

(37) クリーニングクロープによるハウス土壤集積窒素の除去に関する基礎的検討

近藤 圭介^{1*}・藤原 拓²・大年 邦雄²

¹高知大学大学院総合人間自然科学研究科 (〒783-8502 高知県南国市物部乙200)

²高知大学教育研究部自然科学系農学部 (〒783-8502 高知県南国市物部乙200)

* E-mail: b09m6f25@s.kochi-u.ac.jp

ハウス栽培では、過剰施肥によって集積した肥料分を除去する目的で湛水が行われているが、この方法は地下水汚染に加えて、亜酸化窒素の放出を引き起こすことが報告されている。そこで本研究では、クリーニングクロープによるハウス土壤集積窒素の除去量の定量化を行うとともに、窒素溶脱抑制効果の評価ならびに除去に適した草種の検討を行うことを目的に実験を行った。その結果、クリーニングクロープの無機態窒素の吸収率はトウモロコシで 76%、ソルガムで 67%、ギニアグラスで 63%と非常に高かった。無機態窒素溶脱率に関しては、湛水のみを行う系では 72%であったのに対して、除塩湛水の前にクリーニングクロープを栽培することで溶脱率は 20～30%まで低減した。草種に関しては、トウモロコシが最も窒素溶脱抑制効果が大いことも示された。

Key Words : *cleaning crop, greenhouse, leaching, nitrate, removal*

1. はじめに

施設栽培では、露地栽培と比較して肥料の施用量が非常に多く、作物の栽培が 1 年間に 2 作付から 4 作付にもなることがある。そのため、多くの施設栽培土壌で塩類集積が問題となっている。塩類集積が進行した土壌では、作物の生育阻害が発生し、収量を維持向上させることができない。よって、施設栽培を長期にわたって行うためには、集積した塩類の除去が必要不可欠である。

塩類集積の対策としては、灌水・湛水などの水による除塩^{1) 2)}、排土・客土による塩類濃度の希釈²⁾、深耕(天地返し)³⁾などが取り入れられている。その中でも比較的容易かつ他の方法より効果の大きい湛水処理が一般的に行われているが、この方法は土壌表層に集積した硝酸態窒素、硫酸イオン等を溶脱させ、地下水汚染を引き起こすことが報告されている³⁾。湛水処理は硝酸性窒素の溶脱のみならず、温室効果ガスである亜酸化窒素の放出にも多大な影響を及ぼすことが明らかにされており⁴⁾、湛水に代わる除塩技術の提案が求められている。そのため、近年では環境負荷の少ないクリーニングクロープによる過剰な肥料分の除去が試みられている^{5) 6)}。これは、吸肥能力が高く、乾物生産量の多いイネ科飼料作物などを夏季の休耕期間に短期栽培し、集積した肥料分を吸収さ

せてから収穫する方法である。系外へ取り除いた収穫物は、他の農地へ搬出後に緑肥として利用されるとともに、ハウス内クリーニングクロープを家畜の飼料として利用する場合の飼料価値についても検討されている⁷⁾。

クリーニングクロープとして利用される草種にはトウモロコシ、ソルガム、ギニアグラス、シコクビエ、ローズグラスなど様々なものがある。しかし、クリーニングクロープとして有効に利用するためには、限られた期間内で、より多くの肥料分を吸収できる草種を選定する必要がある。

そこで本研究では、地下水の硝酸態窒素汚染の原因と指摘されている窒素に着目し、代表的なクリーニングクロープの栽培による窒素吸収効果と窒素溶脱抑制効果の評価を行うとともに、窒素吸収に適した草種の検討を行うことを目的とした。

2. 実験概要

(1) 実験装置

実験装置には、市販の 33.1ℓ 容(直径 35cm、深さ 40cm)の丸型プランターを用いた。根による目詰まりを防ぐため、プランターの底には防根透水シート(東洋紡

表-1 栽培条件

草種	トウモロコシ①	ソルガム	ギニアグラス	トウモロコシ②	ブランク
播種数(個体)	20	25	450	20	-
発芽数(個体)	14	23	48	15	-
栽植密度(個体/m ²)	146	239	499	156	-
草種間比較	○	○	○	-	○
土壌間比較	スイカ土壌			トマト土壌	スイカ土壌

