

黒大豆ガラ的大量施用が水稻の生育, 収量に及ぼす影響

桑名健夫*・小河 甲*・三好昭宏**・清水克彦*・吉倉惇一郎***

要 約

黒大豆ガラを冬季に大量に (1 ha 当たり10~20t) すき込んだほ場における水稻に対する施肥方法を実証した。

- 1 黒大豆ガラ (莢と茎の両方を含む) はNとKの含有率が高く, 1.0tを施用することにより, Nは約10kg、K₂Oは20kg以上を供給できた。
- 2 黒大豆ガラ施用後, 無施肥で水稻を作付けすると, 初期生育は旺盛となったが, 生育後半に肥切れを起こし減収を招いた。黒大豆ガラ施用量が多ければ, 成熟期における全重, わら重及びN吸収量は施肥区を上回るものの, 精玄米重では施肥区に及ばなかった。
- 3 基肥を施用せず適量の追肥を行うと慣行栽培より高い収量が得られた。その原因として, 分けつ肥施用による穂数確保の影響が大きく, 黒大豆ガラ施用量の影響は比較的小さかった。黒大豆ガラ施用と追肥を併用すれば, 水稻のN吸収量は増加し, 玄米の品質 (外観, 窒素濃度) は低下する傾向が認められた。
- 4 黒大豆ガラを連用すると, 連用効果が認められ, 水稻生育はさらに旺盛となった。

Effects of Mass Application of Black Soybean Chaff on Growth and Yield in Rice Plants

Takeo KUWANA, Kinoe OGAWA, Akihiro MIYOSHI,
Katuhiko SHIMIZU and Jun-ichiro YOSHIKURA

Summary

The method of fertilizer application for rice plants in a paddy field applied with large quantities (10~20t ha⁻¹) of black soybean chaff was examined.

- (1) Black soybean chaff (containing both pod and stem) contained a high percentage of nitrogen and potassium, and 1.0t chaff application supplied about 10kg of nitrogen and more than 20kg of potassium oxide to the paddy field.
- (2) Growth of rice plants cultivated with no application of fertilizer was very good in the early period, but in the latter half became bad due to nitrogen deficiency, and after all, the rice yield decreased. Total weight, straw weight and nitrogen uptake weight of mature rice plants cultivated by mass application of black soybean chaff were higher, but the yield was lower than that of rice plants cultivated with chemical fertilizer application.
- (3) The rice yield by the cultivation not applied with a basal dressing, besides that applied with a supplement application, was higher than the yield in normal cultivation. It was suggested that the increased number of panicles by topdressing application at the tillering stage had a much larger influence than the rate of black soybean chaff application on high rice yield. It was recognized that the combined application of black soybean chaff and supplement application showed a tendency to increase nitrogen uptake weight and to lower the quality (appearance and nitrogen content) of brown rice.
- (4) The effects of successive application of black soybean chaff were recognized, and growth of rice plants flourished even more.

キーワード: 黒大豆ガラ, 水稻, 大量施用, 初期肥効, 基肥省略

緒 言

兵庫県下では, 転作作物として黒大豆「丹波黒」の作付けが推進されており, 2001年の栽培面積は約1,300ha

である。「丹波黒」は共同乾燥調製施設で乾燥され, ビーンスレッシャーで脱粒後, 選粒調製されて出荷される。その際, スレッシャーでの脱粒時に, 大量に排出される黒大豆ガラ (莢と茎の両方を含む) の処理が問題になる。希望農家に引き取ってもらったり, 一部は場還元したり, 残量分は焼却処分等で対応しているのが現状である。そこで, 廃棄物処理, 有機物補給による地力の増強及び施肥量削減という3つの目標を掲げて, 黒大豆ガラを水田

2002年8月30日受理

* 農林水産技術総合センター部長 (農林水産環境担当)

** 現農林水産技術総合センター農業技術センター

*** 現農林水産技術総合センター淡路農業技術センター

へ大量に施用する実証試験を2年間にわたり実施した。最近、有機廃棄物資源を農地へ循環利用する必要性を説く論説等が多く発表されている^{2, 4, 7, 8)}。その中では、主に有機物を堆肥化、肥料化して土壌還元することを勧めたり^{2, 4)}、化学肥料を有機質資源で積極的に代替えることを提言している⁸⁾。しかし、問題点として、作付け体系や栽培技術などが不明であることを挙げている⁸⁾。

