

ニンジンのマルチ内施肥による肥料窒素の溶脱抑制効果

大塚 英一・金子 文宜・松丸 恒夫

キーワード：硝酸態窒素、溶脱、マルチ内施肥、埋設型ライシメータ、ニンジン

I 緒 言

マルチ栽培は露地野菜栽培において根系の地温を保持し、土壤水分を適正に維持できる技術として広く普及している。また、最近では肥料窒素を根系にとどめられる技術として環境保全型の栽培に取り入れられている(松丸、2003)。

一方、肥料窒素の溶脱に関しては、環境省は1999年に「地下水の水質汚濁に係る環境基準」に硝酸態窒素(以下 $\text{NO}_3\text{-N}$ とする)及び亜硝酸態窒素(以下 $\text{NO}_2\text{-N}$ とする)を基準項目として追加し、その値を 10mg/L 以下と規定した。

さらに、水質汚濁防止法に基づき実施された公共用水域及び地下水の水質調査結果では全国で毎年200本程度の $\text{NO}_3\text{-N}$ の基準超過井戸が新たに確認されている(環境省水・大気環境局、2005)。本県における $\text{NO}_3\text{-N}$ 及び $\text{NO}_2\text{-N}$ の環境基準超過井戸の割合は12%と高く、全国平均値5~6%の2倍以上となっている。(環境省環境管理局水環境部、2002-2004)。

環境基準値を上回る $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の地下水は、施肥量の多い茶園や露地野菜畑地帯に多く認められる(熊沢、1999)。施肥由来の $\text{NO}_3\text{-N}$ による地下水汚染問題として岐阜県各務原市の事例がある。すなわち、同市によれば、汚染源は、かつての麦やカンショから、ニンジンやその他野菜といった品目の変化によって増加した肥料窒素であることが示されている(各務原市地下水汚染研究会、1990)。

以上のように農地に施用された肥料窒素が地下水の $\text{NO}_3\text{-N}$ 汚染の原因の1つとして考えられていることから、作物の生産性を維持しつつ「地下水の水質汚濁に係る環境基準」を遵守するため、汚濁低減対策として溶脱抑制対策技術の導入及びその環境負荷軽減効果の評価が必要となっている。

これまでに窒素減肥技術については、条施肥を用いて施肥窒素量を慣行栽培の64%とした技術(草川ら、1999)、肥効調節型肥料のセル内施肥により施肥窒素量を慣行栽培の56%とした技術(岩佐ら、2005)、肥効調節型肥料を用い施肥窒素量を慣行栽培の25~27%とした技術(北嶋、1991)等が提案されている。この他にも窒素減肥技術については数多くの報告があり、総説(小財、1999;松丸、2002)にもまとめられている。しかし、肥料窒素の溶脱抑制技術を導入したほ場において $\text{NO}_3\text{-N}$ の溶脱抑制効果を明らかにした研究は少ない。本研究は、千葉県で開発したニンジンのマルチ内施肥栽培(草川ら、2003)下において、土壤水の下方浸透にともなう $\text{NO}_3\text{-N}$ の動態を調査し、その溶脱抑制効果を明らかにすることを目的とした。また、 $\text{NO}_3\text{-N}$ は土壤水の下方浸透にともない溶脱すると考えられていることから、非反応性トレーサーを用いた土壤水動態調査を併せて実施した。その結果、マルチ内施肥法を用いたニンジンの減肥窒素肥料栽培において、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の溶脱が抑制されることを明らかにしたので報告する。

本研究を実施するに当たり、当農業総合研究センター生産技術部川上敬志主席研究員及び草川知行上席研究員には、栽培に関する協力を頂いた。同生産環境部牛尾進吾主席研究員には、臭素の分析に関する協力を、山本幸洋普及指導員(現在、長生農林振興センター)には、浸透水の採取及びデータの評価方法について助言と協力を頂いた。ここに記して、深く感謝の意を表す。

II 試験方法

1. マルチ内施肥による $\text{NO}_3\text{-N}$ の溶脱抑制(試験1)

マルチ内施肥法は肥料がマルチ下のベッド部分のみに施用されるため、通路部分の施肥を省略することができる。ここでは、ニンジンを用いマルチ内施肥法を適用した減肥栽培を実施した。

