

Effect of priming on sprout performance, chemical composition, digestibility, and rumen protozoa population of hydroponic barley fodder, compared to conventional barley forage

M Bahlakeh¹, J Bayatkouhsar^{2*}, F Ghanbari², A Mohammad Gharehbash³, A Rahemi Karizaki⁴

Received: 2025-07-19 Revised: 2026-06-02 Accepted: 2026-08-15

¹ Former MSc. Student, Faculty of Agricultural Science and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Iran

² Associate Professor of Animal Science Department, Faculty of Agriculture Science and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Iran.

³ Assistant Professor of Animal Science Department, Faculty of Agriculture Science and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Iran.

⁴ Associate Professor of Botany Department, Faculty of Agriculture Science and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Iran.

*Corresponding author: javad_bayat@yahoo.com

پژوهش‌های علوم دامی Animal Science Research	Journal of Animal Science Research / vol.36 No.2/ 2026/pp 39-59 https://animalscience.tabrizu.ac.ir	OPEN ACCESS
© 2009 Copyright by Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran This is an open access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/) DOI:10.22034/AS.2026.68227.1783		

Introduction: The escalating challenges posed by climate change and recurrent droughts have intensified the need for novel and sustainable strategies to ensure an adequate supply of livestock feed. In this context, hydroponic cultivation systems have emerged as an efficient and promising alternative for producing green fodder. This soilless technology enables the production of plants from germination to harvest and provides a consistent, year-round source of feed. Hydroponic systems allow precise control of environmental factors, including temperature, light, humidity, and ventilation, thereby facilitating the daily production of substantial quantities of nutritious green fodder for various livestock species. One of the major advantages of this method is its efficient use of water, as it requires considerably less water per kilogram of fodder produced than conventional agricultural systems. Barley is particularly suitable for hydroponic fodder production. During germination, the activation of key biochemical pathways leads to the breakdown of stored starch, proteins, and lipids, resulting in increased levels of soluble sugars, protein, and other nutrients in the resulting fodder. Seed priming has been identified as an effective strategy for further improving the quality and rate of germination under hydroponic conditions. Priming involves soaking seeds in specific solutions, such as water, nutrients, or plant hormones, for a defined period, followed by drying. This process enhances germination by activating essential metabolic pathways. Although previous studies have investigated the quantitative and qualitative effects of seed priming, limited information is available regarding its comprehensive effects on the chemical composition, digestibility, and ruminal fermentation characteristics of hydroponically produced barley fodder. Therefore, this study aimed to comprehensively evaluate the effects of different seed-priming treatments on the germination characteristics, chemical composition,

digestibility, and ruminal protozoal population of hydroponic barley fodder and to compare the results with those obtained for conventional barley hay.

Materials and Methods

This study was conducted in 2018 at the laboratories of Gonbad Kavous University using a completely randomized design with three replications. Barley seeds were disinfected with 1% sodium hypochlorite, thoroughly rinsed, and subjected to seven priming treatments: (1) control (unprimed dry seeds), (2) hydropriming with distilled water for 12 h, (3) halopriming with 1% potassium nitrate for 24 h, (4) osmopriming with 13.5% polyethylene glycol for 12 h, (5) hormopriming with salicylic acid at 50 ppm for 12 h, (6) hormopriming with cytokinin at 50 ppm for 12 h, and (7) hormopriming with gibberellin at 50 ppm for 24 h. An additional treatment consisting of green barley fodder was included for comparison. Following priming, the seeds were dried and cultivated hydroponically for 7 days. Conventional barley hay was also included as a reference forage. Chemical composition, including dry matter (DM), organic matter (OM), ash, ether extract (EE), and crude protein (CP), was determined according to AOAC (2005) procedures. Neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) were determined according to Van Soest et al. (1991). Total digestible nutrients (TDN), net energy for lactation (NEL), and net energy for gain (NEg) were estimated using the equations recommended by NRC (2001). In vitro gas production was evaluated using ruminal fluid collected from fistulated sheep. Gas production was measured over time, and fermentation parameters were estimated using the model of Ørskov and McDonald (1979). Short-chain fatty acids (SCFA), estimated organic matter digestibility (OMD), and metabolizable energy (ME) were also determined. In vitro digestibility was evaluated using the batch-culture technique described by Theodorou et al. (1994), including measurements of microbial biomass production and ammonia nitrogen concentration. Ruminal protozoa were enumerated microscopically. Data were statistically analyzed using the GLM procedure of SAS (2000), and treatment means were compared using the least significant difference (LSD) test.

Results and Discussion

Statistical comparison of the priming treatments with the control revealed that seed priming significantly increased the germination rate and seedling vigor index of barley. Among the treatments, cytokinin resulted in the highest germination rate and germination speed (23.64), whereas potassium nitrate produced the highest seedling vigor index (20,838.1) compared with the other treatments and the control ($P < 0.01$). Regarding chemical composition, the control treatment (unprimed seeds) had the highest dry matter (26.37%) and crude protein (19.61%) contents. Priming with cytokinin and salicylic acid increased the potential gas production (approximately 387 mL/g DM) and short-chain fatty acid production (approximately 1.51 mmol). The in vitro dry matter and organic matter digestibility of the control and distilled-water-primed hydroponic fodder were significantly higher than those of the other treatments and conventional barley forage. For example, dry matter digestibility and organic matter digestibility reached 78.20% and 79.01%, respectively, in the control treatment, compared with 55.53% dry matter digestibility in conventional barley forage. In general, seed priming reduced the total ruminal protozoal population compared with the control, which had approximately 323×10^5 cells/mL.

Conclusion

Overall, the findings indicate that seed priming can modify several aspects of germination and the nutritional characteristics of hydroponically produced barley fodder. However, its application requires careful consideration to achieve desirable effects on chemical composition and ruminal fermentation characteristics. Regardless of the priming treatment, hydroponically produced barley fodder exhibited significantly greater dry matter and organic matter digestibility, higher gas production potential, greater short-chain fatty acid production, and differences in several ruminal fermentation parameters compared with green barley fodder.

Keywords: Hydroponic fodder, Seed priming, Barley, *in vitro* digestibility, Microbial protein, Protozoa.

تأثیر پرایمینگ بر عملکرد جوانه، ترکیب شیمیایی، قابلیت هضم و جمعیت پروتوزوای شکمبه‌ای علوفه هیدروپونیک جو و مقایسه آن با قصیل جو

منیره بهلکه^۱، جواد بیات کوهسار^{۲*}، فرزاد قنبری^۳، آشورمحمد قره باش^۴ و علی راحمی کاریزکی^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۴/۲۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۳/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۵/۲۴

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس

^۲ دانشیار گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس

^۳ استادیار گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس

^۴ دانشیار گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس

*مسئول مکاتبه: javad_bayat@yahoo.com

چکیده

زمینه مطالعاتی: چالش‌های فزاینده ناشی از تغییرات اقلیمی و خشکسالی‌های مداوم، نیاز به یافتن راهکارهای نوین و پایدار برای تأمین علوفه دام را دوچندان ساخته است. در این میان، سیستم‌های کشت هیدروپونیک به عنوان گزینه‌ای کارآمد برای تولید علوفه سبز مطرح شده‌اند. هدف: ارزیابی تأثیر تیمارهای مختلف پرایمینگ بر صفات جوانه‌زنی، ترکیب شیمیایی، قابلیت هضم و فراسنجه‌های تخمیری شکمبه‌ای علوفه هیدروپونیک جو و مقایسه آن با قصیل جو انجام شد. بذره‌ای جو پس از ضدعفونی سطحی با محلول هیپوکلریت سدیم ۱ درصد به مدت ۵ دقیقه و شستشو با آب مقطر، تحت تیمارهای پرایمینگ قرار گرفتند. تیمارهای آزمایشی شامل: (۱) شاهد (بذر خشک)، (۲) هیدروپرایمینگ ۱۲ ساعت، (۳) هالوپرایمینگ، نیترات پتاسیم ۱ درصد، ۲۴ ساعت، (۴) اسموپرایمینگ، پلی اتیلن گلیکول ۱۳/۵ درصد، ۱۲ ساعت، (۵) هورموپرایمینگ، اسید سالیسیلیک ppm ۵۰، ۱۲ ساعت، (۶) هورموپرایمینگ، سایتوکنین ppm ۵۰، ۱۲ ساعت، (۷) هورموپرایمینگ، جیبرلین ppm ۵۰، ۲۴ ساعت و (۸) قصیل جو، بودند. **نتایج:** نتایج مقایسه آماری تیمارهای پرایمینگ با تیمار شاهد نشان داد که پرایمینگ بذر جو موجب افزایش معنی‌دار سرعت جوانه‌زنی و شاخص بنيه بذر گردید، به‌طوری‌که تیمار سایتوکنین بیشترین سرعت جوانه‌زنی و تیمار نیترات پتاسیم بالاترین شاخص بنيه بذر را نسبت به سایر تیمارها و شاهد نشان دادند ($P < 0.01$)؛ به‌ویژه تیمار سایتوکنین بالاترین سرعت جوانه‌زنی (۲۳/۶۴) و نیترات پتاسیم بالاترین شاخص بنيه بذر (۲۰۸۳۸/۱) را داشت. از نظر ترکیب شیمیایی، تیمار شاهد (عدم پرایمینگ) بالاترین ماده خشک (۲۶/۳۷ درصد) و پروتئین خام (۱۹/۶۱ درصد) را نشان داد، در حالی که پرایمینگ با سایتوکنین و سالیسیلیک اسید به افزایش پتانسیل تولید گاز (حدود ۳۸۷ میلی‌لیتر بر گرم ماده خشک) و اسیدهای چرب کوتاه زنجیر (حدود ۱/۵۱ میلی‌مول) منجر شد. قابلیت هضم ماده خشک و آلی علوفه هیدروپونیک شاهد و آب مقطر (به ترتیب ۷۸/۲ درصد و ۷۹/۰۱ درصد برای قابلیت هضم ماده خشک و آلی برای تیمار شاهد) به طور معنی‌داری بالاتر از سایر تیمارها و قصیل جو (۵۵/۵۳ درصد) بود. پرایمینگ به طور کلی جمعیت کل پروتوزوای شکمبه‌ای را در مقایسه با تیمار شاهد (حدود $10^5 \times 323$ سلول بر میلی‌لیتر) کاهش داد. **نتیجه‌گیری کلی:** در مجموع، نتایج نشان داد که پرایمینگ می‌تواند برخی از جنبه‌های جوانه‌زنی و ویژگی‌های تغذیه‌ای علوفه هیدروپونیک جو را تحت تأثیر قرار دهد، اما باید با دقت ارزیابی شود تا اثرات مطلوب بر ترکیب شیمیایی و فراسنجه‌های شکمبه‌ای حاصل شود. همچنین، علوفه هیدروپونیک

جو، صرف‌نظر از تیمار پرایمینگ، از نظر قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی، پتانسیل تولید گاز، تولید اسیدهای چرب زنجیر کوتاه و برخی فراسنجه‌های تخمیری شکمبه‌ای، برتری معنی‌داری نسبت به قصیل جو نشان داد.

