بسم الله الرحمن الرحیم

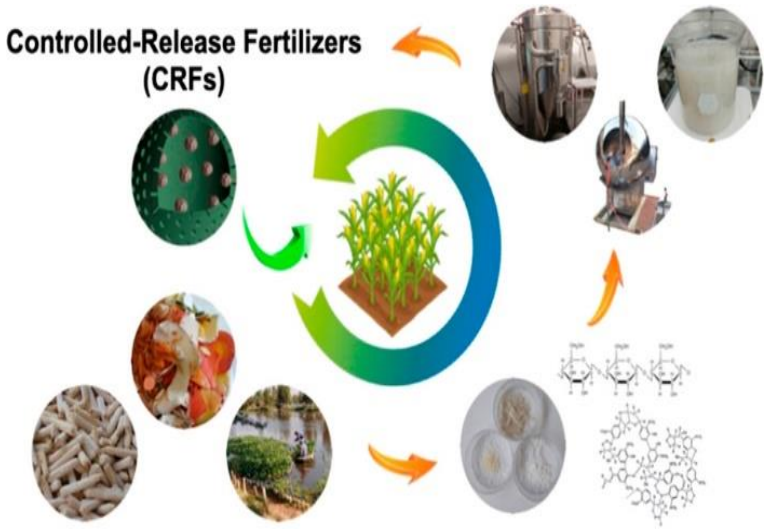
تولید و کاربرد کودهای فسفاته با رهایش کنترل شده

Slow-Controlled release phosphorus fertilizers

تهیه کننده: هادی جنت خواه

کارشناس ارشد کشاورزی و محیط زیست

شرکت خدمات حمایتی کشاورزی فارس



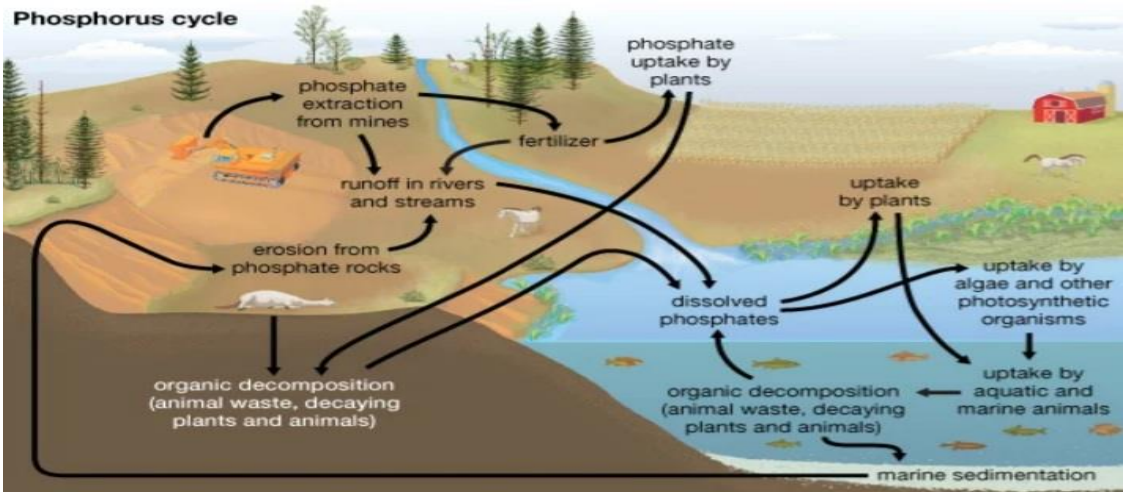
مقدمه:

میزان تولید محصولات کشاورزی می بایست متناسب با افزایش روزافزون جمعیت مردم جهان و نیاز به تأمین غذای مورد نیاز بشر افزایش یابد. راه کارهای دستیابی به این هدف با افزایش سطح زیرکشت و افزایش عملکرد محصولات کشاورزی امکان پذیر است. درحالی که جمعیت جهان رو به افزایش است و پیش بینی می شود تا سال 2050 میلادی به حدود نه میلیارد نفر برسد؛ ولی سطح زمین های فاریاب جهان به دلایلی نظیر محدودیت منابع آب، شوری خاک و آب ها و شیب اراضی کشاورزی ثابت مانده است. بنابراین افزایش عملکرد محصولات کشاورزی به منظور تأمین غذای جمعیت رو به افزایش بشر ضروری است. از جمله راه کارهای افزایش تولید در واحد سطح، مصرف صحیح و متناسب انواع کودهای کشاورزی است که در حفظ و اصلاح حاصلخیزی خاک و افزایش کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی مؤثر است. بررسی ها و تحقیقات سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد (فائو) نشان می دهد که طی سه دهه از مصرف کودها، تولید محصولات کشاورزی در جهان بیش از 55 درصد افزایش یافته است. فسفر از جمله عناصر غذایی ضروری برای گیاهان است که دسترسی به آن در برخی از مناطق جهان به دلیل محدودیت منابع قابل استخراج، مشهود است. فسفر در ساختمان اسیدهای نوکلئیک (RNA,DNA)، فسفولیپیدها، آدنوزین تری فسفات (ATP) و آدنوزین دی فسفات (ADP) شرکت داشته و برای تشکیل این ترکیب ها ضروری است. فسفر همچنین در ذخیره و انتقال انرژی در اندام موجودات زنده نقش مهمی ایفاد می کند.

در بین عناصر فراوان روی زمین، یازدهمین شماره مربوط به فسفر است. این عنصر به دلیل واکنش پذیری بالا در طبیعت به صورت آزاد وجود نداشته و در مواد معدنی به صورت فسفات موجود است. علاوه بر نیتروژن و پتاسیم، فسفر نیز یک ماده مغذی برای رشد گیاهان به حساب می آید.

گیاهان این عناصر مغذی را از طریق ریشه خود جذب می کنند. خاک بنابردلایل مختلفی مانند شسته شدن توسط باران، می تواند فسفر خود را از دست بدهد و این کمبود فسفر در خاک، رشد گیاهان را با محدودیت هایی روبرو می کند. از این رو در کشاورزی، مواد غذایی مورد نیاز گیاهان را از طریق کود فسفر به آن ها می رسانند.

غالباً درصد فسفر کودهای شیمیائی فسفاته را به صورت درصد اکسید فسفر ذکر می نمایند. قسمت اعظم فسفری که به خاک داده می شود در خاک های قلیایی توسط کلسیم و در خاک های اسیدی توسط آهن و آلومینیوم تثبیت می شود. حداکثر میزان محلول فسفر در PH بین 5/6 تا 6 مشاهده می شود.



