

# キャベツに対する汚泥肥料の効果的施用法

井上 政義\*・蘭 泰成\*\*・東 義洋\*\*\*・井上政太郎\*\*\*\*

## 1 背景

世界的な穀物需要の増大、不安定な国際情勢（海上運賃の高騰）などを背景に肥料価格は年々増大している。また、肥料原料輸出国の偏在化、原料産出国の供給の逼迫感など、海外資源に依存している我が国は国内資源（堆肥、下水汚泥など）の活用が喫緊の課題として浮上し、必要な法規制の見直し（肥料制度）が行われている。特に、下水汚泥の肥料資源としての活用は関係省庁が総力を挙げて取り組むこととなり、2030年までに堆肥・下水汚泥資源の使用量を倍増、肥料の使用量（リン酸ベース）に占める国内資源の利用割合を40%とする目標が決定された（2022年12月）。しかし、現状では汚泥の肥料化利用は下水汚泥発生量のわずか1割強である。これにはいろいろな事情があり、とりわけ汚泥肥料による重金属土壤汚染への危惧が根強く、法改正（2000年）により特殊肥料から普通肥料として扱われるようになってからも、農業への利用は停滞気味で横ばい状態である。また、今まで汚泥肥料は土壤改良材としての利用が多く、肥料成分を加味しての利用はあまり考えられていなかった。実際に汚泥肥料の肥料効果を実証した報告も少なかっ

た。筆者らグループは45年前から汚泥肥料の事業を展開し、国内全地域に販売を行っているが、圃場試験の実施など公的機関からの評価に欠けていた。

近年、下水汚泥及び堆肥を取り巻く環境は大きく様変わりした。国内外の要因の他に農業の持続的な発展やSDGsなどの理念が徐々に社会に浸透し、肥料として汚泥肥料利用の機運が一層高まってきた。これに呼応する形で我々も2017年から（一財）日本土壤協会に委託研究として「下水汚泥肥料（グリーンドレッシング）の作物への肥効及び肥効特性に関する試験」を行ってきた。この間、合計10数種類の作物で栽培試験を行った。栽培試験の多くは化学肥料に上乘せした設計（上乘せ施肥）で行われた。供試資材の施用効果は葉菜類・根菜類では認められたが、果菜類、秋冬作の短期作物では確認できなかった。これらの結果を踏まえて、さらに肥料コスト低減（化学肥料の代替）としての施用技術の開発が課題であり、2023年度は、埼玉産直センター及び農家の協力を得て実施した。埼玉産直センターは食品系堆肥、米ぬか、魚カス、魚粉、綿実粕を原料としたボカシ肥料（5.7-4.3-1.6）を製造し、組合員（露地野菜、施設栽培）に供給している。原料価格の高騰により、代替資材として汚泥肥料の活用を模索した。登録された汚泥肥料（普通肥料）と届出

\* (株)アイエム      \*\* (株)ピラミッド

\*\*\* 水道機工(株)      \*\*\*\* (株)井上政商店

の特殊肥料の配合は現在、法改正が進行中のため、法人組織内で利用することを条件に、現状のボカシ肥料原料の半量を(株)ピラミッドの下水汚泥肥料で代替した新規ボカシ肥料(以下、汚泥配合ボカシ肥料)の製造(埼玉産直センター)、試作品及び従来の下水汚泥肥料(グリーンドレッシング、スイキ・コンポスト)の効果的施用法を検討した。非結球レタス、コマツナ、チンゲンサイ、ブロッコリー及びキャベツについて栽培試験を行ったが、本文はその一部であるキャベツについて試験結果を報告する。

## 2 試験方法

### 1) 試験材料:

- ①汚泥配合ボカシ肥料(50%埼玉産直センターボカシ肥料+50%グリーンドレッシング)
- ②汚泥肥料グリーンドレッシング((株)ピラミッド製品)
- ③スイキ・コンポスト(グリーンドレッシング+ポリシリカ鉄(水道機工(株)製品)を製品重量あたり5%添加)
- ④化成肥料(高度化成肥料14-14-14)

