

بررسی اثر اسید جیبرلیک، کربن دی سولفید و تیواوره بر شکستن خواب و جوانه زنی مینی تیوبرهای سیب زمینی

شبنم هسراک^۱، عبدالرضا باقری^{۲*} و رضا زرغامی^۳

۱. گروه بیوتکنولوژی و به نژادی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۲. عضو هیئت علمی، گروه بیوتکنولوژی و به نژادی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۳. عضو هیئت علمی، بخش کشت بافت و سلول، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج-ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۱۶)

چکیده

کاهش دوره خواب مینی تیوبرهای سیب زمینی از نظر اقتصادی حایز اهمیت است. براین اساس، مطالعه حاضر با هدف شناسایی بهترین ترکیب شکستن دوره خواب مینی تیوبرهای دو رقم تجاری آگریا و سانه انجام گردیده است. با توجه به اثر عوامل مختلف و درک بهتر تاثیر فاکتورهای اثرگذار و میان کنش آنها بر خواب مینی تیوبرها، در این مطالعه اثر تیمارهای اسید جیبرلیک (0.05 و 0.07 gl^{-1})، تیواوره (10 و 20 gl^{-1}) و کربن دی سولفید (25 و 50 mml^{-3}) بر روی دوره خواب بذر، تعداد و طول جوانه تولید شده از مینی تیوبرهای دو رقم سیب زمینی با دوره های رکود متفاوت و سه اندازه مختلف غده (1.5 ، 2.5 و 3.5 cm) مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد با وجودیکه تیواوره و کربن دی سولفید اثر مطلوبی بر کاهش دوره خواب داشتند اما بر اساس بررسی پارامترهای جوانه زنی، اسید جیبرلیک (0.05 gl^{-1}) تیمار مناسب جهت کاهش دوره رکود مینی تیوبرها محسوب می گردد. این تیمار علاوه بر کاهش دوره خواب مینی تیوبرهای با اندازه های مختلف در هر دو رقم، اثر مطلوبی بر جوانه زنی غده های حاصل داشته است.

واژه های کلیدی: *Solanum tuberosum*، آگریا، تعداد جوانه، سانه، شکستن خواب بذر.

Evaluation the effect of gibberellic acid, carbon disulfide and thiourea on breaking the dormancy and germination of potato minitubers

Sh. Hasrak¹, A. Bagheri^{2*} and R. Zarghami³

1. Biotechnology and Plant Breeding Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2. Professor, Biotechnology and Plant Breeding Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
3. Associate Professor, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
(Received: May. 11, 2018 – Accepted: Oct. 08, 2019)

Abstract

Reducing the minituber dormancy has economic importance. The current study was aimed to find the best dormancy breaking treatment to reduce minituber dormancy of two commercial varieties (Sante and Agria). Since minituber dormancy period depends on different factors, the individual effects of treatments i.e. GA_3 (0.05 and 0.07 gl^{-1}), thiourea (10 and 20 gl^{-1}) and CS_2 (25 and 50 mml^{-3}), genotype background (different dormancy periods), and minituber size (1.5 , 2.5 and 3.5 cm), were evaluated on minituber dormancy period. In addition to dormancy period, the effects of mentioned factors were investigated on sprout numbers and sprout length. Results showed that although CS_2 and thiourea had good effects on the reduction of minituber dormancy, the detailed consideration of derived sprouts showed that it cannot be introduced as an appropriate dormancy breaking treatment. According to the results, GA_3 (0.05 gl^{-1}) was found to be the best treatment for reducing dormancy period in both cultivars. GA_3 (0.05 gl^{-1}), in addition to break the dormancy of different minituber sizes of both cultivars, had good effect on sprouting related parameters of treated minitubers.

Key words: Agria, Dormancy Breaking, Sante, *Solanum tuberosum*, Sprout Number.

* Email: abagheri@um.ac.ir

مقدمه

(2015)، کربن دی سولفید (CS₂) (Coleman, 1998)، ریندیت (Rehman et al., 2001)، تیواوره (Bajji et al., 2007) H₂O₂، (Rehman et al., 2003) اتیلن پروماید (Otroshy and Struik, 2006) و اتیلن کلروهیدرین (Bryan, 1989) برای شکستن خواب بذر استفاده شده است. مطالعات نشان داده است که تیمارهای شیمیایی نسبت به تیمارهای دمایی از کارایی بیشتری برای کاهش دوره رکود غده‌های بذری سیب‌زمینی برخوردارند. چالشی که در مورد دوره خواب بذر سیب‌زمینی وجود دارد این است که علیرغم مطالعات فراوان انجام شده، پروتکل‌های کاربردی محدودی در این زمینه ارائه گردیده است (Wróbel et al., 2015). از مهمترین دلایل عدم ارائه پروتکل مشخص می‌توان به این مسئله اشاره نمود که دوره خواب علاوه بر شرایط محیطی محل نگهداری (Coleman and Coleman, 2000; Andrenelli et al., 2005)، به عوامل مختلفی بویژه ژنوتیپ بستگی داشته که در یک ژنوتیپ خاص نیز به میزان زیادی تحت تاثیر اندازه مینی‌تیوبر می‌باشد (Mohammadi et al., 2014). این اثر تاحدی است که با افزایش اندازه غده، از طول دوره خواب کاسته می‌گردد (Suttle, 2007). در مطالعات انجام شده پیرامون مقایسه اثربخشی تیمارهای هورمونی و شیمیایی CS₂، GA₃ و تیواوره در شکستن خواب مینی‌تیوبرهای سیب‌زمینی توسط سلیمی و همکاران (Salimi et al., 2010a) و گرمچی و همکاران (Germchi et al., 2011)، مشخص گردید که بالاترین غلظت‌های این ترکیبات (GA₃=0/05 gl⁻¹، CS₂=25 mlm⁻³ و تیواوره=10 gl⁻¹) دوره رکود مینی‌تیوبرها را با اختلاف معنی‌داری کاهش می‌دهند. این نتایج در مقایسه با سایر مطالعات، یافته‌های کاربردی‌تری جهت کاهش دوره خواب مینی‌تیوبرهای سیب‌زمینی بشمار می‌روند.

هدف مطالعه حاضر، شناسایی بهترین تیمارهای شیمیایی و هورمونی جهت شکستن خواب مینی‌تیوبرها با

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) بعد از ذرت، برنج و گندم، چهارمین گیاه استراتژیک در دنیا بشمار می‌رود (FAO Statistical Pocketbook, 2015). از اینرو استفاده از تکنیک‌های پیشرفته و با کارایی بالاتر در بهبود ازدیاد غده‌های بذری این گیاه از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. استفاده از مینی‌تیوبرها به دلیل برخورداری از ویژگی‌های مطلوبی مانند قابلیت جابجایی و نگهداری طولانی مدت، موجب استقبال گسترده تولیدکنندگان سیب‌زمینی از این روش در مقایسه با شیوه‌های قدیمی گردیده است. مینی‌تیوبرها، غده‌های کوچک بذری سیب‌زمینی با اندازه 25-5 mm می‌باشند که از کشت گیاهچه‌های حاصل از کشت بافت در گلخانه بدست می‌آیند (Struik, 2007). توانایی تولید جوانه یکی از قابلیت‌های اساسی است که هر غده بذری سیب‌زمینی می‌بایست از آن برخوردار باشد (Virtanen et al., 2013). علاوه بر این برخورداری از جوانه‌زنی همزمان یکی دیگر از ویژگی‌های مهم غده‌های بذری است که باید در زمان انتخاب رقم به آن توجه گردد (Teper-Bamnolker et al., 2010). دوره خواب بذر یکی از عوامل اصلی محدودکننده استفاده از مینی‌تیوبرها است که موجب به تعویق افتادن رشد و در نتیجه بروز مشکلاتی برای کشاورزان می‌شود (Vreugdenhil, 2007). خواب بذر در سیب‌زمینی تحت تاثیر عوامل مختلفی از جمله ژنوتیپ، فیزیولوژی، شرایط رشد (دوره نوری، دما و مواد مغذی) و شرایط نگهداری پس از برداشت است (Claassens and Vreugdenhil, 2000; Struik, 2006, Struik and Wiersema, 1999; Sonnewald and Sonnewald, 2014). از تیمارهای مختلف دمایی، شیمیایی و هورمونی مانند اسید جیبرلیک (GA₃) (Pandey et al., 2000; Lim et al., 2004; Hassan-) (Pannah et al., 2007; Alexopoulos et al., 2008) بنزیل آدنین (Sasani et al., 2009)، اتانول (Wróbel et al.,

دوره رشد، برداشت مینی تیوبرها انجام شد و بر اساس اندازه، مینی تیوبرها به سه گروه غده‌های با قطر ۱/۵، ۲/۵ و ۳/۵cm تقسیم شدند. پس از شستشوی مینی تیوبرها با آب و تیمار با قارچ کش بنومیل (۱۰٪) و به مدت ۲۰ دقیقه در دمای اتاق نگهداری گردید تا کاملاً خشک شوند.

