

黒ボク土露地畑における堆肥の施用と冬期の土壌管理が 地下浸透水中の硝酸態窒素量に及ぼす影響

吉泉裕基・中澤佳子・齋藤匡彦¹⁾

摘要 : 2007年10月から2010年12月に、黒ボク土の露地野菜畑において埋設型キャピラリーライシメーターを用いて、地下浸透水中の硝酸態窒素を継続的に測定した。処理区は夏作のみを栽培する処理区(牛ふん堆肥1t区, 同2t区, 豚ふん堆肥区, 化学肥料上乘せ区および無施用区), さらに冬作として緑肥作物(六条大麦)を作付した処理区(緑肥区)の計6処理を設けた。堆肥のみを施用した場合、浸透水中の硝酸態窒素濃度は無施用区と同程度であった。ただし、無施用区の窒素溶脱量が多く、見かけの窒素溶脱率は-20~-4%であった。夏作作物の生育および収量は化学肥料上乘せ区で最も高かったが、2009年11月から2010年7月まで浸透水中の硝酸態窒素濃度が地下水水質の環境基準値である10mg/Lを上回る時期がみられた。一方、同程度の窒素投入量である緑肥区は、3年間を通じて10mg/L未満で推移し、積算した硝酸態窒素量は化学肥料上乘せ区の17%であった。これは、冬期に六条大麦を作付したことによる影響が大きいと推察された。また化学肥料を施用しているため、生育・収量も化学肥料上乘せ区と同等かそれに次いだ。

キーワード : 黒ボク土畑, キャピラリーライシメーター, 硝酸態窒素, 牛ふん堆肥, 緑肥作物

The Effect of Application of Manure Compost and Cultivation of Green Manure Crop (Barley) on the Amount of Nitrate in Leaching Water From an Andosol Upland Field

Yuki YOSHIIZUMI, Yoshiko NAKAZAWA, Masahiko SAITOH

Summary : A study was conducted from October 2007 to December 2010 using capillary lysimeters to investigate the use of manure compost and the cultivation of green manure (barley) on the nitrogen percolation leaching water in an Andosol upland field. Please check and change as appropriate. For the examination, vegetables were cultivated in summer under six treatments (application of cattle manure compost at 1t/10a and 2t/10a, pig manure compost at 1t/10a, fertilizer added to cattle manure compost at 2t/10a, green manure crop added to application of cattle manure compost at 2t/10a and fertilizer, and non-application). Only application of manure compost at the nitrate concentration in leaching water was as well as at non-application. Under application only to manure composts, their leaching coefficients of nitrogen ranged from -20% to -4% because under non-application was the nitrogen percolation higher than. By application of fertilizer added to cattle manure at 2t/10a, the vegetable yield was the highest of the six treatments, but the nitrate concentration in leaching water was over 10 mg/L, which is the environmental standard of underground water, from November, 2009 to July, 2010. However, in the treatment adding to cultivation of green manure crop bellowed 10 mg/L during, the nitrogen percolation for three years was 17% of the treatments that application of fertilizer add to manure compost. Moreover, the yield was almost equal to that of crops to which fertilizer was applied

Key words : Andosol upland field, Capillary lysimeter, Nitrate, Cattle manure compost, Green manure crop

I 緒言

栃木県は乳用牛の飼養頭数が全国 2 位(栃木県, 2010)で全国有数の畜産県である。そのため、牛ふん堆肥を中心とした家畜ふん堆肥が豊富に存在している。

農業における家畜ふん堆肥の利用は、地力の維持や土壌の理化学性、生物性の改善に役立つものとして、以前から行われてきた。本県では、地力の維持とともに作物の生産性を確保するため、露地野菜畑地において堆肥の適正な施用量を 10a あたり現物で 1t から 2t 程度と施肥基準で示している(栃木県, 2006)。

通常、堆肥は農業生産環境を整えるための土づくりを目的として施用され、作物の生育量を確保するために化学肥料を上乗せして施用されることが多い。したがって、作物の生育に必要な窒素量よりも窒素施用量が過剰になることがある(西尾, 2002)。

土壌中では、堆肥をはじめとする有機物中の有機態窒素は土壌微生物の働きによってアンモニア態窒素や硝酸態窒素に変化する。畑地では酸化的条件下にあるため、アンモニア態窒素は硝化作用により最終的に硝酸態窒素になる。有機物の分解や施肥由来の硝酸態窒素は、マイナスに荷電している土壌粒子には吸着されずに雨水とともに地下へ浸透する(小川, 1992)。このため、過剰な窒素量を施用しつづけることは地下水汚染の危険性を高める。

黒ボク土畑地において、固液分離した牛ふん(敷料なし)を連用することによる適正な現物施用量は地下水保全を意識した場合 3.5t/10a/年と報告がある(高間・廣澤, 2008)。しかしながら、牛ふん堆肥を用いて試験を行ってはならず、作物の生産性を意識した施肥基準量はあるものの、地下浸透水への影響は十分には明らかになっていない。

また、本県は畑地の約 80%を黒ボク土が占めており(栃木県, 1978)、麦類の生産が盛んである。軽しような土壌である黒ボク土は、本県特有の冬期の北風によって風食の影響がある。しかし、麦類の作付は、冬の農地の有効利用のみならず、風食防止の効果(小松崎・鈴木, 2009)もある。また麦類は深根性であり(三木, 2000)、生育ステージが進むにつれて地下浸透水の硝酸態窒素濃度が急激に低下することも報告(鈴木・志賀, 2004)されている。これらのことから麦類の作付が土壌や地下水水質の保全につながると考えられ、その評価が必要である。

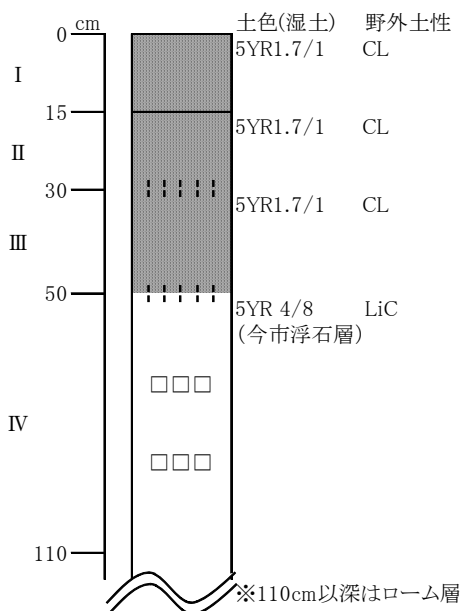
そこで、黒ボク土露地畑において堆肥の施用と冬期の土壌管理の違いが地下浸透水中の硝酸態窒素濃度に及ぼす影響を検討したので報告する。

II 試験方法

1. 土壌条件

試験は栃木県農業試験場(栃木県宇都宮市野沢町)内の露地畑圃場で行った。本圃場は、標高 170m の台地上にあり、非固結火成岩を母材とした風積土壌である。土壌統群(土壌統)は、表層多腐植質黒ボク土(七本桜統)である。土壌断面図ならびに作付前の土壌の化学性および物理性を第 1 図ならびに第 1-1 表、第 1-2 表に示す。

地表から深さ 50cm までは黒ボク土壌で、0-15cm が作土層(I 層)、15-30cm が耕盤層(II 層)、30-50cm が III 層であった。深さ 50cm から 110cm までは腐朽細小浮石礫層(今市浮石層:IV 層)が分布しており、それ以深はローム層であった(第 1 図)。リン酸吸収係数(リン吸)は、I 層から IV 層にわたって、1500 以上と高く、黒ボク土壌の特徴を表している。全炭素は黒ボク土壌で 8.6~10.4%、腐朽細小浮石礫層で 2.4%である(第 1-1 表)。また、黒ボク土壌の飽和透水係数は表層から 15cm までは 3.08×10^{-4} s/cm、深さ 15cm から 30cm までは 2.57×10^{-5} s/cm、30cm から 50cm までは 8.20×10^{-6} s/cm と下層に向かうほど飽和透水係数は小さくなり、腐朽細小浮石礫層は 8.50×10^{-5} s/cm である(第 1-2 表)。



