

水田転換畑における冬レタス収量に及ぼす要因解析 —香川県豊南地域の事例—

中西 充^{a)}・佐野有季子^{b)}・藤澤 遥^{c)}・西村 文宏^{a)}

キーワード：冬レタス，土壤理化学性，土壤生物性，メッシュ農業気象データ，収量

Factors Influencing Yield of Winter Lettuce in Upland Fields Converted from Rice Paddies—A case study in the Hounan region of Kagawa, Japan

Mitsuru NAKANISHI^{a)}, Yukiko SANO^{b)}, Haruka FUJISAWA^{c)}, Fumihiro NISHIMURA^{a)}

Key words: Soil Physicochemical Properties, Soil Biology, The Agro-Meteorological Grid Square Data,

Abstract

1. Lettuce is a major vegetable product of Kagawa Prefecture. We obtained soil diagnosis and precipitation data for individual lettuce fields and conducted field surveys and other research to analyze their relationship with yield and subsequently identified soil-related cultivation management issues, reviewed soil diagnosis criteria, and proposed remedies.
2. Analysis of soil physical property survey results together with Agro-Meteorological Grid Square Data during the early stage of lettuce growth revealed that yields are lower in fields with high soil moisture content or receiving heavy rainfall, indicating that increasing soil moisture content during the early growth stage is inadvisable. Regarding soil physical properties, yields were higher in fields with porosity of 60% or more and in clay loam to light clay soil. We think that sedimentation volume of 1.4 L/kg or more can be used to indicate porosity of 60% or more and clay loam to light clay soil. As a method for increasing porosity, application of organic matter to achieve a soil carbon content of less than 2% seemed to be effective.
3. Yield was low in fields with high pH. Approximately half of the fields had a pH of over 7, which is higher than that considered optimal for lettuce (6.0 to 6.5). Continued long-term application of organic matter and calcareous fertilizer has likely caused exchangeable calcium and other bases to build up in the soil, raising pH. Yield was high in fields with high nitrogen fertilizer application; but to curb production material costs, amounts of nitrogen and calcareous fertilizer applied should be based on the results of soil diagnosis.
4. Biodiversity index determined by next-generation sequencing is related to soil chemistry and thus appears to be related to yield. However, this aspect requires further detailed analysis and consideration.

a) 病虫・環境研究課 b) 東讃農業改良普及センター c) 中讃農業改良普及センター

受理日：2023年11月10日

摘 要

香川県の主要野菜であるレタスを対象に、圃場一筆ごとに土壌診断、降水量データの取得、圃場調査等を行い、収量との関連性を解析した上で、栽培管理上の土壌に関係する課題抽出、土壌診断基準の見直しや対策の提案を行った。

レタス生育初期の土壌物理性調査結果およびメッシュ農業気象データを活用したデータ解析から、土壌水分が高い圃場や降水量の多い圃場の収量が低く、生育初期は土壌水分が高まらない方が良いと考えられた。その他、土壌物理性項目では、孔隙率60%以上、埴壤土～軽埴土の圃場で、収量が高かった。孔隙率60%以上や埴壤土～軽埴土の判断には、水中沈定容積1.4L/kg以上で代替可能と思われた。孔隙率を高めるための方法としては、炭素含量2%未満を基準に、有機物施用が有効であると思われた。

土壌化学性では、pHが高い圃場で収量が低かった。レタスに適正とされるpH6.0～6.5よりも高いpH7を上回る圃場が半数程度あった。有機物施用や石灰質肥料の長期の連用により、交換性カルシウム等の塩基類が土壌に残存し、pHが高まったと思われた。また、窒素施肥量が多い圃場の収量が高かったが、生産資材費を抑制するために、土壌診断結果に基づき、窒素や石灰質肥料の施用量を決定することが、重要だと考えられた。

次世代シーケンスによる生物多様性指数と土壌化学性に関連性があり、その結果、収量と関連していると思われた。ただ、さらなる詳細な解析や検討が、必要であると考えられた。

緒 言

みどりの食料システム戦略が、2021年5月12日に策定された（農林水産省²⁹⁾）。本戦略では、持続的な食料システムの構築が重要な課題として位置づけられ、その具体的な取り組みとして、化学肥料等の使用抑制を通じた環境負荷の軽減を図ることが示された。具体的には、2050年までに、輸入原料や化石燃料を原料とした化学肥料の使用量を30%低減することが目標となった。その達成のために、土壌や生育診断などデータに基づく施肥マネジメント技術の開発や地力維持作物を組み入れた輪作体系の構築、土づくりの高度化に向けた生物性評価の確立が求められている。

土壌診断には、①土壌養分の含量を分析する化学性診

断、②土壌の硬さや水はけなどの物理的な性質を分析する物理性診断、③診断方法は未確立ではあるが、土壌中の微生物相の健全性を診断する生物性診断がある（日本土壌協会³⁶⁾）。しかし、現状の土壌診断は化学性診断が中心となる場合が多く、診断結果を施肥設計に活用しているが、長らく基準値の検討をしておらず、現在の栽培管理や土壌の実態に適応した内容になっていないことがある。また、最近では、トラクターの大型化等により、営農排水対策の選択肢が増加していること、土地の集約化が進行していることから、土壌物理性診断の必要性が高まっている（高橋ら⁴²⁾）。一方、生物性診断は未確立ではあるが、デジタル化の進展により、次世代シーケンスによる解析技術等を活用した分子生物学的なアプローチが行われている（二瓶・市橋²⁴⁾）。

香川県におけるレタスの生産状況は、令和3年産で、作付面積707ha、収穫量14,800t、産出額27億円（農林水産省^{30), 31)}）と、野菜では、イチゴ、ブロッコリーに次ぐ規模となっており、香川県の主要野菜の一つである。そこで、レタスを対象に、圃場一筆ごとに土壌理化学性及び生物性、レタスビッグベイン病の発病状況、降水量、耕種概要、収量を調査した。収量との関連性を解析した上で、栽培管理上の土壌に関係する課題抽出、土壌診断基準の見直しや対策の提案を行ったので、報告する。

材料および方法

香川県観音寺市大野原町及び豊浜町（豊南地域）の水稲-冬レタス作付け体系の水田転換畑を対象に、2019年産21圃場、2020年産39圃場、2021年産24圃場を調査した。対象圃場の土壌群は低地土を中心に、一部、赤黄色土が含まれる（表-1）。これら圃場で、土壌理化学性および生物性、レタスビッグベイン病発病状況、降水量、耕種概要、収量を調査した。

土壌理化学性および生物性分析には、施肥・畝立て前に、表層を除いた深さ約10cmまでの土壌を、対角線採土法（土壌環境分析法²⁾）に準じて、1圃場当たり5カ

表-1 対象圃場の土壌分類

土壌分類	圃場数		
	2019年産	2020年産	2021年産
低地水田土	14	21	13
灰色低地土	1	7	6
褐色低地土	5	8	4
赤黄色土	1	3	1
合計	21	39	24

所以上から採取し、風乾後、2mmの篩に通したものを供試した。調整した土壌の一部は、土壌生物性分析用に直ちに-20℃で冷凍保存し、残りは室温で保存した。

土壌化学性項目は、pH、EC、全窒素、全炭素、可給態リン酸、交換性塩基（カリウム、カルシウム、マグネシウム）、陽イオン交換容量（以下、CEC）、可給態窒素、ジチオナイト-クエン酸塩還元溶解鉄（以下、遊離酸化鉄）とし、pH、EC、全窒素、全炭素、可給態リン酸、交換性塩基、遊離酸化鉄は土壌環境分析法²⁾、CECは中野ら¹⁹⁾の方法、可給態窒素は上菌ら⁴⁵⁾の方法に準じて分析した。

