



Study of the Interaction of Auxin and Cytokinin Levels on Morphological, Traits and Yield Components of Cowpea (*Vigna unguiculata* L.) Cultivars

Mohsen Pourfarokhi¹, Shahram Lak¹, Nasser Zarifinia^{2*}, Tayeb Sakinejad¹, Mani Mojddam¹

Received: 19 October 2025
Revised: 21 January 2026
Accepted: 31 January 2026
Available Online: 31 January 2026

Cite this article:

Pourfarokhi, M., Lak, S., Zarifinia, N., Sakinejad, T., & Mojddam, M. (2025). Studying the interaction of auxin and cytokinin levels on the morphological, quantitative traits and grain yield of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) cultivars. *Iranian Journal of Pulses Research*, 16(2), 361-377. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2026.95948.1120>

Introduction

Legumes hold a special position in sustainable agriculture and the global cropping pattern. These plants, by establishing symbiosis with nitrogen-fixing bacteria of the genus *Rhizobium*, are capable of converting atmospheric molecular nitrogen into a form absorbable by the plant. This characteristic, while reducing dependence on nitrogenous chemical fertilizers, leads to improved soil fertility and increased productivity in crop rotation. Among legumes, cowpea (*Vigna unguiculata* L.) is of particular importance due to its unique physiological and nutritional characteristics. This species, traditionally cultivated in arid and semi-arid regions such as northern Khuzestan, is an ideal option for cultivation under climate change conditions due to its favorable adaptation to environmental stresses (drought and heat). The high nutritional value of this crop (18-32% protein and essential amino acids) has made it a cost-effective substitute for animal protein sources. Plant hormones, as key signaling molecules, play a decisive role in modulating physiological processes and enhancing the performance efficiency of plants. Auxins, particularly indole-3-acetic acid (IAA), are effective in nitrogen fixation through increasing cell dimensions, vascular differentiation, and nodulation. Cytokinins also determine final yield by stimulating cell division, inhibiting leaf senescence, and regulating the transfer of photosynthetic materials to storage organs. The interaction of these two hormones in regulating the source-sink ratio and allocation of photosynthates to seeds is of particular importance. The innovation of this research lies in investigating the interactive effects of different levels of auxin and cytokinin on the morpho-physiological characteristics and yield of cowpea cultivars (Mashhad, Mahali, and Arabic) under the climatic conditions of Dezful. Despite scattered studies on the individual effects of these hormones, there is no comprehensive information regarding the optimal concentrations for their combined application and the differential response of cultivars. This research is designed with the aim of quantifying the growth and reproductive responses of cultivars to the combined application of auxin and cytokinin and identifying the best cultivar-hormone combination for sustainable yield increase.

Materials and Methods

This research was conducted during two crop years (2021-2022) at the Safiabad Agricultural and Natural Resources Research Center in Dezful. The experiment was designed as a factorial split-plot arrangement based on a randomized complete block design with three replications. Main plots consisted of three cowpea cultivars (Mashhad, Mahali, and Arabic), and sub-plots included factorial combinations of three auxin concentrations (0, 200, and 400 mg.L⁻¹) and three cytokinin concentrations (0, 100, and 200 mg.L⁻¹). Each experimental plot comprised 10 planting rows, 10 meters long, with a row spacing of 75 cm and a plant spacing of 20 cm.

Hormone foliar application was performed at the beginning of the flowering stage (60 days after planting). Measured traits included grain yield, biological yield, number of branches per plant, number of pods per plant, pod length, number of seeds per pod, and 100-seed weight. Combined analysis of variance for the data from two crop years was performed considering the year effect as a random factor and the effects of cultivar, auxin, cytokinin, and their interactions as fixed factors. Means were compared using Duncan's multiple range test at a five percent probability level using SAS software (version 9.2). Correlation coefficients between traits were calculated using Pearson's method in SPSS software (version 26), and graphs were drawn using Excel software (version 2013).

1- Department of Agriculture, Islamic Azad University, Ahvaz Branch, Iran

2- Horticultural Sciences Research Institute, Sabzi Vasifi Research Institute, Safi Abad Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Dezful, Iran

* Corresponding Author: zarifinian@yahoo.com



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Results and Discussion

The results showed that the combined application of auxin 400 mg.L⁻¹ and cytokinin 200 mg.L⁻¹ resulted in superior performance in most traits compared to control treatments and individual hormone applications. The highest number of seeds per pod (12.7), pod length (16.7 cm), number of branches (14), and grain yield (2346 kg.ha⁻¹) were observed in the Mashhad cultivar, while the highest number of pods per plant (45.6) and biological yield (5226 kg.ha⁻¹) were observed in the Mahali cultivar under the same treatment. On average, hormone application caused a 24% increase in grain yield, with the Mashhad cultivar showing the greatest response. Combined analysis of variance showed that the three-way interaction (cultivar × auxin × cytokinin) was significant for biological yield, number of branches, number of pods per plant, and 100-seed weight. Two-way interactions were significant for grain yield, pod length, and number of seeds per pod. The highest grain yield (2346 kg.ha⁻¹) was obtained from the treatment of Mashhad cultivar with auxin 400 mg.L⁻¹ and cytokinin 200 mg.L⁻¹ (V1A2C2). This treatment also resulted in maximum biological yield (5661 kg.ha⁻¹), number of branches (12.8), number of pods per plant (45.6), pod length (16.0 cm), and number of seeds per pod (12.7). The lowest values were observed in the control treatment of the Arabic cultivar. It appears that the application of auxin and cytokinin, by improving hormonal balance, increasing photosynthetic efficiency, and optimizing source-sink relationships, has led to increased pod formation, improved seed growth, and ultimately enhanced yield. Correlation analysis showed a significant positive correlation between grain yield and biological yield ($r = 0.75$) and between the number of pods per plant and biological yield ($r = 0.72$). Pod length had a very strong correlation with the number of seeds per pod ($r = 0.88$) and 100-seed weight ($r = 0.89$).

Conclusions

The results indicated that the combined foliar application of the plant hormones auxin and cytokinin had a significant effect on improving the morphological traits, yield components, and grain yield of cowpea. The Mashhad cultivar showed the greatest positive response to hormone application, and the treatment of auxin 400 mg.L⁻¹ along with cytokinin 200 mg.L⁻¹ on this cultivar was identified as the most effective combination for maximizing yield impact. Therefore, the combined application of these hormones at the mentioned concentrations on high-potential cultivars like Mashhad can be recommended as an effective strategy to enhance cowpea productivity in regions similar to the climatic conditions of northern Khuzestan province.

Acknowledgement

The authors express their gratitude to the Safiabad Agricultural and Natural Resources Research Center in Dezful for their support in conducting this research.

Keywords: Number of pods per plant, Number of side branches, Plant hormone, Pod length, Sustainable agriculture, 100-seed weight

مطالعه برهم کنش سطوح اکسین و سیتوکینین بر صفات مورفولوژیک و مؤلفه‌های عملکردی ارقام لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.)

محسن پورفرخی^۱، شهرام لک^۱، ناصر ظریفی نیا^{۲*}، طیب ساکی نژاد^۱، مانی مجدم^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۱

چکیده

لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) یکی از مهم‌ترین حبوبات در مناطق نیمه‌خشک است که به دلیل تثبیت نیتروژن در خاک و درصد بالای پروتئین دانه، در کشاورزی پایدار و رژیم غذایی دارای اهمیت زیادی می‌باشد. این مطالعه به منظور بررسی اثر هورمون‌های گیاهی اکسین و سیتوکینین بر عملکرد، اجزای عملکرد و خصوصیات زایشی ارقام مختلف لوبیا چشم‌بلبلی، به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال زراعی ۱۴۰۱ و ۱۴۰۰ در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی صفی‌آباد شهرستان دزفول اجرا شد. در این تحقیق سه واریته مشهد، محلی و عربی لوبیا چشم‌بلبلی به عنوان عامل‌های اصلی و سطوح مختلف هورمون‌های اکسین شامل شاهد (عدم مصرف)، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی گرم در لیتر و سیتوکینین شامل شاهد (عدم مصرف)، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر به عنوان عامل‌های فرعی در نظر گرفته شدند. به طور کلی، نتایج نشان داد که ترکیب تیماری ۴۰۰ میلی گرم در لیتر اکسین و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر سیتوکینین موجب برتری اکثر صفات شد. بیشترین مقادیر طول غلاف (۱۶/۷ سانتی متر)، تعداد دانه در غلاف (۱۲/۷)، تعداد شاخه فرعی (۱۴) و عملکرد دانه (۲۳۴۶ کیلوگرم در هکتار) در رقم مشهد و بیشترین تعداد غلاف در بوته (۴۴/۶) و عملکرد زیستی (۵۲۲۶ کیلوگرم در هکتار) در رقم محلی تحت این تیمار ترکیبی به دست آمد. میانگین افزایش عملکرد دانه در تیمارهای با کاربرد هورمون‌های رشد حدود ۲۴ درصد بود و رقم مشهد بیشترین پاسخ را نشان داد. این یافته‌ها نشان داد که پتانسیل ژنتیکی رقم و محلول پاشی ترکیبی هورمون‌های اکسین و سیتوکینین توانست با بهبود تعادل هورمونی، صفات زایشی و عملکرد دانه لوبیا چشم‌بلبلی را به طور مؤثری افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: تعداد شاخه فرعی، تعداد غلاف در بوته، طول غلاف، کشاورزی پایدار، وزن ۱۰۰ دانه، هورمون گیاهی

