

第Ⅶ章 総合考察

第1節 畑土壌における酸性化の原因とその対策—土壌理化学性と輪作体系の適正化

第Ⅱ章において、道内の移植および直播テンサイ圃場において発生した初期生育障害の主な発生要因は酸性障害であることを明らかにした。本道には強酸性土壌が広く分布しており、古くから酸性矯正の必要性が認知され、第2次大戦前から1970年代にかけて酸性改良に関する調査・事業が多数実施され、これらは一定の成果を挙げたはずである（小川，1982；水野ら，1977；斉藤，1987）。それにもかかわらず、1980年代から再び畑土壌の酸性化が始まった（図Ⅱ-5）。ここでは、なぜこのように畑土壌の酸性化が繰り返されたのか、その原因について言及し、さらにその対策について土壌理化学性・輪作体系の両面から考察することとした。

道内の畑土壌が再び酸性化した直接的な原因は、言うまでもなく生産現場において石灰質資材の投入が継続されなかったためである。ただし、この間石灰質資材が不足していたわけではなく、また適正な石灰質資材投入を行うための農業技術がなかったわけでもない（佐藤，1994）。石灰質資材の投入が控えられることになった最大の原因は、ジャガイモそうか病等の、高pHで発生が助長される土壌病害の蔓延を恐れたため、と見られている（二口ら，1997；佐藤，1994；山神，1997）。

1970年代後半～1980年代前半の北海道は、テンサイの作付け面積が急増し（図Ⅰ-1）、収量レベルも世界の最高水準に達するなど（井村，1999）、テンサイの生産性向上が勢い付いていた時代であった（北海道てん菜協会，2006）。その勢いのためか、テンサイの増収には石灰質資材散布が重要である、との情報が短絡的に生産現場に浸透・普及してしまった結果、当時既に利用可能であったはずの土壌診断（pH測定等）による処方を経ることなく、無配慮に石灰質資材が多投入される傾向にあった（佐藤，1994）。その結果、テンサイ作付け頻度の高い圃場などではpHが6.5を越える圃場が増加し、テンサイのそう根病、コムギの立枯病、ジャガイモのそうか病など高pHで発生が助長される土壌病害の多発に結びついた、と考えられている（佐藤，1994）。その後、生産現場はこの失敗を恐れ、1980年代前半以降石灰質資材の投入を控えた結果、畑土壌の酸性化が進行したものと考えられる（図Ⅱ-5）。

畑土壌が酸性化した結果、畑作4品（コムギ、テンサイ、豆類、ジャガイモ）の中で最も酸性に弱いテンサイに酸性障害が現れ、特に直播テンサイでの被害が大きかった（第Ⅱ章）。このことは、高pHが望ましいテンサイと低pHが望ましいジャガイモを同一の圃場内で輪作することが容易ではないことを示唆するものである。

一方、畑輪作を農業の基幹に据えているヨーロッパでは、輪作内における根菜類同士の組合せを避けている事例がある。ドイツ北部では、粘土質土壌をテンサイ栽培地帯、砂質土壌をジャガイモ栽培地帯、と明確に分けており（野村，1980）、またオランダでは、低pHによるテンサイの酸性障害と、高pHによるジャガイモの土壌病害蔓延、の両方を避ける観点から、テンサイ主体の輪作方式と、ジャガイモ主体の輪作方式のどちらかを選択することが推奨されており、輪作方式の選択の際には土壌有機物含量とpH（KCl）の測定値による方法が指導されている（笛木・有田，2003）。

しかし、このようにテンサイ主体の輪作と、ジャガイモ主体の輪作を分離する方法は、本質的な問題解決にはなり得ないと考えられる。その理由は、例えばジャガイモを除いたテンサイ—豆類—コムギで輪作を構成し高pHの維持に努めれば、過去に見たように再びコムギの立枯病やテンサイのそう根病などの土壌病害が蔓延する恐れがあり（阿部，1987；佐藤，1994）、逆にテンサイを除いたジャガイモ—コムギ—豆類で輪作を構成し低pHの維持に努めれば、耐酸性がそれぞれ“強～中”と“中”であるコムギと豆類（但野・安藤，1984）の生産性が低下し、収益性が悪化する恐れがある。辻ら（2006）は、道内のジャガイモ主産地（羊蹄山麓地域）において調査を行い、生産者がジャガイモそうか病を恐れて石灰質資材や堆肥の投入を控えた結果、土壌は酸性化し、ジャガイモ以外の作物（コムギ、豆類、テンサイ）の収益性が著しく低下し、これを補うため収益性の高いジャガイモの作付け頻度が増え、このことがさらにジャガイモそうか病等の土壌病害の蔓延とジャガイモの収量・品質の劣化を助長し、さらに悪いことにジャガイモの収量性維持のために窒素を多肥し土壌の酸性化に拍車がかかる、という悪循環に陥った事例があることを述べている。

すなわちこれらのことから、土壌pH管理および輪作に対するバランスを欠いた一方通行的な農法は、結果的

には土壤病害や酸性障害を助長し、土壤劣化を招きかねないことが示唆されたので、以下では畑輪作を持続可能なものとするための土壤pH管理および輪作体系のあり方について考察した。

まず土壤pH管理についてであるが、下野（1990）は過剰な高pHによる土壤病害蔓延を招いた1983年以前の北海道の畑土壤の改良目標設定値pH6.0～6.5を理論的に改訂すべく、土壤pHと作物の収量性に関する研究を行い、実際には移植テンサイ、ジャガイモ、秋まきコムギの収量のピークは、土壤pHがそれぞれ、5.7～6.1、5.5～5.7、5.5～6.3の範囲にあり、いずれの作物でも土壤pHを5.5～5.7程度とすれば最大収量が得られることを明示した。

一方、第Ⅱ章第1節において、移植テンサイではpHを5.5に保てば一応酸性障害を防げるが、直播テンサイではpH5.5以上でも酸性障害が発生した場合があり（表Ⅱ-4、表Ⅱ-7）、これは主に硝酸化成の抑制に伴う窒素吸収抑制と考えられる（図Ⅱ-16、図Ⅱ-17）。このことから、直播テンサイ作付け時には、下野（1990）が提案したpH5.5～5.7の上限値付近を目標として酸性矯正し、播種時には石灰質資材を条条施用（第Ⅱ章第1節、表Ⅱ-7）すれば直播テンサイの酸性障害は防げるものと考えられる。

かつて酸性土壤の改良目標に対し、あくまでアルミニウム毒の除去を目標とし石灰質資材量を最少とすべきとする意見（Kamprath；1970b）と、アルミニウム毒の除去のみでは不十分で、養分の可給化や土壤中の微生物活性向上も含め中性付近にまでpHを改良すべきとの意見（Mclean；1970）が対立したことがあった。この論争は、石灰質資材の入手の難易に応じて改良目標を選べばよい、と田中（1984）が述べたことで一応の決着がついたが、なお現在の北海道における畑土壤の現状を見れば、改良目標の設定に際しては、単に酸性障害や収量性向上への対応を考えるだけでは不十分で、適正pHと適正輪作による土壤病害蔓延防止までも勘案すべき段階にきているといえる。

そこで次に、最も注目される土壤病害であるジャガイモそうか病の蔓延防止について考察する。奥村（2000）は、ジャガイモそうか病は、ジャガイモを連作した場合、および3年輪作以下の輪作条件でテンサイ跡にジャガイモを作付けした場合、に多発したが、4年輪作（作付け順序：コムギ—テンサイ—豆類—ジャガイモ、またはコムギ—テンサイ—ジャガイモ—豆類）での発生は少なく抑えられたことを報告した。このことは、ジャガイモそうか病の蔓延防止にはまず第1に4年輪作を厳守することが極めて重要であることを意味している。

また辻ら（2006）は、石灰質資材による酸性矯正を行い、pHを4.4から5.6にまで高めた結果、テンサイとコムギが著しく増収し、またpHの上昇を5.6程度に抑えたので、ジャガイモそうか病等の土壤病害の蔓延は生じなかったことを明らかにし、さらにジャガイモそうか病等の土壤病害を発生させず、輪作作物の収益性を確保するには、作付け順序の厳守（コムギ—テンサイ—豆類—ジャガイモ）とジャガイモ作付け後に計画的に石灰質資材を施用することが重要であることを述べている。すなわちこのような実践例もあることから、特にテンサイ作付け前に土壤pHを5.7付近となるよう矯正・維持し、かつ4年輪作を厳守するのが、最良の解決策と考えられる。

以上のような考えは、土壤の“健康”や“質”といった概念に通じるものである。最近、土壤管理を持続可能なものとするための新たな概念として“Soil Health”ならびに“Soil Quality”が定義された（Doran and Parkin, 1994；Doran et al, 1996）。その定義は“生態系と土地利用の界面において機能する土壤の能力、生物学的生産性を持続させ、環境質を保全し、植物と動物そして人間の健康を高める能力。”とされ、今のところ両者（“Soil Health”ならびに“Soil Quality”）はほぼ同義に扱われている。この新しい概念に基づき、土壤を再評価しようとする研究が試みられている（Bredja, 2000a；2000b；Russell et al, 2006）。Soil Qualityの指標値は、物理性としては土壤（作土、友好土層）の深さ、透水性、容積重、水分保持容量、化学性としては土壤有機物含量、pH、電気伝導度（EC）、有効態のN、P、K、生物性としては微生物バイオマスC、N、嫌気培養による無機化可能N、土壤呼吸量、が提案されている（Doran et al, 1996）。

今後は、土壤の理化学性や生物性のみならず、適正輪作による土壤病害の予防、といった人為的行為を取り込んだ“Soil Quality Indices”のような指標を構築し、EUの環境支払いのような農業政策（石井, 2007）に反映させていく必要があるものと思われる。テンサイの直播栽培が可能で、かつジャガイモそうか病の発生しにくい土壤は“Soil Quality”の高さを評価されるべきであろう。

第2節 直播テンサイにおける濃度障害と窒素施肥改善

第Ⅳ章と第Ⅴ章において、直播テンサイに対する全層施肥と分施の有効性についてそれぞれ検討したところ、両者ともに根圏域での窒素濃度が極端に高まらないため濃度障害の回避に有効であり、初期生育を改善し増収が

期待できることが明らかとなった。このことは、第Ⅱ章において指摘したように、直播テンサイが作条施肥による濃度障害を受けやすいので、このことを配慮した施肥法が必要であったことを改めて示唆するものである。

直播テンサイが濃度障害を受けやすいことは古くから知られていたにもかかわらず(天野, 1929), 現在まで全量作条施肥が慣行の施肥法として定着し続けたことは、ある意味では興味深い。なぜ作条施肥が定着し続けたのか、以下に考察した。

作条施肥は、少量の肥料を作物に効果的に吸収利用させるためには合理的であったことから(石塚ら, 1962), 直播テンサイに限らず古くから畑作物全般に用いられる施肥法であった(天野, 1929)。かつて(1920年代)のテンサイ(直播)に対する窒素施肥量は 40kg ha^{-1} 程度とごく少ない量が適量とされていたので(天野, 1921; 1929), この時代には濃度障害の問題は小さかったと思われる。しかし第2次大戦終了後(1945年), 肥料の入手が容易になるとともに窒素施肥量が急速に増え, 1960年代前半には平均窒素施肥量が 100kg ha^{-1} に達したことから(図Ⅰ-1), 濃度障害が発生する危険性が増したため, これに対応して濃度障害を回避するための研究が盛んに行われた(林・古畑, 1966; 尾崎・桜庭, 1963)。ところが1962年以降, 紙筒による移植栽培が急速に普及し直播栽培に置き換わったため(北海道てん菜協会, 2006), 次第に直播栽培の施肥法等には大きな関心が払われなくなった。また移植栽培の普及とともに, 窒素施肥量はさらに急速に増加し, 1978~1979年には平均窒素施肥量が 196kg ha^{-1} に達した(図Ⅰ-1)。移植栽培は直播栽培と異なり施肥による濃度障害を受けにくく, 窒素多肥に良く反応して増収したためである(井村, 1999; 増田, 1997)。

一方, 直播栽培における窒素施肥量は, 移植栽培に準じると指導されてきたことから(梶山, 2000), 直播栽培の窒素施肥量も常に移植栽培とほぼ同様に増加したので, 作条施肥による濃度障害の危険性は以前より大きくなった。しかし, 直播栽培の割合は1980年以降には10%以下にまで低下したため, さらに関心がもたれなくなった。

他方, 直播栽培が間引き栽培で行われてきたことと, 濃度障害との関係も無視できない。間引きは膨大な時間と手間を要する作業であるが, 株立て本数を確保するために古くから行われてきた栽培法である(加藤・大久保, 1956)。間引き栽培の場合, 濃度障害による欠株や生育不良個体があっても, 生育の良好な個体を残すように間引き作業を行うことができるため, 全量作条施肥であっても濃度障害の問題が小さかったことが窺われる。近年

