



Review

Overview on nutritional values and technology aspects of barley's seed

Alireza Pour-Aboughadareh¹✉ & Fariba Naghipoor²

¹✉ Assistant Professor, Cereal Research Department, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education, and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: a.poraboghadareh@gmail.com

² Assistant Professor, Cereal Research Department, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education, and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: faribanaghipour@yahoo.com

ABSTRACT

Barley (*Hordeum vulgare* L.) is one of the first domesticated crops in the old world agriculture that has created from its wild relative, *H. spontaneum* (C. Koch.) Thell. due to consecutive selection processes by farmers in different parts of the world. It has been reported that barley received the second and fourth ranks after wheat, rice, and corn in Iran and the world, respectively. The high content of fiber as well as the low amount of protein in the aboveground organs has caused this plant to be especially considered as a silage fodder in the livestock industry. On the other hand, seeds of barley have a critical role in supplying human nutritional needs due to their phosphorus, calcium, protein, and B vitamins contents. In addition, barley malt and its extract are also used in food formulation, especially in the beverage industry, due to its enzymatic properties, flavor, coloring, and nutritional value. Considering the importance of barley in providing an important part of human nutritional needs, the comprehensive investigation of its nutritional value can play a significant role in increasing of the cultivated area and improving the genetic base of the existing cultivars. In this review, the main aspects of the nutritional and technology of seed barley are discussed. Hence, it seems that the presented information can play a key role in improving the status of barley in the country.

Keywords: Barley, Nutritional value, Resistant starch, β -glucan, Malt.

Article Type: Review Article

Article history: Received: 06/10/2022, Revised: 27/10/2022, Accepted: 05/11/2022, Published online: 26/12/2022

Cite this article: Pour-Aboughadareh, A., & Naghipoor, F. (2022). Review; Overview on nutritional values and technology aspects of barley's seed. *Cereal Biotechnology and Biochemistry*. 1 (4). 535-551. DOI: [10.22126/cbb.2023.8585.1026](https://doi.org/10.22126/cbb.2023.8585.1026)



© The Author(s).

[10.22126/cbb.2023.8585.1026](https://doi.org/10.22126/cbb.2023.8585.1026)

Publisher: Razi University



مقاله مروری

مروری بر ارزش تغذیه‌ای و تکنولوژیکی دانه جو

علیرضا پورابوقداره^۱ و فریبا نقی پور^۲

^۱ استادیار پژوهشی، بخش غلات، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه:

a.poraboghadareh@gmail.com

^۲ استادیار پژوهشی، بخش غلات، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه:

faribanaghypour@yahoo.com

چکیده

جو زراعی (*Hordeum vulgare* L.) یکی از نخستین گیاهان اهلی شده در کشاورزی دنیای قدیم می‌باشد که طی فرآیندهای مکرر گزینش توسط کشاورزان در مناطق مختلف دنیا از نیای وحشی خود *H. spontaneum* (C. Koch.) Thell. تکامل یافته است. گزارش شده است که این گیاه زراعی، از نظر تولید بعد از گندم، رتبه دوم در ایران و بعد از برنج و ذرت، رتبه چهارم در دنیا را به خود اختصاص داده است. محتوای بالای فیبر و پروتئین کم سبب شده است تا اندام هوایی این گیاه به عنوان یک علوفه سیلویی به‌طور ویژه‌ای در صنعت دامداری مورد توجه قرار گیرد. از طرف دیگر دانه جو به دلیل دارا بودن فسفر، کلسیم، پروتئین و ویتامین‌های گروه B دارای اهمیت فراوانی در تأمین نیاز غذایی انسان می‌باشد. علاوه بر این، مالت جو و عصاره آن نیز به دلیل ویژگی‌های آنزیمی، طعم و رنگ‌دهندگی و ارزش غذایی آن در فرمولاسیون مواد غذایی به خصوص صنعت نوشیدنی، مورد استفاده می‌گیرد. بنابراین با توجه به اهمیت جو در تأمین بخش مهمی از نیاز غذایی انسان، بررسی همه جانبه ارزش غذایی آن می‌تواند نقش مهمی در توسعه سطح زیرکشت و بهبود پایه ژنتیکی ارقام موجود داشته باشد. در این مقاله سعی شده است تا به عمده‌ترین ابعاد تغذیه‌ای و تکنولوژیکی دانه جو پرداخته شود. از این‌رو به نظر می‌رسد اطلاعات ارائه شده در این خصوص نقش کلیدی در ارتقای جایگاه جو در کشور داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: جو، ارزش تغذیه‌ای، نشاسته مقاوم، بتاگلوکان، مالت.

نوع مقاله: مقاله مروری

نوع مقاله: دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۱۴ **اصلاح:** ۱۴۰۱/۰۸/۰۵ **پذیرش:** ۱۴۰۱/۰۸/۱۴ **انتشار آنلاین:** ۱۴۰۱/۱۰/۰۵

استناد: پورابوقداره، ع. ر. و نقی پور، ف. (۱۴۰۱). مقاله مروری؛ مروری بر ارزش تغذیه‌ای و تکنولوژیکی دانه جو. بیوتکنولوژی و بیوشیمی غلات. ۱ (۴).

DOI: [10.22126/cbb.2023.8585.1026](https://doi.org/10.22126/cbb.2023.8585.1026) ۵۵۱-۵۳۵



مقدمه

افزایش خواهد یافت. از این رو در کنار افزایش تولید در واحد سطح، شناخت بهتر ارزش غذایی هر یک از گونه‌های گیاهی به ویژه غلات، نقش مهمی در تأمین بخشی از امنیت غذایی دارد. برخلاف سایر گیاهان متعلق به خانواده غلات جو، دارای تحمل قابل توجهی نسبت به انواع تنش‌های محیطی بوده که این موضوع سبب شده است این گیاه زراعی در بخش وسیعی از اراضی کشور از زمین‌های حاصلخیز گرفته تا اراضی حاشیه‌ای کشت شود. جو عمدتاً به عنوان علوفه و سایر مصارف صنعتی به ویژه صنعت ماء‌الشعیر مورد استفاده قرار می‌گیرد، با این حال، دانه این غله منبع غذایی مهمی از نظر فیبر، پروتئین، کلسیم، فسفر و انواعی از ویتامین‌های B می‌باشد (Fatemi et al., 2022). اگر چه مشابه سایر گیاهان زراعی، مطالعات گسترده‌ای در رابطه با جنبه‌های تنوع ژنتیکی، پاسخ ژرم‌پلاسم گیاهی به انواع تنش‌ها، مکانیسم‌های مقاومت و ... در گیاه زراعی جو صورت گرفته است، اما در رابطه با خصوصیات تغذیه‌ای و تکنولوژیکی دانه آن اطلاعات مختصری در دسترس است. از این رو، در این پژوهش سعی شده است مروری جامع بر ابعاد مختلف تغذیه‌ای دانه جو انجام شود تا جایگاه این گیاه زراعی در کنار سایر گیاهان زراعی حفظ و بر توسعه ارقام اصلاحی با هدف بهبود کیفیت دانه تمرکز بیشتری شود.

