



جمهوری اسلامی ایران



وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات خاک و آب



دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه کنبج

نگارندگان

مختار زلفی باوریانی^۱، فریدون نورقلی پور^۲، سید علی غفاری نژاد^۳، محمد
رضا رفیع^۴، حسن حقیقت نیا^۵ و مجید رجایی^۶

^۱ عضو هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی بوشهر

^{۲،۳} اعضای هیات علمی موسسه تحقیقات خاک و آب

^۴ عضو هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

^{۵،۶} اعضای هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس

نشریه فنی: ۵۸۹

۱۳۹۸

عنوان و نام پدیدآور	دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه کنجد/ مختار زلفی باوریانی ... [و دیگران]
مشخصات نشر	کرج: موسسه تحقیقات خاک و آب، ۱۳۹۸.
مشخصات ظاهری	۴۸ ص.: مصور (بخشی رنگی)، جدول، نمودار (رنگی).
فروست	موسسه تحقیقات خاک و آب: نشریه فنی ۵۸۹، پژوهشی؛ ۲.
شابک	978-622-6705-17-2
وضعیت فهرست نویسی	فیبا
یادداشت	نگارندگان مختار زلفی باوریانی، فریدون نورقلی پور، سیدعلی غفاری نژاد، محمدرضا رفیع، حسن حقیقت نیا و مجید رجایی.
یادداشت	یادداشت: کتابنامه: ص. ۳۸-۴۰
موضوع	کنجد -- ایران -- تغذیه -- دستنامه ها
موضوع	Scsanc – Iran – Nutrition – Handbooks, manuals, etc
موضوع	خاک -- ایران -- حاصلخیزی -- دستنامه ها
موضوع	Soil productivity – Iran – Handbooks, manuals, etc
شناسه افزوده	زلفی باوریانی، مختار، ۱۳۴۸-
شناسه افزوده	موسسه تحقیقات خاک و آب
شناسه افزوده	Soil & water research institute
رده بندی کنگره	SB2۹۹
رده بندی دیویی	۶۳۳/۸۵
شماره کتابشناسی ملی	۶۰۸۳۷۳۹

عنوان: دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه کنجد
نگارندگان: مختار زلفی باوریانی، فریدون نورقلی پور، سید علی غفاری نژاد، محمد رضا رفیع، حسن حقیقت نیا و مجید رجایی
ناشر: موسسه تحقیقات خاک و آب
لیتوگرافی، چاپ و صحافی: انتشارات سنا
کارشناس انتشارات: زهرا محمدی
ویراستار: زهرا محمدی
صفحه آرا: سمانه پورمنصور
طراح جلد: راضیه محمدی
شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۶۷۰۵-۱۷-۲
شمارگان:
قیمت:

سال انتشار: ۱۳۹۸

نشانی: کرج، میدان استاندارد، جاده مشکین دشت، بعد از رزکان نو، بلوار امام خمینی (ره)، موسسه تحقیقات خاک و آب، کد پستی: ۳۱۷۷۹۹۳۵۴۵ - صندوق پستی: ۳۱۷۸۵-۳۱۱
تلفن: ۰۲۶-۳۶۲۰۱۹۰۰ دورنگار: ۰۲۶-۳۶۲۱۰۱۲۱

Website: www.swri.ir

Email: info@swri.ir

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

این اثر با شماره ۵۷۲۱۰ در تاریخ ۹۸/۱۲/۲۷ در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به ثبت رسیده است.

نقل مطالب با ذکر منبع بلامانع است.

مسئولیت صحت مطالب به عهده نگارندگان است.



موسسه تحقیقات خاک و آب

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
کلیات.....	۱
مراحل رشد گیاه کنگد.....	۳
آماده سازی زمین.....	۸
خاک.....	۸
مدیریت تلفیقی تغذیه گیاه کنگد.....	۸
مصرف بهینه کودهای شیمیایی.....	۹
روش های تشخیص کمبود عناصر غذایی.....	۱۰
آزمون خاک.....	۱۱
نشانه های ظاهری کمبود عناصر غذایی.....	۱۲
نمونه برداری گیاه برای اطلاع از وضعیت عناصر غذایی.....	۱۳
نشانه های ظاهری کمبود عناصر غذایی پرمصرف و ثانویه.....	۱۵
نشانه های کمبود عناصر غذایی کم مصرف.....	۱۶
روند جذب عناصر غذایی.....	۱۸
توصیه مصرف نیتروژن.....	۲۰
توصیه های منطقه ای نیتروژن (برای شرایطی که آزمون خاک وجود ندارد).....	۲۳
توصیه مصرف فسفر.....	۲۵
توصیه های منطقه ای فسفر.....	۲۷
توصیه مصرف پتاسیم.....	۲۹
توصیه های منطقه ای پتاسیم.....	۳۰
توصیه کاربرد عناصر کم مصرف.....	۳۰
کنترل کمبود آهن.....	۳۰
کنترل کمبود روی.....	۳۲
کنترل کمبود بور.....	۳۲

۳۲	کنترل کمبود منگنز.....
۳۲	نکات فنی عمومی برای محلول پاشی.....
۳۳	مدیریت تغذیه گیاه کنجد در شرایط تنش‌های محیطی.....
۳۳	مدیریت تغذیه گیاه کنجد در شرایط شور.....
۳۵	واکنش گیاه کنجد به شرایط خشکی.....
۳۵	مدیریت آبیاری گیاه کنجد.....
۳۶	نتیجه‌گیری کلی.....
۳۸	منابع.....
۴۱	پیوست‌ها.....
۴۱	شکل‌های پیوست.....
۴۴	جداول پیوست.....
۴۶	پیوست- ارقام رایج کنجد در ایران.....

فهرست شکل‌ها

صفحه

عنوان

- شکل ۱- مرحله جوانه‌زنی و سبز شدن ۴
- شکل ۲- مرحله رشد رویشی کنجد ۵
- شکل ۳- مرحله گل‌دهی کنجد ۶
- شکل ۴- مرحله تشکیل کپسول و دانه کنجد ۷
- شکل ۵- نمای کلی محل بروز نشانه‌های کمبود عناصر به عنوان ۱۳
- شکل ۶- جذب تجمعی نیتروژن برای ارقام مختلف کنجد ۱۵
- شکل ۷- روند جذب فسفر در دانه، گل‌ها/ کپسول‌ها، برگ‌ها و ساقه کنجد ۱۵
- شکل ۸- روند جذب پتاسیم در دانه، گل‌ها/ کپسول‌ها، برگ‌ها و ساقه کنجد ۱۷
- شکل ۹- جذب تجمعی نیتروژن برای ارقام مختلف کنجد در اندام‌های رویشی و زایشی
و ریشه ۱۹
- شکل ۱۰- روند جذب فسفر در دانه، گل‌ها/ کپسول‌ها، برگ‌ها و ساقه کنجد ۲۰
- شکل ۱۱- روند جذب پتاسیم در دانه، گل‌ها/ کپسول‌ها، برگ‌ها و ساقه کنجد ۲۰

موسسه تحقیقات خاک و آب

فهرست جداول

صفحه

عنوان

- جدول ۱- حد بحرانی عناصر غذایی (میلی گرم در کیلوگرم)..... ۱۲
- جدول ۲- غلظت بحرانی عناصر غذایی در گیاهان دانه روغنی..... ۱۴
- جدول ۳- غلظت و جذب عناصر غذایی در دانه و ساقه گیاه کنجد..... ۱۴
- جدول ۴- توصیه کودی کنجد براساس آزمون خاک..... ۲۲
- جدول ۵- مقدار مصرف اوره بر اساس پتانسیل تولید خاک در استان بوشهر..... ۲۳
- جدول ۶- توصیه پیشنهادی مقدار مصرف نیتروژن در جنوب استان کرمان..... ۲۴
- جدول ۷- توصیه پیشنهادی مقدار مصرف نیتروژن برای زراعت کنجد در استان خوزستان..... ۲۴
- جدول ۸- توصیه پیشنهادی مقدار مصرف نیتروژن بر اساس پتانسیل تولید در استان فارس.. ۲۴
- جدول ۹- توصیه کودی فسفر برای گیاه کنجد در استان بوشهر..... ۲۶
- جدول ۱۰- توصیه کودی فسفر برای گیاه کنجد در جنوب استان کرمان..... ۲۷
- جدول ۱۱- توصیه کودی فسفر برای گیاه کنجد در استان خوزستان..... ۲۸
- جدول ۱۲- توصیه کود پتاسیم برای گیاه کنجد در استان بوشهر، کرمان..... ۲۸
- جدول ۱۳- توصیه کود پتاسیم برای گیاه کنجد در جنوب استان فارس..... ۲۹
- جدول ۱۴- توصیه کودی عناصر کم مصرف برای کنجد..... ۳۰
- جدول ۱۵- توصیه کودی عناصر کم مصرف برای گیاه کنجد..... ۳۱
- جدول پیوست ۱- توصیه کودی منطبق بر فنولوژی رشد گیاه کنجد..... ۴۱
- جدول پیوست ۲- ضرایب تبدیل برای عناصر غذایی در کودهای مختلف..... ۴۲

کلیات

کنجد گیاهی روغنی با نام علمی *Sesamum indicum* از خانواده Pedaliaceae است که آبوهوای گرمسیری و نیمه گرمسیری را ترجیح می‌دهد. این گیاه یکی از قدیمی‌ترین دانه‌های روغنی است که آدمی آن را شناخته و مصرف کرده است (El-Nakhlawy و Shaheen, ۲۰۰۹) و به‌عنوان ملکه دانه‌های روغنی معرفی شده است (Langham و همکاران, ۲۰۰۶). هرچند وطن این دانه روغنی آفریقا بوده است اما به‌سرعت به هندوستان، چین و ژاپن پراکنده شد و این کشورها خود به مراکز انتشار ثانوی، تبدیل شدند. در حال حاضر کشور چین، بزرگ‌ترین تولیدکننده کنگد در دنیا است.

براساس منابع موجود، کنگد حداقل چهار هزار سال پیش در ایران، کشت شده است (شهیدی و همکاران, ۱۳۸۷). اکنون نیز زراعت کنگد در نواحی مختلف کشور از جمله استان‌های خراسان، مرکزی، خوزستان، بوشهر، اصفهان، کرمان، فارس و گلستان گسترده است.

کنجد گیاهی یک‌ساله با ارتفاع حدود یک متر که قسمت انتهایی ساقه آن پوشیده از کرک است. برگ‌های آن بیضی شکل، باریک و نوک‌تیز است. گل‌های آن به رنگ سفید و یا قرمز بوده به‌طور تک‌تک در کناره برگ‌های قسمت انتهایی ساقه ظاهر می‌شود. میوه این گیاه به‌صورت کپسول و محتوی دانه‌های کوچک، مسطح و بیضوی است که دانه کنگد نامیده می‌شود. دانه کنگد از نظر کمی و کیفی در ردیف دانه‌های روغنی درجه یک بوده و محتوی ۵۰ تا ۶۰ درصد روغن است. دانه آن حاوی تمامی اسیدهای آمینه ضروری و اسیدهای چرب بوده و منبع خوبی از انواع ویتامین‌های F, E, D, B، لسیتین و نیز برخی مواد معدنی مانند کلسیم و فسفر است. هم‌چنین تفاله آن در تغذیه دام از اهمیت زیادی برخوردار است (Kapoor و همکاران, ۲۰۱۵). روغن کنگد مرکب از حدود ۷۰٪ اسیدهای چرب اشباع نشده مانند لینولئیک اسید، اولئیک اسید و مقداری اسیدهای چرب اشباع شده مانند پالمیتیک اسید و آراشیدیک اسید است. روغن کنگد، یکی از روغن‌های اشباع نشده و مفید برای بدن است.

روغن کنگد حاوی مواد ضد اکسیداسیون Sesamol، Sesamolin و Sesamin است که منحصر به این گیاه بوده و باعث پایداری زیاد آن و در نتیجه دیر اکسید شدن آن می‌شود (شهیدی و همکاران، ۱۳۸۷).

کنجد به عنوان کشت تابستانه می‌تواند در تناوب با غلات قرار گرفته و در برنامه‌ریزی توسعه کشاورزی پایدار مناطق کارآمد باشد. این گیاه ۸/۷ درصد از مساحت سطح برداشت محصولات صنعتی (۴۹۰/۲ هزار هکتار) را در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ معادل ۴۳ هزار هکتار به خود اختصاص داد. در این سال زراعی میزان تولید آن ۴۳ هزار تن بود (آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۶).

کشت کنگد بیشتر در استان‌های گرم و معتدل از جمله بوشهر، خوزستان، کرمان و مناطق گرم استان‌های فارس، خراسان رضوی و شمالی و منطقه جیرفت در فصل تابستان انجام می‌شود (شهیدی و همکاران، ۱۳۸۷). عدم امکان کشت دیگر محصولات زراعی در این فصل از سال در بسیاری از مناطق تحت کشت آن، امکان بهره‌برداری از منابع خاک و آب را فراهم نموده است. این موضوع مزید بر دیگر ارزش‌های اقتصادی و غذایی دانه کنگد است. کشت ارقام متفاوتی از کنگد در مناطق مختلف کشور به شرح زیر است:

- رقم اولتان:

مناطق مناسب کشت: استان‌های نیمه شمالی بیشتر در اردبیل، خراسان رضوی، مازندران، گلستان و مناطق معتدل نیمه جنوبی.

