهمی از جمله نسخه‌برداری از DNA، سنتز پروتئین‌ها و افزایش فعالیت آنزیم‌های مرتبط با جوانه‌زنی در آن رخ می‌دهد (Khaliq et al, 2015). استفاده از باکتری‌های سودوموناس فلورسنس و باسیلوس سابتلیس باعث افزایش درصد جوانه‌زنی و بنیه بذر فلفل سبز شدند (Bharathi et al., 2004). به نظر می‌رسد یکی از دلایل آن، تولید هورمون جیبرلین باشد. چون این هورمون آنزیم‌هایی از جمله آمیلاز که در متابولیسم نشاسته دخالت دارند را فعال کرده و از این طریق باعث افزایش جوانه‌زنی می‌شوند (Kaymak et al., 2009).

شاخص طولی بنیه: با توجه به معنی‌داری برهمکنش کاربرد باکتری و تنش کادمیوم در سطح احتمال خطای یک درصد بر اساس شکل ۲ مشاهده شد که با افزایش غلظت کادمیوم شاخص بنیه طولی کاهش یافت اما حضور باکتری باسیلوس سابتلیس باعث شد این شاخص در غلظت صفر میلی‌مولار کادمیوم، ۲۱ درصد، در غلظت ۰/۳ میلی‌مولار ۲۰ درصد و در غلظت ۰/۶ میلی‌مولار ۲۲ درصد افزایش پیدا کند. NG et al. (2012) گزارش کردند که با افزایش طول اندام هوایی و ریشه برنج شاخص بنیه نیز افزایش یافت. Hoseini Moghaddam et al. (2019) گزارش کردند که تلقیح بذر رازیانه با باکتری محرک رشد موجب افزایش ۲۳ درصدی جوانه‌زنی و از این طریق شاخص‌های طولی و وزنی و بنیه گیاهچه را به‌صورت معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش داد.

شاخص وزنی بنیه: با توجه معنی‌داری سطوح مختلف کادمیوم در سطح احتمال خطای یک درصد در جدول ۱ مشاهده شد که شاخص وزنی بنیه با افزایش آلودگی کادمیوم روند نزولی داشته و هرچه سطح تنش بیشتر شود مقدار شاخص وزنی کاهش می‌یابد. به این صورت که این صفت با افزایش غلظت کادمیوم حدود ۴۴ درصد کاهش پیدا کرد. از طرفی بین تیمار وجود و عدم وجود باکتری اختلاف معنی‌داری دیده نشد. بر اساس مطالعه‌ای که روی بذر سورگوم تحت تنش کادمیوم صورت گرفت مشخص شد که افزایش غلظت این عنصر باعث کاهش میزان بنیه وزنی شد (Rezaei et al., 2018). می‌توان این‌گونه استدلال کرد که در محیط‌های جوانه‌زنی آلوده به فلزات سنگین مثل کادمیوم، نفوذ سریع این عناصر به بذر همراه با آب از راه تأثیر بر فرآیندهایی همچون تنفس و اختلال در تقسیم سلولی باعث کاهش رشد در نتیجه کاهش بنیه بذر می‌شود (Marquez garsia et al., 2013).

Table 1. The mean comparison of the effect of cadmium on quinoa vigor weight index

Cadmium (mM)	Vigor weight index
0	0.55a
0.3	0.47a
0.6	0.31b

The same letters indicate that there is no significant difference in the 5% probability level based on the LSD test.

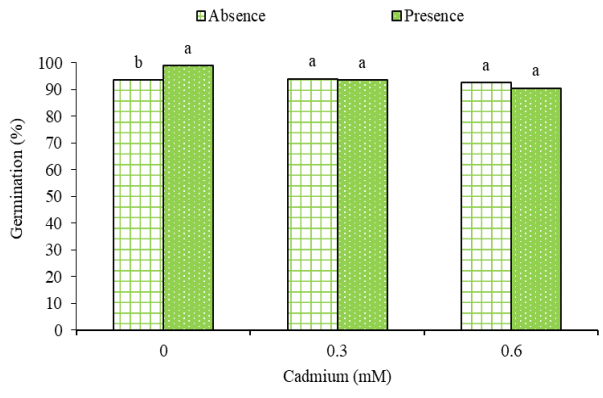

Figure 1. Comparison of bacterial effect for germination percentage at different levels of cadmium stress

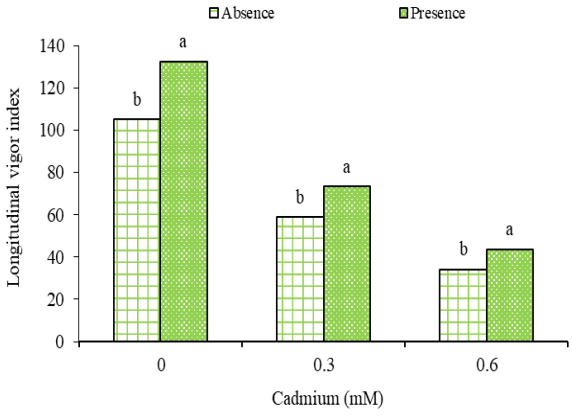

Figure 2. Comparison of the bacterial effect for the longitudinal index of vigor at different levels of cadmium stress

سرعت جوانه‌زنی برهمکنش کاربرد باکتری و تنش کادمیوم در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار گردید و نتایج به دست آمده از شکل ۳ حاکی از آن است که حضور باکتری در غلظت صفر میلی‌مولار کادمیوم باعث افزایش ۷ درصدی سرعت جوانه‌زنی گردید، اما تغییرات سرعت در غلظت‌های ۰/۳ و ۰/۶ میلی‌مولار بین تیمار وجود و عدم وجود باکتری معنی‌دار نبود. محققان بیان کردند که سرعت جوانه‌زنی تحت تأثیر کادمیوم ممکن است تا ۴۲ درصد کاهش یابد (Sfaxi Bousbish et al., 2010). آلوده شدن اطراف بذر به کادمیوم باعث اختلال در متابولیسم جوانه‌زنی و تأخیر در آن می‌شود (Rahoui et al., 2010). بر اساس گزارش (2013) Khoshvaghti et al. باکتری‌های محرک رشد موجب افزایش سرعت جوانه‌زنی در گیاه رازیانه شدند. افزایش سرعت در اثر اعمال پیش‌تیمار بذر نشان‌دهنده افزایش قدرت بذرهای پیش‌تیمار شده در شرایط تنش و بدون تنش کادمیوم است که این امر باعث بهبود سرعت جوانه‌زنی و رشد گیاهان و افزایش کیفیت و کمیت عملکرد آن‌ها می‌شود (Ghasemi-Golzani et al., 2008).