تیمار مینی تیوبرها برای شکستن خواب

از هفت تیمار برای شکستن خواب مینی تیوبرها استفاده شد که عبارتند از: GA₃ با غلظت‌های ۰/۰۷ g l⁻¹ و ۰/۰۵ به مدت دو ساعت، تیماوره با غلظت‌های ۲۰ g l⁻¹ و ۱۰ به مدت یک ساعت، CS₂ با غلظت‌های ۵۰ ml و ۲۵ به ازای هر مترمکعب ظرف به مدت چهار روز و تیمار شاهد (بدون هیچ گونه تیماری). مینی تیوبرها تا زمان جوانه‌زنی در اتاقک رشد با شرایط محیطی دما ۲۴±۱ °C، رطوبت ۸۵±۵٪ و تاریکی نگهداری شدند. در طی این مدت مینی تیوبرها به طور روزانه بررسی و تاریخ جوانه‌زنی هر مینی تیوبر ثبت گردید. رسیدن اندازه جوانه به ۲mm به عنوان پایان دوره خواب مینی تیوبر در نظر گرفته شد (Rehman et al., 2003). تعداد روز از زمان قرار دادن مینی تیوبرها در اتاقک رشد تا زمان جوانه‌زنی نیز به عنوان دوره خواب هر غده بذری تعریف گردید. پس از جوانه‌زنی، تعداد و طول جوانه تولید شده از هر مینی تیوبر به عنوان پارامترهای مرتبط با جوانه‌زنی و شکستن خواب بذر مورد ارزیابی قرار گرفتند.

این آزمایش با دو رقم سیب‌زمینی آگریا و سانته و در قالب سه گروه مینی تیوبرهای با اندازه‌های ۱/۵، ۲/۵ و ۳/۵ cm و هفت تیمار جهت شکستن خواب بذر GA₃ (۰/۰۷ و ۰/۰۵)، تیماوره (۲۰ g l⁻¹ و ۱۰)، CS₂ (۵۰ و ۲۵ mlm⁻³) و تیمار شاهد با شش تکرار به صورت آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح بلوک کامل تصادفی انجام گردید. پارامترهای طول دوره رکود بذر (روز)، تعداد جوانه حاصل از مینی تیوبرهای تیمار شده و طول جوانه تولید شده از هر غده مورد بررسی قرار گرفت. از

اندازه‌های مختلف می‌باشد. در این راستا، اثر تیمارهای مختلف GA₃، تیماوره و CS₂ در بهبود کارایی شکستن خواب مینی تیوبرهای با اندازه‌های مختلف دو رقم تجاری آگریا (دوره خواب طولانی) و سانته (دوره خواب متوسط) مورد بررسی قرار می‌گیرند. از آنجاکه تولید کننده در زمان برداشت با مجموعه‌ای از مینی تیوبرهای با اندازه‌های متفاوت و در نتیجه دوره خواب و جوانه‌زنی در زمان‌های مختلف روبرو می‌باشد و همزمان نمودن جوانه‌زنی غده‌ها از نظر اثر بر سهولت کار و کاهش هزینه‌ها، اهمیت خاصی برای تولید کننده و کشاورز دارد، از اینرو یکی دیگر از اهداف این تحقیق پیدا کردن بهترین غلظت تیمارهای شیمیایی و هورمونی جهت اعمال بر مینی تیوبرهای با اندازه‌های مختلف ارقام آگریا و سانته می‌باشد تا بتوان تیماری برای شکستن خواب بذر به تولید کننده معرفی نمود که نه تنها دوره خواب را کاهش دهد بلکه جوانه‌زنی یکنواختی را بدنبال داشته باشد.

مواد و روش‌ها

تولید مینی تیوبرهای عاری از ویروس

برای تولید گیاهان سالم و عاری از ویروس سیب‌زمینی، غده‌های دو رقم سانته و آگریا را به صورت گلدانی کشت نموده و پس از جوانه‌زنی و رشد گیاهان، گرما درمانی در دمای ۳۰-۴۰ °C به مدت ۵ هفته برای از بین بردن ویروس‌ها (برای ویروس‌های مهم X، Y، پیچدگی برگ، M، A و S) انجام گردید. تایید عاری از ویروس بودن گیاهچه‌های حاصل از کشت مریستم‌ها با استفاده از تست الایزا صورت گرفت. ریزازدیادی نمونه‌های سالم به صورت کشت قطعات تک گره در محیط کشت جامد (محیط پایه MS، بدون هورمون، ۳۰ g l⁻¹ ساکارز، ۴ آگار و pH=۵/۷) انجام شد و پس از گذشت ۲۱ روز، گیاهچه‌ها جهت تکمیل دوره رشد به اتاق سازگاری و سپس به گلخانه منتقل شدند. در پایان

نرم افزار MSTAT-C برای تجزیه واریانس و از آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای مقایسه میانگین‌ها استفاده گردید.

جز اثر متقابل رقم-اندازه غده) در سطح ۱ درصد وجود دارد (جدول ۱). مقایسه میانگین اثرات ساده رقم و اندازه مینی تیوبر نشان داد که رقم آگریا از دوره رکود طولانی تری (۲۴/۴۳ روز) نسبت به رقم سانته (۲۰/۲۷ روز) برخوردار بوده و با افزایش اندازه مینی تیوبر، از دوره رکود غده‌های بذری کاسته می‌گردد. علاوه بر این تیمارهای هورمونی و شیمیایی مورد استفاده بطور معنی داری موجب کاهش قابل ملاحظه دوره رکود مینی تیوبرها نسبت به تیمار شاهد گردیدند.

نتایج و بحث

اثر تیمارها بر دوره خواب مینی تیوبر

تجزیه واریانس طول دوره خواب مینی تیوبرها مشخص نمود که از نظر آماری اختلاف معنی داری بین ارقام، اندازه‌های مختلف مینی تیوبر، تیمارهای مورد استفاده برای شکستن خواب بذر و اثرات متقابل آنها (به

جدول ۱- آنالیز واریانس اثرات رقم، اندازه‌های مینی تیوبر، تیمارهای مورد استفاده و اثرات متقابل آنها بر دوره خواب مینی تیوبرها، تعداد جوانه هر مینی تیوبر و طول جوانه تولید شده از هر مینی تیوبر.

Table1-Variance analysis of the effects of cultivars, minituber sizes and treatments on minituber dormancy period, sprout number of each minituber and sprout length.

تجزیه واریانس			
Variance analysis			
اثر	دوره خواب (روز)	تعداد جوانه هر مینی تیوبر	طول جوانه (mm)
Effect (s)	Dormancy period (day)	Sprout number of each minituber	Sprout length (mm)
A	6.691 **	0.013 ns	16.086 **
B	0.792 **	5.034**	8.274 **
A×B	0.133 ns	1.167**	1.927 *
C	82.049 **	0.935**	6.927 **
A×C	3.058 **	0.895**	1.097 *
B×C	0.693 **	0.175 ns	0.332 ns
A×B×C	0.292 **	0.419 *	0.527 ns

ns: عدم اختلاف آماری معنی دار، ** و * به ترتیب وجود اختلاف آماری معنی دار در سطح $p \leq 0.01$ و $p \leq 0.05$.