土壌物理性項目は、水中沈定容積、三相分布、仮比重、粒径組成、土壌硬度とした。水中沈定容積、粒径組成は、土壌環境分析法²⁾に準じて分析した。粒径組成の結果から、粘土、シルト、砂の各割合を算出し、国際法により土性を判定した（土壌環境分析法編集委員会²⁾）。水中沈定容積は、土壌の粘土含量、形状、鉱物組成、土壌の置かれている環境の影響などが総合的に評価可能な土壌物理的特性値の一つであり（鬼鞍³²⁾）、小麦の初期生育や収量との関連性が高く（中西・河田¹⁶⁾）、また、ブロッコリー根こぶ病やレタスビッグベイン病の発病との関連性が高い（中西・森^{17), 18)}）。三相分布および仮比重は、各圃場のレタス生育初期に、1圃場当たり畝内から3カ所100mL採土管で採取後、土壌環境分析法²⁾に準じて分析し、平均値を算出した。土壌硬度は、次のとおり調査を行った。前述の100mL採土管で採取した同日に、1圃場当たり3カ所、デジタル貫入式土壌硬度計（DIK-5532）を用いて、地表から深さ最大60cmまで、1cmごとの圧力を取得した。取得したデータから、1500kPa到達時点の土壌深、最大到達深、最大土壌硬度を求め、それぞれ平均値を算出した。1500kPa到達時点の土壌深は、耕盤層を判定する基準とされている（中津ら²¹⁾）。

土壌生物性項目は、次世代シーケンサーによる微生物群集構造とし、株式会社ファスマックに委託分析した。キットにより各土壌から抽出したDNAを用い、細菌群集はV4領域、糸状菌群集はV9領域をターゲットとした次世代シーケンサーによるアンプリコン解析により調べた。QIIMEによるアンプリコン解析で得られたOperational Taxonomic Unit（OTU）を用いて、多様性指数Shannon Indexを算出した。

本地域は、レタスビッグベイン病発病圃場が多いため、収穫前に、本病害の発病調査をした。調査は、Iwamoto et al.⁷⁾に準じて行った。

降水量は、農研機構が提供するメッシュ農業気象デー

タ（大野ら³⁴⁾、佐々木ら³⁷⁾）を用いて、一筆圃場ごとに取得した。レタスは活着後から結球前までの生育初期（定植10～20日後）に冠水に遭遇すると結球重が減少する（中野ら²⁰⁾）。一方で、生育初期に土壌水分が低下すると結球重が減少する（野村・近藤²⁸⁾）。そこで、生育初期の降水量の多少が、収量に与える影響を評価するために、定植日から14日間の積算降水量および連続無降水日（日降水量1mm未満連続日数）を算出した。無降水日を日降水量1mm未満としたのは、降水の連続性を評価する指標（草薙¹¹⁾）や病害発生予測に活用されている事例（大野ら³⁵⁾）による。

耕種概要として、品種、定植日、肥料の種類と量、レタスビッグベイン病防除対策の実施状況、および収量を、アンケート調査により、農家から聴き取った。栽植密度は、2019年産および2020年産の2カ年のみ、株間、畝幅および条数を実測して算出した。

得られた数値データは、収量との関連性を評価するために、スピアマンの順位相関係数を算出した。品種等のカテゴリーデータは、2群間の場合はMann-WhitneyのU検定の結果により、3群以上の場合はKruskal-Wallis検定により、評価した。以上の評価には、エクセル統計2012（株式会社 社会情報サービス製）を用いた。

結果および考察

対象圃場の収量の中央値は、2019年産2.5t/10a、2020年産2.4t/10a、2021年産2.0t/10aであった（表-2）。農林水産省公表の冬レタス収量は、2019年産2,210kg/10a、2020年産2,270kg/10a、2021年産2,070kg/10aと同程度の数値であり、今回の調査は、生産状況を概ね把握できていると考えられた。

1. 土壌物理性と収量の関係

土壌物理性の項目で、収量と正の関連性があったのは、2019年産は気相率の1項目、2020年産は水中沈定容積、粘土含量の2項目、2021年産は土壌硬度（最大到達深）の1項目であった。負の関連性があったのは、2019年産および2020年産は固相率の1項目、2021年産は体積含水率の1項目であった（表-3）。また、水中沈定容積、気相率、固相率、体積含水率、粘土含量は、相互の関連性が高かった（表-4）。

レタスは、一般的に乾燥に対して耐性を示し、適度な乾燥条件下では球重の低下がみられない（中山²³⁾）、一方で、活着後から結球前までの生育初期に、冠水に遭遇すると結球重が減少する（中野ら²⁰⁾）。今回、生育初期

表ー2 土壌生物性、レタスビッグベイン病の発病、降水量、耕種概要の数値データと収量間のスピアマンの順位相関係数
①2019年産

調査項目	単位	最大値	第三四分位	中央値	第一四分位	最小値	n数	相関係数
shannon index (細菌)	－	11.1	11.0	10.8	10.8	10.3	21	-0.296
shannon index (糸状菌)	－	10.2	9.5	9.3	8.9	7.6	21	0.417 *
レタスビッグベイン発病株率	%	83.3	40.0	6.7	1.1	0.0	13	-0.726 ***
レタスビッグベイン発病度	－	41.7	10.8	3.6	0.6	0.0	13	-0.697 ***
定植後14日間積算降水量	mm	77.8	54.9	20.9	14.8	11.4	21	-0.241
定植後14日間連続無降水日	日	11	6	4	3	2	21	0.232
栽植密度	本/10a	8403	7787	7307	7049	6303	18	0.344
窒素施肥量	kg/10a	32.1	24.2	22.0	17.4	11.0	15	0.273
収量	t/10a	4.0	3.0	2.5	2.0	1.0	21	－

②2020年産

調査項目	単位	最大値	第三四分位	中央値	第一四分位	最小値	n数	相関係数
shannon index (細菌)	－	11.1	11.0	10.8	10.7	10.5	39	-0.140
shannon index (糸状菌)	－	10.0	9.4	9.2	8.5	6.4	39	0.107
レタスビッグベイン発病株率	%	86.7	23.0	4.4	0.0	0.0	30	-0.291
レタスビッグベイン発病度	－	39.2	11.7	2.0	0.0	0.0	30	-0.290
定植後14日間積算降水量	mm	133.3	95.4	50.6	14.7	0.4	39	-0.218
定植後14日間連続無降水日	日	14	8	6	5	3	39	0.313 *
栽植密度	本/10a	9108	8162	7430	7039	6327	36	0.591 ***
窒素施肥量	kg/10a	32.9	25.1	20.2	16.9	8.7	39	0.270 *
収量	t/10a	4.2	2.9	2.4	2.1	1.4	39	－

③2021年産

調査項目	単位	最大値	第三四分位	中央値	第一四分位	最小値	n数	相関係数
shannon index (細菌)	－	11.2	10.9	10.7	10.5	10.0	24	-0.409 **
shannon index (糸状菌)	－	9.8	9.1	8.7	7.8	6.2	24	0.168
レタスビッグベイン発病株率	%	66.7	34.5	16.7	1.9	0.0	24	0.129
レタスビッグベイン発病度	－	29.2	18.6	4.2	0.5	0.0	24	0.095
定植後14日間積算降水量	mm	71.5	60.2	57.5	54.7	24.2	24	-0.090
定植後14日間連続無降水日	日	7	6	5	5	3	24	0.372 *
栽植密度	本/10a	－	－	－	－	－	0	－
窒素施肥量	kg/10a	37.8	24.4	20.9	18.3	11.9	24	0.591 ***
収量	t/10a	4.5	2.6	2.0	1.5	0.7	24	－

一部の項目で、未調査圃場があるため、解析評価に供試したデータ数を、n数として記載した。

相関係数は、スピアマンの順位相関係数 (ρ)。

***：1%水準で有意。**：5%水準で有意。*：10%水準で有意。

の気相率が高い圃場の収量が高く、同時期の体積含水率が高い圃場の収量が低いことから、生育初期の土壌条件としては、土壌水分は低い方が良いと考えられた。

一方で、保水性が低く、乾燥しやすい土壌で収量が低下しやすいこと（河森⁹⁾）、適度な水分含量が、根量や生育量の確保に不可欠であることから（佐々木ら³⁶⁾）、生育期間全体を通じて土壌水分が低いことが、必ずしも良い影響を与えないと考えられる。水中沈定容積や粘土含量と負の関連性のある固相率は、その値が小さくなると、逆に気相率と体積含水率を加えた孔隙率が大きくな

