اثر دور تعویض محلول غذایی و غلظت‌های مختلف محلول پرکننده بر رشد کاهو (*Lactuca sativa* L.) در سیستم کشت شناور

رحیم برزگر[۱*]، سعید ریزی[۱] و مریم خسروی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۸/۲۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۱۳)

چکیده

کشت شناور کاهو، به دلیل افزایش کارایی مصرف آب و کودهای شیمیایی، در حال توسعه است. به منظور بررسی اثر زمان تعویض محلول غذایی و غلظت محلول پُرکننده بر رشد و عملکرد کاهوی باترهد، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام شد. هر واحد آزمایشی، جعبه‌ای پلاستیکی با ابعاد ۶۰×۴۰×۱۵ سانتی‌متر (حجم ۳۶ لیتر) بود و چهار گیاه با فاصله ۲۰×۲۵ سانتی‌متر روی ورق‌های پلی‌استر کشت شدند. محلول‌های غذایی هر ۳، ۴ و ۵ هفته یکبار تعویض شدند و برای جبران کاهش حجم آب و عناصر تخلیه شده، از محلول غذایی پرکننده ⅓ یا ⅔ غلظت استفاده شد. بوته‌ها ۳۵ روز بعد از نشا، برداشت شدند. نتایج نشان داد که در صفات وزن سر، محیط سر، تعداد برگ، وزن خشک برگ، وزن ریشه و ارتفاع و قطر ساقه اختلاف معنی‌داری بین تیمارها وجود نداشت. اثر متقابل زمان تعویض محلول غذایی × غلظت محلول پرکننده در هیچیک از پارامترهای رشد معنی‌دار نبود. وزن سر و تعداد برگ در بوته به ترتیب بین ۳۱۲-۲۵۶ گرم (میانگین ۲۸۶ گرم) و ۳۷-۳۲ برگ متغیر بود. تجزیه برگ نشان داد که در همه تیمارها، غلظت عناصر پرمصرف و کم‌مصرف در محدوده غلظت بهینه قرار داشت. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین وزن سر با تعداد برگ، وزن ریشه، قطر ساقه و محیط سر مشاهده شد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که با استفاده از محلول پرکننده ⅓ غلظت و بدون تعویض محلول غذایی می‌توان پرورش کاهو و عناصر محلول غذایی را به‌خوبی مدیریت نمود.

واژه‌های کلیدی: کاهوی باترهد، تغذیه، کشت بدون خاک، کشت شناور

مقدمه

تولید جهانی کاهو در سال ۲۰۱۲ تقریباً ۲۵ میلیون تن بود که ایران با تولید ۵۷۰ هزار تن در رتبه پنجم قرار گرفته است (۱۰). کشت کاهو به روش بدون خاک، به علت کوتاه بودن طول دوره رشد آن و نیز عدم وجود آلودگی‌های شیمیایی (تجمع نیترات) و میکروبی، با استقبال زیادی در کشورهای توسعه یافته روبرو شده است (۶). کوتاه شدن طول دوره رشد کاهو سبب شده تا در طول یکسال بتوان ۱۰ بار اقدام به کاشت و برداشت کاهو نمود (۶). اما در ایران هنوز پرورش کاهو به روش شناور، به علت عدم آگاهی کافی از کشت بدون خاک و مدیریت محلول غذایی، به صورت تجاری انجام نشده است.

سیستم کشت بسته، با توجه به تفاوت در سرعت جذب آب و عناصر غذایی و نیز تخلیه سریع برخی عناصر از محلول غذایی و تجمع برخی دیگر، سبب عدم تعادل عناصر در محلول غذایی شده و ممکن است سبب کاهش کیفیت یا عملکرد محصول گردد (۲۱ و ۲۸). زیاد بودن سرعت جذب آب نسبت عناصر غذایی خود باعث افزایش فشار اسمزی محلول و تأثیر

۱. گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی، Barzegar56@yahoo.com

منفی بر جذب آب، رشد و عملکرد محصول می‌گردد (۲۶). جایگزینی آب مصرفی به‌طور اتوماتیک، از تجمع عناصر جلوگیری می‌کند؛ ولی تخلیه عناصر باید جبران شود. از طرفی، سرعت جذب همه یون‌ها توسط ریشه یکسان نیست و عناصری مانند آمونیم، نیترات و پتاسیم با سرعت جذب شده و یون‌های کلسیم و منیزیم و سولفات به کندی جذب شده و در محلول تجمع می‌یابند. این موضوع سبب تغییراتی در وضعیت یون‌ها (نسبت یون‌ها یا عدم توازن) در محلول غذایی می‌گردد (۷ و ۸). برخی از محققین، تعیین غلظت تک تک عناصر در طول دوره استفاده از محلول غذایی را توصیه می‌کنند و با توجه به میزان جذب عناصر، محلول پرکننده‌ای (Replenishment solution) که حاوی همه یا برخی از عناصر تخلیه شده از محلول غذایی است، را به محلول اولیه اضافه می‌کنند (۷). بر این اساس، ساواس (۲۸) دو مدل را برای تهیه محلول افزودنی پیشنهاد نمود که مبنای آن پایش دقیق تک تک عناصر در محلول غذایی زهکشی شده بود. اما باگبی (۷) گزارش کرد که پایش عناصر اگرچه می‌تواند بسیار مفید باشد، ولی ضروری نیست و به‌جای عناصر غذایی تخلیه شده و نیز تعدیل EC، پیشنهاد کرد که از محلول افزودنی با غلظت‌هایی کمتر از غلظت محلول اولیه برای جبران کاهش حجم محلول غذایی استفاده شود. استفاده از سیستم گردشی و تعویض محلول غذایی هر ۴ هفته یکبار سبب افزایش EC و تجمع برخی از یون‌ها شده و اثر منفی بر عملکرد و کیفیت میوه گوجه‌فرنگی (۲۱) گذاشت. نتایج مشابهی در گیاه ژربرا توسط ساواس و گیزاس (۲۹) گزارش شد. آنها گزارش کردند که استفاده از محلول غذایی افزودنی با غلظت زیاد پتاسیم و آمونیوم سبب کاهش اثر سوء سیستم گردشی بر کیفیت و عملکرد ژربرا شد. مقایسه کشت بدون خاک گوجه‌فرنگی در سیستم باز و گردشی نشان داد که میزان مصرف آب در سیستم باز سه برابر، ولی عملکرد آن فقط ۱۵٪ بیشتر از سیستم بسته است (۹). در سیستم‌های کشت شناور، دمای محیط و شدت نور بر شدت جذب عناصر غذایی توسط ریشه کاهو مؤثر است. اما سرعت جذب عناصر غذایی هم در روز و هم در شب ادامه می‌یابد (۱۱). به طور کلی، در سیستم‌های کشت بدون خاک گردشی و شناور تلاش بر این است که با مدیریت بهینه محلول غذایی، بدون ایجاد اختلال در رشد رویشی و عملکرد، مصرف آب و کودهای شیمیایی کاهش یابد (۱۵).