表-2 栽培に使用したハウス土壌の特性

土壌	草種	EC(mS/cm) 25℃補正值	初期土壌窒素含有量(mgN/100g乾土)	
			全窒素	硝酸態窒素
スイカ	トウモロコシ	0.089	105	3.72
	ソルガム	0.076	108	3.90
	ギニアグラス	0.092	106	3.96
	ブランク	0.094	107	4.29
トマト	トウモロコシ	0.056	87	0.95
ハウス土壌 ^{a)}		0.560~1.270	300~450	7.3~60
露地栽培土壌 ^{b)}		0.088~0.215	160~300	1.0~4.8

※ ECは1.5水浸出法で測定

績株式会社製)を敷いた。また、浸出水を採取するため、市販のプラスチックたらいを下に置き、その上にプランターを載せた。このような窒素収支を測定するための実験装置の他に、同条件のプランターを4個用意し、各草種、5反復で栽培を行った。

2008年7月22日にトマト栽培後の土壌を、8月1日にスイカ栽培後の土壌を、それぞれ高知大学農学部内の施設園芸ハウスから採取した。採取土壌は4.75mm以下にふるい分けした後に飼料用攪拌機で均一化し、各プランターでの栽培に用いた。供試土壌中のECおよび窒素含有量を表-2に示す。今回栽培に用いたハウス土壌は、実施設^{a)}と比較して、窒素集積は進行しておらず、露地栽培土壌に近かった。

(2) 栽培方法

2008年8月6日にトウモロコシ(*Zea mays* L., 品種:KD730), ソルガム(*Sorghum bicolor* (L.) Moench, 品種:ミニソルゴー), ギニアグラス(*Panicum maximum* Jacq., 品種:ナツカゼ)を前述の実験装置に播種した。トウモロコシについては、スイカ栽培後とトマト栽培後の2種類の土壌で、その他はスイカ栽培後の土壌のみで栽培を実施した。栽培期間は、夏季の休耕期間を想定して8月6日~10月4日までの60日間とした。栽培条件については表-1に示すとおりであり、文献^{9,11)}を参考に栽植密度を決定した。また、栽培期間中の日平均気温の最大、最小、平均は各々29.3℃, 17.8℃, 25.2℃であった。

(3) 灌水試験

実施設と同様に灌水のみによる除塩を行った場合と、クリーニングクロープ栽培後に灌水した場合とで、灌水にともなう窒素溶脱量にどの程度差があるのかを検討する目的で灌水試験を行った。灌水試験は栽培終了6日後の10月10日に実施し、水の浸透速度を考慮して、少なくとも10月10日中は灌水状態を維持できるようにプラ

ンターに随時水道水を供給した。トマト土壌については水の浸透速度が速かったため、供給水量が多くなった。

(4) 分析方法

土壌中の全炭素および全窒素含有量は、CN コーダー(JM1000CN(NLS))で分析を行った。無機態窒素は、プレムナー法¹²⁾で抽出後、NP 自動分析装置(BRAN+LUEBBE AACS-II)で分析を行った。供給水、浸出水はpH、水量を測定後、ガラス繊維ろ紙(whatman GF/B: 粒子保持能1μm)でろ過後、上記分析装置により、溶存態全窒素(DN)、無機態窒素の分析を行った。植物については、栽培期間中の試料として、栽培開始23日後および45日後に、生育の中層なものを窒素収支実験装置から1個体、その他のプランター4個から計2個体を採取するとともに、栽培後の試料として、60日後に全個体を採取した。植物体は可能な限り根まで掘り取り、分析試料とした。採取試料は、90℃で24時間、その後恒量となるまで60℃で乾燥させた後、CN コーダー(JM1000CN(NLS))で全炭素および全窒素含有量を分析した。

3. 結果および考察

(1) クリーニングクロープの生育状況

図-1に各草種の栽培期間中の総バイオマス生成量をプランター基準で示す。今回窒素収支について詳しく分析を行った実験装置のバイオマス量は、各草種とも平均値±標準偏差の範囲内に入っており、平均的な生育を示した条件下で試験を実施したと判断した。

