

(14) 土壌-植物系における臭素酸の挙動と 形態変化に関する基礎的研究

大橋 史彦^{1*}・颯田 尚哉^{2*}・立石 貴浩³

¹ 五洋建設株式会社 (〒112-8576 東京都文京区後楽2-2-8)

² 岩手大学農学部農林環境科学科 (〒020-8550 盛岡市上田3-18-8)

³ 岩手大学農学部農業生命科学科 (〒020-8550 盛岡市上田3-18-8)

* E-mail: Fumihiko.Oohashi@mail.penta-Ocean.co.jp satta@iwate-u.ac.jp

東北地方のある巨大な不法投棄現場では、高度廃水処理施設による浸出水のオゾン処理により、臭素酸イオンが生成する可能性がある。放流水は、下流の河川と合流し、農村の灌漑水として利用されている。

本研究では、農作物への臭素酸の影響を評価するために臭素酸によるコマツナの生育障害について検討した。その結果コマツナは、臭素酸イオンが10mg-Br/Lで生育障害を示し、50mg-Br/Lで発芽障害が生じることがわかった。生長抑制割合は、臭素酸イオン濃度に対して高い正の相関を示し、直線回帰式が得られた。別に実験した15mg-Br/Lの臭素酸イオン濃度で生じた生長抑制割合は、この回帰式による予測結果とよく一致した。臭素酸イオンは、栽培したコマツナの可食部からは検出されなかった。

Key Words : Bromate, Bromide, *Brassica campestris*, germination, growth inhibition

1. はじめに

臭素酸イオン(BrO_3^-)は、国際がん研究機関(IRAC)により、グループ2B「人体に対して発がん性の疑いのある化合物」として分類されている¹⁾。臭素酸塩は、パンの改良剤や毛髪のコールドウェーブ用薬品²⁾として利用されてきた。また、高度浄水処理の手法であるオゾン処理から BrO_3^- は生成することが知られている。オゾンは強力な酸化力を持ち脱色や消毒、カビ臭物質の分解に優れている。特に、フミン質などの有機物質と次亜塩素酸の反応で生成する発がん性のあるトリハロメタンを抑制することができる³⁾。上水道には水道水質基準が定められており、この基準を満たすための浄水処理手段の一つにオゾン処理がある。しかし、オゾン処理や酸化剤処理を施すことによって、処理後の水には副生成物としての BrO_3^- が混入する危険性が大きくなる。日本では水道法改正後の平成16年に施行された水道水質基準において0.01mg/Lとなっている⁴⁾。

BrO_3^- の人体へ及ぼす影響としては、ラットを用いた多数の研究^{5) 6)}により、腎臓や甲状腺への毒性が報告されている。特に、飲用による低濃度の臭素酸の摂取については、摂取と反応の関係を解き明かし評価する手段と

してPBPK (生理学的薬物動態) モデル⁷⁾の構築も進められている。さらに、細胞レベルの研究では、DNAの損傷について個体を扱うin vivo、個体から取り出した組織等を扱うin vitroの両方で変異原性を示すとしている⁸⁾。

農業上問題となる灌漑水中の BrO_3^- の影響研究において、灌漑水に対してはオゾン処理を必要とする高度な浄水処理を施す水質の要求がないため、農作物などの植物に対する影響は検討されていない。しかし、東北地方の内陸に存在する巨大な産業廃棄物不法投棄現場のように、地下水や浸出水中の Br^- 濃度が最大で50mg/Lを超えるような水質⁹⁾で、かつオゾン処理による有機物の分解除去が欠かせないような特異な排水処理条件では、処理水中の BrO_3^- 濃度が高まる可能性が非常に高い。

その産業廃棄物不法投棄現場西側に設置された高度廃水処理施設からの放流水において BrO_3^- は検出されず、 IO_3^- が3.3mg/L検出されたことがある¹⁰⁾。平成18年度の継続的な放流水の水質調査¹¹⁾において、 Br^- 濃度は15mg/L前後の濃度が検出されている。放流水中の塩素、臭素、ヨウ素は、周辺河川水に比べ非常に高く、濃度比は塩素、臭素、ヨウ素の順に高い¹²⁾。不法投棄に関わった1万社以上の企業の中で医療系廃棄物の排出業者は4分の1以上あり、廃水およびその処理水中のヨウ素濃度を高める

