نشریه پژوهش‌های زعفران (دو فصلنامه)
جلد نهم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۰
شماره صفحه: ۳۵۱-۳۳۵
http://dx.doi.org/10.22077/JSR.2021.4025.1151

مقاله پژوهشی:

تاثیر وزن بنه مادری بر عملکرد، رشد زایشی، میزان آپوکاروتنوئیدها و تولید بنه های دختری در هواکشت زعفران

مهدی ابراهیمی[۱*]، محسن پویان[۲]، ساره حسینی[۳]، طیبه شاهی[۴]، حسین راغ آرا[۵]
۱- استادیار جهاد دانشگاهی خراسان جنوبی، بیرجند، ایران.
۲- مدیر مجتمع تحقیقات گیاهان دارویی جهاد دانشگاهی خراسان جنوبی، بیرجند، ایران.
۳، ۴ و ۵- عضو گروه پژوهشی تولید و فرآوری گیاهان استراتژیک خراسان جنوبی، جهاد دانشگاهی خراسان جنوبی، بیرجند، ایران.
* نویسنده مسئول: *Email: hazemagri@gmail.com*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۱۵

چکیده

با توجه به جدید بودن موضوع کشت ایروپونیک زعفران، بسیاری از جنبه‌های مربوط به آن تاکنون موردبررسی قرار نگرفته است. این تحقیق به‌منظور تعیین وزن مناسب بنه‌ها در کشت ایروپونیک در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی (CRD) با ۳ تکرار و ۵ تیمار شامل بنه‌های مادری در گروه‌های وزنی کمتر از ۴، ۴/۱- ۸، ۸/۱- ۱۲، ۱۲/۱-۱۶ و بیشتر از ۱۶ گرم در مجتمع تحقیقات گیاهان دارویی جهاد دانشگاهی خراسان جنوبی، در سال زراعی ۹۹-۹۸ انجام گرفت و تعداد و وزن جوانه‌ها، صفات مرتبط با رشد زایشی، صفات مربوط به رشد بنه‌های دختری و همچنین صفات کیفی شامل میزان آپوکاروتنوئیدهای زعفران (کروسین، پیکروکروسین و سافرانال) مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که با افزایش وزن بنه‌ها از کمتر از ۴ گرم به بیش از ۱۶ گرم، تعداد کل جوانه‌ها در هر بنه از ۲/۹۶ به ۱۱/۳۳ و وزن آن‌ها از ۱۳۰ به ۱۷۷۰ میلی‌گرم افزایش یافت. بعلاوه صفات مرتبط با عملکرد اقتصادی زعفران شامل وزن خشک کلاله، وزن خشک گل‌پوش+پرچم، وزن خشک گل و تعداد گل نیز با افزایش وزن بنه مادری افزایش یافتند. کمترین میزان تولید کلاله به ازای هر بنه مادری با ۰/۱۲ میلی‌گرم به تیمار بنه‌های با وزن کمتر از ۴ گرم تعلق داشت و دو تیمار بنه مادری با وزن ۱۲/۱- ۱۶ و بیش از ۱۶ گرم هر دو با تولید ۳/۳۸ میلی‌گرم بیشترین میزان کلاله را تولید نمودند. با افزایش وزن بنه از کمتر از ۴ گرم به ۱۲/۱- ۱۶ گرم، تعداد گل در هر بنه زعفران از ۰/۰۲۶ به ۰/۵۵۵ افزایش یافت. بااین‌وجود افزایش وزن بنه به بیش از ۱۶ گرم منجر به افزایش صفات مرتبط با عملکرد زعفران نشد؛ نشاء کاری بنه‌ها در محیط مزرعه (پس از پایان گلدهی در محیط کنترل شده) نشان داد که با افزایش وزن بنه مادری از ۱۲/۱- ۱۶ به بیش از ۱۶ گرم، تعداد بنه‌های دختری تولیدشده با افزایش حدود دو برابری از ۴/۱۱ به ۸/۵۰ عدد در هر بنه مادری افزایش یافت. بااین‌وجود نتایج مربوط به صفت متوسط وزن بنه دختری نشان داد که با افزایش وزن بنه‌ها از ۱۲/۱-۱۶ به بیش از ۱۶ گرم، متوسط وزن هر بنه دختری حدود ۳۷ درصد کاهش می‌یابد. بعلاوه میزان آپوکاروتنوئیدهای زعفران در دو نمونه بدست آمده از کشت ایروپونیک و کشت خاکی تفاوتی وجود نداشت. درمجموع با توجه به اینکه در کشت ایروپونیک زعفران تولید عملکرد اقتصادی بالاتر و دستیابی به تعداد مناسبی بنه‌های دختری که وزن قابل قبولی نیز دارند باید به‌طور هم‌زمان موردتوجه قرار گیرند، استفاده از بنه‌های مادری با وزن ۱۲/۱- ۱۶ گرم بدلیل حصول بالاترین رشد زایشی و بیشترین رشد بنه های دختری حاصل از نشاکاری در شرایط کنترل شده کشت ایروپونیک توصیه می شود.

واژه های کلیدی: بنه دختری، فیتوترون، کروسین، گل‌پوش، کشت رایج.

مقدمه

زعفران به‌عنوان گران‌بهاترین ادویه جهان، گیاهی دارویی با خواص بسیار است که به خانواده زنبق[1]تعلق دارد. استفاده از این گیاه در طب سنتی به دوران باستان برمی‌گردد. استفاده‌های دارویی سنتی از این گیاه توسط مطالعات علمی نیز مورد تائید قرار گرفته است (*Ebrahimi, 2018*). علیرغم اینکه ایران بیشترین میزان سطح کشت و تولید زعفران در جهان را به خود اختصاص داده است، میزان عملکرد در واحد سطح این محصول در مقایسه با سایر کشورهای تولیدکننده آن بسیار پایین است (*Ahmadi et al., 2017*). به دلیل عدم توجه زعفران کاران به برخی ملزومات زراعی ازجمله کاشت بنه‌های مادری غیراستاندارد و نامرغوب، عملکرد اقتصادی زعفران عملاً از سال سوم به بعد شروع شده و پس‌ازآن به مدت حدود چهار سال نیز ادامه می‌یابد؛ اما بعدازاین مرحله عملکرد مزارع زعفران کاهش یافته و نگهداری مزرعه به لحاظ اقتصادی به‌صرفه نخواهد بود؛ بنابراین راه‌حل‌هایی که منجر به حصول عملکرد بالاتر در دوره زمانی کوتاه‌تر شوند، سبب جلوگیری از هدر رفت آب، زمین و سرمایه زعفران کاران خواهد شد. استفاده از سیستم‌های نوین کشت ازجمله سیستم هواکشت یا کشت ایروپونیک یکی از این راه‌حل‌هاست که در سال‌های اخیر نیز مورد استقبال بسیاری در سراسر جهان قرار گرفته است. سیستم‌های کشت در شرایط کنترل‌شده می‌توانند جایگزین روش‌های کشت زراعی رایج زعفران شوند (*Mollafilabi et al., 2013*). کشت ایروپونیک یا هواکشت یکی از روش‌های نوین تولید محصولات زراعی در جهان است و راهکاری باارزش جهت تولید محصولات باکیفیت و پایدار در طول سال در مناطقی خواهد بود که با شرایط جوی نامساعد و یا زمین و منابع محدود جهت تولید محصولات زراعی روبه‌رو هستند. در این روش، کاشت گیاهان بدون استفاده از بستر کشت و در محفظه‌ای از هوا بوده و گیاه به کمک پشتیبانی مصنوعی به‌جای خاک در هوا رشد می کند(*Lakhiar et al., 2020*). از جنبه‌های مثبت تولید زعفران در محیط کنترل‌شده کشت ایروپونیک می‌توان به امکان کنترل آفات و پاتوژن‌ها در این سیستم کشت اشاره نمود (*Renau-Morata et al., 2013*)

هرچند استفاده از بنه‌های مادری کوچک متعلق به مزارع قدیمی به‌عنوان بذر یکی از دلایل پایین بودن عملکرد گیاه زعفران در مزارع سنتی ایران است و در سایر کشورها برای اجتناب از این موضوع از بنه‌های درشت و سالم مزارع چهارساله جهت کشت در مزارع جدید استفاده می‌کنند (*Mollafilabi et al., 2013*)، اما تاکنون تحقیقی در خصوص اهمیت اندازه بنه‌های مادری در کشت ایروپونیک زعفران انجام نگرفته است.

طبق تحقیقات صورت گرفته، وزن بنه مادری یکی از عوامل تعیین‌کننده در دستیابی به عملکرد مطلوب در زراعت زعفران است. کاشت بنه‌های مادری دارای وزن مناسب، سبب بهبود رشد و عملکرد زعفران خواهند شد (*Amirshekari et al., 2006; Renau-Morata et al., 2012*) که دلیل عمده آن وجود ذخایر بیشتر در این بنه‌هاست (*Douglas et al., 2014*).