る。つまり、水中沈定容積や粘土含量が大きいと孔隙率も大きい。地下水位の高さや圃場管理の状況にもよるが、孔隙率の大きい圃場は、降雨に対する緩衝能力が高いため、湿害を受けにくく、また、保水性が高いと思われる。したがって、水中沈定容積や粘土含量が高く、固相率が低い圃場、すなわち、孔隙率が大きい圃場は、適度な土壌水分の維持により、収量が高かったと考えられた。

孔隙率を大きくするためには、有機物施用が有効である。有機物施用により、固相率が低下し、気相率や有効

表－3 土壌物理性の数値データと収量間のスピアマンの順位相関係数

①2019年産

調査項目	単位	最大値	第三四分位	中央値	第一四分位	最小値	n数	相関係数
水中沈定容積	L/kg	1.55	1.41	1.37	1.32	1.20	21	0.242
気相率	%	52.5	43.7	41.6	36.8	19.0	21	0.395 *
固相率	%	44.1	35.3	33.0	30.5	27.0	21	-0.397 *
体積含水率	%	36.9	28.8	25.3	22.8	18.6	21	-0.172
仮比重	g/cm ³	1.13	0.91	0.86	0.82	0.7	21	-0.364
1.5Mpa時深さ	cm	28.0	21.0	18.0	15.7	8.3	21	-0.354
最大到達深	cm	52.0	34.7	31.0	24.0	14.0	21	-0.048
最大硬度	kPa	4313	3815	3679	3366	3148	21	-0.281
砂含量	%	67.7	59.8	54.2	50.4	46.1	21	-0.001
シルト含量	%	33.4	27.7	27.0	21.9	16.3	21	-0.021
粘土含量	%	24.2	20.9	19.6	18.3	14.7	21	-0.074

②2020年産

調査項目	単位	最大値	第三四分位	中央値	第一四分位	最小値	n数	相関係数
水中沈定容積	L/kg	1.74	1.47	1.37	1.35	1.22	39	0.377 **
気相率	%	38.0	33.0	30.2	26.5	17.8	39	0.147
固相率	%	48.7	41.2	38.4	37.0	29.8	39	-0.316 **
体積含水率	%	41.4	33.0	31.2	28.8	23.3	39	0.121
仮比重	g/cm ³	1.26	1.08	1.01	0.97	0.9	39	-0.254
1.5Mpa時深さ	cm	27.3	21.3	19.7	17.9	13.3	39	0.053
最大到達深	cm	60.0	39.4	31.0	25.2	19.7	39	-0.097
最大硬度	kPa	4934	4626	4428	4051	3077	39	0.043
砂含量	%	69.5	60.8	53.9	46.5	42.8	39	-0.195
シルト含量	%	38.5	31.6	27.5	22.8	14.4	39	0.049
粘土含量	%	25.1	21.2	18.5	17.2	13.7	39	0.377 **

③2021年産

調査項目	単位	最大値	第三四分位	中央値	第一四分位	最小値	n数	相関係数
水中沈定容積	L/kg	1.63	1.41	1.37	1.28	1.22	24	-0.089
気相率	%	33.9	27.4	19.2	16.7	9.4	24	0.318
固相率	%	48.7	44.1	40.4	39.8	33.2	24	-0.224
体積含水率	%	49.2	40.6	37.8	33.4	28.4	24	-0.365 *
仮比重	g/cm ³	1.23	1.11	1.01	0.99	0.8	24	-0.131
1.5Mpa時深さ	cm	26.7	21.6	19.5	17.8	14.7	24	0.034
最大深	cm	59.3	51.3	41.0	36.2	18.7	24	0.369 *
最大到達深	kPa	4758	4442	4316	4042	3544	24	-0.226
砂含量	%	67.4	61.6	53.8	51.3	44.0	24	-0.120
シルト含量	%	36.2	30.6	27.2	22.6	19.8	24	0.116
粘土含量	%	20.7	18.7	17.3	15.7	12.8	24	0.212

④3カ年

調査項目	単位	最大値	第三四分位	中央値	第一四分位	最小値	n数	相関係数
水中沈定容積	L/kg	1.74	1.44	1.37	1.32	1.20	84	0.165
気相率	%	52.5	35.0	30.2	23.8	9.4	84	0.232 **
固相率	%	48.7	41.4	38.3	34.9	27.0	84	-0.286 ***
体積含水率	%	49.2	35.8	31.4	28.3	18.6	84	-0.155
仮比重	g/cm ³	1.26	1.07	1.00	0.91	0.7	84	-0.219 **
1.5Mpa時深さ	cm	28.0	21.3	19.2	17.0	8.3	84	-0.145
最大到達深	cm	60.0	42.5	32.4	25.9	14.0	84	-0.022
最大硬度	kPa	4934	4518	4135	3785	3077	84	-0.097
砂含量	%	69.5	61.1	53.9	48.4	42.8	84	-0.100
シルト含量	%	38.5	30.5	27.1	22.6	14.4	84	0.015
粘土含量	%	25.1	20.5	18.5	17.1	12.8	84	0.263 **

一部の項目で、未調査圃場があるため、解析評価に供試したデータ数を、n数として記載した。

相関係数は、スピアマンの順位相関係数 (ρ)。

***：1%水準で有意。**：5%水準で有意。*：10%水準で有意。

表－４ 全炭素および土壌物理性項目間のスピアマン順位相関係数

①2019年産

	全炭素含量	水中沈定容積	気相率	固相率	体積含水率	仮比重
水中沈定容積	0.648 **					
気相率	0.195	0.325				
固相率	-0.349	-0.531 *	-0.927 **			
体積含水率	-0.070	-0.101	-0.809 **	0.606 **		
仮比重	-0.544 *	-0.740 **	-0.785 **	0.886 **	0.567 **	
粘土含量	0.652 **	0.571 **	-0.093	-0.079	0.213	-0.204

②2020年産

	全炭素含量	水中沈定容積	気相率	固相率	体積含水率	仮比重
水中沈定容積	0.789 **					
気相率	0.336 *	0.555 **				
固相率	-0.749 **	-0.820 **	-0.712 **			
体積含水率	0.353 *	0.093	-0.599 **	-0.062		
仮比重	-0.742 **	-0.830 **	-0.669 **	0.904 **	-0.016	
粘土含量	0.459 **	0.706 **	0.430 **	-0.565 **	-0.056	-0.569 **

③2021年産

	全炭素含量	水中沈定容積	気相率	固相率	体積含水率	仮比重
水中沈定容積	0.427 *					
気相率	-0.206	0.213				
固相率	-0.064	-0.575 **	-0.751 **			
体積含水率	0.374	0.077	-0.923 **	0.559 **		
仮比重	-0.214	-0.687 **	-0.606 **	0.959 **	0.372	
粘土含量	0.141	0.652 **	0.482 *	-0.668 **	-0.304	-0.627 **

**：１％水準で有意。*：５％水準で有意。

水分が向上する（香西・平木¹⁰⁾、中津・田村²²⁾）。豊南地域は、粘土及びシルト含量が高い粘質土の圃場が、香川県内の他地域より多いと言われている（真鍋ら¹²⁾）。香川県内別地域の調査結果では、粘土含量15%未満の砂壤土及び壤土の割合が48%、粘土含量15%以上かつシルト含量20～45%の埴壤土の割合が43%であったのに対して（中西充，未公表データ）、砂壤土及び壤土の割合が7%、埴壤土の割合が81%であり、豊南地域は、埴壤土の割合が高かった。粘土含量の高い圃場は、有機物が蓄積しやすく（青峰¹⁾）、今回の調査結果でも、粘土含量が高い圃場で炭素含量が高かった（表－４）。したがって、豊南地域は県内の他地域より、有機物の施用効果が表れやすく、レタス栽培に適する圃場が多いと思われる。

土壌硬度は、今回、これら土壌物理性項目との関連性は見られなかったが、一般的に、土壌水分が高いと土壌硬度は小さく、土壌水分が低いと土壌硬度は大きい（江口⁴⁾）。ただ、土壌硬度が大きい地点は、滞水しやすいので（江波戸³⁾、Munehiro¹³⁾）、貫入式土壌硬度計がより深くまで到達した圃場は、土壌硬度の大きい地点が少なく、滞水しにくいため、収量の低下が抑制されたと思われる。