### 2) 実施場所:

埼玉県深谷市大谷、島村裕斗(写真1)



写真1 圃場の位置

### 3) 土 壤:

表層腐植質黒ボク土(火山灰土壌)

試験地は寄居町用土付近を扇頂(標高80m)に深谷市街地(標高40m)まで広がる櫛引台地の中央に位置する。土壌の下位面は荒川の旧扇状地が浸食された扇状地礫層が堆積し、中層面は1~2mの黄褐色の関東ローム層、表層は火山灰が風積堆積した腐植層厚40~80cm前後の黒ボク土壌である。試験圃場(写真2)は新規農業者が新たに借用した圃場で、土壌は腐植層が約50~60cmの表層腐植質黒ボク土壌、表層の土性は壤土(L)、腐植含量は5~7%内外、下層は埴壤土(CL)~埴土(C)の粘質で、物理性は良好、生産力が高い。



写真2 栽培圃場(縦39m、横23m)

### 4) 試験規模:

圃場設面積:縦39m×横23m(写真2)

試験区面積:横1.8m×縦10m(縦に2反復、20m)

### 5) 試験区(図1):

- ・汚泥配合ボカシ肥料(全量基肥):1.8m×20m 面積36m<sup>2</sup>/区
- ・汚泥配合ボカシ肥料(基肥+追肥):1.8m×20m 面積36m<sup>2</sup>/区
- ・スイキ・コンポスト:1.8m×10m 面積18.0m<sup>2</sup>/区×2反復
- ・スイキ・コンポスト+硫安:1.8m×10m

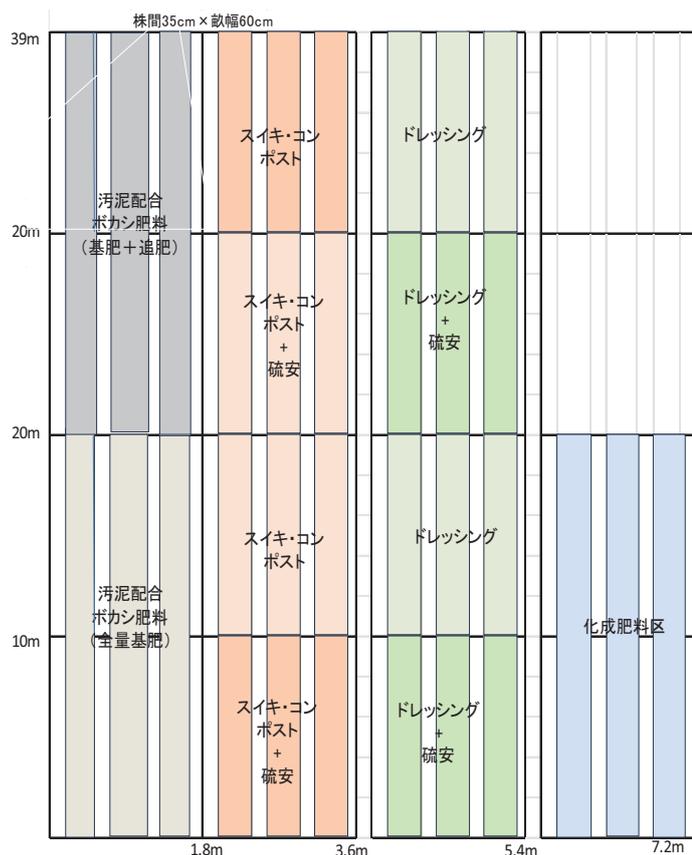


図1 試験区の配置

面積18.0m<sup>2</sup>/区×2反復

- ・グリーンドレッシング：1.8m×10m 面積18.0m<sup>2</sup>/区×2反復
- ・グリーンレッシング+硫安：1.8m×10m 面積18.0m<sup>2</sup>/区×2反復