اصطلاحات مربوط به کودهای فسفری

1- فسفر محلول در آب

مقدار کمی کود پس از کوبیدن در یک زمان مشخص با آب مقطر عصاره گیری و سپس فیلتر می شود. مقدار فسفر عبور کرده از صافی پس از اندازه گیری براساس درصد وزن کود بیان می گردد که این بخش، فسفر قابل حمل در آب نامیده می شود. منوکلسیم فسفات [$Ca(H_2PO_4)_2$]، منوآمونیوم فسفات [$NH_4(H_2PO_4)$] و دی آمونیوم فسفات [$(NH_4)_2HPO_4$] و فسفات پتاسیم [KH_2PO_4] محلول در آب هستند.

2- فسفر محلول در سیترات

کودی که بعد از استخراج فسفر محلول در آب باقی می ماند در یک زمان معین توسط محلول یک نرمال سیترات آمونیوم در PH برابر هفت عصاره گیری می شود. مقدار فسفر محلول صاف شده اندازه گیری شده و بر حسب درصد وزن کود محاسبه و بیان می گردد؛ که این بخش را فسفر محلول در سیترات می گویند. در برخی از موارد برای استخراج فسفر از کود به جای سیترات آمونیوم خنثی از سیترات آمونیوم قلیایی استفاده می گردد. محلول عصاره گیر قلیایی مقدار فسفر کمتری استخراج می کند که براساس برخی تحقیقات این مقدار با رشد گیاه و جذب فسفر همبستگی بهتری دارد.

3- فسفر قابل جذب

به مجموع فسفر محلول در آب و فسفر محلول در سیترات که برای گیاهان قابل استفاده می باشد، فسفر قابل جذب گفته می شود.

4- فسفر کل

به مجموع فسفر محلول در آب، فسفر محلول در سیترات و فسفر غیرمحلول در سیترات، فسفر کل گفته می شود.

کودهای فسفاته رایج:

سوپرفسفات ساده:

این کود از واکنش سنگ فسفات با اسید سولفوریک قوی تولید می شود و 7 تا 5/9 درصد فسفر (16 تا 22 درصد P_2O_5) به شکل مونوکلسیم فسفات (MCP) دارد و 90 درصد آن در آب قابل حل است.

سوپرفسفات تریپل:

این کود از واکنش سنگ فسفات با اسید فسفریک تولید می شود و حدود 19 تا 32 درصد فسفر (44 تا 55 درصد P_2O_5) به شکل MCP دارد و تمام آن محلول در آب است.

سوپرفسفات غنی شده:

این کود از واکنش سنگ فسفات با مخلوطی از اسیدهای سولفوریک و فسفریک ایجاد می شود و حدود 11 تا 13 درصد فسفر (25 تا 30 درصد P_2O_5) دارد و 95 درصد آن محلول در آب است.

سوپرفسفات آمونیومی:

این ماده حاصل واکنش سوپرفسفات معمولی یا تریپل با آمونیاک بی آب یا محلول آمونیاک است و درحدود 2 تا 6 درصد نیتروژن و 6 تا 21 درصد فسفر (14 تا 49 درصد P_2O_5) دارد. آمونیاکی کردن سوپرفسفات روش ارزانی برای افزودن همزمان نیتروژن به کود است. ولی این عمل مقدار فسفر قابل حل در آب را در سوپرفسفات معمولی به مقدار 20 درصد و در سوپرفسفات تریپل به میزان 50 درصد کاهش می دهد. برای گیاهان زراعی که به فسفر محلول در آب کود فسفری پاسخ نشان می دهند، آمونیاکی کردن زیاد سوپرفسفات معمولی بر قابلیت جذب فسفر توسط گیاهان اثر بازدارنده دارد.

فسفات آمونیوم:

این ماده از واکنش اسید فسفریک با آمونیاک تولید می شود و به صورت های دو ترکیب MAP (مونوآمونیوم فسفات) و DAP (دی آمونیوم فسفات) می باشد. مونوآمونیوم فسفات معمولی دارای 11-48-0 (21 درصد P) تا 0-55-11(26 درصد P) و دی آمونیوم فسفات 0-48-12(21 درصد P) تا 0-53-21(23 درصد P) نیتروژن و فسفر می باشد. وقتی مخلوط سولفوریک اسید با فسفریک اسید و آمونیاک ترکیب شود، فرآورده حاصل آمونیوم سولفات فسفات 16-20-0 (6/8 درصد P) می باشد.

نیتریک یا نیتروفسفات:

این ماده بر اثر واکنش اسیدنیتریک با سنگ فسفات به دست می آید. به دلیل اینکه یکی از فرآورده های حاصل نیترات کلسیم است و این ماده بسیار جاذب رطوبت می باشد، سعی می شود که این ماده را به وسیله سرد سانتریفیوژ کردن خارج نموده و با تزریق کربن دی اکسید، به کلسیم کربنات تبدیل نمود. در برخی از فرآیندها از اسید سولفوریک یا اسیدفسفریک به همراه اسید نیتریک برای تبدیل بخشی از نیترات کلسیم به سولفات کلسیم یا فسفات کلسیم استفاده می شود.

آمونیوم پلی فسفات:

این ماده با آمونیاکی کردن مخلوط سوپرفسفریک اسید با فسفر بیش از 30 درصد و ارتوفسفریک اسید در یک فرآیند آبی تولید می شود. این فرآیند منجر به تولید کودی با درجه 0-62-15

(27 درصد فسفر) در دو نوع مایع یا جامد می شود. پلی فسفات بایستی قبل از جذب شدن توسط گیاهان به ارتوفسفریک اسید تبدیل شود. این هیدرولیز توسط آنزیم پیروفسفاتاز انجام می شود. تحقیقات نشان می دهد که نیمه عمر این پلیمر فسفردر حالت آمونیوم پلی فسفات مایع در خاک های با شرایط بی هوازی 6-2 روز و در خاک های با شرایط هوازی 3-2 روز می باشد. مقادیر فوق برای پلی فسفات جامد در شرایط بی هوازی 9-3 روز و در شراط هوازی 27-5 روز می باشد. آمونیوم پلی فسفات علاوه بر میزان بالای عنصر غذایی، فایده کلات کنندگی عناصر کم مصرف را نیز دارد و به علت اینکه زمانی معین برای تبدیل آن ها به ارتوفسفات نیاز است از تثبیت فسفر نیز می کاهد.

