

水田転換畑における黒大豆の 土壌施肥管理技術に関する研究 (第1報) 黒大豆栽培圃場の土壌化学性の実態と 収量低下要因の解析

森次 真一・鷺尾 建紀

Studies on the Soil Fertilization Management of Black Soybean in the Upland Field Converted from Paddy Field
(1) Current Condition of Soil Fertility and Analysis of Yield Decrease Factor in Black Soybean Fields

Shinichi Moritsugu and Tatsuki Washio

緒言

岡山県下における黒大豆栽培は、水田利用再編対策等の転作政策にともない、1970年代から本格的に始まり、主産地である勝英地域を中心に、収益性の高い転作物として定着している(山本, 1988; 松岡, 1999)。1997～2008年には丹波黒の栽培面積が全国一(島原, 2013)になるなど、全国有数の産地となっており、高品質・安定生産を目指して、生産力を強化するための取組みが多方面から進められている。このような状況の中、近年、生産現場では以前と比べて収量が低下しているという声が聞かれ、実態の把握と原因の究明が求められている。

安川ら(1998)は、京都府内の黒大豆の収量低下傾向が著しい水田転換畑において、生育と土壌の理化学性との関連性を調査し、低収要因の1つとして畑転換による土壌肥沃度の低下を示唆している。また、住田ら(2005)は、寒冷地積雪地帯における水稲-大豆体系の田畑輪換試験結果を解析し、長期的な視点から、水田転換畑における大豆収量の低下と土壌窒素肥沃度低下の関連性を指摘している。さらに、富山県においても、田畑輪換の繰返しにより乾土効果が低下している現象を把握し、大豆の収量低下に対する土壌窒素肥沃度の関与を推察している(稲原, 2006)。

このように、水田での大豆栽培が本格的に導入され30～40年程度が経過した現在、全国的に大豆の収量が低下傾向にあることが類推され、前述したように収量低下要因の1つとして土壌養分との関連性が示唆されている。

このような状況の中で、本県の黒大豆栽培においては、土壌管理の違いがどのように肥沃度に影響し、延いては収量低下にどのように影響しているのか実態が明らかでない。そこで、本研究では、黒大豆の栽培開始から約40年が経過している勝英地域(旧勝田郡及び旧英田郡)を対象に、土壌化学性の実態を明らかにするとともに、土壌・施肥管理や作付回数、収量の変化等についてのアンケート調査を実施し、これらを基に水田転換畑黒大豆圃場の収量低下要因について解析し、土壌改善の方向性について検討した。

なお、土壌調査や施肥管理方法等のアンケート調査の実施に当たり、勝英農業普及指導センター、JA勝英の関係各位には多大なる御協力を頂いた。実態調査は広域にわたり、関係各位の協力なしでは成立し得なかった。記して御礼申し上げる。

材料及び方法

1. 土壌化学性の実態

勝英地域の黒大豆栽培圃場(水田転換畑)を対象に

して、2007～2010年にかけて132圃場の土壌化学性を調査した。

(1) 調査項目及び分析方法

黒大豆栽培圃場の作土を採取し、次のとおり化学性を分析した。分析には風乾細土(2mmで篩別)を供試して、pH、腐植、全窒素、可給態窒素、塩基交換容量(以下、CEC)、交換性塩基(石灰、苦土、加里)、可給態リン酸、交換性マンガン、熱水可溶性ホウ素を測定した。ただし、腐植は、粒径0.5mm未満に微粉碎した試料を供試した。

土壌分析は、主に「土壌、水質及び植物体分析法(2001)」に準じて行った。すなわち、pHは、土：水＝1：2.5のガラス電極法で測定し、腐植は、NCアナライザー(住化分析センター、SUMIGRAPH NC-220F)を用いて乾式燃焼法で測定した全炭素量に1.724を乗じた。また、全窒素は、全炭素と同様に乾式燃焼法で測定した。可給態窒素は、30℃4週間の湛水静置培養で生成するアンモニウム態窒素をフローインジェクション(FOSS、FIA5000)で測定した。CECは、セミマイクロSchollenberger法により抽出したアンモニアをフローインジェクションで測定し、交換性塩基(石灰、苦土、加里)及び交換性マンガンの場合は、CEC測定の際に得られるpH7、1規定酢安浸透液を原子吸光光度計(HITACHI、Z-5300)で測定した。可給態リン酸は、トルオグ法により抽出発色後、分光光度計で測定した。熱水可溶性ホウ素は、熱水抽出法による抽出液をICP発光分析装置(島津、ICPS-1000Ⅲ)で測定した。

(2) 土壌化学性の評価

黒大豆栽培圃場の土壌肥沃度を評価するために、各化学性成分値を土壌診断基準に準拠して、改良目標値の範囲内にある圃場を「適正」、改良目標値より低い圃場を「不足」、同じく高い圃場を「過剰」として、全圃場数に対する相対割合を算出した。

また、勝英地域には多様な土壌が分布することから、土壌の種類が土壌化学性に及ぼす影響を検討するため、各成分値を土壌群ごとに比較した。なお、土壌群は、現地での試坑調査あるいは農耕地土壌図を基にして農耕地土壌分類第2次案により分類した。さらに、地図上に調査圃場ごとの可給態窒素の過不足状態をプロットして、窒素肥沃度と圃場の立地条件の関係を解析した。

さらに、黒大豆の作付けや田畑輪換が土壌養分に及ぼす影響を把握するため、水稻連作水田との比較を行った。勝英地域の水田は多くが田畑輪換利用していると考えられたため、他地域の水稻連作圃場を比較対象とした。水稻連作水田は、2006～2007年に実施した

土壌機能増進対策事業の土壌機能モニタリング調査圃場31圃場及び2008年に実施した土壌由来温室効果ガス計測・抑制技術実証普及事業(農水省)の調査圃場29圃場、計60圃場とした。なお、水稻連作水田60圃場の土壌群の内訳は、多湿黒ボク土7、灰色台地土4、グライ台地土6、黄色土4、褐色低地土7、灰色低地土19、グライ土13圃場であった。

2. アンケート調査による土壌管理の実態と収量変化の関係

黒大豆の作付頻度や土壌施肥管理方法の違いが土壌化学性や収量変化に及ぼす影響を明らかにするために、土壌調査圃場における近年の収量変化、黒大豆の作付履歴、堆肥や肥料の施用状況、収穫残渣の処理方法等についてアンケート調査を実施した。アンケート調査は、生産者への聞き取り、または生産者による記入方式とした。なお、近年の収量変化については、「変化なし」、「増加している」、「低下している」の三択で設問した。