は, 省力化のため無間引き栽培技術が発達し普及しつつあることから(吉村ら, 1997), 濃度障害を回避するための施肥法がより重要となったのである。

ところで, 直播テンサイにおいては全層施肥が作条施肥よりも有効であったことは(第Ⅳ章), これまで施肥効率が低いとされてきた全層施肥に対する一般的理解(北海道農政部, 2002)と異なる結果であった。このことは, 直播テンサイが, 濃度障害に弱いために根圏域に肥料が集中する作条施肥では初期生育に支障が出る一方, 生育期間が長く深根性であるために全層施肥のような肥料を分散させる施肥法であっても窒素を効率よく吸収利用できる, という2つの特徴を有するためであると考えられる。また前述のように, 近年にかけて窒素施肥量が大幅に増加したことも, 肥料が分散し濃度障害の起きにくい全層施肥が有効であった理由の一つと考えられる。

ただし, 直播テンサイ以外にも全層施肥が有効とは限らない。直播テンサイよりも濃度障害に強い移植テンサイの場合は, 有意な差ではないが全層施肥の収量は作条施肥よりも4%少ないことが報告されている(増田, 1997)。また露地栽培キャベツの場合は, 全層施肥は作条施肥よりも窒素施肥利用率が低いことが報告されており, これはキャベツの生育期間が短いため全層施肥した窒素を効率よく吸収利用できないためであると考えられている(北海道農政部, 2003)。さらにジャガイモの場合も, 全層施肥は作条施肥よりも収量が低いことが報告されているが(Westermann and Sojka, 1996), この理由は, ジャガイモは濃度障害に強いので作条施肥した窒素が生育促進につながることで, 根張りが浅いため下層に移動した窒素を吸収利用できないためであると考えられている(Westermann and Sojka, 1996; 山口, 1999)。

これらのことは, 窒素施肥法を開発・改善しようとする際には, 各作物の栄養生理・生態をよく検討し, 考慮しなくてはならないことを示唆するものである。

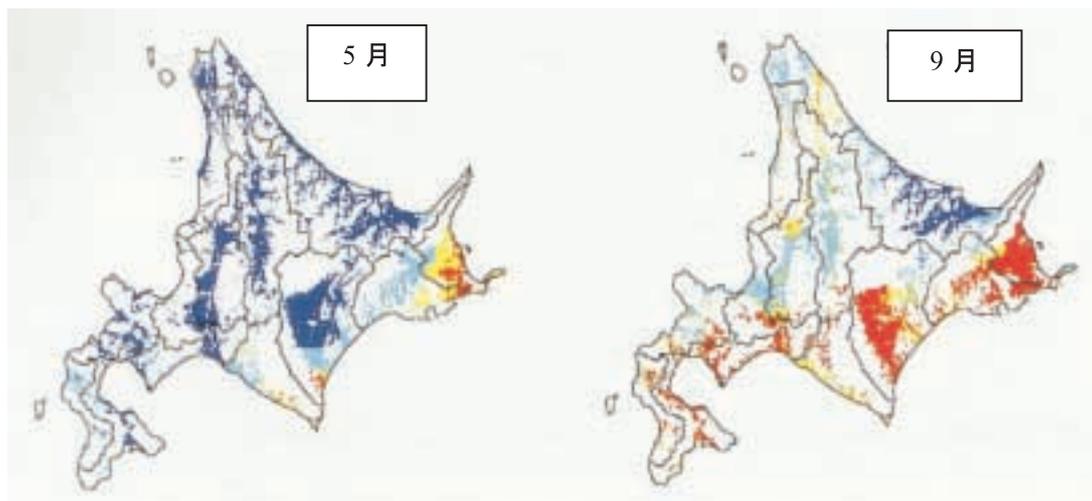
第3節 直播テンサイにおける全層施肥の適用限界

第Ⅳ章と第Ⅴ章において, 全層施肥と分施の両者ともに, 根圏域のアンモニウム態窒素濃度が極端に高まらないため硝酸化成が促進され, 直播テンサイの初期生育を改善し増収が期待できることを明らかにした。しかし全層施肥については, 土壌が粗粒質でかつ降水量が多い場合には窒素肥効が低下する恐れがあり, そのような場合には積極的に分施を採用すべきであることが, 第Ⅵ章において指摘された。ここでは, 全層施肥に関して行われ

た効果実証試験（第IV章第2節）の結果と第VI章の結果を基に、全層施肥を適用できる限界条件を、土壌条件と降水条件から導こうとした。

第VI章では、土性SLの淡色黒ボク土において、6月の余剰水量（降水量－蒸発散量）が64mmであった場合に、全層施肥の窒素吸収量が作条施肥および分施よりも低い傾向が観察された。これと同様の検討を第IV章第2節（全層施肥の効果実証試験）の結果について行うため、

表VII-1に各試験地および試験年次の4月下旬～6月における降水量、蒸発散量、そして余剰水量を月平均値（mm 月⁻¹）として示した。余剰水量は、1998年の芽室町（Me-1）で18mm 月⁻¹、2000年の同町（Me-2, 3）で34mm 月⁻¹、そして2000年の池田町（Ik）で46mm 月⁻¹、であった以外は、降水量が少なかったためすべて負の値を示した。したがって、ここでの考察には第VI章の結果と、Me-1～3およびIkのみを扱うこととした。



5, 9月の余剰水量(降水量－蒸発散量)から推定される作土層(0～20cm)からの硝酸態窒素の流出程度(%)

土 性		5, 9月余剰水量 (mm 月 ⁻¹)			
火山性土	低地・台地土	<20	20～40	40～50	50<
S-LS	S-LS	<20%	20～40%	40～60%	60%<
SL-HC	SL-L	<10%	10～30%	30～50%	50%<
	CL-HC	<10%	10～20%	20～40%	40%<

図 VII-1 北海道農耕地土壌における硝酸態窒素の流れ易さ区分図。本図は北海道農政部（2003）より引用した。

月当たりの余剰水量から硝酸態窒素の流出程度を判断するために、北海道農政部（2003）が示した硝酸態窒素の流れ易さ区分図を採用した（図VII-1）。これは、月当たりの余剰水量と土性によって、施肥窒素（硝酸態窒素）が作土層（0～20cm）から流出する程度を推定できるものであり、青のゾーン内であれば流出程度は10～20%以下と小さいが、水色のゾーンでは10～40%、黄色のゾーンでは30～50%、赤のゾーンでは40～60%以上とかなり硝酸態窒素が流出することを示す。

1998年の芽室町（Me-1）は火山性土（淡色黒ボク土）で土性L、余剰水量18mm 月⁻¹であるから図VII-1の青のゾーン内で流出程度は<10%と小さいと推察された。2000年の同町（Me-2, 3）の場合は、土壌型・土性は同

じであるが、余剰水量は34mm 月⁻¹とやや多かったので、図VII-1の水色のゾーン内で流出程度は10～30%と1998年よりは大きいと推察された。ただし、Me-1～3のいずれの場合も、初期生育・窒素吸収量・根重・糖量等について、全層施肥は作条施肥に劣らなかった。

次に2000年の池田町（Ik）を見ると、低地土（普通灰色低地土）で土性SiCL、余剰水量は46mm 月⁻¹とやや多かったので、図VII-1の水色のゾーン内で作土層からの硝酸態窒素の流出程度は20～40%と、Me-1～3の場合よりも大きいと推察された。このため、全層施肥の生育中期（7月上旬）における草丈・乾物重・窒素吸収量は作条施肥にやや劣った（図IV-7）。しかし、10月中旬には根重・根中糖分・糖量・窒素吸収量のいずれも作条施

肥と同等以上に回復した（図Ⅳ－8）。

第Ⅵ章の場合は、火山性土（淡色黒ボク土）で土性SL、余剰水量（多雨条件）は5月が19mm 月⁻¹、6月が64mm 月⁻¹（表Ⅵ－3），なので平均値をとれば月当たり余剰水量は42mm 月⁻¹であり、黄色のゾーンで流出程度は30～50%と、得られた試験例の中では最も大きく見積もられた。このことは、全層施肥において硝酸態窒素の作土層下（20cm以深）への流出が確認され（図Ⅵ－3），生育中期の葉色値が低下し（図Ⅵ－2），収穫時（10月14日）の窒素吸収量は分施および作条施肥よりもやや低

い傾向にあった（図Ⅳ－4）ことに符合するものである。すなわちこれらのことから、全層施肥は、流れ易さ区分図（図Ⅶ－1）における青～水色のゾーンの地帯であれば、硝酸流亡による窒素肥効低下の心配が少ないと考えられるが、黄色や赤色のゾーンでは窒素肥効の低下が懸念されると考えられる。

このように、直播テンサイに全層施肥を適用すべきか判断する際には、流れ易さ区分図（図Ⅶ－1；北海道農政部，2003）の利用が有効であると考えられた。

第Ⅷ章 要 約

テンサイは、北海道において約7万haに作付けされ、ジャガイモ、麦類、豆類とともに畑輪作を構成する重要な基幹作物である。

北海道のテンサイは移植栽培（紙筒）によって大幅に生産性が向上したが、近年では国際競争力強化のために省力・低コスト化を図ることが急務となっている。そのため直播栽培が見直されているが、直播栽培テンサイの初期生育障害がしばしば多発した。この原因には、輪作体系内で作付けされるジャガイモのそうか病の蔓延抑制を意図した石灰の施用忌避による土壤酸性と、作条施肥による濃度障害、があると考えられているが、土壤による違いがあり、対策が不明確であった。本研究ではその対策を明確にするとともに、具体的な改善策の提示を目的とした。

1. テンサイにおける初期生育障害の発生要因の解明

1) 移植および直播テンサイの初期生育障害の発生要因

移植および直播栽培テンサイの初期生育障害について実態調査やいくつかの実験を行い、その発生要因を以下のように明らかにした。

(1) 移植テンサイにおける初期生育障害は、移植直後（移植時期：4月中旬～5月上旬）には障害はなく、その後6月以降にスポット状あるいは圃場全体で生育が停滞する特徴があった。ただし枯死個体は少なく、裸地化するほどではなかった。直播テンサイにおける初期生育障害の特徴は、発芽にはほとんど問題なく（播種時期：4月中旬～5月上旬）、その後6月以降にスポット状あるいは圃場全体に発生、本葉2～5葉・草丈5～10cmで生育が停滞、葉色がやや薄い、葉縁部が赤～赤褐色を呈する、根はわい化し褐変する、甚だしい場合には個体が枯死し圃場は裸地化する、であった。

(2) 移植テンサイにおける初期生育障害発生地点は、土壤pH、Ca飽和度、塩基飽和度が正常地点よりも有意に低く、 y_1 は有意に高かった。また初期生育時の草丈および収量調査時の根重はこれらと密接に関係したことから、移植における初期生育障害の発生要因は、主に酸性障害である可能性があった。

(3) 直播テンサイにおける初期生育障害発生地点においても、土壤pH、Ca飽和度、塩基飽和度が正常地点よ

りも有意に低く、 y_1 は有意に高かった。ただし、直播の場合は土壤pHが5.7と比較的高い場合にも初期生育障害が発生し、また播種時の石灰の作条施肥が生育を改善する、という特徴があった。全体傾向としては、直播においても初期生育障害の発生要因は第1には酸性障害であり、次に作条施肥による濃度障害が複雑に関与すると考えられた。

(4) テンサイの初期生育障害が顕在化した理由として、畑土壤全体の酸性化が進行していることが挙げられた。

(5) 作条施肥による濃度障害を受けやすいと考えられた直播テンサイについては、全層施肥や分施など根圏域での窒素濃度が極端に高まらない施肥法が有効な対策となる可能性が示唆された。

2) 直播テンサイの初期生育に及ぼす土壤要因の影響—土壤pH、交換酸度 y_1 、作条施肥窒素の硝酸化成の寄与と相互関係

4種の土壤を用いて、直播テンサイの初期生育に及ぼす土壤要因の影響について検討した。土壤要因としては、土壤酸性（土壤pH、交換酸度 y_1 ）と作条施肥された窒素の硝酸化成に着目した。

4種の供試土壤をpH5.1に統一して比較すると、最も交換酸度 y_1 が高いのは腐植質灰色台地土（ y_1 :18.0）であり、2番目は腐植質火山放出物未熟土（ y_1 :6.9）、3番目は普通褐色低地土（ y_1 :5.3）で、最低は淡色黒ボク土（ y_1 :2.2）であった。土壤溶液へのAl放出が始まる土壤pHは約4.8であったが、淡色黒ボク土にはこれが当てはまらず、土壤溶液中のAl濃度も他の3土壤より低かった。一方、土壤pHは作条施肥された窒素の硝酸化成によって一時的に低下したが、このことは腐植質灰色台地土で最も著しく、土壤pHはAl放出が生じるレベル（4.8以下）にまで低下した。

このように土壤酸性に関わる性状が全く異なる供試土壤でテンサイを栽培したところ、生育は土壤pHおよび交換酸度 y_1 の両者と有意に関係した。しかしどちらの場合も土壤タイプの違いに由来するばらつきがあった。一方、株間の土壤中硝酸態窒素量は、土壤pHおよび交換酸度 y_1 よりもテンサイの生育（草丈）と密接に関係した。さらに、株間の土壤中硝酸態窒素量は土壤pHおよび交換酸度 y_1 と密接に関係し、特に交換酸度 y_1 の方が土壤pHよりもやや密接であった。

