

中粗粒灰色低地土における田畑輪換圃場の土壌窒素肥沃度 の変化と緑肥、家畜ふん堆肥を活用した対策技術

誌名	富山県農林水産総合技術センター農業研究所研究報告
ISSN	18838227
著者名	廣川,智子 稲原,誠 小池,潤
発行元	富山県農林水産総合技術センター農業研究所
巻/号	2号
巻号補足	
掲載ページ	p. 11-26
発行年月	2011年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



中粗粒灰色低地土における田畑輪換圃場の土壌窒素肥沃度の変化と緑肥、家畜ふん堆肥を活用した対策技術

廣川智子・稲原誠¹⁾・小池潤

I. 緒 論

富山県では水田転作の基幹作物として大豆の作付が本格化し30年が経過した。この間、大豆の県平均収量は1987年に約264g m^{-2} のピークを迎え、その後は漸減傾向をたどり近年では150g m^{-2} 以下にまで低下している。一方、大豆後の水稲作では、畑転換初期には過繁茂による倒伏を回避するため基肥窒素を5割程度削減する技術が一般化されたが、近年ではその減肥率が縮小されている。さらに、良食味米生産を目的とした施肥窒素量の削減により土壌からの窒素供給への依存度が高まっているが、近年の白未熟粒の多発には気象の温暖化とともに生育中後期の窒素栄養の不足も関与していると考えられる。これらの現象には田畑輪換の長期化に伴う窒素を中心とした地力の減耗が少なからず関与しているものと推察され、特に富山県耕地面積の約3割を占める中粗粒灰色低地土は、腐植含量が乏しく、保肥力が劣り養分が溶脱しやすいため、土壌窒素肥沃度の減耗が顕在化しやすいと推測される。田村(1996)は長期輪換圃場では畑培養乾土効果が低下するため、短周期に輪換利用せざるを得ない場合は有機物施用等の対策が必要であると結論づけている。大野ら(2004)も大豆作では圃場への窒素の持込量よりも持ち出し量の方が多いため土壌中の窒素が減少すると報告している。

このように畑転換による地力低下が指摘されて久しいものの、その調査事例は少ない。本報告では、まず輪換水田の土壌窒素肥沃度の減耗実態を明らかにするため、輪換履歴が異なる現地圃場の土壌窒素無機化量を計測し、大豆栽培との関係を検討した。また、土壌窒素無機化量と大豆の生育との関係を検討した報告は極めて少ないため、現地で採取した土壌で大豆栽培を行いその関係を検査した。

さらに、土壌窒素肥沃度の減耗対策として、家畜ふん堆肥や、冬作緑肥の施用効果について、大豆の生育収量や土壌窒素肥沃度の維持効率を指標に検討したのでその結果を報告する。

II. 輪換履歴と土壌窒素無機化量の関係解明

1. 緒言

大豆栽培による土壌窒素無機化量の変化は富山県などが農業研究所内の圃場で調査し、窒素肥沃度の減耗を指摘している。しかし現地の実態を把握した報告は見当たらない。また土壌の窒素肥沃度と大豆の生育との関係を調査した事例はこれまでに極めて少ない。本節では同一の農家が管理し、同一の土壌タイプに分類される圃場について、大豆栽培履歴と土壌窒素無機化量の間関係を検討した。さらに輪換履歴の異なる土壌で大豆を栽培し、土壌窒素無機化量と大豆生育や窒素吸収量の間関係を検討した。

2. 材料および方法

1) 調査圃場

県西部の大規模主穀作農事組合法人S農産が管理している圃場1000筆余りの中から、庄川扇状地上で礫質灰色低地土・追子野木統もしくは国領統(土性:SL~L)に分類され、輪換履歴の異なる27筆の圃場を選出した。調査圃場の栽培履歴は表1に示したとおりで、1993~2006年の14年間にわたり管理されており、大豆を作付けた割合(大豆作付回数/14年)を畑率とし、畑率0%の圃場を5筆、7%を3筆、14%を6筆、21%を5筆、29%を5筆、36%を3筆とした。また、水田復帰後の年数と土壌窒素肥沃度の間関係を評価するため、同一畑率で大豆栽培の最終年度が異なる圃場を選んだ。

2) 土壌試料の採取・調整と土壌窒素無機化量

2006年の作物収穫後に調査圃場の作土を採取し、風乾後に砕土して、2mm目の篩で篩別し

表1 調査圃場の栽培履歴(2006)

大豆作 付回数 (畑率)	年度 地域	'93	'94	'95	'96	'97	'98	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	土壌統
0(0%)	福野															追子野木
0	砺波															国領
0	福野															国領
0	福野															国領
0	福野										大麦				大麦	国領
1(7%)	福野											大豆				国領
1	砺波													大豆		追子野木
1	小矢部														麦大豆	追子野木
2(14%)	砺波											大豆		大豆		国領
2	小矢部							大豆				大豆				追子野木
2	小矢部								大豆				大豆			国領
2	砺波					大豆			大豆							国領
2	小矢部					大豆								大豆		追子野木
2	小矢部					大豆						大豆				追子野木
3(21%)	小矢部				大豆	大豆						大豆				追子野木
3	砺波						大豆			大豆			麦大豆			追子野木
3	砺波							大豆				麦大豆			大豆	追子野木
3	砺波						大豆			大豆			麦大豆			追子野木
3	砺波								大豆			麦大豆		大豆		国領
4(29%)	小矢部				大豆		大豆		大豆			大豆				追子野木
4	砺波						大豆	大豆		大豆			麦大豆			追子野木
4	砺波						大豆	大豆			大豆		麦大豆			追子野木
4	福野						大豆	大豆			大豆			麦大豆		追子野木
4	福野							大豆		大豆			麦大豆		麦大豆	追子野木
5(36%)	小矢部				大豆		大豆		大豆		大豆			麦大豆		追子野木
5	砺波						大豆	大豆			大豆		麦大豆	麦大豆		追子野木
5	砺波						大豆						麦大豆	麦大豆		追子野木

注:表中の空欄は水稻を栽培

て調整した。この土壌試料を、直径30mm、高さ120mmのガラス瓶に土壌20gと水30mlを入れ攪拌し、30℃の恒温器内に静置湛水密栓培養を行った。培養後、土壌に10%塩化カリウム溶液100mlを加えて1時間振とうし、アンモニア態窒素を抽出した後、インドフェノール法で定量した。

風乾土の一部はメノウ乳鉢で微粉碎し、全炭素、全窒素を乾式燃焼法（全自動元素分析装置Elementar社製vario MAX CNS）で分析した。

3) 輪換履歴と大豆の窒素吸収量の関係解明

2) で採集した湿潤土壌を同一畑率ごとに乾土で等量になるように混合し、a/5000ワグネルポットに乾土相当で2 kgpot⁻¹充填して大豆（品種：エンレイ）を栽培した。

大豆の栽培は、5月29日に基肥としてBB大

豆1号（N:5%、P₂O₅:18%、K₂O:20%）をポット当たり0.8gを全層施用し、6月1日に大豆をポット当たり2粒播種した。栽培は3連（畑率0%と36%のポットは2連）で、生育期間中の開花期及び成熟期の2回、主茎長と分枝数を調査した。成熟期に抜き取り、子実、莢殻、茎に分けて80℃24時間乾燥後粉碎し、ケルダール法（自動蒸留滴定装置FOSS ケルテック2300型）により窒素濃度を分析し、乾物重の調査と合わせて窒素吸収量を求めた。またポットへ充填直前の土壌の一部を風乾し窒素無機化量を2-2)と同様に計測した。

3. 結果及び考察

1) 畑率と土壌窒素無機化量

S農産の圃場の土壌窒素無機化量は畑率との間に高い負の相関関係が認められ、大豆の作付

回数が多くなるにつれ土壌の窒素肥沃度は明らかに低下していた(図1)。近似式から算出した土壌窒素無機化量は、大豆を1作栽培した土壌(畑率7%)は、畑率0%の土壌に比較して 34mgNkg^{-1} 乾土低下し約85%に、2作栽培した土壌は1作栽培の土壌より 28mgNkg^{-1} 乾土低下して87%に減少し、畑率が高まるにつれ減少程度は徐々に小さくなり5作栽培土壌は4作栽培土壌の約97%に減少していた。初作の大豆は単収が多く土壌由来の窒素吸収量も多いとみられるが、圃場の畑率の高まりとともに大豆による土

