

I S S N 1 8 8 3 - 8 5 0 2

長野農業試報3号

Bull. Nagano Pref

Agr. Exp. Stn.

No. 3 March 2022

長野県農業試験場報告

第 3 号

令和4年3月

長野県農業試験場

須坂市小河原

長野県農業試験場報告

第3号

令和4年3月

目次

高品質生産を目的とした酒造好適米「山恵錦」の栽培法 奥出聡美・原田明希子・森本勉・酒井長雄	1
長野県におけるダイズの子実加害性害虫の発生実態と防除対策 阿曾和基・栗原潤	14
長野県の農耕地土壌における理化学性の実態 吉川直人・近藤和子・伊藤正・諸人誌	26
水稻の流し込み施肥による穂肥施用方法 上原敬義・中澤徹守・上原泰	47

高品質生産を目的とした酒造好適米「山恵錦」の栽培法

奥出 聡美¹・原田 明希子²・森本 勉³・酒井 長雄⁴

Cultivation Method for Improving Grain-weight of Sake-brewing Rice “Sankei-nishiki”.

Satomi OKUDE, Akiko HARADA, Tsutomu MORIMOTO and Nagao SAKAI

Abstract

We conducted tests to establish of a cultivation method for improving grain-weight of sake-brewing rice “Sankei-nishiki”. As a result, we found the following: It is important to avoid sparse planting and used 22. 2 hills/m² as a guide. For nitrogenous fertilizer management, local customs for other sake-brewing rice like as “Miyama-nishiki” were suitable. The appropriate number of tillers at the young ear formation stage is 500 /m². Nitrogenous dressing should be applied when the panicle length is 10 mm. The appropriate growth index is that number of ear 400 /m² and leaf color 38 at the full heading time. At the same time, allowable range of growth index is that number of ear 350~450 /m² and leaf color 34~41. The optimum harvest time is when the cumulative temperature after heading is 900~1000 °C and the proportion of green grains is 20~10 %.

Key Words “Sankei-nishiki”, sake-brewing rice, grain-weight, cultivation method

緒 言

2020年3月に品種登録となった「山恵錦（さんけいにしき）」は、長野県および東北地域を含む高冷地で広く栽培されている酒造好適米「美山錦」の後継品種としてデビューした新品種である。

「山恵錦」は「美山錦」に比べ、短稈で耐倒伏性に優れ、多収である。また、心白発現率が高く、とう精時の碎米率が低い。製麴時のアミノ酸生成量が少なく、麴製造適性にも優れている（細井ら 2020^a）。加えて「山恵錦」は「美山錦」に比べて耐冷性といもち病抵抗性に優れているため、長野県内で「美山錦」が栽培されている標高（標高 700m 以下、東信の霧下、中信北部、北信では標高 600 m 以下：長野県ほか 2019）より高い地帯（標高 700 ~ 850m）での栽培が可能である（細井ら 2020^a、

細井ら 2020^b）。高標高地域で栽培された「山恵錦」の酒造に関する特性について「山田錦」、「美山錦」と比較したところ、麴製造適性においては「山恵錦」はこれらの比較品種と同等かやや優れる能力を持っていることがわかった。また標高 700m を超える冷涼な地域で栽培された「山恵錦」は、デンプン糊化特性が「山田錦」と類似しており、デンプン構造において「山田錦」と同等の優れた特質を有していると推察されている（細井ら 2020^b）。2018 年には全国新酒鑑評会で「山恵錦」を利用した純米大吟醸が金賞を受賞し、2019 年にはインターナショナル・ワイン・チャレンジの日本酒部門純米吟醸酒の部で「山恵錦」を利用した純米吟醸が金賞を受賞した。2020 年の全国新酒鑑評会には県下の複数の酒蔵が「山恵錦」を使用した純米酒で入賞しており、「山恵錦」の酒造適性の高さが示された。

このように「山恵錦」は新たな長野県オリジナル酒造好適米として県下で期待が高まっており、導入 2 年目の 2018 年度で約 15ha、翌年 2019 年度には 36ha の作付け実績がある（長野県農政部農業

¹ 長野県農業試験場育種部

² 長野県佐久農業農村支援センター

³ 元 長野県農業試験場作物部

⁴ 長野県農業試験場作物部

技術課調べ)。今後急速な普及拡大が見込まれている中、安定的な高品質生産に向け「山恵錦」の品種特性に合わせた栽培指針の提示が早急に望まれている。

このように、栽培特性・加工適性に優れている「山恵錦」ではあるが、県内で生産されている「美山錦」以外の酒造好適米に比べて千粒重がやや小さいため、生産上の課題として千粒重の向上が挙げられる(長野県ほか2019)。品種として望まれる千粒重の向上は、登熟・充実の良さ、心白発現率の高位安定、原料としての歩留まりの良さにも繋がる重要な形質である。

そこで、「山恵錦」の高品質生産のための栽培指針を作成することを目的に、千粒重の向上に着目し、「山恵錦」の栽培特性の把握を行った。これに加えて整粒歩合の向上、タンパク含有率を適性値に維持する観点から、栽培上の生育指標値の抽出、ならびに収穫適期の把握を行った。

材料及び方法

一連の栽培試験は、2017年～2019年に、長野県農業試験場内水田圃場(須坂市八重森。以下、場内)または県内現地圃場(4カ所)で実施した(第1表)。

I 圃場栽培試験

1. 栽植密度試験

栽植密度が千粒重および品質に与える影響を評価するため、場内において、2017年には4水準(13.9, 15.9, 18.5, 22.2(慣行)株/m²)で、2018年には2水準(15.9, 22.2(慣行)株/m²)の栽植密度で栽培試験を行った。また、2018年には2ヶ所の現地圃場(大町市常盤須沼。以下、常盤須沼。信濃町石橋。以下、信濃町)においてそれぞれ2水準(常盤須沼: 14.4, 20.2(慣行)株/m², 信濃町: 15.9, 22.2(慣行)株/m²)の栽植密度で栽培試験を行った(第2表)。

2. 施肥量及び追肥適期検討試験

施肥量が「山恵錦」の収量・外観品質に与える影響を確認するため、2017年、2018年に2水準(場内標準: 基肥 N3.5kg/10a, 追肥 N1.5 kg/10a, 多肥区: 基肥 N5 kg/10a, 追肥 N2 kg/10a)の肥培管理で栽培試験を行った。なお、場内標準は「コシヒカリ」で栽培試験を行う条件として試験場内で採用している施肥量とした。多肥区は県指導指

針(長野県ほか2019)に記載の酒造好適米に対する施肥量の設定に準じて設定した。

また、千粒重の向上のために最適な追肥の時期を判断するため、2017年には場内において幼穂の長さを基準に3水準(幼穂長2mm, 5mm, 10mm)で、2018年には場内並びに現地圃場(大町市常盤清水。以下、常盤清水)において2水準(2mm, 10mm)で追肥試験を行った。現地圃場での窒素施肥量は、酒造好適米に対する地域の慣行施用量に準じた(第3表)。

3. 生育指標と収穫適期検討のための現地試験

千粒重の向上のために最適な生育指標値と収穫適期を検討するために、2017～2019年に、場内及び現地圃場2カ所(常盤清水。中野市柳沢。以下、中野市)で栽培試験を実施した。耕種概要は第4表に示した。

II 生育及び玄米品質の調査方法

栽培期間中の生育については、調査地点毎に生育が中庸な連続10株の幼穂形成期直前における茎数と葉色、成熟期における穂数を計測した。

幼穂形成期直前の茎数の調査日は、2017年場内は幼穂形成期3日前(6月27日)、2018年場内は幼穂形成期6日前(6月28日)、2019年場内は幼穂形成期1日前(6月25日)、2019年常盤清水圃場では幼穂形成期5日前(6月25日)とした。

葉色(SPAD)値測定は葉緑素計(SPAD-502, コニカミノルタ)によった。穂数は1区10株の穂数を面積あたりに換算して求めた。収量は1区40株を手刈り収穫して調べた。玄米重は2.0mm篩目上値とした。2.0mm篩別後の玄米サンプルを供試して、外観品質は穀粒判定機(RGQI20A型, サタケ)により、タンパク質含有率は食味分析計(PS-500, 静岡製機)により調べた。なお、収穫適期判定に供したサンプルについては、2018年場内と2019年中野市のみ1.85mm篩別後の玄米を使用した。タンパク質含有率は乾物換算値を示した。

III 生育指標の解析

前記Iの圃場栽培試験データを用いて、幼穂形成期直前の茎数、穂数、及び穂揃い期の葉色と千粒重との関係性を調べた。解析対象は2017～2019年の場内と2018～2019年の現地圃場(常盤清水)とした。供試データ数は、2017年場内27点、2018年場内16点、現地12点、2019年場内8点、現地16点で、合計79点であった。

IV 収穫適期判断

収穫適期の判断要素として、玄米の外観品質と

帯緑色籾歩合（長野県ほか 2019），登熟積算気温の関係を調べた。2017 年，2018 年は場内で，登熟積算気温が 800℃を超過した時期から約 4～5 日間隔に，圃場内で生育の中庸な 5 株を選び，最長茎上位 2 穂の全 10 穂を採取した。採取個体の玄米品質と帯緑色籾歩合を常法により調べ，採取日までの登熟積算気温を算出した。2019 年は現地圃場（常盤清水及び中野市）で登熟積算気温が約 750～800℃に達した時期から調査した。常盤清水では場内と同様の手法で，中野市では登熟積算気温が 800℃を超過した時期から約 4～5 日間隔に，40 株を採取して調査した。登熟積算気温算出用の気象データは，場内圃場はアメダス観測地点長野，常盤清水圃場はアメダス観測地点穂高，中野市圃場は圃場近傍に設置した温度記録計（T&D）の，それぞれ日平均気温を使用した。

結果及び考察

I 圃場栽培試験

1. 栽植密度

栽植密度を変えた栽培試験では，いずれの年次，試験地においても，栽植密度の高い区でより千粒重が大きく，未熟粒歩合が低く抑えられ，籾摺り歩合，整粒歩合も良好な傾向であった（第 5 表，第 6 表）。これらの結果から，大粒，高品質生産のためには，地域慣行の栽植密度を基準とし，22.2 株/㎡を目安に極端な疎植は避けることが必要であると考えられる。

2. 施肥量

場内試験において，「コシヒカリ」の栽培で用いられる施肥量（場内標準）に比べ約 1.4 倍の窒素量を施用した区（多肥区）では，2017 年，2018 年共に，多肥区で穂数が多く，玄米重が重く，心白発現率が高く，砕粒，胴割粒が少なく，整粒歩合が良好な傾向であった。また，多肥区で玄米のタンパク含有率は高かった（第 7 表）。なお，いずれの施肥区でも倒伏はなく，著しい病害の発生もみられなかった（データ省略）。

「山恵錦」の施肥量は，県内で生産されている「美山錦」「ひとごち」など他の酒造好適米と同様に，地域慣行の「コシヒカリ」に比べやや多めの施用量が適すると考えられる。「山恵錦」は短稈で耐倒伏性に優れる（細井ら 2020^a）とされている。しかし，一般に過剰な窒素施肥は倒伏や病害虫の発生を助長すること，加えて酒造好適米と

して許容されるタンパク含有率を意識した肥培管理が必要なことから，高品質・安定生産を目的に適正に生育を制御するための生育指標が必要であると考えられた。

3. 追肥時期

場内及び現地で追肥時期を検討した結果，いずれの年次，施肥量，試験地においても，幼穂長 2 mmの時期に比べ，幼穂長が 10 mmの時期に追肥をした区で，千粒重が最も大きく，籾摺り歩合，整粒歩合も良好な傾向であった（第 8 表，第 9 表，第 10 表）。

早すぎる追肥は穂数の増加による千粒重の低下を招く。一方，幼穂長 10 mm期の追肥はもみ殻の発達，穂揃期の葉色の維持にも寄与する（長野県ほか 2019）とされている。こうしたことから幼穂長 10 mm期の追肥が粒大の向上を促したと考えられた。したがって，「山恵錦」の追肥の適期は幼穂長が 10 mmの時期であると考えられた。

II 生育指標値の解析

1. 千粒重と玄米品質との関係

「山恵錦」の栽培指針の作成にあたり，まず千粒重向上の視点から，千粒重と品質に関して解析を行った。

2017 年，2018 年の場内試験では千粒重と整粒歩合には正の相関がみられた（図 1）。また，栽植密度と施肥量に関する試験結果に基づき，千粒重の向上に有効と考えられる栽培方法（栽植密度 22.2 株/㎡，幼穂長 10 mmで追肥施用）では，より疎植栽培，もしくはより早い時期に追肥を行った栽培に比べ，千粒重と整粒歩合を高く維持できる傾向が見られた（第 1 図）。

さらに，心白発現率と千粒重にも概ね正の相関がみられた（第 2 図）。必ずしも相関が見られない年次（2017 年場内）もあり，この要因は不明だが，白未熟粒が心白粒と誤判定されることによるデータの攪乱が起きている可能性が考えられた。

2. 幼穂形成期直前の茎数が千粒重に及ぼす影響

幼穂形成期直前に 700 本/㎡以上の過剰な茎数が認められた年次・試験地では，茎数と千粒重に負の相関が認められた（第 3 図左）。幼穂形成期の過剰な茎数は千粒重の低下，無効分げつの多発を招くため，この時期の茎数は 500 本/㎡を目安とし，産地に適した移植期の設定，初期生育の管理を行う必要がある。また，幼穂形成期直前の茎数と穂数の対応を確認すると，両者

には正の相関が見られ、茎数が概ね 500 本/㎡の
時、穂数は 350~450 本/㎡となった（第4図）。

3. 穂数・穂揃期の葉色と千粒重の関係

㎡当たり穂数と千粒重について、2017 年、
2019 年の試験では負の相関が見られた。一方、
2018 年の試験では明確な相関は認められなかつ
た（第5図）。穂揃期の葉色（SPAD 値、以下同
様）と千粒重について、2018 年の場内試験につ
いては正の相関が見られた（第6図）。2018 年
は幼穂形成期から出穂期にかけ高温に経過し、
肥切れによって稲体の葉色が淡く推移し、全般
に減収傾向の年であった。穂揃期の SPAD 値と
千粒重の相関が不明瞭な 2017 年、2019 年の試験
では、全般に穂揃期の SPAD 値が高く、最も淡
い試験区でも 34 以上であった。

このように試験年の気象条件や圃場環境によ
り、粒肥大に異なる影響を与える要因として、
穂数が重要である場合と、穂揃期の葉色に現さ
れる栄養状態が重要である場合が考えられる。

追肥量の判断のために、幼穂形成期の葉色
（SPAD 値）と茎数を掛け合わせ、稲体の栄養状
態を示す生育診断の指標値として用いる手法が
ある（農研機構ほか 2011）。また、稲体の穂揃期
の窒素吸収量が同一である場合、穂数が多いと相
対的に葉色が薄くなるなど、穂数と葉色には反比
例の関係性がある（佐々木ら 2007）。千粒重と相
関が見られた 2 つの要因である穂数と穂揃期の
SPAD 値を、それぞれ千粒重の向上のための生育
指標値として活用するためには、この 2 つの要因
の相互作用による影響を排除した値を用いて、千
粒重との関係を確認する必要があると考えられ
た。そこで、生育診断で用いられる手法を参考に、
穂揃期の SPAD 値と、茎数に代わり㎡当たり穂数
を掛け合わせ（以下、穂揃葉色×穂数値）、この
指標と千粒重の関係を年次ごとにまとめた（図
7）。その結果、過去 3 カ年における回帰直線の傾
きは大きく異なった。年次別の回帰直線の相関係
数は、穂数と千粒重に相関が見られた 2017 年と
2019 年では負の、穂揃期の SPAD 値と相関が見ら
れた 2018 年は正の値を示した。しかし、回帰直線
が交わる地点は、年次や気象が異なっても、過去
3 カ年において安定的に品種特性として望まれる
粒大を維持できる指標値（穂揃葉色×穂数値）を
示していると考えられる。つまり、栽培管理の目
安として交点の値を示すことは、過剰な穂数や穂
揃期の貧栄養による小粒化のリスクを低下させ、

年次変動を抑えた安定生産に繋がると考えられ
た。

回帰直線の交点では、千粒重が約 25.3g であり、
交点近傍に位置するサンプルの穂数は約 400 本/㎡
（350~440 本/㎡）、同じく穂揃期の SPAD 値は約
38（34~42）であった。なお、2018 年大町試験を
除き、各年・各圃場単位で同様の解析を行っても
ほぼ同じポイントに交点が得られた。

4. 幼穂形成期の SPAD 値と千粒重、穂揃期の SPAD 値の関係

前述のように、穂揃期の SPAD 値と千粒重に
は関係性が見出されたが（第6図）、追肥量の
判断を行う時期である幼穂形成期の SPAD 値と
千粒重の対応は、年次や圃場によって異なつ
た。そこで、幼穂形成期の SPAD 値が同様に 41
~45 の範囲であった 2 圃場における 2 か年のデ
ータを使って、幼穂形成期の SPAD 値と追肥施
用後の穂揃期の SPAD 値、ならびに千粒重との
関係を解析した（第8図）。なお年次や地域、
土性は異なるが、両圃場ともに幼穂形成期直前
の茎数は 400~600 本/㎡であり、稲体の葉色・茎
数ともに似通っていた（第3図右）。

指標とする穂揃期の SPAD 値を、図7の穂揃
葉色×穂数値を利用した解析結果を基に 38 と設
定した時、2018 年の場内試験では多肥区（追肥
N2. 0kg/10a）の方が、場内標準区（同 N1.
5kg/10a）よりも穂揃期の SPAD 値は 38 に近づ
き、粒大も高位安定する傾向にあった。

一方、2019 年の試験では追肥量は全区同一
（N2.2kg/10a）としたが、幼穂形成期の SPAD 値
に応じて穂揃期の SPAD 値も高くなり、穂揃
期の SPAD 値が 41 以下のサンプルで千粒重は
高い傾向があった。したがって、この圃場では
穂揃期の SPAD 値を 38 に近づけるためには、慣
行施肥量より減肥を行った方が望ましかったと
思われる。

穂揃期の SPAD 値を高品質生産の指標として設
定しながら、産地ごとに幼穂形成期の SPAD 値を
複数年で確認し、結果を次年度に還元させること
で圃場の特性や産地にあった追肥量の判断精度
を高めていく手法は「秋田酒こまち」の栽培で推
奨されている（柴田ら 2009）。長野県は南北に広
く山脈を擁し、緯度、標高、土壌の種類が多様で
あるため、地域により作期や慣行施肥量が異なつ
ている（長野県ほか 2019）。今後、柴田らの手法
を参考に、長野県の「山恵錦」においても、幼穂

形成期と穂揃期のSPAD値の対応を産地ごとに経年的に検証することで、それぞれの地域にあった「幼穂形成期のSPAD値に基づいた追肥量の判断指標」を作成する必要がある。

5. タンパク質含有率と穂揃期の SPAD 値の関係

穂揃期の SPAD 値と玄米のタンパク質含有率には概ね正の相関があった（第 9 図）。2017 年、2018 年のデータによる推定では、タンパク質含有率の目標値を 8.0%（乾物換算値、以下全て）未満とした場合、SPAD 値 41 以下が許容される穂揃期の葉色の目安と判断された。

2017 年の試験サンプル（n=27）を用いて精米歩合 70%で搗精を行ったところ、玄米のタンパク質含有率と搗精後のタンパク質含有率には相関がみられ、回帰式上の推定値では玄米のタンパク質含有率が 8.0%の時、70%搗精後のタンパク質含有率は約 5.0%となった（データ略）。山形県で育成された酒造好適米「雪女神」で玄米のタンパク質含有率と精米歩合 70%のタンパク質含有率の関係を確認したところ、ほぼ同様の結果となっている（鈴木ら 2020）。また岩手県の報告では、酒造好適米の精米歩合 70%のタンパク質含有率の推定適性基準値範囲は 4.3~5.7%と設定されており（高橋ら 2003）、筆者らの結果はこの範囲に収まる値である。

前述のように「山恵錦」は、穂揃期の葉色が一定より低い栄養状態では、千粒重の低下やこれに伴って減収を招く。登熟不良は収量だけではなく整粒歩合など品質にも悪影響を及ぼす。他県では酒造好適米の栽培指針の提示の際、具体的な玄米のタンパク含有率の数値目標を示す場合も多くあるが、その一方で明確な指標値を設定せず、過度に高いタンパク質含有率にならないことと記載の上で、基準施肥量・生育指標・収量構成要素などを示し栽培指針としているケースもある（山形県酒造適性米生産振興協議会 2008）。

過度に高いタンパク質含有率は避けるべきであり、指標となる値を検討する上で、醸される酒質を念頭に置くことは必要である。これに加え、極端な低タンパクを目指すことなく、稲の栄養状態として適切な範囲を意識し良好な登熟を促すことができるバランスの良い肥培管理が、高品質生産には重要である。「山恵錦」についてはこれまで明確なタンパク質含有率の設定がなされてきていない。生産物、ならびに酒質と絡めて、今

後生産者、実需者が共にタンパク質含有率の指標について検討を深めていく必要がある。

6. 「山恵錦」の生育指標値

以上の解析結果から、安定的な大粒生産のための目安として、「山恵錦」の生育指標値を、幼穂形成期直前の茎数、穂数、穂揃期の SPAD 値の 3 項目とするのが適当と判断し、それぞれ表 11 のとおり定めた。

生育指標として許容される範囲については、穂数は、過剰な穂数によって小粒化を招かないよう上限を 450 本/㎡、過度な穂数制限は減収に繋がるため下限を 350 本/㎡とした。また、穂揃期の SPAD 値は、粒大の維持に関わる適切な栄養状態の目安として下限を 34、玄米のタンパク質含有率を 8.0%以下に留めるため上限を 41 とした。

III 収穫適期

場内、大町市における試験では、玄米品質と帯緑色籾歩合、登熟積算気温との関係について、帯緑色籾歩合は 20~10%、登熟積算気温は 900~1000℃の間に収穫したもので、整粒歩合が良好であった（第 10 図）。

中野市での試験では、帯緑色籾歩合 23%、登熟積算気温約 970℃で、収量、整粒歩合は高位安定となった（第 11 図）。なお、この試験ほ場では葉色が濃く推移し、帯緑色籾歩合の低下が緩慢であった。

「山恵錦」は品種特性として「美山錦」に比べ碎粒発生が少ないとされる（細井ら 2020^a）。一連の試験において、登熟積算気温 1000℃以上、帯緑色籾歩合 10%未満の整粒歩合の低下要因は未熟粒の増加であった（第 10 図）。収穫指標としての胴割れ程度については、2017 年、2018 年の試験では胴割粒、碎粒は共にほぼ見られず、胴割れは収穫適期晩限の判断指標とならなかった。その一方、2019 年の場内試験では早い段階から胴割れが多発し（データ略）、やはり指標としては不適であった。

以上から、高品質生産のためには帯緑色籾歩合 20~10%、登熟積算気温 900~1000℃を収穫の目安とし、成熟が緩慢な場合は帯緑色籾歩合が 20%を下回ってから収穫を行うことが望ましいと判断した。なお収穫時には、籾水分がまだ高いこともあり得るため、刈り始めの籾水分に十分留意する必要がある。籾水分がやや高めな場合は低温でゆっくり乾燥させるなど、乾燥調製による胴割れ

- ・ 碎けの発生を回避する対策をとるべきである (長野県ほか 2019) .

登熟期の水管理や気象が原因となり胴割粒・碎粒が多発する可能性も十分に考慮し、適期を迎えたら速やかな収穫を心がける必要がある。

IV 研究成果の活用

以上の結果を取りまとめ、2019 年度普及に移す農業技術「千粒重の向上を目的とした「信交酒 545 号 (山恵錦)」の栽培法」として県内生産者向けにホームページ上で公表した (長野県農業関係試験場. [https://www. agries-nagano. jp/](https://www.agries-nagano.jp/)) .

摘 要

千粒重が大きく高品質な「山恵錦」の生産のための栽培指針を作成することを目的に、「山恵錦」の栽培特性の把握を行い、栽培上留意すべき事項として生育指標値の抽出、ならびに収穫適期の把握を行った。

- ・ 地域慣行の栽植密度を基準とし、22.2 株/㎡ (約 70 株/坪) を目安として栽培した場合に、千粒重が大きく、未熟粒歩合が低く抑えられ、粳摺り歩合、整粒歩合も良好な傾向であった。
- ・ 「コシヒカリ」の地域慣行施肥量に比べ、やや多めの肥培管理が適すると推察され、他の酒造好適米と同様の傾向であった。
- ・ 追肥適期は幼穂長 10 mm の時期であった。
- ・ 千粒重と整粒歩合には概ね正の相関が認められた。千粒重の向上を目的とした栽培条件 (栽植密度 22.2 株/㎡、幼穂長 10 mm で追肥施用) で、整粒歩合が高く維持される傾向があった。
- ・ 千粒重と心白発現率には概ね正の相関が認められた。
- ・ 初期生育の管理は、産地に適した移植期の設定をした上で、幼穂形成期直前の茎数は 500 本/㎡を目安として行う。
- ・ 安定的な大粒生産のための目安とする生育指標値 (許容範囲) として、穂数: 約 400 (350~450) 本/㎡、穂揃期の SPAD 値: 38 (34 以上 41 以下) を提示した。
- ・ 収穫適期は、帯緑色粳歩合 20~10%、登熟積算気温 900~1000℃を目安とする。

謝 辞

今回の調査では農業試験場育種部 (現企画経営部) 細井淳主任研究員に多大な助言、ご協力をいただいた。また、株式会社ヴァンペール平出の平出亨氏、北アルプス農業農村支援センターの岡部知恭氏をはじめとした同センター職員の皆様、長野農業農村支援センター、北信農業農村支援センター、農業試験場作物部職員の皆様に多大なるご協力を頂いた。データをまとめるにあたり県野菜花き試験場畑作部の谷口岳志氏 (現松本農業農村支援センター) に多くの助言をいただいた。ここに心から謝意を表する。

引用文献

- 高橋好範・和野重美・吉田宏. 2003. 酒造好適米品種「ぎんおとめ」の高品質安定栽培法. 岩手県農業研報. 3: 121-127.
- 佐々木次郎・小野寺博稔・関口道. 2007. 穂揃期の形質による水稻粳数の推定. 東北農業研究. 60. 29-30.
- 柴田 智・高橋 仁・佐藤雄幸. 2009. 酒造好適米「秋田酒こまち」の育成と高品位安定生産技術. 醸協. 104: 12: 910-918
- 鈴木隆由輝・後藤元・中場勝・本間猛俊・阿部洋平・渡部貴美子・工藤晋平. 2020. 大吟醸酒醸造に適した「雪女神」の栽培法の確立. 山形県農業研報. 12: 1-18.
- (独) 農業・食品産業技術総合研究機構生物系特定産業技術研究支援センター・宮城県古川農業試験場・新潟県農業総合研究所作物研究センター・兵庫県立農林水産技術総合センター農業技術センター. 2011. 作物生育情報測定装置による水稻の生育診断のための「利用マニュアル」. 40-55
- 長野県. 全農長野県本部. 長野米生産販売対策協議会. 2019. 主要穀類等指導指針. 第 10 版.
- 細井淳・高松光生・久保田基成・牛山智彦・新井利直・酒井長雄・吉田清志・矢ヶ崎和弘. 2020^a. 酒造好適米新品種「山恵錦」について. 長野県農業試験場報告. 2: 48-55.
- 細井淳・豊田敦至・水野正浩・岩下和裕・岩野君夫. 2020^b. 高標高地で生産された「山恵錦」の玄米品質、加工適性および麴製造適性. 北陸作物学会報. 55: 4-6.
- 山形県酒造適性米生産振興協議会. 2008. 酒米栽培マニュアル [http://agrin. jp/page/16465/](http://agrin.jp/page/16465/)

第1表 試験場所の概要

試験場所（年度）	地籍	標高（m）	土壌分類・土性
試験場内（2017～2019）	須坂市 八重森	350	粗粒質普通褐色低地土・埴壤土
現地・大町市（2018, 2019） （2018）	大町市 常盤清水	690	粗粒質普通褐色低地土・砂壤土
	大町市 常盤須沼	660	
現地・信濃町（2018）	信濃町 石橋	660	普通灰色低地土・埴壤土
現地・中野市（2019）	中野市 柳沢	330	細粒質斑鉄型グライ低地土・埴壤土

第2表 栽植密度試験の耕種概要

年度	場所	移植 月/日	施用窒素量 (N kg/10a)	追肥施用時期 (幼穂長mm)	栽植密度 (株/m ²)	反復
2017	場内	5/16	基肥 3.5-追肥 1.5	10	13.9 15.9 18.5 22.2	各 3
					15.9 22.2	
2018	場内	5/28	基肥 3.5-追肥 1.5	10	15.9 22.2	各 4
	常盤須沼	5/15	基肥 5.6—追肥 3.5	2：N2.6 kg 10：N0.9 kg	14.4 20.2	各 2
	信濃町	5/18	基肥 6.0—追肥 1.5	不明 (出穂 24 日前施用)	15.9 22.2	各 2

第3表 施肥量及び追肥適期検討試験の耕種概要

年度	場所	移植 月/日	施用窒素量 (N kg/10a)	追肥施用時期 (幼穂長mm)	栽植密度 (株/m ²)	反復
2017	場内	5/16	標準：基肥 3.5-追肥 1.5 多肥：基肥 5.0—追肥 2.0	2 5 10	22.2	各 3
				2 10		
2018	場内	5/28	標準：基肥 3.5-追肥 1.5 多肥：基肥 5.0—追肥 2.0	2 10 10	22.2	各 4
				2 10		
2018	常盤清水	5/10	慣行：基肥 6.3—追肥 3.4	2 10	19.5	各 2
				2 10		

第4表 生育指標値と収穫適期検討のための現地試験の耕種概要

年度	場所	移植 月/日	施用窒素量 (N kg/10a)	追肥施用時期 (幼穂長mm)	栽植密度 (株/m ²)	反復
2019	場内	5/13	基肥 4.0—追肥 2.0	10	22.2	各 8
	常盤清水	5/3	基肥 6.3—追肥 2.2	10	18.8	
			基肥—発肥料 9.0	-		
	中野市	5/29	基肥 8.0—追肥 0.0	-	18.2	無
			基肥 5.0—追肥 1.0	(出穂 14 日前施用)		

第5表 異なる栽植密度による収量・品質調査結果 (場内試験)

年度	栽植 密度	穂数	穂揃期 SPAD値	玄米重	粳摺り 歩合	千粒重	タンパク 含有率	整粒 歩合	未熟粒 歩合	心白発 現率
	株/㎡	本/㎡		kg/a	%	g	%	%	%	%
2017	22.2	404	36.7	58.6	72	25.2**	6.6	79	17.0	35.5
	18.5	427	36.5	62.0	70	24.9	6.8	79	17.5	35.1
	15.9	441	37.6	60.3	69	24.8	6.8	78	18.7	35.1
	13.9	415	37.8	61.2	70	24.7	6.8	79	17.9	35.7
2018	22.2	411	34.8	57.2	70	25.3	6.6	76*	22.0	34.4
	15.9	407	35.1	54.4	66	25.1	6.9	71	26.4	30.9

2017年**Shirley-Williams法で15.9株/㎡以上の区に対し危険率5%水準で、13.9株/㎡の区に対し同1%水準で有意。

2018年に関してはマン・ホイットニ検定で、*危険率5%水準で有意。

第6表 異なる栽植密度による収量・品質調査結果 (現地試験)

年度 場所	栽植 密度	穂数	穂揃期 SPAD値	玄米重	粳摺り 歩合	千粒重	タンパク 含有率	整粒 歩合	未熟粒 歩合	心白発 現率
	本/㎡	本/㎡		kg/a	%	g	%	%	%	%
2018 常盤須沼	20.2	379	39.4	61.0	78	27.1	7.3	87	10.2	34.9
	14.4	352	39.1	71.0	78	26.9	7.2	84	13.7	37.6
2018 信濃町	22.2	348	33.3	50.0	69	25.9	6.9	79	18.3	7.6
	15.9	311	34.2	47.6	68	25.8	7.1	75	22.7	9.4

第7表 異なる施肥量による収量・品質調査結果 (場内試験)

年度	施肥量	穂数	穂揃期 SPAD値	玄米重	粳摺り 歩合	千粒重	タンパク 含有率	整粒 歩合	被害粒 内訳		心白発 現率
	Nkg/10a	本/㎡		kg/a	%	g	%	%	碎粒	胴割粒	%
2017	3.5-1.5	404	36.7	58.6	72	25.2	6.6	79	1.2	2.2	35.5
	5.0-2.0	431	37.7	62.8	72	25.1	6.8	80	0.6	0.9	40.2
2018	3.5-1.5	411	34.8	57.2	70	25.3	6.6	76	1.0	1.1	34.4
	5.0-2.0	422	36.3	60.4*	68	25.8*	7.3*	77	0.7	0.5	39.9

追肥は幼穂長 10mm期に施用。マン・ホイットニ検定で*危険率5%水準で有意。

第8表 標準施肥量での異なる追肥時期による収量・品質調査結果 (場内試験)

年度	追肥時期		穂数	穂揃期 SPAD値	玄米重	粳摺り 歩合	千粒重	タンパク 含有率	整粒 歩合	心白発 現率
	幼穂長 mm期	出穂期前 日数	本/㎡		kg/a	%	g	%	%	%
2017	2mm期	-22	421	35.4	61.8	72	24.9	6.3	80	35.5
	5mm期	-16	402	35.4	58.3	73	25.1	6.3	81	29.8
	10mm期	-14	404	36.7	58.6	72	25.2	6.6	79	35.5
2018	2mm期	-26	403	32.9	52.0	64	24.8	6.6	73	22.9
	10mm期	-16	411	34.8*	57.2	70*	25.3*	6.6	76	34.4*

基肥 N3.5 kg/10a、追肥 N1.5 kg/10a 2017年はSteel-Dwass法、2018年はマン・ホイットニ検定で*危険率5%水準で有意。

第9表 多肥条件での異なる追肥時期による収量・品質調査結果（2017年場内試験）

追肥時期		穂数	穂揃期	玄米重	籾摺り	千粒重	タンパク	整粒	心白発
幼穂長	出穂期前		SPAD値		歩合		含有率	歩合	現率
mm期	日数	本/m ²		kg/a	%	g	%	%	%
2mm期	-22	470	36.6	62.4	71	25.0	6.9	78	40.5
5mm期	-16	484	36.2	67.3	71	24.9	6.7	78	36.9
10mm期	-14	431	37.7	62.8	72	25.1	6.8	80	40.2

基肥 N5.0 kg/10a、追肥 N2.0 kg/10a Steel-Dwass 法でいずれも有意性検出されず (p<0.05) .