以上のことから、まず第1に硝酸態窒素はテンサイの直接的な窒素栄養源であることから、土壤中の硝酸態窒素量はテンサイの窒素栄養状態を表し、テンサイの生育と直接的な関係をもつと考えられ、次に硝酸化成程度（土壤中の硝酸態窒素量）は土壤の酸性状態（交換酸度 y_1 ）に支配されるため、間接的に土壤酸性と関係すると考えられた。すなわち施肥窒素の硝酸化成程度は土壤の種類や土壤酸性によらずテンサイの生育を理解する上で重要な意味を持つことが明らかとなった。

さらに窒素肥料の硝酸化成を促進し、また窒素肥料の硝酸化成に伴うpHの低下によって助長されるAl害のリスクを最小とする視点から、土壤pHが低いことを放置すべきでないことが再認識された。

2. 施肥窒素の硝酸化成に影響を及ぼす要因の解析

直播テンサイにおいては作条施肥による濃度障害も初期生育障害の一因と考えられたことから、直播テンサイの窒素施肥改善の必要性が指摘されたので、窒素施肥を改善する上で重要とみなされた硝酸化成について培養実験を行い、硝酸化成に与える添加窒素濃度、窒素の種類、土壤pH、土壤有機物含量の影響について検討した。道内22圃場（過半は火山性土系土壤）から採取した土壤を供試し、リン酸1アンモニウムを0, 50, 100, 200, 300mg N kg⁻¹の量で土壤に添加し、14日間培養した結果、以下の4点が明らかになった。

(1) 高濃度の窒素添加は硝酸化成を抑制する。

(2) 最も添加窒素濃度の高い条件（300mg N kg⁻¹）における硝酸化成について土壤間差を比較したところ、有機物含量の高い土壤（普通黒ボク土、T-C: 31.4-82.4g kg⁻¹）における硝酸化成は、その他の有機物含量の低い土壤（T-Cは、普通火山放出物未熟土で13.6-25.8g kg⁻¹、淡色黒ボク土で10.1-24.7g kg⁻¹、普通褐色低地土で9.3-12.5g kg⁻¹）よりも速やかであった。(3) 普通黒ボク土のみ見た場合、硝酸化成は土壤pHと密接に関係した。

(4) 22土壤全体で見れば、硝酸化成は第1にT-Cと有意な正の相関関係にあり、第2に土壤pHとの正の相関関係が有意であった。

次に、T-Cと土壤pHがともに比較的高い土壤を供試し、硫酸アンモニウム、リン酸1アンモニウム、尿素の硝酸化成を培養実験によって比較した。窒素添加量が300mg N kg⁻¹の場合には、3窒素種とも42日間で添加窒素の全てが硝酸化成された。ところが、窒素添加量が500および1000mg N kg⁻¹の場合には、全ての窒素種において硝酸化成の抑制が見られた。最も硝酸化成が抑制されたのは硫酸アンモニウムであり、ついでリン酸1アンモニウ

ム、尿素の順であった。

以上のことから、施肥窒素の硝酸化成は、添加窒素濃度、土壤有機物含量、土壤pH、施用窒素種、そしてこれらの相互作用によって影響を受けることが明らかになった。これらの知見は、全層施肥・分施・作条施肥など施肥法間の違いを比較し理解する上で有効と考えられた。

3. 全層施肥による直播テンサイの窒素施肥改善

1) 直播テンサイにおける全層施肥による初期生育改善とその要因解析

直播テンサイにおける全層施肥による初期生育の改善とその要因を明らかにすることを目的とし、全層施肥と作条施肥における初期生育量や土壤中のEC、アンモニウム態窒素および硝酸態窒素等の化学性の推移を詳細に比較した。

作条施肥では、種子近傍の多肥に起因して株間土壤のアンモニウム態窒素濃度やECが全層施肥よりも高いため、濃度障害が生じ初期生育が抑制された。しかも、アンモニウム態窒素やECが高いために硝酸化成が遅れ、アンモニウム態窒素が高濃度のまま残存した。このことも濃度障害を助長する要因と考えられた。

反対に全層施肥では、肥料を土壤全体に混和するため、株間土壤のアンモニウム態窒素濃度やECが作条施肥よりも低く、また硝酸化成も速やかでアンモニウム態窒素が残存しにくく、このことが濃度障害の回避を促し初期生育の改善につながる事が推察された。

2) 直播テンサイに対する全層施肥の効果実証試験

十勝農試圃場や現地圃場のべ18カ所において試験を行い、全層施肥は、慣行の全量作条施肥に比べ濃度障害の心配がなく、生育や根中糖分が改善され、根重・糖量の増加が期待できることを実証した。

4. 分施による直播テンサイの窒素施肥改善

1) 発芽および初期生育に対する作条基肥窒素量と施肥位置の影響

淡色黒ボク土を充填したコンクリート枠試験から、直播テンサイにおける初期生育確保にはスターター窒素として、作条基肥窒素量が40kg ha⁻¹程度必要であることを明らかにした。またその作条基肥窒素量の場合も、施肥位置は現行の種子から側方2.5~5.0cm、深さ6cm、が適切であることを確認した。

2) 表面施肥した窒素のアンモニア揮散に及ぼす 土壌pH・温度・施用窒素形態の影響

黒ボク土における表面施用窒素のアンモニア揮散に及ぼす、土壌pH、温度、施用窒素形態の影響について、以下のことを明らかにした。

窒素のアンモニア揮散率は高温・高pH (30℃, 土壌pH7.0) 条件で8~28%と大きく、尿素 (URA, 約28%) > 2リン酸アンモニウム (DAP, 約24%) > 硫酸アンモニウム (ASF, 約13%) > 1リン酸アンモニウム (MAP, 約8%) であった。

次に低温・低pHの場合 (15℃, 土壌pH5.9) のアンモニア揮散率は、DAPで約3%, URAで約1%, ASFとMAPではほとんどアンモニア揮散は認められなかった。また、温度が高くともpHが低い場合 (30℃, 土壌pH5.9) のアンモニア揮散率は、DAPで約8%, URAで約5%, ASFとMAPでは約1%と低かった。

これらの窒素形態間差は、窒素添加24時間後の土壌pHによって説明できた。

以上の結果に基づき、営農場面において表面施肥を行う場合、アンモニア揮散をできるだけ抑制するための留意点として以下のことが指摘できる：

土壌pHを高くし過ぎない。ただし、本研究における土壌pH5.9条件でのアンモニア揮散率は、DAPを除けば数%以下と低かったため、極度に低pHとする必要はない。また低pHの場合 (土壌pH5.9程度) には、URA, ASF, MAPのいずれもアンモニア揮散率は低いので、表面施肥への適用は可能と考えられる。

3) 直播テンサイに対する分施の効果実証試験

十勝農試圃場や現地圃場のべ11カ所において試験を行い、播種時の作条基肥窒素量を40kg ha⁻¹程度、残りの窒素施肥量を発芽揃い〜本葉2葉期に表面施肥する分施は、慣行の全量作条施肥に比べ作条施肥窒素による濃度障害やアンモニア揮散による表面施肥窒素損失の心配がなく、生育や窒素吸収が改善され、根重・糖量の増加が期待できることを実証した。

5. 降水条件の違いが全層施肥と分施の有効性に与える影響

直播テンサイの窒素施肥改善に有効と判断された全層

施肥と分施の有効性は、降水条件によって左右される可能性がある。特に全層施肥は多量の降水によって窒素が流亡しやすい可能性があるため、灌水によって2つの降水条件 (少雨・多雨条件) を設け、全層施肥、分施、作条施肥での生育量や窒素吸収量と窒素流出との関係を比較検討した。

その結果、十勝地方の淡色黒ボク土 (土性SL) でのテンサイ直播栽培において、少雨条件 (6月の余剰水量4mm) では、全層施肥および分施は、慣行の作条施肥より初期生育が改善され、増収が期待できる。一方、多雨条件では (同64mm)、根重・糖量には全層施肥・分施・作条施肥間で大きな差はなかったが、全層施肥では硝酸態窒素の下層土への流出と葉色値の低下が認められ、収穫時の窒素吸収量もやや少ない傾向があり、施肥法によって流れ易さに違いがあった。

6. 結論

以上の結果を総括し、北海道の畑作においてテンサイの直播栽培を安定的に生産するための、以下の4つの結論が得られた。

1) 直播テンサイでは、pHが比較的高くとも初期生育障害が発生する場合があります。これは主に硝酸化成の抑制に伴う窒素吸収抑制と理解され、さらなる酸性矯正が必要と考えられた。

2) 酸性矯正の目標は、pH5.7付近とし、播種時に石灰の作条施用を併用すれば直播テンサイの生育を改善できる。

3) 全層施肥および分施ともに、根圏域のNH₄-N濃度が極端に高まらないため硝酸化成が促進され、直播テンサイの濃度障害回避に有効であり、初期生育の改善と増収が期待できる。

4) 余剰水量の多い地域では、硝酸態窒素が流亡し難い分施を選択すべきである。硝酸態窒素が流亡し易い全層施肥も、流れ易さ区分図 (北海道農政部, 2003) における、作土層 (0~20cm) からの硝酸態窒素の流出程度が30~40%未満の地域であれば適用可能である。

Studies on Effective Soil and Nutrient Management for Stable Sugar Beet Production

Nobuhiko Fueki

(Hokkaido Prefecture Tokachi Agricultural Experiment Station)

Summary

Sugar beet is cultivated in approximately 70,000 ha arable field in Hokkaido, and is one of the most important basic crops because it is essential for crop rotation system of Hokkaido's upland farming, consisting of sugar beet, beans, potato and wheat.

Hokkaido's sugar beet productivity has greatly been improved by developing transplanting cultivation (paper-pot), but recent years labor-saving and cost-reducing have become tasks of pressing urgency in order to build up global competitiveness. Therefore, direct-sowing of sugar beet is drawing attention again for the purposes. But recently, growth disorder often has occurred in the early stage of direct-sowed sugar beet. Causes of the disorder have been thought as the two followings hypothetically: (1) soil acidity, being ascribed to sabotage of liming to avoid epidemic of soil borne diseases being widespread in higher soil pH like potato scab, (2) salt injury, being due to band application. But the disorder was different among soil types, and the countermeasure has been still confused.

The objective of this study is to show the countermeasure and the concrete practice for improvement.

1. Analysis of cause of disorders in early stage of sugar beet growth

1) Cause of disorders in early stage of both transplanted and direct-sowed sugar beet

The results of investigation of farmers' fields where the growth disorder occurred and of some experiments showed the cause of disorder as follows:

(1) In transplanted sugar beet, growth disorders did not occur just after transplanting (transplanting: from the middle of April until early in May) and were first recognized in June, then spread partially or extensively in field. Growth was apparently delayed but was recovered in figure thereafter in many cases. The dead plant was very rare. In direct-sowed sugar beet, growth disorders did not occur just after shooting (sowing: from the middle of April until early in May) and occurred first in June, then spread partially or extensively in field. Typical symptoms of disorder were stagnation of growth at 2-5 true leaves stage (leaf length was 5-10cm), yellowing of new leaves, reddening of the edge of leaves and shortening and browning of roots. In severe cases, plants disappeared in wide spaces.

(2) In transplanted sugar beet, soil pH, Ca saturation and base saturation in soils where disorders occurred were significantly lower than those in normal fields. On the contrary exchangeable acidity (y_1) of disordered fields was apparently higher than that of normal fields. Leaf length in July and final root yield were closely related with these chemical properties (soil pH, Ca saturation, base saturation and exchangeable acidity (y_1)). These results showed that the main cause of growth disorders in early stage of transplanted sugar beet was derived from soil acidity.

(3) In direct-sowed sugar beet, soil pH, Ca saturation and base saturation in soils where disorders occurred were significantly lower than those in normal fields. Exchangeable acidity (y_1) of disordered fields was significantly higher than that of normal fields. But in some cases, growth disorders were observed even in reasonable soil pH, 5.7, and were improved by lime-banding at drilling characteristically. This suggested that the cause of growth disorders in direct-sowed sugar beet might involve other complicated factors. From the result of analysis, as a comprehensive tendency, firstly the most predominant cause of disorder might be soil acidity. The second cause might be the salt injury due to band application, and the negative effect of salt injury seemed to be related to the disorder complicatedly.

(4)Year by year the soil in upland fields became acidic in Hokkaido. This promoted that growth disorders were actualized in many fields of sugar beet.

(5)As for direct-sowed sugar beet, this is more susceptible to salt injury by band application than transplanted sugar beet, it was suggested that fertilizer application technique which could keep nitrogen concentration at rooting zone lower than all-banding, like broadcast application and split application, might be effective measures.

2)Soil factors affecting early growth of direct-sowed sugar beet — contribution and interaction of soil pH, exchangeable acidity y_1 and nitrification of banded fertilizer

The present study was carried out to analyze the factors that affected the growth of sugar beet in four different soil types by using concrete-framed plots. As the factors, soil acidity(soil pH, exchange acidity y_1)and nitrification of banded fertilizer were focused on.