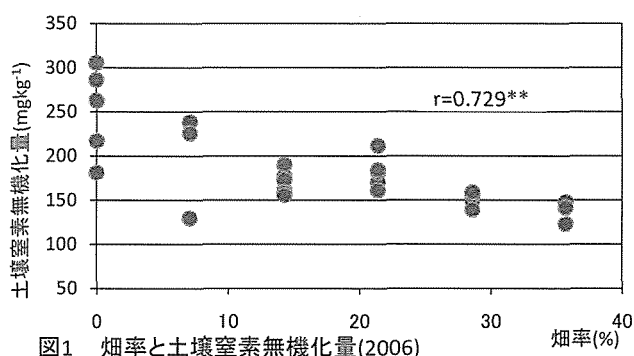


図1 畑率と土壌窒素無機化量(2006)

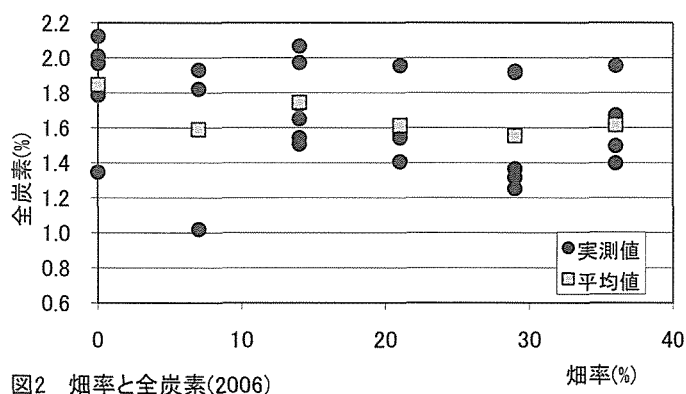


図2 畑率と全炭素(2006)

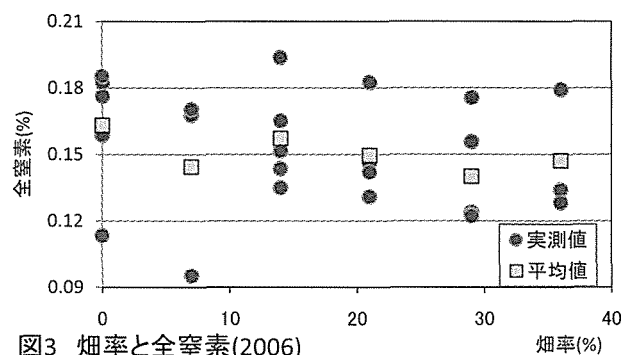


図3 畑率と全窒素(2006)

壤由来の窒素吸収量が減少し、結果として土壌窒素無機化量の減少程度も小さくなると考えられた。

土壌の全炭素量及び全窒素量と畑率との関係には有意性は認められなかった(図2, 3)が、各畑率毎の平均値は、全炭素量、全窒素量ともに畑率の高まりとともにわずかながら低下する傾向が認められた。さらに、畑率が高まると土壌のアンモニア化成率が低下する傾向が認められた(図4)。その結果、畑率が高くても全炭素量、全窒素量の高い土壌があるものの、土壌の全炭素量が同程度の場合、畑率の高い土壌は土壌窒素無機化量が低くなる傾向があった(図5)。繰り返し大豆を作付けることで、土壌中の有機物全体がわずかながら減少するうえ、有機物の中でも可給態窒素画分が大豆の作付によって特に減少していると推察された。

田畑輪換による土壌窒素肥沃度の減耗については田村(1996)や住田ら(2005)によって以前から指摘があったが、金田ら(2009)は大豆3作後とハトムギ3作後の土壌窒素無機化

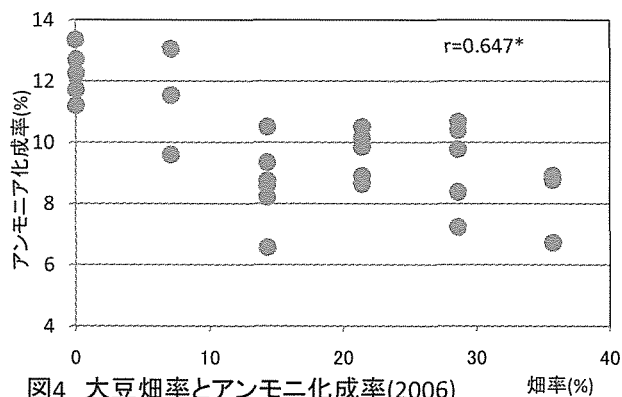


図4 大豆畑率とアンモニア化成率(2006)

アンモニア化成率(%)=(風乾土アンモニア態窒素無機化量/土壌の全窒素)*100

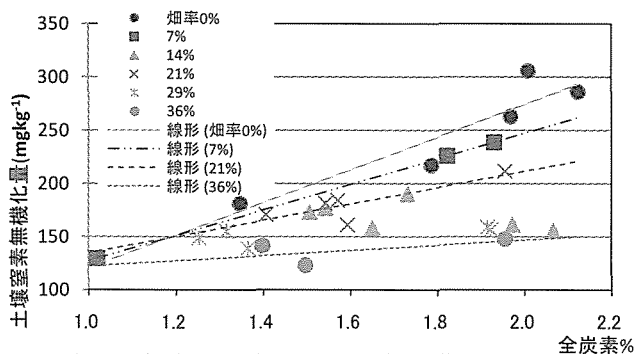


図5 大豆畑率が窒素無機化量に及ぼす影響(2006)

量の減少量を比較し、大豆栽培による減少量の方がハトムギ栽培時より多いことを確認している。大豆は要水量が大きいいため、栽培中に土壌の乾燥が進み、次年度の乾土効果が他の作物を栽培した場合より大きく発現したことで土壌窒素肥沃度の減耗を招いたとも推察されるが、有原(2000)は、大豆はトウモロコシより地力窒素を消耗しやすいことを報告し、その要因は、転換畑での好氣的条件下での有機物分解促進だけでなく、大豆自身が土壌中の難溶性土壌窒素を分解利用していると推察している。前川ら(2008)も、大豆は7月下旬以降の生殖生長期に多量のカルシウムやマグネシウムを吸収しており、その時期と土壌の可給態窒素の増加時期が合致していることに注目し、土壌有機物からカルシウムやマグネシウムが吸収されることで難分解性有機物の分解性が上昇する可能性があるとして唆している。

森泉(2009)は大豆栽培による土壌の有機態炭素の分解過程は土壌により異なり、富山県のような易分解性有機物の少ない灰色低地土壌では大豆を栽培することで芳香族炭素のような難分解性の炭素が減少していることを明らかにしている。これらの報告から田畑輪換でも特に大豆栽培によって土壌の難分解性有機物の分解が進むため、土壌窒素肥沃度が低下すると推察され、本報告でも畑率の高まりとともに土壌窒素肥沃度の低下傾向が認められるのは、30年以上にわたって繰り返し大豆を栽培したことで、水稲栽培では分解しなかった有機物の分解が進んだためと考えられた。

2) 水田復帰後年数と土壌窒素無機化量

田村(1996)は中粗粒灰色低地土で畑培養乾土効果を指標にした場合、有機物等の施用対策を講じない場合は、5年に1回以下の畑利用とすることが望ましいと報告している。本章で還元後の年数と土壌窒素無機化量との関係を畑率別に検討した結果、明確な関係は認められなかった(図6)。住田ら(2005)は、18年間の長期田畑輪換後水田に還元すると稲わら堆肥2t/10aの施用条件下では3年間で可給態窒素量が回復していることを報告している。今回調査した圃場は1地点を除き、還元後の期間が3～1年という短い事例であり、堆肥の施用もされていないため、3年程度の水稲栽培では窒素肥沃度の回復は困難と考えられた。富山県の田

畑輪換は、ほぼ3年に1回大豆を栽培するサイクルとなっているが、この間隔では土壌の窒素肥沃度は回復できず減耗傾向を辿ることが想定され、大豆栽培を継続するためには減耗する窒素肥沃度を修復しつつ長期的に維持する対策が必要となる。

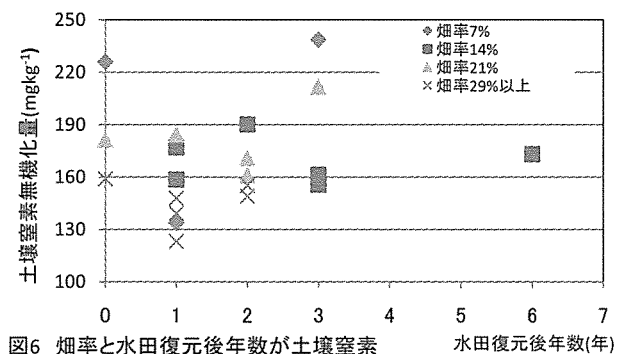


図6 畑率と水田還元後年数が土壌窒素無機化量に及ぼす影響(2006)