A: رقم، B: اندازه مینی تیوبر، C: تیمار مورد استفاده.

ns: not statistically significant, ** and * Statistically significant at $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$, respectively.

A: Cultivar; B: Minituber size; C: Treatment.

بطور میانگین غده‌های ۱/۵، ۲/۵ و ۳/۵cm سانت و ۳/۵ cm آگریا هر کدام از دوره خواب متفاوتی برخوردار بودند. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که غده‌های ۱/۵ cm تیمار شاهد رقم آگریا دارای طولانی ترین دوره خواب بذر (۸۰ روز) بوده و در همین رقم نیز، مینی تیوبرهای ۲/۵ cm تیمار شده با 20 g l^{-1} تیمار دارای کوتاهترین دوره خواب بذر (۱۲ روز) می‌باشند (جدول ۲ و شکل ۱G).

نتایج بررسی حاضر نشان داد که در هر سه اندازه مختلف مینی تیوبرهای رقم سانته در تیمار شاهد نسبت به رقم آگریا از دوره خواب کوتاه تری برخوردارند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان دهنده وجود تفاوت معنی دار در اثرات متقابل رقم، اندازه مینی تیوبر و تیمارهای بکار گرفته شده است (جدول ۲ و شکل ۱G). علاوه بر این بین مینی تیوبرهای شاهد دو رقم از نظر طول دوره خواب تفاوت آماری معنی داری مشاهده گردید.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل سه گانه رقم، اندازه‌های مینی تیوبر و تیمارهای بکار گرفته شده بر دوره خواب مینی تیوبرها و تعداد جوانه هر مینی تیوبر.

Table2- Mean comparison of the interaction effects of cultivars, minituber sizes and treatments on minituber dormancy period and sprout number of each minituber.

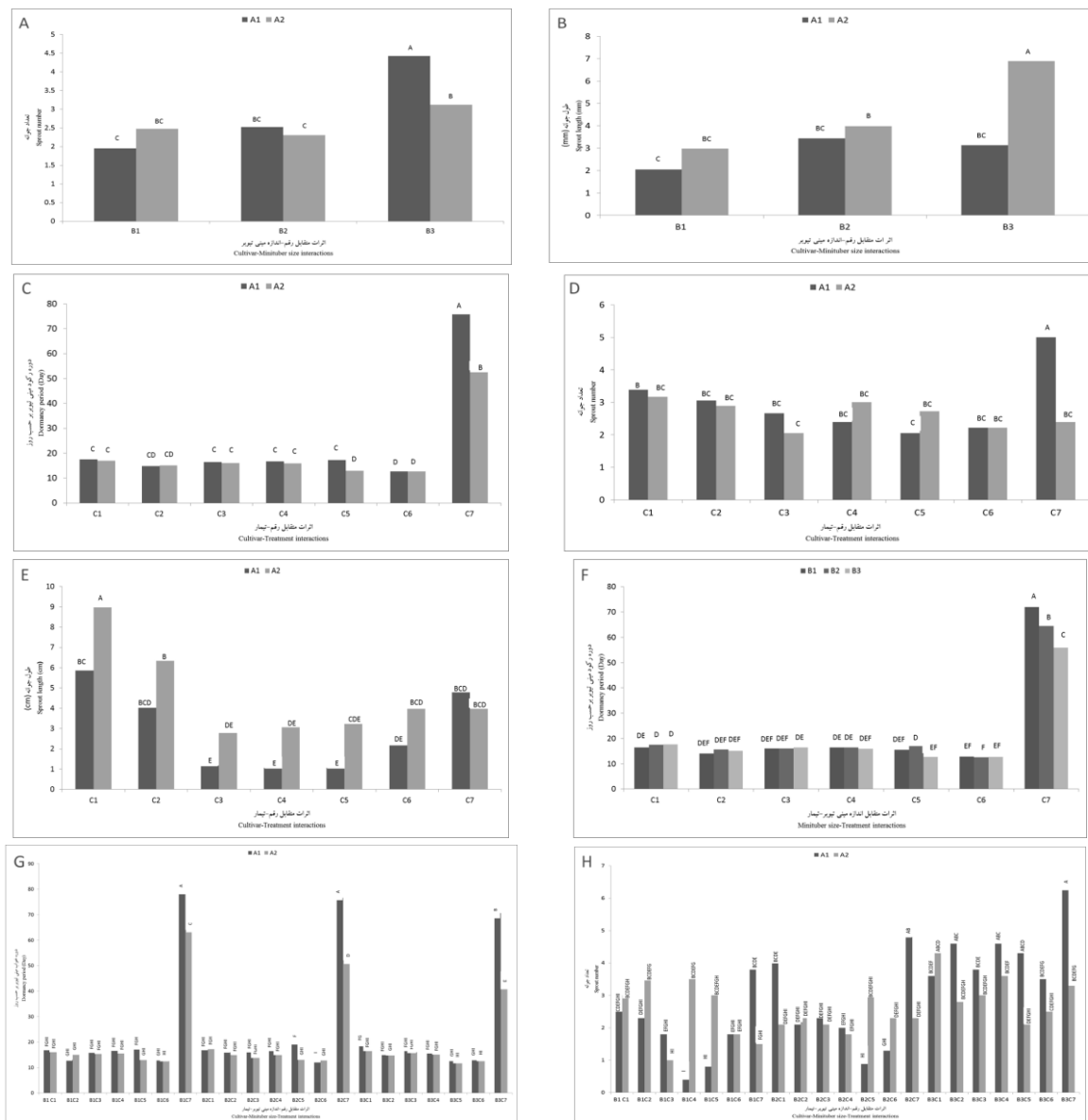
مقایسه میانگین‌ها				
Mean comparison				
اثر متقابل اندازه مینی تیوبر و تیمارهای مورد استفاده Minituber size-Treatment interactions	دوره خواب (روز)		تعداد جوانه هر مینی تیوبر	
	Dormancy period (day)		Sprout number of each minituber	
	رقم آگریا	رقم سانت	رقم آگریا	رقم سانت
	Agria cultivar	Agria cultivar	Agria cultivar	Sante cultivar
B1C1	17.0 fghi	16.0 fghi	2.5 cdefghi	3.0 bcdefgh
B1C2	13.0 ghi	15.0 ghi	2.3 defghi	3.5 bcdefg
B1C3	16.0 fghi	16.0 fghi	1.8 efghi	1.0 hi
B1C4	17.0 fghi	16.0 fghi	0.5 i	3.5 bcdefg
B1C5	18.0 fgh	13.0 ghi	0.8 hi	3.0 bcdefgh
B1C6	13.1 ghi	12.5 hi	1.8 efghi	1.8 efghi
B1C7	80.0 a	64.0 c	3.8 bcde	1.5 fghi
B2C1	17.0 fghi	18.0 fgh	4.0 bcde	2.1 defghi
B2C2	16.0 fghi	15.1 fghi	2.1 defghi	2.3 defghi
B2C3	16.1 fghi	16.0 fghi	2.3 defghi	2.1 defghi
B2C4	17.0 fghi	16.0 fghi	2.0 efghi	1.8 efghi
B2C5	20.6 f	13.1 ghi	1.0 hi	3.0 bcdefgh
B2C6	12.0 i	13.0 ghi	1.3 ghi	2.3 defghi
B2C7	76.6 a	52.1 d	4.8 ab	2.3 defghi
B3C1	18.3 fg	17.0 fghi	3.6 bcdef	4.3 abcd
B3C2	15.3 fghi	15.0 ghi	4.6 abc	2.8 bcdefgh
B3C3	17.0 fghi	16.0 fghi	3.8 bcde	3.0 bcdefgh
B3C4	16.1 fghi	15.6 fghi	4.6 abc	3.6 bcdef
B3C5	13.0 ghi	12.5 hi	4.3 abcd	2.1 defghi
B3C6	13.0 ghi	12.5 hi	3.5 bcdefg	2.5 cdefghi
B3C7	70.6 b	41.1 e	6.3 a	3.3 bcdefg

B₁: مینی تیوبرهای با قطر ۱/۵ cm، B₂: مینی تیوبرهای با قطر ۲/۵ cm، B₃: مینی تیوبرهای با قطر ۳/۵ cm، C₁: GA₃=۰/۰۵ gl⁻¹، C₂: GA₃=۰/۰۷ gl⁻¹، C₃: GA₃=۰/۰۷ gl⁻¹، C₄: CS₂=۲۵ mml⁻³، C₅: CS₂=۵۰ mml⁻³، C₆: تیواوره=۱۰ gl⁻¹، C₇: تیواوره=۲۰ gl⁻¹، شاهد.