سنگ فسفات:

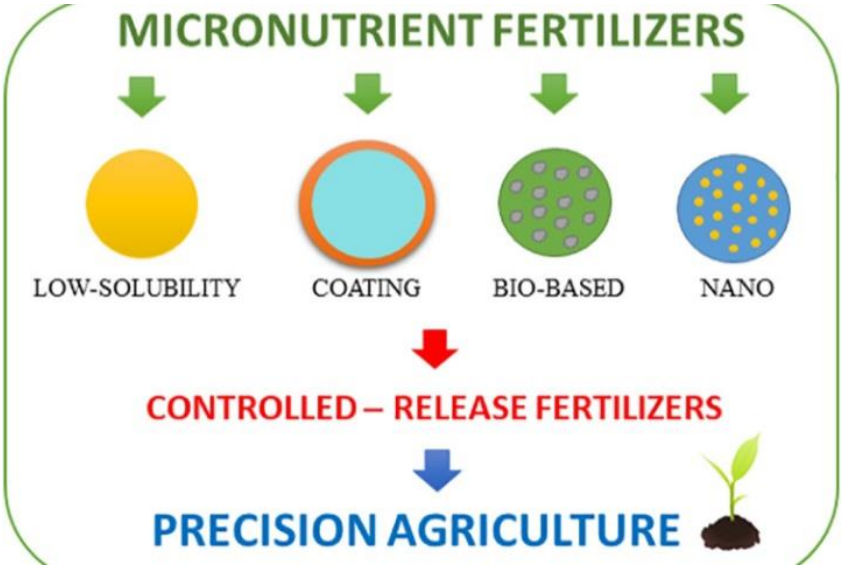
سنگ فسفات 11 الی 16 درصد فسفر (25 تا 37 درصد P_2O_5) دار دو بخش اعظم آن به صورت آپاتیت بوده و در آب نامحلول است. بسته به عیار سنگ فسفات و ترکیب شیمیائی آن، مقدار فسفر محلول در سیترات از 5 تا 17 درصد فسفر کل متغیر است.

به منظور رفع کمبود فسفر در بسیاری از خاک های کشاورزی جهان از کودهای شیمیائی فسفاته استفاده می شود. این کود به سهولت در آب خاک حل شده و غلظت فسفر محلول و فسفر قابل جذب گیاه در خاک را افزایش داده و سبب افزایش عملکرد گیاه می شود. با این حال میزان و نحوه مصرف کودهای فسفاته می بایست مدیریت و کنترل شود تا از بروز پدیده غنی شدن آب ها و ورود بی رویه فسفر به منابع آب جلوگیری شود. ازجمله عواملی که سبب هدر رفت و ورود فسفر به منابع آبی می شود تبدیل فسفر از شکل های محلول و قابل جذب به حالت های غیرقابل جذب گیاه در خاک است. که این پدیده در مواردی می تواند کارآیی مصرف کودهای فسفاته را تا 15 درصد کاهش دهد. زمانی که کود فسفر در خاک قرار گرفته و در آب خاک حل می شود، فسفر بر اثر دو سازکار: جریان توده ای و پخشیدگی در پیرامون دانه کود حرکت می کند و این امکان نیز وجود دارد که فسفر محلول رسوب کرده و از دسترس ریشه گیاه خارج شود. خاک های اسیدی کود فسفر را بیشتر از خاک های آهکی تثبیت و به شکل های غیرقابل جذب گیاه در خاک تبدیل می کند. تحقیقات نشان می دهد که با گذشت مدت زمانی از مصرف کود سوپرفسفات تریپل در خاک، مقدار فسفر قابل جذب گیاه کاهش یافته و این کاهش با مصرف همزمان کودهای با پایه اسیدی و تغییر در میزان رطوبت و خشک و مرطوب شدن خاک، تشدید می شود. میزان فسفر کل خاک ها از 0/005 تا 0/15 درصد تغییر می کند. از آن جا که فسفر یک عنصر غذایی پرمصرف به وسیله گیاهان است، لذا سال های متمادی کشت محصولات و خارج شدن فسفر از اکوسیستم خاک در اثر برداشت محصول، آبشویی و روان آب سبب تخلیه خاک ها از فسفر می گردد. درخصوص ضرورت مصرف کودهای فسفاته در خاک، تحقیقات گزارش می دهند که مقدار فسفر قابل

جذب گیاه در 70 درصد خاک های ایران از سطح بحرانی 15 میلی گرم در کیلوگرم کمتر شده است. این درحالی است که کودهای شیمیائی فسفر از ذخایر محدود و تجدیدناپذیر سنگ فسفات استخراج می شود. ذخایر سنگ فسفات با کیفیت مناسب با گذشت زمان کم شده و قیمت آن گران تر و در نهایت تمام می شود.

از طرفی منابع عمده سنگ فسفات جهان به کشورهای خاصی محدود می شود و بروز مشکلات سیاسی در روابط بین کشورها، دسترسی به منابع فسفر جهان را محدود می کند. همچنین عدم وجود زیرساخت های مناسب برای تولید کود و کمبود ارز برای خرید آن در هر کشوری می تواند تغذیه بخش کشاورزی را با مشکلی مواجه سازد. بنابر این، این نگرانی وجود دارد که در کشورهایی که ذخایر سنگ فسفات ندارند یا کم دارند، افزایش قیمت کودهای فسفاته یا محدودیت آن ها، امنیت غذایی بشر را در آینده تهدید نماید. لذا مدیریت کودهای فسفاته یک عامل کلیدی در تولید محصولات کشاورزی است. باتوجه به اینکه فرایندهای تثبیت کننده فسفات در خاک و ایجاد شکل های غیرقابل جذب گیاه، همواره اتفاق افتاده است، لذا مقدار مصرف کودهای فسفر بیش از مصرف گیاهان گردیده است.

برای بهبود فراهمی فسفر و افزایش کارایی مصرف کودهای فسفاته، استفاده از کودهای کندرهای فسفر یا با رهایش کنترل شده با استقبال پژوهشگران مواجه شده است.



کود کندرهایش: Slow-release fertilizer (S.R.F)

کودهای کندرها به کودی گفته می شود که سرعت حل شدن آن در آب خاک، کم تر از کودهای محلول در آب می باشد. این کودها در مدت زمان طولانی تری عناصر غذایی را به ریشه گیاهان عرضه می کنند. کودهای با رهایش کنترل شده از این نظر با کودهای کندرها تفاوتی ندارند.

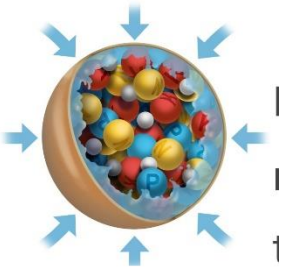
کودهای کندرهایش عموماً کودهای درون کپسول یا با لایه پوششی نیستند و با استفاده از سنتزهای ترکیبی شیمیائی و برای مثال از ترکیب زنجیره مولکولی بلند با آلدئید ها تولید می شوند که نهایتاً سبب کاهش سرعت شکستگی و جداسازی عناصر غذایی از کود تحت تأثیر عملکردهای میکروبی محیط رشد خواهد شد.

در کودهای کندرها طول دوره آزادسازی عناصر از کود، قابل کنترل نیست. زیرا میزان مؤثر بودن میکروارگانیسم ها در تجزیه مولکول ها و رهاسازی یون های قابل جذب توسط گیاه، به میزان زیادی به شرایط محیط رشد گیاه، میزان مواد آلی، کمپوست، کود حیوانی و کود سبز موجود در محیط، و همچنین دما و رطوبت بستگی دارد.