注：これまでの圃場試験から下水汚泥肥料の肥効は気象条件によっては肥効の遅れ、初期から中期の生育を確保する対応策が課題として残されていた。グリーンドレッシングの窒素画分（速効性55%）を硫安（N：9kg/10a）で補う試験区を設ける。ここでは土壤肥沃度から判断し、

半量の：N4.5kg/10aとする。汚泥配合ボカシ肥料区は全量施用と慣行施用の基肥+追肥を設ける。

## 6) 供試作物：

キャベツ（品種：彩音、秋冬どり）

## 7) 耕種概要：

- ・播種：8月3日（苗箱トレイ）
- ・圃場区画・施肥：化成肥料（14-14-14）：窒素20kg/10a相当量  
基肥15kg/10a（8月27日）、追肥5kg/10a（9月26日）
- ・薬剤散布：定植前の育苗トレイにベルマーク剤400倍を灌注（8月28日）  
エルサン乳剤1000倍（10月11日）
- ・移植：8月28日（手植え）
- ・栽植密度：株間35cm×畝幅60cm（3畝/区）
- ・中耕：9月21日
- ・収穫：12月23日（農家により収穫「出荷」可能な株を選ぶ）
- ・灌水：農家の判断で適宜（地下水）

## 8) 調査項目：

- ・生育期：草丈、展開葉長（調査は中央畝「13～31株」を調査）
- ・収穫期：調査株の全重、結球重（調整重）、内部品質
- ・根域の分布を観察

表1 試験区及び施肥設計

No	処理区	区面積m <sup>2</sup>	基肥N/10a	硫安g/区	追肥N/10a	資材の成分含量	備考
1	汚泥配合ボカシ肥料(全量基肥)	35	20			N:P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :K <sub>2</sub> O(4.5:4.4:1.0)	
2	汚泥配合ボカシ肥料(基肥+追肥)	35	15		5		
3	スイキ・コンポスト	17.5	20			N:P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :K <sub>2</sub> O(3.6:5.1:0.3)	・窒素画分の速効性N:55% ・基肥窒素の補填 20-11=9.0kg/10a(今回は半量の4.5kg(硫安:21kg/10a)を施用)
4	スイキ・コンポスト+硫安	17.5	24.5	375			
5	ドレッシング	17.5	20				
6	ドレッシング+硫安	17.5	24.5	375			
7	化成肥料	17.5	15		5	N:P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :K <sub>2</sub> O(14:14:14)	

表2 キャベツ圃場の土壌化学性 (試験開始前)

試験開始前土壌	pH	EC	アンモニア態窒素	硝酸態窒素	無機態窒素	有効態リン酸	交換性加里	交換性石灰	交換性苦土
大谷 キャベツ畑		mS/cm	mg/100g						
	6.47	0.22	0.7	4.6	5.3	32	89	419	55
	リン酸吸収係数	CEC	腐植	加里飽和度	石灰飽和度	苦土飽和度	塩基飽和度	石灰/苦土	苦土/加里
		meq/100g	%					当量比	
	1700	23.1	6.2	8.1	65	12	85	5.4	1.5

### 3 試験圃場の土壌化学性 (試験開始前)

試験開始前に採取した畑土壌の化学性を表2に示す。陽イオン交換容量 (CEC) が23meq/100gと高く、腐植含量6%、有効土層60cm以上と良質な土壌 (腐植質土壌) 環境である。土壌pH、無機態窒素、有効態リン酸、塩基含量、塩基飽和度は適正な範囲にあり、比較的高い養分状態が維持されている。塩基バランスは交換性加里がやや多く、苦土/加里比が低下 (2以上が望ましい) している。