要因である可能性が高い。放流水の BrO_3^- 濃度について継続的な調査は行われておらず、現実の濃度レベルは不明である。 Br^- 濃度は、 15mg/L 前後と高濃度であること、オゾン処理による有機物の分解除去が欠かせないことから、 Br^- 濃度のさらなる上昇やヨウ素濃度の減少など水質条件の変化次第では、 BrO_3^- が生成し濃度が mg/L 程度まで上昇する可能性は無視できない。

そこで、内陸に存在する廃水処理場から BrO_3^- 濃度が mg/L 程度の処理水が一般環境へ放流された後、灌漑水へ混入する場合の農作物へ及ぼす影響を検討しておく必要がある。一方で BrO_3^- の植物に対する毒性の有無や植物と土壌との間での BrO_3^- の移行特性、土壌環境中における BrO_3^- の形態変化に関する知見の蓄積はほとんど無い状況にある。本研究では、 BrO_3^- が植物の生長に及ぼす影響をコマツナ栽培実験により評価し、土壌-植物系における BrO_3^- の挙動を検討した。

2. 実験材料および方法

(1) KBrO_3 溶液を用いた発芽実験

供試作物として、コマツナ *Brassica campestris* L. (照彩小松菜：株式会社トーホク)の種子を用いた。 BrO_3^- 濃度の相違によって発芽障害が発現するという実験データは報告されていない。そこで供試溶液濃度は、不法投棄現場放流水中の Br^- 濃度レベルを参考に低濃度から高濃度の幅広いオーダーの溶液を用意する必要がある。入手しやすい KBrO_3 (和光純薬工業株式会社製)を用いて、 1000mg-Br/L のストック液を調製した。それをさらに希釈して BrO_3^- 濃度が 0.1mg-Br/L 、 1mg-Br/L 、 10mg-Br/L 、 50mg-Br/L 、 100mg-Br/L 、 300mg-Br/L となる6種類の供試溶液をそれぞれ調製した。ガラスシャーレを7組用意し、ろ紙(ADVANTEC 東洋濾紙会社製、定量濾紙NO.5C 110mm)を3枚重ねてシャーレに入れた後に、1シャーレ当りコマツナ種子30粒を播種した。精製水(Control)あるいは各所定濃度の KBrO_3 溶液 9ml を各シャーレに分注した。 20°C の恒温器(いすゞ社製、Incubator SFR-113S)内で4日間培養し、その間毎日発芽数を計数し、4日後の終了時に根および子葉の長さを計測した。

(2) KBrO_3 溶液添加土壌でのコマツナ栽培ポット実験

コマツナを供試作物とし、供試土壌にはバーミュキライトと赤玉土を重量比1対2で混合した人工土壌を使用した。ポットには 93g の土を詰め、実験開始時の土壌水分保持量が 100ml になるように設定した。発芽試験の結果を参照し、不法投棄現場東側の井戸から検出される Br^- 濃度は 1mg/L 程度から 50mg/L を超える数値⁹⁾があることか

ら、その臭素濃度を含む範囲を BrO_3^- の供試溶液濃度に設定した。供試肥料はポット当たり窒素成分 100mg を基準¹³⁾として、 KBrO_3 のストック溶液からControl(精製水)、 1mg-Br/L 、 10mg-Br/L 、 100mg-Br/L の BrO_3^- 供試溶液を希釈調整するときに、ハイポネックス原液(ハイポネックス株式会社製)を同時に混合して 1000mg-N/L となるように調製した。土壌を詰めた各ポットはバットに入れ、ポット下部から供試溶液を給水した。1ポット当り5種子、各濃度区当り4ポットずつ作成し、計16ポットを28日間空調設備のない温室で栽培した。種子は 25°C の湿潤濾紙上で2~3日間発芽させたものをピンセットで点播した。栽培中は給水時に重量測定を行い、減少した分の水分を原則として精製水で補った。栽培開始後14日目はハイポネックスを含有しない所定濃度の臭素の KBrO_3 溶液のみを給水した。栽培28日目にポットを回収し、地上部を 70°C のオーブンで48時間乾燥させ、地上部乾燥重量(g)を測定した。28日間の午後1時の平均気温は 27.8 (最小 20 、最大 36) $^\circ\text{C}$ であった。

