

الأسمدة الزراعية: استخداماتها وأضرارها

Chemical fertilizers in agriculture: uses and misuses

خالد مصطفى¹ Khaled Moustafa

ملخص

ظهرت في العقود الأخيرة المخصبات الزراعية الصناعية (أو الأسمدة الكيميائية) كسمة بارزة من سمات الزراعة الحديثة لزيادة الإنتاج الزراعي، وتعويض نقص العناصر المغذية في التربة التي تخضع لزراعات مكثفة على مدار العام أو في أعوام متتالية. ولتحقيق الفائدة المرجوة من هذه الأسمدة، يتم إضافتها وفقاً لبرامج مدروسة، من حيث كمية ونوعية وتوقيت إضافة هذه الأسمدة، بما يتناسب مع طور نمو النبات وحاجته. ولكن الإسراف والاستخدام العشوائي لهذه الأسمدة الكيميائية، يسبب أضراراً ونتائج كارثية أحياناً على التربة نفسها، وعلى المحيط الحيوي والبيئي، وهذا ما يؤكد على ضرورة الاستخدام العقلاني والمتوازن لهذه الأسمدة لتجنب تلك الأضرار.

Abstract

Over the past decades, the industry of chemical fertilizers became as one of the main characteristics of modern agriculture to increase crop productions and to enrich the soil with mineral nutrients that could be depleted from the soil by intensive uses of lands. To attain the best results of fertilizers use in agriculture, fertilizers should be added into the soil according to known qualitative and quantitative proportions that should fit the needs of growing plants and their growth stages. However, excessive uses and misuses of chemical fertilizers over years result in many environmental and health damages that need to be monitored and assessed toward reducing them and to avoid a full deterioration of arable lands.

Keywords: fertilizer, intensive agriculture, crop yields, crop rotation, crop cycle، الأسمدة الزراعية، الأسمدة الكيميائية، الأسمدة العضوية، أضرار الأسمدة الكيميائية، زيادة الانتاج الزراعي، التسميد، التلوث البيئي. الدورات الزراعية، السماد الكيماوي

¹ Chief Editor of Arabic Science Archive (arabixiv.org). Email: khaled.moustafa@arabixiv.org خالد مصطفى، محرر الأرشيف العربي العلمي

نبذة تاريخية عن الأسمدة الزراعية

تعرف الأسمدة (أو المُخصِّبات) الزراعية بأنها مواد طبيعية أو صناعية تزود النبات بعناصر غذائية ضرورية لنموه وتطوره وزيادة إنتاجه. وتبعاً لمصدرها، تصنف الأسمدة إلى صنفين رئيسيين هما: الأسمدة العضوية (طبيعية)، والأسمدة الكيميائية (صناعية). وتضم الأسمدة الطبيعية مخلفات حيوانية ونباتية، بينما تحضر الأسمدة الكيميائية من مواد معدنية وكيميائية في مصانع متخصصة، معدة لهذا الغرض. وتصنف الأسمدة الكيميائية بدورها إلى أسمدة بسيطة تحتوي على عنصر واحد فقط (كالنتروجين مثلاً)، أو أسمدة مركبة تحتوي على أكثر من عنصر في آنٍ معاً، كالنتروجين والفسفور (NP)، أو النتروجين والبوتاسيوم (NK)، أو النتروجين والفسفور والبوتاسيوم معاً (NPK) (وهي الأشهر والأكثر استخداماً في الزراعة). كما يمكن أن تكون هذه الأسمدة سائلة أو صلبة أو غازية. وتبعاً للكمية التي يحتاجها النبات من العناصر المغذية المختلفة، تقسم هذه العناصر إلى عناصر رئيسية (أو كبرى)، وهي التي يحتاجها النبات بكميات كبيرة، وعناصر ثانوية (أو صغرى)، وهي التي يحتاجها النبات بكميات أقل، ولكنها ضرورية أيضاً. وتضم العناصر المغذية الرئيسية تسعة مركبات وهي: الكربون والأوكسجين والهيدروجين والنتروجين والفسفور والبوتاسيوم والكبريت والمغنيزيوم والكالسيوم. أما العناصر الصغرى، فتضم الحديد والمنغنيز والبور والكلور النحاس والزنك والموليبديوم. ويحصل النبات على حاجته من الكربون والأوكسجين والهيدروجين من الهواء والماء، وبالتالي لا تعتبر هذه العناصر أسمدة كيميائية بالمعنى الحرفي أو الصناعي للكلمة، علماً أنها تشكل بمجموعها ما يقارب 90 بالمئة من وزن النبات الجاف، بينما هناك ضرورة ملحة لتوفير بقية العناصر في التربة (خاصة النتروجين والفسفور والبوتاسيوم)، وتمثل هذه العناصر العصب الرئيسي لصناعة الأسمدة الزراعية في العالم.