本報では、黒大豆ガラを廃棄物ではなく、未利用の有機質資源と見なして、堆肥化せずに積極的に水田へ大量に還元し、そこで水稻栽培を行うための合理的な施肥技術を検討した。

材料及び方法

1 供試ほ場

造成後14年目の農林水産技術総合センター内のほ場(加西市別府町, 面積500m²)を用いた。これまで水稻単作ほ場として13作の水稻を作付けした。本試験を開始する前年, 前々年度は均一栽培を行い, 水稻の出来むらは認められなかった。稲わらは, 毎年全量がほ場へ還元されている。ほ場の土壌条件は細粒黄色土・造成相(表土20cm: 沖積水田の作土・埴壤土, 下層土: 未耕地黄色土・埴土)である。栽培を開始する前の作土の化学性を表1に示す。

2 供試黒大豆ガラ

1) 搬入と散布

黒大豆ガラは, JAしそ(現JA兵庫西)の共同乾燥収穫調製施設(宍粟郡山崎町)から, 水稻作付け前年の12月に調達した。黒大豆ガラは, スレッシャーで脱粒後の茎(軸)と莢の両方を含む残渣で, 葉は含まれず, 茎は10cm程度に切断されていた。搬入後, 雨水に当たらないように屋外でシートをかけて保管した。2月に, ほ場の各試験区へ均一に散布し, 散布後すぐにトラクタで耕うんしてすき込んだ。

2) 無機分析

1999年12月に搬入した黒大豆ガラの無機分析を実施した。無作為に5カ所から採取した黒大豆ガラを, 一つにまとめて混合し縮分して約1kgを分析用とした。105°C, 24時間乾燥後, 水分を測定し, 乾物を薬研で粗く粉碎後, さらにウィレー粉碎機で微粉碎して分析に供した。また別に, 莢だけを採取し粉碎して, 莢だけの分析試料を調製した。Nはサルチル硫酸分解後, 水蒸気蒸留法で, 他の成分については, 硝酸-過塩素酸で湿式分解後, Pはバナドモリブデン酸比色法, KとNaは炎光光度法, CaとMgは原子吸光法により測定した。

3 試験区の構成

表1 供試ほ場の作土の化学性

pH	EC (1:2.5H ₂ O) dS m ⁻¹	全窒素 mg kg ⁻¹ (×10 ²)	全炭素 mg kg ⁻¹ (×10 ²)	CEC cmol _c kg ⁻¹	交換性イオン Ca Mg K cmol _c kg ⁻¹			石灰 飽和度 %	可給態リン酸 (Truog法) mg kg ⁻¹
5.58	0.043	20.5	192	11.2	5.63	1.19	0.34	50.3	104

* 2000年6月5日に黒大豆ガラ無散布区の土壌を採取

1) 2000年「日本晴」の無施肥栽培

黒大豆ガラの現物施用量を5水準(0, 5, 10, 15, 20 t ha⁻¹)に設定して, 無施肥で「日本晴」を栽培した。対照として施肥区を設定した。1区30m², 1連制(ただし, 施肥区は2連制)で実施した。施肥区では, 基肥として尿素硫加磷安48号(16-16-16)を, 分けつ肥と穂肥はNK2号(16-0-16)を施用した。施肥区のN量は, 基肥-分けつ肥-穂肥=25-20-20kg ha⁻¹とした。

2) 2001年「ヒノヒカリ」の無基肥栽培

前年と同一ほ場で, 黒大豆ガラの現物施用量を2水準(10, 20 t ha⁻¹), 分けつ肥N施用量を2水準(20, 45 kg ha⁻¹)及び黒大豆ガラの単用施用区と連用施用区を組み合わせた試験区を1区15m², 1連制で8区設置し, 「ヒノヒカリ」を無基肥で栽培した。同時に, 無施肥区(無肥区)と標準施肥区(標肥区)を1区30m², 2連制で設置した。施肥N肥料はすべてNK2号(16-0-16)を用いた。標肥区の施肥N量は, 基肥-分けつ肥-穂肥①-穂肥②=45-20-20-10kg ha⁻¹とした。黒大豆ガラ施用区の穂肥は標肥区と同様に施用した。

