

研究論文

イネ単作水田の複作化にともなう付加的利益

坂井直樹*・根津久美**・林 久喜*

* 筑波大学生命環境科学研究科

** 横浜市環境創造局農地保全課

Additional Profits by an Introduction of Polyculturing into Monoculturing at Paddy Field

Naoki SAKAI*, Kumi NEZU** and Hisayoshi HAYASHI*

* Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba

** Environmental Planning Bureau, Yokohama-city

1. 緒言

既報(坂井ら2008)では、水田共存系として設定した条件のもとでイネとホテイアオイの生育収量を調べた(目的1)。本報では、関連する問題のうち、イネとの共存作物候補に選んだホテイアオイを仮に“緑肥”と位置づけた場合、前作で蓄積した養分を次作のイネに渡すことが可能か(目的2)、イネの生育収量はホテイアオイの栽植密度に影響されることが既報で明らかになったが、改めて作物間の競争を緩和する手段はあるか(目的3)、共存作物の導入によってメタン発生量削減のような環境保全効果が得られるか(目的4)、などを明らかにしようとした。仮に目論み通りに目的2が成立するとすれば、化成肥料施用量の削減という環境負荷軽減につながる。また、肥料形態の変更などで目的3が成立するとすれば、イネに有利な条件を与えることが可能になる。

一般に、有機質肥料では効果が緩慢に出現することから作物へのインパクトが軽微である(越野1996)が、コスト面・労力面の制約などから農家レベルではなかなか有機質肥料の導入が進まない状況も指摘されている(西尾2005)。ホテイアオ

イを農業面に利用しようとした数少ない研究の中に、窒素源確保としての利用を試みた報告(Gopal 1987, Widjajantoら2001, 2002)があるが、目的4を含めて上記課題に触れた既往の研究は少ない。

2. 目的2に対する検討(実験I)

1) ねらい

前作で蓄積された養分を次作のイネに渡すことが可能かどうかを調べる。

2) 供試圃場

2004年の実験は、2003年に供試したのと同じ農林技術センターの圃場(坂井ら2008)で実施した。2003年の実験では、イネの栽植密度(以下、密度)を30cm×15cm(22.2株/m²)に固定し、ホテイアオイの密度のみを0, 5.6, 11.1, 16.7, 22.2株/m²とした区と、11.1株/m²でホテイアオイを単作した区(対照)の計6区を3反復で配置した。2003年の秋に、各区に残されていたホテイアオイをロータリですき込んだ後、翌年の春までそのままにしておいた。

2004年の実験では、要因を基肥量(化成肥料由来の窒素レベル)とすき込み量(前作ホテイアオイ由来の窒素レベル)とし、前者については本センターでの慣行量(5.0gN/m²)の半量(1/2区)および無施肥(0区)とした区を各3反復で配置した。比較のために、ホテイアオイ0株/m²区に慣行量を与えた2/2量区を3反復で設けた。

平成20年5月13日受付

平成20年8月23日受理

Corresponding author

坂井直樹 Naoki SAKAI

〒305-8572 茨城県つくば市天王台1-1-1

Tennodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-8572, Japan

E-mail : nsakai@sakura.cc.tsukuba.ac.jp

表1 ホテアオイ由来の窒素量 (gN/m²)

栽植密度 (株/m ²)		反復			平均	標準偏差
ホテアオイ	水稲	A	B	C		
22.2	22.2	9.0	11.9	13.3	11.4	2.2
16.7	22.2	6.1	6.1	7.7	6.6	0.9
11.1	22.2	4.6	6.4	7.6	6.2	1.5
5.6	22.2	3.5	3.9	3.8	3.7	0.2
11.1	0	17.5	19.5	15.6	17.5	2.0
0	22.2	0	0	0	0	0

前作ホテアオイ由来の窒素量を表1に示す。同一区内での変動は、主にホテアオイ生育量のバラツキに起因するものであった。

3) 作業工程

2004年の5/15に所定量の高度化成肥料(N=8%, P₂O₅=20%, K₂O=20%含有)を土壌表面に散布した。5/16に入水, 5/17に代かき・均平した後, 5/21にコシヒカリの稚苗を22.5株/m²で移植した。6/4および7/25に硫酸をそれぞれ2.0gN/m²および1.5gN/m²で施用した。農薬散布や水管理は本センターの慣行に従い, 9/10~9/12にイネを収穫した。