وقد استخدم الإنسان على مر العصور بعض الأساليب الفعالة التي تساهم في إعادة التوازن الغذائي إلى التربة، ووقف استنزاف العناصر الغذائية منها كأنظمة التبوير⁽¹⁾ على سبيل المثال، والدورات الزراعية⁽²⁾. حيث يعتمد مبدأ التبوير على زراعة التربة موسماً أو أكثر، ثم تركها بعد ذلك موسماً أو أكثر دون زراعة (بوراً) لإتاحة الفرصة للمواد العضوية والكائنات الحية النباتية والحيوانية بالتراكم والتحلل، لإغناء التربة من جديد لأن ما أخذ من التربة يعود إلى التربة، وما أخذ من الهواء يعود إلى الهواء. أما الدورات الزراعية، فتعتمد على تنويع أو مناوبة زراعة بعض الأنواع النباتية المختلفة، التي تتفاوت باحتياجاتها الغذائية، والقدرة على تثبيت النتروجين الجوي من خلال ما يعرف بالتعايش مع بعض أنواع الكائنات الدقيقة الجراثومية والتي بدورها تتمتع بقدرتها على تثبيت النتروجين الجوي، في عقد جذرية تنمو على جذور بعض الأنواع النباتية (خاصة البقوليات كالفاصولياء والباذلاء والعدس إلخ...).

يعود استخدام الأسمدة بصورتها الطبيعية إلى تاريخ الزراعة نفسها، عندما بدأ الإنسان بممارسة الزراعة كنشاط منظم ودوري قبل أكثر من 10 آلاف سنة، في منطقة الهلال الخصيب وبلاد الشام، بعد أن كان يعتمد في معظم نشاطاته على الصيد وجني الثمار والزروع التي تنمو طبيعياً على طريق حله وترحاله، بينما بدأت طلائع استخدام الأسمدة الصناعية في القرن التاسع عشر، مع بدأ الطفرتين الصناعية والزراعية في أوروبا⁽³⁾، ثم أخذت صناعة الأسمدة طابع التصنيع التجاري على نطاق واسع بعد الحرب العالمية الثانية. ومع ازدياد عدد سكان العالم، الذي من المتوقع أن يصل إلى ما يقارب 10 مليار نسمة بحلول عام 2050 حسب تقارير الأمم المتحدة⁽⁴⁾، فإن الحاجة إلى تأمين مصادر غذائية، كماً ونوعاً، تزداد باضطراد. ولتلبية الطلب المتزايد على الغذاء، لا بد من زيادة الإنتاج الزراعي لمواكبة زيادة التكاثر السكاني، من خلال طريقتين رئيسيتين⁽⁵⁾: الأولى أفقياً، وتعني استثمار مساحات جديدة وإدخالها إلى حيز الاستثمار الزراعي، والثانية عمودياً، من خلال استخدام تقنيات حديثة تساعد على تكثيف الإنتاج في نفس المساحة المزروعة، كترية أصناف نباتية جديدة مهجنة عالية الانتاجية، وزيادة تحمل النبات للضغوطات البيئية، بحيث لا تتأثر إنتاجيتها كثيراً بالظروف السيئة، واستخدام الأسمدة المناسبة، والمكننة الزراعية التي توفر كثير من التكاليف والجهد والوقت. وقد أدى استخدام هذه الأساليب إلى زيادات ملحوظة في الإنتاج الزراعي لمختلف المحاصيل الرئيسية في العالم. ففي الولايات المتحدة، على سبيل المثال، ازداد انتاج الذرا من 2 طن في الهكتار الواحد إلى حوالي 10 طن في الهكتار⁽⁵⁾، أي بزيادة قدرها حوالي 80 بالمئة. نفس الأمر ينطبق على معظم المحاصيل الزراعية المهمة في العالم (القمح، القطن، الشعير، البقوليات...إلخ)، والتي استفادت أيضاً من التقنيات الزراعية المكثفة، وأساليب التسميد المتنوعة، لزيادة النتاج بنسب متفاوتة، تبعاً للبلد ودرجة التطور والعناية بالزراعة.

ولكي تلبى النباتات حاجة الإنسان من الغذاء والدواء والكساء، ينبغي على الإنسان أيضاً أن يلبى حاجاتها من العناصر الغذائية والماء. وفي ظل الزيادة السكانية المتوقعة، لن يكون الرهان حول زيادة الإنتاج الزراعي وحسب، وإنما أيضاً على الحفاظ على نوعيته، وتعزيز قدرة الإنسان على الحصول على المنتجات الزراعية في الوقت والنمن والمكان الملائم، والحفاظ على استدامة وقدرة الأرض على الإنتاج، وكذلك تقليل الهدر والإسراف الغذائي. وبالتالي، فإن استخدام الأسمدة مرجح للزيادة للمساهمة في رفع إنتاجية المحاصيل الزراعية، لمواكبة زيادة الطلب على الغذاء في ظل انحسار رقعة الأراضي الزراعية والزحف العمراني عليها وزيادة التصحر والجفاف وتدهور التربة الزراعية في كثير من المناطق. وبغض النظر عن كل هذه المعوقات، فإن تقليل الهدر الغائي وتوفير نصف كمية الأغذية المهذورة حالياً، كنفائات غذائية، يمكن أن يغذي ما يقارب 1,5 مليار إنسان⁽⁶⁾، وهو ما يعادل ضعف عدد الجوعى في العالم حسب تقديرات المنظمة

العالمية للزراعة والأغذية (FAO) (7). بمعنى آخر، إن تقليل هدر الأغذية المنتجة حالياً كفيل لوحده بحل مشكلة المجاعة حلاً ناجعاً، الأمر الذي يجعل الإسراف في استخدام الأسمدة الزراعية، والمواد الضارة الأخرى، كالمبيدات الزراعية على اختلاف أنواعها كذريعة لزيادة الإنتاج الزراعي لتغذية الزيادات السكانية تبريراً غير واقعي، وإنما ربحي بالمقام الأول.