### 4 結果及び考察

#### 1) 生育調査

##### (1) 9月17日生育状況

移植後は降雨が少なく土壌の乾燥が続いたことで初期生育が抑制気味に経過した。9月4日 (降雨量21mm)、9月8日 (同51mm) にまとまった降雨があり土壌の保水性が改善されたことで、生育が大きく前進した。草丈、展開葉長の試験区間差を図2、図3に示す。各処理区の平均草丈は14.6-16.3cmで、グリーンドレッシング+硫安区及びスイキ・コンポスト+硫安区の平均草丈がやや大きい傾向があり、統計学的に有意な差が見られた。展開葉 (図3) もほぼ同様な傾向が見られ、スイキ・コンポスト+硫安区が優った。この

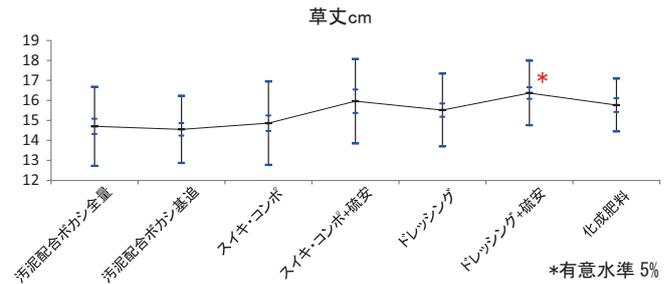


図2 草丈の試験区間差

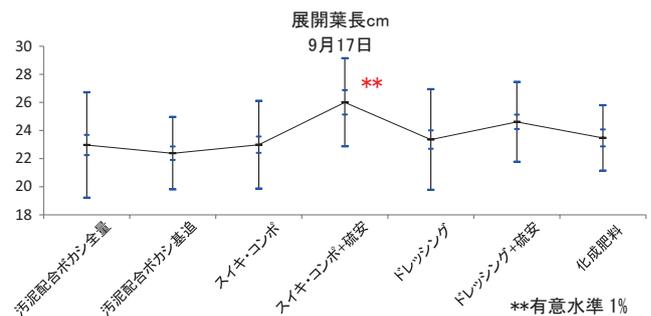


図3 展開葉長の試験区間差

ように、下水汚泥肥料 (グリーンドレッシング、スイキ・コンポスト) の窒素画分 (速効性N含量) から化成肥料の基肥窒素量に相当する不足分を硫安で補うと初期から中期の生育を十分に確保できる。

##### (2) 9月26日生育状況

定植一か月後の芯葉が立ち上がる時期にあたり、生育調査後に追肥を行った。展開葉長の処理区間差を図4に示す。圃場で観察されるキャベツの生育はほぼ等しく順調に経過している。統計処理の結果は前回の調査時と同様に、グリーンドレッシング+硫安区及びスイキ・コンポスト+硫安区の展開葉長は汚泥配合ボカシ基肥+追肥区に比べて統計学的に

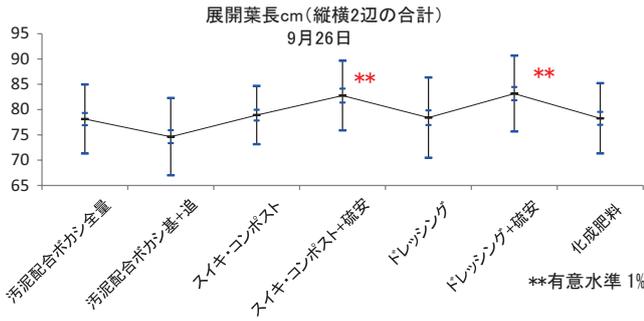


図4 展開葉長の試験区間差

有意な差（有意水準1%）が見られた。汚泥配合ボカシ区、スイキ・コンポスト区、グリーンドレッシング区、化成肥料区の展開葉長には大きな差は見られなかった。

## 2) 収量調査 (12月23日)

収穫は農家に依頼して、結球部を上から押さえ硬くしまったものを選んだ。全重（地上部新鮮重）、外葉を除く結球重（調整重）及び結球長を測定した。なお、キャベツなどの結球野菜は収穫期間に幅がある。結球の成長は外葉の重なり（光の競合）、出葉枚数（生長速度）、外気温で変動するために収穫期は一様でなく、同一圃場内でも約1ヶ月程度の幅がある。ここでは、収穫開始期に測定したデータをもって収穫物とした。収量の処理区間差を図5、図6に示す。収穫物の全重（外葉+結球）に統計上の差は見られないが、スイキ・コンポスト+硫安区、スイキ・コンポスト区およびグリーンドレッシング+硫安区が他の試験区と比べて高い傾向がみられた。

