دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده کشاورزی

گروه علوم و مهندسی خاک

خاکشناسی عمومی

شیمی خاک

واکنش خاک، ماده آلی خاک

تهیه و تنظیم

واکنش خاک:

جزء بسیار اندکی از هیدروژن خاک بصورت یونیزه در محلول خاک وجود دارد. غلظت و یا فعالیت این شکل از هیدروژن که از لحاظ شیمیایی و تغذیه گیاه واجد اهمیت ویژه‌ای می‌باشد. توسط واکنش‌های مختلف مصرف کننده و یا آزاد کننده پروتون تعیین و یا حاصل تعادل این واکنشها می‌باشد. این واکنشها، عمدتا در فاز مایع، بین فاز مایع و جامد و نیز بین فاز مایع و گاز خاک صورت می‌گیرند. موجودات زنده خاک در تبادل پروتون با فاز مایع مشارکت دارند. اما برایند اثر تمام این واکنشها به صورتی است که در یک خاک معین و در تعادل با شرایط اقلیمی مشخص، فعالیت یون هیدروژن در محلول خاک معمولا از نوسان کمی برخوردار است. لذا فعالیت یون هیدروژن در محلول خاک که به صورت pH بیان می‌گردد، از خصوصیات شیمیایی خاک بوده و در توصیف خاک در کنار سایر خصوصیات نسبتا ثابت آن از قبیل بافت و CEC و.... مورد استفاده قرار **می‌گیرد.**

واکنش خاک یکی از مهمترین سنجش‌ها جهت شناسائی خصوصیات شیمیائی خاک است. pH خاک عبارت است از لگاریتم منفی غلظت یون هیدروژن در سوسپانسیون خاک و آب یا گل‌اشباع می‌باشد.

واکنش هر خاکی (pH خاک) ناشی از مجموعه خصوصیاتی است که در آن خاک وجود دارد. خاک‌هایی که دارای pH=۸ یا بیشتر می‌باشند، اغلب بر روی مواد آهکی تشکیل شده و عامل کنترل کننده pH هیدرولیز کربنات‌ها است. در خاک‌های آهکی که مواد کربناته و بی‌کربناته در آن بیش از ۱۰ درصد باشد، درصد اشباع بازی آنها ۱۰۰ درصد می‌باشد.

pH اسیدی در مناطق پر باران یافت می‌شود و عامل شستشوی کاتیون‌های قلیایی توسط آب باران موجب ظهور عامل H^+ اسیدی می‌گردد و pH از ۷ کاهش می‌یابد.

$$pH= -Log(H^+)$$

$$pH= \log \frac{1}{[H]}$$

$$[H].[OH]=10^{-14}$$

$$pH + pOH= ۱۴$$

که در آن H^+ نماینده فعالیت یون هیدروژن بر حسب گرم بر لیتر در سوسپانسیون آب و خاک می‌باشد. pH خاک معمولا بین ۳ تا ۱۰/۵ و گاهی تا ۱۱ تغییر می‌نماید. تقسیم بندی pH خاک‌ها برای مناطق خشک و نیمه‌خشک مثل ایران بصورت زیر می‌باشد:

	pH		pH
Slightly acid	۷.۰-۶.۰	Slightly alkalin	۷.۰-۸.۰
Moderate acid	۶.۰-۵.۰	Moderate alkalin	۸.۰-۹.۰
Strongly acid	۵.۰-۴.۰	Strongly alkalin	۹.۰-۱۰.۰
Very strongly acid	۴.۰-۳.۰	Very strongly alkalin	۱۰.۰-۱۱.۰

pH خاک‌های آهکی:

بسیاری از خاک‌های مناطق جنوبی ایران از موادی تشکیل شده‌اند که مقدار کربنات‌کلسیم در آنها به طور طبیعی زیاد بوده، بنحوی که این ماده به صورت ترکیب جامد غیرمحلولی در خاک ظاهر می‌شود. اینگونه خاکها را اصطلاحا خاک‌های آهکی می‌نامند. طرز شناختن این خاک‌ها بسیار ساده بوده، با ریختن چند قطره اسید رقیق نظیر اسیدکلریدریک و ملاحظه جوش‌زدن حبابهائی که نتیجه تصاعد گاز CO_2 می‌باشد که نتیجه واکنش اسید با آهک می‌باشد.

$$CaCO_3 + ۲HCl \longrightarrow CaCl_2 + CO_2\uparrow + H_2O$$

با وجود قابلیت حل کم آهک در آب (حدود ۰/۱۳ گرم در لیتر)، کمپلکس کلوئیدی این خاک‌ها اشباع از باز است (%BS=۱۰۰). با این وجود، pH خاک‌های آهکی ضمن هیدرولیز $CaCO_3$ تحت کنترل قرار دارد:

$$CaCO_3 + H_2O \longrightarrow Ca^{+2} + HCO_3^- + OH^-$$

در نتیجه pH خاکهای آهکی بین ۷ و ۸/۳ قرار می‌گیرد.

در شرایط وجود نمک Na_2CO_3 در خاک pH در خاک تا حدود ۱۰ می‌رسد.

CO_2 موجود در خاک کم و بیش در pH خاک‌های آهکی تاثیر می‌گذارد. در این نوع خاک‌ها همواره رابطه برگشت‌پذیر بین آهک (کلسیم‌کربنات) و بی‌کربنات‌کلسیم محلول وجود دارد.

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \longrightarrow Ca(HCO_3)_2$$

تغییر جهت رابطه فوق تغییر pH خاک را به دنبال دارد. در واقع ، وقتی فشار CO_2 در توده خاک بالا رود. تعادل در جهت تشکیل بی‌کربنات هدایت می‌شود و موجب کم شدن pH می‌شود. اغلب در اندازه‌گیری pH خاکهای آهکی مزرعه و pH نمونه همان خاک پس از کمی نگهداری در آزمایشگاه تفاوت محسوسی مشاهده می‌شود که دلیل آن وجود فشار CO_2 در خاک مزرعه و نبود این فشار در نمونه آزمایشگاه است.

pH خاک‌های سدیمی:

