HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	カリウム施肥 , リン酸施肥および栽植密度がテンサイの収量および品質に及ぼす影響 と土壌分析値との関連について
Author(s)	鷹田, 秀一
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	甲第13318号
Issue Date	2018-09-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k13318
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/71799
Type	doctoral thesis
File Information	Shuichi_Takada.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

カリウム施肥，リン酸施肥および栽植密度がテンサイの収量および品質に及ぼす影響と土壌分析値との関連について

Effect of potassium fertilization, phosphate fertilization, and planting density on the yield and quality of sugar beet, and its relationship to soil chemical and physical properties

鷹　田　秀　一

目次

第１章　緒論　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　1

第２章　カリウム施肥，リン酸施肥および栽植密度が
テンサイの収量および品質に及ぼす影響
・・・・・・・・・・・・・・・・・　6

第３章　カリウム施肥，リン酸施肥および栽植密度が
テンサイの収量および品質に及ぼす影響と
土壌理化学性との関連について
・・・・・・・・・・・・・・・・・　30

第４章　カリウム施肥とリン酸施肥効果に基づく圃場
のクラスター化と土壌分析値によるクラスター
判別プログラムの作成　・・・・・・・・・　57

第５章　総合論議　・・・・・・・・・・・・・・・・・・　70

第６章　要約　・・・・　・・・・・・　77
Summary　・・・・・・・・・・・・・・・・・・　78

謝辞　・・・・・・・・・・・・・・・・・・　80

文献　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・81-93

補遺　収穫調査及び回帰係数計算結果の具体的数値・　94

第 1 章 緒論

肥料分析研究の歴史は古く，1884年には米国内の肥料検査法の統一化を図るためAssociation of Official Agricultural Chemists（A.O.A.C.）が設立され，色々な変遷を経て現在も食品，医薬，肥料，微生物検出などより幅広い分野でA.O.A.C法[1)2)]として活用されている．土壌分析診断はこれら肥料分析[3)]研究をベースとして土壌に適応した適正施肥量の指標を決定するため古くから研究が行われてきた．1894年にDyer, B.[4)]が，1900年にはFraps[5)6)]が土壌のカリウムやリン酸の分析法を取りまとめた．その後も土壌リン酸評価については土壌の固定作用が作物体吸収に複雑に作用することから多くの研究がなされ，1930年頃には土壌のリン酸分析法としてトルオーグ法[7)]やブレイNO1，ブレイNO2法[8)9)10)11)]，SPUWAY法[12)]など種々分析法が提案された．

1942年にはMorgan[13)14)15)16)]により数度の改訂を経て土壌のpHや窒素，リン酸，カリウム，マグネシウム，カルシウムなど主要な土壌分析項目を網羅した土壌分析診断マニュアル「Uneversal soil testing system」が出版され，発色試験紙とカラーチャートを用いて適正施肥量を容易に知ることが可能となった．リン酸など土壌の種類によっては診断精度で不十分な面は見られたが，種々土壌分析項目を網羅し適正施肥量判定する基本体系がほぼ確立されたと言える．

1950年代に入って放射性同位元素P^{32}を用いたリン酸評価研究が一般化し，米国のNational Test Work Groupによる共同研究が開始された[17)]．1952年にFRIED, DEANらはP^{32}可過リン酸カルシウムを用いたエン麦ポット試験を行い，肥料からのリン酸吸収率を基に作物体が吸収可能なリン酸を評価する指標として“A-value”を提唱し，土壌からのリン酸吸収評価指標として用いられるようになった[18)]．

我が国では1959年より農林水産省の補助事業として全国で地力保全基本調査が始まり1978年までに3000カ所以上で土壌断面分析調査が実施された．土壌分析項目はpH，置換酸度(y1)，塩基置換容量，交換性塩基（CaO, MgO, K_2O）,カルシウム飽和度，リン酸吸収係数，有効態リン酸等である[19)20)21)22)]．

三宅ら[23)]・庄子ら[24)]は北海道に適合したリン酸評価のため美唄市泥炭土14点，札幌市沖積土6点，紋別市洪積土7点，芽室町火山灰土12点の土壌を用いてFRIED, DEANらと同様の方法でA-valueの測定を行い，8種のリン酸定量法と相関および回帰分析を行った．全土壌総体の相関係数はブレイNO.2法(r=0.9**)が最も高く,次いでブレイNO.1(r=0.9**)，トルオーグ法(r=0.86**)の順に相関が高かった．

同様に南ら[25)]は北海道の畑地土壌で非火山性土壌12点，火山性土8点を用い8種のリン酸測定法でリン酸吸収量との相関を検討した．畑地土壌全体ではトルオーグ法で相関が最も高かったが，火山性土に限ると有意ではなくAl-P_2O_5法（1N-NH_4-N抽出）との併用が望ましい旨を言与した．またエンバクポット試験とエンバク4場所，馬鈴しょ2場所の現地圃場試験を実施し，土壌中の有効態リン酸水準から適正施肥量を算出するためには土壌のリン酸固定と固定リン酸の有効化を考慮する必要がある旨言与し，トルオーグリン酸の増収効果の期待できる限界濃度(Crirical level)はエンバク～100mg l^{-1}，馬鈴しょ～150 l^{-1}程度で，作物により違いがあることを示した[26)]．

1981年にそれまでの各種研究と地力保全基本調査結果の集大成として「土壌および作物栄養の診断基準－分析法－（北海道農政部）」[27)]が策定され，北海道における土壌分析マニュアル[28)]と基準値が設定された[29)30)]．なお有効態リン酸の分析法として畑地作物,園芸作物および飼料作物（サイレージ用トウモロコシ）はトルオーグ

法，水稲，牧草はブレイNO.2法を用いるが，三宅・庄子ら[23)24)]や南ら[25)26)]は，特に十勝の火山灰土に限るとトルオーグリン酸分析値と吸収特性を示すA-value[18)]との相関は必ずしも十分とは言えない旨を言与した．

横井らは1979-1980年十勝管内の火山灰土56圃場，沖積土21圃場の土壌実態調査からカリウム，リン酸の蓄積が進んでいることを示し，1980-1982年には土壌分析値に応じた施肥指導指針の策定を目指し農試および製糖業者連携によりテンサイにおけるカリウムおよびリン酸施肥用量試験が開始された[31)]．この研究成果は1983年に「畑土壌の有効態養分含量(リン酸,カリ)に対応した施肥法」[32)]として取りまとめられ，その後2002年には「北海道施肥標準」[29)]と統合し「北海道施肥ガイド:施肥標準，診断基準，施肥対応」[30)]として出版された．加えて井村・早坂[33)34)]，東田ら[35)]，笛木[36)]，宮沢[37)]，中里ら[38)39)]，佐藤ら[40)]，吉田ら[41)]，鷹田ら[42)]等により現地における施肥試験研究が実施され，これら試験研究成果はテンサイの施肥指導資料として現在も広く活用されている．

2002年出版の「北海道施肥ガイド」[30)]は，その後の基準収量等の改訂版として2010年に改訂[43)]され，さらに最新の2015版[44)]が出版された．特に2015年は大幅改訂がなされたが，それは土壌へのリン酸やカリウムの蓄積に加え，肥料価格の高騰に対応したもので火山灰土における移植テンサイのリン酸施肥標準「220kg ha^{-1}」が半量の「110kg ha^{-1}」に改訂された．カリウムの施肥標準は「160kg ha^{-1}」で，交換性カリウムの基準値（150-300mg kg^{-1}）に対し低い（0-80 mg kg^{-1}）場合は150%，高い（500-700 mg kg^{-1}）は30%，極高い（700 mg kg^{-1}超）場合は0%の施肥対応が示された．

テンサイ養分吸収に関する基礎研究は礫耕栽培により増田ら[45)46)]が種々養分の部位別吸収量について，井村・増田[47)48)]，早坂・井村[49)50)]が，カリウムおよびリン酸の吸収特性を報告し，高橋

[51]は圃場におけるカリウム吸収について，東田ら[52]は主要畑作物のリン酸吸収特性について報告した．また南山ら[53]は無機養分について，村椿ら[54]は窒素，リン酸，カリウムや塩素等も含め吸収特性を報告した．塚田ら[55]，伝宝ら[56]，林田ら[57]は菜根中の糖分，非糖分の分布特性について報告した．また細川[58]，蔵之内ら[59][60]，富山[61]は品種系統の収量と糖分，非糖分の遺伝相関について報告した．

栽植密度の収量および品質に及ぼす影響については井村ら[62]，堅木ら[63][64]，今ら[65]，三谷ら[66]，野村[67]，白井ら[68]，鷹田ら[69][70][71]等の報告があり，適正栽植密度を確保し高品質なテンサイ安定確保のための現地指導に活用されている．また品種の施肥や栽植密度反応について鷹田ら[72]，柴山ら[73]が施肥や栽植密度反応は品種で大きく異ならない旨報告した．

このように多くの研究はあるものの，カリウム施肥，リン酸施肥および栽植密度が収量，品質に及ぼす影響について，直接相互比較した事例は少なく，さらにこれら変動が土壌のカリウム含量やトルオーグリン酸[23][24][25][26]および種々交換性塩基や陽イオン交換容量，熱水抽出窒素等も含め土壌分析値の違いによりどのような影響を受けるかについては未知の部分が多い．

本研究では31圃場においてカリウム施肥，リン酸施肥および栽植密度[70]の指導上の資を得る目的で併設実施した3試験のデータを統合解析し，テンサイのカリウム施肥，リン酸施肥および栽植密度の変動が収量，品質に及ぼす影響を明らかにし，圃場による影響の違いと土壌分析値との関連等について新知見を得るべく解析を行った．

第２章では全試験地総体でカリウム施肥，リン酸施肥および栽植密度が茎葉重，根重，糖量や根中糖分および各非糖分に及ぼす影響を対比し平均的な推移を明確化した．さらに圃場毎にカリウム施肥，リン酸施肥および栽植密度変動を直線回帰係数を用いて数量化し

，圃場による変動の差異やその変動分布を検討した．

第３章では第２章の回帰係数を用いて圃場による収量や品質への影響の違いについて土壌分析値とどのような関連が見られるかを解析した．テンサイの収量，品質に及ぼすカリウム施肥，リン酸施肥，栽植密度効果の圃場特性について圃場の土壌分析値との関連を検討し，カリウム施肥とリン酸施肥の糖量効果でいくつかの土壌分析項目との相関で相反する挙動が観察された．

第４章では第２章および第３章の基礎解析研究結果を基に，普及実用化の取り組み例として土壌分析値を用いたカリウム，リン酸肥効特性の予測モデルを作成した．第５章では、得られた結果を総合的に考察し、今後の問題点を提起した．

第 2 章

カリウム施肥，リン酸施肥および栽植密度がテンサイの収量および品質に及ぼす影響

① 緒言

北海道の畑作におけるカリウム施肥やリン酸施肥がテンサイ諸形質に及ぼす効果確認試験は過去にも多くの試験が実施されているものの，カリウム，リン酸施肥および栽植密度が収量，品質に及ぼす影響について，直接相互比較した事例は極めて少ない．そこで，本章ではテンサイのカリウム施肥，リン酸施肥および栽植密度の変動がテンサイの茎葉重，根重，糖量や根中糖分および各非糖分に及ぼす影響程度を直接相互比較し，直線回帰係数を用いて数量化することで圃場による変動の差異やその変動の分布を明らかにすることを目的とする．

② 材料および方法

1)圃場試験

北海道十勝地方の5町(清水町，新得町，鹿追町，士幌町，上士幌町）の延べ31圃場にてテンサイのカリウム施肥試験，リン酸施肥試験および栽植密度試験を併設実施した．試験は十勝地域の実態に併せ，土質は約1 割を沖積土とし[74]，火山灰土28件，沖積土3件で実施した．試験地の耕種概要を表1 に示した．

表1　試験場所と耕種概要

場所NO.	町村	土壌の種類	設置月日	有機物施用状況			前作物
				種類	散布数量（ha当り）	施用時期	
L01	清水町	沖積土	5月6日	牛糞	30t	前年秋	豆類
L02	清水町	乾性火山灰土	5月3日	なし			豆類
L03	清水町	湿性火山灰土	5月3日	牛糞	40t	前年秋	麦類
L04	清水町	沖積土	5月3日	なし			麦類
L05	清水町	沖積土	5月3日	牛糞	30t	前年秋	豆類
L06	新得町	乾性火山灰土	5月2日	バーク	30t	春	豆類
L07	新得町	湿性火山灰土	5月2日	バーク	30t	前年秋	麦類
L08	新得町	湿性火山灰土	5月2日	牛糞	20t	前年秋	麦類
L09	鹿追町	湿性火山灰土	5月4日	ケイフン	0.6t	春	豆類
L10	鹿追町	湿性火山灰土	5月4日	バーク	30t	前年秋	麦類
L11	鹿追町	乾性火山灰土	5月3日	豚糞	20t	前年秋	豆類
L12	鹿追町	乾性火山灰土	5月4日	バーク	30t	前年秋	麦類
L13	鹿追町	黒色火山灰土	5月4日	牛糞	20t	前年秋	麦類
L14	鹿追町	乾性火山灰土	5月3日	牛糞	30t	春	馬鈴しょ
L15	鹿追町	乾性火山灰土	5月3日	牛糞	40t	前年秋	麦類
L16	鹿追町	乾性火山灰土	5月4日	豚糞	30t	春	豆類
L17	士幌町	乾性火山灰土	5月9日	バーク	30t	前年秋	馬鈴しょ
L18	士幌町	乾性火山灰土	5月6日	バーク	20t	前年秋	豆類
L19	士幌町	乾性火山灰土	5月7日	バーク	30t	前年秋	馬鈴しょ
L20	士幌町	乾性火山灰土	5月7日	バーク	30t	前年秋	馬鈴しょ
L21	士幌町	乾性火山灰土	5月6日	なし			馬鈴しょ
L22	士幌町	乾性火山灰土	5月6日	なし			麦類
L23	士幌町	乾性火山灰土	5月6日	なし			馬鈴しょ
L24	士幌町	乾性火山灰土	5月9日	バーク	40t	前年秋	馬鈴しょ
L25	士幌町	湿性火山灰土	5月7日	なし			麦類
L26	上士幌町	湿性火山灰土	5月10日	なし			馬鈴しょ
L27	上士幌町	湿性火山灰土	5月10日	緑肥	20t	前年秋	麦類
L28	上士幌町	湿性火山灰土	5月10日	なし			豆類
L29	上士幌町	乾性火山灰土	5月7日	堆肥	30t	前年秋	豆類
L30	上士幌町	湿性火山灰土	5月10日	緑肥	20t	前年秋	麦類
L31	上士幌町	乾性火山灰土	5月7日	牛糞	30t	前年秋	豆類

何れの試験圃も畝巾60cmで1区面積は15㎡(4畝×6.25m)，品種は，「モノホマレ」[75)76)]を用いた．試験はカリウム施肥変量試験，リン酸施肥変量試験，栽植密度試験の3試験を同一圃場内に併設配置した．各試験ともにプロットを畝方向に連続してランダムに配置[77)78)79)80)81)82)]し，プロット間に1mの通路を設けた．なおカリウム施肥変量試験はカリウムの慣行施肥実態が124.5kg-K ha^{-1}(150kg-K_2O ha^{-1})程度[31)83)]であることから，処理水準を無施用から上限を慣行実態の2倍の249 kg-K ha^{-1}
(300kg-K_2O ha^{-1})，施肥効果把握の基準間隔を41.5 kg-K ha^{-1}

(50kg-K_2O ha^{-1})とし，カリウム施肥要素量を0から249 kg-K ha^{-1} (300kg-K_2O ha^{-1}) まで7水準設けた．リン酸施肥変量試験はリン酸の慣行施肥実態が131 kg-P ha^{-1}(300kg-P_2O_5 ha^{-1})程度[31)83)]であることから，リン酸施肥要素量を無施用から上限273kg-P ha^{-1} (625kg-P_2O_5 ha^{-1})までとし施肥効果把握の基準間隔を54.5kg-P ha^{-1}(125kg-P_2O_5 ha^{-1})として6水準設けた．なお両試験ともに窒素は150kg-N ha^{-1}(内2.2%はチリ硝石由来)で，カリウム施肥試験はリン酸109 kg-P ha^{-1}(250kg-P_2O_5 ha^{-1})，マグネシウム19.3 kg-Mg ha^{-1}(32kg-MgO ha^{-1})，ホウ素1.9kg-B ha^{-1}(6kg-B_2O_3 ha^{-1})を施用した．またリン酸施肥変量試験はカリウム133 kg-K ha^{-1}(160kg-K_2O ha^{-1})，マグネシウム48 kg-Mg ha^{-1}(80kg-MgO ha^{-1})，ホウ素0.95kg-B ha^{-1}(3kg-B_2O_3 ha^{-1})を施用した.なお肥料配合はカリウム施肥試験で硫酸加里，硫安，チリ硝石，ボロン重焼燐，苦土重焼燐を，リン酸施肥試験は苦土重焼燐，硫安，チリ硝石，硫酸加里，酸化マグネシウム，硼砂を用い，それぞれ畦単位(3.75㎡)に小分けした．栽植密度は一律72460本ha^{-1}とした．

栽植密度試験は栽植密度の実態が50000本ha^{-1}から90000本ha^{-1}の範囲内にあることから50000本ha^{-1}から90000本ha^{-1}まで10000本ha^{-1}間隔の5水準に指導基準の上下限値である65000本ha^{-1}および75000本ha^{-1}を加え7水準とした．なお栽植密度試験では全区化成肥料(商品名:S899;ホクレン肥料(株)) を2000kg ha^{-1} 作条施用した．S899の保証成分(w/w)は8%-N(内チリ硝石由来の硝酸性窒素2.2%)，8.29%-P(19%-P_2O_5)，7.47%-K(9%-K_2O)，2.41%-Mg(4%-MgO)，0.093%-B(0.3%-B_2O_3) であった．

以上試験区分と処理内容一覧を表2に示す．

表2.　試験区分と処理内容一覧

区分	品種	栽植密度	ha 当たり要素量 窒素 N	リン酸 $P(P_2O_5)$	カリウム $K(K_2O)$	マグネシウム Mg(MgO)	ホウ素 $B(B_2O_3)$
		(本 ha^{-1})	(kg ha^{-1})	(kg ha^{-1})	(kg ha^{-1})	(kg ha^{-1})	(kg ha^{-1})
カリウム施肥試験	モノホマレ	72460	150	109(250)	0(0) 42(50) 83(100) 125(150) 166(200) 208(250) 249(300)	19(32)	1.9(6)
リン酸施肥試験	モノホマレ	72460	150	0(0) 55(125) 109(250) 164(375) 218(500) 273(625)	133(160)	48(80)	0.95(3)
栽植密度試験	モノホマレ	50000 60000 65000 70000 75000 80000 90000	160	166(380)	149(180)	48(80)	1.9(6)

設置作業は小型耕運機を用い畝掘りした後，手作業で畝巾60cm，施肥溝深さ約13-15cmになるよう整え，試験区別に小分けした肥料を畝ごとに手作業で施肥，土壌混和，整地した後，ハンド移植機を用いて所定間隔に定植を行った．定植月日は5月2日～10日で各町の定植慣行時期に合わせた．収穫調査は1区4畝の内中2 畝の両端2株を除いた全株を掘り取り，茎葉重，根重，根中糖分とテクニコンオートアナライザーを用いて菜根中カリウム，ナトリウム，アミノ態窒素含量を測定した．根中糖分は冷水侵出法，カリウム，ナトリウムは炎光光度法，アミノ態窒素はStanek-Pavlas法(ブルーナンバー法)とした．

製糖品質の指標として次式のとおりReinefeldの糖蜜糖分を算出した[84].

糖蜜糖分(%)＝0.343(K+Na)＋0.094AN－0.31

なおK,Na,ANの単位は$cmol_c\ kg^{-1}$である.

2)土壌採取と分析

土壌分析用のサンプルは設置時施肥前に作土層(深さ0-30cm)および下層土(30-60cm)から試験区画内の通路部分より格子状に9点を土壌採取器を用い採取した.分析項目はpH, トルオーグリン酸, 交換性カリウム, 交換性マグネシウム, 交換性カルシウム, マグネシウム/カリウム比, カルシウム飽和度, 塩基飽和度, リン酸吸収係数, 陽イオン交換容量(CEC), 交換性ナトリウム, 熱水抽出窒素(AC法), 土壌物理性項目として固相率, 真比重を測定した.また前年秋に試験実施確定圃場よりサンプリングを行ったものを参考値とし主要土壌分析項目について分析を行った.分析方法は道立中央農業試験場, 道農政部農業改良課.“土壌および作物栄養の診断基準－分析法－”1981[27]及び1992改訂版[28]に準じた.

各試験地の土壌分析値は次のとおり.

表3:　設置時施肥前　作土層分析値

表4:　設置時施肥前　下層土分析値

表5:　前年秋サンプリング　作土層分析値

表6:　前年秋サンプリング　下層土分析値

表 3:　設 置 時 施 肥 前　作 土 層 分 析 値

試験地 NO.	pH (H_2O)	可給態P_2O_5 (Truog)	交換性 カリウム (K_2O)	交換性 ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ (MgO)	交換性 ｶﾙｼｳﾑ (CaO)	ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ /ｶﾘｳﾑ 比	ｶﾙｼｳﾑ 飽和度	塩基 飽和度	リン酸吸 収係数	CEC	交換性ナ トリウム (Na_2O)	熱水抽出 窒素	固相率	真比重
		($mgkg^{-1}$)	($mgkg^{-1}$)	($mgkg^{-1}$)	($mgkg^{-1}$)		(%)	(%)	($P_2O_5mgkg^{-1}$)	($cmol_ckg^{-1}$)	($mgkg^{-1}$)	($mgkg^{-1}$)	(%)	(gcm^{-3})
L01	6.3	566	316	278	1915	2.1	57.4	74.6	3440	12	19	29	52	2.6
L02	6.1	173	279	230	2430	1.9	36.9	44.3	13060	24	16	25	37	2.7
L03	6.1	115	319	377	3664	2.8	41.0	48.9	18750	32	22	38	35	2.4
L04	6.2	428	349	283	2413	1.9	54.5	68.0	4190	16	24	49	53	2.5
L05	5.7	345	355	222	1744	1.5	43.5	56.5	3190	14	22	57	47	2.6
L06	5.8	125	354	228	2001	1.5	28.1	35.5	15110	25	11	51	39	2.3
L07	5.9	265	441	511	2912	2.7	36.4	48.6	13960	29	17	57	40	2.3
L08	5.5	84	316	295	2658	2.2	25.6	31.4	20140	37	17	63	37	2.2
L09	5.4	62	127	404	3837	7.4	31.7	36.9	19520	43	28	110	35	2.1
L10	5.7	375	444	494	2994	2.6	36.1	47.5	12740	30	53	89	43	2.3
L11	6.1	336	559	574	3297	2.4	43.2	58.1	12200	27	30	106	43	2.3
L12	6.0	56	410	341	1897	1.9	34.0	46.9	17110	20	21	53	36	2.3
L13	6.4	130	550	478	4312	2.0	54.5	67.1	14640	28	30	95	44	2.4
L14	5.7	133	351	241	2359	1.6	35.3	43.5	14050	24	28	76	43	2.3
L15	5.8	127	327	352	2765	2.5	35.6	44.4	17730	28	23	89	38	2.3
L16	5.3	61	253	219	1484	2.0	20.8	27.2	19490	25	16	67	36	2.3
L17	6.0	274	445	510	3091	2.7	49.0	64.4	11550	23	41	55	44	2.4
L18	5.7	173	415	289	1957	1.6	37.5	50.0	11350	19	18	40	49	2.4
L19	5.9	213	386	398	2873	2.4	37.8	48.1	14600	27	38	62	50	2.4
L20	5.8	224	371	294	2343	1.9	40.0	50.7	12640	21	36	50	42	2.3
L21	5.7	139	424	203	1810	1.1	29.2	37.8	12690	22	18	43	48	2.4
L22	5.8	395	275	357	2891	3.0	36.2	44.4	10320	29	29	60	45	2.3
L23	5.4	263	316	357	2260	2.6	26.9	35.0	14160	30	49	56	44	2.3
L24	5.6	248	363	347	2285	2.2	26.8	35.0	15270	30	30	61	43	2.3
L25	5.4	93	247	232	2383	2.2	29.2	35.0	15680	29	18	85	36	2.4
L26	5.7	123	315	519	4682	3.8	36.2	43.3	18480	46	31	134	39	2.2
L27	5.7	131	362	363	2660	2.3	36.3	46.2	15130	26	30	52	35	2.1
L28	5.8	90	446	425	3012	2.2	29.8	38.2	20190	36	22	75	41	2.4
L29	6.1	52	389	446	2429	2.7	40.7	54.9	17870	21	19	85	39	2.4
L30	5.8	54	362	370	2541	2.4	30.7	39.5	16420	30	32	66	39	2.4
L31	6.1	46	395	454	3219	2.7	38.8	49.2	19300	30	23	50	42	2.4

表 4: 設置時施肥前　下層土分析値

試験地 NO.	pH (H_2O)	可給態P_2O_5 (Truog)	交換性カリウム (K_2O)	交換性マグネシウム (MgO)	交換性カルシウム (CaO)	マグネシウム/カリウム比	カルシウム飽和度	塩基飽和度	リン酸吸収係数	CEC	交換性ナトリウム (Na_2O)	熱水抽出窒素	固相率	真比重
		($mgkg^{-1}$)	($mgkg^{-1}$)	($mgkg^{-1}$)	($mgkg^{-1}$)		(%)	(%)	($P_2O_5mgkg^{-1}$)	($cmol_ckg^{-1}$)	($mgkg^{-1}$)	($mgkg^{-1}$)	(%)	(gcm^{-3})
L01	6.5	321	237	219	1750	2.2	60.0	75.3	4040	10	22	21	43	2.8
L02	6.0	70	221	298	2110	3.2	43.5	54.8	7210	17	33	13	28	2.5
L03	5.9	40	309	189	1646	1.4	26.0	33.0	19720	23	27	29	22	2.2
L04	6.3	269	238	185	1775	1.8	56.5	69.2	4530	11	27	35	44	2.5
L05	6.0	148	273	202	1691	1.7	56.9	71.8	3780	11	21	30	40	2.6
L06	5.7	44	336	132	1086	0.9	30.7	41.6	11090	13	20	17	48	2.5
L07	5.9	51	327	185	1010	1.3	30.5	44.2	10030	12	26	29	43	2.5
L08	5.4	32	286	223	1368	1.8	23.1	31.2	14900	21	55	41	22	2.3
L09	5.4	40	110	316	3194	6.7	29.3	33.9	18660	39	48	72	24	2.0
L10	5.6	90	322	313	2119	2.3	31.9	41.3	13280	24	25	44	34	2.3
L11	5.9	72	311	223	1434	1.7	28.9	38.9	12900	18	24	47	42	2.6
L12	6.2	20	232	197	1186	2.0	31.1	41.9	18540	14	54	42	33	2.3
L13	6.1	48	341	344	2868	2.4	49.9	61.7	10740	21	51	59	50	2.5
L14	5.6	53	231	141	1322	1.4	29.8	37.4	11870	16	32	44	44	2.4
L15	5.9	33	472	265	1942	1.3	35.9	47.9	19350	19	21	52	40	2.3
L16	5.7	23	251	247	1009	2.3	21.5	32.1	19700	17	17	51	36	2.4
L17	5.9	33	162	243	1526	3.5	40.3	51.8	9160	14	55	20	51	2.5
L18	5.8	91	357	270	1682	1.8	43.8	59.1	7200	14	52	19	50	2.6
L19	5.7	64	208	238	1688	2.7	35.8	45.5	11190	17	73	28	47	2.4
L20	5.7	136	226	235	1847	2.4	38.1	47.6	12500	17	66	34	42	2.5
L21	5.6	108	298	179	1769	1.4	31.9	39.5	12880	20	35	39	51	2.6
L22	5.8	160	174	440	3100	5.9	53.9	66.4	7140	21	82	27	52	2.5
L23	5.6	181	175	243	1740	3.2	32.5	40.7	8570	19	37	28	58	2.5
L24	5.4	95	241	149	993	1.4	22.0	29.8	12260	16	27	26	41	2.5
L25	5.3	44	226	264	2353	2.7	26.8	32.5	14110	31	45	51	46	2.6
L26	5.8	48	362	296	3102	1.9	38.7	46.5	16490	29	34	42	35	2.5
L27	5.8	34	380	262	1476	1.6	32.7	45.8	12740	16	84	22	37	2.2
L28	5.7	50	380	253	1750	1.6	29.6	39.4	16920	21	73	29	50	2.6
L29	6.2	29	370	288	1252	1.8	26.7	40.0	18430	17	23	30	40	2.6
L30	5.7	53	325	466	2817	3.3	36.1	46.9	16930	28	53	46	31	2.5
L31	6.1	33	303	197	1067	1.5	22.9	32.7	17270	17	39	26	42	2.5

表5: 前年秋サンプリング 作土層分析値

試験地 NO.	pH (H2O)	可給態P_2O_5 (Truog)	交換性 カリウム (K2O)	交換性 ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ (MgO)	交換性 ｶﾙｼｳﾑ (CaO)	ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ /ｶﾘｳﾑ 比	ｶﾙｼｳﾑ 飽和度	塩基 飽和度	リン酸吸 収係数	CEC	交換性ナ トリウム (Na2O)	熱水抽出 窒素
		($mgkg^{-1}$)	($mgkg^{-1}$)	($mgkg^{-1}$)	($mgkg^{-1}$)		(%)	(%)	($P_2O_5mgkg^{-1}$)	($cmol_ckg^{-1}$)	($mgkg^{-1}$)	($mgkg^{-1}$)
L01	6.0	528	298	285	1957	2.2	49.5	64.0	4770	14.1	16	43
L02	6.1	94	278	253	2243	2.1	37.0	45.6	16030	21.6	22	15
L03	6.1	96	376	518	4588	3.2	38.1	46.0	23220	42.9	28	59
L04	6.2	435	277	255	2007	2.2	48.0	60.5	5100	14.9	19	36
L05	5.8	298	253	259	1770	2.4	39.2	50.5	6020	16.1	17	26
L06	5.7	128	374	295	2182	1.8	22.4	28.9	19720	34.7	12	51
L07	5.8	309	380	506	2578	3.1	27.8	37.8	16930	33.1	17	58
L08	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
L09	5.5	69	145	538	3925	8.7	29.2	35.4	22050	48.0	37	106
L10	5.5	483	485	464	2716	2.2	30.4	40.8	14820	31.9	24	74
L11	6.0	211	402	456	2418	2.6	31.4	42.7	15750	27.5	22	60
L12	6.0	49	229	262	1607	2.7	27.4	36.0	18470	20.9	25	22
L13	6.3	143	400	375	2702	2.2	40.8	52.3	14660	23.6	24	44
L14	5.6	140	277	218	1814	1.8	22.5	28.4	17820	28.7	24	39
L15	5.8	102	388	324	2351	2.0	25.7	33.2	20980	32.6	22	52
L16	5.5	35	224	196	1222	2.0	16.4	21.9	23460	26.5	12	141
L17	6.1	190	395	492	2814	2.9	37.2	49.3	15440	27.0	35	64
L18	5.7	111	310	275	1719	2.1	25.4	33.8	14940	24.1	20	52
L19	5.8	133	293	405	2470	3.2	26.9	35.0	18530	32.7	31	69
L20	5.8	189	370	349	2128	2.2	26.3	35.0	17190	28.9	31	68
L21	5.8	164	259	247	2063	2.2	33.6	41.7	14730	21.9		42
L22	5.7	439	405	499	3068	2.9	29.3	38.3	16120	37.3	30	87
L23	5.6	245	213	404	2091	3.0	21.9	29.8	16570	34.0	23	81
L24	5.5	377	353	572	3146	3.8	26.1	34.4	16690	43.0	54	102
L25	5.6	132	249	372	3321	3.5	26.9	32.3	18860	44.0	30	156
L26	5.9	350	374	530	5052	3.3	40.9	48.7	14640	44.0	28	115
L27	5.6	109	341	286	2125	2.0	22.3	28.6	20590	34.0	31	66
L28	5.9	89	390	389	3079	2.3	26.1	32.7	22270	42.0	39	75
L29	6.2	61	347	514	2663	3.5	34.3	46.1	20130	27.7	17	43
L30	5.8	121	305	515	3276	3.9	26.9	34.3	21640	43.4	27	93
L31	6.1	45	343	464	2950	3.2	31.2	40.2	22810	33.7	21	52

表6: 前年秋サンプリング 下層土分析値

試験地 NO.	pH (H2O)	可給態P_2O_5 (Truog)	交換性 カリウム (K2O)	交換性 ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ (MgO)	交換性 ｶﾙｼｳﾑ (CaO)	ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ /ｶﾘｳﾑ 比	ｶﾙｼｳﾑ 飽和度	塩基 飽和度	ﾘﾝ酸吸 収係数	CEC	交換性ナ トリウム (Na2O)	熱水抽出 窒素
		($mgkg^{-1}$)	($mgkg^{-1}$)	($mgkg^{-1}$)	($mgkg^{-1}$)		(%)	(%)	($P_2O_5mgkg^{-1}$)	($cmol_ckg^{-1}$)	($mgkg^{-1}$)	($mgkg^{-1}$)
L01	6.1	424	295	269	1859	2.1	50.6	65.6	4510	13.1	17	27
L02	6.0	34	186	238	1745	3.0	35.8	44.8	14380	17.4	46	0
L03	5.9	46	401	354	3121	2.1	25.6	31.7	25200	43.4	39	20
L04	6.3	266	240	204	1659	2.0	50.6	63.6	4210	11.7	20	11
L05	6.1	114	235	202	1600	2.0	50.1	63.2	4990	11.4	22	4
L06	5.7	24	392	177	1156	1.1	21.5	30.4	15610	19.2	20	11
L07	5.9	73	352	300	1675	2.0	27.2	37.3	14770	22.0	26	14
L08	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
L09	5.5	29	123	457	2618	8.7	25.2	32.0	17640	37.1	61	29
L10	5.5	186	353	305	2057	2.0	28.0	36.6	16120	26.2	30	37
L11	5.9	32	279	183	1108	1.5	21.7	30.0	14800	18.2	39	11
L12	6.1	15	176	194	1184	2.6	21.9	28.8	20990	19.3	72	1
L13	6.0	36	277	215	1524	1.8	40.3	52.5	11160	13.5	43	4
L14	5.6	32	198	133	1211	1.6	22.0	27.5	15430	19.6	30	7
L15	5.9	13	507	222	1295	1.0	19.7	29.0	22340	23.4	19	54
L16	5.8	8	185	162	722	2.0	15.5	22.7	21420	16.6	15	34
L17	5.8	28	206	352	1863	4.0	35.3	47.0	15500	18.8	83	19
L18	5.5	23	206	287	1391	3.3	27.4	37.7	11650	18.1	64	19
L19	5.8	39	258	290	1757	2.6	29.0	38.2	15560	21.6	49	29
L20	5.7	48	279	268	1515	2.2	24.9	33.8	15730	21.7	55	25
L21	5.7	58	223	179	1597	1.9	29.8	36.9	14780	19.1	–	24
L22	5.7	270	371	496	3306	3.1	33.0	42.1	14250	35.7	51	69
L23	5.6	83	214	238	1421	2.6	22.9	30.3	11570	22.1	32	36
L24	5.7	257	275	591	3498	5.0	31.3	40.2	15130	39.8	71	69
L25	5.5	80	245	385	2703	3.7	23.0	28.7	18260	42.0	60	105
L26	5.8	201	285	507	4588	4.2	37.0	44.1	15220	44.2	48	85
L27	5.7	43	273	261	1928	2.2	24.3	30.9	19130	28.3	92	31
L28	5.9	17	355	171	1472	1.1	19.0	24.7	21760	27.7	122	28
L29	6.0	27	352	327	1484	2.2	25.0	36.1	21380	21.2	23	22
L30	5.8	115	330	499	3228	3.5	26.2	33.5	21720	43.9	51	106
L31	6.0	15	303	294	1731	2.3	23.4	31.3	23750	26.4	25	25

3)カリウム施肥，リン酸施肥および栽植密度がテンサイ諸形質に及ぼす影響の数値化方法

各圃場において施肥および栽植密度の変動がテンサイ各形質に及ぼす影響の程度を数値化するために，圃場ごとにカリウム施肥量は1単位を0.83kg-K ha^{-1}(1kg-K_2O ha^{-1})，リン酸施肥量は1単位を0.44kg-P ha^{-1}(1kg-P_2O_5 ha^{-1})，栽植密度は1単位を1本ha^{-1}としてパラメーター(x)とし，各テンサイ形質を目的変数(y)として直線回帰係数を算出した．なおカリウム施肥，リン酸施肥，栽植密度変動の影響程度を比較するため，比較のための基準間隔をカリウム施肥41.5 kg-K ha^{-1}(50kg-K_2O ha^{-1})，リン酸施肥54.5kg-P ha^{-1}(125kg-P_2O_5 ha^{-1})，栽植密度10000本ha^{-1}とし，基準間隔における目的変数(y)の増減変動値を算出した．直線回帰係数，相関係数および有意水準p 値[85)86)87)88)]の計算はMicrosoft EXCELを用いた[89)]．

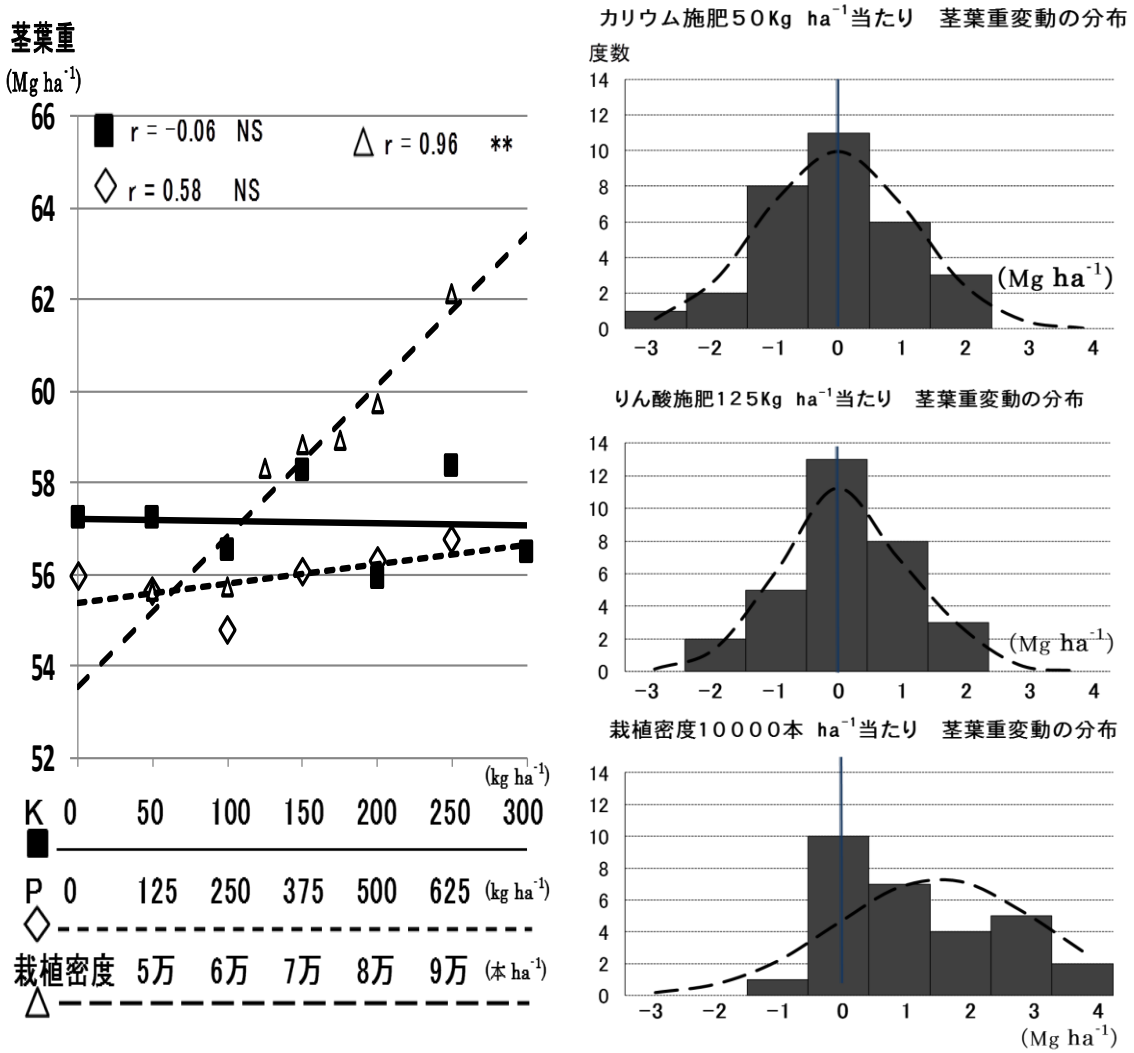
③ 試験結果

図1～図7に各形質の「カリウム施肥，リン酸施肥，栽植密度効果の推移」（左図）と「場所別カリウム施肥，リン酸施肥，栽植密度効果のヒストグラム」（右図）を示す．左図は全31場所総平均値で各形質のカリウム施肥，リン酸施肥，栽植密度の各水準実数値をプロットし，総体の回帰直線を図示したものである．相関係数(r)の**印は1%水準有意，*印は5%水準有意，NSは有意でないことを示す． 右図は場所別に回帰係数より算出した基準間隔換算値の分布状況を視覚的に認識するためのヒストグラムである．上からそれぞれカリウム施肥50kg ha^{-1}，りん酸施肥125kg ha^{-1}，栽植密度10000本 ha^{-1}当たりの増減変動値を横軸(各級の中央値で表示)とし，縦軸は該当する度数（戸数）を示している．例えば横軸の階級0（縦線の位置）は変動量が0，すなわち回帰線の傾きが0で増減が無いことを示し，0 を起点として階級が右へゆくほど増加程度(左図での右上がりの傾き）が大きく，左へゆくほど減少程度（左図での左上がりの傾き）が大きいことを示している．破線は平均，標準偏差から求めた正規分布推定線である．