واژگان کلیدی: علوفه هیدروپونیک، پرایمینگ بذری، جو، قابلیت هضم برون‌تنی، پروتئین میکروبی، پروتوزوآ

مقدمه

تغییرات اقلیمی و خشکسالی‌های مکرر در سال‌های اخیر، همراه با بهره‌برداری بی‌رویه از مراتع (نظیر چرای دام بیش از ۲/۵ برابر ظرفیت)، عدم تعادل میان تولید علوفه و جمعیت دامی، استفاده از پوشش گیاهی مراتع به‌عنوان سوخت، و تبدیل اراضی مرتعی به زمین‌های زراعی کم‌بازده، منجر به تخریب گسترده و کاهش چشمگیر ظرفیت تولید علوفه در مراتع کشور شده است (مقدم ۲۰۰۳ مصداقی ۲۰۰۵). در چنین شرایطی، توسعه روش‌های نوین و پایدار برای تولید علوفه ضروری به نظر می‌رسد.

یکی از روش‌های نوین و کارآمد در این زمینه، استفاده از سیستم‌های کشت بدون خاک یا هیدروپونیک است. این فناوری امکان تولید علوفه سبز را از مرحله جوانه‌زنی تا برداشت، بدون نیاز به خاک و در شرایط کاملاً کنترل‌شده فراهم می‌کند. سیستم‌های هیدروپونیک با کنترل دقیق عواملی نظیر دما، نور، رطوبت و تهویه، قابلیت تولید پایدار علوفه در طول سال را داشته و به‌عنوان یک راهکار مؤثر برای مقابله با محدودیت منابع آب و خاک مطرح شده‌اند (سان و همکاران ۲۰۱۶ و الکرکی و مومنی ۲۰۱۱). مطالعات اخیر نشان داده‌اند که این سامانه‌ها می‌توانند بسته به نوع سازه و مدیریت کشت، مقادیر قابل توجهی علوفه تازه با کیفیت یکنواخت تولید کنند و در تغذیه دام‌های مختلف از جمله گاو، گوسفند و سایر نشخوارکنندگان مورد استفاده قرار گیرند (نیک و همکاران ۲۰۱۵ واسنیث و مک اینتوش ۲۰۰۳). یکی از مهم‌ترین مزایای تولید علوفه هیدروپونیک، مصرف بسیار پایین آب در مقایسه با سیستم‌های زراعی متداول است، به‌طوری‌که گزارش شده است برای تولید هر کیلوگرم علوفه هیدروپونیک، مصرف آب به‌مراتب کمتر از کشت‌های

خاکی بوده و این ویژگی آن را به گزینه‌ای مناسب در شرایط تنش خشکی و تغییرات اقلیمی تبدیل کرده است (دانگ و همکاران ۲۰۱۰ و فضائی و همکاران ۲۰۱۲).

جو یکی از پرکاربردترین دانه‌ها در تولید علوفه هیدروپونیک محسوب می‌شود؛ از هر کیلوگرم دانه جو می‌توان ۱۰-۶ کیلوگرم علوفه سبز تولید کرد. جوانه‌زنی دانه‌ها فرآیندهای بیوشیمیایی مهمی را فعال می‌کند. این فرآیند با فعال کردن آنزیم‌های هیدرولیتیک باعث تجزیه ذخایر نشاسته‌ای، پروتئینی و لیپیدی می‌شود و در نهایت منجر به افزایش قندهای محلول، پروتئین، الیاف خام، برخی ویتامین‌ها و مواد معدنی در علوفه می‌گردد (دانگ و همکاران ۲۰۱۰ و الکرکی و المومنی ۲۰۱۱).

یکی از روش‌های مؤثر برای بهینه‌سازی کیفیت و سرعت جوانه‌زنی در کشت هیدروپونیک، استفاده از پیش‌تیمار بذری یا پرایمینگ است. پرایمینگ شامل خیساندن بذور در محلول‌هایی حاوی آب، مواد مغذی یا هورمون‌ها برای مدت معین و سپس خشک‌کردن آن‌ها تا زمان کشت نهایی است. این روش با فعال‌سازی مسیرهای متابولیکی مهم پیش از جوانه‌زنی، منجر به بهبود سرعت و یکنواختی آن می‌شود (نایکیمنتو و آراگائو ۲۰۰۴). بررسی‌ها نشان داده‌اند که پرایمینگ می‌تواند ترکیب شیمیایی اندام‌های هوایی گیاه را نیز تحت‌تأثیر قرار داده و میزان پروتئین و قندهای محلول را افزایش دهد (باسرا و همکاران ۲۰۰۵؛ افضل و همکاران ۲۰۰۶). همچنین با کاهش محتوای نشاسته و تغییر ساختار دیواره سلولی، پتانسیل افزایش قابلیت هضم شکمبه‌ای در علوفه‌های جوانه‌زده وجود دارد (دانگ و همکاران ۲۰۱۰).

مطالعات متعددی بر تأثیر پرایمینگ بذور بر جنبه‌های کمی (سرعت، درصد و یکنواختی جوانه‌زنی) و کیفی (ترکیب شیمیایی) گیاهچه‌های جوانه‌زده تمرکز کرده‌اند.

هیدروپرایمینگ ۱۲ ساعت، ۳) هالوپرایمینگ، نیترات پتاسیم ۱ درصد، ۲۴ ساعت، ۴) اسموپرایمینگ، پلی‌اتیلن گلیکول ۱۳/۵ درصد، ۱۲ ساعت، ۵) هورموپرایمینگ، اسید سالیسیلیک ۵۰ ppm، ۱۲ ساعت، ۶) هورموپرایمینگ، سایتوکنین ۵۰ ppm، ۱۲ ساعت و ۷) هورموپرایمینگ، جیبرلین ۵۰ ppm، ۲۴ ساعت، بودند. تمامی محلول‌های پرایمینگ در دمای 25 ± 1 درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند و pH محلول‌ها ۷/۰-۶/۵ تنظیم شد. پس از پایان دوره پرایمینگ، بذرها به آرامی خشک شدند تا رطوبت سطحی آن‌ها کاهش یابد و سپس برای کاشت در سیستم هیدروپونیک آماده گردید. از پمپ آکواریوم و سنگ هوا به منظور تأمین اکسیژن طی فرآیند پرایمینگ استفاده شد. بذرها پس از خارج شدن از محلول‌های پرایمینگ، در دمای ۲۵-۲۲ درجه سانتی‌گراد (کنترل دما با استفاده از اسپلیت و دماسنج انجام شد) به مدت ۲۴ ساعت تا رسیدن به رطوبت اولیه خشک شدند. سپس ۳۰ عدد بذر درون هر پتری‌دیش شیشه‌ای ضدعفونی شده و با قطر ۹ سانتی‌متر کشت شدند و پس از این مرحله پتری‌دیش‌های حاوی بذور به دستگاه ژرمیناتور منتقل و تحت دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و به صورت روزانه بازدید شدند (کوثر و همکاران ۲۰۰۵). علوفه هیدروپونیک جو در طول دوره رشد ۷ روزه در شرایط کنترل‌شده محیطی (دما، رطوبت و نور) در سیستم‌های کشت هیدروپونیک تولید گردید. قصیل جو نیز به صورت سنتی در مزرعه کشت و برداشت شد.

باسرا و همکاران (۲۰۰۵) و افضل و همکاران (۲۰۰۶) به ترتیب افزایش قندهای محلول و پروتئین در گندم و بهبود عملکرد در آفتابگردان را گزارش کرده‌اند. در حوزه علوفه هیدروپونیک، دانگ و همکاران (۲۰۱۰) و الکراکی و المومنی (۲۰۱۱) تغییرات آنزیمی، کاهش نشاسته و افزایش قند، پروتئین محلول و ویتامین‌ها را طی جوانه‌زنی جو و افزایش پروتئین و الیاف را در علوفه هیدروپونیک نشان داده‌اند. با وجود این، برخی مطالعات علمی قابلیت هضم علوفه هیدروپونیک جو را مشابه دانه جو گزارش کرده و کاهش نسبی پروتئین و انرژی قابل متابولیسم را نشان داده‌اند (دانگ و همکاران ۲۰۰۵ و هافلا و موراند-فهر ۲۰۱۴).

در حالی که مطالعات موجود بر تأثیر جوانه‌زنی طبیعی بر ترکیب علوفه و قابلیت هضم آن تأکید دارند، پژوهش‌هایی که به طور صریح و مستقل تأثیر پرایمینگ بذور را بر جوانه‌زنی، ترکیب شیمیایی، قابلیت هضم و به‌ویژه فراسنجه‌های تخمیری شکمبه‌ای در سیستم کشت هیدروپونیک بررسی کنند، بسیار محدود یا فاقد هستند. بیشتر تحقیقات به بررسی ترکیب شیمیایی پس از جوانه‌زنی پرداخته‌اند، بدون اینکه تفاوتی میان پرایمینگ و جوانه‌زنی عادی قائل شوند. بنابراین، این مطالعه با هدف بررسی تأثیر پیش‌تیمارهای مختلف بذر جو بر شاخص‌های جوانه‌زنی، طول دوره رشد، ترکیب شیمیایی و فراسنجه‌های تخمیری شکمبه‌ای علوفه تولیدشده در سامانه کشت هیدروپونیک انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۷ در آزمایشگاه‌های زراعت، فیزیولوژی و علوم دامی دانشکده کشاورزی دانشگاه گنبدکاووس در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار اجرا شد. بذرهای جو پس از ضدعفونی سطحی با محلول هیپوکلریت سدیم ۱ درصد به مدت ۵ دقیقه و شستشو با آب مقطر، تحت تیمارهای پرایمینگ زیر قرار گرفتند. تیمارهای آزمایشی شامل: ۱) شاهد (بذر خشک)، ۲)



Figure 1. Steps of preparation and cultivation

تولید گاز در شرایط آزمایشگاهی

برای انجام آزمایش تولید گاز، مایع شکمبه از ۳ رأس گوسفند نر فیس‌تول‌دار نژاد دالاق ($45 \pm 2/5$ کیلوگرم) از بخش‌های مختلف شکمبه و قبل از وعده تغذیه صبحگاهی جمع‌آوری شد. ذرات درشت مایع شکمبه با عبور دادن از چهار لایه پارچه متقال جدا شده و در یک بن ماری با دمای ۳۹ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. حیوانات در سطح نگهداری با جیره حاوی ۷۰ درصد علوفه (یونجه و سیلاژ ذرت به نسبت مساوی) و ۳۰ درصد کنسانتره (جو، کنجاله تخم پنبه، سیوس و مکمل) تغذیه شدند و حیوانات به آب آزادانه دسترسی داشتند. بزاق مصنوعی مطابق روش منک و استینگاس (۱۹۷۸) تهیه و با شیرابه شکمبه با نسبت ۲:۱ مخلوط شد. ۳۰ میلی‌لیتر از این محلول به داخل ویال‌های شیشه‌ای حاوی ۲۰۰ میلی‌گرم نمونه خشک آسیاب شده (۳ تکرار) ریخته شد. تولید گاز در زمان‌های ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۲، ۲۴، ۳۶، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت انکوباسیون توسط دستگاه مبدل فشارسنج دیجیتال (*Pressure Transducer*) ثبت شد. ویال‌های شیشه‌ای مورد استفاده دارای حجم اسمی ۱۲۰ میلی‌لیتر بودند و پس از افزودن محیط کشت و نمونه، فضای خالی آن‌ها به‌طور یکنواخت حفظ شد. دمای انکوباسیون در تمام مدت آزمایش در ۳۹ درجه سانتی‌گراد و با استفاده از بن‌ماری