میزان تولید و سطح زیر کشت دانه جو

جو یکی از اولین گیاهان زراعی اهلی شده به شمار می‌رود که علاوه بر اهمیت تغذیه‌ای، گیاه با ارزشی برای تناوب

غلات به واسطه تأمین انرژی مورد نیاز بشر در مقایسه با سایر گیاهان زراعی، دارای اهمیت بالایی هستند. بر اساس آخرین آمار و اطلاعات منتشر شده از سوی وزارت جهاد کشاورزی، حدود ۱۲ میلیون هکتار سطح برداشت محصولات زراعی می‌باشد که تقریباً ۸/۵۰ میلیون هکتار (م‌عادل ۷۱/۲۰ درصد از کل سطح برداشت محصولات زراعی) آن به غلات اختصاص داشته و در این بین، جو با ۱/۵ میلیون هکتار از کل سطح برداشت، پس از گندم (۵/۸۶ میلیون هکتار) در جایگاه دوم قرار دارد (Ahmadi et al., 2020). جو با نام علمی *Hordeum vulgare* L. به عنوان یکی از گیاهان مهم خانواده غلات دارای مصارف گوناگونی است که می‌توان به استفاده از دانه و علوفه آن برای تغذیه دام، صنایع مالت‌سازی، نوشابه‌های الکلی و بدون الکل و نیز تغذیه انسان اشاره نمود. در کشور ما مصرف عمده جو برای تغذیه دام و به مقدار کم، برای تولید مالت و فرآورده‌های بدون الکل می‌باشد (Ghazvini et al., 2022). با این حال، از سهم جو در تغذیه انسان روز به روز کاسته شده و به مصرف آن به صورت خوراک دام افزوده شده است.

پیش‌بینی می‌شود جمعیت جهان از ۷/۷ میلیارد نفر در سال ۲۰۱۹ به ۸/۵ میلیارد نفر در سال ۲۰۳۰، حدود ۹/۷ میلیارد نفر در سال ۲۰۵۰ و در سال ۲۱۰۰ میلادی به ۱۰/۹ میلیارد نفر افزایش یابد (FAO, 2019). طبیعتاً با رشد جمعیت، تقاضای غذا نیز به میزان قابل ملاحظه‌ای

محصولات زراعی به شمار می‌آید و مزایای زیادی از نظر تنوع گونه‌ای، کنترل آفات و بیماری‌ها دارد (Chakraborty & Newton, 2011). این گیاه با سازگاری و سيع اکولوژیکی، سطح زیر کشت وسیعی به خود اختصاص داده و به عنوان یکی از گیاهان زراعی مهم بعد از گندم، ذرت و برنج مورد استفاده انسان و دام قرار می‌گیرد. براساس گزارش فائو (FAO, 2019)، متوسط عملکرد جهانی این گیاه زراعی حدود ۳/۵ تن در هکتار تخمین زده شده است. همچنین در سال ۲۰۱۹، کشورهای کویت، بلژیک، ایرلند، شیلی، هلند، سوئیس، فرانسه، انگلستان، نیوزلند، آلمان و دانمارک به عنوان ۱۰ کشور برتر از نظر تولید دانه از سایر کشورها متمایز شده‌اند. از نظر سطح زیر کشت نیز روسیه، استرالیا، قزاقستان، ترکیه، کانادا، اسپانیا، اوکراین، ایران، فرانسه و آلمان جزو ده کشور برتر بودند. در ایران، در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰، سطح زیر کشت جو آبی در کشور در حدود ۶۳۰۹۳۱ هکتار بوده که حدود ۴۴ درصد از کل سطح زیر کشت جو کشور را تشکیل می‌دهد. در این سال کل میزان تولید جو در کشور ۲۴۷۸۸۸۶ تن برآورد شده که تولید آبی ۷۴/۸۰ درصد (۱۸۵۴۳۸۹ تن) و تولید نیم ۲۵/۲۰ درصد (۶۲۴۴۹۷ تن) می‌باشد.

استان‌های کرمانشاه، همدان، خراسان رضوی، لرستان و فارس به ترتیب با داشتن ۱۴۷۱۶۲، ۱۲۴۷۶۱، ۱۱۵۴۶۵، ۱۱۵۳۵۹ و ۱۰۲۵۱۶ هکتار سطح زیر کشت، به عنوان عمده‌ترین استان‌های تولیدکننده جو در سال زراعی ۱۴۰۰-

۱۳۹۹ شناسایی شدند. از نظر میزان تولید دانه نیز استان -های خراسان رضوی، همدان، فارس، اصفهان و کرمانشاه به ترتیب با تولید ۲۶۷۶۷۸، ۲۱۶۲۱۴، ۲۱۲۶۱۲، ۱۸۴۷۴۹ و ۱۴۵۳۵۴ تن، دارای بیشترین میزان تولید نسبت به سایر استان‌ها بودند (Agricultural Statistics, 2022).

گیاهشناسی دانه جو

دانه جو شکل تقریباً منظمی دارد به طوری که دو سر آن باریک بوده و یک سطح آن مقعر و سطح مقابل آن محدب می‌باشد و شیار بزرگی در وسط دانه وجود دارد (شکل ۱). رنگ دانه زرد کم‌رنگ است و دانه رسیده آن مانند دیگر غلات به راحتی باز نمی‌شود (Feizipour Nameghi & Hosseini Qaboos, 2010). پوشش خارجی از دو قسمت لمان و پالنا^۲ تشکیل شده که محکم به دانه چسبیده‌اند. پوشش داخلی شامل پری‌کارپ^۳ (اپی‌کارپ، مزوکارپ و سلول‌های متقاطع) و تستا^۴ (کوتیکول خارجی و کوتیکول داخلی) است. رنگ دانه، ناشی از حضور رنگدانه‌ها در لایه تستا (کوتیکول خارجی) می‌باشد. جوانه شامل محور جنینی و اسکوتلوم^۵ است. محور جنینی از دو قسمت ریشه‌چه و ساقه‌چه تشکیل شده است که در غلاف اسکوتلوم و چسبیده به آن قرار دارد؛ به طوری که لایه اسکوتلوم بین محور جنینی و آندوسپرم است. لایه اسکوتلوم، نقش ترشح آنزیم و انتقال آن را به محور جنینی طی جوانه‌زنی بر عهده دارد (Cook,