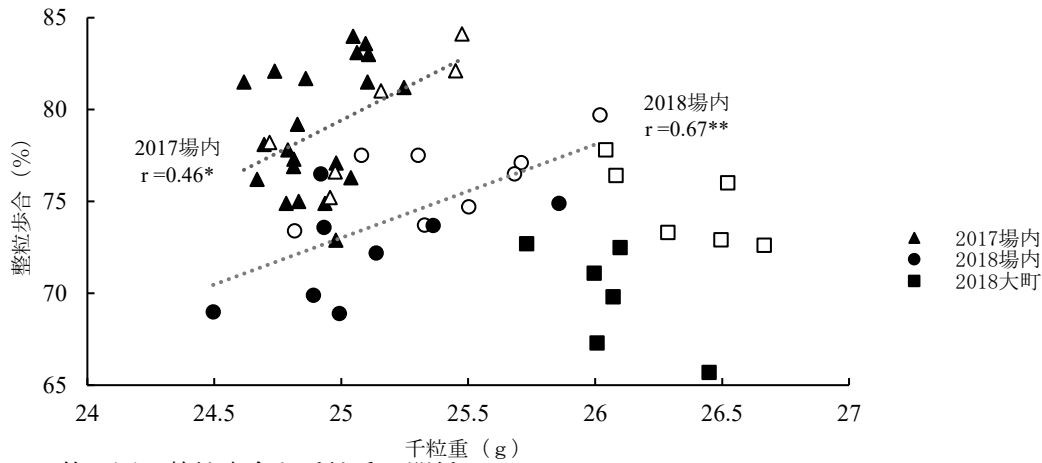
第10表 異なる追肥時期による収量・品質調査結果（2018年常盤清水）

追肥時期		穂数	穂揃期	玄米重	籾摺り	千粒重	タンパク	整粒	心白発
幼穂長	出穂期前		SPAD値		歩合		含有率	歩合	現率
mm期	日数	本/m ²		kg/a	%	g	%	%	%
2mm期	-25	468	39.7	79.1	69	26.1	7.5	70	19.0
10mm期	-18	442	40.1	77.3	71	26.3	7.7	75	25.7

マン・ホイットニ検定でいずれも有意性検出されず (p<0.05) .

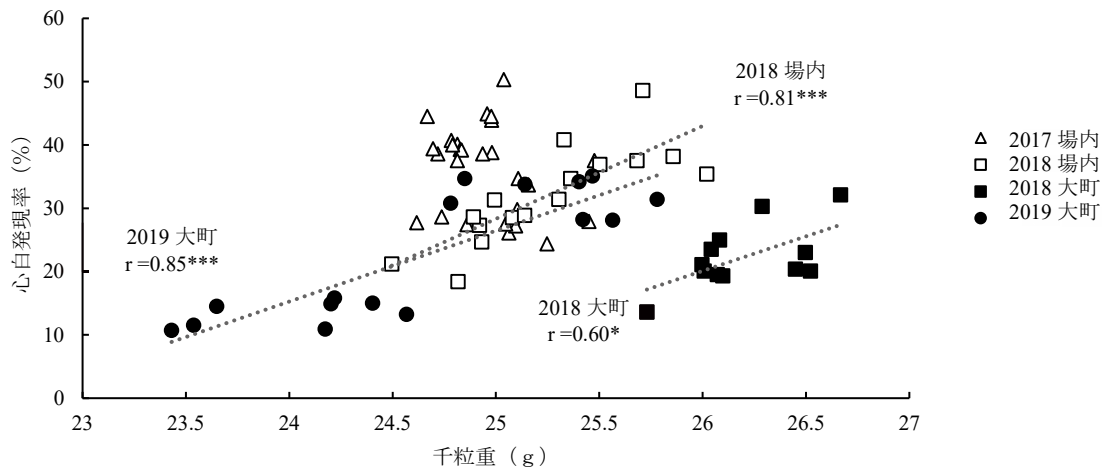
第11表 生育指標値 表中 () 内は許容範囲

幼穂形成期直前の茎数	: 500 本/m ²
穂 数	: 400 本/m ² (350~450 本/m ²)
穂揃期の SPAD 値	: 38 (34~41)



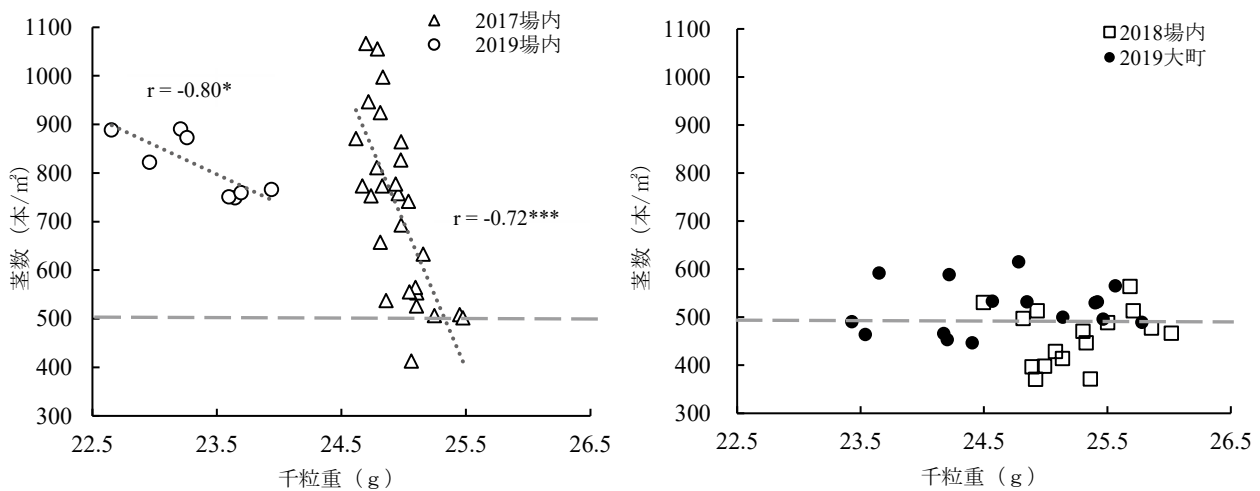
第1図 整粒歩合と千粒重の関係

2017年場内 (n=27), 2018年場内 (n=16), 2018年大町 (常盤清水) (n=12). 栽植密度 22.2 株/m², 幼穂長 10 mm 時点に追肥した試験区のみ白抜きで示す. ** 危険率 1% 水準で, * 同 5% で有意.



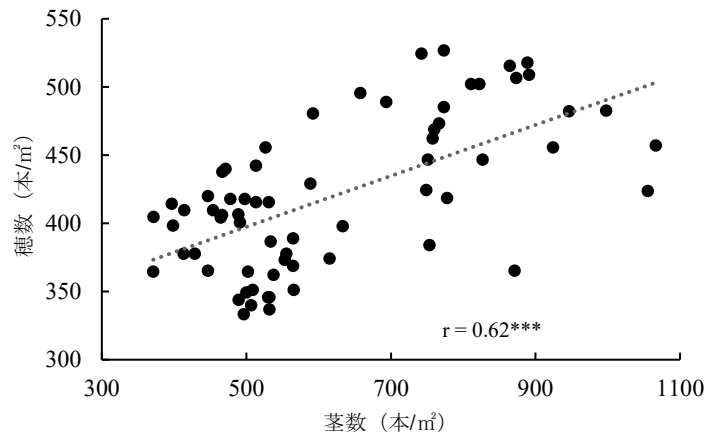
第2図 心白発現率と千粒重の関係

白未熟粒が発生するような年次・栽培条件の場合, 調査機器の特性上心白発現率の計測に影響することがある.
2018年, 2019年 大町: 常盤清水 *** 危険率 0.1% 水準で有意. * 同 5% で有意.



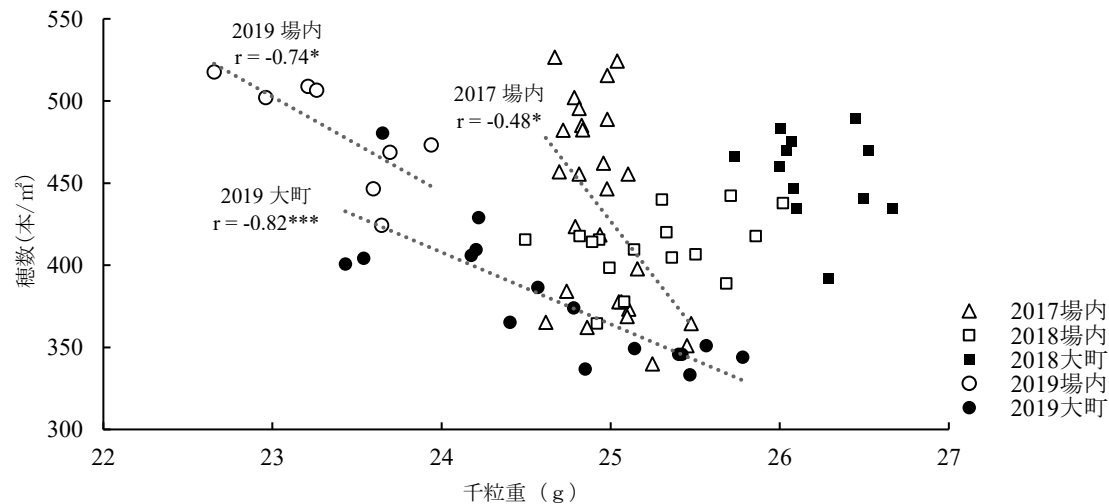
第3図 千粒重と幼穂形成期直前の茎数の関係

破線は茎数 500 本/m²を示す. 凡例の大町は常盤清水. *** 危険率 0.1% 水準で有意. * 同 5% で有意.



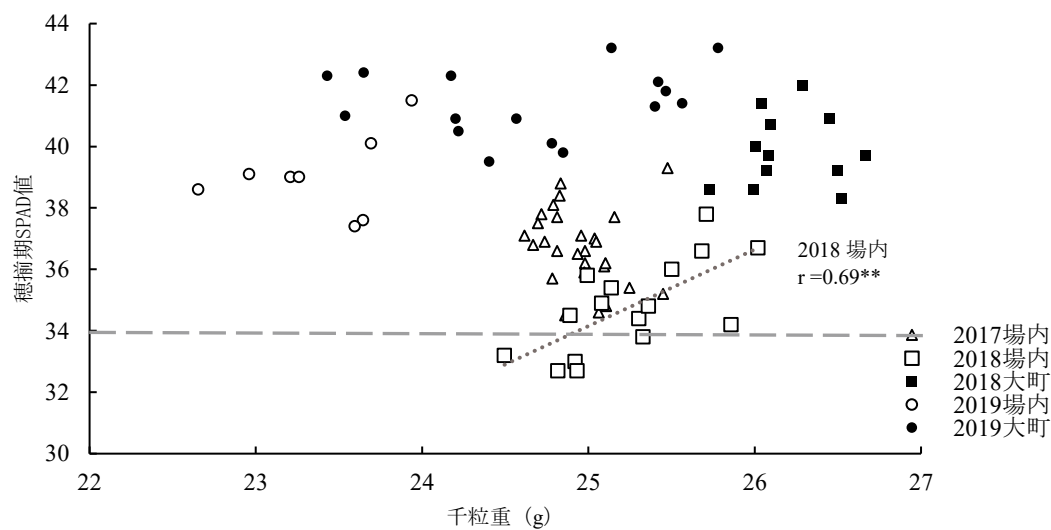
第4図 幼穂形成期直前の茎数と穂数の関係

第3図で採用した全データによる (n=67)。*** 危険率0.1%水準で有意。



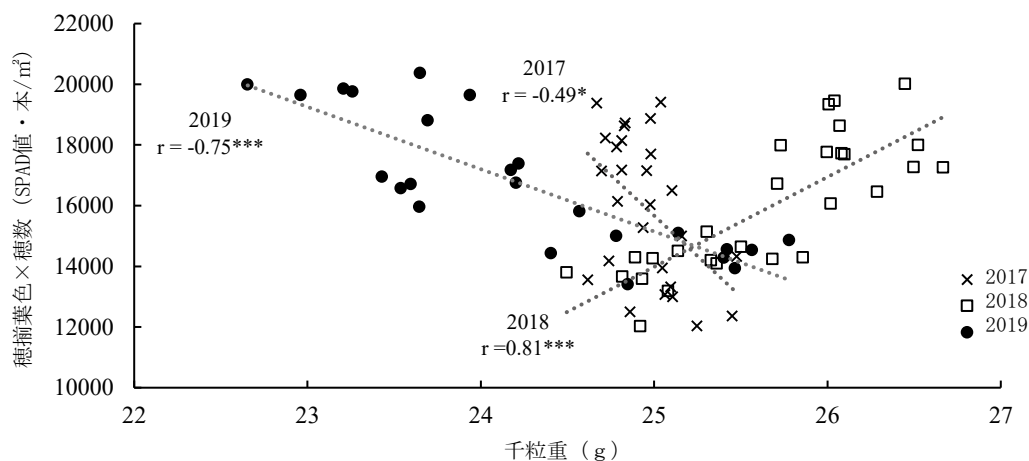
第5図 ㎡当たり穂数と千粒重の関係

2017 場内 (n=27), 2018 場内 (n=12) 2018 大町 (n=12) 2019 場内 (n=8) 2019 大町 (常盤清水) (n=16)
*** 危険率0.1%水準で、* 同5%で有意。



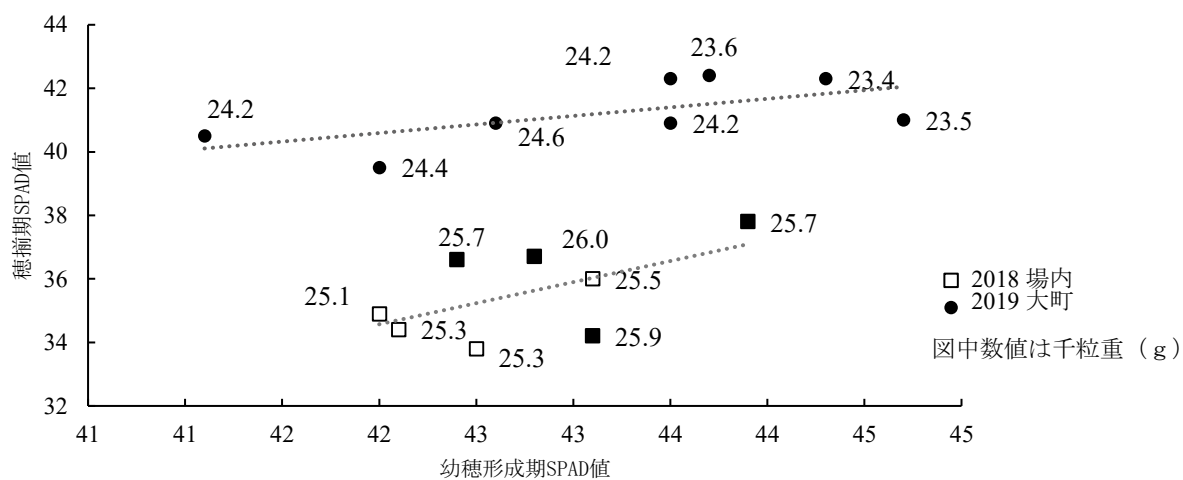
第6図 穂揃期のSPAD値と千粒重の関係

2017 場内 (n=27), 2018 場内 (n=12) 2018 大町 (n=12) 2019 場内 (n=8) 2019 大町 (常盤清水) (n=16)
破線は葉色34を示す。** 危険率1%水準で有意。



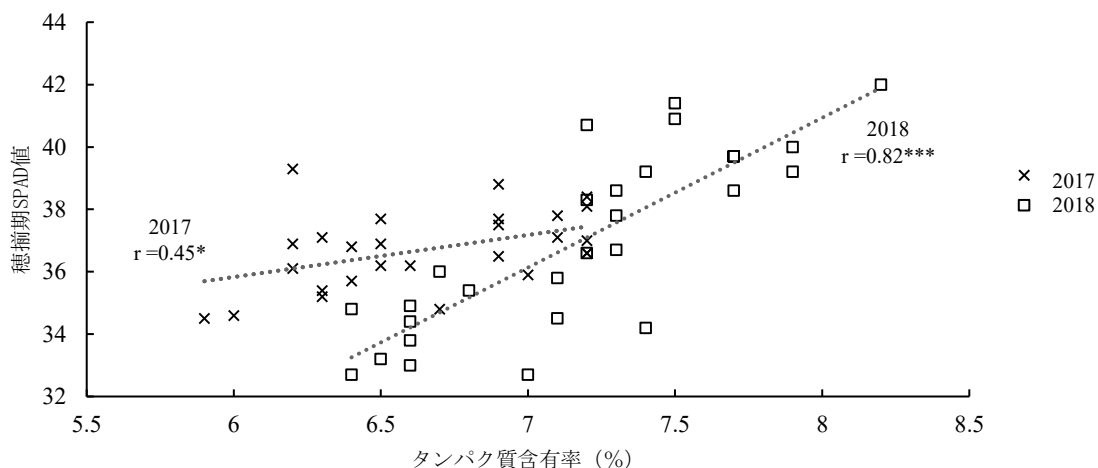
第7図 穂揃葉色×穂数値と千粒重の関係

2017 (n=27), 2018 場内, 常盤清水 (n=24), 2019 場内, 常盤清水 (n=24) *** 危険率 0.1%水準で有意. * 同 5%で有意.



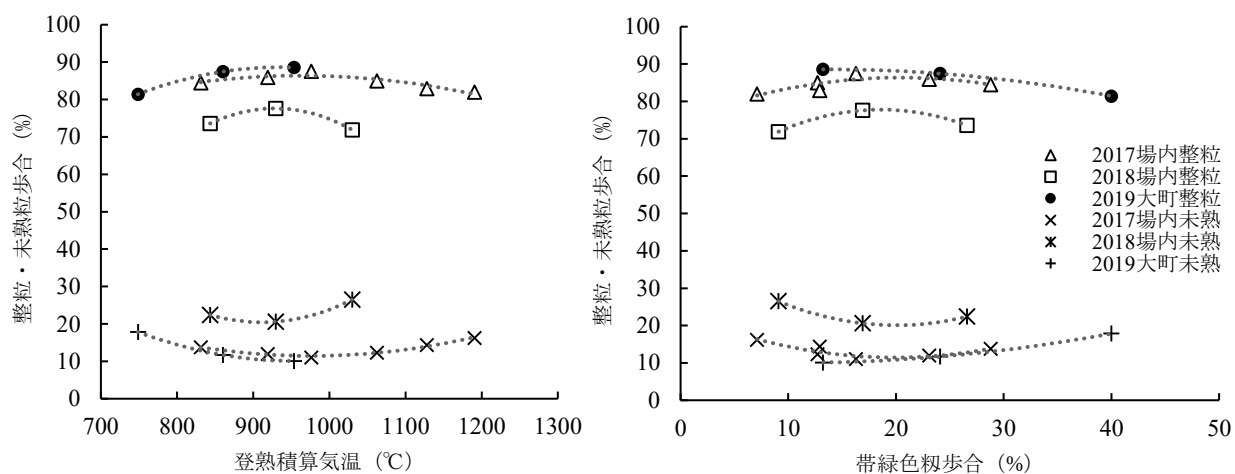
第8図 幼穂形成期の SPAD 値と千粒重、穂揃期の SPAD 値の関係

2018 場内 : 追肥量 □N1.5kg/10a、■N2.0 kg/10a 栽植密度 22.2 株/m²
2019 大町 (常盤清水) : 追肥量 N2.2 kg/10a 栽植密度 18.8 株/m² *5%水準で有意.



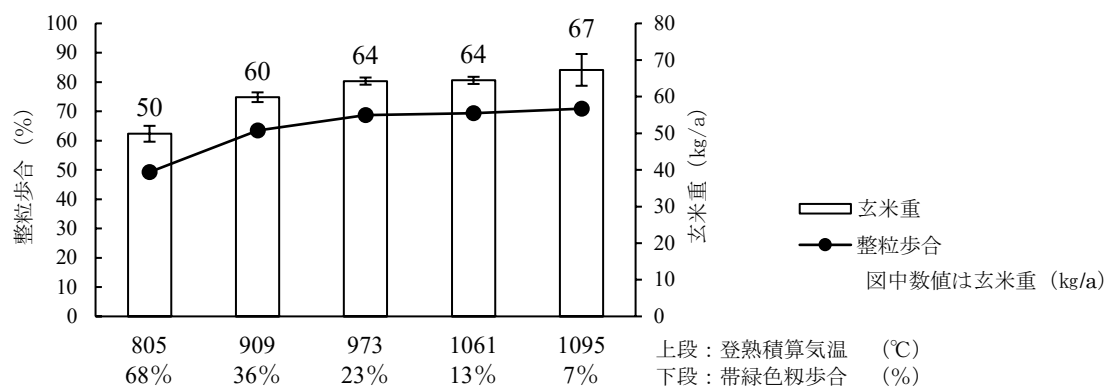
第9図 穂揃期の SPAD 値とタンパク質含有率の関係

*** 危険率 0.1%水準で, * 同 5%で有意.



第10図 整粒・未熟粒の比率と登熟積算気温、帯緑色歩合との関係

2017, 2019年は2.0mm篩上玄米を, 2018年は1.85mm篩上玄米を使用し, 1000粒中の粒数比率を求め品質の指標とした。
2017, 2018年試験場内 反復無し。 2019大町: 常盤清水 2反復平均値。



第11図 玄米重, 整粒歩合と帯緑色歩合, 登熟積算気温の推移

中野市(第1表)肥培管理の異なる独立2圃場による平均値。1.85mm篩上玄米を使用。栽植密度18.5株/m²。図中のバーは標準偏差。

長野県におけるダイズの子実加害性害虫の発生実態と防除対策

阿曾 和基・栗原 潤

Occurrence and Control of Soybean Seed Pests in Nagano Prefecture.

Kazuki ASO, Jun KURIHARA

Abstract

We investigated the occurrence and control of soybean seed pests in Nagano Prefecture. It was inferred that *Leguminivora glycinivorella* (Matsumura) was the dominant species of seed pest of soybean in Nagano Prefecture. Only one generation of *L.glycinivorella* lives in Nagano Prefecture, and the timing of occurrence varies by region. The best time to apply insecticides to *L.glycinivorella* was from the peak of adult emergence to the peak of egg laying for chlorantraniliprole and etofenprox, and from the peak of egg laying to the early stage of larval development for MEP. There was a tendency for the occurrence of *L.glycinivorella* and damage to the seedlings to increase with continuous soybean cropping, and damage increased significantly with continuous soybean cropping for more than three years. The importance of timely application of insecticides in order to obtain sufficient control of *L.glycinivorella* was demonstrated.

Key Words: *Leguminivora glycinivorella*, soybean, pheromone trap, optimal control timing

緒 言

長野県においてはダイズが約2,000ha作付けされているが、このうち約4割は水稻及びコムギとの輪作体系、約6割がダイズ単作やコムギ・ダイズ作を繰り返す連作体系である(青木2017)。近年は、特に連作体系のダイズにおいて子実加害性害虫による被害が問題となっている。長野県では、ダイズの子実を食害し収量品質を低下させる害虫として、マメシンクイガ *Leguminivora glycinivorella* (Matsumura) 及びシロイチモジマダラメイガ *Etiella zinckenella* (Treitschke) が発生している。マメシンクイガは比較的寒冷地に発生が多く、シロイチモジマダラメイガは県南部や低暖地域に発生が多い(関口1997)と

されているが、近年の長野県における発生状況の詳細な調査は行われておらず、他県で発生の認められているダイズサヤムシガ *Matsumuraesia falcana* (Walsingham) については県内での知見に乏しい。また、マメシンクイガについてはダイズ連作に伴い発生量や被害が増加することが知られており(小野ら2011, 石本・岩田2018)、長野県のダイズ栽培では、マメシンクイガを含む病害虫対策として、ダイズの連作は3年までとし、水田転換畑では稲作への転換、畑地では麦・そば等の他作物への切り替えを推奨している(長野県共済2020)。しかし、長野県におけるダイズの連作年数、地域の殺虫剤散布体系等と被害の関係についての詳細な調査は行われておらず、より効果的な被害軽減対策を進めるための情報が不足している。

本研究は、農林水産省委託プロジェクト研究「生産現場強化のための研究開発—多収阻害要因の診断法および対策技術の開発—」で実施した。本論文は、平成30年度及び令和元年度普及技術を再構成したものを含む。

そこで、長野県におけるダイズの子実加害性害虫の発生実態とダイズの連作年数や殺虫剤散布体系等が被害に及ぼす影響を調査するとともに、3種殺虫剤の効果的な散布時期について検討を行った。

I 長野県におけるチョウ目子実加害性害虫の優占種特定のための広域調査

材料及び方法

1. 調査圃場

2015年から2016年に、長野県内の5地域（長野（信濃町）、北信（飯山市、木島平）、北安曇（白馬村）、松本（安曇野市）、上伊那（伊那市、駒ヶ根市、南箕輪村、宮田村））延べ74か所の現地ダイズ圃場にて行った。

2. フェロモントラップ調査

トラップは、粘着式トラップとし、トラップ本体はSEトラップ（白）（サンケイ化学（株））、粘着板はSE粘着板（サンケイ化学（株））を使用した。誘引剤として、マメシンクイガは市販品（信越化学工業（株））を、シロイチモジマダラメイガ及びダイズサヤムシガは試作品（信越化学工業（株））を使用し、約1月毎に交換した。設置位置は、圃場内の中央付近とし、20m間隔で各1台を設置した。設置高は、トラップの底面がダイズの草冠高となるよう、ダイズの生育に応じて適宜調整した。調査期間は、地域及び年次により異なるが、7月下旬～10月中旬の範囲とした。誘殺数は、粘着板を約7日間隔で交換して調査した。誘殺日は各調査期間の中心日として、誘殺期間が偶数日数の場合には中心に近い2日のうちの遅い日とした。粘着板の粘着面には、ニホンアマガエル等による誘殺虫捕食防止のために食塩0.8～1.0gをまいた（石本・山代2013）。

3. 子実肥大期における発生種調査

子実肥大後期（9月下旬）に各地域の2～8圃場から2～12茎を採取し、莢内の幼虫の有無及び発生種を調査した。

4. 収穫期の被害調査

収穫期（10月中旬～下旬）に各圃場から25茎を採取し、乾燥後の莢について、幼虫脱出孔及び表面の食害痕を調査した。また、脱穀後の子実について、チョウ目幼虫の食害痕とみなした被害粒を調査した。2016年の松本地域では、チョウ目幼虫被害粒を、食害痕の位置や子実に付着した虫糞等の特徴からマメシンクイガとそれ以外のチョウ目幼虫による被害に分類した。

結果および考察

フェロモントラップ調査において、マメシンクイ

ガ及びダイズサヤムシガはすべての圃場で誘殺が認められたが、シロイチモジマダラメイガは松本地域以外では誘殺が認められなかった（第1表）。

子実肥大期の被害調査では、莢内で子実を食害するチョウ目幼虫のうち、マメシンクイガが最も多く、ダイズサヤムシガ及びシロイチモジマダラメイガは少なかった（第2表）。

収穫期の被害調査では、莢のマメシンクイガ幼虫脱出孔とチョウ目幼虫による被害粒との間に高い相関関係が認められた（第1図左）一方、主にダイズサヤムシガによる食害が考えられる莢表面の食害痕と同被害粒との間に一定の傾向は認められなかった（第1図右）ことから、子実のチョウ目被害はマメシンクイガによるものが多かったと考えられた。

フェロモントラップにシロイチモジマダラメイガの誘殺が認められた松本地域における被害粒の分類調査では、マメシンクイガの食害割合が高かったことから、松本地域においても他地域と同様にマメシンクイガによる被害が多かったと考えられた（第3表）。

以上のことから、長野県におけるダイズの子実加害性害虫は、マメシンクイガが優占種であると推察された。

II 長野県内におけるマメシンクイガの発消長の推定

材料及び方法

1. 調査圃場

2017年は長野県内の5地域（長野（信濃町）、北信（飯山市、木島平）、北安曇（白馬村）、松本（安曇野市）、上伊那（伊那市、南箕輪村、宮田村））、2018年は3地域（北安曇（白馬村）、松本（安曇野市、松本市）、上伊那（宮田村））、2019年は2地域（北安曇（白馬村）、松本（安曇野市））の延べ70か所の現地ダイズ圃場において行った。

2. 成虫の発消長調査

(1) フェロモントラップ調査

各圃場にフェロモントラップを1台設置し、試験Iの2.の方法に準じて行った。

(2) 誘殺盛期の推定

一般化線形混合モデルにより、マメシンクイガ雄成虫の誘殺盛期の解析を行った。2015年及び2016年については、試験Iのフェロモントラップ調査の結果を使用した。応答変数は各圃場の累積誘殺割合

(調査時点までの累積誘殺数/調査期間の合計誘殺数)とし、誤差構造には二項分布を仮定し、リンク関数にはロジットを用いた。説明変数は起算日(7月20日)から誘殺日までの日数、変量効果は調査圃場とし、調査年次別・調査地域別に解析を行った。成虫誘殺盛期は、累積誘殺割合が50%を超えた日とした(宮城県古川農業試験場2013)。また、解析した誘殺盛期(起算日からの経過日数)と調査圃場の緯度、標高及び年間平均気温との関係について、Pearsonの積率相関係数を求め、無相関の検定を行った。各調査圃場の年間平均気温は、農研機構メッシュ農業気象データ(The Agro-Meteorological Grid Square Data, NARO)(大野ら2016)

(<https://amu.rd.naro.go.jp/>)から取得したデータを使用した。解析はR version 3.6.3(R core Team 2020)を用い、lme4パッケージ(Bates et al. 2015)、MASSパッケージ(Venable and Ripley 2002)を使用した。

3. 発育ステージ別発生長調査

2017年に、3地域(北安曇(白馬村)、松本(安曇野市)、上伊那(宮田村))の各1圃場において、子実肥大期から収穫期まで約7日間隔で5茎を採取し、莢への産卵数(未孵化卵)、莢内の幼虫数及び脱出孔数を調査した。

結果および考察

フェロモントラップ調査の結果、概ね8月中旬～9月中旬にピークのある一山型の消長を示した(第2図)。9月上旬に谷が確認される地域は、生産者から聞き取った殺虫剤散布時期と概ね一致しており、殺虫剤散布による誘殺数の減少と考えられた。これらのことから、調査地域においては、マメシクイガは年1世代の発生と考えられた。なお、上伊那地域では伊那市及び南箕輪村と、宮田村及び駒ヶ根市で発生時期に差がみられたことから、解析はこれらの市・村を区別して行った。

一般化線形混合モデルによる解析の結果、地域別・年別の誘殺盛期は、概ね8月第4半旬～9月第2半旬の範囲と推定され、地域によって差がみられた(第3図)。一方で、同一地域内での推定誘殺盛期は3～11日の範囲であり、同一地域における発生時期の年次変動は比較的小さいと考えられた。

発育ステージ別発生長調査の結果、成虫誘殺盛期が異なる地域にあっても、産卵盛期が誘殺盛期の5～10日後頃、幼虫発生がさらにその5日後頃から認められた(第4図)。

これらの結果から、各地域におけるマメシクイガの発生時期を検討した。マメシクイガのフェロモントラップの誘殺消長はたたき出し法とほぼ一致する(加進ら2010)ことから、フェロモントラップの誘殺盛期を成虫の発生盛期と判断した。成虫発生盛期は、同一地域内での誘殺盛期の年次変動が約10日以内の範囲に収まっていたことから、2半旬とした。また、発育ステージ別発生長調査の結果から、産卵盛期は成虫発生盛期直後の2半旬、幼虫発生初期は成虫発生盛期の1半旬後から2半旬とした。以上から、各地域におけるマメシクイガの発生時期を第4表にまとめた。