هدف از اجرای این تحقیق، بررسی امکان کاهش مصرف کودهای شیمیایی و آب از طریق تعویض محلول غذایی اولیه در فواصل زمانی طولانی (۳، ۴ و ۵ هفته یکبار) و جایگزینی آب و عناصر تخلیه شده از محلول، از طریق محلول غذایی افزودنی در غلظت های مختلف، و تأثیر آن بر رشد و عملکرد کاهو بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در ۳ تکرار انجام شد. هر واحد آزمایش شامل چهار بوته کاهو بود. فاکتور اول شامل زمان تعویض محلول غذایی مخزن و جایگزینی آن با محلول غذایی جدید در ۳، ۴ و ۵ هفته بعد از کشت نشا بود که به ترتیب با حروف I3، I4 و I5 نشان داده می‌شود. فاکتور دوم شامل غلظت‌های مختلف محلول افزودنی در دو سطح ⅓ یا ⅔ غلظت محلول استاندارد اولیه بود که در طول دوره رشد، برای جبران کاهش حجم محلول (ناشی از تبخیر و تعرق) و عناصر تخلیه شده از آن، استفاده می‌شد. بنابراین، این آزمایش در مجموع شامل ۶ تیمار بود که از T1 تا T6 نام‌گذاری شدند. هر هفته یکبار، میزان کاهش حجم محلول غذایی تعیین و معادل آن محلول غذایی با غلظت ⅓ یا ⅔ به آن اضافه می‌شد تا حجم محلول در مخزن به حجم اولیه (۲۰ لیتر) بازگردد.

قبل از تهیه محلول غذایی، آب مورد استفاده تجزیه شیمیایی شد و غلظت کلسیم و منیزیم آن در تهیه محلول غذایی لحاظ شد. محلول غذایی مورد استفاده، با اندکی تغییرات، مطابق محلول غذایی توصیه شده توسط بریچنر و بوث (۶) تهیه شد

جدول ۱. غلظت عناصر پرمصرف و کم‌مصرف در محلول غذایی (میلی‌گرم بر لیتر)

Cu	Mo	Mn	B	Zn	Fe	S	Ca	Mg	P	K	NH_4	NO_3
۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۱۳	۱	۳۵	۱۰۰	۲۴	۳۱	۲۱۵	۱۵	۱۰۰

که غلظت عناصر در محلول نهایی بر حسب میلی‌گرم بر لیتر به شرح جدول ۱ بود.

نوع و مقدار کود مورد استفاده برای تهیه محلول غذایی با استفاده از نرم افزار هیدروبادی (Hydro buddy ver 1.4) مشخص شد. کلیه کودهای مصرفی ساخت شرکت اس کیو ام (SQM) بلژیک بودند. pH محلول در طول دوره رشد در محدوده ۵/۸– ۶/۲ و EC اولیه آن ۱۲۰۰ µS/cm بود.

در این تحقیق، ابتدا بذرهای کاهوی نوع باترهد (*Lactuca sativa* L. var capitata) روی قطعات مکعبی اسفنج به ابعاد ۳ سانتی‌متر کشت شدند. قبل از کشت بذرها، روی اسفنج، حفره‌ای به عمق ۰/۵ سانتی‌متر ایجاد شد و اسفنج‌ها کاملاً مرطوب شدند. سپس، به منظور حفظ رطوبت، بذرهای کشت شده در داخل جعبه‌های پلاستیکی شفاف درب‌دار قرار گرفتند. بعد از جوانه‌زنی بذرها، از محلول غذایی با شوری کم (EC =۸۰۰ Ms/cm) برای تغذیه آنها استفاده شد تا به مرحله دو برگی رسیدند. سپس، نشاها به سیستم کشت شناور (Floating system) منتقل و روی ورق‌های یونولیت به ضخامت ۳ سانتی‌متر با فاصله ۲۵× ۲۰ سانتی‌متر کشت شدند. مخازن محلول غذایی، جعبه‌هایی از جنس فایبرگلاس به ابعاد ۳۶× ۵۷ و ارتفاع ۱۵ سانتی‌ر بودند که تا ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر از محلول غذایی پر شدند. دمای روز و شب گلخانه به ترتیب روی ۲۲ و ۱۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی حدود ۶۰٪ تنظیم شده بود.

