

Growth and physiological characteristics comparison of three lettuce varieties grown in a solid medium and floating system under artificial light

Mohammad Neshaei Moghaddam¹, Hossein Sadeghi², Kamran Ghasemi^{3*}

1-Former MSc. Student, Department of Horticultural Sciences and Engineering, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

2-Associate Professor, Department of Horticultural Sciences and Engineering, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

3- Associate Professor, Department of Horticultural Sciences and Engineering, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

*Corresponding author: kamranghasemi63@gmail.com, k.ghasemi@sanru.ac.ir

(Received: 27 February 2024

Revised: 26 June 2024

Accepted: 08 September 2024)

Extended Abstract

- 1. Introduction:** Lettuce (*Lactuca sativa* L.) is a leafy vegetable produced during cool seasons and has significant economic value. Many commercial greenhouses around the world use soilless cultivation systems to grow lettuce as one of the crops. Hydroponic systems are classified into two main groups based on the structure of the culture medium, which can have different effects on nutrient absorption, growth rate, yield, and quality characteristics of lettuce. The floating cultivation system is a simple and inexpensive hydroponic system that can be used to grow vegetables, particularly lettuce. The most important advantage of floating systems is that they reduce fertilizer waste and environmental pollution. However, replacing the nutrient solution could destroy the advantages of the system. Artificial lights can be used to increase light intensity in greenhouse crops in low-light areas, and supplementary light can also be used to increase the length of lighting hours. This study aimed to investigate the effects of hydroponic, floating, and solid substrate cultivation on the growth and production of three lettuce varieties under artificial light conditions.
- 2. Materials and Methods:** The experiment was conducted in a factorial format based on a completely randomized design, with two factors comprising the cultivation system (solid and floating substrate) and the cultivar (Green French, Iceberg Grizzly, and Butterhead), with three replications. The seeds of lettuce varieties were sown in a seedling tray with a mixture of coir fibre and perlite in a volume ratio of 50:50. Four weeks after sowing, the seedlings were transferred to the main substrate under the following conditions: LED light of 225 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$ intensity, 4 cm from the edge of the pot, the temperature of 21 ± 2 °C, and light/dark period of 16 /8 h. Hoagland solution was used as the nutrient solution for the solid medium, which was fed every three days. Also, lettuces were placed in Hoagland nutrient solution in the floating system. 50 days after transplanting, the lettuces were harvested, and vegetative characteristics, photosynthetic pigments comprising chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, and carotenoids were measured. Also, the photosynthesis efficiency index was measured using the Fluorimeter.
- 3. Results and Discussion:** The French variety had the highest aerial parts fresh weight in the floating system, which was significantly different from that of the Buttered and Grizzly varieties. The highest aerial parts fresh weight in the Grizzly variety was observed in the solid substrate, which was significantly different from that of the Butterhead and French varieties in the solid substrate. The Butterhead variety had significantly lower aerial fresh weight than the superior treatments in this experiment, which were French in the floating system and Grizzly in the solid substrate, regardless of cultivation system type. The Grizzly cultivar grown in solid substrate had the most antioxidant content, which was identical to the Grizzly cultivar grown in the floating system, but significantly higher than other treatments. The cultivation system enhanced antioxidant activity only in the French cultivars. Therefore, the solid substrate increased the antioxidant activity of the leaves in this cultivar compared to the floating system, but the cultivation system did not result in any significant differences in the antioxidant activity of the same cultivar, Butterhead or Grizzly. The Butterhead cultivar in the solid substrate achieved the highest leaf stomatal conductance, which differed significantly from all other treatment combinations, whereas the French cultivar had the lowest stomatal conductance in the floating system, and there were no significant differences between them on solid substrates.
- 4. Conclusion:** In terms of growth and performance, the French variety of lettuce has a very acceptable condition in the floating culture system and can be considered commercially. If a lettuce grower wants to

produce the Grizzly variety, it is preferable to use a solid medium instead of a floating system. Regardless of the cultivation system, the butter head generally showed weaker growth than the French and Grizzly varieties. Finally, it should be noted that the functional, morphological, and biochemical reactions of lettuce in different cultivation systems depend on the variety of the plant, so selecting the appropriate cultivation system should be based on the characteristics of the variety.

Keywords: Nutrient solution, soilless cultivation, LED, nutritional value.

Citation: Neshaei Moghaddam, M., Sadeghi, H., Ghasemi, K. (2026). Growth and physiological characteristics comparison of three lettuce varieties grown in a solid medium and floating system under artificial light. *Journal of Vegetables Sciences*, 19(1), 43-62. Doi: 10.22034/iuvs.2024.2023892.1360

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Journal of Vegetables Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).





مقایسه رشد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی سه رقم کاهو در بستر جامد و سامانه شناوری زیر نور مصنوعی

محمد نشایی مقدم^۱، حسین صادقی^۲، کامران قاسمی^{۳*}

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و

منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری،

ساری، ایران.

۳- دانشیار، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری،

ساری، ایران.

*نویسنده مسئول: kamranghasemi63@gmail.com, k.ghasemi@sanru.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۴/۰۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۸

چکیده

کاهو با نام علمی *Lactuca sativa* یک سبزی برگ‌ی، محصول فصل خنک و از نظر اقتصادی بسیار ارزشمند می‌باشد. کاهو از جمله محصولات است، که پرورش آن در سامانه‌های کشت بدون خاک در بسیاری از گلخانه‌های تجاری دنیا انجام می‌شود. در این آزمایش که به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد، فاکتور نوع سامانه کشت در دو سطح (بستر جامد و شناور) و فاکتور رقم در سه سطح (فرانسوی سبز، ایسبرگ گریزلی و باترهد)، با سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت. براساس نتایج بدست آمده در رقم فرانسوی، بیشترین وزن تر اندام هوایی در سامانه شناور بدست آمد که اختلاف معنی داری با رقم باترهد و رقم گریزلی در سامانه شناور داشت. در رقم گریزلی، بیشترین وزن تر اندام هوایی در بستر جامد مشاهده شد که اختلاف معنی داری با رقم باترهد و رقم فرانسوی در بستر جامد نشان داد. صرف نظر از نوع سامانه کشت، وزن تر هوایی رقم باترهد نسبت به تیمارهای برتر این آزمایش (فرانسوی در سامانه شناور و گریزلی در بستر جامد)، به طور معنی داری کمتر بود. بیشترین آنتی اکسیدان برگ در رقم گریزلی و در هر دو بستر جامد و شناور مشاهده شد که اختلاف معنی داری با یکدیگر نداشتند ولی نسبت به سایر تیمارها به طور معنی داری بیشتر بودند. تنها در رقم فرانسوی، سامانه کشت روی فعالیت آنتی اکسیدانی مؤثر بود، به طوری که در این رقم، بستر جامد موجب افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی برگ گیاه در مقایسه با سامانه شناور گردید ولی در دو رقم باترهد و گریزلی، سامانه کشت اختلاف معنی داری روی فعالیت آنتی اکسیدانی همان رقم بر جای نگذاشت. بیشترین هدایت روزه‌ای برگ در رقم باترهد و در بستر جامد بدست آمد که اختلاف معنی داری با تمامی ترکیبات تیماری دیگر داشت و کمترین هدایت روزه‌ای نیز در رقم فرانسوی در سامانه شناور دیده شد که اختلاف معنی داری با همین رقم در بستر جامد نشان نداد. در نهایت می‌توان گفت که چگونگی واکنش عملکردی، مورفولوژیکی و بیوشیمیایی کاهو در سامانه‌های مختلف کشت، به نوع رقم وابسته است، لذا انتخاب سامانه کشت مناسب باید براساس ویژگی‌های رقم صورت پذیرد.

واژه‌های کلیدی: محلول غذایی، کشت بدون خاک، لامپ ال ای دی، ارزش غذایی.

استناد: نشایی مقدم، م.، صادقی، ح. و قاسمی، ک. (۱۴۰۵). مقایسه رشد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی سه رقم کاهو در بستر جامد و سامانه شناوری زیر نور مصنوعی. علوم سبزی‌ها، علوم سبزی‌ها، ۱۹(۱)، ۴۳-۶۲.

حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به صورت آزاد در وب سایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترسی است.

مقدمه

کاهو (*Lactuca sativa* L.) گیاهی یکساله متعلق به خانواده آستراسه و مهمترین سبزی سالادی است، که همواره یک روند افزایشی مصرف در طی سال‌های گذشته در سطح جهانی داشته است (Britannica, 2023). این سبزی برگی یکی از مهم‌ترین محصولات مهم باغبانی است که می‌تواند در سیستم‌های هیدروپونیک تولید گردد. کشت کاهو به روش بدون خاک، به علت کوتاه بودن طول دوره پرورش آن و نیز کاهش باقیمانده‌های شیمیایی و آلودگی میکروبی، با استقبال زیادی در کشورهای توسعه‌یافته روبرو شده است. کوتاه بودن طول دوره رشد کاهو و افزایش سرعت رشد گیاه در کشت هیدروپونیک، سبب شده تا در طول یکسال بتوان ده بار اقدام به کاشت و برداشت کاهو نمود (Brehner, 2012). از طرفی دیگر، سیستم کشت هیدروپونیک با متعادل کردن میزان عناصر غذایی ماکرو و میکرو در محیط کشت گیاه امکان رشد بهتر گیاه را فراهم خواهد کرد (Jafari et al., 2024).

سیستم‌های هیدروپونیک به لحاظ ساختار بستر کشت به دو گروه اصلی کشت محلول یا هیدروپونیک مایع و کشت در بستر جامد طبقه‌بندی می‌شوند، که می‌توانند تأثیر متفاوتی بر میزان جذب عناصر غذایی، میزان رشد، عملکرد و خصوصیات کیفی کاهو داشته باشند (Roosta et al., 2022). سیستم هیدروپونیک از لحاظ گردش محلول غذایی به دو دسته باز و بسته تقسیم می‌شوند. سیستم باز هر چند از لحاظ سادگی مدنظر است اما هزینه بالایی را بر پرورش دهندگان اعمال می‌کند و به دلیل خروج از گلخانه و نشت آن به مزارع به مرور موجب شوری خاک خواهد شد (Panahande et al., 2023). از اینرو سیستم‌های بسته می‌توانند به عنوان روشی جایگزین در کشت هیدروپونیک مورد استفاده قرار گیرد.

