Plant Prod., 2022, 45(1), 1-14
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2022.37720.1986
Received: 12 June 2021
Accepted: 16 January 2022

Plant Productions
Research Article

Study of Soybean (*Glycine max* (L) Merrill) and Chia (*Salvia hispanica* L.) Competition in the Different Intercropping Ratios Based on Replacement Method

Rahmat Abbasi[1]*, Meisam Namdari[2]

1- Assistant Professor, Department of Agronomy, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran
2- Ph.D. Student of Agronomy, Department of Agronomy, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran

Citation: Abbasi, R., & Namdari, M. (2022). Study of Soybean (*Glycine max* (L) Merrill) and Chia (*Salvia hispanica* L.) Competition in the Different Intercropping Ratios Based on Replacement Method. *Plant Productions,* 45(1), 1-14.

Abstract

Introduction

Today, efficient agricultural systems such as intercropping are essential due to the optimal use of resources. Meanwhile, using the Legume plant in intercropping can increase the efficiency of biological nitrogen fixation and be a sustainable approach to meet the crop's nitrogen needs. Since the planting pattern and component crop greatly influence this biological process, selecting complementary species in intercropping can play an essential role in increasing flexibility and sustainability in farming systems.

Materials and Methods

In order to study the effects of intercropping culture on the agronomic traits of Chia and Soybean, a field experiment was conducted in a randomized complete block design with four replications at the research farm of Sari Agricultural Science and Natural Resources University in 2019. The planting ratios were 0:100, 25:75, 50:50, 75:25, and 100:0 (Soybean: Chia respectively) using replacement method.

Results and Discussion

Results showed that intercropping significantly affected shoot height, No. branch, grain yield,

* **Corresponding Author:** Rahmat Abbasi
E-mail: r.abasi@sanru.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.

components yield, and the N. derived from the atmosphere (Ndfa). In the Chia, reducing the number of planting rows in different planting ratios, shoot height, and 1000-seed weight increased in contrast to the number of inflorescences per plant. Different planting ratios had no significant effect on the number of branches per plant of Chia. The soybean crop had the highest no. of branches, the number of pods per plant, and the 1000 seed weight in the 25:75 planting ratio. The highest shoot height was related to the monoculture soybean (100:0), and with decreasing the number of soybean planting rows in intercropping, the shoot height decreased. Also, the Ndfa in intercropping culture was higher than in monoculture during different growth stages. Its amount increased with a decreasing share of soybean planting in intercropping. Biological nitrogen fixation in soybean intercropping cultivation with Chia increased 75 days after planting and then decreased. Besides, the pure stand of Soybean (100: 0) and Chia (0: 100) had the highest and lowest grain yield with an average of 4629.57 and 823.14 kg. ha^{-1}, respectively. Considering the total yield of Chia and Soybean in intercropping cultivation and the compensatory ability to increase the yield of Soybean against the decrease in the yield of Chia, the effect of competition between the two crops is positive complementation. lculation of land equivalent ratio (LER) revealed that the planting ratio of 25:75 had the highest efficiency by 22 percent.

Conclusion

Chia in intercropping can improve the yield components of Soybean while improving the efficiency of biological nitrogen fixation. Increasing the efficiency of intercropping cultivation in the planting ratio of 25:75 due to the increase of 75.37% is the share of the complementarity effect on grain yield, creating balance and facilitating inter-species competition.

Keywords: Biological nitrogen fixation, Complementarity effect, Grain yield, LER

تولیدات گیاهی، ۱۴۰۱، ۴۵(۱)، ۱۴-۱
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2022.37720.1986
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۶

تولیدات گیاهی
مقاله پژوهشی

مطالعه رقابت گیاه سویا (*Glycine max* (L) Merrill) و چیا (*Salvia hispanica* L.) در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط به‌صورت جایگزینی

رحمت عباسی[۱]* ، میثم نامداری[۲]

۱- استادیار، دانشکده علوم زراعی، گروه زراعت، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری ، ساری، ایران
۲- دانشجوی دکتری زراعت، گروه زراعت، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

چکیده

به منظور بررسی کشت مخلوط بر خصوصیات زراعی گیاه چیا و سویا، آزمایشی در سال ۱۳۹۸ و به صورت طرح بلوک کامل تصادفی با چهار تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل نسبت‌های کاشت ۰:۱۰۰، ۲۵:۷۵، ۵۰:۵۰، ۷۵:۲۵ و ۱۰۰:۰ (به‌ترتیب چیا-سویا) به روش جایگزینی بودند. نتایج نشان داد نسبت‌های مختلف کاشت اثر معنی‌داری بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد غلاف در بوته، عملکرد دانه و درصد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی سویا و ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد گل‌آذین در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه چیا داشتند. بیشترین تعداد شاخه فرعی، تعداد غلاف در بوته و وزن هزار دانه سویا مربوط به نسبت کاشت ۲۵:۷۵ بود. با کاهش تعداد ردیف کاشت چیا در نسبت‌های مختلف کاشت ارتفاع بوته و وزن هزار دانه چیا افزایش و تعداد گل‌آذین در بوته کاهش یافت. همچنین در طی مراحل مختلف رشد، درصد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی در کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص بود و مقدار آن با کاهش سهم کاشت سویا در کشت مخلوط افزایش یافت. علاوه بر آن کشت خالص سویا (۱۰۰:۰) و چیا (۰:۱۰۰) به‌ترتیب با میانگین ۴۶۲۹/۵۷ و ۸۲۳/۱۴ کیلوگرم در هکتار دارای بیشترین مقدار عملکرد دانه بودند. بیشترین مقدار شاخص نسبت برابری زمین مربوط به نسبت کاشت ۲۵:۷۵ با میانگین ۱/۲۲ بود. افزایش کارایی کشت مخلوط در نسبت کاشت ۲۵:۷۵ به علت افزایش ۷۵/۳۷ درصدی سهم اثر مکملی بر عملکرد دانه و ایجاد تعادل و تسهیل در رقابت بین‌گونه‌ای است.

کلیدواژه‌ها: اثر مکملی، تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، نسبت برابری زمین، عملکرد دانه

* **نویسنده مسئول:** رحمت عباسی
رایانامه: r.abasi@sanru.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

بر طبق یک توافق عمومی در جوامع علمی کاربرد کودهای نیتروژنه در کشاورزی تقریباً ضروری است، هر چند افزایش تصاعدی کاربرد کودهای نیتروژنه و نگرانی‌های مربوط به محیط‌زیست توجه به گزینه‌های پایدارتر را چند برابر کرده است. تثبیت بیولوژیکی نیتروژن توسط گیاهان لگوم یکی از رویکردهای پایدار برای برطرف کردن نیازهای نیتروژن گیاه زراعی است (Islam and Adjesiwor, 2018). این فرآیند یک مزیت اکولوژیکی کلیدی است که میلیاردها دلار به اقتصاد جهانی کمک می‌کند. در این بین سویا به‌عنوان مهم‌ترین گیاه لگوم دارای بیشترین سطح زیر کشت ارگانیک در جهان است (Willer and Lernoud, 2017) و با میانگین فعالیت تثبیت بیولوژیکی ۴۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار رتبه اول را در بین گیاهان لگوم دانه‌ای در اختیار دارد (Hangria and Mendes, 2015).