تعیین ترکیب شیمیایی

به‌منظور تعیین ترکیب شیمیایی علوفه‌ها، مقدار ماده خشک نمونه‌ها با خشک‌کردن در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت و مطابق با روش AOAC (۲۰۰۵) اندازه‌گیری شد. پس از آن ماده آلی، خاکستر خام، عصاره اتری و پروتئین خام مطابق با روش AOAC (۲۰۰۵) تعیین شدند. الیاف نامحلول در شوینده خنثی^۱ و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی^۲ مطابق با روش ون‌سوست و همکاران (۱۹۹۱) تعیین شدند. مقادیر کل مواد مغذی قابل هضم، انرژی خالص شیردهی و انرژی خالص رشد به‌ترتیب با استفاده از روابط ۱، ۲ و ۳ برآورد شدند (انجمن ملی تحقیقات، ۲۰۰۱).

$$TDN^3 = 81/38 + (CP \times 0/36) - (ADF \times 0/77) \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$NE_L^4 = (0/245 \times TDN) - 0/12 \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$NE_g^5 = (0/29 \times TDN) - 1/01 \quad (\text{رابطه ۳})$$

¹ Neutral Detergent Fiber (NDF)

² Acid Detergent Fiber (ADF)

³ Total Digestible Nutrients (TDN)

⁴ Natural Energy lactation (NE_L)

⁵ Natural Energy growth (NE_g)

مطابق آنچه در آزمون تولید گاز شرح داده شد، صورت گرفت. pH مخلوط بافر و مایع شکمبه توسط دستگاه pH متر الکترونیکی (مدل ۶۹۱، شرکت Metrohm) کنترل و به ۶/۸ رسانده شد. ۵۰۰ میلی‌گرم ماده خشک نمونه‌های آسیاب شده به همراه ۵۰ میلی‌لیتر بزاق مصنوعی و مایع شکمبه صاف‌شده به نسبت ۲ به ۱ در ویال‌های شیشه‌ای ۵۰ میلی‌لیتری ریخته و پس از درپوش گذاری، در بن‌ماری با دمای ۳۹ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. بعد از گذشت ۲۴ ساعت تمامی شیشه‌ها از بن‌ماری خارج و نمونه‌های موجود در هر ویال، با استفاده از پارچه متقال چهار لایه صاف‌شده و محتویات هضم نشده از فاز مایع جدا شد. سپس pH فاز مایع نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. محتویات هضم نشده هر ویال جمع‌آوری‌شده و درون بوتله‌های چینی با وزن مشخص انتقال یافت و به مدت ۴۸ ساعت در آون با درجه حرارت ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. سپس قابلیت هضم ظاهری محاسبه شد. بوتله‌های چینی حاوی محتویات هضم نشده به مدت ۶ ساعت در کوره با دمای ۵۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. این کار به منظور تعیین مقدار خاکستر خام مواد هضم نشده موجود در کروزه‌ها صورت گرفت. بازده تولید گاز (GP₂₄) به صورت حجم گاز تولید شده پس از ۲۴ ساعت انکوباسیون تقسیم بر مقدار ماده تجزیه شده واقعی (گرم) محاسبه شد (گتاچیو و همکاران ۲۰۰۲). جهت محاسبه توده میکروبی تولید شده (رابطه ۸) از معده پیشنهاد شده بلومل و بیکر (۱۹۹۷) استفاده گردید.

رابطه ۸ $MCP (mg) = GP * (PF - 2.2)$
در این رابطه، MCP، تولید توده میکروبی (میلی‌گرم بر گرم ماده خشک)، PF، فاکتور تسهیم و GP، میلی‌لیتر گاز تولید شده (میلی‌لیتر بر گرم ماده خشک) در زمان ۲۴ ساعت می‌باشد.

عامل تفکیک بنا به تعریف برابر با نسبت میلی‌گرم ماده آلی حقیقی هضم شده بر میلی‌لیتر حجم گاز خالص تولیدی می‌باشد. حداکثر مقدار توده میکروبی تولید شده با در نظر گرفتن زمانی از انکوباسیون که نرخ تولید گاز

ترموستات‌دار ثابت نگه داشته شد. به منظور تصحیح تولید گاز ناشی از محیط کشت، ویال‌های بلانک (فاقد نمونه) به صورت هم‌زمان انکوبه شده و میانگین حجم گاز تولیدی آن‌ها از مقادیر تیمارها کسر گردید. برآورد فراسنجه‌های تولید گاز با کمک رابطه اورسکوف و مکدونالد (۱۹۷۹) انجام شد (رابطه ۴).

$$P = b(1 - e^{-ct})$$

۴

در این معادله، P حجم تولید گاز در زمان t به صورت جمعی، c ثابت نرخ تولید گاز، b گاز تولید شده از بخش قابل تخمیر و t مدت زمان انکوباسیون می‌باشد.

اسیدهای چرب کوتاه زنجیر (رابطه ۵) با استفاده از معادله ماکار (۲۰۰۴)، قابلیت هضم ماده آلی (رابطه ۶) طبق روش منک و همکاران (۱۹۷۹) و انرژی قابل متابولیسم (رابطه ۷) طبق روش منک و استینگاس (۱۹۸۸) تخمین زده شد.

$$OMD (\%) = 14.88 + 0.899GP + 0.45CP_1 + 0.065A$$

رابطه ۵

$$ME (MJ/kg DM) = 2.20 + 0.136GP + 0.0574CP_2$$

رابطه ۶

$$SCFA (mmol) = -0.00425 + 0.0222GP$$

رابطه ۷

در این معادلات، GP تولید خالص گاز در ۲۴ ساعت (میلی‌لیتر به ازای ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک)، CP₁ پروتئین خام (برحسب درصد)، A مقدار خاکستر و CP₂ پروتئین خام (گرم در کیلوگرم ماده خشک) می‌باشد. داده‌های جمع‌آوری شده در قالب طرح کاملاً تصادفی و با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (۲۰۰۰) ویرایش ۹/۱ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌داری استفاده شد.

اندازه‌گیری قابلیت هضم در شرایط برون‌تنی

اندازه‌گیری قابلیت هضم تیمارهای مختلف بر اساس روش کشت بسته انجام شد (تئودورو و همکاران ۱۹۹۴). روش تهیه بزاق مصنوعی و جمع‌آوری مایع شکمبه

نتایج تجزیه واریانس آزمون رشد گیاهچه نشان داد که استفاده از روش های مختلف پرایمینگ بر وزن گیاهچه‌ها، مقدار استفاده از ذخایر بذر، کارایی استفاده از ذخایر بذر و کسر ذخایر انتقال یافته معنی‌دار بود (جدول ۱).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که پرایمینگ به طور معنی‌داری سرعت جوانه‌زنی را تحت تأثیر قرار می‌دهد ($P < 0.01$). بالاترین سرعت جوانه‌زنی ($22/64$) در تیمار سایتوکنین و کمترین آن ($22/67$) در تیمار شاهد مشاهده شد. همچنین، پرایمینگ بر میانگین زمان جوانه‌زنی و نرخ جوانه‌زنی نیز اثر معنی‌داری ($P < 0.05$) داشت. این بهبود در پارامترهای جوانه‌زنی گندم با تیمار سایتوکنین، همسو با گزارش‌های قبلی است که نقش سایتوکنین را در تقسیم سلولی، توسعه ریشه و بهبود کلی صفات جوانه‌زنی تأیید می‌کنند (مالینی و براولت، ۱۹۹۹؛ افضل و همکاران ۲۰۰۵ و اقبال و همکاران ۲۰۰۶). پرایمینگ با افزایش تقسیمات سلولی در کلاهک ریشه، جذب آب و مواد غذایی را بهبود بخشیده و استقرار گیاهچه را تقویت می‌کند (فروغ و همکاران ۲۰۰۶). این فرآیند همچنین با افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت، پایداری غشاهای را افزایش داده و سرعت و درصد جوانه‌زنی را بالا می‌برد (فروغ و اعظم ۲۰۰۶). به طور کلی، پرایمینگ از طریق افزایش آنزیم‌های لازم برای جوانه‌زنی (مانند آلفا آمیلاز)، حفظ تعادل یونی و هورمونی، از گیاه در برابر تنش‌ها محافظت کرده و رشد آن را بهبود می‌بخشد (جمالی ۲۰۱۳ و افضل و همکاران ۲۰۰۸). ترمیم DNA، افزایش ATP، سنتز RNA و پروتئین، و فعال شدن آنزیم‌ها در بذره‌ای پرایم شده، از دلایل اصلی بهبود جوانه‌زنی ذکر شده‌اند (موسوی و همکاران ۲۰۰۹ و سانگ و چانگ ۱۹۹۳).

در این مطالعه، پرایمینگ تأثیر معنی‌داری بر طول ساقچه‌چه و طول ریشه‌چه داشت ($P < 0.01$). بیشترین طول ساقچه‌چه ($116/075$ میلی‌متر) در تیمار سالیسیلیک اسید و کمترین آن ($106/27$ میلی‌متر) در تیمار شاهد مشاهده شد. برای طول ریشه‌چه، نیترات پتاسیم بالاترین مقدار ($97/650$

در آن زمان حداکثر بوده و با در نظر گرفتن میلی‌گرم ماده آلی حقیقی هضم شده در آن زمان محاسبه گردید. بازده مقدار توده میکروبی و بازده حداکثر مقدار توده میکروبی تولید شده با تقسیم توده و میکروب تولید شده بر مقدار ماده آلی حقیقی قابل تخمیر در پایان زمان انکوباسیون و مقدار گاز تولیدشده محاسبه شد. به منظور اندازه‌گیری نیتروژن آمونیاکی، مایع شکمبه صاف و به نسبت مساوی با اسید کلریدریک ۰/۲ نرمال مخلوط می‌شود. میزان نیتروژن آمونیاکی نمونه‌ها با استفاده از روش فنل-هیپوکلریت تعیین گردید (برودریک و کانگ ۱۹۸۰). بدین منظور از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۳۰ نانومتر جهت قرائت جذب نوری استفاده شد.

شمارش پروتوزوآ

برای شمارش پروتوزوآ محلول MFS (متیل گرین-فرمالین-سالین) تهیه شد. محلول MFS شامل ۱۰ میلی-لیتر فرمالدئید ۳۵ درصد، ۹۰ میلی-لیتر آب مقطر، ۰/۰۶ گرم متیل گرین و ۰/۸ گرم کلرید سدیم بود. سپس ۴ میلی‌لیتر از این محلول به یک میلی‌لیتر مایع شکمبه صاف شده اضافه شده و بعد از ۳۰ دقیقه شمارش پروتوزوآ به وسیله میکروسکوپ نوری و با لام نئوبار آینه‌دار (بر اساس شکل و اندازه و وجود یا عدم وجود صفحه اسکلتی) و بزرگ‌نمایی ۴۰× انجام شد (دهوری ۱۹۹۳). آنالیز داده‌های حاصل با رویه GLM نرم‌افزار آماری SAS نسخه (۹/۱) و در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$$

در این رابطه، Y_{ij} مقدار مشاهده‌شده در هر صفت، μ میانگین کل، T_i اثر تیمار و e_{ij} اثر خطای آزمایش می‌باشد.

