

稲・麦わら施用水田の土壤肥料的な研究

第3報 稲わら施用条件下での水稲による施用無機窒素と施用稲わら中の窒素の吸収利用について

吉沢 崇・茂木惣治*

I 緒 言

水稲栽培における稲わらのすきこみは、自脱型コンバインの普及に伴い定着化し、地力の維持向上を図るうえで積極的に取り入れられてきた。しかし、稲わらなど炭素率の高い有機物の水田への施用は、土壤の還元化を助長する。また土壤中の無機態窒素の有機化を促し、水稲の初期生育を抑制する傾向もみられる。一方、施肥された化学肥料窒素は、水稲による吸収・有機化・溶脱・脱窒などのプロセスを経て消失する。これらの施肥窒素消失のプロセスに対する、稲わらすきこみの及ぼす影響、また施用した稲わら中の窒素の、水稲による利用、さらに土壤中での固定を調べることは、水稲への窒素施肥及び地力窒素を考えるうえで重要なことと思われる。

以上のような観点から、1978年から3年間、重窒素標識硫安及び¹⁵Nラベル稲わらを用いてポット試験を行い、稲わらを施用した場合の化学肥料窒素及び稲わら由来の窒素の、水稲への吸収状況を検討した結果、知見を得たので報告する。

II 試験方法

1. 供試土壤及び材料

供試土壤は、第1表に示す理化学性をもつ、

礫質灰色低地土（松本統）の作土を用いた。

試験に供した¹⁵Nラベル稲わらは、1977年に重窒素標識硫安（20.00 Atom%）を用い、砂耕栽培した稲わら（10.96 Atom%）である。また普通稲わらは、前年に圃場で栽培したものを用いた。それぞれの窒素濃度及び50g当りの窒素含有量は第2表のとおりである。重窒素標識硫安は、20.21 Atom%のものを用いた。

2. 処理方法

試験は、1/2,000 アールポットに原土10.2kgを充てんし、第3表に示した内容で、3連制で行った。1年目の処理は、稲わらラベル区には¹⁵Nラベル稲わらと無標識硫安を施用し、硫安ラベル稲わら区及び硫安ラベル区には重窒素標識硫安を施肥し、さらに硫安ラベル稲わら区は、稲わらを併用した。2年目以降は、それらの残効試験とした。施用量は稲わらは、各年次ともポット当たり50g、化学肥料は、各年次、各処理ともポット当たり1.2g、リン酸1.5g、カリ1.2gである。稲わら及び稲株は春すきこみ化学肥料は、移植3日前に全層に混和した。

3. 栽培法

苗は中苗を用い、ポット当たり2株（1株4本植）を6月15日に移植した。品種はコシヒカリである。かんがい水は脱塩水を用い、栽培期間中は常時湛水し、収穫後に落水した。

第1表 供試土壤の理化学性

細 土 無 機 物 中 %				土 性	pH (H ₂ O)	T-C %	T-N %	C/N	トルオーグ P ₂ O ₅ mg
粗 砂	細 砂	シルト	粘 土						
13.3	30.1	35.4	21.2	CL	5.2	4.42	0.471	9.4	5.13

*現在、栃木県公害研究所

4. 試料の採取及び分析法 標識窒素の分析法は、第1報⁷⁾と同じ方法を
試料は収穫適期に採取し、穂とわらに分け、用いた。
乾燥後粉碎し、分析に供した。

第2表 供試稲わらの窒素の含有率と含有量

	1 年 目		2 年 目	3 年 目
	¹⁵ Nラベル稲わら	普通稲わら		
含有率 %	0.735	0.574	0.590	0.551
含有量 mg/50g	368	287	295	276

第3表 試験区の内容 (g/ポット)

区	1 年 目		2 年 目		3 年 目	
	稲わら	窒 素	稲わら	窒 素	稲わら	窒 素
稲 わ ら ラ ベ ル 区	50 [*]	1.2	50	1.2	50	1.2
硫 安 ラ ベ ル, 稲 わ ら 区	50	1.2 ^{**}	50	1.2	50	1.2
硫 安 ラ ベ ル 区	0	1.2 ^{**}	0	1.2	0	1.2