مقدمه

درصد پروتئین، در مقایسه با پروتئین‌های حیوانی، در رژیم غذایی مردم به ویژه افراد کم‌درآمد، از نقطه نظر تغذیه‌ای اهمیت بسیاری دارد و تحت عنوان گوشت مردم فقیر نامیده می‌شود (Baptista et al., 2016; Al-Amri, 2018). علاوه بر این، وقتی این گیاه در سیستم‌های تناوب زراعی ادغام می‌شود، باعث تجمع مواد آلی خاک و تثبیت نیتروژن می‌شود که موجب افزایش باروری خاک و بهبود خصوصیات فیزیکی خاک مانند نفوذپذیری و ظرفیت نگهداری آب می‌شود (Sánchez-Navarro et al., 2019). تنظیم‌کننده‌های رشد، مولکول‌های کوچک آلی هستند که در لندام‌ها یا بافت‌های خاص تولید شده و پاسخ‌های معینی را ایجاد می‌کنند (Peleg & Blumwald, 2011). هورمون‌های رشد به طور گسترده برای افزایش رشد گیاهان، تعداد و اندازه میوه و بهبود عملکرد استفاده می‌شوند (Pramanik & Mohapatra, 2017). اکسین‌ها مهم‌ترین گروه هورمون‌های گیاهی هستند که باعث طولیل شدن سلول‌های گیاهی

رشد جمعیت و تغییر الگوی مصرف، تقاضای جهانی غذا را افزایش داده و امنیت غذایی را تهدید می‌کند (Godfray et al., 2010). برای حفظ امنیت غذایی، ضروری است که روند توسعه محصولات پروتئینی گیاهی با سرعت ادامه یابد تا امکان تغذیه ۳/۲ میلیارد نفر دیگر تا چهار دهه آینده وجود داشته باشد (Aiking, 2011). لوبیا در بین حبوبات از لحاظ سطح زیر کشت و ارزش اقتصادی در جهان، مقام اول را به خود اختصاص داده است (FAO, 2025). لوبیا چشم‌بلبلی با نام علمی *Vigna unguiculata* L. متعلق به خانواده حبوبات می‌باشد و اغلب به عنوان گیاهی با سازگاری زیاد به دماهای بالا و خشکی در مقایسه با گونه‌های دیگر حبوبات مورد توجه است (Da Silva et al., 2018). لوبیا چشم‌بلبلی گیاهی یک‌ساله، روز کوتاه و گرمادوست بوده و در مقایسه با سایر حبوبات سرشار از آمینواسیدهای تریپتوفان و لیزین است (Al-Amri, 2018). این گیاه به علت داشتن ۱۸ تا ۳۲

۱- گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲- مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، پژوهشکده سبزی و صیفی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی صفی‌آباد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دزفول، ایران
(*) نویسنده مسئول: zarifinian@yahoo.com

بیولوژیک نیتروژن و عملکرد دانه در ارقام لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) داشت (Pourfarokhi et al., 2025).

در بسیاری از مطالعات غذا و بازار حبوبات گزارش شده است که لوبیای چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata*) نسبت به لوبیای قرمز، چیتی و سفید، مصرف کمتری در جیره غذایی دارد. یکی از دلایل مهم این تفاوت، ویژگی‌های حسی آن است. بررسی‌های ارزیابی حسی نشان می‌دهد که چشم‌بلبلی در مقایسه با لوبیاهای رایج، طعم ملایم‌تر و گاهی «خاکی‌تر» دارد و این پروفایل طعمی برای بخشی از مصرف‌کنندگان جذابیت کمتری دارد (Aremu et al., 2024).

باین‌حال، اطلاعات جامعی در مورد برهم‌کنش این دو هورمون بر ارقام مختلف لوبیا چشم‌بلبلی و نیز تعیین سطوح بهینه کاربرد آن‌ها برای دستیابی به حداکثر کارایی، به‌ویژه در شرایط اقلیمی شمال خوزستان، محدود است. همچنین واکنش‌پذیری ارقام مختلف به محرک‌های هورمونی ممکن است به دلیل اختلاف در پتانسیل ژنتیکی، متفاوت باشد. بنابراین، هدف اصلی این پژوهش، بررسی اثرات جداگانه و توأم هورمون‌های اکسین و سیتوکینین بر صفات مورفولوژیک، اجزای عملکرد و عملکرد دانه سه رقم متداول لوبیا چشم‌بلبلی (مشهد، محلی و عربی) در شرایط مزرعه‌ای منطقه دزفول بود تا بتوان با شناسایی بهترین ترکیب رقم-هورمون، گامی در جهت افزایش پایدار تولید این محصول ارزشمند برداشت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در دو سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی صفی‌آباد واقع در ۱۵ کیلومتری جنوب غربی شهرستان دزفول (استان خوزستان) انجام گرفت. این ایستگاه در عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۳۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی و در ارتفاع ۸۲/۸ متر از سطح دریا قرار دارد. میانگین بارندگی سالانه در این منطقه حدود ۲۵۰ میلی‌متر و اقلیم آن نیمه‌خشک است. شاخص‌های هواشناسی طی دوره اجرای آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

این آزمایش به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال زراعی اجرا شد. عامل‌های اصلی مورد مطالعه شامل ارقام مشهد، محلی و عربی و عامل‌های فرعی شامل سه سطح اکسین شاهد (عدم مصرف)، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر و شامل سه سطح هورمون سیتوکینین از جمله شاهد (عدم مصرف)، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر بودند. در سطح جهانی، تولید هورمون‌های رشد گیاهی در اختیار شرکت‌های بزرگ مانند BASF و Syngenta است. در ایران، بیشتر این محصولات وارد

می‌گردند و طیف گسترده‌ای را از نظر واکنش‌های رشدونموی در گیاهان سبب می‌شوند (Miransari et al., 2014; Bahmankar et al., 2024). ایندول استیک اسید (IAA^1)، فراوان‌ترین و مهم‌ترین اکسین در گیاهان می‌باشد (Ghorbani Javid et al., 2011). از مهم‌ترین اثراتی که ایندول استیک اسید در گیاهان ایجاد می‌کند، می‌توان به افزایش طول ساقه گیاه، تولید ریشه، تولید آوندهای چوبی، افزایش رشد جوانه رأسی، جلوگیری از رشد جوانه جانبی، تشکیل میوه، بزرگ شدن میوه، تشکیل گره در ریشه گیاهانی دارای همزیستی با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، جلوگیری از ریزش برگ، بیوسنتز پروتئین و ساختمان DNA/RNA اشاره کرد (Kaya et al., 2010; Khaled et al., 2015; Pramanik & Mohapatra, 2017).

سیتوکینین‌ها نیز گروهی از هورمون‌های گیاهی هستند که بر تمام مراحل رشد گیاهان از باروری تخمک تا پیری و مرگ تأثیر می‌گذارند (Norouzi et al., 2021). سیتوکینین‌ها نقش‌های مهمی در فرایندهای گیاهی مانند تقسیم سلولی، رشدونمو ساقه، تأخیر در پیری، نمو فوتومورفوزنیک، تقسیم و رشد کلروپلاست، و همچنین کنترل متابولیسم در پاسخ به محرک‌های محیطی دارند (Hirose et al., 2008; Gajdosova et al., 2011; Norouzi et al., 2021). علاوه بر این سیتوکینین‌ها بر فعالیت آنزیم‌ها و بیوسنتز مراحل رشد تأثیر می‌گذارند و در ظهور لندامک‌ها و انتقال مواد غذایی در گیاهان مؤثر هستند (Ashraf et al., 2008). استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد به صورت طبیعی و سنتزی در محصولات کشاورزی به عنوان عاملی جهت افزایش عملکرد، بهبود رشد و مقاومت به تنش‌های محیطی توسعه یافته است (Khadr et al., 2020). در همین راستا، سوماسی و همکاران (Sumathi et al., 2018) گزارش کردند که استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشدی در گیاه لپه هندی یا دال عدس (*Cajanus cajan*) منجر به افزایش تعداد گل در بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه و طول غلاف شد (Sajjan et al., 2020). محققان نشان دادند که هورمون‌های رشد مثل اکسین و سیتوکینین سبب افزایش تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، عملکرد دانه و طول غلاف در گیاه *Dolichos bean* (*Lablab purpureus* L.) شد. علاوه بر این‌ها، گزارش‌های دیگری نیز در مورد تأثیر کاربرد هورمون‌های گیاهی بر بهبود صفات ریخت‌شناختی و فیزیولوژیکی گیاهان گزارش شده است (Sachin et al., 2019; Golchin et al., 2021; Kushwaha et al., 2021).

کاربرد هورمون‌های گیاهی اکسین و سیتوکینین نقش مهمی در تنظیم رشد ریشه، افزایش تعداد و توسعه گره‌های ریشه‌ای و بهبود تثبیت

می‌شود؛ شرکت زیست آزما و گرین‌آدین از واردکنندگان اصلی هستند و فروشگاه‌های مانند بهنوجن و کشاورزنت نیز آن‌ها را عرضه می‌کنند. عملیات تهیه بستر در اواسط تیرماه هر دو سال زراعی مورد آزمایش، با انجام شخم توسط گاواهن قلمی به‌منظور زیر خاک کردن بقایای محصول گندم (*Triticum aestivum* L.) سال قبل انجام گردید. قبل از کاشت، مزرعه دیسک زده شد. هر کرت شامل ۱۰ ردیف کاشت به‌طول ۱۰ متر بود. فاصله بین بوته‌ها ۲۰ سانتی‌متر و فاصله ردیف‌ها ۷۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد که تراکم کاشت معادل ۶۷۰۰۰ بوته در هکتار را تأمین می‌کرد. پس از عملیات کاشت بذور، آبیاری بلافاصله و تا زمان استقرار کامل بوته‌ها به‌طور مداوم، و سپس به‌صورت هفتگی تا دو هفته قبل از برداشت، در حد رطوبت مطلوب اعمال گردید.