(1) 試験区の構成

試験ほ場は、千葉県農業総合研究センター環境機能研

究室ほ場（表層腐植質黒ボク土）とした。試験区はベッド部のみに施肥した区（以下マルチ内施肥区とする）と全面全層施肥区（以下慣行区とする）とし、1区28.56㎡反復なしとした。なお、マルチ張りは慣行区にも行った。

ニンジンの施肥窒素量は以下のとおりとした。マルチ内施肥区は、1999年では10kg/10a、2000年は6kg/10a及び2001年では10kg/10aとし、慣行区は3か年とも20kg/10aとした。肥料にはCDU態窒素を含む化成肥料（N:P₂O₅:K₂O=10:13:10）を用いた。

(2) 耕種概要

ニンジンの品種は「向陽二号」を用い、栽植様式はベッド幅110cm、通路幅60cm、株間12cm、8条播きとした。施肥、播種及びマルチ張りは草川ら（2003）の開発した施肥機で同時に行い、さらに、トンネル被覆した。被覆期間は4月中・下旬とした。使用したマルチ資材は、両区とも透明ポリフィルム（みかど化工製サッソーマルチ3812）とした。

施肥及び播種はいずれの年も2月15日に、収穫は1999年が6月7日、2000年が6月8日及び2001年が7月2日であった。ニンジンの後作には次に示す緑肥作物の栽培を行った。1999年9月11日～2000年1月6日はエンバク、2000年7月24日～2000年8月31日はギニアグラス、2001年8月29日～11月1日はソルゴーをいずれも無施肥で栽培した。なお、2001年は緑肥作物の栽培を慣行区のみとした。エンバク及びギニアグラスは栽培終了時に細断してほ場へすき込み、ソルゴーは地上部を刈取りほ場外へ持ち出した。

(3) 調査方法

ア. ニンジンの収量調査

ニンジンは収穫後、草丈（cm）、地上部生重（g/株）、地下部生重（g/株）及び総収量（kg/10a）を調査した。調査株数は各区60株とした。

イ. 植物体窒素分析法

収穫したニンジン30株を、80℃で48時間通風乾燥し粉碎したものを全窒素分析に供した。分析法は乾式燃焼法（住化分析センター社製、NC-930）とした。

ウ. NO₃-N溶脱量調査

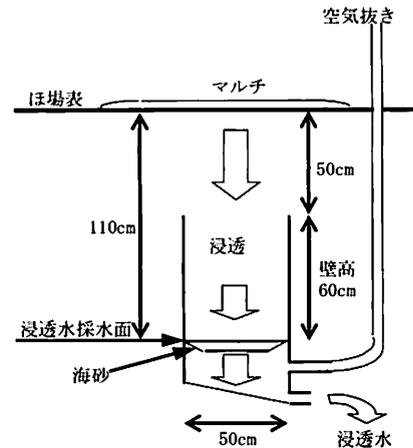
土壌からのNO₃-N溶脱量は、尾崎ら（2001）が開発した埋設型ライシメータを用いて測定した。溶脱量は次式のとおり浸透水量に濃度を乗じた値を10aあたりに換算した。

$$\text{溶脱量 (kg/10a)} = \text{浸透水量 (mm)} \times \text{NO}_3\text{-N濃度 (mg/L)} \times 10^2 / \text{埋設型ライシメータの採水面積 (0.25m}^2) \times 10^2$$

供試した埋設型ライシメータは、底面が50cm×50cm、壁高60cmの集水部とその下部の貯水タンクから成るステ

ンレス製箱形の採水装置で、上端をベッド部分の土壌表面下50cmに埋設した（第1図）。

埋設は1999年1月20日に行った。



第1図 埋設型ライシメータの構造

浸透水は、日単位で発生の有無を確認し、発生があれば採水して、水量及びNO₃-N濃度を調査した。

NO₃-Nはオートアナライザー法（ブランルーベ社製、Traacs800）で分析した。

調査期間は1999年2月15日から2002年2月14日の1096日間とした。

2. 非反応性トレーサーを用いた土壌水の動態（試験2）

土壌水の下方浸透を把握するための指標となる非反応性トレーサーとして臭化物イオン（以下Br⁻とする）を用いることとし、臭化カリウム（KBr）を供試した。

2002年7月15日に両区内の埋設ライシメータ直上部の1.7×1.7m（2.89㎡）の範囲にKBrを臭素（Br）として20g/㎡散布し、表層5cm土壌と混和した。散布後は裸地管理とした。試験2は試験1で使用したほ場に反復として2区（以下A区、B区とする）の試験区を設置して実施した。