Comparison of the value of the exchange acidity y_1 of the four soil types with the pH value adjusted to the same level(pH 5.1)showed that the Humic Gray Upland soil displayed the highest y_1 value(y_1 :18.0),followed by the Humic Volcanogenous Regosol(y_1 :6.9),Haplic Brown Lowland soil(y_1 :5.3)and Low-humic Andosol(y_1 :2.2). Al release to the soil solution was considered to occur at soil pH values of 4.8 and lower except in the Low-humic Andosol. Al concentration in the soil solution of the Low-humic Andosol was substantially lower than that of the other soils. On the other hand, the soil pH value decreased temporarily by nitrification of the banded fertilizer, especially in the Humic Gray Upland soil. In this case, the soil pH value became lower than 4.8 for a time. At this pH level, Al release to the soil solution was assumed to occur. As described above, the soils displayed different properties in terms of soil acidity. In the four soils, although the growth of sugar beet was significantly related to both soil pH and exchange acidity y_1 values before sowing, these relations were not strictly valid.

On the other hand, the linear correlation coefficients of the relationships between the growth of sugar beet(leaf length)and $\text{NO}_3\text{-N}$ content in banded row were higher than those of the soil pH and exchange acidity y_1 . No appreciable variation associated with the differences in the soil types was observed in this relation. Furthermore, the values of both soil pH and exchange acidity y_1 were closely related to the $\text{NO}_3\text{-N}$ content in banded row and the relationship between the $\text{NO}_3\text{-N}$ content and y_1 value appeared to be somewhat closer than that with the soil pH.

These closer relations had two important implications. Firstly, $\text{NO}_3\text{-N}$ content reflected the nitrogen nutrient conditions. $\text{NO}_3\text{-N}$ promoted the growth of sugar beet directly. Secondly, the $\text{NO}_3\text{-N}$ content expressing nitrification rate, was affected by the soil acidity, which is expressed by the value of the exchange acidity y_1 . Low $\text{NO}_3\text{-N}$ content indicated indirectly the toxicity of soil acidity to sugar beet growth. It was thus suggested that in the present study, nitrification of the fertilizer expressed by the $\text{NO}_3\text{-N}$ content was a beneficial factor for the growth of sugar beet regardless of the soil types and soil acidity.

Finally, to promote the nitrification of fertilizer and to minimize the Al toxicity enhanced by the decrease of the soil pH associated with nitrification, it is important to avoid low values for the soil pH.

2.Analysis of factors affecting nitrification of fertilizer

Since salt injury due to banded fertilizer was one of the serious causes of growth disorder of direct-sowed sugar beet, it became necessary to improve nitrogen fertilizer application. Nitrification of fertilizer is important when doing research about improvement of fertilizer application. So to clarify the factors affecting nitrification with nitrogen applied as high concentration, incubation experiments were conducted.

Twenty-two soil samples obtained from arable lands in Hokkaido, more than half of which were Andosol, were used for incubation experiments. Addition of ammonium phosphate to the 22 soils at a rate of 0, 50, 100, 200, 300 mg N kg^{-1} and incubation for 14 d showed that;(1)The higher concentration of added-N suppressed relative percent nitrification.(2)Comparing the 22 soils about nitrification at the highest amount of added nitrogen(300 mgN kg^{-1}),in the higher-organic matter soil(Haplic Andosol, total carbon content was 31.4-82.4 g kg^{-1}), percent nitrification was higher, than in the other lower-organic matter soils(total carbon content was; Haplic Volcanogenous Regosol 13.6-25.8 g kg^{-1} , Low-

humic Andosol 10.1-24.7 g kg⁻¹, Haplic Brown Lowland soil 9.3-12.5 g kg⁻¹).(3)Within the Haplic Andosol, nitrification was significantly associated with soil pH.(4)As for all 22 studied soils, percent nitrification was significantly associated with total carbon content firstly, and secondly associated with soil pH.

Ammonium sulfate, ammonium phosphate, and urea(all 300 mg kg⁻¹)added to one soil with relatively higher carbon content and pH were nitrified completely in 42 d. When added at 500 and 1000 mg N kg⁻¹, however, nitrification of these forms was suppressed; the percent nitrification was the lowest in ammonium sulfate, followed by ammonium phosphate and urea.

Based on these results, applied nitrogen concentration, soil carbon content, soil pH, form of nitrogen source, and their interactions are factors that affect nitrification. These findings have implications for improving nitrogen fertilizer application, comparing the difference between broadcast application, split application and band application.

3.Improvement of nitrogen fertilizer application for direct-sowed sugar beet by broadcast application

1)Analysis of improvement effect of broadcast application on early growth of direct-sowed sugar beet

To analyze the improvement effect of broadcast application on early growth of direct-sowed sugar beet, early growth of sugar beet and soil chemical factors (electric conductivity (EC), ammonium-N and nitrate-N) in soil around seed were examined. And then, broadcast application and band application were compared in detail.

In band application, the growth of sugar beet was oppressed through salt injury due to the too much higher ammonium-N and EC than those in broadcast application, being caused by too much fertilizer around seed. Furthermore, delay of nitrification due to too much high ammonium-N and EC was observed, and that enabled ammonium-N around seed itself to remain. This finding also could be thought as a factor fomenting salt injury.

Reversely in broadcast application, the growth of sugar beet was improved through avoidance of salt injury due to the lower ammonium-N and EC than those in band application, being brought through incorporating fertilizer into soil. Moreover, promotion of nitrification due to low ammonium-N and EC was observed, and that enabled ammonium-N not to remain. This finding also could be thought as a factor avoiding salt injury and improving early growth of the sugar beet.

2)Verification experiment of improvement effect of broadcast application for direct-sowed sugar beet

Experiments in cumulative 18 actual fields, including Tokachi agricultural experiment station's fields and farmers' fields, proved that broadcast application provided less risk of salt injury, better growth, higher sugar content in root, higher root weight and sugar yield, than band application.

4.Improvement of nitrogen fertilizer application for direct-sowed sugar beet by split application

1)Influence of amount and placement of band-applied nitrogen on germination and early growth of direct-sowed sugar beet

From the result of experiment using concrete-framed plots filled with Low-humic Andosol, it was found out that approximate 40 kg ha⁻¹ of banded nitrogen was necessary, as basal starter, to ensure early growth of direct-sowed sugar beet. And in addition, it was confirmed that the reasonable fertilizer placement was 2.5 - 5.0cm to the both sides of the seed, and 6cm below the seed, as having been recommended.

2)Influence of soil pH, temperature and applied-nitrogen forms on ammonia volatilization

As for influence of soil pH, temperature and surface-applied-nitrogen forms on ammonia volatilization from Andosol, the followings were found out.

Ammonia volatilization rate was higher(8 to 28%)at higher temperature and higher pH(30°C, soil pH 7.0),the highest was urea(URA, approximate 28%),followed by di-ammonium phosphate(DAP, approximate 24%),ammonium sulfate(ASF, approximate 13%),the lowest was mono-ammonium phosphate(MAP, approximate 8 %).

And then, at lower temperature and lower pH(15°C, soil pH 5.9),ammonia volatilization rate was entirely low(0 to 3%),the highest was DAP(approximate 3%),followed by URA(approximate 1%),ASF and MAP were almost 0%. Additionally, at higher temperature and lower pH(30°C, soil pH 5.9),ammonia volatilization rate was approximate 8% of DAP, though, URA,

ASF and MAP were low (approximate 5%,1% and 1%,respectively).These differences of ammonia volatilization among nitrogen forms were explained significantly by soil pH at 24 hr after adding nitrogen.

From the results, some implications to reduce nitrogen loss through ammonia volatilization at agricultural practice of surface application were given as follows.

Soil pH should not be too high. However, it is unnecessary to reduce pH in the extreme because in this study ammonia volatilization rates at soil pH 5.9 were low at several%, except for DAP. That is, at soil pH 5.9 level approximately, URA, ASF and MAP are thought to be applicable to surface application because all their ammonium volatilization rates were low.

3)Verification experiment of improvement effect of split application for direct-sowed sugar beet

Experiments in cumulative 11 actual fields, including Tokachi agricultural experiment station's fields and farmers' fields, proved that split application, which consists of approximate 40 kg ha⁻¹ basal banded nitrogen at sowing and surface application of the rest of necessary nitrogen at the timing of from uniformly germination stage to true 2 leaves stage, provided less risk of salt injury, no loss of surface-applied nitrogen through ammonia volatilization, better growth, higher nitrogen uptake, higher root weight and sugar yield, than band application.

5.Influence of precipitation condition on effectiveness of broadcast application and split application

Effectiveness of broadcast application and split application for direct-sowed sugar beet might depend on the precipitation condition. In particular, it was assumed that broadcast application might lose the advantage if heavy rain occurred and leached away nitrate-N to groundwater. Therefore, to clarify the above assumption, comparison the difference of plant growth, nitrogen uptake and nitrate leaching among broadcast application, split application and band application was conducted with setting up two precipitation conditions(dry treatment and wet treatment)by irrigation treatment. The followings are the obtained results.

In the case of Low-humic Andosol(texture: SL)in Tokachi area, at the dry treatment(redundant water on June was 4mm),both of broadcast application and split application provided better plant growth and higher yields than band application. On the other hand, at the wet treatment (redundant water on June was 64mm),there were no significant differences of root yield and sugar yield between broadcast application, split application and band application. However, nitrate leaching into the subsoil and leaf color value dropping-down were observed, and nitrogen uptake of broadcast application at harvest time was a little lower than those of split application and band application, without significance, though. These results showed that nitrate leaching could be different among fertilizer application methods.

6.Conclusions

From the above all results, the four followings were concluded for stable development of direct-sowed sugar beet in Hokkaido.

(1)Disorder of early growth of direct-sowed sugar beet occurred in spite of not so low pH level, due to suppressing nitrogen uptake through inhibiting nitrification. This fact suggested that soil pH should be increased more.

(2)Increasing soil pH to 5.7 and banding lime at drilling could make the growth of directly-sowed sugar beet improve.

(3)Both broadcast application and split application are effective to facilitate nitrification and avoid salt injury because nitrogen concentration near root is kept moderate, and will provide better growth and higher yields of direct-sowed sugar beet.

(4)If in the area having much redundant water(= precipitation-evapotranspiration),split application should be employed, whose nitrate leaching was small. However, broadcast application, promoting nitrate leaching, can be employed if in the area where nitrate leaching rate from topsoil(0-20cm, being authorized by Agriculture Department of Hokkaido Government, 2003) is less than 30-40%.

謝 辞

本研究をとりまとめるに当たり、北海道大学教授波多野隆介博士には懇切なる御指導および本稿の御校閲を賜った。北海道大学教授大崎満博士ならびに長谷川周一博士には詳細な御校閲と適切な御教示をいただいた。

本研究を開始する契機を与えてくださったのは、元上川農業試験場長山神正弘氏ならびに北見農業試験場技術普及部長東田修司博士である。山神正弘氏には終始温かい御支援と適切な御助言をいただき、東田修司博士には懇切なる御指導と有意義な論議をいただいた。

本研究を遂行するに当たり、多数の方々に御指導と御助言を賜った。中央農業試験場環境保全部主任研究員中津智史博士には、本研究遂行上の格別な御配慮をいただき、また懇切なる御指導により大いに鍛えていただいた。十勝農業試験場生産研究部栽培環境科長竹内晴信氏には、本研究のとりまとめに懇切なる御指導をいただき、また格別な御配慮をいただいた。十勝農業試験場生産研究部主任研究員加藤淳博士には、有意義な論議と適切な御教示をいただいた。帯広畜産大学准教授谷 昌幸博士には、貴重な共同研究の機会を与えて頂いた。元十勝農業試験場長梶野洋一博士ならびに尾崎政春博士には、温かい御支援と適切な御助言をいただいた。元十勝農業試験場作物研究部長天野洋一博士、元中央農業試験場生産システム部長稲津脩博士、根釧農業試験場研究部長三木直倫博士、十勝農業試験場長菊地治己博士、十勝農業試験場生産研究部長八谷和彦博士、元中央農業試験場農業環境部長能代昌雄氏、元同部長今野一男博士、中央農業試験場環境保全部長木曾誠二博士、北海道農政部技術普及課主幹志賀弘行博士、には適切な論文指導と激励をいただいた。元帯広畜産大学教授菊地晃二博士には、常々温かい御支援をいただいた。北海道大学名誉教授佐久間敏雄博士、同大学名誉教授但野利秋博士、同大学名誉教授山口淳一博士、同大学准教授信濃卓郎博士、同大学准教授中原治博士、同大学助教倉持寛太博士には、節々で重要な御指導を頂いた。酪農学園大学講師澤本卓治博士ならびに東北大学助教菅野均志博士には、研究結果の解釈に重要な御助言をいただいた。

