

2025.3.4

No. 4

技術開発研究所報

掲載内容

春キャベツに対するバイオガス消化液の肥効試験

鷲尾 尚輝・小林 篤史



技術開発研究所 発行

春キャベツに対するバイオガス 消化液の肥効試験

鷺尾 尚輝¹・小林 篤史¹

¹株式会社アステック 豊岡山宮バイオガスプロジェクト（姫路市 実法寺 105）

建設予定のバイオガスプラントで発生する消化液の液肥利用の基礎データを得ることを目的として、建設予定の地域において春キャベツの栽培試験を行った。2つの異なるバイオガスプラントで生成した消化液を液肥として基肥に施用し、追肥は化成肥料で行った。対照として化成肥料のみを用いた慣行栽培も行った。消化液の施用量は、アンモニア態窒素の投入量が慣行栽培と同じになるような量とした。キャベツの可食部の平均球重と平均球径は、消化液を用いた栽培の方が化成肥料のみによる慣行栽培よりも有意に大きかった。

Key words: biogas plant, biogas digestate, fertilizer, cabbage

1. まえがき

株式会社アステックは、兵庫県豊岡市に食品廃棄物を主原料としたバイオガスプラントを建設する計画である。バイオガスプラントでは、一般的に家畜ふん尿、農作物の収穫残差、食品廃棄物などを嫌気発酵させ、発生するメタンを燃料として発電する。このとき残渣として多量の発酵消化液(以下消化液)が副成する。消化液の処理法としては、水処理したのち水系に放流する方法と、消化液を肥料として利用する方法の2つがある¹⁾。

消化液は都市下水などと比較すると高濃度の有機固形分を含むため、そのまま水処理に供するのは難しく、固液分離したのち、分離水は水処理して放流され、固液分離で得られる脱水ケーキは堆肥化して農地還元されたり、そのまま焼却されたりする¹⁾。これらのための技術は基本的には確立されているものの、難分解性有機化合物やアンモニア態窒素やリンの濃度が高いなどの特性により、放流基準を満たすまでの処理には大きな経費と労力を要する²⁾。この問題を軽減するためと、植物養分として重要なアンモニアやリンを有効利用するという観点から、消化液を液肥として利用することが推奨されている^{3,4,5)}。

弊社が建設するバイオガスプラントにおいては、消化液の全量を処理する能力のある施設を併設する計画であるが、水処理経費の削減と消化液に含まれる植物養分の有効利用をするため、液肥として利用することも計画している。

消化液の、肥料としての特徴の1つはアンモニア態窒素濃度が高く、リンやカリウムも含まれることである。ただし、それらの濃度や濃度比はプラント

によって、また同じプラントでも時期によって異なる。pHは7以上であることが多いため、液肥を農地表面に施用する場合にはアンモニアの揮散による損失が無視できない⁵⁾。このような特性のため、液肥として利用するためには、養分濃度を分析によって把握するだけでなく、施用形態や施用時期にも工夫が必要である。

これまで、水田^{6,7)}、畑^{8,9)}、園芸施設¹⁰⁾などにおける施用試験が行われ、結果が報告されている。それらの報告によると、特に窒素の肥効に関しては、作物種、施用法、施用時期などによってかなり異なり、既往の研究結果のみから施用量を決定するのが難しい。

そこで本研究では、建設中のバイオガスプラントの所在地域の主要畑作物の1つである春キャベツを対象とする液肥の施用試験を行った。

2. 試験方法

2.1. 試験圃場

弊社バイオガスプラントの建設予定地（兵庫県豊岡市日高町山宮）の休耕畑を試験圃場として利用した。この場所は、2021までは畑として利用されていたが、2021年のキャベツ栽培を最後として休耕地となっていた。ここに図1に示すように、1区画1m×5.2mの試験区を南北方向に3区画、東西方向に3列配置した。

この圃場の土壌は、典型淡色アロフェン質黒ボク土である。試験区の全体は8m×25m（図1）である。全体を耕耘後、ほぼ等間隔になるように6点の作土試料を採取し、土壌分析に供した。その後畝立てして図1に示すような試験区（1m×5.2m）を