4) 測定項目

イネの生育では, 移植後21日ごとに各区10株の草丈・茎数・SPAD値を調べた。32~35DAT(移植後日数)の間は茎数変化を毎日調べ, 最高分けつ数を求めた。イネの籾・わら収量および収量構成要素用として, 各区とも40株を調べた。イネ(籾・わら), ホテアオイ(茎葉・根)および雑草については, NCアナライザー(住化分析NC-800)で炭素・窒素含有率を調べた。炭素・窒素の固定量は含有率と収量のデータから求めた。

5) 結果と考察

ホテアオイの乾物収量と炭素・窒素固定量との関係を図1に示す。2,500gDW/m²付近の窒素1プロットを除いて全体的に線形関係がみられたこと, また各区の炭素・窒素含有率がいずれも同程度であったことから, 各固定量は乾物収量の違いでほぼ決められることがわかった。

ホテアオイのすき込み量が籾収量に及ぼす影響を図2に示す。基肥量0gN/m²(0区)について

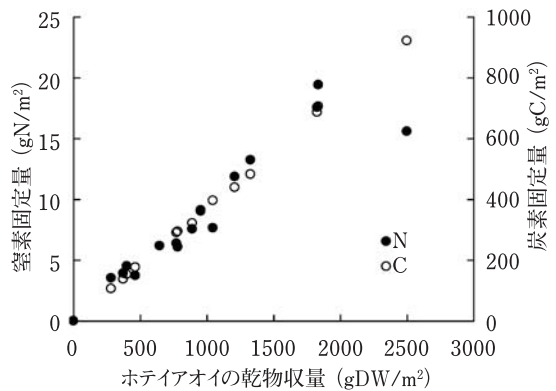


図1 ホテアオイの乾物収量と炭素・窒素固定量との関係

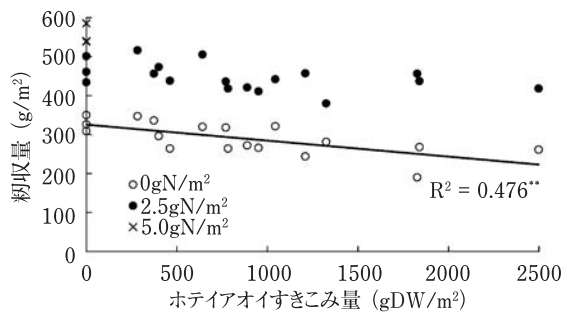


図2 ホテアオイのすき込み量が籾収量に及ぼす影響

はすき込み量と籾収量との間に線形関係がみられた。全体的に緩やかな負の傾きであったが, すき込み量の増加は籾収量を低下させる方向に作用した。当初, すき込み量に応じて籾収量が増加するのではないかという可能性が期待されていたが, 得られた結果は異なるものであった。これには, 圃場に還元された養分がイネに有効に使われる状態には至っていない状況, 具体的にはホテアオイ由来の有機物の急激な分解による諸影響が考えられた。

一方, 基肥量2.5gN/m²(1/2区)では上記のような傾向はみられず, 慣行量5.0gN/m²(2/2区)に比べてわずかに低いレベルに留まっていた。このような基肥レベルによる違いを念頭に置きながら, ホテアオイが吸収した養分を望ましい時間で伝達していくには, 土中における施用有機物の分解現象を定量的に把握するなど, データの蓄積が急がれることが改めて示唆された。

表 2 玄米収量に対する収量構成要素の重回帰分析

収量構成要素	基肥 0 gN/m ²		基肥 2.5 gN/m ²	
	標準偏 回帰係数	寄与率	標準偏 回帰係数	寄与率
m ² あたり穂数	1.027	0.549	1.183	0.636
一穂穎花数	0.654	0.412	0.738	0.328
登熟歩合	0.211	0.030	0.186	0.030
千粒重	0.146	0.007	0.065	0.004