سیستم کشت شناور یکی از ساده‌ترین و کم هزینه‌ترین سیستم‌های هیدروپونیک موجود برای کشت سبزی‌ها به ویژه کاهو می‌باشد. این روش در صورت وجود آب و هوای مناسب خارج از گلخانه هم

قابلیت استفاده دارد. در این روش ریشه به طور کامل در آب غوطه‌ور است، بنابراین باید یک سیستم هوادهی داخل آب موجود باشد تا با اکسیژن‌رسانی به ریشه‌ها، امکان رشد هر چه بهتر آنها را فراهم نماید (Kratkhy, 2009). مهمترین مزیت سیستم‌های شناور کاهش هدررفت کود و کاهش آلودگی زیست محیطی است. البته، جایگزینی محلول غذایی به طور کامل می‌تواند این مزیت سیستم را از بین ببرد (Bekhardi & Naqshin, 2009). در مطالعه‌ای که توسط Zaky و همکاران (۲۰۱۸) روی اثر بسترهای مختلف کشت و انواع کودهای معدنی و آلی در گیاه کاهو صورت پذیرفت نشان داده شد که استفاده از کودهای معدنی در بستر کوکوپیت و پیت بهترین وضعیت را داشت. در پژوهشی دیگر اثر محلول‌های غذایی متفاوت در سیستم کشت هیدروپونیک بر عملکرد و وزن دو رقم کاهو در سیستم غوطه‌وری نشان داد که بالاترین عملکرد در محلول غذایی با ترکیب نیتروژن ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر، پتاسیم ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و کلسیم ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در مقایسه با سایر تیمارها حاصل شد (Sapkota et al., 2019).

در کشت‌های گلخانه‌ای در مناطق کم نور می‌توان برای افزایش شدت نور از نورهای مصنوعی بهره برد، همچنین از نور تکمیلی برای افزایش طول ساعات روشنایی استفاده می‌شود. در تحقیقی تأثیر طیف نوری بر رشد و نمو کاهو در روش آبکشت برای یک دوره رشد دو ماهه بررسی شد که در آن از لامپ‌های سفید، آبی، قرمز و سبز استفاده گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که طیف نورهای مختلف اثر معنی‌داری بر وزن تر کاهو نداشتند ولی افزایش در شاخص کلروفیل در نور آبی و افزایش نسبت برگ به ساقه در نور سبز در گیاهان مشاهده گردید (Tabatabai et al., 2006).

کاهو یک محصول فصل خنک بوده و رشد و تولید آن می‌تواند شدیداً از تغییرات اقلیمی و گرم شدن کره زمین به‌طور منفی متأثر گردد، لذا توسعه کشت گلخانه‌ای این محصول، مخصوصاً در سیستم‌های هیدروپونیک، می‌تواند یک راهکار مفید محسوب شود.

در همین راستا، هدف از این پژوهش بررسی تاثیر دو سیستم کشت هیدروپونیک شناور و کشت در بستر جامد بر رشد و تولید سه رقم مختلف کاهو در شرایط نور مصنوعی بوده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل، با دو فاکتور شامل سیستم کشت هیدروپونیک در دو سطح (سیستم شناور و بستر جامد) و فاکتور رقم کاهو در سه سطح (کاهوی فرانسوی سبز، کاهوی باترهد و کاهو گریزلی)، در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. بذور کاهوی رقم فرانسوی (Lollo Bionda) و باترهد (Butter head) و گریزلی (Grizzly) از شرکت فردین کشت در استان فارس تهیه و در سینی نشا کشت گردید. بستر سینی نشا مخلوط کوکوپیت و پرلیت به نسبت مساوی بود. حدود چهار هفته بعد از کاشت بذرها، نشاهای رشد یافته برای انتقال به بستر اصلی آماده بودند. در این زمان نشاهای به لحاظ مورفولوژیکی دارای حداقل سه برگ حقیقی بودند. در کشت در بستر جامد، بستر کشت مخلوطی از یک قسمت کوکوپیت و یک قسمت پرلیت بوده است که کوکوپیت‌ها روز قبل در ظروفی جهت باز شدن کامل کوکوپیت‌ها در آب شناور گردیدند جهت خارج ساختن نمک احتمالی در کوکوپیت‌ها دوبار با آب آبشویی شدند. پرلیت‌ها نیز دو بار آبشویی گردیدند. هر محیط کشت دارای ۴ بلوک ۳ تایی (۱۲ گلدان) و در هر گلدان سه رقم کاهو کشت شدند در واقع هر تیمار شامل ۱۲ گیاه بوده است.

در این آزمایش، گلدان‌ها در زیر لامپی ال ای دی با توان ۷۰ وات که ۲۲۵ میکرومول بر متر مربع انرژی ساطع می‌کرد و در ارتفاع ۴۰ سانتی‌متری از بالای لبه گلدان‌ها نصب شده بود، قرار داده شدند. در کشت شناوری نیز داخل هر کدام از گلدان‌ها پمپ هوای تک خروجی جهت تامین اکسیژن ریشه‌ها تعبیه گردید که این پمپ هوا به صورت مداوم روشن بود تا اکسیژن محیط را تامین نماید. در این بخش نیز فاصله لامپ‌ها از لبه بالای گلدان‌ها همان ۴۰ سانتی‌متر بود و تمامی

شرایط در دو قسمت یکسان در نظر گرفته شد. روی هر گلدان سامانه کشت شناور، فومی از جنس یونولیت با ضخامت ۳ سانتی‌متر جهت استقرار نشاها قرار داده شد، که در فوم سه سوراخ تعبیه گردید و نشاها به صورت مستقیم در آنها قرار داده شدند. هر گلدان حاوی حدود ۳۱ لیتر محلول غذایی بود که هر هفته تعویض می‌گردید (شکل ۱). پس از انتقال نشاها دمای محیط در حدود 21 ± 2 درجه نگه داشته شد. در طول دوره پرورش کاهو نسبت ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت خاموشی اعمال گردید، که این کار توسط اتصال لامپ‌ها به تایمر و به صورت خودکار انجام شد. گلدان‌های حاوی بستر جامد (کوکوپیت و پرلیت) هر سه روز یکبار توسط محلول هوگلند تغذیه شدند و کاهوها در سامانه شناور هم در محلول غذایی هوگلند قرار گرفتند. حدود ۵۰ روز پس از انتقال نشا برداشت کاهوها انجام پذیرفت، که برخی از پارامترها پیش از برداشت و برخی نیز پس از برداشت اندازه‌گیری شدند.



شکل ۱- کاهوی رشد یافته در بستر شناور

صفات رویشی شامل قطر ساقه، وزن تر کل، وزن تر و خشک ریشه، درصد ماده خشک ریشه، تعداد برگ، وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، وزن تر برگ، وزن خشک برگ و درصد ماده خشک برگ، به عنوان پارامترهای رویشی اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری وزن تر، ابتدا گیاه از بستر خارج و اجزای آن در سه بخش ساقه، برگ و ریشه دسته‌بندی شدند، سپس هر کدام توسط ترازو وزن گردیدند. برای اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۲

درجه سلسیوس قرار قرار داده و در پایان پس از رسیدن به وزن خشک ثابت، توسط ترازوی دیجیتالی توزین شدند.

رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل با استفاده از روش Poura (۱۹۸۹) با نمونه‌گیری تصادفی از برگ‌های بالغ و عصاره‌گیری با استون اندازه‌گیری شد. پس از عصاره‌گیری، میزان جذب نور محلول با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۴۶/۶ و ۶۶۳/۶ نانومتر قرائت شد و در نهایت غلظت کلروفیل برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه گیاه گزارش گردید.

برای محاسبه کارتنوئیدها براساس روش Lichtenhaler و Welburn (۱۹۸۳) عمل شد و میزان جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر قرائت گردید و در نهایت غلظت کارتنوئیدها برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه ثبت شد. ارزیابی میزان مهار رادیکال‌های آزاد عصاره متانولی با معرف (2,2-diphenylpicryl-) DPPH (hydrazyl) انجام گرفت (Williams, 1995).

برای سنجش شاخص کارایی فتوسنتز از دستگاه فلوریمتر مدل (WALTZ/GERMANY) استفاده شد. جهت نمونه‌گیری از برگ‌های سالم و بالغ دو تا چهار عدد از نواحی مرکزی هر گیاه انتخاب شده و در شرایط تاریکی به مدت تقریبی ۳۰ دقیقه قرار گرفتند. در نهایت سنجش پارامترهای فتوسنتزی مختلف مانند هدایت روزنه‌ای (gs)، جذب دی‌اکسید کربن (A)، سرعت تعرق (E) و عملکرد فتوسیستم ۲ (Y) توسط دستگاه فلورومتر صورت گرفت (Jiang et al., 2020).

تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری SAS نسخه 9.1 انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت. نمودارها نیز به کمک نرم‌افزار Excel رسم شد.

نتایج و بحث

صفات رویشی و زیست توده

وزن تر کل

بیشترین وزن تر کل گیاه در رقم فرانسوی و در سامانه شناور مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با رقم گریزلی در بستر جامد نداشت ولی نسبت به سایر تیمارهای این آزمایش برتر بود (شکل ۲). کمترین وزن تر کل گیاه نیز مربوط به دو رقم باترهد و فرانسوی در بستر جامد بود که اختلاف معنی‌داری با رقم گریزلی در سامانه شناوری نداشت (شکل ۲).

وزن تر اندام هوایی

مقایسه میانگین اثر متقابل بستر کشت و رقم بر وزن تر اندام هوایی نشان داد که در رقم فرانسوی، بیشترین وزن تر اندام هوایی در سامانه شناور بدست آمد که اختلاف معنی‌داری با رقم باترهد و رقم گریزلی در سامانه شناور نداشت (شکل ۳). در رقم گریزلی، بیشترین وزن تر اندام هوایی در بستر جامد مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با رقم باترهد و رقم فرانسوی در بستر جامد نشان داد (شکل ۳). صرف‌نظر از نوع سامانه کشت، وزن تر هوایی رقم باترهد نسبت به تیمارهای برتر این آزمایش (فرانسوی در سامانه شناور و گریزلی در بستر جامد)، به‌طور معنی‌داری کمتر بود (شکل ۳).