- رقم دشتستان ۲:

رقم کنگد مناسب برای کشت در مناطق گرم جنوب کشور.

- رقم داراب ۱:

مناطق مناسب کشت: مناطق نیمه جنوبی کشور: استان‌های فارس، خوزستان، بوشهر، هرمزگان و کرمان.

- رقم هلیل:

مناطق مناسب کشت در مناطق گرم جنوب کشور شامل جنوب استان کرمان، مناطقی از استان‌های: فارس (داراب)، خوزستان (دزفول)، سیستان و بلوچستان (ایران‌شهر و زابل) و هرمزگان (حاجی‌آباد).

- رقم یکتا:

رقم کنگد مناسب برای کشت در مناطق معتدل نیمه شمالی کشور.

عملکرد کنگد در استان‌های مختلف در دامنه ۵۰۰ - ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار متغیر است. تأمین عناصر غذایی به مقدار بهینه یکی از عوامل مهم در افزایش عملکرد کمی و کیفی این دانه روغنی با ارزش است. بهترین عملیات مدیریتی کودها برای کنگد را می‌توان در چهاراصل: (۱) تعیین مقدار موردنیاز عنصر یا عناصر غذایی، (۲) تعیین منبع مناسب عنصر غذایی، (۳) تعیین زمان مناسب کاربرد و (۴) روش مناسب کاربرد، بیان نمود. ارتباط بین این چهار عامل همراه با به‌کارگیری دیگر راهکارهای مدیریتی همانند کنترل آفات و بیماری‌ها، مدیریت زراعی و مدیریت آبیاری سبب دستیابی به عملکرد بهینه خواهد شد. بیشتر این مدیریت‌ها چنانچه در ترکیب با یکدیگر به‌کار روند، سبب هم‌افزایی خواهند شد. لازم به یادآوری است که به‌غیراز عوامل تغذیه و آبیاری عواملی همانند تهیه بستر مناسب، انتخاب تاریخ کشت مناسب هر منطقه، انتخاب بذر و رقم مناسب، ازجمله این موارد هستند.

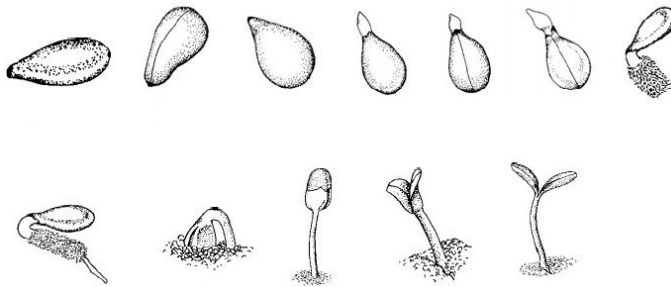
مدیریت تلفیقی تغذیه از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر عملکرد و کیفیت محصول بوده و در صورت مدیریت صحیح مصرف آن‌ها در مزرعه تا حد زیادی می‌توان میانگین محصول را افزایش داد. برای درک بهتر و مدیریت مناسب مزارع کنگد، دانستن مراحل رشد گیاه، ضروری است.

مراحل رشد گیاه کنگد

مراحل رشد گیاه کنگد را می‌توان به‌طور خلاصه به‌صورت زیر تشریح نمود:

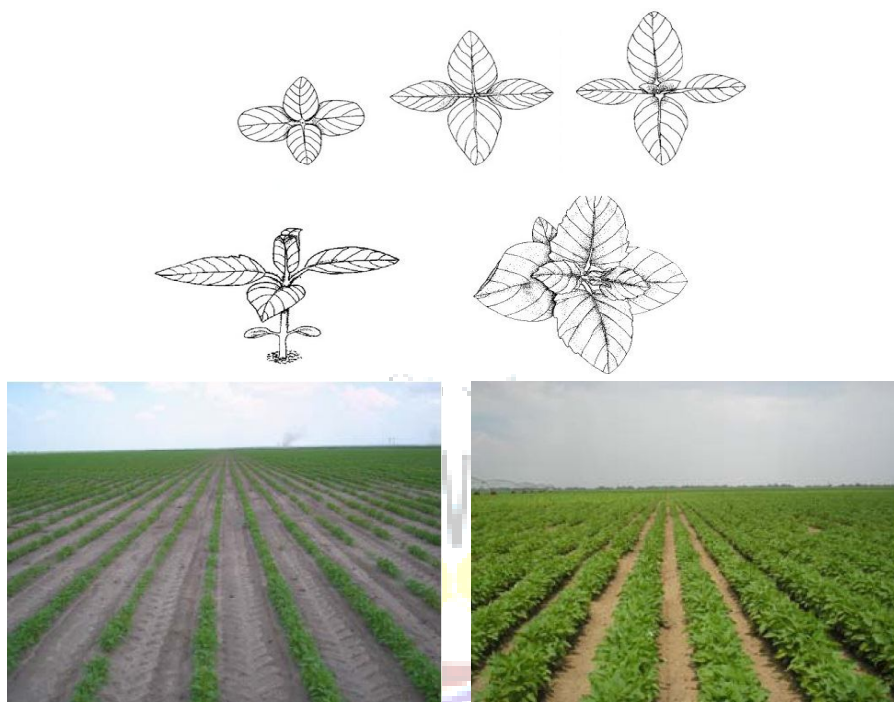
- **جوانه‌زنی و سبز شدن**^۱: مرحله جوانه‌زنی به ده مرحله ثانویه تقسیم می‌شود (شکل ۱). این مرحله از جذب آب توسط بذر خشک شروع و پس از پیدایش ریشه‌چه، درنهایت به باز شدن کامل کوتیلدون (لپه) ختم می‌شود (Zavareh و همکاران، ۲۰۰۸). مدت‌زمان

رسیدن کوتیلدون به سطح خاک از زمان کاشت بذر به عواملی همچون دمای خاک، رطوبت و بافت خاک بستگی دارد.



شکل ۱- مرحله جوانه‌زنی و سبز شدن

- **رشد رویشی^۱**: مرحله رشد رویشی (شکل ۲) از زمان مشاهده گره اول (به‌جز گره کوتیلدونی) روی ساقه اصلی شروع می‌شود. در طی مرحله رویشی، سایه‌انداز گیاه با تولید برگ و ساقه توسعه می‌یابد. مدت‌زمان این دوره به شرایط اقلیمی از جمله دمای هوا و دوره نوری و ساختار ژنتیکی رقم بستگی دارد. پایان مرحله رویشی با پیدایش نخستین گل بر روی ساقه اصلی همراه است (Zavareh و همکاران، ۲۰۰۸). شکل عمومی برگ کنگد تا حدی مشابه برگ ریحان است. بین حالت کرک دار بودن ساقه و مقاومت به خشکی، همبستگی وجود دارد. تیپ‌های کوتاه با شاخه‌های فرعی کم، بیشتر زودرس و تیپ‌های چند شاخه‌ای دیررس و به خشکی مقاوم‌تر هستند.



شکل ۲- مرحله رشد رویشی کنگد

- **مرحله گل‌دهی^۱:** مرحله گل‌دهی با پیدایش نخستین گل بر روی ساقه شروع می‌شود (شکل ۳). جوانه‌های گل بر روی محور برگ (گوشه زاویه بین برگ و ساقه) تشکیل و با تغییراتی به گل تبدیل می‌شوند. از زمان کاشت تا پیدایش نخستین گل بسته به شرایط مختلف، مدت‌زمان ۳۳ تا ۸۹ روز طول خواهد کشید. پایان گل‌دهی، جدا شدن و ریزش گل‌برگ‌هاست. در کنگد گل‌های تکی یک کاسه گل دارند که به چند بخش تقسیم می‌شود و طول آن ۳ تا ۷ میلی‌متر است (Yermanos, ۱۹۸۰).

طولانی شدن روزها و افزایش درجه حرارت، تشکیل غنچه را سبب می‌شود. خوشه‌ای از غنچه‌های گل در مرکز روزت قابل مشاهده بوده و ساقه نیز شروع به رشد و بلند شدن می‌نماید. خوشه‌های غنچه‌های گل با رشد طولی ساقه، بزرگ‌تر شده و گل‌های باز نشده بزرگ‌تر می‌شوند و شاخه‌های ثانویه از جوانه‌هایی که در محور اصلی برگ‌های بالایی ساقه

اصلی قرار دارند، منشأ می گیرند. ساقه اصلی پیش از گل دهی به ۳۰ تا ۶۰ درصد طول خود، می رسد. هم چنین ۳۰ تا ۶۰ درصد حداکثر ماده خشک نیز در این مرحله، تولید می شود.



شکل ۳- مرحله گل دهی گیاه کنگد

موسسه تحقیقات خاک و آب

- تشکیل کپسول و دانه^۱: مرحله شکل گیری کپسول و دانه با ظاهر شدن کپسول با شیارهای قابل دیدن که به وسیله کاسه گل احاطه شده است شروع می شود (شکل ۴) (Zavareh و همکاران، ۲۰۰۸).



شکل ۴- مرحله تشکیل کپسول و دانه کنگد

در کنگد کپسول و دانه به نسبت به طور هم زمان رشد می کنند و طول بیشتر کپسول - های نخستین کمتر از ۵ میلی متر است. بسته به شرایط محیطی و ویژگی های رقم، تعداد ۵۰ تا ۱۰۰ دانه در هر کپسول قرار دارد و وزن هزار دانه آن ۲ تا ۴ گرم است. به هنگام رسیدگی یا بلوغ، کپسول ها از پایین به بالای بوته باز شده و باعث ریزش می شوند. تحقیقاتی در راستای دستیابی به ارقام مقاوم به ریزش صورت گرفته و در حال حاضر نوعی از این رقم در مراکز تحقیقات و آموزش کشاورزی در حال ازدیاد است. با توجه به اینکه در مزرعه کنگد، گل دهی و تشکیل کپسول و دانه در بوته های مختلف ممکن است به طور هم زمان انجام نشود از این رو معیار تعیین هر مرحله از رشد در یک مزرعه زمانی است که ۵۰ درصد جمعیت مزرعه در آن مرحله از رشد قرار دارند. پس از کامل شدن گل و لقاح، کپسول و دانه تشکیل خواهد شد، هر چند در برخی مواقع کامل شدن گل سبب تشکیل کپسول و دانه، نخواهد شد.

در برخی مواقع گل‌برگ روی گیاه باقی‌مانده و کپسول شروع به توسعه می‌کند. قطر و طول کپسول شروع به افزایش نموده و پس از مدت‌زمانی از نوک کاسبرگ ظاهر می‌شود (Zavareh و همکاران، ۲۰۰۸).

آماده‌سازی زمین

بذر کنگد بسیار ریز است. از این رو بستر بذر باید به‌طور کامل نرم باشد. انجام مآخار (آبیاری پیش از تهیه زمین) در تهیه بستر بذر، نقش اساسی دارد و چون سبب سبز شدن علف‌های هرز می‌شود، با از بین بردن آن‌ها، تراکم علف‌های هرز در مزرعه کاهش می‌یابد. عملیات تهیه زمین شامل چیزل پیلر، دیسک و ماله‌کشی است. ریشه کنگد مستقیم، قوی و بسیار گسترده می‌شود. از این رو انجام شخم عمیق توسط زیرشکن‌ها مانند چیزل الزامی است. به‌منظور کنترل بهتر علف‌های هرز پیش از کاشت از علف‌کش ترفلان به میزان ۲ لیتر در هکتار استفاده می‌شود که به‌وسیله دیسک با خاک مخلوط می‌شود (شهیدی و همکاران، ۱۳۸۷).

خاک

کنجد را می‌توان در خاک‌های زهکش‌دار کشت کرد. اگرچه در خاک‌های دارای بافت میانگین (لوم، لوم شنی، لوم رسی و لوم سیلتی) رشد بهتری دارد. این گیاه در همه مراحل رشد نسبت به غرقابی شدن حتی کوتاه‌مدت، بیش‌از حد حساس است، زیرا زمینه بروز بسیاری از بیماری‌ها را فراهم می‌کند. خاک‌های سبک با لایه زیرین نفوذناپذیر یا خاک‌های شور، مناسب کشت کنگد نیستند. کنگد در خاک‌هایی که pH آن‌ها بین ۸-۵/۵ است رشد می‌کند، اگرچه خاک‌هایی که واکنش خنثی دارند برای این گیاه مناسب‌ترند (Sanga، ۲۰۱۳ و شهیدی و همکاران، ۱۳۸۷).