این بنه‌ها علاوه بر اینکه تعیین‌کننده میزان گل و عملکرد تولیدی در سال اول هستند، سبب تولید بنه‌های دختری می‌شوند که به‌عنوان بذر گیاه در سال دوم محسوب خواهند شد و بنه‌های تولیدشده جدید نیز به‌صورت پی‌درپی عملکرد سال‌های بعد را تحت تأثیر قرار خواهند داد (*Amirshekari et al., 2006*).

از طرف دیگر ثابت شده است که رشد بنه‌های دختری تا زمانی که از بنه مادری استقلال پیدا کنند به بنه مادری وابسته است که باعث می‌شود وزن بنه مادری اثرات معنی‌داری بر تشکیل بنه دختری داشته باشد (*Koocheki et al., 2014*). لذا با توجه به اینکه در کشت ایروپونیک اساساً تولید گل به شرایط بنه مادری مورداستفاده وابسته است، تعیین دامنه وزن بنه‌های مورداستفاده برای تولید مطلوب گل و همچنین دستیابی به حداکثر عملکرد بنه دختری از اهمیت بالایی برخوردار است. استفاده از بنه‌های مادری کوچک خطر کاهش عملکرد گل و همچنین تولید بنه‌های دختری نامناسب برای استفاده در سال‌های آتی را بالا می‌برد و از طرفی استفاده از بنه‌های مادری درشت‌تر از حد موردنیاز می‌تواند منجر به تحمیل هزینه‌های بالاتر به تولیدکنندگان در کشت ایروپونیک شود. لذا در تحقیق حاضر تأثیر اندازه بنه مادری بر صفات مرتبط با

[1] Iridaceae

عملکرد زعفران در کشت ایروپونیک مورد مطالعه قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در دو فاز به‌صورت طرح کاملاً تصادفی (*CRD*)[۲] و با سه تکرار طی سال زراعی ۹۸-۹۹ در مجتمع تحقیقات گیاهان دارویی جهاد دانشگاهی واحد خراسان جنوبی اجرا گردید. در فاز اول، بنه‌های مادری زعفران در شهریور ۱۳۹۸ از مزرعه ۳ ساله زعفران واقع در مجتمع خارج شدند و پس از آماده‌سازی اولیه در گروه‌های خیلی کوچک (کمتر از ۴ گرم)، کوچک (۴/۱ تا ۸ گرم)، متوسط (۸/۱ تا ۱۲ گرم)، بزرگ (۱۲/۱ تا ۱۶ گرم) و خیلی بزرگ (بیشتر از ۱۶ گرم) قرار گرفتند. این مزرعه با هدف انجام تحقیقات زعفران در سال ۱۳۹۶ با استفاده از بنه‌های مادری خریداری‌شده از روستای فتح‌آباد فردوس احداث گردید و براساس عرف منطقه آبیاری و تغذیه شد. به‌منظور تغذیه بنه‌های زعفران در دو سال زراعی اول پس از احداث مزرعه عمدتاً از کودهای زیستی و هیومیک اسید به همراه کودهای شیمیایی کامل در زمان اولین آبیاری استفاده شد و مزرعه مجموعاً ۷ نوبت و با فواصل زمانی تقریباً ۱ ماهه تا پایان دوره رشد گیاه آبیاری شد. تغذیه بنه‌های زعفران در سال انجام آزمایش با افزودن ۱۰ کیلوگرم در هکتار کود کامل *NPK* (۲۰، ۲۰، ۲۰)[۳] و هیومیک اسید[۴] به میزان ۱۰ کیلو گرم در هکتار، به همراه اولین آبیاری انجام گرفت. خصوصیات خاک مزرعه در سال انجام آزمایش در جدول ۲ ارائه گردیده است. بنه‌های مورداستفاده در کشت ایروپونیک در تاریخ ۲۱ مهر ۹۸ از خاک مزرعه خارج شدند و تا زمان شروع آزمایش در پاکت‌های کاغذی در محیط خشک و در دمای محیط نگهداری شدند. به‌منظور ایجاد محیط رشد کنترل‌شده در سیستم کشت ایروپونیک ازنظر دو فاکتور رطوبت و روشنایی از بنه‌های مادری زعفران هم‌زمان با شروع آزمایش در ۳۰ مهرماه ۱۳۹۸ در فیتوترون ۱۳۰۰ لیتری (ساخت شرکت نور صنعت تجهیز) قرار گرفتند. تعداد بنه‌های مورداستفاده در هر یک از تیمارهای آزمایشی در جدول ۱ آمده است. بنه‌های مادری از شروع آزمایش تا زمانی که ارتفاع جوانه‌های مرکزی به حدود ۲ تا ۳ سانتیمتر رسید در دمای ۱۷ درجه سانتی‌گراد، رطوبت ۷۰٪ و در تاریکی کامل رشد کردند. پس از این مرحله به‌صورت تدریجی و طی ۷ روز، دمای محیط رشد بنه‌های زعفران به ۱۰ درجه سانتی‌گراد (میزان کاهش روزانه یک درجه سانتیگراد) و رطوبت به ۹۰٪ (میزان کاهش روزانه حدود ۳٪) تغییر یافت. با شروع فرآیند تغییر دما و رطوبت، بنه‌ها در معرض روشنایی با شدت ۶۰۰۰ لوکس (ترکیبی از لامپ‌های فلورسنت آفتابی و مهتابی با دوره نوری ۱۳ ساعت تاریکی و ۱۱ ساعت روشنایی) قرار گرفتند و این شرایط (دمای ۱۷ درجه سانتی‌گراد، رطوبت ۹۰٪ و روشنایی ۶۰۰۰ لوکس) تا پایان دوره برداشت گل‌ها حفظ شد (*Souret & Weathers, 2008*).

با شروع گلدهی زعفران (۲ آذر ۹۸) گل‌ها به‌صورت روزانه جمع‌آوری شدند و با جدا نمودن کلاله از سایر اجزای گل در محل تاریک و در دمای محیط خشک شدند. به‌منظور حفظ خصوصیات زعفران، کلاله‌های جمع‌آوری‌شده بر روی پارچه‌های نخی سفیدرنگ و در تاریکی کامل خشک شدند. صفات وزن کلاله در بنه، وزن گل‌پوش در بنه، وزن گل برحسب گرم و همچنین صفت تعداد گل در بنه پس از این مرحله محاسبه شدند. با پایان گلدهی (۲۷ آذر ۹۸) بنه‌های زعفران از فیتوترون خارج شدند و نسبت به جداسازی و تعیین تعداد و وزن جوانه‌های رشد یافته‌ی جانبی و مرکزی بنه‌ها اقدام شد. صفات وزن جوانه جانبی در بنه، وزن جوانه مرکزی در بنه، وزن کل جوانه‌ها در بنه برحسب گرم و همچنین تعداد جوانه جانبی در بنه، تعداد جوانه مرکزی در بنه و تعداد کل جوانه‌ها در بنه در این مرحله محاسبه شدند. تعداد بنه‌های مورداستفاده برای تعیین صفت تعداد و وزن جوانه‌های جانبی و مرکزی در جدول ۱ آمده است. به‌منظور تعیین کیفیت کلاله‌های تولیدشده در کشت ایروپونیک، یک نمونه از مجموع کلاله‌های به‌دست‌آمده از تیمارهای مختلف تهیه و بر اساس استاندارد ملی ایران (استاندارد شماره ۲-۲۵۹، زعفران، روش های آزمون) برای اندازه‌گیری میزان سه آپوکاروتنوئید کروسین، پیکروکروسین و سافرانال مورد استفاده قرار گرفت.

---

[۲] Completely Randomized Design

[۳] کود کامل پودری شرکت اگریمل هلند

[۴] هیومیک اسید محصول شرکت زیست فناور سبز با نام تجاری رویش ۳ حاوی ۱۳/۲ درصد هیومیک اسید، ۲/۲ درصد فولویک اسید و ۴/۴ درصد اکسید پتاسیم

جدول ۱- تعداد بنه‌های مادری مورداستفاده در ابتدای آزمایش، تعداد مورداستفاده برای تعیین تعداد و وزنه جوانه‌ها و تعداد مورداستفاده برای کاشت در خاک پس از پایان دوره گلدهی زعفران.

Table 1- The number of maternal corms used at the start of the experiment, to determine the number and weight of buds and, cultivated in the soil at the end of the saffron anthesis.