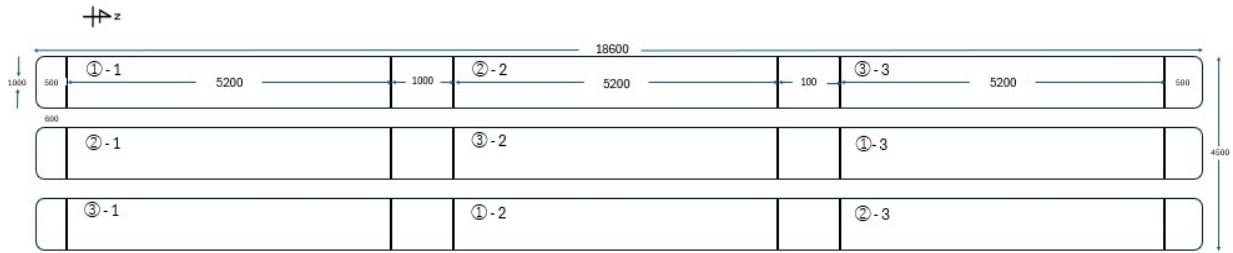


図 1. 試験区の配置

表 1. 試験圃場の土壌の性質.

番号	pH	EC	NH ₃ -N	NO ₃ -N	有効態 リン酸	交換性 加里	交換性 石灰	交換性 苦土	CEC
		mS/cm			mg/100 g				me/100 g
1	7.2	0.08	0.90	2.8	82	46	1390	74	58.6
2	7.1	0.07	0.62	0.79	91	49	1390	77	61.8
3	7.0	0.07	0.58	0.78	94	45	1430	79	63.0
4	6.9	0.08	0.43	2.5	76	47	1400	80	62.6
5	6.7	0.06	0.52	1.7	77	50	1310	73	64.8
6	7.0	0.07	0.77	1.6	74	51	1490	76	65.8

設けた。土壌分析結果は表 1 に示す。

なお、土壌改良のため、各試験区 (5.2 m²) に 832 g の苦土石灰を散布し混和した。これは 160 kg/10 a に相当する。

2.2. 使用液肥

家畜糞尿を発酵原料としているプラント由来の液肥（液肥 A）と食品廃棄物を原料としているプラント由来の液肥（液肥 B）を用いた。対照区には化成肥料を用いた。用いた液肥の養分組成は表 2 に示すとおりである。なお、液肥の窒素はアンモニア態窒素の含有量である。表 2 の試験区番号 (①, ②, ③) は図 1 の試験区の番号と対応している。

表 2. 液肥および化成肥料の養分濃度.

試験区	肥料	窒素	リン酸	加里
		g/kg		
①	液肥 A	2.7	0.8	1.8
②	液肥 B	2.0	0.5	0.9
③	化成肥料	140	140	140

液肥 A と液肥 B の全窒素含量はそれぞれ 3.9 g/kg および 2.8 g/kg であった。表 2 に示すアンモニア態窒素含量との差は、液肥 A、液肥 B についてそれぞれ 1.2 g/kg および 0.8 g/kg であるが、これらは有機態窒

素と考えられる。

2.3. キャベツの定植及び肥培管理

栽培するキャベツの品種としては「シャキット」を選択し、2024 年 3 月 13 日に播種して育苗を開始した。前述した試験区画の整備は 4 月 11 日に行った。

4 月 18 日に、基肥として表 2 に示す液肥および化成肥料の散布を行った。液肥は施用後 30 分以内に土壌と混和した。図 1 の①, ②, ③で示した区画にそれぞれ液肥 A、液肥 B、化成肥料を散布し、3 反復での試験とした。施用量は、各試験区 (5.2 m²) あたり液肥 A 8.09 kg、液肥 B 10.92 kg、化成肥料 0.156 kg とした。10 a 当たりの散布量に換算すると、液肥 A が 1556 kg、液肥 B が 2100 kg、化成肥料が 30 kg に相当する。液肥の施肥量は、液肥による窒素投入量が化成肥料の場合と同じになるように決定した。また化成肥料の施肥量はこの地域における慣行栽培における施肥基準に従った。施肥にともなう養分投入量は表 3 に示す。なお、液肥の窒素については、アンモニア態窒素のみを考慮した。液肥 A 区と液肥 B 区に対しては、アンモニア態窒素に加えて、それぞれ 1.8 kg/10a および 1.7 kg/10a の有機態窒素が投入されていると考えられる。

アンモニア態窒素の投入量を化成肥料区と同じに

した結果、リン酸および加里投入量は化成肥料区よりも少なくなった（表3）。

表3. 施肥による養分投入量.