مدیریت تلفیقی تغذیه گیاه کنگد

تولید غذا برای جمعیت در حال رشد، مستلزم مدیریت تلفیقی تغذیه و حاصلخیزی خاک توسط کشاورزان است. مدیریت تلفیقی تغذیه گیاه، به‌صورت استفاده هوشمندانه از ترکیب بهینه منابع آلی، معدنی و زیستی عناصر غذایی در یک تناوب زراعی، برای

دستیابی به عملکرد و تولید بهینه، بدون آسیب رساندن به اکوسیستم خاک، تعریف می‌شود. به عبارت دیگر مدیریت تلفیقی تغذیه گیاه با حفظ حاصلخیزی خاک و فراهمی عناصر نیازمند گیاه در سطح بهینه، سبب تولید پایدار محصول به میزان مورد انتظار می‌شود. استفاده پیوسته از مقادیر بالای کودهای شیمیایی، اثرات منفی بر تولید پایدار محصول داشته و استفاده نابجای آن‌ها می‌تواند به آلودگی محیط‌زیست منجر شود. کشاورزی پایدار چیزی جز مدیریت ماده آلی خاک و استفاده نسبی از کودهای آلی و زیستی و شیمیایی، کود سبز، بقایای گیاهی و انواع کمپوست، نیست. از آنجایی که کودهای آلی به تنهایی قادر به تأمین نیازهای غذایی محصولات کشاورزی پربازده در کشاورزی امروزی نیستند، استفاده تلفیقی از کودهای شیمیایی، آلی و زیستی، راه حل مناسبی در توصیه کود است. از طرف دیگر، استفاده با هم کودهای شیمیایی و آلی می‌تواند به بهبود شرایط فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، کمک کرده و به دنبال آن سبب افزایش میزان کربن آلی و عناصر غذایی خاک شود.

مصرف بهینه کودهای شیمیایی

در مزارع، کود عاملی برای افزایش تولید محصول و درآمد است. در شرایط و مواقعی که کمبود غذا مطرح می‌شود، هدف، تولید حداکثر محصول از طریق کود دهی است و برعکس در مواقعی که غذا به طور فراوان یافت می‌شود، به کارایی مصرف کود از لحاظ اقتصادی (نسبت درآمد به هزینه) توجه می‌شود. کاربرد کود با هزینه‌های ثابت (هزینه مصرف) و متغیر (هزینه خود کود) با هم بوده و به طور معمول از طریق افزایش محصول (مقدار کل محصول یا از لحاظ کیفی، مواد پرارزش محصول) درآمد ایجاد می‌کند. معمولاً مصرف خیلی کم کود غیراقتصادی بوده، چون هزینه آن بیشتر از درآمد آن می‌شود (پایین تر از حد اقتصادی) و هم‌چنین مصرف خیلی زیاد کود، سبب از دست رفتن درآمد می‌شود (بالتر از حد اقتصادی). تصمیم‌گیری در مورد انجام کوددهی اقتصادی به حداکثر سوددهی (در زمان کمبود درآمد) و یا حداکثر درآمد خالص (در موقع کمبود زمین) بستگی دارد. برای محاسبه دقیق حد مطلوب این ارقام، کنارهم قرار دادن درآمد حاصل از محصول و هزینه ضروری است (Havlin و همکاران، ۲۰۰۵). به طور خلاصه تعیین پرسودترین میزان عناصر غذایی لازم برای گیاه به دلایل زیر دشوار است:

۱- افزایش سطح قابل انتظار محصول به ازای واحد مقدار کود افزود شده

۲- سطح مدیریت

۳- پیش‌بینی قیمت محصول فروخته‌شده توسط کشاورز

۴- قیمت کود

۵- هزینه‌های اضافی برداشت و بازاریابی

۶- اثرات باقی‌مانده کود

۷- مقدار دیگر عناصر غذایی در کود یا خاک

بدیهی است که پرسودترین میزان کود در سال‌های مختلف به دلیل تغییر قیمت‌های تولیدات کشاورزی و کود، متفاوت خواهد بود و لازم است برای آن سال، تعیین شود (Havlin و همکاران، ۲۰۰۵).

مقدار مصرف کودهای شیمیایی با توجه به شرایط آب و هوایی، نوع و ارقام گونه‌های گیاهی، میزان عملکرد قابل‌انتظار، روش کاشت گیاه، خصوصیات خاک و آب، تناوب زراعی، دفعات آبیاری، میزان مصرف دیگر کودهای شیمیایی، نوع کود و نیز روش مصرف آن، متفاوت است. پایین بودن میزان ماده آلی در خاک، مصرف کودهای نیتروژنه را ضروری و اجتناب‌ناپذیر نموده است؛ اما با توجه به اینکه اراضی زیر کشت کنگد، سال‌های متمادی زیرکشت دیگر محصولات زراعی بوده و انواع کودهای شیمیایی در آن ممکن است مصرف‌شده باشد، از این‌رو قابلیت استفاده عناصر غذایی فسفر، پتاسیم و ریزمغذی‌ها در آن‌ها متفاوت است. مناسب‌ترین روش برای مشخص کردن مقدار مصرف عناصر غذایی مذکور، آزمون خاک است.

مؤسسه تحقیقات خاک و آب

روش‌های تشخیص کمبود عناصر غذایی

روش‌های مختلف برای ارزیابی وضعیت حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه در سه گروه کلی (۱) آزمون خاک، (۲) آزمون گیاه و (۳) نشانه‌های کمبود قرار می‌گیرند. هر یک از این روش‌ها، جایگاه، مزایا و کاستی‌های خود را دارد که در زیر اشاره می‌شود.

آزمون خاک

خاک مخزن طبیعی عناصر غذایی است؛ اما عناصر غذایی بیشتر به شکلی است که بی درنگ قابل جذب توسط گیاه نیست، زیرا به شکل‌هایی چون جذب سطحی بر روی ذرات، یا جزئی از ساختمان کانی خاک یا مواد آلی خاک هستند. اگرچه این عناصر جذب‌شده، دوباره قابل استفاده می‌شوند. فرآیندهایی که سبب آزادسازی عناصر غذایی در خاک می‌شوند عبارت‌اند از:

- ۱- تجزیه میکروبی مواد آلی (معدنی شدن)
 - ۲- واکنش شیمیایی بر روی کانی‌های خاک (هوازدگی)
 - ۳- رهاسازی از سطح ذرات خاک
- اما نکته مهم این است که این آزادسازی عناصر به‌کندی انجام می‌شود و چنانچه مقدار برداشت توسط گیاه، دوباره به شکل مناسبی جایگزین نشود، خاک از عناصر غذایی، تخلیه می‌شود.

آزمون خاک در مفهوم کلی به تعیین ویژگی‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک اطلاق می‌شود، ولی در معنی دقیق‌تر آن، عبارت از اندازه‌گیری‌های شیمیایی سریع خاک به منظور تعیین مقدار قابل استفاده عناصر غذایی گیاه است. امروزه تفسیر نتایج حاصله و ارزیابی نتایج و توصیه‌های کودی که براساس این آزمایش‌های شیمیایی انجام می‌گیرد را نیز جزئی از آزمون خاک می‌دانند. آزمون خاک برای عناصر کم‌مصرف در مقایسه با عناصر پرمصرف از قابلیت اعتماد کمتری، برخوردار است. از این‌رو، برای تشخیص پاسخ گیاه به عناصر کم‌مصرف، استفاده از آزمون بافت گیاه نیز ممکن است، لازم باشد.

از میان روش‌های مختلف ارزیابی حاصلخیزی خاک، آزمون خاک سریع، کم‌خرج و دقیق بوده و می‌تواند به موقع انجام‌شده و پایه و اساس توصیه‌های کودی، قرار گیرد. برنامه آزمون خاک بیشتر دارای چهار مرحله اجرایی زیر است:

- ۱) نمونه‌برداری درست خاک مزرعه
- ۲) تعیین روش مناسب عصاره‌گیری و تعیین عناصر غذایی قابل جذب در عصاره استخراج شده

۳) واسنجی نتایج آزمایشگاهی با استفاده از آزمایش‌های گلخانه‌ای

۴) تفسیر و توصیه‌های کودی

موفقیت برنامه آزمون خاک مستلزم دقت عمل در هر یک از مراحل و آگاهی از خطاهای احتمالی در آن‌ها است.

همانند دیگر محصولات زراعی، برآورد توصیه کودی کنگد براساس آزمون خاک (تجزیه خاک) انجام می‌شود. حدود بحرانی عناصر فسفر و پتاسیم برای کنگد به ترتیب ۱۵ و ۲۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و میانگین حدود بحرانی عناصر غذایی کم‌مصرف به‌طور عمومی مطابق جدول شماره یک گزارش شده است (ملکوتی و غیبی، ۱۳۷۹). در رابطه نیتروژن با توجه به خشک و نیمه‌خشک بودن اقلیم مناطق اصلی کشت این گیاه در ایران و کم بودن ماده آلی در این خاک‌ها که عمده‌ترین منبع ذخیره این عنصر است، معمولاً مقدار توصیه این عنصر بر اساس مقدار کربن آلی خاک‌ها و عملکرد مورد انتظار و نیز بافت خاک است. توصیه‌های کودی نیتروژن برای این گیاه با توجه به مطالعات تحقیقاتی انجام شده در استان‌های عمده کشت، هم از لحاظ مقدار و هم از لحاظ مرحله مصرف، به‌روز رسانی شده است (نورقلی پور و همکاران، ۱۳۹۲).

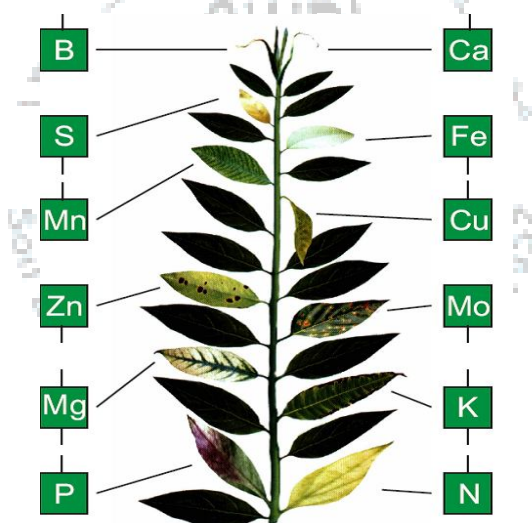
جدول ۱- حد بحرانی عناصر غذایی (میلی‌گرم در کیلوگرم) در خاک‌های زیر کشت کنگد

فسفر	پتاسیم	آهن	روی	منگنز	مس	بور
۱۵	۲۵۰	۴/۵۷	۰/۷	۴/۶	۰/۷۷	۰/۷

نشانه‌های ظاهری کمبود عناصر غذایی

چون هر یک از عناصر غذایی وظایف خاصی را در گیاه به عهده دارند، کمبود هر کدام در گیاه سبب می‌شود که آن وظایف به‌خوبی انجام نشود و بسته به شدت کمبود، اختلالاتی در گیاه به وجود آید. نشانه‌های کمبود بیشتر روی ساقه و برگ گیاهان ظاهر می‌شود (شکل ۵). در صورتی که این نشانه‌های به‌موقع و با دقت کافی تشخیص داده شوند، تخمین ارزیابی حاصلخیزی خاک بر اساس آن‌ها، امکان‌پذیر است.

از برتری این روش سرعت آن است. زیرا به محض مشاهده نشانه‌های ظاهری خاص، می‌توان به کمبود عنصر مربوطه در گیاه و در نتیجه خاک، پی برد. از طرف دیگر این روش دارای مشکلات و محدودیت‌های زیادی از جمله، نیاز به تخصص و تجربه برای تشخیص نشانه‌ها، اختصاصی نبودن برخی از نشانه‌ها و امکان اشتباه در تشخیص، ظاهر نشدن نشانه‌های کمبودهای ضعیف (گرسنگی پنهان) است. البته یکی از مهم‌ترین مشکلات پیش روی در استفاده از نشانه‌های کمبود آن است که این نشانه‌ها زمانی آشکار می‌شوند که معمولاً فرصت کافی برای جبران آن وجود ندارد. همچنین نشانه‌های خسارت برخی از آفات و بیماری‌ها نیز ممکن است با نشانه‌های کمبود عناصر، اشتباه شود.



شکل ۵ - نمای کلی محل آشکار شدن نشانه‌های کمبود عناصر به عنوان یک راهنمای تشخیص. در قسمت‌های انتهایی عناصر بور و کلسیم، در برگ‌های جوان عناصر گوگرد، آهن، منگنز، مس و در برگ‌های قدیمی عناصر فسفر، نیتروژن، پتاسیم و منیزیم (nutrico، ۲۰۱۸)

نمونه برداری گیاه برای اطلاع از وضعیت عناصر غذایی

غلظت بحرانی عناصر غذایی در برگ‌های گیاهان دانه روغنی در جدول دو ارائه شده است. در غلظت‌های کمتر از حدهای ارائه شده در این جدول کمبود عناصر ایجاد خواهد

شد. این جدول به صورت عمومی برای گیاهان دانه روغنی ارائه شده و جدول سه برای دانه و ساقه کنگد به صورت اختصاصی است. مقدار زیادی از پتاسیم در ساقه گیاه قرار داشته و در صورتی که این اجزا از مزرعه خارج شوند نیاز به تجدید در کود دهی های بعدی وجود خواهد داشت. بیشترین مقدار جذب از بین عناصر کم مصرف مربوط به عنصر آهن و پس از آن روی است.