نتایج و بحث

تأثیر پرایمینگ بر عملکرد جوانه و پارامترهای جوانه‌زنی

و تولید نیتریک اکساید را فعال می‌کند که منجر به افزایش جذب نیترات و تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی سلول برای مقابله با تنش‌ها می‌شود (لارا و همکاران ۲۰۱۴).

این مطالعه نشان داد که تیمارهای پرایمینگ تأثیرات معنی‌داری بر صفات جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه گندم دارند. به طور خاص، سایتوکنین به طور مؤثری سرعت جوانه‌زنی و ضریب آلودگی را افزایش داد، در حالی که اسید سالیسیلیک به بهبود طول ساقه‌چه کمک کرد. در این میان، نیترات پتاسیم به عنوان مؤثرترین تیمار شناخته شد که منجر به افزایش قابل توجهی در طول ریشه‌چه و شاخص بنیه بذر گردید. این نتایج بر اهمیت استفاده از پرایمینگ، به ویژه با نیترات پتاسیم، برای بهبود استقرار و رشد اولیه گندم تأکید می‌کنند. مکانیسم‌های مولکولی و فیزیولوژیکی درگیر شامل فعال‌سازی آنزیم‌ها، ترمیم DNA، تعادل هورمونی و افزایش بهره‌وری از ذخایر بذر هستند.

نتایج مربوط به تأثیر پرایمینگ بر ترکیب شیمیایی علوفه هیدروپونیک جو در جدول ۲ نشان داده شده است. این نتایج نشان می‌دهند که روش‌های مختلف پرایمینگ تأثیر متفاوتی بر ترکیب شیمیایی علوفه هیدروپونیک جو دارند ($P < 0.05$). تیمار شاهد (بدون پرایمینگ) بالاترین مقدار ماده خشک (۳۷/۲۶ درصد ماده خشک) را داشت، در حالی که جیبرلین با ۲۴/۲۴ درصد ماده خشک کمترین مقدار ماده خشک را در بین تیمارهای پرایمینگ شده نشان داد. این کاهش به دلیل تأثیر جیبرلین بر افزایش رشد رویشی و طول ساقه‌چه و افزایش محتوای آب در بافت گیاهچه است؛ به طوری که افزایش رشد سلولی سریع، فرصت تجمع مواد خشک کافی در مدت کوتاه دوره رشد هیدروپونیک را محدود می‌کند (تایز و زیگر ۲۰۱۵؛ هدن و اسپونسل ۲۰۱۵). این مقادیر ماده خشک در مقایسه با دانه جو (NRC، ۲۰۰۱) (حدود ۹۱ درصد ماده خشک) به طور قابل توجهی پایین‌تر است، اما در دامنه گزارش شده برای علوفه هیدروپونیک (۲۴ تا ۳۷ درصد ماده خشک) قرار دارد. پایین بودن ماده خشک در علوفه

میلی‌متر) و سایتوکنین کمترین مقدار (۲۷/۹۷۵ میلی‌متر) را به خود اختصاص دادند. ضریب آلودگی نیز تحت تأثیر پرایمینگ قرار گرفت ($P < 0.01$)؛ بالاترین مقدار (۳/۵۶۲۵) در تیمار سایتوکنین و پایین‌ترین آن (۱/۱۶۰۰) در تیمار نیترات پتاسیم مشاهده شد. این تفاوت در ضریب آلودگی مستقیماً به نسبت طول ساقه‌چه به ریشه‌چه در هر تیمار مربوط می‌شود.

هورمون‌های گیاهی مانند سالیسیلیک اسید، با افزایش تقسیم و طویل شدن سلول‌ها، رشد گیاهچه را بهبود می‌بخشند (شکیروا و همکاران ۲۰۰۳). گزارش‌های متعددی، افزایش طول و وزن گیاهچه را با پرایمینگ سالیسیلیک اسید تأیید کرده‌اند (حنان ۲۰۰۷؛ خداری ۲۰۰۴). این تأثیر احتمالاً به تغییر تعادل هورمونی و جلوگیری از اکسیداسیون اکسین در شرایط تنش بازمی‌گردد (هاجر و همکاران ۱۹۹۶). نیترات پتاسیم نیز با فراهم آوردن نیتروژن و پتاسیم بیشتر و افزایش فعالیت آنزیم بتا‌آمیلاز، بهبود طول ریشه‌چه را رقم می‌زند (بلتی و همکاران ۱۹۹۳؛ برادفورد و همکاران ۱۹۹۸ و رمدان و همکاران ۲۰۱۰). نقش‌های کلیدی نیترات پتاسیم در رشد رویشی، تشکیل پروتئین‌ها و تعادل فیزیولوژیکی گیاه شناخته شده است (آیسا و همکاران ۲۰۰۷؛ الباسیونی ۲۰۰۶ و چریل ۲۰۰۴). مطالعات نشان داده‌اند که نیترات پتاسیم می‌تواند پارامترهای جوانه‌زنی و رشد اولیه را به طور معنی‌داری بهبود بخشد (کاراناتاکا ۲۰۱۱).

شاخص بنیه بذر نیز به طور معنی‌داری تحت تأثیر پرایمینگ قرار گرفت ($P < 0.01$). بیشترین شاخص بنیه بذر (۲۰۸۳۸/۱) در تیمار نیترات پتاسیم و کمترین آن (۱۷۹۹۴/۹) در تیمار جیبرلین مشاهده شد. نسبت بالای یون پتاسیم به سدیم (K^+/Na^+) و نقش پتاسیم در تعادل پتانسیل غشاء، تورگر سلولی، تنظیم فشار اسمزی و فعال‌سازی آنزیم‌ها، می‌تواند دلایل اصلی بهبود بنیه بذر با نیترات پتاسیم باشد (ماتیوس و ساندروز ۱۹۹۶؛ الومالای و همکاران ۲۰۰۲؛ کوین و همکاران ۲۰۰۳). همچنین، پرایمینگ با نیترات پتاسیم (KNO_3) سنتز نیترات ردوکتاز

جو (۸/۶۹ درصد ماده خشک) است (اسنيس و مک اینتوش ۲۰۰۳؛ اسنو و همکاران ۲۰۰۴؛ فضائلی و همکاران ۲۰۱۲ و اکبک و همکاران ۲۰۱۴).

بين تیمارها از نظر مقدار چربی خام اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($P < 0.05$). در برخی تیمارها افزایش در مقدار چربی خام مشاهده شد که احتمالاً به دلیل تولید کلروفیل در طی رشد گیاه است (NRC، ۲۰۰۱). بالاترین غلظت کل مواد مغذی قابل هضم، انرژی خالص برای شیردهی و انرژی خالص برای رشد در علوفه تیمار شاهد مشاهده شد، اگرچه با تیمار آب مقطر اختلاف معنی‌داری نداشت. با این حال، به طور کلی عمل‌آوری با سایر ترکیبات (پرایمینگ) منجر به کاهش در غلظت این صفات گردید. نیترا تپتاسیم کمترین مقادیر انرژی خالص برای شیردهی (۱/۶۵ مگا ژول بر کیلوگرم)، کل مواد مغذی قابل هضم (۷۲/۳۱ درصد) و انرژی خالص برای رشد (۰/۰۸ مگاژول در کیلوگرم) را به خود اختصاص داد. این نشان می‌دهد که پرایمینگ بذور جو در مقایسه با تیمار شاهد، به طور کلی باعث کاهش در مقادیر ماده خشک، پروتئین خام و اشکال مختلف انرژی و افزایش در ترکیب دیواره سلولی شده است. این نتایج با یافته‌های فضائلی و همکاران (۲۰۱۲) همسو است. مواد مغذی، نشان‌دهنده تغییر سهم نسبی هر یک از مواد مغذی در طی مراحل رشد است. در طی جوانه‌زنی و اوایل مراحل رشد گیاه، نشاسته جهت استفاده در تنفس و سنتز دیواره سلولی به قندهای محلول تبدیل می‌شود (مورگان و همکاران ۱۹۹۲ و هیلیر و پری ۲۰۰۳). این تغییرات بیوشیمیایی بر قابلیت هضم و ارزش تغذیه‌ای نهایی علوفه تأثیر می‌گذارد. مقادیر پایین CP، DM و انرژی در علوفه سبز (تیمار ۸) نسبت به سایر تیمارهای پرایمینگ شده، احتمالاً به دلیل بالاتر بودن محتوای آب و فیبر (ADF و NDF) و مرحله رشد متفاوت گیاه است، که باعث کاهش مواد مغذی قابل دسترس شده است.

هیدروپونیک یک عامل محدودکننده در مصرف دام محسوب می‌شود و با تولید وزن تر رابطه منفی دارد (پیر و لیسون ۱۹۸۵ و مورگان و همکاران ۱۹۹۲).

بالاترین مقدار خاکستر در تیمار قصیل جو (۱۰/۸۷ درصد) و پس از آن در نیترا تپتاسیم (۳/۲۶ درصد) مشاهده شد که بالاتر از مقدار خاکستر دانه جو (۲/۹ درصد ماده خشک، NRC، ۲۰۰۱) است. این یافته با مطالعات قبلی (فضائلی و همکاران ۲۰۱۲؛ اکبک و همکاران ۲۰۱۴) که مقادیر بالاتری از خاکستر را در علوفه‌های جوانه‌زده گزارش کرده‌اند، همسو است. اگرچه اختلاف معنی‌داری در غلظت الیاف نامحلول در شوینده خنثی بین تیمارها مشاهده نشد، اما از نظر الیاف نامحلول در شوینده اسیدی، تیمارهای پرایمینگ شده نسبت به تیمار شاهد مقادیر بالاتری داشتند. افزایش مقدار خاکستر در علوفه هیدروپونیک و قصیل جو نسبت به دانه جو، ناشی از تجمع یون‌های معدنی طی فرایند جوانه‌زنی و رشد سریع سلول‌ها است. همچنین، تیمارهای پرایمینگ، با تحریک سنتز دیواره سلولی، منجر به افزایش الیاف نامحلول در شوینده اسیدی نسبت به تیمار شاهد شدند، که به تقویت ساختار مکانیکی گیاهچه‌ها مربوط می‌شود. مقادیر الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در علوفه‌های سبز هیدروپونیک به طور قابل توجهی بالاتر از دانه جو (۲۰/۲ درصد ماده خشک، الیاف نامحلول در شوینده خنثی؛ ۷/۲ درصد ماده خشک، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی) و کمتر از قصیل جو بودند.