4 耕種概要

1) 2000年

2月25日: 黒大豆ガラ散布・すき込み, 4月14日: 耕うん, 5月19日: 「日本晴」は種, 6月5日: 基肥施用・代かき, 6月8日: 稚苗移植(30cm×16cm), 6月9日: 試験区割り(波板入れ), 6月23日: 除草剤散布, 7月14日: 分けつ肥施用(田植後36日), 8月4日: 穂肥施用(出穂前18日), 10月4日: 刈り取り。

2) 2001年

2月7日: 黒大豆ガラ散布・すき込み, 4月6日: 耕うん, 5月18日: 「ヒノヒカリ」は種, 6月11日: 代かき, 6月14日: 稚苗移植(30cm×17cm)・試験区割り(波板入れ)・基肥施用, 6月25日: 除草剤散布, 7月10日: 分けつ肥施用(田植後26日), 8月6日: 穂肥1回目施用(出穂前24日), 8月16日: 穂肥2回目施用(出穂前14日), 10月19日: 刈り取り。

なお, 病害虫防除は兵庫県の防除指針に基づいて実施した。また, 水管理は, 生育初期は浅水とし, 活着後は間断かん水を10月上旬まで行った。

5 調査及び分析

1) 生育及び収量調査

2000年，2001年の両年とも，分げつ初期，最高分げつ期頃，幼穂形成期頃及び成熟期に生育調査を実施した。草丈と莖数（成熟期は稈長，穂長，穂数）を1区当たり40株（20株ずつ2カ所）調査した。

2000年の収穫調査は，円形刈り器を用いて10月4日に，1区当たり8㎡（4㎡刈りを2カ所）を刈り取った。ガラス乾燥室で乾燥後，11月10日に全重を計測後脱穀した。脱穀後は慣行の方法で精もみ重，精玄米重等を求めた。2001年の収穫は，10月19日に1区当たり60株（30株刈りを2カ所）を刈り取り，収量計算のために刈りあとの面積を測定した。前年と同様に乾燥し，脱穀（11月27日）後は前年同様に処理して必要項目を調査した。

収量構成要素のうち，一穂粒数と登熟歩合は代表株5株から求めた。登熟歩合については，1.8mm幅で篩選した整粒歩合を登熟歩合とした。節間長は，代表株5株の節間長の平均値から求めた。

2) 稲体及び土壌の分析

N吸収量を求めるための分析試料として 代表株を3株選定した。代表株は地際から刈り取り後，80℃で通風乾燥した。乾燥後，穂首で穂と茎葉を分離し，別々に微粉碎して分析に供した。代表株の穂重と茎葉重の重量比と，収量調査で得られた全重から穂重と茎葉重を計算し，これに穂と茎葉のN含有率を乗じてN吸収量を求めた。玄米中N濃度は，収量調査で得られた精玄米を供試して，ケルダール法により求めた。

黒大豆ガラ大量施用が土壌の肥よく度に及ぼす影響を見るために，試験終了後の土壌を，次作の作付け直前の2002年6月5日に採取した。1区につき10カ所の作土を混合して1試料とし，風乾後2mm篩別して分析に供した。pH，ECは常法により，全窒素と全炭素はさらに1mm篩別してCNコーダーで測定した。可給態窒素は湛水保温

表2 供試黒大豆ガラの無機組成と現物1t当たりの養分供給量

部位	無機組成(乾物当たり)									養分供給量(現物1t当たり)				
	水分	TN	TC	C/N	P	K	Na	Ca	Mg	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	比			g kg ⁻¹				kg	kg	kg	kg	kg
莢+莖	104	11.3	423	37.4	1.9	21	0.8	8.0	3.7	10.1	3.9	22.6	10.0	5.5
cf.莢	122	11.3	398	35.1	1.7	27	0.8	8.5	5.4	9.9	3.4	28.4	10.4	7.9

静置法⁹⁾（湛水保温期間：7月1日～28日）で測定した。その際に求める無機態窒素については，塩化カリウム抽出液にデバルダ合金粉末を添加して水蒸気蒸留法⁹⁾で求めた値（NH₄-N+NO₂-N+NO₃-N）を無機態窒素とした。

結 果

1 黒大豆ガラの無機組成

供試黒大豆ガラの無機分析結果を表2に示す。黒大豆ガラの水分含量は約100 g kg⁻¹であった。炭素率は37.4で，40に満たなかった。NとK含有率が高く，黒大豆ガラ1t当たりの供給量は，Nで約10kg，K₂Oで約20kgであった。また，莢だけの分析値は，莢と莖の混合物と比較して，炭素率がやや低く，K，Ca及びMg含有率がやや高いものの大差は認められなかった。