ومن أهم استعمالات وميزات الأسمدة الطبيعية، أنها تحسن من تركيب التربة وبنيتها وقدرتها على امتصاص الرطوبة، والاحتفاظ بها لفترات طويلة، كما أنها نادراً ما تكون سامة أو مؤذية للنبات أو البيئة. أما أبرز مساوئها، فهي الحاجة إلى ظروف ملائمة (رطوبة وحرارة مناسبة لنشاط الجراثيم "البكتريا" المحللة للمادة العضوية) وهذه الشروط قد لا تتوفر على مدار العام في كل المناطق، مما يجعل فعالية هذه الأسمدة بطيئة نوعاً ما، تحت ظروف غير ملائمة. أما الأسمدة الكيميائية، فهي سريعة التحلل، وبالتالي فعاليتها آنية، وتحتوي على نسب معروفة من العناصر الغذائية المضافة مقارنة مع الأسمدة الطبيعية. ولكن للأسمدة الكيميائية مساوئ كثيرة أيضاً وخطيرة، أخطر بكثير من الأسمدة العضوية، أهمها السمية المباشرة أو المزمنة للنبات والإنسان والحيوان والنظام البيئي بصورة عامة.

ولقد ساهم التقدم العلمي والتقني في المجالات الزراعية، والتقنية المرتبطة بها، في إحداث قفزة نوعية وكمية هائلة في الأساليب الزراعية المتبعة في الزراعة، وتحويلها من عمل يدوي فردي لإنتاج الكفاف إلى نشاط تجاري وصناعي منظم ومدرّس. كما أصبحت الزراعة حقلاً علمياً بامتياز، يخضع لشروط التجربة والاستقصاء والمقارنة. ولنظراً لأن الزراعة هي أساس الحضارة، فغالباً ما يرتبط التقدم الزراعي بالتقدم في المجالات الأخرى، الأمر الذي يجعل الدول المتقدمة صناعياً تحتل المراكز الأولى من حيث المردود العالي والاستخدام المنظم للأسمدة الزراعية. ويقدر استخدام الأسمدة الزراعية في العالم حالياً، من العناصر الثلاثة الرئيسية (نتروجين، فوسفات، بوتاس) بحوالي 180 مليون طن، جدول (1)، معظمها في البلدان النامية وفقاً لتقارير المنظمة الدولية لصناعة الأسمدة (باريس، 2013). (IFA 2013).

جدول 1. كميات الأسمدة المستهلكة في العالم (مليون طن) خلال الأعوام 2012، 2013، 2017

نوع السماد	2012	2013	2017
نتروجين N	107.8	109.4	115.8
فوسفات (P2O5)	41.3	40.7	45.0
بوتاسيوم (K2O)	28.9	29.0	33.2
المجموع	178.0	179.1	194.0

المصدر: المنظمة الدولية لصناعة الأسمدة (IFA)، باريس، حزيران 2013 <http://www.fertilizer.org>

ولكن مع التنوع الكبير للترب الزراعية (رملية، ضحلة، عضوية، بركانية الخ)، فإن هناك بوناً شاسعاً لتأثير الأسمدة المضافة على إنتاجية النبات. ففي الترب الخصبة، جيدة التهوية، تزدهر النباتات وتعطي أفضل إنتاجيتها. أما في الترب الفقيرة والضحلة، فغالباً ما تعاني النباتات وتخفض إنتاجيتها إلى الحضيض، حيث تصارع للبقاء على قيد الحياة وليس للإنتاج. ولمواجهة هذه التحديات، تعتبر الأسمدة الزراعية إحدى الوسائل الزراعية المتبعة لكبح نتائج تدهور التربة، ورداءة خصائصها. ولكن للأسمدة الكيميائية، سلبيات وأضرار كثيرة أيضاً كما ذكر آنفاً، تتفاوت من حيث درجة الخطورة، وتتعلق بنوعية المنتج الزراعي، وسميته للإنسان والحيوان والنبات، وتأثيرها السلبي على الموارد البيئية الأخرى، كالماء والهواء والدواء وهو موضوع الفقرة التالية.