آزمایش دوم: اثر باکتری باسیلوس سابتلیس و پوشش‌دهی بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر کینوا در شرایط آزمایشگاه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهمکنش کاربرد باکتری و پوشش‌دهی بذر بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر کینوا در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار بود (داده‌ها نشان داده نشده است).

درصد جوانه‌زنی: شکل ۴ نشان داد که با افزایش ترکیبات پوششی، درصد جوانه‌زنی کاهش یافت هم‌چنین مشاهده شد که در ترکیب پوششی V8K2P4، مخلوط باکتری با مواد پوششی نسبت به تیمار بدون باکتری ۲۱ درصد کاهش یافت. با افزایش مواد پوششی اطراف بذر، کاهش در بیوپرایمینگ بیشتر از مخلوط باکتری با مواد پوششی بود. بنابراین بیوپرایمینگ بذر در ترکیب‌های پوششی V10K2.5P5 و V12K3P6، ۱۸ درصد نسبت به تیمار بدون باکتری کاهش یافت. از این‌رو می‌توان گفت زمانی که میزان مواد ترکیب پوششی کمتر باشد تلقیح بذر با باکتری محرک رشد مثل باسیلوس سابتلیس بهتر از مخلوط کردن آن با مواد پوششی بود اما با افزایش میزان مواد در اطراف بذر، مخلوط کردن باکتری با مواد پوششی بهتر از تلقیح بذر جواب داد. نتایج به‌دست‌آمده از تحقیقات Nahidi et al. (2017) حاکی از آن است که پوشش‌دار کردن بذر روی درصد جوانه‌زنی گونه خلر از لحاظ آماری تأثیر معنی‌داری نداشت. Caldeira et al. (2016) کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرهای توتون پس از پلیت کردن بذر را گزارش کردند. هم‌چنین مشاهده نمودند که درصد نهایی بذرها به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر پلیت کردن قرار نگرفت و فرآیند جوانه‌زنی کند گردید.

شاخص طولی بنیه گیاهچه: با توجه به شکل ۵ می‌توان گفت با افزایش میزان پوشش‌دار کردن بذر، شاخص بنیه طولی کاهش پیدا کرد. در ترکیب V8K2P4، بیشترین میزان شاخص طولی بنیه مربوط به تیمار بدون باکتری بود که نسبت به این تیمار، بیوپرایمینگ ۳۴ و مخلوط باکتری با مواد پوششی ۴۷ درصد کاهش پیدا کردند. در ترکیب V10K2.5P5، تیمار بیوپرایمینگ بذر نسبت به تیمار بدون باکتری ۲۰ درصد کاهش یافت اما تیمار مخلوط باکتری با مواد پوششی نسبت به تیمار بدون باکتری ۹ درصد افزایش پیدا کرد. در ترکیب V12K3P6، نیز بیوپرایمینگ نسبت به تیمار بدون باکتری کاهش یافت که این کاهش معادل ۲۲/۵ درصد بود هم‌چنین تیمار مخلوط باکتری با مواد پوششی به اندازه ۵ درصد کاهش یافت. بر اساس پژوهش Saxena et al. (2013) مشخص شد که تیمار بذرهای ارزن با باکتری باسیلوس سابتلیس موجب افزایش در شاخص بنیه بذر شد. هم‌چنین افزایش سرعت جوانه‌زنی منجر به افزایش رشد اولیه و طویل شدن ریشه‌چه و ساقه‌چه شده است، زیرا این امر باعث شده تا بذرهایی که سریع‌تر جوانه زده‌اند از فرصت دوره جوانه‌زنی استفاده بیشتری کرده و طول بیشتری یابند و در نهایت از شاخص طولی بنیه بهتری برخوردار شوند (Groppa et al., 2008).

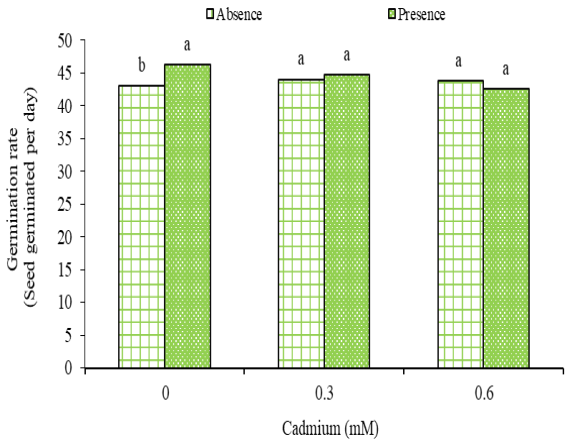

Figure 3. Comparison of bacterial effect for germination rate at different levels of cadmium stress

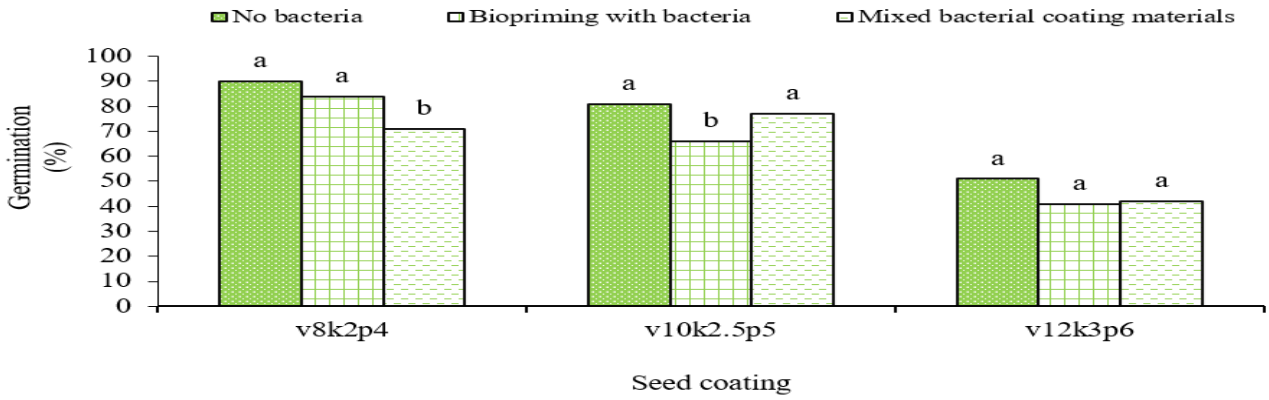

Figure 4. Comparison of the mean effect of different bacterial treatments for germination percentage at different levels of coating compounds