回答のあった97圃場(回収率73%)の結果を用いて、前項1で調査した土壌化学性との関係を解析した。また、アンケート結果は、土壌調査年を含む直近5年間の作付回数を、1回、2回、3回、4回以上に分類し、黒大豆の作付頻度が土壌化学性や収量変化に及ぼす影響を解析した。

結果

1. 土壌化学性の実態

黒大豆栽培圃場132圃場の土壌化学性を表1に示した。そして、土壌診断基準に準拠して、成分別の過不足割合を図1に示した。腐植、可給態窒素、苦土/加里については、適正圃場が約5～7割、不足圃場が約3～

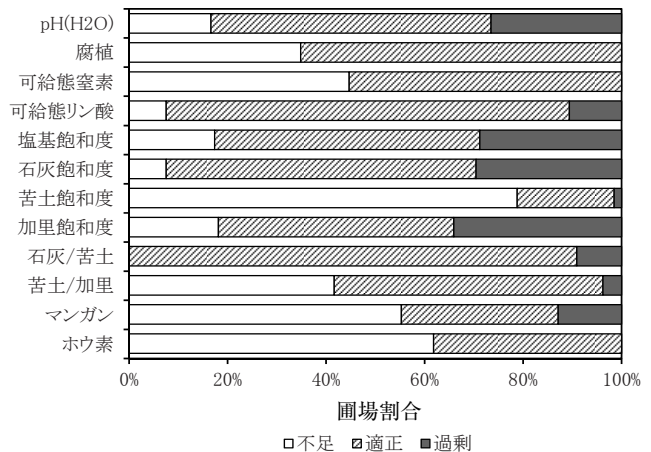


図1 黒大豆栽培圃場の土壌養分の過不足傾向

注) 不足：改良目標値より低い圃場の割合、適正：改良目標範囲内の圃場の割合、過剰：改良目標範囲より高い圃場の割合

表1 黒大豆栽培圃場の土壌化学性 (n=132)

	pH (H ₂ O)	腐植 (%)	可給態 窒素 (mg/kg)	可給態 リン酸 (mg/kg)	CEC (cmol/kg)	交換性塩基				塩基バランス		交換性 マンガン (mg/kg)	熱水抽出 ホウ素 (mg/kg)
						塩基 飽和度 (%)	石灰 (%)	苦土 (%)	加里 (%)	石灰 / 苦土	苦土 / 加里		
平均	6.1	3.8	89	415	17.5	79	62	11.5	5.3	5.6	2.6	4.5	0.29
標準偏差	0.6	1.6	35	406	4.4	20	18	3.4	2.4	1.7	1.5	5.3	0.16
最小	4.9	1.4	23	48	11.8	33	23	2.9	1.5	2.6	0.4	0	0.1
最大	7.5	11.7	176	2568	35	162	130	23.1	14.4	12.2	11.4	28.9	1
(参考)	5.5	3	80	100		60	40	14	3	2	2	3	0.3
改良目標値	6.5	~	200	700		90	70	21	6	8	6	10	1

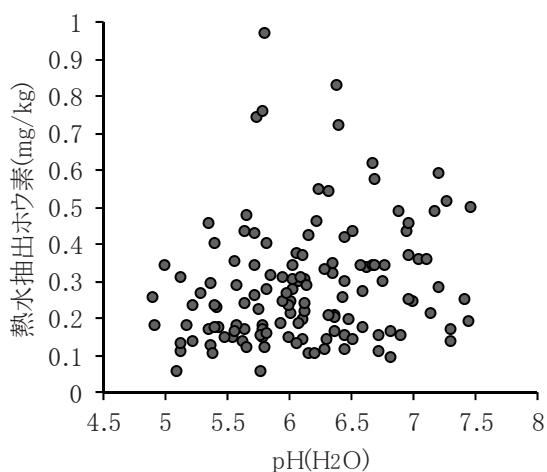


図2 黒大豆栽培土壌のpHとホウ素の関係

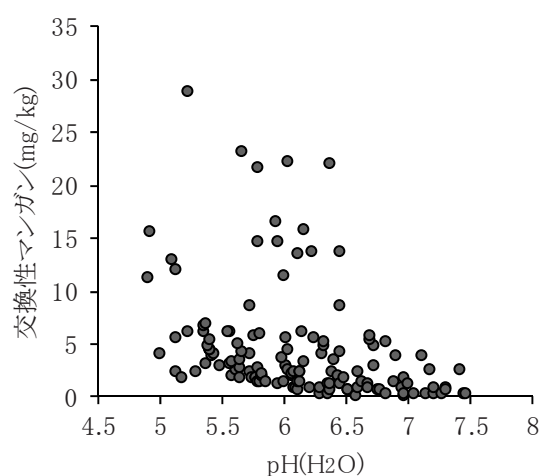


図3 黒大豆栽培土壌のpHとマンガンの関係

5割であった。また、苦土飽和度については、適正が約2割、不足が約8割であった。pHについては、適正が約5割、不足が約2割、過剰が約3割であった。可給態リン酸、石灰／苦土については、適正が約8～9割であった。石灰、加里飽和度については、適正が約5～6割、不足が約1～2割、過剰が約3割であった。ホウ素については適正が約4割、不足が約6割であった。交換性マンガンについては適正が約3割、過剰が約1割、不足が約6割であった。

ホウ素、マンガンは、土壌がアルカリ化すると不溶化することが知られている。このため、黒大豆栽培圃場のpHとホウ素、マンガンの関係をみたところ、ホウ素はpHに関わらず改良目標値の下限（0.3mg/kg）を下回る圃場が多かった（図2）。マンガンはpHが高いほど値が低い傾向を示し（log[Mn]とpHの相関：r=0.549, p<0.001）、改良目標値の下限（3mg/kg）を下回る圃場の内の約4割がpHの改良目標値の上限（6.5）を上回っていた（図3）。

