

第Ⅰ章 緒 論

第1節 背景と目的

アスパラガス (*Asparagus officinalis* L.) の原産地はヨーロッパから温帯西部アジアあるいは地中海東岸および小アジアといわれ⁶⁰⁾、ヨーロッパでは2,000年ほど前からすでに栽培されてきたと伝えられている⁶⁵⁾。我が国には観賞用として天明以前(18世紀)にオランダ人によって長崎に伝えられた¹¹⁴⁾。北海道では北海道開拓史がアメリカから食用アスパラガス種子を導入したが、一般には広がらなかった³⁾。その後、岩内町の下田喜久三が大正5年に後志に試作場を設け、研究に着手している。彼は罐詰の製造を開始し、軟白栽培であるホワイトアスパラガスが北海道に広がった⁶⁵⁾。その後、アスパラガスの栽培面積は拡大したが、海外からの輸入製品との競合のため、ホワイト栽培はほとんどなくなり、現在はグリーン栽培が主流となっている。

このように、北海道におけるアスパラガス栽培は1980年代後半には栽培面積も5,000haを維持するようになり^{1,34)}、タマネギとともに北海道の主要野菜の一つとなった。ところが1981年頃から北海道における単位面積当たりの収量は減少しつつある¹⁾。この収量低下要因としては土壌理化学性の悪化、地上部あるいは地下部の病害、新しい害虫害、過度の収穫などの栽培管理の問題が要因と考えられている。

そこで本研究では、北海道の主要アスパラガス栽培産地における土壌理化学性の実態を調査し、さらに北海道における大産地において生産性の異なる圃場を選び、根群分布状況、根量、土壌断面調査および土壌硬度の詳細な実態調査を行った。また、新植時の土壌改良方法が永年性作物であるアスパラガスにとっては非常に重要であるため、従来の植溝改良法と異なる、根群の拡大充実を目指した圃場全面に対する土壌改良法について検討した。

アスパラガスは10年以上も連続して栽培される作物であり、その安定生産のためには周年的な栽培・収穫管理が必要であって、とくに収穫後に適正な茎葉生育量を確保し、翌年の収量を決定する貯蔵養分の充実を図ることが重要である。そのためにはアスパラガスの生育や養分吸収特性に対応した合理的な栽培管理技術の確立が必要であり、養分吸収過程の把握が重要となる。これまでにアスパラガスの施肥量、施肥時期および根系の調査がな

されているが、根部を含めた作物体全体の年間を通した養分吸収パターンについてはほとんど明らかにされていない。そこで、根部を含めた作物体全体の乾物重および無機養分含有率の推移を調査した。また、若茎生産に深く関与していると考えられる根部の糖類の消長およびアスパラガスの収穫部位である若茎の生産性、養分含有率、品質等の変動を調査した。

つぎに、収穫部位である若茎の生産性に大きく関与している根部の糖代謝を明らかにするために、茎葉で同化された光合成産物が根部に集積を開始する茎葉繁茂初期の糖代謝に着目し、この時期におけるアスパラガスの根部に存在するフルクタン含有率を器官ごとに定量するとともに、茎葉で同化した¹⁴C₂O₂が、根部のどのような部位に、どのような糖の形態で分配・集積するかを明らかにし、アスパラガスの若茎の生産性向上のための基礎的知見となる根部における糖代謝について検討を行った。

アスパラガスの低収要因には前述したように様々な原因が考えられるが、過収穫や病害が主要因と考えられる。このような衰弱した作物体に対する適切な栽培管理が非常に重要である。つまり、過収穫や病害によって悪影響を受けたアスパラガスは、貯蔵根への糖類の集積が不十分であると考えられ、この時従来と同じ様な栽培管理を続ける場合には、ますます衰弱を助長することが懸念される。アスパラガスは前年の夏期から秋期にかけて同化した光合成産物を根部に糖類として集積し、翌年それを使って若茎を生産し、さらに自己再生のための茎葉を繁茂させる。このことは収穫の強度と生育がかなり密接な関係にあることを示しており、低生産性におちいっている圃場に対して、前年と同様の収穫期間を続けたり、当年の生産性のみを上げるために収穫期間を延長したりすることが生産性の大きな低下要因として考えられる。したがって、茎葉の光合成期間と密接な関係にある収穫期間の設定は非常に重要なものとなる。

そこで、北海道各地で5ヶ年間にわたり、収穫期間がアスパラガスの生育および生産性に及ぼす影響を調査した。さらにこのなかで、収穫期間の変動に伴う若茎の糖含有率特性、アスパラガスの生産性に最も密接な関係があると考えられる根量および根の糖類に及ぼす収穫期間の影響、収穫期間処理が根部糖類の組成に及ぼす影響を検討した。これらの結果からそれぞれの圃場の状態に適

応した収穫期間および廃耕基準を圃場ごとに決定するための指針を作成し、アスパラガスの合理的生産性向上方策を示した。

第2節 既往の研究成果

アスパラガスの研究、特に栄養生理的な研究は国内外を問わず報告が少ない。これは永年性作物であること、個体が大きいこと、個体差が大きいことが原因と思われる。アスパラガスの育種に関しても、永年性作物で作付けサイクルが長いという理由で、我が国で育成された品種は公的機関と民間を含めてわずか5品種にすぎず²⁸⁾、国内で栽培されている品種数も26品種のみである⁵⁹⁾。北海道では従来からある、メリーワシントンあるいはメリーワシントン500Wがいまだに主要品種であるが⁵⁸⁾、近年では組織培養^{79,117)}により増殖したものが商品化されている。また、雄性系統についても盛んに取り組まれているが、これはアスパラガスは雌雄異株の作物で、雄株は雌株に比べて収量が多く、落下した種子による実生の雑草化がないために栽培上有利とされているからである^{5,14,74,108)}。また、超雄株を利用した全雄F1株の取り組みもなされている³⁵⁾。

アスパラガスの生理生態、栽培技術に関しては、種子の休眠性と発芽温度の関係^{49,50)}、苗の定植法^{80,81,82,129,130)}、栽植密度の検討^{26,29)}、アレロパシー問題の検討^{109,110)}がなされているが十分とは言えない。光合成特性に関しては基本的特性^{12,16,52,71)}や環境による変化^{24,39,106)}などの報告がある。

アスパラガスの土壌調査は相馬ら^{91,92)}が野菜栽培土壌調査の一環として取り上げており、アスパラガス畑は一般野菜畑と同じくらの養分状態としている。また、多賀ら^{94,99,100)}は北海道各地のアスパラガス畑の土壌理化学性の実態を調査し、有効態りん酸と交換性カリウムの蓄積、pHの低下、交換性石灰と苦土含有率の低下を指摘している。アスパラガスの生産性と土壌型の関係について多賀ら⁹⁶⁾は、褐色低地土で最も生産性が高く、火山放出物未熟土および酸性褐色森林土は低いとしている。

一方、アスパラガスの根は量が多く、深くまで存在しているといわれているが、根自体の調査では、3年生株で総根数396本、総根長221mとなり⁴¹⁾、深さ300cmに達することもあるという報告¹¹²⁾がある。また、根の深度分布では、地表から30cmまでに72.4%の根が存在しているという調査事例⁸⁵⁾、定植12年目の株の例では深さ40cmまでに88%の根があったという報告¹¹⁶⁾や、横方向の分布でも3年生株では株からの半径80cmではほとんど根が

なかったが、6年生株になると169本もの根が伸長した例¹¹⁵⁾も報告されている。しかしながら、年間を通した根の変動や、さまざまな栽培条件における根群の状態についてはほとんど報告はない。

アスパラガス新植時の土壌改良方法に関しては幅40cm、深さ50cmの溝を作り、その部分に土壌改良を行う方法⁹⁷⁾、一度定植した後の既存畑における土壌改良法も提案されているが^{98,103)}、永年性作物であるアスパラガスの土壌改良法としては部分的改良では持続的な生産性が得られない場合が多く、土壌改良を広範囲にする方法が求められている。また、土壌改良時の化学性の基準については、適正pHは5.8~6.1位といわれており⁸³⁾、6.0程度に土壌酸性を矯正し、有効態りん酸を30mg/100gにすることが必要との報告がなされている³⁰⁾。

アスパラガスの養分吸収および施肥量の研究は、ほとんどが北海道におけるもので、山吹ら¹²³⁾は地上部の養分吸収量の推移を調査し、多くの要素が茎葉繁茂期の後半まで地上部に吸収移行していることを報告している。多賀⁹⁴⁾は年間の養分吸収量を試算しており、多賀・関口¹⁰²⁾はアスパラガスの窒素施与時期について、初期に適切に供給、中期に抑制、後期に若干供給することが適切と提案している。さらに¹⁵Nを用いた試験では収穫前に施用した窒素の25%が吸収されているとの報告があり⁵¹⁾、早春における施肥の重要性が示されている。施肥について、高橋ら¹⁰⁴⁾は窒素が茎葉の生育、収量に最も強く影響を及ぼしており、窒素、リン酸、カリウムそれぞれの適正施肥量としては20, 12, 10kg/10a程度が妥当であるとしている。さらに高橋ら¹⁰⁵⁾は窒素の施肥時期についても検討を加え、春夏1:3の分施が最も効果的であると結論している。

若茎の生長、品質特性に関しては、温度と若茎の伸長の関係であるQ10は約2であること⁹⁾や若茎の伸長速度は10~30℃では高温ほど大きく、35℃ではやや小さくなることが示されている⁴⁵⁾。また、伸長速度は若茎の長さや温度と直線関係を示す⁴⁾が、若茎の伸長生長に光の影響はなかった⁴⁶⁾ことも報告されている。さらに水耕栽培では根部の温度が高いときに若茎の生産量が多く、地下部の活性の重要性が示唆されている¹¹¹⁾。山吹と佐藤は5日間ごとの積算平均気温とその後5日間ごとの積算収量との間には高い相関が認められると報告している¹²²⁾。金と崎山は若茎の伸長は貯蔵糖が十分に存在している限り貯蔵根の活性より若茎やクラウンの活性により制限されるが、不足すると伸長速度は低下した⁴⁷⁾と報告している。若茎の繊維量は光および温度により影響を受け⁷⁾、高温で生長するほど繊維の発達が少ないといわれてい

る^{8,90)}。鈴木らは先端になるほど糖含有率は低下するとの結果を得ており⁹³⁾、松本らは収穫時期が早いほど若茎の糖含有率は高いと報告している⁵⁷⁾。一般に農産物の収量性と品質は負の関係があるといわれ^{43,63,67,107,131)}、一般に果実や果菜類にその傾向は顕著である^{36,42,55,56,62,64,87)}。しかしながら、一旦同化産物を根に蓄え、その後それを利用して若茎が生長するアスパラガスの場合は、この関係は当てはまらないと考えられ、品質と収量の関係を明らかにする必要がある。

アスパラガスは他のユリ科植物と同じようにフルクタンを貯蔵糖としており、根部に含まれる糖類の種類については、Martinら⁵³⁾は根の糖の80%をフルクタンとして蓄えているとし、塩見はその重合度は3~15程度であるとしている⁸⁸⁾。また、フルクタン以外の糖としてはフルクトースとスクロースが存在し、グルコースは微量であるともいわれている⁴⁸⁾。多賀ら⁹⁵⁾はアスパラガスの根における貯蔵糖の含有率は若茎の収穫に伴い低下するが、収穫を終了し、茎葉を伸長させ、十分に茎葉が繁茂してから上昇し始め、秋に最高となることを示している。さらに、品種や定植年次が異なっても同様の傾向をHaynes¹⁷⁾、Dograsら¹⁰⁾およびPressmanら⁷³⁾は報告している。このようにアスパラガスの根部の糖類についてはその種類と生育にともなう消長が明らかにされつつはあるが、地上部茎葉によって同化された光合成産物の挙動と糖代謝における根部の各器官の役割についてはほとんど明らかになってはいない。

アスパラガスは茎葉の光合成によって作られる糖類を根部に集積しており、その集積量が次年早春の収量および生育に影響しているため、収穫の開始年や収穫期間の設定は非常に重要なものとなる。北海道におけるアスパラガスの収穫期間は気候が似ているアメリカのイリノイ州で1938年に行われた試験結果を基に設定されており⁸⁴⁾、定植5年目以降は60日間が標準となってきた¹²⁵⁾。しかし北海道で実施された試験結果より、収穫日数を45~60日間と幅を持たせても安定的な収量が得られるとの報告^{95,101)}があり、さらに、定植年数や茎葉乾物重を考慮して収穫日数を設定するのが妥当という提案¹⁾もなされるなど収穫期間見直しの機運が高まっている。また、海外や北海道以外の暖地では夏秋期どりなどの作型を中心に生育量と翌年の収量などの関係が数多く検討されているが^{2,13,40,69)}、寒冷地における通常の春どり栽培についての試験はあまりなされていない。収穫期間の変動に伴う根量および根部糖類の代謝が明らかにならなければ、茎葉の光合成期間と密接な関係にある収穫期間の合理的な基準は設定できないと考えられる。

作物の形態や栄養状態を測定することで、リアルタイムに作物の養分の過不足を診断し、分追肥などの対策を講じる作物栄養診断は野菜類^{22,75,76,77,127,128,132)}や果樹^{18,64)}などで試みられているが、アスパラガスに対しても植物体の診断を行い、作物の状態に適応した栽培管理を決定するための指針が必要である。

謝

本研究をとりまとめるにあたり，北海道大学農学部生物資源生産学専攻作物生産生物学講座作物栄養学研究室教授 但野利秋博士には終始懇切なるご指導を賜り，きめ細やかなご校閲を頂いた。同じく作物生理学研究室教授 喜久田嘉郎博士，園芸学研究室教授 原田 隆博士および土壌学研究室教授 波多野隆介博士には本稿のご校閲を頂き，有益なご指導を頂いた。ここに甚大なる謝意を表する。

本研究は元北海道立中央農業試験場農芸化学部土壌肥料科長 鎌田賢一博士のご指導とご援助で開始したものであり，終始ご助言を頂いた。

元北海道首席専門技術員 多賀辰義博士，元中央農試土壌肥料第一科 高橋市十郎氏には前任者として研究のきっかけを与えて頂いた。元中央農試化学部長 高尾欽弥氏，元中央農試農芸化学部長 大崎玄佐雄氏，同 相馬 暁博士，同 菊地晃二博士，中央農試環境化学部長 沢口正利博士にはご指導とご助言を賜った。元中央農試土壌肥料第一科長 前田 要博士，同土壌肥料科 長谷

辞

川進氏，同 熊谷秀行氏，同 田丸浩幸氏，同 加藤淳博士，同 小野寺政行氏には研究の遂行に際しご協力を頂いた。

本研究の一部は農林水産省野菜茶業試験場で行われ，元生理生態部代謝生理研究室 今田成雄氏，同研究室長岡正昭博士，同研究室 濱野 恵氏にはご指導を頂いた。

前道南農試主任研究員 坂本宣崇博士，同主任研究員大村邦男博士，同土壌肥料科 林 哲央氏，同 坂口雅己氏にはとりまとめにあたり便宜を図っていただいた。

当研究の一部は北海製罐株式会社罐詰研究所と北海道アスパラガス協会のご協力の下に行われた。元所長 佐藤滋樹氏，元研究所 皆川裕一氏，研究所の皆様，協会故山吹一芳氏に深く感謝する。現地圃場試験にあたっては，地元普及センター，農協，罐詰会社および農家各位の絶大なご協力を頂いた。

以上の各位に深く感謝の意を表する。

第Ⅱ章 アスパラガス主要産地の土壌および

根群分布の実態と新植時の土壌改良法

第1節 北海道における主要産地の土壌理化学性

アスパラガスは北海道の特産野菜として重要な位置を占めており、寒冷地に適した作物として定着している。しかし1981年頃から北海道における単位面積あたりの収量は減少しつつある⁶⁸⁾ (図2-1)。そこで本調査は北海道の主要アスパラガス栽培産地におけるアスパラガス栽培圃場の土壌理化学性の実態を調査し、低収の原因に土壌条件が介在するかについて検討した。

方 法

北海道のアスパラガス主要産地である夕張市、美唄市、留寿都村、喜茂別町、伊達市、富良野市、芽室町、上湧別町から1地区平均30圃場、合計250圃場の土壌を採取した。採取土壌の種類とそれぞれの採取点数は表2-1のとおりである。採取土層は上層を0~15cm、下層を15~30cmとした。調査は1987年の10月と11月に実施した。

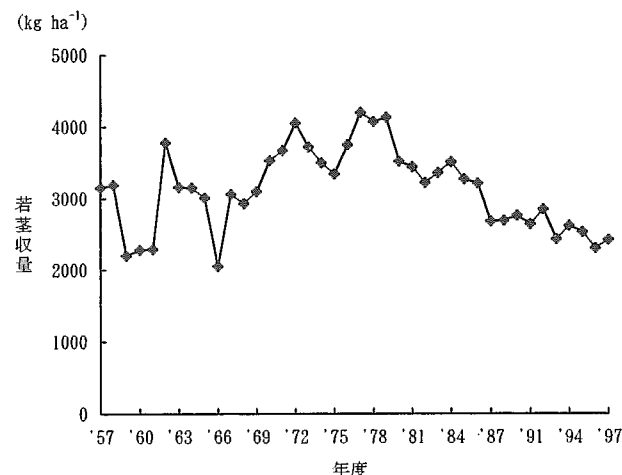


図2-1 北海道におけるアスパラガスの平均収量の変遷

土壌の養分分析は土壌分析法¹¹⁾および土壌及び作物栄養の診断基準(分析法)³²⁾により行った。

結 果

全地域の土壌理化学性の頻度分布を上層と下層に分けて図2-2から図2-7に示した。pHは北海道の野菜畑の適正域を示した基準値²⁷⁾6.0~6.5を下回る土壌が多く、約61%の圃場でpHが6.0以下だった。また、下層土でより低い傾向を示した(図2-2)。交換性カリウム含有率は基準値である15~30mg/100gを越えている圃場がほとんどであり、上層部で多く蓄積していたが、15mg/100g以下の圃場は約5%あった(図2-3)。交換性石灰含有率は基準値である180~300mg/100g以下の圃場が多く、200mg/100g以下の圃場は約43%あった(図2-4)。交換性苦土含有率は基準値である25~40mg/100g以内の圃場が最も多かったが、15mg/100g以下の圃場も約5%存在した(図2-5)。有効態りん酸含有率は基準値である15~30mg/100g以上の圃場が多く、100mg/100gを越える圃場もみられたが、15mg/100g以下の圃場も約9%存在した(図2-6)。CECの分布をみると、細中粒質の圃場が多く、粗粒質の圃場は少ない傾向にあった(図2-7)。

各地域ごとの土壌理化学性を表2-2と表2-3に示した。全体的に地区の違いによる土壌理化学性の変化は少なかったが、上湧別町でpHが低く、交換性カリウム含有率と有効態りん酸含有率が高い傾向にあった。また、石灰飽和度と塩基飽和度は留寿都村と喜茂別町でやや低かった。

考 察

アスパラガスの土壌調査は相馬ら^{91,92)}が野菜栽培土

表2-1 土壌理化学性調査地域の土壌型

	合計点数	黒ボク土	褐色森林土	灰色台地土	褐色低地土	泥炭土
夕張市	21	18	—	—	3	—
美唄市	30	—	—	—	—	30
留寿都村	50	50	—	—	—	—
喜茂別町	30	6	—	—	24	—
伊達市	30	28	—	—	2	—
富良野市	28	—	19	9	—	—
芽室町	30	22	—	—	8	—
上湧別町	31	—	—	—	31	—

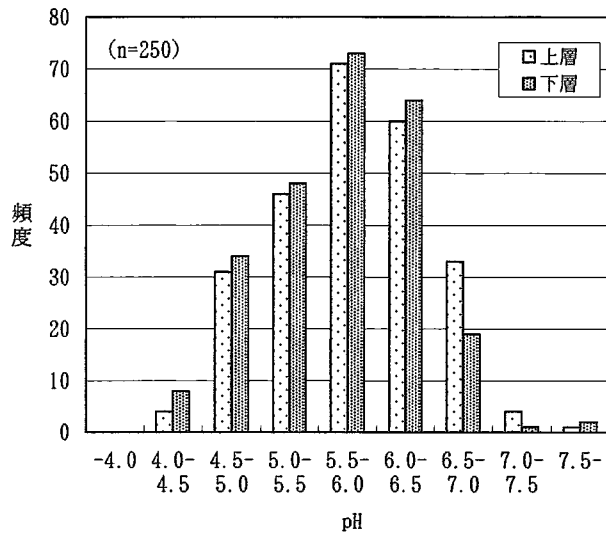


図 2-2 土壌pHの頻度分布

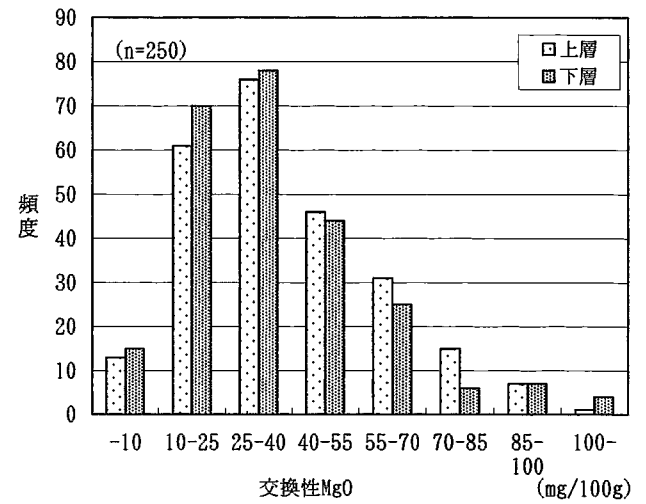


図 2-5 土壌の交換性MgO含有率の頻度分布

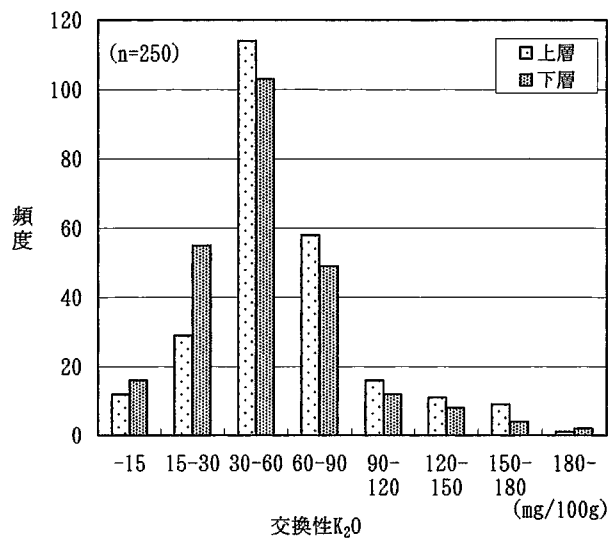
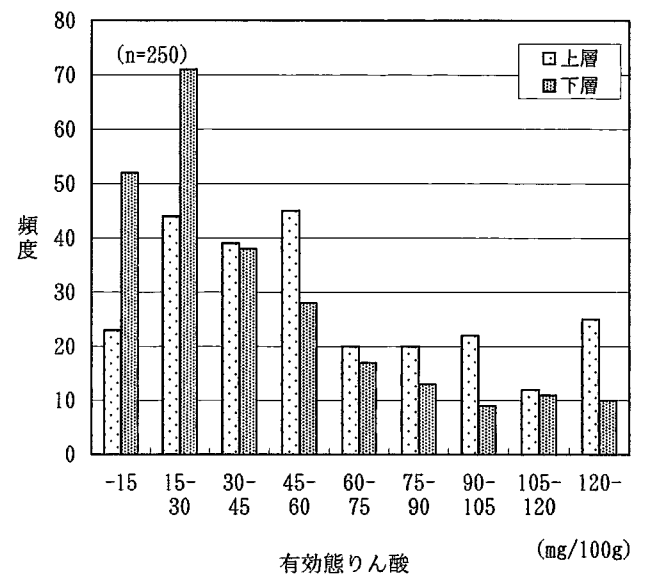
図 2-3 土壌の交換性K₂O含有率の頻度分布