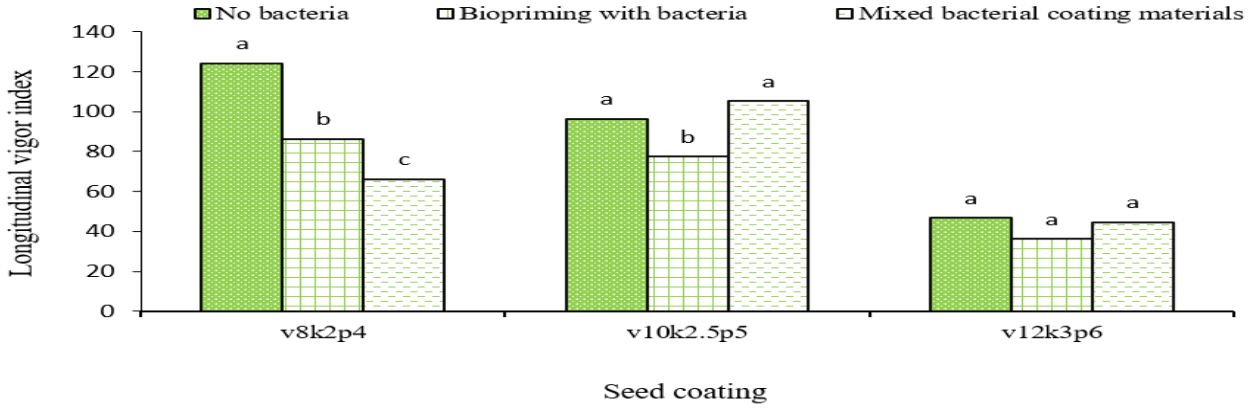

Figure 5. Interaction of different bacterial treatments for longitudinal vigor index at different levels of coating compounds

شاخص وزنی بنیه گیاهچه: شاخص وزنی بنیه نیز همچون شاخص طولی بنیه با افزایش مقدار مواد استفاده شده در فرآیند پوشش‌دهی کاهش محسوسی داشته و باکتری نتوانسته به‌طور قابل ملاحظه‌ای بر این کاهش غلبه کند. با توجه به شکل ۶ مشاهده گردید که در ترکیب V8K2P4، بیشترین مقدار شاخص وزنی بنیه مربوط به تیمار بدون باکتری بود که بیوپرایمینگ نسبت به آن ۲۸ درصد و مخلوط باکتری با مواد پوششی ۴۰ درصد کاهش پیدا کردند. در ترکیب V10K2.5P5 مشاهده شد که بیوپرایمینگ نسبت به تیمار بدون باکتری ۳۶ درصد کاهش و تیمار مخلوط باکتری با مواد پوششی ۲ درصد افزایش یافتند. هم‌چنین در ترکیب پوششی V12K3P6 نیز هردو تیمار بیوپرایمینگ و مخلوط باکتری با مواد پوششی به‌ترتیب ۴۰ و ۲۰ درصد کاهش داشتند. محرک‌های رشد زیستی با تولید فیتوهورمون‌ها، جوانه‌زنی و بنیه بذر برنج را از طریق افزایش وزن خشک گیاهچه بهبود می‌بخشد (Lee et al., 2006).

سرعت جوانه‌زنی: با توجه به شکل ۷ مشخص شد که به‌صورت کلی روند سرعت جوانه‌زنی طی پوشش‌دهی بذر کاهشی بود. تیمار بیوپرایمینگ در هر سه ترکیب پوششی کمترین میزان سرعت جوانه‌زنی را داشت. بنابراین مشاهده گردید که در ترکیب پوششی V8K2P4، بیوپرایمینگ ۳۵ و مخلوط باکتری با مواد پوششی ۳۰ درصد کاهش یافتند اما با افزایش پوشش احاطه‌کننده بذر در ترکیب V10K2.5P5 و ترکیب V12K3P6 به‌ترتیب تیمار بیوپرایمینگ ۲۲ و ۳ درصد کاهش و تیمار مخلوط باکتری با مواد پوششی ۸ و ۱۶ درصد افزایش در سرعت جوانه‌زنی را نشان دادند. Zamani et al. (2018) گزارش کردند که با افزایش میزان ترکیبات احاطه‌کننده پیرامون بذر برای پلیت کردن آن‌ها قابلیت سرعت جوانه‌زنی بذر و ظهور گیاهچه توتون کاهش یافت. به نظر می‌رسد که وجود مواد پوشش‌دهنده اطراف بذر باعث تاخیر در خروج ریشه‌چه و کاهش سرعت جوانه‌زنی در تیمارهای پوششی شده است. تلقیح بذر تمر هندی با باکتری‌های حل‌کننده فسفات و تثبیت‌کننده نیتروژن باعث بهبود در سرعت و درصد جوانه‌زنی

بـذرها شـد (Das et al., 2018). بیوپرایمینـگ بـذر بـا باکتری‌هـای فلورسنس و باسیلوس باعث افزایش سرعت جوانـه‌زنی در بـذر بـرنج گردید (Latifi et al., 2019).

آزمایش سوم: اثر پوشش‌دار کردن و پرایمینـگ بـذر و تنش کادمیوم بـر برخـی شـاخص‌های فیزیولوژیـک و بیوشیمیایی گیاهچه کینوا در شرایط گلخانه

درصـد سـبز شـدن: بـا توجـه بـه معنـی‌داری بـرهمکنش پوشش‌دهی بذر و تنش کادمیوم در سـطح احتمـال خطـای یـک درصد، در شکل ۸ مشخص شد که درصد سبز شـدن بـا افـزایش تنش کادمیوم کاهش یافت. هم‌چنین مشاهده شد کـه در غلظـت صفر میلی‌مولار کادمیوم بیشترین درصـد سـبز شـدن مربـوط بـه تیمار بدون پوشش با پرایم بود که نسبت به تیمـار بـدون پوشـش بدون پرایم ۸ درصـد افـزایش داشـت امـا بقیـه تیمارهـا اخـتلاف چنـدانی نداشـتند. در غلظـت ۱۰۰ میلی‌مـولار کـادمیوم تیمـار باپوشش بدون پرایم با تیمار بدون پوشـش بـدون پـرایم اختلافـی نداشت اما تیمارهای باپوشـش بـاپرایم و بـدون پوشـش بـا پـرایم به‌ترتیب ۸ و ۶/۵ درصـد نسـبت بـه بـدون پوشـش بـدون پـرایم کاهش یافتند. هم‌چنین در غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار تیمار باپوشـش باپرایم ۱۹ درصد، باپوشش بدون پرایم ۲۲ درصد و بدون پوشـش با پرایم ۱۰ درصد نسـبت بـه تیمـار بـدون پوشـش بـدون پـرایم کاهش پیدا کردند. نتـایج تحقیـق Pirmoradian (2018) نشـان داد که کادمیوم به گیاهان اجازه‌ی جوانه‌زدن را می‌دهـد امـا بـه مرور باعث اختلال در نمو گیاهچه می‌شود و درنتیجه منجـر بـه کـاهش رشـد گیاهچـه و شـاخص تحمـل بـه تـنش کـادمیوم می‌گردد. کادمیوم در مرحله‌ی جوانـه‌زنی و سـبز شـدن موجـب کـاهش در سـرعت و درصـد سـبز شـدن، شـاخص بنیـه و وزن خشک می‌شـود (Aziz Khan et al., 2012). در حقیقـت، اعمـال باکتری‌های محرک رشد در بذر از طریق تثبیت نیتـروژن، حـل فسفات، تولید ایندول استیک اسید و اعمال مقاومت سیستمیک باعث افزایش بهبود در جوانه‌زنی می‌شود (Das et al., 2018). بـر ایـن اسـاس Figueira et al. (2019) تلقـیح بـذر بـا بـاکتری باسیلوس سابتلیس باعث بهبود جوانه‌زنی بذر سالیکورنیا شد.