窒素収支用実験装置で栽培した各草種の生長曲線を図-2に示す。図-2より、各草種ともに初期はほぼ直線的に草丈が増加するが、発芽後30日頃から生長速度が減少し、発芽後50日前後ではほぼ生長が止まっていることが分かる。また、スイカ土壌およびトマト土壌のいず

れの条件下でも、トウモロコシの草丈が常に最も高く、ソルガム、ギニアグラスの順であった。ギニアグラスに関しては発芽後の生長が遅く、およそ 10 日後から草丈が直線的に増加した。また、図-3 に各草種の乾物重の推移を示す。なお、栽培開始 23 日後および 45 日後のデータは、窒素収支用プランターの平均的な生育を示した 1 個体のもので、60 日後は窒素収支用実験装置の全個体平均値を示した。図-4 に各草種の植物体の含有窒素濃度を示す。図-4 より、栽培開始 60 日後には、全ての草種で植物体の含有窒素濃度が 1%DM 前後まで減少したことが示されている。高津ら⁵⁾は、ソルガムの全窒素含有率が播種 1 ヶ月後に 3.3%であったのに対して、その後減少を続け、2 ヶ月後には 1.0%となったことを報告し

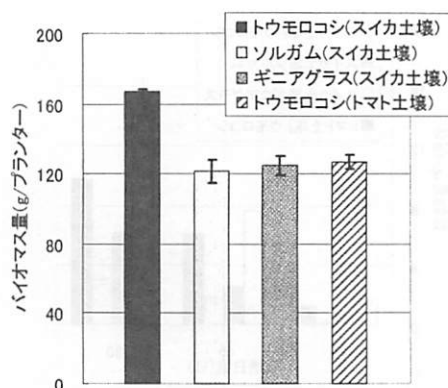


図-1 各草種の総バイオマス生成量
(n=5, エラーバー:標準誤差)

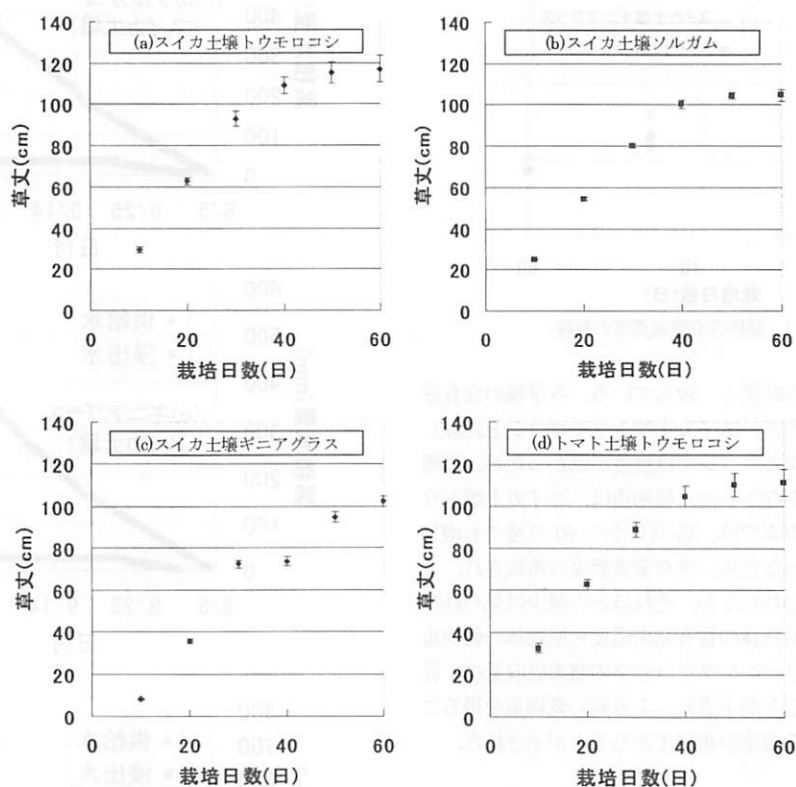


図-2 各草種の生長曲線 (平均±標準誤差)