مقدار پروتئین خام در علوفه‌های سبز هیدروپونیک تیمار شده، در دامنه ۱۴ تا ۱۹/۶۱ درصد ماده خشک قرار داشت که بالاتر از پروتئین خام دانه جو (۱۱ درصد ماده خشک) است. تیمار شاهد بالاترین پروتئین خام (۱۹/۶۱ درصد) را نشان داد، در حالی که نیترا تپتاسیم (۱۴ درصد ماده خشک) و پلی‌اتیلن گلاکول (۱۶/۱۶ درصد ماده خشک) کمترین مقادیر را داشتند. به طور کلی، پروتئین علوفه سبز هیدروپونیک بسیار بالاتر از قصیل

Table 1. Comparison of the average of some physiological traits of barley grain under priming concentration treatments

Treatments	SLDW ¹	SRUR ²	SRUE ³	FMOB ⁴	LP ⁵	LR ⁶	CA ⁷	Vig ⁸	Gep ⁹	Mgt ¹⁰	RG ¹¹	Rs ¹²
1	13.60 ^b	27.19 ^{abc}	0.5175 ^b	0.6100 ^{ab}	106.27 ^c	79.45 ^b	1.240 ^{bc}	17643 ^c	99.00	2.16550 ^b	0.46 ^a	22.67 ^c
2	15.74 ^a	27.82 ^{ab}	0.5675 ^{ab}	0.6225 ^{ab}	97.92 ^d	81.62 ^b	1.322 ^{bc}	18586 ^c	99.50	2.25708 ^a	0.44 ^b	23.58 ^{ab}
3	14.33 ^{ab}	25.24 ^{abc}	0.5775 ^{ab}	0.5700 ^{ab}	99.05 ^d	27.97 ^c	3.562 ^a	12635 ^d	99.50	2.16073 ^b	0.46 ^a	23.64 ^a
4	15.60 ^a	27.08 ^{abc}	0.5775 ^{ab}	0.6100 ^{ab}	116.07 ^a	81.47 ^b	1.452 ^b	19557 ^{ab}	99.00	2.15063 ^b	0.46 ^a	23.50 ^{ab}
5	15.51 ^a	23.56 ^c	0.6600 ^a	0.5300 ^b	105.15 ^c	77.50 ^b	1.635 ^{bc}	17994 ^c	98.50	2.16735 ^b	0.46 ^a	23.29 ^{ab}
6	15.93 ^a	24.13 ^{bc}	0.6650 ^a	0.5425 ^b	107.27 ^{bc}	83.60 ^b	1.295 ^{bc}	18897 ^{bc}	99.00	2.20188 ^{ab}	0.45 ^b	23.08 ^{bc}
7	15.33 ^a	28.59 ^a	0.5400 ^b	0.6425 ^a	112.82 ^{ab}	97.65 ^a	1.160 ^c	20838 ^a	99.00	2.16645 ^b	0.46 ^a	23.48 ^{ab}
LSD _{0.05}	1.65	4.17	0.11	0.093	5.55	12.55	0.277	1368.2	2.42	0.068	0.014	0.51

Treatments: 1) Control (dry seeds), 2) Hydro priming (distilled water, 12 h), 3) Hormopriming with Cytokinin (50 ppm, 12 h), 4) Hormopriming with Salicylic Acid (50 ppm, 12 h), 5) Hormopriming with Gibberellin (50 ppm, 24 h), 6) Osmopriming (13.5% polyethylene glycol, 12 h), 7) Halopriming (1% potassium nitrate, 24 h), and 8) Green barley fodder.

Different superscript letters in the same column represent a significant difference ($P < 0.05$)

Table 2. Effect of various priming treatments on chemical composition (% DM) of Hydroponic Barley Fodder

Treatments	DM ¹	Ash	EE ²	ADF ³	NDF ⁴	CP ⁵	NFC ⁶	TDN ⁷	NE _l ⁸	NE _g ⁹
1	37.26 ^a	3.09 ^b	2.56 ^d	15.71 ^e	42.24 ^b	19.61 ^a	33.98 ^{ab}	76.34 ^a	175 ^a	1.20 ^a
2	32.35 ^{bc}	2.99 ^b	2.83 ^{cd}	16.23 ^e	44.71 ^b	19.08 ^a	31.86 ^b	75.75 ^{ab}	1.73 ^{ab}	1.18 ^{ab}
3	29.55 ^d	3.05 ^b	2.70 ^{cd}	18.12 ^{bcd}	45.87 ^b	17.80 ^b	32.06 ^b	73.84 ^c	1.69 ^{cd}	1.13 ^{cd}
4	31.58 ^c	3.04 ^b	2.76 ^a	17.90 ^{cd}	44.52 ^b	19.14 ^a	31.02 ^b	74.48 ^{bc}	1.70 ^{bc}	1.15 ^{bc}
5	24.24 ^e	3.21 ^b	2.80 ^{bc}	19.48 ^b	45.44 ^b	18.91 ^{ab}	30.84 ^b	73.18 ^{cd}	1.67 ^{de}	1.11 ^{de}
6	33.35 ^b	2.88 ^b	2.86 ^{bc}	16.64 ^{de}	45.17 ^b	16.16 ^c	34.40 ^{ab}	73.18 ^c	1.70 ^{bc}	1.14 ^{de}
7	29.62 ^d	3.26 ^b	2.83 ^{cd}	18.32 ^{bc}	44.88 ^b	14.00 ^d	36.51 ^a	72.31 ^d	1.65 ^e	1.08 ^e
8	20.86 ^f	10.87 ^a	3.36 ^{ab}	37.25 ^a	61.90 ^a	8.69 ^e	16.66 ^c	55.82 ^e	1.24 ^f	0.60 ^f
SEM*	0.338	0.166	0.147	0.512	1.352	0.391	1.47	0.445	0.104	0.012
P Value	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

Treatments: 1) Control (dry seeds), 2) Hydro priming (distilled water, 12 h), 3) Hormopriming with Cytokinin (50 ppm, 12 h), 4) Hormopriming with Salicylic Acid (50 ppm, 12 h), 5) Hormopriming with Gibberellin (50 ppm, 24 h), 6) Osmopriming (13.5% polyethylene glycol, 12 h), 7) Halopriming (1% potassium nitrate, 24 h), and 8) Green barley fodder.

¹Dry Matter, ²Ether Extract, ³Acid Detergent Fiber, ⁴Neutral Detergent Fiber, ⁵Crud Protein, ⁶Non-fiber carbohydrate, ⁷Total Digestible Nutrients, ⁹Net Energy Gain ($Mcal\ kg^{-1}$), ⁹Net Energy of Lactation ($Mcal\ kg^{-1}$), ¹⁰Hemicellulose, ¹¹Water Soluble Carbohydrates.

Different superscript letters in the same column represent a significant difference ($P < 0.05$)

* SEM: Standard error of the mean.

خصوصیات تولید گاز و فراسنجه‌های تخمینی

شکمبه‌ای در شرایط آزمایشگاهی

نتایج تأثیر تیمارهای مختلف پرایمینگ دانه جو بر خصوصیات تولید گاز و فراسنجه‌های تخمینی شکمبه‌ای در شرایط آزمایشگاهی (جدول ۳) نشانگر تفاوت‌های معنی‌داری بین تیمارها بود ($P < 0.01$). تیمارهای سایتوکنین ($387/20$ میلی‌لیتر در گرم ماده خشک) و اسید سالیسیلیک ($387/70$ میلی‌لیتر در گرم ماده خشک) بالاترین پتانسیل تولید گاز را نشان دادند. در مقابل، قصیل جو با $305/5$ میلی‌لیتر در گرم ماده خشک، کمترین پتانسیل تولید گاز را داشت. از نظر نرخ تولید گاز، جیبرلین ($0/999$ میلی‌لیتر در ساعت به ازای گرم ماده خشک) بالاترین نرخ و قصیل جو ($0/682$ میلی‌لیتر) کمترین نرخ را به خود اختصاص داد. این تفاوت‌ها در فراسنجه‌های تولید گاز به طور مستقیم با تفاوت در ترکیب شیمیایی تیمارها مرتبط است، جایی که کاهش قابلیت هضم ماده آلی و انرژی قابل متابولیسم می‌تواند ناشی از افزایش الیاف نامحلول و کاهش پروتئین خام باشد. تیمارهای سایتوکنین ($1/51$ میلی‌مول) و اسید سالیسیلیک ($1/53$ میلی‌مول) بالاترین مقدار اسیدهای چرب

زنجیر کوتاه را داشتند، در حالی که قصیل جو ($1/15$ میلی‌مول) و تیمار شاهد ($1/31$ میلی‌مول) کمترین مقادیر اسیدهای چرب زنجیر کوتاه را نشان دادند. اسیدهای چرب زنجیر کوتاه محصولات نهایی اصلی هضم شکمبه‌ای هستند و تولید آن‌ها ارتباط مستقیمی با میزان مواد مغذی هضم شده دارد (منک و استینگاس ۱۹۸۸ و پیت و همکاران ۱۹۹۶).

تیمارهای اسید سالیسیلیک و سایتوکنین بالاترین مقادیر قابلیت هضم ماده آلی تخمینی (به ترتیب $76/60$ و $75/71$ درصد) و انرژی قابل متابولیسم تخمینی (به ترتیب $11/63$ و $11/50$ مگاژول بر کیلو گرم) را نشان دادند. در مقابل، قصیل جو از این نظر کمترین مقادیر ($61/30$ درصد و $9/30$ مگاژول بر کیلوگرم به ترتیب برای قابلیت هضم ماده آلی و انرژی قابل متابولیسم) را داشت. این نتایج نشان می‌دهد که علوفه‌های هیدروپونیک پرایمینگ شده با سایتوکنین و اسید سالیسیلیک، از نظر ارزش انرژی و قابلیت هضم تخمینی، برتر از قصیل جو و حتی تیمار شاهد هستند.

Table 3. Effect of various priming treatments on gas production characteristics and estimated parameters of Hydroponic Barley Fodder

Treatments	Gas production potential (ml/g DM)	Rate of gas production (ml/h)	Short chain fatty acid (ml)	Organic matter digestibility (% DM)	Metabolizable energy (MJ/Kg)
1	341.60 ^c	0.0872 ^c	1.31 ^c	67.86 ^c	10.30 ^c
2	352.80 ^d	0.0893 ^c	1.35 ^{bc}	69.49 ^{bc}	10.55 ^{ab}
3	387.20 ^a	0.0952 ^b	1.51 ^a	75.71 ^a	11.50 ^a
4	387.70 ^a	0.0972 ^{ab}	1.53 ^a	76.60 ^a	11.63 ^a
5	375.40 ^b	0.0999 ^a	1.48 ^a	74.53 ^a	11.32 ^a
6	379.30 ^b	0.0981 ^{ab}	1.50 ^a	75.55 ^a	11.48 ^a
7	365.00 ^c	0.0959 ^d	1.44 ^{ab}	73.02 ^{ab}	11.09 ^{ab}
8	305.50 ^f	0.0682 ^d	1.15 ^d	61.30 ^d	9.30 ^d
SEM*	1.86	0.0015	0.031	1.26	0.193
P Value	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

Treatments: 1) Control (dry seeds), 2) Hydro priming (distilled water, 12 h), 3) Hormopriming with Cytokinin (50 ppm, 12 h), 4) Hormopriming with Salicylic Acid (50 ppm, 12 h), 5) Hormopriming with Gibberellin (50 ppm, 24 h), 6) Osmopriming (13.5% polyethylene glycol, 12 h), 7) Halopriming (1% potassium nitrate, 24 h), and 8) Green barley fodder. Different superscript letters in the same column represent a significant difference ($P < 0.05$).

* SEM: Standard error of the mean.

استینگاس (۱۹۸۸). نورتون (۱۹۹۸) تأکید کرد که برای فعالیت مطلوب میکروبی در شکمبه، مواد خوراکی باید حداقل ۱۰ درصد پروتئین خام داشته باشند؛ در غیر این صورت، کاهش پروتئین می‌تواند منجر به کاهش فعالیت میکروبی و تولید گاز کمتر شود.