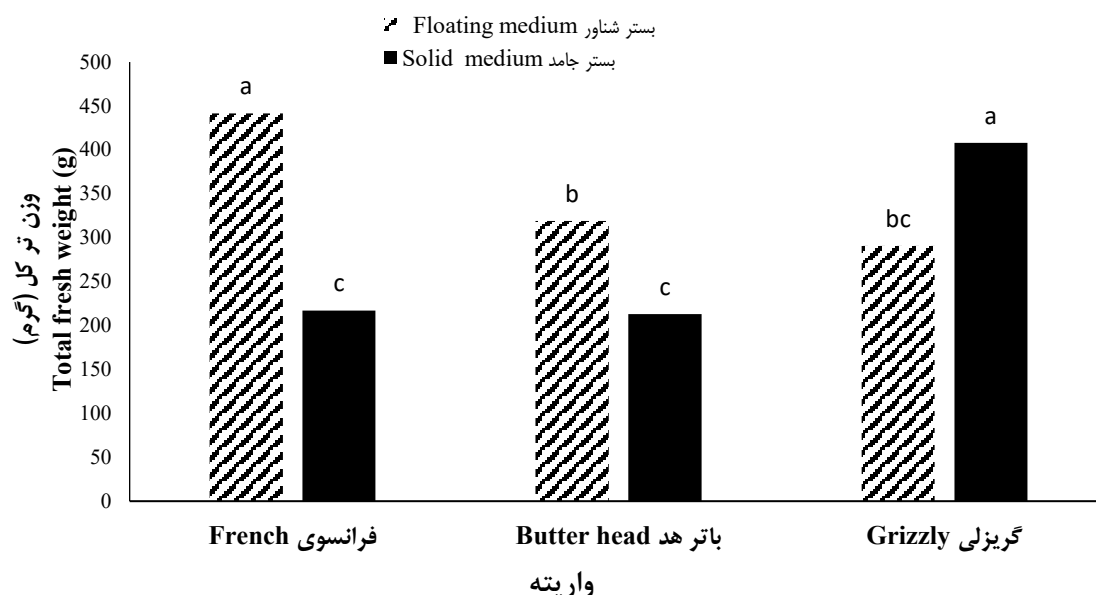
وزن خشک اندام هوایی

در رقم فرانسوی، بیشترین وزن خشک اندام هوایی در سامانه شناور بدست آمد که اختلاف معنی‌داری با رقم باترهد و رقم گریزلی و در سامانه شناور نداشت (شکل ۴). در رقم گریزلی، بیشترین وزن خشک اندام هوایی در بستر جامد مشاهده شد که اختلاف کاملاً معنی‌داری با رقم باترهد و رقم گریزلی در بستر جامد نشان داد (شکل ۴). هم‌راستا با وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی نیز در رقم باترهد در هر دو سامانه‌های کشت مورد آزمایش، از وزن خشک اندام هوایی رقم فرانسوی در سامانه شناور و رقم گریزلی در بستر جامد، کمتر بود (شکل ۴).

وزن تر ریشه

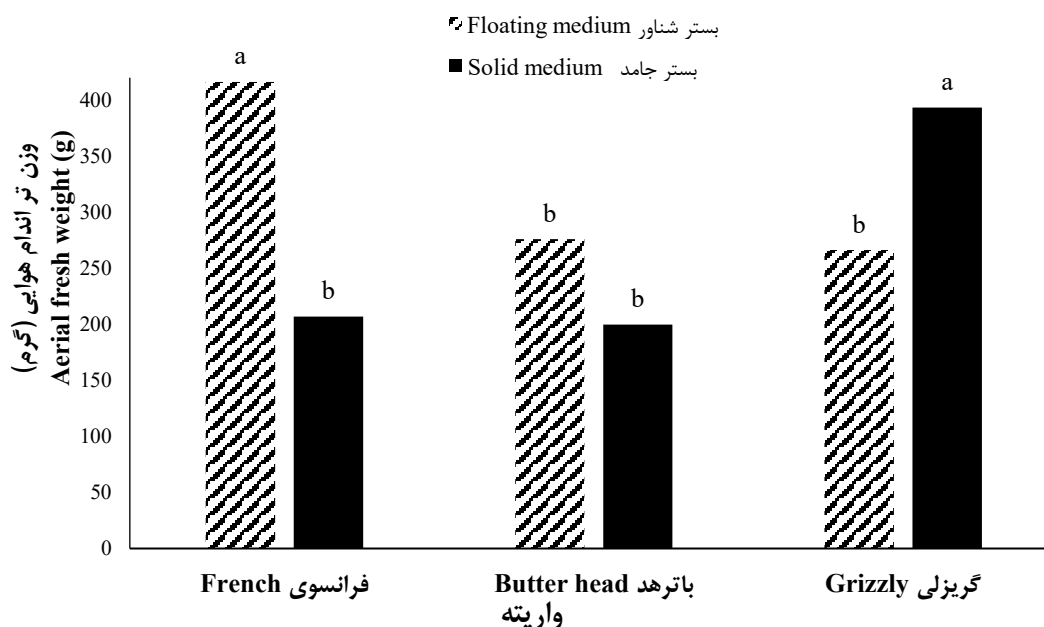
بیشترین وزن تر ریشه از میان تمامی ترکیبات تیماری مورد آزمایش، در رقم فرانسوی و در سامانه شناور بدست آمد که اختلاف معنی‌داری با تمامی تیمارهای دیگر

نشان داد (شکل ۵). در بستر جامد بین ارقام گریزلی، در سامانه شناوری کمترین وزن تر ریشه متعلق به رقم باترهد و فرانسوی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ولی گریزلی بود (شکل ۵).



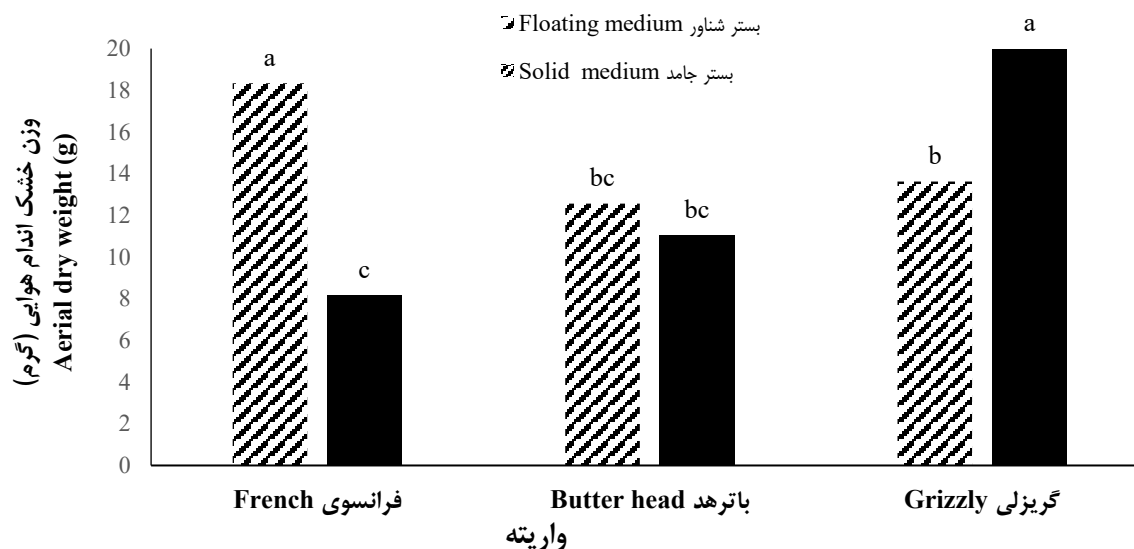
شکل ۲- اثر متقابل واریته و سیستم کشت بر وزن تر کل کاهو. در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار است.

Figure 2. Interaction effects of cultivar and medium on lettuce fresh weight. Within each column, values followed by the same letter are not significantly different.



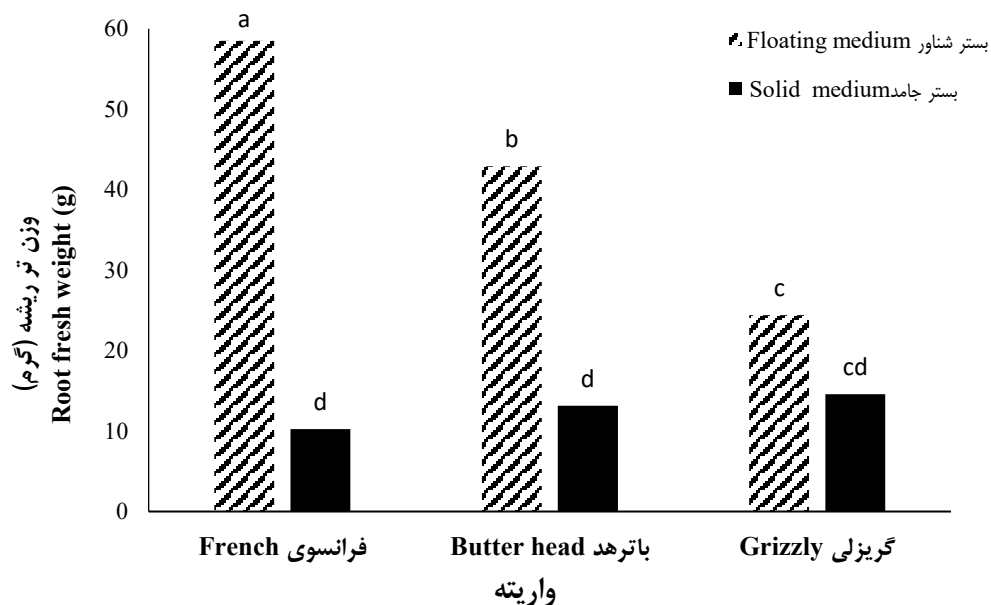
شکل ۳- اثر متقابل واریته و سیستم کشت بر وزن تر اندام هوایی کاهو. در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار است.