注) 重回帰式の決定係数はいずれの施肥レベルでも 0.998 であった。いずれの寄与率も 0.1% レベルで有意。

イネの収量構成要素に対する重回帰分析の結果を表 2 に示す。0 区・1/2 区ともに m²あたり穂数の寄与率が高いことがわかった。これに関しても栄養生長期に窒素飢餓が生じたものと推察された。一方、すき込みによって窒素自体は慣行区よりも高いレベルに維持されていたことから、肥効が出現するパターンの把握ができていないことが考察を制約していた。一般に、C/N 比の高い有機物を土壌に施用すると、窒素飢餓が生じやすい状況が知られている。これは、土壌中で微生物が C/N 比の高い有機物を分解する際に、微生物自身の菌体合成も同時に進行するため、炭素に比べて窒素が不足するからと説明されている(長谷部 1996)。一方、Widjajanto ら(2001)は、¹⁵N 法によりホテイアオイ由来の施用窒素の動態を追跡しているが、ホテイアオイ由来の¹⁵N は初期のイネ生育過程では施肥した化成肥料(硫酸アンモニウム)より低いものの、生育後期では両者が同様の割合で吸収されていたという結果を述べている。このことは、ホテイアオイ由来の窒素に対するイネの吸収能が、生育時期の違いによって異なるという可能性を示唆している。

3. 目的 3 に対する検討(実験 II)

1) ねらい

これまでの一連の本実験では、施肥は全面全層とし、しかもイネとホテイアオイを同一日に移植していた。これらが両作物の競合を激化させ、結果的に籾収量の低下をもたらした可能性を認めない。そこで以下の実験では、競合を緩和するために肥料形態を変更してイネに有利な生育環境を与えることが可能かどうかを調べることにした。

2) 実験要因

主要因としてイネ用肥料を①慣行の高度化成肥料(N=8%, P₂O₅=20%, K₂O=20% 含有, S 区)による側条施肥, ②肥効調節型肥料(N=15%, P₂O₅=15%, K₂O=15% 含有, C 区)による側条施肥, ③無窒素(N 区)の 3 区とし、副要因としてホテイアオイの密度を①0 株/m²(0 区)と②11.1 株/m²(11.1 区), ③イネなしでホテイアオイ単独を 11.1 株/m²で移植(11.1x 区)の 3 区を 3 反復で配置した。C 区に用いた肥料は、通常の易溶出分と難溶出分を 50% ずつ含み、施用後は 25°C で約 35 日間は溶出せずその後徐々に溶出する特性をもつ成分と、25°C で 45 日間は溶出せずその後徐々に溶出する特性をもつ成分で構成されている。C 区には 85 gN/m²分をすべて基肥で与えた。全区均一に、P₂O₅と K₂Oそれぞれ 125 g/m²を追肥で与えた。S 区には、本センターの慣行量すべてを基肥で与えた。2004 年の 4/20 に入水、4/22 に代かきを行い、4/28 にコシヒカリの稚苗を 22.2 株/m²で移植した。9/5 にホテイアオイを、9/6 にイネをそれぞれ収穫した。9/7 に雑草試料を採集した。

3) 測定項目

イネの生育では、草丈・茎数・SPAD を移植後 3 週間ごとに調べた。9/4 に収穫直前の LAI を調べた。イネでは収量構成要素分解用に各区 40 株を、ホテイアオイでは収量調査用に 1.5 m×1.2 m 区画内の試料を、雑草では生育量調査用に 0.6 m×0.6 m 区画内の試料をそれぞれ得た。ホテイアオイと雑草は、80°C で 1 週間乾燥した後、それぞれ乾物重を求めた。イネ茎葉と籾の炭素・窒素定量と窒素利用効率を、各含有率から計算した。

4) 結果と考察

肥料形態がイネの精籾重、わら重および籾わら比に及ぼす影響を表 3 に示す。これら 3 項目とも S 区と C 区との間に違いはなく、両区ともに N 区との間のみに違いがみられた。ホテイアオイの存在の有無による影響もみられなかった。ホテイアオイの密度と肥料形態による影響がみられなかったことは、実用化に際して選択肢が増えるのでさほど困ることはない。なお、施肥区では 600 g/m²レベルの精籾重が得られていたことから、この点に関しても栽培上の問題はなかったと

表3 施肥形態がイネの精籾重、わら重および
籾わら比に及ぼす影響

施肥	ホテイアオイ (株/m ²)	精籾重 (g/m ²)	わら重 (gDW/m ²)	籾わら比
N	0	247 ^b	278 ^b	0.92 ^b
	11.1	249 ^b	284 ^b	0.91 ^b
C	0	615 ^a	589 ^a	1.08 ^a
	11.1	640 ^a	624 ^a	1.06 ^a
S	0	634 ^a	651 ^a	1.02 ^{ab}
	11.1	615 ^a	628 ^a	1.01 ^{ab}
施肥 (F)				
N		248 ^b	281 ^b	0.92 ^b
C		627 ^a	606 ^a	1.07 ^a
S		625 ^a	639 ^a	1.01 ^a
ホテイアオイ (W)				
0		499	506	0.97
11.1		502	512	0.96
分散分析				
F		***	***	*
W		NS	NS	NS
F×W		NS	NS	NS

注) N; 無施肥, C; 肥効調節型肥料による側条施肥, S; 慣行肥料による側条施肥.