肥料	施肥量 kg/10 a	窒素 ----- kg/10 a-----	リン酸 ----- kg/10 a-----	加里 ----- kg/10 a-----
液肥 A	1556	4.20	1.24	2.80
液肥 B	2100	4.20	1.05	1.89
化成肥料	30	4.20	4.20	4.20

苗は4月26日に図1に示した区割りで試験区に定植した。株間6cm, 条間75cmの2条植えを行い、1試験区あたり40株とした。定植と同時に、ネキリムシ防除のための粒剤を施用した。図2に定植直後の試験圃場の全景を示す。圃場周囲の柵は、シカによる食害を防止するための電気柵である。

その後、4月30日、5月15日、6月11日および6月27日に、各剤で定められた量、濃度および回数の殺虫剤および殺菌剤の散布を行った。また、5月15日、6月11日および7月2日には、基肥に使用したものと同一化成肥料を株元に追肥した。施用量は1試験区あたり156g（30kg/10aに相当）とした。



図2. 定植後の試験圃場の全景.

キャベツの収穫は7月10日と7月17日の2回に分けて行った。目視で収穫に適した大きさに生育していると思われる株を、1試験区から20玉を収穫した。3反復で行ったため、各処理（液肥A、液肥B、化成肥料）あたり合計60球を収穫した。（図3参照）収穫後、可食部まで外葉を除去し、可食部の球直径と重量を測定した。

3. 結果と考察

定植46日後の生育状況を図4に示す。春栽培で



図3. 収穫した可食部の一例.

あったため、モンシロチョウ、コナガ、タマナギンウワバ、ハスモンヨトウの幼虫が多く発生した。またナガメによる食害もみられた。それに加えて黒腐病と軟腐病も発生した（特に②-2区）。これらによる被害は前述した殺虫剤および殺菌剤の散布によってある程度抑制することができた。

今回の試験圃場は遠隔地であり、1週間あたり1ないし2度しか現地で管理することができなかった。そのため、圃場全体の除草が不十分であった。



図4. 定植日後の生育の様子.

キャベツの収穫データを表4～表6に示す。表中水色の網掛け部分は7月10日収穫分、その他は7月17日収穫分に対応する。

図5には可食部の重量のヒストグラムを、図6には球直径のヒストグラムを示す。ヒストグラムは液肥A区、液肥B区、化成肥料区のそれぞれ3反復の合計60球について作成した。いずれも上から液肥A区、液肥B区、化成肥料区のものである。

表 4. 液肥 A 区の収穫キャベツ可食部の重量および直径. 重量の単位は g, 直径の単位は cm. 最終行は平均値.

①-1		①-2		①-3	
重量	直径	重量	直径	重量	直径
1977	24	1228	20	1255	19
1346	22	1312	20	1152	19
1239	22	1004	20	1030	16
1243	20	1341	17	1361	17
1178	20	932	15	1306	17
1219	18	1106	16	1053	15
1252	17	1134	16	1344	18
1288	18	1199	17	1087	16
1661	18	1225	16	789	14
1430	18	1131	17	926	16
1267	17	1302	17	1245	17
1148	17	1083	18	1194	16
1399	18	1326	19	1096	16
1231	18	1273	19	1173	16
1257	18	1151	18	1000	15
1173	18	1068	18	966	15
1039	17	1016	16	1221	16
1300	18	1437	20	1096	16
1150	17	1244	18	1109	15
1390	18	1,177	17	1204	16
1309	19	1184	18	1130	16

表 5. 液肥 B の収穫キャベツ可食部の重量および直径. 重量の単位は g, 直径の単位は cm. 最終行は平均値.

