

農地からの硝酸態窒素の溶脱量の推計方法に関する研究

戸敷浩介, 今村里緒, 近藤友大, 西和盛

A Study on Estimation Method of Nitrate-Nitrogen leaching from farmland

Kosuke TOSHIKI, Rio IMAMURA, Tomohiro KONDO, Kazumori NISHI

1. はじめに

農畜産業が盛んな地域においてしばしばみられる地域環境問題として、湖沼や湾などの閉鎖性水域における富栄養化や地下水の硝酸態窒素汚染が挙げられる。主な原因物質である硝酸態窒素は、生活排水にも含まれているが、農畜産業において使用される肥料にも由来する。特に、過剰に窒素肥料を施用すると、農作物等が吸収しなかった窒素が地下に溶脱し、地下水に流入する。飲用水における硝酸態窒素濃度は、10mg/Lを超えると、乳幼児のメトヘモグロビン血症のリスクが高いため、水道水として配給できない。また、閉鎖性水域における硝酸態窒素濃度が常時10mg/Lを超える場合は、富栄養化が懸念される。

窒素肥料は農作物の生育において非常に重要であるが、過剰な施肥は周辺水環境の汚染に繋がる。従って、農作物の生産と水環境の保全のバランスに配慮するためには、農地における硝酸態窒素の溶脱量について把握することが重要である。しかし、農作物の種類や施肥量、降雨量など、様々な状況によって溶脱量が異なるため、これらを簡易に把握するための手法が必要である。

窒素の溶脱量を把握する手法として、ライシメーター（地下への浸透水を捕集する器具）を活用した研究がある。例えば、松丸の研究では、表面積4m²、高さ2mの巨大なライシメーター上で作物を3年間栽培し、浸透水を捕集して硝酸態窒素の溶脱量を測定している。このような研究では、作物の生育状況や窒素吸収率、降雨量と窒素溶脱量の関係など、詳細な分析が可能である（松丸, 1997）。しかし、非常に巨大であるため、設置場所が限られること、コストが高いことなどのデメリットが挙げられる。

そこで筆者らは、一斗缶や2000分の1アールサイズのワグネルポットを用いたライシメーターを製作し、農地に埋設して浸透水の捕集と窒素溶脱量の測定を試みた（戸敷・近藤・西, 2019）。しかし、この中型のサイズのライシメーターは、水田土壌のように浅い鋤床がある農地では設置が困難であることや、農地を深く掘って埋設するために農地を攪乱してしまうこと、ライシメーター内に溜まった浸透水を定期的に採集するための労力が大きいことなどのデメリットがあった。

本研究では、より小型で実際の農地に埋設することが容易な手法として、イオン交換樹脂を

埋設する手法に着目した。例えば、渡邊は強塩基性陰イオン交換樹脂を、直径2cm程度の不織布バッグに詰めて土壤に埋設し、陰イオンである硝酸イオンを捕集して窒素溶脱量を測定している（渡邊ほか、2016）。この研究では、浸透水ではなく浸透水中の硝酸イオンを樹脂に吸着して捕集するため、浸透水の定期的な採集が必要ない。また、非常に小型であるため、農地の攪乱も最小限であり、数多く設置することも可能というメリットがある。しかし、土壤中の硝酸イオンの樹脂への吸着率や、吸着した硝酸イオンを樹脂から離脱させて測定する際の回収率など、測定器具や手法としての精度は明らかではない。

また、農地を攪乱しない方法として、土壤や肥料、収穫物の窒素含有量から、地下への窒素溶脱量を推計する方法も考えられる。図1に、農地における窒素動態の様子を示した。この図から、次の(1)式が成り立つ。

$$N_{s1} + N_f - N_p - N_{x1} - N_{x2} = N_{s2} \dots \dots (1)$$

N_{s1} : 栽培前土壤の窒素含有量

N_f : 施肥による窒素投入量

N_p : 作物の窒素含有量

N_{x1} : 地下への窒素溶脱量

N_{x2} : 大気への窒素揮発量

N_{s2} : 収穫後土壤の窒素含有量

地下への窒素溶脱量と大気への窒素揮発量を合わせた系外への窒素の流出量を求めるため、式(2)のように変形する。

$$N_{x1} + N_{x2} = N_{s1} + N_f - N_p - N_{s2} \dots \dots (2)$$

(2)式より、栽培前土壤と栽培後土壤、及び収穫物における窒素含有量と、施肥による窒素投入量が分かれば、系外への窒素の流出量が概算できる。しかし、この手法は地下に溶脱する窒素量を直接測定しているわけではないため、推計の精度は不明である。