تیمار Treatments	تکرار Replication	تعداد بنه‌های مادری اولیه* (مورد استفاده در فیتوترون جهت گلدهی) Number of the primitive used mother corms (used in phytotron for flowering)	تعداد بنه‌های مادری مورداستفاده برای تعیین تعداد و وزن جوانه‌ها پس از اتمام گلدهی Number of mother corms used to determine the number and weight of buds after flowering	تعداد بنه‌های مادری کشت‌شده در خاک (تعداد گیاهان نشاکاری شده پس از اتمام مرحله گلدهی)** Number of maternal corms cultivated in the soil (as transplanting)
بنه‌های کمتر از ۴ گرم Corms <4 g	1	50	20	28
	2	50	20	29
	3	50	20	29
بنه‌های ۴/۱ تا ۸ گرم Corms within 4.1-8 g	1	50	20	30
	2	50	20	29
	3	50	20	30
بنه‌های ۸/۱ تا ۱۲ گرم Corms within 8.1-12g	1	50	20	30
	2	50	20	30
	3	50	20	30
بنه‌های ۱۲/۱ تا ۱۶ گرم Corms within 12.1-16 g	1	18	9	9
	2	18	9	9
	3	18	9	9
بنه‌های بیش از ۱۶ گرم Corms >16g	1	7	3	4
	2	7	3	4
	3	7	3	4

* با توجه به اینکه در بنه‌های برداشت‌شده برای استفاده در این تحقیق فراوانی بنه‌های درشت و خیلی درشت نسبت به بنه‌های کوچک‌تر بسیار کمتر بود، علیرغم اینکه حجم زیادی از بنه‌های کوچک برای تیمارهای با وزن پایین‌تر وجود داشت، تعداد بنه‌های مربوط به تیمارهای ۱۲/۱ تا ۱۶ گرم و بیشتر از ۱۶ گرم کمتر بودند و لذا در تعداد بنه‌های مادری اولیه مورداستفاده در جدول تفاوت وجود دارد.

** قبل از کاشت بنه‌های مادری در زمین اصلی، برخی از بنه‌ها که در طی دوره گلدهی دچار نقص شده بودند حذف گردیدند و لذا در تعداد بنه‌های مورد استفاده در تکرارهای دو گروه وزنی کمتر از ۴ گرم و ۴/۱ تا ۸ گرم اختلاف وجود دارد.

همچنین نمونه ای از کلاله های تولید شده در مزرعه ای که بنه های مادری از آن برداشت شده بود نیز تهیه شد تا میزان آپوکاروتنوئیدهای آن با نمونه حاصل از کشت ایروپونیک مقایسه گردد. برای این منظور ۵۰۰ میلی‌گرم از کلاله پودر شده زعفران متعلق به هر یک از دو نمونه جمع آوری شده با استفاده از آب مقطر در یک بالن ۱۰۰۰ میلی‌لیتری به حجم یک لیتر رسانده شد. سپس این ترکیب به مدت یک ساعت توسط استیرر و با سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه در تاریکی هم زده شد. پس از این مرحله ۲۰ میلی‌لیتر از محلول با استفاده از پیپت و در بالن حجمی ۲۰۰ میلی‌لیتری به حجم رسانده شد. محلول به‌دست‌آمده در این مرحله با استفاده از صافی و به‌دوراز نور صاف شد. سپس بلافاصله با استفاده از دستگاه طیف نورسنج فرابنفش-مرئی میزان جذب محلول حاصل در سه طول‌موج ۴۴۰ نانومتر برای کروسین، ۲۵۷ نانومتر برای پیکروکروسین و ۳۳۰ نانومتر برای سافرانال قرائت شد. از معادله ۱ برای تعیین میزان کروسین، پیکروکروسین و سافرانال نمونه‌های زعفران استفاده شد:

معادله (۱):

$$A = \frac{D * 10000}{m * (100 - WMV)}$$

در معادله فوق A میزان هر یک از سه آپوکاروتنوئید کروسین، پیکروکروسین و سافرانال، D میزان جذب قرائت‌شده توسط دستگاه برای هر یک از سه آپوکاروتنوئید، M جرم نمونه موردسنجش برحسب گرم و W_{MV} میزان رطوبت نمونه برحسب درصد است (*INSO, 2013*).

در فاز دوم آزمایش (پس از اتمام گلدهی در فیتوترون) و به‌منظور تعیین ظرفیت تولید بنه‌های دختری، تعداد مشخصی از بنه‌های مادری از هر یک از تیمارهای آزمایشی به‌طور تصادفی انتخاب و در تاریخ ۲۹ آذر ۹۸ در کرت‌های جداگانه در محلی که بنه‌های مادری از آن برداشت شده بود، کاشت شدند. پس از کاشت بنه‌ها در زمین و به‌منظور کمک به رشد بهتر بنه‌ها از کود کامل NPK (۲۰، ۲۰، ۲۰)[۵] و هیومیک اسید[۶] به میزان هرکدام ۱۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد. برای این منظور میزان کود موردنیاز بر اساس سطح زمینی که بنه‌ها در آن کاشت شده بود محاسبه و با استفاده از آبپاش در سطح زمین کاملاً پخش گردید و بلافاصله زمین آبیاری شد.

تعداد بنه‌های کاشت شده برای هر تیمار در جدول ۱ و خصوصیات خاک مزرعه‌ای که بنه‌های مادری از آن برداشت و مجدداً در آن کاشت شدند در جدول ۲ آمده است.

پس از کاشت بنه‌ها در خاک (تاریخ ۲۹ آذر ۹۸) و آبیاری اولیه زمین، با توجه به عرف منطقه، با فواصل زمانی یک‌ماهه و تا زمان زرد شدن برگ‌های زعفران در اردیبهشت‌ماه آبیاری انجام گرفت. همچنین در طول دوره رشد گیاه بجز کوددهی پس از نشاکاری، از تغذیه زمین خودداری شد. پس از زرد شدن برگ‌های زعفران و شروع خواب فیزیولوژیک بنه‌ها، تمام بنه‌های دختری مربوط به هر یک از کرت‌های آزمایشی برداشت و به آزمایشگاه منتقل شدند. میزان بارندگی از زمان خروج بنه‌ها از فیتوترون و انتقال آن‌ها به مزرعه تا زمان برداشت بنه‌های دختری از مزرعه (۲۹ آذر ۹۸ تا ۳۰ اردیبهشت ۹۹ معادل با ۲۰ دسامبر ۲۰۱۹ تا ۱۹ می ۲۰۲۰) در نزدیکترین ایستگاه هواشناسی (ایستگاه محمد شهر مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی بیرجند) مجموعاً ۱۲۳ میلی‌متر بود. از بنه‌های دختری برای اندازه‌گیری صفات تعداد بنه دختری به ازای هر بنه مادری، متوسط وزن هر بنه دختری (گرم) و مجموع وزن بنه‌های دختری به ازای هر بنه مادری (گرم) استفاده شد. بعلاوه تعداد بنه‌های دختری تولیدشده در گروه‌های وزنی مختلف نیز مشخص گردید.

تجزیه‌وتحلیل داده‌های طرح

پس از اتمام هر یک از مراحل اندازه‌گیری صفات موردنظر، داده‌های به‌دست‌آمده به‌صورت جداگانه تجزیه واریانس شدند. مقایسه میانگین صفاتی که بر اساس آزمون فیشر وجود اختلاف معنی‌داری در آن‌ها مشخص شده بود، با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) انجام گرفت. تجزیه واریانس، مقایسات میانگین‌ها و همبستگی بین صفات با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۸ برای ویندوز) و سیگما پلات انجام گرفت.

نتایج و بحث

تعداد و وزن جوانه‌ها

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، بین تیمارهای مختلف اندازه بنه مادری در صفات تعداد جوانه مرکزی در بنه، تعداد جوانه‌های جانبی در بنه، تعداد کل جوانه‌ها در بنه، وزن جوانه مرکزی در بنه، وزن جوانه جانبی در بنه و همچنین وزن کل جوانه در بنه اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۳).

تعداد جوانه‌های مرکزی در هر بنه با افزایش اندازه بنه مادری کاهش یافت. بیشترین مقدار این صفت با ۱/۰۳ جوانه مرکزی در هر بنه به تیمار بنه‌های مادری با وزن کمتر از ۴ گرم و کمترین آن با صفر جوانه به تیمار بنه‌های مادری با وزن بیش از ۱۶ گرم تعلق داشت (جدول ۴) که نشان می‌دهد با افزایش وزن بنه مادری، احتمال از بین رفتن جوانه‌های مرکزی افزایش می‌یابد.

بررسی دقیق جوانه‌های بنه‌های مادری در این تحقیق نشان داد بنه زعفران تنها یک جوانه مرکزی تولید می‌کند. این نتایج با نظر سایر محققین که معتقدند هر بنه زعفران ۱ یا ۲ جوانه مرکزی تولید می‌کند مغایرت دارد (*Kumar et al., 2008*). هر بنه زعفران تنها یک

---

[۵] کود کامل پودری شرکت اگریمل هلند

[۶] هیومیک اسید محصول شرکت زیست فناور سبز با نام تجاری رویش ۳ حاوی ۱۳/۲ درصد هیومیک اسید، ۲/۲ درصد فولویک اسید و ۴/۴ درصد اکسید پتاسیم

جوانه مرکزی تولید می‌کند که در بسیاری مواقع و با از بین رفتن این جوانه، نزدیک‌ترین جوانه‌های جانبی به جوانه مرکزی رشد بیشتری نموده و با خروج از رأس بنه (محلی که جوانه مرکزی از آن خارج می‌شود)، این‌طور به نظر می‌رسد که این جوانه‌ها، جوانه‌های مرکزی هستند (شکل ۱). نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که با افزایش اندازه بنه مادری، احتمال از بین رفتن جوانه مرکزی و رشد بیشتر جوانه‌های جانبی نزدیک به آن نیز افزایش می‌یابد.

