

バレイショ連作ほ場における牛ふん堆肥10年連用の効果

平山裕介，川本 旭

キーワード：バレイショ，土壌理化学性，牛ふん堆肥連用，そうか病

The Effect of 10 Years Continuous Use of Cattle Manure Compost in Potato Continuous Cropping Field.

Yusuke HIRYAMA, Akira KAWAMOTO

目 次

- 1．緒言
- 2．材料および方法
 - 1) 連用ほ場の概要
 - 2) 耕種概要
 - 3) 調査方法
- 3．結果
 - 1) バレイショの収量性および品質
 - 2) 土壌化学性
 - 3) 土壌物理性
- 4．考察
 - 1) バレイショ収量性および品質
 - 2) 土壌化学性
 - 3) 土壌物理性
- 5．総合考察
- 6．分析および栽培担当者
- 7．摘要
- 8．引用文献

Summary

1. 緒言

牛ふん堆肥のほ場への施用は、肥料効果が高いとされる鶏ふん堆肥や豚ふん堆肥に比べ、土づくりを目的として施用されることが多く、団粒構造の発達に伴う土壌物理性改善や土壌微生物相の多様化による土壌病害軽減効果、腐植物質の増加による土壌緩衝能の増大効果が期待される。これらの効果は、堆肥を連年施用することで向上するといわれており、北海道や鹿児島県等国内各所に

おいて堆肥の長期連用試験に関する報告があるが（黒柳ら，1996；黒柳ら，1997；脇門ら，2000；中津・田村，2009；重久ら，2013），長崎県内のほ場において長期間にわたる調査報告はない。

本報ではバレイショ連作ほ場における牛ふん堆肥10年連用がバレイショの収量や品質や土壌理化学性に及ぼす影響について調査したものである。

2. 材料および方法

1) 連用ほ場の概要

連用ほ場は長崎県農林技術開発センター畑作営農研究部門中山間営農研究室の2-2ほ場（雲仙市，N32.795602 E130.160695）に設置した。本ほ場の土壌は礫質普通アロフェン質黒ボク土で，連用開始前，数年間は休耕していた。

2) 耕種概要

耕種概要履歴を表1に，供試したもみから牛ふん堆肥（以下，牛ふん堆肥）の成分別年間施用量を表2に示した。連用期間は2013年の秋作から2022年春作までのため，2013年は秋作のみ，2022年は春作のみの施用量である。

堆肥施用量は現物で150kg/a（1.5t/10a区），50kg/a（0.5t/10a区）と0kg/a（化学肥料のみ）の3水準を設けた。長崎県のバレイショ栽培は春作，秋作の2期作であり，それぞれで施用するため，年間施用量は300kg/a，100kg/a，0kg/aとなる。1区は18㎡（長さ4.0m，幅4.5m）で，3反復で実施した。

化学肥料の施肥量はN-1.6kg/a，P₂O₅-1.2kg/a，K₂O-1.2kg/aで，それぞれ硫酸，過リン酸石灰，硫酸カリウムで施用した。施肥量は，試験開始時の島原地域のバレイショ栽培暦を参考にした。植栽密度は667株/a（畝間60cm×株間25cm）とした。

堆肥の施用時期は植付の2週間程度前で，施肥は植付前日に実施したが，天候の都合で前後した年がある。また，秋作の中耕培土は出芽揃い期から7～14日後を目安に実施した。

地上部の病虫害防除は，現地慣行薬剤を用いて行った。試験区の一部で青枯病の発生がみられたた

め，2021年8月3日にクロルピクリンを用いて試験区全体の土壌消毒を行った。

また，バレイショの茎葉部（地上部）は全量をほ場外へ持ち出した。

3) 調査方法

(1) 土壌分析

土壌のサンプリングは，毎年，春作収穫時に行った。作土層と2層目（30cmまで）の2層に分け，サンプリングの深さは化学性・物理性ともに層の中央付近（作土層は約5～10cm，2層目は約20～25cm）である。土壌物理性の測定には容量100mlのステンレス試料円筒を使用した。

土壌化学性の分析項目は，pH，EC，可給態リン酸，交換性塩基，全炭素（T-C），CECである。2～9年目（2014年～2021年）の分析項目は，全炭素（T-C）のみのため，データは割愛した。連作前（2013年）のデータは保存されていたサンプルを2022年に再分析し，処理区間および連用開始前後で比較した。10年連用後の処理区間の比較はTukeyの多重検定で実施した。連用開始前後の比較は，連用開始前のサンプルが3反復を一つにした混合サンプルのため，統計処理は実施できなかった。

土壌物理性の分析項目は，作土深，仮比重，三相分布，孔隙率，有効水分量，飽和透水係数である。2～9年目（2014年～2021年）の分析項目は，仮比重のみのため，データは割愛した。10年連用後の処理区間の比較をTukeyの多重検定で実施した。連用開始前後の比較は，連用開始前のデータ

は無かったため、実施できなかった。

分析法は、土壌機能モニタリング調査のための土壌、水質および植物体分析法（財団法人日本土壌協会，2001）および土壌物理性測定法（土壌物理性測定法委員会編，1972）に準じた。

(2)収量調査

収量は各区中央の20株をサンプルとして、掘り取り後7日以降を目安に調査した。40g以上の塊茎を上いもとして個数と重量およびデンプン価を計測した。デンプン価は以下の式を用いて測定した。

$$\text{デンプン価}(\%) = (\text{比重} - 1.05) \times 214.5 + 7.5$$

(3)そうか病発生調査

収量調査と同時に以下の基準でそうか病の発病程度を調査し、発病塊茎率および発病度を算出した。

＜調査基準＞

無（指数：0）：発病無し

小（1）：発病面積3%未満または病斑が1～3個見られる

中（2）：病斑面積3～13%未満または病斑が4～10個見られる

多（3）：病斑面積13～25%未満または病斑が11

～20個見られる

甚（4）：病斑面積25%以上または病斑が21個以上見られる

発病率：発病塊茎数/調査塊茎数×100

発病度： Σ （発病指数×当該塊茎数）/（調査塊茎数×4）×100

(4)統計解析

上いも重、上いも個数およびデンプン価は、線形混合モデルを用いて解析した。線形混合モデル（以下LMM）は、線形モデル（LM）にランダム効果と呼ばれる反復差や個体差などの観測時のばらつきを組み込んだモデルであり、年次間差によるばらつきを考慮した分析が可能である（石母田・竹下，2022；久保，2012）。今回は堆肥の施用量（1.5,0.5,0（t/10a））と品種（「デジマ」・「アイマサリ」）を固定効果、作付け年度（春作：2014～2022年，秋作：2013～2021年）をランダム効果に指定し、作期ごとに上いも重、上いも個数およびデンプン価を従属変数として複数のモデル式を作成した。その中から尤度比検定により有意差の検定を行い、最終的なモデル式を選定した。解析にはR commander(ver.4.0.0)を使用し、LMMにはlme4パッケージを用いた。