注 * ¹⁵Nラベル稲わら
** 20.21 Atom%硫安

III 試験結果

1. 水稻の生育及び収量

水稻の生育調査は、1年目、2年目では、移植後20日、40日及び収穫期に行った。3年目は、収穫期の穂数についてのみ調査した。調査結果は第4表に示した。稲わら施用により、1年目は移植後40日ごろまで、草丈、茎数とも生育の抑制がみられた。また2年目では、草丈の伸長は抑制されたが、茎数は増加した。稈長、穂長は、稲わらの施用により長くなる傾向があった。穂数は1年目では、稲わら施用によりやや減少したが、2年目以降は、明確な差は認められなかった。

乾物重は第5表に示した。1年目では、全乾物重には区間の差はなかったが、わら重は、稲

わら施用により減少し、穂重は増加する傾向がみられた。2年目では、稲わら施用により、わら重、穂重とも増加し、3年目では、わら重はやや減少したが、穂重は増加する傾向があった。経年的には、各処理とも2年目、3年目になるにつれて、乾物重は低下する傾向があった。

2. 水稻の窒素吸収

窒素の含有率は第6表に、窒素の吸収量は第7表に示した。稲わら施用によって、水稻の窒素含有率は、わらでは各年次とも低い値を示した。しかし、穂では1年目は高く、2年目でやや低く、3年目では同等であり、一定の傾向は認められなかった。稲わら施用の有無による窒素の全吸収量の差は、各年次とも明確でなかったが、部位別にみると稲わら施用は、わらで少なく、穂で多い傾向であった。また地上部によ

第4表 水稻の生育状況

区	1 年 目						2 年 目						3年目		
	7月6日		7月26日		9月28日		7月7日		7月24日		10月5日		穂数	穂数	
	草丈	茎数	草丈	茎数	稈長	穂長	穂数	草丈	茎数	草丈	茎数	稈長			穂長
cm	本/株	cm	本/株	cm	cm	本/株	cm	本/株	cm	本/株	cm	cm	本/株	本/株	
稲わらラベル区	48.0	12.3	81.2	23.5	93.2	17.4	23.2	49.7	14.0	70.0	33.7	91.8	17.3	24.8	24.5
硫安ラベル区	47.2	11.8	81.8	27.7	92.0	17.0	23.8	48.5	13.5	72.5	33.5	90.6	18.2	23.7	24.2
硫安ラベル区	51.5	13.8	87.5	31.5	92.2	16.8	25.5	51.5	12.5	73.0	31.5	85.2	17.6	23.8	25.3

第5表 乾物重の推移 (g/ポット)

区	1 年 目			2 年 目			3 年 目		
	わら重	穂重	計	わら重	穂重	計	わら重	穂重	計
稲わらラベル区	95.3	93.9	189.2	76.8	83.4	160.2	74.0	74.2	148.2
硫安ラベル区	96.9	93.5	190.4	78.3	89.2	167.5	71.7	81.0	152.7
硫安ラベル区	102.6	89.4	192.0	74.0	75.3	149.3	78.5	64.0	142.5

第6表 窒素の含有率 (%)

区	1 年 目		2 年 目		3 年 目	
	わら	穂	わら	穂	わら	穂
稲わらラベル区	0.58	1.06	0.55	1.06	0.51	1.03
硫安ラベル, 稲わら区	0.52	1.05	0.59	1.13	0.57	1.03
硫安ラベル区	0.62	0.98	0.73	1.22	0.62	1.02

窒素の総吸収量は、各処理区とも年次を経るに従って順次低下する傾向があった。

3. 施用稲わら中の窒素の吸収利用

第8表に Excess % を、第9表に稲わら由来の吸収利用状況を示した。Excess % は、年次を経るごとに順次低下した。また部位別の Excess % は、1年目、2年目ではわらの方が穂

よりも多い傾向があり、3年目では差はみられなかった。施用した稲わら由来の窒素の水稲による吸収量は、年次を経るごとに半減した。また稲わら由来の窒素の利用率は、3年間で約25%であった。

4. 施肥窒素の吸収利用

施肥窒素の吸収利用状況を第10表に示した。

第7表 窒素の吸収量 (g/ポット)

