

گوگرد کشاورزی

ترجمه کتاب:

Sulfur: A Missing Link between Soils, Crops, and Nutrition

گوگرد: ارتباطات پنهان خاک‌ها، محصولات و عناصر غذایی

Availability of Sulfur to Crops from Soil and Other Sources

قابلیت دسترسی گوگرد از خاک و دیگر منابع برای محصولات

By: Warren A. Dick, David Kost, and Liming Chen
The Ohio State University, Wooster, Ohio

توسط:

شرکت آتیه‌سازان ماه‌نشان - واحد فنی - علی احمدی

چکیده

کمبود گوگرد در سراسر جهان افزایش یافته است چون میزان گوگردی که به خاک اضافه می‌شود کم و میزان گوگرد زیادی از آن خارج می‌شود. این امر باعث کاهش عملکرد بسیاری از محصولات شده است. هدف از مدیریت سیستم‌های تغذیه‌ای خاک و محصولات اینست که مقدار عناصر غذایی قابل دسترس برای رشد گیاهان به مقدار کافی وجود داشته باشد نه بیشتر. کاربرد زیادی عناصر غذایی نه تنها غیر موثر بوده بلکه می‌تواند اثرات منفی بر محیط زیست داشته باشند. بنابراین آگاهی از عوامل محدود کننده قابلیت دسترسی گوگرد برای محصولات و همچنین منابع موجود برای از بین بردن این عوامل محدود کننده از اهمیت برخوردار است. گوگرد برای رشد گیاهان ضروری می‌باشد و نیاز گیاهان به گوگرد به میزان دسترسی آنها به ازت و نرخ رشدی گیاه بستگی دارد.

گوگرد بعنوان یک عنصر غذایی مهم برای گیاهان

گوگرد یک عنصر ضروری برای رشد گیاهان می‌باشد. گوگرد مانند ازت، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم جزء عناصر ماکرو بوده و برای رشد ایده‌آل محصولات باید به اندازه زیاد در دسترس باشند. غلظت گوگرد کل موجود در گیاهان از ۰/۱ تا ۰/۳ درصد متفاوت است البته در بعضی شرایط ممکنه این مقدار کمتر از ۰/۰۵ درصد و یا بیشتر از ۰/۹ درصد باشد (Blanchar, 1986). گوگرد از اجزاء تشکیل دهنده اسیدهای آمینه سیستئین، متیونین و از اینرو پروتئین‌ها می‌باشد. وقتی که مقدار گوگرد کاهش می‌یابد، غلظت اسیدهای آمینه حاوی گوگرد نیز در گیاهان کاهش می‌یابد در نتیجه سنتز پروتئین‌ها محدود می‌شود (Marschner, 1995). بعلاوه گوگرد بعنوان اجزاء ساختمانی بسیاری از کوآنزیم‌ها و تولیدات ثانویه گیاه بوده و یا مستقیماً در واکنش‌های متابولیکی درگیر است. نیاز محصولات مختلف به گوگرد بسیار متفاوت می‌باشد.

گوگرد بعنوان یک عنصر غذایی نادیده گرفته شده

منابع گوگرد برای تولید محصولات عموماً خاک و هوا می‌باشند. ترکیبات گازی گوگرد مانند نیتروژن نقش مهمی را در چرخه بازی می‌کنند اما بر خلاف نیتروژن مقدار گوگرد موجود در اتمسفر کم است. در سال‌های اخیر، کمبود گوگرد در محصولات در سراسر جهان افزایش یافته است که این بخاطر کاهش میزان گوگرد ورودی به سیستم خاک و افزایش مقدار گوگرد خارج شده از خاک می‌باشد. کاهش گوگرد ورودی بعلت استفاده زیاد از کودهایی که حاوی مقدار کم و یا حتی فاقد گوگرد هستند (Scherer, 2001) و کاهش گوگرد موجود در هوا می‌باشد (برنامه ملی ذخایر اتمسفر، ۲۰۰۷). افزایش خروجی گوگرد شامل سیستم‌های کشت متراکم که عملکرد محصول افزایش یافته در نتیجه گوگرد بیشتری از خاک خارج می‌شود (بخش اوهایو کشاورزی، ۲۰۰۶).