まとめとしてカリウム施肥，リン酸施肥および栽植密度変動の直線回帰係数とその規準間隔換算増減の平均，標準偏差および正規性検定結果を表7に示す．

茎葉重(図1) は31圃場総平均で見るとカリウム施肥やリン酸施肥ではほとんど変動しなかったが，圃場により基準間隔のカリウム施肥41.5kg-K ha^{-1}(50kg-K_2O ha^{-1})，リン酸施肥54.5kg-P ha^{-1}(125kg-P_2O_5 ha^{-1}) 当たりで±2000kg ha^{-1}程度変動に違いが見られ，増減程度の分布は何れも正規分布形を呈した． 一方栽植密度の増加により茎葉重は直線的に増加し，直線回帰により求めた増加量は全圃場平均で10000本 ha^{-1}当たり約1650kg ha^{-1}で，圃場により概ね－9000 kg ha^{-1}～+6000kg ha^{-1}の範囲で違いが見られた．また増加程

度の分布は，カリウム施肥やリン酸施肥の場合と異なり分布形状が非正規で偏りが見られ，最頻値がやや無変動寄りであった．



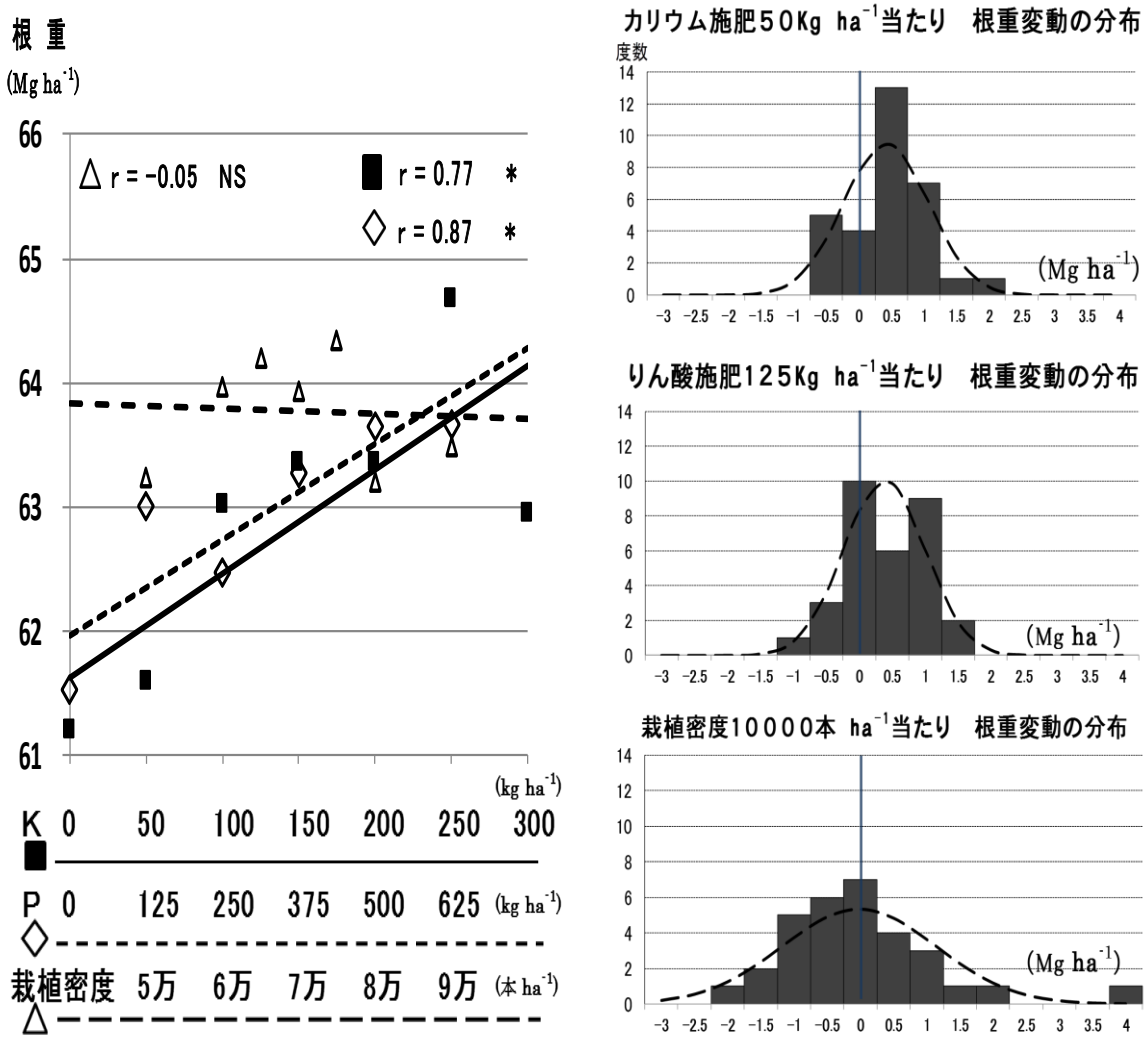
左図： 全31場所の総平均値と回帰直線．■ はカリウム施肥,◇ はリン酸施肥，△は栽植密度．
相関係数の**は1%水準有意，*は5%水準有意，NSは有意でないことを示す．
右図：場所による増減程度の違いを度数分布で示した．上からそれぞれカリウム施肥50 kg ha^{-1}，
りん酸施肥125kg ha^{-1},栽植密度10000本 ha^{-1}当たりの増減程度の該当する戸数分布を示す．
横軸は各級の中央値、縦軸は度数（戸数）を表示．
破線は平均、標準偏差から求めた正規分布推定値．

図１ 茎葉重～カリウム施肥，リン酸施肥，栽植密度の影響

根重(図2)はカリウム施肥およびリン酸施肥の増加により直線的に増加した．各施肥量と根重の相関係数はカリウム施肥が0.77，リン酸施肥が0.87であった．何れも5%水準で有意で，直線回帰により求めたカリウム施肥41.5 kg-K ha^{-1}(50kg-K_2O ha^{-1})，リン酸施肥54.5kg-P ha^{-1}(125kg-P_2O_5 ha^{-1}) 当たりの根重増加は何れも約400kg ha^{-1}で圃場により±1000kg ha^{-1}程度の変動差が見られた．栽植密度とha当たり根重の相関は見られず，総平均で見ると50000本ha^{-1}～90000本ha^{-1}の範囲では個体重が変動しha当たり収量はほぼ同程度であった．なお圃場により10000本ha^{-1}当たり±2000kg ha^{-1}程度変動が異なった．増加程度の分布はカリウム施肥，リン酸施肥，栽植密度で何れも正規分布であった．

根中糖分(図3)はカリウム施肥およびリン酸施肥でほとんど変動しなかった．直線回帰で求めた根中糖分はカリウム施肥41.5 kg-K ha^{-1}(50kg-K_2O ha^{-1}) 当たり実数値で0.024%増，リン酸施肥54.5 kg-P ha^{-1}(125kg-P_2O_5 ha^{-1})当たり0.009%減で何れも施肥量との相関は有意ではなかった．栽植密度の増加で根中糖分は明らかに高まり，栽植密度10000本ha^{-1}の増加で根中糖分が0.086%上昇した．

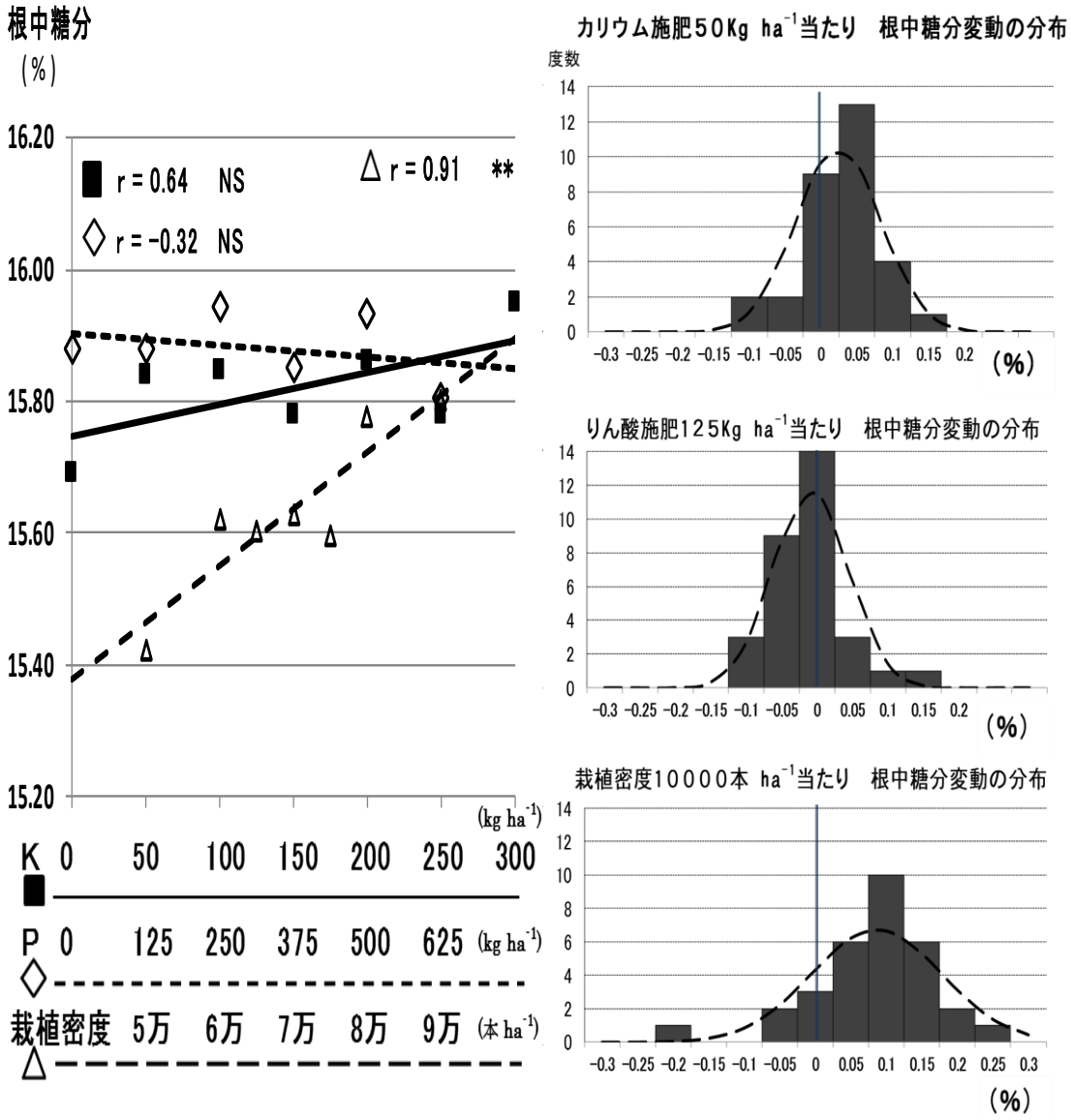
糖量(図4)は根重とほぼ同様の変動を示し，カリウム施肥，リン酸施肥で増収し，直線回帰より求めた糖量増加はカリウム施肥41.5kg-K ha^{-1}(50kg-K_2O ha^{-1}) 当たり82 kg ha^{-1}，リン酸施肥54.5kg-P ha^{-1}(125kg-P_2O_5 ha^{-1})当たり53 kg ha^{-1}であった．また栽植密度では10000本ha^{-1}当たり53 kg ha^{-1}増収し，リン酸施肥54.5kg-P ha^{-1}(125kg-P_2O_5 ha^{-1})と同等であった．相関係数はカリウム施肥で1%水準，リン酸施肥と栽植密度は10%水準有意であった．増加程度の分布はカリウム施肥，リン酸施肥で何れも正規分布で，栽植密度では茎葉重と同じく最頻値がやや無変動寄りの非正規分布であった．



左図： 全31場所の総平均値と回帰直線. ■ はカリウム施肥,◇ はリン酸施肥, △は栽植密度.
相関係数の**は1%水準有意, *は5%水準有意, NSは有意でないことを示す.

右図：場所による増減程度の違いを度数分布で示した. 上からそれぞれカリウム施肥50 kg ha^{-1},
りん酸施肥125kg ha^{-1},栽植密度10000本 ha^{-1}当たりの増減程度の該当する戸数分布を示す.
横軸は各級の中央値、縦軸は度数（戸数）を表示.
破線は平均、標準偏差から求めた正規分布推定値.

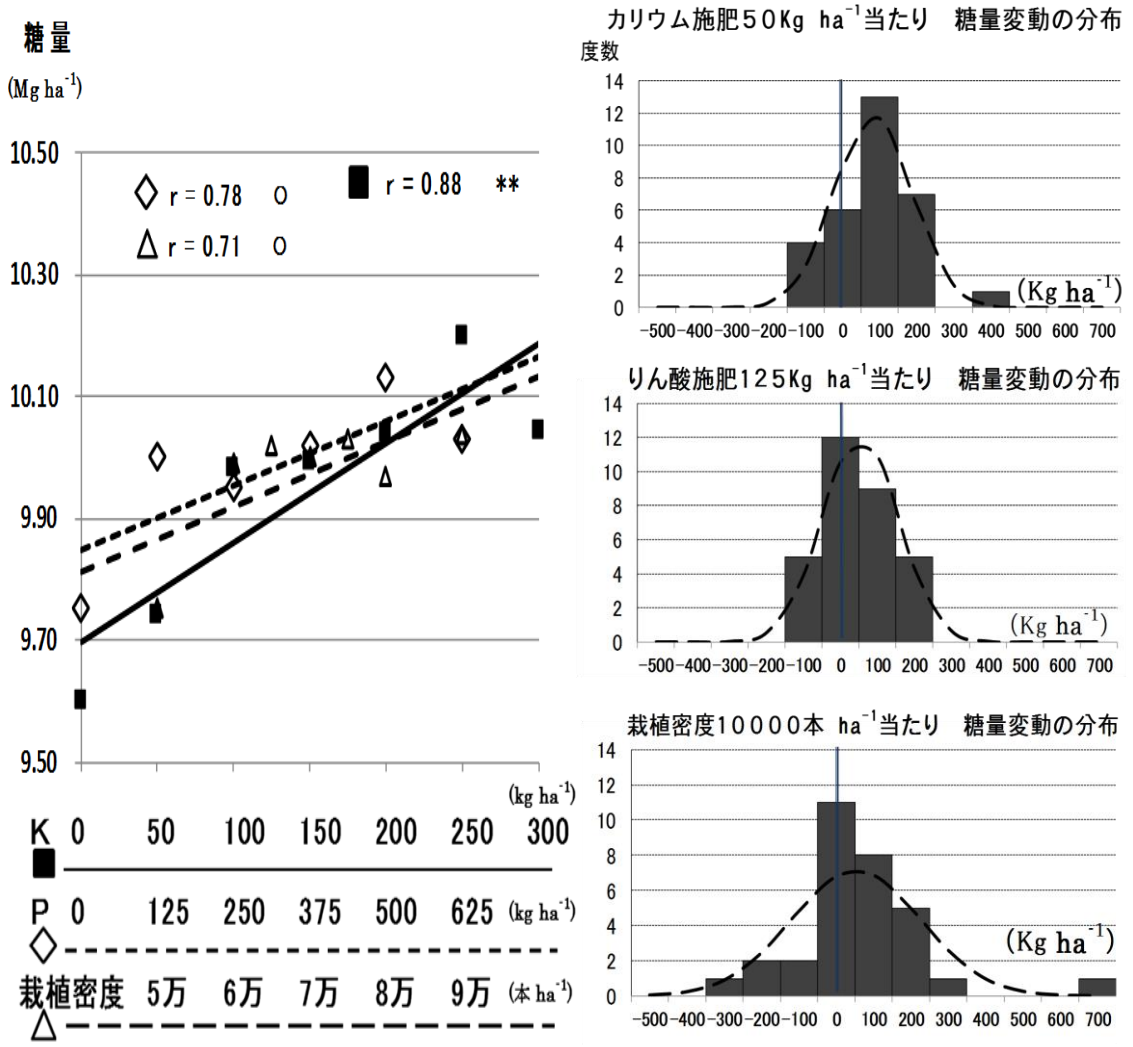
図２ 根重～カリウム施肥，リン酸施肥，栽植密度の影響



左図： 全31場所の総平均値と回帰直線. ■ はカリウム施肥,◇ はリン酸施肥, △は栽植密度.
相関係数の**は1%水準有意, *は5%水準有意, NSは有意でないことを示す.

右図：場所による増減程度の違いを度数分布で示した. 上からそれぞれカリウム施肥50 kg ha^{-1},
りん酸施肥125kg ha^{-1},栽植密度10000本 ha^{-1}当たりの増減程度の該当する戸数分布を示す.
横軸は各級の中央値、縦軸は度数（戸数）を表示.
破線は平均、標準偏差から求めた正規分布推定値.

図３ 根中糖分～カリウム施肥，リン酸施肥，栽植密度の影響



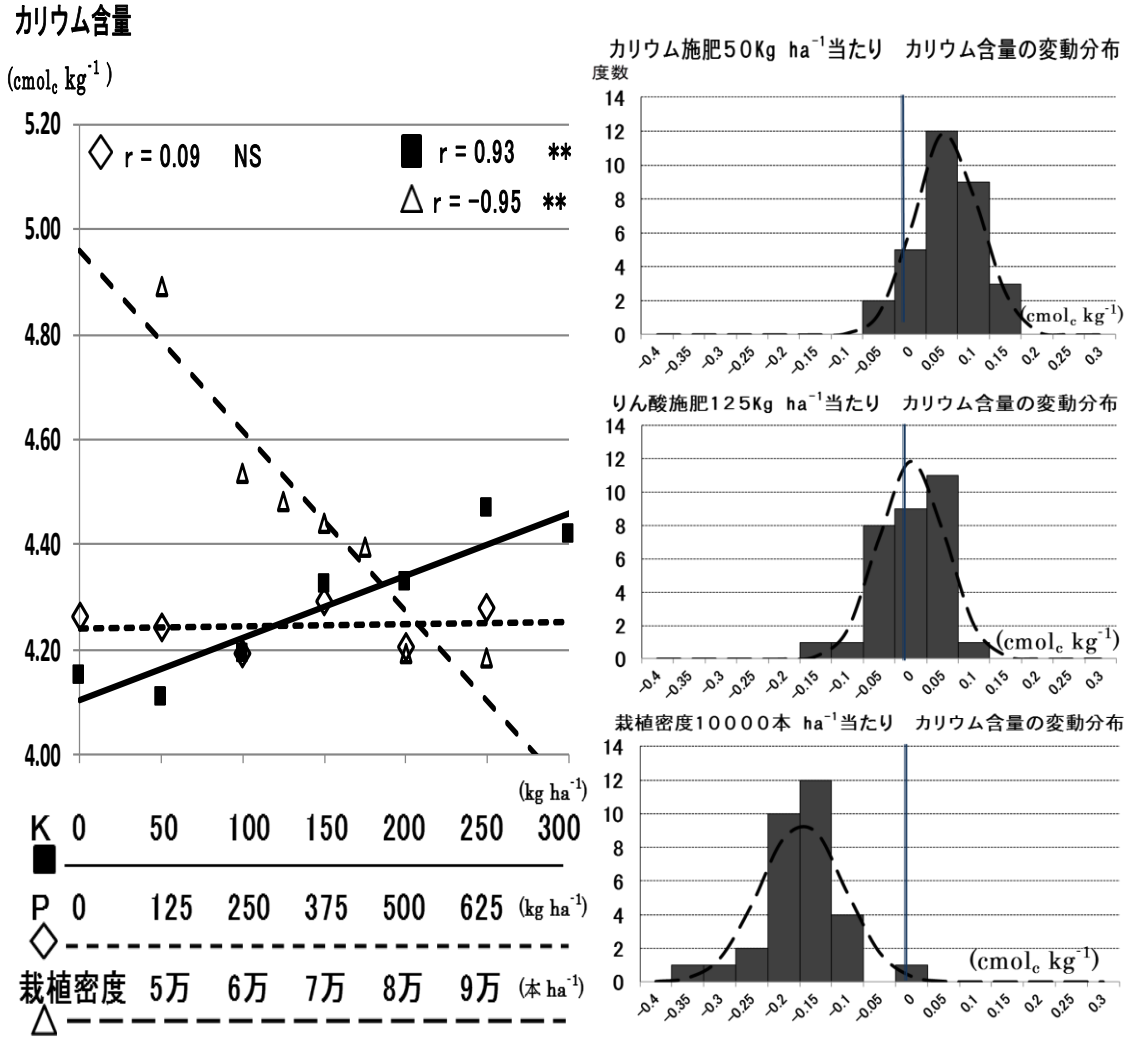
左図： 全31場所の総平均値と回帰直線. ■ はカリウム施肥,◇ はリン酸施肥, △は栽植密度.
相関係数の**は1%水準有意, *は5%水準有意, ○は10%水準有意, NSは有意でないことを示す.
右図：場所による増減程度の違いを度数分布で示した. 上からそれぞれカリウム施肥50 kg ha^{-1},
りん酸施肥125kg ha^{-1},栽植密度10000本 ha^{-1}当たりの増減程度の該当する戸数分布を示す.
横軸は各級の中央値、縦軸は度数（戸数）を表示.
破線は平均、標準偏差から求めた正規分布推定値.

図４ 糖量～カリウム施肥，リン酸施肥，栽植密度の影響

非糖分のカリウム含量(図5) はカリウム施肥により直線的に増加し，直線回帰より求めたカリウム施肥41.5 kg-K ha^{-1}(50kg-K_2O ha^{-1}) 当たりのカリウム含量増加は0.059$cmol_c$ kg^{-1}で相関係数は1%水準で有意であった．リン酸施肥54.5kg-P ha^{-1}(125kg-P_2O_5 ha^{-1})当たりナトリウム含量増加は0.002 $cmol_c$ kg^{-1}でリン酸施肥によりカリウム含量はほとんど変動しなかった．栽植密度低下によりカリウム含量は直線的に急増し，直線回帰より栽植密度が10000本ha^{-1}減少することによりカリウム含量は0.17$cmol_c$ kg^{-1}増加した．

ナトリウム含量(図6) はカリウム施肥により直線的に減少し，リン酸施肥では直線的に増加した．相関係数は何れも5%水準で有意であり，カリウム施肥41.5 kg-K ha^{-1}(50kg-K_2O ha^{-1})当たりのナトリウム含量低下は0.025 $cmol_c$ kg^{-1}で，リン酸施肥54.5kg-P ha^{-1} (125kg-P_2O_5 ha^{-1})当たりナトリウム含量増加は0.020 $cmol_c$ kg^{-1}であった．ナトリウム含量の栽植密度反応はカリウムと同様に栽植密度低下により直線的に急増し，相関係数は1%水準で有意であった．直線回帰係数より10000本ha^{-1}減少によるナトリウム含量増加は0.058$cmol_c$ kg^{-1}であった．

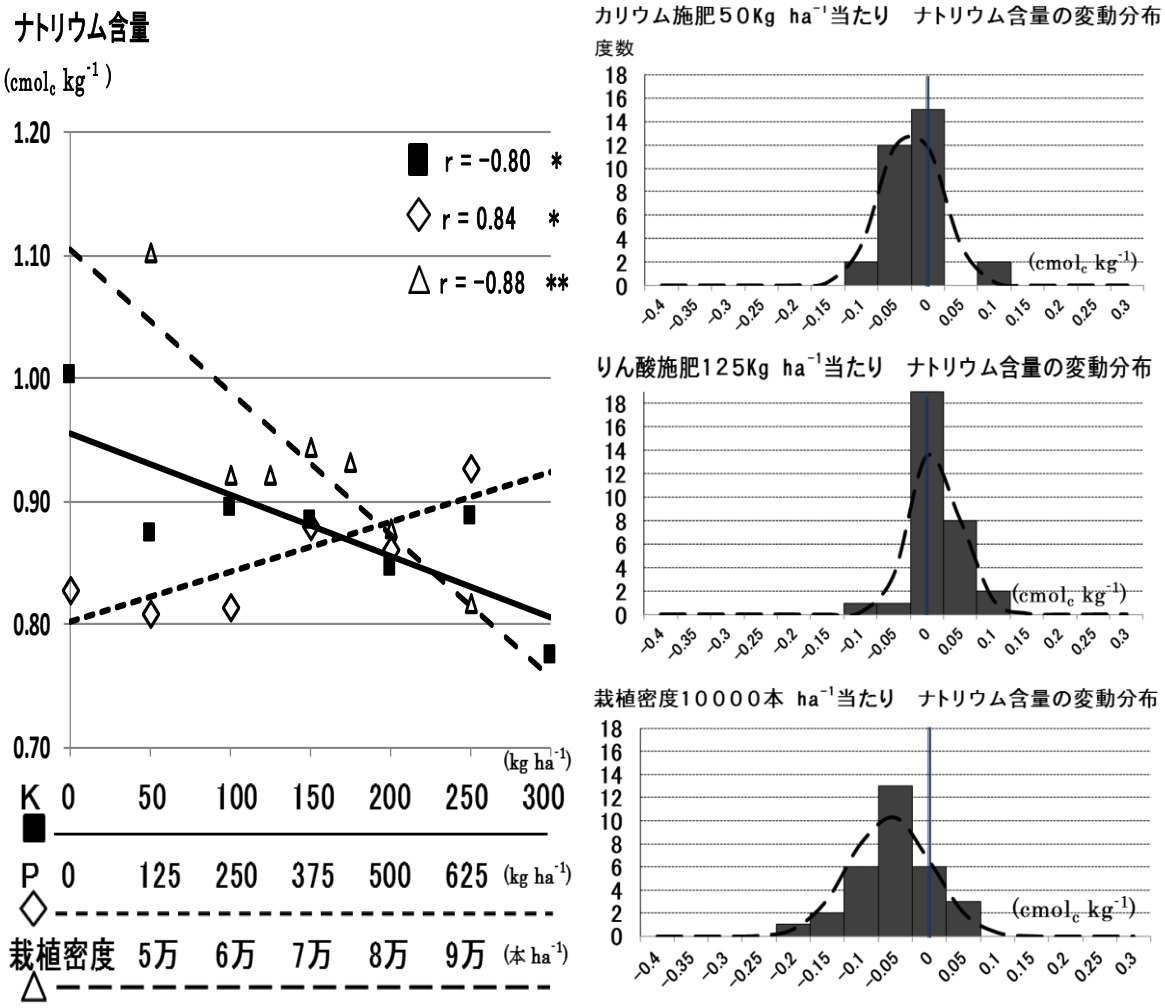
アミノ態窒素含量(図7) の変動はカリウム施肥，リン酸施肥，栽植密度変動の何れにおいても変動にバラツキが見られたが，傾向としてカリウム施肥や栽植密度が低減することで増加傾向を示した．



左図： 全31場所の総平均値と回帰直線. ■ はカリウム施肥,◇ はリン酸施肥, △は栽植密度.
相関係数の**は1%水準有意, *は5%水準有意, NSは有意でないことを示す.

右図：場所による増減程度の違いを度数分布で示した. 上からそれぞれカリウム施肥50 kg ha^{-1},
りん酸施肥125kg ha^{-1},栽植密度10000本 ha^{-1}当たりの増減程度の該当する戸数分布を示す.
横軸は各級の中央値、縦軸は度数（戸数）を表示.
破線は平均、標準偏差から求めた正規分布推定値.

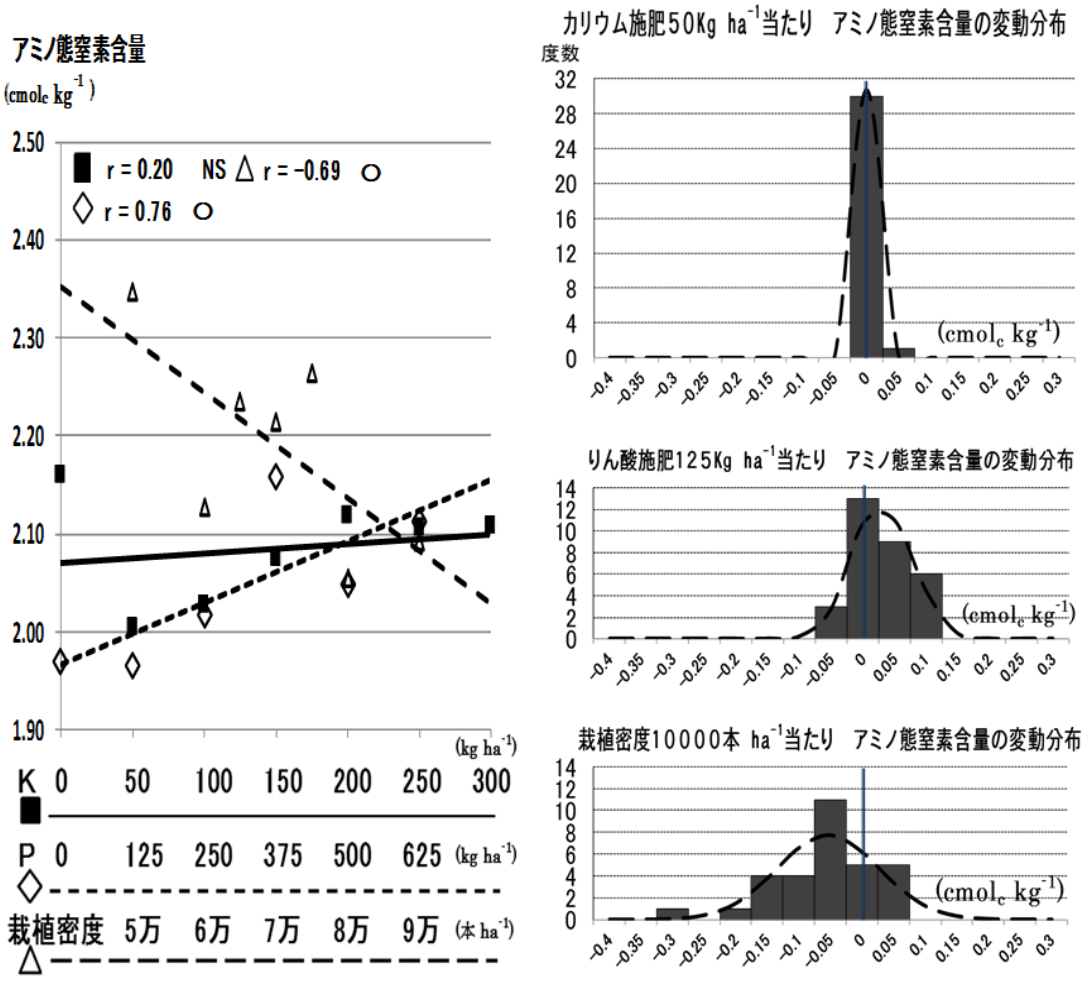
図5 カリウム含量～カリウム施肥，リン酸施肥，栽植密度の影響



左図： 全31場所の総平均値と回帰直線. ■ はカリウム施肥,◇ はリン酸施肥, △は栽植密度.
相関係数の**は1%水準有意, *は5%水準有意, NSは有意でないことを示す.

右図：場所による増減程度の違いを度数分布で示した. 上からそれぞれカリウム施肥50 kg ha^{-1},
りん酸施肥125kg ha^{-1},栽植密度10000本 ha^{-1}当たりの増減程度の該当する戸数分布を示す.
横軸は各級の中央値、縦軸は度数（戸数）を表示.
破線は平均、標準偏差から求めた正規分布推定値.

図６ ナトリウム含量～カリウム施肥，リン酸施肥，栽植密度の影響

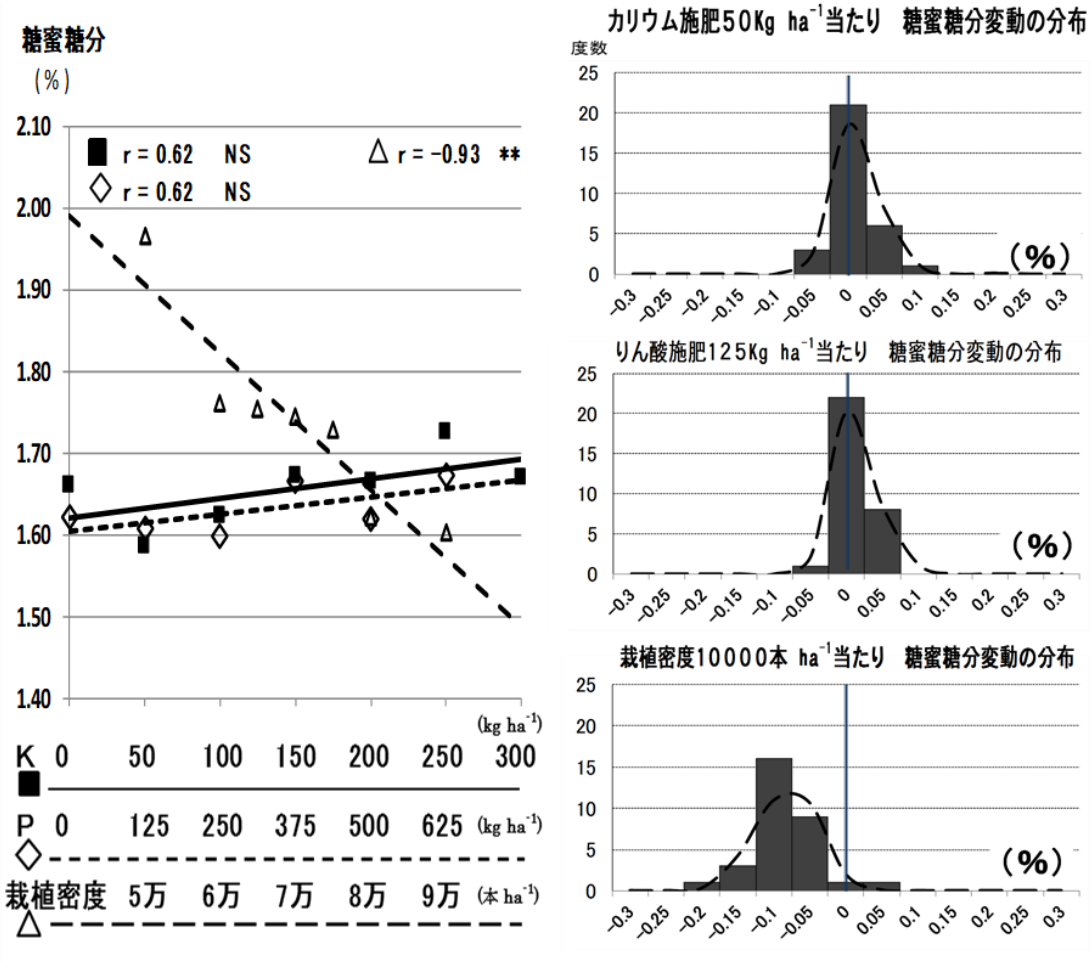


左図： 全31場所の総平均値と回帰直線. ■ はカリウム施肥,◇ はリン酸施肥, △は栽植密度.
相関係数の**は1%水準有意, *は5%水準有意, NSは有意でないことを示す.
右図：場所による増減程度の違いを度数分布で示した. 上からそれぞれカリウム施肥50 kg ha^{-1},
りん酸施肥125kg ha^{-1},栽植密度10000本 ha^{-1}当たりの増減程度の該当する戸数分布を示す.
横軸は各級の中央値、縦軸は度数(戸数)を表示.
破線は平均、標準偏差から求めた正規分布推定値.

図7 アミノ態窒素含量～カリウム施肥，リン酸施肥，栽植密度の影響

Reinefeldの糖蜜糖分(図8) の変動はカリウムやリン酸施肥との相関係数は有意ではなかった. 回帰係数から算出したカリウム施肥41.5 kg-K ha^{-1}(50kg-K_2O ha^{-1}) および, リン酸施肥54.5kg-P ha^{-1}(125kg-P_2O_5 ha^{-1})当たりの糖蜜糖分増加はともに約0.01%であ

った．一方栽植密度と糖蜜糖分との間に1%水準有意な負相関関係が見られ，栽植密度の低下により糖蜜糖分は急激に増加した．その増加程度は10000本ha^{-1}当たり約0.08%で，カリウム施肥やリン酸施肥による増加を上回った．



左図： 全31場所の総平均値と回帰直線．■ はカリウム施肥，◇ はリン酸施肥，△は栽植密度．
相関係数の**は1%水準有意，*は5%水準有意，NSは有意でないことを示す．
右図：場所による増減程度の違いを度数分布で示した．上からそれぞれカリウム施肥50 kg ha^{-1}，
りん酸施肥125kg ha^{-1}，栽植密度10000本 ha^{-1}当たりの増減程度の該当する戸数分布を示す．
横軸は各級の中央値、縦軸は度数（戸数）を表示．
破線は平均、標準偏差から求めた正規分布推定値．

図８ 糖蜜糖分～カリウム施肥，リン酸施肥，栽植密度の影響

表7　カリウム，リン酸施肥および栽植密度水準(x)と各形質(y)の直線回帰係数および規準間隔換算値の平均，標準偏差と分布の正規性検定結果

区分	項目	回帰係数[1]	規準間隔[2]		
			平均	標準偏差	正規性[3]
カリウム施肥	茎葉重	−0.50	−25	1210	正規
	根重	8.37	419	636	正規
	根中糖分	0.0004811	0.024	0.057	正規
	糖量	1.64	82	100	正規
	K含量	0.0011866	0.059	0.049	正規
	Na含量	−0.0005032	−0.025	0.042	正規
	A-N含量	0.0000986	0.005	0.049	正規
	糖蜜糖分	0.0002437	0.012	0.027	正規
区分	項目	回帰係数[1]	規準間隔[2]		
			平均	標準偏差	正規性[3]
リン酸施肥	茎葉重	1.66	207	1039	正規
	根重	3.07	384	597	正規
	根中糖分	−0.0000711	−0.009	0.051	正規
	糖量	0.42	53	98	正規
	K含量	0.0000149	0.002	0.050	正規
	Na含量	0.0001627	0.020	0.038	正規
	A-N含量	0.0002519	0.031	0.043	正規
	糖蜜糖分	0.0000846	0.011	0.024	正規
区分	項目	回帰係数[1]	規準間隔[2]		
			平均	標準偏差	正規性[3]
栽植密度	茎葉重	0.1650	1650	1666	**
	根重	−0.0019	−19	1153	正規
	根中糖分	0.0000086	0.086	0.091	正規
	糖量	0.0053	53	171	*
	K含量	−0.0000171	−0.171	0.064	正規
	Na含量	−0.0000058	−0.058	0.058	正規
	A-N含量	−0.0000054	−0.054	0.079	正規
	糖蜜糖分	−0.0000084	−0.084	0.039	正規

1)直線回帰係数算出の(x)1単位はカリウム施肥:0.83kg-K ha^{-1}(1kg-K_2O ha^{-1})，リン酸施肥:0.44kg-P ha^{-1}(1kg-P_2O_5 ha^{-1})，栽植密度:1本ha^{-1}

(y)単位は茎葉重，根重，糖量は(kg ha^{-1})．根中糖分，糖蜜糖分は(%)．K含量，Na含量，A-N含量は($cmol_c$ kg^{-1})．

2)規準間隔換算値はカリウム施肥:41.5 kg-K ha^{-1}(50kg-K_2O ha^{-1})，リン酸施肥54.5kg-P ha^{-1}(125kg-P_2O5 ha^{-1})，栽植密度10000 本ha^{-1}当たりの増減変動値．

3)規準間隔における増減程度バラツキの正規性はshapiro-WilkのW検定による．*は5%,**は1%水準で正規性棄却．

④考察

総平均の推移よりカリウム施肥，リン酸施肥および栽植密度変動がテンサイ諸形質にどのような影響を及ぼすかを比較検討の結果，根重，糖量ではカリウム施肥，リン酸施肥によりほぼ直線的な増収効果が確認され，茎葉重ではカリウム施肥，リン酸施肥による増収傾向は見られず，カリウム施肥，リン酸施肥は茎葉重に大きく影響しないものと判断された．栽植密度の増加では茎葉重と糖量でほぼ直線的な増加をもたらしたが，堅木らの報告[63)64)]と同じく根重にはほとんど影響しなかった．この理由として，堅木らは栽植密度の増加により特に競合に打ち勝つため葉柄の伸長促進が優先され，そのために根重の肥大が抑えられ補償作用が働かないものと推察しており，テンサイの遺伝的生育特性によるものと考えられた．加えて根重では栽植密度の低下に対して収穫期まで個体重が増加し，個体数の減少に応じて根部肥大が十分に促進されるが，茎葉重は８月－９月に茎葉最盛期に達する等の理由により補償作用が十分働かないことも一因と推察された．

根中糖分はカリウム施肥およびリン酸施肥でほとんど変動せず，これは培養液を用いた礫耕栽培での実験[47)49)]と同様の結果であった．一方栽植密度の増加で根中糖分は明らかに高まり，過去の報告[62)63)64)65)66)67)68)69)70)]と同様に糖分向上効果が再確認された．

製糖品質では，カリウム施肥によりカリウム含量は増加し，反対にナトリウム含量が低下するというカリウムとナトリウムの拮抗作用が確認された．また栽植密度の低下はカリウム施肥に比べ糖蜜糖分の大幅な増加をもたらし[69)70)71)72)73)]，品質維持の観点からも適正栽植密度を維持する重要性が再確認された．

製糖品質の評価方法として,いくつかの手法が提案されている[84)90)91)]．砂糖製造工程において砂糖結晶化を阻害するカリウムやナトリウムなどを除去するための工程を脱塩工程と呼ぶが，

Reinefeldの糖蜜糖分は脱塩工程を1回しか行わない砂糖製造法(ストレート法)で生成される廃糖蜜量を推定する手法で，カリウム，ナトリウム，アミノ態窒素含量より計算された糖蜜糖分値がそのまま歩留り低下推定値として算出されることから製糖品質を経済評価する上で利便性が高い．カリウム，リン酸施肥とReinefeldの糖蜜糖分の相関係数は有意ではないが傾向として，カリウム施肥41.5 kg-K ha^{-1}(50kg-K_2O ha^{-1}) および，リン酸施肥54.5kg-P ha^{-1} (125kg-P_2O_5 ha^{-1})当たりでともに0.01%程度増加した．一方栽植密度の低下により糖蜜糖分は明らかに増加し(1%水準有意)，その増加程度は10000本ha^{-1}当たり約0.08%で，カリウム施肥やリン酸施肥による増加を大きく上回った．栽植密度の低下はカリウム施肥に比べ糖蜜糖分の大幅な増加をもたらし，品質維持の観点からも適正栽植密度を維持することが重要と判断された[70]．