第 1 図 供試圃場の土壌断面図

第 1-1 表 供試圃場の化学性

層位	深さ (cm)	pH (H ₂ O)	EC (dS/m)	T-N (%)	NH ₄ -N (mg/100g)	NO ₃ -N (%)	T-C (%)	C/N	Av-	Ex-	Ex-	Ex-	Ex-	CEC (me/100g)	リン吸	可給態 窒素 (mg/100g)
									P ₂ O ₅	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O			
I	0~15	5.84	0.03	0.54	0.26	0.56	8.6	15.9	15.9	331	387	26.7	3.9	37	1990	5.29
II	15~30	5.83	0.04	0.62	1.16	0.41	10.4	16.8	1.48	303	40.7	7.28	5.7	48	2400	4.45
III	30~50	5.96	0.05	0.47	0.97	0.54	8.7	18.5	0.34	265	42.2	6.97	4.6	42	2390	1.78
IV	50~110	6.05	0.06	0.16	1.27	0.72	2.4	14.8	0.25	161	28.1	16.5	7.3	37	7560	0.54

注1 I層は処理開始前における全試験区の平均値を示す(2007年10月15日採取)。

注2 Av-P₂O₅はTruog法で測定した値を用いた。

注3 IV層のリン吸は、液量が確保できなかったため、乾土5g相当に2.5%リン酸アンモニウム液を50ml加えてサンプルを得た。そのため、得られた濃度を5倍した。

第 1-2 表 供試圃場の物理性

層位	深さ (cm)	深さ 仮比重	礫根の 含有率	三相分布(pF1.5調整時)				pF0 水分	pF1.5 水分	pF2.7 水分	有効 水分	飽和 透水係数 (cm/s)
				固相	液相	気相	孔隙率					
I	0~15	0.85	4.06	34.0	48.5	17.5	66.0	66.0	48.5	41.0	7.5	3.08E+00
II	15~30	0.52	2.58	20.8	66.8	12.4	79.2	79.2	66.8	59.0	7.8	2.57E-03
III	30~50	0.52	3.28	21.2	68.0	10.9	78.9	78.9	68.0	61.9	6.1	8.20E-04
IV	50~110	0.34	11.92	12.7	67.2	20.1	87.3	87.3	67.2	58.3	8.9	8.50E-03

注1 礫根の含有率(%)は、コアサンプル中に含まれる2mm以上の有機物等の重量パーセント(対乾土)で示す。

注2 深さ110cm以深は、ローム層であった。

注3 I層のコアサンプルを採取する時に、耕起後であったため、軽く踏圧を行った。

注4 I層の採取は、2008年8月6日、II層~IV層の採取は、2010年3月19日に行った。

2. 試験区の内容

試験は、2007年10月から2010年12月までの約3年間実施し、牛ふん堆肥1t区、牛ふん堆肥2t区、化学肥料上乗せ区(牛ふん堆肥2t/10a+化学肥料施用)、緑肥区(牛ふん堆肥2t/10a+化学肥料施用+緑肥作物作付)、豚ふん堆肥区(豚ふん堆肥1t/10a施用)、無施用区の6処理を設けた(第2表)。処理区ごとの年間の処理内容および処理時期について第2図に示す。なお、2007年6月18日から9月4日までデントコーンによる均一栽培を行った。他の5区に先がけて、2007年11月から緑肥区の処理を行い、他の5つの処理区は2008年8月から処理を開始した。試験規模は1区あたり5.8m²とし、各処理につき2区制とした。なお、試験区間に1mの緩衝帯を設けた。

牛ふん堆肥のみを施用する試験区(牛ふん堆肥1t区および牛ふん堆肥2t区)は、牛ふん堆肥を夏作前に施用した。施用量は、2007年11月から2009年11月までは堆肥の水分率を50%と仮定して、10aあたり乾物0.5t分もしくは乾物1t分が入るように調整した。2010年8月施用時は、2007年11月から2009年11月までの平均窒素投入量を基にして、牛ふん堆肥1t区で14kgN/10a、牛ふん堆肥2t区で27kgN/10aとなるようにした。豚ふん堆肥区は、牛ふん堆肥1t区同様に、豚ふん堆肥を夏作前に施用した。施用量は、2008年8月および2009年5月の施

用時は乾物0.5t分が入るように調整した。2010年8月施用時は、2008年8月および2009年5月施用時の平均窒素投入量を基に、15kgN/10aとなるように施用した。

化学肥料上乗せ区は、牛ふん堆肥2t区と同量の堆肥を夏作前に施用し、加えて化学肥料を施用した。化学肥料は硫酸、過リン酸石灰、塩化カリを使用した。化学肥料の施用量ならびに施用時期は各夏作物の施肥基準に準じた。なお、堆肥の成分量を加味した減肥は行わなかった。

緑肥区は、牛ふん堆肥2t区と同量の堆肥を緑肥作物の作付前に施用し、夏作は化学肥料のみを施用して栽培を行った。なお、緑肥区以外の試験区は、当年の夏作終了後から翌年の夏作開始時までの間、裸地状態であった。夏作物の栽培時ならびに裸地状態の除草は適宜行った。

供試堆肥の成分(3年平均)の値を第3表に示す。供試した牛ふんおよび豚ふんもみから堆肥の全窒素(T-N)、全リン酸(T-P₂O₅)および全カリ(T-K₂O)は、県内におけるそれらの堆肥の成分例(栃木県、2006)と比べて各成分とも高かった(第3表)。また、窒素肥効評価マニュアル(実用技術開発事業18053マニュアル作成委員会、2010)によると、0.5M塩酸抽出窒素と酸性データージェント(AD)可溶有機物(およびAD可溶窒素)を指標とすることで、速効性窒素(施用直後から1か月までの間

に肥効が期待できる窒素分)と緩効性窒素(施用後1か月から3か月の間に肥効が期待できる窒素分)の合計量である当季に有効な堆肥中窒素を推定できることがわかっている。今回使用した堆肥は、推定AD可溶有機物が230mg/g未満で緩効性窒素がほとんどなく、0.5M塩酸抽出窒素を指標とした速効性窒素が全窒素の21~25%であった(第3表)。このことから供試した堆肥の窒素肥効は速効性窒素を主体としたものであった。

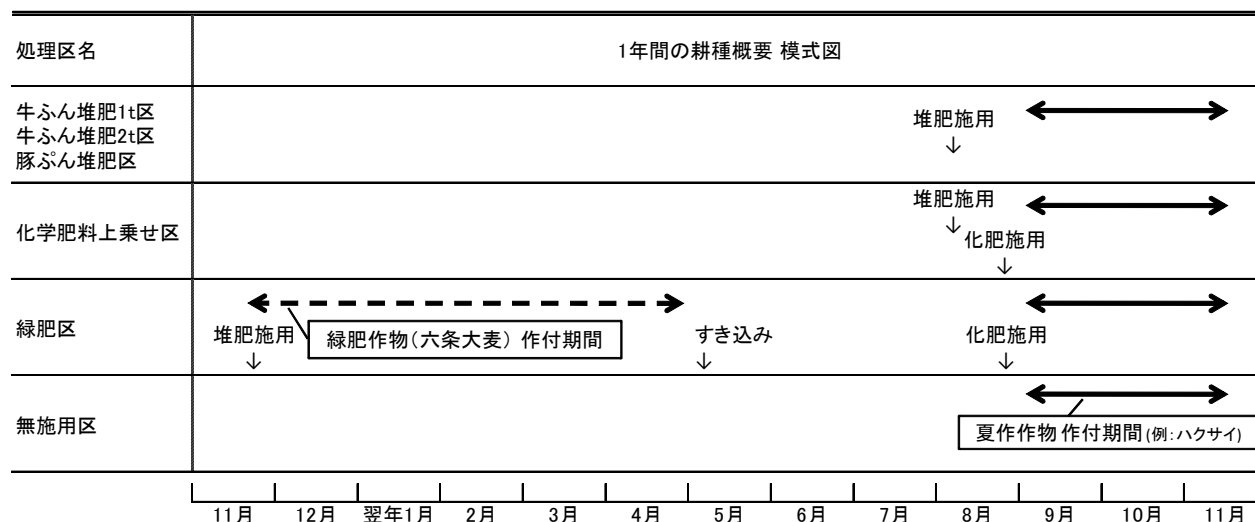
3年間での堆肥由来による窒素投入量は、牛ふん堆肥1t区で42.2kg/10a、牛ふん堆肥2t区および化学肥料上乘せ区で83.5kg/10a、緑肥区で77.2kg/10a、豚ふん堆肥区で46.3kg/10aであった。なお、化学肥料の施用量を含めた場合、化学肥料上乘せ区と緑肥区で3年間の窒素施用量150kg/10aおよび144kg/10aであった(第2表)。