Lemma¹

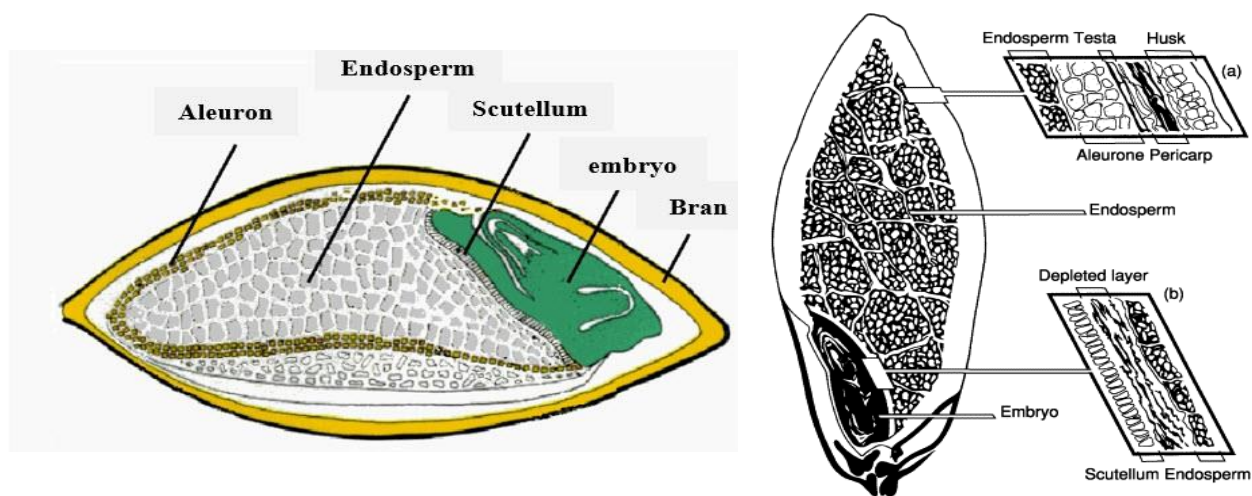
Palea²

Pericarp³

Testa⁴

Scutellum⁵

(1962). آندوسپرم قسمت اعظم بافت دانه را تشکیل می‌دهد و شامل آندوسپرم نشاسته‌ای و لایه آلورن^۶ می‌باشد. آندوسپرم حاوی مواد ذخیره‌ای به صورت نامحلول است که در حقیقت مواد مورد نیاز جهت جوانه‌زنی را تأمین می‌کند. توزیع مقدار پروتئین در آندوسپرم نشاسته‌ای تمامی غلات عکس هم است؛ به طوری که مقدار پروتئین از مرکز به طرف خارج آندوسپرم نشاسته‌ای افزایش می‌یابد. لایه آلورن و اسکوتلوم در پاسخ به ترشح هورمون جی‌برلین از محور جنینی، آنزیم‌های لازم برای هضم مواد ذخیره‌ای آندوسپرم را فراهم می‌کنند (Khetarpaul *et al.*, 2005).



شکل ۱- ساختمان دانه جو و اجزای تشکیل‌دهنده آن.

Figure 1. The seed structure of barley along with its components.

^۶Aleurone

ساختمان شیمیایی دانه جو

نشاسته

میزان ترکیبات موجود در دانه جو در مقایسه با سایر غلات در جدول ۱ آورده شده است. به‌طور کلی کربوهیدرات‌ها ترکیب اصلی دانه جو می‌باشند که بیش از ۸۰ درصد وزن خشک گیاه را تشکیل می‌دهند. کربوهیدرات‌ها از نظر

تکنولوژیکی در سه دسته پلی ساکاریدهای نشاسته‌ای، پلی ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای (ه‌می سلولزها، پنتوزان‌ها، بتاگلوکان‌ها و سایر پلی ساکاریدها) و قندها (منو ساکاریدها، دی ساکاریدها و الیگو ساکاریدها) طبقه‌بندی می‌شوند (Briggs, 1998).

جدول ۱- میزان ترکیبات مختلف در دانه جو در مقایسه با سایر غلات.

Table 1. The amount of different compounds in barley compared to other cereals.

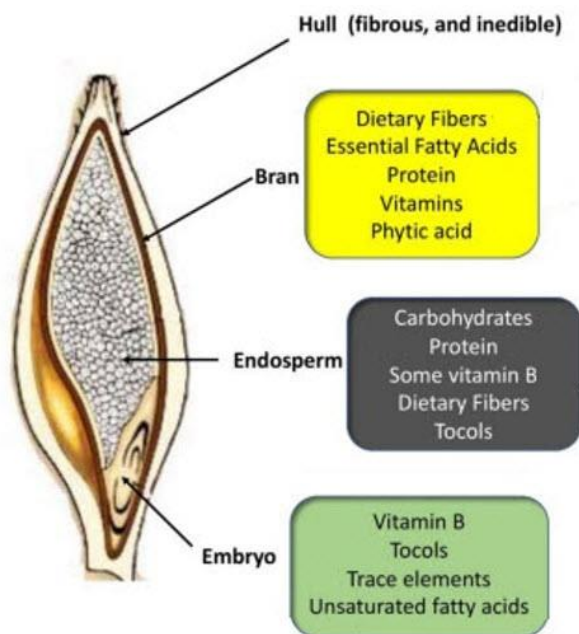
ترکیب	ذرت	جو	پوسته برنج	گندم
	Maize	Barley	Rice Bran	Wheat
نشاسته	72%	54-75%	34-52%	60-75%
پروتئین	9.5%	10-20%	10-16%	14%
چربی	0.4-17%	2-3%	15-22%	2.1-3.8%
فیبر	9.5% b-glucan: 1.5%	11-34% Soluble: 3-20% b-glucan: 2-10% Arabinoxylan: 3.8-6.05%	7-11% Soluble: 1.9%	11.5-15.5% Arabinoxylan: 5.5-7.4% b-glucan: 0.51-0.96% Cellulose: 1.67-3.05% lignin: 0.74-2.03%
ویتامین	Vitamin	B ₁ , B ₂ , B ₃ , tocopherols, and tocotrienols	B ₁ , B ₂ , B ₃ , B ₅ , B ₆ , B ₉ , K, tocopherols and tocotrienols	B ₁ , B ₂ , B ₃ , B ₆ , B ₉ , E
مواد معدنی	Minerals	Ca, P, Mg, Fe, Zn, Mn, Se	Cu, Fe, Mg, Se, Zn	Ca, P, Mg, Fe, Zn, Cu, Na, K

میزان نشاسته در دانه جو در حدود ۵۴-۷۵ درصد وزن دانه می‌باشد که در قسمت آندوسپرم دانه انباشته شده است (شکل ۲) و در حالت عادی در حدود ۲۷ درصد آن را بخش آمیلوز و ۷۳ درصد آن را بخش آمیلوپکتین تشکیل می‌دهد. آمیلوز پلی‌مری است خطی از زیرواحدهای (۱-۴) آلفا-دی-

گلوکوپیرانوز و آمیلوپکتین نیز ساختمانی با انشعابات نامنظم از زنجیره‌های آلفا (۱-۴) که در نقاط انشعاب با پیوندهای آلفا (۱-۶) به هم متصل می‌شوند (حدود ۴ درصد از پیوندهای موجود در پلی‌مر آمیلوپکتین از نوع آلفا (۱-۶) است). شایان ذکر است که نسبت آمیلوز به آمیلوپکتین

در دانه جو، گرانول‌های نشاسته دو نوع می‌باشند. گرانول نوع A، که در حدود ۲۰-۱۰ میکرومتر قطر داشته و عدد سی شکل هستند؛ در حالی که گرانول نوع B کم‌تر از ۱۰ میکرومتر قطر داشته، به شکل کروی بوده و ۳۰-۵ درصد کل نشاسته را شامل می‌شوند. این نوع از گرانول، محتوای آمیلوز کمی داشته و در ارتباط با بخش چربی و پروتئین دانه می‌باشد. از آنجایی که این گرانول‌ها از مسیرهای بیوسنتزی مختلف ساخته می‌شوند، لذا نشاسته تولیدی ترکیبات شیمیایی و رفتارهای هیدروترمال مختلفی از خود نشان می‌دهد (Langenaeken *et al.*, 2019).

به طور قابل ملاحظه‌ای بر خصوصیات فیزیکی شیمیایی نشاسته تأثیر می‌گذارد. نشاسته مومی، فاقد آمیلوز و یا حداکثر حاوی ۱۰ درصد آمیلوز می‌باشد؛ در حالی که نشاسته‌های غیر مومی دانه جو حاوی مقادیر بالاتری از آمیلوز است (۱۷-۲۴ درصد) (Hebelstrup *et al.*, 2017). نشاسته‌های مومی به دلیل داشتن خمیری شفاف و مقاومت خوب در مرحله انجماد و ذوب شدن و تمایل اندک به رتروگراداسیون، به‌طور گسترده در فرمولاسیون مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از این رو همراه تولید دانه‌های جو با بیان ژن‌های مومی کننده نشاسته و فاقد پسته در برنامه‌های اصلاحی کشاورزان قرار دارد (Farag *et al.*, 2020).