第3章

カリウム施肥，リン酸施肥および栽植密度がテンサイの収量および品質に及ぼす影響と土壌理化学性との関連について

①緒言

第２章ではカリウム施肥，リン酸施肥および栽植密度のテンサイ諸形質に及ぼす効果が圃場ごとに異なることを示した．本章では，その影響程度と土壌理化学性との関連を検討した．

②材料および方法

第２章の材料と方法のとおり圃場試験より得られたデータを用い算出した各回帰係数と各種土壌分析値との相関分析を実施した．直線回帰係数，相関係数および有意水準p 値[85)86)87)88)]の計算方法は次のとおり．

圃場ごとにカリウム施肥量は1単位を0.83kg-K ha^{-1}(1kg-K_2O ha^{-1})，リン酸施肥量は1単位を0.44kg-P ha^{-1}(1kg-P_2O_5 ha^{-1})，栽植密度は1単位を1本ha^{-1}としてパラメーター(x)とし，各テンサイ形質を目的変数(y)として直線回帰係数を算出した．なお(y)単位は茎葉重，根重，糖量は(kg ha^{-1})．根中糖分，糖蜜糖分は(%)．K, Na, A-N含量は(cmolc kg^{-1} ）である．直線回帰係数，相関係数および有意水準p値の計算はMicrosoft EXCELを用いた[89)]．

③結果

カリウム施肥回帰係数，リン酸施肥回帰係数および栽植密度回帰係数のそれぞれについて作土層および下層土の各々について全32圃場および沖積土除く火山灰土29圃場の２通りの組み合わせで各土壌分析項目数値との間の相関係数を算出し，有意性の検定を行った(表8，表9)．なお正相関の場合は土壌分析値が高いほど増収や上

昇することを意味し，負相関の場合は土壌分析値が高いほど減収や低下することを示す．なお栽植密度の非糖分変動は栽植密度の増加で非糖分低下するが，同様に土壌分析値と正相関の場合は土壌分析値が高いほど低下が小さく，負相関では土壌分析値が高いほど密植でより低下することを示す．

茎葉重ではカリウム施肥回帰係数，リン酸施肥及回帰係数び栽植密度回帰係数の何れも，作土層の全ての土壌分析項目で有意な相関関係は認められなかった．根重ではカリウム施肥回帰係数と作土層のpH(図9)，交換性カリウム(図10)，交換性マグネシウム(図11)，カルシウム飽和度(図12)，塩基飽和度(図13)，交換性ナトリウム含量(図14)との間に何れも有意な負相関関係が認められ，これら分析値の低いほどカリウム施肥の増収効果が高かった．トルオーグリン酸(図15)およびリン酸吸収係数(図16)では，火山灰土のみで相関分析を実施した場合には各々有意な負相関および正相関関係が認められ，火山灰でのカリウム施肥効果はトルオーグリン酸が低く，リン酸吸収係数が高いほど高かった．沖積土を加えた全32圃場で相関分析を行った場合には何れも有意ではなかった．カリウム施肥回帰係数と交換性カルシウム，マグネシウム/カリウム比，CEC，熱水抽出窒素，固相率，真比重との相関は何れも有意でなかった．

表 8　回帰係数と土壌分析値との相関（１）

茎葉重

土壌分析	カリウム施肥				リン酸施肥				栽植密度			
項目	作土	沖積除く	下層	沖積除く	作土	沖積除く	下層	沖積除く	作土	沖積除く	下層	沖積除く
pH(H2O)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
トルオーグリン酸	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
交換性カリウム	NS	NS	NS	−0.38*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
交換性ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
交換性カルシウム	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ/ｶﾘｳﾑ比	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
カルシウム飽和度	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
塩基飽和度	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
リン酸吸収係数	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CEC	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
交換性ナトリウム	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
熱水抽出窒素	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
固相率	NS	NS	NS	+0.41*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
真比重	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

根重

土壌分析	カリウム施肥				リン酸施肥				栽植密度			
項目	作土	沖積除く	下層	沖積除く	作土	沖積除く	下層	沖積除く	作土	沖積除く	下層	沖積除く
pH(H2O)	−0.37*	−0.42*	NS	NS	+0.44*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
トルオーグリン酸	NS	−0.42*	NS	NS	+0.42*	NS	+0.37*	NS	NS	NS	NS	NS
交換性カリウム	−0.64**	−0.64**	NS	NS	+0.37*	+0.46*	NS	NS	NS	NS	NS	NS
交換性ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ	−0.47**	−0.47**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	−0.36*	NS	NS	NS
交換性カルシウム	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ/ｶﾘｳﾑ比	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
カルシウム飽和度	−0.39*	−0.54**	NS	NS	+0.45*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
塩基飽和度	−0.43*	−0.59**	NS	NS	+0.46**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
リン酸吸収係数	NS	+0.040*	NS	NS	−0.36*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CEC	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
交換性ナトリウム	−0.36*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
熱水抽出窒素	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
固相率	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
真比重	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

根中糖分

土壌分析	カリウム施肥				リン酸施肥				栽植密度			
項目	作土	沖積除く	下層	沖積除く	作土	沖積除く	下層	沖積除く	作土	沖積除く	下層	沖積除く
pH(H2O)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
トルオーグリン酸	−0.38*	NS	−0.36*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
交換性カリウム	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
交換性ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
交換性カルシウム	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ/ｶﾘｳﾑ比	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
カルシウム飽和度	NS	NS	−0.46*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
塩基飽和度	NS	NS	−0.41*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
リン酸吸収係数	+0.52**	NS	+0.42*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	−0.40*
CEC	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
交換性ナトリウム	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
熱水抽出窒素	NS	NS	NS	−0.38*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	−0.37*	−0.38*
固相率	−0.40*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
真比重	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

糖量

土壌分析	カリウム施肥				リン酸施肥				栽植密度			
項目	作土	沖積除く	下層	沖積除く	作土	沖積除く	下層	沖積除く	作土	沖積除く	下層	沖積除く
pH(H2O)	−0.37*	NS	NS	NS	+0.37*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
トルオーグリン酸	−0.43*	−0.47*	NS	NS	+0.38*	NS	+0.36*	NS	NS	NS	NS	NS
交換性カリウム	−0.61**	−0.64**	NS	NS	NS	+0.38*	NS	NS	NS	NS	NS	NS
交換性ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ	NS	−0.42*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
交換性カルシウム	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ/ｶﾘｳﾑ比	+0.37*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
カルシウム飽和度	−0.51**	−0.54**	NS	NS	+0.38*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
塩基飽和度	−0.53**	−0.58**	NS	NS	+0.41*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
リン酸吸収係数	＋0.40*	NS	+0.40*	+0.39*	−0.37*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CEC	NS	NS	+0.36*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
交換性ナトリウム	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
熱水抽出窒素	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
固相率	−0.37*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
真比重	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

注1)「作土」は作土層(0−30cm),「下層」は下層土(30−60cm)との相関, 隣右欄の「沖積除く」は沖積土3圃場除いた火山灰土28圃場での相関.
2)表中の+は正相関, −は負相関で, **は1%水準, *は5%水準で有意, NSは有意でないことを示す.

表 9　回帰係数と土壌分析値との相関（２）

K含量

土壌分析	カリウム施肥				リン酸施肥				栽植密度			
項目	作土	沖積除く	下層	沖積除く	作土	沖積除く	下層	沖積除く	作土	沖積除く	下層	沖積除く
pH(H2O)	−0.46**	−0.46*	−0.48**	−0.55**	NS	NS	−0.39*	NS	NS	NS	−0.36*	NS
トルオーグリン酸	NS	NS	NS	NS	−0.36*	NS	−0.47**	NS	NS	NS	NS	NS
交換性カリウム	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	−0.39*	−0.48**
交換性ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ	−0.34**	−0.61**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
交換性ｶﾙｼｳﾑ	NS	NS	NS	NS	+0.41*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ/ｶﾘｳﾑ比	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	+0.41*
カルシウム飽和度	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
塩基飽和度	NS	−0.39*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
リン酸吸収係数	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CEC	NS	NS	NS	NS	+0.40*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
交換性ナトリウム	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
熱水抽出窒素	NS	NS	NS	NS	+0.49**	+0.40*	NS	NS	NS	NS	NS	NS
固相率	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
真比重	NS	NS	NS	NS	−0.52**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Na含量

土壌分析	カリウム施肥				リン酸施肥				栽植密度			
項目	作土	沖積除く	下層	沖積除く	作土	沖積除く	下層	沖積除く	作土	沖積除く	下層	沖積除く
pH(H2O)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
トルオーグリン酸	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
交換性カリウム	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
交換性ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	−0.38*	NS	NS
交換性ｶﾙｼｳﾑ	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ/ｶﾘｳﾑ比	NS	NS	NS	NS	NS	+0.38*	NS	NS	−0.37*	−0.39*	NS	NS
カルシウム飽和度	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
塩基飽和度	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
リン酸吸収係数	−0.43*	NS	−0.39*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CEC	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
交換性ナトリウム	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
熱水抽出窒素	NS	NS	NS	NS	NS	+0.38*	NS	NS	NS	NS	NS	NS
固相率	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
真比重	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

A-N含量

土壌分析	カリウム施肥				リン酸施肥				栽植密度			
項目	作土	沖積除く	下層	沖積除く	作土	沖積除く	下層	沖積除く	作土	沖積除く	下層	沖積除く
pH(H2O)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
トルオーグリン酸	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
交換性カリウム	−0.40*	−0.48**	−0.51**	−0.61**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
交換性ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	−0.38*	NS	NS
交換性ｶﾙｼｳﾑ	NS	NS	NS	NS	+0.39*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ/ｶﾘｳﾑ比	NS	NS	NS	+0.41*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
カルシウム飽和度	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
塩基飽和度	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
リン酸吸収係数	NS	NS	NS	NS	+0.41*	NS	+0.52**	+0.42*	NS	NS	NS	NS
CEC	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
交換性ナトリウム	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	−0.47**	−0.53**	NS	NS
熱水抽出窒素	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
固相率	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
真比重	NS	NS	NS	NS	−0.50**	−0.40*	−0.50**	−0.48*	NS	NS	NS	NS

糖蜜糖分

土壌分析	カリウム施肥				リン酸施肥				栽植密度			
項目	作土	沖積除く	下層	沖積除く	作土	沖積除く	下層	沖積除く	作土	沖積除く	下層	沖積除く
pH(H2O)	NS	−0.39**	NS	−0.47*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
トルオーグリン酸	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
交換性カリウム	NS	NS	−0.41*	−0.45*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
交換性ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ	−0.53**	−0.51**	NS	NS	+0.37*	NS	NS	NS	−0.38*	−0.47*	NS	NS
交換性ｶﾙｼｳﾑ	NS	NS	NS	NS	+0.47**	+0.42*	NS	NS	NS	NS	NS	NS
ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ/ｶﾘｳﾑ比	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
カルシウム飽和度	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
塩基飽和度	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
リン酸吸収係数	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CEC	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
交換性ナトリウム	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
熱水抽出窒素	NS	NS	NS	NS	+0.49**	+0.46*	NS	NS	NS	NS	NS	NS
固相率	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
真比重	NS	NS	NS	NS	−0.51**	−0.44*	NS	NS	NS	NS	NS	NS

注1)「作土」は作土層(0-30cm),「下層」は下層土(30-60cm)との相関, 隣右欄の「沖積除く」は沖積土3圃場除いた火山灰土28圃場での相関.
2)表中の+は正相関, −は負相関で, **は1%水準, *は5%水準で有意, NSは有意でないことを示す.

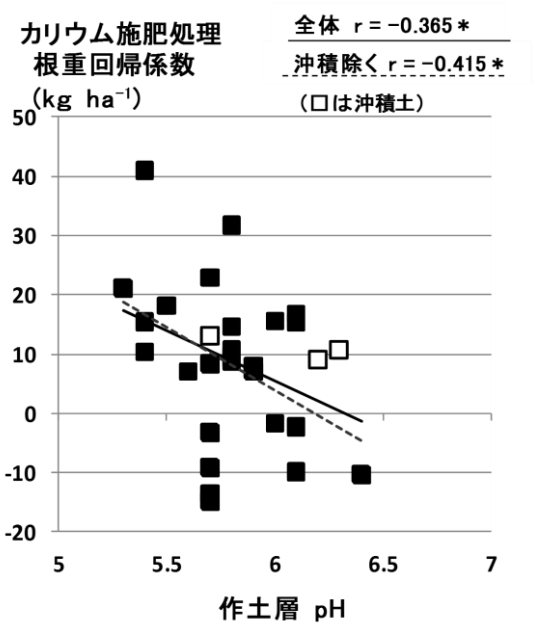


図 9　作土層 pH とカリウム施肥処理による根重回帰係数との相関

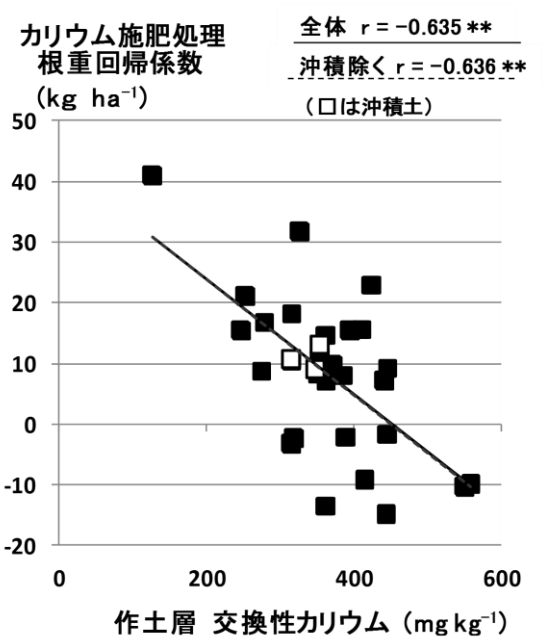


図 10 作土層交換性カリウムとカリウム施肥処理による根重回帰係数との相関

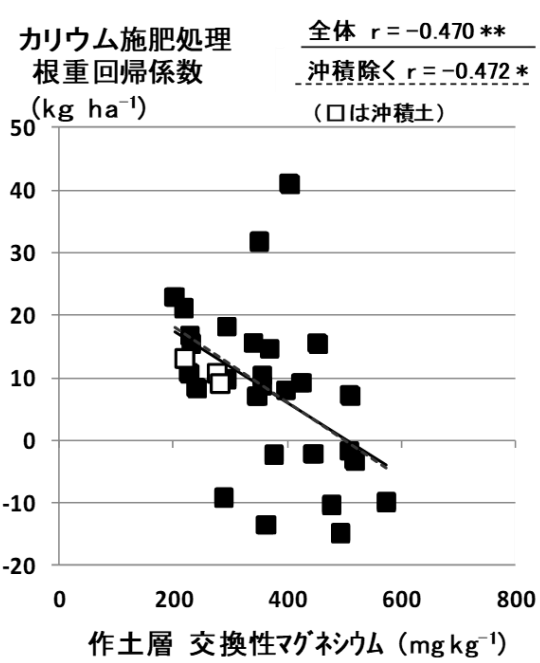


図 11　作土層交換性マグネシウムとカリウム施肥処理による根重回帰係数との相関

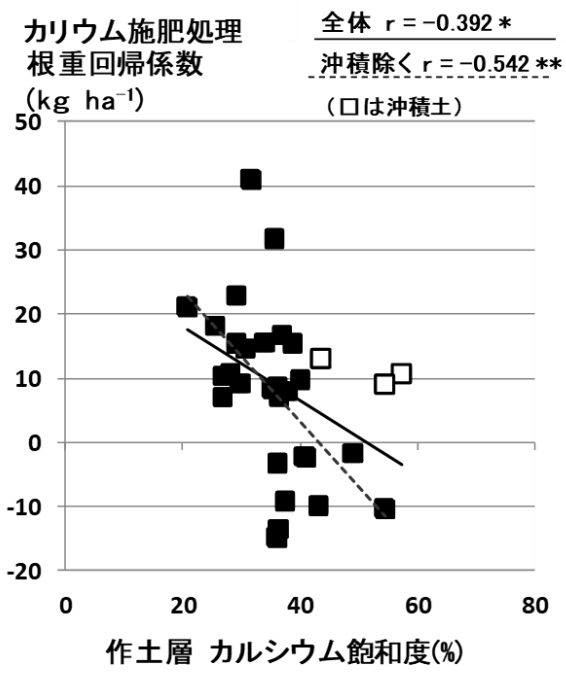


図12 作土層カルシウム飽和度とカリウム施肥処理による根重回帰係数との相関

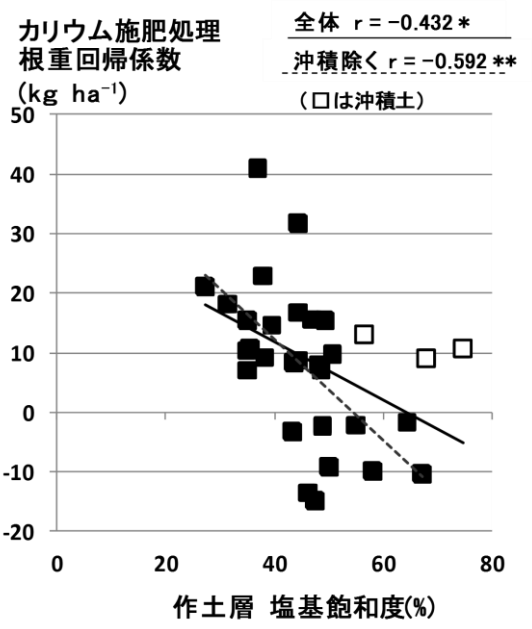


図 13 作土層塩基飽和度とカリウム施肥処理による根重回帰係数との相関

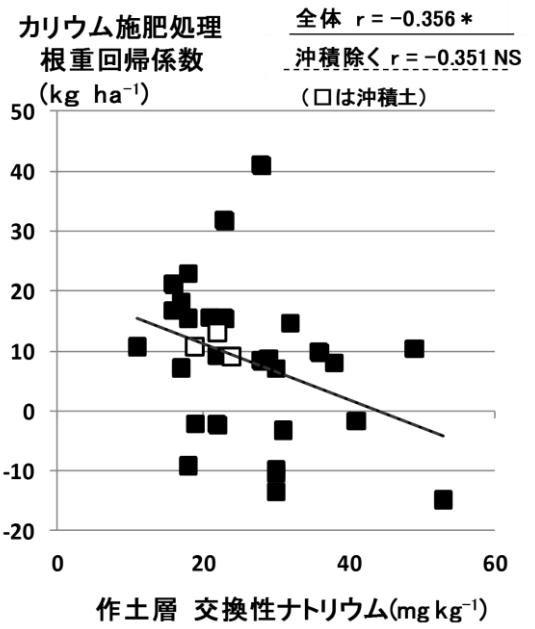


図 14 作土層交換性ナトリウムとカリウム施肥処理による根重回帰係数との相関

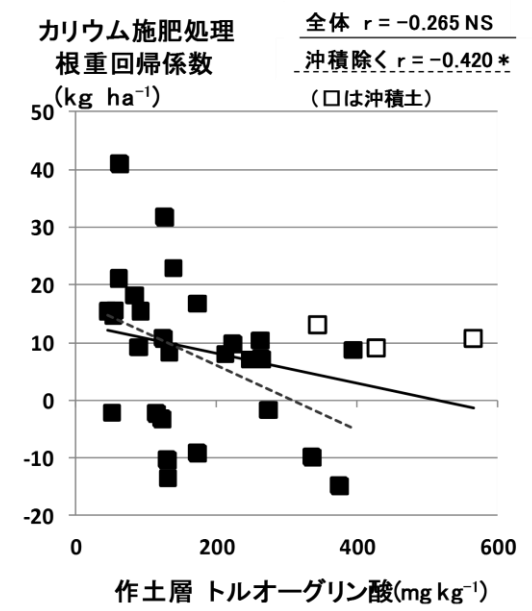


図 15 作土層トルオーグリン酸とカリウム施肥処理による根重回帰係数との相関

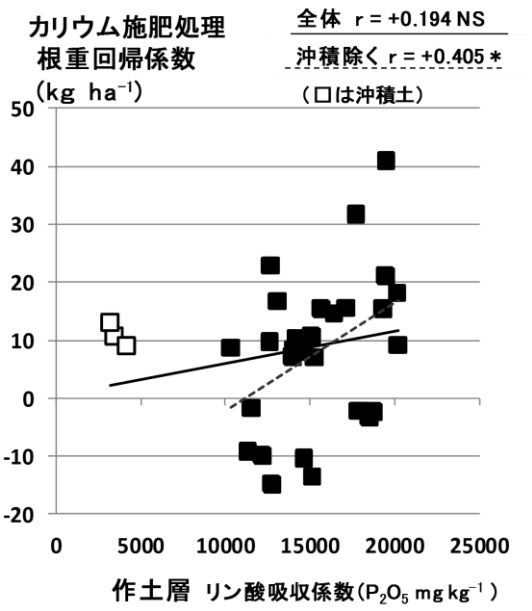


図 16 作土層リン酸吸収係数とカリウム施肥処理による根重回帰係数との相関

根重においてリン酸施肥回帰係数と作土層のpH(図17), トルオーグリン酸(図18), 交換性カリウム(図19), カルシウム飽和度(図20), 塩基飽和度(図21)との間に有意な正相関関係が見られ,これら分析値の高いほどリン施肥効果が高かった. またリン酸吸収係数(図22)との間に有意な負相関関係が認められ, リン酸吸収係数の低いほどリン酸施肥効果が高かった. リン酸施肥回帰係数と作土層の交換性マグネシウム, 交換性カルシウム, マグネシウム/カリウム比, CEC, 交換性ナトリウム, 熱水抽出窒素, 固相率, 真比重との相関は有意でなかった. またリン酸施肥回帰係数と沖積土を除く火山灰土のみで相関を取った場合, 交換性カリウム(図19)以外の土壌分析項目では有意な相関関係は認められなかった.

根重において栽植密度の回帰係数と土壌分析値との関連は何れも土壌分析項目においても有意でなかった.

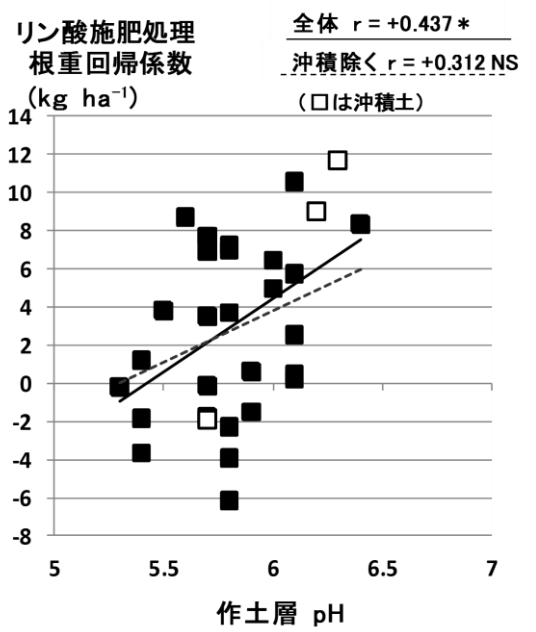


図 17 作土層 pH とリン酸施肥処理による根重回帰係数との相関

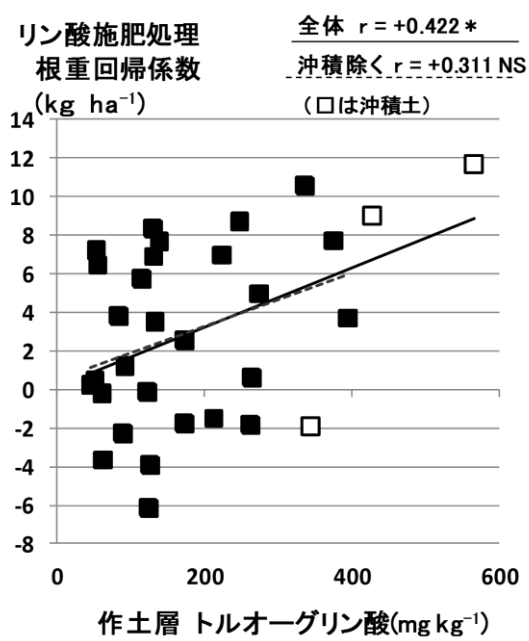


図 18 作土層トルオーグリン酸とリン酸施肥処理による根重回帰係数との相関

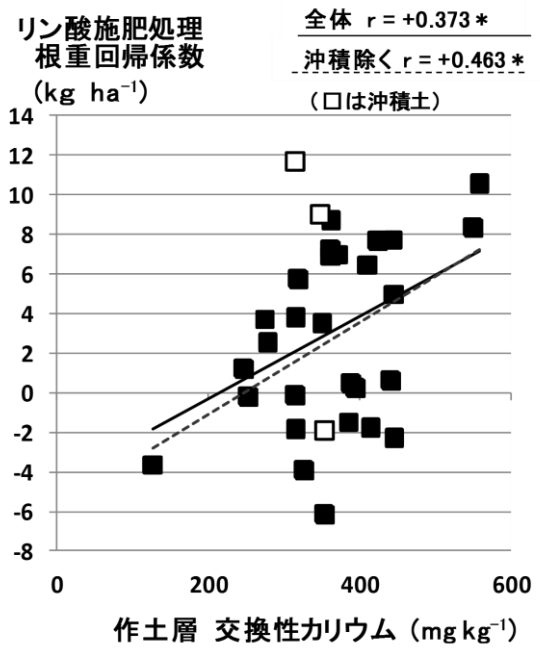


図 19　作土層交換性カリウムとリン酸施肥処理による根重回帰係数との相関

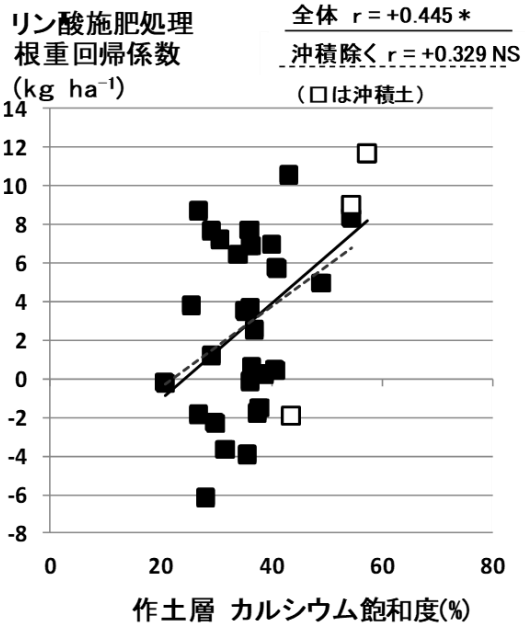


図 20　作土層カルシウム飽和度とリン酸施肥処理による根重回帰係数との相関

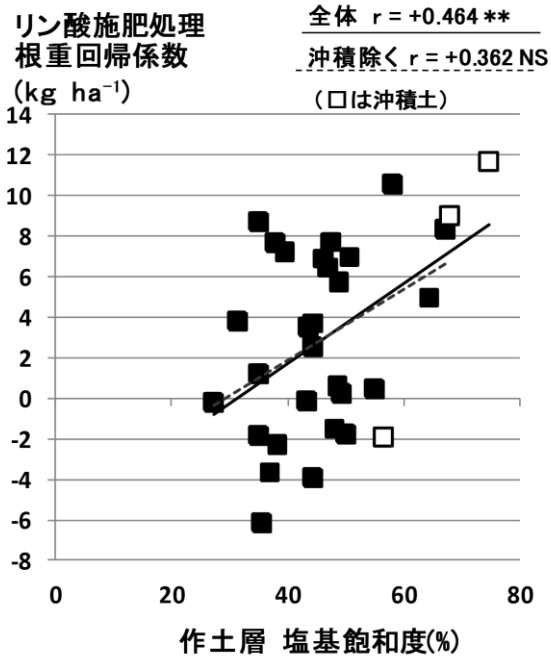


図 21　作土層塩基飽和度とリン酸施肥処理による根重回帰係数との相関

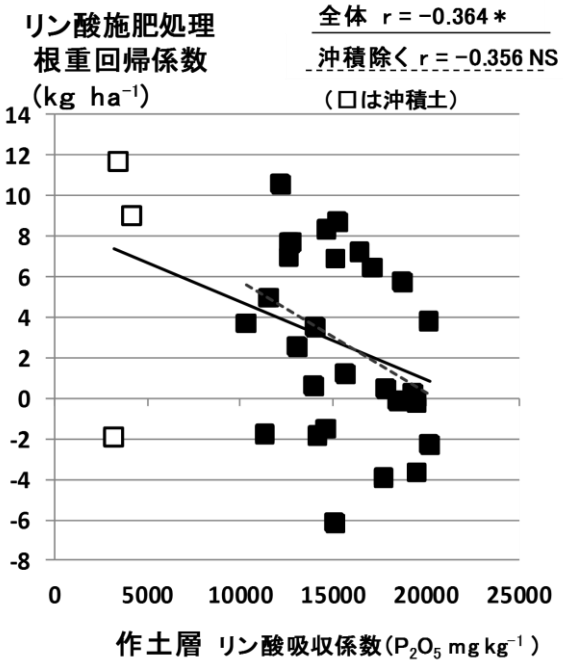


図 22　作土層リン酸吸収係数とリン酸施肥処理による根重回帰係数との相関

根中糖分でカリウム施肥回帰係数は作土層および下層土のトルオーグリン酸(図23)，作土層の固相率(図24)と有意な負相関関係，作土層および下層土のリン酸吸収係数(図25)と有意な正相関が見られた．沖積土を除く火山灰土のみで相関分析をした場合は有意でなかった．根中糖分のリン酸施肥回帰係数および栽植密度回帰係数は何れの作土層土壌分析項目とも有意な相関関係は見られなかった．

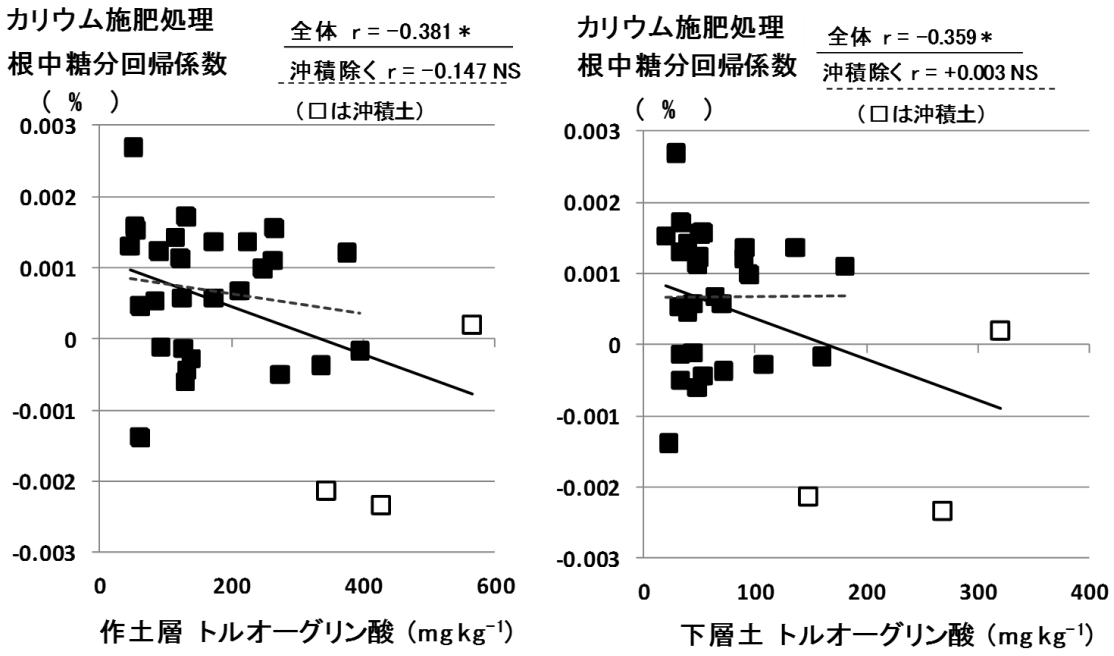


図 23　作土層及び下層土のトルオーグリン酸とカリウム施肥処理による根中糖分回帰係数との相関

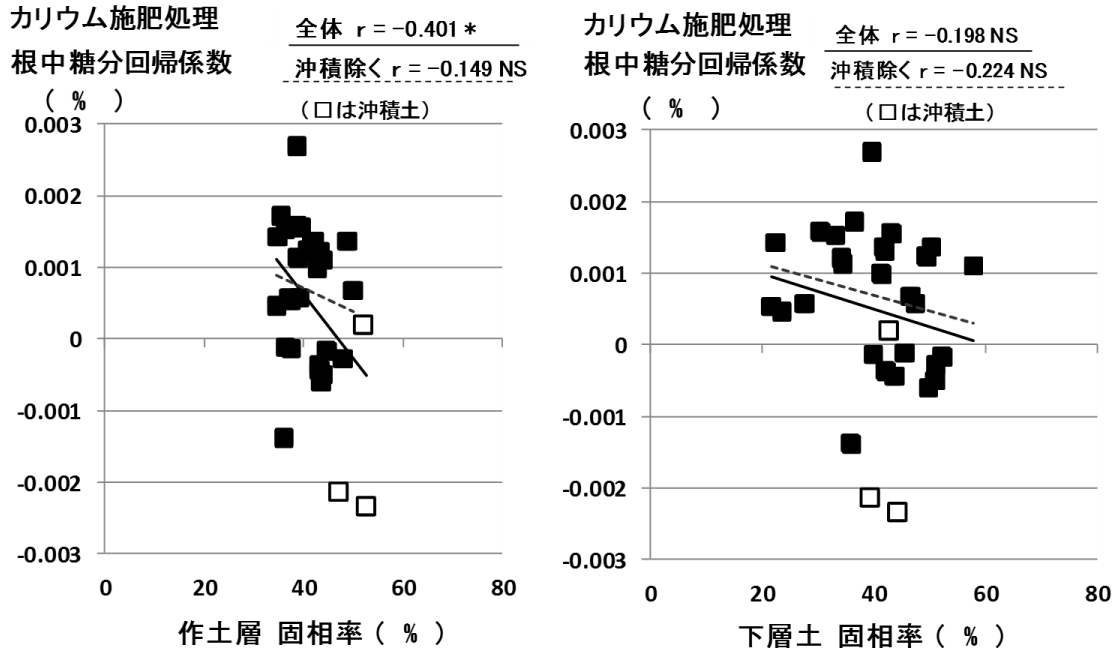


図 24 作土層及び下層土の固相率とカリウム施肥処理による根中糖分回帰係数との相関

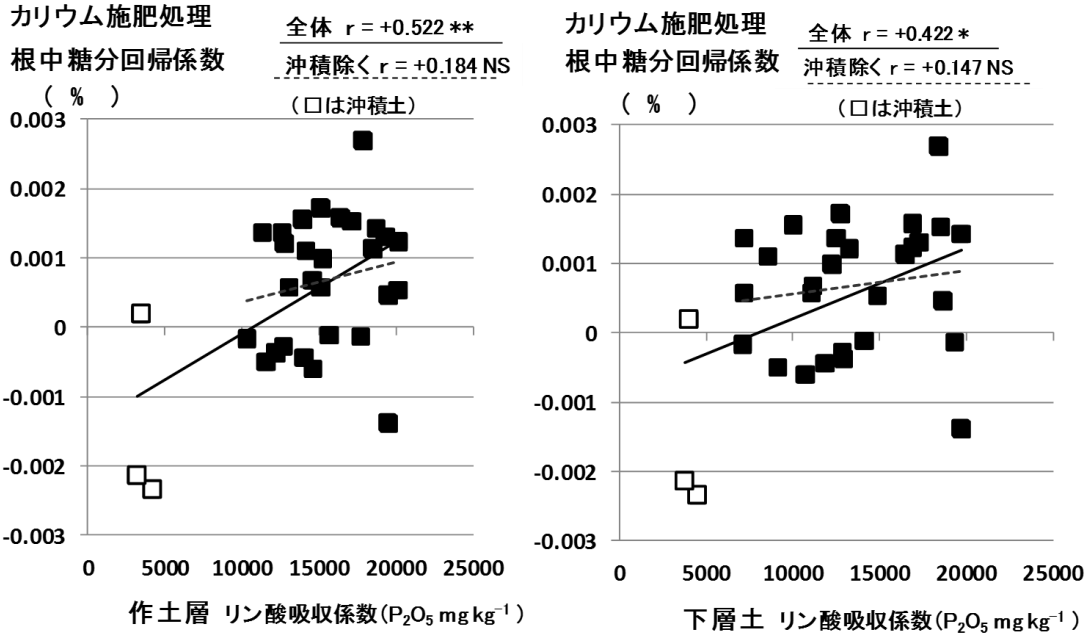


図 25 作土層及び下層土のリン酸吸収係数とカリウム施肥処理による根中糖分回帰係数との相関

糖量においてカリウム施肥回帰係数と作土層のpH(図26), トルオーグリン酸(図27), 交換性カリウム(図28), カルシウム飽和度(図29), 塩基飽和度(図30), 固相率(図31)との間に有意な負相関関係が見られ,これら分析値の低いほどカリウム施肥の糖量効果が高かった. またマグネシウム/カリウム比(図32), リン酸吸収係数(図33)との間に有意な正相関関係が認められ, マグネシウム/カリウム比, リン酸吸収係数の高いほどカリウム施肥の糖量効果が高かった. 交換性マグネシウムは沖積土を除き火山灰土のみで見ると負相関関係が認められた(図34). カリウム施肥回帰係数と作土層交換性マグネシウム, 交換性カルシウム, CEC, 交換性ナトリウム, 熱水抽出窒素, 真比重との相関は有意でなかった.