تعداد کل کرت‌ها ۱۶۴ کرت و مساحت کل مزرعه ۲۶۴۰ مترمربع بود. عملیات کشت در هر دو سال در پانزدهم تیرماه و

به‌صورت دستی، در عمق دو تا سه سانتی‌متری خاک انجام شد. ۶۰ روز پس از کاشت و هم‌زمان با آغاز مرحله گل‌دهی، محلول‌پاشی تیمارها با آب مقطر برای تیمارهای شاهد و حاوی هورمون‌ها به‌وسیله سم‌پاش اتومایزر در مرحله آغاز گل‌دهی (۶۰ روز پس از کاشت) و در شرایط بدون باد و دمای ملایم (ساعات اولیه صبح) به‌گونه‌ای اجرا شد که تمامی بوته‌ها آغشته شوند. ابتدا به‌منظور کاهش کشش سطحی آب و افزایش جذب، مقدار پنج سی سی ماده "توئین ۲۰" رقیق‌شده (۱/۰ درصد) به همراه سطوح مختلف ایندول-۳- استیک اسید به‌عنوان هورمون اکسین (شاهد، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی گرم در لیتر) و ۶- بنزیل‌آمینوپورین به‌عنوان هورمون سیتوکینین (شاهد، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر) در ۲۰۰ لیتر آب در هکتار حل شد و به‌عنوان محلول تیمار اعمال گردید. در نهایت، برداشت محصول در پایان مهرماه انجام پذیرفت (جدول ۲).

جدول ۱- شاخص‌های آب‌وهوایی محل اجرای آزمایش طی ماه‌های مختلف در سال‌های زراعی ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱

Table 1- Meteorological parameters of the experimental site during different months in growing seasons of 2021 and 2022

ماه/سال Month/year	ساعات آفتابی Sunny hours	رطوبت نسبی مطلق (حداقل) Absolute relative humidity (minimum) (%)	رطوبت نسبی مطلق (حداکثر) Absolute relative humidity (maximum) (%)	دمای حداقل (درجه) سانتی‌گراد Minimum temperature (°C)	دمای میانگین (درجه) سانتی‌گراد Average temperature (°C)	دمای حداکثر (درجه) سانتی‌گراد Maximum temperature (°C)	حرارت میانگین (درجه) سانتی‌گراد Yesterday average (°C)
تیر ۱۴۰۰ July 2021	353.6	4	64	27.5	25.5	46.5	36
تیر ۱۴۰۱ July 2022	361.7	3	82	27	26.9	47.7	37.3
مرداد ۱۴۰۰ August 2021	339.5	5	85	34.5	26.5	46.2	36.3
مرداد ۱۴۰۱ August 2022	338.8	3	62	26	27.4	47	37.2
شهریور ۱۴۰۰ September 2021	317	7	82	35	24.3	43.1	33.7
شهریور ۱۴۰۱ September 2022	323.8	3	86	30	24.8	44.6	34.7
مهر ۱۴۰۰ October 2021	284.7	9	89	48	19.3	37.9	28.6
مهر ۱۴۰۱ October 2022	293.6	6	80	35	19.3	38.8	29.1
آبان ۱۴۰۰ November 2021	209.1	6	100	55	14.3	29.8	22
آبان ۱۴۰۱ November 2022	203.9	13	98	54	14.5	29.2	21.9

جدول ۲- زمان‌بندی عملیات کاشت، محلول‌پاشی و برداشت طی دو سال زراعی ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱

Table 2- Schedule of sowing, foliar application, and harvesting in two cropping years of 2021 and 2022

سال آزمایش Experiment year	تاریخ کاشت Planting date	تاریخ محلول پاشی Date of foliar spraying	تاریخ برداشت Harvest date
1400 2021	۱۵ تیرماه July 15	۱۵ شهریور September 15	۳۰ مهرماه October 30
1401 2022	۱۵ تیرماه July 15	۱۵ شهریور September 15	۳۰ مهرماه October 30

جدول ۳- خصوصیات شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر) در دو سال اجرای آزمایش

Table 3- Chemical properties of the experimental field soil (0-30 cm depth) during the two cropping years of the experiment

سال آزمایش Experiment year	کربن آلی Organic carbon (%)	کل نیتروژن N total (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم قابل جذب Available K (mg.kg ⁻¹)	فسفر قابل جذب Available P (mg.kg ⁻¹)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	بافت Texture
1400 2021	0.46	0.23	105	4.9	6.9	0.92	Silty loam
1401 2022	0.57	0.34	108	6.8	7.1	0.99	Silty loam

دانه در غلاف، پس از رشد حداکثر گیاه و هنگام رسیدگی کامل غلاف‌ها، پنج بوته از هر تیمار به‌صورت تصادفی انتخاب و تعداد و طول غلاف‌ها شمارش و میانگین آن‌ها در نظر گرفته شد. سپس از هر بوته سه غلاف انتخاب و تعداد دانه در غلاف شمارش و میانگین آن‌ها برای تعداد دانه در غلاف در نظر گرفته شد (Heydari, 2016).

تعاریف اختصاری عامل‌های اصلی و فرعی برای ارقام V۱، V۲ و V۳ به‌ترتیب رقم مشهد، محلی و عربی؛ برای هورمون اکسین A₀، A₁ و A₂ به‌ترتیب عدم مصرف، مصرف ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر اکسین؛ و برای هورمون سیتوکینین C₀، C₁ و C₂ به‌ترتیب عدم مصرف، مصرف ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیتوکینین در نظر گرفته شد. پیش از انجام تجزیه واریانس، نرمال بودن توزیع داده‌ها و همگنی واریانس‌های دو سال از طریق آزمون بارتلت بررسی و تأیید گردید. سپس تجزیه واریانس مرکب داده‌های دو سال زراعی برای صفات مورد مطالعه با در نظر گرفتن اثر سال به‌عنوان عامل تصادفی و اثرات رقم، اکسین، سیتوکینین و برهم‌کنش‌های آن‌ها به‌عنوان عوامل ثابت، انجام شد.

مقایسه میانگین‌ها در صورت معنی‌دار بودن توسط آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد و با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ صورت گرفت. برای بررسی روابط خطی بین صفات، ضرایب همبستگی پیرسون با کمک نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶

برای بررسی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک، در هر سال زراعی یک نمونه مرکب از پنج نقطه مزرعه و از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری تهیه شد. نمونه‌ها پس از مخلوط شدن، جهت تجزیه‌های خاک‌شناسی به آزمایشگاه ارسال گردید. نتایج شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده در جدول ۳ ارائه شده است.

در مرحله سبز شدن و استقرار گیاه، آبیاری به فاصله هر چهار روز یک‌بار آبیاری انجام شد تا رطوبت خاک برای جوانه‌زنی و توسعه ریشه‌های اولیه حفظ گردد. پس از استقرار کامل گیاه، دفعات آبیاری کاهش یافته و یک بار در هفته انجام شد تا نیاز آبی گیاه در مراحل تکامل گیاه نیز تأمین گردد. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، عملیات برداشت نهایی به‌منظور تعیین عملکرد دانه، عملکرد زیستی و وزن ۱۰۰ دانه انجام شد. سپس دانه‌ها از غلاف‌ها جدا و پس از محاسبه درصد رطوبت دانه‌ها، عملکرد نهایی برحسب کیلوگرم در هکتار محاسبه و برآورد گردید. جهت محاسبه وزن ۱۰۰ دانه، دو نمونه ۵۰ عددی از دانه‌های تولیدی هر کرت جدا و در صورتی که اختلاف وزن آن‌ها کمتر از پنج درصد بود، مجموع وزن آن‌ها به‌عنوان وزن ۱۰۰ دانه در نظر گرفته شد (Syed, 2016). زمان رسیدن گیاه به مرحله فیزیولوژیک و ارتفاع نهایی، قبل از برداشت، با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای پنج بوته از هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب و تعداد شاخه‌های فرعی شمارش شدند و میانگین آن در نظر گرفته شد (Heydari, 2016). برای اندازه‌گیری تعداد و طول غلاف‌ها، تعداد

محاسبه گردید. همچنین ترسیم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Microsoft Excel نسخه ۲۰۱۳ انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

بررسی تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثرات سه‌جانبه اکسین $\times$ سیتوکینین $\times$ رقم بر صفات عملکرد زیستی، تعداد شاخه فرعی، تعداد غلاف در بوته و وزن ۱۰۰ دانه، و اثرات دوجانبه بر صفات عملکرد دانه، طول غلاف و تعداد دانه در غلاف معنی‌دار بودند. همچنین اثرات ساده اکسین بر تمامی صفات به‌جز تعداد شاخه فرعی، اثرات ساده سیتوکینین بر تمامی صفات، و اثرات سال نیز بر تمامی صفات به‌جز تعداد شاخه فرعی و وزن ۱۰۰ دانه معنی‌دار بودند (جدول ۴).

طول غلاف

براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، رقم مشهد ۷۱ با میانگین طول غلاف ۱۶/۷ سانتی‌متر بیشترین مقدار و رقم عربی ۷۳ با میانگین ۱۴/۶ سانتی‌متر، کمترین مقدار این صفت را به خود اختصاص دادند (شکل ۱).

براساس نتایج جدول ۳، رطوبت نسبی در دو سال مورد بررسی متفاوت بود. از این‌رو، می‌توان این فرضیه را مطرح کرد که علاوه بر خصوصیات ژنتیکی ارقام، بخشی از تفاوت معنی‌دار مشاهده‌شده در طول غلاف (جدول ۴) احتمالاً تحت تأثیر شرایط رطوبت نسبی بین دو سال قرار گرفته باشد.

محققان گزارش کردند که محلول‌پاشی گیاه لوبیا با ایندول-۳-بوتریک اسید موجب افزایش معنی‌دار شاخص‌های رشدی از جمله ارتفاع بوته، تعداد برگ، شاخه‌دهی، طول غلاف، وزن تر و خشک گیاه، پیگمان‌های فتوسنتزی، میزان پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و همچنین عملکرد و اجزای عملکرد شد (Amal et al., 2009).

محققان گزارش کردند که محلول‌پاشی گیاه لوبیا با ایندول-۳-بوتریک اسید موجب افزایش معنی‌دار شاخص‌های رشدی از جمله ارتفاع بوته، تعداد برگ، شاخه‌دهی، طول غلاف، وزن تر و خشک گیاه، پیگمان‌های فتوسنتزی، میزان پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و همچنین عملکرد و اجزای عملکرد شد (Amal et al., 2009).