جدول ۲- غلظت بحرانی عناصر غذایی در گیاهان دانه روغنی (Havlin و همکاران، ۲۰۰۳)

عناصر پرمصرف	درصد	عناصر کم مصرف	میلی گرم بر کیلوگرم
N	۳/۵	Cu	۵
P	۰/۳	Zn	۲۰
K	۲/۵	Fe	۵۰
S	۰/۵	Mn	۳۰
Ca	۰/۴	Mo	۰/۳
Mg	۰/۲	B	۲۵

* برگ های تازه بالغ شده در مرحله گل کامل (۳ تا ۴ برگ مانده به گل از انتهای شاخه)

جدول ۳ - غلظت و جذب عناصر غذایی در دانه و ساقه گیاه کنگد (Aulakh و همکاران، ۱۹۸۵)

غلظت عناصر										
	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Mn	Fe
میلی گرم در کیلوگرم	درصد									
قسمت گیاه										
دانه	۳/۸۵	۰/۸	۰/۵۲	۱/۲۷	۰/۳۱	۰/۳۶	۵۲	۱۹	۱۵	۱۴۵
ساقه	۰/۳۲	۰/۳	۱/۲۹	۰/۶	۰/۳۱	۰/۲	۲۹	۲۵	۲۵	۱۶۲
جذب عناصر										
گرم در هکتار	کیلوگرم در هکتار									
دانه و ساقه	۶۲	۲۴	۶۴	۴۵	۱۹	۱۴	۲۰۲	۱۴۰	۱۳۸	۹۵۲

نشانه‌های ظاهری کمبود عناصر غذایی پرمصرف و ثانویه

نیتروژن: نشانه‌های کمبود این عنصر به صورت رشد اولیه و سبزینه‌ای ضعیف و در کمبود شدید، زرد شدن برگ‌های پیر و مرگ آن‌ها است (شکل ۶).



شکل ۶- گیاه کنگد مبتلا به کمبود نیتروژن

فسفر: کمبود فسفر سبب ضعیف شدن ریشه و قسمت هوایی گیاه می‌شود. ساقه‌هایی با انشعابات کم و برگ‌های باریک از نشانه‌های کمبود فسفر است و رنگ سبز مایل به آبی با لکه‌های ارغوانی از نشانه‌های ظاهری این کمبود است. هم‌چنین در شرایط کمبود فسفر، برگ‌ها به‌ویژه در حاشیه‌ها و نوک برگ، بنفش می‌شود (شکل ۷).



شکل ۷- نشانه‌های کمبود فسفر در برگ کنگد

پتاسیم: کنگد، نیاز بالایی به پتاسیم دارد. کمبود این عنصر به صورت کاهش رشد گیاه، برگ‌های کوچک و ساقه‌های باریک، ظاهر می‌شود. در کمبود شدید، حاشیه برگ‌ها زرد و خشک و نکروزه شده ولی همچنان بر روی ساقه باقی می‌مانند.

گوگرد: به‌طور کلی نشانه‌های کمبود گوگرد بسیار همانند با نیتروژن بوده و در مراحل کپسول‌دهی و گل‌دهی دیده می‌شود زیرا نیاز گیاه به گوگرد در طی این دوره زیاد است. نشانه‌های کمبود این عنصر برعکس نیتروژن، ابتدا در برگ‌های بالایی ظاهر می‌شود. نسبت نیتروژن به گوگرد (N/S) در بافت گیاهی نیز در تشخیص کمبود مهم است. در کمبود شدید گوگرد، برگ‌ها رشد ضعیفی داشته و گل‌ها نیز اغلب رنگ‌پریده‌تر از حالت طبیعی هستند.

منیزیم: کمبود منیزیم ابتدا به‌صورت لکه‌های کلروزه (لکه‌های زرد) در برگ‌ها دیده می‌شود که توسعه‌یافته و به رگبرگ‌ها متصل شده و ممکن است به رنگ نارنجی یا نارنجی مایل به قرمز تغییر یابد. نشانه‌های کمبود نخست از برگ‌های مسن‌تر شروع شده و سپس به برگ‌های جوان، گسترش می‌یابد. در حالت کمبود شدید، برگ‌ها خشک‌شده و پیش از رسیدن، می‌ریزند.

نشانه‌های کمبود عناصر غذایی کم‌مصرف

روی (Zn): کمبود روی در برگ‌های جوان باعث رنگ‌پریدگی و کوچک شدن برگ‌ها می‌شود.

بور (B): نشانه‌های کمبود بور به‌صورت کوتاهی میان گره‌ها، ضخیم و چوب‌پنبه‌ای شدن ساقه‌ها و اختلال در رشد و تشکیل گل، ظاهر می‌شود.

مس (Cu): کمبود مس در گیاه کنگد در برگ‌های جوان ظاهر شده و رنگ‌پریدگی و لکه‌های سوختگی در بخش‌هایی از برگ قابل مشاهده است.

منگنز (Mn): کمبود منگنز رشد و شاخه‌بندی را محدود کرده و در موارد شدیدتر مانع گل‌دهی می‌شود. نشانه‌های کمبود نخست در برگ‌های جوان به‌صورت لکه‌های سوختگی بین رگبرگ‌ها ظاهر می‌شود و سپس تعداد و اندازه لکه‌ها بیشتر شده و در نتیجه کم و بیش تمام سطح برگ به‌جز رگبرگ زرد می‌شود.

آهن (Fe): نشانه‌های کمبود آهن در کنگد همانند با دیگر محصولات به صورت کلروز بین رگبرگ‌ها در برگ‌های جوان، اتفاق می‌افتد. کلروز آهن نخست در برگ‌های جوان در نوک شاخساره به وجود آمده و رنگ برگ‌ها به زردی می‌گراید؛ اما رگبرگ‌ها سبز باقی می‌مانند. لکه‌های قهوه‌ای یا بافت‌های مرده در صورت کمبود شدید، بروز می‌نماید (شکل ۸).

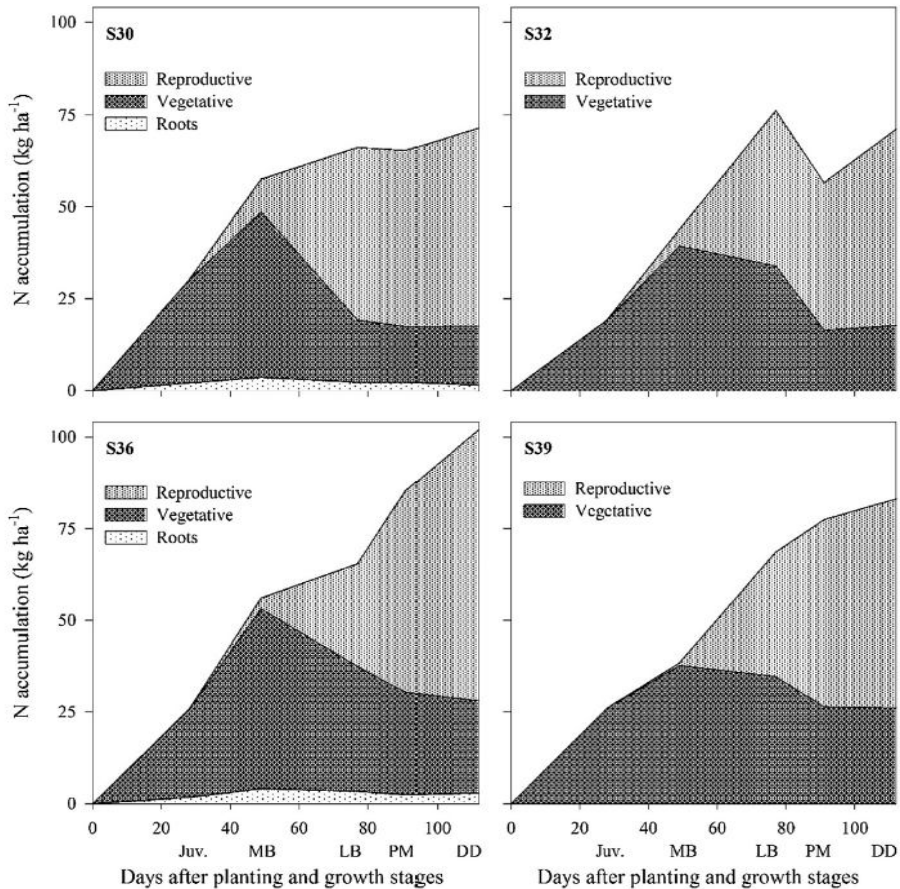


شکل ۸- نشانه های کمبود آهن در گیاه کنگد

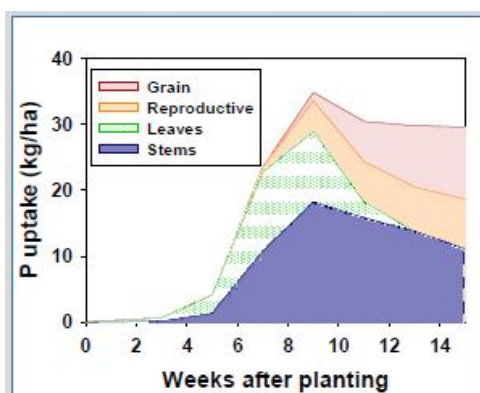
روند جذب عناصر غذایی در گیاه کنگد

مطالعات نشان داده که ۹۵-۸۰ درصد اندام هوایی کنگد در مرحله رشد زایشی تجمع می‌یابد که ۵۵-۳۵ روز پس از کشت است. ۱۱۲۱ کیلوگرم در هکتار محصول کنگد، در قسمت دانه ۳۸/۵ کیلوگرم نیتروژن، ۱۸/۶ کیلوگرم فسفر و ۷/۵ کیلوگرم پتاسیم از خاک جذب می‌نماید (Sesaco, ۲۰۱۲). مقدار کل نیتروژن تجمع یافته در ارقام مختلف کنگد بین ۷۰ تا ۹۹ کیلوگرم نیتروژن در قسمت‌های هوایی گیاه است که ۳۳ تا ۶۰ درصد آن در مرحله زایشی جذب می‌شود (شکل ۹) Couch و همکاران، ۲۰۱۷). بیشترین جذب نیتروژن با توجه به نوع رقم در مرحله اواسط تا اواخر گل‌دهی است. ۳۱ تا ۶۶ درصد از نیتروژن اندام‌های رویشی در مرحله زایشی به کپسول و دانه‌ها، منتقل می‌شود. بیشترین جذب نیتروژن ریشه نیز در مرحله اواسط گل‌دهی است که حدود ۴ کیلوگرم نیتروژن در هکتار است. این امر نشان می‌دهد که در مرحله رشد زایشی، نیتروژن باید به مقدار کافی برای رشد اندام‌های هوایی و زمینی کنگد، فراهم باشد. مقدار نیتروژن جذب‌شده دانه با توجه به رقم می‌تواند بین ۲۹ تا ۴۹ کیلوگرم نیتروژن در هکتار باشد که این مقدار از مزرعه خارج می‌شود. در مرحله اواخر رشد رویشی و اوایل گل‌دهی، ۱۱ کیلوگرم نیتروژن، ۱/۳ کیلوگرم فسفر، ۱۳ کیلوگرم پتاسیم، ۵/۴ کیلوگرم کلسیم، ۱/۵ کیلوگرم منیزیم و ۰/۹ کیلوگرم گوگرد در روز جذب می‌شود. روند جذب فسفر (شکل ۱۰) و جذب پتاسیم (شکل ۱۱) نشان می‌دهد که بیشترین تجمع در فرآیند رشد مربوط به ساقه است (Jani, ۲۰۱۷).

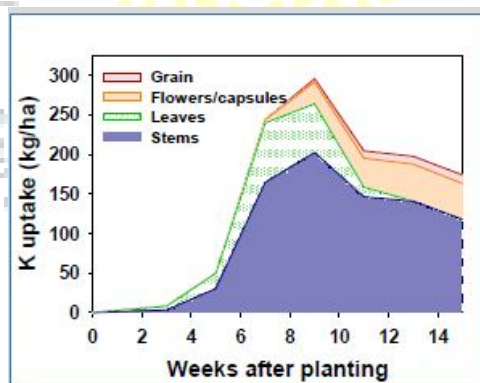
موسسه تحقیقات خاک و آب



شکل ۹- جذب تجمعی نیتروژن برای ارقام مختلف کنگد (s30, s32, s36, s39) در اندام‌های رویشی و زایشی و ریشه. مراحل رشد شامل رویشی (juv)، اواسط گل‌دهی (MB)، اواخر گل‌دهی (LB)، رسیدگی فیزیولوژیکی (PM)، و خشکیدگی (DD). ستون افقی دوره و یا روز-های رشد و ستون عمودی جذب تجمعی نیتروژن در اندام‌های رویشی، زایشی و ریشه است. (Couch و همکاران، ۲۰۱۷)



شکل ۱۰- روند جذب فسفر در دانه، گل‌ها/کپسول‌ها، برگ‌ها و ساقه کنگد (Jani, ۲۰۱۷) در هفته‌های پس از کشت



شکل ۱۱- روند جذب پتاسیم در دانه، گل‌ها/کپسول‌ها، برگ‌ها و ساقه کنگد (Jani, ۲۰۱۷) در هفته‌های پس از کشت

توصیه مصرف نیتروژن

قسمت بزرگ نیتروژن موجود در خاک در مواد آلی قرار دارد و مقدار کمی از کل آن در هرسال، در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. ریز جانداران خاک مسئول تجزیه و آزادسازی نیتروژن موجود در مواد آلی هستند. عوامل مختلفی همانند وضعیت محیطی به‌ویژه نسبت کربن به نیتروژن (C/N) در بقایای گیاهی، درجه حرارت و رطوبت خاک و میزان

مواد آلی، بر فعالیت ریز جانداران خاک، تأثیر دارد. اغلب تنها ۲۰-۱۰ درصد کل نیتروژن موردنیاز برای گیاهان پرمحصول از طریق نیتروژن آزادسازی شده از مواد آلی، تأمین می‌شود. بنابراین لازم است با مصرف کودهای نیتروژنی و کودهای آلی بقیه نیاز نیتروژنی گیاه را تأمین نمود. ریشه کنگد قادر است نیتروژن را از عمق ۶۰ سانتی‌متری یا بیشتر جذب کند.