3) 土壌窒素無機化量と大豆の窒素吸収量

畑率の低い土壌で栽培した大豆ほど開花期には主茎長・分枝数が明らかに多く(図7)、収量も高い結果となった(図8)。湿潤土の湛水

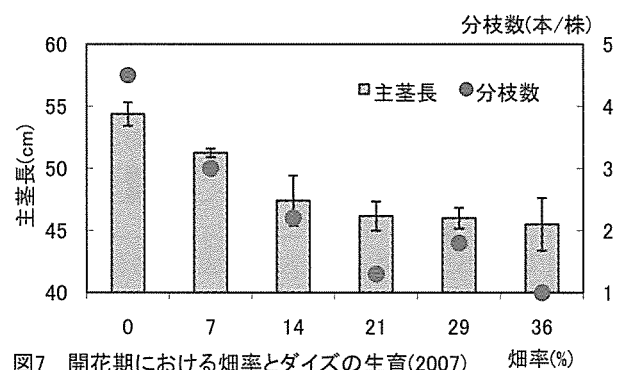


図7 開花期における畑率とダイズの生育(2007)

エラーバーは標準偏差

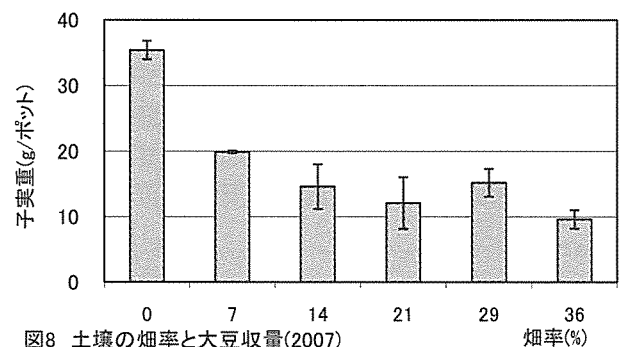


図8 土壌の畑率と大豆収量(2007)

エラーバーは標準偏差

培養や畑培養による土壤窒素無機化量は、大豆の生育と密接な関係は認められなかったが、風乾土の4週間湛水培養値から湿潤土の4週間湛水培養値を差し引いた乾土効果は、畑率が低いほど多く、大豆の生育前半からの窒素供給が多いことが推察された。大豆生育の後半に無機化すると推定される、30℃10週間と4週間湛水培養の差の土壤窒素無機化量も、値は乾土効果の3～2割程度と少ない無機化量であるが、畑率が低いほど窒素供給が多くなっていた(図9)。

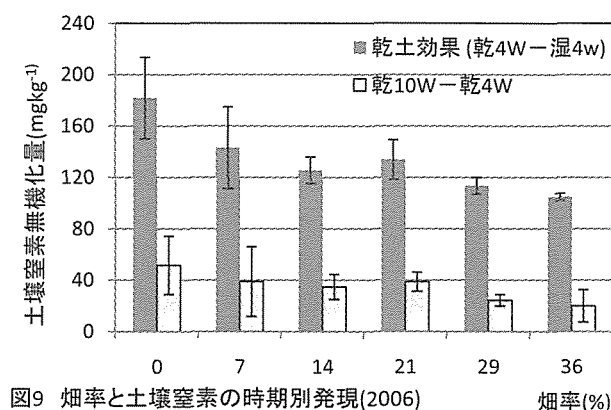


図9 畑率と土壤窒素の時期別発現(2006)

エラーバーは標準偏差

畑率の低い土壌は大豆の全生育期間を通じて窒素無機化量が多いため、成熟期の窒素吸収量が多く、収量が高くなった。大豆生産力低下の要因としてこの風乾土を培養した際に無機化する窒素量の減少が関与していると推察された。

本試験で、成熟期の大豆の窒素吸収量を、土壌から無機化した窒素を100%吸収していると仮定して差し引くと、残りは施肥由来と根粒菌による固定由来窒素となる。施肥窒素量は同量の20mg kg⁻¹乾土なので施肥由来窒素量も同量とみなすと、畑率が高くなるにつれ固定由来窒素量は土壌由来窒素量より減少率が高い。特に0%から7%になった時の減少率が大きく、大豆を1作栽培することで固定由来窒素量が大きく変化していることが想定される(図10)。固定窒素量は計測していないものの、地温や土壌水分、土壌中の無機態窒素量等により左右される。さらに田畑輪換の長期化に伴い、土壌有機物が消耗し、土壌の通気性や保水力の低下、耕盤の緻密化も窒素固定を阻害する方向に働くとされている(島田, 2006)。しかし一度の大豆栽培が根粒菌の働きにどの程度影響を与えるかは

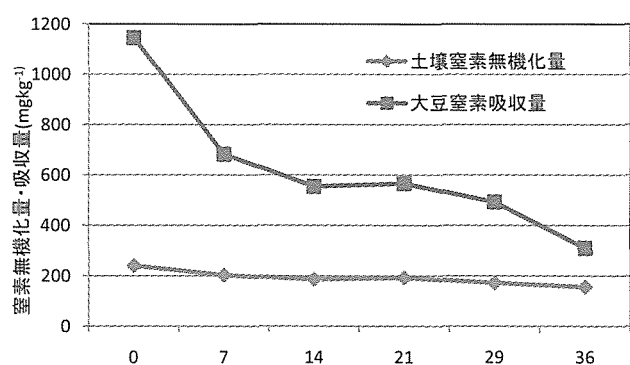


図10 土壤窒素と成熟期における大豆の窒素吸収量(2007) 畑率(%)

定かではない。また、黒大豆を5年間連作した場合、根粒内の根粒菌が質的变化を起こし非根粒菌が増えるため、連作4年目頃から根粒の着生不良により減収したとの報告がある(吉川ら, 2009)。3年間に1回程度大豆を作付する輪作体系下のエンレイについて当てはまるかどうかは今後の検討課題である。

Ⅲ. 牛ふん堆肥による土壤窒素肥沃度の維持効率の評価

1. 緒言

前章で大豆作付により土壤窒素無機化量が減少しており、大豆初作後の土壤窒素無機化量は水稻連作圃場の約85%に減少していることを明らかにした。土壤窒素は土壌中の有機物が微生物によって分解されて無機化するため、無機化量の減少対策には有機物を施用することが必要と考えられる。富山県農業研究所における試験で、小池ら(2005)は長期輪換砂壤土水田では、堆肥を継続的に投入することで土壌の全窒素含量が増加し、土壌からの窒素無機化量も開花期以降に多くなるため、着莢数が増え、収量が堆肥を施用しない慣行栽培区より高くなったことを報告している。住田ら(2005)も畑期間が1～2年の田畑輪換の場合は稲わら堆肥の投入で可給態窒素の減耗が軽減されたと報告している。そこで本章では、大豆栽培による窒素肥沃度の低下とその修復対策として籾殻牛ふん堆肥の施用効果を評価するため、過去に大豆栽培履歴のない水稻連作圃場で大豆栽培を行い、栽培前後の土壤窒素無機化量の変化を計測した。さらに、籾殻牛ふん堆肥を連用している長期田畑輪換圃場において、大豆栽培時の土壤窒素無機化量を畑培養によって確認し、水稻連作圃

場との無機化速度の違いから籾殻牛ふん堆肥の効果について検討した。

2. 材料及び方法

1) 大豆初作時の土壤窒素無機化量減少の修復

農業研究所内の大豆未作付けの水稻連作圃場(礫質灰色低地土:作土の土性SL)において2006年4月19日に籾殻牛ふん堆肥を1kg, 2kg, 3kg m⁻²施用した処理区と無施用区の4区を設け、2006年水稻-2007年大豆-2008年水稻の輪作を実施し、2006年の堆肥施用前と2008年の水稻栽培後の跡地の土壤窒素無機化量を次の方法で調査した。各処理区の風乾土をⅡ-2-2)と同様の方法で30℃10週間静置湛水培養し窒素無機化量を計測した。施用した籾殻牛ふん堆肥は、水分43.2%、N2.3%、C36.2%で、試験規模は1区110m²の2連制で行った。輪作した作物の施肥管理は全区共通で表2のとおりである。