表-3 各草種のプランター当たりの無機態窒素吸収率, 溶脱率

土壌	草種	無機態窒素(mgN)		③植物窒素吸収量(mgN)	④終了時土壌無機態窒素(mgN)	溶脱率(%)	無機態窒素吸収率(%)
		①初期土壌	②浸出水				
スイカ	トウモロコシ	1289	453	1764	100	20	76
	ソルガム	1296	531	1228	85	29	67
	ギニアグラス	1325	681	1422	141	30	63
	ブランク	1419	1229	-	478	72	-
トマト	トウモロコシ	377	185	1222	74	12	83

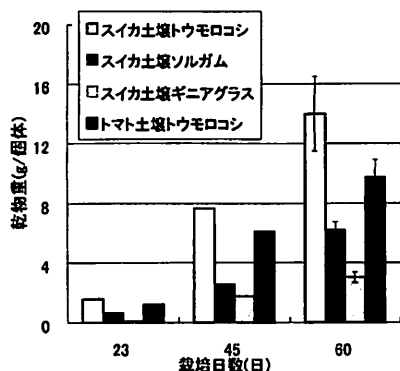


図-3 各草種の乾物重の推移(エラーバー:標準誤差)

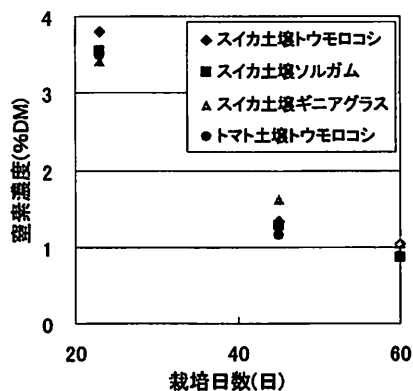


図-4 植物含有窒素濃度の推移

ており、本研究の結果と一致している。各草種の含有窒素濃度を比較すると、スイカ土壌トウモロコシと比較してトマト土壌トウモロコシでは濃度が低かったが、草種間ではあまり差がなかった。乾物重は、スイカ土壌トウモロコシとソルガムでは、45 日後から 60 日後でも増加率が比較的高かったため、含有窒素濃度は希釈され、大幅に減少すると思われたが、それほどの減少は見られなかった。また、植物体の含有窒素濃度×植物体の乾物重で算出されるクリーニングクロップの窒素吸収量は、乾物重に依存することが示され、より高い乾物重を得ることが可能な草種の選定が重要であることが示された。

(2) クリーニングクロップによる土壌集積窒素の除去特性

窒素収支実験装置における供給水および浸出水の累積水量を図-5 に示す。実験前後の内部水分量の変化も考慮して蒸発散量を推定した結果、供給水量の 69.81%が蒸発散により失われており、浸出水量は供給水量の 21.32%にとどまった。また、供給水の 28~37%が湛水時(10 月 10 日)に供給された。スイカ土壌における浸出水 DN 濃度の推移を図-6 に示した。図より、栽培初期には 319~484mgN/L と極めて高濃度の DN が流出し、とりわ

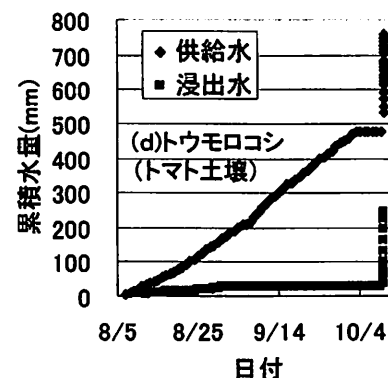
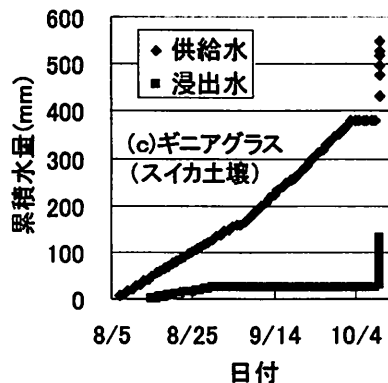
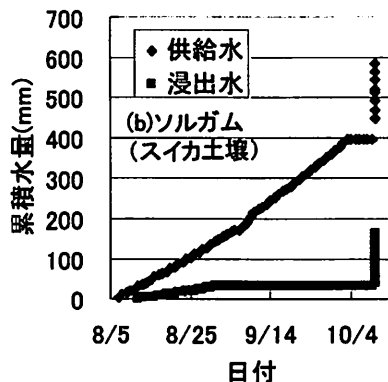
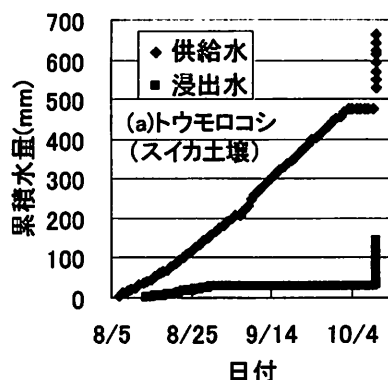