Figure 3. Interaction effects of cultivar and medium on lettuce aerial fresh weight. Values followed by the same letter are not significantly different within each column.



شکل ۴- اثر متقابل واریته و سیستم کشت بر وزن خشک اندام هوایی کاهو. در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار است.

Figure 4. Interaction effect of cultivar and medium on lettuce aerial dry weight. Within each column, values followed by the same letter are not significantly different.



شکل ۵- اثر متقابل واریته و سیستم کشت بر وزن تر ریشه کاهو. در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار است.

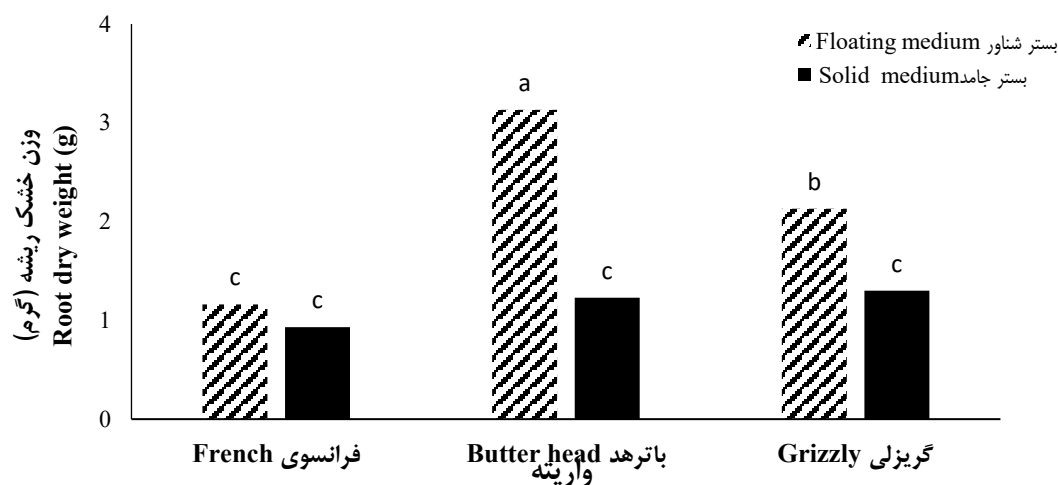
Figure 5. Interaction effects of cultivar and medium on lettuce fresh weight. Within each column, values followed by the same letter are not significantly different.

وزن خشک ریشه

نتایج مقایسه میانگین بر همکنش بستر کشت و رقم بر صفت وزن خشک ریشه نشان داد که بیشترین وزن خشک ریشه در رقم باترهد و در سامانه شناور مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تمامی ترکیبات تیماری دیگر داشت (شکل ۶). همانند آنچه در صفت وزن تر ریشه مشاهده شد، وزن خشک ریشه در بستر جامد در بین ارقام مختلف از نظر آماری معنی‌دار نبود (شکل ۶).

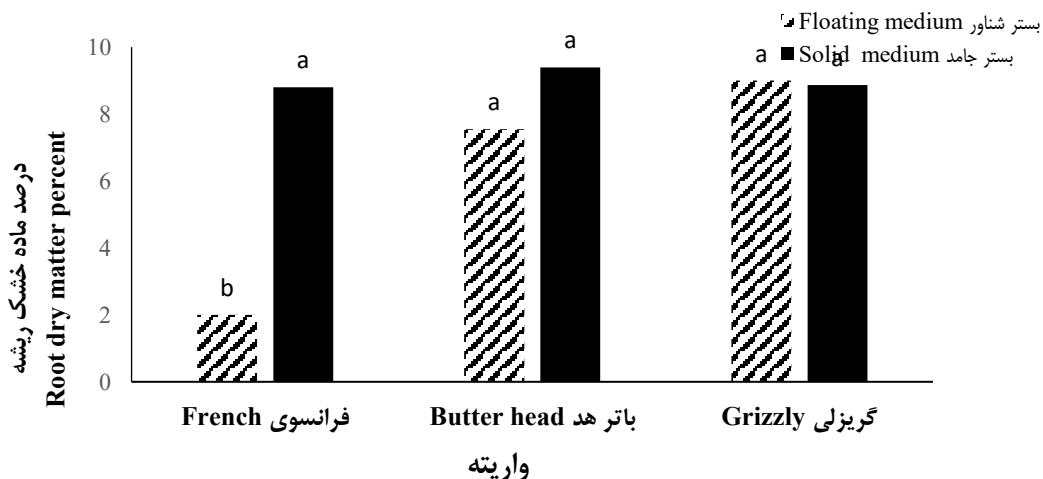
درصد ماده خشک ریشه به وزن کل

کمترین درصد ماده خشک ریشه به وزن کل گیاه، در رقم فرانسوی در و در سامانه شناور بدست آمد که به طور معنی‌داری از تمامی ترکیبات تیماری دیگر کمتر بود، این در حالی است که اختلاف بین سایر تیمارها از نظر آماری معنی‌دار نبوده است (شکل ۷).



شکل ۶- اثر متقابل واریته و سیستم کشت بر وزن خشک کاهو. در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار است.

Figure 6. Interaction effects of cultivar and medium on lettuce root dry weight. Within each column, values followed by the same letter are not significantly different.



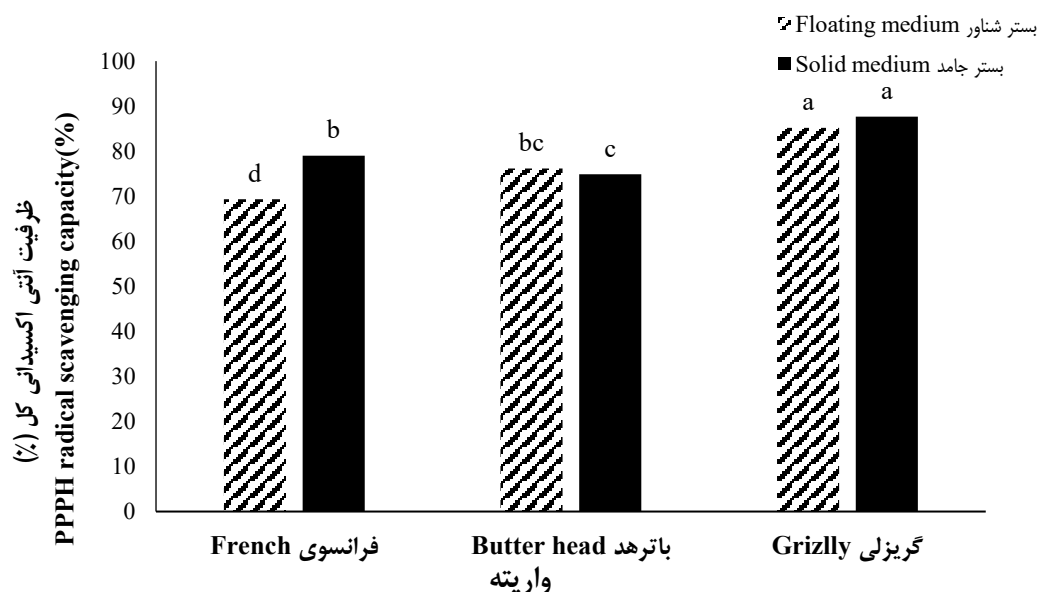
شکل ۷- اثر متقابل واریته و سیستم کشت بر درصد وزن خشک کاهو. در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار است.

Figure 7. Interaction effects of cultivar and medium on root dry weight per cent. Within each column, values followed by the same letter are not significantly different.

صفات بیوشیمیایی

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل

بیشترین آنتی‌اکسیدان برگ در رقم گریزلی در بستر جامد مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با رقم گریزلی در بستر شناور نداشت ولی نسبت به سایر تیمارها به‌طور معنی‌داری بیشتر بود (شکل ۸). تنها در رقم فرانسوی،



شکل ۸- اثر متقابل واریته و سیستم کشت بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کاهو. در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار است.

Figure 8. Interaction effects of cultivar and medium on lettuce antioxidant capacity. Within each column, values followed by the same letter are not significantly different.

نتایج مقایسه میانگین اثر ساده سامانه کشت نیز نشان داد که گیاهان پرورش یافته در سامانه شناور کلروفیل **a** بیشتری نسبت به گیاهان رشد یافته در بستر جامد داشتند (شکل ۱۰).

کلروفیل **b**

بیشترین کلروفیل **b** در رقم گریزلی در سامانه شناور مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با رقم باترهد و رقم فرانسوی در سامانه شناور و بستر جامد داشت. به‌طور کلی میزان کلروفیل **b** در رقم گریزلی بیشتر از دو رقم دیگر بود که می‌تواند وابسته به رقم باشد (شکل ۱۱).

کاروتنوئید کل

بیشترین کاروتنوئید کل برگ در رقم گریزلی مشاهده شده و بعد از آن به‌ترتیب رقم باترهد و رقم فرانسوی در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (شکل ۹). از نظر سامانه کشت، بیشترین کاروتنوئید کل برگ در گیاهان کشت شده در سامانه شناور بدست آمد که اختلاف معنی‌داری با بستر جامد نشان داد (شکل ۹).

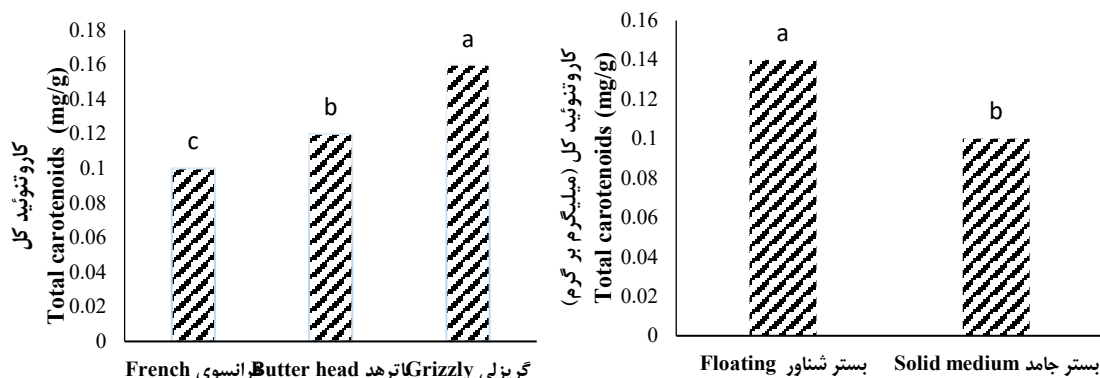
کلروفیل **a**

مقایسه بین سه رقم کاهو مورد آزمایش نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل **a** در رقم گریزلی بود که به‌طور معنی‌داری نسبت به دو رقم باترهد و فرانسوی بیشتر بود (شکل ۱۰). از طرفی کمترین میزان کلروفیل **a** برگ نیز در رقم فرانسوی مشاهده شد.