２．土壌化学性と収量の関係

土壌化学性の項目で、収量と正の関連性があったのは、2019年産は交換性カリウム、可給態窒素の２項目、2020年産は全窒素、全炭素、CECの３項目、2021年産は項目なしであった。負の関連性があったのは、2019年産および2021年産は項目なし、2020年産はpH、EC、塩基飽和度、カルシウム飽和度の４項目であった（表－５）。

レタスの適正pHは、pH6.0～6.5とされており（日本土壌協会²⁷⁾）、高pHにより収量が低くなったと考えられた。今回、全84圃場中、pH6.0未満が３圃場（3.5%）、pH6.0～6.5が17圃場（20.2%）、pH6.5～7.0が25圃場（29.8%）、pH7を上回ったのが39圃場（46.4%）であった。適正pHであった圃場は、全体の２割に留まっており、約半数の圃場でpH7を上回っていた。家畜ふん堆肥を、毎年、多く投入すると、交換性カルシウム等の土壌への蓄積量が多くなる傾向がある（徳田⁴⁴⁾）。今回、堆肥施用圃場は、全84圃場中36圃場（42.9%）と半数以下であったが、対象圃場の全炭素含量と交換性カルシウム等に正の関連性があること（表－６）、慣行の施肥体系には牛糞堆肥の記載があることから、堆肥の連年施用

表－５ 土壌化学性の数値データと収量間のスピアマンの順位相関係数

①2019年産

調査項目	単位	最大値	第三四分位	中央値	第一四分位	最小値	n数	相関係数
pH		7.4	7.2	6.7	6.3	5.9	21	-0.333
EC	mS/cm	0.19	0.11	0.10	0.09	0.08	21	0.175
全窒素	%	0.34	0.29	0.26	0.21	0.14	21	0.199
全炭素	%	3.24	2.80	2.58	1.99	1.24	21	0.165
可給態リン酸	P ₂ O ₅ mg/100g	584	394	301	223	142	21	-0.311
交換性カルシウム	CaO mg/100g	517	439	337	272	202	21	-0.205
交換性マグネシウム	MgO mg/100g	67	46	39	32	20	21	0.165
交換性カリウム	K ₂ O mg/100g	91	48	42	27	17	21	0.491 **
CEC	cmol _c /kg	17.9	15.3	14.0	11.8	9.3	21	-0.013
塩基飽和度	%	153	132	105	91	81	21	-0.237
カルシウム飽和度	%	132	112	81	75	58	21	-0.313
可給態窒素	mg/100g	23.5	19.8	16.5	14.2	10.8	21	0.467 **
遊離酸化鉄	mg/kg	10755	7400	5874	5254	3926	21	-0.100

②2020年産

調査項目	単位	最大値	第三四分位	中央値	第一四分位	最小値	n数	相関係数
pH		7.8	7.5	7.2	6.8	6.1	39	-0.461 ***
EC	mS/cm	0.40	0.14	0.11	0.08	0.05	39	-0.326 **
全窒素	%	0.39	0.28	0.23	0.20	0.17	39	0.342 **
全炭素	%	4.03	2.62	2.09	1.80	1.53	39	0.340 **
可給態リン酸	P ₂ O ₅ mg/100g	843	439	346	244	113	39	-0.051
交換性カルシウム	CaO mg/100g	641	457	360	306	199	39	-0.288
交換性マグネシウム	MgO mg/100g	76	41	30	26	17	39	-0.021
交換性カリウム	K ₂ O mg/100g	154	61	48	36	24	39	0.020
CEC	cmol _c /kg	20.9	14.8	12.7	11.6	8.6	39	0.383 **
塩基飽和度	%	215	154	128	97	66	39	-0.422 ***
カルシウム飽和度	%	190	128	107	77	53	39	-0.435 ***
可給態窒素	mg/100g	35.8	17.1	14.9	12.5	10.5	39	0.063
遊離酸化鉄	mg/kg	10100	6634	5848	5052	3810	39	-0.116

③2021年産

調査項目	単位	最大値	第三四分位	中央値	第一四分位	最小値	n数	相関係数
pH		7.3	7.1	6.8	6.6	5.5	24	-0.141
EC	mS/cm	0.69	0.23	0.14	0.11	0.07	24	-0.306
全窒素	%	0.39	0.29	0.24	0.19	0.13	24	-0.140
全炭素	%	3.68	2.47	2.17	1.81	1.14	24	-0.251
可給態リン酸	P ₂ O ₅ mg/100g	698	516	300	223	139	24	-0.063
交換性カルシウム	CaO mg/100g	543	458	336	304	222	24	-0.269
交換性マグネシウム	MgO mg/100g	102	46	38	33	18	24	-0.173
交換性カリウム	K ₂ O mg/100g	253	44	40	31	19	24	-0.134
CEC	cmol _c /kg	19.7	16.7	15.5	14.4	12.8	24	-0.064
塩基飽和度	%	155	129	103	85	69	24	-0.224
カルシウム飽和度	%	130	102	78	64	55	24	-0.233
可給態窒素	mg/100g	43.2	24.0	18.8	15.1	12.1	24	-0.235
遊離酸化鉄	mg/kg	8585	7110	5969	5257	4330	24	-0.080

④3カ年

調査項目	単位	最大値	第三四分位	中央値	第一四分位	最小値	n数	相関係数
pH		7.8	7.3	7.0	6.6	5.5	84	-0.234 **
EC	mS/cm	0.69	0.14	0.11	0.09	0.05	84	-0.349 ***
全窒素	%	0.39	0.29	0.24	0.20	0.13	84	0.128
全炭素	%	4.03	2.68	2.21	1.82	1.14	84	0.109
可給態リン酸	P ₂ O ₅ mg/100g	843	435	334	228	113	84	-0.123
交換性カルシウム	CaO mg/100g	641	455	348	304	199	84	-0.257 **
交換性マグネシウム	MgO mg/100g	102	45	37	28	17	84	-0.084
交換性カリウム	K ₂ O mg/100g	253	54	42	32	17	84	0.057
CEC	cmol _c /kg	20.9	15.8	13.9	12.5	8.6	84	0.029
塩基飽和度	%	215	142	112	90	66	84	-0.230 **
カルシウム飽和度	%	190	121	94	72	53	84	-0.245 **
可給態窒素	mg/100g	43.2	20.5	16.2	13.9	10.5	84	-0.088
遊離酸化鉄	mg/kg	10755	6806	5861	5101	3810	84	-0.104

一部の項目で、未調査圃場があるため、解析評価に供試したデータ数を、n数として記載した。

相関係数は、スピアマンの順位相関係数 (ρ)。

***：1%水準で有意。**：5%水準で有意。*：10%水準で有意。

表ー6 土壌化学性項目間のスピアマン順位相関係数

①2019年産

	pH	EC	全窒素	全炭素	可給態リン酸	交換性カルシウム	交換性マグネシウム	交換性カリウム	CEC	塩基飽和度	カルシウム飽和度
EC	0.479 *										
全窒素含量	0.239	0.354									
全炭素含量	0.176	0.230	0.961 **								
可給態リン酸	0.788 **	0.446 *	0.317	0.297							
交換性カルシウム	0.854 **	0.428	0.584 **	0.539 *	0.768 **						
交換性マグネシウム	0.157	0.323	0.519 *	0.469 *	-0.125	0.174					
交換性カリウム	0.178	0.588 **	0.597 **	0.510 *	-0.057	0.274	0.755 **				
CEC	-0.016	-0.094	0.751 **	0.831 **	0.064	0.390	0.436 *	0.382			
塩基飽和度	0.974 **	0.568 **	0.241	0.139	0.784 **	0.797 **	0.161	0.216	-0.130		
カルシウム飽和度	0.924 **	0.446 *	0.172	0.094	0.855 **	0.839 **	-0.123	-0.041	-0.131	0.920 **	
可給態窒素	0.128	0.424	0.731 **	0.742 **	0.175	0.291	0.460 *	0.635 **	0.431	0.158	0.022