پاسخ گیاهان به گوگرد در هر خاکی به نوع خاک و نیاز گیاه به گوگرد بستگی دارد. بعنوان مثال نیاز یونجه به گوگرد بالا و برای ذرت و سویا نسبتاً پایین می‌باشد. خاک‌هایی که کمبود گوگرد را نشان می‌دهند عموماً دارای مواد آلی کم و بافت درشت می‌باشند که آبشویی می‌شود. عملکرد یونجه در خاک‌های لومی شنی با کاربرد گوگرد افزایش یافته است (Sloan et al., 1999)

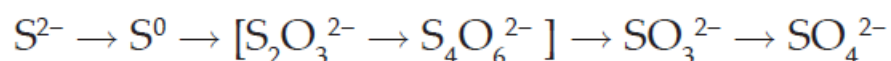
منابع گوگرد موجود

مواد آلی خاک

مواد آلی و بقایای گیاهان منبع مهمی از گوگرد موجود در خاک است. هر عاملی که باعث از بین رفتن بقایای محصولات گردد، به غیر از برداشت دانه، در نهایت اثر منفی بر روی گوگرد موجود دارد. اگر مقدار بقایای گیاهی به خاک بازگردانده شود مقدار گوگرد آلی ممکن است در شرایط مختلف کشت، حفظ و یا افزایش یابد. ساقه گندم و ذرت عموماً دارای ۰/۱۰ تا ۰/۲۲ درصد گوگرد هستند (Miller, 1993).

گوگرد معدنی

معمولاً در خاک‌های کشاورزی مناطق مرطوب و نیمه مرطوب مقدار گوگرد معدنی نسبت به گوگرد آلی بسیار کمتر وجود دارد بطوری‌که گوگرد معدنی کمتر از ۵ درصد گوگرد کل می‌باشد. گوگرد معدنی در خاک اغلب به فرم سولفات (SO_4^{2-}) می‌باشد. اگر چه، در خاک‌های خیلی اسیدی و یا برخی خاک‌ها، مقدار کمی از ترکیبات دیگر گوگرد ممکن است یافت شوند. در مناطق خشک، گوگرد معدنی به فرم‌های سولفات کلسیم، سولفات منیزیم، سولفات پتاسیم و سدیم وجود دارند. گچ ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) به طور کلی بعنوان اصلاح کننده خاک برای بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و تامین منبعی محلول از کلسیم و گوگرد برای تغذیه گیاهان استفاده می‌شود (Shaiberg et al., 1989). چون گیاهان گوگرد موجود در خاک را به شکل سولفات جذب می‌کنند پس ترکیبات گوگرد در ابتدا باید اکسید شده و به سولفات تبدیل شوند. گروه‌های بزرگ و متنوعی از میکروارگانیزم‌ها قادر به اکسید کردن ترکیبات گوگرد در خاک وجود دارند. در ابتدا اکسیدکننده‌های اتوتروف از قبیل تیوباسیلوس در این فرایند دخیل بودند اما در حال حاضر به اکسیدکننده‌های هتروتروف بیشتر اهمیت داده می‌شود. مسیر اکسیداسیون گوگرد که از S^{2-} شروع می‌شود به صورت زیر می‌باشد:



گوگرد اضافه شده به خاک از طریق بارندگی

چرخه کلی گوگرد شامل تغییرات آن بین هوا، خاک و آب سطح زمین می‌باشد. گوگرد از طریق فرایندهای مختلفی از جمله سوخت مواد حاوی گوگرد، سنگ معدن‌های حاوی گوگرد، انتشارات آتشفشانی و خاک و گازهای حاصل از اقیانوس‌ها وارد هوا می‌شوند. از کل گوگرد موجود در هوا (۱۸۵ میلیون Mg yr^{-1}) تقریباً ۳۵ درصد در اثر فعالیت‌های انسانی (سوخت و معادن)، ۳۴/۵ درصد از خاک‌ها، ۲۴ درصد از اقیانوس‌ها و ۶/۵ درصد از آتشفشان‌ها حاصل می‌شود (Noggle et al., 1986). در مناطق صنعتی بعثت سوخت و ساز و دیگر فرایندها مقدار گوگرد نسبت به مناطق ساحلی بیشتر است. در هوا، گوگرد به اسید سولفوریک تبدیل شده و از طریق بارندگی به خاک اضافه می‌شود.

کودهای گوگردی

منابع گوگردی ممکن است بصورت آلی یا معدنی در طبیعت وجود داشته باشند. گوگرد عنصری و سولفوریک اسید فقط شامل گوگرد هستند و از آنها برای تامین عنصر گوگرد، بهبود رشد گیاهان و کاهش pH در خاک‌های قلیایی استفاده می‌شود. گچ از دیگر منابع مهم کود گوگردی است، که دارای ۲۳/۳ درصد کلسیم و ۱۸/۶ درصد گوگرد می‌باشد. و از آن بعنوان یک منبع کلسیم برای محصولاتی که به کلسیم زیاد نیاز دارند استفاده می‌گردد (مانند بادام زمینی *Arachis hypogaea* L) و منبعی از کلسیم قابل تعویض برای اصلاح خاک‌های سدیمی یا اسیدی می‌باشد.