浸透水の採取は試験1と同様に行い、水量を調査しBr⁻濃度をイオンクロマトグラフ（DIONEX社製、IC-20）により測定した。

調査期間は2002年7月15日～2003年12月18日の522日間とした。

III 結 果

1. マルチ内施肥によるNO₃-Nの溶脱抑制（試験1）

(1) ニンジンの収量

3年間のニンジンの収量を第1表に示した。生育及び総収量は、いずれの年も、慣行区とマルチ内施肥区がほぼ同等であり、減肥による収量低下は認められなかった。

第1表 ニンジンの収量

調査年度	試験区	施肥窒素量 (kg/10a)	草丈 (cm)	生重(g/株)		総収量 (kg/10a)
				葉重	根重	
1999年	マルチ内施肥	10	55.0	51.6	150	5,860
	慣行	20	55.0	52.2	160	6,270
2000年	マルチ内施肥	6	49.9	44.1	170	6,030
	慣行	20	56.2	61.5	181	6,100
2001年	マルチ内施肥	10	68.0	71.0	169	5,870
	慣行	20	65.0	65.0	170	5,830

注) 調査は各区60株で行った。

第2表 各調査年における降水量、浸透水量及び採水効率(%)

調査年	降水量 (mm)	浸透水量 (採水効率 ¹⁾)	
		マルチ内施肥区 (mm)	慣行区 (mm)
1999年	1326	294 (22)	314 (24)
2000年	1478	362 (25)	414 (28)
2001年	1430	348 (24)	409 (29)

注1) ()内の数字は採水効率(%)で降水量に対する採取された浸透水量の割合で示した。

注2) 各調査年における調査は以下の期間とした。
 1999年は1999年2月15日～2001年2月14日。
 2000年は2000年2月15日～2001年2月14日。
 2001年は2001年2月15日～2002年2月14日。

(2) 埋設型ライシメータにおける浸透水の採水効率

ここで採水効率は降水量に対する浸透水量の割合とした。調査期間中の降水量、浸透水量及び採水効率を第2表に示した。降水量は1,326～1,478mmであり年次間差は小さかった。それに対して、埋設型ライシメータにおける浸透水の採水効率は、マルチ内施肥区と慣行区でそれぞれ1999年が22%と24%、2000年が25%と28%及び2001