سرعت سبز شدن: با توجه به معنـی‌داری اثـر پوشـش‌دهی بذر و تنش کادمیوم در سطح احتمـال خطـای یـک درصـد، در جدول ۲ مشاهده شـد کـه تیمارهـای بـدون پوشـش بیشـترین سرعت جوانه‌زنی را داشته و پوشش بـذر باعـث کـاهش سـرعت گردیده است اما پرایمینگ بذر باعث شد که تا حـدودی سـرعت بذرهای پوشش داده شده افزایش پیدا کند.

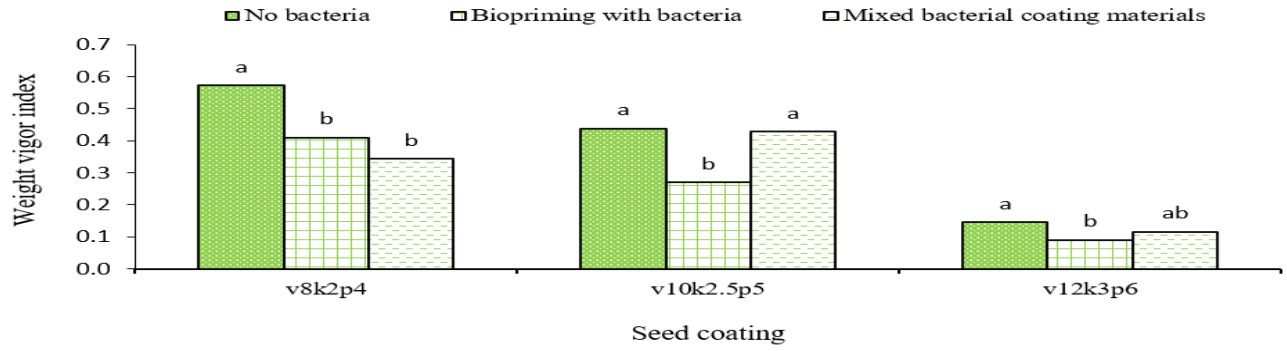

Figure 6. Interaction of different bacterial treatments for weight vigor index at different levels of coating compounds

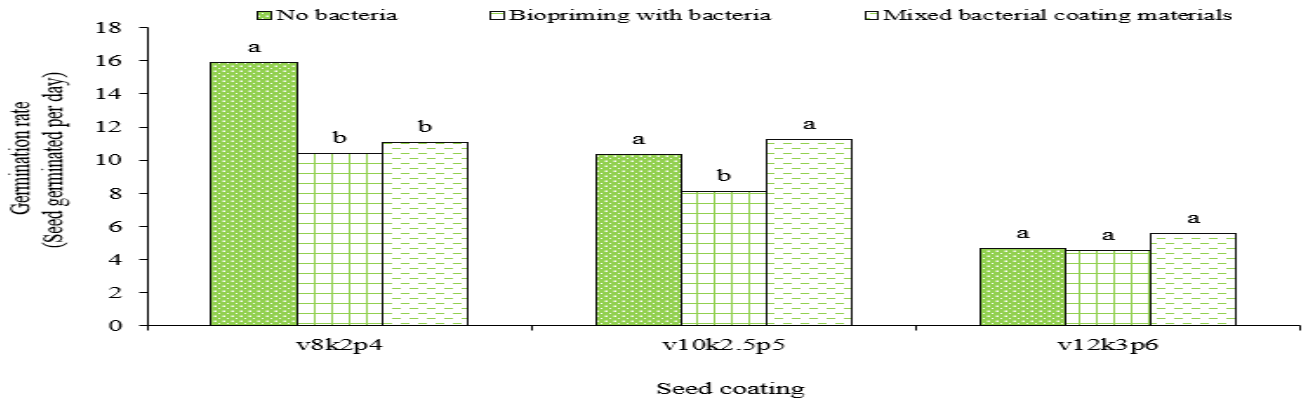

Figure 7. Interaction of different bacterial treatments for germination rate at different levels of coating compositions

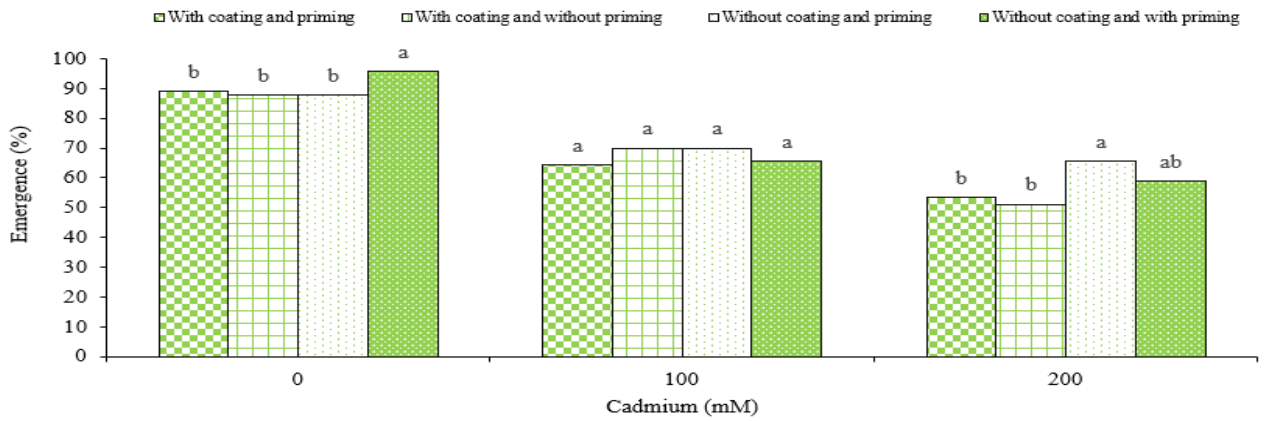

Figure 8. Interaction of seed coating and priming treatments for Emergence percentage index at different levels of cadmium stress

Table 2. Comparison of the mean of the main effect of seed coating with mineral and bacterial compounds for some quinoa seedling indices

Coating and priming level	Emergence rate (seed/day)	Average time of emergence (day)	root Cd content (mg/kg dry weight)	Transfer Factor
With coating and priming	2.10c	5.87ab	15.00c	51.41a
With coating and without priming	1.98C	6.18a	42.55a	39.78a
Without coating and priming	2.86b	5.21b	33.66ab	19.26b
Without coating and with priming	3.65a	4.10 c	26.11bc	20.66b

The same letters indicate that there is no significant difference in the 5% probability level based on the LSD test.