سی و پنج روز بعد از کشت نشاها، بوته‌های کاهو به مرحله برداشت رسیدند و شاخص‌های وزن تر و محیط سر (Head) کاهو، وزن خشک برگ، تعداد برگ، وزن تر ریشه، قطر و ارتفاع ساقه و میزان کلروفیل کل در کلیه واحدهای آزمایشی اندازه‌گیری شد. از برگ‌های سه تکرار در هر تیمار یک نمونه مخلوط تهیه و برای اندازه‌گیری عناصر استفاده شد. برای تهیه نمونه برگ، جوان‌ترین برگ‌های ماقبل سر کاهو از هر بوته مورد استفاده قرار گرفت (۱۳). نیتروژن به روش کجلدال، پتاسیم با استفاده از فلیم فتومتر Jenway، عناصر فسفر و بُر با استفاده از اسپکتروفتومتر Farmesia LKB، و عناصر کلسیم، منیزیم، آهن، روی، مس و منگنز با استفاده از دستگاه جذب اتمی Perkin Elmer 400AA اندازه‌گیری شدند. میزان کلروفیل برگ به روش آرنون و همکاران (۴) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک، برگ‌ها به مدت ۳ روز در دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک شدند.

به منظور بررسی روابط بین صفات، همبستگی بین صفات تعیین شد و سپس تجزیه واریانس و مقایسه میانگین اثرهای اصلی و اثر متقابل بین تیمارها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن انجام شد. از نرم‌افزار SPSS برای انجام تجزیه‌های آماری استفاده شد.

نتایج و بحث

با افزایش زمان تعویض محلول غذایی، EC آن افزایش یافت و از ۱۱۰۰ µS/cm در روز اول به حدود ۱۵۷۵–۱۳۰۰ µS/cm در پایان زمان تعویض محلول غذایی در تیمارهای مختلف رسید. پس از جایگزینی حجم آب کاهش یافته از مخزن با محلول غذایی یک سوم یا دو سوم غلظت استاندارد، EC آن اندکی کاهش می‌یافت. بنابراین، حتی تا پایان هفته پنجم نیز EC محلول غذایی از آستانه شوری کاهو، که ۱۸۰۰ µS/cm است (۳)، تجاوز نکرد. از آنجایی که در سیستم‌های کشت بدون خاک بسته (Closed system)، سرعت جذب آب توسط گیاه بیشتر از سرعت جذب عناصر غذایی است، EC محلول افزایش می‌یابد (۳۰).

تجزیه همبستگی بین صفات نشان داد (جدول ۲) که چهار صفت محیط سر، تعداد برگ در بوته، وزن ریشه و قطر ساقه به ترتیب با ۰/۷۴۵، ۰/۶۵۴، ۰/۸۶۵ و ۰/۷۱۲ بیشترین

جدول ۲. همبستگی بین صفات در کاهو

	محیط سر	وزن سر	وزن خشک برگ	تعداد برگ	ارتفاع ساقه	قطر ساقه	وزن ریشه
وزن سر	۰/۷۴۵**						
وزن خشک برگ	۰/۱۱۲	-۰/۰۷۱					
تعداد برگ	۰/۶۷۰**	۰/۶۵۴**	۰/۱۱۵				
ارتفاع ساقه	۰/۱۵۳	۰/۲۲۹	-۰/۱۰۱	-۰/۰۲۷			
قطر ساقه	۰/۴۱۸	۰/۷۱۲**	-۰/۲۰۹	۰/۲۹۴	۰/۴۶۸		
وزن ریشه	۰/۷۰۹**	۰/۸۶۵**	۰/۰۶۶	۰/۵۸۷*	۰/۲۸۴	۰/۷۵۳**	
غلظت کلروفیل کل	۰/۰۸۸	-۰/۴۱۰	۰/۰۷۴	-۰/۲۳۳	-۰/۲۳۸	۰/۵۷۴*	-۰/۲۷۷

** و * به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح ٪۱ و ٪۵

جدول ۳. تجزیه واریانس صفات بین تیمارهای مختلف از نظر صفات مورد بررسی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		محیط سر	وزن سر	وزن خشک برگ	تعداد برگ	ارتفاع ساقه	قطر ساقه	وزن ریشه
زمان تعویض محلول غذایی	۲	۰/۰۵۰ns	۰/۰۹۳ns	۰/۰۱۷ns	۰/۰۸۷ns	۰/۰۹۳ns	۰/۰۲۱ns	۰/۲۱۷ns
غلظت محلول افزودنی	۱	۰/۲۹۳ns	۰/۸۰۶ns	۰/۰۰۰ns	۰/۰۰۶ns	۰/۳۲۶ns	۰/۱۶۰ns	۰/۰۴۵ns
زمان تعویض × غلظت محلول افزودنی	۲	۰/۲۳۴ns	۲/۰۷ns	۰/۰۰۵ns	۰/۰۷۸ns	۰/۰۴۰ns	۰/۰۰۲ns	۰/۱۴۳ns
خطا	۱۲	۰/۲۸۰	۲/۷۸	۰/۰۱۱	۰/۰۴۳	۰/۰۴۸	۰/۰۵۵	۰/۴۷۴