3. 耕種概要

供試した夏作物(品種)は、2008年から2010年の順に、ハクサイ(大福75)、スイートコーン(味来390)、ブロッコリー(緑嶺)である。各作物ともセル苗で育苗後、南北畝として定植した。定植後の灌水は行わなかった。栽植密度は、10aあたりハクサイで3700本(畝間0.6m×株間0.45m)、スイートコーンで4800本(畝間0.7m×株間0.3m)、ブロッコリーで4200本(畝間0.6m×株間0.4m)とした。耕種概要については第4表に示す。ハクサイならびにスイートコーンの収穫は全処理区一斉に行った。ブロッコリーは約1週間の間隔で花蕾径が12cmに達したのものから順次花蕾を収穫した。花蕾収穫後も株の除去は行わず、全処理区の花蕾がおおむね収穫した後に、一斉に株の除去を行った。

第2表 処理区の内容

処理区名	処理内容	処理開始時期	2007年11月から2010年夏作終了までの窒素施用量(kg N/10a)			同左期間における堆肥中の0.5MHCl抽出窒素施用量(kg N/10a)
			夏作時		合計	
			堆肥由来	化学肥料由来		
牛ふん堆肥1t区	牛ふんおがくず堆肥1t/10a施用	2008年8月	42.2	-	42.2	8.79
牛ふん堆肥2t区	牛ふんおがくず堆肥2t/10a施用	2008年8月	83.5	-	83.5	17.4
化学肥料上乘せ区	牛ふんおがくず堆肥2t/10a+化学肥料施用	2008年8月	83.5	67.0	150.5	17.4
緑肥区	牛ふんおがくず堆肥2t/10a+化学肥料+緑肥施用	2007年11月	-	67.0	77.2	19.2
豚ふん堆肥区	豚ふんもみがら堆肥1t/10a施用	2008年8月	46.3	-	46.3	10.6
無施用区	無施用	-	-	-	-	-



第2図 処理区ごとの年間の処理内容および処理時期(2007年処理開始から2008年ハクサイ作付時を例に示す。)

第3表 供試堆肥(3年平均)の化学性

供試堆肥	水分 (%)	pH	EC (dS/m)	粗灰分 (%)				推定AD可溶有機物 ^{注3} (mg/g)			0.5M塩酸抽出窒素 ^{注4} (mg/100g)	T-Nのうち0.5M塩酸抽出窒素の割合 (%)
				T-N	T-C	C/N	T-P ₂ O ₅	T-K ₂ O				
牛ふんおがくず堆肥(夏作前施用)	48.8	9.0	4.9	26.7	2.7	38.8	14.5	3.8	6.1	139	559	21
牛ふんおがくず堆肥(緑肥作付前施用)	39.9	8.9	5.5	25.9	2.6	39.0	14.9	4.0	5.1	198	654	25
豚ふんもみがら堆肥	21.5	8.0	4.5	33.2	3.1	35.2	11.3	6.5	5.0	170	718	23
(県内の牛ふんおがくず堆肥 成分例)	62.0	-	-	-	1.8	38.4	22.0	2.1	2.4	-	-	-
(県内の豚ふんもみがら堆肥 成分例)	44.0	-	-	-	2.4	36.1	15.8	4.0	1.4	-	-	-

注1 水分は対現物、それ以外の成分は対乾物値を示す。pH, ECは試料:水=1:10で測定した。

注2 2007年11月から2010年8月までの3年分の平均値を示す。

注3 推定AD可溶有機物は2010年のものを示す。家畜ふん堆肥の肥料成分・窒素肥効評価マニュアルに基づき、過マンガン酸カリ滴定による簡易測定法で求めた。

注4 0.5M塩酸抽出窒素は現物を分析に供試した際の分析値を示す。

注5 県内の各堆肥における成分例は、農作物施肥基準(栃木県, 2006)より引用した。

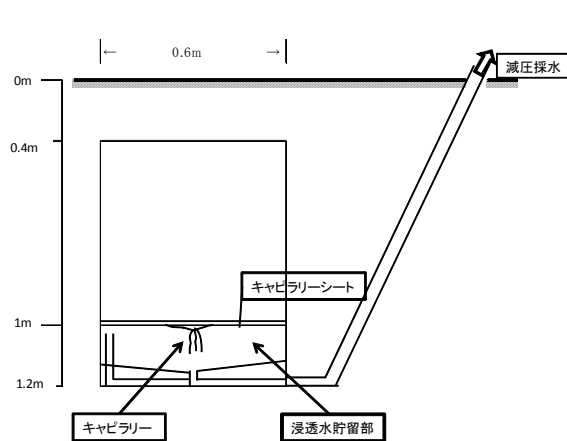
緑肥区は、さきほどの夏作物に加えて、緑肥作物(品種)として六条大麦(シュンライ)を2007年から2009年までの計3回作付した。作付期間は当年11月から翌年5月までとした。播種は、条間40cmの条播とし、作付時期が遅いため播種量を12kg/10aと標準の播種量(栃木県農政部, 2011), 7kg/10a)より多めにした。毎年5月に、刈り払い機で茎の長さが5~10cm程度になるように切り刻んだ後に、管理機ですきこんだ。

4. 浸透水の採取方法

浸透水の採取は埋設型キャピラリーライシメーター(ダイキ理化学工業: 型式 DIK-6900, 縦 30cm×横 60cm×高さ 80cm(壁高 60cm))を使用し、地表面から採水面(キャピラリーシートが位置する深さ)までが1mになるように埋設した。埋設型キャピラリーライシメーターの構造および区内の埋設位置は第3-1図, 第3-2図に示す。採水は、降水量がおおむね100mmに達する毎に行った。また、作物の栽培期間前後にも適宜採水を行った。なお、ライシメーターの埋設は2006年11月から12月に実施し、浸透水中の硝酸態窒素濃度ならびに採水量の測定は2007年10月3日から2010年12月4日まで行った。また、2007年11月に処理を開始するにあたり、ライシメーター間に採水量のばらつきがあったため、2反復の平均採水量がおおむね同量となるように処理区を配置した。

5. 生育調査, 収量調査の方法ならびに試料の採取および分析方法

調査項目は、夏作物および緑肥作物の生育・収量ならびに窒素吸収量に加えて、浸透水中の全窒素(T-N)および硝酸態窒素($\text{NO}_3\text{-N}$)の濃度および採水量とした。



第3-1図 埋設型キャピラリーライシメーターの構造

第4表 2007年緑肥作付から2010年夏作までの耕種概要

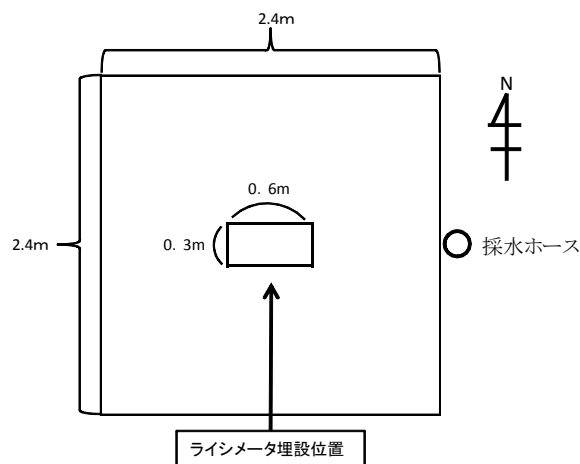
対象作物	処理	処理の年月日			
		2007年	2008年	2009年	2010年
夏作物	堆肥施用	-	8/11	5/20	8/9
	化学肥料施用	-	8/27	5/20	8/9
	定植	-	9/8	5/28	8/17
	追肥	-	9/27	7/7	9/1,10/19
	収穫	-	11/19	7/30	11/5~12/1
	持ち出し	-	11/19	8/6	12/2
緑肥作物	播種	11/19	11/26	11/20	-
	堆肥施用	11/19	11/26	11/20	-
	すきこみ	翌年5/1	翌年5/1	翌年5/6	-