結球重は全重と同様な傾向が見られ、スイキ・コンポスト+硫安区は化成肥料区に比べ

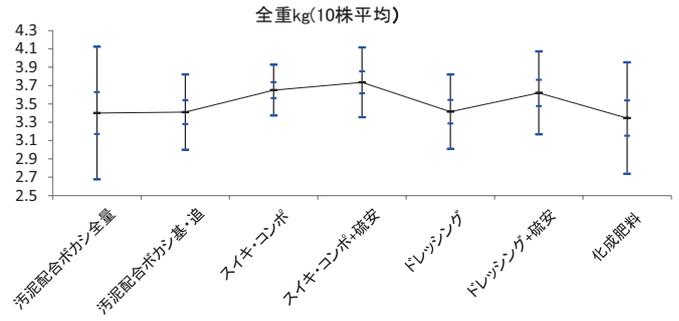


図5 全重の試験区間差

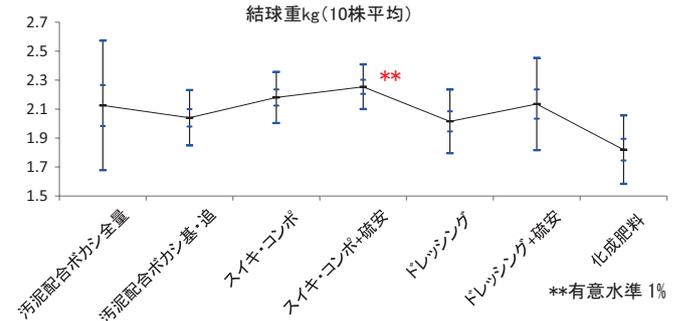


図6 結球重の試験区間差

て統計的に有意な差が見られた。また、統計的に差はないものの、汚泥肥料試験区（スイキ・コンポスト、グリーンドレッシング）、汚泥肥料配合ボカシ試験区の結球重は化成肥料区を上回った。

単位面積当たりの収量（重量）、品質を評価することはできないが、結球の肥大（品質）に関する項目として、収穫対象株に対して、収穫（出荷基準に適應する結球）可能な個数を充実度（収穫個数/17~48株）として比較すると、化成肥料区の50%に対して、他の試験区は67%~79%であった。このように結球の充実度も上記した地上部個体重量、結球重と同様な傾向が見られた（表3）。充実度の評価は結球の揃ったキャベツを多く出荷

表3 結球内成分の分析結果

調査項目	汚泥配合ボカシ全量	汚泥配合ボカシ基+追	スイキ・コンポ	スイキ・コンポ+硫安	ドレッシング	ドレッシング+硫安	化成肥料
結球充実個数/全個数・区	17/24	13/17	30/45	34/45	32/48	34/43	21/42
結球充実度 %	71	77	67	76	67	79	50
硝酸イオン mg/kg FW	920	940	940	820	520	640	953
糖度 (Brix値)	7.7	7.9	8.2	7.7	7.6	7.0	7.8