شکل ۲- محل قرارگیری ترکیبات مختلف در دانه جو.

Figure 2. The location of different compounds in barley seed.

پروتئین

میزان پروتئین در دانه جو در حدود ۲۰-۱۰ درصد می‌باشد که به‌طور عمده در آندوسپرم یافت می‌شود (Huang *et al.*, 2020). در حدود ۷۵ درصد پروتئین جو را گلوتمین تشکیل می‌دهد که شامل ۵۰ درصد پرولامین (به‌طور عمده هوردئین) و ۲۵ درصد گلوتمین است. از این رو مصرف این دانه برای بیماران سلیاکی مناسب نمی‌باشد. علاوه بر این، آلومین و گلوبولین نیز مقادیر کمتری را به خود اختصاص داده که در لایه آلورن و جنین تجمع یافته‌اند (Sullivan *et al.*, 2013). پروتئین دانه جو به دلیل خواص عملکردی نظیر توانایی پایدار نمودن امولسیون (ظرفیت امولسیفایری)، قابلیت جذب آب و خصوصیات ارتجاعی آن در فرمولاسیون مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. پروتئین جو حاوی هر دو گروه اسیدهای آمینه ضروری (۲۸ درصد که به‌طور عمده شامل لو‌سین، ایزولوسین، والین، ترئونین، فنیل آلانین، لیزین، هستیدین و مت‌یونین) و غیر ضروری (۷۲ درصد) به‌طور عمده شامل اسید گلوتامیک، اسید آسپارتیک، پرولین، تیروزین، گلیسین و سیتوزین می‌باشد، از این رو، به عنوان منبع بسیار مناسب غذایی محسوب می‌گردد. یکی از مهم‌ترین اسید آمینه‌ها در دانه جو، لیزین است که یک آمینه اسید دارای انشعاب بوده و در ساختمان ماهیچه حضور دارد (Huang *et al.*, 2020).

فیبر رژیمی

دانه جو منبع بسیار مناسبی از فیبر رژیمی می‌باشد (۳۴-۱۱ درصد) که بر اساس حلالیت در دو دسته محلول (۲۰-۳ درصد) و نامحلول (۱۴-۸ درصد) طبقه‌بندی می‌گردد. فیبرهای رژیمی نامحلول در جو با استفاده از تیمارهای شیمیایی و همچنین طی فرآیندهای حرارتی پخت قابلیت تبدیل به فیبر محلول را دارد (Bader UI Ain *et al.*, 2018). علاوه بر این، بکارگیری تیمارهای حرارتی سبب افزایش میزان فیبر محلول به همراه بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و فیزیولوژیکی آن می‌گردد. بیشترین میزان فیبر، در قسمت پوسته دانه جو قرار دارد (به خصوص سلولز) به طوری که لایه آلورن حاوی ۲۷ درصد بتاگلوکان و ۷۱ درصد آرابینوگزیلان و آندوسپرم نیز حاوی ۷۷ درصد بتاگلوکان و ۲۱ درصد آرابینوگزیلان می‌باشد (Vasanthan *et al.*, 2002). بررسی میزان بتاگلوکان در غلات مختلف نشان می‌دهد که دانه جو دارای بالاترین میزان این ترکیب می‌باشد و پس از آن دانه‌های جو دوسر، چاودار و گندم در رتبه‌های بعدی قرار دارند. این ترکیب مسئول بسیاری از تأثیرات فیزیولوژیکی دانه جو همچون کاهش چربی، کلسترول و قند خون می‌باشد. به‌طور معمول میزان بتاگلوکان در دانه جو بین ۱۰-۲ درصد متغیر است و در برخی از ژنوتیپ‌ها تا ۱۷-۱۱ درصد نیز گزارش شده است. علاوه بر این مشاهده گردیده است که زمان برداشت زود هنگام و شرایط نگهداری پس از آن، بر کاهش میزان بتاگلوکان مؤثر می‌باشد. ذکر این نکته ضروری است که

توکولها می‌گردد. شایان ذکر است که میزان این ترکیبات بر فرآیند مالت‌سازی تأثیری ندارد.

مواد معدنی

دانه جو به عنوان یک منبع بسیار خوب برای عناصری همچون پتاسیم (۲۵٪ درصد)، کلسیم (۰/۰۲ درصد)، فسفر (۲۱٪ درصد)، منیزیم (۰/۰۸ درصد) و عناصر کم مقدار نظیر آهن (۴۹/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، کلسیم (۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، منگنز (۱۳/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و روی (۲۴/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) که مقدار آنها متناسب با نوع رقم و شرایط محیطی تغییر می‌کند، شناخته شده است. جنین بیشترین میزان مواد معدنی را دارد. این در حالی است که کمترین میزان این ترکیبات برای آندوسپرم گزارش شده است (Kutman et al., 2010).

چربی

میزان چربی در دانه جو ۳-۲ درصد می‌باشد که بیشتر در قسمت آندوسپرم مشاهده می‌شود. تری‌گلیسیریدها چربی غیرقطبی اصلی و مقادیر جزئی دی‌آسیل‌گلیسرول، مونوآسیل‌گلیسرول و اسیدهای چرب آزاد در دانه یافت می‌شود. اسیدهای چرب نظیر اسید لینولئیک (۵۰-۶۰ درصد)، اسید پالمیتیک (۲۰-۳۰ درصد)، اسید اولئیک (۱۰-۱۵ درصد) و اسید لینولنیک (۹-۴ درصد) در دانه جو مشاهده شده است (Sullivan et al., 2013).

عوامل دیگری نظیر کوددهی بر میزان بتاگلوکان تأثیر بیشتری نسبت به وارپته دارد. به عنوان مثال استفاده از کودهایی با سطح بالای نیتروژن، منجر به افزایش میزان بتاگلوکان می‌گردد (Jacob & Pescatore, 2012).

شایان ذکر است که میزان بتاگلوکان تأثیر بسیار زیادی بر فرآیند مالت‌سازی دارد. در واقع مالت مورد استفاده در تولید نوشیدنی بایستی از میزان بتاگلوکان کمتری برخوردار باشد. این امر را می‌توان به ممانعت این ترکیب در تخریب آنزیمی پلی‌ساکاریدها نسبت داد. بنابراین دانه‌های جو با مقدار کم بتاگلوکان و یا سطوح بالای آنزیم بتاگلوکاناز برای تولید مالت مخصوص نوشیدنی، بسیار مطلوب می‌باشد (Agu, 2003).