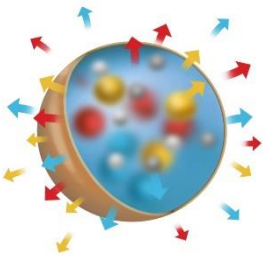
کود با رهایش کنترل شده Controlled-release fertilizer (C.R.F):

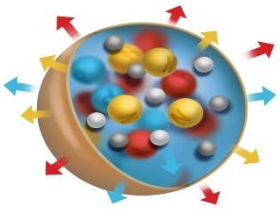
کودهای با رهایش کنترل شده به صورت دانه هایی که در آن ماده کودی مغذی با یک رزین آلی یا پوششی پلیمری پوشیده و محصور شده است تولید و ارائه می شوند، و وجود این پوشش فرایند فیزیکی را در خاک به دنبال دارد که راز انتشار تأخیری مواد مغذی در یک **CRF** خواهد بود.

ساختار کودهای با رهایش کنترل شده بدین صورت است که پوشش روی دانه های کود به عنوان یک غشای تراوا یا نیمه تراوا حمل می کند که به برخی از مواد اجازه عبور می دهد و مانع از عبور برخی دیگر می شود. زمانی که کود با رهایش کنترل شده در محیط رشد مرطوب قرار می گیرد، در ابتدا عبوری اسمزی و یک طرفه را به داخل دانه های کود باعث می شود. رطوبت وارد شده مقادیری از مواد مغذی معدنی داخل کود را حل کرده و محلولی غلیظ را به وجود می آورد که فشار هیدرواستاتیک داخل کپسول را افزایش داده و این فرایند تا زمانی که فشار هیدرواستاتیک دو طرف کپسول برابر شود ادامه خواهد داشت.



در مرحله بعد، مولکول های ماده مغذی از مایع با غلظت بالاتر به مایع با غلظت پایین تر و از طریق ریز منافذ کوچک پوشش کپسول حرکت می کند. در هنگام آبیاری گیاهان، فشار هیدرواستاتیک در خارج از ذرات کود کمتر شده و مقداری از ماده مغذی به سوی محیط رشد منتشر و خارج می گردد.





میزان رهاسازی مواد غذایی در کودهای با رهایش کنترل شده در بیشتر مواقع به سطح دما بستگی دارد. افزایش دما سبب انبساط و گشوده شدن منافذ گردیده و پدیده انتشار را سرعت بخشد. در واقع بین تغییرات دما، میزان انتشار و میزان نیاز گیاه به مواد مغذی تعادل و تناسب معناداری بوجود می آید. بدین معنی که در هوای سردتر، که به معنی رشد کمتر و احتیاجات غذایی کمتر در گیاه است، منافذ پوششی کود منقبض شده و اختلاف فشار هیدرواستاتیک نیز کاهش یافته و نتیجتاً میزان انتشار مواد مغذی به محیط رشد هم کاهش می یابد و این تغییرات و تناسب ها در هوا و دمای بالاتر و شرایط رشد گیاه و نیاز به آبیاری محیط رشد، در جهت معکوس و انتشار بیشتر مواد مغذی جریان می یابد.

مدت زمان و طول دوره آزادسازی و انتشار مواد مغذی تا حدود زیادی به نوع و ضخامت پوشش استفاده شده در ذرات کود بستگی دارد. پیشرفت تکنولوژی و توسعه اطلاعات در این زمینه سبب گردیده است برخی از تولیدکنندگان انواعی از کود **CRF** با پوشش های متفاوت و زمان آزادسازی متنوعی بین **2** تا **24** ماه به کشاورزان ارائه دهند که قابلیت سازگاری با شرایط مختلف محیط رشد را داشته باشند.

مزایای استفاده از کودهای با رهایش کند و کنترل شده:

- آزادسازی تدریجی و کنترل شده به معنای تلفات و هدررفت کمتر مواد غذایی و منابع و نهاده ها
- درجات کنترل و مدیریت مقدار، زمان و الگوی آزاد سازی مواد مغذی به معنای هماهنگی و تناسب با میزان تقاضای محیط رشد و گیاه
- بهبود رشد و سلامت گیاه به واسطه بالا رفتن سطح کمی و کیفی تأمین و دسترسی به عناصر غذایی موردنیاز
- کاهش دفعات کاربرد و مصرف کود که هزینه های نیروی کار و جانبی را کمتر می کند.
- مزایای محیط زیستی که شامل کاهش ورود عناصر شیمیائی و غذایی به شیرابه و منابع آبی شور و شیرین و همچنین کنترل غلظت عناصر در خاک می گردد.

کودهای با رهایش کنترل شده به گونه ای طراحی می شوند که سرعت، الگو و مدت رهایش عناصر غذایی تا حد زیادی متناسب با شرایط محیط رشد و نیاز گیاه باشد.

با این حال باتوجه به هدف این نوشتار که بر مصرف بهینه کودهای فسفاته تمرکز دارد، لذا در اینجا تفاوت و تفکیک چندانی بین دو مفهوم کندرها و رهایش کنترل شده قائل نگردیده ایم.

کودهای کندرها از دو طریق جذب عناصر غذایی و رشد گیاه را بهبود می بخشد:

الف: بهبود فراهمی عناصر غذایی در نظام خاک-گیاه با اثر بر رقابت و یا بر همکنش میان ریشه های گیاه، ریز جانداران خاک، واکنش های شیمیائی و مسیرهای هدررفت

ب: همزمانی رهایش عناصر غذایی با نیاز گیاه

بنابر این از کودهای کندرها برای افزایش کارایی مصرف کود، کاهش میزان مصرف کود و بهبود کیفیت و عملکرد محصولات کشاورزی استفاده می شود. از دیگر مزایای کودهای کندرها نسبت به کودهای محلول رایج، شوری کم ناشی از آنها است. به عبارت دیگر، کود کندرها EC محلول خاک را کمتر از کودهای رایج افزایش می دهد. همچنین تجمع کودهای کندرها نسبت به کودهای محلول سبب مسمومیت کمتری در گیاه می گردد. به علاوه، این کودها نسبت به کودهای محلول، اثرات منفی کمتری بر جمعیت میکروبی خاک و همزیستی قارچ های میکوریز دارد. برخی از پژوهش ها نشان داده اند که کاربرد کودهای کند رهایش به دلیل کنترل و کاهش سرعت معدنی شدن فسفر، سبب افزایش کلنیزه شدن ریشه ها و جمعیت قارچ های میکوریز می گردد.