マメシクイガの発生時期に関しては、北日本を中心に詳細な調査が行われており、年1世代の地域では緯度が下がるほど発生が遅れる傾向が認められている(成瀬・新田1991, 小野寺ら2011)。今回の調査結果では、誘殺盛期と緯度との間には負の相関関係($r=-0.642$, $p<0.01$)、すなわち、長野県においても緯度が下がるほど誘殺盛期が遅くなる傾向が認められた。一方で、誘殺盛期と標高との関係については、全調査地域での解析では弱い負の相関関係であったが($r=-0.388$, $p<0.01$)、調査地域のうち同程度の緯度に位置する長野、北信、北安曇間での誘殺盛期と標高との間には強い負の相関関係が認められた($r=-0.896$, $p<0.01$)。また、誘殺盛期と年間平均気温との関係については、強い正の相関関係が認められた($r=0.779$, $p<0.01$)。これらの結果から、地域間の発生時期の違いは気温等の気象条件が影響する可能性が示唆される。しかし、地域で発生時期が異なる要因については、地域個体群間で夏休眠深度に変異が生じていると推測されている(石谷ら2011)が、夏休眠及び越冬休眠のメカニズムについては解明されていない部分が多い(成瀬・新田1991)ことから、さらなる調査が必要である。このため、マメシクイガの発生時期を調査していない地域においては、フェロモントラップ調査を実施し、成虫発生盛期を把握することが望ましいと考えられる。

III マメシクイガに対する3種殺虫剤の防除効果の解明

材料及び方法

1. 試験圃場

2017～2018年に、白馬村の現地ダイズ圃場で試験

を行った。ダイズ品種は「タチナガハ」で、播種は、2017 年は 7 月上旬、2018 年は 6 月下旬に実施された。開花期は、2017 年は 8 月第 3 半旬、2018 年は 7 月第 6 半旬であった。

2. 各殺虫剤の防除効果と散布適期の検討

2017 年は 1 区 48 m² (6m×8m) の 2 連制、ただし無処理区は 1 区 48 m² (6m×8m) の 6 連制とした。2018 年は 1 区 33.6 m² (4.2m×8m) の 2 連制、ただし無処理区は 1 区 67.2 m² (4.2m×16m) の 4 連制とした。供試殺虫剤はクロラントラニプロール水和剤 4,000 倍、エトフェンプロックス乳剤 1,000 倍、MEP 乳剤 (50%) 1,000 倍とした。無処理区は殺虫剤を散布しなかった。殺虫剤は、所定濃度に希釈した薬液 (200L/10a 相当) を背負式動力噴霧器で散布した。展着剤は加用しなかった。薬剤散布時期により、2017 年は、8 月 23 日、8 月 31 日、9 月 8 日の 3 区を設けた。また、2018 年は 8 月 22 日、8 月 30 日、9 月 6 日、9 月 12 日の 4 区を設けた。

被害粒調査は、成熟期に、2017 年は各区から 25 茎、2018 年は 1 区 2 か所から各 15 茎を採取し、乾燥、脱穀後にマメシンクイガ被害粒数を調査した。防除効果の判定は、マメシンクイガ被害粒率の対無処理比で判定し、対無処理比が 10 以下は効果が高い、同 10～30 は効果がある、同 30～50 は効果が認められるがその程度は低い、同 50 以上は効果が低いとした。

3. 成虫の発発生消長調査

試験圃場内の試験区から 20m 程度離れた位置にフェロモントラップを 1 台設置し、試験 I の 2. の方法に準じて行った。

結果および考察

無処理区のマメシンクイガ被害粒率の平均値は、2017 年が 19.3%、2018 年が 21.5%であり、両年とも多発生条件であった。3 剤ともにマメシンクイガに対して高い防除効果を示しているものの、その効果が得られる散布時期に違いが認められた (第 5 表、第 6 表、第 7 表)。クロラントラニプロール水和剤及びエトフェンプロックス乳剤は散布時期と誘殺盛期の差が小さいほど防除効果が高い傾向で、MEP 乳剤は逆の傾向を示した。また、ダイズの開花期は両年で 3 半旬の差があったが、同一殺虫剤の散布時期別の防除効果は概ね同程度であり、ダイズの生育ステージの違いが防除効果に及ぼす影響は認められなかった。

殺虫剤によるマメシンクイガの防除は、主にふ化幼虫の食入防止を期待して行うものであり、産卵盛期とその約 10 日後の 2 回が標準とされている (奥 1979)。一方で、殺虫剤の種類、散布時期、防除効果の関係について、久保田・横田 (2015) は、MEP 乳剤の防除適期は産卵盛期に限定されるのに対し、クロラントラニプロール水和剤では成虫発生盛期 2 半旬前～産卵盛期と従来の防除適期より早く散布しても十分な効果が得られることを報告している。また、木村・石谷 (2009) は、エトフェンプロックス乳剤を含む合成ピレスロイド剤は、一般的に有機リン剤よりも残効期間が長いとされ、散布後 3 週間程度マメシンクイガの食入率を低く抑えたことを報告している。さらに、石本ら (2019) は、マメシンクイガに対する殺虫剤の種類別、散布時期別の防除効果を総合的に評価し、殺虫剤の種類と散布時期別に防除効果に差があることを示したうえで、マメシンクイガに対する防除効果は、その散布時期と産卵盛期の関係で変動することを示唆している。

これらのことから、各殺虫剤の特性に基づく効果的な散布時期は、マメシンクイガの発生時期を基準に決定する必要があると考えられたことから、各殺虫剤の防除効果を散布時期別に評価した。各殺虫剤の防除効果にはある程度バラツキがあることを踏まえて、評価基準は「○：効果あり」、「△：効果はあるがやや低い」、「×：効果が低い」の 3 段階とした。評価は、第 8 表の防除効果の「高い」～「低い」を 1～4 の数値に換算したうえで、両年の平均値を算出し、同 1～2.5 を「○」、同 3～3.5 を「△」、同 4 を「×」と判断した (第 9 表)。その結果、評価した 3 剤のマメシンクイガの発生時期と防除効果の関係は、石本ら (2019) の報告と同様の傾向であった。すなわち、クロラントラニプロール水和剤 4,000 倍液又はエトフェンプロックス乳剤 1,000 倍液のいずれかを、マメシンクイガ成虫の発生盛期 (フェロモントラップ誘殺盛期) 頃から産卵盛期頃までに散布することで十分な防除効果を得られるが、散布時期を逸すると防除効果が低下するので注意する必要があること、また、MEP 乳剤 1,000 倍液は、産卵盛期頃から幼虫発生初期頃に散布し、それよりも早い成虫発生盛期頃の散布では防除効果が著しく低下するので、散布時期に注意する必要があることが示された。

IV ダイズ連作圃場における適期防除の重要性の確認

材料及び方法

1. 試験圃場

試験Ⅰ及び試験Ⅱの調査圃場、延べ144か所の現地ダイズ圃場について、品種やダイズ作付年数、殺虫剤散布の有無、散布時期等の栽培履歴を事後の生産者への聞き取りやアンケートにより調査した。なお、ダイズ作付年数は、冬期の麦類の作付け有無を考慮せず、夏期においてダイズ作付が連続する年数とした。

2. 栽培要因がマメシクイガの発生及び被害に及ぼす影響

殺虫剤防除を実施しなかった51圃場について、ダイズ作付年数とマメシクイガのフェロモントラップ誘殺数及び子実被害の関係を検討した。

3. 殺虫剤の種類・散布時期がマメシクイガ被害に及ぼす影響

マメシクイガに対する殺虫剤防除を実施した93圃場について、各圃場の殺虫剤散布時期がマメシクイガの防除適期に合致するか否かを、殺虫剤種類、散布時期、各地域におけるマメシクイガ発生時期から判断し、第8表の「○」を適期散布（適期）、「△」又は「×」を適期から外れた散布（適期外）として区分した。なお、第8表に記載されていない殺虫剤については、石本ら（2019）を参考に同区分を当てはめた。

結果および考察

1. ダイズ連作がマメシクイガの発生及び被害に及ぼす影響

調査した現地ダイズ圃場のダイズ作付年数、殺虫剤散布有無、品種等は第9表のとおりであった。マメシクイガ被害の品種間差は認められなかった。マメシクイガに対する殺虫剤防除を実施しなかった圃場では、ダイズ作付年数の増加に伴い、マメシクイガの誘殺数が増加する傾向が認められた（第5図左）。マメシクイガによる子実被害についても、ダイズ作付年数の増加に伴って増加する傾向が認められ、特に3年以上の連作で被害が著しく増加した（第5図右）。また、ダイズ作付1年目の圃場では概ね被害が少なかったが、マメシクイガの多発圃場に隣接した圃場では中程度の被害が確認された。マメシクイガの移動能力については、自然平均分散距離で39.4m、侵入虫による被害がほぼなく

なるのに必要な隔離距離は352mと推定されている（Takeuchi et al. 2019）。したがって、近隣にダイズ連作圃場がある条件では、周辺圃場から成虫が侵入して被害を及ぼす場合があると考えられた。

2. 殺虫剤の散布時期がマメシクイガの発生及び被害に及ぼす影響

殺虫剤の散布時期にかかわらず、ダイズ作付年数の増加に伴い、マメシクイガの誘殺数は増加する傾向が認められた（第6図上）。また、ダイズ作付2年以上かつ適期外散布では、マメシクイガによる被害は増加する傾向が認められた（第6図下）。これらのことから、特にダイズを連作する際には、適期の殺虫剤散布が重要であることが示された。

V 総合考察

本研究では、ダイズ作付年数の増加に伴い、マメシクイガの発生量と被害が増加する傾向が認められ、特に3年以上の連作では著しい被害も確認された。石本ら（2018）は、マメシクイガの防除対策として、田畑輪換によるダイズ連作の回避が重要であり、その効果を確保するには、各圃場のダイズ作付年数を1～2年に抑え、かつ、前年のダイズ圃場を一斉に水田に転換し、地域的に越冬幼虫の密度を低減させることが望ましいとしている。また、竹内ら（2020）は、作付け前のマメシクイガ被害リスク推定と対策の選定方法を示しており、ダイズ連作かつ前年度の被害粒率が約10%以上の場合、適当な防除対策は水稲との輪作としている。これらのことから、マメシクイガの被害抑制には、ダイズ作付年数を1～2年とし、田畑輪換によるダイズ連作を回避することが最も効果が高いと考えられるが、前述のとおり、長野県においてはダイズ単作やコムギ・ダイズ作を繰り返す連作体系が約6割を占め、現状、田畑輪換が難しい圃場も多く存在している。本研究では、ダイズ連作圃場において特に適期の殺虫剤散布が重要であることを明らかにした。また、マメシクイガの発生密度が高まったダイズ連作圃場においても、各殺虫剤の適期散布によって被害を一定水準以下に抑えられることを示した。ただ、天候や作業日程により、必ずしも実際には適期に防除できるとは限らない。加えて、例えば、本研究でマメシクイガに対する防除効果が認められたクロラントラニプロール水和剤は、同時期に問題となるカメムシ類に対する登録がない。このため、今後は、他害虫も考慮した3年以上のダイズ連作に安定的に対応

可能な防除体系を検討する必要がある。

謝 辞

本研究にあたり、現地試験に協力頂いた生産者の皆様、各現地の農業農村支援センターの担当者、農業・食品産業技術総合研究機構中日本農業研究センター上越研究拠点の竹内博昭氏、新潟県農業総合研究所作物研究センターの石本万寿広氏（当時）、岩田大介氏、共に試験を実施した職員一同には、多大なるご支援ご協力を頂いた。これらの諸氏に対し心から謝意を表する。

摘 要

1. 長野県におけるダイズの子実加害性チョウ目害虫は、マメシクイガが優占種であると推察された。
2. 長野県においてマメシクイガは年 1 世代の発生であり、地域によって発生時期に差がみられた。
3. マメシクイガに対する殺虫剤散布適期は、クロラントラニリプロール水和剤及びエトフェンブロックス乳剤では成虫発生盛期～産卵盛期、MEP 乳剤では産卵盛期～幼虫発生初期であった。
4. ダイズ連作により、マメシクイガの発生及び子実被害が増加する傾向が認められ、特に 3 年以上の連作で被害が著しく増加した。
5. マメシクイガに対して十分な防除効果を得るには、殺虫剤の適期散布が重要であることが示された。

引用文献

- 青木政晴・上原敬義・岡本潔・山下亨・野口忠久・萬田等・矢ヶ崎和弘・土屋学・山田直弘・吉田清志・細野哲・酒井長雄・森本勉・加藤雅康・越智直. 2017. 長野県の水田転換畑における大豆生産への土壌環境の影響. 北陸作物学会報. 52 : 60-63
- Bates, D. Maechler, M. Bolker, B. and Walker, S. 2015. Fitting linear mixed-effects models using lme4. J. Stat. Soft. 67 : 1-48.
- 石本万寿広・山代千加子. 2013. 粘着式フェロモントラップにおけるニホンアマガエル誘殺虫捕食への防止対策. 北陸病虫研報. 62 : 29-30.
- 石本万寿広・岩田大介. 2018. マメシクイガ（チョウ目：ハマキガ科）の発生量に及ぼすダイズ連作の影響応動. 62 : 239-247.
- 石本万寿広・岩田大介・阿曾和基・竹内博昭. 2019.

- マメシクイガに対する殺虫剤の種類別、散布時期別の防除効果. 北陸病虫研報. 68 : 11-20.
- 石谷正博・三宅規文・小野寺鶴将. 2011. マメシクイガの夏休眠深度の地域個体群間変異. 北日本病虫研報. 62 : 217. （講要）
- 加進丈二・狐塚慶子・辻英明・畑中篤・阿部倫則・安藤慎一郎・町直樹・佐伯研一. 2010. ダイズ畑におけるフェロモントラップを用いたマメシクイガの発生調査. 北日本病虫研報. 61 : 133-136.
- 木村勇司・石谷正博. 2009. 合成ピレスロイド剤によるマメシクイガの効率的防除. 北日本病虫研報. 60 : 180-185.
- 久保田真衣・横田啓. 2015. マメシクイガに対する各種殺虫剤の防除適期. 北日本病虫研報. 66 : 129-131.
- 宮城県古川農業試験場. 2013. フェロモントラップを用いたマメシクイガの成虫発生時期の把握. 普及技術（平成 25 年度）
- 長野県農業共済組合（編）. 2020. 水田大豆栽培の手引き. 長野県農業共済組合. 10.
- 成瀬博行・新田朗. 1991. 北陸地方におけるマメシクイガの発生経過. 富山県技研報. 10 : 1-9
- 奥俊夫. 1979. ダイズ病害虫の手引き. 日本植物防疫協会. 76-80.
- 小野亨・笹原剛志・城所隆・加進丈二・辻英明・星信幸. 2011. 宮城県のダイズ主要病害虫の IPM 体系に関する研究 1. 近年の病害虫発生の特徴と防除対策. 宮城古川農試報. 9 : 35-53.
- 小野寺鶴将・三宅規文・木村勇司. 2011. 北海道および青森県におけるフェロモントラップによるマメシクイガ成虫の発生消長. 北日本病虫研報. 62 : 216. （講要）
- 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.
- R Core Team. 2020. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- 関口昭良（編）. 1997. 最新改訂農作物病害虫図鑑. 33. 信越放送株式会社.
- Takeuchi, H. Endo, N. Yamamura, Y. Estimation of dispersal distance of the soybean pod borer *Leguminivora glycinivorella* (Lepidoptera : Tortricidae) by mark-recapture experiments. 2019. Appl Entomol Zool. 54 : 285-296.

竹内博昭・石本万寿広・阿曾和基・岩田大介・栗原潤・遠藤信幸・渋谷和樹. 2020. 作付け前のマメシンクイガ(チョウ目:ハマキガ科)被害リスク推定に基づく防除対策の選定. 応動昆. 64:115-124.

Venables, W. N. & Ripley, B. D. 2002. Modern Applied Statistics with S. Fourth Edition. Springer, New York.

第1表 フェロモントラップによる誘殺数

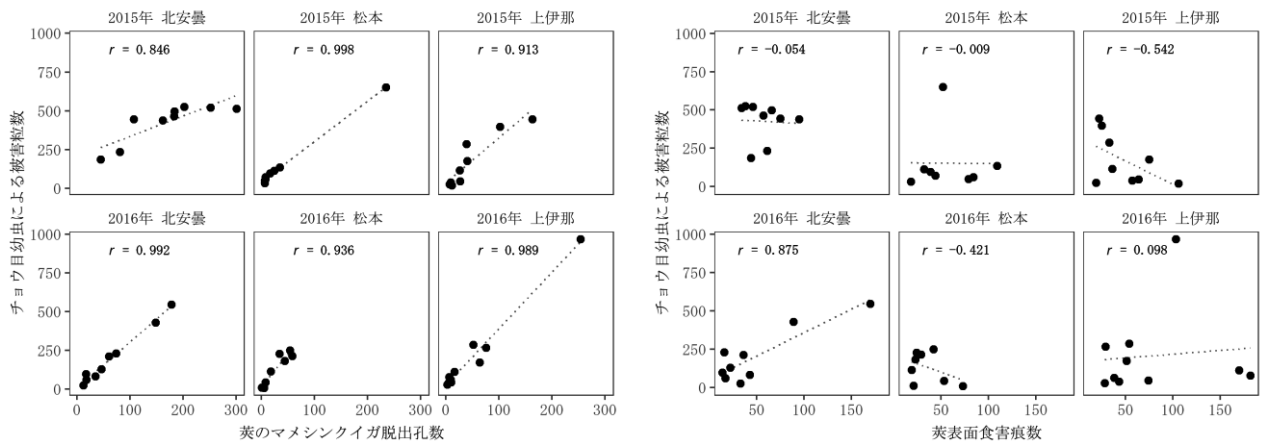
地域	年	圃場数	総誘殺数								
			マメシンクイガ			シロイチモジマダラメイガ			ダイズサヤムシガ		
			平均値	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値
長野	2015	3	681.3	760	385	0.0	0	0	248.7	266	238
	2016	4	487.3	669	237	0.0	0	0	195.7	217	154
北信	2015	6	213.0	446	91	0.0	0	0	446.5	567	336
	2016	8	216.6	508	36	0.0	0	0	399.9	804	287
北安曇	2015	9	400.9	376	128	0.0	0	0	231.3	455	147
	2016	9	300.8	549	112	0.0	0	0	369.8	510	224
松本	2015	8	393.9	613	105	40.0	91	17	478.9	624	258
	2016	8	231.6	786	42	63.0	93	36	768.0	1070	555
上伊那	2015	9	360.1	507	166	0.0	0	0	937.3	1439	418
	2016	10	329.9	840	84	0.1	1	0	1307.2	1650	944

第2表 子実肥大期の被害調査

地域	年	圃場数	調査 茎数計	調査 莢数計	幼虫数		
					マメシン クイガ	シロイチ モジマダ ラメイガ	ダイズサ ヤムシガ
長野	2015	2	7	235	103	0	0
	2016	4	40	1306	319	0	0
北信	2015	6	57	3236	26	0	0
	2016	8	80	4960	70	0	1
北安曇	2015	2	20	638	111	2	0
	2016	2	20	799	179	0	0
松本	2015	2	20	594	5	0	0
	2016	2	20	667	14	0	2
上伊那	2015	4	40	1408	7	0	7
	2016	4	40	1876	29	0	5

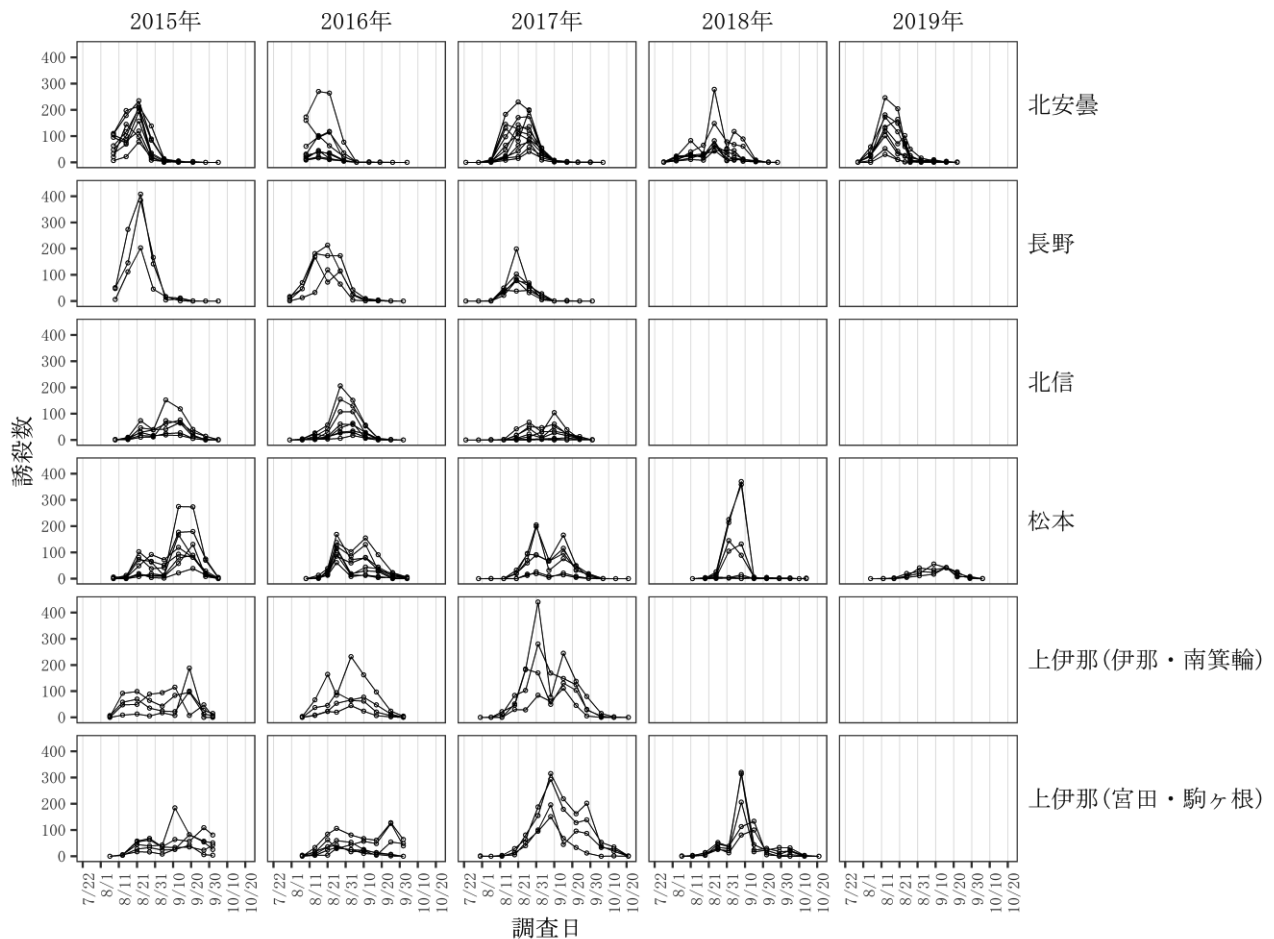
第3表 松本地域におけるチョウ目幼虫による子実被害とフェロモントラップ誘殺数

圃場 番号	調査 粒数	被害粒数		被害割合(%)		フェロモントラップ 総誘殺数	
		マメシン クイガ	その他 チョウ目	マメシン クイガ	その他 チョウ目	マメシン クイガ	シロイチ モジマダ ラメイガ
1	1291	8	0	100	0	150	93
2	1398	11	0	100	0	112	77
3	1159	43	0	100	0	223	54
4	967	112	3	97	3	411	36
5	972	204	10	95	5	243	45
6	1103	172	10	95	5	305	72
7	1331	195	33	86	14	413	86
8	943	239	11	96	4	549	41

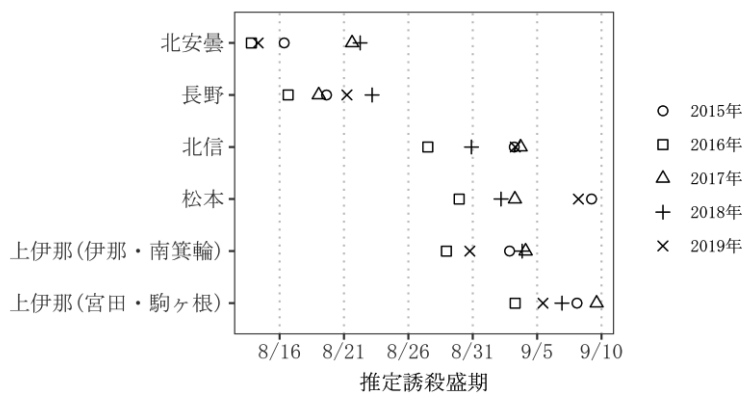


第1図 莢のマメシンクイガ脱出孔及び莢表面食害痕とチョウ目幼虫による被害粒の関係

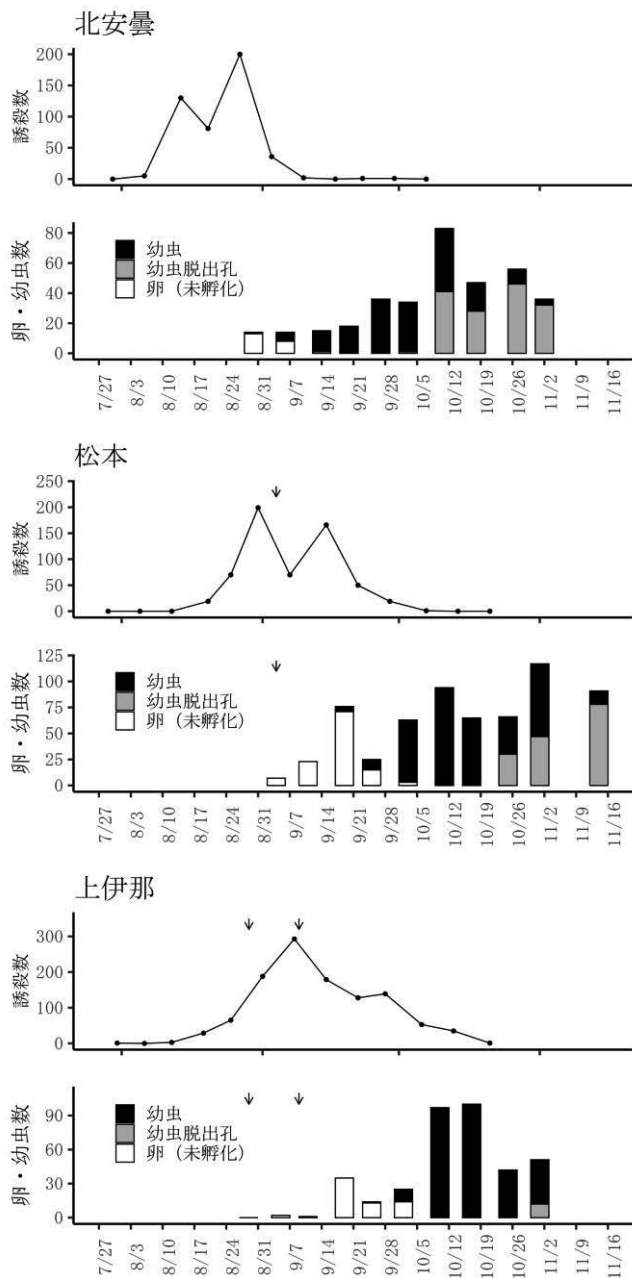
a) 点線は回帰直線、 r はPearsonの積率相関係数



第2図 マメシンクイガのフェロモントラップ誘殺数推移



第3図 一般化線形混合モデルにより推定したマメシクイガの誘殺盛期



第4図 フェロモントラップ誘殺数と发育ステージ別の発生消長

a) 図中の矢印は生産者による殺虫剤の散布日を示す。

第4表 各地域におけるマメシクイガの発生時期

地域	市町村	マメシクイガ 発生時期	8月			9月				
			4 半旬	5 半旬	6 半旬	1 半旬	2 半旬	3 半旬	4 半旬	5 半旬
北安曇	白馬村	成虫発生盛期	←	→						
		産卵盛期			←	→				
		幼虫発生初期				←	→			
長野	信濃町	成虫発生盛期	←	→						
		産卵盛期			←	→				
		幼虫発生初期				←	→			
北信	木島平村 飯山市	成虫発生盛期			←	→				
		産卵盛期				←	→			
		幼虫発生初期					←	→		
松本	安曇野市	成虫発生盛期				←	→			
		産卵盛期					←	→		
		幼虫発生初期						←	→	
上伊那	伊那市 南箕輪村	成虫発生盛期			←	→				
		産卵盛期				←	→			
		幼虫発生初期					←	→		
	宮田村 駒ヶ根市	成虫発生盛期			←	→				
		産卵盛期				←	→			
		幼虫発生初期					←	→		

a) 表中の矢印は、実線が成虫発生盛期、破線が産卵盛期、点線が幼虫発生初期を示す。

第5表 マメシクイガに対する殺虫剤別、散布時期別の防除効果（2017年）

殺虫剤	希釈倍数	散布月日	散布時期と 誘殺盛期の 差(半旬)	調査粒数	マメシクイガ 被害粒率 (%)	対無処理 比	薬害
クロラントラニリプロール水和剤	4000	8/23	0	2130	2.6	13	なし
		8/31	1	1503	4.1	21	なし
		9/8	3	1448	12.3	64	なし
エトフェンプロックス乳剤	1000	8/23	0	2038	3.9	20	なし
		8/31	1	1890	5.1	27	なし
		9/8	3	1568	9.0	47	なし
MEP乳剤	1000	8/23	0	2377	9.6	50	なし
		8/31	1	1706	3.0	16	なし
		9/8	3	1783	2.7	14	なし
無処理				4330	19.3		

第6表 マメシクイガに対する殺虫剤別、散布時期別の防除効果（2018年）

殺虫剤	希釈倍数	散布月日	散布時期と 誘殺盛期の 差(半旬)	調査粒数	マメシクイガ 被害粒率 (%)	対無処理 比	薬害
クロラントラニリプロール水和剤	4000	8/22	0	4356	0.6	3	なし
		8/30	1	4205	4.7	22	なし
		9/6	3	2378	6.6	31	なし
		9/12	4	3828	9.2	43	なし
エトフェンプロックス乳剤	1000	8/22	0	4810	7.4	34	なし
		8/30	1	3663	5.6	26	なし
		9/6	3	3656	11.7	54	なし
		9/12	4	3170	7.9	37	なし
MEP乳剤	1000	8/22	0	3608	28.7	133	なし
		8/30	1	3618	16.7	77	なし
		9/6	3	2308	8.5	39	なし
		9/12	4	2499	3.6	17	なし
無処理				7345	21.5		

第7表 マメシクイガに対する殺虫剤別、散布時期別の防除効果

殺虫剤	試験年	散布時期別の防除効果 (月・半旬)				
		成虫盛期	産卵盛期	産卵盛期 幼虫初期	幼虫初期	幼虫初中期
		8.5	8.6	9.1	9.2	9.3
クロラントラニリプロール水和剤	2017	ある	ある	-	低い	-
	2018	高い	ある	-	やや低い	やや低い
エトフェンプロックス乳剤	2017	ある	ある	-	やや低い	-
	2018	やや低い	ある	-	低い	やや低い
MEP乳剤	2017	低い	ある	-	ある	-
	2018	低い	低い	-	やや低い	ある

a) 表中の高い、ある、やや低い、低い、- は、それぞれ防除効果が高い、防除効果がある、□
防除効果は認められるがその程度は低い、効果が低い、試験区なしを示す。

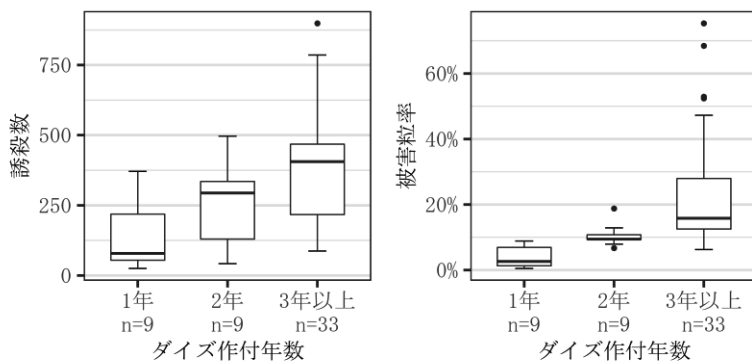
第8表 マメシクイガに対する殺虫剤別の防除適期

殺虫剤	散布時期別防除効果		
	成虫発生盛期	産卵盛期	幼虫発生初期
クロラントラニリプロール水和剤	○	○	△
エトフェンプロックス乳剤	○	○	△
MEP乳剤 (50%)	×	△	○

a) 表中の○、△、×は、それぞれ効果あり、効果はあるがやや低い、効果が低いを示す。

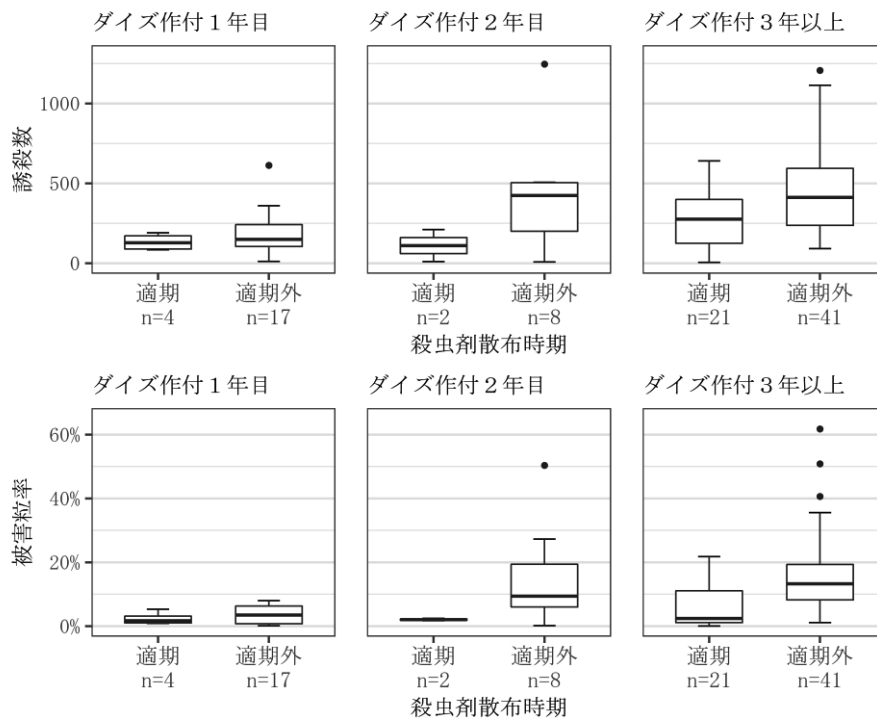
第9表 調査圃場

地域	市町村	圃場数						平均標高 (m)	品 種
		計	ダイズ作付年数			殺虫剤 散布有無			
			1年	2年	3年 以上	有	無		
長野	信濃町	12	1	0	11	9	3	674	すずほまれ
北信	木島平村、飯山市	22	3	2	17	22	0	337	すずほまれ、タチナガハ他
北安曇	白馬村	45	7	8	30	0	45	734	タチナガハ
松本	安曇野市、松本市	33	12	1	20	32	1	612	ナカセンナリ
上伊那	伊那市、南箕輪村	12	4	4	4	10	2	712	ギンレイ
	宮田村、駒ヶ根市	20	3	4	13	20	0	675	ナカセンナリ



第5図 ダイズ作付年数とフェロモントラップによるマメシクイガ総誘殺数及び被害粒率

a) 箱中の横線は中央値、箱の下端は第一四分位、箱の上端は第三四分位、ひげの両端は箱の長さの 1.5 倍
内にある最大値および最小値、ひげの外の点ははずれ値を示す。



第 6 図 ダイズ作付年数及び殺虫剤散布時期別のフェロモントラップによるマメシクイガ総誘殺数及び被害粒率

a) 箱中の横線は中央値、箱の下端は第一四分位、箱の上端は第三四分位、ひげの両端は箱の長さの 1.5 倍内にある最大値および最小値、ひげの外の点ははずれ値を示す。

長野県の農耕地土壌における理化学性の実態

吉川 直人・近藤 和子¹・伊藤 正²・諸 人誌・

About Changes in Physics and Chemistry of Agricultural Land Soil in Nagano Prefecture.