注1 2009年スイートコーン栽培時に切れ目の入ったマルチを5月21日から8月5日まで張った。
注2 2010年ブロッコリーの収穫は、およそ7日間隔で行った。

1) 夏作物ならびに緑肥作物の生育および収量

各夏作物の収穫時における生育および収量を次のとおり調査した。なお、いずれの年も区の周囲1株分を番外として設定し、調査対象株から外した。2008年ハクサイ作付時は、調査対象株を1区あたり6株とし、調査項目として全重、調整重を調査した。2009年トウモロコシ栽培時は、1区あたり12株を調査対象とし、調査対象項目は稈長、分けつ数、主茎重、皮付きの雌穂重とした。皮付きの雌穂重は、各株の主茎にある雌穂1つを調査対象とした。2010年ブロッコリー栽培では、1区あたり8株を調査対象とし、調査対象項目は、調整時の花蕾重、花蕾を除く株重(調整残さの重量を含む)を調査した。花蕾の調整は、花蕾頂部から高さ17cmになるように茎を切り、花蕾に付いている葉を花蕾の外縁に沿って切りそえた。なお、いずれの作物も病害等の影響のない個体を調査の対象とした。

緑肥区の緑肥作物についても2009年および2010年にすきこみ直前の生育量を調査した。項目は2年間とも共通して全重および生育ステージを調査し、2010年は加えて稈長を調査した。1区6条のうち内部の4条で調査し、両端から30cm分を番外とした。



第3-2図 区内におけるライシメーターの埋設位置

2) 夏作物ならびに緑肥作物の水分率および窒素含有率

夏作物の水分率は、作ごとに区内で平均的な2~3個体を選び、70℃の通風乾燥機内で2日以上乾燥後に求めた。また緑肥作物の場合は、1区につき2条から長さ50cm分を同様に乾燥して求めた。水分計測後、乾燥した作物体を微粉砕し、分析試料に供試した。作物体の窒素含有率は、ガニング変法により分解後、水蒸気蒸留法で測定した。

3) 浸透水中の窒素濃度

浸透水中のT-Nは、ろ過せずにアルカリ性ペルオキシ二硫酸カリウム分解—紫外線吸光光度法により測定した。NO₃-N濃度は0.2μmのメンブレンフィルターでろ過後、イオンクロマトグラフ(DIONEX社:IC25 Ion Chromatograph)を用いて測定した。

4) 土壌の理化学性および堆肥の化学性

処理開始前の土壌の物理性および化学性は、土壌、水質及び植物体分析法(財団法人日本土壌協会, 2001)ならびに土壌環境分析法(土壌環境分析法編集委員会編, 1997)に準じて測定した。堆肥の成分分析については、堆肥等有機物分析法(財団法人日本土壌協会, 2000)ならびに家畜ふん堆肥の肥料成分・窒素肥効評価マニュアル(実用技術開発事業 18053 マニュアル作成委員会, 2010)に準じた。

5) 降水量

降水量は、気象庁の宇都宮気象台の観測データを利用した。

III 結果および考察

1. 2008年から2010年までの夏作物の生育、収量ならびに窒素吸収量

1) 3年間の夏作物の生育および収量

2008年から2010年までの3年間における夏作物の生育および収量を第5表に示す。

堆肥のみを施用した試験区(牛ふん堆肥1t, 2t区および豚ふん堆肥区)は、2010年の豚ふん堆肥区を除き、3作とも化学肥料上乗せ区に比べて収量指数が小さかった(第5表)。ブロッコリーの花蕾重は茎葉重および花蕾成熟時の茎径と相関が高い(藤目ら, 2004)。しかしながら、2010年の豚ふん堆肥区は、花蕾を除く株重に対する花蕾重の割合が、同程度の生育を示した牛ふん堆肥1t区よりも大きかった(第5表)。これは2010年の作期中の気温が平年よりも高く推移した(気象庁, 2010)ことに加えて、豚ふん堆肥区において花蕾径が12cmに満たないもの、大きくなった花蕾を翌週の収穫分として先延ばしたものがあり、一部の花蕾が生長しすぎたためと考えられる。また、牛ふん堆肥2t区の収量は1t区に比べて1割程度増加したが、施用量の違いによる収量の差は小さかった。

牛ふん堆肥2t/10a施用へさらに化学肥料を上乗せする(化学肥料上乗せ区)と、生育が最も旺盛になり、ハクサイの全重や結球重、ブロッコリーの株重は牛ふん堆肥2t区に比べて5割程度増加した。スイートコーンやブロッコリーの収量は1割ほど増し、スイートコーンの分けつも2割ほど増加した(第5表)。

第5表 有機物の連用と土壌管理の差異が3年間の夏作物の生育および収量に及ぼす影響

処理区名	2008年 ハクサイ			2009年 スイートコーン				2010年 ブロッコリー		
	全重 (t/10a)	結球重 ^{注1}	同左 指数	稈長 (cm)	分けつ 数 (本/株)	皮付き 雌穂重 ^{注2} (kg/10a)	同左 指数	花蕾を除く 株重 ^{注4} (kg/10a)	花蕾重 ^{注3}	同左 指数
牛ふん堆肥1t区	8.17	4.99	57	152	1.1	1319	75	3920	943	83
牛ふん堆肥2t区	8.74	5.52	63	161	2.1	1556	89	5172	1003	88
化学肥料上乗せ区	13.1	8.81	100	162	2.5	1757	100	7619	1141	100
緑肥区	9.75	6.44	73	161	1.5	1805	103	6177	1078	94
豚ふん堆肥区	8.00	4.92	56	152	1.5	1432	81	3794	1345	118
無施用区	7.30	4.71	53	137	0	936	53	1899	777	68

注1 結球重は外葉を除いて調整した時の重さを示す。

注2 皮付き雌穂重は主雌穂の苞葉と穂柄を含めての重さを示す。なお、主茎の雌穂1つを収穫対象としたため、分けつものは収量に含まれていない。

注3 花蕾重は花蕾頂部から高さ17cmになるように茎を切り、葉は花蕾の外縁に沿って切りそろえた時の重さを示す。

なお、頭頂部の花蕾を収穫対象とし、腋芽のものは収量に含まれていない。

注4 花蕾を除く株重は、調整残さの重さを含む。

注5 作物(品種)ごとの栽植密度はハクサイ(大福75)3.7株/m²、スイートコーン(味来390)4.8株/m²、ブロッコリー(緑嶺)4.2株/m²とした。

注6 収量指数は同年の化学肥料上乗せ区を100とした。

緑肥区の収量はスイートコーンおよびブロッコリーで化学肥料上乘せ区とおおむね同程度の収量（収量指数103および94）が得られた（第5表）。これは、化学肥料上乘せ区と同様、夏作前の化学肥料の施用によるものと考えられる。一方、ハクサイでは同指数が73と落ち込んだ（第5表）。施肥基準（栃木県，2006）によれば、ハクサイの目標収量は10a当たり6tである。化学肥料上乘せ区に比べ収量は劣るものの、目標収量を上回っていることから、緑肥区においても十分な生育量が確保されていたと考えられる。

なお、無施用区の生育はいずれの年も他の試験区を大きく下回り、収量も化学肥料上乘せ区の5割から6割程度であった（第5表）。

2) 2年間の緑肥の生育量および窒素吸収量

2009年および2010年5月に採取した六条大麦の生育および窒素吸収量を第6表に示す。

2008年11月に播種した緑肥（2009年すきこみ分）の窒素吸収量は11.8kg/10aであったが、2009年播種（2010年すきこみ分）は生育が劣り10kgを下回った（第6表）。なお、2007年に播種した緑肥の調査は実施しなかったが、達観で2008年播種したものと同程度の生育を示していた。

3) 3年間の夏作物および緑肥作物の窒素吸収量およびみかけの窒素利用率

3か年の夏作物および緑肥作物の窒素吸収量およびみかけの窒素利用率を第7表に示す。なお、緑肥区は、2008年すきこみ分の緑肥の窒素吸収量を過去2年間の緑肥の窒素吸収量（第6表）および2008年すきこみ時の生育の様子から10kgN/10aと見積もり、3か年合計の窒素吸収量（計31kg/10a）を窒素施用量と作物の窒素吸収量との両方へ加算した（緑肥区については第9表、第7図および第8図においても以下同様の試算および加算を行っている）。