(3) BrO_3^- の土壌-植物系における挙動と形態変化

2.(2)と同じ条件のコマツナ栽培土にハイポネックス入りのControl(精製水)、臭素濃度(15mg-Br/L)の等しい KBr 溶液と KBrO_3 溶液を用意し、それぞれ1ポット当り5種子、5ポット計15ポットを28日間栽培した。臭素の濃度は、不法投棄現場からの放流水の水質調査¹⁰⁾において、 Br^- 濃度は 15mg-Br/L 前後の濃度を継続的に示したこと、この濃度は2.(2)の実験の範囲内で未設定の濃度であることから 15mg-Br/L を採用した。栽培中は給水時に重量測定を行い、減少した分の水分を原則として精製水で補った。14日目は0日目と同じ溶液を給水した。28日間の平均気温は午後1時 19.4 (最小 10 、最大 28) $^\circ\text{C}$ であった。28日目にポットを回収し、地上部を収穫した。収穫物の一部で乾燥重量(含水比)を測定し、ポット当たりの乾燥重量を評価した。新鮮コマツナ地上部1枝葉を精製水 5ml ですり潰し抽出液を採取した。抽出液はろ過後、 Br^- と BrO_3^- 濃度を測定し、コマツナに吸収された Br^- 量と BrO_3^- 量を評価した。さらに、収穫後の土壌に残留した Br^- 量と BrO_3^- 量を分析するため精製水を用いて、固液比3:50の溶出操作¹⁹⁾を行い、土壌に残留している Br^- 、 BrO_3^- を測定した。コマツナおよび土壌の抽出溶液は、イオンクロマトグラフ(ダイオネクス社製、DX-320J)で形態別に定量した。

3. 結果と考察

(1) KBrO_3 が発芽に及ぼす影響

BrO_3^- に対する発芽実験では、判断基準を子葉または

根どちらかが6mm以上生長した場合を発芽、5mm以下を未発芽とした。発芽率は次式で評価した。

$$\text{発芽率}(\%) = (\text{発芽した種子}) / (30 \text{ 種子}) \quad (1)$$

式(1)で求めた発芽率は、Controlと0.1-50mg-Br/L区では90%を超えたものの、100mg-Br/L区では77%、300mg-Br/Lでは0%であった。

図-1に発芽した種子の子葉と根の平均値(mm)と標準偏差を示す。50mg-Br/L区以上では濃度上昇に応じて子葉長が徐々に低下しているのが分かる。10-50mg-Br/Lの濃度から、 BrO_3^- は発芽障害要因となると考えられる。また、図-1では10mg-Br/L区まで根の平均値が伸長しているが、50mg-Br/Lになると急激に退化した。50mg-Br/L以上の BrO_3^- 溶液処理区では、濃度の増加につれて、子葉、根ともに生長抑制を受けるのがわかる。10-50mg-Br/Lの濃度から、 BrO_3^- は根の生長阻害要因となると考えられる。実際に発芽した種子を観察したところ、50mg-Br/L区よりも濃い濃度条件では、肉眼で根毛を一切確認することはできなかった。しかし、10mg-Br/L以下条件では平均的な根の生長が、濃度増とともに大きくなっており、子葉の生長に比べてかなり大きい。これは BrO_3^- のカウンターイオンである K^+ 濃度の増加に反応している可能性がある。さらに、根については標準偏差が大きく、個体差が大きいといえる。高濃度域において、発芽期の子葉および根は臭素酸の毒性で生長阻害が起こるが、低濃度域(10mg-Br/L以下)では、 K^+ 濃度増加による生長促進効果と拮抗し、影響が不明確となる。発芽率からみると、 BrO_3^- は高濃度でないと発芽を阻害することはなかった。

K^+ の生長促進効果を排除し BrO_3^- の影響を明確にするには、別途 NaBrO_3 を添加溶液とする実験を行い、その結果を本研究と比較する必要がある。

(2) コマツナの子葉と根の生長に及ぼす KBrO_3 の影響

BrO_3^- は、濃度によっては発芽障害を生じる毒性があることが発芽実験3.(1)で判明した。2.(2)の実験では、

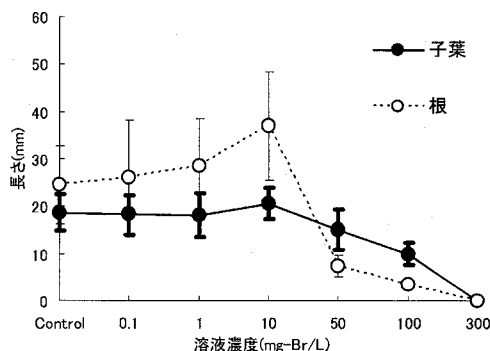


図-1 4日目の子葉と根の長さの平均値(KBrO_3 溶液)