そこで本研究では、まずイオン交換樹脂を埋設する器具を製作し、その有用性について明らかにすることを目的とした。また同時に、(2)式の有用性についても明らかにすることを目的とした。

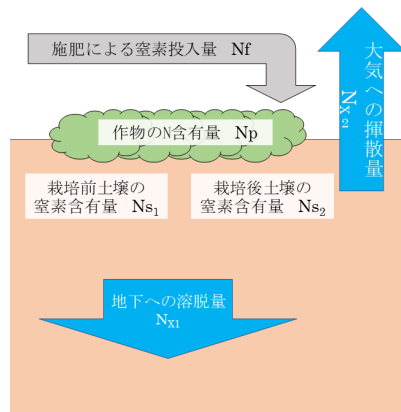


図1 農地における窒素動態

2. 研究方法

2-1. 陰イオンサンプラーの製作

本研究では、一価の陰イオンである硝酸イオンを吸着させるため、器具を「陰イオンサンプ

ラー」と呼称する。図2に、製作した陰イオンサンプラーの構造を示した。強塩基性陰イオン交換樹脂として、オルガノ社製アンバーライト IRA400J Clを使用した。容器は、塩ビパイプ（φ 100mm 及びφ 40mm）と異形ソケット（上部φ 100mm, 下部φ 40mm）をカットし、目開き 149[μ m]のナイロンメッシュシートを挟んでできた空間に陰イオン交換樹脂を充填した。なお、200 [kg-N/ha]の窒素を農地の土壤に施用し、作物等の吸収がほとんどなく全て硝酸態窒素として溶脱した場合でも十分に吸着できる必要量は約 7.5[g]だった。ただし、浸透水がなるべく樹脂に接触するように、イオン交換樹脂の層に十分な厚さを持たせるため、少なくとも 15[g]程度、またはそれ以上を充填するようにした。

2.2. イオン交換樹脂の吸着率及び硝酸イオンの回収率に関する検証

陰イオンサンプラーに充填する強塩基性陰イオン交換樹脂が、浸透水と接触した際にどの程度の浸透水中の硝酸イオンを吸着するのかについて確認した。また、樹脂に吸着した硝酸イオンを抽出する方法とその回収率についても、検証を行った。

まず、水間の実験を参考に、4つのプラスチック製の漏斗に脱脂綿を詰め、その上にそれぞれイオン交換樹脂約 1g を充填した（水間, 2016）。次に、70[mg/L], 35[mg/L], 11.6[mg/L], 7[mg/L]の硝酸態窒素濃度の溶液をそれぞれ流し込み、ろ液を採取した。

次に、各漏斗のイオン交換樹脂から溶液が十分に落ちて乾いた後に、飽和 NaCl 溶液を 50mL ずつ流し込み、抽出液を採取した。吸着後のろ液と抽出液の硝酸態窒素濃度は、硝酸イオンの比色定量法である Cataldo 法（植物栄養実験法編集委員会編, 1991）を用いて測定した。その結果、表 1 に

示すように、ろ液にはほとんど硝酸イオンは残っていなかった。陰イオンサンプラー内の樹脂に浸透水が接触した場合、このような範囲の濃度であれば、浸透水中の硝酸イオンは樹脂にほぼ吸着すると考えられる。一方で、飽和 NaCl 溶液による抽出では、表 1 に示すようにほとんど硝酸イオンが回収できなかった。

そこで、抽出液を飽和 K₂SO₄ 溶液に変更した。まず、6つの漏斗にイオン交換樹脂を充填し、硝酸態窒素濃度が 70[mg/L]の溶液を全てに流し込んだ。その後の抽出方法については次の二つの方法で行った。サンプル 1～3は、イオン交換樹脂を約 30[mL]の抽出液に 20分間浸漬してから抽出液を新たな 30[mL]に交換する。これを繰り返して計 150[mL]の飽和 K₂SO₄ 溶液を用いて抽出を行った。サンプル 4～6は、同様に 30[mL]の抽出液にイオン交換樹脂を投入したあと、振とう器（MULTI SHAKER,MMS. 東京理科器械）を用いて 230[rpm]で 20分間