ns عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها

همبستگی مثبت و معنی‌دار (P<۰/۰۱) را با صفت وزن سر کاهو داشتند. صفات تعداد برگ در هر بوته و محیط سر صفاتی هستند که به صورت مستقیم با وزن سر همبستگی دارند (۱۸). وزن ریشه علاوه بر همبستگی زیاد با وزن سر، با صفات دیگری نظیر قطر ساقه (r=۰/۷۵۳)، تعداد برگ (r=۰/۵۸۷) و محیط سر (r=۰/۷۰۹) نیز همبستگی مثبت نشان داد. در این تحقیق، همبستگی بین قطر ساقه و وزن تر سر ۰/۷۱ و همبستگی بین طول و قطر ساقه ۰/۴۷ بود که با نتایج تحقیق موسوی و همکاران (۲۳) مطابقت داشت. با توجه به همبستگی زیاد وزن تر ریشه و تعداد برگ با وزن سر، به نظر می‌رسد که این دو صفت و عواملی که سبب تأثیر بر آنها می‌شوند بر وزن کاهو اثرگذار می‌باشند (۲۷).

تجزیه واریانس صفات بر مبنای آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی (جدول ۳) نشان داد که اثرهای اصلی فاکتورهای زمان تعویض محلول غذایی و غلظت محلول افزودنی و اثر متقابل آنها در هیچیک از صفات معنی‌دار نبود.

میانگین صفات مختلف در اثر متقابل فاکتورهای مورد بررسی در جدول ۴ نشان داده شده است. وزن سر، که مهمترین صفت عملکردی کاهو محسوب می‌شود، بین ۳۱۳-۲۵۶ گرم متغیر بود که بیشترین میزان آن به ترتیب در تیمارهای T1 و T6 به وزن ۳۱۳ و ۳۰۰ گرم بود. متوسط وزن تر سر در این تحقیق ۲۸۶ گرم بود. میانگین اثرهای اصلی هر یک از تیمارها (جداول ۵ و ۶) نیز اختلاف معنی‌داری با یکدیگر از نظر وزن تر سر نشان ندادند. مهمترین عواملی که غیر از نوع رقم و عوامل آب و هوایی بر وزن سر کاهو اثر می‌گذارد تعداد برگ‌ها، اندازه آنها و نیز حجم ریشه است که با جذب آب و عناصر غذایی سبب رشد بیشتر برگ‌ها و تولید مواد فتوسنتزی بیشتر می‌گردد (۳۱). از آنجایی که تیمارهای

جدول ۴. میانگین اثرهای متقابل تیمارها در صفات مورد بررسی *

شماره تیمار	اثر متقابل	محیط سر (cm)	وزن سر (g)	وزن خشک برگ (٪)	تعداد برگ	ارتفاع ساقه (cm)	قطر ساقه (mm)	وزن تر ریشه (g)
T1	I3 ×⅓ s	۱۰۷	۳۱۳	۵/۹۱	۳۶/۷	۹/۹۳	۲۶/۳	۴۵/۶
T2	I3 ×⅔ s	۹۵/۳	۲۵۶	۵/۶۱	۳۳/۷	۸/۲۶	۲۴/۶	۴۱/۶
T3	I4 ×⅓ s	۱۰۳	۲۸۸	۵/۶۹	۳۲/۷	۹/۹۰	۲۵/۷	۴۱/۳
T4	I4 ×⅔ s	۹۸/۳	۲۷۸	۵/۶۳	۳۲/۰	۹/۳۰	۲۳/۵	۳۸/۰
T5	I5 ×⅓ s	۱۰۲	۲۸۰	۵/۲۷	۳۲/۷	۹/۴۶	۲۵/۳	۳۸/۱
T6	I5 ×⅔ s	۱۰۵	۳۰۰	۵/۴۰	۳۵/۰	۷/۹۶	۲۳/۶	۴۱/۰

* در کلیه صفات، اختلاف معنی‌داری بین اثرهای متقابل تیمارها وجود نداشت.

جدول ۵. میانگین اثر زمان تعویض محلول غذایی بر صفات مورد بررسی*

دور تعویض محلول غذایی	محیط سر (cm	وزن سر (g)	وزن خشک برگ (٪)	تعداد برگ	ارتفاع ساقه (cm)	قطر ساقه (mm)	وزن ریشه (g)
سه هفته یکبار	۱۰۰	۲۸۵	۵/۷۶	۳۵/۲	۹/۱۰	۲۵/۵	۴۳/۷
چهارهفته یکبار	۱۰۱	۲۸۳	۵/۶۵	۳۲/۳	۹/۶۰	۲۴/۶	۳۹/۷
پنج هفته یکبار	۱۰۳	۲۹۰	۵/۲۸	۳۳/۸	۸/۲۲	۲۴/۴	۳۹/۵

* با توجه به جدول تجزیه واریانس، در کلیه صفات، اختلاف معنی‌داری بین تیمارها وجود نداشت.

جدول ۶. میانگین اثر غلظت‌های مختلف محلول افزودنی برصفات مورد بررسی*

غلظت محلول افزودنی	محیط سر (cm)	وزن تر سر (g)	وزن خشک برگ (٪)	تعداد برگ	ارتفاع ساقه (cm)	قطر ساقه (mm)	وزن ریشه (g)
محلول افزودنی ⅓ S	۱۰۴/۱	۲۹۴	۵/۵۹	۳۴/۰	۹/۷۷	۲۵/۸	۴۱/۷
محلول افزودنی ⅔ S	۹۸/۸	۲۷۸	۵/۵۵	۳۳/۶	۸/۱۸	۲۳/۹	۴۰/۲

* با توجه به جدول تجزیه واریانس، در کلیه صفات، اختلاف معنی‌داری بین تیمارها وجود نداشت.