در خاک‌های قلیائی به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، سدیم به مقدار زیاد به صورت Na_2CO_3 در خاک انباشته شده و درصد قابل ملاحظه‌ای (بیش از ۱۵٪) کاتیونهای تبادلی را تشکیل می‌دهد. بنابر این، با آزاد شدن سدیم قابل‌تبادل و از طرف دیگر در نتیجه هیدرولیز Na_2CO_3 و تولید باز قوی چون NaOH، موجبات بالا رفتن بیش از بیش pH فراهم می‌آید، به طوری که این معیار در خاک‌های مزبور بین ۸/۵ و ۱۰ قرار می‌گیرد.

$$NaCO_3 + 2H_2O \longrightarrow 2NaOH + H_2CO_3$$

اهمیت pH خاک:

تاثیر بر فعالیت زیستی در خاک از جمله اثرات مهم pH می‌باشد، به نحوی که برخی از ریزجانداران در برابر تغییرات pH مقاومت کمی از خود نشان داده در حالی که ارگانیزم‌های دیگری یافت می‌شوند که تغییرات فاحش pH را نیز تحمل می‌نمایند. به طور کلی در pHهای قلیایی و خنثی جمعیت باکتری‌ها و اکتینومیست‌ها افزایش می‌یابد. و در pHهای اسیدی معمولا جمعیت قارچها افزایش می‌یابد.

حساسیت ریزموجودات خاک نسبت به pH، کم و بیش متفاوت است. در این رابطه چهار گروه از مورد ریزموجودات توجه قرار می‌گیرند:

در گروه

- اول ریزموجوداتی قرار دارند که دامنه وسیعی از pH یعنی از ۶/۰- ۹/۰ فعالیت می‌کنند. و نسبت به تغییر این پارامتر در محدوده مزبور بی تفاوت‌اند. تعداد زیادی از باکتری‌ها به ویژه آنهائی که در آمونیفیکاسیون یعنی تبدیل ازت آلی به ازت آمونیاکی شرکت می‌کنند در این گروه قرار دارند.

در گروه

- دوم ریزموجوداتی قرار دارند که pHهای نزدیک ۷ علاقه دارند و در محدوده pH خنثی و حتی کمی قلیایی بیشترین فعالیت را نشان می‌دهند. به همین دلیل به خنثی دوست یا نوتروفیل[۲۵] معروفند. باکتریهایی مانند *ازتوباکتر، نیتروزوموناس‌ها، نیتروباکترها و ریزوبیوم‌ها* در این گروه قرار دارند.

گروه

- سوم شامل ریزموجوداتی هستند که محیط اسیدی خاک را می‌طلبند. *تیوباسیلوس‌ها* که در اکسیداسیون و تحول گوگرد در خاک شرکت می‌کنند از این گروه ریزموجوداتی هستند که pH مطلوب آنها در محدوده ۲/۰- ۳/۵ قرار دارند. به این گروه از باکتری‌ها اصطلاح اسید دوست یا اسیدی فیل[۲۶] اتلاق می‌گردد.

- سرانجام ریزموجودات قلیا دوست یا بازی فیل[۲۷] در گروه چهارم قرار دارند. برای این باکتری‌ها تحمل pH کمتر از ۸/۰ دشوار است. باکتری‌هایی که در تجزیه اوره شرکت دارند متعلق به این گروه هستند.

در راستای تاثیر pH در زندگی ریزموجودات باید اشاره نمود که تاثیر pH در فعالیت این موجودات زنده فقط مربوط به حساسیت آنها در مقابل افزایش یون های H^+ و OH^- نیست بلکه تاثیر غیرمستقیم pH در انحلال و نفوذ و جذب مواد غذائی یا عناصر سمی موجود در محیط از خلال سلول این ریزموجودات به میزان قابل توجهی مطرح است.

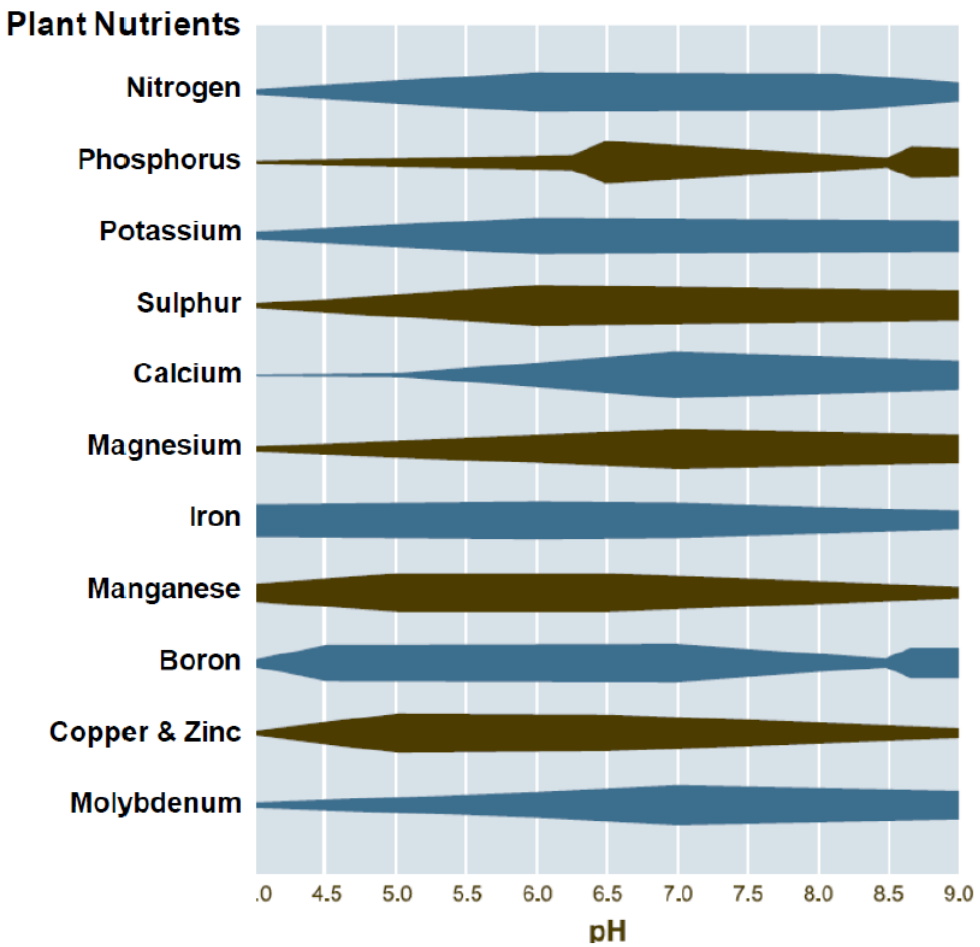
رابطه pH با جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه از خاک:

Micronutrient	Symbol	pH range for maximum availability
Boron	B	5.0-7.0
Chloride	Cl	Not affected
Copper	Cu	5.0-7.0
Iron	Fe	4.-6.0
Manganese	Mn	5.0-6.5
Molybdenum	Mo	7.0-8.5
Zinc	Zn	5.0-7.0

شاید عمده‌ترین اثر pH بر روی رشد نبات تاثیر آن در قابلیت استفاده عناصر غذایی باشد. چنانچه قبلا نیز توضیح داده شد، pH خاک با درصد اشباع بازی رابطه داشته و هنگامی که درصد اشباع بازی از ۱۰۰ کمتر باشد افزایش pH همراه با افزایش کلسیم و منیزیم که از جمله کاتیون‌های قابل تبادل اصلی می‌باشند، در محلول خاک خواهد بود.

یکی دیگر از عناصری که قابلیت استفاده آن تحت تاثیر pH خاک قرار دارد عنصر مولیبدن می‌باشد. این عنصر در pH اسیدی با آهن ترکیب غیرمحلول ایجاد نموده و به شکل غیرقابل استفاده در می‌آید. در این شرایط گیاهانی نظیر گل کلم، شبدر و مرکبات که نسبت به کمبود مولیبدن حساسیت دارند در برابر افزایش pH عکس‌العمل مناسب از خود نشان می‌دهند. این نکته که افزایش pH باعث ازدیاد غلظت مولیبدن می‌گردد و عامل سمیت مولیبدن در برخی از خاک‌ها برای گیاهان نیز محسوب می‌گردد.

پتاسیم معمولا در در خاکهای با pH قلیائی قابل جذب است. در حالی که در این pHها قابلیت جذب آهن و منگنز به طور محسوسی کاهش می‌یابد. به همین دلیل معمولا در خاک‌های آهکی کمبود Fe و Mn اتفاق می‌افتد. مس و روی در خاکهای خیلی اسیدی و همچنین در خاک‌های خیلی قلیا بسیار کم قابل جذب هستند. سرانجام فسفر و بر در خاکهای آهکی با کلسیم ترکیب‌های غیرمحلول تشکیل می‌دهند و رسوب می‌کنند و در خاکهای خیلی اسیدی نیز با آهن و آلومینیوم به حالت ترسیب در می‌آیند.



تأثیر در واکنش هاي تصعید نیتروژن بصورت گازی (Volatilization):

در شرایط مناسب گاز آمونیاک از سطح خاک از منابع مختلف نیتروژنه تصعید می‌شود. مقدار تصعید آمونیاک ۵۰-۳٪ از منبع می‌باشد که این بستگی به فاکتورهای مختلفی مثل بافت، pH، مقدار کود و نوع آن دارد. مقدار تصعید وقتی که کود به صورت محلول و همراه با آب آبیاری به درون خاکهای اسیدی و یا خنثی فرستاده شود، کم بوده ولی مقدار زیادی آمونیاک وقتی که منبع کود آمونیومی بوده و در سطح خاکهای قلیائی و آهکی پخش می‌گردد تصعید صورت می‌گیرد.

واکنش نخست آمونیاک در خاک تولید یون آمونیوم می‌باشد و پیوند این یون با کلوئیدهای معدنی و آلی خاک مقدار تلفات آنرا مشخص می‌کند.

$$NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$$

یون آمونیوم تولیدی با آمونیاک واکنش برگشت‌پذیر دارد و با افزایش pH مقدار آمونیاک تولیدی افزایش یافته و بیشتر می‌تواند تصعید گردد. با افزایش درجه حرارت و وجود باد در سطح خاک میزان تصعید افزایش می‌یابد.

در خاکهای آهکی تصعید آمونیاک با انجام واکنش زیر صورت می‌گیرد.

$$(NH_4)_2SO_4 + CaCO_3 \longrightarrow 2NH_3 \uparrow + CO_2 \uparrow + H_2O + CaSO_4$$

به‌طور کلی می‌توان گفت که تمامی عناصر مورد نیاز گیاهان، pH در محدوده ۶/۵ بهترین شرایط قابلیت جذب آنها را در خاک فراهم می‌سازد. در شکل تاثیر pHهای مختلف در جذب عناصر غذائی در خاک (با افزایش قطر باند مشکی مقدار جذب افزایش می‌یابد) نشان داده شده است.

pH مناسب برای رشد گیاهان مختلف در خاک:

گیاه	pH	گیاه	pH
سیب زمینی	۵/۳-۸/۰	انگور	۷/۰-۸/۷
گندم	۶/۶-۷/۵-۸/۵	کتان	۵/۰-۶/۰
جو	۶/۱-۷/۲	توتون	۴/۵-۸/۰
چاودار	۵/۵-۷/۲	پنبه	۷/۰-۸/۵
جودوسر	۵/۰-۷/۵	سویا	۵/۵-۶/۵
ارزن	۷/۰-۸/۵	لوبیا	۷/۰-۸/۰
ذرت	۶/۰-۸/۷	نخود	۶/۰-۷/۵
برنج	۶/۰-۸/۷	هویج	۶/۵-۸/۰
سودان گراس	۷/۵-۸/۷	چای	۴/۸-۶/۳
یونجه	۷/۰-۸/۳	قارچها	۳/۵-۶/۰
شبدر	۶/۰-۶/۵	ازتوباکتر	۶/۸
سیب	۶/۵-۷/۵	نیتریفیکاتورها	۶/۰-۸/۰
چغندر قند	۶/۵-۷/۵	دنیتریفیکاتورها	۷/۰-۸/۰

اسیدیته خاک از دو قسمت تشکیل شده که عبارتند از:

۱- هیدروژن فعال یا هیدروژن موجود در محلول خاک.

۲- هیدروژن قابل‌تبادل یا هیدروژن ذخیره

یون‌هایی که از سطح ذرات کلوییدی خاک جدا و وارد محلول خاک می‌شوند اسیدیته فعال خاک را تشکیل می‌دهند. ولی مجموع یون‌های هیدروژن موجود در ترکیبات شیمیایی و یون‌های هیدروژن و آلومینیومی که جذب سطحی کلوئیدهای آلی و معدنی (رس) خاک شده‌اند اسیدیته غیرفعال خاک (ذخیره) را تشکیل می‌دهند.