در یک پژوهش مزرعه ای اثر کود فسفر کندرهای تجاری و کود فسفر محلول تجاری بررسی شد و جذب عناصر غذایی در گیاه کلزا طی دو سال بررسی و مشاهده شده که جذب فسفر به وسیله گیاه کلزا و عملکرد دانه آن در تیمار کود فسفر کندرها بیشتر از کود فسفر محلول بوده است. با افزایش مقدار مصرف کود فسفر عملکرد دانه و جذب فسفر به وسیله گیاه ابتدا افزایش و پس از رسیدن به یک بیشینه، کاهش می یابد. مدل رگرسیونی ارائه شده در این تحقیق نشان می دهد که بیشینه عملکرد دانه با مصرف 1827 کیلوگرم کود فسفر محلول و 1861 کیلوگرم کود فسفر کندرها حاصل شده است که بیانگر این است که در مورد کود کندرها عملکرد در سطوح بالاتری از فسفر نسبت به کود محلول کاهش یافته و با افزایش مقدار مصرف کود فسفر از کارآیی آن کاسته شده است.

روش های کندرها نمودن کودهای شیمیائی محلول:

عواملی که سبب کندرها شدن یک کود می شوند به شرح زیر عبارتند از:

1- سرعت معدنی شدن کم مواد تشکیل دهنده کود

2- وجود یک ماده پوشش دهنده با حل پذیری کم یا سرعت معدنی شدن کم

3- حل پذیری کم مواد تشکیل دهنده کود

انواع مواد پوشش دهنده در کودهای کندرها:

1- پوشش های پلیمری مانند کوپلیمرها یا هم بسپارهای پلی وینیلیدن کلراید (PVDC)، پلی اولفین ها، پلی اورتان ها، رزین های اوره-فرمالدئید، پلی استرها، رزین های آلکید

2- پوشش های گوگردی

3- پوشش های گوگردی-پلیمری

بنابراین برای کندرها نمودن کودها، آنها را با مواد مختلفی مانند گوگرد، پلی اتیلن، پلی وینیل کلرید، لاتکس، روغن جلا، رس پوشش می دهند. همچنین در مواردی از پلیمرهای زیست تخریب پذیر، پلیمرهای ابرجاذب آب، پلیمرهای تجارتی و خاکستر بادی به عنوان پوشش استفاده شده است.

لازم به ذکر است که در برخی از موارد باقیمانده مواد مصنوعی بکار رفته در تولید پوشش کود کندرها، در خاک آزاد شده و تجزیه آن ها به سختی انجام می شود.

در پژوهشی با استفاده از پارافرمالدئید و کودهای پتاسیم دی هیدروژن فسفات و اوره با روش ویژه ای کود کندرها NPK تهیه و در خاک مصرف شد و در مدت یک ماه، 91/8 درصد از فسفر آن به محلول خاک رها گردید.

استفاده از کانی آتاپولگیت در تبدیل کود سوپرفسفات تریپل به یک کود کندرها

آتاپولگیت یک نوع کانی رسی طبیعی است که به دلیل ساختار رشته رشته ای توری مانند حاوی منافذ نانو دارای جذب سطحی، سطح ویژه و ظرفیت تبادل یونی زیادی می باشد. این کانی در حالت مرطوب چسبنده و شکل پذیر و در حالت خشک منقبض گردیده و حاوی مقادیر کمی Si , AL , Mg , Fe , K , Ca , Mn بوده و قادر است که این عناصر را نیز در ضمن تجزیه شدن، رها نماید. از طرفی این کانی ذخیره قابل توجهی در جهان داشته و دوست دار محیط زیست بوده و قیمت آن نیز نسبتاً کم است. تمامی این خصوصیات سبب گردیده است که بعنوان یک ماده پوشش دهنده در تهیه کودهای مرکب کندرها مورد استفاده قرار گیرد. بررسی ها نشان داده است که پوشش کود سوپرفسفات تریپل با کانی آتاپولگیت باعث ایجاد رفتار کندرهایش و بخصوص تناسب و تطابق آزاد سازی فسفر با نیاز محیط رشد در مناطق نیمه خشک می گردد و نهایتاً کارآیی مصرف کود فسفر را 11 تا 26 درصد نسبت به کود رایج محلول افزایش دهد.

پتاسیم متافسفات به عنوان کود کندرها فسفری

کود پتاسیم متافسفات (KPO3) از قدیمی ترین کود کندرهای فسفاته می باشد که از نظر درصد بازیابی فسفر و رشد گیاه و کنترل آبشویی به ویژه در خاک های شنی اسیدی به خوبی عمل می نماید.

استفاده از کودهای آلی به عنوان کود کندرها فسفری

کودهای حیوانی، کود سبز، کمپوست ها و ورمی کمپوست ها از جمله کودهای آلی هستند که به تدریج در خاک تجزیه شده و فسفر رها می کنند. اسیدهای آلی حاصل از تجزیه کودهای آلی می توانند فراهمی فسفر را در خاک افزایش دهند. با تبدیل کودهای آلی به بیوچار و هیدروچار سرعت تجزیه و عملکرد رهایش کند و تدریجی، در آن ها بهبود می یابد. با این حال، کودهای آلی به تنهایی نمی توانند نیاز گیاه به فسفر را تأمین نمایند و لازم است قبل از مصرف در خاک، با فسفر غنی شوند؛ یا اینکه بطور همزمان با کودهای شیمیائی مصرف گردند.

تبدیل کودهای فسفر محلول به کود کندرهایش با استفاده از اسیدهای آلی

برای تبدیل کودهای شیمیائی فسفر به کود کندرها از پوشش دادن آن ها با اسیدهای آلی استفاده می شود. در یک بررسی دانه های کود مونوآمونیوم فسفات پوشش داده شده، با هیومیک اسید استخراج شده از پیت، فسفر را به تدریج آزاد نموده و کود فسفاته کندرها محسوب می شود.

کاربرد کیتوسان در تهیه کود کندرها فسفر

کیتوسان یک آمینو پلی ساکارید با ویژگی های منحصر به فرد از قبیل زیست تخریب پذیری، سازگاری با محیط زیست، سمیت کم و ضد حساسیت بوده و در صنعت و پزشکی کاربردهای وسیعی دارد. در صنعت کود برای تولید کودهای کندرها از این ترکیب استفاده می شود. یک بررسی نشان می دهد که پوشش کود تجاری مرکب NPK با پلیمر زیست تخریب پذیر کیتوسان، آن را به یک کود کندرها تبدیل نموده است. علاوه بر کیتوسان، ترکیب های دیگری مانند موم طبیعی پارافین،گلیسیرین و سدیم تری فسفات نیز زمانی که به عنوان پوشش کود ترکیبی NPK استفاده می شوند، سبب ایجاد خصوصیات رهایش تدریجی در محیط رشد گیاه می شوند.