مختلف اثر معنی‌داری بر تعداد برگ‌ها ، محیط سر و وزن ریشه نداشتند، بنابراین وزن هد نیز در بین تیمارها فاقد اختلاف معنی‌دار بود.

محیط سر در تیمارهای مختلف بین ۱۰۷– ۹۵/۳ سانتی‌متر متغیر بود. همانند صفت وزن سر، در این صفت نیز تیمارهای T1 و T6 بیشترین محیط سر را داشتند. اندازه سر و چگالی آن به وسیله عواملی مانند رقم و عملیات زراعی از قبیل فضای در دسترس برای هر بوته و فراهم بودن آب و عناصر غذایی در طول دوره رشد کنترل می‌شود (۳۱). برگ‌های قاعده‌ای که باعث افزایش محیط سر می‌شوند، نقش مهمی در فتوسنتز و تشکیل سر دارند؛ زیرا در معرض نور قرار داشته و بیشترین فتوسنتز را انجام می‌دهند و به همین دلیل افزایش محیط سر سبب افزایش وزن تر سر می‌گردد (۱۲). هر چه تعداد روز تا اولین برداشت محصول طولانی‌تر باشد، محیط سر بزرگتر خواهد بود و میانگین وزن هر برگ افزایش خواهد یافت (۲۷).

وزن خشک برگ در تیمارهای مورد بررسی بین ۵/۹۱–۵/۲۷ درصد بود که بین اثرهای متقابل تیمارها و نیز بین

اثرهای اصلی هر یک از تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. میزان تجمع ماده خشک در گیاه نشان‌دهنده سرعت رشد آن است و نسبت‌های بیشتر فتوسنتز به تعرق و تولید زیست‌توده بیشتر نشانه رشد بیشتر گیاه است (۱). از آنجایی که در هر واحد آزمایشی ۴ گیاه کشت گردید و میزان کاهش حجم آب تا پایان دوره رشد حدود ۲۰ لیتر بود، بنابراین در کلیه تیمارها میزان مصرف آب (مجموع تبخیر و تعرق) در طول دوره رشد به طور متوسط ۵ لیتر به ازای هر بوته بود که با توجه به اینکه متوسط وزن تر هر بوته ۲۸۶ گرم و میانگین ماده خشک برگ ۵/۵۸ درصد بود، بنابراین سرعت رشد بوته‌ها معادل ۶/۳۵ گرم وزن تر و ۰/۳۵ گرم وزن خشک در روز به ازای هر بوته بود. میزان وزن تر و خشک تولید شده به ازای هر لیتر مصرف آب به ترتیب معادل ۵۷/۲ و ۳/۱۹ گرم بود.

تعداد برگ‌ها و میانگین وزن هر برگ (ابعاد آن) در هر بوته مهمترین عاملی است که بر وزن تر سر اثر مستقیم دارند (۱۸ و ۲۷). اگرچه تیمارهای مختلف از نظر غلظت عناصر غذایی دریافتی در طول دوره پرورش متفاوت بودند، اما اختلاف معنی‌داری بین تیمارها از نظر تعداد برگ تولید شده وجود نداشت و بین ۳۶/۷-۳۲ عدد متغیر بود. بیشترین تعداد برگ مربوط به تیمار T1 بود و در رتبه بعدی تیمار T6 با تولید ۳۵ برگ قرار داشت. تعداد برگ‌های تشکیل یافته در واحد زمان (سرعت رشد گیاه) تحت تأثیر عوامل محیطی نور و دما و دسترسی به آب و عناصر غذایی است. ساماراکون و همکاران (۲۶) گزارش کردند که افزایش EC محلول غذایی از ۱/۴ به ۲ و ۳ دسی‌زیمنس بر متر سبب کاهش تعداد برگ، وزن تر و خشک اندام ارتفاع گیاه و سطح برگ کاهو گردید. نوع محلول غذایی مورد استفاده و سیستم کشت نیز بر تعداد برگ اثرگذار است (۲). تعداد کل برگ و تعداد برگ خوراکی در کاهو وابسته به رقم بوده و به میزان نیتروژن موجود در محلول غذایی بستگی ندارد (۱۹). از آنجایی که در این تحقیق، EC محلول غذایی از حد آستانه شوری کاهو در هیچیک از تیمارها تجاوز نکرد، بنابراین افزایش EC محلول غذایی تأثیری بر تعداد کل برگ‌های آن نداشت. از طرف دیگر، غلظت عناصر غذایی موجود در برگ در کلیه تیمارها در محدوده بهینه قرار داشت و تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند.

اختلاف معنی‌داری بین تیمارها از نظر ارتفاع ساقه تولید شده وجود نداشت. مقدار این صفت بین ۹/۹۳-۷/۹۶ متغیر بود. بیشترین ارتفاع ساقه مربوط به تیمار T1 و کمترین آن در تیمار T6 بود. ارتفاع ساقه از جمله عوامل مورفولوژیک است که بر تشکیل سر تأثیر می‌گذارد. گردآمدن لایه‌هایی از برگ در بالای نقطه رویشی، نیازمند نگه‌داری یک ساقه کوتاه طی دوره تشکیل سر می‌باشد. افزایش نسبت طول ساقه به تعداد برگ تولیدی نشانه افزایش طول میانگره‌ها بوده و افزایش طول میانگره‌ها موجب عدم تشکیل سر یا کاهش چگالی آن می‌گردد. هر چه طول ساقه کوتاهتر باشد سرهایی با چگالی بیشتر ایجاد می‌گردد؛ ضمن اینکه افزایش طول ساقه سبب تسریع در به‌گل رفتن کاهو می‌گردد (۳۱).