با توجه به مطالب ذکر شده کشت مخلوط یک استراتژی مناسب برای افزایش بهره‌وری کشاورزی در واحد سطح است که مبتنی بر ساز و کارهای زیست‌محیطی می‌باشد (Yu et al., 2015) و امروزه استفاده از گیاهان لگوم در تناوب‌های زراعی و یا کشت مخلوط به‌عنوان یک راه جایگزین و پایدار برای افزایش کارایی نیتروژن در سیستم‌های تولید کم نهاده در نظر گرفته می‌شود (Angland et al., 2015). در این رابطه بررسی تعاملات در کشت مخلوط سویا و ذرت نشان داد رقابت در بخش فوقانی و زیرزمینی نقش مهمی در بهره‌وری کشت مخلوط و شاخص نسبت برابری زمین دارد (Lv et al., 2014). برخی دیگر از پژوهشگران نیز بیان داشتند از آنجا که سویا در کشت مخلوط رقابت‌کننده قویتری است بنابراین توانایی بیشتری در جذب منابع طبیعی در الگوی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص دارد (Yang et al., 2013). علاوه بر آن اثر کشت مخلوط در افزایش تعداد و وزن خشک گره تثبیت‌کننده نیتروژن، وزن خشک ساقه و نیتروژن کل در ساقه گیاه لگوم در برخی دیگر از مطالعات گزارش شده است (Cardoso et al., 2007). بنابراین همبستگی مثبت و معنی‌دار بین تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، عملکرد دانه و رقابت بین‌گونه‌ای به وضوح نشان‌دهنده هماهنگی در رقابت بین گونه‌ای و افزایش تولید در کشت مخلوط می‌باشد (Hu et al., 2016). در این رابطه سایر محققان نیز ضمن مطالعه نسبت‌های کشت مخلوط نخودفرنگی-جو در اراضی ارگانیک اروپای مرکزی گزارش کردند در هر سه فصل کاشت، نیتروژن بخش بالایی گیاه نخودفرنگی حاصل از تثبیت بیولوژیکی در کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص بود و کشت مخلوط بطور میانگین ۳۰-۴۰ درصد کارایی بیشتری در استفاده از نیتروژن در مقایسه با کشت خالص هر یک از گیاهان مذکور داشت (Hauggaard-Nielsen et al., 2009). برخی دیگر از پژوهشگران نیز با مطالعه کشت مخلوط شنبلیله-اسفرزه بیان داشتند بیشترین تعداد و وزن گره‌های ریزوبیومی، ارتفاع بوته و تعداد شاخه جانبی شنبلیله متعلق به نسبت کاشت ۲:۱ بود (Gasemi Maham et al., 2016). در ادامه نتایج برخی دیگر از مطالعات در کشت مخلوط نخود و بالنگو نیز نشان داد با افزایش نسبت کاشت بالنگو در مخلوط عملکرد دانه نخود کاهش معنی‌داری یافت. در این بین بالاترین مقدار شاخص نسبت برابری زمین (۱/۵۲) متعلق به نسبت کاشت ۴:۱ (نخود-بالنگو) بود (Maghsoudi et al., 2020). به‌طورکلی افزایش بهره‌وری در کشت مخلوط را می‌توان به بهبود شرایط اکولوژیکی در جذب نیتروژن و تولید ترکیبات ثانویه نسبت داد (Hosseini and Hamzei, 2021). در این بین با توجه به اهمیت گیاه همراه در کشت مخلوط و فرضیه دسترسی به نیتروژن تثبیت‌شده گیاه لگوم توسط گیاه همراه مجاور، انتخاب صحیح گونه مناسب ضروری به نظر می‌رسد.

چیا با نام علمی *Salvia hispanica* L. گیاهی یکساله، خودگشن، روزکوتاه از خانواده نعناییان، مقاوم به خشکی و گیاه باستانی متعلق به آمریکای جنوبی است که دانه آن منبع غنی امگا، ۳ آنتی‌اکسیدان‌ها و سایر ترکیبات مغذی و فاقد ترکیبات سمی و آلرژی زا می‌باشد. به همین دلیل به‌عنوان گیاهی دارویی، روغنی و خوراکی در سراسر جهان مورد توجه قرار گرفته است. علاوه بر دانه، گیاه و برگ‌ها نیز به دلیل درصد پروتئین و مقدار موسیلاژ بالا مصارف متعددی دارد. بخش عمده‌ای از اطلاعات به‌دست‌آمده در مورد گیاه چیا مربوط به کیفیت بذر و جنبه‌های ژنتیکی است،

درحالی‌که کمبود مطالعات علمی در مورد مدیریت زراعی، جنبه های فیزیولوژیکی و هم‌چنین خصوصیات زراعی به‌شدت احساس می‌شود (Ixtaina et al., 2008; Bochicchio et al., 2015).

به‌طورکلی برای درک کامل چگونگی برهمکنش بین گیاهان، شناخت و عکس‌العمل به گیاهان مجاور بسیار مهم است (Callaway, 2002) و ارزیابی اثرات گیاه مکمل با خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی متفاوت با گیاه لگوم در کشت مخلوط می‌تواند به انتخاب الگوی کشت مناسب در این زمینه کمک شایانی نماید. لذا هدف از این پژوهش بررسی تاثیر رقابت گیاه سویا و چیا در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بصورت جایگزینی بر خصوصیات زراعی و قابلیت تثبیت بیولوژیکی نیتروژن است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری با عرض جغرافیایی '۳۳، ° ۳۶ شمالی و طول جغرافیایی '۰۳، ° ۵۳ شرقی و ارتفاع ۴۳ متر از سطح دریا انجام شد. بافت خاک مزرعه لومی رسی با اسیدیته ۷/۷۴، هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک ۰/۶۱ دسی‌زیمنس بر متر، درصد ماده آلی ۱/۸۳، مقدار فسفر و پتاسیم ۴ و ۱۶۳ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. آزمایش در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. گیاه سویا (رقم ساری) و گیاه چیا (ژنوتیپ Tzotzol) به‌ترتیب در نسبت‌های کاشت ۷۵:۲۵ (سه ردیف سویا-یک ردیف چیا)، ۵۰:۵۰ (دو ردیف سویا-دو ردیف چیا)، ۲۵:۷۵ (یک ردیف سویا و سه ردیف چیا) به همراه کشت خالص گیاه سویا ۱۰۰:۰ (چهار ردیف سویا) و کشت خالص گیاه چیا ۰:۱۰۰ (چهار ردیف گیاه چیا) به روش جایگزینی قرار گرفتند. تعداد خطوط کاشت در هر کرت ۱۲، فاصله بین خطوط ۳۵ سانتیمتر، طول خطوط چهار متر و تراکم نهایی برای هر دو گیاه بطور ثابت ۲۸ بوته در مترمربع بود. عملیات کاشت در تاریخ ۱۵ اردیبهشت به‌صورت هیرم‌کاری و به طریقه دستی انجام شد و بذور سویا پیش از کاشت با باکتری رایزوبیوم ژاپونیکوم (با تراکم سلولی ۱۰۷×۲) تلقیح گردید. هم‌چنین قبل از کاشت کود مورد نیاز با توجه به نتایج تجزیه و تحلیل آزمون خاک به میزان ۳۳ کیلوگرم فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل تأمین شد. آبیاری گیاهان بصورت قطره‌ای به کمک دستگاه تانسیومتر در پتانسیل ماتریک ۰/۴ – بار و عملیات وجین به‌صورت دستی در چهار مرحله و با فاصله زمانی ۱۴ روز انجام شد. عملیات برداشت برای گیاه سویا و چیا به‌ترتیب در تاریخ ۵ آبان و ۲۵ آذر ماه با رعایت اثرات حاشیه (۰/۵ متر از دو طرف هر کرت) با دست و به وسیله قیچی باغبانی از چهار ردیف میانی به تفکیک گیاه مورد نظر و نسبت کاشت انجام شد. همزمان با عملیات برداشت تعداد ۵ بوته از هر یک از گیاهان مورد مطالعه به‌طور تصادفی انتخاب و برای تعیین اجزای عملکرد و اندازه‌گیری خصوصیات مورفولوژیکی گیاه برداشت شد.