ویتامین‌ها

ویتامین‌های B₁، B₂، B₃ و ویتامین E از مهم‌ترین ویتامین‌های محلول و نامحلول موجود در دانه جو می‌باشد. میزان ویتامین E در دانه جو حدود ۳۱/۵-۸/۵ میکروگرم بر گرم در ماده خشک می‌باشد که این میزان متأثر از شرایط نگهداری و ژنوتیپ می‌باشد. علاوه بر این، دانه جو به دلیل حضور توکولها به خصوص آلفا توکوفرول و آلفا توکوترینول بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Do et al., 2015). این ترکیبات در آندوسپرم (۹۵ درصد)، پوسته (۶۳ درصد) و جوانه (۱۰ درصد) یافت می‌شوند و واضح است که پوست‌گیری دانه سبب کاهش قابل ملاحظه‌ای در میزان

کاربرد جو در صنعت غذا

تنها دو درصد از دانه جو تولیدی در دنیا مورد استفاده انسان قرار می‌گیرد و در بین غلات، گندم و برنج به دلیل خصوصیات کیفی و ویژگی‌های بافتی بهتر محصول نهایی، از محبوبیت بالاتری برخوردار است. با این حال، استفاده از جو به دلیل میزان بتاگلوکان و توکول بالا و اثرات مثبت آن‌ها در کنترل اضافه وزن و دیابت، رو به افزایش است. علاوه بر این، معرفی رقم‌هایی که به راحتی پوست‌گیری می‌شوند در ایجاد این محبوبیت مؤثر بوده است (Sharma & Kotari, 2017). با این حال، دانه جو در کشورهای مختلف به شیوه‌های متفاوتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مراکش به منظور تولید یکی از غذاهای معروف به نام azenbou دانه‌ها بخاردهی می‌شوند و پس از خشک شدن، سرخ می‌شوند و در نهایت برای تبدیل به آرد نرم و سمولینا، آسیاب می‌گردند. آرد و سمولینای تهیه شده از دانه‌های نگهداری شده به مدت سه سال به دلیل دارا بودن بوی خاص در تولید نان و یک غذا به نام COUSCOUS استفاده می‌شوند در تونس نیز از دانه‌های شکسته جو در تولید یک نوع نان به نام kisra و یک نوع سوپ به نام fric استفاده می‌شود. همچنین از آرد جو به عنوان جایگزین بخشی از آرد گندم موجود در فرمولاسیون استفاده می‌گردد که سبب ایجاد طعم مطبوع و بافت و ظاهر قابل قبول محصول نهایی می‌گردد. این در حالی است که در سطوح بالای جایگزینی، حجم و نرمی نان کاهش یافته و رنگ محصول تیره تر

می‌گردد (Baik & Ullrich, 2008). نمونه‌های پاستا تهیه شده از جو به دلیل دارا بودن بتاگلوکان دارای اثرات کاهش دهنده کلسترول خون و خطر حمله قلبی می‌باشد. که فرآیند حرارتی اثر تخریبی بر میزان بتاگلوکان دریافتی ندارد (De Paula et al., 2017). دانه‌های جو تفت داده و یا مالت آن نیز به عنوان جایگزین قهوه (به دلیل اثرات منفی کافئین) مورد استفاده قرار می‌گیرد. در طول فرآیند تفت دادن، ترکیبات فرار متعددی نظیر فوران، کتون، آلدئید و پیرازین‌ها تولید می‌شوند که سبب ایجاد آرومای مشابه قهوه می‌گردند (Majcher et al., 2013).

مالت جو

مالت و عصاره جو به دلیل ویژگی‌های آنزیمی، طعم و رنگ-دهندگی و ارزش غذایی آن، دارای اهمیت فراوانی است. علاوه بر این مالت در موارد سوء هاضمه، کمبود ترشح بزاق و در دوران نقاهت بیماری‌ها و در تمام مراحل که به یک غذای سهل‌الهضم نیاز است، مورد مصرف قرار می‌گیرد اما کاربرد اصلی آن در صنعت غذا می‌باشد. مالت در صنایع مختلف غذایی نظیر صنایع قنادی، تهیه بیسکوئیت، کراکرها، تخمیری، انواع کارامل، شیرینی، و... تولید سرکه، الکل، آبجو سازی، غلات صبحانه، بسیاری از نوشابه‌ها و شیرهای آشامیدنی نظیر شیرمالت، در نانوائی، غذای کودک و به عنوان مکمل‌های تقویتی و غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. علت کاربرد مالت و عصاره آن در صنایع پخت این است که مالت در نان سبب تسریع عمل تخمیر شده و زمان

بنابراین باید دانه جو مالتی در رطوبت پایین از بار گردد (Armitage *et al.*, 2002). در کشورهای مختلف مقدار پروتئین یک عامل کلیدی برای پذیرفتن یا رد کردن جوی مالت سازی می باشد (Zhang *et al.*, 2001). علاوه بر این، ازت کل محلول بیانگر میزان پروتئین ها و پپتیدهای بزرگ موجود در عصاره مالت است که در افزایش طعم دهانی و ایجاد کف محصول نهایی نقش مؤثر ایفا می کند. غلظت های بسیار پایین پروتئین می تواند تأثیر منفی روی عملیات تخمیر، سلامت مخمر و احساس دهانی نوشیدنی نهایی داشته باشد. از سوی دیگر غلظت های بالای پروتئین محلول می تواند منتج به تشکیل عوامل تیره کننده محصول گردد. به طور کلی باید یک توازن ظریف و حساس بین میزان پروتئین کل و محلول وجود داشته باشد. پروتئین باید جهت تولید مقادیر کافی از آمینو نیتروزن آزاد به اندازه کافی هیدرولیز شود تا سلامت مخمر حفظ گردد و از طرف دیگر نباید بیش از حد شکسته شود زیرا به خصوصیات کفزایی آسیب می رساند. بنابراین انتخاب واریته مناسب جو یکی از مهم ترین مراحل تولید مالت صنعت نوشیدنی است (Jones & Budd, 2005). از این رو اولین معیار انتخاب مالت در واحدهای صنعتی بزرگ، طعم ورت و محصول نو شابه تهیه شده از آن می باشد.

فرآیند تولید مالت جو

فرآیند مالت سازی شامل خیساندن، جوانه زنی و خشک کردن مالت سبز در شرایط کنترل شده دما و رطوبت می باشد که

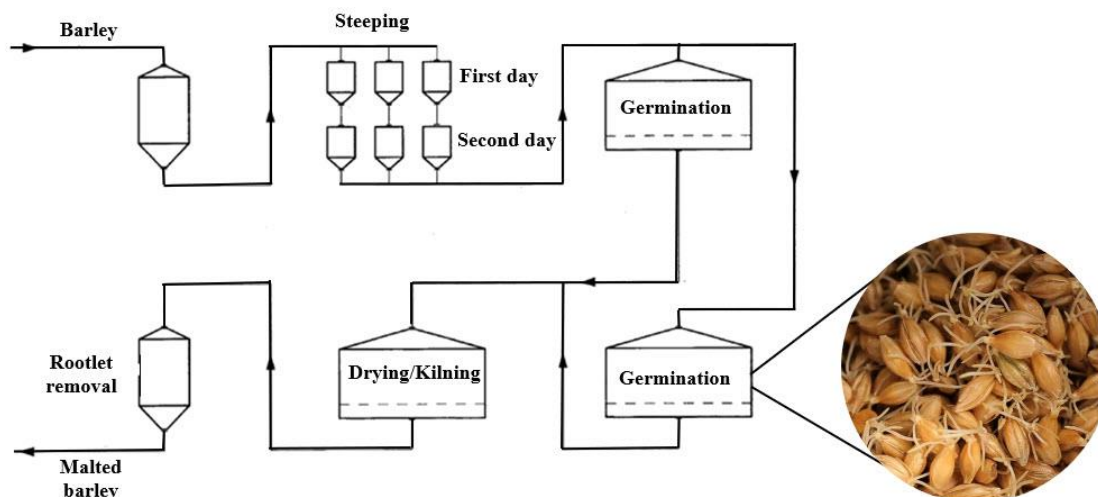
تخمیر کاهش می یابد. همچنین مالت موجب به جود طعم و رنگ، افزایش حجم قرص نان و تخلخل مناسب تر بافت آن می شود. ذکر این نکته ضروری است که کاربرد دانه جو مالتی در صنایع ماءالشعیر، صنایع پخت و نانوائی عکس هم می باشد. در صنایع نوشابه های مالتی غیرالکلی، بازدهی بیشتر عصاره، میزان قند احیاء بالاتر، تولید ترکیباتی با وزن مولکولی بالا برای ایجاد کف پایدار و جلوگیری از تیره شدن ورت مدنظر می باشد (Gupta *et al.*, 2010). در حالی که در صنایع پخت و نانوائی، تشکیل خمیر ویسکوالاستیک با ساختاری شبیه ژل برای نگهداری حباب های گاز و آب در خمیر و ژلاتینه شدن محدود نشاسته به منظور بهبود عملکرد محصولات نانوائی مدنظر است (Khetarpaul *et al.*, 2005).