بین اثرهای اصلی هر یک از فاکتورها و اثرهای متقابل آنها تفاوت معنی‌داری از نظر قطر ساقه مشاهده نشد. در تحقیقات قبلی، در باره قطر ساقه اصلی و اهمیت آن در کاهو، گزارشی ارائه نشده است. اما با توجه به همبستگی مثبتی که بین این صفت و وزن تر ریشه وجود دارد شاید بتوان اظهار داشت که افزایش قطر ساقه بر تعداد ریشه‌های رشد یافته دور تا دور آن مؤثر بوده و سبب افزایش تعداد ریشه در بوته می‌گردد که به نوبه خود سبب افزایش جذب آب و عناصر غذایی و در نهایت افزایش عملکرد می‌شود.

اختلاف معنی‌داری بین اثرهای متقابل تیمارها و همچنین اثرهای اصلی آنها بر وزن تر ریشه مشاهده نشد. وزن تر ریشه در تیمارهای مختلف بین ۴۵/۶-۳۸ گرم متغیر بود. زمان تعویض محلول غذایی و غلظت محلول افزودنی نیز اثر معنی‌داری بر وزن ریشه نداشت. وزن ریشه و گسترش آن می‌تواند در افزایش جذب عناصر غذایی و آب مؤثر باشد (۲).

میزان عناصر غذایی در بافت برگ‌های تازه بالغ کاهو نشان داد که غلظت این عناصر در تیمارهای مختلف نزدیک به هم

جدول ۷. مقایسه غلظت عناصر غذایی موجود در برگ تیمارهای مختلف آزمایش با غلظت بهینه عناصر پیشنهاد شده توسط محققین دیگر

اثر متقابل	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn	B
	(٪)					(mg/kg)				
$I_3 \times \frac{1}{3}S$	۳/۸۱	۰/۴۳	۵/۹۱	۲/۱۴	۰/۶۶	۸۶/۲	۵۸/۲	۹/۱۴	۱۰۵	۲۰/۸
$I_3 \times \frac{2}{3}S$	۳/۷۶	۰/۴۲	۵/۸۳	۲/۱۹	۰/۶۸	۷۷/۳	۶۷/۴	۷/۳۳	۱۰۴	۱۸/۸
$I_4 \times \frac{1}{3}S$	۳/۵۷	۰/۴۴	۵/۹۹	۲/۱۸	۰/۶۹	۹۲/۴	۵۲/۴	۹/۶۰	۱۰۸	۱۸/۳
$I_4 \times \frac{2}{3}S$	۳/۵۵	۰/۴۴	۵/۸۲	۲/۱۵	۰/۶۷	۹۲/۳	۵۰/۱	۸/۲۴	۱۰۴	۱۸/۵
$I_5 \times \frac{1}{3}S$	۳/۵۲	۰/۴۱	۵/۸۴	۲/۱۱	۰/۶۵	۷۴/۲	۴۸/۹	۸/۲۲	۹۸/۴	۲۱/۳
$I_5 \times \frac{2}{3}S$	۳/۶۱	۰/۴۲	۵/۶۱	۲/۰۱	۰/۶۳	۶۸/۹	۵۵/۳	۷/۱۲	۱۰۱	۱۹/۷
(Hartz et al., 2007) Iceberg lettuce	۳/۳–۴/۸	۰/۳۵–۰/۷۵	۲/۹–۷/۸	۰/۶–۱/۱	۰/۲۵–۰/۴۵	۱۱۵–۲۵۷	۲۱–۷۵	۵/۶–۸/۲	۳۷–۷۳	۱۹–۳۱
(Huchmuth et al., 2004) Romain lettuce	۳/۵–۴/۵	۰/۳۵–۰/۶	۵–۶	۲–۳	۰/۲۵–۰/۴	۵۰–۱۵۰	۲۰–۵۰	۵–۱۰	۱۵–۲۵	۳۰–۴۵