次に、表2に市町村別及び土壌群別の調査圃場数、図

4に調査圃場毎の土壌種別を示し、土壌の種類が土壌肥沃度に及ぼす影響を知るために、土壌化学性成分値を土壌群別に集計し、比較した（表3）。その結果、調査圃場数が少なかった灰色台地土とグライ土を除く土壌群の土壌化学性の違いは次のとおりであった。腐植、可給態窒素については、褐色低地土、黄色土が灰色低地土、多湿黒ボク土に比べて低い値を示し、可給態窒素は、褐色低地土、黄色土で土壌改良目標値の下限を下回った。灰色低地土、多湿黒ボク土の圃場が多い勝中央町、奈義町では、堆肥センターが整備されており、可給態窒素が適正な圃場の割合が高く、一方で、褐色低地土、黄色土の圃場が多い旧美作町等の美作市内では、堆肥センターがなく、適正な圃場の割合が低い傾向であった（図5）。pH、石灰については、多湿黒ボク土が褐色低地土に比べて低い値を示した。マンガンのについては、黄色土が灰色低地土や褐色低地土に比べて高い値を示した。その他の土壌化学性については、土壌の種類による明確な違いはみられなかった。

黒大豆栽培水田と水稲連作水田の土壌化学性を比較

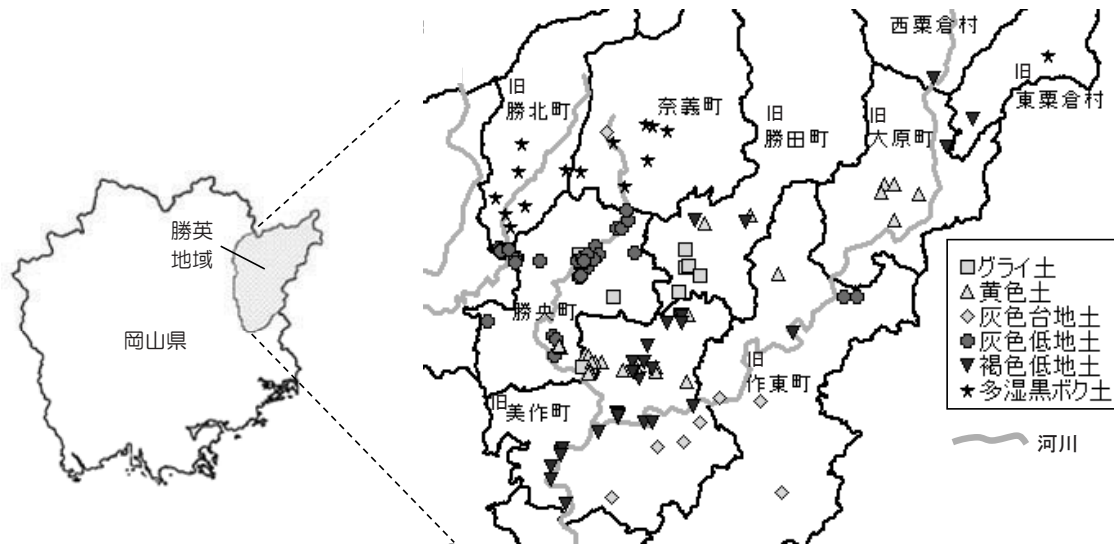


図4 調査圃場の土壌分類

表2 市町村別及び土壌群別の調査圃場数

土壌群	市町村	美作市					西栗倉村	勝央町	奈義町	津山市		合計
		旧美作町	旧作東町	旧大原町	旧東栗倉村	旧勝田町				旧勝北町	旧勝北町	
灰色低地土			2					29		8	39	
褐色低地土		27	1	1	1	2	1				33	
黄色土		18	1	5		2		2			28	
灰色台地土		5	3						1		9	
グライ土		1				5		2			8	
多湿黒ボク土					1				7	7	15	
合計		51	7	6	2	9	1	33	8	15	132	

^z 農耕地土壌分類第2次案

表3 黒大豆栽培圃場の土壌群別土壌成分平均値

土壌群	n	pH (H ₂ O)	腐植 (%)	可給態窒素 (mg/kg)	可給態リン酸 (mg/kg)	交換性塩基			石灰 / 苦土 (%)	苦土 / 加里 (%)	交換性マンガン (mg/kg)	熱水抽出ホウ素 (mg/kg)	
						塩基飽和度 (%)	石灰 (%)	苦土 (%)					
灰色低地土	39	6.1ab	4.2 b	108 b	355	74ab	57a	11.5ab	5.6	5.2a	2.4	3.2a	0.27
褐色低地土	33	6.4a	3.0a	69a	490	85 b	69 b	10.9ab	4.9	6.6 b	2.7	3.6a	0.32
黄色土	28	6.2ab	2.8a	77a	292	81ab	63ab	12.1ab	5.7	5.4ab	2.7	7.5 b	0.21
灰色台地土	9	6.2ab	3.4ab	75a	669	94 b	75 b	14.0 b	4.9	5.6ab	3.7	5.3ab	0.29
グライ土	8	5.9ab	3.2ab	102ab	261	76ab	59ab	12.7ab	4.5	4.6a	3.5	6.2ab	0.36
多湿黒ボク土	15	5.7 b	6.5 c	113 b	563	64a	49a	10.0a	5.4	5.4ab	2.0	3.2ab	0.34

注) 数値右のアルファベットは、異なるアルファベット間で有意差あり (p<0.05, Tukey法)

表4 黒大豆栽培水田と水稲連作水田における土壌化学性の比較

	pH (H ₂ O)	腐植 (%)	全窒素 (%)	可給態窒素 (mg/kg)	可給態窒素 / 全窒素 (%)	可給態リン酸 (mg/kg)	交換性塩基			石灰 / 苦土 (%)	苦土 / 加里 (%)	
							塩基飽和度 (%)	石灰 (%)	苦土 (%)			
黒大豆栽培水田 (勝英地域)	6.1	3.8	0.20	89	4.6	415	79	62	11.5	5.3	5.6	2.6
水稲連作水田 (他地域)	6.0	4.3	0.22	130	6.1	298	73	58	11.1	3.9	6.0	3.4
t検定 ^z	+	*		***	***	*	+			***		**

^z t検定: *** p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05, + p<0.1

した（表4）。その結果、両者に有意差（ $p < 0.05$ ）が認められた成分は、可給態窒素、腐植、全窒素に占める可給態窒素の割合、可給態リン酸、加里飽和度、苦土／加里であった。可給態窒素及び腐植は、黒大豆栽培水田が水稲連作水田よりも低い値を示した。また、全窒素は差がなく、全窒素に占める可給態窒素の割合が、