2 黒大豆ガラ施用による水稻の無施肥栽培

生育調査結果を表3に，収量調査結果を表4に示す。黒大豆ガラ施用量が多いほど，莖数，穂数，全重，わら重，精もみ重及び精玄米重が増加した。しかし，施肥区と比較すると，幼穂形成期までは施肥区にまさる生育を示しているが，施用量10t以上の区では，過繁茂の傾向が認められ，成熟期になると穂数の落ち込みが大きく，施用量15t以上では施肥区を上回ったが，精もみ重，精玄米重では20t区でも施肥区以下になった。表5には，収量構成要素，節間長及びN吸収量を示す。黒大豆ガラ施用量が多いほど，収量構成要素のうち，1㎡当たりのもみ数が増加する傾向を示したが，いずれも施肥区よりは少なかった。節間長を見ると，第1節間及び第2節間

表3 黒大豆ガラ施用量と水稻の生育(2000年，無肥料栽培)

施用量 t-ha ⁻¹	7/13		7/24		8/3		出穂 期 月/日	稈長 cm	穂長 cm	穂数 本m ²	倒伏 程度
	草丈 cm	莖数 本m ²	草丈 cm	莖数 本m ²	草丈 cm	莖数 本m ²					
0	43.1	384	62.9	400	70.1	391	8/23	73.6	18.4	276	0
5	42.1	509	64.0	443	72.1	447	8/23	71.9	18.6	300	0
10	44.3	503	66.5	451	74.1	462	8/22	73.8	19.0	304	0
15	47.2	546	68.4	464	75.2	460	8/22	75.9	18.6	325	0
20	43.7	579	69.0	523	76.7	515	8/22	77.0	18.6	333	0
施肥区	44.3	542	66.4	455	73.2	458	8/22	75.4	19.0	353	0

品種：「日本晴」

倒伏程度：0無、1微、2少、3中、4多、5甚

表4 黒大豆ガラ施用量と水稻の収量の関係(2000年，無肥料栽培)

施用量 t ha ⁻¹	全重 t ha ⁻¹	わら重 t ha ⁻¹	精 もみ重 t ha ⁻¹	モミ/ワラ 比	くず 米重 t ha ⁻¹	精 玄米重 t ha ⁻¹	同左 比	検査 等級
0	14.48	7.61	6.15	80.8	0.103	4.89	86	1下
5	15.06	7.92	6.48	81.8	0.085	5.19	91	1中
10	15.19	8.04	6.51	81.0	0.090	5.22	92	1中
15	15.70	8.33	6.60	79.2	0.089	5.29	93	1中
20	15.99	8.36	6.86	82.1	0.105	5.50	97	1中
施肥区	15.61	7.42	7.10	95.7	0.129	5.69	100	1上

品種：「日本晴」

検査等級：神戸食糧事務所社支所調べ

表5 黒大豆ガラ施用量による水稻の収量構成要素、節間長及び窒素吸収量(2000年, 無施肥栽培)

施用量 t ha ⁻¹	収 量 構 成 要 素				節 間 長 cm						窒 素 吸 収 量					
	1穂 t ha ⁻¹	1穂 本数 ×100	登熟 歩合%	千粒重 g	1 節	2 節	3 節	4 節	5 節	6 節	合計	茎葉N g kg ⁻¹	茎葉N量 kg ha ⁻¹	穂N g kg ⁻¹	穂N量 kg ha ⁻¹	合計 kg ha ⁻¹
0	73.5	203	88.1	23.6	34.8	17.0	12.2	7.4	1.0	0.1	72.5	5.9	42.1	10.4	61.6	103.7
5	68.4	205	92.2	24.0	34.0	16.7	13.5	8.1	2.1	0.2	74.6	5.2	38.9	9.9	60.4	99.3
10	68.4	208	92.2	23.9	35.5	17.4	12.9	7.9	1.9	0.2	75.8	5.7	43.1	10.4	63.5	106.6
15	69.7	214	92.4	23.9	35.4	18.0	12.4	8.6	1.6	0.3	76.3	5.4	43.3	10.3	63.4	106.7
20	67.3	224	92.4	23.8	35.0	17.4	13.9	9.5	2.5	0.3	78.6	5.3	42.2	9.8	63.1	105.3
施肥区	66.0	233	92.3	23.8	36.8	17.7	12.8	8.4	1.3	0.2	77.2	5.4	40.9	9.6	62.7	103.6