Naoto YOSHIKAWA, Kazuko KONDO, Tadashi ITO, Hitoshi MORO

Abstract

From the results of soil surveys conducted for 40 years from 1979 to 2020, we clarified the changes and actual conditions of physicochemical properties in agricultural land soil in Nagano Prefecture. In general, total carbon in soil tends to decrease and lime tends to be excessive. In ordinary fields, excess available phosphate, decreased available nitrogen, and high pH were problems. The amount of available phosphoric acid is increasing, but it varies depending on the production area, and there are some areas where it is stagnant. Available nitrogen has been on a downward trend since the 5th round. In the orchard, excess available phosphate, high pH, and imbalance of base were problems. Although the amount of available phosphoric acid has been decreasing since the 5th round, it is still in excess. There are many places where the pH is cultivated at a condition higher than the preferable pH as a whole.

Key Words Agricultural land soil, Physics and chemistry, Soil carbon, Available nitrogen, Base balance

緒 言

土壌は農業生産の基盤であり、母材や理化学性、気象条件等によって農作物に様々な影響を及ぼす。長野県は、中央部に糸魚川静岡構造線が通っている影響で、各地域に特色のある地形と土壌が形成されている（土壌保全調査事業全国協議会 2012）。県内では土壌特性や標高差に合わせて様々な農作物が栽培されているが、近年は作業の機械化による作土の浅耕化や、有機物施用量の減少に伴う地力の低下、多肥による塩類蓄積等多数の問題が懸念されている。農耕地土壌における全国的な調査としては、1959～1976年まで「地力保全基本調査」が、土壌の基本的な性質の把握及び生産力阻害要因の解明を図るために実施された。そ

の結果土壌図（土壌生産力可能性分級図）が作成され、各土壌の分布と土地利用等が明らかになった（第1表）。現在では農業環境変動研究センターが開発したアプリ「e-土壌図Ⅱ」として、モバイル端末から誰でも閲覧できる。続いて1979～1998年まで「土壌環境基礎調査」が、全国の農耕地土壌の特性と管理について、実態と経年的変化を総合的に把握するために実施された（小原，中井 2003）。さらに1999～2008年まで土壌理化学性の経年変化を把握するために、「土壌機能モニタリング調査」として全国的な調査が続けられた。長野県では、その後も県単事業として2020年まで調査を継続してきた（調査地点の一部は農林水産省が現在実施している農地土壌炭素貯留等基礎調査事業と重複）。農耕地土壌の理化学性は、その母材等だけでなく、農業生産者の人為的な農地管理によって大きく異なり、変化する。本稿では、収集したデータを地目、土壌グループ、地域等に集約・解析した結果、当県における農耕地土壌の理化学性の実態が明らかになったので報告する。

本研究の一部は、農林水産省関東農政局・農地土壌炭素貯留等基礎調査委託事業により実施した。

¹ 退職

² 現在 農業技術課

材料及び方法

長野県内の主要な農耕地土壌について、土地利用や土壌分類、気象条件等を考慮して 540 の調査地点を設定した（第 2, 3 表）。また、県内を 4 地域に分け、4 年間で全地点を調査し、成果をまとめる 1 年間を合わせた 5 年間を 1 巡とした（8 巡目のみ調査開始時期が異なる）。

調査時期は基本的に収穫後（果樹園を除く）の秋以降とし、調査時の土地利用状況（栽培品目）や天候、緯度経度、耕起の有無等を記録した。その他野外調査方法は土壌調査ハンドブック（日本ペドロロジー学会 1997）に、土壌の理化学性分析は土壌環境基礎調査における土壌・水質及び植物体分析法に従った。なお、調査事業では各層ごとに土壌を採取したが、本稿では一部を除き第 1 層の結果を取りまとめ、平均値±標準偏差で示した。

日本における農耕地土壌の分類方法は国の事業とともに発展しており、現在は「包括的土壌分類 第 1 次試案」が用いられている（小原ら 2011）。これは、同一土壌でも用いる分類体系によって名称が異なることを意味する。しかし、読み替えに

は下層土を含めた詳細な調査が必要になり、近年ではそこまでの調査を実施していない。さらに、深耕や暗渠の設置によりグライ層が消失し、別の土壌として分類される場合もある。そこで本稿では 1 巡目調査時の分類である農耕地土壌分類第 2 次案改訂版を用いた。さらに、比較区分として地形や土色等で比較的容易に判別できる土壌グループを用いることとし、黒ボクグループ（以下黒ボク）、低地土壌グループ（以下低地土）、陸成土壌グループ（以下台地土）について検討した。

第1表 1978年における土壌グループ別の農耕地土壌面積

		北信	東信	中信	南信	全域
水田	小計	1,469	1,433	2,216	1,669	6,787
	黒ボク	396	296	487	498	1,677
	低地土	733	598	1,367	1,010	3,708
	台地土	260	539	40	148	987
	その他	80	0	322	13	415
普通畑	小計	1,013	1,532	1,014	994	4,553
	黒ボク	308	921	625	752	2,606
	低地土	212	64	49	7	332
	台地土	493	547	292	235	1,567
	その他	0	0	48	0	48
樹園地	小計	1,239	441	336	525	2,541
	黒ボク	301	234	256	128	919
	低地土	506	46	42	16	610
	台地土	432	161	37	381	1,011
	その他	0	0	1	0	1

単位は十ha

第2表 地目別の調査地点推移

地目	土壌グループ	土壌群 ⁽¹⁾	1巡目 1979～	2巡目 1984～	3巡目 1989～	4巡目 1994～	5巡目 1999～	6巡目 2004～	7巡目 2009～	8巡目 2016～
水田			205	201	197	179	94	87	86	81
	黒ボク	多湿黒ボク土	35	35	30	28	18	16	16	14
	〃	黒ボクグライ土	5	5	5	5	1	1	1	1
	低地土	灰色低地土	80	77	78	68	36	33	32	31
	〃	グライ土	20	19	19	19	12	12	12	12
	〃	褐色低地土	10	10	10	10	5	4	4	4
	台地土	灰色台地土	15	15	15	11	7	7	7	7
	〃	グライ台地土	35	35	35	34	15	14	14	12
	〃	黄色土	5	5	5	4	-	-	-	-
普通畑			184	184	165	152	79	74	68	56
	黒ボク	黒ボク土	129	132	118	109	66	65	59	52
	低地土	灰色低地土	4	4	2	2	-	-	-	-
	〃	褐色低地土	17	19	19	17	5	2	4	1
	台地土	褐色森林土	28	23	20	18	3	3	3	2
	〃	黄色土	6	6	6	6	5	4	2	1
樹園地			138	134	122	124	73	66	67	61
	黒ボク	黒ボク土	54	53	45	49	29	29	27	26
	低地土	灰色低地土	1	1	-	-	-	-	-	-
	〃	褐色低地土	23	21	21	21	11	6	12	11
	台地土	灰色台地土	5	5	5	5	1	1	1	1
	〃	褐色森林土	47	47	43	41	28	26	23	19
	〃	黄色土	8	7	8	8	4	4	4	4
牧草地			13	12	11	9	3	4	9	9
	黒ボク	黒ボク土	7	7	7	6	1	2	7	6
	台地土	褐色森林土	5	4	3	2	2	2	2	3
	〃	黄色土	1	1	1	1	-	-	-	-
総地点数			540	531	495	464	249	231	230	207

1) 農耕地土壌分類第2次案改訂版による。キーマウト方式によって土壌グループから土壌群へ細分化される。

第3表 地域別の1巡目（1979～1983年）及び8巡目（2016～2020年）における調査地点推移

地域	地目	1巡目				8巡目			
		黒ボク	低地土	台地土	小計	黒ボク	低地土	台地土	小計
北信	小計	35	45	45	125	14	19	22	55
	水田	5	10	10	25	1	7	5	13
	普通畑	15	12	6	33	4	1	1	6
	樹園地	15	23	29	67	8	11	16	35
	牧草地	0	0	0	0	1	0	0	1
東信	小計	53	27	70	150	24	6	18	48
	水田	5	15	30	50	1	6	11	18
	普通畑	48	5	22	75	21	0	2	23
	樹園地	0	7	16	23	2	0	4	6
	牧草地	0	0	2	2	0	0	1	1
中信	小計	60	60	25	145	37	25	5	67
	水田	0	60	10	70	0	25	2	27
	普通畑	34	0	5	39	24	0	0	24
	樹園地	21	0	7	28	9	0	1	10
	牧草地	5	0	3	8	4	0	2	6
南信	小計	75	30	15	120	24	9	4	37
	水田	30	25	5	60	13	9	1	23
	普通畑	32	4	1	37	3	0	0	3
	樹園地	11	1	8	20	7	0	3	10
	牧草地	2	0	1	3	1	0	0	1
総計	合計	223	162	155	540	99	59	49	207
	水田	40	110	55	205	15	47	19	81
	普通畑	129	21	34	184	52	1	3	56
	樹園地	47	31	60	138	26	11	24	61
	牧草地	7	0	6	13	6	0	3	9

結果

I 土壌理化学性の実態

現在（8巡目：2016～2020年）の土壌理化学性について、土壌グループごとに検討した。また各項目に対して目標値を設定し、土壌における課題抽出を試みた。目標値は土づくりガイドブック第3版（長野県ら2012）を基本とし、その他目標値が設定されていない項目については地力増進基本指針（農林水産省2008）や農耕地土壌分類第2次改定版を参考とした（第4表）。分析結果については各調査巡をまとめて表に示した。

1. 水田土壌

第1, 2図に目標値を満たした地点割合と土壌グループ別の傾向について図示した。平均値及び標準偏差については第6, 7表に示した。

pHは5.1～7.4の値を示し、目標値を満たした地点は33%だった。土壌グループの中では、台地土は他グループと比較して高い傾向にあった。

全炭素は1.4～9.4%の値を示し、全ての地点で目標値（1.16%以上）に達していた。黒ボクは明らかに他グループより高い傾向だったが、東信の一

部地点は腐植含量が少ない淡色黒ボク土（腐植含量5%未満。腐植含量＝全炭素×1.724）であり、他グループより低い値を示した。低地土は台地土と比較して平均値・中央値は同等だが、地点間のバラつきが大きかった。

可給態窒素は5.2～27.4mg/100gの値を示し、77%が目標値（10mg/100g以上）を満たした。一般的に有機物施用により可給態窒素が増加することが知られているが、全炭素と同様に黒ボクが高い傾向にあり、黒ボクは全体の87%が目標値を満たした。

塩基バランスについては、石灰/苦土比は56%が、苦土/加里比は65%が目標値を満たしており、48%が両方を満たした。地域によって大きく異なる傾向を示し、東北信地域は中南信地域よりも塩基バランスのよい地点が多かった（第5表）。黒ボク、低地土は石灰/苦土比が高い傾向だったが、台地土は石灰、苦土、加里のバランスが取れている地点が多かった。

可給態リン酸は目標値（10mg/100g以上）を下回ったのは1地点のみだった。土壌グループでは、台地土が最もバラつきが大きい傾向だった。

作土深については、目標値を満たした地点は31

%であり、今回検討した項目の中で最も低い結果となった。土壌グループでは黒ボクが最も低い傾向にあり、目標値を満たした地点は 9%だった。なお、仮比重及び下層のち密度については、黒ボクが最も低い傾向だった。

2. 普通畑土壌

第 3, 4 図に目標値を満たした地点割合と土壌グループ別の傾向を、平均値及び標準偏差を第 9, 10 表に示した。

また、普通畑では、土壌や栽培する品目によって目標値が異なる。長野県は主に葉菜類が栽培されており、産地を形成している地域は黒ボクであることが多い。そこで本稿では黒ボク・葉菜類の目標値を用いた。また、本調査では普通畑の 93% が黒ボクであったことから、産地別についても検討することとした（第 8 表）。

pH は 5.5~7.6 の値を示し、目標値を満たした地点は 42%だった。主要産地では、東信の南牧村（以降南牧村）が目標値を満たした割合が大きかった。

全炭素は 1.1~13.0%の値を示し、低地土、台地土は全ての地点で目標値を満たしていた。一方黒ボクの普通畑は目標値を設定した文献が見当たらなかったため、淡色、腐植質（腐植含量 5~10%）、多腐植質（10%以上）に分類した。その結果 95%が腐植質あるいは多腐植質黒ボク土であり、有機物に富んだ土壌が多く分布していることが示唆された。産地別では東信地域の各産地で有機物に富んだ土壌が多かった。

可給態窒素は 1.2~22.9mg/100g の値を示し、28%が目標値（5mg/100g 以上）だった。主要産地の中では東信の上田市菅平（以降菅平）が最も高い値を示した。

塩基バランスについては、石灰/苦土比は 71%が、苦土/加里比は 70%が目標値を満たしており、両方を満たしていたのは 60%だった。主要産地の中では菅平と東信の川上村（以降川上村）が全地点で目標値を満たした。

可給態リン酸は 7.8~313mg/100g と地点によって大きくバラつきが見られた。目標値（10~35mg/100g 以上）を満たした地点は 18%だった。主要産地も含めて多くの地点が過剰傾向であり、特に菅平は顕著に高い値を示した。

作土深は 73%が目標値を満たしていた。主要産地の中では中信地域が全体的に高い値を示し、松

本市下原（以降下原）、次いで塩尻市洗馬（以降洗馬）の順であった。

3. 樹園地土壌

土づくりガイドブックでは、リンゴ（+ナシ）、ブドウ、モモでそれぞれ異なる目標値が設定されている。本調査は様々な果樹が栽培されていたことから、目標値をできるだけ広く設定・検討した（例：可給態リン酸はリンゴの目標値下限とブドウの目標値上限を採用）。

第 5, 6 図に目標値を満たした地点割合と土壌グループ別の傾向を、平均値及び標準偏差を第 11, 12 表に示した。

pH は 4.2~7.6 の値を示し、目標値を満たした地点は 30%だった。土壌グループの中では、黒ボクは他グループと比較して高い傾向にあった。

全炭素は 0.4~6.8%の値を示し、低地土、台地土では 88%が目標値を満たした。黒ボクは普通畑と同様に分類した結果、94%が腐植質または多腐植の有機質に富む土壌だった。

可給態窒素は 1.6~18.1mg/100g の値を示した。樹園地では可給態窒素の目標値が設定されていないが、10mg/100g 以上の地点が 28%あり、5~10mg/100g 以上の地点も 47%あった。土壌グループ別では黒ボクがやや高い傾向にあった。

塩基バランスについては、石灰/苦土比は 59%、苦土/加里比は 41%が目標値を満たしており、31%が両方を満たしていた。石灰/苦土比が高く、苦土/加里比が低い地点が多いことから、石灰過剰と苦土不足であることが示唆された。

可給態リン酸は 28%が目標値（10~60mg/100g）を満たしていた。土壌グループでは低地土がやや高かったが、全体的にバラつきが大きかった。

ち密度については、目標値を満たした地点は 76%だった。黒ボクがやや低い傾向であり、これは仮比重でも同様であった。

4. 牧草地土壌

牧草地は目標値が設定されていないため、調査結果について簡単に述べる（第 13 表）。調査地点が 9 地点で、土壌グループは黒ボクと台地土のみだった。

pH は 5.3~6.9 の値であり、黒ボクの方がやや高い傾向にあった。

全炭素は 2.6~16.4%の値であり、特に黒ボクでは他の地目より高い値を示した。

塩基バランスについては、地点によって大きくバラ

ついた。交換性石灰は 31~437mg/100g, 交換性苦土は 8.8~83 mg/100g, 交換性加里は 12~324ng/100g であった。

可給態リン酸は 3.0~143mg/100g の値を示した。特に標高が高い黒ボクの放牧地では低い値を示した。

可給態窒素は 7.8~11.5mg/100g の値を示し、平均値では普通畑や樹園地より高い値を示した。

II 経年的な土壌理化学性の変化

続いて、経年的な理化学性の変化について検討するために、1 巡目から調査を継続している地点を中心に水田、普通畑、樹園地を合わせて 204 地点を選定した。また、5~8 巡目(1999 年以降)を「近年」とし、全期間を通じての傾向と合わせて検討した。

1. 水田土壌 (第 7 図)

pH の変動は、全期間では判然としなかった。一方近年ではやや上昇傾向であり、7 巡目以降は pH が 5 未満の強酸性の地点が見られなかった。

全炭素は、平均値では全期間を通してやや低下傾向で推移した。その結果、1, 5, 8 巡目で 3.03%, 2.95%, 2.80%に低下した。

可給態窒素は、全期間では判然としない推移だった。一方近年ではやや増加傾向だった。

塩基バランスは、全期間については石灰/苦土比、苦土/加里比ともに判然としない傾向だった。近年に絞ると、石灰/苦土比の中央値及び第 1 四分位が低下しており、元々中央値を下回っていた地点がより低下傾向にあることが示唆された。苦土/加里比は、中央値がやや上昇傾向だったが、大きな変動は見られなかった。

可給態リン酸は、4 巡目まではやや増加傾向だったが、5 巡目以降は変動が見られなかった(図略)。

作土深については、全期間では 3 巡目までは低下傾向だったが、その後停滞した。近年になってからは、6 巡目以降から再び低下傾向だった。

2. 普通畑土壌 (第 8, 9 図)

pH は全期間を通して一定の傾向が見られなかった。産地別については、南牧村及び洗馬では低下傾向で推移した。川上村及び下原は、近年では大きく変動がしていないが、中信地域の山形村(以降山形村)は全期間を通して大きな変動が見られなかった。

全炭素は、4 巡目まではやや減少傾向だったが、近年になってからは大きな変動が見られなかった。一方産地別では、菅平、川上村、下原が近年でも低下傾向が続いた。

可給態窒素は、全期間では 4 巡目まで増加傾向だったが、その後減少に転じた。産地別でも同様の推移を示した。

塩基バランスについては、全期間の石灰/苦土比は判然としなかったが、近年に絞っては 6 巡目以降低下傾向だった。産地別では山形村と下原を除いては同様の傾向だった(図略)。苦土/加里比は、1 巡目のみ値がバラついたが、その後は大きな変動が見られなかった。

可給態リン酸は、4 巡目までは明らかに増加傾向であり、近年でも緩やかに増加を続けている。一方産地別では、菅平、川上村、山形村では増加傾向を示したが、南牧村、下原、洗馬では近年大きく変動していない。

作土深については 3 巡目まではやや低下したが、その後は大きな変動が見られなかった(図略)。

3. 樹園地土壌 (第 11 図)

pH は全期間を通して一定の傾向が見られず、近年ではほとんど変動していない。

全炭素は、全期間では判然としなかったが、近年に限っては、特に 6 巡目以降減少傾向だった。

可給態窒素については全期間では判然としなかった、近年に限っては全炭素と同様の傾向を示した。

塩基バランスについては、いずれも全期間判然としない傾向だった。

ち密度については、全期間で大きく変動しなかった(図略)。

考察

1. 水田土壌

ここまでの結果から、本県における水田土壌の主な課題として、以下の 3 点を挙げる。

(1) 作土の浅耕化

8 巡目では全体の 69%が目標値を満たしておらず、経年的にも低下傾向だった。作土深の浅耕化の要因として、三重県はプラウ耕からロータリー耕への変化と、田植え機の普及を挙げている(安田 2000)。これは田植え機による定植の場合、深

耕すると作業性が悪化することに起因する。また、千葉県では経営規模の拡大に伴い、作業能率が優先されていることを理由として述べている（安西 2000）が、本稿では耕作者の経営規模については未検討である。このような浅耕化の傾向は新潟県でも見られている（本間ら 2016）一方で、滋賀県は大きく変動せず（園田ら 2014）、徳島県（松家ら 2000）、鹿児島県（西ら 2013）では深耕化した。

土壌グループの中では特に黒ボクで作土が浅い結果となった。黒ボク水田は 87%が南信地域に分布していたが、南信地域は他の地域と比較して基盤整備による礫層が浅い段階で形成されている地点が多く、中には地表から 30cm 未満で見られる地点もあった。これにより地表付近に耕盤層がより硬く形成されたことで、浅耕化が進んでいる可能性が考えられた。

（2）低 pH

pH については経年的な変動は見られなかったが、8 巡目では 67%が目標値を満たさなかった。pH は各種養分の溶解性に影響するため、作物の養分吸収、引いては収量・品質に影響する可能性がある。土壌グループの中では黒ボク、低地土で pH が低い傾向だった。一方で水田は湛水条件になると土壌の還元化が進み、pH が上昇に転ずることから、酸性化による生理障害が生じ難いという特徴もある。よって、特に水田転換や輪作体系を実施する場合はアルカリ資材を施用し、適正な pH へ矯正する必要があると考えられた。

（3）塩基バランスの乱れ

石灰/苦土比については全体の 44%が、苦土/加里比については 35%が目標値を満たしていなかった。また黒ボク、低地土では石灰/苦土比が高い傾向にあり、石灰過剰である可能性が考えられた。一方地域間による差も見られ、中南信地域には目標値を満たさない地点が多く見られた（第 5 表）。東北信の水田は 48%が黒ボクもしくは低地土であることから、塩基バランスの偏りは土壌グループではなく地域間でも見られることが示唆された。

なお、可給態窒素については、目標値を下回る地点は 23%とそれほど高くなく、経年的にはむしろ増加傾向だった。土壌グループの中では、台地土が最も低い傾向にあったが、平均値が 13.1mg/100g、中央値が 10.9mg/100g といずれも目標値を上回った。一般的に稲わらや堆肥等の有機

物を施用することで土壌中の全炭素量が増加し、その結果地力（可給態窒素）も向上することが知られている。実際に、全炭素と可給態窒素の相関係数は 0.66 と正の相関にあり、土壌グループごとに分けるとさらに相関が高まった（第 10 図）。両者の相関性については新潟県でも同様の傾向があることが報告されている（本間ら 2016）。しかし、経年的な変化については、両項目が逆の推移を示し、全炭素は減少傾向にあった。この点については更なる検討が必要だと考えられた。

2. 普通畑土壌

本県における黒ボク普通畑土壌の主な課題として、以下の 3 点を挙げる。

（1）可給態リン酸過剰

可給態リン酸は全体の 83%が過剰状況にあった。4 巡目までは大きく増加しており、近年になっても緩やかに増加傾向が続いている。一方産地によっては、近年大きな変動がない地域もあり、地域間差が大きいことが示唆された。長野県と同様に黒ボク土が広く分布している他県の状況では、鹿児島県も同様の傾向であり（西ら 2013）、千葉県では 5 巡目以降増加に転じていた（永沢ら 2017）。

（2）可給態窒素の減少

可給態窒素は 4 巡目までは増加傾向にあったが、その後は減少傾向に転じており、8 巡目では 72%が目標値を未満だった。同様の傾向は千葉県（永沢ら）も報告しているが、新潟県（本間ら）や鹿児島県（西ら）のように一定の傾向が見られなかったという報告もある。近年は停滞しているものの、全炭素が減少傾向にあることから、有機物施用による地力の補給が必要だと考えられた。

（3）高 pH

全体の 57%が目標値を満たしておらず、そのほとんどが目標値を上回っていた。県全体では大きな変動が見られなかったが、一方で南牧村や洗馬等低下傾向を示す地域もあった。土壌は基本的に降雨等により酸性に傾くため、普通畑では基本的に石灰資材を施用して矯正する。しかし、石灰/苦土比が 6 巡目以降低下傾向にあることを踏まえると、施用量が減少傾向にあることが推察された。したがって、pH は地域によって傾向が異なるため、必要に応じて矯正する必要があると考えられた。

3. 樹園地土壌

本県における樹園地土壌の主な課題として、以下の3点を挙げる。

(1) 可給態リン酸過剰

可給態リン酸は全体の71%が過剰状況だった。近年では減少傾向ではあるものの、依然としてこの状況が続いている。同様の傾向は山形県(長沢ら2006)からも報告されている。土壌グループ別では低地土がやや高い傾向だった。

(2) 高pH

pHは、経年的には大きな変動が見られなかったが、全体の70%が目標値を満たしていなかった。果樹は前述のように品目によって好適pHが異なる。そこで現在栽培している品目と土づくりガイドブックの目標値とを照らし合わせたところ、目標値を満たしていない地点は76%に増加した。このことから、適正pHではない樹園地が多くみられることが示唆された。

(3) 塩基バランスの乱れ

石灰/苦土比については全体の41%が、苦土/加里比については59%が目標値を満たしていなかった。石灰/苦土比が高い地点と苦土/加里比が低い地点が多いことを考慮すると、石灰過剰と苦土不足である地点が多いことが推察された。経年的な変動が判然としなかったが、土壌グループの中では低地土が特にこの傾向が強く、塩基バランスの改善が必要だと考えられた。

摘 要

1979年から2020年の41年間実施した土壌調査の結果から、長野県内の農耕地土壌における理化学性の実態と変化について検討した。

1. 水田では、作土の浅耕化、低pH、塩基バランスが課題だった。作土深は6巡目以降特に黒ボクで減少傾向になっている。pH及び塩基バランスは大きく変動していない。また全炭素が減少傾向で推移している。

2. 普通畑では可給態リン酸過剰、可給態窒素減少、高pHが課題であった。可給態リン酸は増加傾向だが、産地によってバラつきがあり、停滞している地域もある。可給態窒素は5巡目以降減少傾向で推移している。

3. 樹園地では可給態リン酸過剰、高pH、塩基バランスの乱れが課題であった。可給態リン酸は5巡目以降減少傾向ではあるものの依然として過

剰状況が続いている。pHは全体的に好適pHより高い状況で栽培している地点が多い。

4. 牧草地の黒ボクにおける全炭素及び可給態窒素は他の地目よりも高い傾向にある。

謝 辞

本調査は土壌調査の実施に同意していただいた全ての生産者と各農業農村支援センターの普及指導員、農業試験場環境部の研究員からの多大なる協力を受けて実施されたものである。ここに心から謝意を表する。

引用文献

- 土壌保全調査事業全国協議会. 2012. 全国農耕地土壌ガイドブック. p.52. 日本土壌協会
- 小原洋, 中井信. 1998. 農耕地土壌の交換性塩基類の全国的変動, 農耕地土壌の特性変動 (I). 日本土壌肥科学雑誌. 74. 615-622
- 長野県農業総合試験場. 1978. 長野県農耕地土壌の基本的性格と生産力特性. p.216-297. 地力保全基本調査総合成績書
- 長野県. 2012. 土づくりガイドブック第3版. 362-366
- 小原洋, 大倉利明, 高田 裕介, 神山 和則, 前島 勇治, 浜崎忠雄. 2011. 包括的土壌分類 第1次試案. 農業環境技術研究所報告. 29. 1-73
- 本間利光, 白鳥豊, 金子(門倉)綾子, 大峽広智, 南雲芳文, 土田徹. 2014. 新潟県農耕地土壌の理化学性及び土壌管理の実態と変化. 新潟県農業総合研究所研究報告. 14: 1-15
- 谷本俊明, 宮地勝正, 松浦謙吉, 中沢征三郎, 上本哲, 小松武治. 2002. 広島県における農耕地土壌の実態と変化. 広島農技セ研報. 72: 55-70
- 安田典夫. 2000. 三重県における農耕地土壌のモニタリング. ペドロジスト. 44: 143-146
- 安西徹郎. 2000. 千葉県における農耕地土壌の実態と変化. ペドロジスト. 44: 155-160
- 園田敬太郎, 猪田有美, 北川照美, 武久邦彦. 2014. 滋賀県における農耕地土壌の実態と変化 (第3報). 滋賀県技セ研報. 52: 29-39
- 松家義克, 梯美仁, 小川仁. 2000. 徳島県におけるこの20年間の農耕地土壌の実態と変化. 徳島農試研報. 36: 23-36
- 西裕之, 森田重則, 小玉泰生, 渋川洋, 相本涼子,

井上健一，久米隆志，後藤忍，末永博，永田茂穂，鳩野哲也，松元順，森清文，山下純一，脇門英美，和合由員．2013．30年間に於ける鹿児島県農耕地土壌の理化学性の変化．鹿児島農総研報．7：47-61

永沢朋子，八槇敦，斉藤研二．2017．千葉県の主

要農耕地土壌における養分の経年変化とその要因解析．千葉農林総研報．9：31-41

長沢和弘，熊谷勝巳，中川文彦，佐藤之信，今野陽一，森岡幹夫，上野正夫，山口金栄．2006．山形県における農耕地土壌の実態と変化．山形農事研報．38：41-57

第4表 土壌理化学性の目標値及び参考とした文献

	単位	水田	(文献)	普通畑	(文献)	樹園地	(文献)
pH		6.0～6.5	国	6.0～6.5	県	5.5～6.5	国
全炭素	%	1.16≦	県	-	分類	1.16≦	国 ¹⁾
石灰/苦土比		≦6	県	<5	県	1.8～4.8	県 ²⁾
苦土/加里比		2≦	県	2<	県	2.6～10	県 ²⁾
可給態リン酸	mg/100g	10≦	国	10～35	県	10～60	県
可給態窒素	mg/100g	10≦	県	5≦	国	-	-
作土深	cm	15～18	県	15<	県	-	-
ち密度	mm	-	-	-	-	≦20	県