夏作物の窒素吸収量は収量とおおむね同様の傾向がみられ、化学肥料上乘せ区>緑肥区>牛ふん堆肥2t区=豚ふん堆肥区>牛ふん堆肥1t区>無施用区の順が多かった。みかけの窒素利用率は緑肥区で36.4%ともっとも高くなった。これは、六条大麦（緑肥作物）による窒素吸収量（2008年、2009年および2010年すきこみ分の合計31kg/10a）を含めたためである。窒素投入量から窒素吸収量を差し引いたものを圃場内に残存する溶脱可能な窒素分とみなすと、化学肥料上乘せ区は3年間で70.2kg/10a、緑肥区で同79.7kg/10aと高く、牛ふん堆肥1t区および豚ふん堆肥区で5.2kg/10aおよび1.3kg/10aと低かった（第7表）。

第6表 2年間の緑肥の生育量および窒素吸収量

処理区名	2009年すきこみ		2010年すきこみ		2年間の合計 窒素吸収量 (kg/10a)	
	生重 (kg/10a)	窒素吸収量 (kg/10a)	稈長 (cm)	生重 (kg/10a)		窒素吸収量 (kg/10a)
緑肥区	4309	11.8	90.8	3650	9.16	21.0

注1 2008年すきこみ時の緑肥は調査を行っていない。

注2 2009年および2010年すきこみ時の生育ステージは穂揃期であった。

第7表 有機物の連用と土壌管理の差異が夏作物および緑肥作物の窒素吸収量およびみかけの窒素利用率に及ぼす影響

処理区名	窒素投入量				窒素吸収量				みかけの 窒素吸収量	差し引き (A)-(B)	みかけの 窒素利用率	窒素 回収率	
	堆肥	化学肥料	緑肥	合計(A)	ハクサイ	スイートコーン	ブロッコリー	緑肥					合計(B)
	(kg/10a)												
牛ふん堆肥1t区	42.2	0	0	42.2	15.0	7.7	14.3	0	37.0	5.3	5.2	12.5	87.7
牛ふん堆肥2t区	83.5	0	0	83.5	17.1	9.4	19.9	0	46.4	14.7	37.0	17.6	55.6
化学肥料上乘せ区	83.5	67.0	0	150.5	26.4	17.7	36.2	0	80.4	48.6	70.2	32.3	53.4
緑肥区	77.2	67.0	31.0	175.2	19.1	14.7	30.8	31.0	95.5	63.7	79.7	36.4	54.5
豚ふん堆肥区	46.3	0	0	46.3	17.7	8.1	19.1	0	45.0	13.2	1.3	28.6	97.3
無施用区	0	0	0	0.0	14.7	4.2	12.9	0	31.8	-	-31.8	-	-

注1 窒素吸収量は、植物体および収穫部位を含めた全体重量(乾物)に窒素含有率(対乾物値)を掛け合わせて算出した。ただし、トウモロコシの窒素吸収量に分げつの分を含めていない。

注2 緑肥の窒素投入量および窒素吸収量は、2009年度および2010年度すきこみ分の合計値(21.0kg/10a)に、2008年度すきこみ分を10kg/10aと見積もって加算した値を示す。

注3 みかけの窒素利用率は、対象試験区のみかけの窒素吸収量(窒素吸収量から無施用区の窒素吸収量を差し引いた値)を対象試験区の窒素投入量で除して100をかけて求めた。

注4 窒素回収率は、処理区の窒素吸収量を窒素投入量で除して100をかけて算出した。

第 8 表 有機物の連用と土壌管理の差異が積算採水量および浸透率に及ぼす影響

処理区名	積算採水量 (C) (mm)	浸透率 (%)	期間別の積算採水量		期間別の浸透率		年間採水量 (mm)
			緑肥作付期間 (A)	同左期間以外 (B)	緑肥作付期間 (A)/(C) × 100	同左期間以外 (B)/(C) × 100	
			(mm)		(%)		
牛ふん堆肥1t区	3950	77.3	1269	2681	32	68	1245
牛ふん堆肥2t区	4366	85.5	1334	3032	31	69	1376
化学肥料上乘せ区	3683	72.1	1205	2478	33	67	1161
緑肥区	3125	61.2	826	2299	26	74	985
豚ふん堆肥区	3888	76.1	1209	2680	31	69	1226
無施用区	4031	78.9	1345	2686	33	67	1271

注1 浸透率は、積算採水量を積算降水量で除して100をかけて求めた。

注2 積算採水量の期間は、2007年10月3日から2010年12月4日までとした。

同期間(1158日間)、積算降水量は5108.5mmであった。

注3 緑肥作付期間の浸透量は以下の日付に採水したものを使用した。

2008年:1/15, 4/22, 5/22, 12/18, 2009年:2/2, 3/16, 4/22, 6/1, 2010年:3/2, 3/29, 4/21, 5/5, 6/1。

注4 年間採水量は、積算採水量(mm)を365日換算したときの値を示す。

2. 2007年から2010年までの浸透率ならびに地下浸透水中における硝酸態窒素濃度の変動と積算窒素浸透量

1) 栽培期間中における埋設型キャピラリーライシメーターの浸透率

ライシメーター試験では、畑土壌における硝酸態窒素の溶脱量は、浸透水量にほぼ比例することが報告されている(小林, 1991)。その浸透水量は、主に降水量に影響されると考えられる。そこで、2007年10月3日から2010年12月4日までの各処理区における浸透率を第8表に示す。

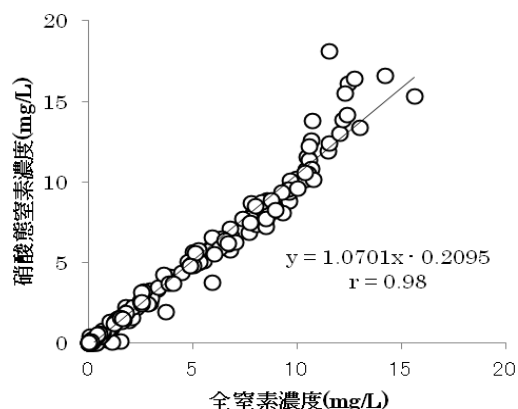
年間降水量は2007年1320.5mm, 2008年1596.5mm, 2009年1394mm, 2010年1718mmと年ごとの変動は大きかったが、平均で1507mmとおおむね平均(1450mm)並みであった。

浸透率は処理区によって61.2%~85.5%と変動した。特に緑肥区は他の処理区よりも浸透率が低かった(第8表)。これは緑肥作付期間の積算採水量が他の処理区よりも少ない(第8表)ことから、これは冬期の土壌管理の違い(六条大麦の作付の有無)に由来すると考えられた。

ただし、黒ボク土畑において埋設型ライシメーターを用いた時の浸透量は、降水量の半分程度であることがわかっている(尾崎ら, 2001)。本試験で作物の栽培時に灌水を行うようなことはなかったため、浸透率が通常よりも高い理由は分からなかった。

2) 浸透水中の全窒素と硝酸態窒素濃度

地下浸透水中の全窒素濃度と硝酸態窒素濃度との関係を第4図に示す。正の相関がみられ、全窒素のほぼすべてが硝酸態窒素であった(第4図)。



第4図 浸透水中の全窒素濃度と硝酸態窒素濃度との関係

3) 約3年間における地下浸透水中の窒素濃度の変動

2007年10月から2010年12月までの硝酸態窒素の濃度の変動および降水量を第5図、第6図に示す。

処理区全体を通じて、日降水量が多い時期に硝酸態窒素濃度が高まる傾向があった(第5図、第6図)。

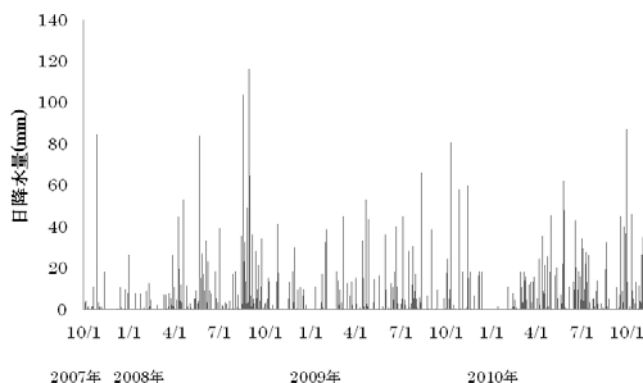
無施用区は2008年8月から同年11月にかけて地下水水質の環境基準値(亜硝酸態窒素および硝酸態窒素濃度を含め10mgN/L)を超過する時期がみられた。超過した時期のピークは、処理開始前後の牛ふん堆肥2t区や化学肥料上乘せ区等においても同様にみられた。また、その後、2010年においても無施用区で夏期に濃度のピークがみられたが、10mgN/Lを下回った(第5図)。