図-5 各草種の実験期間中の累積水量

けギニアグラス栽培土壌からの浸出水濃度は高かったことが示されている。しかしながら、栽培後は浸出水 DN 濃度は急速に減少し、栽培終了後の湛水時（10 月 10 日）には 20mgN/L 以下の濃度であった。また、図-7 に累積浸出水量と累積 DN 溶脱量の関係を示した。図より、クリーニングクロップの栽培を行わなかったブランクの条件では、湛水にともない少ない浸出水量で多量の窒素が溶脱していることが示されている。クリーニングクロップを栽培したプランターでは、総窒素溶脱量のほぼ全てが栽培期間中に溶脱しており、湛水時の溶脱はほとんどなかったことが明らかである。このことは、除塩湛水の前にクリーニングクロップを栽培することにより、湛水時の窒素溶脱量を大幅に低減しうることを示しており、クリーニングクロップを活用した土壌集積窒素の除去技術が極めて有効であることを示している。また、図-7 より草種による窒素の溶脱特性に関しては、栽培期間中の窒素溶脱量が多かったのはギニアグラス、ソルガム、トウモロコシの順であった。図-2(c)に示したように、ギニアグラスは栽培初期の生長速度が小さく、その結果窒素溶脱量が多くなったと推察される。このことは、クリーニングクロップの生長に応じて供給水量を調整することにより、窒素溶脱量を低減しうる可能性を示唆している。

次に、クリーニングクロップの草種別の窒素吸収量の比較を行った。なお、無機態窒素吸収率は次式により算出した。

$$\text{無機態窒素吸収率 (\%)} = \frac{y}{x + y + z} \times 100 \quad (1)$$

ここで、

x : 浸出水中無機態窒素量(mgN)

y : 植物窒素吸収量(mgN)

z : 栽培終了時土壌無機態窒素含有量(mgN)

表-3 に示すように、無機態窒素吸収率では、トウモロコシが 76%と最も大きく、次いでソルガム、ギニアグラスの順となった。また、実施設と同様に湛水のみによる除塩を行った場合と、クリーニングクロップ栽培後に湛水を行った場合の窒素溶脱量をスイカ土壌に関して比較し、表-3 に示す。なお、無機態窒素溶脱率は次式により算出した。

$$\text{無機態窒素溶脱率 (\%)} = \frac{x}{x + y + z} \times 100 \quad (2)$$

その結果、湛水のみを行ったブランク土壌では土壌中無機態窒素の 72%が溶脱したのに対し、クリーニングクロップ栽培を行った土壌からの溶脱率は、トウモロコシで 20%、ソルガムで 29%、ギニアグラスで 30%まで減少した。以上より、クリーニングクロップは窒素溶脱抑制に極めて有効であることが明らかになった。過去の知見¹³⁾によると、トウモロコシやソルガムの窒素吸収量は