黒大豆栽培水田で低かった。可給態リン酸については、黒大豆栽培水田が水稲栽培水田よりやや多い傾向であった。また、交換性加里は黒大豆栽培水田が水稲栽培水田よりも多く、苦土／加里は黒大豆水田が水稲栽培水田よりも低い値を示した。pH、交換性石灰、交換性苦土については両者の差はみられなかった。また、

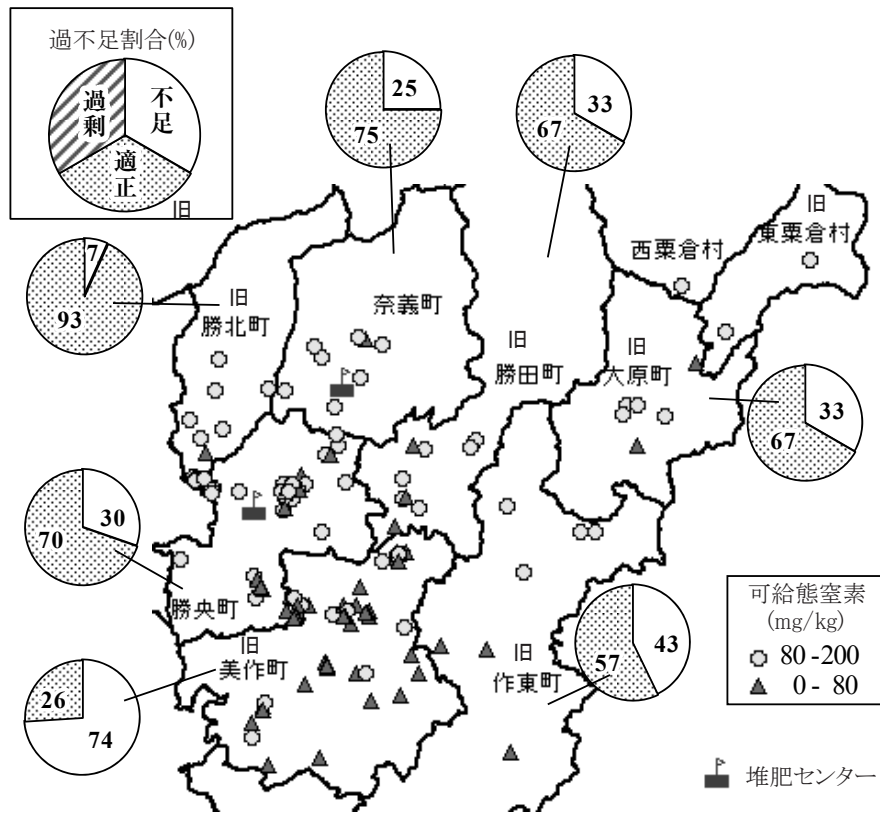


図5 地域による可給態窒素の過不足傾向の違い

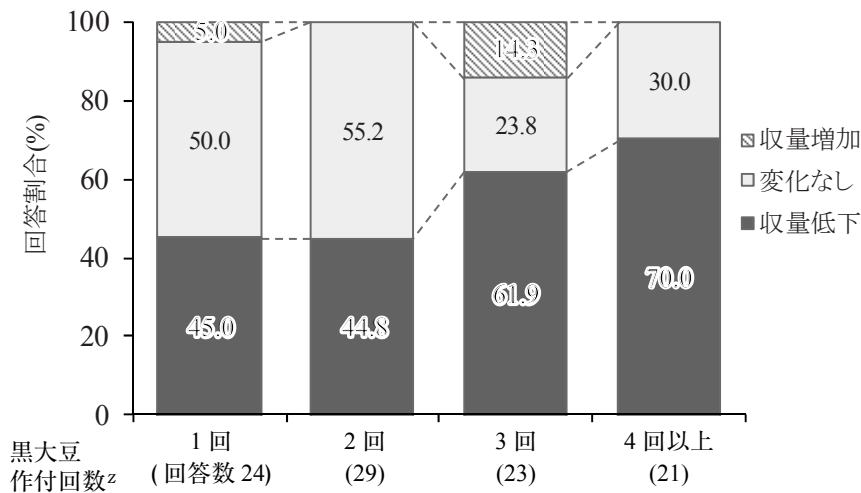


図6 黒大豆の作付回数が収量変化に及ぼす影響（アンケート調査）

²作付回数は過去5年間のうちの黒大豆作付け回数

交換性苦土は両者ともに改良目標値を下回った。

土壌調査年次に堆肥を施用した圃場の割合は、黒大豆栽培水田が48.5%、水稲連作水田が13.3%、堆肥を施用した圃場における平均施用量は黒大豆栽培水田が20t/ha、水稲連作水田が14t/haであった。

2. アンケート調査による土壌施肥管理の実態と収量変化の関係

黒大豆の作付回数と収量変化の関係をみると、黒大豆の作付回数の増加にともない「収量が低下している」圃場の割合が高まる傾向であった(図6)。また、回答のあった97圃場全体の収量変化をみると、「低下してい

る」が全体の54.5%、「変化なし」が41%、「増加している」が4.5%であった。

黒大豆の作付回数別の土壌化学性成分平均値と作付回数の相関関係をみたところ、腐植、全窒素、可給態窒素において有意な負の相関が認められ、作付回数が増えとこれらの成分が減少する傾向が認められた(表5、図7)。また、過去5年間の作付回数が3回以上になると、腐植及び可給態窒素が改良目標値の下限(それぞれ3%、80mg/kg)を下回る傾向がみられた(図7)。他の土壌養分については作付回数との関連性は認められなかった(表5)。調査圃場は、田畑輪換の間隔年数は様々であるが、大半が水稲-黒大豆体系であった。

表5 過去5年間の黒大豆の作付回数と土壌化学性の関係

	pH	腐植	全窒素	可給態窒素	可給態窒素/全窒素	可給態リン酸	CEC	塩基飽和度	石灰飽和度	苦土飽和度	加里飽和度	石灰/苦土	苦土/加里	マンガン	ホウ素
相関係数	0.81	-0.997	-0.99	-0.98	-0.94	0.71	-0.52	0.81	0.75	0.64	0.47	0.65	-0.31	-0.61	0.01
有意性 ^z		**	**	*	+										