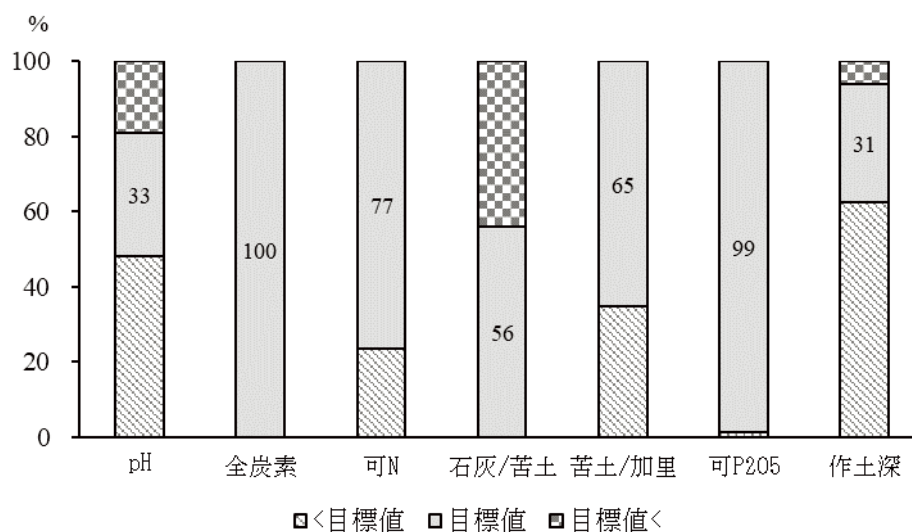
県) 土づくりガイドブック第3版

国) 地力増進基本指針

分類) 農耕地土壌分類第2次案改訂版

1) 低地土，台地土の目標値．黒ボクは普通畑に準じた

2) 各塩基の飽和度目標値から算出



第1図 水田の8巡目における目標値を満たした地点割合

第5表 水田における塩基バランスの目標値を満たした地点割合

	北信	東信	中信	南信
石灰/苦土比	100	100	48	13
苦土/加里比	100	89	63	74

単位は%

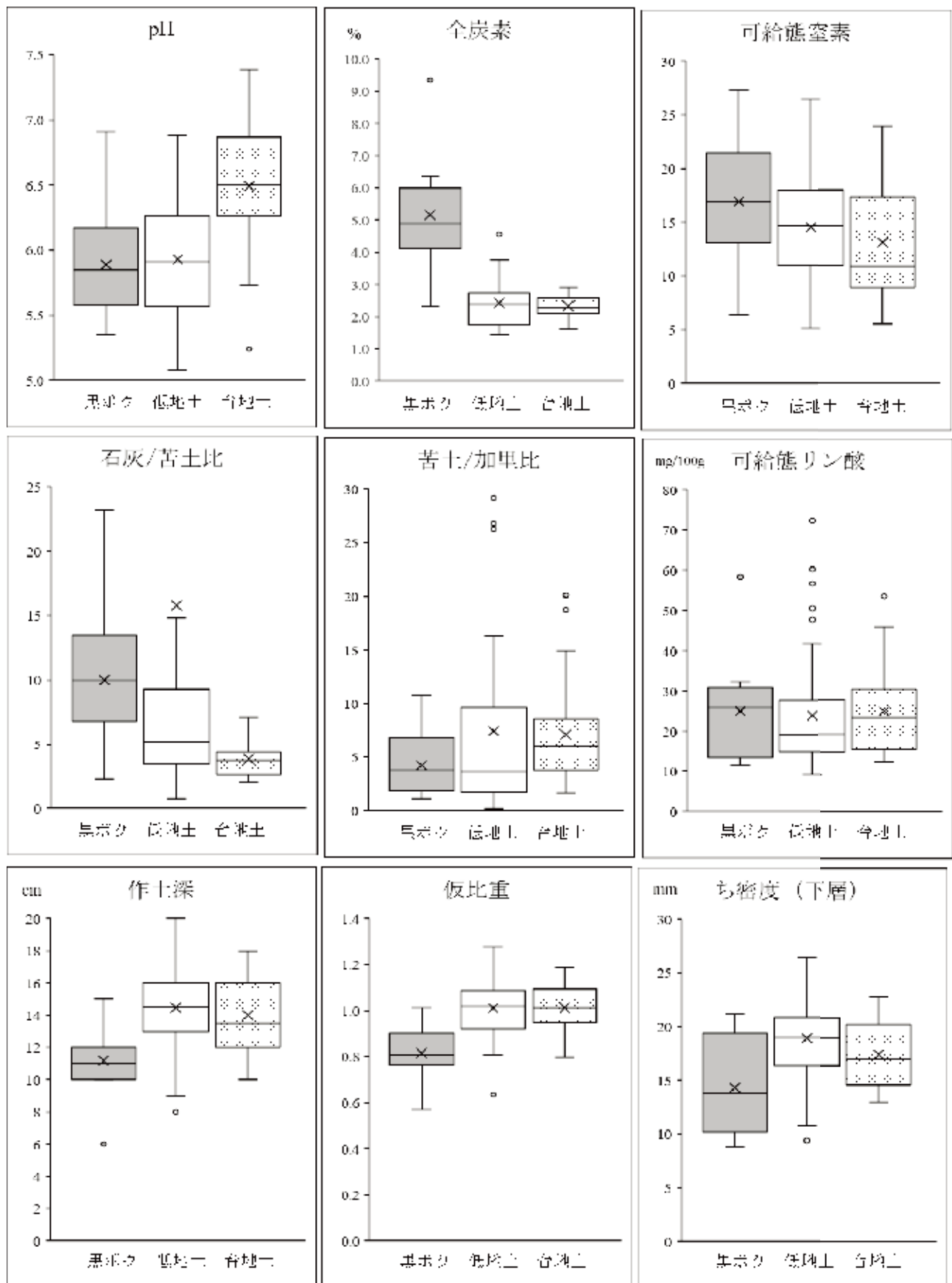
第6表 本県水田土壌における理化学性の実態

	単位	1巡目	2巡目	3巡目	4巡目	5巡目	6巡目	7巡目	8巡目
pH		5.89 ±0.54	5.86 ±0.47	5.97 ±0.47	5.69 ±0.52	5.84 ±0.46	5.83 ±0.49	5.77 ±0.39	6.06 ±0.52
EC	mS/cm	0.10 ±0.06	0.10 ±0.08	0.08 ±0.08	0.09 ±0.05	0.09 ±0.06	0.09 ±0.04	0.08 ±0.04	0.05 ±0.02
全炭素	%	3.16 ±2.08	3.07 ±2.07	2.24 ±0.91		3.07 ±1.57	3.04 ±1.54	2.91 ±1.42	2.79 ±1.35
全窒素	%	0.25 ±0.15	0.24 ±0.14	0.19 ±0.07		0.26 ±0.10	0.27 ±0.10	0.26 ±0.10	0.25 ±0.08
CEC	meq/100g	17.0 ±8.4	25.8 ±5.6			17.1 ±7.7	16.9 ±7.5		
交換性石灰	mg/100g	246.8 ±148.3	246.3 ±124.6	244.1 ±135.0	236.6 ±141.1	245.4 ±130.7	243.2 ±124.5	225.5 ±138.7	246.3 ±141.9
交換性苦土	mg/100g	34.6 ±28.6	32.1 ±23.6	36.8 ±29.1	38.6 ±29.8	39.6 ±28.9	35.0 ±25.9	38.1 ±29.8	40.2 ±32.3
交換性加里	mg/100g	18.3 ±11.5	16.8 ±14.0	13.3 ±11.4	23.6 ±17.1	24.4 ±13.8	20.9 ±13.2	15.5 ±9.3	18.9 ±13.7
塩基飽和度	%	63.0 ±19.3	66.6 ±16.0			67.2 ±23.7	65.1 ±16.4		
可給態リン酸 ¹⁾	mg/100g	19.8 ±18.1	25.9 ±24.9	26.4 ±22.8	31.5 ±29.8	31.3 ±21.2	28.2 ±18.9	29.4 ±20.8	24.4 ±12.8
可給態窒素	mg/100g	13.0 ±5.1	8.2 ±5.5	11.0 ±6.6	11.4 ±4.4	11.5 ±4.5	13.1 ±4.2	12.4 ±4.9	14.7 ±5.3
作土深	cm	16.8 ±4.6		14.6 ±2.8	14.1 ±3.2	14.3 ±2.6	14.7 ±3.0	14.5 ±2.9	13.8 ±3.2
仮比重		1.06 ±0.23	1.09 ±0.18	1.03 ±0.17	1.00 ±0.24	1.02 ±0.23	0.92 ±0.17	0.92 ±0.17	0.98 ±0.16
孔隙率	%	59.8 ±8.7	57.5 ±6.7	60.6 ±6.7	60.3 ±6.5	62.3 ±8.7	56.2 ±10.9		54.9 ±13.0
ち密度 (下層)	mm	19.4 ±3.4		19.9 ±3.1	19.6 ±3.3	19.0 ±3.0	19.7 ±3.5	19.9 ±2.9	17.8 ±3.8

1) トルオーグ法による

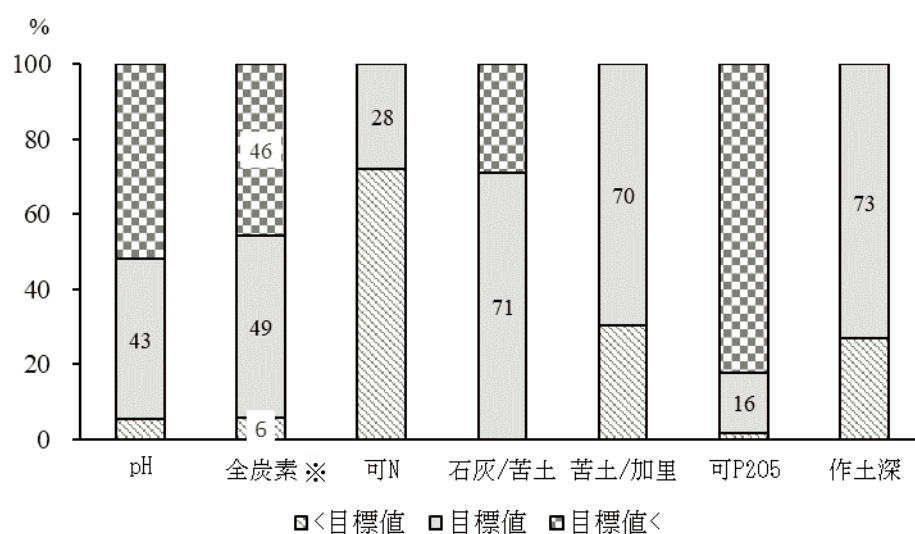
第7表 水田における土壌グループ別理化学性データ

		1巡目	2巡目	3巡目	4巡目	5巡目	6巡目	7巡目	8巡目
pH	黒ボク	6.24 ±0.41	5.97 ±0.28	6.10 ±0.24	5.95 ±0.38	6.09 ±0.32	5.88 ±0.39	5.71 ±0.32	5.89 ±0.37
	低地土	5.86 ±0.52	5.83 ±0.43	5.99 ±0.45	5.73 ±0.43	5.82 ±0.38	5.80 ±0.48	5.73 ±0.34	5.93 ±0.47
	台地土	5.69 ±0.54	5.78 ±0.56	5.85 ±0.57	5.42 ±0.64	5.65 ±0.61	5.86 ±0.58	5.91 ±0.48	6.49 ±0.50
EC	黒ボク	0.11 ±0.10	0.12 ±0.06	0.11 ±0.14	0.12 ±0.06	0.09 ±0.07	0.09 ±0.03	0.09 ±0.03	0.05 ±0.02
	低地土	0.09 ±0.04	0.09 ±0.06	0.07 ±0.04	0.07 ±0.03	0.08 ±0.06	0.08 ±0.04	0.08 ±0.05	0.05 ±0.02
	台地土	0.10 ±0.04	0.11 ±0.09	0.09 ±0.08	0.10 ±0.07	0.11 ±0.05	0.12 ±0.04	0.09 ±0.03	0.07 ±0.03
全炭素	黒ボク	6.17 ±2.71	6.08 ±2.63	2.45 ±0.31		5.25 ±1.68	5.31 ±1.61	5.04 ±1.53	5.17 ±1.90
	低地土	2.49 ±0.94	2.46 ±0.97	2.21 ±0.91		2.67 ±1.03	2.60 ±1.00	2.57 ±0.97	2.43 ±0.77
	台地土	2.31 ±0.92	2.05 ±0.75	2.27 ±0.95		2.16 ±0.43	2.24 ±0.32	2.13 ±0.46	2.34 ±0.34
全窒素	黒ボク	0.45 ±0.19	0.42 ±0.17	0.21 ±0.03		0.40 ±0.09	0.41 ±0.09	0.40 ±0.09	0.38 ±0.10
	低地土	0.21 ±0.08	0.20 ±0.08	0.19 ±0.08		0.24 ±0.08	0.24 ±0.08	0.24 ±0.08	0.23 ±0.07
	台地土	0.18 ±0.08	0.17 ±0.07	0.19 ±0.07		0.20 ±0.04	0.21 ±0.03	0.20 ±0.05	0.23 ±0.03
CEC	黒ボク	28.6 ±8.5	31.8 ±3.0			26.3 ±8.7	28.3 ±4.3		
	低地土	12.6 ±5.0	21.5 ±3.3			13.8 ±4.6	14.2 ±6.4		
	台地土	17.5 ±4.8	26.9 ±5.1			17.0 ±6.0	21.2 ±6.6		
交換性石灰	黒ボク	399.8 ±185.8	337.0 ±131.1	354.4 ±133.3	344.0 ±124.8	315.8 ±136.6	288.5 ±123.0	234.6 ±86.0	312.4 ±122.9
	低地土	180.6 ±105.3	191.8 ±87.2	184.1 ±90.5	179.5 ±88.5	198.3 ±92.3	194.3 ±105.8	180.0 ±110.4	195.3 ±114.1
	台地土	268.0 ±91.9	278.7 ±127.1	290.7 ±145.2	277.2 ±175.8	298.2 ±154.9	318.3 ±113.5	319.6 ±174.7	320.4 ±162.0
交換性苦土	黒ボク	47.0 ±39.3	36.3 ±23.7	42.5 ±29.9	51.5 ±36.0	39.7 ±28.0	36.5 ±30.4	34.2 ±22.8	34.3 ±27.9
	低地土	25.2 ±22.2	25.6 ±16.3	27.2 ±22.3	28.8 ±20.0	31.1 ±20.7	26.0 ±18.9	29.2 ±22.8	32.0 ±28.5
	台地土	44.4 ±23.7	39.7 ±29.8	51.7 ±32.7	49.2 ±34.0	60.1 ±35.6	54.5 ±24.7	60.4 ±36.3	63.5 ±32.5
交換性加里	黒ボク	28.6 ±10.2	19.4 ±6.8	15.6 ±20.1	37.1 ±29.9	30.0 ±11.0	30.2 ±19.4	21.7 ±11.2	20.3 ±11.3
	低地土	14.3 ±9.4	13.8 ±7.5	11.4 ±7.3	21.5 ±9.4	23.9 ±14.9	18.3 ±10.3	13.5 ±8.3	15.4 ±12.0
	台地土	18.9 ±11.5	19.1 ±21.7	15.6 ±9.5	18.7 ±11.8	20.9 ±11.8	19.2 ±9.0	15.1 ±7.2	26.4 ±15.8
塩基飽和度	黒ボク	58.7 ±18.4	44.3 ±5.9			52.5 ±13.6	66.4 ±32.3		
	低地土	61.2 ±19.3	71.1 ±12.6			65.6 ±20.2	62.5 ±17.2		
	台地土	70.0 ±18.2	71.7 ±13.5			83.6 ±28.0	70.1 ±10.2		
可給態リン酸	黒ボク	20.1 ±20.0	27.7 ±30.9	37.4 ±33.7	39.5 ±44.9	31.9 ±20.1	28.7 ±16.8	30.1 ±17.8	25.0 ±11.5
	低地土	25.4 ±18.6	30.6 ±19.6	27.8 ±16.7	34.5 ±25.3	34.8 ±22.4	31.1 ±22.0	31.1 ±21.6	24.0 ±13.8
	台地土	8.3 ±6.6	11.7 ±8.2	16.7 ±20.5	20.4 ±20.7	22.3 ±15.8	21.3 ±7.7	24.3 ±20.0	25.0 ±11.2
可給態窒素	黒ボク	16.2 ±6.0	10.1 ±4.7		12.8 ±7.7	13.6 ±4.6	15.4 ±5.0	15.8 ±3.9	16.9 ±5.6
	低地土	12.6 ±4.2	8.5 ±4.9	10.7 ±4.8	11.6 ±4.4	11.6 ±3.8	12.2 ±3.7	11.5 ±4.9	14.5 ±4.9
	台地土	11.6 ±5.0	6.7 ±6.5	11.4 ±7.9	10.8 ±3.5	9.1 ±4.9	13.0 ±3.3	11.7 ±4.0	13.1 ±5.6
作土深	黒ボク	19.3 ±5.6		14.9 ±4.1	14.3 ±3.7	17.0 ±3.0	14.5 ±2.5	15.2 ±3.3	11.2 ±2.0
	低地土	16.5 ±4.5		14.7 ±2.6	14.7 ±3.1	14.5 ±2.7	15.1 ±3.4	15.0 ±2.7	14.5 ±3.4
	台地土	15.4 ±2.7		14.2 ±2.1	12.8 ±2.6	13.7 ±2.2	13.9 ±2.6	12.8 ±2.0	14.5 ±3.1
仮比重	黒ボク	0.83 ±0.16	0.87 ±0.14	0.88 ±0.14	0.83 ±0.17	0.81 ±0.09	0.77 ±0.08	0.82 ±0.09	0.82 ±0.12
	低地土	1.14 ±0.18	1.15 ±0.14	1.04 ±0.18	1.03 ±0.24	1.14 ±0.22	0.98 ±0.19	1.04 ±0.18	1.01 ±0.14
	台地土	1.07 ±0.25	1.13 ±0.14	1.07 ±0.13	1.06 ±0.22	0.99 ±0.18	0.91 ±0.11	0.84 ±0.00	1.01 ±0.10
孔隙率	黒ボク	67.7 ±6.0	65.8 ±4.3	66.7 ±5.4	66.4 ±5.2	69.8 ±3.0	44.3 ±12.9		44.0 ±15.3
	低地土	56.5 ±7.2	55.0 ±5.5	59.7 ±6.8	59.3 ±5.7	58.0 ±8.4	59.9 ±6.9		58.5 ±8.6
	台地土	60.5 ±9.4	56.6 ±5.4	59.0 ±5.2	57.7 ±5.7	63.3 ±7.3	59.0 ±8.1		62.2 ±8.6
ち密度 (下層)	黒ボク	18.8 ±2.3		19.0 ±1.9	19.7 ±2.6	19.5 ±5.5	20.6 ±3.4	20.1 ±2.6	14.3 ±4.1
	低地土	19.8 ±3.4		19.9 ±3.4	20.1 ±3.3	19.4 ±2.8	19.6 ±3.9	20.6 ±2.5	18.9 ±3.4
	台地土	19.0 ±3.8		20.3 ±2.8	18.1 ±3.4	18.1 ±2.8	19.2 ±2.5	18.3 ±3.3	17.4 ±2.9



第2図 水田における土壌グループ別の理化学性の実態 (8 巡目)

※図中の○は外れ値を示す



第3図 普通畑の8巡目における目標値を満たした地点割合

※目標値ではなく淡色、腐植質、多腐植質の割合 (黒ボクのみ)

第8表 主要野菜産地別の理化学性の実態 (n=4~9)

	東信						中信					
	上田市 菅平	(%)	川上村	(%)	南牧村	(%)	松本市 下原	(%)	塩尻市 洗馬	(%)	山形村	(%)
pH	6.6	25	6.7	33	6.1	80	6.7	40	6.3	80	6.6	20
全炭素	6.2	—	3.6	—	6.7	—	3.8	—	4.7	—	4.5	—
可給態窒素	5.1	75	4.2	22	4.0	0	1.9	0	4.7	20	3.3	0
石灰/苦土比	2.9	100	2.7	100	3.9	80	6.6	20	3.9	60	5.3	60
苦土/加里比	5.4	100	4.4	100	2.8	60	1.9	40	2.0	40	3.2	60
可給態リン酸	221.0	0	121.9	0	76.6	20	47.5	20	111.6	0	99.9	20
作土深	14.8	50	17.2	67	19.6	80	24.6	100	19.8	100	18.2	60
仮比重	0.75	—	0.85	—	0.76	—	0.74	—	0.92	—	0.69	—
ち密度(下層)	14.0	—	18.4	—	12.8	—	14.9	—	15.2	—	11.3	—

※土壌グループは全て黒ボク

※主な栽培品目

菅平, 川上村, 南牧村: レタス, ハクサイ

下原, 山形村: スイカ, ナガイモ

塩尻市洗馬: レタス, キャベツ

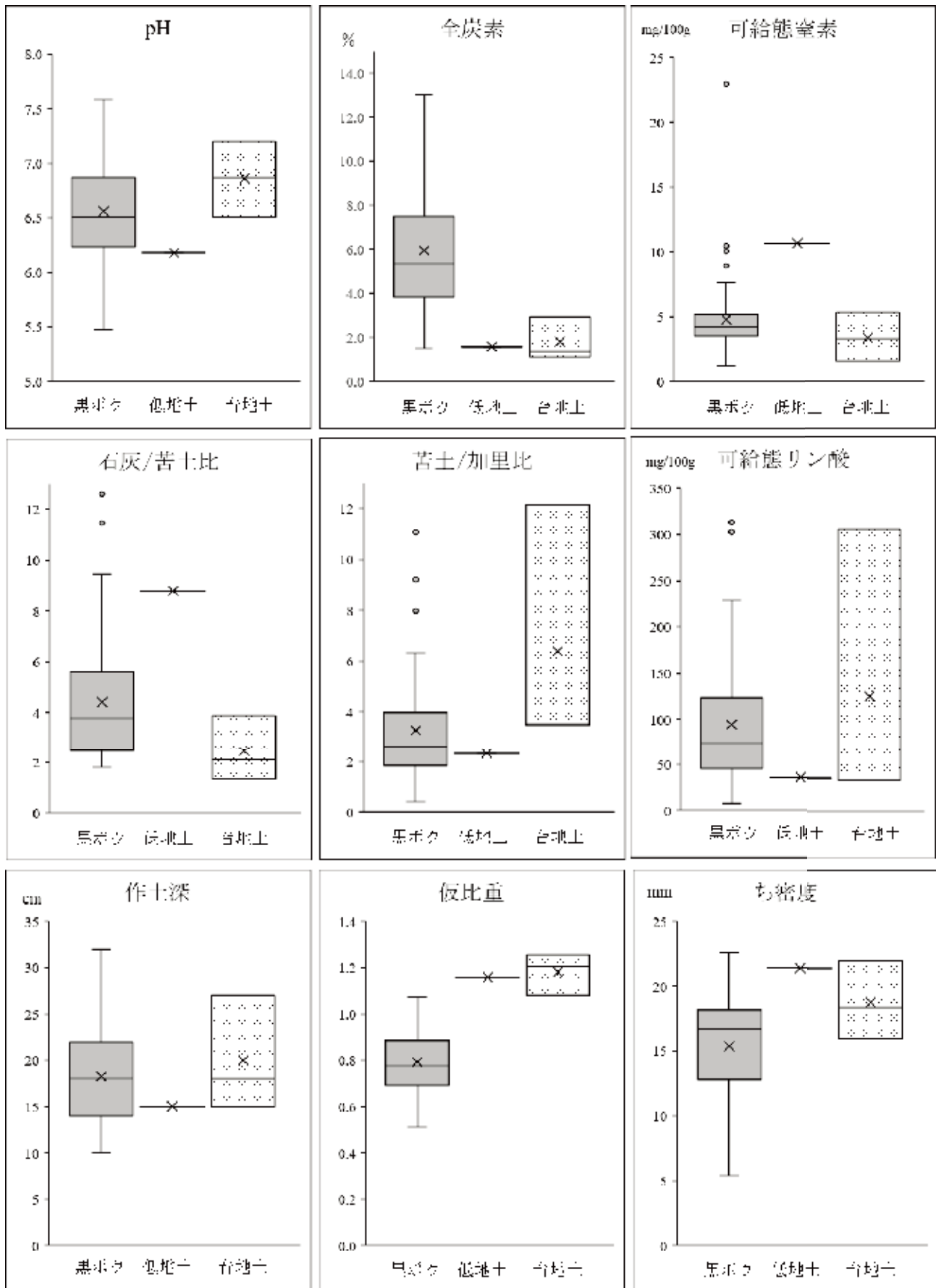
※目標値を満たした地点割合を%で表記

第9表 本県普通地土壌における理化学性の実態

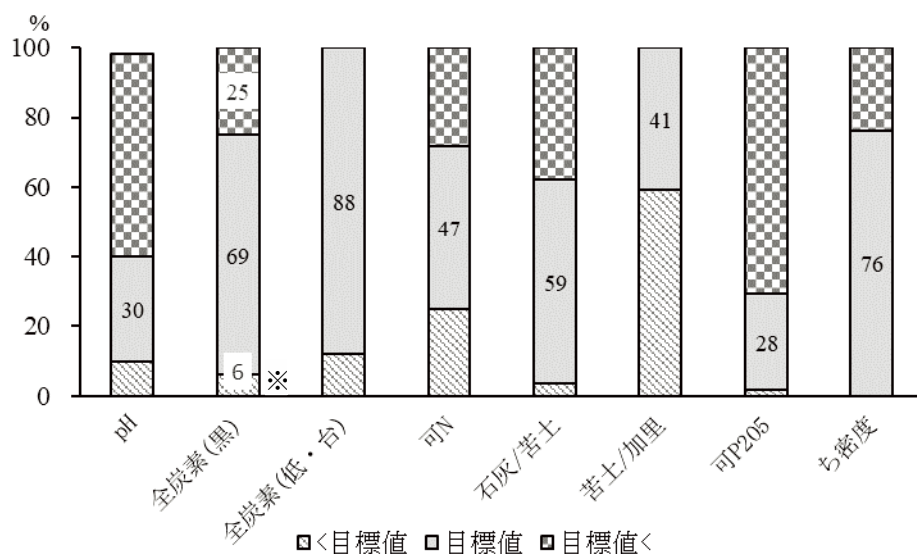
	単位	1巡目	2巡目	3巡目	4巡目	5巡目	6巡目	7巡目	8巡目
pH		6.54 ±0.64	6.52 ±0.71	6.64 ±0.85	6.48 ±0.79	6.52 ±0.61	6.51 ±0.58	6.49 ±0.53	6.59 ±0.47
EC	mS/cm	0.14 ±0.07	0.20 ±0.12	0.16 ±0.22	0.17 ±0.12	0.18 ±0.18	0.15 ±0.09	0.14 ±0.13	0.12 ±0.06
全炭素	%	6.51 ±4.24	5.64 ±3.76	5.13 ±3.63		5.81 ±2.79	5.52 ±2.77	4.97 ±2.64	5.43 ±2.91
全窒素	%	0.42 ±0.24	0.36 ±0.21	0.34 ±0.19		0.43 ±0.16	0.43 ±0.17	0.40 ±0.17	0.42 ±0.18
CEC	meq/100g	31.0 ±13.7	27.7 ±14.4			30.0 ±10.3	29.8 ±8.0		
交換性石灰	mg/100g	548.5 ±324.0	493.2 ±247.9	484.6 ±247.8	483.6 ±244.1	514.5 ±227.6	528.5 ±239.5	472.5 ±176.5	480.0 ±188.5
交換性苦土	mg/100g	91.7 ±65.0	69.4 ±48.0	83.7 ±54.0	79.3 ±52.0	82.9 ±42.3	74.7 ±43.7	80.8 ±41.5	95.3 ±49.2
交換性加里	mg/100g	77.1 ±50.0	70.8 ±42.6	68.2 ±30.9	85.9 ±42.6	86.4 ±44.9	72.3 ±36.2	60.8 ±27.9	78.6 ±36.4
塩基飽和度	%	84.8 ±28.4	79.7 ±22.7			82.2 ±21.2	76.4 ±24.3		
可給態リン酸	mg/100g	49.4 ±57.1	64.5 ±68.0	67.9 ±60.5	82.6 ±70.0	90.8 ±69.2	83.9 ±72.7	90.4 ±66.1	97.9 ±75.3
可給態窒素	mg/100g	6.8 ±21.1	5.4 ±3.5	4.4 ±2.6	6.6 ±3.2	6.9 ±4.6	5.9 ±3.9	6.4 ±3.3	4.8 ±3.2
作土深	cm	21.8 ±8.3		17.6 ±5.1	15.4 ±4.8	18.1 ±5.9	16.8 ±4.3	16.7 ±4.2	18.2 ±5.1
仮比重		0.83 ±0.24	0.76 ±0.21	0.78 ±0.20	0.76 ±0.22	0.76 ±0.20	0.68 ±0.17	0.83 ±0.25	0.85 ±0.21
孔隙率	%	68.7 ±8.9	71.0 ±7.8	71.0 ±7.7	70.7 ±8.0	71.7 ±7.6	69.5 ±6.8		66.0 ±9.5
ち密度(下層)	mm	17.4 ±3.0		18.1 ±3.0	17.4 ±3.8	17.2 ±3.5	16.1 ±4.6	17.9 ±3.1	15.7 ±4.0

第 10 表 普通畑における土壌グループ別理化学性データ

		1巡目	2巡目	3巡目	4巡目	5巡目	6巡目	7巡目	8巡目
pH	黒ボク	6.65 ±0.60	6.61 ±0.66	6.76 ±0.73	6.54 ±0.62	6.56 ±0.61	6.48 ±0.59	6.53 ±0.47	6.56 ±0.46
	低地土	6.51 ±0.62	6.29 ±0.63	6.36 ±0.90	6.57 ±1.00	6.17 ±0.58	6.99 ±0.45	6.04 ±0.82	6.87 ±0.69
	台地土	6.17 ±0.67	6.32 ±0.88	6.34 ±1.13	6.14 ±1.13	6.38 ±0.49	6.66 ±0.39	6.69 ±0.40	6.86 ±0.28
EC	黒ボク	0.15 ±0.07	0.21 ±0.12	0.18 ±0.25	0.19 ±0.12	0.20 ±0.19	0.16 ±0.09	0.15 ±0.13	0.12 ±0.06
	低地土	0.10 ±0.06	0.19 ±0.12	0.10 ±0.05	0.16 ±0.13	0.09 ±0.03	0.08 ±0.05	0.07 ±0.03	0.05 ±0.03
	台地土	0.11 ±0.05	0.13 ±0.09	0.16 ±0.16	0.12 ±0.09	0.14 ±0.09	0.09 ±0.05	0.12 ±0.10	0.07 ±0.04
全炭素	黒ボク	8.36 ±3.68	7.19 ±3.32	6.69 ±3.36		6.41 ±2.61	5.94 ±2.68	5.48 ±2.47	5.94 ±2.73
	低地土	1.55 ±0.70	1.35 ±0.72	1.42 ±1.13		2.01 ±0.66	2.26 ±0.69	1.64 ±0.62	1.70 ±0.13
	台地土	2.58 ±1.50	2.18 ±1.14	2.19 ±1.04		3.26 ±1.31	2.52 ±0.95	1.84 ±0.79	1.80 ±0.80
全窒素	黒ボク	0.53 ±0.20	0.45 ±0.18	0.42 ±0.17		0.46 ±0.14	0.46 ±0.17	0.43 ±0.15	0.46 ±0.16
	低地土	0.12 ±0.05	0.10 ±0.06	0.12 ±0.07		0.21 ±0.03	0.21 ±0.04	0.16 ±0.05	0.16 ±0.00
	台地土	0.19 ±0.11	0.17 ±0.10	0.20 ±0.08		0.29 ±0.11	0.25 ±0.09	0.32 ±0.24	0.19 ±0.09
CEC	黒ボク	36.3 ±12.1	43.1 ±10.1			32.1 ±9.8	30.6 ±7.9		
	低地土	13.0 ±3.9	15.1 ±2.8			15.4 ±4.5	22.3 ±8.8		
	台地土	21.9 ±7.8	23.5 ±7.5			22.1 ±4.3	25.2 ±5.6		
交換性石灰	黒ボク	642.7 ±329.0	558.9 ±249.1	543.4 ±248.3	532.9 ±250.1	539.8 ±229.8	531.8 ±243.5	497.4 ±166.7	492.6 ±185.7
	低地土	250.1 ±119.5	281.8 ±105.3	273.8 ±161.0	306.0 ±70.1	259.8 ±147.3	451.7 ±267.2	263.4 ±126.4	326.8 ±204.1
	台地土	375.6 ±173.8	371.7 ±171.3	387.7 ±167.7	400.2 ±215.3	464.5 ±117.9	519.3 ±183.4	448.0 ±151.1	363.2 ±131.8
交換性苦土	黒ボク	102.9 ±69.5	77.6 ±48.0	92.5 ±54.9	86.0 ±53.1	84.5 ±42.9	74.2 ±44.1	83.3 ±39.6	94.8 ±48.2
	低地土	44.8 ±26.0	41.0 ±16.2	45.1 ±24.2	48.4 ±18.8	52.1 ±41.0	78.3 ±66.2	59.1 ±39.9	75.6 ±65.5
	台地土	78.4 ±45.6	55.7 ±53.1	75.1 ±51.9	73.3 ±55.6	89.1 ±27.8	78.2 ±29.4	86.2 ±51.0	117.5 ±45.6
交換性加里	黒ボク	75.0 ±42.0	74.5 ±44.3	67.9 ±31.3	87.8 ±44.3	91.9 ±45.0	76.1 ±35.9	64.4 ±24.3	81.6 ±36.0
	低地土	66.4 ±30.1	51.8 ±21.2	71.1 ±32.0	88.3 ±42.8	67.5 ±32.8	41.0 ±33.2	26.0 ±19.6	43.1 ±33.0
	台地土	91.9 ±77.4	69.9 ±43.8	67.4 ±27.9	75.5 ±31.4	53.0 ±29.7	46.0 ±22.5	62.7 ±42.5	49.8 ±12.6
塩基飽和度	黒ボク	82.3 ±30.5	64.0 ±24.4			80.0 ±20.9	74.0 ±23.7		
	低地土	97.9 ±23.7	88.5 ±14.9			82.1 ±19.3	82.8 ±28.0		
	台地土	85.8 ±18.5	90.0 ±15.7			101.0 ±14.1	93.9 ±20.5		
可給態リン酸	黒ボク	40.2 ±46.8	58.9 ±62.7	61.4 ±55.7	78.6 ±74.5	81.9 ±60.9	79.8 ±64.5	90.0 ±63.6	94.5 ±68.3
	低地土	96.4 ±88.3	92.8 ±99.4	87.7 ±81.7	89.3 ±41.1	163.6 ±99.2	186.9 ±120.3	93.1 ±75.3	145.7 ±109.5
	台地土	55.3 ±52.9	66.0 ±51.2	80.8 ±55.1	95.9 ±63.8	110.1 ±80.4	92.1 ±99.0	106.9 ±80.1	124.8 ±127.8
可給態窒素	黒ボク	8.0 ±25.0	5.9 ±3.6	6.7 ±2.0	6.9 ±3.2	6.8 ±4.4	5.7 ±3.9	6.6 ±3.3	4.8 ±3.2
	低地土	2.6 ±1.6	4.7 ±2.9	2.6 ±1.7	4.1 ±1.6	3.8 ±2.2	7.3 ±0.0	4.7 ±2.1	7.9 ±2.8
	台地土	4.5 ±4.4	3.7 ±2.3	2.7 ±0.8	7.4 ±3.0	9.5 ±5.7	8.2 ±4.0	4.5 ±2.7	3.4 ±1.5
作土深	黒ボク	22.6 ±8.4		17.9 ±4.3	16.4 ±4.8	18.5 ±6.1	17.4 ±4.2	16.8 ±4.4	18.3 ±5.0
	低地土	13.7 ±0.7		19.7 ±11.4	13.0 ±4.0	15.2 ±2.6	10.0 ±1.0	15.8 ±4.0	12.5 ±2.5
	台地土	20.3 ±7.8		14.8 ±1.8	12.6 ±3.4	17.1 ±4.4	16.0 ±2.5	15.8 ±2.6	20.0 ±5.1
仮比重	黒ボク	0.72 ±0.15	0.66 ±0.12	0.68 ±0.12	0.66 ±0.12	0.69 ±0.11	0.62 ±0.10	0.69 ±0.10	0.76 ±0.12
	低地土	1.21 ±0.18	1.07 ±0.11	1.07 ±0.15	1.15 ±0.13	1.03 ±0.16	0.94 ±0.22	1.22 ±0.05	1.24 ±0.08
	台地土	1.09 ±0.08	0.99 ±0.23	0.97 ±0.17	0.97 ±0.18	1.02 ±0.22	0.94 ±0.11	1.22 ±0.00	1.18 ±0.07
孔隙率	黒ボク	72.4 ±6.5	74.5 ±4.6	74.6 ±4.8	74.4 ±4.7	74.4 ±4.3	70.8 ±5.6		68.6 ±8.5
	低地土	56.4 ±7.3	60.8 ±4.4	60.3 ±5.9	57.2 ±5.0	62.4 ±6.2	64.3 ±7.0		51.8 ±3.2
	台地土	60.1 ±5.3	62.7 ±8.7	63.9 ±6.9	63.3 ±6.6	61.7 ±8.8	64.4 ±9.3		57.0 ±1.4
ち密度（下層）	黒ボク	17.6 ±2.4		18.1 ±2.3	17.3 ±3.8	16.8 ±3.4	16.0 ±4.6	18.1 ±3.2	15.4 ±3.9
	低地土	12.7 ±3.4		14.8 ±2.8	17.6 ±3.8	18.0 ±2.8	20.9 ±1.1	16.2 ±2.5	17.8 ±3.6
	台地土	19.4 ±2.6		20.1 ±3.6	18.3 ±3.9	21.0 ±2.8	15.5 ±4.3	17.0 ±1.3	18.8 ±2.5