B₁: Minituber diameter=1.5cm; B₂: Minituber diameter=2.5cm; B₃: Minituber diameter=3.5cm; C₁:GA₃=0.05gl⁻¹, C₂:GA₃=0.07gl⁻¹, C₃: CS₂=25 mml⁻³, C₄:CS₂=50 mml⁻³, C₅: Thiourea=10 gl⁻¹, C₆: Thiourea =20 gl⁻¹, C₇: Control.

GA₃، بهترین پاسخ به کاهش دوره خواب بذر در پی افزایش غلظت این هورمون (از ۰/۰۵ gl⁻¹ به ۰/۰۷ gl⁻¹) در غده‌های ۲/۵ cm سانت از ۱۸ روز به ۱۵ روز و در غده‌های ۱/۵ cm آگریا از ۱۷ روز به ۱۳ روز بوده است (جدول ۲ و شکل ۱G). هر دو غلظت CS₂ توانستند طول دوره خواب مینی تیوبرها را صرف نظر از رقم و اندازه غده، بطور میانگین به ۱۶ روز کاهش دهند. افزایش غلظت این ترکیب نتوانست بهبود معنی داری در شکستن خواب بذر ایجاد نماید (جدول ۲ و شکل‌های ۱G و ۱F).

نتایج نشان داد در رقم سانت طولانی ترین دوره خواب بذر در غده‌های ۱/۵ cm تیمار شاهد و به مدت ۶۴ روز می‌باشد که در پی تیمار با ۲۰ gl⁻¹ تیواوره، این دوره به ۱۲/۵ روز کاهش یافت. لازم به ذکر است که افزایش غلظت تیواوره از ۱۰ به ۲۰ gl⁻¹ تاثیر معنی داری در کاهش دوره خواب بذر غده‌های رقم سانت نداشت اما افزایش غلظت این ماده شیمیایی، دوره خواب مینی تیوبرهای ۱/۵ و ۲/۵ cm آگریا را به ترتیب از ۱۸ به ۱۳ و از ۲۰ به ۱۲/۰ روز رسانید (جدول ۲ و شکل‌های ۱C و ۱G). در مورد تیمار



شکل ۱- اثرات متقابل دوگانه و سه گانه معنی دار رقم، اندازه مینی تیوبر و تیمارهای مورد استفاده بر صفات دوره رکود، تعداد و طول جوانه.

A: اثر متقابل رقم- اندازه مینی تیوبر بر تعداد جوانه، B: اثر متقابل رقم- اندازه مینی تیوبر بر طول جوانه، C: اثر متقابل رقم- تیمار بر دوره رکود،

D: اثر متقابل رقم- تیمار بر تعداد جوانه، E: اثر متقابل رقم- تیمار بر طول جوانه، F: اثر متقابل اندازه مینی تیوبر- تیمار بر دوره رکود،

G: اثر متقابل رقم- تیمار بر دوره رکود، H: اثر متقابل رقم- تیمار بر تعداد جوانه.

ستون‌های با حروف مشترک در هر نمودار از نظر آماری، اختلاف معنی داری ندارند.

A1: رقم آگریا، A2: رقم سانت، B1: مینی تیوبرهای با قطر ۱/۵ cm، B2: مینی تیوبرهای با قطر ۲/۵ cm، B3: مینی تیوبرهای با قطر ۳/۵ cm،

C1: GA₃=۰/۰۵ gl⁻¹، C2: GA₃=۰/۰۷ gl⁻¹، C3: GA₃=۰/۰۷ gl⁻¹، C4: CS₂=۲۵ mlm⁻³، C5: CS₂=۵۰ mlm⁻³، C6: تیواوره=۱۰ gl⁻¹، C7: تیواوره=۲۰ gl⁻¹، شاهد.

Figure 1- Significantly different interaction effects of cultivar, minituber size and treatments on dormancy period, length and number of sprouts.

A: Interaction effects of cultivar-minituber size on sprout number, B: Interaction effects of cultivar-minituber size on sprout length, C: Interaction effects of cultivar-treatments on dormancy period, D: Interaction effects of cultivar-treatments on sprout number, E: Interaction effects of cultivar-treatments on sprout length, F: Interaction effects of minituber size-treatments on dormancy period, G: Interaction effects of cultivar-minituber size-treatment on dormancy period, H: Interaction effects of cultivar-minituber size-treatment on sprout number. The values with different superscript letters in a column are not significantly different.

A₁: Agria cultivar; A₂: Sante cultivar; B₁: Minituber diameter=1.5cm; B₂: Minituber diameter=2.5cm; B₃: Minituber diameter=3.5cm; C₁: GA₃=0.05gl⁻¹, C₂: GA₃=0.07gl⁻¹, C₃: CS₂=25 mlm⁻³, C₄: CS₂=50 mlm⁻³, C₅: Thiourea=10 gl⁻¹, C₆: Thiourea =20 gl⁻¹, C₇: Control.

غلظت ۵۰ ppm بوده است. در تحقیق حاضر نیز افزایش غلظت GA_3 از 0.05 g l^{-1} به 0.07 g l^{-1} موجب کاهش دوره خواب مینی تیوبرها گردید.

اگرچه CS_2 اثر کاهنده ای بر دوره خواب مینی تیوبرها داشته است اما افزایش غلظت آن، تاثیر یکسانی بر دوره رکود غده‌های با اندازه‌های مختلف دو رقم نداشت. به همین دلیل غلظت بالاتر این ترکیب تیمار قابل توصیه ای برای شکستن دوره رکود بذر نمی‌باشد. سلیمی و همکاران (Salimi *et al.*, 2010a) گزارش نمودند که در پی تیمار مینی تیوبرهای رقم آگریا با وزن‌های 0.3 ، 0.7 و 1.5 g با GA_3 (0.05 g l^{-1}) و CS_2 (25 ml m^{-3})، توانستند دوره خواب غده‌ها را نسبت به شاهد به طور معنی داری کاهش دهند. در بررسی انجام شده توسط آنها مشخص گردید که دوره خواب بذر با افزایش وزن مینی تیوبر، در مقایسه با شاهد به میزان کمتری کاهش یافت که از این نظر با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد.

همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، در رقم آگریا اعمال همه تیمارها به جز $GA_3=0.07 \text{ g l}^{-1}$ ، تیمار = 10 g l^{-1} و شاهد، موجب جوانه‌زنی یکنواخت مینی تیوبرهای با اندازه‌های مختلف گردید. اما در رقم تنها تیمارهای $GA_3=0.05 \text{ g l}^{-1}$ و شاهد، جوانه‌زنی غیریکنواختی را دنبال داشتند و تیمارهای دیگر از این نظر از اثر قابل قبولی برخوردار بودند (شکل ۳). در هر دو رقم میزان نوسان جوانه‌زنی در تیمارهای مختلف بسیار کمتر از شاهد بوده و توصیه می‌گردد تولیدکننده با در نظر گرفتن سایر جوانب، آنها را برای شکستن خواب مینی تیوبرها انتخاب نماید.