無施用区に代表されるように2008年の基準値を超過した時期は、緑肥区を除く試験区で処理を開始する前後にあたる。野菜+麦栽培時の黒ボク土露地畑において硫酸

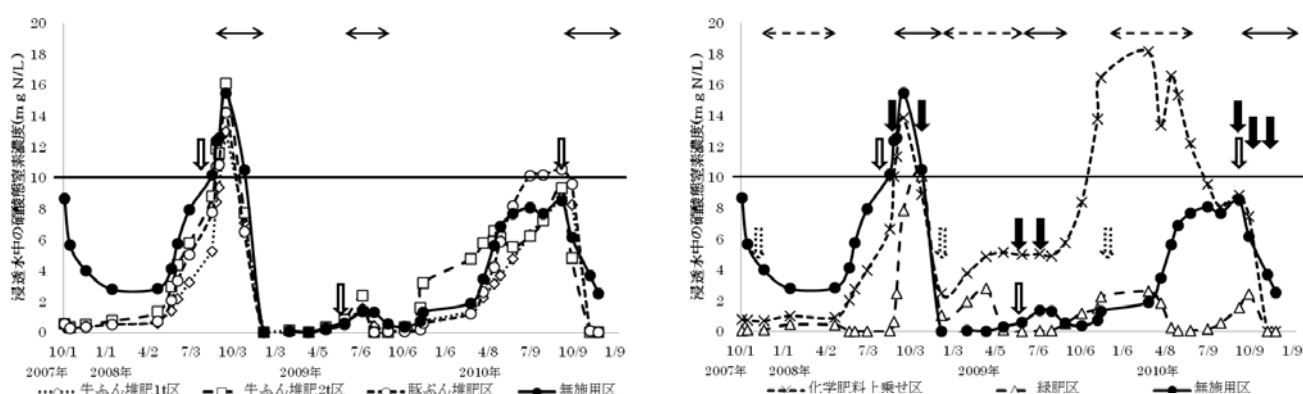
系肥料を使用した場合、硝酸態窒素は明瞭なピークを形成しながら下降し、およそ1年後に深さ100cmに達する(亀和田, 1995). また、宮崎(2000)の報告では、作土に施用した窒素分が硝酸態窒素として地下に浸透する速度は、年間浸透水量から試算して、年間107cmと求められている。これらの報告から、浸透水中の硝酸態窒素は年間およそ1m程度の浸透速度で下降すると推測される。このため、本試験において2008年の超過した時期の硝酸態窒素濃度のピークは、2007年の処理を開始する前の地力窒素由来の硝酸態窒素が溶脱したものと推察される。また、処理開始前でありながら環境基準値を一時的に超過したが、これはライシメーター埋設時の土壌の攪乱によって土壌有機物の無機化が促進されたことや過去の農地管理(自然植生状態やサツマイモ等の栽培)による影響を受けたためと考えられる。

牛ふん堆肥1t区、2t区および豚ふん堆肥区は、無施用区とほぼ同様の硝酸態窒素濃度および変動パターンであった(第5図左)。例えば、牛ふん堆肥2t区における見かけの窒素吸収量は、3年間で14.7kg/10a(第7表)であり、0.5MHC1抽出窒素を指標とした当季に有効な窒素施用量(速効性窒素)は同様に17.4kg/10aであった(第2表)ことから、作物が堆肥の速効性窒素量をおおむね吸収したと考えられる。このことから、堆肥由来の窒素のうち流亡しやすい速効性の窒素分が作物に吸収されているため、堆肥を施用したが浸透水中の硝酸態窒素濃度が無施用区と同程度になったと推察される。

化学肥料上乗せ区は2009年11月から2010年7月までの間、環境基準値を超過した(第5図右)。上沢(1998)によれば、火山灰土壌の野菜畑の窒素環境同化容量(=窒素の投入量に対する吸収量を毎年50%以上に維持しながら、流出水中の硝酸態窒素平均濃度を10mg/L以下とする(上沢, 1993)条件を満足させる年間または作付体系1サイクルの窒素投入量のこと)はha当たり作付回数のない東日本で約250kg、作付回数の多い西日本では約350kgと推定されている。今回堆肥と化学肥料を上乗せした時の1作(1年)当たり平均窒素投入総量は、haあたり約500kgで、東日本における野菜畑の窒素環境容量の2倍であった。このため、化学肥料上乗せ区において、硝酸態窒素濃度が一時的に環境基準値を超過したものと考えられる。



第6図 採水期間中(2007/10/3~2010/12/4)の降水量



第5図 有機物の連用と土壌管理の差異が3年間の浸透水中硝酸態窒素濃度の変動に及ぼす影響

(左)無施用区、牛ふん堆肥および豚ふん堆肥のみを施用した区の場合

(右)無施用区、化学肥料上乗せ区および緑肥区の場合

注: \longleftrightarrow は当年の夏作物, $\leftarrow - \rightarrow$ は当年の緑肥作物の栽培期間をそれぞれ示す。

\Downarrow は緑肥区以外の堆肥施用時期, \Downarrow は緑肥区の堆肥施用時期, \Downarrow は化学肥料施用時期を示す。

なお、直線は硝酸態窒素濃度が10mgN/Lのところを示す線である。

一方、緑肥区は 3 年間を通して硝酸態窒素濃度が 10mgN/L を上回ることはなかった。特に緑肥栽培時は、毎年播種後、翌年 3 月に硝酸態窒素濃度の低下がみられ、すきこみ後も同年 6 月から 7 月頃まで浸透水中の硝酸態窒素がほとんど検出されなかった(第 5 図右)。麦類は深根性であり、制限土層がなければ地表から 1m 以上の根を張ることが知られている(三木, 2000)。このことから、麦の生育に伴って根が伸長したことによって、浸透水中の硝酸態窒素が低下したものと考えられる。

また、いずれの処理区も夏作物の栽培期間の後半に浸透水中の硝酸態窒素濃度が低くなる傾向がみられた(第 5 図左, 右)。この現象も麦と同様に、作物の生育に伴う根張りの拡大によるものと推察される。

4) 約 3 年間における地下浸透水中の積算硝酸態窒素量

2007 年 10 月から 2010 年 12 月までの積算硝酸態窒素量および平均硝酸態窒素濃度を第 9 表に示す。積算硝酸態窒素量は、採水時の地下浸透水中の硝酸態窒素濃度と採水量の積から窒素量を求め、約 3 年間の合計値を算出した。また、平均硝酸態窒素濃度は、積算硝酸態窒素量を約 3 年間の積算採水量で除して求めた。なお、すでに述べたように無施用区(圃場自体)の浸透水中の硝酸態窒素濃度が環境基準値を超過したことから、処理による見かけの窒素溶脱量を過小評価している可能性があるが、処理区ごとに約 3 年間の窒素浸透量の結果を述べる。

浸透水中の積算硝酸態窒素量は、堆肥のみを施用した処理区(牛ふん堆肥 1t, 2t 区および豚ふん堆肥区)は 12.9 ~ 18.1kgN/10a であり、無施用区(21.3kgN/10a)を下回った。このため、見かけの窒素溶脱率がマイナスの値になった(第 9 表)。

前田(2004)の報告によれば、豚ふん堆肥(80kgN/10a/年)のみを 9 年間連用し、スイートコーンとハクサイ(またはキャベツ)を毎年栽培した結果、土壤溶液中の硝酸態窒素濃度は、最初の 3 年は無肥料区と同レベルであったが、4 年目以降徐々に上昇し 6 年目には化学肥料(40kgN/10a/年)施用と同レベルの濃度になった。これは、堆肥の連用によって土壤に蓄積した窒素が徐々に無機化し、その一部が作物に吸収されずに硝酸性窒素として溶脱したためと述べている。また、黒ボク土露地野菜畑において 3 年 9 か月間、延べ 9 作物の作付体系を通じた牛ふんおがくず堆肥由来窒素の分配を、ライシメーターを用い、¹⁵N トレーサー法で調査したところ、投入した堆肥窒素の積算溶脱割合は 1.15%であった(大橋・伏野, 2003)。これらのことから今回のように 3 年程度の短い期間では堆肥の連用効果による窒素溶脱量を把握することは難しかったと考えられる。