図 2-6 土壌の有効態りん酸含有率の頻度分布

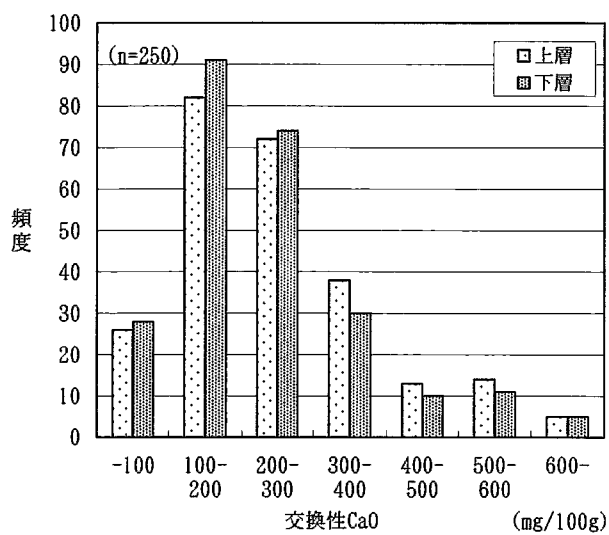


図 2-4 土壌の交換性CaO含有率の頻度分布

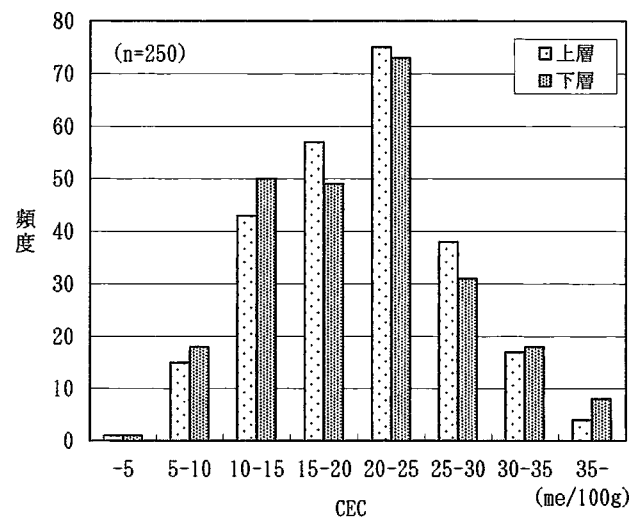


図 2-7 土壌CECの頻度分布

表 2-2 各地域ごとの土壌化学性 (0~15cm)

		pH	K ₂ O	CaO	MgO	CEC	石炭 飽和度	塩基 飽和度	有効態 りん酸
		(H ₂ O)	(mg/100 g)	(mg/100 g)	(mg/100 g)	(mg/100 g)	(%)	(%)	(mg/100 g)
夕張 (n = 21)	平均値	5.81	19.3	135.4	20.7	9.5	52.7	67.4	83.9
	最小値	5.20	4.7	58.7	4.4	5.0	23.2	34.5	31.8
	最大値	7.00	55.6	408.8	77.4	19.0	83.8	117.6	337.3
	変動係数	9.6	69.5	60.0	82.3	42.7	39.3	37.4	85.6
美唄 (n = 30)	平均値	5.61	51.9	367.3	69.2	27.1	48.3	65.4	76.3
	最小値	4.70	23.4	174.4	33.6	17.3	30.4	40.4	2.2
	最大値	7.00	133.6	600.0	106.6	41.8	70.4	84.5	195.9
	変動係数	10.6	50.2	31.7	27.9	22.1	22.3	19.2	68.8
留寿都 (n = 50)	平均値	6.06	57.2	251.1	36.9	22.3	39.5	53.1	33.4
	最小値	4.72	13.8	46.4	4.4	9.4	9.3	13.1	2.0
	最大値	6.95	97.4	561.8	83.6	32.3	98.2	119.6	89.0
	変動係数	8.5	36.0	49.3	51.5	15.8	45.4	40.4	60.5
喜茂別 (n = 30)	平均値	5.80	43.8	223.6	35.8	22.2	37.8	50.9	39.1
	最小値	4.59	24.5	81.2	7.7	10.5	12.6	17.3	9.8
	最大値	6.90	120.4	392.2	73.0	36.8	74.2	94.9	172.2
	変動係数	9.6	42.3	39.3	47.8	30.5	38.1	37.7	79.7
伊達 (n = 30)	平均値	6.00	51.6	261.2	28.4	16.7	53.8	69.0	94.5
	最小値	4.40	22.0	60.0	6.8	9.3	13.0	17.6	15.2
	最大値	7.68	147.8	998.4	83.6	31.5	229.7	260.6	482.7
	変動係数	11.2	48.2	80.2	63.9	40.5	69.0	59.4	89.6
富良野 (n = 28)	平均値	5.84	55.4	189.6	33.3	15.0	45.1	63.8	62.2
	最小値	4.60	21.9	55.3	8.8	9.9	18.0	25.0	22.4
	最大値	6.80	104.1	288.0	75.8	20.4	74.8	99.7	117.3
	変動係数	11.6	38.0	34.7	52.9	15.9	34.3	29.7	46.3
芽室 (n = 30)	平均値	6.05	57.7	270.2	36.2	22.2	42.5	56.3	58.5
	最小値	4.78	19.3	73.7	8.4	12.5	16.2	25.8	3.3
	最大値	7.40	112.7	682.0	83.3	34.0	96.1	109.8	320.9
	変動係数	9.5	41.0	58.1	49.5	26.1	43.5	36.9	111.4
上湧別 (n = 31)	平均値	5.15	124.0	285.1	42.3	23.6	45.6	66.5	94.3
	最小値	4.26	46.1	111.6	20.0	11.5	21.5	32.7	36.8
	最大値	7.50	188.8	1122.8	76.2	34.3	281.0	326.6	153.7
	変動係数	12.8	28.8	68.6	32.4	22.0	100.0	75.6	32.7
全体 (n = 250)	平均値	5.81	59.2	252.9	38.5	20.4	44.9	60.7	64.6
	最小値	4.26	4.7	46.4	4.4	5.0	9.3	13.1	2.0
	最大値	7.68	188.8	1122.8	106.6	41.8	281.0	326.6	482.7
	変動係数	11.3	59.9	59.4	56.0	34.4	56.4	47.7	84.9

壤の実態として取り上げており、塩基飽和度はタマネギ畑>一般野菜畑>アスパラガス畑>一般畑作畑の順に高まり、りん酸蓄積はタマネギ畑>アスパラガス畑>一般野菜畑>一般畑作畑の順に進んでいた。本調査では塩基飽和度は基準値以内、りん酸は蓄積傾向であり、同じ傾向を示した。また、多賀ら^{94,99,100)}は6カ年にわたり北海道各地のアスパラガス畑の土壌理化学性の実態を調査した。その結果、有効態りん酸と交換性カリウム含有

率の蓄積、pHの低下、交換性石灰と苦土含有率の低下を指摘している。本調査でも同様の傾向は示しているが、交換性苦土含有率は基準値以内が多かった。交換性加里含有率は基準値以上の圃場が多く、過度のカリウムの蓄積は塩基のバランスを乱すために土壌のカリウム含有率に対応したカリウム施肥が必要と考えられた³¹⁾。

北海道におけるアスパラガスの低収要因を探るために各地の一般理化学性を調査した結果、全体的な傾向とし

表 2-3 各地域ごとの土壌化学性 (15~30cm)

		pH (H ₂ O)	K ₂ O (mg/100 g)	CaO (mg/100 g)	MgO (mg/100 g)	CEC (mg/100 g)	石炭 飽和度 (%)	塩基 飽和度 (%)	有効態 りん酸 (mg/100 g)
夕張 (n = 21)	平均値	5.68	18.3	110.1	17.7	9.5	43.2	56.5	77.1
	最小値	4.82	4.5	47.5	5.3	4.5	18.0	27.4	15.2
	最大値	6.78	45.5	242.1	44.0	16.5	79.6	99.8	203.8
	変動係数	10.5	59.7	50.7	64.7	35.8	43.2	38.7	52.7
美唄 (n = 30)	平均値	5.16	36.6	337.8	69.6	32.4	39.0	52.9	24.2
	最小値	4.12	13.2	152.8	28.8	18.6	18.9	23.3	8.2
	最大値	6.73	79.6	611.2	115.0	73.7	73.1	96.7	156.9
	変動係数	11.6	47.8	33.7	34.9	35.5	34.4	30.8	112.7
留寿都 (n = 50)	平均値	5.88	52.7	222.6	32.9	21.5	36.0	48.9	24.9
	最小値	4.55	16.6	36.4	6.6	13.0	8.5	12.9	3.0
	最大値	6.80	94.4	617.5	95.8	32.3	101.3	127.9	71.3
	変動係数	9.0	38.7	51.7	58.7	14.3	45.8	41.9	58.6
喜茂別 (n = 30)	平均値	5.70	41.3	190.9	33.7	22.0	32.8	45.2	36.3
	最小値	4.55	6.9	42.3	5.7	12.0	6.1	9.9	3.3
	最大値	6.71	132.2	359.9	67.8	36.0	52.8	80.2	180.8
	変動係数	9.4	56.0	44.3	53.6	30.0	41.3	41.0	104.8
伊達 (n = 30)	平均値	6.10	38.7	244.3	28.1	15.4	56.6	71.0	62.0
	最小値	4.82	7.2	33.0	9.2	9.0	5.7	17.0	2.9
	最大値	7.65	145.0	901.8	65.0	27.5	252.2	284.1	205.1
	変動係数	9.3	70.2	70.8	54.0	35.3	70.7	61.9	73.6
富良野 (n = 28)	平均値	5.75	43.2	168.7	26.4	13.9	43.5	59.8	34.0
	最小値	4.77	11.6	82.8	8.5	8.4	20.1	25.1	3.1
	最大値	6.65	110.8	290.1	49.4	18.4	67.2	87.4	78.3
	変動係数	8.8	53.2	28.9	41.5	16.5	25.3	22.2	57.0
芽室 (n = 30)	平均値	5.98	58.7	265.6	33.9	22.1	43.4	56.8	29.6
	最小値	5.15	13.3	106.7	9.7	11.5	19.2	30.3	2.9
	最大値	7.32	97.4	622.6	65.6	34.2	108.0	124.2	112.1
	変動係数	7.7	35.5	48.1	44.8	25.5	41.7	35.5	105.3
上湧別 (n = 31)	平均値	5.23	107.0	305.7	44.2	23.4	49.2	68.9	77.4
	最小値	4.28	31.5	112.2	23.0	13.5	17.9	34.3	20.7
	最大値	7.65	199.5	1090.2	71.4	32.0	268.1	307.0	134.7
	変動係数	14.9	42.5	63.9	27.9	21.6	89.1	68.1	41.5
全体 (n = 250)	平均値	5.70	51.3	235.4	36.3	20.6	42.5	57.0	43.1
	最小値	4.12	4.5	33.0	5.3	4.5	5.7	9.9	2.9
	最大値	7.65	199.5	1090.2	115.0	73.7	268.1	307.1	205.1
	変動係数	11.4	67.1	59.4	59.6	41.1	59.9	50.5	86.2

て土壌pHと交換性石灰含有率が低いことおよび土壌化学性が基準値に満たない圃場が存在することが認められた。また、土壌型により生産性は異なっているが^{61,96)}、同じ土壌型の内でも収量性はかなり異なる場合があり、肥培管理、作付け年数、収穫期間、病害防除の有無等、土壌条件以外に個々の事例を検討する必要があると考えられた。

第2節 生産性の異なる圃場における根群分布実態

前節で述べたように、アスパラガスの生産性の低下が北海道各地で見られるようになり、その程度はかつて主要産地といわれてきた羊蹄山麓、美唄市、穂別町などの地域で著しい。そこでこの収量低下要因を土壌物理性と化学性の面から解析するために、北海道における大産地

である穂別町と美唄市において生産性の異なる圃場を選び、根群分布状況、根量、土壌断面調査、土壌化学性および土壌硬度の詳細な実態調査を行った。

方 法

1988年9月に穂別町と美唄市のアスパラガス圃場について、それぞれ8圃場の根群実態調査を行った。穂別町では主に定植後年数が4～7年の圃場を選定して、それぞれ圃場で代表的な1個体を選んで調査した。美唄市では5年程度の圃場を中心に選定したが、10年以上の経過したものも3圃場含めて、穂別町と同様に調査した。調査した土壌は穂別町では沖積土が3圃場であり、他の圃場は火山放出物未熟土で、美唄市においてはすべての圃場が鉍質土壌客土がなされている泥炭土で、ほとんどが水田転換畑であった。

根群分布調査は図2-8に示した方法で行った。つまり、根群の分布が左右対称であると仮定し、根の右半分のみを調査した。調査した圃場は畦間150～180cm、株間30～35cmであったので、株の中心から右横方向へ75cm、奥行きを株を中心として株間の長さ(30～35cm)、深さを50～70cmの立方体の範囲の根について調べた。さらに、この立方体を横15cm毎、深さ10cmのブロックに分割して、その中の根量を調査した。さらに、土壌断面調査をおこない、土層ごとに土壌理化学性を株直下と畦間部分について区別して分析した。また、連続土壌貫入抵抗測定器で株直下と畦間部分について土壌の貫入抵抗値を深さ90cmまで測定した。同時に当年春の収量も農協の出荷実績から求めた。

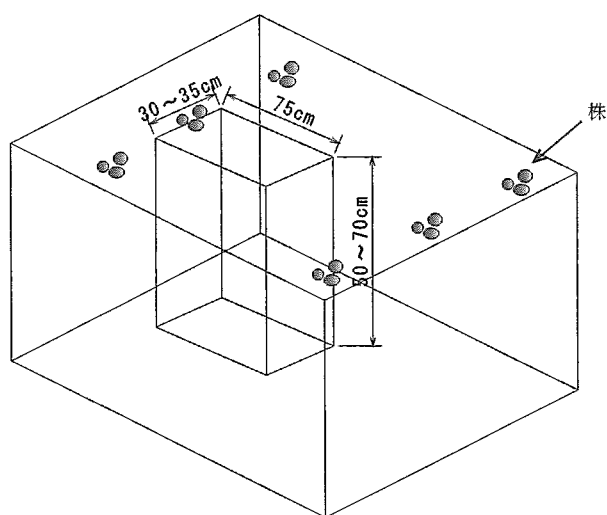


図2-8 根群分布調査法
(奥行き長は株間により異なり、深さは根の伸長深により異なる)

結 果

穂別町における根の深さ別の分布は0～10cmにはほとんど存在しなく、10～40cmに集中しており、40cm以下では減少した(表2-4)。横方向への分布は30cmまでにその大部分が存在したが、No. 2やNo. 5のように30cm以上での分布割合が25%を超えるものもあった。1株あたりの根量は1,136gから2,078gの範囲にあり、定植後年数との関係は認められなかった。当年の収量も圃場によりばらつきが多かった。

美唄市では盛土栽培を行っている圃場があり、本調査でもNo. 4, 6, 7, 8は盛土栽培であった。そのような圃場は10～20cm程一般の圃場より根の分布が深くなっているが、根の深さ別の分布は表層0～10cmにはほとんど存在せず、10～40cmに集中していた(表2-5)。根の大部分は横方向30cmまでに存在したが、30cm以上での分布割合が25%を超えるものは認められなかった。根量は1,400gから3,206gの範囲にあり、穂別町より多い傾向にあった。定植後年数との関係は認められなかった。

アスパラガスの生産性と根量との間には密接な関係があるといわれている。そこで根の新鮮重と当年の収量との関係を両地区合わせて図2-9に示した。両者の間には有意な正の相関が認められ、根量の多い圃場は収量も高い傾向にあった。

このような生産性の違い、すなわち根量の違いが土壌条件に起因するかどうかを明らかにするために、両地区から定植後年数が同じで、生産性が高い圃場と低い圃場を選び検討した。

まず、穂別町の低収圃であるNo. 1圃場と高収圃のNo. 2圃場の根群分布図特性を比較した(図2-10)。根量は低収圃が1,274gで高収圃が2,004gである。根の

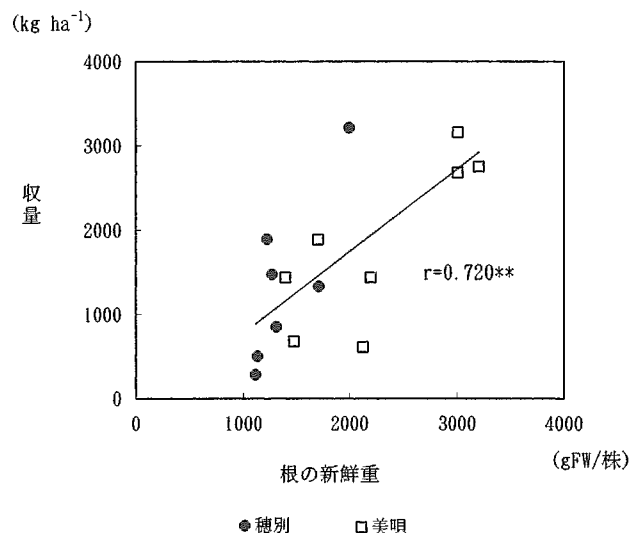


図2-9 現地調査における根の新鮮重と収量との関係

表 2-4 穂別町における根群分布割合

	深さ\横幅 (cm)	0~15	15~30	30~45	45~60	60~75	深さ別小計
No. 1	0~10	0.0	0.2	0.4	0.0	0.0	0.6
定植後年数 7	10~20	13.1	1.9	1.6	0.8	0.3	17.6
根重 (g/株) 1274	20~30	36.7	13.2	3.8	3.0	0.5	57.4
収量 (kg/10a) 147	30~40	11.6	6.7	1.0	0.0	0.0	19.3
	40~50	4.6	0.6	0.0	0.0	0.0	5.1
	横幅別小計	66.0	22.6	6.8	3.9	0.8	100.0
No. 2	0~10	0.1	0.5	0.1	0.3	0.1	1.1
定植後年数 7	10~20	1.3	1.0	2.1	0.5	0.1	5.1
根重 (g/株) 2004	20~30	22.8	12.5	2.6	0.6	1.7	40.1
収量 (kg/10a) 321	30~40	19.8	6.1	5.2	2.9	2.9	36.8
	40~50	6.9	4.1	2.2	0.8	2.7	16.8
	横幅別小計	50.9	24.2	12.2	5.2	7.5	100.0
No. 3	0~10	0.0	0.5	0.7	0.6	0.1	1.9
定植後年数 6	10~20	43.8	12.7	1.9	0.8	0.1	59.3
根重 (g/株) 1314	20~30	11.3	5.8	3.1	1.7	0.5	22.4
収量 (kg/10a) 85	30~40	2.1	2.5	1.7	1.2	1.8	9.4
	40~50	1.5	0.9	1.8	2.3	0.6	7.0
	横幅別小計	58.6	22.6	9.3	6.5	3.0	100.0
No. 4	0~10	0.1	0.5	0.1	0.0	0.0	0.6
定植後年数 4	10~20	43.8	8.4	3.7	1.6	0.1	57.6
根重 (g/株) 1136	20~30	14.3	3.5	3.6	2.9	0.2	24.5
収量 (kg/10a) 50	30~40	4.5	3.9	1.3	0.6	0.3	10.5
	40~50	1.8	3.8	0.1	0.5	0.5	6.8
	横幅別小計	64.5	20.1	8.6	5.6	1.1	100.0
No. 5	0~10	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1
定植後年数 4	10~20	8.3	1.2	1.3	0.7	1.6	13.2
根重 (g/株) 1228	20~30	27.6	9.4	6.5	3.9	2.2	49.7
収量 (kg/10a) 189	30~40	5.8	10.5	4.5	3.5	1.3	25.6
	40~50	3.3	2.9	2.9	1.2	1.0	11.4
	横幅別小計	45.1	24.2	15.2	9.3	6.2	100.0
No. 6	0~10	0.0	0.3	0.8	0.0	0.0	1.0
定植後年数 4	10~20	0.0	3.9	1.5	2.1	0.7	8.2
根重 (g/株) 1118	20~30	52.0	11.8	1.6	1.3	0.0	66.7
収量 (kg/10a) 28	30~40	6.9	5.3	3.1	0.1	0.4	15.8
	40~50	3.7	2.6	1.8	0.2	0.2	8.3
	横幅別小計	62.6	23.8	8.8	3.6	1.2	100.0
No. 7	0~10	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1
定植後年数 5	10~20	1.9	5.3	2.6	0.9	0.4	11.1
根重 (g/株) 1714	20~30	39.4	8.8	1.9	0.3	0.0	50.3
収量 (kg/10a) 133	30~40	16.5	6.3	1.8	0.4	0.0	25.0
	40~50	7.0	3.8	2.1	0.5	0.0	13.4
	横幅別小計	64.9	24.2	8.4	2.2	0.4	100.0
No. 8	0~10	1.6	5.4	2.0	0.3	0.1	9.4
定植後年数 2	10~20	33.6	17.8	8.5	5.0	0.5	65.4
根重 (g/株) 2078	20~30	7.8	6.0	3.7	1.7	0.1	19.2
収量 (kg/10a) -	30~40	1.1	2.4	2.1	0.2	0.0	5.8
	40~50	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
	横幅別小計	44.3	31.6	16.3	7.2	0.6	100.0