این دو نوع هیدروژن در حال تعادل با یکدیگر بوده و به نحوی که چنانچه مقدار یکی آز آنها تغییر نماید موجب تغییر مقدار دیگری نیز می‌شود. هنگامی که بازها یا کاتیون‌ها به خاک اضافه می‌گردد و بدین ترتیب مجددا تعادل برقرار می‌شود. بنابراین هیدروژن قابل تبادل به تدریج کاهش می‌یابد و هیدروژن محلول در خاک نیز در اثر افزایش کاتیون‌ها خنثی می‌گردد و در نتیجه pH خاک نیز به کندی افزایش می‌یابد. معمولا pH خاک تقریبا ثابت می‌ماند و این امر در اثر **خاصیت تامپونی** آن می‌باشد و خاک‌هایی که مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی آنها بیشتر است pH آنها ثابت‌تر مانده و به عبارت دیگر خاصیت تامپونی آنها شدیدتر است.

خاکی با ظرفیت تبادل کاتیونی بالاتر دارای مقدار بیشتری اسیدیته ذخیره می‌باشد خاکی که دارای ظرفیت تبادل کاتیونی بالاتر می‌باشد اثر بافری بیشتری دارد یعنی مقاومت بیشتری در مقابل تغییر pH نشان می‌دهد و این بخاطر دارا بودن مقدار زیادتری هیدروژن ذخیره‌ای می‌باشد.

مقدار اسیدیته ذخیره در خاکهای شنی ۱۰۰۰ برابر، در خاک‌های رسی ۵۰۰۰۰ برابر تا ۱۰۰۰۰۰ برابر اسیدیته فعال خاک بوده و این نسبت در خاک‌های آلی حتی بیشتر است.

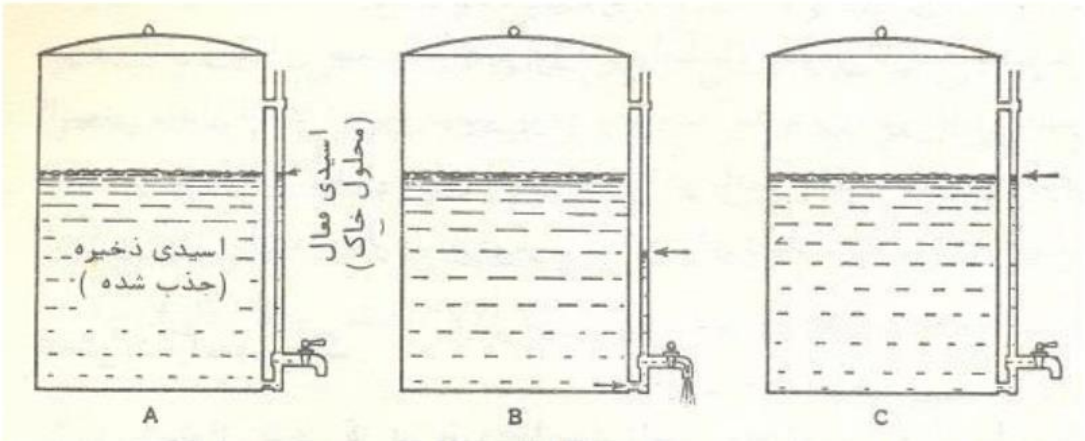
مواد آلی موجود در خاک نیز در اثر فساد و پوسیدگی pH خاک را کاهش می‌دهند و خاک را اسیدی می‌کنند.

خاصیت تامپونی در خاک:

خاک مقاومت قابل ملاحظه‌ای در مقابل تغییر pH از خود نشان می‌دهد. این مقاومت را اصطلاحا **خاصیت تامپونی** خاک گویند. از ارتباط بین حالت اسیدی فعال و اسیدی ذخیره ناشی می‌شود که به طور خیلی ساده در شکل نشان داده شده.

در این شکل حالت اسیدی به یک ظرف آب تشبیه شده که منبع آب ، اسیدی ذخیره و لوله باریک متصل به شیر آب اسیدی فعال را تشکیل می‌دهد. ملاحظه می‌گردد که خروج مقدار کمی آب سطح آنرا در لوله باریک پایین می‌برد ولی به زودی طبق قانون ظروف مرتبطه این سطح تقریبا به حالت اولیه بر می‌گردد.

بهمین طریق خروج یون هیدروژن از محلول خاک بوسیله آزاد شدن هیدروژن جذب شده جبران گردیده و تغییر pH ناچیز خواهد بود تا اینکه به اندازه کافی مواد آهکی اضافه شده و قسمت اعظم هیدروژن از سطح کلوئیدها جدا و خنثی شود.



رابطه و تعادل بین دو حالت اسیدی از پایین رفتن pH نیز به طریق فوق جلوگیری می‌کند، زیرا اضافه شدن هیدروژن در محلول خاک سبب تغییر جهت واکنش تعادل به سمت حالت اسیدی شده و بیشتر هیدروزن وارد شده در سطح کلوئیدها جذب می‌شود.

مقدار هیدروژن و آلومینیوم و کاتیونهای بازی بر روی بخش تبادلی به طور غیرمستقیم در pH خاک موثرند، و با تعیین ظرفیت تامپونی خاک مقدار مواد لازم برای تغییر pH خاک را مشخص می‌نمایند.

ظرفیت تامپونی خاک:

در صورت یکسان بودن سایر شرایط ظرفیت تامپونی خاک با ظرفیت تعویض کاتیونی آن نسبت مستقیم دارد، زیرا با بالا بودن ظرفیت تعویض کاتیونی مقدار اسید ذخیره بیشتر بوده و مقاومت بیشتری در مقابل تغییر pH ظاهر می‌شود. خاک مانند یک اسید ضعیف pH را بافر می‌کند .در خاک‌های اسیدی AL^{+3} جذب سطحی شده با AL^{+3} محلول خاک در تعادل است و هیدرولیز آن H^{+} تولید می‌کند. اگر H^{+} به وسیله یک باز مانند $CaCO_3$ خنثی شود AL^{+3} به شکل $AL(OH)_3$ رسوب می‌کند و برای تامین مجدد AL^{+3} محلول AL^{+3} جذب جذب سطحی شده آزاد می‌شود. بنابراین pH خاک تقریبا ثابت مانده و یا بافر می‌شود با اضافه کردن باز بیشتر این واکنش ادامه می‌یابد و تعداد بیشتری از AL^{+3} جذب سطحی شده خنثی شده و CEC به وسیله کاتیون‌ها اضافه شده جایگزین می‌شود در نتیجه pH خاک به تدریج افزایش می‌یابد.