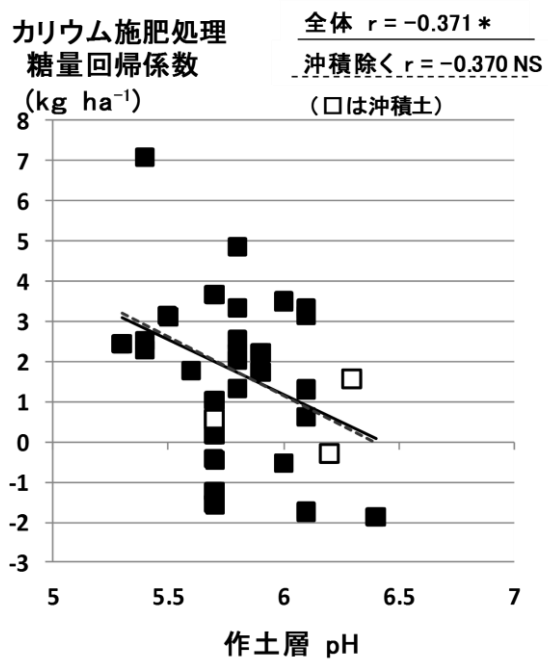


図 26 作土層 pH とカリウム施肥処理による糖量回帰係数との相関

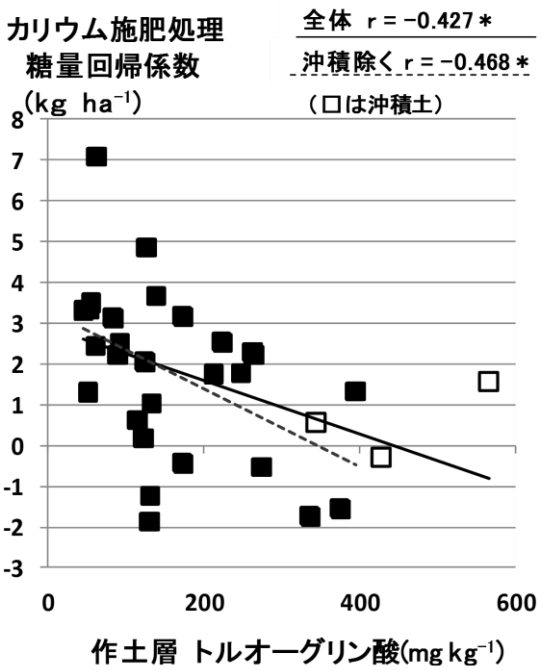


図 27 作土層トルオーグリン酸とカリウム施肥処理による糖量回帰係数との相関

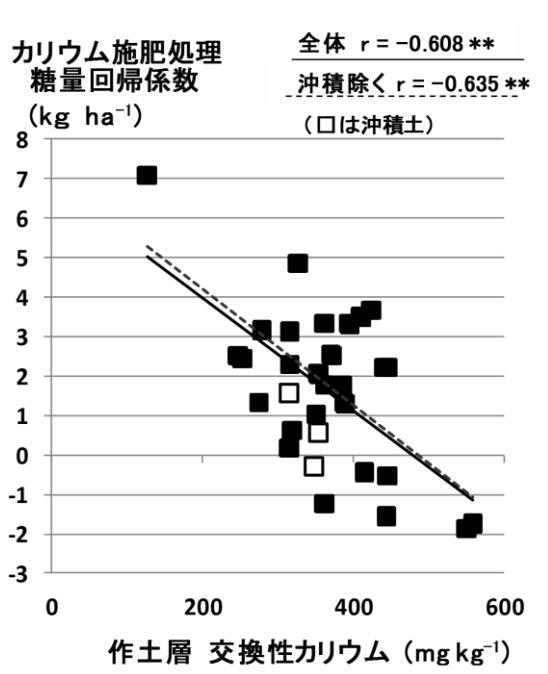


図 28 作土層交換性カリウムとカリウム施肥処理による糖量回帰係数との相関

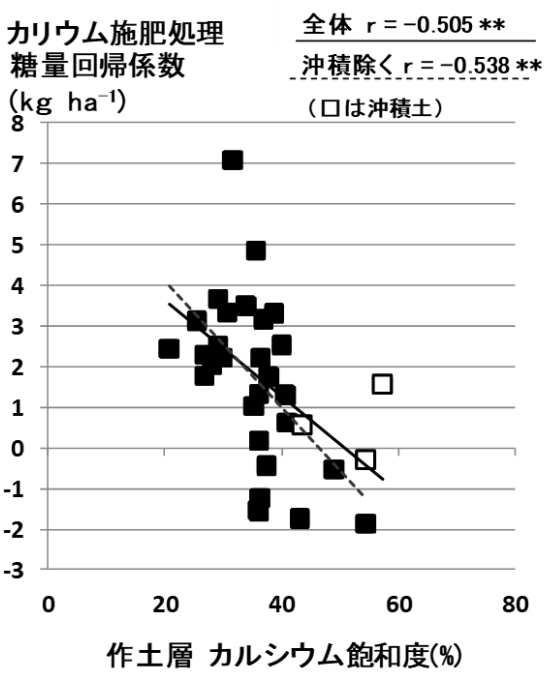


図 29 作土層カルシウム飽和度とカリウム施肥処理による糖量回帰係数との相関

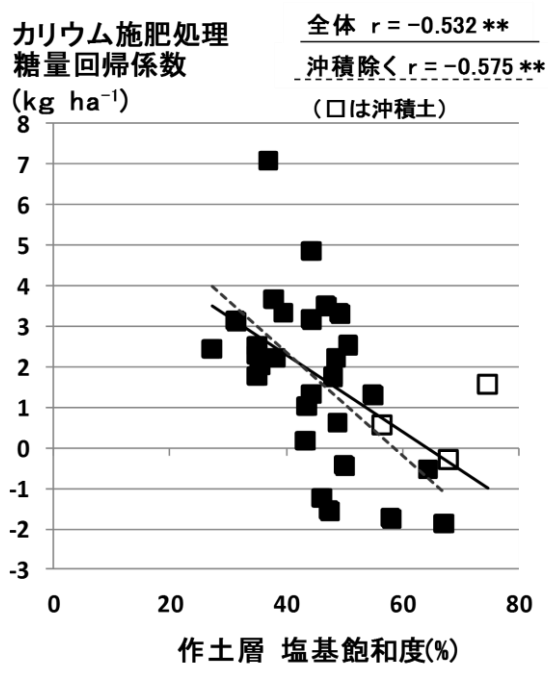


図 30 作土層塩基飽和度とカリウム施肥処理による糖量回帰係数との相関

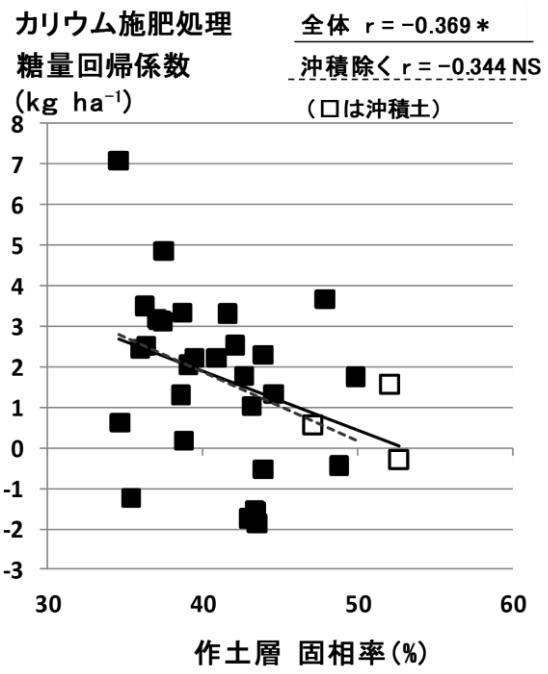


図 31 作土層固相率とカリウム施肥処理による糖量回帰係数との相関

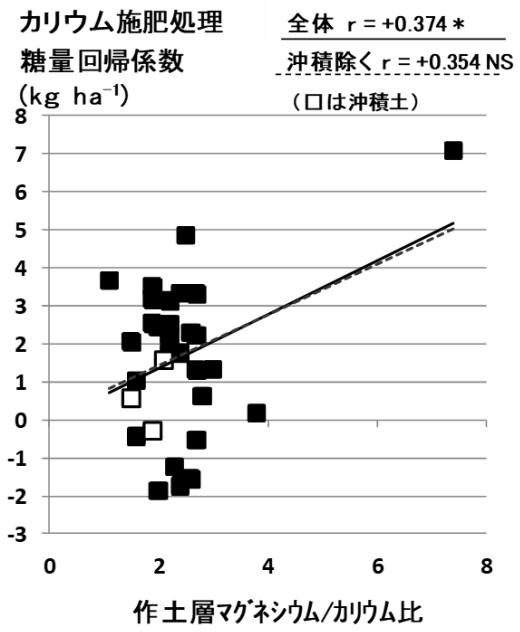


図 32　作土層マグネシウム/カリウム比とカリウム施肥処理による糖量回帰係数との相関

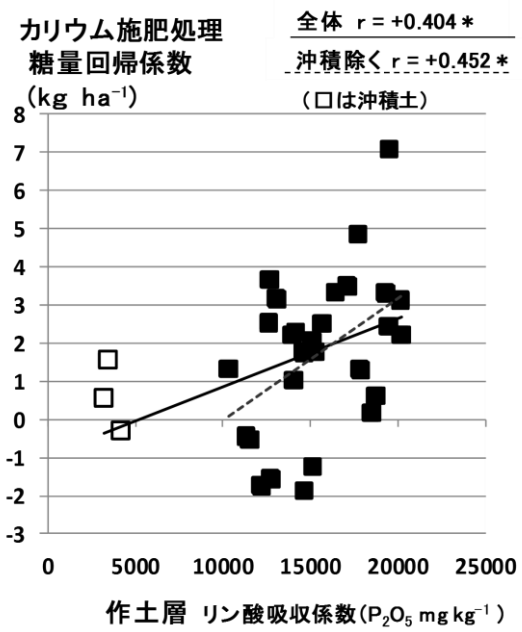


図 33　作土層リン酸吸収係数とカリウム施肥処理による糖量回帰係数との相関

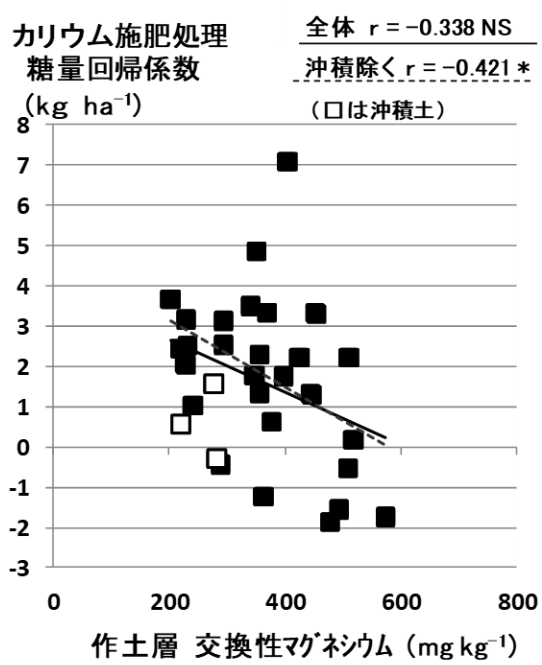


図 34　作土層交換性マグネシウムとカリウム施肥処理による糖量回帰係数との相関

糖量でリン酸施肥回帰係数と作土層のpH(図35), トルオーグリン酸(図36), カルシウム飽和度(図37), 塩基飽和度(図38)との間に有意な正相関関係が見られ, これら分析値の高いほどリン酸施肥の糖量効果が高かった. またリン酸吸収係数(図39)との間に有意な負相関関係が見られ, リン酸吸収係数の低いほどリン酸施肥の糖量効果が高かった. なお何れも沖積土を除き火山灰土のみで相関分析を行った場合は有意でなかった. 糖量でリン酸施肥回帰係数と作土層の交換性カリウム, 交換性マグネシウム, 交換性カルシウム, マグネシウム/カリウム比, CEC, 交換性ナトリウム, 熱水抽出窒素, 固相率, 真比重との相関は有意ではなかった. なお交換性カリウムでは火山灰土のみで見ると有意であった(図40).

糖量で栽植密度回帰係数と土壌分析値との相関は作土層および下層土含め何れの土壌分析項目共に有意でなかった.

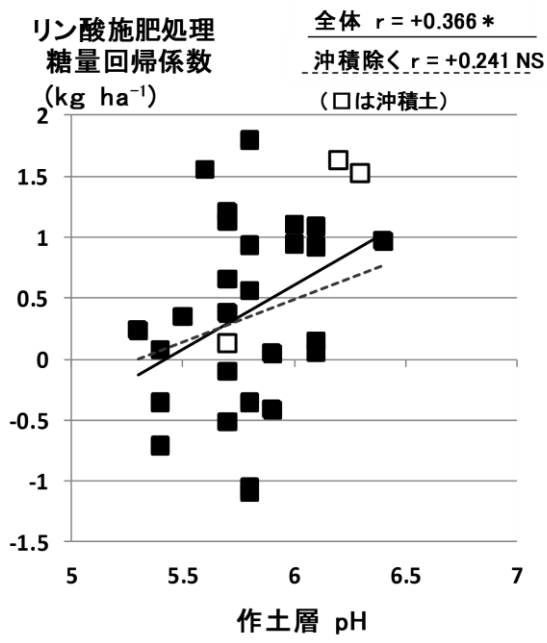


図 35 作土層 pH とリン酸施肥処理による糖量回帰係数との相関

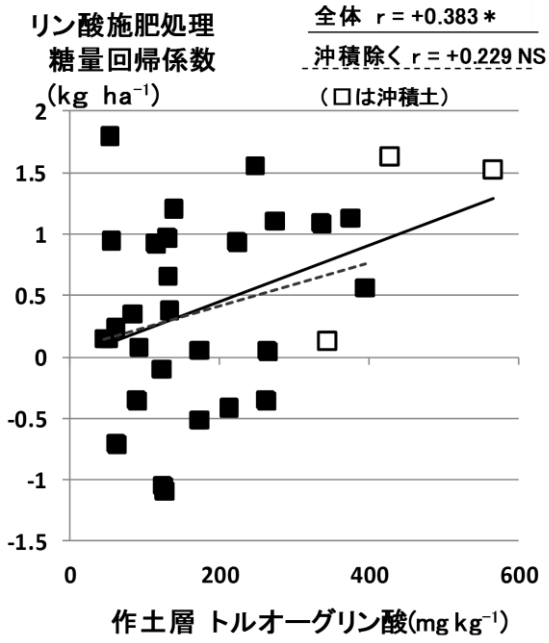


図 36 作土層トルオーグリン酸とリン酸施肥処理による糖量回帰係数との相関

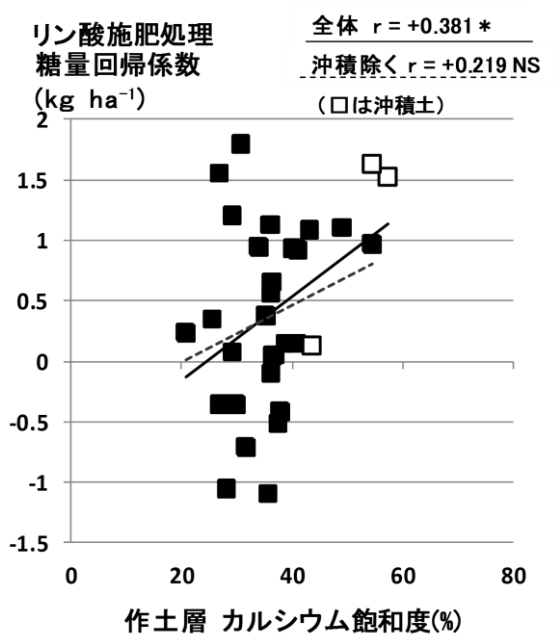


図 37 作土層カルシウム飽和度とリン酸施肥処理による糖量回帰係数との相関

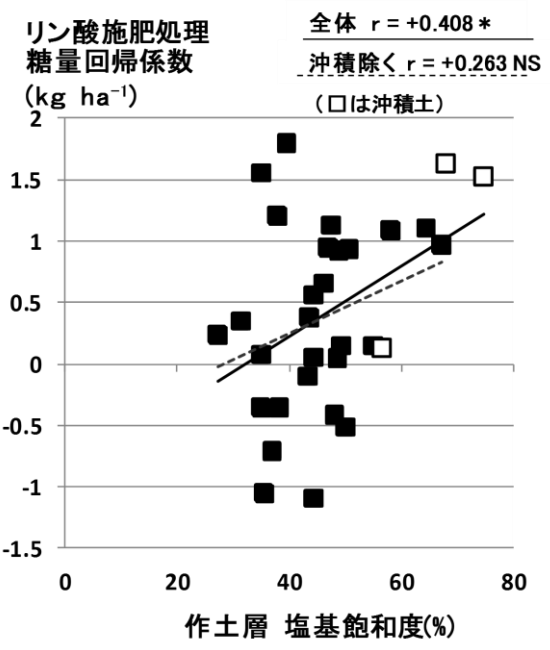


図 38 作土層塩基飽和度とリン酸施肥処理による糖量回帰係数との相関

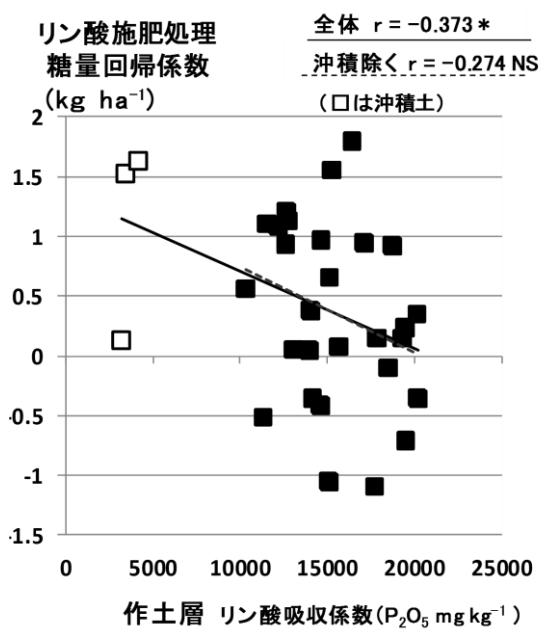


図 39 作土層リン酸吸収係数とリン酸施肥処理による糖量回帰係数との相関

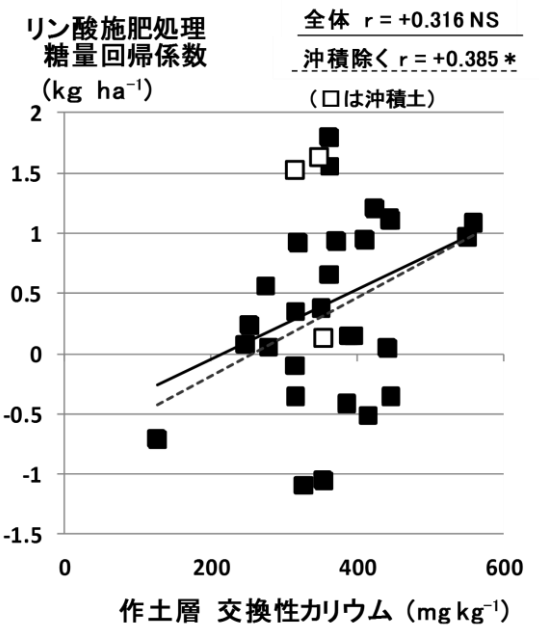


図 40 作土層交換性カリウムとリン酸施肥処理による糖量回帰係数との相関

カリウム施肥で菜根中のカリウム含量の回帰係数と土壌のpHとの間には作土層および下層土共に1%水準で有意な負相関関係が見られた(図41). 土壌のpHが低いほどカリウム施肥でのカリウム含量増加が大きかった. 菜根中のカリウム含量回帰係数と土壌の交換性カリウムとの間には有意な相関関係は見られなかった. 作土層の交換性マグネシウムとの間には1%水準で有意な負相関関係が見られた (図42). 作土層の交換性マグネシウムが低いほどカリウム施肥での菜根中カリウム含量増加が大きかった.

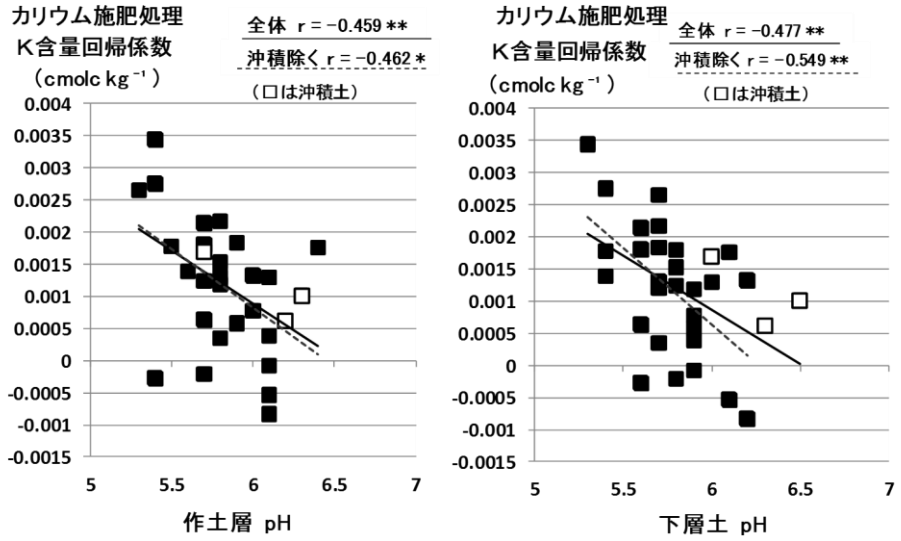


図 41 作土層及び下層土pHとカリウム施肥処理によるK含量回帰係数との相関

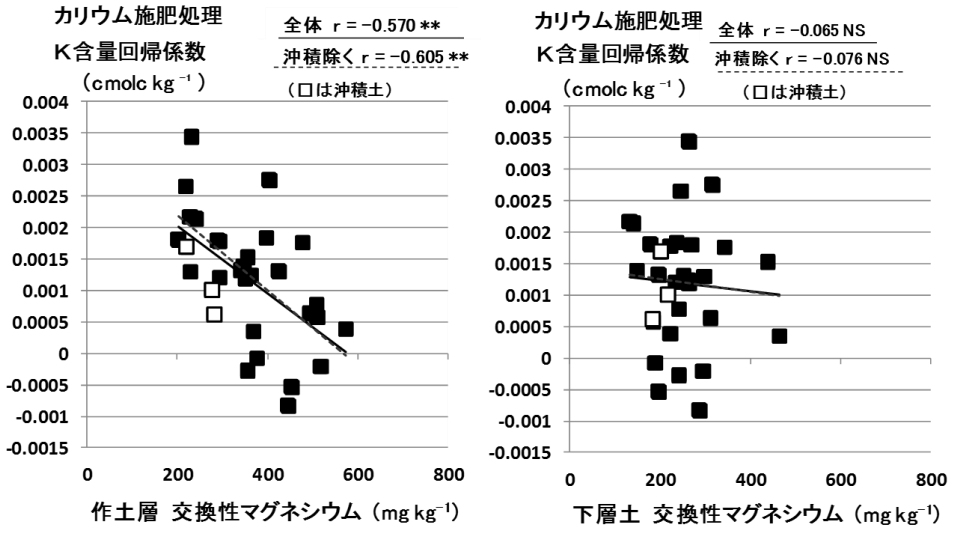


図 42 作土層及び下層土の交換性マグネシウムとカリウム施肥処理によるK含量回帰係数との相関

リン酸施肥によるカリウム含量回帰係数といくつかの土壌分析項目との間に相関関係が見られた．カリウム含量回帰係数と作土層の熱水抽出窒素との間に1%水準で有意な正相関関係(図43)，真比重との間に1%水準で有意な負相関関係(図44)が見られた．熱水抽出窒素が高く真比重が低いほどリン酸施肥でカリウム含量が増加した．

火山灰土のみで相関をとった場合には熱水抽出窒素は5%水準有意，真比重は有意でなかった．

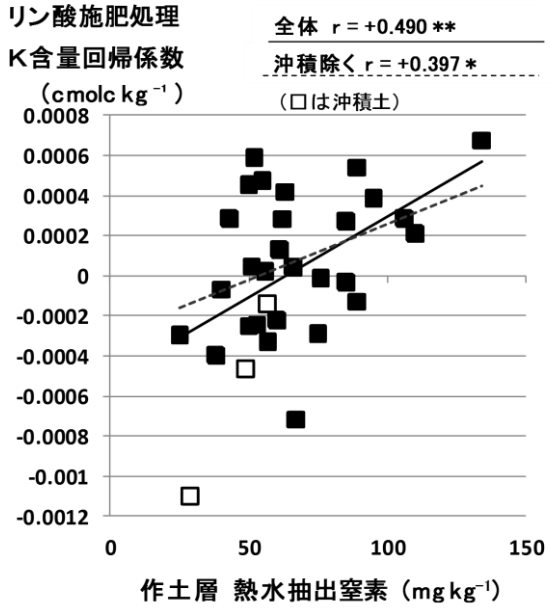


図 43 作土層熱水抽出窒素とリン酸施肥処理によるK含量回帰係数との相関

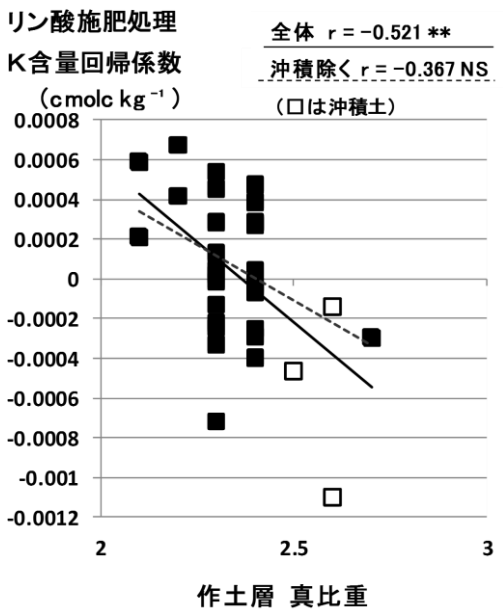


図 44 作土層真比重とリン酸施肥処理によるK含量回帰係数との相関

栽植密度変動による菜根中カリウム含量回帰係数は下層土の交換性カリウム含量と1%水準で有意な負相関関係が見られたが作土層では有意でなかった(図45).

下層土の交換性カリウム含量が高いほど,密植によるカリウム含量低下が大きく,粗植によるカリウム含量増加が大きかった.

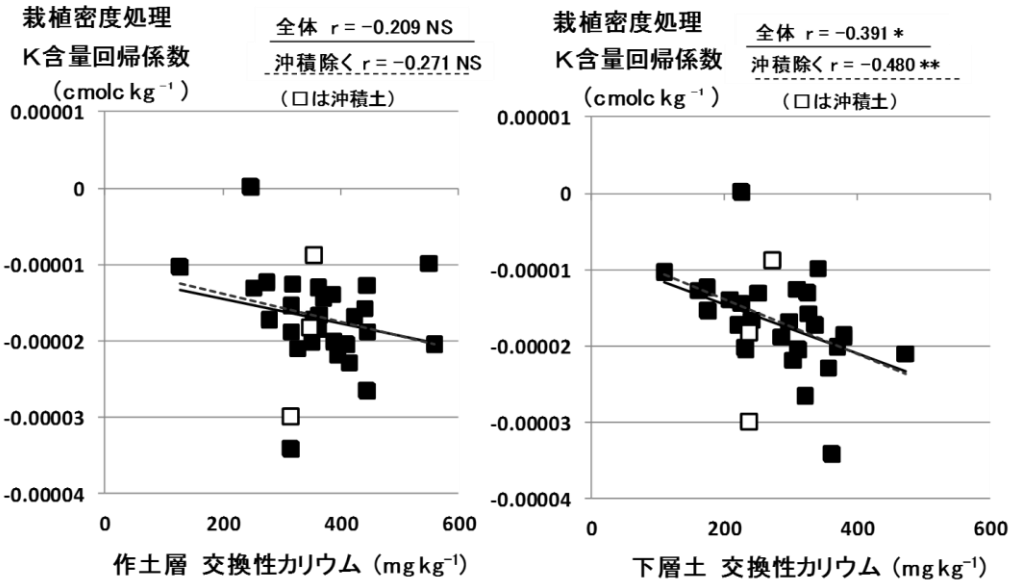


図 45 作土層及び下層土交換性カリウムと栽植密度処理によるK含量回帰係数との相関

菜根中ナトリウム含量はカリウム施肥回帰係数と作土層および下層土のリン酸吸収係数との間に有意な負相関関係が見られ,カリウム施肥でリン酸吸収係数が高いほど低下した.なお沖積土を除いた場合には有意ではなかった(図46).

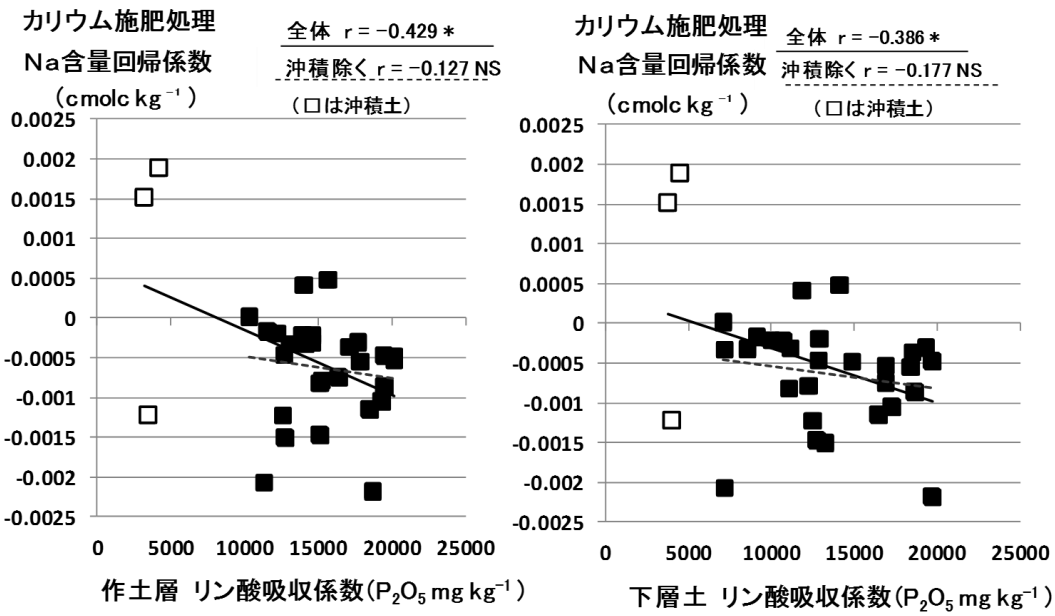


図 46　作土層及び下層土リン酸吸収係数とカリウム施肥処理によるNa含量回帰係数との相関

リン酸施肥回帰係数と土壌分析項目の相関は何れも有意でなかった.

ナトリウム含量で栽植密度回帰係数と作土層のマグネシウム/カリウム比との間に5%水準有意の負相関関係が見られた(図47).

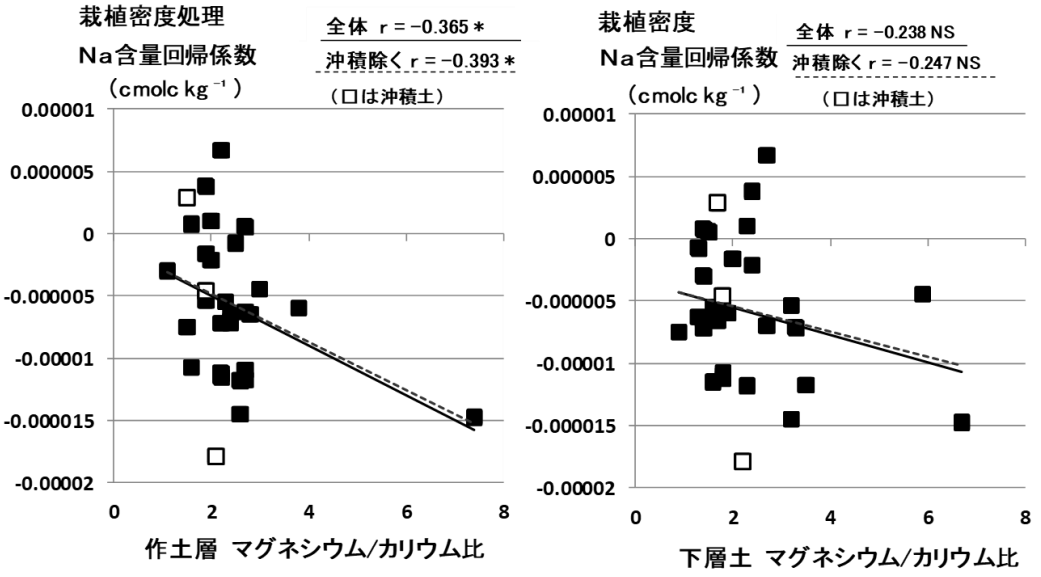


図 47　作土層及び下層土 マグネシウム/カリウム比と栽植密度処理によるNa含量回帰係数との相関

アミノ態窒素含量でカリウム施肥回帰係数と作土層および下層土の交換性カリウムと有意な負相関関係が見られた(図48). リン酸施肥回帰係数と作土層および下層土のリン酸吸収係数と有意な正相関関係(図49), 真比重と有意な負相関関係が見られた(図50).

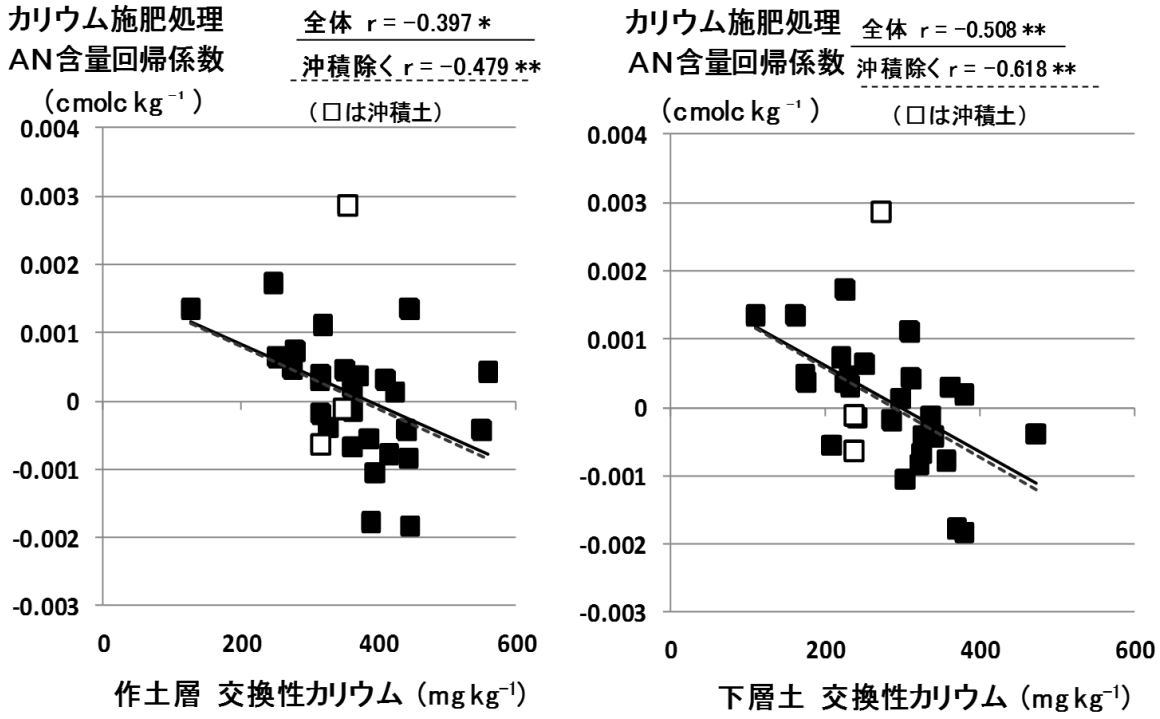


図 48　作土層及び下層土の交換性カリウムとカリウム施肥処理によるAN含量回帰係数との相関

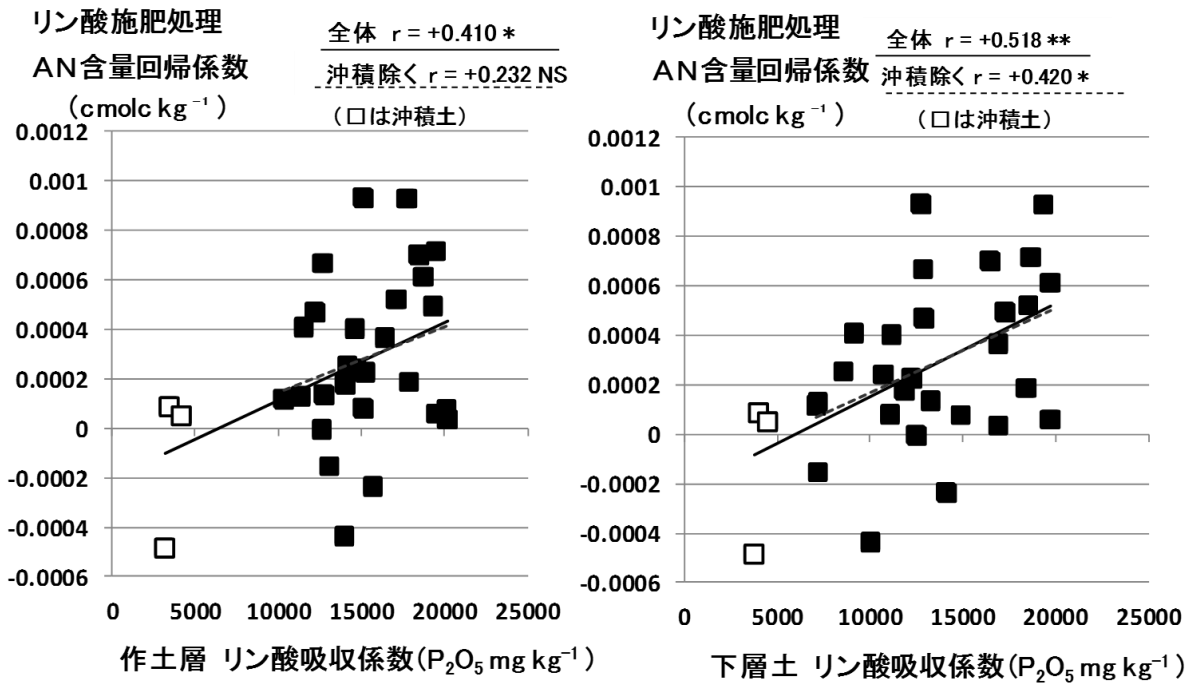


図 49　作土層及び下層土リン酸吸収係数とリン酸施肥処理によるAN含量回帰係数との相関

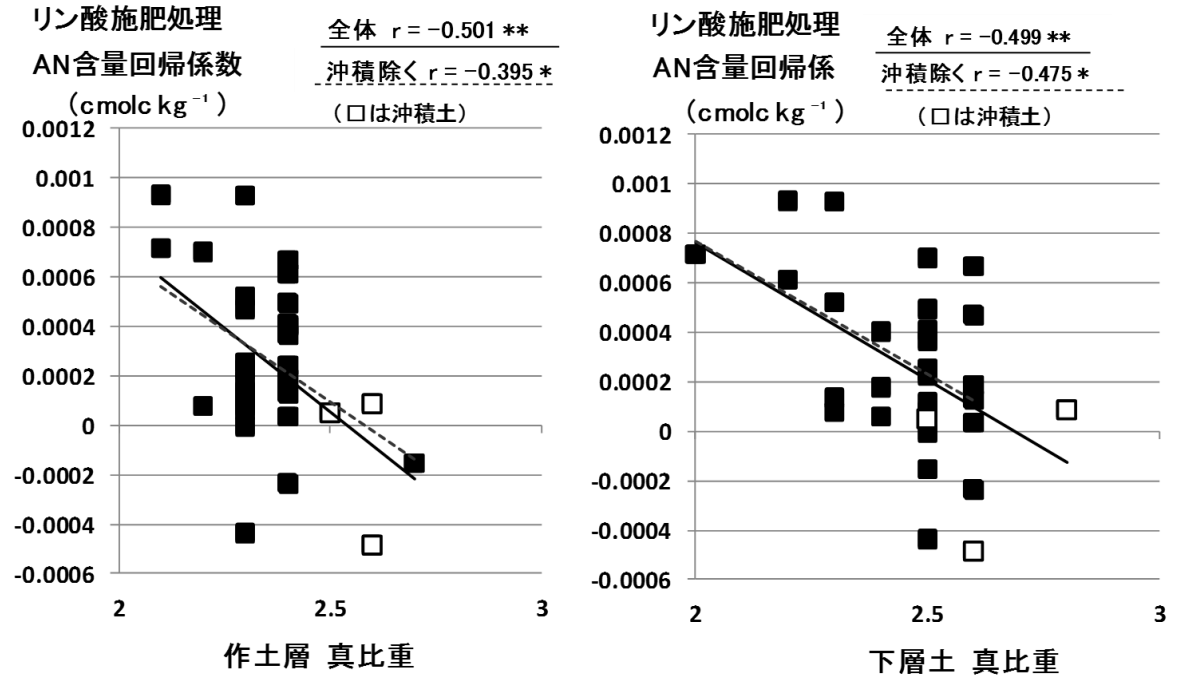


図 50　作土層及び下層土の真比重とリン酸施肥処理によるAN含量回帰係数との相関

アミノ態窒素で栽植密度回帰係数と作土層のナトリウム含量との間に1%水準有意の負相関関係が見られた．下層土では有意でなかった(図51).

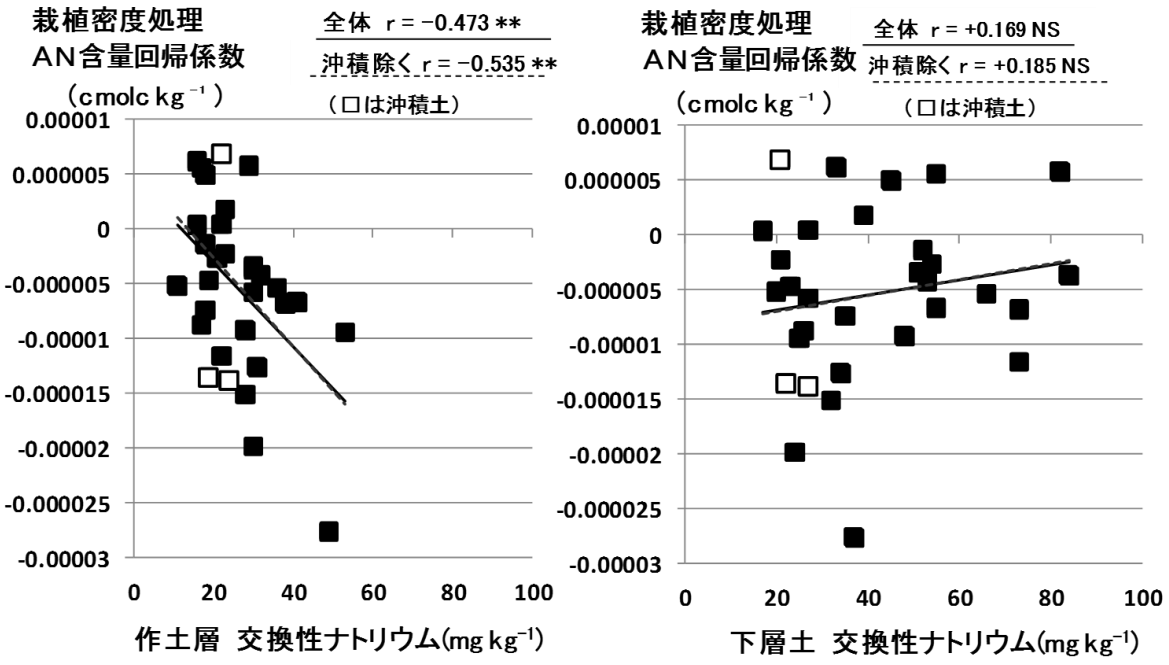


図 51 作土層及び下層土の交換性ナトリウムと栽植密度処理によるAN含量回帰係数との相関

糖蜜糖分でカリウム施肥回帰係数と下層土の交換性カリウム含量との間に有意な負相関関係が見られた．下層土の交換性カリウム含量が高いほどカリウム施肥での糖蜜糖分増加が小さかった．なお作土層においては有意でなかった(図52).

カリウム施肥回帰係数と作土層の交換性マグネシウムとの間に1%水準で有意な負相関関係が見られた．作土層の交換性マグネシウムが高いほどカリウム施肥での糖蜜糖分増加が小さかった．下層土では有意ではなかった(図53).