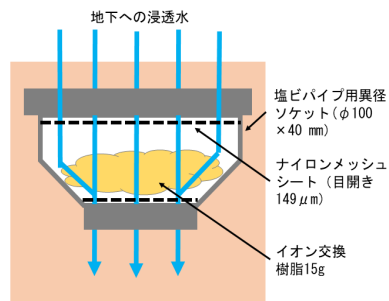


図 2 製作した陰イオンサンプラーの構造

表 1 カラムと NaCl 溶液を用いた NO₃-イオンの抽出結果

単位:[mg/L]		
吸着させた NO ₃ -N 濃度	ろ液の NO ₃ -N 濃度	抽出液の NO ₃ -N 濃度
70	1.08 (2%)	3.66 (5%)
35	0.57 (2%)	4.17 (12%)
11.6	0.18 (2%)	0.57 (5%)
7	0.05 (1%)	0.31 (4%)

攪拌した。これを5回繰り返して計150[mL]の飽和 K_2SO_4 溶液を用いて抽出を行った。吸着後のろ液と抽出液の硝酸態窒素濃度は、簡易型反射式光度計であるRQフレックス（検出範囲：硝酸態窒素濃度1.13～50.85 [mg/L]，メルク社製リフレクトクアント®）を用いて測定した。その結果を表2に示す。まず、ろ液の硝酸態窒素濃度について、サンプル1, 5, 6はRQフレックスの検出下限値（1.13[mg/L]）以下で、その他のサンプルもほとんど硝酸イオンはほぼ吸着された。抽出液の硝酸態窒素濃度については、サンプル4～6の方がサンプル1～3よりも濃度が高くなった。サンプル1, 5および6は全て吸着したと仮定し回収率を求めると、振とう器による攪拌の方が回収率が高い傾向があった。そこで、本研究では、陰イオンサンプラーに充填したイオン交換樹脂を取り出して抽出する際は、サンプル4～6で用いた抽出方法を採用することにし、その回収率は本実験の回収率の平均値63.9%を用いることにした。

表2 K_2SO_4 溶液を用いた NO_3^- -イオンの抽出結果

単位:[mg/L]

No.	ろ液の NO_3^- -N 濃度	抽出液の NO_3^- -N 濃度	回収率 [%]
1	Low	13.56	58.1
2	1.36	13.11	57.3
3	2.03	13.33	58.9
4	1.13	14.46	63.0
5	Low	15.59	66.8
6	Low	14.46	62.0

2.3. ワグネルポットを用いた陰イオンサンプラーの精度に関する検証

製作した陰イオンサンプラーの精度を検証するため、土壤を充填したワグネルポットに、約15[g]のイオン交換樹脂を充填した陰イオンサンプラーを設置して、溶脱する硝酸態窒素の吸着と抽出を行った。図3に本実験の概要を示した。2,000分の1アールのサイズのワグネルポットの底面中央に、塩ビパイプ（φ100[mm]，高さ約10[cm]）の柱を設置し、その上にパンチングメタルを乗せて、更にキャピラリーシートを敷き、その上部に土壤を充填する。ポットNo.1～5には、塩ビパイプの柱の内部に図のように陰イオンサンプラーを設置した。なお、ポットNo.6～10は、前述した中型ライシメーターと同じ構造になっている。