واکنش‌های برعکس نیز اتفاق می‌افتد اگر اسید به طور مداوم اضافه شود OH^{-} در محلول خاک خنثی می‌شود معمول $AL(OH)_3$ به تدریج حل شده و مجددا OH^{-} تامین می‌شود و AL^{+3} در محلول افزایش یافته و به دنبال آن CEC افزایش می‌یابد. با ادامه واکنش، با جایگزین شدن AL^{+3} جای کاتیون‌های جذب سطحی شده pH خاک به طور مداوم ولی تدریجی کاهش می‌یابد.

مقدار کانی‌های رسی و مواد آلی خاک، میزان خاصیت بافری خاک را تعیین می‌کند. خاکهای حاوی مقدار بیشتر رس و مواد آلی، به مقدار بیشتری بافر شده و مقدار بیشتری آهک برای افزایش pH خاک نسبت به خاک‌های با ظرفیت بافری کمتر نیاز دارند. همینطور خاکهای شنی با مقدار رس کمتر و مواد آلی کم برای تغییر مقدار مشخص pH به مقدار کمتری آهک نیاز دارند.

تغییرات pH خاک:

در یک خاک معین، تغییر pH خاک، کم و بیش تابعی از فصول مختلف سال است. شدت بارندگی در یک فصل (حرکت املاح به تحت الارض)، خشکی و تبخیر زیاد رطوبت خاک سطحی در فصل دیگر (صعود املاح به خاک سطحی)، انتقال بیشتر شاخه و برگ مرده گیاهان به خاک در فصل خزان و سرانجام چگونگی توسعه موجودات زنده در مدت سال و تاثیر آن در تخریب و تحول مواد آلی، همگی از عواملی هستند که کم و بیش در ترکیب و غلظت محلول خاک و در نتیجه در تغییرات فصلی تغییر pH خاک تاثیر می‌گذارند.

عملیات زراعی دلیل دیگری برای تغییرات pH خاک است. شخم یا زیرورو کردن خاک همراه با آبیاری مداوم همواره موجبات شستشوی خاک را فراهم می‌سازند. در نتیجه مهاجرت املاح به سمت افق‌های زیرین پروفیل خاک به ویژه در شرایط زهکشی مناسب رخ می‌دهد و pH خاک خاک زراعی کاهش می‌یابد.

S عنصری یک ماده اسیدزای موثر برای خاک است وقتی S عنصری اضافه می‌شود واکنش انجام شده در خاک عبارت است از

$$2S+3O_2+2H_2O= 2SO_4^{-2}+4H^{+}$$

برای هر مول S عنصری اضافه شده و اکسید شده ۲مول H^{+} تولید می‌شود pH خاک کاهش می‌یابد. اکسیداسیون S در اثر فعالیت‌های میکروبی خاک صورت می‌گیرد و ممکن است در خاک‌های نواحی سرد و آهکی خشک که سابقه مصرف S عنصری در آنها وجود نداشته باشد، کند باشد S پودری باید به صورت پخش در سطح و سپس آمیختن با خاک چند هفته و یا چند ماه قبل از کشت گیاه برای اطمینان از تکمیل واکنش مصرف می‌شود.

مصرف کودهای مختلف در خاک‌های زیر کشت، موجبات تغییر تغییر pH خاک را فراهم می‌نماید. معمولا کودهایی از نوع آمونیاکی، سولفات، سوپرسولفات، گوگرد، اوره، pH خاک را کاهش می‌دهند.

برای افزایش pH خاک می‌توان به آن آهک اضافه نمود. در طی فرآیند هیدرولیز آهک ($CaCO_3$) یون OH^{-} تولید شده و pH خاک بالا می‌رود. کلسیم حاصل به بالا بردن اشباع بازی کمک می‌کند.

$$CaCO_3 + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + CO_2$$

$$Ca(OH)_2 \longrightarrow Ca^{+2} + 2OH^{-}$$

در تهیه محیط رشد مناسب برای گیاه در pHهای مختلف خاک دو نکته را می‌باید در نظر گرفت.

۱- گیاهانی را انتخاب نمود که در pH خاک مورد نظر به خوبی رشد نمایند.

۲- pH خاک را به نحوی تغییر داد که متناسب با احتیاجات گیاه باشد.

مواد آلی در خاک

مواد آلی خاک حتی در مقادیر کم تاثیر بسیار زیادی روی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک دارند. حداقل نصف ظرفیت تعویض کاتیونی بسیاری از خاک‌ها مربوط به مواد آلی است. مواد آلی بیش از هر عامل دیگر در پایداری ساختمان خاک موثر است. علاوه بر اینها مواد آلی منبع انرژی و مواد غذایی مورد نیاز حتمی موجودات ذره بینی خاک می‌باشند.

منابع مواد آلی در خاک:

منبع اصلی و یا **منبع اولیه** مواد آلی خاک بقایای گیاهی است. در شرایط طبیعی قسمت های هوایی و ریشه درختان و گیاهان به خاک بر می‌گردد. در نباتات زراعی نیز به غیر از قسمت برداشت شده بقیه که شامل قسمتی از اعضاء هوائی و ریشه آنها است در خاک باقی می‌ماند. این مواد تحت تاثیر موجودات زنده خاک تغییر و تحولات زیاد یافته و با ذرات معدنی خاک مخلوط می-گردند.

کود سبز: کود سبز گیاهی است که برای تقویت ماده آلی خاک و همچنین مواد خاک و برای بهبود وضع فیزیکی خاک کشت می‌شود و پس از مدت معینی به خاک برگردانده می‌شود. برای این کشت بیشتر از خانواده بقولات یا نخودیان مثل سویا، نخود، شبدر و یونجه استفاده شده زیرا آنها با تثبیت بیولوژیک نیتروژن گازی توسط سیستم ریشه‌ای خود مقدار زیادی این عنصر مهم غذائی را به خاک اضافه می‌نمایند.