الأضرار البيئية والصحية للأسمدة الكيميائية

عندما تتجاوز الكميات المضافة من الأسمدة الكيميائية نسباً معينة، وهذا ما يحدث في كثير من الأحيان من خلال إضافات متكررة غير مدروسة، وعشوائية في كثير من البلدان، سيكون لها تأثيرات سلبية كثيرة، مباشرة أو غير مباشرة، على النظام الحيوي خاصة والبيئي عامة. أما الانعكاسات المباشرة، فهي على المكونات الحية للنظام البيئي، بما فيها صحة الإنسان والحيوان والنبات نفسه. أما التأثيرات غير المباشرة، فتعكس سلباً على مكونات النظام البيئي اللاحيوية (ماء، هواء، تربة)، فتحدث خللاً في تركيب عناصرها وتوازنها الطبيعي. فالتسميد النتروجيني، على سبيل المثال، يعد أحد أهم التطبيقات الزراعية التي تساهم في تلويث الماء والغذاء والهواء (8). أما التسميد الفوسفاتي، على المدى الطويل، فيزيد من المخاطر البيئية والتلوث ببقايا بعض العناصر المعدنية السامة كالرصاص والزرنيخ والكاديوم (9)، ويساهم أيضاً في تعديل كثير من الخصائص الكيميائية والفيزيائية للتربة كدرجة الحموضة (pH)، والتي بدورها تؤثر على كمية ونوعية الكائنات الحية المفيدة. كما أن لدرجة حموضة التربة، تأثير تضادى أو تآزري بين العناصر الغذائية، حيث يزداد امتصاص بعض العناصر على حساب عناصر أخرى، عند درجة حموضة أو قلوية معينة، فتصبح بعض العناصر غير السامة في الأصل سامة وخطيرة للنبات. كما أن درجة الحموضة ونسبة كلور الكالسيوم تؤثران على كفاءة تطهير التربة المزروعة بالرز وملوثة بالمعادن الثقيلة (10). ويمكن خطر العناصر السامة أيضاً، ومشتقاتها، في إمكانية دخولها إلى مكونات السلسلة الغذائية (نبات، حيوان، إنسان) وتركزها تراكماً في المستويات الغذائية المتتالية، ويكون خطرها أكبر في مناطق العمران المكثف والمدن المكتظة بالسكان (11).

من ناحية أخرى، يعتبر تسرب النترات إلى المياه الجوفية من أهم مخاطر التلوث بالسماذ النتروجيني في بعض البلدان، التي تشكل فيها المياه الجوفية المصدر الرئيسي للشرب. ففي ألمانيا، على سبيل المثال، حيث 75 بالمئة من مياه الشرب هي مياه جوفية، تشير بعض التقارير إلى أن تلوث المياه الجوفية يؤدي إلى زيادة نسبة الإصابة بسرطان المعدة عند الكبار، ومتلازمة الطفل الأزرق عند الصغار (3). كما أن دورة عنصر النتروجين في الطبيعة وتسربه بين الوسط الأرضي والبحري والهوائي يؤدي إلى تشكيل عناصر أو مشتقات نتروجينية أخرى ذات سمية عالية يترسب بعضها في قاع المحيط مؤثراً على البيئة البحرية ومكوناتها (12). وللتسميد المعدني طويل المدى أضرار سلبية أيضاً على تنوع بعض الفطريات الجذرية المفيدة للتربة الزراعية (13). وفي دراسة أجريت في كوريا لتلقي بعض أضرار التسميد في حقل أرز، تبين أن التسميد الآزوتي يزيد من معدل تسرب مشتقات النتروجين كالأمونيا (NH₃) والأمونيوم (NH₄) والنترات (NO₃⁻) والنترت (NO₂⁻) (14). وفي دراسات أخرى كثيرة، تبين وجود علاقة وثيقة بين مياه الشرب الملوثة بمشتقات نتروجينية، ومخاطر الإصابة بسرطان المعثكلة (البنكرياس) (15) والدماغ (16) والمعوي الغليظ (17) (18) (19) والمثانة (20) (21) والغدة الدرقية (22).

كما أن هناك تأثير غير مباشر للسماذ النتروجيني على متوسط عمر بعض الطيور البحرية، والتي تبين أنها أعمارها تناسبت عكساً مع كميات الأسمدة المضافة في بعض المناطق الساحلية في الدانمارك، علماً أن حجم بيوضها ازداد طرداً مع نسبة السماذ النتروجيني المستخدم (23). وفي دراسة حديثة أخرى، تبين أن السماذ النتروجيني يؤثر ليس فقط على حجم حشرات المن التي تتغذى على نباتات مسمدة بالنتروجين، وإنما أيضاً على حجم ومعدل حياة الحشرات التي تتغذى بدورها على حشرة المن كفريسة (24)، الأمر الذي يؤكد التأثير السلبي للنتروجين في السلسلة الغذائية وتراكمه فيها. وفي محاولة لمقارنة ما إذا كان تراكم العناصر السماذية الثقيلة في التربة يختلف بين حقل مكشوف وآخر مغطى، تبين أن الاستخدام المكثف طويل الأمد للأسمدة الكيميائية والعضوية في حقل خضروات مكشوف، أو ضمن بيت بلاستيكي، يؤدي إلى تراكم عناصر معدنية ثقيلة، كالخارصين (الزنك) والنحاس ومعادن أخرى، ولكن نسب التراكم في حقل مكشوف مزروع بمحصول بذري أقل منها في حقل مغطى مزروع بمحاصيل خضار (25). ويمكن عزو هذا الاختلاف، بين المحاصيل البذرية والخضرية، إلى قدرة المحصول البذري على امتصاص وتخزين المعادن في أجزاء النبات وبدوره، مما يزيد من سمية البذور المستهلكة.