これら10個のポットそれぞれに、0.02[mol/L]の KNO_3 溶液250[mL]を、なるべく均一にな

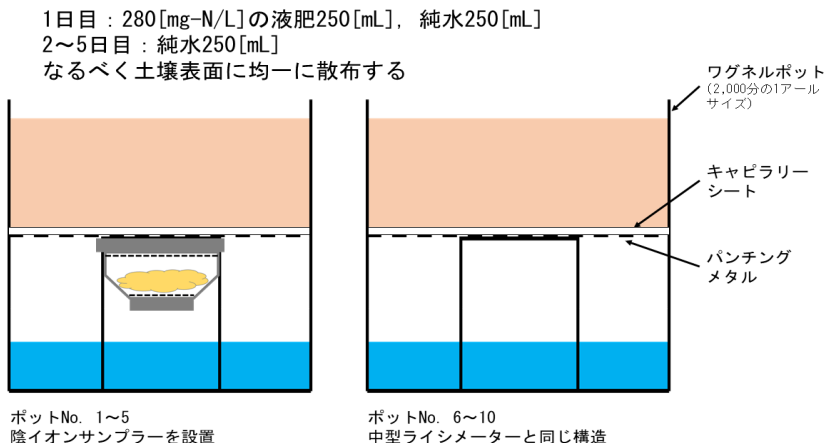


図3 ワグネルポットを用いた陰イオンサンプラーの精度検証に関する実験

るように施用し、更に翌日から純水 250[mL] を 5 日間に分けて 1,250[mL] (250[mL] × 5 回) 撒いた。更に土壤中の水分が十分に浸透するように、1 週間以上置いてから、ポット No. 1 ~ 5 陰イオンサンプラー内のイオン交換樹脂を採取した。回収したイオン交換樹脂から約 7[g] を採取し、2-2 で採用した方法を用いて硝酸態窒素を抽出し、RQ フレックスを用いてその濃度を測定した。また、同時にポット No. 6 ~ 10 の浸透水を全て採取し、同じく RQ フレックスを用いてその硝酸態窒素濃度を測定した。

なお、ポット No. 1 ~ 5 の陰イオンサンプラーには、その真上に位置する土壌からの浸透水が流入すると仮定した。陰イオンサンプラーの上面内側の面積は 78.5[cm²] で、ワグネルポットの上面内側の面積は 500[cm²] である。樹脂から抽出される硝酸態窒素の量と、この面積比から、ポット全体の溶脱量を推計した。また、抽出に用いるイオン交換樹脂を 7[g] とした理由は、ポット No.6 ~ 10 の浸透水の硝酸態窒素濃度の測定値から、少なくとも 7[g] 程度のイオン交換樹脂から抽出しなければ、RQ フレックスの検出下限値 (1.13[mg/L]) を超えないことが推測されたからである。

2-4. 窒素収支による窒素溶脱量推定式の精度検証

2-3 の実験の土壌を用いて、窒素収支による窒素溶脱量推定式の精度を検証した。まず、実験前の土壌を 1 サンプル採取し、実験後には 10 個のワグネルポットの土壌をそれぞれ採取し、全窒素タンパク質全炭素測定装置 (NC-220F, 住化分析センター) で窒素含有率を測定した。測定した窒素含有量と各ワグネルポットの土壌の重さから、含有する窒素含有量を算出した。今回の実験では、ワグネルポットの土壌で植物を栽培していないため、式 (2) と実験前後の土壌および施用した液肥の窒素含有量を用いて、系外に流出した窒素量を求めた。

2-4. 実際の圃場における有用性の検証

製作した陰イオンサンプラーを、実際の圃場で活用することが可能かを検証するため、宮崎県綾町でキュウリをハウス栽培する慣行農家の協力の下で陰イオンサンプラーによる硝酸態窒素溶脱量の採取実験を行った。図 4 に、ハウス内圃場の概要と陰イオンサンプラーの埋設位置を示す。この圃場は総面積が 1,200[m²] で、幅 1.6[m] の畝が計 10 本立てられており、畝ごとに 4 本の液肥散布用ホースが設置されていた。陰イオンサンプラーは、畝上に 5 ヶ所と通路に 5 ヶ所を選定し、上端が深さ 50[cm]

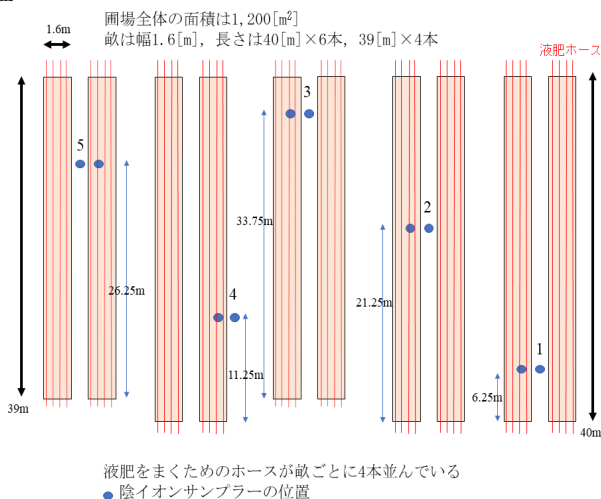


図 4 ハウス農家の圃場の概要と陰イオンサンプラーの埋設位置

になるように、2018 年 10 月 18 日に埋設し、キュウリの収穫が終わった後の 2019 年 5 月 10 日に回収した。なお、この実験では陰イオンサンプラーへのイオン交換樹脂の充填量を念のた