* および *** は分散分析の結果, 5% および 0.1% レベルで有意. NS は有意差なし.

異なるアルファベットを付した平均値間には Tukey の多範囲検定における有意差がない.

考えられた.

2004 年の実験における共生生態系全体の炭素固定量を図3に示す. 全体を概観すると N 区 < C 区 = S 区であったが, ここでもホテイアオイの存在は支配的とはいえなかった. 個別に各区をみると, S 区内では S0 = S11.1 = S11.1x, C 区内では C11.1x < C0 < C11.1, N 区では N0 < N11.1 < N11.1x であった. N 区と S 区では, ホテイアオイ単独区が意外と高い炭素固定量を示していたのが興味深い.

比較のために, 全面全層施肥で同時移植した 2003 年の実験における炭素固定量を図4に示す. イネ単作区に比べて, ホテイアオイの存在で慣行区の約 50% 増の炭素固定量が得られていた. 炭素固定量としては, 2004 年の実験では 2003 年の実験より高いレベルにあった. 一方 2004 年の実験では, C 区と S 区がともに慣行の籾収量レベルを維持しており, 両区に収量差はみられなかった.

以上のことから, 本実験に関していえば, 肥料形態や移植方法に依存したホテイアオイの存在の

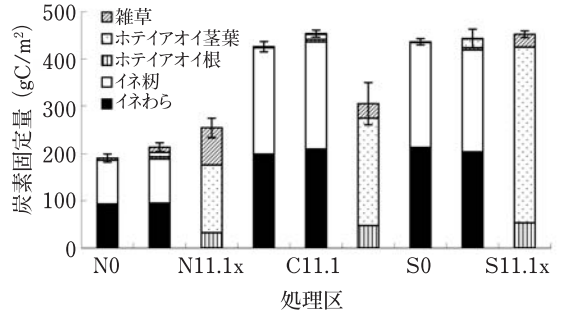


図3 共生生態系における炭素固定量 (2004 年)

注) N; 無施肥, C; 肥効調節型肥料による側条施肥, S; 慣行肥料による側条施肥. 0; ホテイアオイ 0 株/m², イネ 22.2 株/m², 11; ホテイアオイ 11.1 株/m², イネ 22.2 株/m², 11.1x; ホテイアオイ 11.1 株/m², イネ 0 株/m².
ホテイアオイ栽植密度 (株/m²)

有無による顕著な影響はみられないという結論になった. それを踏まえた上で, 籾収量と炭素・窒素固定量とも慣行レベルを確保できたことは, 結果的にイネへの分配優先度が高かったことを意味している. ただし, ホテイアオイ移植方法の影響に関しては, 今回の実験だけでそのメカニズムを説明することはできない. 将来の実用化を考えていく場合, 施肥や移植方法を含めて作物間の競合制御に関するさらなる検討が必要である.

4. 目的4 に対する検討 (実験Ⅲ)

1) ねらい

水田はメタンの主要発生源の一つであり, メタン発生量の制御要因として地温や有機物含量, 土壌の酸化還元状態などが挙げられる (南川 2006). 共生生態系からのメタン発生量に関する既往の報告が十分でない中で, 最終的にメタンは増加するのか, 減少するのか, それとも変化しないのかということに対して, 現状ではほとんど判断すべき材料を欠いている. そこで, 以下の測定を試みた.

共生生態系からのメタン発生に関しては, 下記のシナリオを想定した. 増加シナリオでは, イネとホテイアオイの生長⇒水面被覆の増加⇒光合成の抑制⇒相対的に呼吸増加⇒溶存酸素の減少⇒土壌の還元化⇒イネとホテイアオイの植物遺体の増加⇒メタン基質の増加, という図式が描ける. 一方, 減少シナリオでは, 水面被覆による地温低下⇒イネ・ホテイアオイ間の競合⇒イネ生育の阻害⇒イネ由来のメタン基質の減少・イネの通気組織