گیاهانی که به منظور کود سبز کشت می‌شوند باید سریع‌الرشد، کم توقع، پر شاخ و برگ و غنی از نظر مواد غذایی باشند. علاوه بر آن دارای شاخ و برگ نرم و علفی باشند تا زود بپوسند.

حیوانات نیز **منبع ثانویه** مواد آلی خاک محسوب می‌شوند. این موجودات از بقایای گیاهی استفاده نموده و ترکیبات آلی یا کود دامی ایجاد می‌نمایند و اجساد خود حیوانات نیز به ذخیره مواد آلی خاک می‌افزاید. علاوه بر این بعضی از حیوانات مانند کرم خاکی نقش اساسی در نقل و انتقال بقایای گیاهی در درون خاک بازی می‌کنند.

تجزیه مواد آلی:

وقتی مواد آلی به شکل کود سبز یا کود دامی به خاک اضافه می‌شوند توسط میکروبها برای تولید انرژی و تکثیر جمعیت خود به مصرف می‌رسد که نتیجه آن تولید یکسری ترکیبات ساده و پیچیده در خاک می‌باشد ترکیبات ساده معدنی مورد استفاده خود میکروبها در درجه اول و گیاهان قرار می‌گیرد این عمل تجزیه را اصطلاحا **معدنی شدن یا (Mineralization)** و یا هوموسی شدن می‌نامند.

جدول: ترکیب شیمیایی بافت گیاهی و مواد آلی خاک

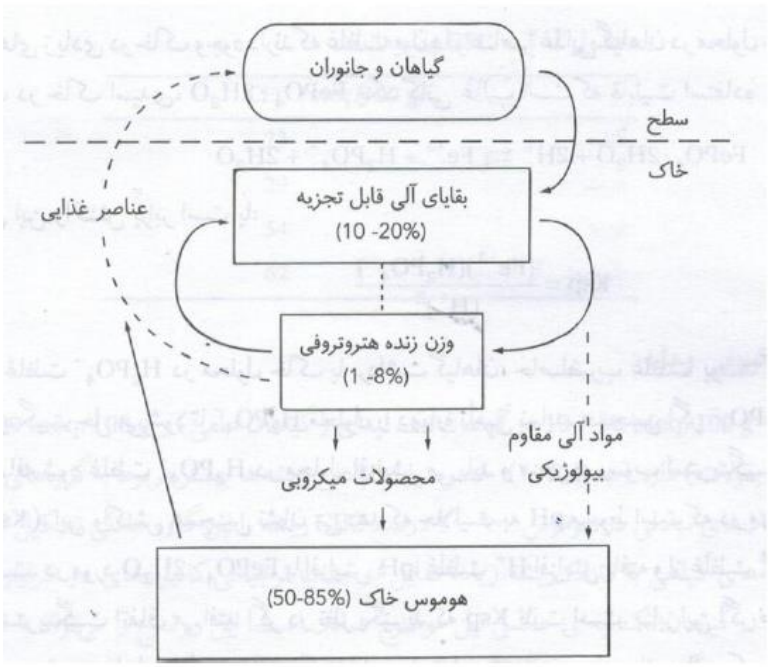
ماده تشکیل دهنده	بافت گیاهی (%)	مواد آلی خاک (%)
سلولز	۵۰-۲۰	۱۰-۲
همی سلولز	۳۰-۱۰	۲-۰
لیگنین	۳۰-۱۰	۵۰-۳۵
پروتئین	۱۵-۱	۳۵-۲۸
چربیها مواد مومی و غیره	۸-۱	۸-۱

ترکیبات معدنی ساده حاصل از تجزیه:

ترکیبات ساده کربنه	$C, HCO_3^-, CO_3^{2-}, CO^2$
ترکیبات ازته	$N_2, NO_3^-, NO_2^-, NH_4^+$
ترکیبات فسفره	$HPO_4^{2-}, H_2PO_4^-$
ترکیبات گوگردی	$S, CS_2, SO_4^{2-}, SO_3^{2-}, SH_2$
سایر ترکیبات ساده	$Mg^{2+}, Ca^{2+}, K^+, OH^-, H^+, O_2, H_2O$

ترکیبات پیچیده حاصل از تجزیه:

موجودات ذره‌بینی خاک طی عمل تجزیه بافت گیاهی و جانوری را انجام داده و ماده‌ای کلوئیدی، بی‌شکل، قهوه‌ای رنگ و مقاوم به تجزیه را می‌سازند که **هوموس (Humus)** نامیده می‌شود.



.....شکل: مقدار کربن آلی در بخشهای مختلف خاک

مشخصات و خواص هوموس:

- مقدار ازت هوموس از ۳ تا ۶ درصد متغیر بوده و گاهی اوقات نیز ممکن است زیادتر و یا کمتر باشد. مقدار کربن آن معمولا تغییر کمتری داشته و یا به طور متوسط ۵۸ درصد می‌باشد. بدین ترتیب اگر میزان کربن را ۵۸ درصد در نظر بگیریم برای تخمین میزان مواد آلی کافی است که درصد کربن آلی را در ضریب ۱/۷۲۴ ضرب نماییم. نسبت کربن به ازت (C:N) در هوموس مساوی ۱۰ تا ۱۲ می‌باشد. این رقم بسته به نوع هوموس درجه تجزیه و فساد آن نوع و عمق خاک و سرانجام شرایط اقلیمی و محیطی که هوموس در آن تشکیل شده تغییر می‌نماید. **%OM=%OC×۱/۷۲۴**

- هوموس همچنین دارای ذخیره بسیار زیادی از فسفر و گوگرد بوده و نسبت C:N:P:S در آن مساوی ۱۲۰:۱۰:۱:۱یا ۱۰۰می باشد. یکی از خواص مهم هوموس ظرفیت تبادل کاتیونی بالای آن می‌باشد در حدود ۱۵۰-۳۰۰ Cmol/Kg (حدود ۲ تا ۳ برابر رس‌ها) و کاتیونهایی از قبیل Ca, Mg, K را به خود جذب می‌نماید و در نتیجه از آبشویی عناصر غذایی قابل استفاده گیاه جلوگیری به عمل آورده و این عناصر را بتدریج در اختیار گیاهان عالی و ریزموجودات قرار می‌دهد. پتاسیم با انرژی کافی جذب هوموس شده و در نتیجه در خاک باقی مانده و به آسانی قابل استفاده گیاه می‌باشد.