表 2-5 美唄市における根群分布割合

	深さ\横幅 (cm)	0~15	15~30	30~45	45~60	60~75	深さ別小計
No. 1	0~10	2.1	0.4	0.1	0.0		2.6
定植後年数 15	10~20	44.8	6.1	1.0	0.6	0.2	52.7
根重 (g/株) 2200	20~30	12.7	7.0	2.4	0.8	0.5	23.5
収量 (kg/10a) 144	30~40	6.4	4.6	1.7	2.6	0.6	15.8
	40~50	3.2	1.0		0.6	0.5	5.3
	横幅別小計	69.2	19.0	5.2	4.7	1.8	100.0
No. 2	0~10	8.4	0.9	0.2			9.4
定植後年数 15	10~20	32.4	12.2	1.6	0.2	0.2	46.6
根重 (g/株) 1708	20~30	6.7	6.2	4.3	1.9	0.7	19.9
収量 (kg/10a) 189	30~40	5.0	2.4	2.0	1.4	0.6	11.5
	40~50	2.2	2.5	1.5	0.5	0.5	7.1
	50~60	0.9	1.8	1.8	0.5	0.6	5.5
	横幅別小計	55.7	25.9	11.4	4.4	2.6	100
No. 3	0~10	0.2	0.4	0.0			0.6
定植後年数 10	10~20	46.1	7.1	1.6	0.5	0.1	55.5
根重 (g/株) 3206	20~30	13.6	6.2	3.1	0.7	0.5	24.1
収量 (kg/10a) 275	30~40	4.2	4.2	3.4	1.1	0.8	13.8
	40~50	1.2	0.4	1.2	1.5	1.7	6.0
	横幅別小計	65.3	18.3	9.4	3.9	3.1	100.0
No. 4	0~10	0.6	3.8	1.3	0.9	0.1	6.8
定植後年数 5	10~20	26.6	10.4	1.7	0.8	0.3	40.0
根重 (g/株) 1400	20~30	20.0	5.2	2.9	0.7	0.2	29.1
収量 (kg/10a) 144	30~40	9.0	2.9	1.7	0.5	0.0	14.1
	40~50	6.6	2.1	0.6	0.7		10.0
	横幅別小計	62.9	24.5	8.3	3.6	0.7	100
No. 5	0~10	0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.6
定植後年数 4	10~20	22.7	4.9	1.8	1.1	0.9	31.4
根重 (g/株) 2126	20~30	27.1	13.9	3.0	0.7	0.1	44.9
収量 (kg/10a) 61	30~40	6.5	3.9	1.3	0.7	0.6	12.9
	40~50	3.6	2.8	2.4	0.9	0.4	10.1
	横幅別小計	60.4	25.6	8.5	3.5	2.1	100.0
No. 6	0~10			0.0			0.0
定植後年数 5	10~20	0.5	0.3	0.6	0.7	0.3	2.4
根重 (g/株) 3010	20~30	50.2	12.2	5.0	2.8	0.5	70.7
収量 (kg/10a) 268	30~40	8.4	6.2	3.0	1.3	0.9	19.9
	40~50	2.0	2.3	1.4	0.6	0.7	7.0
	横幅別小計	61.2	21.0	10.0	5.4	2.4	100.0
No. 7	0~10	0.1	1.2	0.5			1.8
定植後年数 3	10~20	0.8	1.5	0.5	0.2		3.1
根重 (g/株) 1480	20~30	11.2	5.3	2.1	0.9	0.1	19.6
収量 (kg/10a) 68	30~40	43.0	7.0	2.7	0.5	0.0	53.2
	40~50	16.1	4.4	0.9	0.9	0.1	22.4
	50~60	8.3	1.3	1.1	0.5	0.5	11.6
	横幅別小計	79.4	19.5	7.3	3.0	0.7	100
No. 8	0~10	0.7	1.1	0.1			1.9
定植後年数 5	10~20	36.1	8.1	2.5	0.8	0.7	48.3
根重 (g/株) 3014	20~30	14.6	11.6	2.8	1.3	0.8	31.1
収量 (kg/10a) 316	30~40	0.5	4.8	4.4	2.3	1.9	13.9
	40~50	2.1	0.6	1.1	0.6	0.4	4.7
	横幅別小計	54.1	26.2	10.9	5.0	3.8	100.0

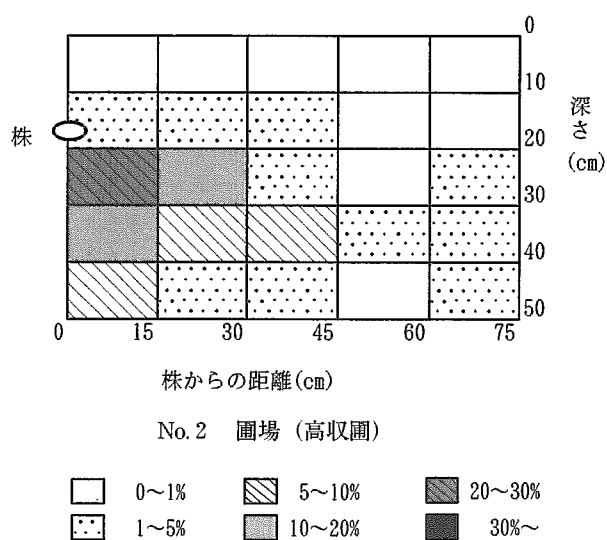
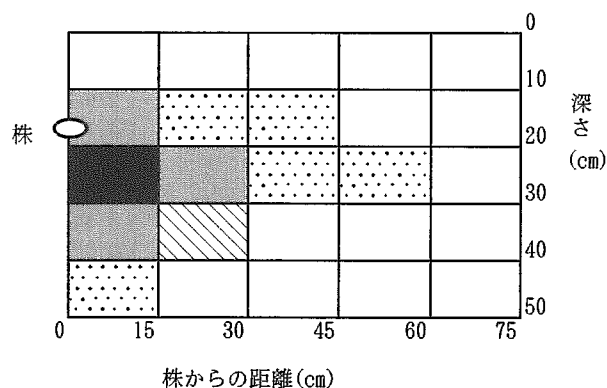


図2-10 高収圃と低収圃における根群分布図 (穂別町)

分布は低収圃が深さ40cm以下と横方向30cm以上に存在する根が少なく、株直下に集中していたのに対し、高収圃では深さ40cm以下にも横方向にも多くの根があり、根は広い範囲に分布していた。土壌断面図の結果では、両圃場とも樽前系の火山性土で構成されており(図2-11)、低収圃では腐植に乏しい砂の層が24cmから56cmまで存在しており、この層により根の伸長が妨げられていた。高収圃ではこの砂の層が薄く、深い位置にあった。次に、土壌の硬さである連続貫入抵抗値みると、低収圃において畦間では砂層の存在する20cm位から抵抗値が高まっていたが、高収圃では30cm位から高まっていた(図2-12)。畦間は農作業機械や人が通るため、踏み固めやすい部分である。株直下部分でも低収圃では50cmから高まっていたが、高収圃ではそのような高まりは認められなかった。

土壌の理化学性を層別に株下と畦間部分に分けて表2-6に示した。低収圃では株下の土壌のpHが低く、塩基交換容量も小さかった。また、有効態りん酸含有率は株下部分は高かったが、畦間部分の下層土では低かった。

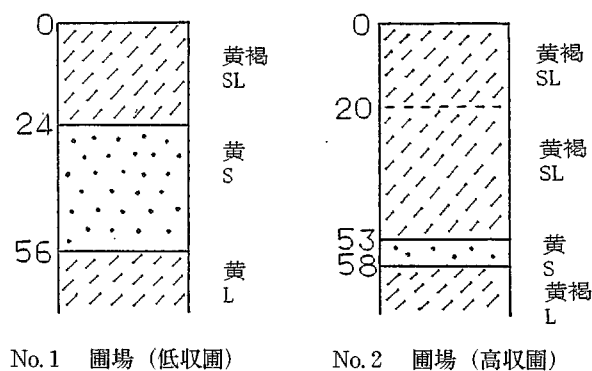


図2-11 高収圃と低収圃における土壌断面図 (穂別町)

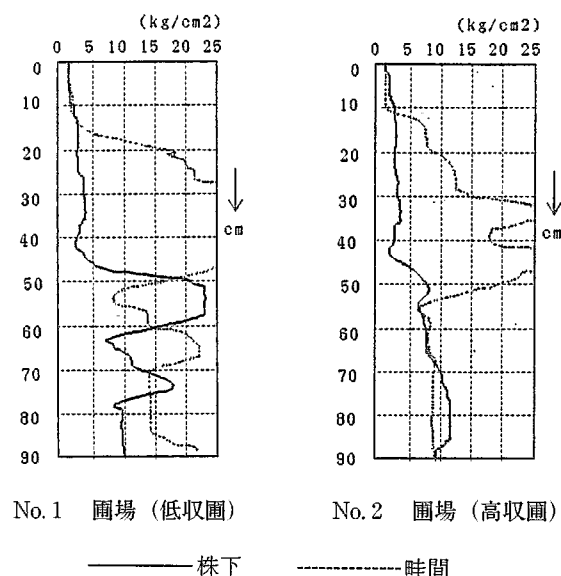


図2-12 高収圃と低収圃における貫入抵抗値 (穂別町)

次に、美唄市の低収圃であるNo. 4 圃場と高収圃のNo. 8 圃場の根群分布図を図2-13に示した。根量は低収圃で1,400gであったのに対し、高収圃が3,014gであった。根の分布は低収圃では高収圃に比べ深さ別分布には差はなかったが、横方向45cm以上に存在する根が少なく、株直下に集中していたのに対し、高収圃では横方向75cm間でよく根が分布していた。土壌断面調査の結果では、両圃場とも高位および低位泥炭層に30~40cmの粘土質土壌が客土されていた(図2-14)。低収圃では客土と泥炭層は混和されずに分離していたが、高収圃では客土と泥炭層が15~42cmの層で混和されており、塩基交換容量は低収圃より著しく大きかった。連続貫入抵抗値は両圃場とも、畦間部分および株直下部分いずれにおいても低かった(図2-15)。土壌の理化学性では、低収圃では有効態りん酸含有率が低く、特に畦間部分で低かった。また、塩基含有率も高収圃に比べて低収圃では低かった(表2-7)。

表 2-6 高収圃と低収圃における土壌の理化学性

(穂別町)

圃場	位置	層位	pH	有効態 りん酸	交換性塩基			CEC (me/100g)
			(H ₂ O)	(mg/100g)	K ₂ O	CaO	MgO	
No. 1 (低収圃)	株下	0~24	5.14	35.8	15.1	49.0	8.1	6.2
		24~56	5.39	92.4	30.0	79.6	12.9	7.4
		56~	4.68	4.8	31.4	94.0	11.8	19.2
	畦間	0~24	6.42	75.5	11.1	126.4	29.7	6.4
		24~56	6.45	4.6	3.0	25.9	2.9	11.0
		56~	5.03	4.4	27.1	119.3	22.9	18.2
No. 2 (高収圃)	株下	0~20	6.03	10.1	22.5	156.0	34.4	14.2
		20~53	5.53	50.2	44.3	133.3	22.7	15.4
		58~	5.87	3.4	4.7	352.4	35.5	32.6
	畦間	0~20	5.93	18.9	11.4	140.6	28.8	14.4
		20~53	5.82	10.0	40.8	136.5	21.5	12.4
		58~	5.55	4.2	5.8	261.1	33.5	34.8

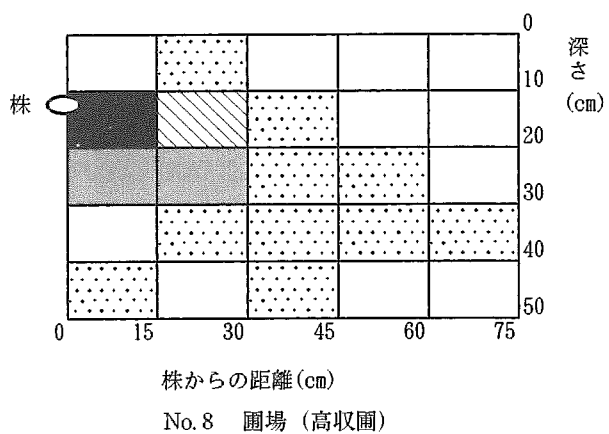
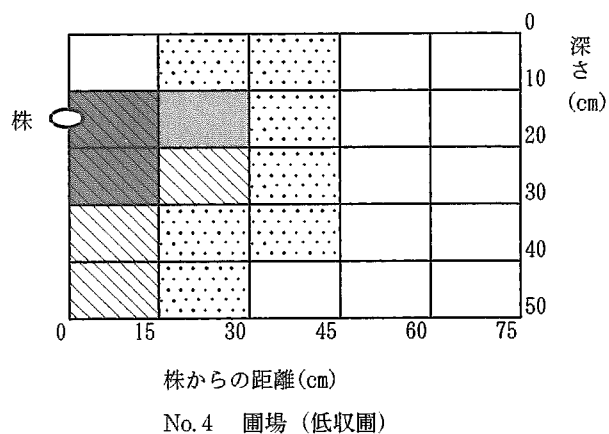


図 2-13 高収圃と低収圃における根群分布図 (美唄市)

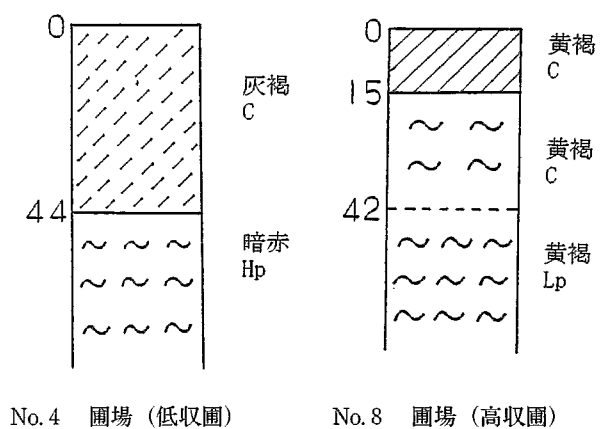


図 2-14 高収圃と低収圃における土壌断面図 (美唄市)

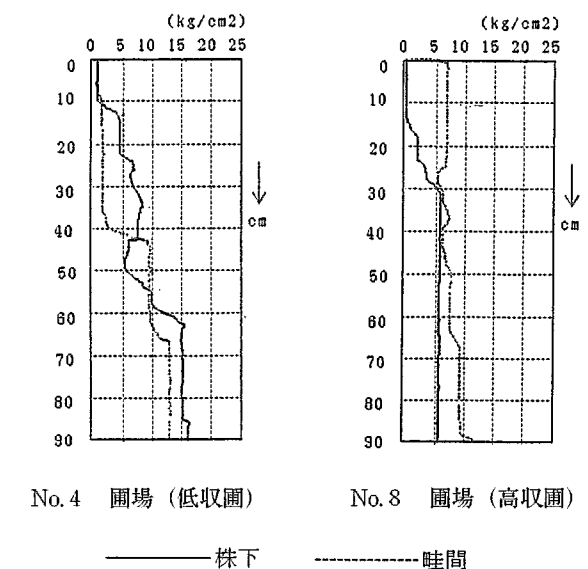


図 2-15 高収圃と低収圃における貫入抵抗値 (美唄市)

表 2-7 高収圃と低収圃における土壌の理化学性

(美唄市)

圃場	位置	層位	pH	有効態 りん酸	交換性塩基			CEC
			(H ₂ O)	(mg/100g)	K ₂ O	CaO	MgO	(me/100g)
No. 4 (低収圃)	株下	0~44	6.01	16.4	21.6	204.8	52.0	18.2
		44~	4.91	5.0	24.8	538.8	279.8	77.5
	畦間	0~44	5.49	11.9	17.0	159.1	55.6	17.6
		44~	4.90	4.9	42.8	565.5	238.0	74.0
No. 8 (高収圃)	株下	0~15	6.20	117.1	61.9	379.2	91.4	37.0
		15~42	5.40	17.8	23.0	288.8	73.0	40.6
		42~	5.60	4.7	18.5	319.0	229.5	66.5
	畦間	0~15	5.25	29.2	52.8	304.0	59.5	33.2
		15~42	5.15	13.4	28.8	260.2	63.8	36.4
		42~	4.65	5.5	19.5	264.0	179.0	61.5

考 察

前節では北海道各地のアスパラガス主要生産地の土壌実態調査を行ったが、地域ごとに低収要因は異なっていると考えられる。たとえば、羊蹄山麓地域の場合は土壌物理性に大きな欠陥があるとは考えにくく、無霜期間の短さ、収穫期間や病害虫防除などの栽培管理などが主要な低収要因と考えられる。ここでは土壌に欠陥のでやすい土壌である穂別と美唄について精密な調査を行った。

アスパラガスの生産性と土壌型の関連について多賀ら⁹⁶⁾は両者の間には密接な関係があり、褐色低地土で最も生産性が高く、ついで褐色火山性土、未熟火山性土、火山放出物未熟土および酸性褐色森林土の順としている。本調査を行った土壌は穂別町が火山放出物未熟土、美唄市は泥炭土であり、いずれも生産性は高くはない。聞き取り調査から、同じ土壌型の中でも生産性の違いが現れており、低収要因の解析をするために根群分布を含めた調査を行った。

生産性が異なる圃場間の比較をすると、第一に根量が異なっている。すなわち両地区とも高収の圃場は根量が多く、低収では少なかった。

つぎに根の分布をみると、両地区とも深さが10~40cmに集中していた。美唄市の場合は盛土栽培を行っているために20cm程深くなっている圃場もあるが、地表面を基準とするとほぼ同じ深さに集中していた。アスパラガスの根自体は3年生株で総根数396本、総根長221mとなり⁴¹⁾、深さ300cmに達することもあるという報告¹¹²⁾もあるが、全体の量から見るとそのような根の量は非常にわずかであり、当調査の生産性との関連では無視しうるものと考えられた。根の深度分布では、古い調査事例では地表から30cmまでに72.4%の根が存在しているという報告⁸⁵⁾や、定植12年目の株の例では深さ40cmまでに88%の根があったという報告¹¹⁶⁾もあり、本調査とほぼ一致

した。横方向の分布でも3年生株では株からの半径80cmではほとんど根がなかったが、6年生株になると169本もの根が伸長した例がある¹¹⁵⁾。本調査では圃場によりその分布状況に差はあったが、定植後年数が長期であっても横方向へそれほど拡大してはいなかった。これは何らかの土壌条件が制限要因となって根の伸長が妨げられているものと考えられた。

土壌と根群分布の関係をみると、火山放出物未熟土である穂別では、低収圃では腐植に乏しい砂の層が作土直下に厚く存在し、この層により根の伸長が妨げられていた(図2-10, 2-11)。また、土壌の硬さを表す連続貫入抵抗値は畦間部分で20cm位から抵抗値が高まっていた(図2-12)。このため横方向30cm以上と深さ40cm以下に存在する根が少なく株直下のみ根が集中していたものと考えられる。一方、高収圃ではこの砂の層が薄く、深い位置にあり、連続貫入抵抗値も低収圃ほどの高まりがなかったために、根が広い範囲に分布してものと考えられる。さらに土壌理化学性も低収圃は高収圃と比較して、pHが低い、塩基交換容量が小さい、有効態りん酸含有率に層別での変動が大きいなど問題があった(表2-6)。これらのことは当土壌型での土壌改良方法に問題があると考えられた。すなわち長年にわたって栽培が続けられるアスパラガスは経年的に根群が拡大し続けるために、その伸長を妨げる要因を取り除く必要がある。ここでは養分に乏しく、土壌硬度も高く根が進入しにくい砂層の存在があり、土壌改良資材も株直下の一部分にとどまっているため根の伸長が妨げられていると考えられる。長期にわたり生産性を維持するためには土壌改良資材を圃場全体に深いところまで十分に投与し、劣悪な層の面を混層によって破る必要があると考えられる。

美唄市では連続貫入抵抗値は高収圃、低収圃とも差異はなかったが(図2-15)、低収圃では客土と泥炭層は

混和されていないが、高収圃では客土と泥炭層が15～42cmの層で混和されており（図2-14）、有効態りん酸含有率も低収圃では畦間部分で少ない傾向にあった（表2-7）。そのため穂別町の場合と同様に根の分布は低収圃が株直下に集中していたのに対し、高収圃では広範囲によく根が分布していた。ここでの低収の要因は主に土壤改良資材が株直下にのみあることと、作土層に泥炭の混入がなかったためと思われる。一般的に泥炭土は易分解性有機物が多く、窒素の天然供給量が多いため（44）、泥炭と客土の粘土が混和されることにより、窒素の供給が高まり、高収に結びついたものと考えられる。この混和は窒素供給のみならず、土壤物理性の改善にも大きく寄与していると思われる。

両地区の根群調査より、根群が拡大している圃場では定植後年数に関係なく根量が多くなり、根量が多い圃場は生産性も高いこと（図2-9）から、永年性作物であるアスパラガスの生産性を高めるためには根群の拡大と拡大障害要因の除去が重要と考えられた。具体的な対策としては、穂別のような粗粒な火山性土の場合は、塩基交換容量が小さいため有機物の補給、りん酸資材の施用、深耕による有効土層拡大があげられる。美唄の場合は深耕による泥炭層の混和、有効土層拡大である。根群の拡大のためには株下のみならず、畦間部分も含めた圃場全体の土壤改良が望まれ、深い土層の土壤の混和による作土層の拡大が必要と考えられる。

ここでは火山放出物未熟土と泥炭土における低収要因を解析したが、アスパラガスの新植時における土壤改良方法はいずれの土壤においても、トレンチャーによる植溝改良法により行われている。この改良法は土壤改良材と土壤の混合が不十分になる可能性があり、これら土壤型以外の圃場でも有効土層の拡大が不十分であることが低収要因であると考えられる。

第3節 新植時における土壤改良法

前節では生産性の異なるアスパラガス圃場の根群分布および土壤断面調査などから、土壤改良方法が永年性作物であるアスパラガスにとっては非常に重要であることを指摘した。従来、アスパラガスの新植はトレンチャー

による植溝法によりおこなっていたが、土壤が改良される範囲が狭いという欠点がある。ここでは、根群の拡大充実をはかるために圃場全面に対する土壤改良法について検討した。

方 法

試験は勇払郡穂別町豊泉の現地農家圃場で行った。図2-16に土壤断面図、表2-8に供試土壤の理化学性を示した。供試土壤は火山放出物未熟土で、表層25cmには腐植を含む黒色の砂層があるが、その下の層は腐植に乏しい砂層であり土壤肥沃度が低く、低生産土壤のひとつである。定植は1989年5月に行い、栽培様式はホワイト栽培、品種はメリーワシントン500Wである。栽植密度は畦間180cm、株間35cmであった。