جهت محاسبه درصد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی گیاه سویا از تکنیک استخراج اورئید از آوند چوب (Unkovich et al., 2008) استفاده شد. این عملیات در طی شش مرحله از ۴۵ روز پس از کاشت با فاصله زمانی هر ۱۵ روز یکبار انجام شد. سنجش اورئید با دستگاه اسپکتوفتومتر به کمک ترسیم منحنی استاندارد آلانتوئین (y=7.3215x+0.0725, R2=0.99) در طول موج ۵۲۵ نانومتر (Young and Conway, 1942)، آمینونیتروژن با معرف نین‌هیدرین و ترسیم منحنی استاندارد آسپاراژین/ گلوتامین (y=1.2222x+0.0010, R2=0.99) در طول موج ۵۷۰ نانومتر (Herridge, 1984) و در نهایت نیترات نیز در طول موج ۴۱۰ نانومتر و به کمک ترسیم منحنی استاندارد نیترات پتاسیم (y=0.0576x+0.0368, R2=0.99) تعیین گردید (Cataldo et al., 1975). درنهایت مقدار اورئید، آمینو و نیترات (Sa_C)، فراوانی اورئید (Ru-N) و نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی (Ndfa) در مراحل مختلف از طریق کالیبراسیون میزان فراوانی نسبی اورئید در مراحل مختلف رشد با مقادیر ایزوتوپ نیتروژن ۱۵ به‌ترتیب از فرمول‌های زیر تعیین شد (Unkovich et al., 2008).

$$Sa_{.C.} = St_{.C.} \times (O.D_{.St}/ O.D_{.Sa}) \times D_i \quad (۱)$$

$$Ru\text{-}N(\%)=[4\times ur./(4\times ur.+nit.+amin.)]\times 100 \quad (۲)$$

$$Ru\text{-}N(\%) = 0.64\ Ndfa + 7.7$$ (گلدهی)

$$Ru\text{-}N(\%) = 0.64\ Ndfa + 15.9$$ (پس از گلدهی)

در این روابط $Sa_{.C.}$ غلظت نمونه، $St_{.C.}$ غلظت استاندارد، O.D.Sa تراکم بصری نمونه، O.D.St تراکم بصری استاندارد، Di غلظت محلول رقیق شده، Ru-N

فراوانی نسبی اورئید و Ndfa درصد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی است.

هم‌چنین جهت تعیین مقدار نیتروژن در گیاه سویا پس از انجام نمونه‌برداری تخریبی درصد نتیروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی در مراحل مختلف، اندام‌های گیاه سویا به تفکیک در آون الکتریکی تهویه‌دار با درجه حرارت ۷۰°C به مدت ۴۸ ساعت خشک و پس از آن به کمک ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ توزین شدند. درنهایت آماده‌سازی نمونه‌ها به کمک آسیاب آزمایشگاهی انجام و مقدار نیتروژن توسط دستگاه نیتروژن دوماس آنالایزر اندازه‌گیری شد. عملکرد نیتروژن گیاه سویا بر اساس کیلوگرم در هکتار در مراحل مختلف از حاصل‌ضرب میزان کل ماده خشک در مقدار نیتروژن (گرم در گرم ماده خشک) تعیین گردید.

نسبت برابری زمین (Mead and Willey, 1980)، اثر خالص (NE)، اثر مکملی (CE) و اثر انتخابی (SE) از طریق فرمول‌های زیر (Loreau and Hector, 2001) اندازه‌گیری شدند.

$$LER = (LER\ a + LER\ b) \quad (۳)$$

$$LER_a = \left(\frac{Yi_a}{Ym_a}\right) \quad LER_b = \left(\frac{Yi_b}{Ym_b}\right) \quad (۴)$$

$$NE = CE + SE \quad (۵)$$

$$CE = N \times \Delta\overline{RY} \times \overline{M} \quad (۶)$$

$$SE = N \times cov(\Delta RY.M) \quad (۷)$$

در این روابط Y_{ia} و Y_{ib} عملکرد گیاه a و b در کشت مخلوط، Y_{ma} و Y_{mb} عملکرد گیاه a و b در کشت خالص، Z_{ia} و Z_{ib} سهم گیاه a و b در کشت مخلوط، NE اثر خالص، CE اثر مکملی، SE اثر انتخابی، N تعداد گونه در کشت مخلوط، ΔRY میانگین عملکرد نسبی دو گونه، M میانگین عملکرد گیاهان در کشت خالص، cov (ΔRY, M) کوواریانس بین عملکرد نسبی بدست آمده در کشت مخلوط و خالص است.

درنهایت جهت تجزیه آماری داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها از نرم‌افزار سیستم آنالیز آماری SAS (۹/۱) استفاده شد. مقایسات میانگین داده‌ها با آزمون کم‌ترین تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح پنج درصد و رسم نمودارها به‌کمک نرم‌افزار Excel و Sigma Plot انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نسبت‌های مختلف کاشت اثر معنی‌داری بر ارتفاع نهایی گیاه سویا ($p < ۰/۰۵$) و چیا ($p < ۰/۰۱$) داشتند (جدول‌های ۳ و ۱). در خصوص گیاه سویا کشت خالص (۱۰۰:۰) و نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (چیا-سویا) به‌ترتیب با میانگین ۶۵/۵۱ و ۵۳/۷۵ سانتی‌متر دارای بیشترین و کمترین ارتفاع بوته بودند. هر چند از لحاظ آماری نسبت کاشت ۵۰:۵۰ تفاوت معنی‌داری با نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (چیا-سویا) نداشت (جدول ۲).

Table 1. Analysis of variance (mean squares) of different intercropping ratios effects on studied traits of soybean

S.O.V	df	Plant height (cm)	No. of branch per plant	No. of pods per plant	1000 -grain weight (g)	Seed yield (kg. ha^{-1})
Blocks	3	14.35	1.81	628.79	231.25	352390.06
Treatment	3	149.06*	3.11*	1057.11*	1306.71**	5434287.39**
Residual	9	28.54	0.47	204.36	78.27	78229.42.
Total	15	428.58	1.03	459.80	354.55	1204273.15
CV (%)		9.04	24.61	17.43	4.46	8.05

ns, * and **: Not significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

Table 2. Mean comparison of the Soybean studied traits in different planting ratios

Planting ratios (Soybean-Chia)	Plant height (cm)	No. of branches per plant	No. of pod per plant	1000 seed weight (gr)
100:0	65.51a±2.13	2.01b±0.53	62.50c±14.91	202.28ab±13.43
75:25	63.12a±2.14	2.12b±0.48	75.62bc±10.91	173.13c±6.61
50:50	54.02b±2.04	3.37a±0.75	90.62ab±8.18	201.75b±10.34
25:75	53.75b±8.65	3.75a±1.26	99.25a±17.83	216.15a±11.64

Means in each column followed by similar latter(s) are not significantly different at 5% probability, using LSD test, and values are means±standard deviation (X̄±SD).