品種:「日本晴」

の伸長が施肥区より少ない傾向が認められた。N吸収量は99~107kg ha⁻¹の範囲で施用量による大差は認められなかったが、黒大豆ガラ10t以上施用の窒素吸収量は、施肥区よりやや多かった。

3 黒大豆ガラ施用による水稻の無基肥栽培

黒大豆ガラを大量施用して水稻を無施肥で栽培すれば、初期生育への肥効は期待できるが、後半の登熟は不良となった前年の結果に基づき、2001年は無基肥で栽培を開始して、追肥の影響を検討した。その生育調査結果を表6に示す。分けつ肥施用時における茎数は、20t連用では標肥区より多かったが、10t単用は無肥より劣り、10t連用や20t単用では標肥区と同等かそれ以下となり、明確な黒大豆ガラ施用効果は認められなかった。しかし、分けつ肥施用後は、いずれの試験区においても標肥区と同等かそれ以上の生育を示した。とくに、分けつ肥N20kg施用よりも45kg施用の方が、また、単用区よりも連用区の方が旺盛な生育を示した。10t施用と20t施用を比較すると、おおむね20t施用の生育が旺盛であったが、分けつ肥N45kg区をみると成熟期ではその生育差は明確ではなくなった。収量調査結果、品質、収量構成要素及びN吸収量を表7に示す。これによると、水稻収量は、

黒大豆ガラを施用したいずれの試験区においても標肥区対比104~123の大幅な増収となった。ただし、検査等級は連用区に分けつ肥N45kg施用では低下した。また、玄米中N濃度は黒大豆ガラを施用したすべての試験区で標肥区を上回った。収量構成要素の中では、1m²当たりのもみ数と千粒重が標肥区を上回った。黒大豆ガラを施用した試験区のN吸収量も標肥区より多かった。とくに、分けつ肥N45kg施用では、標肥区107kg ha⁻¹に対して149~159kg ha⁻¹のNが吸収された。

4 黒大豆ガラ施用試験終了後の土壌の化学性

黒大豆ガラの大量施用が地力向上に及ぼす影響を見るために、水稻2作にわたる試験終了後の作土を採取して化学性を測定した(表8)。土壌pHは黒大豆ガラ施用により高まった。全窒素濃度及び全炭素濃度にも黒大豆ガラ施用の影響が認められ、10t施用よりも20t施用、単用よりも連用施用の方が高い濃度を示した。土壌中の無機態窒素含量は、単用区が連用区より高くなり、可給態窒素含量は連用区が単用区より高くなる現象が認められた。可給態窒素含量は黒大豆ガラ無施用・無肥区が最も高かった。黒大豆ガラ施用区の可給態窒素含量は、標肥区より低かった。

表6 黒大豆ガラ施用量、施用方法及び分けつ肥窒素量による水稻の生育(2001年, 無基肥栽培)

黒大豆ガラ			7/10		7/24		8/8		出穂 期	稈長 cm	穂長 cm	穂数 本m ⁻²	倒伏 程度
施用量 t ha ⁻¹	施用 方法	(施肥N量) kg ha ⁻¹	草丈 cm	茎数 本m ⁻²	草丈 cm	茎数 本m ⁻²	草丈 cm	茎数 本m ⁻²					
0:無肥		(0-0-0)	30.2	273	61.8	393	72.0	365	8/30	75.8	16.2	341	0
10	単用	(0-20-20-10)	31.8	252	68.1	445	78.8	420	8/30	85.7	18.5	388	0
"	"	(0-45-20-10)	30.7	221	69.2	509	81.7	495	8/30	87.1	17.7	444	0
"	連用	(0-20-20-10)	32.4	310	69.2	531	79.6	484	8/30	84.9	18.4	413	0
"	"	(0-45-20-10)	32.7	280	71.8	488	80.5	504	8/30	88.2	17.9	453	0
20	単用	(0-20-20-10)	29.7	276	65.9	462	77.9	444	8/30	85.1	18.0	403	0
"	"	(0-45-20-10)	32.3	300	69.1	481	79.4	468	8/30	88.6	18.6	424	0
"	連用	(0-20-20-10)	31.0	335	67.9	536	80.1	453	8/30	85.1	18.2	449	0
"	"	(0-45-20-10)	29.8	319	72.2	558	86.5	480	8/30	88.3	17.7	458	0
0:標肥		(40-25-20-10)	33.8	296	68.3	470	78.9	436	8/30	84.0	17.6	396	0