کلروفیل کل

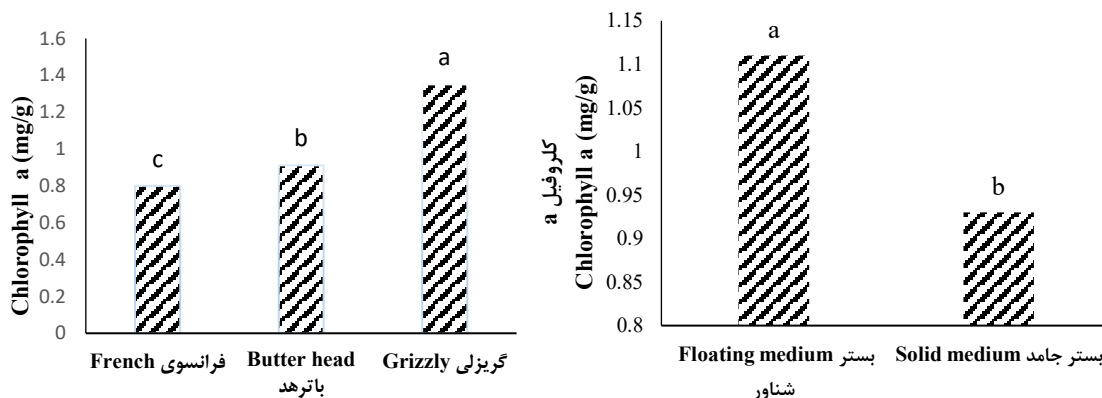
فرانسوی داشت و کمترین کلروفیل کل نیز در رقم فرانسوی بدست آمد. مقایسه میانگین اثرات ساده سامانه کشت نیز نشان داد که بیشترین کلروفیل کل برگ در گیاهانی مشاهده شد که در سامانه شناور رشد کردند (شکل ۱۲).

همانند نتایج مشاهده شده در کلروفیل b، بیشترین کلروفیل کل برگ نیز در رقم گریزلی مشاهده شد که اختلاف کاملاً معنی‌داری با دو رقم باترهد و رقم



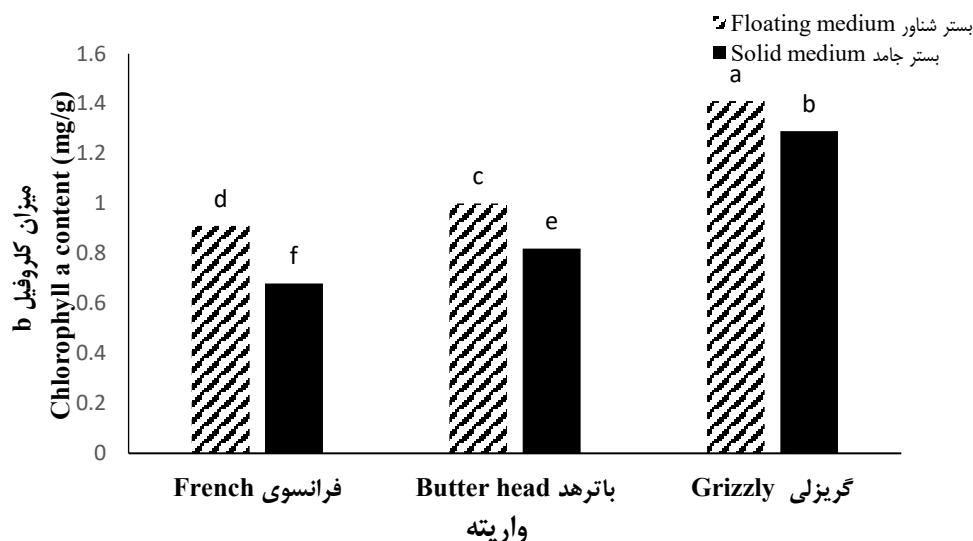
شکل ۹- اثر ساده وارپته و سیستم کشت بر میزان کاروتنوئید کل برگ کاهو به ترتیب شکل چپ و راست. در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار است.

Figure 9. Simple effects of cultivar and medium on lettuce leaf chlorophyll a content, Left and right respectively Within each column, values followed by the same letter are not significantly different.



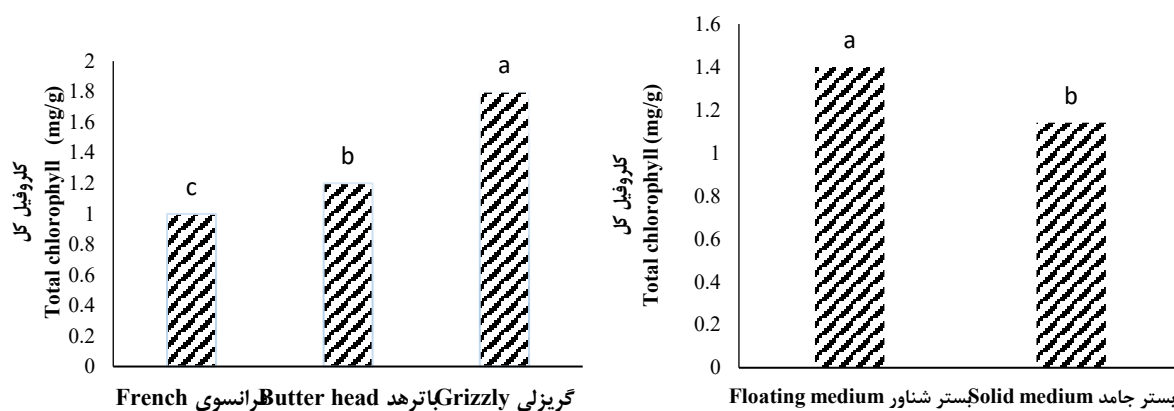
شکل ۱۰- اثر ساده وارپته و سیستم کشت بر میزان کلروفیل a برگ کاهو به ترتیب شکل چپ و راست. در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار است.

Figure 10. Simple effects of cultivar and medium on lettuce leaf chlorophyll a content, Left and right respectively Within each column, values followed by the same letter are not significantly different.



شکل ۱۱- اثر متقابل واریته و سیستم کشت بر میزان کلروفیل b برگ کاهو. در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار است.

Figure 11. Interaction effects of cultivar and medium on lettuce leaf chlorophyll b content. Within each column, values followed by the same letter are not significantly different.



شکل ۱۲- اثر ساده واریته و سیستم کشت بر میزان کلروفیل کل برگ کاهو به ترتیب شکل چپ و راست. در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار است.

Figure 12. Simple effects of cultivar and medium on lettuce leaf total chlorophyll content. Left and right, respectively. Within each column, values followed by the same letter are not significantly different

ترکیبات تیماری دیگر داشت. کمترین هدایت روزنه‌ای نیز در رقم فرانسوی در سامانه شناور دیده شد که اختلاف معنی‌داری با همین رقم در بستر جامد نداشت (شکل ۱۳).

صفات فتوسنتزی

هدایت روزنه‌ای

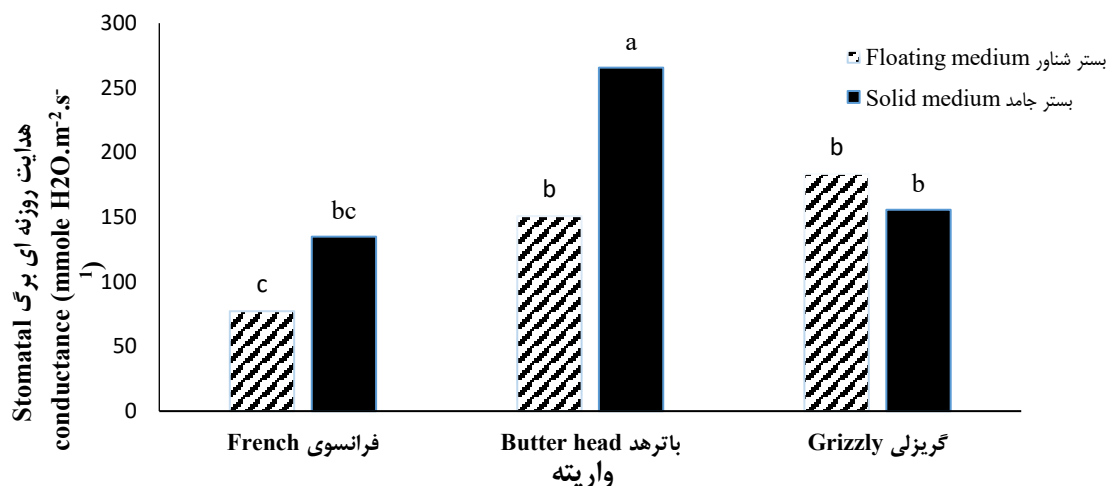
بیشترین هدایت روزنه‌ای برگ در رقم باترهد و در بستر جامد بدست آمد که اختلاف معنی‌داری با تمامی

جذب دی‌اکسید کربن

نتایج مقایسه میانگین اثر ساده رقم بر جذب دی‌اکسید کربن برگ نشان داد که بیشترین جذب دی‌اکسید کربن در رقم باترهد اتفاق افتاد که اختلاف معنی‌داری با رقم گریزلی و رقم فرانسوی داشت (شکل ۱۴).