اما برخلاف جوانه‌های مرکزی، تعداد جوانه‌های جانبی در هر بنه با افزایش وزن بنه مادری افزایش یافت؛ بطوریکه کمترین و بیشترین تعداد جوانه جانبی با ۱/۹۳ و ۱۱/۳۳ جوانه در هر بنه به ترتیب به تیمار بنه‌های مادری با وزن کمتر از ۴ گرم و بیش از ۱۶ گرم تعلق داشت. بعلاوه تعداد کل جوانه‌های تولیدشده توسط هر بنه مادری هم با افزایش وزن بنه مادری افزایش یافت و از ۲/۹۶ جوانه در بنه‌های مادری کمتر از ۴ گرم به ۱۱/۳۳ جوانه در بنه‌های مادری با وزن بیش از ۱۶ گرم رسید. صفات مرتبط با عملکرد اقتصادی زعفران شامل وزن کلاله، وزن گل‌پوش+پرچم، وزن گل و تعداد گل نیز با افزایش وزن بنه مادری افزایش یافتند که می تواند با تعداد جوانه در ارتباط باشد.

اما علیرغم اینکه صفت وزن جوانه‌های مرکزی در هر بنه مادری بین بنه‌های با وزن کمتر از ۴ گرم تا بنه‌های ۱۲/۱ تا ۱۶ گرم (۴ گروه وزنی اول) اختلافی نداشت، تیمار بنه‌های مادری با وزن بیش از ۱۶ گرم به دلیل از بین رفتن کلیه جوانه‌های مرکزی با دیگر تیمارها اختلاف معنی‌داری را نشان داد. دو صفت وزن جوانه‌های جانبی و وزن کل جوانه‌ها در هر بنه به دلیل همبستگی بالا با صفات تعداد جوانه‌های جانبی و وزن کل جوانه‌های جانبی، روندی مشابه این صفات داشتند و با افزایش وزن بنه مادری، افزایش یافتند (جدول ۴ و ۵). درمجموع بنه‌های مادری با وزن کمتر از ۴ گرم با تولید ۱۳۰ میلی‌گرم جوانه در هر بنه کمترین و بنه‌های مادری با وزن بیش از ۱۶ گرم با تولید ۱۷۷۰ میلی‌گرم جوانه در هر بنه بیشترین میزان تولید کل جوانه را به خود اختصاص دادند (جدول ۴).

بر اساس مطالعه بهدانی و همکاران (*Behdani et al., 2016*)، تعداد و وزن جوانه‌های زعفران در طول دوره رشد این گیاه تا اواسط ماه مارس میلادی (اوایل فروردین‌ماه) روند افزایشی دارد. لذا نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از بنه‌های با اندازه درشت ممکن است بتواند بر سرعت روند افزایش تعداد و وزن جوانه‌ها اثرگذار باشد.

جدول ۲- خصوصیات خاک محل اجرای آزمایش در مزرعه (عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر)

Table 2- Soil properties at the experimental farm (0 to 30 cm)

خصوصیات خاک	pH	EC ($dS.m^{-1}$)	Sand (٪)	Silt (٪)	Clay (٪)	Soil texture	Total N (٪)	Available P (ppm)	Available K (ppm)
Soil properties	واکنش خاک	هدایت الکتریکی	شن	سیلت	رس	بافت خاک	ازت کل	فسفر قابل‌جذب	پتاسیم قابل‌جذب
	7.71	2.84	73	18	9	Sandy-loam	0.046	4.07	193.8

جدول ۳. میانگین مربعات تأثیر وزن بنه مادری بر صفات موردمطالعه در زعفران.

Table 3. Mean squares (MS) of the studied traits of saffron, as affected by maternal corm weight.

منبع تغییرات	درجه آزادی	تعداد جوانه‌های مرکزی در هر بنه	تعداد جوانه‌های جانبی در هر بنه	تعداد کل جوانه‌های هر بنه	وزن جوانه‌های مرکزی در هر بنه	وزن جوانه‌های جانبی در هر بنه	وزن کل جوانه‌های هر بنه	وزن کلاله در هر بنه	وزن گل‌پوش+پرچم در هر بنه	وزن گل در هر بنه	تعداد گل در هر بنه	تعداد بنه‌های دختری در هر بنه مادری	متوسط وزن هر بنه دختری	مجموع وزن بنه‌های دختری به ازای هر بنه مادری
SOV	df	Number of central buds per corm	Number of lateral buds per corm	Number of total buds per corm	Weight of central buds per corm	Weight of lateral buds per corm	Weight of total buds per corm	Weight of stigma per corm	Weight of perianth + stamen per corm	Weight of flower per corm	Number of flowers per corm	Number of daughter corms per maternal-corm	The average weight of each daughter-corm	Total weight of daughter corms per maternal-corm
تیمار treat	4	0.583**	39.84**	30.95**	0.016**	1.63**	1.37**	0.0000076*	0.00032*	0.00043*	0.134*	16.71**	0.878**	50.25**
خطا Error	10	0.012	1.99	1.81	0.002	0.048	0.03	0.0000015	0.00007	0.00009	0.029	1.01	0.083	3.05
ضریب تغییرات (٪) CV (%)	-	21.59	22.02	19.42	42.49	30.51	23.41	58.51	57.39	57.53	54.72	22.64	16.68	22.77

در هر ستون، ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد.

In each column, *, ** and ns, indicates significant difference at 5%, 1% and non-significant, respectively.

جدول ۴. مقایسات میانگین تأثیر وزن بنه مادری بر صفات موردمطالعه در زعفران.

Table 4- Mean comparisons of the effect of maternal–corm weight on the studied traits of saffron.

تیمار	تعداد جوانه‌های مرکزی در هر بنه	تعداد جوانه‌های جانبی در هر بنه	تعداد کل جوانه‌های هر بنه	وزن جوانه‌های مرکزی در هر بنه	وزن جوانه‌های جانبی در هر بنه	وزن کل جوانه‌های هر بنه	وزن کلاله در هر بنه	وزن گل‌پوش+پرچم در هر بنه	وزن گل در هر بنه	تعداد گل در هر بنه	تعداد بنه‌های دختری در هر بنه مادری	متوسط وزن هر بنه دختری	مجموع وزن بنه‌های دختری به ازای هر بنه مادری
Treatments	Number of central buds per corm	Number of lateral buds per corm	Number of total buds per corm	Weight of central buds per corm	Weight of lateral buds per corm	Weight of total buds per corm	Weight of stigma per corm	Weight of perianth+ stamen per corm	Weight of flower per corm	Number of flowers per corm	Number of daughter corms per maternal-corm	The average weight of each daughter-corm	Total weight of daughter corms per maternal-corm
	-	-	-	g	g	g	g	g	g	-		g	g
بنه‌های کمتر از ۴ گرم Corms <4 g	1.03	1.93	2.96	0.11	0.019	0.13	0.00012	0.0009	0.0011	0.026	2.53	0.97	2.37
بنه‌های ۴/۱ تا ۸ گرم Corms within 4.1-8 g	0.88	4.21	5.1	0.18	0.116	0.29	0.00094	0.007	0.0081	0.173	3.06	1.85	5.62
بنه‌های ۸/۱ تا ۱۲ گرم Corms within 8.1-12g	0.50	6.18	6.68	0.17	0.54	0.71	0.00238	0.017	0.0199	0.386	4.04	1.77	7.26
بنه‌های ۱۲/۱ تا ۱۶ گرم Corms within 12.1-16 g	0.18	8.40	8.59	0.09	1.13	1.22	0.00388	0.025	0.0297	0.555	4.11	2.47	10.07
بنه‌های بیش از ۱۶ گرم Corms >16g	0.00	11.33	11.33	0.00	1.77	1.77	0.00338	0.022	0.0258	0.428	8.50	1.56	13.03
حداقل اختلاف معنی‌دار LSD	0.20	2.57	2.45	0.08	0.39	0.35	0.0023	0.015	0.0178	0.312	1.83	0.52	3.17

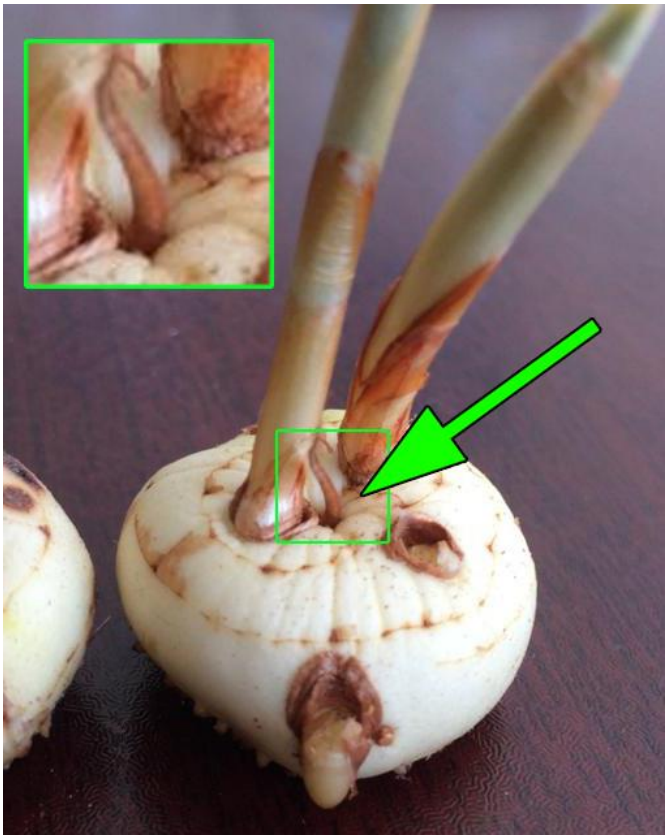
جدول ۵. ضرایب همبستگی بین صفات موردمطالعه.

