Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Plant Production Research

Print ISSN: 2322-2050
Online ISSN: 2322-2778

Improvement of resource use efficiency, profitability and productivity of potato by intercropping with green bean

Javad Hamzei[*1], Javad Sedighi Kamel[2]

1. Corresponding Author, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. E-mail: j.hamzei@basu.ac.ir
2. M.Sc. Student, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. E-mail: sedigi055@gmail.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 01.03.2022
Revised: 02.09.2022
Accepted: 04.18.2022

Keywords:
Land equivalent coefficient,
Multiple cropping,
Potato,
Relative yield,
Urea fertilizer

ABSTRACT

Background and Objectives: Potato (*Solanum tuberosum* L.) is a global food crop, and Iran with more than 5 million tons of production, ranks 13th among the world's biggest producers of potatoes. Hamedan province is also one of the main potato producers in Iran. In this crop, the yields of quantity and quality are very dependent on an adequate application of nitrogen. However, the relatively shallow root system of the potato crop, coupled with its large nitrogen and water requirement increases the risk of nitrogen leaching. Therefore, optimizing N consumption for potato is important, both for maximizing production and for minimizing N loss to groundwater. Sustainable agriculture can play a significant role in achieving this goal. One of the methods for achieving sustainable agriculture is to create diversity by using intercropping of different plants in agriculture. Hence, the purpose of this experiment was to evaluate the response of potato as well as the resources use efficiency to intercropping with green bean.

Materials and Methods: The experiment was conducted as a factorial based on randomized complete block design with three replications in 2016 growing season at the Research Farm of the Bu-Ali Sina University. Planting patterns in four levels (potato sole cropping, planting green bean between potato rows, planting green bean within potato rows, and planting green bean between and within potato rows), and three levels of urea fertilizer (0, 174 and 348 kg urea/ha) were the experimental factors. To calculate the advantages of intercropping, the pure stand of green bean was also cultivated in three replications. In intercropping, 50% of the density of green bean was added to pure stand of potato. The tuber yield, percentage and yield of tubers in different size, leaf chlorophyll content of potato, nitrogen and water use efficiency, as well as total relative yield (RYT) and land equivalent coefficient (LEC) indices were calculated and evaluated. SAS 9.1 software was used for analysis of variance (ANOVA) calculations. Also, the difference between the means was evaluated by the least significant difference (LSD) method at the level of 5% probability.

Results: The interaction of treatments on traits was significant except for the number of main stems and tubers per plant. The highest number and weight of root nodules were obtained from the green bean planting between potato rows with consumption of 174 kg urea/ha, and the lowest values of these traits (with 55.89 and 61.8% reduction compare to green bean planting between potato rows with consumption of 174 kg urea/ha,

respectively) were belonged to the green bean planting within potato rows with consumption of 348 kg urea/ha. Also the highest potato leaf chlorophyll (1.21 mg per fresh weight) was revealed at the green bean planting between potato rows with consumption of 174 kg urea/ha. Maximum total tuber yield and yield of commercial tubers (42.5 and 16 ton/ha, respectively) were revealed at the green bean planting between potato rows with consumption of 348 kg urea/ha. However, this treatment did not show a significant difference with the treatment of green bean planting between potato rows at the fertilizer level of 174 kg urea/ha for the traits of total tuber yield and yield of commercial tubers. Based on economical yield, the highest water and urea fertilizer use efficiency (53.99 kg/mm, 132.10 kg/kg, respectively) were obtained from the treatment of green bean planting between potato rows at the fertilizer level of 174 kg urea/ha. The highest total relative yield (1.53) and land equivalent coefficient (0.47) were also achieved from the green bean planting between potato rows with consumption of 174 kg urea/ha.

Conclusion: Generally, green bean planting between potato rows with consumption of 174 kg urea/ha compare to potato sole cropping with application of 348 kg urea/ha, improved the yield of potato and the efficiency of resources use. Therefore, it seems that this planting pattern is low input agricultural techniques and in addition to the satisfactory production can also reduce nitrogen chemical fertilizer consumption.

Cite this article: Hamzei, Javad, Sedighi Kamel, Javad. 2023. Improvement of resource use efficiency, profitability and productivity of potato by intercropping with green bean. *Journal of Plant Production Research*, 29 (4), 101-119.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/JOPP.2022.19809.2903
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۵۰
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۷۸

افزایش بهره‌وری استفاده از منابع، سودآوری و باروری سیب‌زمینی از طریق کشت مخلوط با لوبیاسبز

جواد حمزه‌ئی*[۱]، جواد صدیقی کامل[۲]

۱. نویسنده مسئول، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران. رایانامه: j.hamzei@basu.ac.ir
۲. دانشجوی کارشناسی‌ارشد زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران. رایانامه: sedigi055@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۳
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۹

واژه‌های کلیدی:
چند کشتی،
سیب‌زمینی،
ضریب معادل زمین،
عملکرد نسبی،
کود اوره

چکیده

سابقه و هدف: سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) یکی از محصولات غذایی جهانی است و ایران با بیش از پنج میلیون تن تولید، رتبه سیزدهم را در بین بزرگ‌ترین تولیدکنندگان سیب‌زمینی جهان دارد. استان همدان نیز یکی از تولیدکنندگان اصلی سیب‌زمینی در ایران است. در این محصول، عملکرد کمی و کیفی بسیار وابسته به عرضه کافی نیتروژن است. با این‌حال، ریشه نسبتاً کم‌عمق سیب‌زمینی همراه با نیاز زیاد نیتروژن و آب آن، خطر آبشویی نیترات را افزایش می‌دهد. بنابراین، بهینه‌سازی مصرف نیتروژن برای سیب‌زمینی، هم برای به حداکثر رساندن تولید و هم برای به‌حداقل رساندن ورود نیتروژن به آب‌های زیرزمینی مهم است. جهت دستیابی به این هدف، کشاورزی پایدار می‌تواند نقش قابل‌توجهی داشته باشد. یکی از روش‌های رسیدن به کشاورزی پایدار، ایجاد تنوع با استفاده از کشت مخلوط گیاهان مختلف است. از این‌رو، هدف این آزمایش پاسخ سیب‌زمینی و نیز کارایی استفاده از منابع به کشت مخلوط با لوبیاسبز بود.

مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در فصل زراعی ۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی‌سینا انجام شد. الگوهای کشت در چهار سطح (کشت خالص سیب‌زمینی، کشت لوبیاسبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی، کشت لوبیاسبز روی ردیف‌های سیب‌زمینی و کشت لوبیاسبز بین و روی ردیف‌های سیب‌زمینی) و مصرف کود اوره در سه سطح (صفر، ۱۷۴ و ۳۴۸ کیلوگرم در هکتار) فاکتورهای آزمایش بودند. جهت محاسبه سودمندی کشت مخلوط، لوبیاسبز نیز به‌صورت خالص در سه تکرار کشت شد. در کشت‌های مخلوط، ۵۰ درصد تراکم لوبیاسبز در مترمربع به کشت خالص سیب‌زمینی اضافه شد. عملکرد غده، درصد و عملکرد غده‌های با اندازه مختلف، محتوای کلروفیل برگ سیب‌زمینی، کارآیی مصرف نیتروژن و آب و نیز شاخص‌های مجموع

عملکرد نسبی (RYT) و ضریب معادل زمین (LEC) محاسبه و ارزیابی شدند. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 انجام و تفاوت بین میانگین‌ها به روش حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد بررسی شد.

یافته‌ها: اثر متقابل تیمارها بر صفات مورد بررسی به‌جز تعداد ساقه اصلی در بوته و تعداد غده در بوته معنی‌دار شد. بیش‌ترین تعداد و وزن گره تثبیت‌کننده نیتروژن از کشت لوبیاسبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی با مصرف ۱۷۴ کیلوگرم اوره در هکتار حاصل شد و کم‌ترین میزان این صفات (به‌ترتیب با ۵۵/۸۹ و ۶۱/۸۰ درصد کاهش نسبت به تیمار کشت لوبیاسبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی با مصرف ۱۷۴ کیلوگرم اوره در هکتار) به تیمار کشت لوبیاسبز روی ردیف‌های سیب‌زمینی با مصرف ۳۴۸ کیلوگرم اوره در هکتار تعلق گرفت. هم‌چنین، کشت مخلوط لوبیاسبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی با مصرف ۱۷۴ کیلوگرم اوره در هکتار، بیش‌ترین کلروفیل برگ سیب‌زمینی (۱/۲۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) را داشت. بیش‌ترین عملکرد کل و عملکرد غده‌های تجاری (به‌ترتیب ۴۲/۵۰ و ۱۶ تن در هکتار) نیز به تیمار کشت لوبیاسبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی با مصرف ۳۴۸ کیلوگرم اوره در هکتار اختصاص یافت. ولی، این تیمار با تیمار کشت مخلوط لوبیاسبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی با مصرف ۱۷۴ کیلوگرم اوره در هکتار از نظر عملکرد کل و عملکرد غده‌های تجاری تفاوت معنی‌دار نداشت. بر اساس عملکرد اقتصادی نیز بیش‌ترین کارائی مصرف آب (۵۳/۹۹ کیلوگرم بر میلی‌متر) و کود اوره (۱۳۲/۱۰ کیلوگرم بر کیلوگرم) از تیمار کشت مخلوط لوبیاسبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی با مصرف ۱۷۴ کیلوگرم اوره در هکتار حاصل شد. بالاترین مجموع عملکرد نسبی (۱/۵۳) و ضریب معادل زمین (۰/۴۷) نیز از کشت لوبیاسبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی با مصرف ۱۷۴ کیلوگرم اوره در هکتار به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: در مجموع کشت لوبیاسبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی با مصرف ۱۷۴ کیلوگرم اوره در هکتار در مقایسه با کشت خالص سیب‌زمینی همراه با مصرف ۳۴۸ کیلوگرم اوره در هکتار، عملکرد غده سیب‌زمینی و کارائی استفاده از منابع را بهبود بخشید. ازاین‌رو، به‌نظر می‌رسد این الگوی کشت در راستای کشاورزی کم‌نهاده بوده و می‌تواند ضمن تولید محصول رضایت‌بخش، مصرف کود شیمیایی نیتروژنه را نیز کاهش دهد.

