

فصل سوم

اصلاح چغندر قند

اباذر رجبی، ممسن آقاییزاده، ممدرضا اوراضی‌زاده و سعید وامدی

مقدمه

در سال ۱۷۴۷ شیمیدان آلمانی - آندراس مارگراف - دریافت که در ریشه چغندر، قندی شبیه قند نیشکر وجود دارد و برای اولین بار این قند را - که مقدار آن در حدود یک درصد بود - استخراج کرد. پس از مارگراف، شاگرد وی - آشارد - تحقیقاتی را از سال ۱۷۸۶ در زمینه انتخاب واریته‌های قندی از میان چغندر علوفه‌ای شروع کرد و موفق شد چغندر ریشه سفید Silesian را - که منشاء چغندره‌های امروزی را تشکیل می‌دهد - کشف کند. درصد قند این چغندر حدود شش درصد بود. آشارد، اولین کارخانه قند را در سال ۱۸۰۲ تأسیس کرد. کار آشارد را خانواده ون‌کویی ادامه دادند و پس از آن، اصلاح چغندر به وسیله لوئی ویلمورن شروع شد. در سایه این فعالیت‌های اصلاحی، درصد قند چغندر در سال ۱۸۳۰ به حدود نه درصد و در سال ۱۸۶۰ به ۱۴ درصد افزایش یافت.

عیار قند ریشه چغندر قند تا سال ۱۸۵۶، با تعیین وزن مخصوص ریشه‌ها ارزیابی می‌شد. مهم‌ترین پیشرفت در اصلاح درصد قند زمانی حاصل شد که اصلاح‌گران، پلاریمتر را به خدمت گرفتند و در سال ۱۸۷۹، پلاریمتر جهت تعیین درصد قند خمیر چغندر قند به کار گرفته شد. کشف قوانین مندل و علمی شدن اصلاح نباتات و ادامه‌گزينش، منجر به افزایش درصد قند و عملکرد چغندر قند شد به طوری که، امروزه درصد قند به بیش از ۲۰ درصد رسیده است. از جمله پیشرفت‌های عمده در اصلاح چغندر قند می‌توان به کشف خاصیت منورمی در

چغندر قند توسط ساویتسکی در سال ۱۹۴۸ و کشف نرعقیمی ژنتیکی - سیتوپلاسمی توسط آون در سال ۱۹۴۲ اشاره کرد. این دو کشف بزرگ، تحول شگرفی در اصلاح چغندر قند ایجاد کرد به طوری که اصلاح واریته‌های امروزی مستلزم به کارگیری این دو صفت است. سایر پیشرفت‌های مهم در اصلاح چغندر قند عبارتند از: معرفی هیبریدهای تریپلوئید، اصلاح شکل ریشه و اصلاح برای مقاومت به بولتینگ و بیماری‌ها. مجموعه این عملیات اصلاحی نقش بسیار مهمی در افزایش عملکرد و کیفیت چغندر قند داشته است.

تاریخچه اصلاح چغندر قند در ایران

روند اصلاح چغندر قند در ایران را می‌توان به چهار دوره تقسیم کرد:

الف. دوره اول (۱۳۴۰-۱۳۲۰): استفاده از رقم‌های دیپلوئید مولتی ژرم با گرده‌افشانی باز. اولین رقم ایرانی چغندر قند در سال ۱۳۲۰ - با همت مرحوم قره‌باغی - تهیه شد. روش‌های متداول در اصلاح چغندر قند در ایران در این دوره عبارت بودند از: انتخاب توده‌ای، انتخاب تک‌بوته همراه با آزمون نتاج و روش پلی‌کراس که از مهم‌ترین روش‌های سلکسیون بود و از طریق آن دیپلوئیدهای گرده‌افشان باز ۷۲۳۳، ۸۰۰۱ و رقم‌های پلی‌کراس PC.8 و PC.10 معرفی شدند.