^zピアソンの積率相関係数, ** p<0.01, * p<0.05, + p<0.1

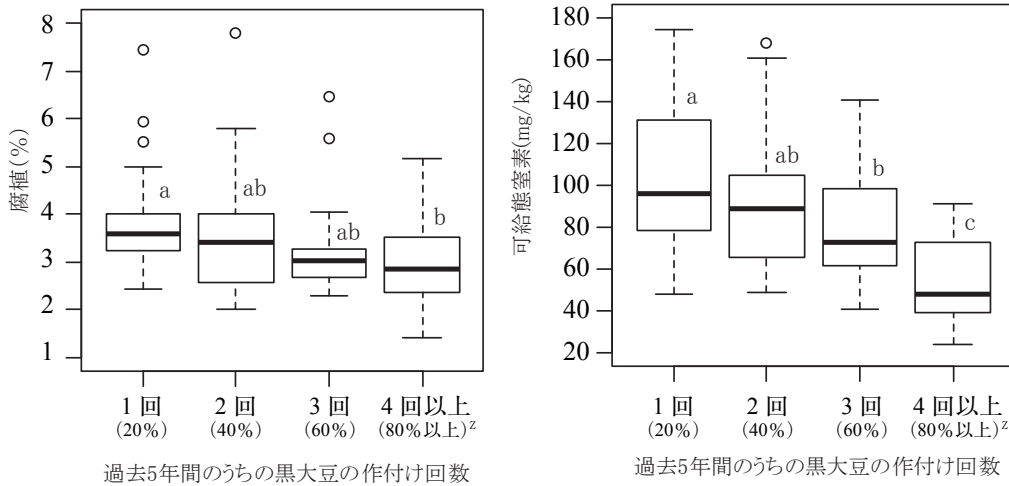
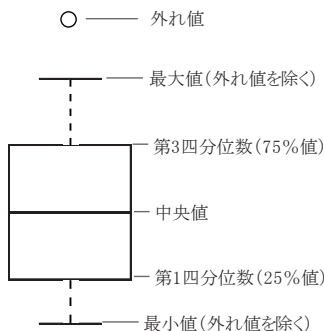


図7 黒大豆の作付回数と土壌化学性の関係

^z畑地化率(黒大豆の作付頻度)

注) 図中の異なるアルファベット間で有意差あり(p<0.05, Tukey法)

[箱ひげ図の説明]



収量変化と土壤化学性の関係を見ると、収量が「増加している」、「変化なし」の圃場は、「低下している」圃場に比べて易分解性窒素の割合（全窒素に占める可給態窒素の割合）がやや高い傾向にあった（t検定、 $p=0.061$ ）。その他の養分については関係性が判然としなかった。

堆肥施用が土壤養分に及ぼす影響を知るために、堆肥施用履歴の有無と土壤化学性の関係をみた。アンケート調査から、過去に堆肥を施用したことがある圃場割合は、回答があった97圃場の内65%であった（表6）。堆肥の平均施用量は約20t/haであった。堆肥施用履歴がある圃場では、堆肥施用履歴がない圃場に比べて、腐植、加里が多く、苦土/加里が低い傾向であった（表7）。また、堆肥の施用履歴の有無について市町村別に集計してみると、堆肥センターのある勝央町や奈義町では堆肥を施用した圃場の割合が多いのに対して、堆肥センターのない美作市内では、堆肥の施用履歴がある圃場が少ない傾向であった（表6）。

黒大豆の収穫残さ（茎）の処理方法については、「持ち出し」あるいは「焼却」が70%、「すき込み」あるいは「堆肥化」が30%であった。処理方法の違いと土壤

化学性との関係は判然としなかった。

肥料の施用実態を把握するために、土壤調査年における成分別の施肥量を集計し、表8に示した。三要素以外の成分を施肥した圃場数の割合は、石灰を含む肥料が全体の76%、同様に苦土が71%であり、平均施肥量は石灰が423kg/ha、苦土が18kg/haであった。また、マンガン、ホウ素を含む肥料を施肥した圃場の割合は、いずれも全体の10%であった。

表8 黒大豆栽培における施肥量（アンケート調査,n=97）

肥料成分	投入圃場割合 (%)	施肥量 ² (平均±標準偏差 kg/ha)
窒素	93.8	27 ± 30
リン酸	93.8	86 ± 63
加里	92.8	59 ± 40
石灰	76.3	423 ± 400
苦土	71.1	18 ± 26
マンガン	10.3	0.19 ± 0.08
ホウ素	10.3	0.55 ± 0.22

²土づくり肥料を含む施肥量。全圃場の平均

表6 黒大豆圃場における堆肥の施用履歴（アンケート調査,n=97）

土壌群	堆肥の施用履歴があると回答した圃場の割合(%)								
	下段のカッコ内は(履歴ありの回答数/全圃場数)								
	美作市					西粟倉村	勝央町	奈義町	計
旧美作町	旧作東町	旧大原町	旧東粟倉村	旧勝田町					
灰色低地土		100 (2/2)					90 (19/21)		91 (21/23)
褐色低地土	71 (17/24)	0 (0/1)	0 (0/1)		50 (1/2)	0 (0/1)			62 (18/29)
黄色土	47 (7/15)	0 (0/1)	75 (3/4)		50 (1/2)		100 (1/1)		52 (12/23)
灰色台地土	40 (2/5)	0 (0/3)							25 (2/8)
グライ土	0 (0/1)				60 (3/5)		100 (2/2)		63 (5/8)
多湿黒ボク土				0 (0/1)				100 (5/5)	83 (5/6)
計	58 (26/45)	29 (2/7)	60 (3/5)	0 (0/1)	56 (5/9)	0 (0/1)	92 (22/24)	100 (5/5)	65 (63/97)

表7 堆肥施用履歴と土壤化学性の関係

施用履歴	pH (H ₂ O)	腐植 (%)	全窒素 (%)	可給態窒素 (mg/kg)	可給態窒素/全窒素 (%)	可給態リン酸 (mg/kg)	CEC (cmol/kg)	交換性塩基			石灰 / 苦土 (%)	苦土 / 加里 (%)	マンガン (mg/kg)	ホウ素 (mg/kg)	
								塩基飽和度 (%)	石灰 (%)	苦土 (%)					
有	6.3	3.6	0.19	86	4.5	454	17.5	85	67	12.4	6.0	5.6	2.4	4.3	0.28
無	6.0	3.0	0.17	84	5.0	356	16.4	79	63	11.9	4.4	5.5	3.6	6.4	0.22
t検定 ^z		*	+								**	*			+