استناد: حمزه‌ئی، جواد، صدیقی کامل، جواد (۱۴۰۱). افزایش بهره‌وری استفاده از منابع، سودآوری و باروری سیب‌زمینی از طریق کشت مخلوط با لوبیاسبز. *نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۲۹ (۴)، ۱۱۹-۱۰۱.

DOI: 10.22069/JOPP.2022.19809.2903

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

در علوم کشاورزی چشم‌داشت به قوانین طبیعی به شکل‌های مختلفی متجلی شده است که نمونه آن کشاورزی پایدار است. کشاورزی پایدار تلفیقی از دانش مدیریت است که می‌تواند در بلندمدت از نظر زیست‌محیطی و اقتصادی ارزش افزوده مطلوبی به‌همراه داشته باشد. یکی از راه‌کارهای حرکت به‌سمت کشاورزی پایدار، ایجاد تنوع و به‌کارگیری کشت مخلوطی از گونه‌ها و ارقام مختلف در زراعت است (۱). هم‌چنین جهت افزایش بهره‌وری در نظام کشاورزی، مدیریت منابع و نهاده‌ها نیز نقش اساسی دارند. توجه به راهبردهای مدیریتی مختلف می‌تواند ضمن افزایش حاصلخیزی پایدار خاک به افزایش تولید در واحد سطح منجر گردد. بنابراین، بازنگری در روش‌های متداول زراعت و به‌کارگیری راه‌کارهای مربوط به استفاده بیش‌تر و بهینه از زمین و افزایش تولید، اهمیت خود را بیش از پیش نمایان می‌سازد. کشت مخلوط شیوه زراعی هم‌راستا با اهداف کشاورزی پایدار است که در بسیاری از مناطق دنیا اجرا می‌گردد. از مهم‌ترین دلایل افزایش تولید در کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی، استفاده بهینه از عوامل محیطی مانند نور، آب، زمین و مواد غذایی موجود در خاک ذکر شده است (۲). کشت مخلوط با افزایش تعداد گونه‌ها در واحد سطح به‌عنوان یک راه‌حل برای افزایش تولید در کشاورزی پیشرفته پیشنهاد شده است. بنابراین، در کشت مخلوط انتخاب گیاهانی که کم‌ترین رقابت را در یک بوم‌نظام زراعی ثابت چه از نظر عوامل محیطی و چه از نظر زمان با هم ایجاد می‌کنند، عامل مهمی محسوب می‌شود (۳). کشت مخلوط به‌دلیل برخورداری از ساختار ریشه‌ای گسترده و متفاوت، می‌تواند موجب کاهش آبشویی نیتروژن و در نتیجه کارایی استفاده از این عنصر را افزایش دهد (۴). پژوهش‌گران در کشت مخلوط جو و باقلا گزارش کردند که کشت مخلوط این دو گیاه از عملکرد بیش‌تری نسبت به کشت خالص برخوردار است و دلیل این امر را به استفاده مکملی از مواد مغذی و آب به وسیله اجزاء کشت مخلوط و نیاز به ورودی‌های خارجی کم‌تر بیان کردند (۵). طی بررسی انجام شده در کشت مخلوط تریتیکاله با ارقام مختلف باقلا در شرایط آب و هوایی ارومیه، میزان کلروفیل تریتیکاله به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از کشت خالص تریتیکاله بود. علت این امر تثبیت نیتروژن توسط باقلا گزارش شده است. با توجه به این‌که کلروفیل برگ رابطه مستقیم با نیتروژن دارد می‌توان نتیجه گرفت که هر قدر دسترسی گیاه به نیتروژن زیاد باشد مقدار کلروفیل افزایش می‌یابد و میزان فتوسنتز نیز بهبود خواهد یافت (۶). با توجه به معایب استفاده از کودهای شیمیایی برای تأمین نیتروژن و از طرفی نیاز مبرم گیاهان به این عنصر غذایی، استفاده از لگوم‌ها در کشت مخلوط که توانایی تثبیت نیتروژن دارند می‌تواند به‌عنوان جایگزینی مناسب برای کودهای شیمیایی باشد. به‌طوری که قرار دادن حبوبات در زراعت مخلوط به پایداری بوم‌نظام‌های زراعی کمک می‌کند. زیرا یکی از عوامل مهم که در زراعت‌های مخلوط بیش‌تر تحت‌تأثیر و مورد توجه قرار می‌گیرد، عنصر پر مصرف نیتروژن است. بنابراین، بقولات نقش مهمی در کاهش مصرف نیتروژن ایفاء می‌کنند. بنابراین با عنایت به موارد ذکر شده در خصوص کشت مخلوط و نقش آن در ایجاد بوم‌نظام کشاورزی پایدار، پژوهش حاضر با هدف بهره‌گیری از مزایای کشت مخلوط دو گیاه زراعی سیب‌زمینی و لوبیاسبز و نیز بهبود کارایی مصرف آب و نیتروژن و عملکرد غده‌های تجاری در زراعت سیب‌زمینی اجرا شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در فصل زراعی ۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی‌سینا واقع در روستای دستجرد از توابع شهرستان بهار در فاصله

۳۷ کیلومتری همدان با مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۲ دقیقه طول شرقی، ۳۵ درجه و ۰/۰۳ دقیقه عرض شمالی با ارتفاع ۱۶۹۰ متر از سطح دریا اجرا شد. ویژگی‌های آب و هوایی و فیزیکوشیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در جدول یک ارائه شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های آب و هوایی و فیزیکی- شیمیایی خاک محل آزمایش.

Table 1. Characteristics of the meteorological and soil physico-chemical of the experimental site.

ویژگی‌های آب و هوایی Meteorological properties	فروردین April	اردیبهشت May	خرداد June	تیر July	مرداد August	شهریور September
متوسط دما (درجه سانتی‌گراد) Average temperature (°c)	8.45	15.15	18.65	25.2	24.9	21.7
بارندگی (میلی‌متر) Precipitation (mm)	3.2	0.7	0.4	_	_	_

ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک
Soil physico-chemical properties

هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH	کربن آلی Organic C (%)	نیتروژن کل Total N (%)	پتاسیم قابل‌جذب Available K (ppm)	فسفر قابل‌جذب Available P (ppm)	بافت خاک Soil texture
0.76	7.5	0.9	0.10	210	10.6	Loam

آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عامل اول الگوهای مختلف کاشت در چهار سطح کشت خالص سیب‌زمینی، کشت لوبیاسبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی، کشت لوبیاسبز روی ردیف‌های سیب‌زمینی و کشت لوبیاسبز بین و روی ردیف‌های سیب‌زمینی و عامل دوم کود اوره در سه سطح صفر، ۱۷۴ و ۳۴۸ کیلوگرم در هکتار بودند. در واقع طبق توصیه کودی، ۳۴۸ کیلوگرم اوره در هکتار در کشت خالص سیب‌زمینی لازم بود. بنابراین همراه با سطح کودی توصیه شده، سطح کاهش یافته مصرف کود اوره یعنی ۱۷۴ کیلوگرم در هکتار و نیز عدم کاربرد اوره در ترکیب با کشت‌های مخلوط مورد ارزیابی قرار گرفت. رقم سیب‌زمینی مورد استفاده آگریا بود که رقمی میان‌رس و مناسب برای شرایط آب هوایی منطقه است. در مورد لوبیاسبز نیز از رقم سانری با تیپ رشدی ایستاده از بذور وارداتی آمریکایی استفاده شد. عملیات کاشت سیب‌زمینی و لوبیاسبز به‌طور هم‌زمان و در مورخ ۳۰ اردیبهشت سال ۱۳۹۵ انجام شد. کشت به‌صورت دستی انجام شد و بلافاصله آبیاری انجام گرفت. ابعاد هر کرت آزمایشی به طول شش متر و عرض سه متر (۱۸ مترمربع) بود. بین کرت‌ها در هر بلوک و بین بلوک‌ها ۱/۵ متر فاصله لحاظ شد. در هر کرت پنج ردیف سیب‌زمینی با فاصله بین ردیف ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌های روی ردیف ۲۸ سانتی‌متر (تراکم شش بوته در مترمربع) کشت شد. جهت محاسبه سودمندی کشت مخلوط، لوبیاسبز نیز به‌صورت خالص و با تراکم ۲۴ بوته در مترمربع در سه تکرار کشت شد. در کرت‌های خالص لوبیاسبز شش خط کاشت به طول شش متر و با فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله دو بوته در روی ردیف حدود هشت سانتی‌متر قرار