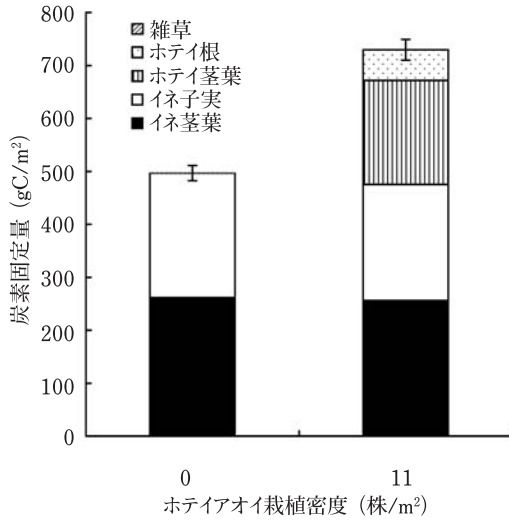


図4 共生生態系における炭素固定量 (2003年)
注) 雑草由来の炭素固定量は微量でグラフ上には記載されていない。

の減少，という図式が描ける。

2) 実験要因

肥料形態の要因に関しては，①慣行肥料の側条施肥(S)，②肥効調節型肥料の側条施肥(C)の2水準，ホテイアオイ存在の要因に関しては，①0株/m²(0区)，②11.1株/m²(11.1区)の2水準とし，それぞれ2反復で配置した。窒素は全区均一に85gN/m²を与えた。水管理は，当初計画では最終落水まで常時湛水しておく予定であったが，40，77，98DATの各時点で予定外に落水させてしまった。このため現象がやや複雑になってしまった。相対的にはともかくとして，標準処理としての常時淡水という条件設定には問題を残した。

3) 測定項目

メタンフラックスは，密閉チャンバー法(Minamikawa *et al.* 2005)を用いて，各区2反復で，最終落水までは1週間ごとに，最終落水後は2日ごとに測定した。土壌の酸化還元電位(Eh値)は，電極を圃場に埋め込み，メタンフラックス測定と同一日に測定した。地温は，深さ5cmの位置で生育期間中連続測定した。

4) 結果と考察

共生生態系における土壌Ehとメタンフラックス

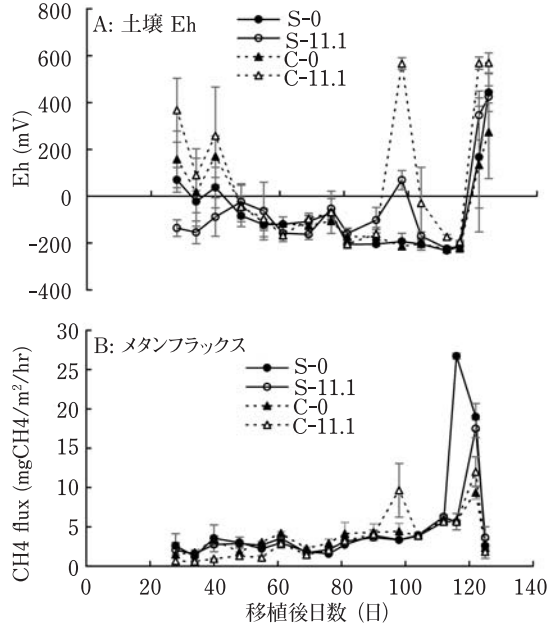


図5 共生生態系における土壌Ehおよびメタンフラックスの推移

注) S; 慣行肥料による側条施肥, C; 肥効調節型肥料による側条施肥。

0; ホテイアオイ0株/m², イネ22.2株/m², 11; ホテイアオイ11.1株/m², イネ22.2株/m²。

を図5に示す。一般に土壌Ehが-150mV~-200mVになると，メタンの発生が盛んになる。落水の影響が大きいと思われるが，図5中のEhは上昇下降を繰り返していた。Ehは，移植後98日目でC11.1区が急激な上昇を示したが，これに応じるようにC11.1区のメタンフラックスも上昇した。土壌Ehの変動に比べてメタンフラックスの変動は小さいものであった。S区に施用した肥料が硫酸であり，C区に施用した肥料が尿素であったことも分解の難易という点でメタンフラックスに関係していた可能性がある。既往の研究を参照すれば，硫酸に含まれる硫酸成分がメタン発生量を低下させるという報告がある(Suchütz *et al.* 1989, 堀ら1990, 1993)一方で，尿素施用量の増加はメタン発生量の低下をもたらすという著者らの研究グループによる報告もある(Minamikawaら2005)。