土壤改良処理は5処理区設けた。すなわち、(1)植溝法1：幅40cm深さ約50cmの溝を掘り、堆肥と土壤改良資材をそのまま溝下に埋め、掘りあげた土壤を埋め戻す方法で、土壤と堆肥や改良資材が混和されない従来の方法である。(2)植溝法2：溝の大きさは植溝1と同様だが、掘りあげた土壤を堆肥、土壤改良資材と地表で混合し、その混合土壤を溝へ埋め戻す。(3)部分深耕（幅60cm）：堆肥と土壤改良資材を作付け畦上へ幅約60cmで条施した後、深耕ロータリーを用いて深さ約50cm幅60cm耕起する。(4)部分深耕（幅100cm）：(3)と同様だが、幅100cm耕起す

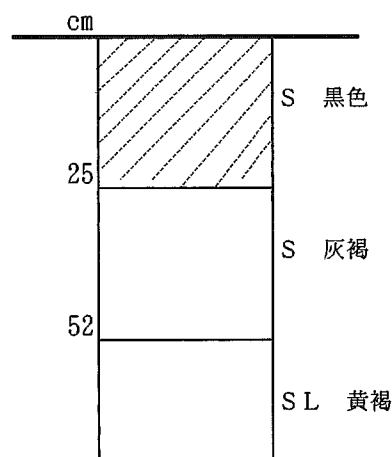


図2-16 新植法試験供試土壤の土壤断面図

表2-8 新植法試験における供試土壤の土壤理化学性

層位	pH	有効態 りん酸	交換性塩基			CEC
	(H ₂ O)	(mg/100g)	K ₂ O	CaO	MgO	
			-----	(mg/100g)	-----	(me/100g)
0～20cm	6.89	3.4	12.4	104.8	25.2	8.9
20～40cm	6.71	0.9	8.8	68.4	11.1	8.5
40cm～	6.55	0.4	8.9	55.7	13.5	7.3

る。(5)全面深耕：(3)と同様だが、圃場全面に深耕ロータリーをかける。以上の処理方法を図示したものを図2-17に示した。施用した堆肥はバーク堆肥と鶏ふん混合したものを 100t ha^{-1} 施用した。土壌改良資材は、ようりん 5000kg ha^{-1} 、炭カル 2000kg ha^{-1} 施用した。堆肥と土壌改良資材は各処理区とも同量施用した。試験は2反復で行った。

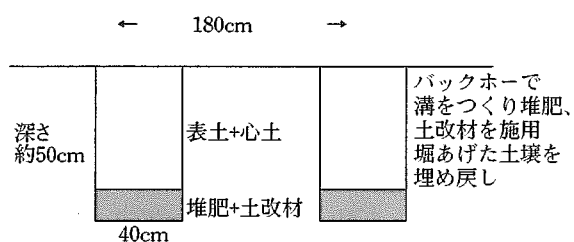
毎年10月に生育指数（GI）と根のBrix値を調査した。生育指数はアスパラガス地上部の生育を数値化したもので、草丈（cm）、平均茎径（cm）、1mあたりの茎数を掛け合わせたものである。収穫は慣行どおり定植3年目の1991年は2週間、1992年は4週間、1993年は8週間行った。試験は5ヵ年間行い、試験年次の最終年である1993年には根量、根群分布、土壌理化学性、土壌貫入抵抗調査を行った。根群分布は前節と同じように、株の中心か

ら右横方向へ75cm、奥行きを株を中心として株間の長さ35cm、深さ60cmの立方体の範囲について、さらにこの立方体を横15cm毎、深さ10cmのブロックに分割して、その中の根量を調査した。

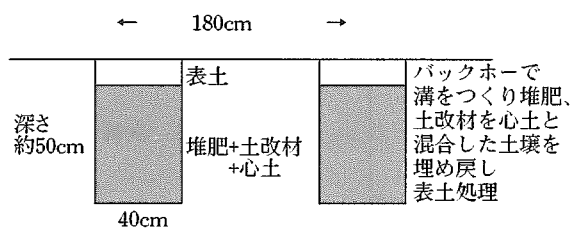
結 果

アスパラガスの収穫は定植3年目から開始し、一般的な収穫期間は、初年目は2週間、次年目4週間、3年目以降は8週間ないし60日間となる。したがって、本試験を実施した5年間では収量は年次ごとに増加した（図2-18）。収量は収穫初年目より全面深耕区で最も多く、部分深耕100cmが次に高収だった。植溝区はどちらの処理区も収量はやや少なく、部分深耕60cm区では最も低収だった。各収穫年次ごとの傾向は処理区によりあまり変わらず、3カ年を通じて全面深耕区は常に多かった。

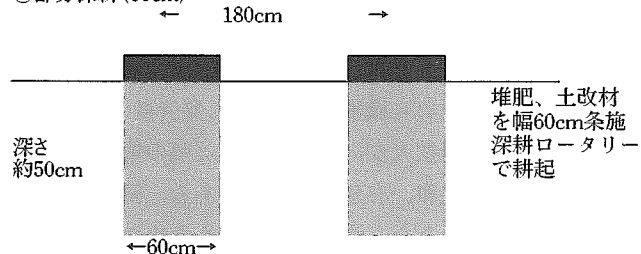
①植溝（埋め戻し）



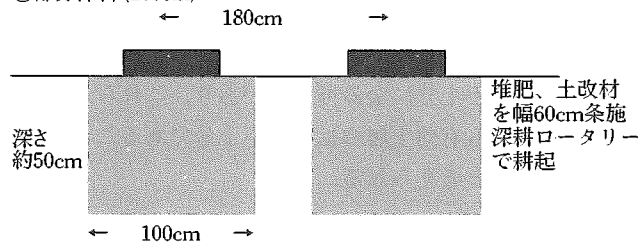
②植溝（混合）



③部分深耕（60cm）



④部分深耕（100cm）



⑤全面深耕

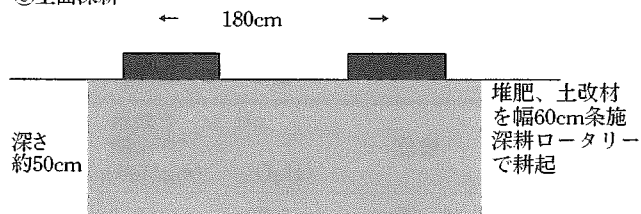


図2-17 新植法試験における土壌改良処理方法

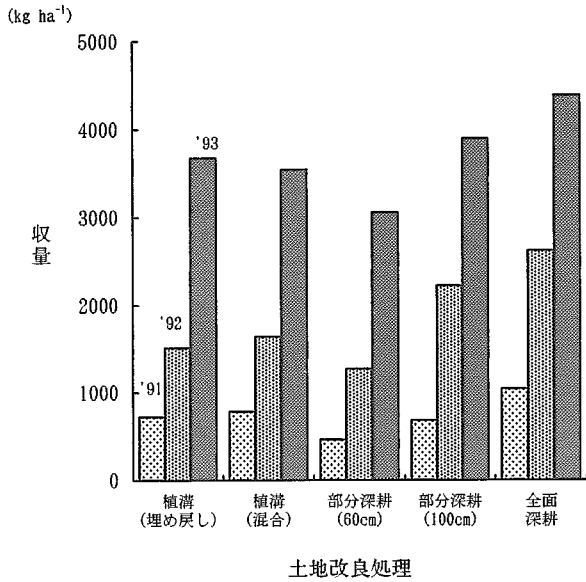


図 2-18 新植処理法が収量の推移に及ぼす影響

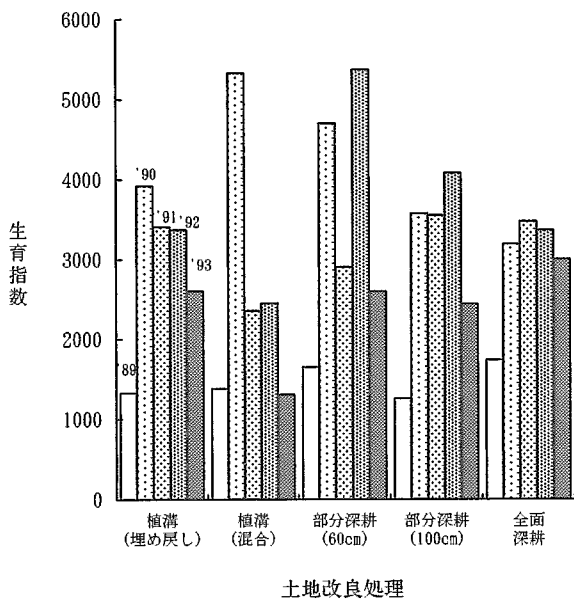


図 2-19 新植処理法が生育指数 (GI) の推移に及ぼす影響

地上部茎葉の生育量をあらわす生育指数 (GI) は定植初年目では処理区による大きな差はなかったが、2年目では植溝 (混合) 区が最も大きく、次いで植溝 (埋め戻し) 区、部分深耕、全面深耕の順となった。収穫を開始した1991年以降は全面深耕区や部分深耕 (100cm) 区で大きくなり、年次による変動も小さく、安定した推移を示した (図 2-19)。貯蔵根のBrix値はばらつきもあるが植溝区で低く推移し、全面深耕区、部分深耕 (100cm) 区で高い傾向にあった (図 2-20)。最終年である定植5年目に調査した根重は全面深耕区が最も多く、次いで

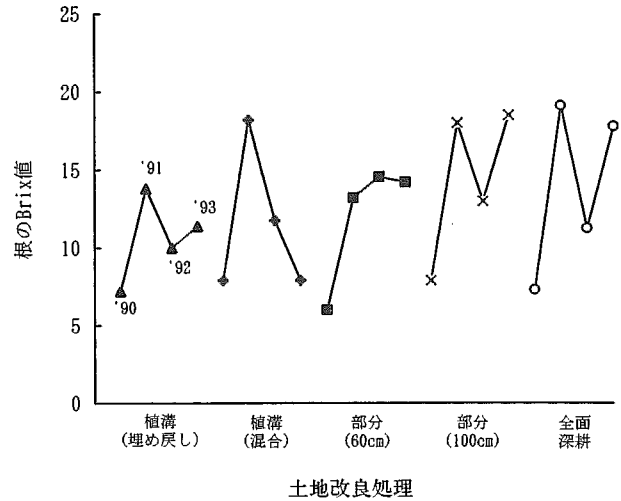


図 2-20 新植処理法が根のBrix値の推移に及ぼす影響

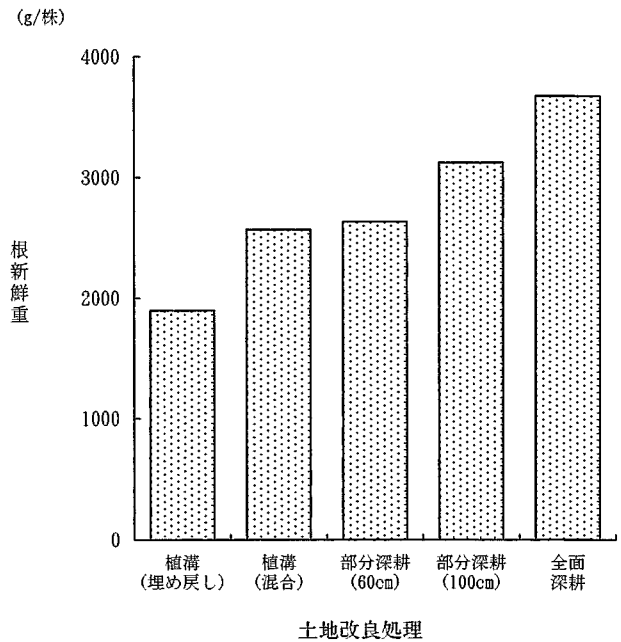


図 2-21 新植処理法が根重に及ぼす影響

部分深耕区、植溝 (混合) 区であり、植溝 (埋め戻し) 区では最も少なかった (図 2-21)。

土壌のサンプリングは株直下の土壌改良した部分を行ったが、理化学性はpHが植溝 (埋め戻し) 区で低かった。有効態りん酸含有率は両植溝区でやや低い傾向にあり、全面深耕区では20-40cmでも13.9mg/100gとやや高かった (表 2-9)。土壌物理性は全面深耕区で気相率が増大し、固相率が低下していた (表 2-10)。

各ブロックごとの根重であらわした根群分布を図 2-22に示したが、植溝 (埋め戻し) 区は横方向30cm以上の

表 2-9 土壤改良処理による土壤理化学性の変化

(1993. 10. 26)

処 理 区	層 位	pH	有効態 りん酸	交換性塩基			CEC (me/100 g)
		(H ₂ O)	(mg/100 g)	K ₂ O	CaO	MgO	
植溝 (埋め戻し)	0~20cm	6.07	17.0	20.6	147.3	29.7	8.0
	20~40cm	6.06	3.2	11.8	132.7	23.9	8.8
植溝 (混合)	0~20cm	6.43	13.0	10.3	143.6	26.2	9.8
	20~40cm	6.42	5.2	9.0	132.4	19.7	8.3
部分深耕 (60cm)	0~20cm	6.59	27.0	13.4	224.3	52.3	12.0
	20~40cm	6.75	3.2	8.1	78.7	25.9	10.3
部分深耕 (100cm)	0~20cm	6.50	28.2	9.7	199.1	13.3	8.0
	20~40cm	6.52	2.7	7.9	61.9	10.8	8.5
全面深耕	0~20cm	6.69	24.5	12.5	203.2	47.4	9.0
	20~40cm	6.87	13.9	7.4	217.0	57.2	10.5

表 2-10 土壤改良処理による土壤物理性の変化

(1993. 10. 26)

処 理 区	層 位	仮比重	最大容水量	含水率	実容積	気相率	液相率	固相率
			(ml)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
植溝 (埋め戻し)	0~20cm	0.99	58.4	29.0	82.5	17.5	40.4	42.1
	20~40cm	1.09	53.5	30.2	88.8	11.2	46.9	41.9
植溝 (混合)	0~20cm	1.07	55.2	29.4	85.4	14.6	44.5	40.9
	20~40cm	0.99	64.4	31.5	81.9	18.2	45.5	36.4
部分深耕 (60cm)	0~20cm	1.05	56.7	30.1	85.7	14.4	45.3	40.4
	20~40cm	1.06	55.2	30.1	87.2	12.8	45.9	41.3
部分深耕 (100cm)	0~20cm	1.10	52.7	29.0	87.2	12.9	44.9	42.3
	20~40cm	1.07	54.7	29.5	86.2	13.8	44.7	41.5
全面深耕	0~20cm	1.04	58.3	27.8	79.5	20.6	40.1	39.4
	20~40cm	0.98	64.3	30.1	79.4	20.7	41.9	37.4

根量が少なく、下方への根量も少なかった。植溝 (混合) 区では横方向60cm位までは伸長しており、下方への分布も認められた。深耕区では処理の幅が大きくなるほど横への根の量が多くなる傾向にあり、下方へも分布していた。また、土壤貫入抵抗値を植溝 (埋め戻し) 区と全面深耕区の2処理区で比べると、株直下では大きな差はなかったが、畦間部分では植溝 (埋め戻し) 区が深さ20cmから急速に大きくなるのに対して、全面深耕区では30から50cmにピークがあるのみだった (図 2-23)。

考 察

従来、アスパラガス新植時の土壤改良方法はトレンチャーやバックホーなどにより幅40cm、深さ50cmの溝を作り、その部分に土壤改良を行う植溝法であった⁹⁷⁾。しかしながら、前節の土壤実態調査から生産性の低い土壤では植溝の幅40cm程度では根群の発達が乏しく、生産性が非常に劣っている圃場が認められた。アスパラガスは永年性作物で一度定植した後は10年から20年も栽培し続

ける作物である¹²⁴⁾。したがって定植時の土壤改良法によりその後の長期間の生産性を決定するといっても過言ではない。一度定植した後の既存畑における土壤改良法も提案されているが^{98,103)}、いずれもアスパラガスが植えられた状態で作業機械の処理が行われるために、必ず断根が生じて収量の低下が免れない。根の切断やその量はその後の生存や生育に深く関連することも報告されている¹¹³⁾。よって、ここでは土壤改良範囲を広範囲にするために近年使用されるようになってきた深耕ロータリーを用いた改良法を検討した。

土壤改良の方法は土壤により対応すべきであり、例えば排水性の悪い土壤では暗渠の併設などが必要になる。本試験は火山放出物未熟土で実施したため、土壤酸性、りん酸肥沃度、保肥力などの点を中心に改良を行ったが、これらの改良はアスパラガスを定植する場合には不可欠と考えられるために、いずれの土壤型にも適応できるものと考えられる。

土壤改良資材は改良する圃場の土壤診断を行ってその

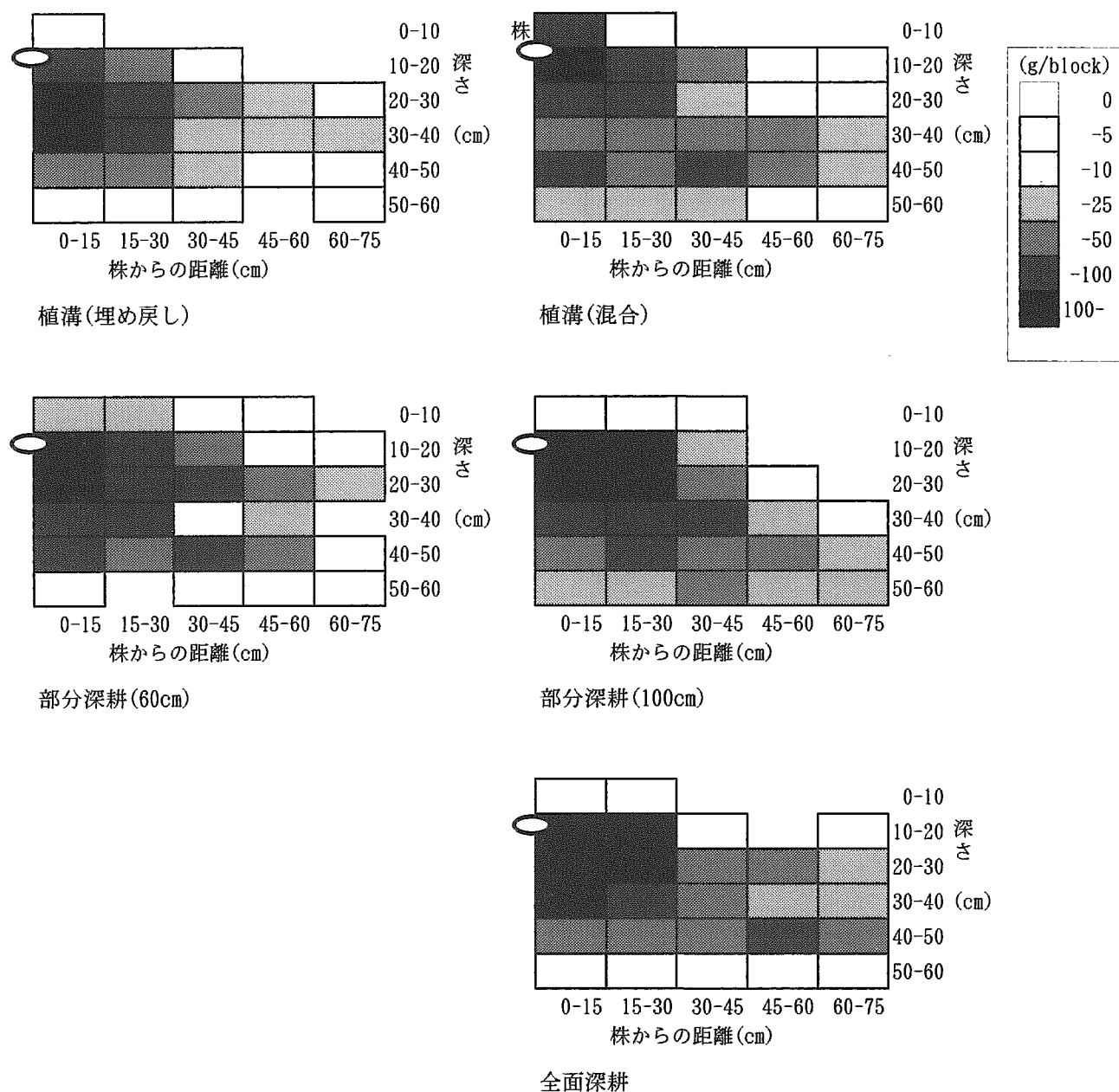


図 2-22 新植処理法が根群分布に及ぼす影響

量を決定する必要がある。野菜の適正pHは6.0～6.5、アスパラガスでは5.8～6.1位といわれており⁸³⁾、6.0程度に土壤酸性を矯正し、有効態りん酸を30mg/100gにすることが必要³⁰⁾。有機物についてはその有効性は広く認められており^{61,23)}、本試験ではパーク堆肥と鶏ふんの混合堆肥を用いた。これら土壤改良資材の施用法は圃場全体に土壤改良剤を散布することが理想的だが、その場合土壤改良資材の量が極端に多量になる。近年は作業機械走行や防除のために畦幅が広がる傾向にあり、ますます多量の土壤改良剤が必要である。そこで土壤改良資材を幅広く(60cm程度)条施し、その上をロータリー

で深部まで混和する方法をとった。この方法だと根群が多くある部分に集中的に、少ない部分にもある程度土壤改良資材が効率的に混和される。

収穫開始からの3年間の収量は全面深耕区が最も多く、次いで部分深耕(100cm)区、そして植溝区で、最も低収なのは部分深耕(60cm)区だった(図2-18)。しかし、この処理区の中で植溝区は秋の地上部生育量をあらかず生育指数(GI)が年次を追うごとに急速に低下する傾向にあり(図2-19)、根のBrix値や根量も小さい(図2-20, 2-21)。したがって、長期的な収量はこの後、他の区よりも低下することが予想される。根