تیوسولفات‌ها، مخصوصاً تیوسولفات آمونیوم نیز بعنوان یک کود گوگردی مورد استفاده قرار می‌گیرد. تیوسولفات آمونیوم به منظور کاربرد گوگرد (۲۶ درصد) و ازت (۱۲ درصد) مفید است. از آن می‌توان بصورت آب آبیاری استفاده کرد و با بسیاری از کودهای محلول از جمله آمونیاک مایع، نترات آمونیوم، محلول اوره و اغلب کودهای نیتروژنه، نیتروژن-فسفر یا کودهای کامل محلول سازگاری دارد.

تعدادی از کودها وجود دارند که در آنها گوگردی بصورت عنصر ثانویه وجود دارد اما این کودها هنوز حاوی مقادیر قابل توجهی سولفات هستند. سوپرفسفات معمولی که مخلوطی از مونوکلسیم فسفات $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2]$ و گچ می‌باشد. در ابتدا از آن بعنوان منبع فسفر (۷-۹/۵ درصد فسفر) استفاده می‌شد اما حاوی ۱۱ تا ۱۲ درصد گوگرد می‌باشد. سولفات آمونیوم $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ یک منبع نیتروژن است (۲۱/۲ درصد ازت) اما دارای ۲۴/۲ درصد گوگرد نیز است. سولفات پتاسیم (K_2SO_4) دارای ۴۱/۵ درصد

پتاسیم و ۱۸/۴ درصد گوگرد است. سولفات پتاسیم منیزیم ($K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$) دارای ۱۸ درصد پتاسیم، ۱۱ درصد منیزیم و ۲۲ درصد گوگرد می‌باشد.

استفاده از کودهای با درصد بالایی ازت، فسفر یا پتاسیم باعث کاهش منابع ورودی گوگرد شده‌اند. بعنوان مثال جایگزین کردن نیترات آمونیوم به عنوان منبع ازت (که فاقد گوگرد است) به جای سولفات آمونیوم در دراز مدت باعث کمبود گوگرد می‌شود.

منابع معدنی و آلی کودهای گوگردی

Fertilizer sources	Nutrient concentrations	
	N-P-K	S
	%	
Inorganic sources		
Elemental S	0-0-0	88-98
Gypsum	0-0-0	18
Ammonium sulfate	21-0-0	24
Ammonium thiosulfate	12-0-0	26
Ordinary superphosphate	0-9-0	11-12
Magnesium sulfate	0-0-0	14
Potassium magnesium sulfate	0-0-18.2	22
Potassium sulfate	0-0-41.5	18
Organic sources		
Biosolids	-†	0.3-1.2
Manures	-	
Most animals	-	0.25-0.3
Sheep	-	0.35
Poultry	-	0.5
Composts	-	
Biosolids	-	0.44
Dairy manure	-	0.22
Crop residues	-	0.10-0.22

† Nitrogen, phosphorus, and potassium levels in organic fertilizer sources are widely variable and only the typical ranges in sulfur concentrations for these materials are provided.

کودهای حیوانی و دیگر ترکیبات آلی از جمله کمپوست‌ها می‌توانند مقرون به صرفه و منبع مفیدی از گوگرد برای بهبود تولید محصولات باشند. کاربرد خاکی ترکیبات آلی باید به بهترین مدیریت صورت گیرد. محتوای کل عناصر غذایی کود، بهترین زمان و روش مصرف و درصد گوگرد کل کود، فاکتورهایی هستند که در اوایل فصل و مراحل بعدی رشد باید در نظر گرفته شوند.

گوگرد عنصری یک کود گوگردی متداول است. قبل از اینکه گوگرد بتواند جذب گیاه شود، نخست باید به سولفات تبدیل شود. این فرایند اغلب بیولوژیکی بوده و به اندازه و فعالیت میکروبی، اندازه ذرات گوگرد، دمای خاک و رطوبت و فرمول کودی بستگی دارد. بیشتر خاک‌های کشاورزی دارای مقدار بسیار کمی از باکتری‌های گونه‌های تیوباسیلوس^۱ هستند، وقتی کود گوگرد عنصری به خاک اضافه می‌شود تعداد آن‌ها افزایش می‌یابد. هر چه اندازه ذرات گوگرد کاهش یابد، اکسیداسیون گوگرد عنصری افزایش می‌یابد. دمای خاک نیز بر اکسیداسیون گوگرد تاثیر می‌گذارد چون دمای نرمال بر فعالیت میکروبی موثر است. اکسیداسیون گوگرد در خاک‌های دارای رطوبت در نزدیکی ظرفیت زراعی در حد بهینه اتفاق می‌افتد. فرایند اکسیداسیون برخی از فرمولاسیون‌های تجاری کودهای گوگردی توسط گونه‌های تیوباسیلوس به کندی و یا اصلا صورت نمی‌گیرد (Linde-mann et al., 1991).