با توجه به یکسان بودن عوامل زراعی، اقلیمی و سایر شرایط محیطی کشت برای هر سه ژنوتیپ، می‌توان گفت که اختلاف

مشاهده‌شده در طول غلاف عمدتاً ناشی از خصوصیات ژنتیکی متفاوت ژنوتیپ‌های لوبیای گرمسیری بوده است. به‌طوری‌که رقم محلی با بیشترین طول غلاف و رقم عربی با کمترین طول غلاف، به‌ترتیب بالاترین و پایین‌ترین مقدار این صفت را نشان دادند. طول غلاف از جمله صفات مؤثر بر تعداد دانه در غلاف است که می‌تواند به‌طور مستقیم عملکرد اقتصادی گیاه را تحت تأثیر قرار دهد. به نظر می‌رسد که کوتاه بودن طول غلاف در شاهد، از دلایل کاهش عملکرد دانه باشد؛ هرچند عواملی همچون تعداد غلاف در بوته و وزن ۱۰۰ دانه نیز نقش تعیین‌کننده‌ای بر افزایش عملکرد در واحد سطح دارند.

تعداد غلاف در بوته

نتایج اثرات متقابل نشان داد که تیمار رقم مشهد با محلول‌پاشی ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر هورمون اکسین V1A2 با میانگین ۴۴/۶ بیشترین و تیمار V3A0 با میانگین ۲۶/۵ کمترین تعداد غلاف را در بین ترکیب‌های تیماری دارا بودند (شکل ۲).

تعداد غلاف در بوته به عنوان یکی از مؤثرترین صفات در تعیین عملکرد دانه می‌باشد، زیرا می‌تواند نقش تعیین‌کننده در تعداد دانه و در نهایت عملکرد دانه داشته باشد (Zarei et al., 2011). از آنجایی که عوامل زراعی و سایر شرایط حاکم بر محیط کاشت برای هر سه رقم یکسان بود، می‌توان گفت که اختلاف تعداد غلاف در بوته به‌دلیل خصوصیات ژنتیکی ژنوتیپ‌های مختلف لوبیای چشم‌بلبلی و کاربرد هورمون‌ها بود.

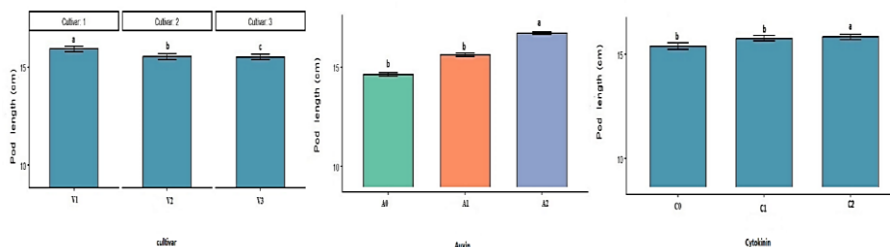
در این پژوهش مشاهده شد که در مراحل اولیه رشد زایشی لوبیا، تفاوت بین ارقام و کاربرد هورمون‌ها بر افزایش تعداد شاخه‌های فرعی و تعداد غلاف در بوته مؤثر بود و پس از افزایش تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف نیز تحت تأثیر قرار گرفت (شکل ۲). گیاهان، ظرفیت مخزن خود را با ظرفیت منبع تنظیم می‌کنند و تغییرات تعداد غلاف در بوته در این آزمایش نشان داد که کاربرد هورمون‌ها در مرحله زایشی، روند رشد گیاه را افزایش داد و گیاه برای ایجاد تعادل بین منبع و مخزن، تعداد گل‌ها و غلاف‌های تولیدی خود را افزایش داد. براساس یافته‌های برخی از پژوهشگران، مصرف بیشتر اکسین و سیتوکینین از طریق افزایش درصد گل‌ها، افزایش دوره گل‌دهی و باروری و تولید مواد فتوسنتزی بیشتر موجب افزایش تعداد غلاف در بوته گردید (Sajjan et al., 2020).

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب صفات ارزیابی شده ارقام لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) تحت تأثیر هورمون‌های اکسین و سیتوکینین
 Table 4- Combined analysis of variance of evaluated traits under the influence of auxin and cytokinin hormones on cowpea (*Vigna unguiculata* L. cultivars)

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	طول غلاف Pod length	تعداد غلاف در بوت Number of pods per plant	تعداد دانه در غلاف Number of grain per pod	وزن ۱۰۰ دانه Weight of one hundred grain	تعداد شاخه فرعی Number of sub- branches	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد زیستی Biological yield
سال Year (Y)	1	3.85**	379.65**	7.13 **	0.09ns	1.78ns	130276.77**	2718852.9**
خطای سال Block (Y)	4	1.59	36.15	4.1	1.06	1.51	5952.32	26206.8
وارتیه Variety (V)	2	2.85**	942.96**	5.12**	519.72**	229.62**	10463959.49**	57730461.9**
سال × واریتیه Y × V	2	3.00**	0.22 ^{ns}	10.85**	0.02 ^{ns}	0.76 ^{ns}	44225.78**	1727798.0**
خطای واریتیه × سال Block × V (Y)	8	1.62	27.57	2.60	0.77	1.70	13824.97	226518.0
اکسین Auxin (A)	2	59.15**	931.33**	96.50**	84.37**	304.24 ^{ns}	821853.45**	4263360.7**
سال × اکسین Y × A	2	0.06 ^{ns}	0.85 ^{ns}	3.52**	0.04 ^{ns}	1.06 ^{ns}	11379.34 ^{ns}	416292.5**
وارتیه × اکسین V × A	4	0.20 ^{ns}	46.68**	1.62**	0.20 ^{ns}	4.87**	20194.40**	399611.8**
سال × واریتیه × اکسین Y × V × A	4	0.12 ^{ns}	6.01*	0.30 ^{ns}	0.13 ^{ns}	0.98 ^{ns}	7218.80 ^{ns}	524954.1**
سیتوکینین Cytokinin (C)	2	3.06**	118.54**	12.57**	8.26**	24.79 ^{ns}	96357.52**	379496.2**
سال × سیتوکینین Y × C	2	0.02 ^{ns}	0.69 ^{ns}	0.37 ^{ns}	0.26 ^{ns}	0.04**	117.82ns	29970.4 ^{ns}
سال × واریتیه × سیتوکینین Y × V × C	4	0.06 ^{ns}	0.43 ^{ns}	0.17 ^{ns}	0.28**	0.08 ^{ns}	2002.49 ^{ns}	24733.2 ^{ns}
وارتیه × سیتوکینین V × C	4	0.19 ^{ns}	3.24 ^{ns}	1.03 ^{ns}	1.03**	0.31 ^{ns}	3010.16 ^{ns}	92119.2 ^{ns}
اکسین × سیتوکینین A × C	4	0.205 ^{ns}	5.75 ^{ns}	0.87*	0.69**	2.25 ^{ns}	7530.99 ^{ns}	28726.0 ^{ns}
سال × اکسین × سیتوکینین Y × A × C	4	0.11 ^{ns}	0.20 ^{ns}	0.68 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.04*	2136.17 ^{ns}	7908.9ns
وارتیه × اکسین × سیتوکینین V × A × C	8	0.11 ^{ns}	0.34 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.37**	1.111 ^{ns}	3835.67**	8383.8 ^{ns}
سال × واریتیه × اکسین × سیتوکینین Y × V × A × C	8	0.07ns	0.27ns	0.12 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.16ns	1849.73 ^{ns}	6157.8 ^{ns}
خطای سال × واریتیه × اکسین × سیتوکینین Y × V × A × C	96	0.126	0.30	0.166	0.115	0.068	178	374593
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	6.25	7.97	7.68	6.15	7.22	13.95	12.41

ns: غیرمعنی‌دار و **: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و *: معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد

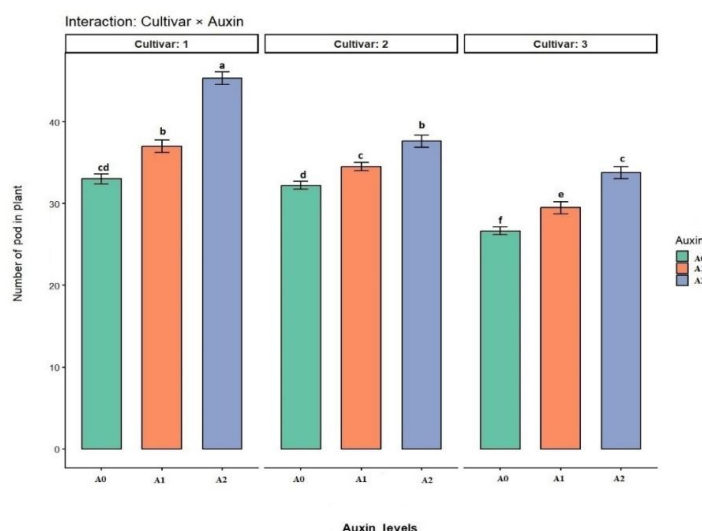
ns: not significant and **: significant at the 1 percent probability level and *: significant at the 5 percent probability level



شکل ۱- مقایسه میانگین اثرات ساده رقم، اکسین و سیتوکینین بر طول غلاف لوبیا چشم‌بلبلی طی دو سال زراعی

Figure 1- Mean comparison of main effects of cultivar, auxin and cytokinin on pod length of cowpea across two cropping years

V1, V2 and V3: represent Mashhad, local and Arabic cultivars; A0, A1 and A2: indicate no application, 200 mg.l⁻¹, and 400 mg.l⁻¹ auxin; C0, C1 and C2: indicate no application, 100 mg.l⁻¹ and 200 mg.l⁻¹ cytokinin.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثرات دوجانبه رقم × اکسین بر تعداد غلاف در بوته گیاه لوبیا چشم‌بلبلی طی دو سال زراعی