メタンフラックスから求めた，移植後28DAT以降の生育期間中の合計メタン発生量を表4に示す。分散分析の結果，主効果・交互作用ともに有意でなかった。これには，反復間のバラツキが大

表4 移植後28日目以降の生育期間中における合計メタン発生量

施肥	ホテイアオイ (株/m ²)	メタン発生量 (gCH ₄ /m ²)
S	0	11.31
	11.1	8.53
C	0	8.72
	11.1	8.13
施肥 (F)		
S		9.92
C		8.43
ホテイアオイ (W)		
0		10.02
11.1		8.33
ANOVA		
F		NS
W		NS
F×W		NS

注) S; 慣行肥料による側条施肥, C; 肥効調節型肥料による側条施肥.

*および***は分散分析の結果, 5%および0.1%レベルで有意, NSは有意差なし.

きく、反復数が2と少なかったことも少なからず影響していたようである。

以上をまとめると、①メタンフラックスと土壌 Eh の変化には区間差がみられた。しかしメタンの合計発生量については区間差はみられず、慣行区の発生量と大差がなかった。②メタンフラックスに対するホテイアオイの存在の有無による影響が顕著でなかった原因の一つに、施肥や移植の方法でイネとホテイアオイの競合が鈍化したと思われる点が挙げられる。もしこれが一般的事実であるとすると、イネとホテイアオイの間の競合は厳しい資源獲得条件においてのみ顕在化するのではないかということが改めて推察された。

5. 総合考察

実験Ⅰ～Ⅲの個別結果をまとめてみると、①イネと複作したホテイアオイの有機質肥料としての利用可能性に関しては、普遍的な結論を出すには至らず、改めてデータ蓄積が必要である。②イネの籾収量確保とC・N固定量の増大に関しては、一元的な評価を拒む価値観を両者はもっている。具体的に水田での持続的複作システムを提案する場合、まずはそれぞれの利点や欠点を残らず明示することが必要である。イメージとしてはさまざまなオプションが提案可能であるが、生産と環境

保全という諸点で対立する要素をいかに両立させていくのが重要であり、改めて総合学問としての真価が問われる問題でもある。例えば、基肥窒素の削減は、栄養生長期の生育を阻害し、籾収量の低下をもたらす危険性があるが、この時期以降であれば窒素肥料を削減することが可能となる。また、肥効調節型肥料や側条施肥方式の導入については、イネの籾収量、炭素・窒素固定量とも慣行区と同レベルを維持していたが、さらに資源配分や有効利用を提案していくには新たな視点からの大胆な発想に基づく検討が必要となろう。いずれにしても、項目の優先順位づけは避けて通れない作業である。

メタンに関しては、必ずしも合計発生量に顕著な区間差はみられなかったが、メタンフラッシュはある程度減少していた。一方、通常の水田に障害雑草のホテイアオイが侵入してきた場合、管理として当該水田系外に散逸することに留意さえすれば、さほど心配することはないことも確認された。ホテイアオイの栽培を一時休止した本センターの供試水田では、事実、その後深刻な問題は生じていない。

6. 摘要

イネ単作水田の複作化にとまなう付加的利益を探求するねらいで、以下の3つの関連実験を2004年に実施した。

1) 前作のホテイアオイを緑肥として機能させることが可能かどうかを探る実験では、基肥量とすき込み量を要因とした、0gN/m² (0区) ではすき込み量の増加によって籾収量は減少したが、慣行量とほぼ同等の籾収量が得られた2.5gN/m² (1/2区) ではすき込み量の影響はみられず、施肥レベルによって異なる収量応答が確認された。この際、さまざまな場面で窒素飢餓が生じていた可能性がある。

2) 全面全層施肥に代わる側条施肥と肥効調節型肥料を用いて、イネ生育環境への厚遇が可能かどうかを調べた実験では、同時に移植時期もずらしてみたが、要因とした肥料形態や共存作物の有無による収量への顕著な影響はみられなかった。

3) 共存作物の導入で単作水田からのメタン発生量が削減するかどうかを知るねらいで試みた実験では、要因を上記2)と同様にし、窒素施用量は全区同一とした。メタンフラックスと土壌 Eh の