区	1 年 目			2 年 目			3 年 目		
	わら	穂	計	わら	穂	計	わら	穂	計
稲わらラベル区	0.55	1.00	1.55	0.42	0.88	1.30	0.38	0.74	1.12
硫安ラベル区	0.50	0.98	1.48	0.46	1.01	1.47	0.41	0.83	1.24
硫安ラベル区	0.64	0.88	1.52	0.54	0.92	1.46	0.49	0.65	1.14

第8表 Excess %

区	1 年 目		2 年 目		3 年 目	
	わら	穂	わら	穂	わら	穂
稲わらラベル区	0.451	0.340	0.279	0.188	0.122	0.127
硫安ラベル, 稲わら区	6.692	7.189	0.689	0.694	0.367	0.356
硫安ラベル区	7.472	7.575	0.485	0.583	0.245	0.275

まず第8表の施肥窒素の Excess % をみると、1年目は高く、2年目以降では低くなった。その中で、稲わら併用の場合は、無施用に比較して1年目で低く、2年目以降は高い傾向であった。一方、部位別の Excess % は1年目では稲わら施用によりわらで低く、穂で高かったが、稲わら無施用区では、差はみられなかった。2年目以降の Excess % は、稲わら施用区では差はみられなかったが、稲わら無施用区では、穂でやや高くなった。

次に第10表をみると、水稻の施肥窒素の吸収量は、全般的に1年目で多く、2年目以降は少なく、また稲わらを併用すると、1年目は少なく、2年目以降は高くなった。これらを部位別にみると、1年目では、稲わら併用により穂の増加割合が高く、わらで低い傾向があった。2年目以降は明確でなかった。

施肥窒素の利用率は、1年目は、稲わら施用区で43.5%、稲わら無施用区で47.2%であった。

2年目以降は、稲わら施用区がやや高い利用率を示した。さらに3年間を通じての利用率は稲わら施用区で49.5%、無施用区で51.6%であった。

5. 水稻の吸収窒素に占める稲わら由来の窒素及び施肥窒素の寄与率

第11表に稲わら及び施肥窒素由来の窒素の寄与率を示した。水稻の吸収窒素に占める稲わら由来の窒素の寄与率は、1年目3.5%、2年目2.0%、3年目1.2%であった。基肥窒素の寄与率は、稲わら施用区では、1年目35.2%、2年目3.4%、3年目1.8%であった。また稲わら無施用区では、1年目37.3%、2年目2.7%、3年目1.2%となった。

IV 考 察

1. 水稻の生育と窒素吸収

稲わら施用によって、水稻の生育は、初期に抑制される傾向がみられた。しかし、稈長、穂

第9表 稲わら由来の窒素の吸収利用状況

	1年目			2年目			3年目		
	わら	穂	計	わら	穂	計	わら	穂	計
吸収量 (mg/ポット)	22.6	31.0	53.6	10.7	15.1	25.8	4.2	8.6	12.8
利用率 (%)	6.14	8.42	14.56	2.91	4.10	7.01	1.14	2.34	3.48

第10表 施肥窒素の吸収利用状況

		1年目			2年目			3年目			累計		
		わら	穂	計	わら	穂	計	わら	穂	計	わら	穂	計
吸収量 (mg/ポット)	稲わら施用	173.0	348.6	521.6	15.7	34.7	50.4	7.4	14.6	22.0	196.1	397.9	594.0
	稲わら無施用	236.6	329.8	566.4	13.0	26.5	39.5	5.9	7.9	13.8	255.6	364.2	619.8
利用率 (%)	稲わら施用	14.42	29.05	43.47	1.31	2.89	4.20	0.62	1.22	1.84	16.35	33.16	49.51
	稲わら無施用	19.77	27.48	47.20	1.08	2.21	3.29	0.49	0.66	1.15	21.28	30.35	51.63

第11表 水稻の吸収窒素に占める稲わら由来の窒素及び施肥窒素の寄与率 (%)