2) 長期田畑輪換圃場における牛ふん堆肥連用の大豆収量と土壤窒素肥沃度維持への効果

農業研究所内の長期輪作圃場(礫質灰色低地土、作土の土性:SL)で、表3のように1998~2008年に籾殻牛ふん堆肥を、大豆後水稻栽培時のタイミングを除いて、2kg m⁻²と4kg m⁻²施用を継続する処理区と無施用区を設け、2006年と2008年に土壤の窒素肥沃度を評価した。試験規模は1区100m²の2連制とした。

まず2006年に、3回の大豆栽培と6回の堆肥施用の影響を調べるため、4月24日に作土を採取し、5mm目の篩で篩別して調整した。この土壤試料を土壤の最大容水量の50~60%である、含水率27~29%に調整した後、直径30mm、高

さ120mmのガラス瓶に40g充填した。パラフィルムで覆いをし、畑状態として30℃の恒温器内で静置培養を行った。培養開始後4週、10週、15週、20週、25週後の各期に土壌を20g採取し、10%塩化カリウム溶液100mlを加えて1時間振とうし、抽出液の硝酸態窒素を、銅・カドミウム還元吸光光度法(オートアナライザー、ブランルーベⅡ型)で定量した。培養は3連で行った。

供試土壌の一部を風乾し、Ⅱ-2-2)と同様の方法で全炭素、全窒素を分析した。

2008年においては、5月21日に籾殻牛ふん堆肥を2kg m⁻²ないし4kg m⁻²施用した後耕起し、6月2日に大豆(品種エンレイ)を播種した。播種量は4kg m⁻²とした。これで大豆栽培は4回目に該当し、堆肥施用は8回目となる。大豆栽培時の施肥は播種時に基肥をN-P₂O₅-K₂Oで2-7.2-8.0g m⁻²全処理区に施用した。成熟期に各処理区において、平均的な生育の1m間の株を3か所で採取し、脱粒した後選別し粒径5.5mm以上の粒重から子実重を算出して収量とした。

大豆収穫後の10月3日に跡地土壌を採取して風乾し、Ⅱ-2-2)と同様の方法で30℃10週間の静置湛水培養を行い、土壤窒素無機化量を計測した。また近隣の水稲連作圃場の土壌を併せて採取し、窒素無機化量を計測し、これとの比較により長期田畑輪換圃場における籾殻牛ふん堆肥施用の効果を検討した。

3. 結果及び考察

1) 大豆初作後の土壤窒素無機化量減少の修復

3年間の作物の収穫量は表4の通りで、2006年は施用した籾殻牛ふん堆肥の施用量に応じて、収量が高まっていたが、2007年の初作の

表2 作物の輪作体系と堆肥及び化学肥料の施用量 (g m⁻²)

年度	作物	品種	堆肥(kg m ⁻²)	基肥(N-P ₂ O ₅ -K ₂ O)	穂肥(施肥日:N-K ₂ O)
2006	水稻	コシヒカリ	0,1,2,3	無施肥	7/25:1.6-1.6, 8/1:2.0-2.0
2007	大豆	エンレイ		1.4-4.9-5.4	
2008	水稻	コシヒカリ		無施肥	

表3 長期田畑輪換圃場の作物栽培と堆肥施用の履歴

年度	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
作物栽培	水稻	大豆	水稻	水稻	大豆	水稻	水稻	大豆	水稻	水稻	大豆
堆肥施用(kg m ⁻²)	0.2,4	0.2,4	なし	0.2,4	0.2,4	なし	0.2,4	0.2,4	なし	0.2,4	0.2,4

2008年施用堆肥の成分:N2.3%,C35.6%,水分46.8%

表4 農作物の収量*1		(g ^m ⁻²)		
年度	2006	2007	2008	
処理区	作物	水稲*2	ダイズ*3	水稲*2
施肥	穂肥のみ	慣行施肥	無施肥	
堆肥0	427±37	289±18	471±96	
堆肥1	473±10	309±4	452±22	
堆肥2	542±50	305±22	473±56	
堆肥3	579±20	294±9	468±37	

*1:平均±標準偏差

*2:水分15%換算

*3:水分12.5%換算

大豆は土壌の窒素肥沃度の影響を受けることなく全処理区とも300g^m⁻²程度の収量があった。2008年の大豆跡水稲は、前年の大豆栽培によって土壌中の有機物の分解が進み、増加した土壌からの窒素分を吸収したことで、無肥料栽培にもかかわらず全処理区で470g^m⁻²程度の収量を確保し、堆肥施用の差は認められなかった。

跡地の土壌窒素無機化量は、大豆栽培により、風乾土の30℃ 10週湛水培養で約40mgNkg⁻¹乾土減少していた。大野ら（2004）の試算では大豆収量が300g^m⁻²程度ある場合、圃場における窒素収支は6.5g^m⁻²のマイナスとなっている。この値は圃場の作土深を15cm、土壌の仮比重を1と仮定すると、43mgNkg⁻¹乾土に相当し、本報の結果とほぼ一致する。また、この値はⅡ-3-1)で示した現地調査の畑率0%の圃場と大豆を1作栽培した畑率7%の圃場の土壌窒素無機化量の差の34mgNkg⁻¹に近い結果となっている。この減少対策として、籾殻牛ふん堆肥1kgないし2kg^m⁻²を施用した場合は減少を修復するに至っていないが、3kg^m⁻²の施用で土壌窒素無機化量を約40mgNkg⁻¹乾土修復し、大豆栽培前の窒素無機化量とほぼ同量になっていた（図11）。3kg^m⁻²の堆肥からは261mgNkg⁻¹乾土に相当する窒素が供給されていることになるので、修復値は堆肥由来窒素の約15%に相当していた。

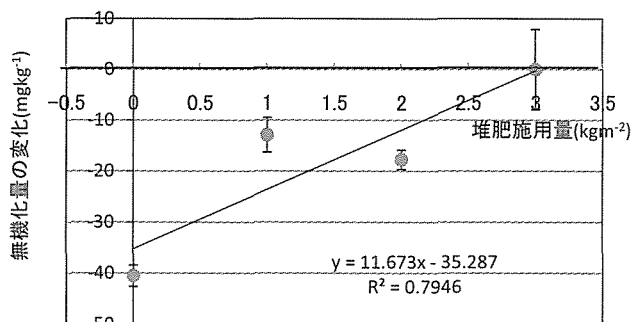


図11 大豆栽培による無機化量の減少と堆肥による修復(2008)

エラーバーは標準偏差

以上の結果から大豆を初作した場合、籾殻牛ふん堆肥3kg^m⁻²の施用で土壌窒素無機化量の減少を回避できると考えられた。

2) 長期田畑輪換圃場における牛ふん堆肥連用の大豆収量と土壌窒素肥沃度維持への効果

3年に2回籾殻牛ふん堆肥を2kgないし4kg^m⁻²施用しながら、水稲—水稲—大豆の田畑輪換を3回繰り返した圃場について、輪換圃場の堆肥無施用区では全炭素含量が水稲連作田に比べて約10%低くなったが、全窒素含量は両処理区でほぼ同等であった。このことから大豆栽培に起因する土壌有機物の減耗は全炭素含量の方が顕著で、全窒素への影響は小さいと考えられた。輪換圃場の堆肥施用処理では無施用に対して、全炭素、全窒素ともに増加しており、堆肥2kg^m⁻²施用ではそれぞれ25%及び22%の増加となり、水稲連作田に比べても高い値となった。更に4kg^m⁻²施用では全炭素、全窒素含量が無施用に対して49%及び41%の増加となっており2kg^m⁻²施用処理と比べて増加率が2倍程度となった。堆肥施用による全炭素と全窒素の増加率を比較すると、全炭素の方がやや大きく、相対的に窒素より効率よく土壌に残存し、結果としてC/N比が僅かに上昇する傾向が認められた（表5）。

湿潤土畑培養（30℃ 4週～25週）の無機化速度

表5 土壌の全炭素・全窒素(2006)

処理区	T-C% 指数			T-N% 指数			C/N比
	水稲連作を100	堆肥0を100		水稲連作を100	堆肥0を100		
水稲連作	1.916	100		0.175	100		10.98
輪換堆肥0	1.733	90	100	0.174	100	100	9.95
輪換堆肥2kg	2.164	113	125	0.213	122	122	10.17
輪換堆肥4kg	2.578	135	149	0.246	141	141	10.48

は、水稻連作田に比べて、輪換堆肥無施用区で5週目以降の低下が大きい。これは見かけ上時間をかけて分解の進む有機物画分が減耗していると推定される。これに対して、堆肥の施用で5週目以降の無機化速度が修復され、 4 kg m^{-2} 施用区は水稻連作田に近い値となっている。但し、堆肥の施用で培養開始から4週までは無機化速度が大幅に増加し、土壌固有の無機化パターンに修復するのは困難であり、施肥による調整が必要と考えられた(図12)。