品種:「ヒノヒカリ」 倒伏程度:0無、1微、2少、3中、4多、5甚 単用:単年施用、連用:2年連続施用
施肥N量(施肥月日):基肥(6/9)-分けつ肥(7/10)-穂肥①(8/6)-穂肥②(8/16)

表7 黒大豆ガラ施用量、施用方法及び分げつ肥窒素量が水稻の収量、品質及び窒素吸収量に及ぼす影響 (2001年, 無基肥栽培)

黒大豆ガラ 施用量 t ha ⁻¹	施用 方法	(施肥N量) kg ha ⁻¹	全重		わら重		精		モミ/ワラ くず 比	同左	検査 等級	玄米中 N濃度 g kg ⁻¹	収量構成要素				窒素吸収量			
			t ha ⁻¹	t ha ⁻¹	t ha ⁻¹	t ha ⁻¹	米重 t ha ⁻¹	玄米重 t ha ⁻¹					比 %	1穂 数 ×100	登熟 歩合%	千粒重 g	茎葉N g kg ⁻¹	茎葉N量 kg ha ⁻¹	穂N g kg ⁻¹	穂N量 kg ha ⁻¹
0: 無肥		(0-0-0-0)	13.43	7.93	4.71	59.4	0.436	3.39	68	1上	11.7	69.3	236	75.3	21.7	4.6	34.3	9.6	43.1	77.4
10	単用	(0-20-20-10)	17.61	9.27	7.16	77.2	0.361	5.49	110	1上	12.9	79.2	307	84.5	22.1	7.2	63.5	10.5	72.5	136.0
"	"	(0-45-20-10)	19.52	10.03	8.04	80.2	0.449	6.15	123	1上	12.5	79.5	353	83.4	21.9	7.8	75.4	10.8	83.4	158.8
"	連用	(0-20-20-10)	18.35	9.77	7.44	76.2	0.334	5.75	115	1上	12.6	76.3	315	84.6	22.1	7.1	63.9	10.5	77.3	141.2
"	"	(0-45-20-10)	18.49	9.53	7.51	78.8	0.314	5.86	118	1中	12.7	73.4	333	80.8	22.1	8.1	76.1	10.5	74.5	150.6
20	単用	(0-20-20-10)	16.48	8.49	6.83	80.4	0.375	5.19	104	1上	12.9	77.8	314	80.6	22.1	6.4	55.1	10.6	63.9	119.0
"	"	(0-45-20-10)	18.28	9.44	7.57	80.2	0.364	5.81	117	1上	13.2	75.5	320	84.6	22.3	7.8	69.2	10.8	79.8	149.0
"	連用	(0-20-20-10)	17.76	9.10	7.39	81.2	0.380	5.69	114	1上	12.8	73.8	331	81.1	22.0	6.8	62.7	10.5	69.9	132.6
"	"	(0-45-20-10)	18.57	9.45	7.58	80.2	0.370	5.89	118	1中	12.9	72.1	330	82.2	21.8	8.2	76.2	11.2	81.5	157.7
0: 標肥		(40-25-20-10)	17.06	9.27	6.66	71.8	0.433	4.98	100	1上	12.2	74.7	296	82.0	21.2	6.2	54.8	9.5	61.7	116.5

品種：「ヒノヒカリ」 検査等級：神戸食糧事務所社支所調べ 単用：単年施用，連用：2年連続施用
 施肥N量：基肥-分げつ肥-穂肥①-穂肥②

考 察

1. 黒大豆ガラの無機組成

池田は、大豆ガラ（莢と茎を含む）の炭素率は40~50程度で、無機成分含量は生産されるほ場の肥よく度の影響が大きいこと、また、莢の炭素率は30程度で、無機成分含量は茎に比べてはるかに高いことを報告している⁹⁾。本試験で用いた黒大豆ガラの無機組成もほぼこの報告に沿うものであるが、莢と茎の混合ガラと莢だけの豆ガラとの組成には大きな差は認められなかった。本黒大豆ガラを生産する地域では、黒大豆の生産に、基肥として上り型（成分含量がN<P₂O₅<K₂O）の高度化成を、さらに追肥としてPK化成を施用している。施用量はおおむね、1ha当たりN50~80kg、P₂O₅150~200kg、K₂O150~200kgである。供試黒大豆ガラは、NとK含有率が高いがP含有率は低かった。Kについては施肥が影響していることも考えられるが、池田のデータ（大豆ガラのN含有率11.4g kg⁻¹、P含有率1.6g kg⁻¹、K含有率17.7g kg⁻¹）を考慮すると、NとK含量が高いという特徴は黒大豆ガラに限らず大豆ガラ一般の特性と考えられた。