第4図 普通畑における土壌グループ別の理化学性の実態 (8巡目)

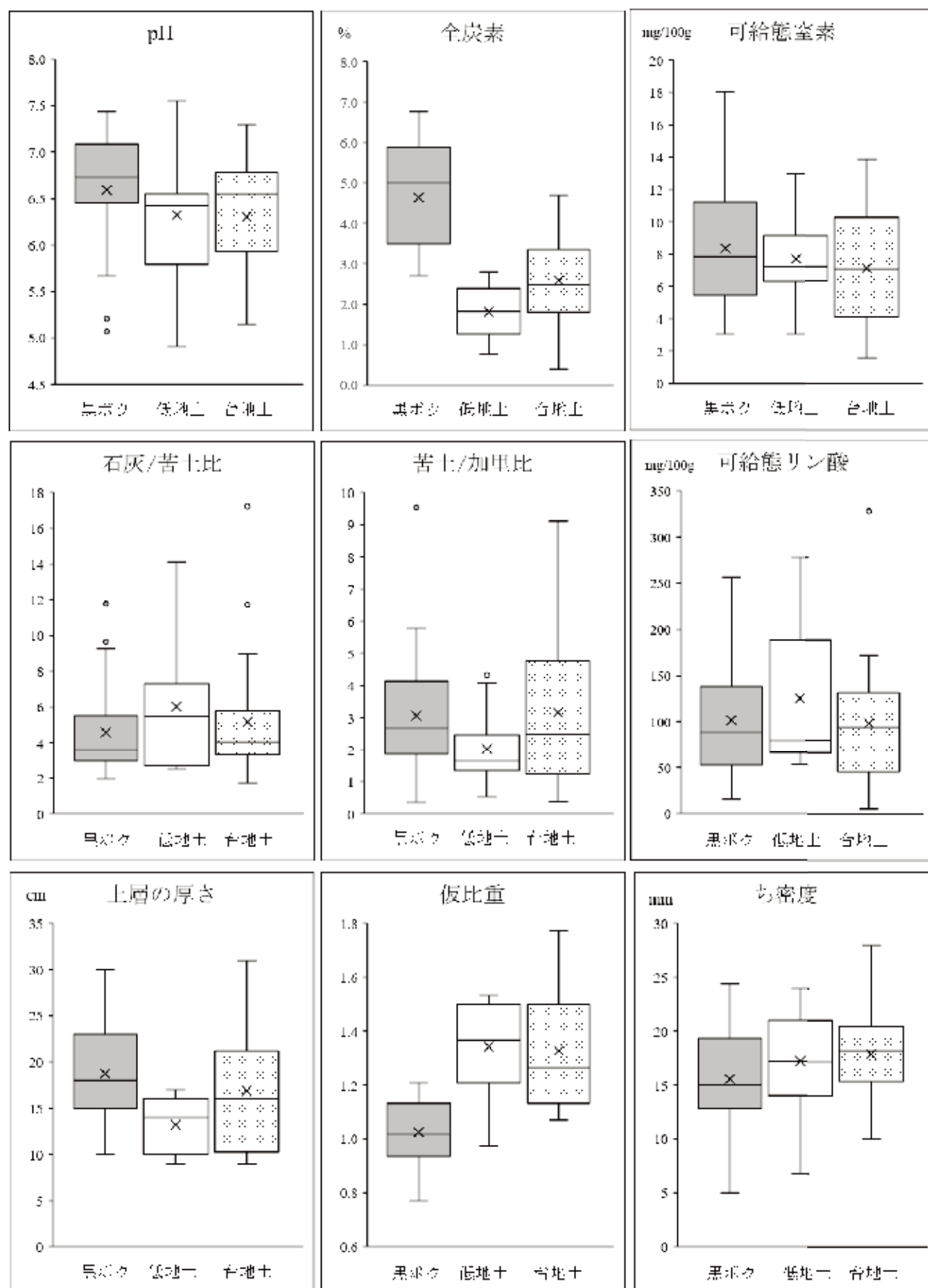


第5図 樹園地の8巡目における目標値を満たした地点割合

※目標値ではなく淡色、腐植質、多腐植質の割合

第11表 本県樹園地土壌における理化学性の実態

単位	1巡目	2巡目	3巡目	4巡目	5巡目	6巡目	7巡目	8巡目
pH	6.59 ±0.64	6.48 ±0.84	6.62 ±0.99	6.40 ±0.92	6.51 ±0.85	6.42 ±0.81	6.35 ±0.75	6.41 ±0.67
EC	0.14 ±0.09	0.19 ±0.12	0.13 ±0.07	0.13 ±0.09	0.12 ±0.06	0.11 ±0.05	0.10 ±0.04	0.05 ±0.03
全炭素	4.29 ±2.36	3.92 ±2.11	4.15 ±2.14		4.69 ±2.49	4.91 ±2.87	4.34 ±2.22	3.11 ±1.56
全窒素	0.31 ±0.18	0.28 ±0.14	0.32 ±0.14		0.38 ±0.18	0.42 ±0.22	0.37 ±0.17	0.27 ±0.12
CEC	23.8 ±9.9	24.4 ±8.7			24.9 ±10.6	27.4 ±9.0		
交換性石灰	492.3 ±279.5	482.4 ±221.8	477.3 ±235.4	470.5 ±234.8	438.1 ±218.3	462.4 ±279.0	450.8 ±196.9	419.0 ±230.6
交換性苦土	79.6 ±57.0	59.3 ±37.4	70.7 ±41.9	67.8 ±39.5	77.3 ±45.9	61.8 ±42.7	81.7 ±49.3	75.6 ±53.8
交換性加里	84.2 ±45.6	81.8 ±40.6	81.9 ±43.8	87.0 ±29.5	85.2 ±37.1	63.6 ±27.4	53.5 ±37.4	71.4 ±35.3
塩基飽和度	96.2 ±29.6	87.8 ±20.0			90.2 ±32.2	72.6 ±31.2		
可給態リン酸	93.4 ±76.9	90.5 ±61.5	121.0 ±83.0	139.5 ±100.0	132.5 ±78.8	129.6 ±97.2	119.9 ±80.6	102.3 ±65.9
可給態窒素	7.4 ±7.5	6.6 ±3.6	7.4 ±3.2	9.6 ±4.5	10.5 ±6.7	12.5 ±8.1	11.6 ±6.2	7.8 ±3.6
上層の厚さ	19.0 ±8.0		16.4 ±5.7	11.6 ±3.6	13.5 ±5.3	11.7 ±6.8	14.9 ±7.9	17.1 ±5.8
仮比重	1.03 ±0.23	1.06 ±0.23	1.01 ±0.20	1.01 ±0.29	1.02 ±0.21	1.03 ±0.24	1.10 ±0.15	1.15 ±0.19
孔隙率	62.4 ±8.2	58.7 ±8.8	61.0 ±7.8	59.4 ±8.3	61.5 ±7.4	60.7 ±9.1		49.0 ±12.5
ち密度	16.3 ±4.0		17.0 ±3.8	17.4 ±5.4	15.9 ±5.0	15.6 ±5.7	15.0 ±4.4	16.7 ±4.8



第6図 樹園地における土壌グループ別の理化学性の実態 (8巡目)

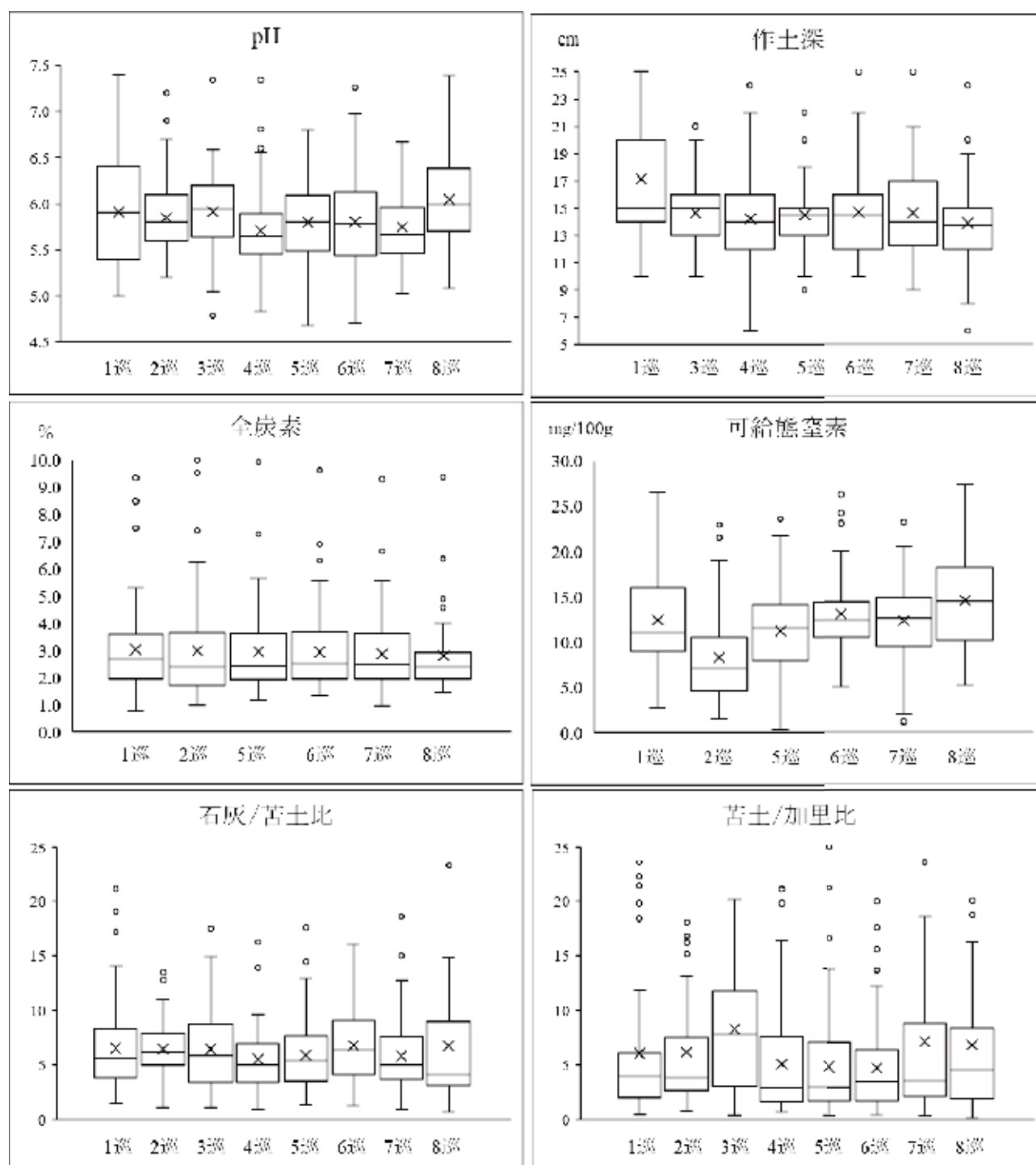
吉川ら：長野県の農耕地土壌における理化学性の実態

第 12 表 樹園地における土壌グループ別理化学性データ

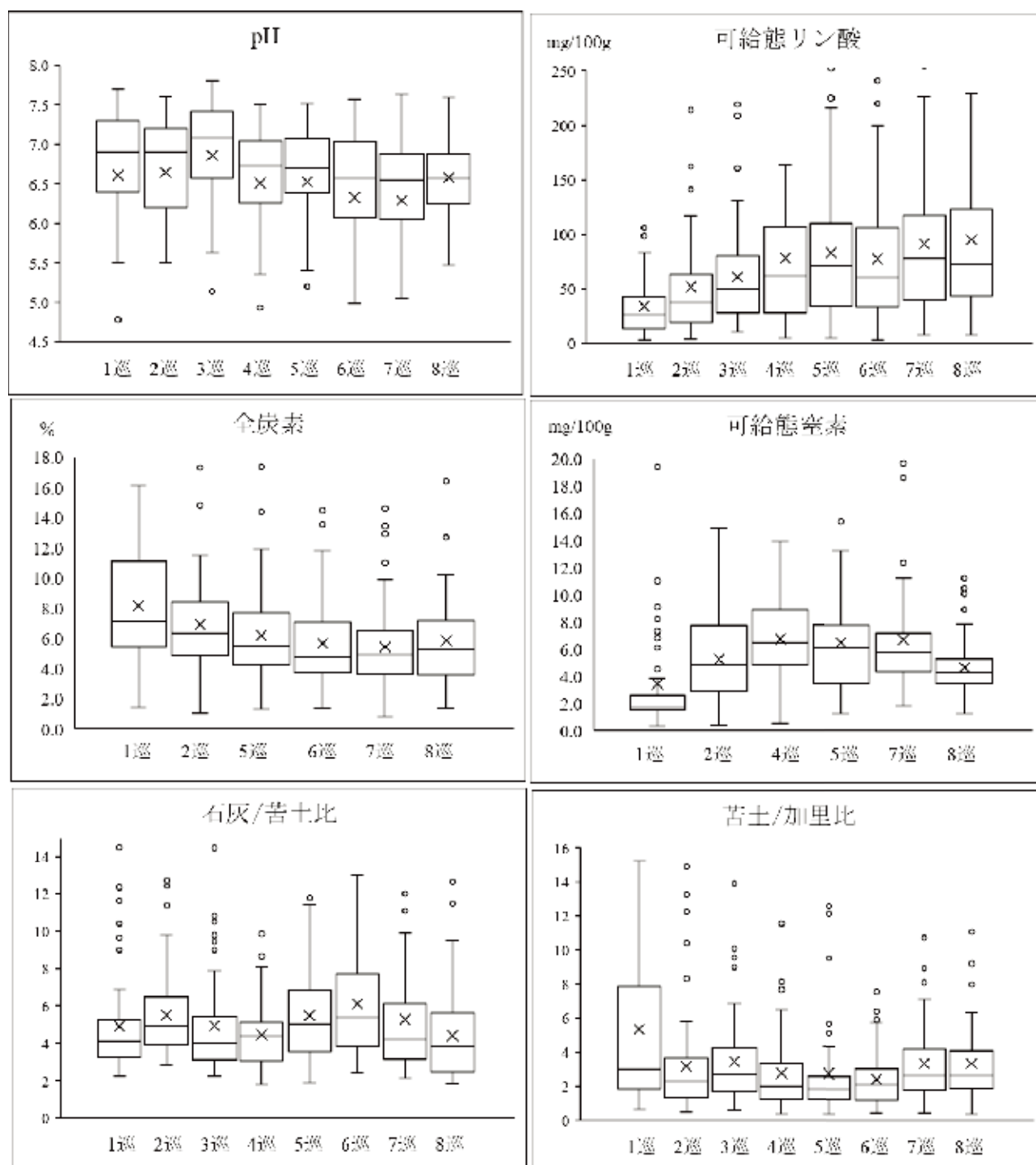
		1巡目	2巡目	3巡目	4巡目	5巡目	6巡目	7巡目	8巡目
pH	黒ボク	6.63 ±0.61	6.54 ±0.80	6.88 ±0.97	6.56 ±0.81	6.70 ±0.72	6.54 ±0.69	6.53 ±0.63	6.59 ±0.64
	低地土	6.32 ±0.73	6.41 ±0.80	6.23 ±0.86	6.03 ±0.92	6.10 ±0.92	6.45 ±0.70	6.30 ±0.89	6.20 ±0.60
	台地土	6.66 ±0.59	6.46 ±0.89	6.56 ±1.00	6.39 ±0.98	6.48 ±0.88	6.30 ±0.91	6.20 ±0.76	6.30 ±0.67
EC	黒ボク	0.15 ±0.09	0.16 ±0.07	0.15 ±0.08	0.14 ±0.08	0.12 ±0.05	0.11 ±0.05	0.12 ±0.04	0.07 ±0.03
	低地土	0.14 ±0.08	0.21 ±0.11	0.09 ±0.05	0.13 ±0.09	0.14 ±0.07	0.09 ±0.02	0.11 ±0.05	0.04 ±0.03
	台地土	0.14 ±0.09	0.20 ±0.15	0.12 ±0.06	0.12 ±0.11	0.12 ±0.06	0.11 ±0.06	0.09 ±0.03	0.05 ±0.03
全炭素	黒ボク	5.87 ±2.24	5.49 ±1.68	5.46 ±2.23		6.22 ±2.25	5.93 ±2.19	5.86 ±2.24	4.64 ±1.26
	低地土	2.21 ±1.05	2.29 ±2.02	2.48 ±1.39		2.91 ±1.51	2.91 ±1.03	3.15 ±1.79	1.82 ±0.70
	台地土	3.70 ±1.87	3.11 ±1.47	3.89 ±1.71		3.94 ±2.18	4.35 ±3.28	3.30 ±1.29	2.60 ±1.10
全窒素	黒ボク	0.41 ±0.16	0.36 ±0.11	0.39 ±0.15		0.47 ±0.16	0.46 ±0.16	0.45 ±0.17	0.38 ±0.09
	低地土	0.17 ±0.10	0.18 ±0.12	0.22 ±0.10		0.27 ±0.10	0.30 ±0.08	0.32 ±0.20	0.19 ±0.07
	台地土	0.26 ±0.16	0.25 ±0.12	0.32 ±0.13		0.35 ±0.18	0.40 ±0.28	0.31 ±0.12	0.24 ±0.09
CEC	黒ボク	30.1 ±9.9	33.0 ±5.8			33.6 ±9.6	33.0 ±7.7		
	低地土	15.5 ±7.2	18.8 ±5.0			17.9 ±4.6	22.5 ±6.2		
	台地土	21.3 ±7.1	23.9 ±8.5			19.5 ±7.0	24.5 ±8.2		
交換性石灰	黒ボク	626.4 ±311.6	533.2 ±243.2	590.8 ±229.3	560.4 ±235.7	508.1 ±202.6	521.7 ±233.9	507.0 ±180.8	533.7 ±243.6
	低地土	262.9 ±150.1	374.7 ±150.8	302.9 ±152.3	345.9 ±150.5	327.5 ±133.6	360.2 ±139.4	399.6 ±165.1	363.8 ±155.6
	台地土	463.5 ±212.7	477.1 ±208.4	451.4 ±217.5	437.4 ±230.1	413.6 ±233.4	426.7 ±322.8	415.0 ±208.5	317.8 ±181.2
交換性苦土	黒ボク	108.0 ±62.9	69.2 ±41.6	84.9 ±42.4	80.0 ±41.1	101.4 ±47.7	83.6 ±41.2	111.0 ±56.6	102.7 ±61.3
	低地土	49.8 ±46.2	51.8 ±24.4	48.1 ±26.1	57.2 ±32.1	55.0 ±20.6	34.8 ±11.5	64.3 ±30.8	48.9 ±24.7
	台地土	65.9 ±42.1	53.1 ±35.3	67.8 ±41.9	60.9 ±37.9	63.7 ±40.8	46.6 ±38.1	59.8 ±28.5	58.4 ±39.8
交換性加里	黒ボク	89.8 ±51.4	84.5 ±31.8	89.5 ±50.2	92.0 ±26.9	96.2 ±37.6	75.3 ±24.3	71.6 ±32.0	81.6 ±28.1
	低地土	79.5 ±34.1	57.9 ±28.5	74.3 ±23.5	86.2 ±30.3	98.2 ±36.6	65.7 ±19.2	50.2 ±56.7	68.7 ±29.1
	台地土	81.0 ±43.5	88.3 ±47.7	78.6 ±43.2	82.7 ±30.8	71.2 ±31.4	52.3 ±26.9	37.3 ±23.1	61.4 ±41.1
塩基飽和度	黒ボク	95.0 ±31.5	86.7 ±17.8			75.8 ±22.1	72.6 ±27.4		
	低地土	91.1 ±29.1	89.9 ±19.9			95.4 ±27.6	74.9 ±31.5		
	台地土	99.3 ±27.7	86.9 ±21.0			101.2 ±36.0	72.0 ±33.7		
可給態リン酸	黒ボク	76.8 ±77.3	73.9 ±51.9	107.6 ±63.2	127.7 ±77.4	133.5 ±76.3	112.9 ±68.6	111.1 ±64.7	102.1 ±61.0
	低地土	87.7 ±50.8	89.9 ±63.6	110.9 ±81.5	159.1 ±140.5	149.7 ±103.8	180.1 ±97.5	156.6 ±118.8	112.5 ±72.4
	台地土	110.7 ±81.5	105.6 ±64.8	135.5 ±94.4	142.2 ±97.4	125.8 ±69.9	135.4 ±114.3	115.4 ±73.7	98.3 ±67.7
可給態窒素	黒ボク	9.8 ±9.2	7.6 ±3.7	10.9 ±1.4	10.3 ±3.9	9.7 ±3.9	12.8 ±7.8	12.5 ±7.0	8.4 ±3.8
	低地土	5.1 ±3.4	6.9 ±2.4	6.1 ±3.2	9.4 ±5.1	8.9 ±4.8	11.0 ±4.9	10.5 ±3.8	8.0 ±2.4
	台地土	5.9 ±6.0	5.7 ±3.6	7.4 ±2.8	9.2 ±4.6	11.7 ±8.6	12.6 ±8.9	11.2 ±5.9	7.1 ±3.7
上層の厚さ	黒ボク	21.0 ±7.9		16.5 ±6.4	12.2 ±3.0	16.5 ±5.6	11.9 ±3.9	18.9 ±9.2	18.8 ±5.0
	低地土	16.9 ±4.9		15.8 ±5.6	10.7 ±2.3	13.9 ±4.0	18.0 ±11.7	12.3 ±6.0	13.5 ±2.7
	台地土	18.0 ±8.5		16.5 ±5.1	11.3 ±4.4	11.3 ±4.4	10.3 ±6.3	12.0 ±4.9	16.9 ±6.7
仮比重	黒ボク	0.86 ±0.13	0.85 ±0.10	0.88 ±0.14	0.85 ±0.16	0.91 ±0.13	0.88 ±0.17	0.96 ±0.10	1.01 ±0.12
	低地土	1.05 ±0.11	1.17 ±0.07	1.11 ±0.20	1.00 ±0.16	1.01 ±0.22	1.19 ±0.15	1.10 ±0.14	1.22 ±0.18
	台地土	1.17 ±0.24	1.22 ±0.20	1.08 ±0.18	1.15 ±0.33	1.12 ±0.22	1.12 ±0.24	1.19 ±0.11	1.26 ±0.15
孔隙率	黒ボク	67.5 ±4.2	66.4 ±3.9	66.2 ±5.3	65.4 ±4.4	66.0 ±4.4	63.0 ±10.4		55.8 ±8.1
	低地土	63.3 ±4.4	54.4 ±1.9	57.0 ±7.8	61.5 ±5.9	61.2 ±6.4	56.6 ±5.3		49.1 ±12.5
	台地土	57.8 ±9.2	53.0 ±8.1	58.3 ±7.2	53.3 ±7.3	57.8 ±7.6	59.7 ±8.2		42.8 ±12.7
ち密度	黒ボク	16.1 ±2.6		16.7 ±4.2	17.3 ±4.3	14.9 ±4.3	15.4 ±6.5	15.3 ±5.3	15.6 ±5.0
	低地土	15.0 ±5.4		15.8 ±2.7	15.9 ±5.0	16.5 ±4.5	14.6 ±2.1	13.2 ±4.5	16.9 ±4.8
	台地土	16.7 ±4.5		17.9 ±3.7	18.1 ±6.3	16.3 ±5.4	15.9 ±5.7	15.4 ±2.7	17.9 ±4.2

第13表 本県牧草地土壌における理化学性の実態

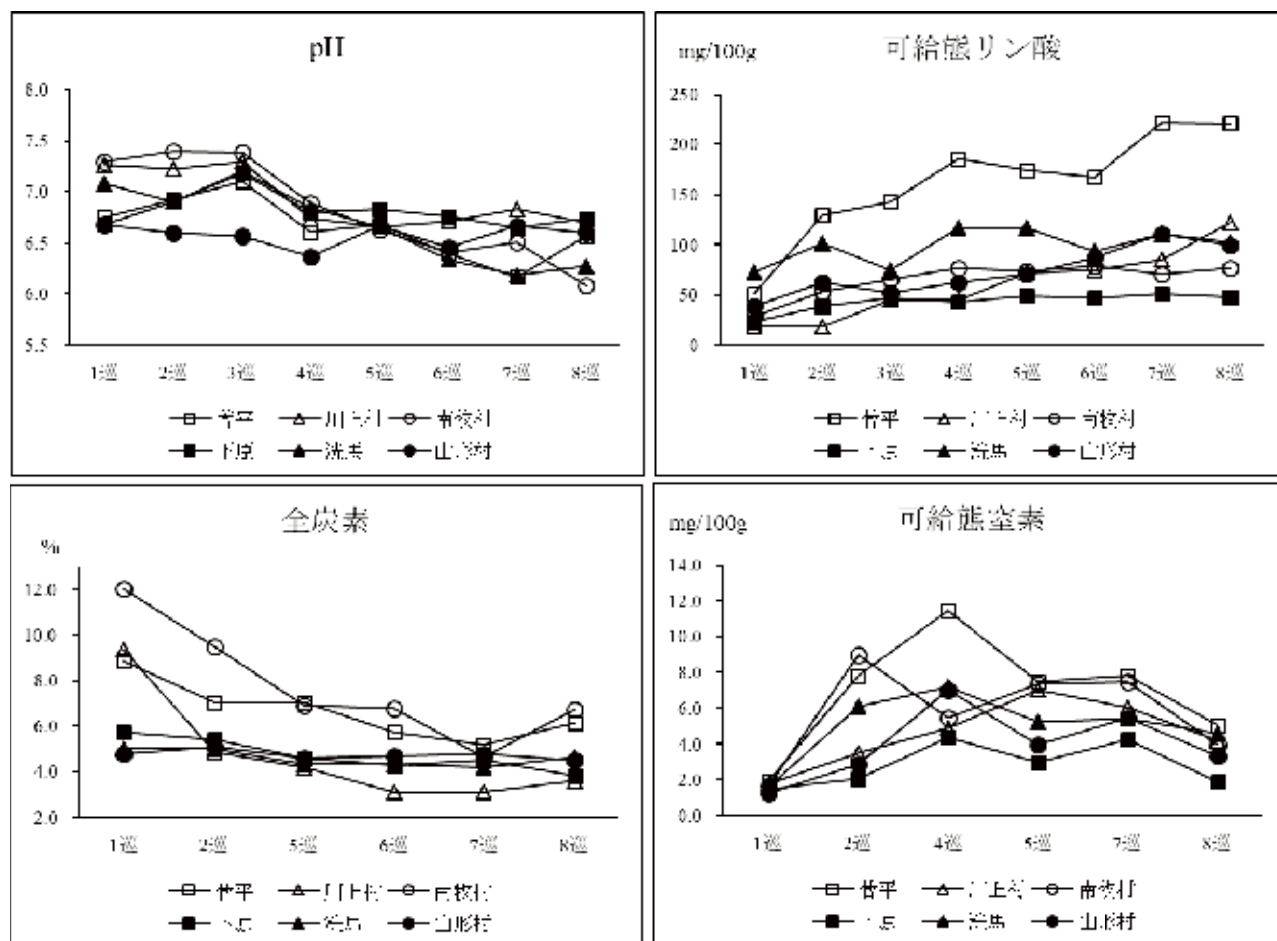
		1巡目	2巡目	3巡目	4巡目	5巡目	6巡目	7巡目	8巡目
pH	全体	5.92 ±0.69	6.08 ±0.68	6.05 ±0.91	5.73 ±1.05	6.13 ±0.77	5.82 ±0.66	5.66 ±0.79	6.23 ±0.59
	黒ボク	5.89 ±0.37	5.70 ±0.27	5.48 ±0.44	5.13 ±0.43	5.41 ±0.00	5.43 ±0.07	5.48 ±0.66	6.08 ±0.63
	台地土	5.95 ±0.93	6.90 ±0.70	7.06 ±0.57	6.91 ±0.91	6.49 ±0.72	6.22 ±0.76	6.27 ±0.90	6.53 ±0.32
EC	全体	0.09 ±0.04	0.10 ±0.08	0.09 ±0.04	0.12 ±0.05	0.10 ±0.01	0.09 ±0.03	0.10 ±0.06	0.04 ±0.02
	黒ボク	0.08 ±0.03	0.08 ±0.03	0.07 ±0.03	0.11 ±0.05	0.09 ±0.00	0.11 ±0.04	0.09 ±0.06	0.03 ±0.01
	台地土	0.11 ±0.05	0.14 ±0.10	0.11 ±0.05	0.14 ±0.05	0.11 ±0.01	0.08 ±0.00	0.14 ±0.06	0.06 ±0.03
全炭素	全体	7.61 ±4.85	5.98 ±3.94	7.21 ±3.37		8.23 ±6.48	5.70 ±4.56	9.08 ±4.77	8.55 ±4.52
	黒ボク	11.63 ±2.84	8.38 ±3.47	9.53 ±1.76		17.37 ±0.00	8.31 ±5.22	10.60 ±4.31	11.16 ±3.13
	台地土	2.92 ±0.79	2.62 ±0.93	3.34 ±1.10		3.66 ±0.54	3.10 ±0.96	3.79 ±1.09	3.32 ±0.83
全窒素	全体	0.51 ±0.28	0.45 ±0.24	0.58 ±0.24		0.56 ±0.32	0.46 ±0.28	0.67 ±0.28	0.60 ±0.26
	黒ボク	0.75 ±0.13	0.60 ±0.19	0.75 ±0.13		1.00 ±0.00	0.60 ±0.33	0.76 ±0.25	0.75 ±0.17
	台地土	0.23 ±0.09	0.23 ±0.09	0.30 ±0.10		0.34 ±0.07	0.31 ±0.09	0.36 ±0.12	0.30 ±0.12
CEC	全体	29.3 ±11.3	18.3 ±0.0			32.8 ±17.8	18.4 ±3.9		
	黒ボク	37.3 ±9.4				57.4 ±0.0	14.9 ±0.0		
	台地土	19.9 ±3.5	18.3 ±0.0			20.6 ±4.6	20.2 ±3.7		
交換性石灰	全体	291.4 ±199.5	280.5 ±155.0	283.3 ±173.5	218.0 ±186.3	327.1 ±114.6	259.5 ±188.6	174.7 ±181.7	195.6 ±148.1
	黒ボク	280.9 ±234.0	233.4 ±112.5	188.3 ±107.8	114.0 ±74.3	293.1 ±0.0	178.3 ±135.9	132.6 ±170.1	186.3 ±137.3
	台地土	303.7 ±148.5	346.4 ±180.3	449.5 ±137.7	425.9 ±168.2	344.1 ±137.2	340.8 ±198.6	322.2 ±139.1	214.2 ±166.0
交換性苦土	全体	43.0 ±38.0	43.3 ±29.1	47.4 ±31.5	40.0 ±35.4	61.6 ±31.5	49.4 ±27.3	42.9 ±46.0	36.6 ±25.9
	黒ボク	29.7 ±35.9	28.6 ±18.7	31.5 ±20.7	18.2 ±10.8	36.7 ±0.0	38.8 ±18.1	32.8 ±41.5	29.5 ±19.2
	台地土	58.5 ±34.4	64.0 ±28.6	75.3 ±27.5	83.6 ±26.1	74.1 ±31.9	60.1 ±30.7	78.6 ±43.2	51.0 ±31.1
交換性加里	全体	41.1 ±45.8	41.4 ±58.9	49.9 ±38.9	68.6 ±49.2	113.5 ±13.2	69.6 ±43.0	41.8 ±40.1	106.4 ±110.3
	黒ボク	14.1 ±7.5	10.6 ±4.0	23.1 ±13.3	42.4 ±35.4	118.7 ±0.0	70.4 ±46.5	25.1 ±28.0	110.8 ±129.8
	台地土	72.5 ±51.4	84.6 ±71.4	96.9 ±19.9	120.8 ±25.3	111.0 ±15.6	68.7 ±39.1	100.3 ±10.2	97.6 ±51.5
塩基飽和度	全体	51.7 ±36.0	63.4 ±0.0			66.5 ±29.9	59.0 ±33.4		
	黒ボク	31.1 ±23.6				25.8 ±0.0	20.8 ±0.0		
	台地土	75.8 ±32.8	63.4 ±0.0			86.9 ±10.2	78.1 ±24.1		
可給態リン酸	全体	38.5 ±62.1	43.9 ±60.2	63.2 ±75.5	73.8 ±101.0	111.0 ±90.5	129.7 ±180.7	39.3 ±57.4	30.1 ±42.4
	黒ボク	5.9 ±2.1	12.1 ±9.9	25.4 ±17.2	18.0 ±10.4	38.2 ±0.0	16.5 ±11.3	20.0 ±29.6	12.0 ±7.9
	台地土	80.5 ±71.3	88.5 ±71.8	129.2 ±91.2	185.3 ±108.4	147.4 ±91.2	242.9 ±198.9	106.9 ±76.7	66.3 ±57.6
可給態窒素	全体	10.4 ±6.6	7.9 ±5.5			9.1 ±0.1	12.5 ±5.8	14.6 ±6.3	10.1 ±1.4
	黒ボク	14.2 ±6.2	11.3 ±4.7		14.4 ±5.7	9.2 ±0.0	13.0 ±7.0	16.8 ±5.8	11.3 ±0.1
	台地土	5.9 ±3.6	3.2 ±2.3		11.1 ±1.7	8.9 ±0.0	11.5 ±0.0	11.2 ±5.3	8.8 ±1.0
上層の厚さ	全体	25.5 ±7.9		18.8 ±4.1	13.0 ±3.9	13.0 ±1.0	10.0 ±1.4	16.8 ±4.8	15.4 ±4.0
	黒ボク	27.9 ±7.0		20.3 ±4.7	12.0 ±4.3		11.0 ±1.0	16.4 ±5.0	15.8 ±4.7
	台地土	21.5 ±7.9		16.5 ±0.5	15.0 ±1.4	13.0 ±1.0	9.0 ±1.0	18.0 ±4.0	14.7 ±1.7
仮比重	全体	0.87 ±0.30	1.05 ±0.35	0.99 ±0.29	0.89 ±0.25	0.94 ±0.28	0.96 ±0.17	0.69 ±0.10	0.77 ±0.12
	黒ボク	0.63 ±0.05	0.70 ±0.03	0.71 ±0.05	0.65 ±0.05	0.57 ±0.00	0.80 ±0.07	0.69 ±0.10	0.72 ±0.08
	台地土	1.11 ±0.26	1.40 ±0.09	1.27 ±0.07	1.14 ±0.08	1.13 ±0.11	1.12 ±0.02		0.87 ±0.10
孔隙率	全体	66.4 ±10.0	59.0 ±13.0	61.5 ±10.0	65.3 ±9.0	65.2 ±8.7	59.4 ±13.2		62.0 ±12.1
	黒ボク	73.6 ±1.4	71.9 ±0.4	71.3 ±1.2	73.9 ±1.4	76.9 ±0.0	53.8 ±14.2		63.4 ±13.5
	台地土	59.3 ±9.7	46.1 ±2.5	51.7 ±2.5	56.8 ±3.3	59.4 ±3.3	65.1 ±9.2		59.2 ±7.9
ち密度	全体	17.9 ±2.2		17.1 ±3.7	14.9 ±5.1	11.5 ±6.5	18.2 ±0.0	18.3 ±1.2	14.3 ±5.2
	黒ボク	18.3 ±1.8		15.3 ±3.3	16.9 ±4.5		18.2 ±0.0	18.7 ±0.9	15.3 ±5.5
	台地土	17.5 ±2.5		20.7 ±0.9	11.0 ±3.7	11.5 ±6.5		16.0 ±0.0	12.4 ±3.8