年が24%と29%であり、区間差及び年次間差は小さかった。

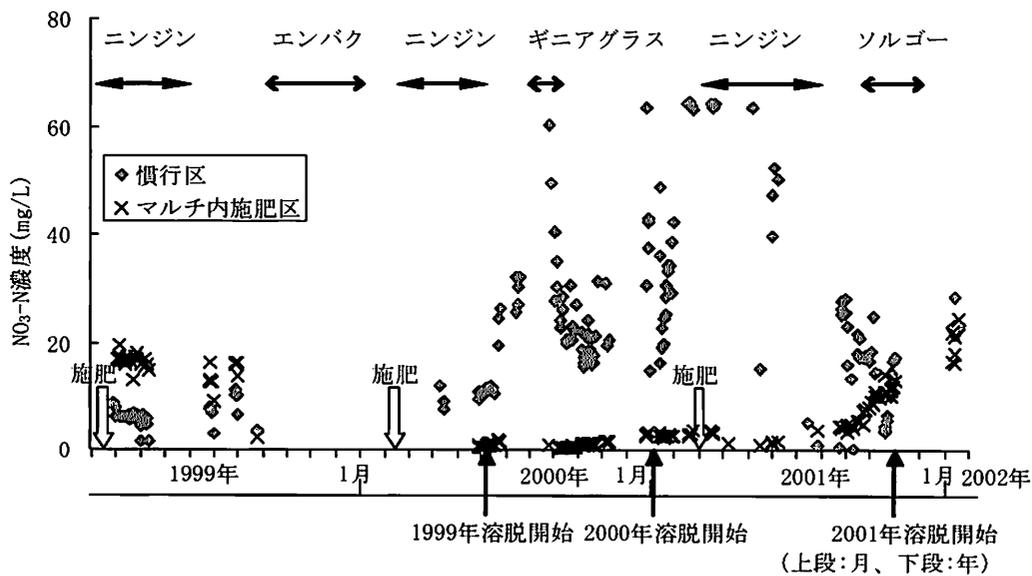
(3) 浸透水中のNO₃-N濃度推移

浸透水中のNO₃-N濃度の推移を第2図に示した。1999年は、2月15日～9月12日までマルチ内施肥区のNO₃-N濃度が慣行区に比べて高く推移した。2000年は、マルチ内施肥区のNO₃-N濃度が0～3mg/Lで推移した。これに対して慣行区のNO₃-N濃度は6月19日～上昇し、9月13日に最高値60.3mg/Lとなった。2001年は、慣行区同様マルチ内施肥区のNO₃-N濃度が同年1月16日以降上昇傾向を示した。

2. 非反応性トレーサーを用いた土壌水の動態 (試験2)

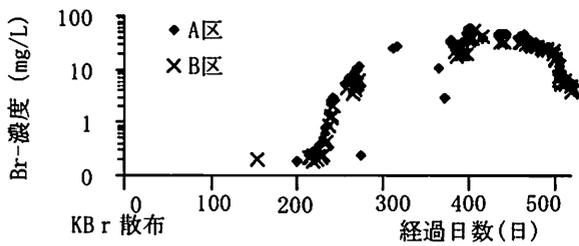
KBr散布後の浸透水中のBr⁻濃度の推移を第3図に示した。KBr散布後約200日間は、浸透水中のBr⁻はほとんど検出されなかった。散布後200日以降、A区では200日目に0.18mg/L、B区では214日目に0.23mg/Lの濃度上昇が認められ、その後は上昇傾向となった。そして、A区では398日目に61.7mg/L、B区では406日目に56.6mg/Lの最高濃度に達した。その後、散布後521日目で、両区ともBr⁻濃度は約5mg/Lまで低下した。

KBr散布後日数と日降水量及び積算浸透水量との関係を第4図に示した。積算浸透水量は降水量に対応して両区ともKBr散布後54～56日、77～80日、396～400日及び504～506日の期間で50mm以上の増加が認められた。すなわち、この期間の降水量は順に188、145.4、207、90.7、171.4及び78.7mmとなり、降水量に対応して採水された。

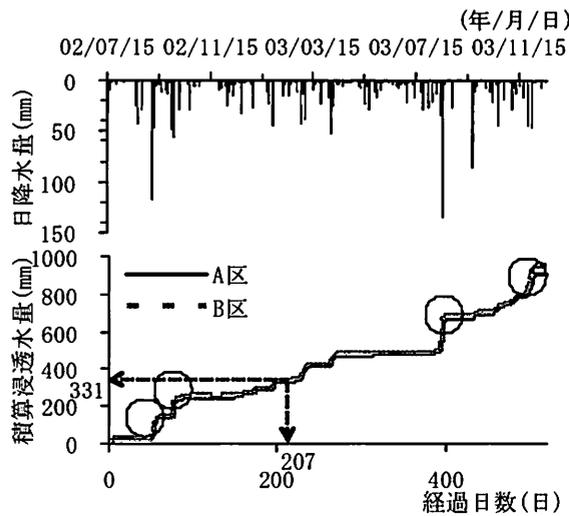


第2図 浸透水中のNO₃-N濃度の推移

注) 作目の下の矢印は当該作目の栽培期間を示す。



第3図 KBr散布後の浸透水におけるBr⁻の濃度推移
注) Y軸の目盛りは対数表示である。



第4図 KBr散布後日数と日降水量及び積算浸透水量との関係

注) 図中の○印は、積算浸透水量で50mm以上の増加があった時期である

浸透水中のBr⁻濃度が上昇し始めた時期は、散布したKBrが地表下110cmの浸透水採水面に達した時期(以下Br溶脱到達時期とする)であり、第3図からBr⁻溶脱到達時期までの散布後日数、降水量、浸透水量は、第3表のように散布が行われてから順に207日目、923mm、331mmと判定した。