Figure 2- Mean comparison of the cultivar × auxin interaction effect on the number of pods per plant in cowpea across two growing seasons

V1, V2 and V3: represent Mashhad, local and Arabic cultivars; A0, A1 and A2: indicate no application, 200 mg.l⁻¹, and 400 mg.l⁻¹ auxin

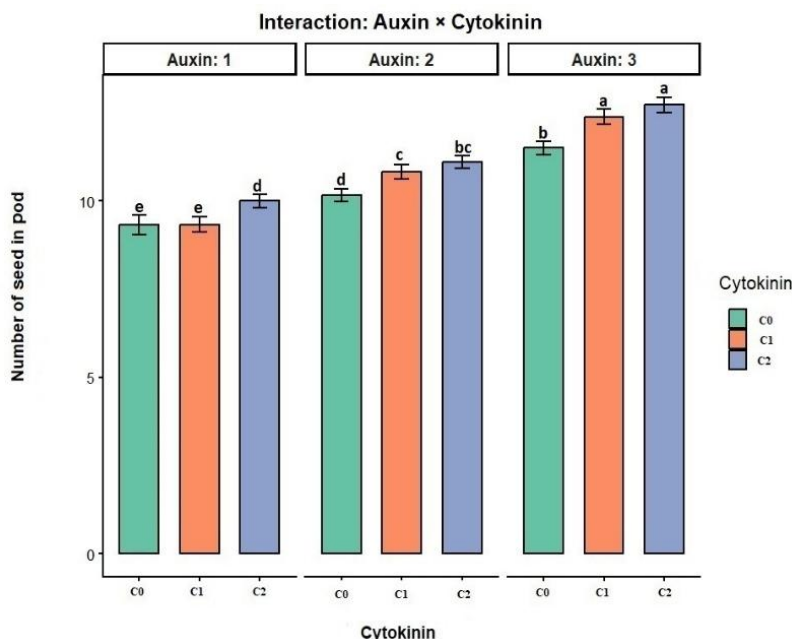
فتوسنتزی تولیدشده در اثر فتوسنتز بتواند ظرفیت آن‌ها را پر نماید، عملکرد بیشتری را به دنبال خواهد داشت (Baptista et al., 2016; Al-Amri, 2018).

نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد اکسین و سیتوکینین روی گیاه لوبیا چشم‌بلبلی موجب افزایش تعداد دانه در غلاف شد. اکسین و سیتوکینین به عنوان تحریک‌کننده‌های تقسیم و توسعه سلولی شناخته می‌شوند و این تنظیم‌کننده‌های رشد بر قسمت‌های زایشی گیاه در زمان کاربرد آن‌ها بیشتر اثر می‌گذارند، که به این وسیله موجب افزایش تعداد غلاف و تعداد دانه در غلاف به‌عنوان منبع اصلی می‌شوند (Kushwaha et al., 2021).

تعداد دانه در غلاف

بررسی مقایسه میانگین‌های اثرات دوجانبه تیمارها نشان داد که بیشترین تعداد دانه در غلاف مربوط به تیمار محلول‌پاشی ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر هورمون اکسین و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر هورمون سیتوکینین A2C2 با میانگین ۱۲/۷ و کمترین مقدار مربوط به شاهد A0C0 با میانگین ۹/۳ بود (شکل ۳).

تعداد دانه در غلاف از جمله صفات بسیار مهم زایشی گیاه لوبیا است که افزایش و کاهش آن، عملکرد دانه را تحت تأثیر قرار خواهد داد. تعداد دانه در غلاف، تعیین‌کننده تعداد سبک گیاه می‌باشد. به عبارت دیگر، هرچه تعداد سبک در یک گیاه بیشتر شود، چنانچه مواد



شکل ۳- مقایسه میانگین اثرات دوجانبه اکسین × سیتوکینین بر تعداد دانه در غلاف لوبیا چشم‌بلبلی طی دو سال زراعی

Figure 3- Mean comparison of auxin × cytokinin interaction effects on number of seeds per pod in cowpea across two cropping years

A₀, A₁ و A₂: به ترتیب عدم مصرف، مصرف ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی گرم در لیتر اکسین؛ C₀، C₁ و C₂: به ترتیب عدم مصرف، مصرف ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر سیتوکینین
A₀, A₁ and A₂: indicate no application, 200 mg.l⁻¹ and 400 mg.l⁻¹ auxin; C₀, C₁ and C₂: indicate no application, 100 mg.l⁻¹ and 200 mg.l⁻¹ cytokinin.

این صفت تحت تأثیر خصوصیات ژنتیکی گیاه از نظر پتانسیل دانه، رقابت دانه‌ها، طول دوره پر شدن، کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد و شرایط محیطی قرار دارد (Al-Amri et al., 2018). نتایج ما نشان داد که کاربرد اکسین و سیتوکینین، وزن ۱۰۰ دانه لوبیا چشم‌بلبلی را افزایش داد. علت افزایش وزن ۱۰۰ دانه را می‌توان به افزایش رشد رویشی و زایشی در اثر مصرف هورمون‌های یادشده نسبت داد که باعث افزایش دوره مؤثر پر شدن دانه و نیز بهبود سنتز و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌های در حال رشد می‌شوند (Baptista et al., 2016).

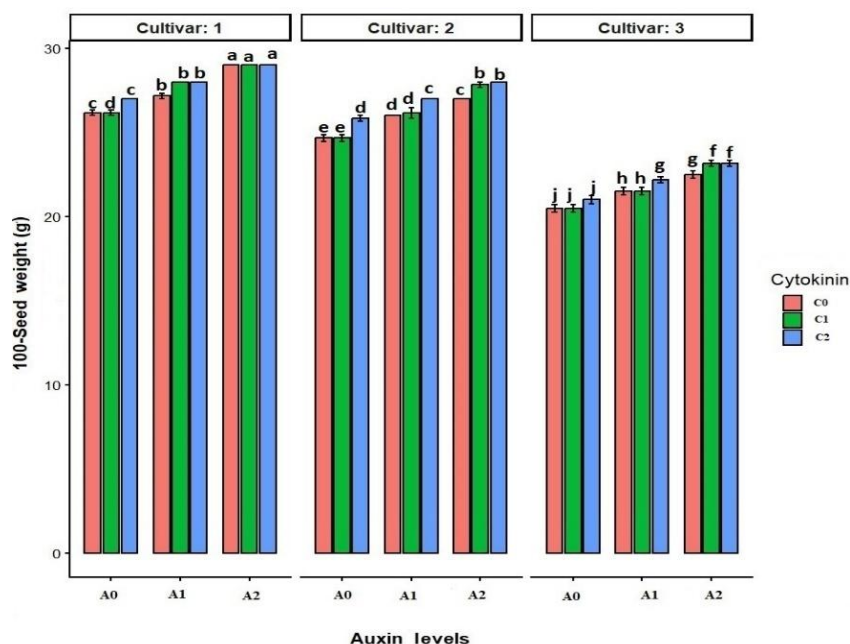
براساس نتایج ما، بین ژنوتیپ‌ها از نظر وزن ۱۰۰ دانه تفاوت وجود داشت و رقم مشهد با توجه به اینکه در مقایسه با دو ژنوتیپ دیگر دارای پتانسیل بیشتری از نظر این صفت بود، آسمیلات بیشتری را جذب دانه نمود و در نتیجه وزن ۱۰۰ دانه آن نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بیشتر بود، که خصوصیت ژنتیکی گیاه در این شاخص دخیل بود. مصرف سطوح بالای اکسین و سیتوکینین، بیشترین تأثیر را بر وزن ۱۰۰ دانه داشت و شاید با توجه به نقش مکملی این دو هورمون در تقسیم و افزایش ابعاد سلولی گیاه و ژنوتیپ گیاه لوبیا، در نهایت بهبود اجزای عملکرد این نتیجه قابل توجیه باشد.

یکی دیگر از دلایل افزایش تعداد دانه در غلاف، افزایش میزان گل‌دهی بود که در نتیجه آن تولید مواد فتوسنتزی افزایش یافت. با ارزیابی این تحقیق مشاهده شد که افزایش تعداد دانه در غلاف توسط تنظیم‌کننده‌های رشد می‌تواند ناشی از تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه به ویژه اکسین باشد که افزایش تعداد دانه در غلاف گیاه را نیز به همراه خواهد داشت. تأثیر تنظیم‌کننده‌های رشد بر افزایش تعداد دانه در غلاف در گیاه Pigeonpea توسط سوماسی و همکاران (et al., 2018) (Sumathi)، در گیاه Dulichos bean توسط ساجان و همکاران (Sajjan et al., 2020) و گیاه ماش سیاه (Vigna mungo) (L. Sachin et al., 2019) توسط ساجین و همکاران گزارش شده است که در تطابق با نتایج این تحقیق هستند.

وزن ۱۰۰ دانه

نتایج حاصل از مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیشترین وزن ۱۰۰ دانه مربوط به رقم مشهد با محلول‌پاشی ۴۰۰ میلی گرم در لیتر اکسین و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر سیتوکینین تیمار V₁A₂C₂ به میزان ۲۹ گرم و کمترین آن به رقم عربی تیمار شاهد V₃A₀C₀ با ۲۰/۵ گرم اختصاص داشت (شکل ۴).

وزن ۱۰۰ دانه یکی از اجزای مهم عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی بوده و نسبت به سایر اجزای عملکرد، از نوسانات بیشتری برخوردار است و



شکل ۴- مقایسه میانگین اثرات سه جانبه رقم، اکسین و سیتوکینین بر وزن ۱۰۰ دانه لوبیا چشم‌بلبلی طی دو سال زراعی

Figure 4- Mean comparison of triple interaction effects of cultivar × auxin × cytokinin on 100-seed weight of cowpea across two cropping years

V1، V2 و V3: به ترتیب رقم مشهد، محلی و عربی؛ A0، A1 و A2: به ترتیب عدم مصرف، مصرف ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر اکسین؛ C0، C1 و C2: به ترتیب عدم مصرف، مصرف ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیتوکینین

V1, V2 and V3: represent Mashhad, local, and Arabic cultivars; A0, A1 and A2: indicate no application, 200 mg.l⁻¹ and 400 mg.l⁻¹ auxin; C0, C1 and C2: indicate no application, 100 mg.l⁻¹ and 200 mg.l⁻¹ cytokinin.