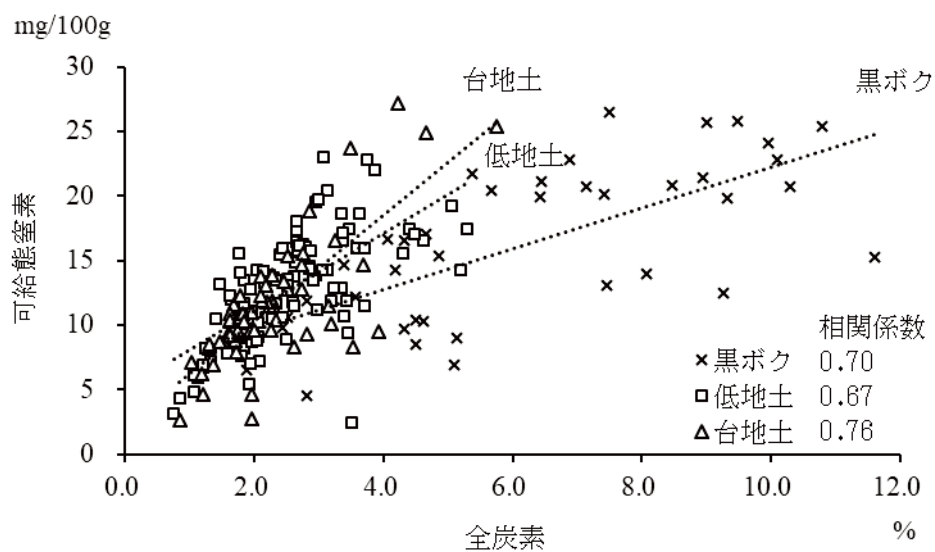
第7図 本県水田土壌における理化学性の変化
※分析数が極端に少ない巡は箱ひげ図から外した



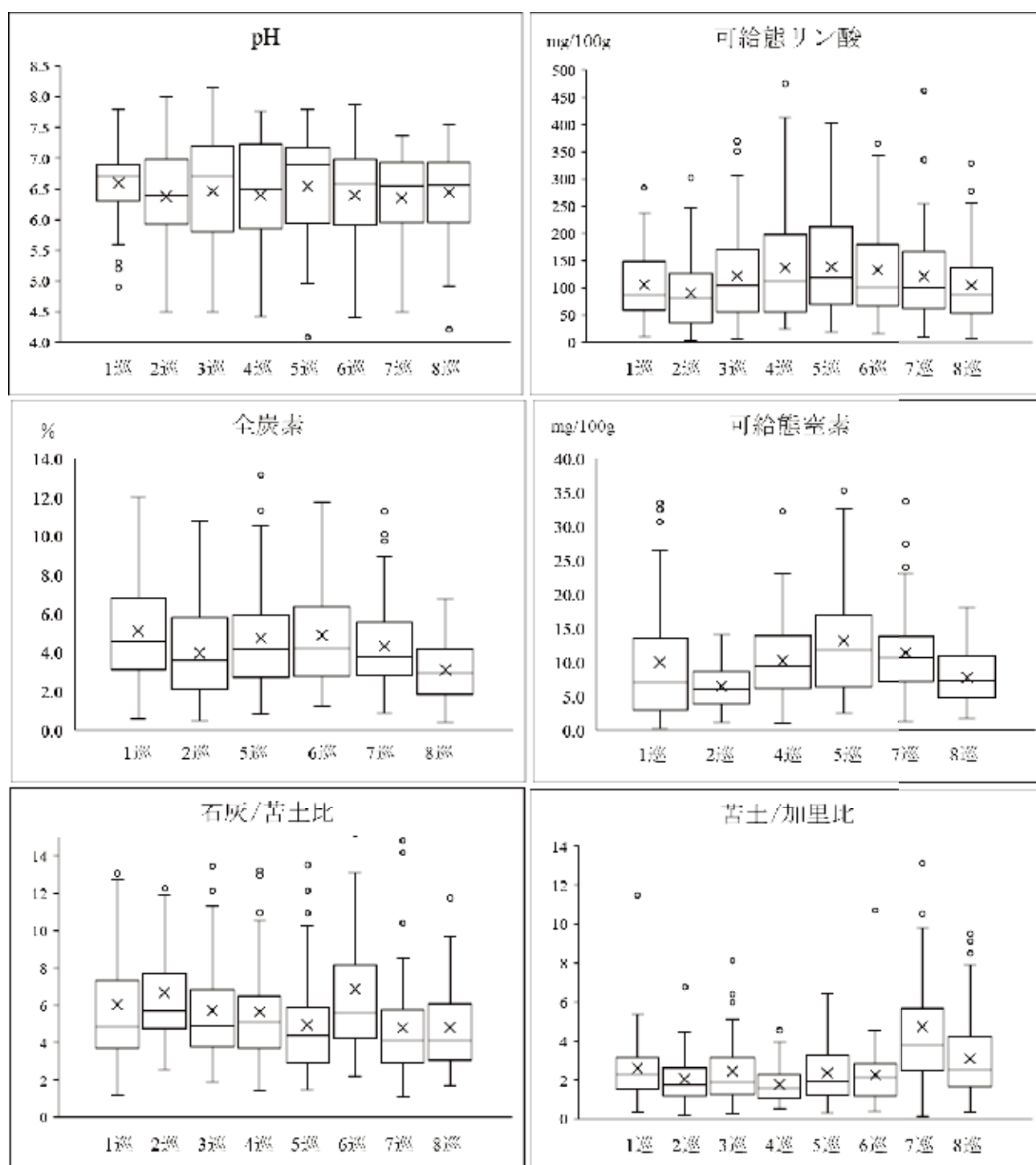
第8図 本県普通畑土壌における理化学性の変化



第9図 普通畑の主要産地における理化学性の変化



第10図 水田における可給態窒素と全炭素の関係



第 11 図 本県樹園地土壌における理化学性の変化

水稻の流し込み施肥による穂肥施用方法

上原 敬義・中澤 徹守¹・上原 泰

Topdressing Method for Paddy Rice by Pouring of Irrigation

Takayoshi UEHARA, Tetsushi NAKAZAWA and Yasushi UEHARA

Abstract

We experimented pouring fertilization at Azumino city from 2016 to 2018. As the fertilizer used for pouring, it was judged that low cost ammonium chloride is suitable for cultivation that prioritizes cost, and for cultivation of good quality rice, a special fertilizer made by blending large grains of urea is suitable. A polypropylene bag (doubled) for combine harvester containing fertilizer is placed in a mesh container installed at water entrance of paddy field, and the fertilizer is gradually melted and poured during irrigation. It was a fertilizer application method that could be introduced even in a little irrigation water fields. The variation in the growth and yield of paddy rice in the field was small, and it was equivalent to the conventional topdressing. The quality of rice was also equivalent to that of conventional topdressing. In the management evaluation, when comparing the fertilization by the conventional backpack power spreader and the pouring fertilizer, it was possible to significantly reduce the working time by 64 to 83% and the cost by 4 to 25%.

Key Words topdressing, pouring fertilization, polypropylene bag, reduce the working time and the cost

緒 言

本県では、水稻栽培の省力・低コスト化を目的として各種施肥法が検討されてきた。そのうち、現在、最も普及している施肥法が全量基肥施肥（長野県 2001）であり、2017 年時点では水稻作付面積の 46%を占めるまでになった。全量基肥施肥は速効性肥料に緩効性肥料（主に被覆肥料）を組み合わせた施肥法であり、穂肥の省略が可能である。また、被覆肥料の肥料溶出は温度依存性を有するため、気象変動によって進んだり遅れたりした水稻の生育に応じて溶出速度が変化して安定的な栽培が可能とされてきた。しかし、近年は今まで

にない極端な異常気象の頻発により、被覆肥料の有する温度依存性では対応しきれない年が以前より多くなってきており、倒伏や米の品質低下が問題になっている。このため、全量基肥施肥の改良の必要性が求められているほか、より安定的な省力施肥法の開発も望まれている。そこで、機械等による省力化が難しい穂肥に関して、異常気象下でも適期に適量の穂肥施用が可能であり、かつ、省力・低コスト化が期待できる流し込み施肥法について検討を行った。

なお、既往の流し込み施肥（長野県 1996）は溶けやすい肥料を用いて灌漑水に一気に溶かして流し込み、その後、多量の灌漑水（水深 10cm 以上）により圃場内で肥料むらを軽減する方法である。しかし、灌漑水量や畦畔の高さ、圃場面積等の理由により多量の水を灌漑できなかったり、施肥むらが大きくなる等の圃場が多く、ほとんど普及していない。そこで、国内各地で検討されている方

当研究成果は革新的技術開発・緊急展開事業（地域戦略プロジェクト、2016～2018 年）により得られた成果である。

¹ 現在 松本農業農村支援センター

法のうち、細工を施した非メッシュコンテナを用いて尿素を流し込む方法（関矢ら 2016）、メッシュコンテナとコンバイン用ポリプロピレン袋（以下 PP 袋と略称）を用いて流し込む方法（関矢ら 2009）等を参考にし、本県の実情に適している少量の灌漑水でも実施可能な、水流のみで肥料を徐々に溶かして流し込む施肥方法についての検討を実施した（長野県 2018）。

I 流し込み施肥に用いる肥料及び流し込み方法

本流し込み施肥法に用いる肥料は、まず、短時間で溶けないことが必要であり（高橋ら 1998）、また、肥料価格が低いことも重要であるため、流し込み施肥に用いる肥料の検討を行った。また同時に、栽培目的（多収米生産、良質米生産等）との関係において肥料の選択を行うとともに、省力的な施肥方法についても検討を行った。

材料及び方法

水稻の流し込み施肥に適した肥料の選択及び流し込み方法について、栽培試験（詳細は「II 流し込み施肥が水稻の生育、収量及び産米品質に及ぼす影響」を参照）に先立って 2016 年の 1～7 月、及び 2017 年以降の栽培試験に並行して検討を行った。供試した肥料は、県内で一般的に入手の容易な砂状の硫酸アンモニウム（以下硫安と略称、N21%）、小粒状の尿素（N46%）、粒状の塩化アンモニウム（以下塩安と略称、N25%）である。本流し込み用の肥料は溶けにくい方が適しているため、各肥料 5g を 50ml のビーカー水中で溶けやすさを調べたほか、飼料米等の栽培におけるコストを最優先にした場合の肥料と、良質米生産のための肥料を想定し、試作した流し込み専用肥料を含めて肥料の形状、成分含有率、価格等について調査を行った。なお、流し込み専用肥料の試作は JA 長野県本部が担当し、保証成分量が 29.5-0-20.5（以下 N-P₂O₅-K₂O の含有率%）である専用肥料を用いて検討を行った。慣行の穂肥には NK 肥料（NKC201：20-0-10）を用いた（第 1 図、第 1 表）。

流し込み方法については、肥料の特性を考慮し、用いる肥料の種類と流し込み方法をセットにして検討した。2016 年は最も安価であるが溶けやすい欠点がある尿素を供試し、細工を施した非メッシュコンテナ（W55cm×D46cm×H30cm）を用いた方法をやや簡略化して検討を行った。方法は、板を斜めに差し込んだ非メッシュコ

ンテナに尿素を直接入れ、少量の肥料しか水に浸からないようにして溶ける時間を延ばすとともに、非メッシュコンテナ底部分の両側面に直径 1 cm の水の入口と出口の穴を各 1 か所開け、尿素が流れ出ないよう穴に網を張り付け、少量の水の通過によって時間をかけて肥料を溶かす方法とした（第 2 図、銀色に塗装した板、及び水の出入口穴は写真では見にくいので赤線で示した）。

この方法のほか、2016 年の試験圃場において、1～3 重にした PP 袋（W57cm×H78cm）に肥料（塩安を配合した NKC201、専用肥料が適当と判断）を入れ、それを浅水状態の水田水口に設置したメッシュコンテナ（W52cm×D36cm×H30cm）内に置いて波板で灌漑水を導き、PP 袋によって灌漑水の勢いを弱めて肥料を徐々に溶かす方法で検討を行った。2017 年には、省力化のため、水口からメッシュコンテナに灌漑水を導く波板を省略した流し込み施肥について検討を行った。後述するように、この省略による水稻の生育等への影響は小さかったが、田面水調査における施肥むらの問題が生じたため、2018 年はこの対策として、水流を変えるための板等（以下整流板と略称）の設置について検討を行った（第 3 図）。整流板は、2 枚の水稻育苗箱（W60cm×D30cm×H3cm）を代用してメッシュコンテナの後方に置く方法と、メッシュコンテナ内の肥料を入れた PP 袋の背後に板を入れる方法を行い、粉状の消石灰を流してメッシュコンテナ周囲の水流を観察した（図 4）。また、実際の流し込み施肥直後に圃場内の各地点から田面水を採取して試験場に持ち帰り、電気伝導度（以下 EC と略称）を測定し、これを肥料濃度の高低とみなして圃場内の肥料の分布を調べた。

結果及び考察

1. 肥料の選択

単肥の溶けにくさの点では、粒状の塩安の溶ける時間が最も長く適しており、次に砂状の硫安、そして、小粒状の尿素の順であった。肥料価格が最も低い尿素は、細工を施した非メッシュコンテナを用いることにより溶ける時間を延ばす様子が観察できた。従って尿素は流し込み施肥できると考えられた。ただ、圃場数が多い場合、細工を施す非メッシュコンテナ数も多く、細工に労力と時間を要するほか、流し込み施肥時のゴミによる穴の目詰まりが心配された（第 1 図、第 2 図）。一方、メッシュコンテナと PP 袋を用いる方法は、細工を施した非メッシュコンテナを用いる方法

と同様に肥料が溶ける時間を延ばすことが可能であるとともに、コンテナの細工が不要な方法であった。また、PP袋は以前の刎の袋取りコンバインで使った袋を所有する農家が多いほか、コンテナは、追肥時期以外は別の用途に使用可能である。したがって、飼料米等のコストを優先した場合には溶けにくい粒状の単肥の塩安を用い、通常の高質米生産には、慣行のNK肥料に代えて窒素及び加里を含む安価な専用肥料を用い、メッシュコンテナとPP袋を用いる方法が適当と判断した。この専用肥料は、BB（粒状配合）肥料原料用の大粒の尿素を用いてやや溶けにくくし、塩化加里（KCl:0-0-60）を配合して作られている（第1図、第1表）。尿素は水に溶けた際にイオン化せずプラスの電荷を持たないため、水口近くでの土壌表面への吸着が少なく、圃場全面への拡散性が良いと考えられる。なお、高質米生産では、慣行の穂肥用NK肥料を流し込み施肥に用いても、肥料価格は専用肥料より上昇するものの、窒素に粒状の塩安を用いているため使用可能である。

肥料価格では、現地試験農家の通常年の施肥量である10a当たり窒素2kgを施肥することを想定すると、慣行のNK肥料970円に対し塩安は588円と40%程度の低減が可能である。専用肥料は、今後の販売を想定した試算では790円であり、慣行肥料に対して20%程度の低減が想定できる。専用肥料の成分含有率は、県内で多く使われている穂肥用NK肥料のNKC201（20-0-10）やNKC707（17-0-17）より高く、高濃度肥料のメリットも期待できる。また、窒素（N）と加里（K₂O）の比率は両肥料の中間的な比率であり、両肥料を用いる地域で概ね使用可能と考えられる。そして、本県の標準的な圃場面積の30a圃場において、窒素を10a当たり2kg施肥する場合には、1圃場に約1袋（約20kg）を施肥することになる。なお、肥料を充填したPP袋の高さや容量を考慮すると、供試したメッシュコンテナの深さでは40a程度の圃場まで対応可能である（第1表）。

2. 流し込み施肥の方法

2016年栽培試験の10aの1圃場当たり施肥量はNK肥料10.0kg、専用肥料6.8kgであり、2017～2018年の標準区画の30a圃場の1圃場では塩安24.0kg、専用肥料20.3kgである。10a圃場の圃場当たり施肥量は標準区画圃場の約1/3と少なかったが、流れ込む灌漑水量も少なかったこと等もあ

り、肥料が溶け終わる時間は30a圃場の概ね3時間程度に対し、概ね2時間程度であった。そして、肥料が溶け終わった時点で灌漑水を止水した。止水時の水深はいずれも概ね3～4cm程度であり、やや浅水であった。この流し込み施肥の時間、止水時の湛水深については、圃場内の施肥むら、灌漑水量、一日の作業時間配分との関係において、更に検討の余地があるが、当初目的の時間をかけて肥料を流し込むことが可能であった。PP袋は、1重では溶ける速度がやや速く、3重は2重と肥料の溶け方は大差なく観察されたほか、PP袋への肥料の移し換えに苦労を要したため2重が適当と判断した。なお、専用肥料とNK肥料では、施肥後に褐色のドロドロした残留物がPP袋の底に残った。これは塩化加里に含まれる鉄等の成分（純粋な塩化加里は白色であるが、原料鉱石によって鉄等が含有）であり、加里成分は含まない（越野2002）。

本流し込み施肥は、PP袋内の底部分の肥料が水中で溶けてから上部の肥料が徐々に下降して水に浸かって溶ける仕組みであるため、肥料が少ない小面積の圃場では、かなりの割合の肥料が初めから水に浸かっているため、溶け終わる時間が想定より早まると考えられる。また、使い古されたPP袋では水が透過しやすく肥料が溶けやすいと考えられること等の諸条件も想定されるため、灌漑水量や流し込み時間等も含めて、実際に流し込み施肥を体験してコツを掴むことが必要と思われる。

流し込み施肥直後の田面水のECは、土田ら2009と同様に尿素を原料にした専用肥料では、3か年とも全体に低く0.5mS/cm程度以下であり、圃場内の地点による差は大きくなかった。これに対し、NK肥料及び塩安は最高で2mS/cm程度や4mS/cm程度の高い地点がコンテナ後方に出現した（第6図）。既往の多量の灌漑水による流し込み施肥試験結果（1.37mS/cm）と比べると、当試験は水深が浅かったことと施肥むらにより生じたと考えられるが、2017年の背負い式の動力散布機（以下背負い動散と略称）による慣行穂肥でも重複施肥したとみられる地点においては、同様に2mS/cm程度の高い地点が出現した。今後、止水のタイミング等は検討が必要であるが、これらの濃度勾配は時間経過とともに、ある低度では拡散により解消され则认为られる（高橋ら1998）。

2016年は波板を設置して肥料を入れたメッシュ

コンテナへ灌漑水を導いたのに対し、2017 年は省力化のため波板を省略したためメッシュコンテナ後方へ肥料濃度が高い灌漑水が流れた。このことも塩安区の EC が高まった一因と考えられる。その対策を検討した 2018 年は、水稻育苗箱を代用した整流板による水流は、圃場の水尻方向へ流れる途中での状況は未確認ではあるが、水口においては、第 4 図の模式矢印のように、肥料が溶けた高濃度の灌漑水を左右に散らすことが可能と考えられる。また、メッシュコンテナ内の肥料の背後に板を入れる簡易な工夫も、省力化の観点も含めるとある程度効果があると考えられる。同一圃場で 2017 年、2018 年の 2 か年とも塩安を同様に施肥した圃場では、施肥直後のメッシュコンテナ後方の田面水の EC 最高値は 2017 年の 4mS/cm 程度から、メッシュコンテナ内の肥料の背後に板を入れた 2018 年には 2mS/cm 程度に低下しており、やや改善がみられた（第 6 図）。なお、施肥むらの対応は、流し込み方法以前に、田面の均平を図り湛水深を揃えることが必要であるほか、中干し終了直後の乾燥状態で流し込み施肥行くと、水口近くの土壌の亀裂等に灌漑水が多量に浸透して施肥むらや肥料ロスが生じるため、水持ち回復後の浅水状態で実施することも等も必要である（金子ら 2017）。

II 流し込み施肥が水稻の生育、収量及び産米品質に及ぼす影響

今まで、飼料米等を対象とした流し込み施肥の検討は各地で行われてきている。今回は良食味の特徴を持つが倒伏しやすい品種を用い、肥培管理が厳しい条件下において、穂肥の流し込み施肥が水稻の生育、収量及び産米の品質に及ぼす影響を明らかにするため栽培試験を実施した。

材料及び方法

栽培試験は安曇野市堀金烏川（標高 580m 中粗粒灰色低地土）において 2016～2018 年に実施した。2016 年は 1 区約 10a（約 50m×約 20m）の小区画圃場（反復なし）において試験を行い、2017～2018 年は 1 区約 30a（約 100m×約 30m）の標準区画圃場（反復なし）において行った。PP 袋の重ねる枚数は、2016 年は専用肥料が 3 重で、NK 肥料は 1 重で開始し、途中で 2 重に切り替え

た。2017 年以降は 2 重で行った。また、前述のように 2016 年は波板を設置、2017 年は波板を省略、2018 年は整粒板を設置して流し込み施肥を行った。品種は「コシヒカリ」を用い、移植は 3 か年とも 5 月 21 日に実施した。基肥は 2016 年：N6kg/10a、2017～2018 年：N4.2kg/10a である。流し込みによる穂肥はいずれの年も幼穂長約 1cm 時（2016 年：穂肥 7 月 19 日、出穂 8 月 7 日、2017 年：穂肥 7 月 20 日、出穂 8 月 5 日、2018 年：穂肥 7 月 18 日、出穂 8 月 2 日）に実施した。供試肥料は、慣行区の NK 肥料(NKC201)のほか、流し込み施肥では肥料コストを最優先した場合の単肥の粒状塩安、良質米生産を目的とした場合は試作した専用肥料と NK 肥料(NKC201)である。穂肥の施肥量はいずれの年も窒素で 10a 当たり 2kg とした。慣行の穂肥は、2016 年の 10a 圃場では手播きで、2017～2018 年の 30a 圃場では背負い動散で行った（表 2）。

生育、収量構成要素（丸山 2007）及び窒素吸収量の調査、分析（2016 年：9 月 24 日、2017 年：9 月 20 日、2018 年：9 月 12 日）は、各圃場を水口側から水尻に向かって長辺方向に 3 分割し、2016 年は各 1 か所、2017～2018 年は各 2 か所において、生育：10 株、収量：60 株、収量構成要素：5 株、窒素吸収量：6 株を供試して行い、栽植密度を乗じ、平均して各位置及び各圃場の値とした。倒伏程度は達観により甚・多・中・少・微・無の 6 段階で判定した。玄米品質は 1.85mm 米選の収量調査後の精玄米を供試し、粒厚分布は 2.2～1.9mm の 0.1mm 刻みの縦目篩を用いて調査し、整粒歩合は品質判定機（ES-1000、静岡製機）により、粗タンパク質含有率は食味計（PS-500、静岡製機）により測定した。調査値の統計解析はエクセル統計 2010（社会情報サービス）により行った。

結果及び考察

1. 流し込み施肥水稻の生育及び収量構成要素

一般的に、水稻の倒伏が顕著である場合は肥料が過多であり、生育量が少なくなびきもなく直立している場合は不足している。試験圃場は 3 年間とも部分的になびいたり、わずかに倒伏が散見される程度であり、施肥量はほぼ適量であったと考えられる（第 5 図）。各圃場内の位置（水口側、中央付近、水尻側）による生育量の差は、倒伏と関連が深い稈長は 2018 年の塩安区の中央と水尻

間、及び同年慣行区の水口と中央間以外では有意差はなかった。施肥方法（試験区間）による差は、流し込み施肥により稈長が伸長した 2018 年は、慣行区の 77cm に対して専用肥料区が 6cm 伸長して 83cm であったが、倒伏程度は慣行区の無～少倒伏と大差ない少倒伏であった。2016、2017 年は慣行区より稈長は伸長しておらず、メッシュコンテナへの波板を省略して EC の高い地点が出現した 2017 年を含め、3 か年とも倒伏等による収穫作業上の支障はなかった（第 3 表）。

流し込み施肥の精玄米重は、2018 年に慣行区の 10 a 当たり 491kg に対し 547～659kg（専用肥料区と有意差あり。塩安区とは有意差なし）であった以外は、慣行区と流し込み施肥両区の差は小さく、いずれの年も約 700kg 以上の収量が得られた。また、流し込み施肥での塩安区と専用肥料区の差はほとんど認められなかった。収量構成要素のうち、 m^2 当たり粒数は 2016 年の 40,000 粒台、2017 年は約 30,000 粒台、2018 年は 20,000～30,000 粒台で年次により異なった。しかし、圃場内の位置による差は小さく、また、流し込み施肥両区における粒数は慣行区と同程度であった。登熟歩合は、2017 年において慣行区の 80% 台より流し込み施肥両区が 10% 近く良好であった以外は、試験区による差異は小さかった。玄米千粒重は、2016 年の慣行区が 21g 台であった以外はいずれもほぼ 22g 台であり、試験区、圃場内の位置による差はほとんどなかった（第 3 表）。

したがって、流し込み施肥の水稻の生育及び収量構成要素に対する影響は、倒伏程度も含めて実用上の問題はないと考えられる。当試験の穂肥窒素量は農家が通常実施している 10 a 当たり 2kg に固定したが、実際には生育量や今後の天候予測等を加味して施肥する必要がある。

2. 流し込み施肥水稻の玄米品質

精玄米の粒厚分布について検討すると、圃場内の位置による差は 2.1～2.2mm の粒厚では比較的大きく、2016 年の NK 肥料区で水口と水尻間が約 10%、2018 年の専用肥料区で水口、水尻間が約 12%、塩安区で中央、水尻間が約 13% であった。しかし、2017 年の慣行区の水口、水尻間の差が流し込み施肥区より大きい約 7% であったことから、流し込み施肥の圃場内の位置によるばらつきがあったものの、慣行区との比較ではそれほど問題にはならないと考えられる。上位粒厚割合 (2.1mm

以上) の試験区による違いでは、2016 年は流し込み施肥区 > 慣行区、2017 年は流し込み施肥区 = 慣行区、2018 年は流し込み施肥区 = 慣行区であった。このため、粒厚分布では流し込み施肥による品質低下はほとんどないと考えられる。また、塩安と専用肥料の比較でも大差ないと考えられる（第 7 図）。

精玄米整粒歩合の圃場内の位置による差は、2016 年では NK 肥料区で中央、水尻間が約 13% と大きかったが、2017 年、2018 年は圃場内の差はほとんどなかった。試験区による差では、2017 年の専用肥料の流し込み施肥区の平均値は 81.6% と慣行区より約 5% 有意に高かった以外、試験区による差は認められなかった。米の食味に影響を及ぼすタンパク質含有率（大坪 1995）は、整粒歩合が圃場内の位置により差が認められた 2016 年 NK 肥料区において 1.6%、2017 年塩安区において 1.4% の差が認められたが、これ以外では差は小さかった。試験区による差はいずれの年も有意差は認められず、流し込み施肥の粗タンパクが特に高いことはなかった（第 4 表）。

これらのことから、粗タンパク質含有率を含めた産米の品質に関しては、圃場内の位置によりやや差が生じる場合があったが、流し込み施肥としての問題はほとんどないと考えられる。

3. 流し込み施肥水稻の窒素吸収

水稻の窒素吸収量では、圃場内の位置による差は 2016 年の NK 肥料区で中央、水尻間が 5.6kg/10a、2018 年の塩安区で中央とそれ以外が 4.3kg/10a で大きかった。これは田面水の EC 値に示された施肥むらの影響が考えられるが、倒伏は 2016 年が少～中倒伏、2018 年が少倒伏であり、慣行区と比較して差は小さく、窒素吸収量の増加による倒伏等への影響もほとんどなかった。また、各試験区の窒素吸収量は、2016 年が約 14～15kg/10a、2017 年が約 10～12kg/10a、2018 年が約 7～10kg/10a であり、試験区間の有意差はいずれの年も認められなかった（第 5 表）。

したがって、穂肥の流し込み施肥の窒素吸収量に対する影響としては、圃場内の位置による差がやや生じた圃場もあったが、試験区間の平均値の比較では、塩安、専用肥料とも慣行の穂肥と同等の肥料効果が期待できると考えられる。なお、2018 年の吸収量のレベルは過去 2 か年と比較して全体的に少な目であり、生育・収量調査結果の傾向と