②-1		②-2		②-3	
重量	直径	重量	直径	重量	直径
1091	19	1201	18	1284	20
1014	19	1032	16	993	19
1316	17	1177	17	1556	21
1247	16	1359	18	1155	19
1206	17	1214	19	1016	16
1031	15	1185	17	1048	16
1160	16	1177	17	965	15
1381	18	1249	17	1263	18
1343	17	909	16	971	17
1152	17	923	15	1103	17
1082	16	971	16	1082	17
1430	19	804	15	1065	16
1373	18	1000	16	1245	18
1296	18	1269	17	1051	17
1013	17	1178	18	1435	19
1083	17	1152	16	1043	17
1074	16	984	16	1194	18
923	15	947	15	1162	18
932	15	972	16	1098	17
1094	17	1101	17	1178	18
1162	17	1090	17	1145	18

球重量(図 5)の最頻区間は液肥 A 区で 1200-1300g, 液肥 B 区で 1000-1100 g, 化成肥料区で 900-1000 g であった. 分布の幅は液肥 A 区がほかの区よりもかなり大きかった. 同じ肥料の 3 反復間の差異は異なる肥料間の差異よりも小さかった (ヒストグラムは非掲載). 液肥 B 区の, 畝中央部の区 (②-2; 図 1) ではほかの区と比較して病害が目立った. この区の

表 6. 化成肥料区の収穫キャベツ可食部の重量および直径. 重量の単位は g, 直径の単位は cm. 最終行は平均値.

③-1		③-2		③-3	
重量	直径	重量	直径	重量	直径
882	19	1357	21	978	17
1031	16	1148	18	999	17
1249	17	1367	17	1101	17
1475	18	1284	16	1157	17
1565	18	979	16	1149	17
1180	17	1134	16	886	16
1276	17	1064	15	1220	17
1015	15	1347	17	1420	18
983	16	1220	17	869	16
1052	16	1011	15	992	16
1095	16	889	15	941	16
792	15	1422	17	1159	17
1189	16	982	16	1072	16
1458	18	1260	17	1092	16
1286	17	992	16	1059	16
1240	17	906	15	914	15
948	15	833	14	821	14
1008	16	1033	16	697	14
973	15	788	14	830	15
758	14	903	15	928	15
1123	16	1096	16	1014	16

可食部球の平均重量は②-1 区, ②-3 区と比較するとやや小さかったものの (表 5), 全体外観から予想される差よりも小さかった. 球重量の平均値は, 液肥 A 区, 液肥 B 区, 化成肥料区でそれぞれ 1208 g, 1132 g および 1077 g であり (表 7), 最頻区間, 平均重量ともに液肥 A 区>液肥 B 区>化成肥料区の順であった.

球直径(図 6)の最頻区間は液肥 A 区で 18-19 cm, 液肥 B 区で 17-18 cm, 化成肥料区で 16-18 cm であり, 肥料の種類による差は小さかった. 球直径に関しても同じ肥料の 3 反復間の差は異なる肥料間の差異よりも小さかった (ヒストグラムは非掲載). 球直径の平均値は, 液肥 A 区, 液肥 B 区, 化成肥料区についてそれぞれ 17.5 cm, 17.1 cm, 16.2 cm であり (表 7) 液肥 A 区>液肥 B 区>化成肥料区の順であった.

前述したように, ヒストグラムの目視では, 畝における位置 (南側, 中央部, 北川; つまり同じ肥料の反復) による差は大きくないと考えられたが, この因子も加え, 肥料の種類と畝における位置の 2 つの因子をとって分散分析を行い, Tukey 法による検定を行った. その結果, 球の重量に関しては液肥 A 区と液肥 B 区の間には 5%水準で有意差が認められ, 液肥 A 区と化成肥料区の間にも有意差が認められた (表 7). また, 南端の区画と北端の区画の間にも有意差が認められた.