ب. دوره دوم (۱۳۵۰-۱۳۴۰): با پیدا شدن تتراپلوئیدی در چغندر قند، در این دوره، رقم‌های پلی‌پلوئید تهیه شد که حاصل ترکیب دیپلوئید و تتراپلوئید گرده‌افشان باز بودند. مهم‌ترین رقم‌های معرفی شده در این دوره عبارت بودند از رقم‌های پلی‌پلوئید PP8، PP18، PP22 و PP35.

پ. دوره سوم (۱۳۶۵-۱۳۵۰): در این دوره استفاده از نرعقیمی سیتوپلاسمی و تولید آن در کشور شروع شد و بر این اساس، رقم‌های هیبرید مولتی ژرم که حاصل ترکیب والدین گرده‌افشان دیپلوئید یا تتراپلوئید با والد نرعقیم سیتوپلاسمی مولتی ژرم بودند، تولید شدند. در این دوره، همچنین مقدمات تهیه رقم‌های متحمل به ساقه‌روی (بولتینگ) آغاز شد. رقم‌های IC6201، IC6202 و IC6203 حاصل فعالیت‌های این دوره است.

ت. دوره چهارم (۱۳۶۵ تاکنون): استفاده از رقم‌های هیبرید منوژرم که حاصل ترکیب والدین گرده‌افشان دیپلوئید یا تتراپلوئید با والد نرعقیم سیتوپلاسمی منوژرم است. به کارگیری تکنیک نرعقیمی ژنتیکی - سیتوپلاسمی همراه با بهره‌گیری از خاصیت منوژرمی در این دوره منجر به تولید رقم‌های منوژرم هیبرید دیپلوئید و تریپلوئید در کشور شده است که از جمله این رقم‌های می‌توان به رقم‌های رسول (تریپلوئید)، شیرین، جلگه (تریپلوئید)، گدوک و زرقان و پارس (متحمل به ریزومانیا) اشاره کرد. همچنین، یک رقم جدید مولتی ژرم تجارتمتحمیل به ریزومانیا و پوسیدگی ریزوکتونیایی ریشه به نام جام نیز در سال ۱۳۸۹ معرفی شد. افزون بر این، دو هیبرید جدید

امیدبخش به نام‌های SBSI004 و SBSI006 - که متحمل به ریزومانیا هستند و در داخل و خارج از کشور، عملکرد قابل قبولی از خود نشان داده‌اند - در دست معرفی هستند.

روش‌های اصلاح چغندر قند

انتخاب اولیه

این روش از ابتدایی‌ترین روش‌های انتخاب در توده‌های دیپلوئید است که منجر به تهیه رقم‌های پایدار و سازگار با خصوصیات زراعی و تکنولوژیک مطلوب می‌شود.

انتخاب توده‌ای

تا اواسط قرن نوزدهم، روش متداول در اصلاح چغندر قند روش انتخاب توده‌ای بود. این روش شامل مراحل زیر است:

الف. انتخاب تعدادی بوته با خصوصیات مطلوب فنوتیپی - از قبیل اندازه و شکل ریشه، درصد قند و مقاومت به بیماری‌ها - از داخل یک جامعه که دارای تنوع ژنتیکی برای صفت مورد نظر است.

ب. گرده‌افشانی آزاد بین بوته‌های انتخاب شده

پ. برداشت بذر به صورت بالک و استفاده از آن به عنوان یک جامعه جدید.

از روش انتخاب توده‌ای به‌ویژه در اصلاح رقم‌های چغندر قند مقاوم به بیماری‌ها استفاده شده است.