- مواد هوموسی ، قدرت جذب و نگهداری آب بالایی دارند، بطوریکه مواد هوموسی از یک محیط اشباع از بخار آب ۸۰-۹۰٪ وزن خود آب جذب می‌کنند، در حالیکه در چنین شرایطی مواد رسی فقط ۴۵-۳۰٪ آب جذب می‌کنند و در بهبود خواص فیزیکی خاک (تشکیل ساختمان مناسب) بسیار موثر است.

- مواد هوموسی باعث بهبود خواص فیزیکی، مثل ساختمان خاک، نفوذپذیری و همچنین در ایجاد رنگ تیره در خاک موثر است.

- تبادل کاتیونی مربوط به گروه‌های شیمیایی فعال موجود در مواد آلی زنده و مرده است. در حین هوموسی شدن مواد آلی ترکیبات لیگنین (مقاوم به تجزیه) موجود در آن تغییر یافته و در نتیجه گروه‌های کربوکسیلی و فنولی و خاصیت بافری در خاک افزایش می‌یابد.

شرایط محیطی موثر در تجزیه:

سرعت تبدیل مواد آلی به ترکیبات معدنی تحت تاثیر عوامل مختلفی است که اعم آنها عبارتند از:

۱- **حرارت:** درجه حرارت مناسب برای تجزیه مواد آلی خاک در حدود ۳۵-۲۵ درجه سانتی‌گراد است فعالیت بیشتر میکروبهای خاک در این حد می‌باشد البته موجوداتی هستند که در ۷۰-۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌توانند فعالیت کنند.

۲- **تهویه:** هر چند که عمل تجزیه در شرایط بی هوازی هم صورت می‌گیرد ولی بیشتر تجزیه مواد آلی در شرایط هوازی صورت گرفته در نتیجه هر چه اکسیژن در خاک بیشتر وجود داشته باشد عمل تجزیه با سرعت بیشتری صورت می‌گیرد.

۳- **رطوبت:** در خاکهای خیلی خشک و یا حالت اشباع میزان تجزیه بسیار کاهش می‌یابد، بهترین رطوبت برای انجام تجزیه حدود ۸۰-۶۰ درصد ظرفیت نگهداری آب در خاک است.

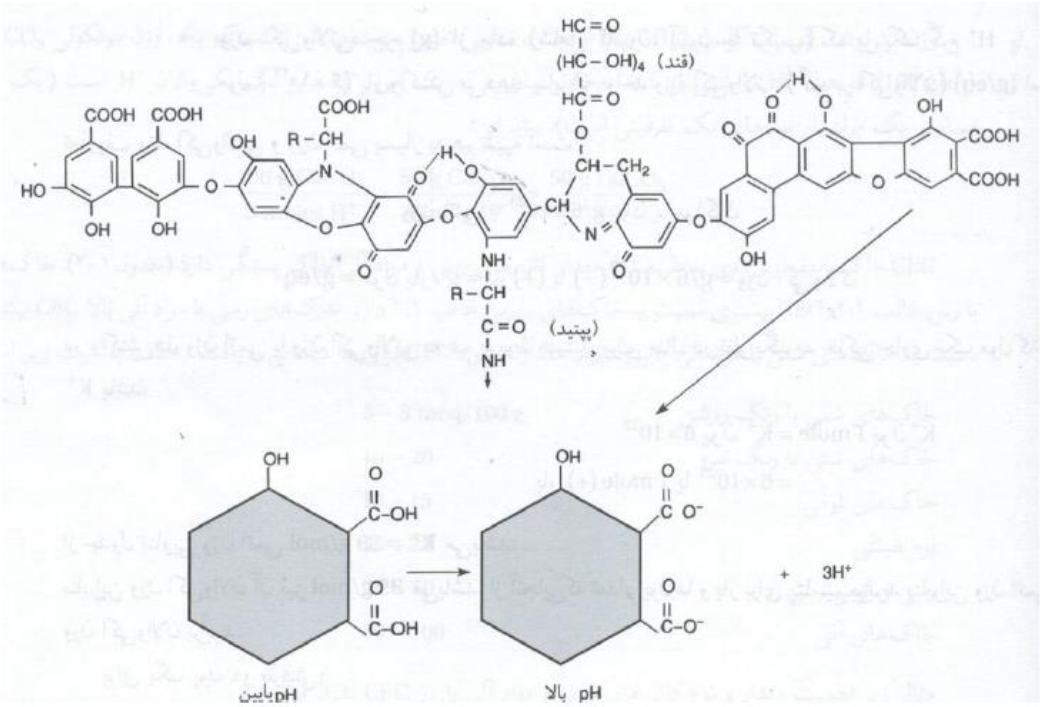
٤- **واکنش خاک:** بطور عملی در pH حدود خنثی تجزیه مواد آلی در خاکها بیشتر صورت می‌گیرد و در pH قلیائی فعالیت باکتریها و در pH اسیدی فعالیت قارچها افزایش می‌یابد.

٥- **مقدار ماده آلی خاک:** با افزایش مواد آلی تازه با مهیا بودن کربن فعالیت موجودات ریز خاک بسرعت افزایش یافته و جمعیت آنها به چندین برابر می‌رسد و عناصر غذادیی موجود در محلول خاک را جذب نموده و زیست توده خاک را بوجود می‌آورند (Immobilization). با کامل شدن عمل تجزیه بتدریج جمعیت افت کرده و ترکیبات ساده ایجاد شده در بدن آنها مثل نیتروژن در خاک آزاد می‌گردد که توسط گیاه زراعی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

منبع CEC در مواد آلی هوموسی شده:

منبع بار الکتریکی در مواد آلی هوموسی شده مربوط به بار وابسته به pH می‌باشد (شکل). بیشترین بار منفی از تفکیک گروه های کربوکسیل و هیدروکسیل موجود بر روی حلقه‌های فنلی ترکیبات اسید هومیک و اسید ایجاد شده طی فرایند هوموس سازی می‌باشد. با افزایش pH برخی از H^+های سطحی خنثی شده و بار منفی جاذب کاتیونهای محلول افزایش می‌یابد.

افزایش pH تاثیر زیادی بر افزایش CEC مواد آلی خاک در مقایسه با مواد آلی معدنی خاک می‌گذارد (شکل) بنابر این تاثیر pH بر CEC در خاکهای آلی بیشتر است.