Table 3. Analysis of variance (mean squares) of different intercropping ratios effects on studied traits of chia

S.O.V.	df	Plant height (cm)	No. of branch per plant	No. of inflorescences per plant	1000 -grain weight (g)	Seed yield (kg. ha^{-1})
Blocks	3	40.73	2.89	96.23	0.01	1217.73
Treatment	3	2358.40 **	40.73 **	202.56 *	0.06 **	438022.62 **
Residual	9	124.01	4.17	50.51	0.01	5136.38.
Total	15	554.23	11.23	90.06	0.02	90929.90
CV (%)		6.17	15.94	30.98	4.46	15.41

ns, * and **: Not significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

به‌طورکلی با کاهش تعداد ردیف کاشت گیاه سویا در کشت مخلوط ارتفاع نهایی ساقه کاهش یافت. درحالی‌که این نتایج در خصوص گیاه چیا صادق نبود و ارتفاع نهایی گیاه مذکور با کاهش سهم ردیف کاشت در نسبت‌های مختلف افزایش یافت. به‌نحوی که مقدار آن در نسبت‌های کاشت ۲۵:۷۵، ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵ (چیا-سویا) به‌ترتیب ۲۱/۰۱، ۲۴/۲۰ و ۳۹/۶۶ درصد بیشتر از کشت خالص گیاه چیا (۰:۱۰۰) بود (جدول ۴).

با توجه به نوع تاج‌پوشش گیاه سویا در نسبت‌های کاشت، به نظر می‌رسد افزایش تعداد ردیف گیاه مذکور در الگوی کشت مخلوط می‌تواند ضمن کاهش نفوذ نور به درون کانوپی باعث افزایش رقابت و ارتفاع گیاه چیا شود. در این زمینه برخی محققان بیان داشتند کاهش تشعشع فعال فتوسنتزی و مقدار نسبت نور قرمز به قرمز دور باعث ایجاد سازگاری از طریق اختصاص ماده خشک به اندام هوایی و افزایش ارتفاع ساقه گیاه زراعی می‌شود (Wu et al., 2017; Yang et al., 2018). کاهش ارتفاع گیاه لگوم و در مقابل افزایش ارتفاع گیاه همراه در کشت مخلوط توسط برخی از پژوهشگران نیز گزارش شده است (Monti et al., 2016; Zaeem et al., 2019). هر چند نتایج مطالعه برخی دیگر از محققین در این زمینه نشان‌دهنده افزایش ارتفاع بوته گیاه لگوم در کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص می‌باشد (Namdari et al., 2012; Rabiee and Farahdahr, 2020). از آنجا که انتخاب نوع گیاه و الگوی کاشت نقش مهمی در ایجاد رابطه مکملی و ساختار فضایی متفاوت برای دستیابی به حداکثر رابطه مکملی در کشت مخلوط دارد (Stomph et al., 2020) بنابراین به نظر می‌رسد طول دوره رشد بیشتر و در مقابل سرعت رشد کمترگیاه چیا باعث ایجاد رقابت بین‌گونه‌ای در مراحل آغاز رشد زایشی گیاه سویا شده است. این موضوع می‌تواند یکی از دلایل کاهش ارتفاع ساقه سویا در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط باشد.

نسبت‌های مختلف کاشت هم‌چنین اثر معنی‌داری ($p<0/05$) بر تعداد شاخه‌فرعی گیاه سویا داشتند (جدول ۱). بیشترین تعداد شاخه فرعی با میانگین ۳/۷۵ متعلق به نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (چیا-سویا) بود. به‌طورکلی با کاهش تعداد ردیف کاشت گیاه سویا و در اختیار داشتن فضای مناسب در کشت مخلوط تعداد شاخه‌فرعی افزایش یافت. در این بین تعداد شاخه‌فری گیاه سویا در نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (چیا-سویا) از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با کشت خالص گیاه سویا (۱۰۰:۰) نداشت (جدول ۲). افزایش تعداد شاخه‌های فرعی گیاه سویا در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص و افزایش ۶۷/۶۶ و ۸۶/۵۶ درصدی صفت مذکور به‌ترتیب در نسبت‌های کاشت ۵۰:۵۰ و ۲۵:۷۵ (چیا-سویا) می‌تواند به دلیل وجود سازوکار جبرانی و تنظیم دقیق منبع-مخزن در گیاه سویا باشد که با نسبت نور قرمز به قرمز دور تاج‌پوشش در طول مراحل اولیه رشد فعال‌شده و باعث بهبود فتوسنتز، تخصیص بیشتر ماده خشک به شاخه‌های فرعی و در نتیجه افزایش آنها می‌شود (Luca and Hungria, 2014; Corassa et al., 2018). علاوه بر مطالب مذکور اثر نسبت‌های مختلف کاشت بر تعداد شاخه فرعی گیاه چیا نیز معنی‌دار ($p<0/01$) بود (جدول ۳) و با افزایش سهم چیا در نسبت کشت مخلوط تعداد شاخه فرعی افزایش یافت. بیشترین تعداد شاخه فرعی چیا متعلق به کشت خالص چیا (۰:۱۰۰) بود و تعداد شاخه‌فرعی چیا در نسبت کاشت ۲۵: ۷۵ (چیا-سویا) ۲۷/۹۴ درصد کمتر از کشت خالص چیا بود (جدول ۴). با توجه به نتایج فوق، به نظر می‌رسد سازوکار رقابتی گیاه

مذکور در الگوی کشت مخلوط از طریق افزایش ارتفاع ساقه و توسعه شاخه‌های فرعی در سطوح بالای تاج‌پوشش گیاه سویا انجام شده و این سازوکار مورفولوژیکی باعث پایداری قابلیت رقابت گیاه چیا در الگوی کشت مخلوط شده است. افزایش تعداد شاخه‌فرعی گیاه لگوم در کشت مخلوط توسط برخی از محققین گزارش شده است (Namdari et al., 2012; Hosseini and Hamzei, 2021).

تعداد غلاف در بوته گیاه سویا

نتایج تجزیه واریانس نشان داد نسبت‌های مختلف کاشت اثر معنی‌داری ($p <$ ۰/۰۵) بر تعداد غلاف در بوته گیاه سویا داشتند (جدول ۱). نسبت‌کاشت ۲۵:۷۵ (چیا-سویا) و کشت خالص سویا (۰:۱۰۰) به‌ترتیب با میانگین ۹۹/۲۵ و ۶۲/۵۰ دارای بیشترین و کمترین تعداد غلاف در بوته بودند (جدول ۲). به‌طورکلی با کاهش تعداد ردیف کاشت سویا در کشت مخلوط تعداد غلاف در بوته افزایش یافت و گیاه سویا در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص در تولید تعداد غلاف در بوته موفق‌تر بود. به‌طورکلی وجود سازوکار جبرانی و تنظیم دقیق منبع-مخزن باعث بهبود فتوسنتز و تخصیص بیشتر ماده خشک به اندام زایشی شده (Corassa et al., 2018) لذا این موضوع می‌تواند یکی از مهم‌ترین دلایل افزایش ۵۸/۸۰، ۴۴/۹۹ و ۲۰/۹۹ درصدی تعداد غلاف سویا به‌ترتیب در نسبت‌های ۲۵:۷۵، ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵ (چیا-سویا) باشد.

