

## 堆肥施用および飼料用トウモロコシ残渣が 不耕起V溝直播栽培水稻の生育・収量に及ぼす影響

日置雅之<sup>1)</sup>・大橋祥範<sup>2)</sup>・福田充洋<sup>3)</sup>・柏木啓佑<sup>4)</sup>・高橋比呂<sup>5)</sup>・伊藤 晃<sup>4)</sup>

**摘要:**飼料用トウモロコシと不耕起V溝直播栽培水稻の輪作体系を確立するために、粘土質土壌における堆肥施用やトウモロコシ残渣が復田後の水持ちおよび土壌窒素肥沃度や不耕起V溝直播栽培での水稻生育および収量に与える影響を調査した。その結果、作土下へのトウモロコシの根の伸長はわずかであり、復田後の水持ちの低下は起こらないものと考えられた。また、耕起してトウモロコシ残渣の分解を促すことにより水稻の出芽には影響は認められなかった。トウモロコシ栽培のためのもみガラ牛ふん堆肥の連用では土壌窒素肥沃度が著しく向上するため、水稻の初期生育は旺盛となるが、施肥窒素量を適宜削減することで堆肥無施用－水稻単作栽培と遜色のない収量・品質が得られた。

**キーワード:** 水稻、飼料用トウモロコシ、残渣、不耕起V溝直播栽培、もみガラ牛ふん堆肥

### 緒言

近年、飼料原料の国際価格が高騰し、飼料作物の国産化を求める声が高まっている。飼料作物は、水田のさらなる利活用のための転作作物の一つとしても注目されている。転作が続くと水田の土壌肥沃度の低下が進むとされ<sup>1)</sup>、地力の維持、向上の観点から家畜ふん堆肥を適切に施用することが提唱されている。生産現場では堆肥を施用し飼料作物を栽培した後復田した場合、飼料作物の種類によっては根が鋤床を通過して下方へ伸長することにより、水持ちが悪くなることが懸念されるとともに、土壌肥沃度の変化に伴う水稻の生育・収量への影響が生じないように施肥制御を行う必要がある。愛知県では不耕起V溝直播栽培(以下、V直栽培)が広く普及しているが、飼料作物残渣が水稻の出芽へ及ぼす影響や堆肥を施用した場合の施肥制御についてはほとんど調査

されていない。

本研究では、飼料用トウモロコシ(以下、トウモロコシ)とV直栽培水稻の輪作体系を確立するために、トウモロコシ根が復田後の水持ちに及ぼす影響に加えて、堆肥施用やトウモロコシ残渣が土壌窒素肥沃度やV直栽培での水稻生育および収量に与える影響を調査し、若干の知見が得られたので報告する。

### 材料及び方法

#### 1 耕種概要

試験は、2019年から2021年に農業総合試験場作物研究部内の水田で実施した。土壌は細粒質普通灰色台地土で土性はLiCである。試験開始前の土壌の全炭素(TC)、全窒素(TN)および培養窒素(N)を表1に示す。表2に試験前年に

表1 土壌肥沃度の推移

試験区	堆肥施用前 <sup>1)</sup>			水稻栽培前 <sup>2)</sup>			水稻栽培後 <sup>3)</sup>		
	T-C	T-N	培養 N	T-C	T-N	培養 N	T-C	T-N	培養 N
	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>
標肥区	13.1	1.3	57.5	18.4	1.8	86.2	15.8	1.4	44.0
減肥区							13.5	1.3	46.4
対照区	-	-	-	11.9	1.2	35.6	12.8	1.2	13.8

注) 値はすべて乾土当たり。1) 2019年3月15日採土。2) 2020年12月22日採土。3) 2021年11月12日採土。

<sup>1)</sup>作物研究部(現山間農業研究所) <sup>2)</sup>環境基盤研究部 <sup>3)</sup>環境基盤研究部(現作物研究部) <sup>4)</sup>作物研究部 <sup>5)</sup>畜産研究部(現尾張農林水産事務所)

表2 試験区ごとの栽培履歴

年次	標肥区・減肥区	対照区
2018年	水稻 V 溝直播栽培	水稻 V 溝直播栽培
2019年	堆肥施用・ トウモロコシ栽培	水稻 V 溝直播栽培
2020年	堆肥施用・ トウモロコシ栽培	水稻 V 溝直播栽培
2021年	水稻 V 溝直播栽培	水稻 V 溝直播栽培

表3 供試したもみから牛ふん堆肥の化学性

年次	水分	T-C	T-N	C/N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
	%	%	%		%	%
2019年	58.4	33.7	1.6	21.0	2.4	2.6
2020年	56.6	36.7	1.4	25.5	1.2	2.1