ویژگی های ماده اولیه در فرآیند مالت سازی تعیین کننده نوع و کاربرد مالت است، به طوری که افزایش مقدار کل ازت دانه برای مصرف در صنعت نوشابه سازی نامطلوب تلقی می گردد؛ در حالی که برای مصارف غذایی عکس آن صادق است. داشتن رطوبت مناسب و یکنواختی دانه های جو برای اصلاح متعادل آندوسپرم نشاسته ای آن در زمان جوانه زدن ضروری است. برای تولید مالت یکنواخت، نیاز به جوهایی با ارقام مناسب، مدت زمان نهفتگی مشخص و فاکتور حساسیت به آب بالا می باشد (Holmberg *et al.*, 2002).

دانه های جو با رطوبت پایین (حدود ۱۳ درصد) بهترین کیفیت مالت و بالاترین بازدهی عصاره را دارا می باشند.

کردن برای نگهداری طولانی تا رطوبت کم‌تر از ۱۲ درصد خشک شود. علاوه بر این، دانه از نظر ظاهری باید شفاف و بدون چروکیدگی باشد. دانه‌های حشره‌زده، ضد عفونی شده با قارچ‌کش، علف‌کش و سایر سموم به دلیل آن که در حین فرآیند ممکن است منبع آلودگی میکروبی باشند، مناسب نبوده و باید قبل از فرآیند جدا شوند (Eneje *et al.*, 2004).

شمایی کلی از این فرآیند در شکل ۳ نشان داده شده است. معمولاً دانه غلات قبل از دریافت در کارخانه‌های مالت‌سازی از نظر قدرت جوانه‌زنی، درجه خلوص واریته، عدم آلودگی به حشرات، کپک‌زدگی، عدم وجود صدمات فیزیکی و جوانه‌های نارس، مقدار پروتئین، رطوبت و وجود دانه‌های ریز مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. غلات پس از برداشت دارای رطوبت بالایی (۱۶-۲۵ درصد) می‌باشند و باید قبل از انبار



شکل ۳- شمای کلی فرآیند مالت‌سازی.

Figure 3. Overview of malting process.

ورود آب به آندوسپرم و در دسترس قرار دادن اکسیژن جهت خروج دانه از حالت خفته و غیرفعال است و در انتهای مرحله خیساندن رطوبت دانه بایستی ۴۵-۴۲ درصد باشد. محققان بر این عقیده‌اند که مرحله خیساندن بحرانی‌ترین مرحله در مالت‌سازی است. زیرا جذب و پخش رطوبت در

در ابتدای فرآیند، دانه جو جهت جذب مقادیر مورد نظر رطوبت در حجم معینی از آب غوطه‌ور می‌گردد و در فواصل زمانی معین، مخلوط آب حاوی جو با دمیدن هوای متراکم به داخل بستر آن هوادهی می‌شود. هدف از خیس کردن، شستشو و تمیز کردن دانه‌ها، کاهش بار میکروبی، تسهیل

غلات شروع می شود. این آنزیم ها عمدتاً آنزیم های تولیدکننده اسیدها از جمله فسفاتازها و فیتاز، آنزیم های تجزیه کننده دیواره سلولی (سیتاز، همی سلولاز) و پروتئینها (پروتئینازها) هستند. بتا آمیلاز موجود در دانه غلات تاثیر ناچیزی روی تجزیه نشاسته دارد. اما با فعال شدن آلفا آمیلاز در روزهای اول جوانه زنی پلی ساکارید نشاسته بیشتر تجزیه و شکسته می شود (Briggs, 1990).

ساختار مولکولی نشاسته جو در طی فرآیند مالت سازی به طور وسیع تغییر کرده و بیشتر به صورت خطی در می آید. این موضوع دلالت دارد بر این که آنزیمها ترجیحاً به بخش آمیلوپکتین نشاسته حمله ور شده اند. گرانول های نشاسته از طریق آسیاب کردن و خرد کردن فیزیکی دانه ها و استفاده از حرارت در حضور مقدار زیاد آب (ژلاتینه شدن) شکسته می شوند. ژلاتینه شدن، در واقع باد کردن و شکسته شدن گرانول های نشاسته و هم چنین کلوئید شدن ساختار مولکولی آن بوده که می تواند به راحتی به وسیله آنزیم های آلفا و بتا آمیلاز مورد حمله قرار گرفته و محلولی غنی از قند با ویسکوزیته پائین تولید نماید. در صنعت مالت سازی برای ژلاتینه کردن نشاسته از وان های عصاره گیری حاوی آب با دمای ۶۸ درجه سانتی گراد استفاده می شود که در این دما هنوز آنزیم های آلفا و بتا آمیلاز فعال هستند (Briggs, 2012 & Schwarz et al., 2008).

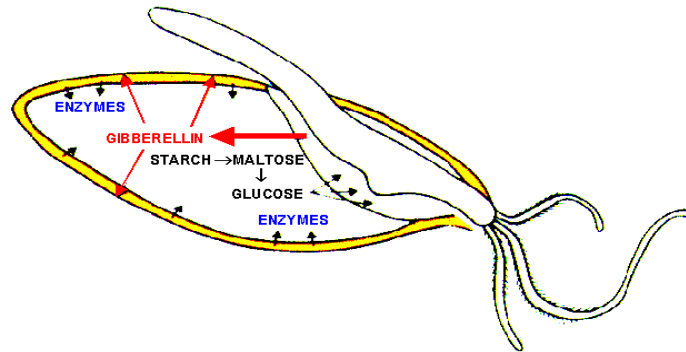
محصولاتی که در اثر تجزیه توسط این آنزیم ها و سایر آنزیم های دیگر حاصل می گردند بسیار سیال بوده و در

دانه روی کیفیت مالت حاصله از آن مؤثر می باشد. جوانه اولین قسمتی است که در مرحله خیس شدن آب را جذب کرده و متورم می شود. نفوذ آب به داخل آندوسپرم به مقدار قابل توجهی از اسکوتلوم به سمت انتهای دانه و به میزان کم تر از لایه های خارجی تر به طرف درون دانه صورت می گیرد. از سوی دیگر، به منظور تأمین اکسیژن در این مرحله، آب مورد استفاده جهت خیس شدن، دو یا سه بار تعویض می گردد. زیرا افزایش رشد میکروارگانیسمها بر فرآیند جوانه زنی، اصلاح آندوسپرم دانه و همچنین عطر و طعم محصول نهایی تأثیر نامطلوبی می گذارد (Briggs, 1998).