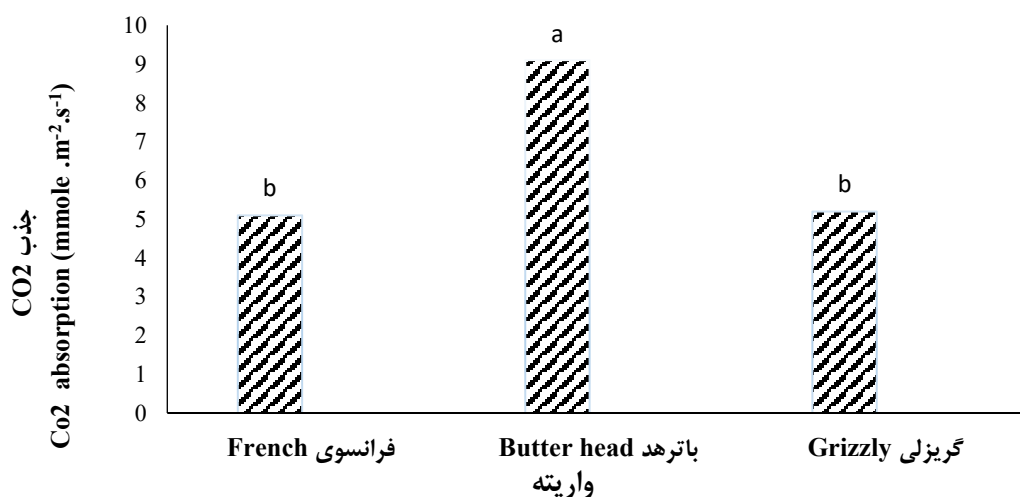
براساس نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی بستر کشت بر سرعت تعرق برگ، میزان این شاخص در گیاهان کشت شده در بستر جامد به‌طور معنی‌داری نسبت به گیاهان پرورش‌یافته در بستر شناور بیشتر بود (شکل ۱۵).

سرعت تعرق



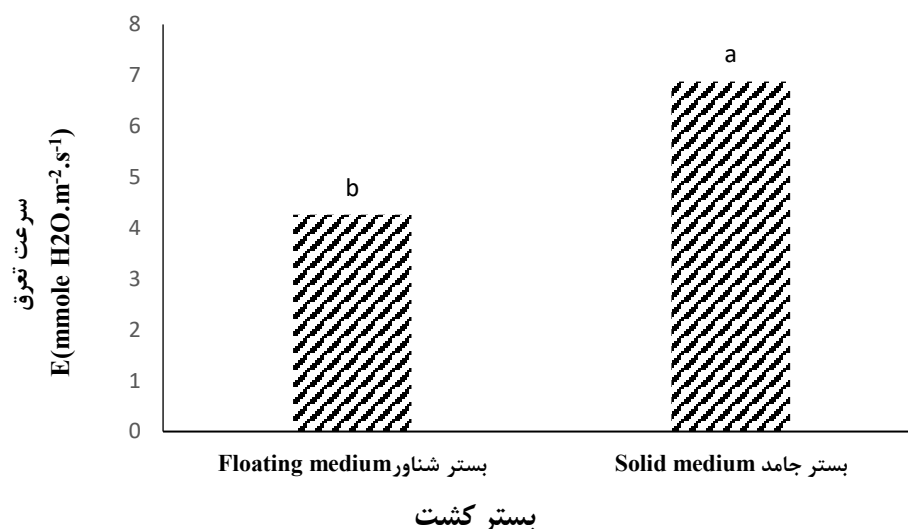
شکل ۱۳- اثر متقابل واریته و سیستم کشت بر هدایت روزنه ای برگ کاهو. هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار است.

Figure 13. Interaction effects of cultivar and medium on lettuce leaf. Within each column, values followed by the same letter are not significantly different.



شکل ۱۴- اثر ساده واریته بر میزان جذب CO₂ برگ کاهو. در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار است.

Figure 14. Simple effects of cultivar on lettuce leaf CO₂ absorption. Within each column, values followed by the same letter are not significantly different.



شکل ۱۵- اثر ساده سیستم کشت بر سرعت تعرق برگ کاهو. در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار است.

Figure 15. Simple effect of medium on lettuce leaf transpiration (E). Within each column, values followed by the same letter are not significantly different.

بحث

به‌طور کلی، براساس نتایج پژوهش‌های پیشین استفاده از سامانه شناور برای رشد کاهو نتایج مثبتی به همراه دارد. همانطور که نتایج پژوهش حاضر نشان داد، بیشترین وزن تر اندام هوایی و تجمع ماده خشک در برگها شده و با افزایش سطح فتوسنتزی در برگ، موجب افزایش کارایی فتوسنتزی خواهند شد. به‌طور کلی، در کشت شناوری با افزایش دسترسی بیشتر به پتاسیم و منیزیم در محلول غذایی، به عنوان عناصر ضروری در فتوسنتز، آسیمیلایون CO₂ و انتقال کربوهیدرات از برگ به دیگر بخش‌های گیاه افزایش می‌یابد (Tränkle et al., 2018)، بنابراین افزایش عملکرد کاهو در کشت شناور را به همراه خواهد داشت. با این حال، رقم گریزلی در بستر جامد رشد بهتری نشان داد، لذا به‌نظر می‌رسد که این وارسته به کمبود آب بستر کشت حساسیت کمتری نسبت به دو رقم دیگر دارد. همچنین می‌توان به این نتیجه رسید که توصیه به کشت شناوری نمی‌تواند برای تمام ارقام کاهو عمومیت داشته باشد و نیاز به انجام پژوهش برای درک واکنش ارقام مختلف به سامانه‌های متفاوت کشت وجود دارد.

این رو گیاهان پرورش‌یافته در کشت شناور، رشد ریشه بیشتری خواهند داشت که در نتیجه باعث افزایش وزن تر اندام هوایی و تجمع ماده خشک در برگها شده و با افزایش سطح فتوسنتزی در برگ، موجب افزایش کارایی فتوسنتزی خواهند شد. به‌طور کلی، در کشت شناوری با افزایش دسترسی بیشتر به پتاسیم و منیزیم در محلول غذایی، به عنوان عناصر ضروری در فتوسنتز، آسیمیلایون CO₂ و انتقال کربوهیدرات از برگ به دیگر بخش‌های گیاه افزایش می‌یابد (Tränkle et al., 2018)، بنابراین افزایش عملکرد کاهو در کشت شناور را به همراه خواهد داشت. با این حال، رقم گریزلی در بستر جامد رشد بهتری نشان داد، لذا به‌نظر می‌رسد که این وارسته به کمبود آب بستر کشت حساسیت کمتری نسبت به دو رقم دیگر دارد. همچنین می‌توان به این نتیجه رسید که توصیه به کشت شناوری نمی‌تواند برای تمام ارقام کاهو عمومیت داشته باشد و نیاز به انجام پژوهش برای درک واکنش ارقام مختلف به سامانه‌های متفاوت کشت وجود دارد.

زیاد روزه کوچک در کشت بستر جامد را فرض بگیریم، آنگاه هدایت روزه‌ای و سرعت تعرق بیشتر، کاملاً توجیه‌پذیر خواهد بود. تعرق زیاد خود موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ می‌گردد، و کاهش در محتوای نسبی آب برگ، کارایی غشا را تغییر داده و مقدار کلروفیل کاهش می‌یابد (Brecht *et al.*, 2004)، همچنین کاهش پتانسیل آب برگ می‌تواند سبب آسیب به کلروپلاست سلولی شده و از این طریق سایر شاخص‌های فتوسنتزی را تحت تاثیر قرار دهد (Pecanha *et al.*, 2017). کاهش عملکرد رویشی و ظرفیت فتوسنتزی در کاهو با محدودیت دسترسی به آب در ریشه و بسته شدن روزه‌های برگ و کاهش جذب CO₂ توسط Neocleous و همکاران (۲۰۱۴) شده است. از طرفی دیگر در سیستم شناور بعنوان سیستم هیدروپونیک بسته افزایش غلظت محلول غذایی باعث حفظ آب در بافت گیاه شده که بر هدایت روزه‌ای برگ اثر گذاشته و در نتیجه موجب کاهش میزان تعرق از سطح برگ می‌شود (Rodriguez-Ortega *et al.*, 2107). هدایت روزه‌ای کمتر در یک سیستم بسته، سرعت فتوسنتز از طریق هدایت دیافراگم (A/gas) را افزایش می‌دهد (Wang *et al.*, 2019). همچنین Khan و همکاران (۱۹۹۸) بیان نمودند که افزایش غلظت عناصر محلول غذایی در یک سیستم بسته باعث تجمع اسید آبسازیک در ریشه می‌شود، که به اندام هوایی منتقل شده و متعاقباً منجر به بسته شدن روزه‌ها و کاهش تعرق می‌شود، لذا افزایش تعرق در بستر جامد با توجه به این نکته منطقی می‌باشد. پژوهش‌ها روی سایر گیاهان نیز نتایج مشابهی داشته است، به‌طوری‌که Bostanci و همکاران (۲۰۲۲) با مقایسه عملکرد اسفناج در کشت خاکی و کشت شناور دریافتند که اسفناج کشت شده در بستر شناور رشد ریشه‌ای بیشتر، برداشت زودتر محصول و محتوای کلروفیل بیشتر و عناصر غذایی بالاتری در مقایسه با کشت خاکی داشت.