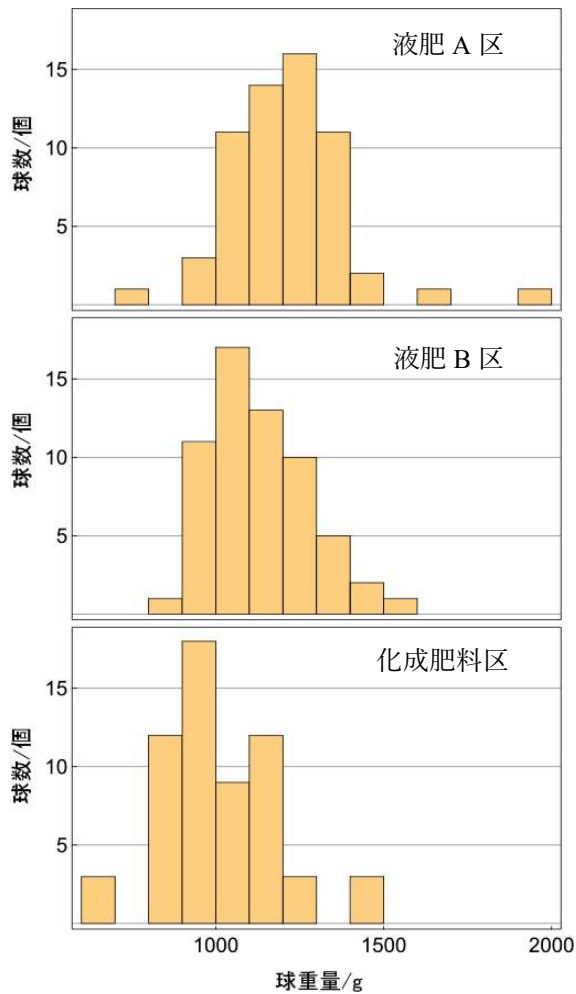


図 5. 球重量のヒストグラム.

同様に球直径に関しても検定を行ったところ、液肥 A 区と化成肥料区の間、液肥 B 区と化成肥料区の間に 5%水準での有意差が認められた (表 7)。球直径に関しては畝位置の間では有意差は認められなかった。

表 7 にまとめて示すように、液肥 A 区と化成肥料区の比較では球重、球径ともに液肥区で優位に大きかった。また液肥 B 区と化成肥料区の比較では、球重には有意差がなかったものの、球径に関しては液肥区が優位に大きかった。これらの結果を総合すると、液肥区の方が化成肥料区よりもやや可食部収量が大きいといえる。ただし、今回の栽培試験ではその差は大きいものではなく、約 10%程度であった。

一般に作物の生育は窒素投入量に大きく依存するため、液肥区の方でキャベツの生育がやや優れたことの原因として窒素の投入量の多少について考察する。液肥区ではアンモニア態窒素に加えて有機態窒素の投入があった。基肥として投入したアンモニア態窒素は各区とも 4.2 kg/10 a 相当であったが、液肥

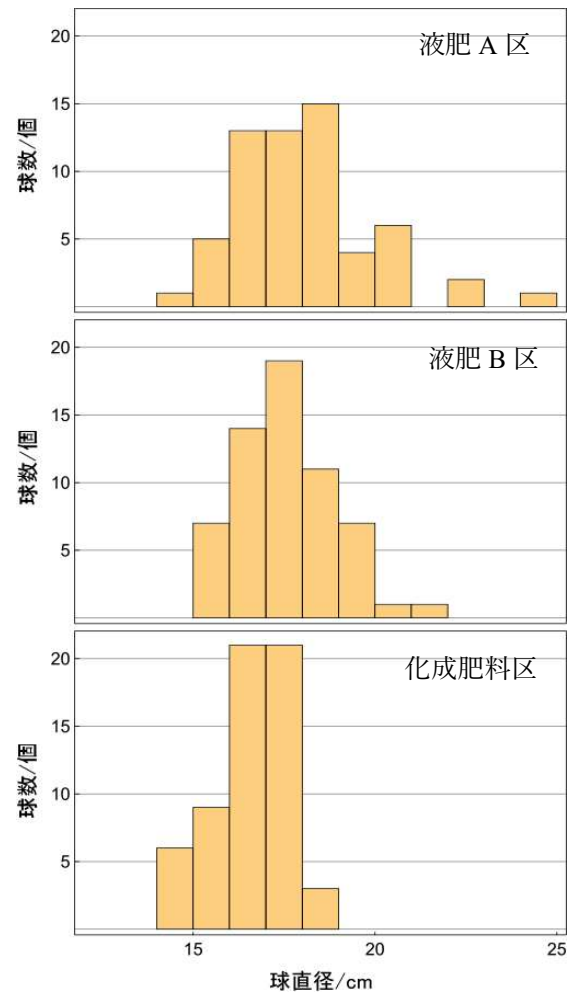


図 6. 球直径のヒストグラム.