Table 5. Correlation coefficients of the studied traits.

صفات	تعداد جوانه‌های مرکزی در هر بنه Number of central buds per corm	تعداد جوانه‌های جانبی در هر بنه Number of lateral buds per corm	تعداد کل جوانه‌های هر بنه Number of total buds per corm	وزن جوانه‌های مرکزی در هر بنه Weight of central buds per corm	وزن جوانه‌های جانبی در هر بنه Weight of lateral buds per corm	وزن کل جوانه‌های هر بنه Weight of total buds per corm	وزن کلاله در هر بنه Weight of stigma per corm	وزن گل‌پوش+پرچم در هر بنه Weight of perianth + stamen per corm	وزن گل در هر بنه Weight of flower per corm	تعداد گل در هر بنه Number of flowers per corm	تعداد بنه‌های دختری در هر بنه مادری Number of daughter corms per maternal-corm	متوسط وزن هر بنه دختری The average weight of each daughter-corm	مجموع وزن بنه‌های دختری به ازای هر بنه مادری Total weight of daughter corms per maternal-corm
تعداد جوانه‌های مرکزی در هر بنه Number of central buds per corm	1												
تعداد جوانه‌های جانبی در هر بنه Number of lateral buds per corm	-0.94 **	1											
تعداد کل جوانه‌های هر بنه Number of total buds per corm	-0.93**	0.99**	1										
وزن جوانه‌های مرکزی در هر بنه Weight of central buds per corm	0.69**	-0.69**	-0.68**	1									
وزن جوانه‌های جانبی در هر بنه Weight of lateral buds per corm	-0.94**	0.93**	0.93**	-0.77**	1								
وزن کل جوانه‌های هر بنه Weight of total buds per corm	-0.94**	0.94**	0.93**	-0.72**	0.99**	1							
وزن کلاله در هر بنه Weight of stigma per corm	-0.69**	0.69**	0.68**	-0.19ns	0.69**	0.73**	1						
وزن گل‌پوش+پرچم در هر بنه Weight of perianth + stamen per corm	-0.67**	0.67**	0.66**	-0.14ns	0.66**	0.70**	0.99**	1					
وزن گل در هر بنه Weight of flower per corm	-0.67**	0.67**	0.66**	-0.15ns	0.66**	0.71**	0.99**	0.99**	1				
تعداد گل در هر بنه Number of flowers per corm	-0.63*	0.62*	0.61*	-0.06ns	0.60*	0.65**	0.98**	0.99**	0.99**	1			
تعداد بنه‌های دختری در هر بنه مادری Number of daughter corms per maternal-corm	-0.74**	0.74**	0.73**	-0.59*	0.79**	0.79**	0.43ns	0.41ns	0.41ns	0.35ns	1		
متوسط وزن هر بنه دختری The average weight of each daughter-corm	-0.44 ns	0.32 ns	0.30 ns	0.09 ns	0.28ns	0.32ns	0.62*	0.62*	0.62*	0.66**	-0.01ns	1	
مجموع وزن بنه‌های دختری به ازای هر بنه مادری Total weight of daughter corms per maternal-corm	-0.85**	0.80**	0.78**	-0.44ns	0.82**	0.85**	0.76**	0.75**	0.75**	0.71**	0.84**	0.49ns	1

ns، * و ** به ترتیب، غیر معنی‌دار و معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد.

*, ** and ns, indicates significant difference at 5%, 1% and non-significant, respectively.



شکل ۱- هر بنه زعفران تنها یک جوانه مرکزی تولید می‌کند که سقط این جوانه مرکزی سبب رشد بیشتر جوانه‌های جانبی نزدیک به رأس بنه می‌شود. در تصویر فوق، فلش سبزرنگ جوانه مرکزی سقط شده را نشان می‌دهد.

Figure 1- Each saffron corm produces only one central bud, and abortion of this central bud causes further growth of the lateral buds near the top of the corm. In the image above, the green arrow shows the aborted central bud.

تعداد و اندازه جوانه‌های بنه مادری به‌عنوان نقاط مریستمی گیاه برای تولید بنه‌های دختری پس از گلدهی در کشت رایج (کشت خاکی) زعفران از اهمیت بالایی برخوردار است و استفاده از بنه‌های با اندازه بزرگ ممکن است بتواند بر سرعت روند افزایشی تعداد و وزن جوانه‌ها پس از گلدهی و درنتیجه عملکرد زعفران در سال بعد تأثیر زیادی داشته باشد؛ اما به دلیل اینکه در کشت ایروپونیک زعفران اغلب جوانه‌های جانبی گیاه برای جلوگیری از هدر رفت انرژی بنه و درنتیجه بهبود گلدهی بنه‌ها حذف می‌شوند و تنها تعداد محدودی جوانه جانبی برای تولید بنه‌های دختری سال بعد باقی می‌مانند، تولید جوانه‌های جانبی زیاد ممکن است یک مزیت بالقوه تلقی نشود. هرچند تولید تعداد محدودی جوانه قوی برای دستیابی به عملکرد اقتصادی بالا و همچنین تولید بنه‌های دختری بزرگ در سال بعد می‌تواند اهمیت داشته باشد.

رشد زایشی زعفران

بر اساس نتایج تجزیه واریانس تأثیر اندازه بنه مادری بر صفات وزن خشک کلاله در هر بنه، وزن خشک اجزاء تشکیل‌دهنده گل (گل‌پوش+پرچم) در بنه، وزن خشک گل و همچنین تعداد گل در بنه معنی‌دار بود (جدول ۳). کمترین میزان تولید کلاله به ازای هر بنه مادری با ۰/۱۲ میلی‌گرم به تیمار بنه‌های مادری با وزن کمتر از ۴ گرم تعلق داشت و دو تیمار بنه مادری با وزن ۱۲/۱ تا ۱۶ گرم و بیش از ۱۶ گرم هر دو با تولید ۳/۳۸

میلی‌گرم بیشترین میزان کلاله را تولید نمودند (جدول ۴).

همچنین اگرچه با افزایش وزن بنه مادری، وزن اجزاء تشکیل‌دهنده گل (گل‌پوش + پرچم) نیز افزایش یافت، اما عملاً اختلاف معنی‌داری در این صفات بین بنه‌های مادری با وزن بیش از ۱۶ گرم و دو تیمار وزنی قبل از آن وجود نداشت. تیمار بنه‌های مادری با وزن کمتر از ۴ گرم با تولید ۰/۹ میلی‌گرم کلاله خشک در هر بنه کمترین و تیمار بنه‌های مادری با وزن ۱۲/۱ تا ۱۶ گرم با تولید ۲۵ میلی‌گرم کلاله خشک در هر بنه بیشترین میزان را به خود اختصاص دادند (جدول ۴).

با توجه به همبستگی بالای بین دو صفت وزن اجزاء تشکیل‌دهنده گل (گل‌پوش+پرچم) و وزن گل (جدول ۵)، نتایج تأثیر اندازه بنه مادری بر میزان تولید گل در بنه با نتایج مربوط به تأثیر آن بر وزن اجزاء تشکیل‌دهنده گل کاملاً مطابقت داشت. در مورد این صفت نیز دو تیمار بنه‌های مادری با وزن کمتر از ۴ گرم و تیمار بنه‌های مادری با وزن ۱۲/۱ تا ۱۶ گرم به ترتیب با تولید ۱/۱ و ۲۹/۷ میلی‌گرم گل خشک در هر بنه، بیشترین و کمترین میزان این صفت را به خود اختصاص دادند.

با افزایش وزن بنه مادری از کمتر از بنه‌های کمتر از ۴ گرم به ۱۲/۱ تا ۱۶ گرم، تعداد گل هر بنه زعفران از ۰/۰۲۶ به ۰/۵۵۵ گل در هر بنه افزایش یافت. بعلاوه مشخص شد که بنه‌های با وزن بیش از ۱۶ گرم نمی‌توانند منجر به افزایش بیشتر تعداد گل‌های زعفران در کشت ایروپونیک شوند.