استرووویت به عنوان یک کود کندرهای فسفاته

تولید محصولات کشاورزی وابستگی زیادی به ذخایر محدود سنگ فسفات در جهان دارد. از سویی پدیده غنی شدن آب های ساحلی و درون سرزمینی به دلیل از آب شویی و هدررفت فسفر رو به گسترش است، این مسائل سبب گردیده که متخصصان و پژوهشگران به دنبال راه حل های مناسب جهت ممانعت از ورود فسفر به منابع آبی و بازیابی و استفاده مجدد از آن به عنوان یک منبع جایگزین کودهای شیمیائی فسفر و به طور کلی به دنبال بستن چرخه فسفر در طبیعت از طریق بازیابی و بازچرخانی آن می باشند. برای نمونه فسفر موجود در کودهای دامی و فاضلاب انسانی طی فرایندهایی به کود فسفاته کشاورزی تبدیل و مصرف شود.

استرووویت یا آمونیوم منیزیم فسفات با فرمول شیمیائی MgNH4Po4.6H2O حاوی 12/6 درصد فسفر، 5/7 درصد نیتروژن و 9/9 درصد منیزیم است. این ماده یون های فسفات، آمونیوم و منیزیم را به شیوه ای کند در محلول خاک رها می کند و از نوع کودهای با رهایش کند محسوب می شود.

در فرایند تبدیل و بازیابی فسفات موجود در ادرار به کود کندرهای استرووویت، نمونه چنین بازچرخانی هایی دیده می شود. از خصوصیات و مزایای استرووویت پخش آسان در مزرعه، غلظت فسفر زیاد و

آلودگی حداقلی از فلزات سنگین در حین پروسه تولید می باشد. عموماً استرووویت ها از محصولات جانبی تصفیه فاضلاب و با ایجاد تغییراتی در فرایند هضم لجن در تصفیه خانه و در یک راکتور ویژه می توان آن را به صورت کنترل شده تولید می شوند. خصوصیات رهایش کند استرووویت در سایر یون های آمونیوم و منیزیم محتوای آن نیز مشاهده می شود.

با مصرف استرووویت در خاک، فسفر کمتری جذب سطحی شده و یا رسوب می کند و لذا مقدار کود فسفر کمتری مصرف شده و هزینه تولید محصول نیز کاهش می یابد. اگرچه مقدار محلولیت استرووویت در آب 1 تا 5 درصد است، اما بررسی ها نشان می دهد که اثر آن بر گیاهان مشابه کودهای شیمیائی محلول فسفر است ولی دلایل این تناقض و سازوکارهایی که این گونه عملکرد را سبب می شود هنوز به خوبی روشن نشده است. برای دسترسی به عملکرد مطلوب گیاه به ویژه در مراحل اولیه رشد و فراهمی کامل فسفر، گاهاً لازم می شود که مخلوط کود شیمیائی فسفاته و استرووویت مصرف گردد. همچنین برای کاستن از ناپویایی فسفر در خاک، اغلب کودهای فسفاته را نزدیک بذر در حال رشد قرار می دهند، تا غلظت فسفر در ناحیه ریشه افزایش یابد.

روش های بهبود اثربخشی سنگ فسفاته و تبدیل آن به یک کود با رهایش کند:

- تبدیل سنگ فسفات به یک کود کندرها با اسیدی کردن جزئی آن
- تبدیل سنگ فسفات به یک کود کندرها با کمک ریز جانداران

با آن که ساده ترین و کم هزینه ترین روش تأمین فسفر گیاه می تواند استفاده مستقیم از سنگ فسفات باشد، اما این موضوع به دلیل حل پذیری ناچیز سنگ فسفات، به ویژه در خاک های آهکی، چندان اثربخش نیست و استفاده از فسفر آن برای گیاه بسیار سخت است و گیاه صرفاً در شرایطی که با کمبود شدید فسفر روبرو باشد و منبع تغذیه دیگری نیز در خاک موجود نباشد اندکی به آن روی می آورد.

برای بهبود اثر بخشی سنگ فسفات توصیه می شود که آن را به همراه گوگرد، مواد آلی و ریز جانداران مختلفی نظیر حل کننده های فسفات، اکسید کننده های گوگرد و قارچ های میکوریز در خاک مصرف شود.

عوامل مؤثر بر حل پذیری سنگ فسفات که با مدیریت آن ها می توان سنگ فسفات را به یک کود کندرها تبدیل کرد

- ویژگی های سنگ فسفات شامل اندازه ذرات و میزان ناخالصی ها
- ویژگی های خاک شامل PH، توان جذب کلسیم، توان تثبیت فسفر، رطوبت و دما
- میزان اسیدی شدن جزئی سنگ فسفات و تنوع اسید مورد استفاده
- ویژگی های گیاه و فرایندهای رایزوسفر
- جمعیت و تنوع ریز جانداران

درضمن پژوهش هایی برای بهبود اثربخشی سنگ فسفات، افزایش ظرفیت نگهداری آب و تولید کود کندرها فسفر، سنگ فسفات را با یک پلیمر ابرجاذب آب، نشاسته ذرت و پلی اکریلیک اسید و پتاسیم هیدروکسید طی فرایندهایی واکنش دادند که نتایج نشان داد ترکیب تولید شده رهایش فسفر از سنگ فسفات را بهبود بخشیده و کنترل می کند.

در پژوهش های دیگر آشکار گردید که زئولیت و اوره سرعت حل شدن اولیه سنگ فسفات (در بستر خاک اسیدی PH: 4.5) را در کوتاه مدت کاهش داده ولی میانگین حل شدگی در بلند مدت و به دلیل اثر اسید زایی اوره و جذب کلسیم توسط زئولیت افزایش می یابد. همچنین کودهای آمونیوم نیترات و آمونیوم سولفات سرعت حل شدن سنگ فسفات را در ابتدا و به دلیل اثر کاهش سریع PH افزایش داده و سپس به طور جزئی کاهش داده اند.

تبدیل سنگ فسفات به یک کود کندرها با اسیدی کردن آن

فسفر در بسیاری از خاک ها ناپویاست و این ناپویایی در خاک های شنی حتی تا 81 درصد از کل فسفر مصرف شده را شامل می شود که آبشویی شده و از دسترس ریشه گیاه خاج می شود. یکی از نگرانی ها در مورد کودهای محلول فسفاته، محصولات جانبی حین تولید نظیر فسفوجیپسم است که ممکن است اثرات بد زیست محیطی داشته باشند و دفن آن ها مشکلاتی را برای محیط زیست به همراه خواهد داشت. همچنین تولید کودهای محلول فسفاته از سنگ فسفات انرژی زیادی را مصرف می نماید. لذا می توان توصیه کرد به جای آنکه سنگ فسفات را در کارخانه فرآوری و به کود محلول تبدیل کنیم، آن را جزئی اسیدی نموده و به عنوان یک کود کندرهای فسفره در تولید محصولات کشاورزی به کار گرفت، که ضمن احراز خصوصیات نسبی زیست محیطی، هدر رفت و تبدیل فسفر به شکل های غیرقابل جذب گیاه را کاهش و کارآیی مصرف فسفر را افزایش داد. برای جزئی اسید کردن سنگ فسفات از اسید فسفریک یا سولفوریک اسید استفاد می شود.