この調査は大豆栽培中の土壌からの窒素供給量を推定するために測定したものである。Ⅱ章で、湿潤土の湛水培養や畑培養による土壌窒素無機化量は、大豆の生育と密接な関係は認められなかったと述べたが、これは通常の無機化量の測定方法である、 30°C 4週間と10週間までの値についてである。本章で、大豆栽培期間の圃場の積算地温を超える 30°C 15週間以上の長期間培養によって無機化する窒素量と大豆が吸収できる地力窒素との関係は不明ではあるが、この遅い時期に無機化する土壌窒素が長期田畑輪換圃場で小さくなるのに対し、水稻連作田の土壌では逆に、10週までの無機化速度より10週以降の無機化速度が高くなっている。これは、長

期田畑輪換によって、時間をかけて分解の進む有機窒素画分が減耗傾向にあると評価され、水田での初作の大豆に比べ、最大繁茂期以降の窒素吸収量及び収量が低下する(表13、図8)こととの関連性が推察された。また、この遅くに無機化する土壌窒素を潜在的な地力窒素とすると、3年に1作大豆栽培を行っている圃場では、籾殻牛ふん堆肥 2 kg m^{-2} を3年間に2回施用していても、潜在的な地力窒素は水稻連作田と同程度かやや少ないレベルにまでしか修復されないと考えられた。

大豆の収量の推移は図13のとおりである。1度の堆肥施用では収量差は見られなかったが、連用することで堆肥無施用区に比べ堆肥施用区で収量が高くなっている。しかし4回目の栽培では、生育後半から黒根腐れ病が発生し、開花期頃までは堆肥施用区で旺盛な生育となり窒素吸収量や主茎長で有意な差が認められたものの、その後は同程度の生育・窒素吸収量となり増収効果は認められなかった(表6)。

大豆を4作栽培した後(2008年)の跡地風乾土を 30°C で10週間湛水培養した時の窒素無機化量は、近隣的水稻連作圃場と比べて、堆肥無施用区は低くなっていたが、堆肥施用区では堆肥

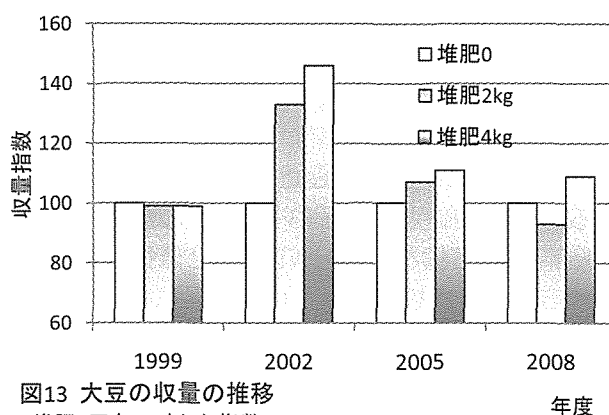
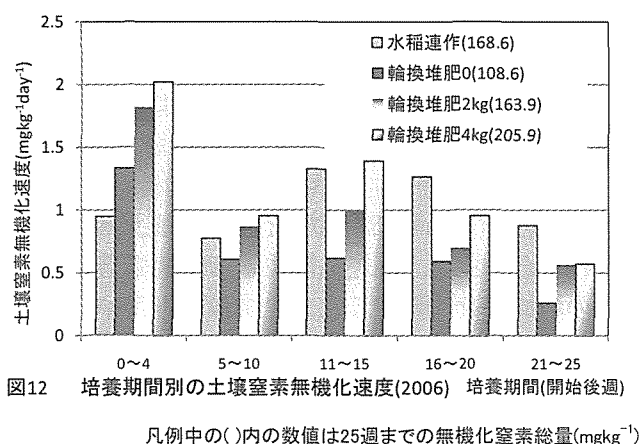


表6 堆肥の施用と大豆の生育(2008)

区	窒素吸収経過(g m^{-2})			主茎長 cm	分枝数 本/株	莢数 個/本	百粒重 g	子実重 g m^{-2}
	開花期	最大繁茂	成熟期					
無処理	2.6 ^b	16.7	18.0	44.6 ^b	2.3	42.3	28.5	245.9
堆肥2kg	4.6 ^{ab}	16.8	17.0	55.5 ^a	2.9	44.2	27.4	228.5
堆肥4kg	5.9 ^a	17.7	20.1	63.2 ^a	3.4	51.6	27.2	267.9

窒素吸収量は開花期(葉+茎葉+柄), 最大繁茂(葉+茎+葉柄+莢), 成熟期(茎+莢殻+子実)

百粒重: 子実水分12.5%換算値, 異符号間に5%水準で有意差あり(Tukey-Kramer法)

の施用量に応じて窒素無機化量が増加し、水稻連作田の無機化量に比べて、 2 kgm^{-2} 施用区ではやや少なく、 4 kgm^{-2} 施用区でやや増加しており、水稻連作田並みの窒素肥沃度を維持するには、 3 kgm^{-2} 相当の堆肥施用が必要と考えられた(図14)。

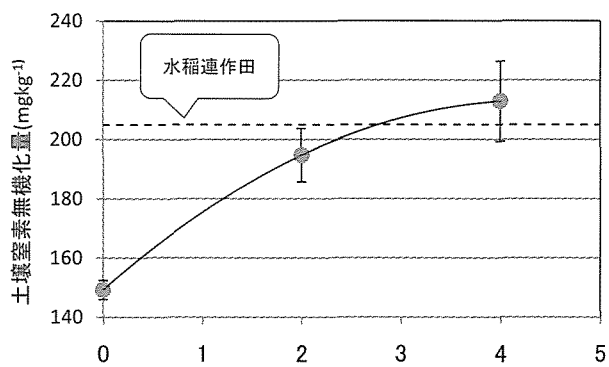


図14 跡地土壌の窒素無機化量(2008) 堆肥施用量(kgm⁻²)

エラーバーは標準偏差

以上の結果から、3年に1作大豆を栽培している圃場では、大豆1作に対して籾殻牛ふん堆肥は 3 kgm^{-2} 程度を2回施用することで跡地の土壌窒素肥沃度を維持できると推察された。

IV. 緑肥による大豆の生育収量への影響と土壌窒素肥沃度の維持効果

1. 緒言

前章までに、大豆栽培による土壌窒素肥沃度の

低下と籾殻牛ふん堆肥による肥沃度の維持効果を確認した。家畜ふん堆肥は効果的な有機物であると考えられるが、富山県が平成20年に調査した牛ふん堆肥と豚ふん堆肥の年間生産量の合計値は96,000t足らずで(富山県2009)、本県耕地面積の59,600ha(北陸農政局2009)に充分な量を供給できる状況ではない。また、家畜ふん堆肥を効率的に活用するには堆肥舎からの運搬やマニュアルスプレッダーによる散布作業等が必要となるため、対応が可能な生産者は限定される。そこで農家が特別の機械装備なしでも取り組むことができ、土壌肥沃度の修復が期待できるマメ科のヘアリーベッチとイネ科エンバクの冬作緑肥に注目し、そのすき込みによる大豆の生育や土壌窒素肥沃度の修復維持に対する効果について検討した。

2. 材料及び方法

1) 緑肥の耕種概要と処理区の設定

試験圃場の作付履歴は表7に示したとおりで、試験前10年間に於いて不定期に3回の大豆作付を実施している。また試験前4年目までの3年間(2002~2004年)では圃場の一部でヘアリーベッチとエンバクを栽培し、作土にすき込む処理を実施している。

2008年春にすき込みを実施した緑肥の処理区は表8に示したとおりで、ヘアリーベッチ区、エンバク区及びヘアリーベッチとエンバクの混播区を設定し、前2区は2002~2004年の緑肥栽培処理区と同じ位置に設置した。供試品種はヘアリーベッチでヘアリーベッチ、エンバクでヘイオーツを用いた。施肥はエンバク区の

表7 緑肥施用試験圃場の大豆の作付け及び緑肥すき込み履歴

年度	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
作物	大豆	水稻	大豆	水稻	水稻	水稻	水稻	水稻	大豆	水稻	大豆
緑肥施用					緑肥	緑肥	緑肥				緑肥

注:2002~2004年のヘアリーベッチ、エンバク区と08年のヘアリーベッチ、エンバク区は同一区

表8 処理区の構成と緑肥作物の耕種概要(2007) (gm⁻²)