إن استنزاف مخزون العناصر الغذائية من التربة في البلدان النامية يعتبر أحد أهم المظاهر الخفية وراء تدهور الترب الزراعية في تلك البلدان. كما أن استهلاك اللحوم هو أحد أهم محفزات استخدام النتروجين في الزراعة، وبالتالي فمن المتوقع أيضاً أن يزداد استخدام التسميد النتروجيني في كثير من البلدان وكذلك

أضراره. وتبلغ نسبة الزيادة المتوقعة في استخدام التسميد النتروجيني في الولايات المتحدة على سبيل المثال 30 بالمئة خلال الثلاثين سنة القادمة، وما لم يكن هناك تغيّر جذري في نمط الغذاء، والأساليب الزراعية الهادفة إلى تخفيض استخدام النتروجين، فإن زيادة استخدامه ستسبب بزيادة تسرب النتروجين إلى الشواطئ المحاذية للحقول الزراعية (26)، وما ينتج عن ذلك من مخاطر صحية وبيئية جمة، تستدعي استخدام وسائل حساسة للكشف عن بقايا وآثار العناصر المعدنية السامة لتخفيف أضرارها قبل وقوعها، وهو موضوع الفقرة التالية.

طرق الكشف عن الأسمدة الكيميائية في البيئة

الكشف عن العناصر الضارة هو أحد أهم دعائم الإدارة الناجحة والعوامل المؤثرة في استخدام الأسمدة في النظم الزراعية التجارية، بغض النظر عن حسابات الربح والخسارة، والتي غالباً ما تكون عاملاً حاسماً، وسلبياً في كثير من الأحيان، في استخدام الأسمدة والإسراف فيها دون الالتفات إلى الأضرار الكامنة التي يمكن أن تتجم عنها لاحقاً. وغالباً ما تتسبب سياسة الاستغلال المفرط في الزراعة، دون التفكير بالعواقب أضراراً بيئية وصحية بالغة (27) تجعل من استخدام الأسمدة العضوية والكيميائية بشكل متوازن ومدروس ضرورة ملحة من أجل زراعة مستدامة وإنتاج وفير وبنوعية صحية ضمن إطار إدارة متكاملة وعقلانية للمشاريع الزراعية. ولتفادي الأضرار الخطيرة والكامنة للأسمدة الكيميائية وسميتها، لا بد من استخدام أساليب وطرق فعالة للكشف عنها مبكراً قبل أن تتراكم ويتفاقم تأثيرها وخطرها على النظام البيئي.

وتتباين الطرق المتبعة للكشف عن العناصر السمدية في البيئة، تبعاً لنوع العنصر السمادي المستخدم. فلتقدير كمية النترات مثلاً، يمكن استخدام طريقة إرجاع الكادميوم اللونية Colorimetric cadmium reduction method في قياس مستويات النترات في المياه الجوفية ومعرفة مدى تغيرها بمرور الوقت (28). كما يمكن استخدام طريقة الكشف متعددة النظائر (تتبع عدة نظائر في آن معاً) (29) أو مزدوجة النظائر كالنتروجين والبور (30) أو النظائر المستقرة للنتروجين والأوكسجين (31) (32) (33)، أو باستخدام أكثر من طريقة في نفس الوقت، كطريقة تتبع النظائر وكواشف كيميائية معينة، كبعض المستحضرات الطبية أو الغذائية (34). إلا أن طريقة تتبع النظائر تعاني من بعض العيوب، وتقل فعاليتها ودقتها عندما تتعدد مصادر النترات المُتتبعة (35)، ولهذا يُستعاض عنها أحياناً بطرق أخرى أكثر نجاعة، مثل التبادل الأيوني باستخدام الراتنج (36)، أو إرجاع الكادميوم والتي تسمح بقياس نسبة النترات، ليس فقط في الماء وإنما أيضاً في التربة والأنسجة النباتية والسوائل الحيوية الوظيفية (37). ويمكن أيضاً تحليل نسبة النترات في العينات الحيوية باستخدام طريقة الفصل اللوني (الكروماتوغرافيا) (38).

ومن طرق الكشف الأخرى للعناصر السامة، هناك طريقة تحليل طيف امتصاص الأشعة السينية، بالقرب من حافة المادة (أي قياس كمية الأشعة الممتصة في جزء سطحي، غير عميق، من المادة المُلحلة) للكشف عن الفوسفور (39) (40) (41) (42)، أو تحليل طيف امتصاص المواد المجزأة بالليزر، للكشف عن الكروم والنحاس والرصاص والزنك (43) (44).

بعض الأساليب الممكنة للحد من التلوث بالأسمدة الكيميائية والعناصر السامة

للتقليل من كمية وسمية بعض العناصر السامة في البيئة، يمكن اتباع بعض الأساليب التي تختلف في درجة فعاليتها وكلفتها ومردودها. يمكن على سبيل المثال استخدام مثبتات النترة (مثل DMPP) لمنع تحول النتروجين إلى نترات سامة في الأراضي التي تخضع للتسميد النتروجيني، مما يقلل من تسرب النترات مع مياه الأمطار (45). كما يمكن التخفيف من آثار النترات في المياه الجوفية باستخدام مشتقات حمض الخل (الخلات) (46).