هستند (جدول ۷). تحقیقات نیراکابیبی و همکاران (۲۴) نیز نشان داد که افزایش غلظت محلول غذایی (EC از ۱/۶ به ۲/۹) سبب اختلاف معنی‌دار غلظت عناصر در بافت برگ ارقام مختلف کاهو نشد. به نظر می‌رسد که زمانی که در محلول‌های غذایی مورد استفاده، نسبت عناصر غذایی تغییر نیابد، افزایش غلظت محلول غذایی سبب تغییر در شدت جذب عناصر نمی‌شود. اما با تغییر نسبت عناصر غذایی، بخصوص در مورد کاتیون‌ها، به علت بروز رقابت بر سر جذب، غلظت آنها در بافت برگ نیز تغییر خواهد کرد (۱۵ و ۲۸). در قسمت پائین جدول ۷ محدوده بهینه غلظت عناصر غذایی در برگ کاهو جهت رسیدن به حداکثر عملکرد توسط هارتز و همکاران (۱۳) و هاچموث و همکاران (۱۴) نشان داده شده است. مقایسه غلظت عناصر برگ در تیمارهای مختلف با این غلظت‌های بهینه نشان می‌دهد که غلظت همه عناصر، بجز منگنز، در محدوده مناسب قرار دارد. اگرچه غلظت منگنز برگ در این آزمایش بیشتر از حد نرمال بود، اما هیچ علائمی از مسمومیت منگنز در برگ‌ها مشاهده نشد. شاید علت افزایش جذب منگنز کاهش pH محلول غذایی در اثر جذب سریع آمونیم باشد (۶). ساماراکون و همکاران (۲۶) گزارش کردند که افزایش غلظت محلول غذایی آلبرت سبب افزایش سرعت جذب پتاسیم و نیتروژن (نیتراتی یا آمونیمی) و تجمع آن در بافت برگ در مقایسه با سایر عناصر می‌گردد و در مقابل، تجمع کلسیم و منیزیم و فسفر بیشتر در داخل محلول غذایی رخ داد که منجر به عدم توازن عناصر در بافت برگ می‌گردد. این حالت زمانی رخ می‌دهد که همه عناصر به صورت یک‌دفعه و در ابتدای تهیه محلول غذایی در اختیار گیاه قرار گیرند و محلول غذایی زود تعویض گردد. اما زمانی که عناصر به‌تدریج و با استفاده از محلول غذایی افزودنی با غلظت‌هایی کمتر از غلظت محلول اولیه در اختیار گیاه قرار گیرند، تجمع نیتروژن در گیاه کمتر مشاهده خواهد شد (۶). چون سایر عوامل محیطی مانند شدت نور، دما و دسترسی به آب برای همه تیمارها یکسان بوده و فقط در میزان غلظت عناصر غذایی دریافتی و EC (در طول دوره ۳۵ روزه رشد) با یکدیگر تفاوت داشتند، این تفاوت نتوانست بر میزان فتوسنتز و رشد و نمو بوته‌ها تأثیر معنی‌داری داشته باشد و بوته‌های کاهو توانستند حتی بدون تعویض محلول غذایی تا پایان دوره رشد (۳۵ روز) به رشد و نمو عادی خود ادامه دهند. مقایسه مقادیر عناصر در بافت برگ، در تیمارهای مختلف، با غلظت‌های استاندارد آن و نیز عدم اختلاف معنی‌دار در صفات مورد بررسی مؤید این مطلب است. کاهو جزو گیاهان حساس به شوری است و در محلول‌های غذایی با EC زیاد، میزان عملکردش نسبت به EC کم (۱۲۰۰ µS/cm) کاهش می‌یابد (۱۱). در این تحقیق، EC محلول‌های غذایی از ۱۶۰۰ µS/cm

تجاوز نکرد. زکی و همکاران (۳۲) گزارش کردند که عدم تعویض محلول غذایی در سیستم NFT در یک دوره ۳ ماهه (فقط تنظیم روزانه pH و EC) سبب کاهش رشد و عملکرد در گوجه‌فرنگی نسبت به تیمار NFT غیر گردشی به علت تجمع یون سولفات در محلول غذایی شد و در تیمارهای غیرگردشی، تعویض محلول غذایی هر ۴ هفته یکبار، بهترین رشد و عملکرد را سبب شد. نتایج مشابهی توسط کوالسکا (۱۶) گزارش شد. استفاده طولانی‌مدت از یک محلول غذایی (۷۵ روز متوالی) سبب تجمع اسیدهای آلی می‌شود که از ریشه ترشح شده و سبب کاهش رشد و عملکرد می‌گردد (۲۰).

اما نکته مهمی که باید در تیمارهای دیرهنگام تعویض محلول مورد توجه قرار گیرد جلوگیری از آلودگی محلول‌های غذایی به قارچ‌ها و باکتری‌هایی است که سبب پوسیدگی ریشه می‌شوند. بنابراین، باید با استفاده از ضدعفونی کردن مخازن، استخر، لوله‌ها و تجهیزات و نیز فیلتر نمودن محلول غذایی، از شیوع بیماری‌های پوسیدگی ریشه جلوگیری نمود (۲۵).

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که در سیستم کشت شناور بدون خاک کاهو، از زمان کشت نشا تا پایان برداشت (دوره ۳۵ روزه) تعویض محلول غذایی هیچ ضرورتی ندارد و به دلیل کاهش مصرف آب و کودهای شیمیایی، از لحاظ اقتصادی به‌صرفه‌تر است. ضمن اینکه میزان کود شیمیایی مصرفی در محلول افزودنی فقط یک‌سوم محلول استاندارد است که به نوبه خود باز هم سبب کاهش مصرف کود شیمیایی می‌شود، بدون آن که کاهش حجم محلول غذایی در اثر تعرق، سبب ایجاد عدم تعادل عناصر غذایی در برگ‌های کاهو گردد.

منابع مورد استفاده

۱. جباری، ف.، ا. احمدی و م. پوریوسف. ۱۳۹۰. بررسی سرعت رشد نسبی و توزیع مواد فتوسنتزی در ارقام حساس و مقاوم به خشکی. تکنولوژی نوین کشاورزی ۴(۱): ۴۱-۵۷.

۲. صفائی، م.، ج. پناهنده، س . ج. طباطبایی و ع. مطلبی‌آذر. ۱۳۹۳. محلول‌های غذایی مختلف بر عملکرد و تأثیر برخی شاخص‌های رشدی کاهو در سیستم هیدروپونیک. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۱۸(۲): ۱۴۵-۱۵۳.

3. Andriolo, J.L., G.L. da Luz, M.H. Witter, R. dos S. Godoi, G.T. Barros and O.C. Bortolotto. 2005. Growth and yield of lettuce plants under salinity. Hort. Bras. 23(4): 931-934.

4. Arnon, D.I. 1975. Physiological principles of dryland crop production". PP. 3-14. In: Gupta, U.S. (Ed.), Physiological Aspects of Dryland Farming, Oxford Press.

5. Both, A.J. Ten years of hydroponic lettuce research. Available online at: http://www.researchgate. net/publication. Accessed on 12 June 2015.