②2020年産

	pH	EC	全窒素	全炭素	可給態リン酸	交換性カルシウム	交換性マグネシウム	交換性カリウム	CEC	塩基飽和度	カルシウム飽和度
EC	0.415 **										
全窒素含量	-0.169	0.155									
全炭素含量	-0.121	0.142	0.964 **								
可給態リン酸	0.405 *	0.059	0.542 **	0.500 **							
交換性カルシウム	0.775 **	0.450 **	0.341 *	0.346 *	0.739 **						
交換性マグネシウム	0.311	0.486 **	0.379 *	0.419 **	0.206	0.340 *					
交換性カリウム	0.080	0.290	0.529 **	0.563 **	0.366 *	0.256	0.791 **				
CEC	-0.412 **	-0.184	0.771 **	0.778 **	0.343 *	0.030	0.299	0.533 **			
塩基飽和度	0.945 **	0.561 **	-0.067	-0.050	0.443 **	0.841 **	0.346 *	0.106	-0.425 **		
カルシウム飽和度	0.937 **	0.496 **	-0.066	-0.056	0.478 **	0.854 **	0.201	-0.014	-0.433 **	0.980 **	
可給態窒素	-0.120	0.305	0.861 **	0.829 **	0.412 **	0.255	0.567 **	0.729 **	0.639 **	-0.030	-0.072

③2021年産

	pH	EC	全窒素	全炭素	可給態リン酸	交換性カルシウム	交換性マグネシウム	交換性カリウム	CEC	塩基飽和度	カルシウム飽和度
EC	-0.255										
全窒素含量	-0.063	0.750 **									
全炭素含量	-0.086	0.713 **	0.944 **								
可給態リン酸	0.318	0.522 **	0.756 **	0.603 **							
交換性カルシウム	0.529 **	0.283	0.588 **	0.527 **	0.756 **						
交換性マグネシウム	0.118	0.550 **	0.420 *	0.416 *	0.254	0.057					
交換性カリウム	-0.190	0.788 **	0.677 **	0.669 **	0.536 **	0.324	0.504 *				
CEC	-0.734 **	0.491 *	0.398	0.431 *	-0.028	-0.089	0.000	0.394			
塩基飽和度	0.711 **	0.259	0.517 **	0.446 *	0.732 **	0.815 **	0.378	0.270	-0.416 *		
カルシウム飽和度	0.735 **	0.057	0.315	0.248	0.632 **	0.865 **	0.113	0.062	-0.487 *	0.886 **	
可給態窒素	0.027	0.781 **	0.729 **	0.699 **	0.557 **	0.492 *	0.669 **	0.811 **	0.331	0.508 *	0.298

**：1%水準で有意。*：5%水準で有意。

により、交換性カルシウム等の蓄積量が多くなったと思われる。また、石灰質肥料の施用圃場は、全84圃場中74圃場（88.1%）であった。一方、レタスのカルシウム吸収量は、10a当たり3kg程度であり（村上¹⁴⁾）、ブロッコリーの2～3割である（中西充，未公表データ）。以上より、供給量がレタス吸収量を上回り、残存したカルシウム等により、塩基飽和度やカルシウム飽和度が高まり、最終的に高いpHになったと考えられた。

カルシウムは土壌や植物体中で移動しにくい多量要素

であり（日本土壌協会²⁷⁾）、カルシウムの吸収がスムーズに行えない場合、縁腐れや心腐れ等の生理障害の発生により、品質が低下する（村上¹⁴⁾）。また、今回の調査対象圃場の場合、交換性カルシウムに占める水溶性カルシウムの割合は1～7%であり（中西充，未公表データ）、交換性カルシウム含量が高くても、レタスが吸収利用しやすいカルシウム含量は多くないと考えられ、石灰質肥料の施用を休止すると、品質低下のリスクがある。したがって、土壌診断の結果により、pHや交換性

カルシウム含量が高い場合、石灰質肥料の施用を休止するのではなく、減肥にとどめることが望ましいと思われる。

レタスの耐塩性は、やや弱く、EC0.4～0.8 mS/cmが基準となっている（日本土壌協会²⁶⁾）。今回の対象圃場では、最大でも0.69mS/cmであった。また、ECが高いとpHや交換性カルシウム等の塩基類も高かった（表－6）。したがって、塩類障害の懸念はあるものの、高ECによる減収と言うよりも、高pHによる減収だと思われる。

レタスの養分吸収の一般的特性として、カリの吸収量が非常に多く、ついで窒素が多い。また、結球開始期以降に窒素およびカリの供給量が少なくなると、収量が大きく減少する（村上¹⁴⁾）。対象圃場の施肥は、基肥一回施肥であり、生育後半の養分供給に懸念が残る。今回、可給態窒素含量や交換性カリウム含量の高い圃場で、収量が高かったのは、生育後半まで切れ目なく養分を供給できたことによると考えられた。

全窒素および全炭素の含量が高いと可給態窒素、可給態リン酸、交換性カルシウム等の塩基類も高く、CECも高い（表－6）。また、物理性項目とも関連性が高く、収量と関連性の高かった2020年産においては、気相率及び体積含水率、さらに気相率と体積含水率を加えた孔隙率との関連性も高かった（表－4）。したがって、全窒素および全炭素含量が高い圃場は、窒素等の養分供給面だけでなく、土壌物理性も好適条件であったため、収量が高かったと考えられた。

3. 土壌微生物相多様性指数と収量の関係

2019年産の糸状菌相のshannon indexが、収量と正の

関連性があった。また、2021年産の細菌相のshannon indexが、収量と負の関連性があった（表－2）。

糸状菌相のshannon indexと土壌理化学性項目の内、3カ年通じて、ECが低いと糸状菌相のshannon indexが高い傾向があった（表－7）。前述のとおり、ECが高い圃場ではpHも高く、その結果、収量が低くなっている。したがって、糸状菌相のshannon indexが高い圃場は、ECやpHが低い圃場であり、その結果、収量が高くなったと思われる。

細菌相のshannon indexとpHは、2019年産と2021年産の2カ年で関連性が高く、pHが高い圃場ほど、細菌相のshannon indexは高い（表－7）。pHと関連性の高い可給態リン酸や交換性カルシウム、塩基飽和度、カルシウム飽和度も同様に、細菌相のshannon indexと正の関連性があった。したがって、今回、高pHにより収量が低かったことから、細菌相のshannon indexが高いことで、収量が低くなったのではなく、細菌相のshannon indexが高い圃場のpHが高いので、収量が低くなったと思われる。

鹿児島県の有機栽培圃場の土壌微生物性の解析を行った結果では、可給態リン酸が高い圃場で、糸状菌相のshannon indexが低く、pHや塩基飽和度の高い圃場で、細菌相のshannon indexが低かった（白尾ら⁴¹⁾）。また、土壌微生物相多様性指数と根こぶ病菌密度の関連性は、土壌の種類ごとに異なっていた（佐藤ら³⁹⁾）。このことから、栽培体系や土壌が異なると、微生物多様性と土壌化学性や生物性の関連性が異なると思われる。また、今回の解析では、shannon indexとの関連性を確認したが、次世代シーケンスによる微生物相解析結果には、この他にも多くのデータが含まれている。今後は、これら

表－7 微生物相のshannon indexと土壌化学性のスピアマン順位相関係数

①2019年産

	pH	EC	全窒素	全炭素	可給態 リン酸	交換性 カルシウム	交換性 マグネシウム	交換性 カリウム	CEC	塩基 飽和度	カルシウム 飽和度	可給態 窒素
shannon index (細菌)	0.668 **	0.130	-0.034	-0.040	0.487 *	0.605 **	-0.266	-0.213	-0.136	0.612 **	0.724 **	-0.042
shannon index (糸状菌)	-0.152	-0.124	0.032	0.039	0.104	-0.018	-0.149	0.032	0.100	-0.113	-0.038	0.005