KBrO_3 溶液添加土壌でコマツナを28日間栽培し、収穫までの生長に及ぼす影響を検討した。

2.(2)の実験について、ポット当たりの平均草丈の長さと地上部平均乾燥重量を表-1に示す。草丈では、 KBrO_3 100mg/L区の草丈が非常に短く、生長抑制作用が明確に現れている。それ以外の条件による差は不明確である。地上部平均乾燥重量は、Controlが一番大きく、 BrO_3^- 濃度の上昇とともに減少する傾向がみられた。 KBrO_3 100mg/L区の乾燥重量は非常に小さく、生長抑制作用が明確に現れている。コマツナの生長は、 BrO_3^- 濃度が100mg-Br/Lの場合に非常に抑制されることがわかった。標準偏差を含めた実験結果を図-2に示す。

図-2からわかるように、100mg/L区において BrO_3^- の生長障害が鮮明に発現している。その他の濃度区は無処理区に比べ、生長抑制反応があるもののはっきりと生長差があるかを断定することができない。そこでボンフェローニの多重比較検定を行った。その結果、100mg/L区は全ての濃度区と1%の水準で有意差があり、10mg/L区と無処理区も同様の結果であった。無処理区と1mg/L区では5%の水準で有意差があり、1mg/L区と10mg/L区では有意差がないという結果であった。これは BrO_3^- を添加したことにより生長抑制が少なくとも1mg-Br/Lの濃度から生じることを示している。また、生長初期で暴露させた発芽試験と同じく、コマツナ栽培実験においても生長初期の BrO_3^- 添加だけで抑制効果は持続したことから、発芽後数日の期間に臭素酸と触れることは、コマツナの生長にとって大きな障害を生じさせる可能性がある。

一方、発芽試験において、1mg-Br/L、10mg-Br/Lでは

表-1 KBrO_3 添加土壌によるコマツナ栽培実験結果

溶液濃度 mg-Br/L	播種数 粒	ポット数 個	草丈 cm/ポット	地上部乾燥重 mg/ポット
精製水	5	4	17.3	2067.2
1	5	4	16.8	1864.6
10	5	4	17.7	1713.7
100	5	4	5.1	73.7

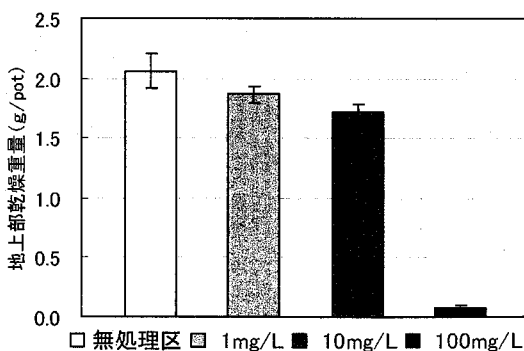


図-2 コマツナの地上部乾燥重量(KBrO_3 の添加土壌)

K⁺によると考えられる根の生長促進のため、BrO₃⁻の生長抑制効果が不明確であったが、2.(2)の実験では、抑制効果が明確である。この理由は、土壤中のパーミキュライトにK⁺が固定¹⁴⁾されやすく、植物の吸収できるK⁺が発芽実験(2.(1))よりも減少し、K⁺による生長促進効果が低下したかまたは生じないからと考えられる。

(3) BrO₃⁻の生長抑制効果

2.(2)の実験について生長抑制効果を(2)式で評価し、その結果を図-3に示した。わずか3点のデータであるが、それぞれの実験には1条件あたり4つのポットを設定している。(2)式による1点のデータ評価には、2条件8ポットの情報が反映している。各条件の標準偏差と誤差伝播の法則から評価した誤差も図-3に示した。