داشت. در تمامی تیمارهای کشت مخلوط، ۵۰ درصد تراکم کشت خالص لوبیاسبز (۱۲ بوته در مترمربع) به کشت خالص سیب‌زمینی اضافه شد. بدین‌صورت که در کشت مخلوط لوبیاسبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی، لوبیاسبز به فاصله ۳۰ سانتی‌متر از ردیف‌های سیب‌زمینی در بین ردیف‌ها کشت شد. در کشت مخلوط لوبیاسبز روی ردیف سیب‌زمینی، لوبیاسبز به فاصله ۱۴ سانتی‌متر از دو بوته سیب‌زمینی، در روی ردیف کشت شد. در تیمار کشت مخلوط لوبیاسبز در بین و روی ردیف سیب‌زمینی نیز ۵۰ درصد تراکم موردنظر لوبیا در کشت مخلوط (۶ بوته در مترمربع) در بین ردیف و ۵۰ درصد بقیه در روی ردیف و با همان آرایشی قبلی کشت شد. بنابرین تراکم لوبیاسبز در واحد سطح در تمامی تیمارهای کشت مخلوط مساوی و برابر ۱۲ بوته در مترمربع بود. ۱۵۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل و ۱۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار و در زمان آماده‌سازی زمین به خاک اضافه شد. کود اوره به‌صورت سرک در دو نوبت (نیمی از آن موقع کاشت و نیمی دیگر اوایل گلدهی سیب‌زمینی) به خاک اضافه شد. در کشت خالص لوبیاسبز نیز ۴۵ کیلوگرم اوره در هکتار به‌صورت سرک هنگام کاشت استفاده شد. آبیاری به‌صورت بارانی و بر اساس شرایط آب و هوایی و خاک مزرعه، هر شش روز یکبار انجام شد. مقدار آب مصرفی ۸۶۴ میلی‌متر در هکتار بود که با کنتور اندازه‌گیری شد. در طول دوره رشد سه بار به‌صورت دستی علف‌های هرز وجین شدند. جهت اطمینان از فرآیند تثبیت نیتروژن توسط لوبیاسبز، تعداد و وزن گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن در ریشه لوبیاسبز در زمان گلدهی اندازه‌گیری شد. بدین صورت که در این مرحله از رشد، تعداد سه بوته از هر واحد آزمایشی انتخاب و با نهایت دقت ریشه‌های آن‌ها از خاک خارج و شستشو داده شدند. در نهایت تعداد گره در روی ریشه‌ها شمارش و پس از خشک شدن با ترازوی یک صدم گرم توزین شدند. تعداد گره و وزن گره در هر واحد آزمایشی تقسیم بر سه شد تا متوسط تعداد و وزن گره در بوته حاصل شود. هم‌چنین، در طول دوره رشد غلاف‌های سبز لوبیا در سه نوبت در سطحی معادل دو مترمربع برداشت شدند و در نهایت مجموع وزن غلاف‌های برداشت شده از هر کرت به‌عنوان عملکرد لوبیاسبز ثبت گردید. نیمه دوم شهریورماه ۱۳۹۵ تعداد سه بوته در هر کرت انتخاب و بر اساس آن تعداد ساقه اصلی و تعداد شاخه فرعی در بوته سیب‌زمینی اندازه‌گیری و ثبت گردید. مهرماه ۱۳۹۵ نیز عملکرد سیب‌زمینی با برداشت دو مترمربع از هر واحد آزمایشی محاسبه گردید. متوسط تعداد غده در بوته و وزن غده نیز در زمان برداشت و در پنج بوته اندازه‌گیری و ثبت شد. سپس غده‌ها به سه گروه کوچک‌تر از چهار، بین چهار تا هفت و بزرگ‌تر از هفت سانتی‌متر توسط کولیس اندازه‌گیری و جداسازی شدند. عملکرد غده‌های با اندازه‌های مختلف نیز از حاصل‌ضرب درصد آن‌ها در عملکرد غده محاسبه شد. میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل برگ‌های سیب‌زمینی پس از مصرف باقی‌مانده اوره و در مرحله غده‌بندی به روش آرنون اندازه‌گیری شد (۷). جهت محاسبه کارایی مصرف آب (WUE)[1] و نیتروژن از شاخص TLO (کل خروجی زمین)[2] استفاده شد (۸). بدین‌صورت که ابتدا مقدار TLO براساس رابطه یک محاسبه شد و سپس از رابطه دو و سه به‌ترتیب برای تعیین کارایی مصرف آب (۹) و کود اوره (۱۰) استفاده گردید.

1- Water use efficiency
2- Total land output

به‌منظور مقایسه سودمندی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص نیز شاخص‌های مجموع عملکرد نسبی (RYT)[1] و ضریب معادل زمین (LEC)[2] با استفاده از رابطه‌های ۴ و ۵ محاسبه و ارزیابی شدند (۱۱). در محاسبه RYT و LEC از عملکرد کشت خالص سیب‌زمینی در سطح کودی ۳۴۸ کیلوگرم اوره در هکتار و از عملکرد کشت خالص لوبیاسبز که معادل ۱۲ تن در هکتار بود، استفاده شد.

(۱) کل خروجی زمین = محصول گیاه اصلی (تولید اقتصادی یا زیست‌توده سیب‌زمینی) + محصول گیاه همراه (تولید اقتصادی یا زیست‌توده لوبیاسبز)

(۲) کارایی مصرف آب = کل خروجی زمین (کیلوگرم در هکتار) تقسیم بر میزان آب مصرفی (میلی‌متر در هکتار)

(۳) کارایی مصرف کود (کیلوگرم محصول تولیدی بر کیلوگرم کود مصرفی در هکتار) = (محصول کرت کود داده شده منهای محصول کرت شاهد) تقسیم بر میزان کود مصرفی

(۴) مجموع عملکرد نسبی = (عملکرد سیب‌زمینی در مخلوط تقسیم بر عملکرد سیب‌زمینی در خالص)+ (عملکرد لوبیاسبز در مخلوط تقسیم بر عملکرد لوبیاسبز در خالص)

(۵) ضریب برابری زمین = (عملکرد نسبی سیب‌زمینی) × (عملکرد نسبی لوبیاسبز)

تجزیه واریانس داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری SAS 9.4 صورت گرفت و میانگین داده‌ها براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن در ریشه لوبیاسبز: تعداد گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و وزن خشک گره‌ها در ریشه لوبیاسبز تحت‌تأثیر الگوی کشت، اوره و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفت (جدول ۲). بیش‌ترین تعداد و وزن گره در ریشه لوبیاسبز (به‌ترتیب ۲۲/۶۷ گره و ۱/۲۶ گرم در بوته) از کشت لوبیاسبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی با مصرف ۱۷۴ کیلوگرم اوره در هکتار و کم‌ترین این صفات (۱۰ گره و ۰/۴۸ گرم در بوته به‌ترتیب با ۵۵/۸۹ و ۶۱/۸۰ درصد کاهش نسبت به تیمار کشت لوبیاسبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی با مصرف ۱۷۴ کیلوگرم اوره در هکتار) از کشت لوبیاسبز روی ردیف‌های سیب‌زمینی با مصرف ۳۴۸ کیلوگرم اوره در هکتار به‌دست آمد (جدول ۳). مصرف ۳۴۸ کیلوگرم کود اوره در هکتار و افزایش تراکم بر روی ردیف‌های سیب‌زمینی در تیمار کشت لوبیاسبز روی ردیف‌های سیب‌زمینی، تعداد و وزن خشک گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن لوبیاسبز را کاهش داد. در بررسی انجام شده در کشت یونجه گزارش شده است که افزایش تراکم و افزایش رقابت برای منابع باعث کاهش تعداد گره و تثبیت نیتروژن می‌شود (۱۲). هم‌چنین، کابرد زیاد کود نیتروژن منجر به کاهش تثبیت زیستی این عنصر غذایی توسط گیاهان لگوم می‌شود. در کشت مخلوط، کود شیمیایی نیتروژنه مصرف شده عمدتاً توسط گیاه غیرلگوم مصرف می‌شود و گیاه لگوم از نیتروژن تثبیت شده استفاده می‌کند. این امر مصرف کود شیمیایی نیتروژنه را کاهش و کارایی مصرف آن را افزایش می‌دهد (۱۳). این نتایج با یافته‌های حمزه‌ئی و سیدی (۲۰۱۵) در کشت مخلوط لوبیا و سویا با آفتابگردان نیز هماهنگ است (۱۴).

1- Relative yield total
2- Land equivalent coefficient

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر الگوی کشت و کود اوره بر گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، محتوی کلروفیل، تعداد ساقه و غده سیب‌زمینی.

Table 2. Analysis of variance for the effect of planting pattern and urea fertilizer on N_2 fixation nodules, chlorophyll content, branches and tuber of potato.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی¥ df	گره در ریشه لوبیاسبز Nodule in green bean root		کلروفیل برگ سیب‌زمینی Potato leaf chlorophyll			تعداد ساقه در بوته سیب‌زمینی N. of stem in potato plant		غذه در بوته سیب‌زمینی Tuber in potato plant	
		Number	Dry matter	Chl. a	Chl. b	Total Chl.	Main stem	Branches	Number	Weight
تکرار Replication	2	6.26^{ns}	0.15^{**}	0.037^{*}	0.007^{*}	0.069^{*}	0.01^{ns}	2.07^{*}	$0.07^{n.s}$	$196^{n.s}$
الگوی کشت Planting pattern	3	148^{**}	0.74^{**}	0.57^{**}	0.008^{**}	0.106^{**}	0.17^{ns}	1.28^{**}	$0.43^{n.s}$	1229^{*}
اوره Urea	2	76^{**}	0.19^{**}	0.232^{**}	0.032^{**}	0.439^{**}	0.19^{ns}	11.23^{**}	$0.49^{n.s}$	2417^{**}
اثر متقابل Interaction	6	7.81^{*}	0.03^{*}	0.024^{*}	0.003^{*}	0.042^{*}	0.09^{ns}	0.72^{*}	$0.32^{n.s}$	$116^{n.s}$
خطا Error	22	2.71	0.23	0.009	0.001	0.016	0.06	0.23	0.52	147
ضریب تغییرات (درصد) CV%		10.40	10.28	14.65	13.66	14.39	7.76	10.04	12.14	13.05

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و غیرمعنی‌دار

¥ درجه آزادی الگوی کشت و اثر متقابل برای صفات تعداد و وزن گره در ریشه لوبیاسبز به‌ترتیب ۲ و ۴ است

*, ** and ns Significant at the 5% and 1% probability levels and no significant

¥ df of planting pattern and interaction for number and dry weight of nodules in green bean root is 2 and 4, respectively

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل الگوی کشت در کود اوره بر گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن در ریشه لوبیاسبز و محتوی کلروفیل و تعداد شاخه در بوته سیب‌زمینی.