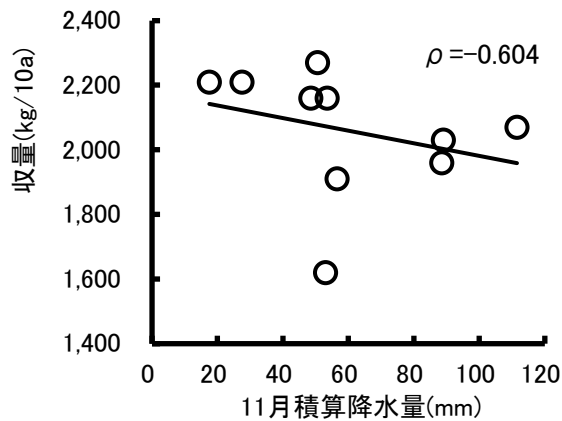
②2020年産

	pH	EC	全窒素	全炭素	可給態 リン酸	交換性 カルシウム	交換性 マグネシウム	交換性 カリウム	CEC	塩基 飽和度	カルシウム 飽和度	可給態 窒素
shannon index (細菌)	0.095	0.151	0.374 *	0.336 *	0.398 *	0.390 *	-0.122	0.083	0.249	0.152	0.244	0.302
shannon index (糸状菌)	0.072	-0.201	0.096	0.144	0.118	0.190	-0.187	-0.141	0.122	0.057	0.094	-0.041

③2021年産

	pH	EC	全窒素	全炭素	可給態 リン酸	交換性 カルシウム	交換性 マグネシウム	交換性 カリウム	CEC	塩基 飽和度	カルシウム 飽和度	可給態 窒素
shannon index (細菌)	0.441 *	-0.151	-0.040	0.080	-0.117	0.364	0.110	-0.157	-0.260	0.329	0.511 *	0.072
shannon index (糸状菌)	0.257	-0.369	-0.191	-0.217	0.039	-0.027	-0.070	-0.027	-0.530 **	0.092	0.137	-0.200

**：1%水準で有意。*：5%水準で有意。



図－１ 11月の降水量と当該年産の収量との関係
2013年～2022年の10カ年の気象庁（観測地点：財田）の気象データを使用した。
冬レタス収量は、「野菜生産出荷統計」のデータを使用した。
相関係数は、スピアマンの順位相関係数（ ρ ）。

データの解析が必要だと考えられる。

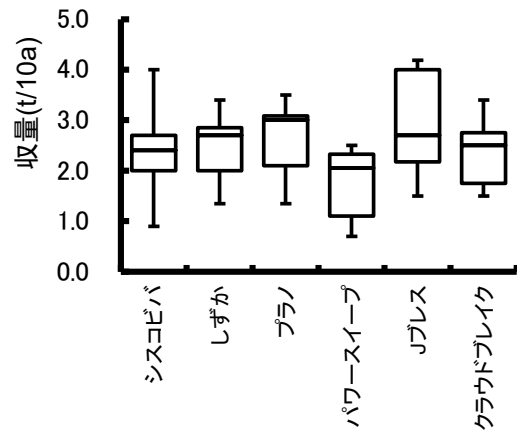
４．レタスビッグベイン病の発病と収量の関係

2019年産は、発病により収量が低下していた（表－２）。2020年産および2021年産は、発病による収量の低下は見られなかった（表－２）。薬剤防除の実施率は、全84圃場中62圃場の73.8%であった。薬剤防除を実施した圃場の発病株率は、3カ年平均で16.0%、未実施の圃場の発病株率は、3カ年平均で30.7%、Mann-WhitneyのU検定結果、 p 値0.009であり、薬剤防除により発病を抑制できていた。本病の防除対策は、耐病性品種の導入（清水ら³⁸⁾）、薬剤防除（岩本ら⁶⁾）があり、激発圃場では、耐病性品種の導入と薬剤防除との併用により、防除効果を高めている（Iwamoto et al.⁷⁾）。発病による収量低下が見られない年もあること、耐病性品種の作付けが多いことから、薬剤防除を行う動機付けが小さいものの、品質低下の懸念は残るので、圃場ごとの発病しやすさに応じた防除対策を選択する必要があると考えられた。

５．降水量と収量との関係

農研機構が提供するメッシュ農業気象データを用いて、一筆圃場ごとに取得した降水量から、定植日から14日間の積算降水量および連続無降水日を算出した。定植14日間の連続無降水日が高い圃場の収量が、2020年産と2021年産で高かった（表－２）。また、有意な差はないものの、積算降水量が多い圃場の収量が低い傾向にあった（表－２）。

レタスは活着後から結球前までの生育初期（定植10～



図－２ 品種ごとの収量
箱の上端・中線、下端はそれぞれ75%点、中央点、25%点を示す。
ひげの上端・下端はそれぞれ得られたデータの最大値・最小値を示す。

20日後）に冠水に遭遇すると結球重が減少する（中野ら²⁰⁾）。一方で、生育初期に土壤水分が低下すると結球重が減少する（野村・近藤²⁸⁾）と言われているが、今回の結果からは、生育初期は、どちらかと言えば、降水量が少なく乾燥気味に推移する方が、好適条件だと思われた。また、土壤物理性の調査項目のうち、初期生育時の気相率が高い圃場や体積含水率が低い圃場で、収量が高かったことから、生育初期の降水量が少ない方が良いという結果は、確からしいと考えられた。ただ、生育初期に降水量が少ない場合には、生産者は慣行的に灌水を行っており、乾燥による負の影響を受けないようにしていると思われる。

2013～2022年産の香川県産冬レタスの10a当たりの収量と、冬レタスの初期生育時期である11月の降水量の関係を見ると、順位相関係数 $\rho = -0.604$ (p 値0.06) であり、降水量が多いほど、収量は低下傾向にあった（図－１）。したがって、生育初期の降水量が少ない圃場の収量が高かったという結果は、確からしいと考えられた。

レタス初期生育期までの降雨による影響を緩和する方法の一つとして、アップカットロータリによる畝立てが有効である（白井・山浦⁴⁰⁾）。本方式は、土壤の碎土率が高いため、降雨後の土壤水分の上昇が緩和される。この他、稲わらのすきこみ効率がが高く、その結果、機械による定植効率が高いこと、さらに、地温が高く推移することから、球重が高まる（白井・山浦⁴⁰⁾）。前述のとおり、孔隙率が小さい圃場では、初期生育時の降雨により土壤水分が高まりやすく、収量減につながる可能性が高いことから、本方式は有効と思われる。

6. 耕種概要と収量との関係

品種は、「シスコビバ」(27圃場, 34.4%), 「しずか」(9圃場, 10.4%), 「プラノ」(8圃場, 9.4%), 「パワースイープ」(7圃場, 9.4%), 「Jプレス」(7圃場, 8.3%), 「クラウドブレイク」(6圃場, 7.3%) の6品種で約8割を占めた。各品種の収量間で, Kruskal-Wallis検定したところ, 有意な差は認めなかった(図-2)。

2020年産の栽植密度と収量に正の関連性があった(表-2)。豊南地域では, 畝幅170~180cm, 株間30~35cm, 4条, 栽植密度6,400~7,400本/10aが慣行栽培である。香川県内の他地域では, 畝幅160cm, 株間32~35cm, 3条, 栽植密度5,300~5,800本/10aが慣行栽培であり, 豊南地域では, 栽植密度を高くすることで, 収量を高めていると思われる。ただ, 密植にすると腰高球や変形球が増えるので(時枝⁴¹⁾), 注意を要すると思われる。

2020年産および2021年産の窒素施肥量と収量に正の関連性があった(表-2)。レタスの養分吸収の一般的特性として, 窒素の吸収量は, カリについて多い。生育前半の窒素吸収量は多くないものの, 窒素含有率は高いので, 初期の窒素供給は重要であり, また, 結球開始期以降に窒素等の供給量が少なくなると, 収量が大きく減少する(村上¹⁴⁾)。前作が水稻の場合, 水稻収穫後の稲わらは, 土壌にすき込まれる。稲わらは, C/N比60~90と高く, 土壌中で窒素の有機化が起こることが予想される(広瀬⁵⁾)。そのため, レタスによる施肥窒素の利用率低下が懸念され, 窒素施肥量が少ないと減収の可能性が高

まると思われる。このような, レタスの養分吸収特性や作付け体系に対応するため, 豊南地域では, 有機質肥料を含んだ化成肥料を畝立前に全面全層施肥, さらに, 畝立後に表層施肥することで, 生育前半から後半まで, 切れ目なく供給することを期待した施肥体系になっていると考えられた。一方で, 窒素施肥量が過剰になると, 異常球が多くなるので(村上¹⁴⁾), 施肥量を増やすことには注意を要する。また, 現在は, 肥料価格が高騰しており, 生産資材費を抑制するためには, 土壌に残存する無機態窒素量を把握して施肥量を決定すること, また, 表層施肥等の局所施肥により(大森・横田³³⁾), レタスによる利用率を高めつつ減肥を行うことが重要だと考えられる。