表1 耕種概要

年	春作						秋作					
	作業日（月/日）				品種	マルチの有無	作業日（月/日）				品種	マルチの有無
	堆肥	施肥	植付	収穫			堆肥	施肥	植付	収穫		
2013	-	-	-	-	-	-	9/10	9/10	9/10	12/15		
2014	1/27	1/29	2/12	5/26			9/2	9/16	9/18	12/15		
2015	2/5	2/17	2/24	5/29			9/9	9/10	9/10	12/16		
2016	2/1	2/5	2/5	5/26		有 (黒マルチ)	8/30	9/6	9/7	11/29	デジマ	
2017	1/27	2/8	2/14	5/29	デジマ		8/14	9/1	9/6	11/27		無 (露地栽培)
2018	1/25	2/5	2/6	5/16		有 (透明マルチ)	8/21	9/3	9/5	11/27		
2019	1/28	2/7	2/12	5/15			8/21	9/3	9/6	11/26		
2020	1/21	2/3	2/4	5/12		有 (スリット 黒マルチ)	8/31	9/9	9/10	11/25		
2021	1/18	2/12	2/16	5/19	アイマサリ		9/1	9/9	9/10	11/29	アイマサリ	
2022	1/19	2/4	2/7	5/19			-	-	-	-	-	-

表2 牛ふん堆肥の成分別年間施用量

(t乾物/ha)									
年	1.5t/10a連用				0.5t/10a連用区				C/N
	窒素	リン酸	加里	炭素	窒素	リン酸	加里	炭素	
2013 ^z	0.17	0.11	— ^y	3.4	0.06	0.04	—	1.1	20
2014	0.34	0.21	—	6.7	0.11	0.07	—	2.2	20
2015	0.34	0.21	—	6.7	0.11	0.07	—	2.2	20
2016	0.24	0.53	1.04	5.0	0.08	0.18	0.35	1.7	21
2017	0.24	0.53	1.04	5.0	0.08	0.18	0.35	1.7	21
2018	0.65	<u>0.11^x</u>	<u>0.23</u>	10.2	0.22	<u>0.04</u>	<u>0.08</u>	3.4	16
2019	0.57	0.31	1.59	10.5	0.19	0.10	0.53	3.5	19
2020	0.51	0.24	1.29	12.1	0.17	0.08	0.43	4.0	24
2021	0.32	0.16	0.63	5.9	0.11	0.05	0.21	2.0	19
2022 ^z	0.13	0.21	0.15	2.6	0.04	0.07	0.05	0.9	20

^z2013年は秋作のみ、2023年は春作のみの施用量^y—：分析データなし^x下線：春作のデータのみ

3. 結果

1) バレイショの収量性および品質

上いも重と上いも個数は年次変動がみられ、特に春作で顕著だった(図1, 図2)。また2015年は、春作では極端な低温条件、秋作では少雨条件であり、年間を通して収量が低かった。また、春作秋作共に堆肥施用量が多いほど上いも重、個数とも多い傾向がみられた。

デンプン価はおおむね10を超えていたが、早掘りして栽培期間が短かった2015年春作は5~7と低かった(図3)。「アイマサリ」では、堆肥施用区で小さい傾向がみられた。

(1)上いも重

LMMにより選定したモデル式の結果、春作では堆肥施用量と品種、秋作では堆肥施用量がパラメーター項目として選択され、推定された係数の95%信頼区間には0が含まれていなかった(表3)。堆肥施用量の係数の推定値は、両作期とも93前後であり、作期に関わらず堆肥の施用により上いも重が同程度増加することが示唆された。また春作で「アイマサリ」を作付けすると、「デジマ」よりも約174kg/a収量が多いと推定された。

(2)上いも個数

LMMにより選定したモデル式の結果、収量と同様に春作では堆肥施用量と品種、秋作では堆肥

施用量がパラメーター項目として選択され、推定された係数の95%信頼区間には0が含まれていなかった(表4)。堆肥施用量の係数の推定値は、両作期とも0.8前後であり、作期に関わらず堆肥の施用により上いも個数が同程度増加することが示唆された。また春作で「アイマサリ」を作付けすると、株あたり個数は「デジマ」よりも1.5個多いと推定された。

(3)デンプン価

LMMにより選定したモデル式の結果、春作では堆肥施用量、品種、および堆肥施用量と品種の交互作用項がパラメーター項目に選択され、推定された係数の95%信頼区間には0が含まれていないのは、交互作用項であった(表5)。秋作では堆肥施用量がパラメーター項目に選択され、推定された係数の95%信頼区間には0が含まれていなかった。パラメーター推定値から、デンプン価は春作では堆肥の施用量が多いほど増加し、秋作では堆肥の施用量が多いほど低下する傾向にあった。ただし、春作で「アイマサリ」を植え付けると、堆肥の施用によりデンプン価は低下する傾向にあった。

(4)そうか病の発生程度

試験期間中のそうか病は極小発生で推移した。

最も発生量が大きかったのは2017年度秋作で、堆肥無し区と0.5t連用区において発病率が平均7%を超えた（図4）。発病率と発病度の最大値は0.5t連用区の同一区で、それぞれ12.8%と3.8で少発生であった（図5）。また、2015年を除き、そうか病の発生がみられたのは秋作だった。発生程度には明確