注)水分は現物当たり、他は乾物当たり。

あたる2018年から2021年までの栽培履歴を示す。2018年は水稻を堆肥無施用で栽培した。2019年と2020年はいずれも4月にもみから牛ふん堆肥を1 m<sup>2</sup>当たり乾物で1.5 kg施用した後、5月から8月にかけてトウモロコシ品種「スノーデント122レオ」(雪印種苗株式会社、札幌)を栽培した。施用した堆肥の性状を表3に示す。トウモロコシの収穫時における地上部新鮮重は、2019年は台風の影響で2.3 kg m<sup>-2</sup>と少なかったが、2020年は4.8 kg m<sup>-2</sup>であった。2020年のトウモロコシ収穫後、9月16日、12月23日に耕起して残渣をすき込んだ。2021年2月22日にはほ場を耕起後、クローラトラクタの踏圧により鎮圧した。5月12日に、V溝直播専用播種機で水稻品種「あいちのかおりSBL」を7 g m<sup>-2</sup>播種した。ほ場の可給態窒素および全窒素の値から北村ら<sup>2)</sup>の方法に準じて施肥窒素量を5.5 gN m<sup>-2</sup>とした区(以下、標肥区)と3.3 gN m<sup>-2</sup>に減肥した区(以下、減肥区)を設けた。さらに、前作まで水稻単作のほ場で「あいちのかおりSBL」を播種量7 g m<sup>-2</sup>、施肥窒素量9.0 gN m<sup>-2</sup>で栽培した区を設けた(対照区)。肥料は、いずれの試験区も乾田直播専用肥料(JAあいち経済連、名古屋)を用いた。その他の管理は慣行に準じた。出芽期は5月27日、出穂期は8月28日、成熟期は10月7日であった。試験面積は1区当たり150 m<sup>2</sup>で調査は各区2~4反復で行った。

## 2 調査項目

### (1) トウモロコシの根量分布

トウモロコシの根の貫入による水田の水持ちへの影響を評価するために、2020年のトウモロコシ収穫後に根の垂直分布を調査した。幅30 cm、奥行10 cmで、地表面から0~15 cm深および15~30 cm深から直方体の形の土塊を採取し、村上<sup>3)</sup>の方法により根部を洗浄して土塊を取り除き、根乾物重を測定した。

### (2) トウモロコシ残渣の分解率

トウモロコシ残渣の分解率を埋設法により以下のとおり測定した。収穫後にトウモロコシ残渣をほ場から掘り取った。掘り取った残渣は、地際から25 cm程度の茎部と根部とから成

る。根部に付いた土壌を水洗した後、60°Cの通風乾燥機で乾燥し埋設用試料とした。株ごとに秤量した試料をそれぞれ1 mm目の網袋に入れ、2020年9月14日にはほ場の表面に静置および表層下10 cmの深さに埋設した。ほ場表面に静置した試料は静置後1、2、3、6か月後に、埋設した試料は埋設後1、2、3、4、5、6か月後に回収し、網袋内に残る内容物を取り出し、付着した土壌を水洗した後、乾燥重を測定した。

### (3) 土壌肥沃度

堆肥施用前(2020年3月15日)、水稻栽培前(2020年12月22日)および水稻栽培終了後(2021年11月12日)に作土を採取し、風乾細土を用いて全炭素(TC)および全窒素(TN)濃度を乾式燃焼法<sup>4)</sup>により測定した。また、湿潤土を用いて北村ら<sup>2)</sup>の方法により30°Cで4週間培養窒素(培養N)を測定した。

### (4) 水稻の生育、収量および窒素吸収量

出芽期に出芽数、最高分けつ期にあたる7月12日に草丈、茎数および葉色を、穂揃期にあたる8月19日に葉色を測定した。葉色は、葉緑素計SPAD-502(コニカミノルタ株式会社、東京)で測定した。成熟期にあたる9月29日に、穂数、穂長および稈長を測定するとともに、収量調査用に1区あたり0.6 m<sup>2</sup>(1 m×条間20 cm×3条)分収穫した。収穫物は風乾後、わら重、もみ重、精玄米重、千粒重、登熟歩合を調査した。精玄米重は1.9 mm縦目篩を用いて調整し重量を測定後、水分14.5%に換算した。玄米蛋白質含量は近赤外分析計NIRFlex N500(日本ビュッヒ株式会社、東京)で測定し乾物換算値とした。