Table 3. Mean comparison for the effect of planting pattern × urea fertilizer interaction on N_2 fixation nodules in green bean root, chlorophyll content and number of branches in potato.

الگوی کشت Planting pattern	اوره Urea (kg/ha)	گره در ریشه لوبیاسبز Nodules in green been root		کلروفیل برگ سیب‌زمینی Chlorophyll (mg/g fresh weight)			تعداد شاخه در بوته سیب‌زمینی Number of branches per potato plant^{-1}
		تعداد Number	وزن خشک Dry weight (g)	کلروفیل a Chl. a	کلروفیل b Chl. b	کلروفیل کل Total Chl.	
کشت خالص سیب‌زمینی Potato monoculture	0	-	-	0.41^{c}	0.14^{d}	0.55^{c}	3.02^{e}
	174	-	-	0.58^{b}	0.22^{bc}	0.80^{b}	4.39^{cd}
	348	-	-	0.77^{a}	0.28^{a}	1.05^{a}	4.92^{bc}
لوبیاسبز بین ردیف سیب‌زمینی Green bean between potato rows	0	19.67^{b}	1.06^{bc}	0.59^{b}	0.21^{c}	0.80^{b}	3.88^{d}
	174	22.67^{a}	1.26^{a}	0.89^{a}	0.32^{a}	1.21^{a}	6.01^{a}
	348	17.00^{b}	0.96^{c}	0.78^{a}	0.28^{a}	1.06^{a}	6.11^{a}
لوبیاسبز روی ردیف سیب‌زمینی Green bean within potato rows	0	12.06^{cd}	0.58^{de}	0.42^{c}	0.14^{d}	0.56^{c}	4.22^{d}
	174	13.10^{c}	0.58^{de}	0.58^{b}	0.21^{bc}	0.79^{b}	5.30^{ab}
	348	10.00^{d}	0.48^{e}	0.76^{a}	0.27^{ab}	1.03^{a}	5.41^{ab}
لوبیاسبز بین و روی ردیف سیب‌زمینی Green bean between and within potato rows	0	18.00^{b}	1.01^{c}	0.59^{b}	0.21^{c}	0.80^{b}	4.33^{d}
	174	19.30^{b}	1.20^{ab}	0.60^{b}	0.21^{bc}	0.81^{b}	5.51^{ab}
	348	11.01^{cd}	0.72^{d}	0.80^{a}	0.29^{a}	1.09^{a}	5.54^{ab}

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) ندارند

In each column, averages with at least one common alphabet have no significant difference based on LSD test

کلروفیل برگ سیب‌زمینی: کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل برگ سیب‌زمینی تحت‌تأثیر الگوی کشت، کود اوره و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفت (جدول ۲). بیش‌ترین میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل برگ سیب‌زمینی (به‌ترتیب ۰/۸۹، ۰/۳۲ و ۱/۲۱ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) و کم‌ترین میزان این صفات (به‌ترتیب ۰/۴۱، ۰/۱۴ و ۰/۵۵ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر و با ۵۴، ۵۶ و ۵۴ درصد کاهش) به‌ترتیب به بوته‌های سیب‌زمینی در تیمارهای کشت لوبیاسبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی با مصرف ۱۷۴ کیلوگرم اوره و کشت خالص سیب‌زمینی بدون دریافت کود اوره تعلق گرفت (جدول ۳). لازم به ذکر است که کلروفیل برگ بوته‌های سیب‌زمینی در تیمار کشت مخلوط لوبیاسبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی با مصرف ۱۷۴ کیلوگرم اوره در هکتار با کلروفیل برگ بوته‌های سیب‌زمینی در الگوهای کشت خالص سیب‌زمینی، کشت مخلوط لوبیاسبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی، کشت مخلوط لوبیاسبز روی ردیف‌های سیب‌زمینی و کشت مخلوط لوبیاسبز بین و روی ردیف‌های سیب‌زمینی با دریافت ۳۴۸ کیلوگرم اوره در هکتار در یک گروه آماری قرار گرفتند. این امر برتری تیمار کشت مخلوط لوبیاسبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی به همراه کاربرد ۱۷۴ کیلوگرم اوره در هکتار را از نظر کاهش مصرف کود شیمیایی نیتروژنه و به‌عبارتی مصرف بهینه کود اوره نشان می‌دهد. در واقع، این نتایج تثبیت نیتروژن توسط لوبیاسبز و انتقال آن به گیاه همراه (سیب‌زمینی) در تیمار کشت لوبیاسبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی با مصرف ۱۷۴ کیلوگرم اوره در هکتار را نشان می‌دهد. به‌طوری‌که این اثر مثبت در فرایند فتوسنتز و تولید محصول (جدول ۵) نیز مشاهده شد. کاهش کلروفیل برگ گندم در اثر کمبود عناصر غذایی توسط سایر پژوهش‌گران نیز گزاش شده است (۱۵). در یولاف گزارش کردند که میزان کلروفیل برگ با نیتروژن رابطه مستقیم دارد و در واقع، نیتروژن باعث سنتز کلروفیل می‌شود (۱۶). سایر پژوهش‌گران نیز علت افزایش کلروفیل برگ در کشت مخلوط را سایه اندازی بوته‌ها روی یکدیگر گزارش کرده اند (۱۷ و ۱۸).

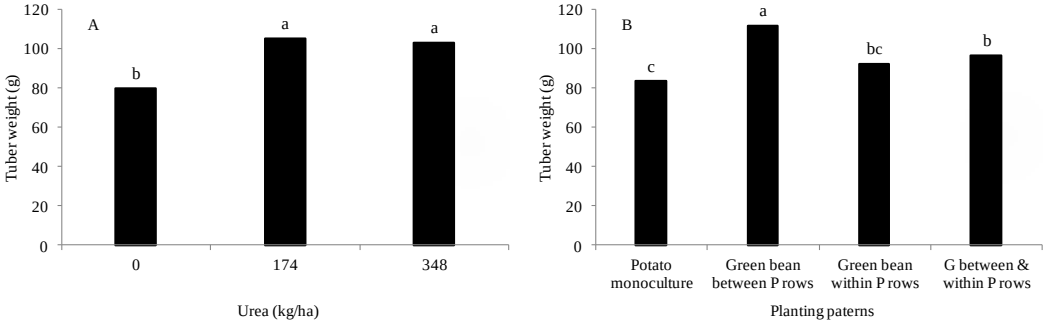
تعداد ساقه اصلی و تعداد شاخه در بوته: تعداد ساقه اصلی در بوته سیب‌زمینی تحت‌تأثیر اثرات اصلی الگوی کشت و اوره و اثر متقابل آن ها قرار نگرفت، ولی اثر الگوی کشت، اوره و اثر متقابل آن‌ها بر تعداد شاخه در بوته معنی‌دار شد (جدول ۲). بیش‌ترین تعداد شاخه در بوته (۶/۱۱ شاخه در بوته) بدون تفاوت معنی‌دار با تیمار کشت مخلوط لوبیاسبز در بین ردیف‌های سیب‌زمینی با مصرف ۱۷۴ کیلوگرم اوره در هکتار، در همان الگوی کشت (کشت مخلوط لوبیاسبز در بین ردیف‌های سیب‌زمینی) با مصرف ۳۴۸ کیلوگرم اوره در هکتار مشاهده شد. تیمار کشت خالص سیب‌زمینی بدون دریافت اوره با تولید ۳/۰۲ شاخه در بوته در پایین‌ترین سطح قرار گرفت (جدول ۳). کشت مخلوط لوبیاسبز در بین ردیف‌های سیب‌زمینی با مصرف ۱۷۴ کیلوگرم اوره در هکتار در مقایسه با کشت خالص سیب‌زمینی بدون دریافت اوره توانست ۵۰ درصد تعداد انشعابات و ساقه‌های فرعی را افزایش دهد. به‌نظر می‌رسد عامل مهم در تولید شاخه بیش‌تر فراهمی نیتروژن باشد. در واقع، تثبیت نیتروژن توسط لوبیاسبز تا حدودی رقابت برای نیتروژن را کاهش داد. در تیمار کشت خالص سیب‌زمینی بدون دریافت اوره عدم دسترسی سیب‌زمینی به نیتروژن و عدم تأثیر مساعدت و نقش مکملی لوبیاسبز، منجر به کاهش تولید شاخه‌های فرعی شد. علت پایین بودن تعداد شاخه‌های فرعی در الگوی کشت لوبیاسبز روی ردیف سیب‌زمینی در دو سطح ۱۷۴ و ۳۴۸ کیلوگرم اوره در هکتار نسبت به دو الگوی کشت مخلوط دیگر (کشت لوبیاسبز بین ردیف سیب‌زمینی و کشت

لوبیاسبز بین و روی ردیف سیب‌زمینی)، تراکم بیش‌تر روی ردیف‌های سیب‌زمینی است. در واقع، افزایش تراکم بوته در روی ردیف باعث رقابت برای جذب نور و مواد غذایی و نیز اشغال فضا می‌شود که این امر کاهش رشد شاخ و برگ و کاهش تعداد شاخه در بوته سیب‌زمینی را به دنبال دارد. در بررسی اثر کاربرد نیتروژن بر رشد و عملکرد سیب‌زمینی بیان شده است که صفاتی مثل تعداد ساقه فرعی تحت‌تأثیر سطوح مختلف نیتروژن قرار می‌گیرد و با افزایش نیتروژن تعداد آن بیش‌تر می‌شود (۱۹). پژوهش‌گران در بررسی کشت مخلوط لوبیا معمولی با سیب‌زمینی بیان کردند که تولید ساقه در بوته سیب‌زمینی به فضای کافی، نور، رطوبت و مواد غذایی نیاز دارد و افزایش تراکم باعث بیش‌تر شدن رقابت بین‌گونه‌ای شده و در نتیجه تولید و توسعه ساقه‌ها کاهش می‌یابد (۲۰). در بررسی انجام شده در کشت مخلوط جو با نخود به‌دلیل افزایش تراکم و در نتیجه کاهش منابع محیطی در دسترس گیاه، تعداد ساقه‌های فرعی کاهش یافت (۲۱).