め22[g]以上にした。

回収した陰イオンサンプラーから、約1[g]のイオン交換樹脂を採取し、2-2で採用した方法を用いて硝酸態窒素を抽出し、RQフレックスを用いてその濃度を測定した。

3. 結果

3-1. ワグネルポットを用いた陰イオンサンプラーの精度に関する検証結果

表3に、ポットNo.1～5の陰イオンサンプラーのイオン交換樹脂の抽出液における硝酸態窒素濃度と、それから推計される硝酸態窒素の溶脱量について示した。ポットNo.2および3は、抽出液の濃度がRQフレックスの下限值(1.13[mg/L])を下回ってしまった。従って、陰イオンサンプラーを用いた推計値は、ポットNo.1, 4および5の3つのポットの結果のみとし、その平均値は7.723[mg]であった。

表3 ポットNo.1～5のイオン交換樹脂の抽出液における硝酸態窒素濃度の測定結果と溶脱する硝酸態窒素の推計量

No.	充填した樹脂量[g]	抽出に用いた樹脂量[g]	抽出液のNO ₃ ⁻ N濃度[mg/L]	抽出されたNO ₃ ⁻ Nの重さ[mg]	溶脱したNO ₃ ⁻ Nの推計値*[mg]
1	15.087	6.940	2.260	0.339	7.341
2	15.038	6.842	Low	—	—
3	14.911	7.104	Low	—	—
4	14.864	6.962	1.808	0.271	5.768
5	14.989	7.040	3.164	0.475	10.066

*溶脱したNO₃⁻Nの推計値は、抽出されたNO₃⁻Nの重さを基に、陰イオンサンプラーに充填した樹脂量、ポットとサンプラーの上端の面積比、2-2の手法の回収率63.9%を考慮して推計した。

表4に、ポットNo.6～10の浸透水の量と硝酸態窒素濃度の測定値、およびそれらから計算した硝酸態窒素の溶脱量について示した。この5つのポットから溶脱した硝酸態窒素の量の平均値は、3.17[mg]となった。

ポットNo.1, 4および5の3つの硝酸態窒素溶脱量の推計値と、ポットNo.6～10の硝酸態窒素溶脱量の5つの実測値に

ついて、平均値の差の検定を行った。まず、等分散性のためのLeveneの検定で等分散を仮定できないことを確認した。次に、有意水準を0.05として等分散を仮定しないt検定を行った結果、有意確率0.065となった。今回の標本数では差があるか否か判定できなかった。

3-2. 窒素収支による窒素溶脱量推定式の精度検証結果

表5に、陰イオンサンプラーの精度検証で用いた10個のワグネルポットの実験前後の風乾土壌重量N_{s1}およびN_{s2}、それぞれの窒素含有率と、系外に流出する窒素量の推計値N_{X1}+N_{X2}

表4 ポットNo.6～10の浸透水量とその硝酸態窒素濃度の測定値、および硝酸態窒素の溶脱量

No.	浸透水量[mL]	浸透水のNO ₃ ⁻ N濃度[mg/L]	溶脱したNO ₃ ⁻ N[mg]
6	156.5	22.600	3.537
7	136.5	26.442	3.609
8	105.5	25.538	2.694
9	122.0	23.052	2.812
10	149.0	21.470	3.199