بافت گیاه به نیتروژن بیشتر از دیگر عناصر غذایی نیازمند است، زیرا این عنصر جزئی از پروتئین گیاهی، اسیدهای آمینه، نوکلئوتیدها، اسیدهای نوکلئیک و کلروفیل است. گیاهان سالم کنگد با نیتروژن کافی، دارای برگ سبز تیره هستند اما از آنجاکه این عنصر در گیاه متحرک است نشانه‌های کمبود نخست در برگ‌های پیرتر و ساقه‌ها مشخص می‌شود.

در مقایسه با بسیاری از گیاهان دانه‌ای، کنگد نیاز کمتری به مواد غذایی برای دستیابی به عملکردهای بالا دارد. مقدار نیتروژن موردنیاز کنگد به عواملی مانند رقم، ویژگی‌های خاک و نوع محصول کشت شده پیشین بستگی دارد. برخی گزارش‌ها مقدار نیتروژن موردنیاز کنگد را ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار اعلام نموده‌اند (Ahmad و همکاران ۲۰۰۱).

افزایش در ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، تعداد خورجین در شاخه، تعداد دانه در کپسول و نیز افزایش میانگین وزن دانه در اثر مصرف متعادل نیتروژن، سبب افزایش محصول کنگد می‌شود (El-Nakhlawy و Shaheen، ۲۰۰۹). هرچند مصرف نیتروژن تا اندازه‌ای سبب افزایش مقدار روغن دانه کنگد می‌شود (Malik و همکاران، ۲۰۰۳) اما کاهش در مقدار روغن با کاربرد سطوح بالای نیتروژن گزارش شده است (Zenawi و Mizan همکاران، ۲۰۱۹).

به‌هرحال مصرف مقادیر متعادل کود، سبب افزایش محصول دانه و مقدار تولید روغن در واحد سطح به دلیل افزایش عملکرد دانه می‌شود، هرچند درصد روغن کاهش می‌یابد. در حقیقت همبستگی منفی بین میزان پروتئین و روغن دانه وجود دارد و با توجه به آنکه ارزش روغن چند برابر پروتئین کنجاله است، از این رو مصرف بیش‌ازحد نیتروژن به‌صرفه نیست (احمدی، ۱۳۸۸، نورقلی پور و همکاران، ۱۳۹۲).

واکنش گیاه نسبت به کود نیتروژن تحت تأثیر نوع خاک، رطوبت و تعادل دیگر عناصر غذایی است. مقدار مصرف نیتروژن تابع پتانسیل تولید خاک منطقه و مدیریت زارع است.

رابطه مستقیمی بین میزان کربن آلی خاک و میزان مصرف کود نیتروژن وجود دارد. به طوری که با افزایش کربن آلی خاک نیاز به مصرف کود نیتروژن، کاهش می یابد. مقدار زیاد آهک در خاک نیز به دلیل تشدید واکنش های شیمیایی و بیوشیمیایی سبب تبدیل نیتروژن موجود در کودهای شیمیایی به شکل گازهای نیتروژن می شود. انجام این واکنش ها سبب هدرروی نیتروژن به شکل گازهای نیتروژن و خروج آن از محیط خاک شده و (در سرانجام کارایی کودهای نیتروژن را کاهش می دهد. لازم به ذکر است که آب و هوای گرم سبب افزایش سرعت واکنش های فوق شده و هدرروی نیتروژن را تشدید می نماید. شوری منابع خاک و آب نیز به دلایل متفاوتی مصرف بیشتر کودهای نیتروژن را ضروری می نماید.

با توجه به گرم و خشک بودن مناطق تحت کشت کنگد، مقدار کربن آلی خاک های این مناطق بسیار کم و به علت معمول نبودن مصرف کودهای دامی در زراعت کنگد، این عامل تأثیر چندانی در نوسان مقدار مصرف نیتروژن ندارد. از دیگر عوامل مؤثر در تعیین مقدار و زمان مصرف نیتروژن در زراعت کنگد، شوری منابع خاک و آب، بافت خاک و مدیریت زارع است. توصیه کلی مصرف اوره به عنوان یکی از معمول ترین منابع نیتروژن در جدول شماره چهار ارائه شده است.

در صورت استفاده از کودهای آلی پیش از کشت گیاه کنگد به ازای مصرف هر تن کود مرغی از میزان مصرف نیتروژن و فسفر به ترتیب ۲۰ و ۱۰ کیلوگرم و به ازای مصرف هر تن کود گاوی یا گوسفندی از میزان مصرف نیتروژن و فسفر به ترتیب ۱۰ و ۵ کیلوگرم کم شود.

موسسه تحقیقات خاک و آب

جدول ۴ - توصیه کودی نیتروژن (مقدار اوره) گیاه کنگد بر اساس آزمون خاک

نیتروژن	
کربن آلی خاک	اوره
درصد	کیلوگرم در هکتار
$< 0/2$	۳۰۰
$0/21 - 0/5$	۲۰۰-۱۵۰
$0/0 - 51/8$	۱۵۰-۱۰۰
$> 0/8$	۵۰

توصیه‌های منطقه‌ای نیتروژن (برای شرایطی که نتایج آزمون خاک وجود ندارد)

خاک‌های استان بوشهر آهکی بوده و از نظر ماده آلی و بسیاری از عناصر غذایی فقیر است. همچنین شوری منابع خاک و آب از دیگر ویژگی‌های شاخص این منابع در استان است. در استان بوشهر در شرایط مدیریت مطلوب از نظر تاریخ کاشت، تراکم بوته، مدیریت آبیاری و مصرف دیگر عناصر غذایی، پتانسیل تولید کنگد حدود ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار برآورد می‌شود. مقدار و دفعات مصرف نیتروژن در استان بوشهر با توجه به پتانسیل تولید کنگد در جدول شماره ۵ ارائه شده است.

جدول ۵- توصیه کودی بر اساس پتانسیل تولید خاک و دفعات مصرف برای گیاه کنگد در استان بوشهر

پتانسیل تولید	مقدار کل اوره مصرفی (کیلوگرم در هکتار)	ملاحظات
۲ تن در هکتار	۱۵۰	در ۳ مرحله (پیش از کاشت، پیش از گل‌دهی و پیش از کپسول دهی)
	۲۰۰	در ۲ مرحله (پیش از کاشت و پیش از گل‌دهی)
۱/۵ تن در هکتار	۱۰۰	در ۳ مرحله (پیش از کاشت، پیش از گل‌دهی و پیش از کپسول دهی)
	۱۵۰	در ۲ مرحله (پیش از کاشت و پیش از گل‌دهی)

کاربرد سه مرحله‌ای نیتروژن در خاک‌های بافت سبک و دو مرحله‌ای در خاک‌های بافت سنگین، قابل توصیه است. کاربرد نیتروژن بیشتر از مقدار توصیه شده به‌ویژه در مرحله آخر رشد، سبب دیررسی محصول، افزایش حساسیت گیاه به بیماری‌ها و نیز کاهش میزان روغن دانه می‌شود. در صورت مصرف کود دامی و یا کودهای دامی باقی‌مانده از سال پیش، عملکرد دانه کنگد را می‌توان در منطقه بوشهر به بالای ۲ تن در هکتار نیز افزایش داد.

برای توصیه کودی نیتروژن گیاه کنگد در زمین‌های زراعی جنوب استان کرمان می‌توان از جدول شماره ۶ استفاده نمود. در خاک‌های منطقه جیرفت و کهنوج که مناطق عمده کشت کنگد در جنوب استان کرمان هستند، میزان ماده آلی خاک کم، بافت سبک‌تر و محتوای آهک خاک بیشتر است. توصیه‌های منطقه‌ای برای کاربرد اوره در مناطق

خوزستان و جنوب استان فارس به ترتیب در جدول‌های ۷ و ۸ ارائه شده است. در این مناطق نیز کاربرد سه مرحله‌ای نیتروژن در خاک‌های بافت سبک و دو مرحله‌ای در خاک‌های بافت سنگین، قابل توصیه است. کاربرد نیتروژن بیشتر از مقدار توصیه شده به‌ویژه در مرحله آخر رشد، سبب دیررسی محصول، افزایش حساسیت گیاه به بیماری‌ها و نیز کاهش میزان روغن دانه می‌شود.

جدول ۶- توصیه کودی اوره بر اساس پتانسیل تولید خاک برای گیاه کنگد در جنوب استان کرمان

پتانسیل تولید	مقدار کل اوره مصرفی (کیلوگرم در هکتار)	ملاحظات
۲ تن در هکتار	۲۴۰	پیش از کشت + پیش گل‌دهی
۱/۵ تن در هکتار	۱۵۰	پیش از کشت + پیش گل‌دهی

جدول ۷- توصیه کودی اوره بر اساس پتانسیل تولید خاک برای گیاه کنگد در استان خوزستان

پتانسیل تولید	مقدار کل اوره مصرفی (کیلوگرم در هکتار)	ملاحظات
۲ تن در هکتار	۱۵۰	در ۳ مرحله (پیش از کاشت، پیش از گل‌دهی و پیش از کپسول‌دهی)
	۱۵۰	در ۲ مرحله (پیش از کاشت و پیش از گل‌دهی)
۱/۵ تن در هکتار	۱۰۰	در ۳ مرحله (پیش از کاشت، پیش از گل‌دهی و پیش از کپسول‌دهی)
	۱۰۰	در ۲ مرحله (پیش از کاشت و پیش از گل‌دهی)

جدول ۸- توصیه کودی اوره بر اساس پتانسیل تولید خاک برای گیاه کنگد در جنوب استان فارس

پتانسیل تولید	مقدار کل اوره مصرفی (کیلوگرم در هکتار)	ملاحظات
۲ تن در هکتار	۲۰۰	در ۳ مرحله (پیش از کاشت، پیش از گل‌دهی و پیش از کپسول‌دهی)
	۱۸۰	در ۲ مرحله (پیش از کاشت و پیش از گل‌دهی)
۱/۵ تن در هکتار	۱۴۰	در ۳ مرحله (پیش از کاشت، پیش از گل‌دهی و پیش از کپسول‌دهی)
	۱۲۰	در ۲ مرحله (پیش از کاشت و پیش از گل‌دهی)

نتایج آزمایش‌ها در بسیاری از مناطق نشان داد که کاربرد نیتروژن در دو یا سه تقسیط تاثیر معنی‌داری در اکثر پارامترهای اندازه‌گیری شده گیاه کنگد نداشت. بنابراین می‌توان برای صرفه‌جویی در هزینه‌ها و عملیات کارگری، نیتروژن را در دو تقسیط مصرف کرد (مگر آنکه بافت خاک سبک باشد که در آن صورت مصرف سه تقسیطی توصیه می‌گردد. بافت سبک خاکی است که مقدار درصد شن آن بیشتر باشد). مصرف نیتروژن در هنگام کپسول‌دهی ممکن است سبب تحریک رشد رویشی و اختلال در فاز زایشی گیاه شود لذا مصرف آن قبل از این فاز باید اتمام یابد.

توصیه مصرف فسفر

فسفر یکی از عناصر اصلی است که گیاه نیاز دارد. این عنصر در تمام فرآیندهای بیوشیمیایی در ترکیبات انرژی‌زا و در سازوکارهای انتقال انرژی، دخالت دارد. به‌علاوه فسفر به‌عنوان جزئی از پروتئین هسته سلول، غشاء سلولی و نوکلئوتیدها نقش ویژه‌ای در فرایندهای بیوشیمیایی سلول دارد. فسفر توسط گیاه به شکل‌های $H_2PO_4^-$ یا HPO_4^{2-} جذب می‌شود.

از آنجاکه کنگد نیاز زیادی به فسفر دارد، رشد گیاه در خاک‌هایی با فسفر کم، ضعیف است. در خاک‌های آهکی، فسفر با آهک تشکیل ترکیبات نامحلولی می‌دهد که برای گیاه قابل‌استفاده نیست. بنابراین میزان کود فسفر که گیاه آن را در سال اول جذب می‌کند بین ۲۰-۵ درصد مقدار مصرفی است. برای توصیه کودی فسفر از آزمون خاک استفاده می‌شود. متداول‌ترین و بهترین عصاره‌گیر برای خاک‌های آهکی کشور ایران، روش اولسن (بی‌کریئات سدیم) است.