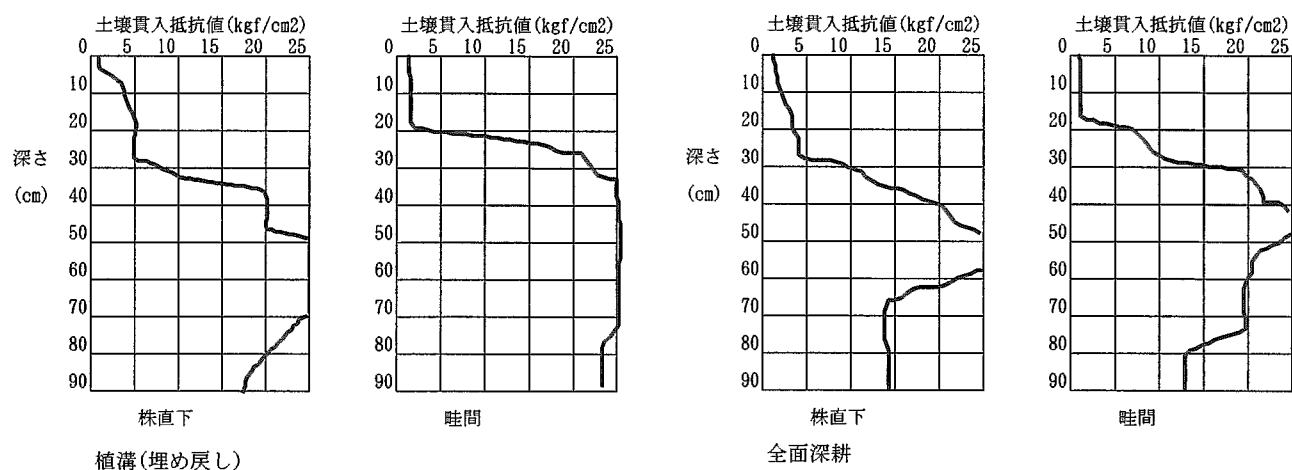


図 2-23 新植処理法が土壌貫入抵抗値に及ぼす影響

群分布を見ても従来法である植溝区は植溝を掘った部分にのみ根が分布しており(図 2-22),これは土壌化学性からみると土壌改良資材の偏在(表 2-9)と土壌慣用抵抗値が高く、硬盤層が形成されやすい(図 2-23)ことによるものと考えられる。深耕ロータリーを用いた全面深耕により土壌改良資材を圃場全体に混和することが可能になり、その結果、深い層の土壌が膨軟になることにより、根の発達が拡大した。その結果、根量は増大し、地上部の生育量を安定して確保でき、生産性が向上したと考えられる。

また、アスパラガスはアレロパシー物質の分泌が他の植物と比べ多いといわれており¹⁰⁹⁾、改植に当たってはいわゆる「いや地」現象が認められる¹¹⁰⁾。年数の経過にともなう生育の衰退の原因としてこのアレロパシー物質による生育低下の可能性もあり、本試験で示した全面深耕法の効果のひとつとして、アレロパシー物質の希釈効果も考えられる。

アスパラガスの新植にあたっては従来の植溝法よりも当研究で示した深耕ロータリー法による圃場全面の改良法の方が長期にわたり生産性を高く安定的に確保することができる。

第 4 節 ま と め

北海道のアスパラガス主要産地 8 市町村におけるアスパラガス栽培圃場の土壌理化学性の実態を調査した。穂別町と美唄市において生産性の異なる圃場を選び、根群分布状況、根量、土壌断面調査、土壌化学性および土壌硬度の詳細な実態調査を行った。さらに、根群の拡大充実をはかるために圃場全面に対する土壌改良法について検討した。

(1) アスパラガス主要産地 8 市町村から 250 地点の土壌を

採取し、土壌の化学性を調査した。その結果、pH が 6.0 以下の圃場は約 61%、交換性 K_2O 含有率が 15mg/100g 以下は約 5%、交換性 CaO 含有率が 200mg/100g 以下は約 43%、交換性 MgO 含有率が 25mg/100g 以下は約 30%、有効態りん酸含有率が 15mg/100g 以下は約 9% 存在した。

(2) 穂別町と美唄市において生産性の異なる圃場の調査を行った結果、両地区とも高収の圃場は根量が多く、低収圃場では少なかった。

(3) アスパラガス栽培圃場が火山放出物未熟土である穂別においては、低収圃では腐植や養分に乏しく、土壌硬度も高く、根が進出しにくい砂層が存在し、土壌改良資材として投入されたリン酸とカルシウムも株直下の一部分にとどまっており、根の伸長が妨げられていた。対策としては有機物の補給、りん酸資材の施用、深耕による有効土層の拡大が有効であると推察された。

(4) アスパラガス栽培圃場が泥炭土である美唄市においては、低収圃では客土と泥炭層は混和されず、根は株直下に集中していた。低収要因は土壌改良資材の偏在、作土層への泥炭混和不足であり、深耕による泥炭層の混和と有効土層の拡大が対策として有効であると推察される。

(5) 根群の拡大充実をはかるために、従来の植溝改良法とは異なる圃場全面に対する新しい土壌改良法について検討した。深耕ロータリーを用いた全面深耕法によりりん酸、石灰および有機物などの土壌改良資材を圃場全体に混和することが可能になり、深い層の土壌が膨軟になった。その結果、根量は増大し、地上部の生育量を安定して確保することが可能になり、生産性が向上した。

第Ⅲ章 アスパラガスの周年的生育・栄養特性

第1節 生育および養分吸収特性

アスパラガスの安定生産のためには周年的な栽培・収穫管理が必要であり、アスパラガスの生育や養分吸収特性に対応した合理的な栽培管理技術の確立が求められている。そのためには養分吸収過程の把握が重要となる。これまでにアスパラガスの施肥量、施肥時期および根系の調査がなされているが、根部を含めた作物体全体の年間を通した養分吸収パターンについてはほとんど明らかにされていない。

そこで本章では定植後10～11年目にあたるアスパラガスについて1986～1987年の2カ年にわたって、根部を含めた作物体全体の乾物重および無機養分含有率の推移を調査した。

方 法

北海道立中央農試圃場（北海道夕張郡長沼町）で標準栽培を行っているアスパラガスを供試して調査を行った。供試品種はメリーワシントン500Wであり、定植は1977年6月に行い、栽植密度は畦間130cm、株間25cmである。供試したアスパラガスはこれまでグリーンアスパラガスとして収穫を行っており、施肥量は北海道施肥標準であるN:200, P₂O₅:150, K₂O:150 kg/ha⁻¹である。供試土壌は細粒質の褐色低地土であり、表層0～10cmのpHがやや低く、マグネシウムがやや高い傾向にあるが、他の養分の過不足は認められない（表3-1）。

調査方法は根部の場合、縦（畦方向）の長さを3株分の75cm、横幅80cm、深さ60cmの立方体に土壌を切り取っ

て、根部を採取した。アスパラガスの根には太い貯蔵根と細い吸収根があるが、ここでは主に根部のほとんどを占める貯蔵根を採取した。また同時に地上部も採取した。採取時期は1986年には7月2日（収穫終了直後）、8月26日（茎葉繁茂期）、11月6日（越冬前）、1987年には5月1日（収穫直前）、7月15日（収穫終了直後）、11月4日（越冬前）に行った。また1987年には地上部のみを、7月10日（収穫終了直後）から9月25日（茎葉繁茂期）までそれぞれ10株について9回採取した。なお、サンプリングはすべて2反復で行った。また、若茎の収穫は1986年には5月9日から6月28日にかけて、1987年には5月11日から7月8日にかけて1日おきに72株について行った。この間の根部は採取しなかった。

採取した根部および地上部は通風乾燥し、無機分析に供試した。窒素はセミクロケルダール法、リン酸はバナドモリブデン酸法、カリウムは炎光法、カルシウムとマグネシウムは原子吸光法で測定した¹¹⁾。

結 果

1) 若茎収穫後の生育期における地上部の生育および養分吸収の推移

1987年における地上部の草丈および茎径の推移をみると、草丈は7月10日の茎葉伸長開始から急速に増加し、7月28日でほぼ一定となった。一方茎径は若茎の時期から変化せず、約11mmと一定のまま推移した（図3-1）。

アスパラガス一茎当たりの地上部新鮮重、乾物重、乾物率、無機養分含有率および無機養分含有量の推移をそれぞれ図3-2、図3-3、図3-4、に示した。なお、

表3-1 養分吸収特性試験供試土壌の化学性

層位 (cm)	pH (H ₂ O)	可給態リン (P ₂ O ₅ mgkg ⁻¹)	交換性イオン (cmol(+)kg ⁻¹)			CEC (cmol(+)kg ⁻¹)
			K	Ca	Mg	
試験開始時 (1986. 6 .24)						
0～10	5.90	756.2	1.25	6.26	4.44	16.8
10～20	6.18	414.8	0.93	7.52	4.29	16.3
20～30	6.41	275.3	0.70	8.64	4.19	16.5
30～40	6.47	206.4	0.48	9.29	4.32	16.8
試験終了時 (1987.10.25)						
0～10	6.38	777.0	1.30	5.16	4.03	—
10～20	6.69	302.3	0.98	6.46	3.33	—
20～30	6.75	238.4	0.31	6.94	5.52	—
30～40	6.80	416.7	0.22	7.61	4.96	—

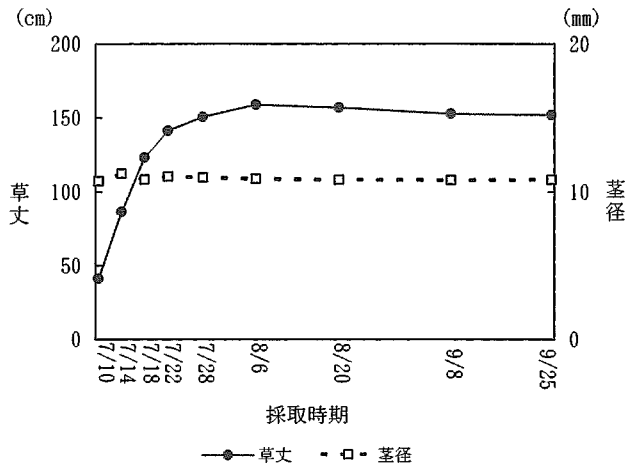


図3-1 地上部の草丈および茎径の推移

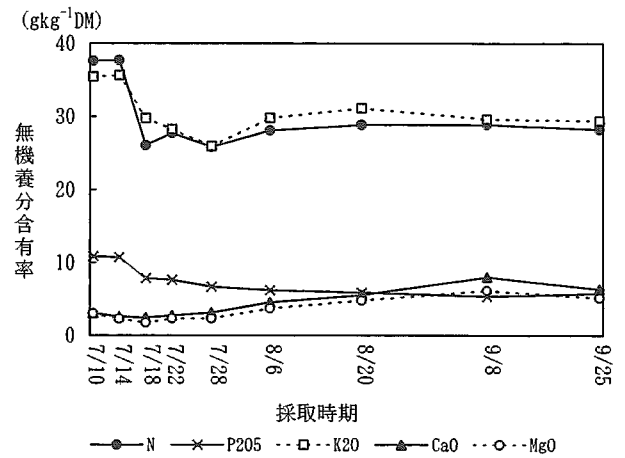


図3-3 一茎当たりの地上部の無機養分含有率の推移

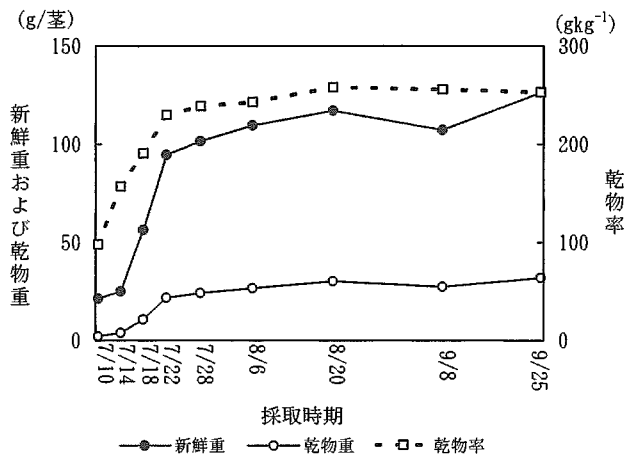


図3-2 一茎当たりの地上部の新鮮重、乾物重および乾物率の推移

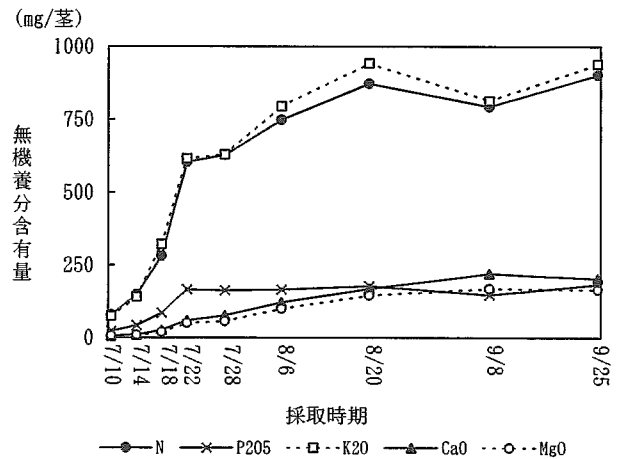


図3-4 一茎当たりの地上部の無機養分含有量の推移

株ごとに発生する茎の数や発生の早晚が若干異なるために、ここでは一茎当たりの量として表現した。また一株当たりの平均茎数は8～10本であった。新鮮重は7月10日の茎葉伸長開始から12日間で急激に増加し、7月下旬にはほぼ頭打ちとなった。乾物重も新鮮重とほぼ同様のパターンで推移し、初期に急速な増加を示した。乾物率も同様の傾向であり、収穫終了直後の約 100gkg^{-1} から 230gkg^{-1} まで12日間の間に急速に上昇し、その後は一定の乾物率であった。

茎葉の無機養分含有率の推移は、窒素とカリウムの含有率が他の無機養分より高く推移し、かつほぼ同じパターンを示した。すなわち、伸長開始直後に高く、その後急速に低下し、8月上旬にやや上昇した後はほぼ一定値で推移した。リン酸も初期に高く、7月下旬に低下した後、漸減した。カルシウムとマグネシウムは初期に低く、その後生育にともなって、徐々に上昇した。

無機養分含有量の推移は、窒素とカリウムの含有量の推移はほぼ類似しており、8月下旬まで増加した。リン酸は7月下旬まで増加したが、その後は一定になり、カルシウムとマグネシウムは9月下旬まで漸増した。

2) 一株当たりの全乾物重および養分吸収量の推移

調査期間2年間における一株当たりの乾物重の推移を図3-5に示した。地上部茎葉と根部の両方の値を示したが、収穫若茎は収穫期間中の積算値で示した。規格内収量は $5000\sim 6000\text{kg ha}^{-1}$ で標準的収量であったが、ここで示した若茎の値は規格内の重量の他に規格外若茎および切り屑部をも加えたものであり、収穫期間中に圃場より持ち出された地上部全重をあらわしている。一株当たりの地上部の乾物重は、収穫若茎重が $22\sim 32\text{g}$ 、茎葉繁茂期の地上部茎葉重 200g であったが、越冬前には 170g に減少し、越冬後(収穫直前)にはさらに半減した。この越冬後の茎葉は冬季中にすべて枯死していた。一方、

一株当たりの根部乾物重は収穫終了直後にはおよそ300gであったが、その後増加し、越冬前には530~600gまでになった。越冬中の減少量は少なく、収穫直前で500g程度だった。しかし収穫終了直後には再びほぼ300gに減少した。

一株当たりの新鮮重の推移の傾向は乾物重のそれとほとんど同様だった（図3-6）。

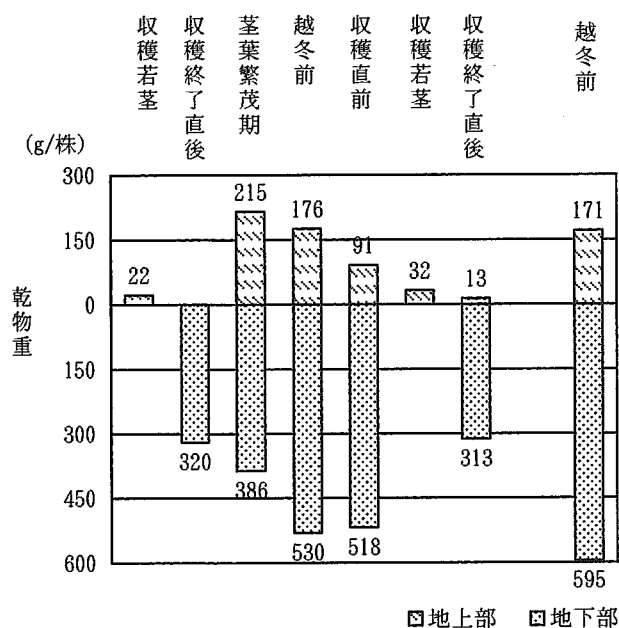


図3-5 一株当たりの乾物重の推移
(数値はそれぞれの実数値)

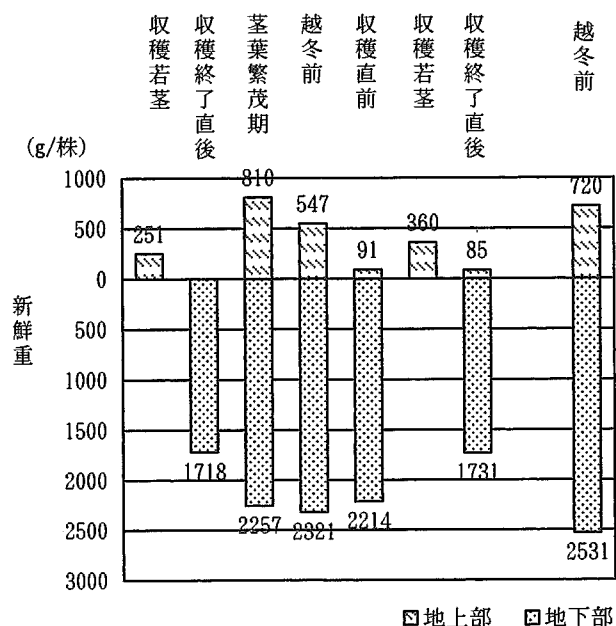


図3-6 一株当たりの新鮮重の推移
(数値はそれぞれの実数値)

地上部の乾物率は収穫終了直後から茎葉繁茂期、越冬前にかけて上昇した（図3-7）。逆に地上部の窒素含有率は収穫終了直後から茎葉繁茂期、越冬前にかけて低下し、リン酸含有率とカリウム含有率もほぼ同様の傾向を示した。カルシウム、マグネシウム含有率においては変動幅は小さかった。

地下部の乾物率は収穫終了直後から茎葉繁茂期に低かったが、越冬前後には上昇した（図3-8）。地下部の窒素含有率は茎葉繁茂期に低下し、越冬前にはやや上昇した。カリウム含有率は茎葉繁茂期に高まり、越冬前にはやや低下した。リン酸含有率は収穫終了直後にやや高かったが全期間を通して大きな変動はみられなかった。

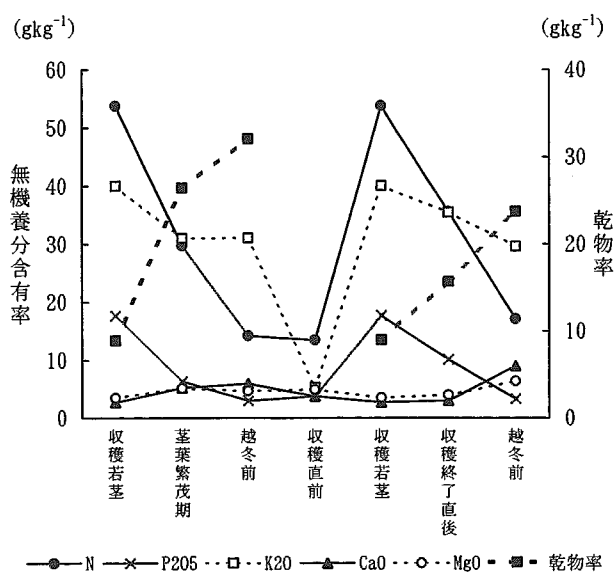


図3-7 地上部における乾物率と無機養分含有率の推移

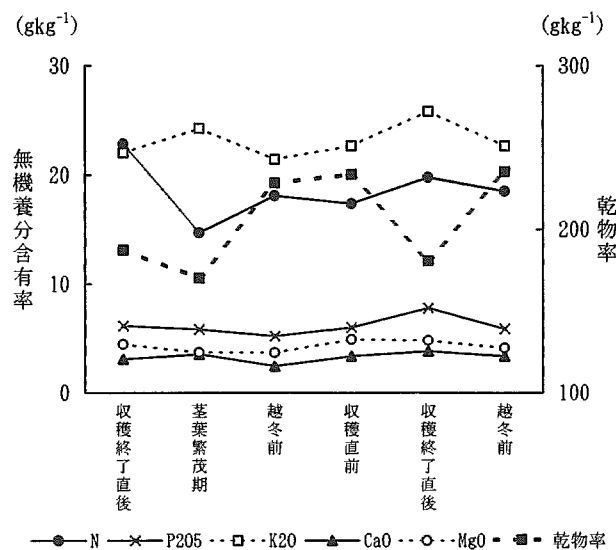


図3-8 地下部における乾物率と無機養分含有率の推移

カルシウム、マグネシウムにおいても変動幅は小さかった。

一株当たりの無機養分含有量の推移を図3-9に、2ヵ年を平均したha当たりの無機養分含有量の推移を表3-2に示した。収穫により持ち出されたha当たりの無機養分量は、窒素(N)は45kg、カリウム(K₂O)は34kg、リン酸(P₂O₅)は15kg、カルシウム(CaO)は2kg、マグネシウム(MgO)は3kgであった。収穫終了直後から茎葉繁茂期まで地上部の無機養分含有量は増加しており、とくに窒素、カリウムの含有量が多かった。この期間中に

根部的カリウムとカルシウムの含有量もわずかながら増加していたが、窒素の含有量はやや減少した。

越冬直前には地上部の養分含有量、とくに窒素とリン酸が減少した。一方、地下部では窒素含有量がかなり増加しており、カリウムやリン酸も増加した。収穫開始直前の地上部の養分含有量は雪下に越冬した枯死茎葉であるために非常に少なく、とくにカリウムの減少が著しかった。また越冬による地下部の無機養分含有量の変化はほとんど認められなかった。さらにこの後の養分含有量は収穫終了直後に減少し、越冬前に増加するパターンを繰り返した。

考 察

北海道におけるアスパラガスの標準的生活環は以下のとおりである。春の融雪後、5月上～中旬頃より若茎の収穫が開始される。収穫は通常50～60日間行われ、その後、地上部茎葉が生育繁茂する。したがって、この茎葉繁茂期間は7月上旬から晩秋の11月上旬頃まで続く。その後、茎葉は降霜や降雪により枯死し、多くの場合そのまま畑で越冬する。

また、アスパラガスは定植初年目と2年目には根部的充実を図るために収穫が行われず、収穫は定植3年目に15日間、4年目に30日間、5年目以降通常の50～60日間という収穫期間になる。本調査は定植後10～11年目のアスパラガスについて行ったため、安定した生育状態下にあったと考えられる。

アスパラガスは前述したような生活環を何年にもわたって繰り返す永年性作物であり、その合理的な栽培、施肥管理を行うためには、作物体全体の基本的な生育および養分吸収特性を把握することがきわめて重要である。