本研究を遂行する上で、多数の方々の御助力・御協力

を賜った。十勝農業試験場作物研究部主任研究員兼管理科長田中英彦氏、中央農業試験場技術普及部主査古原洋博士、同場企画情報室主査渡辺祐志氏には、圃場試験による研究法を懇切丁寧に御教示いただいた。十勝農業試験場生産研究部栽培システム科長梶山努氏にはテンサイの専門知識を御指導いただき、また研究遂行上多大な御支援と御助言をいただいた。十勝農業試験場作物研究部長白井和栄氏、上川農業試験場天北支場技術普及部主査古館明洋氏、十勝農業試験場生産研究部栽培システム科研究主査稲野一郎氏、同科研究職員大波正寿氏、根釧農業試験場研究部草地環境科研究職員有田敬俊氏、には共同研究者として御助力・御協力いただいた。十勝農業試験場生産研究部栽培環境科研究職員田村元氏ならびに佐藤康司氏には、研究遂行に多大な御協力をいただいた。北海道農業研究センター主任研究官古賀伸久博士には、化学分析等に御協力いただいた。社団法人北海道てん菜協会の各位には、研究遂行上格別の御配慮をいただいた。十勝農業協同組合連合会の各位には、貴重な土壌分析データを御提供いただいた。現地試験の実施にあたり、道内各地の各農業改良普及センター、各農業協同組合、北海道糖業株式会社、ホクレン農業協同組合連合会、日本甜菜製糖株式会社、幕別町農業試験圃場の各位、そして芽室町・清水町・新得町・士幌町・本別町・池田町の生産者の方々には、試験準備や面倒な試験圃作成・管理作業に快く御協力いただいた。全道各地の生産者の方々には、土壌試料提供や各種調査に御協力いただいた。ホクレン肥料株式会社の各位には試験用肥料を御提供いただいた。十勝農業試験場管理科農業技能員の諸賢および臨時職員各位には、圃場作業等に御尽力いただき、同場栽培環境科臨時研究補助員の各位には、圃場での調査・実験室での分析で大いに御協力いただいた。

以上の各位に、心からの敬意と謝意を表します。

最後に、恵まれた人生を与えてくれた両親、研究に没頭させてくれた妻・朋代、論文執筆を応援(?)してくれた長男・睦紘と長女・知恵、そしてここに書ききれなかった恩師・友人の各位には、心の底から謝意を捧げます。

引用文献

- 阿江教治・尾形 保 (1982) : インキュベーション実験による草地表層土壌の硝酸化成及びアンモニア揮散, 草地試研報, 23, 42~49
- 阿部秀夫 (1987) : テンサイそう根病のウイルス媒介者, *Polymyxa betae* Keskinの生態と防除に関する研究, 北海道立農試報告, 60, 1~99
- Adams, F. and Evans, C. E. (1962) : A rapid method for measuring lime requirement of Red-Yellow-Podzolic soils, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* , 26, 355~357
- Adams, F. and Lund, Z. F. (1966) : Effect of chemical activity of soil solution aluminum on cotton root penetration of acid subsoils. *Soil Sci.* 101, 193~198
- Alexander, M. (1977) : Introduction to soil microbiology, 2nd ed. , p.252~254, 265~269, John Wiley and Sons, New York
- Alston, A. M. (1976) : Effects of depth of fertilizer placement on wheat grown under three water regimes, *Aust. J. Agric. Res.* , 27, 1~10
- 天野文助 (1921) : 甜菜, 北海道農事試験場彙報, 25, 1~39
- 天野文助 (1929) : 甜菜, 北海道農事試験場彙報, 49, 1~118
- 有田敬俊・梶山 努・手塚光明 (1999) : てんさい直播栽培における狭畦幅 (50cm) の増収効果と栽植株数, 北海道立農試集報, 77, 23~26
- 有田敬俊・越智弘明 (2002) : テンサイ直播栽培の除草剤使用体系下における中耕による除草効果, 北海道立農試集報, 82, 117~120
- Blackshaw, R. E. , Semach, G. and Janzen, H. H. (2002) : Fertilizer application method affects nitrogen uptake in weeds and wheat, *Weed Sci.* , 50, 634~641
- Bordoli, J. M. and Mallarino, A. P. (1998) : Deep and shallow banding of phosphorus and potassium as alternatives to broadcast fertilization for no-till corn, *Agron. J.* , 90, 27~33
- Borges, R. and Mallarino, A. P. (2000) : Grain yield, early growth, and nutrient uptake of no-till soybean as affected by phosphorus and potassium placement, *Agron. J.* , 92, 380~388
- Brejda, J. J. , Moorman, T. B. , Karlen, D. L. and Dao, T. H. (2000a) : Identification of regional soil quality factors and indicators : II. Central and Southern High Plains, *Soil Sci. Soc. Am. J.* , 64, 2115~2124
- Brejda, J. J. , Karlen, D. L. , Smith, J. L. and Allan, D. L. (2000b) : Identification of regional soil quality factors and indicators : II. Northern Mississippi Loess Hills and Palouse Prairie, *Soil Sci. Soc. Am. J.* , 64, 2125~2135
- Broom's Barn Experimental Station (1982) : Pests, diseases and disorders of Sugar Beet, p. 17-159, Bury Saint Edmunds
- Buah, S. S. J. , Polito, T. A. and Killorn, R. (2000) : No-tillage soybean response to banded and broadcast and direct and residual fertilizer phosphorus and potassium applications, *Agron. J.* , 92, 657~662
- Cabrera, M. L. , Tyson, S. C. , Kelly, T. R. , Pancorbo, O. C. , Merka, W. C. and Thompson, S. A. (1994) : Nitrogen mineralization and ammonia volatilization from fractionated poultry litter, *Soil Sci. Soc. Am. J.* , 58, 367~372
- Carter, J. N. and Traveller, D. J. (1981) : Effect of time and amount of nitrogen uptake on sugar beet growth and yield, *Agron. J.* , 73, 665~671
- Chassot, A. , Stamp, P. and Richner, W. (2001) : Root distribution and morphology of maize seedlings as affected by tillage and fertilizer placement, *Plant Soil*, 231, 123~135
- 千葉 明・新毛晴夫 (1977) : 炭酸カルシウム添加・通気法による中和石灰量の測定, *土肥誌*, 48, 237~242
- Christenson, D. R. (1992) : Comparison of broadcast and banded fertilizer for sugar beet production, *Zuckerind*, 117, 254~258
- 大工原銀太郎 (1919) : 土壌学講義 中巻, p.545~547, 東京
- 大工原銀太郎・松岡長藏・阪本義房 (1912) : 酸性土壌改良に関する試験, *農事試験場報告*, 39, 1~170
- 大工原銀太郎・阪本義房 (1911) : 土壌酸性の原因および

- び性質ならびに酸性土壌の分布に関する研究, 農事試験場報告, 37, 1~141
- 土壌微生物研究会編 (1981) : 土の微生物, p.22~24, 55~57, 92~94, 362~368, 博友社, 東京
- 土壌養分測定法委員会編 (1981) : 土壌養分分析法, p. 86~119, 養賢堂, 東京
- Doran, J. W. and Parkin, T. B. (1994) : Defining and assessing soil quality. In J. W. Doran et al. (ed.) Defining soil quality for a sustainable environment. SSSA Spec. Publ. 35, p. 3 ~21. SSSA, Madison, WI.
- Doran, J. W. , Sarrantonio, M. and Liebig, M. A. (1996) : Soil health and sustainability, *Advances in Agronomy*, 56, p. 1 ~54, Academic Press, San Diego
- 堂本弘之・中里秀昭・前本政道・鈴木啓徳・延与慶喜 (1994) : 直播テンサイ生育障害について 第1報 発生状況と原因究明, *てん菜研究会報*, 36, 74~79
- Duan, Z. H. and Xiao, H. L. (2000) : Effects of soil properties on ammonia volatilization. *Soil Sci. Plant Nutr.* , 46, 845~852
- Duisberg, P. C. and Buehrer, T. F. (1954) : Effect of ammonia and its oxidation products on rate of nitrification and plant growth, *Soil Sci.* , 78, 37~49
- Eno, C. F. , Blue, W. G. and Good, J. J. M. (1955) : The effect of anhydrous ammonia on nematodes, fungi, bacteria, and nitrification in some Florida soils, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* , 19, 55~58
- Ernst, J. W. and Massey, H. F. (1960) : The effects of several factors on volatilization of ammonia formed from urea in the soil, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* , 24, 87~90
- Evans, C. E. and Kamprath, E. J. (1970) : Lime response as related to percent Al saturation, solution Al, and organic matter content, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* , 34, 893~896
- Fenn, L. B. , Matocha, J. E. and Wu, E (1982) : Soil cation exchange capacity effects on ammonia loss from surface-applied urea in the presence of soluble calcium, *Soil Sci. Soc. Am. J.* , 46, 78~81
- Ferguson, R. B. Kissel, D. E. , Koelliker, J. K. and Basel, W. (1984) : Ammonia volatilization from surface-applied urea : effect of hydrogen ion buffering capacity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* , 48, 578~582
- Follet, R. H. , Murphy, L. S. and Donahue, L. R. (1981) : Fertilizers and soil amendments. , p. 33~38, 337~358, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey
- Fowler, D. B. and Brydon, J. (1989) : No-till winter wheat production on the Canadian Prairies : Placement of urea and ammonium nitrate fertilizers, *Agron. J.* , 81, 518~524
- 笛木伸彦・有田敬俊 (2003) : イギリス・オランダのてんさい直播栽培技術, *北農*, 70, 85-95.
- 笛木伸彦・今野一男・田中英彦 (2000) : 育苗箱施肥を利用した水稲の減化学肥料栽培, *道立農試集報*, 79, 51~58
- 笛木伸彦・田村 元・中津智史 (2005) , テンサイ茎葉の鋤込みが次作以降の作物生産と土壌溶液中硝酸態窒素に与える影響, *土肥講演要旨集*, 51, 234
- 古館明洋・山神正弘・東田修司・中津智史・志賀弘行 (2000) : 移植てんさいの生育に及ぼす石灰質資材の作条施用効果, *北農*, 67 (3) , 242~247
- 二口貴之・中山伸哉・泉 佳史 (1997) : 中斜里製糖工場糖区内における土壌pHの分布実態及び低pH圃場におけるテンサイの生育について, *てん菜研究会報*, 39, 166~171
- Gould, W. D. , Hagedorn, C. and McCready, R. G. L. (1986) : Urea transformations and fertilizer efficiency in soil, *Advances in Agronomy*, 40, p. 209~238, Academic Press, Orlando, San Diego, New York, Austin, Boston, London, Sydney, Tokyo and Toronto
- Grewal, J. P. S. , Yadvinder-Singh. , Bijay, S. , Anshujit, V. and Khind, C. S. (1999) : Effect of source and nest size of N fertilizers and temperature on nitrification in a coarse textured, alkaline soil. , *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* , 54, 199~207.
- 袴田共之・小関純一・能代昌雄・松中照夫 (1980) : 数量化. 類による中和石灰量の予測, *土肥誌*, 51, 441~446
- 箱山 晋・川口健太郎 (1994) : テンサイの直播栽培における栽植株数の実態について, *てん菜研究会報*, 36, 52~58
- 箱山 晋・川口健太郎・六笠裕治 (1998) : テンサイ直播栽培における生産コストの試算について, *てん菜研究会報*, 40, 102~106

