

有機質肥料を運用した水田土壤における土壤溶液を介した水稻の 土壤窒素吸収過程

環境学部環境学科 角野 貴信
河渕 翔太

1. 緒言

1. 1. 背景

1. 1. 1. 有機質資材を利用した農業の拡大

有機農業の推進による法律(2006)によると、有機農業とは化学的に合成された肥料及び農薬を使用しないこと並びに遺伝子組み換え技術を利用しないことを基本として、農業生産に由来する環境への負荷をできる限り低減した農業生産の方法を用いて行われる農業と定義されている。食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立を目的としている「みどりの食料システム戦略」KPI2030(農林水産省 2022)において、2050 年までに化学農薬使用量 50% 低減、化学肥料使用量 30% 低減、耕地面積に占める有機農業の割合を 25% に拡大することが示されており、環境保全の観点から有機質資材の施用による農業は注目されている。また、有機質資材の施用は土壤の物理性、化学性、生物性の改善(日本土壤協会 2015)といった土壤機能の向上といった効果も期待されている。このように、全国的に有機質資材を用いた農業は積極的に推奨されている。

1. 1. 2. 鳥取県における有機質資材の利用

鳥取県八頭町の堆肥連用圃場(A 農場)では、牛糞堆肥をベースにした有機質資材を用いて水稻作を行っている。伊藤(2023)の研究では 2021 年度に調査したコシヒカリ栽培圃場、山田錦栽培圃場と 2022 年度に調査した同圃場において表層土壤の炭素量及び窒素量と経過年数の間に有意な相関が得られなかったことから、本圃場では投入された有機質肥料が土壤窒素として蓄積せず、水稻に吸収されていることが示唆された。山田錦圃場における土壤溶液中のイオン組成と植物体元素組成の関係についての研究(杉山 2024)では、植物体中で増加した元素量から増加分に必要な土壤溶液量が推定された。調査期間 8~10 月に植物体地上部で増加した元素量から、採取した土壤溶液中の濃度では説明できないほど多量の土壤溶液を吸収していることが推定値として示された。しかし、実際に推定された多量の土壤溶液を吸収している可能性は低く、採取した土壤溶液の濃度は低く、水稻が吸収している土壤溶液の濃度は高い可能性が示唆された。

1. 2. 目的

これまでの研究により、A 農場において水稻中の元素組成と土壤溶液の元素組成変化の比較が行われてきたが、水稻がどのように土壤溶液を介して土壤中の窒素を吸収しているのか、量的な関係が十分明らかになったとはいえない。そこで本研究は先行研究においても対象であった長期連用圃場において、試料数を増やし、水稻が土壤中でどのように供給源から窒素を吸収しているのかより詳細に明

らかにすることを目的とする。

2. 試料と方法

2. 1. 試料

鳥取県八頭町に位置する長期堆肥連用圃場(A 農場)の山田錦栽培田の土壤を研究対象とした。連用年数は33年である。土壤溶液採取器(素焼き部分 $\phi 3 \times L100\text{mm}$; DIK-8391-52)を圃場内5地点において、0-10cm深の土壤溶液を採取できるように4連で設置した。

土壤溶液と植物体試料は、2024年7月8日、8月29日、9月19日、10月8日に採取した。植物体は各地点、各採取日において土壤溶液採取器付近から1株ずつ計5株採取した。また、株間距離を測定した。

2. 2. 方法

2. 2. 1. 収量構成要素

各採取日に各1株ずつ計5株、4日間合計20株を圃場から採取し、室内で風乾後、重量を測定した。7月に採取した植物体は70°Cで乾燥後、8月に採取した植物体は脱穀後、9月、10月に採取した植物体は脱穀後及びもみすり後乾物重量を測定した。