処理区	品種	施肥*1 (N-P2O5-K2O)	播種日*2	播種量
ヘアリーベッチ区	ヘアリーベッチ	無施用	9月20日	4
エンバク区	ヘイオーツ	5.0-8.3-6.7	10月3日	4
混播区*3	同上	無施用	9月20日	2+2

*1:施肥は播種前日に全層施肥

*2:2007年の水稻収穫後

*3:ヘアリーベッチとエンバクを混播

み10月1日に基肥としてN-P₂O₅-K₂Oそれぞれ5.0-8.3-6.7g^m⁻²施用し、直後に耕耘した。播種はエンバク区が10月3日、他の区は9月20日に実施し、播種量は全区4g^m⁻²で混播区は2種の緑肥を2g^m⁻²ずつとした。播種後にレーキをかけた。

2008年春の緑肥すき込み直前に、緑肥の地上部を採取し、80℃48時間乾燥後に乾物重を調査し、その後、微粉碎して、全炭素及び全窒素濃度を乾式燃焼法（全自動元素分析装置Elementar社製vario MAX CNS）で分析した。

その結果より、緑肥の窒素吸収量を算出するとヘアリーベッチ区で22.5g^m⁻²と多く、エンバク区の2.6g^m⁻²にくらべて8倍以上あった。混播区では合計18.3g^m⁻²でこのうち92%がヘアリーベッチ由来であった。炭素率（C/N比）はヘアリーベッチで12.9と土壌と同程度の水準であるのに対し、エンバクは6倍近い73.8と高い値であった。また混播区の2種の緑肥の総量の炭素率は14.3でヘアリーベッチ区に近い値であった（表9）。

2) 土壌窒素無機化量の調査

緑肥すき込みにより、大豆栽培中に無機化する窒素量を評価するため、以下のような調査を行った。緑肥のすき込み（5月22日）直前に、処理区毎に地上部が混合しないように作土を採取し、根等の粗大有機物を除去して粒径5mm以下に篩分けした。土壌の含水率を、最大容水量の50～60%に相当する、27～29%になるように調整した。一方で、緑肥の地上部を採取し、5mm～1cm程度に細断し、生草重相当で、ヘアリーベッチは40gkg⁻¹乾土、エンバクは15gkg⁻¹乾土、混播はヘアリーベッチ30gkg⁻¹とエンバク7gkg⁻¹乾土となるよう計量し、これを各処理区の調整土壌とよく混和した。ヘアリーベッチの当年の生草重は6kgm⁻²あったが、これまでは3kgm⁻²程度の年次が多かったため、混和

量を平年値に近い40gkg⁻¹乾土とした。緑肥混和土壌を250ccのポリ瓶の8割程度に充填し、ねじ蓋を緩く締めた状態で大豆の播種時に圃場の畦内へ埋め込んで培養した。これを、ほぼ一カ月間隔で4回掘り取り、瓶当たり20g採取し、10%塩化カリウム溶液100mlを加えて1時間振とうし、抽出液の硝酸態窒素を、銅・カドミウム還元吸光光度法（オートアナライザー、ブランルーベII型）で定量した。緑肥混和土壌の培養は4連で行った。

また土壌の窒素肥沃度の変化を評価するため、大豆栽培跡地の土壌窒素無機化量を、II-2-2)の風乾土壌の場合と同様に30℃恒温で10週間の湛水密栓培養により計測し、近隣の水稲連作田の土壌と比較した。いずれも1区2連で行った。

3) 大豆の耕種概要と処理区の設定

(1) ポット試験

大豆のポット栽培試験は2006～2008年の3年間に於いて1/5000aワグネルポットに農業研究所内の田畑輪換圃場（表7の無処理区）の土壌を乾土で2006年は2.7kg、2007年は2.6kg、2008年は2kg相当充填して行った。処理区の構成と各年度の処理内容を表10に示した。緑肥の混和量は試験年毎に農業研究所内圃場での単位面積当たりの作土量に対する緑肥生育量の比率を指標に決定しており、2007年のすき込み量が他の年度より少なくなった。また2006年におけるエンバクの炭素率は、当該年の積雪が多く生育が遅れたため28と低くなった。緑肥は圃場から採取後ただちに数センチに細断し、ポットの土壌全体に混和した。2006年は全区無肥料で行ったがやや生育量が小さかったため、2007年と2008年ではエンバク区と対照区にのみ硫酸で基肥窒素をポット当たり104mg及び、80mg混和した。供試品種はエンレイでポット当たり2粒播種した。播

表9 すき込み時の緑肥の生育量(2008,圃場試験)

処理区	生草重 (kgm ⁻²)	乾物率 (%)	乾物重 (gm ⁻²)	N(%)	C(%)	N吸収量 (gm ⁻²)	C/N比
ヘアリーベッチ区	6.1±0.7	11.2	680±14	3.3±0.5	42.7±0.8	22.5±3.9	12.9
エンバク区	1.6±0.2	28.1	446±58	0.6±0.1	43.6±0.0	2.6±0.1	73.8
混播区 ベッチ	3.9±0.3	13.1	503±40	3.4±0.3	42.5±1.4	16.9±2.3	12.5
エンバク	0.9±0.1	13.3	116±13	1.2±0.1	40.7±0.5	1.4±0.2	33.9
混播計				3.0±0.2	42.2±1.1	18.3±2.2	14.3

種日は2006年と2008年は6月2日、2007年は6月1日であった。1区3連で栽培し、生育経過及び成熟期に抜き取り子実重を調査した。

(2) 圃場試験

大豆の圃場栽培試験は、2008年にポット栽培試験と同じ処理区の構成で行った。5月22日に各緑肥作物をフレールモアで破碎した後、マグフミン(保証成分、アルカリ分:50%、可溶性苦土:15%、く溶性苦土:10%、含有成分の石灰:31.5%) 100g m^{-2} を施用し、トラクターのロータリー耕によりすき込んだ。6月2日に大豆(品種エンレイ)を畝立同時播種機で播種した。播種量は 4g m^{-2} とした。基肥量は、播種時に $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ でエンバク区は $5\text{-}18\text{-}20\text{g m}^{-2}$ 、対照の無処理区は $2\text{-}7.2\text{-}8\text{g m}^{-2}$ 施用した。ヘアリーベッチ区及び混播区は無施肥とした。各試験区の2か所で連続7株の主茎長と一次分枝数を調査し、地上部の乾物重や窒素吸収量をⅡ-2-3)と同様の方法で調査した試験処理は1区2連で行った。

3. 結果および考察

1) 緑肥のすき込みと窒素無機化量

2008年の圃場での湿潤土畑培養による窒素無機化量は表11に示したとおりで、ヘアリーベッチ区では、すき込み後1ヶ月余りの6月30日で、成熟期(10月2日)までの全無機化量の70~80%に達していた。同区では基肥窒素を無施用としたが、大豆の初期生育が旺盛で、緑肥すき込み直後から多量の窒素が無機化していたと推察された。またその後もヘアリーベッチすき込み区では無処理区より無機化量が高く推移していた。一方エンバク区では7月30日の開花期頃までは有機化による無機窒素の取り込みがあったものと考えられた。しかし7月30日後の無機化量は無処理区よりわずかに高まっていた。成熟期における緑肥由来窒素の見かけの無機化率はヘアリーベッチ区で85%、エンバク区で30%、混播区では97%と最も高くなった。

冬作緑肥の生育量は、冬期間の気象条件の影響を受けるが、生育量を確保するには9月下旬から10月上旬までに播種することが望ましいとの結果が示されている(富山県農業技術センター, 2005)。またエンバクはヘアリーベッチと同日にすきこんだが、この時点で出穂後かなりの日数が経過していたため炭素率が高く無機化率は30%と低かった。過去の調査でエンバク

表10 すき込み時の緑肥の概要(ポット試験)

年次	処理区	生草重 (g)/ポット	生草重(g kg^{-1} 乾土)	乾物率 (%)	N%	C/N	緑肥N(mg kg^{-1} 乾土)	施肥N(mg kg^{-1} 乾土)
2006	ヘアリーベッチ	79.8	30.0	12.5	4.87	9.1	182.6	
	エンバク	39.9	15.0	18.8	1.53	28.1	4.3	
	無処理							
2007	ヘアリーベッチ	42.6	16.7	15.1	3.41	12.8	85.8	
	エンバク	24.6	9.6	27.4	0.65	69.2	17.1	40.0
	無処理							40.0
2008	ヘアリーベッチ	80.0	40.0	10.5	3.54	12.0	148.7	
	エンバク	30.0	15.0	28.1	0.59	74.3	24.9	40.0
	無処理							40.0