化学肥料上乗せ区は、浸透水中の積算硝酸態窒素量が 27.1kgN/10a と最も多かったが、おおむね同程度の窒素投入量である緑肥区は 4.5kgN/10a と化学肥料上乗せ区の 17%程度の窒素浸透量であった。ただし、浸透水中の平均硝酸態窒素濃度は、どの処理区も 10mg/L を超過しなかった。また、採水期間(1158 日間)における浸透水中の積算浸透量を 1 年(365 日)で除して、年間の硝酸態窒素浸透量を求めたところ、1.4~8.5kg/10a/年であった(第 9 表)。

第 9 表 有機物の連用と土壤管理の差異が浸透水中の積算硝酸態窒素量に及ぼす影響

処理区名	合計		N投入量 (kgN/10a)	浸透水中の 積算硝酸態窒素量	同左割合	みかけの 窒素利用率 (%)	みかけの 窒素溶脱率	積算採水量 (mm)	浸透率 (%)	浸透水中の 平均硝酸態窒素濃度 (mgN/L)	年間の 硝酸態窒素浸透量 (kgN/10a/年)
	窒素投入量	窒素吸収量									
牛ふん堆肥1t区	42.2	37.0	5.2	12.9	48	12.5	-20.0	3950	77.3	3.27	4.1
牛ふん堆肥2t区	83.5	46.4	37.0	18.1	67	17.6	-3.9	4366	85.5	4.14	5.7
化学肥料上乗せ区	150.5	80.4	70.2	27.1	100	32.3	3.8	3683	72.1	7.36	8.5
緑肥区	175.2	95.5	79.7	4.5	17	36.4	-9.6	3125	61.2	1.45	1.4
豚ふん堆肥区	46.3	45.0	1.3	16.7	62	28.6	-10.0	3888	76.1	4.30	5.3
無施用区	0	31.8	-31.8	21.3	79	-	-	4031	78.9	5.29	6.7

注1 浸透率は、積算採水量を積算降水量で除して100をかけて求めた。

採水期間は、2007年10月3日から2010年12月4日までとした。

なお、積算降水量は、同採水期間内における気象庁の降水量データを使用し、その値は5108.5mmであった。

注2 みかけの窒素溶脱率は、該当する処理区の積算硝酸態窒素量から無施用区の積算硝酸態窒素量を差し引き、その値を該当する試験区の窒素投入量で除して100をかけて算出した。

注3 浸透水中の平均硝酸態窒素濃度は、浸透水中の積算硝酸態窒素量を積算採水量で除して1000をかけて求めた。

注4 年間の硝酸態窒素浸透量は、浸透水中の積算硝酸態窒素量(1158日間の合計量)を365日に換算したものである。

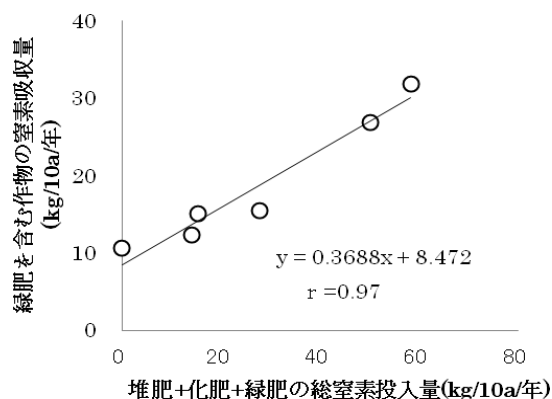
注5 緑肥区の窒素投入量および窒素吸収量は、2009年度および2010年度すきこみ分の合計値(21.0kg/10a)に、2008年度すきこみ分を10kg/10aと見積もって加算した値を示す。

3. 作物の生育収量と窒素溶脱量との関係について

1) 窒素投入量と作物の窒素吸収量との関係

前述のとおり、作物の生育・収量と窒素吸収量との間で、処理区間の順位がおおむね同様の傾向にある(第5表, 第7表)。そこで、窒素吸収量を作物の生育指標として使用し、堆肥、緑肥および化学肥料の窒素施用量と作物の窒素吸収量との関係を第7図に示す。関係をみると正の相関があり、窒素投入量が増加するに従って窒素吸収量が直線的に増加した。つまり、施用した窒素量の増加に伴って生育・収量が増加していた(第7図)。

ただし、堆肥のみを施用した場合では生育および収量が化学肥料上乗せ区に対して56~89%程度にとどまった(第5表)。これは、窒素の施肥基準量が各作で22kg前後であるのに対して、当区に有効な堆肥由来窒素が最大で5.8kg(牛ふん堆肥2t区:3作合計17.4kgN/10a, 第2表)程度であることから、堆肥のみの窒素量では生育に必要な窒素量が確保できなかったためと考えられた。

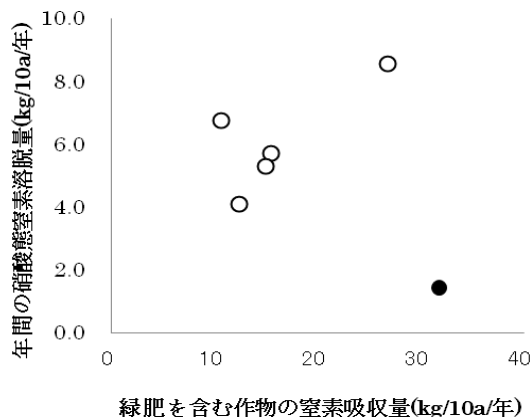
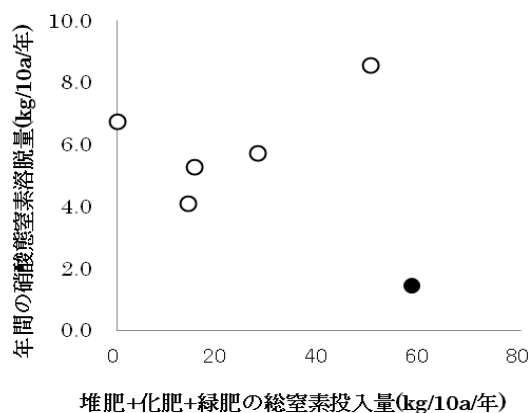


第7図 堆肥、緑肥および化学肥料由来の窒素投入量と作物の窒素吸収量(緑肥分を含む)との関係

2) 窒素投入量、窒素吸収量と窒素溶脱量との関係

堆肥、緑肥および化学肥料の窒素投入量と年間の硝酸態窒素浸透量との関係を第8-1図に、また作物の窒素吸収量と年間の硝酸態窒素浸透量との関係を第8-2図に示す。

鈴木・志賀(2004)によれば、黒ボク土畑において硝酸性窒素の溶脱量は、堆肥と施肥窒素の合計投入窒素量の増加に対して直線的に増加することが報告されている。今回の試験結果では黒丸で示す緑肥区を除き、作物の窒素吸収量の増加(堆肥、緑肥および化学肥料由来の窒素施用量の増加)に伴って、窒素溶脱量が増加するようにみえた(第8-1図, 第8-2図)。これは、本試験の場合、緑肥区でのみ冬期の作付があり、先の報告のように全試験区において同一の栽培をおこなった場合と異なったため、窒素投入量の増加に対して窒素溶脱量が増加しなかったと考えられた。一方、緑肥区(黒丸)においては窒素吸収量を高く維持したまま、窒素の溶脱量を低く抑えることができていた(第8-2図)。つまり、作物の収量を高く維持しながら、窒素溶脱量を少なくできることが示唆された。