كما يمكن استخدام ثنائي أمونيوم الفوسفات (47)، أو مخلفات قشور البيض وسيقان الموز (48)، أو حمض الفوسفور (49)، أو أكسيد المغنيزيوم (50)، لتثبيت وتقليل ذوبانية وسمية بعض العناصر المعدنية الثقيلة، كالكاديوم والرصاص والزنك في التربة الملوثة بها، بالقرب من المصاهر المعدنية. كما يمكن استخدام الفحم الحيوي أو النباتي (51) (52) (53) لتقليل سمية بعض العناصر المعدنية في التربة والمياه الجوفية، أو في الأوساط السائلة. ويمكن أيضاً تخفيف سمية الرصاص والنحاس والكاديوم والزنك في الأوساط السائلة باستخدام بعض المواد النشطة سطحياً (54) أو المواد البركانية التي لها خاصية امتزاز قوية كالبنطونيت Bentonite (55) أو سكوريا (56) التي تقوم بتثبيت العناصر السامة على سطحها، وبالتالي تخفف من تسربها وسميتها. كما يمكن استخدام طريقة الفحم النباتي أيضاً لإزالة الملوثات العضوية والمعدنية، كالأمونيوم والفوسفات من المحاليل والأوساط السائلة (57) (58) (59)، وتتميز هذه الطريقة بأنها رخيصة وفعالة ومتوفرة.

وأخيراً، تبقى الطريقة الأكثر نجاعة وفعالية وأقلها تكلفة وأماناً في الحد من سمية العناصر المعدنية الصناعية، هي استبدال الأسمدة الكيميائية بالأسمدة الطبيعية، ما أمكن، والاستخدام العقلاني والمتوازن للأسمدة الكيميائية نوعاً وكماً. فقد تبين أن كمية الأسمدة التي تقل عن 300 كغ/هكتار لا تؤدي إلى تراكم كبير للعناصر السامة في التربة (60).

References

مراجع

1. Greenland, D.J., *Bringing the Green Revolution to the Shifting Cultivator*. Science, 1975. 190(4217): p. 841-844. DOI: 10.1126/science.190.4217.841.
2. Bolley, H.L., *Cereal Cropping: Sanitation, a New Basis for Crop Rotation, Manuring, Tillage and Seed Selection*. Science, 1913. 38(973): p. 249-59. DOI: 10.1126/science.38.973.249.
3. van der Ploeg, R.R., P. Schweigert, and J. Bachmann, *Use and misuse of nitrogen in agriculture: the German story*. ScientificWorldJournal, 2001. 1 Suppl 2: p. 737-44. DOI: 10/1100.tsw.2001.263.
4. World Population Prospect., *World Population Prospect The 2012 Revision*, in UN. 2012, United Nations: New York.
5. Edgerton, M.D., *Increasing crop productivity to meet global needs for feed, food, and fuel*. Plant Physiol, 2009. 149 : (1)p. 7-13. DOI: 10.1104/pp.108.130195.
6. Moustafa, K., J. Cross, and S. Gasim, *Food and starvation: is Earth able to feed its growing population?* Int J Food Sci Nutr, 2017: p. 1-4. DOI: 10.1080/09637486.2017.1378625.
7. FAO, I., *World Food Programme "WFP", The State of Food Insecurity in the World 2015. Meeting the 2015 international hunger targets: taking stock of uneven progress*. Food and Agriculture Organization Publications, Rome, 2016.
8. Lopez-Valdez, F. and F. Fernandez-Luqueno, *Fertilizers components, uses in agriculture and environmental impacts*. Biotechnology in Agriculture, Industry and Medicine. 2014, New York: Nova Science Publishers. 326.
9. Jiao, W., et al., *Environmental risks of trace elements associated with long-term phosphate fertilizers applications: a review*. Environ Pollut, 2012. 168: p. 44-53. DOI: 10.1016/j.envpol.2012.03.052.
10. Kuo, S., M.S. Lai, and C.W. Lin, *Influence of solution acidity and CaCl₂ concentration on the removal of heavy metals from metal-contaminated rice soils*. Environ Pollut, 2006. 144(3): p. 918-25. DOI: 10.1016/j.envpol.2006.02.001.
11. Liu, C., et al., *Recent trends in nitrogen flows with urbanization in the Shanghai megacity and the effects on the water environment*. Environ Sci Pollut Res Int, 2014. DOI: 10.1007/s11356-014-3825-4.
12. Fowler, D., et al., *The global nitrogen cycle in the twenty-first century*. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci, 2013. 368(1621): p. 20130164. DOI: 10.1098/rstb.2013.0164.
13. Wright, S.H., S.M. Berch, and M.L. Berbee, *The effect of fertilization on the below-ground diversity and community composition of ectomycorrhizal fungi associated with western hemlock (Tsuga heterophylla)*. Mycorrhiza, 2009. 19(4): p. 267-76. DOI: 10.1007/s00572-008-0218-x.
14. Das, P., et al., *Effect of fertilizer application on ammonia emission and concentration levels of ammonium, nitrate, and nitrite ions in a rice field*. Environ Monit Assess, 2009. 154(1-4): p. 275-82. DOI: 10.1007/s10661-008-0395-2.
15. Coss, A., et al., *Pancreatic cancer and drinking water and dietary sources of nitrate and nitrite*. Am J Epidemiol, 2004. 159(7): p. 693-701.
16. Ho, C.K., Y.H. Yang, and C.Y. Yang, *Nitrates in drinking water and the risk of death from brain cancer: does hardness in drinking water matter?* J Toxicol Environ Health A, 2011. 74(12): p. 747-56. DOI: 10.1080/15287394.2011.539143.
17. De Roos, A.J., et al., *Nitrate in public water supplies and the risk of colon and rectum cancers*. Epidemiology, 2003. 14(6): p. 640-9. DOI: 10.1097/01.ede.0000091605.01334.d3.
18. McElroy, J.A., et al., *Nitrogen-nitrate exposure from drinking water and colorectal cancer risk for rural women in Wisconsin, USA*. J Water Health, 2008. 6(3): p. 399-409.