تأثیر اندازه بنه مادری در افزایش صفات مرتبط با عملکرد اقتصادی زعفران (وزن کلاله، وزن گل‌پوش+پرچم، وزن گل و تعداد گل) در کشت خاکی توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (*Koocheki et al., 2016; Ebrahimi et al., 2018; Ebrahimi et al., 2019*; *Hassanzadeh Aval et al., 2014*) و با توجه به این نکته که تولید گل در زعفران اساساً با تکیه بر اندوخته بنه‌های مادری صورت می‌گیرد، این نتیجه‌گیری در مورد کشت ایروپونیک زعفران نیز کاملاً قابل تطبیق است؛ اما نکته‌ای که باید به آن توجه داشت تعیین حداقل و حداکثر وزن بنه‌های مادری برای استفاده در کشت ایروپونیک است تا علاوه بر تولید بیشتر محصول، از صرف هزینه‌های مازاد برای تهیه بنه‌های مادری بیش‌ازحد بزرگ نیز خودداری شود. بر اساس نتایج این بخش از تحقیق حاضر، استفاده از بنه‌های ۸/۱ تا ۱۲ گرمی و همچنین بنه‌های ۱۲/۱ تا ۱۶ گرمی می‌تواند جایگزین بنه‌های با وزن بالای ۱۶ گرم شود که علاوه بر کاهش هزینه‌های اقتصادی زعفران کاران، از اشغال فضای اضافی در محیط‌های کشت زعفران ایروپونیک نیز جلوگیری خواهد شد؛ اما نکته قابل‌تأمل در انتخاب بنه‌های مادری با وزن کمتر از ۱۶ گرم، توان تولید بنه‌های دختری مناسب برای سال آینده است که تحت تأثیر وزن بنه مادری قرار می‌گیرد (*Douglas et al., 2014*). به‌عبارت‌دیگر تعداد و وزن بنه‌های دختری تولیدشده توسط بنه‌های مادری ۸/۱ تا ۱۲ گرمی و همچنین بنه‌های ۱۲/۱ تا ۱۶ گرمی نیز برای جایگزین کردن آن‌ها با بنه‌های با وزن بیش از ۱۶ گرم نیز باید موردبررسی قرار گیرد که در ادامه به آن پرداخته خواهد شد.

رشد بنه های دختری

تجزیه واریانس داده‌های مربوط به تولید بنه‌های دختری نشان داد که تأثیر اندازه بنه مادری بر تعداد بنه دختری به ازای هر بنه مادری، متوسط وزن هر بنه دختری و مجموع وزن بنه‌های دختری به ازای هر بنهٔ مادری معنی‌دار بوده است (جدول ۳).

در جدول ۶ تعداد بنه‌های تولیدشده در گروه‌های وزنی مختلف توسط هر یک از تیمارهای آزمایشی نمایش داده شده است.

بر اساس نتایج مقایسات میانگین، تعداد بنه دختری تولیدشده توسط هر بنه مادری با افزایش وزن بنه‌های مادری از بنه‌های کمتر از ۴ گرم به ۱۲/۱ تا ۱۶ گرم تغییر معنی‌داری پیدا نمی‌کند؛ اما استفاده از بنه‌های مادری با وزن بیش از ۱۶ گرم سبب افزایش حداقل ۲ برابری تعداد بنه‌های دختری نسبت به تیمارهایی می‌شود که وزن بنه‌های مادری آن‌ها کمتر از ۱۶ گرم باشد (جدول ۴). این موضوع نشان می‌دهد چنانچه تولید تعداد زیاد بنه‌های دختری برای توسعه کشت در سال‌های آینده موردنظر کشاورز باشد، استفاده از بنه‌های کمتر از ۱۶ گرم مانعی برای دستیابی به این هدف خواهد بود.

جدول ۶- تعداد بنه‌های دختری تولیدشده در گروه‌های وزنی مختلف توسط هر بنه مادری.

Table 6- The number of daughter corms produced by each maternal corm in different weight groups.

تیمار	تعداد بنه‌های دختری کمتر از ۴ گرم	تعداد بنه‌های دختری ۴/۱ تا ۸ گرم	تعداد بنه‌های دختری ۸/۱ تا ۱۲ گرم	تعداد بنه‌های دختری ۱۲/۱ تا ۱۶ گرم	تعداد بنه‌های دختری بیش از ۱۶ گرم
Treatments	Number of doughter corms <4 g	Number of doughter corms within 4.1-8 g	Number of doughter corms within 8.1-12g	Number of doughter corms within 12.1-16 g	Number of doughter corms >16g
بنه‌های کمتر از ۴ گرم Corms <4 g	2.5	0.1	0.0	0.0	0.0
بنه‌های ۴/۱ تا ۸ گرم Corms within 4.1-8 g	2.6	0.5	0.0	0.0	0.0
بنه‌های ۸/۱ تا ۱۲ گرم Corms within 8.1-12g	3.5	0.4	0.1	0.0	0.0
بنه‌های ۱۲/۱ تا ۱۶ گرم Corms within 12.1-16 g	3.3	0.6	0.3	0.0	0.0
بنه‌های بیش از ۱۶ گرم Corms >16g	7.9	0.6	0.0	0.0	0.0

اما نتایج صفت متوسط وزن هر بنه دختری نشان می‌دهد که استفاده از بنه‌های مادری با وزن ۱۲/۱ تا ۱۶ گرم بجای بنه‌های کمتر از ۴ گرم می‌تواند متوسط وزن هر بنه تولیدشده را حدود ۲/۵ برابر افزایش دهد؛ اما افزایش وزن بنه‌های مادری به بیش از ۱۶ گرم نه‌تنها سبب افزایش وزن بنه‌های دختری نمی‌شود، بلکه به‌طور معنی‌داری سبب کاهش حدود ۳۷ درصدی وزن هر بنه دختری تولیدشده می‌شود. لذا مشخص است که افزایش تعداد بنه‌های دختری در تیمار استفاده از بنه‌های مادری با بیش از ۱۶ گرم نسبت به بنه‌های مادری ۱۲/۱ تا ۱۶ گرم تا حدودی به قیمت کاهش وزن بنه‌های دختری تمام شده است (جدول ۴)؛ بنابراین چنانچه هدف کشاورز دستیابی به تعداد کمتر بنه‌های دختری با وزن بالاتر باشد، قطعاً استفاده از بنه‌های مادری با وزن ۱۲/۱ تا ۱۶ گرم انتخاب مناسبی خواهد بود. مولینا و همکاران (*Molina et al., 2010*) القای گلدهی در شرایط گلخانه ای با تراکم بالای بنه و نور کم را عامل کاهش معنی دار اندازه بنه های دختری تولید شده در این سیستم کشت برشمردند که منجر به افزایش طول دوره دستیابی به بنه های با وزن مناسب برای گلدهی مناسب خواهد شد. در مطالعه این محققین گلدهی زعفران در شرایط گلخانه ای و سپس نشاء آن در مزرعه نسبت به حالتی که بنه ها از ابتدا در مزرعه رشد کرده باشند منجر به کاهش وزن خشک بنه های دختری از ۹/۶ به ۲/۶ گرم شد. با این حال تعداد بنه های دختری تولید شده توسط بنه هایی که نشاء کاری شده بودند نسبت به بنه هایی که از ابتدا در زمین کاشت شده بودند حدود ۳۰ درصد بیشتر بود.

اما به‌منظور تعیین توان تولید بنه‌های دختری توسط بنه‌های مادری با وزن‌های مختلف، صفت مجموع وزن بنه‌های دختری به ازای هر بنه مادری نیز موردبررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج مقایسات میانگین، توان تولید بنه‌های دختری (تعداد بنه * متوسط وزن هر بنه) با افزایش وزن بنه‌های مادری کشت‌شده در سیستم ایروپونیک افزایش می‌یابد. بااین‌حال مجموع وزن بنه‌های دختری به ازای هر بنه مادری با بیش از ۱۶ گرم تفاوت معنی‌داری با بنه‌های مادری ۱۲/۱ تا ۱۶ گرم نداشته است (جدول ۴).

با مقایسه نتایج به‌دست‌آمده در این قسمت و در نظر گرفتن این موضوع که عملاً تفاوت معنی‌داری بین میزان کلاله خشک تولیدشده توسط بنه‌های مادری با وزن ۱۲/۱ تا ۱۶ گرم با بنه‌های مادری با وزن بیش از ۱۶ گرم وجود نداشته است (جدول ۴)، استفاده از بنه‌های مادری با وزن ۱۲/۱ تا ۱۶ گرم برای تولید

زعفران ایروپونیک توصیه می‌شود. بر این اساس، استفاده از بنه‌های با وزن کمتر از ۱۲ گرم سبب کاهش معنی‌دار عملکرد اقتصادی و همچنین کاهش تعداد و وزن بنه‌های دختری در سال بعد خواهد شد و بنه‌های مادری با بیش از ۱۶ گرم نیز بدون داشتن مزیت اقتصادی قابل‌توجه، منجر به تحمیل هزینه‌های مازاد به زعفران کاران می‌شوند.