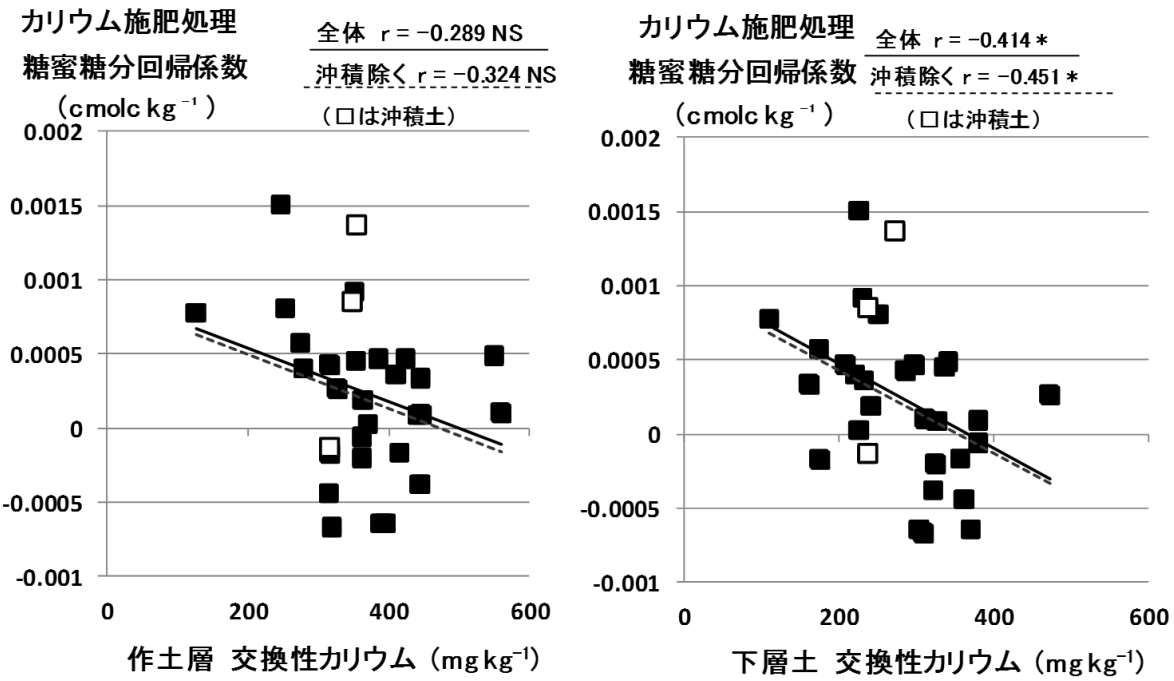


図 52　作土層及び下層土の交換性カリウムとカリウム施肥処理による糖蜜糖分回帰係数との相関

糖蜜糖分でリン酸施肥回帰係数と作土層の交換性マグネシウム(図54)や交換性カルシウム(図55)，熱水抽出窒素含量(図56)との間に有意な正相関関係が見られ，作土層の交換性マグネシウム，交換性カルシウム，熱水抽出窒素含量が高いほどリン酸施肥で糖蜜糖分が増加した．

またリン酸施肥回帰係数と真比重との間に有意な負相関関係が見られた(図57)．真比重が低いほどリン酸施肥で糖蜜糖分が増加した．糖蜜糖分で栽植密度回帰係数と作土層の交換性マグネシウムとの間に有意な負相関関係が見られ，作土層の交換性マグネシウムが高いほど密植での糖蜜糖分が低下した(図58)．

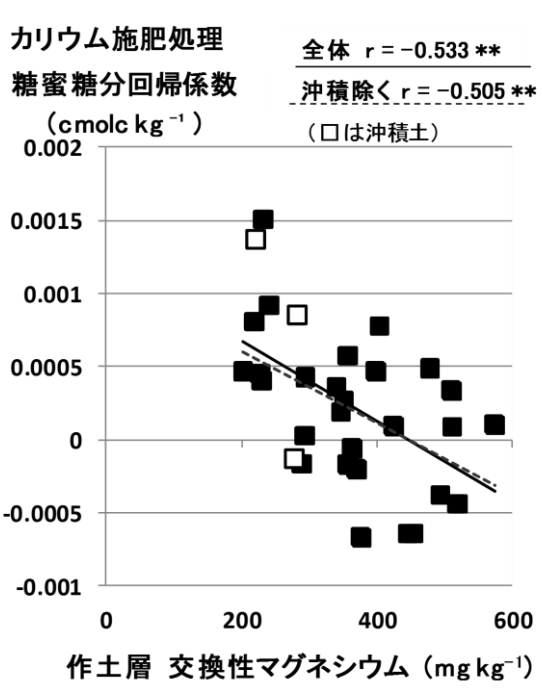


図 53 作土層交換性マグネシウムとカリウム施肥処理による糖蜜糖分回帰係数との相関

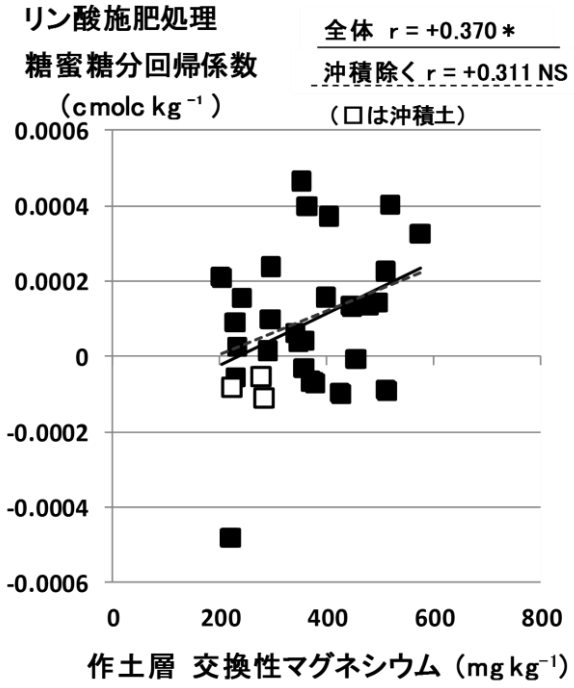


図 54 作土層交換性マグネシウムとリン酸施肥処理による糖蜜糖分回帰係数との相関

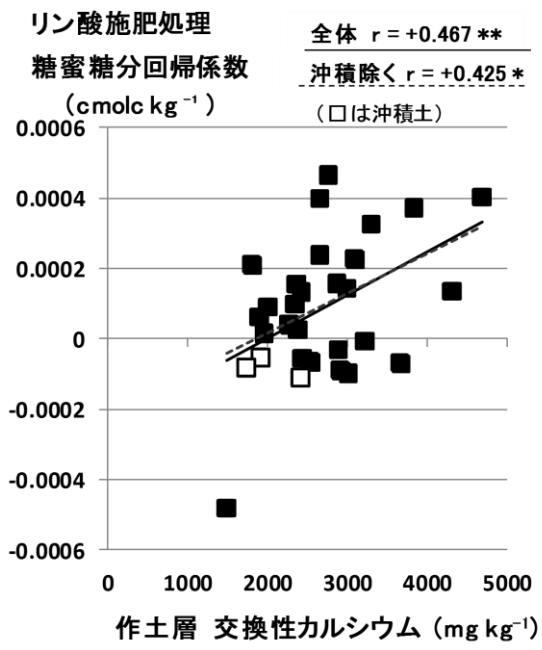


図 55 作土層交換性カルシウムとリン酸施肥処理による糖蜜糖分回帰係数との相関

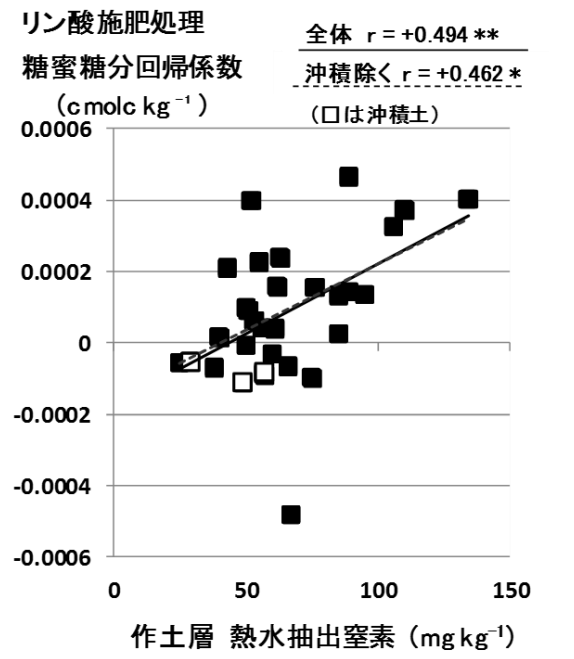


図 56 作土層熱水抽出窒素とリン酸施肥処理による糖蜜糖分回帰係数との相関

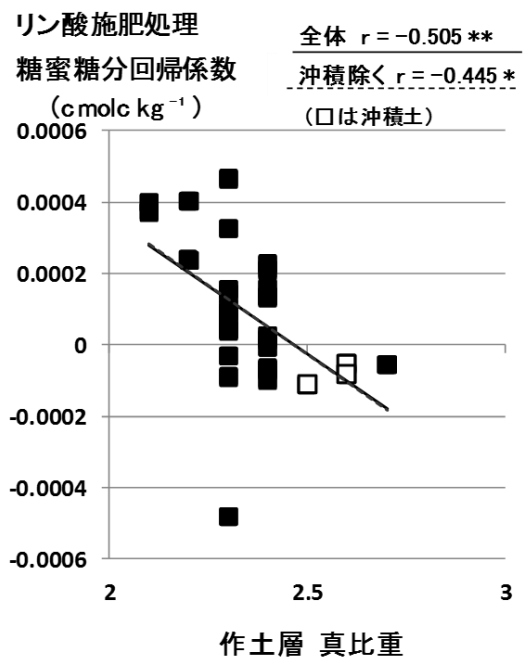


図 57 作土層真比重とリン酸施肥処理による糖蜜糖分回帰係数との相関

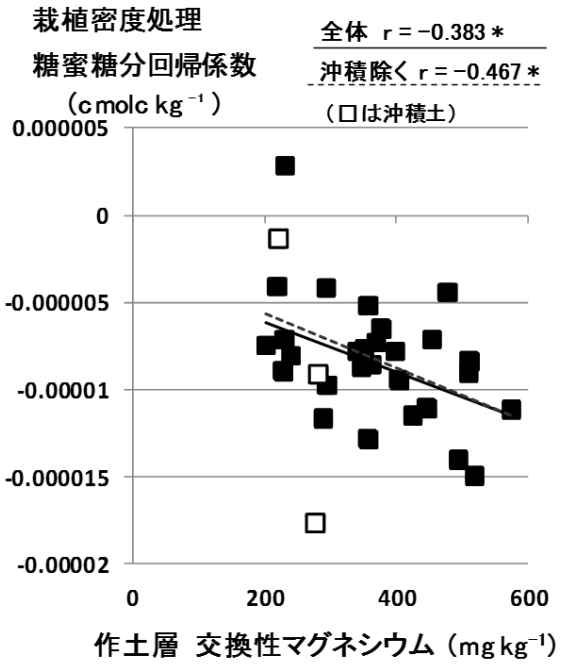


図 58 作土層交換性マグネシウムと栽植密度処理による糖蜜糖分回帰係数との相関

④ 考察

茎葉重ではカリウム施肥，リン酸施肥，栽植密度の何れの回帰係数も作土層土壌分析値との間に相関関係が認められなかったことから，茎葉重の変動に及ぼす影響を土壌分析値のみから予測することはできないと判断された．カリウム施肥では根重の回帰係数とpH，交換性カリウム，交換性マグネシウム，カルシウム飽和度，塩基飽和度，交換性ナトリウムと有意な相関関係が見られ，その全てが負相関関係であった．またこの相関の有意性は作土層のみに見られ，下層土では見られなかったことから，施肥周辺の土壌の化学性が植物体の施肥カリウム吸収に直接影響を及ぼしたものと判断された．またカリウム施肥で沖積土を除く火山灰土のみではトルオーグリン酸と負相関，リン酸吸収係数と正相関関係が見られた．火山灰土に限ると土壌リン酸がカリウムの施肥増収効果を低減させる可能性が考えられた．沖積土では圃場数が少なく傾向ではあるが3場所とも

に火山灰土と比較しトルオーグリン酸やリン酸吸収係数のレベルが大きく異なり，また3場所ともカリウムの施肥増収効果にはほとんど影響しない傾向であり，沖積土特有のリン酸特性が相関に大きく影響を及ぼしたと推測された[23)24)25)26)37)38)39)].

カリウム施肥回帰係数と作土層交換性カリウム含量との間の負相関関係が見られた．この理由として交換性カリウム含量が低いほど土壌供給のカリウムが少なく施肥の利用率が高まったものと推測された．また交換性マグネシウムとの間に1％水準で有意な負相関関係が見られたが，この作用メカニズムは交換性カリウムの場合とは異なり化学的な塩基相互の拮抗作用に由来するものと推測された[31)92)]．その理由としてカリウム施肥による菜根中のカリウム含量回帰係数と土壌の交換性マグネシウムとの間に1％水準で有意な負相関関係が確認され，土壌の交換性マグネシウムが施肥のカリウム吸収を直接抑制しているものと判断された．

リン酸施肥の根重回帰係数と作土層のpH，トルオーグリン酸，交換性カリウム，カルシウム飽和度，塩基飽和度との間に有意な正相関関係が認められた． 交換性カリウム以外は沖積土を除く火山灰土のみで相関を取った場合は有意でなかったことから，リン酸固定作用が小さいなど沖積土特有の特性が相関に大きく作用したと考えられた[23)24)25)26)37)38)39)].

根中糖分ではリン酸施肥回帰係数は何れの土壌分析項目とも有意な相関関係は見られなかった．またカリウム施肥回帰係数ではトルオーグリン酸，固相率と有意な負相関，リン酸吸収係数と有意な正相関関係が見られたが，何れも沖積土を除いた火山灰土のみで見た場合有意ではなかったことから沖積土特有の特性が作用したものと判断された．

糖量ではほぼ根重と同様の傾向であった．根重と同様にカリウム施肥とリン酸施肥で有意な土壌分析項目の相関係数を比較すると，

全ての相関係数の正負が逆で対称的な挙動が確認された．このことから収量および糖量に及ぼすカリウムおよびリン酸施肥の効果はいくつかの土壌分析項目と関連性が見られ，さらにカリウム施肥とリン酸施肥で相反する影響を与えると判断された．これより作土層のいくつかの土壌分析値を用いて圃場のカリウム施肥とリン酸施肥の増収効果を判別推定できる可能性が考えられた．
一方根重や糖量で栽植密度回帰係数と種々土壌分析項目と有意な相関は見られず，土壌分析値を用いて栽植密度の増収程度を予測することは不可能と判断された．

非糖分変動についてはカリウム施肥による菜根中のカリウム含量回帰係数と作土層および下層土のpHで1%水準で有意な負相関関係が見られ，特に低pHでカリウム施肥での菜根中のカリウム含量増加が大きい傾向であった．低pHで根重や糖量に及ぼすカリウム施肥効果が高かったことと関連し，低pHで施肥利用率が高まったことが考えられるが詳細なメカニズムは不明であった[36)93)94)95)96)97)98)99)100)101)102)]．一方カリウム含量回帰係数と作土層の交換性マグネシウムとの間にも1%水準で有意な負相関関係が見られたが，これは塩基間相互の拮抗作用によるものと考えられた[92)103)104)]．栽植密度についてはカリウム含量で下層土の交換性カリウム含量と有意な負相関関係が見られ，下層土に蓄積したカリウムが粗植栽培での栽根中カリウム含量の増加を促進している可能性が推測された[70)]．

第４章

カリウム施肥とリン酸施肥効果に基づく圃場のクラスター化と土壌分析値によるクラスター判別プログラムの作成

① 緒言

第２章第３章よりカリウム施肥，リン酸施肥効果および土壌分析値との相互関連が明らかとなった．この関連性から圃場ごとに異なるカリウムおよびリン酸肥効特性を予測できればテンサイ栽培の現場で活用できると考えた．そこで，土壌分析値を用いた予測モデルを構築し，圃場特性判別プログラムを作成した．

② 材料と方法

圃場ごとにカリウム施肥量は1単位を0.83kg-K ha^{-1}(1kg-K_2O ha^{-1})，リン酸施肥量は1単位を0.44kg-P ha^{-1}(1kg-P_2O_5 ha^{-1})としてパラメーター(x)とし，糖量(kg ha^{-1})を目的変数(y)として直線回帰係数を求め，当回帰係数より基準間隔としてカリウム施肥41.5 kg-K ha^{-1}(50kg-K_2O ha^{-1})，リン酸施肥54.5kg-P ha^{-1}(125kg-P_2O_5 ha^{-1})当たりの糖量変動(kg ha^{-1})を算出し，各々糖量のカリウム施肥効果，リン酸施肥効果とした．次に圃場によるカリウム施肥とリン酸施肥による糖量施肥効果の違いを群分けするため，カリウム施肥およびリン酸施肥の基準間隔当たり糖量変動(kg ha^{-1})を特性値とし３群指定で階層型クラスター分析[2)89)105)106)]を実施した．サンプル距離計算は基準値ユークリッド距離，クラスター間距離計算はウォード法で，統計処理はEXCEL多変量解析Ver6.0(株エスミ)およびJMP(SAS Institute Inc) を用いた．また土壌分析値より圃場のカリウム，リン酸施肥反応群の判別推定をするための正準判別計算[89)105)]および推定値予測のための重回帰計算[89)105)107)]はEXCEL多変量解析Ver6.0(株エスミ)を用いた．

③結果および考察

茎葉重，根重，根中糖分，各非糖分におけるカリウム施肥回帰係数，リン酸施肥回帰係数，栽植密度回帰係数の相互相関分析結果を表10に示す．根重および糖量において「カリウム施肥回帰係数とリン酸施肥回帰係数」との間には5%水準で有意な負相関関係が確認された（図59，図60).「栽植密度の回帰係数とカリウム施肥の回帰係数」および「栽植密度の回帰係数とリン酸施肥の回帰係数」との間には有意な相関関係は見られなかった．菜根中非糖分のカリウム含量，ナトリウム含量および糖蜜糖分で「栽植密度の回帰係数とカリウム施肥の回帰係数」との間に何れも有意な正相関関係が認められた．

表 10　カリウム施肥，リン酸施肥，栽植密度回帰係数の相互相関

区分	カリウム施肥とリン酸施肥	栽植密度とカリウム施肥	栽植密度とリン酸施肥
茎葉重	NS	NS	NS
根重	－０．３８＊	NS	NS
根中糖分	NS	NS	NS
糖量	－０．３７＊	NS	NS
K含量	NS	＋０．４９＊＊	NS
Na含量	NS	＋０．３８＊	NS
A-N含量	NS	NS	NS
糖蜜糖分	NS	＋０．６２＊＊	NS

相関係数の有意性検定で＊は5%水準で有意，＊＊は1%水準で有意を示す．

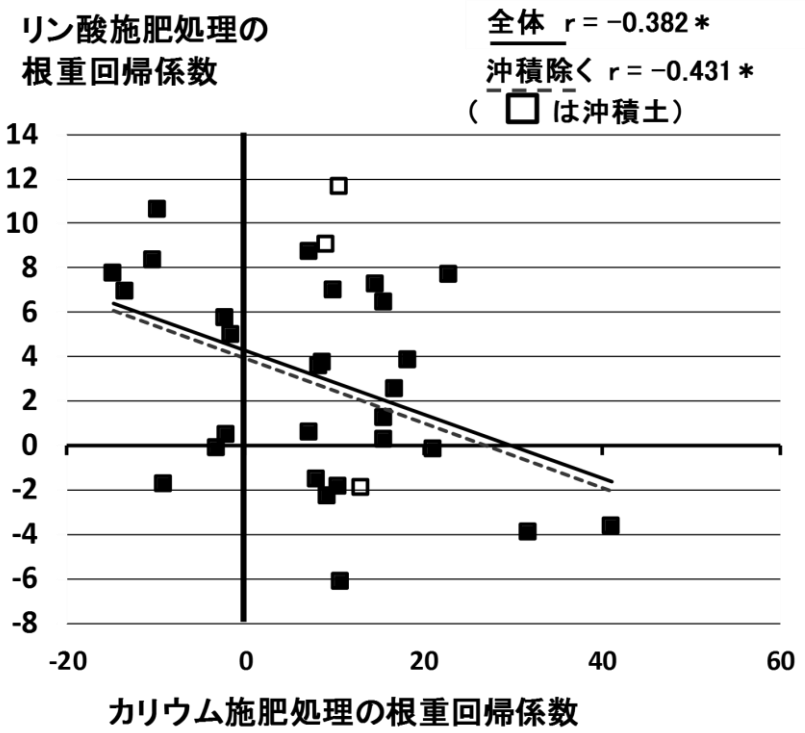


図 59　カリウム施肥処理とリン酸施肥処理の根重回帰係数の相関

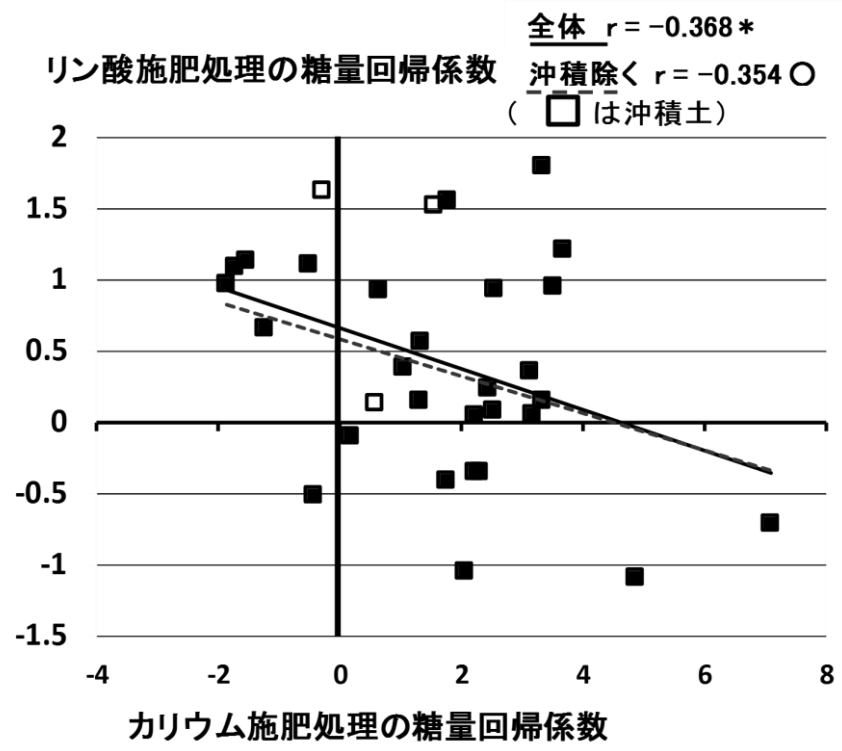
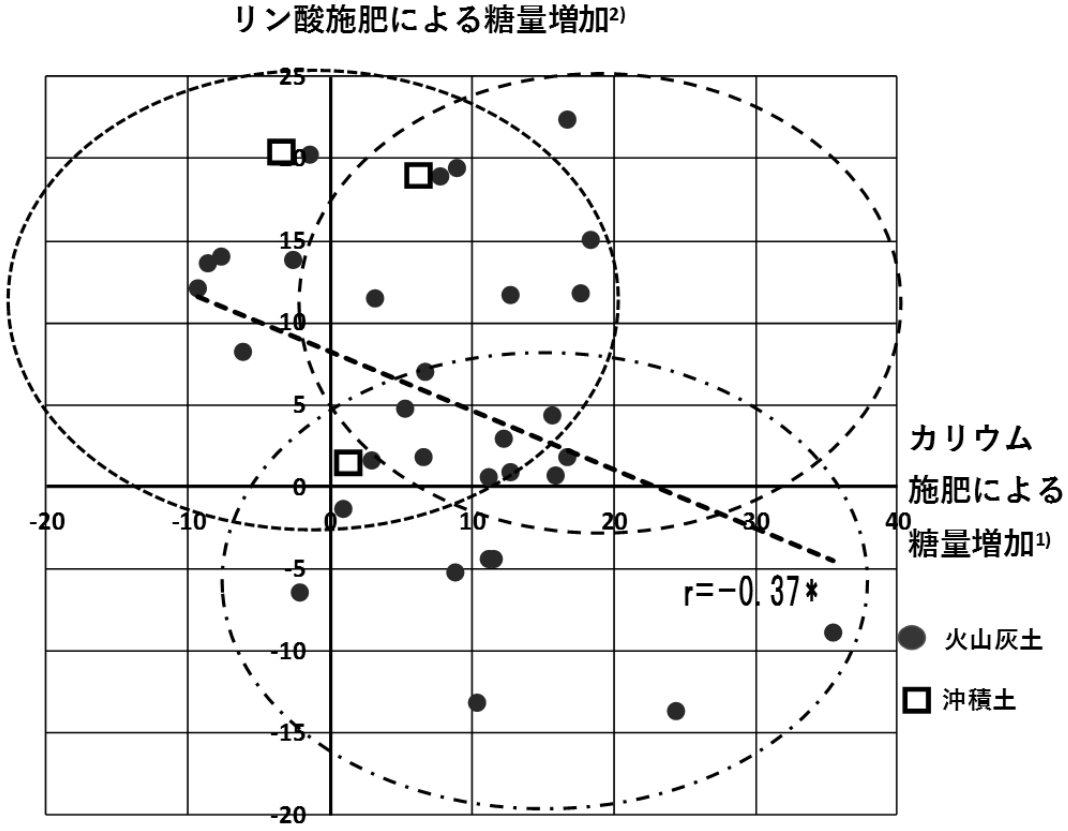


図 60　カリウム施肥処理とリン酸施肥処理の糖量回帰係数の相関

糖量において「カリウム施肥回帰係数とリン酸施肥回帰係数」との間には5%水準で有意な負相関関係が確認されたことから糖量施肥効果の関連を明らかにするため回帰係数を基に横軸に基準間隔[41.5 kg-K ha^{-1}(50kg-K_2O ha^{-1})]当たりのカリウム施肥糖量効果，縦軸に基準間隔[54.5kg-P ha^{-1}(125kg-P_2O_5 ha^{-1})]当たりのリン酸施肥糖量効果の関係図を作成した(図61)．これより，糖量におけるカリウム施肥の増収程度およびリン酸施肥の増収程度の関係から圃場特性として図中の３種の破線で示されるとおり「カリウム施肥効果が高くリン酸施肥効果の低い群」「カリウム施肥効果は低いが，リン酸施肥効果の高い群」「カリウム施肥，リン酸施肥共に効果の高い群」の３群の存在が推測された

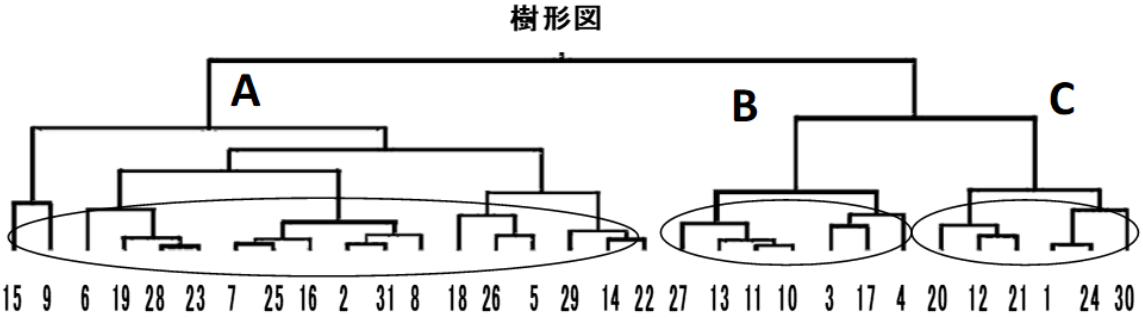


1) カリウム施肥 41.5 kg-K ha^{-1}(50kg-K_2O ha^{-1})当たりの糖量変動 (kg ha^{-1})
2) リン酸施肥 54.5kg-P ha^{-1}(125kg-P_2O_5 ha^{-1})当たりの糖量変動(kg ha^{-1})
3) ○○○ はカリウム・リン酸施肥の糖量変動より推測される３群例

図 61　カリウム施肥糖量効果とリン酸施肥糖量効果の関係図

なおカリウム含量，ナトリウム含量および糖蜜糖分で「栽植密度の回帰係数とカリウム施肥の回帰係数」との間に何れも有意な正相関関係が認められた．カリウム施肥によるカリウム含量や糖蜜糖分増加の大きい圃場ほど密植栽培でのカリウム含量や糖蜜糖分低下や粗植栽培での増加が少なかったが理由は明確ではなかった[70)71)]．別途解析研究が望まれる．

次に圃場特性として「カリウム施肥効果が高くリン酸施肥効果の低い群」「カリウム施肥効果は低いが，リン酸施肥効果の高い群」「カリウム施肥，リン酸施肥共に効果の高い群」の３群の存在が推測されたことから，糖量のカリウム施肥効果およびリン酸施肥効果を特性値として３群指定により階層型クラスター分析を実施した．クラスター分析の結果は図62 のとおりである．図中樹形図下部数値は試験地NO.で，3 つの施肥反応群に区分され，分散分析の結果クラスター間に1%水準で有意差が認められた．



分散分析表	クラスター		誤差		F値	相関比
区分	不偏分散	自由度	不偏分散	自由度		
カリウム施肥	7.808	2	0.549	28	14.21**	0.504
リン酸施肥	11.300	2	0.300	28	37.67**	0.729

図 62　　クラスター分析結果

カリウム施肥41.5 kg-K ha^{-1}(50kg-K_2O ha^{-1})，リン酸施肥54.5kg-P ha^{-1}(125kg-P_2O_5 ha^{-1})当たりの糖量変動(kg ha^{-1})を特性値とする3群指定の階層型クラスター分析結果．
サンプル距離は基準値ユークリッド距離、クラスター間距離はウォード法で樹形図下部数値は試験地NO.を示す．
分散分析表のはクラスター因子の一元配置分散分析で，1%水準有意であることを示す．**

表11に各試験地の所属クラスおよび糖量カリウムおよびリン酸施肥効果と各群の総平均値を示した．表11よりA群は18件で糖量のカリウム施肥効果は平均11.4(kg ha^{-1})，リン酸施肥効果は-1.7(kg ha^{-1})でカリウム施肥効果は高いがリン酸施肥効果は低かった．B群は7件でカリウム施肥効果は平均-4.7(kg ha^{-1})，リン酸施肥効果は13.4(kg ha^{-1})でカリウム施肥効果は低くリン酸施肥効果が高かった．C群は6件でカリウム施肥効果は平均-13.7(kg ha^{-1})，リン酸施肥効果は16.6(kg ha^{-1})でカリウム施肥効果，リン酸施肥効果ともに高かった．

各群の土壌分析平均値は表12のとおりである．

A群はBおよびC群と比較しpH，トルオーグリン酸，交換性カリウム，カルシウム飽和度，塩基飽和度，交換性ナトリウム，固相率が低く，マグネシウム/カリウム比，リン酸吸収係数，CEC数値が高かった．B群はAおよびC群と比較しpH，トルオーグリン酸，交換性カリウム，交換性マグネシウム，交換性カルシウム，カルシウム飽和度，塩基飽和度，交換性ナトリウム数値が高かった．

C群はpH，トルオーグリン酸，交換性カリウム，カルシウム飽和度，塩基飽和度，リン酸吸収係数，交換性ナトリウム，真比重の数値がA群とB群の間であった．

以上各群の特徴を整理するとA群はpH(H_2O)，交換性カリウム，交換性マグネシウム，カルシウム飽和度，固相率が低く，CECが高く，B群はA群とは逆にpH(H_2O)，交換性カリウム，交換性マグネシウム，カルシウム飽和度，固相率が高く，CECが低くかった．C群は何れの項目も概ねA群とB群の中間的な数値であった．このように群により土壌分析値において特徴的な傾向が見られたことから，土壌分析値を用いた圃場の施肥反応群予測の可能性が考えられた．

表 11　場所別の糖量におけるカリウム及びリン酸施肥効果とクラス判別一覧

場所	糖量 K施肥効果	糖量 P施肥効果	クラス	A群 カリウム効果型 K施肥効果	A群 カリウム効果型 P施肥効果	B群 リン酸効果型 K施肥効果	B群 リン酸効果型 P施肥効果	C群 双方効果型 K施肥効果	C群 双方効果型 P施肥効果
L01	7.8	19.0	C					7.8	19.0
L02	15.9	0.7	A	15.9	0.7				
L03	3.2	11.6	B			3.2	11.6		
L04	−1.5	20.3	B			−1.5	20.3		
L05	2.9	1.7	A	2.9	1.7				
L06	10.3	−13.1	A	10.3	−13.1				
L07	11.1	0.6	A	11.1	0.6				
L08	15.7	4.4	A	15.7	4.4				
L09	35.5	−8.8	A	35.5	−8.8				
L10	−7.7	14.1	B			−7.7	14.1		
L11	−8.6	13.7	B			−8.6	13.7		
L12	17.6	11.9	C					17.6	11.9
L13	−9.3	12.1	B			−9.3	12.1		
L14	5.2	4.8	A	5.2	4.8				
L15	24.3	−13.6	A	24.3	−13.6				
L16	12.2	3.0	A	12.2	3.0				
L17	−2.6	13.9	B			−2.6	13.9		
L18	−2.1	−6.4	A	−2.1	−6.4				
L19	8.8	−5.1	A	8.8	−5.1				
L20	12.7	11.7	C					12.7	11.7
L21	18.4	15.1	C					18.4	15.1
L22	6.6	7.1	A	6.6	7.1				
L23	11.5	−4.4	A	11.5	−4.4				
L24	8.9	19.5	C					8.9	19.5
L25	12.7	1.0	A	12.7	1.0				
L26	0.9	−1.2	A	0.9	−1.2				
L27	−6.2	8.3	B			−6.2	8.3		
L28	11.1	−4.4	A	11.1	−4.4				
L29	6.5	1.9	A	6.5	1.9				
L30	16.7	22.5	C					16.7	22.5
L31	16.6	1.9	A	16.6	1.9				
平均	8.2	5.3		11.4	−1.7	−4.7	13.4	13.7	16.6
戸数	31.0	31.0		18	18	7	7	6	6

表 12 CLASS 別の土壌分析値

変数選択	土壌分析項目	A群 カリウム効果型	B群 リン酸効果型	C群 双方効果型
○	pH(H2O)	*5.7*	**6.0**	5.9
	トルオーグりん酸	*157*	**256**	215
○	交換性カリウム	*333*	**433**	374
○	交換性ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ	343	**440**	*306*
	交換性ｶﾙｼｳﾑ	2661	**3204**	*2132*
	ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ/ｶﾘｳﾑ比	**2.6**	2.4	*1.9*
○	カルシウム飽和度	*34*	**45**	36
○	塩基飽和度	*43*	**57**	47
	リン酸吸収係数	**15456**	*12743*	12928
○	CEC	**29**	26	*22*
○	交換性ナトリウム	*24*	**33**	26
	熱水抽出窒素	**69**	**69**	*50*
○	固相率	*41*	42	**43**
	真比重	**2.4**	*2.3*	**2.4**

注）数値の太字はABC各群の最大値,イタリックは最小値
　　変数選択○は絞り込み選択した変数

各群の土壌分析値において，特徴的な傾向が見られたことから，圃場が上記何れの施肥反応群に属するかを土壌分析値を用いて予測する手法の検討を試みた．表13左のとおり単純に正準判別計算により全土壌分析項目を用いた場合，正準判別係数は有意とはならず，説明変数の絞込みを検討した結果，表13右のとおり，pH，交換性カリウム，交換性マグネシウム，カルシウム飽和度，塩基飽和度，CEC，交換性ナトリウム，固相率を用いた組合せで何れの変数も判別係数検定ｐ値が0.1以下で両軸正準判別式が有意となり，判別的中率は90.3%であった．

表13　正準判別における判別パラメーターの絞り込み結果

全土壌分析項目による正準判別計算

	正準判別式		説明変数 F検定
	軸1	軸2	p値
PH	1.811	−8.813	**0.12**
トルオーグリン	−0.005	−0.021	**0.81**
交換性カリウム	−0.025	−0.083	**0.15**
交換性ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ	−0.001	4.616	**0.12**
交換性ｶﾙｼｳﾑ	0.002	−0.144	**0.79**
ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ/ｶﾘｳﾑ比	−0.474	−0.457	**0.74**
カルシウム飽和度	−1.157	2.106	**0.15**
塩基飽和度	0.724	−1.680	**0.14**
りん酸吸収係数	0.000	0.011	**0.95**
CEC	−0.066	−0.395	**0.49**
交換性ナトリウム	−0.061	−12.827	**0.06**
熱水抽出窒素	0.016	0.470	**0.71**
固相率	0.260	0.082	**0.09**
真比重	3.786	3.036	**0.53**
定数	−13.748	42.863	
正準相関係数	0.830	0.711	
バートレットカイ2乗値	40.22	15.11	
自由度	28	13	
p値	**0.063**	**0.300**	
判定	[NS]	[NS]	

判別パラメーターの絞り込み

	正準判別式		説明変数 F検定	
	軸1	軸2	p値	判定
PH	**3.237**	**6.587**	**0.04**	[*]
交換性カリウム	**−0.013**	**0.001**	**0.07**	[ ]
交換性ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ	**−0.006**	**−0.039**	**0.02**	[*]
カルシウム飽和度	**−0.832**	**−1.677**	**0.01**	[**]
塩基飽和度	**0.555**	**1.455**	**0.02**	[*]
CEC	**0.142**	**0.462**	**0.06**	[ ]
交換性ナトリウム	**−0.046**	**0.142**	**0.02**	[*]
固相率	**0.166**	**−0.113**	**0.10**	[ ]
定数	**−16.603**	**−42.596**		
	0.775	0.673		
	37.22	14.77		
	16	7		
	0.002	**0.039**		
	[**]	[*]		

判別的中率　0.903

軸別判別得点平均

	軸1	軸2
A群	0.6132	−0.576
B群	−2.155	0.0323
C群	0.6749	1.6916

算出された正準判別係数から,エクセルを用いて土壌分析値よりA, B, C各群の判別を行い,グラフ上に施肥カリウム，施肥リン酸効果の推定値を ✡ マークでプロットする自動計算プロトタイプシートを作成した．（図63）

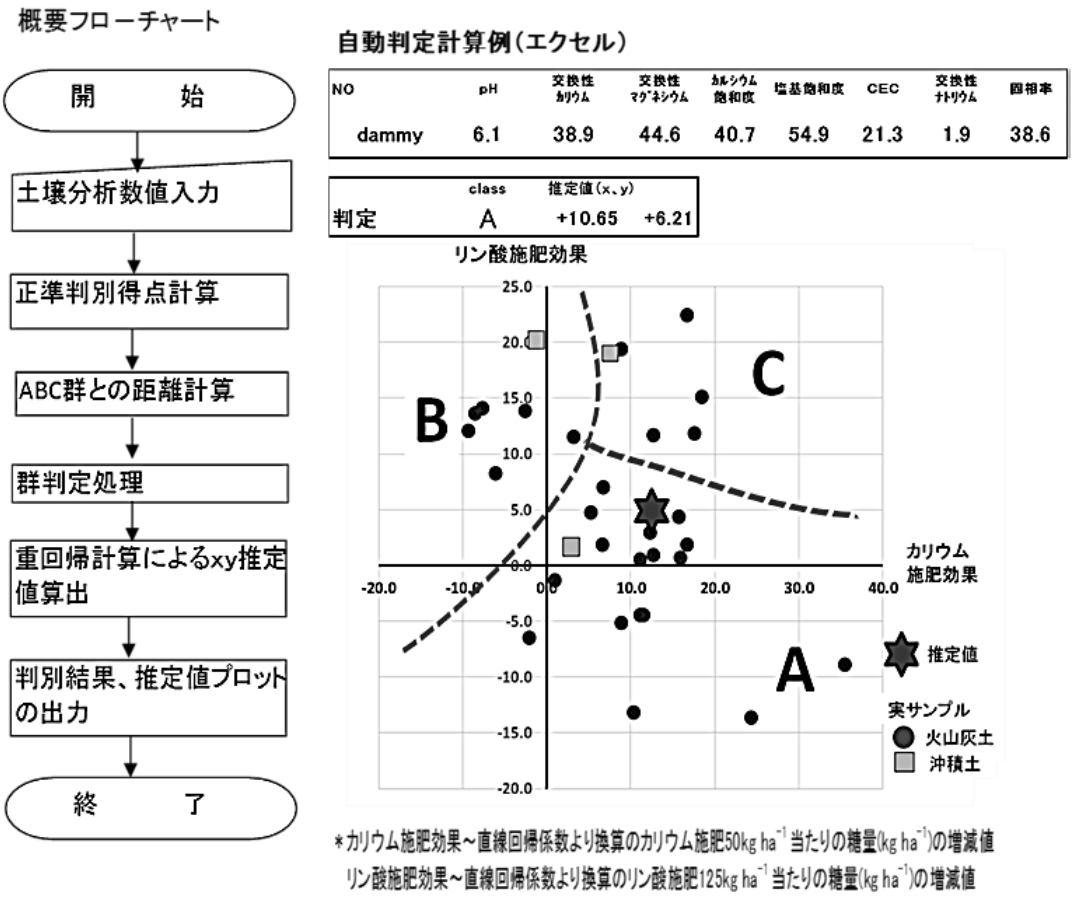


図 63 概要フローチャート(左)とエクセルシート画面

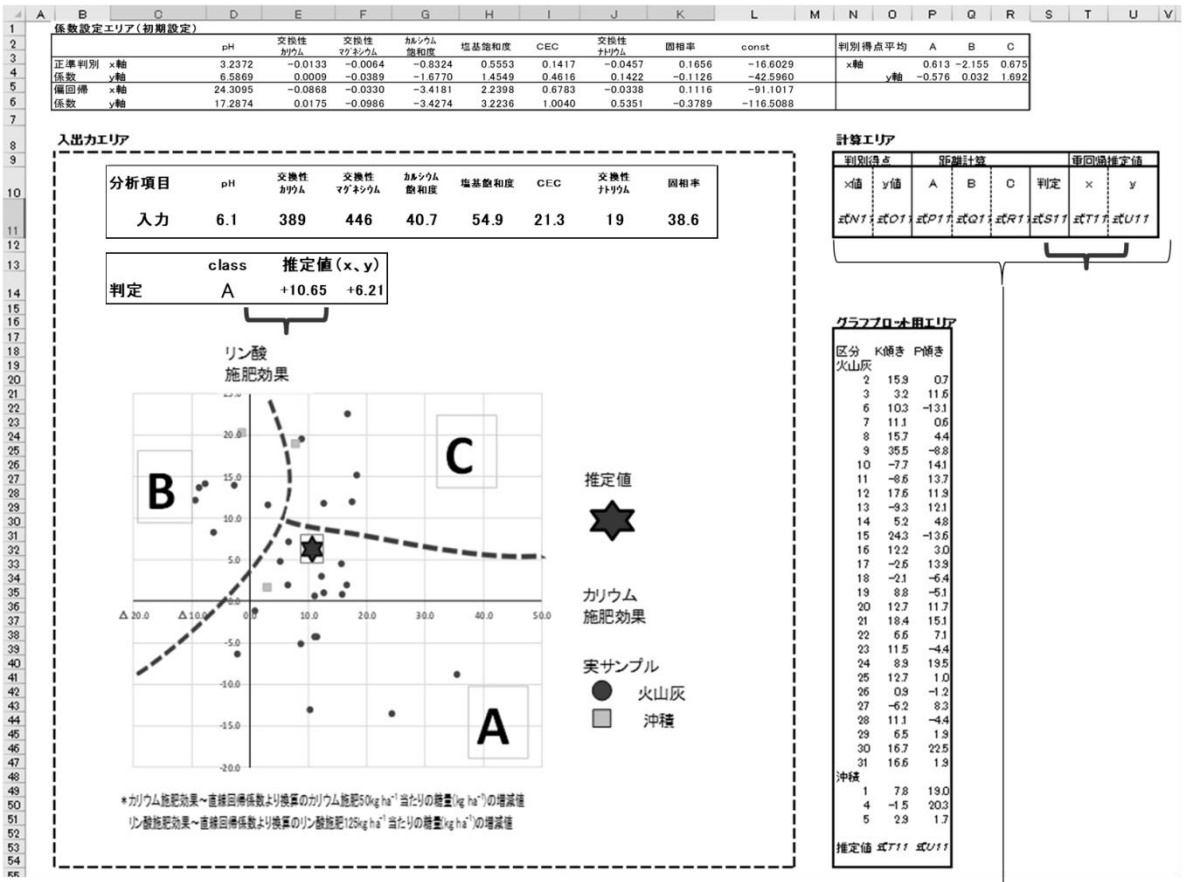
プロトタイプシートの構成全体図は図64のとおりで，大きく係数設定エリア(B2:R6)，計算エリア(N9:U11)，グラフプロット用エリア(N17:P54)，入出力エリア(B9:L54)の４つに分かれている．係数設定エリアでは,3-4行目に表13の正準判別式のとおり各土壌分析項目のx軸（１軸）およびｙ軸（２軸）の正準判別係数および定数項と判別の距離計算に用いるＡ，Ｂ，Ｃ各群の判別得点平均が設定されている．さらに5-6行目には表14のとおり推定値算出のため重回