مهمترین مزیت سیستم‌های شناور کاهش هدر رفت کود می‌باشد، بنابراین گیاه حداکثر استفاده از عناصر غذایی را در این سیستم کشت دارد، در نهایت جذب آب و مواد غذایی بیشتر شده و پایداری غشا نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Roosta *et al.*, 2022). در چنین شرایطی افزایش سنتز کلروفیل دور از انتظار نیست، نتیجه‌ای که در پژوهش حاضر نیز بدست آمد و گیاهان رشد یافته در سامانه شناور از نظر رنگیزه‌های فتوسنتزی و کاروتنوئید وضعیت بهتری داشتند. کاروتنوئیدها رنگدانه‌های ایزوپرنوئید طبیعی هستند که از یک اسکلت هیدروکربنی تشکیل شده اند (Ngamwonglumlert *et al.*, 2020). افزایش سرعت فتوسنتز موجب افزایش ساخت قند شده و از آنجایی که قندها در سنتز کاروتنوئید دخیل هستند بنابراین کاهوهای رشد کرده در کشت شناور از محتوای رنگیزه کاروتنوئید بالاتری برخوردار بودند. افزایش در محتوای قند در طالبی با میزان کاروتنوئید توسط Sing و همکاران (۲۰۲۲) گزارش شده است. همچنین میزان کلروفیل بالاتر گیاهان در کشت شناور را میتوان به دسترسی بیشتر به عناصری مانند نیتروژن، منیزیم، آهن و منگنز (Salisbury and Ross, 2006 & Coronel *et al.*, 2009)، و همچنین به افزایش هدایت روزه‌ای مرتبط دانست (Wu *et al.*, 2013). میزان کلروفیل بالا به حفظ ظرفیت فتوسنتز و تولید ماده خشک گیاه کمک بسزایی می‌کند (Jiang & Huang, 2020)، بنابراین ارقامی که وزن خشک اندام هوایی بالایی را در سیستم کشت شناوری نشان دادند، می‌تواند به علت غلظت بیشتر کلروفیل آنها بوده باشد. در بستر جامد هدایت روزه‌ای و تعرق نسبت به سامانه شناور بیشتر بوده است، که به دلیل اختلاف فشار بخار آب بیشتر در برگ‌ها نسبت به کشت شناور است. گیاهان در شرایط رطوبتی پایین روزه‌های کوچکتری دارند تا واکنش سریعتری برای بسته شدن در شرایط تنش داشته باشند (Bagheri *et al.*, 2012) ولی تعداد آنها در واحد سطح زیاد می‌باشد (Seifi Kalhor, 2017). اگر وجود تعداد

خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک ریشه به طور غیرمستقیم بر عملکرد میوه نیز تاثیر خواهد گذاشت. تغییر در تعادل و توازن کاتیونی و آنیونی در بافت گیاه که به دلیل تغییر در غلظت عناصر غذایی و EC محلول غذایی اتفاق می‌افتد موجب کاهش رشد گیاه خواهد شد (روستا، ۲۰۱۴). از سوی دیگر، سیستم شناور، که در آن گیاهان در محلول غذایی شناور می‌شود، این مزیت را دارد که دسترسی ثابت آب و مواد غذایی برای گیاهان در طول رشد حفظ شده و گیاه دچار کمبود عناصر غذایی نشود (Duyar & Kilic, 2016).

صرفنظر از نوع سامانه کشت، میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی برگ‌های کاهو رقم گریزلی بیشترین میزان را داشته است. این نتیجه نشان‌دهنده این حقیقت است که ژنوتیپ عاملی مهم در تعیین فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه بوده و اهمیت آن از نوع بستر به مراتب بیشتر است. Cassetari و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند که تنوع ژنتیکی بر میزان کلروفیل در کاهو تأثیر می‌گذارد. Caldwell و Britz (۲۰۰۶) نیز تفاوت‌های خاص رقم را در محتوای کلروفیل در کاهوی سبز گلخانه‌ای گزارش کردند. تفاوت ارقام را می‌توان به تفاوت در میزان جذب عناصر غذایی، فعالیت ریشه، وجود ترکیبات مختلف و تنظیم‌کننده‌های اسمزی نسبت داد، همچنین تفاوت ژنتیکی ارقام در بروز پاسخ‌های متفاوت به محرک‌های بیرونی نیز باید در نظر گرفته شود (Gan & Azrina, 2016).

نتیجه‌گیری کلی

از نظر رشدی و عملکردی، کاهوی رقم فرانسوی در سامانه کشت شناور وضعیت بسیار قابل قبولی را داشته است و می‌تواند از نظر تجاری مورد توجه قرار گیرد. این درحالی است که اگر پرورش‌دهنده کاهو مایل به تولید رقم گریزلی باشد، بهتر است از بستر جامد بجای سامانه شناوری استفاده نماید، زیرا این رقم علاوه بر عملکرد، ارزش غذایی بالایی نیز در بستر جامد تولید می‌نماید. فارغ از سامانه کشت، به‌طور کلی رقم باترهد از نظر رشدی ضعیف‌تر از دو رقم فرانسوی و گریزلی بود. با این حال، در صورتی که پرورش رقم باترهد مدنظر باشد، هر

نسبت به کشت در بستر جامد که عناصر غذایی به ذرات بستر متصل می‌شوند، محلول غذایی در کشت شناور همگن بوده و عناصر غذایی می‌تواند به راحتی در طول دوره رشد جایگزین شود، بنابراین باعث دسترسی بیشتر عناصر غذایی توسط ریشه گیاه می‌شود (Nguyen *et al.*, 2016). همچنین در کشت شناور عناصر غذایی اضافی از محیط ریشه خارج شده و مشکل آلودگی آب و سمیت عناصر غذایی کاهش یافته و از اینرو موجب افزایش عملکرد گیاه خواهد شد (Wu *et al.*, 2013). زیرا با افزایش غلظت عناصر غذایی کارایی فتوسنتز کاهش خواهد یافت و افت عملکرد گیاه را به همراه خواهد داشت. برای نمونه، De Souza و همکاران (۲۰۲۰) جهت بررسی کارایی غلظت عناصر غذایی روی عملکرد شاهی مشاهده کردند که افزایش عناصر غذایی موجب کاهش رشد و کارایی فتوسنتز شد. در سیستم شناور عناصر غذایی به میزان مناسبی در اختیار گیاه قرار گرفته و عملکرد بهتری نسبت به سیستم کشت جامد بدست آمد. در کشت شناور هوادهی محیط ریشه موجب جذب بیشتر عناصر غذایی می‌شود. جذب عناصر غذایی نیاز به انرژی دارد و این انرژی از اکسیداسیون آسمیلات‌ها تولید می‌شود، همچنین اکسیژن برای جلوگیری از تخلیه محلول از عناصر غذایی مورد نیاز است (Oud *et al.*, 2021). در پژوهشی، Alvarado-Camarillo و همکاران (۲۰۲۰) با مقایسه دو سیستم کشت شناور با و بدون هوادهی بر روی کاهو دریافتند که هوادهی محلول غذایی باعث افزایش رشد گیاه و جذب پتاسیم، فسفر و منیزیم در برگ شد، با این حال، سرعت فتوسنتز و تعرق در شرایط غیر هوادهی افزایش یافت اما میزان جذب آب در گیاهان بدون سیستم هوادهی بیشتر بود. در پژوهشی در گیاه گوجه فرنگی، Rodriguez و همکاران (۲۰۲۱) با مقایسه چند نوع سیستم کشت با آب شور گزارش کردند که تولید میوه در کشت شناور بیشتر از کشت در پرلیت و NFT ثبت شد. براساس گزارش این پژوهشگران، در کشت شناور ریشه‌ها همیشه در آب غوطه‌ور هستند، لذا آب و مواد مغذی به راحتی در دسترس هستند که با تاثیر مثبت بر

رقم گیاه بستگی دارد، لذا انتخاب سامانه کشت مناسب باید براساس ویژگی‌های رقم صورت پذیرد.

دو سامانه کشت در بستر جامد و سامانه شناوری را می‌توان مورد استفاده قرار داد. در نهایت باید متذکر این نکته شد که واکنش عملکردی، مورفولوژیکی و ترکیبات بیوشیمیایی کاهو در سامانه‌های مختلف کشت، به نوع

Reference

- Alvarado-Camarillo, D., Valdez-Aguilar, L. A., González-Fuentes, J. A., Rascón-Alvarado, E. & Pena-Ramos, F. M. (2020). Response of hydroponic lettuce to aeration, nitrate and potassium in the nutrient solution. *Acta Agriculturae Scandinavica. Section B -Soil and Plant Science*, 70(4), 341-348. <https://doi.org/10.1080/09064710.2020.1730430>
- Bagheri, H., Andalibi, B. & Azimi Moghaddam, M.R. (2012). The effect of foliar application of atrazine on stomatal and nonstomatal control factors of photosynthesis in safflower in drought stress conditions. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 27(2), 168-179. (in Persian).
- Bekhardi, F. & Naqshin, F. (2009). Introducing three methods of non-rotational hydroponic cultivation to produce lettuce (*Lactuca sativa*). In: *National Congress of Hydroponics and Greenhouse Productions*, 30 Jun., Research and Technology Affairs, Esfahan University of Technology, Esfahan, Iran. (In Persian).
- Bostanci, K. B. & Ulger, S. (2022). Comparison of spinach cultivation in floating hydroponic system and soil in glasshouse and open field conditions. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 35(1), 7-14. <https://doi.org/10.29136/mediterranean.1061475>
- Both, A.J. (2003). Ten years of hydroponic lettuce research. Department of Plant Biology and Pathology, Rutgers.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Journal of Food Sciences and Technology*, 28, 25-30. [https://doi.org/10.1016/S00236438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S00236438(95)80008-5)
- Brechner, M. & Both, A. J. (2012). Hydroponic Lettuce Handbook. Cornell Controlled Environment Agriculture. 504-509.
- Brecht, J. K., Felkey, K., Bartz, J.A., Schneider, K.R., Saltveit, M. E. & Talcott, S. T. (2004). Fresh-cut vegetables and fruits. *Horticultural Reviews*, 30, 185-251. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-02847-1>
- Britannica, T. (2023). lettuce. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/plant/lettuce>
- Caldwell, C.R. & Britz, S.J. (2006). Effect of supplemental ultraviolet radiation on the carotenoid and chlorophyll composition of greenhouse-grown leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivars. *Journal of Food Composition Analysis*, 19, 637-644. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2005.12.016>
- Cassetari, L.S., Gomes, M.S., Santos, D.C., Santiago, W.D., Andrade, J., Guimarães, A.C., Souza, J.A., Cardoso, M.G., Maluf, W.R. & Gomes, L.A. (2015). β -carotene and chlorophyll levels in cultivars and breeding lines of lettuce. *Acta Horticulturae*, 1083, 469-473. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1083.60>
- Colmer, T.D. & Voesenek, L.A.C.J. (2009). Flooding tolerance: suites of plant traits in variable environments. *Functional Plant Biology*, 36, 665-681. <https://doi.org/10.1071/FP09144>
- Coronel, G., Chang, M. & Rodríguez-Delfín, A. (2009). Nitrate reductase activity and chlorophyll content in lettuce plants grown hydroponically. *Acta Horticulturae*, 843, 137-144. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.843.16>