تعداد گل‌آذین در بوته گیاه چیا

هم‌چنین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط اثر معنی‌داری ($p <$ ۰/۰۵) بر تعداد گل‌آذین در بوته گیاه چیا داشتند (جدول ۳). کشت خالص گیاه چیا (۰:۱۰۰) با میانگین ۳۱/۷۵ و نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (چیا-سویا) با میانگین ۱۵/۵۵ به ترتیب دارای بیشترین و کمترین تعداد گلاذین در بوته بود و با کاهش سهم کاشت گیاه چیا در الگوی کشت مخلوط تعداد گل‌آذین در بوته کاهش یافت (جدول ۴). به‌طوری‌که مقدار آن در نسبت‌های کاشت ۲۵:۷۵، ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵ (چیا-سویا) به‌ترتیب در مقایسه با کشت خالص (۰:۱۰۰) ۲۰/۴۷، ۳۹/۵۳ و ۵۱/۰۲ درصد کاهش یافت. هر چند از لحاظ آماری تعداد گل‌آذین در بوته در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشت (جدول ۴). ذکر این نکته ضروری است که گیاهان در شرایط سایه‌دهی سازگاری را از طریق اختصاص کربن حاصل از فتوسنتز به طویل شدن ساقه و مصرف مواد فتوسنتزی برای توسعه برگ آغاز می‌کنند. ادامه این فرآیند برای گیاه هزینه‌بر می‌باشد و باعث کاهش سهم اندام‌زایشی گیاه از میزان مواد فتوسنتزی تولید شده می‌شود (Yang et al., 2018). لذا این موضوع نقش مهمی در کاهش ۳۹/۵۳ و ۵۱/۰۲ درصدی اندام زایشی گیاه چیا در نسبت‌های کاشت ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵ (چیا-سویا) داشته است.

وزن هزار دانه

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده نسبت‌های مختلف کاشت اثر معنی‌داری بر وزن هزار دانه گیاه سویا ($p <$ ۰/۰۱) و چیا ($p <$ ۰/۰۱) داشتند (جدول‌های ۳ و ۱). بیشترین و کمترین وزن هزار دانه در گیاه سویا به‌ترتیب مربوط به نسبت کاشت ۲۵:۷۵ و ۷۵:۲۵ (چیا-سویا) بود. هر چند از لحاظ آماری وزن هزار دانه گیاه سویا در کشت خالص (۰:۱۰۰) تفاوت معنی‌داری با نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (چیا-سویا) نداشت (جدول ۲). اما در خصوص گیاه چیا نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (چیا-سویا) با میانگین ۰/۹۳ گرم دارای بیشترین وزن هزار دانه بود. نسبت کاشت ۵۰:۵۰ نیز با میانگین ۰/۹۱ گرم تفاوت معنی‌داری با نسبت کاشت مذکور نداشت (جدول ۴).

Table 4. Mean comparison of the Chia studied traits in different planting ratios

Planting ratios (Soybean-Chia)	Plant height (cm)	No. of branches per plant	No. of inflorescences per plant	1000 seed weight (gr)
0 : 100	148.75 c ±10.31	17.02 a ±2.58	31.75 a ±9.97	0.71 b ±0.06
25 : 75	180.01 b ±11.04	12.75 b ±5.91	25.25 ab ±10.14	0.70 b ±0.13
50 : 50	184.75 b ±9.67	10.25 c ±2.06	19.20 b ±6.18	0.91 a ±0.11
75 : 25	207.75 a ±9.53	12.25 bc ±1.26	15.55 b ±2.64	0.93 a ±0.08

ns, * and **: Not significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.
Means in each column followed by similar latter(s) are not significantly different at 5% probability, using LSD test, and values are means±standard deviation ($\bar{X}$±SD).

نتایج مطالعات پژوهشگران نشان داد آستانه تحمل اثر سایه‌دهی گیاه سویا در الگوی کاشت جهت دستیابی به عملکرد مطلوب در حدود ۳۰-۲۰ درصد است (Khalid et al., 2018). بنابراین به نظر می‌رسد افزایش بیشتر نفوذ نور به درون تاج‌پوشش کشت مخلوط نقش مهمی در افزایش توان فتوسنتزی و ماده خشک گیاه سویا در نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (چیا-سویا) داشته است. هر چند نتایج برخی از مطالعات کاهش وزن هزار دانه سویا را در کشت مخلوط گزارش کردند (Kabebew, 2014; Osang et al., 2015). نتایج مذکور را می‌توان به اثر سایه‌دهی تاج‌پوشش گیاه همراه در کشت مخلوط نسبت داد. از طرفی افزایش وزن هزار دانه گیاه چیا در نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (چیا-سویا) نیز می‌تواند مربوط به کاهش تعداد گل‌آذین و در نتیجه تعداد دانه در الگوی کاشت مذکور باشد. این موضوع سهم دانه از میزان ماده خشک موجود را افزایش داده است.

میزان تثبیت بیولوژیکی نیتروژن

نسبت‌های مختلف کاشت اثر معنی‌داری بر درصد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی در طی مراحل مختلف رشد داشتند (شکل ۱).

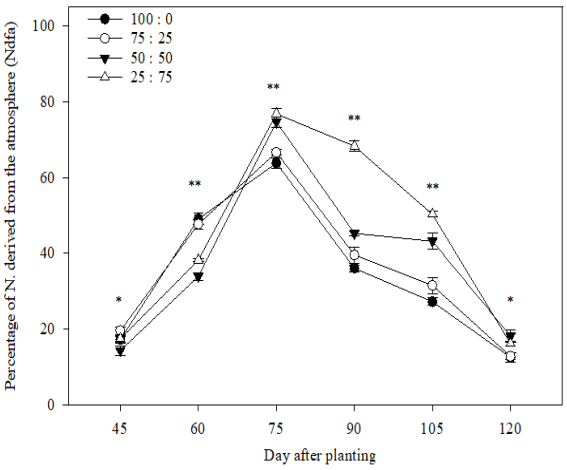

Figure. 1. The average percentage of Nitrogen derived from the atmosphere in soybean during the growing season and at different planting ratios (Soybean-Chia) (vertical bars on the points represent the standard error (SE) and ns, * and, **: not significant, Significant at 5% and 1% probability levels, respectively)

قابلیت تثبیت بیولوژیکی در کشت مخلوط سویا با گیاه چیا تا مرحله ۷۵ روز پس از کاشت افزایش و پس از آن دچار سیر نزولی شد. در مرحله ۷۵ روز پس از کاشت نسبت ۲۵:۷۵ (چیا-سویا) و کشت خالص (۱۰۰:۰) به ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقدار درصد تثبیت بیولوژیکی نیتروژن بودند. به نحوی که میزان فعالیت تثبیت بیولوژیکی در نسبت‌های ۲۵:۷۵، ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵ (چیا-سویا) به‌ترتیب ۲۰/۳۱، ۱۶/۹۷ و ۴/۳۹ درصد بیشتر از کشت خالص (۱۰۰:۰) بود. هر چند از لحاظ آماری نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (چیا-سویا) تفاوت معنی‌داری با کشت خالص سویا نداشت (شکل ۱). به‌طورکلی در طی مراحل مختلف رشد، درصد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی نسبت‌های مختلف کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص بهبود پیدا کرد و در این بین مقدار آن با کاهش نسبت گیاه سویا در کشت مخلوط افزایش یافت. در مرحله ۹۰ روز پس از کاشت (آغاز غلاف‌دهی) درصد افزایش نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی گیاه سویا در نسبت ۲۵:۷۵ در مقایسه با نسبت ۷۵:۲۵ (چیا-سویا) ۷۲/۶۵ درصد افزایش یافت (شکل ۱). در این خصوص نتایج مطالعات پژوهشگران نشان داد کاهش تراکم سویا و دریافت نور بیشتر در مراحل رشد زایشی باعث تحریک بیشتر فتوسنتز، وزن خشک ساقه، اندازه گره و قابلیت تثبیت بیولوژیکی نیتروژن در مقایسه با رشد رویشی می‌شود (Luca and Hungria, 2014; Yang et al., 2018). لذا بهبود فتوسنتز و میزان ماده خشک گیاه باعث فزایش اختصاص آن به ترشحات ریشه در نسبت‌های کشت مخلوط و بهبود فعالیت باکتری رایزوبیوم در ریزوسفر می‌شود و این موضوع ضمن تأمین منابع کربن برای تشکیل و فعالیت گره‌ها، مقدمات افزایش کارایی تثبیت بیولوژیکی را فراهم می‌کند. لذا افزایش ۱۶/۹۷ و ۲۰/۳۱ درصدی تثبیت بیولوژیکی نیتروژن به‌ترتیب در نسبت‌های ۵۰:۵۰ و ۲۵:۷۵ (چیا-سویا) در مقایسه با کشت خالص (۱۰۰:۰) می‌تواند حاصل نتایج مذکور باشد. به‌طورکلی افزایش کربن ساختمانی منجر به تسهیل انتقال اورئید در گیاه سویا می‌شود که مهم‌ترین ترکیب نیتروژن دار سنتز شده با نسبت کربن به نیتروژن پایین در گره سویا می‌باشد. علاوه بر آن با افزایش سن گیاه و به دلیل وجود سازوکار جبرانی و