地上部茎葉は若茎収穫後の茎葉伸長開始から約12日間で急速に増加していた(図3-1、3-2)。収穫期の若茎でも光合成は行われているが、呼吸速度が真の光合成速度を上回っているといわれており³⁹⁾、この伸長開始直後の急激な生育には、生育中の茎葉の光合成も寄与しているが、根部に前年集積された貯蔵物質の寄与がきわめて大きいと思われる。また茎葉を伸長させる時期は6月下旬から7月上旬になるため気温、地温ともに高く、生育がよりいっそう促進されると考えられる。茎葉の養分含有率は茎葉が急速に伸長している時期には低下する傾向にあり、養分の吸収が急速な生育に追いつかなくなり一時的に希釈されるためと考えられる。養分含有量は茎葉の成長開始期に急速に増加しており、茎葉の生育はやや遅れてではあるが、養分の吸収もともななって進むと理解される。また養分の含有量は8月下旬まで緩やかで

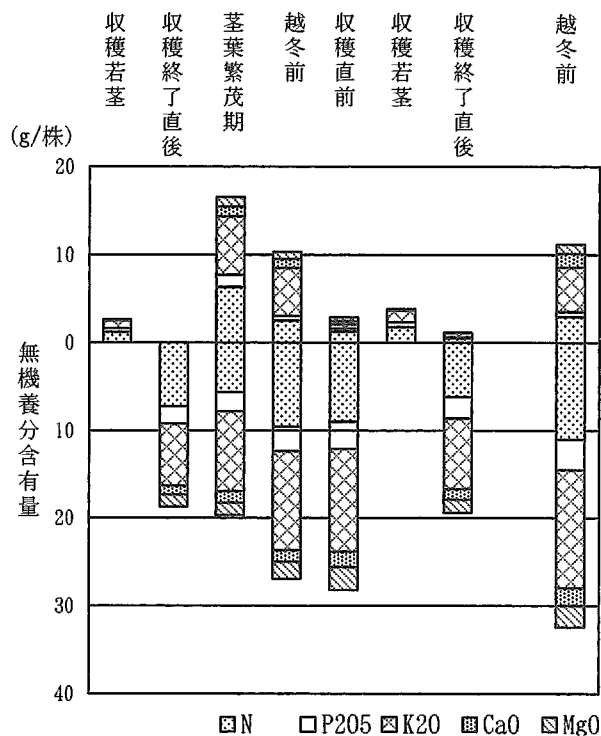


図3-9 一株当たりの無機養分含有量の推移

表3-2 標準栽培下における養分含有量 (kg ha⁻¹)

	採取時期	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
地上部	収穫若茎	45	15	34	2	3
	収穫終了直後	—	—	—	—	—
	茎葉繁茂期	194	42	204	35	34
	越冬前	83	17	162	40	29
	収穫直前	38	11	15	11	14
地下部	収穫若茎	—	—	—	—	—
	収穫終了直後	207	68	234	34	45
	茎葉繁茂期	174	68	280	41	43
	越冬前	317	96	382	51	68
	収穫直前	277	96	362	54	81
全体	収穫若茎	45	15	34	2	3
	収穫終了直後	207	68	234	34	45
	茎葉繁茂期	368	110	484	76	77
	越冬期	400	113	544	91	98
	収穫直前	315	106	377	65	94

はあるが増加しており、長期にわたって地上部へ養分が供給されているものと考えられた。山吹ら¹²³⁾は地上部の養分吸収量の推移を調査し、本調査と同様に多くの要素が茎葉繁茂期の後半まで地上部に吸収移行していることを報告している。

地上部茎葉の乾物重は茎葉繁茂期に最も多く、越冬前、収穫直前としないで減少する（図3-5）。この越冬前の減少は同化産物が地下根部へ移行したためと考えられ、越冬後の地上部乾物重の減少は冬季に枯死した茎葉が春の融雪とともに脱落した結果であると思われる。根部の乾物重は生育時期によって大きく変動しており、越冬前の乾物重は収穫終了直後の約2倍であった。このことはアスパラガスの根の乾物重は、かなりダイナミックに変動していることを示している。すなわち根の乾物重が著しく減少する時期はおおよそ2ヶ月におよぶ若茎の収穫期および収穫後の茎葉の伸長期と対応する。また同時に根部の乾物率も同じように低下する。この時期には根部に集積された貯蔵物質がそのままの形態あるいは分解されて移行し、若茎の伸長に使用されるばかりでなく、各種化合物の合成に必要なエネルギー源としても根部の貯蔵物質が消耗されるものと考えられる。そして、その後の茎葉の繁茂により貯蔵根に光合成産物が集積するために乾物は増加し、根の乾物重は越冬前にピークを迎え、同時に乾物率は最も高くなる。このときまでに地上部茎葉から光合成産物および養分の移動はほぼ終了する。そして越冬により根部の乾物の減少はほとんどないまま春の収穫を迎える。以上のようなサイクルが一年を通してなされていると考えられる。また、このときの越冬前の根量は八畝ら¹¹⁶⁾の調査した12年生株の値とほぼ同じであった。

同様に養分の年間の動きをみると（図3-9）、収穫終了直後から茎葉繁茂期にかけては根部の養分含有量は窒素が減少し、カリウムがやや増加した。一方、地上部茎葉の窒素とカリウムなどの無機養分は増加しており、この時期に土壤中から集中的に養分の吸収が行われているものと考えられた。また越冬前には窒素を中心として地上部の無機養分が根部へ移行しており、根部の乾物重の増加とともに無機養分もまた根部へ集積されるものと考えられた。とくに窒素の地上部と根部を合計した全量は茎葉繁茂期から越冬前にかけて変化しなかった。しかしながら作物体全体の養分含有率はカリウムを中心に越冬前までわずかながら増加しており、養分吸収が後期まで続いている可能性が示唆された。

さらに地上部の茎葉は枯死しているために地上部の越冬後の養分含有量は非常に少なかったが、根部の養分含有量は変わらなかった。この枯死した地上部は圃場清掃

のために搬出されるため、含まれる養分も系外に持ち出される。越冬による地上部のカリウムの減少量は大きく、これは土壌へ還元されるか融雪とともに系外へ流出されているものと思われた。また収穫直前から直後における根部の養分含有量の変化をみると、窒素はほぼ収穫による持ち出し量の分が減少しているが、他の成分の減少は収穫された若茎の持ち出しによる養分量よりもやや大きい値を示しており、その原因としては根の枯死の影響が考えられた。多賀⁹⁴⁾は年間の養分吸収量を試算しているが、茎葉のサンプリングが晩秋であり、根量が推定値であるために本調査よりも低くなっている。また多賀・関口¹⁰²⁾はアスパラガスの窒素施肥時期について、茎葉の生育している期間を3時期に等分して検討し、初期に適切に供給、中期に抑制、後期に若干供給することを提案している。このことは本調査の窒素吸収パターンとも合致している。以上のことと表3-2からアスパラガスの無機養分要求量は若茎収穫により持ち出される量と茎葉が繁茂する際に吸収する養分量として、およそN:200, P₂O₅:60, K₂O:280 kg/ha⁻¹ということになる。しかし、とくにカリウムは越冬により減少する地上部および収穫期に減少する根部のカリウムが系内へ相当量還元されていると考えられるため、越冬前の地上部のカリウム含有率を差し引くと、カリウムの施肥養分必要量は120 kg/ha程度と考えられる。一方、越冬により地上部の窒素養分もわずかながら減少している。この窒素養分は直接溶出するカリウムと異なり、脱落した茎葉部に含まれる程度の期間を経て無機化されると思われるが、還元量としては当面、評価することが難しいと考えられる。

以上の結果から、アスパラガスの養分吸収の大部分は地上部を形成する約12日間ほどの短期間のうちに急速に行われることから、この時期に対応した施肥管理が重要であると考えられた。

第2節 根部における糖類の集積特性

前節では根部を含めた作物体全体の乾物重および無機養分の推移を調査したが、ここでは若茎生産に深く関与していると考えられる根部の糖類の消長を調査した。

方 法

前節と同様に北海道立中央農試圃場で標準栽培を行っているアスパラガスを供試して調査を行い、縦（畦方向）の長さを3株分の75cm、横幅80cm、深さ60cmの立方体の土壌に存在する根を採取した。採取時期も同様に1986年には7月2日（収穫終了直後）、8月26日（茎葉繁茂期）、

11月6日(越冬前), 1987年には5月1日(収穫直前), 7月15日(収穫終了直後), 11月4日(越冬前)に行った。1987年には深さを10cmごとに区切り根部を採取した。また、根部の糖類は分別定量法⁷⁸⁾により、還元糖, 非還元糖, でん粉に分け, 非還元糖およびでん粉は還元糖とした後, ソモギ・ネルソン法で測定した。

結 果

糖類をグルコースやフルクトースである還元糖, 重合度がスクロース以上の非還元糖およびでん粉の3種に分け, 根部における糖類含有率の推移を図3-10に示した。根部の糖類含有率は非還元糖が最も高く, 次いででん粉, 還元糖の順であった。非還元糖含有率は収穫終了直後から茎葉繁茂期にかけて低く経過したが越冬前には高まった。またこの非還元糖含有率は越冬後の翌年の収穫前には低下し, 収穫終了直後にはさらに低下したが, 越冬前には再び高まった。一方, 還元糖含有率は茎葉繁茂期の

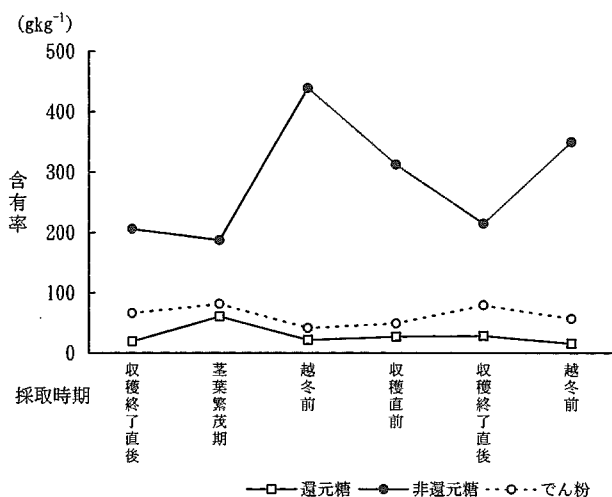


図3-10 根部における炭水化物含有率の推移

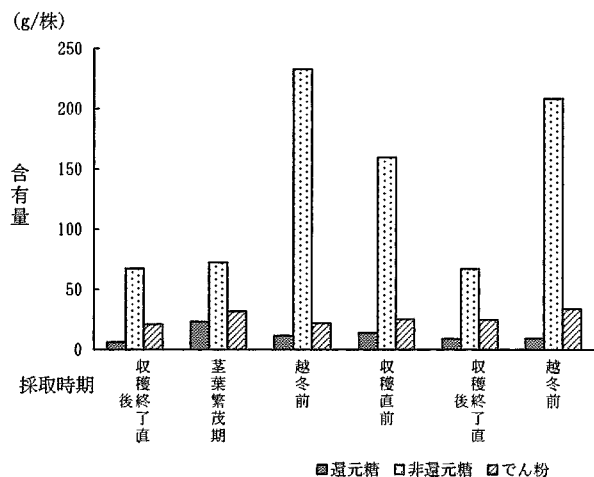


図3-11 根部における一株当たりの炭水化物含有量の推移

みで上昇がみられたが, 他の期間は低く推移した。でん粉含有率は収穫終了直後と茎葉繁茂期に高く, その後低下したが収穫終了直後に再び高まった。

一株当たりの根部の糖類含有量の推移(図3-11)は非還元糖含有量の変化が最も大きく, 収穫終了直後から茎葉繁茂期にかけての株当たり約70gから越冬前の210gとこの間に急速に増加しており, 越冬によりやや減少した。還元糖含有量の変動は小さく, 茎葉繁茂期にやや増加を示したのみであった。でん粉含有量もあまり変動しなかった。

層位10cmごとの根の乾物重の推移(図3-12)は全体の変動と一致する動きを見せ, 収穫直後の7月15日に小さくなったが, その変動幅は根の分布が集中していた地表部分で大きかった。層位別乾物率も7月15日に低下していたが, いずれの時期においても地表部分で乾物率が高い傾向を示した(図3-13)。層位別の糖類の推移(図3-14)をみると, でん粉含有率は収穫直後でやや高く, 地

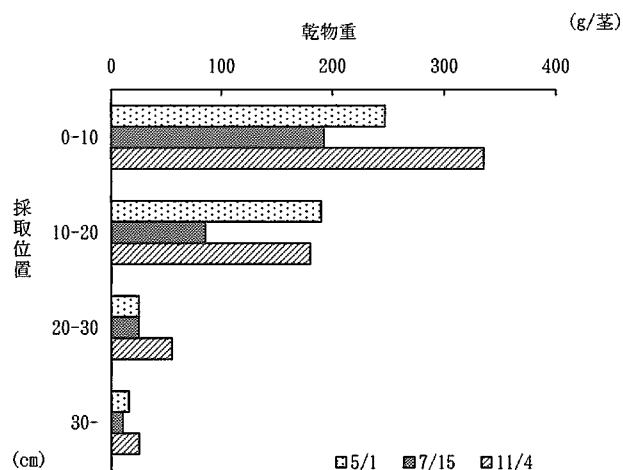


図3-12 根部における層位別乾物重の推移

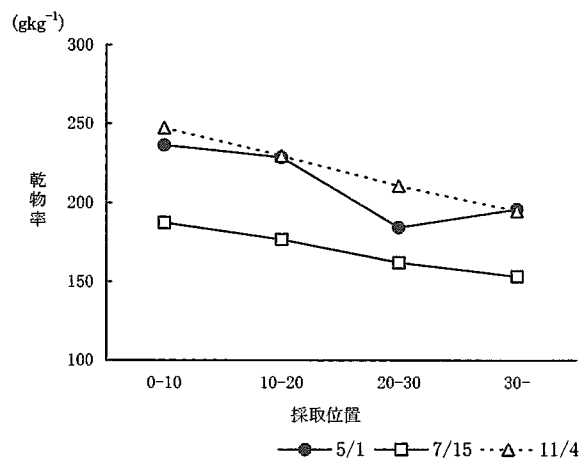


図3-13 根部における層位別乾物率の推移

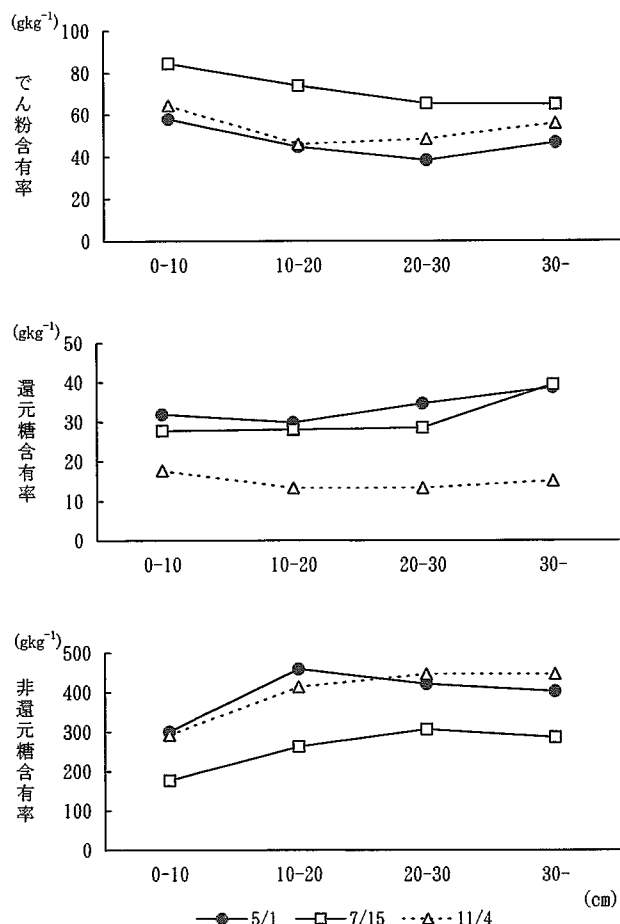


図3-14 根部における層別炭水化物含有率の推移

表に近いほど高い傾向にあった。還元糖含有率は越冬直前で低く、深いほど高い傾向だった。最も含有率が高い非還元糖はいずれの時期においても地表近くで低かった。

考 察

根部の糖類についてみると、根部に含まれる糖類はその大部分が非還元糖であり、アスパラガスは他のユリ科植物と同じようにフルクタンを貯蔵糖としており、その重合度は3～15程度であるといわれている⁸⁸⁾。また、フルクタン以外の糖としてはフルクトースとスクロースが存在し、グルコースは微量であるといわれている⁴⁸⁾。本調査の非還元糖は越冬前に非常に高くなっており、これは貯蔵糖類そのものであり、若茎収穫により激しく消耗された。また茎葉繁茂期にもその含有率は高まっておらず、根部に糖類が貯蔵されるのは茎葉繁茂期以降から越冬前までの期間であると推察された(図3-10)。また、非還元糖含有率の高まりと乾物率の高まりはほぼ一致しており、根部における乾物は非還元糖がその主体をなすものと考えられる。一方、根部の還元糖およびでん粉は非還元糖と逆の傾向を示し、越冬時に低く茎葉繁茂期に

高かった。これらは茎葉繁茂期における葉からの光合成産物がフルクタンとして貯蔵されるまでの一時的形態、あるいは根部の貯蔵物質が地上部生育のために使用される際の中間代謝形態と考えられる。このことは層別別の糖類の消長からも考察される。でん粉は地表近くで高く、収穫直後に高い。これはでん粉が根から地上部へ炭素骨格を移動させるときの中間形態とも考えられる。単糖である還元糖は深い層、つまり根の先端で高く、茎葉の活動が活発な春や夏で高かった。この時期、根は伸長していると考えられるため、非還元糖の形態はすぐに使用できるエネルギーと炭素骨格だと推察される。また、層位が浅いほど、つまり株直下になるほど乾物率は高く(図3-13)、貯蔵糖類の変動に大きく寄与しているのは地表近くにある集中した根群であり、その主体は重合度が2以上の非還元糖であった(図3-12、図3-14)。

根部全体の糖類含有量も非還元糖の量が最も多く、かつ、その変化も大きく収穫終了直後と越冬前では約3倍もの変化をみせた(図3-11)。このことは非還元糖をいかに大量に貯蔵させるかということがアスパラガスの生産にとって重要なことであり、何らかの原因で貯蔵量が低下することは、翌年の収量やその後の生育に大きく影響を与えるものと考えられた。

第3節 若茎の生育特性と栄養特性

アスパラガスの収穫部位は通常、春に萌芽してくる若茎である。この収穫は約2ヶ月間おこなわれるため、その間の生産性、養分含有率、品質等の変動を調査した。

方 法

調査アスパラガスは第1節と同じ標準栽培されているものを供試した。調査は3カ年行い、1986年と1987年は収穫ごとの生産量と養分含有率を測定し、1988年は若茎の可溶性固形物の屈折指示であるBrix値を測定した。収穫はすべて2日に1度行い、サンプリングは1986年は10日ごとに、1987年は毎回、1988年は1週間ごとにおこなった。収穫期間は1986年は5月9日から6月28日の51日間、1987年は5月11日から7月8日までの59日間、1988年は5月9日から7月6日までの57日間だった。

結 果

1986年における若茎の収穫重量は収穫前半である5月までは100～200kg/ha⁻¹と低かったが、6月はじめから10日間ほど400kg/ha⁻¹になり高収を示したが、その後再び低下した。平均一茎重はやや変動があるものの、収穫前半の6月中は15～20gと大きく、太い若茎が多かったが、

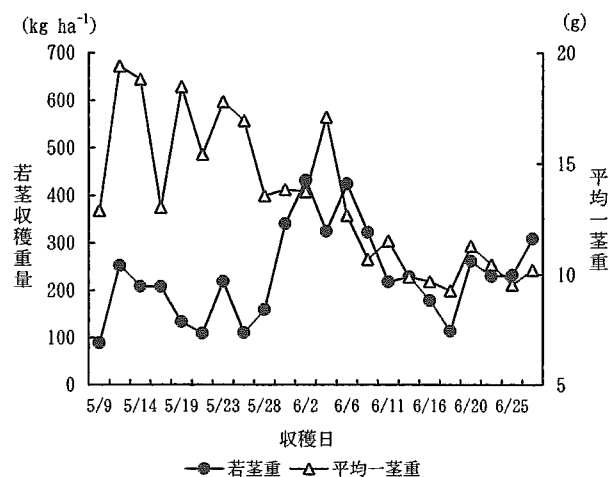


図3-15 若茎の収穫重量および平均一茎重の推移 (1986)

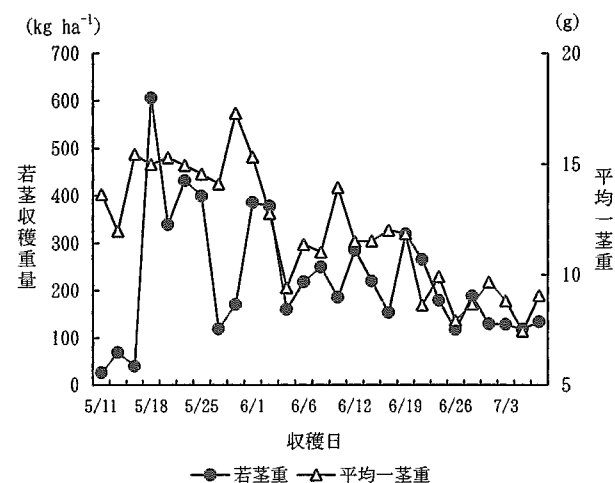


図3-16 若茎の収穫重量および平均一茎重の推移 (1987)

その後低下し、細い若茎が増えた (図3-15)。1987年は収穫若茎重は収穫開始のごく早期には少なかったが、5月中旬から下旬にかけて多く、その後次第に漸減した (図3-16)。平均一茎重は1986年と同じように収穫前半の6月中は15g前後と大きく、太い若茎が多かったが、その後10gほどになった。なお、収穫若茎は北海道の基準である長さ21cmに調整した重量のものである。

次に1986年の乾物率は収穫が進むにつれ、低下する傾向を示した。養分含有率は窒素が最も高く、ついでカリウム、りん酸、マグネシウム、カルシウムの順であった。窒素は収穫後半に高まる傾向を示し、他の養分も同じように後半やや高くなった (図3-17)。1987年の乾物率および養分含有率の推移も前年とはほぼ同じ傾向を示し、乾物率は時期とともに低下し、養分含有率は時期とともに高まる傾向を示した (図3-18)。