帰計算より算出された偏回帰係数および定数項が設定されている．計算エリアでは入力エリア（D11:K11）に入力された各土壌分析数値と係数設定エリアの正準判別係数や偏回帰係数から 図64下部分に記載の計算式が設定されており，N11,O11にxおよびｙ軸の判別得点，またT11,U11に重回帰計算による推定値が算出される．またP11,Q11,R11でA,B,C各群の距離が計算され,S11で最小の群が選択表示される．散布図出力はグラフプロットエリアのデータに基づき，サンプルおよびT11, U11の推定値が表示される．

表14 カリウム及びリン酸施肥の糖量変動効果推定のための重回帰計算結果

目的変数	(x),(y)	カリウム施肥の糖量変動効果(x)*1		リン酸施肥の糖量変動効果(y)*2	
項目(説明変数)	(Zn)	偏回帰係数	標準偏回帰係数	偏回帰係数	標準偏回帰係数
PH	(z1)	**24.309**	0.660	**17.287**	0.481
交換性カリウム	(z2)	**−0.087**	−0.074	**0.018**	0.015
交換性ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ	(z3)	**−0.033**	−0.034	**−0.099**	−0.105
カルシウム飽和度	(z4)	**−3.418**	−2.933	**−3.427**	−3.012
塩基飽和度	(z5)	**2.240**	2.504	**3.224**	3.692
CEC	(z6)	**0.678**	0.503	**1.004**	0.762
交換性ナトリウム	(z7)	**−0.034**	−0.003	**0.535**	0.053
固相率	(z8)	**0.112**	0.056	**−0.379**	−0.196
定数項		**−91.102**		**−116.509**	
重相関係数		0.764		0.571738	

*1 (x) :直線回帰係数より換算のカリウム施肥50kg ha^{-1} 当たりの糖量(kg ha^{-1})の増減値
*2 (y) :直線回帰係数より換算のリン酸施肥125kg ha^{-1} 当たりの糖量(kg ha^{-1})の増減値



計算式一覧

式	*N11*	=+D11*D$3+E11*E$3+F11*F$3+G11*G$3+H11*H$3+I11*I$3+J11*J$3+K11*K$3+L$3
式	*O11*	=+D11*D$4+E11*E$4+F11*F$4+G11*G$4+H11*H$4+I11*I$4+J11*J$4+K11*K$4+L$4
式	*P11*	=+(P$4-N11)^2+(P$5-O11)^2
式	*Q11*	=+(Q$4-N11)^2+(Q$5-O11)^2
式	*R11*	=+(R$4-N11)^2+(R$5-O11)^2
式	*S11*	=IF(MIN(P11:R11)=P11,"A",IF(MIN(P11:R11)=Q11,"B","C"))
式	*T11*	=+D11*D$5+E11*E$5+F11*F$5+G11*G$5+H11*H$5+I11*I$5+J11*J$5+K11*K$5+L$5
式	*U11*	=+D11*D$6+E11*E$6+F11*F$6+G11*G$6+H11*H$6+I11*I$6+J11*J$6+K11*K$6+L$6

式	*D14*	=+S11
式	*E14*	=+T11
式	*F14*	=+U11

図 64　プロトタイプシートの全体構成図

本プロトタイプ開発研究は統計的に数値の規則性を探り出しさらにデータを取捨選択して問題解決につなげるという応用解析研究の一例である．テンサイにおけるカリウムとリン酸の施肥効果という面に着目し，複数土壌分析項目の相互作用としてカリウム施肥効果やリン酸施肥効果がどのように発揮されるかを種々の統計解析を用いて予測し分類する手法の開発を試みた．

本プロトタイプはテンサイのカリウム施肥，リン酸施肥の増収効果と土壌分析値との相関分析に基づき土壌分析値からカリウム，リン酸肥効特性を予測する初期モデルとして作成したものである．判別アルゴリズムは正準判別係数の特徴から塩基類の含量や飽和度が高い場合にはカリウム施肥効果が劣る評価がなされ，土壌肥料の一般原理とも合致するものと考えられた．本モデルは単年度の「モノホマレ」[75)76)]を用いたテンサイの圃場試験から導き出された圃場判別モデルで，各種土壌分析項目の複合作用を数理統計的に推定判別したものである．カリウムやリン酸肥効に及ぼす作用メカニズムは明らかではないが，塩基類の拮抗作用など基本的理化学原則に由来するものと考えられ，他作物も含め圃場のカリウム，リン酸肥効特性を推測する上で一助になるものと考えられた．

第５章　総合論議

① 本研究のカリウム，リン酸施肥効果と土壌分析値との相関性に関する土壌栄養的メカニズム

本研究でカリウム施肥とリン酸施肥の増収効果と土壌分析値の相関で相反する挙動が確認されたが(第3章表8)，それら事象生じた理由について推論した．

1) カリウム施肥効果における土壌塩基の作用

カリウム施肥の増加効果と土壌の交換性カリウムとの間に1%水準で有意な負相関関係が確認された．この理由としては土壌から供給されるカリウムの豊富なことが直接土壌からのカリウム吸収を増加させ，施肥カリウムの利用率の低下をもたらしたためと考えられた．また交換性マグネシウムおよび交換性ナトリウムとの負相関関係は田中ら[108)109)110)]や井村ら[47)48)]の報告，横井ら[31)]の報告にあるように，カリウムとナトリウムおよびマグネシウムの拮抗作用により直接施肥カリウム吸収が抑制され，収量に影響を与えたものと判断された．カルシウム飽和度，塩基飽和度との間の有意な負相関関係ではカルシウム飽和度や塩基飽和度と交換性カリウムとの間の正相関関係（図66 ）から間接的に有意な相関性が生じたものと推測された．

2) カリウムおよびリン酸施肥効果におけるpHの影響について

カリウム施肥の根重増加程度とpHとの間に有意な負相関関係が見られ，低pHほど施肥カリの収量効果が高まる傾向が確認されたが，この理由としては低pHによる根部の吸収障害に起因することが推測された．すなわちテンサイに及ぼす低pHの影響については，但野ら(1985)がオオムギでX線分析装置（EDS）を用いた根組織の調査によりAlによる根先端近傍の組織細胞の崩壊が生じることを報告した[99)]．またテンサイの低pH障害について中里ら[93)]や笛木[36)]，早坂ら[94)96)]の報告等も含め判断すると，低pHで活性化するアルミ

ニウムイオン等の作用でテンサイ根部が障害を受け，この吸収障害の発生により根部に近い施肥からのカリウムの吸収利用率が高まったものと推察された．一方リン酸施肥の根重増加程度とpHとの間には有意な正相関関係が見られ，低pHほどリン酸施肥効果が劣った．この理由としては低pH条件では根張りの悪化によりカリウム吸収障害に比してリン酸吸収により甚大な影響が生じたものと推測された．田中らはテンサイは低pH耐性が弱く，pH上昇に伴い低P障害に移行し，その移行点はオオムギ等と比較し高いとした[111)112)]．また石井らの報告[113)]では火山灰土において低ｐH条件でリン酸減肥により大きく減収する場面があり低ｐH条件では根張りの悪化により甚大な影響が生じることが推測され，甚大な障害が原因となって施肥効果の低減が生じたものと推察された．

3）カリウムおよびリン酸施肥効果におけるトルオーグリン酸の影響について

低トルオーグリン酸でカリウム施肥効果の高まる傾向が見られたが，この理由としては井村らの礫耕栽培によるNPK三要素有無の組み合わせ試験[47)]などで直接リン酸がカリウム施肥効果を低減させるようなデータは見られていないことから，低pHで生じたような根部の吸収障害的な状況の発生が間接的に作用してカリウム施肥の利用率を高めたものと推測された．すなわち火山灰土ではトルオーグリン酸の低い場合に排水性など圃場環境が悪いことが多く根張りの悪化が間接的に作用した可能性が考えられた． 一方リン酸施肥効果ではカリウム施肥とは反対にトルオーグリン酸と有意な負相関関係が見られトルオーグリン酸の高いほど施肥効果が高かったが，この理由としてはリン酸固定作用が影響した[23)24)25)26)33)34)35)41)52)114)115)116)117)]ものと推測された．すなわち火山灰土ではリン酸固定力が強いため施肥リン酸の利用率が低減し，リン酸固定力が小さくリン酸含量の高い沖積土でリン酸施肥効果が高いことが相関に影響

を及ぼしたと考えられた．リン酸吸収係数と有意な負相関関係が見られたことも同様の理由と考えられた．

4）リン酸施肥の増収効果と塩基飽和度，カルシウム飽和度の関連

リン酸施肥の増収効果は塩基飽和度，カルシウム飽和度の何れとも有意な正相関関係が見られた．この理由として塩基飽和度およびカルシウム飽和度とpHの間に0.1％水準で有意な極めて高い相関関係が見られ，間接的に先に述べた低pHによるリン酸吸収阻害が影響しているものと推測された(図65)．また交換性カリウムは塩基飽和度やカルシウム飽和度と正相関関係にあり（図66）間接的に相関関係が生じた可能性が考えられた．

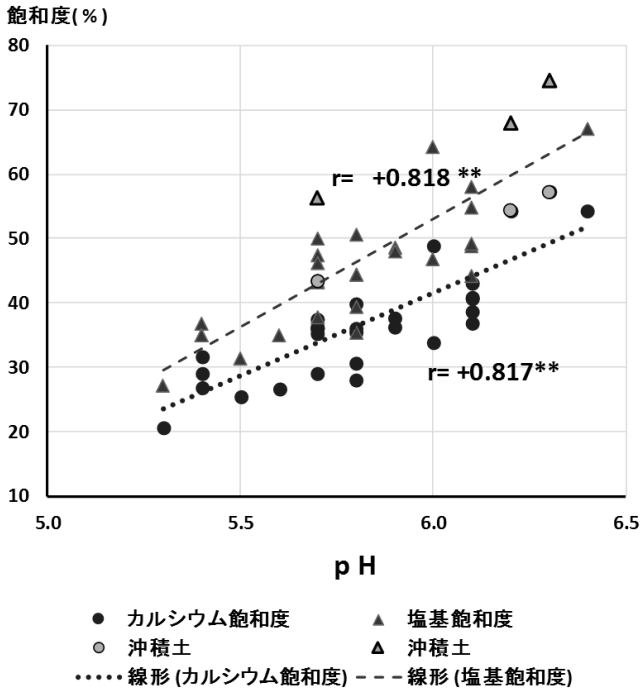


図65　土壌（作土層）pHと塩基飽和度，カルシウム飽和度の関係

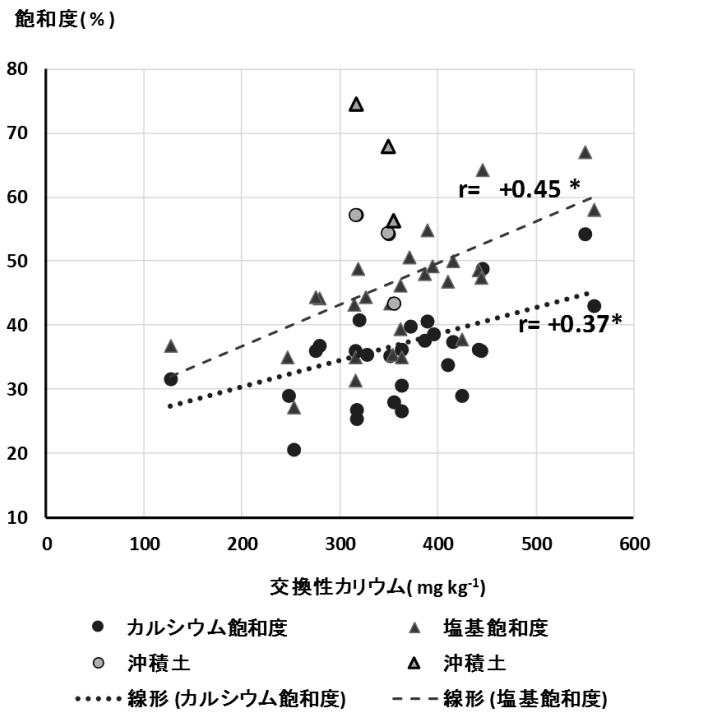


図66　土壌（作土層）交換性カリウムと塩基飽和度，カルシウム飽和度の関係

5）土壌分析値との相関性

以上総合して判断するに，カリウムとリン酸では土壌中の存在形態，移動性など成分自体の物理化学性[118)119)120)121)122)123)]やテンサイ根の障害による吸収能に大きな差異があり，特に低pHや湿害など根部障害を受けた場合にリン酸がカリウムに比較し大幅に吸収能の低下をもたらすことが推測された．そのことがカリウム施肥とリン酸施肥の増収効果と土壌分析値の相関で相反する挙動が生じた主因ではないかと考えられた．

②　テンサイ栽植密度解析における今後の課題

本研究において栽植密度試験では栽植密度反応の違いと土壌分析値の関連は見いだせず，今回の研究から圃場の栽植密度反応の違いを土壌分析値から予測することは困難であることが明らかとなった

.とは言え粗植栽培での茎葉重低下や品質低下が顕著であることは明確となった.なお過去の栽植密度研究では堅木らが直播の畦巾40-70cm間の4水準,栽植本数40000-100000本 ha^{-1}間の4水準の組み合わせ試験を実施し,栽植本数の増加が茎葉重を増加させ,この増加は特に葉柄部の発達によることを示した[63)64)].また今らは10000本から250000本ha^{-1}まで9水準の正方植栽植密度試験で,根重は40000本ha^{-1}以下で急激に低下することを示し,栽植密度と根重の回帰は対数1次回帰式や[y=x/(a+bx)]型の回帰式で適合性が良いとした[65)].

これより処理水準として40000本ha^{-1}以下の水準を設けた場合に粗植栽培の効果が一層明確化することが期待され,データ解析上はより極端な粗植処理水準を設けることが好ましいと判断された.今後はさらに最新の衛星画像解析による地上部生育観測や土壌特性解析技術の進展が期待されることから,ドローンや衛星画像等による栽植密度診断技術の確立に期待したい[124)].

③ 結語

著者らは1986年より土壌診断のための圃場試験を本格的に開始した.最初に実施した試験は窒素診断関係試験で試験規模は13場所であった.現在もテンサイの圃場試験は2～6程度の反復を設けた乱塊法試験[77)78)79)80)81)82)125)126)127)128)]が一般的である.しかしながら施肥効果と土壌分析値との関連を見出すためには,ある程度の圃場数が必須と考え,乱塊法4反復試験を3場所実施した他,9場所の無反復試験を加えた.この試験の結果10場所程度では誤差変動を勘案すると土壌分析値との関連を見極めるのはかなり困難であると判断した.そこで翌年の1987年には無反復ではあるが試験場所数を35場所に拡大し,1988年にはさらに52場所に拡大した窒素変量試験を実施した[129)].3カ年の試験結果からテンサイ施肥試験におい

て土壌分析値との関連性解析には30場所以上の確保が必要との判断に至った.

本研究は31圃場に併設実施した3試験を統合解析したもので,第2章では全場所の総平均を用いテンサイのカリウムおよびリン酸施肥,栽植密度の効果のモデル化を行った. 特にカリウム含量など非糖分の影響は1984年に道立農試で全自動分析計の導入[130)131)]があるまでは国内での圃場試験データが少なく,同一圃場におけるカリウム施肥,リン酸施肥および栽植密度の影響を直接比較し,その慣行圃場栽培における収量や品質への平均的な影響を明確化することで,栽培指導の資となるよう取りまとめた.テンサイの非糖分含めたカリウムおよびリン酸施肥,栽植密度の収量や品質効果の平均的推移示す基本データとして今後も栽培指導に活用されてゆくものと思われる.

第3章では,慣行圃場栽培における収量や品質への平均的な影響を明確化してゆく中で圃場により影響程度の異なることが一層明確となった.31場所の同一設計圃場試験というのは農業実験としては大規模に属するもので,この解析は今日のビッグデータ解析[132)]に類するものとも見て取れる.圃場による影響の違いと土壌分析値の関連性が予想されたことから,データを精査編集解析[133)]し,圃場の変動の違いを直線回帰係数を用いて数量化する手法を発案し,収量および品質の変動程度と土壌理化学性との関連解明のため各種土壌分析値と網羅的に相関分析を試みた.当初よりカリウムおよびリン酸の施肥効果では,土壌のカリウム含量や有効態リン酸などの土壌析値と収量や品質との相関性が見られることは予想されたものの,他の土壌分析項目との関連性は全く未知であった.また栽植密度においてはほとんど関連性が見られないのではないかと予想されが,非糖分について粗植栽培での増加程度と土壌の塩基類との関連がいくつか見られるなど新たな知見も観察された.

第４章では第３章の網羅的な相関分析から，カリウム施肥，リン酸施肥の収量や糖量効果と土壌分析値との相関分析から相関係数の正負が逆転する現象が見出されたことに注目し解析を進め，クラスター分析や正準判別分析など多変量解析技術を用い，応用例として土壌分析値からカリウム，リン酸の肥効特性を予測する判別モデルのプロトタイプを作成した．本プロトタイプは応用研究の一例として作成したもので土壌分析項目の相互作用としてカリウムおよびリン酸施肥効果を予測するシステムである．他作物も含め圃場のカリウム，リン酸肥効特性を推測する上で一助になればと思う．

栽植密度試験では栽植密度反応の違いと土壌分析値の関連は見いだせず，今回の研究から圃場の栽植密度反応の違いを土壌分析値から予測することは困難であることが明らかとなった．今後はさらに最新の衛星画像解析による地上部生育観測や土壌特性解析技術の進展が期待され栽植密度診断によるコスト低減の実現可能性も高いと考えられた．

テンサイ圃場試験は多大な手間と費用を要することから近年大幅に規模および場所数が減少傾向を示している．圃場試験は気象災害[134)135)136)137)138)139)140)]や病虫害発生[141)142)143)144)145)146)147)]，輪作体系や有機物の施用分布など種々の誤差要因が頻発することから，データの収集には多くの困難が付きまとうが，現地での具体的な効果や影響度を把握するためには必要不可欠なものである．

近年革新的な新技術[124)]が登場し，衛星情報やセンシング機器[148)]も急速な進歩を遂げているが，これら先端工学を農業生産性向上に結びつけるためには現地圃場試験データの質と量の確保とデータ解読およびシステム化のためのデータサイエンスの発展が不可欠である．本論が一例となり今後の農業圃場試験やデータサイエンス研究推進の資となることを期待したい．

要　約

1990 年に北海道十勝地方の31圃場においてカリウム，リン酸施肥，栽植密度試験を実施した．これら３試験は同一圃場内に併設設置され，何れも1区面積15㎡で無反復ランダム配置のプロット試験で，カリウム施肥試験は0から249 kg-K ha^{-1}(300kg-K_2O ha^{-1}) 間の7水準，リン酸施肥試験は0 から273kg-P ha^{-1}(625kg-P_2O_5 ha^{-1})間の6 水準，栽植密度試験は50000本から90000本ha^{-1} 間の7 水準である．これら施肥や栽植密度の変動がテンサイの収量や品質に及ぼす増減効果を数値化するために，圃場別にカリウム施肥量，リン酸施肥量，栽植密度をそれぞれパラメーター(x)，各テンサイ形質を目的変数(y)として直線回帰係数を算出した．さらにこれら回帰係数と土壌分析値の相関を求め，圃場による変動の違いと土壌分析値の関連を検討した．根重および糖量ではカリウムおよびリン施肥の回帰係数といくつかの土壌分析項目で有意な相関が認められ，これら有意な相関全てで正負が逆転していた．またカリウムおよびリン酸施肥回帰係数相互間に有意な負相関関係が見いだされた．そこで「A群：カリウム施肥効果が高くリン酸施肥効果の低い圃場」「B群：カリウム施肥効果は低いが，リン酸施肥効果の高い圃場」「C群：カリウム施肥，リン酸施肥共に効果の高い圃場」の３群の存在が考えられた．カリウムおよびリン酸施肥の糖量回帰係数を特性値として階層型クラスター分析を実施した．さらに圃場が何れの施肥反応群に属するかを土壌分析値を用いて予測する手法の検討を行ない，正準判別で土壌分析値よりA, B, C各群の判別を行い，グラフ上に糖量のカリウムおよびリン酸施肥効果推定値をプロットするEXCELプロトタイプシートを作成した．本モデルはテンサイの圃場試験から導き出された圃場判別モデルであるが，圃場のカリウム，リン酸肥効特性を推測する上で一助になるのではないかと思われる．

Summary

Effect of potassium fertilization, phosphate fertilization, and planting density on the yield and quality of sugar beet, and its relationship to soil chemical and physical properties

Potassium and phosphoric acid fertilization and planting density analyses were conducted across 31 fields in Tokachi District, Hokkaido in 1990. Three test plots were arranged side-by-side in the same field, each with an area of 15 m^2 and designed fully randomized method, with no repetition. Seven levels of potassium fertilization [range, 0–249 kg–K ha^{-1} (0–300kg–K_2O ha^{-1})], six levels of phosphoric acid fertilization [0–273kg–P ha^{-1}(0–625kg–P_2O_5 ha^{-1})], and planting density [50000–90000 plants ha^{-1}] were examined. To quantify the effect of fertilization and planting density on the yield and quality of sugar beet, these factors were varied, and linear regression coefficients were calculated for each studied field. Next, the correlation between these regression coefficients and soil analysis values was examined. Some significant correlation was found between these variables, and these signs of significant correlations were opposite between potassium and phosphoric acid fertilizations. A negative significant correlation was found between regression coefficients of potassium and phosphoric acid fertilization effects on the root weight and sugar yield.

The effect of potassium and phosphoric acid fertilization can be classified into the following three groups: group A, strong effect of potassium; group B, strong effect of phosphoric acid; and group C, strong effect of both potassium and phosphoric acid. Hierarchical

cluster analysis was performed for the regression coefficients of potassium and phosphoric acid fertilization effects on the sugar yield. Therefore, we investigated a method to classify cultivation fields into the abovementioned groups using canonical discriminant analysis for soil parameters and developed a prototype for automatic calculation using Microsoft Excel.

This model is a field discrimination model derived from the field test of sugar beet, but it seems to be helpful in estimating the potassium and phosphate acidic characteristics of the field.

謝辞

本論文を草するにあたり，北海道大学大学院農学研究院　名誉教授　大崎満博士には，これまでの研究をまとめる機会を与えて頂き，ご指導とご助言を賜った．また本論文のとりまとめにあたり，北海道大学大学院農学研究院　教授　波多野隆介博士，同　教授　久保友彦博士，同　助教　丸山隼人博士および同　准教授　渡部敏裕博士より有益なご指導，ご助言，ご校閲を賜った．ここに深甚なる謝意を表する．

本研究は，ホクレン農業協同組合連合会 清水製糖工場にて実施したてん菜圃場試験を統合解析し取りまとめたものである．

現地圃場試験の実施にあたっては多くの方々のご協力をいただいた．現地生産者の方々には農作業繁忙期の中，試験実施に伴う多くの作業協力を頂いた．また農協や農業改良普及センターの関係者の方々，農業試験場他関係機関の皆様には試験取り進めにあたり多くのご協力を頂いた．論文の取りまとめに当たりホクレン農業協同組合連合会の職員および関係者の皆様，北海道地域農業研究所の飯澤所長他役職員・元役職員の皆様には激励と多大なサポートを頂いた．

以上，本研究の実施，論文の取りまとめに際し，お世話なった方々に厚く御礼申し上げる．

引用文献

第１章　緒論

1)Aoac International. Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL. 15th Edition (1990)

2)Aoac International. Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL. 20th Edition (2016)

3)独立行政法人 農林水産消費安全技術センター 2018. 肥料分析法（農林水産省農業環境技術研究所法）, http://www.famic.go.jp/ffis/fert/sub6_data/bunsekihou4.html.

4)Dyer, B. 1894. The analytical determination of probably mineral plant food in soils. Jour. Chem. Soc. 65 115-167.

5)Fraps, G.S. 1909. Active phosphoric acid and its relation to the needs of the soil for phosphoric acid in pot experimanets. Tex. Agr. Exp. Sta. Bul.126.

6)Fraps, G.S. 1913. Principles of Agricultural Chemistry. Easton, Penna. The Chemical Publishing Co.

7)TRUOG,E. 1930. The determination of the readly available phosphorus of soils. J.Amer.Soc.Agron., 22, 874-882.

8)Bray, R.H. 1929. A　field test for available phosphrorus on soils.　Ill. Agr. Sta. Bul. 337.

9)Bray, R.H. 1932. A test for replaceable and water-soluble potassium in soils.　Jour. Amer. Soc. Of Agron.

10)Bray, R.H. 1936. The use of sodium perchlorate as a reagent for extracting the replaceable and water-soluble constituents in soils Ill. Are. Exp. Sta. Mimeo. Crc., Dept. of Agron.

11)Bray,R.H. and L.T.Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphate in soils. Soil Sci., 59, 39-45.

12)SPURWAY, C. H. and K. LAWTON 1949. Soil Testing, a practical system of soil fertility diagnosis, Michigan Agr. Exp. Station, Tech. Bull.,142(4th review).
13)Morgan, M.F. 1935. The universal soil testing sysytem. Conn. Agr. Exp. Sta. Bul.372
14)Morgan, M.F. 1937. The universal soil testing sysytem(rev.). Conn. Agr. Exp. Sta. Bul.392
15)Morgan, M.F. 1939. Soil Testing Methods: The universal soil testing sysytem(rev.). Conn. Agr. Exp. Sta. Circ.127
16)Morgan, M.F. 1941. Chemical soil diagnosis by the universal soil testing sysytem. Commun.Agric.Exp.Stn.Bul.450.
17)The Soil Test Work Group of the National Soil Reserch Committee 1956. Soil Test, North Carolina Agr. Exp. Station, Tech. Bull., 121.
18)FRIED, M. and L.A.A.DEAN 1952. A concept concerning the measurement of available soil nutrients. Soil Sci., 261-271.
19)農林省振興局 1959. 地力保全基本調査における土壌分析法（地力保全対策資料, 第1号）.
20)農林水産省農業県境技術研究所 農耕地土壌分類委員会 1995. 農耕地土壌分類 第３次改訂版.
21)北海道中央農業試験場 1978. 地力保全基本調査総合成績書<1> 北海道.
22)織田健次郎・三輪睿太郎・岩元明久. 1987. 地力保全基本調査台表断面データのコンパクトデーターベース. 土肥誌, 58, 112-131.
23)三宅正紀・庄子貞雄・竹内 豊 1964. 各種の可給態土壌燐酸定量法の比較 第１報 植物の栽培と燐酸吸収経過. 北海道農業試験場彙報, 84, 25-31.

24)庄子貞雄・三宅正紀・竹内豊 1964. 各種の可給態土壌燐酸定量法の比較 第2報各種可給態燐酸定量法による結果とA-valueとの相関について. 北海道農業試験場彙報, 84, 32-39.
25)南松雄・沢口正利・山崎淑子 1969. 畑土壌肥沃土の診断に関する研究 第1報 土壌りん酸の有効度について. 北海道農業試験場報, 19, 80-86.
26)南松雄・沢口正利 1969. 畑土壌肥沃土の診断に関する研究 第2報 畑土壌の有効態燐酸水準と作物の収量について. 北海道農業試験場報, 19, 87-98.
27)北海道中央農業試験場, 北海道農政部農業改良課 1981. 土壌および作物栄養の診断基準－分析法－.
28)北海道中央農業試験場, 北海道農政部農業改良課 1992. 土壌および作物栄養の診断基準－分析法－, 改訂版.
29)北海道農政部 1989. 北海道施肥標準.
30)北海道農政部 2002. 北海道施肥ガイド：施肥標準・診断基準・施肥対応
31)横井義雄・大崎亥佐雄・佐古敬一・山口論・水元博宣1983. 十勝地方におけるテンサイのリン酸, カリ施肥診断について. てん菜研究会報, 25, 195-201.
32)北海道農業試験場他 1989. 土壌診断に基づく施肥対応.
33)井村悦夫・早坂昌志 1985. 士別製糖所集荷区域における移植テンサイのりん酸, カリ施肥反応. てん菜研究会報, 27, 93-98.
34)井村悦夫・早坂昌志 1987. 移植, 直播栽培とりん酸施肥反応. てん菜研究会報, 29, 118-126.
35)東田修司・佐藤英夫・石川岳史・白井滋久 2011. リン酸、カリの連続減肥が土壌化学性と作物収量に及ぼす影響. 北農, 78(3), 258-265.
36)笛木伸彦 2008. テンサイの安定生産に向けた肥培管理法に関す

る研究. 北海道農業試験場報告, 120, 13-32.
37)宮沢数雄 1980. 十勝における各種火山灰土壌のりん酸蓄水準と畑作物の生育. 北海道農業試験場報告, 126, 1-30.
38)中里秀昭・鈴木啓徳・林田政誉・堂本弘之・延与慶喜 1993. テンサイにおけるりん酸の施肥反応について 第1報 トルオーグりん酸含量とりん酸施用量との関係について. てん菜研究会報, 35, 52-59.
39)中里秀昭・鈴木啓徳・堂本弘之・延与慶喜 1994. テンサイにおけるりん酸の施肥反応について 第2報 土質・施肥窒素量とりん酸施用量との関係について. てん菜研究会報, 36, 66-73.
40)佐藤亥十昭・相原武・鷹田秀一・佐古敬一 1987. テンサイにおける堆肥施用と窒素加里減肥について. てん菜研究会報, 29, 141-145.
41)吉田穂積・伊藤博武・小松輝行 2005. 網走地域の淡色黒ボク土地帯におけるりん酸・カリウム減肥がテンサイの生育と収量に及ぼす影響. 日作紀, 74(4), 450-455.
42)鷹田秀一 1988. 土壌診断システム化に関する研究 第1報 圃場管理データーベース構築と解析フローチャート概要. てん菜研究会報, 30, 135-143.
43)北海道農政部 2010. 北海道施肥ガイド(施肥標準・診断基準・施肥対応).
44)北海道農業改良普及協会 2015. 北海道施肥ガイド2015（施肥標準・診断基準・施肥対応）.
45)増田昭芳・井村悦夫・早坂昌志 1979. てん菜の栄養に関する研究 (5) 礫耕標準栽培法におけるてん菜の生育経過と要素吸収量の推移. てん菜研究会報, 21, 171-179.
46)増田昭芳・加川勝久・井村悦夫・川本富士男 1979. てん菜の栄養に関する研究 (1) 窒素の給与期間と収量品質との関係, てん

菜研究会報, 16, 65-74.
47)井村悦夫・増田 昭芳 1976. てん菜の栄養に関する研究 第3報 三要素の組合せが収量・品質に及ぼす影響. てん菜研究会報, 18, 241-250.
48)井村悦夫・増田昭芳・加川勝久・押味清隆 1977. テンサイの栄養に関する研究 第4報 窒素, 加里の給与期間の組合せが根重, 品質に及ぼす影響. てん菜研究会報, 19, 283-296.
49)早坂昌志・井村悦夫 1990. テンサイの栄養に関する研究 第10報 培養液りん酸濃度と収量・品質の関係. てん菜研究会報, 32, 47-52.
50)早坂昌志・井村悦夫 1989. テンサイの栄養に関する研究 第9報 加里の給与期間と収量・品質の関係. てん菜研究会報, 31, 74-79.
51)高橋朋宣 1992. テンサイ菜根中のカリウム含有量と全カリウム吸収量との関係. てん菜研究会報, 34, 7-9.
52)東田修司・小山初枝 2013. 主要畑作物のリン酸吸収特性の比較. 北農, 80(3), 22-30.
53)南山豊・野村信史・大槌 勝彦 1977. 北見地方におけるてん菜の生育時期別・部位別の無機養分の吸収特性について. てん菜研究会報, 19, 297-304.
54)村椿孝行・佐山晃司 1988. テンサイ生育過程の成分変化 2.非糖成分の消長. てん菜研究会報, 30, 35-42.
55)塚田正幸・鷹田秀一・伝宝浩之 1987. テンサイ菜根中の糖分, 非糖分分布について. てん菜研究会報, 29, 63-70.
56)伝宝浩之・鷹田秀一 1988. テンサイ菜根中の糖分, 非糖分分布について(2). てん菜研究会報, 30, 73-78.
57)林田 政誉・鷹田秀一・伝宝浩之 1989. テンサイ菜根中の糖分, 非糖分分布について(3). てん菜研究会報, 31, 30-34.

58)細川定治 1980. てん菜. 養賢堂.
59)蔵之内利和・関村潔・田中征勝 1991. テンサイ個体レベルでの有害性非糖分含量と根茎重・ブリックス度との関係. てん菜研究会報, 33, 135-143.
60)藏之内利和・田中征勝 1997. テンサイ自殖系統における有害性非糖分含量の選抜効果 てん菜研究会報, 39, 34-41.
61)富山信夫 1977. てん菜非糖分に対する品種・栽培・気象条件の影響程度に関する考察－北糖地区の実態に基づいた－(第3報). てん菜研究会報, 19, 231-238.
62)井村悦夫・早坂昌志 1984. 移植テンサイの株間変動が根重,品質に及ぼす影響. てん菜研究会報, 26, 65-71.
63)堅木育雄・泉山陽一 1975. てん菜の栽植法に関する研究第1報 収量・糖分に及ぼす畦幅及び栽植本数の影響. てん菜研究会報, 17, 201-209.
64)堅木育雄・泉山陽一 1976. てん菜の栽植法に関する研究 第2報 収量・糖分におよぼす畦幅及び株間の影響. てん菜研究会報, 18, 203-212.
65)今 友親・上野 賢司 1976. 道央地帯におけるてん菜の栽培法に関する研究 I 栽植密度と栽植様式に関する一考察. てん菜研究会報, 18, 221-229.
66)三谷宣允・松川久 1975. 畦幅と株間がてん菜の収量に及ぼす影響. てん菜研究会報, 17, 193-199.
67)野村信史 1986. テンサイの栽培法が収量,品質に及ぼす影響. てん菜研究会報, 28, 81-85.
68)白井和栄・三谷宣允 1976. 畦幅と株間がてん菜の収量に及ぼす影響 第2報 畦巾・株間と個体根重の分布. てん菜研究会報, 18, 213-219.
69)鷹田秀一・鈴木啓徳・林田政誉 1993. テンサイの収量及び品質

に及ぼす畦幅, 栽植密度効果. てん菜研究会報, 35, 1-5.
70)鷹田秀一・渡部敏裕・大崎満 2016. てん菜移植栽培における省力・低コスト化推進のための栽植密度低減栽培と問題点. てん菜研究会報, 57, 36-37.
71)鷹田秀一・鈴木啓徳・林田政誉・保村正光 1991. 土壌診断システム化に関する研究 第5報 テンサイの栽培環境と有害性非糖分. てん菜研究会報, 33, 53-62.
72)鷹田秀一・伝宝浩之・林田政誉 1988. テンサイの品種特性と栽培環境について 第4報. てん菜研究会報, 30, 23-28.
73)柴山辰美・鷹田秀一・林田政誉 1989. テンサイの品種特性と栽培環境について 第5報. てん菜研究会報, 31, 13-19.
74)菊池晃二・関谷長昭・横井義雄 1976. 十勝地方における土壌の分類とその特性に関する調査研究 第２報 土壌分類について. 道農試集報, 35, 29-41.
75)木村 正洋・川勝 正夫・林 孝道 1988. 新品種「モノホマレ」の育成並に選抜経過 てん菜研究会報, 30, 1-7.
76)関村 潔・林 孝道・川勝 正夫 1988. テンサイ新品種「モノパール」「モノホマレ」の諸特性 てん菜研究会報, 30, 8-17.
77)スネデガー・コクラン 1972. 統計的方法. 岩波書店, p285-360.
78)Thomas M.Little・F.Jackson Hills 1978. Agricultural Experimentation Design and Analysis. John Wiley & Sons, Inc. 47-52.
79)石川栄助 1980. 実務家のための新統計学, p248-265. 槇書店.
80)W.G.Cochran, G.M.Cox , 田口玄一・松本洋 訳 1970. 実験計画法Ⅰ, p59-90. 丸善株式会社.
81)奥野忠一・芳賀敏郎 1980. 実験計画法, 65-81. 培風館.
82)楠 正・辻谷将明・松本哲夫・和田武夫 1995. 実験計画法, p23-42. 日科技連出版社.

83)北農会 1976. 北海道主要農作物耕種法シリーズNo1 てん菜.財団法人北農会, p37-44.
84)REINEFELD,E.,EMMERICH, A. BAUMGARTEN, G. WINNER, C. and BEIB, U. 1974. Zur Vorausaage de Melassezuckers aus Ruben-analysen Zucker, 27, 1-12.
85)三中信宏 2017. 再現可能性ははたして必要なのか？ p 値問題から垣間見る科学研究の多様性. 計量生物学, 38, 117-125.
86)三輪哲久 2017. ASA声明2016に対する大雑把なコメント. 計量生物学, 38, 163-170.
87)柳川堯 2017. p 値は臨床研究データ解析結果に有用な優れたモノサシである. 計量生物学, 38, 153-161.
88)佐藤俊哉 2017. ASA声明と易学研究におけるP値. 計量生物学, 38, 109-115.
89)金田行雄・笹井理生・古橋武 2012. 統計・多変量解析とソフトコンピューティング, p253-347. 共立出版.
90)牧田道夫・須藤千春 1967. てん菜品質評価方法について 1.不純糖度指数とその純糖度に対する育種学的意義について, 2.可製糖率算出方法についての考察. てん菜研究会報, 補9, 66-75.
91)塚田正幸・鷹田秀一 1988. テンサイの品質評価について. てん菜研究会報, 30, 68-72.
92)田中明・但野利明・秋山由紀 1977. 塩基適応性の作物種間差（第6報）カリウム適応性－比較植物栄養に関する研究－. 土肥誌, 48, 175-180.
93)中里秀昭・鐘下伊雄・鷹田 秀一 2001. 土壌pHとy1がテンサイ収量に及ぼす影響について. てん菜研究会報, 43, 86-92.
94)早坂昌志・井村悦夫・長島昭吉・河田孝志・森信道 1994. テンサイ畑の土壌pHと収量・糖分. てん菜研究会報, 36, 59-65.
95)早坂昌志・井村悦夫 1995. テンサイの栄養に関する研究 第

12報 培養液pHが収量、糖分及び体内無機要素に及ぼす影響. てん菜研究会報, 37, 38-42.
96)早坂昌志・井村悦夫 1995. 土壌pHとテンサイ菜根の無機要素. てん菜研究会報, 37, 43-50.
97)但野利明・田中明 1980. 低リン酸培養液濃度が初期生育に及ぼす影響の作物種間差. 土肥誌, 51, 399-404.
98)田中明・但野利明 吉田志郎 1981. Al-P系水耕液における作物生育に対するｐHの影響. 土肥誌, 52, 475-480.
99)但野利明・田中明 1985. アルミニウムによる作物根の伸長阻害と根先端近傍におけるアルミニウムの集積. 土肥誌, 56, 77-84.
100)三枝正彦 1991. 低ｐH土壌における作物の生育 植物有害Alと下層土のエダフォロジー. 土肥誌, 62, 451-459.
101)下野勝昭 1990. 多湿黒ボク土の土壌ｐHが畑作物の生育、収量に及ぼす影響. 土肥誌, 61, 8-15.
102)堂本弘之・中堅秀昭・前本政道・鈴木啓穂・延与慶喜 1994. 直播テンサイ生育障害について第l報発生状況と原底究明. てん菜研究会報, 36, 74-79.
103)田中明・但野利明・櫃田木世子 1976. 塩基適応性の作物種間差（第5報）マグネシウム適応性－比較植物栄養に関する研究－. 土肥誌, 47, 361-366.
104)新田一彦・五十嵐孝典・ 沢田泰男・ 庄子貞雄・ 吉岡真一・池 盛重 1964. 北海道の各種土壌における燕麦のMgK用量試験 日本土壌肥料学会講演要旨集10, 13.
105)石井俊全 2014. 意味がわかる多変量解析, p56-158. ベル出版.
106)管民朗 2007. 多変量解析の実践（下）, p180-194. 現代数学社, 京都市.
107)内田治・福島隆司 2011. 例解 多変量解析ガイド. 東京図書株式会社.