変化には区間差がみられたが、メタンの生育期間中の合計発生量に区間差はみられず、しかも慣行区と大差がなかった。

4) イネとホテイアオイの競合は厳しい資源獲得状況においてのみ顕在化するのではないかということが推察された。今後、実用化の場面で懸念される窒素飢餓の問題を克服するため、埋設有機物の分解速度を定量的に把握するなどの基礎データの充実を図っていく必要がある。

謝辞

本報の一連の研究遂行では科研費の補助（平成14～15年度 基盤研究（C）課題番号14560279、平成18～19年度基盤研究（C）課題番号18580325）を受けた。一連の実験では、農林技術センター作物生産技術班技術職員の多大な支援を賜った。記して謝意を表す。

キーワード

イネ、水田、単作、肥料形態、付加的利益、複作、ホテイアオイ、メタンフラックス、モデル植物、養分伝達

引用文献

- Gopal, B. (1987) : Water Hyacinth. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 311.
- 長谷部亮 (1996) : 窒素飢餓, 久馬一剛ほか編, 土壌の辞典, 朝倉書店, 東京, 251.
- 堀 謙三・犬伏和之・松本 聡・和田秀徳 (1990) : 水田土壌におけるメタン生成と硫酸還元の前酸をめぐり競合, 日本土壌肥料科学雑誌 61 (6) ; 572-578.
- 堀 謙三・犬伏和之・松本 聡・和田秀徳 (1990) : 水田土壌におけるメタン生成と硫酸還元の水素をめぐり競合の程度, 日本土壌肥料科学雑誌 64 (4) ; 363-367.
- 越野正義 (1996) : 有機質肥料, 久馬一剛ほか編, 土壌の辞典, 朝倉書店, 東京, 482-483.
- Minamikawa, K., N. Sakai and H. Hayashi (2005) : The effect of ammonium sulfate application on methane emission and soil carbon content of a paddy field in Japan. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 107 (7) ; 371-370.
- 南川和則 (2006) : 水田からの温室効果ガス発生

を抑制する農作業技術, *農作業研究* 41 (3) ; 115-124.

西尾道徳 (2005) : 農業と環境汚染, (社)農山漁村文化協会, 東京, 409-412.

坂井直樹・根津久美・林 久喜 (2008) : イネ単作水田の複作化にともなう作物の応答, *農作業研究* 43 (1) ; 7-14.

Suchütz, H., W. Seiler and R. Conrad (1989) : Process involved in formation and emission of methane in rice paddies. *Biogeochemistry*. 7 ; 33-53.

Widjajanto, D.W., K. Matsushita, T. Honmura and N. Miyauchi (2001) : Studies on the release of N from water hyacinth incorporated into soil-crop systems using ¹⁵N-labeling techniques. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 4 (9) ; 1075-1077.

Widjajanto, D.W., T. Honmura and N. Miyauchi (2002) : Nitrogen release from green manure of water hyacinth in rice cropping systems. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 5 (7) ; 740-743.

Summary

To investigate the additional profits by an introduced complexity of cropping into rice monoculturing at an usual paddy field, the serial experiments were carried out in 2004.

1) In the experiment to confirm the possibility of using water hyacinth (*Eichhornia crassipes*, WH) as green manure, we selected the two experimental factors which were nitrogen applied by basal chemical fertilizer and nitrogen applied by WH grown at the previous cropping. Rice yield reduced with an increment of applied quantity of WH at 0 gN/m², but rice yield at 2.5 gN/m² (1/2 plot) were almost as same as 5.0 gN/m² at the conventional plot, so we could estimate the effect of applied fertilizer level on rice yield. It was also estimated to be nitrogen starvation in the soil.

2) In the experiment to confirm the possibility of distribution to rice growth preferentially by the side dressing and controlled release fertilizer in place of uniform application

of fertilizer to top soil with the shift of transplanting time between rice and WH, it was not observed the effects of chemical fertilizer type and co-existence of WH on preferential growth of rice.

3) In the experiment to confirm the reduction of methane production from a paddy field by an introduction of co-existence crop, differences between plots were observed in methane fluxes and Eh values, but the difference of total methane production during growing season was not significant among plots and the difference between treatment plots and conventional plots.

4) It was estimated that competition between rice and WH was happened at some severe conditions only. In the future studies, it is important to collect more fundamental data on precise decomposition rate of WH in soil and maintenance at an optimum nutritional condition to solve a nitrogen starvation at the various practical cases.

Key Words

rice, paddy field, monoculture, fertilizer type, additional profits, polyculture, water hyacinth, methane flux, model plant, nutrient transfer