گیاه، پیگمان‌های فتوسنتزی، پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و عملکرد و اجزای عملکرد این گیاه گردید (Amal et al., 2009). نتایج آزمایش‌های شریف و دال (Sharif & Dal, 1980) روی جو (*Hordeum vulgare* L.) نشان داد که مصرف سیتوکینین در ریشه‌ها باعث تحریک رشد جوانه‌های پنجه شد. از طرف دیگر لیو و همکاران (Liu et al., 2001) گزارش دادند که سیتوکینین باعث افزایش نسبت پنجه‌های بارور به تعداد پنجه کل گردید.

شاخه‌های فرعی از عوامل مهم شکل‌دهنده ظاهر گیاه هستند و در صورت تولید گل و دانه، تأثیر مستقیمی بر تعداد دانه و عملکرد نهایی دارند. افزایش تعداد شاخه‌های فرعی موجب افزایش تعداد نیام و در نتیجه تعداد دانه در غلاف و عملکرد دانه می‌شود. نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد هورمون‌های اکسین و سیتوکینین بر ژنوتیپ‌های لوبیا چشم‌بلبلی در تحریک شاخه‌زایی مؤثر بود و منجر به افزایش تعداد غلاف و عملکرد دانه شد. همچنین عملکرد دانه با ارتفاع گیاه، وزن خشک ریشه، تعداد شاخه‌های فرعی و شاخص سطح برگ همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت که احتمالاً ناشی از تفاوت ژنتیکی ارقام، تاریخ کاشت مناسب و اثر هورمون‌ها بود. تعداد شاخه‌های فرعی در رقم مشهد به‌طور معنی‌داری بیشتر از ارقام محلی و عربی بود که این برتری با درصد سبز شدن بالاتر و اثر هورمون‌ها

گزارش‌های متعددی در مورد تأثیر هورمون‌های گیاهی بر افزایش وزن ۱۰۰ دانه حبوبات ارائه شده است که با نتایج ما مطابقت دارند. در همین راستا، ساداک و همکاران (Sadak et al., 2013) اظهار داشتند که بیشترین تعداد غلاف در بوته، وزن ۱۰۰ دانه و عملکرد دانه در گیاه باقلا با محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌در گرم در لیتر هورمون اکسین به دست آمد. همچنین چنین گزارش‌هایی توسط سوماسی و همکاران (Sumathi et al., 2018) در گیاه *Pigeonpea* و توسط ساجان و همکاران (Sajjan et al., 2020) در گیاه *Dulichos* bean ارائه شده است.

تعداد شاخه فرعی

بررسی مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل تیمارها نشان داد که بیشترین تعداد شاخه فرعی مربوط به تیمار رقم محلی با محلول‌پاشی ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر اکسین V2A2 با ۱۴ شاخه فرعی و کمترین آن مربوط به شاهد رقم عربی V3C0 با تعداد ۵/۷ شاخه فرعی بود (شکل ۵).

محققان گزارش دادند که محلول‌پاشی گیاه لوبیا با محلول ایندول ۳- بوتیریک اسید باعث افزایش معنی‌دار عوامل رشدی از جمله ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد برگ، وزن تر و خشک

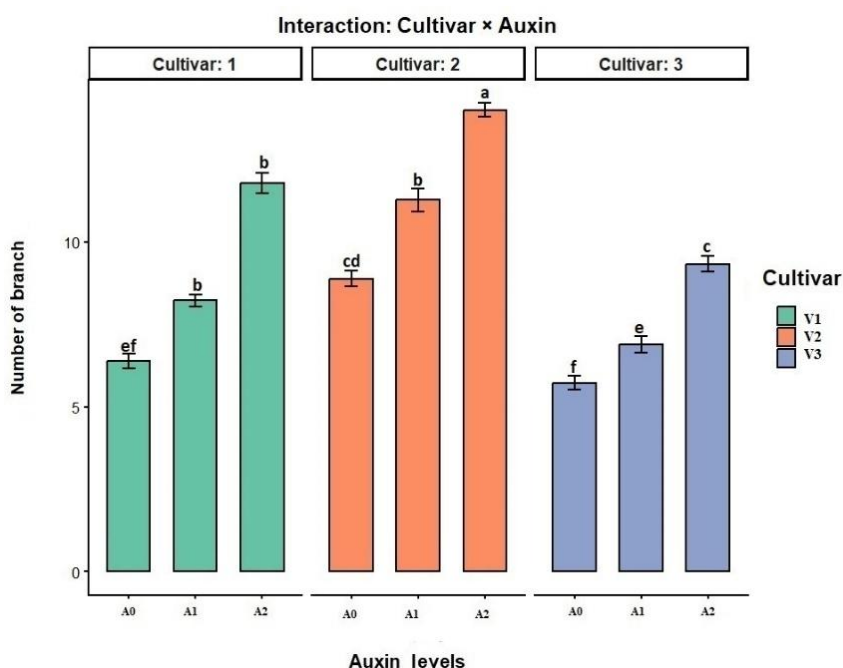
بالاترین دوزهای هورمونی تنها به ۱۱۱۵ کیلوگرم در هکتار دست یافت و فقط ۱۸۲ کیلوگرم (۱۹/۵ درصد) افزایش عملکرد دانه داشت که از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر نیست. بنابراین رقم مشهد قادر است که از پتانسیل هم‌افزایی اکسین و سیتوکینین به‌طور کامل بهره‌برداری کند و به‌عنوان رقم برتر این مطالعه مشخص گردید (شکل ۶).

عملکرد دانه حاصل بخش‌هایی از جمله تعداد بوته‌ها در واحد سطح، میزان تولید ماده خشک، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن دانه می‌باشد (Prasad, 2008). رقم عامل مهمی است که بر رشدنمو گیاه تأثیرگذار بوده و در شرایط فراهمی مقادیر مناسب هورمون‌ها سبب بهبود وضعیت رشد رویشی در نتیجه گسترش اندام هوایی، توسعه برگ‌ها و تولید مواد فتوسنتزی بیشتر جهت مصرف اندام‌های زایشی می‌شود که در نهایت منجر به بهبود عملکرد دانه می‌گردد (Dwivedi et al., 2014). استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد مثل IAA منجر به افزایش میزان عملکرد دانه لوبیا شد که این تأثیر اکسین از طریق افزایش تقسیم سلولی در آندوسپرم در مراحل اولیه پُر شدن دانه بود (Ghorbani Javid et al., 2011). بررسی‌ها نشان داد که کاربرد هورمون گیاهی اکسین در شرایط تنش شوری سبب افزایش عملکرد دانه گیاه باقلا (*Vicia faba*) گردید (Abdel Latif et al., 2021).

مرتبط است. در تراکم یکسان، دسترسی بهتر به منابع و تأثیر متقابل رقم و هورمون‌ها موجب تولید شاخه‌های فرعی بیشتر و افزایش عملکرد دانه شد که با یافته‌های مطالعات قبلی مطابقت دارد (Amal et al., 2009; Anjum et al., 2011; Zhang et al., 2018). به نظر می‌رسد که محلول‌پاشی هورمون‌ها با کاهش اثرات نامطلوب تنش خشکی، عملکرد دستگاه فتوسنتزی گیاه را بهبود داده و تولید گل در شاخه‌های جانبی را افزایش داده است.

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات سه‌جانبه رقم × اکسین × سیتوکینین بر عملکرد دانه لوبیا چشم‌بلبلی معنی‌دار گردید که ترکیب ارقام و تیمارهای هورمونی نقش قابل توجهی در افزایش عملکرد داشت. ارقام مختلف لوبیا چشم‌بلبلی پاسخ کاملاً متفاوتی به کاربرد اکسین و سیتوکینین نشان دادند؛ رقم مشهد با ثبت بالاترین عملکرد (۲۳۴۶ کیلوگرم در هکتار) و افزایش ۵۳۳ کیلوگرم (معادل ۲۹٪/۴) نسبت به شاهد خود، بهترین و اقتصادی‌ترین پاسخ را به هورمون‌ها داشت. رقم محلی در بهترین حالت به ۱۹۹۱ کیلوگرم در هکتار رسید که ۳۶۶ کیلوگرم (۲۲/۵ درصد) بیشتر از شاهد بود و پاسخ متوسطی از خود نشان داد، درحالی‌که رقم عربی حتی در

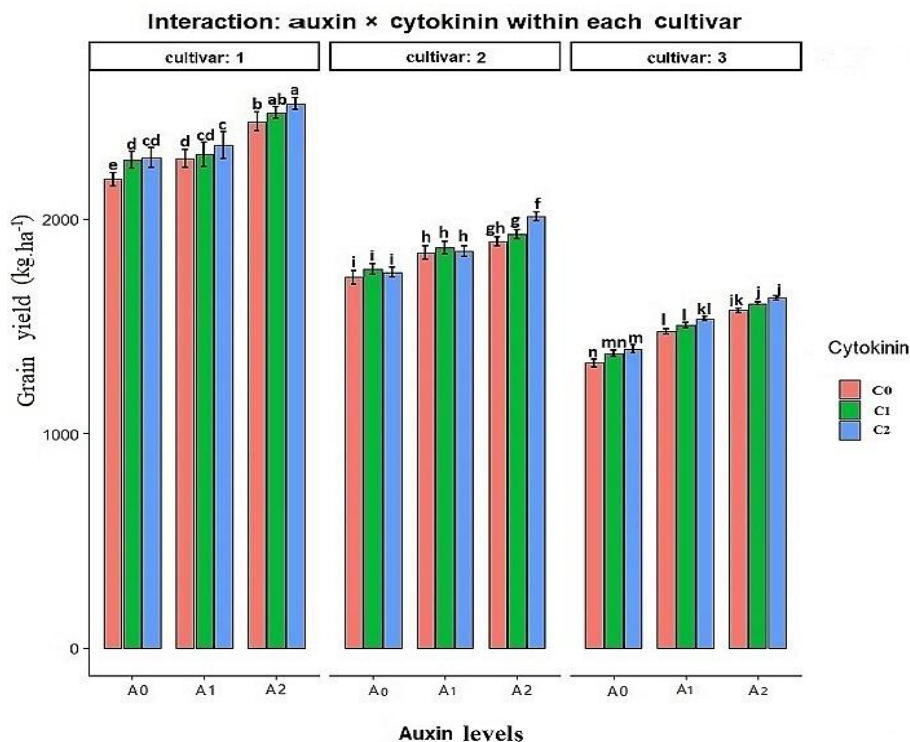


شکل ۵- مقایسه میانگین اثرات دوجانبه رقم و اکسین بر تعداد شاخه‌های فرعی لوبیا چشم‌بلبلی طی دو سال زراعی