همچنین مشخص شد که بیشترین سرعت سبز شدن مربوط به تیمار بدون پوشش با پرایم و کمترین سرعت مربوط به تیمار با پوشش بدون پرایم بود. همچنین بر اساس جدول ۳ مشخص گردید که با افزایش غلظت کادمیوم سرعت سبز شدن ۹۰ درصد کاهش یافت. بر اساس پژوهش Javed et al. (2021) پوشش‌دار کردن بذر با پراکسید کلسیم و باکتری باسیلوس سابتلیس در مقایسه با شاهد بدون پوشش به‌طور قابل توجهی باعث افزایش ویگور، عملکرد درصد و سرعت جوانه‌زنی برنج شد. همچنین تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که تولید ایندول استیک اسید توسط باکتری ممکن است نقش اساسی در بهبود رشد گیاهچه داشته باشد زیرا تیمار بذر با باکتری باسیلوس سابتلیس باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی و رشد گیاهچه ذرت شد (Andrad et al., 2020).

میانگین زمان سبز شدن: با توجه به معنی‌داری اثر پوشش‌دهی بذر و تنش کادمیوم در سطح احتمال خطای یک درصد، در جدول ۲ مشخص شد که بیشترین میانگین سبز شدن مربوط به تیمار با پوشش بدون پرایم و کمترین مقدار این صفت مربوط به تیمار بدون پوشش با پرایم بود. می‌توان گفت تیمارهای دارای پوشش از میانگین زمان سبز شدن بیشتری برخوردار شدند. همچنین طبق جدول ۳ مشاهده شد که میانگین زمان سبز شدن با افزایش غلظت کادمیوم تا ۲۱ درصد کاهش پیدا کرد. گزارش شده است که پوشش بذر می‌تواند مانند یک مانع، سرعت جذب آب را کاهش دهد. چنانچه جذب آب دچار اختلال شود و یا به کندی صورت گیرد، فعالیت‌های داخلی بذر نیز به آرامی صورت می‌گیرد و به عبارتی سرعت جوانه‌زنی کاهش و میانگین مدت زمان جوانه‌زنی افزایش می‌یابد (Moradi et al., 2013).

محتوای کادمیوم ریشه: با توجه به معنی‌داری اثر پوشش‌دهی بذر و تنش کادمیوم در سطح احتمال خطای یک درصد، در جدول ۲ مشخص گردید که تیمارهایی که با باکتری تلقیح داده نشده بودند چه همراه با پوشش چه بدون پوشش بذر میزان کادمیوم ریشه بیشتری داشتند و پرایمینگ با باکتری توانست میزان کادمیوم را کاهش دهد همچنین می‌توان گفت پوشش بذر به تنهایی ممکن است باعث جذب کادمیوم شود اما در تیمار با پوشش با پرایم کمترین میزان کادمیوم ریشه مشاهده گردید پس می‌توان اظهار کرد که بهترین تیمار برای کاهش تجمع کادمیوم در ریشه، استفاده توام پوشش و پرایم با باکتری بود. همچنین با توجه به جدول ۳ نیز مشاهده شد که با افزایش غلظت کادمیوم اعمال شده به گلدان‌ها محتوای کادمیوم ریشه به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش پیدا می‌کند که این افزایش حدود ۷۲ درصد بود. میزان کادمیوم موجود در سطح صفر میلی‌مولار که تنش در آن اعمال نشده مربوط به مقدار کادمیوم موجود در خاک اولیه و همچنین خطای جزئی دستگاه جذب اتمی بود (بر اساس مطالب به‌دست‌آمده از آزمون خاک اولیه جدول ۴).

Table 3. Comparison of the effect of cadmium concentration for some quinoa seedling indices

Cadmium (mM)	Emergence rate (seed/day)	Average time of emergence (day)	Root Cd content (mg/kg dry weight)
0	3.23a	6.05a	12.75c
100	2.40b	4.76b	30.0b
200	0.31b	5.21b	45.25a

The same letters indicate that there is no significant difference in the 5% probability level based on the LSD test.

Table 4. Physical and chemical properties of soil used in the experiment

Texture	pH	EC (µS/cm)	Cadmium concentration (Mg / liter)	Lead concentration (Mg/liter)
Clay loam	7.92	655	0.156	0.156

تنش کادمیوم سبب انباشتگی این عنصر در بخش‌های هوایی و ریشه‌های گیاه آب‌تره شد (Aghaei et al., 2019). تجمع کادمیوم به میزان زیاد در ریشه‌ها می‌تواند یک نکته مثبت تلقی شود. چون این امر احتمالاً مانعی برای انتقال بیشتر آن به اندام هوایی و بخش‌های خوراکی گیاه است که به احتمال زیاد یکی از مهم‌ترین دلایل تجمع کادمیوم در ریشه گیاه در مقایسه با اندام هوایی، ورود این عنصر به فضای آپوپلاستی ریشه است (Aghaei et al., 2019). اما نتایج این تحقیق نشان داد که غلظت کادمیوم در اندام هوایی بیشتر از ریشه بود که می‌توان گفت از آنجا که کینوا یک گیاه انباشتگر و جاذب تلقی می‌شود میزان بیشتر کادمیوم را به اندام هوایی انتقال داده و در آن‌جا انباشت می‌کند و به همین دلیل کینوا گیاهی مناسب برای گیاه پالایی محسوب می‌شود.