7. 土壌理化学性診断項目の基準値設定の試み

現在, 香川県におけるレタスの土づくり基準値が設定されている(表-8)。ただ, 設定から30年以上経過しており, 今回の調査結果を踏まえて, 基準値設定の見直しを, 以下のとおり試みた。

全3カ年のデータで収量と有意な関連性が認められた土壌理化学性調査項目のうち(表-3, 5), いずれかの年産データでも有意な関連性が認められ, かつ, 関連性の正負が, 3年間を通じて同一である項目は, pH, 交換性カルシウム, 塩基飽和度, カルシウム飽和度, 気相率, 固相率の6項目であった。塩基飽和度とカルシウム飽和度は, pHや交換性カルシウムとの関連性が高く, また, 気相率と固相率は, 診断項目の孔隙率との関連性が高い。以上より, pH, 交換性カルシウム, 孔隙率の

表-8 香川県におけるレタスの土づくり基準値

診断項目	作土の厚さ	有効根群域の深さ	ち密度	作土の土性	孔隙率	CEC	pH	EC	腐植	交換性カルシウム	交換性マグネシウム	交換性カリウム	可給態リン酸
単位	cm	cm	mm	-	%	cmol/kg	-	mS/cm	%	CaO mg/100g	MgO mg/100g	K ₂ O mg/100g	P ₂ O ₅ mg/100g
基準	25以上	40以上	17以下	砂壤土 ~ 壤土	50以上	15以上	6.0~7.0	0.4~0.5	4以上	200~220	30~40	20~30	20~40

表-9 新たな基準による収量の比較

診断項目	単位	基準	基準値未満の圃場の平均収量	基準値以上の圃場の平均収量	有意水準
作土の土性	-	埴壤土 ~ 軽埴土	2.0	2.5	0.046
孔隙率	%	60	2.2	2.5	0.032
pH	-	7.0	2.5	2.2	0.116
交換性カルシウム	CaO mg/100g	350	2.6	2.2	0.011

有意水準は, Mann-Whitney のU 検定の結果。

3項目、さらに、土壌物理性の項でも述べたように、粘土含量との関連性が高いので、作土の土性も加えた計4項目を検討する診断項目とし、先の3項目は、中央値より数値の大きい圃場と小さい圃場の収量の差を、作土の土性は、砂壤土から砂質埴壤土の圃場と埴壤土から軽埴土の圃場の収量の差を確認した。その結果、両者に有意な差が認められたのは、交換性カルシウム、孔隙率、作土の土性だった（表－9）。以上より、交換性カルシウムは350mg/100g未満、孔隙率は60%以上を、作土の土性は埴壤土から軽埴土を新たな基準とすることが良いと考えられた。

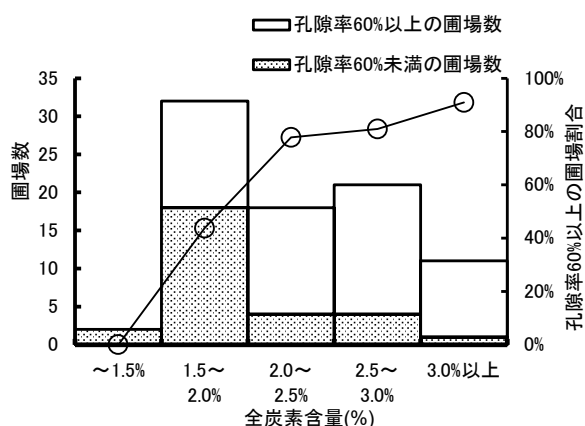
孔隙率を高めることは、レタス生育初期の降雨による影響を緩和するため、また、その後の保水性を高めるために重要であると思われる。孔隙率を高める一つの方法は、有機物施用である。有機物施用により、固相率が低下し、気相率や有効水分が向上する（香西・平木¹⁰⁾、中

津・田村²²⁾）。また、今回の調査でも、炭素含量が高くなると孔隙率が高くなっていた（表－5）。ただ、前述した通り、有機物の施用が過剰になると、交換性塩基の蓄積が進み、結果としてpHが高まる可能性があり、有機物施用の判断基準が必要だと考えられる。そこで、炭素含量と孔隙率の関係を見ると、炭素含量2%以上の圃場の約8割が孔隙率60%以上であったので（図－3）、有機物施用の判断基準は、炭素含量2%未満が良いと思われる。

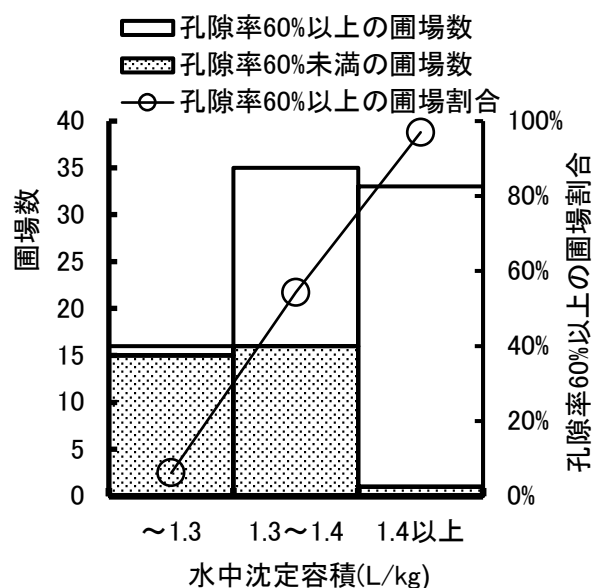
なお、孔隙率は、現地栽培圃場で土壌を採取した後、実験室に持ち帰り、できるだけ早く分析をする必要があり、時間の制約を受ける。一方、今回調査した土壌物理性項目の一つである水中沈定容積は、土壌化学性の分析に供試する風乾細土を用いた分析であり、時間の制約を受けにくい。今回の調査では、孔隙率と正の関連性があり（表－4）、水中沈定容積が1.4L/kgを超えると、孔隙率60%を超える圃場が34圃場中33圃場であった（図－4）。また、水中沈定容積は、粘土含量など土性との関連性も高く（表－4）、同じく1.4L/kgを超えると、埴壤土以上の圃場が、34圃場中33圃場であった（図－5）。以上より、水中沈定容積1.4L/kg以上を、孔隙率や土性を判断する代替の基準として活用可能と思われる。

謝 辞

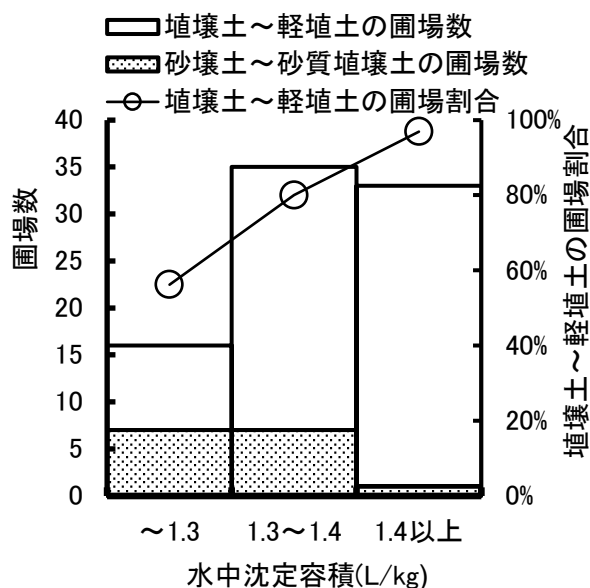
豊南地域の生産者には、調査の御協力をいただいた。香川県農業協同組合藤村厚介営農指導員、西讃農業改良普及センター大矢啓三普及指導員ならびに藤村耕一普及