第3表 KBr散布後から浸透水中Br濃度上昇開始までの経過日数及びその期間中総降水量と積算浸透水量

試験区名	Br濃度上昇までの日数(日)		降水量(mm)		積算浸透水量(mm)	
	A区	B区	A区	B区	A区	B区
	200	214	909	937	335	327
平均値 ¹⁾	207		923		331	

注1) A区とB区の2つの値の単純平均値である。

IV 考 察

1. 土壌中NO₃-Nの下方浸透

丸山ら(1986)の年間実蒸発散量を参考に表面流去及び土壌水分増加量を0とすると、浸透水量は降水量の

50%程度と見積られる。したがって、全ての浸透水が採水できた場合の採水効率は50%に近い値となる。一方、本報告で用いた壁高60cmの埋設型ライシメータにおける採水効率は22~29%であった。山本ら(2000)は埋設型ライシメータの壁高と採水効率の関係を調べている。壁高60cmの場合は22%で本報告の値と同等であり、重力水からpfl.8までの浸透水を採水したものと判断された。また、埋設型ライシメータにおける採水効率は各ライシメータ間の差及び年次間差は小さかったことから、土壌中のNO₃-Nの下方浸透を論ずる場合、十分な精度を持っていたと判断した。KBr散布後からBr⁻が溶脱し埋設型ライシメータに到達するまでの日数及び浸透水量は、それぞれ207日及び331mmと見積られた。このBr⁻の浸透状況は、浸透水の下方移動を反映していると考えられる。NO₃-Nは、土壌中で作物吸収や微生物活動に寄与するが、マイナスイオンであり土壌粒子とのイオン置換にはあづからないのでBr⁻の場合と同様に、浸透水にともなって下方移動すると考えられることから、施肥後に浸透水中のNO₃-N濃度が上昇した時期をNO₃-N溶脱到達時期として、第2図からその時期を判定した。この期間における総降水量及び積算浸透水量は第4表に示したとおりで、施肥後NO₃-N濃度が上昇傾向となるまでの経過日数、総降水量、積算浸透水量は、散布が行われてから順に342日、1,373mm、331mmとなり、降水量が異なるものの積算浸透水量はBr⁻の場合と一致した。このことは降水量や降雨強度にかかわらず、積算浸透水量が溶脱到達時期を決定していることを意味している。

したがって、積算浸透水量はNO₃-Nの溶脱到達時期を判定する指標として差し支えないと考えられた。

本試験では溶脱したNO₃-Nが地表下110cmに達するには降水量として1,373mmを要した(第4表)。小川(1979)らの、腐植質火山灰土壌における土層内ピーク位置の移行距離から計算した結果によれば、NO₃-Nは降水量100mm当たり、深さ1m以内では10cm、それ以下の深さでは3cm溶脱するとしている。小川らの値を用いると、1,373mmの降水量によってNO₃-Nは深さ111.9cmに到達することになる。これは本試験のライシメータ採水深度である地表下110cmとほぼ一致する。また、施肥窒素の採水面到達までの経過日数は342日であり、採水面までの土層の厚さ(110cm)を平均日数で除した見かけの溶脱速度は約0.32cm/日となった。この溶脱速度は関東ローム層の黒ボク土露地畑において、金子(2002)によって得られた値0.3cm/日とほぼ同等であった。したがって、本ライシメータによるデータは、腐植質火山灰土壌におけるNO₃-Nの溶脱状況を示していると考えられた。

第4表 施肥からNO₃-N濃度上昇までの期間における総降水量及び積算浸透水量

施肥日	NO ₃ -N濃度上昇までの日数		降水量(mm) ¹⁾		積算浸透水量(mm) ²⁾	
	マルチ内 施肥区	慣行区	マルチ内 施肥区	慣行区	マルチ内 施肥区	慣行区
1999年2月15日	— ³⁾	490	—	1793	—	334
2000年2月15日	— ³⁾	336	—	1306	—	323
2001年2月15日	273	267	1214	1179	323	341
平均値 ⁴⁾	342		1373		331	