تعداد جوانه تولید شده از هر مینی تیوبر

نتایج حاصل از تجزیه واریانس تعداد جوانه بوجود آمده پس از اعمال تیمارها نشان دهنده وجود تفاوت معنی دار بین اثر اندازه‌های مختلف غده، نوع تیمار، اثر متقابل رقم-تیمار و همچنین اثر متقابل رقم-اندازه مینی تیوبر در سطح ۱ درصد است. علاوه بر این، همانطور

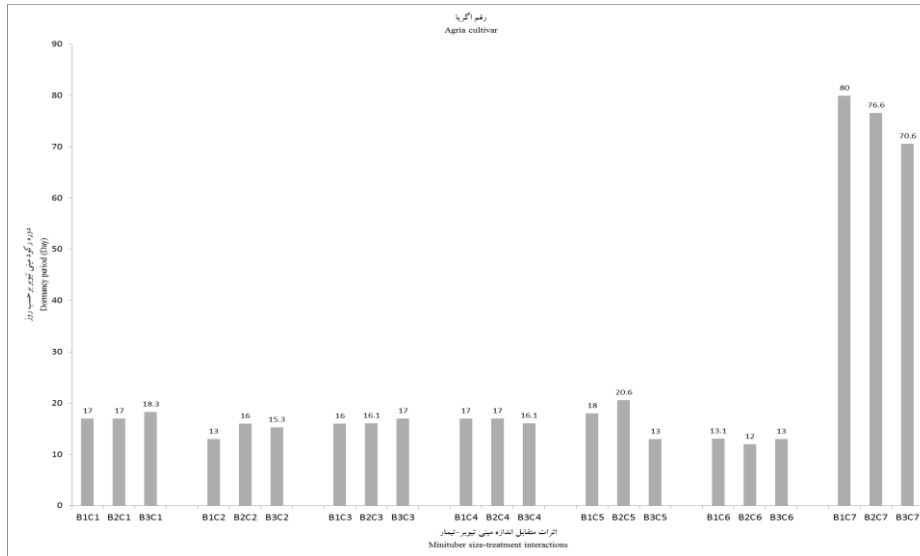
بر اساس نتایج، در درجه اول تیمار بهترین تیمار جهت کوتاه نمودن دوره خواب مینی تیوبرها است چرا که توانسته این دوره را در هر دو رقم به حدود ۱۲ روز کاهش دهد. در این مطالعه رقم‌های سیب‌زمینی پاسخ متفاوتی به تیمار تیمار داشتند. غلظت‌های مختلف تیمار اثر مشابهی بر دوره خواب مینی تیوبرهای رقم داشته است اما با افزایش غلظت این ترکیب، طول دوره خواب مینی تیوبرهای با اندازه کوچک و متوسط رقم آگریا کاهش یافت. حسینی و همکاران (Hosseini, *et al.*, 2011) در مطالعه مشابهی با استفاده از تیمار تیمار تیمار با غلظت 20 g l^{-1} و به مدت ۳ ساعت، توانستند دوره خواب مینی تیوبرهای تازه برداشت شده رقم مرفونا را نسبت به تیمار 30 g l^{-1} تیمار بطور معنی داری کاهش دهند. به عبارت دیگر افزایش غلظت تیمار موجب کاهش معنی دار این ترکیب در شکستن دوره خواب غده‌ها شده است.

برخلاف تیمار تیمار، افزایش غلظت GA_3 بهبود اثر این تیمار را به دنبال داشت بطوریکه به نظر می‌رسد با افزایش غلظت این هورمون، دوره خواب مینی تیوبر در هر دو رقم همچنان کاهش می‌یابد. در پژوهشی دیگر مشخص شد که مخلوطی از GA_3 ، تیمار و دی آمینوزید به صورت معنی داری موجب کاهش معنی دار محتوای ABA در دو رقم پاسات (دوره خواب متوسط) و دوروتا (دوره خواب طولانی) گردید که حاکی از اثر مثبت این دو ترکیب در کاهش دوره رکود جوانه غده‌های سیب‌زمینی می‌باشد (Wróbel *et al.*, 2017).

در مطالعات پیشین، شناسایی غلظت بهینه GA_3 برای شکستن خواب مینی تیوبرها توصیه گردیده است (Khorshidi-Benam and Hassan-Panah, 2008).

محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.*, 2014) در تحقیقی در مورد اثر تیمارهای GA_3 ، تیمار و CS_2 گزارش دادند که این ترکیبات نه تنها قادر به کاهش طول دوره خواب مینی تیوبرها در رقم‌های آگریا و بون هستند بلکه بیشترین کاهش دوره رکود در پی تیمار GA_3 با

که در جدول ۱ آورده شده، اثر متقابل معنی داری در سطح ۰/۰۵ بین رقم - نوع تیمار - اندازه های مختلف مینی تیوبر نیز وجود دارد.

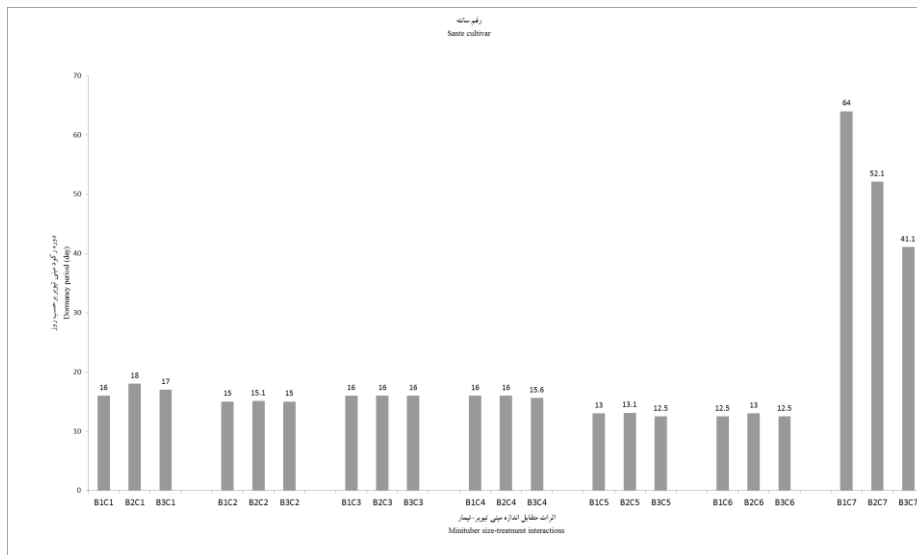


شکل ۲- اثر متقابل اندازه مینی تیوبرهای رقم آگریا و تیمارهای بکار گرفته شده بر دوره خواب مینی تیوبرها.

Figure 2- Dormancy period of Agria minitubers with different sizes in response to dormancy breaking treatments.

B₁: مینی تیوبرهای با قطر ۱/۵ cm، B₂: مینی تیوبرهای با قطر ۲/۵ cm، B₃: مینی تیوبرهای با قطر ۳/۵ cm، C₁: GA₃=۰/۰۵ gl⁻¹، C₂: GA₃=۰/۰۷ gl⁻¹، C₃: CS₂=۲۵ mlm^{-۳}، C₄: CS₂=۵۰ mlm^{-۳}، C₅: تیواوره=۱۰ gl⁻¹، C₆: تیواوره=۲۰ gl⁻¹، C₇: شاهد.

B₁: Minituber diameter=1.5cm; B₂: Minituber diameter=2.5cm; B₃: Minituber diameter=3.5cm; C₁:GA₃=0.05gl⁻¹, C₂:GA₃=0.07gl⁻¹, C₃: CS₂=25 mlm⁻³, C₄:CS₂=50 mlm⁻³, C₅: Thiourea=10 gl⁻¹, C₆: Thiourea =20 gl⁻¹, C₇: Control.



شکل ۳- اثر متقابل اندازه مینی تیوبرهای رقم سانت و تیمارهای بکار گرفته شده بر دوره خواب مینی تیوبرها.