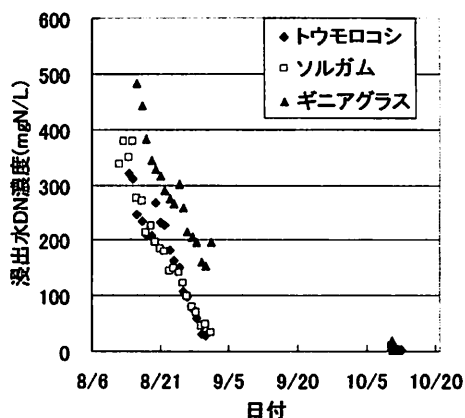


図-6 各草種栽培土壌の浸出水中DN濃度

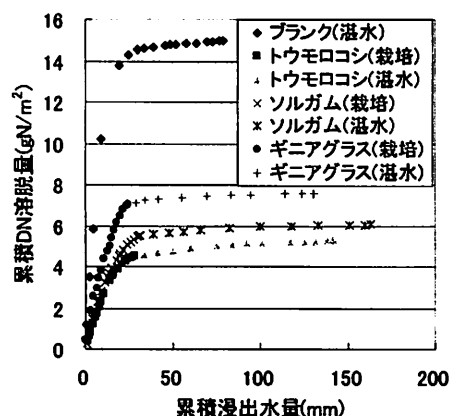


図-7 各草種栽培土壌からのDN溶脱量の推移

乾物重とは高い相関があるが、窒素濃度とは相関が低いことが示されている。そのため、クリーニングクロップで効率的な窒素除去を行うためには、より収量性の高い草種および品種を利用するのが好ましい。そこで、図-1 に示したプランター基準の総バイオマス生成量の平均値に関して、有意水準 5%で有意差検定を行った。その結果本研究の条件では、スイカ土壌のトウモロコシの総バイオマス生成量は他の条件と比較して有意に大きいことが示され、窒素吸収に適していることが示された。

春作キャベツ栽培後の圃場において、栽植密度が条間35cm、無施肥で5月24日から7月25日にかけてソルガムの栽培を行った既往研究では、栽培終了時の乾物重が1,004kg/10a、窒素吸収量が10.1kg/10a、全窒素含有率が1.0%と報告されている。ナスに対するクリーニング作物の導入効果を評価した研究では、無施肥で41~45日間栽培したデントコーン、ソルゴー、ブロッコリーの窒素吸収量が各々18.5kg/10a、15.5 kg/10a、15.3 kg/10aであったこと、また同様に無施肥で促成トマト跡地に60日間栽培したデントコーンの窒素吸収量は15 kg/10aであったこと

が報告されている(栽植密度の記載なし)⁹⁾。本研究における乾物重はスイカ土壌のソルガムで1,262kg/10a, 同トウモロコシで1,738kg/10a, 同ギニアグラスで1,296kg/10a, トマト土壌のトウモロコシで1,316kg/10aであった。また、植物窒素吸収量を表-3に基づき計算するとスイカ土壌のソルガムで12.8kg/10a, 同トウモロコシで18.3kg/10a, 同ギニアグラスで14.8kg/10a, トマト土壌のトウモロコシで12.7kg/10aとなり、既往研究と同等以上の窒素吸収を達成できた。スイカ土壌のトウモロコシとトマト土壌のトウモロコシとの総窒素吸収量の比較から、今回の実験条件の範囲内では、土壌の初期窒素濃度の違いに関係なく80%程度の無機態窒素を除去できることが推察された。本研究では内径35cmのプランターに対して表-1に示すように現地圃場での実験と比較して密植条件で栽培を行ったが、窒素吸収を目的としたクリーニングクロップ栽培時の栽植密度の検討は今後の課題となる。

4. 結論

本研究では、肥料分の中でも特に大量に施用され、地下水の硝酸態窒素汚染の原因と指摘されている窒素に着目し、クリーニングクロップの窒素吸収効果と窒素溶脱抑制効果の評価を行うとともに、窒素吸収に適した草種の検討を行うことを目的として実験を行った。得られた主要な成果を以下にまとめる。

- (1) クリーニングクロップの窒素吸収率は、トウモロコシで76%, ソルガムで67%, ギニアグラスで63%と非常に高かった。
- (2) クリーニングクロップの栽培を行うことにより、無機態窒素溶脱率が20%~30%まで削減された。この結果より、除塩湛水の前にクリーニングクロップを栽培することは、窒素溶脱抑制に極めて有効であることが明らかになった。また、草種ごとの比較を行った結果より、トウモロコシが最も窒素溶脱抑制効果が高いことも示された。
- (3) 草種別の最終的な総窒素吸収量では、トウモロコシが最も大きく、次いで、ギニアグラス、ソルガムであった。また、スイカ土壌のトウモロコシとトマト土壌のトウモロコシとの総窒素吸収量の比較から、今回の実験条件の範囲内では、土壌の初期窒素濃度の違いに関係なく80%程度の無機態窒素を除去できることが推察された。