区	1年目			2年目			3年目		
	わら	穂	計	わら	穂	計	わら	穂	計
稲わらラベル区	1.81	1.99	3.80	0.82	1.16	1.98	0.37	0.78	1.15
硫酸ラベル区	11.21	23.53	34.74	1.07	2.36	3.43	0.59	1.18	1.77
硫酸ラベル区	15.57	21.70	37.27	0.89	1.82	2.71	0.52	0.69	1.21

長は長くなり、収穫期の乾物重では、わら重は少なく、穂重は多く、いわゆる秋まさりの生育を示した。このことは、松浦⁶⁾や坂上¹²⁾の報告と一致している。この原因の一つとして、稲わら施用による土壤中の無機態窒素の消長があげられ、仲谷ら⁹⁾や鬼鞍ら¹⁰⁾は、水田で検討を行っている。それらの報告では、稲わらなど炭素率の高い有機物の施用によって、初期に土壤中

の無機態窒素の有機化が促進されるが、穂ばらみ期以降になると、無機化して発現するアンモニアの量が、稲わら施用により多くなるとしている。当報告で穂重が増大したのは、稲わら施用が、収量増になるような窒素調整をしたものと考えられる。

2. 稲わら中の窒素の動向

稲わらが分解する際に考慮すべきことは、水

稲養分としての無機態窒素の動向である。広瀬²⁾は畑状態で検討し、稲わら施用による土壌中の無機態窒素の有機化量が、土壌中の有機態窒素の無機化量を上回り、その限界点は、炭素率17付近にあるとしている。また、前田ら⁵⁾は、水田状態で検討し、炭素率10以上では、炭素の分解率が窒素の分解率を上まわり、有機化の過程をとるとした。一方、第2報⁸⁾では、¹⁵Nラベル稲わらを用いて窒素の分解率を検討した。それによると、稲わらが分解する際には、稲わら中の窒素の放出と、土壌中の無機態窒素の有機化が並行して行われるが、すき込み直後以外は、有機化の過程をとるとしている。また川口ら³⁾は、¹⁵Nラベル稲わらを用いて、水稻に吸収される稲わら中の窒素の利用率を検討し、第1作目の利用は8.8%~10%であった。

当試験では、3年間の稲わら中の窒素の利用率を検討し、1年目14.6%、2年目7.0%、3年目3.5%となり、3年間の利用率は25.1%であった。これを川口ら³⁾の結果と比較すると、1年目での利用率は高く、2年目で低かった。この原因の一つとして、川口ら³⁾は秋すきこみであったが、当試験では春すきこみであり、第2報⁸⁾で報告したように、稲わらの初期の分解の際に窒素の放出が多かったことがあげられる。この窒素が、当試験での1年目の稲わら中の窒素の利用率を高くしたものと思われる。稲わらの窒素の分解率は、少なくとも1年目では、見かけ上有機化の方向に進行する。しかし、稲わら自体は、窒素の放出と取り込みを繰り返しており、放出された窒素の一部が水稻に利用されたものと思われる。従って有機化される無機態窒素は、見かけよりさらに多いことが推定される。

水稻の吸収窒素に占める稲わら中の窒素の寄与率は、1年目で3.8%と低い値であるが、2年目以降も、前年の約2分の1の寄与率を示している。したがって、連年稲わらを施用している圃場での、累積して出てくる稲わら由来の窒素

量は、決して少なくないものと思われる。

3. 基肥窒素の動向

重窒素標識硫安を用いて測定した基肥窒素の利用率については、従来いくつかの結果が報告されている。このなかで、長谷川ら¹⁾は、基肥窒素の利用率は32%、和田ら¹³⁾は21~27%、また第1報⁷⁾では、26~30%であった。一方、前田ら¹²⁾はポット試験を行い、55%の利用率を示したとしている。

当試験の結果では、1年目の利用率が、稲わら施用区で43.5%、無施用区で47.2%であり、前田ら⁴⁾の結果よりやや低い値を示している。一方、2年目以降の残効を調べた結果では、稲わら施用区が若干高い利用率を示した。この理由は、稲わら施用により、基肥窒素の有機化量が増加したため、1年目では利用率が低下し、2年目以降になって、これが無機化され、発現する窒素量を多くしたものと推察される。