2. 2. 2. 土壤溶液中の無機態窒素含量

採取した土壤溶液を $0.45\mu\text{m}$ メンブレンフィルターで吸引ろ過し、冷凍保存した。解凍後、高速イオンクロマトグラフィー(DIONEX INTEGRION、ThermoFisher Scientific)を用いて NH_4^+ および NO_3^- 含量を測定した。

2. 2. 3. 植物体中の元素組成

茎、もみ殻、玄米それぞれをミキサーで碎き、メノウ乳鉢でさらに細かくし、絶乾後、全炭素全窒素測定装置(NC-TRINITY、住化分析センター)を用いて、全炭素および全窒素含量を測定した。

各植物体中の灰分含量は、乾物重と、炭水化物含量と窒素含量の合計量を差し引いて求めた。炭水化物含量は、植物体中のC:H:O比を固定することにより求めた。ただし、過去の文献などから、茎葉のC:H:O比は6:9.7:4.4、玄米ともみ殻のC:H:O比は6:12:3.9に固定した。

2. 2. 4. 統計解析

各試料グループ間の平均値に対する分散分析は、市販の統計ソフト(SYSTAT 13.2、SYSTAT Software Inc.)により行い、いずれかの処理区間に有意差が認められた場合、さらに多重比較検定としてTukeyのpost hoc検定を行った。

3. 結果

3. 1. 山田錦の収量

採取した茎葉、玄米、地上部植物体の収量の経時的変化を、それぞれ図1～3に示す。茎葉収量は7月から8月にかけて最も増加し、その後は経時的変化が見られなかった。玄米収量には、経時的変化は見られなかった。茎葉、玄米、もみ殻を合わせた地上部植物体収量は茎葉収量と同様の結果であった。