Figure 5- Mean comparison of cultivar × auxin interaction effects on the number of secondary branches in cowpea across two cropping years

V1، V2 و V3: به ترتیب رقم مشهد، محلی و عربی؛ A0، A1 و A2: به ترتیب عدم مصرف، مصرف ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر اکسین

V1, V2 and V3: represent Mashhad, local and Arabic cultivars; A0, A1 and A2: indicate no application, 200 mg.l⁻¹ and 400 mg.l⁻¹



شکل ۶- مقایسه میانگین اثرات سه‌جانبه رقم، اکسین و سیتوکینین بر عملکرد دانه ارقام لوبیا چشم‌بلبلی طی دو سال زراعی

Figure 6- Mean comparison of triple interaction effects of cultivar × auxin × cytokinin on seed yield of cowpea cultivars across two cropping years

V1, V2 and V3: به‌ترتیب رقم مشهد، محلی و عربی؛ A0، A1 و A2: به‌ترتیب عدم مصرف، مصرف ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر اکسین؛ C0، C1 و C2: به‌ترتیب عدم مصرف، مصرف ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیتوکینین

V1, V2 and V3: represent Mashhad, local and Arabic cultivars; A0, A1 and A2: indicate no application, 200 mg.l⁻¹ and 400 mg.l⁻¹ auxin; C0, C1 and C2: indicate no application, 100 mg.l⁻¹ and 200 mg.l⁻¹ cytokinin.

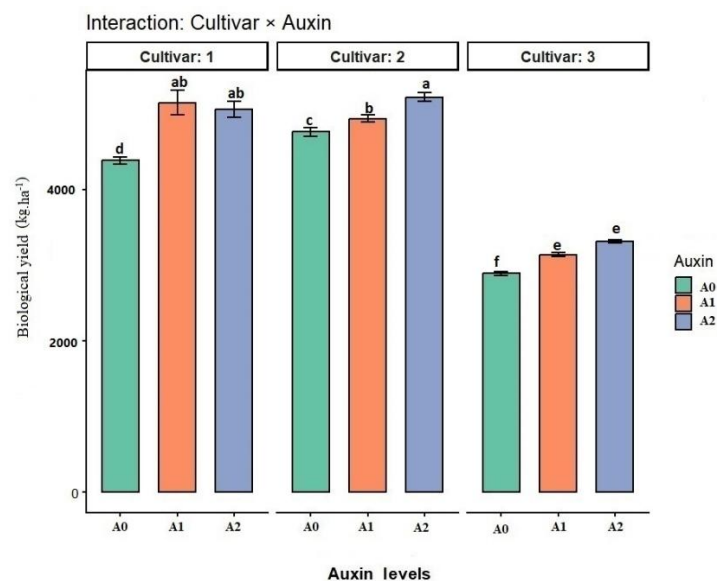
همبستگی بین صفات ارزیابی شده

نتایج جدول همبستگی (جدول ۵) نشان می‌دهد که عملکرد دانه با عملکرد زیستی رابطه‌ای قوی و مثبت (۰/۷۵**) دارد و عملکرد زیستی نیز با تعداد غلاف در بوته همبستگی بالایی (۰/۷۲**) نشان می‌دهد، که بیانگر نقش مهم تعداد غلاف در افزایش عملکرد کل گیاه است. تعداد دانه در غلاف با طول غلاف همبستگی بسیار قوی (۰/۸۸**) داشت و طول غلاف نیز با وزن ۱۰۰ دانه رابطه مثبت و قوی (۰/۸۹**) داشت که نشان‌دهنده آن است که غلاف‌های بلندتر و پُر دانه‌تر معمولاً دانه‌های سنگین‌تری تولید می‌کنند. تعداد شاخه فرعی تأثیر متوسطی بر سایر صفات دارد، به‌طور مثال تعداد شاخه فرعی با وزن ۱۰۰ دانه همبستگی (۰/۳۴**) داشت، اما نقش آن در تعیین عملکرد دانه و زیستی نسبتاً کمتر است. به‌طور کلی، صفاتی مانند طول غلاف، تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته و عملکرد زیستی بیشترین تأثیر را در افزایش عملکرد دانه دارند و برای بهبود ژنتیکی یا مدیریتی این صفات باید بیشتر مورد توجه قرار گیرند. چنین نتیجه‌ای توسط ال-امیری (Al-Amri, 2018) در لوبیا چشم‌بلبلی گزارش شده است که با نتایج ما هم‌خوانی دارد.

عملکرد زیستی

نتایج اثرات متقابل تیمارها نشان داد که تیمار محلول‌پاشی ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر اکسین و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیتوکینین V2A2 با میانگین ۵۲۲۶ کیلوگرم در هکتار بیشترین و تیمار شاهد رقم عربی V3A0 با میانگین ۲۸۸۰ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد زیستی را به خود اختصاص دادند (شکل ۷).

ژنوتیپی دارای عملکرد دانه بالایی خواهد بود که مواد فتوسنتزی بیشتری در اندام خود ذخیره نماید. رقم مشهد بیشترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داد که به نظر می‌رسد کارایی فتوسنتزی بالای این رقم می‌باشد. استفاده از هورمون‌های گیاهی نیز با افزایش رشد رویشی و زایشی، سطح فتوسنتزی و جذبی گیاه را افزایش می‌دهد که این وضعیت منجر به افزایش عملکرد دانه خواهد شد (Sachin et al., 2019). بررسی اثر سیتوکینین روی ارقام گندم نیز نشان داد که مصرف این هورمون باعث افزایش عملکرد دانه ارقام گندم گردید (Dwivedi et al., 2013).



شکل ۷- مقایسه میانگین اثرات دوجانبه رقم و اکسین بر عملکرد زیستی لوبیا چشم‌بلبلی طی دو سال زراعی

Figure 7- Interaction effects of cultivar and auxin application on biological yield of cowpea in two cropping years

V1, V2 and V3: به ترتیب رقم مشهد، محلی و عربی؛ A0، A1 و A2: به ترتیب عدم مصرف، مصرف ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر اکسین

V1, V2 and V3: represent Mashhad, local and Arabic cultivars; A0, A1 and A2: indicate no application, 200 mg.l⁻¹ and 400 mg.l⁻¹ auxin

جدول ۵- ضرایب همبستگی پیرسون بین صفات مورد ارزیابی در ارقام لوبیا چشم‌بلبلی طی دو سال زراعی

Table 6- Pearson correlation coefficients among studied traits in cowpea cultivars across two cropping years

	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد زیستی Biological yield	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plants	تعداد دانه در غلاف Number of pods per plants	طول غلاف Pod Length	وزن ۱۰۰ دانه Weight of one hundred seeds	تعداد شاخه فرعی Number of sub-branches
عملکرد دانه Grain yield	1						
عملکرد زیستی Biological yield	0.75**	1					
تعداد غلاف در بوته Number of pods per plants	0.72**	0.59**	1				
تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	0.35**	0.28**	0.60**	1			
طول غلاف Pod length	0.37**	0.27**	0.59**	0.85**	1		
وزن ۱۰۰ دانه Weight of one hundred seeds	0.89**	0.88**	0.79**	0.43**	0.43**	1	
تعداد شاخه فرعی Number of sub-branches	0.34**	0.61**	0.65**	0.58**	0.55**	0.62**	1

ns: غیرمعنی‌دار و **: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و *: معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد

ns: not significant, **: significant at 1% probability level, *: significant at 5% probability level

نتیجه‌گیری

نشان‌دهنده پتانسیل بالای این هورمون‌ها در بهبود صفات زراعی و افزایش عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی بود. نوآوری برجسته این تحقیق، اثبات اثر هم‌افزایی قوی هورمون‌ها در ابتدای مرحله گل‌دهی بود که منجر به افزایش متوسط ۲۴ درصدی عملکرد دانه در ارقام مشهد، محلی و عربی گردید. این افزایش نه تنها از نظر آماری معنادار، بلکه از منظر اقتصادی نیز قابل توجه است و می‌تواند به‌عنوان راهبرد بهبود عملکرد دانه در شرایط محیطی گرم و خشک به کار گرفته شود.