محتوای کادمیوم اندام هوایی: با توجه به معنی‌داری برهمکنش پوشش‌دهی بذر و تنش کادمیوم در سطح احتمال خطای پنج درصد، در شکل ۹ با افزایش میزان آلودگی خاک به کادمیوم محتوای کادمیوم ریشه و به دنبال آن محتوای کادمیوم اندام هوایی به‌صورت چشمگیری افزایش یافت بنابراین در غلظت صفر میلی‌مولار کادمیوم، تیمار با پوشش با پرایم ۸۷ درصد، با پوشش بدون پرایم ۹۲ درصد و بدون پوشش با پرایم ۱۶ درصد نسبت به تیمار بدون پوشش بدون پرایم افزایش یافتند. در غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار تیمارهای با پوشش با پرایم و با پوشش بدون پرایم به‌ترتیب ۳ و ۵۰ درصد افزایش و تیمار بدون پوشش با پرایم ۱۳ درصد کاهش نسبت به تیمار بدون پوشش بدون پرایم پیدا کردند. هم‌چنین در غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار کادمیوم، تیمار با پوشش با پرایم ۷ درصد کاهش و تیمارهای با پوشش بدون پرایم و بدون پوشش با پرایم به‌ترتیب ۳۶ و ۴ درصد افزایش نسبت به تیمار بدون پوشش بدون پرایم داشتند. از آنجا که در هر سه سطح غلظت کادمیوم بیشترین میزان محتوای کادمیوم اندام هوایی مربوط به تیمار با پوشش بدون پرایم بود، به نظر می‌رسد پوشش بذر باعث جذب بیشتر کادمیوم به ریشه و انتقال بیشتر آن به اندام هوایی شده است. به نظر می‌رسد پوشش بذر باعث جذب بیشتر کادمیوم به ریشه و انتقال بیشتر آن به اندام هوایی شده است. یکی از سازوکارهای دفاعی گیاهان در برابر تنش کادمیوم عدم انتقال کادمیوم از ریشه به اندام هوایی می‌باشد (Rahimi and Ronaghi, 2013). Sarmirad et al. (2014) اظهار داشتند با بیشتر شدن میزان کادمیوم در محیط ریشه مقدار بیشتر کادمیوم به اندام هوایی انتقال یافته و میزان بیشتری از این عنصر در بخش فوقانی گیاهچه‌های گندم تجمع پیدا کرد که حکایت از عدم توانایی گیاهچه‌های ارقام گندم در ممانعت از انتقال به اندام فوقانی داشت. Maria et al. (2013) گزارش کردند که با افزایش غلظت کادمیوم خاک، غلظت کادمیوم برگ ۱۰ برابر و غلظت کادمیوم ریشه حدود ۳ برابر در گیاه آفتابگردان افزایش یافت.

فاکتور انتقال: با توجه به معنی‌داری اثر پوشش‌دهی بذر در سطح احتمال خطای پنج درصد، در جدول ۲ مشاهده شد که تیمارهای دارای پوشش بذر فاکتور انتقال بالاتری نسبت به تیمارهای بدون پوشش داشتند. به‌طوری‌که بیشترین میزان فاکتور انتقال کادمیوم از ریشه به اندام هوایی مربوط به تیمار با پوشش با پرایم بود. به نظر می‌رسد باکتری تأثیر چندانی برای جلوگیری از انتقال کادمیوم از ریشه به اندام هوایی نداشته است. بنابراین به نظر می‌رسد که پوشش اطراف بذر باعث جذب عناصر سنگین مثل کادمیوم شده و به انتقال آن از ریشه به اندام هوایی کمک کرده است. Motesharezadeh et al. (2010) گزارش کردند که با افزایش سطح کادمیوم در خاک، غلظت این عنصر سمی در اندام‌های گیاهی (اندام هوایی و ریشه) به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. بر این اساس کادمیوم توانایی قابل ملاحظه‌ای در انتقال از ریشه به اندام هوایی نشان داد. به‌طورکلی گونه‌های گیاهی حذف‌کننده (Excluders) فاکتور انتقال کمتر از یک داشته در حالی‌که گیاهان انباشتگر (Accumulators) و بیش انباشت‌گر (Hyper accumulators) دارای فاکتور انتقال بیشتر از یک هستند (Yin et al., 2015). پس با توجه به نمودار فاکتور انتقال کادمیوم از ریشه به اندام هوایی کینوا مشخص شد که این گیاه، یک گیاه بیش انباشتگر است.

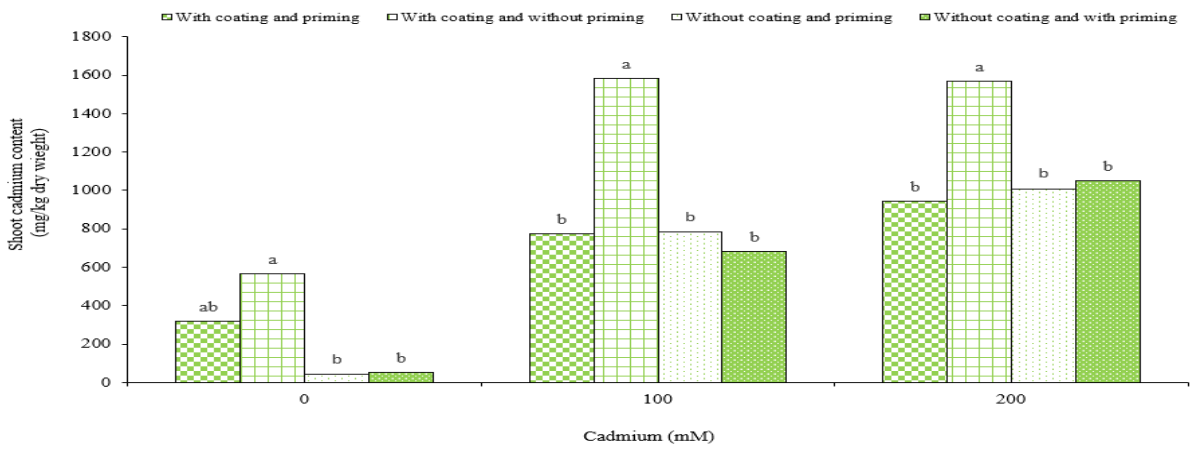

Figure 9. Interaction of seed coating and priming treatments for shoot cadmium content index at different levels of cadmium stress

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر می‌توان گفت کادمیوم مانع از جوانه‌زنی کینوا نشد اما اثرات مخرب آن در سایر صفات نمایان و باعث کاهش طول و وزن گیاهچه و شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه گردید. هم‌چنین پوشش‌دار کردن بذر کینوا موجب کاهش در سرعت جوانه‌زنی شد که با افزایش ترکیبات احاطه‌کننده اطراف بذر مخلوط باکتری با مواد پوششی توانست در ترکیب V10K2.5P5، ۸ درصد و در ترکیب V12K3P6، ۱۶ درصد سرعت جوانه‌زنی را نسبت به تیمار بدون باکتری افزایش دهد. هم‌چنین در شرایط گلخانه افزایش غلظت کادمیوم باعث شد تا سرعت سبز شدن حدود ۹۰ درصد کاهش یابد اما استفاده از باکتری توانست تا حدودی سرعت سبز شدن را افزایش دهد به‌طوری‌که بیشترین میزان سرعت سبز شدن در تیمار بدون پوشش با پرایمینگ مشاهده شد. هم‌چنین با افزایش غلظت کادمیوم در خاک محتوای این عنصر در ریشه و اندام هوایی به‌طور قابل توجهی افزایش پیدا کرد. از آنجا که فاکتور انتقال کادمیوم از ریشه به اندام هوایی بیش از یک بود می‌توان نتیجه گرفت که کینوا به‌عنوان گیاه بیش انباشتگر و مناسب گیاه پالایی است.