な傾向が見られず、堆肥の施用量との関係は判然としなかった。

土壌pH（KCl）とそうか病の発病度の関係について、そうか病が発生した区の土壌pH（KCl）は、3.77以上であった（図6）。

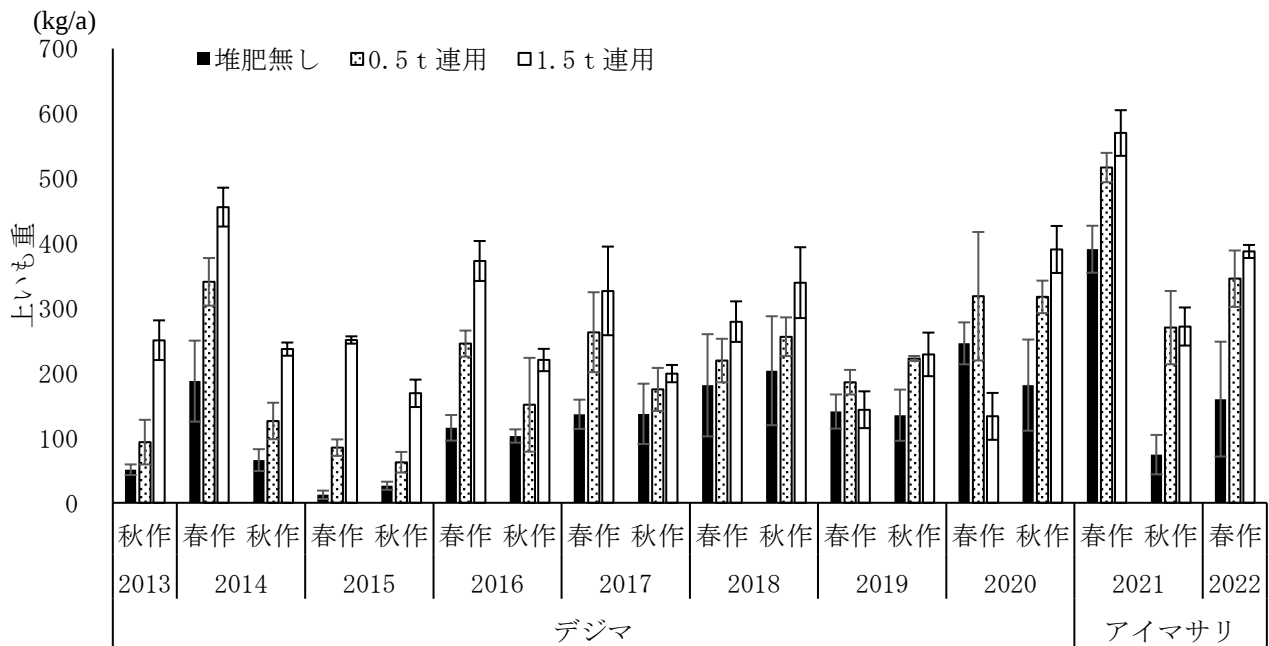


図1 上いも重の推移

バーは標準偏差を示す。

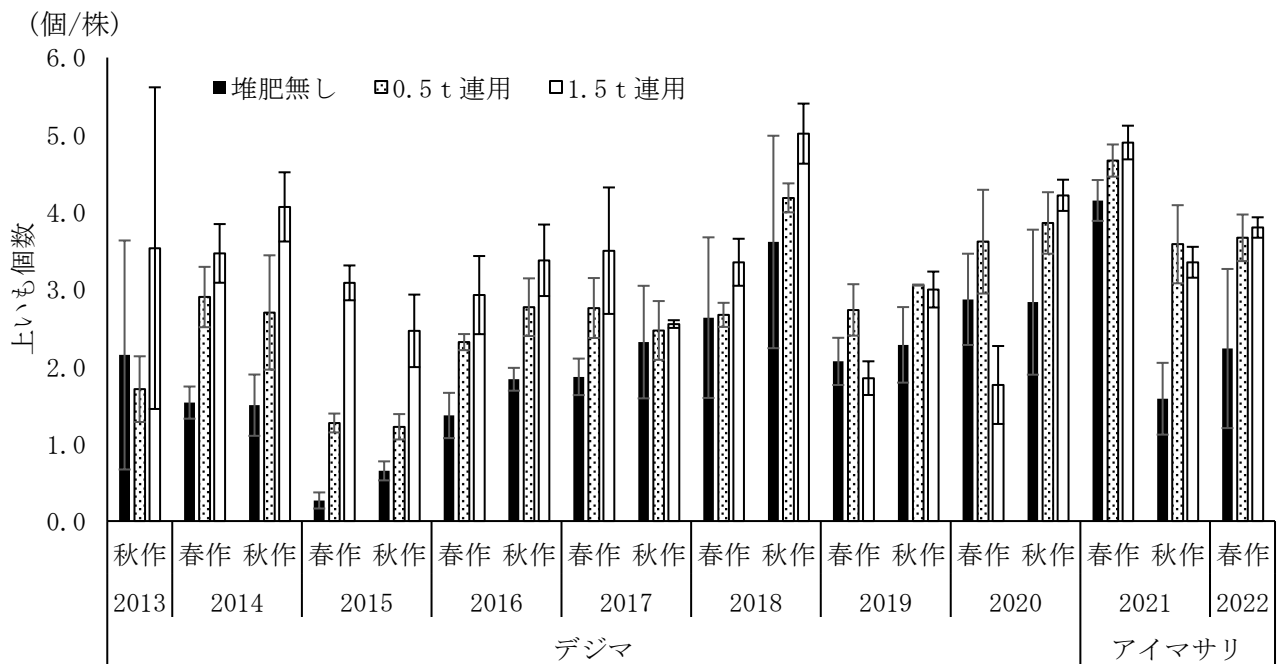


図2 上いも個数の推移

バーは標準偏差を示す。

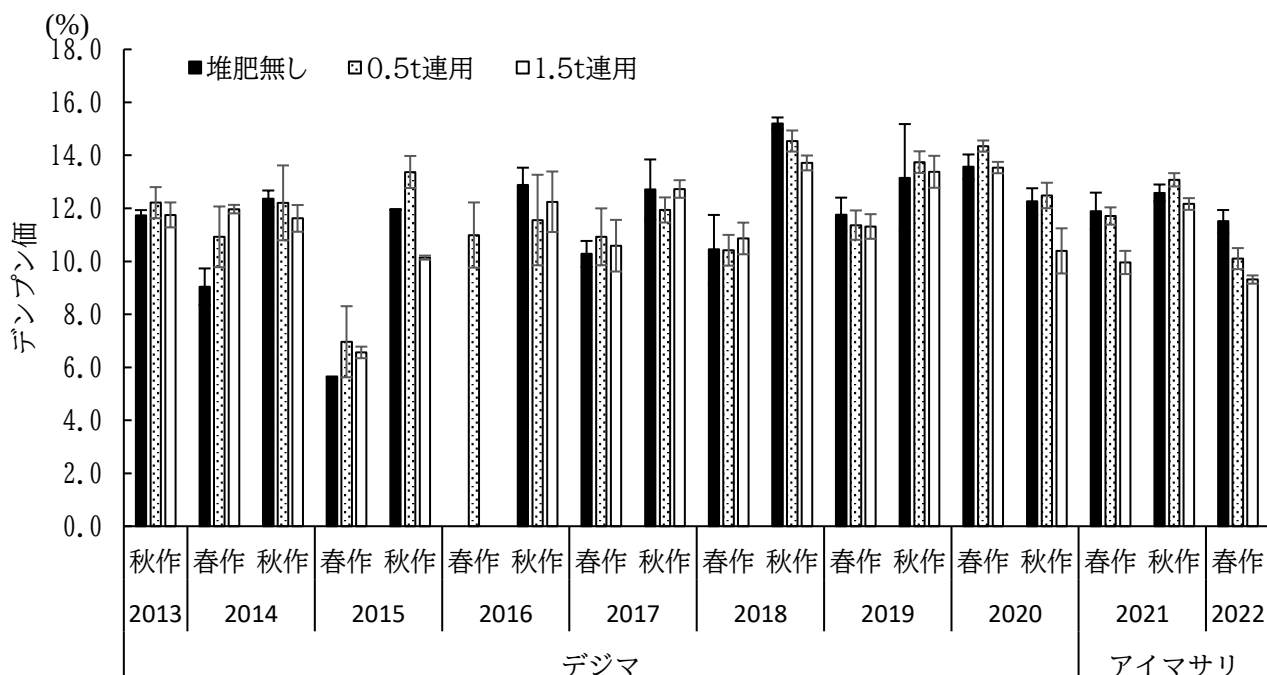


図3 デンプン価の推移

バーは標準偏差を示す。2016年春作の堆肥無し区および1.5t連用区は欠測。

表3 LMMを用いた上いも重 (kg/a) のモデル式の結果

作期	AIC	項目 ^z	推定値	標準誤差	t 値	Pr(> z) ^y
春作	1040.1	切片	159.5	25.3	6.3	2.9×10^{-10} ***
		施用量	92.0	12.6	7.3	2.3×10^{-13} ***
		品種 (アイマサリ)	174.1	75.4	2.3	0.0209 *
秋作	950.4	切片	135.7	13.7	9.9	$<2.0 \times 10^{-16}$ ***
		施用量	94.4	7.9	12.0	$<2.0 \times 10^{-16}$ ***

【モデル式】

春作：上いも重 = $159.5 + 92.0 \times [\text{施用量}; t] + 174.1 \times [\text{品種}; \text{「アイマサリ」} = 1, \text{「デジマ」} = 0]$

秋作：上いも重 = $135.7 + 94.4 \times [\text{施用量}; t]$

^z切片のみの値は「デジマ」の堆肥無施用区と一致する。

^yPr が 0.05 以下のとき、LMM で求められた係数の推定値の 95%信頼区間に 0 を含まない。また、 $<2.0 \times 10^{-16}$ は R の計算の下限値以下である。

表4 LMMを用いた株あたり上いも個数 (個/株) のモデル式の結果

作期	AIC	項目 ^z	推定値	標準誤差	t 値	Pr(> z) ^y
春作	162.3	切片	2.0	0.3	5.8	6.8×10^{-9} ***
		施用量	0.7	0.3	2.1	0.032 *