کنجد دارای انشعابات ریشه زیاد با تارهای کشنده فراوان است که این باعث افزایش سطح ریشه‌ها برای جذب فسفر از خاک می‌شود. از آنجاکه فسفر در خاک تحرک نداشته و عنصری غیرمتحرک به شمار می‌آید، در معرض آبشویی قرار نمی‌گیرد، اما در خاک‌های آهکی با کلسیم و منیزیم واکنش داده و ترکیبات با حلالیت کمتر، ایجاد می‌نماید که این موضوع باعث کاهش قابلیت دسترسی آن می‌شود. بنابراین کودهای فسفوره بیشترین قابلیت استفاده را بی‌درنگ بعد از کاربرد دارند. کنگد در مراحل اولیه‌ی رشد

به سرعت این عنصر را جذب می نماید، از این رو کود فسفر باید همزمان با کاشت بذر کنگد مصرف شود. کاربرد نواری و در زیر بذر در خاک های آهکی بسیار مفید است زیرا سطح تماس کود و خاک را کاسته و سرعت تبدیل فسفر به ترکیبات با حلالیت کم را کاهش می دهد در این حالت میزان مصرف را می توان تا نصف کاهش داد. در غیر این صورت پخش سطحی و دیسک زدن، بهترین روش مصرف است. منابع کودی که برای فسفر استفاده می شود عبارتند از: فسفر، سوپرفسفات تریپل، مونو آمونیوم فسفات و دی آمونیوم فسفات، از منابع مایع فسفر مانند آمونیوم پلی فسفات یا اسید فسفریک می توان در خاک های قلیایی با ظرفیت بافری بالا استفاده کرد. در صورتی که در خاک های دچار کمبود فسفر در مرحله پیش از کشت کود فسفره مثل سوپر فسفات تریپل مصرف نشده باشد، می توان قبل از مرحله گلدهی با استفاده از کود آبیاری یا محلول پاشی کود ۱۰-۵۲-۱۰ کمبود را جبران نمود. کمبود فسفر در کنگد توسعه و بلوغ ریشه را به تأخیر می اندازد. همچنین تغذیه ضعیف و حتی متوسط فسفر، توانایی محصول را در پاسخ دادن به مواد غذایی مانند نیتروژن و گوگرد، کاهش می دهد. یکی از راه کارهای مناسب برای کاهش مصرف کود فسفره علاوه بر روش جایگذاری کود، استفاده از ارقام فسفر کارا است (نورقلی پور و همکاران ۱۳۹۲). برای انجام توصیه کودی فسفر در گیاه کنگد می توان از جدول نه استفاده نمود.

جدول ۹ - توصیه کودی فسفر برای گیاه کنگد بر اساس آزمون خاک

فسفر	
فسفر خاک	تریپل
میلی گرم در کیلوگرم	کیلوگرم در هکتار
< ۵	۲۰۰
۵-۱۰	۱۵۰
۱۱-۱۵	۱۰۰
> ۱۵	۰

توصیه‌های منطقه‌ای فسفر

مهم‌ترین عامل مؤثر بر میزان مصرف فسفر در منطقه بوشهر مقدار آهک خاک (۵۵ تا ۶۵ درصد) است. با توجه به قابلیت استفاده فسفر در خاک و بسته به توانایی اقتصادی زارعین، مقدار مصرف آن متفاوت و در خاک‌های استان در دامنه ۰ - ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل متغیر است. در شرایط مدیریت مطلوب از نظر تاریخ کاشت، تراکم بذر، مدیریت آبیاری، عدم محدودیت دیگر عناصر غذایی و در نتیجه امکان تولید ۲۰۰۰ کیلوگرم دانه کنگد در هکتار، کاربرد فسفر بایستی براساس آزمون خاک مطابق جدول ۱۰ انجام شود.

جدول ۱۰- توصیه کودی فسفر برای گیاه کنگد (رقم دشتستان) در استان بوشهر

توصیه کودی فسفر براساس آزمون خاک	
قابلیت استفاده فسفر در خاک	سوپر فسفات تریپل مصرفی
میلی گرم در کیلوگرم	کیلوگرم در هکتار
<۵	۱۵۰
۵-۱۰	۱۵۰-۱۰۰
۱۰-۱۵	۱۰۰-۵۰
>۱۵	۰

مقدار فسفر توصیه شده در جدول ۱۰ برای کنگد (رقم دشتستان) در استان بوشهر به صورت پخش سطحی است. در صورت انتخاب رقم داراب به جای دشتستان در این منطقه، مقدار کود فسفوری بایستی به میزان ۵۰ درصد افزایش یابد. همچنین در صورت مصرف کود فسفوری به صورت نواری، مقدار مصرف به میزان ۵۰ درصد کاهش یابد.

در خاک‌های منطقه جیرفت و کهنوج که مناطق عمده کشت کنگد در جنوب استان کرمان هستند، میزان ماده آلی خاک کم، بافت سبک تر و محتوای آهک خاک بیشتر است. طبق بررسی‌های انجام شده در منطقه مقدار کارایی فسفر در دو رقم یکسان بود. لذا در منطقه جیرفت مقادیر توصیه شده کود فسفره مطابق جدول ۱۱ برای هر دو رقم جیرفت ۱۳ و رقم محلی قابل استفاده است.

جدول ۱۱- توصیه کودی فسفر برای گیاه کنگد در جنوب استان کرمان

توصیه کودی فسفر بر اساس آزمون خاک	
قابلیت استفاده فسفر در خاک سوپرفسفات تریپل مصرفی	
میلی گرم در کیلوگرم	کیلوگرم در هکتار
<۵	۱۰۰
۵-۱۰	۷۵-۱۰۰
۱۵-۱۰	۵۰-۷۵
>۱۵	۰

در قسمت جنوبی استان خوزستان برای انجام توصیه کودی فسفره می توان از جدول ۱۲ استفاده نمود. برای شهرستان بهبهان که مهم ترین منطقه کشت گیاه کنگد در استان خوزستان است در صورت عدم دسترسی به نتایج آزمون خاک مصرف ۵۰-۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل برای رقم بهبهان و مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود برای رقم سنتتیک قابل توصیه است.

جدول ۱۲- توصیه کودی فسفر برای گیاه کنگد در استان خوزستان

توصیه کودی فسفر بر اساس آزمون خاک	
قابلیت استفاده فسفر در خاک سوپرفسفات تریپل مصرفی	
میلی گرم در کیلوگرم	کیلوگرم در هکتار
<۵	۱۰۰
۵-۱۰	۵۰
>۱۰	۰

در شهرستان داراب که از مناطق عمده کشت گیاه کنگد در استان فارس است در صورت عدم دسترسی به نتایج آزمون خاک، مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل هم برای رقم کنگد داراب ۱۴ و هم برای لاین ۱ قابل توصیه است.

توصیه مصرف پتاسیم

در میان عناصر غذایی، پتاسیم دارای نقش‌های ویژه‌ای است. این عنصر در افزایش مقاومت به خشکی گیاه از طریق تنظیم باز و بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تعرق مؤثر است. در تنظیم فشار اسمزی سلول‌ها و افزایش تولید پرولین نیز نقش مؤثری دارد. پتاسیم در سنتز بیولوژیکی پرولین مشارکت دارد و ارقامی که پرولین بیشتری تولید می‌نمایند، در برابر استرس خشکی مقاوم‌تر بوده و عملکرد بیشتری دارند. همچنین در سوخت و ساز نیتروژن، فعال نمودن آنزیم‌ها، سوخت و ساز کربوهیدرات‌ها، خنثی‌سازی اسیدهای آلی، تسریع رشد بافت‌های سازنده، افزایش پروتئین و بهبود کیفیت محصول، تقویت استحکام بافت‌های نگهدارنده و افزایش مقاومت در برابر خوابیدگی و نیز بیماری‌ها و آفات مؤثر است.

در جدول ۱۳ مقدار پتاسیم قابل توصیه برای گیاه کنگد با توجه به نتیجه آزمون خاک و براساس مقدار سولفات پتاسیم ارائه شده است. مقدار مصرف کودهای پتاسیمی تحت تأثیر ویژگی‌های خاک از جمله بافت و ظرفیت تبادل کاتیونی و نیز نوع رقم بوده و تنها براساس آزمون خاک، تعیین می‌شود. در خاک‌های با بافت سبک مقدار مصرف ۲۰ درصد از مقدار توصیه جدول کاهش یابد و ۵۰ درصد آن از منبع پتاسیم محلول در آب به صورت سرک مصرف شود. در خاک‌های با مقدار رس بیش از ۳۰ درصد، مقدار مصرف ۲۵ درصد افزایش یابد.

جدول ۱۳ - توصیه کودی پتاسیم (سولفات پتاسیم) گیاه کنگد بر اساس آزمون خاک

پتاسیم	
پتاسیم خاک	سولفات پتاسیم
میلی گرم در کیلوگرم	کیلوگرم در هکتار
< ۱۵۰	۲۰۰
۱۵۱-۲۰۰	۱۵۰
۲۰۱-۲۵۰	۵۰
> ۲۵۰	۰

توصیه‌های منطقه‌ای پتاسیم

در استان‌های بوشهر، کرمان، فارس و خوزستان، مصرف پتاسیم در مزارع کنگد براساس جدول شماره ۱۴ قابل توصیه است. در این مناطق نیز در خاک‌های با بافت سبک مقدار مصرف ۲۰ درصد از مقدار توصیه جدول کاهش یابد و ۵۰ درصد آن از منبع پتاسیم محلول در آب به صورت سرک مصرف شود. در خاک‌های با مقدار رس بیش از ۳۰ درصد، مقدار مصرف ۲۵ درصد افزایش یابد.

جدول ۱۴- توصیه کود پتاسیم برای گیاه کنگد در استان بوشهر، کرمان و خوزستان

توصیه کود پتاسیم بر اساس آزمون خاک	
پتاسیم قابل استفاده در خاک	سولفات پتاسیم
میلی گرم در کیلوگرم	کیلوگرم در هکتار
<۱۰۰	۲۵۰
۱۵۰-۱۰۰	۲۵۰-۱۵۰
۲۰۰-۱۵۰	۱۵۰-۵۰
۲۵۰-۲۰۰	۵۰-۰
>۲۵۰	۰

توصیه کاربرد عناصر کم مصرف

کمبود عناصر غذایی آهن، روی، منگنز و مس در خاک‌های استان‌های عمده کشت نمایان بوده و مصرف آن‌ها در مزارع به ترتیب اولویت ذکر شده، ضروری است. مقدار مصرف کودهای شیمیایی حاوی عناصر غذایی کم مصرف تنها برپایه آزمون خاک قابل توصیه است.

کنترل کمبود آهن

برای عناصر غذایی روی، منگنز و مس، منبع سولفات‌ها مهم‌ترین است، اما برای رفع کمبود آهن، منبع کلات آن مؤثر است. بایستی دقت نمود که در صورت مصرف خاکی،

از کودهای کلات آهن با پایداری کافی در خاک‌ها، مانند کلات دارای بنیان EDDHA استفاده شود. مقدار مصرف عناصر کم‌مصرف برپایه آزمون خاک برای گیاه کنگد در جدول ۱۵ ارائه شده است. در صورت استفاده از کلات آهن، مصرف دو کیلوگرم در هکتار آن برای کنگد، کفایت می‌نماید. انتخاب ارقام مقاوم در برابر کلروز آهن نیز مؤثر خواهد بود. محلول‌پاشی گیاهان دچار کلروز در دو تا سه نوبت با فاصله ۱۵ روز با محلول چهار در هزار سولفات آهن بسیار مؤثر است؛ یعنی چهار کیلوگرم سولفات آهن (FeSO_4) در ۱۰۰۰ لیتر آب حل شده و سپس استفاده شود. استفاده از غلظت‌های بالاتر بیشتر سبب سوختگی برگ‌ها می‌شود.

جدول ۱۵- توصیه کودی عناصر کم‌مصرف برای گیاه کنگد

عنصر غذایی	حد بحرانی	مقدار مصرف منبع سولفات عناصر در صورتی که قابلیت استفاده آن‌ها کمتر از حد بحرانی باشد (کیلوگرم در هکتار)	ملاحظات
		میلی گرم در کیلوگرم	
آهن	۴	*	در صورتی که قابلیت استفاده
روی	۱	۱۵	عنصر خیلی کمتر از حد
منگنز	۷	۲۰	بحرانی نباشد، محلول‌پاشی در
			۲-۳ مرحله و با غلظت میانگین
مس	۰/۵	۷	۳ در هزار در رفع نیاز مؤثر است.

* کاربرد خاکی کلات آهن یا محلول‌پاشی سولفات آهن

کنترل کمبود روی

در مواردی که کمبود شدید عناصر کم‌مصرف به‌ویژه روی وجود داشته باشد، مصرف خاکی و محلول‌پاشی هر دو باید انجام گیرد. محلول‌پاشی با غلظت سه تا پنج در هزار سولفات روی می‌تواند در مراحل پیدایش گل‌های اولیه و ۱۵ روز بعد طی دو تا سه مرحله انجام گیرد و مصرف خاکی آن ۳۰ کیلوگرم در هکتار است.

کنترل کمبود بور

برای خاک‌های دارای کمبود بور با غلظت کمتر از 0.7 میلی‌گرم در کیلوگرم بور هستند، مقدار $10-15$ کیلوگرم در هکتار اسید بوریک به‌صورت پخش یکنواخت توصیه می‌شود. هرگز بور به‌صورت نواری استفاده نشود. چنانچه بیشتر از مقدار موردنیاز بور مصرف شود برای گیاه ایجاد سمیت خواهد کرد. تأکید می‌شود که فقط در صورت کمبود بور در خاک می‌توان بور (اسید بوریک) مصرف نمود. در توصیه کودی بور علاوه بر مقدار آن در خاک (به‌ویژه در خاک‌های شور) باید به مقدار آن در آب آبیاری نیز توجه شود، چراکه ممکن است مقدار آن در آب آبیاری کمبود در خاک را جبران نماید.