سپاس‌گزاری

بدین‌وسیله از عوامل دانشکده کشاورزی و کارکنان آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج که ما را در انجام این تحقیق یاری نمودند، قدردانی می‌شود.

References

Abdul-baki, A. A., & Anderson, J. D. (1973). Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. *Crop Science*, 13(6), 630-633.

Accinelli, C., Abbas, H. K., Little, N.S., Kotowicz, J. K., & Shier, W. T. (2018). Biological control of aflatoxin production in corn using non-aflatoxigenic *Aspergillus flavus* administered as a bioplastic-based seed coating. *Crop Protection*, 107, 87-92.

Aghaei, K., Rah Khosravani, B., Moghanloo, L., & Qutbi Ravandi, A. A. (2019). The effect of cadmium accumulation on some biochemical and physiological characteristics of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Plant Process and Function*, 8(33), 107-122. [In Farsi]

Ahsan, N., Lee, S. H., Lee, D. G., Lee, H., Lee, S. W., Bahk, J. D., & Lee, B. H. (2007). Physiological and protein profiles alternation of germinating rice seedlings exposed to acute cadmium toxicity. *Comptes Rendus Biologies*, 330(10), 735-746.

Allard-Massicotte, R., Tessier, L., Lecuyer, F., Lakshmanan, V., Lucier, J. F., Garneau, D., Caudwell, L., Vlamakis, H., Bais, H. P., & Beauregard, P. B. (2016). Bacillus subtilis early colonization of Arabidopsis thaliana roots in volves multiple chemotaxis receptors. *mBio,* 7(6), 1-10.

Andrade, P. A. M., Pimenta, L. S., Cardillo, B. E. S., Marcon, J., Silva, J. A., Azevado, J. L., Coelho A. D. L., & Quecin, M. C. (2020). Bacillus sp. RZ2MS9 and the bacteria-free filterate in the seed germination and growth of maze seedlings. *Brazilian Journal of Agriculture*, 95(2), 95-105.

Aziz Khan, H., Ziaf, K., Amjad, M., & Iqbal, Q. (2012). Exogenous application of polyamines improves germination and early seedling growth of hot pepper. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 72(3), 429-433.

Bagheri, M. (2019). *Quinoa Agriculture Manual.* Karaj: Seed and Seedling Breeding Research Institute. p. 10-47. [In Farsi]

Bharathi, R., Vivekananthan, R., Harish, S., Ramanathan, A., & Samiyappan, R. (2004). Rhizobacteria-based bio-formulations for the management of fruit rot infection in chillies. *Crop Protection*, 23(9), 835-843.

Caldeira, C. M., Moreira de Carvalho, M. L., Guimarães, R. M., & Boas Coelho, S. V. (2016). Qualidade de sementes de tabacodurante o processo de pelotização e armazenamento. *Ciencia Rural, Santa Maria*, 46(2), 216-220.

Carvalho, M. E. A., Piotto, F. A., Nogueira, M. L., Gomes, F. G., Chamma, H., Pizzaia, D., & Azevedo, R. A. (2018). Cadmium exposure triggers genotype-dependent changes in seed vigor and germination of tomato o_spring. *Protoplasma*, 255, 989-999.

Das, S., Dash, D., Gupta, S. B., & Deole, S. (2018). Study of characterization of tamarind associated Rhizobium spp. and phosphate solubilizing bacteria and their potency for germination of tamarind seeds. *The Pharma Innovation Journal*, 7(11), 282-286.

Ellis, R. H., & Roberts, E. H. (1981). The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. *Seed Science and Technology*, 9(2), 373-409.

Figueira, C., Ferreira, M. J., Silva, H., & Cunha, A. (2019). Improved germination efficiency of *Salicornia ramosissima* seeds inoculated with *Bacillus aryabhattai* SP1016-20. *Annals of Applied Biology*, 174(3), 319-328.

Ghasemi-Golezani, K., Sheikhzadeh Mosaddegh, P., & Valizadeh, M. (2008). Effects of hydropriming duration and limited irrigation on field performance of chickpea. *Research Journal of Seed Science*, 1(1), 34-40. [In Farsi]

Groppa, M. D., Zawoznik, M. S., Tomaro, M. L., & Benavides, M. P. (2008). Inhibition of root growth and polyamine metabolism in sunflower (*Helianthus annuus*) seedlings under cadmium and copper stress. *Biological Trace Element Research*, 126(1-3), 246-256.

Hoseini Moghaddam, M., Salehi, A., & Rezaei, R. (2019). The effect of various biological treatments on germination and some seedling indices of fennel (*Foeniculum vulgare* L.) under drought stress. *Iranian Journal of Seeds Science and Technology*, 7(2), 59-74. [In Farsi]

Huybrechts, M., Cuypers, A., Deckers, J., Iven, V., Vandionant, S., Jozefczak, M., & Hendrix, S. (2019). Cadmium and Plant Development: An Agony from Seed to Seed. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(16), 1-30.

Ikic, I., Maric Evic, M., Tomasovic, S., Gunjaca, J., Atovic, Z. S., & Arcevic, H. S. (2012). The effect of germination temperature on seed dormancy in Croatian-grown winter wheats. *Euphytica*, 188, 25-34.

Jan, M., Shah, G., Masood, S., Shinwari, K. I., Hameed, R., Rha, E. S., & Jamil, M. (2019). *Bacillus Cereus* enhanced phytoremediation ability of rice seedlings under cadmium toxicity. *BioMed Research International*, 2019, 1-12.

Javed, T., Afzal, I., & Mauro, R. P. (2021). Seed coating in direct seeded rice: An innovative and sustainable approach to enhance grain yield and weed management under submerged conditions. *Sustainability*, 13(4), 1-13.

Jolly, Y. N., Islam, A., & Akbar, S. (2013). Transfer of metals from soil to vegetables and possible health risk assessment. *Springer Plus*, 2, 385.

Ju, W., Jin, X., Liu, L., Shen, G., Zhao, W., Duan, C., & Fang, L. (2020). Rhizobacteria inoculation benefits nutrient availability for phytostabilization in copper contaminated soil: drivers from bacterial community structures in rhizosphere. *Applied Soil Ecology*, 150, 103450.

Kaymak, H. A., Guvenc, I., Yarali, F., & Denmez, M. F. (2009). The effects of bio-priming with PGPR on germination of radish (*Raphanus sativus* L.) seeds under saline conditions. *Turkish Journal of Agriculture*, 33(2), 173-179.

Khaliq, G., Mohamed, M. T., Ali, A., Ding, P., & Ghazali, H. M. (2015). Effect of gum arabic coating combined with calcium chloride on physico-chemical and qualitative properties of mango (*Mangifera indica* L.) fruit during low temperature storage. *Scientia Horticulturae*, 190, 187-194.