		品種 (アイマサリ)	1.5	0.4	3.5	0.00040 ***
秋作	203.9	切片	2.2	0.3	8.0	1.3×10^{-15} ***
		施用量	0.9	0.1	7.3	2.5×10^{-13} ***

【モデル式】

春作：上いも個数 = $2.0 + 0.7 \times [\text{施用量}; t] + 1.5 \times [\text{品種}; \text{「アイマサリ」} = 1, \text{「デジマ」} = 0]$

秋作：上いも個数 = $2.2 + 0.9 \times [\text{施用量}; t]$

^z切片のみの値は「デジマ」の堆肥無施用区と一致する。

^yPr が 0.05 以下のとき、LMM で求められた係数の推定値の 95%信頼区間に 0 を含まない。

表5 LMM を用いたデンプン価のモデル式の結果

作期	AIC	項目 ^z	推定値	標準誤差	t 値	Pr(> z) ^y
春作	214.7	切片	10.4	0.7	14.4	$<2.0 \times 10^{-16}$ ***
		施用量	0.3	0.3	1.2	0.24
		品種 (アイマサリ)	1.2	1.5	0.8	0.44
		施用量*品種 (アイマサリ)	-1.7	0.6	-2.9	0.0034 **
秋作	232.1	切片	12.9	0.3	40.4	$<2.0 \times 10^{-16}$ ***
		施用量	-0.6	0.3	-2.3	0.021 *

【モデル式】

春作：デンプン価 = $10.4 + 0.3 \times [\text{施用量}; t] + 1.2 \times [\text{品種}; \text{「アイマサリ」} = 1, \text{「デジマ」} = 0]$
 $+ (-1.7) \times [\text{施用量}; t] \times [\text{品種}; \text{「アイマサリ」} = 1, \text{「デジマ」} = 0]$

秋作：デンプン価 = $12.9 + (-0.6) \times [\text{施用量}; t]$

^z切片のみの値は「デジマ」の堆肥無施用区と一致する。

^yPr が 0.05 以下のとき、LMM で求められた係数の推定値の 95%信頼区間に 0 を含まない。また、 $<2.0 \times 10^{-16}$ は R の計算の下限値以下である。