- 花岡正博 (2007) : 品目横断的経営安定対策の下でのてん菜栽培について, 砂糖類情報, 127, 1~2
- 郝 明德 (Hao, M) · 佐伯和利 · 松本 聰 (1994) : 中国黄土高原土壌における施肥窒素のアンモニア揮散, 土肥誌, 65, 373~377
- 原 仁 (1999) : 畑作経営におけるてんさい直播栽培体系導入の可能性, 北農, 66 (1), 16~19
- Harrison, R. and Webb, J. (2001) : A review of the effect of N fertilizer type on gaseous emissions, *Advances in Agronomy*, 73, p. 65~108, Academic Press, San Diego, San Francisco, New York, Boston, London, Sydney and Tokyo
- 長谷川進 · 野村 琥 (1973) : 十勝地方における主要土壌型別てん菜施肥改善試験について —とくに窒素と加里について—, 北農, 40 (6), 40~57
- 橋本 武 · 中村和弘 (1971) : 施肥による土壌酸性化ならびに中和に関する研究 (第1報) 土壌と肥料の化学的反応ならびに硝酸化成による土壌pHの変化, 土肥誌, 42, 453~458
- 橋本 武 · 中村和弘 · 横田弘司 (1974a) : 施肥による土壌酸性化ならびに中和に関する研究 (第2報) 溶脱による土壌pHの変化, 土肥誌, 45, 213~218
- 橋本 武 · 大井 正 · 横田弘司 (1974b) : 施肥による土壌酸性化ならびに中和に関する研究 (第3報) 尿素の施用による土壌pHの変化, 広島農業短大研報, 5, 1~7
- 波多野隆介 (1999) : 農業に由来する環境負荷と農地の環境容量, 北海道農業と土壌肥料1999, p. 236~238
- 波多野隆介 (2002) : 暗渠排水を利用した硝酸溶脱のモニタリングとモデリング 灰色低地土タマネギ畑におけるケーススタディー, 環境負荷を予測する—モニタリングからモデリングへ—, p. 57~74, 博友社, 東京
- 早坂昌志 · 井村悦夫 (1986) : 無窒素栽培による糖量から見た地力窒素の実態, てん菜研究会報, 28, 141~147
- 早坂昌志 · 井村悦夫 (1989) : テンサイの施肥における窒素潜在地力の評価方法 第4報 窒素吸収量の年間変動, てん菜研究会報, 31, 80~86
- 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
- 林 成周 · 古畑 哲 (1966) : てん菜に対する下層施肥について, てん菜研究報告 補巻7, 28~33
- 早田隆典 · 矢野文夫 (1982) : ばれいしょ連作畑に於ける土壌改良資材および有機物施用の効果について, 長崎県総合農林試験場研究報告, 10, 43~50
- He, Z. L. , Alva, A. K. , Calvert, D. V. and Banks, D. J. (1999) : Ammonia volatilization from different fertilizer sources and effects of temperature and soil pH. *Soil Sci.* , 164 (10) , 750~758
- 東田修司 · 佐々木利夫 (1999) : でん原用ばれいしょ品種「コナフブキ」に対する窒素追肥, 道立農試集報, 77, 59~63
- 平石 学 : 畑作地帯における大規模経営の構造と展開条件に関する実証的研究, 北海道立農試報告, 106, 1~89
- 寶示戸雅之 (1994) : 草地土壌の経年的酸性化と牧草の生育特性に関する研究, 北海道立農試報告, 83, 1~106
- 北海道農政部 (2002) : 北海道施肥ガイド, p. 33~76
- 北海道農政部 (2003) : 硝酸性窒素汚染防止のための施肥管理の手引き, p. 1~27, 札幌
- 北海道立中央農業試験場 · 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) —, p. 1~199
- 北海道立中央農業試験場 (1993) : 北海道土壌区一覧, 北海道立農業試験場資料, 21, p. 100~105
- 北海道てん菜協会 (2006) : てん菜糖業年鑑, p. 109~158, 354~364, 日孔社, 札幌
- 五十嵐敏 · 中村正士 (1983) : 窒素肥沃度の異なる圃場におけるテンサイの窒素施肥反応について 第一報 生育, 収量の検討, てん菜研究会報, 25, 1~6
- 今井弘樹 · 尾形昭逸 · 田中 明 (1984) : 酸性土壌とその農業利用 特に熱帯における現状と将来, p. 259~298, 博友社, 東京
- 井村悦夫 (1999) : 移植テンサイの合理的栽培管理法に関する土壌肥料学的研究, p. 1~181, 北海道大学学位論文
- 井村悦夫 · 早坂昌志 (1980) : てん菜畑の窒素地力と施肥効率の地域性の実態について, てん菜研究会報, 22, 122~131
- 井村悦夫 · 早坂昌志 (1982) : テンサイの施肥における窒素潜在地力の評価方法 第1報 窒素地力指数の応用について, てん菜研究会報, 24, 124~133
- 井村悦夫 · 早坂昌志 (1983) : テンサイの施肥における窒素潜在地力の評価法 第2報 窒素施肥効率に及ぼす定植時期の影響, てん菜研究会報, 25, 13~17
- 井村悦夫 · 早坂昌志 (1987) : テンサイの施肥における窒素潜在地力の評価方法 第3報 根中のアミノ態窒素と全窒素吸収量の関係, てん菜研究会報, 29, 127

- ~132
- 井村悦夫・増田昭芳 (1976) : てん菜の栄養に関する研究 第2報 窒素源としてのアンモニア態窒素と硝酸態窒素の割合と収量・品質との関係, てん菜研究会報, 17, 179~185
- 井村悦夫・増田昭芳 (1977) : 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
- 井村悦夫・増田昭芳・加川勝久・押味清隆 (1978) : てん菜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
- 稲松勝子・木内美江子・渋谷加代子 (1991) : 桑園土壌の酸性化 筑波台地に分布する火山灰土壌圃場の場合, 土肥誌, 62, 351~356
- 稲野一郎・桃野 寛・鈴木 剛・有田敬俊 (2006a) : 直播てんさいの出芽率向上に関する研究 (第1報) — 播種機鎮圧輪による出芽率向上技術一, 農業機械学会誌, 68 (6), 75~82
- 稲野一郎・大波正寿・鈴木 剛 (2006b) : 直播てんさいの出芽率向上に関する研究 (第2報) — 中層鎮圧による出芽率向上技術一, 農業機械学会誌, 68 (6), 83~90
- 稲野一郎・大波正寿・鈴木 剛 (2007) : 直播てんさいの出芽率向上に関する研究 (第3報) — 粗砕土および仕上げ砕土時の中層鎮圧法一, 農業機械学会誌, 69 (3), 59~66
- 石井圭一 (2007) : EUの直接支払制度の現状と課題—政策デザインの多様化と分権に向かって—, 農林金融 2007・6, 299~309
- 石塚喜明・田中 明・林 満 (1962) : 畑作物に対する施肥位置に関する研究 (第1報) 肥料成分の土壌中における移動, 土肥誌, 33, 562~566
- 石塚喜明・田中 明・林 満 (1963) : 畑作物に対する施肥位置に関する研究 (第2報) — 施肥位置及び肥料濃度と根の張り方との関係一, 土肥誌, 34, 44~48
- 石塚喜明・林 満・尾形昭逸・原田 勇 (1964) : 畑作物に対する施肥位置に関する研究 (第3報) — 各種作物根系の特性とそれにおよぼす各種肥料濃度の影響一, 土肥誌, 35, 159~164
- 石塚喜明・林 満・尾形昭逸・原田 勇 (1965) : 畑作物に対する施肥位置に関する研究 (第4報) — 窒素質肥料の拡散と作物根系の発達一, 土肥誌, 36, 289~296
- 石塚喜明・林 満・西野紀子 (1967) : 畑作物に対する施肥位置に関する研究 (第5報) 肥料の種類, 量, 施肥位置と作物根系発達の相互関係の総括, 土肥誌, 38, 373~378
- 石川治徳・鈴木啓徳・武田紀美 (1983) : 窒素肥沃度の異なる圃場におけるテンサイの窒素施肥反応について 第二報 有害性非糖分, てん菜研究会報, 25, 7~12
- 石丸純一・川村隆司・滝口謙治 (1995) : テンサイに対する秋施肥法の評価, てん菜研究会報, 37, 74~83
- 石丸純一・前田徳雄・川村隆司・山下英祐・矢部敏信 (1997) : 低pH圃場における石灰質資材施用効果について, てん菜研究会報, 39, 172~178
- 伊槻康成・中里秀昭・田中淳裕 (1998) : テンサイの圃場における初期生育障害について, てん菜研究会報, 40, 69~73
- 岩田武司・奥田 東 (1937) : 土壌よりのアンモニア揮散に就て, 土肥誌, 11 (2), 185~187
- Jolley, V. D. and Pierre, W. H. (1977) : Soil acidity from long-term use of nitrogen fertilizer and its relationship to recovery of the nitrogen, Soil Sci. Soc. Am. J. , 41, 368~373
- 加川勝久・井村悦夫 (1976) : 生育領域及び窒素施用方法とてん菜の収量, 糖分の関係について, てん菜研究会報, 17, 169~177
- 梶山 努 (1997) : テンサイにおける除草剤の体系処理について, てん菜研究会報, 39, 133~138
- 梶山 努 (2000) : てんさいの直播栽培技術体系 (暫定基準), 北農, 67 (4), 327~331
- 梶山 努・吉澤 晃・吉田俊幸・赤司和隆・今野一男・宮脇 忠 (1993) : テンサイ低糖分圃場における糖分向上実証試験 第2報 網走管内における実態調査及び現地実証試験, てん菜研究会報, 35, 28~33
- Kamprath, E. J. (1970a) : Exchangeable Aluminum as a criterion for liming leached mineral soils, Soil Sci. Soc. Am. Proc. , 34, 252~254
- Kamprath, E. J. (1970b) : Lime requirements of soils-inactive toxic substances or favorable pH range ?, Soil Sci. Soc. Am. Proc. , 34, 364
- 神沢克一 (1975) : てん菜のそう根病について 第6報 定植後の栽培条件と発病について, てん菜研究会報, 16, 27~35
- 柏木浩二・藤井勝敏・安田利光・秦泉寺敦 (1999) : テンサイ直播栽培の省力化について, 第4報 狭畦幅栽培, てん菜研究会報, 41, 60~66
- 加藤秀正 (1989) : 土壌溶液, 土の化学, p.96~109, 学会出版センター, 東京
- 加藤秀正 (1994) : 酸性土壌におけるリン酸の動態, 低

- pH土壌と植物, p.123~154, 博友社, 東京
- 加藤勝信・大久保甲子 (1956) : 甜菜間引の精粗が収量及び糖分に及ぼす影響について, 北農試彙報, 17, 112~118
- 川村隆司・打越欣一・須田泰行・高橋朋宣・成田敏樹・菊地晃二・宮脇 忠・今野一男 (1989) : 斜網地区におけるテンサイの窒素診断 第3報 テンサイ品種とN吸収特性, てん菜研究会報, 31, 121~125
- 切替真智子・波多野隆介 (2000) : 外部NH₄⁺が各種森林土壌A層の硝酸化成に及ぼす影響, 土肥誌, 71, 63~71
- Kirkland, K. J. and Beckie, H. J. (1998) : Contribution of nitrogen fertilizer placement to weed management in spring wheat (*Triticum aestivum*), *Weed Technol.*, 12, 507~514
- 今野一男 (2001) : 網走地方の畑作地帯における有機物および土壌の窒素評価と施肥対応, 北海道立農試報告, 98, 1~97
- 今野一男・宮森康雄 (1997) : 異なる移植方式における水稲側条施肥の窒素肥効, 道立農試集報, 72, 1~9
- 今野一男・宮脇 忠・菊地晃二・打越欣一・須田泰行・川村隆司・高橋朋宣・成田敏樹 (1989) : 斜網地区におけるテンサイの窒素診断 第2報 土壌窒素の評価, てん菜研究会報, 31, 114~120
- 越野正義 (1994) : 肥料の種類と性質, 土壌・植物・環境事典, p.230~299, 博友社, 東京
- 甲田裕幸・木曾誠二・佐藤龍夫 (1996) : 畑暗渠からの硝酸態窒素の流出—各種窒素肥料を施用したタマネギ畑における調査事例—, 北農, 63, 12~17
- 向山 薫・佐々木稔・高井俊一 (1980) : 利別川沖積土壌における施肥用量について, てん菜研究会報, 22, 114~121
- Kowalenko, C. G. (1989) : The fate of applied nitrogen in a Fraser valley soil using 15N in field microplots. *Can. J. Soil Sci.*, 69, 825~833
- 熊沢喜久雄 (1982) : 大工原銀太郎博士と酸性土壌の研究, 肥料科学, 5, 9~46
- Lehrsch, G. A., Sojka, R. E. and Westermann, D. T. (2000) : Nitrogen placement, row spacing, and furrow irrigation water positioning effects on corn field, *Agron. J.*, 92, 1266~1275
- Mallarino, A. P., Bordoli, J. M. and Borges, R. (1999) : Phosphorus and potassium placement effects on early growth and nutrient uptake of no-till corn and relationships with grain yield, *Agron. J.*, 91, 37~45
- 増田昭芳 (1997) : 甜菜の紙筒移植栽培, p. 1~426, 北農会, 札幌
- 増田昭芳・加川勝久・井村悦夫 (1979) : てん菜畑における三要素の地力指数の実態について, てん菜研究会報, 20, 161~175
- 増田昭芳・井村悦夫・早坂昌志 (1980) : てん菜の栄養に関する研究 第5報 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
- 増田昭芳・加川勝久・井村悦夫・川本富士男 (1975) : てん菜の栄養に関する研究 第1報 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
- 松村昭治 (1988) : 畑土壌への家畜尿施用にともなう窒素揮散, 土肥誌, 59, 568~572
- 松中照夫・熊井実鈴・千徳あす香 (2003) : バイオガスプラント消化液由来窒素のオーチャードグラスに対する肥料的効果, 土肥誌, 74, 31~38
- McLean, E. O. (1970) : Lime requirements of soils—inactive toxic substances or favorable pH range?, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 34, 363~364
- McLean, E. O., Eckert, D. J., Reddy, G. Y. and Trierweiler, J. F. (1978) : An improved SMP soil lime requirement method incorporating double-buffer and quick-test features, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42, 311~316
- Mehlich, A. (1942a) : The significance of percentage base saturation and pH in relation to soil differences, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 7, 167~174
- Mehlich, A. (1942b) : Base saturation and pH in relation to liming and nutrient conservation of soil, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 7, 353~361
- Melander, B., Cirujeta, A. and Jørgensen, M. H. (2003) : Effects of inter-row hoeing and fertilizer placement on weed growth and yield of winter wheat, *Weed Res.*, 43, 428~438
- 三木直倫 (2002) : 硝酸態窒素の土層内動態をモニタリングする, 環境負荷を予測する—モニタリングからモデリングへ—, p.37~56, 博友社, 東京
- 三木直倫・安積大治・橋本 均 (2000) : 北海道農耕地土壌における硝酸態窒素残存許容量と流れ易さの区分, 71, 396~399
- 三木直倫・高尾欽弥 (1985) : 経年草地の炭カル表面施用に伴う施肥窒素の動態, 北海道立農試集報, 53, 21~31