表 7. 各肥料区の球重および球径の平均および検定結果.

	球重/g	球径/cm
液肥 A	1208 ^a	17.5 ^a
液肥 B	1132 ^b	17.1 ^a
化成肥料	1077 ^b	16.2 ^b

球重、球径それぞれ異なる記号間には 5%水準での有意差あり。

A 区および液肥 B 区ではそれに加えてそれぞれ 1.8 kg/10 a および 1.7 kg/10 a の有機態窒素が投入された。これは基肥として投入されたアンモニア態窒素の 40%~43%に相当する量である。

ただ、比較的短期間 (畑作物の一作の栽培期間) に無機化されるのはその 30%程度と推定されており⁵⁾、それに従うと、有機態窒素の無機化で供給される窒素の量は 0.5 kg/10 a 程度となる。また、消化液を表面施用して放置した場合、施用後 1 日で 30%の窒素がアンモニアとして揮散すると推定されている⁵⁾。施用してから 30 分以内に土壌と混和することにより 1 日後の揮散量は 3%程度に抑制できるとされているが⁵⁾、それでも 4.2 kg/10 a の 3%は約 0.2 kg/10

aに相当する。このように有機態窒素の無機化とアンモニアの揮散の両方を考慮すると、液肥区と化成肥料区間の基肥としての窒素投入量の差は10%程度であり、球重や球径の差が窒素投入量の多少によるものかどうかは不確かである。

今回の試験で使用した圃場は pH, EC, 有効態リン酸含量および交換性陽イオン含量に関しては非常に均一であった(表1)。しかし、硝酸態およびアンモニア態窒素含量に関しては比較的差が大きく、採取試料の最低は合計で 1.36 mg/100 g, 最高は 3.7 mg/100 g であった(表1)。仮に作土の嵩密度を 800 g/L, 作土の厚さを 15 cm として計算すると、施肥前の土壌の無機態窒素含量はそれぞれ 1.63 kg/10 a および 4.44 kg/10 a となる。この量および差は、投入した液肥に含まれる全有機態窒素量よりも大きい。一方で検定の結果によると、同一施肥の3区画間の球重や球径の平均値の間にはほとんど有意差が認められなかった。結局、今回の試験結果における液肥区と化成肥料区の球重や球径の差が窒素供給量の差によるものかどうかの明確な判断は難しい。

養分(特に窒素)の肥効などの詳細は不明であるものの、今回の栽培試験の結果は、春キャベツの収量を判断基準とするならば、基肥の全量を消化液で代替することは可能であることを示している。この結果と同様の結果は、ニンジン、バレイショ、ハウレンソウ、コカブ等についても報告されている¹¹⁾。また基本的には同様の結果が秋冬ダイコンについても報告されている¹²⁾。

ただし、冬ダイコンに関する試験¹²⁾では、消化液区で収穫されたダイコンのリン含量が化学肥料区と比較して有意に低いことが報告されている。その原因は、消化液のリン酸濃度が低いにもかかわらず、消化液の施用量を、窒素投入量を基準にして設定したこと、さらに試験圃場の有効態リン酸含量が低かった(4-5 mg/100 g)ことだと考察されている。本試験で使用した圃場の土壌型はアロフェン質黒ボク土であったが、おそらく前作までの土壌管理によって可給態リン酸含量が高く(70-90 mg/100 g)維持されていた(表1)。加えて交換性加里の含量も比較的高く維持されていた(47-51 mg/100 g; 表1)消化液区におけるリン酸や加里の投入量が低かった(表3; 化成肥料区の約 1/4)にもかかわらず、キャベツ収量はやや多いという結果は、おそらくこのような土壌条件に支えられたものであろう。