در کشت خاکی زعفران تأثیر استفاده از بنه‌های مادری بزرگ‌تر در افزایش تعداد و وزن بنه‌های دختری تولیدشده توسط کوچکی و همکاران (*Koocheki et al., 2014*) نیز به اثبات رسیده است. این محققین نتیجه گرفتند که استفاده از بنه‌های مادری درشت (بیش از ۸ گرم) بجای بنه‌های ریز (۰/۱ تا ۴ گرم) منجر به افزایش حدود ۳ برابری تعداد بنه‌های دختری تولیدشده در واحد سطح می‌شود. افزایش رشد و تولید بیشتر بنه‌های دختری درنتیجه کشت بنه‌های مادری بزرگ می‌تواند به دلیل ذخیره بیشتر عناصر غذایی در ابتدای دوره و نیز سرعت رشد و جذب بیشتر عناصر غذایی در طی فصل رشد صورت گیرد. در مطالعه دیگری استفاده از بنه‌های مادری بزرگ (۸/۱ تا ۱۲ گرم) با تولید ۴۶۶/۳۶ بنه دختری در مترمربع، بیشترین تعداد بنه دختری را به خود اختصاص داد. این تعداد بنه دختری نسبت به تیمارهای بنه مادری متوسط (۴/۱ تا ۸ گرم) و بنه مادری کوچک (کمتر از ۴ گرم) به ترتیب ۱/۵۵ و ۲/۶۲ برابر بیشتر بود. بعلاوه وزن بنه دختری نیز از ۲۶۶/۰۸ گرم در مترمربع در تیمار بنه مادری کوچک به ۵۷۷/۰۸ گرم در تیمار بنه مادری متوسط و ۹۳۶/۵۵ گرم در تیمار بنه مادری بزرگ افزایش یافت. این محققین همچنین نتیجه گرفتند که گیاه زعفران در سال اول کاشت بیشتر انرژی خود را بجای افزایش وزن هر بنه دختری، صرف تولید تعداد بنه دختری بیشتری می‌نماید (*Ebrahimi et al., 2019*). رضوانی مقدم و همکاران (*Rezvani Moghaddam et al., 2013*) نیز با تائید تمایل گیاه زعفران به افزایش تعداد بنه‌های دختری بجای افزایش وزن بنه‌های تولیدشده، معتقدند که تغذیه زعفران در سال‌های ابتدایی پس از کاشت خاکی این محصول بجای افزایش در وزن بنه، عمدتاً سبب افزایش تعداد بنه‌های دختری در واحد سطح شود. لذا بر اساس نتایج تحقیق ما، با توجه به اینکه در سیستم کشت ایروپونیک بنه‌های زعفران معمولاً یک سال در زمین می‌مانند و سپس جهت تأمین بنه‌های مادری برای سال بعد باید از مزرعه خارج شوند، استفاده از بنه‌های مادری کمتر از ۱۲ گرم در کشت ایروپونیک زعفران خطر تولید تعداد بنه کم با وزن پایین را به همراه خواهد داشت.

محتوای آپوکاروتنوئیدهای کلاله

با مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از آزمون تعیین آپوکاروتنوئیدهای زعفران، میزان کروسین، پیکروکروسین و سافرانال به‌دست‌آمده از کلاله‌های زعفران در این مطالعه و نمونه‌های متعلق به کشت خاکی در زمینی که بنه‌های مادری از آن گرفته شده بودند این‌طور نتیجه‌گیری می‌شود که کشت ایروپونیک زعفران تأثیری بر کیفیت زعفران تولیدشده ندارد (جدول ۷). میزان جذب کروسین هم در کشت خاکی و هم در کشت ایروپونیک از حداقل تعیین‌شده توسط سازمان ملی استاندارد ایران برای زعفران درجه ۱ بیشتر بود. این میزان جذب در هر دو نوع کشت برای پیکروکروسین بیشتر از حداقل تعیین‌شده برای زعفران درجه ۲ و برای سافرانال نیز در محدوده تعیین‌شده برای زعفران اصلی قرار داشت (*ISNO, 2013*).

لذا علیرغم برخی مزایای کشت ایروپونیک زعفران نسبت به کشت خاکی، این نوع کشت احتمالاً منجر به افزایش میزان ترکیبات کیفی زعفران نخواهد شد. سورت و ودرز (*Souret & Weathers, 2008*) نیز با مقایسه سه روش کشت خاکی، هیدروپونیک و ایروپونیک به این نتیجه رسیدند که میزان آپوکاروتنوئیدهای زعفران در هر سه روش تولید باهم تفاوتی ندارد.

نتایج این تحقیق نشان داد که به‌طورکلی استفاده از بنه‌های با وزن مناسب تأثیر قابل‌توجهی بر اکثر صفات مرتبط با عملکرد اقتصادی زعفران در کشت ایروپونیک دارد. به‌طورکلی تعداد و وزن جوانه‌هایی که روی بنه‌های زعفران رشد می‌کنند با افزایش وزن این بنه‌ها افزایش یافت. این جوانه‌ها در تعیین عملکرد گل و همچنین بنه‌های دختری سال بعد تأثیرگذار هستند.

جدول ۷- میزان کروسین، پیکروکروسین و سافرانال در کلاله زعفران.

Table 7- Crocin, picrocrocin and safranal content in the stigma of saffron.

نوع آپوکاروتنوئید Apocarotenoid	کشت ایروپونیک Aeroponic system	کشت خاکی Soil culture[d]
کروسین Crocin [a]	225	217
پیکروکروسین Picrocrocin [b]	78	74
سافرانال Safranal [c]	22	24

a، حداکثر جذب در طول‌موج ۴۴۰ نانومتر، b، حداکثر جذب در طول‌موج ۲۵۷ نانومتر، c، حداکثر جذب در طول‌موج ۳۳۰ نانومتر.

d، اعداد این ستون متعلق به نمونه جمع‌آوری‌شده از مزرعه‌ای است که برای تهیه بنه‌های کشت ایروپونیک مورد استفاده قرار گرفت.

[a] maximum absorption at 440 nm, [b] maximum absorption at 257 nm, [c] maximum absorption at 330 nm.

[d] The numbers in this column belong to a sample collected from a farm that was used to provide aeroponic corms.

نتیجه‌گیری

صفات مرتبط با عملکرد اقتصادی زعفران (وزن کلاله، وزن گل‌پوش+پرچم، وزن گل و تعداد گل) نیز با افزایش وزن بنه مادری افزایش یافتند که نشان می‌دهد استفاده از بنه‌های کوچک‌تر تأثیر نامطلوبی بر عملکرد اقتصادی کشت ایروپونیک دارد. بااین‌وجود استفاده از بنه‌های سنگین‌تر از ۱۶ گرم نسبت به بنه‌های ۱۲/۱ تا ۱۶ گرم نتوانست وزن خشک کلاله و تعداد گل را بهبود ببخشد و بنابراین کاشت بنه‌های بسیار بزرگ (بیش از ۱۶ گرم) نیز به دلیل تحمیل هزینه به کشاورز و اشغال فضای بیشتر در کشت ایروپونیک توصیه نمی‌شود. همچنین مشخص شد که در مقایسه با کشت خاکی، تولید زعفران به روش ایروپونیک تأثیری بر میزان سه آپوکاروتنوئید کروسین، پیکرو کروسین و سافرانال ندارد و چنانچه هدف از کشت ایروپونیک صرفاً افزایش میزان این رنگیزه ها باشد، احتمالاً مزیتی نسبت به کشت خاکی زعفران نخواهد داشت؛ اما تعداد بنه‌های دختری تولیدشده در سال بعد (حاصل کاشت بنه‌های مادری در زمین) در تیمار بنه‌های مادری بالای ۱۶ گرم حداقل ۲ برابری تعداد آن در سایر گروه‌های وزنی بود. چنانچه تولید تعداد زیاد بنه‌های دختری برای توسعه کشت در سال‌های آینده از اهداف کشت ایروپونیک باشد، استفاده از بنه‌های کمتر از ۱۶ گرم مانعی برای دستیابی به این هدف خواهد بود؛ اما چنانچه هدف کشاورز تولید بنه‌های دختری کمتر با وزن بالاتر باشد، کاشت بنه‌های مادری با وزن ۱۲/۱ تا ۱۶ گرم توصیه می‌شود. استفاده از این گروه وزنی از بنه‌های مادری بجای بنه‌های کمتر از ۴ گرم می‌تواند متوسط وزن هر بنه تولیدشده را حدود ۲/۵ برابر افزایش دهد. از طرفی استفاده از بنه‌های مادری با بیش از ۱۶ گرم بجای بنه‌های ۱۲/۱ تا ۱۶ گرم نیز نه‌تنها سبب افزایش وزن بنه‌های دختری نمی‌شود، بلکه به‌طور معنی‌داری سبب کاهش حدود ۳۷ درصدی وزن هر بنه دختری تولیدشده خواهد شد؛ بنابراین کاشت بنه‌های مادری با وزن ۱۲/۱ تا ۱۶ گرم برای تولید عملکرد اقتصادی در محیط کشت اولیه و همچنین دستیابی به بنه‌های دختری قابل‌قبول در مزرعه نسبت به سایر گروه‌های وزنی موردبررسی در این مطالعه ارجحیت دارد.