生長抑制の割合 (%) =

$$\left(1 - \frac{\text{BrO}_3^- \text{添加区平均乾燥重量 (g/pot)}}{\text{無処理区平均乾燥重量 (g/pot)}}\right) \times 100 \quad (2)$$

図-3が示すように、BrO₃⁻濃度と生長抑制効果には、強い正の相関があることがわかる。つまり、BrO₃⁻の濃度が高ければ高いほど、コマツナの生長は抑制されると考えられる。

2.(3)の実験について、ポット当たりの平均草丈の長さや地上部平均乾燥重量を表-2に示す。草丈では、KBrO₃区の草丈がわずかに短いだけで、生長抑制作用は明確に現れていない。地上部平均乾燥重量は、Control(精製水)よりも小さいという結果が得られた。2.(2)の実験とは異なる条件ではあるが、コマツナの生長は、BrO₃⁻濃度が15mg-Br/Lの場合にも抑制されることがわかった。BrO₃⁻の生長抑制作用は、少なくとも1mg-Br/Lの濃度から生じるといふ2.(2)の実験結果を支持している。

2.(3)で行った BrO₃⁻ 15mg-Br/L の実験について、生長抑制割合を(2)式で求めたところ、18.5%であった。図-3の

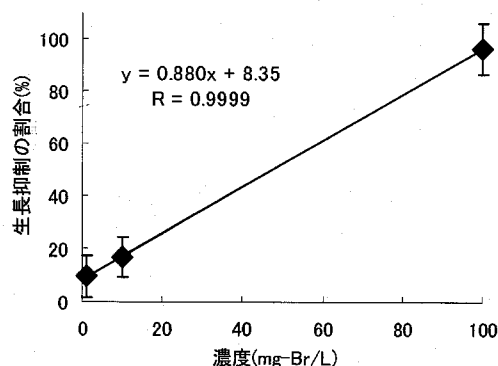


図-3 生長抑制効果と BrO₃⁻ 濃度の関係

回帰式より推定される生長抑制割合は、21.6%となりよく一致した。実験条件が異なる 2.(2)と 2.(3)の実験から得られたデータの回帰直線の決定係数は R²=0.9986 であった。よって、BrO₃⁻濃度と生長抑制効果には、強い正の相関があることを再確認できる。ただし、回帰直線の有効範囲は、1mg-Br/L 以上である。

(4) コマツナの生長に及ぼすKBrの影響

臭化物イオン(Br⁻)は植物にとって必須ではなく、100mg-Br/L程度では過剰障害も起こらない物質である。Br⁻は、必須物質であるClの機能代替性があると考えられ¹⁵⁾、一般的に栽培条件としてBr⁻は添加されることはない。食品衛生の観点からは、穀物に対し総無機臭素量 50mg/kgが設定されているが、これは農薬の残留に対処するための基準である。

表-2に示すように2.(3)の実験において、臭化物イオン(Br⁻)の場合コマツナの生長は、草丈、乾物重ともにControlよりも良好であり、同じ15mg-Br/Lの濃度であるにもかかわらず生長抑制作用はみられず、どちらかといえば生長を促進する傾向を示した。KBrの添加はKClの添加とほぼ同等であり、カウンターイオンであるK⁺の生長促進効果がのみが顕在化したと考えられる。

(5) 土壌-植物系における臭素の収支

2.(3)の実験においてコマツナ地上部の抽出液中の濃度 Br⁻は、KBr区で29.5mg-Br/L、KBrO₃区で17.8mg-Br/Lであり、BrO₃⁻は不検出であった。これより生コマツナ地上部中の濃度を評価し、地上部重量からポット当りの臭素吸収量を求め、平均値を図-4に示した。図-4のグラフを

表-2 KBrとKBrO₃添加土壌によるコマツナ栽培実験

溶液	播種数 粒	ポット数 個	草丈 cm/ポット	地上部乾燥重 mg/ポット
精製水	5	5	14.7	767.2
KBr	5	5	15.1	991.9
KBrO ₃	5	5	14.5	625.3