تعداد و وزن غده سیب‌زمینی: تعداد غده در بوته سیب‌زمینی تحت‌تأثیر الگوی کشت و اوره و هم‌چنین اثر متقابل آن‌ها قرار نگرفت (جدول ۲). تعداد غده در بوته تحت‌تأثیر ژنتیک و رقم بوده و معمولاً همبستگی مثبت با تعداد ساقه اصلی در بوته دارد. پژوهش‌گران در کشت مخلوط سیب‌زمینی با لوبیا چیتی بیان کردند اثر تیمار بر تعداد غده در بوته معنی‌دار نشد (۲۲). هم‌چنین، در بررسی تأثیر کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد سیب‌زمینی بیان نمودند تعداد غده در بوته تحت‌تأثیر تیمارها قرار نگرفت (۲۳).

اثر الگوی کاشت و اوره بر وزن غده‌های سیب‌زمینی معنی‌دار شد. ولی اثر متقابل الگوی کشت در اوره بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۲). مقایسه میانگین سطوح کود اوره از نظر وزن غده بیانگر این بود که بیش‌ترین وزن غده (۱۰۵/۱۰ گرم) با کاربرد ۱۷۴ کیلوگرم کود اوره در هکتار به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با سطح کودی ۳۴۸ کیلوگرم اوره در هکتار نداشت. کم‌ترین وزن غده (۷۹/۵۰ گرم) نیز از عدم مصرف اوره به‌دست آمد (شکل ۱- A). مصرف ۱۷۴ کیلوگرم اوره در هکتار نسبت به عدم مصرف اوره ۲۴/۳۶ درصد وزن غده را افزایش داد. نیتروژن عامل مهمی در توسعه اندام‌های هوایی و نهایتاً نقش مهمی در توسعه سطح فتوسنتزکننده دارد و این عوامل منجر به عملکرد بالا می‌شوند، ولی در این آزمایش با افزایش مقدار اوره مصرفی از ۱۷۴ به ۳۴۸ کیلوگرم در هکتار وزن غده بیش‌تر نشد. در واقع، با مقدار اوره ۱۷۴ کیلوگرم در هکتار نیز همان عملکرد با هزینه کم‌تر به‌دست آمد. این امر بیانگر آن است که با مصرف نیتروژن عملکرد تا حد معینی افزایش می‌یابد ولی از یک مرحله به بعد مصرف بیش‌تر تغییر معنی‌داری در عملکرد به‌وجود نمی‌آورد. به‌طوری‌که پژوهش‌گران در آزمایش‌های خود به این‌که مصرف اضافی نیتروژن منجر به تحریک رشد رویشی اندام‌های هوایی شده و باعث به تأخیر افتادن غده‌بندی، دیررسی، افت عملکرد و کاهش کیفیت می‌شود اشاره کرده‌اند (۲۳). مقایسه میانگین الگوهای مختلف کشت از نظر وزن غده نیز بیانگر این بود که تیمار کشت لوبیاسبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی با متوسط وزن غده ۱۱۱/۳ گرم در بالاترین سطح و تیمار کشت خالص سیب‌زمینی با وزن غده ۸۳/۳ گرم در پایین‌ترین سطح قرار گرفتند (شکل ۱- B). کشت لوبیاسبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی نسبت به کشت خالص ۲۵/۱۵ درصد وزن غده را افزایش داد. وجود همیاری و همزیستی مکملی عامل برتری الگوی‌های کشت مخلوط نسبت به کشت خالص بود و هم‌چنین نوع الگوی کشت مخلوط نیز نقش مهمی در کاهش رقابت برای منابع و افزایش

وزن غده داشت. با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان بیان نمود که تیمار کشت لوبیاسبز در بین ردیف‌های سیب‌زمینی با مصرف ۱۷۴ کیلوگرم اوره در هکتار مناسب‌ترین تیمار برای یک تولید بالا و با هزینه کم‌تر است.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر اوره (A) و الگوی کشت (B) بر وزن غده سیب زمینی.

Fig. 1. Means comparison for the effect of urea (A) and planting pattern (B) on potato tuber weight.

درصد و عملکرد غده‌های با درجات مختلف: درصد و عملکرد غده‌های ریز (غده‌های با قطر کوچک‌تر از ۴ سانتی‌متر)، غده‌های تجاری (غده‌های با قطر بین ۴ الی ۷ سانتی‌متر) و غده‌های درشت (غده‌های با قطر بزرگ‌تر از ۷ سانتی‌متر) به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر الگوی کشت، کود اوره و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفتند (جدول ۴). مقایسه تیمارها از نظر درصد غده‌های ریز بیانگر این بود که کشت خالص سیب‌زمینی بدون دریافت کود بیش‌ترین درصد غده‌های ریز (۴۸/۳ درصد) را به خود اختصاص داد که البته با تیمار کشت لوبیاسبز روی ردیف‌های سیب‌زمینی و بدون دریافت کود (با تولید ۴۳/۴ درصد غده ریز) تفاوتی نداشت. در مقابل، کم‌ترین درصد غده‌های ریز (۱۷/۷ درصد) به تیمار کشت لوبیاسبز بین و روی ردیف سیب‌زمینی با مصرف ۳۴۸ کیلوگرم اوره در هکتار تعلق گرفت. ولی این تیمار با تیمارهای کشت لوبیاسبز روی ردیف‌های سیب‌زمینی با دریافت ۱۷۴ و ۳۴۸ کیلوگرم اوره در هکتار و کشت لوبیاسبز بین و روی ردیف سیب‌زمینی با مصرف ۱۷۴ کیلوگرم اوره در هکتار تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۵). از نظر عملکرد غده‌های ریز نیز تیمارهای کشت خالص سیب‌زمینی بدون دریافت کود و کشت لوبیاسبز بین و روی ردیف‌های سیب‌زمینی با مقادیر صفر و ۱۷۴ کیلوگرم اوره در هکتار بدون تفاوت معنی‌دار در بالاترین سطح قرار گرفتند و تیمار کشت لوبیاسبز روی ردیف‌های سیب‌زمینی با مصرف ۳۴۸ کیلوگرم اوره در هکتار کم‌ترین عملکرد غده‌های ریز (۱/۰۳ تن در هکتار) را داشت (جدول ۵). تمام الگوهای کشت (به‌استثنای کشت لوبیاسبز روی ردیف سیب‌زمینی با مصرف ۱۷۴ کیلوگرم اوره در هکتار) در سطوح کودی ۱۷۴ و ۳۴۸ کیلوگرم اوره در هکتار بدون تفاوت معنی‌دار بالاترین درصد غده‌های تجاری را داشتند و کم‌ترین درصد غده‌های تجاری برابر با ۳۶/۶ درصد نیز به کشت خالص سیب‌زمینی بدون دریافت کود تعلق گرفت. کشت لوبیاسبز بین ردیف سیب‌زمینی در سطح کودی ۳۴۸ کیلوگرم بیش‌ترین عملکرد غده‌های تجاری (۱۶ تن در هکتار) را داشت، ولی این تیمار با کشت خالص سیب‌زمینی در سطح کودی ۱۷۴ کیلو، کشت لوبیاسبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی در سطوح کودی