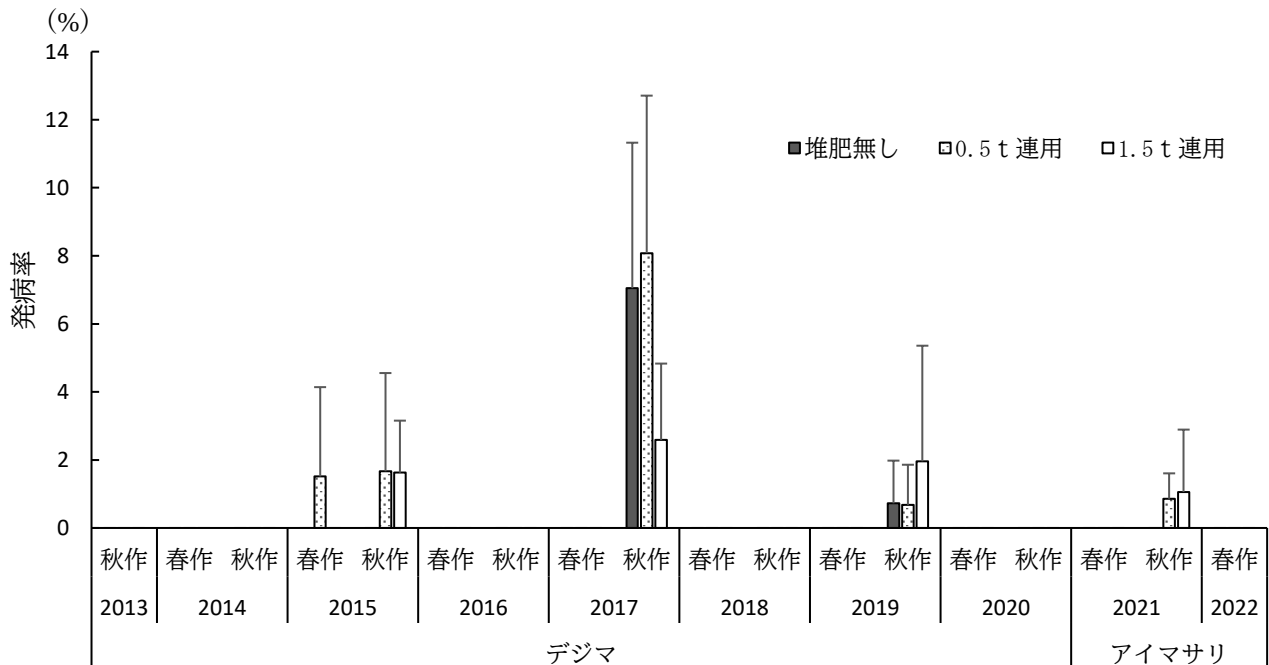


図4 そうか病の発病率の推移

バーは標準偏差を示す。

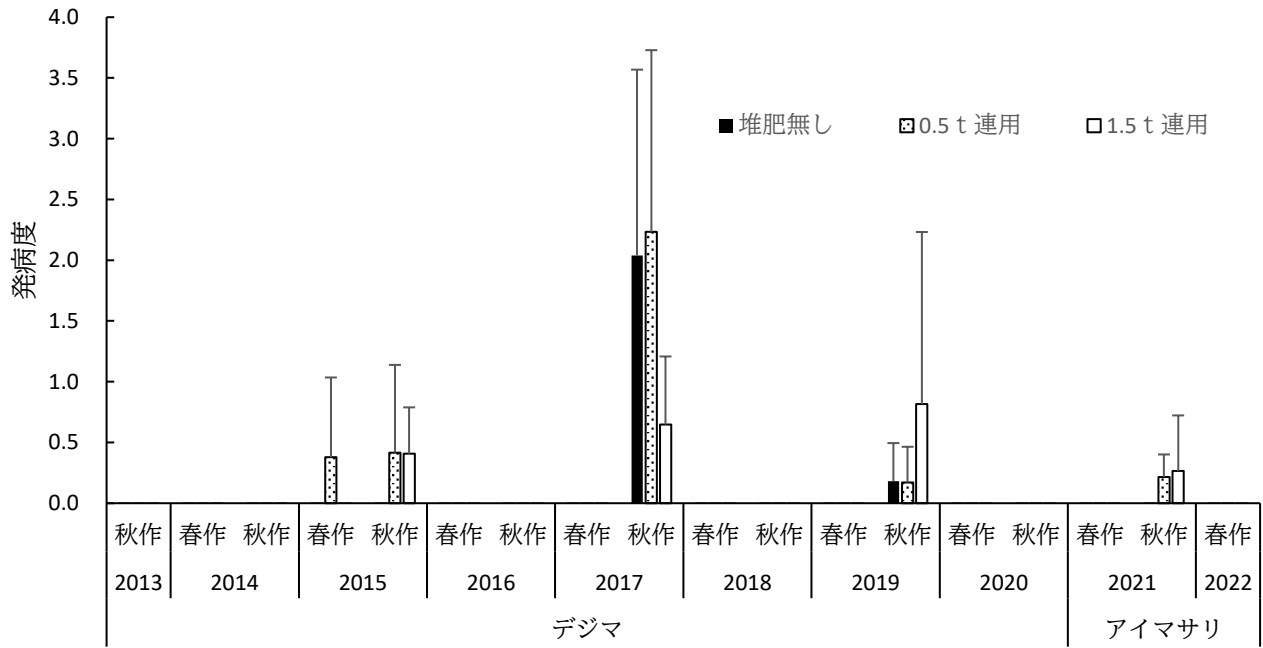


図5 そうか病の発病度の推移
バーは標準偏差を示す。

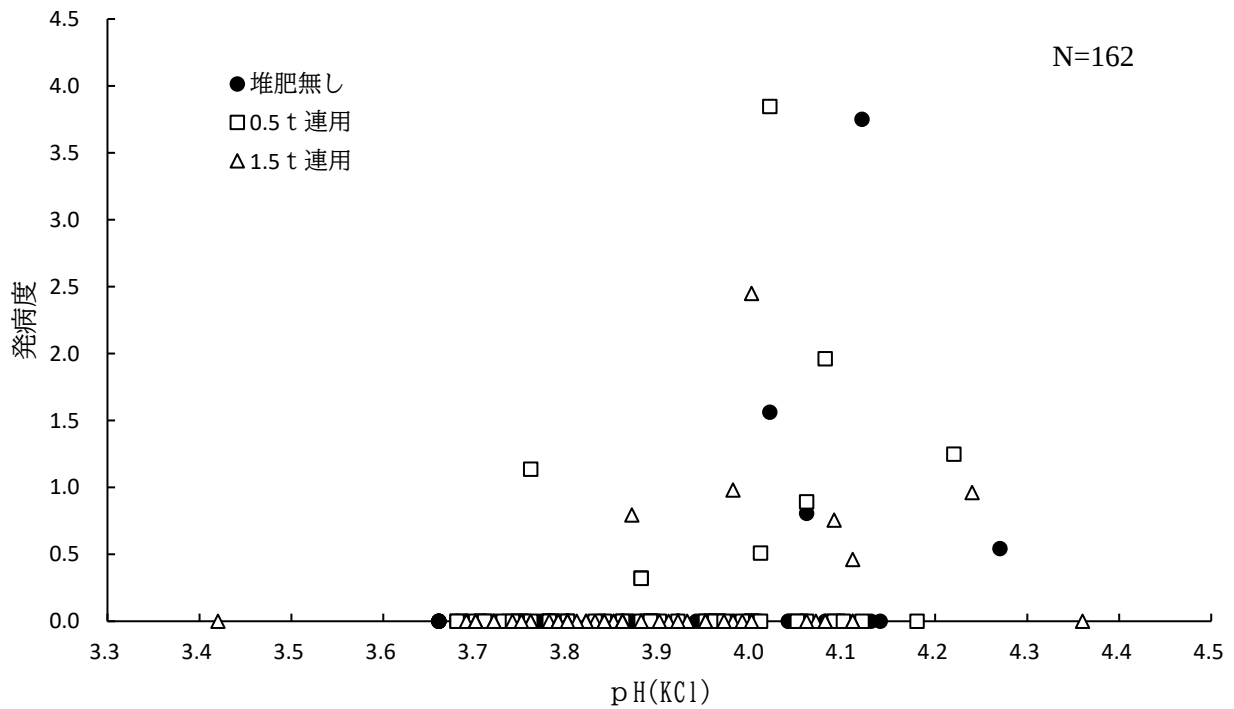


図6 pH (KCl) とそうか病の発病度の関係

2) 土壌化学性

堆肥連用前の土壌化学性を表6に示した。作土層、2層目ともに、1.5t連用区が他の2区より交換性マグネシウムと交換性カリウムが高い傾向にあり、塩基飽和度もやや高い傾向にあったが、その他の項目はほぼ同じ条件で牛ふん堆肥の連用を開始した。