1988年は収穫若茎のBrix値を調査したが、部位および

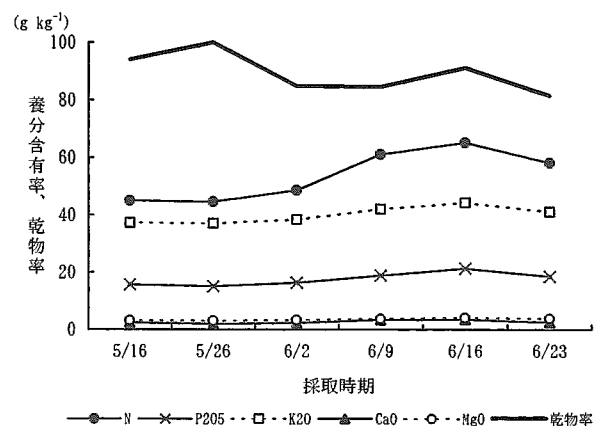


図3-17 若茎の養分含有率の推移 (1986)

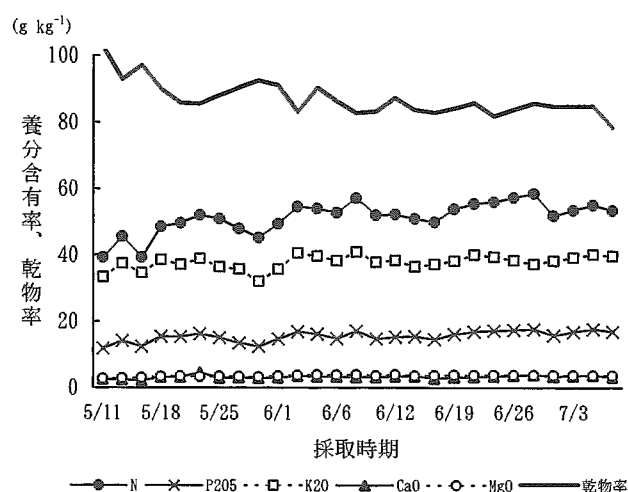


図3-18 若茎の養分含有率の推移 (1987)

若茎の太さによる変動をみるためにそれらの要因を区別して測定した。部位については若茎を3等分し、それぞれ上部から先端部、中央部、基部とした。若茎の太さは出荷時の規格で分け、Lサイズが20g以上、Mが13~20g、Sが8~13g、SSを8g以下とした。規格別若茎の先端部におけるBrix値の変動をみると、LとMサイズでは収穫期間中に変動はあったが一定の傾向は示さなかった。SとSSサイズではBrix値は収穫後半に高まっていた (図3-19)。中央部ではSSサイズの変動が非常に大きく、全体としては収穫が進むにつれ低下する傾向にあった (図3-20)。基部でも中央部と同様に収穫につれBrix値は低下する傾向にあったが、SSサイズは前半に高いなど特異な傾向を示した (図3-21)。部位別のBrix値の全体的傾向は先端部が最も高く、ついで中央部であり、基部では最も低かった。

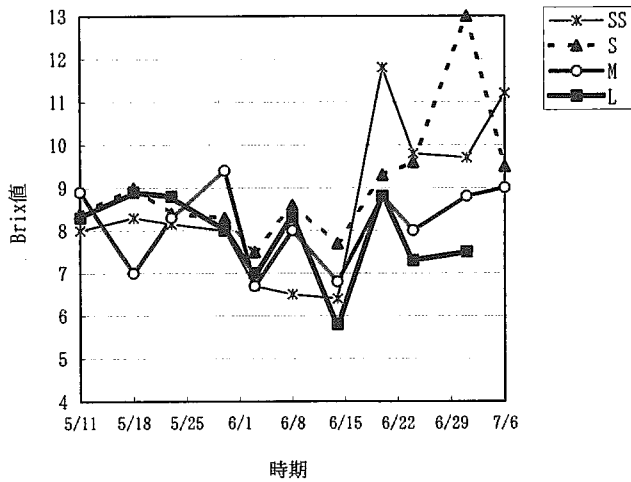


図3-19 規格別若茎の先端部におけるBrix値の推移
(SS: - 8g, S: 8-13g, M: 13-20g,
L: 20g+)

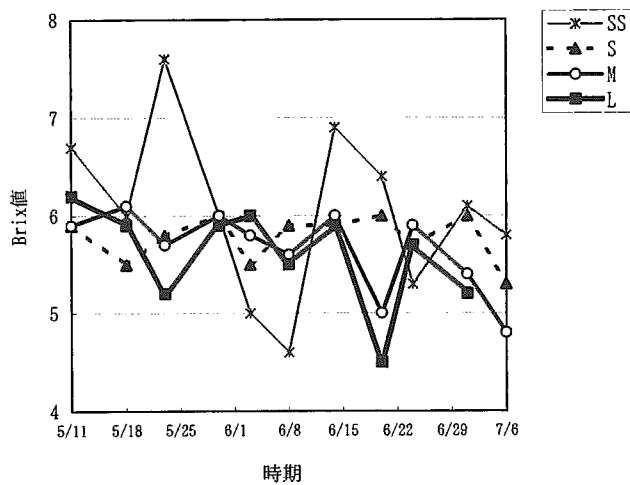


図3-20 規格別若茎の中央部におけるBrix値の推移
(SS: - 8g, S: 8-13g, M: 13-20g,
L: 20g+)

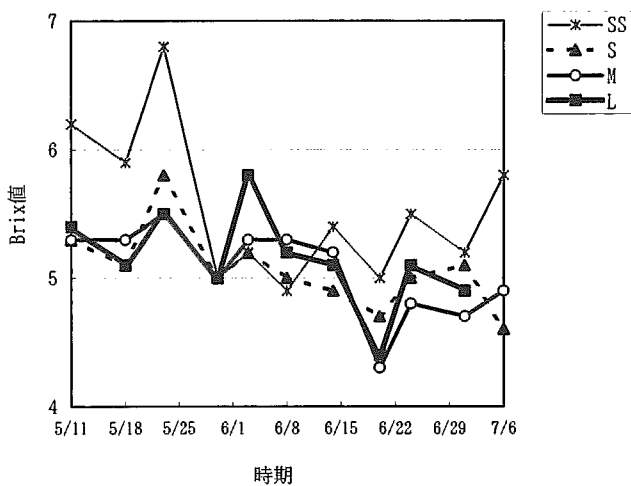


図3-21 規格別若茎の基部におけるBrix値の推移
(SS: - 8g, S: 8-13g, M: 13-20g,
L: 20g+)

考 察

アスパラガス若茎の収穫は通常約2ヶ月間にわたっておこなわれる。一般にアスパラガスの収量はこれら毎回の収穫を積算したもののだが、北海道における露地栽培の場合は気象により収穫が大きく変動することが知られている。温度と若茎の伸長の関係では11℃と31℃の間では温度が高いほど伸長速度が大きく、 Q_{10} は約2である⁹⁾ことや若茎の伸長速度は10~30℃では高温ほど大きく、35℃ではやや小さくなる⁴⁵⁾。また、伸長速度は若茎の長さや温度と直線関係を示す⁴⁾が、若茎の伸長生長に光の影響はなかった⁴⁶⁾ことが報告されている。さらに水耕栽培では根温が高いときに若茎の生産量が多く、地下部の活性の重要性が示唆されている¹¹¹⁾。山吹と佐藤は5日間ごとの積算平均気温とその後5日間ごとの積算収量との間には高い相関が認められ、気象条件が収量に大きく関与していると報告している¹²²⁾。本調査でも調査した2カ年では収穫量のパターンがそれぞれ異なり、1986年は6月上旬頃に収穫のピークがあり、1987年では収穫初期の5月中旬頃にピークがみられた(図3-15, 3-16)。そこでこれら収穫期間の気象(日平均気温、平均地温(10cm深)、降水量)をそれぞれ図3-22と図3-23に示した。1986年は5月下旬まで気温、地温とも

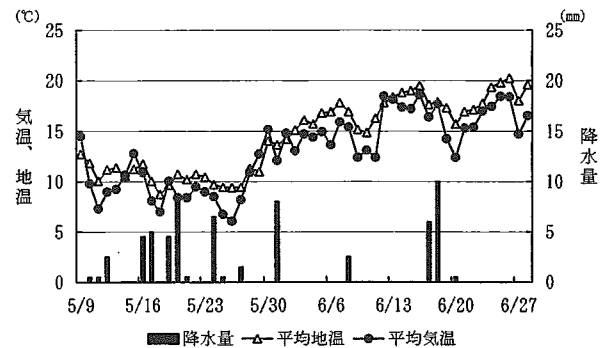


図3-22 収穫期間の平均気温、地温(10cm深)および降水量(1986年)

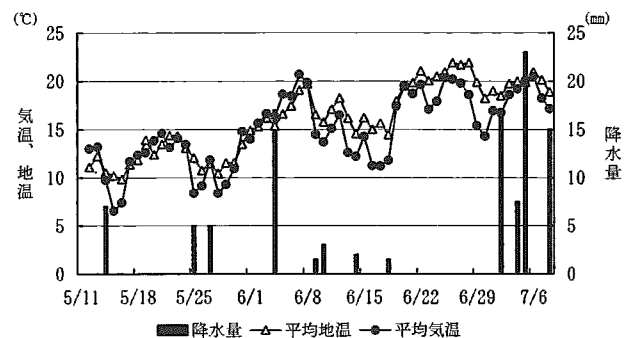


図3-23 収穫期間の平均気温、地温(10cm深)および降水量(1987年)

低く、10℃を上回することは少なかったが、その後上昇し気温は5月下旬から6月上旬までは約15℃、6月中旬からは約18度程度までになった。この気温および地温と合致するように収量は5月下旬まで少なかったが、その後多くなったものと考えられた。一方、1987年は前年よりも気温と地温は高く推移しており、5月中旬頃は気温が15℃近くまで高く維持され、6月上旬まで20℃近くまで上昇し続けた。その後やや気温は低下したが再び20℃ほどになった。この年の収量の経過も収穫開始直後にピークを迎え、その後次第に少なくなっており、初期に気温が高いことと一致した。このように収穫のピークは気温あるいは地温と一致していたが、そのピークを迎えた後は気温が高くなっても、収量の高まりは認められなかった。これはある程度貯蔵糖類を若茎の成長に使用した後は根の貯蔵糖類の濃度が一定程度まで低下し、若茎を旺盛に発芽、伸長させることができなくなってしまうためと考えられる。このことは平均一茎重が気象に関わらず時期とともに少なくなる傾向にあることから推定される。つまり根の貯蔵糖類が消耗してしまうため、気温が十分にあっても若茎に転流する糖類が減少し、収穫を経るごとに若茎が細くなると考えられるためである。金と崎山は若茎の伸長は貯蔵糖が十分に存在している限り貯蔵根の活性より若茎やクラウンの活性により制限されるが、不足すると伸長速度は低下した⁴⁷⁾と報告しており、本調査と同様の現象を観察している。

次に若茎の乾物率と養分含有率の推移をみると、乾物率は兩年とも収穫時期とともに低下した(図3-17, 3-18)。これは前述したように収穫期後半は気温が上昇し、若茎の伸長速度が大きくなり、繊維などの組織が十分発達しなかったためと考えられ、若茎の繊維量は光および温度により影響を受け⁷⁾、高温で生長するほど繊維の発達が少ないといわれている^{8,90)}ことから推定される。しかしながら一方では、収穫後半に根の貯蔵糖類が消耗したため若茎の充実がなされなかったのも要因とも考えられる。一方、窒素を中心とした養分含有率は、収穫とともに上昇する傾向にあった。これは気温の上昇に伴い養分の根からの移動が盛んになり、土壌からの吸収も活発になってくるためと考えられる。高橋らは窒素の施用時期について検討し、春収穫前に全施肥量の25%を施用することが効果的としている¹⁰⁵⁾ことから収穫後半では土壌からの養分吸収がかなりなされていると思われる。さらに15Nを用いた試験では収穫前に施用した窒素の25%が吸収されているとの報告もあり⁵¹⁾、この現象を裏付けている。

若茎のBrix値の推移は、中央部と基部においては値が

収穫時期とともに低下する傾向にあった(図3-20, 3-21)。これは前述したように根の貯蔵糖類が消耗したために低下したのと考えられる。この時期は気温も高く若茎への転流が妨げられているとは考えにくく、若茎の収量も少なくなる傾向にあるために、若茎間の養分競合が起こってもいないからである。しかしながら、先端部ではBrix値自体も最も高く、時期による低下は明確には認められなかった。これはBrixは可溶性の固形物すべてを測定しているために、他の遊離のアミノ酸なども含めていることが考えられる。したがって若茎に関してはBrix値と糖含有率が必ずしも同じ意味ではないと考えられるために、若茎の糖含有率をBrix値で代用できるか否かは、さらに成分の詳細な分析が必要である。

第4節 まとめ

アスパラガスの根部を含めた作物体全体の乾物重および無機養分含有率の年間を通した推移、若茎生産に深く関与している根部の糖類の消長および収穫部位である若茎の生産性、養分含有率、品質等の変動を調査した。

- (1) 茎葉乾物重は夏期に最も多く、晩秋、早春に減少した。根部の乾物重は生育時期による変動が大きく、若茎の収穫により激減し、その後増加し、越冬直前に収穫終了直後の約2倍であった。
- (2) 地上部への養分集積は、収穫終了直後から茎葉繁茂期にかけて集中的に行われ、越冬直前には地上部に集積した養分が根部へ移行した。根部の無機養分は窒素とカリウムがその大部分を占めたが、若茎収穫により減少し、越冬前には増加するパターンを繰り返した。
- (3) アスパラガスの1年間の施肥養分必要量はN:200, P₂O₅:60, K₂O:120kg/ha⁻¹であった。
- (4) 根部に集積する糖類は非還元糖の量が最もかつ著しく多く、若茎収穫により激しく消耗したが、茎葉繁茂期以降に増加して越冬直前には収穫終了時の約3倍にまで増加した。この変動に大きく関与しているのは地表近くに集中している根群に含有される非還元糖であった。
- (5) 若茎収穫量のピークは5月中旬頃から6月上旬頃であり、そのピークはこの時期の気温および地温とほぼ一致した。しかし、その時期以降は気温が高くなっても、収量の増加は認められず、若茎の収穫量は根の貯蔵糖類の消耗と密接に関係していた。
- (6) 収穫若茎の乾物率は収穫時期の経過に伴って低下し、養分含有率は上昇した。Brix値は若茎中央部と基部において収穫時期とともに低下した。

第Ⅳ章 茎葉繁茂初期における ^{14}C - 光合成産物の 分配と根部における糖の集積

本章では茎葉で同化された光合成産物が根部に集積を開始し始める茎葉繁茂初期に着目し、この時期にアスパラガスの根部に存在するフルクタン含有率を器官ごとに定量するとともに、茎葉で同化させた $^{14}\text{CO}_2$ が、根部の部位に、どのような糖の形態で分配・集積するかを明らかにし、アスパラガスの生産性向上のための基礎的知見となる根部における糖代謝について検討を行った。

方 法

1 年生根株のアスパラガス（品種：メリーワシントン 500W, 1990年4月14日播種）を、1991年1月22日に粒状園芸用培土（培土kg当たりN:400, P_2O_5 :1500, K_2O :400, MgO :200mgを含む）を充填した直径27cm, 深さ25cmのポットに定植した。栽培は温室内の自然光型グロースキャビネット内でおこない、温度は昼間25℃, 夜間20℃に設定した。主茎の伸長が停止し、擬葉の完全展開が完了した3月7日午後3時30分に $^{14}\text{CO}_2$ を1時間施与し

た。施与は地上部茎葉全体を透明ポリエチレン袋で囲い、その内部に1.11MBqの ^{14}C を含む 0.05molL^{-1} の炭酸ナトリウム液3mlが入ったビーカーを設置し、外部から約 200gL^{-1} 乳酸液6mlを注射器でビーカーに注入して $^{14}\text{CO}_2$ を発生させることでおこなった。採取時期について果菜類では16時間後にはほぼ転流が終了するといわれており¹³³⁾、ここでは $^{14}\text{CO}_2$ 施与18時間後にサンプリングを実施した。実験は4反復で行った。

地上部は主茎部と側枝+擬葉とに分けた。アスパラガスの根部は、多肉質で太く茎葉で形成された同化産物を貯蔵する貯蔵根と、繊維質で細く主に貯蔵根の側根として発生し養水分吸収をおこなっている吸収根、および貯蔵根が発生するクラウン（地下茎）の3部位に分けられる。そこで、本研究ではこの分類法によって根部を貯蔵根、吸収根およびクラウンの3部位に分けた。また貯蔵根を定植後に発生した根と定植前から存在した根とに分け、それぞれ新貯蔵根、旧貯蔵根とした。さらに旧貯蔵

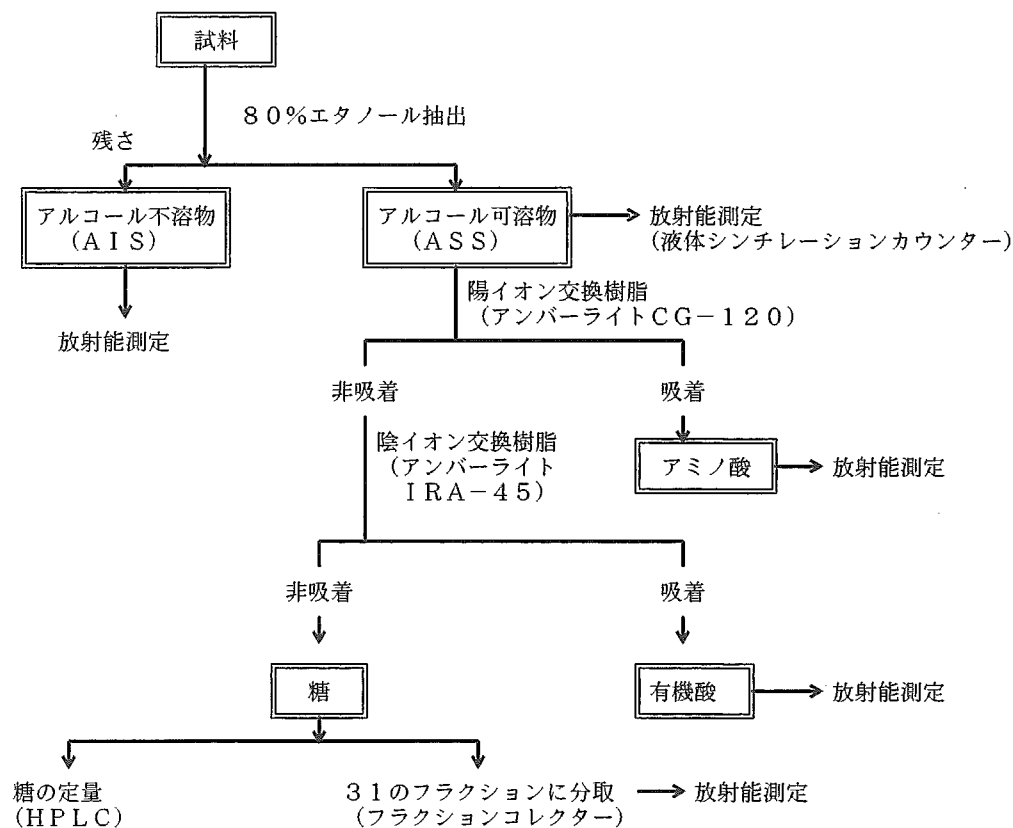


図4-1 アスパラガス根部における ^{14}C および有機成分分析法の概要

根を2等分して旧貯蔵根先端および旧貯蔵根基部とした。地上部茎葉は通風乾燥した後粉碎し、それぞれの部位に含まれる放射能を液体シンチレーションカウンターにより測定した。根部については今田ら^{37,38)}および著者ら¹⁹⁾の方法に準拠して行った。すなわち、地下部の各部位を新鮮物で80%エタノールで抽出しアルコール可溶画分とアルコール不溶画分とに分離し、アルコール可溶画分を減圧濃縮し、陽イオン交換樹脂（アンバーライトCG-120）および陰イオン交換樹脂（アンバーライトIRA-45）に通してアミノ酸、有機酸、糖の画分を得た。これらの画分に含まれる¹⁴Cの放射能をそれぞれ測定した。糖の画分については、金ら⁴⁸⁾の方法で高速液体クロマトグラフィー（HPLC）を用いて単糖およびフルクトランを定量した。供試カラムとしてCosmosil Packed Column 5NH2（4.6mmφ×150mm ナカライ）を、検出器として示差屈折計を用いた。分析条件は流速1.0mLmin⁻¹、カラム温度33℃、移動相として70%アセトニトリルを用いた。さらにどの糖にどのくらい¹⁴Cが含まれているかを分析するために、カラムを換えて糖の画分をフラクションコレクターを用いて31のフラクションに分取し、それぞれの画分に含まれる¹⁴Cを求めた。糖の分画に供試したカラムはShodex Ionpak KS801（8mmφ×300mm 昭和電工）であり、検出器として示差屈折計を用いた。分析条件は流速1.0mLmin⁻¹、カラム温度80℃、移動相として水を用いた。分取にあたっては各フラクションの液量を7滴に設定し、同一サンプルを4回繰り返してカラムに通し、¹⁴Cの量を高めた。根部成分の分析法の概要を図4-1に示した。

結 果

1) 各部位の新鮮重、乾物重、乾物率および根部のオリゴ糖含有率

¹⁴C施用時の各部位の新鮮重は根部では貯蔵根である旧貯蔵根が最も大きく、新しく発生した貯蔵根である新貯蔵根はわずかであった。根部の乾物率はクラウンが最も高く、新貯蔵根のほうが旧貯蔵根より高かった。吸収根は新鮮重では大きい値を示したが、乾物率が低く、乾物重では小さかった（表4-1）。

新鮮重当たりの根部の部位別糖含有率をみると、各フルクトランを合わせた全糖含有率は新貯蔵根で最も高く、ついで旧貯蔵根基部、旧貯蔵根先端、クラウン、吸収根の順であり、吸収根の全糖含有率は新貯蔵根の約5分の1であった（図4-2）。各部位とも重合度が8以上のフルクトランはほとんど検出されず、重合度7以下のフルクトランが大部分を占めた。また糖の種類別含有率を比較すると貯蔵根においてはスクロースが高く、ついで重合度3、4のフルクトランが高く、重合度が高くなるほど含有