作物体の窒素濃度測定用に収穫時に1区あたり1条×30 cm分の株を刈り取り、わらは80°Cで48時間乾燥したものを、粗もみは現物をそれぞれ粉砕し、CNコーダJM1000CN(ジェイ・サイエンス・ラボ、京都)を用いて乾式燃焼法<sup>4)</sup>により窒素濃度を測定した。粗もみは粉砕サンプルの一部を105°C24時間乾燥して求めた水分含量で乾物当りに換算した。窒素吸収量は、わら、粗もみ別に乾物重に窒素濃度を乗じて求めたものを合計した。

## 結果及び考察

### 1 トウモロコシ根の垂直分布が水田の水持ちに及ぼす影響

トウモロコシの収穫時における根量は、ほ場表面から深さ15 cmの間では197 g m<sup>-2</sup>、深さ15~30 cmの間では8 g m<sup>-2</sup>となり、根の大部分が作土層に存在し、耕盤を通過する根はほとんど認められなかった。小川ら<sup>5)</sup>は、水田転換畑で栽培した飼料用トウモロコシの根張りにより、25 cm以深の土壌硬度が低下したと報告している。一方、洪沢ら<sup>6)</sup>は、トウモロコシの根箱実験において土壌の緻密度が高いと水面方向に偏平な根系パターンが現れ、緻密度が低いと下方に伸びるパターンが現れることを報告している。本研究では、土壌が強粘質であるとともに、下層土は観察により緻密であったことから、根の下方方向への伸長が妨げられたと考えられた。このことから、粘土質土壌ではトウモロコシの根の伸長による復田後の水持ちの低下は起こらなかったと考えられた。今後は砂質土壌での同様の検証が必要である。

2 トウモロコシ残渣が水稻の出芽に及ぼす影響

9月には場表面に静置および作土内に埋設したトウモロコシ残渣の乾物残存率の推移を図1に示す。埋設した残渣は、地温の高い9月から11月には分解が進んだが、その後の分解は進まなかった。埋設6か月後には地表面に静置した

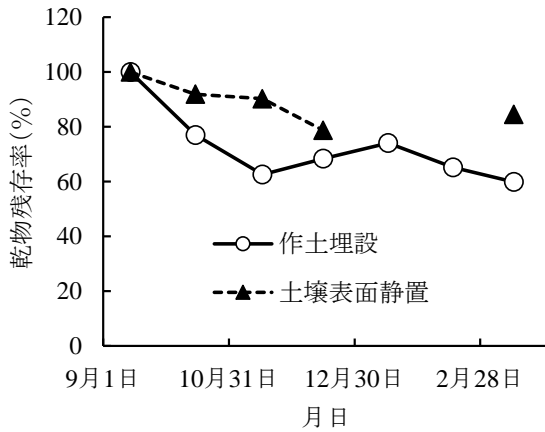


図1 トウモロコシ残渣の乾物残存率の推移

場合の残存率が85%であったのに対し、作土に埋設した場合には60%と低くなり、土壌へのすき込みにより残渣の分解は促進された。V直栽培における出芽数をみると、トウモロコシを栽培した標肥区および減肥区と対照区との間には有意な差は認められなかった(表4)。このことから、トウモロコシ収穫後に耕起し、鎮圧を行うことでトウモロコシ残渣がV直栽培の出芽に影響を及ぼすことはないと考えられた。

3 堆肥施用が土壌肥沃度とV溝直播水稻の生育・収量に及ぼす影響

本研究では県有機物施用基準<sup>7)</sup>にしたがって堆肥を連用した結果、水稻栽培前の培養N量は増大した(表1)。そこで、北村ら<sup>2)</sup>の方法により算出した地力由来の窒素量に基づいて窒素施肥量を対照区の39%~63%減らし、V溝直播栽培を行った。培養N量が高いことを反映して、標肥区、減肥区ともに対照区よりも減肥を行っても最高分けつ期までの生育は旺盛であった(表4)。穂揃期には、標肥区、減肥区ともに対照区よりも葉色が淡くなった。収量および収量構成要素についてみると、どの項目も試験区間で差は認められなかった(表5)。成熟期のもみ中窒素濃度は対照区で高かったが、作

表4 生育調査結果

試験区	出芽数	最高分けつ期			穂揃期	成熟期			有効茎歩合
		草丈	茎数	葉色	葉色	稈長	穂長	穂数	
	本 m <sup>2</sup>	cm	本 m <sup>2</sup>	SPAD	SPAD	cm	cm	本 m <sup>2</sup>	%
標肥区	203 a	74 b	595 a	36.4 a	32.1 a	89 a	19.5 a	500 a	84 a
減肥区	211 a	72 a	596 a	35.8 a	31.7 a	89 a	19.5 a	509 a	85 a
対照区	190 a	63 a	525 a	35.5 a	35.5 b	82 a	20.3 a	423 a	81 a