صفر و ۱۷۴ کیلو، کشت لوبیاسبز روی ردیف‌های سیب‌زمینی در سطح کودی ۳۴۸ کیلو و کشت لوبیاسبز بین و روی ردیف‌های سیب‌زمینی در سطوح کودی ۱۷۴ و ۳۴۸ کیلو تفاوت نداشت. کم‌ترین عملکرد غده‌های تجاری (۱۰/۳۵ تن در هکتار) نیز بدون اختلاف معنی‌دار با کشت خالص سیب‌زمینی و بدون مصرف کود، به تیمار کشت لوبیاسبز بین و روی ردیف‌های سیب‌زمینی بدون دریافت کود اختصاص یافت (جدول ۵). کشت لوبیاسبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی با دریافت ۱۷۴ و ۳۴۸ کیلوگرم اوره در هکتار و کشت لوبیاسبز بین و روی ردیف سیب‌زمینی در سطح کودی ۳۴۸ کیلوگرم اوره در هکتار از نظر درصد و عملکرد غده‌های درشت نسبت به بقیه تیمارها برتری داشتند. هم‌چنین، تمام الگوهای کشت (به‌استثنای کشت لوبیاسبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی) در سطح کودی شاهد پایین‌ترین درصد و عملکرد غده‌های درشت را داشتند (جدول ۵). به‌نظر می‌رسد نیتروژن نقش مهمی در اندازه و رشد غده دارد. در شرایط مصرف کود اوره به شرطی که رقابت بین اندام‌های هوایی و غده‌ها برای مواد پرورده وجود نداشته باشد و نیز در کشت مخلوط با لگوم که تثبیت نیتروژن را در پی دارد، در صورتی که فاصله و تراکم بوته‌ها مناسب و رقابت بین گونه‌ای حداقل باشد، تأثیر معنی‌داری بر رشد غده‌ها خواهد داشت و عملکرد بیش‌تر می‌شود. البته باید در نظر داشت که کاربرد زیادی کود اوره باعث کاهش و افت محصول شده و هم‌چنین باعث به‌وجود آمدن غده‌های بد شکل و بی‌کیفیت می‌شود (۲۳). ریزی و درشتی غده‌ها نقش مهمی در بازارپسندی محصول دارد. بنابراین با فراهم نمودن کود اوره در زمانی که گیاه نیازمند آن است و به کارگیری الگوی کشت مناسب در مخلوط علاوه بر به‌دست آمدن محصول بیش‌تر و اقتصادی‌تر، می‌توان از طریق افزایش غده‌های با اندازه مناسب با بازارپسندی بالا، محصول رضایت بخشی از سیب‌زمینی برداشت کرد.

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر الگوی کشت و کود اوره بر عملکرد سیب‌زمینی و درصد و عملکرد غده‌های با سایزهای مختلف.

Table 4. Analysis of variance for the effect of planting pattern and urea fertilizer on yield of potato and percentage/yield of tubers with different sizes.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد غده Tuber yield	غده‌های کوچک‌تر از ۴ cm Tubers < 4 cm		غده‌های تجاری Commercial tubers (4-7 cm)		غده‌های بزرگ‌تر از ۷ cm Tubers > 7 cm	
			%	Yield	%	Yield	%	Yield
تکرار Replication	2	9.84^{ns}	5^{ns}	0.12^{ns}	27^{*}	10.28^{*}	44^{*}	23.58^{*}
الگوی کشت Planting pattern	3	101.85^{**}	220^{**}	1.35^{**}	20^{*}	9.13^{**}	120^{**}	52.47^{**}
اوره Urea	2	486.00^{**}	1180^{**}	0.82^{**}	129^{**}	21.21^{**}	530^{**}	278.80^{**}
اثر متقابل Interaction	6	11.82^{*}	14^{*}	0.17^{*}	12^{*}	5.00^{*}	24^{*}	15.50^{*}
خطا Error	22	3.84	12	0.06	6	2.08	9	7.46
ضریب تغییرات (درصد) CV%		9.56	12.31	12.20	9.24	10.08	14.00	15.18

*، ** و ^{ns} به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و غیرمعنی‌دار

*, ** and ^{ns} Significant at the 5% and 1% probability levels and no significant

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل الگوی کشت در کود اوره بر عملکرد سیب‌زمینی و درصد و عملکرد غده‌های با اندازه‌های مختلف.

Table 5. Mean comparison for the effect of planting pattern × urea fertilizer interaction on yield of potato and percentage/yield of tubers with different sizes.

الگوی کشت Planting pattern	اوره Urea (kg/ha)	عملکرد غده (ton/ha)	غده‌های کوچک‌تر از ۴ cm Tubers < 4 cm		غده‌های تجاری Commercial tubers (4-7 cm)		غده‌های بزرگ‌تر از ۷ cm Tubers > 7 cm	
			%	Yield (ton/ha)	%	Yield (ton/ha)	%	Yield (ton/ha)
کشت خالص سیب‌زمینی Potato monoculture	0	23.67^{f}	48.3^{a}	2.53^{ab}	36.6^{d}	12.31^{cd}	15.1^{g}	9.00^{f}
	174	33.49^{c}	30.7^{de}	2.07^{cd}	45.1^{ab}	14.79^{ab}	24.2^{d}	16.81^{cd}
	348	37.67^{b}	25.5^{fg}	1.77^{de}	46.5^{ab}	13.03^{c}	28.0^{bc}	22.87^{b}
لوبیاسبز بین ردیف سیب‌زمینی Green bean between potato rows	0	31.02^{cd}	37.3^{bc}	2.10^{cd}	42.7^{c}	15.33^{ab}	20.0^{de}	13.73^{e}
	174	41.51^{a}	21.2^{gh}	2.07^{cd}	46.8^{a}	15.77^{a}	32.0^{a}	23.47^{ab}
	348	42.50^{a}	18.7^{h}	2.10^{bcd}	46.2^{ab}	16.00^{a}	35.1^{a}	24.40^{a}
لوبیاسبز روی ردیف سیب‌زمینی Green bean within potato rows	0	27.33^{e}	43.4^{ab}	2.10^{bcd}	39.7^{c}	13.07^{bc}	19.9^{g}	12.17^{ef}
	174	34.17^{c}	28.3^{ef}	1.60^{e}	44.5^{b}	14.63^{bc}	27.2^{bc}	17.93^{cd}
	348	33.70^{c}	29.7^{e}	1.03^{f}	48.3^{a}	15.13^{ab}	22.0^{de}	16.87^{cd}
لوبیاسبز بین و روی ردیف سیب‌زمینی Green bean between and within potato rows	0	28.53^{de}	36.3^{c}	2.67^{a}	44.5^{b}	10.35^{d}	19.0^{fg}	15.53^{de}
	174	37.51^{b}	23.3^{gh}	2.50^{ab}	46.7^{ab}	15.30^{ab}	30.0^{b}	19.67^{c}
	348	41.67^{a}	17.7^{h}	2.40^{bc}	47.3^{a}	15.79^{a}	35.0^{a}	23.48^{ab}

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) ندارند

In each column, averages with at least one common alphabet have no significant difference based on LSD test

کارایی مصرف آب و کود اوره: کارایی مصرف آب و کود اوره بر اساس عملکرد اقتصادی (P_{EY})[1] و زیست‌توده (P_{BY})[2] سیب‌زمینی و نیز کل عملکرد اقتصادی (TLO_{EY}) و زیست‌توده (TLO_{BY}) (مجموع محصول سیب‌زمینی و لوبیاسبز) محاسبه و ارزیابی شد. کارائی مصرف آب برای عملکرد اقتصادی (P_{EY}) و زیست‌توده (P_{BY}) سیب‌زمینی و نیز کل عملکرد اقتصادی (TLO_{EY}) و زیست‌توده (TLO_{BY}) تحت‌تأثیر الگوی کشت، اوره و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفت (جدول ۶). بیش‌ترین کارائی مصرف آب براساس P_{EY} و TLO_{EY} (به‌ترتیب ۴۹/۱۹ و ۵۳/۹۹ کیلوگرم بر میلی‌متر آب مصرفی) به‌ترتیب از کشت لوبیاسبز بین ردیف سیب‌زمینی با کاربرد ۳۴۸ کیلوگرم اوره در هکتار و کشت لوبیاسبز بین ردیف سیب‌زمینی با مصرف ۱۷۴ کیلوگرم اوره در هکتار حاصل شد. کارایی مصرف آب اقتصادی در الگوهای کشت لوبیاسبز بین ردیف سیب‌زمینی با دریافت ۱۷۴ و ۳۴۸ کیلوگرم اوره در هکتار و کشت لوبیاسبز بین و روی ردیف سیب‌زمینی با مصرف ۳۴۸ کیلوگرم اوره در هکتار مشابه بود. کم‌ترین کارائی مصرف آب براساس عملکرد اقتصادی (۲۷/۳۹ کیلوگرم بر میلی‌متر آب مصرفی) از تیمار کشت خالص سیب‌زمینی و بدون مصرف کود به‌دست آمد. نتایج کارایی مصرف آب برای عملکردهای زیست‌توده (P_{BY} و TLO_{BY}) نیز مشابه کارایی مصرف آب اقتصادی بود. به‌طوری‌که کشت لوبیاسبز بین ردیف سیب‌زمینی با مصرف ۱۷۴ کیلوگرم اوره در هکتار نسبت به کشت خالص سیب‌زمینی بدون مصرف کود مقدار TLO_{EY} و TLO_{BY} را ۴۹ و ۵۳ درصد افزایش داد (جدول ۶). به‌نظر می‌رسد انتخاب الگوی کشت مناسب به‌نحوی

1- Economical yield of potato
2- Biological yield of potato

که رقابت را به حداقل برساند کارایی مصرف آب را در کشت مخلوط بالا می‌برد. از مزایای کشت مخلوط افزایش تولید در واحد سطح، به دلیل استفاده بیش‌تر از منابع مانند نور، آب و مواد غذایی موجود است (۲، ۲۴) که این افزایش تولید منجر به بهبود کارایی مصرف نهاده‌ها می‌شود.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل الگوی کشت در کود اوره بر کارایی مصرف آب و کود.

Table 6. Mean comparison for the effect of planting pattern × urea fertilizer interaction on water and fertilizer use efficiency.