牛ふん堆肥を10年連用した土壌の化学性を表7に示した。pH (H₂O) は、作土層では1.5t連用区が堆肥無し区よりも有意に高かったが、0.5t連用区は堆肥無し区と有意差はなかった。2層目では処理区間で有意差はなかった。連用前と比較すると、作土層では1.5t連用区は変化がなかったが、0.5t連用区は0.1、堆肥無し区は0.3、それぞれ低下した。

pH (KCl) は、作土層、2層目ともに3.7前後で処理区間に有意な差はなく、連用前とも大きな差はなかった。

ECは、作土層、2層目、ともに連用後の堆肥の施用量による差はなかったが、連用前と比較するとやや上昇傾向にあった。

可給態リン酸は、作土層の1.5t連用区が県基準値を超えており、0.5t連用区と堆肥無し区よりも有意に高く、蓄積がみられた。2層目は有意な差はなかったが、堆肥施用量が多いと高くなる傾向

向があった。連用前と比較すると、堆肥施用量が多いと高くなる傾向があった。

交換性カルシウムは、作土層では1.5t連用区が最も高く、次いで0.5t連用区、堆肥無し区の順で各区間に有意差が認められ、2層目では1.5t連用区が堆肥無し区よりも有意に高かった。連用前と比べると、堆肥施用量が多いと高くなる傾向があった。

交換性マグネシウムと交換性カリウムは、作土層、2層目ともに1.5t連用区が他2区よりも有意に高かったが、連用開始前も1.5t連用区が高かったため、堆肥施用量の差は判然としなかった。しかし、連用前と比較すると、交換性のマグネシウムは堆肥施用量が多くなると増加する傾向があった。

塩基飽和度と石灰飽和度は、作土層も2層目も1.5t連用区が他2区よりも高かった。連用前と比較すると、堆肥施用量が多いと交換性の塩基類が高くなる傾向にあるため、それに伴い、塩基飽和度、石灰飽和度も高くなるが、いずれも、県基準値よりもかなり低かった。

CECは、作土層の1.5t連用区と0.5t連用区が堆肥無し区よりも有意に高かった。2層目は有意差がなかった。連用前と比較すると堆肥連用区はいずれもCECが高くなる傾向にあった。

表6 牛ふん堆肥連用前の土壌化学性

層位	試験区	pH		EC (mS m ⁻¹)	可給態リン酸 (mg kg ⁻¹ 乾土)	交換性塩基 (mg kg ⁻¹ 乾土)			塩基飽和度 (%)	石灰飽和度 (%)	CEC (mol _c kg ⁻¹)
		(H ₂ O)	(KCl)			CaO	MgO	K ₂ O			
作土層	1.5t 連用	4.4	3.7	10	268	207	26.7	437	7.5	3.1	24
	0.5t 連用	4.3	3.7	9	254	215	6.8	275	5.7	3.2	24
	堆肥無し	4.4	3.7	9	210	229	5.7	291	6.0	3.3	25
	長崎県基準値 ^z	5.5-6.0	-	30以下	100-500	2800 ^y	300 ^y	150-400 ^y	50-80	40-70	20以上
2層目	1.5t 連用	4.3	3.6	12	254	286	31	343	8.0	4.3	24
	0.5t 連用	4.2	3.7	10	250	199	— ^x	225	5.0	3.0	24
	堆肥無し	4.4	3.7	9	377	251	— ^x	245	5.8	3.7	24

^zバレイショ畑土壌（火山灰土）

^yバレイショ畑土壌基準は個別の基準値が無いため、露地野菜畑土壌（火山灰土）の基準を参考値とした。

^x-は検出限界以下であることを示す。

表7 牛ふん堆肥10年連用後の土壌化学性

層位	試験区	pH		EC (mS m ⁻¹)	可給態リン酸 (mg kg ⁻¹ 乾土)	交換性塩基(mg kg ⁻¹ 乾土)			塩基 飽和度 (%)	石灰 飽和度 (%)	CEC (mol _c kg ⁻¹)
		(H ₂ O)	(KCl)			CaO	MgO	K ₂ O			
作 土 層	1.5t 連用	4.4 a ^z	3.7 a	14 a	919 a	595 a	93.5 a	463 a	12.7	7.5	28 a
	0.5t 連用	4.2 ab	3.7 a	14 a	601 b	385 b	38.2 b	263 b	7.7	5.0	28 a
	堆肥無し	4.1 b	3.7 a	12 a	556 b	219 c	20.1 b	220 b	5.4	3.2	25 b
	長崎県基準値 ^y	5.5-6.0	-	30以下	100-500	2800 ^x	300 ^x	150-400 ^x	50-80	40-70	20以上
2 層 目	1.5t 連用	4.4 a	3.8 a	15 a	397 a	442 a	64.3 a	414 a	10.8	6.1	26 a
	0.5t 連用	4.2 a	3.8 a	13 a	394 a	303 ab	30.9 b	273 b	7.1	4.2	25 a
	堆肥無し	4.2 a	3.8 a	11 a	213 a	197 b	17.4 b	217 b	5.5	3.1	23 a

^z同一層位の縦の異なる文字間にはTukeyの多重検定により5%レベルで有意差あり^yバレイショ畑土壌（火山灰土）^xバレイショ畑土壌基準は個別の基準値が無いため、露地野菜畑土壌（火山灰土）の基準を参考値とした。