2. 無施肥栽培した場合の水稻への肥効

冬季に多量施用した黒大豆ガラの影響を見るために水稻を無肥料で栽培したところ、初期生育は施用量が多いほど旺盛となったが、生育後半には生育が衰えた。最終的には、全重やわら重は施肥区を上回るものの精玄米重では施肥区に及ばなかった。節間長を調査した結果、第1節間及び第2節間の伸長不足が認められた。第1節間の伸長は、出穂10日前ぐらいから、第2節間の伸長は出穂2週間前ぐらいから始まるとされる^{1, 10)}ことから、幼穂形成期を過ぎたころから肥料切れが著しくなったものと推察された。このことは、幼穂形成期における茎数

が成熟期に向けて大きく減少したことから、またほ場における葉色等の肉眼観察からも裏付けされた。施用量10t以上の試験区におけるN吸収量が施肥区を上回ることから、生育初期のN吸収が旺盛であることが推察されると同時に、吸収Nの収量に及ぼす効率の悪さがうかがわれた。一般に、炭素率の低い（ほぼ10~20の）収穫残渣やマメ科緑肥はすき込み後容易に分解されて後作物への肥効が期待できるが、稲麦のわら類等炭素率の高いイネ科作物の収穫残渣はすき込み後1~2作は効果が期待できない⁹⁾とされている。また、マメ科緑肥であるレンゲの水稻に対する肥効は緩効的であるが、暖地では最高分げつ期以後に窒素不足を招きやすい⁹⁾とされている。黒大豆ガラは、炭素率が約40と高いが、冬季に大量にすき込むことにより、水稻栽培までに分解が進み、マメ科緑肥のすき込み効果に似た肥効が期待できるものと推察された。

3. 無基肥栽培による増収効果

黒大豆ガラ施用により生育初期の肥効が期待できることから、基肥を省略する栽培を行い、分げつ肥施用の影響を検討した。同時に黒大豆ガラ2年連続施用の効果も検討した。その結果、無基肥栽培でも、標肥区と比較して十分に満足できる収量が得られることを実証した。標肥区の精玄米重を100とした各試験区の収比を、設定した要因別に平均収比として表示すると、施用量10t区は116、20t区は113、単年施用区は114、連用区は117、分げつ肥N25kg区は114、45kg区は119となった。いずれも110以上の高収比となり、黒大豆ガラを大量施用した場合に、基肥を省略する栽培方法の有効性が確認された。20t施用の収比が10t施用より低下した理由は明らかでないが、施用量が10t以上になると、収量に及ぼす影響が小さくなり、むしろ弊害を招きやすくなることが推察

された。黒大豆ガラ的大量連用による影響は、単用施用との比較から、生育の推移や収量に認められ、無視できないものと考えられた。最も影響が大きい要因は分けつ肥Nの施用量であると考えられた。連用区でかつ分けつ肥N45kg区では、玄米中N濃度の上昇傾向や検査等級の低下傾向が認められることから、玄米の品質を考慮すれば、分けつ肥や穂肥はさらに減肥する必要があると考えられた。

4 試験終了後土壌への影響

黒大豆ガラ大量施用の連用効果は、水稻の生育や収量性で認められたが、それを裏付けるように、あと地土壌の全窒素含量及び全炭素含量も連用により増加した。しかし、一般に土壌肥よく度の日安とされる可給態窒素含量は、無肥区や標肥区と比較して同等かそれ以下であった。その原因は明らかでないが、有機物施用により土壌中の微生物活性が高まり有機態窒素の分解が促進された⁵⁾、保温静置中に無機化した窒素が再び微生物に取り込まれた、あるいは脱窒によって揮散した等が推察される。あと地土壌の採取時には、未分解の黒大豆ガラ残渣が散見された。供試したあと地土壌は、まだ分解が継続中の土壌であると考えられた。このような土壌の肥よく度を評価するためには、本試験で用いた以外の手法で検討する必要があると考えられた。