本試験で使用したようなリン酸および加里含量の相対的に低い液肥を用い、化学肥料を用いた慣行施肥と窒素投入量が同じになるような施肥を長期間継

続した場合、いずれはリン酸や加里の不足により作物の品質や収量に負の影響が現れると考えられる。消化液の利用マニュアル類では、不足する養分を単肥で補うことが推奨されている^{4,5)}。一方、日本の農耕地ではリン酸および加里の過剰が認められる事例が少なくない^{13,14,15)}。このような土壌に対しては、本試験で使用したようなリン酸および加里含量の比較的低い液肥を利用することが合理的かつ経済的にも有利になると考えられる。いずれにせよ、適切な施用量を決定するには、液肥自体および施肥対象土壌の養分状態を事前に分析しておくことが必要であろう。

謝辞

試験に使用した液肥はすでに稼働している国内のバイオガスプラントのご厚意により提供していただいた。山宮区の皆様には圃場の準備および設営にご協力いただいた。(株)アステックの皆様には肥培管理および取得データの統計処理にご協力いただいた。記して謝意を表する。

引用文献

- 1) 環境省大臣官房リサイクル対策部廃棄物対策課 (2008) メタンガス化(生ごみメタン)施設整備マニュアル。環境省。
- 2) 小川幸正, 原達己, 藤田正憲, 中川悦光 (2004) ふん尿・食品残渣のバイオガス発電プラントにおけるエネルギー供給施設としての評価に関する研究。空気調和・衛生工学会論文集 95, 35-43。
- 3) 薬師堂謙一 (2009) 地域のメタン発酵施設を成功させるポイント。バイオマス産業社会ネットワーク第93回研究会資料, <http://www.npobin.net/research/93thmaterial.pdf>。
- 4) 岩下幸司, 岩田将英 (2010) メタン発酵消化液の液肥利用マニュアル。(社)地域資源循環技術センター。
- 5) 独立行政法人農業・食品産業技術研究機構 農村工学研究所 (2012) メタン発酵消化液の畑地における液肥利用－肥料効果と環境への影響－, 独立行政法人農業・食品産業技術研究機構 農村工学研究所。
- 6) 善明崇英, 山川武夫, 菊池昌充(2009) メタン発酵消化液の施用方法の違いが水稻の生育に及ぼす影響。
- 7) 三原実, 百武千文, 伊地知武郎, 森則子 (2011) メタン発酵消化液の水稻栽培における液肥利用について。日本作物学会九州支部報告 77, 15-18。
- 8) 徳田進一, 田中康男, 東尾久雄, 村上健二, 相澤証子, 浦上敦子 (2008) メタン発酵消化液由来無機態窒素のキャベツ畑土壌における動態。野菜茶業研究成果

情報 2007, 37-38.

- 9) 松中照夫, 熊井美鈴, 千徳あす香 (2003) バイオガスプラント消化液由来窒素のオーチャードグラスに対する肥料的効果. 日本土壤肥料学会誌 74, 31-38.
- 10) 富田尚稔, 池田英男 (2006) メタン発酵消化液が溶液土耕におけるトマトの生育と果実収量に及ぼす影響. 日本土壤肥料学会誌 77, 619-626.
- 11) 畜産環境整備機構 (2013) メタン発酵消化液の濃縮・改質による野菜栽培利用マニュアル. 畜産環境整備機構.
- 12) 石川葉子 (2021) メタン発酵消化液の秋冬ダイコンへの施用並びに化学肥料の代替可能性. 日本土壤肥料学雑誌 92, 238-248.
- 13) 荒垣憲一, 藤井弘志, 中西正則 (1986) 野菜ハウス畑における土壌化学性の実態と問題点. 山形県立農業試験場研究報告 21, 45-62.
- 14) 渋谷洋, 小玉恭生, 井上健一, 桑代涼子, 門脇英美 (2006) 土壌養分が集積した施設軟弱野菜畑における土壌化学性とその改善. 鹿児島県農業試験場研究報告, 34, 43-53.
- 15) 若澤秀幸, 杉浦英之, 山本光宣, 鈴木海平, 内山道春 (2020) 静岡県内農耕地土壌の 40 年間における土壌化学性の実態と変化. 静岡県農林技術研究所研究報告 13, 7-19.

Technical report
Published by Astec Co., Ltd.
Technology Development Laboratory

〒671-2244 兵庫県姫路市実法寺 105

TEL : 079-267-5575 HP : <https://www.astec-geo.co.jp/index.html>