کنترل کمبود منگنز

اگرچه دادن سولفات منگنز به خاک می‌تواند مؤثر واقع شود ولی محلول‌پاشی آن کارایی بیشتری دارد. محلول‌پاشی سه تا پنج در هزار سولفات منگنز در مرحله‌ای که بوته‌ها 30 درصد زمین را پوشانده باشند، کافی است اما در موارد کمبود شدید منگنز، محلول‌پاشی در مرحله پیدایش گل‌های اولیه ممکن است ضروری باشد.

توصیه کودی عمومی عناصر کم‌مصرف برای مناطق کشت کنگد در صورتی که آزمون خاک وجود نداشته باشد و منطقه سابقه کمبود را در کشت‌های پیشین نشان داده باشد، کاربرد دو مرحله محلول‌پاشی کود عناصر کم‌مصرف کامل با غلظت سه در هزار است که نخستین محلول‌پاشی در زمان مشاهده گل‌های اولیه است. در مناطق شور از کود کامل میکرو بدون بور استفاده گردد.

موسسه تحقیقات خاک و آب

نکات فنی عمومی برای محلول‌پاشی

- محلول‌پاشی باید صبح زود یا عصر، هنگامی که نور خورشید مایل است انجام شود.
- به محلول کودی تهیه‌شده، ماده سیتویت یا مایع ظرف‌شویی با غلظت 0.2 در هزار (200 میلی‌لیتر در 1000 لیتر آب) اضافه شود. این کار باعث کاهش نیروی کشش سطحی آب‌شده و در نتیجه قطرات آب حالت پخشیده به خود گرفته و سطح تماس برگ با ذرات کودی بیشتر شده و در نتیجه میزان جذب برگ افزایش می‌یابد.

- هنگام محلول پاشی سرعت وزش باد باید حداقل باشد.
- پس از انجام محلول پاشی با حداقل فاصله زمانی، آبیاری مزرعه انجام شود.
- برای اطمینان از درستی انجام عملیات بالا پیشنهاد می شود محلول کود با غلظت مربوطه تهیه و در قطعه کوچکی از مزرعه، برگ پاشی نمود. در صورت نبود نشانه های برگ سوزی، پس از سه روز در گیاه در تمام سطح مزرعه، برگ پاشی انجام پذیرد. در اراضی شور از کود عناصر کم مصرف بدون بور استفاده شود.
- محلول پاشی برگی بیشتر به عنوان یک ابزار موقتی و اضطراری استفاده می شود. به عبارت دیگر موارد استعمال کوددهی از طریق برگ به دنبال کوددهی از طریق خاک و برطرف نمودن کمبودهای نهفته و مبارزه با کمبودهای شدید عناصر غذایی کم مصرف است (Kianci و Gulmezoglu، ۲۰۰۷).
- عناصر کم مصرف به طور کلی از طریق خاک و یا محلول پاشی استفاده می شوند؛ اما تصمیم گیری در خصوص کاربرد عناصر کم مصرف به دو روش یاد شده وابسته به آسانی کاربرد و مسائل اقتصادی است (Jones و Jacobsen، ۲۰۰۹).

مدیریت تغذیه گیاه کنگد در شرایط تنش های محیطی

مدیریت تغذیه گیاه کنگد در شرایط شور

هرچند تحقیقات زیادی در خصوص مقاومت به شوری کنگد انجام نشده است، اما برپایه گزارش های موجود، کنگد نسبت به برخی گیاهان مانند پنبه و یونجه به شوری حساس تر است (Bahrami و همکاران، ۲۰۱۶)؛ اما بررسی های اخیر نشان می دهد که بین ارقام مختلف از لحاظ حساسیت به شوری تفاوت وجود دارد و برخی از ارقام می توانند به شوری های متوسط مقاومت نشان دهند. براساس مطالعات انجام شده در کشور، رقم کنگد صفی آباد در شوری های زیر یک، ۴/۸۹ و ۸/۶۱ دسی زیمنس بر متر خاک بهتر از ارقام دیگر بوده و پس از آن رقم کرج، برازجان و داراب قرار دارد، اما در شوری ۱۰/۵ دسی - زیمنس بر متر رقم برازجان برتر بوده و رقم فلسطین کمترین مقاومت را به این سطح از شوری دارد. در شوری ۱۰/۵ و ۱۴/۵ دسی زیمنس بر متر برخی از ارقام (از جمله فلسطین، اولتان) قادر به تولید محصول و در شوری ۱۷/۷ دسی زیمنس بر متر هیچ یک از ارقام قادر

به تولید محصول نخواهند بود. در شوری ۱۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر خاک، کشت این ارقام مقرون به صرفه نیست (Bahrami و همکاران، ۲۰۱۶).

شوری خاک و آب به روش‌های مختلف بر روی نیاز غذایی گیاهان اثر می‌گذارند. با افزایش شوری خاک، جذب آب توسط گیاه کم شده و به علت خشکی فیزیولوژیکی، میزان فتوسنتز در گیاه کاهش و در نتیجه عملکرد کم می‌شود. از این دیدگاه نیاز کودی گیاه کاهش می‌یابد. با افزایش شوری خاک، رشد ریشه گیاه کاهش یافته و در نتیجه سطح جذب ریشه کم می‌شود. از این رو برای تأمین مواد غذایی، لازم است غلظت عنصر غذایی نسبت به شرایط غیر شور تا حدودی افزایش یافته و از این دیدگاه برای رسیدن به یک تولید معین در شرایط شور نسبت به شرایط غیر شور، مقدار بیشتری کود بایستی مصرف شود. این مسئله در بسیاری از تحقیقات گذشته به اثبات رسیده و تجزیه و تحلیل دوباره بر روی نتایج آزمایش‌های داخل کشور نیز روشن‌گر همین مطلب است.

به نظر می‌رسد شوری خاک با محدود کردن رشد ریشه، باعث کاهش جذب فسفر به وسیله گیاه می‌شود و از این رو، برای رسیدن به سطح کافی فسفر در گیاه، باید مقادیر بیشتری فسفر در مقایسه با شرایط غیر شور مصرف کرد. ضمن آن که در شوری‌های بالای آب آبیاری، مقدار قابل توجهی از فسفر رسوب می‌نماید (میلانی، ۱۳۷۸) و بنابراین، نیاز است تا مقادیر فسفر مصرفی بیشتر از شرایط غیر شور باشد. در مورد مصرف پتاسیم در شرایط شور، نتایج تحقیقات مختلف بر لزوم مصرف این عنصر سفارش می‌کند اما باید توجه داشت مقدار مصرف این کود بستگی به شوری آب آبیاری و خاک و نیز مقدار پتاسیم قابل جذب در خاک دارد. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد در شوری‌های کم، نیاز به کاربرد مقدار بیشتر نیتروژن و فسفر بوده ولی در شوری‌های زیاد، مقدار مصرف این دو کود و حتی پتاسیم باید کاهش یابد، چون این عناصر کودی بر شوری خاک خواهند افزود. در شرایط شور، جذب عناصر غذایی کم مصرف به دلیل کاهش حجم ریشه و خاصیت ضدبیتی (آنتاگونیستی) بین عناصر غذایی و یون‌های سمی، کاهش می‌یابد. برخی از تحقیقات نشان داده، کاهش جذب عناصر کم مصرف در شرایط شور، ناشی از جذب بیشتر عناصری مانند کلسیم، منیزیم و سدیم است و بدین دلیل، محلول پاشی عناصر کم مصرف برای رفع نیاز گیاه در این شرایط توصیه می‌شود. یکی از دلایل کاهش عملکرد در خاک-

های شور، کوتاه شدن دوره رشد بیان شده است.

واکنش گیاه کنگد به شرایط تنش خشکی

کنجد از گیاهان مقاوم به خشکی است. این گیاه در مرحله گیاهچه، گل‌دهی و آغاز مرحله دانه‌بندی به رطوبت کافی در خاک نیاز داشته و به تنش خشکی حساسیت دارد. برخی کشاورزان برای زودتر خشک شدن محصول به قطع زودهنگام آبیاری اقدام می‌کنند، این عمل ممکن است سبب کاهش رشد دانه‌های در حال رسیدن شود (احمدی، ۱۳۸۸). افزایش بیش‌ازحد رطوبت به‌ویژه در مرحله جوانه‌زدن، سبب تشدید فعالیت قارچ‌های خاک‌زی و در نتیجه شیوع بیماری‌هایی مانند بوته‌میری می‌شود. باید توجه داشت مرحله گل‌دهی در اکثر گیاهان از مراحل حساس رشد است و ایجاد تنش در این مرحله باعث افت شدید عملکرد است و در مورد کنگد نیز به‌آشکار این مسئله دیده شد (نورقلی پور و همکاران، ۱۳۹۲).

مدیریت آبیاری گیاه کنگد

کنجد در برابر خشکی و تنش کم‌آبی مقاوم است. با این وجود گیاهچه کنگد در برابر کمبود آب بیش‌ازحد حساس است. گیاه در زمان گل‌دهی و اوایل دانه‌بندی به کم‌آبی حساس‌تر می‌شود که در این مراحل باید آب کافی در اختیار گیاه قرار گیرد. نخستین آبیاری بلافاصله پس از کاشت و با توجه به ریز بودن کنگد باید ملایم انجام شود تا بذرها جابجا نشوند و به جوانه‌زنی بذور کمک و رشد گیاهچه‌ها را تسریع کند. آبیاری دوم به فاصله ۳-۴ روز پس از آبیاری اول، به‌منظور تثبیت جوانه‌زنی بذور انجام می‌شود. آبیاری سوم هنگامی که ارتفاع بوته‌ها به ۱۰ سانتی‌متر می‌رسد و آبیاری‌های بعدی را می‌توان به فاصله ۱۰ تا ۱۵ روز انجام داد. از لحاظ آبیاری حساس‌ترین مرحله رشد گیاه، مرحله گل‌دهی است؛ زیرا در این مرحله جذب آب به حداکثر می‌رسد. در فاصله میان آبیاری دوم تا گل‌دهی، ۴ نوبت آبیاری به فواصل ۱۰ تا ۱۵ روز از یکدیگر انجام می‌شود. از اواسط دانه‌بندی به بعد آبیاری را به‌تدریج با تأخیر و پس از تخلیه ۸۰-۷۰ درصد رطوبت

قابل استفاده از خاک و آخرین آبیاری نیز بین ۲ تا ۳ هفته پیش از رسیدگی دانه انجام می شود (نورقلی پور و همکاران، ۱۳۹۲).

تنظیم آبیاری در کشت و تولید کنگد اهمیت ویژه‌ای دارد و آبیاری نامتعادل باعث وقوع آسیب‌های ناشی از عوامل زنده مانند بیماری‌های قارچی و فیتوپلاسمایی و عوامل غیرزنده مانند ماندابی و خشکی به این محصول می شود (Wang و همکاران، ۲۰۱۶). بیماری‌های مهم و اقتصادی این محصول بوته‌میری فوزاریومی با عامل قارچی فوزاریوم^۱، بوته‌میری ماکروفومینایی با عامل قارچی ماکروفومینا^۲ و بیماری فیتوپلاسمایی فیلودی یا گل سبز هستند که گاهی تا ۹۰ درصد خسارت به محصول وارد می سازند و هر سه بیماری در اثر تنش خشکی و نوسانات رطوبتی تشدید می شوند (دهقانی و همکاران، ۱۳۸۸). روش‌های متعددی برای کنترل این بیماری‌ها وجود دارد که از آن جمله کنترل فاصله آبیاری است به طوری که برای کنترل بیماری بوته‌میری، در صورت مشاهده پیشرفت این بیماری در مزرعه تا حد ممکن از بروز تنش رطوبتی پرهیز شود (شتاب بوشهری، ۱۳۸۲) و برای کاهش جمعیت ناقلین و کنترل بیماری گل سبز بایستی فاصله آبیاری‌ها بیش از حد نشود تا از خشکی محیط بوته‌ها جلوگیری شده زمینه فعالیت تغذیه‌ای زنجرک‌ها کمتر شود (دهقانی و همکاران، ۱۳۸۸).

نتیجه‌گیری کلی

کشت کنگد عموماً در مناطق گرم و خشک با میزان کم ماده آلی خاک و فقیر از نظر برخی عناصر غذایی مرسوم است. این گیاه عموماً در تابستان و بعد از برداشت گندم کشت می شود. با توجه به این که کنگد گیاه کم‌توقعی است توجه چندانی به مدیریت تغذیه آن نمی شود. با اینکه کنگد در خاک‌های با حاصلخیزی کم و یا شرایط عدم مصرف کودهای دامی و شیمیایی عملکرد کم و بیش محدود و قابل قبولی از نظر کشاورزان دارد، اما مصرف متعادل عناصر غذایی و مدیریت تلفیقی تغذیه تأثیر چشمگیری بر بهبود عملکرد و کیفیت آن خواهد داشت. همان گونه که بیان شد مدیریت تلفیقی تغذیه گیاه، به صورت استفاده هوشمندانه از ترکیب بهینه منابع آلی، معدنی و زیستی عناصر غذایی در یک تناوب

¹ *Fusarium oxysporum*

² *Macrophomina phaseolina*

زراعی، برای دستیابی به عملکرد و تولید بهینه، بدون آسیب رساندن به اکوسیستم خاک، تعریف می‌شود. به عبارت دیگر مدیریت تلفیقی تغذیه گیاه با حفظ حاصلخیزی خاک و فراهمی عناصر موردنیاز گیاه در سطح بهینه، سبب تولید پایدار محصول به میزان مورد انتظار می‌شود.