図－3 全炭素含量と孔隙率の関係



図－4 水中沈定容積と孔隙率の関係



図－5 水中沈定容積と土性の関係

指導員には、対象圃場の選定や聴き取り調査等を行っていただいた。土壌物理性や気象データの整理には、農研機構高橋智紀博士に多数の御尽力をいただいた。病虫・環境研究課の森充隆課長には、終始、励ましの言葉をいただいた。ここに記して深く感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 青峰重範 (1963) : 土壌粘土鉱物学の最近の問題. 土肥誌. 34 (4). 131-138.
- 2) 土壌環境分析法編集委員会 (1997) : 土壌環境分析法. 博友社. 427pp.
- 3) 江波戸宗大 (2021) : デジタル貫入式土壌硬度計を用いた土壌物理性簡易診断方法. 作物生産と土づくり. 53 (563). 71-76.
- 4) 江口定夫 (2021) : 耕地における土壌の物理性評価のための貫入抵抗及び他の物理的性質の活用方法. 土壌の物理性. 148. 17-30.
- 5) 広瀬春朗 (1973) : 各種植物遺体の有機態窒素の畑状態土壌における無機化について. 土肥誌. 44 (5). 157-163.
- 6) 岩本 豊・相野公孝・神頭武嗣・前川和正 (2003) : レタスビッグベイン病に対する有効薬剤と処理条件. 日植病報. 69. 366-372.
- 7) Iwamoto, Y., Aino, M., Kobayashi, S., and Kanto, T. (2005) : Evaluation of thiophanate-methyl effectiveness for the control of lettuce big-vein disease in a commercial field. Tsuchi To Biseibutsu. 59. 117-123.
- 8) 加藤徹 (1972) : 生育のステージと生理. 生態 IV 球肥大充実の生理. 農業技術体系野菜編第6巻レタス. 基49-58.
- 9) 河森武 (1972) : 野菜栽培土壌の適正判定と土壌水分管理. 土壌の物理性. 26. 14-32.
- 10) 香西清弘・平木孝典 (1997) : 牛ふん堆肥の連用が土壌の理化学性に及ぼす影響. 香川農試研報. 49. 61-67.
- 11) 草薙浩 (2018) : 降水連続日数と一雨降水量から見た日本の降水特性の長期変化. 天気. 65 (1). 25-34.
- 12) 真鍋武夫・大熊正寛・白井美和 (1977) : 香川県の水田土壌に関する研究 (第1報) 主として沖積土の粒径組成と母材の関係について. 香川農試研報. 29. 27-35.
- 13) Munehiro Ebato (2020) : Evaluation of Soil Hardness in Paddy Fields by Cone Penetrometer as a Simple Soil Physical Diagnosis Method. Agricultural Information Research. 29 (1). 24-39.
- 14) 村上敏文 (1998) : 養分吸収の特徴と作期・作型による違い. 農業技術体系野菜編第6巻レタス. 基219-222.
- 15) 長野間宏・諸遊英行 (1983) : 土壌の微細構造からみた畑地土壌化指標. 転換畑を主体とする高度畑作技術の確立に関する総合的開発研究. 研究成果集報. 農業研究センター. 46-53.
- 16) 中西充・河田和利 (2019) : 日本麺用小麦「さぬきの夢2009」の生育・収量と土壌理化学性との関係. 香農試研報. 70. 9-17.
- 17) 中西充・森充隆 (2016) : 香川県におけるブロッコリー根こぶ病の発病と土壌理化学性との関係. 土肥誌. 87 (6). 458-461.
- 18) 中西充・森充隆 (2018) : 香川県におけるレタスビッグベイン病の発生と土壌理化学性との関係. 土肥誌. 89 (5). 349-352.
- 19) 中野政詩・宮崎毅・塩沢昌・西村拓 (1995) : 土壌物理環境測定法. 東京大学出版会. 148-151.
- 20) 中野伸一・西野勝・河井孝文・村上和秀 (2018) : 冠水の時期と時間, 品種の違いならびに湛水後の液肥かん注処理がレタスの生育, 収量に及ぼす影響. 園芸学研究. 17 (2). 171-177.
- 21) 中津智史・東田修司・沢崎明弘 (2004) : 耕盤層の簡易判定法と広幅型心土破碎による対策. 土肥誌. 75 (2). 265-268.
- 22) 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. 土肥誌. 79 (2). 139-145.
- 23) 中山利明 (1998) : 灌水の効果と判断・方法・注意点. 農業技術体系野菜編第6巻レタス. 基269-273.
- 24) 二瓶直登・市橋泰範 (2020) : 農業生態系のデジタル化に成功し, 土壌有機態窒素の重要性を解明. 作物生産と土づくり. 52 (6). 52-57.
- 25) 日本土壌協会 (2001) : 土壌, 水質及び植物体分析法. 財団法人 日本土壌協会. 121-132.
- 26) 日本土壌協会 (2009) : 土壌診断によるバランスのとれた土づくり Vol.2 - 土壌診断結果の見方 -
- 27) 日本土壌協会 (2020) : 新版 土壌診断と対策. 第1章 土壌化学性と農作物の安定生産・品質向上.
- 28) 野村个・近藤信 (1975) : 生育時期別土壌水分の差異が畑作物の生育, 収量におよぼす影響. 日本作物学会九州支部会報. 26-27.

- 29) 農林水産省 (2021): みどりの食料システム戦略.
<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/midori/attach/pdf/index-10.pdf>
- 30) 農林水産省 (2023): 令和3年産野菜生産出荷統計.
- 31) 農林水産省 (2023): 令和3年産農業所得統計.
- 32) 鬼鞍豊 (1972): 水中沈定容積. 土壌物理性測定法. 養賢堂. 東京. 385-391.
- 33) 大森誉紀・横田仁子 (2013): 畝内施肥と畝上施肥を用いたレタス減肥栽培における安定生産. 愛媛県農林水産研究所研究報告. 5. 22-29.
- 34) 大野宏之・佐々木華織・大原源二・中園江 (2016): 実況値と数値予報, 平年値を組み合わせたメッシュ気温・降水量データの作成. 生物と気象. 16. 71-79.
- 35) 大野宏之・西野実・芦澤武人 (2019): 農研機構メッシュ農業気象データシステムとその病害虫分野での利用について. 植物防疫. 73 (2). 101-105.
- 36) 佐々木英和・中野有加・島田信二・岡田邦彦 (2014): 遮水シート溝式地下灌漑システムを用いた給水制御方式がレタスとホウレンソウの地上部および根部の生育に及ぼす影響. 根の研究. 23 (1). 5-13.
- 37) 佐々木華織・西森基貴・根本 学 (2022): 技術マニュアル「メッシュ農業気象データ利用マニュアルver. 5.」. 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 農業環境研究部門. pp77.
- 38) 清水節夫・石坂尊雄・武田和男・塚田元尚・大谷英夫・関口昭良・松下利定 (1986): レタスビッグベイン病の防除に関する研究. 長野県野菜花き試報. 4. 81-92.
- 39) 佐藤恵利華・長瀬陽香・野口雅子・吉田重信・野津あゆみ・大場淳司・久保周子・中嶋香織・岡本昌広・藤永真史・西村麻実・杉山洋行・藤澤 遥・江口武志 (2020): アブラナ科野菜栽培圃場における根こぶ病菌密度と土壌微生物群集との関連. 土と微生物. Vol.74. No.2. 84.
- 40) 白井英治・山浦浩二 (2011): アップカットロータリによる畝立てとレタス栽培. 香川農試研報. 62. 31-40.
- 41) 白尾吏・餅田利之・相本涼子・遠嶋太志・重光雄・藤川和博 (2023): 鹿児島県内の有機栽培圃場における土壌微生物性の解析. 鹿児島農総セ研報. 17. 1-11.
- 42) 高橋智紀・中川進平・望月秀俊・足立一日出・中野恵子・江波戸宗大・熊谷悦史 (2020): 水田作の大規模化に対応した土壌物理性の診断と対策. 土肥誌. 91 (3). 172-177.
- 43) 時枝茂行 (1998): 作型・作期と栽植密度・栽植様式の判断. 農業技術体系野菜編第6巻レタス. 基243-244.
- 44) 徳田進一 (2009): 家畜排せつ物を原料とする有機質資材の連用が野菜の生産性および土壌の理化学性に及ぼす影響について. 平成21年度耕畜連携堆肥利用推進研修会資料.
- 45) 上藺一郎・加藤直人・森泉美穂子 (2010): 日本の畑土壌に対する80℃ 16時間水抽出法による可給態窒素簡易評価法の適用性. 土肥誌. 81 (1). 39-43.