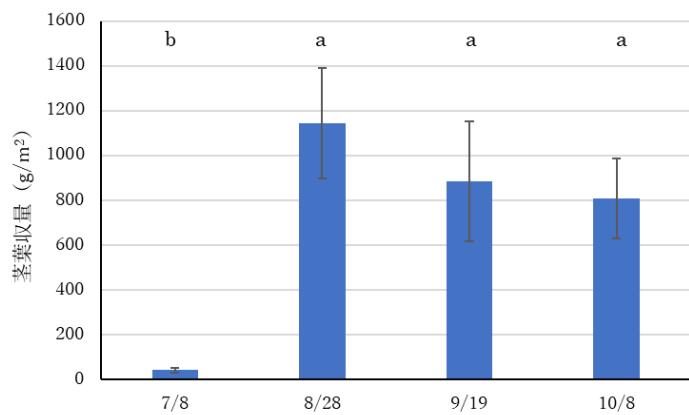


図1 茎葉収量

同一の小文字は、処理区間に危険率5%で有意差がないことを示す。

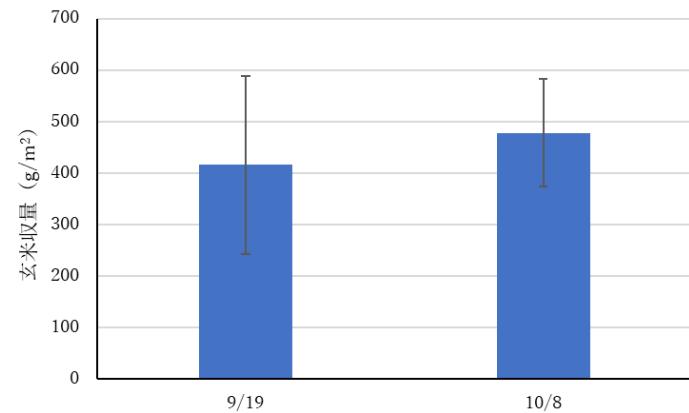


図2 玄米収量

同一の小文字は、処理区間に危険率5%で有意差がないことを示す。

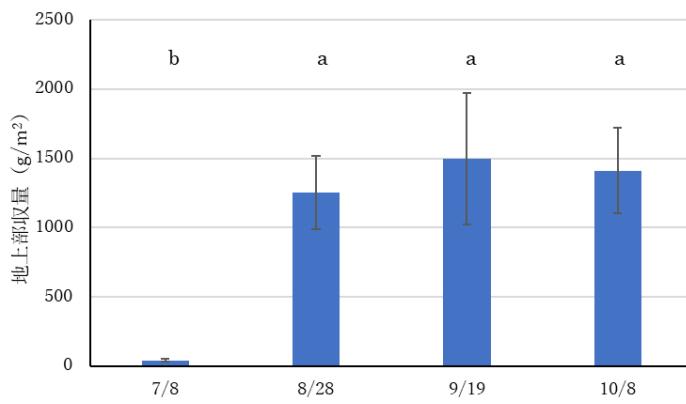


図3 地上部植物体収量

同一の小文字は、処理区間に危険率5%で有意差がないことを示す。

3. 2. 山田錦の地上部窒素量

茎葉、玄米、地上部植物体窒素量、地上部植物体の窒素含有量の経時的变化を、それぞれ図4～7に示す。茎葉窒素量は7月から8月にかけて約12倍増加し、9月、10月にかけて減少した。玄米収量と同様に、玄米窒素量は経時的变化がみられなかった。地上部窒素量は7月から8月かけて約13倍増加し、その後は経時的变化がみられなかった。