Khoshvaghti., H., Akrami, M., Yusefi, M., Baserkouchehbagh, S., & Hoseini, M. (2013). Influence of seed inoculation with biological fertilizer on fennel (*Foeniculum vulgare*) and coriander (*Coriandrum sativum* L.) germination. *International Journal of Biosciences*, 3(11), 108-114.

Latifi, A., & Omidi, H. (2019). Effect of priming on germination characteristics of rice seeds and seedlings of Anbar Bo cultivar under dehydration stress. *Journal of Crop Plant Physiology, Ahvaz Azad University*, 44, 5-21. [In Farsi]

Lee, H. S., Madhaiyan, M., Kim, C. W., Choi, S. J., & Chung, K. Y. (2006). Physiological enhancement of early growth of rice seedlings (*Oryza sativa* L.) by production of phytohormone of N2-fixing methylotrophic isolates. *Biology and Fertility of Soils*, 42, 402-408.

Larki, S., Rahnama, A., & Aynehband, A. (2015). The effect of potassium on the distribution and accumulation of cadmium in different organs of two durum wheat cultivars. *Plant Productions*, 38(3), 79-92. [In Farsi]

Maguire, J. D. (1962). Speeds of germination-aid selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2, 176-177.

Maria, S., Puschenreiter, M., & Rivelli, A. R. (2013). Cadmium accumulation and physiological response of sunflower plants to Cd during the vegetative growing cycle. *Plant Soil Environment*, 59(6), 254-261.

Marquez Garsia, B., Marquez, C., Sanjose, I., Nieva, F. J. J., Rodriguez Rubio, P., & Munoz- Rodriguez. A. F. (2013). The effects of heavy metals on germination and seedling characteristics in two halophyte species in Mediterranean marshes. *Marine Pollution Bulletin*, 70(1-2), 119-124.

McKean, C. D., Reilly, C. C., & Pusey, P. L. (1986). Production and partial characterization antifungal substances antagonistic to *Monilinia fracticola* from Bacillus subtilis. *Phytopathology*, 76(2), 136-139.

Moradi, S., Sheikhi, J., & Zarei, M. (2013). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobium on shoot and root growth of chickpea in a calcareous soil. *International Journal of Agriculture: Research and Review*, 3(2), 381-385.

Motesharezadeh, B., Savaghebi-Firoozabadi, G. R., Mirseyed Hosseini, H., & Alikhani, H. A. (2010). Study of the enhanced phytoextraction of cadmium in a calcareous soil. *International Journal of Environmental Research*, 4(3), 525-532.

Munzuroglu, O., & Geckil, H. (2002). Effects of metals on seed germination, root elongation, and coleoptile and hypocotyl growth in *Triticum aestivum* and *Cucumis sativus*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 43(2), 203-213.

Nahidi, M. B., Mehrabi H. R., & Ariapour, A. (2017). Effects of seed coating methods on seed germination of Lathyrus sativus in different moisture stress levels and sowing depths. *Natural Ecosystems of Iran*, 8(3), 35-45. [In Farsi]

Ng, L. C., Sariah, M., Sariam, O., Radziah, O., & Zainal Abidin, M. A. (2012). Rice seed bacterization for promoting germination and seedling growth under Aerobic cultivation system. *Australian Journal Crop Science*, 6(1), 170-175.

Pirmoradian, M. (2018). *Evaluation of cadmium stress tolerance of pinto bean (Phaseolus vulgaris L.) genotypes in vegetative stage and its relationship with ISSR molecular markers*. Master Thesis in Plant Breeding, Yasouj University, Yasouj. [In Farsi]

Rahimi, T., & Ronaghi, A. A. (2013). Effect of application of different sources of zinc on the concentration of cadmium and some trace elements in spinach in a calcareous soil. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Crops*, 3(2), 112-101. [In Farsi]

Rahoui, S., Chaoui, A., & El Ferjani, E. (2010). Membrane damage and solute leakage from germinating pea seed under cadmium stress. *Journal of Hazardous Materials*, 178(1), 1128-1131.

Rezaei, A., Balouchi, H.R., Movahhedi Dehnavi, M., & Adhami, A. (2018). Effect of different priming on seed germination indices and enzyme of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) SOR834 genotype under cadmium chloride and nitrate toxicity. *Plant Productions*, 41(1), 69-82. [In Farsi]

Saadat, F., & Ehteshami, M. R. (2017). The effect of seed coating with growth-promoting bacteria and micronutrients on maize germination indices. *Iranian Seed Science and Research*, 3(3), 81-94. [In Farsi]

Sarmirad, B. A., Esfandiari, M., Shekarpour, A., Sefalian, A., Avanesh, V., & Mousavi, S. B. (2014). Effect of cadmium on some physiological morphological features of wheat at seedling stage. *Journal of Plant Research*, 27(1), 11-1. [In Farsi]

Saxena, A., Raj, N., Sarosh, B. R., Kini, R., & Shetty, H. S. (2013). Rhizobacteria mediated growth enhancement pearl millet. *Indian Journal Science Research*, 4(2), 41-44.

Sfaxi Bousbih, A., Chaoui, A., & El Ferjani, E. (2010). Cadmium impairs mineral and carbohydrate mobilization during the germination of bean seeds. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 73(6), 1123-1129.

Sun, L., Cao, X., Tan, C., Deng, Y., & Bai, J. (2020). Analysis of the effect of cadmium stress on root exudates of *Sedum plumbizincicola* based on metabolomics. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 205, 1-9.

Tavanti, T. R., Tavanti, R. F. R., Galindo, F. S., Simoes, I., Dameto, L. S., & Sa, de M. E. (2020). Yield and quality of soybean seeds inoculated with *Bacillus subtilis* strains. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 24(1), 65-71.

Yin, Y., Wang, Y., Liu, Y., Zeng, G., Hu, X., Hu, X., Zhou, L., Guo, Y., & Li, J. (2015). Cadmium accumulation and apoplastic and symplastic transport in *Boehmeria nivea* L. Gaudich on cadmium-contaminated soil with the addition of EDTA or NTA. *RSC Advances*, 5(59), 47584-47591.

Zamani, H., Mobaser, H. R., Hamidi, A., & Daneshmand, A. (2018). The effect of tobacco seed coating on germination and seedling emergence. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 6(2), 133-140. [In Farsi]

Zanganeh, R., Jamei, R., Hosseini Sarghein, S., & Kargar Khorrami, S. (2018). Effect of seed priming with sodium hydrosulfide (NaHS) on some physiological and anatomical parameters in maize plants under lead stress. *Iranian Journal of Plant Biology*, 10(2), 19-34. [In Farsi]