- Mills, H. A. , Barker, A. V. and Maynard, D. N. (1974) : Ammonia volatilization from soils, Agron. J. , 66, 355~358
- 湊 啓子・田村 忠・前田善夫 (2000) : 過リン酸石灰添加による牛ふん尿の堆肥化過程におけるアンモニア揮散抑制, 新得畜試研究報告, 23, 17~24
- 三井進午・尾崎 清・森山真明 (1954) : 尿素のアンモニア化揮散に就いて, 土肥誌, 25, 17~19
- 宮田尚稔・池田英男 (2006) : 貯蔵中のメタン発酵消化液からのアンモニウムの消失, 土肥誌, 77, 577~581
- 水野直治・兼田裕光・鎌田賢一・目黒孝司・土岐和夫・後藤計二 (1977) : 北海道農用地の土壤成分, 北海道立農試資料, 8, 9~17
- 水野直治・吉田穂積 (1994) : 土壤pH, 置換酸度 y_1 とバレイショそうか病との相互関係, 土肥誌, 65, 27~33
- 森 信行・嶋田永生 (1970) : 土壤養分分析法, p. 29~32, 養賢堂, 東京
- 村井信仁, 道場三喜雄, 高橋義明 (1980) : てん菜の機械化施肥法に関する考察, てん菜研究会報, 22, 8~12
- 永田伸彦 (1971) : 施肥位置がてん菜の生育におよぼす影響, てん菜研報, 補巻13, 94~104
- 成田敏樹・打越欣一・須田泰行・川村隆司・高橋朋宣・菊地晃二・宮脇 忠・今野一男 (1989) : 斜網地区におけるテンサイの窒素診断 第4報 テンサイの窒素吸収量と菜根中のアミノ態窒素分析値との関係, てん菜研究会報, 31, 126~129
- 新妻真司・安田利光・菅原寿一・秦泉寺敦 (1997) : テンサイ直播栽培の省力化について 第2報 直播栽培の実態調査, てん菜研究会報, 39, 147~154
- 西宗 昭 (1984) : 十勝地方における畑作物の生産に対する土壤窒素の評価, 北海道農試研報, 140, 33~91
- 西宗 昭・藤田 勇・金野隆光 (1980) : 十勝地方の畑作物の窒素利用 第1報 NH₄態およびNO₃態窒素肥料の土壤中での動向とテンサイによる利用, 北海道農試研報, 126, 31~52
- 西宗 昭・藤田 勇・金野隆光 (1982a) : 十勝地方の畑作物の窒素利用 第2報 土壤別にみたテンサイの肥料及び土壤窒素の利用, 北海道農試研報, 133, 17~29
- 西宗 昭・斎藤元也・金野隆光・藤田 勇・宮沢数雄 (1982b) : 十勝に分布する肥沃度の異なった土壤におけるテンサイの生育解析, 北海道農試研報, 133, 31~60
- 西宗 昭・関矢信一郎 (1999) : II-1 拡大期の北海道農業 (1945~1986) 第II章 北海道農業発展の背景と現状, 北海道農業と土壤肥料1999, p. 1~5
- 西尾道徳 (1988) : 土壤微生物とどうつきあうか, p. 58~143, 農山漁村文化協会, 東京
- 丹羽勝久・辻修・大淵清志・菊地晃二 (1999) : 細粒質褐色低地土に生成した耕盤層が土壤水分動態およびテンサイ根系発達に及ぼす影響, ペドロジスト, 43, 7~15
- 野村信史 (1980) : ヨーロッパのてん菜栽培の概況と試験研究の現状, てん菜研究会報, 22, 162~171
- 野村信史・松崎康範・柳沢 朗・奥村正敏・三分一敬・吉田俊幸 (1987) : 堆肥と施肥量がテンサイの生育, 収量および品質に及ぼす影響 1. 施肥水準別の堆肥施用の効果, てん菜研究会報, 29, 133~140
- 農耕地土壤分類委員会 (1995) : 農耕地土壤分類第3次改訂版, 農業環境技術研究所資料, 17, p. 1~79
- 農林水産省北海道農業試験場・北海道立農業試験場・財団法人甘味資源振興会 (1986) : てんさいに関する調査基準および用語集, p. 8~29, 67~69, 興亜堂, 札幌
- Odland, T. E. and Allbritten, H. G. (1950) : Soil reaction and calcium supply as factors influencing the yield of potatoes and the occurrence of scab, Agron. J. , 42, 269~275
- 小川和夫 (1982) : 北海道農業技術研究史1966~1980, p. 355~358, 北農試・道立農試, 札幌
- 奥田 東・高橋英一 (1959) : アンモニアガスによる発芽障害について, 土肥誌, 30, 243~246
- 奥田 東・高橋英一・吉田三男 (1960) : 田畑に施用した尿素のアンモニア化揮散について, 土肥誌, 31, 273~278
- 奥村正敏 (2000) : 十勝地方における連輪作土壤の微生物特性とインゲン根腐病の生態的制御に関する土壤肥料学的研究, 北海道立農試報告, 97, 1~102
- 奥村正敏・松崎康範・野村信史・相馬 暁 (1989) : テンサイの糖分向上と施肥窒素および堆肥の相互関係, 北海道立農試集報, 59, 21~29
- 大江 卓・矢内純太・佐藤 覚・梶 孝幸・小崎 隆 (2001) : 傾斜畑における土壤特性値および作物収量の空間的変動解析, 土肥講演要旨集, 47, 130
- 大村邦男 (1995) : 北海道の畑作・酪農地帯における物質循環と水質保全, 北海道立農試報告, 86, 1~63
- 大野豊治・花田忠重・向山 薫・森 孝・秦泉寺敦・玉山昭夫・菅原寿一・木村雅暢 (1993) : 北糖管内における直播栽培の実態について, てん菜研究会報, 35, 14~21

- 大崎玄佐雄・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
- 大槻恭一 (1989) : 蒸発散 (その 8) — 蒸発散量の推定法 —, 農土誌, 57, 1065-1071
- Oattoole, P. , McGarry, S. J. and Morgan, M. A. (1985) : Ammonia volatilization from urea-treated pasture and tillage soils : effects of soil properties, J. Soil Sci. , 36, 613~620
- 尾崎 薫・桜庭慎吾 (1963) : 施肥位置がてん菜の生育, 収量におよぼす影響, 北農試彙報, 82, 8~15
- Parfitt, R. L. and Childs, C. W. (1988) : Estimation of forms of Fe and Al : a review, and analysis of contrasting soils by dissolution and Moessbauer methods. Aust. J. Soil Res. , 26, 121~144
- Parfitt, R. L. and Wilson, A. D. (1985) : Estimation of allophane and halloysite in three sequences of volcanic soils. Catena Suppl. , 7, 1~8
- Pavan, M. A. Bingham, F. T. and Pratt, P. F. (1982) : Toxicity of aluminum to coffee in Ultisols and Oxisols amended with CaCO_3 , MgCO_3 , and $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Soil Sci. Soc. Am. J. , 46, 1201~1207
- Pierre, W. H. , Webb, J. R. and Shrader, W. D. (1971) : Quantitative effects of nitrogen fertilizer on the development and downward movement of soil acidity in relation to level of fertilization and crop removal in a continuous corn cropping system, Agron. J. , 63, 291~297
- Prummel, J. (1957) : Fertilizer placement experiments, Plant Soil, 8, 231~253
- Rasmussen, P. E. and Rohde, C. R. (1989) : Soil acidification from ammonium-nitrogen fertilization in moldboard plow and stubble-mulch wheat-fallow tillage, Soil Sci. Soc. Am. J. , 53, 119~122
- Rawluk, C. D. L. , Grant, C. A. and Racz, G. J. (2001) : Ammonia volatilization from soils fertilized with urea and varying rates of urease inhibitor NBPT, Can. J. Soil Sci. , 81, 239~246
- Reeve, N. G. and Sumner, M. E. (1970) : Lime requirements of natal Oxisols based on exchangeable aluminum, Soil Sci. Soc. Am. Proc. , 34, 595~598
- Rehm, G. W. , Randall, G. W. , Scobbie, A. J. and Vetsch, J. A. (1995) : Impact of fertilizer placement and tillage system on phosphorus distribution in soil, Soil Sci. Soc. Am. J. , 59, 1661~1665
- Reynolds, C. M. and Wolf, D. C. (1987) : Influence of urease activity and soil properties on ammonia volatilization from urea, Soil Sci. , 143, 418~425
- Riedell, W. E. , Beck, D. L. and Schumacher, T. E. (2000) : Corn response to fertilizer placement treatments in an irrigated no-till system, Agron. J. , 92, 316~320
- Riedell, W. E. , Schumacher, T. E. and Evenson, P. D. (1996) : Nitrogen fertilizer management to improve crop tolerance to corn rootworm larval feeding damage, Agron. J. , 88, 27~32
- Robbins, S. G. and Voss, R. D. (1989) : Acidic zones from ammonia application in conservation tillage systems, Soil Sci. Soc. Am. J. , 53, 1256~1263
- Russell, A. E. , Laird, D. A. and Mallarino, A. P. (2006) : Nitrogen fertilization and cropping system impacts on soil quality in Midwestern Mollisols, Soil Sci. Soc. Am. J. , 70, 249~255
- 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
- 三枝正彦・庄子貞雄・伊藤豊彰・本名俊正 (1992) : 黒ボク土における交換酸度y1の再評価, 土肥誌, 63, 216~218
- Saigusa, M. , Shoji, S. and Takahashi, T. (1980) : Plant root growth in acid andosols from northeastern Japan : 2. Exchange acidity Y1 as a realistic measure of aluminum toxicity potential. Soil Sci. , 130, 242~250
- 斉藤英俊・黒沢厚基・山上 守 (1991) : テンサイ育成型の解析に関する研究 第8報 生育時期別の諸形質と最終収量との関係, てん菜研究会報, 33, 7~14
- 斉藤万之助 (1987) : 北海道農業と土壌肥料1987, p. 179~184, 北農会, 札幌
- 坂井 弘 (1956) : 土壌の亜硝酸集積条件に関する研究, 北農試彙報, 71, 21~32
- 坂井 弘 (1959) : 土壌の硝化作用に関する研究 (第3報) 十勝火山灰土壌の硝化作用について, 土肥誌, 30, 149~153
- 坂井 弘 (1960a) : 土壌の硝化作用に関する研究 (第