できることを意味しており、農家にとっては大きなメリットと言える。

### 3) 収穫物の品質調査

分析試料は収穫物から5個体を個々に切断・混合後、均等分して採取した。硝酸イオンはRQフレックスの定法で定量し、糖度は糖度計(Brix値)を用いた。表3に示されたように硝酸イオン濃度はグリーンドレッシング区が低く、汚泥配合ボカシ区、スイキ・コンポスト区、化成肥料区の濃度はほぼ等しい。糖度は7~8の範囲であり、試験区間の差は明確でない。体内成分の数値は分析試料のバラツキ(個体差)も考慮しなければいけないが、体内の硝酸イオンと糖度の関係は、地上部重量(収量)及び硝酸イオン濃度が高まると糖度は低下すると言われている。今回の試験ではそのような傾向は見られず、収量調査の項目(全重量、結球重、結球の充実度)と体内成分との関連性を見出すことはできな

かった。結球型野菜は、生育初期から中期に肥料を必要とし、収穫期にはほとんど必要としないと言われているが、夏季以降の9~11月の高温が資材由来の窒素無機化を早め、土壌(地力)窒素の発現を促し、収穫期まで窒素が供給されたと考えられる。これらの想定される窒素が結球の充実度、硝酸イオン濃度に係わりがあると思われるが、推測の域を出ない。

### 4) 根系の分布(観察)

12月16日に収穫した残り株から、生育が中庸な株を選び株直下の根域の様子を観察した(写真3)。根が密に分布する作土層の厚さは16cm程度で各区とも土層の深さ、硬度(作土:山中式硬度計13~16mm)はほぼ等しい。根の発達(量、長さ、広がり等、根の分布領域)の程度を化成肥料区と比較すると、汚泥肥料を使った試験区の根量、根の広がりはいずれも優っている。特に、スイキ・コン



汚泥配合ボカシ全量



化成肥料



スイキ・コンポスト



グリーンドレッシング

写真3 キャベツの根域(観察)

ポスト区は細根量を伴って横への広がり、分布域の拡大が見られた。

## 5 総合考察

堆肥は土壤物理性の改善効果、地力維持、炭素・窒素・微量元素等の総合的な供給資材として、汚泥肥料は堆肥以上に窒素・リン酸の肥料効果を期待する資材として活用されてきた。今回は、国内肥料資源の有効活用の観点から汚泥肥料の効果的な施用法を探るために試験を行った。ここでは従来の化成肥料と同等の肥料設計の他に、汚泥肥料の速効性窒素画分に注目して、基肥窒素（速効性N）の不足分を硫酸で補う処理区を設けた。

キャベツの初期生育は汚泥肥料区や汚泥肥料配合ポカシ区と化成肥料区に有意な差はなく、ほぼ同等に推移した。一方、汚泥肥料の窒素画分の内、速効性窒素量不足分の約50%を硫酸で施用すると生育初期から中期の生育が統計学的に有意に確保される。この施用方法はキャベツ等の長期作物に対しては有効と思われる。

収穫時期を限定した結球重（収量）には処理間に統計的な有意差はなかったものの、汚泥肥料施用区は化成肥料区を上回った。商品

になる結球の個数（充実度）に関してはその傾向がより顕著であった。

汚泥肥料の肥効及び収量・品質の評価に関しては供試材の特性（特に無機態窒素含量、窒素無機化率など）や栽培試験圃場の土壤化学性を考慮しなければいけないが、化成肥料の施用量を28%削減し、窒素分に相当する量を汚泥肥料（グリーンドレッシング）で施用した圃場試験ではキャベツの結球重が1割増加した（(株)アイエム未発表データ）。

収穫期に根の発達程度（量、根の広がり）を観察した結果、汚泥肥料区は根量、根域とも化成肥料区より優っていた。汚泥肥料の腐植物質（腐植酸、フルボ酸）が根の伸長、発根に作用して根域の拡大が養分の吸収範囲が広がるのを促し、これによって結球充実度や重量に影響したと考えられる。

## 謝辞

本論文の主要な成果は2023年度一般財団法人日本土壤協会への委託試験「下水汚泥の活用と野菜に対する効果的施用法」で行われた。また、本稿の作成にあたり、同協会の日高先生に多大なご教示を頂き、併せてお礼を申し上げる。