3) 土壌物理性

牛ふん堆肥を10年間連用した土壌の物理性を表8に示した。すべての層、すべての分析項目で有意差はなかったが、作土層では一定の傾向が見られた。

作土深は1.5t連用区が、0.5t連用区と堆肥無し区より深い傾向にあった。

仮比重は、作土層では1.5t連用区、0.5t連用区、堆肥無し区の順で小さい傾向にあった。

固相率も仮比重と同様に、作土層では1.5t連用区、0.5t連用区、堆肥無し区の順に小さい傾向であった。

易効性有効水は、作土層では1.5t連用区および0.5t連用区が堆肥無し区よりも高い傾向があった。

飽和透水係数は作土層のすべての区で、10⁻⁵のオーダーで、2層目は10⁻⁶のオーダーで傾向は見られず、排水はおおむね良好であった。

表8 牛ふん堆肥10年連用後の土壌物理性

層位	試験区	作土深 (cm)	仮比重 (kg L ⁻¹)	三相分布(L L ⁻¹)			孔隙率 (L L ⁻¹)	易効性有効水 (L L ⁻¹) (pF1.5-2.7)	飽和透水係数 (m sec ⁻¹)
				固相率	液相率 ^y	気相率 ^y			
作 土 層	1.5t 連用	14.3 a ^z	0.87 a	0.32 a	0.28	0.40	0.68 a	0.16 a	3.6E-05 a
	0.5t 連用	12.8 a	0.93 a	0.34 a	0.29	0.37	0.66 a	0.18 a	6.1E-05 a
	堆肥無し	13.0 a	1.00 a	0.36 a	0.29	0.35	0.64 a	0.13 a	2.6E-05 a
2 層 目	1.5t 連用	-	1.00 a	0.38 a	0.43	0.19	0.62 a	0.13 a	7.7E-06 a
	0.5t 連用	-	1.01 a	0.38 a	0.45	0.17	0.62 a	0.11 a	3.4E-06 a
	堆肥無し	-	1.00 a	0.37 a	0.47	0.15	0.63 a	0.11 a	3.1E-06 a

^z同一層位の縦の異なる文字間にはTukeyの多重検定により5%レベルで有意差あり^y液相率・気相率は降雨に左右されるため、検定は未実施

4. 考察

1) バレイショ収量性および品質

(1)バレイショ収量

各作期において選定されたモデル式には、いずれも施用量がパラメーターとして選択されており、堆肥の施用はバレイショ上いもの収量および個数に影響

し、施用量に応じて増加させることが判明した。これは堆肥に含まれる窒素成分が肥料として利用されたためと考えられた。牛ふん堆肥には平均で約1.9%の窒素成分が含まれており（原田，2007），これらの放出が増収につながったと考えられる。

品種は春作でパラメーターに選択され、「アイマサリ」は、上いも重と上いも個数で「デジマ」より優れる値を示したものの、秋作では選択されなかった。これは秋作の「アイマサリ」の作付けは1作だけで、データが少ないためモデルに反映されなかったと考えられる。「アイマサリ」の春作の係数の推定値は174.1であり、収量をモデル式で計算すると「アイマサリ」の堆肥無し区が333.6kg/a、「デジマ」の堆肥無し区が159.5kg/aとなり2倍以上の値だった。これは「デジマ」が不作の年もあり平均して低収量なのに対し、「アイマサリ」が2回の作付けで高収量だったことがモデル式に反映されていると考えられた。上いも個数も同様に、安定した結果がモデル式に反映されたと考えられる。いずれも「アイマサリ」は「デジマ」よりも増収するモデル式だが、品種間差を明確に示すには作付け回数が少ないと思われるため、試験の継続によるデータの蓄積が望まれる。

(2) デンプン価

デンプン価は、春作で施用量と品種がパラメーターとして選択されたが、95%信頼区間に0を含み、やや当てはまりが悪いモデルであった。デンプン価に影響する要因として、上記パラメーターのほかに栽培期間中の気象条件（坂本ら，2020）や生育期間（吉田・中世古，1971；吉田・中世古，1972）などが考えられ、これらを組み込むことでより当てはまりの良いモデルを選択することができると考えられる。

デンプン価は、春作では堆肥の施用量と品種の交互作用項で有意な関係がみられた。これは春作で「アイマサリ」に堆肥を施用するほどデンプン価は低下することを示す。デンプン価と施用量との関係は、いも1個あたりの肥料成分が多いと地上部からの同化産物のうち塊茎の肥大に使われるエネルギーが多くなり、デンプンとして蓄積される割合が低くなる（吉田，1989）あるいは多肥により地上部の成長が旺盛になると、根部への光合成産物の転流が相対的に低下する（中津・田村，2009）など、多肥によるデンプン価の低下の報告は多い。また、早期肥大性を有する品種は、早期にデンプン価の上昇が停止するため、収穫期のデンプン価は晩生品種の方が高くなる（吉田ら，1971）ことから、早生品種である「アイマサリ」でデンプン価が低くなる交互作用が説明される。同様に秋作における堆肥施用量に応

じたデンプン価の低下も、肥料成分とデンプン価の関係があると考えられる。

(3) そうか病

そうか病は試験期間中に発生が少なく、堆肥の施用量との関係は明確ではなかった。先行事例から、そうか病発病度と土壌pHの間には関係があり、土壌pH（KCl）が3.8～4.0以上のとき発生が増加することが知られている（農研機構，2018）。そうか病が発生した区の土壌pH（KCl）は3.77以上で、この結果とおおむね合致しているといえる。

(4) 連用効果

堆肥の連用効果は、堆肥由来の窒素放出率の顕著な増加があげられる（原田，2007）。これは施用当年に無機化しなかった窒素が2年目以降に無機化し、これらの積み上げにより窒素の放出量が徐々に増加するものである。今回の結果では、年次を経過するごとに増収する傾向は認められなかった。この理由は判然とせず、さらに長いモニタリングが必要だと考えられる。

2) 土壌化学性

牛ふん堆肥の10年連用によって、作土層では、可給態リン酸の増加、交換性塩基類の増加、CECの向上などがみられ、重久ら（2013）と同じ結果であった。

いっぽうで2層目は交換性塩基類以外の項目では有意差は見られなかった。このことは、牛ふん堆肥施用時のロータリー耕では、堆肥が2層目に混和されないためと考えられた。交換性塩基類のみに差が生じたのは、水の移動に伴い下層への浸透により、水溶性塩基類が2層目に移動したと考えられた。

3) 土壌物理性

牛ふん堆肥の10年連用によって作土層では仮比重と固層率が小さくなり、土壌の膨軟化が促進され、孔隙率が上昇した。そのため、有効性水分が増加し、保水性が向上し、堆肥の連用効果が確認できた。これは既報（相本ら，2022；黒柳ら，1997；中津・田村，2008）と同じ結果であった。

2層目で堆肥の連用効果がほぼ見られなかったのは、牛ふん堆肥施用時のロータリー耕では、堆肥が2層目に混和されないためと考えられた。2層目への連用効果を期待するには、堆肥施用時に深耕が必要である。