تولید گاز، اسیدهای چرب فرار و توده میکروبی، همگی محصولات نهایی هضم شکمبه‌ای هستند و رابطه مستقیمی با توده مواد هضم شده دارند (منک و استینگاس ۱۹۸۸ و پیت و همکاران ۱۹۹۶) تولید گاز رابطه خطی با تولید خالص اسیدهای چرب فرار (اوهارا و اوکی ۱۹۷۳ و اوپاتپاتانیت و همکاران ۱۹۷۴) و سنتز میکروبی دارد (ال-شازیل و هانگیت ۱۹۶۵؛ کریشنامورتی و همکاران ۱۹۹۱ و تئودورو و همکاران ۲۰۰۳). حجم خالص گاز تولید شده به‌ازای هر واحد سوبسترا هضم شده، نشان‌دهنده متابولیسم میکروبی است. در سیستم‌های *in vitro* بافر بیکربنات، دی‌اکسید کربن را به فاز گاز آزاد می‌کند و اسیدهای چرب فرار وارد محیط کشت می‌شود (بئونیک و اسپولسترا ۱۹۹۲؛ اوهارا و همکاران ۱۹۷۴؛ منک و استینگاس ۱۹۸۸). دی‌اکسید کربن تولید شده به طور مستقیم از متابولیسم، عمدتاً به تولید استات و بوتیرات وابسته است (وولین ۱۹۶۰؛ هانگیت ۱۹۶۶ و بئونیک و اسپولسترا ۱۹۹۲). به‌عنوان مثال، تولید دو مول استات یا یک مول بوتیرات (از یک مول هگزوز) به‌ترتیب ۳ یا ۴ مول دی‌اکسید کربن تولید می‌کند، درحالی که دو مول پروپیونات تنها منجر به آزاد شدن دو مول دی‌اکسید کربن به‌طور غیرمستقیم از واکنش با بیکربنات می‌شود. بنابراین، در خوراک‌های علوفه‌ای حدود ۵۰ درصد کل گاز تولیدی به‌صورت غیرمستقیم و مابقی از تخمیر خوراک حاصل می‌شود؛ درحالی که در خوراک‌های کنسانتره‌ای این نسبت به حدود ۶۰ درصد می‌رسد (بلومل و اورسکوف ۱۹۹۳).

تاکنون مطالعات کمی در خصوص تأثیر مستقیم هورمون‌های گیاهی بر فرایند تولید گاز صورت گرفته است. یکی دیگر از دلایل کاهش تولید گاز در برخی

تفاوت‌های مشاهده‌شده در فراسنجه‌های تولید گاز و قابلیت هضم، به‌طور عمده به تفاوت در ترکیب شیمیایی خوراک‌ها بازمی‌گردد. افزایش میزان الیاف نامحلول در شوینده خنثی و اسیدی (ADF و NDF) و کاهش پروتئین خام در برخی تیمارهای پرایمینگ شده، می‌تواند منجر به کاهش قابلیت هضم ماده آلی و انرژی قابل متابولیسم گردد. این اثر به‌ویژه در مراحل پیشرفته‌تر رشد گیاه، می‌تواند تا حدی ناشی از فعالیت ضدتغذیه‌ای ترکیبات فنولی باشد؛ به‌طوری‌که این ترکیبات با پیوند شدن به مواد مغذی نظیر پروتئین‌ها، فیبر و کربوهیدرات‌های محلول و همچنین از طریق اثرات بازدارنده بر میکروارگانیسم‌های شکمبه، قابلیت هضم و انرژی قابل متابولیسم را کاهش می‌دهند (مک‌سوئینی و همکاران ۲۰۰۱).

در تبیین این تفاوت‌ها، بررسی همزمان تغییرات ترکیب شیمیایی علوفه‌ها و پاسخ‌های تخمیری شکمبه‌ای ضروری به نظر می‌رسد. بر این اساس، تغییرات مشاهده‌شده در فراسنجه‌های تخمیری شکمبه‌ای را می‌توان به‌طور مستقیم به تغییرات ترکیب شیمیایی علوفه‌های هیدروپونیک نسبت داد. کاهش ماده خشک و پروتئین خام و افزایش اجزای دیواره سلولی در برخی تیمارهای پرایمینگ شده، منجر به کاهش قابلیت هضم ماده آلی و تولید پروتئین میکروبی گردید. در مقابل، افزایش نسبی کربوهیدرات‌های محلول و کاهش لیگنیفیکاسیون اولیه در تیمارهایی نظیر سایتوکنین و اسید سالیسیلیک، سبب افزایش پتانسیل تولید گاز و تولید اسیدهای چرب کوتاه زنجیر شد. این نتایج نشان می‌دهد که اثرات تغذیه‌ای پرایمینگ، نه صرفاً به بهبود صفات جوانه‌زنی، بلکه به نحوه تغییر مسیر متابولیسم ذخایر بذر و شکل‌گیری ساختار دیواره سلولی در مراحل اولیه رشد وابسته است. اندازه‌گیری گاز تولید شده در شرایط برون‌تنی، اطلاعات ارزشمندی درباره سرعت و میزان هضم خوراک فراهم می‌کند و به‌طور گسترده برای ارزیابی تجزیه‌پذیری خوراک‌های الیافی به اثبات رسیده است (منک و

همچنین تأثیر آن‌ها بر میکروارگانیسم‌های شکمبه (اسکالبرت ۱۹۹۱) و هضم آن‌ها باشد.

تیمارها می‌تواند باند شدن ترکیبات فنولی موجود در این تیمارها با پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها از طریق پیوندهای هیدروژنی و هیدروفوبی (مکسوئینی و همکاران ۲۰۰۱) و

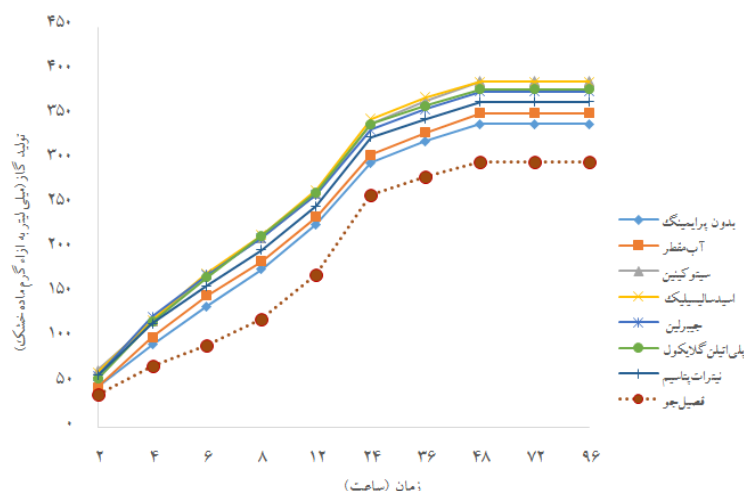


Figure 1. Effect of different priming treatments of barley forage on gas production kinetics

شاهد و آب مقطر) اختلافات معنی‌داری وجود داشت، اما به طور کلی مقادیر آن‌ها به طور معنی‌داری پایین‌تر از تیمار شاهد بود. بالاترین مقدار pH (۶/۵۲) مربوط به تیمار قصیل جو بود که نشان‌دهنده محیط قلیایی‌تر در مقایسه با علوفه‌های هیدروپونیک است. بالاترین پتانسیل تولید گاز در تیمارهای سایتوکنین و اسید سالیسیلیک مشاهده شد، در حالی که قصیل جو کمترین پتانسیل تولید گاز را داشت. در بین تیمارهای پرایمینگ شده، نیترات پتاسیم پایین‌ترین مقدار پتانسیل تولید گاز را نشان داد ($P < 0.05$).

بالاترین مقادیر نیتروژن آمونیاکی در تیمارهای سایتوکنین و جیبرلین و قصیل جو (حدود ۳/۰ میلی‌گرم در دسی‌لیتر) مشاهده شد. به طور کلی، پرایمینگ بذر جو در مقایسه با تیمار شاهد (عدم پرایمینگ) سبب افزایش در بازده تولید گاز و کاهش در قابلیت هضم ماده خشک و آلی، تولید پروتئین میکروبی و بازده پروتئین میکروبی گردید. با این حال، به طور کلی، علوفه هیدروپونیک (چه پرایمینگ شده و چه نشده) در مقایسه با قصیل جو، از

قابلیت هضم و فراسنجه‌های تخمیری شکمبه‌ای نتایج حاصل از ارزیابی قابلیت هضم و فراسنجه‌های تخمیری شکمبه‌ای علوفه هیدروپونیک جو تیمار شده با روش‌های مختلف پرایمینگ، در مقایسه با قصیل جو، در جدول ۴ ارائه شده است. تیمار شاهد و آب مقطر به طور معنی‌داری بالاترین قابلیت هضم ماده خشک (به‌ترتیب ۷۸/۲ و ۷۶/۷۳ درصد) و قابلیت هضم ماده آلی (به‌ترتیب ۷۹/۰۱ و ۷۵/۹۴ درصد) را داشتند ($P < 0.05$). در مقابل، قصیل جو به طور معنی‌داری پایین‌ترین قابلیت هضم ماده خشک (۵۵/۵۳ درصد) و قابلیت هضم ماده آلی (۵۴/۹۰ درصد) را نشان داد ($P < 0.05$). این یافته‌ها نشان می‌دهد که علوفه هیدروپونیک، به‌خصوص بدون پرایمینگ یا با پرایمینگ آب مقطر، از قابلیت هضم بالاتری نسبت به قصیل جو برخوردار است. بالاترین مقادیر عامل تفکیک (۳/۴۷ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر)، تولید پروتئین میکروبی (۱۴۰/۴۶ میلی‌گرم در گرم ماده خشک) و بازده تولید پروتئین میکروبی (۰/۳۳۶) مربوط به تیمار شاهد بود ($P < 0.05$). اگرچه در بین تیمارهای پرایمینگ شده (به‌جز

بهبود عملکرد دستگاه گوارش دام است.

قابلیت هضم و فراسنجه‌های تخمیری بهتری برخوردار بود. این نتایج حاکی از پتانسیل علوفه هیدروپونیک در

Table 4. Effect of various priming treatments on *in vitro* DM and OM digestibility and ruminal fermentation of Hydroponic Barley Fodder

Treatments	DMD ¹	OMD ²	PF ³	MCP ⁴	EMCP ⁵	Gas Yield ⁶	pH	NH ₃ -N ⁷
1	78.2 ^a	79.01 ^a	3.47 ^a	140.46 ^a	0.336 ^a	281.73 ^c	6.27 ^c	2.74 ^{ab}
2	76.73 ^a	75.94 ^{ab}	3.18 ^b	113.87 ^b	0.306 ^b	308.54 ^b	6.23 ^c	2.80 ^{ab}
3	73.26 ^b	74.69 ^{bc}	3.13 ^{bc}	107.58 ^{bc}	0.300 ^{bc}	315.84 ^{ab}	6.30 ^{bc}	3.04 ^a
4	70.66 ^{bc}	72.49 ^{bc}	3.04 ^{bc}	97.71 ^c	0.276 ^{bc}	326.60 ^a	6.29 ^{bc}	2.89 ^{ab}
5	69.93 ^c	71.96 ^c	3.08 ^{bc}	99.68 ^{bc}	0.286 ^{bc}	323.17 ^{ab}	6.23 ^c	3.05 ^a
6	71.46 ^{bc}	72.06 ^c	3.17 ^b	107.16 ^{bc}	0.303 ^b	316.01 ^{ab}	6.44 ^{ab}	2.16 ^b
7	71.80 ^{bc}	73.53 ^{bc}	3.01 ^c	97.07 ^c	0.270 ^c	328.77 ^a	6.18 ^c	2.17 ^b
8	55.53 ^d	54.90 ^d	3.08 ^{bc}	70.10 ^d	0.286 ^{bc}	285.93 ^c	6.52 ^a	3.05 ^a
SEM*	0.901	0.520	0.046	4.92	0.01	5.83	0.05	0.284
P Value	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0173

Treatments: 1) Control (dry seeds), 2) Hydro priming (distilled water, 12 h), 3) Hormopriming with Cytokinin (50 ppm, 12 h), 4) Hormopriming with Salicylic Acid (50 ppm, 12 h), 5) Hormopriming with Gibberellin (50 ppm, 24 h), 6) Osmopriming (13.5% polyethylene glycol, 12 h), 7) Halopriming (1% potassium nitrate, 24 h), and 8) Green barley fodder.