19. Morales-Suarez-Varela, M.M., A. Llopis-Gonzalez, and M.L. Tejerizo-Perez, *Impact of nitrates in drinking water on cancer mortality in Valencia, Spain*. Eur J Epidemiol, 1995. 11(1): p. 15-21.
20. Wang, W., et al., *Nitrate in drinking water and bladder cancer: a meta-analysis*. J Huazhong Univ Sci Technolog Med Sci, 2012. 32(6): p. 912-8. DOI: 10.1007/s11596-012-1057-8.
21. Ward, M.H., et al., *Nitrate in public water supplies and risk of bladder cancer*. Epidemiology, 2003. 14(2): p. 183-90. DOI: 10.1097/01.EDE.0000050664.28048.DF.
22. Ward, M.H., et al., *Nitrate intake and the risk of thyroid cancer and thyroid disease*. Epidemiology, 2010. 21(3): p. 389-95. DOI: 10.1097/EDE.0b013e3181d6201d.
23. Moller, A.P., E. Flensted-Jensen, and W. Mardal, *Agriculture, fertilizers and life history of a coastal seabird*. J Anim Ecol, 2007. 76(3): p. 515-25. DOI: 10.1111/j.1365-2656.2007.01235.x.
24. Aqueel, M.A., et al., *Effect of plant nutrition on aphid size, prey consumption, and life history characteristics of green lacewing*. Insect Sci, 2014. 21(1): p. 74-82. DOI: 10.1111/1744-7917.12019.
25. Huang, S.W. and J.Y. Jin, *Status of heavy metals in agricultural soils as affected by different patterns of land use*. Environ Monit Assess, 2008. 139(1-3): p. 317-27. DOI: 10.1007/s10661-007-9838-4.
26. Howarth, R.W., et al., *Nitrogen use in the United States from 1961-2000 and potential future trends*. Ambio, 2002. 31(2): p. 88-96.
27. Moustafa, K., *Exploit and ignore the consequences: A mother of planetary issues*. Sci Total Environ, 2016. 557-558: p. 912-3. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.03.072.
28. Ruckart, P.Z., et al., *Are nitrate levels in groundwater stable over time?* J Expo Sci Environ Epidemiol, 2008. 18(2): p. 129-33. DOI: 10.1038/sj.jes.7500561.
29. Widory, D., et al., *Nitrate in groundwater: an isotopic multi-tracer approach*. J Contam Hydrol, 2004. 72(1-4): p. 165-88. DOI: 10.1016/j.jconhyd.2003.10.010.
30. Widory, D., et al., *Tracking the sources of nitrate in groundwater using coupled nitrogen and boron isotopes: a synthesis*. Environ Sci Technol, 2005. 39(2): p. 539-48.
31. Singleton, M.J., et al., *Tracking sources of unsaturated zone and groundwater nitrate contamination using nitrogen and oxygen stable isotopes at the Hanford site, Washington*. Environ Sci Technol, 2005. 39(10): p. 3563-70.
32. Liu, C.Q., et al., *Using delta15N- and delta18O-values to identify nitrate sources in karst ground water, Guiyang, southwest China*. Environ Sci Technol, 2006. 40(22): p. 6928-33.
33. Mattern, S., M. Sebilio, and M. Vanclooster, *Identification of the nitrate contamination sources of the Brusselian sands groundwater body (Belgium) using a dual-isotope approach*. Isotopes Environ Health Stud, 2011. 47(3): p. 297-315. DOI: 10.1080/10256016.2011.604127.
34. Fenech, C., et al., *The potential for a suite of isotope and chemical markers to differentiate sources of nitrate contamination: a review*. Water Res, 2012. 46(7): p. 2023-41. DOI: 10.1016/j.watres.2012.01.044.
35. Xue, D., et al., *Present limitations and future prospects of stable isotope methods for nitrate source identification in surface- and groundwater*. Water Res, 2009. 43(5): p. 1159-70. DOI: 10.1016/j.watres.2008.12.048.
36. Xing, M. and W. Liu, *An improved method of ion exchange for nitrogen isotope analysis of water nitrate*. Anal Chim Acta, 2011. 686(1-2): p. 107-14. DOI: 10.1016/j.aca.2010.11.051.
37. Crutchfield, J.D. and J.H. Grove, *A new cadmium reduction device for the microplate determination of nitrate in water, soil, plant tissue, and physiological fluids*. J AOAC Int, 2011. 94(6): p. 1896-905.
38. Jobgen, W.S., et al., *Analysis of nitrite and nitrate in biological samples using high-performance liquid chromatography*. J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci, 2007. 851(1-2): p. 71-82. DOI: 10.1016/j.jchromb.2006.07.018.