^zt 検定：** $p<0.01$, * $p<0.05$, + $p<0.1$

考 察

1. 土壌化学性の実態と改善対策の方向性について

勝英地域の黒大豆栽培圃場の化学性を概観すると、腐植、可給態窒素で約4割、苦土で約8割、ホウ素、マンガンで約6割の圃場が改良目標値を下回っており、有機物の積極的な投入とともに苦土や微量元素を含む土づくり肥料の施用が必要と考えられた。一方で、pH、石灰、加里については約3割の圃場で改良目標値を上回っており、石灰や加里を含む資材の過剰施用の影響が推察された。以下、土壌成分別に黒大豆栽培圃場の土壌化学性に影響を及ぼす要因や改善対策について考察した。

(1) 腐植、可給態窒素

土壌の窒素肥沃度の指標として考えられる腐植、可給態窒素は、黒大豆の作付回数が増えると減少した(図7)。また、水稲連作田と比べて、黒大豆栽培水田で有意に少なかった(表4)。大豆栽培では、圃場からの窒素成分の持ち出し量が多く、窒素収支がマイナスになることが指摘されている(大野ら, 2004; 住田, 2005; Takakai et al., 2010)。また、住田ら(2005)は、秋田県大曲市(現、大仙市)にある東北農業研究センターの細粒灰色低地土水田において、田畑輪換による全炭素、全窒素及び可給態窒素の長期的な変動について解析し、畑転換期間が長いほどこれらの減耗が激しく、全炭素、全窒素に比べて、可給態窒素の減耗が顕著であることを報告している。さらに、本土壌調査年次と並行して、中央農業研究センターが中心となり全国規模で田畑輪換プロジェクト研究を実施し、田畑輪換圃場の地力実態を次のように報告している。新良(2008)は、茨城県つくばみらい市にある中央農業研究センターの灰色低地土水田における調査結果から、大豆の作付回数が増加すると有機物の分解が促進され、可給態窒素の消耗傾向が顕著になることを推測している。また、その他の複数県における現地調査結果でも、灰色低地土で畑地化率(夏作に水稲を作付けしなかった回数の比率)の増加とともに可給態窒素が低下することを認めている(新良, 2010)。本県の黒大豆栽培圃場の調査結果は、これらの全国的な傾向と同様であり、黒大豆の作付けによって腐植や可給態窒素が減少しているものと推察された。有原(2000)は、地力窒素の消耗の要因は、畑転換による好气的条件下での有機物の分解促進だけでなく、大豆が難溶性の土壌窒素を分解・消費することを指摘しており、窒素肥沃度の低下は大豆の作付回数と密接な関係にあると言える。また、

本研究では、全窒素に占める可給態窒素の割合は、水稲連作水田に比べて黒大豆栽培水田で有意に低く、黒大豆栽培水田では作物に利用されやすい易分解性窒素が消耗していることが推察された。森泉ら(2010)は、田畑輪換土壌を熱分析し、畑地化回数の増加によって、主に易分解性画分が減少する土壌(黒ボク土、グライ土)と主に難分解性画分が減少する土壌(灰色低地土、砂土)があることを指摘している。勝英地域では、灰色低地土や褐色低地土が地域全体の4割程度に分布しており、これらの地域では、他の地域に比べて、土壌窒素の消耗に対する黒大豆栽培の影響が大きい可能性が示唆されており、地力の維持向上のために積極的な有機物の補給が不可欠であると考えられた。

腐植や可給態窒素の増加に有機物の施用が有効であることは一般的に知られているが、前述したように水田転換の黒大豆栽培圃場は地力が消耗しやすいため、堆肥の施用が極めて肝要となる。ここでは、今後の改善対策に資するため、勝英地域内での土壌窒素肥沃度の違いについて、調査圃場数が多かった勝央町と旧美作町の結果を中心に、堆肥の施用実態や土壌分布等との関連から考察した。堆肥の施用には散布労力が必要であるとともに、供給元となる畜産農家や堆肥センターが近接していることも重要である。勝英地域では、勝央町と奈義町に、堆肥散布システムを整備した堆肥センターが稼働しており、これらの地域では、黒大豆圃場への堆肥施用が比較的容易である。しかし、これら以外の地域では、堆肥の供給元が少ないため、圃場への堆肥の投入が難しいことが推測される。市町村別の堆肥の施用履歴の有無をみると、堆肥センターのある勝央町では堆肥を施用した圃場の割合が多いのに対して、旧美作町では、堆肥の施用履歴がある圃場が少なく、堆肥施用が容易でない立地条件にあると考えられた。また、可給態窒素、腐植は、褐色低地土や黄色土で低い値を示す傾向であり、腐植は、一般的に、多湿黒ボク土に比べて、褐色低地土、黄色土、灰色低地土で少ない(岡山県農林水産部, 2003)ことに加えて、これらの土壌が畜産資源の少ない旧美作町内に広く分布し、旧美作町では堆肥投入が容易でない圃場が多いことが褐色低地土や黄色土の窒素肥沃度が低い要因の1つと考えられた。

(2) リン酸

リン酸は、大半の圃場が適正範囲内であった(図1)。堆肥施用履歴の有無による差はみられなかったものの、一般的な牛ふん堆肥を20t/ha施用した場合のリン酸成分の投入量は約220kg/haと試算され(岡山県農林部、

2014), 大豆の収量を1.5t/haと仮定した場合の推定リン酸吸収量24kg/ha(尾和, 1996)を大きく上回るため, 堆肥施用圃場では十分量のリン酸が投入されるものと試算された。また, 施肥に関するアンケート調査結果(表8)から, 平均で86kg/haのリン酸成分が施肥されていることや水稲連作圃場に比べて黒大豆栽培圃場でリン酸が多かったことから, 黒大豆栽培圃場ではリン酸成分が積極的に投入されているものと推察された。

(3) 加里

加里は, 不足している圃場が約2割と少なかった(図1)。堆肥施用履歴の有無によって差がみられ, 堆肥施用履歴のある圃場では加里が多く, 苦土/加里が小さかったこと, 水稲連作圃場に比べて黒大豆栽培圃場で加里が多く, 苦土/加里が小さかったことから, 黒大豆栽培圃場では堆肥施用による加里の増強効果が発現しているものと考えられた。一般的な牛ふん堆肥を20t/ha施用した場合の加里成分の投入量は約420kg/haと試算される(岡山県農林部, 2014)。これは, 大豆の収量を1.5t/haと仮定した場合の推定加里吸収量48kg/ha(尾和, 1996)を大きく上回るため, 堆肥施用により加里が蓄積することが推測される。本調査結果では, 加里が過剰な圃場が約3割, 苦土/加里が適正值よりも低い圃場が約4割を占めており, 堆肥を施用した黒大豆圃場では, 加里の減肥や苦土の増施について検討が必要であると考えられた。