سپاسگزاری

این پژوهش علمی توسط جهاد دانشگاهی خراسان جنوبی موردحمایت مالی و معنوی قرار گرفته است. نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند تا بدین‌وسیله از همکاری و مساعدت جناب آقای مهندس صادقی، رئیس محترم جهاد دانشگاهی واحد خراسان جنوبی، جناب آقای دکتر داراب یزدانی، مدیرکل محترم دفتر تخصصی کشاورزی و منابع طبیعی جهاد دانشگاهی کشور، سرکار خانم لیلا محمودی، معاون محترم پژوهشی جهاد دانشگاهی خراسان جنوبی و جناب آقای رضا قلی زاده که در فراهم‌سازی شرایط و امکانات لازم جهت انجام این طرح حامی و همراه نویسندگان بودند، تقدیر و تشکر نمایند. همچنین از

همکاری جناب آقای دکتر حامد کاوه رئیس محترم پژوهشکده زعفران تربت‌حیدریه و سرکار خانم وحیده شریف مدیر محترم کنترل کیفیت این پژوهشکده قدردانی می‌شود.

منابع

Ahmadi, K. Gholizadeh, H., and Ebadzadeh, H.R. 2017. Agricultural Statistics: The Statistics of the Horticultural Products. Ministry of Agriculture, Tehran. (In Persian with English Summary).

Amirshekari, H., Sorooshzadeh, A., Modaress Sanavy, A., and Jalali Javaran, M. 2006. Study of effects of root temperature, corm size, and gibberellin on underground organs of saffron (Crocus sativus L.). Journal of Biology 19 (1): 5-18. (In Persian with English Summary).

Behdani, M.A., Jami Al-Ahmadi, M., and Fallahi, H.R. 2016. Biomass partitioning during the life cycle of saffron (Crocus sativus L.) using regression models. Journal of Crop Science and Biotechnology 19 (1): 71-76.

Douglas, M.H., Smallfield, B.M., Wallace, A.R., and McGimpsey, J.A. 2014. Saffron (Crocus sativus L.): The effect of mother corm size on progeny multiplication, flower and stigma production. Scientia Horticulturae 166: 50-58.

Ebrahimi, M. 2018. Apocarotenoids of Crocus sativus L. from Biosynthesis to Pharmacology. Marandiz Publishing in collaboration with ACECR of Sothern Khorasan Province, Mashhad.

Ebrahimi, M., Pouyan, M., Mahdi Nezhad, M., 2018. Effect of organic fertilizers and mother-corm size on flower and corm yield of saffron (Crocus sativus) in the first year. Journal of Saffron Research 7, 13-28.

Ebrahimi, M., Pouyan, M., Mahdi Nezhad, M., 2019. Studying the possibility of replacing manure with other organic amendments in saffron (Crocus sativus L.) cultivation at different mother corm weights. Journal of saffron agronomy and technology 8, 37-57.

Hassanzadeh Aval, F., Rezvani Moghaddam, P., Bannayan Aval, M., and Khorasani, R. 2014. Effects of maternal corm weight and foliar application on replacement corm characteristics and flower yield of saffron (Crocus sativus L.) in the first year. Journal of Saffron Research 2 (1): 73-84. (In Persian with English Summary).

INSO (Iranian National Standardization Organization). 2013. Saffron- Test Methods. 5th Revision. INSO press. Tehran. Iran. 80 p. (In Persian).

Koocheki, A., Fallahi, H.R., Amiri, M.B., and Ehyaei, H.R. 2016. Effects of humic acid application and mother corm weight on yield and growth of saffron (Crocus sativus L.). Journal of Agroecology 7 (4): 425-442. (In Persian with English Summary).

Koocheki, A., Seyyedi, S.M., Azizi, H., and Shahriyari, R. 2014. The effects of mother corm size, organic fertilizers and micronutrient foliar application on corm yield and phosphorus uptake of saffron (Crocus sativus L.). Saffron Agronomy and Technology 2 (1): 3-16.

Koocheki, A., Seyyedi, S.M., and Jamshid Eyni, M. 2014. Irrigation levels and dense planting affect flower yield and phosphorus concentration of saffron corms under semi-arid region of Mashhad. Northeast Iran. Scientia Horticulturae 180: 147-155.

Lakhiar, I.A., Gao, J., Syed, T.N., Chandio, F., Tunio, M.H., Ahmad, F., Solangi, K.A., 2020. Overview of the aeroponic agriculture–An emerging technology for global food security. International Journal of Agricultural and Biological Engineering 13, 1-10.

Molina, R.V., Renau-Morata, E., Nebauer, S.G., García-Luis, A., Guardiola, J.L., 2010. Greenhouse saffron culture – temperature effects on flower emergence and vegetative growth of the plants. Acta Horticulturae 850(850), 91-94.

Mollafilabi, A., Koocheki, A., Rezvani, P., Nassiri, M., 2013. Effect of plant density and corm weight on yield and yield components of saffron (Crocus sativus L.) under soil, hydroponic and plastic tunnel cultivation. Saffron Agron. Technol. 1 (2), 14-28 (in Persian).

Renau-Morata, B., Moya, L., Nebauer, S.G., Seguí-Simarro, J.M., Molina, R.V., 2013. The use of corms produced under storage at low temperatures as a source of explants for the in vitro propagation of saffron reduces contamination levels and increases multiplication Industrial. Industrial Crops and Products 46, 97-104.

Renau-Morata, B., Nebauer, S.G., Sánchez, M., and Molina, R.V. 2012. Effect of corm size: water stress and cultivation conditions on photosynthesis and biomass partitioning during the vegetative growth of saffron (Crocus sativus L.). Industrial Crops and Products 39: 40-46.

Rezvani Moghaddam, P., Khorramdel, S., Amin Ghafori, A., and Shabahang, J., 2013. Evaluation of growth and yield of saffron (Crocus sativus L.) affected by spent

mushroom compost and corm density. Journal of Saffron Research 1 (1): 13-26.

Souret, F.F., Weathers, P., 2008. The Growth of Saffron (Crocus sativus L.) in Aeroponics and Hydroponics. Journal of Herbs Spices & Medicinal Plants 7, 25-35.

Journal of Saffron Research (semi-annual)
Vol.9, No.2, Fall & Winter, 2021-2022
p. 335-351
http://dx.doi.org/10.22077/JSR.2021.4025.1151

University of Birjand

Original Article:

Effect of Mother-corm Weight on the Yield, Reproductive Growth, Apocarotenoid Content and Production of Daughter Corms in Saffron Aeroponic Cultivation

Mahdi Ebrahimi [1]*, Mohsen Pouyan[2], Sareh Hosseini[3], Tayebeh Shahi[4], Hossein Ragh Ara[5]
1- Assistant Professor, Academic Center for Education, Culture and Research, Birjand, Southern Khorasan Province, Iran.
2- Head of Medicinal Plants Research Complex, Academic Center for Education, Culture and Research, Southern Khorasan Province, Birjand, Iran.
3, 4, 5- Production and Processing of Strategic Plants of Sothern Khorasan Department, Academic Center for Education, Culture and Research, Birjand, Southern Khorasan Province, Iran.
** Corresponding Author Email: hazemagri@gmail.com*

Received 30 December 2020; Accepted 4 April 2021

Abstract

Due to the novelty of saffron aeroponic cultivation, many aspects related to this system have not been yet studied. This study was conducted to determine the appropriate maternal-corm weight in saffron aeroponic systems. The experiment was arranged as Completely Randomized Design (CRD) with three replications, including five treatments (corms weighting i) less than 4, ii) 4.1-8, iii) 8.1-12, iv)12.1-16 and v) more than 16g) in the Research Complex of Medicinal Plants, ACECR of Southern Khorasan Province. The number and weight of buds, traits related to reproductive growth, traits concerning the growth of daughter corms and qualitative traits including the content of stigma apocarotenoids (crocin, picrocrocin and safranal) were studied. According to the results, by increasing the weight of corms from less than 4 to more than 16 g, the total number of buds in each corm increased from 2.96 to 11.33 and their weight increased from 130 to 1770 mg, respectively. Besides, the traits related to the economic yield of saffron (weight of stigma, weight of the perianth + stamen, weight of flower, and number of flowers) also increased by increasing the weight of the corms. The lowest yield of stigma per maternal corm with 0.12 mg belonged to corms weighing less than 4 g and the two heaviest corms treatments (16.1-1 and more than 16 g) both with 3.38 mg yielded the highest amount of stigma dry weight. By increasing the weight of maternal corm from less than 4 to 16.1-12 g, the number of flowers in each saffron corm increased from 0.026 to 0.555, respectively. Nevertheless, increasing the weight of maternal corms to more than 16 g did not increase the yield-related traits of saffron. Transplanting the corms in the farm (after flowering in the controlled environment) showed that as the weight of maternal corms increased from 16.1-1 to more than 16 g, the number of produced daughter corms increased (to almost double) from 4.11 to 8.50 per maternal corm. However, the results of the average weight of each daughter corm showed a significant decrease of 37% in maternal corms heavier than 16g compared to those of 12.1-16g. In addition, the amount of saffron apocarotenoids in aeroponic cultivation is not dramatically different from soil culture. In general, due to the fact that in the aeroponic cultivation of saffron, the production of higher economic yield and achieving a suitable number of daughter corms that are also of acceptable weight should be considered at the same time, the use of maternal corms weighing 12.1-16g due to the highest reproductive growth and yield of daughter corms from transplanting, is recommended under controlled conditions of aeroponic system.

Keywords: Conventional cultivation, Perianth, Crocin, Daughter corm, Phytotron.