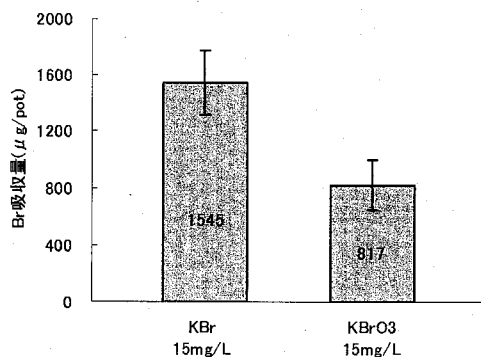


図-4 コマツナ地上部の Br⁻ 吸収量

みると1ポット当りの平均吸収量がKBr区1545 μ g, KBrO₃区では817 μ gであり吸収量におよそ2倍程度の開きがある。KBrO₃区で生長が抑制され、地上部生長量に差が生じたことが吸収量の差に反映している。BrO₃⁻は不検出であることから、コマツナはBrO₃⁻をほとんど吸収しないか、吸収してもBr⁻の形態に変化すると考えられる。

また、Br⁻の形態は吸収しやすいことがわかる。KBr添加区では実験初期と14日目に合わせて141.68g(=mL)のKBr溶液を添加している。栽培期間中におけるポット当たりのBr⁻供給量はおよそ2mgであることから、コマツナはBr⁻をおよそ8割吸収して地上部に保持していることがわかる。コマツナのBr⁻吸収能力は非常に高いと考えられる。一方、KBrO₃添加区の臭素吸収量は、Br⁻のみでおよそ800 μ g/potとなり、添加した量(約2mg)の約4割程度しかコマツナに吸収されていない。

図-5には2(3)の実験において、コマツナに吸収されず土壌に残留したBr⁻とBrO₃⁻を測定し、1ポット当りの臭素残留量を評価した結果を示した。KBr添加区は土壌残留臭素がおよそ5%程度と非常に小さくなっており、生長過程でほとんどコマツナに吸収されたことを支持している。一方、KBrO₃添加区は、Br⁻とBrO₃⁻を合わせると1ポット当りおよそ900 μ gとなり、添加した量(約2mg)のおよそ45%が土壌に残留している。また、BrO₃⁻は、土壌環境中でBr⁻へと形態変化することがわかる。

土壌-植物系における臭素の存在割合を詳しく評価するために、臭素の収支を図-6に示した。KBr区において

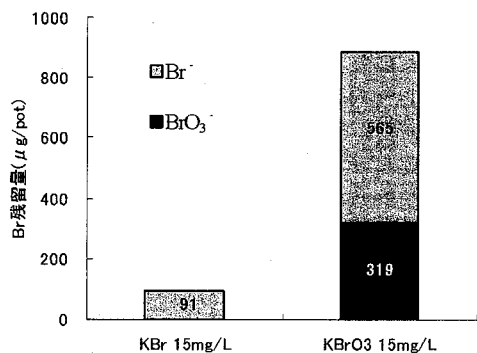


図-5 土壌に残留しているBr⁻とBrO₃⁻量

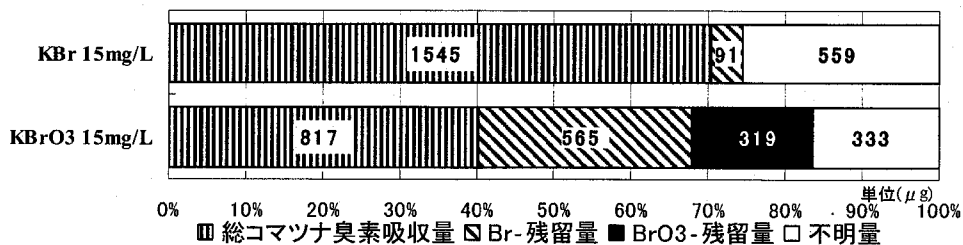


図-6 コマツナ栽培実験における臭素の収支

は、コマツナ地上部への臭素吸収量が著しく大きいことがわかる。一方、コマツナ地上部中BrO₃⁻が不検出であったKBrO₃区では、コマツナへの臭素吸収量は4割程度にとどまっている。土壌に残留している臭素のうち、コマツナに吸収されなかったBrO₃⁻残留量は、土壌中の臭素残留量の35%程度である。また、コマツナ地上部と土壌を合わせて、実験終了時には添加量のおよそ7割がBr⁻へ変化している。コマツナは、地上部内でBrO₃⁻からBr⁻への形態変化が生じるのではなく、土壌中でBrO₃⁻からBr⁻へと形態変化したBr⁻を逐次吸収していると考えることが合理的である。