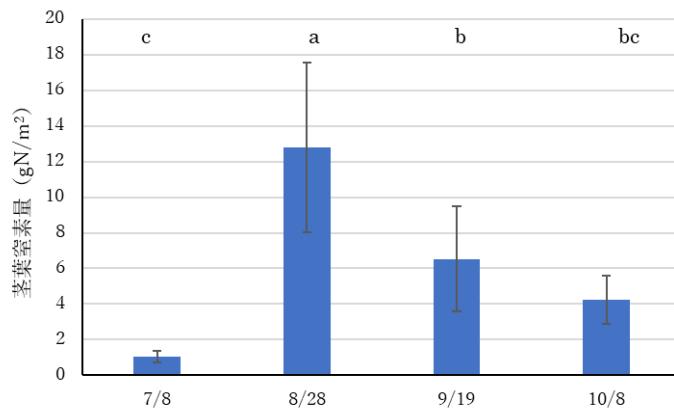


図4 茎葉の窒素量

同一の小文字は、処理区間に危険率5%で有意差がないことを示す。

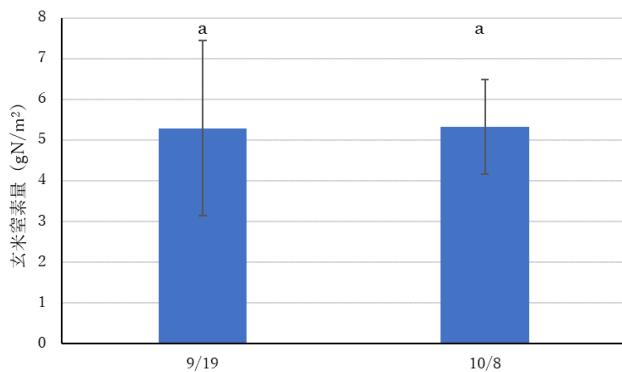


図5 玄米の窒素量

同一の小文字は、処理区間に危険率5%で有意差がないことを示す。

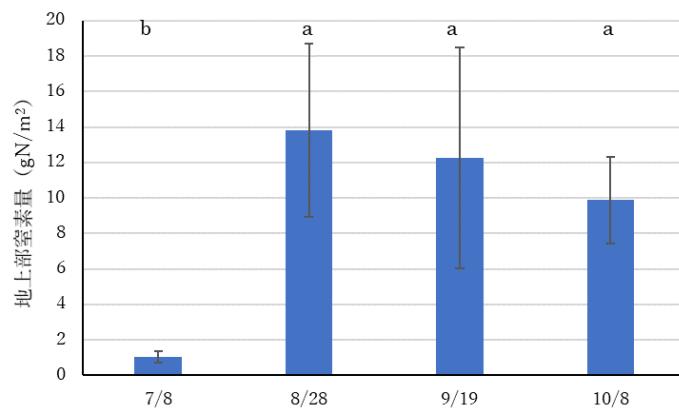


図6 地上部植物体の窒素量

同一の小文字は、処理区間に危険率5%で有意差がないことを示す。

3. 3. 山田錦の地上部元素組成

茎葉、玄米、もみ、地上部植物体の単位面積あたりに含まれる各元素含有量と収量を、それぞれ表1～4に示す。平均値としては、8月28日以降の地上部窒素量に減少傾向があるよう見えるものの、図6で示したように、この期間の窒素量に有意差はなかった。

表1 茎葉の収量と各元素含有量

		7/8	8/28	9/19	10/8
収量	g 乾重/m ²	42.377	1145.559	885.357	808.555
C	mmol/m ²	1536.892	41036.01	30850.49	27504.8
H	mmol/m ²	2493.911	66589.06	50061.03	44631.99
O	mmol/m ²	1127.054	30093.07	22623.69	20170.19
N	mmol/m ²	74.743	913.147	466.057	301.865

表2 玄米の収量と各元素含有量

		9/19	10/8
収量	g 乾重/m ²	415. 685	478. 39
C	mmol/m ²	15957. 43	18290. 02
H	mmol/m ²	31914. 86	36580. 03
O	mmol/m ²	10372. 33	11888. 51
N	mmol/m ²	377. 507	380. 441

表3 もみの収量と各元素含有量

		8/28	9/19	9/19
収量	g 乾重/m ²	110. 691	610. 880	603. 635
C	mmol/m ²	4150. 192	22731. 15	22601. 69
H	mmol/m ²	8300. 383	45462. 3	45203. 38
O	mmol/m ²	2697. 624	14775. 25	14691. 1
N	mmol/m ²	73. 665	443. 774	403. 063

表4 地上部植物体の収量と各元素含有量

		7/8	8/28	9/19	10/8
収量	g 乾重/m ²	42. 377	1256. 25	1496. 238	1412. 191
C	mmol/m ²	1536. 892	45186. 2	53581. 64	50106. 49
H	mmol/m ²	2493. 911	74889. 44	95523. 33	89835. 37
O	mmol/m ²	1127. 054	32790. 7	37398. 94	34861. 28
N	mmol/m ²	74. 743	986. 813	909. 832	704. 929

3. 4. 土壤溶液の元素組成

図7は、土壤溶液中の陽イオン、陰イオンの電荷数を採取日ごとに表す。7月は土壤溶液中に様々な陽イオンが溶けていたが、8月以降、アンモニウムイオン、カリウムイオンが減少していた。また、10月にかけて硫酸イオンが増加していた。