を示した。これらの計算結果の内、No.3, 5, 8 および 10 のポットでは負の値になった。また、それ以外の値も表3および表4に比べて値が低くなった。

表5 ポットNo.1～10の実験前後の風乾土壌重量、窒素含有率、および土壌中窒素含有量と、系外に流出した窒素量の推計値

No.	実験前の風乾土壌			実験後の風乾土壌			系外に流出する窒素量の推計値* $N_{x1} + N_{x2}$ [g]
	重量 [g]	窒素含有率 [%]	窒素含有量 N_{s1} [g]	重量 [g]	窒素含有率 [%]	窒素含有量 N_{s2} [g]	
1	3,791	0.222	8.42	3,800	0.181	6.88	1.61
2	3,899		8.66	3,909	0.188	7.35	1.38
3	3,970		8.81	3,966	0.237	9.40	-0.52
4	3,972		8.82	3,954	0.200	7.91	0.98
5	3,908		8.68	3,903	0.226	8.82	-0.07
6	3,719		8.26	3,724	0.198	7.37	0.95
7	3,751		8.33	3,758	0.215	8.08	0.32
8	4,047		8.99	4,054	0.271	10.99	-1.93
9	3,793		8.42	3,781	0.215	8.13	0.36
10	3,749		8.32	3,739	0.227	8.49	-0.10

*液肥に含まれる窒素の量 N_f 0.07[g]、収穫物はないので N_p を0[g]として、式(2)から求めた。

3.3. 実際の圃場における有用性の検証結果

まず、宮崎県綾町のハウス農家の実際の圃場に長期間埋設した陰イオンサンプラー10個は、破損箇所がなく、回収後は問題なくイオン交換樹脂を取り出せた。表6に、これらの陰イオンサンプラーが吸着した硝酸態窒素の溶脱量の推計値を示した。5番の通路側に埋設した陰イオンサンプラーのイオン交換樹脂から得られた抽出液の硝酸態窒素濃度は、RQフレックスの検出下限値(1.13[mg/L])だったため、再度抽出はしていない。

表6が示すように、3番の畝における窒素溶脱量が多いことが分かる。一方で、1番や4番、および5番のように作用三体窒素の溶脱量が少ない場所もあった。これらの傾向は、通路側でもみられた。

表6 宮崎県綾町のハウス農家の圃場に設置した陰イオンサンプラーが吸着した窒素溶脱量の推計値

位置	充填した樹脂量[g]	抽出に用いた樹脂量[g]	抽出液のNO ₃ -N濃度[mg/L]	抽出されたNO ₃ -Nの重さ[mg]	溶脱したNO ₃ -Nの推計値*[mg]	
畝	1	22.953	1.018	19.89	2.98	67.30
	2	24.440	1.005	68.25	10.24	249.02
	3	27.970	1.014	120.68	18.10	499.43
	4	22.911	1.024	23.96	3.59	80.37
	5	22.275	1.021	10.62	1.59	34.77
通路	1	23.338	1.009	1.13	0.17	3.92
	2	23.520	1.073	2.71	0.41	8.91
	3	23.547	1.038	14.46	2.17	49.23
	4	23.423	1.009	1.36	0.20	4.72
	5	22.232	1.065	Low	—	—

*溶脱したNO₃-Nの推計値は、抽出されたNO₃-Nの重さを基に、陰イオンサンプラーに充填した樹脂量、ポットとサンプラーの上端の面積比、2-2の手法の回収率63.9%を考慮して推計した。

4. 考察

4-1. 陰イオンサンプラーによる推定値と浸透水の実測値の差について

3-1で示したように、ワグネルポットを用いた陰イオンサンプラーの精度検証結果では、陰イオンサンプラーによる推定値と浸透水の実測値に、差があるか否か判定できなかった。ただし、表3および表4の結果が示すように、陰イオンサンプラーの精度が良好であるとは言えない。陰イオンサンプラーによる推定値は、過大評価をしている可能性があると考えられる。

2-2で示したように、陰イオンサンプラーに充填したイオン交換樹脂は、浸透水中の硝酸イオンをほぼ吸着していると考えられる。ただし、陰イオンサンプラーの構造上、ワグネルポットや土壤中に設置した際に、イオン交換樹脂の層の厚さが偏るなどして、樹脂に吸着する硝酸イオンが不均一になることが考えられる。抽出のために用いる樹脂を採取する際に、十分に攪拌するなどして均一性を確保するようにしているが、硝酸イオンがより多く吸着している部分を採取している可能性は否定できない。また、硝酸イオンがあまり吸着していない部分を採取して過小評価する可能性もあることになる。