Figure 3- Dormancy period of Sante minitubers with different sizes in response to dormancy breaking treatments.

B₁: مینی تیوبرهای با قطر ۱/۵ cm، B₂: مینی تیوبرهای با قطر ۲/۵ cm، B₃: مینی تیوبرهای با قطر ۳/۵ cm، C₁: GA₃=۰/۰۵ gl⁻¹، C₂: GA₃=۰/۰۷ gl⁻¹، C₃: CS₂=۲۵ mlm^{-۳}، C₄: CS₂=۵۰ mlm^{-۳}، C₅: تیواوره=۱۰ gl⁻¹، C₆: تیواوره=۲۰ gl⁻¹، C₇: شاهد.

B₁: Minituber diameter=1.5cm; B₂: Minituber diameter=2.5cm; B₃: Minituber diameter=3.5cm; C₁:GA₃=0.05gl⁻¹, C₂:GA₃=0.07gl⁻¹, C₃: CS₂=25 mlm⁻³, C₄:CS₂=50 mlm⁻³, C₅: Thiourea=10 gl⁻¹, C₆: Thiourea =20 gl⁻¹, C₇: Control.

از نظر تعداد جوانه تولید شده میان ارقام تفاوت معنی داری مشاهده گردید بطوریکه رقم گریا از نظر این صفت، نسبت به رقم سانه برتری دارد. براساس مقایسه میانگین‌ها، با افزایش اندازه مینی تیوبر بر تعداد جوانه‌های حاصل از هر غده افزوده می‌گردد. بررسی اثر تیمارها بر تعداد جوانه حاصل از هر غده، نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار میان تیمارها از نظر این صفت می‌باشد. مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم-اندازه مینی تیوبر-تیمار، نشان دهنده وجود تفاوت معنی دار بین تعداد جوانه تولید شده از غده‌های با اندازه مختلف هر دو رقم در پی اعمال تیمارهای مختلف است (جدول ۲ و شکل ۱H). در بررسی حاضر، با افزایش غلظت تیمارهای هورمونی و شیمیایی نسبت به غلظت اولیه آنها، افزایش معنی داری در تعداد جوانه‌های تولید شده از مینی تیوبر هر رقم مشاهده نگردید (جدول ۲ و شکل ۱D). بر این اساس به نظر می‌رسد که تعداد جوانه به میزان زیادی تحت کنترل ژنتیکی بوده و نسبت به دوره رکود، اثر پذیری کمتری را دارا می‌باشد. تنها یک استثنا در این مورد مشاهده شد و آن هم در مینی تیوبرهای ۱/۵ cm رقم سانه که با افزایش غلظت تیمار CS_2 از 50 mlm^{-3} به 25 mlm^{-3} ، تعداد جوانه‌ها بطور معنی داری از ۱/۰ به ۳/۵ عدد افزایش یافت (جدول ۲ و شکل ۱D). باتوجه به نقش ABA در تداوم دوره خواب مینی تیوبرها (Suttle, 2004; Muthoni et al., 2014)، بر خورداری غده‌های کوچکتر از دوره رکود بالاتر و نقش تیواوره در بهبود جوانه‌زنی از طریق ازبین بردن اثر غالبیت جوانه اصلی و فراهم نمودن امکان جوانه‌زنی برای جوانه‌های کوچکتر هر چشم (Sadawarti et al., 2016)، می‌تواند بیانگر حساسیت بیشتر مینی تیوبرهای ۱/۵ cm سانه به افزایش غلظت تیمار CS_2 و بروز این استثنا باشد. به نظر می‌رسد مقدار این تیمار به اندازه ای نبوده که بتواند چنین واکنشی را در مینی تیوبرهای کوچک رقم گریا ایجاد نماید. با توجه به اندازه کوچک مینی تیوبرها (۱/۵ cm)، افزایش تعداد جوانه‌های تولید شده در

غده‌های مادری کوچک و محدود بودن مواد مغذی موجود در آن، رقابت بالایی را میان جوانه‌های ایجاد شده جهت دسترسی به مواد غذایی ایجاد نموده و احتمالاً کاهش بنیه آنها را بدنبال خواهد داشت. علاوه بر این باتوجه به روند افزایشی رشد جوانه‌ها، تنفس مینی تیوبرهای مادری افزایش یافته که تحلیل غده قبل از کاشت را به همراه دارد که این مطلب می‌تواند کارایی پس از کشت غده‌های کوچک در خاک را کاهش دهد (Mahmoudi et al., 2018). بر این اساس غلظت بالای CS_2 ، تیمار مطلوبی برای مینی تیوبرهای کوچک بشمار نمی‌رود.

بیشترین تعداد جوانه ای که از هر مینی تیوبر در رقم‌های آگریا و سانه تولید شده به ترتیب ۶/۳ جوانه (تیمار شاهد غده‌های ۳/۵ cm) و ۴/۳ جوانه (تیمار $GA_3=0.05 \text{ gl}^{-1}$ مینی تیوبرهای با قطر ۳/۵ cm) بوده است. علاوه بر این، بطور کلی بیشترین تعداد جوانه تولید شده پس از اعمال تیمارها نیز در رقم آگریا (۴/۶) جوانه حاصل از تیمار غده‌های ۳/۵cm با $GA_3=0.07 \text{ gl}^{-1}$ و $CS_2=50 \text{ mlm}^{-3}$ مشاهده شده است (جدول ۲ و شکل ۱D). این مطلب نشان می‌دهد که رقم آگریا نسبت به رقم سانه نه تنها توانسته در تیمار شاهد تعداد جوانه بیشتری تولید نماید بلکه پس از اعمال تیمارها نیز قادر به حفظ این برتری نسبت به رقم سانه بوده است (جدول ۲ و شکل‌های ۱A و ۱D). در مطالعه مانی و همکاران (Mani et al., 2013) نیز نتایج مشابهی گزارش گردیده است. آنها نشان دادند که استفاده از تیواوره (۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰mM) می‌تواند دوره خواب بذر را در میکروتیوبرهای سیب‌زمینی و غده‌های حاصل از کشت در مزرعه کاهش داده و جوانه‌زنی غده‌ها را بهبود ببخشد اما بالابردن غلظت این ترکیب تغییری در بهبود جوانه‌زنی به دنبال نداشت. بررسی سلیمی و همکاران (Salimi et al., 2010b) بیانگر این مطلب بود که هر چند دو تیمار GA_3 و CS_2 نسبت به شاهد، موجب کاهش دوره خواب ریز غده‌ها شدند اما از

نظر آماری این دو تیمار در کاهش دوره خواب ریز غده‌ها تفاوت معنی داری را نشان ندادند. در صورتی که استفاده از دو تیمار GA_3 و CS_2 برای شکستن خواب مینی تیوبرها، تفاوت معنی داری در تعداد جوانه تولید شده از هر ریز غده را در پی داشتند، بطوریکه با تیمار GA_3 و CS_2 به ترتیب از هر مینی تیوبر $3/33$ و $3/05$ جوانه تولید گردید که در مقایسه با $1/48$ جوانه تولید شده از تیمار شاهد، افزایش معنی داری را نشان دادند که از این نظر با نتیجه بررسی حاضر و تحقیق‌های دیگر اختلاف چشمگیری دارد.