انتخاب با آزمون نتاج (به‌نژادی رگه)

انتخاب بر اساس فنوتیپ گیاهان در مواقعی که وراثت‌پذیری صفت پایین است، روش مناسبی برای اصلاح چغندر قند محسوب نمی‌شود. لذا روش آزمون نتاج در اواسط قرن نوزدهم توسط لوئی ویلمورن ابداع و برای افزایش شکر دنبال شد. در این روش - که می‌تواند ادامه روش انتخاب توده‌ای محسوب شود - حدود ۲۰۰-۱۰۰ ریشه که در انتخاب توده‌ای صفت خوبی نشان داده‌اند انتخاب و از آن‌ها به روش گرده‌افشانی باز، بذر تهیه می‌شود. سپس بذره‌های هر بوته را به‌طور جداگانه کاشته و آن‌ها را از حیث میزان محصول و یا مقاومت به بیماری مقایسه می‌کنند و از روی این اطلاعات، ۱۰-۵ ریشه مادری اولیه انتخاب و جهت تهیه بذر در کنار یکدیگر کاشته می‌شوند. بذره‌های حاصل را مجدداً کاشته و به همان ترتیب در نتاج آن‌ها انتخاب را انجام می‌دهند. روش انتخاب نتاج یا انتخاب فامیلی بسته به اینکه آیا یک یا هر دو والد شناخته شده‌اند، شامل

دو روش نیمه‌فامیلی^۱ و تمام‌فامیلی^۲ است:

الف. انتخاب نیمه‌فامیلی (HSF): در این روش، گیاهان انتخاب شده در سال اول به همان روش انتخاب توده‌ای و به صورت گرده‌افشان باز با یکدیگر ترکیب و بذره‌ای هر بوته - که یک فامیل نیمه‌خواهری هستند - جداگانه برداشت می‌شوند. بنابراین، در این روش والد مادری هر فامیل نیمه‌خواهری همان بوته‌ای است که بذر از روی آن برداشت می‌شود در حالی که، والد پدری آن نامعلوم است چون گرده از کل جمعیت - یعنی از مجموع بوته‌ها - دریافت می‌شود. بذره‌ای تک‌بوته‌ها در آزمایش‌های تکراردار برای عملکرد ریشه و سایر خصوصیات آزمون، و بهترین فامیل‌ها شناسایی می‌شوند. بذره‌ای فامیل‌های انتخاب شده در اشتکلینگ برای ترکیب با یک نرعقیم سیتوپلاسمی (CMS) کاشته می‌شوند. هیبریدهای تست کراس مجدداً آزمون شده و در نهایت، پس از چند آزمون مزرعه‌ای تعدادی فامیل نیمه‌خواهری انتخاب و با یکدیگر ترکیب شده و به‌عنوان یک گرده‌افشان باز جهت تهیه رقم‌های تجارتي مورد استفاده قرار می‌گیرند.

ب. انتخاب تمام‌فامیلی (FSF): این روش از موفقیت بیشتری نسبت به روش قبلی برخوردار است، چون والدین هر فامیل تمام‌خواهری از دو گیاه تشکیل شده‌اند در حالی که در روش نیمه‌فامیلی، تعداد زیادی فرد در تولید هر نتاج دخالت دارند. ترکیب دو گیاه با یکدیگر معمولاً در داخل قفس صورت می‌گیرد. پس از تلاقی بین دو گیاه، بذر فامیل تمام‌خواهری حاصله در مزرعه آزمون می‌شود. بذره‌ای این فامیل‌ها به‌صورت اشتکلینگ نیز کشت می‌شوند تا پس از بررسی نتایج مزرعه، بهترین فامیل شناسایی و با والد نرعقیم سیتوپلاسمی تست کراس شوند. فامیل‌های انتخابی در سال بعد با همدیگر آمیزش یافته و یک توده پیشرفته تولید می‌شود. از روش انتخاب تمام‌فامیلی برای تولید گرده‌افشان‌های دیپلوئید و تتراپلوئید جهت تهیه رقم‌های تجارتي استفاده می‌شود.