同様であった。

Ⅲ 流し込み施肥の経営評価

穂肥の流し込み施肥は、稲作経営において労働時間及び経費の削減、すなわち省力・低コスト化が最も大きな目的である。このため、現地農家に流し込み施肥を導入した場合の経営評価を行った。

材料及び方法

2016～2018 年に実施した穂肥の流し込み施肥試験のうち、30a の標準区画圃場で行った 2017～2018 年の栽培試験（詳細は「Ⅱ 流し込み施肥が水稻の生育、収量及び産米品質に及ぼす影響」を参照）において経営評価を実施した。試験区は、窒素及び加里成分を含む専用肥料による流し込み施肥区、単肥の塩安による流し込み施肥区、及び背負い動散を用いて穂肥を施肥する慣行区であり、労働時間の計測と経費の調査を実施した。

労働時間計測の対象は、畦畔に駐車した運搬車両上で肥料の計量を始めた時点から始め、施肥を終えて作業者が車両に戻るまでの時間とした。それに加えて、流し込み施肥区は施肥用の PP 袋を入れるメッシュコンテナ設置場所と水口周辺のゴミや草の除去に要する時間も計上したが、施肥後にメッシュコンテナを回収する時間は除外した。なお、計量した肥料を背負い動散や PP 袋に積み込む作業は、両区で変わりがないものとした。圃場の大きさは、流し込み施肥区、慣行区ともに 30a で同じく、圃場の形が作業効率に与える影響は小さいと判断して考慮しなかった。流し込み施肥区の削減率は、 $(\text{削減時間}) \div (\text{慣行区の合計労働時間}) \times 100$ により算出した。

経費の調査は、単年度に投下した経費を算出した。算出項目は、それぞれの試験区で用いる肥料費と、畦畔及び水田内で施肥作業に要する資材費、燃料費、減価償却費、作業労賃とした。背負い動散の減価償却費は県農業経営指標（長野県 2016）から算出し、取得価格 104,000 円 ÷ 耐用年数 7 年 = 年償却額 14,857 円であり、14,857 円 × 水稻負担割合 43% × 圃場面積 30a ÷ 水稻栽培面積 7ha = 275 円（当該農家の経営内容から算出）を今回の試験圃場の減価償却費とした。作業労賃の単価は安曇野市公表の時給額とし、労働時間は専用

肥料区と塩安区の平均値を秒に換算して計算した。経費の削減率は $(\text{慣行区の経費合計} - \text{試験区の経費合計}) \div (\text{慣行区の経費合計}) \times 100$ により算出した。なお収量調査では、流し込み施肥両区と慣行区で精玄米重に有意差は認められず（表 3）、収入額も試験区（施肥法）による差がないとみなした。このため、経費の経営評価は単年度に投下した経費のみで評価した。

結果及び考察

流し込み施肥区の合計労働時間は、2017 年は 3 分 55 秒で慣行区（背負い動散）の 10 分 55 秒に対して削減率は 64.1%、2018 年は 2 分 53 秒で慣行区の 16 分 49 秒に対して削減率は 82.8% となり、大幅に削減された（第 6 表）。背負い動散で特に多く時間を要したのは、施肥に伴い畦畔や水田内を歩く時間と、エンジンの始動・調整やこれを背負う作業準備の時間であった。なお、肥料の窒素含有率は慣行の NK 肥料（NKC201）が 20% に対して塩安が 25%、専用肥料が 29.5% と高濃度であるため、労働時間のほかに肥料の保管スペースや運搬労力等にも経営評価面でのメリットがある。さらに、追肥は 7～8 月の高温下で行われる作業であり、重い動力散布機を背負って行う重労働が不要になり、労働強度も軽減されと考えられる（大森ら 2020）。

なお、ここでの労働時間の積み上げにはメッシュコンテナの回収時間を計上しなかったが、現地農家から、圃場が分散する場合の回収に時間を要するとの意見が出された。この点については今後の検討課題ではあるが、追肥の時期は水管理等のために定期的に水田を巡回しており、この時に回収が可能である。また、メッシュコンテナの回収は施肥当日でなくてもよいことから、実際には回収のためだけに労力を割く必要はないと考えられる。

流し込み施肥の経費合計額は、NK 肥料を背負い動散で施用する慣行区が 3,343～3,423 円に対し、流し込み施肥は専用肥料区が 3,186～3,200 円、塩安区（慣行区の窒素及び加里を施肥に対し、当区は窒素のみ施肥）が 2,580～2,594 円であり、専用肥料区では 4.3～6.9%、塩安区では 22.4～24.6% の経費が削減された（第 7 表）。

以上の経営評価から、多収米等のコストを優先した栽培では安価な粒状の塩安等の窒素単肥を

用い、良質米生産のための栽培では窒素及び加里を含む専用肥料を用いて流し込み施肥を行うことにより、背負い動散を用いた慣行の施肥より4.3～24.6%の経費の削減が可能であった。また、労働時間は64.1～82.8%の大幅な削減が可能であり、特に省力性が高い施肥法と言える。

結 論

水稻の穂肥における流し込み施肥は、慣行の穂肥と比較した場合、施肥法としては生育、収量、米の品質に関して同等の肥料効果が得られた。また、経営評価においても、省力・低コスト化に有効な手段であると考えられる。ただ、圃場内の位置による影響をみた場合、窒素吸収量の影響によると考えられる品質のばらつきがやや見られた事例もあった。今回の3年間の試験結果では、これらは許容範囲内と考えられるが、今後の課題としては、それを如何に小さくするかであると考えられる。そのためには、流し込み施肥方法の改良が必要であるほか、圃場面積、施肥量、灌漑水量等のそれぞれの圃場ごとの条件に応じた対応が必要と思われる。また、技術導入にあたっては、これらの影響を最小限にするため、初年目は穂肥量を少な目に設定したり、倒伏に強い品種を用いるなどの取り組みが適当と考える。

摘 要

近年頻発している異常気象下でも適切な穂肥施用が可能であり、また、省力・低コストが期待できる流し込み施肥の検討を2016～2018年に安曇野市堀金烏川において、コシヒカリを用いて実施するとともに、施肥法の経営評価を行った。

1. 流し込み施肥に用いる肥料は、多収米等のコストを優先した栽培では安価な窒素単肥の粒状塩安が適しており、良質米生産の栽培では、大粒の尿素と加里肥料を配当した専用肥料(29.5-0-20.5)が適すると判断した。
2. 水稻の通常の穂肥時期において、水口に設置したメッシュコンテナ内に、肥料を入れたコンバイン用PP袋(2重)を置き、灌漑時に浅水状態から肥料を徐々に溶かして流し込む施肥法は、灌漑水量が少ない圃場でも導入可能な施肥法であった。なお、肥料濃度高い灌漑水のコンテナ後方への流入を防ぐため、コンテナの後方又

はコンテナ内の肥料の背後に育苗箱や板を置いて水流を左右に散らす簡易な方法も圃場内の施肥むら低減にある程度の効果があった。

3. 流し込み施肥における水稻の圃場内地点の生育、収量の差は小さく、また、倒伏程度を含めて、慣行の施肥と同等の肥料効果が得られた。米の品質は、圃場内の位置による窒素吸収量の差によるとみられる品質の差がやや生じた圃場があったが、施肥法としては、慣行の穂肥と比較して同等の成績が得られた。
4. 経営評価では、追肥作業(肥料計量～施肥終了まで)について慣行の背負い動散による施肥と流し込み施肥を比較すると、労働時間の64～83%の大幅な削減と経費の4～25%の削減が可能であり、省力・低コストが可能な施肥法であった。

謝 辞

□本研究の実施にあたり、3か年にわたり試験圃場を提供していただき、十分な栽培管理を行っていただくとともに、慣行の施肥法(背負い動散)の経営評価モデルとして労働時間の計測にご協力いただいた”(株)あづみのうか浅川”の浅川拓郎氏に対して、まず、厚くお礼申し上げます。また、流し込み専用肥料の試作にご尽力いただいたJA全農長野県本部の吉田清志氏ほか関係職員の皆様に対してお礼申し上げます。さらに、試験での調査、分析及び取りまとめにおいて多大のご協力をいただいた長野県農業試験場環境部の米倉正人氏、羽生田登美子氏、涌井美穂氏をはじめ農業試験場関係職員の皆様方に対しても厚くお礼申し上げます(試験当時の所属)。

引用文献

- 大坪研一. 1995. 米の品質評価. 農業機械学会誌. 57(2): 93-98.
- 大森誉紀・木村浩. 2020. 流し込み施肥による穂肥施用の省力化と水稻の生育、収量への影響. 愛知農研報告. 12: 38-45
- 金子文宜・橘田安正. 2017. 流体力学的解析を考慮した水稻栽培の流し込み追肥. 土肥誌. 88(2): 134-138.
- 越野正義. 2002. 植物栄養・肥料の辞典(肥料の種類と特性). 363-372. 朝倉書店.東京.
- 関矢博幸・小松篤司. 2016. 飼料用稲向けの尿素

- とコンテナ式流入施肥器を用いた水稻流入施肥法. 東北農業研究. 69 : 35-36.
- 関矢博幸・土屋一成・大谷隆二・河本英憲. 2009. 飼料イネ向けの簡易な硫安の流入施肥技術. 東北農業研究. 62 : 35-36.
- 高橋能彦・土田徹・久保田勝. 1998. 水稻流入施肥における田面水の電気伝導度と肥料養分の相互関係. 土肥誌. 69(6) : 638-640.
- 土田徹・南雲芳文・大竹憲邦・大山卓爾・高橋能彦. 2009. 水稻に対する流入施肥追肥の窒素形態や施肥量が肥料窒素利用率および田面水の養分動態等に与える影響. 土肥誌. 80(6) : 606-610.
- 長野県. 1996. 普及に移す農業技術（水稻穂肥に顆粒状化成肥料を用いた流入施肥は実用性がある）.
- 長野県. 2001. 普及に移す農業技術（速効性窒素肥料とシグモイド型被覆尿素を組み合わせた水稻の全量基肥施肥法）.
- 長野県. 2016. 農業経営指標（水稻移植 個人 7ha）.
- 長野県. 2018. 普及に移す農業技術（水稻の流し込み施肥による穂肥施用技術）.
- 丸山幸男. 2007. 収量および収量構成要素. 日作紀. 76(4) : 601-603. 藤井弘志. 2002. 水稻の生育・収量・食味に及ぼすケイ酸の効果. p. 40-73. 日本土壤肥料学会編. ケイ酸と作物生産. 博友社. 東京.

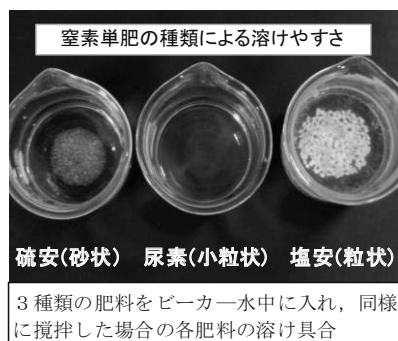


図1 流し込み施肥に適した肥料の検討 (2016年 長野県農業試験場)

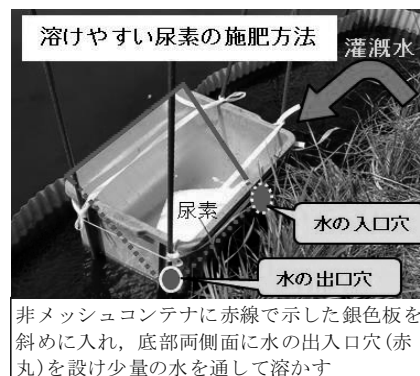
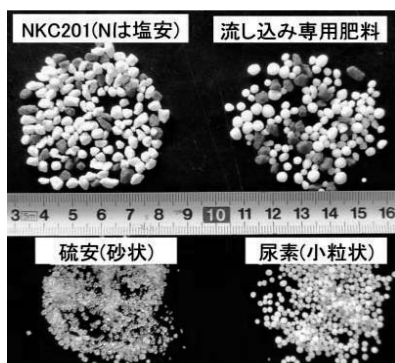


図2 尿素の流し込み施肥 (2016年 長野県農業試験場)



2016年



2017年

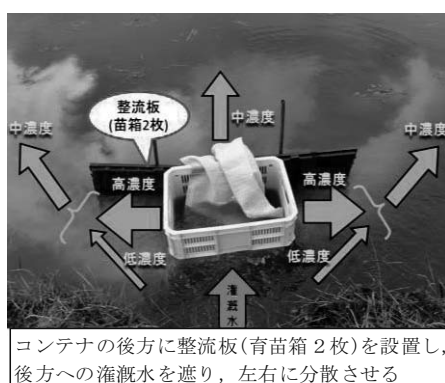


2018年

図3 メッシュコンテナとコンバイン用ポリプロピレン袋を用いた流し込み施肥方法の検討 (2016～2018年 長野県農業試験場)



水流を変える工夫前



苗箱を利用した工夫

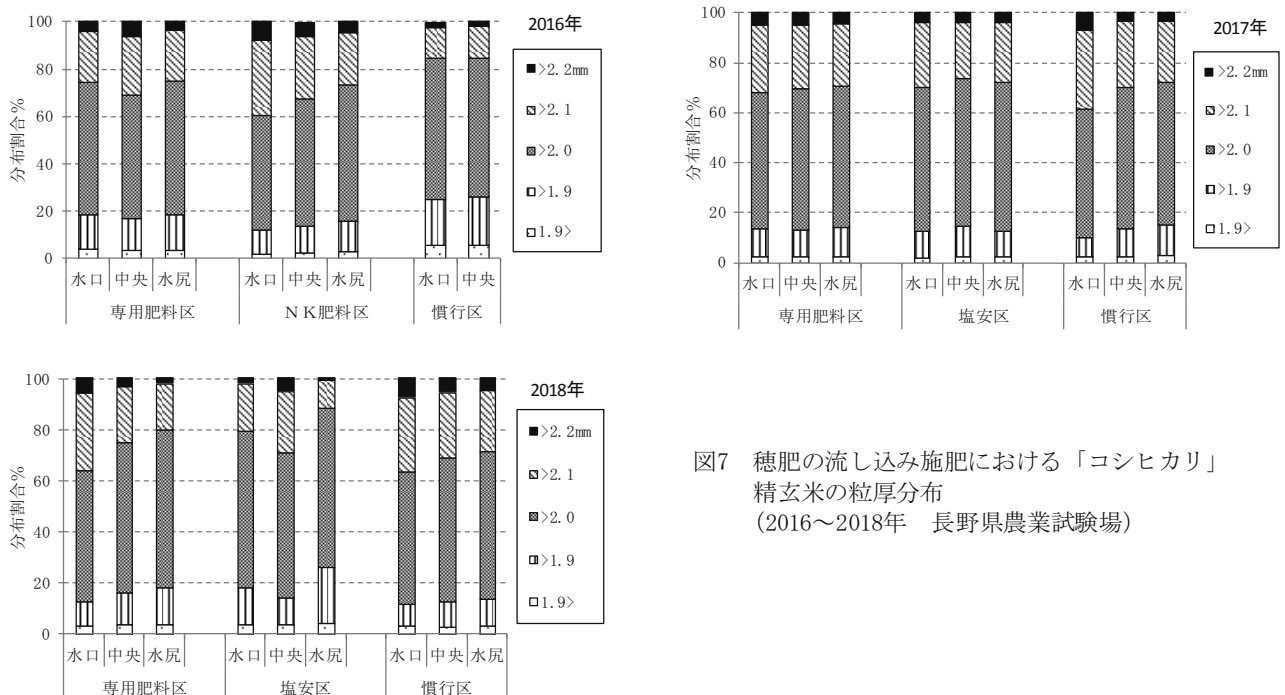
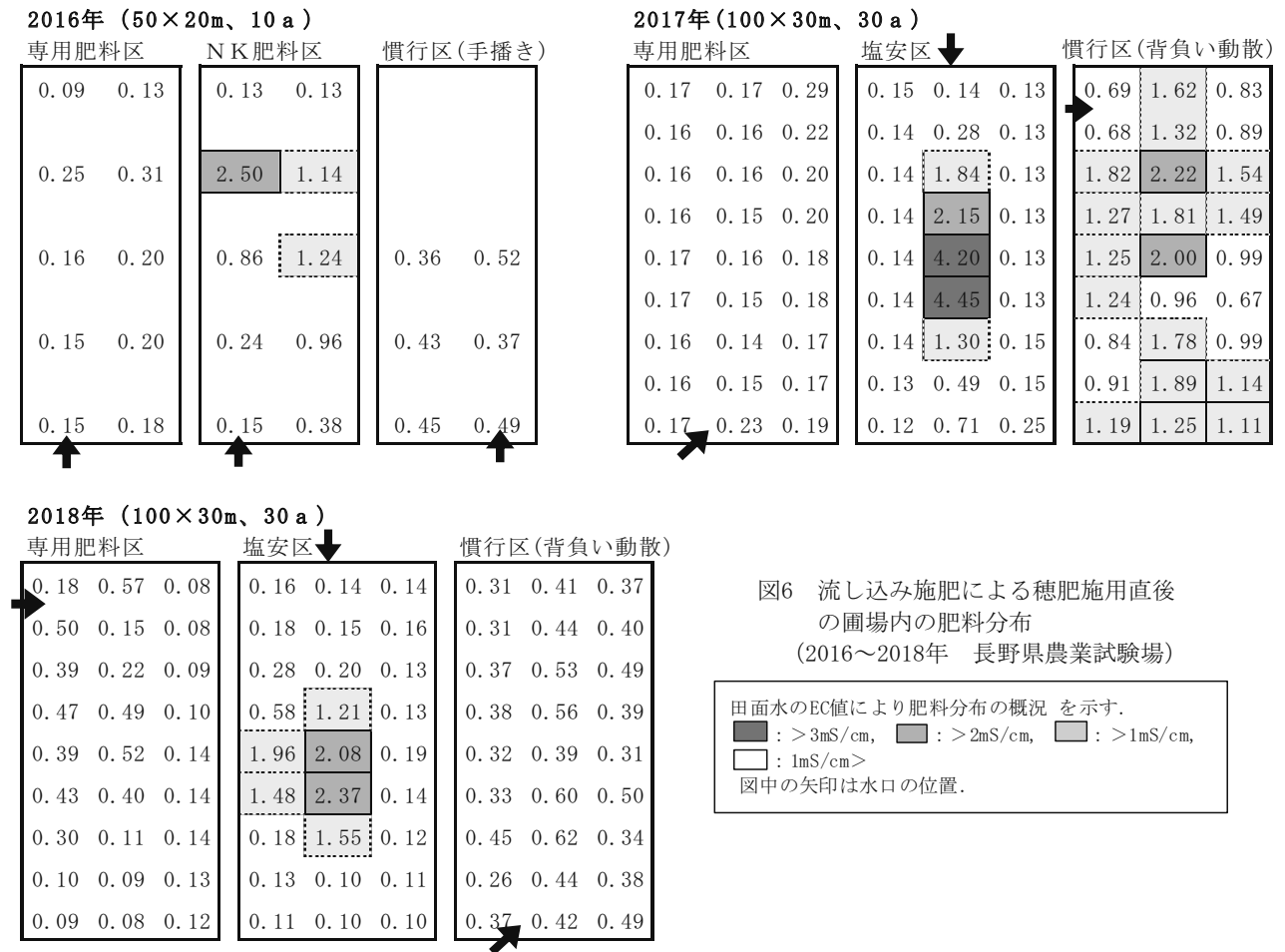


板を用いた簡易な工夫

図4 流し込み施肥の施肥むら軽減のための水流を変える工夫 (2018年 長野県農業試験場)
(粉状消石灰によるコンテナ周囲の水流の模式図)



図5 収穫時における流し込み施肥水稻の生育状況 (2018年 長野県農業試験場)
(水口側の短辺畔から水尻方向を見た圃場の様子)



長野県農業試験場報告第3号 (2021)

表1 穂肥の流し込み施肥に用いる肥料の検討 (2016年 長野県農業試験場)

肥料名	形状	仮比重	吸湿性	保証成分% (N-P205-K20)	肥料費		肥料充填PP袋の 高さ (cm/30a)
					(円/N1kg)	(円/10a/N2kg)	
専用肥料(試作品)	粒状(尿素:大粒)	0.87	やや高	29.5-0-20.5	(395)	(790)	23
硫安	砂状	1.07	中	21-0-0	260	520	26
塩安	粒状	0.75	中	25-0-0	294	588	31
尿素	小粒状	0.74	高	46-0-0	209	418	17
NKC201	粒状	0.80	中	20-0-10	485	970	36

注) 肥料の仮比重は供試した肥料の実測値。吸湿性は同一肥料でも粒径等により異なる。

肥料費は2016年の価格例をもとに算出。専用肥料は未販売のため試算による金額。

「肥料充填PP袋の高さ」は30a圃場の肥料(N2kg/10a)を充填したPP袋を円柱に例えた場合の高さ。

表2 コシヒカリを用いた流し込み施肥試験(穂肥)の試験区 (2016~2018年 長野県農業試験場)

試験年次	試験区	圃場面積	供試肥料	肥料成分% (N-P205-K20)	基肥N量 (kg/10a)	穂肥N量 (kg/10a)
2016年	専用肥料区(流し込み)	約10a	試作した肥料	29.5-0-20.5	6.0	2.0
	NK肥料区(流し込み)	約10a	NKC201	20-0-10	6.0	2.0
	慣行区(手播き)	約10a	NKC201	20-0-10	6.0	2.0
2017年及び 2018年	専用肥料区(流し込み)	約30a	試作した肥料	29.5-0-20.5	4.2	2.0
	塩安区(単肥流し込み)	約30a	塩安	25-0-0	4.2	2.0
	慣行区(背負い動散)	約30a	NKC201	20-0-10	4.2	2.0

表3 「コシヒカリ」の流し込み施肥における生育及び収量構成要素 (2016~2018年 長野県農業試験場)

年次	試験区	調査位置	成熟期の生育					収量構成要素					
			稈長 cm	有意差	穂長 cm	穂数 /㎡	倒伏程度	精玄米重 kg/10a	有意差	籾数 /㎡	登熟歩合 %	玄米千粒重 g	
2016年	専用肥料区	水口	88		18.9	487	微	802		42,600	85.0	22.2	
		中央	88		19.0	460	少	782		43,700	80.2	22.3	
		水尻	88		19.3	502	少	736		40,300	82.4	22.2	
		平均	88	ns	19.1	483		774	ns	42,200	82.5	22.2	
	N K肥料区	水口	88		19.4	457	中	801		43,700	80.6	22.7	
		中央	91		20.0	539	中	811		47,400	74.4	23.0	
		水尻	83		18.2	436	少	791		40,800	88.9	21.8	
		平均	87	ns	19.2	478		801	ns	44,000	81.3	22.5	
	慣行区	水口	92		19.0	464	中	762		43,800	80.5	21.6	
		中央	91		19.9	455	中	759		43,900	79.3	21.8	
		平均	91	—	19.5	460		761	—	43,900	79.9	21.7	
	2017年	専用肥料区	水口	87	ns	17.9	446	無	717	ns	35,300	92.3	22.0
			中央	87		17.5	426	微	702		33,600	93.4	22.4
			水尻	87		18.3	426	微	725		34,900	92.9	22.3
			平均	87	**	17.9	432		715	ns	34,600	92.9	22.2
塩安区		水口	90	ns	18.6	471	中	640	ns	31,600	92.7	21.8	
		中央	90		19.4	434	少	724		36,700	89.5	22.1	
		水尻	90		19.4	456	少	730		36,700	89.0	22.4	
		平均	90	*	19.1	454		698	ns	35,000	90.4	22.1	
慣行区		水口	91	ns	18.6	470	微	738	ns	40,200	82.5	22.2	
		中央	92		18.4	481	中	723		39,200	82.5	22.4	
		水尻	92		18.9	457	少	736		39,500	84.6	22.0	
		平均	92	—	18.6	469		732	—	39,600	83.2	22.2	
2018年		専用肥料区	水口	84	ns	20.3	398	少	670	ns	32,900	89.4	22.8
			中央	83		20.1	489	少	634		32,300	87.4	22.5
			水尻	83		19.6	451	少	672		34,600	88.0	22.0
	平均		83	*	20.0	446		659	**	33,300	88.3	22.4	
	塩安区	水口	79	ab	18.2	422	無	487	ns	24,900	90.2	21.7	
		中央	83	a	20.6	416	少	644		33,100	85.2	22.9	
		水尻	78	b	18.3	419	少	511		25,700	93.9	21.1	
		平均	80	ns	19.0	419		547	ns	27,900	89.8	21.9	
	慣行区	水口	75	a	20.0	334	無	498	ns	24,400	90.3	22.7	
		中央	79	b	19.9	396	微	482		23,200	92.2	22.6	
		水尻	78	ab	19.5	372	少	494		24,100	92.4	22.1	
		平均	77	—	19.8	367		491	—	23,900	91.6	22.5	

注) 倒伏程度は達観で甚・多・中・少・微・無の6段階で判定。m²籾数は収量構成要素から算出。

表中有意差欄の左が水口、中央、水尻の位置間の有意差検定結果。右が試験区間(慣行区対比)の有意差検定結果。

水口、中央、水尻の位置間の比較では、tukey検定により異なるアルファベット間で*: 5%水準で有意差あり、ns: 有意差なし。試験区間の比較では、Dunnett検定により慣行区に対して*: 5%水準、**: 1%水準で有意差あり、ns: 有意差なし(エクセル統計、株・社会情報サービ

上原ら：水稻の流し込み施肥による穂肥施肥方法

表4 流し込み施肥における玄米品質(2016～2018年 長野県農業試験場)

年次	試験区	調査位置	整粒歩合% 有意差	粗粒歩合% 有意差
2016年	専用肥料区	水口	71.2	6.4
		中央	67.1	6.5
		水尻	68.5	6.9
		平均	68.9 ns	6.6 ns
	NK肥料区	水口	64.4	6.8
		中央	59.3	7.7
		水尻	72.3	6.1
		平均	65.3 ns	6.9 ns
	慣行区	水口	72.5	7.2
		中央	68.1	7.3
		平均	70.3 —	7.2 —
2017年	専用肥料区	水口	81.6	6.4
		中央	81.5	6.2
		水尻	81.8	6.4
		平均	81.6 **	6.3 ns
	塩安区	水口	75.1	5.7
		中央	75.8	6.4
		水尻	75.0	7.1
		平均	75.3 ns	6.4 ns
	慣行区	水口	77.6	6.8
		中央	75.7	7.1
		水尻	75.0	6.9
		平均	76.1 —	6.9 —
2018年	専用肥料区	水口	78.0	6.4
		中央	77.9	6.8
		水尻	80.2	6.8
		平均	78.7 ns	6.6 ns
	塩安区	水口	74.1	5.7
		中央	76.3	6.8
		水尻	77.4	5.9
		平均	75.9 ns	6.1 ns
	慣行区	水口	77.6	6.4
		中央	77.5	6.5
		水尻	79.2	6.9
		平均	78.1 —	6.6 —

注) 試験区間の比較において、Dunnnettの検定により慣行区に対して
*: 5%水準、**: 1%水準で有意差あり。ns: 有意差なし

表5 流し込み施肥における窒素吸収量(2016～2018年 長野県農業試験場)

年次	試験区	調査位置	葉素kg/10a	穂kg/10a	合計kg/10a 有意差
2016年	専用肥料区	水口	3.8	11.5	15.2
		中央	3.5	10.4	13.9
		水尻	3.6	10.5	14.1
		平均	3.6	10.8	14.4 ns
	NK肥料区	水口	3.7	10.4	14.1
		中央	4.1	14.0	18.1
		水尻	3.0	9.5	12.5
		平均	3.6	11.3	14.9 ns
	慣行区	水口	3.2	10.4	13.6
		中央	3.7	11.8	15.5
		平均	3.4	11.1	14.5 —
2017年	専用肥料区	水口	2.0	8.3	10.3
		中央	2.4	8.5	10.8
		水尻	2.1	9.1	11.2
		平均	2.2	8.6	10.8 ns
	塩安区	水口	2.1	6.5	8.6
		中央	2.7	8.5	11.3
		水尻	3.3	8.3	11.7
		平均	2.7	7.8	10.5 ns
	慣行区	水口	2.6	8.7	11.2
		中央	3.1	9.2	12.3
		水尻	3.1	9.4	12.5
		平均	2.9	9.1	12.0 —
2018年	専用肥料区	水口	2.3	7.3	9.6
		中央	2.7	8.0	10.7
		水尻	2.7	7.5	10.1
		平均	2.6	7.6	10.1 ns
	塩安区	水口	1.7	5.0	6.8
		中央	2.7	8.4	11.1
		水尻	1.9	4.9	6.8
		平均	2.1	6.1	8.2 ns
	慣行区	水口	1.7	5.4	7.1
		中央	1.7	5.7	7.4
		水尻	2.1	5.6	7.7
		平均	1.8	5.6	7.4 —

注) 試験区間の比較において、Dunnnettの検定により慣行区に対して
*: 5%水準、**: 1%水準で有意差あり。ns: 有意差なし

表6 標準圃場(30a)における流し込み施肥の労働時間(2017～2018年 長野県農業試験場)

年次	作業区分	労働時間(分:秒)		慣行区対比	
		流し込み施肥区	慣行区	削減時間(分:秒)	削減率(%)
2017年	肥料の容器(袋)への積込み	2:35	2:35	0:00	—
	車両と田(畔)の間の移動	0:24	0:32	0:08	1.2
	肥料施用作業	0:09	3:59	3:50	35.1
	水量調節	0:06	—	-0:06	-0.9
	施用器具の調整	0:28	2:42	2:14	20.5
	その他(諸作業、畦畔や水田内移動)	0:13	1:07	0:54	8.2
	合計	3:55	10:55	7:00	64.1
2018年	肥料計量と容器(袋)へ充填	1:00	1:00	0:00	—
	車両と田(畔)の間の移動	0:31	0:16	-0:15	-1.5
	肥料施用作業	0:28	8:36	8:08	48.4
	水量調節	0:10	—	-0:10	-1.0
	施用器具の調整	0:04	1:15	1:10	7.0
	その他(諸作業、畦畔や水田内移動)	0:39	5:42	5:03	30.0
	合計	2:53	16:49	13:55	82.8

注) 作業時間の削減率: (削減時間) ÷ (慣行区の合計労働時間) × 100

表7 標準圃場(30a)における流し込み施肥の経費(2017～2018年 長野県農業試験場)

年次	項目	専用肥料区(流し込み施肥)			塩安区(流し込み施肥)			慣行区(背負い動散)		
		単価(円)	投下量	経費(円/30a)	単価(円)	投下量	経費(円/30a)	単価(円)	投下量	経費(円/30a)
2017年	肥料費	395/N1kg	N6 kg	2,370	294/N1kg	N6 kg	1,764	485/N1kg	N6 kg	2,910
	流し込み施肥用PP袋	140	2袋	280	140	2袋	280			
	流し込み施肥用コンテナ	498	1個	498	498	1個	498			
	ガソリン代							120	0.1ℓ	12
	背負い動散の減価償却費							275	1台	275
	作業労賃	800/hr	235秒	52	800/hr	235秒	52	800/hr	655秒	146
	合計			3,200			2,594			3,343
	経費削減率			4.3%			22.4%			
2018年	肥料費	395/N1kg	N6 kg	2,370	294/N1kg	N6 kg	1,764	485/N1kg	N6 kg	2,910
	流し込み施肥用PP袋	140	2袋	280	140	2袋	280			
	流し込み施肥用コンテナ	498	1個	498	498	1個	498			
	ガソリン代							140	0.1ℓ	14
	背負い動散の減価償却費							275	1台	275
	作業労賃	800/hr	173秒	38	800/hr	173秒	38	800/hr	1,009秒	224
	合計			3,186			2,580			3,423
	経費削減率			6.9%			24.6%			

注) 経費の削減率: (慣行区の経費合計 - 試験区の経費合計) ÷ (慣行区の経費合計) × 100

場 長	鈴木 正幸
編集委員長	小野 佳枝
編集委員	山田 直弘
	上原 泰
	前島 秀和
	内田 英史
	吉川 直人

長野県農業試験場報告

第3号

印刷・発行 令和4年3月30日

発行者 長野県農業試験場
長野県須坂市小河原 492

郵便番号 382-0072

電話 026-246-2411 (代)

印刷所 社会福祉法人 ながのコロニー
長野福祉工場

ISSN 1883-8502

BULLETIN OF THE NAGANO AGRICULTURAL EXPERIMENT STATION

No. 3 March 2022

Content

Cultivation method for improving grain-weight of sake-brewing rice “Sankei-nishiki” Satomi OKUDE, Akiko HARADA, Tsutomu MORIMOTO, Nagao SAKAI	1
Occurrence and Control of Soybean Seed Pests in Nagano Prefecture Kazuki ASO, Jun KURIHARA	14
About Changes in Physics and Chemistry of Agricultural Land Soil in Nagano Prefecture Naoto YOSHIKAWA, Kazuko KONDO, Tadashi ITO, Hitoshi MORO	26
Topdressing Method for Paddy Rice by Pouring of Irrigation Takayoshi UEHARA, Tetsushi NAKAZAWA, Yasushi UEHARA	47

Published by

BULLETIN OF THE NAGANO AGRICULTURAL EXPERIMENT STATION

Suzaka, Nagano-ken

JAPAN