طول جوانه تولید شده

تجزیه واریانس طول جوانه‌های تولید شده پس از طی دوره خواب بذر نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار بین دو رقم سیب زمینی، بین تیمارها و میان اندازه‌های مختلف مینی تیوبرها در سطح ۱ درصد است (جدول ۱). علاوه

براین، میان کنش رقم-اندازه غده و رقم-تیمار در سطح ۵ درصد نیز اثر معنی داری بر طول جوانه تولید شده داشته است (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر رقم و اندازه غده بر طول جوانه تولید شده از هر غده، نشان داد که مینی تیوبرها رقم سانتی قادر به تولید جوانه‌های با طول بیشتر ($4/61$ cm) نسبت به رقم آگریا ($2/87$ cm) می‌باشند و با افزایش اندازه غده، طول جوانه ای که از هر مینی تیوبر تولید می‌شود افزایش می‌یابد. علاوه بر این استفاده از تیمارهای مختلف، اختلاف معنی داری از نظر طول جوانه‌ها در پی داشتند. براساس مقایسه میانگین میان کنش رقم-تیمار می‌توان گفت استفاده از تیمار $GA_3(0/05\text{ gl}^{-1})$ توانسته طول جوانه تولید شده در رقم سانتی ($8/9$ mm) نسبت به تیمار شاهد ($3/9$ mm) را بطور معنی داری افزایش دهد (جدول ۳ و شکل ۱E).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم-تیمار و رقم-اندازه مینی تیوبر بر طول جوانه تولید شده پس از طی دوره رکود مینی تیوبرها.
Table3-Mean comparison of interaction effects of cultivars- treatments and cultivars-minituber sizes on length of each sprout.

مقایسه میانگین		
Mean comparison		
اندازه مینی تیوبر (B) و تیمار (C) Minituber size (B) and Treatment (C)	طول جوانه (mm) Sprout length (mm)	
	رقم آگریا Agria cultivar	رقم سانتی Sante cultivar
B1	2.0 c	2.9 bc
B2	3.4 bc	3.9 b
B3	3.1 bc	6.8 a
C1	5.8 bc	8.9 a
C2	4.0 bcd	6.3 b
C3	1.1 e	2.7 de
C4	1.0 e	3.0 de
C5	1.0 e	3.2 cde
C6	2.1 de	3.9 bcd
C7	4.7 bcd	3.9 bcd

B₁: مینی تیوبرهای با قطر ۱/۵ cm، B₂: مینی تیوبرهای با قطر ۲/۵ cm، B₃: مینی تیوبرهای با قطر ۳/۵ cm، C₁: $GA_3=0/05\text{ gl}^{-1}$ ، C₂: $GA_3=0/07\text{ gl}^{-1}$ ، C₃: $CS_2=25\text{ mlm}^{-3}$ ، C₄: $CS_2=50\text{ mlm}^{-3}$ ، C₅: تیواوره= 10 gl^{-1} ، C₆: تیواوره= 20 gl^{-1} ، C₇: شاهد.

B₁: Minituber diameter=1.5cm; B₂: Minituber diameter=2.5cm; B₃: Minituber diameter=3.5cm; C₁: $GA_3=0.05\text{gl}^{-1}$, C₂: $GA_3=0.07\text{gl}^{-1}$, C₃: $CS_2=25\text{ mlm}^{-3}$, C₄: $CS_2=50\text{ mlm}^{-3}$, C₅: Thiourea=10 gl^{-1} , C₆: Thiourea=20 gl^{-1} , C₇: Control.

هر دو غلظت GA_3 در مقایسه با شاهد موجب افزایش معنی دار طول جوانه‌ها گردیده است. علاوه بر این، طول جوانه‌های حاصل از تیمار مینی تیوبرها با CS_2 و اتیلن بطور میانگین کوتاهتر از جوانه‌های حاصل از تیمار شاهد بوده است.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از بررسی اثر تیمارهای GA_3 ، CS_2 و تیواوره در شکستن خواب مینی تیوبرها دو رقم آگریا و سانت، تعداد و طول جوانه‌های تولید شده از هر غده پس از طی دوره خواب بذر، نشان دهنده این است که اعمال تیمارهای GA_3 ، CS_2 و تیواوره تغییرات معنی‌داری در صفات مورد بررسی داشته است. نتایج نشان دادند که تیمار GA_3 با غلظت 0.05 g l^{-1} موجب کاهش دوره رکود در هر دو رقم سیب‌زمینی گردید و اثر منفی بر تعداد و طول جوانه تولید شده هر مینی تیوبر نداشت. علاوه بر این افزایش غلظت GA_3 نه تنها اثر مشابهی داشت بلکه تاثیر نامطلوبی بر پارامترهای مورد بررسی در پی نداشت. با توجه به هدف این مطالعه در معرفی بهترین تیمار جهت شکستن دوره خواب مینی تیوبر همراه با اثرات مطلوب بر پارامترهای مربوط به جوانه‌زنی و با مقایسه با نتایج بدست آمده می‌توان توصیه نمود که تیمار مینی تیوبرها با GA_3 (0.05 g l^{-1}) گزینه مناسبی برای کاهش دوره خواب مینی تیوبرها می‌باشد.

سپاسگزاری

اعتبار این پژوهش از محل پژوهش طرح شماره ۲۲۸۹۹ معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تامین شده است که بدینوسیله سپاسگزاری می‌شود.

کمترین طول جوانه تولید شده (حدود ۱mm) در پی تیمار با هر دو غلظت CS_2 و تیواوره با غلظت 10 g l^{-1} در رقم آگریا ثبت گردید که طول آن بطور معنی‌داری از طول جوانه‌های حاصل از تیمار شاهد کمتر بوده است (جدول ۳ و شکل ۱E). میان کنش رقم-اندازه مینی تیوبر در اثر بر روی طول جوانه اهمیت خاصی دارد که در این مطالعه نیز مقایسه میانگین‌ها نشان داد که مینی تیوبرهای ۳/۵ cm رقم سانت، جوانه‌هایی با طول ۶/۸ mm تولید نموده اند که نسبت به سایر نمونه‌های این مقایسه، از بیشترین طول جوانه برخوردار بود (جدول ۳ و شکل ۱B).

در این مطالعه با افزایش اندازه مینی تیوبرهای هر دو رقم، طول جوانه تولید شده از هر مینی تیوبر افزایش یافت. علاوه بر این، افزایش غلظت هیچ یک از تیمارهای مورد استفاده در هر دو رقم (به جز تیمار GA_3 در رقم سانت) اثر معنی‌داری در بهبود طول جوانه نداشت. جیرلین‌ها قادر به شکستن دوره خواب بذر هستند (Herrera et al 1991). بر این اساس گزارش‌های متعددی در مورد استفاده از این ترکیب بر غده‌های سیب‌زمینی وجود دارد که این ترکیب نه تنها موجب کاهش دوره خواب غده‌های بذری شده بلکه افزایش تعداد و طول جوانه‌های حاصل از تیمار غده‌ها را بدنال داشته است (Lorreta et al., 1995; Mani et al., 2014). سلیمی و همکاران (Salimi et al., 2011) نیز تایید نموده‌اند که تیمار GA_3 با غلظت 0.05 g l^{-1} منجر به افزایش طول جوانه شده و این در حالی است که تیمار تیواوره کاهش طول جوانه را بدنال داشت. نتایج مشابهی نیز توسط خورشیدی و حسن‌پناه (Khorshidi and Hassanpanah 2009) گزارش شده است که غده‌های بزرگتر به دلیل برخورداری از بنیه قوی‌تر، جوانه‌های طویل‌تر تولید می‌کنند. نتایج فوق در تطابق با یافته‌های این مطالعه است که تیمار مینی تیوبرها با