انتخاب دوره‌ای

مهم‌ترین صفت برای یک رقم چغندر قند، تولید قند بیشتر در واحد سطح است. همچنین، پایین بودن میزان ناخالصی‌ها و مقاومت ژنتیکی در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده حائز اهمیت است. روش‌های انتخاب توده‌ای و فامیلی اگرچه در ابتدا نتایج خوبی دربر دارد اما بازده آن‌ها به سرعت کاهش می‌یابد. روش‌های انتخاب دوره‌ای منجر به افزایش فراوانی ترکیبات ژنی با اثرات افزایشی و غیرافزایشی می‌شود و این امر باعث بهبود این صفات خواهد شد. انتخاب دوره‌ای، برای اولین بار در گیاه ذرت استفاده و سپس در گیاهان دیگر متداول شد. چهار روش انتخاب دوره‌ای وجود

1. Half-sib family selection
2. Full-sib family selection

دارد:

الف. انتخاب دوره‌ای ساده که فقط بر اساس آزمون نتاج حاصل از اولین نسل خودگشنی (S_1) صورت می‌گیرد.

ب. انتخاب دوره‌ای برای ترکیب‌پذیری عمومی که انتخاب بر اساس آزمون نتاج تست کراس (هیبریدها) صورت می‌گیرد.

پ. انتخاب دوره‌ای برای ترکیب‌پذیری خصوصی که انتخاب بر اساس اطلاعات مربوط به نوسان ترکیب‌پذیری خصوصی تلاقی‌ها انجام می‌شود.

د. انتخاب دوره‌ای متقابل یا دوجانبه که در آن دو جمعیت دخالت دارند و هر جمعیت بر اساس ترکیب‌پذیری عمومی اصلاح می‌شود. این روش مؤثرتر از سایر روش‌های انتخاب دوره‌ای است. امروزه از روش انتخاب دوره‌ای استفاده‌های زیادی برای تهیه اُتایپ^۳ و نرعقیم، پایه‌های سلف استریل و نربارور می‌شود.

تهیه رقم‌های مصنوعی در چغندر قند

رقم‌های مصنوعی دیپلوئید

در گذشته و در رقم‌های دیپلوئید، با تکثیر جداگانه رگه‌ها یا لاین‌ها و سپس تلاقی آن‌ها با همدیگر، یک جامعه مصنوعی به دست می‌آوردند و نسل اول (F_1) را به عنوان بذر تجارتي در اختیار زارع قرار می‌دادند. این روش تا قبل از پیدایش نرعقیمی سیتوپلاسمی رواج داشت. رگه‌ها یا لاین‌های تشکیل‌دهنده رقم‌های مصنوعی معمولاً از فامیل‌ها یا جمعیت‌های غیریکنواخت (هتروژن) هستند که از طریق انتخاب نتاج به دست آمده‌اند. معمولاً عملکرد، عیار قند، ناخالصی‌ها، مقاومت به بولتینگ و غیره در جمعیت‌ها تعیین و آن‌هایی که نتیجه خوبی دارند، برای تعیین ترکیب‌پذیری عمومی آزمون می‌شوند. این عمل می‌تواند با یک آزمون تاپ کراس، پلی کراس و یا سینگل کراس انجام گیرد. معمولاً نتاج در چند منطقه و چند سال آزمون می‌شود.

رقم‌های مصنوعی پلی‌پلوئید یا آنیزوپلوئید

در این روش، بذر بوته‌های دیپلوئید و تتراپلوئید به نسبت ۲۵ درصد دیپلوئید و ۷۵ درصد تتراپلوئید مخلوط و بوته‌های حاصل به صورت آزاد، گرده‌افشانی می‌شوند. بذر حاصل، مخلوطی از دیپلوئید، تریپلوئید و تتراپلوئید است. در این روش، فراوانی گیاهان تریپلوئید بیشتر از دیپلوئیدها

و تراپلویدهاست (۷۰-۶۰ درصد). این روش، جایگزین روش تهیه رقم‌های مصنوعی دیپلوئید شد ولی با پیدایش نرعقیمی سیتوپلاسمی توسط آون در سال ۱۹۴۵، این روش نیز جای خود را به روش تهیه هیبرید خالص داد.