謝辞：本研究の遂行に協力いただいた、高知大学教育研究部農学部門の山根信三先生、紙井泰典先生、同技術職員竹村泰雄氏および浦部光治氏、ならびに高知大学大

学院農学研究科修士の貞松篤志氏に謝意を表する。なお、本研究は高知大学環食同源プロジェクトおよび財団法人鹿島学術振興財団2007年度研究助成の補助を受けた。

参考文献

- 1) 池田彰弘, 塩田悠賀里, 武井昭夫：施設土壌のかん水・太陽熱処理による塩類の挙動と除塩効果, 愛知農総試研報, Vol.22, pp.295-302, 1990.
- 2) 小野信一：施設栽培土壌における塩類集積と過剰障害の現状および対策, 日本作物学会記事, 第68巻, (別2号), pp.315-320, 1999.
- 3) T. Fujiwara, K. Ohtoshi, X. Tang, K. Yamabe: Sequential Variation of Groundwater Quality in an Agricultural Area with Greenhouses near the Coast, Water Science and Technology, 45(12), pp.53-61, 2002.
- 4) 貞松篤志, 藤原拓, 大年邦雄, 前田守弘：施設園芸ハウスにおける湛水が亜酸化窒素の生成・放出に及ぼす影響, 環境工学研究論文集, 第45巻, pp.459-466, 2008.
- 5) 高津あさ美, 石橋英二：緑肥の導入および緑肥すき込み時の堆肥施用が窒素溶脱に及ぼす影響, 農業および園芸, 第81巻, 第10号, pp.1064-1067, 2006.
- 6) 中嶋靖之：野菜作におけるクリーニング作物の種類と導入効果, 農業および園芸, 第61巻, 第7号, pp.69-74, 1986.
- 7) 竹澤武春, 滝沢静雄, 宮重俊一：ハウス内クリーニングクロップの飼料価値, 九州農業研究, 第53号, p.117, 1991.
- 8) 三好洋, 嶋田永生, 石川昌男, 伊達昇：土壌肥料用語事典, 社団法人-農山漁村文化協会, 1983.
- 9) 大段秀記, 大門弘幸：窒素過剰施用条件下におけるクロタラリアの生育と窒素吸収, 日本作物学会記事, 第68巻, pp.296-300, 1999.
- 10) 福井弘之, 佐藤健次, 小林良次, 松岡秀道, 服部育男, 池上哲夫：施肥量と「ナツコマキ」を含む散播ギニアグラスの生育特性と試料成分の関係, 日本草地学会誌, 46(別), pp.94-95, 2000.
- 11) 増田安弘, 小中伸夫：青刈り飼料作物の生育・収量に及ぼす栽植密度の影響 第2報 ソルガムについて, 日本草地学会誌, Vol.15, No.1, pp.1-8, 1969.
- 12) 土壌環境分析法編集委員会：土壌環境分析法, pp.195-253, 1997.
- 13) 原田久富美, 須永義人, 畠中哲哉：トウモロコシ (*Zea mays* L.) の養分濃度の品種間差異, Grassland Science, Vol.47, No.3, pp.289-295, 2001.

(2009.5.22受付)

Fundamental study on Nitrogen Removal from the surface soils in greenhouses by cleaning crops

Keisuke Kondo¹, Taku Fujiwara² and Kunio Ohtoshi²

¹ Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Kochi University

² Agriculture Unit, Research and Education Faculty, Kochi University

Flooding activities for removing the accumulated salts from the surface soils in greenhouses have been reported to induce not only groundwater pollution but also the emission of N_2O . Hence, this study aimed to apply cleaning crops for uptaking the accumulated nitrogen in the surface soils. Experimental results demonstrated that inorganic nitrogen uptake ratio by cleaning crops from the soils ranged from 63 to 76 %. Leaching ratio of inorganic nitrogen from the soils decreased to 20-30 % by cultivating cleaning crops before flooding activities. *Zea mays* L. was evaluated to be the best variety as a cleaning crop among those we used to decrease the leaching amount of nitrogen.