پس از طی مدت زمان مناسب، آب اضافی موجود روی سطح دانه ها از طریق آب کشی جدا سازی می شود. معمولاً در مرحله خیس شدن برای به حداقل رساندن افت رطوبت و سرد نگه داشتن دانه ها، درجه حرارت، زیر ۱۸ درجه سانتی گراد تنظیم می شود. دانه جو مرطوب تحت شرایط سرد و قابل کنترل در اتمسفری با رطوبت نسبی بالا (۸۵-۹۵ درصد) قرار داده می شود تا مراحل رشد را طی نماید (حداکثر طول اکروسپایر تا سه چهارم طول دانه). کلیه تغییرات انجام شده در مرحله جوانه زنی به اصلاح دانه معروف است (Briggs, 2012). در انتهای مرحله جوانه زنی حدود ۱۸ درصد نشاسته تجزیه شده و دانه از نظر قندهای محلول و اسیدهای آمینه غنی تر خواهد شد. تغییر آندوسپرم با تجزیه هیدرولیتیکی مواد با وزن مولکولی بالا توسط آنزیم های موجود در دانه

تغییرات اصلاحی از خود ترشح می‌کند و ملی در ضمن جیبرلین آزاد شده توسط جنین با وادار کردن لایه آلورن به آزاد کردن آنزیم موجب ادامه تولید آنزیم می‌شود (شکل ۴).

سرتاسر اسکوتلوم پخش شده که توسط جنین جهت تشکیل بافت‌های جدید مورد استفاده قرار می‌گیرند و همچون به‌عنوان منبع انرژی برای انجام تنفس به شمار می‌روند. چنین به نظر می‌رسد که جنین آنزیم کافی جهت ادا مه



شکل ۴- ترشح هورمون جیبرلین و انواعی از آنزیم‌ها از جنین و لایه آلورن به همراه تجزیه نشاسته آندوسپرم دانه در

مرحله جوانه‌زنی

Figure 4. Secretion of gibberellin hormone and enzymes from the embryo and aleurone layers, respectively, along with breakdown of endosperm starch in the germination stage.

کیفیت مناسب به دست آورد تا در وا حدهای تولید پودر و عصاره مالت، واحدهای تولید نوشابه‌های مالتی، صنایع پخت و قنادی مورد استفاده قرار گیرد (Gianinetti *et al.*, 2005). پس از جوانه‌زنی، دانه‌ها وارد مرحله خشک کردن می‌شوند. این مرحله یکی از پرهزینه‌ترین بخش‌های تولید مالت است و هدف از خشک کردن، توقف رشد بیولوژیکی دانه، حذف آن برای ثبات از بارداری، حفظ و نگهداری فعالیت آنزیمی، تشکیل عطر و طعم و ترکیبات رنگی است (Briggs, 1998). دامنه هوای عبوری خشک‌کن‌های مدرن

علاوه بر این گرانول‌های کوچک نشاسته در طول فرآیند مالت‌سازی تجزیه شده و مقدار کمی از آن‌ها وارد مالت حاصله خواهد شد. هیدرولیز آمیلولوپکتین مخلوطی از دکسترین‌های شاخه‌دار و قندهای احیا کننده را تولید کرده و آنزیم دکستریناز محدود کننده، دکسترین‌های شاخه‌دار را به مالتوساکاریدهای خطی تبدیل کرده که بعداً به قندهای کوچکتر تجزیه می‌شوند. در نهایت می‌توان با تعیین میزان نشاسته مالت حاصل از ارقام مختلف جو، شرایط بهینه خیساندن و جوانه‌زنی را تعیین کرد و در نتیجه مالتی با

با توجه به ویژگی‌های محصول نهایی مانند بازدهی عصاره، مقدار رطوبت، رنگ و فعالیت آنزیمی ۸۰-۱۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. به منظور حفظ فعالیت آنزیم‌ها در آغاز خشک کردن را ۴۰-۵۰ درجه سانتی‌گراد در نظر می‌گیرند. زیرا تحمل آنزیم‌ها در برابر حرارت در رطوبت‌های پایین‌تر بیشتر است (Jones, 2005). پس از مرحله خشک کردن مالت سبز، ریشه‌چه که حاوی ترکیبات تلخ، غنی از دی‌اکسید سولفور، نیتروزآمین و فاقد طعم مطلوب است با استفاده از الک کردن، تکان‌های شدید، ایجاد اصطکاک و هوادهی جدا می‌گردد.

نتیجه‌گیری

در بین غلات، جو به دلیل تأمین بخش قابل توجهی از انرژی موجود در زنجیره غذایی انسان و همچنین دام و طیور، جایگاه ویژه‌ای دارد؛ به طوری که در سال‌های اخیر سطح زیر کشت این محصول زراعی نسبت به پیش افزایش

یافته است. بنابراین، توسعه ارقام پربازده می‌تواند بر اهمیت این گیاه بیش از پیش بیافزاید. عصاره‌گیری و استخراج مالت یکی از مهم‌ترین جنبه‌های تکنولوژیکی استفاده از دانه جو محسوب می‌شود و در بسیاری از کشورها این صنعت به عنوان یکی از محورهای درآمدزایی و مؤلفه‌های مؤثر در رشد اقتصادی در حوزه کشاورزی شناخته شده است. در ایران جو از نظر سطح زیرکشت و تولید بعد از گندم در جایگاه دوم قرار دارد و از طرف دیگر تغییرات اقلیمی سبب شده است که بسیاری از اراضی قابل کشت دستخوش کم‌آبی و سایر تنش‌های محیطی از جمله شوری شوند. از این رو نظر به تحمل بالای جو به انواع تنش‌های محیطی، لازم است به‌نژادگران علاوه بر توجه به پتانسیل تولید و پایداری عملکرد دانه به کیفیت دانه و ارزش غذایی آن نیز توجه نموده تا بتوان در حوزه صنعت نیز حداکثر بهره‌وری از این غله با ارزش به عمل آید.