اصلاح به روش تهیه هیبرید

این روش - که در حال حاضر جدیدترین روش اصلاح است - نقش بسیار اساسی در اصلاح چغندر قند ایفا کرد که اولین نقش آن تهیه گیاهان F_1 خالص بود. امروزه تمام کشورهای چغندر خیز جهان با استفاده از این روش، رقم‌های خود را اصلاح و در اختیار کشاورزان قرار می‌دهند. برای تهیه هیبرید خالص، نیاز به والد نرعقیم یا میل استریل است. بنابراین، لازم است مروری گذرا بر نرعقیمی و انواع آن داشته باشیم.

در گیاهان نرعقیم، پرچم‌ها قادر به تولید دانه‌گرده نیستند. منشاء نرعقیمی، تمام رقم‌های آزادگرده افشان دیپلوئید و جد وحشی چغندر قند (بتا ماریتیم) ^۴ است. در طبیعت، نرعقیمی به دو صورت دیده می‌شود:

الف. نرعقیمی ژنتیکی مندلی که عامل عقیمی به ژن مغلوب aa بستگی دارد. این نوع نرعقیمی، به علت پیچیدگی، چندان مورد استفاده قرار نمی‌گیرد.

ب. نرعقیمی ژنتیکی - سیتوپلاسمی $[(S)xxzz]$ که برای تولید رقم‌های هیبرید مناسب است. هرگاه از تلاقی یک گیاه با نرعقیمی ژنتیکی - سیتوپلاسمی - که در یک جمعیت دیپلوئید پیدا شده است - با یک اُتایپ انتخابی، نتاج نرعقیم به دست آید، ثابت می‌شود که این گیاه می‌تواند منبع جدیدی از نرعقیمی سیتوپلاسمی باشد. برای رسیدن به این مرحله، حداقل شش بار تلاقی برگشتی لازم است.

هم‌زمان با پیدایش نرعقیمی سیتوپلاسمی، خاصیت منورزمی نیز در سال ۱۹۵۰ توسط ساویتسکی کشف شد و این دو پدیده سیستم اصلاح چغندر قند را متحول ساختند. تهیه رقم‌های هیبرید در چغندر قند شامل مراحل زیر است:

الف. تهیه لاین‌ها یا رگه‌های حفظ‌کننده نرعقیمی (اُتایپ) و رگه‌های نرعقیم معادل آن‌ها: در تهیه هیبریدهای تجارتي، یکی از والدین باید نرعقیم باشد که تهیه خود آن نیاز به وجود رگه‌های خالص حفظ‌کننده نرعقیمی (یا اُتایپ) دارد. آون اولین بار در سال ۱۹۵۰، خاصیت اُتایی را در چغندر قند کشف کرد و اظهار داشت که اُتایپ‌ها با فراوانی ۳-۵ درصد در اغلب توده‌های گرده افشان دیپلوئید وجود دارند. اما، تجربه نشان می‌دهد که پیدا کردن اُتایپ‌هایی که قادر به

حفظ ۱۰۰ درصد نر عقیمی باشند، آسان نیست. برای این منظور، رگه مورد نظر را با رگه نر عقیم تلاقی داده و به روش تلاقی برگشتی مکرر، گیاهان حفظ کننده نر عقیمی سیتوپلاسمی را شناسایی می کنند. گیاهانی که پس از ۴-۵ نسل تلاقی برگشتی با رگه حفظ کننده نر عقیمی، ۱۰۰ درصد عقیم باشند، هر دو رگه را شناسایی و حفظ می کنند. معمولاً برای رگه نر عقیم، یک اُتایپ ثانویه نیز تهیه می کنند تا ضعف و ناتوانی آن کاسته شود و این عمل با سینگل کراس کردن پایه نر عقیم با اُتایپ ثانویه حاصل می شود (شکل ۳-۱).

نگهداری لاین های اُتایپ به علت وجود خودناسازگاری^۵ مشکل است. برای نگهداری آن ها می توان از روش های (۱) تکثیر غیر جنسی، (۲) تلاقی با لاین های اُتایی که دارای آلل های مختلف ناسازگاری هستند و (۳) وارد کردن آلل خودباروری (Sf) استفاده کرد.