جذب و حذف گوگرد توسط محصولات

عامل اصلی انتقال گوگرد قابل دسترس گیاه از سیستم خاک در نتیجه حذف و آبشویی می‌باشد. مقدار گوگرد حذف شده از طریق محصول به میزان عملکرد و غلظت گوگرد موجود در دانه یا بیومس برداشت شده دارد.

نیاز محصولات مختلف به گوگرد متفاوت است بعنوان مثال نیاز گوگردی ذرت و گندم نسبتا کم (۱۵ کیلوگرم در هکتار) و نیاز گوگردی یونجه نسبتا بالا (۳۰ کیلوگرم در هکتار) می‌باشد. همچنین مقدار گوگرد حذف شده نیز بوسیله قسمت‌های مختلف گیاه متفاوت است. ساقه گندم ۱۷ کیلوگرم و دانه گندم ۸ کیلوگرم در هکتار گوگرد از زمین خارج می‌کنند. یونجه از محصولاتی است که به گوگرد زیاد نیاز دارد و هر سال وقتی عملکرد ۱۵ باشد، حدودا ۴۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد از خاک خارج می‌کند (Troeh and Thompson, 1993). ذرت از محصولات کم نیاز به گوگرد بوده و اگر عملکرد دانه ۹/۴ باشد حدود ۱۱ کیلوگرم گوگرد در سال از خاک خارج می‌شود (Hoeft and Fox., 1986). یونجه و کلزا (*Berassica napus* L.) بعنوان تجمع کننده گوگرد شناخته شده و مقدار زیادی گوگرد در حدود ۷۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد حذف می‌کنند (Spencer, 1975). نیشکر (*Saccharum officinarum* L.)، قهوه (*Coffea Arabica* L.) و نارگیل (*Cocos nucifera* L.) مقدار متوسطی گوگرد تجمع می‌کنند (۵۰

¹ Thiobacillus

کیلوگرم گوگرد در هکتار) و محصولات زراعی بین ۲۰ تا ۳۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار تجمع می‌کنند (Hoefst and Fox, 1986).

میزان گوگرد برداشت شده توسط محصولات مختلف (لامند، ۱۹۹۷)

Crop	Portion of crop	Yield Mg ha ⁻¹	S removed kg ha ⁻¹
Corn	grain	13	17
	stover	-†	20
Grain sorghum	grain	9.4	25
	stover	-	18
Wheat	grain	5.4	8
	straw	-	17
Canola	grain	2.2	13
	straw	-	10
Soybean	grain	4.0	13
	stover	-	15
Sunflower	seed	3.9	7
	stover	-	11
Alfalfa	biomass	13	34
Cool-season grass	biomass	9.0	18
Cotton	lint	1.7	45
Peanut	tuber	4.5	24
Rice	grain	7.8	13
Sugar beet	tuber	67	50
Orange	fruit	60	31
Tomato	fruit	67	46
Potato	tuber	56	25

† Removal of sulfur in stover and straw are estimates based on typical values of a harvest index (i.e., the ratio of harvested grain to stover or straw). In many instances the stover or straw is not harvested and the sulfur would thus not be removed from the field.

همانطور که اشاره شد، افزایش عملکرد محصول خارج کردن تمامی عناصر از جمله گوگرد را افزایش می‌دهد. افزایش عملکرد محصول از ۱۸ تا ۵۰ درصد باعث افزایش حذف ۱۸ تا ۵۰ درصدی گوگرد می‌شود.

Critical sulfur concentrations in crop plants (from Oenema and Postma, 2003; Schultz and Kelling, 1992).

Crop	Part sampled†	Time of sampling	Critical concentrations at various uptake levels			
			Deficient	Low	Sufficient	High
			%			
Alfalfa	top 15 cm	early bud	<0.20	0.20–0.25	0.26–0.50	>0.50
Corn	ear leaf	silking	<0.10	0.10–0.20	0.21–0.50	>0.50
Oats	top leaves	boot stage	<0.15	0.15–0.20	0.21–0.40	>0.40
Soybean	first trifoliolate	early flower	<0.15	0.15–0.20	0.21–0.40	>0.40
Barley	YEB	mid-late tillering			0.15–0.40	
Canola/rape	YMB	before flowering			0.35–0.47	
Cotton	YMB	early flowering			0.20–0.25	
Ryegrass	young herbage	active growth			0.10–0.25	
Peanut	YML	pre-flowering			0.20–0.35	
Sugar cane	top visible dewlap	active growth			0.12–0.13	
White clover	young herbage	active growth			0.18–0.30	
Wheat	YEB/YMB	mid-late tillering			0.15–0.40	
Rice	whole top	maximum tillering			0.14	
Rice	whole top	active tillering			0.23	

† YEB, youngest emerged leaf blade; YMB, youngest mature leaf blade; and YML, youngest mature leaf.