5. 総合考察

バレイショ連作ほ場において、牛ふん堆肥を10年連用した効果は、特に作土層の土壤理化学性の改善に効果があることが確認された。バレイショは過湿条件に弱く、適度な水分と空気を含む土壌を好む（いも類振興会，2012）ため、孔隙率の増加による土壌の水分条件の改善も増収の一因であると考えられる。

さらに、栽培期間中に低温が続き県下全域が減収した2015年でも堆肥を施用した区は収量を維持できた。これは堆肥の施用により土壌物理性を向上させ、気象条件などの外的要因に対して作物栽培が安定した（脇門ら，2000）ものと考えられる。

2層目以深への土壤理化学性の改善を期待する場合

は、深耕等による直接的な施用やさらに長期的連用が必要である。

牛ふん堆肥の10年連用による土壤理化学性の改善効果はあるが、気象変動の影響のほうが大きいため、バレイショ収量におよぼす牛ふん堆肥の連用の影響は判然としない。

牛ふん堆肥の施用はバレイショそうか病の発生を助長する（鈴木ら，2000）が、本試験の連用期間中はpHが低かったため、そうか病の発生は低かったと考える。バレイショ栽培ほ場における土壤理化学性改善のための牛ふん堆肥の連用は、土壌pHを確認し、注意深く実施する必要がある。

6. 分析および栽培担当者

1) 分析担当者

2013年：大津善雄，清水マスヨ

2014年：大津善雄

2015-2017年：井上勝広

2018-2022年：平山裕介

2) 栽培担当者

2013-2014年春作：尾崎哲郎

2014年秋作-2016年：茶谷正孝

2017年：富永重敏

2018年：永尾亜珠沙

2019-2022年：川本 旭

7. 摘要

長崎県のバレイショ連作ほ場において、牛ふん堆肥を10年連用し、バレイショの収量、土壌化学性、土壌物理性について調査した結果、以下のことが明らかとなった。

1)バレイショの収量は年によってバラツキがあるものの、堆肥を施用した場合が、上いも数、上いも重が高くなるが、でんぷん価はやや低くなる。その効果は1作あたり堆肥0.5t/10a施用す

るよりも、1.5t/10a施用するほうが高い。

2)土壌化学性への効果は2層目より作土層が高く、可給態リン酸の増加、交換性塩基類の増加、C ECの向上が確認された。

3)土壌物理性への効果は作土層でみられ、仮比重の減少と孔隙率が上昇し、易効性有効水が増加する傾向が見られた。

8. 引用文献

相本涼子・餅田利之・森 清文・脇門英美・西裕之・井上健一・白尾 吏. 2022. 家畜ふん堆肥の30年連用が普通作物収量と土壤理化学性に及ぼす影響. 鹿児島県農業開発総合センター研究報告. 16: 13-25

土壌物理性測定法委員会. 1972. 土壌物理性測定法

原田靖生. 2007. 肥料・土壌改良資材としての家畜ふん堆肥. 畜産の研究. 61(2): 239-244

いも類振興会. 2012. ジャガイモ事典. p182

- 石母田 誠・竹下和貴. 2022. GLMMで対応する生態毒性データのばらつき. 環境毒性学会誌. 25: 72-85
- 久保拓弥. 2012. データ解析のための統計モデリング入門. 岩波書店. p151
- 黒柳直彦・兼子 明・渡邊敏朗・藤田 彰・小田原孝治. 1996. 畑地における有機物の長期連用効果 第1報 作物収量と土壌化学性. 福岡県農業総合試験場研究報告. 15: 64-68
- 黒柳直彦・藤田 彰・小田原孝治・兼子 明・渡邊敏朗. 1997. 畑地における有機物の長期連用効果 第2報 作物収量と土壌物理性. 福岡県農業総合試験場研究報告. 16: 63-66
- 中津智史・田村 元. 2008. 30年間の有機物（牛ふんバーク堆肥および収穫残さ）連用が北海道の淡色黒ボク土の全炭素，全窒素および物理性に及ぼす影響. 日本土壌肥料学会誌. 79 (2): 139-145
- 中津智史・田村 元. 2009. 淡色黒ボク土における年間の有機物（牛ふんバーク堆肥および収穫残さ）連用が畑作物の収量および品質に及ぼす影響. 北海道立農試集報. 94: 81-88
- 日本土壌協会. 2001. 土壌機能モニタリング調査のための土壌，水質および植物体分析法
- 農研機構中央農業研究センター. 2018. バレイショ畑の土壌酸性管理のためのpH(KCl)簡易測定法. p7
- 坂本 悠・松尾祐輝・向島信洋・田宮誠司・草原典夫・森 一幸・渡邊 亘・龍 美沙紀. 20
20. 暖地バレイショ主要品種の春作マルチ栽培における生育・収量特性と気象要因との関係. 日本作物学会九州支部会報. 86: 19-22
- 重久綾子・上山紀代美・石森裕康・井上裕理・安藤有一. 2013. 腐植質黒ボク土における有機物の連用が作物収量および土壌化学性に及ぼす影響. 神奈川県農業技術センター研究報告. 155: 25-34
- 鈴木慶次郎・東田修司・志賀弘行. 2000. ジャガイモそうか病の発病に及ぼす有機物施用および耕土処理の影響. 北海道立農業試験場集法. 79: 37-43
- 脇門英美・松元 順・和合由員・小玉泰生・永田茂穂・森 清文・鳩野哲也・山下純一・森田重則・市来征勝. 2000. 家畜ふん堆肥の連用が普通作物の収量に及ぼす効果. 鹿児島県農業試験場研究報告. 28: 1-12
- 吉田 稔・中世古公男. 1971. バレイショの生理生態学的研究 第7報 塊茎数・塊茎重および塊茎比重の推移について. 北海道大学農学部邦文紀要. 8(1): 49-58
- 吉田 稔・中世古公男. 1972. バレイショの生理生態学的研究 第8報 塊茎内のでん粉の分布について. 北海道大学農学部附属農場報告. 18: 7-20
- 吉田 稔. 1989. バレイショの生理生態学的研究 第21報 規格別計画生産法. 北海道大学農学部農場研究報告. 26: 1-15

Summary

We investigated potato yield, soil chemistry, and soil physical properties in a potato field in Nagasaki where cow manure compost had been applied for 10 years. The following became clear:

- 1) Potato yields vary from year to year, but the number and weight of marketable tubers increases, but the starch content decreases slightly. The effect is greater at 1.5t/10a than at 0.5t/10a.
- 2) The effect on soil chemical properties was greater in the plow layer than in the second layer. The effects were suppression of increase in available phosphate, increase in exchangeable bases, and increase in CEC.
- 3) The effect on soil physical properties was observed in the plow layer. The effects are a decrease in bulk density, an increase in porosity, and an increase in readily available water.