مقـررات خـودتنظیمی بـین منبـع و مخـزن میـزان اختصاص کربن به اندام‌های زیرزمینی جهت ترشـحات ریشـه کـاهش می‌یابـد (Hungria et al., 2006; Oluwaseyi et al., 2019). ایـن موضـوع باعـث کـاهش فعالیت تثبیت بیولوژیکی در مراحـل انتهـایی رشـد در نسبت‌های کشت مخلوط شد.

به‌طوری‌که در مرحله ۱۲۰ روز پس از کاشت میزان فعالیت تثبیت بیولوژیکی گیاه سـویا در کشـت خـالص (۱۰۰:۰)، نسـبت کاشـت ۷۵:۲۵، ۵۰:۵۰ و ۲۵:۷۵ (چیـا-سویا) به‌ترتیب ۵۳/۷۵، ۵۹/۱۴، ۵۷/۹۱ و ۶۷/۷۷ درصد در مقایسه بـا مرحلـه قبـل (۱۰۵ روز پـس از کاشـت) کاهش یافت. درنهایت با کاهش سهم کاشت گیاه سـویا در کشت مخلوط، بسته شدن کانوپی و هم‌چنین ایجـاد رقابت بین گونه‌ای در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط تقاضا برای نیتروژن جهت تـداوم رقابـت و همیـاری در اسـتفاده از منـابع افـزایش یافـت. از نظـر اکولـوژیکی، استفاده مکملی از منابع بـه معنـی کـاهش همپوشـانی آشیان‌های اکولوژیکی و رقابت بـین گونـه‌ها در کشـت مخلـوط اسـت کـه اجـازه می‌دهـد گیاهـان در کشـت مخلوط از محدوده وسیع‌تر و مقدار بیشتری از منابع در مقایسه با کشت خالص برخـوردار باشـند (Stomph et al., 2020). افزایش قابلیت تثبیت بیولوژیکی گیاه لگـوم در کشت مخلوط توسط سایر پژوهشگران نیـز گـزارش شـده اسـت (Ruhlemann et al., 2015; Hu et al., 2016).

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد نسـبت‌های مختلـف کاشـت اثـر معنـی‌داری بـر عملکـرد دانـه گیـاه چیـا ($p<۰/۰۱$) و سویا ($p<۰/۰۱$) داشتند (جـداول ۳ و ۱). کشت خالص سویا (۱۰۰:۰) و چیا (۰:۱۰۰) به‌ترتیب با میانگین ۴۶۲۹/۵۷ و ۸۲۳/۱۴ کیلوگرم در هکتار دارای بیشترین و کمترین مقدار عملکرد دانه بودنـد. در بـین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط نیز بیشـترین میـزان عملکرد دانه مربـوط بـه نسـبت کاشـت ۷۵:۲۵ (چیـا-سویا) بـا میـانگین ۴۱۷۷/۳۶ کیلـوگرم در هکتـار بـود (جدول ۵). بـه‌طورکلی بـا کـاهش سـهم گیـاه چیـا در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط درصد مشارکت گیـاه مذکور در عملکرد بشدت کاهش می‌یابد. مقـدار درصـد مشـارکت گیـاه چیـا در نسـبت‌های ۲۵:۷۵، ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵ (چیا-سـویا) بـه ترتیـب ۲۵/۱۶، ۷/۸۴ و ۲/۵۴ درصد بود. اما گیاه سویا درصـد مشـارکت بیشـتری در مقایسه با گیاه چیا داشت (جدول ۵).

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده عملکرد گیاه چیـا تنهـا در نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (چیا-سـویا) بیشـتر از مقـادیر قابل انتظار بود (۶/۰۳+) درحالی‌که گیاه سویا در تمامی نسبت‌های مختلف کشت مخلوط نسبت به مقادیر قابل

Table 5. Mean comparison of seed yield (kg. ha^{-1}) in different planting ratios

Total Yield (Kg. ha^{-1})	Expected Yield: Actual yield (%)	Soybean: Actual yield (Kg. ha^{-1})	Soybean: Expected Yield (Kg. ha^{-1})	Expected Yield: Actual yield (%)	Chia: Actual yield (Kg. ha^{-1})	Chia: Expected Yield (Kg. ha^{-1})	Planting ratios (Soybean-Chia)
823.14 e ±94.77	-	-	-	-	823.14 a ±94.77	823.14 a ±94.77	0 : 100
2601.23d±154.82	+68.19	1946.66 d ±213.65	1157.39d ±370.34	+6.03	654.57b ±72.64	617.35b ±71.07	25 : 75
3524.88c±171.16	+40.33	3248.35 c ±126.66	2314.78c ±246.89	- 32.81	276.53 c ±47.46	411.57c ±47.38	50 : 50
4177.36b±532.39	+17.25	4071.24 b ±530.62	3472.17b ±370.34	- 48.43	106.12d ±10.75	205.78d ±23.69	75 : 25
4629.57a±493.78	-	4629.57 a ±493.78	4629.57a ±493.78	-	-	-	100 : 0
446.11 **		254.92 **	447.39 **		48.93 **	114.64 **	LSD (0.05)
9.19		5.51	8.05		5.94	15.41	C.V. %

ns, * and **: Not significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

Means in each column followed by similar latter(s) are not significantly different at 5% probability, using LSD test, and values are means±standard deviation (X̄±SD).

انتظار از نظر تولید عملکرد دانه موفق‌تر بود و با کاهش سهم ردیف کاشت گیاه سویا و در نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (چیا-سویا) مقدار عملکرد در مقایسه با مقادیر قابل پیش‌بینی افزایش بیشتری یافت (۶۸/۱۹+). افزایش کارایی گیاه سویا در کشت مخلوط توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Layek et al., 2015; Yang et al., 2018). بررسی تاثیر رقابت گیاه چیا و سویا بر عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) نیز نشان داد با کاهش سهم کاشت گیاه چیا در الگوی کشت مخلوط، عملکرد دانه در مقایسه با مقدار قابل پیش‌بینی کاهش یافت به نحوی که این مقدار در نسبت کاشت ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵ (چیا-سویا) به‌ترتیب ۳۲/۸۱- و ۴۸/۴۳- درصد بود. اما در بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط، مقدار عملکرد دانه گیاه چیا در نسبت ۲۵:۷۵ (چیا-سویا) در مقایسه با مقدار قابل انتظار ۶/۰۳ درصد افزایش یافت (جدول ۵). این روند در خصوص گیاه سویا صادق نبود و با کاهش سهم کاشت گیاه در کشت مخلوط مقدار عملکرد دانه در نسبت‌های کاشت ۷۵:۲۵، ۵۰:۵۰ و ۲۵:۷۵ (چیا-سویا) به‌ترتیب ۱۷/۲۵، ۴۰/۳۳ و ۶۸/۱۹ درصد در مقایسه با مقادیر قابل پیش‌بینی افزایش یافت. با توجه به برآیند عملکرد گیاه چیا و سویا در کشت مخلوط و هم‌چنین قابلیت جبرانی افزایش محصول گیاه سویا در مقابل کاهش عملکرد گیاه چیا، تاثیر رقابت دو گیاه از نوع مکملی مثبت است (شکل ۲). هر چند افزایش ۶/۰۳ درصدی عملکرد گیاه چیا در نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (چیا-سویا) در مقایسه با مقدار قابل پیش‌بینی باعث تغییر حالت رقابت از نوع مکملی مثبت به همیاری دو جانبه شده است.