表11 緑肥のすき込みと土壌窒素無機化量(2008)

区	6月30日	7月30日	9月4日	10月2日(a)	(mgkg ⁻¹ 乾土)	
					緑肥の添加窒素量(b)	10/2の無機化率(%)*
ヘアリーベッチ	117.9	125.3	144.9	167.3	149.0	84.6
エンバク	1.1	6.2	27.0	48.6	25.0	30.1
混播	140.0	146.6	156.8	180.4	143.0	97.3
無処理	6.3	12.2	23.5	41.1		

*:10/2の無機化率=(10/2の各区の無機化量(a)-無処理区の無機化量)/緑肥の添加窒素量(b)

の炭素率は出穂直前頃だと30前後の値であり(岡山, 2005)、この頃にすき込むことにより無機化率も高まり、大豆への窒素供給量が増えると推察された。

ヘアリーベッチとエンバクの混播区は、炭素率の低いヘアリーベッチに炭素率の高いエンバクを混和することで、見かけの無機化速度を緩慢にし、無機化窒素の肥効の持続性を高めることを期待したものである。しかし、混播区でのエンバクの生育はその群落がヘアリーベッチに被覆されたため抑制されており、単作のエンバク区に比較して、乾物重は1/4、乾物率や炭素率も1/2以下の低さであったため特徴が活かされず、窒素無機化量の推移はヘアリーベッチ単作区と大差のない結果となった。エンバクを効果的に活用するには、エンバクの播種量を増やす等の工夫も必要と考えられる。

2) 緑肥のすき込みによる大豆の生育と跡地土壌の窒素無機化量

(1) ポット試験

3年間の栽培試験の結果、年次変動に有意な差が認められ、いずれの年次もヘアリーベッチ区は無処理区より子実重が増加していた。特に2006年と2008年は緑肥の十分なすき込み量を確保したため、2006年は45%、2008年は93%無処理区より増収していた。エンバク区は、平均値では20%程度の増加傾向となったが、有意な差ではなかった。またエンバク区と無処理区は標準偏差が大きくヘアリーベッチ区より収量の安定性が低かった。ヘアリーベッチの分解は生育の早い段階で進むものの、生育後半も無処理区より窒素無機化量が多いため、大豆の全生育期間を通して窒素供給量が増えたことにより増収したと考えられる(表12)。また緑肥のすき込みにより土壌は乾燥密度が低下し排水性の向上等物

理性が改善したという報告もあり(富山県農業技術センター, 2005)、根粒活性にも影響を及ぼしていると推察され、そのことも増収の因子として関与しうると考えられた。

(2) 圃場試験

大豆の生育はムラがあり処理間に有意な差は検出できなかったが、開花期頃よりヘアリーベッチ区の生育が旺盛となっていることが観察された。試験圃場は畑率30%に相当し窒素肥沃度の減耗が想定され、無処理区では最大繁茂期以降の大豆の窒素吸収量の増加が認められなかった。一方、ヘアリーベッチ区では最大繁茂期から成熟期にかけての窒素吸収量が増加し、成熟期では無処理区に対して50%以上の増加を示した。また、ヘアリーベッチ区では莢数が多くなり子実重は無処理区に対して81g^m⁻²の増収となった(表13)。板谷ら(2006)は、ヘアリーベッチの鋤込みにより土壌窒素無機化量が増え、開花期～最大繁

表12 緑肥の施用と大豆の収量(ポット試験)

年次	処理区	子実重 ^g ポット ⁻¹	指数
2006	ヘアリーベッチ	14 ^a	145.8
	エンバク	11.6 ^{ab}	120.8
	対照	9.6 ^b	100
2007	ヘアリーベッチ	18.7	123.0
	エンバク	18.3	120.4
	対照	15.2	100
2008	ヘアリーベッチ	14.1 ^a	193.2
	エンバク	9.7 ^{ab}	132.9
	対照	7.3 ^b	100
3年間 平均	ヘアリーベッチ	15.8±2.9	
	エンバク	13.6±4.0	
	対照	11.1±4.0	
年次		**	

異符号間に5%水準で有意差あり(Tukey-Kramer法)
注**)は1%水準で有意であることを示す。

表13 緑肥の施用とダイズの生育・収量(2008圃場試験)

区	窒素吸収経過(g ^m ⁻²)			主茎長 (cm)	分枝数 (本/株)	莢数 (個/本)	百粒重 (g)	収量 (g ^m ⁻²)
	開花期	最大繁茂期	成熟期					
ヘアリーベッチ	3.8	16.7	22.8 ^a	45.1	3.6 ^a	55.1 ^a	25.9	294 ^a
エンバク	3.1	13.1	14.9 ^b	44.5	2.4 ^{ab}	36.4 ^b	23.1	201 ^b
無処理	1.8	14.8	14.5 ^b	40.0	1.7 ^b	34.8 ^b	25.3	213 ^b

窒素吸収量は開花期(葉+茎葉+柄), 最大繁茂(葉+茎+葉柄+莢), 成熟期(茎+莢殻+子実)

百粒重: 子実水分12.5%換算値, 異符号間に5%水準で有意差あり(Tukey-Kramer法)

茂期にかけての大豆の窒素吸収量が無処理区に対して大きく増加し、その後成熟期にかけても高く維持されると報告している。時期は異なるもののヘアリーベッチの鋤込みにより窒素吸収量が増加し、増収することは今回の結果と同様であった。

大豆栽培跡地の土壤窒素無機化量は、無処理区で 143.6mgkg^{-1} となり、近隣の水稲連作圃場と比べて 61.3mgkg^{-1} 少なく、大豆作付により窒素肥沃度が減耗したものと考えられた(図15)。これに対して、緑肥をすき込んだ処理区では、水稲連作圃場とほぼ同程度の値に維持されており、大豆作付に伴う窒素肥沃度の減耗に対し、修復効果が認められた。また過去の作付履歴を考慮すると、概ね大豆1作につき緑肥1回のすき込みで土壤の窒素肥沃度の減耗を防ぎうる可能性が示唆された。本試験では、一度の緑肥すき込みにより窒素肥沃度が大きく向上し、複数回的大豆栽培でも肥沃度を維持できることを期待したが、緑肥の生育量が旺盛であっても、一作大豆を栽培すれば跡地の窒素肥沃度は近隣の水稲連作圃場と同程度にとどまり、それ以上の増強効果は期待できないと考えられた。エンバクのすき込みでは、土壤の窒素肥沃度の維持についてはヘアリーベッチとほぼ同等の効果が認められたが、大豆の栽培では窒素吸収量の増加や増収効果は認められなかった。これは、大豆生育期間中の無機化量は表11のように窒素の取り込みもあり少ないが、有機物の施用による窒素肥沃度の向上は図られたためと考えられた。

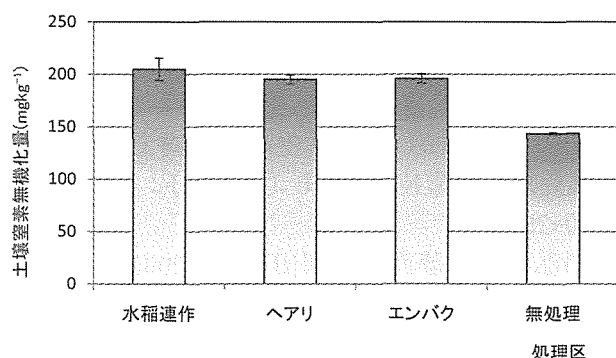


図15 大豆跡地土壌の土壌窒素無機化量(2008)

エラーバーは標準偏差

大豆の減収に対応するため、これまでに窒素肥料の増施試験を数多く行ってきた。緩効性肥料の施用で増収効果が認められたケース(小池ら, 2005)もあるが、コスト的に導入が困難で安定普及が期待できる技術は確立されていない。また籾殻牛ふん堆肥 3kgm^{-2} 程度を大豆栽培時に施用することで土壤窒素肥沃度を維持できることは確認したが、本県では、家畜ふん堆肥の供給量が限られていることや散布用機械設備の整備が十分ではないことから、堆肥の活用策を適用できる地域が限定される。これらに対して、本試験で評価したヘアリーベッチのすき込みは、大豆の収量向上対策及び、窒素肥沃度の減耗対策の両方に有効であることが認められたほか、大豆栽培時の基肥窒素を省略できる利点も確認できた。家畜ふん堆肥の少ない本県において、緑肥のすき込みは主穀作農家にとって比較的に取り組み易い技術と考えられ、2010年では245haで実施されており、今後の普及拡大が期待される。