これらの問題を解消するための解決策として、以下の3点が考えられる。第一に、陰イオンサンプラー内の樹脂の層の厚みが偏らないような構造上の工夫が必要である。例えば、先行研究では不織布で包むなどしている（渡邊ほか，2016）。もしくは、ナイロンメッシュシートで挟まれた空間を狭め、且つ充填するイオン交換樹脂の量を増やすなどして、偏りができないようにイオン交換樹脂でナイロンメッシュシートの間を隙間なく満たすことも考えられる。

第二に、抽出に使用するイオン交換樹脂の量をなるべく多く採取することが考えられる。なるべく多くの樹脂から抽出した方が、偏りが推計値に与える影響は小さくなる。

第三に、イオン交換樹脂から硝酸態窒素を抽出する際の回収率を向上させることである。2-2で示したように、今回の回収率は3回の抽出実験の平均値63.9%を採用したが、実際には62.0%から66.8%までのばらつきがある。今回の実験では30[mL]の K_2NO_3 溶液に浸漬し振とう器を用いて230[rpm]で5回抽出したが、溶液の量や回数、振とう器の回転数などを増やして回収率を100%に近づけることで、ばらつきが小さくなり、精度も向上すると考えられる。

4-2. 窒素収支による窒素溶脱量推定式について

式(2)を用いて窒素溶脱量を推定する方法については、表5に示すように、値のばらつきが大きく、負の値を示すものもあり、精度が良いとは言えない。今回の実験では、実験前の風乾土壌は1サンプルだけ窒素含有率や乾燥土壌の割合を測定している。土壌中の窒素の不均一性を考慮し、土壌を十分に攪拌した上でサンプルを採取してはいるが、ワグネルポットに土壌を充填した後に各ポットからサンプルを採取して分析した方が、より精度は良くなると考えられる。

また、今回の実験では、各ワグネルポットの土壌中の窒素量のばらつき(6.88～10.99[g])に対し、液肥として投入する窒素の量(0.07[g])が非常に少なかった。更に、各ワグネルポットには液肥と純水を合わせて1.5[L]の水分を投入しているが、浸透水は100～160[mL]程度で、表4に示すように溶脱した窒素の量も0.003[g]前後であった。つまり、土壌中の窒素量のばらつきに対して、投入する窒素量や溶脱する窒素量が少なく、式(2)の精度を検証しにくかった。

ただし、そもそも土壌中の全窒素に対する無機態窒素の割合は0.8%～3.0%で、非常に小さい(上菌ほか, 2010)。つまり、式(2)に土壌中の全窒素の値を用いながら溶脱する硝酸態窒素量の精度を検証するのは、非常に難しいと考えられる。

なお、実際の圃場において窒素収支を推計する際は、栽培した植物が含有する窒素量と、その植物が窒素を吸収している根圏の窒素量を考慮することになる。具体的には、植物中の窒素含有量は植物体の一部を採取して全窒素量を測定し、圃場全体の収穫物の量に合わせて推計することになる。この場合、収穫物の実際の重さや、可食部以外の葉茎等の実際の重さも、一部のサンプルから全体を推計することになる。ここで大きな誤差を生む可能性は非常に大きい。また、根圏の土壌の重さは、根圏の体積から推計することになるが、例えば根が到達する深さや広さの把握も、実際の圃場では非常に難しい。従って、実際の圃場で窒素収支から窒素溶脱量を推計する場合、精度が悪くなることは避けられないと考える。

4.3. 実際の圃場における陰イオンサンプラーの有用性について

まず、実際の圃場に埋設し半年以上経過した陰イオンサンプラー10個に破損等がなかったことから、耐久性は十分だったと考えられる。

次に、表6に示したように、3番の畝に埋設した陰イオンサンプラーから推計される硝酸態窒素の溶脱量は約500[mg]だった。おそらく、畝上に設置された液肥ホースの穴が近かったため、このように高い値を示したものと思われる。同じく3番の通路に設置した陰イオンサンプラーから推計される硝酸態窒素の溶脱量も、他の通路側の溶脱量に比べて非常に高かった。これは、畝上に蒔かれた液肥中の窒素が通路側にも移動してきているからだと推察される。つまり、肥料の蒔き方や陰イオンサンプラーを埋設する深さなどによって、陰イオンサンプラーによる推計値は大きくばらつくことが考えられる。実際の圃場における窒素溶脱量を推計するため、陰イオンサンプラーの設置数は可能な限り増やしておく必要があるだろう。