第8-1図(左) 堆肥、緑肥および化学肥料由来の窒素投入量と年間の硝酸態窒素溶脱量との関係

第8-2図(右) 作物の窒素吸収量(緑肥分を含む)と年間の硝酸態窒素溶脱量との関係

※年間の硝酸態窒素溶脱量は約3年間(1158日間)の積算硝酸態窒素溶脱量を1年(365日)で除したものである。

●は緑肥区のものを示す。

3) 緑肥区における冬期とそれ以外の期間の窒素溶脱量の違い

前述のとおり、緑肥区の窒素溶脱量は同程度の窒素投入量がある化学肥料上乘せ区の 17%程度と特に少ない(第 9 表)ことから、緑肥作付期間とそれ以外の期間との硝酸態窒素の積算浸透量に差があるか、第 10 表にとりまとめた。化学肥料上乘せ区は緑肥作付期間(冬期)の窒素浸透量が、9.2kg/10a(浸透量全体の 34%)と他の処理区よりも多かった。これは夏作の余剰窒素が浸透したものと考えられる。一方、緑肥区は緑肥作付によって同期間における浸透量が 0.7kg/10a とほとんど溶脱していなかった。また緑肥作付期間以外の浸透量も他の処理区より少なかった(第 10 表)。三木(2002)は、葉茎菜主体の露地野菜・畑作物輪作畑で秋まきコムギを作付することで、秋まきコムギの窒素吸収根域外の 150cm 以深に流出する浸透水の硝酸態窒素濃度は数 mg/L 以下まで低下し、この低濃度の傾向は翌年ないし翌々年の前半程度まで継続したと報告している。六条大麦を供試し、緑肥としてすきこんでいる点や採水深度が異なるが、本報告と同様の結果が得られた。加えて三木(2002)は、窒素吸収根域の深い作物により下層に残存する無機態窒素を回収すると、その土層に硝酸態窒素が新たに加わるまで浸透水中の硝酸態窒素は低く維持できることになると述べている。このことから、冬期に六条大麦を作付することによって、前作の余剰窒素に加え、土層中にある硝酸態窒素を吸収することで、緑肥としてすきこみ後も溶脱する硝酸態窒素量を全期間にわたって減少させているものと推察される。同時にこのことは、浸透率を他の処理区よりも低くしている(第 8 表)理由とも考えられた。

また、緑肥区は他の処理区と異なり、堆肥を秋に施用している。堆肥の分解は温度に影響され、一般的に土壌微生物の活性が高まる夏作の方が、冬作よりも窒素成分の発生量が多い(藤原, 2003)。このため、秋施用による無機化窒素量の低下に伴う硝酸態窒素の溶脱抑制効果もあったものと推測される。しかし、緑肥の影響があったため本試験では明確には分からなかった。

以上のことから、堆肥のみを 3 年間施用した場合、浸透水中の硝酸態窒素濃度は、無施用区とほぼ同程度であった。しかし、圃場自体の窒素溶脱量が高めと考えられることに加え、堆肥の連用期間が短かったために、連用効果による窒素溶脱量の把握は難しかった。一方、冬期の緑肥用麦の作付によって、浸透水中の硝酸態窒素濃度を環境基準値未満に抑えながら、夏作物の生育・収量を化学肥料上乘せ区とおおむね同程度に維持できることが明らかになった。今後は、堆肥および緑肥の長期的な連用に伴う浸透水中の硝酸態窒素量の増減を把握するとともに、麦類のような深根性作物を栽培体系に導入した場合の窒素溶脱量を評価することが必要と考えられる。

謝 辞

本試験の実施にあたり、本場 環境技術部 環境保全研究室の皆様には多大なるご協力をいただいた。特に鈴木聡 環境保全研究室長からは本報告をまとめるにあたり貴重なご助言を、星野洋子 技査には本試験にかかる分析の補助をしていただいた。ここに記して厚くお礼申し上げます。

第 10 表 緑肥作付期間とそれ以外の期間における 3 年間の積算窒素浸透量および浸透割合

処理区名	緑肥 作付期間 ^{注1}	同左期間 以外	積算窒素 浸透量	緑肥作付期間の 浸透割合	それ以外の期間の 浸透割合
	(A)	(B)	(C)	(A)/(C)×100	(B)/(C)×100
(kg/10a)					
牛ふん堆肥1t区	1.9	11.0	12.9	15	85
牛ふん堆肥2t区	3.7	14.4	18.1	21	79
化学肥料上乘せ区	9.2	17.9	27.1	34	66
緑肥区	0.7	3.8	4.5	16	84
豚ふん堆肥区	2.9	13.8	16.7	17	83
無施用区	4.1	17.2	21.3	19	81

注1 緑肥作付期間の浸透窒素量は以下の日付に採水したものを使用した。

2008年:1/15、4/22、5/22、12/8

2009年:2/2、3/16、4/22、6/1

2010年:3/2、3/29、4/21、5/5、6/1

IV 引用文献

- 土壌環境分析法編集委員会編 (1997) 土壌環境分析法 :1-427
- 藤目幸擴・河野信・松山幸雄・田中喜一・林英明 (2004) ブロッコリー 野菜園芸大百科 第2版 16 キャベツ/ハナヤサイ/ブロッコリー :371-373, 407
- 藤原俊六郎 (2003) 堆肥のつくり方・使い方 原理から実際まで :96
- 実用技術開発事業 18053 マニュアル作成委員会(2010) 家畜ふん堆肥の肥料成分・窒素肥効評価マニュアル :1-172
- 亀和田國彦 (1995) 黒ボク土露地畑での水分および硝酸イオンの周年的垂直移動 栃木農試研報 43 : 19-34
- 気象庁 (2010) 宇都宮気象台 2010年8月-11月ならびに平年の月平均気温データ
- 小林義之 (1991) 家畜ふん尿の農地施用と環境保全 化学と生物 29 (5) : 312-319
- 小松崎将一, 鈴木光太郎 (2009) カバークロップの播種時期および播種量と土壌風食抑制効果 農作業研究 44(4) : 189-199
- 前田守弘 (2004) 硝酸性窒素による地下水汚染と肥培管理 圃場と土壌 7月号:18-23
- 三木直倫 (2000) 窒素吸収根域の異なる作物の組み合わせ 農業技術体系土壌施肥編 第5-①巻 : 畑 184の6-7
- 三木直倫 (2002) 環境負荷を予測するーモニタリングからモデリングへー III硝酸態窒素の土層内動態をモニタリングする : 37-56
- 宮崎成生 (2000) 栃木県南部畑作地帯の地下水水質の実態ならびに多量施肥による水質およびユウガオ収量への影響 栃木農試研報 49 : 47-57
- 尾尾道徳 (2002) 農業生産環境調査にみる窒素施肥の実態 農業技術体系 土壌施肥編3土壌の性質と活用 土壌の活用VI 8の12-14
- 小川吉雄 (1992) 地下水の硝酸汚染と農業からの負荷 農業技術体系 土壌施肥編3土壌の性質と活用 土壌の活用VI 16の6
- 大橋哲郎・俣野修身 (2003) 黒ボク土野菜畑における牛ふんおがくず堆肥および被覆肥料由来窒素の溶脱 土肥誌 74(5) : 631-635
- 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ー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ー 農及園 76(4) : 490-495
- 鈴木慶次郎・志賀弘行 (2004) 浸透水の硝酸性窒素濃度から見た網走地域の黒ボク土畑における投入窒素限界量 日本土壌肥科学雑誌 75 (1) : 45-52
- 高間由美・廣澤美幸 (2008) 土壌の化学性, 作物収量および周辺環境への影響から判断した黒ボク土畑の有機物連用手法 栃木農試研報 63 : 35-45
- 栃木県 (1978) 9 栃木県土壌統群別面積一覧表 栃木県農耕地土壌の実態と改善対策 : 408-409
- 栃木県 (2006) 農作物施肥基準ー環境と調和のとれた土づくり・施肥設計の手引ー : 1-213
- 栃木県 (2010) 栃木の畜産の統計情報 II 栃木の畜産の概要
- 栃木県農政部 (2011) 平成23年度稲麦大豆等生産推進資料 : 64
- 上沢正志 (1993) 野菜作体系における火山灰畑の窒素環境容量試算ーライシメーター試験の窒素収支からー 土肥誌要旨集(39) : 120
- 上沢正志 (1998) 有機物施用の環境的許容限界と地力維持 農及園 : 212
- 財団法人日本土壌協会 (2000) 堆肥等有機物分析法 :1-217
- 財団法人日本土壌協会 (2001) 土壌, 水質及び植物体分析法 :1-321