الگوی کشت Planting pattern	اوره Urea (kg/ha)	کارایی مصرف آب (WUE) (kg/mm) §				کارایی مصرف کود اوره (FUE) (kg/kg) ¥			
		P_{EY}*	TLO_{EY}*	P_{BY}*	TLO_{BY}**	P_{EY}*	TLO_{EY}**	P_{BY}**	TLO_{BY}**
کشت خالص سیب‌زمینی Potato monoculture	0	27.39^{f} (-)	27.39^{f} (-)	8.63^{g} (-)	8.63^{f} (-)	-	-	-	-
	174	38.77^{c} (29.35)	38.77^{de} (29.35)	11.61^{de} (25.67)	11.61^{e} (25.67)	56.51^{c} (29.00)	56.51^{d} (29.00)	14.76^{cd} (1.96)	14.76^{e} (1.96)
	348	43.59^{b} (37.16)	43.59^{c} (37.16)	14.47^{ab} (40.36)	14.47^{c} (40.36)	40.12^{de} (-)	40.12^{e} (-)	14.47^{cd} (-)	14.47^{e} (-)
لوبیاسبز بین ردیف سیب‌زمینی Green bean between potato rows	0	35.88^{cd} (23.66)	40.88^{cd} (33.00)	11.23^{e} (23.15)	13.70^{cd} (37.01)	-	-	-	-
	174	48.03^{a} (42.97)	53.99^{a} (49.27)	15.46^{a} (44.18)	18.40^{a} (53.10)	102.49^{a} (60.85)	132.10^{a} (69.63)	33.89^{a} (57.30)	48.49^{a} (70.16)
	348	49.19^{a} (44.32)	53.18^{a} (48.50)	15.71^{a} (45.07)	17.68^{a} (51.19)	54.12^{cd} (25.87)	64.04^{cd} (37.35)	17.56^{c} (17.60)	22.45^{d} (35.55)
لوبیاسبز روی ردیف سیب‌زمینی Green bean within potato rows	0	31.64^{e} (13.43)	35.29^{e} (22.39)	9.71^{fg} (11.12)	11.50^{e} (24.96)	-	-	-	-
	174	39.54^{c} (30.73)	43.34^{c} (36.80)	12.63^{cd} (31.67)	14.47^{c} (40.36)	60.35^{c} (33.52)	79.20^{c} (49.34)	19.83^{bc} (27.03)	28.94^{c} (50.00)
	348	38.16^{c} (28.22)	41.17^{cd} (33.47)	12.88^{cd} (33.00)	14.33^{c} (39.78)	26.73^{e} (-33.37)	34.21^{e} (-17.28)	10.53^{d} (-27.23)	14.11^{e} (-2.49)
لوبیاسبز بین و روی ردیف سیب‌زمینی Green bean between and within potato rows	0	33.02^{de} (17.05)	36.86^{e} (25.69)	10.85^{ef} (20.46)	12.72^{de} (32.15)	-	-	-	-
	174	43.40^{b} (36.89)	47.92^{b} (42.84)	13.63^{bc} (36.68)	15.82^{b} (45.45)	79.50^{b} (49.54)	101.92^{b} (60.64)	24.79^{ab} (41.63)	35.69^{b} (59.46)
	348	48.23^{a} (43.21)	52.08^{a} (47.41)	15.60^{a} (44.68)	17.47^{a} (50.60)	51.734^{d} (22.45)	61.30^{d} (34.55)	17.27^{c} (16.21)	21.93^{d} (34.02)

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

* and ** Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) ندارند

In each column, averages with at least one common alphabet have no significant difference based on LSD test

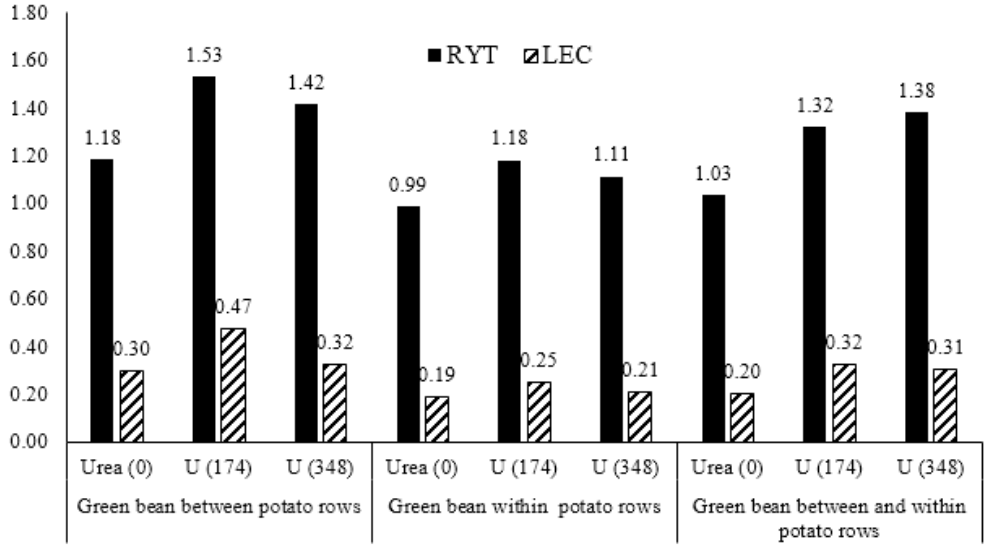
P_{EY}, TLO_{EY}, P_{BY} and TLO_{BY}: potato economic yield, P economic yield + green bean economic yield, P biological yield and P biological yield + G biological yield, respectively

§ اعداد داخل پرانتز در هر ستون بیانگر درصد بهبود کارایی مصرف آب نسبت به کشت خالص سیب‌زمینی در حالت عدم مصرف کود است

¥ اعداد داخل پرانتز در هر ستون بیانگر درصد بهبود کارایی مصرف کود نسبت به کشت خالص سیب‌زمینی در حالت کاربرد ۳۴۸ کیلوگرم اوره در هکتار است

در مورد کارائی مصرف کود اوره نیز نتایج بیانگر این بود که کشت لوبیاسبز بین ردیف سیب‌زمینی با مصرف ۱۷۴ کیلوگرم اوره در هکتار بیش‌ترین میزان را برای پارامترهای P_{EY} (۱۰۲/۴۹ کیلوگرم بر کیلوگرم کود مصرفی)، TLO_{EY} (۱۳۲/۱۰ کیلوگرم بر کیلوگرم کود مصرفی)، P_{BY} (۳۳/۸۹ کیلوگرم بر کیلوگرم کود مصرفی) و TLO_{BY} (۴۸/۴۹ کیلوگرم بر کیلوگرم کود مصرفی) به خود اختصاص داد و در تمام الگوهای کشت از سطح کودی ۱۷۴ به ۳۴۸ کیلوگرم اوره در هکتار، مقدار این شاخص‌ها کاهش یافت (جدول ۶). در این آزمایش تمامی تیمارهای مخلوط به غیر از کشت لوبیاسبز روی ردیف‌های سیب‌زمینی با مصرف ۳۴۸ کیلوگرم اوره در هکتار کارائی مصرف کود را نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند. در کشت مخلوط ذرت و پنبه با افزایش کاربرد نیتروژن از صفر به ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار گزارش کردند که کارائی مصرف نیتروژن در ذرت و پنبه به‌ترتیب ۵۵ و ۳۵ درصد کاهش یافت (۴). از طرفی در بین الگوهای کشت مخلوط با افزایش تراکم بوته روی ردیف‌های سیب‌زمینی، کارائی مصرف کود کاهش پیدا کرد. در این بین تیمار کشت لوبیاسبز در بین ردیف‌های سیب‌زمینی با مصرف ۱۷۴ کیلوگرم اوره در هکتار مناسب‌ترین تیمار از نظر کارائی مصرف کود در سیب‌زمینی و تاج پوشش بود. کارایی مصرف نیتروژن در کشت مخلوط بیش‌تر از کشت خالص است. به عبارت دیگر، دریافت مواد مغذی توسط گیاه می‌تواند از طریق کشت مخلوط بهبود یابد. گیاهان تیره لگومینوز به‌دلیل ویژگی منحصر به فرد آن‌ها در تثبیت بیولوژیک نیتروژن و تولید پروتئین بالا، کارایی سیستم و عملکرد کشت مخلوط را نسبت به تک‌کشتی افزایش می‌دهند (۲۵، ۲۶). کشت مخلوط ذرت و لوبیا نسبت به تک‌کشتی آن‌ها عناصر غذایی را با کارایی بیش‌تری مورد بهره‌برداری قرار می‌دهد که دلیل آن را به تثبیت نیتروژن توسط لوبیا نسبت داده‌اند (۲۷). هم‌چنین، در کشت مخلوط لوبیا چشم بلبلی با ذرت علت برتری در جذب نیتروژن و عملکرد بیش‌تر را به متفاوت بودن نحوه جذب نیتروژن و انتقال نیتروژن تثبیت شده توسط لگوم به غیر لگوم در مخلوط نسبت داده‌اند (۲۵).