- 4報)十勝火山灰地の未墾地土壌の硝化作用,土肥誌,31,149~151
- 坂井 弘(1960b):土壌の硝化作用に関する研究(第5報)十勝火山灰乾燥統未墾地土壌の硝化作用の不良な原因,土肥誌,31,207~210
- 坂井 弘(1960c):土壌の硝化作用に関する研究(第6報)土壌処理に伴う大正未墾地土壌における硝化菌の消長,土肥誌,31,253~255
- 坂井 弘(1960d):土壌の硝化作用に関する研究(第7報)土壌の硝酸菌数に及ぼす要因,土肥誌,31,281~284
- 坂井 弘(1960e):土壌の硝化作用に関する研究(第8報)硝酸菌の季節変化とその要因,土肥誌,31,331~334
- 坂井 弘(1960f):土壌の硝化作用に関する研究(第9報)硝酸菌と硝酸還元菌との相互関係,北農試彙報,75,60~67
- 坂井 弘・竹内 豊(1961):土壌の硝化作用に関する研究 第10報 火山灰土壌における硝安の硝酸化成,北農試彙報,76,46~51
- 坂井 弘・吉田富男・船山達郎・吉田加代子(1959):土壌の硝化作用に関する研究 1. 堆厩肥連用による土壌の理化学性改良の効果,北農試彙報,74,42~49
- 佐藤久泰(1994):IV輪作,北農・新耕種法シリーズ④,てん菜,p.36~43,北農会,札幌
- 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
- 佐藤充彦・玉山昭夫・菅原寿一・秦泉寺敦・楠目俊三・玉田哲男(1995):テンサイトビハムシ、テンサイモグリハナバエ及び西部萎黄病に対するイミダクロプリドの防除効果,てん菜研究会報,37,103~113
- 佐藤龍夫・甲田裕幸(1995):1.農耕地の環境へ及ぼす影響と環境保全機能の把握(1)農耕地からの養分流出と環境への影響把握,北農,62,317~319
- 沢田美智雄・石川治徳・古賀 裕・鈴木啓徳(1982):テンサイにおける¹⁵N[重窒素]利用による推移調査結果について,てん菜研究会報,24,134~142
- 関口 朗・和田順行(1975):上川地方におけるてん菜直播栽培に関する研究 第1報 施肥法,栽植密度及び高畦栽培について,てん菜研究会報,16,119~125
- 妹尾吉晃・安田利光・菅原寿一・新妻真司・秦泉寺敦(1996):テンサイ直播栽培の省力化について,第1報 直播栽培展示圃試験,てん菜研究会報,38,123~129
- 妹尾吉晃・安田利光・菅原寿一・秦泉寺敦(1998):テンサイ直播栽培の省力化について,第3報 安定生産に向けた諸対策試験,てん菜研究会報,40,107~113
- Schimmel, J. P., Firestone, M. K. and Killhami, K. S. (1984): Identification of heterotrophic nitrification in a Sierran forest soil. *Appl. Environ. Microbiol.*, 48, 802~806
- 志賀弘行・鈴木慶次郎・安積大治(2000):北海道の耕地土壌における交換酸度(y_1)の実態,北海道立農試集報,79,45~50
- 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
- 秦泉寺敦・佐久間正美・堤 平・菅原寿一・富山信夫(1984):土壌地力に対する窒素施肥反応試験,てん菜研究会報,26,94~100
- Shoemaker, H. E., Mclean, E. O. and Pratt, P. F. (1961): Buffer methods for determining lime requirement of soils with appreciable amounts of extractable aluminum, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 25, 274~277
- Sreenivasan, A. and Subrahmanyam, V. (1935): Biochemistry of water-logged soils. Part . . Carbon and nitrogen transformations, *J. Agr. Sci.*, 25, 6~21
- Strong, W. M., Saffigna, P. G., Cooper, J. E. and Cogle, A. L. (1992): Application of anhydrous ammonia or urea during the fallow period for winter cereals on the Darling Downs, Queensland. II. The recovery of ¹⁵N by wheat and sorghum in soil and plant at harvest, 30, *Aust. J. Soil. Res.*, 711~721
- 須田泰行(2007):てん菜直播栽培の優位性と課題 ~生産費調査の結果から~,砂糖類情報,124,8~13
- 杉山 誠・菅原寿一・向山 薫・笹岡 優(1994):京極町におけるテンサイ直播無間引栽培の一事例について,てん菜研究会報,36,47~51
- 鈴木慶次郎・東田修司・志賀弘行(2000):ジャガイモそうか病の発病に及ぼす有機物施用および耕土処理の影響,北海道立農試集報,79,37~44
- 鈴木慶次郎・志賀弘行(2004):浸透水の硝酸性窒素濃度から見た網走地域の黒ボク土畑における投入窒素限界量,75,45~52
- 但野利秋・安藤忠男(1984):酸性土壌とその農業利用 特に熱帯における現状と将来, p.217~258, 博友社, 東京
- 但野利秋・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
- 高橋朋宣・打越欣一・須田泰行・川村隆司・秋野正巳・菊地晃二・宮脇 忠・今野一男 (1989) : 斜網地区におけるテンサイの窒素診断 第1報 テンサイの最適窒素吸収量および施肥窒素利用率, てん菜研究会報, 31, 109~113
- Takahashi, Y. , Chinushi, T. , Nagumo, Y. , Nakano, T. and Ohyama, T. (1991) : Effect of deep placement of controlled release nitrogen fertilizer (coated urea) on growth, yield, and nitrogen fixation of soybean plants, *Soil Sci. Plant Nutr.* , 37, 223~231
- 田中 明 (1984) : 酸性土壌とその農業利用 特に熱帯における現状と将来, p. 7~20, 博友社, 東京
- 田中 明・早川嘉彦 (1974) : 耐酸性の作物種間差 第1報 耐低pH性の種間差 一比較植物栄養に関する研究一, 土肥誌, 45, 561~570
- 田中 明・早川嘉彦 (1975a) : 耐酸性の作物種間差 第2報 耐Al性および耐Mn性の種間差 一比較植物栄養に関する研究一, 土肥誌, 46, 19~25
- 田中 明・早川嘉彦 (1975b) : 耐酸性の作物種間差 第3報 耐酸性の種間差 一比較植物栄養に関する研究一, 土肥誌, 46, 26~32
- 田中文夫 (2000) : ジャガイモそうか病菌の同定と識別・定量ならびに土壌環境制御による防除に関する研究, 北海道立農試報告, 96, 1~66
- Terman, G. L. (1979) : Volatilization losses of nitrogen as ammonia from surface-applied fertilizers, organic amendments, and crop residues, *Advances in Agronomy*, 31, p.189~223, Academic Press, San Diego, San Francisco, New York, Boston, London, Sydney and Tokyo
- Terman, G. L. and Hunt, C. M. (1964) : Volatilization losses of nitrogen from surface-applied fertilizers, as measured by crop response, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* , 28, 667~672
- 手塚光明・梶山 努・有田敬俊・吉村康弘・越智弘明・大波正寿 (1997) : てんさい直播栽培における除草剤の使用体系, 北海道立農試集報, 73, 81~84
- 手塚光明・吉村康弘・阿部晴記・大槌勝彦・中本 洋 (1993) : テンサイ低糖分圃場における糖分向上実証試験 第3報 十勝管内における実態調査及び現地実証試験, てん菜研究会報, 35, 34~40
- 津田周彌 (1988) : 工芸作物—その光と翳—, p.110~113, 共同印刷, 札幌
- 辻 雅文・岩谷 繁・石井博之・明嵐謙二・塚本清音・寺元信幸 (2006) : 輪作適正化に向けた土壌改善効果の実証, 北農, 73, 78~83
- 堤 平・高井俊一・向山 薫 (1979) : 堆肥投入量と施肥量の関係, てん菜研究会報, 20, 185~192
- Uchino, H. and Kanzawa, K. (1995) : Evaluation of Yellowing Intensity of Sugar Beet Leaves Infected with Rhizomania by Using a Handheld Chlorophyll Meter, *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.*, 61, 123~126
- 上野末秋・鈴木陽一・関崎義正・三谷宗考・沢田美智雄・田中善博・高橋朋宣 (1986) : 斜里町の泥炭土壌における土壌窒素および施肥窒素がテンサイの品質に及ぼす影響, 28, 133~140
- Ulrich, A. , Moraghan, J. T. and Whitney, E. D. (1993) : Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants, ed. Bennett, W. F. , p. 91-98, APS-Press, St. Paul, Minnesota
- Van Breemen, N. , Mulder, J. and Drinsven, J. J. M. (1983) : Acidification and alkalization of soils, *Plant Soil*, 75, 283~308
- Vetsch, J. A. and Randall, G. W. (2000) : Enhancing no-tillage systems for corn with starter fertilizers, row cleaners, and nitrogen placement methods, *Agron. J.* , 92, 309~315
- Vlek, P. L. G. and Stumpe, J. M. (1978) : Effects of solution chemistry and environmental conditions on ammonia volatilization losses from aqueous systems, *Soil Sci. Soc. Am. J.* , 42, 416~421
- 和田光史 (1981) : 土壌粘土によるイオンの交換・吸着反応, 土壌の吸着現象—基礎と応用—, p. 5~57, 博友社, 東京
- 渡辺公吉・森 哲朗・藤田 勇 (1965) : 北海道の畑地土壌における施用養分の動態と施用技術の改善に関する研究 第Ⅲ報 十勝火山性高丘地土壌に施用せる尿素の形態的消長について, 北農試集報, 88, 14~27
- Watanabe, T. , Osaki, M. , Yoshihara, T. and Tadano, T. (1998) : Distribution and chemical speciation of aluminum in the Al accumulator plant, *Melastoma malabathricum* L. , *Plant Soil*, 201, 165~173
- 渡辺祐志 (1999) : 秋まきコムギの品質と肥培管理, 品質向上の肥培管理, 北海道農業と土壌肥料1999, p. 127~130
- Watkins, S. H. , Strand, R. F. , Debell, D. S. and Esch, J. J. (1972) : Factors influencing ammonia losses from urea applied to northwestern

- forest soils, *Soil Sci. Soc. Am. J.* , 36, 354~357
- Werner, L. N. and Stanford, G. (1958) : Changing concepts of plant nutrient behavior and fertilizer use, *Advance in Agron*, 10, 67~141
- Westermann, D. T. and Sojka, R. E. (1996) : Tillage and nitrogen placement effects on nutrient uptake by potato, *Soil Sci. Soc. Am. J.* , 60, 1448~1453
- Wetselaar, R. , Passioura, J. B. and Singh, B. R. (1972) : Consequences of banding nitrogen fertilizers in soil. I. Effects on nitrification, *Plant Soil*, 36, 159~175
- Whitehead, D. C. and Raistrick, N. (1990) : Ammonia volatilization from five nitrogen compounds used as fertilizers following surface application to soils. *J. Soil Sci.* , 41, 387~394
- Whitehead, D. C. and Raistrick, N. (1993) : The volatilization of ammonia from cattle urine applied to soils as influenced by soil properties, *Plant Soil*, 148, 43~51
- Woodruff, C. M. (1947) : Determination of the exchangeable hydrogen and lime requirement of the soil by means of the glass electrode and a buffered solution, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* , 12, 141~142
- Yadvinder-Singh and Beauchamp, E. G. (1987) : Nitrification inhibition with large urea granules, dicyandiamide and low soil temperature, *Soil Sci.* , 144, 412~419
- Yadvinder-Singh and Beauchamp, E. G. (1988) : Nitrogen transformations near urea in soil : Effects of nitrification inhibitor, nitrifier activity and liming, *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* , 18, 201~212.
- Yadvinder-Singh, Malhi, S. S. , Nyborg, M. and Beauchamp, E. G. (1994) : Large granules, nests or bands : Methods of increasing efficiency of fall-applied urea for small cereal grains in North America, *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* , 38, 61~87.
- 山田保彦・城 正幸・佐々木信夫・有田共秀・大櫛隆行・永井昭治・富田元夫 (1995) : テンサイ直播栽培省力化改善調査, *てん菜研究会報*, 37, 66~73
- 山神正弘 (1997) : あなたの圃場は成分不足で泣いている, *ニューカントリー*, 44 (11) , 69~71
- 山口淳一 (1999) : 作物の栄養生態特性と生理障害, 根の生長と地上部生長・養分吸収との関係, *北海道農業と土壤肥料*1999, p.53~57
- 柳沢 朗 (1989) : テンサイの根部におけるアミノ態窒素含有量の変動要因について, 31, 69~73
- 柳沢 朗・松崎康範・野村信史・奥村正敏・三分一敬・吉田俊幸 (1988) : 堆肥と施肥量がテンサイの生育, 収量および品質に及ぼす影響 2. 土壤肥沃度別の堆肥の効果, *てん菜研究会報*, 30, 48~56
- 矢野文夫・永尾嘉孝・早田隆典 (1982) : ばれいしょ連作栽培の畑土壌について, *長崎県総合農林試験場研究報告*, 10, 35~42
- Yibirin, H. , Johnson, J. W. and Eckert, D. J. (1993) : No-till corn production as affected by mulch, potassium placement, and soil exchangeable potassium, *Agron. J.* , 85, 639~644
- 吉田 稔 (1979) : 土壤酸性とその測定をめぐる諸問題, *土肥誌*, 50, 171~180
- 吉田 稔・川畑洋子 (1988) : 酸性雨の土壌による中和機構, *土肥誌*, 59, 413~415
- 吉田俊幸・松崎康範・男沢良吉 (1980) : てん菜葉腐病における品種と窒素施用量の影響, *てん菜研究会報*, 21, 9~16
- 吉村康弘・野村信史 (1989) : テンサイの施肥量および栽植密度に対する反応の品種間差異, *てん菜研究会報* 31, 20~25
- 吉村康弘・白旗雅樹 (1997) : テンサイ直播栽培における鎮圧法と施肥法の改良について, *てん菜研究会報*, 39, 155~165
- 吉村康弘・白旗雅樹・手塚光明・阿部晴記 (1997) : てんさい直播無間引栽培における初期生育の安定化技術, *北海道立農試集報*, 73, 71~80
- 吉澤 晃・梶山 努・吉田俊幸・赤司和隆・今野一男・宮脇 忠 (1992) : 堆肥と窒素施肥量がテンサイ根部の乾物率と乾物中糖分含有率に及ぼす影響, *てん菜研究会報*, 34, 107~111
- 吉澤 晃・梶山 努・吉田俊幸・赤司和隆・今野一男・宮脇 忠 (1993) : テンサイ低糖分圃場における糖分向上実証試験 第1報 糖分向上効果の比較, *てん菜研究会報*, 35, 22~27
- Yuan, T. L. (1974) : A double buffer method for the determination of lime requirement of acid soils, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* , 38, 437~440
- Yuan, T. L. (1976) : Anomaly and modification of pH-Acidity relationship in the double buffer method for lime requirement determination, *Soil Sci. Soc. Am. J.* , 40, 800~802
- Zebarth, B. J. and Paul, J. W. (1997) : Growing season nitrogen dynamics in manured soils in

south coastal British Columbia : implications for a soil nitrate test for silage corn, *Can. J. Soil Sci.* , 77, 67~76
Zebarth, B. J. , Younie, M. F. , Paul, J. W. ,

Hall, J. W. and Telford, G. A. (1999) : Fertilizer banding influence on spatial and temporal distribution of soil inorganic nitrogen in a corn field, *Soil Sci. Soc. Am. J.* , 63, 1924~1933