今後の課題としては、ヘアリーベッチ由来の無機態窒素の発現が、すき込み後1ヶ月間に偏り、成熟期までの全無機化量の7~8割に相当している(2008年では 16.7gm^{-2} 相当)ことから、この間に無機化した窒素の動態を踏まえて土壌窒素肥沃度の改善をより効率的に行うため、エンバク等のイネ科冬作緑肥との適正な混播技術の開発が期待される。

V 総 括

水田利用再編対策が開始された1978年から、それまで水稲単作地帯であった本県に大豆の本格的な作付が始まった。当初は排水管理や2回培土等の増収対策が実践され、大豆の県平均単収は年々高まり成果を上げた。ところが1987年に県平均収量 264gm^{-2} の全国1位を記録した後は一転して低下傾向となり、本試験を開始した2006年は 139gm^{-2} にまで低下している。また、大豆跡地の水稲作では当初は減肥しても生育が旺盛になり、大豆栽培によって土壌の窒素肥沃度が向上したようにも感じられた。しかし、1999年頃からの高温登熟による水稲の白未熟粒の多発や早い枯れ上がり等により、土壌窒素肥沃度の減耗が懸念されるようになった。本試験では、これらの状況を踏

まえ、まず現地における窒素肥沃度の調査を行い減耗の実態を把握した。次いで、農業研究所での有機物施用試験による土壌窒素肥沃度の変化を調査し維持効率について検討した。

1. 輪換履歴と土壌窒素肥沃度

中粗粒灰色低地土では田畑輪換の長期化で大豆の作付回数が増えるにつれ、土壌の全炭素や全窒素の減少は僅かであったものの、アンモニア化率が低下し、風乾土の静置湛水培養による土壌窒素無機化量が畑率の高まりとともに減少していた。また、大豆栽培後水田に復帰することで土壌窒素肥沃度の回復が報告されているが、復帰後3年間水稻を栽培しても明確な回復は認められなかった。富山県の田畑輪換はほぼ3年に1回大豆を栽培するサイクルとなっているが、この間隔では有機物施用等の対策を取らねば、土壌窒素肥沃度は減耗を辿ると推察された。

2. 輪換履歴と大豆の窒素吸収量

畑率の高い土壌で栽培した大豆ほど開花期頃には生育が劣り、収量が低下した。土壌の窒素無機化量と成熟期大豆の窒素吸収量との間には密接な関係が認められ、風乾土の湛水培養による土壌窒素無機化量の低下が大豆生産力低下の要因の1つと推察された。今回、固定由来の窒素吸収量が大豆初作後2作目で特に大きく低下している傾向が確認され、この要因については今後の課題として残った。

3. 牛ふん堆肥による土壌窒素肥沃度の維持

窒素肥沃度の低下対策として、有機物の施用が有効であり、初作大豆は単収が高く窒素の持ち出し量も多いため、籾殻牛ふん堆肥 3kgm^{-2} を施用することで、大豆作付前の土壌窒素無機化量を維持している結果となった。

田畑輪換が長期になり大豆を3年に1回のサイクルで4回栽培した跡地の土壌窒素無機化量は、近隣的水稻連作圃場と比べて、堆肥無施用区は 56mgNkg^{-1} 乾土少なくなっていた。水稻連作田並みの肥沃度を維持するには、籾殻牛ふん堆肥 3kgm^{-2} 程度を大豆1作に対して2回施用する必要があるとみられた。

4. 緑肥による大豆の増収と土壌窒素肥沃度の維持

マメ科の冬作緑肥ヘアリーベッチを前年秋に播種して、大豆の播種前にすき込むことで、大豆の最大繁茂期以降の窒素吸収量が特に多くなり、莢数を有意に増やし、増収効果が認められた。また同様の処理をポット試験で3年間行った結果でも

ヘアリーベッチすき込みによる増収効果が認められた。また跡地の土壌窒素無機化量は近隣的水稻連作圃場の土壌と同程度であり、土壌窒素肥沃度を維持する効果が認められた。これらのことから、ヘアリーベッチのすき込みは、家畜ふん堆肥の利用が困難な地域において、土壌窒素肥沃度を維持しつつ大豆収量の低下を防止する技術として期待できると考えられた。

引用文献

- 有原丈二(2000) ダイズ安定多収の革新技術。農山漁村文化協会 東京：135-140
- 北陸農政局富山農政事務所(2009) 富山農林水産統計年報
- 板谷聡ら(2006) ヘアリーベッチの鋤込みが大豆の収量およびちりめんじわ粒発生に及ぼす効果。農業分野試験研究の成果と普及。富山県農林水産部。平成18年度：25-26
- 金田吉弘ら(2009) 転換畑におけるダイズ連作が土壌窒素無機化量に及ぼす影響。日本土壌肥料学会講演要旨集。第55集：116
- 小池潤ら(2005) 砂質及び砂壤土水田地帯における土壌改良を核とした大豆の収量・品質向上技術の開発。「ブランドニッポン」2系：大豆。平成17年度試験研究成績書：170-173
- 前川良平ら(2008) 転換大豆作土壌における可給態窒素含量増加の時期と関係要因。日本土壌肥料学会講演要旨集。第54集：259
- 森泉美穂子(2009) 土壌有機態窒素の実態について 日本土壌肥料学会シンポジウム。第55集：222
- 岡山清司(2005) 緑肥の地力増強効果。土壌肥料課試験成績書。農業技術センター農業試験場土壌肥料課。平成17年度。28-35
- 大野智史・高橋茂・八木麻子(2004) 砂質浅耕土転換ダイズ作ほ場における窒素収支。平成15年度農業環境研究成果情報：20
- 島田信二(2006) ダイズ生産性の向上と根粒窒素固定。農業技術体系6(追録28)：技30の7の10-25
- 住田弘一、加藤直人、西田瑞彦(2005) 田畑輪換の繰り返しや長期畑転換に伴う転作大豆の生産力低下と土壌肥沃度の変化。東北農研研報。第103号：39-52
- 田村有希博(1996) 土壌の畑培養乾土効果を指

標とした中粗粒灰色低地土水田の適正な輪換利用。北陸農業の新技术。第9号：37-41

富山県農業技術課（2009）「とやまの畜産2009」
<http://www.pref.toyama.jp/branches/1661/chikusan/toukei/mokuji.htm>

富山県農業技術センター（2005）栄養塩類の農耕地系外への流出抑制技術の生産性に対する影響評価。土壌肥料課試験成績書。平成17年度：89-90

吉川正巳、松本静治（2009）転換畑黒ダイズの連作障害と対策。農業技術64：6-11

Declines in Soil Nitrogen Fertility after Rotation of Medium and Coarse-Textured Gray Lowland Soil and Restoration Methods with Green Manure and Cattle Manure Compost.

Tomoko HIROKAWA, Makoto INAHARA¹⁾, Jun KOIKE

(The Agricultural Research Institute, Toyama Prefectural Agricultural, Forestry and Fisheries Research Center; Yoshioka 1124-1 Toyama 939-8153, Japan)

Summary

In Toyama Prefecture, extended rotations of irrigated paddy rice and upland soybeans have reduced soybean yields. Therefore, we analyzed the soil nitrogen fertility in a local field and studied the effect of adding organic matter. The results obtained were as follows:

1. As the number of soybean crops grown on gray lowland soil increased, the total carbon and total nitrogen content of the soil slightly decreased and the ammonification rate decreased. As a result, the quantity of mineral-nitrogen in air-dried soil decreased.
2. A positive correlation was found between the quantity of mineral-nitrogen in air-dried soil and soybean nitrogen absorption. The decrease in soil nitrogen was hypothesized to be one of the limiting factors for soybean yield. Furthermore, the amount of nitrogen fixation by soybean root nodules was small in quantity after the first cultivation, but the cause was unknown.
3. The use of cattle manure compost applied at a rate of 3kgm^{-2} maintained nitrogen fertility. Extended over a long rotation period, cattle manure compost was applied twice at a rate of 3kgm^{-2} during 3 years and maintained nitrogen fertility.
4. Plowing-in of cover crops such as hairy vetch or oats was an effective measure to increase soybean yields and maintain soil nitrogen fertility.

1) Present Address: Agricultural Technology Division, Toyama Prefectural Office, 930-8501

[Bull.Agr.Res.Inst,Toyama Pref. Agr., For. Fish. Res. Ctr.No.2 P11-P26 (2011)]