(4) pH, 石灰, 苦土

pH及び石灰については, 調査圃場のうち約5~6割の圃場が適正範囲内であった(図1)。国内の水田土壌では, 土づくり資材の投入量の減少により酸性化が進行している地域がある(後藤ら, 2003; 神田ら, 2005; 島田, 2012)が, 本調査結果では適正值よりも低い圃場は約1~2割であったことから, 黒大豆栽培圃場の多くで実施されている石灰質肥料の施用効果が現れているものと考えられた。一方で, 適正值よりも高い圃場が約3割程度あった。pHは, 養分吸収への影響だけでなく, 根粒による窒素固定活性や茎疫病の発生にも関与しているため(坪内・齋藤, 2010; 古河, 2007), 定期的な土壌診断による石灰質肥料の要否判断が必要と考えられた。

pH及び石灰については, 土壌の種類により差がみられ, 調査圃場数が少なかった灰色台地土とグライ土を除いた場合, 褐色低地土で高い値を示す傾向であった(表2)。アンケート調査結果をさらに土壌群別に集計したところ, 褐色低地土では石灰質肥料の施用履歴がある圃場割合が高い傾向にあり(データ省略), これらの

差は土壌の種類によるものではなく, 石灰質肥料施用の有無の違いが影響しているものと推察された。また, 多湿黒ボク土が他の土壌よりも低い値を示したが, これは多湿黒ボク土のCECが他の土壌より高いため, 石灰飽和度やpHが低い値を示したと考えられた。

苦土については, 約7割の圃場で苦土を含む肥料を施用していたが, 適正範囲内にある圃場が約2割しかなく, 残りの約8割の圃場で目標下限値を下回った(図1)。水稲連作水田も同様に苦土が少なく, 黒大豆栽培圃場との差もみられなかったことから(表4), 県内の水田土壌は苦土飽和度が低く, 苦土肥沃度を改善するまでの成分量が施肥されていないと考えられた。

(5) ホウ素, マンガン

ホウ素, マンガンは, 不足している圃場が全体の約6割あり(図1), 多くの圃場で改善対策が必要である。アンケート調査結果から, ホウ素, マンガンを含む肥料を施用した圃場は1割であったこと(表8), マンガンが不足している圃場の約4割でpHが適正範囲を超えていたことから(図3), 改善対策として, これらを含む肥料の施用とあわせて土壌pHの適正化の必要性が示唆された。黄色土が灰色低地土や褐色低地土よりもマンガンの多い傾向にあったが(表2), 肥料の施用履歴や土壌pHとの関係からはその理由は判然としなかった。

2. 収量低下要因の解析と改善対策の方向性について

アンケート結果から, 調査圃場の約半数で, 近年, 黒大豆の収量が低下している実態が明らかとなり, 黒大豆の作付頻度が増えると収量の低下はより明確であった。また, 作付頻度が高まると可給態窒素や腐植の減少が顕著であり, 易分解性窒素の割合(全窒素に占める可給態窒素の割合)は, 収量が「増加している」, 「変化なし」の圃場よりも「低下している」圃場の方がやや少ない傾向を示したことから, 黒大豆の作付けによるこれらの成分の減少が収量低下の一因であると推察された。廣川ら(2011)は, 畑地化率が異なる土壌を充填して大豆(品種'エンレイ')のポット試験を実施し, 大豆の作付回数が少ない土壌ほど生育や収量が高いことを報告しており, 本調査結果における黒大豆の収量低下の実態を裏付けている。

本調査結果により, 勝英地域の黒大豆栽培圃場では, 土壌窒素肥沃度の低下にともなう黒大豆収量の低下実態が明確になったと言える。土壌窒素肥沃度は, 黒大豆の作付頻度と密接な関係がみられたことから, 可給態窒素及び腐植を指標として土壌窒素肥沃度を維持するための適正な黒大豆の作付頻度について検討した。

図7に示した窒素肥沃度と作付回数との関係性を基に解析すると、土壤診断基準により腐植3%以上、可給態窒素80mg/kg以上を維持するための黒大豆の作付頻度は、4割以下（5年間のうち黒大豆が2年以下、水稻が3年以上）が望ましいと判断された。大豆の適正な作付間隔について、花井（1987）、佃ら（1989）は、収量性を中心に検討し、畑3年－水田2～3年をその目安として示し、北田ら（1993）も、田畑輪換に伴う土壤養分の変動と水稻収量の推移から、畑2～3年－水田2～3年の組合せが良いと判断している。また、西田（2010）は、東北農業研究センターにおける長期連用試験結果から、本報と同様に可給態窒素を指標として大豆作の割合を検討した結果、可給態窒素80mg/kgを維持するための畑地化率は、稲わら堆肥を20t/ha連用した場合で4割（大豆2作に対して水稻3作）と考察している。本報では、長期間田畑輪換を繰り返した現地実態調査結果を用い、腐植及び可給態窒素を判断指標としたところ、おおむね同様の結果が得られ、収量性と土壤肥沃度を維持するためには、黒大豆の作付頻度を4割以下にすることが妥当と考えられた。

また、土壤の窒素肥沃度を維持、向上するためには、作付頻度の調整の他に、堆肥等の有機物を投入することが最善の手段と考えられる。このため、堆肥センターが近接する地域では積極的な投入が肝要である。一方で、堆肥等の有機物の投入が容易でない地域では、施肥による収量改善対策について今後検討する必要性が考えられた。

摘要

岡山県の代表的な転作作物である黒大豆は、これまで長年にわたり田畑輪換が繰り返されてきた圃場で栽培が継続されており、近年、生産現地では収量低下傾向が窺われている。そこで、栽培年数が長く、代表的な産地である勝英地域を対象に黒大豆栽培圃場の土壤化学性の実態を明らかにするとともに、黒大豆収量の変化、作付回数や堆肥・施肥管理方法の聞き取り調査を行い、これらの関連性について解析を行った。