نسبت‌های مختلف کاشت دارای نسبت برابری زمین بیشتر از واحد بودند (جدول ۶). نسبت کاشت ۲۵:۷۵ و ۷۵:۲۵ (چیا-سویا) به ترتیب با میانگین ۱/۲۲ و ۱/۰۱ دارای بیشترین و کمترین مقدار شاخص مذکور بودند. به عبارت دیگر با کاهش غالبیت گیاه سویا، درصد حاصل از اضافه محصول تولید شده در الگوی کشت مخلوط افزایش یافته و در نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (چیا-سویا) به ۲۲ درصد می‌رسد. هم‌چنین نتایج بررسی اجزای اثر خالص در کشت مخلوط نیز نشان داد ایجاد رابطه مکملی مثبت در نسبت‌های کاشت ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵ (چیا-سویا) به دلیل افزایش سهم تسلط رقابتی گونه پرمحصول در الگوی کشت مخلوط است (جدول ۶). به همین دلیل در نسبت‌های کاشت مذکور به‌ترتیب ۸۳/۲۹ و ۹۳/۵۶ درصد از عملکرد دانه در نتیجه اثر انتخابی و تسلط رقابتی گیاه سویا در کشت مخلوط حاصل شده است. اما بر خلاف نتایج مذکور در نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (چیا-سویا) بطور میانگین ۷۵/۳۷ درصد از عملکرد دانه به علت ایجاد تعادل و تسهیل در رقابت بین‌گونه‌ای است. در حالی‌که در نسبت‌های کاشت ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵ (چیا-سویا) سهم اثر انتخابی و تسلط رقابتی گیاه سویا بر عملکرد دانه بسیار بیشتر از اثر مکملی بود.

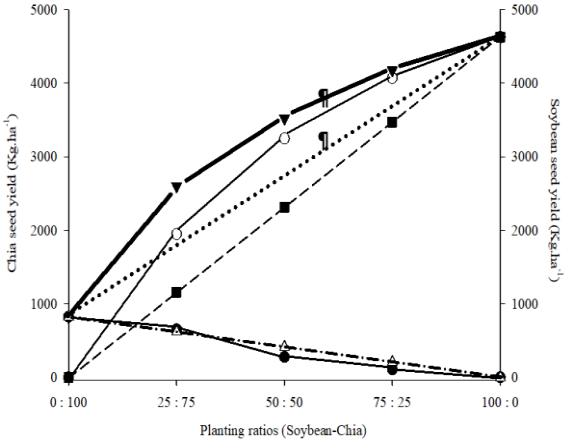

Figure. 2. The effect of Niger and Soybean crop competition on total dry weight in different planting ratios (Soybean-Chia) and the studied years (● Actual seed yield of Chia, ○ Actual seed yield of Soybean, ▼Total actual yields of Chia and Soybean in intercropping, △Expected of seed yield in Chia, ■ Expected of seed yield in Soybean)

Table 6. Intercropping index of Soybean and Chia in different planting ratios

Intercropping index	Planting ratios (Soybean-Chia)			Intercropping index	Planting ratios (Soybean-Chia)		
	75 : 25	50 : 50	25 : 75		75 : 25	50 : 50	25 : 75
Li Soybean	0.88	0.71	0.42	Net Effect	499.39	798.52	826.48
Li Chia	0.13	0.34	0.80	Complementary effect	32.14	133.39	622.95
LER	1.01	1.05	1.22	Select Effect	467.25	665.13	203.53

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد رقابت گیاه چیا در کشت مخلوط می‌تواند ضمن بهبود اجزای عملکرد موجب افزایش قابلیت تثبیت بیولوژیکی گیاه سویا شود. علاوه بر آن ایجاد رابطه مکملی (۷۵/۳۷ درصد) و تعادل در رقابت گیاه چیا و سویا باعث افزایش کارایی کشت مخلوط و شاخص نسبت برابری زمین (۱/۲۲) در نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (چیا-سویا) شد. اما در نسبت‌های کاشت ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵ (چیا-سویا) سهم اثر انتخابی و تسلط رقابتی گیاه سویا بر عملکرد دانه بسیار بیشتر از اثر مکملی بود. درنهایت از آنجا که تثبیت بیولوژیکی نیتروژن به میزان زیادی تحت تأثیر الگوی کاشت و گونه همراه در کشت مخلوط قرار دارد، لذا انتخاب گونه مکمل در کشت مخلوط می‌تواند نقش مهمی در این زمینه داشته باشد و موجب افزایش انعطاف‌پذیری و پایداری در سیستم‌های کشاورزی کم نهاده شود.

سپاس‌گزاری

بدین‌وسیله از راهنمایی ارزنده جناب آقای دکتر میر احمد موسوی شلمانی در پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای و همچنین مساعدت آقای دکتر حجت قربانی واقعی عضو هیئت علمی دانشگاه گنبد کاووس و مدیر عامل شرکت اندیشه ورزان آب‌نما گستر صمیمانه تشکر می‌نمائیم.

References

Angland, J., Billen, G., & Garnier, J. (2015). Relationships for estimating N2 fixation in legumes: incidence for N balance of legume-based cropping systems in Europe. *Ecosphere,* 6(3), 1-24.

Bochicchio, R., Philips, T.D., Lovelli, S., Labella, R., Galgano, F., Di Marisco, A., & Amato, M. (2015). Innovative crop productions for healthy food: the case of chia (*Salvia hispanica* L.). In Vastola, A. (Ed). *The sustainability of agro-food and natural resource system in the Mediterranean basin* (pp: 29-47). Switzerland: Springer Press.

Callaway, R. M. (2002). The detection of neighbors by plants. *Trends in Ecology and Evolution,* 17(3), 104-105.

Cardoso, E. J. B. N., Nogueira, M. A., & Ferraz, S. M. G. (2007). Biological N2 fixation and mineral N in common bean – maize intercropping or sole cropping in southeastern Brazil. *Experimental Agriculture,* 43, 319-330.

Cataldo, D. A., Haroon, M., Schrader, L. E., & Youngs, V. L. (1975). Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis,* 6(1), 71-80.

Corassa, G. M., Amado, T. J. C., Strieder, M. L., Schwalbert, R., Pires, J. L. F., Carter, P.R., & Ciampitti, I.A. (2018). Optimum soybean seeding rates by yield environment in Southern Brazil. *Agronomy Journal,* 110(6), 1-9.