108)田中明・但野利明・山田三樹夫 1973. 塩基適応性の作物種間差（第1報）カルシウム適応性－比較植物栄養に関する研究－. 土肥誌, 44, 334-339.
109)田中明・但野利明・多田洋司 1974. 塩基適応性の作物種間差（第3報）ナトリウム適応性－比較植物栄養に関する研究－. 土肥誌, 45, 285-292.
110)田中明・但野利明・多田洋司 1975. 塩基適応性の作物種間差（第4報）Li, Na, K , Rb含有率の種間差－比較植物栄養に関する研究－. 土肥誌, 46, 33-37.
111)田中明・櫃田木世子 1980. 酸性土壌の作物生育阻害要因の解析的研究(予報）. 土肥誌, 51, 119-125.
112)田中明・但野利明 吉田志郎 1981. Al-P系水耕液における作物生育に対するｐHの影響. 土肥誌, 52, 475-480.
113)石井岳浩・根津隆次・田村元 2015. テンサイ移植栽培におけるりん酸施肥削減試験事例について てん菜研究会報, 56, 50-51.
114)大崎亥佐雄・横井義雄 1983. テンサイの収量・糖分含量に及ぼす窒素りん酸の影響 てん菜研究会報, 25, 188-194.
115)大橋恭一 1987. おがくず入り牛ふん厩肥連用に伴う土壌りん酸とフォスフォモノエステラーゼ活性の変動. 土肥誌, 58, 144-146.
116)早川康夫 1958. 根釧地方火山灰地において深耕を行う場合のリン酸施肥法とリン酸固定について －特に32Pを用いての検討－. 道農試集報, 2, 15-22.
117)早川康夫 1960. 根釧地方火山灰土壌中におけるリン酸の行動について 第1報 易分解性有機燐について. 道農試集報, 5, 17-23.
118)下野勝昭・大垣昭一 1974. 網走地方における主要土壌の養水

分供給力に関する研究　第1報　降水が土壌溶液の行動に及ぼす影響 道農試集報, 29, 119-130.
119)下野勝昭・大垣昭一 1975. 網走地方における主要土壌の養水分供給力に関する研究　第3報　土壌溶液中の加里が作物の加里吸収に及ぼす影響 道農試集報, 31, 1-13.
120)下野勝昭・大垣昭一 1977. 網走地方に分布する主要土壌の養水分供給力に関する研究 VI土壌の加里供給力と作物の加里吸収経過との関係. 道農試集報, 26, 20-30.
121)杉山恵・阿江教治・古賀伸久・山県真人(2002) 作物による土壌カリウムの収奪とケイ酸の可溶化：長期三要素試験圃場からの推察　土肥誌, 73, 109-116.
122)吉田稔 1957. 土壌の吸着能に関する研究（第３報）塩基吸着の吸着特性による分類とその分別定量. 土肥誌, 28, 23-26.
123)杉山恵・阿江教治 2000. 黒ボク土および黒ボク土に施用した鉱物に対する作物のカリウム吸収反応. 土肥誌, 71, 786-793.
124)西田瑞彦・境谷栄二・藤井弘志・関矢博幸・丹羽勝久・中川進平・加藤雅彦 2018. 肥培管理のためのセンシングやICT利用の研究の現状とその実用場面 土肥誌, 89(1), 67-72.
125)デイヴィッド・サルツブルグ　訳　竹内恵行　熊谷悦生 2007. 統計学を築いた異才たち. 日本経済新.
126)鷹田秀一・岩間和人 2013. 農業における圃場実験の統合解析に関する研究 第１報 ２段分割法実験の統合解析法について. 育種・作物学会北海道談話会報, 54. 105-106.
127)鷹田秀一・岩間和人 2014. 農業圃場実験における交互作用の多重比較法について. 日本作物学会講演会要旨集, p20.
128)鷹田秀一・岩間和人 2014. 農業圃場実験における多重比較法について. てん菜研究会報, 55, 32-33.
129)鷹田秀一・林田政誉・瀬戸剛・保村正光 1990. 土壌診断シス

テム化に関する研究 第4報 熱水抽出窒素を用いた土壌窒素診断と不適合土壌の判別. てん菜研究会報, 32, 31-40.
130)松崎康範・柳沢朗・三分一敬・吉田俊幸 1985. テンサイの糖分および品質分析施設の紹介. てん菜研究会報, 27, 144-147.
131)蔵之内利和 1991. テンサイ高品質個体選抜におけるオートアナライザーの利用と選抜の意義. 北農, 58, 51-55.
132)平藤雅之 2016. JST CREST「農業ビッグデータ」の概要とてん菜の網羅的データ収集法に関する考察. てん菜研究会報, 57, 40-41.
133)久保拓也 2013. データ解析のための統計モデリング入門. 岩波書店.
134)吉村康弘・有田敬俊・手塚光 1995. 1994年十勝地方の気象がテンサイの生育収量に与えた影響(1). てん菜研究会報, 37, 135-142.
135)伝宝 浩之・鷹田 秀一・保村 正光 1988. テンサイの風害に関する研究(1). てん菜研究会報, 30, 62-67.
136)鷹田秀一・尾田芳徳・林田政誉・上田信次 2000. テンサイの品種による湿害対策. てん菜研究会報, 42, 41-46.
137)妹尾吉晃・石井岳浩・根津隆次 2013. テンサイ直播栽培の災害発生実態及び優良栽培事例について. てん菜研究会報, 54, 21-22.
138)池谷聡 2013. 近年におけるてん菜低糖分の要因と対策、今後の温暖化に備えて. てん菜研究会報, 54, 37-39.
139)鮫島良次 2013. テンサイの生育・栽培と気象との関わりについて. てん菜研究会報, 54, 40-43.
140)高橋宙之・田口和憲・岡崎和之・黒田洋輔・上田重文 2014. 2014年移植時期の芽室における乾燥・降霜がテンサイ生産力におよぼした影響. てん菜研究会報, 55, 30-31.

141)石丸 純一・鷹田秀一・阿部和好 2002. テンサイ褐斑病の防除体系について. てん菜研究会報, 44, 75-81.
142)鷹田秀一・有田共秀・阿部和好・中里秀昭・石丸純一 2003. テンサイ黒根病の薬剤防除効果について. てん菜研究会報, 45, 44-45.
143)小野克・金子悠子・真柳正昭・斎藤英俊 2013. 平成２４年のテンサイ褐斑病発生状況と防除方法の一例について. てん菜研究会報, 54, 11-13.
144)佐藤宏二・平尾浩介・小貫大輔・中里秀昭・上田信次 2013. テンサイの褐斑病に対する薬剤同日防除の効果. てん菜研究会報, 54, 14-16.
145)上田重文・三宅規文・安岡真二・池谷美奈子・高橋宙之 2015. 北海道で分離されたビート西部萎黄ウィルス(BWYV) の系統解析. てん菜研究会報, 56, 39-40.
146)黒田洋輔・上田重文・岡崎和之・高篠賢二・豊島真吾・佐野正和・高橋宙之・松平洋明・田口和憲 2016. ビート西部萎黄ウィルス抵抗性育種の試み. てん菜研究会報, 57, 27-28.
147)黒田洋輔・上田重文・岡崎和之・高篠賢二・豊島真吾・佐野正和・高橋宙之・松平洋明・田口和憲 2016. 北海道におけるテンサイ西部萎黄病(BWYV) の発生の現状と今後の対応としてのBWYV抵抗性育種の試み. てん菜研究会報, 57, 12-19.
148)平藤雅之・杉浦綾・田口和憲 2014. センサネットワーク及びUAVによるてん菜フィールド・フェノタイピング. てん菜研究会報, 55, 34-37.

補　　遺

収穫調査及び回帰係数計算結果の具体的数値

カリウム施肥　（茎葉重　kg ha^{-1}）

場所	0	50	100	150	200	250	300	slope-K [1)]	K_2O-50kg[2)]
L01	89190	55180	65220	80820	49050	54630	66330	-61.32	-3066
L02	64100	57970	52950	62990	51840	51840	55180	-28.66	-1433
L03	100330	85280	86400	98660	85280	96990	74690	-39.01	-1951
L04	49050	62990	47380	53510	66330	69680	58530	43.41	2170
L05	31770	36790	34560	44040	42360	45710	39020	33.85	1693
L06	54630	53510	59360	54910	50720	61870	47380	-9.76	-488
L07	57410	53510	45710	54070	59090	56860	56860	13.16	658
L08	73300	66050	67450	64100	66890	64660	74140	-0.59	-29
L09	58530	56020	69680	65220	66890	60760	58530	4.78	239
L10	66890	55740	61320	62990	37350	64100	62430	-14.74	-737
L11	55180	66890	69120	60760	65770	61320	60200	0.41	20
L12	50170	42920	41250	44590	46820	45150	39580	-15.53	-776
L13	69120	76920	83050	86400	72460	79710	78040	15.54	777
L14	44590	59090	47940	62990	55740	54630	58530	29.07	1454
L15	69680	68000	72460	72460	69120	58530	70230	-14.74	-737
L16	65220	72460	75250	71910	65220	76920	75250	20.70	1035
L17	30100	33720	33440	39020	30660	36790	27870	-2.38	-119
L18	85840	78040	69680	65220	79710	92530	65220	-16.32	-816
L19	36790	61870	49050	28990	69680	44590	47380	12.74	637
L20	59090	46540	42360	56860	54350	47380	58810	9.16	458
L21	47380	44040	55740	47940	55180	55180	53510	28.65	1433
L22	40130	46270	55740	44590	52950	52950	58530	46.98	2349
L23	54070	34560	45150	41250	40130	58530	33440	-13.55	-678
L24	39020	66890	43480	55740	69680	38460	50170	1.99	100
L25	52950	50170	29540	47380	41810	49610	52950	7.96	398
L26	54630	46820	54710	48490	41810	51280	46820	-19.58	-979
L27	58530	57970	59090	54630	51840	52950	55740	-18.33	-916
L28	48490	57410	61870	57410	55740	58530	49050	-1.58	-79
L29	55740	64100	63550	65770	47380	49610	53510	-37.03	-1851
L30	52950	55740	66890	52950	50170	64100	52950	0.00	0
L31	60200	60200	42360	59640	41250	52950	69680	9.16	458
AV	57260	57215	56508	58268	55912	58348	56469	-0.50	-25
SD(標準偏差)								24.21	1210

1）slope-Kは回帰係数で1kg-K_2O ha^{-1} 当たりの増減を示す．

2）K_2O 50kg は50kg- K_2O ha^{-1} 当たりの増減を示す．

リン酸施肥　　（茎葉重　kg ha^{-1}）

場所	0	125	250	375	500	625	slope-P [1)]	P_2O_5-125kg [2)]
L01	58810	81380	55740	50170	55180	74690	-1.09	-136
L02	50170	44590	55180	57410	49610	47380	0.76	95
L03	84170	83050	91970	73020	87510	79710	-6.37	-796
L04	61320	62990	52950	66890	61320	62430	3.31	414
L05	39020	32890	43480	37900	45150	45710	14.78	1847
L06	50170	58530	59090	64100	58530	49890	0.83	103
L07	50720	66330	56860	57410	58530	64100	10.07	1259
L08	71630	47380	62430	71070	61870	57410	-4.34	-543
L09	69680	52950	70230	73020	72460	66890	10.83	1353
L10	61870	58530	55740	62430	61320	68000	10.45	1306
L11	59090	54070	54630	52400	52950	57410	-3.20	-400
L12	33440	36790	42360	38460	40130	41810	10.96	1371
L13	80820	80820	72460	86400	86960	75250	1.03	129
L14	68560	47380	55180	55180	50720	55180	-13.00	-1625
L15	68000	73020	65770	60200	69680	71350	0.27	33
L16	77500	69680	73020	66890	71910	76920	-0.53	-67
L17	28710	38180	28430	32330	28990	39580	7.01	877
L18	71350	75250	64100	76920	68560	78040	5.99	749
L19	55740	64100	52950	47940	54070	61870	-1.02	-127
L20	55740	36790	69120	64100	67450	52950	16.69	2086
L21	50170	46820	50170	61320	51840	47380	2.80	350
L22	42360	41250	41810	44040	48490	43480	6.75	844
L23	40690	41250	34560	37350	30660	36230	-11.72	-1465
L24	41250	46820	47940	45150	47380	41810	0.39	48
L25	46820	60760	50720	42360	43480	56300	-2.93	-366
L26	40410	54070	43480	42080	44040	51000	4.91	613
L27	69680	71910	61320	50720	57410	68560	-13.65	-1706
L28	48490	51840	48490	47380	50720	47380	-2.29	-286
L29	52400	41810	41250	56300	49050	39020	-6.89	-861
L30	58530	58530	49050	64100	52950	51840	-8.03	-1004
L31	47940	44590	48490	52400	65770	50720	18.59	2324
AV	55976	55624	54805	56046	56280	56784	1.66	207
SD(標準偏差)							8.31	1039

1）slope-Pは回帰係数で1kg- P_2O_5 ha^{-1} 当たりの増減を示す．

2）P_2O_5 125kg は125kg- P_2O_5 ha^{-1} 当たりの増減を示す．

栽植密度　　（茎葉重　kg ha^{-1}）

場所	50000	60000	65000	70000	75000	80000	90000	slope-density[1)]	10000-plant [2)]
L01	73550	77710	69540	72870	73990	78630	78130	0.1172	1172
L02	55610	55760	65100	56080	56020	52660	73760	0.2730	2730
L03	83420	83930	105940	89290	86630	85280	92910	0.1017	1017
L04	47830	49760	41430	57770	69880	59520	65880	0.5722	5722
L05	39480	34170	27820	43770	45620	40060	40540	0.1610	1610
L06	54570	57180	61410	61790	58910	59810	63560	0.1844	1844
L07	52830	57550	58590	52520	58910	54370	57430	0.0589	589
L08	75080	66250	57710	67400	68150	69250	70950	-0.0004	-4
L09	58390	65650	72650	65940	71970	75350	70100	0.3122	3122
L10	59500	49160	55630	58360	58910	56660	56310	0.0263	263
L11	50050	55760	53270	54860	53130	60670	63630	0.3048	3048
L12	48380	41970	52080	53100	49090	52080	56870	0.2438	2438
L13	77860	85130	75760	78780	86630	81270	82770	0.1085	1085
L14	52830	41970	51490	58940	57170	52660	53490	0.1414	1414
L15	69510	73740	68060	58940	64100	71540	72070	0.0090	90
L16	69510	67150	65100	75570	75080	72120	84460	0.3796	3796
L17	29680	30430	29740	30640	27720	28260	33500	0.0425	425
L18	65070	71940	72800	70030	83740	81270	57430	-0.0046	-46
L19	45600	44960	53270	50770	50240	62960	39410	0.0391	391
L20	47830	58750	66880	62730	54860	57230	74890	0.4437	4437
L21	47270	47360	44980	57190	46780	58380	59680	0.3499	3499
L22	43380	47960	44980	50770	46780	48080	48420	0.1057	1057
L23	38930	51560	59190	41430	51980	37770	48990	0.0260	260
L24	70630	50960	45570	64190	43890	68680	63630	0.0274	274
L25	42820	41970	59190	49600	46200	45220	53490	0.1723	1723
L26	46710	50960	52380	58940	57170	49220	52650	0.1194	1194
L27	43930	48560	50310	52520	51980	54370	56310	0.2991	2991
L28	55610	56350	56230	55440	64100	59520	53490	0.0273	273
L29	58390	44360	56230	54270	43890	53230	56870	-0.0032	-32
L30	58390	73140	63330	52520	59480	62960	61370	-0.0585	-585
L31	62280	44960	71020	67110	63530	62960	83330	0.5367	5367
AV	55643	55712	58312	58843	58920	59743	62139	0.1650	1650
SD(標準偏差)								0.1666	1666

1）slope-density は回帰係数で1本 ha^{-1} 当たりの増減を示す．

2）10000plant は10000本 ha^{-1} 当たりの増減を示す．

カリウム施肥　（根重　kg ha^{-1}）

場所	0	50	100	150	200	250	300	slope-K [1)]	K_2O-50kg[2)]
L01	54910	62880	58530	58310	68510	60810	57920	10.62	531
L02	63880	63770	63660	66670	64600	61320	73020	16.76	838
L03	64210	61760	67060	62040	62820	71070	58360	-2.26	-113
L04	68900	61870	64660	67840	59920	69960	69340	9.11	456
L05	61650	68450	63710	64100	67060	71910	64330	13.08	654
L06	63270	60810	66610	63210	66330	67390	63990	10.74	537
L07	67060	66280	67780	63990	73360	68670	67000	7.27	364
L08	60370	62760	65270	65330	66610	66110	66220	18.28	914
L09	54070	51780	62260	62210	63880	69010	61200	41.05	2053
L10	62760	61590	64770	65220	54290	60810	59870	-14.79	-740
L11	63210	63490	57800	61980	64550	64550	55690	-9.78	-489
L12	58970	56630	59530	62100	60650	64380	60700	15.58	779
L13	64440	71910	65770	78430	67670	69010	60930	-10.31	-515
L14	58580	64990	62040	67610	61430	61540	64990	8.37	419
L15	60700	60030	56300	63380	62880	67280	68510	31.79	1590
L16	50560	50110	58700	56080	51900	57300	57920	21.19	1059
L17	63820	66670	63710	63550	66330	68170	61200	-1.60	-80
L18	68230	70850	66610	66610	69010	61260	69570	-9.11	-456
L19	65720	67610	69960	62370	74470	68170	67610	8.07	404
L20	66670	61760	72850	61930	71350	68670	67170	9.87	494
L21	66440	59310	63710	71740	64380	78370	64210	22.93	1146
L22	67110	67840	70010	71070	73080	71680	67610	8.75	438
L23	52950	45370	55410	53680	47160	58700	51670	10.41	520
L24	64720	62990	57190	60260	66780	59700	67060	7.16	358
L25	66000	62930	50950	67000	63210	65330	67560	15.53	776
L26	54740	59530	78550	59700	55630	60760	60090	-3.15	-158
L27	55350	59090	62100	53960	52510	56410	54070	-13.42	-671
L28	56580	51900	56470	57580	58530	58860	55570	9.25	463
L29	61200	62490	60870	60810	61480	58140	62930	-2.07	-104
L30	52340	55630	58860	61590	59870	58310	57080	14.71	735
L31	57640	66160	61870	63710	63880	61090	67610	15.56	778
AV	61195	61588	63018	63357	63359	64669	62935	8.37	419
SD(標準偏差)								12.71	636

1）slope-Kは回帰係数で1kg-K_2O ha^{-1} 当たりの増減を示す．

2）K_2O 50kg は50kg- K_2O ha^{-1} 当たりの増減を示す．

リン酸施肥　　（根重　kg ha^{-1}）

場所	0	125	250	375	500	625	slope-P [1)]	P_2O_5-125kg [2)]
L01	62430	66160	60870	61320	65440	72970	11.65	1457
L02	64830	66610	59920	66560	66000	66110	2.56	320
L03	64720	63320	61040	61150	64440	69060	5.75	719
L04	65270	60590	70120	61480	69120	69790	9.04	1130
L05	63770	67730	60810	63940	60930	65550	-1.91	-239
L06	68510	70400	67280	66220	61540	68670	-6.13	-767
L07	66000	68560	67110	72350	66330	66830	0.62	77
L08	59250	58640	59250	61980	61370	60420	3.83	479
L09	64830	62820	61370	63320	62150	61650	-3.65	-456
L10	61430	59700	60650	62600	63660	65440	7.74	968
L11	65050	60980	56800	62210	63660	71630	10.59	1324
L12	52290	69570	65550	62600	64660	61480	6.46	808
L13	64100	61930	67450	73690	66560	67390	8.36	1045
L14	68120	59480	64880	63990	61150	70400	3.55	443
L15	65270	64830	61760	66390	66780	59750	-3.91	-489
L16	55390	54010	54740	52790	54290	55460	-0.17	-22
L17	63380	64380	63210	67390	67840	64830	4.99	623
L18	74410	69960	70180	70180	71400	72020	-1.74	-218
L19	68780	67840	74470	72130	67170	68340	-1.50	-187
L20	64990	64100	70850	66110	72690	66890	6.98	872
L21	55180	62260	57580	72130	69340	54740	7.68	960
L22	68280	68560	66440	65660	70230	70680	3.71	464
L23	43810	52120	45090	43480	42080	48550	-1.84	-229
L24	53400	54520	57190	58190	60140	57470	8.73	1092
L25	58700	63600	62430	62100	66050	58360	1.22	152
L26	58530	59360	58030	53570	58360	59920	-0.12	-15
L27	53790	64770	62820	54570	61710	63320	6.91	863
L28	55960	56080	58920	57970	54010	55410	-2.27	-283
L29	60870	65380	64380	68620	66560	59750	0.50	62
L30	52120	58470	60420	59530	57920	58970	7.25	906
L31	63660	66610	64770	67390	69570	61590	0.26	33
AV	61520	63011	62464	63278	63650	63659	3.07	384
SD(標準偏差)							4.78	597

1）slope-Pは回帰係数で1kg- P_2O_5 ha^{-1} 当たりの増減を示す.

2）P_2O_5 125kg は125kg- P_2O_5 ha^{-1} 当たりの増減を示す.

栽植密度　　（根重　kg ha^{-1}）

場所	50000	60000	65000	70000	75000	80000	90000	slope-density[1)]	10000-plant [2)]
L01	60950	58840	58980	53480	58390	59080	56660	-0.0822	-822
L02	63900	68170	64160	65070	60120	60730	64130	-0.0857	-857
L03	69460	62770	65700	64370	64330	59750	60470	-0.2065	-2065
L04	63060	69060	65460	63780	69880	60840	70330	0.0812	812
L05	61560	63070	58300	68800	64280	67140	64080	0.1152	1152
L06	63230	64820	65410	66960	66250	66050	65820	0.0650	650
L07	66460	71580	71790	68510	69990	63930	66270	-0.0850	-850
L08	67120	64210	65160	67110	61970	63930	67960	-0.0019	-19
L09	66180	67100	65250	62630	65070	62330	65150	-0.0659	-659
L10	60340	61630	59840	58420	63120	61580	60810	0.0241	241
L11	64340	68530	69130	61970	66410	60900	68240	-0.0113	-113
L12	59060	60310	57470	64190	65030	64850	61710	0.1297	1297
L13	64290	69060	70430	67580	72070	71490	65710	0.0580	580
L14	63010	60610	67230	64430	65550	60730	63910	0.0103	103
L15	63010	63550	63030	60110	63010	61360	62500	-0.0307	-307
L16	56110	53840	50490	57950	55270	59120	57210	0.0940	940
L17	66980	62380	64750	63400	67500	62740	62670	-0.0656	-656
L18	70790	76380	67060	70440	70460	70230	67450	-0.1060	-1060
L19	66840	72720	72440	78550	71610	74400	69990	0.0720	720
L20	65290	70500	71200	70900	67390	69250	65820	-0.0200	-200
L21	54890	67930	67830	64080	72710	64960	75230	0.3824	3824
L22	68510	70740	74870	68800	67110	69480	64580	-0.1238	-1238
L23	55560	58390	59840	59230	58100	49510	57040	-0.0647	-647
L24	61620	62710	58770	64480	54750	65990	53100	-0.1502	-1502
L25	62400	57850	65520	63320	66070	66220	68070	0.1903	1903
L26	63010	58930	61790	64430	63060	58090	60360	-0.0524	-524
L27	59170	61390	58770	52990	62250	57010	59570	-0.0175	-175
L28	56280	57190	57940	56960	57230	54720	57550	-0.0027	-27
L29	62620	57850	63150	61680	63010	65130	62890	0.0738	738
L30	65400	60910	65520	57310	62140	59640	59520	-0.1402	-1402
L31	68960	60070	63150	70140	60410	68110	63400	-0.0424	-424
AV	63239	63971	64207	63938	64340	63203	63490	-0.0019	-19
SD(標準偏差)								0.1153	1153

1）slope-density は回帰係数で1本 ha^{-1} 当たりの増減を示す.

2）10000plant は10000本 ha^{-1} 当たりの増減を示す.

カリウム施肥　（根中糖分 %）

場所	0	50	100	150	200	250	300	slope-K [1)]	K_2O-50kg[2)]
L01	13.38	14.21	13.75	13.05	14.30	13.62	13.68	0.0001929	0.010
L02	16.31	16.63	16.47	16.52	16.70	16.38	16.67	0.0005786	0.029
L03	13.92	14.57	14.28	14.43	14.31	14.75	14.46	0.0014357	0.072
L04	14.74	14.29	14.90	14.52	14.18	13.72	14.27	-0.0023357	-0.117
L05	15.36	15.18	15.26	15.13	14.82	14.82	14.75	-0.0021357	-0.107
L06	15.81	15.81	15.96	15.81	15.90	15.66	16.20	0.0005786	0.029
L07	15.85	16.10	16.19	16.50	15.92	16.40	16.47	0.0015643	0.078
L08	15.15	15.22	15.80	15.38	15.08	15.97	15.14	0.0005357	0.027
L09	16.57	16.79	16.09	16.73	16.34	16.36	16.99	0.0004643	0.023
L10	14.79	15.67	15.33	15.26	15.97	14.99	15.60	0.0012214	0.061
L11	15.66	15.23	15.19	15.38	15.33	15.42	15.32	-0.0003571	-0.018
L12	16.24	16.52	16.74	16.47	16.42	16.84	16.85	0.0015357	0.077
L13	13.98	14.04	13.99	13.90	13.90	13.55	14.06	-0.0005929	-0.030
L14	15.77	15.95	16.11	15.24	15.73	15.88	15.74	-0.0004357	-0.022
L15	15.79	15.13	15.74	15.05	15.18	16.28	15.15	-0.0001286	-0.006
L16	15.42	15.06	15.31	14.88	15.01	15.16	14.81	-0.0013786	-0.069
L17	15.42	15.57	15.52	15.62	15.43	15.84	15.04	-0.0004929	-0.025
L18	15.38	16.40	16.40	17.07	16.26	15.21	16.86	0.0013714	0.069
L19	16.51	16.06	16.32	17.29	15.87	15.76	17.18	0.0006857	0.034
L20	16.05	16.37	16.49	16.49	16.54	16.42	16.64	0.0013714	0.069
L21	16.65	16.96	16.38	16.78	16.83	16.71	16.54	-0.0002714	-0.014
L22	16.55	16.56	16.06	16.52	16.34	16.35	16.52	-0.0001643	-0.008
L23	16.14	16.77	16.06	16.39	16.71	16.14	16.86	0.0011071	0.055
L24	16.16	15.37	16.67	15.70	15.26	16.61	16.27	0.0010000	0.050
L25	16.04	16.37	17.01	16.27	16.61	16.24	16.21	-0.0001071	-0.005
L26	15.73	16.82	15.56	16.18	16.87	15.40	16.77	0.0011357	0.057
L27	15.91	16.20	16.10	16.26	16.61	16.25	16.51	0.0017214	0.086
L28	15.77	16.52	16.29	16.15	16.68	16.14	16.47	0.0012357	0.062
L29	16.65	16.59	16.20	16.55	17.44	17.03	17.20	0.0026929	0.135
L30	16.58	16.26	16.29	16.42	16.81	16.37	17.07	0.0015786	0.079
L31	16.11	15.82	16.76	15.22	16.33	16.92	16.13	0.0013071	0.065
AV	15.69	15.84	15.85	15.78	15.86	15.78	15.95	0.0004811	0.024
SD(標準偏差)								0.0011408	0.057

1）slope-Kは回帰係数で1kg-K_2O ha^{-1} 当たりの増減を示す．

2）K_2O 50kg は50kg- K_2O ha^{-1} 当たりの増減を示す．

リン酸施肥　（根中糖分 %）

場所	0	125	250	375	500	625	slope-P [1)]	P_2O_5-125kg [2)]
L01	13.94	13.25	14.27	14.08	14.33	13.26	-0.0000800	-0.010
L02	16.28	16.70	16.62	16.36	16.44	16.01	-0.0005463	-0.068
L03	14.13	14.08	14.43	14.44	14.24	14.18	0.0001691	0.021
L04	14.30	14.29	14.86	14.20	14.44	14.76	0.0004777	0.060
L05	14.00	13.36	14.00	14.45	14.79	13.61	0.0006377	0.080
L06	16.17	15.78	15.47	15.57	15.75	16.06	-0.0001234	-0.015
L07	16.21	16.04	16.30	16.26	16.00	16.17	-0.0000823	-0.010
L08	15.93	16.38	16.21	15.29	16.09	15.91	-0.0004320	-0.054
L09	16.28	16.98	16.37	15.85	16.70	16.40	-0.0001737	-0.022
L10	14.74	15.38	15.42	14.76	15.61	14.69	-0.0000503	-0.006
L11	15.29	15.51	15.91	15.59	15.56	14.66	-0.0007589	-0.095
L12	17.23	16.82	16.46	16.62	16.66	17.04	-0.0002903	-0.036
L13	14.10	14.27	14.75	13.20	14.71	13.89	-0.0002926	-0.037
L14	15.51	16.30	15.84	15.99	15.71	15.57	-0.0003017	-0.038
L15	15.85	15.32	15.62	15.39	15.84	14.88	-0.0008046	-0.101
L16	14.55	15.33	14.85	15.50	15.28	14.87	0.0004800	0.060
L17	15.65	15.52	15.25	15.57	15.31	16.17	0.0005234	0.065
L18	16.48	16.46	16.42	16.43	16.15	16.39	-0.0003131	-0.039
L19	16.46	16.09	15.95	16.50	16.24	16.04	-0.0002514	-0.031
L20	16.11	16.83	15.75	16.22	16.04	16.23	-0.0002971	-0.037
L21	16.96	16.86	16.79	16.47	16.46	17.22	-0.0000503	-0.006
L22	16.73	16.68	16.82	16.71	16.67	16.69	-0.0000777	-0.010
L23	16.74	16.62	16.74	16.71	16.86	16.53	-0.0000823	-0.010
L24	16.55	16.66	16.58	16.34	16.52	16.85	0.0001920	0.024
L25	16.45	15.83	16.51	16.53	16.58	15.77	-0.0002583	-0.032
L26	16.90	16.45	17.07	16.99	16.75	16.62	-0.0001326	-0.017
L27	16.08	16.02	15.94	16.39	16.10	15.33	-0.0006994	-0.087
L28	16.59	16.69	16.48	16.47	16.70	16.63	0.0000503	0.006
L29	17.09	17.13	16.96	16.84	16.75	17.47	0.0001463	0.018
L30	16.53	16.57	16.72	17.14	16.65	17.29	0.0010194	0.127
L31	16.44	16.08	16.86	16.52	16.00	16.73	0.0001989	0.025
AV	15.88	15.88	15.94	15.85	15.93	15.80	-0.0000711	-0.009
SD(標準偏差)							0.0004090	0.051

1）slope-Pは回帰係数で1kg- P_2O_5 ha^{-1} 当たりの増減を示す.

2）P_2O_5 125kg は125kg- P_2O_5 ha^{-1} 当たりの増減を示す.

栽植密度　　（根中糖分 %）

場所	50000	60000	65000	70000	75000	80000	90000	slope-density[1)]	10000-plant [2)]
L01	13.18	12.77	12.84	12.89	13.51	13.26	13.85	0.0000206	0.206
L02	15.89	15.59	15.92	16.61	16.33	16.71	16.12	0.0000170	0.170
L03	13.98	14.62	13.71	14.27	14.04	14.45	13.94	-0.0000008	-0.008
L04	14.20	14.55	15.12	14.56	14.13	14.47	15.06	0.0000109	0.109
L05	14.80	15.25	15.18	14.84	14.78	14.40	15.06	-0.0000050	-0.050
L06	15.54	15.51	15.60	15.61	15.84	15.94	15.79	0.0000100	0.100
L07	16.16	16.01	15.55	16.24	16.18	16.24	16.07	0.0000035	0.035
L08	15.01	15.45	15.70	15.19	15.80	15.47	15.88	0.0000172	0.172
L09	15.14	15.57	15.28	15.60	15.38	15.39	15.70	0.0000094	0.094
L10	14.61	14.95	15.13	14.70	14.75	14.69	15.71	0.0000167	0.167
L11	14.79	15.10	15.37	15.29	15.07	15.24	15.37	0.0000110	0.110
L12	16.12	16.19	16.26	16.23	16.58	16.68	16.35	0.0000106	0.106
L13	13.94	13.55	14.44	13.50	13.85	14.15	14.22	0.0000082	0.082
L14	15.57	16.00	15.75	15.94	15.74	16.07	15.91	0.0000071	0.071
L15	14.81	15.38	15.74	15.07	15.91	15.45	14.96	0.0000043	0.043
L16	14.81	14.99	15.80	14.51	15.25	14.98	14.77	-0.0000035	-0.035
L17	15.14	15.57	15.28	15.60	15.38	15.39	15.70	0.0000094	0.094
L18	15.91	15.81	15.30	16.66	14.47	16.26	17.05	0.0000220	0.220
L19	15.96	16.29	16.03	16.20	15.66	16.05	16.92	0.0000142	0.142
L20	16.22	16.10	15.66	16.64	16.16	16.53	15.76	-0.0000023	-0.023
L21	16.80	16.16	16.56	16.07	16.40	16.84	16.60	0.0000019	0.019
L22	16.56	16.24	16.58	16.42	16.51	16.62	16.99	0.0000115	0.115
L23	15.71	15.83	16.05	16.73	16.13	16.70	16.55	0.0000247	0.247
L24	15.15	16.12	16.35	15.48	15.98	15.97	16.07	0.0000143	0.143
L25	16.35	16.85	15.81	15.90	16.04	16.17	15.56	-0.0000204	-0.204
L26	15.82	16.29	15.99	15.67	15.85	16.63	16.20	0.0000098	0.098
L27	15.74	16.14	16.51	16.45	16.38	16.57	16.20	0.0000122	0.122
L28	15.87	16.28	16.35	16.73	16.39	16.53	16.57	0.0000159	0.159
L29	16.37	16.81	16.08	16.74	16.68	16.69	16.67	0.0000074	0.074
L30	16.58	15.80	16.15	16.63	16.04	16.39	16.50	0.0000036	0.036
L31	15.40	16.51	15.63	15.53	16.30	16.12	15.76	0.0000063	0.063
AV	15.42	15.62	15.60	15.63	15.60	15.78	15.80	0.0000086	0.086
SD(標準偏差)								0.0000091	0.091

1）slope-density は回帰係数で1本 ha^{-1} 当たりの増減を示す.

2）10000plant は10000本 ha^{-1} 当たりの増減を示す.

カリウム施肥　（糖量　kg ha^{-1}）

場所	0	50	100	150	200	250	300	slope-K [1)]	K_2O-50kg[2)]
L01	7347	8935	8048	7609	9797	8282	7923	1.55	78
L02	10419	10605	10485	11014	10788	10044	12172	3.17	159
L03	8938	8998	9576	8952	8990	10483	8439	0.63	32
L04	10156	8841	9634	9850	8497	9599	9895	-0.29	-15
L05	9469	10391	9722	9698	9938	10657	9489	0.58	29
L06	10003	9614	10631	9994	10546	10553	10366	2.06	103
L07	10629	10671	10974	10558	11679	11262	11035	2.22	111
L08	9146	9552	10313	10048	10045	10558	10026	3.13	157
L09	8959	8694	10018	10408	10438	11290	10398	7.09	355
L10	9282	9651	9929	9953	8670	9115	9340	-1.54	-77
L11	9899	9670	8780	9533	9896	9954	8532	-1.73	-86
L12	9577	9355	9965	10228	9959	10842	10228	3.51	176
L13	9009	10096	9201	10902	9406	9351	8567	-1.87	-93
L14	9238	10366	9995	10304	9663	9773	10229	1.04	52
L15	9585	9083	8862	9539	9545	10953	10379	4.86	243
L16	7796	7547	8987	8345	7790	8687	8578	2.45	122
L17	9841	10381	9888	9927	10235	10798	9204	-0.52	-26
L18	10494	11619	10924	11370	11221	9318	11730	-0.43	-21
L19	10850	10858	11417	10784	11818	10744	11615	1.76	88
L20	10701	10110	12013	10212	11801	11276	11177	2.53	127
L21	11062	10059	10436	12038	10835	13096	10620	3.68	184
L22	11107	11234	11244	11741	11941	11720	11169	1.33	66
L23	8546	7609	8899	8798	7880	9474	8712	2.29	115
L24	10459	9682	9534	9461	10191	9916	10911	1.77	89
L25	10586	10302	8667	10901	10499	10610	10951	2.53	127
L26	8611	10013	12222	9659	9385	9357	10077	0.18	9
L27	8806	9573	9998	8774	8722	9167	8927	-1.23	-62
L28	8923	8574	9199	9299	9763	9500	9152	2.22	111
L29	10190	10367	9861	10064	10722	9901	10824	1.31	65
L30	8678	9045	9588	10113	10064	9545	9744	3.34	167
L31	9286	10467	10369	9697	10432	10336	10905	3.33	166
AV	9600	9741	9980	9993	10037	10199	10042	1.64	82
SD(標準偏差)								2.01	100

1）slope-Kは回帰係数で1kg-K_2O ha^{-1} 当たりの増減を示す．

2）K_2O 50kg は50kg- K_2O ha^{-1} 当たりの増減を示す．

リン酸施肥　　（糖量　kg ha^{-1}）

場所	0	125	250	375	500	625	slope-P [1)]	P_2O_5-125kg [2)]
L01	8703	8766	8686	8634	9378	9676	1.52	190
L02	10554	11124	9959	10889	10850	10584	0.06	7
L03	9145	8915	8808	8830	9176	9793	0.92	116
L04	9334	8658	10420	8730	9981	10301	1.63	203
L05	8928	9049	8513	9239	9012	8921	0.13	17
L06	11078	11109	10408	10310	9693	11028	-1.05	-131
L07	10699	10997	10939	11764	10613	10806	0.05	6
L08	9439	9605	9604	9477	9874	9613	0.35	44
L09	10554	10667	10046	10036	10379	10111	-0.71	-88
L10	9055	9182	9352	9240	9937	9613	1.13	141
L11	9946	9458	9037	9699	9905	10501	1.09	137
L12	9010	11702	10790	10404	10772	10476	0.95	119
L13	9038	8837	9949	9727	9791	9360	0.97	121
L14	10565	9695	10277	10232	9607	10961	0.38	48
L15	10345	9932	9647	10217	10578	8891	-1.09	-136
L16	8059	8280	8129	8182	8296	8247	0.24	30
L17	9919	9992	9640	10493	10386	10483	1.11	139
L18	12263	11515	11524	11531	11531	11804	-0.51	-64
L19	11321	10915	11878	11901	10908	10962	-0.41	-51
L20	10470	10788	11159	10723	11659	10856	0.94	117
L21	9359	10497	9668	11880	11413	9426	1.21	151
L22	11423	11436	11175	10972	11707	11796	0.57	71
L23	7334	8662	7548	7266	7095	8025	-0.35	-44
L24	8838	9083	9482	9508	9935	9684	1.56	195
L25	9656	10068	10307	10265	10951	9203	0.08	10
L26	9892	9765	9906	9102	9775	9959	-0.10	-12
L27	8649	10376	10014	8944	9935	9707	0.66	83
L28	9284	9360	9710	9548	9020	9215	-0.35	-44
L29	10403	11200	10919	11556	11149	10438	0.15	19
L30	8615	9688	10102	10203	9644	10196	1.80	225
L31	10466	10711	10920	11133	11131	10304	0.15	19
AV	9753	10001	9952	10020	10132	10030	0.42	53
SD(標準偏差)							0.78	98

1）slope-Pは回帰係数で1kg- P_2O_5 ha^{-1} 当たりの増減を示す．

2）P_2O_5 125kg は125kg- P_2O_5 ha^{-1} 当たりの増減を示す．

栽植密度　　（糖量　kg ha^{-1}）

場所	50000	60000	65000	70000	75000	80000	90000	slope-density[1)]	10000-plant [2)]
L01	8033	7514	7573	6894	7888	7834	7847	0.0010	10
L02	10154	10628	10214	10808	9818	10148	10338	-0.0030	-30
L03	9711	9177	9007	9186	9032	8634	8430	-0.0295	-295
L04	8955	10048	9898	9286	9874	8804	10592	0.0192	192
L05	9111	9618	8850	10210	9501	9668	9650	0.0139	139
L06	9826	10054	10204	10452	10494	10528	10393	0.0167	167
L07	10740	11460	11163	11126	11324	10382	10650	-0.0112	-112
L08	10075	9920	10230	10194	9791	9890	10792	0.0113	113
L09	10020	10447	9970	9770	10008	9593	10229	-0.0040	-40
L10	8816	9214	9054	8588	9310	9046	9553	0.0137	137
L11	9516	10348	10625	9475	10008	9281	10488	0.0054	54
L12	9520	9764	9345	10418	10782	10817	10090	0.0277	277
L13	8962	9358	10170	9123	9982	10116	9344	0.0136	136
L14	9811	9698	10589	10270	10318	9759	10168	0.0061	61
L15	9332	9774	9921	9059	10025	9480	9350	-0.0020	-20
L16	8310	8071	7977	8409	8429	8856	8450	0.0123	123
L17	10141	9713	9894	9890	10382	9656	9839	-0.0040	-40
L18	11263	12076	10260	11735	10196	11419	11500	-0.0020	-20
L19	10668	11846	11612	12725	11214	11941	11842	0.0214	214
L20	10590	11351	11150	11798	10890	11447	10373	-0.0044	-44
L21	9222	10977	11233	10298	11924	10939	12488	0.0652	652
L22	11345	11488	12413	11297	11080	11548	10972	-0.0129	-129
L23	8728	9243	9604	9909	9372	8268	9440	0.0032	32
L24	9335	10109	9609	9982	8749	10539	8533	-0.0153	-153
L25	10202	9748	10359	10068	10598	10708	10592	0.0177	177
L26	9968	9600	9880	10096	9995	9660	9778	-0.0025	-25
L27	9313	9908	9703	8717	10197	9447	9650	0.0044	44
L28	8932	9311	9473	9529	9380	9045	9536	0.0085	85
L29	10251	9725	10155	10325	10510	10870	10484	0.0170	170
L30	10843	9624	10581	9531	9967	9775	9821	-0.0210	-210
L31	10620	9918	9870	10893	9847	10979	9992	-0.0020	-20
AV	9752	9991	10019	10002	10028	9970	10039	0.0053	53
SD(標準偏差)								0.0171	171

1）slope-density は回帰係数で1本 ha^{-1} 当たりの増減を示す.

2）10000plant は10000本 ha^{-1} 当たりの増減を示す.