1-*In Vitro* Dry Matter Digestibility(%), 2-*In Vitro* Organic Matter Digestibility(%), 3- Partitioning Factor(mg/ml), 4- Microbial biomass(mg),

5- Efficiency of microbial biomass, 6- Gas Production Efficiency (ml/24h), 7-Non- Amonia Nitrogen (mg/dl)

Different superscript letters in the same column represent a significant difference ($P < 0.05$)

* SEM: Standard error of the mean.

جمعیت را داشتند ($P = 0.021$). تیمار شاهد با $10.5 \times 20/00$ سلول در میلی‌لیتر بالاترین جمعیت دیپلودینیوم را داشت. تیمارهای آب مقطر، پلی اتیلن گلیکول و قصیل جو هیچ گونه دیپلودینیومی را نشان ندادند ($P = 0.0270$).

تفاوت در جمعیت پروتوزوآهای شکمبه‌ای بین تیمارهای مختلف پرایمینگ و شاهد، حاکی از تغییر در محیط شکمبه ناشی از تفاوت در ترکیب شیمیایی و قابلیت هضم علوفه‌های ارائه شده است. پروتوزوآهای شکمبه‌ای نقش‌های مهمی در هضم فیبر و پروتئین ایفا می‌کنند، اما ممکن است با باکتری‌های شکمبه برای سوبسترا رقابت کنند. کاهش جمعیت پروتوزوآ در علوفه‌های هیدروپونیک پرایمینگ شده، به ویژه در مقایسه با تیمار شاهد، می‌تواند ناشی از تغییر در دسترس بودن سوبسترا (به عنوان مثال، کاهش کربوهیدرات‌های محلول یا پروتئین‌های قابل دسترس)، یا حضور ترکیبات ثانویه گیاهی (نظیر ترکیبات فنولی) باشد که ممکن است دارای خواص ضدپروتوزوایی باشند (مکسوئینی و همکاران ۲۰۰۱ و اسکالبرت ۱۹۹۱).

نتایج مربوط به تأثیر روش‌های مختلف پرایمینگ علوفه هیدروپونیک جو بر جمعیت پروتوزوآی شکمبه‌ای در جدول ۵ نشان داده شده است. از نظر جمعیت کل پروتوزوآ، تیمار شاهد (بدون پرایمینگ) با $323/33 \times 10.5$ سلول در میلی‌لیتر، بالاترین جمعیت کل پروتوزوآ را داشت ($P < 0.0001$). در مقابل، قصیل جو با $125/00 \times 10.5$ سلول در میلی‌لیتر، پایین‌ترین جمعیت را نشان داد. به طور کلی، علوفه‌های هیدروپونیک پرایمینگ شده در مقایسه با تیمار شاهد، جمعیت کل پروتوزوآی پایین‌تری داشتند. در بین تیمارهای پرایمینگ شده، پلی اتیلن گلیکول با $146/67 \times 10.5$ سلول در میلی‌لیتر، کمترین جمعیت پروتوزوآ را داشت. از نظر جمعیت هالوتریش‌ها، تیمار شاهد بالاترین جمعیت ($183/33 \times 10.5$ سلول در میلی‌لیتر) و قصیل جو پایین‌ترین جمعیت ($75/00 \times 10.5$ سلول در میلی‌لیتر) را نشان دادند ($P = 0.0073$). تیمار شاهد با $120/00 \times 10.5$ سلول در میلی‌لیتر بالاترین جمعیت انتودینیوم را داشت، در حالی که سایتوکنین و پلی اتیلن گلیکول با $35/00 \times 10.5$ سلول در میلی‌لیتر، کمترین

می‌تواند پیامدهایی برای کارایی هضم، جذب مواد مغذی و حتی کاهش انتشار متان داشته باشد، چرا که پروتوزوآها می‌توانند با باکتری‌های متان‌ژن در ارتباط باشند. برای درک کامل این اثرات، مطالعات بیشتری در زمینه اثرات *in vivo* بر جمعیت میکروبی و ارتباط آن با عملکرد دام مورد نیاز است.

پایین‌تر بودن جمعیت پروتوزوآ در قصیل جو نیز قابل انتظار است، زیرا قصیل جو دارای دیواره سلولی ضخیم‌تر و قابلیت هضم پایین‌تری است که محیط مناسبی را برای رشد این میکروارگانیسم‌ها فراهم نمی‌کند. به طور کلی، این یافته‌ها نشان می‌دهد که تیمارهای پرایمینگ بر میکروبیوم شکمبه‌ای دام تأثیر می‌گذارند. این تأثیر

Table 5. Effect of various priming treatments on the ruminal protozoa count ($\times 10^5/\text{ml}$) of Hydroponic Barley Fodder

Treatments	Genus				Total
	Holotrichia	Entodinium	Diplodinium	Efriuaskolos	
1	183.33 ^a	120.00 ^a	20.00 ^a	0	323.33 ^a
2	146.67 ^{ab}	85.00 ^{ab}	0 ^b	0	231.67 ^b
3	175.00 ^a	35.00 ^c	5.00 ^{ab}	0	210.00 ^{bc}
4	158.33 ^{ab}	50.00 ^{bc}	10.00 ^{ab}	0	218.33 ^b
5	136.67 ^{ab}	45.00 ^{bc}	5.00 ^{ab}	0	186.67 ^{bcd}
6	111.67 ^{bc}	35.00 ^c	0 ^b	0	146.67 ^{cd}
7	148.33 ^{ab}	41.67 ^{bc}	10.00 ^{ab}	0	200.00 ^{bc}
8	75.00 ^c	50.00 ^{bc}	0 ^b	0	125.00 ^d
SEM*	16.53	16.26	5.86	0	22.14
P Value	0.0073	0.0210	0.0270	0	<0.0001

1) Control (dry seeds), 2) Hydro priming (distilled water, 12 h), 3) Hormoprimering with Cytokinin (50 ppm, 12 h), 4) Hormoprimering with Salicylic Acid (50 ppm, 12 h), 5) Hormoprimering with Gibberellin (50 ppm, 24 h), 6) Osmoprimering (13.5% polyethylene glycol, 12 h), 7) Haloprimering (1% potassium nitrate, 24 h), and 8) Green barley fodder

Different superscript letters in the same column represent a significant difference ($P < 0.05$)

* SEM: Standard error of the mean.

توانستند پتانسیل تولید گاز و اسیدهای چرب کوتاه زنجیر را افزایش دهند، تیمار شاهد (بدون پرایمینگ) و پرایمینگ با آب مقطر از نظر قابلیت هضم ماده خشک و آلی و تولید پروتئین میکروبی برتری داشتند. همچنین، پرایمینگ به طور کلی منجر به کاهش جمعیت پروتوزوای شکمبه‌ای شد که می‌تواند پیامدهایی برای متابولیسم نیتروژن و کاهش تولید متان داشته باشد. در نهایت، نتایج این مطالعه بر اهمیت تلفیق کشت هیدروپونیک با بهینه‌سازی روش‌های مدیریتی مانند پرایمینگ تأکید می‌کند. برای دستیابی به حداکثر پتانسیل علوفه هیدروپونیک به عنوان خوراک دام، لازم است که تیمارهای پرایمینگ با دقت انتخاب و فرموله شوند تا نه تنها به بهبود رشد اولیه و جوانه‌زنی کمک کنند، بلکه کیفیت تغذیه‌ای نهایی و فرایندهای تخمیری شکمبه‌ای را نیز بهینه سازند. تحقیقات

نتایج به وضوح نشان دادند که علوفه هیدروپونیک، صرف‌نظر از پرایمینگ، کیفیت تغذیه‌ای به مراتب بالاتری از قصیل جو دارد، به ویژه از نظر قابلیت هضم ماده خشک و آلی. این برتری، پتانسیل بالای علوفه هیدروپونیک را به عنوان یک منبع خوراک باکیفیت و جایگزینی مناسب برای دام در سیستم‌های کشاورزی نوین تأیید می‌کند. در زمینه پرایمینگ، یافته‌ها پیچیده‌تر بودند و نشان دادند که این تیمار می‌تواند بسته به نوع ماده پرایمینگ، اثرات متفاوتی بر ویژگی‌های علوفه داشته باشد. پرایمینگ به طور مؤثری سرعت جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر را بهبود بخشید؛ به‌ویژه سائتوکنین در افزایش سرعت جوانه‌زنی و نیترات پتاسیم در بهبود بنیه بذر و طول ریشه‌چه بسیار مؤثر بودند. اگرچه برخی تیمارهای پرایمینگ (مانند سائتوکنین و اسید سالیسیلیک)

آتی می‌تواند بر ارزیابی اثرات آزمایشگاهی این تیمارها بر عملکرد دام و همچنین مکانیسم‌های مولکولی دقیق در تغییر ترکیب شیمیایی و میکروبیوم شکمبه تمرکز کند تا به درک کامل‌تری از این سیستم به‌دست آید.