3年間での施肥窒素の吸収率は、稲わら施用区で49.5%、無施用区で51.6%であった。残りの約50%の未回収窒素については、脱窒、休耕時の溶脱、土壌による固定などが考えられるが、その詳細については不明であり、今後検討する必要がある。

水稻の吸収窒素に占める土壌窒素の依存率は小山¹¹⁾が各地の試験結果をまとめて報告している。これによると、平均67.7%であり、水稻の窒素吸収に占める土壌の窒素肥沃度の重要性がうかがわれる。なお、当試験での1年目の施肥窒素の寄与率から、土壌窒素の寄与率を算出すると、稲わら施用区で64.8%、無施用区で62.7%となり、小山¹¹⁾の報告とほぼ一致した結果が得られた。

V 摘 要

1. 稲わら施用による基肥窒素及び稲わら由来の窒素の利用率を明らかにするため、標識窒素硫安及び¹⁵Nラベル稲わらを用い、1978~

稲・麦わら施用水田の土壤肥料的研究(第3報)

1980年まで水稻コシヒカリを供試し、ポット試験を行い検討した。

2. 稲わら施用により、水稻のもみ・わら比が高まった。

3. 水稻による稲わら由来の窒素の利用率は、1年目で14.6%、2年目で7.0%、3年目で3.5%であり、3年間では25.1%であった。

4. 稲わら窒素の水稻による窒素吸収への寄与率は、1年目で3.5%、2年目2.0%、3年目1.2%であった。

5. 基肥窒素の水稻による利用率は、3年間で稲わら施用の場合49.5%、無施用で51.6%であった。また稲わら施用により、利用率は、1年目で低く、2年目、3年目で高くなった。

6. 基肥窒素の水稻吸収窒素に占める寄与率は、1年目で稲わら施用の場合35.2%、無施用の場合37.2%であった。

3. 川口菊雄, 坂上郎 (1971) 静岡農試研報16 112-118
4. 前田乾一, 鬼鞍豊 (1976) 土肥誌47 99-105
5. 前田乾一, 志賀一一 (1978) 土肥誌49 455-460
6. 松浦勝美 (1977) 農及園52 1365-1368
7. 茂木惣治, 鶴野慶吉 (1979) 栃木農誌研報25 7-16
8. 茂木惣治, 吉沢崇, 中野政行 (1980) 栃木農試研報26 17-26
9. 仲谷紀男, 鬼鞍豊 (1974) 土肥誌45 546-548
10. 鬼鞍豊, 吉野喬, 前田乾一 (1975) 土肥誌46 255-269
11. 小山雄生 (1975) 土肥誌46 260-269
12. 坂上行雄 (1975) 土肥誌46 275-279
13. 和田源七, 床子貞雄, 高橋重郎 (1971) 日作紀40 275-280

引用文献

1. 長谷川清善, 小林正幸, 宮崎秀也, 中田均 (1978) 滋賀農試研報20 8-19
2. 広瀬春郎 (1973) 土肥誌44 211-216

Studies of Soil Science and Fertilizer on the Paddy Field Plowing in Rice and Barley Straw

(III) Utilization of fertilizer nitrogen and rice straw nitrogen by rice plants on the paddy field applied with rice straw

Takashi YOSHIZAWA, Sohji MOTEKI

Summary

Utilization of basal nitrogen (ammonium sulfate) and ¹⁵N labeled rice straw nitrogen by rice plants were studied under the paddy condition provided with pots from 1978 to 1980.

1. The rates of paddy and rice straw increased by plowing in rice straw.

2. The rate of utilization of rice straw nitrogen were 14.6% in the first year, 7.0 and 3.5% in the second and third year.

3. The rate of absorption of rice straw nitrogen by paddy rice were 3.5, 2.0 and 1.2% in the first, second and third year, respectively.

4. For three years, the rate of utilization of basal nitrogen was 49.5% in the pots applied with rice straw while it was 51.6% in the control. By the rice straw application, the rate of basal nitrogen declined in the first year but rose in the second and third year.

5. In the first year, the rate of absorption of basal nitrogen by rice plants was 35.2% in the pots applied with rice straw and 37.3% in the control.