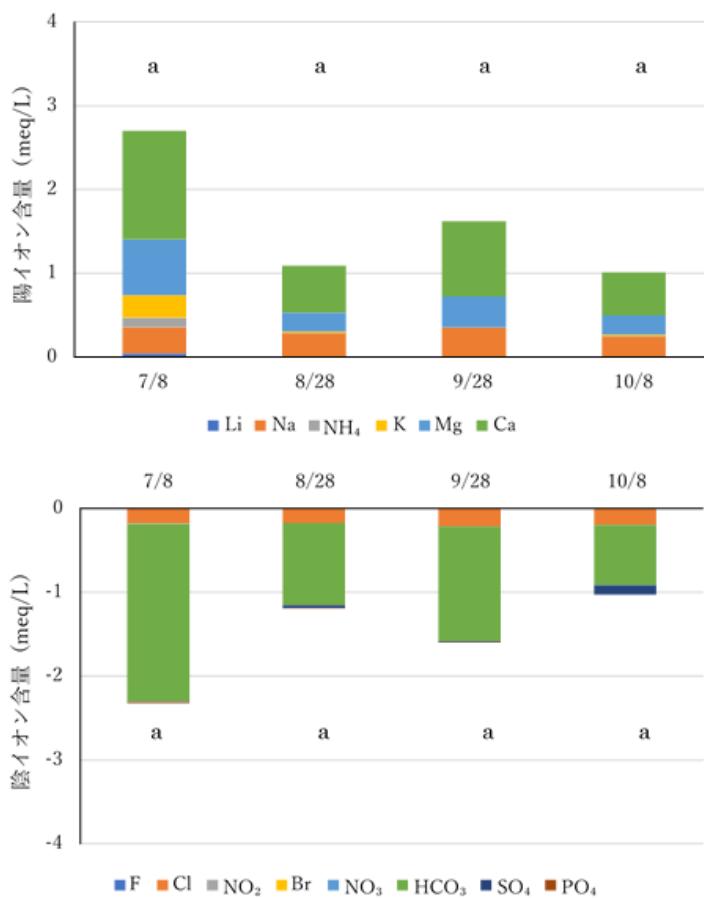


図7 各採取日ごとの土壤溶液中の陽イオンおよび陰イオン組成

同一の小文字は、陽イオンあるいは陰イオンの合計量に関して処理区間に危険率5%で有意差がないことを示す。

3. 5. 地上部植物体中の窒素増加量を説明する土壤溶存量

図6および表4より、8月28日以降の地上部窒素量に有意差はないため、7月8日から8月28日の期間について、その地上部植物体成長量に見合う蒸散量分の土壤溶液中に含まれる元素量と、地上部植物体中の元素増加量を比較した。表5に、容水量（水利用効率の逆数）を400gH₂O/g乾重として計算した時の蒸散量と、その水量の土壤溶液中に含まれる元素量（期間平均値）、地上部植物体中の元素増加量を示す。窒素は、亜硝酸、硝酸、アンモニウムイオンの合計量とした。この表から、地上部植物体中の窒素増加量は、土壤溶液からの推定吸収量では説明できない程多量であることが分かった。

表5 地上部植物体中の窒素增加量を説明する土壤溶液量

	7/8～8/28	
地上部植物体成長量	g 乾重/m ²	1214
蒸散量	L/m ²	486
土壤溶液に含まれる窒素量	mmol/m ²	28
地上部植物体中の窒素增加量	mmol/m ²	912

4. 考察

4. 1. 植物体の窒素吸収過程

7月から8月の間で、土壤溶液中の各イオンは減少しており、特にアンモニウムイオン、カリウムイオンは減少幅が大きいことがわかる。同期間で地上部収量、窒素量の増加幅が大きいことから、8月の出穂までに養分の吸収が盛んに行われていると考えられた。表5で示されたように、地上部植物体中の窒素增加量は、土壤溶液濃度からは説明できなかった。これらの元素については、より供給源である堆肥や粘土鉱物のごく近傍からほとんど土壤溶液に流出させずに吸収していることが示唆された。また本研究により、窒素に関しては土壤溶液による採取法の再検討が必要であることが分かった。

引用文献

- [1]農林水産省「みどりの食料システム戦略」KPI2030年目標について(2022)
<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/midori/attach/pdf/index-55.pdf>(2024/07/02閲覧)
- [2]日本土壤協会「有機農業の基礎知識 土づくりと施肥管理」(2015)
https://japan-soil.net/report/h26vision_rpt02.pdf(2024/07/02閲覧)
- [3]伊藤瑞樹「有機質肥料を連用した水田土壤における土壤有機体窒素の形態別評価とその蓄積モデルの構築」(2023) 公立鳥取環境大学卒業論文
- [4]杉山凌佑「有機肥料を連用した水田土壤中に含まれるイオン組成の経時的变化」(2024) 公立鳥取環境大学卒業論文