ب. تهیه گرده افشان دیپلوئید یا تتراپلوئید: معمولاً گرده افشان ها را بر اساس روش های سلکسیون، آزمون نتاج، انتخاب نیمه فامیلی، انتخاب تمام فامیلی و یا گزینش دوره ای به دست می آورند. پس از انتخاب گرده افشان ها، آنها را با یک نر عقیم سیتوپلاسمی ترکیب و ترکیب پذیری آنها را مطالعه و بهترین ترکیب را تعیین می کنند تا به عنوان گرده افشان در تهیه هیبریدها استفاده شود. مواد ژنتیکی چغندر قند به تیمار کلشی سین به راحتی پاسخ می دهند. بنابراین، می توان سطح پلوئیدی را از دیپلوئید به تتراپلوئید افزایش داد. بوته ها پس از ورنالیزه شدن و قبل از گلدهی، باید از نظر تعداد کروموزوم در نسل های مختلف کنترل شوند (شکل ۳-۱).

اصلاح بعدی تتراپلوئیدها - به ویژه زمانی که قرار است به عنوان والد گرده دهنده یک هیبرید تریپلوئید استفاده شوند - کار ساده ای نیست. بنابراین، بهتر است گزینش شدید برای صفات مهم در سطح دیپلوئیدی و قبل از دوبرابر شدن تعداد کروموزوم ها صورت گیرد، زیرا در تتراپلوئیدها پاسخ به گزینش کندتر است و وراثت صفات دارای ماهیت تترازومیکی است.

پ. تهیه بذر هیبرید: اگر هدف تولید بذر هیبرید دیپلوئید باشد باید نر عقیم سیتوپلاسمی را با گرده افشان مولتی ژرم دیپلوئید ترکیب کرد. کنترل در پایه های نر عقیمی برای خلوص آنها ضروری است. بذر حاصل ۷۵ درصد دیپلوئید هیبرید و ۲۵ درصد دیپلوئید مولتی ژرم گرده افشان است. ولی اگر هدف تهیه و تولید بذر هیبرید تریپلوئید باشد، معمولاً گرده افشان را تتراپلوئید مولتی ژرم انتخاب می کنند. در این روش نیز به نسبت ۷۵ درصد نر عقیم و ۲۵ درصد گرده افشان منظور می شود که پس از تلاقی، بذر حاصل ۷۵ درصد هیبرید خواهد بود. در روند فرآوری بذر رقم های مولتی ژرم که در حال حاضر به صورت مخلوط تولید می شود، می توان تا حدودی پایه

5. Incomaptability



شکل ۳-۱. مراحل تهیه سینگل کراس و هیبرید منوزوم تریپلوئید چغندر قند

پدری را - که معمولاً درشت تر از پایه مادری است - حذف کرد. اما در هیبریدهای منوزوم، به دلیل جدا بودن والد‌ها، پایه پدری پس از گرده افشانی حذف می شوند.

برای اینکه اهمیت اصلاح چغندر قند بیشتر روشن شود، در شکل ۳-۱ به عنوان نمونه مراحل تهیه سینگل کراس و رقم هیبرید منوژرم تریلوئید چغندر قند نشان داده شده است. با توجه به این شکل، ملاحظه می شود که برای رسیدن به یک رقم هیبرید منوژرم تریلوئید، ۱۴ سال زمان لازم است.

امروزه از روش های به نژادی مولکولی و بیوتکنولوژی - کشت بافت و مهندسی ژنتیک - به طور وسیعی برای افزایش کارایی روش های متداول اصلاح چغندر قند استفاده می شود. به طوری که با به کارگیری این فن آوری ها، رقم های مقاوم به آفات و بیماری ها تهیه و در مناطق چغندر خیز دنیا - از جمله ایران - در اختیار کشاورزان قرار داده می شود.