注1) 降水量は施肥後、NO₃-N濃度が上昇し始めるまでの期間の降水量の和である。

2) 浸透水量は施肥後、NO₃-N濃度が上昇し始めるまでの期間に採水した浸透水量の和である。

3) "—"は施肥後、NO₃-N濃度の上昇が認められなかったことを示す。

4) マルチ内施肥区と慣行区における4つの値の単純平均値である。

2. マルチ内施肥によるNO₃-Nの溶脱抑制の評価

NO₃-Nが採水面に到達した日数は施肥後267～490日、平均342日後であった。このNO₃-N溶脱到達時期までの経過日数と慣行区における浸透水中NO₃-N濃度のピークから判断すると2000年6月19日以降の溶脱は1999年の施肥由来、2001年1月16日以降の溶脱は2000年の施肥由来、2001年11月6日の以降の溶脱は2001年の施肥由来と考えられた。1999年と2000年における慣行区の施肥窒素由来の溶脱NO₃-N量は、それぞれ10.2kg、8.1kgであり2年の合計値は18.3kg/10aであった。

一方、マルチ内施肥区では、土壤浸透水のNO₃-Nは常に低く推移した。とくにNO₃-Nの溶脱到達時期である積算浸透水量が331mmに達した後でも、浸透水中NO₃-Nの濃度上昇は認められなかった。マルチ内施肥区における1999年と2000年の施肥窒素由来の溶脱NO₃-N量は、それぞれ0.6kg、2.7kgであり2年の合計値で3.3kg/10aと見積もられた。これは慣行区溶脱量の1/6に当たる。このことから施肥窒素量を6～10kg/10aと慣行施肥量の1/2さらに1/3に減肥したマルチ内施肥技術は施肥窒素の溶脱を大幅に抑制できると評価できた。

なお、試験開始から1999年9月12日まで、両区とも浸透水中NO₃-N濃度が10～20mg/Lと比較的高い期間があった(第2図)。埋設型ライシメータは、採水面が地表下110cmに位置するよう土壤を掘削し、掘削土を充填して埋設する。前述の溶脱到達期間の考え方から、埋設後から積算浸透水量331mmに達するまでの期間に採水された浸透水は、ライシメータ内充填土壌及び埋設土壌が含有していた土壌水と判断される。したがって、試験開始から1999年9月までの期間における浸透水中の高濃度NO₃-Nは、ライシメータ埋設時の土壌攪乱により生じたものと考えられた。

以上のことから、マルチ内施肥による肥料窒素の溶脱抑制効果が明らかとなり、ニンジン減肥栽培に用いた場合、NO₃-N溶脱抑制対策として有効であると考えられた。

V 摘 要

埋設型ライシメータを用いて、浸透溶脱窒素量を把握することにより、マルチ内施肥によるニンジンの減肥栽培における環境負荷軽減効果の評価を行った。

1. 浸透水が土壌中を下方移動するその先端部のNO₃-NとBr⁻の浸透速度は、ほぼ同等であった。施肥窒素は積算浸透水量331mmで地表下110cmまで溶脱した。この溶脱には342日、降水量1,373mmを要した。
2. マルチ内施肥区の浸透水中NO₃-N濃度は、慣行区と比較して常に低く維持された。施肥由来の溶脱NO₃-N総量は慣行区と比較してマルチ内施肥区では1/6に減少した。
3. これらのことから慣行の全面全層施肥に対して窒素肥料を1/2さらに1/3に減肥したマルチ内施肥は慣行法と比べて同等の収量が得られ、かつ肥料窒素の浸透溶脱を抑制できる施肥法であると評価することができた。

VI 引用文献

- 岩佐博邦・大塚英一・真行寺 孝・井上 満・小林広行
(2005) セル培養土内基肥施肥によるキャベツの減窒素栽培. 千葉農総研研報, 4: 23 - 31
- 各務原市地下水汚染研究会(1990), 各務原台地の地下水汚染—その原因究明と将来予測—, 各務原市地下水汚染研究会事務局: 185 - 198
- 金子文宜(2002), 黒ボク露地畑における硝酸態窒素溶脱のモニタリング, 環境負荷を予測する. 長谷川周一・波多野隆介・岡崎正規編, 博友社: 23 - 36
- 環境省環境管理局水環境部土壌環境課 地下水・地盤環境室, "参考資料4-2 都道府県別調査結果(硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素)", 環境省(オンライン).
<http://www.env.go.jp/water/chikasui/hokoku_h1