تبدیل سنگ فسفات به کود کندرهایش با کمک ریز جانداران

یکی از شیوه های بهبود رهایش فسفر از سنگ فسفات در خاک های خنثی و قلیایی تلفیق آن با کودهای زیستی مناسب است. استفاده از ریز جانداران حل کننده فسفات در خاک، فراهمی فسفر را افزایش و میزان مصرف کودهای شیمیائی فسفر را کاهش می دهد. بسیاری از ریز جانداران از جمله باکتری ها و قارچ های میکوریز، آکتینومیست ها و سیانوباکتری ها توان حل کنندگی فسفات را دارند. مایه زنی باکتری ها (دوسویه باسیلوس) با سنگ فسفات، رهایش فسفر و جذب آن را در برخی از شرایط و محصولات کشاورزی افزایش می دهد.

تولید کود کندرها فسفر با استفاده از فناوری نانو

نانومواد به موادی اطلاق می شود که اندازه ذرات آن ها حداقل در یک بعد، مقادیری بین 0/1 تا 1000 نانومتر باشد.

فناوری نانو در تولید کودهای کشاورزی با افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی و بهبود عرضه عناصر غذایی به ریشه گیاه، آلودگی محیط زیستی را کاهش می دهد.

درواقع شناخته شده ترین استفاده نانو ذرات در بخش کشاورزی در استفاده آن ها برای تولید کودها است. قرار دادن لایه و پوشش گوگردی در اندازه نانو، بر ذرات کود و از جمله کودهای فسفاته می تواند مشخصات و عملکرد کود با رهایش کند را به وجود آورد.

دسته بندی کاربردهای فناوری نانو در تهیه کودها

الف- تولید کودهای در اندازه نانو

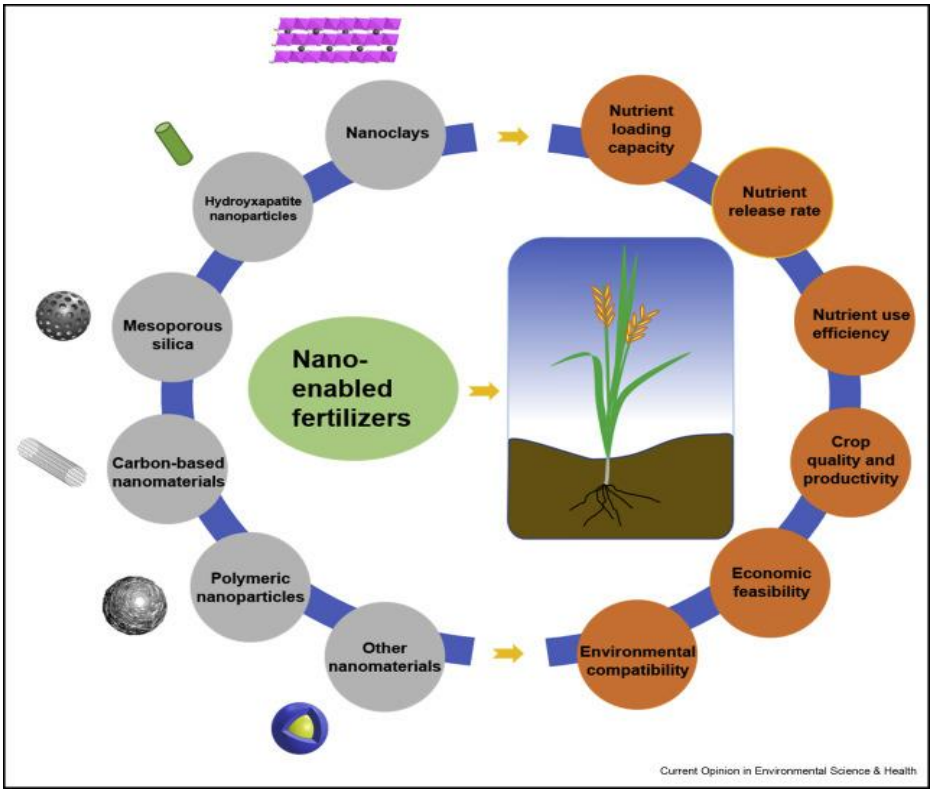
ب- افزودنی های در اندازه نانو

ج- پوشش ها و غشاء های در اندازه نانو

پوشش های در اندازه نانو کود را احاطه نموده و آن را به کپسول تبدیل می کنند. همچنین مواد متخلخلی نظیر هیدروکسیدهای دوگانه لایه ای کود را در داخل نانو منافذ خود نگهداری می نمایند.

پژوهشی نشان داده است که با ایجاد کامپوزیت نانورس-پلیمر ابرجاذب و بارگذاری کود دی آمونیوم فسفات بر آن، عملکرد رهایش کند فسفر مشاهده شده است. و همچنین نانو ذرات آپاتیت مصنوعی قادر است فسفر کافی برای تغذیه گیاهان زراعی را فراهم نماید و در عین حال با کاهش تحرک فسفر در محیط زیست از بروز پدیده غنی شدن آب های سطحی جلوگیری به عمل آورد. می توان به این نکته

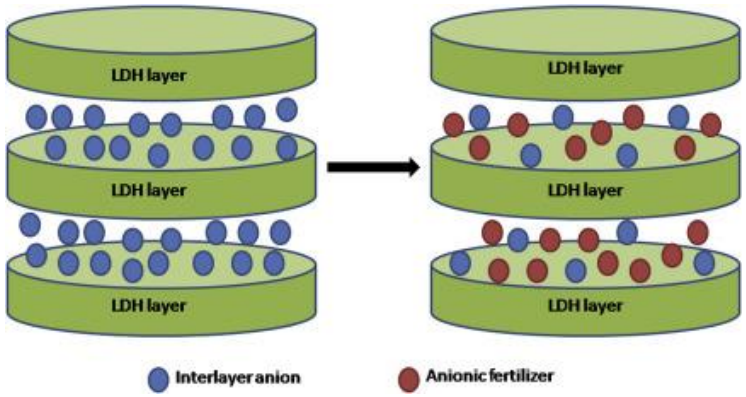
اشاره کرد که سرعت حل شدن آپاتیت در نانوکامپوزیت ها از سرعت حل شدن آپاتیت خالص بیشتر است و استفاده از این نانو موادها به عنوان کودهای فاقد آلودگی می تواند ویژگی های رهایش فسفر را بهبود بخشد.