نتایج این تحقیق نشان داد که در بین واریته‌های مورد بررسی، رقم مشهد از نظر صفات طول غلاف، تعداد غلاف در بوته، وزن ۱۰۰ دانه، تعداد شاخه‌های فرعی و عملکرد دانه بهترین عملکرد را داشت، درحالی‌که از نظر عملکرد زیستی، رقم محلی برتری نشان داد. تمامی صفات مورد بررسی تحت تأثیر مصرف بالاترین غلظت هورمون‌های اکسین و سیتوکینین (۴۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) قرار گرفتند، که

References

- Abdel Latef, A. A. H., Tahjib-Ul-Arif, M., & Rhaman, M. S. (2021). Exogenous auxin-mediated salt stress alleviation in faba bean (*Vicia faba* L.). *Agronomy*, 11(3), 547. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030547>
- Aiking, H. (2011). Future protein supply. *Trends in Food Science and Technology*, 22, 112-120. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.04.005>
- Amal, M., Shraiy, E., & Hegazi, A. M. (2009). Effect of acetyl salicylic acid, indole-3- butyric acid and gibberellic acid on plant growth and yield of pea (*Pisum sativum* L.). *Journal of Basic and Applied Science*, 3(4), 3514-3523.
- Al-Amri, S. M. (2018). Functional activity of some growth regulators on yield components and endogenous hormones of cowpea plants (*Vigna sinensis* L.). *Agricultural Sciences*, 9(10), 1229. <https://doi.org/10.4236/as.2018.910086>
- Anjum, S. A., Wang, L. C., Farooq, M., Hussain, M., Xue, L. L., & Zou, C. M. (2011). Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197(3), 177-185. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2010.00459.x>
- Ashraf, M., Athar, H. R., Harris, P. J. C., & Kwon, T. R. (2008). Some prospective strategies for improving crop salt tolerance. *Advances in Agronomy*, 97, 45-110. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(07\)00002-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(07)00002-8)
- Aremu, M. O., Edem, R. L., Aremu, S. O., Ortutu, S. C., Ayakeme, E. B., Enyioha, I. M., Muhammad, H., & Obasi, B. C. (2024). Comparative studies on nutritive and antinutritive values of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) and rice (*Oryza sativa* L.). *Lafia Journal of Scientific and Industrial Research*, 40-45.
- Baptista, A., Pinho, O., Pinto, E., Casal, S., Mota, C., & Ferreira, I. M. (2016). Characterization of protein and fat composition of seeds from common beans (*Phaseolus vulgaris* L.), cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) and Bambara groundnuts (*Vigna subterranea* L. Verdc) from Mozambique. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2(11), 442-450. <https://doi.org/10.1007/s11694-016-9412-2>
- Bahmankar, M., Rahnama, H., Salehi, M., & Noori, S. A. S. (2024). Somatic embryogenesis and genetic fidelity in camelina by RAPD markers and flow cytometry. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 156(3), 67. <https://doi.org/10.1007/s11240-024-02686-9>
- Da Silva, A. C., da Costa Santos, D., Junior, D. L. T., da Silva, P. B., dos Santos, R. C., & Siviero, A., (2018). Cowpea: A strategic legume species for food security and health. In *Legume Seed Nutraceutical Research*. IntechOpen <https://doi.org/10.5772/intechopen.79006>
- Dwivedi, S. K., Arora, A., Singh, S. D., Singh, G. P., Nagar, S., & Kumar, S. (2014). PGRs improve carbohydrate metabolism and yield attributes in wheat (*Triticum aestivum* L.) under water deficit condition. *Journal of Cereal Research*, 5(2).
- Gajdosova, S., Spichal, L., Kaminek, M., Hoyerova, K., Novak, O., Dobrev, P. I., & Motyka, V., (2011). Distribution, biological activities, metabolism and the conceivable function of cis-zeatin-type cytokinins in plants. *Journal of Experimental Botany*, 62, 2827-2840. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq457>
- Ghorbani Javid, M., Sorooshzadeh, A., Moradi, F., Sanavy, S. A. M. M., & Allahdadi, I. (2011). The role of phytohormones in alleviating salt stress in crop plants. *Australian Journal of Crop Science*, 5(6), 726-734. (In Persian).
- Golchin, L., Tavakoli, A., & Mohseni Fard, E., (2021). Evaluation of the effects of 6-benzyl aminopurine application on safflower cultivars production under drought stress conditions. *Journal of Crops Improvement*, 23(2), 321-334. <https://doi.org/10.22059/jci.2020.300707.2381>
- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, L., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M., & Toulmin, C. (2010). Food security: The challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327, 812-818. <https://doi.org/10.1126/science.1185383>

- Hirose, N., Takei, K., Kuroha, T., Kamada-Nobusada, T., Hayashi, H., & Sakakibara, H., (2008). Regulation of cytokinin biosynthesis, compartmentalization and translocation. *Journal of Experimental Botany*, 59(1), 75-83. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm157>
- Heydari, H., Dahmardeh, M., & Khammari, E. (2016). Evaluation of the quantity and quality yield of roselle (*Hibiscus abdarriffa* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* L.) in intercropping at replacement series. *Research in Crop Ecosystems*, 3(1, 2), 43-53.
- Kaya, C., Tuna, A. L., & Okant, A. M., (2010). Effect of foliar application of kinetin and indoleacetic acid on maize plants grown under saline conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 34, 529-538. <https://doi.org/10.3906/tar-0906-173>
- Khaled, A. M., Sikder, S., Islam, M. R., Hasan, M. A., & Bahadur, M. M. (2015). Growth yield and yield attributes of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as influenced by indole acetic acid. *Journal of Environmental Science and Natural Resources*, 8(1), 139-145.
- Khadr, A., Wang, G. L., Wang, Y. H., Zhang, R. R., Wang, X. R., Xu, Z. S., & Xiong, A. S. (2020). Effects of auxin (indole-3-butyric acid) on growth characteristics, lignification and expression profiles of genes involved in lignin biosynthesis in carrot taproot. *PeerJ*, 8, e10492. <https://doi.org/10.7717/peerj.10492>
- Kushwaha, S. P., Tripathi, D. K., Singh, O. P., & Prajapati, L. (2021). Effect of growth regulators on yield of paddy (*Oryza sativa* L.). *The Pharma Innovation Journal*, 10(7), 304-306
- Liu Z., Goto, Y., Nishiyama, I., & Kokubun, M. (2001). Effects of foliar and root-applied benzylaminopurine on tillering of rice plants grown in hydroponics. *Plant Production Science*, 4(3), 220-226. <https://doi.org/10.1626/ppp.4.220>
- Miransari, M., Abrishamchi, A., Khoshbakht, K., & Niknam, V. (2014). Plant hormones as signals in arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Critical Reviews in Biotechnology*, 34(2), 123-133. <https://doi.org/10.3109/07388551.2012.731684>
- Norouzi, Y., Ghobadi, M., Saeidi, M., & Dogan, H. (2021). Effect of nitrogen and cytokinin on quantitative and qualitative yield of thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Agrotechniques in Industrial Crops*, 1(1), 52-60. <https://doi.org/10.22126/ETIC.2021.6481.1012>
- Peleg, Z., & Blumwald, E. (2011). Hormone balance and abiotic stress tolerance in crop plants. *Current Opinion in Plant Biology*, 14, 290-295. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2011.02.001>
- Pramanik, K., & Mohapatra, P. P. (2017). Role of auxin on growth, yield and quality of tomato-A review *International Journal of Current Microbiology and Applied*, 6(11), 1624-1636. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.611.195>
- Prasad, A. S. (2008). Zinc deficiency: Has been known of for 40 years but ignored by global health organisations. *British Medical Journal*, 326(7386), 409-410. <https://doi.org/10.1136/bmj.326.7386.409>
- Pourfarokhi, M., Sakinejad, T., Lak, S., Zarifinia, N., & Mojaddam, M. (2025). Influence of auxin and cytokinin on nutrient absorption, nitrogen fixation and root nodulation in cowpea varieties. *Journal of Plant Nutrition*, 1-16. <https://doi.org/10.1080/01904167.2025.2492292>
- Food and agriculture organization of the united nations (FAO). (2025). Statistical pocketbook world food and agriculture. Available at web site <http://www.fao.org/Statistics> (verified 31 Aug 2025).
- Syed, N. (2016). A comparative study between molecular and agro-morphological methods for describing genetic relationships in Tunisian faba bean populations. *Journal of New Sciences: Agri & Biotech*, 27(8), 1513-1518.
- Sachin, A. S., Sivakumar, T., KrishnaSurendar, K., & Senthivelu, M. (2019). Influence of plant growth regulators and nutrients on biometric, growth and yield attributes in blackgram (*Vigna mungo* L.). *Journal of Agriculture and Ecology*, 7, 55-63.
- Sadak, M., Dawood, M., Bakry, B. A., & El-Karamany, M. F. (2013). Synergistic effect of indole acetic acid and kinetin on performance, some biochemical constituents and yield of faba bean plant grown under newly reclaimed sandy soil. *World Journal of Agricultural Sciences*, 9(4), 335-344.
- Sajjan, A. S., Malabasari, T. A., & Shashidhar, T. R. (2020). Seed and yield parameters as influenced by season and plant growth regulators in dolichos bean [*Lablab purpureus* L. (Sweet)]. *Legume Research-An International Journal*, 43(6), 856-860. <https://doi.org/10.18805/LR-4046>
- Sánchez-Navarro, V., Zornoza, R., Faz, Á., & Fernández, J. A. (2019). Does the use of cowpea in rotation with a vegetable crop improve soil quality and crop yield and quality field study in SE Spain. *European Journal of Agronomy*, 107, 10-17. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.03.007>
- Sharif, R., & Dale, J. E. (1980). Growth-regulating substances and the growth of tiller buds in barley; effects of cytokinins. *Journal of Experimental Botany*, 31(4), 921-930. <https://doi.org/10.1093/jxb/31.4.921>
- Sumathi, A., Prasad, V., & Vanangamudi, M. (2018). Influence of plant growth regulators on yield and yield components in pigeonpea. *Legume Research-an International Journal*, 41(3), 392-398.

- Zarei, I., Mohammadi, G., Sohrabi, Y., Kahrizi, D., Khah, E. M., & Yari, K. (2011). Effect of different hydropriming times on the quantitative and qualitative characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *African Journal of Biotechnology*, 10, 14844-14850. (In Persian). <https://doi.org/10.5897/AJB11.1283>
- Zhang, Q., Yue, D., Fang, M., Yu, Q., Huang, Y., Su, K., Ma, H., & Wang, Y. (2018). Study on sustainability of land resources in Dengkou county based on emergy analysis. *Journal of Cleaner Production*, 171, 580-591. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.275>