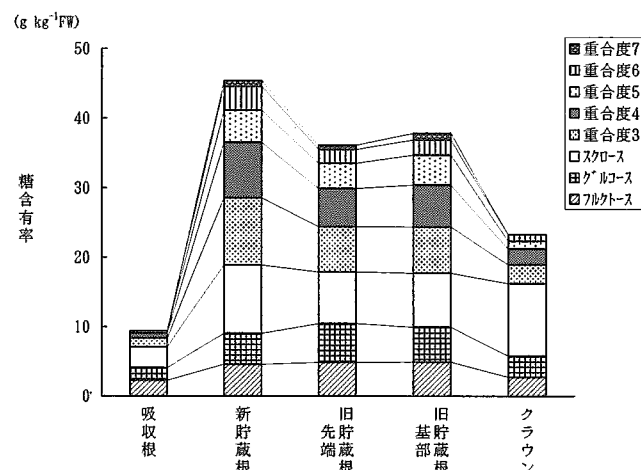


図4-2 ¹⁴C施用時における根部の部位別糖含有率（新鮮重当たり）

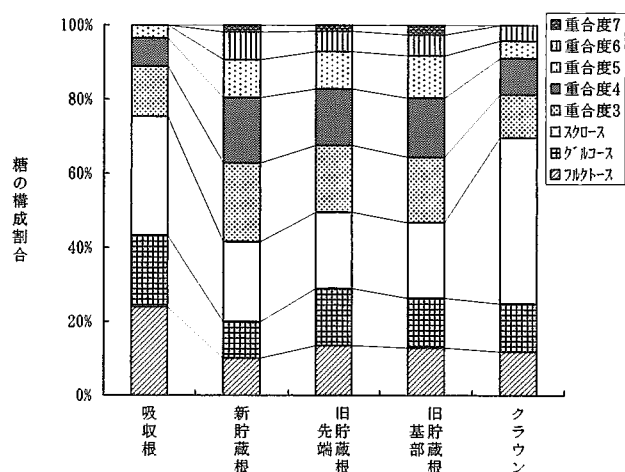


図4-3 ¹⁴C施用時における根部の部位別糖の構成割合

表4-1 ¹⁴C施用時における各部位の新鮮重、乾物重および乾物率

	葉	主茎	吸収根	新貯蔵根	旧貯蔵根先端	旧貯蔵根基部	クラウン	合計
新鮮重 (g)	13.7	6.8	13.6	2.2	14.2	21.5	5.0	77.0
乾物重 (g)	3.25	1.77	0.63	0.27	1.57	2.24	0.81	10.54
乾物率 (gkg ⁻¹)	237	260	46	123	110	104	164	—

率は低かった。重合度の高いフルクタンの含有率は新貯蔵根で最も高く、旧貯蔵根では基部でやや高い傾向にあった。

全糖を100としたときの根部の部位別糖の構成割合は、貯蔵根ではグルコースやフルクトースといった単糖の割合は20～25%で、ほぼ同程度であり、重合度の高いフルクタンの割合が高く、重合度6のフルクタンも5%程度を占めた(図4-3)。しかしながら、吸収根ではスクロースと単糖の割合が高く、重合度の高いフルクタンの割合は著しく低く、重合度6以上のフルクタンは認められなかった。クラウンにおいては単糖の割合は貯蔵根と同程度だったが、スクロースの割合が高く、重合度3以上のフルクタン割合は貯蔵根よりも低かった。

2) ^{14}C 同化産物の分配率と部位別相対的シンク強度

同化後18時間後の ^{14}C 同化産物の分配率は、全植物体でみると擬葉+側枝への分配率が非常に高く、70%にも達したが、根部への分配率は20%であった(図4-4)。根部の器官別分配率は、旧貯蔵根への割合が最も多く、次いで吸収根であり、新貯蔵根とクラウンへの分配は少なかった。

同化産物に対する各器官のシンク能の大きさをあらわすRSS値(相対的シンク強度, Relative Strength as a Sink)は擬葉+側枝で最も大きく200以上であった(図4-5)。根部全体のRSSは約40だった。根部各部位のRSSは吸収根と新貯蔵根で100以上であり、これらの部位ではシンク能が高かったが、旧貯蔵根やクラウンでは30以下と低かった。

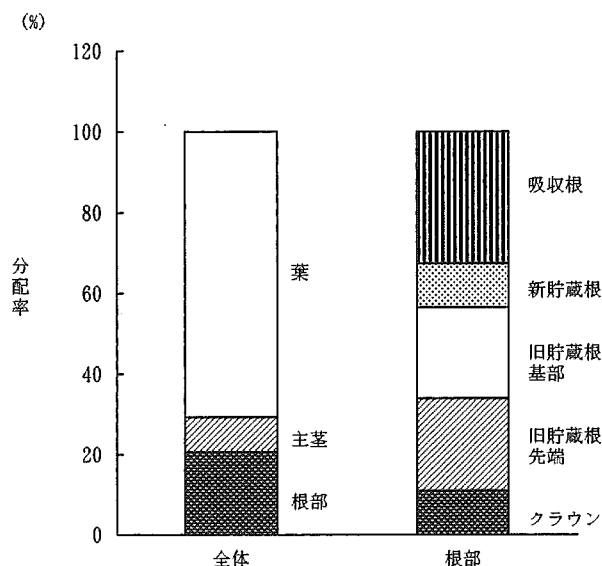


図4-4 ^{14}C 施用18時間後における ^{14}C 同化産物の分配率

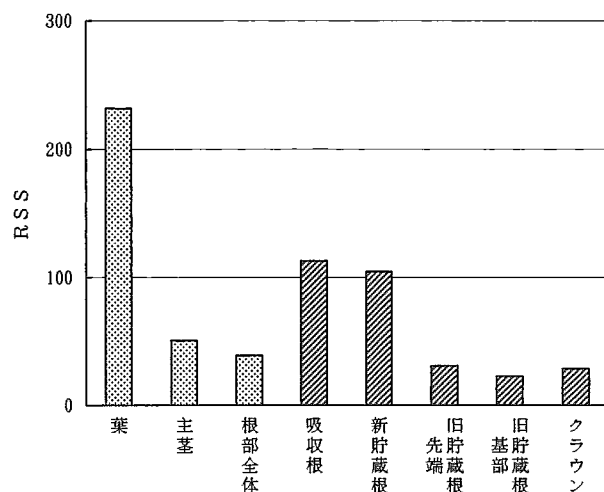


図4-5 部位別相対的シンク強度 (RSS)

RSS: 相対的シンク強度 (Relative Strength as a Sink)
(各器官の ^{14}C 比活性/全植物の ^{14}C 比活性) $\times 100$

3) 根部における ^{14}C 化合物の化学形態別分布割合

根部における ^{14}C 化合物の形態別分布割合をみると、いずれの部位においても糖の割合が最も多かったが、部位によりその割合は異なり、旧貯蔵根基部で最も高く約90%が糖で占められ、他の画分の割合は著しく低かった(図4-6)。また、同じ旧貯蔵根の先端部ではアルコール不溶画分の割合が増加し、新貯蔵根ではさらに有機酸の割合が増加した。クラウンでは糖の割合は新貯蔵根とほぼ同じであったがアミノ酸の割合がやや増加した。吸収根においては他の部位に比べて糖の割合が低く約60%であり、アルコール不溶画分、有機酸、その他のアルコール可溶画分の割合が高かった。

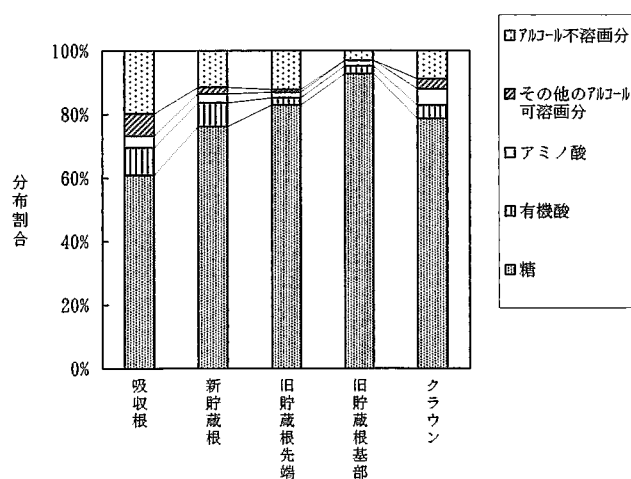


図4-6 根部における ^{14}C 化合物の化学形態別分布割合 (各部位の放射能を100とする)

4) 根部における ^{14}C -糖の構成割合

根部における ^{14}C でラベルされた糖の構成割合は、いずれの部位においてもスクロースの割合が最も高く、50～63%であった(図4-7)。貯蔵根である新貯蔵根および旧貯蔵根ではグルコースやフルクトースからなる単糖は約20%で同程度であった。また重合度3以上のフルクタンにまでラベルされた割合も貯蔵根で高く、とくに新貯蔵根で高く、旧貯蔵根の先端部ではやや低かった。クラウンでは単糖の割合が高く、重合度3以上の糖の割合は低かった。吸収根においても単糖の割合が高かったが、重合度3以上の糖の割合も約20%と比較的高かった。単糖ではいずれの部位においてもグルコースがフルクトースの割合よりも高かった。

地上部で同化された ^{14}C が同化18時間後に根部でどのような糖により多く集積しているかをみるために、図4-3に示した糖の構成割合に対する ^{14}C でラベルされた糖の構成割合の比を図4-8に示した。この比率は ^{14}C 同化18時間後の各糖にある ^{14}C の片寄り程度を示している。この各糖の構成割合に対する ^{14}C でラベルされた糖の構成割合の比はいずれの部位においてもスクロースで最も高く、とくに貯蔵根で高く、新貯蔵根より旧貯蔵根でやや高かった。また、貯蔵根では重合度4以上の糖の比は0.3以下と低かった。クラウンではグルコースとフルクトースの値は高かったが、スクロースは他の部位よりも低く、さらに重合度3以上の糖の値も低かった。吸収根ではスクロースは貯蔵根より低かったが、重合度3以上の糖、とくに重合度4以上の糖の値が高かった。また、クラウンを除くすべての部位でグルコースの比がフルクトースのそれより高かった。

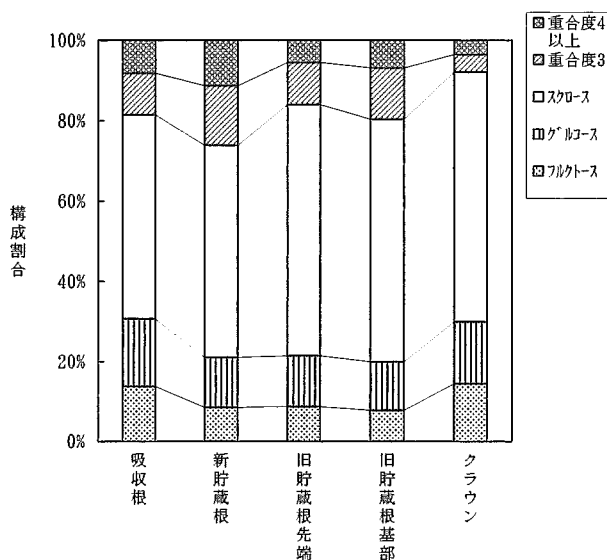


図4-7 根部における ^{14}C でラベルされた糖の構成割合

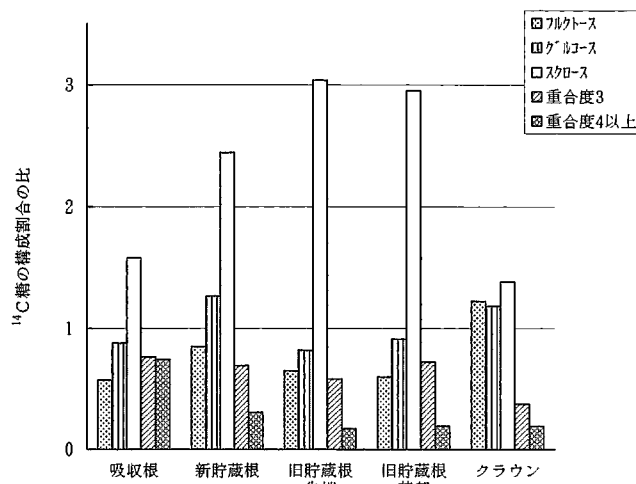


図4-8 根部における糖の構成割合に対する ^{14}C -糖の構成割合の比*

$$* \frac{{}^{14}\text{Cでラベルされた糖の構成割合}}{\text{糖の構成割合}}$$

考 察

アスパラガスは茎葉繁茂期に同化した光合成産物を根部に蓄え、翌年の若茎生産および茎葉伸長に利用する。したがって根部に集積する糖類は若茎収穫後に最も少なく、茎葉が枯死した越冬直前に最大となる²⁰⁾。本研究で供試したアスパラガスは1年目の根株であり、定植後45日目で、茎葉が完全展開して間もない時期のものであった。従って、この時のアスパラガスの状態は根部の糖類を茎葉の生育のために消費しつつ、茎葉で同化される光合成産物を根部に集積し始める時期と考えられる。

根部の乾物重と糖含有率は収穫終了直後から茎葉繁茂開始期に最低となる²⁰⁾ので、本研究が行われたこの時期には根部乾物重が小さく、根部糖含有率が低い時期であったと考えられる。根の部位別の全糖含有率は新貯蔵根で最も高く、ついで、旧貯蔵根、クラウン、吸収根の順であった(図4-2)。新貯蔵根はポットに定植してから発生した貯蔵根であり、擬葉の見かけの光合成は葉展開時にはマイナスを示すと言われており³⁹⁾、茎葉の光合成産物が新貯蔵根の形成に寄与する割合は少なかったと思われる。従って、新貯蔵根の乾物重そのものは小さかったが(表4-1)、生長のための同化産物はすでに存在していた旧貯蔵根の糖類にそのほとんどを依存していたと考えられる。そのように形成した新貯蔵根ではあるが、この部位では全糖含有率が最も高く、重合度の高いフルクタンも多いことから、発生したばかりであっても貯蔵根は早くから糖を貯蔵するという役割を果たしていることが示唆された。また、いずれの部位においても重合度が8以上のフルクタンは認められなかった

が、これは供試した根株が1年生であり、さらに糖が活発に消費されている時期であったためと考えられる。一方、吸収根は乾物率および糖含有率が低く、重合度の高いフルクタンの割合も小さかった。これは吸収根では養水分の吸収を行っているため、その吸収のためのエネルギー源としての重合度の低い糖のみがもっぱら必要であるためと考えられる。新貯蔵根と旧貯蔵根のバランス、重合度別のフルクタンの存在比などの季節変化や経年変化に関する調査が、今後アスパラガスの糖集積を高めるための基礎知見として必要であると思われる。

茎葉繁茂初期に同化された ^{14}C は同化部位である擬葉+側枝と主茎に多くとどまり、根部には20%程度移行した(図4-4)。アスパラガスの茎葉乾物重は真夏から初秋に最も多く、越冬をむかえ枯死するに従い減少するが、茎葉の乾物重の減少にともない、根部乾物重が増加する²⁰⁾。茎葉の展開が終了したばかりの時期には、同化産物は茎葉に最も多くとどまっているが、越冬前になると地上部の同化産物の根部への移行、糖類の再転流が行われるため、遅くとも越冬前までにはこの同化産物の多くが根部に移行すると思われる。根部内での ^{14}C 分配率は旧貯蔵根、吸収根において高く、養水分吸収器官と貯蔵器官の両方に多く分配した。また旧貯蔵根の位置による分配率の差は認められず、一本の貯蔵根ではほぼ均一に同化産物が分配されているものと思われた。

次に全植物体当たりの比活性(乾物重当たりの放射能)に対する各器官の比活性の割合で、同化された ^{14}C に対する各器官のシンクの大きさを示すRSSも同化部位である擬葉+側枝で大きく、根部全体では約40であった(図4-5)。しかしながら、根部の各器官に注目すると、吸収根と新貯蔵根が100以上であり、これらの新しい組織に同化された光合成産物が優先的に移行していた。旧貯蔵根では分配率は高かったが、RSSは小さく、同化されて間もない光合成産物は古い貯蔵部位には速やかには移行しないと考えられた。しかし、越冬に向かって貯蔵根の糖含有率が上昇することや光合成速度が生育時期とともに次第に低下する¹⁰⁶⁾ことから、生育後期に地上部茎葉はもとより、吸収根などから糖類が貯蔵根に再転流していることも考えられる。光合成産物の根への分配率には時期による変化はない²⁴⁾という報告もあるが、根部の各器官ごとにみると生育時期により同化産物のシンク能は変化している可能性もあり、フルクタンの合成酵素活性の時期的変化などと合わせた検討が今後必要である。

根部の各部位における ^{14}C 化合物の化学形態別分布割合をみるとその大部分は糖であったが、部位によりその

割合は異なった(図4-6)。すなわち吸収根、新貯蔵根などの新組織ではアルコール不溶画分や有機酸などの割合が高く、繊維組織や根からの分泌物質が盛んに合成されている可能性がある。これに対して、旧貯蔵根ではほとんどが糖であり、糖の貯蔵器官として働いていたが、先端部ではアルコール不溶画分の割合もやや高く、根先端が伸長していることがうかがわれた。また茎や根が発生する器官であるクラウンにおいても約80%が糖であり、クラウンの糖類の63%がフルクタンである⁵³⁾という報告もあるように、クラウンは同化産物の通路のみならず貯蔵器官としても働いていると考えられる。

同化後18時間目の根における ^{14}C でラベルされた糖は、その大部分がスクロースであるが、その他にグルコースやフルクトースなどの単糖および重合度3やそれ以上の重合度のフルクタンに変化していた(図4-7)。一般に光合成同化産物の転流物質はスクロースといわれており⁶⁶⁾、とくにフルクタンを貯蔵糖とする植物はスクロースを転流糖とする⁷²⁾。アスパラガスの場合も茎葉で同化された光合成産物はスクロースの形態で根部に移行しているものと思われ、そこでインベルターゼにより、単糖に分解されたり、種々のフルクタン合成酵素により様々な重合度のフルクタンが合成される。したがってスクロースの割合が多いのは茎葉から転流してきたスクロースが、同化後18時間と時間がそれほど経過していないために根部の各器官にそのままとどまっているためと考えられる。しかしながら単糖への変化も認められ、吸収根やクラウンで単糖の存在割合が高かった。これは吸収根ではスクロースが養水分吸収のエネルギー源としての呼吸の基質として多く使用されるため単糖へ分解される割合が高まったと考えられ、実際その存在割合も高かった(図4-7)。クラウンにおいては茎葉の繁茂期に単糖が増加することから²⁰⁾、地上部の生育が旺盛なときにはクラウンではスクロースの分解が促進されるといった密接な関連が考えられ、このことについてはさらに検討が必要である。また、ほとんどの部位でグルコースの方がフルクトースよりも構成割合が高く、糖の構成割合に対する ^{14}C でラベルされた糖の構成割合の比をみても、グルコースで高かった(図4-8)。これはフルクタンを合成する際にスクロースが分解されて生成するフルクトースが使用され、グルコースが多く残存してしまうためと思われる。一方、重合度3やそれ以上の糖への変化については、同化後18時間しか経過していないにも関わらず、すでに重合度4以上のフルクタンへの変化が各器官においてみられ、貯蔵フルクタンへの変化は急速に行われることが明らかとなった。部位別にみると、

貯蔵根ではその存在量と同じようにフルクタンへの変化が多く認められ、クラウンではその変化量が少なく、含有率も低かった。しかしここで特異な変化が吸収根において認められた。すなわち、吸収根ではフルクタンの含有率が非常に低いにも関わらず（図4-2）、重合度3や重合度4以上のフルクタンに変化した割合が多かった。糖の構成割合に対する ^{14}C -糖の構成割合の比をみても、重合度3の比は他の器官よりもやや高く、重合度4以上の糖ではかなり高かった（図4-8）。これは吸収根において重合度の高いフルクタンが優先的に合成されているか、あるいは貯蔵根などで合成されたフルクタンが移動してきたことを示している。吸収根ではフルクタン含有率が非常に低いことから、ここでフルクタンが生成されたならば、合成されてすぐに他の器官、貯蔵根などに再移動するか、吸収根内ですみやかに分解され、使用されると考えられる。この場合、短期間の間にフルクタンの合成、分解が行われていることになる。吸収根はエネルギーを消費し、養水分の吸収をもっぱら行っている場であると考ええるならば、貯蔵根で合成されたフルクタンがそのままの形で移動して、分解を受けている可能性が高いと考えられる。いずれにしても、このフルクタンの合成分解の場や動きの詳細についてはさらに検討が必要と思われる。

本章では茎葉繁茂初期のアスパラガスにおける根部の糖の代謝について調査したが、生産性を安定的に高めるために根の糖集積を増大するためには、さらに生育時期別の糖の動き、酵素活性の変動、地上部の光合成速度などが栽培環境や栽培管理によって受ける影響を総合的に解析する必要がある。

ま と め

茎葉繁茂初期にアスパラガスの地上部全体に $^{14}\text{CO}_2$ を同化させ、根部に存在する糖類を部位別に定量するとともに、根の部位別、糖の形態別の ^{14}C 分布を明らかにすることによって、アスパラガスの根部における糖代謝

について検討した。

- (1) 全糖含有率は新貯蔵根で最も高く、ついで旧貯蔵根基部、旧貯蔵根先端、クラウン、吸収根の順であった。貯蔵根においてはスクロースの割合が高く、ついで重合度3、4のフルクタンが高かった。重合度の高いフルクタンの割合は新貯蔵根で最も高かった。吸収根ではスクロースと単糖の含有率が高く、重合度の高いフルクタンの割合は著しく低かった。クラウンにおいてはスクロースの割合が高く、重合度3以上のフルクタンの割合は低かった。
- (2) 同化後18時間経過後の ^{14}C は同化部位である擬葉+側枝と主茎に多くとどまっており、根部には20%程度移行した。根部内での ^{14}C 分配率は旧貯蔵根、吸収根において高く、養水分吸収根と貯蔵根の両部位に多く分配した。
- (3) 各器官のシンク能の強さを示す相対的シンク強度(RSS)も同化部位である擬葉+側枝で最も大きく約230であり、根部全体では約40であったが、吸収根と新貯蔵根では100以上であり、根の中ではこれらの新しい組織に同化された光合成産物が優先的に移行した。
- (4) 根部に存在した ^{14}C の化学形態は、その大部分が糖であったが、部位によりその割合は異なった。吸収根、新貯蔵根などの新組織ではアルコール不溶画分、有機酸やアミノ酸などの割合が高く、旧貯蔵根ではほとんどが糖であり、旧貯蔵根は糖の貯蔵器官として働くと考えられた。
- (5) 吸収根ではフルクタンの含有率が非常に低いにも関わらず、重合度3以上のフルクタンに含まれる ^{14}C の割合が高かった。根へ移行した糖は、大部分がスクロースであったが、同化後の経過時間が18時間と短いにも関わらず、重合度4以上のフルクタンへの変化がすでに各器官においてみられ、フルクタンへの変化は急速に行われることが明らかとなった。