Gasemi Maham, S., Fallah, S., & Tadaion, M. R. (2016). Variation in root and shoot growth, rhizobium nodules of Fenugreek (Trigonella foenum gracum) under fertilizer treatments and intercropping with Isabgol (Plantago ovate). *Plant Productions,* 39(1), 35-46. [In Farsi]

Hangria, M., & Mendes, I. C. (2015). Nitrogen fixation with soybean: the perfect symbiosis. In Bruijn, F. J. (Ed.), *Biological nitrogen fixation* (pp. 1009-1023.). New Jersey: John Wiley and Sons Press, ,

Hauggaard-Nielsen, H., Gooding, M., Ambus, P., Corre-Hellou, G., Crozat, Y., Dahlmann, C., … & Jensen, E.S. (2009). Pea–barley intercropping for efficient symbiotic N_2-fixation, soil N acquisition and use of other nutrients in European organic cropping systems. *Field Crop Research,* 113(1), 64-71.

Herridge, D. F. (1984). Effects of nitrate and plant development on the abundance of nitrogenous solutes in root-bleeding and vacuum extracted exudates of soybean. *Crop Science,* 24(1), 173-179.

Hosseini, S. F., & Hamzei, J. (2021). Evaluation of quantitative and qualitative yield of Dracocephalum kotschyi Boiss. in conditions of intercropping with bean in Hamedan region. *Medicinal and Aromatic Plants,* 36(6), 923-946. [In Farsi]

Hu, F., Gan, Y., Chai, Q., Feng, F., Zhao, C., Yu, A., … & Zhang, Y. (2016). Boosting system productivity through the improved coordination of interspecific competition in maize-pea strip intercropping. *Field Crop Research,* 198(1), 50-60.

Hungria, M., Franchini, J. C., Campo, R. J., Crispino, C. C., Moraes, J. Z., Sibaldelli, R. N. R., … & Arihara, J. (2006). Nitrogen nutrition of soybean in Brazil: contributions of biological N2 fixation and of N fertilizer to grain yield. *Canadian Journal of Plant Science,* 86(4), 927-939.

Islam, M. A., & Adjesiwor, A. T. (2018). Nitrogen fixation and transfer in agricultural production systems. In Amanullah, K., & Fahad, S. (Ed.). *Nitrogen in agriculture* (pp. 95-110). London: INTECH Press.

Ixtaina V. Y, Nolasco, S. M., & Tomas, M. C. (2008). Physical properties of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. *Industrial Crops and Products,* 28(3), 286-293.

Kabebew, S. (2014). Intercropping soybean (*Glycine max* L. Merr.) at different population densities with maize (*Zea mays* L.) on yield component, yield and system productivity at Mizan Teferi, Ethiopia. *Journal of Agricultural Economics, Extension and Rural Development,* 1(7), 121-127.

Khalid, M. H. B., Reza, M. A., Yu, H. Q., Sum, F. A., Zhang, Y. Y., Lu, F. Z., … & Li., W. C. (2018). Effect of shade treatments on morphology, photosynthetic and chlorophyll flurescence characteristics of soybeans (*Glycine max* L. merr.). *Applied Ecology and Environmental Research,* 17(2), 2551-2569.

Layek, J., Shivakunar, B. G., Rana, D. S., & Munda, S. (2015). Effect of nitrogen fertilization on yield, intercropping indices and produce quality of different soybean+cereal intercropping systems. *Indian Journal of Agronomy,* 60(2), 230-235.

Loreau, M., & Hector, A. (2001). Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments. *Nature,* 412(1), 72-76.

Luca, M. J. D., & Hungria, M. (2014). Plant densities and modulation of symbiotic nitrogen fixation in soybean. *Scientia Agricola,* 71(3), 181-187.

Lv, Y., Francis, C., Wu, P., Chen, X., & Zhao, X. (2014). Maize–Soybean intercropping interactions above and below ground. *Crop Science,* 54(3), 914-922.

Maghsoudi, A., Ezadi Darbandi, E., & Moaey, E. (2020). Evaluating yield and land equivalent ratio in mixcropping of balangu (Lallemantia royleana Benth.) and chickpea (Cicer arietinum L.) affected by weed competition. *Iranian Journal of Pulses Research*, 10(2), 90-103.

Mead, R., & Willey, R. W. (1980). The concept of a land equivalent ratio and advantages in yields for intercropping. *Experimental Agriculture,* 16(3), 217-228.

Monti, M., Pellicano, A., Santonoceto, C., Preiti, G., & Pristeri, A. (2016). Yield components and nitrogen use in cereal-pea intercrops in Mediterranean. *Field Crop Research,* 196(1), 379-388.

Namdari, M., Behdani, M. A., & Arab, Gh. (2012). Effect of yield, yield components and seed quality of intercropping soybean cultivars in Gaem shahr weather conditions. *Plant Productions,* 34(3), 13-25. [In Farsi]

Oluwaseyi, S. O., Ayangbenro, A. S., Glick, B. R., & Babalola, O. (2019). Plant health: feedback effect of root exudates-rhizobiome interactions. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103(3), 1155-1166.

Osang, P. O., Richard, I. B., & Degri, M. M. (2015). Assessment of the agronomic performance of two varieties of soybean as influence by time of introduction of maize and cropping pattern. *International Letters of Natural Sciences,* 31(1), 36-46.

Rabiee, M., & Farahdahr, F. (2020). Evaluation of yield and advantages of forage legumes with cereals intercropping as second crop in paddy fields. *Plant Productions,* 43(3), 363-374. [In Farsi]

Ruhlemann, L., & Schmidtke, K. (2015). Evaluation of mono-cropped and intercropped grain legumes for cover cropping in no-tillage and reduced tillage organic agriculture. *European Journal of Agronomy,* 65(1), 83-94.

Stomph, T., Dordas, C., Baranger, A., De Rijk, J., Dong, B., Evers, J., … & Werf, W. V. (2020). Designing intercrops for high yield, yield stability and efficient use of resources: Are there principles: 1-50. In: Sparks, D. L., (Ed.). *Advances in agronomy* (p. 350). Amsterdam: Elsevier Press.

Unkovich, M., Herridge, D. F., Peoples, M., Cadisch, G., Boddey, B., Giller, K., … & Chalk, P. (2008). *Measuring plant-associated nitrogen fixation in agricultural systems.* Australian Center for International Agricultural Research (ACIAR). P. 258.

Willer, H., & Lernoud, J. (2017). The world of organic agriculture. *Statistics and emerging trends 2017* (pp. 1-336). Research Institute of Organic Agriculture FiBL and IFOAM Organics International.

Wu, Y., Gong, W., & Yang, W. (2017). Shade inhibits leaf size by controlling cell proliferation and enlargement in soybean. *Scientific Reports,* 7(1), 1-10.

Yang, F., Fan, Y., Wu, X., Cheng, Y., Liu, Q., Feng, L., … & Yong, T. (2018). Auxin-to-gibberellin ratio as a signal for light intensity and quality in regulating soybean growth and matter partitioning. *Frontiers Plant Science,* 9(56), 1-13.

Yang, W., Li, Z., Wang, J., Wu, P., & Zhang, Y. (2013). Crop yield, nitrogen acquisition and sugarcane quality as affected interspecific competition and nitrogen application. *Field Crop Research,* 146, 44-50.

Young, E.G., & Conway, C.F. (1942). On the estimation of allantoin by the Rimini-Schryver reaction. *Journal of Biological Chemistry,* 142(1), 839-853.

Yu, Y., Stomph, T. J., Makowski, D., & Werf, W. V. (2015). Temporal niche differentiation increases the land equivalent ratio of annual intercrops: A meta-analysis. *Field Crop Research,* 184(1), 133-144.

Zaeem, M., Nadeem, M., Pham, T., Ashiq, W., Ali, W., Gilani, S. S., … & Thomas, R. (2019). The potential of corn-soybean intercropping to improve the soil health status and biomass production in cool climate boreal ecosystems. *Scientific Reports,* 9(1), 1-17.