چشم انداز آینده

روند رو به رشد قیمت جهانی شکر و نیاز بازار جهانی به این محصول مهم از یک طرف و گسترش سطح مناطق آلوده به بیماری های مهم - از جمله ریزومانیا، ریزوکتونیا و نماتد - از طرف دیگر، ایجاب می کند تا تحقیقات و فعالیت های اصلاحی برای افزایش ظرفیت تولید محصول این گیاه با بهره گیری از منابع متنوع تر ژنتیکی ادامه یابد. از آنجایی که در برخی مناطق، دو یا سه بیماری با هم اتفاق می افتند، لذا تهیه رقم های چند مقاومته از اهمیت ویژه ای برخوردار خواهد بود. کمبود منابع آب و پایین رفتن سطح سفره های زیرزمینی آب در مناطق خشک و نیمه خشک از جمله ایران و شور شدن تدریجی خاک و آب در این مناطق - به علت تبخیر زیاد - موجب توجه بیشتر به نژاد گران به تهیه رقم های متحمل به تنش های محیطی خواهد شد. تهیه رقم های مناسب با طول دوره رشد کوتاه برای مناطقی که در اوایل فصل رشد چغندر قند دچار محدودیت آب آبیاری هستند، می تواند یک هدف مهم اصلاحی باشد. محدودیت منابع آبی همچنین موجب توجه بیشتر به توسعه کشت پاییزه چغندر قند در مناطق مختلف دنیا از جمله ایران خواهد شد کما اینکه کشورهایی مانند اسپانیا و ایتالیا اقدام به کشت چغندر قند پاییزه کرده اند. کشورهای دیگری از قبیل مراکش، مصر و سودان نیز به تدریج در حال کاستن از سطح زیر کشت نیشکر و اختصاص آن به کشت چغندر قند هستند.

محدودیت سوخت های فسیلی و منابع انرژی تجدیدناپذیر موجب خواهد شد تا بخشی از انرژی مورد نیاز از جمله سوخت خودروها از منابع گیاهی (سوخت زیستی یا سوخت سبز) تأمین شود که در این میان، چغندر قند به علت دارا بودن پتانسیل بالای تولید بیوماس در واحد سطح از جایگاه مناسبی برخوردار است.

منابع مورد استفاده

- رجبی، ا. ۱۳۸۲. اهمیت پایه‌های گرده‌افشان دیپلوئید و تتراپلوئید در تولید رقم‌های هیبرید چغندر قند. سخنرانی ارائه شده در کارگاه آموزشی «به‌نژادی چغندر قند». مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، کرج.
- رنجی، ذ.، ا. رجبی، س. واحدی و م.ر. اوراضی‌زاده. ۱۳۸۶. به‌نژادی چغندر قند و خصوصیات رقم‌های تجارتي. مجموعه مقالات اولین همایش زراعت چغندر قند. ۱۹ اردیبهشت. مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، کرج.
- میدلبرگ، ک. ۱۳۸۲. کارگاه آموزشی «اصلاح کاربردی چغندر قند». مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، کرج.
- Biancardi, E., L.G. Campbell, G.N. Skaracis and M. De Biaggi. 2005. Genetics and breeding of sugar beet. Science Publishers, Inc. Enfield (NH), USA. 388 pp.
- Bosemark, N.O. 1993. Genetics and breeding. In: D.A. Cooke and R.K. Scott (eds.). The sugar beet crop, science into practice. Chapman and Hall, London, UK. pp: 67-119.
- Doney, D.L. and J.C. Theurer. 1978. Reciprocal recurrent selection in sugar beet. Field Crops Research. 1: 173-181.
- Draycott, A.P. 2006. Sugar beet. Blackwell Publishing. 496pp.
- Hecker, R.J. 1967. Evaluation of three sugar beet breeding methods. J.ASSBT. 14: 305-331.
- Hecker, R.J. 1978. Recurrent and reciprocal recurrent selection in sugar beet hybrids. Crop Science. 18: 805-809.
- Sleppey, D.A. and J.M. Poehlman. 2006. Breeding field crops. 5th Edition, Iowa State Press. Ames, USA. 424 pp.
- Smith, G.A. 1987. Sugar beet. In: W.R. Fehr (ed.). Principles of cultivar development. McMillan, New York, pp: 577-625.