1.黒大豆栽培圃場では、土壤の窒素肥沃度の指標となる可給態窒素、腐植は、約4割の圃場で適正値よりも低い値を示した。アンケート調査結果から、約半数の圃場で、近年、黒大豆の収量が低下しており、黒大豆の作付回数が多いほどその傾向が顕著であった。可給態窒素及び腐植は、黒大豆の作付回数と負の相関関係にあり、作付回数が多い圃場はこれらが低い値を示し、収量低下要因として窒素肥沃度との関連

が強く示唆された。

- 2.土壤肥沃度を維持するための適正な黒大豆の作付頻度は、可給態窒素と腐植を指標とした場合、4割以下（5年間のうち黒大豆が2年以下、水稻が3年以上）が望ましいと判断された。
- 3.窒素肥沃度の違いは圃場の立地条件にも影響を受けており、堆肥散布システムが整備されている堆肥センターが近隣にある地域では高く、褐色低地土や黄色土が分布している地域で低い傾向であった。
- 4.リン酸は、大半の圃場が適正範囲内であり、黒大豆栽培圃場では堆肥等によりリン酸成分が積極的に投入されているものと推察された。
- 5.加里は、不足している圃場が約2割と少なく、主に堆肥由来成分の施用効果が窺われた。一方で、過剰な圃場が約3割、苦土／加里が適正値よりも低い圃場が約4割を占めており、堆肥を施用した黒大豆圃場では、加里の減肥や苦土の増施について検討が必要と示唆された。
- 6.pH及び石灰は、適正値よりも低い圃場は約1～2割であり、多くの圃場で実施されている石灰質肥料の施用効果が現れていると考えられた。苦土は、約7割の圃場で施肥されていたが、適正範囲内にある圃場は約2割で、約8割の圃場で不足しているため、苦土肥料の積極的な施用の必要性が示唆された。
- 7.ホウ素、マンガンは、これらを含む肥料を施肥した圃場は1割と少なく、不足している圃場が全体の約6割であった。pHが高い圃場ではマンガンが不足する傾向がみられたため、これらを含む肥料の施用とあわせて、土壤pHの適正化の必要性が示唆された。

引用文献

- 有原文二（2000）ダイズ安定多収の革新技術。農文協、東京、256p.
- 後藤英次・三浦周・野村美智子・稲津脩（2003）北海道の水田土壌における化学性の現状とその問題点。土肥誌、74: 475-483.
- 花井雄次（1987）汎用化水田における作付体系。研究ジャーナル、10(No.9): 28-32.
- 廣川智子・稲原誠・小池潤（2011）中粗粒灰色低地土における田畑輪換圃場の土壤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。富山県農総セ農研研報、2: 11-26.
- 古河衛（2007）土壤pHの改善でダイズ茎疫病の発生抑制。農業および園芸、82(11): 1203-1207.
- 稲原誠（2006）富山県の農業と土壤肥料。土肥誌、77:

- 241-242.
- 神田美奈子・野上雅弘・小谷佳史・水澤靖弥・松田隆一・平井滄一（2005）水田の汎用化に伴う土壤変化. 関東東海北陸農業成果情報, 658-659.
- 北田敬宇・下田英雄・亀川健一・秋山豊（1993）灰色低地土水田における田畑輪換による土壤養分動態と最適な水田・畑期間. 土肥誌, 64: 154-160.
- 松岡潤（1999）岡山県勝英地方における黒大豆栽培. 豆類時報, 15: 16-22.
- 森泉美穂子・金田吉弘・福島裕助（2010）示差走査熱量測定（DSC）分析による水田および田畑輪換田の土壤有機物の特徴づけ. 土肥誌, 81: 372-377.
- 日本土壤協会編（2001）土壤機能モニタリング調査のための土壤, 水質及び植物体分析法. 日本土壤協会, 東京, 322p.
- 新良力也（2008）田畑輪換による土壤中可給態窒素量の低下事例. 土肥要旨集, 54: 122.
- 新良力也（2010）田畑輪換水田の現状と土壤管理についての問題提起. 日本土壤肥料学会編 田畑輪換土壤の肥沃度と管理, 博友社, 東京, pp. 9-26.
- 西田瑞彦（2010）田畑輪換水田の土壤窒素肥沃度の変化と土壤管理による制御. 日本土壤肥料学会編 田畑輪換土壤の肥沃度と管理, 博友社, 東京, pp. 27-52.
- 岡山県農林水産部（2003）土壤診断の手引き（改訂版）. pp. 1-6.
- 岡山県農林水産部（2014）家畜ふん堆肥適正施用の手引き. http://www.pref.okayama.jp/uploaded/life/388931_2254762_misc.pdf（2016.7検索）
- 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年度共通基盤成果情報, 20: 144-145.
- 尾和尚人（1996）わが国の農作物の養分収支. 環境保全型農業研究連絡会ニュース, 33: 428-445.
- 島原作夫（2013）丹波黒大豆の現況と食の歴史1. 豆類時報, 71: 23-27.
- 島田信二（2012）水田土壤の酸性化（低pH化）とダイズの生産性. 農業技術体系, 追録34(6), 技80: 38-44.
- 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壤肥沃度の変化. 東北農研研報, 103: 39-52.
- Takakai, F., Takeda, M., Kon, K., Inoue, K., Nakagawa, S., Sasaki, K., Chida, A., Sekiguchi, K., Takahashi, T., Sato, T. and Y. Kaneta（2010）Effects of preceding compost application on the nitrogen budget in an upland soybean field converted from a rice paddy field on gray lowland soil in Akita, Japan. Soil Sci. Plant Nutr., 56: 760-772.
- 坪内均・斉藤正志（2010）土壤理化学性の改善による麦跡作付地帯での大豆多収栽培体系の確立－現地の土壤理化学性から見た大豆の多収のための要因とその改善法－. 福井農試研報, 47: 9-14.
- 佃和民・花井雄次・黒澤健（1989）田畑輪換における水田期間・畑期間の組合せと作物生産力. 日作紀, 58(別号1): 50-51.
- 山本晃郎（1988）黒大豆の産地形成要因と産地システムの確立－岡山県大原町の事例から－. 岡山農試研報, 6: 32-42.
- 安川博之・太田雅也・稲田達也・吉川正巳・足立健夫（1998）土壤の理化学性からみた黒大豆の低収要因・現地調査の結果から. 土肥要旨集, 44: 154.