- De Souza, C. A., da Silva, A. O., de Lacerda, C. F., de França, E. F. & Bezerra, M. A. (2020). Physiological responses of watercress to brackish waters and different nutrient solution circulation times. *Embrapa Agroindustria Tropical-Artigo em periódico indexado (ALICE)*, 4, 2555-2570. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2020v41n6p2555>
- Fayezizadeh, M. R., Ansari, N. A. Z., Albaji, M. & Khaleghi, E. (2021). Effects of hydroponic systems on yield, water productivity and stomatal gas exchange of greenhouse tomato cultivars, *Agricultural Water Management*, 258, 107171. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107171>
- Ferraz, T.M., Netto, A.T., Lima, R.S.N., Lopes, S.T., Ribeiro, M.S., de Deus, B. C. D. S., Couto, T. R. d., Schaffer, B. & Campostrini, E. (2017). Leaf gas exchange and growth of two Papayas (*Carica papaya* L.) genotypes are affected by elevated electrical conductivity of the nutrient solution. *Scientia Horticulturae*, 218, 230-239. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.02.018>
- Gan, Y. Z. & Azrina, A. (2016). Antioxidant properties of selected varieties of lettuce (*Lactuca sativa* L.) commercially available in Malaysia. *International Food Research Journal*, 23(6), 2357-2362.
- Jafari, A., Rasouli, F., Behtash, F., Mousavi, S.B., Ferdowsi Ghpchagh, P. & Asadi, M. (2024). Evaluation of different concentrations of Fe and Zn in nutrient solution on yield, biochemical, and nutrient content of spinach in soilless conditions. *Journal of Vegetables Sciences*, 15(1), 183-200. <https://doi.org/10.22034/IUVS.2023.2010676.1316>
- Jiang, Y. & B. Huang. (2001). Drought and heat stress injury to two cool-season turfgrasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. *Crop Sciences*, 41, 436-442. <https://doi.org/10.2135/cropsci2001.412436x>
- Jiang, Y., Jiayan, Y., Rasulov, B. & Niinemets, U. (2020). Role of Stomatal Conductance in Modifying the Dose-Response of Stress-Volatile Emissions in Methyl Jasmonate Treated Leaves of Cucumber (*Cucumis Sativa* L.). *International Journal of Molecular Sciences*, 21, 1-20. <https://doi.org/10.3390/ijms21031018>
- Khan, M.G., Silberbush, M. & Lips, S.H. (1997). Responses of alfalfa to potassium, calcium, and nitrogen under stress induced by sodium chloride. *Biologia Plantarum*, 39(2), 251-259. <https://doi.org/10.1023/A:1001072704686>
- Kratky, B. A. (2009). Three non-circulating hydroponic methods for growing lettuce. Proceedings of the International Symposium on Soilless Culture and Hydroponics. *Acta Horticulturae*, 843, 65 - 72.
- Lichtenhaler, H.K. & Welburn, A.R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11, 591-592. <https://doi.org/10.1042/bst0110591>
- Lin, K., Huang, M., Huang, W., Hsu, M., Yang, Z. & Yang, C. (2013). The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa*, L. var. *capitata*). *Scientia Horticulturae*, 150, 86-91. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.10.002>
- Meeteren, U.V. & Aliniaiefard S. (2016). Stomata and Postharvest Physiology. In: *Postharvest Ripening Physiology of Crops*, chapter 6, 157- 216.
- Mouroutoglou, C., Kotsiras, A., Ntatsi, G. & Savvas, D. (2021). Impact of the hydroponic cropping system on growth, yield, and nutrition of a Greek Sweet Onion (*Allium cepa* L.) landrace. *Horticulturae*, 7(11), 432. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7110432>
- Neocleous, D., Koukounaras, A., Siomos, A.S. & Vasilakakis, M. (2014). Changes in photosynthesis, yield, and quality of baby

- lettuce under salinity stress. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16, 6, 1335-1343.
<https://doi.org/10.3390/horticulturae7110432>
- Ngamwonglumlert, L., Devahastin, S., Chiewchan, N. & Raghavan, V. (2020). Plant carotenoids evolution during cultivation, postharvest storage and food processing: A review. *Comprehensive Review in Food Science and Food Safety*, 19, 1561-1604.
<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12564>
- Nguyen, N. T., McInturf, S. A. & Mendoza-Cózatl, D. G. (2016). Hydroponics: A versatile system to study nutrient allocation and plant responses to nutrient availability and exposure to toxic elements. *Journal of Visualized Experiments*, (113), e54317,
<https://doi.org/10.3791/54317>
- Oud, N., Barbagli, T. & Blok, C. (2021). Root oxygen use as a measure for ion uptake from slightly different nutrient solutions. *Acta Horticulturae*, 1317, 239-246.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1317.27>
- Panahandeh, J., Hanafi, S., Oustan, S. & Motallebiazar, A. (2023). The effect of ammonium: nitrate ratios of nutrient solution on yield and some characteristics of lettuce. *Journal of Vegetables Sciences*, 6(2), 85-96. (In Persian)
<https://doi.org/10.22034/juvs.2022.557938.1225>
- Panahandeh, J. & Rashidi, S. (2020). Evaluation of the effects of three nutrient solutions accompanied with aeration and without aeration on the growth of Radicchio chicory. In: *11th Congress of horticulture sciences*, 26-28 Aug., Urmia University, Urmia, Iran, pp 1-5.
- Pecanha, A. L., daSilva, J.R., Rodrigues, W. P. & Porra, R.J. (2002). The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b. *Photosynthesis Research*, 73, 149-156.
<https://doi.org/10.1023/A:1020470224740>
- Pora, R. J., Thompson, W. A. & Kriedemann, P. E. 1989. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophyll a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. *Biochemistry and Biophysics, Acta (BBA) Bioenergetics*, 975, 384- 394.
[https://doi.org/10.1016/S00052728\(89\)80347-0](https://doi.org/10.1016/S00052728(89)80347-0)
- Rodríguez-Ortega, W.M., Martínez, V., Nieves, M., Cámara-Zapata, J.M. & García Sánchez, F. (2017). Agronomic and physiological responses of tomato plants grown in different soilless systems to saline conditions (No. e2983v1). *Peer J Preprints*.
- Roosta, H.R., Bakhtiari zadeh, S., Raghmi, M. R & Esmaeili zadeh, M. (2022). The Effect of Different Methods of Replacing Supplemental Nutrient Solution in Floating Hydroponic System on Growth and Physiological Characteristics of Three Lettuce Cultivars. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 23, (1), 33-46 (In Persian).
<https://doi.org/20.1001.1.16807154.1401.23.1.2.0>
- Salisbury, F. B. & Ross, C. W. (2006). *Plant Physiology* (3rd ed.) Wadsworth Pub.
- Sapkota, S., Sapkota, S. & Liu, Z. (2019). Effects of nutrient composition and lettuce cultivar on crop production in hydroponic culture. *Horticulturae*, 5, 72.
<https://doi.org/10.3390/horticulturae5040072>
- Seifi Kalhor, M. (2017). Effects of blue light on photosynthesis of Tradescantia virginiana plants grown in different VPDs. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 30(2), 420-428. (in Persian).
<https://doi.org/20.1001.1.23832592.1396.30.2.16.7>
- Sgherri, C., Pérez-López, U., Micaelli, F., Miranda-Apodaca, J., Mena-Petite, A., Muñoz-Rueda, A. & Quartacci, M.F. (201). Elevated CO₂ and salinity are responsible

- for phenolics-enrichment in two differently pigmented lettuces. *Plant Physiology and Biochemistry*, 115, 269-278. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.04.006>
- Singh, J., Metrani, R., Jayaprakasha, G.K., Croscy, K.M., Jifon, J.L., Ravishankar, S., Brierley, P., Leskovar, D.L., Turini, T.A., Schultheis, J., Coolong, T., Guan, W. & Patil, B.S. (2022). Profiling carotenoid and sugar contents in unique *Cucumis melo* L. cultigens harvested from different climatic regions of the United States. *Journal of Food Composition and Analysis*, 106, 104306. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104306>
- Snowden, M. C., Cope, K. R. & Bugbee, B. (2016). Sensitivity of seven diverse species to blue and green light: interactions with photon flux. *PLoS ONE*, 11:e 0163121. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163121>
- Tabatabai, S J., Malkooti, M. J. & Baibordi, A. (2006). Effect of the light spectrum and different color filters on nitrate concentration and growth of lettuce in water culture method. *Soil and Water Sciences*, 20, 1, 26-34. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijssr.2006.127167>
- Taiz, L. & Zeiger, E. (2015). *Plant Physiology* (5th Ed). Sunderland, MA: Sinauer Assoc Inc.
- Tränkner, M., Tavakol, E. & Jákli, B. (2018). Functioning of potassium and magnesium in photosynthesis, photosynthate translocation and photoprotection. *Physiologia Plantarum*, 163, 41-431. <https://doi.org/10.1111/ppl.12747>
- Wang, M., Dong, C. & Gao, W. (2019). Evaluation of the growth, photosynthetic characteristics, antioxidant capacity, biomass yield and quality of tomato using aeroponics, hydroponics and porous tube-vermiculite systems in bio-regenerative life support systems. *Life Sciences in Space Research*, 22, 68-75. <https://doi.org/10.1016/j.lssr.2019.07.008>
- Wu, H.X., Ma, Y.Z. & Xiao, J.P. (2013). Photosynthesis and root characteristics of rice (*Oryza sativa* L.) in floating culture. *Photosynthetica*, 51, 231-237. <https://doi.org/10.1007/s11099-013-0015-4>
- Yordanova, R.Y., Alexieva, V.S. & Popova, L.P. (2003). Influence of root oxygen deficiency on photosynthesis and antioxidant status in barley plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, 50, 163-167. <https://doi.org/10.1023/A:1022908811211>
- Zaky, M. H. & Ayoub, F.H. (2018). Effect of Different substrates with organic and inorganic fertilization under closed system conditions on lettuce production. *Annals of Agriculture Sciences and Moshtohor*, 3, 687-696.