5 黒大豆ガラ大量施用技術

黒大豆ガラは子実収穫後の廃棄物であり、有機物資源でもある。曳野らは3年間にわたり黒大豆「丹波黒」の栽培試験を実施して、バラツキは大きいものの1ha当たりの平均子実重1.98t、同豆ガラ重3.98tというデータ(兵庫県立北部農業技術センター農業部、平成10年度成績集)を報告している。この結果から黒大豆ガラの生産量は収量の約2倍であると考えられる。一般ほ場の黒大豆の収量を1ha当たり1.5tと想定すれば、1ha当たり約3.0tの黒大豆ガラが生産されることになる。黒大豆ガラの1ha当たり10~20tの大量施用は、つまりは3~7haのほ場で栽培された収穫残渣をより狭い1haのほ場へ集中的に還元する技術である。したがって、土壌中へ微量要素を補給する効果が期待できる。また、 P_2O_5 集積の心配もなく、Nと K_2O の過多に注意を払うだけで健全な土壌管理が可能である。

黒大豆ガラを大量に施用した水田では、基肥は省いてその後の追肥で生育を調節することが望ましい。黒大豆ガラの施用量が1ha当たり10~20t程度であれば、分けつ肥Nを生育を観察しながらやや遅れ気味に1ha当たり20~45kg施用し、穂肥により生育調節をするのがよい。多収をめざさず玄米の品質面を考慮すれば、分けつ肥や

表8 黒大豆ガラ施用試験終了後における作土の化学性

処理 施用量, 方法 t ha ⁻¹	pH (1:2.5H ₂ O)	EC (1:5H ₂ O) dS m ⁻¹	全窒素 mg kg ⁻¹ (×10 ²)	全炭素 mg kg ⁻¹ (×10 ²)	無機態 窒素 mg kg ⁻¹	可給態 窒素 mg kg ⁻¹
0, 無肥	5.28	0.054	21.6	203	17.7	83.4
10, 単用	5.31	0.059	23.6	230	22.4	60.3
10, 連用	5.52	0.057	24.4	238	18.1	63.8
20, 単用	5.37	0.071	24.2	232	32.1	65.5
20, 連用	5.58	0.072	25.9	260	24.6	73.9
0, 標肥	5.18	0.058	21.8	210	20.6	73.2

*土壌採取月日: 2002年6月5日

穂肥も少量施用が望ましい。黒大豆ガラ連用ほ場では、単用ほ場以上に減肥することができる。 K_2O もNと同様に減肥すべきである。

本技術は、冬季に黒大豆ガラをすき込むことができるかん排水が自由な乾田~半湿田において、中早生種を普通期栽培する場合に適用できる。代かき時及び田植え直後の湛水管理時において、黒大豆ガラがある程度水面浮遊することは避けられないので、できる限り水位は低く管理する。また、有機物分解による土壌中の異常還元を防ぐためにも、水管理は浅水、間断かん水を心がける。積雪地帯やコシヒカリ等極早生種及び倒伏しやすい品種の栽培地帯における黒大豆ガラ大量施用技術は今後の検討課題である。

引用文献

- (1) 千葉浩三(1980):作物栽培の基礎知識:62, 農山漁村文化協会, 東京
- (2) 茅野充男(2000):生物系廃棄物の資源化の現状と課題:再生と利用 23 No.87, 6-11
- (3) 土壌環境分析法編集委員会編(1997):土壌環境分析法:255-257, 博友社, 東京
- (4) 藤原俊六郎(2002):生物系廃棄物の肥料化研究:農林水産技術研究ジャーナル 25 No.3, 24-29
- (5) 橋本秀教(1977):有機物施用の理論と応用:144-152, 農山漁村文化協会, 東京
- (6) 池田一徹(1987):農業技術大系 土壌肥料編 7-①:資材20-24, 農山漁村文化協会, 東京
- (7) 増島博(1999):有機性資源循環利用の視点:再生と利用 22 No.85, 6-11
- (8) 三島慎一郎(2002):農業生態系の持続的可能性:環境技術 31, 420-424
- (9) 農林水産省農産園芸局農産課編(1993):土壌環境基礎調査における土壌, 水質及び作物体分析法, 67-71, 土壌保全調査事業全国協議会, 東京
- (10) 津野幸人(1970):イネの科学:193-194, 農山漁村文化協会, 東京