6. Brechner, M. and A.J. Both. 2012. Hydroponic Lettuce Handbook. The University of Cornell. Available online at: http://www.cornellcea.com/attachments/Cornell

7. Bugbee, B. 2004. Nutrient management in recirculating hydroponic culture. Acta Hort. 648: 99-112.

8. Carmassi, G., L. Incrocci, R. Maggini, F. Malorgio, F. Tognoni and A. Pardossi. 2005. Modeling salinity build-up in recirculation nutrient solution culture. J. Plant Nutr. 28(3): 431-445.

9. Dasgan, H.Y. and B. Ekici. 2005. Comparison of open and recycling systems for ion accumulation of substrate, nutrient uptake and water and water use of tomato plants. Acta Hort. 697: 399-408.

10. FAO. 2012. Lettuce and chicory, production quantity. Available online at: http://faostat3. fao.org/home/ index.html#download.

11. Gutierrez, A. 2013. Macronutrient uptake in lettuce (*Lacttuca sativa* L.): Influence of photosynthesis, solution concentration and time of supply. PhD Dissertation, University of California, Davis.

12. Hara, T., A. Nakagawa and Y. Sonoda. 1982. Effect of nitrogen supply and removal of outer leaves on the head development of cabbage plants. J. Jap. Soc. Hort. Sci. 50: 481-486.

13. Hartz, T.K., P.R. Johnstone, E. Williams and R.F. Smith. 2007. Establishing lettuce leaf nutrient optimum ranges through DRIS analysis. HortSci. 42(1): 143-146.

14. Hochmuth, G., D. Maynard, C. Vavrina and E. Hanlon. 2004. Plant tissue analysis and interpretation for vegetable crops in Florida. University of Florida Special Publication SS-VEC- 42.

15. Huett, D. 1994. Growth, nutrient uptake and tipburn severity of hydroponic lettuce in response to electrical conductivity and K: Ca ratio in solution. Aust. J. Agric. Res. 45: 251-269.
16. Kowalska, I. 2004. The effect of sulphate levels in the nutrient solution on mineral composition of leaves and sulphate accumulation in the root zone of tomato plants. Folia Hort. 16(1): 3-14.
17. Kratky, B.A. 2005. Three non-circulating hydroponic methods for growing lettuce. Int. J. Veg. Sci. 11(2): 35-42.
18. Kumar, R., S. Kaushal and Y.R. Shukla. 2010. Variability, correlation and path analysis studies in lettuce. Int. J. Veg. Sci. 16: 299-315.
19. Lastra, O., M.L. Tapia, B. Razeto, and M. Rojas. 2009. Response of hydroponic lettuce cultivars to different treatments of nitrogen: Growth and foliar nitrate content. IDESIA (Chile) Enero. 27: 83-89.
20. Lee, J.G., B.Y. Lee and H.J. Lee. 2006. Accumulation of phytotoxic organic acids in reused nutrient solution during hydroponic cultivation of lettuce (*Lactuca sativa* L.). Sci. Hort. 110: 119-128.
21. Lopez, J., J. Santos-Perez, S. Lozano-Trejo, M. Urrestarazu. 2003. Mineral nutrition and productivity of hydroponically grown tomatoes in relation to nutrient solution recycling. Acta Hort. 609: 219-223.
22. Molitor, H. 1990. The European perspective with emphasis on subirrigation and recirculation of water and nutrients. Acta Hort. 272: 165-174.
23. Mousavy, S.H., M.H. Hasandokht, R. Choukan, N. Sepahvand, M. Khosrowchali and B. Kaviani. 2012. Assessment of qualitative and quantitative traits in commercial Iranian lettuce (*Lactuca sativa* L.) genotypes. Ann. Biol. Res. 3(9): 4352-4361.
24. Nyirakabibi, I., R. Ogutu and J.N. Egilla. 2013. Tissue elemental content and growth response of lettuce to hydroponic solution concentration varied with cultivar. Available online at: http://archives.ashs.org/abstracts/2013/abstracts13 /abstract_id_14748.html. Accessed 18 October 2014.
25. Resh, H. 2013. Hydroponic Food Production. 7th edition, CRC Press. New York.
26. Samarakoon, U.C., P.A. Weerasighe and A.P. Weerakodi. 2006. Effect of electrical conductivity (EC) of the nutrient solution on nutrient uptake growth and yield of leafy lettuce in stationary culture. Trop. Agric. Res. 18: 13-21.
27. Samnotra, R.K., A. Gupta, R.K. Gupta, R. Sharma and V.S. Verma. 2012. Character association and path co-efficient studies in lettuce (*Lactuca sativa* L.) under temperate conditions of Jammu & Kashmir. Vegetos- An Int. J. Plant Res. 25(2): 308-312.
28. Savvas, D. 2002. Automated replenishment of recycled greenhouse effluents with individual nutrients in hydroponics by means of two alternative models. Biosyst. Eng. 83(2): 225-236.
29. Savvas, D. and G. Gizas. 2002. Response of hydroponically grown gerbera to nutrient solution recycling and different nutrient cation ratios. Sci. Hort. 96: 267-280.
30. Terijo-Tollez, T.I. and F.C. Gomez-Merino. 2005. Nutrient solutions for hydroponic systems. Available online at: http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/33765.pdf. Accessed 18 October 2014.
31. Wien, H.C. 1997. The Physiology of Vegetable Crops. CAB International, Wallingford, England, 663 p.
32. Zekki, H., L. Gauthier and A. Gosselin. 1996. Growth, Productivity, and mineral composition of hydroponically cultivated greenhouse tomatoes, with or without nutrient solution recycling. J. Am. Soc. Hort. Sci. 121(6): 1082-1088.