گرچه جزئیات مدیریت تلفیقی تغذیه کنگد به‌طور مفصل در نشریه بحث شد اما آنچه به عنوان دیدگاه کلی می‌توان به آن اشاره کرد این است که کمبود نیتروژن به دلیل پایین بودن میزان ماده آلی خاک در مناطق با کشت کنگد همگانی و لزوم توجه به این عنصر غذایی را در درجه اول اهمیت قرار داده است. مقدار مصرف این عنصر غذایی در مناطق با ارقام مختلف کشت متفاوت است، اما مصرف آن طی چند مرحله در تمامی مناطق همگانی است. مقدار مصرف عناصر غذایی فسفر، پتاسیم، روی، منگنز و مس نیز براساس آزمون خاک در مناطق مختلف و روش‌های مختلف کشت متفاوت است، اما مصرف آن در زمان پیش از کاشت و قرار گرفتن کودهای حاوی این عناصر در محدوده فعالیت ریشه گیاه در تمامی مناطق کشت همگانی و قابل توصیه است. کاربرد کودهای کلات آهن براساس آزمون خاک در چند مرحله و نیز محلول‌پاشی برخی عناصر غذایی با توجه به مقادیر مصرف کودهای پایه، شرایط اقلیمی و مرحله رشد گیاه نیز قابل توصیه است.

به‌طور کلی در این نشریه نیز سعی گردید اجزای تشکیل‌دهنده مدیریت تلفیقی تغذیه گیاه برای گیاه کنگد که در افزایش و پایداری تولید این محصول مؤثر است توضیح داده شود تا زارعین محترم عملکرد مناسبی از مزارع برداشت نمایند.

موسسه تحقیقات خاک و آب

منابع

- احمدی، م. ۱۳۸۸. زراعت گیاهان دانه روغنی. انتشارات موعود اسلام. قم، ایران. ۲۵۴ ص.
- آمارنامه کشاورزی. ۱۳۹۶. جلد اول. وزارت جهاد کشاورزی، تهران، ایران.
- دهقانی، ع.، م. صالحی، ی. خواجه‌زاده، م. تقی‌زاده. ۱۳۸۸. بیماری فیلودی کنگد و اثرات تاریخ کشت و حشره‌کش در کنترل آن در استان خوزستان، مجله آفات و بیماری‌های گیاهی. ۱: ۲۳-۳۶.
- سماوات، س. ۱۳۷۸. مدیریت مصرف کود در کشت دانه‌های روغنی. نشریه فنی ۴۳ موسسه تحقیقات خاک و آب، نشر آموزش کشاورزی، کرج، ایران.
- شتاب بوشهری، م. ۱۳۸۲. عوامل قارچی بوته میری کنگد و توصیه‌هایی برای کنترل آن‌ها. فصلنامه آموزشی ترویجی کارون سبز: ۱۹-۱۸.
- شهیدی، ا.، ب. معتمدی، ح. ر. ابراهیمی نژاد فرد، س. منصوری. ۱۳۸۷. راهنمای کاشت، داشت و برداشت کنگد. معاونت امور تولیدات گیاهی، اداره کل پنبه و دانه‌های روغنی، تهران، ایران.
- ملکوتی، م. ج.، م. ن. غیبی. ۱۳۷۹. تعیین حد بحرانی عناصر غذایی مؤثر در خاک، گیاه و میوه در راستای افزایش عملکرد کمی و کیفی محصولات استراتژیک کشور. موسسه تحقیقات خاک و آب، نشر آموزش کشاورزی، کرج، ایران.
- مهاجر میلانی، پ. ۱۳۷۸. تأثیر شوری آب و خاک بر نیاز نیتروژن و پتاسیم در گندم. نشریه فنی شماره ۱۰۵۴، موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.
- نورقلی پور ف.، ر. رفیع، م. رجایی، س. ع. غفاری نژاد، م. زلفی باوریانی، آ. صباح، نوروزی، ح. جعفری. ۱۳۹۲. بهینه‌سازی توصیه کودی و آبی برای کنگد در مناطق مختلف تحت کشت (مرحله اول). گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.
- Ahmad, A., A. Hussain, M. Akhtar, and M. Musaddique. 2001. Yield and quality of two sesame varieties as affected by different rates of nitrogen and phosphorus. *Pakistan journal of agricultural sciences*, 38(1-2):4-7.
- Aulakh, M. S., B. S. Sidhu, B. R. Arora, and B. Singh. 1985. Content and uptake of nutrients by pulses and oilseed crops, *Indian Journal of Ecology* 12 (2): 238-242.
- Bahrani H., A. Ostadi Jafari and J. Razmjoo. 2016. Effect of salinity levels (NaCl) on yield, yield components and quality content of sesame (*Sesamum Indicum* L.) cultivars. *Environmental management and sustainable development*, 5: 104-117.
- Bahrani, H., A.O. Jafari, and J. Razmjoo. 2016. Effect of Salinity Levels (NaCl) on Yield, Yield Components and Quality Content of Sesame (*Sesamum Indicum* L.)

- Cultivars Environmental Management and Sustainable Development, 5(2).104-117.
- Couch, A., A. Jani, M. Mulvaney, G. Hochmuth, J. Bennett, R. Gloaguen, R. Langham, and D. Rowland. 2017. Nitrogen accumulation, partitioning, and remobilization by diverse sesame cultivars in the humid southeastern USA. *Field Crops Research*, 203, pp.55-64.
- El-Nakhlawy, F. S., and M. A. Shaheen .2009. Response of seed yield, yield components and oil content to the sesame cultivar and nitrogen fertilizer rate diversity. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*. 8(4): 287-293.
- Havlin J. L., S. L. Tisdale, W. L. Nelson, and J. D. Beaton. 2005. *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management*. Potash and Phosphate Institute of Canada.
- Jani Arun D., M. Mulvaney, D. Rowland, C. Wesley Wood . 2017. Macronutrient uptake and partitioning by modern, diverse sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars in the southeastern USA. Conference: 2017 Annual Meeting of the American Society of Agronomy-Crop Science Society of America-Soil Science Society of America. https://www.researchgate.net/publication/311899609_Macronutrient_uptake_and_partitioning_by_modern_diverse_sesame_Sesamum_indicum_L_cultivars_in_the_southeastern_USA.
- Jones, C., and J. Jacobsen. 2009. *Micronutrients: Cycling, Testing and fertilizer recommendation*. Nutrient Management Module No. 7. Manitoba State University.
- Kapoor S., S. S. Parmar, M. Yadav, D. Chaudhary, M. Sainger , R. Jaiwal, P. K. Jaiwal . 2015. Sesame (*Sesamum indicum* L.). In *Agrobacterium Protocols* (pp. 37-45). Springer, New York, NY.
- Kianci, E., and N. Gulmezoglu. 2007. Grain yield and yield components of triticale upon application of different foliar fertilization. *Intersciencia*. 32(9): 624- 628.
- Langham, D. R. 2007. Phenology of sesame. *Issues in New Crops and New Uses*, Janick & Whipkey, eds., ASHS Press, Alexandria, VA, pp.144-182.
- Langham, D. R., G. Smith, T. Wiemers, and J. Riney. 2006. Southwest sesame grower's pamphlet. Sesaco Corporation, San Antonio, Texas.
- Malik, M. A., M. F. Saleem M. A. Cheema, and S. Ahmed. 2003. Influence of different nitrogen levels on productivity of sesame (*Sesamum indicum* L.) under varying planting patterns. *International Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 5(4): 490-492.
- Nurico. 2018. Plant nutrient deficiencies. Typical nutrient deficiency symptoms seen on plant foliage. <http://www.nurico.co.za/plant-nutrient-deficiencies>.
- Sanga, D. L. 2013. Evaluation of soil fertility status and optimization of its management in sesame (*Sesamum indicum* L.) growing areas of Dodoma District (Doctoral dissertation, Sokoine University of Agriculture). Masters of science thesis. Sokoine university of agriculture. Morogoro, Tanzania.

- <http://www.suaire.suanet.ac.tz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/482/DAINES%20LEOGIN%20SANGA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sesaco. 2012. sesame producer guide. <https://www.slideshare.net/alexutemesgen/2012-sesame-producerguide13feb>.
- Wang, L., D. Li, Y. Zhang, Y. Gao, J. Yu, X. Wei, and X. Zhang. 2016. Tolerant and susceptible sesame genotypes reveal waterlogging stress response patterns. *PloS one*, 11(3), p.e0149912.
- Yermanos, D. M. 1980. Sesame. In: Fehr, W.R., Hadley, H.H. (Eds.), Hybridization of crop plants. American Society of Agronomy and Crop Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA, pp. 549-563.
- Zavareh, M., G. Hoogenboom, H. Rahimian Mashhadi, and A. Arab. 2008. A decimal code to describe the growth stages of sesame (*Sesamum orientale* L.). *International Journal of Plant Production* 2 (3): 193-206.
- Zenawi, G. and A. Mizan. 2019. Effect of Nitrogen Fertilization on the Growth and Seed Yield of Sesame (*Sesamum indicum* L.). *International Journal of Agronomy*, <https://doi.org/10.1155/2019/5027254>.



موسسه تحقیقات خاک و آب

پیوست‌ها

جدول پیوست ۱- توصیه کودی منطبق بر فنولوژی رشد کنگد

نوع کود /امراحل فنولوژیکی	پیش از کاشت	آغاز رشد رویشی (پیدایش شاخه‌های جانبی)	رشد رویشی پیش از گل‌دهی	پیدایش گل‌های اولیه	پیدایش ساقه گل دهنده	تشکیل کپسول	پرشدن کپسول
کود دهی نیتروژن	۳۰ درصد توصیه	۳۵ درصد توصیه	۳۵ درصد توصیه				
کود دهی فسفر	۱۰۰ درصد توصیه ترجیحاً به‌صورت نواری						
کود دهی پتاسم	۱۰۰ درصد توصیه ترجیحاً به‌صورت نواری						
کودهای آلی	توسط دیسک با خاک مخلوط شود						
کودهای زیستی و بذری مال	بذری مال نمودن کنجد با مایه تلقیح باکتری‌های محرک رشد PGPR						
کودهای حاوی عناصر ریزمغذی			محلول پاشی				
اسید هیومیک	بذری مال	همراه با آب آبیاری					
محرک‌های رشد گیاهی	بذری مال		محلول پاشی				
کودهای محلول با پتاسیم بالا			محلول پاشی	محلول پاشی			
کودهای محلول با فسفر بالا	در صورتی که پیش کشت مصرف نشده		محلول پاشی				

جدول پیوست ۲- ضرایب تبدیل برای عناصر غذایی در کودهای مختلف

از این شکل	ضرب در این عدد	برای رسیدن به این شکل / یا از این شکل	ضرب در این عدد	برای رسیدن به این شکل
NO ₃	0.226	N	4.427	NO ₃
NH ₃	0.820	N	1.216	NH ₃
NH ₄	0.776	N	1.288	NH ₄
CO(NH ₂) ₂ -urea	0.463	N	2.160	CO(NH ₂) ₂ -urea
(NH ₄) ₂ SO ₄	0.212	N	4.716	(NH ₄) ₂ SO ₄
NH ₄ NO ₃	0.350	N	2.857	NH ₄ NO ₃
P ₂ O ₅	0.436	P	2.291	P ₂ O ₅
Ca ₃ (PO ₄) ₂	0.458	P ₂ O ₅	2.182	Ca ₃ (PO ₄) ₂
K ₂ O	0.830	K	1.205	K ₂ O
KCl	0.632	K ₂ O	1.580	KCl
KCl	0.525	K	1.905	KCl
ZnSO ₄ · H ₂ O	0.360	Zn	2.778	ZnSO ₄ · H ₂ O
ZnSO ₄ · 7 H ₂ O	0.230	Zn	4.348	ZnSO ₄ · 7 H ₂ O
SO ₂	0.501	S	1.997	SO ₂
SO ₄	0.334	S	2.996	SO ₄
MgSO ₄	0.267	S	3.750	MgSO ₄
MgSO ₄ · H ₂ O	0.230	S	4.310	MgSO ₄ · H ₂ O
MgSO ₄ · 7 H ₂ O	0.130	S	7.680	MgSO ₄ · 7 H ₂ O
(NH ₄) ₂ SO ₄	0.250	S	3.995	(NH ₄) ₂ SO ₄
SiO ₂	0.468	Si	2.139	SiO ₂
CaSiO ₃	0.242	Si	4.135	CaSiO ₃
MgSiO ₃	0.280	Si	3.574	MgSiO ₃
MgO	0.603	Mg	1.658	MgO
MgO	2.986	MgSO ₄	0.335	MgO
MgO	3.432	MgSO ₄ · H ₂ O	0.290	MgO
MgO	6.250	MgSO ₄ · 7 H ₂ O	0.160	MgO
MgO	2.091	MgCO ₃	0.478	MgO
CaO	0.715	Ca	1.399	CaO
CaCO ₃	0.560	CaO	1.780	CaCO ₃
CaCl ₂	0.358	Ca	2.794	CaCl ₂
CaSO ₄	0.294	Ca	3.397	CaSO ₄
Ca ₃ (PO ₄) ₂	0.388	Ca	2.580	Ca ₃ (PO ₄) ₂
FeSO ₄	0.368	Fe	2.720	FeSO ₄
MnSO ₄	0.364	Mn	2.748	MnSO ₄