39. Liu, J., et al., *Investigation of Soil Legacy Phosphorus Transformation in Long-Term Agricultural Fields Using Sequential Fractionation, P K-edge XANES and Solution P NMR Spectroscopy*. Environ Sci Technol, 2015. 49(1): p. 168-76. DOI: 10.1021/es504420n.
40. Sato, S., et al., *Phosphorus speciation in manure and manure-amended soils using XANES spectroscopy*. Environ Sci Technol, 2005. 39(19): p. 7485-91.
41. Beauchemin, S., et al., *Speciation of phosphorus in phosphorus-enriched agricultural soils using X-ray absorption near-edge structure spectroscopy and chemical fractionation*. J Environ Qual, 2003. 32(5): p. 1809-19.
42. Giguët-Covex, C., et al., *XANES spectroscopy as a tool to trace phosphorus transformation during soil genesis and mountain ecosystem development from lake sediments*. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2013. 118(0): p. 129-147. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gca.2013.04.017>.
43. Dell'Aglio, M., et al., *Monitoring of Cr, Cu, Pb, V and Zn in polluted soils by laser induced breakdown spectroscopy (LIBS)*. J Environ Monit, 2011. 13(5): p. 1422-6. DOI: 10.1039/c0em00780c.
44. Kim, G., et al., *Rapid detection of soils contaminated with heavy metals and oils by laser induced breakdown spectroscopy (LIBS)*. J Hazard Mater, 2013. 263 Pt 2: p. 754-60. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2013.10.041.
45. Yu, Q., et al., *Effects of combined application of organic and inorganic fertilizers plus nitrification inhibitor DMPP on nitrogen runoff loss in vegetable soils*. Environ Sci Pollut Res Int, 2014. DOI: 10.1007/s11356-014-3366-x.
46. Calderer, M., et al., *Denitrification in presence of acetate and glucose for bioremediation of nitrate-contaminated groundwater*. Environ Technol, 2010. 31(7): p. 799-814. DOI: 10.1080/09593331003667741.
47. McGowen, S.L., N.T. Basta, and G.O. Brown, *Use of diammonium phosphate to reduce heavy metal solubility and transport in smelter-contaminated soil*. J Environ Qual, 2001. 30(2): p. 493-500.
48. Ashrafi, M., et al., *Immobilization of Pb, Cd, and Zn in a contaminated soil using eggshell and banana stem amendments: metal leachability and a sequential extraction study*. Environ Sci Pollut Res Int, 2015. 22(1): p. 223-30. DOI: 10.1007/s11356-014-3299-4.
49. Cao, X., et al., *Immobilization of Zn, Cu, and Pb in contaminated soils using phosphate rock and phosphoric acid*. J Hazard Mater, 2009. 164 (3-2): p. 555-64. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2008.08.034.
50. Navarro, A., E. Cardellach, and M. Corbella, *Immobilization of Cu, Pb and Zn in mine-contaminated soils using reactive materials*. J Hazard Mater, 2011. 186(2-3): p. 1576-85. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2010.12.039
51. Zhang, X., et al., *Using biochar for remediation of soils contaminated with heavy metals and organic pollutants*. Environ Sci Pollut Res Int, 2013. 20(12): p. 8472-83. DOI: 10.1007/s11356-013-1659-0.
52. Liang, Y., et al., *Biochar- and phosphate-induced immobilization of heavy metals in contaminated soil and water: implication on simultaneous remediation of contaminated soil and groundwater*. Environ Sci Pollut Res Int, 2014. 21(6): p. 4665-74. DOI: 10.1007/s11356-013-2423-1.
53. Xu, X., et al., *Removal of Cu, Zn, and Cd from aqueous solutions by the dairy manure-derived biochar*. Environ Sci Pollut Res Int, 2013. 20(1): p. 358-68. DOI: 10.1007/s11356-012-0873-5.
54. Mao, X., et al., *Use of surfactants for the remediation of contaminated soils: A review*. J Hazard Mater, 2014. 285C: p. 419-435. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2014.12.009.
55. Bereket, G., A.Z. Aro, and M.Z. ozel, *Removal of Pb(II), Cd(II), Cu(II), and Zn(II) from Aqueous Solutions by Adsorption on Bentonite*. J Colloid Interface Sci, 19 (2):187 .97p. 338-43.

56. Kwon, J.S., et al., *Removal of divalent heavy metals (Cd, Cu, Pb, and Zn) and arsenic(III) from aqueous solutions using scoria: kinetics and equilibria of sorption*. J Hazard Mater, 2010. 174(1-3): p. 307-13. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2009.09.052.
57. Zeng, Z., et al., *Sorption of ammonium and phosphate from aqueous solution by biochar derived from phytoremediation plants*. J Zhejiang Univ Sci B, 2013. 14(12): p. 1152-61. DOI: 10.1631/jzus.B1300102.
58. Chen, B., Z. Chen, and S. Lv ,*A novel magnetic biochar efficiently sorbs organic pollutants and phosphate*. Bioresour Technol, 2011. 102(2): p. 716-23. DOI: 10.1016/j.biortech.2010.08.067.
59. Mohan, D., et al., *Organic and inorganic contaminants removal from water with biochar, a renewable, low cost and sustainable adsorbent--a critical review*. Bioresour Technol, 2014. 160: p. 191-202. DOI: 10.1016/j.biortech.2014.01.120.
60. Murokh, V.I., *[Nitrate and nitrite content of food products of plant origin grown with the use of mineral fertilizers]*. Vopr Pitan, 1986(4): p. 65-7.