مجموع عملکرد نسبی (RYT) و ضریب معادل زمین (LEC): ضریب معادل زمین معیاری از روابط متقابل دو گونه گیاهی در کشت مخلوط است. حداقل ضریب بهره‌وری مورد انتظار ۰/۲۵ یا ۲۵ درصد است. یعنی اگر مقدار LEC از ۰/۲۵ بیش‌تر شود، کشت مخلوط نسبت به کشت خالص از نظر تولید محصول مزیت دارد (۱۱). بیش‌ترین مقدار مجموع عملکرد نسبی (۱/۵۳) و ضریب معادل زمین (۰/۴۷) به کشت مخلوط لوبیاسبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی با دریافت ۱۷۴ کیلوگرم اوره در هکتار تعلق گرفت. کم‌ترین میزان شاخص‌های مجموع عملکرد نسبی و ضریب برابری زمین (به‌ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۱۹) از کشت مخلوط لوبیاسبز در روی ردیف‌های سیب‌زمینی بدون دریافت اوره به دست آمد (شکل ۲). به عبارتی کشت لوبیاسبز در بین ردیف‌های سیب‌زمینی در مقایسه با کشت این گیاه در روی ردیف‌های سیب‌زمینی، به کاهش رقابت بین دو گونه منجر شده است. چرا که در حالت کشت لوبیاسبز در بین ردیف‌های سیب‌زمینی، عملکرد نسبی سیب زمینی بزرگ‌تر ار یک شد (۲۸). در واقع، به‌نظر می‌رسد به علت اشغال فضای موجود در بین ردیف‌های سیب‌زمینی توسط لوبیاسبز، تبخیر آب از سطح خاک کاهش یافته و ضمن استفاده بهینه از آب و سایر منابع، عملکرد سیب‌زمینی نیز بهبود یافته است. نتایج مشابهی در کشت مخلوط کلزا/گندم (۱۹)، نخود/جو (۱۵) و لوبیا/سیاهدانه (۲۱) گزارش شده است.



شکل ۲- مقادیر شاخص‌های مجموع عملکرد نسبی و ضریب برابری زمین در کشت مخلوط سیب‌زمینی با لوبیاسبز.

Fig. 2. Values of total relative yield (RYT) and land equivalent coefficient (LEC) indices in intercropping of potato with green bean.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی نتایج حاصل از این آزمایش بیانگر این است که کشت لوبیاسبز بین ردیف‌های سیب‌زمینی هم‌زمان با کاربرد ۱۷۴ کیلوگرم اوره در هکتار از نظر صرفه‌جویی در مصرف نیتروژن، تولید محصول و کارائی مصرف آب و نیتروژن مناسب‌ترین تیمار بود. هم‌چنین، این تیمار کارایی استفاده از زمین را ۵۳ درصد بهبود بخشید. ازاین‌رو، به‌نظر می‌رسد این الگوی کشت در راستای کشاورزی کم‌نهاده بوده و می‌تواند ضمن بهبود عملکرد سیب‌زمینی و کارایی استفاده از منابع، مصرف کود شیمیایی نیتروژن را نیز کاهش دهد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از همکاری دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی‌سینا و کارکنان مزرعه آموزشی- تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی‌سینا که در اجرای این پایان‌نامه متقبل زحمات زیادی شدند، قدردانی می‌گردد.

منابع

1.Adetiloye, P.O., Ezedinma, F.O.C. and Okigbo, B.N. 1983. A land equivalent coefficient concept for the evaluation of competitive and productive interactions on simple complex mixtures. Ecol Model. 19: 27-39.

2.Ren, Y., Liuc, J., Wangd, Z. and Zhanga, S. 2016. Planting density and sowing proportions of maize–soybean intercrops affected competitive interactions and water-use efficiencies on the Loess Plateau, China. Europ. J. Agron. 72: 70-79.

3.Monti, M., Pellicano, A., Santonoceto, C., Preiti, G. and Pristeri, A. 2016. Yield components and nitrogen use in cereal- pea intercrops in Mediterranean environment. Field Crops Res. 196: 379-388.

4.Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Feizi, H., Amirmoradi, S. and Mondani, F. 2014. Effect of strip intercropping of maize (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) on yield and land equivalent ratio in weedy and weed free conditions. J. Agroecol. 2: 2. 225-235. (In Persian with English abstract)

5.Eslami Khalili, F., Pirdashti, H.A. and Motaghian, A. 2011. Investigation yield (*vicia faba* L.) and (*Hordeum vulgar* L.) at different densities and combinations of mixed crops through competitive indices. J. Agroecol. 3: 1. 94-105.

6.Sori, S., Amirnia, R., Rezaei Chiyaneh, E. and Sheikh, F. 2020. Evaluation of yield and yield components of different faba bean (*Vicia faba* L.) varieties in intercropping with triticale (*Tritico Secale*). Agroecol. 12: 1. 143-159.

7.Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts: Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiol. 24: 1-15.

8.Chapagain, T. and Riseman, A. 2015. Nitrogen and carbon transformations, water use efficiency and ecosystem productivity in monocultures and wheat-bean intercropping systems. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 101: 1. 107-121.

9.Fan, Z., An, T., Wu, K., Zhou, F., Zi, S., Yang, Y., Xue, G. and Wu, B. 2016. Effects of intercropping of maize and potato on sloping land on the water balance and surface runoff. Agric. Water Manage. 166: 9-16.

10.Dordas, A.C. and Sioulas, C. 2008. Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis and water use efficiency response to nitrogen fertilization under rainfed conditions. Ind. Crops Prod. 27: 75-85.

11.Amirmardfar, A., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., Raei, Y., Khaghaninia, S., Amini, R. and Tabataba Vakili, S.H. 2015. Evaluation of yield and yield components of oil seed rape in the wheat-oil seed rape strip intercropping influenced by chemical and biological fertilizers. J. Crop Ecophysiol. 8: 4. 437-450. (In Persian)

12.Aranjuelo, I., Jose Irigoyen, J., Nogues, S. and Sanchez-Diaz, A. 2009. Elevated CO_2 and water-availability effect on gas exchange and nodule development in N_2-fixing alfalfa plants. Environ. Exp. Bot. 65: 18-26.

13.Sobkowicz, P. and Sniady, R. 2004. Nitrogen uptake and its efficiency in triticale (*Tritico secale* Witt.) field beans (*Vicia faba var. minor* L.) intercrop. Plant, Soil and Environ. 50: 11. 500-506.

14.Hamzei, J. and Seyedi, M. 2015. Determination of the best intercropping combination of wheat and rapeseed based on agronomic indices, total yield and land use equivalent ratio. J. Crop Prod. Proc. 2: 109-130. (In Persian with English abstract)

15.Shah, S.H., Houborg, R. and McCabe, M.F. 2017. Response of chlorophyll, carotenoid and SPAD-502 measurement to salinity and nutrient stress in wheat (*Triticum aestivum* L.). Agron. 61: 1-21.

16.Zhao, G.Q., Belt, M.A. and Ren, C.Z. 2007. Growth, gas exchange, chlorophyll fluorescence and ion content of naked oat in response to salinity. J. Crop Sci. 47: 131-132.

17.Hamzei, J. 2012. Evaluation of yield, SPAD index, land use efficiency and system productivity index of barley (*Hordeum vulgare*) intercropped with bitter vetch (*Vicia ervilia*). J. Crop Prod. Proc. 2: 4. 71-79. (In Persian)

18.Rezaei-Chianeh, E., Dabbagh Mohammadi Nassab, A., Shakiba, M.R., Ghassemi-Golezan, K., Aharizad, S. and Shekari, F. 2011. Intercropping of maize (*Zea mays* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.) in different plant population densities. J. Agri. Res. 6: 7. 1786-1793. (In Persian with English abstract)

19.Heydari-Asl, A.R., Majni, H.K., Razmju, G. and Zahedi, M. 2014. Evaluation of the effect of nitrogen application and Planting methods on yield and component yield (*Linum usitatisimum* L.) and (*Trifolium alexandrinum* L.) in the intercropping system. J. Crop Prod. Proc. 5: 17. 311-320. (In Persian)

20.Raei, Y., Bolandnazar, S.A. and Dameghsi, N. 2011. Evaluation of common bean and potato densities effects on potato tuber yield in mono-cropping and intercropping systems. J. Agri. Sci. Sustain. Prod. 21: 2. 131-142. (In Persian with English abstract)

21.Seyedi, M., Hamzei, J., Ahmadvand, G. and Abutalebian, M.A. 2012. The evaluation of weed suppression and crop production in barley-chickpea intercrops. J. Agri. Sci. 22: 3. 101-115. (In Persian with English abstract)

22.Nasrollahzadeh Asl, A., Dabbagh Mohammadi, A., Zehtab, S., Moghadam, M. and Javanshir, A. 2012. Evaluation of potato and pinto bean intercropping. J. Crops Ecophysiol. 2: 22. 111-126. (In Persian with English abstract)

23.Arshadi, M.J., Khazaei, H.R. and Kafi, M. 2013. Evaluation of effect of nitrogen top-dress fertilizer application by using chlorophyll meter on yield, yield components and growth indices of potato. Iranian J. Field Crops Res. 11: 4. 573-582. (In Persian with English abstract)

24.Neugschwandtner, R.W. and Kaul, H. 2015. Nitrogen uptake, use and utilization efficiency by oat–pea intercrops. Field Crop Res. 179: 113-119.

25.Ibrahim, M., Ayub, M., Maqbool, M.M., Nadeem, S.M., Haq, T., Hussain, S., Ali, A. and Lauriault, L.M. 2014. Forage yield components of irrigated maize-legume mixtures at varied seed ratios. Field Crop Res. 169: 140-144.

26.Javanmard, A., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., Javanshir, A., Moghadam, M., Janmohammadi, M., Nasiri, Y. and Shekari, F. 2013. Evaluation of some agronomic and physiological traits and forage quality in maize-legume intercropping as double cropping. J. Agri. Sci. Sustain. Prod. 23: 2. 1-19. (In Persian)

27.Temesgen, A., Fukai, S. and Rodriguez, D. 2015. As the level of crop productivity increases: Is there a rolefor intercropping in smallholder agriculture. Field Crop Res. 180: 155-166.

28.Hamzei, J. and Sedighi Kamel, J. 2020. Effect of green bean (*Phaseolus vulgaris* L.) additive intercropping on growth, potato (*Solanum tuberosum* L.) equivalent yield and land use efficiency under different levels of N fertilizer. J. Agroecol. 11: 4. 1409-1422.