منابع مورد استفاده

- Afzal I, Basra SMA and Ahmad N, 2005. Priming and hardening improve stand establishment and yield of spring maize. *Journal of Agronomy & Crop Science* 191(2): 112-118.
- Afzal I, Basra S.M.A and Nawaz N, 2006. Potential of seed priming for improving wheat performance under saline conditions. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences* 43(1-2): 1-8.
- Afzal I, Basra SMA, Shahid M and Ahmad N, 2008. Priming-induced changes in the germination and early seedling growth of wheat. *Journal of Agriculture and Rural Development* 6(1): 17-25.
- Aisha ZS, Mahmoud MF and Abdel Rahman M, 2007. Effect of potassium nitrate on growth, yield and chemical constituents of soybean plants. *World Journal of Agricultural Sciences* 3(2): 200-205.
- Akbak MA, Sarwar M, Nisa M and Hussain K, 2014. Nutritional evaluation of hydroponically grown barley fodder: A review. *Journal of Animal and Plant Sciences* 24(3): 856-862.
- Al-Karaki G N and Al-Momani N, 2011. Evaluation of some barley cultivars for green fodder production and water use efficiency under hydroponic conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science* 197(6): 448-456.
- Al-Karaki GN and Al-Momani A, 2011. Nutrient uptake and growth of wheat under hydroponic culture as affected by nutrient solution composition. *Journal of Plant Nutrition* 34(6): 920-928.
- Basra SMA, Afzal I and Malik MA, 2005. Pre-sowing seed treatments improve seedling vigour and yield of fine rice. *International Journal of Agriculture & Biology* 7(1): 101-105.
- Belletti P, Gatti E and Gatti E, 1993. Evaluation of seed vigor in peas. *Seed Science and Technology* 21(3): 577-584.
- Beuvink JMW and Spoelstra SF, 1992. Effects of some silage additives on the fermentation of whole-crop maize silage. *Grass and Forage Science* 47(2): 127-133.
- Blummel M and Becker K, 1997. The degradability characteristics of fifty-four roughages and roughage neutral-detergent fibers as described by *in vitro* gas production and their relationship to voluntary feed intake. *British Journal of Nutrition* 77: 757-768.
- Blümmel M and Ørskov ER, 1993. Comparison of *in vitro* gas production and nylon bag degradability of straw. *Animal Feed Science and Technology* 40(2): 113-118.
- Bradford KJ, 1998. Stress and seed germination. *Advances in Agronomy* 62: 57-123.
- Braut M and Maldiney R, 1999. Biosynthesis and metabolism of cytokinins. *Physiologia Plantarum* 105(2): 380-388.
- Broderick GA and Kang JH, 1980. Automated simultaneous determination of ammonia and total amino acids in ruminal fluid and *in vitro* media. *Journal of Animal Science* 63: 64-75.
- Cheryl LA, 2004. The effects of seed treatments on seed vigor and germination in hybrid maize (Master's thesis). University of Pretoria.
- Cuin TA, Miller RJ and Miller AJ, 2003. Potassium transport in plants: Molecular and cellular aspects. *Journal of Experimental Botany* 54(389): 1637-1645.
- Dehority BA, 1993. Laboratory manual for classification and morphology of rumen ciliate protozoa. CRC press, Inc, Boca Raton. FL.
- Dong J, Yu J, and Cai K, 2010. Effects of gibberellic acid on germination and seedling growth of rice under salt stress. *African Journal of Biotechnology* 9(26): 3986-3991.
- Dung DD, Godwin IR and Nolan JV, 2010. Nutrient content and *in Sacco* digestibility of barley grain and sprouted barley. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 9(18): 2485-2492.

- Dung DD, Godwin IR and McLennan SR, 2005. Nutrient content and digestibility of ensiled tropical forages. *Animal Feed Science and Technology* 124(1-2): 1-13.
- El-Basioni RA, 2006. Effect of potassium sources and methods of application on growth, yield and quality of potato. *Journal of Applied Sciences Research* 2(10): 652-658.
- El-Shazly K and Hungate RE, 1965. The effect of amino acid supply on the rate of gas production by rumen microbes. *Applied Microbiology* 13(6): 947-951.
- Elumalai S, Panneerselvam R and Arumugam R, 2002. Influence of seed priming on germination and seedling vigour in blackgram (*Vigna mungo* L. Hepper). *Journal of Agronomy and Crop Science* 188(1): 1-5.
- Farooq M and Azam MA, 2006. The effect of seed priming on germination and seedling vigor of maize under drought stress. *Journal of Agronomy and Crop Science* 192(6): 406-410.
- Farooq M, Basra SMA, Ahmad N and Saleem S, 2006. The role of seed priming in alleviating the adverse effects of salinity on mungbean (*Vigna radiata* L.) production. *Journal of Agronomy and Crop Science* 192(3): 199-205.
- Fazaeli H, Golmohammadi HA, Shoayee AA, Montajebi N and Mosharraf S, 2012. Performance of feedlot calves fed hydroponics fodder barley. *Journal of Agricultural Science and Technology* 14: 109-119.
- Getachew G, Depiters EJ and Robinson PH, 2002. *In vitro* gas production provides effective method for assessing ruminant feeds. *California Agriculture* 58: 54-58.
- Hafla M, Syafriad S and Budiarsa IN, 2014. The effect of different substrates on the growth and yield of hydroponic barley fodder. *Journal of Animal Science and Technology* 4(2): 100-107.
- Hajar EA, Alamri SA and Al-Zahrani S, 1996. Physiological effects of salicylic acid on seed germination and seedling growth of wheat. *Journal of Arid Environments* 34(2): 241-249.
- Hanan SM. 2007. Effect of salicylic acid on germination and seedling growth of maize under salt stress. *World Journal of Agricultural Sciences* 3(2): 206-210.
- Hedden P and Sponsel V, 2015. A century of gibberellin research. *Journal of Plant Growth Regulation* 34(4): 740-760.
- Hillyer GM and Perry GC, 2003. Hydroponic forage. In *Forages: The science of grassland agriculture* (6th ed., pp. 699-708). Iowa State University Press.
- Hungate RE, 1966. The rumen and its microbes. Academic Press.
- Iqbal M, Ashraf M and Jamil A, 2006. Seed priming improves physiological aspects of wheat under salinity stress. *Pakistan Journal of Botany* 38(5): 1367-1376.
- Jamali M, 2013. Effect of gibberellic acid on germination and early seedling growth of barley under drought stress (Master's thesis). University of Tehran.
- Karanataka SM, 2011. The impact of various pre-sowing treatments on seed germination and seedling vigour of rice (*Oryza sativa* L.) (Master's thesis). University of Agricultural Sciences, Bangalore, India.
- Kaur S, Gupta AK and Kaur N, 2005. Seed priming Increases Crop yield possibly by Modulating enzymes of Sucrose metabolism in chickpea. *Journal of Agronomy and Crop Science* 191: 81-87.
- Khodary SEA, 2004. Effect of salicylic acid on growth, photosynthesis, and some metabolic activities of maize plants grown under salt stress. *Egyptian Journal of Physiological Sciences* 28(2): 173-192.
- Kide W, Desalegn K and Teshome D, 2019. Hydroponic fodder production: an alternative technology for sustainable livestock feed production under climate change. *International Journal of Agricultural Research* 14(3): 101-108.
- Krishnamoorthy U, Sivasamy S and Mohanty SK, 1991. Relationship between gas production and microbial protein synthesis in tropical feeds. *Animal Feed Science and Technology*, 35(1-2): 133-142.
- Lara A, Lopez A and Gomez C, 2014. Nitric oxide: A key molecule in plant abiotic stress tolerance. *Journal of Plant Physiology* 171(1): 10-22.

- Maathuis FJM and Sanders D, 1996. Mechanisms of potassium absorption by plant roots. *Journal of Experimental Botany* 47(294): 881-897.
- Makkar HPS, 2005. *In vitro* gas methods for evaluation of feeds containing phytochemicals. *Animal of Feed Science and Technology* 123: 291-302.
- McSweeney CS, Palmer B, McNeill DM and Krause DO, 2001. Microbial interactions with tannins: Nutritional consequences for ruminants. *Animal Feed Science and Technology* 91(3-4): 213-228.
- Menke KH and Steingass H, 1988. Estimation of the energetic feed value from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid for ruminants. *Animal Research and Development* 28: 7-55.
- Menke KH and Steingass HH, 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. *Journal of Animal research and development* 28: 7-55.
- Menke KH, Raab L, Solewski A, Steingass H, Fritz D and Schneider W, 1979. The estimation of the digestibility and metabolisable energy content of ruminant feeding stuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor *in vitro*. *Journal of Agriculture science* 93: 217-222.
- Mesdaghi M, 2005. Seed physiology. Tehran University Press.
- Moghaddam MR, 2003. Plant hormones. University of Mashhad Press.
- Morgan JB, Morgan LM and Breen JJ, 1992. Hydroponic production of oat forage. *Journal of Plant Nutrition* 15(1): 143-156.
- Mousavi SR, Sadeghzadeh A and Moosavi SB, 2009. The effect of seed priming on germination and seedling growth of barley under salt stress. *Journal of Agricultural Sciences* 1(3): 201-209.
- Naik P K, Dhuri R B, Swain B K and Singh N P, 2015. Nutritional evaluation of hydroponics fodder. *Indian Journal of Animal Nutrition* 32(1): 1-9.
- Nascimento WM and Aragão VF, 2004. Seed priming with plant growth regulators in bell pepper (*Capsicum annum* L.). *Seed Science and Technology* 32(3): 661-667.
- National Research Council (NRC), 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th Rev. Ed. Natl. Acad. Sci., (Washington DC).
- Ohara M and Ohki K, 1973. Production of volatile fatty acids by rumen micro-organisms. *Japanese Journal of Zootechnical Science* 44(4): 183-189.
- Ohara M, Sato K and Ohki K, 1974. Production of carbon dioxide by rumen micro-organisms. *Japanese Journal of Zootechnical Science* 45(1): 1-6.
- Opatpatanakit Y, Shingfield KJ and Runciman D, 1994. Prediction of metabolisable energy from chemical composition and *in vitro* gas production of forages. *Animal Feed Science and Technology* 47(3-4): 213-224.
- Orskov ER and McDonald I, 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *Journal of Agriculture Science* 92: 499-503.
- Peer DJ and Leeson S, 1985. Nutritive value of hydroponically grown barley for poultry. *Poultry Science* 64(2): 342-348.
- Pitt RE, Sniffen CJ and Van Kessel JS, 1996. Development of a mechanistic model for the prediction of protein supply to dairy cows. *Animal Feed Science and Technology* 59(1-3): 87-101.
- Ramadan MF, El-Sayed AB and El-Gharabawy MI, 2010. Seed priming with potassium nitrate improves germination and seedling growth of soybean. *Journal of American Science* 6(5): 1-8.
- SAS, 2003. SAS User's Guide: Statistics, Version 9.1 Edition. SAS Institute, Cary, NC, USA.
- Scalbert A, 1991. Antimicrobial properties of tannins. *Phytochemistry* 30(12): 3875-3883.
- Shakirova FI, Sakhabutdinova AR, Bezrukova MV, Fatkhutdinova DR and Fatkhutdinova RI. 2003. Changes in hormonal status of wheat plants induced by salicylic acid. *Plant Science* 164(4): 317-331.
- Sneath R and McIntosh F, 2003. Hydroponic fodder for livestock. *Agriculture Victoria* 3(2): 1-4.

- Snow A, Smith RG and Smith JM, 2004. The nutritive value of hydroponically grown forage in the diets of beef cattle. *Journal of Animal Science* 82(Suppl. 1): 1-2.
- Song J and Chung GS, 1993. Effects of polyethylene glycol (PEG) on seed germination and seedling growth of rice. *Korean Journal of Crop Science* 38(3): 290-295.
- Sun Y, Wang X and Liu X, 2016. Effects of polyethylene glycol on seed germination and early seedling growth of spring wheat under drought stress. *Journal of Arid Land* 8(3): 441-450.
- Taiz L and Zeiger E, 2015. *Plant Physiology and Development*. 6th Edition. Sinauer Associates, Sunderland, MA, USA.
- Teodoro RL, Beuvink JMW and Van Vuuren AM, 1995. Comparison of gas production and dry matter digestibility of selected temperate forages. *Animal Feed Science and Technology* 54(3): 223-233.
- Theodor E, Al-Shazly K and El-Badawy A, 2003. Nutrient digestibility of green hydroponic barley. *Egyptian Journal of Nutrition and Feeds* 6(1): 11-20.
- Van Soest, PJ, Robertson JB and Lewis BA, 1991. Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74(10): 3583-3597.
- Wolin MJ, 1960. A theoretical rumen fermentation. *Journal of Dairy Science* 43(10): 1452-1459.