カリウム施肥　（K含量 $cmol_c\ kg^{-1}$）

場所	0	50	100	150	200	250	300	slope-K [1)]	K_2O-50kg[2)]
L01	4.83	3.88	4.63	5.20	4.52	4.97	4.61	0.0010071	0.050
L02	3.99	3.78	3.61	4.06	3.89	4.34	4.13	0.0013000	0.065
L03	6.26	5.78	5.37	6.08	5.87	5.84	6.02	-0.0000714	-0.004
L04	4.33	5.19	4.57	4.49	4.84	4.65	4.89	0.0006214	0.031
L05	4.02	4.12	4.39	3.91	4.64	4.44	4.51	0.0016857	0.084
L06	4.68	4.57	4.52	5.18	5.04	5.35	5.00	0.0021714	0.109
L07	5.28	5.16	5.35	5.22	5.25	5.35	5.46	0.0005857	0.029
L08	4.37	4.42	4.69	4.80	4.65	4.41	5.22	0.0017786	0.089
L09	2.25	2.02	3.02	2.55	2.90	3.20	2.79	0.0027571	0.138
L10	4.98	5.04	4.87	4.75	4.70	5.42	5.08	0.0006357	0.032
L11	4.46	4.42	4.98	4.45	4.45	4.55	4.73	0.0003857	0.019
L12	3.88	3.97	3.86	3.96	4.58	4.15	4.14	0.0013286	0.066
L13	4.23	4.42	4.11	4.72	4.75	4.84	4.56	0.0017643	0.088
L14	4.39	4.24	4.54	5.62	4.66	5.02	4.83	0.0021429	0.107
L15	5.06	5.31	5.30	5.71	5.74	4.99	5.68	0.0011857	0.059
L16	4.02	3.90	4.07	4.27	4.35	4.46	4.79	0.0026500	0.133
L17	4.56	4.20	4.55	4.47	4.55	4.55	4.69	0.0007786	0.039
L18	4.65	4.06	4.47	3.98	4.70	5.61	4.38	0.0018000	0.090
L19	3.39	3.71	3.44	3.33	4.30	4.46	3.46	0.0018357	0.092
L20	3.86	3.75	3.71	3.96	3.86	4.22	4.06	0.0012071	0.060
L21	3.58	3.37	4.10	4.00	3.69	4.18	4.02	0.0018071	0.090
L22	3.50	3.87	3.89	3.96	4.36	3.82	4.09	0.0015286	0.076
L23	3.91	3.03	3.43	3.83	3.33	3.76	3.33	-0.0002714	-0.014
L24	3.96	4.31	3.74	4.08	4.73	3.86	4.58	0.0013929	0.070
L25	3.82	3.95	3.24	4.39	4.22	4.46	4.76	0.0034429	0.172
L26	3.57	3.51	4.05	3.81	3.18	3.80	3.57	-0.0002071	-0.010
L27	3.78	3.62	4.07	3.81	3.89	4.28	3.98	0.0012429	0.062
L28	3.45	3.29	3.42	3.72	3.29	3.73	3.81	0.0013071	0.065
L29	4.03	4.21	3.88	4.18	3.86	3.88	3.87	-0.0008286	-0.041
L30	3.38	3.33	3.72	3.26	3.08	3.85	3.41	0.0003500	0.018
L31	4.18	4.89	4.30	4.26	4.30	4.04	4.50	-0.0005286	-0.026
AV	4.15	4.11	4.19	4.32	4.33	4.47	4.42	0.0011866	0.059
SD(標準偏差)								0.0009847	0.049

1）slope-Kは回帰係数で1kg-K_2O ha^{-1} 当たりの増減を示す．

2）K_2O 50kg は50kg- K_2O ha^{-1} 当たりの増減を示す．

リン酸施肥　（K含量 $cmol_c\ kg^{-1}$）

場所	0	125	250	375	500	625	slope-P [1)]	P_2O_5-125kg [2)]
L01	5.19	5.47	3.83	4.12	4.12	4.98	-0.0010994	-0.137
L02	3.89	3.52	3.50	3.91	3.49	3.57	-0.0002926	-0.037
L03	5.90	5.56	5.43	5.40	5.46	5.62	-0.0003954	-0.049
L04	5.23	5.14	5.03	5.21	4.85	4.96	-0.0004663	-0.058
L05	4.83	5.14	4.78	4.17	4.27	5.35	-0.0001417	-0.018
L06	4.67	4.76	5.01	4.95	4.70	4.76	0.0000480	0.006
L07	5.57	5.35	5.09	5.13	5.19	5.37	-0.0003291	-0.041
L08	4.33	3.74	4.29	4.80	4.03	4.42	0.0004183	0.052
L09	2.57	2.43	2.65	2.56	2.62	2.66	0.0002126	0.027
L10	5.45	5.09	4.85	5.18	5.16	5.23	-0.0001280	-0.016
L11	4.57	4.51	4.33	4.39	4.29	4.94	0.0002857	0.036
L12	4.24	4.17	4.33	4.57	4.12	4.01	-0.0002423	-0.030
L13	4.33	3.98	4.24	5.19	4.33	4.27	0.0003886	0.049
L14	4.98	4.47	4.71	4.63	4.90	4.73	-0.0000091	-0.001
L15	4.68	5.04	4.93	5.34	4.76	5.24	0.0005417	0.068
L16	4.89	4.46	4.24	4.03	4.12	4.51	-0.0007154	-0.089
L17	4.19	4.79	4.53	4.70	4.88	4.52	0.0004777	0.060
L18	4.63	4.25	4.38	4.33	4.35	4.52	-0.0000686	-0.009
L19	3.45	3.95	3.97	3.96	3.70	3.85	0.0002834	0.035
L20	3.88	3.48	4.10	4.02	4.22	3.85	0.0004549	0.057
L21	3.57	3.44	3.44	3.91	3.70	3.57	0.0002857	0.036
L22	3.88	3.95	4.17	3.98	3.81	3.81	-0.0002194	-0.027
L23	3.32	3.36	3.28	3.76	3.00	3.46	0.0000229	0.003
L24	3.99	3.89	4.34	4.19	4.35	3.86	0.0001326	0.017
L25	3.88	3.83	4.13	4.12	4.12	3.68	-0.0000320	-0.004
L26	3.24	3.99	3.64	3.37	3.90	3.94	0.0006766	0.085
L27	3.90	4.48	4.57	3.76	4.31	4.68	0.0005897	0.074
L28	3.44	3.30	3.55	3.44	3.42	3.14	-0.0002857	-0.036
L29	3.76	4.10	3.73	4.37	4.27	3.77	0.0002743	0.034
L30	3.32	3.27	3.17	3.16	3.42	3.27	0.0000434	0.005
L31	4.36	4.62	3.80	4.40	4.44	4.13	-0.0002491	-0.031
AV	4.26	4.24	4.19	4.29	4.20	4.28	0.0000149	0.002
SD(標準偏差)							0.0004009	0.050

1）slope-Pは回帰係数で1kg- P_2O_5 ha^{-1} 当たりの増減を示す.

2）P_2O_5 125kg は125kg- P_2O_5 ha^{-1} 当たりの増減を示す.

栽植密度　　（K含量 $cmol_c\ kg^{-1}$）

場所	50000	60000	65000	70000	75000	80000	90000	slope-density[1)]	10000-plant [2)]
L01	5.59	5.59	5.42	5.21	4.73	4.76	4.61	-0.0000299	-0.299
L02	4.49	4.26	5.03	4.04	4.11	3.40	4.25	-0.0000171	-0.171
L03	6.55	5.41	6.18	5.87	5.53	5.44	6.04	-0.0000125	-0.125
L04	5.51	5.08	4.44	4.81	4.43	5.03	4.58	-0.0000182	-0.182
L05	4.32	4.81	4.16	4.11	4.44	4.35	4.02	-0.0000088	-0.088
L06	5.23	5.15	4.76	4.91	4.74	4.62	4.60	-0.0000171	-0.171
L07	5.63	5.64	5.90	5.39	5.26	5.05	5.26	-0.0000157	-0.157
L08	4.99	5.20	4.76	4.91	4.34	4.50	4.46	-0.0000188	-0.188
L09	3.08	3.01	2.96	2.86	2.77	2.51	2.84	-0.0000102	-0.102
L10	5.67	5.60	4.93	5.16	5.22	5.22	4.40	-0.0000264	-0.264
L11	5.14	5.10	4.91	4.82	4.61	4.17	4.61	-0.0000204	-0.204
L12	4.91	4.56	3.87	4.29	4.17	4.15	3.97	-0.0000204	-0.204
L13	4.68	4.98	4.39	4.83	4.96	4.58	4.22	-0.0000099	-0.099
L14	5.02	4.54	4.47	4.07	4.73	4.26	4.04	-0.0000201	-0.201
L15	6.54	5.37	5.44	5.83	4.82	4.78	5.89	-0.0000210	-0.210
L16	4.76	4.36	3.85	4.55	3.96	4.06	4.20	-0.0000130	-0.130
L17	4.80	4.60	4.76	4.52	4.57	4.20	4.38	-0.0000127	-0.127
L18	4.89	4.96	5.12	4.13	6.27	4.11	3.83	-0.0000228	-0.228
L19	4.29	3.96	4.07	3.97	4.33	4.25	3.35	-0.0000139	-0.139
L20	4.66	4.20	4.47	3.97	4.12	4.12	4.03	-0.0000144	-0.144
L21	3.94	4.43	3.59	3.96	3.76	3.51	3.48	-0.0000167	-0.167
L22	4.11	3.96	4.02	4.20	3.75	3.75	3.64	-0.0000122	-0.122
L23	4.14	4.04	4.19	3.58	3.67	3.49	3.74	-0.0000153	-0.153
L24	5.06	4.17	3.94	4.90	4.29	4.57	3.90	-0.0000166	-0.166
L25	4.98	3.95	4.69	4.76	4.25	4.49	4.83	0.0000002	0.002
L26	5.43	3.77	3.62	4.22	4.33	3.66	3.52	-0.0000340	-0.340
L27	4.81	4.10	4.05	3.95	4.16	3.93	3.90	-0.0000184	-0.184
L28	4.39	3.57	3.43	3.43	3.53	3.43	3.45	-0.0000188	-0.188
L29	4.71	3.89	4.57	3.88	3.74	3.96	3.83	-0.0000200	-0.200
L30	3.83	4.18	4.31	3.70	3.99	3.54	3.55	-0.0000130	-0.130
L31	5.47	4.11	4.61	4.81	4.64	4.06	4.34	-0.0000219	-0.219
AV	4.89	4.53	4.48	4.44	4.39	4.19	4.19	-0.0000171	-0.171
SD(標準偏差)								0.0000064	0.064

1）slope-density は回帰係数で1本 ha^{-1} 当たりの増減を示す．

2）10000plant は10000本 ha^{-1} 当たりの増減を示す．

カリウム施肥　（Na含量 $cmol_c\ kg^{-1}$）

場所	0	50	100	150	200	250	300	slope-K [1)]	K_2O-50kg[2)]
L01	1.40	0.70	1.16	1.18	0.54	0.74	1.01	-0.0012214	-0.061
L02	0.78	0.42	0.41	0.72	0.52	0.60	0.47	-0.0003286	-0.016
L03	2.37	1.85	1.89	1.70	1.70	1.55	1.62	-0.0021714	-0.109
L04	0.92	1.06	0.84	0.77	1.39	1.82	1.11	0.0018857	0.094
L05	0.47	0.62	0.63	0.63	0.93	1.08	0.77	0.0015143	0.076
L06	1.01	0.91	0.83	0.88	0.70	0.99	0.62	-0.0008143	-0.041
L07	0.69	0.50	0.64	0.54	0.61	0.61	0.53	-0.0002071	-0.010
L08	1.51	1.22	1.12	1.49	1.37	1.00	1.35	-0.0004786	-0.024
L09	1.11	1.04	1.42	0.99	1.29	1.18	0.66	-0.0008571	-0.043
L10	1.55	1.21	1.39	1.37	0.75	1.29	1.01	-0.0015000	-0.075
L11	0.70	1.05	1.14	0.94	1.09	0.91	0.72	-0.0001929	-0.010
L12	0.91	0.71	0.62	0.68	0.82	0.69	0.69	-0.0003571	-0.018
L13	1.65	1.47	1.65	1.64	1.29	1.74	1.49	-0.0002143	-0.011
L14	0.64	0.95	0.62	1.05	0.87	0.77	0.87	0.0004143	0.021
L15	0.82	0.85	0.79	0.88	0.89	0.41	0.94	-0.0003000	-0.015
L16	1.08	1.12	1.13	1.16	0.89	0.94	1.06	-0.0004714	-0.024
L17	1.27	0.88	0.95	1.01	1.08	0.97	1.09	-0.0001643	-0.008
L18	1.68	1.00	0.89	0.56	1.02	1.08	0.62	-0.0020643	-0.103
L19	0.94	1.09	1.01	0.47	1.14	1.21	0.67	-0.0003143	-0.016
L20	1.08	0.42	0.61	0.76	0.45	0.47	0.53	-0.0012214	-0.061
L21	0.69	0.51	0.62	0.60	0.53	0.62	0.43	-0.0004643	-0.023
L22	0.59	0.57	0.87	0.55	0.78	0.57	0.63	0.0000214	0.001
L23	0.82	0.41	0.80	0.52	0.44	1.04	0.37	-0.0003214	-0.016
L24	0.60	1.55	0.85	1.06	1.57	0.46	0.72	-0.0007857	-0.039
L25	0.65	0.43	0.35	0.52	0.44	0.89	0.54	0.0004857	0.024
L26	0.95	0.60	1.02	0.54	0.38	0.85	0.46	-0.0011500	-0.058
L27	1.18	0.95	0.89	0.81	0.63	0.64	0.79	-0.0014643	-0.073
L28	0.87	0.62	0.64	0.65	0.56	0.77	0.55	-0.0005286	-0.026
L29	0.47	0.61	0.73	0.71	0.32	0.45	0.46	-0.0005429	-0.027
L30	0.62	0.87	0.72	0.76	0.71	0.73	0.37	-0.0007429	-0.037
L31	1.06	0.88	0.47	1.25	0.53	0.45	0.84	-0.0010429	-0.052
AV	1.00	0.87	0.89	0.88	0.85	0.89	0.77	-0.0005032	-0.025
SD(標準偏差)								0.0008497	0.042

1）slope-Kは回帰係数で1kg-K_2O ha^{-1} 当たりの増減を示す．

2）K_2O 50kg は50kg- K_2O ha^{-1} 当たりの増減を示す．

リン酸施肥　（Na含量 $cmol_c\ kg^{-1}$）

場所	0	125	250	375	500	625	slope-P [1)]	P_2O_5-125kg [2)]
L01	0.67	0.99	0.64	0.66	0.83	1.57	0.0009234	0.115
L02	0.56	0.51	0.46	0.71	0.60	0.61	0.0001760	0.022
L03	1.82	2.02	1.79	1.52	1.93	1.95	0.0000251	0.003
L04	0.76	0.68	0.50	0.99	0.90	0.64	0.0001257	0.016
L05	1.27	1.19	1.49	1.30	1.35	1.24	0.0000320	0.004
L06	0.59	0.91	1.02	0.79	1.01	0.75	0.0001989	0.025
L07	0.53	0.50	0.58	0.56	0.55	0.67	0.0001897	0.024
L08	1.07	0.75	1.06	1.55	1.08	1.00	0.0002583	0.032
L09	1.40	1.08	1.67	2.02	1.65	1.58	0.0006766	0.085
L10	1.37	1.17	1.36	1.76	1.38	1.61	0.0005097	0.064
L11	0.77	0.83	0.59	0.86	0.67	1.28	0.0005349	0.067
L12	0.44	0.62	0.71	0.76	0.83	0.55	0.0002811	0.035
L13	1.50	1.29	1.05	1.66	1.09	1.45	-0.0000549	-0.007
L14	0.94	0.61	0.78	0.80	0.99	1.07	0.0004137	0.052
L15	0.81	0.97	0.93	0.76	0.80	1.44	0.0005646	0.071
L16	1.71	0.81	1.05	1.00	0.77	1.13	-0.0007017	-0.088
L17	0.78	1.00	0.95	0.94	1.26	0.69	0.0000731	0.009
L18	0.71	0.89	0.72	1.01	0.76	0.80	0.0000800	0.010
L19	0.67	0.87	0.94	0.77	0.59	0.93	0.0000663	0.008
L20	0.94	0.34	0.89	0.58	0.74	0.62	-0.0001623	-0.020
L21	0.40	0.47	0.37	0.68	0.53	0.43	0.0001463	0.018
L22	0.38	0.48	0.44	0.46	0.52	0.44	0.0001006	0.013
L23	0.48	0.53	0.34	0.50	0.36	0.58	0.0000343	0.004
L24	0.58	0.52	0.52	0.48	0.47	0.55	-0.0000777	-0.010
L25	0.70	1.13	0.62	0.46	0.52	1.25	0.0001737	0.022
L26	0.47	0.67	0.43	0.51	0.69	0.71	0.0003063	0.038
L27	0.88	1.03	0.92	0.77	0.96	1.23	0.0003177	0.040
L28	0.52	0.47	0.57	0.55	0.47	0.52	-0.0000046	-0.001
L29	0.46	0.42	0.40	0.57	0.71	0.31	0.0000663	0.008
L30	0.95	0.77	0.93	0.64	0.87	0.66	-0.0003291	-0.041
L31	0.54	0.53	0.51	0.63	0.80	0.44	0.0000983	0.012
AV	0.83	0.81	0.81	0.88	0.86	0.93	0.0001627	0.020
SD(標準偏差)							0.0003011	0.038

1）slope-Pは回帰係数で1kg- P_2O_5 ha^{-1} 当たりの増減を示す．

2）P_2O_5 125kg は125kg- P_2O_5 ha^{-1} 当たりの増減を示す．

栽植密度　　（Na含量 $cmol_c\ kg^{-1}$）

場所	50000	60000	65000	70000	75000	80000	90000	slope-density[1)]	10000-plant [2)]
L01	1.65	1.77	1.53	1.60	1.16	1.36	1.01	-0.0000179	-0.179
L02	0.74	0.72	0.71	0.53	0.49	0.49	0.63	-0.0000053	-0.053
L03	2.05	1.84	2.24	1.83	2.06	1.81	1.77	-0.0000065	-0.065
L04	1.22	1.01	0.87	1.14	2.03	0.75	0.82	-0.0000046	-0.046
L05	0.90	0.64	0.49	1.09	1.01	1.16	0.66	0.0000029	0.029
L06	1.14	1.08	0.98	1.04	0.95	0.89	0.85	-0.0000075	-0.075
L07	0.57	0.80	0.70	0.50	0.67	0.36	0.47	-0.0000062	-0.062
L08	1.62	0.97	1.12	0.98	0.88	1.14	1.01	-0.0000111	-0.111
L09	2.19	1.88	1.80	1.69	1.91	1.68	1.49	-0.0000147	-0.147
L10	1.59	1.42	1.37	1.62	1.38	1.38	0.99	-0.0000118	-0.118
L11	1.41	0.93	0.92	0.84	1.18	1.05	0.94	-0.0000066	-0.066
L12	1.00	0.64	0.90	0.80	0.69	0.62	0.98	-0.0000016	-0.016
L13	1.29	1.65	1.19	1.65	1.75	1.41	1.16	-0.0000021	-0.021
L14	1.15	0.67	0.73	1.13	0.88	0.82	1.08	0.0000008	0.008
L15	0.89	0.82	0.70	0.80	0.69	0.83	0.85	-0.0000007	-0.007
L16	1.13	0.88	0.70	1.19	0.80	1.08	1.06	0.0000010	0.010
L17	1.41	0.98	1.01	0.88	0.93	0.95	0.83	-0.0000117	-0.117
L18	1.09	0.77	0.77	0.63	0.84	1.01	0.39	-0.0000107	-0.107
L19	0.90	0.85	1.07	1.20	1.05	0.77	0.58	-0.0000070	-0.070
L20	0.57	0.65	0.85	0.50	0.67	0.50	0.89	0.0000038	0.038
L21	0.55	0.59	0.58	0.68	0.56	0.51	0.44	-0.0000030	-0.030
L22	0.49	0.53	0.53	0.50	0.46	0.54	0.27	-0.0000044	-0.044
L23	1.03	0.94	0.75	0.56	0.81	0.51	0.47	-0.0000145	-0.145
L24	1.20	1.04	0.75	1.18	0.65	0.96	0.89	-0.0000071	-0.071
L25	0.42	0.31	0.45	0.50	0.60	0.50	0.64	0.0000067	0.067
L26	0.83	0.82	0.64	0.91	0.63	0.58	0.64	-0.0000060	-0.060
L27	0.97	0.79	0.79	0.68	0.67	0.64	0.79	-0.0000054	-0.054
L28	1.08	0.55	0.67	0.52	0.62	0.65	0.44	-0.0000115	-0.115
L29	0.97	0.76	0.79	0.67	0.50	0.62	0.54	-0.0000109	-0.109
L30	1.13	0.74	0.86	0.51	0.65	0.94	0.71	-0.0000071	-0.071
L31	0.99	0.51	1.12	0.90	0.72	0.71	1.02	0.0000006	0.006
AV	1.10	0.92	0.92	0.94	0.93	0.88	0.82	-0.0000058	-0.058
SD(標準偏差)								0.0000058	0.058

1）slope-density は回帰係数で1本 ha^{-1} 当たりの増減を示す．

2）10000plant は10000本 ha^{-1} 当たりの増減を示す．

カリウム施肥　（AN含量 $cmol_c\ kg^{-1}$）

場所	0	50	100	150	200	250	300	slope-K [1)]	K_2O-50kg[2)]
L01	1.35	0.94	1.18	1.10	0.99	1.15	0.98	-0.0006286	-0.031
L02	2.06	1.72	1.81	1.94	2.25	1.96	2.10	0.0007429	0.037
L03	2.67	3.05	2.35	2.99	2.95	2.63	3.27	0.0011143	0.056
L04	2.22	2.28	2.15	1.74	2.20	2.58	1.95	-0.0001143	-0.006
L05	2.03	1.99	2.27	1.59	2.74	2.86	2.63	0.0028643	0.143
L06	2.40	2.22	2.08	2.75	2.06	2.31	2.29	-0.0001214	-0.006
L07	1.84	1.90	1.51	1.56	1.96	1.67	1.65	-0.0004143	-0.021
L08	3.23	3.28	2.77	3.12	3.71	2.55	3.32	-0.0001786	-0.009
L09	2.16	1.78	2.22	1.95	2.83	2.42	2.16	0.0013500	0.068
L10	3.56	2.82	3.00	3.39	2.49	3.41	2.95	-0.0008286	-0.041
L11	2.27	2.74	2.64	2.95	2.54	2.33	2.78	0.0004357	0.022
L12	1.74	1.49	1.67	1.60	2.00	1.83	1.55	0.0003143	0.016
L13	1.71	1.85	1.91	2.02	1.84	1.92	1.49	-0.0004214	-0.021
L14	2.64	2.16	2.54	3.08	2.60	2.60	2.54	0.0004571	0.023
L15	2.58	2.80	2.76	2.91	2.61	1.89	3.06	-0.0003786	-0.019
L16	2.71	3.08	2.95	2.68	2.85	3.09	3.04	0.0006500	0.033
L17	2.24	2.11	2.24	2.29	2.37	2.14	2.81	0.0013571	0.068
L18	2.94	1.68	2.10	1.65	1.92	3.30	1.56	-0.0007714	-0.039
L19	1.83	1.58	1.65	1.34	1.84	1.64	1.47	-0.0005500	-0.028
L20	2.23	1.91	1.67	2.00	2.15	2.22	2.04	0.0003786	0.019
L21	1.57	1.12	1.76	1.05	1.65	1.45	1.45	0.0001357	0.007
L22	1.63	1.95	1.98	2.00	2.20	1.65	1.98	0.0004786	0.024
L23	1.66	1.63	1.48	1.58	1.80	1.62	1.74	0.0003857	0.019
L24	1.61	1.81	1.87	2.05	1.90	1.26	1.90	-0.0001429	-0.007
L25	2.02	1.83	1.57	1.88	1.96	2.34	2.36	0.0017357	0.087
L26	1.28	1.45	1.50	1.62	1.23	1.62	1.40	0.0003071	0.015
L27	2.71	2.02	2.17	2.39	1.99	2.53	2.52	0.0001929	0.010
L28	2.35	1.93	1.79	1.82	1.77	1.82	1.58	-0.0018214	-0.091
L29	2.01	1.41	1.62	1.68	1.09	1.43	1.35	-0.0017643	-0.088
L30	1.53	1.78	1.72	1.37	1.34	1.64	1.44	-0.0006643	-0.033
L31	2.14	1.83	1.91	2.21	1.84	1.42	1.95	-0.0010429	-0.052
AV	2.16	2.00	2.03	2.07	2.12	2.11	2.11	0.0000986	0.005
SD(標準偏差)								0.0009743	0.049

1）slope-Kは回帰係数で1kg-K_2O ha^{-1} 当たりの増減を示す．

2）K_2O 50kg は50kg- K_2O ha^{-1} 当たりの増減を示す．

リン酸施肥　（AN含量 $cmol_c\ kg^{-1}$）

場所	0	125	250	375	500	625	slope-P [1)]	P_2O_5-125kg [2)]
L01	1.10	1.23	1.05	0.98	1.05	1.30	0.000089	0.011
L02	2.04	1.51	1.82	2.24	1.95	1.56	-0.000151	-0.019
L03	2.92	3.32	2.80	3.32	3.56	3.21	0.000615	0.077
L04	1.95	1.95	1.76	2.34	1.65	2.06	0.000053	0.007
L05	2.64	3.09	2.63	2.94	2.13	2.73	-0.000485	-0.061
L06	2.02	2.19	2.18	1.92	2.23	2.12	0.000082	0.010
L07	1.94	1.83	1.59	1.80	1.66	1.62	-0.000434	-0.054
L08	3.04	2.80	3.25	3.28	2.79	3.11	0.000080	0.010
L09	2.52	1.98	2.41	2.49	2.80	2.64	0.000718	0.090
L10	3.49	2.90	2.95	3.41	2.83	3.56	0.000137	0.017
L11	2.30	2.49	2.50	2.48	2.50	2.71	0.000471	0.059
L12	1.08	1.68	1.78	1.65	1.80	1.49	0.000521	0.065
L13	1.39	1.67	1.88	2.07	1.66	1.57	0.000242	0.030
L14	2.56	1.95	2.37	2.58	2.41	2.40	0.000181	0.023
L15	2.10	2.02	2.21	2.88	2.22	2.66	0.000930	0.116
L16	3.10	2.76	2.90	2.81	2.76	3.17	0.000059	0.007
L17	2.02	2.44	2.47	2.20	2.71	2.27	0.000409	0.051
L18	2.02	2.04	2.24	2.37	2.42	1.88	0.000130	0.016
L19	1.53	1.90	2.06	1.95	1.76	1.99	0.000405	0.051
L20	2.50	1.54	2.06	2.03	2.01	2.22	-0.000005	-0.001
L21	1.09	1.35	1.40	1.25	1.41	1.67	0.000670	0.084
L22	1.60	1.78	1.59	1.56	1.73	1.74	0.000119	0.015
L23	1.45	1.61	1.32	1.78	1.28	1.78	0.000256	0.032
L24	1.63	1.39	1.95	1.89	2.01	1.47	0.000229	0.029
L25	2.17	1.79	1.68	2.28	1.78	1.85	-0.000235	-0.029
L26	1.16	1.48	1.36	1.50	1.59	1.68	0.000702	0.088
L27	1.96	2.28	2.34	1.98	2.26	2.86	0.000933	0.117
L28	1.80	1.41	1.51	2.20	1.70	1.52	0.000037	0.005
L29	1.45	1.35	1.24	1.53	1.43	1.51	0.000190	0.024
L30	1.11	1.36	1.83	1.44	1.36	1.51	0.000368	0.046
L31	1.36	1.82	1.43	1.73	2.04	1.60	0.000494	0.062
AV	1.97	1.96	2.02	2.16	2.05	2.11	0.000252	0.031
SD(標準偏差)							0.000348	0.043

1）slope-Pは回帰係数で1kg- P_2O_5 ha^{-1} 当たりの増減を示す．

2）P_2O_5 125kg は125kg- P_2O_5 ha^{-1} 当たりの増減を示す．

栽植密度　　（AN含量 $cmol_c\ kg^{-1}$）

場所	50000	60000	65000	70000	75000	80000	90000	slope-density[1)]	10000-plant [2)]
L01	1.50	1.54	1.43	1.38	1.11	1.14	1.07	-0.0000135	-0.135
L02	1.96	1.85	2.54	1.91	2.60	1.85	2.27	0.0000062	0.062
L03	3.33	3.00	3.60	3.46	3.62	3.04	3.33	0.0000005	0.005
L04	2.16	2.15	1.83	1.43	2.39	1.68	1.53	-0.0000138	-0.138
L05	1.82	1.95	1.97	2.40	2.38	2.27	1.92	0.0000069	0.069
L06	2.46	2.41	2.31	2.53	2.39	2.31	2.22	-0.0000051	-0.051
L07	2.06	1.84	2.13	1.54	1.73	1.61	1.82	-0.0000087	-0.087
L08	3.00	2.38	2.70	2.96	2.86	3.57	2.66	0.0000056	0.056
L09	2.92	2.70	2.65	2.73	2.66	2.55	2.51	-0.0000092	-0.092
L10	3.49	3.11	3.01	3.49	3.48	3.31	2.78	-0.0000094	-0.094
L11	3.21	2.48	2.80	2.37	2.43	2.37	2.32	-0.0000198	-0.198
L12	2.03	1.90	2.26	1.86	1.91	2.00	1.93	-0.0000026	-0.026
L13	2.10	1.68	1.77	2.08	2.28	1.81	1.73	-0.0000034	-0.034
L14	2.97	2.38	2.52	2.60	2.60	2.16	2.27	-0.0000150	-0.150
L15	2.54	2.36	2.39	2.93	2.14	2.13	2.60	-0.0000022	-0.022
L16	3.18	2.79	2.30	2.95	3.21	2.94	2.90	0.0000004	0.004
L17	2.55	2.53	2.76	2.36	2.49	2.25	2.41	-0.0000066	-0.066
L18	1.91	2.56	3.33	2.04	3.65	2.04	2.02	-0.0000013	-0.013
L19	1.87	1.96	1.70	1.65	1.80	1.58	1.68	-0.0000068	-0.068
L20	2.40	1.93	1.99	2.05	2.33	2.02	1.99	-0.0000053	-0.053
L21	1.65	1.84	1.61	1.89	1.43	1.46	1.50	-0.0000073	-0.073
L22	1.89	1.57	1.74	2.10	1.94	1.94	1.96	0.0000058	0.058
L23	2.94	2.32	1.85	1.96	1.64	1.57	1.92	-0.0000276	-0.276
L24	1.93	2.03	1.94	2.06	1.79	1.74	1.81	-0.0000058	-0.058
L25	1.72	1.94	2.12	2.03	2.25	1.86	1.99	0.0000050	0.050
L26	2.10	1.59	1.58	1.73	1.66	1.27	1.58	-0.0000126	-0.126
L27	2.85	2.45	2.40	2.42	2.31	2.13	2.84	-0.0000037	-0.037
L28	2.38	1.53	1.78	1.52	1.86	2.00	1.52	-0.0000115	-0.115
L29	1.87	1.35	1.89	1.83	1.60	1.37	1.69	-0.0000046	-0.046
L30	1.80	1.89	2.08	2.00	1.76	1.57	1.82	-0.0000042	-0.042
L31	2.14	1.95	2.30	2.36	1.91	2.16	2.23	0.0000019	0.019
AV	2.35	2.13	2.23	2.21	2.26	2.05	2.09	-0.0000054	-0.054
SD(標準偏差)								0.0000079	0.079

1）slope-density は回帰係数で1本 ha^{-1} 当たりの増減を示す.

2）10000plant は10000本 ha^{-1} 当たりの増減を示す.

カリウム施肥　（糖蜜糖分　%）

場所	0	50	100	150	200	250	300	slope-K [1)]	K_2O-50kg[2)]
L01	1.95	1.35	1.79	1.98	1.52	1.76	1.71	-0.0001326	-0.007
L02	1.52	1.29	1.24	1.51	1.41	1.57	1.47	0.0004030	0.020
L03	2.90	2.59	2.40	2.64	2.56	2.47	2.62	-0.0006646	-0.033
L04	1.70	2.05	1.75	1.66	2.03	2.15	1.93	0.0008492	0.042
L05	1.42	1.50	1.63	1.40	1.86	1.85	1.75	0.0013668	0.068
L06	1.87	1.78	1.72	2.03	1.85	2.08	1.83	0.0004541	0.023
L07	1.91	1.81	1.89	1.81	1.88	1.89	1.90	0.0000909	0.005
L08	2.01	1.93	1.94	2.14	2.10	1.79	2.26	0.0004291	0.021
L09	1.05	0.91	1.42	1.09	1.39	1.42	1.08	0.0007786	0.039
L10	2.26	2.10	2.12	2.11	1.79	2.31	2.06	-0.0003743	-0.019
L11	1.67	1.82	2.04	1.82	1.83	1.78	1.82	0.0001071	0.005
L12	1.50	1.44	1.38	1.43	1.73	1.52	1.49	0.0003627	0.018
L13	1.87	1.88	1.85	2.06	1.93	2.13	1.91	0.0004920	0.025
L14	1.66	1.67	1.70	2.27	1.83	1.92	1.88	0.0009201	0.046
L15	1.95	2.07	2.04	2.22	2.21	1.72	2.25	0.0002682	0.013
L16	1.69	1.70	1.75	1.80	1.76	1.83	1.98	0.0008083	0.040
L17	1.90	1.63	1.79	1.78	1.84	1.78	1.94	0.0003383	0.017
L18	2.14	1.58	1.73	1.40	1.83	2.29	1.55	-0.0001632	-0.008
L19	1.35	1.48	1.37	1.12	1.73	1.79	1.24	0.0004701	0.024
L20	1.59	1.30	1.33	1.50	1.37	1.51	1.46	0.0000307	0.002
L21	1.30	1.13	1.47	1.37	1.29	1.47	1.35	0.0004734	0.024
L22	1.25	1.40	1.51	1.42	1.66	1.35	1.50	0.0005766	0.029
L23	1.47	1.02	1.28	1.33	1.15	1.49	1.12	-0.0001671	-0.008
L24	1.41	1.87	1.44	1.65	2.03	1.29	1.69	0.0001948	0.010
L25	1.41	1.36	1.07	1.55	1.47	1.75	1.73	0.0015107	0.076
L26	1.36	1.24	1.57	1.33	1.03	1.44	1.20	-0.0004366	-0.022
L27	1.65	1.45	1.60	1.50	1.43	1.62	1.56	-0.0000578	-0.003
L28	1.39	1.21	1.25	1.36	1.18	1.40	1.33	0.0000958	0.005
L29	1.42	1.48	1.42	1.53	1.23	1.31	1.30	-0.0006362	-0.032
L30	1.21	1.30	1.37	1.20	1.12	1.42	1.12	-0.0001972	-0.010
L31	1.69	1.84	1.51	1.79	1.52	1.36	1.70	-0.0006370	-0.032
AV	1.66	1.59	1.62	1.67	1.66	1.72	1.67	0.0002437	0.012
SD(標準偏差)								0.0005414	0.027

1）slope-Kは回帰係数で1kg-K_2O ha^{-1} 当たりの増減を示す．

2）K_2O 50kg は50kg- K_2O ha^{-1} 当たりの増減を示す．

リン酸施肥　（糖蜜糖分　%）

場所	0	125	250	375	500	625	slope-P [1)]	P_2O_5-125kg[2)]
L01	1.80	2.02	1.32	1.42	1.49	2.06	-0.0000520	-0.006
L02	1.41	1.21	1.22	1.49	1.28	1.27	-0.0000542	-0.007
L03	2.61	2.60	2.43	2.38	2.56	2.59	-0.0000692	-0.009
L04	1.93	1.87	1.75	2.04	1.82	1.80	-0.0001119	-0.014
L05	2.03	2.15	2.09	1.84	1.82	2.21	-0.0000832	-0.010
L06	1.68	1.84	1.96	1.84	1.86	1.78	0.0000924	0.012
L07	1.96	1.87	1.78	1.81	1.81	1.91	-0.0000886	-0.011
L08	1.83	1.49	1.83	2.18	1.70	1.84	0.0002396	0.030
L09	1.29	1.08	1.40	1.50	1.42	1.39	0.0003724	0.047
L10	2.36	2.11	2.10	2.39	2.20	2.37	0.0001438	0.018
L11	1.74	1.76	1.61	1.72	1.63	2.08	0.0003257	0.041
L12	1.40	1.49	1.59	1.67	1.56	1.39	0.0000623	0.008
L13	1.82	1.65	1.68	2.23	1.71	1.80	0.0001372	0.017
L14	1.96	1.62	1.80	1.80	1.94	1.91	0.0001557	0.019
L15	1.77	1.94	1.91	2.05	1.81	2.23	0.0004669	0.058
L16	2.25	1.76	1.78	1.68	1.63	1.92	-0.0004805	-0.060
L17	1.58	1.91	1.80	1.83	2.05	1.69	0.0002274	0.028
L18	1.71	1.64	1.65	1.74	1.67	1.69	0.0000162	0.002
L19	1.25	1.52	1.57	1.50	1.33	1.52	0.0001580	0.020
L20	1.58	1.15	1.60	1.46	1.58	1.43	0.0000999	0.012
L21	1.15	1.16	1.13	1.38	1.27	1.22	0.0002111	0.026
L22	1.30	1.38	1.42	1.36	1.34	1.31	-0.0000296	-0.004
L23	1.13	1.18	1.06	1.32	0.96	1.24	0.0000437	0.005
L24	1.41	1.33	1.54	1.47	1.53	1.34	0.0000403	0.005
L25	1.46	1.56	1.48	1.48	1.45	1.55	0.0000265	0.003
L26	1.07	1.43	1.21	1.16	1.41	1.44	0.0004031	0.050
L27	1.51	1.79	1.79	1.43	1.71	1.99	0.0003989	0.050
L28	1.22	1.12	1.25	1.27	1.18	1.09	-0.0000961	-0.012
L29	1.27	1.37	1.22	1.53	1.53	1.23	0.0001346	0.017
L30	1.26	1.20	1.27	1.13	1.29	1.18	-0.0000634	-0.008
L31	1.50	1.63	1.30	1.58	1.68	1.41	-0.0000053	-0.001
AV	1.62	1.61	1.60	1.67	1.62	1.67	0.0000846	0.011
SD(標準偏差)							0.0001943	0.024

1）slope-Pは回帰係数で1kg- P_2O_5 ha^{-1} 当たりの増減を示す．

2）P_2O_5 125kg は125kg- P_2O_5 ha^{-1} 当たりの増減を示す．

栽植密度　　（糖蜜糖分　%）

場所	50000	60000	65000	70000	75000	80000	90000	slope-density[1)]	10000-plant [2)]
L01	2.31	2.36	2.21	2.16	1.81	1.90	1.72	-0.0000176	-0.176
L02	1.67	1.57	1.90	1.44	1.51	1.20	1.58	-0.0000071	-0.071
L03	2.95	2.46	2.92	2.66	2.63	2.46	2.68	-0.0000065	-0.065
L04	2.20	1.98	1.68	1.87	2.13	1.83	1.69	-0.0000091	-0.091
L05	1.65	1.74	1.47	1.70	1.78	1.79	1.48	-0.0000014	-0.014
L06	2.11	2.05	1.88	1.97	1.87	1.80	1.77	-0.0000089	-0.089
L07	2.01	2.07	2.15	1.86	1.89	1.70	1.83	-0.0000083	-0.083
L08	2.24	2.03	1.96	1.99	1.75	1.96	1.82	-0.0000097	-0.097
L09	1.77	1.62	1.57	1.51	1.55	1.37	1.41	-0.0000094	-0.094
L10	2.51	2.39	2.13	2.34	2.28	2.26	1.80	-0.0000140	-0.140
L11	2.24	1.99	1.95	1.85	1.90	1.70	1.81	-0.0000111	-0.111
L12	1.91	1.65	1.54	1.61	1.54	1.51	1.57	-0.0000078	-0.078
L13	1.94	2.12	1.77	2.11	2.21	1.91	1.70	-0.0000044	-0.044
L14	2.09	1.70	1.71	1.72	1.86	1.64	1.66	-0.0000080	-0.080
L15	2.48	2.04	2.02	2.24	1.78	1.81	2.25	-0.0000076	-0.076
L16	2.01	1.75	1.47	1.94	1.62	1.73	1.77	-0.0000041	-0.041
L17	2.06	1.84	1.93	1.76	1.81	1.67	1.70	-0.0000090	-0.090
L18	1.92	1.90	2.02	1.51	2.47	1.64	1.33	-0.0000116	-0.116
L19	1.65	1.52	1.61	1.62	1.70	1.56	1.20	-0.0000078	-0.078
L20	1.71	1.53	1.70	1.42	1.55	1.46	1.56	-0.0000041	-0.041
L21	1.39	1.58	1.27	1.46	1.31	1.21	1.18	-0.0000074	-0.074
L22	1.45	1.38	1.41	1.50	1.32	1.34	1.22	-0.0000052	-0.052
L23	1.74	1.62	1.56	1.29	1.38	1.21	1.31	-0.0000128	-0.128
L24	2.02	1.67	1.48	1.97	1.55	1.75	1.50	-0.0000087	-0.087
L25	1.70	1.33	1.65	1.69	1.57	1.58	1.75	0.0000028	0.028
L26	2.03	1.41	1.30	1.61	1.55	1.26	1.27	-0.0000149	-0.149
L27	1.94	1.60	1.58	1.51	1.56	1.46	1.57	-0.0000085	-0.085
L28	1.79	1.25	1.26	1.19	1.29	1.28	1.17	-0.0000115	-0.115
L29	1.81	1.41	1.71	1.42	1.29	1.39	1.35	-0.0000111	-0.111
L30	1.56	1.56	1.66	1.32	1.45	1.37	1.32	-0.0000073	-0.073
L31	2.11	1.46	1.87	1.87	1.71	1.53	1.74	-0.0000071	-0.071
AV	1.97	1.76	1.75	1.74	1.73	1.62	1.60	-0.0000084	-0.084
SD(標準偏差)								0.0000039	0.039

1）slope-density は回帰係数で1本 ha^{-1} 当たりの増減を示す.

2）10000plant は10000本 ha^{-1} 当たりの増減を示す.