- 3/ref04-2. pdf>
- ”表6 都道府県別調査結果(硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素)”. 環境省(オンライン).
<http://www.env.go.jp/water/chikasui/hokoku_h14/h06.pdf>
<http://www.env.go.jp/water/chikasui/hokoku_h15/h06.pdf>
- ”参考資料4-1 都道府県別調査結果(硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素)”. 環境省(オンライン).
<<http://www.env.go.jp/water/report/h17-08/ref4-1.pdf>> (参照2006/7/7)
- 環境省水・大気環境局土壌環境課 地下水・地盤環境室,”平成16年度地下水質測定結果について”. 環境省(オンライン).
<<http://www.env.go.jp/water/report/h17-08/01.pdf>> (参照2006/7/7)
- 北嶋敏和(1991). 黒ボク土壌における「にんじん」の効率的施肥. 岐阜農総研七研報. 4: 1-35
- 小財 伸(1990). 農業技術大系. 土壌施肥編. 3: 追録10号. 耕地と土壌汚染. 環境問題—土壌と活用IV: 16の11の1の6-16の11の1の14
- 熊沢喜久雄(1999). 地下水の硝酸汚染の現況. 土肥誌. 70: 207-213
- 草川知行・吉井幸子・高崎 強(1999) 条施肥畦立て機を利用したキャベツの減化学肥料栽培技術. 千葉農試研報. 40: 1-8
- 草川知行・松丸恒夫・青柳森一(2003). マルチ内施肥によるトンネル春夏どりニンジンの減肥栽培. 園学雑. 72(5): 432-439
- 松丸恒夫(2002) 千葉県における野菜の減肥栽培技術. 農業技術. 57(12): 549-553
- 松丸恒夫(2003) 肥料窒素有効利用のための施肥法. 農林水産研究ジャーナル. 26(11): 15-20
- 小川吉雄・石川 実・吉原 貢・石川昌男(1979). 畑地からの窒素の流出に関する研究. 茨城農試特研報. 4: 66-67
- 尾崎保夫・前田守弘・亀和田國彦・本島俊明・関口浩昭(2001). 畑地における硝酸態窒素等の溶脱量モニタリング技術の開発—埋設型ライシメーターを用いた黒ボク土畑での浸透水の採取—. 農業及び園芸. 76(4): 56-62
- 丸山利輔・五十崎恒・西出勤・村上康蔵・四方田穆・高橋強・三野徹(1986). 新編灌漑排水上巻. 養賢堂: 26-30
- 山本幸洋・金子文宜・尾崎保夫・大塚英一・松丸恒夫(2000). 黒ボク土における埋設型ライシメータ集水部の壁高の検討. 土肥関東大会要旨集: 36

Effect of Fertilizer Nitrogen Applied to Carrot by a Fertilizer Application Method under Plastic Mulch for the Control of Leaching

Eiichi OOTSUKA*, Fuminori KANEKO and Tsuneo MATSUMARU

Key words : Nitrate-nitrogen, Leaching, Fertilizer application method under plastic mulch, Bury-type lysimeter, carrot

Summary

A bury-type lysimeter was used to find the amount of permeating, leaching nitrogen and to assess the effect of a fertilizer application method under plastic mulch for decreasing environmental load in reduced-fertilizer cultivation of carrot.

1. When water permeated downward in soil, $\text{NO}_3\text{-N}$ and Br^- at the tip of the permeation moved at nearly the same rate. When the cumulative amount of permeation water was 331 mm, applied nitrogen reached the depth of 110 cm. The leaching took 342 days and a precipitation of 1,373 mm.
2. The $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration of the permeation water remained consistently lower in a plot of the fertilizer application method under plastic mulch than in a plot of conventional practice. Compared with the plot of conventional practice, the total amount of leaching $\text{NO}_3\text{-N}$ derived from fertilizer application decreased to one sixth in the plot of fertilizer application method under plastic mulch.
3. The fertilizer application method under plastic mulch, by which the amount of nitrogen application was decreased to one half, or even one third, of that by conventional broadcast application of fertilizer for incorporation to plow layer, yielded an equivalent harvest of carrot and could be considered a fertilizer application method that could control the permeation and leaching of fertilizer nitrogen.

*Present Address: Chiba Pest Management Center.