更に、陰イオン交換樹脂の充填量についても注意が必要である。今回の実験では、陰イオンサンプラーに充填したイオン交換樹脂は、念のため全て22[g]以上にした。使用した強塩基性陰イオン交換樹脂(アンバーライトIRA400J Cl, オルガノ社)は、イオン交換当量1.4[mol/L]で、樹脂の密度は705[g/L]である。これらから逆算すると、22[g]のイオン交換樹脂は約612[mg]の硝酸態窒素を吸着することが可能である。従って、今回の3番の畝に設置した陰イオンサンプラーの陰イオン交換樹脂の量が足りなかったということはない。しかし仮に15[g]にしていた場合は、最大でも約400[mg]しか硝酸態窒素を吸着することができないため、3番の畝のように溶脱量が多い場合は吸着し切れなかった可能性がある。栽培する作物によって、また肥料を施用する位置によっては、これ以上の硝酸態窒素が溶脱する可能性は大いにある。従って、今後この陰イオンサンプラーを用いる際は、十分に余裕を持って吸着できる樹脂量を充填しておくことが重要である。

また、今回の圃場はハウス栽培だったため、降雨による影響をほとんど受けていない。硝酸態窒素の溶脱は、液肥や水やりによって発生していると考えられる。仮に圃場が露地栽培で、降雨量が多い季節の場合には、イオン交換樹脂を通る浸透水の速度が速くなることも考えられる。浸透水とイオン交換樹脂の接触時間を十分に取るために陰イオンサンプラーを通る浸透水の速度を抑える構造にすると、浸透水の流れが変わってしまう可能性もある。従って、浸透水の速度と吸着量の関係についても、検証しておく必要があると考えられる。

以上のように、実際の圃場に埋設したことによって、今回の陰イオンサンプラーにはいくつか改良すべき点が見つかった。これらについては、引き続き試作と精度の検証が必要だと考えられる。

5. 結論

本研究では、水環境への影響が大きい農地における窒素溶脱量を簡易に把握するための手法について、陰イオンサンプラーによる方法と、式(2)の窒素収支による推定方法について検証した。その結果、陰イオンサンプラーの基本的な構造やこれを用いた測定手法については、その有用性を確認できたと考える。ただし、精度を向上させるため、そして様々な農地で対応できるように、更なる工夫と検証が必要である。

一方、窒素収支から窒素溶脱量を求める方法については、土壤の不均一性や、栽培する植物の量、根圏の土壤体積の把握の難しさなど、克服しにくい課題が多く、十分な精度で窒素溶脱量を推計できる方法とは考えられない。

【謝辞】

本研究は、令和元年度綾町・宮崎大学受託研究「綾町の自然生態系農業における窒素循環に関する研究」を受けて行われた。

【参考文献】

- 1) 丸恒夫. 黒ボク土と砂質土における肥料窒素溶脱のライシメーター法による解析. 日本土壤肥料学雑誌, 第68巻, 第4号, 1997.
- 2) 戸敷浩介, 西和盛, 近藤友大. 綾町の自然生態系農業システムにおける有機質肥料の循環に関する環境農学的研究. 平成30年度綾町・宮崎大学受託研究報告書, 2019.
- 3) 渡邊修一, 笠原賢明, 松森堅治, 清水祐太, 向井章恵, 小野寺真一. 周年マルチ点滴灌水同時施肥法の導入がカンキツ園での窒素溶脱に及ぼす影響. 日本水文科学会誌, 第46巻, 第3号, 2016.
- 4) 水間武彦. 原理がわかる簡単なイオン交換カラムの製作. 化学と教育, 64巻, 4号. 2016.
- 5) 植物栄養実験法編集委員会編. 植物栄養実験法(日本土壤肥料学会監修)第2版. 博友社, 1991.
- 6) 上蘭一郎, 加藤直人, 森泉美穂子. 日本の畑土壌に対する80℃16時間水抽出法による可給態窒素簡易評価法の適用性. 日本土壤肥料学雑誌, 第81巻, 第1号, 2010.