注)同一列上の異なる文字は Tukey-Kramer test による有意差(P<0.05)を示す。

表5 収量調査結果

試験区	わら重	粗もみ重	精玄米重 <sup>1)</sup>	くず米重	千粒重 <sup>1)</sup>	m <sup>2</sup> 当たりもみ数	登熟歩合	蛋白質含量 <sup>2)</sup>
	g m <sup>2</sup>	g m <sup>2</sup>	g m <sup>2</sup>	g m <sup>2</sup>	g	千粒	%	%
標肥区	969	816	582	60	25.0	33.6	66.1	7.8
減肥区	1006	844	612	53	25.1	34.0	70.3	7.7
対照区	852	734	514	65	24.5	32.0	65.9	8.0

1)水分14.5%換算。2)乾物当たり。注)いずれの項目もTukey-Kramer test による有意差(P<0.05)なし。

表6 作物体窒素濃度および窒素吸収量

試験区	N 濃度		N 吸収量		
	わら <sup>1)</sup>	もみ <sup>1)</sup>	わら	もみ	合計
	%	%	g m <sup>-2</sup>	g m <sup>-2</sup>	g m <sup>-2</sup>
標肥区	0.73 a	1.13 a	7.2 a	7.9 a	15.0 a
減肥区	0.64 a	1.11 a	6.4 a	8.0 a	14.5 a
対照区	0.76 a	1.23 b	6.5 a	7.7 a	14.2 a

1)乾物当たり。注)同一列上の異なる文字は Tukey-Kramer test による有意差(P<0.05)を示す。

物体窒素吸収量は試験区間で有意な差は認められなかった(表6)。玄米蛋白質含量についても試験区間で差が認められなかった(表5)。これらのことから、標肥区における施肥窒素量は妥当であり、さらなる減肥の可能性もあると判断した。転作作物栽培において堆肥を施用した場合には、土壌窒素肥沃度が変動する可能性が高いため、水稻栽培前には土壌診断を行い、適正な施肥窒素量を定める必要がある。特に本研究では、標肥区、減肥区ともに倒伏は認められなかったが、草丈または稈長が長くなる傾向があったため、倒伏しにくい品種の選択も考慮する必要がある。

以上のことから、粘土質土壌においてもみがら牛ふん堆肥を連用してトウモロコシ栽培を行った場合、作土下へのトウモロコシの根の伸長はわずかであり、復田後の水持ちの低下は起こらないものと考えられた。その後水稻をV直栽培する際には、トウモロコシ収穫後に耕起することにより、トウモロコシ残渣の分解が促され、水稻の出芽への影響を抑えることができた。堆肥連用により土壌窒素肥沃度が著しく向上するため、水稻の初期生育は旺盛となるが、施肥窒素量を適宜削減することで堆肥無施用—水稻単作栽培に遜色のない収量・品質が得られた。この輪作体系を広く普及させるためには、粘土質土壌以外でのトウモロコシ根の伸長が鋤床に及ぼす影響を明らかにする必要があると考える。

## 引用文献

1. 石川亜矢子, 島秀之, 横島千剛, 宮本武彰, 金澤由紀恵, 鷲尾秀樹, 小山倫子, 若嶋淳子, 瀧典明. 宮城県における水田土壌化学性の推移. 宮城古川農試報. 16, 1-10(2022)
2. 北村秀教, 関稔, 今泉諒俊. 土壌窒素発現量に基づいた水稻窒素施肥プログラムの開発. 愛知農総試研報. 21, 47-61(1989)
3. 村上敏文. 根系調査法 ver.1.3. <http://www7b.biglobe.ne.jp/~kufukufu/manual.pdf>(2003) (2022.5.11参照)
4. 土壌環境分析法編集委員会. 土壌環境分析法. 博友社. 東京. p.1-427(1997)
5. 小川仁, 矢野景子. 飼料用トウモロコシの作付けとイアコーン収穫後の残渣すき込みが水田転換畑の土壌物理性および化学性に及ぼす効果. 徳島農技セ研報. 7, 23-29(2020)
6. 渋沢栄, 立卓生, 岩尾俊男, 藤浦建史. 土壌密度分布とトウモロコシ根系パターンとの関係. 農業機械学会誌. 55, 111-118(1993)
7. 愛知県. 2021. 農作物の施肥基準. <https://www.pref.aichi.jp/soshiki/nogyo-keiei/sehikijun.html> (2022.5.11参照)