References

- Agricultural Statistics (2020–2021 Cropping Year). 2022. Crop Plants. Ministry of Agriculture-Jahad, pp, 1–100. [In Persian].
- Agu, R.C. 2003. Some relationships between malted barleys of different nitrogen levels and the wort properties. *Journal of the Institute of Brewing*, 109 (2), 106-109. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2003.tb00137.x>
- Ahmadi, K., Hatami, H., Abdeshah, F., & Kazemian, V. 2020. Agricultural Statistics (2019–2020 Cropping Year): Crop Plants. Ministry of Agriculture-Jahad 1, 97. [In Persian].
- Armitage, D. M., Cook, D. A., & Baxter, D. E. 2002. Farm-Scale experiments to compare infestation and quality changes in malting barley stored at three moisture contents. *Journal of the Institute of Brewing*, 108, 178-186. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2002.tb00538.x>
- Bader Ul Ain, H., Saeed, F., Arshad, M. U., Ahmad, N., Nasir, M. A., Amir, R. M., Kausar, R., & Niaz, B. 2018. Modification of barley dietary fiber through chemical treatments in combination with thermal treatment to improve its bioactive properties. *International Journal of Food Properties*, 21 (1), 2491–9. <https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1528454>
- Baik, B. K., & Ullrich, S. E. 2008. Barley for food: Characteristics, improvement, and renewed interest. *Journal of Cereal Science*, 48 (2), 233–42. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.02.002>
- Briggs, D. E. 1990. *Malting And Brewing Science (Malt and sweet Wort)*. Chapman & Hall, London.
- Briggs, D. E. 1998. *Malt and malting*. Blackie academic and profession. London.
- Briggs, D. E. 2012. Malt modification – A century of evolving views. *Journal of the Institute of Brewing*, 108 (4), 395-405. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2002.tb00567.x>
- Chakraborty, S., & Newton, A. 2011. Climate change, plant diseases and food security, an overview. *Plant Pathology*, 60, 2-14. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02411.x>
- Cook, A. H. 1962. *Barley and malting biology, biochemistry, technology*. Academic Press, New York and London.
- De Paula, R., Abdel-Aal, E. S. M., Messia, M. C., Rabalski, I., & Marconi, E. 2017. Effect of processing on the beta-glucan physicochemical properties in barley and semolina pasta. *Journal of Cereal Science*, 75, 124–31. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.03.030>
- Do, T. D. T., Cozzolino, D., Muhlhausler, B., Box, A., & Able, A. J. 2015. Antioxidant capacity and vitamin E in barley: Effect of genotype and storage. *Food Chemistry*, 187, 65–74. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.028>
- Eneje, L. O. Ogu, E. O. Aloh, C. U. Oidbo, F. J. C. Agu, R. C., & Palmer, G. H. 2004. Effect of steeping and germination time on malting performance of Nigerian white and yellow maize varieties. *Process Biochemistry*, 39 (8), 1013-1016. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(03\)00202-4](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(03)00202-4)
- Feizipour Nameghi, A., & Hosseini Qaboos, S. H. 2010. *Malt and beer (1st ed.)*. Iranian Agricultural Science Publishing House, Tehran. [In Persian].
- FAO. Special Report: 2019. *FAO Crop and Food Supply Assessment Mission to the Syrian Arab Republic—December 2021*; FAO: Rome, Italy, 2019.
- Farag, M., Xiao, J., & Abdalla, H. M. 2020. Nutritional value of barley cereal and better opportunities for its processing as a value-added food: a comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62 (4), 1092-1104. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1835817>
- Fatemi, F., Kianersi, F., Pour-Aboughadareh, A., Poczai, P., & Jadidi, O. 2022. Overview of identified genomic regions associated with various agronomic and physiological traits in barley under abiotic stresses. *Applied Science*, 12, 5189. <https://doi.org/10.3390/app12105189>
- Ghazvini, H., Bagherikia, S., Pour-Aboughadareh, A., Sharifalhossaini, M., Razavi, S. A., Mohammadi, S., Ghasemikalkhoran, M., Fathihafshejania, A., & Khakizadeh, G. 2022. GGE biplot analysis of promising barley lines in the cold regions of Iran. *Journal of Crop Improvement*, 36, 461–472. <https://doi.org/10.1080/15427528.2021.1977448>
- Gianinetti, A., Toffoli, F., Cavallero, A., Delogu, G., & Stanca, A. M. 2005. Improving discrimination for malting quality in barley breeding programmes. *Field Crops Research*. 94, 189-200. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.01.002>
- Gupta, M., Abu-Ghannam, N., & Gallagher, E. 2010. Barley for brewing: Characteristic changes during malting and application of its by-products. *Comprehensive Review in Food Science and Food Safety*, 9, 318-328. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00112.x>
- Hebelstrup, K. H., Nielsen, M. M., Carciofi, M., Andrzejczak, O., Shaik, S. S., Blennow, A., & Palcic, M. M. 2017. Waxy and non-waxy barley cultivars exhibit differences in the targeting and catalytic

- activity of GBSS1a. *Journal of Experimental Botany*, 68 (5), 931–941. <https://doi.org/10.1093/jxb/erw503>
- Holmberg, J. E., Hamalainen, J. J., Reinikainen, P., & Olkku, J. 2002. A model for predicting the effects of steeping program on the germination of barley with different water sensitivities. *Journal of the Institute of Brewing*, 108, 416–423. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2002.tb00538.x>
- Huang, H., Gao, X., Li, Y., Tian, P., Nima, Y., Laba, Z., Ci, Z., Wei, X., Qu, J., Guan, W., & Liao, W. 2020. Content analysis of vitamins, dietary fibers and amino acids in a wide collection of barley (*Hordeum vulgare* L.) from Tibet, China. *Bioinformation*, 16 (4), 314–322. <https://doi.org/10.6026/97320630016314>
- Jacob, J., & Pescatore, A. 2012. Using barley in poultry diets—A review. *Journal of Applied Poultry Research*, 21 (4), 915–40. <https://doi.org/10.3382/japr.2012-00557>
- Jones, B. L. 2005. Endoprotease of barley and malt. *Journal of Cereal Science*, 42, 139–156. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2005.03.007>
- Jones, B. L., & Budd, A. D. 2005. How various malt endoproteinase classes affect wort soluble protein levels? *Journal of Cereal Science*, 41 (1), 95–106. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2004.09.007>
- Khetarpaul, N., Grewal, R., & Jood, S. 2005. *Bakery science and cereal technology*. Daya Publishing House, Dehli.
- Kutman, U. B., Yildiz, B., Ozturk, L., & Cakmak, I. 2010. Biofortification of durum wheat with zinc through soil and foliar applications of nitrogen. *Cereal Chemistry*, 87, 1–9. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-87-1-0001>
- Langenaeken, N. A., De Schepper, C. F., De Schutter, D. P., & Courtin, C. M. 2019. Different gelatinization characteristics of small and large barley starch granules impact their enzymatic hydrolysis and sugar production during mashing. *Food Chemistry*, 295, 138–46. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.045>
- Majcher, M. A., Klensporf-Pawlik, D., Dziadas, M., & Jelen, H. H. 2013. Identification of aroma active compounds of cereal coffee brew and its roasted ingredients. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61 (11), 2648–54. <https://doi.org/10.1021/jf304651b>
- Schwarz, Y., Barr, J. M., & Horsley, R. D. 2008. Factors predicting malt extract within a single barley cultivar. *Journal of Cereal Science*, 48, 531–538. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.12.004>
- Sharma, P., & Kotari, S. L. 2017. Barley: Impact of processing on physicochemical and thermal properties. A review. *Food Reviews International*, 33 (4), 359–81. <https://doi.org/10.1080/87559129.2016.1175009>
- Sullivan, P., Arendt, E., & Gallagher, E. 2013. The increasing use of barley and barley by-products in the production of healthier baked goods. *Trends in Food Science and Technology*, 29 (2), 124–34. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.10.005>
- Vasanthan, T., Gaosong, J., Yeung, J., & Li, J. 2002. Dietary fiber profile of barley flour as affected by extrusion cooking. *Food Chemistry*, 77 (1), 35–40. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(01\)00318-1](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00318-1)
- Zhang, G., Chen, J., Wang, J., & Ding, S. 2001. Cultivar and environmental effects on (1–3, 1–4)- β -glucan and protein content in malting barley. *Journal of Cereal Science*, 34, 295–301. <https://doi.org/10.1006/jcrs.2001.0414>