شکل: تاثیر pH در ایجاد بار الکتریکی در مواد آلی

نسبت کربن به ازت در مواد آلی (C/N):

با افزودن مواد آلی با C/N بالا به خاک، میکروبها با در اختیار قرار گرفتن کربن آلی شروع به تجزیه آن کرده و زیست توده خود را افزایش می‌دهند. برای تشکیل هوموس و زیست توده میکروبی C/N حدود ۱۰ مورد نیاز میکروبها می‌باشد و آنها برای جبران این کمبود جهت مصرف کربن آلی اضافه شده از نیتروزن معدنی موجود در خاک استفاده کرده و این موجب تخلیه نیتروژن معدنی خاک و اختلال در رشد گیاه زراعی می‌گردد.

نسبت کربن به ازت چند ماده آلی

نوع ماده	C/N	نوع ماده	C/N
هوموس	۱۰	بقایای نیشکر	۵۰
شبدر شیرین	۱۲	ساقه ذرت	۶۰
کود حیوانی پوسیده	۲۰	کاه و کلش گندم	۸۰
چاودار سبز	۳۶	خاک اره	۴۰۰

چگونگی پایین آوردن C/N:

۱-اضافه کردن ماده آلی ۴-۳ هفته قبل از کشت تا واکنشهای تجزیه میکروبی بر روی آنها عمل کرده و پروسه معدنی شدن صورت گیرد و بخش زیادی از کربن (حدود ۴۰٪) بصورت CO_2 آزاد شود و نسبت C/N کاهش یابد.

۲-همراه با ماده آلی با C/N بالا مقداری کود نیتروژن‌دار به خاک داده شود تا از جذب نیتروژن موجود در خاک جلوگیری و گیاه زراعی به کمبود آن دچار نشود.

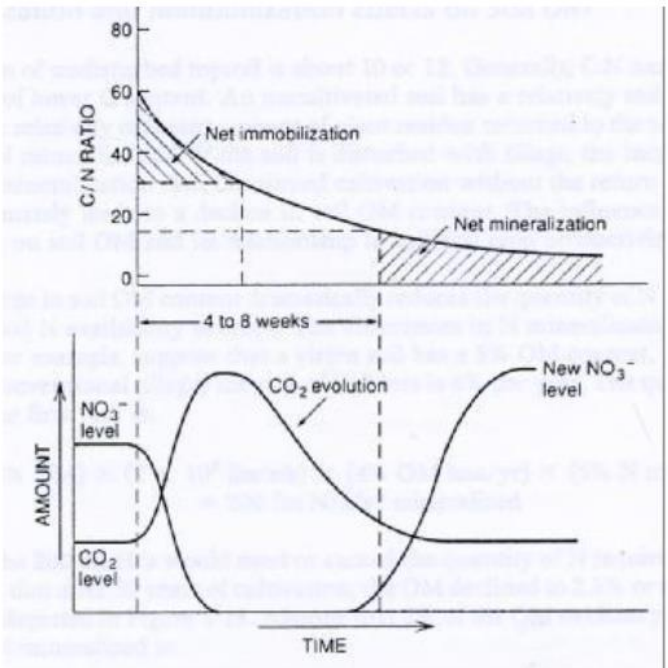


Figure 4-16 General description of N mineralization and immobilization following addition of residue to soil. *(Adapted from B. R. Sabey, Univ. of Illinois.)*

فرایند تجزیه ضایعات کشاورزی و زباله‌هایی که منشاء آلی دارند (Composting):

امروزه در جهان و بخصوص درکشورهای صنعتی و تولید کننده‌های کودهای شیمیائی تاثیر منفی و زیانبار کودها بر روی اکوسیستم‌های مختلف مورد مطالعه قرار گرفته، مثل افزایش نیترات در آبهای زیرزمینی و تالابها بر اثر مصرف بیش از حد کودهای نیتروژنه و دیگر افزایش عناصر سنگین در خاک بر اثر مصرف کودهای فسفره و همچنین استفاده دراز مدت از خاک بدون اضافه کردن مواد آلی موجب تخریب خاکدانه‌ها و خواص فیزیکی خاک می‌گردد پس باید تدابیری برای کاهش مصرف کودهای شیمیائی اندیشه شود. یکی از آنها استفاده بیشتر از کودهای آلی مثل کمپوست می‌باشد.

کودهای آلی: منظور از کودهای آلی، موادی است که منشأ گیاهی و جانوری دارند.
مثل برگ و بقایای پوسیده گیاهان، اجساد و فضولات حیوانات و انسان و همچنین زوائد زندگی آنها. افزایش مواد آلی به خاک، از قدیم امری مرسوم در تقویت خاک بوده است. مواد آلی پس از ورود به خاک، تحت تأثیر فعالیت‌های حیاتی موجودات زنده خاک می‌پوسند و تبدیل به هوموس می‌شوند.

- **کودهای دامی:** میزان درصد عناصر غذایی موجود در کود تولید شده از مواد دفعی و ضایعات دامهای مختلف بر حسب نوع دام و نیز نوع تعلیف دامها متفاوت است و بطور متوسط ٪K ,٪P, ٪N برابر ۰/۵٪، ۰/۲۵٪، ۰/۵٪ می‌باشد. در میان کودهای دامی، کود گوسفندی بهتر است و کودهای گاوی و اسبی پس از آن قرار دارند.

- **ورمی‌کمپوست** (Vermicomposte): کلمه Verm از لغت لاتین Vermis گرفته شده که به معنی کرم می‌باشد. ورمی‌کمپوست بستر رشد کرم است که پس از دفع شدن از سیستم گوارش کرم، در محیط باقی می‌ماند، لذا این ماده مجموعه‌ای از فضولات کرم به همراه مواد آلی تجزیه شده و نیز اجساد کرمها بوده که برای گیاه، ارزش غذائی فراوانی دارد. مواد دفع شده توسط کرمها، اغلب دارای نیتروژن، فسفر، پتاسیم به میزان ۱۱-۵ مرتبه بیشتر می‌باشد و همچنین میزان عناصر قابل استفاده گیاه از جمله عناصر میکرو افزایش چشمگیری می‌یابد.

- آتش زدن باقیمانده کشت زرعی مثل کاه و کلش گندم، اگر چه مقداری فسفر و پتاس از طریق خاکستر ایجاد شده به خاک وارد می‌کند ولی از اثر مطلوب کلش به عنوان یک کود آلی نادیده گرفته می‌شود.