不明量は、根に吸収された成分と土壌に吸着し精製水で脱離しない成分の総和である。今後は水耕栽培などにより、BrO₃⁻の植物根への影響や吸収量を検討する必要がある。

(6) BrO₃⁻の土壌への吸着と形態変化

Br⁻は、土壌中の水分移動や地下水移動のトレーサとして利用され、Br⁻は土壌に吸着しないか吸着してもごくわずかであると考えられている。BrO₃⁻の土壌への吸着特性はほとんど知られていない。BrO₃⁻が土壌に吸着する場合には間隙水中濃度が低下し、生長抑制作用も低下することになるため、BrO₃⁻の土壌への吸着特性は重要な影響因子である。

大橋¹⁶⁾は、本研究と同じ供試土壌へのKBrO₃の吸着特性と形態変化を検討した。KBrO₃溶液(30mg-Br/L)と土壌を固液比1:5で混合し、混合直後、1日後、5日後、7日後、10日後のBrO₃⁻とBr⁻濃度を測定している。その結果、固液混合直後の分配比は0.56(mL/g)を示し、分配係数が1を下回るもののBrO₃⁻は供試土壌へわずかながら吸着することを示している。またBrO₃⁻の濃度は、27mg-Br/Lから26.6mg-Br/Lへ直線的に減少し、Br⁻の濃度は、0.05mg-Br/Lから0.46mg-Br/Lへ直線的に増加することも指摘している。BrO₃⁻の濃度の低下分にほぼ等しいBr⁻の濃度上昇がみられることから、液相中のBrO₃⁻の一部をBr⁻へ一定の速度で還元していると考えられる。これは、KBrO₃を用いたポット栽培実験において、コマツナは土壌中でBrO₃⁻から形態変化したBr⁻を逐次吸収するという機構の存在を支持している。

4. おわりに

以下に本研究で得られた成果を要約する。

発芽実験では、 BrO_3^- 濃度が100mg-Br/Lを超えると顕著に発芽の抑制がみられた。300mg-Br/Lでは完全に発芽が抑制された。発芽直後の子葉の生長では BrO_3^- 濃度50mg-Br/Lで抑制され、濃度の上昇に比例して抑制効果が増加した。発芽直後の根の生長について、10mg-Br/Lでは生長が促進されたが、50mg-Br/L以上では大きく抑制されていることがわかった。10mg-Br/Lと50mg-Br/Lとの間に生長の促進と抑制に差があるが、10mg-Br/Lにおける BrO_3^- の影響は不明確であった。これは BrO_3^- の生長抑制効果と、 K^+ の生長促進効果が拮抗したためと考えられる。

濃度1mg-Br/L、10mg-Br/L、100mg-Br/Lの各臭素酸カリウム溶液を添加して28日間栽培したコマツナには、生長障害が生じていることがわかった。 BrO_3^- を添加しない条件に対して地上部乾燥重量に有意差がみられたのは、臭素酸イオン濃度1mg-Br/L、10mg-Br/L、100mg-Br/Lであり、有意水準はそれぞれ5%、1%、1%であった。 BrO_3^- 濃度が10mg/L以上の灌漑水濃度で明確な生長障害を生じることがわかった。100mg-Br/L区においては、乾燥重量が1/3倍以下になる著しい生長抑制がみられた。

地上部乾燥重量についてコマツナ生長抑制量とコマツナに添加した BrO_3^- 濃度は、高い正の相関($r=0.9999$)を示し、線形回帰直線を得た。抑制効果は植物培地へ添加する BrO_3^- 濃度に比例して増加し、回帰直線から評価した生長抑制量は、異なる実験条件の結果と良く一致した。

以上より、 BrO_3^- は栽培実験により、コマツナに対して1mg/L以上の濃度で生長障害を生じさせ、その程度を回帰直線で予測できることを示した。

BrO_3^- は土壤中で Br^- に変化するとともに、コマツナは Br^- を吸収することから、 BrO_3^- から形態変化した Br^- は容易に吸収されると考えられる。また、栽培コマツナからは BrO_3^- が検出できなかったため、コマツナは BrO_3^- をほとんど吸収しないと考えられる。今後、植物に対する BrO_3^- の影響のメカニズムおよび土壤中での BrO_3^- の挙動についてのさらなる研究が必要である。