تولید کودهای کندرهای فسفر با استفاده از هیدروکسیدهای دوگانه لایه ای

هیدروکسیل های دوگانه لایه ای (LDHs) گروهی از ترکیب های غیرآلی و غیرسیلیکاتی هستند که ویژگی های شیمیائی و فیزیکی مشابه کانی های رس دارند. ساختار اغلب این ترکیب ها شامل ورقه های شبه بروسایت است که جانشینی کاتیون های سه ظرفیتی به جای کاتیون های دو ظرفیتی در این ورقه، بار مثبت ایجاد می کند. لذا هیدروکسیدهای دوگانه لایه ای با داشتن بارهای سطحی مثبت و فضای بین لایه ای، توانایی زیادی در جذب آنیون ها و اکسی آنیون ها دارند. این ترکیب ها را می توان در آزمایشگاه تولید کرد و معمولاً به صورت پودری یا تثبیت شده در بستر ماده ای دیگر مورد استفاده قرار دارد. از نخستین کانی های شناخته شده در این گروه هیدروتالکیت با فرمول شیمیائی $Mg_6Al_2(OH)_{16}CO_3.4H_2O$ بود. در راستای بازچرخانی فسفر و مدیریت چرخه آن، می توان از

LDH ها برای بازیابی فسفات از آب در تصفیه آب و فاضلاب استفاده نمود و LDH های بارگذاری شده با فسفات را به عنوان کود کندرهای فسفر در کشاورزی مصرف نمود.



تولید کودهای کندرها فسفر با استفاده از بیوچار و هیدروچار

بیوچار ماده جامد سیاه رنگ غنی از کربن پایدار است که بر اثر سوزاندن مواد آلی در شرایط بدون اکسیژن یا کمبود اکسیژن و در دمای کمتر از 700 درجه سیلیوس تولید می شوند و به این فرایند گرماکافت گفته می شود.

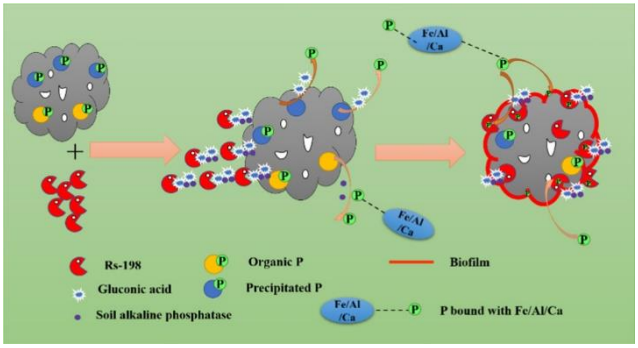
زیست توده مواد آلی در طی فرایند گرماکافت به گاز زیستی، روغن زیستی و زغال زیستی (بیوچار) تبدیل می شود. گاز و روغن زیستی در تولید انرژی و بیوچار به دلیل ویژگی های منحصر به فردی که دارد به عنوان سوخت و همچنین اصلاح کننده خاک مورد استفاده قرار می گیرد. تقریباً تمام ترکیبات و پس مانده های آلی نظیر بقایای گیاهان زراعی، مواد چوبی شاخ و برگ درختان، انواع کودهای دامی، اجساد و لاشه حیوانات، لجن فاضلاب و پس مانده های آلی صنعتی و شهری قابل تبدیل به بیوچار هستند.

هیدروچار ماده جامدی است که از فرایند کربونیزه شدن گرمابی (HTC) یا گرماکافت مرطوب زیست توده در یک واکنش جا تولید می شود. در طی فرایند هیدروچار، زیست توده در حضور حلال آبی یا غیرآبی، و در دمای 160 تا 250 درجه سیلیوس و در فشار حاصل از خود واکنش که حدود 20 تا 30 بار است و در مدت یک تا 12 ساعت دچار تغییر فیزیکی و شیمیائی شده و به ماده ای به نام هیدروچار تبدیل می شود.

محصول واکنش HTC به طور عمده شامل بخش جامد هیدروچار و بخش مایع که محلول واکنش است می شود. دمای مورد استفاده در تولید هیدروچار نسبت به بیوچار کمتر است و مقدار گاز تولیدی واکنش هیدروچار نیز کمتر است. بنابراین می توان نتیجه گرفت که عملکرد در هیدروچار از بیوچار بیشتر است.

بررسی ها نشان داده است که بیوچار و هیدروچار به علت داشتن ویژگی های منحصر به فرد می توانند سبب توزیع و تثبیت مناسب ذرات LDH در سطوح خود شده و ظرفیت جذب آنیون را افزایش دهند. به طوری که توانایی جذب آنیون توسط ترکیب LDH بر پایه بیوچار و هیدروچار بسیار بیشتر از LDH و بیوچار یا هیدروچار تنها می باشد.

در تحقیقی برای افزایش میزان جذب فسفر به وسیله LDH آن را با بیوچار حاصل از بقایای نیشکر ترکیب و مشاهده کردند که می توان از ترکیب LDH و بیوچار، به عنوان یک جاذب در حذف فسفات از محلول های آبی استفاده نمود. در واقع در این فرایند ساز و کار جذب فسفات شامل تبادل آنیون، جذب الکترواستاتیک وتشکیل کمپلکس های درون کره ای سطحی می باشد. کامپوزیت بارگذاری شده حاصل از ترکیب LDH و بیوچار که فسفات محلول های آبی را جذب می نماید، به عنوان کود فسفر کندرها در برخی از محصولات کشاورزی عمل می نماید.



تولید کود کندرها فسفر از خاکستر بادی

خاکستر بادی شامل خاکستر حاصل از سوزاندن زغال سنگ در نیروگاه های حرارتی تولید برق می باشد. از خاکستر بادی به عنوان یک جاذب برای حذف فسفات از پساب ها نیز استفاده شده است . بررسی ها نشان داده است که از نمونه های بارگذاری شده با فسفات این جاذب، می توان به عنوان یک کود کندرهای فسفر در خاک های آهکی استفاده نمود. با این کار هم کود فسفر جدیدی با خاصیت های

کندرهایش تولید می شود، هم از رها شدن فسفر به محیط زیست و آلودگی محیط زیست جلوگیری می شود و هم از خاکستر تولیدی نیروگاه به نحو مطلوب استفاده می شود.

برای بهبود تغذیه فسفر و رشد گیاهان و حفظ محیط زیست توصیه می شود از راهبرد مدیریت تلفیقی تغذیه گیاهان و کودهای کندرهای فسفر استفاده شود. برای کاهش پدیده گرمایش جهانی و کاهش سرعت تجزیه مواد آلی در خاک توصیه می شود مواد آلی مختلف به هیدروچار و بیوچار تبدیل شده و سپس هیدروکسیدهای دوگانه لایه ای بر پایه بیوچار و هیدروچار تولید و فسفات موجود در شیرابه ها و فاضلاب ها بر روی آن ها بارگذاری شده و سپس به عنوان کود کندرهای فسفر در خاک مصرف شود.

با امید موفقیت

پایان