Reference

منابع

- Alexopoulos, A.A., G. Aivalakis, K.A. Akoumianakisa, and H.C. Passam. 2008.** Effect of gibberellic acid on the duration of dormancy of potato tubers produced by plants derived from true potato seed. *Postharvest Biol. Technol.* 49: 424-430.
- Andrenelli, L., Palchetti, E., Malandrino, L., Espen, L. and V. Vecchio. 2005.** In vitro study for dormancy in new potato clones. *EAPR July, Bilbao.* 785-787.
- Bajji, M., M.M. Hamdi, F. Gastiny, J.A. Rojas-Beltran and P. Jardin. 2007.** Catalase inhibition accelerates dormancy release and sprouting in potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 11 (2): 121-131.
- Bryan, J. E. 1989.** Breaking dormancy of potato tubers. *CIP Research Guide* 16.
- Classens, M.M.J. and D. Vreugdenhil. 2000.** Is dormancy breaking of potato tubers the reverse of tuber initiation? *Potato Res.* 43:347-369.
- Coleman, W. 1998.** Carbon Dioxide, oxygen and ethylene effects on potato tuber dormancy release and sprout growth. *Ann Bot.* 82: 21-27.
- Coleman, W. K. and S. E. Coleman. 2000.** Modification of potato microtuber dormancy during induction and growth in vitro. *Am. J. Potato Res.* 77: 103-110.
- FAO Statistical Pocketbook. 2015.** World Food and Agriculture. FAO, Rome.
- Germchi, S., M. B. Khorshidi-Benam, D. Hassanpanah, and F. Shekari. 2011.** Effect of thiourea on dormancy breaking and minituber yield of potato (*Solanum tuberosum* L.) cv. Agria in greenhouse experiment. *J. Food Agric. Environ.* 9 (3&4): 379-382.
- Hassan-Panah, D., R. Shahryari, A. Shamel, and L. Fathi. 2007.** Iranian Hort. Sci. Congr., 5th, Shiraz Univ., Iran. (In Persian)
- Herrera, J., R. Alizaga, and E. Guerara. 1991.** Effects of hydrogen cyanamide and gibberellic acid on tuber dormancy development and yield of potatoes. *Agron. costarric.* 15: 29-35.
- Hosseini, M., R. Afshari, and K. Salimi. 2011.** Breaking dormancy of potato minitubers with thiourea. *Potato J.* 38 (1): 9-12.
- Khorshidi, M.B., and D. Hassanpanah. 2009.** Effect of gibberellic acid on Agria potato tuber breaking dormancy. *J. Mod. Sci.* 12: 11-20.
- Khorshidi, M. B., and D. Hassan-Panah. 2008.** Effect of gibberellic acid on dormancy breaking of Agria potato seed mini-tubers. *Agroecology J.* 4(3): 11-20.
- Lim, H.T., C.S. Yoon, S.P. Choi, and S. P. Dhital. 2004.** Application of gibberellic acid and paclobutrazol for efficient production of potato (*Solanum tuberosum* L.) minitubers and their dormancy breaking under soilless culture system. *J. Kor. Soc. Hortic. Sci.* 45(4):189-193.
- Lorreta, L., G. Miktzel, and F. Nora. 1995.** Dry gibberellic acid combined with tale and fir bark enhances early and tuber growth of shepody. *Am. Potato J.* 72: 5.
- Mahmoudi, A. A., Darvishi, B., Mansourifar, S. and M. H. Jafari Sayadi. 2018.** Study on the effect of cold stress and gibberellic acid (GA₃) on dormancy breaking of potato minituber. *Iranian J. Seed Sci. Res.* 4: 37-48.
- Mani, F., T. Bettaieb, N. Doudech, and C. Hannachi. 2013.** Effect of hydrogen peroxide and thiourea on dormancy breaking of microtubers and field-grown tubers of potato. *Afr. Crop Sci. J.* 21(3): 221- 234.
- Mani, F., T. Bettaieb, N. Doudech, and C. Hannachi. 2014.** Physiological mechanisms for potato dormancy release and sprouting: A review. *Afr. Crop Sci. J.* 22(2): 155-174.
- Mohammadi, M.S., A. Kashani, S. Vazan, and F. Hasani. 2014.** Evaluation of potato mini-tubers dormancy breaking affected by various chemicals, genotype and mini-tuber size. *Int. J. Biosci.* 4(6):100-108.

- Muthoni, J., Kabira, J., Shimelis, H. and R. Melis. 2014.** Regulation of potato tuber dormancy: A review. *Aust. J. Crop Sci.* 8: 754.
- Otroshy, M. and P.C. Struik. 2006.** Utilization of tissue culture techniques in a seed potato tuber production scheme. PhD Thesis, Wageningen University, Wageningen, the Netherlands.
- Nandi, S. K., Pandey, H., Nadeem, M., and L. M. S. Palni. 2000.** Chemical stimulation of seed germination in *Aconitum heterophyllum* Wall, and *A. balfourii* Stapf. : Important Himalayan species of medicinal value. *Seed Sci. Technol. (Switzerland)*. 28(1): 39-48.
- Rehman, F., Lee, S.K., Kim, H.S., Jeon, J.H., Park, J. and H. Joung. 2001.** Dormancy breaking and effects on tuber yield of potato subjected to various chemicals and growth regulators under greenhouse conditions. *Online J. Biol. Sci.* 1 (9): 818-820.
- Rehman, F., S. K. Lee, H. Joung, and A. Khabir. 2003.** Evaluation of various chemicals on dormancy breaking and subsequent effects on growth and yield in potato microtubers under greenhouse conditions. *Acta Hort.* 619:375-381.
- Sadawarti, M. J., Pandey, K., Singh, B. and R. Samadiya. 2016.** A review on potato microtuber storability and dormancy. *J. Nat. Appl. Sci.* 8: 2319-2324.
- Salimi, Kh., R. Tavakkol Afshari, M.B. Hoseini, and P.C. Struik. 2010a.** Effects of gibberellic acid and carbon disulphide on sprouting of potato minitubers. *Sci. Hortic.* 124: 14–18.
- Salimi, Kh., S.M. Hoseini, and R. Tavakkol Afshari. 2011.** Effect of type and application time of chemicals on dormancy breaking of potato minitubers. *Iranian J. of Field Crop Sci.* 42:157-164.
- Salimi, Kh., S.M. Hoseini, R. Tavakkol Afshari, and J. Gohari. 2010b.** Evaluation of the response of potato cultivars and various size of minitubers to the dormancy breaking methods. *Iranian J. of Field Crop Sci.* 41:163-169. (In Persian)
- Sasani, R., H.R. Khazaei, and A. Nezami. 2009.** Effects of gibberellin, benzyl adenine, zeatine hormones and temperature on dormancy breaking of potato minituber (*Solanum tuberosum*). *J. Hortic. Sci.* 23(2): 61-67.
- Sonnewald S, and U. Sonnewald. 2014.** Regulation of potato tuber sprouting. *Planta.* 239(1), 27-38.
- Struik P.C. 2006. Struik, P.C. 2006.** Physiological age of the seed potato, NJF seminar 386. Seed Potatoes: Physiological age, diseases and variety testing in the Nordic countries. 1-2 Feb. 2006, Sigtuna, Sweden.
- Struik, P.C. 2007.** The canon of potato science: 25- minitubers. *Potato Res.* 50:305–308.
- Struik, P.C. and S.G. Wiersema. 1999.** Seed Potato Technology. Wageningen Academic Publishers.
- Suttle, J. C. 2004.** Physiological regulation of potato tuber dormancy. *Am. J. Potato Res.* 81: 253.
- Suttle, J. C. 2007.** Dormancy and sprouting. In *Potato biology and biotechnology*. Elsevier Science BV.
- Teper-Bamnlker, P., N. Dubai, R. Fischer, E. Belausov, H. Zemach, O. Shoseyov, and D. Eshel. 2010.** Mint essential oil can induce or inhibit potato sprouting by differential alteration of apical meristem. *Planta*, 232: 179-186.
- Virtanen, E., H. Häggman, Y. Degefu, A. Välimaa, and M. Seppänen. 2013.** Effects of production history and gibberellic acid on seed potatoes. *J. Agric. Sci.* 5 (12): 145-153. Published by Can. Cent. Sci. educ.
- Vreugdenhil, D. 2007.** The canon of potato science. 39. Dormancy. *Potato Res.* 50: 371–373.
- Wróbel, S., J. Keşy, and K. Treder. 2015.** Effect of ethanol and plant growth regulators on termination of potato microtuber dormancy. *Plant Breed. Seed Sci.* 71(1): 23-36.
- Wróbel, S., Keşy, J. and K. Treder. 2017.** Effect of growth regulators and ethanol on termination of dormancy in potato tubers. *Am. J. Potato Res.* 94: 544-555.