謝辞：本研究の一部は、文部科学省科学研究費基盤研究(C)(一般)17580211、岩手大学萌芽的教育研究支援費(平成18、19年度)によって行われた。本研究を行うに当たって、不法投棄現場放流水の分析にご協力いただいた京都大学の越後信哉博士と発芽試験にご指導

を賜った岩手大学の前田武己博士に、心より厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) International Agency for Research on Cancer: Some chemicals that cause tumors of the kidney or urinary bladder in rodents and some other substances. Lyon, pp. 481-496, 1999.
- 2) 厚生労働省: 化学物質の水質基準等への分類規準について <http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/kijun/dl/k21.pdf>
- 3) 厚生労働省健康局水道課: 水道水源水域等における親水性かつ難分解性有害化学物質の動態と水道のリスク評価ならびに制御に関する研究, 2001-2003.
- 4) 厚生労働省令第101号: 水道法に基づく水質基準に関する省令, 2004.
- 5) DeAngelo, AB, George MH, Kilburn SR, Moore TM and Wolf DC: Carcinogenicity of potassium bromate administered in the drinking water to male B6C3F1 mice and F344/N rats, *Toxicologic pathology*, Vol. 26, No. 5, pp. 587-94, 1998.
- 6) Kurokawa Y, Takayama S, Konishi Y, Hiasa Y, Asahina S, Takahashi M, Maekawa A and Hayashi Y.: Long term in vivo carcinogenicity tests of potassium bromate, sodium hypochlorite and sodium chlorite conducted in Japan, *Environmental health perspectives*, Vol. 69, pp. 221-236, 1986.
- 7) Jeff Fisher and Richard J. Bull: Development of a rat dosimetry model for bromate, *Toxicology*, Vol. 221, pp. 235-240, 2006.
- 8) Martha M. Moore and Tao Chen: Muntagenicity of bromate: Implications for cancer risk assessment, *Toxicology*, Vol. 221, pp. 190-196, 2006.
- 9) 蛭田尚哉, 立石貴浩, 工藤優太, 大橋史彦: 大機部不法投棄現場東側における環境水中の塩素・臭素濃度, 第13回地下水・土壌汚染とその防止策に関する研究集会講演集, Vol. 13, pp. 684-689, 2007.
- 10) 越後信哉: 私信, 2005.
- 11) 工藤優太: 青森・岩手県境不法投棄現場及び周辺の水質基礎調査, 岩手大学農学部卒業論文, 2007.
- 12) 村中健, 大瀧倫和, 小比類巻孝幸, 鮎川恵理: ICP-MSおよびIR-MSによる青森・岩手県境産廃投棄現場周辺の環境調査, 第44回アイソトープ・放射線研究発表会要旨集, p. 89, 2007.
- 13) 植物に対する害に関する栽培試験の方法(抄): 農林水産省農蚕園芸局通知59農蚕第1943号, 1984.
- 14) 久馬一剛: 新土壌学 朝倉書店, p. 83, 1984.
- 15) 結田康一, 渋谷政夫: BrのSoil Geochemistry(2), 日本土壌肥科学雑誌, 第44巻, 第2号, pp. 115-120, 1973.
- 16) 大橋史彦: 土壌-植物系における臭素酸の挙動と形態変化に関する基礎的研究, 岩手大学農学部卒業論文, 2007.

(2007.5.25 受付)

Bromate behavior and chemical formation change in soil-plant system

Fumihiko OHASHI¹, Naoya SATTA² and Takahiro TATEISHI³

¹ Penta-Ocean Construction Co., Ltd

² Dept. of Environmental Science, Iwate University

³ Dept. of Agro-bioscience, Iwate University

In a huge illegal disposal site of the Tohoku region, bromate might be generated by ozonation process in high performance water treatment purifying leachate of the site. Effluent is merged with a river downward, and used as rural irrigation water.

In this research, the growth inhibition of *Brassica campestris* was examined to estimate effect of bromate on crops. Consequently, bromate indicated inhibitions for growth and germination at the concentration of 10mg/L and 50mg/L, respectively. As good correlation was showed between growth inhibition and bromate concentration, a linear regression equation was obtained. In case of another experiment of 15mg/L bromate solution, growth inhibition estimated by this regression equation was corresponded with experimental result. Bromate was not detected in the edible part of *Brassica campestris*.